# 1997
# 海峽兩岸森林生物技術及環境變遷對森林生態系的影響

## 研討會論文集

主辦單位：國立臺灣大學農學院森林學研究所
中央研究院植物研究所
行政院國家科學委員會生命科學推動中心

# 海峽兩岸森林生物技術及環境變遷對森林生態系的影響
# 研討會論文集

**研　討　會　期　間**：86年5月12日至23日
**研討會論文發表日期**：86年5月20日至22日
**研討會論文發表地點**：國立台灣大學思亮館國際會議廳
中央研究院學術活動中心國際會議廳

**主辦單位**：國立台灣大學農學院森林學研究所
中央研究院植物研究所
行政院國家科學委員會生命科學推動中心

**協辦單位**：中華自然資源保育協會
台灣省林業試驗所
中華林學會

**贊助單位**：行政院國家科學委員會
教育部
行政院大陸委員會
行政院農業委員會
財團法人農村發展基金會
財團法人台北市錫瑠環境綠化基金會
太平洋文化基金會
財團法人李國鼎科技發展基金會
財團法人農友社會福利基金會

**研討會聯絡人**：
台灣大學森林學研究所：姜家華教授
中央研究院植物研究所：黃麗春教授

# 海峽兩岸森林生物技術及環境變遷對森林生態系影響
# 研討會論文發表日程

**5 月 20 日(星期二)　　研討會地點：台灣大學思亮館國際會議廳**

08:00 -- 09:00 …… 報到

09:00 -- 09:40 …… 開幕式

09:40 -- 10:00 …… 休息

第一節　森林生態　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：李堅教授、周昌弘教授

| 時　間 | 報告人 | 論　文　題　目 |
|---|---|---|
| 10:00-10:20 | 周昌弘 | 台灣長期生態之研究 |
| 10:20-10:40 | 趙奇僧 | 中國亞熱帶生物多樣性及其保護 |
| 10:40-11:00 | 張新時 | 森林植被和氣候 |
| 11:00-11:20 | 周曉峰 | 中國森林生態系統：全球變化響應機理的樣帶研究 |
| 11:20-11:40 | 陳信雄 | 全球氣候變遷下台灣水資源問題之探討 |
| 11:40-12:00 | 吳榜華 | 全球氣候變化與生物多樣性 |

12:00 -- 13:10 …… 休息、午餐

第二節　生物技術　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：王明庥教授、張唯勤教授

| | | |
|---|---|---|
| 13:10-13:30 | 蕭介夫 | 酵素科技之應用 |
| 13:30-13:50 | 衛志明 | 松樹屬樹種體細胞胚胎發生和遺傳轉化研究 |
| 13:50-14:10 | 黃純農 | 植物細胞超低溫保存的研究和應用 |
| 14:10-14:30 | 顏慕勤 | 林木優良單株無性系組培苗工廠化集約化生產 |
| 14:30-14:50 | 闕國寧 | 林木植物組織培養 |
| 14:50-15:10 | 廖宇賡 | 濕地松體胚繁殖 |

15:10-15:30 …… 休息

第三節　森林生態　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：沈國舫教授、陳信雄教授

| | | |
|---|---|---|
| 15:30-15:50 | 聶紹荃 | 黑龍江省森林生態系統恢復與重建的研究 |
| 15:50-16:10 | 李國忠<br>鍾年鈞 | 塔塔加台灣雲杉林之林相結構與更新機制之探討 |
| 16:10-16:30 | 郭耀綸 | 南仁山熱帶森林冠層白榕及灌木層九節木光合作用的研究 |
| 16:30-16:50 | 高　瓊 | 中國東北樣帶對氣候變化響應的研究 |
| 16:50-17:10 | 袁孝維 | 塔塔加高山生態系研究－－鳥類與哺乳類群聚生態之研究 |

**5 月 21 日(星期三)　　研討會地點：台灣大學思亮館國際會議廳**

第四節　生物技術　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：朱至清教授、李晊教授

| | | |
|---|---|---|
| 09:00-09:20 | 黃麗春 | 竹類植物無性繁殖及其推廣 |
| 09:20-09:40 | 許智宏 | 林木原生質體培養 |
| 09:40-10:00 | 羅漢強 | 木賊葉木麻黃癒合組織之耐鹽性 |
| 10:00-10:20 | 王明庥 | 青楊 DNA 多態性及其遺傳分化 |
| 10:20-10:50 | 胡贊民 | 高等植物細胞質遺傳的細胞學研究 |

10:50-11:10 …… 休息

第五節　森林生態　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：趙奇僧教授、郭耀綸教授

| | | |
|---|---|---|
| 11:10-11:30 | 金恆鑣 | 台灣的生態環境與長期生態學研究 |
| 11:30-11:50 | 慈龍駿 | 荒漠--綠洲生態系統之研究 |
| 11:50-12:10 | 陳明義 | 關刀溪森林生態系之研究 |
| 12:10-12:30 | 祝　寧 | 刺五加保護生態學研究—刺五加會成爲瀕危種嗎？ |

12:30-13:30 …… 休息、午餐

第六節　森林生態　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：慈龍駿教授、李明仁教授

| | | |
|---|---|---|
| 13:30-13:50 | 林世宗 | 棲蘭山闊葉林植群與天然更新之研究 |
| 13:50-14:10 | 郭連生 | 內蒙古地區植被的生態地理條件和森林植被特徵 |
| 14:10-14:30 | 黃元勳 | 鴛鴦湖水生植物生產量與化學組成變化之研究 |
| 14:30-14:50 | 李景文 | 東北天然紅松混交的恢復----近自然的經營 |
| 14:50-15:10 | 張嘉賓 | 森林生態系統工程與森林生態系統 |

15:10-15:30 …… 休 息

第七節　森林生態　　地點：台灣大學思亮館國際會議廳

主持人：吳榜華教授、王明光教授

| | | |
|---|---|---|
| 15:30-15:50 | 陳明杰 | 福山試驗集水區水文循環分析 |
| 15:50-16:10 | 曹福亮 | 鹽脅迫對南方主要造林樹種生理特性的影響 |
| 16:10-16:30 | 王立志 | 福山試驗林養分循環 |
| 16:30-16:50 | 李明仁 | 台灣赤楊之生態系經營技術 |
| 16:50-17:10 | 劉延春 | 氣候變遷對中國東北森林影響的初步研究 |

**5 月 22 日(星期四)　　研討會地點：中央研究院學術活動中心國際會議廳**

| | |
|---|---|
| 09:10 -- 09:30 …… | 中央研究院 楊國樞副院長、楊祥發副院長致歡迎詞 |

第八節　森林生態　　地點：中央研究院學術活動中心國際會議廳

主持人：張新時教授、金恆鑣研究員

| | | |
|---|---|---|
| 09:30-09:50 | 沈國舫 | 大興安嶺林區 1987 特大火災後的生態環境變化及森林更新進展 |
| 09:50-10:10 | 姜家華 | 塔塔加地區森林火災對松類造林地之植群微氣候及土壤性質的影響 |
| 10:10-10:30 | 曹　君 | 森林火災區域高火險災害驅趨勢的預測分析 |
| 10:30-10:50 | 楊盛行 | 台灣高山森林及草原微生物生態系 |

| | | |
|---|---|---|
| 10:50-11:10 | 唐守正 | 全國森林資源監測體系的框架設計和抽樣原則 |
| 11:10-11:30 | 彭世揆 | 森林資源的反饋優化控制 |
| 11:30-11:50 | 李世學 | 吉林森林歷史變遷及生態環境演變若干問題的初步探討 |

11:50 -- 13:00 …… 休息、午餐

第九節　森林生態　　地點：中央研究院學術活動中心國際會議廳

主持人：李景文教授、楊盛行教授

| | | |
|---|---|---|
| 13:00-13:20 | 李　堅 | 生物木材科學與資源的合理利用 |
| 13:20-13:40 | 林虔隆 | 塔塔加鞍部森林植群對土壤碳與氮養分動態之影響 |
| 13:40-14:00 | 薛建輝 | 混農林業在中國農村持續發展中的作用與優化模式 |
| 14:00-14:20 | 王明光 | 台灣森林土壤中鐵、鋁之分佈與聚積 |

14:20 -- 15:00 …… 中央研究院 李院長遠哲致詞　　主持人：蕭介夫所長

第十節　生物技術　　地點：中央研究院學術活動中心國際會議廳

主持人：黃純農教授、羅漢強教授

| | | |
|---|---|---|
| 15:00-15:20 | 陳正華 | 主要針葉樹種的體細胞遺傳 |
| 15:20-15:40 | 王亞男 | 台灣扁柏、紅檜人工種子之研製 |
| 15:40-16:00 | 郭仲琛 | 松柏類植物體細胞胚胎發生的應用和基礎研究 |
| 16:00-16:20 | 朱至清 | 大陸林木植物快速繁殖與離體植物種質庫 |
| 16:20-16:40 | 李　晊 | 素心蘭、四季蘭和報歲蘭之無菌發芽 |
| 16:40-17:00 | 張唯勤 | 木本植物幼年期及開花 |

17:00-17:30 …… 綜合討論、閉幕　　主持人：許智宏副院長、楊祥發副院長

# 海峽兩岸森林生物技術及環境變遷對森林生態系的影響研討會論文集目錄

## 第一節森林生態


台灣長期生態之研究 …… 周昌弘… 1
中國亞熱帶生物多樣性及其保護 …… 趙奇僧… 10
森林植被和氣候 …… 張新時… 15
中國森林生態系統：全球變化響應機理的樣帶研究 …… 周曉峰… 16
全球氣候變遷下台灣水資源問題之探討 …… 陳信雄… 30
全球氣候變化與生物多樣性 …… 吳榜華… 43


## 第二節生物技術


酵素科技之應用 …… 蕭介夫… 53
松樹屬樹種體細胞胚胎發生和遺傳轉化研究 …… 衛志明… 61
植物細胞超低溫保存的研究和應用 …… 黃純農… 74
林木優良單株無性系組培苗工廠化集約化生產 …… 顏慕勤… 85
林木植物組織培養 …… 闕國寧… 96
濕地松體胚繁殖 …… 廖宇賡…108


## 第三節森林生態


黑龍江省森林生態系統恢復與重建的研究 …… 聶紹荃…132
塔塔加台灣雲杉林之林相結構與更新機制之探討……李國忠、鍾年鈞…138
南仁山熱帶森林冠層白榕及灌木層九節木光合作用的研究 …… 郭耀綸…149
中國東北樣帶對氣候變化響應的研究 …… 高　瓊…150
塔塔加高山生態系研究－－鳥類與哺乳類群聚生態之研究……袁孝維…176


## 第四節生物技術


竹類植物無性繁殖及其推廣 …… 黃麗春…188
林木原生質體培養 …… 許智宏…202
木賊葉木麻黃癒合組織之耐鹽性 …… 羅漢強…210
青楊DNA多態性及其遺傳分化 …… 王明庥…220
高等植物細胞質遺傳的細胞學研究 …… 胡贊民…221


## 第五節森林生態


台灣的生態環境與長期生態學研究 …… 金恆鑣…230
荒漠--綠洲生態系統之研究 …… 慈龍駿…242
關刀溪森林生態系之研究 …… 陳明義…244
刺五加保護生態學研究—刺五加會成爲瀕危種嗎？ …… 祝　寧…247

第六節森林生態

棲蘭山闊葉林植群與天然更新之研究 …… 林世宗…257
內蒙古地區植被的生態地理條件和森林植被特徵 …… 郭連生…276
鴛鴦湖水生植物生產量與化學組成變化之研究 …… 黃元勳…286
東北天然紅松混交的恢復----近自然的經營 …… 李景文…311
森林生態系統工程與森林生態系統 …… 張嘉賓…319

第七節森林生態

福山試驗集水區水文循環分析 …… 陳明杰…326
鹽脅迫對南方主要造林樹種生理特性的影響 …… 曹福亮…341
福山試驗林養分循環 …… 王立志…343
台灣赤楊之生態系經營技術 …… 李明仁…356
氣候變遷對中國東北森林影響的初步研究 …… 劉延春…367

第八節森林生態

大興安嶺林區1987特大火災後的生態環境變化及森林更新進展……沈國舫…378
塔塔加地區森林火災對松類造林地之植群微氣候及土壤性質的影響…姜家華…386
森林火災區域高火險災害驅趨勢的預測分析 …… 曹　君…400
台灣高山森林及草原微生物生態系 …… 楊盛行…406
全國森林資源監測體系的框架設計和抽樣原則 …… 唐守正…416
森林資源的反饋優化控制 …… 彭世揆…421
吉林森林歷史變遷及生態環境演變若干問題的初步探討 …… 李世學…422

第九節森林生態

生物木材科學與資源的合理利用 …… 李　堅…430
塔塔加鞍部森林植群對土壤碳與氮養分動態之影響 …… 林虔隆…442
混農林業在中國農村持續發展中的作用與優化模式 …… 薛建輝…449
台灣森林土壤中鐵、鋁之分佈與聚積 …… 王明光…455

第十節生物技術

主要針葉樹種的體細胞遺傳 …… 陳正華…468
台灣扁柏、紅檜人工種子之研製 …… 王亞男…475
松柏類植物體細胞胚胎發生的應用和基礎研究 …… 郭仲琛…484
大陸林木植物快速繁殖與離體植物種質庫 …… 朱至清…492
素心蘭、四季蘭和報歲蘭之無菌發芽 …… 李　晊…500
木本植物幼年期及開花 …… 張唯勤…519

# 臺灣長期生態研究

周昌弘[1]

摘　要：

臺灣地形陡峭，高度變化大，森林面積佔全島面積的 52%，植物歧異度大，構成了不同的森林生態系，譬如紅樹林、常綠闊葉林、針葉林及高山草原等生態系。過去雖有森林生態系的研究報告，但是與環境變遷有關的報告卻不多，尤其是生態系的結構、功能及其平衡，甚至必須了解自然受到人爲或自然干擾時所產生的影響乃至恢復的過程與結果。然而，自然生態體系本身十分複雜，且變遷常是漸進或緩慢的，故必須及早做長期性的監測與研究，以建立基本資料，並適時分析各項生態資料及其相關性，才能了解環境變遷的幅度與因果關係，以做爲將來經營環境及制定環境政策的依據。

臺灣長期生態研究(Taiwan Long-Term Ecological Research ，簡稱 TLTER)係針對臺灣陸生生態系進行整合性長期研究，以瞭解臺灣陸生生態系的結構與功能。其目的包括：瞭解臺灣地區的長期生態過程；尋找控制生態系過程的機制；提供合乎生態學的資料以做爲環境決策的參考；進入國際網路，對地域性及全球性的生態與環境有所貢獻。

國科會生物處於一九九二年邀周昌弘先生開始推動「臺灣長期生態研究」之群體研究，並核定福山、關刀溪、鴛鴦湖、南仁山及塔塔加等五個研究站，以進行長期生態研究。迄今已資助福山、關刀溪、南仁山及塔塔加四個生態系的研究。另外，在中央研究院植物研究所五年發展計畫中亦支持該所同仁進行鴛鴦湖生態系之群體研究。

在五個長期生態研究站中，福山生態站位在臺灣北部係代表臺灣中低海拔之闊葉森林生態系，探討該生態系之營養物質之收支及能量之流動，並了解該天然林受到人類及自然干擾下之抗力及恢復力以了解其生態過程；關刀溪生態站位在臺灣中部亦代表中高海拔之森林生態系，其研究內容與福山生態系相似，有比對之價值；鴛鴦湖生態站位於福山站南側但海拔在 1600-2400 公尺，係一中高海拔之闊葉林與針葉林，如檜木林爲代表，該湖又有稀有之植物如水毛花及東亞黑三稜等，是一典型高山湖泊，除探討該森林之生態系結構與功能外，亦探討該湖優養化及水生植物之適應機制；南仁山生態站站位於臺灣南站之墾丁國家公園內，係一典型熱帶植生、植被壓縮現象顯著，其生態功能受自然及人爲干擾極爲顯著；塔塔加生態站則位於高海拔 2600 公尺玉山國家公園內，其區內有草原及針葉林，從此高海拔處可以了解臺灣之溫室效應氣體之變化及人爲對該生態系之影響。上述五個生態站共計 60 多個研究計畫，涵蓋層面廣，其研究結果對臺灣森林生態系之了解乃至全球變遷研究具有高度意義，對落實我國生態研究、環境保護及自然保育之工作更爲當務之急。

臺灣長期生態研究網研究站

---

[1] 中央研究院植物研究所

臺灣長期生態研究網(Taiwan Long-Term Ecological Research Network，簡稱 TERN)之五個研究站分別敘述如下：

● 福山森林生態系研究站

福山試驗林總面積爲 1097.9 公頃，其中除已規畫爲植物標本園及行政管理區約 200 公頃外，南端的 332.7 公頃爲哈盆自然保留區，可以供做非破壞性之研究區。北端規劃爲水源保護區之林地則已設置了兩個試驗集水區，供長期監測水文、溪流水質等基線資料(baseline data)之用。本區大部分均仍保持了很少人爲破壞的天然林林相，海拔高度在至 500-1400 公尺之間。哈盆溪爲南勢溪之上游，其右側則爲蘭陽溪上游粗坑溪之支流。冬季本區位於東北季風之迎風面經常有雨。夏季則受到溫暖潮溼的西南氣流的影響，且當颱風侵臺之衝，常有豪雨。全年均潮溼多雨，形成了典型的臺灣東北部中低海拔溫暖多溼的常綠闊葉林森林生態系。臺灣此類闊葉森林因爲海拔低、交通較方便，鮮少仍能保存未受干擾的狀態，因此本區所收集到的資料應可做爲人爲干擾此類生態系所產生的影響的基線資料。此一生態系營養收支，物質與能量之流動，生物群聚在自然干擾下之長期性動態等研究均有助於瞭解此種天然闊葉林生態系對人爲與天然干擾的抗力與恢復力，對於永續經營此類天然闊葉林生態系有很大的助益，國科會已於一九九二年資助學者進行此區之生態系研究並已獲相當成果。

● 關刀溪森林生態系研究站

惠蓀實驗林場位於臺灣本島中部，北緯 24°2'至 24°6'，東經 120°59'至 121°9'之間，行政區劃屬於南投縣仁愛鄉，面積 7,423 公頃，最高海拔爲守誠山之 2,418 公尺，屬烏溪水系之北港溪流域。境內地形複雜、變化多端，森林之垂直分布有溫、暖、亞熱三帶林木，蘊育了豐富的生物資源，爲臺灣中部地區極具代表性之森林。森林資源曾進行初步調查，其他生物以及水文資料尚欠缺。天然林主爲闊葉樹林，約佔了百分之六十五，以樟科和殼斗科種類的蓄積量最大，即一般所稱的「樟櫟群叢」。咖啡園附近有臺灣目前所知面積最大，樹幹聳高的山黃麻純林，已被劃爲長期生態觀察區；湯公碑下方的木荷，也被劃爲保護區。天然針葉樹林的面積約百分之五，有紅檜、臺灣肖楠及臺灣二葉松等，其中臺灣肖楠有許多直徑超過二公尺，已劃爲保護區。已記錄的植物，包括蕨類植物 22 科 60 屬 121 種，裸子植物 7 科 13 屬 20 種，被子植物 141 科 776 種，總計 917 種，而實際的種類，應在一千種以上。惠蓀林場的面積僅及臺灣的百分之二，植物種類卻佔了四分之一，是植物資源的寶庫。已調查到的稀有植物有臺灣蘇鐵蕨(*Brania formosana* Hay.)、埔里杜鵑(*Rhododendron lasiostylum* Hay.)、白背木薑子(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees.) Allen.)、天臺烏葯(*Lindera aggregata* (Sims.) Kosterm.)、南投石櫟(*Pasania nantoensis* (Hay.) Schottky)、倒卵葉山龍眼 (*Helicia rengetiensis* Masam.)、反刺櫧(*Castanopsis eyrei* (Champ.) Hufch.)、圓果青剛櫟(*Cyclobalanopsis globosa* Lin et. Liu.)等。

於一九九四年在關刀溪集水區選擇一處闊葉林作爲 LTER 研究核心區。爲配合模式的建立與驗證，試驗區係以集水區（約 50 公頃）爲單位，長期監測集水區的水文、養分收支，而其他生態系過程可在集水區內或相鄰地區以小試區的方

式進行研究。相鄰地區包括了肖楠保護區、木荷保護區、火燒跡地、關刀溪水域等。國科會已於一九九四年資助學者進行此區之長期生態研究。

● 南仁山森林生態系研究站

南仁山區位於臺灣最南端的恆春半島東側，民國 71 年臺灣成立第一座國家公園墾丁國家公園時，即以南仁山區爲該公園最精華的部份，劃定廣達五千多公頃的南仁山生態保護區，因該地區保留了臺灣僅存的低海拔原始森林。南仁山區的森林爲本省海拔 500 公尺以下所僅存的低地雨林，地處熱帶，但受東北季風的影響甚鉅。致使許多臺灣中、北部分布於海拔 1000 公尺以上的植物下降到 500 公尺以下，而在海拔 300 公尺左右與分布在背風隱蔽處之熱帶森林相接。此種亞熱帶，甚至溫帶森林與熱帶森林呈現壓縮植被帶，而同時存在於南仁山區（亦即泛北極域之東亞植物區系與古熱帶域之馬來亞植物區系之交會）的現象，提供絕無僅有的機會，可用來探討東亞季風影響之下，各種生物相及其生育棲地環境的差異，並建立本生態系內各種生物反應、適應及生存的模式。在動物方面，南仁山的陸域動物群聚具有下列三項特點：（一）爲臺灣地區候鳥（紅尾伯勞及猛禽類等）的集中逗留處，（二）熱帶區域的動物特有性較高，（三）人類干擾活動對演替的影響較大。通過動物群聚生態方面的研究，可作爲了解一生態系的結構和其功能、演替上探討的基礎。而屬於長期監測的調查，更可明白生態系內物種在空間和時間兩方面的分布規律。南仁山的陸域動物群聚生態研究，主要規劃爲鳥獸、兩棲爬蟲、昆蟲及昆蟲外的無脊椎動物等四大類，從營養結構而言，可包括高級消費者、初級消費者、以至分解者等。這些群聚的相互作用與植被或無機環境的關係等所組織起來的總體表現，對於建立南仁山森林生態系的物質循環和能量流轉的模式，爲不可或缺的資料。

南仁山森林生態系的長期研究，擬以面積 430 公頃的吧沙加魯溪集水區做爲研究範圍，但在研究初期擬以南仁山爲中心的核心地區，約 50 公頃，做較深入的調查，在研究中後期再調查該集水區北邊，包含原相思樹人工林地的範圍方面，以做爲兩種林分在生物相、生產力及生態穩定性等方面的比較。物理環境，例如水文、氣象、土壤及大氣沉降的監測也將在此核心地區設立長期觀測站，提供其它領域研究項目所需的基礎物理環境資料。

南仁山森林生態系內除森林外，另有水域面積 30 公頃的南仁湖。南仁湖爲該集水區內能量與物質進出與沉積的主要場所，可代表臺灣熱帶低海拔湖泊與沼澤的生態體系，可供深水域、淺水域、沼澤、草地以至於森林之植群消長演替過程中，生物群聚與生態系演替的探討，並可供酸雨對小型水域生態影響，及湖水優養化與酸雨間關聯性的研究，值得做爲長期生態研究的地點。國科會已接受學者申請研究計畫並於一九九五年八月開始進行本區之長期生態研究。

● 鴛鴦湖生態系研究站

鴛鴦湖自然保留區爲農委會所規劃，目前已列爲政府所保護的自然保留區之一，其目的係以政府力量將該地區之自然資源及地理景觀予以保護以提供自然科學教育，實習及研究的場所。鴛鴦湖位於 N 24˚35', E121˚24'附近，地處新竹

縣尖石鄉與桃園縣及宜蘭縣之交界，在北部中央山脈中，海拔高度 1,670 公尺。其湖形狹長呈匙狀，長徑約 585 公尺，最大寬度 135 公尺，最狹處僅約 20 公尺，湖泊面積爲 3.75 公頃，最深 4.3 公尺，東半部水淺，在 1 公尺以內，湖泊總容積約 53,430 立方公尺，沼澤面積約 2.2 公頃，有大量之水生植物滋長。湖水之唯一出水口位於西南端，向西流下成爲塔克金溪，後匯入大漢溪並轉向東流，再轉北流與新店溪會合成爲淡水河，而注入臺灣海峽。此區域對外交通僅可由宜蘭進入，至今仍少爲人類破壞，目前仍保留相當自然原始之風貌。

鴛鴦湖爲一後天形成的中高海拔湖泊，湖水帶酸性，酸鹼度值長年在4.0~6.5之間。自然保留區除鴛鴦湖外，上有附近之森林區域，其生態系可分爲湖水、沼澤和森林等三個型態區。由於鴛鴦湖自然保留區至今仍少爲人類破壞，且呈半封閉狀環境，是適合生態研究的絕佳地點。從地質研究發現，此區域之地質穩定，適合作爲探討風化、侵蝕和沈積速率等之研究。本保留區在二十多年前曾有柳榗等人(1973)進行過初步之生態調查，由於時隔已二十多年，一些環境因子可能已有所變遷，而且近些年來國內熱絡之經濟活動和環境破壞，已造成生態環境之大幅改變，此自然保留區之地理位置及過去之研究背景，正是作爲比對過去和現在環境，以及作爲未來長期監測國內環境變遷之最佳地點。中央研究院植物研究所已組成一個團隊於一九九二年進行生態系研究並已獲相當成果。

● 塔塔加高山生態系研究站

臺灣全島面積 36,000 平方公里，然由於垂直海拔高差，而能明顯地表現不同植被資源的分布。由高山寒原、高山草原、高山針葉樹林、副熱帶闊葉樹林都有分布。目前所進行的全球變遷研究站—福山及關刀溪等均位於中低海拔之生態系，塔塔加高山生態系研究站之設立，必使臺灣之生態系研究網趨於完整。

塔塔加山區位於臺灣之中部，爲臺大實驗林之一部份，在行政體系上爲一明確的學術研究與教學區域，自玉山國家公園成立後劃入國家公園之範圍，部份區域規劃爲生態保護區，部份則爲遊憩據點。區內海拔 2,500 公尺至臺灣高最高峰玉山之 3,952 公尺，地形複雜，變化多端，蘊育了豐富的生物資源，爲臺灣高海拔植群之代表性地區。

塔塔加高山植群包括高山草原、臺灣紅豆杉林、臺灣雲杉林、臺灣鐵杉林、臺灣冷杉林、玉山圓柏林及高山寒原等各種不同生態系，爲研究溫帶與寒帶森林之最佳地區。塔塔加高山草原區由於生態之特殊性，土壤、植被、動物、森林火災、生態變遷等爲獨特之研究主題，中央研究院已率先領導進行多年的高山草原生態研究。大面積之臺灣雲杉純林，爲臺灣特殊林型，以本地區最具代表性及研究價值。臺灣紅豆杉爲保育類之稀有植物，由於人爲之壓力，亟待復育，該區生育環境適宜，並保有相當之數量，爲保育研究之重點。海拔 3,600 公尺森林界線以上的高山寒原，爲氣候變遷最敏感的地帶，配合玉山北峰測候站，爲研究森林界線推移，高山草原的變遷爲最適宜地區。

塔塔加高山地區自新中橫公路開闢及國家公園遊憩據點的規劃，遊客對生態環境造成了極大的壓力，本研究可探測人類活動對高山生態系的衝擊；並尋求因應之道。

塔塔加山區完整的高山生態系被列爲生態系長期研究區，正可於此進行所有

動植物、微生物、無生物、水文、微氣象、土壤、地形地質、生態功能、養分循環與碳循環、控制生態過程與機制、人類干擾、大氣變遷長期生態影響監測、大氣沈降及森林生態系保育經營等長期性研究。在高山生態系結構組成或功能上受大氣或非生物因子的回饋監測上，塔塔加可以代表臺灣高山生態系在國際 LTER 網路上以特定試驗區執行長期、連續監測的地區。

塔塔加高山生態系的長期研究，擬以塔塔加附近之東埔山至玉山主峰及北峰海拔 2,500 公尺以上之高山地區，做爲研究範圍，面積約爲 1000 公頃，但在研究初期擬以塔塔加鞍部之沙里仙溪上游集水區爲中心的核心地區，約 100 公頃，做較深入的調查，長期監測集水區的水文、養分收支，而其他生態系過程可在集水區內或相鄰地區以小試區的方式進行研究。至海拔 1200 至 2500 公尺之沙里仙地區，可以其他相關計畫進行研究，其研究結果與本計畫相互串連，完成臺灣中部山地之生態系研究。國科會於一九九六年開始資助該研究。另外，在本研究地區已有相關研究成果均已發表。

參與臺灣長期生態研究同仁五年來發表之選擇性著作目錄

林光清、洪富文、程煒兒、蔣先覺、張雲翔。 1996 。福山試驗林土壤調查與分類。臺灣林業科學 11(2):159-174.

林國銓。1997。福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化。臺灣林業科學 12 (印刷中).

林國銓、洪富文、游漢民、馬復京。1996。福山試驗林闊葉林生態系地上部養分之聚集與分布　臺灣林業科學 11(1):29-42.

林國銓、洪富文、游漢民、馬復京。1994。福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分布。林業試驗所研究報告季刊 9(4):299-315.

林登秋、夏禹九、金恆鑣。1996。臺灣東北部天然闊葉樹林林內降雨及林冠截留之研究。臺灣林業科學 9(4): 393-400.

林登秋、夏禹九、金恆鑣。1996。臺灣東北部天然闊葉林降雨及林冠截留之研究。臺灣林業科學 11(4):393-400.

金恒鑣、康敏捷、王明光。1995。蓮華池兩森林土壤之硫酸吸附淚象。臺灣省林業試驗所研究季刊.

周昌弘、夏禹九。 1994 。福山森林生態系研究。科學發展月刊 21(1):24-29.

周昌弘主編。 1995-1997 。臺灣長期生態研究通訊。第一期至第六期。國科會，臺北。

洪富文、程煒兒。 1996 。福山森林生態系的土壤養分庫及其有效養分的動態。臺灣林業科學 11:465-473.

夏禹九、黃正良、陳明杰。 1996 。福山試驗集水區量水堰之設計--分段複式量水堰。臺灣林業科學 11(2):113-122.

夏禹九、王立志、黃正良、金恆鑣。 1996 。森林集水區坡地逕流路徑之研究。臺灣林業科學 11(4):481-486.

蔣先覺、琵意雯、楊家宏、洪富文、王明光。1994。高山森林土壤薄膠層中之氧化鐵,中國農化會誌 32(6): 666-674.

Chang, C. M. and M. K. Wang. 1997. Global relationship between the acidity constants and structural stability in hexaaqua metal complexes. Theoretical Molecular Structure (in press).

Chao, J. T. and A. F. Warneke. 1995. Faunal diversity of Fushan Forest, a subtropical moist forest in northern Taiwan. p.218 *in* "Measuring and Monitoring Forest Biological Diversity: The International Network of Biodiversity Plots." Smithsonian Institution/Man and Biosphere Biodiversity Program, Smithsonian Institution, Washington, D.C., U. S. A. (Abstract) (NSC).

Chen, Ming-Chieh and Hwa-Guang Shang. 1994. Long Term Ecological Research in Fushan Forest-Hydrological Model of Ha-Pern Upstream Watershed, International Symposium on Biodiversity and Terrestrial Ecosystems, (Chou, C. H. and C. I. Peng, eds.) pp.457-460. Taipei, Taiwan.

Chiu, C.Y. 1997. Function and microbial biomass and nutrient cycling in a alpine ecosystem at Tataja, Taiwan Long-Term Ecological Research Newsletter, NSC, (6), 11.

Chiu, C. Y. and C. H. Chou. 1991. The distribution and influence of heavy metals in the mangrove forests of the Tamshui Estuary in Taiwan. Soil Sci. Plant Nutr. 37: 659-669.

Chiu, C. Y. and C. H. Chou. 1993. Oxidation in the rhizosphere of mangrove *Kandelia candle* seedling. Soil Sci. Plant Nutr. 39:725-731.

Chiu, C.Y., F. S. Hsiu, S. S. Chen and C. H. Chou. 1995. Reduced toxicity of Cu and Zn to mangrove seedlings (*Kandelia candel* (L.) Druce.) in saline environment. Bot. Bull. Acad. Sin. 36:19-24.

Chiu, C.Y. and S.Y. Lai. 1996. Nutrient cycling in the soil of Yuangyang lake ecosystem, Taiwan Long-Term Ecological Research Newsletter, NSC (3), 7-8 (in Chinese)

Chiu, C.Y., S. Y. Lai, C. J. Wang, W. Y. Hseuh and Y. M. Lin. 1997. Accumulation of radionuclide $^{137}Cs$ in a wet montane forest ecosystem in Taiwan. *In*: Proceedings of International Conference on Radiation Dosimetry and Safety. pp. 583. Mar. 31-Apr. 2, 1997. Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan.

Chiu, C.Y. and S. C. Lee. 1996. Nitrogen flux and denitrification in mangrove soils. *In*: Programme and Abstracts of SCOPE Nitrogen Workshop: The Effect of Human Disturbance on the Nitrogen Cycle in Asia. pp. 9. July 29- August 2, 1996. Academia Sinica, Taipei, Taiwan.

Chiu, C.Y., S. C. Lee, H. T. Juang, M. T. Hur and Y. H. Hwang. 1996. Nitrogen nutritional status and fate of applied N in mangrove soils. Bot. Bull.

Acad. Sin. 37:191-196.

Chou, C. H. and C. C. Bi. 1990. The Tamshui estuary ecosystem. I. Dynamic distribution of nutrients and variation of environmental factors in the Chuwei swamp. Proc. Nat. Sci. Counc. (ROC) Part B. 14: 131-141.

Chuang, L.C. and Y.S. Lin. 1995. Note on the breeding behavior of *Zacco barbata*. Acta Zoologica Taiwanica 6(2):91-94.

Horng, F. W., H. M. Yu, and F. C. Ma. 1995. Typhoons of 1994 doubled the annual litter fall of Fu-Shan mixed hardwood forest ecosystem in northeastern, Taiwan.Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 10(4):485-491.

Hwang, Y.-H. and C.-W. Fan. 1994. Population dynamics of aquatic plants in Lake Yuan-Yang, Taiwan. *In* Ching- I Peng and Chang-Hung Chou (eds), Biodiversity and Terrestrial Ecosystems. Institute of Botany, Academia Sinica, Monograph Series No. 14. Taipei, Taiwan, ROC. Pp. 369-375.

Hwang, Y.-H. and C.-W. Fan and M.-H. Yin. 1996. Primary production and chemical composition of emergent aquatic macrophytes, *Schoenoplectus mucronatus* ssp. *robutus* and *Sparganium fallax* in Lake Yuan-Yang, Taiwan. Bot. Bull. Academia Sinica 37: 265-273.

King, H. B. and Y. J. Hsia. 1996. Establishment, progress and performance of the Taiwan Ecological Research Network program. *In* H.B. King, Steve Hamburg and Yue-joe Hsia (eds.) Proceedings of the First East Asia and Pacific Regional Long-Term Ecological Research Conference, held on April 2-9, 1995, in Taipei, Taiwan, Republic of China.(in press)

Lai, S. I., Chiu, C. Y. and Lin Y. M. 1997. Fate of radionuclides in the ecosystem. Nuclear Science Quarterly, 9, 9-14 (in Chinese).Lee, L. L. and C. H. Chou. 1995. General education on long-term ecological research. General Edu. 2(3): 39-52.

Lee, T. M., Y. J. Shieh and C. H. Chou. 1996. Abscisic acid inhibits shoot elongation of *Scirpus mucronatus*. Physiologia Plantarum 97: 1-4.

Lee, T. M., Y. J. Shieh and C. H. Chou. 1996. Role of putrescine in enhancing shoot elongation in *Scirpus mucronatus* under submergence. Physiologia Plantarum 96: 419-424.

Lin, T. C., H. B. King, Y. J. Hsia, L. J. Wang, J. L. Horng, C. B. Liou. 1996. Evaluating rainfall contamination in Fu-Shan experimental forest by using factor analysis. Q. Jour. Chin. For. 29(1):121-132.

Lin, K. C., and F. W. Horng. 1994. Long-term ecological research in Fushan forest-bimass distribution. International Symposium on Bidiversity and Terrestrical Ecosystems. Institute of Botany, Academia Sinica, Monograph Series No. 14. Taipei. April 17-20,1994.

Lin, T. C., H. B. King, Y. J., Hsia, L. J., Wang, J. L. Horng, and C. B.

Liou. 1996. Evaluating rainfall contamination at Fu-shan forest using factor analysis. Chinese Journal of Forestry 29(1): 121-132.

Lue, K. Y., J. K. Chan, P. Wang and G. Shan.1994. Long-Term Ecological Research in Forest Herpetological Fauna and Community.Biodiversity and Terrestrial Ecosystems, Institute of Botany, Academia Sinica Monograph 14:441-447.

Peng, C. I. and C. H. Chou (eds.) 1994. Biodiversity and Terrestrial Ecosystem. Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series No. 14. Institute of Botany, Academia Sinica, Taipei.

Rudolph-Bohner, S., J. T. Wu, and F. Moroder. 1993. Identification and characterization of microcystin-LY from *Microcystis aeruginosa* (strain 298). Biol. Chem. 374: 635-640.

Wang, Lih-Jih, Y. J. Hsia, H. B. King, R. B. Harrison, C. B. Liou, J. L. Hwong and T. C. Lin. 1997. Chemistry changes in the solution flowing through the Fushan Forest. Quter. J. Chin. For. (Accepted).

Wang, Lih-Jih. 1994. Hydrogeochemical cycle and strom solut transports in the subtropical Fushan Experimental Forest, NE Taiwan. Ph.D. Dissertation, University of Washington, Seattle.

Wang, M. K., S. L. Wang and W.M. Wang. 1995. Rapid estimation of cation exchange capacities of soils and clays with methylene blue exchange. by Soil Sci. Soc. Amer. J. (in press)

Wu, J. T. 1993. Use of phytoplankton community as indicator of water quality. Monogr. Inst. Bot. Acad. Sin. 13:327-333.

Wu, J. T. 1994. Study of algal ecology in Yuanyang Lake. Intern. Symp. on Biodiversity & Terrestrial Ecosystem. Apr. 17-20, Taipei. p.31.

Wu, J. T. 1997. Characteristics of dinoflagellat associations in Feitsui reservoir, Taiwan. Bot. Bull. Acad. Sin. (accepted)

Wu, J. T. and S. C. Chang. 1996. Relation of the diatom assemblages in the surface sediments to the pH value of an alpine lake in Taiwan. Arch. Hydrobiol. 137:551-563.

Wu, J. T., S. C. Chang and T. L. Chou. 1995. Intracellular proline accumulation in some algae exposed to copper and cadmium. Bot. Bull. Academia Sinica 36:89-93.

Wu, J. T., S. C. Chang and K. S. Chen. 1995. Enhancement of intracellular proline level in cells of *Anacystis nidulans* (Cyanobacteria) exposed to deleterious concentrations of copper. J. Phycol. 31:376-379.

Wu, J. T., P. P. Chuang, L. Z. Wu, C. T. A. Chen. 1997. Diatoms as indicator of environmental changes: A case study in Great Ghost Lake. Proc. Nat. Sci. Coun. 21(3): (in press).

Wu, J. T., M. K. Sheu, and T.O-Yang. 1993. Periodic changes of the phytoplankton assemblages in the estuary of Tansui River, Taiwan. Bot. Bull. Academia Sinica 34: 235-242.

Wu, J. T. and M. Z. Hsieh. 1997. Role of proline accumulation in response to toxic copper in *Chlorella* sp. (Chlorophyceae) cells. J. Phycol. (accepted)

Wu, J. T., Y. S. Wang, S. C. Chang, and M. K. Hsu. Causal factors for acidification of Yuenyang Lake (Taiwan). (in submission)

# 中國亞熱帶生物多樣性及其保護

趙奇僧[1]

摘　要：

本文介紹了中國亞熱帶森林生態系統中生物多樣性、特有、古老科屬及其在全球同緯度地區的意義，以及中國亞熱帶生物多樣性形成的歷史自然地理原因。

由於全球人口的增長，以及由於工業發展和人類活動所引起的生物資源不合理利用及全球環境的變化，近二十年來，生物多樣性保護問題已經不再是科學家關心的研究問題，它已經引起國際社會和各國政府廣泛關注的社會問題。人們已經普遍認識到，生物多樣性的保護與持續利用將直接關係到生活在地球上的人類能否有一個穩定的生活環境。關係到全球經濟發展能否有一個良好的資源和環境基礎。在聯合國環境規劃署和各國政府共同努力下，於 1992 年 6 月在巴西召開的聯合國環境和發展大會上通過了《生物多樣性公約》，努力著手解決與生物多樣性有關的環境、經濟和政治問題。中國素有“植物王國”之稱，計有高等植物 470 科， 3700 餘屬， 30000 餘種，居世界的第三位，北半球的第一位，其中有 200 多屬是中國特有屬。中國豐富的植物資源早已引起歐美國家的植物學家、林學家的重視，早在十九世紀開始，已大量引種中國植物。美國阿諾德樹木園栽培的樹種中，近一半是從中國引入栽培，英國早期從中國西部引入約 350 種杜鵑花 *Rhododendron* 到英國栽培，已成爲世界上栽培杜鵑花最多的國家，就全球而言，中國亞熱帶生物多樣性有其特殊的意義。

## 一、中國亞熱帶森林及其生物多樣性

亞熱帶森林是介於熱帶森林與溫帶森林的過渡帶森林。我國亞熱帶地區，與同緯度的北非、西亞和中美洲相比具有得天獨厚的水熱條件。全球亞熱帶其他地區大多由於全年受亞熱帶高氣壓帶和乾燥的東北信風的影響，形成了乾旱的荒漠氣候，如北非、西非著名的撒哈拉沙漠，僅美國的南加利福尼亞、佛羅里達和墨西哥有小面積的亞熱帶森林。可以說，全球亞熱帶森林主要分布爲中國。同緯度中國的長江流域至北回歸線廣大地區，因爲行星風系被太平洋東南季風和印度洋西南季風所打破，夏季海洋上豐沛雨量吹向陸地，年降雨量都在 1000~3000 毫米，≧ 10 ℃的年積溫在 4500~6500 ℃，形成了典型的亞熱帶濕潤森林—常綠闊葉林。

亞熱帶森林的生物多樣性雖不如熱帶雨林和季雨林，但比溫帶森林的生物多樣性，無論喬木種類和林下植物組成均較複雜多樣，其生物多樣性隨水熱條件的變化而變化。

---

[1] 南京林業大學

表 1　中國亞熱帶主要省（區）種子植物區系組成

| 省（區） | 湖南省 | | | 貴州省 | | | 廣東省 | | | 廣西自治區 | | | 四川省 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 科 | 屬 | 種 | 科 | 屬 | 種 | 科 | 屬 | 種 | 科 | 屬 | 種 | 科 | 屬 | 種 |
| 種子植物 | 184 | 1139 | 3973 | 177 | 1276 | 4619 | 219 | 1434 | 4968 | 211 | 1450 | 6294 | 191 | 1501 | 8541 |
| 其中:裸子植物 | 9 | 28 | 69 | 9 | 21 | 49 | 8 | 16 | 32 | 7 | 13 | 48 | 9 | 27 | 88 |
| 被子植物 | 175 | 1111 | 3904 | 168 | 1255 | 4570 | 211 | 1418 | 4936 | 204 | 1437 | 6246 | 182 | 1474 | 8453 |

從表 1 可以看出，中國亞熱帶各省（區）植物資源是十分豐富的，其中四川省植物多樣性尤爲突出，這主要由於四川省不僅有我國東部亞熱帶植物區系成分，還有我國西部亞熱帶植物區系成分，地理替代十分明顯。四川省東部有馬尾松 *Pinus massoniana*，鐵堅杉 *Keteleeria davidiana*，苦槠 *Castanopsis sclerophylla*，甜槠 *C. eyrei*，青岡櫟 *Quercus qlauca*，無患子 *Sapindus mukorosii*，合歡 *Aibizia julibrissin*，而四川西部則爲雲南松 *Pinus yunnanensis*，雲南油杉 *Keteleeria delavayi*，高山栲 *Castanopsi sdelavayi*，元江栲 *C. orthacantha*，滇青岡 *Quercus glaucoide*，川滇無患子 *Sapindu sdelavayi*，毛葉合歡 *Albizia mollis*。

中國亞熱帶生物多樣性不僅表現在種子植物科、屬、種的數量上，同樣也表現在木本植物的數量上。中國亞熱帶山區的木本植物的種數都在 600 種以上，見表 2。

表 2　中國亞熱帶地區山區木本植物區系組成

| 地點 | 緯度 | 經度 | 海拔高 | 科 | 屬 | 種 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 浙江西天目山 | 30°20’ | 119°25’ | 1506 | 86 | 277 | 675 |
| 湖南八大公山 | 29°39’-49’ | 109°41’-11009’ | 1890 | 96 | 285 | 702 |
| 浙江九華山 | 28°21’ | 118°52’ | 1724 | 91 | 281 | 717 |
| 江西武功山 | 27°10’-34’ | 114°04’-28’ | 1918 | 105 | 281 | 734 |
| 江西井岡山 | 27°27’-49’ | 114°23’-59’ | 1855 | 99 | 327 | 881 |
| 貴州荔波 | 25°7’-39’ | 107°31-10818’ | 1468 | 117 | 376 | 852 |

與此相比，處於溫帶地區的山東嶗山，海拔高 1132 米，木本植物區系組成僅 66 科， 136 屬， 302 種，僅爲亞熱帶山區本本植物區系組成的 1/2~1/3。

二、中國亞熱帶生物多樣性中特有、古老科屬較多

中國地域遼闊，南北跨越寒溫帶，溫帶、亞熱帶和熱帶，但中國寒溫帶，溫帶與北半球的北美、歐洲的木本植物的科屬多數相同，如落葉松 *Larix*，雲杉 *Picea*，冷杉 *Abies*，松 *Pinus*，樺木 *Betula*，楊 *Populus*，柳 *Salix*，白蠟樹 *Fraxinus*，榆 *Ulmus*，櫟 *0uercus*，槭 *Acer* 等等，特有科屬較少，中國熱帶面積較小，僅廣東、廣西南部、海南島和雲南南部的西雙版納，盡管森林組成複雜，但絕大多

數木本植物科屬與亞洲熱帶地區相同如龍腦香科的龍腦香屬 *Dipterocarpus* ，青梅屬 *Vatica* ，婆羅雙屬 *Shorea* ，坡壘屬 *Hopea* ，梧桐科的蝴蝶樹 *Tarrietia* ，楝科的樫木 *Dysoxy1um* ，山欖科的肉實樹 *Sarcosperma* ，遠志科的黃葉樹 *Xanthophylla* ，隱翼科的隱翼 *Cryptoronia* ，漆樹科的人面子 *Dracontomelon* ，肖韶子 *Dimocarpus* ，楝科的麻楝 *Chukrasia* ，無患子科的細子龍 *Amesiodendron* 等等。

但是，中國亞熱帶森林生態系統中，由於具有特殊的地貌和水熱條件，保存了大量的我國特有科屬。世界著名的棵子植物活化石水杉 *Metasequoia glyptostroboides* ，銀杉 *Cathaya argyrophylla* 以及我國特有的裸子植物屬：金錢松屬 *Pseudolarix* ，白豆杉屬 *Pseudotaxus* ，水松屬 *Glyptostrobus* ，臺灣杉屬 *Taiwania* 均產於我國亞熱帶地區。被子植物中保存在我國亞熱帶地區的特有科有：伯樂樹科 Bretschneideraceae （ 1 屬 1 種），杜仲科 Eucommiaceae （ 1 屬 1 種），大血藤科 Sargentodoxaceae （ 1 屬 1 種）特有木本屬有：槭樹科 Aceraceae 的金錢槭屬 *Dipteronia* 0liv.（ 2 種），五加科 Araliaceae 的馬蹄蔘屬 *Diplopanax* Hand.-Mazz.（ 1 種），忍冬科 Caprifoliaceae 的七子花屬 *Heptacodium* Rehd.（ 2 種），衛矛科 Celastraceae 的永瓣藤屬 *Monimopetalum* Rehd.（ 1 種），金縷梅科 Hamamelidaceae 的山白樹屬 *Sinowilsonia* Hemsl.（ 1 種），牛鼻栓屬 *Fortunearia* Rehd. et Wils （ 1 種），半楓荷屬 *Semiliquidambar* H. T. Chang （ 3 種），木蘭科 Magnoliaceae 的擬單性木蘭屬 *Parakmeria* Hu et Chang （ 5 種），觀光木屬 *Tsoongiodendron* Chun （ 1種），紫樹科 Nyssaceae 的珙桐屬 *Davidia* Baill. （ 1 種），喜樹屬 *Camptotheca* Decne.（ 1 種），安息香科 Styracaceae 的秤錘樹屬 *Sinojackia* Hu.（ 3 種），鴉頭梨屬 *Melliodendron* Hand. -Mazz.（ 1 種），胡桃科 Juglandaceae 的青錢柳屬 Cyclocarya Iljinsk.（ 1 種），榆科 Ulmaceae 的青檀屬 *Pteroceltis* Maxim.（ 1 種），省沽油科 Staphyleaceae 的銀鵲樹屬 *Tapiscia* 0liv.（ 2 種），茜草科 Rubiaceae 的香果樹屬 *Emmenopterys* Oliv.（ 1種），無患子科 Sapindaceae 的傘花木屬 *Euryocrymbus* Hand. -Mazz.（ 1 種），掌葉木屬 *Handeliodendron* Rehd.（ 1 種），大風子科 Flacourtiaceae 的山拐棗屬 *Poliothyrsis* Oliv.（ 1種），豆科 Leguminosae 的翅莢木屬 *Zenia* Chun （ 1種）以及竹亞科 Bambusoideae 的剛竹屬 *Phyllostachys* Sieb. et Zucc.（約 50 種），等等。另外，在中國亞熱帶森林生態系統中還保存了大量第三紀的古老孑遺樹种：銀杏 *Ginkgo biloba* ，長苞鐵杉 *Tsuga longibracteata* ，蓖子三尖杉 *Cephalotaxus oliveri* ，長葉榧 *Torreya jackii* ，連香樹 *Cercidiphyllum japonicum* ，雲葉樹 *Euptelea pleiospermum* ，鵝掌楸 *Liriodendron chinense* ，水青樹 *Tetrocentron sinensis* ，馬尾樹 *Rhoiptelea chiliantha*，長柄雙花木 *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* 等等。

但由於我國亞熱帶大面積營造了杉木、馬尾松、毛竹等速生樹种，大片天然常綠闊葉林遭受破壞。很多特有、古老科屬處於瀕危乃至滅絕的危險之中，有些物種在天然林中僅保存 1 株或幾株，例如普陀鵝耳櫟 *Carpinus putoensis* 產浙江普陀山，現僅存一株大樹；百山祖冷杉 *Abies beshanzuensis* 僅存 5 株；天目鐵木

*Ostrya rehderiana* 僅存 6 株大樹。

三、中國亞熱帶生物多樣的歷史自然地理原因

中國的森林類型及生物多樣性與歷史自然地理，特別是第三紀、第四紀的地質歷史的影響是分不開的，白堊紀時，地球大陸分爲二大板塊：勞西亞板塊和岡瓦納板塊，其間有古地中海分隔，勞西亞板塊包括歐亞和北美大陸。但在北大西洋和南太平洋繼續延伸和加寬的影響下，勞西亞板塊北美洲大陸開始向西漂移，岡瓦納板塊的馬達加斯加和印度大陸逐漸向北移動。到第三紀早期，陸地開始新的沉降，廣泛的海浸淹沒了北美洲東南部、拉丁美洲的東北部、歐洲北部及非洲廣大地區。但我國海浸範圍較小，主要發生在西藏、新疆和臺灣等地，直到漸新世，海水開始退卻，陸地再次露出水面，形成了大致目前的輪廓。隨著海洋的作用，北美洲大陸與歐洲大陸分開，岡瓦納板塊西端的拉丁美洲與非洲大陸分開。至始新世時，脫離非洲的印度板塊沿印度洋加快向北運移，而與東亞板塊碰撞，形成了喜馬拉雅山、青藏高原和橫斷山脈，當時全球氣溫普遍升高、高緯度地區呈現亞熱帶、熱帶氣候，已經發現的化石資料証實了這一點。但隨著喜馬拉雅運動及古地中海的消失，中國內陸形成了大陸性氣候，第三紀時，歐、亞、北美植物种類明顯增多，並十分相似。

第四紀是地球發展史上最近的一個時代，出現了一次大冰期，稱第四紀冰期。一般認爲第四紀包括 4~5 個主要冰期，冰期間還有 3~4 個間冰期，冰期來臨時，全球氣溫明顯下降，極地氣溫下降約 50 ～ 60 ℃，第三紀植物地理的界線被打破了，不耐寒的植物被消滅或向南遷移，第四紀冰期，北半球高緯度地區分布著 3 個大陸冰川：北美洲、歐洲和亞洲北部大陸冰川，歐洲大陸冰川一直延伸到北緯 45° ～ 50°， 有少量耐寒樹種，如雲杉、冷杉、北極柳，矮樺能退至冰蓋較遠的地區生長，大多數喜暖樹種因阿爾卑斯、喀爾巴阡和高加索等東西向山脈的阻擋被消滅，這就是歐洲現代植物種類非常貧乏而單調的主要原因。北美洲大陸冰川延伸到北緯 38° ～ 47°，大多數第三紀亞熱帶植物被消滅，僅少數如木蘭、山核桃，楓香、北美鵝掌楸等沿著北美太平洋和大西洋沿岸，南北向山脈向南遷移，而保存至今。亞洲大陸冰川來臨較遲，冰蓋的南界到北緯 60°左右，而中國大陸僅受山岳冰川的影響，對植物的威脅遠不如歐洲和北美洲大陸冰川那麼嚴重。在冰期時，第三紀的植物可以順利的向南遷移，所以第四紀冰川對我國的森林植被和植物種類影響較小。正由於上述優越的歷史自然地理原因，加之複雜的地形地貌，中國亞熱帶便成許多地質時期植物的避難所，使得中國不僅植物種類豐富，而且還保存著較多的白堊紀，第三紀以來的古老植物，特別是較多的孑遺植物。這正是中國亞熱帶森林生態系統生物多樣性的主要原因。

我國政府自 1986 年建立第一個自然保護區—鼎湖山自然保護區以來，先後頒布、（森林法）、（草原法）、（森林和野生動物類型自然保護區管理辦法）、（野生動物保護法）等等一系列法律和行政法規。這些法律和法規對自然保護區建設和生物多樣性的保護起到了很多的作用，至 1993 年底止，全國已建立各類

自然保護區 736 個，總面積達 6618.4 萬 ha，占國土面積的 6.8 %。除野生動物、鳥類、歷史遺蹟，海洋、湖泊保護區外，森林生態系統和植物資源的自然保護區有 437 個，而在亞熱帶就有 261 個，占全國森林生態系統和植物資源類型自然保護區 59.7 %。由此可見，中國亞熱帶生物多樣性保護的重要性。

四、參考文獻

候學煜　1981 中國植被地理分布的規律性 西北植物研究 1（1）:1 ～ 11

候學煜　1988 中國自然地理（植物地理下冊—中國植被地理）1 ～ 199 科學出版社

中國科學院植物研究所　1989 中國珍稀瀕危植物 上海教育出版社

蘇志堯、張宏達　1994 廣西植物區系與鄰近地理區植物區系的關係 華南農業大學學報 15（2）：38 ～ 43

薛達元、蔣明泉　1994 中國自然保護區建設與管理 233 ～ 290 中國環境科學出版社

中國科學院生物多樣性委員會、林業部野生動物和森林植物保護司　1995 生物多樣性研究進展中國科學技術出版社

# 中國東北森林草原全球變化陸地樣帶（NECT）的梯度分析及其預測[2]

張新時[3]、高瓊[2]、楊奠安[2]、周廣勝[2]、倪健[2]、王權[2]

摘　　要：

陸地樣帶研究已成爲國際地圈-生物圈計畫（IGBP）全球變化研究的重要手段與熱點。中國東北森林-草原樣帶（NECT）已被列爲IGBP國際全球變化陸地樣帶之一，該樣帶在東經112°與130°30′之間沿北緯43°30′設置，長約1600km，是一條中緯度溫帶以降水爲驅動因素爲梯度，具有由溫帶針闊葉混交林間溫帶草原的3個亞地帶：草甸草原、典型草原與荒漠草原過渡的空間系列。該樣帶上有4個生態實驗站，在大量固定樣地、實驗調查研究資料與數據的基礎上給出了樣帶的初步梯度分析及在全球變化圖景下的預測，包括其地理位置、設置意義、地形地貌、氣候梯度、土壤類型、植被類型和土地利用格局，一個遙感數據驅動的模型和NPP模型在整個樣帶上運行過。今後NECT將在生物地球化學循環（水、C、N、P等與痕量氣體$CO_2$、$CH_4$等），生態系統結構、功能與動態、生物多樣性，土地利用與土地覆蓋，動態全球植被模型（DGVM）以及高分辨率遙感數據應用等方面得到加強，將成爲我國全球變化與陸地生態系統（GCTE）與其它IGBP核心項目研究的前沿陣地。

[2] 國家科委八五攀登項目(我國未來20-50年人類生存環境變化趨勢與預測項目)及國家自然科學基金會八五重大項目(中國陸地生態系統對全球變化反應的模式研究)。

[3] 中國科學院植物研究所植被數量生態學開放實驗室。

# 中國森林生態系統與全球變化響應機理的樣帶研究

周曉峰　趙惠勛　葛劍平[1]

摘　要：

本文概述了近幾年我國關於全球變化與地帶性植被、農作物相互關系的研究成果，包括地帶性植被類型和作物區的位移、組成結構的變化、林木的生理反應和生物生產力變化等。我國這方面已有的研究與 IPCC 的觀點一致，均以全球加速變暖爲基點。各項主要研究成果的總趨勢相同，即：氣候變暖情況下植被帶、樹種分布和作物區北移。但在位移的幅度、結構變化、生理反應和生物生產力變化等方面均存在較大差異。這顯然會給國家和地區的經濟發展規劃和產業決策等工作帶來困難。改進方法進一步研究，減少眾多的不確定因素是必要的。進一步的研究，試圖應用空間跨度較大的樣帶，將“自上而下”和“自下而上”兩種方法結合，通過生物圈各組織層次在統一方案下的同步研究，包括參數確定的同步，使各組織層次的模型的耦合、尺度轉換以及各環節中的不確定性能夠盡可能的減少。文中還介紹了我國應用較大跨度樣帶的基礎－－分布於 5 個氣候帶中的森林生態系統定位研究聯網的情況。聯網的研究成果和研究條件將爲樣帶研究目標的實現提供良好的基礎。作者認爲，全球變暖問題的進一步深入研究，是與以 GCC 爲代表的觀點進行討論的最好方式，是人類爲實現可持續發展戰略所必不可少的重要步驟。作者在文中還表達了海峽兩岸同仁攜手研究完成上述任務的殷切期望。

關鍵詞：全球變化，森林生態系統，響應機理，樣帶。

# THE RESPONSE MECHANISM OF FOREST ECOSYSTEM TO GLOBAL CHANGE IN EAST TRANSECT OF CHINA

Zhou Xiaofeng Zhao Huixun Ge Jianping

( Northeast Forestry University， Harbin， 150040 )

ABSTRACT

The aim of this essay is to outline the recent achievements of zonal vegetation and crop response to global climatic changes， which include the changes of distribution， composition， and structure of vegetation types and crop， the changes of individual physiological process and biological production. Their viewpoints which global climatic changels based global warming are similar to the IPCC。 Each research of all Chinese global changes shows that the

[1] 東北林業大學

distribution of vegetation zone in China will move to north under the global warming， but the scales of distribution， structure， and physiological process more vary in different research programs． These uncertainties lead to manv difficulties for nation and region to make the economic plans and the industrial decisions． It is thus necessary to reduce the uncertainties by improving the research method in the future。 The furth studies would focus on the gradient transect research that are able to combine the "top-down" and "bottom-up"， which could facilitate the extrapolation of smaller-cale process research to larger-cale contexts of interest， investigate the different hierarchical organization in the biosphere and parameterizing in synchronism. By using the transect， the different spatial and temporal scale models could be coupled for the "spatial transmutation"， and the uncertainty might be reduced。

In addition， the conditions of establishing the transect in China were analyzed． Chinese Forest Ecosystem Research Network (CFERN) has been established， it is composed of 11 stations that distribute in 5 climatic zones． Many results have been gained from the network． These lay a foundation to achieve the aim of transect research in China. The author think that further research for the global warming is the best way to discuses with the viewpoint of GCC.It is necessary to achieve the sustainable development． At last， the author ardent expectations to cooperate with Taiwan's scientists to finish above researches and aims。

Key words： Global change， Forest ecosystem， Response mechanism， Gradient transect

## 背　　景

100 年前， Svante Arrhenius（瑞典)在倫敦的(科學雜誌)上發表論文－－"空氣中的碳酸氣對地球氣溫的影響" (1896)。他預測大氣中的 $CO_2$ 濃度增加一倍，將導致全球變暖 $5^0C$ 。這是對 $CO_2$ 排放導致溫室效應的第一次生態警告。但當時並未引起人們的注意。二次大戰候後，隨著工農業的迅速發展，森林的過量砍伐，農藥化肥的大量使用，三廢的大量排放等等，使資源緊缺、環境污染等問題日趨嚴重。 Rachel carson 的(寂靜的春天)（ 1962 ）一書的出版，以大量事實揭示了殺蟲劑對包括人類自身在內的各種生物的巨大破壞。這是又一次更爲嚴重的以環境污染爲主題的生態警告，也代表了當時的科學界對環境問題的憂慮，並使人們對環境的關心不僅僅再局限在一些狹窄的，彼此隔離的範圍內（如：土壤、森林、水資源、野生動物保護等等），而是在時空尺度上均迅速擴展了。

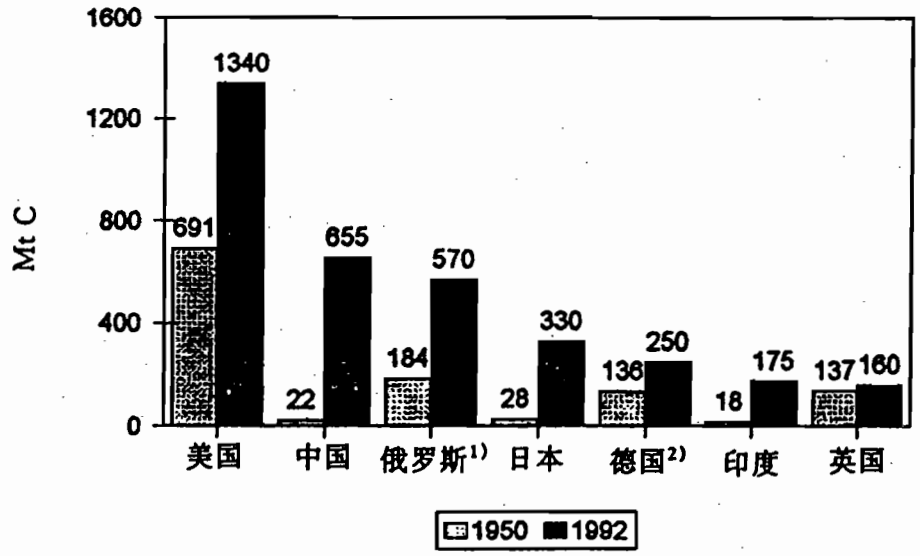
一些生態環境與社會經濟結合的綜合研究項目，逐步從地區擴展到國家以至全球。 60 年代以自然生態系統的能、物流和生物生產力爲核心的 IBP ， 70 年代則是強調人類活動對自然生態系統及生物圈作用的 MAB ，以及 80 年代開始的以尋求協調人類與自然關係的有效途徑爲宗旨的 IGBP 的相繼實施，說明了全球科技界中的生態憂患在深度上和時空尺度上的擴展過程。

近 30 年來，國際社會一個重大而且可喜的轉變是：科技界中對環境問題以及人類前途的憂慮已擴展到各個國家的決策層。 1972 年聯合國人類與環境會議上發出了“只有一個地球”的呼聲； 1987 年聯合國 42 屆大會上，各國首腦共同確認：“我們共同的未來是世界經濟的持續發展，而持續發展的理論基礎則是生態學的基本原則”;到 1992 年聯合國環境與發展會議宣言中提出：“人類應享有與自然相和諧的方式過健康而富有生產成果的生活權利”，並以 102 個國家的政府首腦共同簽署的 5 項公約（聲明）開始在全球範圍內實施可持續發展的戰略行動，從而使人類社會進入了一個“共同管理好地球”的新時代。

國際科聯（ ICSU ）繼 1986 年制訂了 IGBP 之後，又於 1990 年提出了有關全球變化的 7 個核心計劃，其中之一即“全球變化與陸地生態系統”（ GCTE ， 1992 ）。它標誌著全球變化的重點已不僅僅在於氣候變化本身，而且已轉向日益受到人們重視的全球變化中生態系統響應機理及過程的研究。然而，全球變化研究的複雜程度是沒有先例的，它涉及陸地、海洋和大氣，需要在全球變化的條件下去了解與生態系統的相互關係及系統的功能動態過程，包含從細胞水平的精細解析以及生物組織各個層次的耦合，一直到遙感信息技術的運用，它在各個傳統科學領域（如：生物學、生態學、地理學、物理、化學、數學和社會科學）的緊密結合程度上以及世界各個地區的科學家相互協作的國際性上均是空前的。這些特點使其不可避免地面臨眾多的不確定性。這可能就是國際科聯主席 M.G.K. Menon （ 1992 ）將全球變化的研究稱謂“一項充滿險阻而又激動人心的科學冒險（ A bo1d and exciting scientific venture is now underway 。）”的重要原因。當今，參與全球變化有關項目的各國科學家，正在爲減少不確定性而進行不懈的努力，它是人類日益正確認識自然並實現科學管理地球的必不可少的過程。

一組數據可能值得我們關注。根據聯合國能源統計年鑒發表 1992 年因化石燃料利用而排放的 $CO_2$ 估計值排位（圖 1 ），首位是美國，中國排在第 2 位，而在 1950 年時中國是第 6 位。 42 年間美國增加 1 倍，中國則增加 29 倍，其增漲速度超過所有參與統計國家，其原因除經濟增長快速外，另一個重要原因是在一次能源總消費量中主要是 $CO_2$ 排放系數最高的煤炭，占 76 %，水電（無 C 能源）只占 5 %，而世界大多數國家一次能源構成均以油氣（低 C 能源）爲主，占 60 %，經合組織（ DECD ）國家爲 62 %。根據中國國家統計局（ 1991 ）及清華大學一個能源系統分析小組（ 1996 ）的預測，按照包括工業結構調整及能源轉換和提高節能率技術利用在內的優化方案，至 2020 年煤炭比重將下降到 50 %，水電核電（無 $CO_2$ 排放能源）將上升到 20 %。即使如此， $CO_2$ 排放量仍將達到

達到 1918MtC ，將超過美國，成爲世界第一 $CO_2$ 排放大國而爲世人矚目。這組數據應該能說明我國在氣候變化與生態系統相關性的研究中，不僅與地球上所有其它成員一樣承擔著同等的義務，而且還多了一層責任和緊迫感。




1)俄羅斯:1950 年爲前蘇聯數據

2)德國:1950 年爲前西德家加前東德數據

圖一、 1950-1992 年最大排放國化石燃料的 $CO_2$ 排放量變化(引自 Ambio Vol.25No.4,1996,228)

我國的研究概況

在 80 年代初期我國已參與 IGBP 制定計劃過程的工作，並組成了 IGBP 中國國家委員會（ CNC-IGBP ）。隨後，由國家科學技術委員會（ SSTC ）、國家自然科學基金委員會（ NSFC ），以及中國科學院、林業部、農業部、國家環保局等部門資助的有關研究項目相繼實施。研究的空間範圍涉及：地區（青藏高原、黃土地區、乾旱半乾旱地區、東北地區、沿海等）、東亞、極地、全國、全球；時間跨度爲：未來的 20 年、 50 年、 100 年、 200 年，過去的 100 年、 2000 年、 150ka 。下面主要介紹我國研究氣候變暖與森林、農田生態系統直接相關的幾個問題。

## 關於氣候變暖的預測

地史上的氣候一直在變化。問題在於近百年來，全球氣候變暖是否由於人類活動引起並使之加速？以美國全球氣候聯盟（ GCC ）爲代表，包括一批著名科學家，對 1992 年聯合國環發大會通過的《氣候變化框架條約》持否定態度，認爲其依據的聯合國政府間氣候變化委員會（ IPCC ）的預測分析缺乏足夠的科學性，而且認爲一個世紀氣溫升高 $0.5^0C$ 應屬於一種自然變化，不能說是人類活動的影響。我國氣象界有的學者也認爲："中國溫度變化幅度並未超過氣候自然變率，目前還不能確定這種變化是由人類活動引起的"（丁一匯等， 1994 ）。我國近年來有關全球變暖與生態系統相應關係的研究基本以 IPCC 的分析結果爲基點。

不可否認的一個嚴重問題，是由於人類活動所排放的大量的 $CO_2$ 等溫室氣體（表 1 ）所引起的溫室效應。而且近年的研究發現，過去大氣中含量極少的 $CH_4$ 和根本不含的人造氣體鹵碳化合物（ CFC-11 、 CFC-12 、 HCFC-22 、 HCFC-141b 、 HHC-134a 、 $CH_3CCL_3$ 等），它們在大氣中的聚熱效應大大超過 $CO_2$ ， $CH_4$ 是 $CO_2$ 的約 25 倍，鹵碳化合物的聚熱效應則是 $CO_2$ 的幾千倍。

表 1　人類活動引起的溫室氣體變化及影響

| 溫室氣體 | $CO_2$ | $CH_4$ | CFC-11 | CFC-12 | $N_2O$ | 其它氣體 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 工業化前 | 280 | 0.8 | 0 | 0 | 288 | |
| (1750 — 1800 ) | ppmv | ppmv | pptv | pptv | ppbv | |
| 目前濃度 | 353 | 1.72 | 1280 | 484 | 310 | |
| (1990 ) | ppmv | ppmv | pptv | pptv | ppbv | |
| 目前年變化速率： | 1.8ppmv | 0.015ppmv | 10pptv | 17pptv | 0.8ppbv | |
| | (0.5%) | (0.9%) | (4%) | (4%) | (0.25%) | |
| 預測濃度（ 2050 ） | 400~550 | 1.8~3.2 | 200~600 | 500~1100 | 350~400 | |
| | ppmv | ppmv | pptv | pptv | ppbv | |
| 大氣滯留期 (年) | 50~20 | 10 | 65 | 130 | 150 ～ 170 | |
| 分子溫室效應 | 1 | 21~25 | 17 | 500 ～ 20000 | 250 | |
| 相對溫室效應 | 61% | 15 % | | 9 % | 4 % | 11 % |

ppmv 按體積計算百萬分之一　ppbV 按體積計算拾億分之一　pptv 按體積計算萬億分之一 （引自 IPCC　Work　Group 1 ，　1990 ）

目前國內還缺乏這些溫室氣體的比較完整的測定資料，而且各個地區間測定工作不平衡，目前還難於爲氣候變化建模提供足夠的完整數據。因此，國內的有關研究項目基本沿用國際上主要的"自上而下"（ top-down ）的方法，借用比較通用的全球環流模型（ GCM ），並考慮到不同的 GCM 對我國氣候變化的模擬結果差異根大，甚至結論相反，因止多採用若干個 GCM 綜合應用，得出平均變化趨勢。進行模擬試驗時，多採用若干個氣候變化方案，如：三個變化方案：

1.年均溫＋ 4 ℃，年均降水＋ 10 %； 2.年均溫＋ 4 ℃，年均降水不變； 3.平均溫＋ 4 ℃，年均降水－ 10 %(張新時， 1994 ）。或 9 種 $C0_2$，濃度和溫度的組合（ 15 ℃、 20 ℃、 25 ℃）×(320ppm 、 540ppm 、 720ppm ），其氣候變化的總趨勢則應用 M.E.Schclesinger （ 1987 )的結果：“幾十年內將升高 3.5~4.2 ℃，降水增加， 7 %~11 %（趙士洞， 1995 ）。 M.Hulme 、趙宗慈、王馥棠、R.Leemans ：等人（ 1992 ）按 IPCC 提供的 IS92a 排放方案中“最佳估計”的情況及 7 個 GCM 合成方案，計算出到 2050 年全球變暖的範圍在 0.8~1.8 ℃，最佳估計爲 1.2 ℃。按這個估算未來幾十年的全球變暖率是過去 130 年的 4 倍。到 2100 年增加到 2.5 ℃，是過去 100 年的 5 倍。到 2050 年在中國東部和東南部的氣溫可能增加 1.0~1.5 ℃，在中國的東北、西北和北部可能增加 1.5~2.0 ℃，臺灣和海南增加 0.7~0.9 ℃。對年降水的估算是冬季降水在中國的東北和西北可能會增加， 10 %~14.3 %，西部和北部可能增加， 5 %~10 %，長江流域約增加， 5 %，最南部則可能會減少約 5 %。夏季的變化較小，在－ 5.0 %到 10.6 %。以上幾例說明，無論是氣溫和降水的預測結果，差異均相當大。

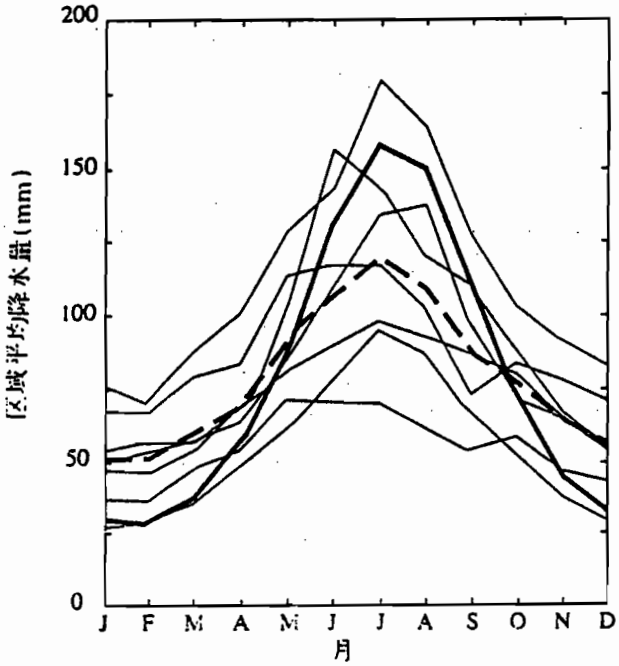
目前，國際上應用的 GCM 已有幾十個，其模擬結果各不相同，而且已知的 GCM 的空間分辯率均還不足以準確地反映區域氣候的變化，因而將其應用於某個區域時有必要評估其模擬的可靠性。 Hulme 等人（ 1992 ）對 7 個 GCM 現代氣候模擬（ 1 × $CO_2$ ）與東亞地區(70°~140°E ， 15°-60°N ）的實際觀側值進行了對比評估。對比結果說明，合成的 GCM 除在地區年溫變化範圍和區域平均降水的年變化（圖 2 ）模擬效果較好之外，在變化的空間分布以及各個 GCM 的氣溫和降水的模擬效果等方面均有不同程度的差異（圖 3 ），有的情況，如西北荒漠的乾燥情況甚至根本沒有模擬出來。

## 植被帶及農作區的變化

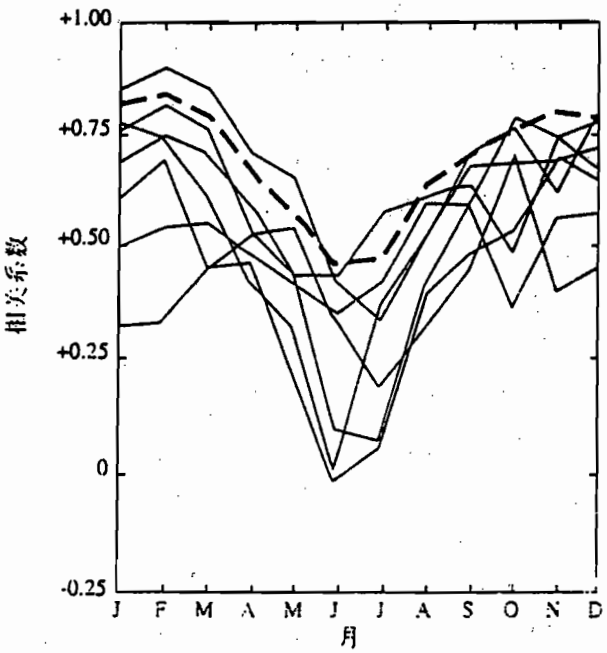
從冰後期以來的各種研究中發現，森林樹木的種群增長和擴展速度是 0.1~2 km ／ a （ Bennett ， l986 ； Kenter ， 1990 ）。如按今後 50 年內全球平均溫度可能上升 1.5~3 ℃進行預測，優勢樹種的忍耐帶和作物帶可能緯向變化 180 ~ 240km ，垂直方向變化 120~200m （ Ho1dgate ， 1996 ）。

張新時等（ 1990 ）按修正後的 Holdridge 生命地帶分類系統，設定 3 組氣候變化方案，模擬全球變化後我國植被帶的變化情況，可概括爲： 1.全球變化後，我國森林面積將減少。其中，熱帶和亞熱帶森林面積顯著增加，溫帶森林面積則顯著減少，北方森林可能完全消失，其面積的 2/3 轉變爲冷溫帶森林，約 1/3 轉變爲溫帶草原。 2.草原的總面積變化不大，但與森林和荒漠的類型間有大面積相互轉換，使原分布區有很大變化，如：溫帶草原面積增加近一倍，增加的面積中 51 %由溫帶森林演變而來， 6.2 %由溫帶荒漠演變而來。 3.荒漠面積將增加 1/3 ，主要由溫帶型山地森林和北方型山地草原轉化而來，而且三種不同變化方案的結果無較大差異，說明我國部分地區在全球變化後的荒漠化進程是不可避免的。 4.各種高寒植被、凍原和冰緣帶幾乎全部消失，分別演變爲北方型山地森林、溫帶

林、溫帶型山地草原和北方型山地荒漠。




圖二、東亞地區區域平均月降水量：觀測值（粗黑線）以及七個 GCM 模擬值。合成 GCM 模擬值用粗虛線表示。(Hulme,1992)




圖三、月降水的觀測場與 GCM 模擬場之間的空間相關係數。合成 GCM 與觀測的相關係數用粗虛線表示。(Hulme,1992)

趙士洞等（ 1995 ）以我國東北地區森林生長和演替的林窗模型改進 ZELIG 和 F0RET 模型，建立適用於東北林區的 NEWCOP 模型，並假定經過 100 年可線性地達到 GFDL 2 × $CO_2$，平均氣候的情況下： 1.目前在長白山和小興安嶺以紅松（ *Pinus koraiensis* ）占優勢的地帶性闊葉紅松林將被闊葉樹占優勢的落葉闊葉林所代替。在大興安嶺目前占優勢的興安落葉松（ *Larix gmelini* ）林可能會被適於較暖氣候並且耐旱的蒙古櫟（ *Quercus mongolica* )等闊葉樹所替代。2.在 100 年氣候變化期內東北森林由於天然更新速度遠慢於氣候變化速度將陷入生長衰竭的境地。 3.在年均溫增加 2 ℃的情況下，長白山的森林垂直帶約上 300m 。

上述趨勢預測與同地區的地史分析結果一致。據吉林敦化全新世沼澤的花粉分析，這裏在早全新世就存在森林和沼澤，森林以松屬爲主，中全新世因氣候轉暖，闊葉樹種加櫟、椴（ *Tilia*)、樺（ *Betula*)等顯著增加，到晚全新世氣候轉涼，松屬又轉占優勢（周昆叔等， 1977)。

徐德應等（ 1993 ， 1994 ）應用自建的生態信息系統 GREEN（適用於我國各氣候要素和具體樹種地理分布的框架模型）結合 GCM 預測 2030 年氣候變化的結果： 1.興安落葉松在我國的分布區南界將北移 0.1~2.7 個緯度，北、東和西界變化不大，分布區面積在長白山和小興安嶺將減少，在大興安嶺則有所增加，

總的減少面積約爲當前總面積的 8.5 %。 2.紅松分布區面積將增加 2.2 %。 3.油松（ *P. tabulaeformis* ）分布區面積將縮小 9.4 %。 4.馬尾松（ *P. massoniana* ）分布區在長江以南地區的垂直分布將向上移 80~400m ，總的分布區面積將比現在減少 9.7 %。 5.杉木（ *Cunnunghamia lanceolata* ）分布區除東界變化不明顯外，南、北、西界均有所縮小，總面積將比現在的減少 1.8 %。 6. 雲南松（ P. yunnanesis ）分布區的西界將東移 1.5 個經度，使原有面積減少約 19.5 %，而新增面積達 31.6 %，因此總面積將增加 12.1 %，主要的增加地區位於滇東北。 7. 珙桐（ *Davidia involucrata* ）的生態幅較窄，對微弱氣候變化較敏感，到 2030 年的分布區將收縮，使總面積減少約 20.2 %， 8.禿杉（ *Taiwania flousiana* ）的現實分布區地跨川、滇、藏、貴、鄂五省，呈間斷分布，到 2030 年，大面積的禿杉將消失，總面積可能減少 57.1 %。

Hulme 等（ 1992 ）的預測結果是：到 2050 年中國的寒溫帶針林和溫帶針葉闊葉混交將會明顯減少，將向北移入西伯利亞地區，寒溫帶針葉林幾乎在中國完全消失。溫帶草原將會增加。一些中介性森林植被面積將相對穩定，而在地理位置上將向北移約 500km 。熱帶雨林和季雨林將有大面積增加。西南部的高山植被將大量縮小。西北部新疆的氣候將變得更爲乾熱，現有的溫帶荒漠及草原型將轉變爲暖溫帶或亞熱帶荒漠型，這無疑將使該地區的農牧業生產變得更加困難。中國東部的農業區，大部分二熟制地區將被不同組合的三熟制取代，目前的二熟制北界將移至一熟制的中部，更明顯的是三熟制的北界將從長江流域北移至黃河流域，北移約 500km 。多熟制的種植面積將顯著增加（表 2 ）。這種種植制的多樣化理應有利於我國農業的增產。然而， Leemans 和王馥棠（ 1992 ）指出，到 2050 年降水與蒸散的淨平衡是負的，因而有效水分的供給將減少。因此，三熟制主要作物水稻的種植面積將增加，但產量將減少。二熟制中的主要作物小麥也同樣面臨有效水分匱乏的可能性。

表 2　中國東部農業區各種植制面積變化預測比較（引自 Hulme 等， 1992 ）

| 種植制 | 目前 (1950~1980 統計) | 2050 最佳估計 (合成 GCM 作出) | 2050 低估 (7 個 GCM 最低值) | 2050 高估 (7 個 GCM 最高值) |
|---|---|---|---|---|
| 一熟制 | 62 | 39 | 31 | 56 |
| 二熟制 | 24 | 25 | 21 | 29 |
| 三熟制 | 12 | 29 | 19 | 29 |
| 熱三熟制 | 1 | 7 | 3 | 11 |

## 氣候變暖對植物生理及生產力的影響

發達國家在 80 年代已經有組織地進行了 $CO_2$濃度升高對植物生活影響的實驗研究。用於 $CO_2$升高對植物生活影響的實驗裝置有以下幾類： 1.人工氣候室； 2.開頂式培養室； 3. FACE （ free-air carbon dioxide enrichment ）裝置； 4. 枝條氣袋法（ branch bags ）。我國近幾年開始這方面的實驗研究，中科院植物

所、上海植物生理所、應用生態所、中國氣象科學院農業氣象所及東北林業大學等院校的科學家應用人工氣候室、小型開頂式培養室對一些主要樹種、農作物和雜草進行了 $CO_2$倍增的試驗。

趙士洞等（1995）對紅松、落葉松、雲杉、冷杉、櫟、紫椴、水曲柳（*Fraxinus mandshurica*）、黃菠蘿（*Phellodendron amurense*）等 15 個樹種的試驗的結論是：在各 $CO_2$濃度下（320、540、720ppm），溫度升高 5 ℃將平均使淨光合速率減少 5 %~23 %；在各溫度水平下（15、20、25 ℃），2 × $CO_2$平均可使各樹種的淨光合速率升高 18 %-74 %；在海拔 1000m 左右，如溫度比目前升高 1 ℃，紅松、椴、櫟、白樺的年輪可增寬 50 %左右，但雲杉、冷杉則將減少。王鳳友等（1995）的試驗結果則有所不同。作爲對比的紅松與落葉松對 2 × $CO_2$的反應是不同的。第一次試驗中，$CO_2$倍增，紅松幼苗在生長季節的大部分時間中比正常 $CO_2$濃度下的淨光臺速率要降低 0.1-0.7 個單位（mg $C0_2$／$h.dm^2$），但在 8 月上中旬則高 0.5-1.0 個單位，落葉松幼苗在 7 月和 8 月上中旬則比正常 $CO_2$濃度下高 0.31~0.7 個單位。第二次試驗中紅松與落葉松幼苗在 2 × $CO_2$條件下，淨光合速率均比正常濃度下高 0.2-2.0 個單位。同時間測定的單株生物量則都是紅松降低而落葉松增加，第一次試驗 2 × $CO_2$下的比正常濃度下的紅松平均單株生物量降低 3.9 %，第二次降低 12.8 %，而落葉松第一次增加 12.2 %，第二次增加 14.2 %。由此可認爲，陽性樹種（落葉松）與相當耐蔭的樹種（紅松）對 2 × $CO_2$的反應有差異，而且是前者比後者大。這個結果與趙士洞等的結果不同，與 Bazzaz F. A.等（1989）的結論則相反。

植物所與上海植生所（1992-1993）應用人工氣候室和小型開頂式培養室，對農作物和雜草類的試驗結果與國際上的結論基本一致，即：2 × $CO_2$條件對 $C_3$植物的影響要比對 $C_4$植物的影響大。如：上海植生所王祝華等（1993）試驗 2 × $CO_2$條件下，大豆的地上部分生產力明顯增加，蒼耳、灰菜、蘆葦的生物生產力也明顯增加。但對 C4 植物的玉米和高粱的地上部則無促進作用。植物所的傅凱等（1993）試驗結果是 2 × $CO_2$，條件下矮香糯品種水稻（$C_3$植物）的不同生育期和不同植株部位的生物生產力分別提高 12 %-41 %，促進效果明顯。

徐德應等（1995）應用 GCM 及自已建立的中國森林氣候生產力模型預測 2030 年時中國森林第一性生產力分布格局。總的情況是氣候變化後中國森林第一性生產力變化率從東南向西北遞增。熱帶和亞熱帶地區的增值較小，絕大部分地區（熱帶、南和中亞熱帶）只增長 1 %，北亞熱帶爲 2 %，少部分地區如南亞熱帶的滇南地區增加 7-8 %，高原南緣的波密-川西區可增至 10 %。暖溫帶的東部增長 2 %，暖溫帶的西部渭河區增加 4-5 %。溫帶絕大部分地區增加 5-6 %，小興安嶺和三江-長白山區可增加 6-8 %。寒溫帶的大興安嶺地區森林生產力增加 10 %。按樹種預測的生產力變化如下：興安落葉松增益最大，約 8-10 %；紅松爲 6-8 %；油松爲 2-6 %，局部地區可達 8-10 %；馬尾松和杉木爲 1-2 %；雲南松爲 2 %；川四亞高山針葉林增加 8-10 %。

## 存在問題

前面比較詳細地引述了我國近幾年有關氣候變化對森林和農田生態系統影響的主要研究方法及其結果。從這些項目方法和結論的比較中，可以看出存在著明顯的差異和不確定性，其中許多問題是共同的。

1.目前所引用的 GCM 均爲大氣 GCM ，未考慮海洋的反饋作用。國際上雖然已有少數的將海洋進行大量簡化後與大氣 GCM 耦合的海氣 GCM 的初型，但其成熟程度和應用於中國的適宜程度均還有待進一步工作。

2.我國科學家在引用 GCM 時，都根據我國情況在修訂上做了努力。但方法各異，結果也不同，例如：分別選用若干個 GCM 進行合成或直接引用某一個；使用我國氣象參數的站臺數分別爲 2000 個、 700 多個、 170 多個，有的還進行了包括海拔高程在內的插值加密；在作爲全部預測基礎的全球變暖數值上就出現很大差距，如： 0.8-1.8 ℃（未來 50 年）， 3.5-4.2 ℃（未來幾十年內）， 1.5-3.0 ℃（至 2100 年）， 4 ℃（未說明時間跨度）。

3.爲了克服“平衡預測”的缺陷，有的研究進行了森林演替的動態模型的耦合，但在氣候變化的預測上仍是以“線性達到平衡態”爲條件，因此仍然存在瞬時響應落後於平衡響應的問題，也存在“氣候變化一個世紀後停止，而森林的滯後反應要超過 150 年之多。”(M. Hulme 等， 1992 ）的問題。事實上，這種滯後效應在預測的時間區段內一直在起作用，歷史上在氣候緩慢變化的條件下所形成的植被類型與氣候土壤條件之間的相對平衡穩定狀態，在今後氣候變化成倍加速的條件下將很難維持，特別對壽命較長的森林樹種尤其如此。

4.作爲預測基礎之一的植被類型劃分依據也不統一。 Holdridge 生命地帶系統與我國通用的植被分類的差異是顯然的。即使都使用通用的植被類型區帶，但有的甚至在類型區劃分指標上亦存在相當大的差異。如：用於定義溫帶針葉闊葉混交林的氣候參數，一爲“＞＝ 10 ℃的活動積溫 1500-3500”（ Hulme 等 1992 ），另一爲“＞＝ 5 ℃的活動積溫 700-3000”（延曉冬等， 1995 ）。這類差異雖然對全國的總趨勢不會產生影響，但在區域尺度上則是重要的。

5.落實到具體樹種的趨勢預測上出現差異更大，甚至完全相反。如：趙士洞等,1995 ）認爲 100 年後原地帶性頂極森林－闊葉紅松林和興安落葉松林將迅速消失。張新時等（ 1994 ）也認爲該地區由於大量向草原演化而紅松和落葉松林面積將縮小。但徐德應等（ 1995 )的結論是： 2030 年時紅松面積將增加 2.2 %，大興安嶺西北部的興安落葉松的面積將有所增加。

## 進一步研究

在已有研究的基礎上，根據我國現有條件，實行較完善的進一步研究是有可能的，進一步研究的關鍵在於方法上的改進。

1.將“自上而下”（ top-down ）與‘自下而上”（ bottom-up 或 upscaling ）的兩種方法結合，使全球-區域-景觀-斑塊-個體各組織層次的研究同步進行，使

各組水平上的外推與耦合，以及不同空間尺度上的轉換得以實現。

這種將小、中尺度上的個體生理發育機理、斑塊動態及景觀過程的空間變化的建模與較大尺度上的整個區域的結構和動態信息緊密結合的研究，將有可能使線性的平衡預測發展到非線性的動態相關，使趨勢預測盡可能貼近真實情況。

2.在統一規劃下，各區域典型植被類型結構動態和個體試驗的方法和時間、建模方法以及參數的收集和處理都盡可能的統一，這將使各個等級的模型耦合和轉換中的困難減少到最小程度。

3.充分利用我國的優越條件，建立盡可能完整的環境梯度、群落特徵梯度的樣帶。梯度樣帶方法的採用，是使全球至個體的各組織層次研究緊密結合的關鍵，尤其是全國－區域－景觀這三級的緊密結合。

## 梯度樣帶研究框架

梯度樣帶（ gradient transect)是研究全球變化與陸地生態系統相互關係的最重要的有效途徑之一，它最有利於對較小尺度的各定位點的景觀結構與生態過程的研究進行區域性綜合分析，以及對不同時空尺度的模型進行全球建模和分析所必須的耦合和轉換，尤其對於全球變化驅動因素的梯度試驗和分析，樣帶研究的優越性更爲突出。

1.中國東部樣帶，具有從寒溫帶、溫帶、暖溫帶、亞熱帶、熱帶的最爲完整和連續的氣候、土壤、森林地帶系列。這是其他任何大洲都無法比擬的，是最典型的受熱量驅動的緯度地帶系統，對於全球變化與氣候－土壤－植被關系研究是最理想的天然試驗場（張新時， 1995 ）。同時，該樣帶又最大限度地包含了不同時空尺度的土地利用程度和格局，從人類活動歷史最悠久的地區之一的黃河流域到還保留著相當完整的原始植被的大、小興安嶺和尖峰嶺，從而保證了對應全球變化的地帶性植被與土地利用格局之間的相關分析具有最大的典型意義。樣帶南北兩端站點間直線距離超過 3700km ，可充分保證空間氣候範圍和大氣模型的重疊，而且完全能與決策尺度相適應。

2.中國東部樣帶分兩級組合：主樣帶滿足環境梯度，即符合物理空間上準線型梯度，這種物理上的連續梯度將特別有利於尺度轉換和關聯過程的處理；副樣帶滿足土地利用強度（格局），它屬於空間上更爲複雜的非直線型。

3.樣帶內各站點根據連模框架的統一方法至少監測一組公認的表徵生態系統結構和功能的變量。如：組成結構、層次結構、葉面積指數、林隙結構、土壤有機質、土壤有效水含量、古土壤信息（以 2 萬年爲限）、凋落物分解速率、淨初級生產力、痕量氣體（ $CO_2$、 $CH_4$、 $N_2O$ 、 CFC ）放散通量等。

4.典型種的克隆繁殖體沿梯度各站點間的交互移栽實驗（ reciprocal transplant experiment ）。此實驗特別適合於評價 PFT 與土壤有機質以及分解之間相互作用與氣候變暖的相關性，與古土壤信息結合準確判斷地帶邊界的位移，以及建模實踐所需數據的確證。與交互移栽實驗緊密配合的是主要站點開頂式熏氣實驗（ open-top fumigation ），它對獲取響應和反饋的機理數據是必要的，又

是交互移栽野外實驗的唯一可行的驗證手段。

5.建模與區域性外推。對已有的模型進行必要的檢驗及修訂，並重新構造適合於中國東部樣帶梯度分析的統一建模框架。此框架是以生理過程爲基礎的多時空尺度耦合模型，在小尺度上強調能夠反映溫度、水分變化對植物生理過程的影響，在中、大尺度上注重以生理機制爲基礎的全國植被動態模型。建模過程中將利用模型嵌套技術、遙感信息進行模型的空間轉換和外推。

## 森材生態系統定位研究聯網

林業部森林生態系統定位研究全國聯網是開展全球變化與陸地生態系統研究的重要基礎條件之一。該聯網目前包含 11 個定位研究站，分布在從寒溫帶到熱帶的 5 個氣候帶中（圖 4 ），研究對象均屬典型的地帶性森林植被類型和主要的人工林類型。

近年來，各定位站在基礎性研究方面主要是從個體、種群、群落、系統四個水平上同步開展有關樹種生物學生態學特性、生長節律、主要種類的種群動態、林隙（ gap ）結構、群落演替、景觀格局、養分循環、水分循環與能量利用等研究。與基礎性研究緊密結合同時開展針對該地區林業生產上的主要問題，或帶有全局性的生產性試驗，加：生態林業、林農複合系統、食物鏈加環、多層結構、混交結構及主伐更新方式等等。由於這些試驗立足於生存環境的維護和持續發展的要求，以生態學的理論和方法爲依據，並緊密結合本地區的植被、環境和社會經濟條件，因而日益顯示出它們在經濟、生態和社會三效益協調統一方面的優越性，正在區域生產中起到它們應有的示範作用。

定位研究聯網的研究條件和已有的研究成果，爲上述樣帶研究提供了很適宜的基礎，目前它已積累的十幾年或幾十年的各種植被和環境的動態過程資料將對樣帶研究中的小、中尺度的有關模型的建立提供很大的方便並保證它們有較高的準確性。聯網的各站點間所具備的完整的梯度將使上述樣帶研究的特點和優越性得以充分體現。

## 臺灣的參與

臺灣植被是我國亞熱帶常綠闊葉林區域及熱帶季雨林、雨林區域的重要組成部分，是我國全年都受海洋氣流調節，特別是冬季受海洋暖流影響，最具顯著的熱帶海洋氣候特點的地區，在建設我國完整的地帶性植被類型梯度分析的定位研究聯網中有著不可替代的重要地位。

臺灣森林資源豐富，森林覆被率達 52 %（ 1978 ），在全國各省、區中占第一位，而且遠遠高出占第二位的福建（ 37 %），雖然由於人口密集，人均占有林地面積僅 0.11hm²，低於全國平均值 0.12hm²，然而保安林（ protection forest ）面積已達 25 %，超過大陸同類林種（ 14.79 %）的 69 %。這反映了臺灣的林業同仁們在高度人口壓力及經濟快速增長條件下實施環境保護和森林保育經營的成功，也爲我國在全球變暖同時要求經濟快速發展條件下建設可持續林業提供了寶貴的借鑒。

深信海峽兩岸同仁的緊密協作，能對全球變化與生態系統的相關性研究以及世界的可持續林業建設作出更多的貢獻。

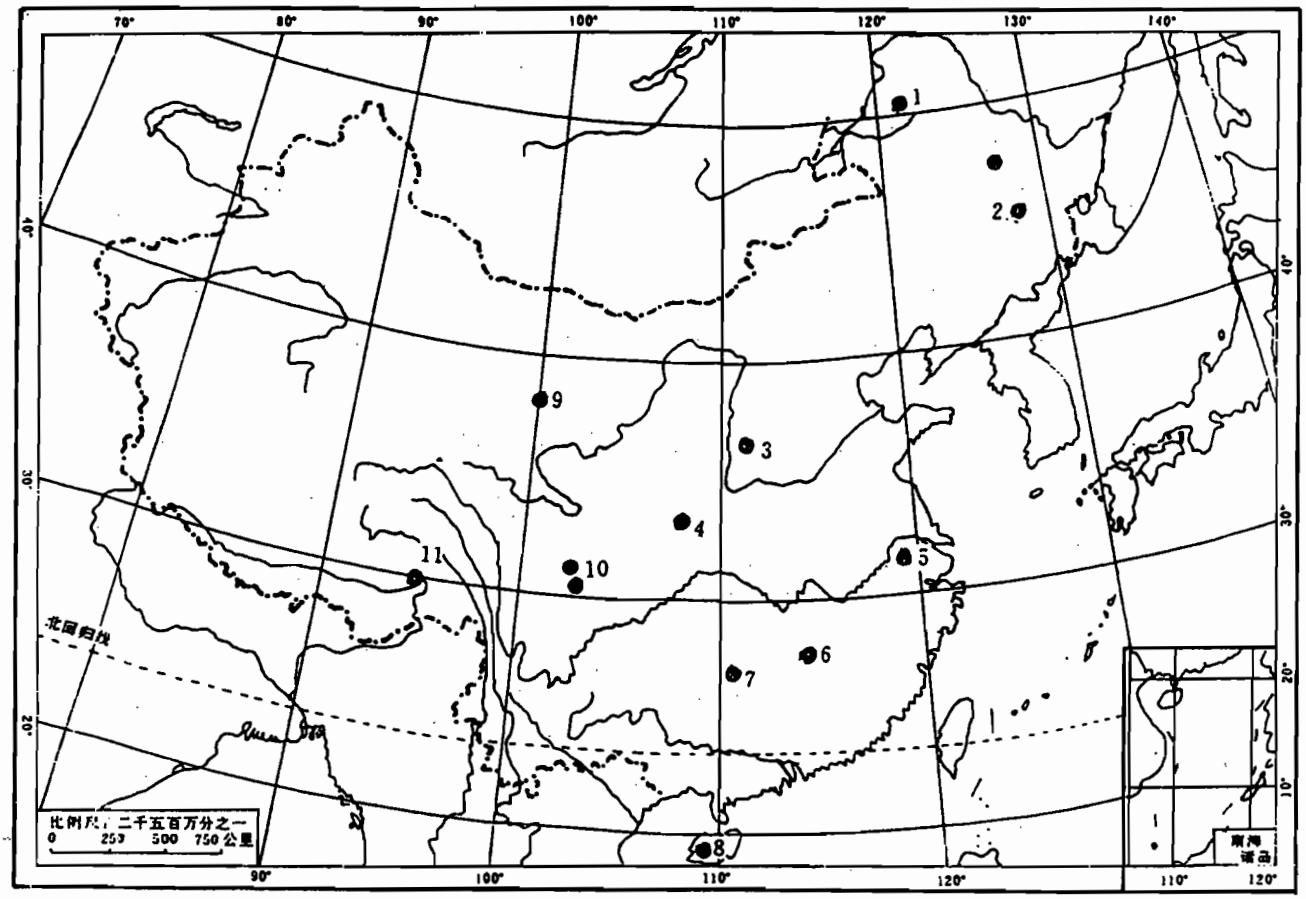



圖 4　材業部系統森林生態定位站分布示意圖

| | |
|---|---|
| 1.內蒙古根河落葉松林生態系統定位站 | 寒溫帶針葉林區域 |
| 2.黑龍江涼水、帽兒山原始林次生林生態系統定位站 | 溫帶針闊混交林區域 |
| 3.山西太岳油松林生態系統定位站 | 暖溫帶落葉闊葉林區域 |
| 4.陝西秦績火地塘華山松、油松、銳齒櫟林生態系統定位站 | 亞熱帶常綠闊葉林區域（北） |
| 5.江蘇下蜀闊葉林、杉木林生態系統定位站 | 亞熱帶常綠闊葉林區域（東） |
| 6.江西大崗山杉木、毛竹林生態系統定位站 | 亞熱帶常綠闊葉林區域（中） |
| 7.湖南會同杉木林生態系統定位站 | 亞熱帶常綠闊葉林區域(南） |
| 8.海南尖峰嶺熱帶林生態系統定位站 | 熱帶季雨林雨林區域 |
| 9.甘肅祁連山水源林生態系統定位站 | 溫帶荒漠區域 |
| 10.四川臥龍、米亞羅雲杉冷杉林生態系統定位站 | 青藏高原高寒植被區域（東） |
| 11.西藏林芝高山針葉林生態系統定位站 | 青藏高原高寒植被區域（東） |

## 主要參考文獻

1. Toufiq A. Siddiqi， 1996，亞洲化石燃料利用所產生的二氧化碳排放，《Ambio》， vol. 25 No.4 228~231。

2. Ye Duzheng *et al.* 1995 ， China Contribution to Global Change Studies， Science Press ， Beijing，China。

3.張新時等， 1994，全球變化與生態系統，上海科學技術出版社。

4.張新時等， 1995，中國全球變化樣帶的設置與研究，《第四紀研究》， 1995 年第 1 期， 43~52。

5.趙士洞等， 1995，未來氣候變化對東北森林的可能影響研究的幾點進展，《生態學報》，第 15 卷，增刊 B 輯， 1~9。

6. Hulme M. 等， 1992，溫室效應引起的氣候變化以及對中國的影響，世界自然基金會出版。

7. ICSU. 1992， Global Change： Reducing Uncertainties， IGBP， Stockholn， Sweden。

8. Koch G.w. et al.， 1995， The IGBP Terrestrial Transect： Science Plan， Global Change， Report N0.36.

9.徐德應、劉世榮， 1992，溫室效應，全球變暖與林業，《世界林業研究》， No.1， 25~31。

10.劉世榮、徐德應、王兵， 1993， 1994，氣候變化對中國森林生產力的影響 1；2．《林業科學研究》， 1993，6（6）；1994，7（4）。

11.章基嘉等， 1992，氣候變化及其對農作物生產潛力的影響，《氣象》，第 18 卷，第 8 期。

12.唐國利等， 1992， 1921~1990 年我國氣溫序列及變化趨勢，《氣象》，第 18 卷，第 7 期。

13.丁一匯等， 1994，中國近百年來的溫度變化，《氣象》，第 20 卷，第 12 期。

14.周曉峰， 1993，森林生態系統定位研究的作用及其體系的建立，《森林與環境》，中國林業出版社。

# 全球氣候變遷下臺灣水資源問題之探討

陳信雄[1]

摘　要：

水資源的匱乏已演變成全球性共同的問題，若不及早提出因應之策，全球的沙漠化將是倒數計時的嚴重現象，究竟水資源的匱乏是否爲全球氣象變遷所帶來的因果關係、或者是人爲因素所始然，皆有深入探討之必要。本論文即針對臺灣水資源的問題，從水文收支、土地利用的變遷、人爲因素所造成的衝擊，加以研討。期望能從主客觀因素，研擬出其根本原因並提供因應之策，俾對免除今後水資源匱乏、水質惡化提供解決之策。

## 一、水資源概論

近二十年來，由於人口的增加、生活水準的提高，人類賴以生存的必要物質資源，無論在其種類上、數量上，皆有日趨複雜與增加的趨勢，但不管其種類之多，只要根據人類生活的基本要求上，予以分門別類，則皆不出此食衣住的範圍，因此資源的定義，可以說是供給食衣住必要的物質源泉，從「物資」的「源泉」而成了「資源」一辭。

一般人類所汎指的資源，多屬石炭、石油、鐵、銅、鉛等礦物資源爲多。這些礦物資源確是構成資源的重要成員，但人類所必須的物質，並非單由這些礦物質資源所構成，且由石炭、石油等燃料礦物資源所造成的能源，或者由銅鐵礦石取出之金屬材料，亦無法滿足人類生活上的需要，爲了維持生活，其他衣料、食糧等多種多樣的物資，亦有相提並論的必要。就以有關衣食的資源，考慮其源泉時，首先以米爲例而言，米是水稻的果實，而水稻在水田中生長，水田是由平坦的土地，供給適量的灌溉用水而成，可見水稻是由土地資源與水資源相互配合，再加上肥料等礦物資源，三者結合而成的成果，其他農作物亦是同樣的現象，在工業成品的纖維，亦爲紙漿—木材—森林等，皆爲土地與水的相互配合，因此當我們深入的探討，人類在生存上必要的物資源泉，可歸納爲三個基礎資源，亦即

1.土地資源。

2.水資源。

3.礦物資源（地下資源）。

人類的生活靠著上述三項基礎資源所支撐，三者之間若一旦失去平衡，人類生活的安定即遭受威脅，然這些基礎資源的利用，深受人類技術發展程度的影響，如低度開發國家，即使有豐富的基礎資源，由於技術之貧弱，生活亦陷於貧困。相反的，如有優秀的技術，可將一向被視爲無利用價值的資源，改變爲可供利用的資源，可見資源並非單以物量的存在，除了豐富的資源量以外，還需靠良好的技術，才能將資源的價值發揮到淋漓盡致。

---

[1] 國立臺灣大學森林系

舉例來說，人類在石器文明時代，打火石在武器或農具製造上，曾是不可或缺的重要礦物資源，但是隨著製鐵技術的發明，打火石即失去其重要性。在30幾年前，只作爲分析試藥以及玻璃著色用的鈾礦，由於原子能的發展，一躍而成爲超級重要資源，同樣的不論土地資源或水資源，在治水技術尚未發達的時代，由於洪水的危險不敢利用的土地，築堤技術尚無法獲得充分信賴的農地，只要技術進步，即可成爲有用的土地資源。防砂壩的技術發展，貯存洪水而轉禍爲福。然而如將土地的利用方法失誤，則將降低地力，減低資源的價值，將水資源的狀態予以惡化。

以上將資源的性質予以規定後，接踵而來的疑問，便是何謂資源問題？爲何會發生資源問題？

資源問題，首當其衝的便是如何獲得人類必要物資的源泉，換言之，爲了獲得資源，如何發展技術的問題，我們從相反的觀點而言，即使技術之發展並未進步，我們如能隨心所欲的獲得需要之物質，則資源問題即不存在。例如空氣爲吾人不可或缺的物質，但由於可隨處呼吸，因此對空氣而言，並無資源問題存在，但是一旦地球上大部分的空氣被污染，而無法獲得清潔的空氣時，空氣資源即成了重要的問題。

對水資源而言，如到處可獲得水資源，則無所謂水資源的問題，但事實上，臺灣雖雨量豐富，但由於受到地形的影響，再加上近二十年來，人口的增加，坡地的開發，每逢長期不雨，使整個集水區上、下游之間，發生水資源供不應求的現象，因此近數年來，水資源供需，成了目前最令人關注的話題，尤其是都市地區的居民，更有談水荒而色變的威脅，於是連帶的促使我們對水資源的決策上，提出下述三個重要方針：

1.水資源的開發與利用-新技術的發展。

2.水資源的保育－如何節省消耗，講求有效利用。

3.水資源的開發與保育－對其他資源的影響。

關於第一項：水資源的開發與利用上，是如何導入新的技術，對重要的水資源－地表水與地下水的開發，樹立完善的整體開發計畫。

第二項則講求水資源的再利用，亦即水資源再循環的問題。

第三項是重視開發後引起公害的問題，諸如地下水位的下降，海水倒灌以及地盤下陷的問題，以及水資源再循環所引起水質污染的問題。

總之在水資源整體規劃上，必須開發利用與保育上同時兼顧，且能深入的考慮到對其他資源的影響，才能樹立完整的水資源計畫。

## 二、世界與臺灣之水文收支現況

### (一)世界之水文收支

地球上之年平均降水量約爲910mm，地球的全面積約爲488兆$m^2$，於是地球上一年的總降水量爲445兆$m^3$，又光指陸地而言，陸地全降水量一年爲99兆$m^3$，又因陸地面積大約爲100兆$m^2$，則年平均降水量約爲990mm，此爲平均值，實際上因地區別而有相當大之差異，爲供各位之參考，將世界主要地區之年平均降水量如表1：

表1　世界各地之降水量（mm/年）

| 地　　名 | 國　名 | 降水量 | 地　　名 | 國　　名 | 降水量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 亞　　洲 | | | 6.墨西哥城 | 墨 西 哥 | 726 |
| 1.伊爾庫次坎克 | 蘇　　俄 | 458 | 7.哈瓦納 | 古　　巴 | 1224 |
| 2.海參威 | 蘇　　俄 | 738 | 南　美　洲 | | |
| 3.伊斯坦堡 | 土 耳 其 | 800 | 1.基多 | 厄瓜多爾 | 1233 |
| 4.利雅德 | 沙烏地阿拉伯 | 80 | 2.利瑪 | 秘　　魯 | 31 |
| 5.科威特 | 科 威 特 | 130 | 3.奎布多 | 哥倫比亞 | 7140 |
| 6.巴格達 | 敘 利 亞 | 156 | 4.里約熱內盧 | 巴　　西 | 1074 |
| 7.德黑蘭 | 依　　朗 | 208 | 5.貝倫 | 巴　　西 | 2770 |
| 8.喀布爾 | 阿 富 汗 | 338 | 6.布宜諾斯艾利斯 | 阿 根 廷 | 975 |
| 9.喀拉蚩 | 巴基斯坦 | 204 | 非　　洲 | | |
| 10.新德里 | 印　　度 | 715 | 1.開羅 | 埃　　及 | 25 |
| 11.加爾各達 | 孟 加 拉 | 1582 | 2.亞斯文 | 埃　　及 | 2 |
| 12.孟買 | 印　　度 | 2078 | 3.突尼斯 | 突尼西亞 | 466 |
| 13.邦加羅爾 | 印　　度 | 3479 | 4.達喀爾 | 塞內加亞 | 578 |
| 14.可倫坡 | 斯里蘭卡 | 2397 | 5.阿必尚 | 象牙海岸 | 2144 |
| 15.瀋陽 | 中　　國 | 709 | 6.盧安達 | 盧 安 達 | 367 |
| 16.旅大 | 中　　國 | 607 | 7.那路比 | 肯　　亞 | 926 |
| 17.天津 | 中　　國 | 533 | 8.蒙巴薩 | 肯　　亞 | 1163 |
| 18.南京 | 中　　國 | 1072 | 9.慶伯利 | 南　　非 | 417 |
| 19.上海 | 中　　國 | 1135 | 10.開普頓 | 南　　非 | 526 |
| 20.武漢 | 中　　國 | 1257 | 歐　　洲 | | |
| 21.香港 | 中　　國 | 2265 | 1.斯德哥爾摩 | 瑞　　典 | 555 |
| 22.臺北 | 中華民國 | 2100 | 2.赫爾新基 | 芬　　蘭 | 641 |
| 23.馬尼拉 | 菲 律 賓 | 1791 | 3.曼徹斯特 | 英　　國 | 799 |
| 24.曼谷 | 泰　　國 | 1492 | 4.倫敦 | 英　　國 | 594 |
| 25.新加坡 | 新 加 坡 | 2282 | 5.華沙 | 波　　蘭 | 471 |
| 26.雅加達 | 印　　尼 | 1755 | 6.巴黎 | 法　　國 | 585 |
| 27.東京 | 日　　本 | 1563 | 7.里昂 | 法　　國 | 813 |
| 大　洋　洲 | | | 8.馬賽 | 法　　國 | 546 |
| 1.雪梨 | 澳　　洲 | 1205 | 9.漢堡 | 德　　國 | 720 |
| 2.墨爾本 | 澳　　洲 | 691 | 10.柏林 | 德　　國 | 556 |
| 3.伯斯 | 澳　　洲 | 889 | 11.蘇黎世 | 瑞　　士 | 1137 |
| 4.威靈頓 | 紐 西 蘭 | 1224 | 12.維也納 | 奧 地 利 | 660 |
| 5.檀香山 | 美　　國 | 556 | 13.馬德里 | 西 班 牙 | 419 |
| 北　美　洲 | | | 14.直布羅陀 | 西 班 牙 | 815 |
| 1.溫哥華 | 加 拿 大 | 1048 | 15.羅馬 | 義 大 利 | 653 |
| 2.舊金山 | 美　　國 | 475 | 16.拿波里 | 義 大 利 | 871 |
| 3.拉斯維加斯 | 美　　國 | 99 | 17.雅典 | 希　　臘 | 402 |
| 4.芝加哥 | 美　　國 | 843 | 18.基輔 | 蘇　　俄 | 615 |
| 5.紐約 | 美　　國 | 1123 | 19.莫斯科 | 蘇　　俄 | 575 |

（二）臺灣地區水資源利用

1991年臺灣地區總用水量約176億立方公尺，其中以農業用水量爲最多，約136億立方公尺，占77%，其次爲生活用水約25億立方公尺，占14%，其餘15億立方公尺爲工業用水，占9%；農業用水中，農田灌溉用水量約104立方公尺，餘32億立方公尺屬養殖魚塭及畜牧用水。

各標的之水源有三類：一爲直接引用河川流量，估計年約50億立方公尺，惟枯水期可引用之河川流量甚少；其次爲水庫調蓄水源，年約54億立方公尺；再者爲地下水，平均每年天然補注量僅約40億立方公尺，現抽用量高達71億立方公尺，大量超抽結果，已導致臺灣西南沿海部分地區地層嚴重下陷。

臺灣地區雨量豐沛，惟空間與時間分佈不均，河川流短坡陡，洪枯流量懸殊；颱風暴雨時，河川流量隨降雨而迅速漲落，常泛濫成災，平時及旱季，河川流量甚低，可供利用之可靠水資源有限。

由臺灣年等雨量線圖量計臺灣地區平均年降雨深度爲2,515公厘，折算體積爲905億立方公尺。各區域年雨量以北部區域爲最豐沛（2,934公厘），東部區域次之（2,715公厘），南部區域又次之（2,501公厘），中部區域最少（2,081公厘）。如表3。

臺灣各月降雨量分配極不平均，降雨多集中於五至十月，占全年降雨量78%，每月占6至17%，爲臺灣之雨季亦即豐水期；十一月至四月占22%，每月占2至5%，爲旱季亦即枯水期（參見表2）。

臺灣各區域月雨量分配情形，以北部區域較爲平均；愈向南則分配愈不均勻。每年五至十月雨量由北部區域62%增至南部區域90%。最大月雨量北部區域集中於八月十月；中部區域集中於五至八月；南部與東部區域集中於六至九月。最小月雨量各區域則均發生於十一月至次年二月。

臺灣地區1949年至1990年平均年逕流量爲668億立方公尺，占平均年雨量74%逕流量大部份集中於豐水期（五至十月），有514億立方公尺，占全年77%，枯水期（十一月至四月）僅有154億立方公尺，僅占全年23%，故枯水期間可利用之水資源有限，如表3。

臺灣各區域年逕流量，隨降雨時空之分佈而以南部區域爲最豐（172億立方公尺），中部區域次之（170億立方公尺），東部區域又次之（165億立方公尺），北部區域最少（161億立方公尺）。

臺灣各區域月逕流量分配情形，以北部區域較爲平均；愈向南則分配愈不均勻，每年五月至十月之逕流量，由北部區域63%增至南部區域之91%；最大月逕流量北部區域集中於八月至十月；中部與南部地區集中於六月至九月；東部區域集中於八月至十月。最小月逕流量則發生於一月至四月間。

臺灣地區1991年臺灣各水資源區逕流量詳如表4。

表2　臺灣地區各水資源平均降雨量（1949～1990年）

單位：百萬立方公尺

| 區域 | | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | 臺灣地區 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 集水面積(平方公里) | | 7,347 | 10,507 | 10.004 | 8.114 | 36,002 |
| 年降雨量(公釐) | | 2934.2<br>(100.00) | 2080.8<br>(100.00) | 2501.4<br>(100.00) | 2714.6<br>(100.00) | 2515.2<br>(100.00) |
| 每月分配量 | 1月 | 160.9<br>(5.48) | 46.6<br>(2.24) | 25.1<br>(1.00) | 66.8<br>(2.46) | 68.5<br>(2.72) |
| | 2月 | 185.0<br>(6.30) | 85.2<br>(4.10) | 36.4<br>(1.46) | 86.8<br>(3.19) | 92.3<br>(3.67) |
| | 3月 | 190.9<br>(6.51) | 117.2<br>(5.63) | 52.9<br>(2.11) | 102.4<br>(3.77) | 111.0<br>(4.41) |
| | 4月 | 161.7<br>(5.51) | 139.0<br>(6.68) | 91.5<br>(3.66) | 127.3<br>(4.69) | 127.8<br>(5.08) |
| | 5月 | 244.3<br>(8.33) | 294.3<br>(14.14) | 283.3<br>(11.39) | 263.8<br>(9.72) | 274.1<br>(10.90) |
| | 6月 | 927.1<br>(10.21) | 406.8<br>(19.55) | 492.4<br>(19.68) | 375.2<br>(13.82) | 401.1<br>(15.95) |
| | 7月 | 227.7<br>(7.76) | 292.1<br>(14.04) | 463.7<br>(18.54) | 346.0<br>(12.75) | 338.8<br>(13.47) |
| | 8月 | 297.2<br>(10.13) | 372.4<br>(17.90) | 582.2<br>(23.36) | 408.2<br>(15.04) | 424.0<br>(16.86) |
| | 9月 | 436.2<br>(14.87) | 214.4<br>(10.30) | 334.0<br>(13.35) | 469.4<br>(17.29) | 350.6<br>(13.93) |
| | 10月 | 323.7<br>(11.03) | 51<br>(2.54) | 89.4<br>(3.57) | 276.4<br>(10.18) | 168.3<br>(6.69) |
| | 11月 | 238.2<br>(8.12) | 27.8<br>(1.34) | 28.8<br>(1.15) | 130.9<br>(4.82) | 94.4<br>(3.75) |
| | 12月 | 171.3<br>(5.84) | 34.0<br>(1.63) | 19.7<br>(0.79) | 61.6<br>(2.27) | 64.3<br>(2.57) |
| 枯水期(11~4月) | | 1108.8<br>(37.76) | 449.8<br>(21.62) | 254.4<br>(10.17) | 575.6<br>(21.20) | 558.3<br>(22.20) |
| 豐水期(5~10月) | | 1826.2<br>(62.24) | 1631.0<br>(78.38) | 2247.0<br>(89.83) | 2139.0<br>(78.80) | 1956.3<br>(77.80) |

註：括弧內數值爲各月佔各該區域全年降雨量之百分比（%）

資料來源：水資會(1994)「臺灣地區之水資源」

表3　臺灣地區各水資源平均逕流量（1949～1990年）

單位：百萬立方公尺

| 區　域 | | 北　部 | 中　部 | 南　部 | 東　部 | 臺灣地區 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 集水面積（平方公里） | | 7,347 | 10,507 | 10.004 | 8.114 | 36,002 |
| 年降雨量（公釐） | | 16138.43<br>(100.00) | 16980.52<br>(100.00) | 17174.81<br>(100.00) | 16461.70<br>(100.00) | 66755.46<br>(100.00) |
| 每月分配量 | 1月 | 927.17<br>(5.57) | 125.55<br>(2.50) | 195.32<br>(1.41) | 553.63<br>(3.37) | 2101.67<br>(3.15) |
| | 2月 | 896.41<br>(5.55) | 497.38<br>(2.93) | 176.13<br>(1.02) | 520.05<br>(3.16) | 2809.97<br>(3.13) |
| | 3月 | 911.00<br>(5.64) | 743.25<br>(4.36) | 222.91<br>(1.30) | 586.50<br>(3.56) | 2461.66<br>(3.69) |
| | 4月 | 738.26<br>(4.58) | 984.14<br>(5.80) | 359.48<br>(2.09) | 617.77<br>(3.75) | 2669.65<br>(4.04) |
| | 5月 | 947.67<br>(5.87) | 1518.85<br>(8.95) | 1049.23<br>(6.11) | 954.54<br>(5.80) | 4470.29<br>(6.07) |
| | 6月 | 1422.67<br>(8.82) | 3215.54<br>(18.94) | 3290.03<br>(19.16) | 1826.52<br>(11.10) | 9754.76<br>(14.61) |
| | 7月 | 1067.62<br>(6.62) | 2064.95<br>(12.16) | 3026.74<br>(17.62) | 2058.33<br>(12.50) | 8217.64<br>(12.31) |
| | 8月 | 1772.61<br>(10.98)) | 2995.14<br>(17.64) | 4371.27<br>(25.24) | 2328.29<br>(14.14) | 11467.31<br>(17.18) |
| | 9月 | 2467.52<br>(15.29) | 2420.25<br>(14.25) | 2797.33<br>(16.29) | 2873.94<br>(17.46) | 10559.04<br>(15.82) |
| | 10月 | 2413.31<br>(14.95) | 1058.27<br>(6.23) | 1035.34<br>(6.03) | 2410.43<br>(16.46) | 6917.35<br>(10.36) |
| | 11月 | 1462.24<br>(9.06) | 597.10<br>(3.52) | 409.03<br>(2.38) | 1085.88<br>(6.60) | 3554.25<br>(5.32) |
| | 12月 | 111.95<br>(6.89) | 462.10<br>(2.72) | 242.00<br>(1.41) | 645.32<br>(3.92) | 2461.85<br>(3.69) |
| 枯水期（11~4月） | | 6047.03<br>(37.47) | 3707.52<br>(21.83) | 1604.87<br>(9.34) | 4009.65<br>(24.36) | 15369.07<br>(23.02) |
| 豐水期（5~10月） | | 10091.40<br>(62.53) | 13273<br>(78.17) | 15569.94<br>(90.66) | 12452.05<br>(75.64) | 51386.39<br>(76.98) |

註：括弧內數值爲各月佔各該區域全年降雨量之百分比（%）

資料來源：水資會(1994)「臺灣地區之水資源」

表4　台灣地區各水資源區1991年逕流量

| 區　　域 | 北　部 | 中　部 | 南　部 | 東　部 | 台灣地區 |
|---|---|---|---|---|---|
| 集水面積(平方公里) | 7,347 | 10,507 | 10.004 | 8.144 | 36,002 |
| 年逕流量(百萬立方公尺) | 12670.72<br>(100.00) | 10672.71<br>(100.00) | 15106.93<br>(100.00) | 14598.47<br>(100.00) | 53048.13<br>(100.00) |
| 枯水期(11～4月) | 4733.65<br>(37.36) | 3324.59<br>(31.15) | 1715.11<br>(11.35) | 3735.94<br>(25.59) | 13509.29<br>(25.437) |
| 豐水期(5～10月) | 7937.40<br>(62.24) | 7347.42<br>(68.85) | 13391.82<br>(88.65) | 10862.53<br>(74.41) | 39538.84<br>(74.53) |

註：括弧內數值爲各月佔各該區域全年降雨量之百分比（%）
資料來源：水資會(1994)「台灣地區之水資源」

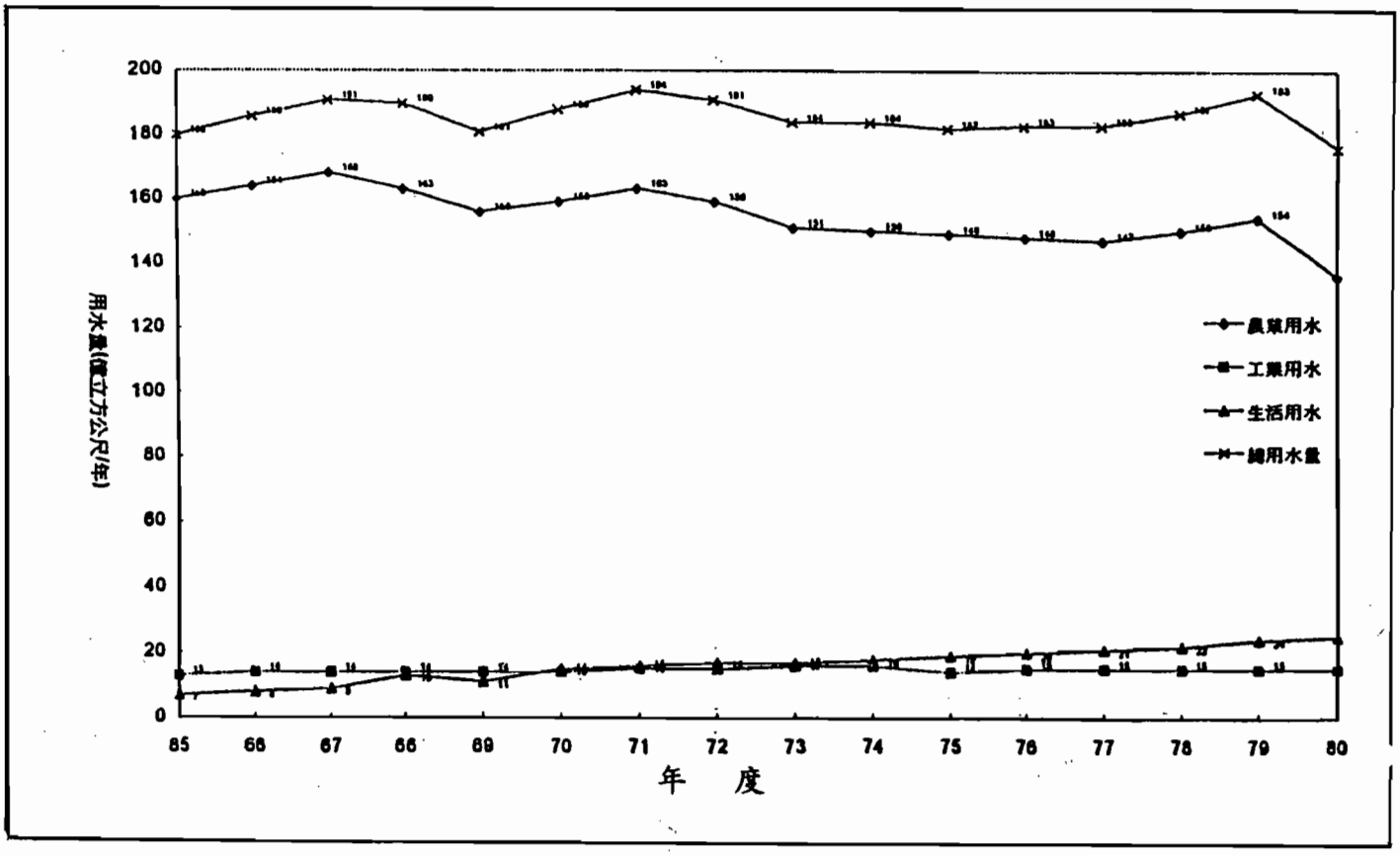



圖1　台灣地區歷年來水資源利用量
資料來源：水資會(1994)「台灣地區之水資源」

台灣地區全年地下水天然補注量平均僅約40億立方公尺，以屏東平原最豐富，濁水溪沖積平原次之，台北盆地又次之。近年民生、工業以及養殖用水增加甚多，各地區均普遍抽汲地下水補注地面水源。地下水之利用，農田灌溉最多，養殖魚塭用水次之，其餘爲工業及生活用水使用；由於地下水成本低廉，水質優良，部分地區已超抽利用，甚至發生地層下陷，破壞水土資源。

台灣地區水資源之利用，早期主要以充裕農田灌溉，提高糧食生產爲目標，

因此農田灌溉用水量占臺灣地區用水總量80%以上；1971年代後期，由於社會結構逐漸改變，國民生活水準提高，工商業發達，加以社會對水資源服務品質之要求日高，開始加速民生與工業用水之無法適時配合開發供應。臺灣地區歷年水資源利用量如圖1。

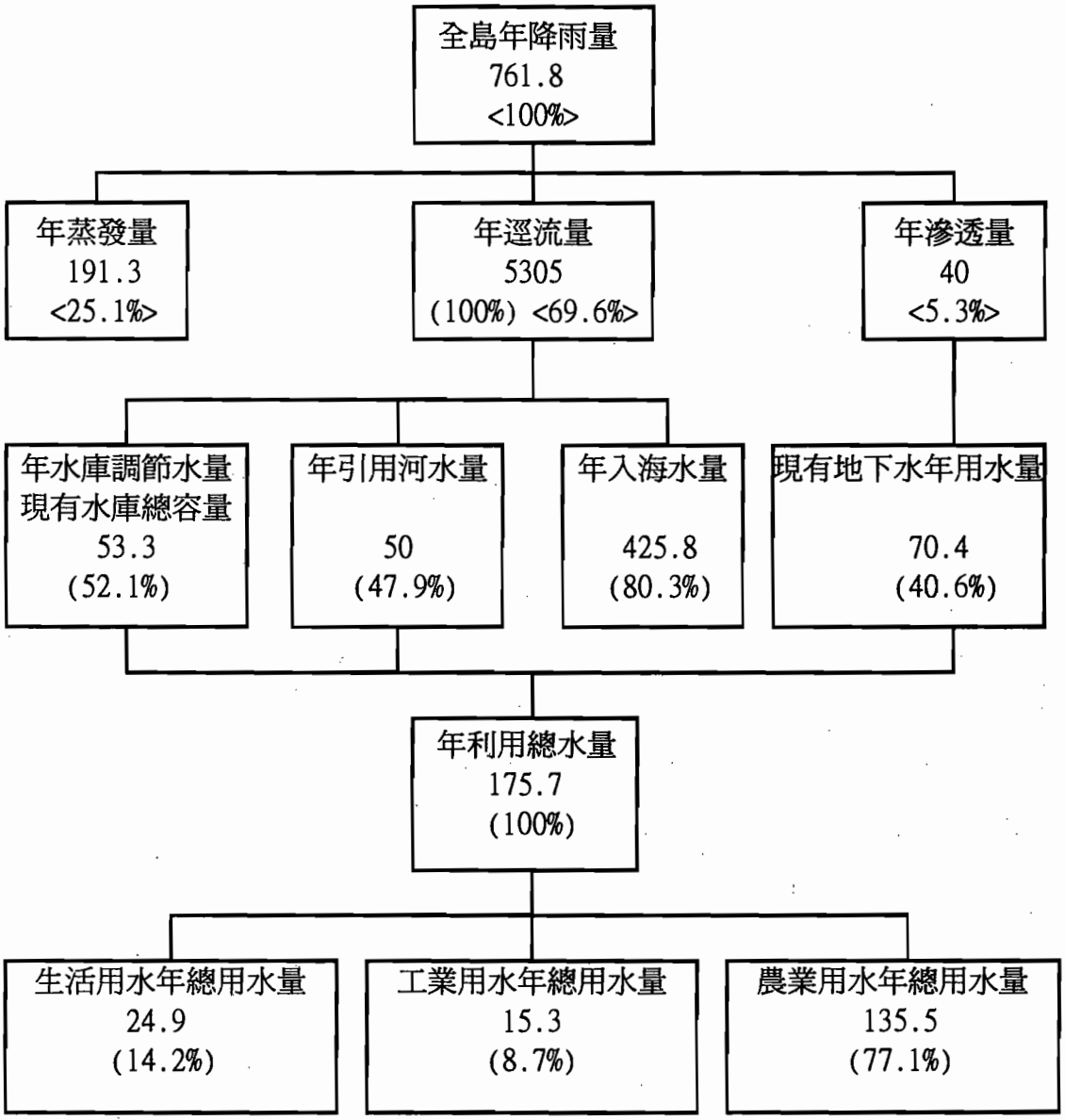
1991年臺灣地區各標的用水總量估計約175.7億立方公尺，其中以農業用水135.5億立方公尺爲最多，占用水總量約77%，依次爲生活用水24.9億立方公尺，工業用水15.3億立方公尺；農業用水中農田灌溉用水量約103.3億立方公尺，餘32.2億立方公尺爲養殖魚及畜牧用水。水源主要爲地面水，利用量約104.3億立方公尺（直接引取河水約50.5億立方公尺，由水庫供應約54.3億立方公尺），約占供水總量59%，其餘抽用地下水約60億立方公尺，水源供需大致平衡，惟局部地區因缺乏可靠水源，枯旱期間仍有缺水情形；各地超抽地下水相當普遍，尤其北部臺北盆地以及中、南部沿海地區，超用情形最爲嚴重。臺灣地區1991年水資源利用概況如圖2。

## 表5　臺灣水資源收支概況

| 山地配分 | 山地面積 $251\times10^8m^2$ | | | | | 沖積面積 $109\times10^8m^2$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 消失量 | 平時流量 | | 洪水時流量 | | 消失量 | 平時流量 | | 洪水時流量 | |
| | 1000 | 650 | | 850 | | 500 | 650 | | 850 | |
| 沖積地分配 | | 河川流量 | 滲透 | 河川流量 | 滲透 | | 河川流量 | 滲透 | 河川流量 | 滲透 |
| | | 450 | 200 | 750 | 100 | | 400 | 200 | 1,300 | 100 |
| 流量$\times10^3m^2$ | 251 | 113 | 50 | 188 | 25 | 55 | 44 | 22 | 141 | 100 |

降水量（以年雨量2,500mm×面積36000Km²計算）

資料來源：根據經濟部水資源統一規劃委員會資料彙（1993）。




附註：< >以降雨量爲基數<100%>

Note：( )以年逕流量爲基數(100%)

[ ]以年利用總水量爲基數(100%)

資料來源：根據經濟部水資源統一規劃委員會資料彙(1994)臺灣地區之水資源。

單位：億立方公尺（$10^8 m^3$）

圖2 臺灣地區水資源利用量

由表5及圖2可知臺灣水資源的供需早已達相當不平衡的狀況，然而以供應量而言，臺灣可以說得天獨厚，有豐富的降雨供應量，但以逕流率而言，則居世界之冠，因此不得不讓我們來徹底研討臺灣水資源的根本問題，由過大的逕流率，知悉臺灣在水資源保育上有先天性之缺陷，也就是說臺灣的自然環境、無論在地形上、或在地質上、對水資源保育有不良的體質存在。緊急的改善方法，無論政府當局或工程人員，最優先考慮到的便是，興建多目標水庫，這對緊急需水的都市而言，無疑的有其立竿見影之效，但從整體的環境保育，以及長期的水資源供需而言，不可否認的，多目標水庫的功效是有其一定的限度(參見表6)，更何況

今後在臺灣各河川上游，要找到類似曾文水庫、德基水庫、石門水庫、翡翠水庫等良好的壩址，已是可遇而不可求之事，如何迅速遏止山坡地的不當開發，提高國民的環保意識，實爲當務之急。

表6　臺灣、日本、美國多目標水庫之比較

| 項目＼地區別 | 臺　灣 | 日　本 | 美　國 |
|---|---|---|---|
| 集水區面積($km^2$) | 3,400 | 7,000 | 170,000 |
| 水庫數目 | 21 | 28 | 17 |
| 平均每一水庫負擔集水區面積($km^2$) | 163 | 250 | 10,000 |
| 雨量 年雨量 | 2,500 | 1,800 | 1,300 |
| 雨量 過去最大雨量 | 1,127mm/24hr | 800mm/24hr | 280mm/24hr |
| 年流量($m^3$) | $250\times10^7$ | $300\times10^7$ | $800\times10^8$ |
| 平均一標個水庫 全貯水量($m^3$) | $8.0\times10^7$ | $30\times10^7$ | $180\times10^8$ |
| 平均一標個水庫 全貯水量/年流量(%) | 3.5 | 10 | 23 |
| 平均一標個水庫 洪水調節量($m^3$) | $0.3\times10^7$ | $0.9\times10^7$ | $135\times10^8$ |
| 平均一標個水庫 洪水調節量/年流量(%) | 1.2 | 3.3 | 17 |

三、坡地開發與水資源

談山坡地開發的問題，對臺灣來說已是老掉牙的話題，但是爲甚麼我們還是始終在對環境影響的死胡同內徘徊? 山坡地開發對環境的負面影響，是盡人皆知的事實，問題的癥結在，大家只知其然，而不知其所以然。也因此每當颱風豪雨帶來災害，既群相指責坡地開發不當，水土保持如何如何等，似是而非的爭議，際遇好的地區則請專家學者調查處理一番，運氣差的則喧騰一時既不了了之。結果坡地開發的問題依舊沒有解決。就如同近年來由於環保意識的高張，垃圾的問題、工程棄土的問題、觀光遊憩的問題、水資源的問題、保安林解除的問題、公地放領的問題、農地釋出的問題等等，政府若無長遠的眼光，事先作慎重的評估及綿密的規劃，既冒然的開放或實施，等問題發生後，既如脫韁的野馬，一發不可收拾。就以高爾夫球場闢建來說，(1)應從一個地區容許幾個球場數，作事前之評估再加以限制，否則漫無限制的於以批准，弄成一個彈丸之地，竟有八個球場，其對環境所造成的衝擊，不言可喻；(2)一個十八洞的球場需要100ha的面積，但以30ha的面積申請，政府亦照樣批准，造成嚴重的超挖，每每一雨成災，下游居民飽受土砂掩埋及缺水之苦，引發民怨莫此爲甚；(3)高爾夫球場的業者經常以填挖平衡，來通過政府的審查，但其土方量動輒在百萬立方以上，對山坡地無論在地形水文的破壞極爲嚴重，尤其對水脈的擾亂，更是難以挽回；(4)政府在原則上規定，球場不得設置於水源保護區之上游，而所謂之水源水質保護區則指定於水庫集水區，以及自來水之取水點，忽略了舉凡二級河川以上之地區皆應列入爲水質水源保護區，限制不得有任何坡地開發的行爲，高爾夫球場更應嚴格限制，但很不幸的，有不少球場或遊憩設施，設置在這些區域內，任其污染水資源，政府又因礙於法令，而束手無策。讓非法者永遠逍遙於法外，守法者永遠是受害者，就如同市區的攤販一樣，成爲都市之瘤，政府爲了取締而耗費無數的社會成本，令人扼腕。再以棄土問題而言，政府在實施六年國建之前，早應未雨綢繆，對棄土的問題，作妥善的評估與規劃，不要與垃圾問題一樣，等到糾紛發生後，

再作永無休止的抗爭與協商，臺灣山多水急，且坡地開發多集中於集水區出水口，將棄土置於山區，必然的後患無窮，建議政府有計畫的投入一筆經費，將全省的廢棄土作統一的管理與調度，最好能進行填海造陸的工程，日本神戶六甲山的移山填海工程，千葉成田機場的海埔新生地，皆是良好的借鏡。臺灣與日本同樣的，由於水土保持與防砂工程的急速發展，河川輸砂量亦相對的快速減少，導至海水不斷的往內陸侵蝕，填海造陸實不失爲一石兩鳥之策。近十年來國家經濟的急速發展，國民生活水準的相對提高，但是生活品質的未見改善，環境品質的日益惡化，山坡地開發不當實難辭其疚。我們雖然擁有2,500mm世界最高的年平均雨量，仍無法倖免於日益深刻的水資源匱乏之慮，此原因無他也是山坡地土地利用不當，濫墾亂伐所致。最近更有公地放領，保安林的解除，租地造林的變更使用，農委會農地的釋出等等，在在顯示出山坡地的開發利用，已演變成關係整個環境保育的問題。政府藉著維護環境生態的平衡與保護自然之美的意圖，於1986年起，在全省陸續的設立了，墾丁、玉山、太魯閣、陽明山國家公園，最近則有雪霸國家公園之籌設，而蘭嶼國家公園，幸好因原住民與學者之據理反對而促使行政院叫停。而事實上，上述的國家公園所管轄的區域，大部分與林務局的轄區有所重疊，林務局自從改爲公務預算，缺少伐木收入後，既投入森林遊樂事業，廣闢財源。但其所衍生集水區水文生態環境的惡化，已非門票遊憩收入所能挽回，它們所換來的是，林地的踐踏、髒亂、水質的惡化、溪流量的驟減、微氣候的改變、滿目瘡痍等等。而政府卻動輒撥款百億，投入國家公園，將昔日林務局所作的努力與貢獻，無情的於以抹殺。在臺灣同樣是多目標水庫，但其管轄權卻千變萬化，有中央級的德基水庫，有省府級的石門水庫、曾文水庫，市政府級的翡翠水庫，其上游又由臺北水源特定區管理委員會接管，一旦發生問題，既相互推委責任，也就無怪乎至今我們還無法研擬出一套有效的水資源政策，水資源的日益匱乏，除了上述山坡地開發不當之外，政府的舉棋不定，忽視我們的林業政策，政府實責無旁貸。如今政府如在民代的壓力之下，恣意的解除保安林、放領公地、租地造林任其變更作物，釋出寶貴的農地。則臺灣的山坡地，必然的不再是青山綠水，風光明媚，而是充滿醜惡與廢墟而已。值此關鍵時刻，政府實應審慎評估，摒除一切人情關說，拿出壯士斷腕的決心，否則山坡必將遭受嚴重浩劫，國土的沙漠化亦指日可待。最近更發現山坡地開發上最惡劣的現象，就是在臺灣中南部山區滿坑滿谷，大面積的栽植檳榔樹，已有取代森林、果樹、茶園之勢。經調查檳榔園土地的結果，竟意外的發現，業已發生大面積的深層風化，其深度亦達30m以上，在其上闢建的公路或產業道路，邊坡皆有嚴重的塌陷與寸斷的現象，地下水位亦急速下降，碩大的檳榔葉，除了加速降雨的蒸發之外，豪雨時大量的幹流，亦助長了地表逕流的迅速流失。促成了檳榔園地下水位的急速下降，並加速園內地層的風化，水源涵養的功能損失殆盡。更何況現在的檳榔園，已非昔日農民點綴式的小面積栽植，而是企業家大面積的經營，其栽植方式是將大面積的山坡地，使用大型推土機或怪手，將地上物悉數連根鏟除，然後栽植五，六年生之檳榔樹，其經營面積小則二、三公頃，大則四、五十公頃，其破壞山坡地的慘烈，實令人怵目驚心。而更令人憂慮者，據調查得知，目前檳榔園每一公頃一年的純收益達兩百萬元，利之所在趨之若鶩，且目前林業經營已無利可圖，稻米生產過剩導至農地廢耕，農產品又飽受中間商之剝削，生產者往往未蒙其利而先受其害，加上政府重工輕農的政策，在經濟掛帥，農地轉換建地的暴利，一年一公頃兩百萬的誘惑，又有誰願意爲似是而非的環境保育、水土保持，棄手中的既得利益於筆履？大家記憶猶新的，1988年梨山德基水庫保護帶，蘋果、水蜜

年一公頃兩百萬的誘惑，又有誰願意爲似是而非的環境保育、水土保持，棄手中的既得利益於筆履？大家記憶猶新的，1988年梨山德基水庫保護帶，蘋果、水蜜桃及水梨事件，當時政府爲了杜絕果樹的繼續蔓延，乃毅然的引進美國蘋果，本人曾以政府此舉對果農未免過於殘忍，而據理反對，認爲德基水庫的問題在於公路開闢的棄土，造成水庫保護帶的崩塌，果農的問題主要是在噴灑農藥，污染水庫水源，因此將一切責任，歸疚於果農，斷然引進美國蘋果，熟之果賤傷農，農民在自求生存之壓力下，紛紛改植高冷蔬菜，在大量使用有機肥料之下，蚊蠅叢生、水庫的優養化，昔日的青山綠水，潔淨的梨山景色，已蕩然無存，時至今日梨山的夢魘，尚揮之不去，最近更因全省長期不雨，遭受三十九來所罕見的水資源匱乏，水質的惡化更是日趨嚴重。全省大部分的水庫，也因蓄水量的銳減，水質亦相行惡化，政府當時未能未雨綢繆，顧全大局全盤考量，而造成梨山以及德基水庫，難以挽回的局面，政府對坡地的開發一直欠缺整體的考量，以及律法上之規範，政府舉棋不定，實難辭其疚。

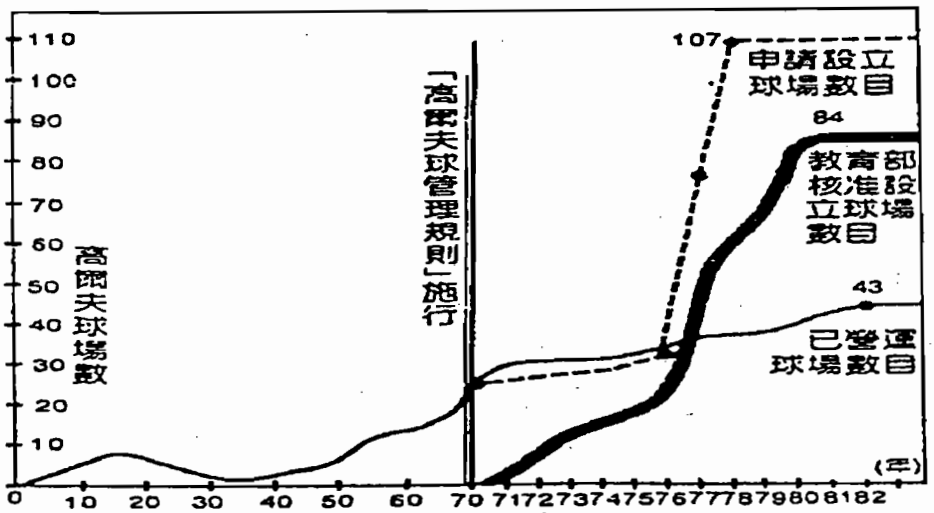



圖3　台灣歷年高爾夫球場數目增加趨勢圖(民生報、1993)

表7　歷年台灣檳榔栽培面積與產量

單位：面積(公頃)；產量(公噸)

| 年 | 種植面積 | 收穫面積 | 收穫量 | 年 | 種植面積 | 收穫面積 | 收穫量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1941 | — | 527 | 2,651 | 1979 | 2,840 | 2,201 | 17,531 |
| 1951 | — | 599 | 1,339 | 1980 | 3,354 | 2,326 | 19,959 |
| 1961 | — | 623 | 3,718 | 1981 | 4,100 | 2,839 | 24,358 |
| 1971 | 1,607 | 1,333 | 10,075 | 1982 | 4,428 | 3,125 | 27,024 |
| 1972 | 1,597 | 1,347 | 12,281 | 1983 | 5,772 | 3,944 | 30,102 |
| 1973 | 1,474 | 1,261 | 10,344 | 1984 | 6,936 | 4,645 | 36,987 |
| 1974 | 1,685 | 1,432 | 13,612 | 1985 | 8,902 | 6,082 | 55,723 |
| 1975 | 1,735 | 1,441 | 14,554 | 1986 | 11,061 | 6,960 | 61,394 |
| 1976 | 1,878 | 1,646 | 15,997 | 1987 | 15,521 | 9,553 | 61,414 |
| 1977 | 2.110 | 1,862 | 16,961 | 1988 | 24,266 | 16,092 | 91,936 |
| 1978 | 2,448 | 1,927 | 21,373 | 1989 | 33,487 | 22,377 | 107,563 |

近100mm以上的豪雨，然各地水庫水位未見上升，自然被破壞得何等嚴重，未見政府當局虛心檢討，山坡地的開發已將臺灣的水脈，破壞得肢離破碎，高速道路的闢建，使臺灣的水文環境頓失平衡，大面積的栽植檳榔，高山茶及高冷蔬菜，污染及腐蝕了我們無可取代的水資源地帶，現在正是大自然給我們的教訓與報應的時候，現在我們應該以懺悔之心，在今後將持續不斷的水資源匱乏的壓力下，期望能喚醒國民的公德心，對自己的生活環境，能負起保護的觀念與責任，政府也應認清，經濟發展固屬重要，但我們絕不能容忍，犧牲農林業來發展工業，事實上我們外匯存底的節節上升，是國民忍受長期污染所換來的代價，二十多年來的國家經濟建設史，也可以說是一部臺灣農民與生存博鬥的血淚史，農民始終在果賤傷農的壓力下，尋求生存。水庫的優養化，水位的持續降低，水資源的日益匱乏，在在冰凍三尺，絕非一日之寒，長期以來政府的重工輕農，毫無誠意的農業林業政策，造成今日的窘境，政府實難辭其疚。我們呼籲政府拿出誠意來制訂農林業政策，對目前正醞釀中的，保安林的解除，公地的放領，農地的釋出，水庫集水區的保護等等，實應多多尊重與聽從專業人員之意見，從新評估，並嚴格把關，如此我們的環境才能重燃生機，使水資源匱乏成爲歷史名辭。

五、參考文獻


1.楊萬全(1982)　水文環境對坡地開發之影響　營建世界雜誌社—山坡地開發專輯 P.31～39。

2.陳信雄、陳明杰(1986)　森林對防洪與水資源保育效益之研究　國科會—臺大合作研究報告 39：1～10。

3.陳信雄(1991)　森林水文學　千華圖書公司 P.435～523。

4.陳信雄(1992)　水源地開闢爲高爾夫球場之商榷　農委會「高爾夫球場與檳榔園對水土保持衝擊」專題討論會論文集 P.10。

5.陳信雄(1993)　不同土地利用對水資源涵養效益之調查研究　中華林學季刊 26(3)：41～61。

6.陳信雄(1994)　檳榔—臺灣資源另一殺手　臺大實驗林研究報告 8(2)：99～102。

7.陳信雄、楊蔚宇(1996)　不同土地利用對水資源涵養效益之研究　臺大實驗林研究報告 10(1)：25～34。

8.臺灣省農林廳(1990)　臺灣檳榔調查 P.45。

9.水資會(1994)　臺灣地區之水資源。

10.村井宏(1985)　林地及土壤保全機能，關する研究　日本林業試驗場研究報告 274：23～84。

11.福島、鈴木武片(1988)　芝生地の森林地とに對する水文特性の關連　新防砂 40(5)：4～13。

# 全球氣候變化與生物多樣性

吳榜華[1] 孟慶繁[2] 趙元根[3] 劉延春[4]

摘　要：

本文綜述了全球氣候變化與生物多樣性的研究現狀，討論了全球氣候變化引起物種滅絕的內在機制，並從全球變暖與生物多樣性丟失間的正反饋因果關係出發，指出保護全球生物多樣性對遏制全球變暖的重要價值，同時也指出了生物多樣性與全球氣候變化研究的方向。

關鍵詞：全球氣候變化　物種滅絕　生物多樣性　保護

# Globe Climate Change and Biodiversity

Wu Bang Hua　Meng qingfan　Zhao Yuangen　Liu Yanchun

Abstract: This paper summarized the research on the global climate change and the biodiversity and discussed the internal mechanism of the globe climate change causing to species extinction， According to the positive feedback causality between the globe warm being warmer and biodiversity， it pointed out that reserving globe biodiversity has a great value for holding back globe warmer and the direction of research on biodiversity and globe climate change.

Keywords Globe Climate Change Species Extinction Biodiversity Reservation

全球變化（ globle change ）是目前涉及領域廣泛的生態學熱點之一，它包括全球氣候變化（ globle climate change ）、土地利用和覆蓋的變化、養份生物化學循環以及剛剛劃入該領域的生物多樣性丟失等方面內容。在過去很長一段時間內生物多樣性的研究並不屬於全球變化的範疇，而是與全球變化、生態系統的持續發展並列爲全球生態學研究三大熱點論題（ Luchenco *et al.*, 1991 ）。生物多樣性最近被劃爲全球變化領域是由於生物多樣性已不是孤立的局部的現象，而是和全球變化的其他內容密不可分的，一方面全球氣候等的變化會影響到全球生物多樣性的變化；另一方面，生物多樣性的變化也必定會影響到陸地和海洋生態系統的功能，從而影響全球氣候變化、養份循環和地球化學循環。生物多樣性已和全球氣候變化並列爲全球變化的重要內容。

---

[1] 吉林林學院教授、博士生導師

[2] 吉林林學院副教授、博士

[3] 黃河水委會天水水保站工程師

[4] 中國林學會森林旅遊分會常務理事、碩士

而全球氣候變化，特別是由 $CO_2$，等溫室氣體濃度升高引起的全球變暖對生物多樣性的影響將成爲今後全球變化研究的重點。

一、全球氣候變化的趨勢

普遍認爲大氣中 $CO_2$，等溫室氣體濃度的升高肯定會導致全球氣候的變化，但未來氣候變化的確切速度和程度還很不肯定，氣象專家較一致的觀點是下一世紀全球顯著的變暖是肯定的，美國國家科學院（NAS，1987）也認爲全球地表溫度的升高和平均降雨量的升高是“很可能的”。

據預測，在未來的 40 年內，$CO_2$等溫室氣體的濃度反將比目前高一倍，這種濃度足以使地球溫度上升 3 ± 1.5 ℃（Hansen *et al.*,1988；NAS，1987；NRC，1983；WMO，1982；Schneider&Londer，1984；Schneider *et al.*，1991）。更大膽的估計認爲地球溫度將升高 4.2 ± 1.2 ℃ (Schesinder，1989)，甚至 8 ～ 10 ℃（Lashof，1989），最保守的估計到 2025 年地球溫度也將上升 1 ℃。到下世紀末地球溫度將上升 3 ℃，即以每 10 年 0.3 ℃的速度上升，而且陸地上不同的地區增溫的幅度也必定存在差異，北緯高緯度地區增溫比低緯度地區大，局部地區也表現出差昇，歐洲南部和中美洲的增溫幅度比全球的平均增溫值大(Hokghton *et al.*,1990）。

大氣成份的變化，或者說全球氣溫的升高將影響到全球降水格局的變化，美國環境保護局（1988）認爲在中緯度地區、內陸地區根可能在夏季出現長期的乾旱。Kellogg & Schuare（1981）預測在下世紀初葉的幾十年內北美大平原的降水將下降 40 %。但準確地預測全球變暖對降水量的影響是困難的，全球降雨量變化存在著空間異質性。

雲層分布的變化也是重要的全球氣候變化內容，據 Henderson-Seller（1986，1989）和 MC Gutte & Henderson-Se1ers（1989）的研究，從本世紀初以來，全球的雲層出現增加的現象。在印度 50 年代內雲層增加了 7 %，歐州 80 年內增加了 6 %，澳大利亞 80 年內增加了 8 %，而北美在 90 年中增加了 9 %。這些變化也可能是由於觀測誤差引起的，因而，目前還不能肯定全球雲層是否因大氣成份的改變而增加（Vitouseko，1994）。

也許，氣候變化表現並不在平均值的變化上，而在於極端氣候條件(如高溫、水災等)的出現頻率上。可奇怪的是在過去幾十年來極端的氣候條件的發生頻率不但沒有上升而且呈下降的趨勢（Houghton *et al.*，1990；林光輝，1995）。

二、全球氣候變化對物種分布及滅絕的影響

在陸地上，不同的地區分布著不同的物種集，也即不同物種具有不同的獨特的地理分布，物種的這種特癥是物種生物學特性和環境條件共同作用形成的。一般來說，物種的分布具有一定的穩定性，但也隨物種有機體的繁殖、擴散和環境因子的變化而變化，表現爲物種分布範圍的擴大和縮小，從而引起物種的遷移和滅絕。

在影響物種分布的諸多因素中，最重要的是溫、濕度。在大的時空尺度上來看，在過去的數萬年間，全球氣候的變化是緩慢的，地球上生物群落對這種變化的反應也是漸進的和緩慢的，在這樣大的時間尺度上直接研究氣候變化對植被的作用是完全不可能的。但人類可以從動、植物物種在過去和現在分布變化的對比研究、從對氣候敏感的物種的現代空間分布特癥的分析和對古植被和古氣候的變化的分析中間接地推測，當然也不排除在最近幾十年乃至上百年間植被或物種分布對氣候變化的影響上來直接觀察和研究，但畢竟時間尺度小，可資利用的資料少。

已有大量的證據表明，隨著全球氣候的變化，特別是氣溫的變化，物種的分布有沿海拔和緯度梯度移動趨勢。按海拔每升高 500m 氣溫下降的 3 ℃來推算，物種在海拔上移動 500m 相當於在緯度方向移動大約 250 km 。但在溫帶地區，Peters & Parling(1985 ) 認爲，全球溫度上升 3 ℃，對於許多物種來說，在緯度方向的移動至少 300 km 。

同時也已注意到群落中的物種對氣候變化的反應不同，即移動的速度存在差異，群落內的物種並不都隨群落同步向一個方向移動，所以在移動中，群落的物種集常常發生變化。最近對美國東南部北美鼠（ *Nedtoma* spp ，）欠冢化石的研究表明，在 22,000 ～ 12,000 年前的濕潤、適宜的氣候條件下，植物群落並沒有顯著的變化（ Van Devender & Speulding ， 1979 ），而在北美東部，冰川後期的群落常是由短命的種集組成，並常隨個體種分布的變化而改變（ Davis ， 1983 ； Grabam ， 1986 ）。

（一）古氣候的變化與古植被

在古植被和古氣候研究中，通過對不同地區不同地質時期的孢粉組合的分析，可以恢復古植被和古氣候的概貌，能比較清楚地發現古氣候變化對古植被遷移的影響。

據大量孢粉資料分析，第四紀以來，我國植被由於構造運動和氣候波動的影響，植物群在緯向移動約 15 ～ 20 ° ，垂向移動達 1000 ～ 2000 m 。結果，北方或高山地區的暗針葉林可以生長到北緯 30 ° 以南的山地的陵區，南方的亞熱帶植物孢粉可在北緯 45 ° 以北和西藏高度 4000 ～ 5000m 的山區發現。

山核桃（ *Carya* ）在早更新世間冰期中，一直分布在現今北緯 47 ° 左右的三江平原，而今山核桃只分布在北緯 30 ° 以南，二者相差 17 個緯度，溫差達 8 ～ 9 ℃，即那時溫度比現在高 8 ～ 9 ℃（徐馨， 1985 ）。在北京地區小五莊泥炭剖面中部靠底的淤泥層中我們還分析出了水蕨屬（ *Ceratopteris* ）的孢子，而現在該屬中的種只能生長在長江以南，泥炭沉積時期的氣溫比現在高 2 ～ 3 ℃（嚴富華等， 1985 ）。

李文漪（ 1962 ）曾分析廬山垂直帶的表土孢粉，從其孢粉圖譜中看出在 1000 ～ 1300m 的表土是以松樹孢粉爲主，尤其是 1300m 處松屬花粉占絕對優勢，王開發等（ 1934 ）對小天池表土孢粉分析結果，也是以松屬孢粉占絕對優勢，對比表土的孢粉組合看出該帶孢粉組合相似於 1300m 的孢粉圖式，其植被的分布

高度應比目前採樣位置高 200m 左右，從溫度變化來看是大約 1 ℃左右，氣溫升高 1 ℃植被在垂直高度向上移動了近 200m 。

對內蒙古黃旗海地區的早全世孢粉組合的分析證明，該期雲杉、冷杉孢粉層位一般在 1295 ～ 1300m 左右，如果當時高於平地 100m 以上的山坡爲雲杉生長地，那麼當時雲杉生長在 1400m 左右，而現在大青山雲杉林分布在 2000m 以上，8000 年來生長線提高了 600m 左右，按平均每升高 100m 降溫 0.6 ℃計算，當時溫度比現在低 2-3 ℃（劉清泗， 1992 ）。

（二）指示植物空間分布與氣候

由於植物和環境的密切關係，某些對環境要求嚴格的植物，對環境有明顯的指示作用。雲杉、冷杉對溫度比較敏感，通過分析它們在不同緯度區分布高度的差異，可以從另一方面說明氣候變化對植物的影響。

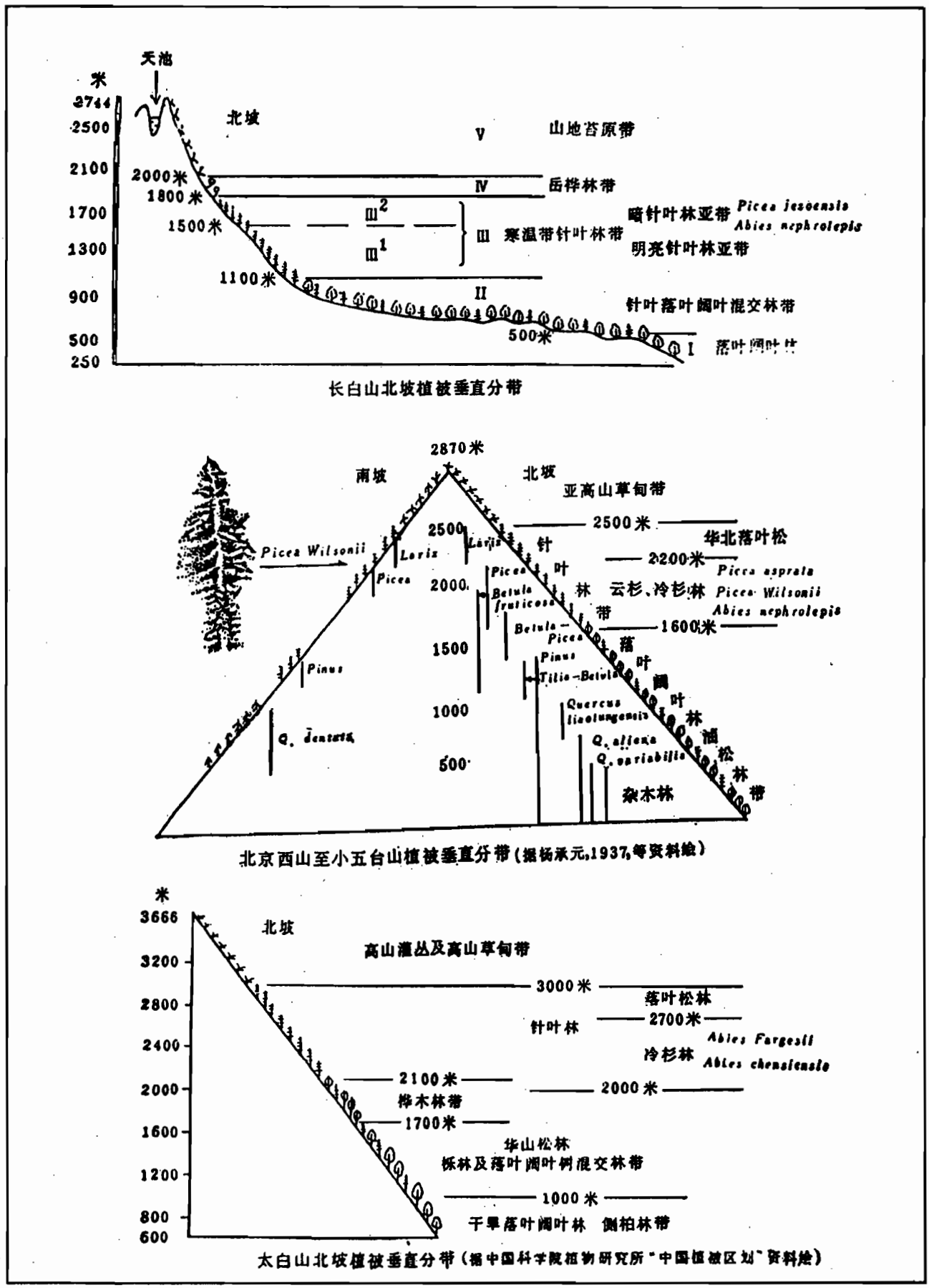
據收集到的資料，雲杉、冷杉林在最北長白山分布在海拔 1500 ～ 1800m ，在中部的五臺山分布在海拔 1600 ～ 2200m ，而在最南的太白山則分布在海拔 2000 ～ 2700m ，可見雲杉、冷杉林在山上分布的海拔高度是越向南越高（周昆叔， 1985 ），也可以認爲相當於氣溫升高時雲、冷杉林分布向高海拔收縮（見圖 1 ）。

（三）短時限內物種對氣候變化的反應

眾所周知，當溫度和降水格局發生變化時物種的分布會隨之而發生變化，因爲物種總是傾向於分布在氣候條件最適宜的區域。在不列顛島上一種蛺蝶（ *Ladoga camilla* ）和弧蝶（ *Polygonia calbum* ）在上世紀，由於氣溫升高了大約 0.5 ℃，它們的分布區極大地擴展了，在本世紀上半葉，樺木（ *Betula pubescens* ）也隨著氣溫的上升而將分布區向北拓展到瑞士苔原（ Kullman ， 1983 ）。作爲對全球溫度上升的反應，物種分布傾向於向較高緯度或高海拔區轉移或收縮，尤其對溫度敏感的物種更是如此，短樺（ *Betula nana* ）只能生長在溫度不高於 22 ℃的區域，隨著全球的變暖，它的分布區將肯定向極地方向轉移。

（四）全球變暖與物種滅絕

作爲全球變暖對物種的極端影響，物種滅絕的可能性及速度將遠高於以往。這是由於下一世紀全球變暖的速度（ 0.3 ℃／ 10a ）是過去 10 萬年中速度最快的，只有能迅速適應這種變化速度的物種才能生存，而許多物種在對氣候變化的適應方面具有很強的保守性，即其對氣候變化耐性的進化速率，遠遠慢於氣候變化速率而使其面對氣候的迅速變化而滅絕；氣候變化引起的種集變化，使得物種將面臨外來種的競爭壓力，競爭力弱的鄉土種很可能滅絕；物種面對全球氣溫升高的另一條逃生路線是向高海拔或高緯度退縮。在中緯度的山地物種更是如此，但是山頂比山基面積小，物種越向上移動，分布面積越小，種群越小，它面對環境和遺傳壓力越大，易於滅絕，當物種退到山頂再無路可退時，只能爲更耐溫的種所取代而在當地滅絕。在緯度方向向極地遷移的種，若在遷移途中遇到大的自然障礙（沙漠、海洋等）阻隔而無路可退時也將面臨滅亡。



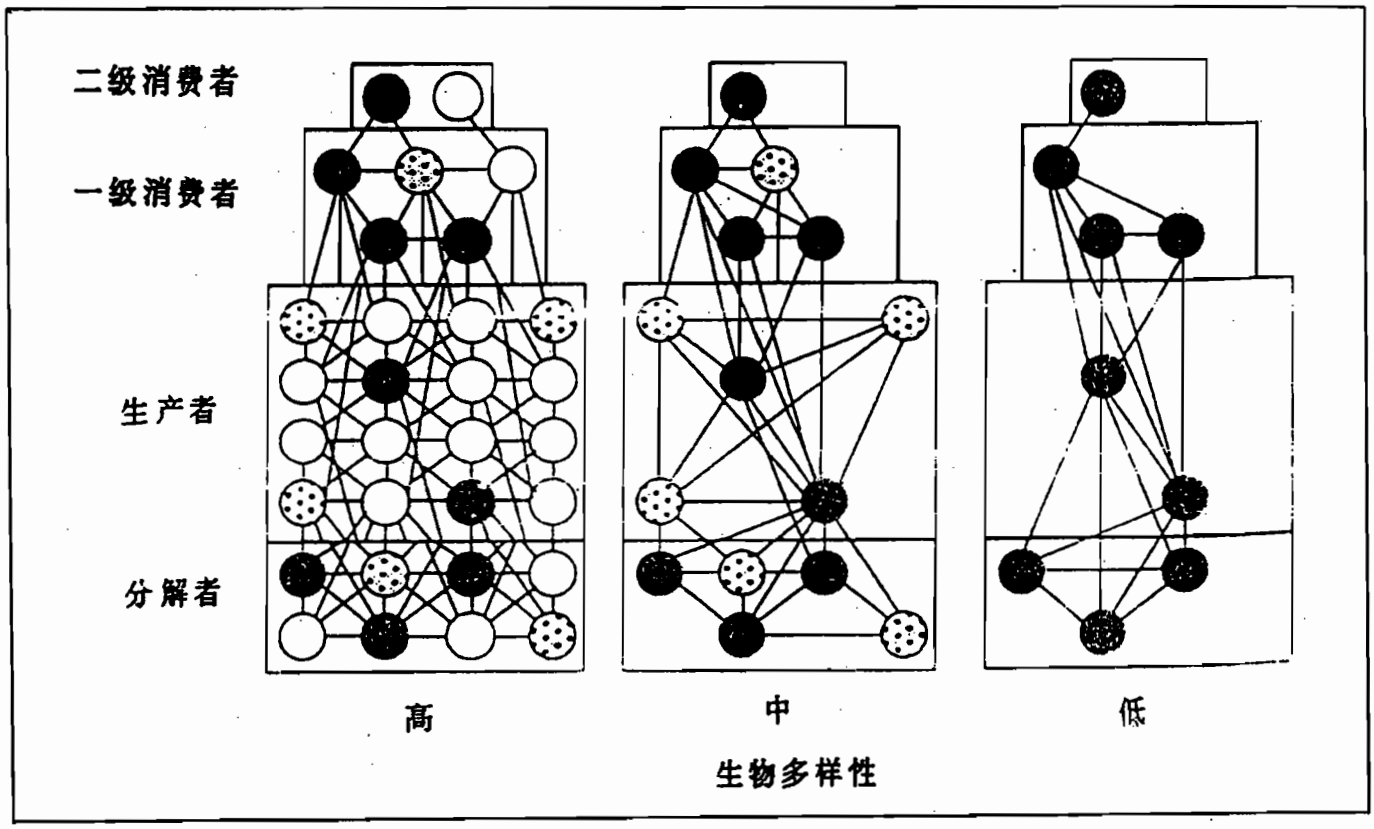

圖一、長白山、小五臺山、太白山北坡植被垂直分帶（著重雲杉、冷杉林帶）圖（引自周昆叔,1985 ）

三、生物多樣性丟失對全球氣候變化的影響

生態學界一直把生物多樣性丟失作爲全球變化的後果加以考慮，而很少有人考慮或研究全球生物多樣性丟失可能對生態系統乃至全球氣候變化的影響。眾所周知，生物圈其實是一個巨大的生態系統，而這個系統的生命組份是動物、植物、微生物，這些生物組份的差異將極大地影響生態系統的功能和生態過程。但是，生物多樣性究竟在生態系統功能的意義上的作用是什麼，生物多樣性的丟失及丟失的程度究竟如何影響生態系統，就此不同的生態學者觀點不同。一種觀點即“鉚釘學說“認爲生態系統中的每個物種都是飛機上的一顆鉚釘，丟掉每一顆都將對系統功能產生影響，但不同部位的鉚釘重要程度不同，關鍵部位的鉚釘丟掉可能引起系統的崩潰，而非關鍵部位的鉚釘的丟失則對整個系統影響不大。另一種觀點即“冗餘學說”，認爲系統中的物種在對生態系統功能的貢獻上都是相同的，物種存在冗餘，因爲系統中可能有許多物種執行相對的功能，或同一物種在不同條件下可執行幾種不同的功能。這兩種假說都允許生物多樣性的丟失，但都有一個程度的限制。究竟物種如何影響生態系統目前還知之甚少，更不用談具體的研究了。因爲從大尺度準確地探測生態系統生物多樣性的丟失對生態系統功能（包括 $CO_2$ 氣體的吸收速率）的影響是十分困難的。爲了定量的說明生物多樣性下降的影響， Shahid naeem(1994 )通過用操作微生態系統的方式進行了模擬研究，在實驗中 Shahid Naeem 組建了具有不同生物多樣性梯度的微生態系統，生態系統多樣性分高、中、低三個水平（實驗設計和物種組成見表 1 和圖 2 ），從群落呼吸、分解、水份維持、養份維持和生產力五個方面加以觀測。研究表明，生物多樣性高的群落對 $CO_2$ 消耗比多樣性低的群落高，在一定程度上真實生態系統生物多樣性的丟失意味著生態系統對 $CO_2$ 的固定能力下降，也意味著陸生生態系統生物多樣性的丟失將降低其對溫室氣體 $CO_2$ 的吸收能力。而這又在客觀上加速了全球變暖的過程，當然這方面的研究結果還需進一步確定，這種趨勢足以警醒人類應該加強對生物多樣性的保護，因爲生物多樣性丟失的第一位原因是人爲破壞，只有進行有效的保護才能避免“全球變暖～生物多樣性丟失”這種惡性循環。

四、結　　語

大氣中 $CO_2$ 濃度的升高，全球變暖導致了植被分布的變化、物種局部的滅絕直至在整個地球上的滅絕，可以預見在即將到來的下一世紀，這種過程將隨著全球變暖速度的增高而加劇。現在全球物種的滅絕速率比人類干擾前快 100 ～ 1000 倍（ Bardecki *et.al.* 1990 ），某些物種滅絕可能導致基本的生態過程的毀滅，進而導致其它物種乃至整個生態系統的毀滅，人類活動比單獨的氣候變化對物種滅絕的作用來得更大（林光輝， 1995 ）。在全球變暖和物種滅絕間存在著正反饋關係，人類必須深刻地認識這種關係以減小人類自身種下的苦果的影響。




圖二 具有不同生物多樣性的三種模擬微生態系統的組成、結構
圖中圓圈代表物種，實心圓代表 3 類微生態系統中共有的物種套；斑狀圓代表高、中多樣性微生態系統中共有種套；空心圓爲高多樣性微生態系統中獨有的物種套（引自 Shilhid · N ， 1994 ）

大氣中 $CO_2$濃度的升高而引起全球變暖的進程在人類能找到化石燃料代用品以前是不可能停止的，人類能做到的是減慢這種進程，減少化石燃料的使用，最重要的是減少由於人類干擾而引起的物種乃至生態系統的破壞，通過有效的保護途徑保持瀕危的物種、生態系統。面對下一世紀不可避免的全球變暖趨勢，應該加強物種對氣候變化的反應的研究和監測，制定生物多樣性保護的長期和應急計劃，加強生物多樣性的基礎研究，畫定瀕危動植物的自然保護區以實現生物多樣性的就地保護，但保護區的劃定應考慮全球變化的影響，保護區應位於該種或該類型生態系統分布區的北緣或更高的海拔位置。當然現在對有關全球氣候變化與生物多樣性丟失的研究還較少，許多內在的機制還不清楚，隨著研究的深入，人類面對氣候的變化將能更有效地保護人類賴以生存的生物多樣性資源。

表一　模擬群落的物種組成

| 群落 | 植物種 | 植食種<br>捕食種 | 土壤動物 |
|---|---|---|---|
| Ⅰ | *Senecio vulgaris* | 蚜蟲 *Myzus ornatus* | earthworms |
| | *Stellaria mediia* | | *Lumvricus terrestris* |
| | | 蚜蟲寄生物 | 彈尾目 |
| | | *Aphidiud colmanii* | *Megalothorax incertus* |
| | | 蝸牛 *Helix aspersa* | *Folsomia candida* |
| | | 蛞榆 *Agriolimaxdx reticulata* | |
| Ⅱ(+Ⅰ) | *Chenopodiun album* | 蚜蟲 *Brevicoryne brassicae* | *Sphaeridia c. f. pumilus* |
| | *Spergula arvenis* | | *Protaphorura c. f. armata* |
| | *Cardamine hirsuta* | | |
| Ⅲ(+Ⅰ+Ⅱ) | *Aphanes arvensus* | | |
| | *Arabbidopsis thaliana* | 白蠅 *Trialeuroides vaporariorum* | *Proisotoma minuta* |
| | *Capsella bursapastris* | | |
| | *Conyza canadensis* | | |
| | *Lamium purpureum* | 白蠅寄生物 | *Pseudosimeela alba* |
| | *Poa annua* | *Encarsia formosa* | *Mesaphorura* |
| | *Sinapis arvensis* | | |
| | *Sonchus oleraceus* | | |
| | *Tripleurospermum inodorum* | | *machrochaeta* |
| | *Veronica arvensis* | | |
| | *Veronica persica* | | |

（引自 Shahid N ， 1994 ）

參考文獻

1．劉清泗、李華章　中國北方農牧交錯帶全新世環境演變及預測地質出版社 1992

2．嚴富華等　據花粉分析試論北京地區全新統的劃分　第四紀驗粉分析與古氣候　科學出版社 1985

3．王開發、張玉蘭　江西廬山全新世沉積物的孢粉研究　第四紀孢粉分析與古氣候　科學出版社 1985

4．李文漪　1962　湖南洞庭層泥炭的孢粉分析及其地質時代和古地理問題　地理學報 Vo.1，28　No.1

5．周昆叔　距今兩萬至三萬年間中國北方河谷、平原區冷杉、雲杉植被分布的意義第四紀孢粉分析與古環境

6．林光輝　全球變化研究進展與新方向現代生態學講座　科學出版社 1995

7．Davis,M.B.,1983 Holocene vegetation history of the eastern united states.In late--Quaternary Environments of the united states, Vol.2. The Holocene. ed,H E Wright,Jr., PP. 166～181. Minneapilis：University of Minnesota press.

8．Hansen,J., *et al.* 1981. Climate impact of lncreasing atomospheric carbon Science, 2i3, 957～966.

9．Houghton,j,T., *et al.* （eds）1990, Climate change： The lPCC Scientipic Assessment New York：Cambridge univ. Press

10．Kollogg.w.w., & Schware,R, 1980, Climate Change and society：Consequence or lncreasing Atomospheric Carbon dioxde. Boulder,C $O_2$ ： Westview Press.

11．Lashof ,D. A., 1989, The dynamic greenhouse, feedback processes that may Influence future concentrations of atomospheroc trace qass and climate change, Climatic Change, 14, 213～242.

12．National Academy of sciences （NAS） 1987 Current Issues in Atmospheric change, Washiton,D.C： National Academy Press.

13．Peters,R,L,& Darling ,J. D. 1985, The greenhouse effect and nature reserves Biosci 35（11）, 707～717

14．Schneider,S.H.,& londer R 1984. The coevolution of limate and Life. San Francisco： Sierra Club Books.

15．Schneider, S.H., Mearns L & Cleick, P. H, 1991. Climate----Change scenarios for impact assessment. In Globle Warming and Biological Oiversity, ed. R,L Peters & T. E. Lovejoy：New Haven： Yale Univ Press

16．Schlesinger,M.E. 1989 Model Projections of the climate changes induced by increasing atmospheric $CO_2$ Climate and Geosciences ed .A.

Berger,S.H. schneider & V.C. Duplessy, PP. 375---416. Dordrecht : Kluwer, 80
17 · Peters.R,L. 1994, Conseroing biological diversity in the face of climate change in. Bioaniersity and Landscapes, ed. kim. k.c.& Weaver,R.D. PP. 105 ~ 132, The Press Syndicate of University of Cambridge.
18 · Naeem,S. *et al.*, 1994 Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems, Nature, Vol368 ; 734 ~ 737.
19 · Vitousek.P.M. 1994. Beyond global warming : Ecology and global change,Ecology 75 : 1861 ~ 1876.

# 酵 素 科 技 之 應 用

蕭介夫[1]

摘　要：

酵素是一種生物催化劑，它在生物體內催化所有構成細胞內新陳代謝之反應，它也可以廣泛應用於工業上（生產或轉變生物物質或有機化合物），在分析檢驗或醫藥上。酵素在應用上比一般化學催化劑有許多優點：

1. 催化效率很高：比非酵素催化劑快 $10^8$~$10^{11}$ 倍，因此可在溫和條件（溫度、pH 、壓力）下進行高效催化作用，不但可以節約能源設備等且對於較不穩定化合物之合成相當有利。
2. 轉換程度高，很少副產物，因此可以大大降低工業對環境的污染。
3. 特異性(specificity)：具立體特異性(stereospecificity)，可區別光學異構物，如 D,L-型胺基酸，故可進行消旋混合物之解析(racemic mixture resolution)；具位置特異性(regiospecificity)，可區別例如甘油分子之三個-OH 基，故可進行選擇性位置異構物(positional isomer)合成；具高基質特異性(substrate specificity)，酵素可在複雜樣品中檢驗特定物質不受干擾，因此在臨床檢驗、食品分析或環境污染物偵測上，酵素法是一種快速、簡易而精確的檢驗方法。
4. 酵素反應可視爲「天然」的轉化：天然基質經酵素轉化之產品可視爲「天然的產品」，比化學反應產品有更高之市場價值與消費者接受性。

在治療疾病上，酵素之高效率催化作用及特異性也提供一種有效而少副作用之治療法，例如尿激酶(urokinase)可用於治療血栓症。因此，酵素在基礎研究、化學、醫藥與食品工業等方面很受重視。酵素工技是生物技術中相當重要而且快速發展的領域，其基礎學術研究之成果往往可迅速轉爲實際應用。

除了核酸酵素(ribozyme ，具有催化功能之 RNA)外，其他所有的酵素均爲蛋白質，因此酵素在應用上之主要缺點爲穩定性較一般化學催化劑差而且較爲昂貴。如何增進酵素穩定性與降低酵素價格乃是酵素應用上之關鍵問題。蛋白質工程乃是結合分子遺傳學與結構生物學而形成之新研究領域。由於近年來基因工程技術之快速發展，目前理論上已可任意構築蛋白質之胺基酸序列。利用定位突變技術(site-directed mutagenesis)技術可以任意改變蛋白質之胺基酸而改變其結構與功能，甚至任何蛋白質胺基酸序列之基因均可合成。目前透過電腦預測技術已可由蛋白質之胺基酸序列預測其二級結構，但仍無法有效預測具有功能之三級結構折疊，因此目前蛋白質之三級立體結構主要仍仰賴 X-ray crystallography 與 NMR 技術之應用並配合理論模擬與分子圖像以解析蛋白質之原子在空間排列結構與功能之關係，未來在基因操作技術，蛋白質構造解析、儀器電腦模擬預測理論與技術等方面之進一步發展，則可望瞭解一級結構形成立體結構之機制與蛋白質功能之關係，因而可經由基因工程技術修改或創造任何具有人爲設計功能之蛋白質，此種經由"rational design" "tailor-made"人工設計之蛋白質對於理、工、醫、農均有革命性影響。將此蛋白質工程技術應用於酵素工技領域，可以任意改變酵素

[1] 中央研究院植物研究所

之結構以改善酵素基質特異性，增進催化效率(kcat/Km)與穩定性，大量表現並快速純化酵素。未來則可望「定製」「設計」任何催化功能與穩定性之高效率酵素以爲工業觸媒或殖入生物體以改變其新陳代謝與機能而創造任意機能之生物。

## 一、前言

酵素是一種生物催化劑，它在生物體內催化所有構成細胞內新陳代謝之反應，它也可以廣泛應用於工業上（生產或轉變生物物質或有機化合物），在分析檢驗或醫藥上。酵素在應用上比一般化學催化劑有許多優點：

1．催化效率很高，比非酵素催化劑快 $10^{8}$ — $10^{11}$ 倍，因此可在溫和條件（溫度、 pH 、壓力）下進行高效催化作用，不但可以節約能源設備等且對於較不穩定化合物之合成相當有利。

2．轉換程度高，很少副產物，因此可以大大降低工業對環境的污染。

3．特異性（ specificity ）：具立體特異性（ stereospecificity ），可區別光學異構物，如 D,L-型胺基酸。故可進行消旋混合物之解析（ racemic mixture resolution ）；具位置特異性（ regiospecificiiy ），可區別例如甘油分子之三個-OH 基，故可進行選擇性位置異構物（ positional isomer ）合成：具高基質特異性（ substrate specificity ），酵素可在複雜樣品中檢驗特定物質不受干擾，因此在臨床檢驗、食品分析或環境污染物偵測上，酵素法是一種快速、簡易而精確的檢驗方法。

4．酵素反應可視爲「天然」的轉化：天然基質經酵素轉化之產品可視爲「天然的產品」，比化學反應產品有更高之市場價值與消貨者接受性。

在治療疾病上，酵素之高效率催化作用及特異性也提供一種有效而少副作用之治療法，例如尿激酶（ urokinase ）可用於治療血栓症。因此，酵素在基礎研究、化學、醫藥與食品工業等方面很受重視。酵素工技是生物技術中相當重要而且快速發展的領域，其基礎學術研究之成果往往可迅速轉爲實際應用。

除了核酸酵素（ ribozyme ，具有催化功能之 RNA ）外，其他所有的酵素均爲蛋白質，因此酵素在應用上之主要缺點爲穩定性較一般化學催化劑差而且較爲昂貴。如何增進酵素穩定性與降低酵素價格乃是酵素應用上之關鍵問題。蛋白質工程乃是結合分子遺傳學與結構生物學而形成之新研究領域。由於近年來基因工程技術之快速發展，目前理論上已可任意構築蛋白質之胺基酸序列。利用定位突變技術（ site-directed mutage-nesis ）技術可以任意改變蛋白質之胺基酸而改變其結構與功能，甚至任何蛋白質胺基酸序列之基因均可合成。目前透過電腦預測技術已可由蛋白質之胺基酸序列預測其二級結構，但仍無法有效預測具有功能之三級結構折疊，因此目前蛋白質之三級立體結構主要仍仰賴 X-ray crystallography 與 NMR 技術之應用並配合理論模擬與分子圖像以解析蛋白質之原子在空間排列結構與功能之關係，未來在基因操作技術，蛋白質構造解析、儀器電腦模擬預測理論與技術等方面之進一步發展，則可望瞭解一級結構形成立體結構之機制與蛋白質功能之關係，因而可經由基因工程技術修改或創造任何具有人爲設計功能之蛋白質，此種經由“ rational design ”“ tailor-made ”人工設計之蛋白質對於理、工、醫、農均有革命性影響。將此蛋白質工程技術應用於酵素工技領域，可以任意改變酵素之結構以改善酵素基質特異性，增進催化效率（ kcat

／Km ）與穩定性，大量表現並快速純化酵素。未來則可望「定製」「設計」任何催化功能與穩定性之高效率酵素以爲工業觸媒或殖入生物體以改變其新陳代謝與機能而創造任意機能之生物。

作者的研究室從事酵素工技與蛋白質工程研究近二十年，在國內外著名刊物發表百餘篇論文，三項中華民國與美國專利，一項技術移轉。主要研究領域包括(1)酵素固定化與反應器之研究：開發酵素（包括脂肪酶、鳳梨莖蛋白質、木瓜酶與涎液酸酶等）之固定化於聚氯乙烯（ PVC ）、幾丁質（ chitin and chitosan ）與瓊脂醣（ agarose ）之新方法及固定化酵素在反應器中之生化特性與動力學。(2)酵素新機能之開發：發現脂肪酶除可水解脂肪外，尙可用於合成醣酯類衍生物、光學解析薄荷醇消旋異構物，醇解油酯以製造脂肪酸酯，合成食品乳化劑丙二醇脂肪酸酯等。(3)酵素在有機溶劑與超臨界流體中之反應。(4)酵素穩定性之研究。(5)酵素之結構、功能與蛋白質工程，本文僅就近年來本研究室之相關研究領域新發展做一概略介紹。

二、酵素新機能之開發：

傳統上，酵素的主要研究均在於其在生物體內之催化功能。而其應用也大多在於利用酵素的天然催化性質，例如脂肪酶用於水解脂肪，蛋白酶用於水解蛋白質。近年來則發現許多酵素具有接受非天然基質之能力，而此種不尋常之催化能力在生物技術工業上往往具有重要用途，玆以脂肪酶爲例說明如下。

脂肪酶（ Lipase ）除了可以水解脂肪外，它也可以用於三酸甘油酯（ tri-glyceride ）之位置特異性交酯化反應（例如可以 1,3 特異性脂肪酶將低價值橄欖油轉變爲高價值之可可脂）、酯類合成、胺解作用（ aminolysis ）、醯基交換（ acyl exchange ）、交硫酯反應（ thiotransesterification ）、及肟解作用（ oximolysis ）（表一）。它也具有立體特異性可於分離消旋混合物（ racemic mixture ）與作用內消旋物質（ meso substrate ），以得到具光學活性之酯類、醇類與梭酸類化合物。

表二爲英國生物觸酶公司（ Biocatalysts, Ltd.）所列舉之一些脂肪酶可應用於高價值精密化學品（ Fine chemicals ）合成之例子。日本 Amano 公司收集應用該公司產品 Pseudomonas 脂肪酶（ Lipase Ps ），成功地合成光學活性物質之文獻即有 83 篇。應用豬肝脂肪酶於光學活性物質之合成者亦有最近之回顧文獻。

我們在十年前開始對脂肪酶之催化特性與其新用途之開發進行研究，至今已發表三十多篇有關論文，我們首先發現有 3 種脂肪酶（來自 *Aspergillus niger*，*Rhizopuis oryzae* 與 wheat germ ）與一種酯解酶（ Porcine liver carboxyl esterase ）可以在水溶液中快速水解醣脂物質，而且是以逐步水解方式將 glucose pentaacetate 水解，因此可以在不同反應時間下取得反應中間產物。 120 ～ 130 ℃進行化學醇解油脂。我們發現以脂肪酶催化之醇解油脂可以在室溫下進行，因此可以節約能源設備，頗具應用潛力。本研究獲中華民國專利（發明第 39390 號）。由於自油脂製造脂肪酸以做爲「生物燃料」（ biofuel ）是一種利用可再生資源低污染之「綠色產品」，歐美各國視爲未來取代石油之重要物質，因此本研究相當受到國際上重視。

丙二醇酸單酯（ propylene glycolmonoester of fatty acid ）爲一種具有低 HLB 值（ hydhophilic-lipophilic balance ）和良好親脂性之食品與醫藥用乳化劑，適用於

（ w ／ O ）水溶於油系統中。在食品上可使脂肪能在蛋糕中分佈均勻，幫助蛋糕之保水性、增加食品表面積及體積等。可用於蛋糕、霜飾，沙拉醬與化妝品等。過去以傳統化學法合成時，需在高溫下進行、產率不佳，缺乏選擇性及耗費能源等缺點，我們發現一種假單孢菌之脂肪酶（ Pseudomonas lipase ）可以在常溫下催化丙二醇與不同來源，不同醯基長度之基質（包括三甘油脂，脂肪酸、脂肪酸酥與脂肪酸酯等）反應而有效地合成各種性質之丙二醇脂肪酸酯。而有機溶劑、水分含量、溫度、 pH 記憶與固定化方式等因素則會影響其特異性與產率。

三、基因工程在酵素工技上之應用

(一)應用於酵素基因之大量表現與酵素快速純化：

傳統上要大量生產工業用酵素均賴篩選，化學突變等獲得高酵素產量菌株。近年來由於基因工程技術之發展，由選殖到之酵素基因可接上很強之啓動子，在適當的寄主中可以大量表現，所產生之酵素量可達到細胞之總蛋白質量之 50 %。尤有進者，酵素基因上可融合額外一段具有親和層析結合部位之多胜肽（ polypeptide ）或蛋白質標籤（ protein tag ）而表現融合蛋白質（ fusion protein ），而利用此一外加之蛋白質標籤以親和層析法快速純化大量表現之酵素。此一技術之發展將革命性地取代過去需經冗長困難，且費時費錢之篩選、突變與純化酵素程序，使得大量獲得純化之酵素變得相當快速、容易而便宜。本研究室已應用此一新技術於大量表現與純化 *Vibrio mimicue* arylesterase ，三種 Staphylococcus lipase（ *S. epidermis* ， *S. hyicus* 與 *S. aureus* ），甘藷 Cu ／ Zn super-oxide dismutase 與 *E. coli* MnC-SOD ， *Bacilcus licheniformis* $\alpha$-amylase 及 Clostridium thermohydrosulfuricum $\alpha$-amylase-pullulanase 等酵素均非常成功。茲介紹本研究室經常使用之兩種系統如下

1.pET System ：目標酵素基因選殖於 pET 質體受到強的 baiteriophage T7 轉錄與轉譯訊息調控。基因表現之誘發則由寄主細胞（ *E. coli* ）內提供 T7 RNA 聚合酶，由於 T7 RNA 聚合酶極具選擇性與高活性因此幾乎所有 *E. coli* 細胞內之所有資源均用於目標基因之表現，理論上所欲獲得之目標酵素基因可在數小時之誘發後表現出超過佔總細胞蛋白量 50 %之酵素產物，另外 pET His-Tag$^{TM}$ System（ Novagen Co.）可使表現之酵素在 C 端或 N 端聯結一段 6 個 histidine 之胜肽，因而可以與固定化之含 $N^{2+}$之擔體（ Novagen's His-Bind resin ）結合，而後以 imidazole 洗離所特異結合之酵素，利用此種金屬螯合 6His 胜肽之親合層析法（ metal chelation affinity chromatography ），一步驟即可獲得純度超過 90 % 。

$\xrightarrow{k1}$ Glucose pentaacetate $\xrightarrow{k2}$ Glucose triacetate $\xrightarrow{k2}$ Glucose diacetate $\xrightarrow{k4}$ Glucose monoacetate $\xrightarrow{k5}$ Glucose 。經由不同之有機溶劑或醇類，可以改變其 $k_1/k_2$ ratio ，而達到高產率製備 glucose tetraacetate 目的。此一產物 glucose tetraacetate 經 $^{13}$C-NMR 證實爲 2,3,4,6-glucose tetraacetate 。此種 1-羥基醛醣酯在醫藥上與農藥製造上是很有用之中間體。此法比日本 1985 年專利所公佈之化學合成法產率高、程序簡單而且節約能源。此種方法亦可應用到其他醣酯之製造。

在我們之前並未有人利用酵素在純醇類溶劑中進行醇解作用。 Klibanov 等在有機溶劑中曾以 heptanol 當基質進行交酯化反應，但不像本實驗以純醇類當溶

劑兼基質。根據現行觀念，酵素在可與水互溶之有機溶劑中（ water miscible organic solvent ）如乙醇，易使酵素變性，而我們發現脂肪酶不但可在異丙醇等醇類中進行醇解反應，而且穩定性頗佳。 celite 固定化脂肪酶在異丙醇中操作（ 28 ℃）七天，並未有明顯活性下降現象。因爲許多化學合成法需用到醇解作用步驟。我們發現脂肪酶可在低沸點醇如乙醇或異丙醇下，在室溫進行醇解作用，可望取代許多化學醇解作用。

我們又發現假單胞螢光菌之脂肪酶可以在無水異丙醇、乙醇或戊醇等較低沸點之醇類中醇解三甘油酯或橄欖油，以生產脂肪酸酯。脂肪酸是重要之工業化學品，可用於生產過醯胺類（ superamides ）、脂醇類（ fatty alcohols ）、醣酯類、腈及脂胺類（ fatty amines ）等。目前工業上製造短鏈醇之酯肪酸酯法係在之酵素。一般而言此一帶有含 6 個 His 胜肽之融合蛋白質，其酵素活性未有太大影響，在某些清況下，其酵素性質反而比原酵素更佳，因此從應用酵素之角度而言，此一額外加入之胜肽大多無需去除，但若恐此段胜肽影響酵素特性亦可設計特殊蛋白酶之切除部位，一般常用者爲 factor Xa, thrombin 或 enterokinase ，以便在純化融合蛋白質後予以切除額外之胜肽。此一系統對於多元體酵素亦可應用，本研究室最近發表在 Plant Molecular Biology 28 ： 303 一 311 （ 1995 ）之論文即應用此 pET His 一 Tag$^{TM}$ System 於大量表現與純化甘藷之抗氧化酵素，Cu ／ Zu 型超氧岐化酶（一種雙元體 dimeric 酵素）。

2.GST Gene Fusion System （ Pharmacia Biotech, Co.）: Glutathione Stransferasel （ GST ） Gene fusion System 含 pGEX plasmid vectors ，兩個 GST 純化單元與 GST 檢測單元。 pGEX 質體基本上爲設計爲可誘發大量表現目標基因融合於 *Schistosoma japonicum* GST 基因而產生帶有 GST 之目標蛋白質（酵素）。而後此融合蛋白質可以結合 Glutathione 之擔體（如 Glutathione Sepharose 4B ）以親和層析法純化，而後再以位置特異性蛋白酶（其作用部位已預先設計於 GST 與目標蛋白質間）予以切除 GST，融合蛋白乃是由 pGEX vector 在 *E. coli* 中表現，此質體受 tac promoter 之控制而受到 isopropyl $\beta$-D-thiogalac-toside （ IPTG ）之誘發。本研究室應用此系統於 SOD ，脂肪酶與澱粉酶等基因之表現均相當成功，而且大體而言即使不以 thrombin 切除 GST ，這些融合酵素仍有活性，有些甚且比原酵素更爲穩定。

(二)研究酵素活性部位，特異性與穩定性

利用基因定位突變法可研究酵素之活性部位與催化機制，且可將酵素之活性中心部位予以改變，可導致酵素特異性之大幅改變，甚至於改變成另一種酵素（例如將乳酸去氫酶 102 之胺基酸 Glutamine 改爲 arginine，其酵素轉變爲活性很高之蘋果酸去氫酶）。

最近我們經由基因選殖、定序，在 *E. coli* 中大量表現、純化酵素、生化特性分析與基因定位突變，發現由台灣分離之水產弧菌 *Vibrio mimicus* 之酯酶爲一新型多功能 arylesterase ，其活性部位由基因定位突變法證實爲 Ser29 ，我們後鑽研究成果確認爲 Ser-Asp-His 之催化三元體，推翻了過去認爲 arylesterase 均爲 cysteine esterase 之理論，在學術上相當重要。此 arylesterase 序列在 Gene bank 比對基因序列分析發現與 *E. coli* thioesterase ／ protease 具 50 %相似性，因而導致我們另一後續研究成果，發現本 arylesterase 兼具 aromatic thioesterase 與 Chy-

motrypsin-like activity 此一重要發現開拓了 arylesterase 學術與應用研究之領域，我們已結晶出此酵素並發表了 X-ray crystallography 初步分析報告，未來透過「蛋白質工程」技術可望在學術與應用上有更進一步之重要貢獻。

超氧岐化酶（ superoxide dismutase 簡寫 SOD ）爲具有抗發炎與防止老化等功能之一種生物體內自然之抗氧化酵素具有除去超氧 $0_2$ 破壞性之效果。我們首度從甘藷塊根選殖到銅一鋅型之 SOD 基因並成功地在大腸菌中大量表現，此酵素對熱、酸，乳化劑與蛋白酶具有相當好的穩定性，極具應用潛力，我們並發表其基因內子（ intron ）數目爲所有生物中最多者並首先發現其單元體之交互作用可增強酵素穩定性與活性，頗具學術上重要性。由於本酵素之胺基酸序列與已知立體結構之牛血球 Cu ／ Zn SOD 有約 70 %相同性，因而我們可以透過 Quanta 公司之電腦分子模擬系統預測本酵素之立體結構（ Computer Modeling ）。經由此一立體結構我們正進行此酵素之蛋白質工程以進一步改進其穩定性並研究其二元體作用與功能之關係。

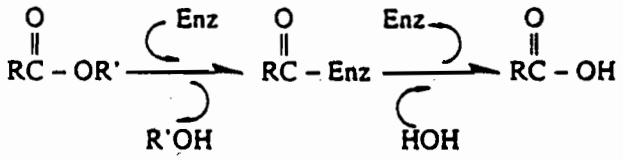
我們過去開發出一種酵素法直接以澱粉酶作用於含澱粉與蛋白質之食物原料，使其轉化爲高麥芽糖漿與高蛋白質產品，此一方法並已技術移轉給國內廠商。爲了掌握國內自製生產有關酵素，我們已以基因工程方法獲得極耐熱之 $\alpha$-澱粉酶基因（ *Bacillus licheniformis* ）與兼具 $\alpha$-澱粉酶與去支鏈酶酵素（ Pullulanase ）活性之 *Clostridium thermohydrosulfuricum* 耐熱性酵素基因，目前正進行基因融合以製造 $\alpha$-amylase-pullulanase $\beta$-amylase fusion enzyme 與 hybrid enzyme 研究期能製造一種「三合一」具有高效率與高級定性之酵素。

## 四、結語

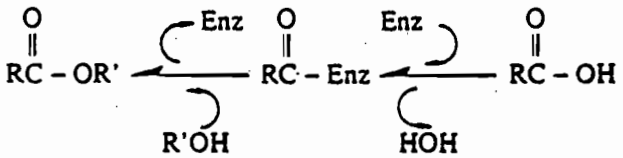
酵素工技之研究爲現代生物技術中發展極爲迅速之領域。酵素之應用相當廣泛，例如，在檢驗分析、醫學治療、生產化學品、藥物與食品等。因此世界上之學術先進國家對於酵素工技術研究均投入相當多之人力物力以支持其快速發展。由於新技術如基因工程、分子生物、結構生物、蛋白質工程電腦分子模擬與結構預測等之發展，今日之酵素工技已成爲「多重科技整合」之學術研究，需包含生物、化學、生化、分子生物，生化工程等多方面人才之整合性研究，才能發揮其最大功效。我國在相當方面之人才均已粗具規模，如能投入經費作整合性規畫並有產業界之共同參與，我國酵素工技學術研究與產業發展必能達到世界一流水準。

## 表一 脂肪酶催化之反應

(1) **Fat splitting:** Triglycerides → Fatty acids + Glycerol




(2) **Esterification:** Fatty acid + Glycerol → MG + DG + TG




(3) **Interesterification:**

1. Acidolysis: $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + R_1-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH \rightarrow R_1-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR'$

2. Alcoholysis: $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + R_1-OH \rightarrow R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR_1$

3. Glycerolysis: Diglycerides + Glycerol→2Monoglycerides

4. Ester exchange: $R'-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR_1 + R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR'_2 \rightarrow R'-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR'_2 + R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR_1$

(4) **Aminolysis:**

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + R_1-NH_2 \rightarrow R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-NH-R_1$$

(5) **Thiotransesterification:**

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + R_1-SH \rightarrow R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-S-R_1$$

(6) **Oximolysis:**

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + R_1CH{=}NOH \rightarrow R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-N{=}CHR_1$$

## 表二：脂肪酶可催化之非天然基質反應實例

1.Esterification

(1)Flavour ester synthesis

Citronellol + Butyric acid $\xrightarrow{LIPASE}$ Citronellyl butyrate

(2) Emulsifier production

Glycerol + Oleic acid $\xrightarrow{LIPASE}$ Glyceryl mono-oleate

Appropriate choice of lipase allows mono, di and tri-glycerides to be synthesised with greater than 95% purity.

2. Regio-selective hydrolysis

Dimethyl 3-hydroxy-3-methylglutarate (Diester) $\xrightarrow{LIPASE}$ Methyl 3-hydroxy-3-methylglutarate

(Chiral half-ester)

Dimethyl-cis-4-cyclohexene- 1, 2-dicarboxylate (Dimethyl tetrahydrophthalate)

$\xrightarrow{LIPASE}$ Methyl-cis-4-cyclohexene-1, 2-dicarboxylate (Chiral half-ester)

3.Stereo-selective esterification

(±)2-Chloropropionic acid + n-Butyl alcohol $\xrightarrow{LIPASE}$ (+) n-Butyl-2-chloroproplonate + (-) 2-Chloroproplonic acid

4. Stereo-selective hydrolysis

(±)Endo-norbornenyl acetate $\xrightarrow{LIPASE}$ (+) Endo-norbornenol + (-) Endo-norbornenyl acetate

(±)1-Phenylethyl, ester $\xrightarrow{LIPASE}$ (+) 1-Phenylethanol + (-) 1-Phenylethyl ester

5.Stereo-selective transesterification

(±)Glycidyl butyrate + 1-Heptanol $\xrightarrow{LIPASE}$ (+) Glycidol + Heptyl butyrate + (-) Glycidyl butyrate

6. Transesterification

1, 3-Dipalmitoyl-2-monooleine + Stearic acid $\xrightarrow{LIPASE}$ 1, Palmitoyl-3-stearyl-2-monooleine + 1, 3 Distearyl-2-monooleine + Palmitic acid

# 松屬樹種體細胞胚胎發生和遺傳轉化研究

衛志明、黃健秋、徐淑平、許智宏

摘 要：

馬尾松（*Pinus massoniana* L.）和雲南松（*Pinus yunnanensis* ）是我國的兩種特產優良樹種。採用馬尾松和雲南松的成熟合子胚爲起始外植體，分別培養在附加2,4-D 10mg／L，KT和BA各4mg／L 的改良DCR和P6培養基上得到胚發生培養物。將白色、半透明的胚性癒傷組織（含早期原胚）在含2,4-D 1.0mg／L，KT和BA各0.4mg／L 的培養基上保持增殖。在附加9,000mg／L肌醇的高滲培養基上得到粗壯的後期原胚，ABA和活性碳同時使用能促進馬尾松子葉胚的形成，最高頻率爲35.1%。ABA和PEG同時使用能促進雲南松子葉胚的形成，最高頻率爲29.1%。在無激素培養基上，成熟體細胞胚萌發並進一步形成完整小植株，體細胞胚轉換成完整小植株的頻率馬尾松爲7.9%，雲南松爲6.1%。

在馬尾松和雲南松成熟合子胚通過器官發生途徑再生完整植株成功的基礎上，我們利用農桿菌介導法將外源B.t.基因導入上述兩種松樹的子葉尖端細胞，並獲得一些轉化型卡那霉素抗性植株。

將松樹萌動胚上的子葉外植體與農桿菌共培養2-3d，移到含250mg／L 青霉素（cb）的改良DCR培養基上（附加5.0mg／L BA和0.1mg／L NAA），8-14d後約有30%的子葉尖端膨大，28d後在傷口處產生大量幼芽，此時將其轉至含25mg／L卡那霉素（km），1.0mg／L BA和0.1mg／L NAA的選擇培養基上，當幼芽長至0.5-1cm 長時，切下移到含25mg／L卡那霉素，1mg／LIBA和0.25mg／L NAA的生根培養基上，約一個月後長成完整植株，而對照外植體在選擇培養基上不能分化出正常的苗和根。對經過篩選得到的17株轉化型抗性植株中的NPT-II酵素活性進行檢測均呈陽性，進一步的檢測工作正在進行中。

# STUDIES ON SOMATIC EMBRYOGENESIS FROM CALLUS OF MATURE ZYGOTIC EMBRYOS AND GENETIC TRANSFORMATION OF *Pinus* SPECIES

HUANG Jian-Qiu, WEI Zhi-Ming, XU Shu-Ping, and XU Zhi-Hong

Abstract:

Masson pine (*Pinus maassoniana* L.) and yunnan pine (*P. yunnanensis*) were two of the superior trees growing in China. Embryogenic culture were inintiated from mature zygotic embryos of masson pine and yunnan pine on modified DCR or P6 medium supplemented with 2,4-D 10mg／L,KT and BA each at 4mg／L. Whitish. translucent calli with cary stage proembryos were maintained and multiplicated on modified DCR or P6 medium supplemented with 2,4-D 1.0mg／L,KT and BA each at 0.4mg／L.Robust late stage proembryos were obtained when the calli were cultured on the media containing 9,000mg／L myo-

inositol. The combination of abscisic acid (ABA) and activated charcoal promoted the formation of cotyledonary embryos of masson pine at the highest frequency of 35.1%, and the combination of abscisic acid (ABA) and polyethylene glycol (PEG) promoted the formation of cotyledonary embryos of yunnan pine at the highest frequency of 29.1%. Mature somatic embryos can germinate and develop further into plantlets when they were isolated and cultured on a hormone-free DCR or P6 medium. The frequencies of conversion of somatic embryos to plantlets was 7.9% for masson pine and 6.1% for yunnan pine respectively.

Based on tbe high efficiency plantlet regeneration from mature zygotic embryos of *Pinus massoniana* and *P. yunnanesis* *via* organogenesis, we have transferred foreign B.t. and nptII genes to the cotyledonary cells of these two *Pinus* species, and got some transformed kanamycin resistant plants.

Cotyledon explants of masson pine and yunnan pine were cocultivated with *agrobacterium* for 2-3days, then transferred onto modified DCR medium with 250mg/L carbenicillin (cb) ,5.0 mg/L BA and 0.1mg/L NAA，8-14 days later, about 30% explants became swollen at the tips of cotyledons, and adventitious buds were found to be induced at the wounding sites after 28 days. DCR medium with 25mg/L kanamycin (km) ,

1.0mg/L BA and 0.1mg/L NAA was used as selective medium. 0.5-1cm long shoots were cut and transferred onto rooting medium containing 25mg/L kanamycin, 1.0mg/L IBA and 0.25mg/L NAA· Whole plantlets were obtained about one month later. Control explants could not produce normal green shoots and roots on the selective medium. ndPAGE analysis of NPT-II in 17 transformed resistant plants give positive results. Further analysis of transgenic plants is underway。

## 前　言

利用體細胞胚胎發生進行針葉樹種的營養繁殖，一方面可在更短的時間內獲得更多的營養繁殖物，另一方面體細胞胚發生培養物也是全能性原生質體的重要來源，因而可用於針葉樹種的遺傳轉化和體細胞雜交研究，以達到改良林木品種的目的[2,3]。自1985年，Hakman等[15]首次報導挪威雲杉（*Picea abies*）的未成熟合子胚形成體細胞胚並再生完整植株以來，近十年來針葉樹的體外胚胎發生研究已取得了令人矚目的進展[2,3,20]。但目前在松屬樹種的體細胞胚胎發生研究上仍有不少困難。迄今僅有加勒比松（*Pinus caribaea*）、糖松（*P. lambertiana*）、火炬松（*P. taeda*）、馬尾松（*P. massoniana*）和雲南松（*P. yunnanensis*）等五種松屬樹種通過體細胞胚發生途徑得到了完整植株，其中利

用成熟合子胚成功誘導體胚發生的僅有糖松、馬尾松和雲南松三例[4,5,6,11]。馬尾松和雲南松是我國南方廣泛栽種的特產的優良樹種，多年來卻一直遭受嚴重的松毛蟲危害，造成松材大量減產。通過體細胞胚發生途徑得到再生植株或通過器官發生途徑產生不定芽得到再生植株在松樹的快速微繁及遺傳工程研究中均有特殊的價值。本文報導了不同品種的馬尾松和雲南松成熟合子胚的體細胞胚胎發生過程和器官發生過程及調控因素、雲南松的農桿菌介導的遺傳轉化研究的結果。

## 材料和方法

### 一、供試植物材料及其表面滅菌

馬尾松（*P. massoniana* Lamb.）成熟種子1991-1993年分別採自福建（A）、浙江（B）和湖北（C），雲南松（*Pinus yunnanensis*）成熟種子於92-93年分別採自雲南（D）和廣西（E），均由南京林業大學林木遺傳育種室的許農和黃敏仁先生提供。使用前經4℃低溫處理。分別將馬尾松和雲南松不同基因型種子剝殼後流水沖洗 6h，3% 次氯酸鈣溶液（漂白精片主要成分）表面消毒12min，無菌水沖洗3-4次。之後 0.1%$HgCl_2$溶液處理2min，無菌水沖洗4-5次，在無菌條件下剝除胚乳，取出成熟胚備用。

### 二、體細胞胚胎發生的誘導和植株再生

馬尾松和雲南松成熟合子胚的體細胞胚誘導和植株再生試驗的整個過程採用的基本培養基，前者爲DCR培養基[12]，後者爲改良的$P_6$培養基[13]，簡稱爲BM培養基。爲便於說明，分別將試驗過程列於表1。其中，DCR-1、DCR-2和DCR-4及BM-1、BM-2和BM-4中均附加肌醇1000mg／L，谷氨酰胺（Gln）450mg／L，水解酪蛋白（CH）500mg／L，蔗糖（Suc）3%，瓊脂0.6%，pH5.7。DCR-5及BM-5中瓊脂濃度爲0.7%。

首先將馬尾松、雲南松成熟胚，前者接種在DCR-1培養基上，後者接種在BM-1培養基上，每皿接種12-16個，每種基因型接種4皿，重覆4—5次。置於25±1℃下暗培養，並每兩周繼代一次。進行癒傷組織誘導4-5周後，將所產生的癒傷組織中呈白色半透明的癒傷組織切下，馬尾松各某因型的白色半透癒傷組織轉至增殖培養基DCR-2上擴增，雲南松各基因型的白色半透明癒傷組織轉至增殖培養基BM-2上擴增。DCR-2及BM-2中的滲透壓分別與DCR-1及BM-1相同，但植物激素的濃度均降低了10倍。12-15天繼代一次，培養條件不變。約3-4次繼代後，將擴增的癒傷組織分別轉至後期原胚發育培養基DCR-3及BM-3上。該培養基的特點是滲透壓大大提高，肌醇濃度從原來的1000mg／L增至9000mg／L，培養條件不變。每兩周繼代一次，直至產生粗壯的後期原胚。從增殖培養基上產生的新癒傷組織也可分別轉至液體培養基（DCR-3及BM-3，無肌醇）中進行懸浮培養，黑暗， 25±℃，轉速爲120r／min。每周換液一次，直至產生具有頭部增大並含多個胚柄的後期原胚。5-7周後，將帶有後期原胚的癒傷組織轉接到子葉胚發育培養基（DCR-4，BM-4）上，該培養基中將2,4-D（或NAA），KT和BA去掉，並附加 ABA 2-10mg／L，加活性炭0.05%-0.1%（w／v）或加聚乙烯二醇（PEG）3%-7.5%（w／v）。約3周繼代一次，直至形成具有明顯子葉端和伸長的下胚軸和胚根端的兩極性子葉胚。將成熟子葉胚取下，轉至體細胞胚萌發培養基（DCR-5及BM-5）上，該培養基中無激素或僅含極低濃度的IBA和BA（通常各含0.05mg／L），蔗糖爲2%，肌

醇和谷氨　胺濃度均大爲降低，此時的培養條件是16h光照，光照強度爲1500-2000lux，2-3周後，子葉胚開始萌發，兩個月左右形成小植株。

三、鏡檢觀察及統計分析

在馬尾松及雲南松的體細胞胚誘導的各個階段，分別隨機取樣30-50個，在XTT型實體解剖鏡下進行觀察，並分別統計出胚性癒傷組織上的體細胞原胚數(包括早期和後期原胚）以及子葉胚形成頻率（指產生子葉胚的癒傷組織頻率）。統計結果是3-5次試驗的平均值。或取少量懸浮培養物置於Nikon倒置顯微鏡下，觀察早期和後期原胚的形狀。

四、不定芽的誘導和植株再生

將馬尾松和雲南松剝出的成熟胚分別接種到$DCR_0$培養基（不含激素的DCR培養基）上，2-3d後，胚開始萌動，切取子葉的尖端部位，轉接到附加3-5mg／L BA和0.1-0.2mg／L NAA的DCR培養基上，8-14d後子葉尖端膨大， 28d後在傷口處產生大量幼芽，待幼芽長至0.5-1cm長時，從基部切下，切口處用含5mg／L NAA的液體培養基處理24h，濾紙吸乾，轉至1／2 DCR（含1mg／L IBA和25mg／L NAA）的生根培養基上誘導生根。1個月後，即長根形成完整植株。

五、農桿菌介導的松樹遺傳轉化

將馬尾松和雲南松的成熟胚分別接種到$DCR_0$培養基（不含激素的DCR培養基）上，2-3d後，成熟胚開始萌動，切取子葉外植體，先在附加3-5mg／L BA和0.1-0.2mg／LNAA的DCR培養基上預培養2d，再分別在處於對數生長期的農桿菌LBA4404／pGBI4A2B（含2個B.T.抗蟲基因；帶有2個雙向啓動子CaMv35s及nptII基因和3’末端4個PolyA）的菌液中浸泡2-5min，用無菌濾紙吸去菌液，然後在上述不定芽誘導培養基上共培養2-3d，再轉移到含250mg／L羧苄青霉素（cb）的不定芽誘導培養基上除菌以誘導芽分化，1個月後將誘導出的不定芽連同外植體轉入含25mg／L卡那霉素（km）的（松樹子葉外植體誘導不定芽時卡那霉素敏感性試驗確定的篩選濃度）幼芽生長的選擇培養基（DCR附加1mg／L BA和0.1mg／L NAA）上進行選擇培養。大約25d後，切取能在幼芽生長培養基上繼續伸長並保持鮮綠色的芽苗（0.5-1cm長），從基部切下，切口處先用附加5mg／L NAA的液體培養基處理24h，用無菌濾紙吸乾，插入根誘導的選擇培養基（附加1mg／L IBA和0.25mg／L NAA，25mg／L kM的1／2 DCR）上，使之生根形成完整的轉基因松樹植株。對獲得的轉化型抗性植株進行NPTII酶活性檢測及以*nptII* 基因爲探針，對轉化植株的基因組DNA進行Southern blot分析，以確定外源基因的整合及表達情況。

表1 馬尾松和雲南松成熟合子胚的體細胞胚胎發生和植株再生過程

Table1 Procedure for obtaining somatic embryos and plantlets from mature zygotic embryos of masson pine and yunnan pine

| 品種及總計所需時間 Variety and total time | 培養過程 Procedure | | 培養條件 Culture condition | 時間(周) culture duration (weeks) |
|---|---|---|---|---|
| | 成熟合子胚的獲得 Excision of mature zygotic embryos | | 無菌操作技術 Aseptic technique | |
| 馬尾松 Masson pine<br>20-33周 20-33 weeks | DCR-1 | 癒傷組織誘導培養基 Induction medium DCR+2,4-D 10mg／L +KT、BA各4mg／L | 暗培養，25±1℃<br>Dark culture, 25±1℃ | 3-5 |
| | DCR-2 | 癒傷組織保持和增殖培養基 Maintence and multication medium DCR+2,4-D 1mg／L,KT、BA各4mg／L | | 4-8 |
| | DCR-3 | 後期原胚發育培養基 Late proembryo development medium DCR-2+9000mg／L myo-inositol | | 3-6 |
| | DCR-4 | 子葉胚發育培養基 Cotyledonary embryo development medium DCR+ABA 10mg／L+activated charcoal 0.1% | | 4-6 |
| | DCR-5 | 體細胞胚萌發培養基 Somatic embryo germination medium DCR0(hormone-free), Suc2% ,Gln50mg／L,myo-inositol 1200mg／L | 16h光照,1500-2000 lux<br>Exposed to light for 16h,1500-2000lux | 6-8 |
| | BM-1 | 癒傷組織誘導培養基 Callus induction medium BM +2,4-D 10mg／L,KT、BA各4mg／L | 暗培養，25±1℃ | 4-5 |
| | BM-2 | 癒傷組織保持和增殖培養基 Maintence and multication medium BM+2,4-D 1mg／L,KT、BA各4mg／L | | 6-8 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 雲南松<br>Yunnan pine<br><br>23-34周<br><br>22-34 weeks | BM-3 | 後期原胚發育培養基<br>Late proembryo development medium BM+NAA0.5mg／L+KT、BA各0.2mg／L+9000mg／L myo-inositol | Dark culture,<br>25±1℃ | 4-7 |
| | BM-4 | 子葉胚發育培養基<br>Cotyledonary embryo development medium BM+ABA 2-10mg／L+PEG 6.000 3% -7.5% | | 4-6 |
| | BM-5 | 體細胞胚萌發培養基<br>Somatic embryo germination medium BM0(hormone-free), Suc2% ,Gln450mg／L,myo-inositol 1200mg／L | 16h光照,光強1500-2000 lux<br>16h photoperiod light ,intensity 1500-2000lux | 4-8 |

## 結果和討論

### 一、起始外植體和培養基的選擇

經研究表明，選擇合適的外植體是針葉樹體細胞胚胎發生誘導成功與否的關鍵[4,5,6,20]。目前在大多數針葉樹種的體細胞胚發生研究中，都採用未成熟種子的胚作爲起始外植體。對松屬樹種來說，子葉前合子胚最適於癒傷組織的誘導。迄今利用針葉樹成熟種子的胚來誘導胚性癒傷組織一般較困難，頻率較低[11,20]。我們在三種不同基因型的馬尾松成熟胚的體細胞胚發生研究中，胚性癒傷組織誘導率最高達45.3%；在兩種不同基因型的雲南松成熟胚體胚發生研究中，胚性癒傷組織誘導率最高達35.8%（表2）。由於松樹的成熟種子可周年大量供應，較之未成熟種子和處於特定發育時期的未成熟而言，取材十分便利。因此，這一結果對進一步開展松屬樹種的體胚發生研究具有積極意義。

目前，最常用於針葉樹體細胞胚發生研究的基本培養基爲LP、DCR、LM和各種改良MS培養基[3]。最近，Gupta和Pullman[13,14]設計出一種改良$P_6$培養基，已證明對松屬樹種及雲杉屬和黃杉屬樹種的體胚發生十分有效。馬尾松試驗中採用的DCR培養基與MS培養基相比，其差異是含有較高濃度的$Ca^{2+}$（3.93mmol／L）和較低濃度的$K^+$（4.61mmol／L）。其中$NH_4^+$濃度（5.0mmol／L）遠低於MS中的$NH_4^+$濃度（20.50mmol／L）。雲南松試驗採用的改良P6培養基（簡稱BM培養基），與MS培養基相比，其差異是含有較低濃度$Ca^{2+}$（1.0mmol／L）和較低濃度的$K^+$（12.4mmol／L)。$Ca^{2+}$和$K^+$總量約爲MS中的1／2。其中$NH_4^+$濃度（7.55mmol／L）遠低於MS中的$NH_4^+$濃度（20.50mmol／L）。一般來說，高鹽的MS培養基對針葉樹體細胞胚發生不利，培養基中完全去掉或降低$NH_4^+$含量，並附加一些Gln（谷氨酰胺）或Asp（天冬酰胺）對體細胞胚發生有利[21]。本試驗中，附加了450mg／L谷氨酰胺，結果表明，它對癒傷組織的誘導和增殖以及體胚形成均有促進作

用。我們在馬尾松成熟合子胚的體細胞胚胎發生研究中發現，DCR培養基對胚性癒傷的誘導及體胚發育比較合適[4,5]。但進一步的研究表明，DCR培養基對於雲南松的胚性癒傷組織的誘導及體細胞胚發育並不合適（表3）。在改良的$P_6$培養基上的胚性癒傷組織的誘導頻率（10%-35%）遠高於在DCR培養基上的誘導頻率（0.5%-3.4%）。這說明不同品種的松樹的體細胞胚發生對基本培養基的要求也會有所不同 。

表2 不同基因型的馬尾松體細胞胚胎發生能力比較

Table2 Comparison in capacity of somatic embryogenesis in different genotypes of masson pine

| 基因型 Genotype | 胚性癒傷組織% Embryogenic calli（%） | 體細胞原胚／克癒傷組織 Proembryos／g calli | 子葉胚（%） cotylendonary embrvos（%） |
|---|---|---|---|
| 福建馬尾松 Masson pine of Fujian | 45.3 | 943.5±112.7 | 35.1±2.5 |
| 浙江馬尾松 Masson pine of zhejiang | 17.4 | 217.5±36.3 | 6.7±1.7 |
| 湖北馬尾松 Masson pine of Hubei | 19.8 | 215.9±49.3 | 6.4±1.3 |

三、癒傷組織的誘導、增殖及早期原胚的形成

馬尾松成熟合子胚接種在DCR-1培養基上，雲南松成熟合子胚接種在BM-1培養基上，培養12-20d後，均先後從胚根端、下胚軸表面和下胚軸-子葉區產生白色、半透明的癒傷組織。繼代一次後，癒傷組織增值較快，表面較爲疏鬆。此時前者轉至DCR-2培養基上，後者轉至BM-2培養基上增值，每兩周繼代一次。經2-4次繼代後，將形成兩類明顯可辨的癒傷組織：一類爲褐色或淡綠色癒傷組 織，另一類爲白色、半透明粘液狀且結構較鬆散的癒傷組織，稱爲胚性癒傷組織。前者能不斷增殖，但無體細胞原胚的分化。後一種癒傷組織在表面常常有在低倍解剖鏡下極易觀察到的透明絲狀結構。此時將其轉移至液體培養基中進行懸浮培養，並每周繼代一次。3-4次繼代後，在倒置顯微鏡下可觀察到許多早期原胚（early stage proembryos），其特徵是在很小的頭部（1-10個細胞）帶有一種長型薄壁的胚柄，在裸子植物中常將這種細胞群體稱爲胚性胚柄團(embryonal-

suspensor mass）[1,13,14]。

表3 不同培養基和不同基因型對雲南松體細胞胚胎發生能力影響的比較

Table 3 Comparison of capacity of somatic embryogenesis of Yunnan pine as affected by different genotypes and by different media

| 基因型 Genotype | 培養基 Medium | N | 胚性癒傷組織(%)a Embryogenic calli(%)a | 體細胞原胚／克癒傷組織 Proembryos／g calli | 子葉胚(%) cotylendonary embryos(%)b |
|---|---|---|---|---|---|
| 雲南松（雲南） | $P_6$ | 179 | 35.8 | 497.2±31.5 | 29.1±2.6 |
| A(Yunnan) | DCR | 115 | 3.4 | 52.1±7.4 | 3.7±0.9 |
| 雲南松（廣西） | $P_6$ | 148 | 10.2 | 102.6±29.1 | 5.7±0.9 |
| B(Guangxi) | DCR | 121 | 0.8 | 11.8±4.6 | 2.4±0.3 |

注：N=接種胚數；胚性癒傷組織指白色、半透明的癒傷組織；體細胞原胚包括早期和後期原胚；a胚性癒傷組織佔所接種胚總數的百分比；b產生子葉胚的癒傷組織佔所接種癒傷組織塊數的百分比。

Note:N=Number of embryos inoculated;as embryogenic calli are referred to as whitish,translucent calli;Proembryos include early and late stage proembryos;a Percent of embryogenic calli among the total embryos inoculated;b Percent of cotylendonary embryo production among the calli inoculated.

由表2和表3可以看出，雖然三種不同基因型的馬尾松及兩種不同基因型的雲南松能誘導產生胚性癒傷組織，但在誘導頻率上均存在有很大差異。福建馬尾松高達45.3%，遠高於浙江馬尾松（17.4%）和湖北馬尾松（19.8%）。雲南的雲南松高達35.8%，遠高於廣西的雲南松（10.2%）。此外，它們在產生體細胞原胚和子葉胚的能力上亦差異顯著。這些結果都說明松屬樹種基因型選擇在體細胞胚發生中有很大影響。這一結果與Jain等[18]和Becwar等[9]在濕地松和火炬松的體細胞胚發生研究中的結論是一致的。

四、後期原胚及子葉胚的發育

馬尾松帶有早期原胚的癒傷組織接種到附加9000mg／L肌醇的DCR-3後，經3-6周培養，雲南松帶有早期原胚的癒傷組織接種到附加9000mg／L肌醇的BM-3培養基上經4-7周培養，都將在癒傷組織表面形成頭部和下胚軸增大的後期原胚(late stage proembryos)。在少數情況下，在癒傷組織表面可形成球形胚。肌

醇作爲一種有效的滲透劑，在後期原胚的形成中有重要作用。試驗表明，在誘導培養基上產生的癒傷組織，若一直在附加1000mg／L肌醇的DCR-2或BM-2增殖培養基上生長，無論是三種基因型的馬尾松還是兩種基因型的雲南松均只能形成頭部較小的早期原胚，它們最終將形成不正常的子葉胚或不能繼續生長。Roberts[19]在白雲杉的體細胞胚發生研究中也曾報導類似的結果。

ABA曾被用於促進頁蒿[7]和大豆[8]的體細胞胚成熟形成子葉胚，目前已被廣泛用於促進針葉樹的子葉胚發育成熟的培養基中。一般認爲，ABA的作用是防止產生裂生多胚(cleavage polyembryogenesis），因而促進胚胎單個化並進一步發育成熟[20]。活性炭作爲有毒代謝物和不再需要的殘餘激素（如ABA）的吸附劑，目前常與ABA同時使用。試驗證明，ABA和活性炭同時使用，可使後期原胚產生一種與合子胚更加類似的頂端優勢區，幾周後即可形成粗壯的子葉胚。

表4 ABA和活性炭在馬尾松體細胞胚胎發生中的作用

Table 4 Effects of abscisic acid and activated charcoal on somatic embryogenesis of masson pine

| 培養基 medium No. | 脫落酸 ABA (mg／L) | 活性炭 Activated charcoal(g／L) | 平均體細胞胚數／克癒傷組織· 基因型 Average Embryos／Gram Calli· genotype Masson pine of Fujian | Masson pine of Zhejiang | Masson pine of Hubei |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0 | 11 | 3.2 | 2.4 |
| 2 | 5 | 0 | 14 | 5.7 | 1.1 |
| 3 | 5 | 1 | 37 | 16 | 6.4 |
| 4 | 10 | 1 | 94 | 43 | 6.2 |

由表4可見，含10mg／L ABA和0.1%活性炭的培養基（No.4）上產生的子葉胚平均數遠比僅含ABA的培養基上要多。而且這些胚的形態結構及活力均有改善，含有改善的頂端區、下胚軸區及根原基。當然試驗中並未得出ABA和活性炭的最佳使用濃度。而且不同的基因型對這些處理的反應也會有差異。

PEG（聚乙二醇）是一種不能滲透細胞壁的高分子化合物（分子量約爲1,000-8,000），在合適的濃度下，可產生一種與乾旱條件下相似的水分脅迫（water stress），降低體細胞胚的含水量，促進體細胞胚成熟。目前，PEG常與ABA同時使用，或採用ABA、活性炭和PEG組合。試驗證明，ABA和PEG同時使用，可使後期原胚座生一種與合子胚更加類似的頂端優勢區，幾周後可形成粗壯的子葉胚。

表5 脫落酸（ABA）和PEG在雲南松體細胞胚胎發生中的作用

Table 5 Effects of abscisic acid and PEG on somatic embryogenesis of Yunnan pine

| medium No. | ABA(mg／L) | PEG6000 (g／L) | Average Embryos／Gram Calli· genotype A | B |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 2.7 | 1.4 |
| 2 | 2 | 0 | 5.9 | 1.7 |
| 3 | 4 | 0 | 7.3 | 2.6 |
| 4 | 2 | 3 | 11.4 | 2.1 |
| 5 | 4 | 5 | 51.7 | 19.2 |
| 6 | 6 | 5 | 97.5 | 22.4 |
| 7 | 6 | 7.5 | 22.0 | 2.5 |
| 8 | 10 | 7.5 | 19.7 | 2.4 |

由表5可見，含4-6mg／L ABA和15% PEG的培養基（N0.5,6）上產生的子葉胚平均數遠比僅含ABA的培養基上要多。而且這些胚的形態結構及活力均有改善，含有改善的頂端區、下胚軸區及根原基。不同的基因型的雲南松對ABA和PEG處理的反應也有差異。

五、子葉胚萌發形成完整小植株

將馬尾松子葉胚取下轉至無激素培養基DCR-5，雲南松子葉胚取下轉至無激素培養基BM-5上，約兩周後，體細胞胚開始萌發，兩個月左右形成完整小植株。就馬尾松而言，由子葉胚萌發爲明顯可辨的針葉、下胚軸和根的小植株的轉換頻率達7.9%；而雲南松由子葉胚萌發爲明顯可辨的針葉、下胚軸和根的小植株的轉換頻率可達16.3%。絕大部分子葉胚只能稍伸長或停止生長，如何進一步提高所產生的子葉胚的質量及活力以提高體細胞胚轉換成小植株的轉換頻率，將是下一步工作所要解決的問題。

六、不定芽的誘導和植株再生

由馬尾松和雲南松產生種子經常規消毒滅菌後，在無菌條件下剝出成熟胚，接種到不含任何激素的$DCR_0$培養基上，2-3d後，胚開始萌動，切取子葉的尖端部位，再轉接到附加不同濃度的BA和NAA的DCR培養基上以誘導不定芽。我們試驗了1-5mg／L BA和0.1-0.2mg／L NAA的不同組合，其中3-5mg／L BA和0.2mg／L NAA組合的效果最好，芽的誘導頻率爲30.7%，平均芽數爲7.8個。芽的發生部位多在子葉尖端。通常在8-14d後子葉尖端先膨大，28d後在傷口處產生大量幼芽。待幼芽形成後，轉至無激素的DCR培養基上促進芽伸長，當芽伸長到0.5-1cm時，從

基部切下轉到含IBA 1.0mg／L和NAA 0.2-0.5mg／L的1／2 DCR培養基上誘導生根，1個月後即長根形成完整小植株[16]。爲提高誘導不定芽生根成完整小植株的效果，我們將切割的不定芽於切口處用5mg／L NAA的DCR液體培養基處理24h，濾紙吸乾，再轉到上述生根誘導培養基上，可加速生根形成完整小植株。

在另一項試驗中，將馬尾松及雲南松的無菌苗的頂芽切下，在含BA 50-100mg／L的DCR液體培養基中浸泡3-20h，無菌濾紙吸乾後轉至無激素的DCR培養基上培養，1個月後在葉腋和莖上可形成大量幼芽（每個外植體約形成11-20 個不定芽）。每隔2周繼代一次，繼代2-3次後，小芽均能長至1cm左右。從基部切下轉至上述的生根培養基上誘導生根，1個月後也均能生根形成完整小植株[16]。

七、農桿菌介導的松樹遺傳轉化

針葉樹種的遺傳轉化較爲困難，能獲得轉基因植株的成功報導，迄今僅見歐洲落葉松[17]和白雲杉[10]兩例。在馬尾松和雲南松成熟合子胚通過器官發生途徑再生完整小植株取得成功的基礎上，我們利用農桿菌介導法將外源B.t.基因導入上述兩種松樹的子葉尖端部位的細胞，通過誘導產生轉化的不定芽，經抗性選擇，現已獲得一些轉化型卡那霉素抗性植株。

將松樹無菌萌動胚上切取的子葉外植體尖端部位，先在誘導產生不定芽幼芽的培養基上預培養2d後，將其在農桿菌LBA4404／pGBI4A2B的菌液中浸泡2-5min，無菌濾紙吸去菌液後再共培養2-3d，移到含250mg／L羧苄青霉素（cb）的改良DCR培養基（附加5mg／L BA＋0.1mg／L NAA）上誘導產生幼芽，培養8-14d後約有30%的子葉尖端部位膨大，28d後在傷口處產生大量幼芽，此時將其轉至含25mg／L卡那霉素（km）、1.0mg／L BA和0.1mg／L NAA的生長選擇培養基上，當幼芽長到0.5-1cm長時，切下移到含25mg／L卡那霉素、1.0mg／L IBA和0.25mg／L NAA的生根選擇培養基上約1個多月後長成完整的轉基因小植株。其選擇抗性植株的頻率在3.4%左右。而對照子葉外植體在生長篩選培養基上則不能分化出正常的苗和根。而且都呈白化、死亡。對經過篩選得到的17株轉化型抗性植株中的NPTII酶活性進行檢測均呈陽性，進一步的分子檢測及蟲喂、抗蟲性檢測工作正在進行中（將另文詳細發表）。

## 參考文獻

1.李映紅、郭仲琛。青扦在不同條件下的體細胞胚胎發生及苗的形成。植物學報，1990.32：568-570

2.黃健秋、衛志明。針葉樹體細胞胚胎發生研究進展。植物生理學通訊. 1995. 31(2)：85-90

3.黃健秋、衛志明。松屬樹種的組織培養和原生質體培養。植物學通報，1994.11（1）：34-42

4.黃健秋、衛志明、許智宏。馬尾松成熟合子胚的體細胞胚胎發生和植株再生. 植物學報，1995。40（1）：72-75

5.黃健秋、衛志明、許智宏。馬尾松成熟合子的體細胞胚胎發生和植株再生。植物學報，1995。37(4)：289-294
6.黃健秋、衛志明、許智宏。雲南松成熟胚的體細胞胚胎的發生研究。實驗生物學報，1995。28（4）：371-379
7.Ammirate PV. Some effects of abscisic acid on the development of embryos from caraway cells in suspension culture. Amer J. Bot, 1973. 60(suppl):22-23
8.Ackerson RC. Regulation of soybean embryogenesis by abscisic acid. J. Ex Bot,1984.35:403-413
9.Becwar MR,Nagmani R,Wann SR.Initiation of embryogenic cultures and somatic embryo development in loblolly pine(*Pinus taeda*). Can J For Res,1990.20:810-817
10.Ellis DD,McCable DE,Mcinnis S,*et al* .Stable transformation of *Picea glauca* by Particle Acceleration.Bio／Technology,1993.11:84-89
11.Gupta PK and Durzan DJ.Somatic polyembryogenesis from callus of mature sugar pine embryos.Bio／Technology,1986. 4:643-645
12.Gupta PK,Durzan DJ. Shoot multiplication from mature trees of Douglas-fir(*Pseudotsuga menziesii*) and sugar pine(*Pinus lambertiana*). Plant Cell Rep,1985. 4:177-179
13.Gupta PK and Pullman GS.Method for reproducing coniferous plants by somatic embryogenesis using abscisic acid and osmotic potential variation. U.S.Patent,1991.No.5036007
14.Gupta PK and Pullmen. High concentration enrichment of conifer embryonal cells. U.S.Patent,1991. No.5041382
15.Hakman I,Fowke IC,Von S,Arnold and Eriksson T.The development of somatic embryos in tissue cultures initiated from immature embryos of *Picea abies*(Norway spruce). Plant Sci,1985. 38:53-59
16.Huang JQ,Wei ZM,Xu ZH.Plantlet regeneration from mature zygotic embryos and embryonic explants of masson pine(*Pinus massoniana* Lamb.). Cell Research,1994. 4:155-162
17.Huang Y.,Dinner AM and Karnosky DF.Agrobacterium rhizogenesis-mediated genetic transformation and regeneration of a conifer:*Larix deciduca*. *In vitro* Cell Dev Bio,1991. 28:201-207
18.Jain SM,Dong N,Newton RJ. Somatic embryogenesis in slash pine (*Pinus elliottii*) from immature embryo cultures *in vitro*. Plant Sci,1989. 65:233-241
19.Roberts DR.Abscisic acid and mannitol promote early development,maturation and storage protein accumulation in somatic

embryos of interior spruce.Physiol. Plant,1991. 83：247-254
20.Tautorus TE, Fowke IC and Dunstan DI. Somatic embryogenesis in conifers. Can.J. Bot., 1991. 69:1873-1899
21.Verhagen SA and Wann SR. Norway spruce somatic embryogenesis： High frequency initiation from light cultured mature embryos. Plant /cell Tiss. Org. Cult., 1989. 16：103-111

# 植物細胞超低溫保存的研究和應用

黃純農　王君暉[1]

摘　要：

隨著植物生物技術研究和應用的蓬勃發展，組織細胞培養物的超低溫保存和植物種質庫的建立日益引起人們的重視。液氮超低溫保存是植物種質和培養細胞的有效貯存方法。在- 196 ℃深低溫的條件下，細胞的生長和代謝活動基本停止，從而使優良的植物種質能長期保存並維持其遺傳穩定性。

植物細胞超低溫保存的傳統技術是在程序降溫儀控制下的兩步冷凍法。八十年代末，玻璃化法和包埋脫水法開始應用。近年，又研究抗凍蛋白在細胞抵禦低溫中的生物學效應。植物細胞超低溫保存的理論和技術研究有較大進展。我們用兩步冷凍法和玻璃化法等技術進行了水稻和大麥的胚性癒傷組織和胚性懸浮細胞的超低溫保存研究，開展了水稻和大麥的幼胚、幼穗等幼嫩外植體的超低溫保存研究，在植物細胞冷凍保存的機理分析方面也有比較深入的工作。

簡要介紹了木本植物種質超低溫保存研究的新進展。隨著保護生物多樣性和生物技術研究的深入開展，木本植物超低溫保存的研究出現了兩大熱點：一是頑拗型植物的胚，胚軸和體胚的冷凍研究報告較多；二是莖尖和離體培養物的超低溫保存中，玻璃化法和包埋脫水法等新技術的應用。

## 一、 前言

爲了保護植物種質資源，挽救珍稀瀕危植物種群，世界各國採用了許多先進技術，建立了各種類型、不同水平的“種質庫”，這對於遺傳育種和保護生物多樣性具有十分重要的意義。近年，隨著生物技術研究和應用的蓬勃發展，爲了保存、改良和利用植物組織和細胞培養材料，需要進行繼代培養，而在不斷繼代的過程中常會發生染色體、基因或分子水平上的遺傳變異，致使培養細胞發育的全能性喪失或失去某些十分寶貴的生物學特性。爲了解決這些問題，人們探索了許多降低植物細胞代謝水平的保存方法，如減少含水量、降低氧分壓和降低保存溫度等，而其中超低溫冷凍保存（ Cryopreservation ）是最經濟、最有效的方法。超低溫是指低於乾冰（固體二氧化碳，-79 ℃）的溫度，而如在-196 ℃液氮深低溫條件下，細胞的生長和代謝活動基本停止，從而使優良的植物種質能長期保存並維持其遺傳穩定性。

低溫生物學的迅速發展，爲培養細胞和種質的長期保存開拓了新途徑。自從 1949 年 Poleg 等首先發現甘油可以減輕鳥類精子冰凍損傷以來，人們將超低溫和冷凍防護劑結合使用，生物材料的冰凍保存取得突破性進展。植物細胞的超低溫保存的研究和應用起步較遲。植物細胞體積大，有細胞壁，液泡化程度高，含水

[1] 杭州大學生命科學學院

量多，對冷凍極其敏感，與動物細胞相比其冷凍保存的難度要大得多。 1973 年 Nag 和 Street 首先將胡蘿蔔懸浮細胞貯存在液氮中，解凍復甦後部分細胞能繼續成長。[39]同年， Sakai 等用楊屬植物的癒傷組織進行超低溫保存獲初步成功[49]。至今，進行超低溫保存研究的植物有 100 多種，其中包括各種植物的癒傷組織、懸浮細胞、原生質體、莖尖分生組織、幼穗、花粉、種子胚和體細胞胚等。許多植物細胞培養物和幼嫩外植體在液氮超低溫保存後能保持很高的成活率，並能再生新植株，保持原有的遺傳特性。這些研究結果爲植物種質庫的建立奠定了良好的基礎。

本文簡要概述了植物細胞超低溫保存的理論依據、影響超低溫保存效果的主要因素和禾穀類作物培養細胞和幼嫩外植體的超低溫保存研究。最後部分參閱有關文獻介紹了木本植物種質的超低溫保存，拋磚引玉，以便和與會同行學者研討交流。

## 二、植物種質超低溫保存技術的技術和機理

植物細胞超低溫保存的具體的操作過程包括，取材和預培養，凍存，化凍，活性檢測和恢復生長。預培養時在培養基中添加合適濃度的糖醇類物質，以水稻胚性懸浮細胞爲例，添加山梨醇的預培養能降低細胞自由水含量，提高束縛水比例，自由水含量的減少，可以降低胞內冰晶形成的數目和形成速度，束縛水含量的提高，可以防止細胞過度脫水，減輕溶液效應，保護蛋白質的結構和功能凍存的常用技術有乾凍法、預凍法、兩步法、玻璃化法和包埋脫水法等，下面逐一作簡要介紹。

乾凍法：利用無菌空氣流、乾燥硅膠或飽和溶液表面的氣相對樣品進行脫水處理，然後快速將樣品投入液氮貯存。預凍法：樣品在添加冰凍保護劑後置於零下某個溫度（一般爲-10 到-70 ℃之間的某個溫度，可通過置於家用冰箱、低溫冰箱或液氮蒸汽相中實現），若干小時或過夜後，將樣品投入液氮貯存，有些樣品用預凍法保存時，可不加冰凍保護劑。兩步法：樣品在添加冰凍保護劑後，用可控速率的降溫設備（程序降溫儀），以某個速率（一般在每分鐘降 0.1-5.0 ℃之間）將樣品降溫至轉移溫度（一般爲-40--71 ℃），然後投入液氮貯存，預凍法實際上是降溫速率不嚴格控制的兩步法。玻璃化法：樣品用高濃度的複合冰凍保護劑（玻璃化保護劑）處理後，快速投入液氮貯存。包埋脫水法：莖尖、分生組織和體細胞胚等樣品用褐藻酸鈣包埋後，第一階段先在含高濃度蔗糖的培養基中脫水，第二階段再用無菌空氣流或乾燥硅膠脫水，然後投入液氮貯存，如果第二階段用玻璃化保護劑脫水後投入液氮貯存，可以叫包埋玻璃化法；如果第二階段在冰箱中脫水，可以叫包埋預凍法；如果第二階段用程序降溫儀脫水，可以叫包埋兩步法。

凍後細胞的活性檢測大多用 TTC（氯化三苯四氮唑）法， FDA（螢光素二醋酸酯）法或細胞呼吸測定等，我們用 FDA-PI 雙色螢光顯微技術鑒定細胞和原生質體活性，取得了較好效果。凍後細胞的恢復生長一般先在暗培養下進行，細

胞在恢復生長時有或短或長的延滯期，對於較爲深入的研究，還要進行復活細胞的植株再生試驗，再生植株的形態學和遺傳學分析等。

兩步法、預凍法和乾凍法是植物種質超低溫保存的傳統技術，八十年代末九十年代初，玻璃化法[15]和包埋脫水法[17]開始應用於植物材料的超低溫保存，對提高植物細胞抗脫水力研究的深入，給預凍法也賦予了新的生命力，最近幾年，我們還研究抗凍蛋白在植物細胞超低溫保存中的應用[3]，這是一個更新的領域。

三、禾穀類作物培養細胞和幼嫩外植體的超低溫保存

禾穀類培養細胞是全能性原生質體的主要來源，是細胞和基因工程操作的優良受體材料，但是胚性懸浮細胞系的建立是非常困難的，一旦建立起來以後，在長期的傳代過程中還會導致細胞遺傳特性的變異，最明顯的是植株再生能力喪失。因此，超低溫保存禾穀類的胚性懸浮細胞是生物技術研究中的一項重要內容。幼胚和幼穗是禾穀類作物離體培養的良好外植體，近年來，隨著基因槍技術的發展，它們還直接被用作遺傳轉化的受體，爲了克服取材的季節限制，超低溫保存禾穀類的幼嫩外植體是很有實用價值的。

1.水稻

水稻胚性懸浮細胞的超低溫保存在過去十幾年中取得了很大進展，Cella ， Sala 和 Bajaj 等人在七十年代末八十年代初曾有過早期研究，但沒有從凍後細胞再生植株。 Meijer 等和 Lynch 等從對凍存復活細胞進行原生質體培養並再生了植株，所用冷凍方法都是兩步法[37,34]。 Jain 等用預凍法凍存了香稻胚性懸浮細胞[29]。水稻癒傷組織超低溫保存的報導亦不少，最近， Cornejo 等報導了凍後水稻癒傷組織的原生質體能用於轉基因研究[15]。近年來，我們與中國水稻研究所合作，在水稻胚性懸浮細胞的超低溫保存中取得了長足進展[6,28,56]。

嚴慶豐等用兩步法凍存水稻胚性懸浮細胞，首次從恢復生長的水稻細胞再生了結實率正常的植株[6]。從凍後細胞建立懸浮細胞系並進行原生質體培養，也再生了大量植株並正常結實，細胞生長時期，預培養，冰凍保護劑組合，保護劑處理時間等因素影響凍存的效果。通過細胞呼吸測定，細胞水分分析，雙色螢光顯微和透射電鏡觀察等技術，建立了優化的凍存程序，並對超低溫保存的機理進行了分析。

我們實驗室最早開展了禾穀類作物培養細胞的玻璃化法（ Vitrification ）超低溫保存研究，並首次從玻璃化法凍後的水稻細胞再生了大量可育植株[28,56]。指數生長期的細胞在含 60 克/L 的 AA2 培養基中培養 10 天，再在含 0.4mol/L 山梨醇的培養基中培養 1 天，冷凍時，細胞先在 25 % PVS2 中 22 ℃過渡 10 分鐘，再在 100 % PVS2 中 0 ℃脫水 7.5 分鐘，以每個冷凍管樣品和保護劑總體積爲 0.75ml 分裝，直接投入液氮貯存，取用時， 37 ℃水浴快速化凍，用含 1.2mol/L 山梨醇的 AA2 培養基 25 ℃洗滌 25 分鐘，瀝乾，接種在恢復培養基上生長。預培養對細胞的存活至關重要，單預培養不及雙預培養好，蔗糖預培養和山梨醇預培養有相互協同作用，過渡處理能增加保護性成分向細胞滲入，減輕細胞脫水損

傷。仔細控制細胞在玻璃化保護劑中的脫水時間是非常關鍵的，太短，保護性成分滲入不足；太長，保護劑對細胞的化學損傷和滲透脅迫增加。

2.大麥

Fretz 等最早從兩步法凍後的大麥懸浮細胞再生了植株，但再生植株未能移栽存活[21]。我們研究了大麥懸浮細胞和胚性癒傷組織的兩步法超低溫保存，獲得了較高的存活率[7]。在此基礎上，我們開展了玻璃化法超低溫保存大麥懸浮細胞的研究，首次從凍後恢復生長細胞再生了植株[7]。以授粉後半個月的大麥幼胚爲材料，先將它在含 0.5M 的山梨醇中預培養 2 天，再用兩步法和快凍法進程超低溫保存。快凍法的前處理部分同於兩步法，樣品在冰凍保護劑中處理後直接投入液氮貯存，研究結果表明，山梨醇預培養能顯著提高幼胚的存活率，冷凍對盾片的損傷大於對胚軸的損傷，快凍法的存活率大於兩步法，凍後存活幼胚能在萌發培養基上發育成植株，也能在誘導培養基上形成胚性癒傷組織並再生植株。

幼穗的解剖結構較爲複雜，我們嘗試著用玻璃化法這個新技術超低溫保存大麥的幼穗。結果表明，預培養和保護劑處理對幼穗的存活率影響很大，三個品種“81GI”，“戈貝納”和“旭 9”的存活率分別爲 100 %， 82.5 %和 50 %，存活的幼穗能形成癒傷組織並再生植株，和傳統的兩步法相比，玻璃化法凍存大麥幼穗具有存活率高，恢復生長的延滯期短和材料完整存活等優點[2]。

我們率先開展的幼嫩外植體超低溫保存研究，爲我們用基因槍法轉化大麥提供了有力幫助。

3.其他重要禾穀作物

小麥癒傷組織和懸浮細胞的超低溫保存和植株再生在八十年代中期就有報導[14]， Kendall 等還從凍後存活的癒傷組織得到了抗寒力提高的植株[32]。最近，還有二篇小麥幼胚超低溫保存的報導[22,33]。

Withers 等最早開展了玉米懸浮細胞超低溫保存的研究。 Shillito 等對超低溫保存後的玉米懸浮細胞進行原生質體培養並再生了植株[52]， Gordon-Kamm 等對超低溫保存後的玉米培養細胞進行了轉基因研究[26]，張士波等從超低溫保存後的玉米原生質體再生了植株[4]。

四、木本植物種質的超低溫保存

1.花粉

保存木本植物的花粉除了能解決花期不遇和異地雜交的問題外，還能加快育種的速度，因爲許多木本植物要幾年甚至十幾年才開花。花粉在脫水至合適含水量後可在-10 到-30 ℃的低溫下保存數月到數年，這方面的研究不少，可參看 Towill 和簡令成的綜述[54,8]，本文討論花粉的超低溫保存。據我們初步統計，已有雪松、扁柏、柑桔、柿、胡桃、落葉松、鱷梨、海棗、李、梨、杜鵑花和秤錘樹等 10 多個屬的木本植物花粉有超低溫保存的研究報導。

2.種子、胚、胚軸和體胚

根據本本植物種子的儲藏特性，將其分爲三類：正常型（脫水耐受），中間

型（脫水中度耐受，但低溫敏感），頑拗型（脫水不耐受）。頑拗型種子的脫水敏感性跟種子的生理成熟度有關，引起種子脫水死亡的臨界含水量不同物種有所不同，不同溫度下有所不同[11]，大體在 10%-40%之間。由於中間型種子是低溫敏感的，頑拗型種子是脫水敏感的，用常規的低溫乾燥條件很難有效保存這種子，即使提供最佳的條件，它們也只能存活數周到數月的時間[19]。超低溫保存是長期貯存這兩類種子的唯一選擇[10]。正常型種子雖能用常規條件進行保存，但在長期的貯存過程中也會發生霉變、萌發率下降和遺傳組成變化等諸多不足，對它進行超低溫保存研究上是很有意義的[25,50]。木本植物的種子較大，往往切取胚[45]別是胚軸[13,23,24,30,44,42,57]進行超低溫保存。通過離體培養技術，許多木本植物能大量同步地誘導形成胚狀體，用於植株再生研究和人工種子製備，因此，體胚超低溫保存是種子胚超低溫保存的有力補充[12,30,38,43,53]。

目前，已有南洋杉，榛，橡膠，油棕，白蠟，胡桃，雲杉，松，枳，櫟，柏，鐵杉和榆等 30 個屬共 40 多個種的木本植物進行了種子、胚、胚軸或體胚的超低溫保存研究，其中三分之二的是 1990 年以後的報導。所有凍存方法大多爲乾凍法，一些種的體胚也有用兩步法[36]和包埋脫水法[12,27]的報導。

3.芽和莖尖的超低溫保存

莖尖和分生組織培養是本本植物品種改良、快速繁殖和脫毒繁殖的重要手段，也是保護木本植物遺傳多樣性的重要途徑。用兩步法保存莖尖，復活的莖尖往往有不正常的生長。用玻璃化法進行超低溫保存，可以克服兩步法的這個不足[1]。最近幾年，玻璃化法在莖尖和分生組織的超低溫保存中應用得較多，如蘋果和梨的莖尖[40,41]。

包埋脫水法最早產生於梨樹莖尖的超低溫保存[17]，最近幾年在木本植物莖尖的超低溫保存中應用得上較多，如葡萄和咖啡的莖尖等[46,35,27]。包埋脫水法具有許多優點：樣品在包埋後變得更容易操作；避免了樣品直接和保護劑接觸；一般都用單一的蔗糖爲保護劑，這對二甲亞礬敏感的物種是很有利的；降溫速率比較隨意；另外，體胚用包埋脫水法保存時，同時又是一個製作人工種子的過程[53]。

目前，已有 10 多個屬 20 多個種的木本植物已被報導了芽或莖尖的超低溫保存研究。

4.癒傷組織和懸浮細胞的超低溫保存

從表一可以看出，木本植物癒傷組織和懸浮細胞的超低溫保存大多採用兩步法，兩步法是所有超低溫保存方法中研究得最爲透徹的一種，其技術路線較爲成熟。冷凍時，一般取旺盛生長階段的材料，並將它先在含滲透壓調節劑隨培養基中預培養一段時間，就木本植物而言，冰凍保護劑一般由蔗糖（0.15M）[0,9]、山梨醇（0.4M）[16,31]或麥芽糖(0.25M）[18]的一種與 5 %二甲亞礬配合組成。樣品的凍存效果還與降溫速率、保護劑添加時溫度、被凍樣品總體積和恢復生長條件等因素有關。

表一中也列出了用玻璃化法凍存本本植物懸浮細胞[47]癒傷組織[48,58]的報導。玻璃化法免去了程序降溫儀的使用，具有設備簡單、過程簡化和凍存效果好等優點，最近，用預凍法凍存橡膠懸浮細胞也獲得了很好效果[55]。

表一　木本植物懸浮細胞和癒傷組織的超低溫保存

| 植物名稱 | 冷凍樣品 | 冷凍方法 | 報導年份 | 作　者 |
|---|---|---|---|---|
| *Acer psudoplantanus* 桐葉槭 | 懸浮培養物 | 預凍法 | 1974 | Sugawara *et al.* |
| *Acer psudoplantanus* | 懸浮培養物 | 兩步法 | 1975 | Nag *et al.* |
| *Acer psudoplantanus* | 懸浮培養物 | 兩步法 | 1977 | Withers *et al.* |
| *Acer psudoplantanus* | 懸浮培養物 | 兩步法 | 1981 | Withers *et al.* |
| *Ciruts* 柑橘 | 懸浮細胞 | 兩步法預凍法 | 1994 | Engelmann *et al.* |
| *Citrus* | 癒傷組織 | 兩步法預凍法 | 1994 | Engelmann *et al.* |
| *Citrus deliciosa* 茶枝柑 | 懸浮細胞 | 兩步法快凍法 | 1993 | Aguilar *et al.* |
| *Citrus sinensis* 臍橙 | 懸浮培養物 | 兩步法 | 1990 | Kobayashi *et al.* |
| *Citrus sinensis* | 懸浮培養物 | 玻璃化法 | 1990 | Sakai *et al.* |
| *Citrus sinensis* | 懸浮培養物 | 預凍法 | 1991 | Sakai *et al.* |
| *Citrus sinensis* | 懸浮培養物 | 璃化法 | 1991 | Sakai *et al.* |
| *Coffe* 咖啡 | 懸浮培養物 | 預凍法 | 1990 | Tessereau *et al.* |
| *Hevea brasiliensis* 橡膠 | 懸浮細胞 | 預凍法 | 1993 | Veisseire *et al.* |
| *Phoenix dectylifera* 海棗 | 癒傷組織 | 兩步法 | 1981 | Tisserate *et al.* |
| *Phoenix dectylifera* | 癒傷組織 | 兩步法 | 1978 | Finkle *et al.* |
| *Picea abies* 雲杉 | 癒傷組織 | 兩步法 | 1990 | Bercetche *et al.* |
| *Picea glauca* | 懸浮細胞 | 兩步法 | 1988 | Kartha *et al.* |
| *Picea glauca* | 癒傷組織 | 兩步法 | 1994 | Cyr *et al.* |
| *Picea mariane* | 懸浮細胞 | 兩步法 | 1992 | Klimaszewska *et al.* |
| *Picea sitka* | 懸浮細胞 | 兩步法 | 1993 | Find *et al.* |
| *Pinus caribaea* 松 | 懸浮細胞 | 兩步法 | 1992 | Laine *et al.* |
| *Populus* 楊 | 懸浮培養物 | 兩步法 | 1980 | Bindcr *et al.* |
| *Populus euramerican* | 癒傷組織 | 預凍法 | 1973 | Sakai *et al.* |
| *Populus gelrica* | 癒傷組織 | 預凍法 | 1973 | Sakai *et al.* |
| *Prunus ceasus* 李，酸櫻桃 | 癒傷組織 | 兩步法 | 1968 | Tumanov *et al.* |
| *Pseudotsuga sinensis* 黃杉 | 懸浮培養物 | 兩步法 | 1980 | Binder *et al.* |
| *Rosa* 薔薇 | 懸浮細胞 | 預凍法 | 1980 | Withers |
| *Vitis* 葡萄 | 懸浮細胞 | 兩步法 | 1991 | Dussert *et al.* |
| *Vitis* | 懸浮細胞 | 兩步法 | 1992 | Dussert *et al.* |

注：下劃線的爲屬名。

七十年代和八十年代初的一些研究大多只能提供樣品凍後的 TTC(氯化三苯四氮挫）存活率或 FDA（螢光素二醋酸酯）存活率，隨著段研究的不斷深入，後來的報導除了提供細胞存活率外，還報導凍後細胞的植株再生並指出它們在形態和一些遺傳特徵上與未凍對照相似。目前，已有 10 個屬 20 多個種的木本植物的懸浮細胞和癒傷組織進行了超低溫保存試驗。

5.小結

木本植物種質的超低溫保存研究對保護物種遺傳多樣性和植物生物技術研究都具有十分重要的意義。根據我們的最新統計，已有 40 多個屬 60 多個種的木本植物進行了超低溫保存試驗，大多是九十年代的新報導，種子、胚、胚軸和體胚的保存大多用乾凍法；莖尖和分生組織的保存大多用玻璃化法和包埋脫水法；癒傷組織和懸浮細胞的保存大多用兩步法和玻璃化法，木本植物種質的超低溫保存在近年有二個特點，一是頑拗型植物胚軸和體胚的凍存報導較多；二是玻璃化法和包埋脫水法等新技術不斷應用。

主要參考文獻

1. 王君暉，黃純農. 1994 玻璃化法--園藝作物莖尖和分生組織超低溫保存的途徑. 園藝學報， 21（3）：277-282

2. 王君暉，嚴慶豐，黃純農. 1996 ．大麥幼穗的玻璃化法超低溫保存和植株再生. 植物學報， 38（9）：730-734

3. 王君暉，黃純農. 1996 抗凍蛋白與細胞的低溫和超低溫保存. 細胞生物學雜誌， 18（3）：107-111

4. 張士波，簡令成，郭仲深，屈貴平，錢迎倩. 1990 ．王米原生質體超低溫保存後芽和根的分化. 實驗生物學報， 23 ：117-120

5.嚴慶豐，黃純農. 1994 植物組織和細胞的玻璃化法凍存.細胞生物學雜誌， 16（3）：117-122

6. 嚴慶豐，王君暉，黃純農，顏秋生，張雪琴. 1994. 水稻懸浮細胞的超低溫保存研究. 實驗生物學報， 7（4）：399-409

7.黃純農，王君暉，嚴慶豐，顏秋生，張雪琴. 1995.大麥胚性懸浮細胞系的快速建立和超低溫保存. 中國農業科學， 28（3）：21-27

8.簡令成. 1993 細胞組織培養物的超低溫保存及其種質庫的建立.《植物細胞工程實驗技術》，孫敬三，桂耀林主編，科學出版社， p305-339

9. Aguilar ME,Engelmann F, Michaux-Ferriere N. 1993. Cryopreservation of cell suspensions of Citrus deliciosa Tan. and histological study. 1993. Cryo-letters, 14:217-228

10.Berjalk P, Dumet D. 1996. Cryopreservation of seeds and isolated embryonic axes of neem (Azadirachta indica). Cryo-letters, 17:99-104

11.Bonner FT. 1996. Responses to drying of recalcitrant seeds of Quercus nigra L.

Annals of Botany, 78:181-187
12.Bouchaud MT, Brison M, Negrier P. 1994. Cryopreservation of walnut somatic embryos. Cryo-letters, 15:151-160
13.Chandel KPS, Chaudhury R, Radhamani J, Malik SK. 1995. Desiccation and freezing sensitivity in recalcitrant seeds of tea, cocoa and jackfruit. Annals of Botany, 76:443-450
14.Chen THH, Kartha KK, Gusta LV. 1985. Cryopreservation of wheat suspension cultures and regenerable callus. Plant Cell,Tissue and Organ Culture, 4:101-109
15.Cornejo MJ, Wong VL, Blech AE. 1995. Cryopreserved callus: a source of protoplasts for rice transformation . Plant Cell Reports , 14:210-214
16.Cyr DR, Lazaroff WR, Grimes SMA,Quan G, Bethune TD. 1994. Cryopreservation of interior spruce (*Picea glauca* englmanni complex) embryogenic cultures. Plant Cell Reports, 13:574-577
17.Dereuddre J,Scottez C,Arnaud Y,Duron M. 1990. Resistance d,apex caulinaires de vitro-plant de poirier (*Pyrus communis* L.cv Beurre Hardy), enrobes dansl,alginare ,a une deshydration puis a une congelation dans l,azote liquide:effet d,un endurcissement pre alable au froid. C.R.Acad.Sci.Paris Ser3: 310:317-323
18.Dussert S, Mauro MC, Deloire A, Hamon S, Engelmann F. 1991. Cryopreservation of grape embryogenic cell suspensions :1--influence of pretreatment, freezing and thawing conditions. Cryo-letters, 12:287-298
19.Engelmann F.1991. In vitro conservation of tropical germplasm--areview. Euphytica,57:227-243
20.Engelmann F, Dambier D, Ollitrault P. 1994. Cryopreservation of cell suspensions and embryogenic calluses of Citrus using a simplified freezing process. Cryo-letters, 15:53-58
21.Fretz A, Jahne A, Horz H. 1992. Cryopreservation of embryogenic suspension cultures of barley ( *Hordeum vulgare* L. ). Botany Acta, 105:140-145
22.Gnanapragasam S, Vasil IK. 1992. Cryopreservation of immature embryos, embryogenic callus and cell suspension cultures of gramineous species. Plant Science, 83:205-215
23.Gonzalez-Benito ME, Perez C. 1992. Cryopreservation of Quercus faginea embryonic axes. Cryobiology, 29:685-690
24.Gonzalez-Benito ME, Perez C. 1994. Cryopreservation of embryonic axes of two cultivars of hazelnut (*Corylus avellalna* L.). Cryo-letters,15:41-46
25.Gonzalez-Rio F, Gurriaran MJ, Gonzalez-Benito E, Revilla MA. 1994. Desiccation and cryopreservation of oline (*Olea europaea* L.) embryos. Cryo-letters, 15:337-342
26.Gordon-Kamm WJ, Spencer TM, Mangano ML, Adams TR, Lemaux PG. 1990.

Transformation of maize cells and regeneration of fertile transgenic plants. Plant Cell, 2:603-608
27.Hatanaka,T, Yasuda T,Yamaguchi T, Sakai A. 1994. Direct regrowth of encapsulated somatic embryos of coffee(*Coffea camephra)* after cooling in liquid nitrogen. Cryo-letters:15:47-52
28.Huang CN, Wang JH, Yan QS, Zhang XQ, Yan QF. 1995. Plant regeneration from rice (*Oryza sativa* L.) embryogenic suspension cells cryopreserved by vitrification. Plant Cell Reports, 14:730-734
29.Jain S, Jain RK, Wu R. 1996. A simple and efficienct procedure for cryopreservation of embryogenic cells of aromatic indica rice. Plant Cell Reports, 15:712-717
30.Janeiro LV, Vieitez AM, Ballester A. 1996. Cryopreservation of somatic embryos and embryonic axes of Camellia japonica L. Plant Cell Reports ,15:699-703
31.Kartha KK, Fowke LC, Leung NL, Caswell,KL, Hakman I. 1988. Induction of somatic embryos and plantlets from cryopreserved cell cultures of white spruce (*Picea glauca*). J. Plant Physiology, 132:529-539
32.Kendall EJ, Qureshi JA, Kartha KK, Leung N, Chevrier N, Caswell K, Chen THH. 1990. Regeneration of freezing-tolerant spring wheat (*Triticum aestivum* L.)plant from cryoselected callus. Plant Physiol.,94:1756-1762
33.Kendall EJ, Kartha KK ,Qureshi JA, Chermak P. 1993. Cryopreservation of immature spring wheat zygotic embryos using an abscisic acid pretreatment . Plant Cell Reports, 12:89-94
34.Lynch PT, Benson EE, Jones J, Cocking EC, Power JB, Davey MR. 1994. Rice cell cryopreservation : the influence of culture methods and the embryogenic potential of cell suspension on post-thaw recovery. Plant Science, 98:185-192
35.Mari S, Engelmann F, Chabrillange N, Huet C,Michaux-Ferriere N. 1995. Histo-cytological study Coffea racemosof apices of coffee (*Coffea racemosa* and *C. sessiliflora* ) in vitro plantlets during their cryopreservation usitheencapsulation-dehyrationtechnique.Cryo-letters:16:189-298
36.Marin ML, Gogorean Y, Ortiz J, Duran-Vila N. 1993. Recovery of whole plants of sweet orange from somatic embryos subjected to freezing thawing treatments. Plant Cell,Tissue and Organ Culture,34:27-33
37.Meijer EGM, van Iren F, Schrijnemarkes E, Hensgens LAM, van Zijderved M, Schilperoort RA. 1991. Retention of the capacity to produce plants from protoplasts in cryopreserved cell lines of rice (*Oryza sativa* L.). Plant Cell Reports, 10:171-174
30.Mycock DJ, Wesley-Smith J, Berjak P. 1995. Cryopreservation of somatic embryos of four species with or without cryoprotectant pre-treatment. Annals of Botany, 75:331-336

39.Nag KK, Street HE. 1973. Carrot embryogenesis from frozen cultured cells. Nature ,245:270-272
40.Niio T, Sakai A, Yakuwa H. 1992. Cryopreservation of dried shoot tips of muberry winter buds and subsequent plant regeneration. Cryo-letters, 13:51-58
41.Niio T, Sakai A, Yakuwa H, Nojiri K. 1992. Cryopreservation of in vitro-grown shoot tips of apple and pear by vitrification. Plant Cell,Tissue and Organ Culture, 28:261-266
42.Normah MN. 1994. Seed storage and cryoexposure behavior in hazelnut (*Corylus avellana* L. cv. *Barcelona*). Cryo-letters, 15:315-322
43.Park YS, Pond SE, Bonga JM. 1994. Somatic embryogenesis in white sprue (*Picea glauca*) genetic control in somatic embryos exposed to storage, maturation treatments, germination, and cryopreservation. Theor Appl Genet, 89:742-750
44.Pence VC. 1992. Desiccation and the survival of Aesculus, Castanea and Quercus embryo axes through cryopreservation. Cryobiology, 29:391-399
45.Pitchard HW, Tompsett PB,Manger K, Smidt WJ. 1995. The effect of moisture content on the low temperature responses of Araucaria hunsteinii seed and embryos. Annals of Botany, 76:79-88
46.Plessis P, Leddet C,Collas A, Dereuddre J. 1993. Cryopreservation of *Vitis vinifera* L. cv *chardonnay* shoot tips by encapsulation-dehydration : effects of pretreatment ,cooling and postculture conditions. Cryo-letters ,14:309-320
47.Sakai A, Kobyayashi S, Oiyama I. 1990. Cryopreservation of nucellar cells of navel orange (*Citrus sinensin* Osb. Var *brasiliensis* Tanaka) by vitrification. Plant Cell Reports, 9:30-33
48.Sakai A, Kobyayashi S, Oiyama I. 1991. Survival by vitrification of nucellar cells of navel orange (*Citrus sinensin* Osb. Var *brasiliensis* Tanaka) cooled to -196 ℃. J Plant Physiology, 137:465-470
49.Sakai A & Sugawara Y. 1973. Survival of poplar callus at superlow temperatures after cold acclimatisaion. Plant and Cell Physiology 14,1201-1204
50.Salomao AN. 1995. Effects of liquid nitrogen storage on *Zizyphus joazero* seeds. Cryo-letters,16:85-90
51.Scottez C, Chevreau E, Godard N, Arnaud Y, Duron M, Dereddre J. 1992. Cryopreservation of of cold-acclimated shoou tips of pear *in vitro* culture after encapsulation-dehydration. Cryobiology, 29:691-700
52.Shillito RD, Carswell GK, Johnson CM,Dimaio JJ,Harms CT. 1989. Regeneration of fertile plants from protoplasts of elite inbred maize. Bio/technology, 7:581-587
53.Tessereau H, Florin B, Meschine MC, Thierry C, Petiard V. 1994. Cryopreservation of somatic embryos: a tool for germplam storage and commercial delivery of selected plants. Annals of Botany, 74:547-555

54.Towill LE. 1985. Low temperature and freeze-/vacuum-drying preservation of pollen. In: KK Kartha(ed). Cryopervation of Plant Cells and Organs, Boca Raton, CRC Press:143-267
55.Veisseire P, Guerrier J, Coudret A. 1993. Cryopreservation of embryogenic cell suspension of *Hevea brasiliensis*. Cryo-letters, 14:295-320
56.Wang Junhui, Zheng Y, Yan QF, Yan QS, Zhang XQ, Huang CN. Vitrificational cryopreservation and subsequently fertile plant regeneration from rice (*Oryza sativa* L.) embryogenic suspension cells. 1997.Chinese Science Bulletin,42(5):422-425
57.Wesley-Smith J, Vertucci CW, Berjak P, Pammenter NW, Crane J. 1992. Cryopreservation of desiccation-sensitive axes of *Camellia sinensis* in relation to dehydration, freezing rate and the thermal properties of tissue water. J. of Plant Physiology, 140:506-604
58.Yamada T, Sakai A, Matsumura T, Higuchi S. 1993. Plant regeneration of meristematic callus of white clover (*Trifolium repens* L. ) cooled to -196 ℃ by vitrification. Euphytica, 70:197-203

# 林木優良單株無性系組培苗工廠化集約化生產

顏慕勤[1]

摘　要：

本文主要論述在進行林木優良單株無性系組培苗工廠化集約化生產的過程中，建立組培苗生產工廠所需的條件，集約化生產組培苗之工藝流程及在大量生產組培苗的工廠內應配置的機械設備及微電腦控制設備。

爲了組培苗工廠所生產之苗木能最大限度地適合本地區的造林需要，工廠所生產的樹種要通過嚴格認真的選擇。嚴格篩選組培苗的成苗途徑及應用多種組培苗生根技術，其中包括瓶子內生根，瓶子苗直接扦插生根，組培容器苗幼態扦插生根及氣培生根等多種新的生根技術以降低組培苗生產成本。本文還介紹了組培苗的脫毒程序。

關鍵詞：　組培苗　工廠化集約化生產

# The Factory in atensive Production of Tissue Culture Of Good Clones of Torest Trees

Yan Mu Qin

(Guangxi Academy of Forestry. Nanning P.R. of China 530001 )

Abstract ：

The main idea of this article is to describe the necessities of the establishment of tissue culture factory ， the technological process ， machine and the computer control equipment during the proceeding of factory intensive production of plantlets of good clones of trees.

In order to meet with the local afforestation ， the tree species and the cultivation process should be selected seriously ， as well as the various rooting technologes ， which consist of the technologe of rooting *in vitro* ， cutting directly in bottle， tender sprout cutting and air cultivation which could reduce the cost of production. The procedure of free -viroses plantlets of tissue culture will also be introduced.

Key words ： Tissue culture ， Factory intensive production

## 一、前言

生物工程是“第三次產業革命”的主要內容之一，一個國家的生物工程技術

[1] 廣西壯族自治區林業科學研究院

發展的水平，將標誌著這個國家的現代化水平。因爲能源技術，微電子技術和生物技術是關係到人類生存和經濟發展的三項尖端技術，也是當代蓬勃發展的科學技術的三個方面。從古老的生物學中產生的生物技術之所以引人注目，因爲他可以帶給人們治好某些不治之症的希望，即生的希望，和巨大的經濟效益及社會效益，這是今天對他進行研究的重要原因。[1]

1.植物生物技術的發展從 1902 年德國植物學家 Haberlandi 提出植物細胞的全能性，即植物一個單細胞再生一棵完整植株的潛在能力的理論開始，到現在已經過一個世紀的發展。大約可分爲二大階段即從 1838-1922 年的理論準備及實驗開始階段， 1930-1960 年的技術與理論發展時期；到 1960-現在的生產應用開始及研究工作深化時期。

2.近年來，生物工程在各個領域的開拓利用收到了巨大的社會及經濟效益，林業上的開拓利用在世界各國也取得了很大的進展，發展迅速。生物工程研究能達到大規模在生產上應用水平的項目中，組織培養快速繁殖是最主要的一項。自 60 年代以來利用組織培養再生植株的植物種類已近 1000 種，其中木本植物已達 200 多種，現在仍不斷增加。

1960 年法國的莫瑞爾（ Morel ）建立了世界上第一家蘭花工廠，美國西部俄勒崗附近的威爾豪公司 1978 年已開始用優樹的組培苗進行小面積造林，美國南部林業研究中心在北卡羅來納州大學也已用火炬松組培苗造林，他們認爲在選出優樹之後用組培方法進行快速繁殖可望在 1-2 年後獲得可觀的遺傳增益，另外美國的里格斯苗圃 1983 年生產 100 萬株組培苗占其總產量的五分之一，主要生產花木及果樹。西德的 H.J.Froblek 1981 年曾用組織培養法獲得 5 萬株三倍體山楊無性系，並建立年產 15 萬株組培山楊的苗圃。在新西蘭林業研究中心 1985 年已用組培方法生產優質輻射松苗木 50 萬株。[2]世界各國對組織培養快速繁殖方法的利用，使林木組織培養向生產實際即工廠化育苗邁步。

近年來我國從事林木組培研究工作的科技工作人員也正努力把生物工程的這一技術，從實驗室向生產實際過渡，並取得了重大科研成果及技術突破，經過“七五”及“八五”兩個五年計劃的攻關研究，突破了技術難關，使我國的林木組培育苗研究從實驗室走向工廠化大生產，建立起具有現代國際先進水平的年產桉樹組培苗 250 萬株，楊樹 150 萬株的全電腦室動控制的育苗工廠。即華南地區林木組培苗工廠（見彩圖一）及華北林木組培育苗工廠。與此同時我國的很多研究工作者都走出實驗室建立新興的林業生物工程產業。如河北林科所的毛白楊已達年產 50 萬株的規模，廣東林科所的桉樹生產也已達到 100 萬株的水平。廣東雷州林業局，廣西東門林場等都建立了較大規模的實驗室。

總之，在用組織培養快速繁殖對林木優良單株無性系育苗收到良好的小試，中試成果之後，就有條件對該樹種投入大規模的工廠化生產。

## 二、林木組培苗的工廠化集約化生產

（一）林木組培苗投入工廠化生產應具備的條件，工廠化生產的工藝流程與其機

械配置。

實施林木組培苗集約化生產首先必定要掌握在生產上在大量需要推廣的優良樹種單株無性系組培苗的培養技術，這是林木組培苗集約化生產的基礎，否則便談不上集約化生產，這一條件有兩個要素，它們是：在生產上需要大量推廣的優良單株無性系，和這些無性系的培養技術，缺一不可，否則將會出現生產上需要的優良苗木工廠生產不了而工廠所生產的苗木生產上不是大量需要的，要出現這兩種情況之一都將使工廠難以存在下去。因此工廠必須配備科研人員，不斷開拓新樹種的組織培養快速繁殖的研究，以不斷滿足生產上對新樹種快速推廣的需要。

其次林木組培苗集約化生產需要一套根據組培苗生產的工藝流程而建立起來的廠房以及配套的大棚和網室，搞好工廠的全面布局。

工廠所採用的生產工藝流程及各種程序中机械裝備的配套情況如表 1 ：

（二）林木組培苗投入工廠化生產應具備的條件：

林木組培苗工廠的主要組成部分及其設施：林木組培苗工廠應包括以下幾個主要的組成部分並按版圖（一）的順序排列，其中包括主廠房，微機控制樓，塑料育苗大棚，遮陰練苗場，苗圃及機械碎土間等。

1 、主廠房有辦公室 40m²，衛生間 6m²，配藥間 74.4m²，天平室 12m²，藥品庫 6.6m²，消毒室 18.6m²，無菌操作室 37.2m²，培養室 93m²。

主廠房各部分的建築面積，是根據工廠生產的規模，具體生產樹種組培苗的分化率，出瓶率，苗的繼代周期等因素計算出來的，工廠的主樓是一幢八角形建築物，根據南方日照較長，氣溫高，無冬天，濕度大等氣候特點，我們採用了自然光照及溫度的設計，主樓是用框架玻璃帷幕牆體結構，在頂層上設有 5 個採光窗，使培養室的光照在晴天達到 75001ux ；陰天也能達到 20001ux 。這種光照強度投入生產使用後証明完全能滿足組培瓶子苗桉、杉、油茶、大葉相思、香蕉及各種花卉等多種植物生長的需要，培養室的溫度我們也採用夏天全自然溫度，冬天適當加溫的措施，投產使用後証明夏天最高溫在 36 － 37 ℃左右，冬天保持在 25 ± 2 ℃。這種溫度範圍是南方樹種完全能耐的溫度，因此在投產生產後，各種組培苗的生長和增殖速度都非常正常，桉樹的增殖周期還因光照充足可以從 30 天，縮短到 20 － 25 天，大大地提高了培養室的使用率，總廠房的八角形建築因其利用面積大，通道面積小，自然採光面大，通氣良好，能耗低等優點而爲廣大的組培育苗工廠所接受，並已推廣到海南，越南等地區及國家。

主廠房的各個部分，按照生產量的大小配有相應的儀器及設備：(1)辦公室及衛生間一般占地面積應該盡量小一些，但也不可大小，因爲他是工作人員進行日常工作的地方，約每個工作人員配備 1.5m²，內設辦公桌及公文櫃等。(2)洗滌間，是洗滌玻璃器皿及用具，衣物的地方，內設有水龍頭，塑料盆，洗瓶機，洗衣機，烘箱等等。(3)配藥間，主要在這裡配製及分裝培養基，內應設有保存藥物的冰箱，電熱蒸餾水器，離子交換純水器，電飯鍋，試劑架，常用藥品架及水磨石平台，爲了縮短培養基分裝的時間，配藥間配有一台培養基分裝機。(4)天

平室：是稱量配製培養基所用藥品的地方，因此內設有水磨石平台，上放有 1／100 ， 1/1000 ， 1 ／ 10000 等不同精度的天平。(5)藥品庫：內設有儲存藥品用的藥品櫃。(6)消毒室：是消毒衣物，用具及培養基滅菌的地方，內放置有大型臥式消毒鍋及小型手提式消毒鍋。(7)預備間：是工作人員進入無菌操作室前，更換衣帽鞋子的地方，也稱作緩衝室，內應設有衣帽鉤等。(8)無菌操作室：植物組織培養成敗的關鍵是無菌條件，因此工廠的無菌室的建築要求也是嚴格的，無菌室的地面光潔無縫，微塵量在 2400 粒／ $ml^3$ 以下，比一般的工作室減少 9／10 。這樣才能保證超淨工作台的無塵操作及空氣的淨化。無菌工作室內的超淨工作台數量是以工廠的產量及每台班產苗量來計算的。如工廠每超淨工作台班產苗 400 株，而年產量爲 100 萬株，每台班機產苗 12 萬株，因而需設超淨工作台 10 － 12 台（內有備用機 1 － 2 台）。(9)培養室：是儲存，培養組培瓶子苗的地方，內應設置瓶苗存放架，爲了盡量利用自然光照，瓶苗架的隔板應是玻璃板。所設瓶苗架的數量是以產量及繼代周期來決定的。如工廠現有存苗架 38 個，每個架分 6 層，每層每次放苗 59 瓶，一次存苗量爲 13452 瓶，每瓶每次出苗 60 株，一次出苗即達 40 － 60 萬株，即能滿足工廠生產 200 — 300 萬組培苗的要求。

附表 1 林木組培苗工廠化生產四個主要作業流程及机械配置表：

| 作業流程 | 作業內容 | 機械配置 |
|---|---|---|
| 組培瓶子苗生產 | 1.洗瓶及玻璃器皿<br>2.培養基配製分裝，消毒<br>3.無菌操作：轉移，擴大培養，生根培養<br>4.移苗前苗情控制，煉苗 | ←洗瓶機，洗衣機<br>←培養基分裝機，消毒鍋<br>←超靜臺，捲揚機<br><br>←煉苗場小車 |
| ↓ | | |
| 組培瓶子苗移栽 | 1.基質及土壤運輸及粉碎，肥料混合<br>2.裝填容器<br>3.組培苗移栽<br>4.無根苗扦插<br>5.組培苗運輸及放置 | ←小型拖拉機<br>←裝土作業線<br>←全自控育苗大棚，噴淋<br>←遮陽網開閉及送風<br>←運苗拖小推車 |
| ↓ | | |
| 苗木培育<br>苗圃及大棚管理 | 1.小苗噴淋<br>2.通氣，光照<br>3.病蟲害防治<br>4.追肥 | ←全電腦自控育苗大棚作業，486電腦，工業機及其執行機構，機械。 |
| ↓ | | |
| 組培苗的銷售 | 1.苗木分級<br>2.廠內苗木運輸<br>3.集裝箱運苗銷售 | ←運苗小推車<br><br>←集裝箱運苗車 |

2、主廠房附設有 2000m² 全微機自控育苗大棚，此大棚一次存苗量可達 60 萬株，棚內的溫、光、濕均由電腦自動控制，只需管理工人 1-2 。（版圖 2 ）微機控制系統是由微機、工業控制機、環境檢測儀表，強電控制櫃和執行設備組成的。其中工業控制機是本系統的核心部份。當系統起動之後，它具有定時從環境檢測儀表單片機中讀取溫度，濕度，照度數據的功能，並能將這些數據處理成可用來控制大棚內執行設備動作的依據，從而使檢測數據保持在給定範圍之內。執行設備被驅動時，工業控制機及強電控制櫃上都有相應的指示燈標識設備的工作狀態。

環境檢測儀表安放在大棚內，裡面的單片機能將檢測到的數據結果，以數字通訊的方式發送給工業控制機。該系統還具備每個整點記錄系統運行數據的功能，與微機通訊，即可得到當前情況和自系統啓動以來的所有情況。這些數據在微機裡形成獨立的日記文件，便於存檔，打印輸出及用於分析研究。

3 、原廠房還附設有練苗場 4000m²，練苗場由鋼筋水泥骨架，上加蓋 70 % 遮陰的黑色尼龍網構成一頂上的尼龍網可以隨意開啓及關閉，並安裝有自動噴淋系統。用以存放陰生花卉及桉樹上山造林前的練苗，每一放苗畦面可以加上鋁條骨架的尼龍薄膜，以防南方夏天暴雨及颱風對小苗造成危害，這些練苗場一次可存苗 70 － 80 萬株，滿足工廠生產的需要。（版圖 3 ）

（三）進行林木組培苗工廠化生產的樹種選擇成苗途徑及生根新技術：具備了以上所說的條件，只是具備了組培苗工廠化生產所需的設施及設備，林木組培苗要進行工廠化生產，對組技術本身就有較高的要求。工廠的設備及設備的完整和先進與否，只是影響組培工廠的機械化及自動化水平和現代化程度。而組培技術本身卻是決定能否進行工廠化生產的關鍵。在建立組培苗生產工廠時要注意以下關鍵技術問題：

1.進行工廠化生產的樹種選擇，進行集約化大量生產的組培苗木，必須是工廠所在地需要大面積造林用樹種，而且這種樹種的組織培養技術的各關鍵環節都已經小試甚至中試過關，所用組培外殖體，必須來自經鑒定的，家系清楚的優良單株。建立單株優良無性系，取得良好的結果，並已初步摸清了生產的工藝流程。該樹種的組培分化率，有效出瓶率，生根率及移栽成活率及上山造林成活率等，都已達到一定的要求，以上所提的幾個組培苗生產的關鍵，是工廠生產缺一不可的。

選擇樹種的另一個關鍵，是工廠所生產的材種一定要是生產上大量需要的新引進或新培育成功的優良樹種，這種樹種本身要有一定的特色，有良好的遺傳增益，如種子來源困難，用常規繁殖方法遠遠不能滿足生產上的需要。例如華南林木組培育苗工廠大量生產的，提供給林場造林用的巨尾桉及良種香蕉威廉斯。[3]

巨×尾桉是巴西近年來雜交選育出優良桉樹種，由澳大利亞專家引進我區東門林場試種，在評比中它的材積量比其他桉樹高一倍以上。年株高 8m ，胸徑 6.5cm ，平均株高 6m ，胸徑 5.6cm ，現在各林場及農民造林需苗量很大，但因它是個雜交種，父母親本在巴西，我國雖然已經能雜交制種，但用工量大，不能供大生產。而用扦插繁殖卻枝條來源困難，並受季節影響，因此種苗需求差距十

分巨大，工廠每年產量達 250 萬株也遠遠不能滿足造林的需要。

再如華北組培苗工廠生產的泡桐脫毒苗，也是一個選擇較好的樹種，泡桐是我國重要的速生樹種，尤其在華北平原，泡桐是平原綠化，農林間作的理想樹種，但是泡桐卻很易感染上一種侵染性病害－泡桐叢枝病，是泡桐發展過程中的一個重要障礙。

泡桐叢枝病是由類菌質體病原（ NLO ）引起的病害，並通過長期無性繁殖而延續和傳播。[4] MLO 引起的病害在枝，花，莖，根上都可表現症狀，即腋芽，不定芽大量萌生形成小枝，節間短，呈掃帚狀，花瓣變小，柱頭伸長成小枝並叢生。通過電鏡觀察可以看到病株的韌皮部篩管有大量病毒存在，並通過篩管板孔在篩管中流動而感染整個植株，試驗同時觀察到病株種子不帶毒，莖尖頂端分生組織不帶或很少帶病毒。因此應用組培脫毒可使具有許多優良性狀的品種，既可以通過無性繁殖保持其優良性狀又可脫除病毒的危害，能較快地在生產中發揮效益。

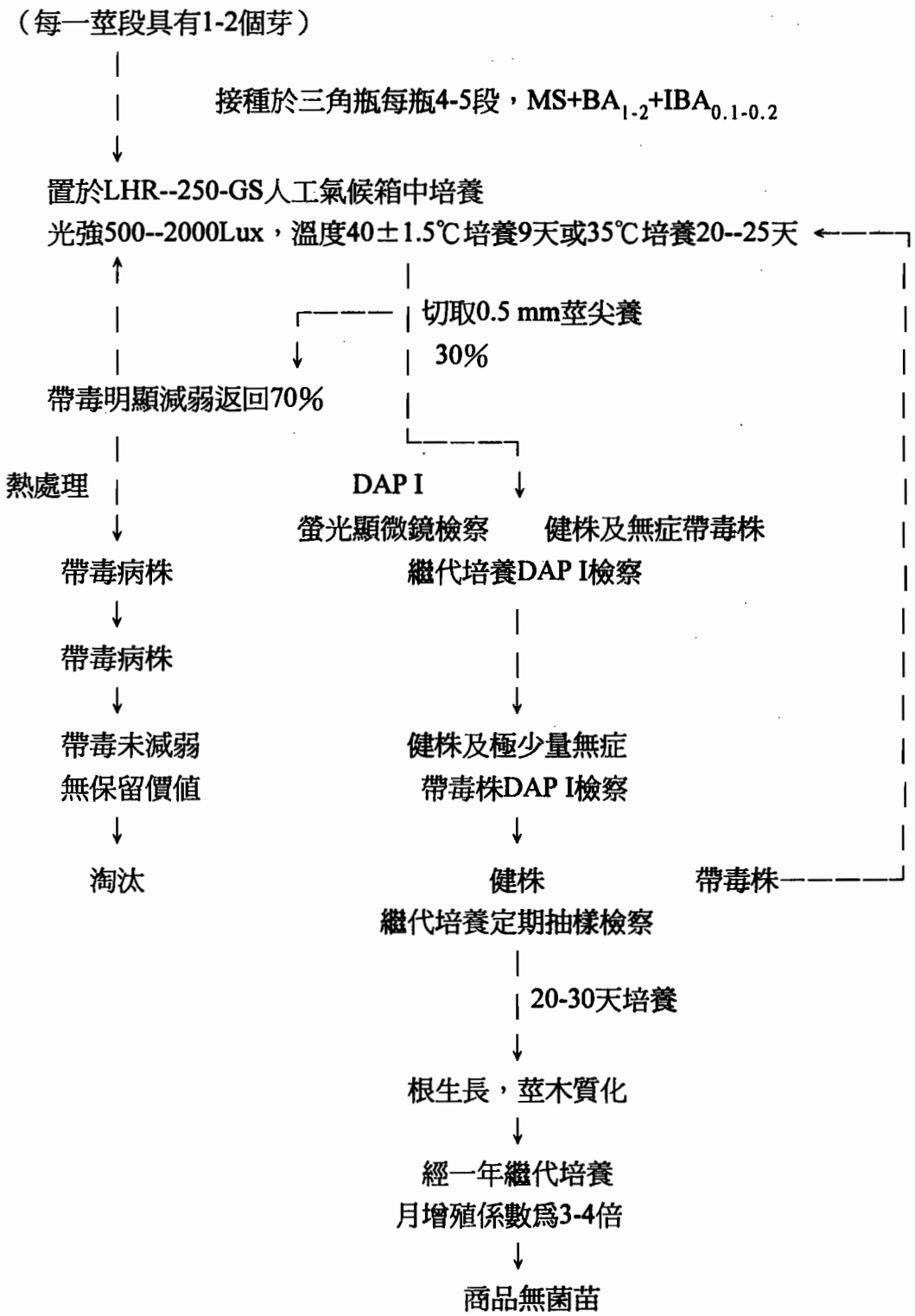
1952 年 Merel 和 Martin 首先從感染病毒的大麗菊材料上經組培脫毒而獲得無毒苗[5,6]，後來在許多草本植物上應用，接著在許多本本植物如香蕉花葉病毒，蘋果葉缺綠班點病毒，瑞香的尼泊病毒（ NEPO ），李樹的多種病毒等。其脫毒機理都是植物莖尖頂端分生組織中不存在或很少存在病毒，通過微莖尖培養而獲得大量的無毒的優良無性系苗木。

泡桐叢枝病去毒工藝如下表示（附表 2 ）

2.組培苗工廠生產所用的瓶預苗的組培成苗途徑：

在植物細胞，組織和器官培養過程中，得到組培小苗的途徑大概有以下幾種：（ 1 ）癒傷組織分化成苗，（ 2 ）胚狀體成苗，（ 3 ）原球莖成苗，（ 4 ）腋生枝叢生苗成苗，在林木組培工作中能形成大量小苗的是癒傷組織成苗，胚狀體成苗及腋生株叢生苗，我們在工廠化大規模生產苗木的過程中選擇了腋生株叢生苗成苗途徑，因爲根據我們的試驗有這樣一個初步結果：那就是胚狀體機成苗雖然分化率很高，小苗根芽齊全，但是存在著胚狀體成苗比較纖弱，移栽成活率及苗木長勢都不是很好。而癒傷組織成苗，分化率也非常高，但因組培成苗過程中經過癒傷組織階段，會導致遺傳性不穩定，這種現象稱作體細胞無性系變異[7]（ Some clonal Varialion ）。當然影響體細胞無性系變異因素是多種多樣的，如植物類型及基因型，染色機倍數性水平，培養方式及時間，外殖體細胞的來源，培養基成分等等，[8]體細胞變異在後代中出現的頻率可以達到 15%或更高，這樣高的變異頻率，會嚴重地影響到組培苗造林後的遺傳增益，用這種苗造林是不可取的，爲此我們選用了變異頻率在 2 %以下的腋生株叢生苗成苗法，經過造林試驗及後評估証明是可取的。

附表 2 ：泡桐熱處理微莖尖脫毒工藝流程圖



3.組培林木苗的扦插生根及氣培生根：

木本植物組織及器官培養快速繁殖可分爲三個階段，即建立無菌培養體系，芽的繼代增殖及生根培養。傳統的生根方法是在無菌條件下進行的，採用這種方法工效低，勞動強度大，成本較高，不利於大規模工廠化生產。經過十年的攻關研究，我們建立了幾項新的林木組培生根工藝：

(1)組培試管苗常規扦插生根技術：[9,10]

在 1979 年 Hcloun 和 Amos 用四川白樺組培繼代苗的單株綠苗，在有菌條件下扦插生根獲得了成功，在 80 年代我國的林木組培工作者先後用楊樹，山楂等組培苗單株扦插也取得了成功並已從實驗轉入工廠化生產。

我們爲了加快巨尾桉良種推廣的步伐進一步降低組培苗成本，進行巨尾桉組培苗常規扦插生根試驗。處理方法：所採用的巨尾桉瓶子苗，綠苗葉片展開，葉色濃綠，莖紫紅色已木質化。取出瓶子苗洗去瓊脂，用手剝取單株或叢狀綠苗，（每苗長 1 － 2cm ， 6 － 8 株一叢）。用 0.1%多菌靈浸泡 10 分鐘，用生根粉 ABT1 號處理基部，濃度爲 200PPM，直接插在裝有經過消毒的基質的容器中，插後 15 天內進行間歇霧保濕，一個月後移出大棚外練苗，苗高 15cm 時即可出圃造林。影響扦插成活的因素主要是：苗木莖的木質化程度，所用的生根生長素的種類與濃度，苗木健壯的等級和插後的保濕情況。

(2)組培容器苗幼態扦插生根技術：

幼態扦插即是用經過組培復壯幼態化的容器苗爲插穗進行扦插。桉樹成年優樹扦插一般較難成活，也難生根。但在研究過程中我們發現經過組培復壯後幼態化的組培容器苗用作插穗，可以提高桉樹扦插的生根率及成活率到 90%以上，這項技術的應用不但把桉樹組培苗的成本下降 50%，與常規扦插苗接近，更可擴大組培工廠的生產能力。其具體做法是：

首先是按所需苗量的 1 ／ 10 建立採穗圃，如需商品苗 100 萬株，採穗圃爲 10 萬株。苗圃要求排水良好，土地肥沃，在 1 公里內沒有同種源的大樹。在第一年的 9-10 月份種植採穗圃， 12 月採穗扦插，第二年的 3-5 月份上山造林。採穗圃種植密度爲 80-100 株／ $m^2$。種植後的一個月剪頂促萌，使母株的枝條量增多。待枝條長到三對葉片時即可採用，每次採完插穗都需要追肥。

插穗的剪取，選長有三對葉片的健壯枝條，要求莖呈紫紅色已木質化。在第三對葉的節下 2mm 處斜刀剪取插穗，並把第三對葉片剪除保留 2 對葉片。切口粘蘸 200PPM ABT1 號生根粉糊，然後進行扦插。

扦插基質的處理：扦插是利用植物營養器官本身所含養份，或葉面進行同化作用所補充的養分來供給發根，在未發根前插穗並不能吸收土中的養份。所以扦插最初時基質中並不需要加入任何養分，相反有機質的存在易於引起病菌入侵，使插穗腐爛。待插穗生根後應及時追肥。基質是否代有病原菌是扦插成敗的重要因素，因此扦插前基質應進行消毒，一般用 0.3 %高錳酸鉀淋透基質表層 1.5 － 2cm 深。 12 小時之後用清水洗去殘留藥液待用。

幼態扦插最佳的溫度條件爲 25 － 35 ℃，並需保證空氣濕度在 90%以上，光

照以散射光最佳。在插後 7 － 10 天從插穗基部可明顯地看到根原基凸出皮層，在插後的 10 － 12 天插穗長出新葉，即應及時追施 0.4 %複合水肥，以後每周追施一次，一個月待小苗長到 20 － 25cm 即可上山造林。

(3)組培瓶子苗氣培生根技術：

華北林木組培育苗工廠所生產的毛白楊，生根培養階段所需成本費用約占試管苗生產成本的 30%以上。爲了簡化常規組培程序，降低組培苗生產成本，對毛白楊等試管苗生根培養方法進行了改革，即不用任何培養基只以空氣爲介質進行生根培養，並且將試管苗的生根過程從無菌環境移至管外有菌環境中完成。其方法如下：

所取用作氣培生根的毛白楊試管苗爲 5-7 代增殖材料，苗高 2 － 4cm ，莖粗 1mm 左右，取出試管苗，剪成長約 1cm 左右帶有 1 － 2 片小葉的莖段，每莖段必須留葉片以保持光合自養能力，促進生根，所剪好的莖段堆放在經普通滅菌處理的容器中，再加入 5 %的新鮮食用蔗糖溶液，浸泡 15 分鐘之後，取出莖段，不用水洗直接撒放在氣培裝置的育苗載機上，撒放密度爲 5000 株/$M^2$，載體（苗床上鋪的無紡布，濾紙等）用清潔的自來水充分濕潤後封密氣培容器。容器內相對濕度應在 95 %以上，溫度爲 15 － 30 ℃，光照在 800 － 1500LUX ，每日光照 15 小時以上， 10 天左右即可完成生根培養。

(四）關於批量出苗及小苗移栽和苗圃管理：

1.工廠化育苗的每一個程序都關系到整個工廠的生產布局，因此培養室出苗一定要成批量性，如一批苗應該是 1.5 萬苗或 3 萬苗，不能零散出苗，因爲零散出苗不但形成不了生產力，還造成苗圃管理困難。組培苗上山造林的運輸是採用集裝箱運苗，而每一集裝箱車可運組培容器苗 168 托， 14784 株苗，按此一數量出苗可以節省小苗的運資，最大限度地利用集裝箱車的容載量。（版圖 4 ）

2.小苗的移栽及苗圃管理：

組培苗的大規模集約化生產，不可能像小試，中試那樣進行很細的作業，例如給移栽小苗加蓋瓶子等等，否則苗木的價格會提到用苗方面承受不了的高度，因此需十分注意瓶子苗的練苗工作，在進行移栽之前一定要使小苗的莖部充分木質化，以抵抗外界的不良環境，提高小苗移栽成活率。

工廠化育苗的基質有其特殊性，主要是無菌，無雜草種子，透氣性良好保水能力強等，並不要求代有肥料及有機質，我們進行了以下幾種基質的移栽試驗：(1 ）紅壤 3 分＋沙 1 分；（ 2 ）紅壤 3 分＋沙 1 分＋煤灰 1 分，（ 3 ）深層紅壤 1 分＋塘泥 3 分等，試驗結果表明這幾種基質都能使巨尾桉組培苗移栽成活，但扦插組培苗最好用第（ 3 ）種配方。

在選定移載基質配方之後，我們對各種育苗容器也進行了對比試驗；其中有：蜂窩紙容器，塑料指形硬塑料杯等。使用結果，我們認爲各種杯都有其特點，也有其不足之處。如塑料薄膜杯，其價格便宜，每杯價值 0.0032 元，可以降低成本，易於進行小苗人級篩選，但單個裝杯用工量較大。指形杯保苗的時間長，但成本高，每杯 0.1 元，雖然可以重覆使用，但上山造林時回收困難。山西塑料

杯易於分杯但裝土困難，紙容器能進行機械化作業，但成本高，每杯 0.028 元，分杯也較困難等等，因此可針對不同的樹種選用不同的移苗容器。

爲了獲得無病蟲害的健壯的商品組培苗供應市場，必須在苗圃進行集中的病蟲害防治管理，從培養瓶移栽出來的組培小苗是無病蟲害的，但在移出瓶子栽到容器之後，組培苗與其他小苗一樣會受到病蟲害的侵襲，一般在苗圃發生的病蟲害在組培苗圃同樣會發生，如：（1）猝倒病：每年高溫高濕的 4 － 5 月，8 － 9 月有發生，防治方法是噴洒多菌靈。（2）小地老虎：小地老虎對桉樹小苗的危害是較嚴重的，半月齡的幼蟲，每條小蟲每晝夜可咬斷小苗 10-20 株。主要防治方法是鏟除圃邊雜草，噴施敵百蟲，或做敵百蟲誘餌毒殺。（3）卷葉蛾：危害嚴重時可以危害小苗的 50 － 100 %，防治方法是施用甲基磷。

三、試管苗上山造林及其後評估

爲了迅速推廣使用桉樹優良無性系營造工程林，自 1990 年以來我們共營造試驗林，示範林，工程林 5000 公頃，造林地區擴展到：廣西、廣東、福建、雲南、海南以及越南等大西南各個省區，以至國外。並在廣西的各個氣候地域帶分別營造了試驗林。經過五年的長期調查和測定，測定數據表明：參試的所有中選單株優良無性系，表現都非常良好，在各試區中林木生長旺盛，林相非常整齊，樹形優良，在熱帶地區（桂北的黃冕）雖然有時有些輕微的霜凍，但第二年春天很快恢復長勢，從測定的數據看桉樹組培苗具有非常良好的優良單株遺傳優勢，有很廣的適應性和很強的生長優勢，2 年齡幼林樹高生長均保持著 4-6M，年胸徑生長均保持在 3-4CM，3 年齡的林分處於生長的高峰期，年高生長達 4M 以上，年胸徑生長達 3CM 以上，年畝木材蓄積量達到 2.3-2.8$M^3$以上。

優良單株無性系組培苗經濟性狀的試驗，組培苗與幼態扦插苗的對比造林試驗，組培苗與實生種子苗造林對比試驗，全天候（全年）造林試驗等，經對高生長及胸徑生長的觀測數據進行方差分析後，對組培苗大規模上山造林得出以下的評估意見：

1.桉樹組培苗，其外殖體爲中選優株單株的芽器官，通過“腋生枝叢生芽”途徑大量繁殖因此比較完整地保留原母株的優良遺傳性狀，大面積營造工程林後生長快，林相整齊一致，木材年蓄積量大，能收到較大的經濟效益，生態效益及遺傳增益。（版圖 5）

2.各參試的優良單株無性系組培苗適應性廣，在各不同的氣候帶生長良好。

3.組培幼態扦插苗與組培苗具有一致的優良特性，但因其成本低廉，能更有效地利用林場苗圃進行扦插，以保証造林季節的大量需求。

4.桉樹組培苗造林能進行全年全天候造林，在最乾旱的季節保存率不低於 90%，可以在生產上推廣全天候造林。

5.桉樹組培苗造林，生長快，年材積量大，但因桉樹爲一速生豐產樹種，需要較高的經營水平才能發揮其速生豐產的優勢。

我國的林木組培育苗工廠建立至今已有 6 年的歷史了，在這期間生產苗木

900 多萬株造林 5000 多公頃，經濟效益已超過 1 億元。這一新興產業的出現使我國的林木組織培養從實驗室走向工業化大規模集約化生產，無論在組培技術上，在工廠的機械設備以及電腦微機自控的水平上，都趕上並超過了世界上較先進的國家，並開始把技術輸出國外。

華南及華北林木組培育苗工廠正在爲祖國的綠化，大規模的工程造林而貢獻自己的力量。

## 參 考 文 獻


(1)顏慕勤等 1989 年 廣西科學院學報（增刊）24 — 34

(2)譚文澄等 1991 年（觀賞植物的組織培養）2 — 16

(3)曾練武等 1990 年 廣西林業（增刊）16 — 23

(4)黃欽才等 1994 年 生物技術 9 — 12

(5)WAIKEY D.Q.A ： 1980 年 AOFA HORFICUIEURAE 88 ： 23 — 31

(6)DEOGRAFIAS J.N.， 1989 年 Can.j.plathol ii ： 337 — 342

(7)何有璋等 1989 年 北京農業科學 1989（ 1 ）35

(8)Jyasfafcrs.J.W ， 1985 年 花卉蔬菜工廠化育苗 349 — 395

(9)陳平等 1990 年 廣西林業（增刊）32 — 33

(10)小朝陽等 1990 年 廣西林業（增刊）34 — 35

(11)陳文龍等 1992 年 華北林木組培工廠化育苗技術研究 65 — 74

# 林 木 組 織 培 養 繁 殖

闕國寧[1]

摘 要：

本文以作者研究爲基礎，綜述了若干與林木植物組織培養繁殖有關的問題。首先研究了有關外植體材料選擇的問題，從爲樹木組培繁殖能力通常與外植體的成熟度有關，一般越年幼越易於繁殖。並而闡述了培養基中大量元素 N 、 P 、 K ，生長調節物質 BAP 、 ZT 、 KT 、 IBA 、 NAA 等對杉木（ *Cunninghamia lanceolata* ）、北美紅杉（ *Sequoia sempervirens* ）、火炬松（ *Pinus taeda* ）、濕地松（ *P.elliotii* ）、晚松（ *P.serotina* ）、西蒙得木（ *Simmondsia chinensis* ）、金邊瑞香（ *Daphne odora* var. *marginata* ）等樹種，離體培養嫩梢增殖生長及生根的影響。探索了不同年齡杉木嫩梢中脫落酸及單寧含量的周年變化規律、討論了組培過程中的 ZT 、 ABA 及單寧量的變化與組培復壯的相關性。同時根據我國的林業生產特點，認爲必須建立多種形式的組織培養繁殖體系，以適應各樹種組培繁殖生產的需要。

關鍵詞：林木，組織培養，繁殖，復壯

# Tissue Culture Propagation of Forest Tree

Que Guo-Ning

（ The Research institute of Subtropical Forestry,CAF ）

**Abstract** Based on many years research work, author summarize several aspects related to tissue culture of forest tree. At first, the article point out that the capacity of regeneration of trees tissue culture is associated with its maturity, and the more juvenile the explant is, the easier the propagation is. Then, the effect of macroelement ( such as N,P,K ) and growth regulator ( such as BAP,ZT,KT,IBA,NAA ) on shooting and rooting were studied. The species were used in experiment are *Cunninghamia lanceolata, Sequoia sempervirens, Pinus taeda, P. eliiotii. P.serotina, Simmondsia chinensis* and *Daphne odora* var. *marginata.* Third, The ABA and tannin in shoots of different ages of Chinese fir were studied, and the relation between content of endogenous ZT,ABA and its rejuvenation in the process of tissue culture were discussed. At last, the author believe that it is necessary to setup a manifold system of in vitro propagation according to the characteristic of Chinese forestry.

**Key words** ： forest tree, tissue culture, propagation, rejuvenation

---

[1] 中國林業科學研究院 亞熱帶林業研究所

## 一、前言

林木組織培養是植物生物技術的重要組成部分，它主要包括器官、組織、細胞和原生質體培養。根據實驗的觀點，樹木在離體培養條件下，各獨立的培養體因脫離原母體所施加的影響能較自由地表達在母本體內受壓抑的潛在特性；所培養的組織或細胞能減免微生物的破壞；能創造較適合培養體生長發育的環境條件；可以非常有效地在細胞水平上進行大規模遺傳誘導和篩選。爲此，它是樹木生理生化、生物技術、遺傳、病理等學科領域不可缺少的研究工具。與此同時，優良無性系快速繁殖；脫毒苗生產體系的建立；遺傳品質的改良以及代謝產物的生產等方面，目前也開始適應大規模生產應用上的要求。隨著生物技術的發展，抗性細胞系的篩選、原生質體融合以及遺傳轉化等技術在林業上也已展現出巨大的潛在應用前景。本文主要以作者試驗爲依據；就林木組織培養繁殖問題加以綜述，以供參考。

在林木組織培養繁殖方面，早在 1950 年， Ball 就發表了關於組織培養北美紅杉（ *Sequoia sempervirens* ）引起形態發生的報導[5]，然而直到 70 年代才有一批樹木經組織培養形成完整植株。在闊葉樹種中較早報告有顫楊（ *Populus tremuloides* Michx ），歐洲山楊（ *P. tremula* L.）等樹種分別從幼苗莖段誘導形成完整植株[20]。在針葉樹中， Sommer 首次報導了從子葉下胚軸誘導長葉松（ *Pinus palustris* Mill.）形成完整植株[18]。至今已有數百種森林樹種經組織培養引起植株再生，其中包括針葉樹闊葉樹以及竹類植物[10]。然而目前已進行快速繁殖的林木樹種只有下列 10 餘種，主要有：樺木屬（ *Betula* spp.）桉樹屬（ *Eucalyptus* spp.）柳樹屬（ *Salix* spp.）柚木（ *Tectona grandis* L.f.）杉木（ *Cunninghamia lanceolata* ）北美黃杉（ *Pseudotsuga Menciesii* ）火炬松（ *Pinus taede* ）輻射松以及北美紅杉（ *Sequoia sempervirens* ）[8]。除外，還有楊樹屬（ *Populus* spp.）雜交相思樹（ *Acacia mangium* × *A. auriculifomis* ）紅檜（ *Chamaecypris formosensis* Matsum.）以及溫帶堅果類和熱帶亞熱帶叢生竹類等也都有獲得快速繁殖成功的報導[15]。這些樹種快繁的成功必將激勵研究者繼續探索克服當前阻礙各林木樹種運用組培技術於林業生產實踐所帶來的各種困難， 使其在理論和實用方面都能取得新的進展。

## 二、外植體材料的選擇

樹木組織培養形態發生通常可分爲器官發生與胚狀體發生兩種途徑，前者屬於單極胚，後者則爲雙極胚[19]。然而不論哪種途徑爲了達到繁殖的目的在諸多的繁殖材料中，最佳外植體的選擇仍然是嫩芽、莖尖、針葉束、子葉、下胚軸和種胚。在選擇外植體時，必須非常認真考慮它們的遺傳與生理狀態，應該盡可能選擇那些系統發育和個體發育部較年輕的器官材料。這些材料培養後誘導形成或不形成癒傷組織，進而產生不定芽，經嫩梢培養與生根培養兩步驟完成植株再生過程。一般認爲這種辦法能保持較高的增殖率，再生植株在遺傳性性狀上比較穩定，重覆性較好。 A.Dayid 和 C.L.Brow 等人（ 1982 ）列表說明了近 100 種已獲

得再生植株的針闊葉樹種組培繁殖的多種外植體類型，經統計，在裸子植物中幾乎絕大多數均採用雌雄配子體子葉、下胚軸、胚等極具童期性狀的幼嫩組織作植體材料而在闊葉樹中也有 70 %必須採用上述的幼嫩組織，只有那些易於組培繁殖的楊、柳、榆等樹種利用幼樹的莖段作外植體。從育種學的觀點，隨著母本年齡的不斷增加，其性狀的表現力逐漸增強，這就爲良種繁育提供了更大的選擇空間，然而與此同時，其組培繁殖能力則逐漸下降，爲此如何選擇一個既已表達母本的優良遺傳性狀，又能保持較高繁殖力的年齡位點是非常重要的。鑒於母本的年齡是選擇外植體的關鍵、現以杉木爲例加以說明：選取各項條件相類似，年齡分別爲 1 、 5 、 10 年生的杉木當年生莖段作原始外植體，進行一系列試驗，其中就嫩梢增殖生根效應列於表 1 。

表 1 不同年齡母本的杉木外植體的嫩梢增殖與生根情況
(The shoot multiplication and root formation of different donor ages of Chinese fir)

| 外植體母本年齡(年) | 培養代數 | 繼代培養體數(個) | 平均總嫩梢數(根) | 有效嫩梢 | | 平均生根率月(%) | 根品質分級(級)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 平均數 | % | | |
| 1 | 初代 | 1 | 27.3-39.9 | 15.0-21.9 | 54.9 | 87 | I |
| | 1代 | 5-7 | 54.0-111.0 | 27.0-57.0 | 50.7 | | |
| | 2代 | 7-14 | 58.0-169.0 | 27.0-79.0 | 47.1 | | |
| | 3代 | 5-13 | 31.0-126.0 | 9.0-37.0 | 30.5 | | |
| | 合計 | 18-35 | 170.3-445.9 | 78.0-194.9 | | | |
| 5 | 初代 | 1 | 10.0-37.3 | 5.5-20.5 | 54.2 | 68 | I - II |
| | 1代 | 1-4 | 4.6-68.0 | 2.3-34.7 | 50.4 | | |
| | 2代 | 0-7 | 0-86.0 | 0-28.0 | 46.8 | | |
| | 3代 | 0-4 | 0-43.0 | 0-12.5 | 30.4 | | |
| | 合計 | 2-16 | 14.6-234.3 | 7.8-95.7 | | | |
| 10 | 初代 | 1 | 2.9-15.1 | 1.6-8.3 | 55.6 | 34 | II-III |
| | 1代 | 0-3 | 1.2-35.0 | 0-17.7 | 51.4 | | |
| | 2代 | 0-4 | 0-35.0 | 0-16.0 | 46.7 | | |
| | 3代 | 0-2 | 0-22.0 | 0-6.5 | 30.0 | | |
| | 合計 | 1-10 | 4.1-107.0 | 1.6-48.5 | | | |

I 級根數多在 5 根以上,較粗
II級根數多在 5 根以下,較細
III級根數多在 1-3 根,常具有膨大的癒傷組織

採用不同年齡母本的原始外植體，由於強烈地受到母本生理狀態差異的影響。爲此在初代培養中所誘導的嫩梢以及在生根率上存在著顯著差異，其明顯地表現出隨著母本年齡的增加再生能力下降的趨勢（表 1 ）。然而隨著母本年齡的增加，所增殖的嫩梢數量變異範圍也明顯增大，在母本爲 5 年時，經初代培養就有部分外植體所分化的嫩梢數量已達到或超過母本年齡爲 1 年時的外植體。同樣也有部分母本年齡爲 10 年生的原始外植體，經初代培養後，達到了母本年齡爲 5 年生甚至 1 年生的外植體的增殖水平。爲此，一旦通過一代培養，就可初步選出屬母本已相對老化，但仍具旺盛增殖能力較幼嫩生理狀態的組織片段，並建立無性系。杉木一般達到 5 年生以上，在表型上其優劣特性就得以表達，而這時尚具較強的再生能力。若建立以繁殖優良單株無性系爲目的的組培繁殖體系，這時或許是選取外植體較爲合適的母本年齡。

三、無機養份與生長調節物質的效應

1.氮素營養與嫩梢增殖

組培嫩梢增殖基本是受本身的生理、遺傳特性以及環境因子等方面的影響，在一定光照溫度，濕度的培養條件下，培養基的成份與含量則起著決定性的作用，其中包括大量元素、微量元素、維生素、植物生長調節物質以及瓊脂、糖、PH 值等。目前國際上流行的基本培養基有數 10 種，然而就作者已進行的 80 餘種林木、花木、果木組培繁殖的研究，其中，有 68 種都可應用 MS （ Murashige and Skoog 1962 ）[14] 或其改良型作爲基本培養基只有松類，杜鵑等樹種必須應用相應的特定基本培養基才能獲得成功。鑒於 $NH_4NO_3$ 和 $KNO_3$ 二種無機鹽在 MS 培養基的總鹽分含量中約占 80 %，爲此培養基中的總鹽分含量以及氮素含量與組成對培養體嫩梢增殖的影響仍是首先必須加以考慮的問題。現以杉木、北美紅杉、金邊瑞香爲例，利用幼齡的嫩梢爲材料培養三個月，其結果列於表 2 。

上表說明杉木、北美紅杉、與金邊瑞香對於培養基中的無機鹽總濃度適應範圍較廣，一般以 1543-7863mg ／ L 均能誘導出嫩芽，而金邊瑞香甚至在 9863 mg ／ L 的極高濃度的培養基中仍能誘導出芽，不過多數在高濃度（ 8863mg ／ L 以上）則產生明顯的抑制現象，不但分化的數量少而且品質差，多數培養體漸趨死亡。上述所例舉的三個樹種對 $KNO_3$ 同樣有較廣泛的適應範圍，在含量爲 950-3800 mg ／ L 均能正常增殖與生長，在不含 $NH_4NO_3$ 的培養基中，對組培嫩梢的增殖與生長影響不大。但一般仍以 1000 mg ／ L 效果最佳。高濃度的 $NH_4NO_3$ ：（含量在 3000-4000 mg ／ L ）對於所有的樹種的培養均產生不良反應，通常尋致培養體的死亡。爲此在林木組培中，適時調整 $NH_4^+$ 與 $NO_3^-$ 比值是值得重視的問題。

2.主要元素的吸收與殘留的分析

培養基的產生最早是建立在對綠色植物從土壤中吸收無機營養經成分分析而設計的。在當今，研究組培條件下培養基中各元素吸收與殘留狀況，對於特定樹種培養基的改良，改善培養效果，以及節省開支等均有一定實踐意義。現以杉木爲例加以說明。本試驗分爲二組，首先以常用的杉木增殖培養基爲基礎，以經

初代培養含有可見的已分化的嫩梢（芽）的癒傷組織（約 1cm 見方）爲材料，在含有 80mlMS 培養基的 250ml 三角瓶中培養 3 個月以後，培養基漸漸乾枯，這時測定杉木組培苗梢及殘留培養基中的 N 、 P 、 K 含量，其結果列於表 3 。

表 2 培養基中的總鹽分、 $NH_4NO_3$ 和 $KNO_3$ 對三種嫩梢增殖的影響

(The effect of total salt, $NH_4NO_3$, $KNO_3$ on shoot multiplication of three trees)

| 組號 | 總鹽分 (mg/L) | $NH_4NO_3$ (mg/L) | $KNO_3$ (mg/L) | 杉木 | | | 北美紅杉 | | | 金邊瑞香 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 總嫩梢增殖數(根) | 平均嫩梢長度(cm) | 品質等級(級) | 總嫩梢增殖數(根) | 平均嫩梢長度(cm) | 品質等級(級) | 總嫩梢增殖數(根) | 平均嫩梢長度(cm) | 品質等級(級) |
| 1 | 1543 | 0 | 950 | 30 | 0.8 | II | 42 | 3.9 | I | 7 | 3.2 | II |
| | 2543 | 1000 | | 25 | 2.1 | I | 51 | 2.9 | II | 20 | 3.7 | II |
| | 3543 | 2000 | | 22 | 0.6 | III | 5 | 1.7 | III | 20 | 4.5 | II |
| | 4543 | 3000 | | 0 | 0 | | 0 | | | 20 | 5 | III |
| | 5543 | 4000 | | 0 | 0 | | 0 | | | 7 | 5.1 | III |
| 2 | 2983 | 0 | 1900 | 38 | 0.7 | II | 68 | 5.6 | II | 11 | 4.6 | II |
| | 3983 | 1000 | | 30 | 1.1 | I | 61 | 4.9 | I | 15 | 4 | I |
| | 4983 | 2000 | | 29 | 1 | III-IV | 12 | 2 | II | 8 | 4.8 | I |
| | 5983 | 3000 | | 10 | 0.5 | | 0 | | | 13 | 4.4 | II |
| | 6983 | 4000 | | 0 | 0 | | | | | 7 | 4.3 | II |
| 3 | 5863 | 0 | 3800 | 40 | 1.2 | II | 54 | 5.5 | II | 6 | 4.5 | I |
| | 6863 | 1000 | | 75 | 1.4 | I | 72 | 4.3 | I | 7 | 5 | I |
| | 7863 | 2000 | | 29 | 0.6 | III-IV | 27 | 1.6 | III | 12 | 5.5 | II |
| | 8863 | 3000 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 5 | 1.5 | III |
| | 9863 | 4000 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 3 | 1.5 | III |

表 3 杉木組培生長的嫩梢中 N 、 P 、 K 吸收與殘留慨況

(The absorption and residuals in shooting of cultured Chinese fir)

| 元素種類 / 測定項目 | | 全N | | 全P | | 全K | | 鮮重 (mg) | 乾重 (mg) | 含水率(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | 重量 (mg) | % | 重量 (mg) | % | 重量 (mg) | | | |
| 試管苗吸收 | | 3.59 | 45.67 | 0.14 | 1.818 | 2.638 | 33.36 | 14250 | 1270 | |
| 培養基 | 含量 | | 67.26 | | 3.08 | | 62.59 | 80000 | | |
| | 殘留 | | 1.68 | | 0.362 | | 25.48 | 11200 | | |
| | 吸收率 | | 67.9 | | 59.1 | | 53.3 | | | |

培養前培養體鮮重平均 1350mg

表中說明了培養體在培養過程中由於形態發生嫩梢增殖生長等消耗了大量氮素，培養後的培養基中氮素機幾乎全部被再生植株所吸收，殘留量很少，如果繼續培養，可能因培養基中缺氮而影響生長。磷在植物體內含量較少，而在培養基中的磷也基本被吸收。試管苗吸收鉀較多，因而含量也較高，然而在殘留的培養基中相對含量也較高，幾乎與試管苗吸收的量相等。這說明了以 MS 爲基礎的培養基，爲了保證提供足夠的氮、磷，配有較多硝酸鉀與磷酸二氫鉀，從而使含量實際處於過剩狀態。通過對培養過程中氮、磷、鉀的吸收與殘留量分析，爲大規模生產中培養基調節提供了試驗依據。

3.生長調節物質的效應

植物生長調節物質（ Piant growth regulator ）是培養基中的關鍵物質，幾乎所有林木樹種的組織和器官培養，都必須利用天然或人工合成的生長調節物質，如果不添加連生命都不能保持更不用說按我們所期望的方式生長。在當今，如何選擇適合於特定樹種組培繁殖的生長調節物質，多數仍以實驗性的經驗爲依據，然而仍有許多規律可循， Mil1er 和 Skoog [11] 提出的植物組織培養中的細胞分裂素與生長素兩者相互調節概念在作者所研究的許多樹木組織培養中得到驗證。D.J.Durzan 統計了許多植物形態發生獲得成功的種類的基中 BAP （ 6-苄基氨基嘌呤），NAA（萘乙酸），IBA（吲哚丁酸）濃度之間的相互關係，結果說明對於多數棵子植物其最佳的 BAP 濃度範圍在 $10^{-5}$-$10^{-6}$M 之間； IBA 和 NAA 適應範圍比 NAA 窄，而且最適的濃度也比 NAA 高，這些結論在許多樹種組培繁殖研究中均得到類似結果。

在探討生長調節物質作用時，首先必須考慮的是細胞分裂素（ Cytokinin ）的作用，因爲它在細胞分裂中參與核分裂與胞質分裂兩個過程，因而不僅能促進細胞分裂也能誘導細胞擴大同時還有解除頂端優勢，促進側芽生長的作用。就作者對包括杉、松、竹、茶、西蒙得木、杜鵑、獼猴桃、柿子等 80 多種林木、花木、果木、植物組培繁殖獲得成功最適合的細胞分裂素濃度和種類統計結果列於表 4 。

表 4　木本植物組培增殖適合的細胞分裂素濃度和種類統計表

（ The kinds and concentration of cytokinin suitable fo Ttissue culture of woody plant ）

| 濃度mg/L<br>樹種數目<br>細胞分裂素 | 0.25-0.5 | 0.75-1.0 | 1.0-2.0 | 2.0以上 | 總數 | 百分比% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BAP | 20 | 20 | 9 | 2 | 51 | 59 |
| KT | 6 | 5 | 5 | 1 | 17 | 19 |
| ZT | 2 | 9 | 5 | 2 | 18 | 22 |

通過對上述三類細胞分裂素的比較不難出其濃度在 025-1.0mg/L 的 BAP 仍是應用最廣泛，誘導組培殖獲得成功樹種最多的細胞分裂素。 BAP 雖然在結構上與 KT 接近，但其功效要強得多，而且穩定，廉價易於使用，當然並非所有樹種應用 BAP 均能獲得成功，在作者所研究的樹種中有 19 %與 22 %必須分別應用 KT 和 ZT 才能獲得良好的培養效果。

培養基中的細胞分裂素生長素通常起著相互調節的作用，以杉木爲例在 MS 培養基中分別加 BAP （濃度 0-5mg/L ）和 IBA （濃度 0-5mg/L ）結果發現只有在 BA025-1.0mg/L ， IBA0.25-0.5mg/L 濃度範圍內才能促進芽的生長與分化，而且明顯表現出 BA > IBA 促進芽的分化與形成； IBA > BA 促進芽的生長[2] 在進行西蒙得木組織培養繁殖試驗時，運用 ZT 與 NAA 組合[4]，其結果列於下表 5 。

表 5　激素對西蒙得木培養體嫩梢增殖與生長的影響*

(The effect of growth regulators on shoot multiplication of *Simmondsia chinensis*)

| 編號 | 激素種類 | 濃度(mg/L) | 平均嫩梢(芽)數(個) | 平均嫩梢長(cm) | 平均節數(個) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 0:0 | 1.1b | 0.78c | 1.2cd |
| 2 | | 0.5:0 | 2.0ab | 7.7ab | 5.3b |
| 3 | | 1.5:0 | 1.8ab | 7.0ab | 6.0b |
| 4 | | 3.0:0 | 2.4a | 5.6b | 5.2b |
| 5 | ZT:NAA | 5.0:0 | 2.7a | 3.5bc | 2.8c |
| 6 | | 1.0:0.01 | 2.1ab | 9.5a | 9.3a |
| 7 | | 3.0:0.1 | 1.8ab | 5.4b | 5.3b |
| 8 | | 5.0:1 | 1.4abc | 2.1bc | 2.4c |
| 9 | | 10.0:2 | 0.2c | 0.2c | 0.2d |

*注:數據用 Duncan`s multiple ramge test $P \leqq 0.05$

試驗表明細胞分裂素對於嫩梢增殖與生長是必不可少的。無激素的培養基中所統計的三個指標都很低，而且隨著培養時間的增長而漸趨死亡。低濃度的 ZT 附加微量的 NAA 能得到最佳的增殖與生長效果。這些例子都說明了在林木組培繁殖中生長素與細胞分裂素的組合是非常重要的。一般樹木的培養體在嫩梢增殖過程中，對於合適種類的細胞分裂素，其適應濃度範圍都比較廣，例如西蒙得木所用的 ZT 濃度可在 0.5-3.0mg/L ，而應用 BAP 誘導效果就差很多。以濕地松火炬松晚松的胚爲外植體，在改良的 MS 培養基中，添加不同濃度的 BAP 培養 60 天，其結果列表 6 ，從所得的資料看出， BAP 濃度在 0.5mg/L 均有效果，而且在 3.5-5.0mg/L 的高濃度中仍能表現出良好的誘導嫩梢能力。爲此在林木組培繁殖中一般認爲正確選擇生長調節物質的種類，在某種程度上比濃度更爲重要。

表 6 不同濃度 BAP 對松屬三種芽（芽數／每外殖體）形成的影響
（ The effect of different concentration BAP on the bud formation of three pine ）

| 樹種 | 項目 | BAP(mg/L) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.5 | 1 | 3 | 5 |
| 火炬松 | X±S<br>V(%) | 1.8±1.0<br>58.2 | 4.0±3.0<br>75.0 | 7.3±3.9<br>53.0 | 7.5±2.9<br>30.0 |
| 濕地松 | X±S<br>V(%) | 3.2±2.1<br>63.7 | 5.4±2.6<br>49.0 | 5.6±2.9<br>51.0 | 6.1±3.1<br>50.8 |
| 晚松 | X±S | 2.7±1.7 | 3.5±2.2 | 8.0±2.4 | 7.2±3.2 |

注: X ± S: 平均芽數±標準差

很顯然近年來通過組織培養生產林木已取得的重要進展歷，在這些成就中正確使用生長調節物質起著主導的作用。未來的發展在很大程度仍然取決於人們對生長調節物質作用的認識與應用。

四、組培的復壯效應

復壯（ rejuvenation ）指的是童期性狀的誘導。這種現象常因樹種，培養外植體材料，形態發生的途徑，培養條件而異。就組織培養而言，由於細胞經歷了不同程度的脫分化與再生過程，其本身就含有還童的因素。許多試驗都証實了經過組織培養可以獲得童期性狀。 Muliius M G 等研究了葡萄組培復壯過程，他們選取了具卷鬚葉序呈兩列排列的古老葡萄無性系作外植體，在含有 BAP 的培養基中，經過連續繼代培養，所產生的嫩梢出現不具卷鬚葉序呈螺旋形排列的童期性狀[13]。 L.C.Huang 等以北美紅杉爲材料，研究組培復壯的生理機制，探索線粒體 DNA(mtDNA) 限制性片段（ restriction fragments ）與童期性狀的關係，發現凡幼苗嫩梢以及組培復壯後的嫩梢，分別具 3.6kb 和 4.0kb 片段，而老化的嫩梢則沒有觀察到這些片段的存在。抽取葉片中蛋白質及 mtDNA 從事生化分析，發現此兩者之變化與植物生長相的改變密切相關，爲此假設 mtDNA 可作爲控制植物年輕化及成熟化的主要關鍵[8]。樹木成熟度的差異及轉化過程往往伴隨著體內生化物質的變化，一般認爲衰老是植物體內或器官內源激素調控作用發生變化的結果[6]。實驗証明，在樹木組培中嚴重影響嫩梢增殖與生長的植物生長調節物質 ABA ，其含量不但隨著季節的變化而變化，而且與衰老有關。作者研究了不同年齡杉木嫩梢中 ABA 含量年周期變化規律，結果表明不同年齡母本的 ABA 含量變化趨勢基本相同，其最低點均在旺盛生長的 5 月份與 9 月份。在休眠期及生長緩慢季節則上升，其最高點均在春秋二次生長高峰之間，然而不論任何季節

ABA 含量總是隨著年齡的增加而增加[3]。單寧則爲一種次生代謝物質，嚴重地影響樹木組織培養的進程，其含量也與樹木年齡有密切相關，它的季節變化基本也是隨著年齡的增加而增加（圖 1 ）。

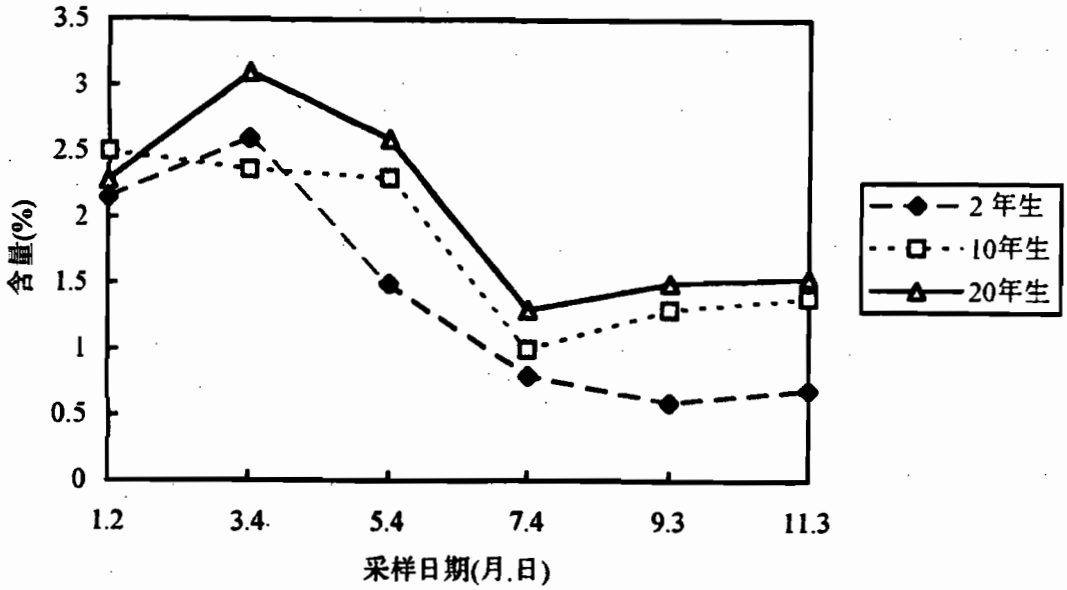



圖 1 不同年齡杉木嫩梢中單寧含量的年周期變化

（ Annual tannin content changes in shoots at different donor age of Chinese fir ）

此外，在杉木的培養基中，我們僅添加了 0.75mg/L 的人工細胞分裂素 BAP 作爲細胞分裂素的唯一來源，然而卻很容易從再生植材料中發現 ZT 的存在。據 Zaeer J.B.等人認爲 BAP 在組織中可能引起產生像 ZT 這樣的天然激素，從而通過一個天然激素體系以誘導器官發生[2]。表 7 列出了在不同母本年齡的嫩梢中 ZT 、 ABA 和單寧含量在組培前後的變化。

表 7 不同母本年齡的嫩梢 ZT 、 ABA 和單寧含量變化

（ ZT 、 ABA ， and tannin content changes in shoots at different donor ages of Chinese fir ）

| 項目 | 母本材料 | | 組織培養材料 | |
|---|---|---|---|---|
| | 10年生 | 2年生 | 10年生 | 2年生 |
| ZT(ng/g) | 160 | 290 | 237.6 | 851.5 |
| ABA(ng/g) | 375.3 | 336.3 | 65.6 | 0 |
| 單寧(%) | 2.33 | 1.41 | 1.07 | 0.55 |

從中看出不同年齡母本的嫩梢，經過 3 個月培養， ZT 、 ABA 和單寧含量在培養前後發生了明顯變化。不同年齡母本的原始外植經培養後 ZT 含量均增加。其中 2 年生材料增加尤爲明顯。它比母本材料增加了 2.9 倍。這反映出幼齡植株材料的生理活動旺盛，而 10 年生也相應地有顯著增加。與此同時，兩種材

料中 ABA 和單寧含量經培養後明顯下降。 10 年生材料中 ABA 含量下降了 4.7 倍，而 2 年生材料體中測不到 ABA 。以上結果表明， ZT 和 ABA 和單寧對於培養體的嫩梢增殖能力起著重要作用通過組織培養，它們在培養體中的含量及其調節能力發生了變化，使培養體的幼態性得到了誘導，引起增殖能力增強。上述的實驗資料說明了組織培養具有誘導童期性狀的潛力。這對於以用材林爲主的樹木組織培養具有特殊的應用價值。縱觀以往樹木組織培養繁殖成功的例子，絕大多數都是以幼苗莖段胚、子葉、下胚軸等童期材料作爲外植體，這種材料雖然易於成功，但是在生產上實用價值就比較有限。近年來人們已開始轉向成熟齡樹木材料的組培研究。並且已經系統地闡述了成熟齡樹木組織培養的繁殖體系，提出了將老枝嫁接在幼苗上，強度修剪迫使枝條重新萌發以及噴細胞分裂素 BAP （濃度爲 25mg/L ）等措施促使成齡外植體得到復壯預處理，這種方法大大提高了培養體嫩梢的誘導率與增殖率。同時他們還通過所謂部分白化預處理法（ partial etioiation ）使栗樹（ *Castanea satva* Mill.）和栓皮櫟（ *Quercus robur* L.）無性系組培的芽萌發率從 22 %提高至 77 %[16]。總之、應用成齡優質母本，通過組培使其獲得既保持母本優良特性又具高繁殖率的幼化壯苗已引起當今用材樹種組培繁殖研究者的高度重視，人們期待著能在機理與調控方面取得新的突破。

五、組培繁殖生產體系的建立

1960 年法國人 Morel 成功地獲得熱帶蘭花組織培養分化植株，因此揭開了花卉組培工作的序幕，導致了今天許多花卉的組培商品化生產規模。在林木中組培商業性育苗也成爲近年來組培生產性應用研究主題。早在 1977 年 Mott RL 就發表了關於從火炬松胚外植體經由組織培養建立連續性的生產體系。接著輻射松火炬松以及北美黃杉等針葉樹種都達到了批量生產的規模[12]。在闊葉樹中，許多樹種都達到了大批量化生產的水平，特別是桉樹、楊樹等取得了顯著的效果。

組培工廠化育苗，在園藝植物特別是宿根花卉生產上，許多國家都建立起規模化的生產流程，然而對森林樹種來說，在建立大規模組培苗基地之前，必須對樹種的生物學與經濟學特性加以認真論證。某樹種若要進行大規模生產，其先決條件是能產生快速形成的小植株，具高誘導率的器官發生或胚胎發生能力；其次，離體培養的小植株能夠很快適應環境的變化，易於大規模移栽成活而且生長良好； 再者，組培應當能盡可能與常規繁殖生產體系配合或爲常規繁殖提供材料，能建立起完整的規模化的連續生產體系；最後，通過組培繁殖所獲得和固定的優良特性。必須在經濟或在其它方面證明應該採用組織培養方法而不是常規方法，從遺傳增益與直接成本所核算的價格，能力林業生產者所接受。

近年來，我國已開始從事森林樹種的組培工廠化生產與中間試驗研究工作，先後對桉樹類、楊樹類、杉木等樹種開展了生產性研究，取得了一定成果。然而仍存在許多技術與經濟上問題。鑒於我國目前林業生產現狀，組培商業性育苗的規模不宜過大，必須建立與各種方式常規繁殖相結合的繁殖生產體系。例如杉、松類宜以少量經鑒定的優良無性系爲材料，經組培無性系快速繁殖用組培苗建立

採穗圃進而通過常規扦插繁殖，結合育苗形成完整的繁殖體系。對於那些難以生根的大粒種子如經濟樹種板栗、核桃、油茶等，則可通過組培生產粗壯的嫩梢，進而與芽苗砧嫁接相結合，也可以用成年的組培嫩梢莖尖嫁接於經試管培養的無菌苗根砧上，以建立脫毒苗生產體系。總之必須根據樹種的生物學特性技術設備及經濟條件，選取最合適的生產流程。

在過去的十餘年裡，樹木組織培養取得了顯著的發展。然而尚有許多樹木固有的難題急待人們去研究解決，其中主要有樹木繁殖中種間和種內在再生能力反應上因遺傳因素引起的變異以及年齡、位置效應等所引起的樹木組培重覆性差；其次是試管苗在形態與解剖特徵上特異性，致使移栽後適應新環境的能力差，造成移栽成活率低與難以控制；最後是受技術與經濟的影響，許多樹種組培苗的直接成本通常都較高，從而難以在生產上推廣。問題仍然很多，正因爲如此，樹木組培技術與其它園藝植物相比，一直比較落後，然而可以預料，隨著植物生物技術的不斷發展和林業生產水平的不斷提高，森林植物組織培養工作在不久的將來必將取得顯著的進展。

六、引用文獻

1 陳正華 主編 1986 木本植物組織培養及其應用高等教育出版社。 141-196 。

2 闕國寧 1983 BA 和 IBA 對離體培養杉木芽分化和生長的影響。林業科學。 19 （ 4 ）： 406-409 。

3 闕國寧 諸葛強， 1992 ，杉木組織培養復壯繁殖體系建立的研究，中華林學季刊 25 （ 4 ）： 3-12 。

4 闕國寧 諸葛強 林鑫民 1991 ，西蒙得木組培繁殖技術的研究。林業科學研究， 4 （ 5 ）： 512-516 。

5 BaII E . 1950 Differentiation in callus culture of *Sequoia sepervirens*. Growth, 14 ： 295-325.

6 Beevers.L. 1976, Senescence. m ： vamer,J.E. （ Ed.） plant biochemistry, NewYork ： Academic press. 771-792.

7 David, A. in ： Bonga J M,Darvan D J （ ed.） 1982 ， ： in vitro propagation of gymnosperms.Netherlands ： Martinus Nijhoff, 27 ： 72-108

8 Gupta P K,Timmis R,Mascarenhas A F. 1991, Field performance of micropropagated
forestry species.In vitro cel1. Dev.Bio1.,27 ： 159-164

9 Hang,L.C.Chen F.L.L,Chang,Y.L. and Hsiao C.K.l1992 Rejuvenation of wood porennials in vitro and its mechainsm based on mitochondria DNA., Chiang C H, Wang Y N.(ed) Proceedings of the joint intenational symposium on air pollution, soil microbiology and biotechnology of forestry. Taipei Taiwan.Taipei Gra duet Institute of Forestry National Taiwan University R.O.C.

10 Huang L C,Huang B L,Chen,W I. Tissue culture investigation of Bamboo IV.

organgensis leading to abventitious, shoots and plants in excised shoot apices, Eny.Exp.Bot.29:307-315.
11 Miller C O,Skoog F. 1953 Chemical control of bud formation in tabacco stem seguments.Amer.J.Bot.,40 ( 1 ) : 768-773.
12 Mott R L.Smeltzer R H,Asha M P,et a11977, poduction of forest trees by tissue cultrue. Tappi, 60 ( 6 ) : 62-64.
13 Mullius M G, Nair Y, Sampet P, 1979, Rejuvenation in vitro :induction of juvenile characters in an adult clone of Vitis vinifera L. Ann.Bot.,44 ( 6 ) : 623-627.
14 Murashige T, Shoog F. 1962, A revised medium for rapid growth and bio-assy with tobacco tissue clture. Physiol. Plant,15 ( 2 ) 473-497.
15 Murashige,T and Huang,L.C. 1992, Biotechnology for tree crops : status and prospects. Chiang C H, Wang Y.(ed) Proceedings of the joint international symposium on air pollution, soil microbiology and biotechnology of forestry, Taipei, Taiwan. Taipei Gra duet Institute of Forestry National Taiwan University R.O.C.
16 Rodrigueza .1990, Plant aging : basic and applied approaches.New York : plenum press , 43-49.
17 Shoots and plants in excised shoot apices .1989, Environmental and Experimental Botany,29 ( 3 ) 307-315.
18 Sommer H E.Broam C L.1974 , Plantlet formation in pine tissue cultures. Am.J.Bot., 61 ( 1 ) :61-71.
19 Thorpe T A.ed 1978 Frontiers of plant tissue cuiture. Calgary, Canada. Calgary : Univ.calgary offset printing services,419-426.
20 Winton L. 1970 Shoot and tree production from aspen tissue culture. Am. J.Bot.,57(8 ) : 904-909.
21 Zaerr J.B. and maper M.0, 1982, Action of growth regulator . in : Tissue culture in forestry, Martinus Nijhoff/Dr W, Junk publishers,237-255.

# 濕地松體胚繁殖

# Somatic Embryogenesis in Slash Pine
# ( *Pinus elliottii* Engelm. )

廖宇賡[1]

Yue Ken Lia

摘 要：

濕地松未成熟種子除去外殼後、取其內含未成熟胚之雌配子體 (female gametophyte)在八種培養基中培養，種子中的胚性細胞及懸柄細胞群團從培殖體中被擠出而在培養基上增殖形成透明具黏性之胚原性組織 (embryogenic tissues)。形成胚原性組織的比例變化，在不同的培養基及種子發育相異之各階段間均做了比較。種子成熟度越高，細胞群團從雌配子體中增殖而被擠出的比例越低。而出現最佳胚原性組織誘導率的培養基卻無法在後續培養中形成成熟體胚。細胞群團的增殖，可區分成四型。第一類增殖型有最高的組織成活比例，而其雌配子體往往將內含之所有細胞完全排擠於外以形成胚原性組織。其他三型之組織成活比例則稍低。體胚成熟所需的培養條件亦經測試，培養基濃度、 ABA 與碳水化合物之種類均明顯影響體胚成熟的過程。濃度加倍的培養基對體胚成熟有助益，使用 30 μ M ABA 及 6% 麥芽糖亦能促進體胚成熟。濕地松體胚的萌芽在連續光照環境下完成，如果預先使用一個 14 天黑暗的冷處理( 4 ℃)，可增加體胚萌芽率。萌芽的體胚在移出試管進入溫室噴霧系統後，有三分之一的成活率。這些由體胚育成之苗木在外部型態上，表現正常。

ABSTRACT

Immature female gametophytes and enclosed zygotic embryos of slash pine collected at various developmental stages were cultured on eight initiation media supplemented with dif f erent PGR regimes. Embryonal-suspensor cell masses extruded from gametophyte explants infrequently produced white or translucent mucilaginous embryogenic cultures. Variation in extrusion frequency was observed across explant collection dates and culture media. Increased explant maturity (as related to collection dates) reduced cell extrusion rates. Although culture media also inf luenced extrusion percentages, the best medium for cell extrusion did not produce any embryogenic culture lines which subsequently showed full embryo maturation. Four types of extrusions were grouped according to their morphological characters. One type of extrusion produced the greatest number of established and long-surviving embryogenic cultures. This extrusion type (type I) was associated with an extrusion condition termed "empty" in which the entirety of the embryonal-suspensor mass was

[1] 嘉義技術學院 森林資源管理科

extruded out of the gametophyte. Three other extrusion types (types II, III and IV) showed lesser culture establishment and survival. Maturation of slash pine somatic embryos was tested. Strength of maturation medium (single vs. double) was found important to produce normally developed mature embryos. ABA concentrations (0, 15 and 30 $\mu$ M) and carbohydrate sources were also tested for embryo maturation. Thirty $\mu$ M ABA and 6% maltose were deemed the best combination. Somatic embryo germination was accomplished in a continuously lighted environment and embryos receiving a cold pre-treatment (4 ℃ in darkness for 16 days) germinated better than embryos which did not receive cold pre-treatment. With a survival , rate of 33%. after acclimation in a mist system, multiple plants from somatic embryos have been established in a greenhouse. All established plants obtained from somatic embryogenesis appear normal in morphology.

## INTRODUCTION

Somatic embryogenesis has been suggested as a powerful tool for rapid clonal propagation of large numbers of plants. Compared to other tissue culture propagation procedures, somatic embryogenesis potentially is the most effective method of producing genetically identical plants. In the genus Pinus, the regeneration of complete embryos or plants via somatic embryogenesis has only been reported in *P. lambertiana* [Gupta and Durzan 1986], *P. taeda* [Gupta and Durzan 1987a] , *P. radiata* [Smith et al. 1988] and *P. caribaea* [Laine and David 1990] In *P. strobus* and *P. sylvestris,* plant regeneration was not fully achieved but cotyledonary stage embryos were obtained [see review of Webb and Flinn 1991; Keinonen-Mettala *et al.* 1992] Although embryogenic cultures were also initiated in other pine species such as *P. serotina* [Becwar et al. 1988] and *P. elliottii* [Jain et al. 1989], embryo maturation followed by recovery of plants from these species has not been reported. In contrast to many highly culturable spruce species, somatic embryogenesis in pines is comparatively restricted in three ways: (1) *less* choice in explant selection, (2) low efficiency in initiation of embryogenic cultures and (3) low or no efficiency with regards to the development of mature somatic embryos.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant Materials

Immature seed cones of slash pine from clones 1-56, 35-60, 5-56, 7-56 and 211-55 were collected in two consecutive years. Seed families from the mentioned clones were all openpollinated and cones were collected every 7-14 days through June and July in each year.

Seeds were individually removed from cones and soaked over-night in distilled water at 4 ℃ darkness. The white female gametophyte was aseptically removed from the seed coat, stripped of the nucellus and cultured horizontally on initiation medium. Within a given trial, explants that were prepared from the same collection were equally distributed across each medium for culture initiation. However, the number of gametophytes cultivated on each medium, per collection, varied from 60 to 280 depending on the yield of seeds from the immature cones.

Initiation of Embryogenic Cultures

Eight initiation media were used in this study (see Table 1 for abbreviations and references). These media were all solidified with 0.70%. Difco Bacto agar (Difco Laboratories, Detroit, Michigan, USA). For all initiations female gametophytes were incubated in the dark at 23 ± 1 ℃ for 4 weeks.

Culture Establishment and Maintenance

Unless otherwise stated, however, the initiation, establishment and maintenance media for all formulations were constant with the exception of agar concentration, which was 0.60% (Sigma type E) for all maintenance media and maturation media used later in this study. Initiated cultures extruded from female gametophytes were transferred to fresh medium every 4 weeks during an eight week period. Any extrusion that proliferated sufficiently to be divided into two equal parts (yielding cell clumps about 0.5cm in diameter) within this 8 week period was defined as an established culture. Such cultures were maintained and subcultured to fresh medium on a biweekly basis for continuous proliferation. Cultures that had been maintained for more than 8 weeks after establishment were recorded as long-surviving cultures (lines). Establishment and maintenance cultures were all incubated in darkness at 23 ± 1 ℃.

In one of the initiation tests, cell masses extruded from gametophytes were grouped according to their morphological characters. After separation of extruded cells, the recorded explants were longitudinally opened under a dissecting microscope. The developmental stage (Figure 1) of the dominant zygotic embryo left inside the corrosion cavity was identified. Relationships between extrusion type, development of remaining zygotic embryo and survival of embryogenic cultures were studied.

Table 1 Initiation media and their plant growth regulator supplements.

| Medium[1] | PGR Regime | Reference |
|---|---|---|
| LPM | 0.25 μM BAP, 0.25 μM Kinetin 1 μM 2,4-D, 2 μM ABA | [Gupta and Durzan 1987b] |
| DCR-m | 4.5 μM BAP, 9 μM 2,4-D | [Finer *et al.* 1989] |
| BLCG (BLG+500 mg/L casein hydrolysate) | 2.2 μM BAP, 13.5 μM 2,4-D | BLG medium [Amerson *et al.* 1988] |
| 1/2BLCG (BLCG medium with mineral, vitamins and inositol reduced to half strength) | 2.2 μMBAP, 13.5 μM2,4-D | |
| WPMG (WPM[2]+250 mg/L glutamine) | 5 μM BAP, 20 μM2,4-D | [Jain et al. 1989] |
| $BM_1$[3] | 20 μM BAP, 20 μM Kinetin, 50 μM2,4-D | [Gupta and Pullman 1990] |
| $BM_2$[3] | 2 μM BAP, 2 μM Kinetin, 5 μM2,4-D | [Gupta and Pullman 1990] |
| EVX | 4.5 μMBAP, 9 μM NAA | [Mott unpubl. data; as shown in Table 2] |

1:All media contain 3% sucrose as carbohydrate source.
2:WPM powder medium was purchased from Carolina Biological Supply Company, NC, USA.
3:Both $EM_1$ and $BM_2$ are based on BM medium [Gupta and Pullman 1990] with difference in the amount of supplemented PGR.

Maturation of Somatic Embryos

Maturation studies can be broadly grouped into those that followed maturation protocol 1 or protocol 2. In maturation protocol 1 using only sucrose as the carbohydrate source, embryogenic cultures (200-300 mg/clump) were first incubated on PGR-free EVX medium for various periods (0, 14, 16, 21 days). Cultures were then transferred to $BM_4$ medium (BM medium [Gupta and Pullman 1990] containing 30 μM ABA) for 2 weeks followed by one more transfer to fresh $BM_4$ or $BM_4$x2 medium ($BM_4$ medium with inorganic salts and vitamins increased two fold, 30 μM ABA) for 4 weeks. To make the media comparison, incubated culture clumps were equally divided into two pieces at the last transfer; and each piece was randomly put on one of the media ($BM_4$ or $BM_4$x2) to form a matched pair. In this pathway, cultures were incubated at 23 ± 1 ℃ (maintained in darkness on EVX PGR-free medium and in 16/8 h photoperiod after being transferred to $BM_4$ medium). Illumination, provided by cool white fluorescent plus incandescent lights, was adjusted to give an intensity of 31.5 $\mu Em^{-2}s^{-1}$

Table 2 Composition of EVX medium, which is a modified DCR [Gupta and Durzan 1985] medium.

| Component | mg/L | Component | mg/L |
|---|---|---|---|
| $KNO_3$ | 1010.0 | myo-Inositol | 2000.0 |
| $MgSO_4$ $7H_2O$ | 185.0 | Nicotinic acid | 0.25 |
| $KH_2PO_4$ | 170.0 | Pyridoxine-HCl | 0.25 |
| $CaCl_2$ $2H_2O$ | 42.5 | Thiamine-HCl | 0.5 |
| $H_3BO_3$ | 6.2 | | |
| $MnSO_4$ $H_2O$ | 11.15 | Sucrose | 30000.0 |
| $ZnSO_4$ 7H2O | 4.3 | | |
| $CuSO_4$ $5H_2O$ | 0.125 | Casein hydrolysate | 500.0 |
| KI | 0.415 | L-glutamine | 1460.0 |
| $Na_2MoO_4$ $2H_2O$ | 0.25 | Glycine | 1.0 |
| $CoCl_2$ $6H_2O$ | 0.013 | | |
| $FeSO_4$ $7H_2O$ | 13.9 | | ($\mu$M) |
| $Na_2$-EDTA | 18.65 | BAP | 4.5 |
| $NiCl_2$ $6H_2O$ | 0.013 | NAA | 9.0 |
| | | pH = 5.5 | |

In a second maturation protocol (protocol 2) , embryogenic cultures were first incubated on BM charcoal medium (BM medium with either 3% sucrose or 3%. maltose plus 1% activated charcoal) for one week, and then cultured 3 weeks on $BM_4$ medium (30 $\mu$M ABA) with sucrose replaced by 6% maltose. Monitoring of embryo development was made at the end of this incubation by counting the number of stage B embryos. Culture environment up to this stage was set at 23 ± 1 ℃ in darkness. Subsequent embryo development from the above cultures was investigated with incubation for 4 weeks on medium manipulated with regards to ABA concentration (0, 15 and 30 $\mu$M) or sugar source (sucrose, maltose or both in combination) . These experiments were all illuminated by the same light condition as described in the prior protocol.

Germination of Somatic Embryos

Germination of mature (cotyledonary stage) slash pine somatic embryos was accomplished with embryos cultured horizontally on $1/2GD_1$ medium (half -strength modified Gresshoff and Doy medium 1 [Sommer *et al.* 1975]) for 3-4 weeks. The medium was supplemented with 1%. sucrose, 0.75% Sigma type E agar and free of PGRs. A 16 day cold pre-treatment prior to germination on $1/2GD_1$ medium as mentioned above was tested. The pre-treatment medium was modified Gresshoff and Doy medium 1 with 2% sucrose, 0.5% charcoal, 0.75% Difco agar and free of any PGRs ($GD_1$ charcoal medium) . Cold pre-treatment was conducted at 4 ℃ in darkness

with embryos cultured horizontally. The germination environment for all specimens was set at 25 ± 1 ℃ and illuminated continuously by incandescent lights at an intensity of 33 $\mu Em^{-2}s^{-1}$

Plant Establishment

"Completely" germinated somatic embryos (see Table 5 for characterization of germination types) were planted in Leach tubes containing a potting mixture of peat, vermiculite and perlite (2:2:1, by volume) and acclimated in a greenhouse on an opened mist bench (top covered by shade cloth). The mist was controlled by a Mist-o-matic leaf evaporative mechanism and temperature was typically maintained at 20-32 ℃ After 34 weeks they were moved out of mist and kept under full sunlight conditions. After acclimation plants were fertilized twice a week with Peters soluble fertilizer (15-16-17) prepared at 40ppm nitrogen.

Statistical Analyses

In the first initiation test, cell extrusion percentages as influenced by media and seed families were evaluated via analysis of variance and with a Duncan's multiple range test if significant difference were detected in the ANOVA. For the 1st seed collection, families 1-56, 5-56 and 7-56 were compared as cultured on 5 initiation media (Figure 2). However, for the 2nd seed collection only families 1-56 and 211-55 were cultured and analyzed. In the second test a Chi-square test for multinomial distributions [Hoel 1984] was used to analyze results testing explant maturity effects on culture extrusion types. In embryo maturation protocol 1 (Table 3), the process of embryo development as influenced by variable incubation times on PGR-free medium followed by 30 $\mu$M ABA treatments on either $BM_4$ or $BM_4$ x2 double strength medium (final incubation only) was evaluated via a 4x2 factorial experiment (completely randomized) using analysis of variance on the basis of D or B stage embryos produced per cultured clump. A Duncan's multiple range test was used to further group incubation times based on mean embryo productions if significance at the 0.05 level was detected. In protocol 2 since studies included four separate experiments, each testing a different factor (Table 4), evaluations were made by comparing D stage embryo production across cultured clumps in the experiments, and the ANOVA test was not applied. In embryo germination studies, the Chi-square test for multinomial distributions [Hoel 1984] was used to analyze the results testing the influence of cold pre-treatment on the overall germination pattern of slash pine somatic embryos. However, the standard Chi-square test (applied for binomial distributions) was used to evaluate the influence of cold pre-treatment when only completely germinated embryos were considered. Some aspects of embryogenic

processes occurred at very low frequencies and are not routinely amenable to statistical analysis. In those cases only occurrence or frequency data are presented without statistical interpretation.

## RESULTS

### Cell Extrusion as Related to Initial Explant Development and Medium

In the first initiation test, slash pine seeds of four families were used. The best extrusion frequencies seen for families 1-56, 5-56, 7-56 and 211-55 were 35.1%, 20.6%, 11.4%, and 23.9% respectively (Figure 2) Significant extrusion differences ($P<0.01$) among families were detected both in the ist and 2nd, seed collections. In a Duncan's multiple range test cell extrusion percentages of families 1-56 and 5-56 were equivalent and significantly greater than that of family 7-56 in the ist seed collection while family 211-55 achieved significantly greater extrusion than did family 1-56 in the 2nd seed collection. Although the plant materials were all collected from the same place for the first test, differences in seed (embryo) development among families were detected (Figure 2) The developmental stage of cultured explants apparently influenced the frequency of cell extrusion. Grealtest cell extrusions were obtained when explants had embryo development at A to B stages (Figure 2, family 1-56; 6-21 collection). Across families and collections tested in this initiation, cell extrusion on LPM was superior, though not significantly better, for the 1st collected seeds. However in the 2nd seed collection, extrusion on LPM was significantly greater ($P<0.05$) than on the other media.

### Classification of Cell Extrusion

Morphological variation in the extruded cell masses of slash pine was first noted in the first year. This variation was categorized into four types which are briefly described below and photographically displayed in Figure 3:

TYPE I: Extruded cell masses, which were white or translucent, forming a proliferative (growing) cell clump closely aggregated around the micropyle of the cultured female gametophyte (Figure 3A).

TYPE II: An extruded cell mass containing radially dispersed multiple small embryos where the head region of some or all of the embryos undergoes proliferative growth; typically not aggregated around the micropyle (Figure 3B).

TYPE III: An extrusion in which translucent -proliferative cell masses are protruded away from the female gametophyte by a firm, cord-like

structure (Figure 3C). occasionally the distal suspensor masses did not undergo proliferation (specimens not shown).

TYPE IV: Extrusions were very small and non-proliferative, consisting of well developed A stage embryos and underlying compacted suspensors. These extrusions appeared dry were frequently aerial and only rarely contacted the medium (Figure 3D).

Type of Extrusion as Related to Embryogenic Culture Establishment/Survival

Data presented in Figure 4 shows: the numbers of extrusions, culture establishments, long-term surviving cultures and the status of the dominant zygotic embryo remaining in the gametophyte subsequent to cell mass extrusion. Culture establishment and long-term survival were very poor for type III and type IV extrusions.

Examination of zygotic embryo status in the gametophyte for extrusions depicted in Figure 4 showed that type III and type IV extrusions were frequently associated with stage D zygotic embryos. Type I extrusions, however, most frequently were obtained from gametophytes which had an "empty" zygotic embryo status.

Somatic Embryo Maturation

Across all initiations, 35 surviving embryogenic cultures were obtained from $6300^+$ whole gametophyte initiants. Most of these cultures incubated on maintenance media typically contained proembryos which were too small to even be considered as stage A. Many of these culture lines (those with the most discrete proembryos) were subjected to maturation protocols but some degree of maturation occurred in only five lines.

Embryogenic cultures incubated on EVX PGR-free medium initially continued proliferation of very small embryos. After 3 weeks of PGR-free incubation, browning and cellular decline both occurred on the cultured cell clumps; however numerous stage A embryos were clearly seen supported by translucent and compacted suspensor tissues (Figure 5A and B) . The following 2 week incubation on $BM_4$, medium accelerated the formation of B stage embryos (Figure 5C and D) . Stage C embryos were rarely observed; however, after one more transfer of cultures to fresh $BM_4$ or $BM_4$x2 medium stage D (cotyledonary stage) embryos formed.

Although multiple stage B embryos were produced during the first 2 week incubation on $BM_4$ medium, further embryo development was quite slow or, possibly, inhibited. Only limited numbers of stage D embryos were found among the numerous B stage embryos at the end of the incubation. Additionally, two forms of

stage D embryos developed during maturation. The "long-D" embryo (Figure 5E), relative to zygotic embryos, was morphologically normal and well developed with its length (measured from tips of cotyledon bumps to the interface area of suspensor tissue) at least twice as long as its width (cross measurement at basal region of cotyledon bumps). The "short-D" embryo (Figure 5F) was not completely developed and with its length to width ratio less than the prior description. The long-D embryos were capable of developing into E stage embryos (Figure 5G) with partially elongated cotyledons. Short-D embryos may also have cotyledons partially elongated (Figure 5H) but their size (length/width ratio) did not markedly increase with continued maturation time.

Maturation parameters were investigated using cultures transferred from maintenance media to selected maturation protocols. In maturation protocol 1, B and D stage embryo production were both evaluated. The ANOVA tests showed that the intermediate lengths (14-16 days) on EVX PGR-free medium fostered better maturation than did 21 or 0 day incubations ($P<0.01$ and 0.05, respectively, for evaluation based on B and all D stage embryos). Significance for medium strength effects was detected at the 0.06 probability level when B and long D stage embryos, which are most valuable, were evaluated. $BM_4$ medium typically produced the greatest number of B stage embryos while $BM_4$x2 medium consistently produced a greater number of the preferred "long" D stage embryos irrespective of PGR-free incubation time. This difference is especially noteworthy in the treatment that received 14 day PGR-free incubation (Table 3).

In the second maturation protocol, embryogenic cultures were first incubated 7 days on BM charcoal medium. Cultured cell clumps proliferated continuously during this stage, and neither embryo development nor cellular decline was observed. However, at the end of 3 weeks incubation on $BM_4$ 6% maltose medium, B stage embryos were clearly evident and few, if any, further B stage embryos were produced during the final incubation. A trial (Table 4, Test 1) which compared two kinds of carbohydrates (sucrose vs. maltose, both at 3%) used at the charcoal incubation stage, showed that near two fold better progress for embryo development was obtained on 3% sucrose with regards to the numbers of B stage embryos formed. However, this large difference did not persist and could be ignored when mature stage D somatic embryos were counted at the end of the experiment (Table 4, Test 1). Nonetheless, 3% sucrose was thereaf ter chosen as the carbohydrate source used in the charcoal incubation stage in the following tests.

In the second trial (Table 4, Test 2) in which ABA was reduced by half (from 30 $\mu$M to 15 $\mu$M) or completely eliminated from the final incubation medium, developing embryos were all precociously germinated (green in color, elongated while still attached to the culture clumps and no root formation) and identification of long or short D stage embryos became impossible. Test 2 data combined with the data obtained in later experiments (Table 4, Tests 3 and 4) clearly showed the role of 30 $\mu$ M ABA in the prevention of precocious germination. In the last two experiments of maturation protocol 2 (Table 4, Tests 3 and 4), 6% maltose was compared with combinations of 5% maltose and l-. sucrose and with 1% sucrose, respectively, in the final ABA incubation periods. Cultures incubated on media containing either the maltose-sucrose combination or only 1% sucrose yielded less mature somatic embryos, especially the normal "long" D stage embryos, than did cultures grown on 6% maltose.

Table 3 The influence of EVX PGR-free incubation time and medium strength ($BM_4$ VS ' $BM_4x2$) on somatic embryo maturation in slash pine. Embryo production is the sum of total produced across all clumps in a treatment. The 0 day incubation test has been repeated twice. Embryo counts made after final incubation.

| Incubation Time[1] on EVX PGR-free Medium | Clump No. | Final Incubation Medium' | Production of somatic Embryos (Stages) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Long-D | Short-D | Stage B |
| 21 Days[b] | 18 | $BM_4$ | 0 | 1 | 64 |
| | | $BM_4x2$ | 3 | 1 | 8 |
| 16 Days[a] | 6 | $BM_4$ | 6 | 12 | 90 |
| | | $EM_4x2$ | 8 | 7 | 64 |
| 14 Days[a] | 15 | $BM_4$ | 6 | 12 | 168 |
| | | $BM_4x2$ | 29 | 16 | 133 |
| 0 Day b | 15 | $BM_4$ | 3 | 6 | 38 |
| | | $BM_4x2$ | 10 | 4 | 27 |
| 0 Day[b] | 12 | $BM_4$ | 6 | 6 | 20 |
| | | $BM_4x2$ | 9 | 5 | 29 |

1: Day values followed by different letters are significantly different (P=0.05) with regards to B and all D stage embryo production as noted by Duncan, s multiple range test.

2: significant influence on B and long D stage embryo productions detected at 0.06 probability level.

Table 4 The influences of sucrose, maltose and ABA on embryo maturation, using protocol 2. Tes 1 examined 3% sucrose vs. maltose in the charcoal incubation stage. Tests 2,3 and 4 evaluate variable ABA concentrations and various carbohydrate sources (sucrose, maltose and combinations applied in the final incubation periods with regards to D stage embryo production. In the column o final incubation medium, numbers before the captioned M (maltose) or S (sucrose) stand for th percent concentration added in the medium. Embryo production is the sum of total produced acros all clumps in a treatment.

| Test | Clump No. | Production of Stage B Embryos' (Number) | Final Incubation Medium | Production of Somatic Embryos (Stage D) Long | Short |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 32* | 464 | ----------> $BM_4$x2, 3S, 30 $\mu$MABA | 57 | 70 |
| | 29# | 259 | ----------> $BM_4$x2, 3S,3O $\mu$MABA | 56 | 56 |
| 2. | 16 | 575 | 1/2----> $BM_4$x2, 6M, O $\mu$MABA | ---------- 54[2]-------- | |
| | | | 1/2 ---->$BM_4$x2, 6M, 15 $\mu$MABA | ---------- 58[2] --------- | |
| 3. | 14 | 212 | 1/2---->$BM_4$x2, 6M, 30 $\mu$MABA | 27 | 15 |
| | | | 1/2 ---->$BM_4$x2, 5MlS, 3O $\mu$MABA | 5 | 11 |
| 4. | 17 | 185 | 1/2---->$BM_4$x2, 6M, 30 $\mu$MABA | 15 | 19 |
| | | | 1/2 ---->$BM_4$x2 1S, 30 $\mu$MABA | 1 | 19 |

1: At the end of 21 day incubation on BM,, 30AM ABA, 616 maltose medium.

2: Embryos germinated precociously, measurement of embryos was not available.

Note: In Test 1, 40 maintenance cultures were each divided, initially, into two parts (100-150 mg/per part) with each one of them randomly placed on BM charcoal medium containing either 3% sucrose or 3% maltose. Cultures were not further divided throughout the maturation procedures. In the BM charcoal 3% sucrose treatment (*) 32 clumps survived as compared to 29 survivors receiving BM charcoal 3W maltose incubation (#). In tests 2, 3, and 4, 3% sucrose was the only carbohydrate used in the charcoal step. Cultures in these tests were divided for match paired comparison immediately prior to the last incubation stage.

Somatic Embryo Germination

Mature slash pine somatic embryos (Figure 6A) were successfully germinated in a continuously illuminated environment. Embryos incubated on MGD, PGR-free medium became greenish within 2-3 weeks and displayed hypocotyl and cotyledon elongation during this same period. Emergence of roots after the third or fourth week of germination produced what was called a completely germinated embryo (elongated hypocotyl, cotyledons and root).

In addition to completely germinated embryos, two aberrant embryo germination patterns were observed. In one pattern termed "incomplete", embryos displayed cotyledon and hypocotyl elongation, but no root production. In another pattern termed "shooty", embryos displayed only cotyledon elongation with no hypocotyl elongation or root development (Figure GB, small specimens).

A 16 day cold pre-treatment, seeking improved embryo germination, was tested in comparison with non-pretreated embryos. Long D and E stage embryos as well as short D stage embryos were used as starting material in this comparison summarized in Table 5. Short D stage embryos performed poorly in both the cold pre-treated and non-pretreated groups yielding very few complete germinations and many specimens that died during the experiment. "Long" embryos yielded much better germination with very little death (Table 5). In the "long" cold pretreated group 32 of 35 embryos (9%) tested showed some degree (complete, incomplete or shooty) of germination with 57% (20 of 35) yielding complete germination. In the "long" group lacking cold treatment 95% (75 of 79 embryos) showed some degree of germination, however, complete germination was only 37% (29 of 79). Considering all germination classes, germination of "long" embryos was not significantly influenced by the cold pretreatment ($X^2 = 5.78 < X^2_{0.05} = 7.81$). However, when complete germination is the only consideration, cold pretreatment significantly increased the germination rate ($X^2 = 4.13 > X^2_{0.05} = 3.84$) Given that complete germination is the desired germination state, cold pretreatment is recommended and should be further investigated.

To date, multiple plants derived from slash pine somatic embryos have been well established in the greenhouse. The initial growth of these completely germinated embryos were very slow as compared to normal seedlings. The epicotyl and primary needle elongations were rarely seen during the first 1 to 1.5 month after moving specimens out of the mist acclimation conditions. Many plants died during this stage and a survival rate of 33% across all embryos planted was obtained in the current study. Once the new growth of epicotyl began, the continuous elongation of shoot apices followed. The established young plants all appear normal in morphology.

Table 5 The influence of cold pre-treatment on germination of slash pine somatic embryos.

| Cold Treatment | Embryo Classification | Sample Size | Germination Condition | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Complete[1] | Incomplete[2] | Shooty[3] | Dead[4] |
| | | | (Number) | | | |
| Yes | Long[1] | 35 | 20(3) | 5 | 7 | 3 |
| | Short | 58 | 2(1) | 1 | 19 | 36 |
| No | Long[1] | 79 | 29(8) | 23 | 23 | 4 |
| | Short | 68 | 3(3) | 8 | 18 | 39 |

1: Embryos with root emergence and hypocotyl/cotyledon elongations; numbers in the parenthesis are counting of completely germinated embryos with further growth of apex and primary needles (Figure 6B; large specimen).

2: Germinated embryos with hypocotyl/cotyledon elongation but no root emergence.

3: Embryos with cotyledon elongation only (Figure 6B; small specimens).

4: Embryos with appearance of browning and declining and no growth at all.

5: Mixtures of long stage D and stage E embryos.

## DISCUSSION

It has been well demonstrated in coniferous species that the culture initiation was dependent on the developmental stage of immature embryos in *Picea abies* [Hakman *et al.* 1985], *Picea glauca* [Lu and Thorpe 1987], and *Pinus caribaea* [Laine and David 1990] . Becwar *et al.* [1990] also indicated that, in *Pinus taeda*, the highest successful culture initiation frequency was obtained from explants with zygotic embryo development at a pre-cotyledonary stage (embryo less than 0.5mm in length). In slash pine, the importance of zygotic embryo development in embryogenic culture initiation was also confirmed in this report.

The initiation of long-term highly morphogenic embryogenic cultures in pines has not been routinely reported in many species as it has in spruce. The initiations of spruce cultures are somewhat standardized typically using 10.0/5.0 $\mu$ M auxin/cytokinin with LP basal medium [von Arnold and Hakman 1986; Hakman and Fowke 1987; von Arnold and Woodward 1988; Webb *et al.* 1989; Harry and Thorpe 1991] . However, standardization in culture initiation has not yet been achieved in pines. A variety of culture medium supplemented with various levels of auxin and cytokinin have been tested and reported workable for culture initiation in pines [see

references in Table 1 and review of Tautorus *et al.* 1991]. In addition, embryogenic cultures of pines have even been initiated on PGR-free medium [Becwar *et al.* 1990]. it seems that the culture medium and/or PGR regime was not the major concern for embryogenic culture initiation in pines. our study indicates that the general low efficiency of culture initiation in pines was not due to a lack of culture conditions to promote adequate cell extrusion. Instead, efficiency is strongly influenced by proliferative growth following extrusion.

In embryo maturation protocols, incubation of maintenance cultures on PGR-free medium prior to ABA treatment was noted as beneficial but not essential for embryo production (Table 3). A proposed depletion of auxin and cytokinin may contribute to the enhancement of embryo formation. This apparent depletion aspect has frequently been sought in agar culture by incubation of tissues on charcoal containing medium for several days [Becwar *et al.* 1989; Anderson 1990; Harry and Thorpe 1991], or in liquid suspension cultures where the cells were washed several times by PGR-free solutions before transferring to embryo maturation medium [Dunstan *et al.* 1988; Attree *et al.* 1990].

Relative to medium strength effects Table 3 shows that $BM_4$ medium fostered the production of large numbers of B stage embryos which were still persistent even at the final counting for embryo development. Conversely, the $BM_4$x2 medium at the time of embryo counting had fostered consistently better development of the desirable long D stage embryos which are most likely to yield complete plants. These differences between B and D stage embryo production on $BM_4$ and $BM_4$ x2 were significant at P=0.06 level. Laine and David [1990] have reported that the differentiation of somatic embryos of *Pinus caribaea* was enhanced by doubling both the macromineral nutrients and ABA concentration (15 $\mu$M at final) in the embryo development medium. However explanations for the enhancement were not given in that paper. Theoretically the osmotic pressure of culture medium should be directly affected by changing medium strength; and evidence showing that elevated osmotic pressure in culture favors somatic embryo development has been presented [Gupta and Pullman 1990; Roberts 1991]. Furthermore the increase of mineral nutrients may offer extra amounts of elements which unknowingly may be limited in the medium with original strength. Such speculations need to be further studied.

The use of maltose to enhance somatic embryo development has been mentioned in alfalfa [Strickland *et al.* 1987] and cultured wheat anthers [Orshinsky *et al.* 1990]. Both groups argued that the superiority of maltose to sucrose was related to its nutritional effect. Researchers have started to test the promotion effect of this carbohydrate on culture proliferation and embryo maturation in conifer somatic embryogenesis. Some positive results have been noted in *Abies nordmanniana*

[Norgaard and Krogstrup 1991], *Abies alba* [Hristoforoglu *et al.* 1992] and *Pinus* taeda [Webb 1992] . However these were all preliminary observations and no further conclusions were available. In slash pine, we have observed the influence of maltose primarily in embryo maturation. In the last two tests in maturation protocol 2 (Table 4, Tests 3 and 4), the carbohydrate source supplemented in the final incubation medium was important for D stage embryo formation. In test 4 the 1% sucrose in the medium may have caused nutritional problems or it may have reduced the osmotic pressure below some level critical to somatic embryogenesis. In test 3, however, as 6% maltose was replaced by a combination of 5% maltose and 1% sucrose, both media would probably have similar osmotic pressure. The reduced production of mature embryos on cultures incubated on the maltose-sucrose medium suggests that nutritional problems associated with sucrose may influence somatic embryo maturation in slash pine.

Cold treatment (stratification) has been commonly used to enhance seed germination in many plant species. In contrast, ABA has been generally recognized as an inhibitor (dormancy inducer) in the process of seed germination [Lewak 1985] . In the current study when cold pre-treatment was used, charcoal was also included. Therefore this scheme may offer two advantages for embryo germination with cold mimicking seed stratification and charcoal absorbing excess ABA carried-over from maturation procedures. The significant increase of complete germination in slash pine somatic embryos pre-treated in the cold environment is worthy of further study to investigate the potential benefits of both charcoal and cold temperature. The data should be useful for embryo germination and development of an embryo storage method [Pullman and Gupta 1991].

## REFERENCES

Amerson, H.V., L.J. Frampton, Jr., R.L. Mott and P.C. Spaine. 1988. Tissue culture of conifers using loblolly pine as a model. In Genetic Manipulation of Woody Plants. Edited by J.W. Hanover and D.E. Keathley. Plenum Press, New York, pp. 117137.

Anderson, D.R. 1990. Procedures for Improved Somatic Embryo Maturation in Norway Spruce *(Picea abies).* Ph.D. Thesis. N.C. State University, Raleigh, 14C, USA, 73 pp.

von Arnold, S. and I. Hakman. 1986. Effect of sucrose on initiation of embryogenic callus cultures from mature zygotic embryos of *Picea abies* (L.) Karst. (Norway spruce). J. Plant Physiol. 122:261-265.

von Arnold, S. and S. Woodward. 1988. organogenesis and embryogenesis in mature zygotic embryos of *Picea sitchensis.* Tree Physiology 4:291-300.

Attree, *S.M., S.* Budimir and L.C. Fowke. 1990. Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from cultured shoots and cotyledons of seedlings from stored seeds of black and white spruce *(Picea Mariana* and *Picea glauca).* Can. J. Bot. 68: 30-34.

Becwar, M.R., R. Nagmani and S.R. Wann. 1990. Initiation of embryogenic cultures and somatic embryo development in loblolly pine (*Pinus taeda)* . Can. J. For. Res. 20:810-817.

Becwar, M.R., T.L. Noland and J.L. Wyckoff. 1989. Maturation, germination, and conversion of Norway spruce *(Picea abies* L.) somatic embryos to plants. *In Vitro* Cellular and Developmental Biology. 25(6):575-580.

Becwar, M.R., S.R. Wann, M.A. Verhagen, R.P. Feirer and R. Nagmani. 1988. Development and characterization of *in vitro* embryogenic systems in conifers. In Somatic Cell Genetics of Woody Plants. *Edited* by M.R. Ahuja. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 1-18.

Dunstan, D.I., F, Bekkaoui, M. Pilon, L.C. Fowke and S.R. Abrams. 1988. Effects of abscisic acid and analogues on the maturation of white spruce *(Picea glauca)* somatic embryos. Plant Sci. 58:77-84.

Finer, J.J. , H.B. Kriebel and M.R. Becwar. 1989. Initiation of embryogenic callus and suspension cultures of eastern white pine *(Pinus strobus* L.). Plant Cell Reports 8:203-206.

Gupta, P.K. and D.J Durzan. 1985. Shoot multiplication from mature trees of Douglas-fir *(Pseudotsuga menziesii)* and sugar pine *(Pinus lambertiana).* Plant Cell Reports 4:177-179.

Gupta, P.K. and D.J Durzan. 1986. Somatic polyembryogenesis from callus of mature sugar pine embryos. Bio/technology 4:643-645.

Gupta, P.K. and D.J. Durzan. 1987a. Biotechnology of somatic embryogenesis and plantlet regeneration in loblolly pine. Bio/technology 5:147-151.

Gupta, P.K. and D.J. Durzan. 1987b. Somatic embryos from protoplasts of loblolly pine proembryonal cells. Bio/technology 5:710-712.

Gupta, P.K. and G.S. Pullman. 1990. Method for reproducing coniferous plants by somatic embryogenesis. U.S. Patent No. 4,957,886.

Hakman, I. and L.C. Fowke. 1987. Somatic embryogenesis in *Picea glauca* (white spruce) and *Picea mariana* (black spruce) Can. J. Bot. 65:656-659.

Hakman, I., L.C. Fowke, S. von Arnold and T. Eriksson. 1985. The development of somatic embryos in tissue cultures initiated from immature embryos of *Picea abies* (Norway spruce). Plant Sci. 38:53-59.

Harry, I.S. and T.A. Thorpe. 1991. Somatic embryogenesis and plant regeneration from mature zygotic embryos of red spruce. Bot. Gaz. 152(4):446-452.

Hoel, P.G. 1984. Introduction to Mathematical Statistics. 5 th Ed. John Wiley and Sons, Inc., New York. 435 pp.

Hristoforoglu, K., A. Grahsl and J. Schmidt. 1992. Somatic embryogenesis from mature embryos of *Abies alba.* (Abstract). In International Conifer Biotechnology Working Group, 6th meeting. Forest Biotechnology Program, N.C. State University, Raleigh, NC, USA.

Jain, S.M., N. Dong and R.J. Newton. 1989. Somatic embryogenesis in slash pine *(Pinus elliottii)* from immature embryos cultured in vitro. Plant Sci. 65:233-241.

Keinonen-Mettala, K., P. Eurola and K. von Weissenberg. 1992. Towards somatic embryogenesis of Scots pine *(Pinus sylvestris).* (Abstract). In International Conifer Biotechnology Working Group, 6th meeting. Forest Biotechnology Program, N.C.State University, Raleigh, NC, USA.

Laine, E. and A. David. 1990. Somatic embryogenesis in immature embryos and protoplasts of *Pinus caribaea.* Plant Sci. 69:215-224.

Lewak, S. 1985. Hormones in seed dormancy and germination. in Hormonal Regulation of Plant Growth and Development. Edited *by* S.S. Purohit. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, pp 95-114.

Lu, C.-Y. and T.A. Thorpe. 1987. Somatic embryogenesis and plantlet regeneration in cultured immature embryos of *Picea glauca.* *J.* Plant Physiol. 128:297-302.

Mott, R.L., H.V. Amerson and L.J. Frampton, Jr. 1987. Annual Progress Report: Special Project on Tissue Culture. Forest Biology Research Center, N.C. Agriculture Research Service, N.C. State University, Raleigh, NC, USA. 145 pp.

Norgaard, J.V. and P. Krogstrup. 1991. Cytokinin induced somatic embryogenesis from immature embryos of *Abies nordmanniana* Lk. Plant Cell Reports 9:509-513.

Orshinsky, B.R., L.J. McGregor, G.I.E. Johnson, P. Hucl and K.K. Kartha. 1990. Improved embryoid induction and greens hoot regeneration from wheat anthers cultured in medium with maltose. Plant Cell Reports 9:365-369.

Roberts, D.R. 1991. Abscisic acid and mannitol promote early development, maturation and storage protein accumulation in somatic embryos of interior spruce. Physiol. Plant. 83:247254.

Smith, D.R., C. Jones and L. Grace. 1988. Somatic embryogenesis in *Pinus radiata:* progress towards artificial seed. (Abstract) . In International Conifer Tissue Culture Work Group, 4th meeting. August 8-12. Saskatoon, Canada.

Sommer, H.E., C.L. Brown and P.D. Kormanik. 1975. Differentiation of plantlets in longleaf pine *(Pinus palustris* Mill.) tissue cultured *in vitro.* Bot. Gaz. 136(2):196-200.

Strickland, S.G., J.W. Nichol, C.M. McCall and D.A. Stuart. 1987. Effect of carbohydrate source on alfalfa somatic embryogenesis. Plant Sci. 48:113-121.

Tautorus, T.E., L.C. Fowke and D.I. Dunstan. 1991. Somatic embryogenesis in conifers. Can. J. Bot. 69:1873-1899.

Webb, D.T. 1992. Initiation and maturation of *Pinus taeda* embryogenic callus. (Abstract). In International Conifer Biotechnology Working Group, 6 th meeting. Forest Biotechnology Program, N.C. State University, Raleigh, NC, USA.

Webb, D.T. and B.S. Flinn. 1991. Eastern white pine (*Pinus strobus* L.) . In Biotechnology in Agriculture and Forestry 16. *Edited by* Y.P.S. Bajaj, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany. pp. 358-382.

Webb, D.T., F. Webster, B.S. Flinn. D.R. Roberts and D.D. Ellis. 1989. Factors influencing the induction of embryogenic and caulogenic callus from embryos of *Picea glauca* and *P. engelmanii.* Can. J. For. Res. 19:1303-1308.

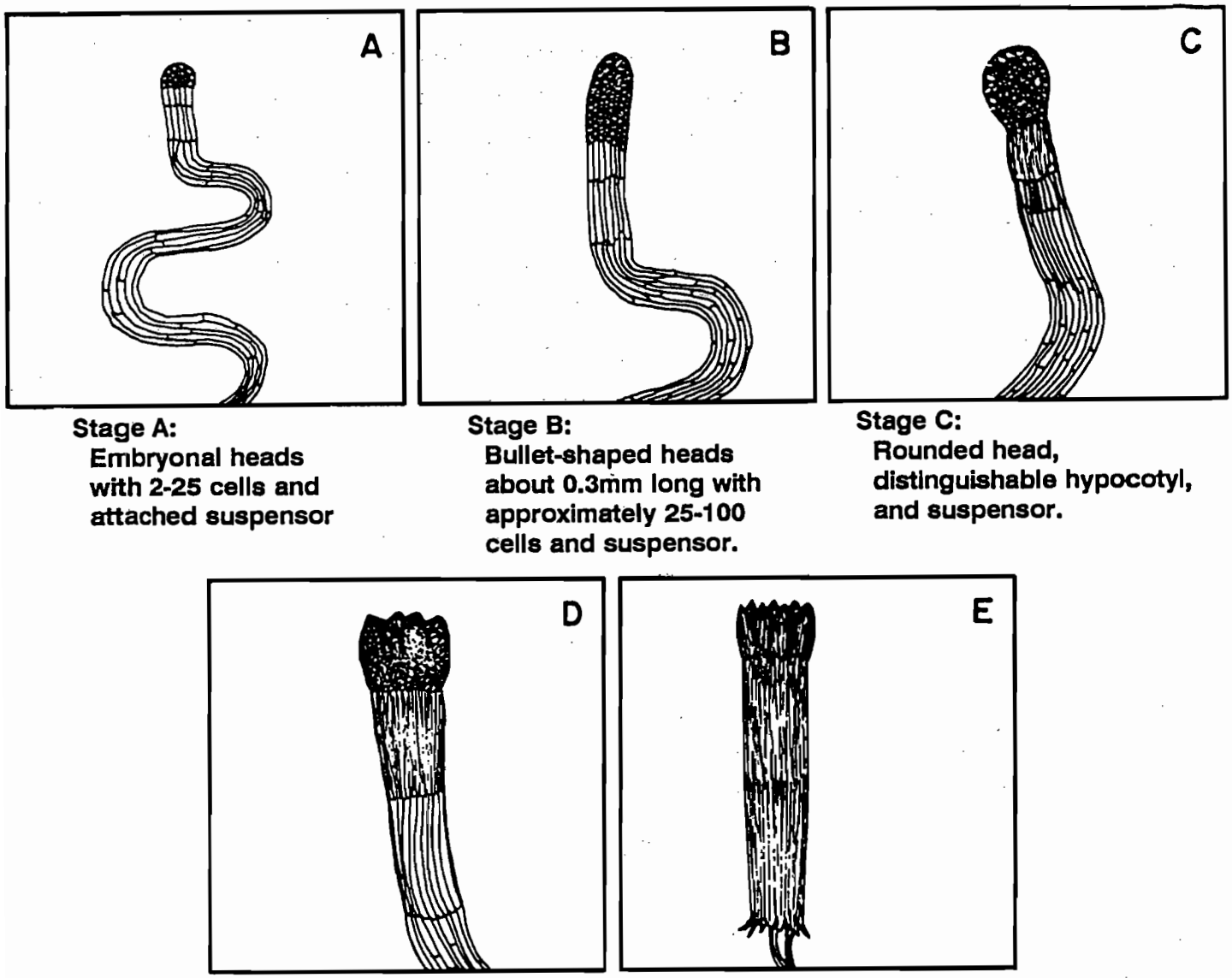



Fig. 1

Schematic representation of zygotic embryo developmental stages in loblolly pine devised by Mott *et al.* [1987] This system of embryo development is used throughout the current Manuscript to refer to developmental forms of slash pine embryos since the two species closely coincide.

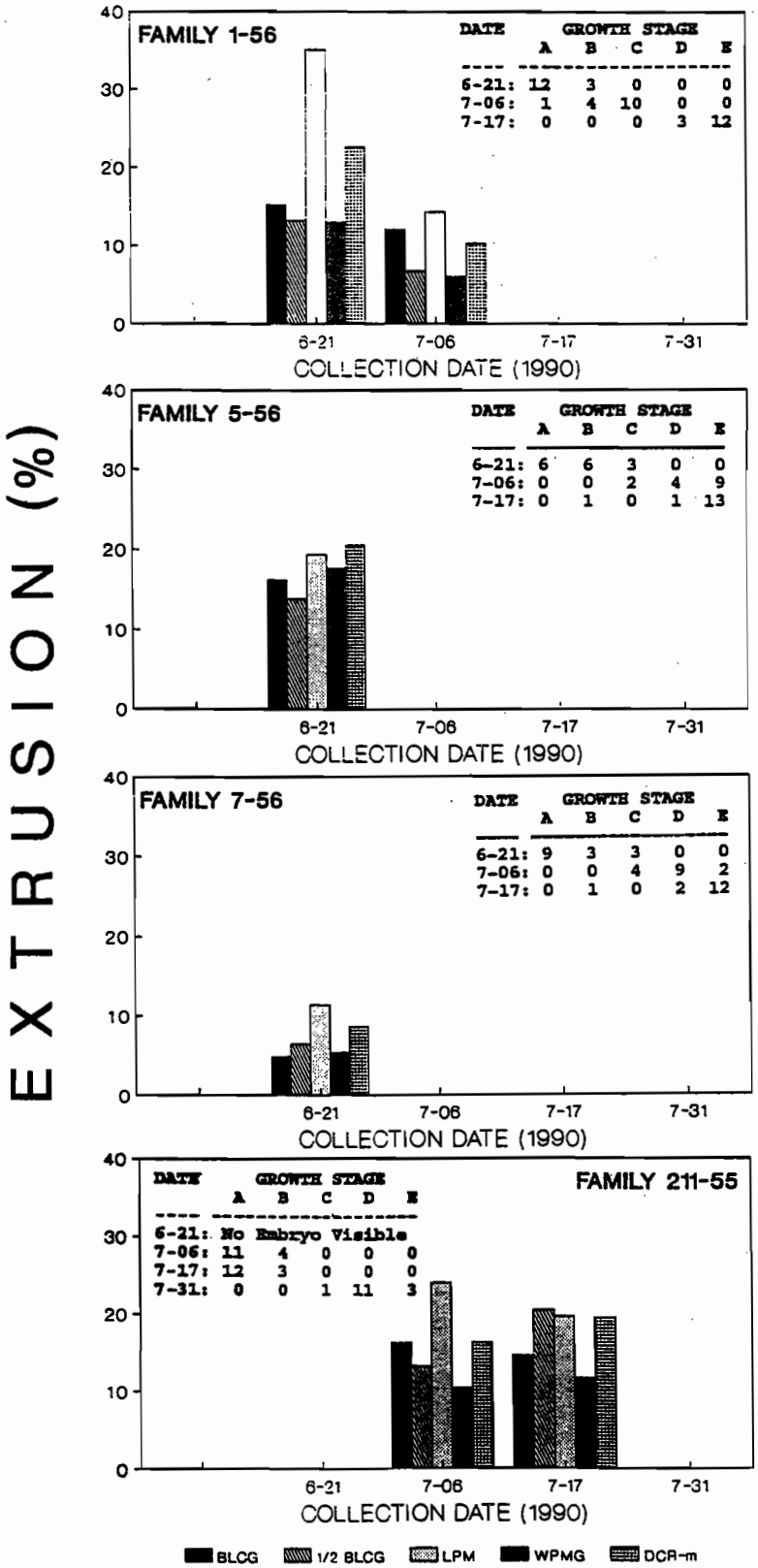



Fig. 2

The first initiation test showing cell extrusion frequencies across four families, five culture media and two collections (families 1-56 and 211-55 only) .The explant maturity, growth stage of the zygotic embryo, for each family was also different among families in each collection. Collections containing predominantly D and E stage embryos were not cultured according for absent data at particular dates.

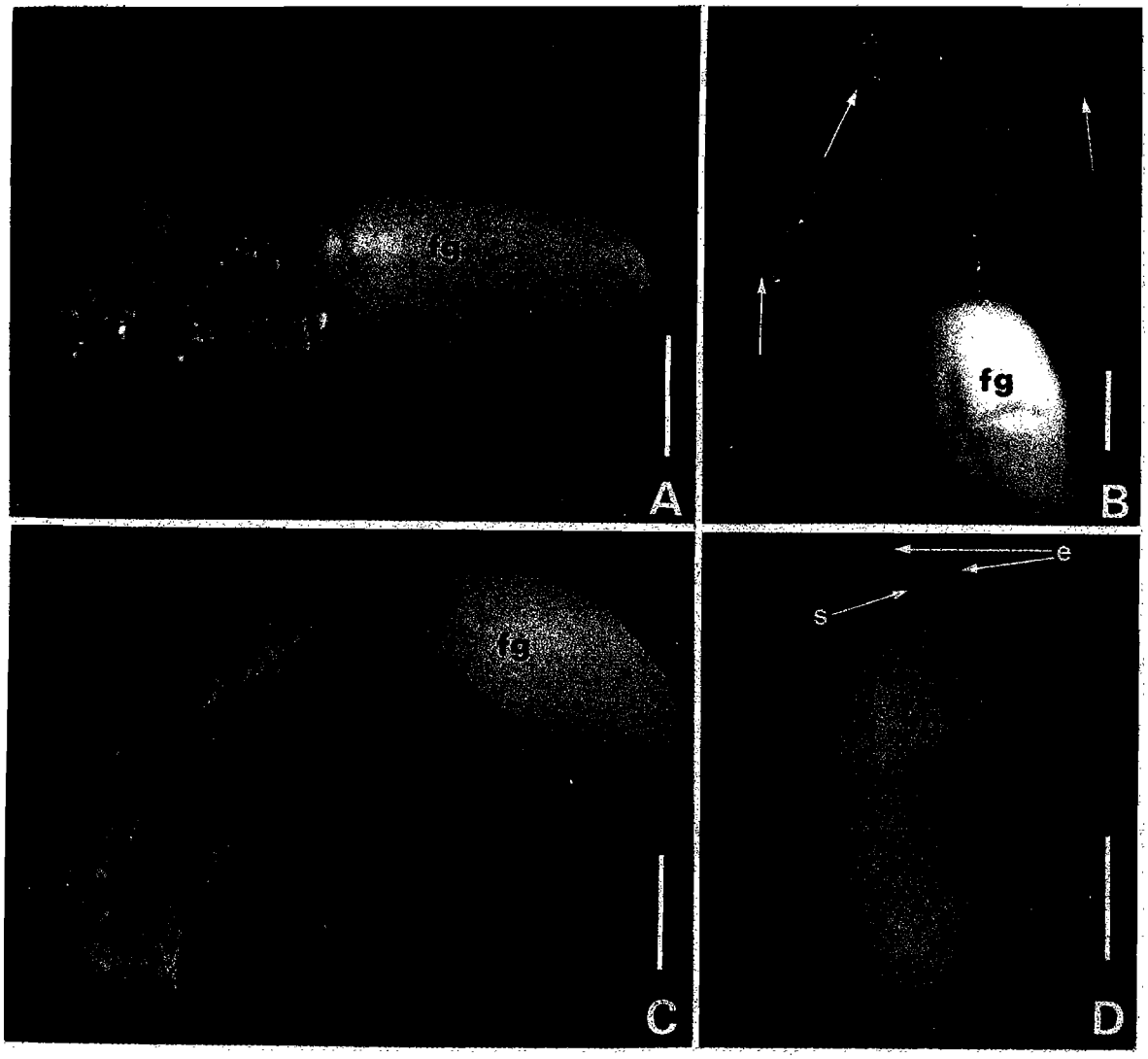



Fig. 3

Cell extrusion types observed during culture initiation stage in somatic embryogenesis of slash pine. Bars=2.0mm, fg=female gametophyte. (A)Type I extrusion. (B)Type II extrusion, shown is a cultured specimen with individually proliferations embryonal heads (arrows) in the extruded cell masses. (C)Type III extrusion with a proliferating cell mass pushed away by a cord-like structure (arrow). (D)Type IV extrusion, shown are two stage A embryos (e) protruded by compacted suspensor tissues (s).

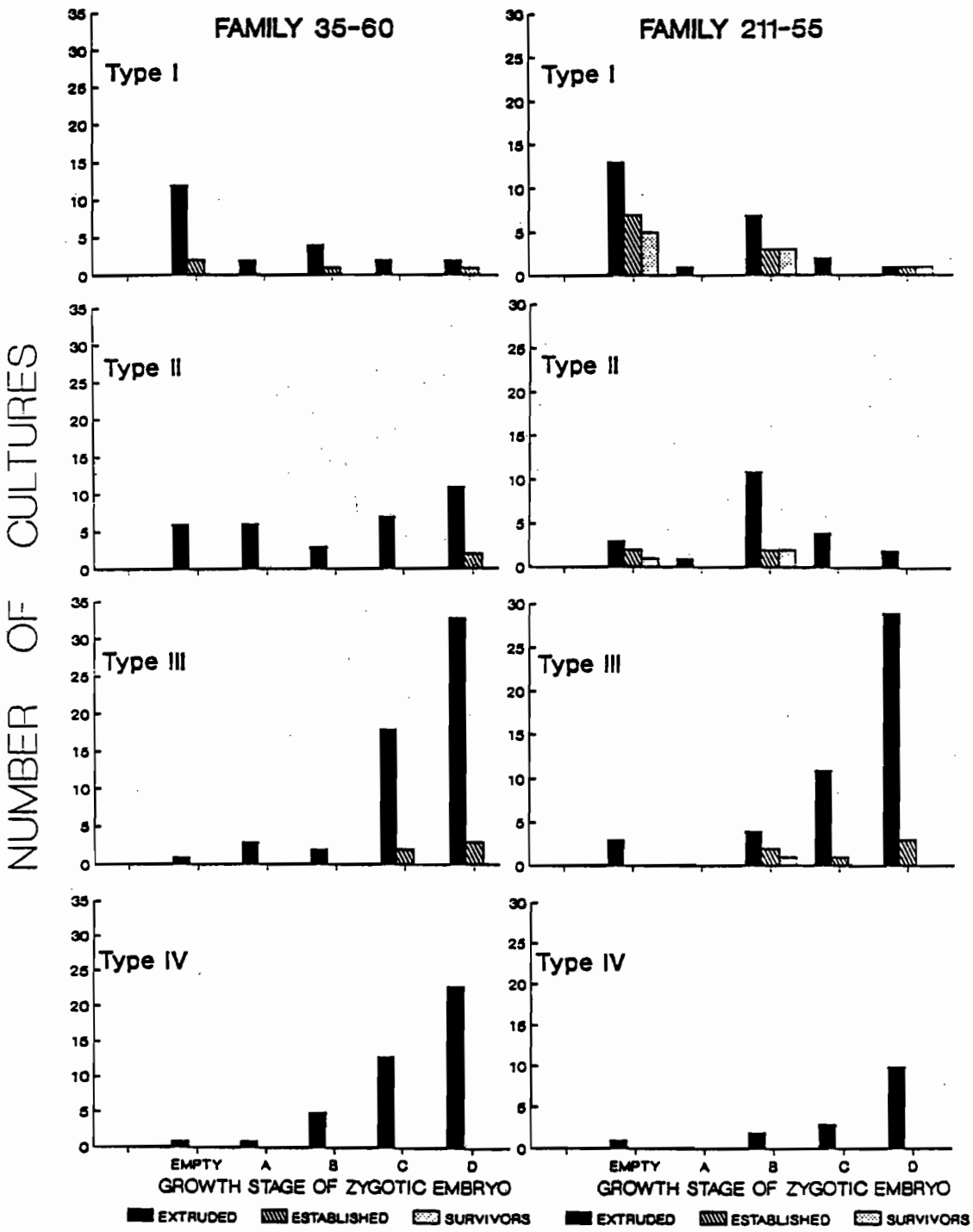



Fig.4

Extrusion types as related to extrusion numbers, establishment, survival and the status of the dominant embryos remaining in the gametophytes after cell mass extrusion. The "empty" zygotic embryo category represents samples in which the entire cell mass was ejected from the corrosion cavity leaving it empty. In the legend, "survivors" represents long term surviving cultures described in text. Note: The scale in family 35-60 is 0-35 and in family 211-55, it is 0-30.

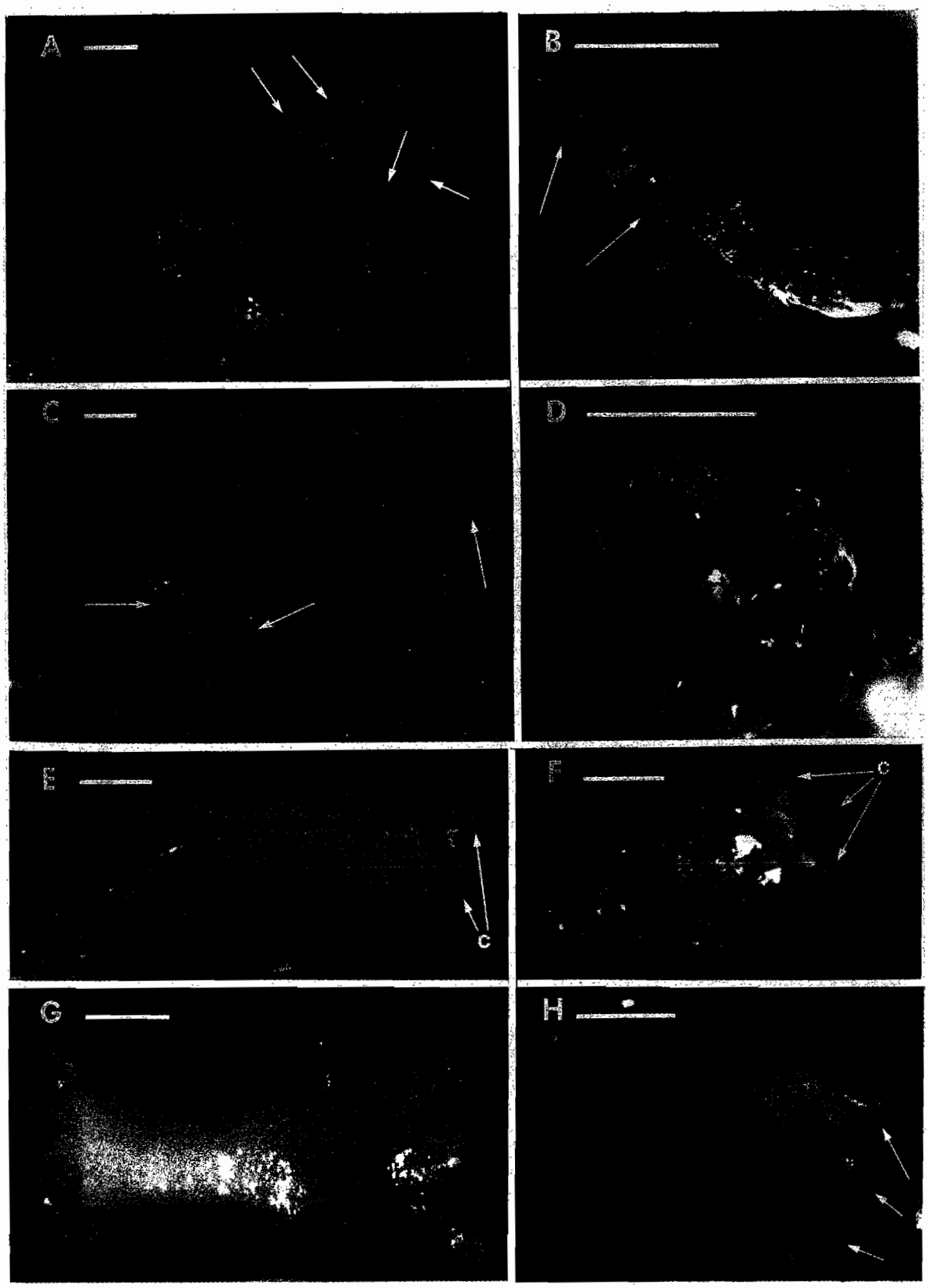



Fig. 5

Maturation of slash pine somatic embryos. (A) Multiple stage A embryos (arrows) protruded by suspensor tissues (s) on cultures receiving PGR-free incubations. (B) A close-up shot of stage A embryos (arrows). (C) Formation of stage B embryos (arrows) on cultures incubated on BM4 medium.

(D) a close-up shot of a stage B embryo (e) with associated suspensor tissue (s) . (E) A long stage D embryo showing cotyledonary bumps (c) subtended by pronounced hypocotyl (h) and root cap (rc) tissues. (F) A short stage D embryo with cotyledonary bumps (c) and associated suspensor tissue (s) . Hypocotyl and root cap can not be resolved. (G) Mature stage E embryo with partially elongated cotyledons (c) . (H) Partially elongated cotyledons (arrows) on short stage D embryo. Appreciable development of a hypocotyl or root cap was still absent on such specimens. Bars= 1.0mm in A, B, C, D. Bars= 0.5mm in E, F, G, H.

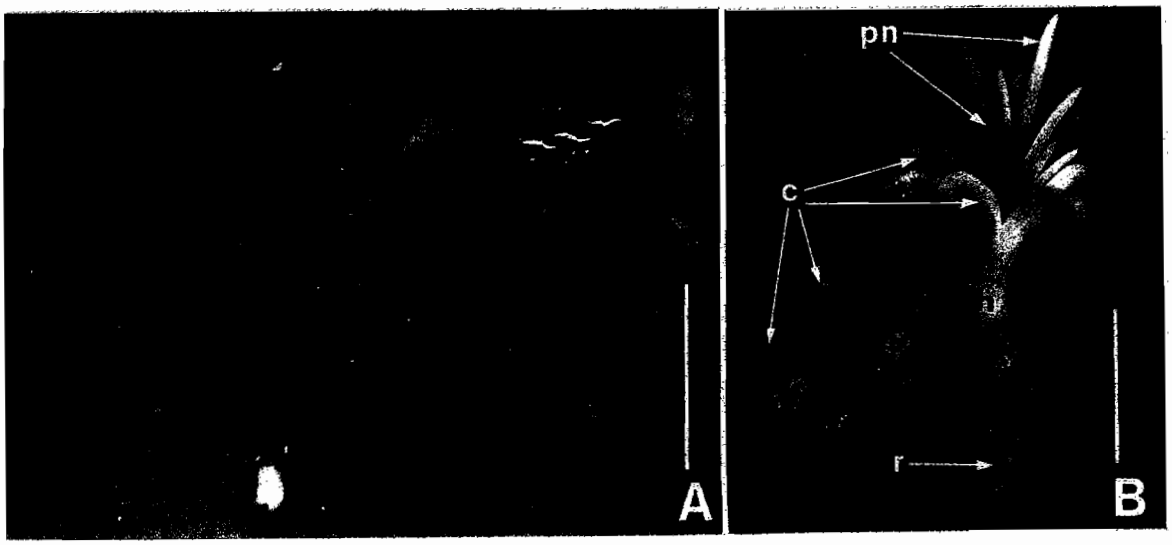



Fig. 6

Embryo germination and plant establishment for slash pine somatic embryogenesis. Bars= 5.0mm. (A) Mature slash pine somatic embryos at stages D or E ready to be germinated. Shown is a culture clump with above average embryo production. (B) A completely germinated slash pine somatic embryo with primary needle development at the right compared with small shooty embryos (s) on left. pn=primary needles, c=cotyledons, h=hypocotyl, r=root.

# 黑龍江省森林生態系統恢復與重建的研究

聶紹荃[1]

摘　要：

黑龍江省是我國最大林區之一，大興安嶺、小興安嶺、張廣才嶺、完達山脈等廣大山地分布著茂密的森林。由於長期的掠奪性的採伐，加火災，使三分之二以上的原始林演變成了生產力低下、森林生態系統功能不斷減弱、防護屏障作用下降，只能持繼低水平的平衡的次生林。爲此，針對這一問題，筆者在黑龍江省依蘭縣先鋒林場（北緯 45° 52'－46° 03'，東經 129° 28'－129° 45'）進行了森林生態系統恢復與重建的研究。建立了 1.5 萬畝模式區，總結出對原始林採用分層經營，人工促進更新；次生林採用班塊狀人工更新；採伐跡地採用人工林天然化培育更新或封山育林的綜合配套技術措施。經 10 年試驗、定型、運轉，取得顯著效果，並進行了廣泛的推廣應用，使森林生態系統的功能與質量得到了恢復與重建。

關鍵詞 森林生態系統；恢復；重建

# Study on Restoration and Re-building of Forestry Ecological System in Heilongjiang Province

Nie Shaoquan

( Northeast Forestry University )

**Abstract** Heilongjiang province is one of the biggest forest areas in China, including vast dense forests in Daxing' anling, Xiaoxing, anling, Zhangguangcailing and wandashan range. More than two third virgin forests degenerated to low production, lessening forest ecosystem and shelter function, low balance level secondary forests for plundering cutting and fire. The author conducted the study on restoration and rebuilding of forestry ecological system on xianfeng Foresi Farm ( N45° 52'-46° 03', El29° 28'-129° 45' ), Yilan, Heilongjiang aiming these problems. One thousand hectare sample areas was established to stratally manage virgin forests, artificially promote reforestation, patchly artificial reforest secondary forests, naturalize plantation or close hill to facilitate the growth and protection of forests on cutting areas by the comprehensive techniques.

The forest ecosystem function and quality were restored and rebuilt through ten year's experiments, finalizing designs, excellent working

---

[1] 東北林業大學

and wide1y application and dissemination.

**Key words** Forest ecological system, Restoration, Rebuilding

一、引言

黑龍江省是我國最大林區之一，稱之有無數森林之寶地，爲我國經濟建設及人民生活提高提供了4億多立方米木材及多種林副產品。茂密的森林又爲松嫩平原和三江平原等農業持續穩產、高產提供了天然屏障。但由於對林業既是產業，又是公益事業的兩重性認識不深、不透，只強調林業是產業的一面，忽視了公益事業的一面，使黑龍江省大面積的原始林遭到掠奪性的大破壞，三分之二以上原始林變成了生產力低下，生態功能脆弱的次生林或荒山灌叢草地。森林功能質量下降，尤其，是用材林中的成、過熟林蓄積量大幅度減少，可採資源已瀕於枯竭，森林資源與森林生態環境急劇惡化，造成省屬40個森工企業的木材資源枯竭及經濟危機，多數林業局職工不能按時得到工資。表現更爲突出的是森林防護功能減小，水土流失，江河、溪流的含砂量增加，據測算河床每年平均增高0.5－1cm，使之黑龍江省年年有不同程度的自然災害。如三江平原森林生態系統功能不斷減弱，據氣象部門觀測70年代比幾十年前平均氣溫增高0.1－0.5℃，極端最高溫度增高0.1－0.7℃，超過30℃日期增加了18天（當然有全球變溫因素在內），降水量比1956年－1960年的670mm減少171.6mm，現僅爲500－600mm，大風日數比1959－1968年增多22天，風速也不斷增大，由每秒26米增至35米。這些氣象因子變化說明了森林效益功能的下降。

綜上述，我省森林質量下降，原始林面積減少，造成森林生態系統功能不斷減弱，只能持續低水平平衡。因此，進行森林生態系統恢復與重建的研究，尤爲重要，必須採取綜合配套技術措施恢復重建黑龍江省森林生態系統，達到兩高一優的森林生態系統的標準。

二、國內外研究現狀及趨勢

全球出現的人日增多不可逆轉，耕地面積減少不可逆轉，人們生活不斷提高，人們毫無節制地向自然界索取導致資源危機、環境惡化，使生態系統愛得極脆弱，給人類帶來自然災害。各國各地區根據本國本地區的經濟發展，工業水平自然地理環境特徵，森林生態系統破壞程度，提出多種多樣各具特色恢復與重建森林生態系統的模式與對策。

（一）國外研究現狀與趨勢

1、持續發展永續利用的經營模式與對策、關鍵是木材採伐量不能超過林木生長量，採伐跡地面積不能太大、而且必須及時更新，迅速重建森林植被，充分發揮森林多種效益。實現綜合經營永續利用。如瑞典、美國。日本、印度等國家均採用此種模式與對策。

2、森林經濟、社會和生態三大效益一體化經營模式與對策，此種主要爲德

國、奧地利採用的模式，自 1975 年開始實施，把經濟效益、社會效益、生態效益溶爲一體，永續利用森林實現良性循環，保證了森林恢復與重建工作的順利進行。

3 、森林多種效益，主導利用經營模式與對策，此種模式以林業分工論，多效益爲指導，分類經營，注意發揮其生態效益。法國、新西蘭、澳大利亞、俄羅斯等國家均用此模式恢復與重建森林生態系統。爲了建立這種模式大面積營造人工混交林，培育目的樹種，並按森林的功能及分布地理環境，劃分三大類型，即用材林、多功能林、生態林，實行分類經營，發揮以生態效益，社會效益爲主導功能，兼顧生產功能。這種模式恢復與重建森林生態系統，已取得良好效果引人矚目。

4 、混合農林業經營模式與對策，在同一片土地上，把農林業、畜牧業等生產結合起來建立符合持久的土地利用管理體系。此種模式採用林木與農作物輪作或帶作，班塊狀混合種植模式，發展中國家多數採用此種模式恢復與重建森林生態系統，充分發揮了森林的多種效益，使木材、糧食及環境改善，得到同步增長，是一種充分利用土地、空間、時間的有效辦法，亦取得了良好的效果。

5 、新林業的經營模式與對策，此種模式思想是美國學者提出的，主導思想是把自然地理景觀與森林生態系統溶爲一體，採伐林木時，可用木材，不能用木材一齊採，好壞林木也一齊留的採伐經營模式。留下壞的病腐木給其他生物保留充足良好生態位及食料，不提倡單用自然保護區保護森林的辦法。此種模式是一種充分發揮森林生態功能與生產功能相綜合的措施有效的達到了保護森林生態系統多樣性。

（二）國內研究現狀與趨勢

我國是一個少林國家，森林面積只占世界森林面積 4 %左右，人均有森林面積 0.12 公頃，國家十分重視森林生態系統恢復與重建工作，以生態系統生態學，植被生態學和種群生態學等一系列基本理論爲指導研究了森林生態系統退化的原因、退化程度以及所處的演替階段，探索出退化和建設的理論與方法及配套技術體系。採取生態工程，生態林業工程等手段，工程與生物措施相結合，進行大面積人工更新、天然更新、人工促進天然更新等方式使森林植被得到恢復與重建。當前，在國有林區大面積營造的人工林，多樹種單一，尤其在林區，多爲落葉松林，占人工林面積 70 %左右。在平原地區營造的防護林多爲楊樹防護林，楊樹占 90 %以上，上述兩種人工林雖然有它的可取之處，如生長快，怕樹種單一，壽命短、抗病蟲害能力弱，尤其楊樹與農作物爭水爭肥造成較大面積歇地，相對減少了作物的產量。同時新建人工林系統組成物種少相對森林其他資源也少，生態功能差，在國有林區，原始林，次生林把採伐木材當成首要的任務。採伐量遠遠超過生長量，更新跟不上採伐，在大面積採伐跡地天然更新多爲生產力、低經濟價值小的楊樺林，有些破壞程度大的地段甚至發展爲灌叢及草地。爲此必須把森林生態系統恢復與重建研究工作進一步深入下去。

三、實體模式與對策

根據國內外研究恢復與重建森林生態系統的成果與技術，我們承擔國家七．五、八．五重點科技攻關項目中研究次生林的改造，達到恢復與重建森林生態系統的目的。採用了治本治標相結合，優化結構與生物多樣性相結合的綜合措施，達到使溫帶原始林、次生林、灌叢荒山荒地逐漸建成既滿足人們對木材日益增長需要，又能發揮多種效益的森林生態系統，永遠造福於人類。據現有森林類型，破壞程度，立地好壞，環境質量採用不同的模式與對策。

1 、原始林採用分層經營人工天然促進更新模式與對策，已建立了分層經營促進更新模式區 1776 畝。分 10 年爲一期，每次採伐上屬層木強度爲 15 %左右。更新頻度達 30 %以上，主要樹種有黃菠蘿（ *Phellodendron amurense* ）。水曲柳（ *Fraxinus mandshurica* ）、椴樹（ *Tilia amurensis* ）、色木（ *Acer mono* ）及少量紅松（ *Pinus koraiensis* ）、雲杉（ *Picea koraiensis* ）等形成了更新層和演替層。由於採伐部分上層木林分中出現 15-20 %的不規則的班塊狀林隙，給處於演替層林木以適當的空間，快速生長，在林隙中種子及幼苗得到發芽生長。已形成了演替層及更新層。尤其給紅松幼苗幼樹提供了先高生長後徑生長的生態位，避免了人工林高徑同步生長的早年形成叉桿性的缺點。採用這種模式與對策，不僅能生產出木材，還保持了原始林的物種多樣性、生態系統多樣性，種質資源的多樣性，是一項持續發展的有力對策。

2 、次生林採用班塊狀人工更新模式與對策，已建成了 1600 畝的模式。由於歷史及採伐不規範的擇伐形成大大小小不等林隙（空白生態位），林分密度小，但株數分布不均勻，蓄積量低。在林隙中人工栽植紅松、樟子松（ *Pinus sylveris* var. *mongorica* ），更新層，形成人工更新及天然林木混合班塊狀複合森林群落，能較快恢復成爲頂極紅松闊葉混交林。該模式與對策使次生林栽植紅松、樟子松幼苗成活率達 95 %，保存率達 85 %，幼苗生長量提高了 15 － 20 %，同時加強了林地天然種子發芽幼苗生長，天然幼苗頻度可達 15 － 20 %，適於次生林改造的應用，已取得良好效果。

3 、採伐跡地及人工林，採用天然化培育更新與封山育林的模式與對策。即在皆伐跡地上。已建了 1914 畝模式區，首先在採伐時保留幼樹減少破壞林地，保持林地種子庫的種子發芽成爲幼苗、幼樹的生存條件。伐前保留幼樹及伐後生長幼苗其頻度達 50-60 %，主要樹種有水曲柳、胡桃楸、黃菠蘿、椴樹、雲冷杉。同時在跡地上帶狀栽植優良樹種長白落葉松（ *Larix olgensis* ）。株行距 1.5 × 1.5m ，每畝株數達 296 株，當年成活率 95 %，三年後保存率達 85 %，已形成了人工天然樹種混交林，此種模式的關鍵是調控林木密度改變了人工林單一樹種缺點，增強了林地生產力及生物量，封山育林基本上採取自然力恢復森林。

採用上述綜合配套技術，共建成森林生態系統恢復與重建的模式 5000 畝以上，加上七五期間改造次生林模式 1 萬畝，共 1.5 萬畝，較好地將人工林改造爲混交林，使森林生態系統良性循環增強了穩定性和抗自然災害的能力提高。使天然次生林生長量由 $3.5m^3$ ／ ha，提高到 $5m^3$ ／ ha，森林生產力提高 25 － 30 %，

逕流量降低 10 － 15 %。

四、存在問題及建議

（一）存在的問題

森林生態系統恢復與重建工作是項重大生物生態工程，涉及學科很多，有很多理論與實際問題需要進一步進行研究，筆者認爲據當前我國林業特點進行森林生態系統恢復與重建工作，還存在著以下問題。

1 、必須糾正把林業當成採掘業的錯誤認識。

森林生態系統恢復與重建工作是一項系統工程。不僅是生產木材更主要是建設保護人類生存生態環境的重大任務。具有重大理論與實踐意義。有的人認爲森林是天賜的，只向森林索取，不補給，不經營錯誤的思想意識，林業是採掘業的觀點。森林是一巨大複雜的生態系統，有它本身的發生發展規律，必須掌握森林的個體、種群、群落、生態系統的結構、功能、動態規律，按自然規律經營森林，才能持續發展永續利用，我們的林業兩危，不是天災，是人們不懂林業科學任意干擾破壞的結果。

2 、必須解決只造林不營林問題

把森林生態系統恢復與重建搞好，還有一個經營問題，只是強調造林，不撫育經營，結果是造林不見林，全國造林面積保存率只有 39 %左右。即使 39 %的保存率得以保存，其森林生態系統也是脆弱，抗自然災害力低，易遭大氣污染等，如 1990 年中歐人工林純林風倒的林木總量達 1 億立方米，西德 1992 年受害森林面積達四分之一（ 170 萬公頃），不注意經營大面積人工林會遭到毀滅性的破壞，應當吸收教訓。

3 、必須重視森林的綜合效益

長期以來森林就是單一產業在我國占統治地位，只求木材生產，不重視森林綜合效益。國內外不同學者，均重視森林的綜合效益。認爲森林生態效益是木材的 3 倍、 10 倍、 20 倍，甚至高達 50 倍，我國有的學者把森林生態效益換成貨幣計算，論述森林生態的價值，其實，森林生態效益不易估算是價值連城。

綜上述，我們在進行森林生態系統恢復與重建的工程中存在不少問題，但必改變以上三種觀點意識的錯誤，否則，很難進行這一巨大生態工程的建設。

（二）建議

造林、營林是恢復與重建森林生態系統重要組成部分，目的在於保護、利用好清山、綠水、鳥語花香的綠色森林，因此利用好木材及生態環境的利用，保護的目的爲更好利用造福人類。爲此必須全面理解保護與利用的意義，不能片面強調一面，否定一面。所以，在恢復與重建森林生態系統工作中，建議首先重視下列工作。

1 、在進行森林生態系統恢復與重建工作中，首先應盡快改造占黑龍江省森林面積 58.4 %的次生林，目前大部分次生林多爲有林無木材的外貌景觀，林分生產量低林木質量差，每公頃林木蓄積量 $10m^3$ ，到 $50\text{-}100m^3$ 不等，年生長量也

很低，有些林分每公頃年生長量不足 $0.5m^3$，浪費林地資源又起不到應有生態作用。所以要恢復與重建林森生態系統工作，應首先改造次生林，尤其低價次生林，要有規劃，分清輕重緩急，逐步改造次生林，那種認爲次生林不能干擾讓其自然演替的觀點，不僅需要時間，有些次生林生態環境破壞是不可逆的，已經形成偏途頂極。次生林資源是一大經濟及生態財富，應採用我省近年來研究改造次生林多項成果，加以綜合組裝，形成完整綜合配套技術體系在生產實踐應用，達到改造生物改造環境的目的。

2、應盡快多營造混交林，減少營造人工純林，人工純林缺點是舉世公認。例如我們營造落葉松×水曲柳林、落葉松×椴樹林、紅松闊葉林，都取得良好效果，爲了經營方便可採用帶、塊混交、網狀，片狀混交，形成多物種，多結構，多功能，多種效益接近天然化的人工林。

3、應盡快運用密度調控，改造現存大面積人工林，可在撫育經營人工林時減小林木密度，人爲栽植或天然引進其他闊葉樹種。不少人工落葉松林間伐後天然侵入白樺樹種，形成人工天然混合落葉松、白樺混交林，但有的人工雲杉林間伐後天然侵入水曲柳、色木、刺五加、忍冬等樹種和雲杉共同生長。但由於經營者缺乏群落生態知識，又把珍貴闊葉樹全部砍掉，經營以後還是人工雲杉純林，所以森林生態系統恢復與重建工作是一項重要任務。

## 主要參考文獻


1、聶紹荃，關於黑龍江省次生林立體開發與合理經營的雛議，黑龍江林業調查 1988 年（4）

2、聶紹荃等，邊緣效應理論在次生林改造中的應用，東北林業大學學報，生態專刊，1990 年第十八卷

3、聶紹荃等，發展農林混合業的依據與對策，黑龍江省自然科學技術學術叢書，科學技術文獻出版社。1996 年 8 月

4、李景文主編，黑龍江森林，東北林業大學出版社，1993 年 9 月

5、姜恕、陳昌篤主編，植被生態學研究，科學出版社，1994 年 7 月

# 塔塔加台灣雲杉林之林相結構與更新機制

李國忠[1]、鍾年鈞[2]

摘　要：

本研究針對塔塔加地區之台灣雲杉爲對象，設置 100 個 10 × 10m 的樣區，分析林型組成、林分齡級構造，並識別不同發育階段之塊集，以瞭解其族群動態與更新過程。利用群團分析法樣區可分爲二個不同徑級之塊集，一爲代表成熟期以大徑級台灣雲杉爲主所組成之塊集，一爲代表建造期以中小徑級台灣雲杉與台灣鐵杉爲主所組成之塊集，塊集林分之組成及齡級有顯著之不同差異。經現場觀察與分析結果顯示，台灣雲杉之小苗無法更新於建造期及成熟期。其幼苗可見於較大面積之孔隙，較大孔隙形成之原因爲崩塌或溪流源頭帶狀溝蝕。故台灣雲杉林之孔隙期、建造期及成熟期成塊狀鑲嵌構造，經由不同塊集之更換，致使全林分之維持與更新。

## 一、台灣雲杉的分布與生態

台灣雲杉(*Picea morrisonicola* Hay.)分布於中央山脈海拔 2300~3200 公尺之地區，有時亦可降至 1950 公尺處，其中除沙里仙溪的塔塔加地區及大甲溪上游成小群聚生外，多散生於台灣冷杉(*Abies kawakamii*)及鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)林中。其生育環境相當於盛行雲霧帶之上部。生育地之氣候屬涼溫帶(cool-temperate)，其年平均溫 8~11 ℃，溫渡指數爲 36~72 ℃，喜好背陽之陰坡，土壤肥沃、深厚之立地，故林下植生豐富，競爭亦強烈。與之混生之針葉樹除鐵杉外，尚有華山松(*Pinus armadii*)、台灣冷杉、台灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)、紅檜(*C. formosensis*)、香杉(*Cunninghamia konishii*)、威氏粗榧(*Cephalotaxus wilsoniana*)等。若上層樹冠略有疏開則其下層即被其他闊葉樹侵入，玉山木薑子(*Litsea morrisonensis*)、漸尖葉新木薑子(*Neolitsea accuminatissima*)，台灣紅榨槭(*Acer morrisonensis*)，小實女貞(*Ligustrum microcarpum*)、太平山莢迷(*Viburnum foetidum var. redargulatum*)、川上氏小蘗(*Berberis kawakami*)等密覆，表土甚少裸露。

台灣雲杉於塔塔加地區分布於玉山前峰向北北面之坡面，海拔約 2500 至 3000 公尺之間，而其下限可繼續向下延伸至海拔 2100 公尺左右之櫟林帶，常單株巨木與多數闊葉樹混生，可見此處爲台灣雲杉演替後階段所殘存。另外在麟芷山之支脈與玉山前峰北北面坡面交界之處，亦有少量台灣雲杉與紅豆杉(*Taxus saumatrana*)及其他闊葉樹混生。

---

[1] 國立台灣大學森林系

[2] 國立台灣大學實驗林管理處

## 二、塔塔加地區環境概述

依照鹿林山氣象站之雨量及溫度資料（表一）

表一、鹿林山測候站氣象資料表

| 月　份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 溫度℃ | 3.6 | 4.7 | 7.3 | 10.1 | 11.5 | 12.4 | 12.8 | 12.6 | 12.2 | 10 | 8.3 | 5.8 |
| 雨量 mm | 111 | 107 | 137 | 146 | 394 | 617 | 543 | 774 | 636 | 150 | 63 | 72 |

由上述資料可看出本區爲夏雨型氣候， 10 月以後雨量驟減，冬雨量（ 10 月至翌年 3 月）爲 640mm ，僅佔全年雨量(3750mm 的 17.1%，但由於海拔高、溫度低，並無明顯之乾季，而其他鄰近地區對高岳(2270 公尺)年雨量 3752mm ，及八通關(2841mm)年雨量 3638mm ，之雨量分配狀況極爲類似。

本地區一月溫度 3.6 ℃，七月溫度 12.8 ℃，及年平均溫度 9.3 ℃。每年 1~2 月可能會降霜，而平均霜期可達 180 天，偶有降雪之可能。

本地區屬玉山山脈之支稜，地形複雜，又由於地勢落差極大，且位於溪流之上游，常形成程度不同之帶狀溝蝕。

本地區地質屬第三紀層之砂頁岩互層，因頁岩薄而脆弱，一般露於表面者經風化分解，使岩層發生空隙，上部砂岩相繼滾落，且因地層傾斜，故常呈垂直崩壞。此外，本區位於沙里仙溪斷層上，加上溪流上游之強烈向源侵蝕，故大型崩塌時而有之。

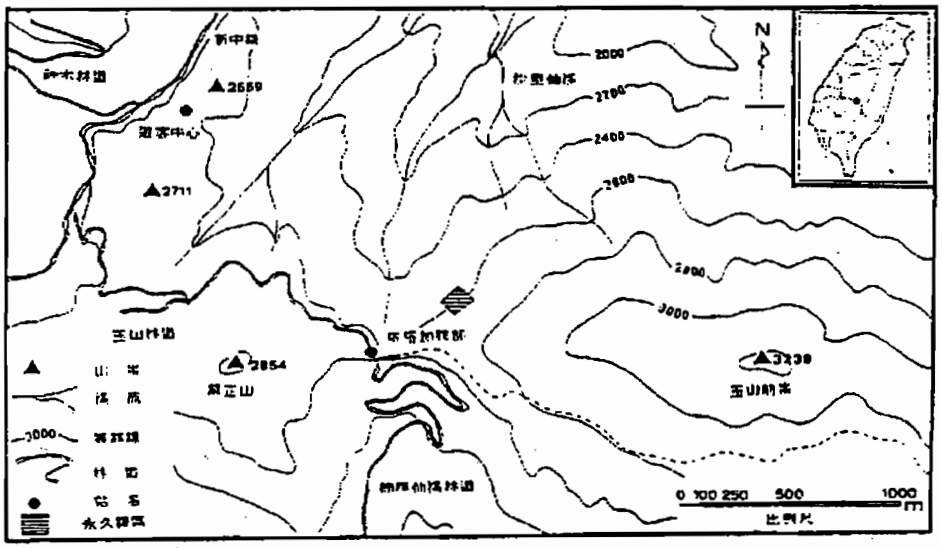
有關本地區之土壤狀況並無詳細之調查資料，一般認爲係台灣中區高山嶺上針葉樹林下常見土壤爲灰壤或棕色灰化土混合存在，而陡峻之處易受沖蝕，成土不易，故多爲崩積之石質土或岩石露頭。土壤深度可達 120 公分，林內土壤大多發育良好，但常見大石塊散布其中。土壤屬酸性土。

## 三、調查及分析方法

### (一)樣區設置及調查

本研究永久樣區設在塔塔加鞍部北北西向坡面，海拔 2600 公尺之山腹上(圖一）。爲 100 × 100 之方形樣區，區內每隔 10 公尺，利用塑膠繩區別之，共設置 100 個 10 × 10 公尺的相鄰小區。

樣區內所有木本植物每木調查，將其樹幹位置以 10 × 10 公尺的小區爲單位，標於坐標紙上，並於樹幹上噴漆及釘鋁牌編號。記錄樣區內樹高大於 1.3 公尺之種名、胸高直徑(DBH)、樹高(H ），而未達 1.3 公尺者則記錄種名及覆蓋度。




圖一、樣區位置圖

表二、樣區植物組成

| 樹種＼徑級 | 1.5 | 6.15 | 16.25 | 26.35 | 36.45 | 46.55 | 56.65 | 66.75 | 76.85 | 86以上 | 總計 | BAm²/ha | RBA% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 台灣雲杉 | | 60 | 151 | 78 | 34 | 21 | 15 | 11 | 1 | 3 | 374 | 30.4186 | 66.11 |
| 玉山木薑子 | 247 | 44 | 4 | | | | | | | | 295 | 1..1849 | 2.58 |
| 漸尖葉新木薑子 | 23 | 27 | | | | | | | | | 50 | 0.3029 | 0.66 |
| 鐵杉 | | 35 | 33 | 17 | 6 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 98 | 11.4397 | 24.87 |
| 華山松 | | 2 | 6 | 10 | 3 | 4 | 1 | | | | 26 | 1.8052 | 3.92 |
| 薄葉虎皮楠 | 2 | 6 | 1 | | | | | | | | 19 | 0.0932 | 0.20 |
| 威氏粗榧 | 3 | | | | | | | | | | 3 | 0.0035 | --- |
| 刺格 | 22 | 20 | | | | | | | | | 42 | 0.1363 | 0.30 |
| 尖葉槭 | 6 | 2 | | | | | | | | | 8 | 0.0108 | 0.02 |
| 厚葉柃木 | 32 | 18 | | | | | | | | | 50 | 0.1013 | 0.22 |
| 紅檜 | 140 | | 1 | 1 | | | | | | | 142 | 0.1261 | 0.27 |
| 小實女真 | 10 | 1 | | | | | | | | | 11 | 0.0060 | 0.01 |
| 疏果海桐 | 25 | 2 | | | | | | | | | 27 | 0.0223 | 0.05 |
| 薄葉柃木 | 2 | 1 | 2 | | | | | | | | 5 | 0.0100 | 0.02 |
| 高山江某 | 33 | 16 | | | | | | | | | 49 | 0.1314 | 0.29 |
| 玉山莢迷 | 32 | 1 | | | | | | | | | 33 | 0.0115 | 0.02 |
| 假皂莢 | 2 | 1 | | | | | | | | | 3 | 0.0030 | 0.01 |
| 刺果衛茅 | | 1 | | | | | | | | | 1 | 0.0038 | 0.01 |
| 台灣紅榨槭 | 6 | 4 | 1 | | | | | | | | 11 | 0.0669 | 0.15 |
| 台灣冷杉 | | | | | 1 | | | | | | 1 | 0.1320 | 0.29 |
| 合　　計 | 595 | 241 | 199 | 106 | 44 | 27 | 17 | 13 | 1 | 5 | 1248 | 46.0094 | 100 |

(二)植物數量之統計

計算胸高直徑大於 1 公分之木本植物共 20 種，計算各樹種之胸高斷面積(Basal area, BA)及相對胸高斷面積(Relative basal area, RBA)（表二）。

由所有的木本植物種選出台灣雲杉、鐵杉、華山松等三種主要針葉樹，分別將其胸高直徑自 5 公分開始每 10 公分爲一級，計算各徑級之株數，並繪成徑級分布圖。此外亦將年齡資料分等級繪成齡級分布圖。

(三)空間分布型分析

利用塊狀樣區法(Blocked Quadrat Variance Methods, BQV)，將 100 個小區進行合併，首先將小區依２的乘冪次增加，即$2^0$，$2^1$，$2^2$，.....將相鄰樣區進行合併。最大合併小區數目，不得超過小區數的一半。本研究共合併５次，每次合併之小區組皆可計算一變方值，利用該值可繪成曲線圖。

四、結果與討論

(一)台灣雲杉林之組成及形相

樣區內台灣雲杉林之植物組成，以台灣雲杉佔絕對優勢，樹冠層約在 20~45 公尺之間，另有鐵杉、華山松、台灣冷杉等大樹共同組成，林下未見針葉樹之小樹及幼苗。

第二層樹冠係由闊葉樹組成，冠層高度在 4~10 公尺間，主要優勢種爲漸尖葉新木薑子、玉山木薑子、台灣紅榨槭、刺格、薄葉虎皮楠、高山江某等佔優勢；灌木層高度在 2~4 公尺間，如川上氏小蘗、小實女真、玉山莢迷、厚葉柃木(*Eurya glaberrima*)、疏果海桐(*Pittosporum illicoides*)等，本層之大量樹木概爲第二層樹冠層樹種之稚樹或幼苗。

林下之地被植物，以玉山箭竹(*Yushania mitakayamensis*)、台灣瘤足蕨(*Plagiogyria glauia* var. *philippinensis*)、頂芽狗脊蕨(*Woodwardia unigemmata*)、頂囊助毛蕨(*Ctenitis appiciflora*)、尖葉耳蕨(*Polystichum parvipinnulum*)等及乞食碗(*Hydrotylehe palensis*)、阿里山落新婦(*Astibe longicarpa*)、台灣哨吶草(*Mitella formosana*)等佔優勢。

(二)台灣雲杉林主要樹種直徑級分布

台灣雲杉胸徑在 6~25 公分者有 211 株，佔所有台灣雲杉之 56.4%，胸徑越大，其數量則呈梯度銳減，最大徑級達 120 公分，但最小之一級（５公分以下）則未出現，整個圖形呈一向左偏歪之鐘形（圖二）。

鐵杉以 25 公分以下之中小徑級爲多，佔所有鐵杉之 69%，而大徑木（ 46 公分以上）僅有 7%，幼苗（５公分以下）亦未出現，整個圖形亦呈偏歪鐘形（圖三）。

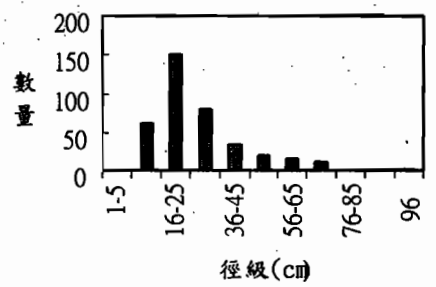
華山松之徑級集中於 26~55 公分之間，佔所有華山松之 46.3%，整個直徑級分布呈不明顯之鐘形（圖四）。

綜觀全林分主要樹種之徑級分布曲線，大致呈偏歪鐘形(圖五)，但 6~15 公分之幼樹，較 16~25 公分者爲少，且新生幼苗已不再發生。

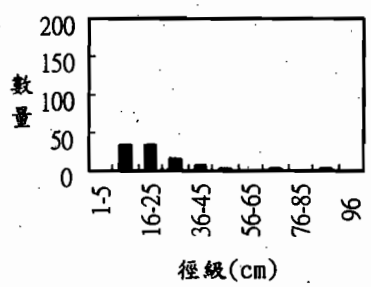
(三)台灣雲杉林年齡結構

台灣雲杉之年齡結構由鑽取的生長木樣之資料，顯示年齡分布大致呈左偏之鐘形（圖六），其型量大約 80~90 年生，大致與直徑級 16~25 公分者相當。

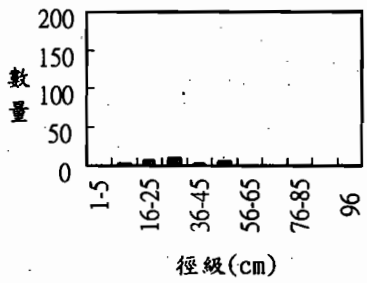
鐵杉之年齡結構，年齡最大者爲 200 年生，株數最多之齡級與台灣雲杉林相似，主要集中在 70~100 年之間，而整個齡級分布圖呈明顯的鐘形模式(圖七)，其歪度(Shewness)較台灣雲杉爲少。



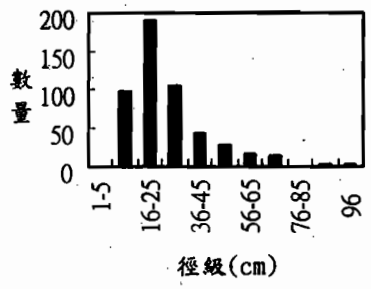

圖二:台灣雲杉直徑分佈圖




圖三:鐵杉直徑級分佈圖



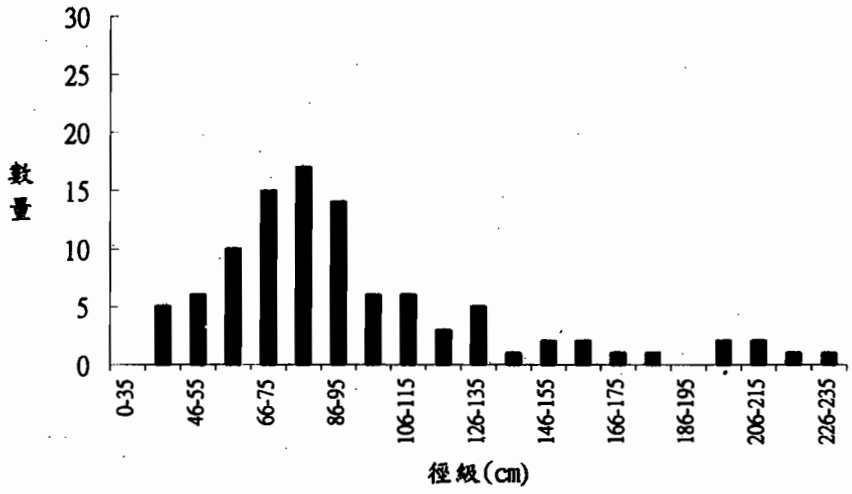

圖四:華山松直徑級分佈圖



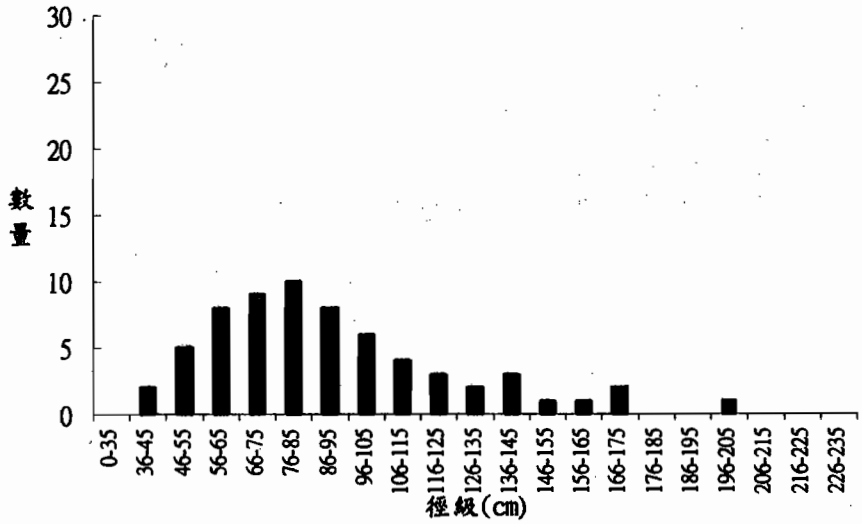

圖五:三種主要針葉樹直徑級分佈圖

華山松由於數量不少，且因心材常腐朽，故獲取之年齡資料較少，其年齡結構分布幅度極大(圖八)，最大者可達 220 年以上。

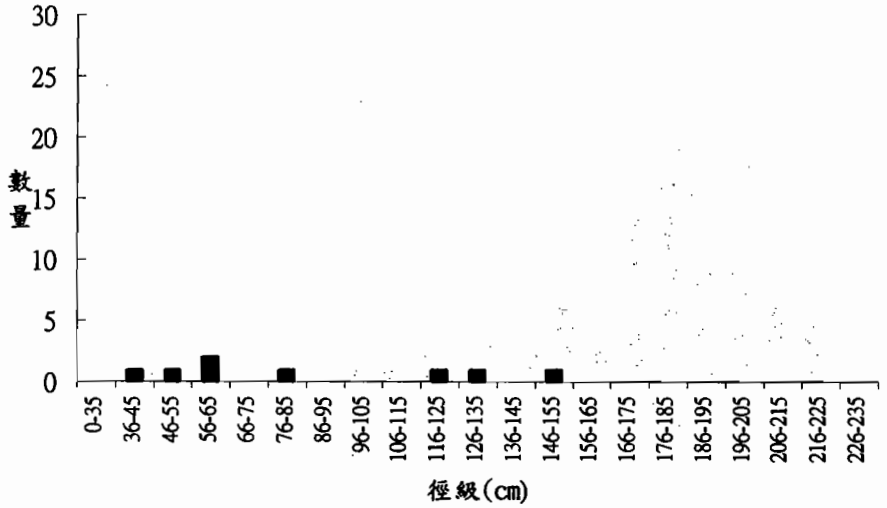
全部針葉樹之齡級分布圖主要集中於 100 年生以下，整個圖形亦呈鐘形分布（圖九）。



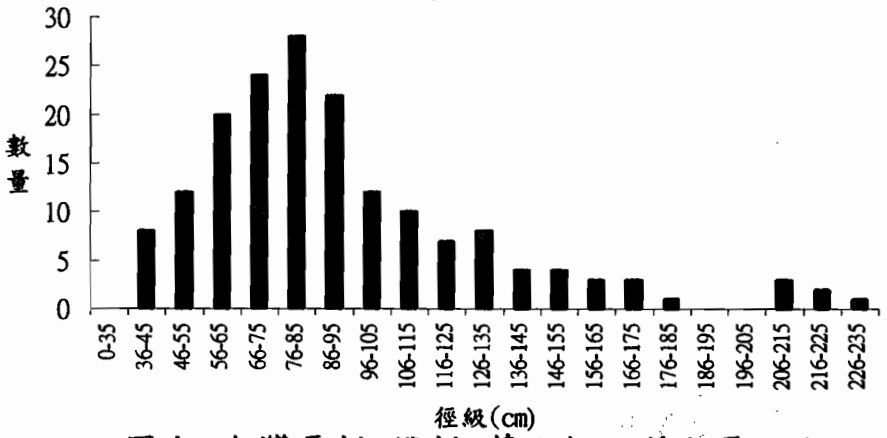

圖六:台灣雲杉年齡結構分佈圖




圖七:鐵杉年齡結構分佈圖




圖八:華山松年齡結構分佈圖

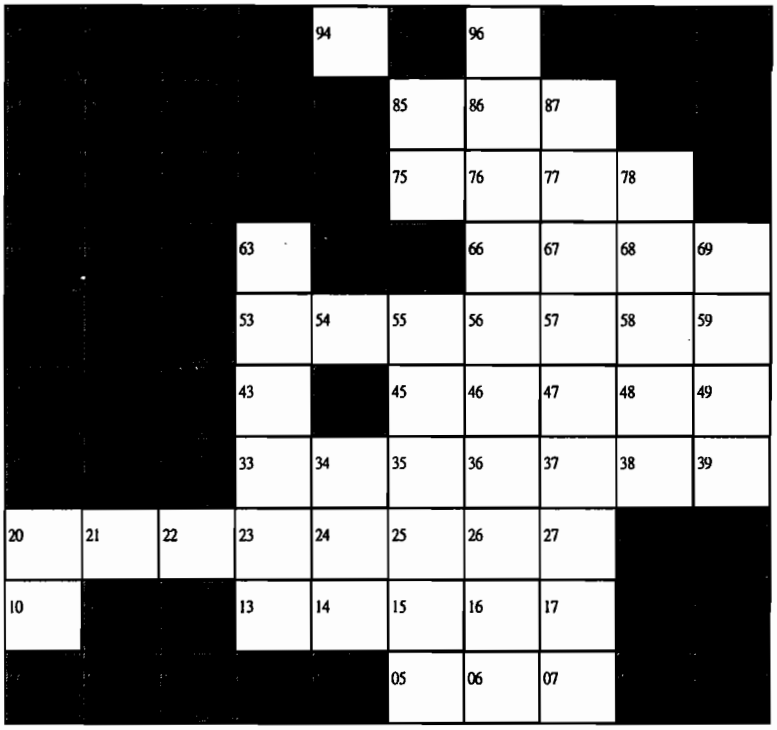



圖九:台灣雲杉,鐵杉,華山松三種主要針葉樹年齡結構分佈圖

綜合以上直徑及年齡之頻度分析資料，可見本樣區爲台灣雲杉之鬱閉林分，接近同齡林之構造，由頻度曲線之幅度，可見林分之建立期間並非限於過去某一狹窄之年代，而是跨越了數十年。在建造初期曲線向左偏，由於天然疏伐的進行，曲線可能是向右偏歪之鐘形，最後可能呈常態曲線之鐘形。

由樣區存活的針葉樹株數分布，本生育地已經過一長期的發育（至少 300 年），其中主要的樹種台灣雲杉及鐵杉，兩者出現之時間可能差不多，而後兩者之間的競爭，由於環境利於台灣雲杉，逐漸取得優勢，而發育成目前的台灣雲杉林。

(四)台灣雲杉林分塊集之組成




圖例：

■：成熟期

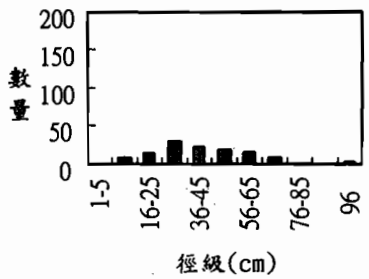
□：建造期

■：樹冠裂隙

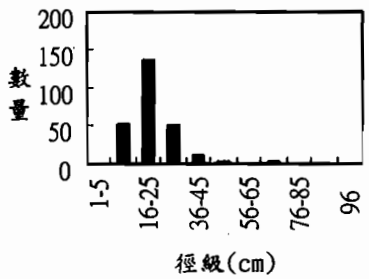
圖十、台灣雲杉塊集分布圖

由空間結構分析，顯示樣區爲建造期及成熟期兩種發育階段之塊集所組成(圖十)。建造期塊集之齡級構造，在 100 株台灣雲杉中，其年齡分布由 40~170 年生，而 70~90 年生之株數即佔總株數 46%。成熟期塊集之齡級分布台灣雲杉有 27 株，由 100 年生至 400 年生皆有主要齡級在 130~250 年間。

經分析兩塊集之齡級分布，建造期齡級分布呈明顯之同齡林鐘形曲線，可見此一塊集由 70~90 年前的一個孔隙所形成。成熟期塊集之年齡分布仍爲向左偏歪的鐘形，但呈現二個不同型量（圖十一、十二）。




圖十一:台灣雲杉成熟期直徑級分佈圖




圖十二:台灣雲杉建造期直徑級分佈圖

(五)台灣雲杉林之更新機制及林分變化趨勢

1.孔隙形成及更新過程

本研究發現台灣雲杉之幼苗無法在鬱閉林分下更新，甚至在老木單株枯死後之小孔隙，幼苗亦不出現。其更新方式顯示，需要較大面積的孔隙才有幼苗更新。由樣區內所得之集落面積，已達 1600~2000$m^2$，實際更新面積可能比此值更大。

大面積孔隙的形成在本研究區主要爲溪源向源侵蝕，所產生的崩塌及地滑外，火災及風倒亦可能產生。小的火災跡地，可能有台灣雲杉幼苗的出現，若環境適當，則有利於台灣雲杉之成林。風倒之發生，常與林木之老朽同時存在，故成熟林中老朽木之自然死亡，常伴隨外在因素出現，導致較大的孔隙形成，如此週而復始，形成台灣雲杉林中之塊集構造。

在台灣雲杉更新初期，同時出現的尚有鐵杉，且鐵杉的數量可能較台灣雲杉爲多。但由於孔隙期發展至建造期的過程中，由於自然的疏伐鐵杉的數量則大爲減少。因爲在本樣區的生育環境爲陰坡，適合台灣雲杉的生存，競爭力強，而逐漸形成優勢。

2.台灣雲杉林之林分變化趨勢

在建造期之初期，由於環境適宜，台灣雲杉迅速形成上層林冠優勢，針葉樹僅有壽命較長的如華山松、紅檜、台灣冷杉繼續存活，其餘下層陽生的闊葉樹如褐毛柳(*Salix fulvopubenscens*)、台灣茶藨子(*Ribes formosanum*)、台灣紅榨槭等木本植物及一些陽性草本植物，都會因林冠鬱閉而相繼消失，林下的植物種類會顯著的銳減，只剩下耐陰性較強之蕨類、苔蘚類。而大量的台灣雲杉由於競爭的結果，遭自然疏伐，而形成枯立木。

隨著長時間的競爭，由於自然疏伐的結果，建造期之塊集轉變爲成熟林之塊集，此時林分齡級構造呈現狹窄之鐘形，爲典型之同齡林。成熟的老齡林，亦會有枯死的現象，而形成了小的孔隙，這些干擾舒解了競爭壓力，同時由於林下的微環境的改變，會出現較多的闊葉樹或偏陽性的草本植物，這些樹種在孔隙下形成優勢，使得整個台灣雲杉成熟林內構成不連續之次樹冠層。由於這類樹種的存在，將使台灣雲杉林分維持較高的歧異度。

本研究所取樣之老齡木林分中，估計最高樹齡爲 400 年，冠層之台灣雲杉出現枯死木的現象，此種林分能再繼續維持多久，仍決取於台灣雲杉的壽，而未來是否被其他林型所取代，則需看台灣雲杉林之其他組成樹種。若考慮上述的干擾機制，經由大面積孔隙的產生，而維持其永續更新。

## 五、參考文獻


李九先，陳朝圳　1991　濁水溪集水區天然林分結構與樹種組成之研究　台灣省博物館年刊　34:11-32

林朝榮　1957　臺灣地形　臺灣省文獻委員會　臺北　424pp.

柳榗，葛錦昭，楊柄炎　1961 臺灣主要林型生態調查　林業試驗所報告　第 72 號

柳　榗　1966　臺灣產松柏類植物地理之研究　林業試驗所報告　122:1-33

梁鉅榮　1961　臺灣山地之土壤　臺灣銀行季刊　12(4):78-95

曾彥學　1991　臺灣中部沙里仙溪集水區植群生態之研究 II　台灣雲杉森林動態及族群結構之研究　臺大森林學研究所碩士論文　58p.

黃群修　1994　雪山北坡臺灣冷杉森林動態與族群結構之研究　臺大森林學研究所碩士論文　89p

鍾年鈞，姚榮鼐　1994　沙里仙區森林植群演替之探討　臺灣天然林生態系經營研習會論文集　P.103-104

鍾年鈞　1994　臺灣中部沙里仙區植群生態與保育特性之研究　臺灣大學森林研究所博士論文

鍾年鈞　1995　臺大實驗林沙里仙區植群生態之研究　（一）植群分析之研究　臺大實驗林研究報告　9(2):1-19

蘇鴻傑，林則桐　1979　木柵地區的森林植群之矩陣群團及分佈序列　臺大實驗林研究報告第 124 號　P.187-210

蘇鴻傑　1992　臺灣國有林自然保護區植群生態之調查研究　北大武山針闊葉的自然保護區植群生態之研究（二）鐵杉森之組成結構與塊集動態　臺灣省農林廳林務局研究系列　81-03 號　150p

Daubenmire, R.　1968　Plant Communities : A textbook of plant syn ecology.　Harper & Row. Inc.,　New york. 300p.

Hara, M. 1985　Forest response to gap formation in a climax beech forest. Jap.　J.Ecol., 35:337-343.

Jones,E.W.　1945　The structure and reproduction of the virgin forest of the north temperate zone. New Phytol., 44:130-148.

Kershaw,K.A.　1966　Quantitative and Dynamic ecology. 2nded.　American Elsevier

Pub. Co., New York. 183p.

Mark,P.L. 1974 The role of pin cherry (prunus pensylvanica L.) in the main-tenance of stability in northern hardwood ecosystem. Ecol. Monog., 44:73-88.

Mohler,C.L., Marks, P.L. & Spragel, D.G. 1978 Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. Jy. Ecol. 66:599-614.

Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H. 1974 Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley & Sons, New York. 547p,

Reynolds J.F. 1988 Statistical Ecology. John Wiley & Sons. New York pp.337.

Sokal,R.K. & Sneath,P.H.A. 1963 Principles of Numberical Taxonomy. Freeman, San Francisco. 359p.

Spatz,G. & Siegmund,J. 1973 Eine Methode zur tabellarischen Ordination, Klassifikation and "o" Kologischen Auswertung von pflanzensoziologischen Bestandsaufnahmen. Vegetatio 28:1-17

West,N.E. 1966 Matrix cluster analysis of montane forest vegetation of the Oregon Cascades. Ecology 47:975-981.

Whitaker,R.H. 1953 A consideration of climax theory: The climax as a population and pattern. Ecol. Monogr. 23:41-78.

Whitmore,T.C. 1989 Canopy gaps and the two major groups of forest trees Ecology 70(3):536-538.

# 南仁山熱帶森林冠層白榕及灌木層九節木光合作用的研究

郭耀綸[1]

摘　要：

本研究測定南仁山海拔 200m 白榕樹冠頂層（ 12m ）及中層（ 9m ），以及林下的九節木灌木的生理活動日變化情形，藉以了解該樹種光合作用及氣孔活動對環境因子的反應，並可估算其淨初生產力。此外在南仁山也進行不同海拔高溫度變化梯度的測定。

白榕樹冠層光合作用的季節變化並不明顯，只有在寒流期間才有明顯的降低，而白天光合作用率受光量影響最大，光合作用率隨葉部照射到的光量而改變，但強光會抑制光合作用。白榕冠層葉子的最大光合作用率可達 15.3 $\mu$ mol/m$^2$s。在 1995 年 11 月至 1996 年 7 月由上午 7 時至下午 5 時共計十二次的日變化測定結果獲知白榕冠層的日平均光量爲 690 $\mu$ mol/m$^2$s，而日平均光合作用率爲 7.2 $\mu$ mol/m$^2$s 。白榕中層日平均光量及光合作用率分別只有上層的 14 % 及 25 %，而林下九節木上述二項分別只有白榕上層的 6 %及 13 %。

南仁山一月至三月溫度梯度因不同海拔高而有變化，在海拔 200m 、 300m 、 400m 及 479m 山頂三個區間，每百公尺的溫度遞減率分別爲 0.41 ℃，0.72 ℃及 0.90 ℃，海拔越高溫度遞減率越大，由此結果可說明快速的溫度遞減率是形成南仁山區植被壓縮現象的重要原因。

[1]屏東技術學院，森林資源技術系

# AN ASSESSMENT OF COUPLING BETWEEN REGIONAL PRIMARY PRODUCTION AND SPATIAL ECOSYSTEM STRUCTURE

Qiong Gao[1], Mei Yu and Xinshi Zhang

Institute of Botany

20 Nanxincun, Xiangshan, Beijing 100093

The Peoples Republic of China

Tel. +86-10-6259-1431 ext. 6277

Fax: +86-10-6259-0942

Email: gaoq@public2.bta.net.cn

ABSTRACT :

We developed a method to assess the quantitative relationship between vegetation structure and net primary production at regional scales by relating the relative increases of *NPP* due to interactions among vegetation types to the spatial ecosystem structure measured by 4 landscape indices. The method was applied to Northeast China Transect (NECT) simulation driven by different climatic scenarios. The results of analysis indicated that variation of ecosystem structure has significant effects on net primary productivity for all the climatic scenarios; that vegetation diversity is in favor of primary production and helps regional systems to resist degradation and to maintain primary productivity under sever climatic conditions; and that a more sever environmental condition renders regional productivity stronger

[1] Corresponding author

dependence on vegetation structure, and necessitates larger vegetation diversity in order to maintain system stability..

**Key words**: Ecosystem Diversity, Spatial Pattern, Net Primary Production, Coupling.

## 1. INTRODUCTION

Functional and structural responses of vegetation to global change at regional and global scales have long been great interests of terrestrial ecologists. Models have been developed to address the question of the responses in terms of either primary productivity or vegetation structure. While biogeochemical models address the problems of primary productivity responses in light of detailed eco-physiological mechanisms, they tend to simplify the structural aspect of the responses (Foley, 1994a, 1994b, 1995; McGure *et al.*, 1992, 1993; Melillo *et al.*, 1993; Pan *et al.*, 1996; Parton *et al.*, 1993; Raich *et al.*, 1991; Running and Coughlan, 1988; Running and Gower, 1991; Shuggart *et al.*, 1991). On the other hand, biogeographical models concentrate on the structural responses with simplified ecological processes (Prentice *et al.*, 1992; Woodward and McKee, 1991). Efforts have been made recently to couple the two aspects of biogeochemistry and biogeography to yield more realistic models (Melillo, 1995; Hexeltine and Prentice, 1995; Sitch *et al.*, 1995).

One common question arises when dealing with the coupling between structure and processes: How the structure and functions of ecosystems are related in regional and global scales? More specifically, what is the quantitative relationship between vegetation productivity and the spatial distribution of vegetation types? The questions have both theoretical and practical significance when human disturbances to ecosystems at regional scales by changing land use types are considered. The

comprehensive simulation approach from the models above often yields spatial distributions of vegetation types and primary productivity under different prescribed climatic scenarios. It is not easy to gain insight into the relationship between the productivity and vegetation structure by applying ordinary statistical methods to the simulation results.

Northeast China Transect, or NECT, was identified as a middle latitude terrestrial transect by IGBP (International Geosphere and Biosphere Program) in 1993. The transect runs in parallel to the 44 ° north latitude and ranges from 108 ° to 132 ° east longitude. Due to the monsoon climatic feature of the China continent, the transect has a very large moisture gradient from west to east. The steep moisture gradient results in temperate conifer-broadleaf mixed forests, deciduous broadleaf forests in the east end, dry steppes and desert grasslands in the west end, and woodland, shrubs, meadow steppes, and typical steppes in the middle of the transect. A more detailed description of the transect was given by Zhang and Yang (1995).

A regional simulation model, RESPROST, was developed to study the dynamics of primary productivity and vegetation structure of the transect (Gao and Zhang, 1996) Interactions between hydrological processes and plant assimilation process were included as the major governing mechanism of primary production. The model uses satellite remote sensing data to parameterize and partially to validate at regional scale. The simulation results indicated that the model described the current vegetation productivity quite well and behaved reasonably for altered climatic conditions. The model RESPROST has two versions: one with static vegetation structure, in which there were no structural variation of vegetation considered, and a full version with coupled structure and processes. While there was no interactions among vegetation

types were considered in the version of static structure, the full version of the model considered spatial migration of vegetation and the competition among vegetation types using the approach similar to Woodward and MacKee (1991).

The objectives of this study are:

1) To develop methodology to quantify the relationship between primary productivity and structure of regional vegetation structure at regional scales;

2) To apply the method to assess the importance of structural variation to primary production in Northeast China transect (NECT).

## 2. METHODS

### 2.1. *A conceptual model of analysis*

To relate regional productivity to vegetation structure, we assumed that net primary productivity ( $NPP$ ) at regional scales was primarily determined by the following two factors:

1) Climate $C$. Climatic variables are often regarded as external driving forces by most models, as the responses of vegetation to climatic change is the central issue of global change study;

2) Interactions among vegetation types $I$. Interactions among vegetation types, such as invasion of one vegetation type into another, and competition among vegetation types are largely determined by vegetation structure, as the spatial distribution of vegetation types governs the patterns of interactions.

The model described above can be written as $NPP = f(C, I)$, where $NPP$ stands for net primary productivity and $f$ is a nonlinear multivariate function. Expanding the expression in Taylor series and retaining only the linear terms yield,

$$NPP \approx f(C_0,0) + \frac{\partial f}{\partial C}(C - C_0) + \frac{\partial f}{\partial I} I + \frac{\partial^2 f}{\partial C \partial I}(C - C_0) I \qquad (1)$$

where $C_0$ stands for the present climate. All partial derivatives are evaluated at ($C_0$, 0). Equation (1) states that *NPP* can be viewed as the superposition of climatic variation, interactions among vegetation types, and the interaction between the two factors, up on *NPP* at present climate with static vegetation structure.

Similarly, for models with static vegetation structure, we have,

$$NPP_s \approx f(C_0,0) + \frac{\partial f}{\partial C}(C - C_0) \qquad (2)$$

Subtracting $NPP_S$ from *NPP* and dividing the result by $NPP_0 = f(C_0,0)$ give

$$\Delta npp = \frac{NPP - NPP_s}{NPP_0} = \left( \frac{\frac{\partial f}{\partial I} + \frac{\partial^2 f}{\partial C\, \partial I}(C - C_0)}{f(C_0,0)} \right) I$$

$$= \left[ a + b(\hat{C}) \right] I = A(\hat{C}) I \qquad (3)$$

where $\Delta npp$ is the relative increase of *NPP* due to interactions among vegetation types; $a = (\partial f / \partial I) / f(C_0,0)$, $b(\hat{C}) = (C - C_0)\left[ \left( \partial^2 f / \partial C \partial I \right) / f(C_0,0) \right]$, $\hat{C} = C - C_0$, and $A(\hat{C}) = a + b(\hat{C})$. Equation (3) indicates that the relative increment of *NPP* due to interactions among vegetation types can be approximated by a linear function, and that the coefficient of the linear relation is modulated by

climatic conditions.

## 2.2. *Quantification of the conceptual model*

Application of the conceptual model of Equation (3) now depends on how we quantify the interactions among vegetation types. We know that the interaction among vegetation types depends very much on the spatial vegetation structure. A further assumption made was that the interactions among vegetation types depend on vegetation structure. The first order approximation of this relationship between interactions among vegetation types and vegetation structure measurements leads to a linear relation between relative primary productivity and the vegetation structure, i.e.,

$$\Delta npp = A(\hat{C})I = A(\hat{C})[k_0 + k_1 P] = K_0 + K_1 P \qquad (4)$$

where $P$ stands for vegetation structure; $k_0$ and $k_1$ are two constants; $K_0 = A(\hat{C})k_0$, is the intercept; $K_1 = A(\hat{C})k_1$ is the slope. Since $K_1$ signifies the dependence of the relative increment of *NPP* on vegetation structure, it can be termed as the *coupling strength* from vegetation structure to primary production.

Thus the quantification of interactions among vegetation types is transferred to quantification of vegetation structure $P$. While there are numerous ways to describe spatial structure of vegetation distribution (Li and Reynolds, 1993; O' Neill, 1988; Romme, 1982), we used only two diversity indices, dominance and evenness, and two spatial pattern indices (contagion and contagion based on conditional probability, or conditional contagion). They are defined as the following:

1) Dominance $D$:

$$D = 1 + \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i \ln(P_i)}{\ln(N)} \right] \qquad (5)$$

where $P_i$ is the proportion of vegetation type $i$ and $N$ is the total number of vegetation types in the region of interest. Dominance $D$ describes the proportional composition of vegetation types. $D$ is larger for a region with only a few dominant vegetation types than a region with evenly distributed vegetation types.

2) Evenness $E$:

$$E = -\ln\left(\sum_{i=1}^{N} (P_i)^2\right) \Big/ \ln(N) \qquad (6)$$

$E$ has just the opposite significance of dominance. In other words, $E$ assumes a larger value for a region with evenly distributed vegetation types than a region with a few dominant vegetation types.

3) Contagion $C_T$:

$$C_T = 1 + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} P_{ij} \ln(P_{ij}) \Big/ [2\ln(N)] \qquad (7)$$

where $P_{ij}$ is the probability of vegetation type $i$ being adjacent to vegetation type $j$. In addition to the relative proportions of vegetation types, $C_T$ also describes the spatial patterns of vegetation distribution. $C_T$ can be different in two regions with the

same relative proportions of vegetation types. In other words, even if two regions have the same diversity indices, spatial pattern indices can be very different. $C_T$ is larger in a region with more aggregated vegetation types than a region with many small patches of vegetation types.

4) Contagion based on conditional probability $C_P$:

$$C_P = 1 + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} P_{ij}^{c} \ln(P_{ij}^{c}) \Big/ [2\ln(N)] \qquad (8)$$

where $P_{ij}^{c} = P_{ij} / P_i$ , is the probability of vegetation type $i$ being adjacent to vegetation type $j$ given vegetation type $i$ is known. $P_i$ is the probability or proportion of vegetation type $i$. $C_P$ has similar significance as $C_T$, except that it gives larger measurements than $C_T$.

Any of the 4 indices may be used to substitute $P$ in Equation (4) to obtain quantitative relation between relative increments in *NPP* and the spatial variations of vegetation structure.

### 2.2. *An application of the analysis to Northeast China transect*

The first step to apply the analysis above to Northeast China transect is to run a sensitivity analysis of both versions of RESPROST, i.e., the version with static vegetation structure and the full version with coupled structure and processes, for the transect region. The transect was divided into 2761 non-empty grid cells at a spatial resolution of 10 minutes longitude by 10 minutes latitude. The vegetation along the transect was classified into 12 vegetation types: *Larix* forests, Conifer-

broadleaf mixed forests, Deciduous broadleaf forests, Woodland and shrubs, *Stipa baicalensis* meadow steppes, *Aneurolepidium chinense* steppes, *Stipa grandis* dry steppes, Desert grasslands, Wetland and salty meadows, *Caragana* sandy shrubs, One-crop agricultural fields and Two-crop agricultural fields. Eight climatic scenarios were designed to drive the model by combining three variables, each at two levels, ambient $CO_2$ concentration (present, and doubled), monthly mean temperature (present, increased by 4 °C) and monthly precipitation (present, increased by 20%). The both versions of the model were run for each climatic scenario until the equilibrium solutions were reached.

We then equally divided the transect region into 12 sub-regions from west to east, with each sub-region occupying 2 degrees of longitude. Within each sub-region, average $\Delta npp$ were computed by subtracting simulated $NPP_S$ of static structure from the simulated $NPP$ with the coupled processes and structure, and then dividing the difference by $NPP_S$ at the current climate condition, for all the climatic scenarios. Structural indices $D$, $E$, $C_T$, and $C_P$ in each sub-region were computed from the simulated vegetation structure as well. Regression was then applied for each climatic scenario with Equation (4) as the regression model to obtain all the coefficients.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. *General effects of diversity and spatial patterns on net primary production*

Figures 1 and 2 give the simulated primary productivity distribution along the transect under 8 different climatic scenarios by the model with static vegetation structure and coupled dynamic vegetation structure, respectively. Figure 3 illustrates the simulated structural response of the transect vegetation by the model with coupled

structure and processes. The sensitivity analysis revealed: 1) the transect is much more sensitive to a 4 °C temperature increase than to a 20% precipitation increase, due to the large evapotranspiration induced by the temperature increase and the inefficient utilization of precipitation increase; 2) the middle transect is much more sensitive to global change than the two ends of the transect. The results are not difficult to understand, as the transect has been recognized as a moisture-limiting transect. With strong monsoon climatic feature, northern China usually has concentrated seasonal precipitation profiles in summer. A 20% monthly precipitation increase led to a larger precipitation increase in summer and a smaller precipitation increase in other seasons. As a result, more runoff was produced in summer. However, the monthly temperature increase was prescribed as a uniform absolute increase, so that it induced more evapotranspiration all over the transect all year around. The middle of the transect is ecotones from forest to grassland to desert, thus is more sensitive to climatic change.

Figure 4 illustrates the relation between $\Delta npp$ , the relative increments of net primary productivity due to interactions among vegetation types, and biodiversity indices. Similarly, the relationship between $\Delta npp$ and the spatial pattern indices was depicted in Figure 5. Table 1 gives all the regression coefficients together with the regression significance levels using the model of Equation (4). Most regression analyses are significant at $p < 0.01$ significance level and others are statistically significant at $p < 0.05$ level. We can infer from the regression results that the relative increments of *NPP* due to interactions among vegetation types are indeed significantly related to vegetation structure measured by the 4 indices, thus the model presented in this study is partially validated with this case study of NECT.

Figure 4 indicates that, for all climatic scenarios in this study, the relative increments of *NPP* due to interactions among vegetation types are positively related to evenness, but are negatively related to dominance, for all climatic scenarios. If evenness is a positive measurement of ecosystem diversity, i.e., a larger evenness value meaning greater diversity, the result of analysis depicted in Figure 4 indicates that the ecosystem diversity is in favor of net primary production. On the other hand, dominance, as a negative measurements of ecosystem diversity, tends to reduce net primary production. One possible explanation of this result is that a larger evenness value, thus more ecosystem diversity, in general means more complete occupation of multidimensional environmental space and more complete utilization of environmental resources (energy, water and nutrients). Therefore a region with a larger value of evenness in general has higher primary production. On the other hand, a large dominance value means only a few dominant vegetation types which occupy less environmental space, relatively incomplete utilization of the natural resources, and thus less primary production.

The two contagion indices are all negatively related to the relative increments of *NPP* in Figure 5. A large contagion measurement in general indicates more aggregation of a few vegetation types, less occupation of the environmental spaces and relative incomplete utilization of the natural resources, and hence less primary production. In addition to the information carried by diversity indices, large contagion indices also indicate uneven distribution of vegetation types in physical space, thus unequal allocation of natural resources, and hence less primary production. In another word, dispersive distribution of vegetation types is in favor of complete utilization of natural resources and regional primary production. The linear regression of relative

increments in *NPP* against conditional contagion gave steeper slope values than the regression of increments of *NPP* against contagion measurement, as conditional contagion index always gives larger values of measurement than contagion index.

### 3.2. *Effects of climate and ambient $CO_2$ concentration on the relationship between primary production and vegetation structure*

The first scenario in Table 1 (C0T0P0) represents the present climatic condition and ambient $CO_2$ concentration. The successive three scenarios, C0T0P2, C0T4P0, and C1T0P0, indicate increasing precipitation by 20% alone, increasing temperature by 4 °C alone, and doubling $CO_2$ concentration alone, respectively. Thus the results for these three scenarios illustrated the effects of individual factors. The last two scenarios, C0T4P2 and C1T4P2, indicate the combined effects of temperature and precipitation increases, without and with doubling ambient $CO_2$ concentration, respectively.

An increase in precipitation tends to alleviate the moisture stress for plants along the transect, thus has positive effects on primary production. On the other hand, increasing temperature induces more evapotranspiration and imposes more stress for plant growth, and hence has negative effects on net primary production. Doubling $CO_2$ concentration improves the water use efficiency of plants along the transect, thus tends to improve the primary production. Figures 4 and 5, and Table 1 all show that relationship between net primary productivity and vegetation structure is modulated by these three driving forces, as indicated by large differences in regression slope ($K_1$) values among the first 4 scenarios, for all the 4 indices.

Further examination of the regression slope values reveals that increasing

precipitation by 20% and doubling $CO_2$ reduced the absolute slope values significantly from the present climatic scenario. Thus increasing precipitation and doubling $CO_2$ concentration tend to reduce the coupling strength from vegetation structure to primary production processes. On the other hand, increasing temperature by 4 °C greatly increased the dependence of net primary productivity on vegetation structure, and thus yielded a stronger coupling from vegetation structure to primary production, as indicated by the large increases in absolute slope values for all the 4 indices. The slope values in the last two scenarios for combined effects of temperature and precipitation increases signify the canceling between the positive effects of increasing precipitation and doubling $CO_2$ concentration and the negative effect of increasing temperature.

One possible explanation of the results of climatic modulation of the coupling between vegetation structure and primary production is as follows: In general, a more sever climatic condition tends to cause disappearance of some native vegetation types in a region, thus reduces the primary productivity and causes degradation of the ecosystem. However, with more diverse and abundant vegetation types, and hence more occupation of the resource space and more overlap of niche of the vegetation types, as indicated by larger evenness and smaller dominance, removal of a few vegetation types from the regional ecosystem may give more space to other similar vegetation types, thus causes less reduction in productivity and helps the system to resist degradation. On the other hand, a ecosystem with less diversity of vegetation types is much more vulnerable to sever climatic conditions than ecosystems with more abundant and diverse vegetation types. Hence diversity and abundance of vegetation types are more important to maintain system stability and functioning in

sever climatic conditions such as aridity caused by increased temperature. In contrast, alleviation of environmental stresses, such as increasing precipitation and doubling ambient $CO_2$ concentration, tends to enhance primary production for all vegetation types, and reduces the difference in production among ecosystems with different diversity and abundance of vegetation types. In other words, improving environmental conditions reduces the importance of diversity of vegetation types on primary production by reducing the coupling strength from vegetation structure to the primary production process.

In addition to the above explanation to the climatic modulation of the relationship between primary productivity and diversity indices, the climate modulation of the relationship between primary productivity and contagion indices can be understood by considering the spatial patterns of interactions among vegetation types. A large contagion value in general means more spatially aggregated vegetation types and less contact boundary length among vegetation types, and hence more difficulties for vegetation types to invade each other. When sever climatic conditions removed some native vegetation types from a region, a large contagion index value in general means more difficulties for other vegetation types to take over the space left by the removed vegetation types. In another word, dispersive distribution of vegetation types can help ecosystem to resist degradation caused by sever climate. Therefore larger dependence of primary productivity on spatial patterns can be envisioned for more sever climatic conditions.

## 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

A conceptual model was developed to assess the coupling between vegetation structure and primary production process based on simulation results from models with static and coupled dynamic vegetation structures. The model was applied to Northeast China transect by analyzing the relationship between the relative increments of net primary productivity due to interactions among vegetation types and vegetation structure measured by two diversity and two spatial pattern indices under different climatic scenarios. The following conclusions can be drown from the results of the analyses:

1) Ecosystem structure in regional scales, as represented by spatial distribution of vegetation types, has significant effects on regional primary production. More specifically, diversity of vegetation types, as measured by evenness index, is in favor of primary production. On the other hand, a regional ecosystem with a few aggregated dominant vegetation types tends to have less net primary production.

2) The coupling strength from vegetation structure to primary production is strongly related to climatic environment in Northeast China transect. Doubling $CO_2$ concentration and increasing precipitation reduce the coupling strength, and therefore cause less dependence of primary production on vegetation structure. One the other hand, increasing temperature strengthens the coupling from vegetation structure to net primary production along the transect. A more sever environment means more dependence of primary production on ecosystem diversity and spatial patterns of vegetation distribution. More specifically, diversely and dispersively distributed vegetation patterns help regional ecosystems to maintain primary production capability and to resist system degradation induced by climatic change.

## 5. ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the National Natural Science Foundation of China appreciated to the Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology.

## 6. LITERATURE CITED

Foley, J. A., 1995, An equilibrium model of the terrestrial carbon budget, Tellus, 47B:310-319.

Foley, J. A., 1994, Net primary productivity in the terrestrial biosphere: The application of a global model, Journal of Geophysical Research, 99(D10):20773-20783.

Foley, J. A., 1994, The sensitivity of the terrestrial biosphere to climatic change: A simulation of the middle Holocene, Global Biogeochemical Cycles, 8(4):505-525.

Gao, Q. and Zhang, X., 1995, A simulation study on the responses of North-East China Transect to elevated $CO_2$ and climate change, Ecological Applications (In press).

Haxeltine, A. and Prentice, I. C., 1995, Biome 2: a coupled carbon and water flux model to predict global vegetation structure and function, First Scientific Conference of Global Analysis, Interpretation and Modelling, Garmisch-Partenkirchen, Germany.

Li, H. and J. F. Reynolds, 1993. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. Landscape Ecology, 8(3):155-162.

Melillo, J. M., 1995, Terrestrial biosphere-atmosphere system: a challenge for IGBP and WCRP, First Scientific Conference of Global Analysis, Interpretation and Modelling, Garmisch-Partenkirchen, Germany.

Melillo, J. M., McGuire, A. D., Kicklighter, D. W., Moore, B. , Vorosmarty, C. J. and

Schloss, A. L., 1993, Global climate change and terrestrial net primary production, Nature, 363:234-240.

McGure, A. D., Melillo, J. M., Joyce, L. A., Kicklighter, D. W., Grace, A. L., Moore, B.,and Vorosmarty, C. J., 1992, Interactions between carbon and nitrogen dynamics in estimating net primary productivity for potential vegetation in North America, Global Biogeochemical Cycles, 6:101-124.

McGuire, A. D., Joyce, L. A., Kicklighter, D. W., Melillo, J. M., Esser, G., and Vorosmarty, C. J., 1993, Productivity response of climax temperate forests to elevated temperature and carbon dioxide: a North American comparison between two global models, Climate Change, 24:287-310.

O' Neill , R. V., J. R. Krummel, and R.H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. DeAngelis, B. T. Milne, M. G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale, and R. L. Graham., 1988, Indices of landscape pattern, Landscape Ecology, 1:153-162.

Pan, Y., McGuire, A. D., Kicklighter, D. W. and Melillo, J. M., 1996, The importance of climate and soil for estimates of net primary production: a sensitivity analysis with the terrestrial ecosystem model, Global Change Biology, 2:5-23.

Parton, W. J., Scurlock, J. M. O., Ojima, D. S., Gilmanov, T. G., Scholes, R. J., Schimel, D. S., Kirchner, T., Menaut, J-C, Seastedt, T., Moya, E. Garcia, Kamnalrut, A. and Kinyamario, J. I., 1993, Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide, Global Biogeochemical cycles, 7(4):785-809.

Prentice, C., Cramer, W., Harrison, S. P., Leemans, R., Monserud, R. A., and Solomon, A. M., 1992, A global biome model based on plant physiology and

dominance, soil properties and climate, Journal of Biogeography, 19:117-134.

Raich, J. W., Rasttter, E. B., Melillo, J. M., Kicklighter, D. W., Steudler, P. A., and Peterson, B. J., 1991, Potential net primary productivity in South America: application of a global model, Ecological Applications 1(4):399-429.

Romme, W.H., 1982. Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park. Ecological Monograph, 52:199-221.

Running, S. W., and Gower, S. T., 1991, FOREST-BGC, a general model of forest ecosystem processes for regional applications. II. Dynamic carbon allocation and nitrogen budgets, Tree Physiology 9:147-160.

Shugart, H.H., Bonan, G.B., Urban, D.L., Lauenroth, W.K., Parton, W.J., and Hornberger, G.M., 1991, Computer models and long-term ecological research, *In*: Risser, P.G. (ed.), Long-term Ecological Research, John Wiley & Sons, New York.

Sitch, S., Haxeltine, A. and Prentice, I. C., 1995, Towards a generic model of terrestrial ecosystem dynamics, First Scientific Conference of Global Analysis, Interpretation and Modelling, Garmisch-Partenkirchen, Germany.

Woodward, F. I. and McKee, I. F., 1991, Vegetation and climate, Environment International 17:535-546.

Zhang, X. and Yang, D., 1995, Allocation and study on global change transects in China, Quaternary Sciences, 1:43-54.

Table 1. Coefficients and statistical significance of the regression of relative NPP increments against diversity and spatial pattern indices. Keys are the same as Figure 1.

| Scenarios | Coefficients and significance | Dominance | Evenness | Contagion | Conditional Contagion |
|---|---|---|---|---|---|
| C0T0P0 | $K_0$ | 0.388 | -0.109 | 0.458 | 0.794 |
| | $K_1$ | -0.524 | 0.542 | -0.598 | -0.831 |
| | $p<$ | 0.003 | 0.007 | 0.002 | 0.0008 |
| C0T0P2 | $K_0$ | 0.096 | -0.037 | 0.126 | 0.236 |
| | $K_1$ | -0.142 | 0.144 | -0.178 | -0.259 |
| | $p<$ | 0.0054 | 0.0175 | 0.0055 | 0.0018 |
| C0T4P0 | $K_0$ | 6.429 | -1.012 | 7.291 | 11.675 |
| | $K_1$ | -8.225 | 7.621 | -9.218 | -11.925 |
| | $p<$ | 0.0041 | 0.0167 | 0.0102 | 0.0090 |
| C1T0P0 | $K_0$ | 0.098 | -0.022 | 0.115 | 0.238 |
| | $K_1$ | -0.124 | 0.132 | -0.144 | -0.250 |
| | $p<$ | 0.0002 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0001 |
| C0T4P2 | $K_0$ | 2.360 | -0.737 | 2.642 | 6.145 |
| | $K_1$ | -3.246 | 3.533 | -3.534 | -6.604 |
| | $p<$ | 0.0091 | 0.0091 | 0.0277 | 0.0010 |
| C1T4P2 | $K_0$ | 0.365 | -0.108 | 0.457 | 0.892 |
| | $K_1$ | -0.497 | 0.515 | -0.611 | -0.945 |
| | $p<$ | 0.0090 | 0.0090 | 0.0138 | 0.0009 |

Captions of Figures :

Figure 1. Simulated NPP distribution over NECT by RESPROST with static structure. All numbers in keys have a unit of kg $m^{-2}$ $yr^{-1}$ and signify the upper limit of the range category. The lower limit of a range category equals the upper limit of the neighboring smaller range category except the first category, which has a lower limit of 0.

C0T0P0 = current climatic scenario;

C0T0P2 = $CO_2$ and temperature unchanged, precipitation increased by 20%;

C0T4P0 = $CO_2$ and precipitation unchanged, temperature increased by 4 °C;

C0T4P2 = $CO_2$ unchanged, temperature increased by 4 °C and precipitation by 20%;

C1T0P0 = $CO_2$ doubled, temperature and precipitation unchanged;

C1T0P2 = $CO_2$ doubled, temperature unchanged, precipitation increased by 20%;

C1T4P0 = $CO_2$ doubled, temperature increased by 4 °C and precipitation unchanged;

C1T4P2 = $CO_2$ doubled, temperature increased by 4 °C and precipitation by 20%.

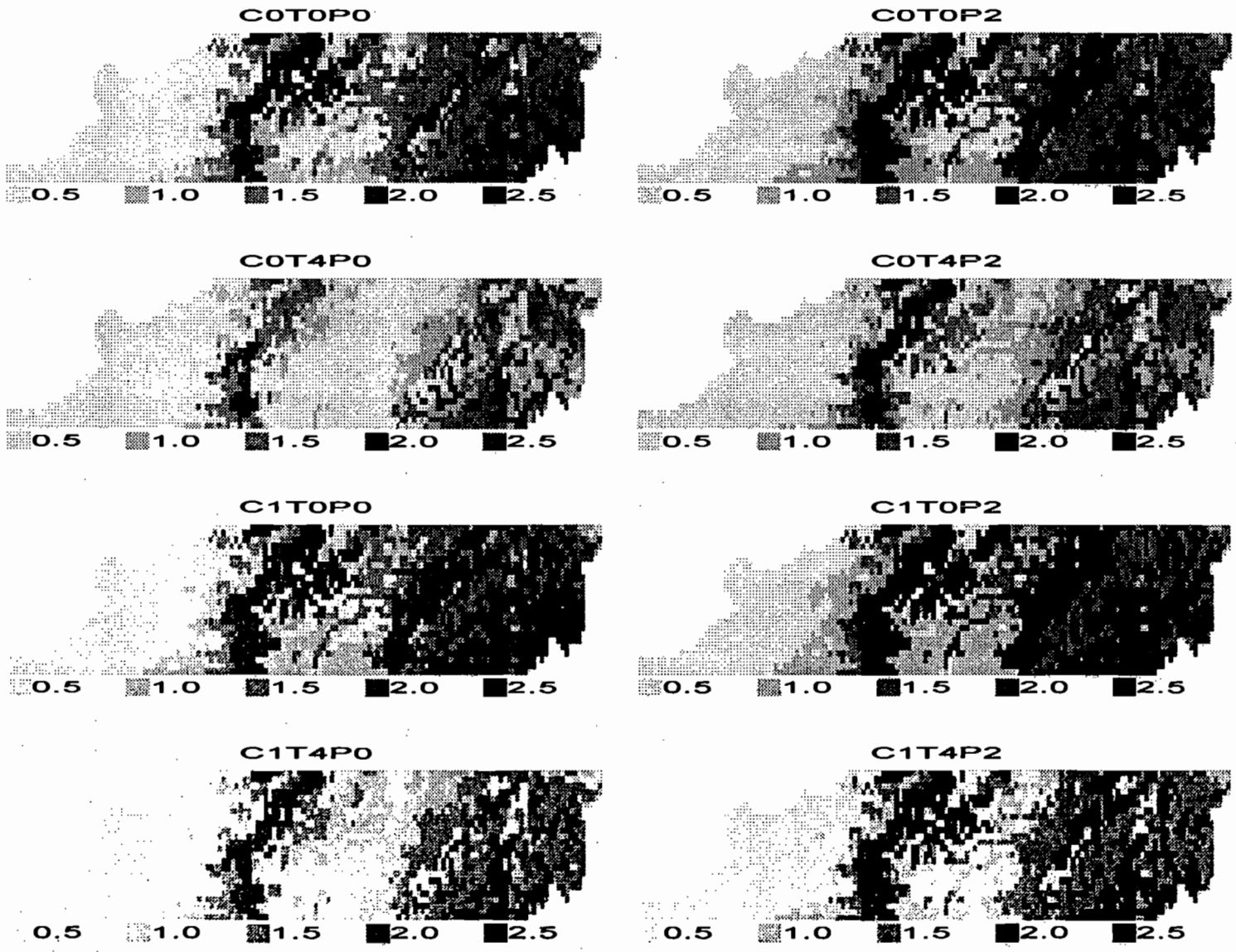

C0T0P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C0T0P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C0T4P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C0T4P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T0P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T0P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T4P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T4P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5

Figure 1.

Figure 2. Simulated NPP distribution over NECT by RESPROST with coupled dynamic vegetation structure. All keys and notations are the same as Figure 1.

Figure 3. Simulated vegetation structure. Keys are defined as the following:

"4.0" = *Larix* forests, Conifer-broadleaf mixed forests, Broadleaf forests, and Woodland and shrubs;

"7.0" = *Stipa baicalensis* meadow steppes, *Aneurolepidium chinense* steppes, and *Stipa grandis* steppes;

"9.0" = Desert grassland and Wetland and salty meadows;

"10.0" = Sandy *Caragana* shrubs;

'12.0" = One-crop and two-crop agricultural fields.

Other notations are the same as Figure 1.

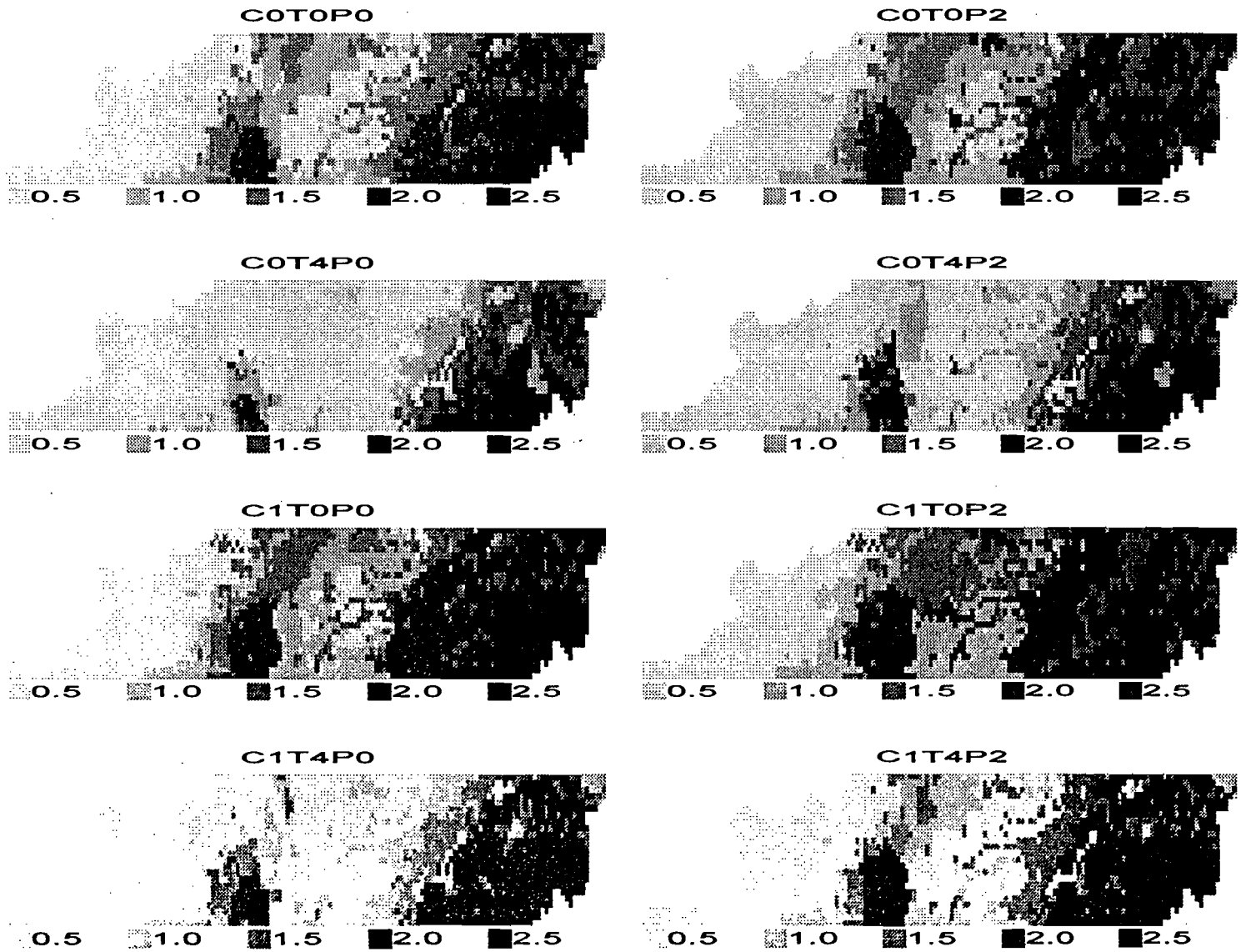

C0T0P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C0T0P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C0T4P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C0T4P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T0P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T0P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T4P0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
C1T4P2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5

Figure 2.

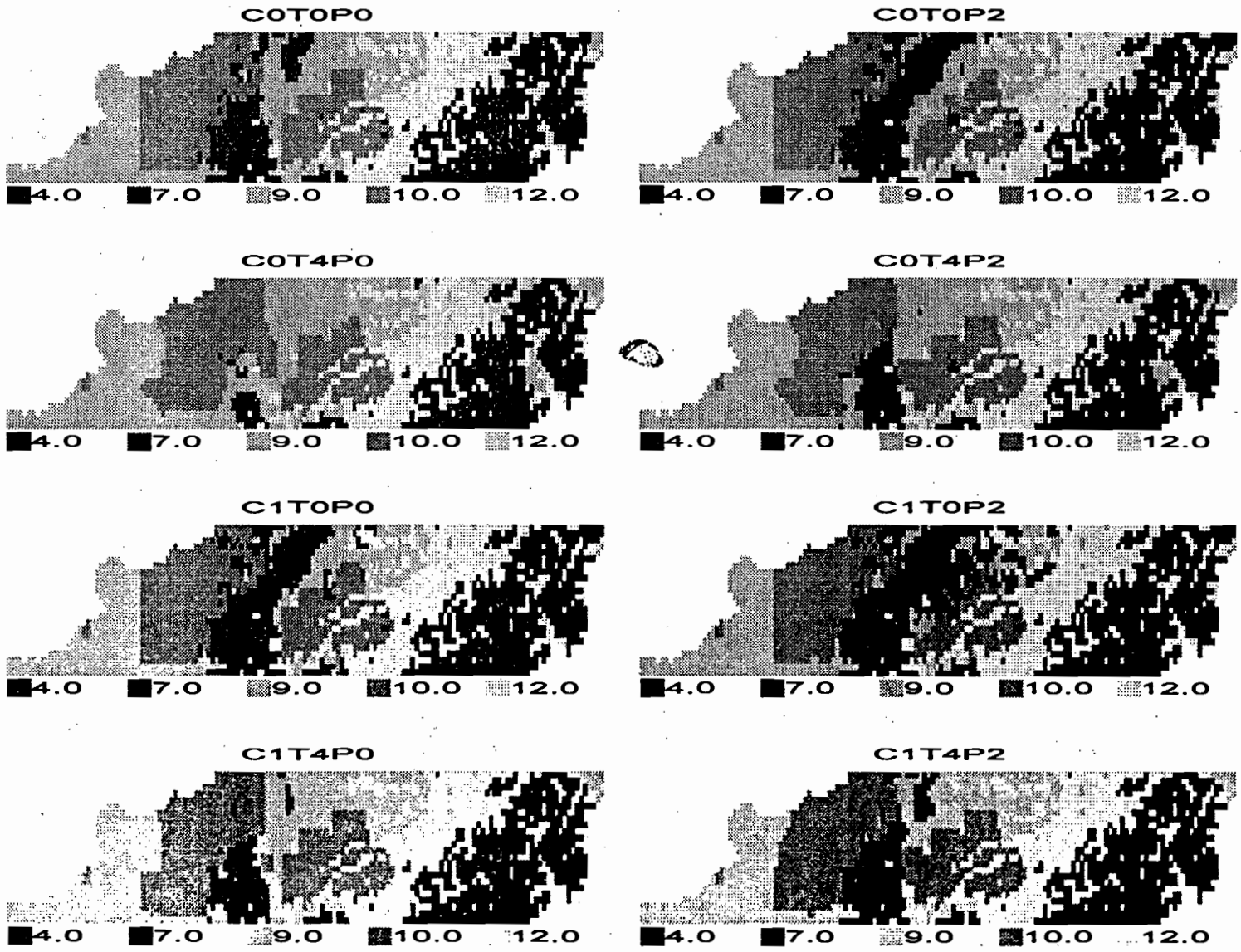

C0T0P0
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C0T0P2
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C0T4P0
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C0T4P2
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C1T0P0
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C1T0P2
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C1T4P0
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0
C1T4P2
4.0
7.0
9.0
10.0
12.0

Figure 3.

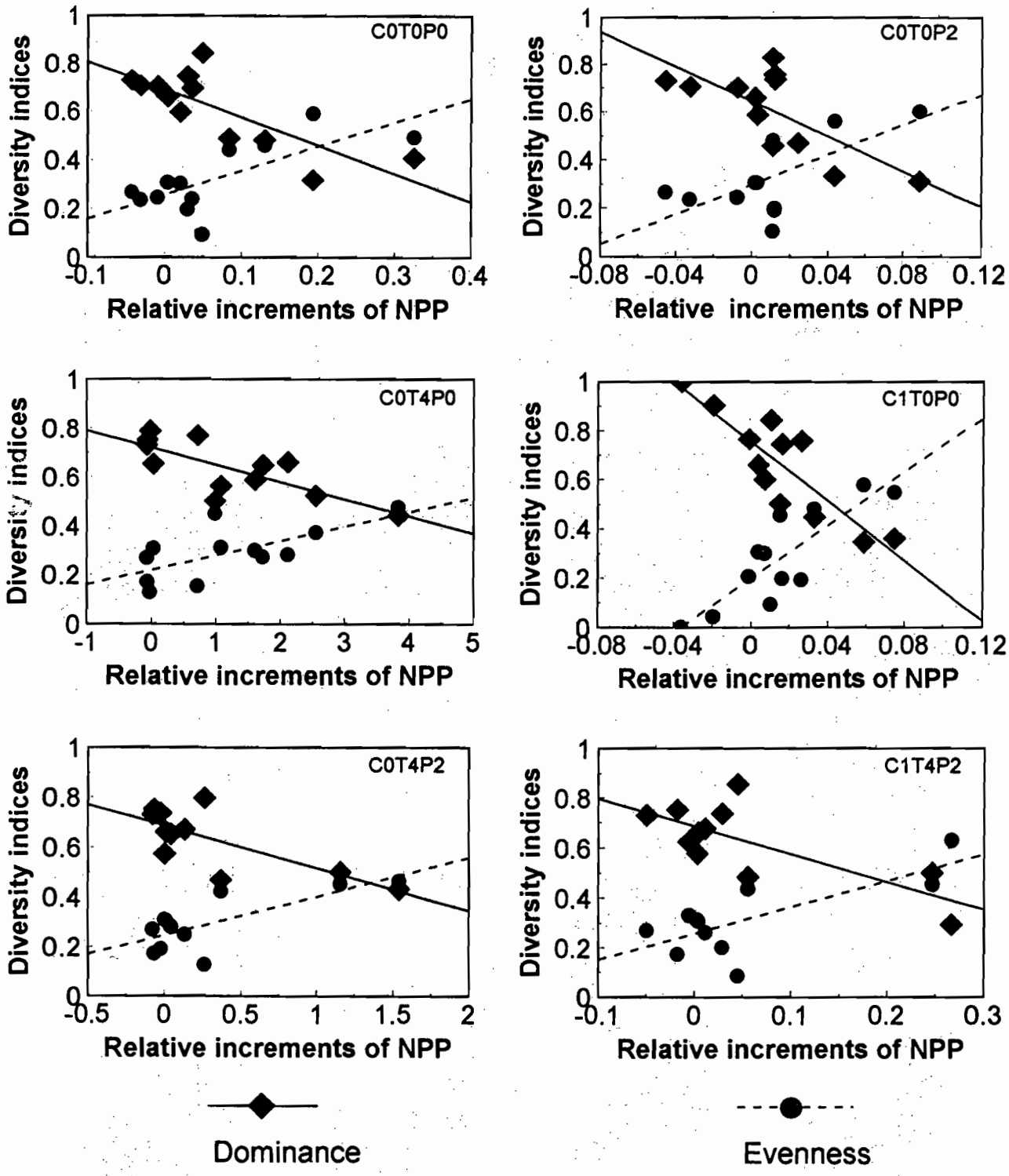



Figure 4. Relative increments of NPP due to interactions among vegetation types plotted against diversity indices. Notations for individual sub-figures are the same as Figure 1.

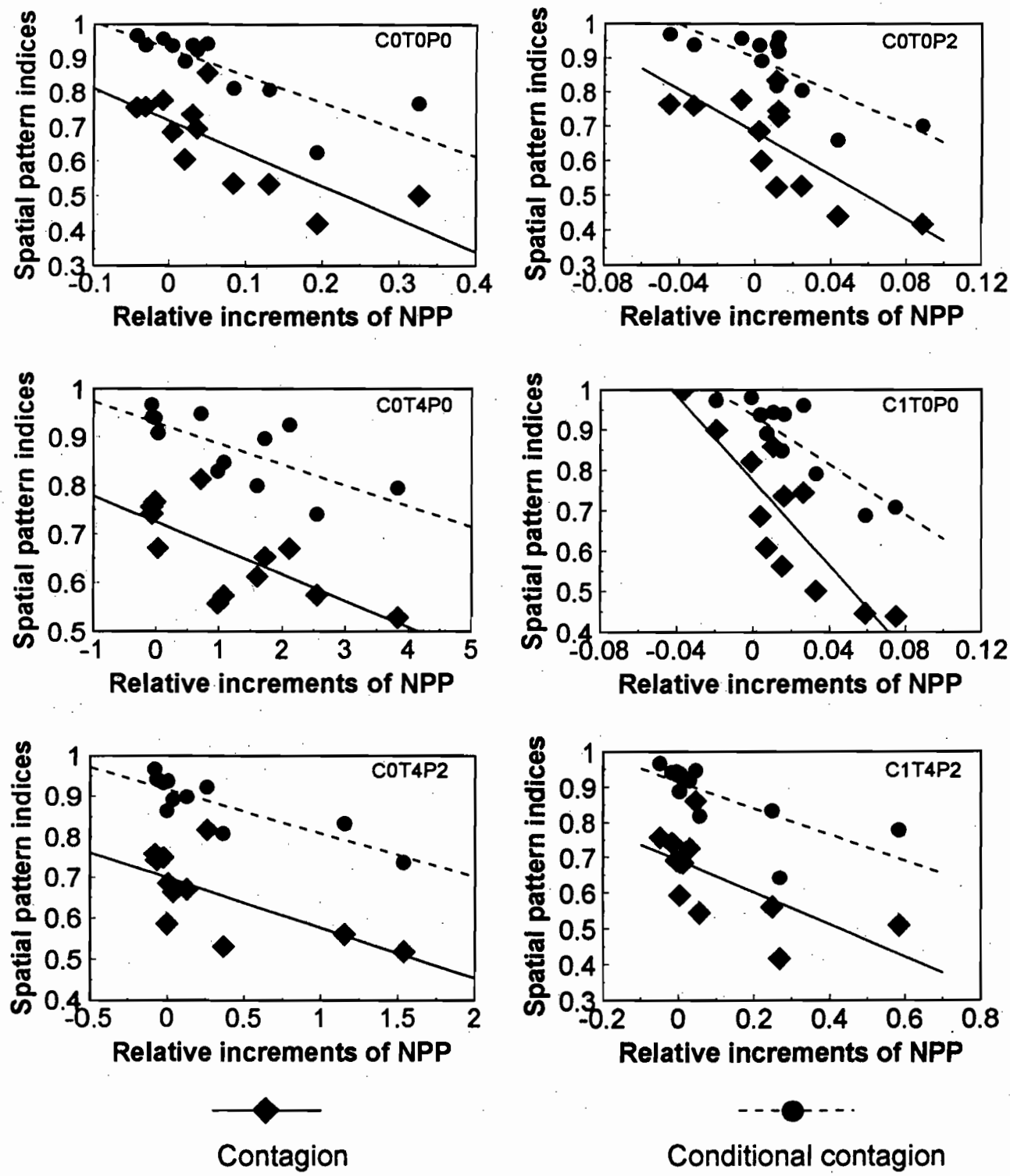



Figure 5. Relative increments of NPP due to interactions among vegetation types plotted against spatial pattern indices. Notations for individual sub-figures are the same as Figure 1.

# 塔塔加高山生態系研究-鳥類與哺乳類群聚生態之研究

袁孝維[1]

摘　要：

本研究爲塔塔加高山生態系長期生態研究(LTER)計畫之一部分，以調查及監測此生態系中鳥類及哺乳類群聚爲主要內容。由於鳥類及哺乳類動物在生態系營養階層中扮演消費者的角色，因此本研究有助於了解此高山生態系之運作，並經由監測其族群組成之改變，來探討環境變遷對此生態系之影響。

每個月沿固定穿越線及設置捕捉樣線，來調查在雲杉林(*Picea morrisonicola*)、鐵杉林(*Tsuga chinesesis*)及草原區(以玉山箭竹(*Yushania nittakayamensis*)爲主)三個不同生態環境內活動的鳥類及哺乳類。鳥類優勢種在雲杉林內是火冠戴菊鳥(*Regulus goodfellowi*)及冠羽畫眉(*Yuhina brunneiceps*)，鐵杉林是火冠戴菊鳥及金翼白眉(*Garrulax morrisonianus*)，而在草原區則是灰頭花翼(*Alicippe cinereiceps*)、深山鶯(*Cettia acanthizpoides*)及金翼白眉。哺乳類在雲山林內曾捕獲高山白腹鼠(*Niviventer culturatus*)，高山田鼠(*Microtus kikuchii*)及條紋松鼠(*Tamiops swinhoei formosanus*)，在鐵杉林附近曾拾獲台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)之排遺，而在草原區則曾捕獲長尾鼩(*Episoriculus fumidus*)及拾獲黃鼠狼(*Mustela sibirica davidiana*)之排遺。鳥類的活動情形與天氣狀況十分有關，第一次野外調查是在9月，當時天氣尚暖和，因此鳥類的種類及數量最豐富，共有25種255隻次；而12月時天氣寒冷，甚至降到攝氏零下且結冰下雪，因此出來活動的鳥類在種類及數量上都顯著地減少了許多，只有14種123隻次。

## 前　言

由於人類人口快速成長，對自然資源無止盡的利用，已使得生態環境品質惡化。並因由石化工業的開展、森林的大量砍伐、道路的開發、都會區的形成等，使得污染物質大量增加，導致全球氣候發生變化。國際科學聯合會(ICSU, International Council of Scientific Unions)之科學家遂於1983年在加拿大召開第二十屆會員大會時，特舉辦全球變遷(global change)研討會，以探討人類活動對環境衝擊所帶來的全球氣候變化。ICSU後於1986年的會員大會中確定global change 研究計畫並成立國際地圈生物圈計畫(IGBP, International Geosphere-Bioshpere Programme)。國科會生物處於1992年八月進行全球變遷的主題研究計畫，在福山成立長期生態研究(LTER, Long Term Ecological Research)站，之後又陸續在關刀溪，南仁山，及鴛鴦湖先後成立LTER站，以偵測全球環境變遷對生態系之影響。然上述四個LTER站皆位於中、低海拔，並無對高海拔生態系之監測，因此爲能使台灣之全球變遷偵測計畫更趨完整，1996年於塔塔加地區成立第五個LTER站。

[1] 國立台灣大學森林系

本研究爲塔塔加高山生態系整體研究計畫之一部分，該計畫乃配合 IGBP ，針對台灣高山生態系進行整合性長期研究，以了解此生態系的結構( structure )、功能( function )及其對水及能量流通( flux )的控制，以提供全球氣候變遷研究計畫( WCRP , World Climate Research Programme)所需的基礎資訊。本研究以調查及監測此生態系中鳥類及哺乳類群聚爲主要內容，並經由其食性組成，種間交互作用及其對棲地之需求，在生態系內營養循環與能量流動的角色等之研究，長期監測鳥類與哺乳類之變化及與棲地環境之關係。

台灣 50%以上的土地覆蓋著森林地，因此森林生態系是在台灣最重要的陸域生態系。此生態系由植物、動物、微生物、無生物等分子所組成，在自然界中陽光、水、大氣的孕育下透過不同的結構，相互影響，而有不同的生態功能。在此生態系中，養份循環及碳循環不間斷地進行著。森林生態系在無外界干擾下，將逐漸調整而趨向一動態的生態系平衡。欲了解生態系內各組成分子間的互動關係，就必需經由長期研究的基礎資料，建立各別的生態模式，再整合成森林生態系模式，此模式也可爲長期生態系與環境互動建立推演與預測指標。

鳥類及哺乳類在營養階層中扮演初級消費者至高級消費者的角色，是森林生態系中十分重要的組成分子。不同鳥類及哺乳類的群聚會對森林生態系中能量的循環，系統的運作等都有極大的影響。因此在 LTER 站裡對鳥類及哺乳類相的普查，族群及群聚動態的追蹤，並針對特定指標物種的偵測，將有助於全球變遷對生態系影響之了解。

全世界至少有十六個國家設有 LTER 站，美國至 1993 年亦有十八個 LTER 站，200 位科學家， 300 位技術人員、學生參與各項計畫。目前並將全球之 LTER 研究資訊及資料庫利用電腦連線，以方便於研究成果的互通及新資訊的傳遞。因此 LTER 成就斐然，不僅提供政府許多環境政策之依歸，同時研究結果也有助於了解生態系之運作。

有關塔塔加範圍內動物生態之研究，在日據時代則僅散見於一些片斷的報導或是零星在此區採得的標本。對哺乳類動物生態方面近年來僅有歐保羅(1988,1990)曾做系統性的調查，並對大型哺乳動物之棲息地做初步的分析。林曜松(1990)之小型哺乳類動物與植物環境間關係之研究，以及近年來林良恭(1995)在此區從事火燒地區小型哺乳類動物族群動態及棲地變化調查。鳥類則有劉小如(1989)之帝雉及藍腹鷴的生態調查，以及台大動物研究所丁宗蘇(1993)及許皓捷(1994)在玉山地區成熟林所從事的鳥類群聚研究。至於昆蟲則僅有玉山國家公園(1989,1991)之蝶類及蜜源植物之調查。其他兩棲類、爬蟲類及水生生物方面的資料，則有待全面性的研究。

本研究結果，將與其他大氣、水資源、植物、無脊椎動物、真菌細菌等資料結合，以建立一完整之生態系監測模式，並可與其他 LTER 站比較。

## 研究地點及方法

塔塔加高山生態系的長期研究，是以塔塔加附近之東埔山至玉山主峰及北峰海拔2,500公尺以上之高山地區做爲研究範圍，面積約爲400公頃，但在研究初期則以塔塔加鞍部之沙里仙溪上游集水區爲中心的核心地區，約100公頃，做較深

入的調查。鳥類及哺乳類群聚組成調查與植群研究之樣區配合，以便將來生態模式之建立及資料之整合。以下是研究方法及進行步驟：

鳥類調查

在台灣雲杉林(*Picea morrisonicola*)、鐵杉林(*Tsuga chinesesis*)及玉山箭竹(*Yushania nittakayamensis*)草原區等不同形態之棲地內，各設立長約2-3公里之固定穿越線，並選取2-3個固定樣點，每月至研究地1-2次，每次3-5天，在日出後兩小時和日落前一小時用圓圈法(circular plot)(Bibby *et al.* ,1992)調查鳥種及其數量，並可藉此估算鳥種族群密度( Bibby *et al.* ,1992)，其公式如下：

族群密度＝$\log(n/n^2)\times n/m(\pi r^2)$

n：數到之鳥總數

$n_2$：固定量測半徑(r)外所數到之數

$n_1$：固定量測半徑(r)內所數到之數目，$n=n_1+n_2$

m：全數觀察點數

在其他不以穿越線調查鳥種及數量的時間，則在樣區內觀察鳥類行爲及其出現之棲地特徵。參照Holmes *et al.*(1979)和 James (1994)所列舉之項目，記錄鳥種與性別(如可以外觀判識)，覓食時間、種類及覓食技巧包括 glean, hover, hawk, probe, pounce, snatch 和 hang-glean。除記錄鳥種出現之巨棲地種類(如台灣雲杉混合林，台灣雲杉純林，台灣雲杉與鐵杉混合林，鐵杉林，草原等)，並記錄鳥類覓食之微棲地參數，包括(1)覓食地點類別(地表、草叢、灌叢、樹幹、枝條、樹葉、空中等)，(2)覓食所在植物種類，(3)覓食部位之高度。如能判識鳥類之食物種類或部位，亦將一併列入記錄。這些資料可以用來做爲生態同功群的劃分，對了解不同鳥種在生態系中功能角色的扮演十分重要。而有觀察到其他生殖行爲，如築巢、孵卵、及育幼等，亦將其發生季節及棲地特徵等一併列入記錄中。

哺乳類調查

每月至研究地1-2次，每次3-5天(1)在與調查鳥類相同的穿越線上，記錄所見之哺乳類種類、隻數、所在位置、海拔以及活動性情形；並記錄沿線所發現動物之叫聲、足跡、排遺、食痕、窩穴及殘骸、皮毛等痕跡，以爲輔助證據。所發現之排遺，亦將收集做爲日後食性分析所使用。(2)針對平時不易直接觀察發現之小型哺乳動物(如鼠類及食蟲目)，每個月沿調查路線，選擇適當之捕捉點設置捕鼠器，以地瓜切塊沾花生醬爲誘餌，進行標放捕捉，以判定種類及檢視其生殖器官推測生殖週期(Anderson *et al.* ,1983)。在此調查中於雲杉林內共設了5×12的樣點，每一個樣點放置兩只Sherman life trap，共120個。在鐵杉林上方道路100公尺處拉穿越線，共4條60個點，120只Sherman life trap。在玉山箭竹草原中共標示8×8個樣點，128只Sherman life trap。

## 結果與討論

以下的結果僅就 1996 年 9 月-12 月的調查資料分析整理。其中 10 月份在雲杉林中的鳥類調查因天候不佳，調查結果無法與其他月份比較，故不予列出。

### 鳥類調查

在此四個月的調查中，共觀察到分屬 13 科 29 種 752 隻次的鳥類。其中畫眉科(Timalidae)的鳥類最多，共有 8 種（表一）。屬於瀕臨絕種保育類的鳥種有帝雉(*Syrmaticus mikado*)，屬於其他應予保育類的鳥種有深山竹雞(*Arborophila crudigularis*)、紅頭山雀(*Aegithalos concinnus*)、青背山雀(*Parus monticolus*)、煤山雀(*Parus ater*)、紋翼畫眉(*Actinodura morrisoniana*)、金翼白眉(*Garrulax morrisonianus*)、白耳畫眉(*Heterophasia auricularis*)、藪鳥 (*Liocichla steerii*)、冠羽畫眉(*Yuhina brunneiceps*)、栗背林鴝(*Erithacus johnstoniae*)、火冠戴菊鳥(*Regulus goodfellowi*)等。成群活動的鳥種有灰林鴿(*Columba pulchricollis*)、灰鷸(*Pyrrhula erythaca*)、冠羽畫眉及火冠戴菊鳥。觀察到隻次最多的優勢鳥種依次爲火冠戴菊鳥、金翼白眉、冠羽畫眉、灰頭花翼(*Alcippe cinereiceps*)、煤山雀、白耳畫眉、灰鷸、灰林鴿、栗背林鴝及深山鶯(*Cettia acanthizoides*)。此外， 10 月份時，在永久樣區之外，記錄到大批屬於珍貴稀有鳥類的過境鳥種，灰面鵟(*Butastur indicus*)於鞍部的玉山箭竹混台灣二葉松林(*Pinus taiwanensis*)草原中落鷹。11 月時亦在此區記錄到三大群保育類的灰喉山椒鳥(*Pericrocotus solaris*)，共約百餘隻，蔚爲壯觀。

依丁宗蘇(1993)之生態同工群的分法，在此調查中出現鳥種裡屬於地面雜食者爲深山竹雞、帝雉、巨嘴鴉(*Corvus macrorhynchos*)、星鴉(*Nucifraga caryocatactes*)、金翼白眉及藪鳥。屬於地面種食者爲朱雀(*Carpodacus vinaceus*)。屬於灌叢蟲食者爲灰頭花翼、山紅頭(*Stachyris ruficeps*)、褐色叢樹鶯(*Bradypterus seebohmi*)、深山鶯及小鶯(*Cettia fortipes*)。屬於地面蟲食者爲鱗胸鷦鷯(*Pnoepyga pusilla*)、小翼鶇(*Brachypteryx montana*)、白眉林鴝(*Erithacus indicus*)及栗背林鴝。屬於樹木果實者爲灰林鴿。屬於樹木雜食者爲白耳畫眉、紋翼畫眉、冠羽畫眉、茶腹鳾(*Sitta europaea*)及灰鷸。屬於樹木蟲食者爲紅頭山雀、青背山雀、火冠戴菊鳥、煤山雀及紅胸啄花(*Dicaeum ignipectus*)。屬於空中飛擊者爲紅尾鶲(*Muscicapa ferruginea*)及小雨燕(*Apus affinis*)。

於雲杉林中，共觀察到分屬 10 科 25 種 262 隻次的鳥類。其中以畫眉科的鳥類最多，共有 8 種（表二）。鳥類優勢種在雲杉林內是火冠戴菊鳥及冠羽畫眉。於鐵杉林中，共觀察到分屬 8 科 20 種 247 隻次的鳥類。其中以畫眉科的鳥類最多，共有 7 種（表三）。鳥類優勢種在鐵杉林是火冠戴菊鳥及金翼白眉。於玉山箭竹草原中，共觀察到分屬 8 科 22 種 243 隻次的鳥類。其中仍以畫眉科的鳥類最多，共有 7 種（表四）。鳥類優勢種在草原區則是灰頭花翼、深山鶯及金翼白眉， 11 月份時有記錄到大批灰林鴿在此區活動，但並非常態。此外在草原邊緣樹林內活動之鳥種亦予以記錄之，如冠羽畫眉、青背山雀及煤山雀等。

鳥類的活動情形與天氣狀況十分有關，第一次野外調查是在 9 月，當時天氣尚暖和，因此鳥類的種類及數量最豐富，共有 25 種 255 隻次；而 12 月時天氣

寒冷，甚至降到攝氏零下且結冰下雪，因此出來活動的鳥類在種類及數量上都顯著地減少了許多，只有 14 種 123 隻次（表一）。

## 哺乳類調查

在雲杉林內曾捕獲高山白腹鼠(*Niviventer culturatus*) 4 隻，高山田鼠(*Microtus kikuchii*) 1 隻及條紋松鼠(*Tamiops swinhoei formosanus*) 1 隻。在鐵杉林附近曾拾獲台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)之排遺。而在草原區則曾捕獲長尾鼩(*Episoriculus fumidus*) 1 隻及拾獲黃鼠狼(*Mustela sibirica davidiana*)之排遺。

## 未來鳥類與哺乳類之研究方向

鳥 類：(1) 繼續調查鳥類群聚組成及行爲食性。

(2) 火冠戴菊鳥及金翼白眉是此生態系的優勢鳥種，而金翼白眉體型大且容易觀察，因此未來將針對金翼白眉捕捉繫放作個體辨識，以期對其生活史有進一步的了解。

在金翼白眉生活史調查中，由於雲杉林內地勢的限制，因此只能分別在鐵杉林附近及草原地區架設5-6張霧網捕捉金翼白眉。每月將在上述地區進行5-6天的金翼白眉繫放捕捉及行爲追蹤觀察。捕捉到的個體將套上一金屬製號碼腳環，以及數個彩色腳環做爲個體辨識，此外並測量及記錄其形值，包括體重、體長、喙長、全頭長及尾長等，以及觀察有無孵卵斑。

將調集較多的人力對上標的金翼白眉做長時間密集的追蹤，記錄其活動範圍、行爲、及共同活動的個體。並將在生殖季時找尋巢位、觀察其生殖行爲及追蹤生殖成功等。

(3) 將分析鳥類分布與植群及氣候之關連。

哺乳類：(1) 中大型之哺乳動物因人爲干擾過大，因此並不常出現。未來將以囓齒動物爲主要研究對象。

(2) 深入研究食蟲目的動物在箭竹草原區對於種子的傳播、種子的消耗機制以及土壤循環轉換之角色扮演。

(3) 在食物鏈中，小型囓齒動物與其他中大型哺乳動物及猛禽之關連。

## 參考文獻

丁宗蘇 1993 玉山地區成熟林之鳥類群聚生態 台大動物研究所碩士論文

玉山國家公園管理處蝶調小組 1989 玉山國家公園東埔至八通關地區蝶類資源調查報告

玉山國家公園管理處蝶調小組 1991 台灣植物爲玉山國家公園東埔至八通關地區蝶科之幼蟲 食草及蜜源植物彙編

林良恭 1995 塔塔加火燒地區小型哺乳類動物族群動態及棲地變化調查 玉山國家公園管理處

林曜松 1990 小型哺乳類動物與植物環境間關係之研究 玉山國家公園研究叢刊

許皓捷 1994 台灣中海拔山區森林鳥類群聚結構與環境因子之關係 台大動物研究所碩士論文

劉小如 1989 玉山國家公園帝雉藍腹鷴生態調查 玉山國家公園資源保育暨經營管理研討會專文集(二): 9-32

歐保羅 1988 東埔地區哺乳類動物調查報告(一) 玉山國家公園管理處

歐保羅 1990 玉山國家公園東埔區哺乳類動物調查報告(三)玉山國家公園管理處

Anderson, K. P., Burnham, G. C. White, and D. L., Otis. 1983. Density estimation of small-mammal population methords using a traping web and distance sampling methords. Ecology 64:674-680

Bibby, C. J., Neil D. B., David A. H. 1992. Birds Census Techniques. ACADEMIC PRESS INC. CA, USA.

Holmes, R. t., Bonney, R. E. and Paoln, S. W. 1979. guild Structure of the hubbard Brook Bird Community: a multivariate approach. Ecology 60(3):512-520.

Janes, S. W. 1994. Variation in the species composition and mean body size of an avian foliage-gleaning guild along an elevation gradient: Correlation with arthropod body size. Oecologia 8:369-378.

Franklin, J. F., C. S. Bledsoe and J. T. Callahan. 1990. Contributions of the Long-Term Ecological Research Program. BioScience Vol. 40(7): 509-523.

Greenland, D. and L. W. Swift. 1988. Overview of climate variability and ecosystem response. Proceedings of a Long-Term Ecological Research (LTER) workshop August 21-23, 1988. P. 85-90.

Landres, P. B. and J. A. MacMahon. 1983. Community organization of arboreal birds in some oak woodlands of western North American. Ecological Monographs 53: 183-208.

Magnuson, J. J. 1990. Long-Term Ecological Research and the invisible present. BioScience Vol. 40(7): 495-501.

Strayer, D., J. S. Glitzerstein, and C. G. Jones. 1986. Long-Term Ecological Studies: An illustrated account of their design, operation and importance to ecology. Occasional Publication 2. Millbrook, NY: Institute of Ecosystem Studies. 38pp.

Swanson, F. J. and R. E. Sparks. 1990. Long-Term Ecological Research and the invisible place. BioScience Vol. 40(7): 502-508.

Vitoousek, P. M. 1994. Beyond global warming: Ecology and global change. Ecology 75(7): 1861-1876.

Wiens, J. A. 1989. The ecology of bird communities. Vol. 1. Foundations and patterns. Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts. USA.

Wiens, J. A. 1989. The ecology of bird communities. Vol. 2. Processes and variations. Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts. USA.

表一、塔塔加地區鳥類相調查，1996年9-12月。

| 鳥種名 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 雉科 Phasianidae | | | | | |
| 帝雉 *Syrmaticus mikado* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 深山竹雞 *Arborophila crudigularis* | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 鳩鴿科 Columbidae | | | | | |
| 灰林鴿 *Columba pulchricollis* | 2 | 0 | 28 | 0 | 30 |
| 雨燕科Apodidae | | | | | |
| 小雨燕 *Apus affinis* | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 鶇科 Turdidae | | | | | |
| 白眉林鴝 *Erithacus indicus* | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 栗背林鴝 *Erithacus johnstoniae* | 9 | 8 | 11 | 2 | 30 |
| 小翼鶇 *Brachypteryx montana* | 10 | 8 | 3 | 0 | 21 |
| 畫眉科 Timalidae | | | | | |
| 紋翼畫眉 *Actinodura morrisoniana* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 藪鳥 *Liocichla steerii* | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 白耳畫眉 *Heterophasia auricularis* | 1 | 0 | 29 | 3 | 33 |
| 金翼白眉 *Garrulax morrisonianus* | 12 | 5 | 21 | 40 | 78 |
| 冠羽畫眉 *Yuhina brunneiceps* | 52 | 0 | 21 | 0 | 73 |
| 灰頭花翼 *Alcippe cinereiceps* | 12 | 11 | 25 | 14 | 62 |
| 鱗胸鷦鷯 *Pnoepyga pusilla* | 16 | 6 | 2 | 1 | 25 |
| 山紅頭 *Stachyris ruficeps* | 2 | 4 | 3 | 1 | 10 |
| 鶯科 Sylviidae | | | | | |
| 褐色叢樹鶯 *Bradypterus seebohmi* | 6 | 7 | 3 | 0 | 16 |
| 小鶯 *Cettia fortipes* | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| 深山鶯 *Cettia acanthizoides* | 6 | 9 | 13 | 2 | 30 |
| 火冠戴菊鳥 *Regulus goodfellowi* | 71 | 29 | 42 | 23 | 165 |
| 鶲科 Muscicapidae | | | | | |
| 紅尾鶲 *Muscicapa ferruginea* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 長尾山雀科 Aegithalidae | | | | | |
| 紅頭山雀 *Aegithalos concinnus* | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| 山雀科 Paridae | | | | | |
| 青背山雀 *Parus monticolus* | 2 | 2 | 8 | 10 | 22 |

表一、塔塔加地區鳥類相調查，1996年9-12月（續）。

| 鳥種名 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 煤山雀 *Parus ater* | 11 | 9 | 9 | 12 | 41 |
| 䴓科 Sittidae | | | | | |
| 茶腹䴓 *Sitta europaea* | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 啄花鳥科 Dicaeidae | | | | | |
| 紅胸啄花 *Dicaeum ignipectus* | 4 | 1 | 3 | 0 | 8 |
| 雀科 Fringillidae | | | | | |
| 朱雀 *Carpodacus vinaceus* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 灰鷽 *Pyrrhula erythaca* | 14 | 8 | 9 | 0 | 31 |
| 鴉科 Corvidae | | | | | |
| 星鴉 *Nucifraga caryocatactes* | 3 | 5 | 7 | 2 | 17 |
| 巨嘴鴉 *Corvus macrorhynchos* | 6 | 6 | 11 | 2 | 25 |
| 總種數 | 25 | 16 | 20 | 14 | 29 |
| 總隻數 | 255 | 120 | 254 | 123 | |

表二、塔塔加地區雲杉林鳥類相調查，1996年9-12月。

| 鳥種名 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 雉科 Phasianidae | | | | | |
| 帝雉 *Syrmaticus mikado* | 2 | - | 0 | 0 | 2 |
| 深山竹雞 *Arborophila crudigularis* | 0 | - | 1 | 0 | 1 |
| 鳩鴿科 Columbidae | | | | | |
| 灰林鴿 *Columba pulchricollis* | 1 | - | 0 | 0 | 1 |
| 鶇科 Turdidae | | | | | |
| 白眉林鴝 *Erithacus indicus* | 1 | - | 0 | 0 | 1 |
| 栗背林鴝 *Erithacus johnstoniae* | 0 | - | 5 | 2 | 7 |
| 小翼鶇 *Brachypteryx montana* | 9 | - | 3 | 0 | 12 |
| 畫眉科 Timalidae | | | | | |
| 紋翼畫眉 *Actinodura morrisoniana* | 2 | - | 0 | 0 | 2 |
| 藪鳥 *Liocichla steerii* | 2 | - | 0 | 0 | 2 |
| 白耳畫眉 *Heterophasia auricularis* | 1 | - | 10 | 3 | 14 |
| 金翼白眉 *Garrulax morrisonianus* | 6 | - | 8 | 2 | 16 |
| 冠羽畫眉 *Yuhina brunneiceps* | 30 | - | 0 | 0 | 30 |
| 灰頭花翼 *Alcippe cinereiceps* | 7 | - | 8 | 0 | 15 |
| 鱗胸鷦鷯 *Pnoepyga pusilla* | 15 | - | 2 | 1 | 18 |
| 山紅頭 *Stachyris ruficeps* | 2 | - | 1 | 0 | 3 |
| 鶯科 Sylviidae | | | | | |
| 褐色叢樹鶯 *Bradypterus seebohmi* | 0 | - | 1 | 0 | 1 |
| 深山鶯 *Cettia acanthizoides* | 0 | - | 2 | 1 | 3 |
| 火冠戴菊鳥 *Regulus goodfellowi* | 50 | - | 14 | 20 | 84 |
| 長尾山雀科 Aegithalidae | | | | | |
| 紅頭山雀 *Aegithalos concinnus* | 0 | - | 5 | 0 | 5 |
| 山雀科 Paridae | | | | | |
| 青背山雀 *Parus monticolus* | 2 | - | 5 | 0 | 7 |
| 煤山雀 *Parus ater* | 2 | - | 6 | 4 | 12 |
| 䴓科 Sittidae | | | | | |
| 茶腹䴓 *Sitta europaea* | 1 | - | 0 | 0 | 1 |
| 啄花鳥科 Dicaeidae | | | | | |
| 紅胸啄花 *Dicaeum ignipectus* | 2 | - | 3 | 0 | 5 |
| 雀科 Fringillidae | | | | | |
| 灰鷽 *Pyrrhula erythaca* | 8 | - | 1 | 0 | 9 |
| 鴉科 Corvidae | | | | | |
| 星鴉 *Nucifraga caryocatactes* | 1 | - | 3 | 0 | 4 |
| 巨嘴鴉 *Corvus macrorhynchos* | 4 | - | 1 | 2 | 7 |
| 總種數 | 20 | | 18 | 8 | 25 |
| 總隻數 | 148 | | 79 | 35 | |
| 物種歧異度 | 0.82 | | 0.90 | 0.64 | |

表三、塔塔加地區鐵杉林鳥類相調查，1996年9-12月。

| 鳥種名 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 鶇科Turdidae | | | | | |
| 白眉林鴝*Erithacus indicus* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 栗背林鴝 *Erithacus johnstoniae* | 5 | 5 | 4 | 0 | 14 |
| 畫眉科 Timalidae | | | | | |
| 紋翼畫眉 *Actinodura morrisoniana* | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 白耳畫眉 *Heterophasia auricularis* | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 |
| 金翼白眉 *Garrulax morrisonianus* | 3 | 3 | 3 | 30 | 39 |
| 冠羽畫眉 *Yuhina brunneiceps* | 21 | 0 | 5 | 0 | 26 |
| 灰頭花翼 *Alcippe cinereiceps* | 5 | 4 | 5 | 1 | 15 |
| 鱗胸鷦鷯 *Pnoepyga pusilla* | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 山紅頭 *Stachyris ruficeps* | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 |
| 鶯科 Sylviidae | | | | | |
| 小鶯 *Cettia fortipes* | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 深山鶯 *Cettia acanthizoides* | 0 | 1 | 3 | 0 | 4 |
| 火冠戴菊鳥 *Regulus goodfellowi* | 21 | 19 | 28 | 0 | 68 |
| 鶲科 Muscicapidae | | | | | |
| 紅尾鶲 *Muscicapa ferruginea* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 山雀科 Paridae | | | | | |
| 青背山雀 *Parus monticolus* | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 |
| 煤山雀 *Parus ater* | 6 | 1 | 3 | 0 | 10 |
| 鳾科 Sittidae | | | | | |
| 茶腹鳾 *Sitta europaea* | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 啄花鳥科 Dicaeidae | | | | | |
| 紅胸啄花 *Dicaeum ignipectus* | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 雀科 Fringillidae | | | | | |
| 灰鷽 *Pyrrhula erythaca* | 5 | 7 | 6 | 0 | 18 |
| 鴉科 Corvidae | | | | | |
| 星鴉 *Nucifraga caryocatactes* | 1 | 0 | 2 | 1 | 4 |
| 巨嘴鴉 *Corvus macrorhynchos* | 0 | 3 | 9 | 0 | 12 |
| 總種數 | 14 | 12 | 13 | 4 | 20 |
| 總隻數 | 76 | 50 | 85 | 36 | |
| 物種歧異度 | 0.84 | 0.82 | 0.85 | 0.29 | |

表四、塔塔加地區箭竹草原鳥類相調查，1996年9-12月。

| 鳥種名 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 鳩鴿科 Columbidae | | | | | |
| 灰林鴿 *Columba pulchricollis* | 1 | 0 | 28 | 0 | 29 |
| 雨燕科Apodidae | | | | | |
| 小雨燕 *Apus affinis* | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 鶇科 Turdidae | | | | | |
| 栗背林鴝 *Erithacus johnstoniae* | 3 | 3 | 2 | 0 | 8 |
| 小翼鶇 *Brachypteryx montana* | 0 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 畫眉科 Timalidae | | | | | |
| 藪鳥 *Liocichla steerii* | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 白耳畫眉 *Heterophasia auricularis* | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 |
| 金翼白眉 *Garrulax morrisonianus* | 3 | 2 | 10 | 8 | 23 |
| 冠羽畫眉 *Yuhina brunneiceps* | 1 | 0 | 16 | 0 | 17 |
| 灰頭花翼 *Alcippe cinereiceps* | 0 | 7 | 12 | 13 | 32 |
| 鱗胸鷦鷯 *Pnoepyga pusilla* | 1 | 4 | 0 | 0 | 5 |
| 山紅頭 *Stachyris ruficeps* | 0 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| 鶯科 Sylviidae | | | | | |
| 褐色叢樹鶯 *Bradypterus seebohmi* | 6 | 7 | 2 | 0 | 15 |
| 小鶯 *Cettia fortipes* | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| 深山鶯 *Cettia acanthizoides* | 6 | 8 | 8 | 1 | 23 |
| 火冠戴菊鳥 *Regulus goodfellowi* | 0 | 9 | 0 | 3 | 12 |
| 山雀科 Paridae | | | | | |
| 青背山雀 *Parus monticolus* | 0 | 0 | 1 | 7 | 8 |
| 煤山雀 *Parus ater* | 3 | 8 | 0 | 8 | 19 |
| 䴓科 Sittidae | | | | | |
| 茶腹䴓 *Sitta europaea* | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 雀科 Fringillidae | | | | | |
| 朱雀 *Carpodacus vinaceus* | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 灰鷽 *Pyrrhula erythaca* | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 |
| 鴉科 Corvidae | | | | | |
| 星鴉 *Nucifraga caryocatactes* | 1 | 5 | 2 | 1 | 9 |
| 巨嘴鴉 *Corvus macrorhynchos* | 2 | 3 | 1 | 0 | 6 |
| 總種數 | 13 | 14 | 12 | 10 | 22 |
| 總隻數 | 31 | 67 | 92 | 53 | |
| 物種歧異度 | 0.88 | 0.93 | 0.82 | 0.99 | |

# Rapid clonal propagation of bamboos by tissue culture

by

HUANG Li-Chun and HUANG Bau-Lian

Institute of Botany, Academia Sinica

Nankang, Taipei, Taiwan

Summary :

Protocols were established for in vitro clonal multiplication of *Bambusa edulis* (Odashima) Keng, *B. multiplex* (Lour.) Raeusch., 2 cultivars of *B. oldhamii* Munro, *B. ventricosa* McClure, *B. vulgaris* Shrader cv. 'wamin" *Dendrocalamus latiflorus* Munro, *Phyllostachys aurea* Carr. ex **A.** et C. Riviere, *P. nigra* (Lodd.) Munro, and *Sasa pygmaea* (Miquel) E.G. Camus. Attempts to micropropagate *B. beecheyana* Munro, *P. makinoi* Hayata, and *P. pubescens* Mazel ex H. de Lahaie were unsuccessful. Shoot tips, 5 to 10 mm tall and obtained from newly emerging laterals (from terminals of *S. pygmaea*) of young culms, were used as explants. Smaller explants, 0.8 to 1.2 mm tall, were used for virus exclusion. Plant multiplication was achieved by stimulating development of axillary shoots, either directly from shoot tips or from adventitious shoots that emerged in nodular callus derived from shoot-tips, in MS (Murashige and Skoog, 1962) based media supplemented with benzyladenine (BA) and/or 1-naphthaleneacetic acid (NAA), their concentrations varying according to species. *D. latiflorus* required thidiazuron in place of BA and *P. nigra* required thidiazuron in addition to BA. Rooting of shoots usually occurred in the shoot multiplication media, but was enhanced by excluding the cytokinin. Following acclimatization in growth chambers, regenerated plants were readily transplanted in soil and established in the greenhouse. Several plants of *B. edulis*, both cultivars of *B. oldlhamii*, *D. latiflorus*, *P. aurea*, *P. nigra*, and *S. pygmaea* were distributed to commercial growers or organizations for field observations. All plants released for commercial plantings tested free of BMoV (bamboo mosaic virus). Plants from the earliest batches are now producing marketable bamboo shoots. Propagation by tissue culture of *B. ventricosa* and *B. vulgaris* cv. 'wamin' resulted in all plants losing their characteristic bulbous internodes. Most of these plants tested BMoV free. Flowering in vitro was observed among *B. multiplex, D. latiflorus* and *S. pygmaea* shoot cultures.

## Introduction

When this investigation was begun 20 years ago (see Huang, 1981) there were only two remotely related reports of bamboo tissue culture, one briefly describing aseptic germination of embryos excised from mature seeds of *Bambusa* sp. (Alexander and Rao, 1968) and another simply listing *Bambusa* sp. as one of several crops experimented with in protoplast

isolation (Tseng, Liu and Shaio, 1975). Today, one finds more than a dozen papers describing callus, cell and protoplast cultures; plant regeneration by axillary and adventitious shoots and somatic cell embryos; and flowering in vitro. We now report on clonal propagation by the intervention of tissue culture.

Our intent at the outset was to develop parasexual alternatives for bamboo breeding. We therefore employed four species, *Bambusa multiplex*, *B. oldhamii, Phyllostachys aurea* and *Sasa pygmaea*, and established their friable callus (Huang; and Murashige, 1983) and liquid suspension cultures (Huang, Chen and Huang, 1988), isolated protoplasts from cells in suspension culture (Huang, Chen and Huang, 1989), and recovered callus from protoplasts (Huang, Huang and Chen, 1989). But we were unable to regenerate plants from protolasts or friable callus. However, we were able to regenerate plants from non-friable, nodular callus that developed from similar shoot tip explants (Huang, Huang and Chen, 1989), cultured in media without using 2,4-D. The effort to regenerate plants from protoplasts is continuing because, if successful, protoplasts might be usable for somatic cell hybridization or cybridization and genetic transformation.

While the investigations on developing parasexual breeding alternatives remain in progress, we have simultaneously tried to exploit the regenerability of plants from excised shoot tips, either directly through enhanced development of axillary shoots or differentiation of adventious shoots in nodular callus, for rapid clonal propagation as well as virus exclusion. Success has been achieved with several, but not all bamboo species tried. The recalcitrant species are being investigated further.

## Materials and Methods

**Species and cultivars investigated.** The investigation concentrated on cultivated species that are mostly available on Taiwan. They included *Bambusa beecheyana* Munro; *B. edulis* (odashima) Keng; *B. multiplex* (Lour.) Raeusch; two cultivars of *B. oldhamii* Munro, one introduced recently from the U.S. and another a long established cultivar on the island; *B. ventricosa* McClure; *B. vulgaris* cv. 'Wamin'; *Dendrocalamus latiflorus* Munro (syn. *Sinocalamus latiflorus* (Munro) McClure; *Phyllostachys aurea* Carr. ex A. et C. Riviere; *P. makinoi* Hayata; *P. pubescens* Magel ex H. de Lehaie; *P. nigra* (lodd.)Munro; and *Sasa pygmaea* (Miquel) E.G. Camus (syn. *Arundinaria pygmaea* Mitford). *B. multiplex*, *B. vulgaris* 'wamin', *P. aurea, P. nigra,* and *S. pygmaea* are grown only as ornamentals. The others are desirable also for their edible shoots.

**Explants and their preparation.** Except for *S. pygmaea*, explants were obtained from newly emerging lateral shoots. For *S. pygmaea*, explants were obtained from terminals of

recently emerged and actively growing culms. The disinfestation and excision procedures were the same. Young culms, still undergoing rapid elongation, were severed from crowns of field and greenhouse plants and cut to convenient lengths. Leaf sheaths were removed to expose the clusters of emerging lateral shoots (Fig. 1). Shoot clusters were removed from culms, washed with detergent solution and rinsed with running tap water, followed by distilled water. Disinfestation was achieved by immersing shoots 10 minutes in a solution that contained 0.5% NaOC1 and 2 drops Tween 20 surfactant per 100 ml and rinsing with autoclaved distilled water. Shoot clusters were placed in sterile petri dishes and individual shoots were separated for excision of shoot tips. The shoot tip explants were 5-10 mm long, depending on the species, when used for rapid propagation, but considerably smaller, 0.8-1.2 mm, when intended for virus exclusion. All excisions were aided by a dissecting microscope. The typical explant for rapid propagation is shown in Fig. 2. One explant was planted per nutrient tube and 20 tubes were employed per treatment.

**Nutrient media.** The primary medium employed for testing all species was based on MS salts (Murashige and Skoog, 1962), supplemented with 3% sucrose, 0.25% gelrite, and, in uM: 555 i-inositol, 3 thiamine HC1, 2.4 pyridoxine HC1, 4.1 nicotinic acid, and 26.6 glycine; its pH was set at 5.7 prior to addition of gelrite. For the recalcitrant species, experiments were also carried out with $B_5$ (Gamborg, Miller and Ojima, 1968), $N_6$ (Chu et al., 1975) and AA (Thompson, Abdulla and Cocking, 1986) basal media. All experimental media were contained in 25 x 150 mm glass tubes at 25 ml per tube. Tubes were capped with polypropylene closures (Bellco kaputs). Except for possibly thermo-labile addenda,,media were sterilized by autoclaving 10 minutes at 1 kg $cm^{-2}$, or 121 ℃, and cooled as 30° slants. Heat-labile ingredients were prepared as concentrated solutions, cold-sterilized by membrane filtration, then added in prescribed volumes to tubes containing autoclaved components. Cultures were placed on plastic racks designed to hold tubes as 30° slants (Limited Plastics, Lemon Cove, CA).

For most species, the experiments involved testing the effects of variations in the auxin NAA (1-naphthaleneacetic acid) and the cytokinin BA ($N_6$-benzyladenine) addenda. NAA concentrations were varied exponentially from 0.54 to 54 uM, and BA from 1.33 to 133 uM. For recalcitrant or difficult species we also experimented with additional auxins and cytokinins, including picloram in concentrations from 0.008 to 8 uM, 2ip ($N_6$-isopentenyladenine) and zeatin in levels ranging from 1.48 to 148 uM, and thidiazuron from 0.0045 to 450 uM. $GA_3$ (gibberellic acid) in 0.41 and 4.1 uM and coconut milk, the liquid endosperm from immature *Cocos nucifera* fruits, in 15% v/v concentration, were also tested.

For species, the excised tissues of which deteriorated prematurely by browning, we experimented with substances that might inhibit or reduce polyphenolase, or

polyphenoloxidase, activity. This was based on the assumption that browning was caused by reaction products of the enzyme. The substances tested were ascorbic acid, cysteine, ferulic acid, kojic acid, PVP (polyvinylpyrrolidine), and thiourea, in exponentially increasing concentrations from 0.3 to 30 mM.

Paclobutrazol was tested in rooting media at levels of 2.5 to 10 ppm.

Benzoic, chlorogenic and salicylic acids in concentrations from 0.3 to 3000 uM were examined for effects on in vitro flowering of *Sasa pygmaea*.

**Culture temperature and illumination.** Cultures were incubated at 25-270 C and under 16-hour daily exposure to 45 umol $m^{-2}s^{-1}$ illumination from Toshiba FL-40SBR/38 fluorescent lamps.

**Lengths of experimental passage and subculture periods.** Experiments usually lasted 4 weeks, after which data were collected on surving explants, intensity of browning and new shoots, and observations were made of nodular callus formation. Stock cultures of axillary shoots and nodular callus were maintained by subculturing at 4 to 6 week intervals.

**Rooting of shoots and acclimatization.** Rooting was achieved by transferring clusters of 3-5 shoots to rooting medium. Rooted shoots were potted in a 2:2:1 mixture peat, vermiculite and perlite and subjected to acclimatization in growth chambers, where the relative humidity was successively lowered in 5% increments, from 95 to 80%, every 5-7 days.

**Virus indexing.** Plants regenerated through tissue culture were tested for BoMV content by Institute of Botany colleague, Dr. Na-Sheng Lin, employing SSEM (specific serology electron microscopy).

## Results

Rapid increase of axillary shoots was attained with 9 of the 12 species. Shoot tip explants of *B. beecheyana, P. makinoi* and *P. pubescens* enlarged slightly, but quickly turned brown and died. Replacing MS with $B_5$, $N_6$ and AA, using zeatin or thidiazuron in place of BA, and picloram instead of NAA, and adding coconut milk and $GA_3$ failed to enable culturing of the 3 recalcitrant species.

Shoot tip cultures of most bamboo species displayed browning. However, the severity of browning and the frequently associated growth retarding and toxic effects were not equally intense. Most species showed only minimal browning and were readily subculturable. In

others, e.g., *P. nigra*, tissues discolored severely, yet were readily subculturable and shoot proliferation was sustainable. *D. latiflorus* browned severely and was not as readily subculturable. The rapid and severe browning, frequently attributed to high polyphenolase activity, possibly caused the failures of *B. Beecheyana, P. makinoi*, and *P. pubescens* cultures. However, polyphenolase suppressing agents such as ascorbic acid, cysteine, ferulic acid, kojic acid, PVP, and thiourea all failed to reduce browning or enhance survival.

Table 1 lists the successfully propagated species, together with their method of shoot multiplication and favorable phytohormonal supplements. Multiplication by enhanced development of axillary shoots was common to all species (see Fig.3 for example). But with *B. oldhamii, B. multiplex, D. latiflorus, P. aurea*, and *S. pygmaea*, the excised shoot tips also developed a nodular callus, from which adventitious shoots emerged when left unsubcultured over extended periods (Fig. 4). When isolated and transferred to fresh medium the adventitious shoots usually proliferated further as axillary shoots. Nodules were increased only by subculturing at timely intervals. The common phytohormonal supplement for shoot multiplication of all species was BA, the effective concentrations of which ranged from 4.4-13.3 uM. *P. aurea* required a much higher concentration, or 44 uM. Shoot multiplication of *P. nigra* was improved by an additional supplement of the very potent cytokinin, thidiazuron, in a 0.0045 uM concentration. For *D. latiflorus* the BA had to replaced completely by 0.045 uM thidiazuron. This species also responded favorably to a coconut milk addendum. An additional NAA supplement of 5.4 uM was favorable for shoot multiplication of most species, although *B. ventricosa, B. vulgaris* var. 'wamin' and *P. nigra* developed well without NAA. The multiplication rates averaged a 4-5 increase in axillary shoots every 4-6 weeks.

*B. edulis* shoots rooted in shoot multiplication medium; thus, phytohormonal supplements specially intended for rooting were unnecessary. Other species also rooted in shoot multiplication media, but rooting was improved by excluding the cytokinin. Rooting of *P. nigra* required dipping shoots in 5 mM IBA (indole-3-butyric acid) for 10 minutes prior to transferring to rooting medium. BA was included in the *P. nigra* rooting medium to help retain its green foliage. All concentrations of paclobutrazol inhibited shoot growth as well as rooting.

All, i.e., 100% of, acclimatized plants survived transplanting in soil and establishment in the greenhouse.

Most plants obtained through tissue culture, whether from the larger or smaller excised shoot tips, tested free of bamboo mosaic virus. The BoMV-tested *B. oldhamii* plants are being grown in commercial fields for comparison with plants that were propagated by

conventional methods and are therefore probably infected with virus. Figure 5 shows a BoMV tested *B. edulis* plant about a year after establishment in the field. BMoV-free plants appeared to grow more vigorously and produced more culms than non-tissue cultured plants.

Fig. 6 shows a commercial planting of tissue culture derived *B. oldhamii* plants after 3 years in the field. Many culms had been removed by the farmer to force emergence of edible shoots. Subsequently harvested shoots can be seen in Fig. 7.

Of more than 100 plants observed, all tissue culture derived *B. ventricosa* and *B. vulgaris* cv. 'wamin' failed to reproduce their species-specific bulbous internodes. The original plants tested positively for BMoV, whereas most plants from tissue culture tested negatively. The original and tissue culture derived *B. vulgaris* cv. 'wamin' plants can be seen in Fig. 8.

Flowering was observed among *B. multiplex, D. latiflorus* and *S. pygmaea* shoots that developed in vitro (See Figs. 9a-c). The flowering of *S. pygmaea* occurred in unison in all cultures, whereas those of *B. multiplex* and *D. latiflorus* were sporadic and evident in only a few cultures. The flowering shoots died, whereas the unflowered shoots continued to proliferate vegetatively. The unbloomed *S. pygmaea* shoots were multiplied for flower inducing experiments. Nutrient supplementation with benzoic, chlorogenic and salicylic acids, singly and in combinations, failed to induce flowering.

## Discussion

The investigation disclosed that the bamboo species *B. edulis, B. oldhamii, B. multiplex, B. ventricosa, B. vulgaris, D. latiflorus, P. aurea, P. nigra,* and *S. pygmaea* can be reproduced clonally in vitro. The plant multiplication was achieved through enhanced development of axillary shoots, either directly from excised shoot tips or from adventitious shoots that emerged from nodular callus. Shoot tips, 5-10 mm tall, were cultured in MS based media supplemented with 4.4-13.4 uM BA and/or 5.4 uM NAA. For some species, particularly *D. latiflorus*, the cytokinin thidiazuron was more effective than BA. Rooting of shoots occurred in the shoot-proliferating media, but more readily in media specially formulated by excluding cytokinin and adding NAA. Plants acclimated by gradual lowering of relative humidity were readily establishable in the greenhouse. Several plants of *B. edulis, B. oldhamii, D. latiflorus, P. aurea, P. nigra,* and *S. pygmaea* have been distributed to commercial farms or organizations for observations and some edible species have already produced marketable bamboo shoots. A similar protocol has been employed by other investigators to micropropagate other bamboo species, e.g., *B. tulda* Roxb. by Saxena (1990), *D. longispathus* Kurtz. by Saxena and Bhojwani (1993) and diverse genera and species by Prutpongse and Gavinlertvana (1992). In each case, excised shoot tips were also employed as explants and axillary shoot proliferation was achieved in MS based media containing

varying levels of cytokinin and/or auxin. Prutpongse and Gavinlertvana (1992) used 22 uM BA, whereas Saxena and Bhojawani (1993) employed a combinations of 12 uM BA and 3 uM kinetin or 15 uM BA, 1 um IBA (indole-3-butyric acid) and 10% coconut milk, and Saxena (1990) utilized a combination of 8 uM BA and 4 uM kinetin. Rooting was also achieved in media in which cytokinins had been excluded and auxins were added, e.g., 5.4 uM NAA (Prutpongse and Gavinlertvana, 1992), or either a combination of 1 uM IAA, 1 uM IBA and 68 uM coumarin (Saxena and Bhojawani, 1993) or a combination of 10 uM IAA and 68 uM coumarin (Saxena, 1990). Coumarin was believed to enhance the auxin effect on rooting (Saxena, 1990).

Severe and rapid browning of explants may have been the primary reason for recalcitrance of *B. beecheyana, P. makinoi* and *P. pubescens.* Unfortunately, no effectively counteracting nutrient addendum has been found. Diverse basal media formulations and supplements have been unable to reduce or retard tissue browning. With some species, browning has been moderated by transferring to fresh medium more frequently. The problem is sufficiently significant to merit intensive study.

Some investigators prefer asexual embryogenesis as the method of reproducing bamboo plants rapidly. They reported of having attained embryogenesis in callus derived from zygotic embryos of mature seeds, e.g., of *D. strictus* (Rao, Rao and Narang, 1985), *D. latiflorus* (Yeh and Chang, 1987) and *Olatea acuminaata aztecorum* (Woods et al., 1992). Unfortunately, the phenotype of plants arising from zygotic embryo explants will not be known until they mature; thus, this procedure is not acceptable if the objective is to clonally reproduce established cultivars.

Somatic cell embryos arising from maternal inflorescence tissues as reported for *B. oldhamii* (Yeh and Chang, 1986a) and *B. beecheyana* v. *beecheyana* (Yeh and Chang, 1986b) make a better case for rapid clonal propagation. But these remain as exceptional examples and cannot be considered generally useful, simply because flowering among bamboos occurs too rarely and inflorescence explants are not always available.

Somaclonal variants are not uncommon among plants reproduced by tissue culture. Nevertheless, a variance incidence of 100% as observed among *B. ventricosa* and *B. vulgaris* cv. 'wamin' plants is unusual and unexpected. Infection by a specific virus could be the cause of the bulbous internodes, since most micropagated plants tested negatively for BMoV, while the original plants were positive. But the relationship between presence of virus and bulbous internodes may be purely coincidental.

By coupling with rigorous pathogen indexing, tissue culture can be an effective and fairly easy method of excluding viruses and reducing their unfavorable impact on bamboo crops. In this investigation, even the larger shoot tip explants produced plants that tested free of BMoV. The field observations currently under way should be able to disclose how long the virus-free status can be retained and whether benefits can be expected in the form of increased yield and improved quality of bamboo shoots.

Flowering of bamboos in vitro is apparently not very rare. Others have also made the observation, e.g., in *D. arundinacea* and *D. brandisii* (Nadgauda, Parasharami and Mascarenhas, 1990) and *D. hamiltonii* (Chambers, Heuch and Pirrie, 1991). In our ivestigation, the flowering of *S. pygmaea* shoots occurred in unison, but not that of *B.multiplex* or *D. latiflora*. our initial effort to induce flowering of vegetative *S. pygmaea* shoots with substances known to stimulate flowering of some other plants failed. Thus, at this time we are unable to offer a satisfactory basis for the flowering of bamboo cultures.

**Acknowledgements.** The investigations reported were made possible by research grants 82AST-1.1-FAD-56 from the Council of Agriculture and NSC76-0201-Bo01-25 from the National Science Council, Taipei.

References

Chambers, S.M., J.H.R. Heuch, and A. Pirrie. 1991. Micropropagation and in vitro flowering of the bamboo *Dendrocalamus hamiltonii* Munro. Plant Cell Tissue Organ Culture 27:45-48.

Chu, C.C., C.C. Wang, C.S. Sun, C. Hsu, K.C. Yin, and C.Y. Chu. 1975. Establishment of an efficient medium for anther culture of rice through comparatiave experiments on the nitrogen sources. Sci. Sinica 18:659-668.

Gamborg, O.L., R. A. Miller, and K. Ojima. 1968. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. Exp. Cell Res. 50:151-158.

Huang, L.-C. 1981. Tissue culture investigations of bamboo (Bambusoideae, Poaceae). PhD Dissertation, University of California, Riverside.

Huang, L.-C., and T. Murashige. 1983. Tissue culture investigations of bamboo. I. Callus cultures of *Bambusa*, *Phyllostachys* and *Sasa*. Bot. Bull. Academia Sinica 24:31-52

Huang, L.-C., W.-L. Chen, and B.-L. Huang. 1988. Tissue culture investigations of bamaboo. II. Liquid suspension cultures of *Bambusa*, *Phyllostachys* and *Sasa*. Bot. Bull. Academia 29:177-182

Huang, L.-C., W.-L. Chen, and B.-L. Huang. 1989. Tissue culture investigations of bamboo. III. A method for viable protoplast isolation from *Bambusa* cells of liquid suspension culture. Bot. Bull. Academia Sinica 30:49-57.

Huang, L.-C., B.-L. Huang, and W.-L. Chen. 1989. Tissue culture investigations of bamboo. IV. Organogenesis leading to adventitious shoots and plants in excised shoot apices. Env. Exp. Bot. 29:307-315.

Huang, L.-C., B.-L. Huang, and W.-L. Chen. 1990. Tissue culture investigations of bamboo. V. Recovery of callus from protoplasts of suspension-cultured *Bambusa* cells. Bot. Bull. Academia Sinica 31:29-34.

Murashige, T., and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15:473-497.

Nadgauda, R.S., V.A. Parasharami, and A.F. Mascarenhas. 1990. Precocious flowering and seeding behaviour in tissue-cultured bamboos. Nature 344:335-336.

Prutpongse, P., and P. Gavinlertvatana. 1992. In vitro micropropagation of 54 species from 15 genera of bamboo. HortSci. 27:453-454.

Rao, L.U., I.V.R. Rao, and V. Narang. 1985. Somatic embryogenesis and regeneration of plants in the bamboo *Dendrocalamus strictus*. Plant Cell Rpts. 4:191-194.

Saxena, S. 1990. In vitro propagation of the bamboo (*Bambusa tulda* Roxb.) through shoot proliferation. Plant Cell Rpts. 9:431-434.

Saxena, S., and *S. S.* Bhojwani. 1993. In vitro clonal multiplication of 4-year-old plants of the bamboo, *Dendrocalamus longispathus* Kurz. In Vitro Cell Dev. Biol. 29P:135-142.

Thompson, J. A., R. Abdullah, and E. C. Cocking. 1986. Protoplast culture of rice (*Oryza sativa* L.) using media solidified with agarose. Plant Sci. 47:123-133.

Woods, W.H., G.C. Phillips, J.E. Woods, and G. B. Collins. 1992. Somatic embryogenesis and plant regeneration from zygotic embryo explants in mexican weeping bamboo, *Otatea acuminata aztecorum*. Plant Cell Rpts. 11:257-261.

Yeh, M.-L., and W.-C. Chang. 1986a. Plant regeneration through somatic embryogenesis in callus culture of green bamboo (*Bambusa oldhamii* Munro). Theor. Appl. Genet. 73:161-163.

Yeh, M.-L., and W.-C. Chang. 1986b. Somatic embryogenesis and subsequent plant regeneration from inflorescence callus of *Bambusa beecheyana* Munro va. beecheyana. Plant Cell Repts 5:409-411.

Yeh, M.-L., and W.-C. Chang. 1987. Plant regeneration via somatic embryogenesis in mature embryo-derived callus culture of *Sinocalamus latiflora* (Munro) McClure. Plant Sci. 51:93-96.

Figure Legends

1. Nodal segment of young *B. oldhamii* culm with sheath removed to expose cluster of emerging lateral shoots. Each shoot as shown on right was used as source of shoot tip explant.

2. *P. aurea* shoot tip freshly excised from emerging lateral shoot and used as explant. 16X magnification.

3. Axillary shoot proliferation in excised *B. edulis* shoot tip cultured in MS medium supplemented with 13.4 uM BA and 5.4 uM NAA.

4. Nodular callus obtained from *B. multiplex* shoot tip cultured in MS medium supplemented with 4.4 uM BA and 5.4 uM NAA. Adventitious shoots can be seen arising in both cultures.

5. BMoV-testd *B. edulis* plants in commercial field for comparison with conventionally propagated and possibly virus-infected plants.

6. Tissue culture derived *B. oldhamii* plants established on commercial farm. Many older culms were removed by the farmer to force emergence of edible shoots.

7. Marketable bamboo shoots produced by tissue culture derived *B. oldhamii* plants.

8. *B. ventricosa* plants showing lost of bulbous internode trait when propagated by tissue culture. All micropropagated plants of this species and of *B. vulgaris* cv. 'wamin' showed the phenotypic deviation. All plants were derived from axillary shoots.

9. Flowering in vitro of (a) *B. multiplex*, (b) *D. latiflorus* and (c) *S. pygmaea* shoot cultures. Flowering has not yet been observed in the original plants of *B. multiplex* and *pygmaea*, now over 20 years old.

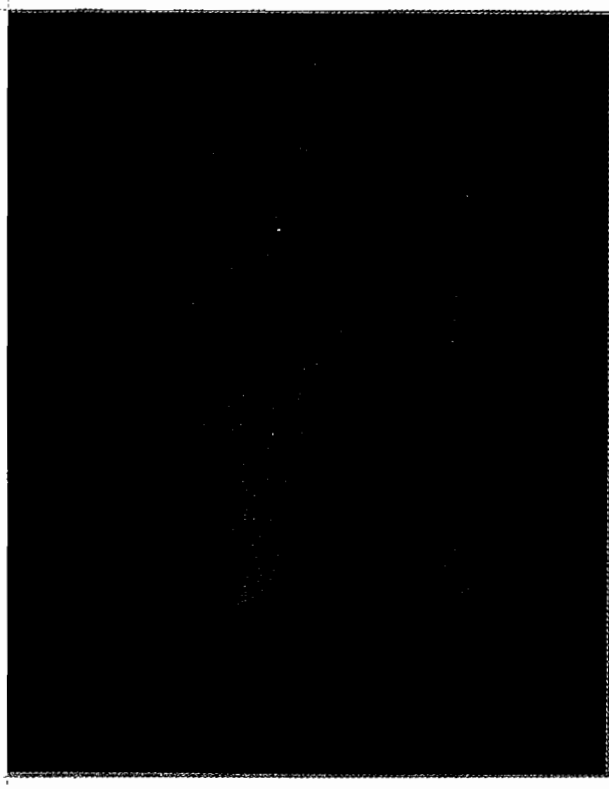


Figure 1

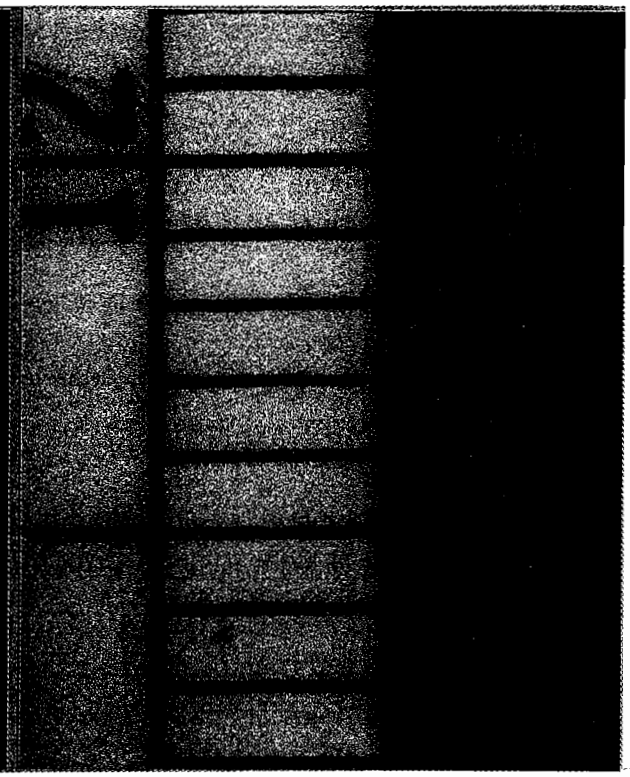


Figure 2

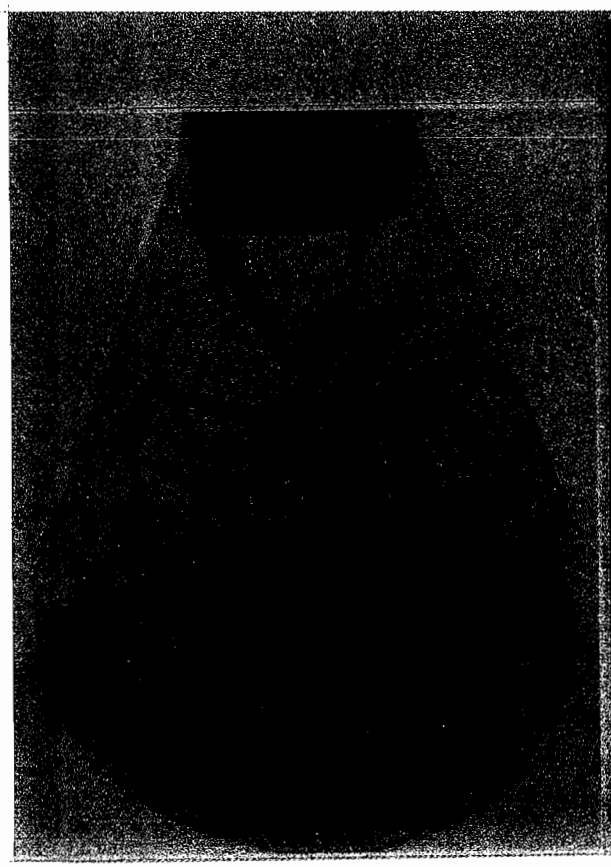


Figure 3

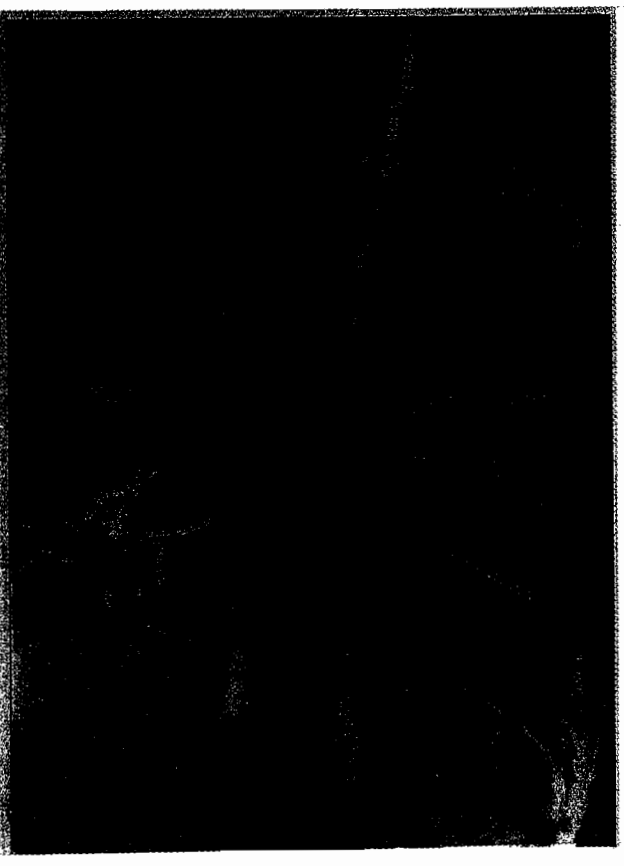


Figure 4

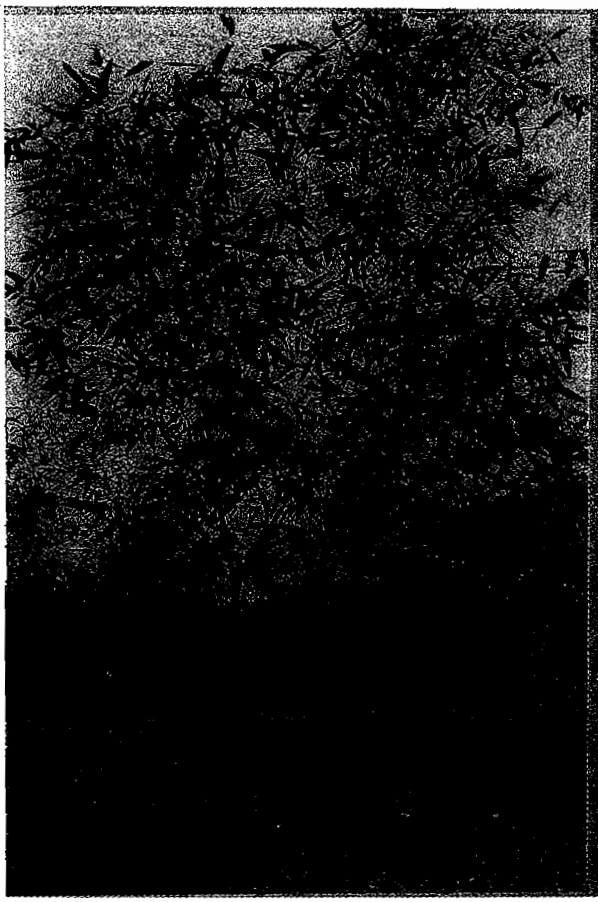


Figure 5

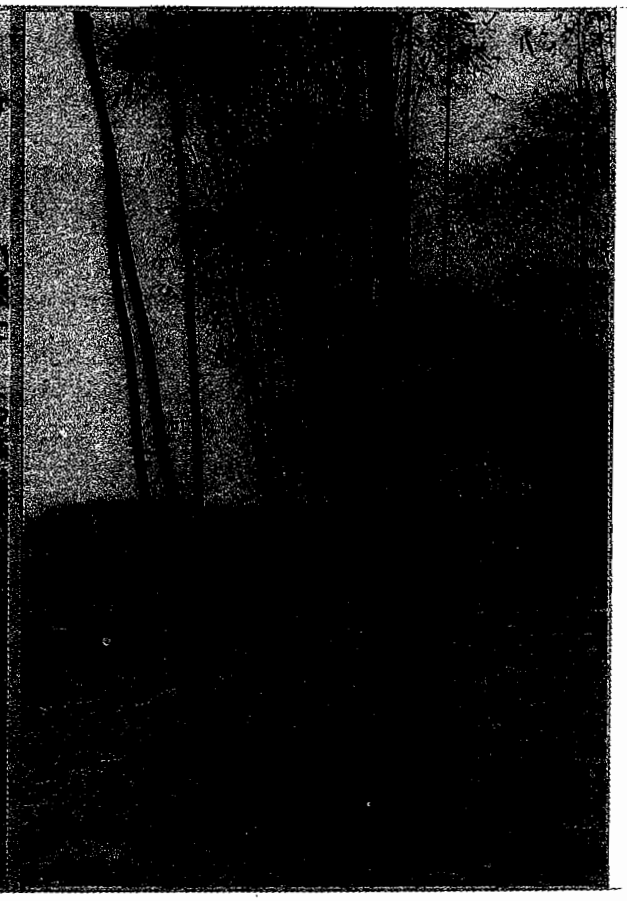


Figure 6

Figure 7

Figure 8

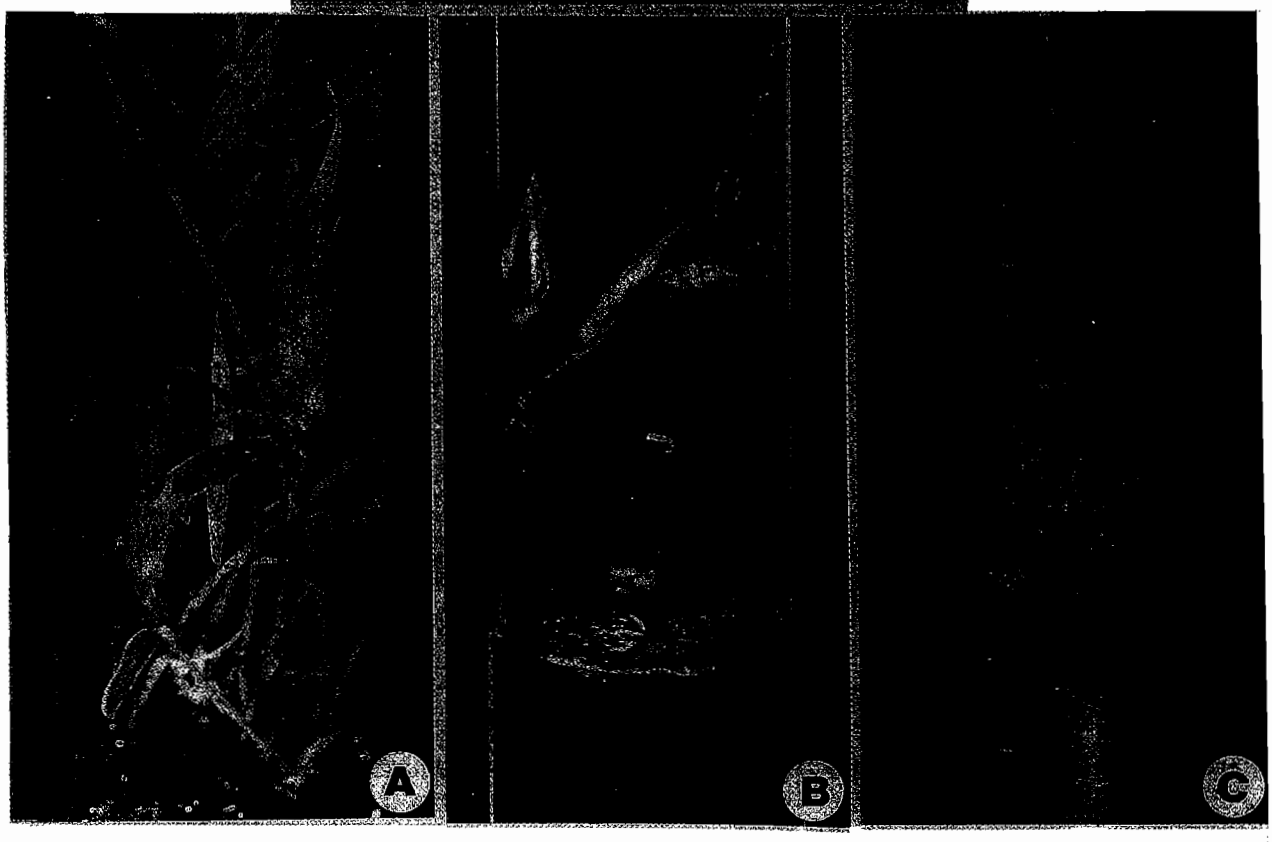



Figure 9

Table 1. Bamboo species successfully propagated clonally by tissue culture. US = US cultivar, Taiwan = Taiwan cultivar.

| Species | Method of shoot multiplication | uM Hormonal supplement for shoot multiplication | uM Hormonal supplement for rooting | Current status of plants | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Greenhouse | Farms |
| *B. edulis* | axillary | 13.4 BA + 5.4 NAA | 13.4 BA + 5.4 NAA | yes | yes |
| *B. oldhamii* (US) | axillary & adventitious | 4.4 BA + 5.4 NAA | 5.4 NAA | yes | yes |
| *B. oldhamii* (Taiwan) | axillary & adventitious | 4.4 BA | 5.4 NAA | yes | yes |
| *B. multiplex* | axillary & adventitious | 4.4 BA + 5.4 NAA | 5.4 NAA | yes | no |
| *B. ventricosa* | axillary | 4.4 BA | none | yes | no |
| *B. vulgaris* cv. 'wamin' | axillary | 4.4 BA | none | yes | no |
| *D. latiflorus* | axillary & adventitious | 0.045 TZ | 0.045 TZ | yes | yes |
| *P. aurea* | axillary & adventitious | 44 BA 5.4 NAA | 5.4 NAA | yes | yes |
| *P. nigra* | axillary | 13.3 BA + 0.0045 TZ | 13.3 BA + 5.4 NAA | yes | yes |
| *S. pygmaea* | axillary & adventitious | 4.4 BA + 5.4 NAA | 5.4 NAA | yes | yes |

# 林木原生質體培養

許智宏[1]

摘　要：

植物原生質體培養在過去的 20 多年中已取得了不少重要的進展，至今已有約 370 種高等植物的原生質體培養再生植株獲得成功（許智宏，薛紅衛， 1997 ）。木本植物原生質體培養通常比較困難，但在近年也已取得長足的進步，由原生質體再生植株的木本植物現已有 40 多種。作者實驗室自 80 年代末即開始進行林木樹種的原生質體培養研究 ，並期望將此技術用於林木的遺傳改良。在利用毛白楊（ *Populus tomentosa* )試管苗的葉片分離原生質體，經培養獲得成功後，又用泡桐（ *Paulownia fortunei* ）、懸鈴木（ *Platanus orientalis* )和桑（ *Morus alba* )先後獲得成功。我們的研究表明，對於木本雙子葉植物，利用無菌增殖的試管苗的葉片分離原生質體，取材均一，生長條件易於控制，既不必擔心材料的污染，原生質體的產率也高；採用較高密度的液體淺層培養，由原生質體再生的細胞易於啓動分裂和細胞團（ Cell colony ）形成；原生質體形成的細胞團在增殖過程中所用培養基的激素對隨後的分化具有明顯的影響。作者討論了原生質體技術應用於林木遺傳改良方面的意義。

自從 1971 年首次由煙草原生質體培養獲得再生植株成功以後，植物原生質體的研究有了迅速的發展。由於原生質體沒有細胞壁使之適合於進行多種在細胞水平上的遺傳操作（ genetic manipulation )如細胞融合、細胞器移植、外源基因的導入（ gene transfer ）等。同時，由於原生質體保持著植物細胞的各種生理功能，在培養中可以再生出新的細胞壁，隨後進行細胞分裂形成細胞團（ cell colony ）進而通過胚胎發生（ embryogenesis ）或器官形成（ organogenesis ）途徑再生形成完整植株，所以原生質體也爲研究很多細胞生理過程、細胞壁的再生、細胞分裂以及植物細胞的全能性（ totipoteney ）提供了很好的實驗系統。據作者 1995 年統計，已有約 370 種高等植物的原生質體再生植株獲得成功（許智宏，薛紅衛， 1997 ）。雖然本本植物的原生質體培養研究開始也並不晚（參看 Ahuja ， 1984 ），但通常比較困難，因此進展緩慢。然而在過去 20 多年中，隨著植物原生質體培養技術的改進以及在其他植物上積累的經驗，已使木本植物原生質體培養在近年也取得了長足的進步。再生植株成功的種類（包括果樹）已有 40 多種（見表 1 ）。本本植物中最早取得成功的是芸香科的柑桔類植物，由於珠心組織在組織培養中很容易誘導形成胚性癒傷組織，從這種癒傷組織分離原生質體，已使多種芸香科植物獲得了原生質體的再生植株。近年在松科植物方面的進展也得益於胚性懸浮培養細胞系的建立。在其他雙子葉木本植物的原生質體培養研究中，分離原生質體所用的材料相當多樣化。根據報導的資料和我們的經驗。利用無菌苗的葉片分離原生質體，是多種雙子葉木本植物原生質體培養成功的重要因素之一。

[1] （中國科學院上海植物生理研究所）

表 1.原生質體培養中再生植株成功的木本植物種類

| 植物种类 | 原生质体来源 | 再生植株的类型 | 文献 |
|---|---|---|---|
| *Actinidiaceae* (猕猴桃科) | | | |
| *Actinidia chinensis* (中华猕猴桃) | SC | CP | Mii & Ohashi,1988 |
| | C | CP | 尚尊安等,1992 |
| *A.deliciosa* (美味猕猴桃) | C | CP | Tsai(蔡起贵),1988; Oliveria & Pais,1991; 尚尊安等,1992 |
| *A.eriantha* (毛花猕猴桃) | L | CP | 张远记等,1995 |
| *Apocynaceae* (夹竹桃科) | | | |
| *Rauvolfia vomitoria* (催吐萝美木) | LSC | EP | Guiller & Chenieux,1991 |
| *Magnoliaceae* (木兰科) | | | |
| *Liriodendron tulipifera* (北美鹅掌楸) | ESC | EP | Merkle & Sommer,1987 |
| *Malvaceae* (锦葵科) | | | |
| *Hibiscus syriacus* (木槿) | C | CP | Zhao & Yao,1993 |
| *Moraceae* (桑科) | | | |
| *Broussonetia kazinoki* (构树) | LSC | CP | Oka & Lhyama,1985 |
| *Morus alba* (桑) | LSC | CP | 卫志明等,1992,1994 |
| *Oleaceae* (木樨科) | | | |
| *Forsythia* X *intermedia* | LSC | CP | Ochatt,1994 |
| *Pinacea* (松科) | | | |
| *Abies alba* (欧洲冷松) | SC | E | Hartmann 等,1992 |
| *Cathaya argyrophylla* (银杉) | ESC | E | Lang & Kohlenbach,1989 |
| *Larix* X *eurolepis* (落叶松) | EC,SC | EP | Klimaszewska,1989 |
| *L.*X *europeopis* (杂种落叶松) | ESC | E | Klimaszewska,1989 |
| *Picea abies* (欧洲云杉) | ESC | E | Gupta 等,1990 |
| *P.glauca* (白云杉) | ESC | EP | Attree 等,1987,1989 Klimaszewska,1989 |
| *P.mariana* (黑云杉) | ESC | E | Tautorus 等,1990 |
| *Pinus caribaea* (加勒比松) | ESC | E | Laine & David,1990 Klimaszewska,1989 |
| *P.tacda* (火炬松) | ESC | E | Gupta & Durzan,1987 |
| *Pseudotsuga menziesii* (花旗松) | ESC | E | Gupta 等,1988 |
| *Platanaceae* (悬铃木科) | | | |
| *Platanus orientalis* (悬铃木) | LSC | CP | 卫志明等,1991 |
| *Rosaceae* (蔷薇科) | | | |
| *Malus* X *domestica* (苹果) | L | CP | Patartt-Ochatt 等,1988; Wallin & Johansson,1989 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | L | CP | Perales & Schieder,1993 |
| | Sh(Cul) | CP | Patat-Ochatt,1994 |
| *M.pumila cv."Starkrimsou"* (苹果"新红星") | SC | CP | 丁爱萍等,1994 |
| *Prunus avium* X *P. pseudocerasus* | LSC | CP | Ochatt 等,1987 |
| *P.cerasifera* (樱桃李) | LSC | CP | Ochatt 等,1992 |
| *P.cerasus* (酸樱桃) | L | CRP | Ochatt & Power,1988 |
| *P.erasus* | C | CP | Ochatt,1990 |
| *P.spinosa* | LSC | CP | Ochatt,1992 |
| *Pyrus communis* (西洋梨) | LSC | CP | Ochatt & Power,1988 |
| *P.communis var.Pyraster* (野生梨) | L | CP | Ochatt & Caso,1986 |
| *Rubiaceae* (茜草科) | | | |
| *Coffea canephora* (中果咖啡) | SC | EP | Schopke 等,1987 |
| *Rutaceae*(芸香科) | | | |
| *Citrus aurantium* (酸橙) | NC | EP | Vardi & Spiegel-Roy,1982 |
| *C.limon* (柠檬) | NC | EP | Vardi & Spiegel-Roy,1982 |
| *C.mitis* | ESC | EP | Sim 等,1988 |
| *C.paradisi* (葡萄柚) | NC | EP | Vardi & Spiegel-Roy,1982 |
| *C.reticulata* (桔) | NC | EP | Vardi & Spiegel-Roy,1982 |
| *C.sinensis* (甜橙) | NC | EP | Vardi 等,1975<br>Vardi & Spiegel-Roy,1982<br>Kobyashi 等,1983<br>邓秀新等,1988 |
| *Foetunella hindsii* (山金桔) | NC | EP | 邓秀新等,1989 |
| *Microcitrus australis* X *M.australasica* | NC | EP | Vardi 等,1986 |
| *Microcitrus sp.* (指桔) | NC | EP | Vardi 等,1983 |
| *Salicaceae* (杨柳科) | | | |
| *Populus alba* X *P.grandidentata* | L | CP | Russel & McCown, 1986,1988 |
| *P.deltoides* X *P.simonii* | LSC | CP | 王彭等,1995 |
| *P.nigra* X *P.maximowiczii* | LSC | CP | Park & Son,1992 |
| *P.nigra* X *P.trichocarpa* | L | CP | Russell & McCown, 1986,1988 |
| *P.simonii* (小叶杨) | LSC | CP | Wang(王彭)等,1995 |
| *P.tomentosa* (毛白杨) | LSC | CP | 王善平等,1990 |
| *P.tremula* (欧洲山扬) | L | CP | Russell & McCown, 1986,1988 |
| *P.tremula* X *P.simonii* | L | CP | Wang 等,1995 |
| *Santalaceae* (檀香科) | | | |
| *Santahum album* (檀香) | C | EP | Bapat 等,1985 |
| | SC | EP | Rao & Ozias-Akins,1985 |
| *Sapindaceae* (无患子科) | | | |
| *Dimocarpus longan* (龙眼) | EC | EP | 王锋等,1992 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Scrophulariaceae* (玄参科) | | | |
| *Paulownia fortunei* (泡桐) | LSC | EP | Wei(卫志明)等,1991 |
| *Solanaceae* (茄科) | | | |
| *Lycium barbarum* (枸杞) | LSC | CP | Ratushnyak 等,1989 |
| *Solanum dulcamara* (欧伯荚) | L | CP | Binding & Nehls,1977 |
| *Ulmaceae* (榆科) | | | |
| *Ulmus* X *"Pioneer"*(先锋榆) | C | CP | Sticklen 等,1986 |

原生質體來源： C-癒傷組織； EC-胚性癒傷組織； ESC-胚性懸浮培養物； L-葉片； LSC-試管苗或無菌幼苗的葉片； NC-珠心癒傷組織； SC-懸浮培養細胞； Sh(cul ）-組織培養苗（ shoot ）。

再生植株的類型： CP-由癒傷組織形成芽後，再生成完整植株； CRP-癒傷組織形成根，再由根產生芽，而後再生成完整植株； E-僅形成胚狀體； EP-通過體細胞胚胎發生途徑，再生成完整植株。

作者的實驗室從 80 年代末起即開始從事林木的原生質體培養研究。利用無菌苗的葉片分離原生質體， 1990 年首先在毛白楊（ *Populus tomentosa* )上獲得了再生植株（王善平等， 1990 ），隨後在泡桐（ *Paulownia fortunei* ，衛志明等， 1991 ）、懸鈴木（ *Platanus orientalis* ，衛志明， 1991 ），桑樹（ *Mrous alba* ，衛志明等， 1992 ， 1994 ）上也相繼獲得了成功。我們和南京林業大學的合作者從小葉楊屬（ *Populus simonii* ， Wang 等， 1995 ）和 NL-80106 雜種楊（ *P.deltoides* × *P.simonii* ，王影等， 1995 ）的原生質體培養也成功地得到了再生植株。在上述成功的植物種類中，除了小葉楊是用懸浮培養細胞作爲分離原生質體的材料外，其他植物均是以無菌苗的葉片作爲材料。利用無菌條件下增殖的試管苗伸展的幼嫩葉片，分離原生質體，其優點是取材均一，生長條件易於控制，不必擔心材料的污染，並且原生質體的產率也高。在酶液中加入低濃度的 Pectolyase Y 23 ，在所試的好幾個植物種中都表現出良好的效果，纖維素酶通常用 Onozuka Rl0 ，有些種則需用 Onozuka RS 效果更好，所試各樹種所用酶液的組成見表 2 。

表2.分離原生質體所用的酶的種類和濃度

| | Cellulase R10 | Cellulase RS | Macerozyme R10 | Pectolyase Y23 | Sigma hemicellulase |
|---|---|---|---|---|---|
| 毛白楊 | 2% | | 0.5% | | |
| 小葉楊 | 1% | 0.5% | 1% | 0.1% | |
| 雜種楊 NL80106 | 2% | | 1% | 0.1% | |
| 泡桐 | | 2% | 0.3% | 0.1% | 2% |
| 懸鈴木 | 2% | | 0.5% | | |
| 桑 | 1% | | 1% | 0.05% | |

所試不同種木本植物的原生質體的培養均以液體淺層培養爲佳。但顯示出的最適培養密度在不同種中有明顯差異。懸鈴木、雜種楊、小葉楊的原生質體，在較高密度（ $10^6$ ／ m1 ）培養時分裂較快，分裂頻率高。桑樹原生質體培養則表現需用較低的密度（ 5 × $10^4$ ／ m1 ）。原生質體採用較高密度的液體淺層培養，通常具有易於啓動分裂和分化，以及實驗結果重覆性好等優點。但缺點是加不及時轉移培養，則易於褐化（ browning ），導致生長停止甚至死亡。這在泡桐中尤爲明顯。但在培養 14 天後，加入含有抗壞血酸和 PVP 各 5mg/l 的新鮮培養基，有助於防止褐化，從而有利於細胞的持續分裂、細胞團形成(Wei 等， 1991 ）。在所試的 6 種木本植物中，培養基均以 KM8P 或 K8P 爲好，激素組成僅有微小的差異，基本上是 2,4-D ， NAA ， BA 或 KT 。將形成的細胞團或小癒傷組織及時轉移至增殖培養基上，使之形成結構細密的癒傷組織。這對於隨後誘導分化十分重要。增殖培養基可採用 MS 或 MSB （ MS 無機成分＋ $B_5$ 有機成分）培養基，通常都含有較低濃度的 NAA 和 BA 。文獻中，對於有些木本植物要用特殊的激素( 如 TDZ ， thidiazuron)處理才能誘導形成芽(Russell 和 McCown， 1988 )，而在我們的研究中，並沒有表現出有特殊的需求，但不同種類之間芽分化頻率有很大的差異（見表 3 ）。 NL80106 雜種楊在多種分化培養基上均表現出 100 %的分化率（王影等， 1995 ）。

所試的 6 種植物由原生質體再生的苗（ shoot ），均可在 1 ／ 2 MS 培養基上誘導根的形成。對於 3 種楊樹，無需加入任何激素，懸鈴木和桑樹需加入 0.5mg/lIBA 和 0.1mg/l BA ，而泡桐則需加入 0.5mg/l IBA 和 0.1mg/l GA 。

利用原生質體進行植物細胞的遺傳操作的前提是必須建立高效的原生質體再生植株的實驗系統。木本植物漫長的生活周期往往使研究者望而生畏，而越來越多種木本植物的成功已促使不少研究者試圖利用原生質體技術來改良林木樹種。在栽培作物方面，原生質體已廣泛用於細胞融合獲得體細胞雜種，以導入異種的優良性狀(如抗病性、抗逆性等)或新的細胞核與細胞質的組合。但在木本植物中獲得成功的還僅限於柑橘類植物，至今已獲得一批種間和屬間雜種(Vardi 等， 1987 ； Oghawara 等， 1989 ； Crosser 等， 1990 ；鄧秀新、章文才， 1996 ）。雖然在早期對於其他木本植物物種上也已作了不少嘗試（ Ahuja ， 1984 ），但限於當時的技術水平難於取得成功。應該說在這方面現在有了成功的更大可能性。在原生質體直接導入外源基因後表現出的瞬間表達（ transient expression)現象。已爲研究基因表達以及構建高效的表達載體提供了有用的實驗系統（楊仲南，許智宏， 1991 ）。在本本植物方面也已有此類工作的報導（ Bekkaoui 等， 1988 ， 1990 ； Oliveira 等， 1991 ；王善平等， 1991 ； Campbell 等， 1992 ），這無疑不僅爲研究適用於不同的本本植物的調控因子提供了技術，也積累了不少有用的資料。但通過向原生質體導入外源基因以最終獲得轉基因木本植物的種類，則即使在研究得較多的木本果樹中也依然很少，並且基本上還是在轉移標記（ marker ）基因階段（ Oliveira 等， 1996 ）。問題的關鍵在於研究的基礎。栽培作物由於舉世矚目，易於受到重視，全球投入大量研究力量，因此積累了大量的資料。而相對於本本植物來說，原生質體研究工作少得多。草本植物中得益於在煙草等模式植物上長期的研究積累；木本本植物中，如柑桔類、楊樹以及幾種松科植物也已建立了很好的原生質體培

養和再生植株的實驗系統，在這類植物上進行系統的研究，無疑對於利用生物技術改良木本植物將建立十分重要的基礎。

表 3.所試木本植物原生質體培養中所用培養基和芽分化頻率

| 樹種 | 原生質體培養基* | 增值培養基* | 分化培養基* | 芽分化頻率（% |
|---|---|---|---|---|
| 毛白楊 | KM8P+2.4~D 0.5<br>NAA 0.5<br>BA 0.5 | MS+NAA 0.2~0.5<br>BA 0.2~0.5 | MS+ZT 0.5~1.0<br>IAA0.1~0.5 | 10~23 |
| 小葉楊 | K8P+2.4~D 13.57 μm<br>NAA 1.07 μm<br>KT 0.93 μm | MS+NAA 2.26 μm<br>NAA 2.7 μm<br>BA 2.22 μm<br>ZT 2.28 μm<br>KT 2.32 μm | MS+BA 2.22 μm<br>ZT 2.28 μm<br>KT 2.32 μm<br>NAA 0.54 μm | 25.0~43.4 |
| 雜種楊 NL80106 | KM8P_2.4~D 2.0<br>NAA 0.5<br>KT 0.5 | MS+NAA 0.1<br>BA 0.5<br>ZT 0.1 | MS+NAA 0.2<br>BA 1.0~0.2<br>或+NAA 0.2<br>ZT 1.0<br>BA 1.0 | 100 |
| 泡桐 | KM8P_2.4~D 0.5<br>NAA 1.0<br>BA 0.5 | MS+NAA 0.1<br>BA 0.5 | MSB+BA1.0<br>ZT 1.0<br>IAA 0.1 | 28.1 |
| 懸鈴木 | KM8P_2.4~D 0.5<br>NAA 1.0<br>BA 0.5 | MS+NAA 0.1<br>BA 0.25 | MSB+BA 1.0<br>ZT 1.0<br>IAA 0.5 | 28.7 |
| 桑 | KM8P_2.4~D 0.2<br>NAA 1.0<br>BA 0.5 | MS+NAA 0.5<br>BA 0.5 | MSB+NAA0.1<br>BA 0.1 | 35.1 |

*濃度單位除表中已標出外，均爲mg/L

參考文獻

丁愛萍、王洪范、曹玉芬， 1994 ，植物學報， 36 ： 271-277
尙尊安、沈德緒、林柏年， 1992 ，植物生理學報， 18 ： 369-375
王鋒、邵小華、廠容茂， 1992 ，中國農業生物技術學會首屆學術研討會論文集，109-112
王善平、許農、許智宏、黃敏仁、衛志明， 1991 ，實驗生物學報， 24 ： 71-73
王善平、許智宏、衛志明、 1990 ，中國科學（B）， 20 ： 1260-1363
王影、黃敏仁、陳道明、許農、衛志明、許智宏， 1995 ，植物學報， 37 ： 379-385

衛志明、許智宏、許農、黃敏仁、 1991，植物生理學通訊， 37 ： 248-249
衛志明、許智宏、許農、黃敏仁、 1991，植物學報， 33 ： 813-818
許智宏、薛紅衛、 1997，見：植物原生質體培養和遺傳操作（許智宏、衛志明主編），上海科技出版社（印刷中）
楊仲南、許智宏， 1991，植物生理學通訊， 27 ： 321-326
張遠記、母錫金、蔡起貴、周云羅、錢迎倩， 1995，植物學報， 37 ： 48-52
Ahuja MR，1984， Silvae Genetica， 33 ： 32-37
Attree SM， Bekkaoui F， Dunstan DI， Fowke LC 1987， Plant Cell Rep． 6 ： 480-483
Bapat VA， Gill R & Rao PS，1985， Curr.Sci. 54 ： 978-982
Bekkaoui F， Datla RSS，Pilon M， Tautorus TE， Crosby WL， Dunstan DI，1990，Theor Appl Genet，79 ： 353-359
Bekkaoui F，Pilon M， Laine E， Raju DSS，Crosby WL， Dunstan DI，1988， Plant Cell Rep，7 ： 481-484
Binding H， Nehls R，1977，Z.Pflanenphysiol. 85 ： 279-280
Campbell MA， Kinlaw CS， Neale DB， 1992， Can J Bot， 22 ： 2014-2018
Chand PK， Ochatt SJ， Rech EL， Power JB， Davey MR， 1988， J.Exp． Bot； 39 ： 1267—1274
Deng XX（鄧秀新）， Zhang WC（章文才）， 1996，In ：Plant Biotechnology for Sustainable Development of Agriculture.（Eds. Xu ZH， Chen ZH） China Forestry Publ House， Beijing，pp.104-110
Grosser JM， Gmitter FG， Tusa N， Chandler JL，1990， Plant Cell Rep， 8 ： 656-659
Gupta PK， Dandekar AM， Durzan DJ，1988， Plant Sci. 58 ： 85-92
Gupta PK， Durzan DJ， 1987， Bio／Technology， 5 ： 710-712
Gupta V， Agnihotri A， Jagannathan V， 1990， Plant Cell Rep，9 ： 424-430
Hartmann S， Lang H， Reuther G，1992，Plant Cell Rep. ll ： 554-557
Klimaszewska K，1989，Plant Cell Rep. 8 ： 440-444
Kobayashi S，Uchimya H，Ikeda I， 1983， Japan J Breed.3 ： 119-122
Laine E， David A，1990， Plant Sci． 69:215-224
Merkle SA，Sommer HK， 1987， Am.J. Bot. 74 ： 1317-1321
Mii M， Ohashi H，1988， Acta，Hort. 203 ： 167-170
Ochatt SJ，1988， Plant Cell Rep. 7 ： 587-589
Ochatt SJ， 1990， Plant Cell Rep. 9 ： 268-271
0chatt SJ， 1992， Plant Sci. 81 ： 253-259
Ochatt SJ， Caso OH， 1986，J.Plant Physiol.122 ： 24-249
Ochatt SJ， Cocking EC，Power JB， 1987， Plant Sci.50 ： 139-143

Ochatt SJ，1994，Abstracts 8th Intern Congress of Plant Tissue & CeII Culture，（Firnze，Italy）p.27
Oghawara T，Kobayashi S，Ishii S，Yoshinaga K，Qiyama I，1989，Theor Appl Genet，78：609-612
Oka S，Shyama K，1985，J．Plant Physio1．119：455-460
Oliveira MM，Miguel CM，Raquel MH，1996，Plant Tissue Culture & Biotech，2：76-93
Oliveira MM，Pais MSS，1991，Plant Cell Rep. 9：643-646
Park YG，Son SH，1992，Plant Cell Rep.11：2-6
Patat-Ochatt EM，Ochatt SJ，Power JB，1988，J. Plant Physio1. 133：460-465
Perales EH，Schieder O，1993，Plant Cel1，Tissue & Organ Culture 34：71-76
Rao PS，Ozias-Akins P，1985，Protoplasma 124：80－86
RatushilVak YL，Piven NM，Rudas VA,1989，Plant CeII Tissue & Organ Culture，17：183-190
Russell JA，McCown BH，1986, Plant Sci. 46：133-142
Russell JA，McCown BH，1988，Plant Cell Rep 7：59-62
Schopke C，Muller LE，Kohlenbach HW，1987，Plant Cell Tissue & Ogran Culture，8：243-248
Sim GE，Loh CJ，1988，Plant Cell Rep. 7：418-420
Sticklen MB，Domir SC，Lineberger RD，1986，Plant Sci. 47：29-34
Tautorus TE，Attree SM，Fowke LC，Dunstan DI，1990，Plant Sci，67：115-124
Tsai CK，1988．Plant Sci. 54：231-235
Vardi A，Breiman A，Galun E，1987，Theor Appl Genet，75：51-58
Vardi A，Hutchison DJ，Galun E，1986，Plant Cell Rep. 5：412-414
Vardi A，Spiegel-Roy P，1982，Theor.Appl. Genet 62：171-176
Vardi A，Spiegel-Roy P，Galun E，1983，Experientia（Suppl）45：284-285
Wallin A，Johansson，1989，J. Plant Physio1，135：565－570
Wang Y（王影），Huang MR，Wei ZM，Sun YR，Chen DM，Xu ZH，Zhang LM，Xu N，1995，Plant Cell Rep，14：442-445
Wei ZM，Kamada H，Harada H，1991，Plant Tissue Culture Lett（Japan），8：110－113
Wei ZM，Xu ZH，Huang MR，1994，Cell Res，4：183-189
Zhao YX，Yao DY，1993，Chinese J. Bot，3：29-3

# 木賊葉木麻黃癒合組織之耐鹽性[1]

羅漢強[2]

摘　要：

不同個體起源之木賊葉木麻黃癒合組織，於含 NaCl 氯化鈉 16 － 300mM 等繼代階梯上升之 1/2MS 及 WPM 兩種培養基上，不會衰亡而繼續生長，其各代之鮮重和乾重呈正相關。在每兩代上升一階鹽分濃度之培養系列中，癒合組織每日增加之重量，平均由第一代起逐漸增多，於第七代（260mM NaCl）時達最高峰，以後逐漸衰退，至第九代（300mM）尚有生長。在每兩代有鹽分一階後，即退回一代無鹽分之斷續上升鹽分濃度的培養系列中，癒合組織生長率，在無鹽分第三代後之第四代（180mM NaCl）即已達高峰，以後逐漸衰退，尤其是在無鹽分之第六代及第九代生長率皆回升後，立即於第七代及第十代下跌，對鹽分敏感。在兩系列中，於不同起源之癒合組織間，耐鹽性有顯著差異；在 WPM 培養基上癒合組織生長率優於在 1/2MS 培養基上者。

關鍵詞：木賊葉木麻黃、癒合組織、耐鹽性。臺大實驗林研究報告　11(1):- (1997)

# Salt-tolerance of Calli in *Casuarina equisetifolia* Forst.

HANN-CHUNG LO

【 Abstract 】 Calli originated from different individuals of *Casuarina equisetifolia* were subcultured through passages on two sorts of media with stepwise increasing concentration of salt beginning from 160 mM. Calli survived and proliferated. Fresh weight of the calli was significantly correlated with dry weight in each subculture throughout the experiment. When calli were subcultured serially on media supplemented with increasing salt concentrations in which the same level of salt concentration was used in a stage for every two subcultures, the mean increments of callus weight increased daily since the first subculture. The increment peaked in the 7 $^{th}$ subculture(260 mM NaCl) and declined gradually till the 9 $^{th}$ subculture (300 mM NaCl), in the meanwhile calli still proliferated. When calli were subcultured serially on media supplemented with increasing salt concertrations for every two subcultures followed by a subculture on media blanking salt, calli proliferated reaching the peak in the 4 $^{th}$ subculture (180 mM NaCl) after subcultureing onto noto none-salt media in the 3 rd subculture. The proliferation declined gradually since the 4 $^{th}$ subculture. Calli were much more sensitive to the salt in the 7 $^{th}$ and 10 $^{th}$ subcultures after recovering the proliferation capability on none-salt media in the 6 $^{th}$ and 9 $^{th}$ subcultures, respectively. Results of two serial subcultures revealed that calli derived from individual trees were significantly different in salt tolerance. A better callus proliferation was attained on WPM medium than on MS medium.

【 Key words 】 *Casuarina equisetifolia*, Callus, Salt-tolerance.

Quart. Journ. Exp. For. Nat. Taiwan Univ. 11(1):- (1997)

---

1 本研究計劃承蒙行政院、國科會補助經費(Grant No. NSC-79-0409-B002-103)，助理賴淑芬小姐及張淑珍小姐先後協助實驗工作，於此一併致謝。

2 國立臺灣大學森林學系教授(Prof. Dept. of Forestry,National Taiwan University)

## 一、前言

在台灣之木麻黃類[7]爲重要海岸防風造林樹種[1,2,3]。各種類植株根部經浸漬處理之耐鹽性均高[5,6,20]，尤其以木賊葉木麻黃甚高[4,5,6]。

將木賊葉木麻黃小枝條行體外培養，可以誘生癒合組織，其鮮重在起源個體間之差異顯著[8]，而且還具有器官發生能力[9]。而耐鹽性高之品系選拔，國內、外研究尚付闕如。

目前已知若干種農作物，如 *Nicotiana sylvestris* 及辣椒（ *Capsicum annuum* ）[10]，菸草（ *Nicotiana tabacum* ）[12]，番茄（ *Lycopersicon esculentum* ）[16]及美洲狼尾草（ *Pennisetum americanum* ）[17]等可經由細胞或組織培養篩選耐鹽之細胞系；並且進而誘導再生小植株，如紫花苜蓿（ *Medicago sativa* ）[14,21]及粳稻（ *Oryza sativa* ）[18]等。

本研究即承續上述[8,9]木麻黃試驗，檢測其癒合組織之耐鹽性，以利選拔耐鹽性高之細胞系。

## 二、材料及方法

來自三株木賊葉木麻黃（ *Casuarina equisetifolia* Forst.）成木小枝條及一株母樹之種苗莖軸[8]而繼代培養中之癒合組織選取若干，分切選塊各約 100 － 300mg 鮮重者，各別放入試管（ 150mm 長， 25mm 徑）內約 10ml 培養基上。以 1/2MS[15]或 WPM[13]培養基添加 1.0mg/l IBA 及 0.5mg/l BA[8]，每四至五週繼代培養一次。爲要測試癒合組織之耐鹽性及保持力[16]，連續或間歇於培養基中添加食鹽（ NaCl ），並且逐漸階梯升高食鹽濃度至第九（十）代，其全盤設計詳如表 1 及表 2。各項試驗處理重複皆 70 支試管，每代培養之始終皆稱取鮮重；在第二代終，各處理任選兩支試管爲樣本，在第三代至第九代期終皆任取六樣品，選出後放入 40 ℃恆溫烘箱內 24 小時，取出立即稱取乾重。各代之鮮、乾重量取其對數以 SAS 行迴歸分析兩者之相關性；其次再就連續性或間歇性升高 NaCl 濃度兩系列處理中，每代培養期間各重複之癒合組織平均每日增加新鮮重量，進行 General Linear Models 多變因之變異數分析，以及若變因之 F 值顯著，再行 Duncan 氏多變域平均值差異顯著性測驗。

## 三、結果及討論

自第二代至第九代所稱取各代各處理癒合組織之鮮、乾重量，經取其對數行迴歸分析後，兩者呈正相關（ $r^2$=0.8862 ， p>|r|0.0001 ），如圖 1 所示，說明癒合組織鮮重在培養過程中之增減，即是其質量之實際增減；其意義類似多數之試驗結果，如紫花苜蓿[14]、美洲狼尾草[17]及粳稻[18]等農作物癒合組織或細胞之鮮、乾重，在固定濃度之鹽分中，皆隨培養時間逐漸減少。但是在鹽分上升超過 80mM 濃度時，其影響番茄[16]癒合組織之鮮重，大於乾重。

從表 3 、 4 及圖 2 所示，在連續升高鹽分濃度之處理中，癒合組織生長情形，在 WPM 培養基上，顯著優於 1/2MS 培養基上。介於四支不同起源之癒合組織系之間，以源自第三株及第一株成木者，顯著優於源自實生苗及第二株者。綜觀各代，癒合組織不但未曾逐漸減輕重量而終於衰亡，反而還持續或多或少有生長增重；屆臨第七代（ 260mM NaCl ）時，生長率顯著最高，以其所增生重量和第一代時各管癒合組織之初始重量，經迴獲分析知，並無顯著相關性（ $r^2$=－ 0.0026 ， p>|r|0.5858 ）；延續至第九代時，鹽分濃度（ 300mM ）更高了，生長率比起第一代還不低；但是到了第十代（只有在 1/2MS 培養基之處理）則顯著衰退，幾乎不再增重，說明癒合組織之耐鹽性已接近上限。但是若使用 WPM 培養基，比較利於其生長，則耐鹽力可能表現更高。

表 I　源自四株木賊葉（Ⅰ.Ⅱ.Ⅲ,Ⅳ）之癒合組織，在含有連續升階濃度（mM）鹽分之兩類培養基（1/2MS，WPM）上，於各繼代培養日期（mm/dd），所得稱處理內重複之新鮮及烘乾重量（mg）的平均值。

Table I　Mean weights(mg) of fresh and dry calli originated from 4 *Casuarina* trees (I, II, III, IV). Calli were subcultured periodically (mm/dd) on 2 sorts of media (1/2 MS, WPM) supplemented with stepwise, continuously, increasing concentrations (mM) of salt.

| 1/2 MS | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NaCl-step | 160mM(1) | 160mM(2) | 180mM(3) | 180mM(4) | 220mM(5) | 220mM(6) | 260mM(7) | 260mM(8) | 300mM(9) | 300mM(10) | |
| (I) | date | 3/19 | 4/18 | 5/19 | 6/18 | 7/16 | 8/13 | 9/17 | 10/17 | 11/19 | 12/19 | 1/24 |
| | dry | | | 17.0 | 22.8 | 22.2 | 29.8 | 23.6 | 79.8 | 33.3 | 21.7 | |
| | fresh | 163.4 | 185.3 | 223.9 | 244.3 | 249.7 | 260.3 | 247.4 | 283.7 | 236.5 | 232.9 | 252.6 |
| (II) | date | 3/20 | 4/19 | 5/20 | 6/14 | 7/17 | 8/14 | 9/18 | 10/17 | 11/20 | 12/18 | 1/25 |
| | dry | | | 41.6 | 38.0 | 21.4 | 32.3 | 46.1 | 58.6 | 51.0 | 67.1 | |
| | fresh | 314.1 | 350.5 | 371.3 | 384.8 | 391.1 | 415.7 | 425.7 | 483.7 | 446.6 | 434.6 | 421.2 |
| (III) | date | 3/19 | 4/18 | 5/19 | 6/18 | 7/16 | 8/13 | 9/17 | 10/17 | 11/19 | 12/19 | 1/24 |
| | dry | | | 59.9 | 68.6 | 73.3 | 72.9 | 73.3 | 95.1 | 84.2 | 20.8 | |
| | fresh | 243.1 | 318.3 | 391.7 | 469.8 | 487.5 | 509.8 | 523.8 | 640.0 | 560.3 | 575.6 | 634.1 |
| (IV) | date | 3/20 | 4/19 | 5/20 | 6/14 | 7/18 | 8/14 | 9/18 | 10/17 | 11/20 | 12/17 | 1/25 |
| | dry | | | 27.4 | 21.2 | 38.8 | 45.9 | 44.4 | 53.1 | 60.4 | 69.1 | |
| | fresh | 258.9 | 293.0 | 308.4 | 328.3 | 352.1 | 364.7 | 359.0 | 375.7 | 355.9 | 322.0 | 288.7 |
| WPM | | | | | | | | | | | | |
| (I) | date | 4/24 | 5/24 | 6/21 | 7/20 | 8/16 | 9/20 | 10/24 | 11/22 | 12/20 | 1/26 | |
| | dry | | | 30.5 | 43.7 | 29.9 | 103.5 | 167.4 | 25.9 | 13.9 | | |
| | fresh | 117.7 | 192.3 | 247.5 | 336.1 | 451.8 | 615.0 | 745.8 | 837.7 | 1,160.0 | 1,479.9 | |
| (II) | date | 4/25 | 5/24 | 6/22 | 7/21 | 8/17 | 9/20 | 10/24 | 11/23 | 12/20 | 1/26 | |
| | dry | | | 15.2 | 19.8 | 22.2 | 30/7 | 27.8 | 20.7 | 20.5 | | |
| | fresh | 106.2 | 155.1 | 169.2 | 189.2 | 221.4 | 272.1 | 306.4 | 380.3 | 454.5 | 558.2 | |
| (III) | date | 4/25 | 5/24 | 6/21 | 7/20 | 8/16 | 9/20 | 10/24 | 11/22 | 12/21 | 1/29 | |
| | dry | | | 34.2 | 50.8 | 77.0 | 79.9 | 117.6 | 134.3 | 127.0 | | |
| | fresh | 116.1 | 232.5 | 334.1 | 456.2 | 594.8 | 711.9 | 851.3 | 971.7 | 1,026.8 | 1,189.8 | |
| (IV) | date | 4/26 | 5/25 | 6/22 | 7/21 | 8/17 | 9/20 | 10/24 | 11/23 | 12/21 | 1/28 | |
| | dry | | | 35.0 | 34.7 | 30.4 | 69.0 | 93.5 | 36.3 | 37.8 | | |
| | fresh | 109.0 | 166.1 | 198.0 | 243.7 | 303.7 | 378.7 | 417.3 | 462.3 | 530.3 | 627.5 | |

表 2　源自四株木賊葉（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）之癒合組織，在含有間斷升階濃度（ mM ）鹽分之兩類培養基（ 1/2MS ， WPM ）上，於各繼代培養日期（ mm/dd ），所稱得處理內重複之新鮮　　及烘乾　　重量（ gram ）的平均值。

Table 2　Mean weights (mg) of fresh and dry calli originated from 4 *Casuarina* trees (I. II. III. IV). Calli were subcultured periodically (mm/dd) on 2 sorts of media (1/2 MS, WPM) supplemented with stepwise, interruptedly, increasing concentrations (mM) of salt.

| 1/2MS | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NaCl-step | 160mM(1) | 160mM(2) | 0mM(3) | 180mM(4) | 180mM(5) | 0mM(6) | 220mM(7) | 220mM(8) | 0mM(9) | 260mM(10) | |
| (I) | date | 3/19 | 4/18 | 5/19 | 6/18 | 7/16 | 8/13 | 9/17 | 10/17 | 11/19 | 12/19 | 1/24 |
| | dry | | | 30.8 | 12.2 | 14.4 | 33.3 | 25.3 | 30.2 | 28.7 | 21.4 | |
| | fresh | 152.5 | 164.3 | 211.4 | 209.3 | 230.6 | 256.6 | 241.1 | 258.6 | 224.2 | 202.4 | 223.5 |
| (II) | date | 3/20 | 4/19 | 5/20 | 6/14 | 7/17 | 8/14 | 9/18 | 10/17 | 11/20 | 12/18 | 1/25 |
| | dry | | | 56.6 | 52.4 | 58.7 | 58.4 | 51.1 | 75.3 | 81.3 | 104.4 | |
| | fresh | 320.2 | 361.5 | 380.4 | 381.8 | 383.9 | 389.3 | 368.6 | 355.3 | 338.2 | 321.0 | 348.6 |
| (III) | date | 3/19 | 4/18 | 5/19 | 6/19 | 7/17 | 8/14 | 9/18 | 10/17 | 11/19 | 12/18 | 1/24 |
| | dry | | | 23.1 | 34.0 | 49.0 | 53.6 | 40.2 | 41.9 | 43.9 | 19.5 | |
| | fresh | 254.7 | 310.3 | 389.8 | 434.0 | 464.5 | 468.3 | 438.3 | 511.4 | 478.5 | 447.0 | 443.0 |
| (IV) | date | 3/20 | 4/19 | 5/20 | 6/14 | 7/18 | 8/14 | 9/18 | 10/17 | 11/20 | 12/17 | 1/25 |
| | dry | | | 12.1 | 34.0 | 49.0 | 53.6 | 40.2 | 41.9 | 43.9 | 19.5 | |
| | fresh | 183.6 | 220.1 | 238.1 | 280.2 | 296.1 | 301.5 | 297.9 | 330.3 | 358.1 | 340.8 | 335.1 |
| WPM | | | | | | | | | | | | |
| (I) | date | 4/24 | 5/24 | 6/21 | 7/20 | 8/16 | 9/20 | 10/24 | 11/22 | 12/20 | 1/26 | |
| | dry | | | 12.4 | 14.0 | 22.8 | 15.0 | 23.2 | 22.6 | 51.9 | | |
| | fresh | 116.2 | 165.5 | 176.6 | 212.8 | 163.3 | 311.1 | 412.3 | 421.5 | 487.2 | 618.2 | |
| (II) | date | 4/25 | 5/24 | 6/22 | 7/21 | 8/17 | 9/20 | 10/24 | 11/23 | 12/20 | 1/26 | |
| | dry | | | 22.1 | 34.5 | 52.2 | 57.6 | 89.2 | 24.5 | 15.2 | | |
| | fresh | 99.6 | 149.2 | 173.0 | 260.1 | 233.2 | 390.4 | 514.0 | 495.3 | 553.8 | 669.3 | |
| (III) | date | 4/25 | 5/24 | 6/21 | 7/20 | 8/16 | 9/20 | 10/24 | 11/22 | 12/21 | 1/29 | |
| | dry | | | 31.4 | 41.2 | 43.4 | 60.9 | 853.4 | 156.2 | 13.6 | | |
| | fresh | 100.5 | 180.7 | 169.4 | 384.4 | 549.7 | 626.7 | 856.2 | 827.9 | 807.4 | 1014.1 | |
| (IV) | date | 4/26 | 5/25 | 6/22 | 7/21 | 8/17 | 9/20 | 10/24 | 11/23 | 12/21 | 1/2/8 | |
| | dry | | | 17.5 | 46.5 | 36.3 | 64.5 | 88.5 | 81.1 | 98.9 | | |
| | fresh | 99.0 | 165.4 | 186.0 | 309.9 | 448.3 | 5773.5 | 768.3 | 818.5 | 903.9 | 1067.2 | |

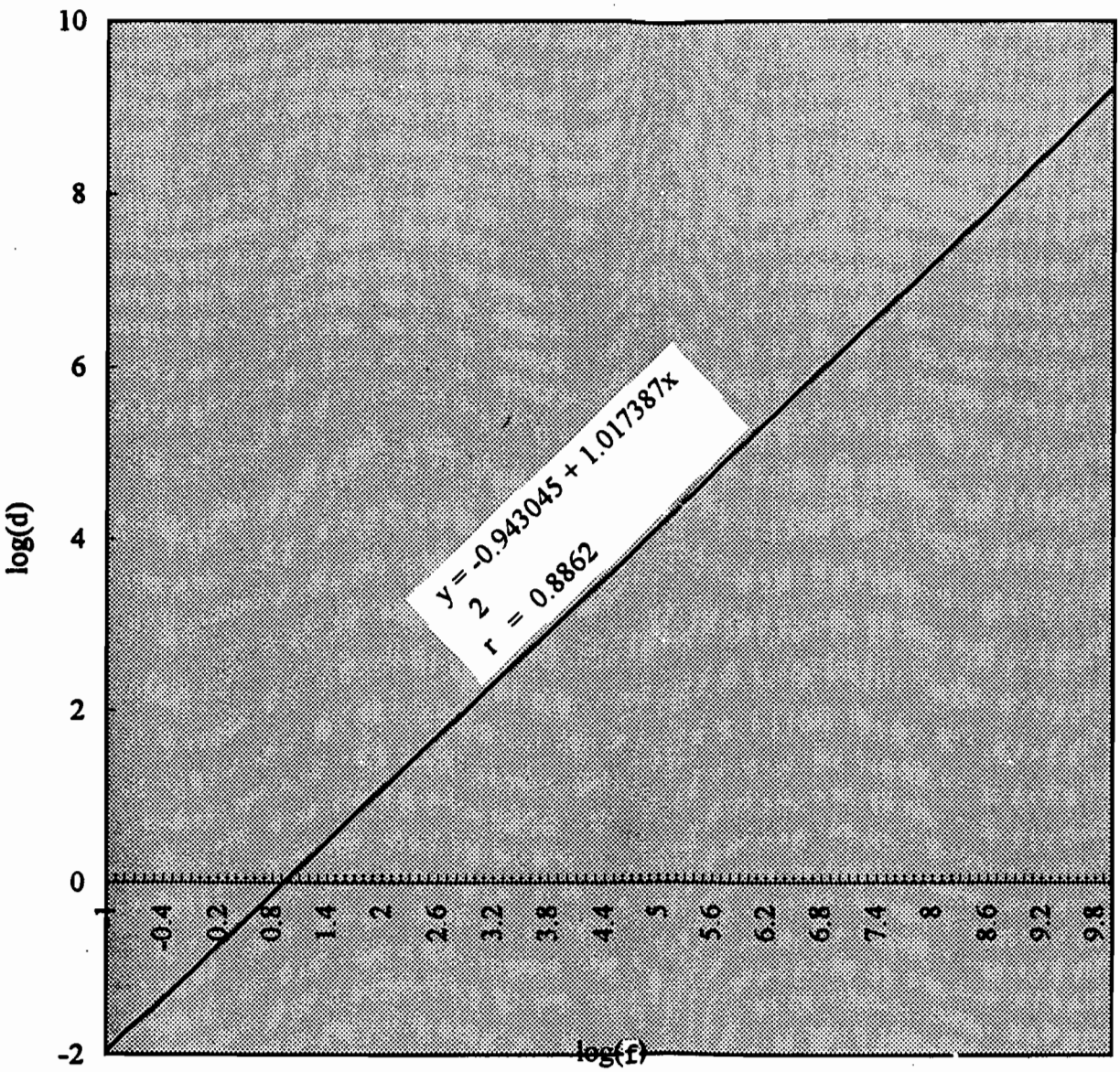



圖 1 癒合組織鮮重（ f ）和乾重（ d ）之對數的相關性

Fig. 1 The correlation between logarithms of fresh(f) and dry (d) weight of callus.

表 3　新鮮癒合組織平均每日增生重量（毫克）之三因子變異數分析（續表 1 ）

Table 3.　Variance analyses for the effect of 3 factors on mean daily increments of callus fresh weights(mg)(followed Table).

| Source | DF | Sum of squares | Mean square | F value | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Model | 13 | 5,770.74 | 443.90 | 42.73 | 0.0001 |
| medium | 1 | 3,541.48 | 3,541.48 | 340.89** | 0.0001 |
| tree | 3 | 1,585.40 | 528.47 | 50.87** | 0.0001 |
| Nall-step | 9 | 643.85 | 71.54 | 6.89** | 0.0001 |
| Error | 2,445 | 25,400.68 | 10.39 | | |
| Corrected Tatal | 2,458 | 31,171.42 | | | |

| R-Square | C.V. | Root MSE | WEIGHT Mean |
|---|---|---|---|
| 0.185129 | 176.5232 | 3,223 | 1,826 |

** differences are significant at the 1% level

表 4　各變項平均值之 Duncan 氏多變域測驗（續表 3 ）

Table 4.　Duncan's multiple range test on means of variables (followed Table. 3)

| Medium | Mean | N |
|---|---|---|
| WPM | 3.0071[a*] | 1249 |
| 1/2 MS | 0.6066[b] | 1210 |

| Tree | Mean | N |
|---|---|---|
| III | 2.6915[a] | 595 |
| I | 2.6321[a] | 587 |
| IV | 1.1791[b] | 661 |
| II | 0.9157[b] | 616 |

| NaCl-step | Mean | N |
|---|---|---|
| 260mM(7) | 3.1884[a] | 260 |
| 300mM(9) | 2.1381[b] | 258 |
| 180mM(4) | 2.0562[b] | 260 |
| 160mM(1) | 1.8037[bc] | 260 |
| 220mM(6) | 1.7874[bc] | 260 |
| 220mM(5) | 1.7615[bc] | 260 |
| 180mM(3) | 1.7361[bc] | 260 |
| 260mM(8) | 1.3766[c] | 260 |
| 160mM(2) | 1.3658[c] | 260 |
| 300mM(10) | 0.1538[d] | 121 |

* Means with the same letter are not significantly different.

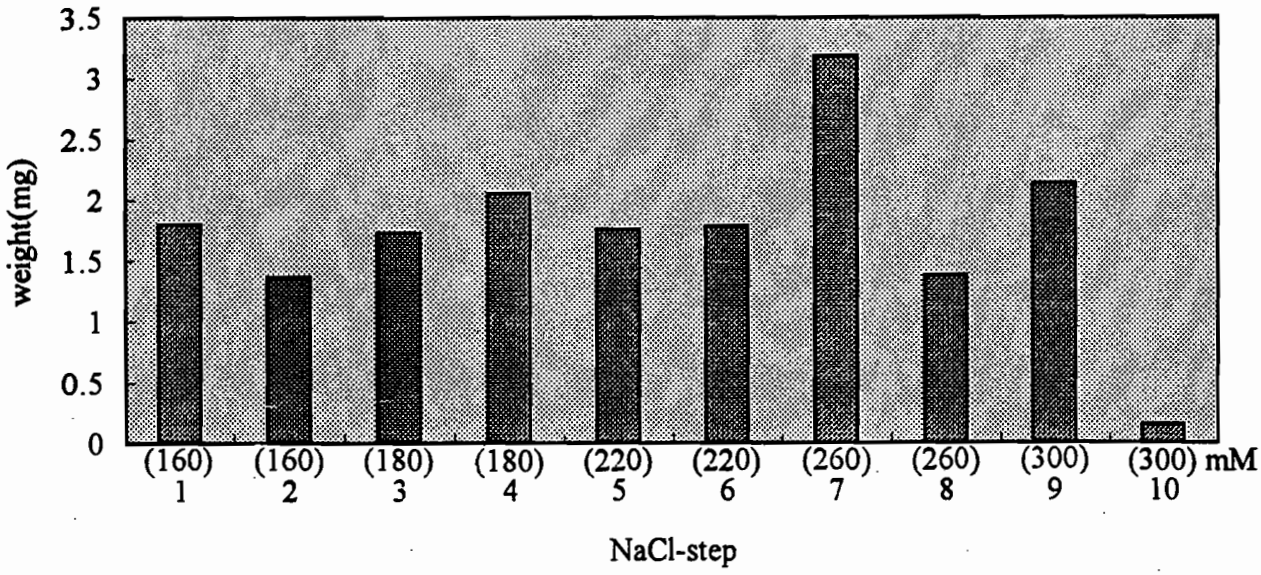



Fig. 2 Mean daily increments of callus fresh weights(mg)

一般而言，癒合組織在含有 NaCl 培養基上，其細胞須調整滲透壓力[16]，方能存活。其間顯然涉及鹽分之濃度及其調整所需的時間。

首先以水耕法而論，將番茄[11]兩變種之培養液，突然增加 NaCl 至 200mM （＝ 1.17 % W/V ）之濃度時，植株會死亡，若逐步每 6 小時增加 50mM 一階，而終至 200mM ，則仍可存活。逐漸吸收至株體內之 $Na^+$，會伴隨部分 $K^+$之取代；而 $K^+$則和植株地上部 $Ca^{++}$之保留相關；所以逐步提升 NaCl 濃度，則增加保存調節滲透的 $K^+$ 及 $Ca^{++}$。

根部能固氮之豆科植物 *Prosopis*[19]苗株，亦在水耕法中具有可達 3.3 % NaCl 之耐鹽性。亦屬能固氮之粗幹木麻黃（ *Casuarina obesa* ）[20]，很能耐抗水淹及鹽分，受處理時，因而減低之生長量並不多，即其行排鹽時所耗費之能量較少；而且其鞘狀鱗片葉疽傷之形式顯示，植株能調節鹽分之聚集，在莖部老年組織內比幼年組織內優先； $Ca^{++}/Na^+$ 比例高，對於維持細胞膜之功能甚爲重要，有能力在含鹽之環境下排鹽，但是 $Na^+/K^+$ 比例高時， $K^+$的吸收會被 $Na^+$所干擾，其不利甚明。

而本省也有木麻黃類種子苗之水耕耐鹽性試驗，例如以 9 個月齡苗木浸於 NaCl 2.5 %濃度液中 3 天[5]，以及用 6 或 12 個月齡苗木，浸於 2.5 %或 3.5 % NaCl 各 3 天或 5 天[6]，諸種存活率爲 0 ～ 96 %[5]及 70 ～ 98 %[6]，其中皆以銀木麻黃（ *C. glauca* ）最高；但是浸漬處理後，則以木賊葉木麻黃恢復之高生長勢力最強，耐鹽性最高[5]。但是，長時期處理於不同鹽分濃度[4]，木賊葉木麻黃之植株在 20 個月份後，才發生死亡者；然而 3.5 %濃度 NaCl 之處理者，只有 25 %苗木倖存；植株之地際生長量，以淡水及 0.875 %鹽水處理後，差異不顯著，而 1.75 %及 3.5 %鹽水處理，才對苗木生長有顯著影響。

至於組織培養，例如番茄[11]，類似前述之水耕法，其癒合組織一開始即放置於含 60mMNaCl 培養基上會立即死亡[16]，若是鹽分濃度從 0mM 起，每間隔 20mM 一階，逐漸升高，則可逐漸耐抗鹽分。許多種農作物之癒合組織，在固定鹽分濃度中，培養達一段時間後[14,17,18]，或是在鹽分濃度上升至某程度時[16]，癒合組織之乾、鮮重皆呈現減少，如此皆可認爲其耐鹽力已達極限；例如可耐抗鹽分濃度達

0.47 %（＝ 80mM ）者，有番茄[16]，

0.58 %（＝ 100mM ）者，有美洲狼尾草[17]，

1.0 %者，有 *Nicotiana sylvestris* 及辣椒[10]和菸草[12]，粳稻[18]，紫花苜蓿[14,21]。

本試驗之木賊葉木麻黃癒合組織，開始於鹽分 160mM 濃度時，不但未致死，而且立即持續增重，逐步上升，以迄於 300mM（＝ 1.75 %）達最高峰，或即已接近極限耐鹽性。

表 5　新鮮癒合組織平均每日增生重量（公克）之三因子變異數分析（續表 2 ）

Table. 5　Variance analyses for the effect of 3 factors on mean daily increments of callus fresh weights(mg)(followed Tab.2)

| Source | DF | Sum of squares | Mean square | F value | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Model | 13 | 638.93 | 356.84 | 35.31 | 0.0001 |
| medium | 1 | 2,750.39 | 2,750.39 | 272.14** | 0.0001 |
| tree | 3 | 585.54 | 195.18 | 19.31** | 0.0001 |
| Nall-step | 9 | 1,303.01 | 144.78 | 14.33** | 0.0001 |
| Error | 2,549 | 25,761.37 | 10.11 | | |
| Corrected Tatal | 2,562 | 30,400.30 | | | |

| R-Square | C.V. | Root MSE | WEIGHT Mean |
|---|---|---|---|
| 0.152595 | 197.4576 | 3.179 | 1.610 |

** differences are significant at the 1% level

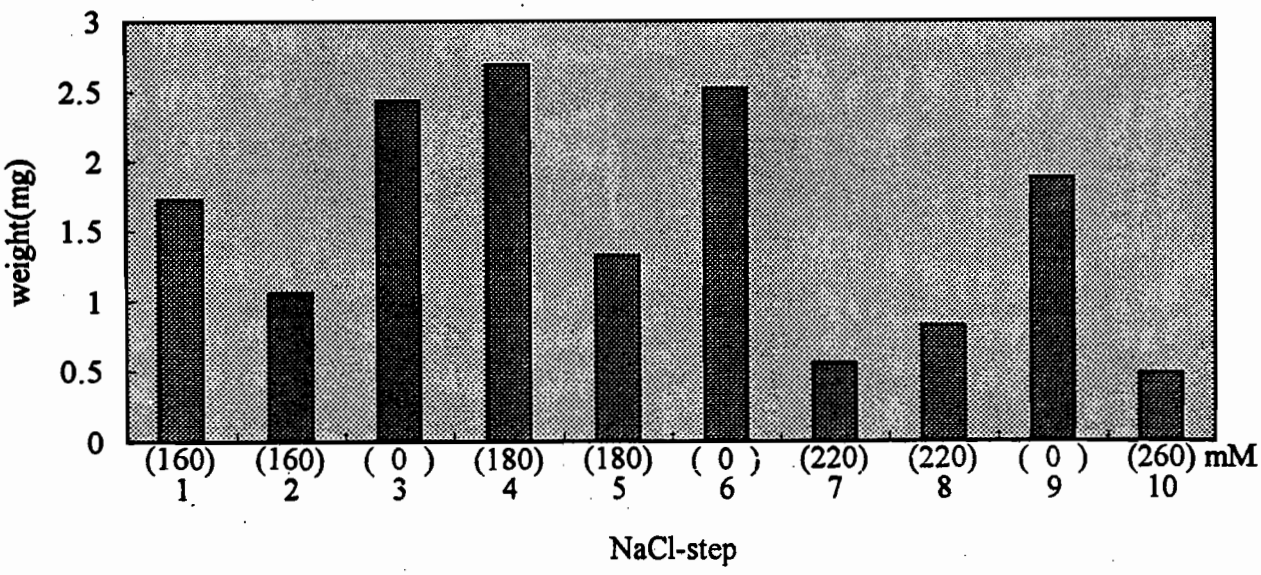



Fig. 3　Mean daily increments of callus fresh weights(mg)

表 6　各變項平均值之 Duncan 氏多變域測驗（續表 5 ）

Duncan's multiple range test on means of variables (followed Tab. 5).

| Medium | Mean | N |
|---|---|---|
| WPM | 2.6200[a*] | 1314 |
| 1/2 MS | 0.5475[b] | 1249 |
| **Tree** | **Mean** | **N** |
| IV | 2.1575[a] | 623 |
| III | 1.9903[a] | 654 |
| II | 1.2618[b] | 652 |
| I | 1.0377[b] | 634 |
| **NaCl-step** | **Mean** | **N** |
| 180mM(4) | 2.6885[a] | 271 |
| 0mM(6) | 2.5146[a] | 271 |
| 0mM(3) | 2.4282[ab] | 271 |
| 0mM(9) | 1.8781[bc] | 271 |
| 160mM(1) | 1.7256[c] | 271 |
| 180mM(5) | 1.3212[cd] | 271 |
| 160mM(2) | 1.0586[de] | 271 |
| 220mM(8) | 0.8258[de] | 271 |
| 220mM(7) | 0.5624[e] | 271 |
| 260mM(10) | 0.4886[e] | 124 |

* Means with the same letter are not significantly different.

從表 5 、 6 及圖 3 顯示，在間歇升高鹽分濃度之試驗，癒合組織亦是在 WPM 培養基上，生長顯著優於 1/2MS 培養基上。來源自實生苗及第三株成木之癒合組織系，比第二株及第一株者，生長顯著較好；合併看表 4 及表 6 之結果，表現一致的，只有源自第三株者生長較多，第二株者生長較少。在表 6 各繼代中，癒合組織之生長率，在第四代（ 180mM NaCl ）時，即顯著高於其他繼代。其次表現尚好的，在第三、六、九等三代，顯示都是在無鹽分之抑制下，生長較多；緊接在無鹽分培養後，除了前述之最高生長率第四代外，在第七代及第十代（只有 1/2MS 培養基之處理），生長勢力立即變得衰弱，呈現耐鹽能力下降，對鹽分敏感，不如前述之連續升高鹽分濃度處理中，癒合組織耐鹽性所達到的可能上限。以其對鹽分耐抗之調適機制而言，可能由於每次有鹽或無鹽之交替培養，爲期只有 4 週，鹽分濃度改變幅度甚大且甚急所致。

在農作物種耐鹽細胞之懸浮培養爲例，菸草者[12]於無鹽分中培養達 5 次質量倍增，即 8 天（ 1.6 天× 5 ）後，喪失原有之耐鹽能力；而美洲狼尾草[17]者，在無鹽培養液中 7 週（ 1 週/代× 7 ）後，部分細胞系變成無色而且不再生長，部分則仍繼續增生。亦有更長久於無鹽之固態培養基上培養者，如紫花苜蓿經過 12 週（ 4 週/代× 3 ）[14]後，以及番茄亦在 12 週（ 6 週/代× 2 ）[16]後，其耐鹽之細胞系都仍然能保持原有的耐鹽能力。因此看來，物種不同，無鹽培養之時期長短，對於耐鹽性之保持與否的測試，亦具影響。

## 四、引用文獻

1. 甘偉航、陳財輝　1987　台灣防風林之經營。現代育林 3(1)： 3 ～ 25 。

2. 甘偉航、陳財輝　1988　台灣之防風定砂植物。現代育林 3(2)： 58 ～ 65 。
3. 江永哲　1987　台灣現存防風林功效之探討。現代育林 3(1)： 26 ～ 40 。
4. 陳明義、陳清義、林信輝　1985　木麻黃之耐鹽性。中興大學理工學報 22 ： 41 ～ 51 頁。
5. 陳振榮、王子定、楊政川　1985　木麻黃耐鹽性之差異。林試所報告 422 ： 1 ～ 7 頁。
6. 陳燕章　1986　木麻黃類耐鹽性之比較研究。林試所研究報告季刊 1(1)： 31 ～ 44 頁。
7. 黃義雄　1982　台灣木麻黃科植物之分類研究。中興大學植研所碩士論文。
8. 羅漢強　1990　木賊葉木麻黃癒合組織之誘生。臺大實驗林研究報告 4(4)： 77 ～ 81 。
9. 羅漢強　1991　木賊葉木麻黃癒合組織之器官發生。臺大實驗林研究報告 5(4)： 141 ～ 147 。
10. Dix, P. J. and Street, H. E. 1975 Sodium chloride-resistant cultured cell lines from *Nicotiana sylvestris* and *Capsicum annuum.* Plant Sci. Lett. 5 : 231-237.
11. El-Shourbagy, M. N. and Ahmed, A. M. 1975 Responses of two varieties of tomato to abrupt and gradual short-period sodium chloride exposure. Plant and Soil 42 : 255-271.
12. Hasegawa, P. M., Bressan, R. A. and Handa, A. K. 1980 Growth characteristics of NaCl-selected and nonselected cells of *Nicotiana tabacum* L. Plant and Cell Physiol. 21(8) : 1347-1355.
13. Lloyd, G. and McCown, B. 1980 Commercially feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia,* by use of shoot tip culture. Proc. Intl. Plant Prop. Soc. 30 : 421-427.
14. McCoy, T. J. 1987 Characterization of alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants regenerated from selected NaCl tolerant cell lines. Plant Cell Reports 6: 417-422.
15. Murashige, T. and Skoog, F. 1962 A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plantarum 15 : 473-497.
16. Rahman, M. M. and Kaul, K. 1989 Differentiation of sodium chloride tolerant cell lines of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Jet Star. J. Plant Physiol. 133 : 710-712.
17. Rangan, T. S. and Vasil, I. K. 1983 Sodium chloride tolerant embryogenic cell lines of *Pennisetum americanum* (L.) K. Schum. Ann. Bot. 52 : 59-64.
18. Ready, P. J. and Vaidyanath, K. 1986 In vitro characterization of salt stress effects and the selection of salt togerant plants in rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 71 : 757-760.
19. Rhodes, D. and Felker, P. 1988 Mass screening of *Prosopis* (Mesquite) seedlings for growth at seawater salinity concentrations. Forest Ecol. Management 24 : 169-176.
20. Van der Moezel, P. G., Watson, L. E., Pearce-Pinto, G. V. N. and Bell, D. T. 1988 The response of six *Eucalyptus* species and *Casuarina obesa* to the combined effect of salinity and waterlogging. Aust. J. Plant Physiol. 15 : 465-474.
21. Winicov, I. 1991 Characterization of salt tolerant alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants regenerated from salt tolerant cell lines. Plant Cell Reports 10: 561-564.

# 青楊 DNA 多態性及其遺傳分化

王明庥　黃敏仁　李寬鈺[1]

摘　要：

青楊是青楊派中分布最廣的樹種之一，爲我國特有，常見於 800 ～ 2800m 海拔的河谷地帶，呈散生、塊狀分布。不同地區的青楊具有不同形態特徵。本研究收集了遼寧、北京、河北、內蒙、山西、陝西、河南、甘肅、寧夏、青海十個省市區的 31 個地點的 296 個樣本，扦插育苗並建立青楊種質資源庫。因南京氣候原因部分材料未成活。最後選取 28 個地點的 167 個樣本進行 RAPD 分析，共篩選 8 個引物， 167 個樣本共產生 94 條不同分子量的譜帶，其分子量大小在 180 ～ 2000bp 之間。分析 167 × 94 譜帶矩陣，結果表明青楊不同產地間表現較豐富的 DNA 多態性，群體間的差異大於群體內的差異。

計算體現物種群體間的淨遺傳距離值 $P_{nct}$ ，發現東部群體與西部群體間存在較大的遺傳差異，而相鄰產地之間的遺傳差異較小。聚類分析表明東部群體與西部群體的遺傳距離較遠。群體內個体間 DNA 多態性在不同群體內差異較大。西部群體內 DNA 多態性比東部群體高。因此西部群體在研究青楊的起源與演化中將顯得更爲重要。按照多樣性中心與起源中心的關係，青楊可能起源於我國西北部，逐漸向東擴散，形成現代分布格局。

[1] 南京林業大學林木遺傳和基因工程林業部重點實驗室

# 高等植物細胞質遺傳的細胞學研究

胡贊民[1]　胡適宜[2]

摘　要：

細胞質遺傳分爲三種類型：單親母系遺傳，雙親遺傳及單親父系遺傳。在被子植物中，絕大多數植物雄性細胞器及其 DNA 在花粉發育過程中彼排除或降解，從而導致細胞質基因組的母系遺傳，對於質體雙親遺傳植物，雄性細胞中的質體及其 DNA 參與了受精並傳遞至下一代，被子植物中僅報導幾種植物爲質體單親父系遺傳，但在裸子植物中的話松、柏、杉科植物，質體主要爲單親父系遺傳，這可能主要是在新細胞質形成過程中母系質體被排出造成的，被子植物中，絕大多數線粒體爲單親母系遺傳，少數表現爲低頻率的雙親遺傳。在裸子植物中差別較大，在松科中主要表現爲單親母系遺傳，而在柏科和松科中可能主要爲單親父系遺傳，其遺傳機制需要進一步研究。

細胞質遺傳在植物中是指質體和線粒體遺傳。質體的遺傳學研究具有長遠的歷史。而線粒體遺傳的研究則較少，可能是由於缺乏合適的表型突變體。早在 1909 年 Correns 和 Baur 分別在紫茉莉（ *Mirabilis jalapa* ）和馬蹄紋天竺葵（ *Pelargonium zonale* ）就發現了質體的母系遺傳和雙親遺傳現象，其後的幾十年間發表了大量有關質體的遺傳學工作。近十幾年來，由於實驗手段的不斷改進，開展了對質體遺傳的細胞生物學、分子生物學及生物化學等方面的研究。已認識到，被子植物中絕大多數植物質體遺傳方式爲單親母系遺傳（ Gillham,1978, Chaprnan ,l986, Hagemann and Schroder, l989, Hagemann ,l992, Sears ,l980, Tilney-Basset, l978 ），少數植物爲質體雙親或父系遺傳（ Kuroiwa, l991 ）。在裸子植物中，絕大多數植物質體基因組爲單親父系遺傳（ Neale *et al*.,1986, 1989, Szmidt *et al*.,1987, Owens and Morris ,1991 ）。下面簡要綜述高等植物細胞質遺傳特別是質體遺傳的細胞學研究概況。

## 一、雄性細胞器及其 DNA 的排除或降解與質體單親母系遺傳

在被子植物中，絕大多數植物雄性細胞器在花粉發育過程中或授精過程中被排除或降解從而導致細胞質基因組的母系遺傳。

已有不少花粉發育的超微結構研究揭示了生殖細胞或精細胞中的質體在發育過程中被排出的現象（見 Whatelу ,1982 ）。 Hagemann and Schroder （ 1989 ）曾綜合已發表的資料將被子植物質體傳遞分爲 5 種類型。 1、蕃茄型，生殖細胞中不含質體。 2 、馬鈴薯型，精細胞中不含質體。 3 、小麥型，精細胞中含有質體，但在授精過程中雄性質體被排出，未能參與授精。 4 、天竺葵型，精細胞中含有質體，雄性質體參與了授精並傳遞至後代。 5 、天竺葵型或小麥型，精細胞中含有質體，但未確定這些質體是否參與了授精。前三種爲質體母系遺傳。蕃茄型和馬鈴薯型是在授精前雄性質體就被排除，

1 中國科學院遺傳研究所
2 北京大學生命科學學院

而小麥型則是在授精過程中雄性質體被排除。天竺葵型是質體雙親遺傳類型。

造成單親母系遺傳的另外一種可能原因是雄性細胞器參與了授精，但在以後的胚胎發育過程中被排除或降解（ Hagemann ,l979 ）。因此，單親母系遺傳的機制可能發生在授精前，授精過程中及授精後。

毫無疑問，根據生殖細胞和精細胞中缺乏質體（蕃茄型和馬鈴薯型）判斷質體母系遺傳是正確的。相反，若精細胞中含有質體，僅根據超微結構觀察要判斷其質體遺傳方式則較困難。因爲在一些植物中，發現了精細胞中雖然存在線粒體和質體，但其 DNA 已不存在，如小麥（ Miyamura *et al*.,1987 ）。因此，細胞器的存在與否與細胞器 DNA 的存在與否可能不一致。從遺傳角度看，能否遺傳決定於細胞器 DNA 。因此，在這種情況下研究雄配子中細胞器 DNA 的排除或降解在判斷細胞質遺傳方式上是重要的。

Miyamura *et al*., （ 1987 ）利用 DNA 特異螢光染料 DAPI(4,6-diamidino-2-phenylindole ）觀察了 18 種植物花粉發育過程中雄性細胞質 DNA 的行爲，並據此將這些植物分成 3 類：第一類以煙草和石蒜（ *Lycoris radiata* ）爲代表，其特徵是花粉第一次有絲分裂後，生殖細胞中細胞質 DNA 立即消失。第二類以小麥爲代表，其特徵是生殖細胞中含有細胞器 DNA ，這些 DNA 在花粉第二次有絲分裂後逐步降解。第三類以仙人掌屬的 *Opuntia ficus-indica* 及天竺葵（ *Pelagonium zonale* ）爲代表，其特徵是精細胞中存在細胞器 DNA 。前兩類由於雄性細胞器 DNA 的消失導致母系遺傳。後一類由於精細胞中存在細胞器 DNA ，屬於雙親遺傳。 Corriveau and Coleman （ 1938 ）利用 DAPI 螢光技術快速檢測了 235 種植物，作者根據生殖細胞和精細胞中是否有細胞器 DNA 螢光來判斷質體的遺傳是母系遺傳，或是雙親遺傳。在所研究的植物中絕大多數與已有的遺傳學證據基本一致。這些研究結果似乎說明質體單親母系遺傳主要是由於花粉發育和精細胞成熟過程中雄性細胞器 DNA 被降解造成的。質體母系遺傳的機制主要在授精前而不是在授精過程中或授精後。

在高等植物中，雄性細胞器 DNA 是怎樣被特異性降解的，目前仍然不清楚。有關雄性細胞器 DNA 被特異性降解的分子生物學機制，在低等植物已做了一些工作。已經證明，在海藻中，雄性細胞器 DNA 的選擇性降解與依賴 $Ca^{2+}$或 $Zn^{2+}$的核酸酶有關（ Kuroiwa ,l985 ）。在高等植物中，雄性細胞器 DNA 的消除可能是按下述步驟進行的：1 、花粉第一次有絲分裂爲不均等分裂，使生殖細胞中細胞器數目大大減少。 2 、細胞器 DNA 在依賴於 $Ca^{2+}$、 $Zn^{2+}$生的核酸酶作用下被降解（引自 Kuroiwa , l991 ）。

二、雄性細胞器及其 DNA 的傳遞與質體雙親遺傳

研究雄性細胞質的傳遞與質體雙親遺傳的關係主要從以下幾個方面進行。

1 、生殖細胞與精細胞的超微結構

縱觀質體遺傳研究歷史，多數學者把卵細胞中存在細胞器並參與授精認爲是必然的，因此僅將雄性細胞的超微結構作爲重點來研究。在遺傳上確定爲質體雙親遺傳的植物中，如月見草（ *Oenothera erythrosepala* ）、天竺葵（ *Pelargonium zonale* ）、杜鵑（ *Rhododendron spec.*）等，在其生殖細胞和精細胞中都可觀察到結構完整、數量較多的質體和線粒體（ Hagemann and Schroder ,l989 ）。事實上確定質體雙親遺傳的之體

遺傳方式還需要考慮到這些質體和線粒體可能不含 DNA 或在授精過程中被排除。Hagemann and Schroder （ 1989 ）劃分的天竺葵型或小麥型，包括 Triticale（ schroder ,1983 ）、黑麥（ Hagemann and Schroder ）、歐洲百合（ Schroder, l984 ）等植物正是基於這種原因。

2 、生殖細胞和精細胞中細胞器 DNA 類核的研究

Corriveau and Coleman （ 1988 ）觀察的 200 多種被子植物中，發現約 14 %的植物屬（ 43 種）其生殖細胞和／或精細胞中具有細胞器 DNA 。根據這種特徵，作者判斷這些植物具有質體雙親遺傳的潛能。這些植物多數在遺傳上也曾證明是質體雙親遺傳的。在作者檢測的所有植物中共有 5 種植物與遺傳學分析結果不一致，其中涉及到具有質體雙親遺傳潛能的植物有兩種，它們是牽牛（ *Ipomzea nil =Pharbitis nil* ）、豌豆（ *Pisum sativum* ）。這兩種植物生殖細胞中具有細胞質 DNA ，作者認爲具有質體雙親遺傳潛能，但以前的遺傳學證據表明屬於質體單親母系遺傳。 Corriveau and Coleman 認爲這種細胞學證據與遺傳學證據不一致的原因可能爲： 1 、在精細胞中、授精過程中或授精後雄性細胞質 DNA 被降解。 2、以前的遺傳學證據可能不代表質體 DNA 突變。如遺傳學證據可能爲核控制的性狀或有病毒感染。 3 、不同的作者所採用的植物種不同。

3 、卵細胞超微結構的觀察

有意識的將卵細胞超微結構與細胞器雙親遺傳連繫起來的研究不多。多數學者認爲授精過程中卵細胞中的質體和線粒體參與授精。至於卵細胞中質體和線粒體的數目、大小、分布及其它特徵對細胞器雙親遺傳有何影響一直缺少研究。最近， Zhu *et al*., （ 1993 ）利用三維重構技術詳細報導了苜蓿不同基因型卵細胞的超微結構，並且將這些超微結構特點與不同基因型質體雙親遺傳頻率不同連繫起來。在苜蓿中，對強母系質體遺傳基因型（基因型 6-4 ）與弱母系遺傳基因型（ CUF-B ）卵細胞內的質體相比較，前者的質體較大，而且在卵細胞的頂細胞區有較多的質體。作者認爲，卵細胞質體的數量、大小及分布區對質體雙親遺傳有重要影響（ Zhu *et al.,* 1993 ）。在天竺葵（ *Pelargonium hortorum* ）中，卵細胞內質體多爲不規則的棒狀，含澱粉粒，與精細胞中質體結構特徵相比有明顯差異（胡適宜等,1994 ）。這些觀察爲在合子中直接區分父系、母系來源的質體提供了可靠依據。

4 、卵細胞中細胞器 DNA 類核的觀察

卵細胞中細胞器 DNA 類核的研究，目前僅見二篇報導。胡適宜等（ 1994 ）觀察到天竺葵（ *P.hortorum* ）的卵細胞內存在兩種類型的類核，一種是巨大的環狀類核，一種是點狀類核。作者認爲前者是環狀或杯狀線粒體類核。 Kuroiwa *et al*., （ 1992 ）在天竺葵（ *P.hortorum* ）卵細胞內也觀察到巨大的線粒體類核。有關卵細胞中質體和線粒體數量與質體和線粒體 DNA 拷貝數的關係，卵細胞中質體和線粒體 DNA 的類核的數量、分布、授精以後的變化以及上述因素對質體和線粒體遺傳方式的影響值得深入研究。

5 、授精過程中雌雄性細胞器的傳遞

觀察精細胞和卵細胞超微結構並比較二者細胞器超微結構的特點，然後觀察合子中

是否同時存在父系來源及母系來源的細胞器，爲質雙親遺傳提供直觀念的超微結構證據。這是一種能比較明確的判斷雌雄質體傳遞的方法。但是，由於多數植物精細胞和卵細胞中的細胞器在超微結構上並無顯著差別，因此，利用上述方法判斷雌雄性細胞器傳遞的報導並不多。 Meyer and Stubbe （ 1974 )在紅萼月見草（ *Oenothera erythrosepala* ）的合子中觀察到既有卵細胞來源的質體也有精細胞來源的質體。 Guo and Hu,（ 1995 ）在天竺葵的合子中觀察到了雌雄性來源的質體和線粒體，並且在胚胎發育早期雌雄性親本來源的細胞器仍可鑒別。

6 、細胞質雙親遺傳方式的確定

目前對質體雙親遺傳的細胞學研究工作不多，一般得到與遺傳學證據一致的結果（ Coriveau and Co1eman l988 ）。確定雌、雄性質體是否遺傳到了下一代，除傳統的遺傳學方法外，目前還發展了用有性雜交結合 RFLP 技術進行研究的方法。幾種植物的質體雙親遺傳方式已由此方法確定或證實。（劉興梁等,1994,Lee *et al*.,1988, Metzlaff *et al*.,1981 ）。

三、父系質體的傳遞與質體單親父系遺傳

到目前爲止，被子植物中僅報導兩種植物是質體單親父系遺傳，它們是苜蓿（ Fairbanks *et al.*, 1988, Schumann and Hancock, l989, Masound *et al*., 1990 ）和胡蘿蔔（ Boblenz *et al*.,1990 ）這兩種植物質體遺傳方式都是利用 RFLP 技術確定的。對於胡蘿蔔而言，以 *Daucus muricatus* 作母本， *D.carota* 和 *D.aurens* 作父本雜交，表現質體單親父系遺傳，但在反交中不表現單親父系遺傳現象（ Boblenz *et al*. ,1990, Hause, l991 ）。如前所述，苜蓿是一種質體父系遺傳能力很強的植物，不同基因型有一定差別。在苜蓿中，生殖細胞和精細胞中存在較多的質體和線粒體（ Zhu *et al*.,1990, 1991,1992 ）及細胞器 DNA （ Corriveau and Coleman, l988 ）。強父系遺傳的卵細胞中缺乏巨大的珠孔端大液泡，質體數目少，質體主要分布於珠孔端，這可能使母系質體主要傳遞至基細胞（將發育成胚柄），而未能進入頂細胞（將發育成胚本體），導致質體父系遺傳（ Zhe *et al*. ,1991a ）。 Daucus muricatus 的卵細胞中只有少量的質體(8-12 〕，並且有一些質體表現爲退化狀態。與 *D.aurens* 相比， *D.muricatus* 卵細胞液泡化程度較高（ Hause, 1991 ）。 Hause,（ 1991 ）認爲質體父系遺傳可能有 3 種解釋： 1 、精細胞中質體數量大大高於卵細胞中質體數量，授精後父系質體在後代中占主導地位。 2 、父系質體在合子中具有選擇優勢（例如較快的 DNA 複制和細胞器分裂）從而導致母系質體的釋稀和排出。 3 、在合子中母系質體的降解。

在裸子植物中，質體主要爲單親父系遺傳，大多數是經 RFLPs 技術確定的。 Neale *et al.*, 1986, Neale and Sederoff, 1989, Wagner *et al.*, 1987, Szmidt 1987, Stine, 1989)，分布於松科、杉科和柏科。 Whatley(1982)認爲在針葉植物中，質體單親父系遺傳可由父系質體進入卵細胞而母系質體被排出來解釋。最近， Owens and Morris,（ 1990 ， 199 ）詳細觀察了花旗松卵細胞中超微結構和授精過程，在細胞學上有助於解釋質體單親父系遺傳現象。在花旗松卵細胞中存在質體和線粒體，卵細胞成熟後，質體轉移形成數個較大的包含體(inclusion)，這種包含體有膜包圍。線粒體轉移至一個特殊區域-圍繞卵核的

核周區（ perinuclear zone ）。花粉管中的體細胞(body cell)形成兩個雄配子，授精時擬花粉管釋放兩個雄配子及一團含有雄性細胞器。包括質體和線粒體的細胞質進入卵細胞質中，並移向卵細胞核。前導雄配子與卵細胞核融合，合子核進行游離核分裂，這時雄性細胞器仍保持孤立狀態（ discrete state ）。然後，游離核，母系核周細胞質，父系細胞質團一起移動至頸卵器的合點端，在此，雙親細胞器混合在一起形成新細胞質(neocytoplasm)，然後核分裂形成一個 12 個細胞的原胚。上述過程中，除花旗松外，未報導過大包含體進入新細胞質的現象。在花旗松中，大包含體偶爾進入新細胞質。

根據上述觀察，在松科中質體的父系遺傳可以這樣解釋(Owens and Morris ,1991 )：在授精和原胚發育過程中，雄性細胞器。包括質體和線粒體，進入新細胞質而位於包含體內的母系質體未進入新細胞質，卵核周區的線粒體則進入新細胞質，這樣導致質體的父系遺傳。然而，線粒體的母系遺傳不能完全解釋，因爲父系的線粒體如何被排除是未知的。

在其它一些種和雜種中（ Write, 1990, Govindaraju, 1988 ）偶爾出現母本質體 DNA 進入後代中，這可能是位於包含體中的質體 DNA 偶然進入新細胞質造成的。

很顯然，在松科中，質體和線粒體的遺傳方式下列因素決定： 1 、卵細胞中的質體轉移形成大包含體，而這些包含體絕大多數在原胚中被排除。 2 、明顯的含有母系線粒體的核周區的存在，這個核周區是新細胞質的主要成份。 3 、從花粉管中釋放出雄性細胞質（包括質體和線粒體）及雄配子(僅具有核，缺乏細胞質），雄性細胞質參與新細胞質形成。

不同的針葉植物雖然質體的遺傳方式主要爲單親父系遺傳，但線粒體的遺傳方式差別較大(詳見下述)。因此，不同植物在授精過程中質體和線粒體的傳遞方式可能有一定差別。在柏科和杉科中（ Chesnoy 196,197, Sigh and Chatterjee, 1963 ），卵細胞具有大的中央液泡和核，卵細胞不存在核周區，沒有大包含體形成，線粒體和質體在卵細胞的兩極聚集。授精時，雄性細胞占據了卵細胞的一大部分，雄性細胞帶有許多細胞器(包括質體和線粒體)，當膜破裂，雄性細胞器包圍了卵核，從而排除了大多數母系細胞器。雌雄配子融合，經歷游離核分裂，游離核與雄性細胞器團一起移至頸卵器的合點端，在此形成細胞壁。可以認爲大多數原胚細胞質是父系來源，但是也不排除少數母系細胞器在移位過程中移向合點端。因此，在柏科和杉科中，線粒體 DNA 和質體 DNA 主要爲單親父系遺傳。

四、關於線粒體遺傳

線粒體遺傳研究較少，在被子植物中，絕大多數線粒體爲單親母系遺傳（ Chapman, 1986 ），少數植物表現低頻率的雙親遺傳，如油菜（ Erickson and Kemble, 1993 ）。在裸子植物中，不同的種差別較大，在松科中主要表現爲單親母系遺傳（ Owens and Morris ,1991, Neale and Sederoff ,1989 ），而在柏科和杉科中可能主要爲單親父系遺傳（ Owens and Morris,199, Neale *et al*., 1989 ）。質體和線粒體遺傳可能是兩個相互獨立的遺傳系統，因爲表現質體母系遺傳的植物有的表現低頻線粒體雙親遺傳（ Erickson and Kemble,1993 ），表現強烈質體父系遺傳的植物線粒體卻爲嚴格的母系遺傳

(Schumann and Hancock ,l989, Neale and Sedroff, l989 ）。由於線粒體遺傳研究較少，目前對其在高等植物中的遺傳規律及機制尚無明確答案。

參考文獻


（1） Bauer E （1909） Das wesen und sie Erblichkeitverhaltnisse der “Varietates albo-marinatae hort” von *Pelargonium zonale*.Z Vererb Lehre 1 ： 333-351

（2） Boblenz K, Nothnagel T and Metzlaff M （1990） Paternal inheritance of plastids in the genus *Daucus*. Mol Gen Genet 220 ： 489-491

（3） Chapman GP （1986） In” The chondriome ： chloroplast and mitochondrial genomes”（S.H. Manrel1, G.P.Chapman, and P.F.S.Street,eds ), pp.61-68. Longman, London.

（4） Chesnoy L （1969） Sur la participation due gamete male a la constitution du cyto-plasme de l'embryon chez le *Biota orientalis* Endl. Rovue Cytologie et de Biologie Vegetales 32 ： 273-294

（5） Correns C （1909） Vererbungsversuche mit blass （gelb） grunen und buntblattrigen sippen bei *Mirabilis jalapa,Urtica pilulifera* und *Lunaria annua*. Z Indukt Abatamm Vererbungslehre 1 ： 291-329

（6） CorriveauJL, and Coleman AW （1988） Rapid screening method to detect potential biparental inheritance of plastid DNA and results for over 200 angiosperm species. Amer J Bot 75 ： 1443-1458

（7） Erickson L and Kemble R （1993） The effect of genotype on pollen transmission of mitochondria in rapeseed （*Brassica napus*）.Sex Plant Reprod 6 ： 33-39

（8） Fairbanks DJ, Smith SE and Brown JK （1988） Theor Appl Genet 76 ： 619-622

（9） Gillham NW （1978） Organelle heredity. Raven press, New york.

（10） Govindaraju DR, Wagner DB, and Smith GP （1988） Chloroplast DNA variatiobn within individual tress of a *Pinus banksiana-Pinus contorta* sympatric region.Canadian Journal of Forest Resarch l8 ： 1347-1350

（11） Guo FL and Hu SY （1995） Cytological evidence of biparental inheritance of plastids and mitochondria in *Pelargoium*. Protoplasma.（in press）

（12） Hagemann R （1979） Genetics and molecular biology of plastids of higher plants.Stadler symp.11 ： 91-115

（13） Hagemann R （1992） Plastid genetics in higher plants. In Herrmann, R.G.（ed）.Cell organelles.pp65-96. Springer-Verlag, Wien,New York.

（14） Hagemnn R, and Schroder M-B （1989） The cytological basis of the plastid in heritance in angiosperms. Protoplasma l52 ： 57-64

（15） Hause G （1991） Ultrastructural investigation of mature embryo sac of *Daucus carota,D. aureu* and *D. muericatus*--possible crtological explanations of paternal plastid inheritance. Sexual Plant Reproduction 4 ： 288-292

(16 ) 胡適宜，國鳳利，羅玉英（ 1994 ）天竺葵質體和線粒體雙親遺傳的細胞學機理-雄性和雌性配子超微結構和 DNA 螢光的研究.植物學報 36 （ 4 ） ： 245-250

( 17 ) Kuroiwa H and Kuroiwa T （ 1992 ） Giant mitochondria in the mature egg cell of *Pelargonium zonale*. Protoplasma l68 ： 184-188

(18) Kuroiwa T （ 1985 ） Microbiol Sci 2 ： 267-272

(19) Kuroiwa T （ 1991 ） The replication, differentiation, and inheritance of plastid with emphasis on the concept of organelle nuclei. International Rev Cytol l28 ： 1-60

( 20 ) Kuroiwa T, Fujie M, Mita T, Kuroiwa H （ 1991 ） Technovit 7100 resin to observations of small amount of DNA in cellular organelles associated with cytoplasmic inheritance. Appl Fluoresc Tech 3 ： 23-25

( 21 ) Lee DJ, Blake TK and Smith SE （ 1988 ） Biparental inheritance of chloroplast DNA and the existence of heteroplasmic cells in alfalfa.Theor Appl Genet 76 ： 545-549

( 22 )劉興梁，胡贊民，胡適宜（ 1994 ） RFLP 技術在植物細胞質遺傳研究中的應用。生命科學 6(2 ） ： 9-11

( 23 ) Masoud SA Johnson LB and Sorensen EL （ 1990 ） High transmission of paternal plastid DNA in alfalfa plants demonstrated by restriction fragment polymorphic analysis. Theor Appl Genet 79 ： 49-55

( 24 ) Mever B, Stubbe W （ 1974 ） Das Zahlenverhaltnis von mutterlichen und vaterlichen plastiden in den zygoten von *Oenothera erythrosepala* Borbas （ syn. *Oe. lamarckiaua* ） Ber Beutshe Bot Ges 87:29-38

( 25 ) Metzlaff M, Borner T and Hagemann R （ 1981 ） Variations of chloroplast DNAs in the genus *Pelargonium* and their biparental inheritance. Theor Appl Genet 60 ： 37-41

( 26 ) Miyamura S, Kuroiwa T, and NagataT （ 1987 ） Disappearance of plastid and mitochondrial nucleoids during the formation of generative cells of higher plants revealed by fluorescence microscopy Protoplasma l41 ： 149-159

( 27 ) Neale DB, Marshall RA, and Sederoff DB （ 1989 ） Chloroplast and mitochondrial DNA are paternally inherited in *Seqosia sempervivens* D. Don End. Procedings of the National Academy of Science USA 86 ： 9347-9349

( 28 ) Neale DB and Sederoff （ 1989 ） Paternal inheritance of chloroplast DNA and material in heritance of mitochondrial DNA in *Loblolly pine*. Theor Appl Genet 77 ： 212-216

( 29 ) Neale DB, Wheeler NC, and Allard RW （ 1986 ） Paternal inheritance of chloroplast DNA in *Douglas-fir* Can J For Res16 ： 1152-1154

( 30 ) Owens JN and Morris SJ （ 1990 ） Cytological basis for cytoplasmic inheritance in *Pseudotsuga menziesii* Ⅰ. Pollen tube and archegonial development. Amer J Bot 77 （ 4 ） ： 433-445

( 31 ) Owens JN and Morris SJ （ 1991 ） Cytological basis for cytoplasmic inheritance in

*Pseudotsuga menziesii* II. Fertilization and proembryo development. Amer J Bot 78 ( 11 ) : 1515-1527

( 32 ) Schroder M-B(1983 ) The ultrastructure of sperm cells in *Tricale*. In : Fertil embryogen ovul plants. VEDA, Bratislava, pp.101-104

( 33 ) Schroder M-B ( 1984 ) Ultrastructural studies on plastids of generative and vegetative cells in the family *Liliaceae, Lilium martagon* L. Biol Zentralbl 103 : 547-555

( 34 ) Schumann CM and Hancock JF ( 1989 ) Paternal inheritance of plastid in *Medicago sativa*. Theor Appl Genet 78 : 863-866

( 35 ) Sears BB ( 1980 ) Elimination of plastids during spermatogenesis and fertilization in the plant kingdom. Plasmid 4 : 233-255

( 36 ) Sigh H and Chatterjee ( 1963 ) A contribution to the life history of *Cryptomeria japonica* D.Don. phytomorphology 13 : 428-445

( 37 ) Stine M, sears BB and Keathley DE ( 1989 ) Inheritance of plastids in interspecific hybrids of blue spruce and white spruce , Theor Appl Genet 78 : 768-774

( 38 ) Szmidt AE, Alden T and Hallgren J-E ( 1987 ) Paternal inheritance of chloroplast DNA in *Larix*. Plant Molecular Biology 9 : 59-64

( 39 ) Tilney-Bassett RAE ( 1978 ) The inheritance and genetic behavior of plastids. In : Kirk JTO,Tilney-Bassett RAE ( eds ) , The Plastids, Elsevier / North Holland, Amsterdam, pp.251-524

( 40 ) Wagner DB, Furnier GR, Saghai-Maroff MA, Williams SM, Danik BP, and Allard RW ( 1987 ) Chloroplast DNA polymorphisms in lodgepole and jack pines and their hybrids. Proc Natl Acad Sci USA 84 : 2097-2100

( 41 ) Whately JM ( 1982 ) Ultrastructure of plastid inheritance : Green algae to angiosperms. Biol Rev 57 : 527-569

( 42 ) White EE ( 1990 ) Chloroplast DNA in *Pinus monticola*.2. Survey of within species variability and detection of heteroplasmic individuals, Theor Appl Genet 79 : 251-255

( 43 ) Zhu T, Mogensen HL, and smith SE ( 1990 ) Generative cell composition and its relation to male plastid inheritance in *Medicago sativa*. Protoplasma 158 : 66-72

( 44 ) Zhu T, Mogensen HL and smith SE ( 1991a ) In "proeedings of th 49th annual meeting of the Electron Microscopy Society of America ( G.W. Bailey ed.) pp.210-211.San Fransico Press, San Francisco.

( 45 ) Zhu T, Mogensen HL and Smith SE ( 1991b ) Quantitative cytology of the alfalfa generative cell and its relation to male plastid inheritane patterns in three genotypes,Theor Appl Genet 81 : 21-26.

( 46 ) Zhu T, Mogensen HL, Smith SE ( 1992 ) Heritable paternal cytoplasmic organelles in alfalfa sperm cells : ultrastructural reconstruction and quantitative cytology. Europ

J Cell Biology 59 : 211-218
( 47 ) Zhu T, Mogensen HL and Smith SE ( 1993 ) Quantitative, three-dimensional ana1ysis of alfalfa egg cells in two genotypes : Implications for biparental plastid inheritance. Planta l90 : 143-150

# 台灣地區的若干生態現象與長期生態學研究

金恆鑣

摘要：

當今全球的自然環境與資源受到人類的使用，已呈現出品質惡化、資源缺乏的窘境（台灣自不例外）。爲了瞭解台灣地區的生態現象與過程的真相，必須依循生態現象與過程的幾個重要特性：即長期演化、瞬時突發、變異度高，複雜性大等，而作「長期」監測與分析的研究；這便是當今全球生態科學家研究自然環境與生態過程的共識。這是一項跨「世代」的研究。

生態學已跨出傳統的研究方式，其基本概念是設置長期「指定試驗地」，來進行監測與分析某種特定且具共同關注等項目，並加以綜合與歸納，模擬與預測。因爲生態過程是極其複雜的現象，已非任何單一學門能獨自駕馭，必須綜合各學門領域的科學家，集中在「指定試驗地」展開整合性的研究，在互補其短、互助其長的合作方式下，始能深入探索生態現象的機制。這是一項「跨學門」的研究。

因爲生態現象與過程，不但受到當地過去與現在自然力與人文社會活動的影響，並且也受到大區域（如東亞與太平洋區域），甚至全球的自然與人文因素的影響。因之，大區域與全球性之相關合作研究成爲「長期生態研究」之特色，尤其是大氣環流、空氣污染物造成地球暖化、臭氧層破洞、酸雨的肆虐，皆需靠國際合作始克其功。發展「全球資訊網路」，共享資料與研究成果，使成爲「長期生態研究」之必要工具，因此，這也是一項「跨國性」的研究。

本文先論述台灣生態系在自然與人爲干擾因素模塑下所呈現的生態過程與現象。其後說明長期生態研究的基本理念、實施方法、預計成果、以及我國在這方面的成就。

## 前　言

自然環境與人文活動本來就具有動態演變的特質，但是本世紀中葉以降，此二者變動的速率之快與規模之大，是自有人類歷史記載以來，最劇烈的變遷。形之於人文的變遷，至少包括了產業革命，二次世界大戰；美、蘇兩大集團的冷戰

期間的軍備與國防武器的研發與競爭;第三世界民族意識的抬頭及其政治體制與政權的傳嬗；多國內戰的兵燹連年，世界政局皆處在動盪不安的狀態。殆及一九八〇年左右，中國大陸鐵幕時代正式結束；超級軍事大國的蘇聯政體瓦解；東歐政體軟化;許多國家的內戰以某種形式的和解、消弭;歐洲共同體制的逐漸成熟，人文社會之活動乃日趨比較緩和與穩定的局面。然而全球經濟結構與金融之變遷卻仍然相當急劇地持續、演變著。

其實在此半世紀的人文變遷過程之中，科學技術上的精進之下，全球的自然環境（生命的與非生命的；物理、化學與生物的）也跟著發生劇烈的變遷，其遷變的層面可能比人文變化更深遠，然而其變遷之速率與規模並未臻平衡或趨緩和的走向，甚至可能越演越烈。其中最受人矚目及最受全球關心的是：全球原有的大氣圈、水圈與生物圈的特質的急劇變遷，此變遷有不利趨向地球所有生命生存與繁演，甚至演化的可能。

大氣圈內化學組成（如：二氧化碳、臭氧及其他痕量物質）改變的結果，已超出到全球氣溫的長年變異範圍。人類干擾全球環境平衡的其他活動如大面積的森林破壞、礦物資源的掠奪式開採、各種難分解且具毒性的化學合成物的大量製造與短視的無節制運用、海洋生物的非永續使用，致使各種生態過程丕變，造成生物圈內多樣性（包括基因、物種、生態地景）的淪喪，野生物棲地的品質下降與面積的縮減。

全球的環境是一個異常複雜與難以理解的系統，是由太多複雜與難以理解的副系統綜合效應下產生的動態系統，故需要全球的人力、物力、財力的長期共同合作，才有希望逐步瞭解（１）全球環境的變遷真相；（２）此變遷會引起那些回授及回授的幅度；（３）各副系統（如大氣化學與輻射，海洋環流與通量，水文循環，陸緣與海陸交接之生態，陸地生態系…等）之間的交互作用產生的綜合效應，以及（４）預測未來近、中、長程整個環境特性往什麼方向變遷及變遷的速率與幅度。最後這些地方性、區域性的變遷如何影響全球性生物圈（包括生物多樣性與人類及其他生物生存的環境）的生態過程及人類的社會與經濟，甚至政治的層面。這些都會影響環境政策制定的正確性、可行性與成效。

國際間早在數十多年前便採取行動，研究全球環境變遷的問題，先從可能的模擬如果核子戰爭爆發，發生「核子冬天」開始，繼而監測全球的大氣與海洋環流，生物多樣性普查，乃至全球生物圈的生態過程。如今發現這不是單獨任何地

方，國家或區域，任何單門學科領域，任何片斷時期內可以分別研究的複雜現象，而是跨國際、跨學門與跨世代的問題。

我國對這些問題的注意到採取行動，雖然只有五年時間而已，不過已深切感受此問題的重要性。如今在行政院國家科學委員會的重視及補助下，加上台灣現有科學界的參與，認定了我們應該馬上採取正視對地方性（台灣）及至區域性（東亞暨太平洋地區）的環境變遷。這些瞭解不但對台灣與東亞地區的生態，而且對全球環境變遷瞭解上有一定程度的貢獻。全球環境變遷的研究要靠長期及全球的科學家攜手參與，沒有國家可以置身度外。這絕對是國際合作規模的問題。

## 生態保育：長期生態研究的誕生

真正認識到生態現象是要靠長期觀察與研究才不過最近的事。美國國家科學基金會在一九八〇年代正式贊助美國的科學家，認真考慮「長期生態研究的計畫」（Long-Term Ecological Research Program，簡稱 LTER）。主要的誘因是發現美國耶魯大學主持下的哈柏德溪森林集水區長期研究的成果豐碩，彌補了其他短期生態研究的不足。尤其是結合了降水化學與水文、地質學、生態學、社會學的知識，闡釋許多生態的過程是前人聞所未聞的現象。

美國的國家科學基金會於一九八〇年推展至今的「長期生態研究」，已經設置了十七個試驗地。該計畫的目標爲：

1. 瞭解長時間與大空間的一般生態現象。
2. 開創一個設計週全、紀錄詳實的試驗模式與觀察的「資產」，留傳給後世代子孫們使用。
3. 從事綜合重要資料整理與理論成果。
4. 提供科學性的資訊，作爲鑑定並解決社會問題之用。

在此計畫下，參與的科學家要思考下列問題：

1. 提出差異大的各種地景系統（landcapes）內有相似的科學問題。
2. 在各「指定試驗地區」內進行監測類似項目，獲得的資訊要能與各科學家共享。
3. 要能取得與支援納入此計畫的各種新科技。
4. 具有能傳遞資訊、企畫與資料共享的機制。
5. 定期與其他科學家聯絡，開展各科學家的各種研究領域與理念。

凡是屬於長期生態研究的試驗區，皆應研究下列各項生態現象與過程：

1. 初級生產的樣式（pattern）與控制（control）。
2. 代表營養結構（trophic structure）的生物族群之時空分布。
3. 地表土壤與淤泥的有機物聚集之樣式與控制。
4. 無機營養物經過土壤、地下水與地表水體的輸入與傳輸的模式。
5. 試驗地受干擾的類型、頻度及在生態上的重要性。

在社會學／經濟學方面至少應討論：

1. 人類對土地及生物資源的利用史的社會層面，及其對資源的永續性與生產力等經濟活動的影響。
2. 將研究成果轉寫成官方制定「生態與環境政策」的可使用的文字，做爲其政策制定上所需的科學依據。
3. 本計畫所累積的知識、經驗、成果與發展之生態模式，成爲撰寫以「本土」資料爲基礎的《森林生態系》教科書供國內各級學校採用，取代一直以西方譯作的教科書。

台灣類似美國哈柏溪森林集水區的研究，早在民國五十九年已經開始，主要是由行政院農業委員會推動的。然而當時只想到水文與地文方面的純粹物理現象問題，並未結合了大氣的水化學現象，更遑論其與生命現象及社會與經濟上的關係。殆至一九八〇年後，零星的個人主持的水化學（例如降水、土壤與溪流水）研究才逐漸開始，但是仍然未將問題與生態系中生命現象結合起來。後來，一些生態研究的學者之間逐漸認識到美國的「長期生態學研究」的概念及其時代意義，因而整合了研究森林物理環境現象的科學家與植物學、動物學及微生物學等科學家，作長期探索台灣重要的生態系的生態現象與過程。這個計畫受到我國行政院國家科學委員會的支持，終於在一九九二年成立了「地球變遷：福山長期生態學研究」計畫。待至一九九四年冬，擴大成爲獨立的「台灣長期生態研究」計畫，殆至今日已成立五個長期生態研究試驗地，且皆已正式推動研究。

## 爲什麼要長期？

許多生態現象有幾項特質：過程緩慢；有時是突發性，規律難以捉摸；過程難解；還有控制因素很複雜。也就是說需要長期的監測及跨學門的合作，要結合

許多地方性的研究成果，擴充到區域性及全球的尺度。若無全球尺度的環境認識，是拯救不了地球的環境，那麼也無法保全區域性與地方性的環境了。

許多生態現象在短期間內不容易看出有什麼變化，惟長期監測才能看出變化的幅度。例如森林生態系的植群演替，非得至少有數十年的觀察與研究，始能尋出其演化的若干脈絡。例如，地形景觀的變遷、土壤化育與腐木分解都是漫長時間的生態過程。

有的生態現象是突發性的，也就是說周期難以決定。例如竹子的開花周期，樹木的豐年結實，自然火的發生，土地崩塌與火山爆發。這些事件一旦發生，對生態系造成極大的衝擊，其影響可能十分遠久。這種干擾往往使某種生態過程重新開始（即發育時間歸零）。如果沒有長期研究與監測，往往無法詮釋干擾衝擊的性質及其造成的後續效應。

許多生態現象的出現，難以捉摸其規律性。也就是說在某時間單元，（日、月、季節、年・・・）內的變異很大，難以用短暫的時間尺度窺其變化的真相及以短時間尺度所獲得的資料難以闡釋其原因與機制。如病蟲害的爆發，每年颱風的強弱等，均是難以預知的事件，因爲規律性難以掌握。

此外，許多生態過程本身變化的幅度比背景干擾小，故難以將生態現象與背景干擾區分出來。例如酸雨的酸度與森林營養的流失量的年變異太大，無法在短短數年內看出將來變遷的趨勢。例如筆者根據監控十五年的台北市雨水之化學性質，尚無法作出雨水的那些化學性質有明顯的變化趨勢。

## 台灣地區的若干森林生態現象

森林地佔台灣面積一半以上，保育森林生態系可以說是保育了台灣大部分的自然態系了。要瞭解森林生態系的生態現象與過程，必得從自然力與人爲干擾對該生態系產生什麼長期與短期的影響著手。以北部森林生態系爲例，長期存在與季節性發生的颱風及瞬間發生的大面積山崩爲最大的兩種自然營力。此外中南部的乾季、山區的霧氣、恆春的落山風也有局部性控制當地生態過程的功能。

另外，人爲干擾一般是長期一直存在的土地利用方式及最近工業化製造的污染物。污染物已借集流與擴散作用分佈到全球的生態系。台灣地區的生態系不但受到長期距離傳輸的空氣污染物的影響，也受到台灣地區自行製造的污染物的衝擊。

台灣的許多生態現象及過程，可以說是與颱風過境下達成的某種平衡。颱風的自然營力對森林生態系最大的效應是強風與暴雨。在瞬時強風之下，可以造成：（1）生活的樹葉大量吹落；（2）枝條及大枝幹斷折；（3）有些樹幹吹倒，暴露部分根群；（4）創造大小不等的森林地內的空隙地（簡稱林隙）；（5）加速土壤沖蝕；（6）改變營養收支與循環；及其他生命現象的變遷。根據在福山森林生態系內的研究者的初步測定，一九九四年八月道格颱風過境福山森林之後，有些試區的葉面積指數從颱風前的4.1下降到颱風後的 1.2。這說明了颱風是福山森林在極短期間內的極大干擾力。

颱風造成的落葉現象與北美溫帶闊葉林的秋末冬初大量落葉現象相當不同，其造成的生態過程亦應有所大差異，雖然兩者均爲自然現象。颱風造成的落葉對該生態系的現象之特性爲：（1） 爲生活性之枝葉脫落，此枝葉所儲存的營養狀態與自然現象即將成爲落葉的營養狀態相當不同；（2）若生活性枝條斷或折，其上之生長能力亦隨之喪失，這對新葉之發生有很大的衝擊；（3）造成林隙的大小及其微環境是控制森林自然更新及植群演替的重大因子。林冠的疏開度大小會改變林內及林地接受日光之輻射能、土壤之水量及林分營養物的重新分配，進而影響樹種的重新建立。我在此對福山樹種的族群優勢度有一個假設：「福山優勢木族群之建立是受到颱風暴雨的強度、頻度、降水及地形、土壤因素的控制」。以福山爲例，調查指出，主要（優勢的）樹種如銀葉長尾栲、紅楠、香楠、黃杞、鳥皮茶、山紅柿、綠樟等，而此與颱風造成的林隙內優勢樹種相當吻合，此一發現至少可以部分說明福山森林中林木優勢種存在的原因。（4）風倒木與枯立木在台灣森林的生態功能一直沒有明確的認識。風倒木與枯立木樹種的鑑定，齡級的分布，與其他物種生活現象關係也一直闕如。北美洲的研究指出，風倒木與枯立木在能量傳輸與營養循環上有特殊而且重要的生態功能，尤其是在過渡生態區及溪岸與溪內的倒木，針對水域生態上的功能更屬重要。

當颱風過境後，生活性樹葉大量脫落，則依靠樹葉爲食之無脊椎動物（尤其是昆蟲）的族群可能首當其衝受到影響。當十多年一次的大颱風過境，對福山森林內食物網的運作上會造成若干程度的影響。颱風對森林生態過程上扮演的「重新設定」機制，可能對各營養階有不同的衝擊。

颱風對森林生態系的影響力，除了強勁的風速之外，其挾帶的暴雨亦是一個相當重要的「重新設定」機制。森林存在的第一個要素是降雨量超過森林植物的

蒸散量。當降雨量比森林植物的蒸散量大得多之時，積水或沖蝕主導了許多生態過程。

以台灣的自然環境而言，在地殼急速上升的特性及速率下，破碎了地質構造及提高了位能。因而促進了地質物的不穩定，地表急劇的變遷成爲地景變遷的通性。如今加上暴雨挾帶的能量，地表沖蝕快速與發生崩塌成爲地景系統的環境特色。因之地景內的台階地狹小，湖泊欠缺，深淵與陡坡成爲生態系中的無生命部份（物理環境）的特徵。若處在急劇動態的局面，其有生命部分（生物群落）亦隨之受到模塑與控制。台灣地形中，屬於森林分布的地區，在人類利用下，早已退居崇山與峻嶺之間。颱風之過境，地殼之不穩定，實爲塑造台灣生態的兩大自然力了。

最近百年多來，全球工業化的史無前例的加速下，科學家已證實對全球環境產生了許多變遷，此變遷亦會影響台灣的生態過程。諸般人爲干擾生態過程中，極其明顯而且受到公眾關注的例子便是空氣污染的嚴重，已經威脅到湖泊與森林的生物族群結構及功能了。

空氣污染物中的硝酸與硫酸鹽及許多痕量金屬元素對台灣的森林生態系造成的效應尚未有深入的研究。然而若干初步調查顯示，酸沈降強烈影響森林生態系的營養物循環及土壤中鹽基陽離子因淋溶作用而加速流失。

酸沈降內若干痕量元素（如鉛與汞）等，在森林生態系內的累積、移動及進入溪流中，並輸送到人類利用之水源。此生態過程並未明瞭，但是有待研究。

影響生態過程的其他人爲干擾就是土地利用，在人口膨脹與經濟長成，都市主宅區，工業與商業區，採礦區，交通網，甚至農業區都造成相當大的環境壓力。相對之下，自然野域的面積日漸減少，生物種的棲息地面積與品質下降，在短期內會降低生命的多樣性，長期下去可能會影響無法延續過去的生物演化現象。

## 我國的長期生態研究網及初步生態現象觀察

上述說明生態現象需要長期的研究，始能瞭解生態現象的真相與生態過程的機制。台灣地區許多生態學研究，一直處於單打獨鬥個人研究的狀況，而生態現象的複雜性與深奧性，需要群策群力，跨學門的長時間與廣幅員的整合性研究。

如前所述，台灣的長期生態研究計畫，早在一九九〇年初由台灣省林業試驗所集水區經營系與育林系共同向國科會生物處提出，在一九九二年七月獲得接受與經費補助，當時只有「福山森林試驗地」，其下共有十五個子計畫。此十五個

子計畫是整體性地研究福山森林生態系的結構，功能與平衡。各子計畫的研究用「食物網」、「能量傳輸」、「營養物循環」連接起來，綜合「生物群落」與「環境因子」之間的交感作用，去瞭解該生態系的現象與過程。

台灣的生態研究網在一九九四年增加了一個位於中部的試驗地－關刀溪試驗地，而且試驗工作已經展開。一九九五年決意增加鴛鴦湖、塔塔加及南仁山三處，總計有五處試驗地。其中鴛鴦湖試驗地，由中央研究院植物所的研究人員推動。南仁山是南部的一個熱帶林試驗地，原本就有植物學方面的研究，如今加入「台灣長期生態研究」計畫之中，整合性之生態系研究已在一九九五年的七月正式展開；而塔塔加試驗地的研究工作在一九九六年八月開始執行。

本文列舉在福山森林生態系研究三年後,對該生態系的瞭解及產生的初步景象作一敘述。三年來試驗地之氣候變異極大。以颱風發生頻率，強度（風力、風向）與雨量而言，例如 1994 年有 6 次大颱風， 1995 年無颱風。前者年雨量 (4898 mm) 爲後者年雨量(2848 mm) 的 1.7 倍，亦即多出 2050mm 。這是美國加州年雨量的 3 倍。水爲生命之源， 2050 mm 降水當然強力的影響生態系中所有的生命與生物之間的互動網路。例如 1994 年大颱風的情況下，葉面積減少了約三分之二，第二年 (1995) 才恢復一半。而大颱風大約每 10 年一次，造成連續性森林覆蓋破裂，產生的空隙地爲特定樹種（例如山龍眼等）佔據，而且冠層輪迴率 (canopy turnover rate) 爲 175 年。但由於試驗地的環境因素與植群特性使然，植生恢復很快。颱風造成空隙林地外，葉子大量脫落及樹幹風倒。大型颱風除大量削減葉面積（此與光合作用的生產力有關）外，脫葉量亦可加倍。落葉、風倒木，根拔與土壤干擾又改變林地有機物的生物分解速率與營養循環。所有植生組成與生物量，土壤干擾與物質分解均會牽涉到溪流水量與水質的變化，直接影響水棲生物種類與族群。

因爲初級生產量受到颱風的控制，其後食物網的特性便隨之變動。例如大量落葉立即影響食葉昆蟲的生存與繁殖深受影響，間接影響植物授粉，開花、結實的生態現象與演替過程。鳥類食物的來源複雜，包括植物的各部分、昆蟲，甚至水生物。這種食物網關係，到了最高營養階的哺乳類（ 23 種）的生存與繁殖時，更可能有明顯的關係。哺乳類的食物網非常複雜，各類物種所需之食物種類重疊度頗高，以往不易收集的蚯蚓，結果發現爲麝香貓等哺乳類的主食之一。其他生

物因子與環境因子之交互作用關係，可參見圖一所示。

從三年來的福山長期森林生態系研究中逐漸浮現出控制「本土」森林生態系之組成、架構、功能之間的因素與食物網的緊密關係。目前的十九個子計畫中有一半尚停留在調查物種及族群豐度上，對於各生物間之能量互換關係有待努力。另外人爲干擾中現在非常重要的大氣污染與森林生態系的關係，及人類土地及其他資源利用史（例如改造地貌；狩獵；引進外來種）對生態系的長期影響之研究有待加強。

所有三年來的資料將交由執行「資料整合與模式建立」的研究人員，找出資料的適用性，充分性與補強性，可對未來之變遷方向與人類的經營上，找出更符合生態學原則的管理準繩。

## 國際合作：「長期生態研究」的特色

前面提過，生態（包括環境）研究有三大特性：跨「世代」、跨「學門」與跨「國際」。其中「跨國」科學家的合作與資訊交換是長期生態研究能成功之鑰。然而要穩定與密集的國際合作自有其一定的條件：共同關注的主題，一定程度的科學成就與經濟力量，政府與學術界的支持，高效率的溝通方式（溝通概念、策略與技巧）。

「共同關注」是指各試驗地或國家之間有類似的生態上問題，而且這些是除了雙方有興趣的問題外，也是其他國家有興趣研究的問題，是非靠跨國合作無法了解的生態現象與過程。例如目前的大氣污染、颱風過境、地震與地殼上升，對我國生態現象與過程的影響，便不只是地方性（如台灣或菲律賓...）的問題，而且是區域性（東亞洲）的問題。其中有的現象（如大氣污染）更是全球環境問題，所以有關這類研究必需要靠國際合作。

但是，要達到有緊密與長期的國際合作，則要有夠水準的生態學或相關的科學家。這一點我國比較沒有問題。問題是科學家多是各自爲政與各自獨立作業。所主持的計畫之間缺乏互通的橋樑，對台灣生態現象與過程沒有進一步整體上的了解。所以只要有整合這些科學家研究方向的能力，朝上述的「共同關注」題目上做研究，便容易產生國際合作的機會。

所有研究必需有一定程度的經費支持，亦即經濟力量，這或許不是目前的國際合作的最大障礙。因爲許多民間資源尚未開發。只要研究主題與該企業理念相近，該企業的支持，便是一個有待開發的資源。

最後，所有國際合作之成敗，還是繫於「人」的因素，因此，推動國際合作之負責人選，必得具備通曉國際通行之處事（包括行政與研究）原則，始能獲得國際參與人士之認同，執行效率自然提高，合作會更增緊密。因此，「人選」應以上述能力爲遴聘的準繩。

## 長期生態研究的實施要領

我們知道人力與物力的資源是有限的，如何以有限的人力與物力資源，進行似乎是無盡期的「長期生態研究」，便成爲許多人討論與爭議的焦點。生態研究的重點與揭櫫的目標雖然是「長期研究」，而此長期研究的基本特性是：設置「指定試驗地」。長期是指「長期維持」該指定試驗地的基本生態資料的監測與資料的收集，而「非」指在該試驗地進行的「所有研究計畫」是長期的。換言之，某研究計畫的經費補助並非一定是長期的，這是要看計畫能否產生「好的科學」，以及該計畫在整體計畫上的重要性。但是要有長期補助維持該指定試驗地研究之經常費。任何在該試驗地內進行的研究可以隨時加入，亦可隨時取消。

既然是在「指定試驗地」上做長期的研究，因此，經費補助機構（例如國家科學委員會）要有該「指定試驗地」的長期使用權。但是該試驗地又往往不屬於經費補助援機構所有或管轄（例如管轄機構是省屬林業試驗所、大學試驗林或國家公園管理處），因此經費補助機構必得與土地管轄機構之間完成「試驗地使用協議書」。取得做研究與試驗之權後，經費補助機構在該試驗地上才能做長期研究與設備投資（如氣象站，觀測塔，實驗室.....）。

其次，因爲某一試驗地所獲得的生態資料，無論多麼詳盡，仍侷限於地方性的資料。然而，許多生態現象與過程，深受區域性環境的影響，甚至受到全球性環境因子的影響，所以「及時」收集其他試驗地（即區域性，甚至全球性）的生態系資料與收集本地之生態資源相等的重要。因此，區域性及全球性各試驗地之間生態資料「共享」，及科學家之間資訊及時與隨時之「交換」成爲長期生態研究計畫的必要。爲達成此一特性，可借用當今全球資訊網路（Internet）及連繫（Connectivity） 的便利，將試驗地之各自「主目錄（Home page）」

建立在共同國際電子網路上。因此，我國的「長期生態研究網」的任何研究活動，必須進入國際網路。

長期生態研究計畫的特點之一便是研究要「成長」。爲了達到這個目標，新概念、新假說、新科技與新儀器的引進及新血輪（有潛力的優秀年輕科學家）的培養與晉用，便成爲一個重要的目標。而此兩者又有異常緊密的相輔相成關係。惟有持續演化與整體成長的研究群，才能深入了解該門科學及對該門學科的知識有所貢獻。

一個較有效率的研究台灣之生態系的現象與過程，是由專職機構負責，例如「生態學研究中心」。美國有許多類似研究中心，就是日本（一九九一年）也成立了一個生態學研究中心，並且積極參與熱帶雨林的研究。我國也應成立「生態學研究所」或在大專學校設「生態學系」。

整合相關之研究，使之成爲整體性與跨學問的研究，始能真正達到有效率地研究台灣地區的生態現象與程。在此生態學研究群內，要包括生態學研究對社會及經濟上的影響，並落實將研究成果作爲政策釐訂上的科學依據。此「中心」並以推動社會及學校的生態學與環境學上教育爲責職之一，尤其將台灣地區之本土生態現象與過程介紹給國內外的學生與社會人士。

區域性的長期生態研究計畫，以東亞暨太平洋區域之長期生態研究網比較有成績，同時分別在 1995 年 4 月（台灣地區舉行）與 1997 年 3 月（日本筑波舉行「第一、二屆東亞暨太平洋地區之區域會議」，而第三屆已決議在韓國舉行。這些會議對促進東亞地區的生態學研究上有一定的貢獻。

## 結　　論

台灣的環境與生態在自然干擾（如板塊運動的活躍、地震的頻繁與強烈、颱風的經年定期發生、自然沖蝕與土地崩塌的嚴重...）及人爲衝擊（土地使用的類型與歷史、環境污染與自然野域的縮域）的影響下，呈現了台灣地區的特殊生態過程與現象，模塑了這個地區的生物多樣性與物理環境的品質。爲了瞭解這些影響生態環境的因素，科學界在一九九二年開始進行了「台灣地區的長期生態學研究」。此研究項目是「跨世紀」、「跨學門」及「跨國界」的研究，其目的爲研究大時空的生態過程與現象，建立生態方面的基本資料庫，了解生

態方面的過程與現象，作爲教學的生態學資料與供作政府環境上與生態上的決策釐訂上的科學根據。

目前台灣地區已設有五個「指定試驗地」四處爲森林生態系，一處爲湖泊生態系。然而，鑑於台灣地區的生態系多樣性及生態系與人爲活動的密切相關性，故宜增設「都市生態」、「陸域－水域生態系之互動作用」、「人類活動與生態系性質變遷關係」之試驗地，俾能一窺全島生態過程、現象、平衡與演化的更進入真相。

「台灣地區長期生態學研究」已歷經五年，並在東亞暨太平洋地區召開過二次 (1995年 4月與 1997年 4月) 相關會議。許多參與之科學家咸認爲要成立一種類似「亞洲生態學研究中心」(Asian Center for Ecological Study, ACES) 之組織,以便整合地方性之研究爲區域性研究,並爲擴大成全球性研究之基礎。如此不但可以增進東亞區域之合作，交換概念與經驗，比較試驗結果，建立更有效之生態模式，以發揮長期生態學之成果。

乾旱區生態系統與綠洲的建設

# 荒漠－綠洲生態系統的研究（摘要）

慈龍駿[1]

青藏高原以北、賀蘭山以西的廣大地區，屬溫帶荒漠，約占我國總面積的五分之一。這裡的平原與盆地爲乾旱的荒漠氣候所籠罩，鋪展著大面積荒蕪的沙漠、戈壁和礫漠。荒漠具有嚴酷的生境，其中的生物十分稀疏和貧乏，生物生產力很低。綠洲零散分布在沙漠邊緣和戈壁之中，它們是荒漠中農業生產和生物活動最積極的基地，但卻受到風沙、乾旱和鹽漬化的威脅。因此，研究荒漠－綠洲的生態系統，建立、鞏固和擴大穩定而高效的綠洲，合理保護和改良荒漠的生產力，防治荒漠化就成爲發展荒漠地區農牧業生產的關鍵。多年的生產實踐和科學研究表明：在乾旱荒漠地區發展農業，除了合理利用水資源外，建立一個完整的防護林體系，是維護新老綠洲生態系統，防治風沙等自然災害的有效手段。

## 一、荒漠生態系統的特徵：

荒漠，作爲一個能量與物質轉化的生態系統，具有一系列獨特之處，在一定程度上以物理過程佔優勢，即具有一個物理能量系統的性質，而生命過程在荒漠中受到極大的限制和表現微弱。其主要特徵是：

1 、熱水處於極度不平衡狀態：荒漠中水分虧缺，熱量過剩和散熱迅速十分突出。

荒漠地區日照長，日照百分率高，太陽總輻射收入最多，是光熱資源豐富的地區。

荒漠化地區冷熱變化劇烈，氣溫年較差和日較差是我國最大的地區。

荒漠地區是我國降水最少、相對濕度最低、蒸發量最大的乾旱地區

（溫帶荒漠地區的生態氣候圖式）

2 、生物的不飽和：水分不足、自然環境嚴酷，生產力通常很低。植被的生產力隨著降水量的減少而相應降低，植被的密度和蓋度隨之相應降低。植物分布極不均勻，隨地形而變化。

3 、空氣動力能作用強烈：強烈的風蝕和風積作用，是荒漠中常見的物理過程。起因於大氣環流和熱量的不平衡而引起頻繁劇烈的空氣運動－風。

4 、土質粗礪，有機質少、微生物活動微弱：由於荒漠植被稀疏，土壤生物過程顯著減弱，加以有機質礦化迅速，因而有機質含量很低，荒漠土壤中微生物活動微弱。

5 、水鹽不平衡：荒漠土壤基質中積累的可溶性鹽分相對較其它生態系統爲多。鹽分的不平衡是由於土壤缺乏氣體水的淋洗作用及熱力蒸發所造成的水分上行過程佔優勢，將下層的鹽分帶到土壤上層和地表。

---

[1] 中國林業科學院

二、綠洲生態系統的建立與維護：

針對荒漠生態系統的熱水不平衡、生物過程微弱和“熵”的無序性增加的趨勢建立和擴大綠洲生態系統，就是要在創造熱水平衡和增加輻射平衡的條件下，造成生物過程的優勢，即建立完整的生物性的防護體系。

建立和完善綠洲生態系統的途徑是：

1 、在灌溉條件下建立起完整的生物性防護體系，以擴大和建立穩定的、高生產力的綠洲生態系統；

2 、用綜合措施改造沙漠、戈壁和鹽鹹地，科學安排農、林、牧業生產，維護綠洲生態系統平衡；

3 、從荒漠植被天然的”基因庫”中選擇和培育有價值的荒漠植物，開發荒漠的生產潛力。

建立和擴大綠洲的步驟與方式是：

1 、合理灌溉，改進水熱平衡，增加輻射平衡。

（荒漠生態系統與綠洲生態系統示意圖）

2 、水、林（灌）、田（園）綜合治理與農林牧結合的配置方式。

綠洲農業的豐產，森林的培育和牧草的種植爲發展綠洲畜牧業創造了豐富的基礎，從而更進一步提高了綠洲能量與物質轉化的水平以及有機物產品的質量。畜牧業並提供的有機肥源又能極大地改善綠洲土壤結構與肥力。在這种水、林、農、牧相結合的綠洲生態系統及其良好的循環條件下，荒漠得到較大改造，綠洲的穩定性得以不斷鞏固與維護。

# 關刀溪森林生態系之研究

陳明義[1]

摘要：

生態系各組成分子間關係密切，一旦環境變遷，對生態系的衝擊是整體性的。以生態系中生產者、消費者及分解者的共存平衡而言，有必要從多角度去調查研究，期能對生態系的穩定維繫以及環境變遷與干擾所可能造成的整體性改變加以瞭解。「關刀溪森林生態系之研究」係以關刀溪集水區之森林生態系爲對象，結合森林、動物、植物、微生物、水文、氣象、地理資訊等方面的專才，共同組成研究群，進行整合研究。

本整合型計畫爲長期研究性質，含括了生態系之結構、功能以及自然與人爲干擾對生態系的影響。在這個臺灣中部地區具代表性之關刀溪森林生態系，從事生態系變遷的長期整合研究，不僅可提供基礎學術資料，更能結合福山、鴛鴦湖、南仁山、塔塔加等長期研究資訊，共同提供全球長期生態系研究的重要資料，並實際參與國際性的研究網路。

## 一、重要性

台灣森林面積約佔全島面積的 55%，是最主要的陸生生態系。而且台灣山區地勢陡峻，地形複雜，形成各種不同的森林生態系，由寒帶的亞高山針葉樹林到熱帶雨林都有分佈。台灣有關森林生態系的研究不多，且均屬某一地區單獨或單項的研究，欠缺整合性的群體研究。爲瞭解台灣森林生態系在水文模式、生態生理 (ecological physiology) 、結構、組成或功能上受到全球氣候改變影響所產生的反應，有必要選擇數個具有代表性的森林生態系，以「特定試驗地」(specific site) 爲執行長期、連續監測的地區，分析其生態過程。關刀溪森林生態系爲台灣長期生態研究網(TERN)之第二處特定試驗地。

## 二、研究地區

關刀溪林場位於台灣本島中部，北緯 24° 2′至 24° 6′，東經 120° 59′至 121° 9′之間，行政區劃屬於南投縣仁愛鄉，面積 7,423 公頃，最高海拔爲守誠山之 2,418 公尺，屬烏溪水系之北港溪流域。境內地形複雜、變化多端，森林之垂有溫、暖、亞熱三帶林木，蘊育了高歧異度的生物資源，爲台灣中部地區極具代表性之森林。天然林主爲闊葉樹林，約佔了 65%，以樟科和殼斗科種類的蓄積量最大，即一般所稱的「樟櫟群叢」。咖啡園附近有臺灣目前所知面積最大，樹幹聳高的山黃麻純林，已被劃爲長期生態觀察區；舊工寮下方的木荷林，也被劃爲保護區。天然針葉樹林的面積約佔 5%，有臺灣肖楠、紅檜及臺灣二葉松等，其中臺灣肖楠有許多直徑超過二公尺，已劃爲保護區。已記錄的植物，包

[1] 國立中興大學植物系

括蕨類植物 22 科 60 屬 121 種，裸子植物 7 科 13 屬 20 種，被子植物 141 科 776 種，總計 917 種，而實際的種類，應在一千種以上。。已調查到的稀有植物有台灣蘇鐵蕨(*Brania formosana* Hay.) 、埔里杜鵑(*Rhododendron lasiostylum* Hay.) 、白背木薑子(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees.)Allen.) 、天台烏葯(*Lindera aggregata* (Sims.) Kosterm.) 、南投石櫟(*Pasania nantoensis* (Hay.) Schottky) 、倒卵葉山龍眼(*Helicia rengetiensis* Masam.) 、反刺櫧(*Castanopsis eyrei* (Champ.) Hufch.) 、圓果青剛櫟(*Cyclobalanopsis globosa* Lin et. Liu.)等。關刀溪林場的面積僅及臺灣的百分之二，植物種類卻佔了四分之一，是植物資源的寶庫。林木資源曾進行初步調查，其他生物以及水文資料尚欠缺。

三、研究項目

已於1994年在關刀溪集水區選擇一處闊葉林作爲 LTER 研究核心區(如附圖)。爲配合模式的建立與驗證，試驗區係以集水區( 47 公頃)爲單位，長期監測集水區的水文、養分收支，而其他生態系研究則在水源地及其相鄰地區以小試區的方式進行研究。相鄰地區包括了肖楠保護區、木荷保護區、火燒跡地、關刀溪水域等(如附圖)，面積共 209 公頃。

關刀溪森林生態系之研究重點如下：

(一)森林生態系結構之研究

本研究包含森林生態系之生產者、消費者與分解者。除詳細調查其組成外，研究重點爲環境指標生物與稀有生物，以及生物彼此間之關係。研究子題分別爲：

1.生產者：含森林植群之研究、依附植物之研究、林分變遷之研究等。

2.消費者：含鳥類群聚之研究、哺乳動物群聚生態之研究、魚類群聚生態之研究、昆蟲相之調查、無脊椎動物之研究、授粉生態學之研究等。

3.分解者：大型真菌之生態研究等。

(二)森林生態系功能之研究

本研究包含了生態系能與質的流轉。子題包括水文模式之研究、微氣象之研究、土壤與水文化學之研究。

(三)生物群聚在干擾下的動態研究

包含動物、植物及微生物的族群在自然干擾與人爲干擾(火燒等)之後的變化，特別是干擾下植群之更新與消長。這些資訊將有助於族群與環境棲地變動關係模式之建立。

四、預期效果

關刀溪森林生態系研究計畫預定爲九年之長期計畫。第一期計畫(第一至三年)重點係針對森林生態系的結構與組成詳加調查；第二期(第四至六年)係探討各生態分子的功能及其間的相互關係，第三期(第七至九年)則針對各個因子相互影響所導致的錯綜複雜關係建立生態模式。期能以此生態模式預測環境變遷，並能提供 IGBP 等全球研究的比對資料。

# 刺五加（*Acanthopanax senticosus*）保護生態學研究－－刺五加會成爲瀕危種嗎？

祝寧[1] 卓麗環[1] 臧潤國[2]

摘　要：

刺五加是闊葉紅松林及其次生林下的重要灌木。因其優良的藥用功能和療效，自 70 年代末進行工業生產以來，資源消耗與日俱增，1992 年出版的《中國植物紅皮書一稀有瀕危植物》中，被列爲漸危植物。

本文通過野外調查，民期定位觀測和實驗生態學的試驗對影響刺五加種群持續和擴展的內外因素進行了研究。認爲造成刺五加種群迅速縮小的主要外因是不合理採挖。刺五加結實植叢少，種子產量低、質量差、傳播動力弱，並具有先天性休眠及自毒現象等一系列種群過程是制約刺五加種群持續和擴展的內在因素。無性繁殖是維持現有種群的主要途徑。長期無性繁殖可能導致遺傳多樣性下降，從而減弱了它對多變環境的抗逆性，若在外因的作用下可能使種群進一步縮小，而增加其漸危的程度。

關鍵詞：刺五加；保護生態學；漸危種；繁殖

## The Conservation Ecology of *Acanthopanax senticosus* -Will *A. senticos11s* Become an Endangered Species ?

Zhu Ning Zhuo Lihuan Zang Runguo

Abstract:

*Acanthopanax senticosus*, an important shurbs under Korea pine and broad leaved forests and their seconday forests, has been declining in its resources, since the industrial production of *A. senticosus* pharmaceuticals in 70s due to its effective therapeutic function traditional chinese medicine. For this reason, *A. senticosus* was listed as vulnerable species in 《Plant red data book of China-rare and endangered plants》 (1992).

In this paper, the external and innate factors, influencing the population of *A. senticosus* sustenance and expansion were studied by field investigation, long-term observation and experimental ecology. Results showed: the Unreasonable excavation was the main external factor of the fast population decline. The innate factors restriction

[1] 東北林業大學

[2] 中山大學

the sustenance and expansion of this species were the high number of fruitless plants， few seed production， poor seed quality， weak disperse power， and the phonomena of innate dormance seed and autotoxicity. Therefore， the vegetative reproduction become the main mechanism for the sustenance of existing populations. But the vegetative reproduction from generation to generation may result in the decline of the genetic diversity， thus this causing the decrease in resistance of this species to variable environments. Under the coaction of unfavorable factors， the population of this species may reduce further and the degree of endanger increase.
key words ： *Acanthopanax senticosus*，Conservation ecology， Vulnerables species， Reproductiou.

生物物種作爲人類賴以生存的主要物質基礎之一，與任何事物一樣有其發生，發展的過程，最終直向消亡。在過去的二億年中自然界每 27 年有一種植物物種從地球上消失，每世紀有 90 多種脊椎動物滅絕。隨著人類活動的加劇，物種滅絕的速度不斷加快，現在物種滅絕的速度是自然滅絕的速度約 1000 倍（Wilson等,1988）。物種的快速滅絕引起眾多學者的關注。Shoffer[1]和Gilpin，Soule[2]等將物種滅絕的原因分爲確定性滅絕和隨機性滅絕，或系統壓力和隨機滅絕。Soule 和 Simberloff[3]則把物種滅絕的因素分爲外因和內因。這些劃分法從不同的角度概括了滅絕的因素。

自 80 年代中以來，通過調查、訪問、定位觀測和實驗生態等方法對漸危種刺五加（*Acantopanax senticosus*）開發利用的外力因素，種群繁殖過程，種子產量和質量，傳播和種子庫等種群過程和該種群的無性繁殖等內在因素進行了較爲長期系統的研究，以期爲該種群的前途及合理保護提供有益的信息。

1．刺五加的分布及其資源狀況

刺五加主要分布在我國黑龍江、吉林、遼寧、河北、山西等地，在前蘇聯、朝鮮和日本也有分布[4]。其分布區基本與闊葉紅松林分布區相一致。據在黑龍江省的調查，在不同的森林類型中，其密度及生物量因生境不同而異（表 1）。從表 1 可見，刺五加在闊葉紅松林的各種森林類型及其天然次生要可均有分布，以椴樹—紅松林和天然次生林中密度最高，生物量也高，資源蘊藏量最豐富[5,6]。

表 1　　各森林類型中刺五加的密度及生物量　　鮮重 fresh state
乾重 air dry

Table 1 The densities and biomass of *A. Senticosus* in different forest typas Kg.t

| 森林類型 forest types | 密度 density 株. $Hm^{-2}$ | 葉 leves | 莖 stem | 根和根莖 root and rhizome | 合計 sum |
|---|---|---|---|---|---|
| 蒙古櫟－紅松林 | | 32.8 | 48.4 | 68.9 | 150.1 |
| | 1251 | | | | |
| 0ak-Korean pine forest | | 8.6 | 27.1 | 41.4 | 77.1 |
| 椴樹－紅松林 | | 52.0 | 56.5 | 125.0 | 233.5 |
| | 7439 | | | | |
| ksswood-Korean PineForest | | 11.9 | 29.0 | 58.8 | 99.7 |
| 楓樺－紅松林 | | 45.3 | 102.5 | 129.5 | 277.3 |
| | 2726 | | | | |
| Birch-Korean pine forest | | 11.5 | 68.4 | 63.8 | 143.7 |
| 雲冷杉－紅松林 | | 44.5 | 74.6 | 77.2 | 196.3 |
| | 2345 | | | | |
| Spruce -fir - Korean Pine forest | | 9.0 | 35.6 | 57.9 | 102.5 |
| 天然次生林 | | 57.0 | 189.7 | 223.3 | 480.0 |
| | 4060 | | | | |
| Scandary forest | | 32.5 | 110.0 | 134.0 | 276.5 |

(祝寧 1994,傅克治 1987)

2・刺五加種群減少的外因－－不合理採挖

刺五加是我國傳統藥用植物。經過古代傳統醫學的臨床實踐和近代國內外的科學實驗，都確認了它的功能和療效[7]，並已載入中華人民共和國藥典（1977年版）。自70年代末開始採挖其根和根莖進行工業生產各種片劑、沖劑、針劑；葉製作五加蔘茶，遠銷國外，其資源消耗與日俱增。因爲採挖和收購渠道各異，很難獲得有關採挖和收購的較完全信息，僅以1979-1980年和1987-1991年兩個階段黑龍江省有關單位統計（表2）。這些信息表明，在這9年中刺五加根和根莖的消耗量達19660T.，平均年消耗量爲2184.4T。若按刺五加根和根莖生物量最高的天然次生林的蘊藏量計算，每年將有9796hm 的林地的刺五加被全部挖盡。由於大量地採挖刺五加的根和根莖，使之在相當長的時期內無法更新恢復，從而導致該種的種群，在較大面積上急劇減少甚至消失。到80年代初，黑龍江省松花江地區所屬各縣的20km內淺山區，很難找到有採挖價值的刺五加植群。1992年出版的《中國植物紅皮書－－稀有瀕危植物（第一冊）》中，刺五加被列爲漸危植物。

表 2　1979-1982 年和 1987-1991 年間刺五加根和根莖消耗量

Table 2　The consumes of root and rhigomes of *A. senticosus* in 1979~1982 and 1987~1991

| 年份 year | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 根和根莖消耗量 Consume of root and rhigooe | 748 | 1692 | 3480 | 6860 | 1500 | 880 | 900 | 2300 | 1300 |

3・影響刺五加種群持續與擴展的內在因素

一個植物種群大小的持續和擴展主要是通過其自我更新，不斷產生新一代的個體，逐步替代老一代的個體得以自我維持，並將其繁殖體傳播到新的生態中拓殖新的生態位來現實。因此，要了解這一過程，必須掌握植物種群從種子到種子的全部生活史過程中的一系列事件。在過去的十餘年中，通過長期定位觀測（測）和實驗生態學的實驗，對刺五加種群進行研究，獲得較豐富的信息，從而可以對該種群的持續和擴展的內在因素進行初步分析。

3・1 據文獻記載[4,8]，刺五加爲兩性花，但在野外調查中發表，該種群的花構造有兩種類型：短花絲類型植株雌性系統正常可育而雄蕊退化，稍具花藥形態而不含成熟的花粉，其花絲長度不及長花絲的一半甚至幾乎無花絲。花藥低於柱頭。長花絲類型植株，花絲長約 3.5mm 或稍長，花藥高於柱頭，花藥飽滿呈黃白色，正常可育，但是雌性系統有不同程度的發育不完全甚至完全敗育。因此，可以認爲刺五加種群正處於從兩性花、雌雄同株向單性花雌雄異株的分化過程中。據在 500M 長的路線調查，這兩個類型的比例爲 1 ： 1 。說明其潛在的性比將爲 1 ： 1 。在所有植株中幾乎只有 1 ／ 2 左右可以產生種子。

3・2 據對天然更新及在林下播種獲得的刺五加植株跟蹤觀測，其首次開花時間爲 7-9 年，但獲得成熟種子一般爲 9-11 年。刺五加進入生殖齡後，所有植株並不是每年都可結實獲得成熟的種子（表 3 ）。表 3 所示，在連續五年觀測中，其結實植叢有較大的差異，最好年份也只有 78 %的植叢結實，而差的年份只有 31 %的植叢結實。據 1991-1994 年間對 75 個植叢連續觀測，在 4 年中連續 4 年均結實的植叢僅爲 17.3 %，而在 4 年中僅 1 年結實的植業爲 40.0 %。可見在刺五加進入生殖年齡後其結實的頻度並不是很高的。

從表 3 的數據還表明，刺五加種群不僅結實頻率不高，而且結實質量也是比較差的。在連續 5 年中，採伐跡地，陽光充足，最好的 1991 年每植叢才獲得 504 粒成熟種子，而在較差的 1995 年林下植叢只獲得 23 粒成熟的種子。這些都將制約著該種群的更新和擴展。

表 3　不同年份刺五加結實狀況

Table 3　The fruit of *A. senticosus* in different years

| 年份 year | 林下 Under Canopy | | 林隙 Gap | | 採伐跡地 Cleared area | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 結實植叢/% fruiting stard/% | 成熟種子/叢 mature seeds/starn | 結實植叢/% fruiting stard/% | 成熟種子/叢 mature seeds/starn | 結實植叢/% fruiting stard/% | 成熟種子/叢 mature seeds/starn |
| 1991 | 8/31 | 204 | 19/59 | 93 | 13/76 | 504 |
| 1992 | 8/31 | 37 | 21/66 | 224 | 12/71 | 250 |
| 1993 | 16/62 | 139 | 21/66 | 188 | 6/35 | 169 |
| 1994 | 16/62 | 245 | 24/75 | 123 | 7/41 | 106 |
| 1995 | 11/42 | 23 | 25/78 | 41 | 10/59 | 324 |

觀察植叢：林下 26 ，林隙 32 ，採伐跡地 17 ， oserved stand Under Canopy 26 gap 32 cleared area 17

3 · 3 一個種群的更新和擴展不僅需要數量大，質量好的種子，而且還需良好的傳播動力將這些繁殖體傳播到適宜它們萌發的生境中去。刺五加的果實爲漿果狀核果，每果一般含 5 粒種子，但據 5 年連續觀測，在 18533 個果實中，只有 23141 粒成熟種子，平均每個果實中僅含有 1.25 粒成熟種子，可見種子品質之低。

刺五加種子擴散的途徑之一是依靠鳥類，據觀測，已知捕食刺五加果實的鳥類只有灰喜鵲（ *Cyanopica cyana* ）樹雞鶯（ *Anthus hodgsoni* ），斑鶇（ *Turdus naumanni* ）和太平鳥（ *Bombycilla garrulus centralosiae* ）。可能由於刺五加果實具有某種味道，不能成爲這些鳥類喜食的大宗食物，只是作爲某種應急食物或游嬉食物而偶捕食，因此，其傳播作用不大。

刺五加的另一擴散途徑是重力，即依靠果實成熟後的散落在其植叢下。據調查[9]在植叢下種子庫中有少量種子埋藏，但是 96.6 %爲未成熟的空粒種子和遭昆蟲捕食過的種子。僅有 3.4 %爲形態完好的種子，這些種子幾乎沒有轉化爲刺五加幼苗。據在刺五加植叢下和遠離植叢的播種試驗表明（表 4 ），其幼苗轉出率可相差 14 倍，經檢測刺五加因含有酚類，萜烯類等化合物具有一定的自毒物，抑制其叢下種子胚分化，發育和幼苗長成*。

表 4　植叢下和非植叢下刺五加播種的出苗狀況

Table 4　The differend of transform ratio between under Stand and far form stand

| 地點 site | 播種量 Seeding rate | 實生植株 Seedling-plant | | 合計 | 轉換率% transform ratro |
|---|---|---|---|---|---|
| 植叢下 under Stand | 1500 | 1 | 2 | 3 | 0.2% |
| 非植叢下 far form stand | 1650 | 31 | 16 | 47 | 2.8% |

3．4刺五加的種子具先天性休眠（innate dormancy）的特性。在自然條件下，種子離開母體後，需次年經夏越冬後，依次完成形態發育和生理成熟後，在第三年春季陸續萌芽，或通過層積沙藏的變溫處理可在第二年獲得較理想的發芽率[10，11]。在不同年份中，由於種子品質的差異，萌芽率十分懸殊，在五年中多次播種試驗其萌芽率最高可達19.4％，而最低的僅在0.3％，平均約爲12％左右。

刺五加在不同群落中，由於其物理條件和生物條件的不同，其種子轉化爲幼苗的轉化率相差根大[12]表現爲對異質生境的不同響應（表5）。在所試驗的五個森林群落類型中，以人工落葉林下轉化率最高，可達16.8％。人工紅松林最低僅爲0.8％。其他三種次生闊葉林中也不超過5.0％。

表5　不同森林類型種子庫的出苗量及轉化率

Table 5　The numbers and tansfrom ration of seedling recrutled from seed pool nnder different forest

| 森林類型 Forest types | 播種量 seed rate | 出苗量 seedling | 出苗率 transform ration | 出苗量 seedling | 出苗率 transform raio |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1993 | | 1994 | |
| 人工紅松林 Korean pine plantation | 900 | 2 | 0.2 | 8 | 0.8 |
| 人工落葉松林 Larch plantation | 900 | 100 | 11.1 | 152 | 16.8 |
| 硬闊葉林 Hardwood forest | 900 | 6 | 0.6 | 5 | 0.5 |
| 家古櫟林 Mongolian oak Forest | 900 | 15 | 1.6 | 37 | 4.1 |
| 白樺林 Asia white Birch Forest | 900 | 24 | 2.6 | 25 | 2.7 |

爲了解刺五加種子在土壤中的命運及其動態過程，於1991年-1994年用實驗生態學的方法，在人工落葉松林下進行了模擬播種試驗，連續三年觀測表明其種子庫動態過程如圖1。種子輸入後，次年經夏季高溫，完成形態後熟，秋季到下一年春季的低溫，完成其生理後熟，在第三年開始長出幼苗。以後三年中，均有的苗發生，但其出苗率逐年下降，第一年爲14.4％，第二年爲10.2％，第三年僅爲0.47％。種子庫中的種子除了輸出爲幼苗外，其它輸出爲：種子腐爛三年平均33.1％，最高年份可達41.8％；生理衰老次之，三年平均爲22.3％，最高可達44.3％。居第三位的鼠類捕食，但是很不穩定，這可能與鼠類的種群數量有關，最高年份可達38.8％，而其他兩年僅爲6.7％。昆蟲和土壤動物捕食量最

小，三年平均僅爲 1.27 %。種子在種子庫中的壽命不超過 4 年[12]。

綜上述，刺五加不僅受不合理採挖的外部因素，促使其種群迅速減少，而且因爲其結實植叢少，種子數量少，質量差，傳播動力弱，又有自毒現象。再加上刺五加種子的先天性休眠特性，延長了它在種子庫中經歷的時間，增加了它在萌發前的多種危險性，使種子更新在刺五加的種群持續和擴散中作用較小，成爲制約刺五加種群受干擾後恢復的重要內在因素。

4 ．無性繁殖是維持刺五加種群的主要途徑

刺五加是一種無性系植物。它既可結實產生種子進行有性繁殖，還可以通過地下莖萌發產生無性系小株（ ramet ），在組元（ modu1ar ）水平上增加個體，維持其種群數量。由於刺五加結實數量少，種子質量差，且具有先天性休眠，自毒和競爭力弱等原因，在天然條件下，刺五加實生苗很少，現存種群大部由多個無性系及其無性系小株組成。因此，對刺五加無性繁殖器官一地下莖及無性系的結構研究，將有利於了解刺五加種群的現狀和發展。

4 ． 1 刺五加地下莖的構築型基本上屬於 A.D. Bell 等人所述的稀疏游擊線形分布[13]。地下莖一般分布在地下 4-5cm 深處，其長度可達 7-8m 或更長。據所挖得的 6 個無性系調查，在地下莖上有大量的不定根和潛伏芽，平均每 10cm 有 2.4 個潛伏芽和 5.3 條不定根，但這些潛伏芽中只有少部分可轉化出無性系小株，所調查的 749 個潛伏芽中，只有 28 個轉化爲無性系小株，而且大部爲頂芽，這是因爲刺五加地下莖的頂端優勢十分明顯。如果給予干擾，則可能增加無性系小株的發生。對 15 條地下莖採用切斷試驗表明，切斷的地下莖所發生的無性系小株比未切斷的多 12 倍[14]。

4 ． 2 根據在四個天然次生林類型中所獲得的刺五加無性系種群株數與齡級分布資料，編制的種生命表所進行的刺五加種群統計[15，16]及所建立的 LesLie 增長模型對其種群動態進行預測*。都說明在天然次生林中刺五加種群的發展與所在地區群落的演替趨勢是一致的，是一個進展種群，都將呈出逐漸增大的趨勢。

5 ．結論與討論

5 ． 1 刺五加作爲一種漸危植物，造成其種群急劇減少的外部因素是不合理的採挖。種群中結實植叢較少，結實數少而且質量差、傳播動力弱，以及種子的先天性休眠特性和自毒現象等多種因素綜合，是制約該種群持續與擴展的內在因素。維持現實種群的大小主要依靠無性繁殖。長期的無性繁殖可能導致遺傳多樣性下降。而減弱了它對多變的環境的抗逆性。若在外因作用下可能使種群進一步縮小，而增加其漸危的程度。

---

* 臧潤國：天然次生林群落中刺五加種群生態學

5・2雖然刺五加種群正在從兩性花雌雄同株向單性花雌雄異株分化。這種分化是一種進化有利於提高種群的遺傳多樣性，從而增強其適應性。但是它的種群過程中的其他環節，如種子少，質量差，先天性休眠和自毒現象等都將制約其天然更新過程和種群的擴展。

5・3爲保護這一種群，並獲得持續發展，建立合理的輪控制是十分必要的，另外，可在刺五加適生的群落中，如人工落葉松、進行播種繁殖，以其獲得更多的實生苗，增加其種群的遺傳多樣性，也可以擴大其資源的蘊藏量。

參考文獻

1・Shaffer M L, Minimum Population sizes for species conservation BioScience, 1981, 31 (2) 131-134.

2・Gilpin M E, Soule M E, Minimum Viable populatiou: the processes of species extinction 13-14, in Corservation Biology: The science of scarcity and Diversity edited by M E soule Sinauer Associates. sunderland Mass, 1986.

3・Soule M E, D Simberloff, What do genetics and ecology tell us About the design of nature reserve? Biological Conservation 1986, 35 19-40.

4・中國科學院中國植物志編輯委員會 中國植物志 第五十四卷 科學出版社 1978 99-100

5・祝寧，金永岩等 闊葉紅松林及其次生林下的刺五加種群，中國森林生態系統定位研究，東北林業大學出版社，1994 614-622

6・傅克治 中國刺五加 黑龍江人民出版社 1987 1-7

7・黑龍江省祖國醫藥研究所 中國刺五加研究 黑龍江科學技術出版社 1981 1-5

8・周以良 黑龍江樹木志 黑龍江科技出版社 1986 445-447

9・祝寧 王義弘 刺五加生殖生態學的研究(Ⅱ)-種子擴散，種子庫及更新 東北林業大學學報，1992, 20 (5): 12-17

10・祝寧 臧潤國 刺五加種子生態學的初步研究 東北林業大學學報 1991 19 (5) 107-112

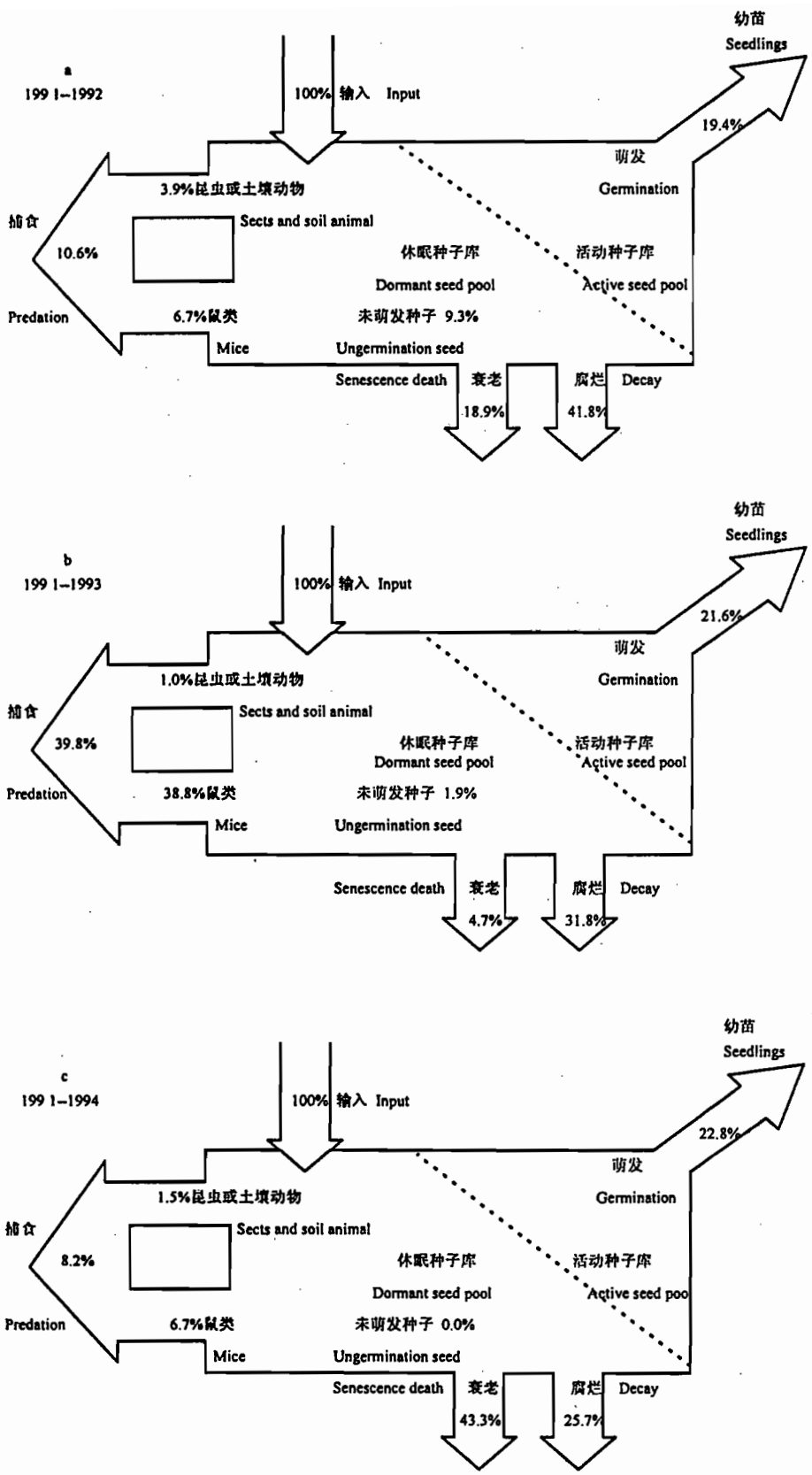
11・Wang Yong Zhu Liangji et Correlation between embryo Development and levels of endogenous paytohormones during seed Stratification of Acanthopanax senticosus, Advances in The Science and Techology of Seeds Edited by Fu Jiarui A.A.Khan Science press 1992 268-276

12・祝寧 郭維明 生境異質性對刺五加種子萌發的影響及其種子庫動態 生態學報 1996 16 (4) 408-413

13・祝寧 郭維明等 刺五加的根莖及其繁殖 自然資源 1988 1.58-61

14・祝寧 劉陽明 刺五加生殖生態學的研究(Ⅲ)-根莖分布，能量分配及干

擾對無性系小株發生的影響　東北林業大學學報 1993　21（5）　35-40
15．祝寧　臧潤國　刺五加種群生態的研究（Ⅰ）　刺五加的種群結構　應用生態學報，1993　4（2）113 - 119
16．祝寧　臧潤國　刺五加種群生態學的研究（Ⅱ）刺五加的種群統計　應用生態學報，1994　5（3）237 - 240




圖一、刺五加種子庫逐年動態

Fig.1 The dynamic of seed pool of *A.senticosus* year by year

# 櫧櫟林木天然更新之研究--以棲蘭山闊葉林爲例

林世宗[1]

摘要:

本試驗調查臺灣東北部棲蘭山闊葉林之組成與結構，以櫧櫟木及樟科爲主。由各樹種之徑級分佈多呈現不同的更新階段，而櫧櫟木及樟科樹種均呈明顯之萌蘖特性。由枯落物調查進行櫧櫟木下種季節、下種量與種子庫等分析，探究下種材料之供應及其天然更新能力。林內出現櫧櫟木之幼苗數量少，初步調查結果顯示該闊葉林內櫧櫟林木下種更新能力差。

關鍵詞:櫧櫟木、果實雨、種子庫、天然更新、萌蘖

## 一、前　言：

臺灣地處亞熱帶，由於地理位置及地形變化複雜、氣候溫濕，中央山脈截留降雨使得雨量豐沛，造成生物資源相當豐富且多樣，尤其以森林資源更爲豐盛。據本省第三次森林資源調查（1995）指出臺灣森林的覆蓋度爲56.8%，闊葉林部份（包含中高海拔之天然針闊葉林及中低海拔之天然闊葉林）約佔120萬公頃，其中櫧櫟類林木蓄積量約3900萬立方公尺，與樟科樹種爲兩大主要闊葉林樹種。這些地區以往經由林木伐採收穫後，即栽種以針葉樹種爲主的人工單純林，導致此等闊葉林不斷遭受破壞。

森林生態系之組成和結構，乃至演替方向，均受人爲或天然因子的干擾影響。本省以往曾進行林相變更與林相改良，經由整理伐除被壓木、生長劣勢及低經濟價值樹種，而林相改良的本質上爲一種強度的人爲干擾，從林地整治，到苗木栽植與林分撫育管理，這種干擾將造成森林植群結構和組成上的變化。

目前臺灣林業經營以生態系經營爲原則，森林資源利用以維護生態及提昇經濟價值爲目標。近年來提倡生態造林，即以原生地之主要樹種進行天然更新增進及建造森林資源。而這些闊葉林非僅具重要之環境效益，其中亦不乏具經濟價值，但以往卻未受重視。

林木天然更新的方式包括下種更新及萌蘖更新，就下種更新而言，種子的供應是不可缺少的。因此，種子的數量和有效性，因樹種本身的特質與生育地的各種因子而變化，進而影響更新的材料，而櫧櫟類林木之開花結實習性和結實量均需進一步的調查及研究。另外，自然干擾如颱風、火災、崩塌等，或人爲干擾如伐採作業、開墾等對天然更新亦具有重大的影響力。

本文以臺灣東北部地區棲蘭山之闊葉林爲例，調查其林分組成與結構外，也調查櫧櫟木繁殖更新的能力，包括萌蘖更新及結實量，種實形質，種實著床

[1] 國立宜蘭農工專科學校森林科

量及苗木出現情形，以提供復育更新研究之基本資料。

## 二、調查地區環境概述

本研究於 1996 年 2 月進行，調查地點位於北橫臺七線上，森林開發處太平山事業區棲蘭山 20 林班內之闊葉林，海拔約 1200m ，於 1960 年伐木作業移除了林地上的針葉樹（紅檜），其中 2.7 公頃林地在歷經 30 餘年後形成闊葉天然林。本研究即調查該林分組成與結構，以及更新方式，來瞭解闊葉林天然更新情況。

表1 宜蘭地區氣候資料表(95'1-97'2)

| 月份 | 平均氣溫 (℃) | 平均相對濕度 (%) | 平均風速 (m/s) | 降雨量 (mm) | 平均降雨日數 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 16.1 | 79.7 | 1.1 | 99.1 | 15.0 |
| 2 | 15.5 | 82.0 | 1.1 | 148.4 | 18.3 |
| 3 | 18.6 | 82.0 | 1.2 | 87.9 | 21.5 |
| 4 | 20.8 | 85.5 | 1.2 | 207.1 | 16.0 |
| 5 | 23.3 | 86.5 | 1.0 | 288.3 | 20.0 |
| 6 | 27.5 | 82.5 | 1.1 | 87.5 | 8.5 |
| 7 | 28.4 | 82.0 | 1.6 | 255.5 | 9.5 |
| 8 | 28.0 | 80.5 | 1.4 | 90.1 | 8.5 |
| 9 | 26.4 | 81.5 | 1.3 | 333.9 | 16.5 |
| 10 | 23.8 | 86.0 | 1.2 | 436.6 | 18.5 |
| 11 | 20.4 | 85.0 | 1.4 | 556.5 | 21.0 |
| 12 | 16.8 | 79.5 | 1.0 | 63.0 | 12.5 |
| 年平均 | 22.1 | 82.7 | 1.2 | 2653.6 | 185.8 |

資料來源：宜蘭氣象站

## 三、研究方法

### （一）生育地因子介紹：

在闊葉林區內的小嶺及山坡上，設置四個 25m × 20m 之方形樣區，各樣區再分成四個小樣區，調查區內胸徑 1cm 、高 1.3m 以上之林木，記錄其種類、株數、胸徑及樣區內稚樹種類、數量、地被覆蓋植生等。進而分析出現頻度、株數及優勢度，作爲林分組成之描述依據，並依其主要植生之胸徑級分佈數量，繪製林分植群構造。各樣區之生育地因子如下：

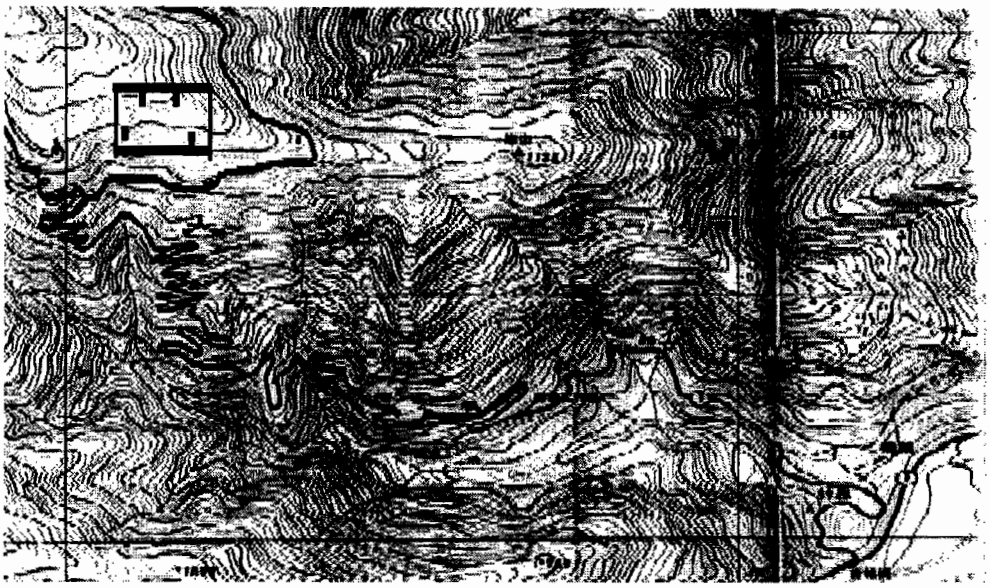


圖 1　棲蘭山樣區位置圖

表 2 ：棲蘭山闊葉林樣區生育地資料

| 生育地因子 | 樣區一 | 樣區二 | 樣區三 | 樣區四 |
|---|---|---|---|---|
| 坡向（度） | 88 | 240 | 215 | 82 |
| 坡度（度） | 33 | 35 | 8 | 8-10 |
| 海拔高（ m ） | 1210 | 1213 | 1240 | 1236 |
| 木本植物種類 | 23 | 30 | 30 | 35 |
| 林冠葉面積指數(LAI) | 6.88 | 6.02 | 6.12 | 4.96 |
| 地被植物覆蓋度% | 66 | 70 | 63 | 60 |
| 枯枝落葉層厚（cm） | 4.2 | 3.7 | 3.0 | 4.3 |
| 備註 | 檜木造林地下方 | 樣區內有小斷崖落差 4~5m | 靠近柳杉造林地 | 有乾涸溪溝 |

（二）調查項目及分析方法：

1.樹種重要值指數

平均胸徑＝Σ（樣區平均值）/樣區數

頻　　度＝Σ出現樣區數/總樣區數

相對優勢度＝某樹種的胸高斷面積/總樣區數胸高斷面積

2.萌蘖調查

某樹種萌蘖率＝某樹種萌蘖株數/某樹種總株數

3.果實雨之調查

(1)以四個25m×20m的樣區各分爲四個小樣區，每小樣區放置2個75cm×75cm收集網，共放置32個收集網。放置後，每隔半個月收集枯落物。

(2)將運回的枯落物置於紙袋中先行預乾（約半天，70℃）。預乾後將枯落物置於鋁盤內進行分類。

(3)將枯落物分爲枝、葉、花、果、附生植物及其他等類別，各置於紙袋中，於烘箱烘至絕乾（3-4天，70℃）後秤重。

(4)並分別測定種實乾重。依樹種將32個收集網中所收集的櫧櫟木種實數量累加，製成各月果實量的分佈圖。

4.種子庫的調查

於棲蘭山闊葉林中，設16個1m×1m的木框區，置於各小樣區外圍約2公尺處之地表層，即每一樣區共設四個樣本，分別測量其地被覆蓋度、枯枝落葉層厚度及重量，並收集枯枝落葉層與土壤層（至5cm深）之種子。判識種類，並調查數量、大小、及種實受害情形。

四、結果與討論

（一）棲蘭山闊葉林植群介量調查

1.林分植群組成

由樣區調查結果，共有 49 種樹種（附錄一），其中櫧櫟木樹種 6 種，樟科樹種 7 種，其他樹種 36 種，由林木株數、胸徑及相對優勢度結果，本林分主要樹種爲紅楠（ *Machelia compressa* ）、長葉木薑子（ *Litsea acuminata* ）、短尾柯（ *Pasania brevicaudata* ）、長尾栲（ *Castsnopsis carlesii* ）、杜英（ *Elaeocarpus sylvestris* ）、黑星櫻（ *Prunus phaeoscicat* ）、霧社木薑子（ *Litsea acuminata* ）、錐果櫟（ *Cyclobalanopsis longinux* ）等，尚有烏心石（ *Michelia compressa* ）及山櫻花（ *Prunus campanulata* ）等俱經濟價植樹種（表 3 ）。

喬木樹種 43 種，平均樹冠層高度約 15-17m ，少數超出樹冠層之大林木，如長尾栲、紅楠。中間冠層高度 7-12m ，灌木類林木 6 種，以黑星櫻、香桂爲主。地被植物（附錄一）以廣葉鋸齒雙蓋蕨（ *Diplazium dilatatum* ）、稀子蕨（ *Monachosorum henryi christ* ）、生根卷柏（ *Selaginella doederleinii* ）、拔契（ *Smilax china* ）、臺灣山桂花（ *Maesa tenera* ）、

藤胡頹子（ *Elaeagnus glabra* ）爲主，本區雨量豐富，林分完整，林內多遮蔽，樣區出現蕨類 23 種、菊科植物 7 種等共 67 種草本及藤本植物，其中以廣葉鋸齒雙蓋蕨占一半以上。

2.林分結構分析

爲瞭解現有林分之主要樹種之更新情形，進行林木直徑分布分析，樣區中（ 0.2ha ）共有 1343 株，林木部份（ H>1.5m ，或 DBH>1.0 cm） 1134 株，幼苗爲 209 株，林木直徑分佈呈反 J 型分佈，顯示本林分之小徑級林木密度高數量較多（圖 2 ）。

櫧櫟木樹種之直徑分布情形，其中毽子稠及錐果櫟呈反 J 型之分布；長尾柯呈扭轉之 S 型分布；而短尾柯則呈現多量型之分布（圖 3-6 ）。樟科樹種中，霧社木薑子呈反 J 型分布；香桂及長葉木薑子亦呈反 J 型分布；而紅楠呈多量形分布（圖 6-7 ），上層冠層樹種中以少數紅楠、長尾栲、短尾柯及霧社木薑子爲主。各樹種之直徑分佈說明各樹種在該林分，呈現不同的更新時期與能力。直徑分布爲反 J 型者如長葉木薑子、霧社木薑子、香桂及黑星櫻，在該林分成長過程中反應幼苗獲充分補充；直徑分佈爲扭轉型之 S 型或多量型分佈者，指明顯環境波動才能更新，如短尾柯、長尾栲及紅楠。林木更新呈階段性，反應其更新材料供應，如結實週期性、下種種子發芽，或更新環境之變化如颱風影響等干擾。

本林分林冠尚屬完整，冠層遮蔽程度，本試驗以 CID 出品之 CI-100 冠層分析儀（ canopy analyser ）分析各樣區之葉面積（ leaf area index ， LAI ），測站爲各枯枝收集網點，於離地面高 1.5m 處，以水平之魚眼鏡頭測量，依垂直線之 30° 圓錐空間，共 32 點，各樣區之林冠葉面積指數如表 2 ，平均林冠之葉面積指數爲 6.0 ，如依葉面積指數大小分 4 級冠層遮蔽度： 1.稀疏（ LAI≤3 ）， 2.疏（ 3≤LAI≤6 ）， 3.密（ 6<LAI≤10 ）， 4.鬱密（ LAI>10 ），其中 LAI 最少爲 1.43 ，最大爲 12.55 ，而冠層稀疏者占 12.9 %，冠層疏者占 35.5 %，冠層密者占 41.9 %，而鬱密者僅占 9.7 %，說明本林分之冠層，尚稱均質穩定，而樹冠裂隙面積小，出現處亦少，林分之相對光度約爲 15 %，說明本林分爲暖溫帶雨林，其中楠木類及櫧櫟木類多屬耐蔭性及中性樹種，所呈現較穩定林分。

表3、棲蘭山闊葉林樣區之樹種調查資料

| 樹種 | 總株數 (0.2ha) | 平均胸徑(cm) | 頻度 (%) | 相對優勢(%) |
|---|---|---|---|---|
| 紅　楠 | 127 | 13.4±14.3 | 100 | 37.70 |
| 長葉木薑子 | 232 | 5.6± 6.0 | 100 | 12.20 |
| 短尾柯 | 38 | 15.8± 8.7 | 68.8 | 9.68 |
| 長尾栲 | 37 | 10.7±14.5 | 68.8 | 9.42 |
| 黑星櫻 | 78 | 6.2± 5.1 | 93.8 | 4.04 |
| 杜　英 | 10 | 13.1±16.4 | 31.3 | 3.46 |
| 錐果櫟 | 44 | 6.6± 7.1 | 75 | 3.21 |
| 山櫻花 | 28 | 10.0± 6.6 | 37.5 | 3.15 |
| 霧社木薑子 | 31 | 7.3± 8.4 | 68.8 | 2.99 |
| 烏皮茶 | 32 | 6.5± 7.7 | 56.3 | 2.53 |
| 薯　豆 | 19 | 10.2± 7.1 | 68.8 | 2.31 |
| 大葉柯 | 11 | 9.3±10.5 | 37.5 | 1.69 |
| 香　桂 | 59 | 4.5± 3.8 | 81.3 | 1.59 |
| 鋸葉長尾栲 | 5 | 11.9± 9.7 | 18.8 | 0.92 |
| 烏心石 | 26 | 4.7± 3.4 | 50 | 0.69 |
| 毽子稠 | 37 | 3.5± 2.6 | 62.5 | 0.56 |
| 烏皮九芎 | 13 | 5.8± 4.3 | 43.8 | 0.54 |
| 小花老鼠刺 | 99 | 4.9± 4.5 | 68.8 | 0.48 |
| 尾葉灰木 | 15 | 4.9± 3.6 | 25 | 0.43 |
| 薄葉虎皮楠 | 5 | 6.3± 6.6 | 18.8 | 0.32 |
| 早田氏冬青 | 11 | 4.5± 3.8 | 12.5 | 0.30 |
| 臺灣樹蔘 | 25 | 3.1± 2.3 | 43.8 | 0.29 |
| 奧氏虎皮楠 | 11 | 4.9± 2.4 | 31.3 | 0.25 |
| 華氏冬青 | 21 | 3.0± 2.5 | 37.5 | 0.25 |
| 玉山莢迷 | 35 | 2.5± 1.4 | 43.8 | 0.22 |
| 柳　杉 | 2 | 11.5± 1.5 | 6.3 | 0.21 |
| 脈葉釣樟 | 1 | 15.0 | 6.3 | 0.18 |
| 綠　樟 | 5 | 5.7± 3.8 | 6.3 | 0.18 |
| 山紅柿 | 1 | 14.8 | 6.3 | 0.17 |

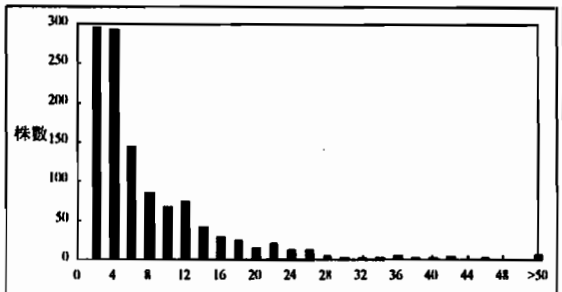



圖2 全林林木直徑分佈圖 直徑級(cm)

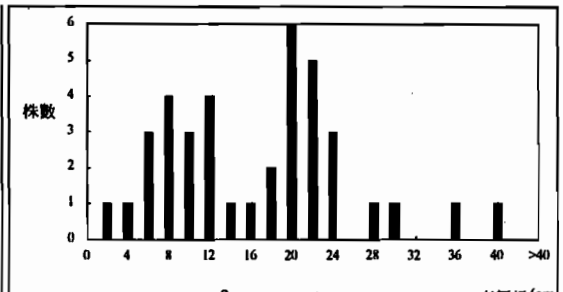



圖3 短尾柯直徑分佈圖 直徑級(cm

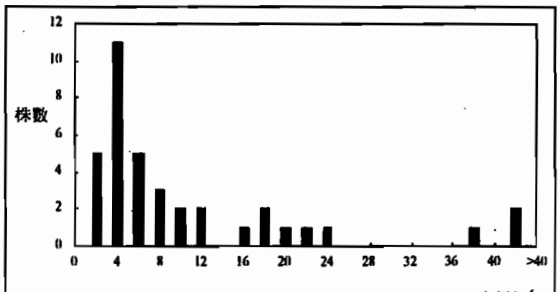



圖4 長尾栲直徑分佈圖 直徑級(cm

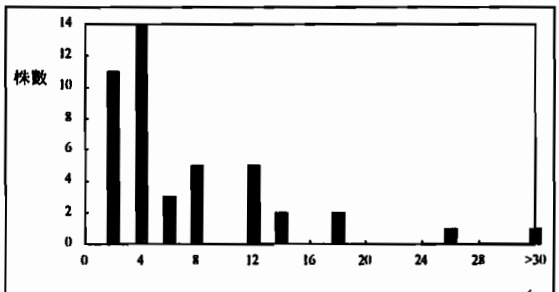



圖5 錐果櫟直徑分佈圖 直徑級(cm

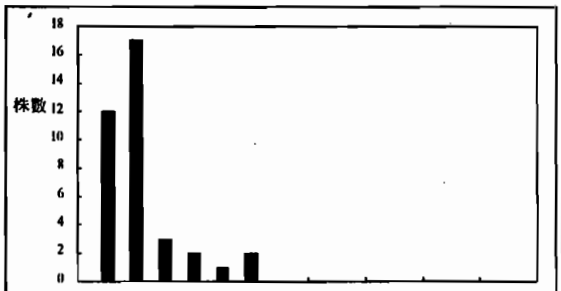



圖6 毬子稠直徑分佈圖 直徑級(cm)

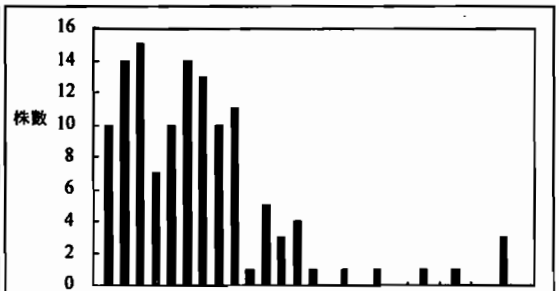



圖7 紅楠直徑分佈圖 直徑級(cm

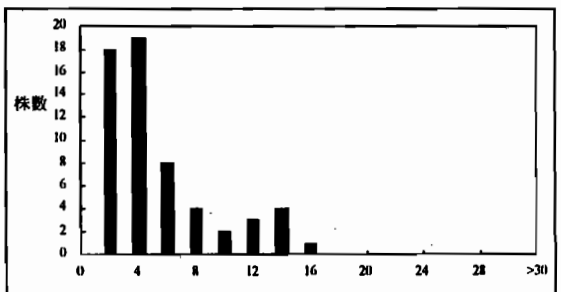



圖8 香桂直徑分佈圖 直徑級(cm

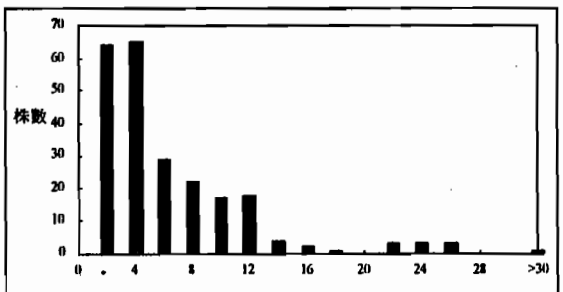



圖9 長葉木薑子直徑分佈圖 直徑級(cm)

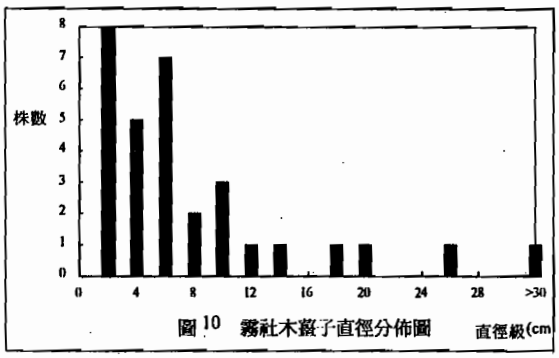


圖 10 霧社木蘞子直徑分佈圖

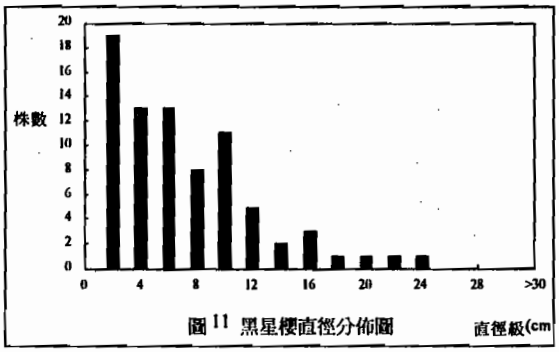


圖 11 黑星櫻直徑分佈圖

3.主要樹種之萌蘖更新

從樣區的樹種株數及其萌蘖數量來計算各樹種萌蘖率（表 4 ），由調查結果可以看出櫧櫟木（包括長尾柯、鋸葉長尾柯、毽子稠、錐果櫟、短尾柯、大葉柯等六種）都有萌蘖現象，平均萌蘖率爲 20.2 %。其中以毽子稠最高，爲 40 %，錐果櫟爲 25 %，鋸葉長尾栲 20 %，各樹種之萌蘖率均達 10 %以上。樟科（包括奧氏虎皮楠、薄葉虎皮楠、香桂、長葉木薑子、霧社木薑子、紅楠、綠樟、脈葉釣樟）除了脈葉釣樟未發現外，其餘都有萌蘖現象，平均萌蘖率爲 16.7 %。其中奧氏虎皮楠萌蘖率爲 42.9 %爲最高，薄葉虎皮楠爲 25 %，紅楠則爲 20 %，香桂爲 16.7 %，而長葉木薑子及霧社木薑子較低各爲 5.2 %及 7.1 %。其他樹種之平均萌蘖率 9 %。試驗地共有 28 種樹種具萌蘖性，佔了總樹種的 57 %，可知萌蘖更新是種子外的一項重要更新方式。

就各萌蘖林木之萌條生長而言，櫧櫟林木之單株平均出現萌蘖條數較樟科爲高，以毽子稠、長尾栲及錐果櫟爲多，其中錐果櫟甚至萌條數多達 11 條而形成叢生形，長尾栲及毽子稠亦有多達 8 條者，而樟科林木中，萌蘖者萌芽數多爲 1-4 條。其餘樹種具萌蘖者亦多爲 1-4 條（表 4 ）。

現階段林分中出現之更新苗木（ H<1.3m ）經調查共有 209 株，其中櫧櫟木苗僅 12 株，占櫧櫟木總株數之 6.5 %（表 5 ），其中包括長尾栲、鋸葉長尾栲、短尾柯及錐果櫟。樟科樹種之苗木爲 26 株，占總株數之 5.3 %，僅出現香桂、長葉木薑子及紅楠苗。其他樹種之苗木則占總株數之 26.9 %，由圖 2 之全林直徑分佈顯示，該闊葉林雖呈反 J 型分布小徑林木多，由表 5 可知出現苗木多爲其他樹種，如黑星櫻。櫧櫟木及樟科林木之苗木占總苗木數比例甚低，各爲 5.7 %及 12.4 %，顯示現階段此二科樹種之下種更新能力小。

表 4 ：棲蘭山闊葉林各樹種萌蘖性狀表

| 樹種 | 株數 | 萌蘖株數 | 萌蘖率 | 平均蘖條數 |
|---|---|---|---|---|
| 長尾栲 | 28 | 4 | 14.3 | 3.3(1-8) |
| 鋸葉長尾栲 | 5 | 1 | 20.0 | 2(2) |
| 毽子稠 | 15 | 6 | 40.0 | 3.7(1-8) |
| 錐果櫟 | 28 | 7 | 25.0 | 2.4(1-11) |
| 短尾柯 | 37 | 4 | 10.8 | 1.5(1-2) |
| 大葉柯 | 9 | 1 | 11.1 | 2(2) |
| 紅楠 | 95 | 19 | 20.0 | 1.7(1-4) |
| 霧社木薑子 | 28 | 2 | 7.1 | 1.5(1-2) |
| 長葉木薑子 | 232 | 12 | 5.2 | 1.3(1-3) |
| 脈葉釣樟 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 香桂 | 54 | 9 | 16.7 | 1.4(1-3) |
| 奧氏虎皮楠 | 7 | 3 | 42.9 | 1.3(1-2) |
| 薄葉虎皮楠 | 4 | 1 | 25.0 | 12(1) |
| 圓葉冬青 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 早田氏冬青 | 6 | 2 | 33.3 | 2.5(1-4) |
| 華氏冬青 | 19 | 1 | 5.3 | 2(2) |
| 臺灣樹參 | 23 | 3 | 13.0 | 1(1) |
| 臺灣八角金盤 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 忍冬 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| 玉山莢迷 | 22 | 6 | 27.3 | 2.3(1-4) |
| 山紅柿 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 薯豆 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 杜英 | 8 | 2 | 25 | 1(1) |
| 黃杞 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 烏心石 | 21 | 4 | 19.1 | 1.5(1-3) |
| 深山野牡丹 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 牛乳榕 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 臺灣山桂花 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| 日本女真 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 刺格 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| 大葉木犀 | 5 | 1 | 20.0 | 2(2) |
| 山櫻花 | 16 | 5 | 31.3 | 2.4(1-4) |
| 黑星櫻 | 110 | 7 | 6.4 | 1.2(1-2) |
| 文山雞屎樹 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 綠樟 | 2 | 1 | 50 | 3(3) |
| 狹瓣八仙花 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 小花老鼠刺 | 88 | 10 | 11.4 | 1.9(1-3) |
| 烏皮九芎 | 8 | 2 | 25.0 | 2.5(1-4) |
| 尾葉灰木 | 12 | 3 | 25.0 | 1.7(1-3) |
| 銳葉柃木 | 9 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 柃　　木 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 薄葉柃木 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 烏　皮　茶 | 37 | 2 | 5.4 | 1(1) |
| 長梗紫苧麻 | 2 | 1 | 50 | 5(5) |
| 大葉紫珠 | 9 | 2 | 22.2 | 2(1-3) |
| 臺灣天仙果 | 21 | 0 | 0 | 0 |
| 紅　　檜 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 柳　　杉 | 2 | 0 | 0 | 0 |

*（）：指單株之萌蘖數

表5：棲蘭山闊葉林各樹種苗木表

| 樹種 | 總株數 | 林木 | 苗木 | 苗木率% |
|---|---|---|---|---|
| 長　尾　栲 | 41 | 37 | 4 | 9.8 |
| 鋸葉長尾栲 | 7 | 5 | 2 | 28.6 |
| 毽　子　稠 | 37 | 37 | 0 | 0 |
| 錐　果　櫟 | 45 | 44 | 1 | 2.2 |
| 短　尾　柯 | 43 | 38 | 5 | 11.6 |
| 大　葉　柯 | 11 | 11 | 0 | 0 |
| 櫧櫟木小計 | 184 | 172 | 12 | 6.5 |
| 紅　　楠 | 127 | 125 | 2 | 1.6 |
| 霧社木薑子 | 31 | 31 | 0 | 0 |
| 長葉木薑子 | 248 | 232 | 16 | 6.5 |
| 脈葉釣樟 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 香　　桂 | 67 | 59 | 8 | 11.9 |
| 奧氏虎皮楠 | 11 | 11 | 0 | 0 |
| 薄葉虎皮楠 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| 樟科小計 | 490 | 464 | 26 | 5.3 |
| 其他小計 | 669 | 498 | 171 | 26.9 |
| 合　　計 | 1343 | 1134 | 209 | 15.6 |

4.果實雨調查

從1996年8月至1997年2月間，由試驗地所收集回來之枯枝落葉量，其變動如圖12所示。包括葉、枝、花、果實、附生植物(含蘚苔類、藤本植物)等及其他類(含蟲、排泄物等)。由圖中可看出以9月、10月及11月的枯枝落葉量較多。

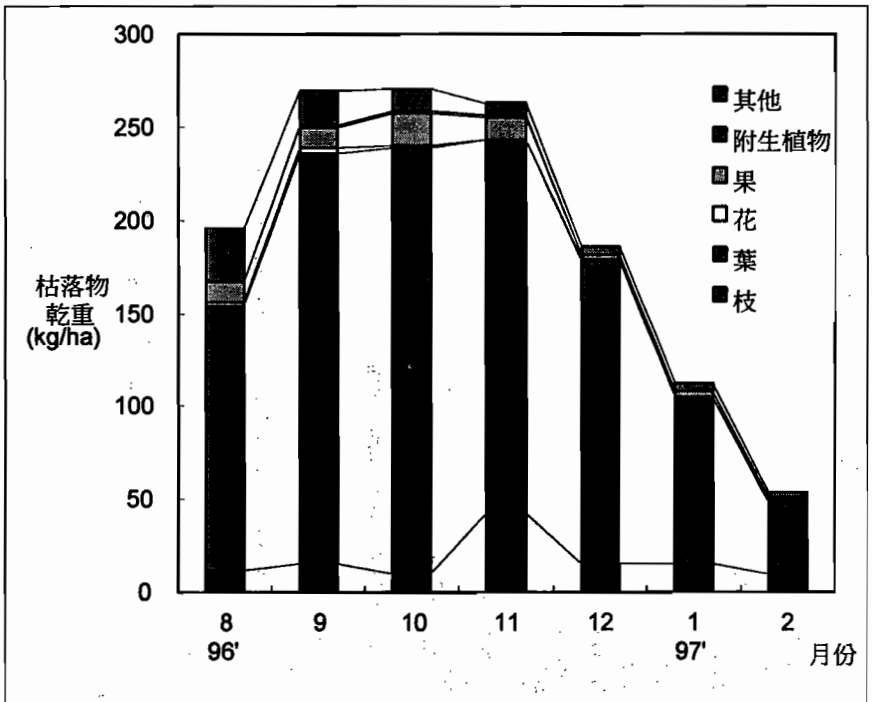



圖 12　棲蘭山闊葉林枯落物之變化

表6　棲蘭山闊葉林枯落物統計表(1996.8-1997.2)　　單位：(kg\ha)

| 部位<br>樣區 | 枝 | 葉 | 花 | 果 | 附生植物 | 其他 | 總重 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一區 | 86.8 | 942.7 | 6.0 | 53.4 | 4.6 | 85.0 | 1178.5 |
| 第二區 | 135.5 | 1429.8 | 10.8 | 66.3 | 4.3 | 93.4 | 1740.1 |
| 第三區 | 186.2 | 964.2 | 3.6 | 42.0 | 5.6 | 72.3 | 1273.8 |
| 第四區 | 55.4 | 1009.7 | 9.6 | 75.8 | 4.7 | 52.3 | 1207.6 |
| 平均 | 115.94 | 1086.61 | 7.54 | 59.38 | 4.82 | 75.74 | 1350.03 |
| 百分比 | 8.6% | 80.5% | 0.6% | 4.4% | 0.4% | 5.6% | 100.0% |

另外，由表可看出這四個樣區內枯枝落葉收集網在下半年度(秋、冬季)所收集到的枯落物以落葉最多，高達80%;而落果也佔有4%以上，其中大部份爲結實期在下半年度的檯櫟木之種實居多。

2月從網內收集之櫧櫟木種實有錐果櫟、短尾柯、長尾栲，其中以錐果櫟與短尾柯的數量爲多，在收集網內物時，發現許多錐果櫟與短尾柯的空殼碎屑物，顯示有囓齒動物吃食種實，另外也發現大量小粒、不飽滿種實。

錐果櫟種實數量，大致集中在8月、9月、10月，其中以8月、9月出現的種實數量最多，是落果的高峰期，10月底則無再發現錐果櫟種實，如圖13；而短尾柯之落果期爲9月、10月、11月、12月，其中以9月、10月爲其落果高峰期。樟科樹種如長葉木薑子，在8、9月亦有零星落果，而其他樹種之落果量甚高，由8月份逐漸增加，而11月、12月爲高，其中包括杜英等。

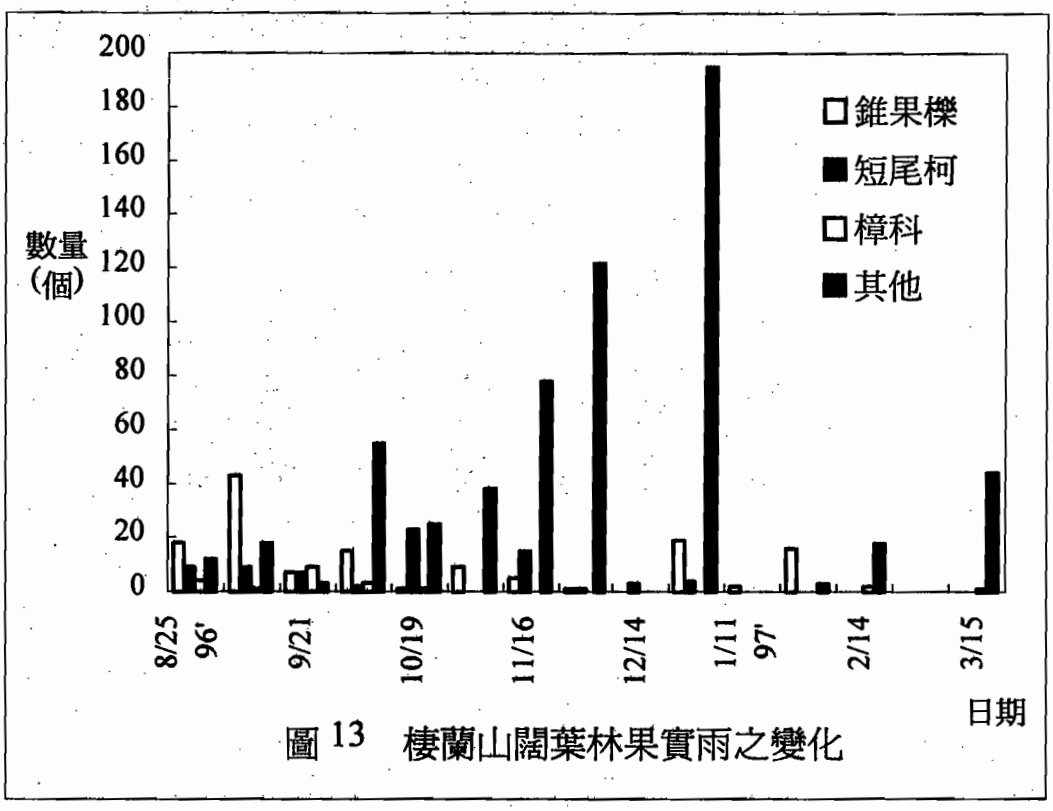



圖 13　棲蘭山闊葉林果實雨之變化

由圖14顯示錐果櫟落果期間，果實之重量變化，以9月份時較重，平均單粒乾量爲0.2g，較8月份及10月爲高；而短尾柯之果實重量，則11月時之平均單粒乾重爲1g，此等現象均說明此二櫧櫟木在果實未成熟飽滿前，已不斷發生掉落。因爲臺灣東北部地區爲恆濕氣候地區，秋冬之際爲雨季，亦有東北季風，是否由於氣候型態之影響，致櫧櫟木於果實發育期間不斷發生落果，而降低種實之生產量，則有待進一步觀察。另所收集之櫧櫟木種實中多發現遭囓食，僅剩碎果比例甚大。就果實收集重量如圖15示，短尾柯於10月19日及11月16日所採每次均可採至每公頃4kg至5kg乾重，而錐果櫟則於8月及9月間，每次所採集之量爲每公頃1kg重左右。而樟科種子亦於9月21日可採集至每公頃1kg左右。

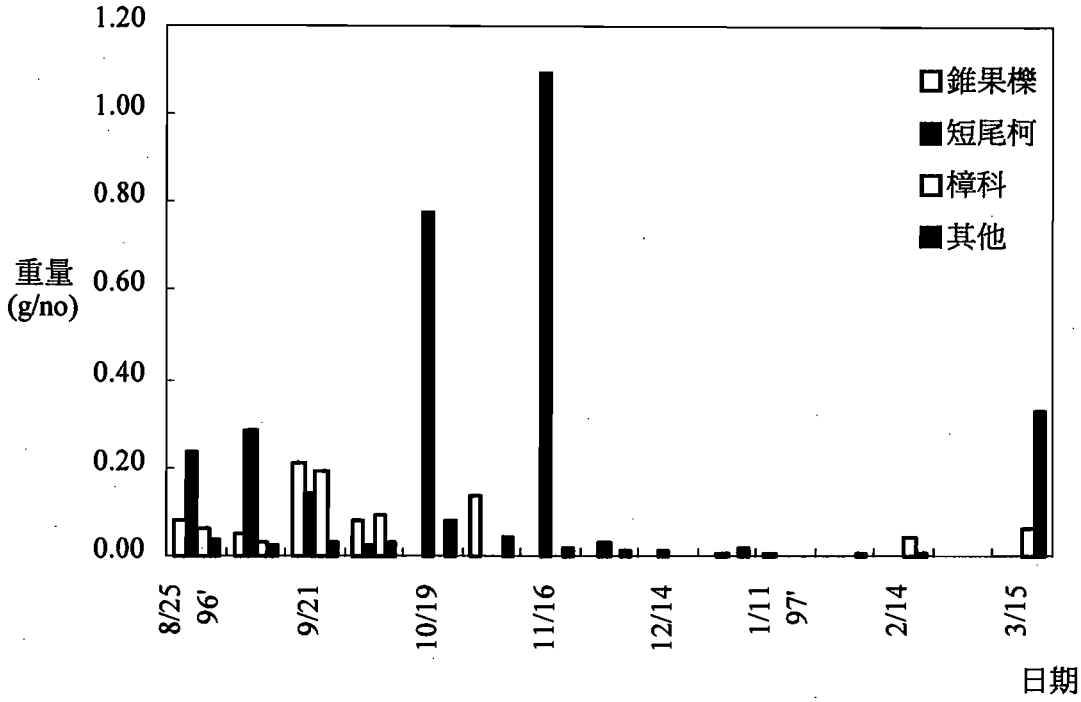



圖 14　棲蘭山闊葉林果實雨單粒果實重之變化

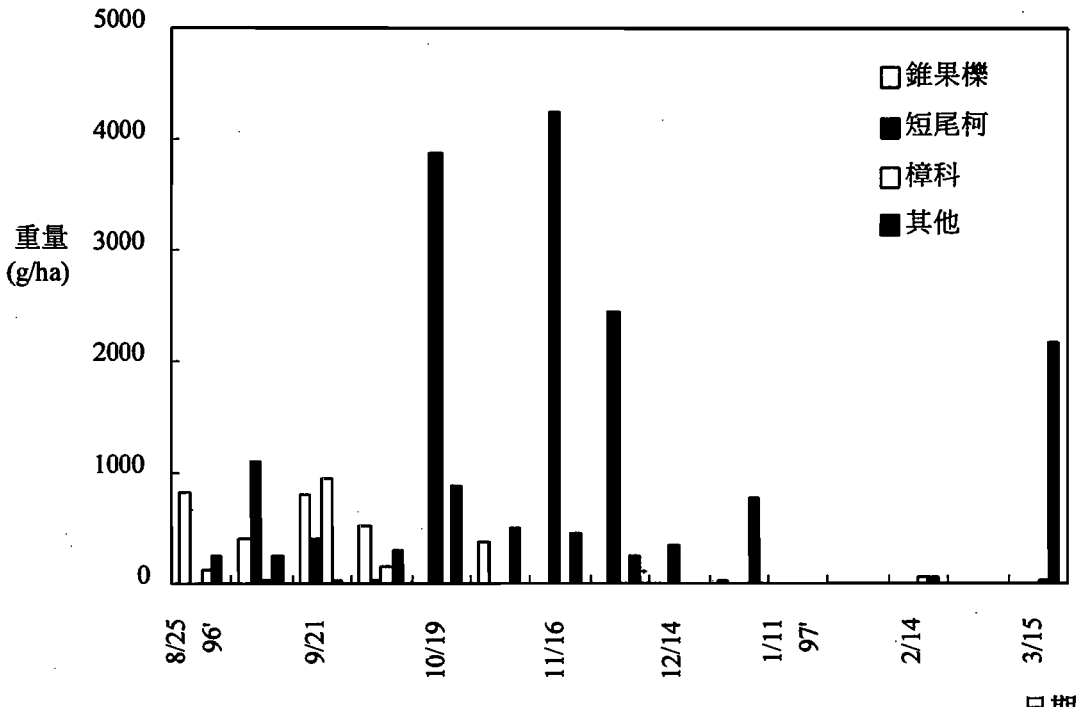



圖 15　棲蘭山闊葉林果實雨總重量之變化

5.種子庫之調查

(1)種子庫種實數量

a.枯枝落葉層種實

枯枝落葉層中的種子包含有：短尾柯、錐果櫟、長尾栲、杜英和樟科等種子共186粒，其中櫧櫟木種子即有171粒，佔約92%。櫧櫟木種子中又以短尾柯爲最多，其次爲錐果櫟。平均每平方公尺所含有的種子量約爲11.6粒，櫧櫟木種子約10.7粒（表7）。估計每公頃種子數量約爲116,250粒，櫧櫟木種子約佔106,875粒。

表7：棲蘭山闊葉林地表種子庫調查表

| 層次 | 錐果櫟 | 短尾柯 | 長尾栲 | 杜英 | 樟科等 | 合計 no/m² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 枯枝落葉層 | 2.06 | 8.50 | 0.13 | 0.375 | 0.56 | 11.625 |
| 土　壤　層 | 0.94 | 3.25 | 0 | 0.375 | 0.56 | 5.125 |
| 合計 no/m² | 3.0 | 11.75 | 0.13 | 0.75 | 1.12 | 16.75 |

b.土壤層種實

在土層所篩選出來的種子只有82粒，數量較枯枝落葉層少了許多，亦櫧櫟木種實仍然是居多數，佔約82%。估計在每公頃土壤層種子含量約有51,250顆，櫧櫟木佔約41,875顆。

在土壤種子庫方面，一共收集了268顆種子，估計平均每公頃林地含有167,500粒種子，其中櫧櫟木種子就佔了14,750粒，但受破壞種子仍佔了多數，所以種子庫中櫧櫟木種子含量雖豐富，但其種子活力並不高，對該林分櫧櫟木之更新未必有利。

在種子庫收集到的種子多小粒種子，佔約93%，少有完整成熟種子，可能爲85年度8月份之颱風所造成。

五、結　論

1.棲蘭山闊葉林位臺灣東北部中低海拔地區，林分組成，以紅楠、長葉木薑子、長尾栲及短尾柯爲主之楠櫧櫟林型。

2.由林木直徑分析，林分中小徑林木多，呈反J型之分析，各主要樹種則呈現不同之更新階段，徑級分布多爲S型或多量型，即林木更新呈階段性，如短尾柯、紅楠。此或受更新材料供應，如種實量之豐欠年及環境波動，如颱風干擾等影響所致。

3.該闊葉林中櫧櫟林木及樟科樹種均具萌蘖特性，其中櫧櫟木之萌蘖率及平均單株出現之萌條數均較樟科林木爲高。林分中具萌蘖更新現象之樹種占57%，顯示該林分更新之特性。

4.現階段林分內更新苗，以其他樹種爲主，櫧櫟林木幼苗比例甚低，顯示櫧櫟木在該林分下種更新能力低。

5.從1996年8月至1997年2月收集的種實數量，錐果櫟種實成熟期在9月間種實最重；短尾柯之種實成熟期在11月間，但多數均在未成熟前連帶小枝條一起掉落。地表層種子庫收集到的種子亦多爲尙未成熟的小粒種子，佔約93%，少有成熟完整種子。

6.櫧櫟木種實，在收集過程中發現許多空泡及碎屑，可能是遭囓齒動物如松鼠及蟲類危害。

7.需長期觀測樹種物候，瞭解開花結實習性、結實量，以供採種依據，同時進一步探討下種更新條件以提供更新建造技術之依據。

六、參考文獻

林讚標 1996 林木種子採集、處理、儲藏、休眠與發芽　臺灣省林業試驗所 P16-17

洪富文、馬復京、游漢明、張乃航、李玉琴　1994　福山天然林更新作業的研究　臺灣天然林生態系經營研究會論文集 P141-153

洪富文、游漢明、馬復京、張慧玲　1994　林業試驗所研究報告季刊　9(4)：339-347

洪富文、游漢明、馬復京　1995　1994年颱風使福山闊葉林的年枯落物量加倍　林業試驗所研究報告季刊　10(4)：485-491

洪富文、馬復京、張乃航　1996　1994年颱風在福山試驗林形成的空隙與天然更新　颱風對森林生態系之影響研究會

廖日京、劉棠瑞　(1988)　樹木學（上）　正中書局　p201-208

王子定　1969　森林保護學　254--259 頁。

高毓斌、何坤益、陳永修　1992　闊葉林的天然更新機制及作業法之研究(一)未干擾與伐木作業後之天然更新---中海拔闊葉林之育林研究--八十年度研究成果報告彙編　1--23 頁。

廖日京、劉棠瑞　1987(3)版，樹木學。

劉一新、高毓斌　1994　林相改良作業臺灣南部低海拔闊葉林林份組成與結構之影響--林業試驗所研究報告季刊　9(4)：317--329 頁。

楊秋霖　1994　從天然林之價值談林業經營之趨勢--臺灣天然林生態系經營研究會論文集：3--11 頁。

# 棲蘭山樣區植物名錄

1. *Alsophila podophylla* Hook . 鬼沙欏 < T . + >
2. *Chamaecyparis formosensis* Matsum . 紅檜 < T . + >
3. *Cryptomeria japonica* ( L . f . ) D . Don 柳杉 < T . * >
4. *Ilex goshiensis* Hayata . 圓葉冬青 < T . + >
5. *Ilex hayataiana* Loes . 早田氏冬青 < T . + >
6. *Ilex warburgii* Loes . 華氏冬青 < T . + >
7. *Dendropanax peiicidopunctata* ( Hayata ) Kanehira ex kanehira & Hatusima 臺灣樹參 < T . + >
8. *Fatsia polycarpa* Hayata 臺灣八角金盤 < T . + >
9. *Lonicera japonica* Thunb 忍冬 < V . + >
10. *Viburnum integrifolium* Hayata 玉山莢迷 < S . + >
11. *Daphniphyllum glaucescens* Blume subsp . oldhamii ( Hemsl . ) Huang 奧氏虎皮楠 < T . + >
12. *Daphniphyllum himalaense* ( Benth . ) Muell . -Arg . subsp . macropodum ( Mig . ) Huang 薄葉虎皮楠 < T . + >
13. *Diospyros morrisiana* Hance 山紅柿 < T . + >
14. *Elaeocarpus japonicus* Sieb . & Zucc . 薯豆 < T . + >
15. *Elaeocarpus sylvestris* ( Lour . ) Poir . 杜英 < T . + >
16. *Castsnopsis carlasii* ( Hemsl . ) Hayata 長尾栲 < T . + >
17. *Castsnopsis carlasii* ( Hemsl . ) Hayata var . sessilis Nakai 鋸葉長尾栲 < T . + >
18. *Cyclobalanopsis acuta* ( Thunb . ) Liao var . paucidentata ( Fr . ) Liao 毽子椆 < T . + >
19. *Cyclobalanopsis longinux* ( Hayata ) Schott . 錐果櫟 < T . + >
20. *Pasania brevicaudata* ( Skan ) Schott . 短尾柯 < T . + >
21. *Pasania Kawakamii* ( Hayata ) Schott . 大葉柯 < T . + >
22. *Engelhardtia roxburghiana* Wall . 黃杞 < T . + >
23. *Cinnamomum randaiense* Hayata 香桂 < T . + >
24. *Lindera thunbergii* ( Sieb . & Zucc . ) Makino 脈葉釣樟 < T . +>
25. *Litsea acuminata* ( Blume ) Kurata 長葉木薑子 < T . + >
26. *Litsea mushaensis* Hayata 霧社木薑子 < T . + >
27. *Machilus thungerbii* Sieb . & Zucc . 紅楠 < T . +>

28. *Michelia compressa* ( Maxim . ) Sargent 烏心石 < T . + >

29. *Barthea formasana* Hayata 深山野牡丹 < S . + >

30. *Ficus erecta* Thunb . var . beecheyana ( Hook . & Arn . ) king 牛乳榕< T . + >

31. *Maesa tenera* Mez 臺灣山桂花 < T . + >

32. *Ligustrum japonicum* Thunb . 日本女真 < T . + >

33. *Osmanthus heterophyllus* ( Don ) Green var . *bibracteatus* ( Hayata ) Green 刺格 < T . + >

34. *Osmanthus matsumuranus* Hayata 大葉木犀 < T . + >

35. *Prunus campanulata* Maxim . 山櫻花 < T . + >

36. *Prunus phaeoscicat* ( Hance ) Maxim . 黑星櫻 < T . + >

37. *Lasianthus bunzanensis* Simizu 文山雞屎樹 < S . + >

38. *Meliosma squimulata* Hance 綠樟 < T . + >

39. *Hydrangea angustipetala* hayata 狹瓣八仙花 < V . + >

40. *Itea parviflora* Hemsl . 小花老鼠刺 < T . + >

41. *Styrax formosana* Matsum . 烏皮九芎 < T . + >

42. *Symplocos lucida* ( Thunb . ) Sieb . & Zucc . 日本灰木 < T . + >

43. *Symplocos sumuntia* Buch . -Ham . ex D . Don 尾葉灰木 < T . + >

44. *Eurya acuminatat* DC . 銳葉柃木 < S . + >

45. *Eurya japonica* Thunb . 柃木 < T . + >

46. *Eurya leptophylla* Hayata 薄葉柃木 < S . + >

47. *Pyrenaria shinkoensis* ( Hayata ) Keng 烏皮茶 < T . + >

48. *Villebrunea pedunculata* shirai 長梗紫苧麻 < T . + >

49. *Callicarpa randaiensis* hayata 大葉紫株 < S . + >

50. *Ficus formosana* Maxim . 臺灣天仙果 < S . + >

51. *Kadsura japonica* ( L . ) Dunal 南五味子 < V . + >

52. *Smilax china* L . 菝契 < V . + >

53. *Stauntonia hexaphylla* ( Thunb . ) Decne . 石月 < T . + >

54. *Paracyclea gracillima* ( Diels ) Yamamoto 土防己 < V . + >

55. *Ficus sarmentosa* Buch . -Ham . ex J . E . Sm . var . *henryi* ( Keng ) Corner 珍珠蓮 < V . + >

56. *Ardisia crispa* ( Thunb . ) Dc . var . *dielsii* ( Lev . ) Walker 臺灣百兩金 < S . + >

57. *Elaeagnus glabra* Thunb . 藤胡頹子 < V . + >
58. *Asplenium antiquum* makino 山蘇花 < H . + >
59. *Diplazium dilatatum* Blume 廣葉鋸齒雙蓋蕨 < H . + >
60. *Davallia mariesii* Moore Ex Bak . 臺灣骨碎補 < H . + >
61. *Monachosorum henryi* christ 稀子蕨 < H . + >
62. *Arachniodes rhomboides* ( wall . ) Ching 斜方複葉耳蕨 < H . + >
63. *Hymenophyllum* sp . 膜蕨 < H . + >
64. *Vandenboschia auriculata* ( Blume ) Copel . 瓶蕨 < H . + >
65. *Angiopteris lygodiifolia* Rosenst . 觀音座蓮 < H . + >
66. *Nephrolepis auriculata* ( L . ) Trimen 腎蕨 < H . + >
67. *Plagiogyria adnata* ( Blume ) Bedd . 瘤足蕨 < H . + >
68. *lemmaphyllum microphyllum* presl 伏石蕨 < H . + >
69. *Lepisorus thunbergianus* ( Kaulf . ) Ching 瓦葦 < H . + >
70. *Microsorium buergerianum* ( Miq . ) Ching 波氏星蕨 < H . + >
71. *Polypodium formosanum* Bak . 臺灣水龍骨 < H . + >
72. *Pyrrosia lingua* ( Thunb . ) Farw . 石葦 < H . + >
73. *Pyrrosia sheareri* ( Bak . ) Ching 廬山石葦 < H . + >
74. *Pteris multifida* Poir . 鳳尾蕨 < H . + >
75. *Selaginella doederleinii* Hieron . 生根卷柏 < H . + >
76. *Selaginella involvens* ( Sw . ) Spring 密葉卷柏 < H . + >
77. *Vittaria flexuosa* fee 書帶蕨 < H . + >
78. *Baphicacanthus cusia* ( Nees ) Bremek . 馬藍 < H . + >
79. *Trachelospermum gracilipes* Hook . f . 細梗絡石 < H . + >
80. *Asarum* sp .
81. *Begonia formosana* ( hayata ) Masamune 水鴨腳 < H . + >
82. *Tripterospermum alutaceofolium* ( T . S . Liu et C . C . Kuo ) J . murata 狹葉肺型草 < V . + >
83. *Hemiboea bicornuta* ( Hayata ) Ohwi 角桐草 < H . + >
84. *Lysionotus pauciflorus* Maxim . 臺灣石吊蘭 < H . + >
85. *Pachycentria formosana* Hayata 臺灣後距花 < H . + >
86. *Sarcopyramis delicata* C . B . Robins . 肉穗野牡丹 < H . + >
87. *Ardisia crenata* Sims 硃砂根 < S . + >

88. *Ardisia pusilla* DC . 輪葉紫金牛 < S . + >

89. *Embelia Laeta* ( L . ) Mez 藤木槲 < V . + >

90. *Piper kadsura* ( Choisy ) Ohwi 風藤 < V . + >

91. *Polygonum chinenae* L . 火炭母草 < H . + >

92. *Rubus buergeri* Miq . 寒梅 < S . + >

93. *Rubus formosensis* Ktze . 臺灣懸鉤子 < S . + >

94. *Rubus shinkoensis* Hayata 變葉懸鉤子 < S . + >

95. *Damnacanthus angustifolius* Hayata var . *stanophyllus* ( Koidz . ) masamune 細葉虎刺 < S . + >

96. *Damnacanthus indicus* gaerth . 伏牛花 < S . + >

97. *Ophiorrhiza japonica* Blume 蛇根草 < H . + >

98. *Hydrangea integrifolia* Hayata ex matsum . & Hayata 大枝掛繡球 < S . + >

99. *Pellionia arisanensis* Hayata 阿里山赤車使者 < H . + >

100. *Pilea brevicornuta* Hayata 短角冷水麻 < S . + >

101. *Tetratstigma formosanum* ( Hemsl . ) Gagnep . 三葉崖爬藤 < V . + >

102. *Amischotolype chinensis* ( N . E . Br . ) E . H . Walker ex Hatusima 中國穿鞘花 < H . + >

103. *Cyperus* sp .

104. *Lophatherum gracile* Brongn . 淡竹葉 < H . + >

105. *Calenthe densiflora* Lindl . 竹葉根節蘭 < H . + >

106. *Calenthe reflexa* Maxim . 卷萼根節蘭 < H . + >

107. *Dendrobium moniliforme* Sw . 石槲 < H . + >

108. *Liparis laurisilvatica* Fukuyama 小花羊耳蒜 < H . + >

109. *Phaius Flavus* ( Blume ) Lindl . 黃鶴蘭 < H . + >

110. *Scrcandra glabra* ( Thunb . ) Nakai 紅果金粟蘭 < S . + >

111. *Alpinia intermeria* Gagn . 山岳桃仔 < H . + >

# 內蒙古地區植被的生態地理條件和森林植被特徵

郭連生[1]

摘　要：

內蒙古自治區位於中國北部邊疆，總面積 188.3 萬平方公里。地域遼闊，植被類型表現出明顯的熱帶性。自東向西相繼出現森林、草原和荒漠三種植被類型，由南向北呈現出寒溫型、中溫型和暖溫型三個植被帶。

由於內蒙古地區主要處於亞洲大陸的溫帶半乾旱及乾旱地區，所以草原植被成爲該地區地帶性植被的主體，荒漠植被也較爲發達。而森林植被則限於東部的半溼潤與溼潤地區和一些山地才有分布。

本文在概述本區植被生態地理條件和植被地帶劃分的基礎上，以位於北部的大興安嶺林區興安落葉松林爲重點，介紹了寒溫型明亮針葉林帶、中溫型夏綠闊葉林帶和暖溫型夏綠闊葉林帶森林植被類型及其基本特徵。並且以大興安嶺北段，陰山山脈中段的大青山和區內最高的山體賀蘭山爲例，介紹了本區內山地森林植被的垂直分布及其特徵。

關鍵詞：內蒙古　植被　森林

內蒙古自治區位於我國的北部邊陲，總面積達 118.3 萬平方公里，呈一弧形的狹長地區。其東部爲大興安嶺山地明亮針葉林區，西部爲阿拉善戈壁荒漠區，中部是廣大的草原區。三者循序排列，依次形成了不同的自然植被地帶。絕大部分土地保持著自然植被景觀；只有少數地區農業墾殖率較高，人工栽培的各種植被代替了自然植被。

由於內蒙古自治區主要處於亞洲大陸的溫帶半乾旱及乾旱地區，所以草原被成爲該地區地帶性植被的主體，荒漠植被也較爲發達；而森林植被則限於東部的半溼潤與溼潤地區和一些山地才有分布。

本文僅在概述本區植被生態地理條件和植被地帶的基礎上，重點介紹本區的森林植被狀況。

## 1. 植被的生態地理條件

### 1・1 地形條件

內蒙入自治區大體上以高平原地形爲主體西起北山（合黎山、龍首山）、賀蘭山，向東與陰山山脈及大興安嶺相連接，構成內蒙古高原的外緣山地，它成爲我國北方的一條重要自然界線，制約著各種自然要素均呈現出東北-西南向的弧形帶狀分布。

[1] 內蒙古林學院

在此外緣山地以北是開闊坦蕩的內蒙古高原，其海拔高度約在 700-1400 公尺之間，地勢由南向北，從西到東逐漸傾斜下降，其東北部是呼倫貝爾高原地區，海拔高度約 600-900 公尺。呼倫貝爾高原的地表水系較爲發達，分布有河岸沼澤、河灘灌叢與草甸，呼倫湖和貝爾湖是高平原的低窪中心，其周圍形成各種草甸植被。內蒙占高原中段的錫林郭勒高原也是一個廣大的草原地區，海拔約 900-1300 公尺，區內也有一些較小的內陸河流和窪地，分布著各種草甸植被。陰山山脈以北的烏蘭察布高原區，海拔約 1200-1500 公尺。最西部是阿拉善高原區，它基本上是一個乾燥剝蝕平原區，海拔約 1000-1500 公尺是亞洲荒漠區的最東部，該地區分布有大面積的沙漠和鹽湖（巴旦吉林和騰格里沙漠，居延海、古龍乃湖、吉蘭太鹽池等）。

陰山山脈以南被黃河灣所包圍的鄂爾多斯高原是一古老的陸塊，海拔約 100-1500 公尺，基岩以疏松砂岩爲土，表面覆蓋有大量的第四紀沖積物和風積物。高原約中部爲剝蝕平原，具有許多剝蝕殘丘。溝谷和窪地，地形切割明顯。高原西部的桌子山爲一南北走向的斷塊山地，在構造上與賀蘭山相連，海拔爲 1600-2000 公尺。鄂爾多斯的南部是較大面積的第四紀砂層所構成的毛烏素沙區。在黃河南岸高原北緣還有一條狹長的庫布齊沙帶橫貫東西。

在鄂爾多斯高原與陰山山脈之間的河套平原在構造上是一條東西走向的沉降盆地，海拔 900-1100 公尺，是灌溉農業最發達的地區，農田取代了自然植被。

西遼河平原位於大興安嶺和冀北山之間，是西遼河及其各支流的沖積平原，是東北松遼平原的一部分，地勢西高（海拔 400 公尺左右）東低（低於 250 公尺）北部與松嫩平原南部與遼河平原相連接。地貌上的顯著特點是沙層有廣泛覆蓋，形成沙丘與丘間窪地相間排列的地形組合。該區已有廣泛開墾，農業較爲發達。

大興安嶺山脈從黑龍江右岸的漠河一帶至南拉木倫河左岸，全長約 1400 公里，寬約 150-300 公里，海拔爲中部高（ 1500-1700 公尺）南北低（ 1000 公尺左右）。隨著山地高程的差異和坡向不同，其植被分布有一定的分帶現象，山脈北段是興安落葉松（ *Larix gmelinii* ）林爲主的針葉林區，中段和南段是座落在窄原區的山地森林草原景觀。山脈的分水嶺成爲松遼平原草原區和內蒙古高原草原區的天然分界線。

陰山山脈屹立在蒙占高原的南部邊緣包括若干東西走向的斷裂山地，由西往東依次爲狼山、色爾騰山、烏拉山、大青山。陰山山脈南北兩側是不對稱的，南坡面向著陷落的河套平原及土默特平原，山地相對高度達 1000 餘公尺，北坡則經過剝蝕的低山丘陵緩慢過渡，逐漸下降到蒙古高原上，相對高差只有 200-400 公尺。其山脈分水嶺構成了內蒙古高原草原區與黃土高原草原區的天然分界線。

賀蘭山是阿拉山高原區東南邊緣隆起的山地，呈南北走向，它是本區海拔最高的山地，最高峰達 3656 公尺，相對高度 1500-2000 公尺以上。因此形成了

比較完全的山地植被垂直帶，上部有亞高山植被的發育。在植被水平地帶的分異中，它的分水嶺成爲草原區與荒漠區的一段重要天然界線。

1 · 2 氣候條件

本區位於中緯度內陸地區，具有明顯的溫帶大陸性氣候特點，冬季漫長，全區受蒙古高壓控制，從大陸中心向沿海移動的寒潮極爲盛行。夏季則受東南沿海潮溼熱氣團的一定影響，它所影響的範圍只能波及到內蒙古高原東南部，不能深入到高原中心，狼山、賀蘭山以西地區，仍在大陸氣團的控制之下。大氣環流的上述特點，使本區各項氣候因素形成了東北-西南走向的弧形帶狀分布，這一特點對植被和土壤的分布都產生了明顯的影響。

全區的熱量分布既與緯度有關，也受地形條件的影響，其熱量分布從東北向西南逐漸遞增。本區南部邊緣和西部地區已接近和達到暖溫帶的熱量指標，≧ 10 ℃積溫達 3000-3200 ℃以上，最北部的大興安嶺地區年平均溫度多在 0 ℃以下，根河和圖里河可達-5 ℃，積溫 1400 ℃，達到了寒溫帶的指標，中部廣大地區年均溫在 0 ℃以上，年積溫 1800-2600 ℃以上，達到中溫帶的溫度指標，由此形成了寒溫帶、中溫帶和暖溫帶三種植被類型。

日照豐富是本區氣候的重要特點之一，各地全年日照總時數大約 2500-3400 小時，日照百分率爲 55-78 %，是我國日照最豐富的地區之一。

大氣降水量的地理分布主要取決於東南海洋氣流的作用。由於山地的阻擋，使大興安嶺以東、陰山以內的降水量明顯高於山地以西的內蒙古高原地區。大興安嶺北部及東麓的降水量可達 400-500 毫米以上，西遼河平原和陰山南麓平原年降水量可達 400 毫米左右，東阿拉善地區的年降水量在 150 毫米以下，西阿拉善地區只有幾十毫米。本地的降水多集中在夏秋季節（ 7 、 8 、 9 月份），此期降水佔全年降水量的 80-90 %，春旱是全區的普遍現象。

本區在水熱分布上有兩個突出的特點：一是水熱的空間分布不平衡，另一個是同一地區內降水多集中在最熱的季節，使水、熱在時間上集中在一起。該區的熱量分布趨勢是由東北向西南逐漸升高，而降水的分布是由東北向西南逐漸減少，因而使熱量最豐富的地區，水分很少，而熱量不高的地區，水分卻很多，形成不利於水、熱條件充分發揮的組合條件。熱量和水分成爲不同地區植物生長發育的限制因素。

1 · 3 水文條件

地表水系的分布是由地貌結構和大氣降水狀況所決定的。呼倫貝爾高原的中東部、大興安嶺的東側及陰山山脈以南的地區屬於外流水系，包括額爾古納河、嫩江、西遼河、黃河等。水源豐富，河網密集，兩岸形成河漫灘、階地和沖積平原。內蒙古高原區的大部分屬於內流區域，河流稀少，流量亦小，少數爲常年流水外，大多數爲間歇性河流，高原上大小湖泊較多，多爲鹹化度較高的鹽鹹湖。其周圍的低溼灘地是隱域植被的生境類型。

地下水分布也與地層和氣候區域有關。地下水豐富的地區多位於半封閉和封閉的盆地，如河套平原。西遼河平原、毛烏素沙區等。這些地區聚水條件

好，水源較豐富，埋藏也較淺，鹹化度不高，是隱域性植被分布較多的地區。廣大的高平原上，由於地質構造複雜，含水層不穩定，屬於地下水較少的地區。

1．4 土壤條件

土壤和植被在自然界中是相互影響，相輔相成的歷史產物。在本地區的生物氣候條件下所形成的地帶性土壤，類型比較複雜，其中主要有黑土、黑鈣土、栗鈣土、棕鈣土、灰棕荒漠土、褐土、黑壚土、灰鈣土以及山地上發育的灰白色森林土，灰色森林土，灰棕壤、棕壤和灰褐土等。此外在許多局部性的特殊環境中，還有非地帶性的草甸土、沼澤土、鹽土以及發育程度很低的沙土、披砂石等分布。和本地區的生物-氣候帶大體一致的土壤帶，就是由上述的地帶性土類與非地帶性土類所構成的土被組合。由於本文篇幅所限，各土類的基本特徵及其與植被的相互聯繫在此不予詳述。

2. 植被地帶

植被地帶性的分異是自然地帶的一個側面，它受各項地理要素的制約。特別是以熱量、水分爲上的氣條件起著決定性的作用。

內蒙古自治區面積遼闊，南北跨越了 18 個緯度（ 37°24’ -55°23’ ），東西跨越 29 個經度（ 97° 12’ -126° 04’ ）。在這樣廣大的土地上，由於氣候條件差別很大，植被地帶的分異十分明顯。該區在地理位置上，處於亞洲大陸中，東部溫帶地區，其最北部鄰近西伯利亞寒溫帶地區；南部跨入華北暖溫帶邊緣。所以自北而南見寒溫帶、中溫帶和暖溫帶植被類型的分化。此外，因距離海洋遠近的不同，接受東南季風影響的不一致，氣候干擾程度的東西差異十分明顯，由東部到西部包括了溼潤、半溼潤、半乾旱、乾旱和極端乾旱五類不同的氣候區。在這些不同的氣候區內發育形成了森林、草原、荒漠等不同類型的地帶性植被。

總之，本地區南北向的熱量差別和東西向的溼潤度不同，是植被水平地帶分化的主要基礎。依此對全區的植被地帶作如下畫分：

一、寒溫型明亮針葉林帶

二、中溫型夏綠闊葉林帶

三、暖溫型夏綠闊葉林帶

四、中溫型草原帶

（一）森林草原亞帶

（二）典型草原亞帶

（三）荒漠草原亞帶

五、暖溫型草原帶

（一）森林草原亞帶

（二）典型草原亞帶

（三）荒漠草原亞帶

六、暖溫型荒漠帶

（一）草原化荒漠亞帶

（二）典型荒漠亞帶

3. 森林植被類型及其特徵

森林是內蒙古自治區植被的重要組成部分，其類型及其特徵與植被地帶密不可分。現按植被地帶分述森林類型及其特徵。

3．1 寒溫型明亮針葉林帶的森林特徵

大興安嶺的針葉林區是歐亞針葉林沿著山地向南延伸的一部分。具有山地針葉林特點。大興安嶺爲一海拔高 1000 公尺左右的古老山地，最高峰奧格里堆山海拔 1530 公尺。氣候以寒冷、溼潤和風力較小爲主要特點。年平均氣溫低於。 4 ℃、≧ 10 ℃的活動積溫 1300-1400 ℃，無霜期只有 50-60 天，年雨量 450-550 毫米。土壤以灰白色森林土和灰色森林土爲主，肥力較低。寒冷的氣候、溼潤的土壤和島狀永凍層的存在，使闊葉林的發育受到極大的抑制；而陽性針葉樹種-興安落葉松卻得以廣泛生長，成爲本地區的優勢植被。

興安嶺落葉松的分布面積佔大興安嶺北部林地面積的 70 %左右。隨著立地條件的不同，興安落葉松林又有各種類型的分化。其中分布最廣的一類是興安落葉松-杜鵑林，通常分布在坡度較大的山坡上，間或有少數樟子松（ *Pinus sylvestris* var. *momgolica* ）和白樺（ *Betula Platyphylla* ）混生，林下灌木層發達、以杜鵑（ *Rhododendron dahuricum* ）爲主。山地中、下部緩坡上土層較深厚，林下草本層發達，而灌木稀疏，構成了興安落葉松-草類林，其林下植物種類比較豐富，以越桔（ *Vacinium vitis-idaca* ）、苔草（ *Carax* spp.）、紅花鹿蹄草（ *Phyrola incarnata* ）等較多。在一些低丘漫崗和階地上，因永凍層的存在使排水不良喜濕性植物和蘚類得以發展，因而形成了興安落葉松-杜香林和興安落葉松-水蘚林。林下植物主要有細葉杜香（ *Ledum pulustre* var. *ngustum* ）、越桔和蘚類（ *Aulacomnium palustre* 等）。在山間谷地的沼澤化生境中往往分布著興安落葉松溪旁林和興安落葉松沼澤化疏林，林間多生長較密的柴樺（ *Betula fruticosa* ），下層有越桔、蘚類和苔草等。在海拔 1000 公尺以上的山地，往往出現興安落葉松-偃松林，這是含有高山植物種類的一個林型。主要高山植物種有偃松（ *Pinus pumila* ）、西伯利亞利柏（ *Juniperus sibirica* ）、岳樺（ *Betula ermanii* ）等。寒溫型明亮針葉林帶東部的興安落葉林中出現一些闊葉林成分，如蒙古櫟（ *Quercus mongolica* ）、黑樺（ *Betula dahurica* ）、胡枝子（ *Lespedeza bicolor* ）、榛（ *Corylus heterophylla* ）等。這是闊葉林植物沿谷地向北滲透的表現，形成了興安落葉松-蒙古櫟林和興安落葉松黑樺林等過渡林型。上述各類興安落葉松林遭到火災和砍伐後，常被次生樹種白樺所代替，變成白樺林或興安落葉松-白樺林，這是大興安嶺山地森林演替的一個重要特點。

大興安嶺地區，興安落葉松林的上述各林型間的關係大體如下:

落葉松 偃松林 ↑ 海
水分漸增 ↑ | 拔
←————— 落葉松- 杜鵑林 | 升
↑ | 高
落葉松-杜香-藓類林←落葉松-杜香林←落葉松-草類林→落葉松-蒙古櫟林
↓
落葉松-溪旁林

除興安落葉松以外，大興安嶺北部的山地針葉林還有樟子松和紅皮雲杉（ *Picea koraiensis* ）林，但面積不大，呈片狀分布。

3 · 2 中溫型夏綠闊葉林帶的森林特徵

中溫型夏綠闊葉林在大興安嶺東麓的代表類型是發育在灰棕色森林土。上的蒙古櫟-胡枝子林。林木組成以蒙古櫟佔優勢，常混生一些黑樺和緞樹，林下灌木層發達，以胡枝子佔優勢，林間隙地常有榛灌叢成團塊狀分布。林下草本層很茂密，種類豐富，達 40 種以上。

本地帶內，由於人爲活動的長期影響，原生的蒙古櫟往往已被破壞，代之而起的有黑樺林、白樺林、山楊林、蒙古櫟的萌生矮林、榛灌叢及雜類草原甸等次生植被。

3 · 3 暖溫型夏綠闊葉林帶的森林特徵

暖溫型夏綠闊葉林帶在內蒙古自治區所佔面積很小，僅限於燕山山區的北部一角（七老圖山），即赤峰市南部的寧城縣一帶，是暖溫型夏綠闊葉林帶沿山地向北延伸的邊緣部分，成爲該植被的北界。七老圖山是燕山北部的一部分，海拔約 1300-1600 公尺，但相對高度較低，植被垂直帶的分化不完全，沒有地地針葉林和高山植被的發育。山前的黃土覆蓋比較普遍，其堆積高度可達海拔 700-800 公尺，這些部位目前已多開爲農田。森林植被在海拔 1000 公尺以上的山地才有分布，但多爲次生林，主要類型是陰坡的樺木材、山楊林及陽坡的蒙古櫟林，也有山楊、樺木等樹種的混交林。林下灌木有榛、忍冬、柳、山荆子等。

3 · 4 山地森林植被垂直分布特徵

內蒙古的山地，從東向西依次有：縱貫本區中部的大興安嶺，位於西遼河以北的冀北山地（北部），橫亙於本區中部的陰山山脈（包括大青山、蠻汗山、烏拉山、狼山）以及高居於本區西部阿拉善高原的賀蘭山、龍首山與馬鬃山等。山地面積約佔內蒙古全區總面積的 1 ／ 6 。這些山地中只有賀蘭山，龍首山兩個較小的山地海拔達 3000 公尺以上，其餘山地均爲中山和低山，海拔一般不超過 1200-2200 公尺，相對高度大約在 1000-1500 公尺上下，山地垂直帶譜往往是不完全的。特別是大興安嶺北部山地的垂直分化最爲簡單。陰山山地因海拔略高，垂直分布比較複雜一些，但也同樣缺乏典型的高山、亞高山植被

帶。只有賀蘭山上部出現了亞高山灌叢與草甸的分布。由於山地所座落的水平地帶不同，也必然使山地植被的類型、組成和分布規律有明顯的區別。大興安嶺北部位於森林地區和森林草原帶，整個山體幾乎完全爲針葉林和闊葉林所佔據。大興安山地中、南部及陰山山地中、東部因處於草原地帶，所以山體上分化出山地森林、灌叢、草原等垂直帶、而且形成陰坡與陽坡植被的顯著分化，陰坡發育森林，陽坡發育草原。狼山、賀蘭山、龍首山等山地座落在荒漠地區，所以山地下部的荒漠植被可分布到一定高度，再往上即過渡到山地草原帶，越過草原帶才出現森林及中生灌叢的分布。由於篇幅所限，本文重點介紹大興安嶺山地，陰山山地和賀蘭山地的植被的垂直分布特徵。

3．4．1 大興安嶺北段山地的植被

大興安嶺山地呈東北西南向縱貫於東北平原和內蒙古高平原之間，南部與冀北山地相接，東北與小興安嶺山地相鄰，該山地從北緯 53°向南一直延伸到北緯 42°，跨越 6 個緯度。由於南北狹長，氣候、地貌、土壤、植被等自然條件變化很大。根據山地植被結構特點，可將大興安嶺山地分爲北、中、南三段。北段是大興安嶺原始森林的分布區，現以北段的莫吉里山（海拔 1460 公尺）爲例，山地北坡可化分爲兩個垂直帶：

（1）針葉林帶

以興安落葉松爲優勢，自河岸平地一直分布到海拔 1300 公尺的山頂，主要在陰坡，陽坡的中下部可見有白樺林，在碎石坡上有興安圓柏灌叢。

（2）山地灌叢帶

分布海拔 1300 公尺以上的山頂，以偃松灌叢爲主。由於北段山地處於俄羅斯東西伯利亞南泰加林，蒙古草原與東北落葉闊葉林三者之間的過渡帶，因此，除與北部泰加林有聯繫外，還反映了與蒙古草原和東北落葉闊葉林的關係。表現在北段山地西麓是以草原爲其基帶，東麓是以落葉闊葉林爲其基帶。

山地東麓可劃分爲四個植被垂直帶：

(1)落葉闊葉林帶

這是山地東麓的基帶，分布於海拔 300-500 公尺的丘陵、平原地區。主要類型爲蒙古櫟-胡枝子林，常有黑樺林與蒙古櫟林混生。

(2)山地針闊混交林帶

分布於海拔 300-600 公尺的低山丘陵地帶，代表類型是興安落葉松-蒙古櫟林，這類落葉松林具有像闊葉林過渡的性質。次生林以白樺林爲主，有時混生黑樺。

(3)山地針葉林帶

分布於海拔 600-1200 公尺，這是北段山地的優勢植被垂直帶。針葉林的主要類型是興安落葉松林。隨海拔和地形的變化形成了不同的林型：海拔 600-1000 公尺主要爲落葉松-草類林和落葉松-杜鵑林。海拔 1400 公尺以上爲落葉松-偃松林。在山間谷地分布有落葉松-杜香林。

(4)山地灌叢與苔原帶

分布於海拔 1200 公尺以上的石質山坡頂部，除了成片的偃松灌叢外，還有墊狀植物岩高蘭、興安虎耳草、興安圓柏等植物和苔蘚、地衣等。

山麓西部的植被垂直帶：

(1)山地森林草原帶

分布海拔 75-1400 公尺的丘陵地帶，白樺林和白樺-山楊林呈島狀分布於山地陰坡。線葉菊爲主的山地草甸草原分布山地陽坡。

(2)山地針葉林帶

分布於海拔 1000-1400 公尺，主要爲興安落葉松林。

(3)山地灌叢帶

分布於海拔 1400 公尺以上，主要爲成片的偃松灌叢。

3・4・2 大青山山地植被

大青山系陰山山脈的組成部分，位於內蒙古中部包頭-呼和浩特一線以北，地處內蒙古高原的南部邊緣，該山地爲塊狀斷裂的中等高度的山地，一般海拔爲 1500-2100 公尺，最高峰九峰山高達 2338 公尺。

大青山山脈呈東西方向延伸。北坡比較平緩與內蒙古高原之間沒有明顯界線，兩坡則以巨大的正斷面與黃河平原截然分開。這一地貌特點，使大青山成爲南北的一個天然屏障，北坡直接承受蒙古乾燥氣流的影響，氣候乾燥而溫度低，南坡則由於山地的阻擋，相對比較溫暖而潮溼。因而山地南北坡的土壤和植被的不直分布有明顯的不同。北坡處於中溫型草原帶，南處於暖溫型草原帶。

山地南麓土壤，陽坡從下向上爲栗鈣土-山地暗栗鈣土-山地草甸土，陰坡較複雜，有栗鈣土-山地暗栗鈣土-山地褐土（油松林下）及山地棕壤（雲杉及楊樺林下）-山地草甸土。

大青山處於半乾旱典型草原地帶，自下而上有三個垂直帶組成：

(1)山麓草原帶

在南麓分布於海拔 1100-1200 公尺（陰坡），與 1100-1400 公尺（陽坡）的山麓地帶，主要由本氏針茅-冷蒿、本氏針茅-百里香草原群落組成。在乾燥石質陽坡還有白蓮蒿群落組成。

(2)山地森林灌叢帶

陰坡見於海拔 1200-2100 公尺間，陽坡爲 1400-1900 公尺。陰坡下部（ 1300 公尺以下）主要爲虎榛子、土莊繡線菊、三裂繡線菊、柄扁桃等中生灌木及稀疏的杜松林。海拔 1300-1700 公尺以陰坡爲油松林與油松-側柏，油松-杜松混交林及遼東櫟林，其上有白樺及白樺山楊小片林。在西部的九峰山還有青海雲杉等組成的山地針葉林（海拔 1700-2100 公尺），與陽坡的羊茅草原和線葉菊-羊茅草原相結合。

(3)山地草甸帶

分布高達 2100 公尺以上的山地頂部，主要爲早熟禾，無芒雀麥和雜類草組成的山地禾草草甸。在海拔低於 2000 公尺的山地，山地頂部，般多爲繡線菊雜類草山地草甸草原。

山地北麓比較簡單，除高海拔處陰坡見有小片楊、樺林外，基本上爲草原與內蒙古高原上的地帶性典型草原或荒漠草原相連接。

3．4．3 賀蘭山山地植被

賀蘭山東鄰鄂爾多斯高原，西鄰阿拉善高原，是內蒙古地區最高的山脈，高峰達海拔 3556 公尺，相對高度約 2000 公尺左右，山地呈北北東-南南西走向，南北長約 270 公里，東西寬約 25 公里，山勢陡峻，坡度較大，山谷狹窄而深險。賀蘭山雖然處於荒漠化草原帶和草原化荒漠帶的中間，但因海拔較高，所以山地植被垂直帶分異很明顯，植被類型組合也比較複雜。山地南北兩段的垂直帶結構明顯不同，山地南段明顯地表現出亞洲中部荒漠區，草原化荒漠帶山地植被垂直分布的特點，而山地北段受華北山地區系的影響，在山地植被中含有華北所特有的油松林和虎榛子灌叢等。

以賀蘭山西側山地爲例，自下而上可區分四個垂直帶：

(1)草原化荒漠帶

分布於賀蘭山西側山地海拔 1500 公尺左右的山前地帶，植被中除以荒漠強旱生植物紅砂、珍珠等爲優勢植物外荒漠草原中佔優勢的旱生叢生小禾草：短花針茅、沙生針茅、無芒隱子草也占有重要成分。

(2)山地荒漠草原與典型草原帶

分布於海拔 1600-1900 公尺（陰坡）和 2000 公尺（陽坡）的山麓傾斜平原與山體下部。荒漠草原帶上要由短花針茅草原、戈壁針茅草原等群系所構成。典型草原帶的代表群系爲本氏針茅草原，由於它分布在石質坡地上，被山地旱中生灌叢如蒙古扁桃。旱榆、蒙古繡線菊灌叢所切割，使典型草原帶不能形成完整的垂直帶，分布幅度也比較狹窄。

(3)山地森林、灌叢帶

出現於海拔 1900-2900 公尺（陽坡）和 3100 公尺（陰坡），這是植被結構最複雜的一個垂直帶。在山地南段、陰坡和半陰坡分布著密集的青海雲杉林，生長發育良好，山地陽坡，在海拔 2500 公尺以上爲小葉金露梅、銀露梅的亞高山灌叢，在 2500 公尺以下爲圓柏灌叢。蒙古扁桃灌叢以及山地草原等。

在山地北段，青海雲杉林結構較爲簡單，在雲杉林下部，大約在海拔 2000-2200 公尺之間的山地陰坡，出現華北落葉闊葉林帶所特有的油松林以及虎榛子灌叢等，但缺少典型的落葉闊葉林，而在油松林的下部以旱榆疏林代替了華北常見的落葉闊葉林，道一特點與陰山西端的森林與灌叢有相似性，說明它們之間的聯繫性，也是植被旱化的一種特徵。

(4)高山灌叢和高山草甸帶

這是賀蘭山分布最高的一個植被垂直帶，陽坡見於海拔 2900 公尺以上，陰坡分布於 3100 公尺以上。高山灌叢中以落葉灌木高山柳（ *Salix cupalaris* ）爲建群，另外有鬼箭錦雞兒等。高山灌叢上部還出現以嵩草屬植物爲主的高山草甸，呈片狀分布於高山灌叢中。

內蒙古自治區的森林植被除了上述之外，在沙地和荒漠地區也分布有特有的森林種群，諸如砂地樟子松林，沙地白扦林，沙地榆樹林，荒漠地區的胡楊林，梭梭林等等。由於本文篇幅所限，在此不再敘述。

## 參考文獻


（1）中國科學院內蒙古寧夏綜合考察隊， 1985 ，內蒙古植被，科學出版社。

（2）中華人民共和國林業部林業區劃辯公室， 1987 ，中國林業區劃，中國林業出版社。

（3）中國森林立地編寫組， 1989 ，中國森林立地分類，中國林業出版社。

（4）內蒙古自治區林業廳， 1994 ，內蒙古自治區森林資源連續清查第二次複查報告，內蒙古自治區林業廳。

# 鴛鴦湖水生植物生產量與化學組成變化之研究

黃元勳[1]

鴛鴦湖是鴛鴦湖自然保留區內之一小型山地湖泊，位於臺灣北部山區。此湖水源主要由雨水與雲霧經四周山地匯流入湖而成，是集水區之上游源頭。由於鴛鴦湖自然保留區長久以來一直受到保護，倖免於人爲活動大規模之破壞。因此，此區不但適合生物地質化學之研究以了解礦物元素在此生態系中之傳遞過程，且生態系內任何生態反應現象之進行，均可視爲此區之"生態基礎資料"。本研究之主要目地在收集湖中高等水生植物族群生物量、組織之營養元素與生育地營養離子變化之基本生態資料，以期了解水生植物群落消長與環境因子之關係。本區屬溫帶冷涼重濕之氣候型態，特徵爲低日照輻射量、低溫與潮濕。優勢之挺水植物以水毛花和東亞黑三稜爲主。水毛花族群生長於湖邊緣水淺處，大部分植株僅地下部生長於水中。總覆蓋面積約 0.6 公頃。地上部組織淨年初級生產力約 400-900 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$。族群之生長始於四月，於七月達生長最高期。而後，生物量，植株密度和高度均逐漸下降。東亞黑三稜族群緊鄰水毛花族群，生長於湖周圍深不及 2m 之水中，總覆蓋面積約 1.5 公頃。其年淨初級生產力約 600-1500 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$。其地上部與地下部組織約各佔一半。生長始於三月，七月份爲生長之最高時期。之後，生物量與植株高度下降，但幼苗之數量卻自八月份開始增加，此乃因湖底於秋冬季提供穩定之水溫所致。此二植物族群地上部組織內，在生長期前，營養元素中之 K 、 N 與 P 含量有增高之趨勢，而於族群開始生長後，則逐漸下降，直到過了生長期後才停止。此現象可能是環境中 K 、 N 與 P 的供應不敷族群生長之需求所造成。此亦顯示本保護區尚無優養化污染之跡象。

## 前　言

鴛鴦湖自然保留區位於北緯 24° 35'，東經 121° 24' 附近（圖 1），亦即在臺灣北部雪山山脈之北邊。全部面積約 374 公頃，海拔高度在 1650 至 2430m 之間，其間湖水面積僅佔 3.3 公頃，其餘爲山坡地。由於本區內有臺灣地區中高海拔具代表性之扁柏-紅檜林相和高山湖泊生態系等特色，1986 年由行政院農委會公佈爲自然保留區（nature preserve），以防止人爲之破壞並提供學術研究之用。

爲配合由國際生物科學聯合會（IUBS）所提，呼籲全球共同關切「生物歧異度與全球變遷」之研究議題， 1992 年中央研究院植物研究所在周昌弘院士之推動下，成立一「生物歧異度與生態系研究」之大型計畫。此計畫包括兩

[1] 中央研究院植物研究所

個主題：（一）臺灣植物資源調查及資料庫建立、（二）鴛鴦湖植物生態系研究。而鴛鴦湖植物生態系研究計畫是以鴛鴦湖自然保留區爲研究地點，擬以柳榗與徐國士於 1973 年在本區針對植物族群結構之調查爲基礎（柳與徐，1973），著重生態系之功能研究，以期了解此生態系之結構與功能間之運行模式，並提供環境變遷可能對生態環境影響之認知，進而提出解決或避免被人爲破壞之方法，以達永續生存之目標。

依據柳與徐（1973）之調查研究指出，本區之植物群落可概分爲三類：湖中水生植物，沼澤地之溼生植物及山地之中生植物等三類。其中湖中植物以水毛花（ *Schoenoplectus mucronatus* （L.）Pall. subsp. *robustus* （Miq.）T. Koyama ）、東亞黑山稜（ *Sparganium fallax* Graebn. ）和線葉眼子菜（ *Potamogeton octandra* Poir. ）爲主；沼澤區以水毛花和高山芒（ *Miscanthus transmorrisonensis* ）爲主；而山地森林則以紅檜（ *Chamaecyparis formosensis* Matsum. ）和扁柏（ *Chamaecyparis obtusa* Sieb. & Zucc. var. *formosana* （Hayara） Rehder ）爲優勢林相。根據林中大型紅檜與扁柏之年齡已達 1500 年予以推斷，本區極可能從未遭受過大規模之人爲破壞。又本區湖水之水源主要來自雨水與雲霧流經山地匯集而成，且爲集水區之最上游源頭。因此，這片未受干擾之地區，非常適合提供集水區水資源之研究和探討自然界礦物元素循環之生物地質化學（biogeochemistry）（Hedin, 1995）。

本計畫爲鴛鴦湖植物生態系研究計畫之一子計畫，主要是探討湖水中高等植物在此生態系中，族群生長與環境因子間之相互關係和它們對生態系中營養元素運行之影響，以期了解水生植物在此生態系中，其能量與物質傳遞過程所扮演之角色。生態系研究是探討生物與環境間相互作用之科學，而生物族群之變化，尤其是水生植物，除了受自身成長過程產生的變化影響外，亦受環境因子季節性變化所影響。因此生態現象所呈現的是動態變化之過程，且唯有經長期有系統的生態資料收集，才得以區分生態現象的變化過程，是屬於常態性的變化或是環境變遷影響所造成的結果（Magnuson, 1990）。

由於過去在鴛鴦湖自然保留區之研究僅著重植物族群組成結構之調查（柳與徐，1973）或是短期採樣之分析（大津 等人, 1989），無法顯示出植物族群與環境間相互作用之動態變化。因此本研究初期主要是著重水生優勢植物－水毛花和東亞黑三稜－族群介量（population parameter）、組織營養元素含量、與環境中氣象和湖中營養離子等因子變化之調查，以記錄此水生植物族群在鴛鴦湖生態系之動態變化過程。

## 材料與方法

### 研究地之描述

鴛鴦湖位於保留區之東邊，呈東窄西寬匙狀形走向。湖長達 650m，最寬處約 150m。湖面積約 3.3 公頃，最深處位於西邊約 4.5m，而東邊較淺，深度

小於 2m（圖 2）。

氣象因子之收集

氣象站成立於1992年10月。以數據記錄器（CR-10, Campbell Scientific, Utah, USA）爲主體，連接日照輻射計（Pyranometer, Li-Cor, NE, USA）、氣溫及濕度探測計、地溫探測計和雨量計等氣象因子感測計。氣象數據以每分鐘記錄一次，其中日照輻射能和雨量以每日總量表示，溫濕度則以每小時之平均值表示。湖水氣象資料是以另一具數據記錄器（CR-10）裝置於湖邊，連接水位計、湖水和湖底泥溫度計。其中湖水溫度計是測湖面下 10cm 之水溫，湖底泥溫度計則距湖面約 100cm。氣象資料每月以手提式電腦讀取並分析之。

研究材料

研究材料取湖中兩種優勢挺水植物：水毛花（ *Schoenoplectus mucronatus* ssp. *robustus* ）和東亞黑三稜（ *Sparganium fallax* Graebn. ）。水毛花長於湖邊與沼澤區，大部分族群僅地下部組織泡於水中，生長面積約 0.6 公頃；而東亞黑三稜則緊臨水毛花族群，長於湖中水深小於 2m 之地區，生長面積約 1.6 公頃（圖 3）。

生物量與水樣之收集

生物量是以每月採收之方式，於湖邊水毛花和東亞黑三稜族群中各選定五區（圖 3），每區中任取兩個 15×15 $cm^2$ 相隔 10m 之小區。將小區內所有之植株採收，帶回實驗室洗淨。植株細分成地上部、地下部（包括地下莖與根部）和枯死組織，並分別計算株數與測量株高後，置於 75℃ 之烘箱中 7-10 天後，秤其乾重。淨初級生產力（ net primary productivity ）是以最高與最低生物量之差計算之。

水樣區分爲湖面水與地下水兩種。湖面水是取樣區中植物族群周圍之湖水，而地下水是以裝有細孔瓷頭之採水管插入樣區地下 30 cm，以手動幫浦將管內抽成負壓，放置 30-60 min 後，取管內被吸入之水。每月於各區中各採集兩瓶 100 ml 之水樣。

組織營養元素與水樣營養離子之分析

每月在各小區中，分別採五株水毛花以及三株東亞黑三稜，於實驗室中洗淨，細分爲葉片、地下莖和根部組織並於 75℃ 烘乾後，個別以打粉機打成粉末，以測定營養元素之成分。營養元素之測定以大量營養元素（ macronutrients ）爲主。Na, K, Ca, Mg 和 P 是以乾式灰化法（ dry ash method ）製備成溶液（ Kalra and Maynard, 1991 ）。再分別以火燄光度計測定 Na 和 K；原子吸收光譜儀測定 Ca 和 Mg；以顯色法測定 $PO_4^{3-}$-P

（Murphy and Riley, 1962）等離子濃度。全氮量則是另取樣品粉末以碳氮元素分析儀（ CN analyzer, NA1500 series 2, Fisons Instruments, Italy ）測定。

水樣採取後保存於冰盒中，隔天於實驗室中測其 pH 值後，以 42 號 Whatman 濾紙過濾。分別測其 $NH_4^+$-N、（$NO_2^-$ + $NO_3^-$）-N、$PO_4^{3-}$-P、Na、K、Ca 和 Mg 等離子。其中 $NH_4^+$-N 以 indophenol blue 法測定（Solarzano, 1969）；（$NO_2^-$ + $NO_3^-$）-N 以鎘粒還原顯色法測定（Parsons *et al.*, 1984）；$PO_4^{3-}$-P 以顯色法測定（Murphy and Riley, 1962）；Na 和 K 以火燄光度計測定；Ca 和 Mg 以原子吸收光譜儀測定。

## 結果與討論

### 氣候型態

鴛鴦湖地區最大每日日照輻射量於夏季可達 25MJ $m^{-2}$，冬季則僅達 15MJ $m^{-2}$。但是整年之平均日照輻射量僅達最大日照輻射量之三分之一（圖 4），此乃因鴛鴦湖地區之海拔高度位於雲霧帶中。雲霧籠罩本區之時間與頻度因季節不同而異；於夏季雲霧遮蓋之時間較短且集中於午後時間，冬季則因東北季風影響，往往雲霧伴隨細雨籠罩數日之久。此現象亦常造成供應氣象站之太陽能板供電不足，而使氣象資料之記錄間斷。

鴛鴦湖地區之年平均溫度約 13℃。夏季之最高氣溫約 27℃，最低溫爲 10℃ 左右；冬季之最高氣溫約 15℃，最低溫可達 -4℃，偶有下雪之記錄（圖 5）。每月最高氣溫、最低氣溫和平均溫度均於一月份達到最低，之後逐漸上升，至七、八月份達到最高，月最低氣溫於九月之後則明顯下降（圖 5）。

本區每月雨量之分佈均勻，除了夏季受颱風影響外，約維持在 200mm 左右（圖 6）。颱風來襲，年雨量可達 3500mm 以上。但由於本區位於雲霧帶中，相對濕度經常維持在 90% 以上，因此本區並無乾旱之季節。

綜合上述之氣象特性，本區之氣候型態屬於溫帶冷涼重濕氣候 （柳與徐，1973）。

### 湖水之氣象因子

本區爲集水區之最上游源頭，湖水之水源主要來自雨水與雲霧流經山地匯集而成，因此湖水水位之變化直接受降雨量之影響（圖 7）。而湖水水位之高度變化，可於大量降雨時，短時間內起伏達 200cm（圖 7）。但平時受出水口地形高度與寬度之影響，水位變化在 30cm 以內。

湖面水溫度之變化主要受氣溫變化影響，但由於水的比熱大，變化起伏幅度小。而湖底之溫度則較穩定，夏季維持在 14℃，冬季僅降至 10℃（圖 8）。

由於湖水水位之調節快速，水溫穩定，因此提供了水生生物一穩定之生存環境。

## 水毛花族群介量之動態變化

### 生物量之變化

水毛花族群沿著湖邊淺水處與沼澤區生長，平時僅地下莖和根部浸泡於水中。族群生長季節始於四月，至七月到達最大生物量（圖 9）。過了生長季節之高峰後，植株逐漸由頂端往基部黃化。到了最冷的一月份，全部族群黃化枯死，形成一厚層之草毯覆蓋湖邊。在冬季，雖然族群停止生長，草毯內仍有由地下莖長出之小苗，在穩定之水溫和覆蓋之枯葉保護下，維持生長（圖 10）。於生長季高峰，地上部組織之最大生物量約 1000 ± 400 gdw $m^{-2}$ （圖 9A），植株密度可達 2900 ± 800 shoot $m^{-2}$（圖 9C），植株平均高度約 60 ± 10 cm （圖 9D）。而最冷的一月份，地上部組織生物量約 150 ± 20 gdw $m^{-2}$（圖 9A），植株密度約 1200 ± 500 shoot $m^{-2}$ （圖 9C），植株平均高度僅 20 ± 10 cm （圖 9D）。地下部組織因地下莖與根部錯綜交雜，顏色烏黑，不易辨視活與死之組織，因此無法測得地下部組織生物量實際之變化，但約略可看出與地上部組織生物量變化之趨勢（圖 9B）。在 1993 至 1995 年族群調查中，地上部組織之淨年初級生產力有逐年下降之趨勢（圖 9A）。於 1993 年之地上部組織年初級生產力爲 850 ± 280 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$ ，但 1994 年降爲 600 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$， 1995 年僅爲 400 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$。族群生物量變化之趨勢（圖 9A）與月氣溫之變化趨勢成正相關（圖 5），顯示每月最低溫度之變化可能是影響族群生長之限制因子之一。

### 組織營養元素之變化

K、 N 與 P 是水毛花葉片組織中含量較高的營養元素（圖 11）。其濃度在植株開始生長前累積至最高，而後隨植株生長而下降，過了七月植株生長的高峰後才又緩慢回升（圖 9A 和圖 11）；其它元素，Na、 Mg 和 Ca 等因含量偏低，無明顯季節性變化（未列出數據）。類似的營養元素濃度變化亦發生於地下部組織中（圖 12），但濃度則較葉片組織爲低。值得注意的是在 1993 至 1995 年的調查中，葉片組織營養元素最高濃度量，一如年初級生產力，有逐年下降之趨勢（圖 11），顯示此環境中，水毛花之初級生產力可能與營養元素含量有關。

水生植物之組織營養元素含量於生長季開始前增高之現象，普遍發生於溫帶水生植物中，例如： *Scirpus americanus* Pers. ， *Typha latifolia* L. （Boyd, 1970）， *Carex lacustris* Willd. （Bernard and Solsky, 1976）和 *Eleocharis quadrangulata* （Michx.） R. & S. （Boyd and Vickers, 1971）。 Bernard 和 Solsky （1976） 認爲是母株在過冬前，營養元素移轉至地下部組織和幼苗是造成組織營養元素含量增高之現象。而 Likens 等人（1977）研究指出，春季因周圍森林溪流帶入之營養離子濃度增高，也會造成組織營養元素含量增高之現象。爲了解鴛鴦湖之情形，我進一步檢視各部位組織營養元素濃度與湖水營養離子濃度之變化。以元素含量變化較大之 K 與 N

爲例，其中組織各部位並無營養元素轉移儲存至地下部組織以過冬之現象（圖 13A 和圖 14A）。此外湖水營養離子濃度均非常低，其季節性變化亦與組織營養元素之變化無關（圖 13 和圖 14）。因此推測水毛花組織中，季節性之組織營養元素含量變化，應是受植株生長速率差異所影響。於秋冬季，地上部組織生長緩慢或停頓，使得根部吸收之營養元素累積於組織中。到了生長季節，根部吸收之營養元素供應不及地上部組織之生長速度，因而組織營養元素含量逐漸下降。

溫帶地區之水生植物初級生產力約介於 900 到 5500 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$（Mitsch and Gosselink, 1986），相較之下水毛花之初級生產力則偏低（圖 9）。主要原因可能是低日照（圖 4）與低營養離子（圖 11）所造成。

## 東亞黑三稜族群介量之動態變化

### 生物量之變化

東亞黑三稜族群緊臨水毛花族群，長於湖中水深小於 2m 之地區。大部份植株浸泡於水中，僅小部份葉片挺出水面。族群生長季節始於三月，至七月到達最大生物量（圖 15）。過了生長季節高峰後，水面上葉片逐漸由頂端往基部黑化。在成長階段，東亞黑三稜族群之密度維持穩定，約 300 shoot $m^{-2}$（圖 15D），但是植株平均高度由 50 cm 增加至 80 cm （圖 15E）。過了生長高峰後，由於水底之幼苗開始增長（圖 16），族群密度上升至 400 shoot $m^{-2}$ （圖 15D）左右。於生長季高峰，地上部組織最大生物量約 1150 $\pm$ 300 gdw $m^{-2}$ （圖 15A），地下部組織最大生物量約 900 $\pm$ 350 gdw $m^{-2}$ （圖 15B）；之後，雖然成熟株逐漸老化，但由於水底之幼苗開始增長（圖 16），地上部組織生物量維持在約 650 gdw $m^{-2}$ （圖 15A），而地下部組織生物量維持在約 500 gdw $m^{-2}$ （圖 15B）；而最冷的一月份，水面上之葉片組織受寒害而枯黑，使得地上部組織生物量降至約 300 $\pm$ 200 gdw $m^{-2}$ （圖 15A），地下部組織生物量約 350 $\pm$ 100 gdw $m^{-2}$ （圖 15B）。因此，東亞黑三稜族群之淨年初級生產力爲 1400 $\pm$ 250 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$。類似水毛花族群生物量之變化，東亞黑三稜族群之年初級生產力，在 1993 至 1995 年調查中，有逐年下降之趨勢（圖 15A 和B）。於 1993 年，年初級生產力爲 1400 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$ ，但 1994 年降爲 970 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$，1995 年僅爲 630 gdw $m^{-2}$ $y^{-1}$。類似水毛花族群，東亞黑三稜族群生物量變化之趨勢（圖 15A）與月氣溫之變化趨勢成正相關（圖 5），顯示每月最低溫度之變化可能是影響東亞黑三稜族群生長之限制因子之一。

### 組織營養元素之變化

類似於水毛花之結果， K、 N 與 P 亦是東亞黑三稜葉片組織中含量較高的營養元素（圖 17）。其濃度在植株開始生長前累積至最高，而後隨植株之生長而下降，過了七月的生長高峰後才又緩慢回升（圖 15A和圖 17）；其它元

素，Na、 Mg 和 Ca 等因含量偏低，無明顯之季節性變化（未列出數據）。類似的營養元素濃度變化亦發生於地下部組織中（圖 18），但濃度則較葉片組織中低。值得注意的是在 1993 至 1995 年的調查中，葉片組織營養元素最高濃度量，一如年初級生產力，有逐年下降之趨勢（圖 17）。顯示在此環境中，營養離子供應不足，可能也是本區東亞黑三稜重要之生長限制因子。

進一步檢視各部位組織之 K 與 N 之濃度變化，並無營養元素轉移儲存至地下部組織以過冬之現象（圖 19A 和圖 20A）。此外本區底泥土壤水中之營養離子濃度，顯著高於湖面水中之濃度，顯示土壤中有機質分解可能是水中營養離子之主要來源（圖 19B 和圖 20B）。但其營養離子濃度於秋冬季之變化亦與組織營養元素之變化無關（圖 19 和圖 20）。因此推測東亞黑三稜組織中，季節性之組織營養元素含量變化，應是受植株生長速率差異之影響。於秋冬季，地上部組織生長緩慢或停頓，使得根部吸收之營養元素累積於組織中。到了生長季節，根部吸收之營養元素供應，不及地上部組織之生長速度，因而組織營養元素含量逐漸下降。

## 結論

鴛鴦湖自然保留區是屬於溫帶冷涼重濕之氣候型態。水毛花與東亞黑三稜兩者族群之生長週期均與月最低氣溫之變化相關。此外兩者族群之初級生產力與組織營養元素濃度含量變化相關。穩定之湖底溫度維持穩定之營養離子供應速率和根部吸收速率，但湖面上季節性之環境變化影響植物族群葉片生長之速率，造成秋冬季葉片因生長緩慢而使組織營養元素累積，而春夏季葉片生長快速致使組織營養元素下降。

## 誌謝

感謝中央研究院補助研究經費，行政院農委會核准研究之進行與興建研究站，退輔會森林開發處於管理與人力之支援，中央氣象局協助建立氣象站，范誠偉、鄞銘宏、劉秋芳和陳樹春等人在採樣及分析上之協助。

## 參考文獻

柳榗、徐國士．1973．鴛鴦湖自然保留區之生態研究．臺灣省林業試驗所報告 237: 1-32．

大津 高、曾晴賢、呂勝由、張萬福、大竹 直、蔡百峻．1989．臺灣北部高山湖泊-鴛鴦湖湖沼生物學之調查．臺灣省立博物館年刊 32: 17-33．

Bernard, J. M. and B. A. Solsky. 1977. Nutrient cycling in a *Carex lacustris* wetland. Canadian Journal of Botany 55: 630-638.

Boyd. C. E. 1970. Production, mineral accumulation and pigment concentrations in *Typha latifolia* and *Scirpus americanus*. Ecology 51: 28-290.

Boyd, C. E. and D. H. Vickers. 1971. Relationships between production, nutrient accumulation, and chlorophyll synthesis in an *Eleocharis quadrangulata* population. Canadian Journal of Botany 49: 883-888.

Hedin, L. O., J. J. Armesto and A. H. Johnson. 1995. Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory. Ecology 76: 493-509.

Kalra, Y. P. and D. G. Maynard. 1991. Methods manual for forest soil and plant analysis. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Center. Alberta, Canada. 116 pp.

Likens, G. E., F. H. Bormann, R. S. Pierce, J. S. Eaton and N. M. Johnson. 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag. New York, USA. 146 pp.

Magnuson, J. J. 1990. Long-Term ecological research and the invisible present. Bioscience 40: 495-501.

Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink. 1986. Wetlands. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, New York.

Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. Analytica Chimica Acta 27:31-36.

Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. New York.

Solarzano, L. 1969. Determination of ammonium in natural waters by the phenolhydrochlorite method. Limnology and Oceanography 14: 799-801.

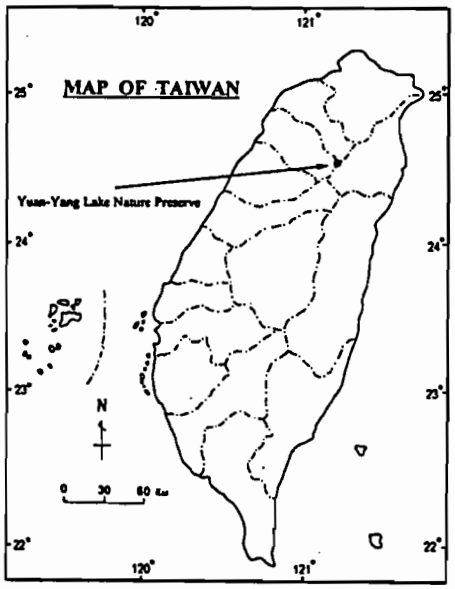



圖 1・鴛鴦湖自然保留區之地理位置。

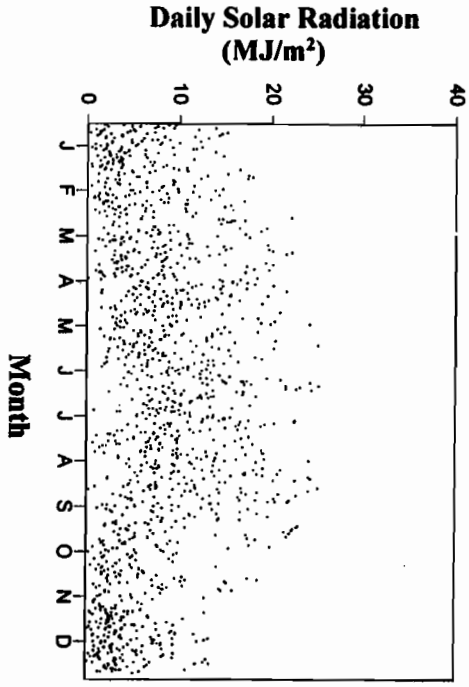



圖 4・鴛鴦湖自然保留區之每日日照輻射量分佈圖（ 1992 年 11月至 1997 年2月）。

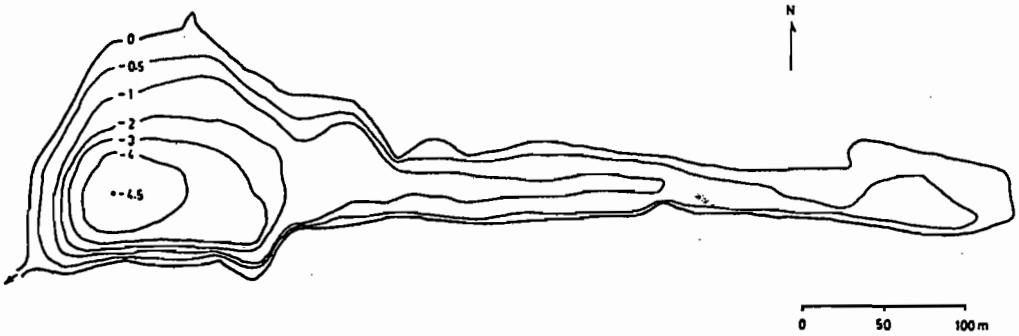



圖 2・鴛鴦湖之等深線圖。

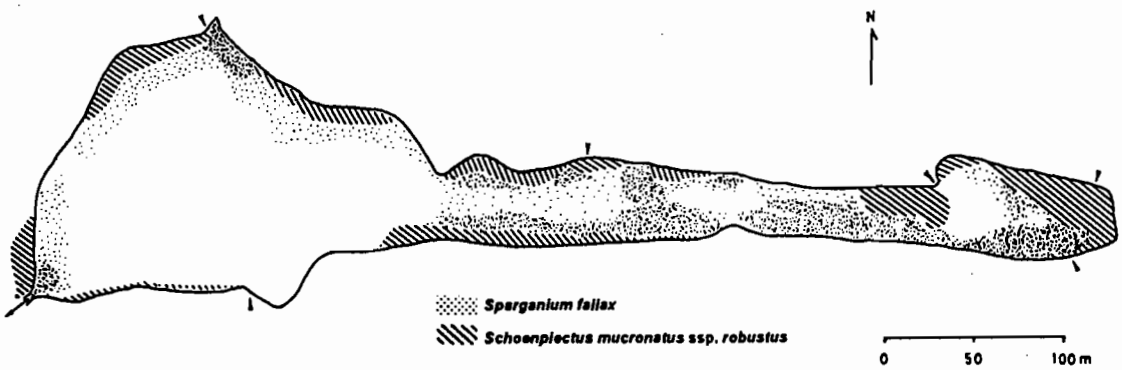



圖 3・水毛花（*Schoenoplectus mucronatus* ssp. *robustus*）與東亞黑三稜（*Sparganium fallax*）族群在鴛鴦湖之分佈圖。 ○ 表示樣區設立之位置。箭頭符號表示水流方向。

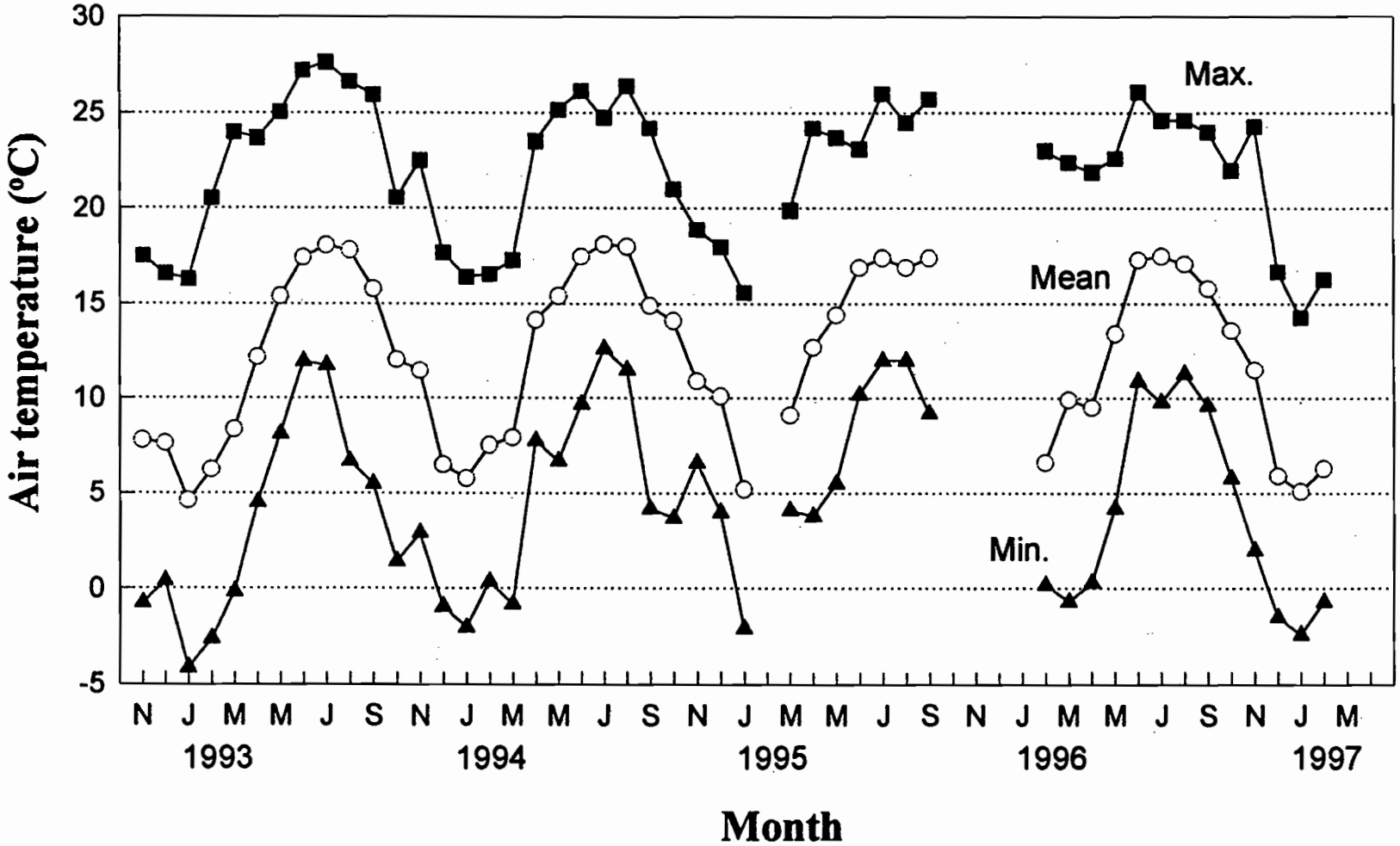



圖 5．鴛鴦湖自然保留區中每月之最高，最低與平均氣溫分佈圖。

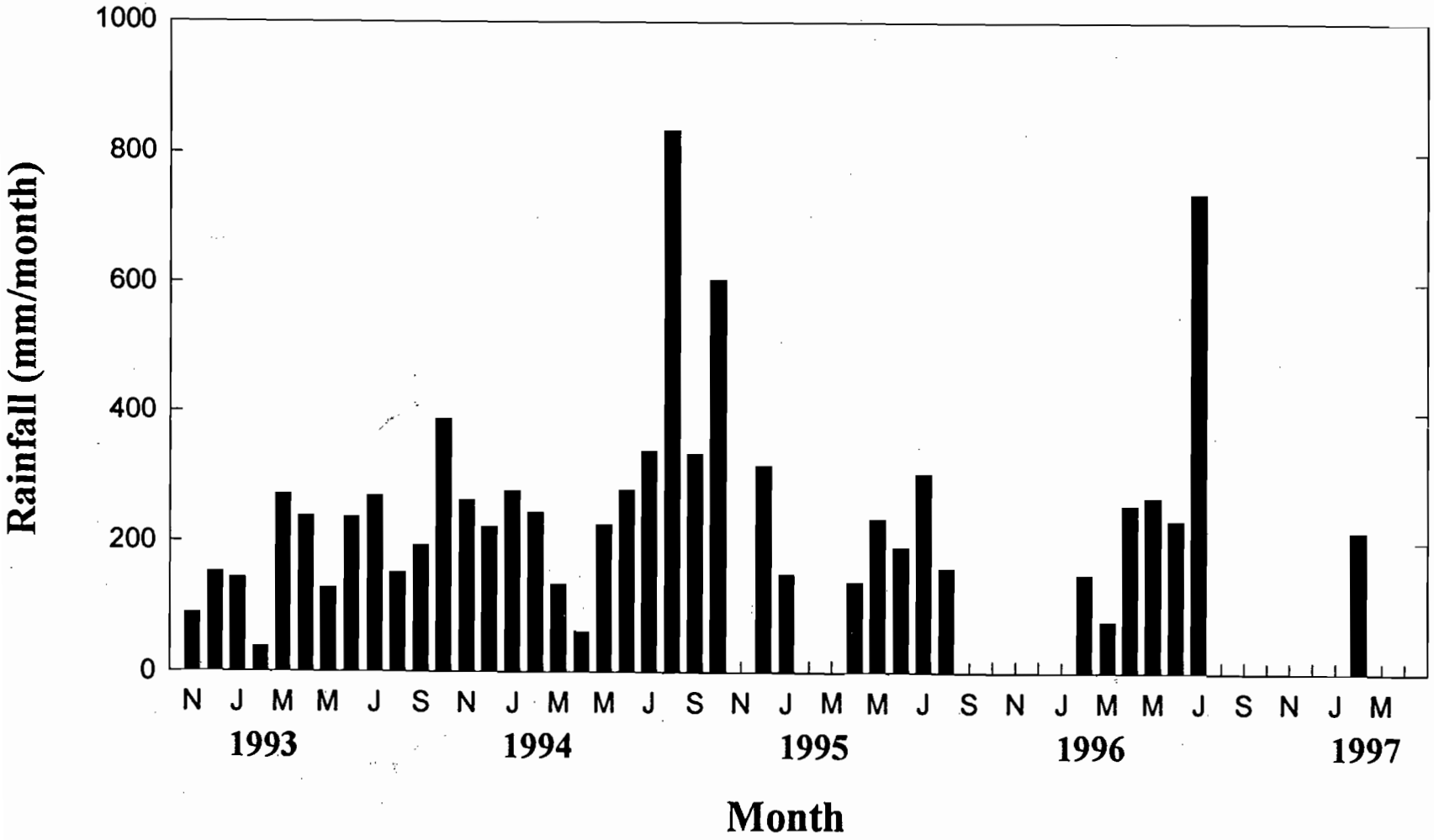



圖 6．鴛鴦湖自然保留區之每月降雨量分佈圖。

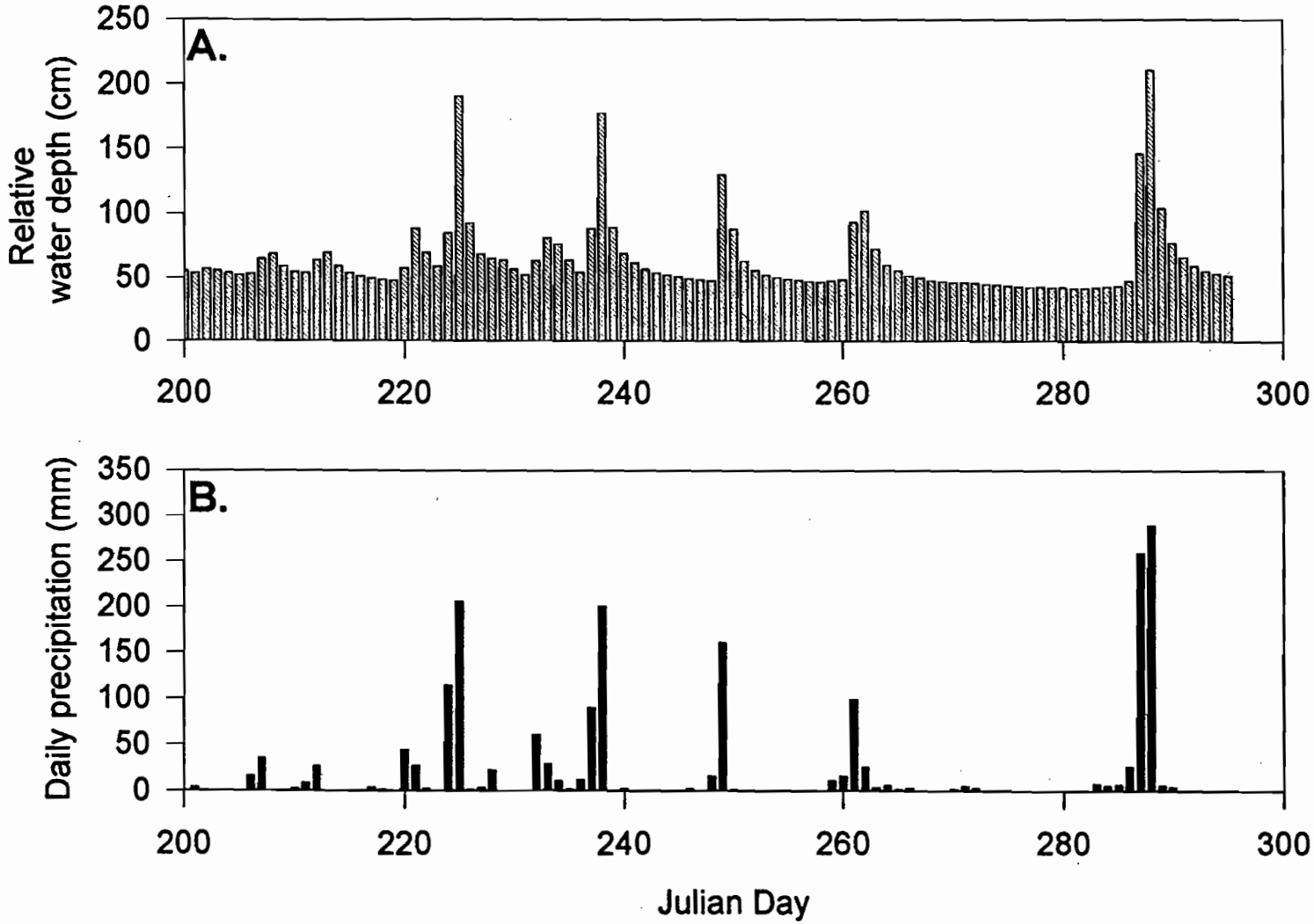



圖 7．鴛鴦湖 A.湖水每日水位變化之相對高度與 B.日降雨量之關係圖。

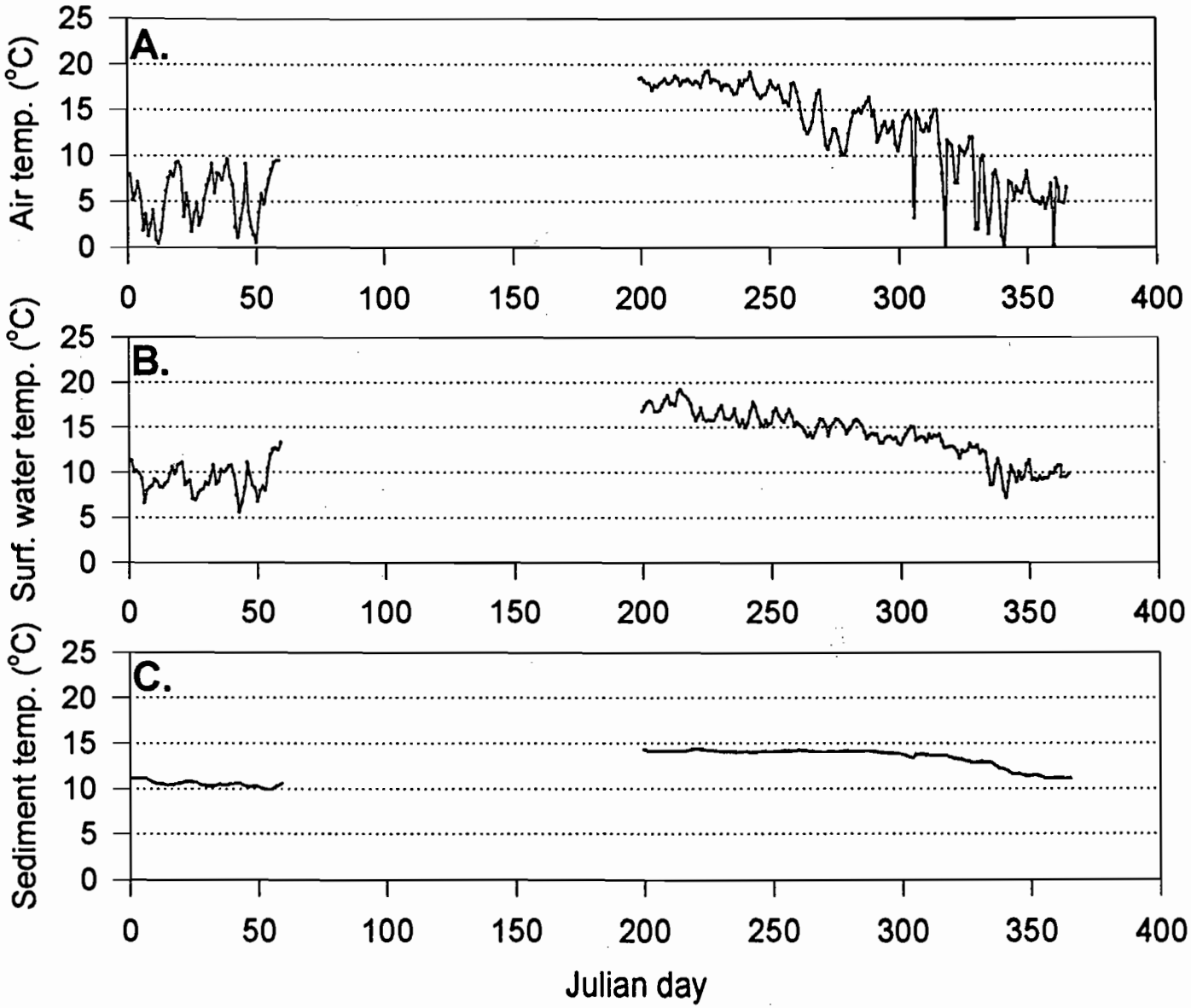



圖 8．鴛鴦湖 A.氣溫，B.湖面水和 C.底泥溫度變化之關係圖。

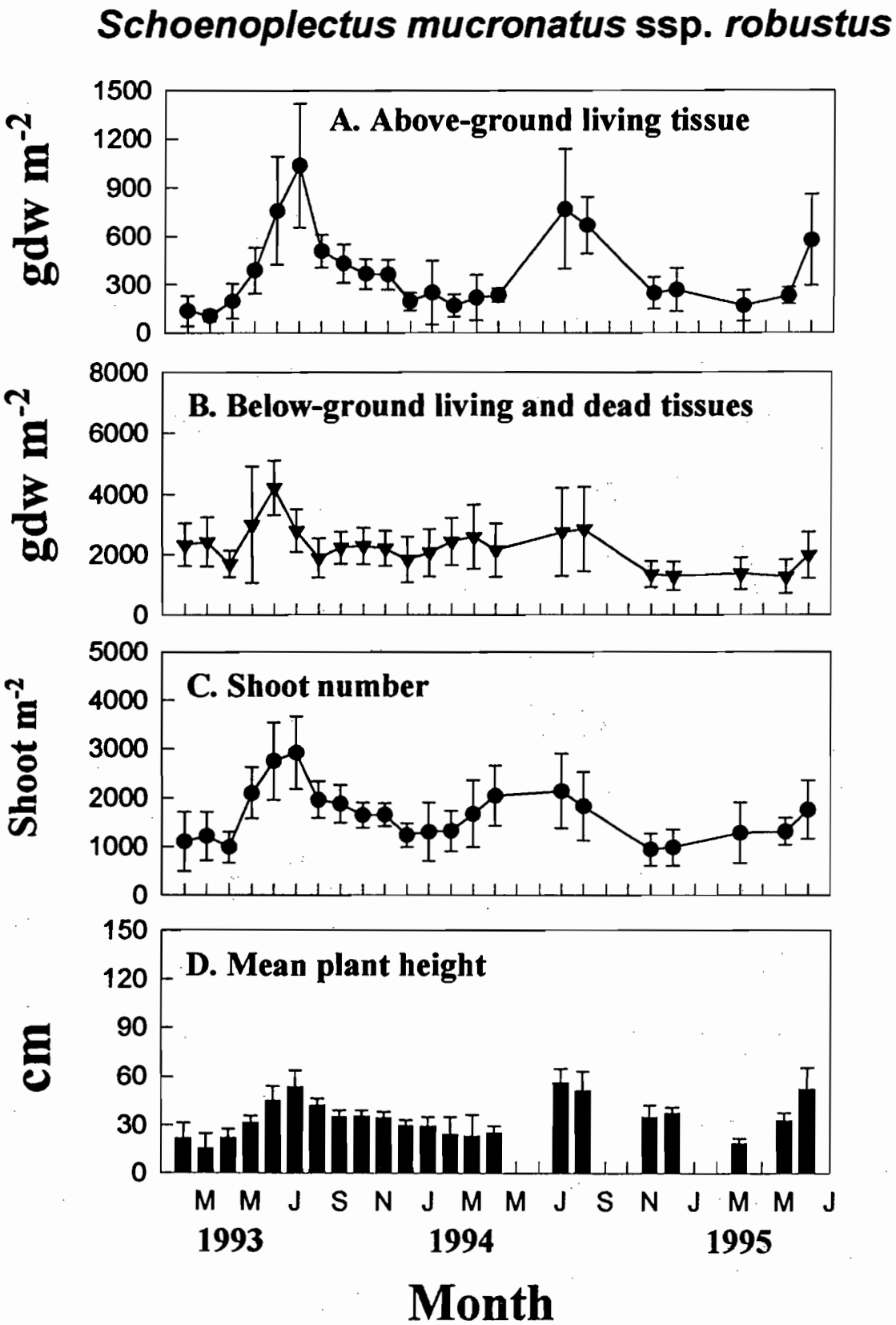



圖 9．水毛花族群介量之季節性變化圖：A．地上部組織生物量，B．地下部組織（包括枯死組織）生物量，C．植株密度，D．植株平均高度。

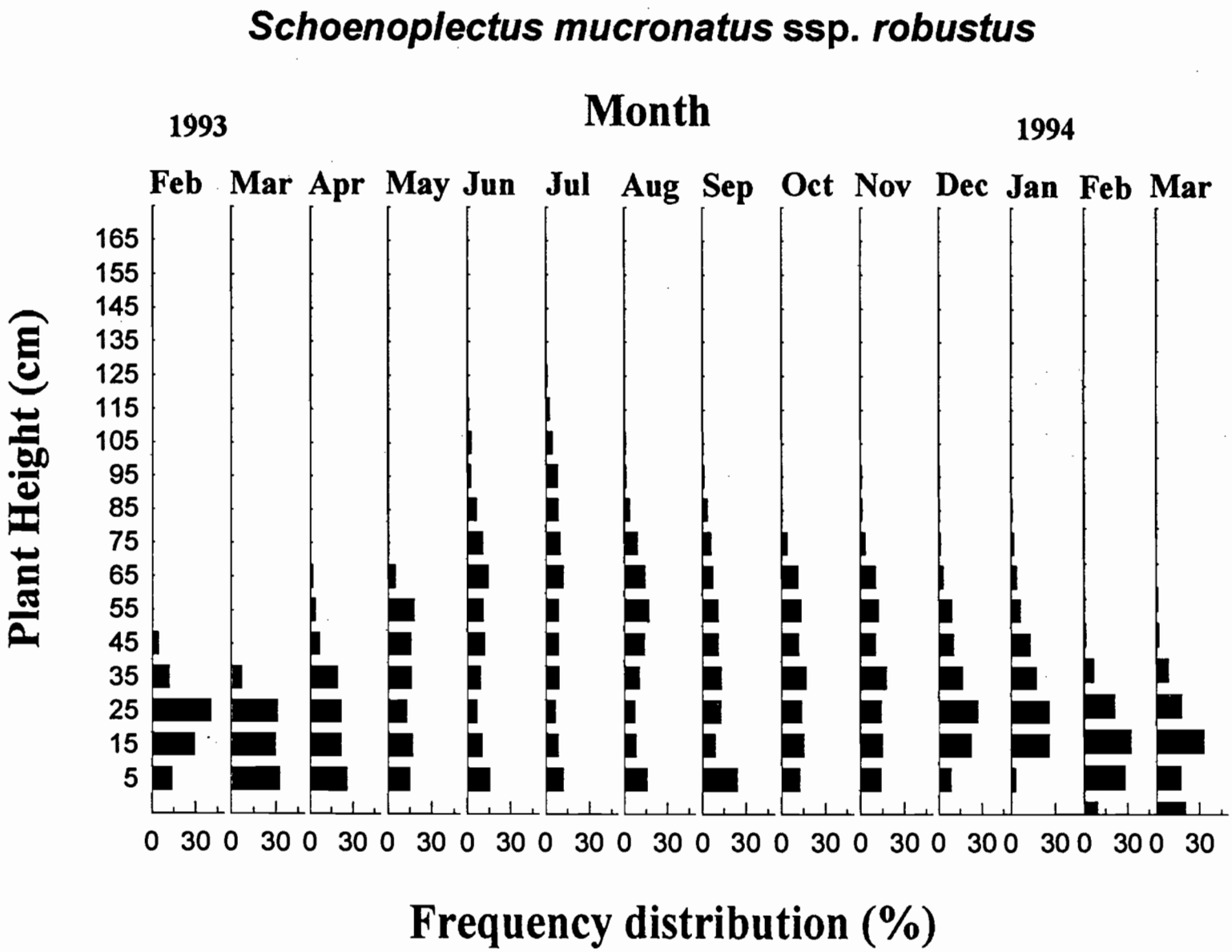



圖 10・水毛花族群每月植株高度分佈之變化。

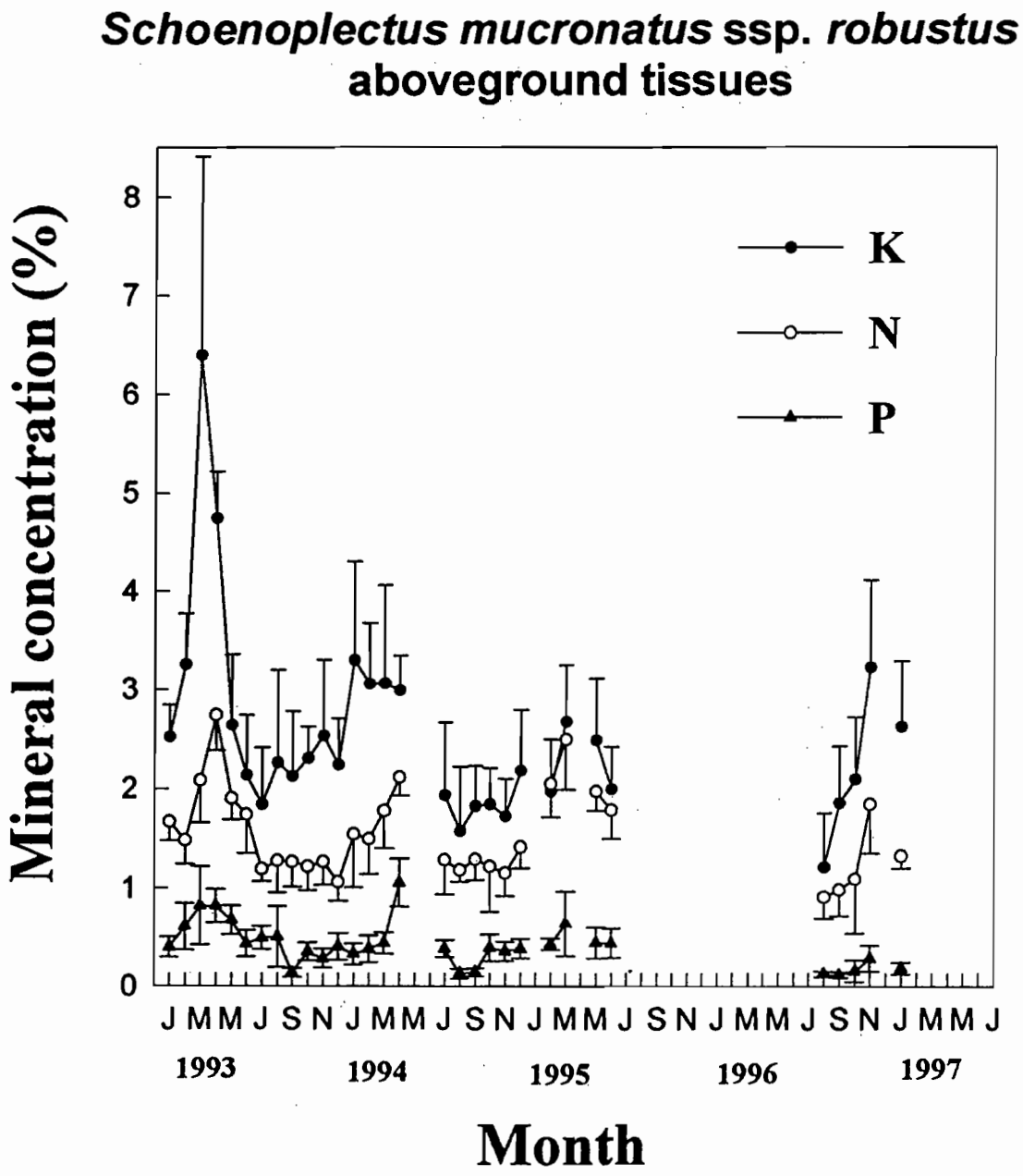



圖 11．水毛花族群地上部組織中營養元素， K, N 與 P 含量之月變化。

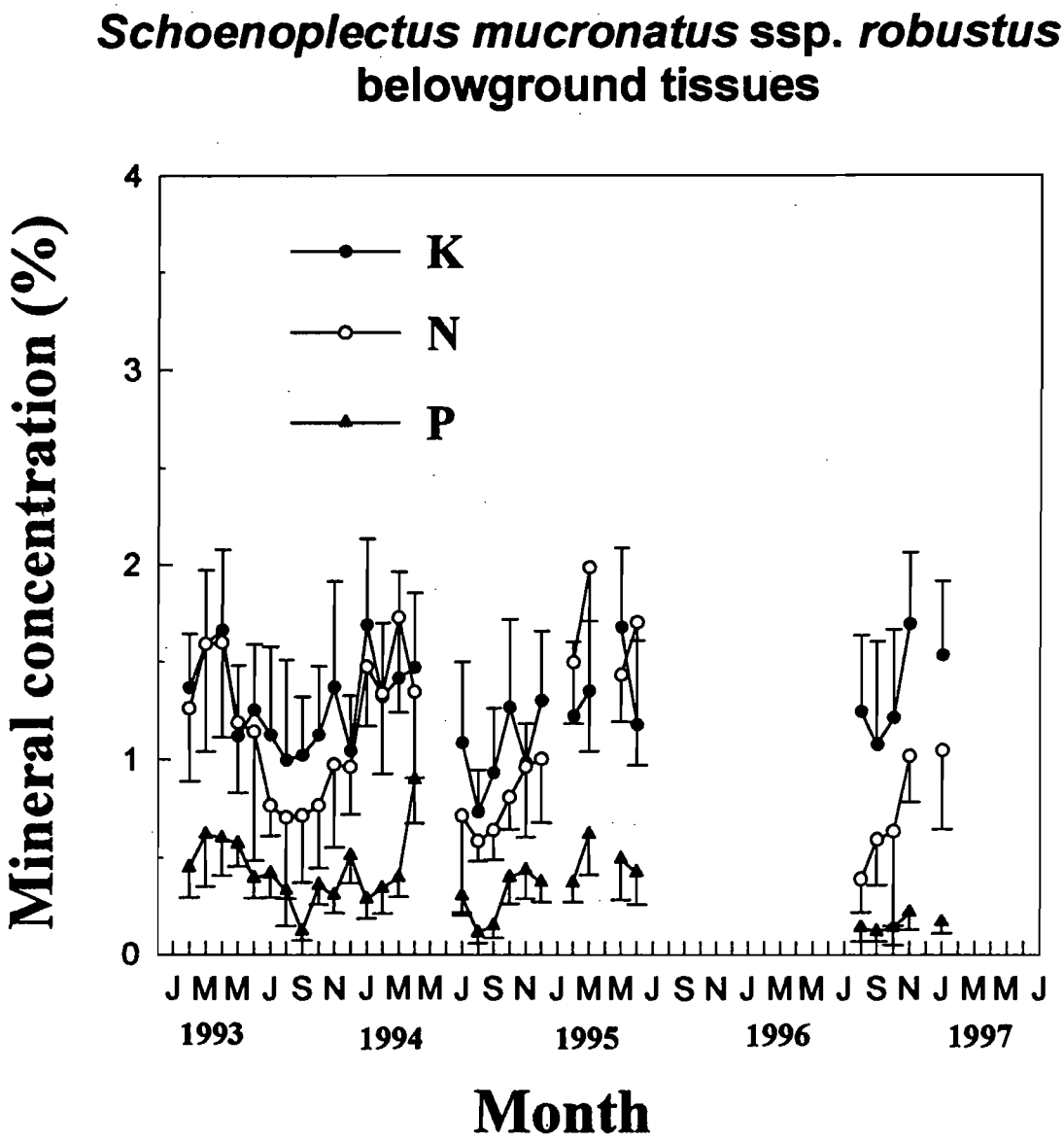



圖 12．水毛花族群地下部組織中營養元素， K, N 與 P 含量之月變化。

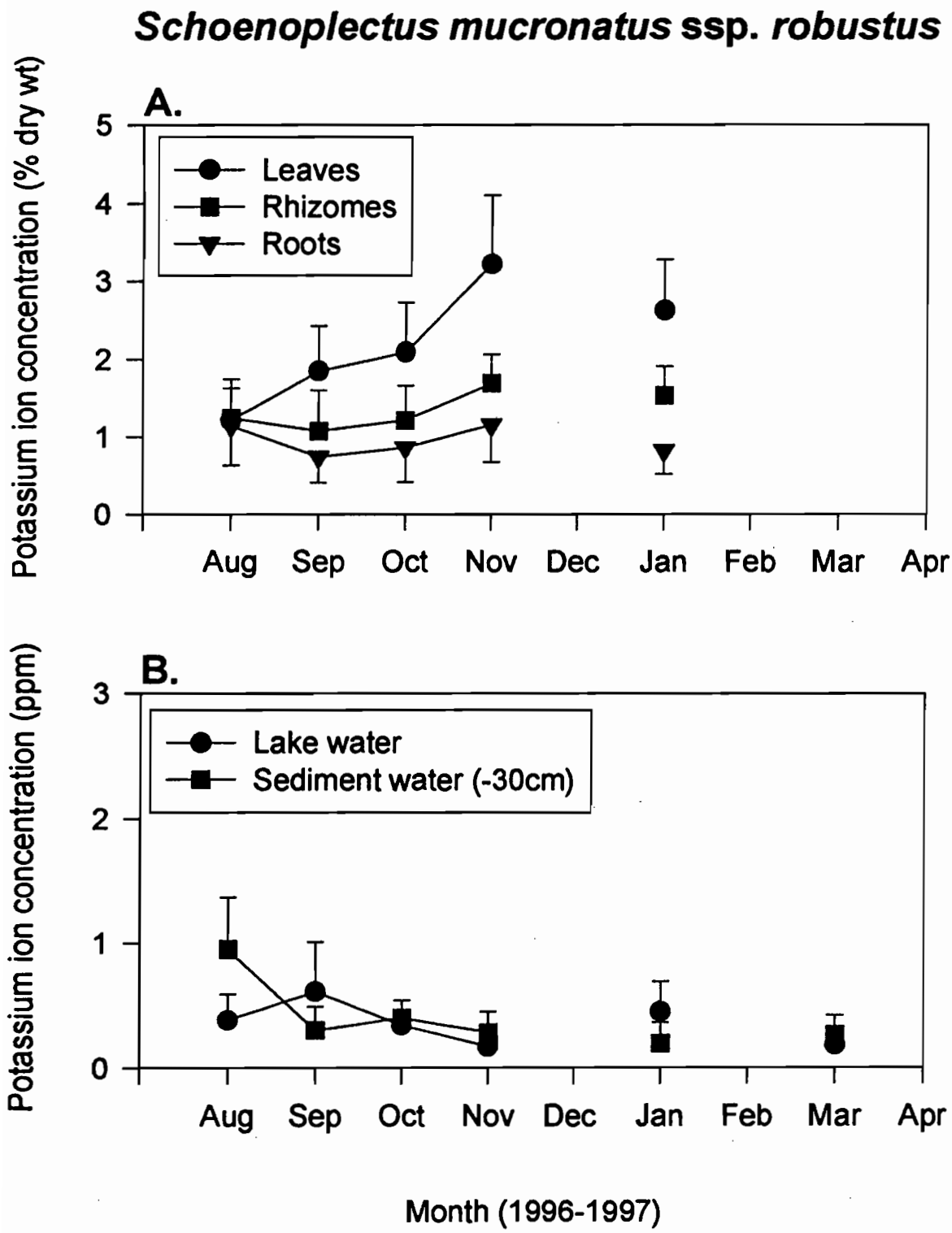



圖 13．營養元素，K 在 (A) 水毛花族群各部位組織（葉，地下莖與根部）中含量之月變化與 (B) 水毛花族群周圍湖水與地下水（深 30cm）中含量之月變化。

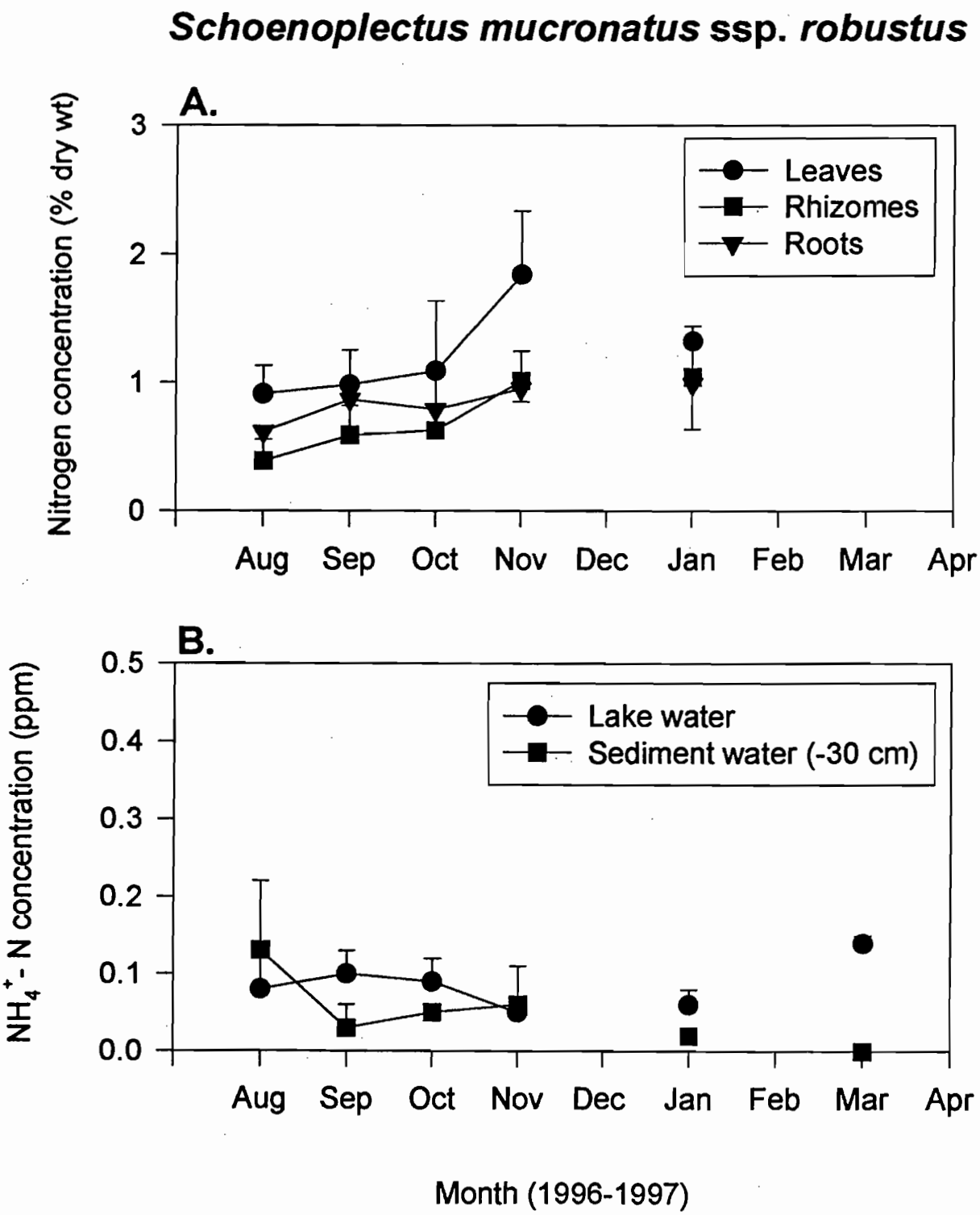



圖 14．營養元素，N 在 (A) 水毛花族群各部位組織（葉，地下莖與根部）中含量之月變化與 (B) 水毛花族群周圍湖水與地下水（深 30cm） 中含量之月變化。

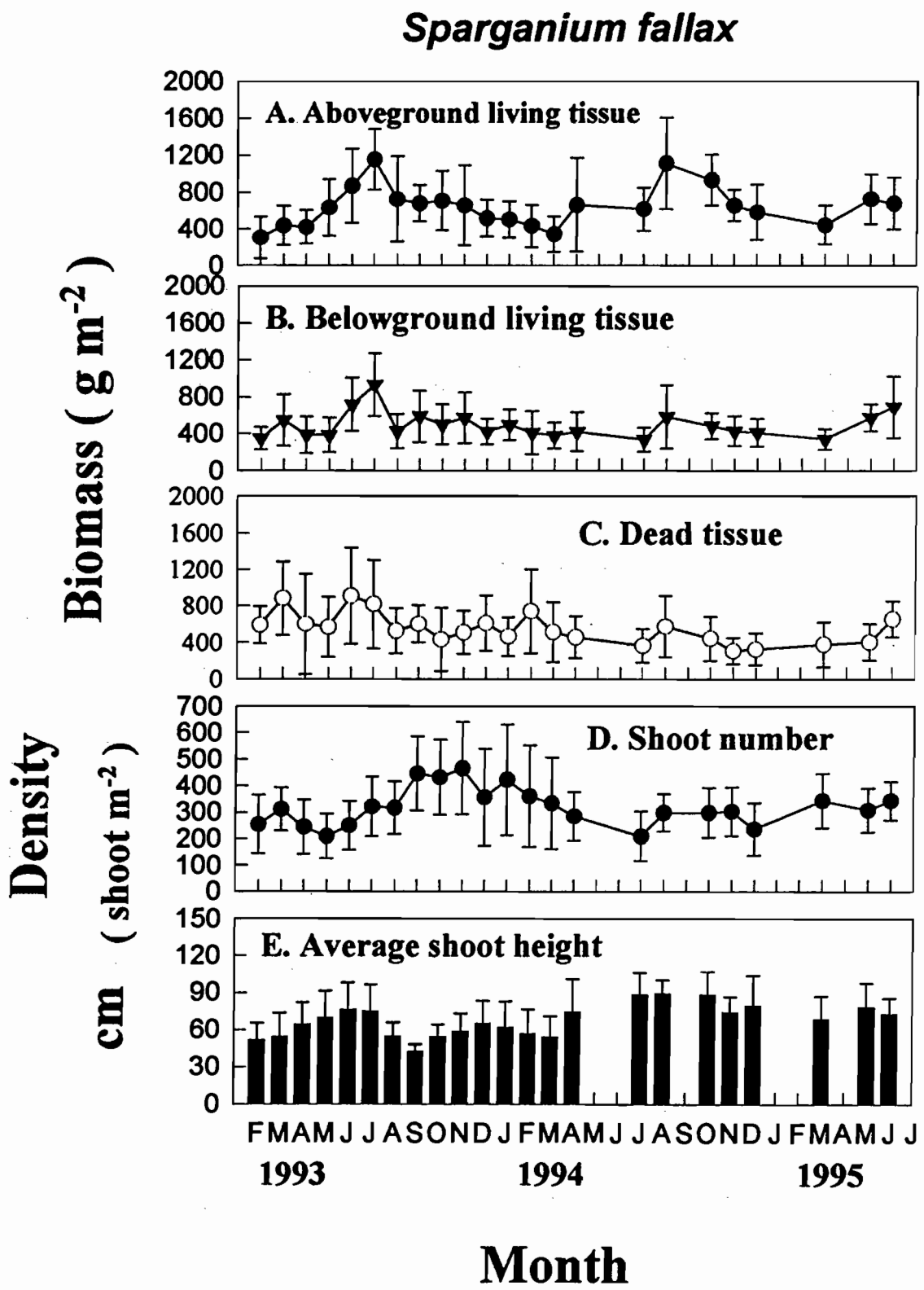



圖 １５．東亞黑三稜族群介量之季節性變化圖：A．地上部組織生物量，B．地下部組織生物量，C．枯死組織量，D．植株密度，E．植株平均高度

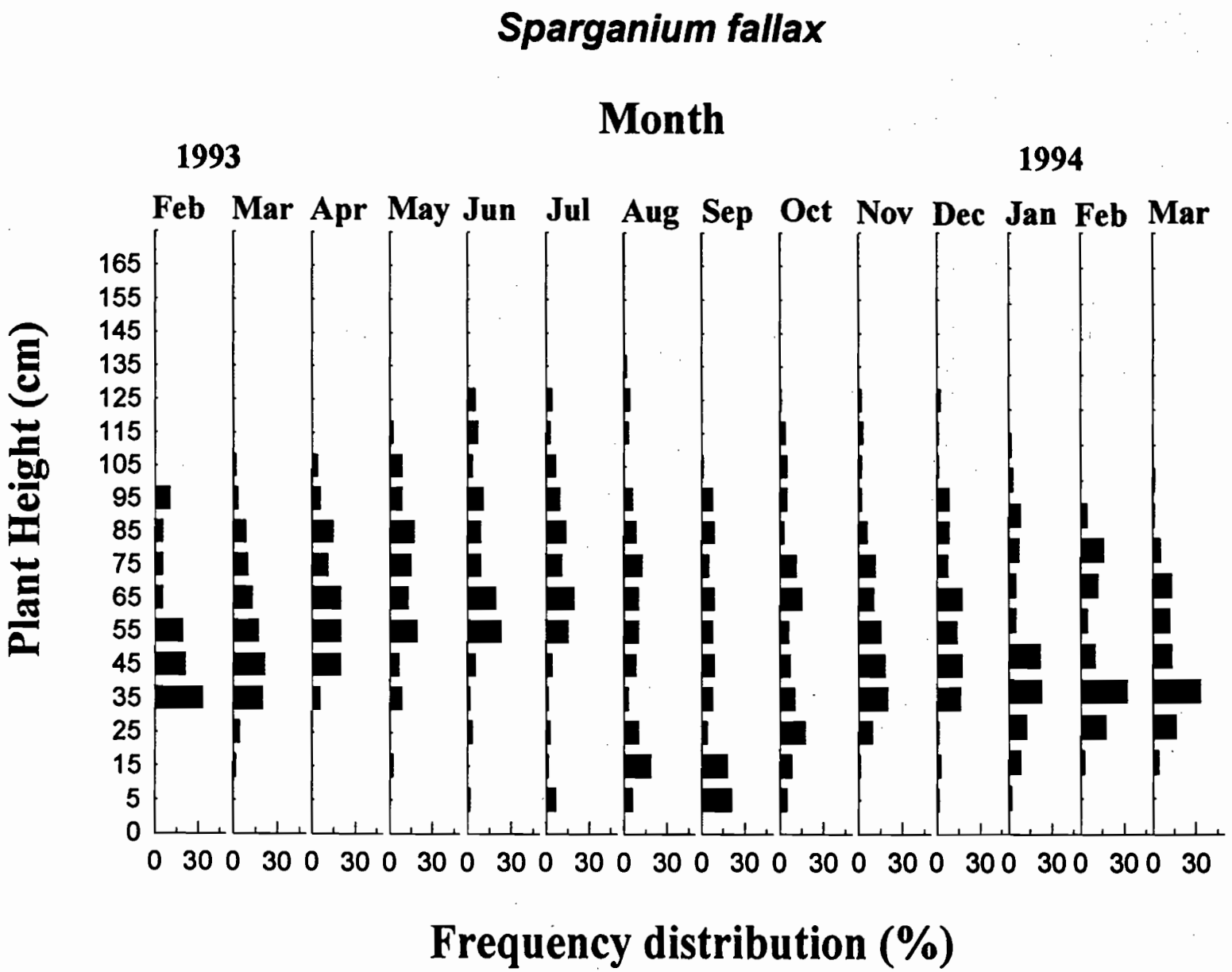



圖 16．東亞黑三稜族群每月植株高度分佈之變化。

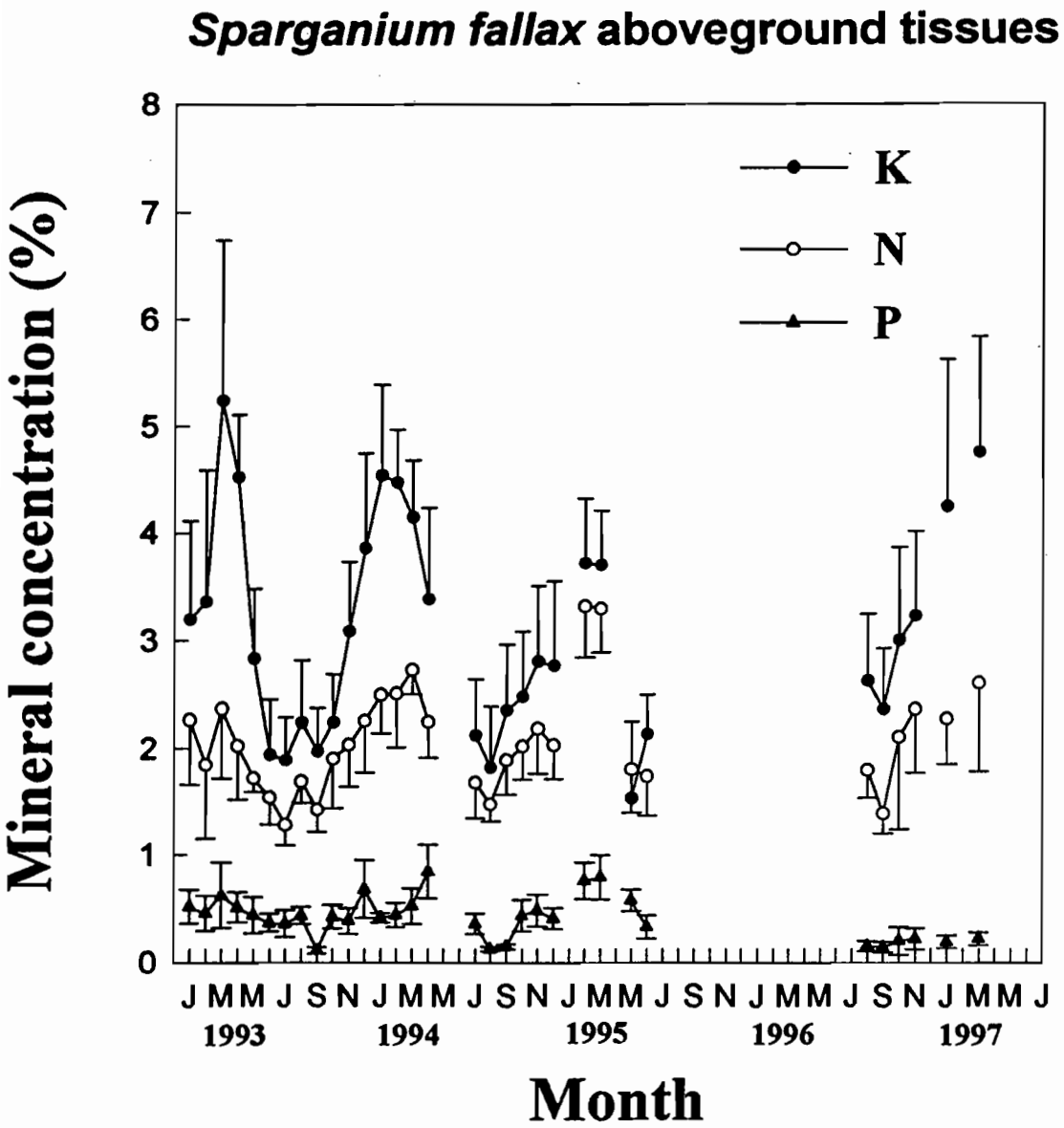



圖 17．東亞黑三稜族群地上部組織中營養元素， K, N 與 P 含量之月變化。

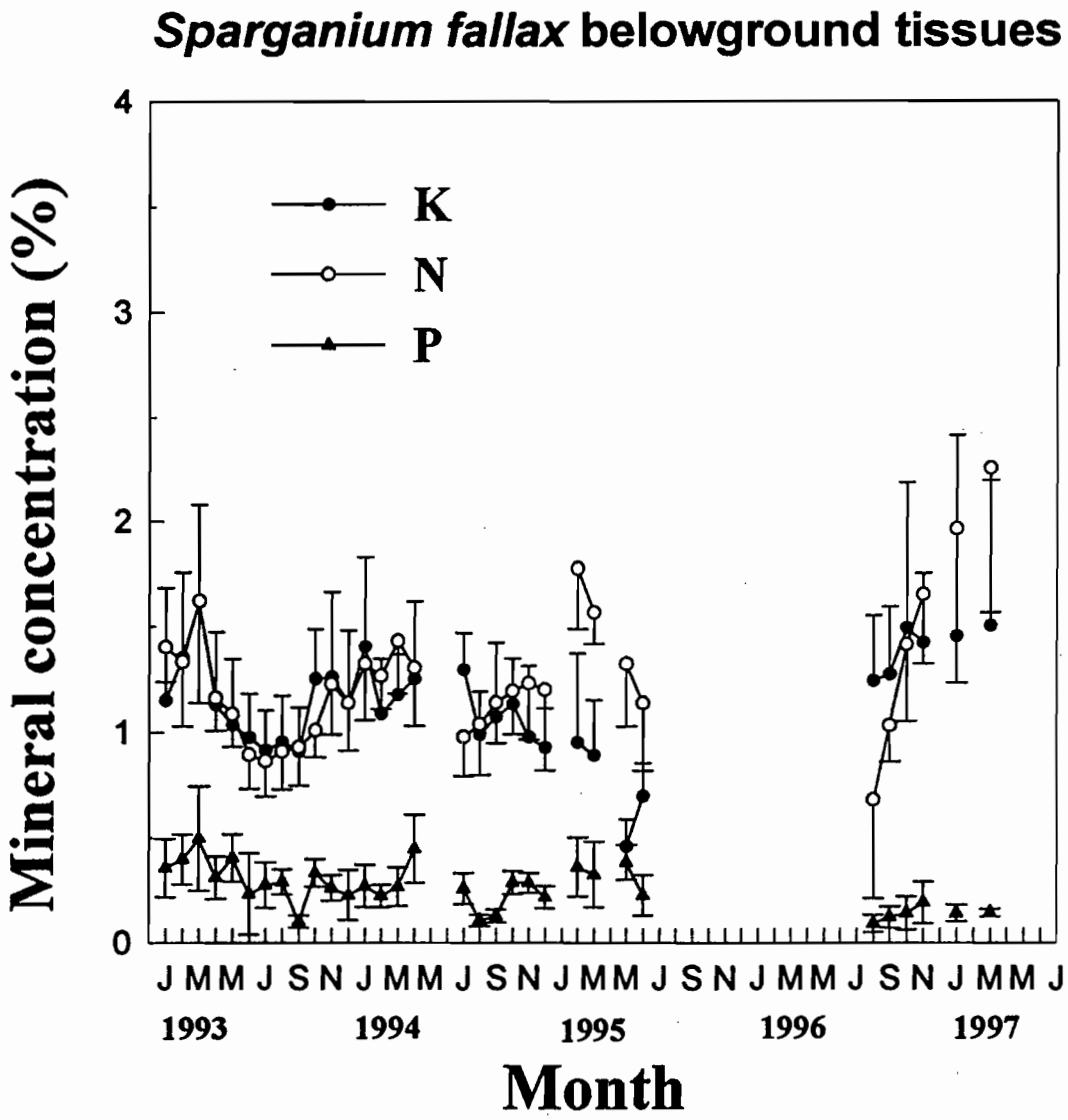



圖 18．東亞黑三稜族群地下部組織中營養元素， K, N 與 P 含量之月變化。

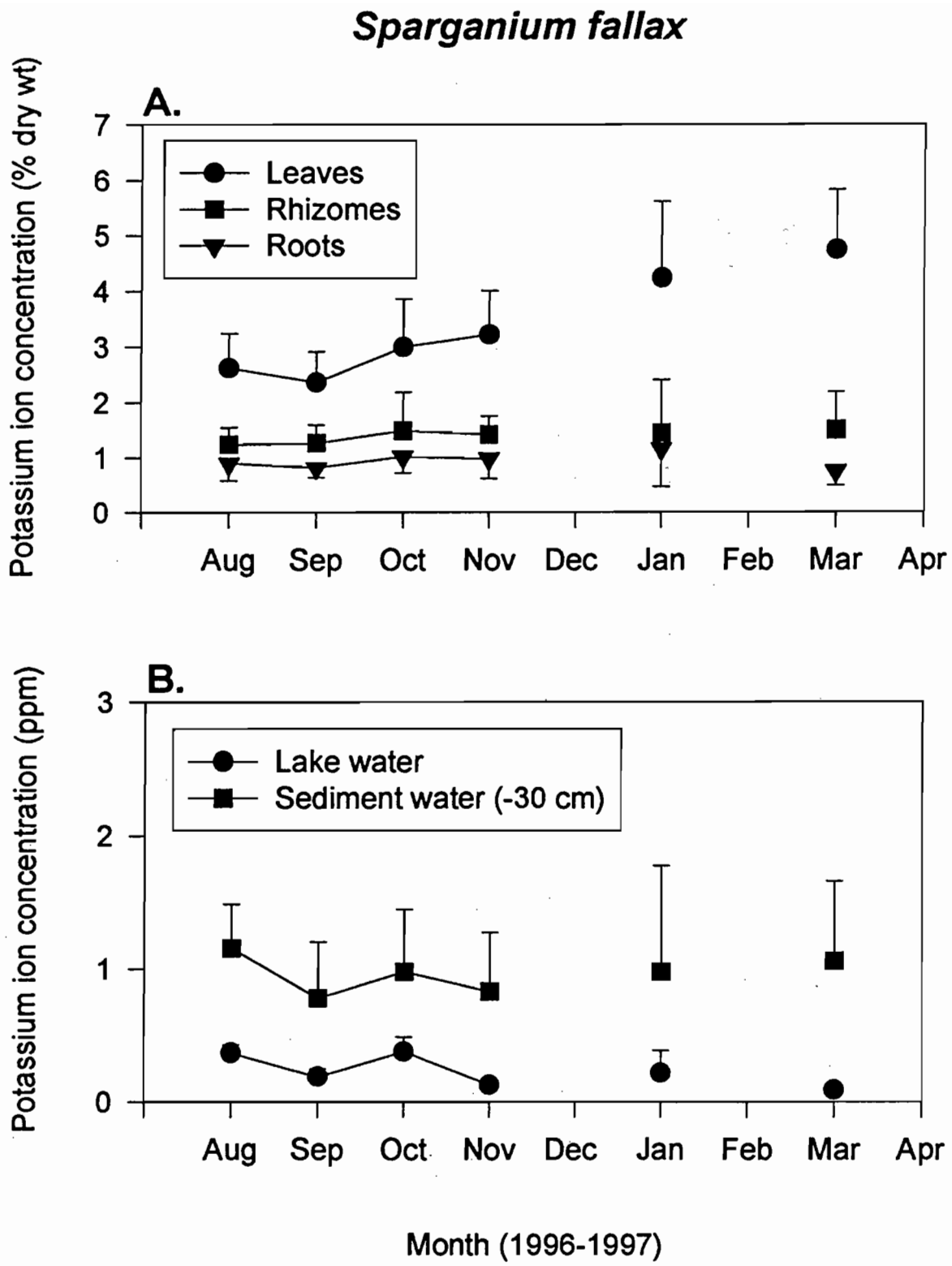



圖 19．營養元素，K 在 (A) 東亞黑三稜族群各部位組織 (葉，地下莖與根部) 中含量之月變化與 (B) 東亞黑三稜族群周圍湖水與地下水 (深 30cm) 中含量之月變化。

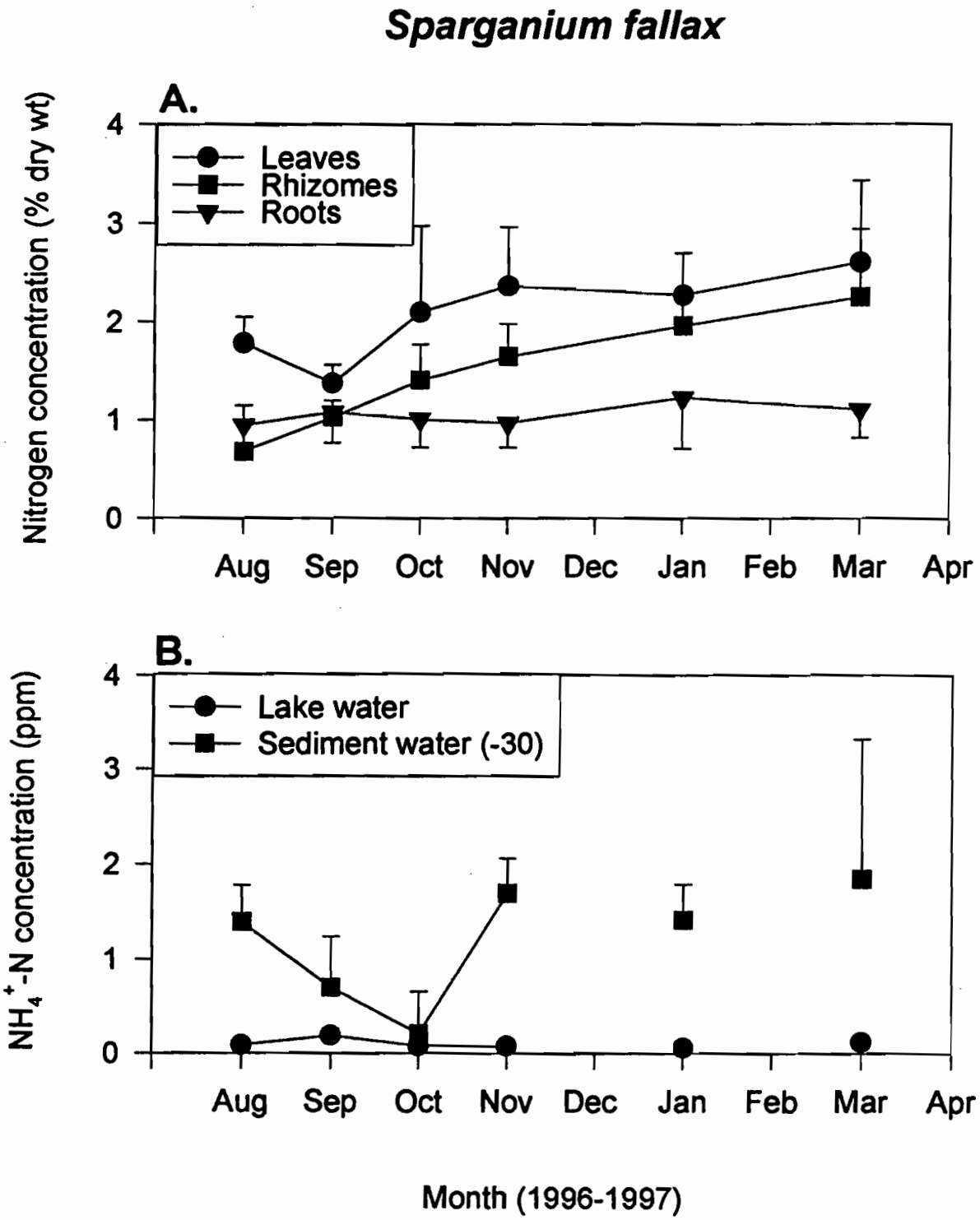



圖 20．營養元素，N 在 (A) 東亞黑三稜族群族群各部位組織 (葉，地下莖與根部) 中含量之月變化與 (B) 東亞黑三稜族群周圍湖水與地下水 (深 30cm) 中含量之月變化。

# 東北天然紅松混交林的恢復
## －－近自然的經營

李景文[1]

摘　要：

紅松（ *Pinus koraiensis* ）是重要的用材樹種，且多爲大徑巨木，最大年齡達500餘年，樹高35.5m ，胸徑1.24m （這棵古樹仍生長在吉林省露水河林業局，被當地林業部門譽爲長白山紅松之王）。天然紅松混交林是東北東部自然條件下形成的一種高價值、高產量的森林組成和結構類型，它混生的大徑針闊葉樹種就有18-20種，具有物種多樣和多效益的特點。百年前曾是浩瀚林海，由於人類長期貪婪的採伐利用，至今“本底”森林已發生了根本性的轉變，由原始大徑密林變爲小徑疏林，高價值樹種變爲低價值樹種。森林的自然環境也發生了很大的變化。現存未經人爲干擾的天然老齡紅松混交林已成爲稀世珍寶，它爲現有林的經營指明了方向。人爲破壞後的森林現均是處於不同時期的演替階段，在無人爲干擾的情況下總是在自發地向著紅松混交林這一氣候頂極群落得方向發展。因此，本區域現有林經營的方向，一般應以原天然林爲模式和最高目標。所採用的育林技術，應盡可能同時在的天然林植被發展格局和過程相接近，使之成爲更理想近自然的紅松混交林。本文將現在森林按人爲破壞程度及其接近天然林狀況的不同分爲四類：近天然林（過伐林）、次生天然林（次生林）、半人工林（人工、天然混合林）和人工純林，並提出了相應近自然經營的對策和建議。

## 一、前言

紅松混交林是東北東部自然條件下形成的一種高產、穩產的森林組成和結構類型，它是以紅松占優勢或混有紅松並與多種闊葉樹和針葉樹共生的混交林，一般稱謂紅松混交林、闊葉紅松林或紅松林。它是處於北方針葉林帶與華北落葉林帶之間形成的一個地帶群落交錯區（ Zonoecton ）。據初步統計，這裡僅維管束植物即近1900餘種，占東北植物種類的3/5以上（周以良， 1990 ），是歐亞大陸北溫帶森林動植物最豐富的區域。近一個多世紀以來，紅松一直是占東北木材產量的第一位。現今絕大部分紅松林遭到了破壞或消失，成爲徑級小，蓄積量低的次生闊葉混交林、蒙古櫟林、楊樺林以及灌叢、草地和農田。目前天然紅松混交林經濟已失去過去的顯著地位，但對保存生物多樣性，保存和獲得優良物種的遺傳基因，尤其是探索紅松混合林合理結構和自我發展過程，實現現有破壞後林地的恢復，均具有重要的指導意義。今後本區域的森林經營策略，應以原有天然紅松林混交林作爲發展森林的模式和最高目標。當然這裡提倡的發展天然林的模式，並不是完全回歸到天然林的森林類型，而是盡可能遵

[1] 東北林業大學森林資源與環境學院

守自然客觀規律，盡量使育林技術（更新、撫育、採伐）同時在的天然林植被發展的格局和過程相接近，使之成爲人工經營的更理想近自然的紅松混交林。不僅僅木材優質高產，而且具有生物多樣和森林多重效益的持續利用。

二、天然林的模式作用

天然紅松混交林是經過長期物種競爭和協同進化，同時經歷了各種氣候波動和其他各種自然因子的干擾（風倒、枯死、病蟲害和輕度火燒等），最後才演化形成具有物種豐富、結構複雜、生物量高以及自我維持力強的結構特點，是一個多物種、多層次、多功能、多效益的生態系統。

（一）物種豐富

天然紅松混交林是多物種得以保存的良好場所，生物種類極豐富。以小興安嶺爲例，林內喬木樹種除紅松占優勢外，還伴生有 18-20 種針闊葉樹種。林下各種灌木約 30-40 種：草本植物至少 70-80 種，蘚類、地衣的種類也比較多。此外，鳥類、昆蟲資源、土壤動物、土壤真菌和細菌的總量與本地區其它森林類型相比要豐富得多。紅松混交林是一個生物種類（植物、動物和微生物）極豐富的複雜生態系統。

（二）結構複雜

紅松混交林從其垂直結構看，一般林冠層較明顯地分爲兩層，主林層由大的紅松、雲杉及闊葉樹組成，次林層由各級較小的各樹種所構成，數量較少。林下一般有發育完好的灌木層的草本層，分別均可再劃分爲 2 ～ 3 亞層。林內地下植物根系的分布，同樣呈現出成層現象。但根系的成層與地上植物體所處的位置恰恰相反。天然紅松混交林內，除了活的大徑木外，還有一些大的枯立木以及橫臥地上腐朽程度不等的各種倒木。過去將這些死的有機物質視爲廢物或有礙經營管理，作衛生伐而加以清理。但隨著對森林生態系統功能的深入研究，目前已認識到一些站幹和倒木同樣是生態系統中重要和不可缺少的部分。

（三）生物量高

東北東部山地森林中如雲冷杉林、落葉松林、楊樺林以及各種闊葉林，單位面積材積都比不上紅松混交林。天然紅松混交林平均胸徑 40 ～ 50cm ，每公頃蓄積量一般爲 400m ～ 500m$^3$，多的高達 600 ～ 800m$^3$，而其它各類森林一般只能達到 300 ～ 400m$^3$。就總生物量而論，紅松混交林平均每公頃 328 ～ 364 噸，雲冷杉爲 286 噸，楊樺林爲 92 噸，落葉松林爲 251 噸（詹洪振等， 1990 ；李文華， 1981 ）。紅松林葉面積每公頃可達 61400m$^2$，即全林喬木樹種葉面積指數爲 6.14 （徐振邦， 1985 ），若再加上林內喬、灌、草各層次葉面積總量，形成一個龐大和完整的製造生物量的‘工廠’。此外，老齡林內每年凋落的死生物量也相當可觀。據測定每年每公頃平均凋落量約 5.8 噸（乾重），個別年份高達 7.8 噸，已接近熱帶森林的平均值（李景文， 1989 ）。每公頃凋落物總儲量的 14~18 噸（徐振邦， 1985 ）。可說紅松混交林無論在製造和保存有機物質方面，均具有特殊的功能。

（四）自我維持的能力強

據我們研究，天然林內部結構是由不同發育階段的樹群所組成的鑲嵌體，每一斑塊樹群的形成都是由自然力（風倒、病蟲害、輕度火燒等）或本身內力（自然腐朽死亡）的局部干擾形成了林內空隙，然後林隙再由紅松等樹種更新起來的近同齡斑塊樹群所填充（葛劍平等， 1990 ）。由於林隙形成年代不一致，每個斑塊樹群代表著林隙發展的不同階段，它是由不同演替地位的樹種所組成。所以說頂極群落的森林並不是穩定的森林，而是局部斑塊的不穩定維持著整體的穩定性。因此，對天然紅松混交林群落內部組成和結構的認識，應有一個斑塊樹群流動循環的概念。天然紅松混交林各斑塊循環的時間，大致變動在 200 ～ 300 年間（李景文等， 1994 ），如果經營合理其循環時間能夠大大縮短。紅松及其伴生樹種林隙更新的特性及其形成斑塊鑲嵌結構的特徵，是森林自我維持和可持續經營的基礎，而且使森林結構處於多樣化，相應生物種類也豐富多樣。

紅松“高幹優材”也是在林間空隙中產生的，樹於發育可明顯分成三個時期：（ 1 ）蹲苗期（ 1-10 年）：這一時期苗木枝葉不發達，根系尚未深入土層，高徑生長極緩慢；（ 2 ）高生長期（ 11-120 年）：苗木在林隙的上方透光（全光 50-60%）下，向上生長旺盛，經過百年（樹齡達 120 年）樹高 20m 進入林冠層，開始結實和分叉，高生長趨於緩慢；（ 3 ）結實期（ 121-240 年）：結實旺盛並多次分杈，樹冠呈平頂狀，這一時期徑生長顯著大於高生長，經過百年（樹齡達 240 年）徑生長可達 60cm 。說明天然紅松的高生長達到高峰之後，才開始結實並進入徑生長的高峰期，前後的 200 餘年完成巨木的塑造。而人工營造的純林在全光條件下， 7-9 年就結實， 26 年結實株率達 40 %以上， 35 年達 90 %以上（齊鴻儒， 1991 ），說明人工林一開始就進入了結實期，缺乏高生長期。所以 30 年高生長便明顯減慢， 60 年樹高不及 20m （主幹分叉高 10m 或更低），就幾乎停止生長，成林但不能成爲棟梁之材。因此，紅松高幹良材的產生必須經過一個高生長期。林隙的生境條件不僅抑制了早熟（結實），而且可以促進向上生長，產生一個“先高後徑”的過程，這正是紅松在天然林中形成巨木大徑的奧秘。

三、森林的破壞和現況

（一）森林的破壞

早在 17 世紀，紅松混交林幾乎覆蓋著整個東北東部山地，當時山林居住的通古斯族稱這裡的森林爲“窩集”，意即大森林或林海。 1668 年（康熙六年），清政府建國的初期爲了保護滿族發祥之地的“風水”不遭破壞，即把本地區的原始天然林劃爲“四禁“（即禁採伐、禁採礦、禁狩獵和禁漁牧）之區，從而約有 200 年之久一直保持著完整的大片森林免遭斧斤之災。 1858 （清咸豐八年），何秋濤著的“艮維窩集考”一書中記載：東北地區”地氣苦寒，人跡罕到…以故深山林木，鮮罹斧之患，而數千百里，絕少蹊徑，較之長城巨

防，尤爲險阻”，可想見一般。1840 年鴉片戰爭後，1880 年（光緒六年）清政府出於經濟和軍事的需要，便對其“發祥地”廢除封禁，開始推行“移民實邊”政策，並獎勵百姓移至東北，由於人口的不斷地增加，隨之大片森林闢爲農田、牧地和居民點，致使森林遭到極大破壞，林緣節節後退。上世紀末 1896 年（光緒二十二年），隨著沙俄竊取了中東鐵路修築特權，中東鐵路的鋪設以及營口的開港，外國資本開始沖開了東北長期封閉的大門。據自沙俄中東鐵路鋪設（1903 年通車）至日據（1931 ～ 45）東北期間約半個世紀，估計消耗蓄積約 4.5 億 $m^3$（有的估計爲 6 億 $m^3$）。加上日俄資本家在各地經營的伐木公司、林場的採伐及民用燒材，消耗資源就更大，至於消耗蓄積總數就無法計算了。可說本世紀前半葉紅松混交林資源破壞已十分嚴重，使原始森林面貌發生了根本性的變化。1945 ～ 1978 年爲單一生產木材的工業性採伐，當時本地區擔負著全國 1/2 以上商品材生產任務，超負荷地過量採伐以及人口暴增的壓力，加上保護森林措施不力，毀林開荒，森林火災和病蟲害等多種原因，又導致森林資源進一步急劇減少。所以目前天然紅松混交林的面積已爲數不多。

（二）現有林狀況

目前除了殘存部分天然原始林以及部分經過多次擇伐後的過伐林外，大面積森林都是次生天然林。根據人爲破壞程度和其接近天然林狀態的不同，可將現有森林劃分爲五類（圖 1）：

1、天然林類型（原始林），指人爲影響較小，仍保持著演替後期頂極群落（如老齡林）的特徵，森林能自我調整和自我維持，如自然保護區裡的森林和未經採伐的天然老齡林）；

2、近天然林類型（過伐林），指前一類型受人爲影響，但破壞程度尚未超出其自然恢復能力的閾限，仍保留著天然林的主要特徵，自我恢復能力較強，較短期間（20~30 年）內仍可恢復成天然林類型；

3、次生天然林類型（次生林），是前兩類型經過自然或人類嚴重干擾破壞而變成次生裸地，然後在次生裸地上形成的森林，它不同程度地保留著天然林類型的植物種類成分和生境條件，但是在林分起源、組成結構、林分生長潛力和生產力方面，均與天然林有顯著區別。這類森林一般正處於逆向演替的各個階段，林分內紅松及其它針葉樹已不存在，隨著破壞程度的加重，森林恢復的時間越長；

4、半人工林類型（人工、天然混合林），這類森林是在前幾類森林皆伐跡地上營造人工林後，因成活率較低，林內又有天然發生的萌生或實生的森林樹種混生其間，構成人工與天然混合的森林，或在現有的次生闊葉林內引種針葉樹種如紅松或雲杉，即“栽針保闊”後形成的森林；

5、人工純林類型，這是在前三種森林類型皆伐或火燒跡地上，按人的意志營造的各種人工純林。

以上所述近天然林、次生天然林和半人工林各類型，基本上是處於天然林的各個前期演替階段，仍保持著較多天然林遺物和殘體，故可統稱其爲半天然

林。這樣就可以明顯將本地區森林劃分爲三大生態系統，即：天然林生態系統、半天然林生態系統和人工林生態系統。半天然林干擾程度越低，留下的生物遺物（ biological legacies ）越多，森林的自然恢復能力越強；破壞越嚴重，恢復越慢，但在人力幫助下，可縮短恢復期。以黑龍江省爲例，天然林生態系統、半天然林生態系統和人工林生態系統相應面積的比例大致是 0.5 ： 8.5 ： 1 。東北東部地區各類生態系統的比例也大致相近。天然林類型衍生的半天然林生態系統發展的趨勢是在復甦天然林的格局和過程。但當前在人爲不合理的干擾下，卻是向著人工純林類型和其它用地轉變的速度正在加劇，結果是基因、物種、生態系統和景觀格局的多樣性迅速減少。因此，今後本區域森林經營的重點應放在經營好半天然林生態系統上，這是東北東部現有森林中占面積最大的一部分，也是今後生產大徑材和發揮森林多效益潛力最大的部分。

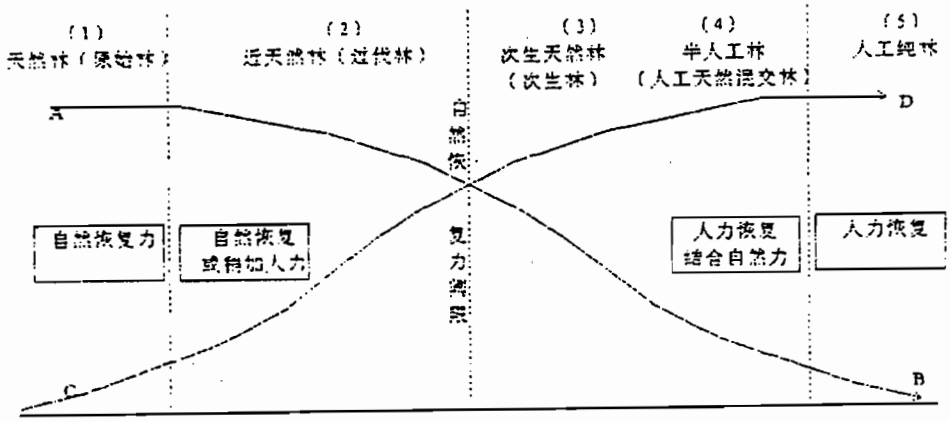



圖 1 根據人爲破壞程度和其接近天然林狀態的森林分類

（ 1 ） A —>B 天然林隨干擾強度增加，森林向衰退方向發展直至全部消失。

（ 2 ） C —>D 恢復天然林狀態越加困難，投入勞力和資金相應增加。

四、森林恢復的策略

（一）基礎和必要

東北區東部山地天然紅松混交林由於遭受人爲干擾的時間、強度、頻度和方式的不同，在原有林的基礎上形成了干擾程度不同的森林類型（圖 1 ），這些群落盡管目前與原生天然林的群落結構特徵有了較大的改變，但是所有這些類型基本上仍或多或少地保留著原有群落的一些種類，只是物種數量、大小和組成格局發生了變化。它在自然發育過程中，仍然孕育著恢復原有異齡混交林的潛在趨向。對比中歐諸國，那裡天然林的人爲干擾已經經歷了數千年的漫長歷史，有三分之二的天然林皆伐掉作爲農耕地或其它用地，現在已不存在不受人爲干擾的森林地段，天然原始林早已蕩然無存（ Plochmann ， 1992 ）。而在這種情況下，中歐諸國卻在積極地進行著恢復天然林的行動計畫。尤其是德國進展更快，各州林業管理部門相繼以“近自然的林業”爲指導思想，制定了相關

的政策措施（邵青還， 1991 ）。中歐諸國現有森林的背景是在若干代人工針葉純林和原有天然植物種類幾乎組絕跡的情況下，作恢復天然林的努力的。因此恢復天然的工作難度相當大，他們準備用一個多世紀的時間基本完成這頂艱巨任務。東北東部地區目前就有未遭受任何干擾、保存完好的天然林，人類干擾的各類森林也還保留著大部分原有的植物成分，有著極大潛在地自我恢復的趨勢。本區域有著培育多種針闊葉優質大徑材得天獨厚的自然條件，因此凡本是天然紅松混交林分布的地段，有條件的森林地段一般均應按照天然植被的發展過程和格局，通過各種育林措施，朝著恢復紅松混交林的方向發展。這種近自然經營策略可以更好地維護森林生物的多樣性，增強抗禦環境變遷的能力，以及實現森林多效益的持續利用。此乃當今先進林業國家所追求的理想目漂，也是對林業工作者的嚴峻桃戰。

（二）近自然的經營

1 、近天然林的林相整理

近天然林（或稱過伐林）是經過中度及強度採伐或破壞之後，留下的殘破林相。只要經營合理，會較快地恢復森林原有的良好結構和特徵，它仍是今後繼續生產優質大徑材並發揮其各種生態和經濟效益的重要基地。林相整理應採用弱度干擾性的擇伐，採伐部分劣質木（幹形不良和嚴重病蟲害木等）主要是爲了更好撫育森林和爲促進紅松及其它優良木的生長和更新創造條件，使森林的穩定性保持在閾限之內，切不可破壞森林的整體性。要特別重視天然更新幼樹的培育，天然更新有困難的地方，可利用人工或天然形成的林間空隙採用人工更新，即栽植杠松等針闊葉樹以補充天然更新的不足。此外，林中大徑活立木、大枯立木和倒木等切不可作過多的清理，因爲它對保護森林生物多樣性和加快森林恢復有著不可忽視的作用。

2 、次生天然林的林相改良

次生天然林或稱次生林，代表過去某種形式干擾的後果所表現出的不同演替階段，更遠離天然紅松混交林的組成與結構特徵。然而由於人爲破壞較晚（近百年的事情），並且仍處在天然林附近或其外圍一、二百公里之內，無論生物成分或是環境條件仍保存著天然林的某些特徵或受其影響，仍有一種恢復成針闊混交林的內在潛力。所以次生林改良時，不僅看到目前某一林分的組成，也要追究其歷史來源，心中應有一涸原生潛在類型的概念。林相改良的目的就在於利用這種內在潛力，按照森林發展的自然規律，借助於人的幫助，使其向演替後期高生產力的群落類型發展。當然這並不排斥將演替初、中期階段的許多林分作爲經營對象。

林相改良目標應是培育大徑級的各種針闊葉用材和發揮森林的多重效益。林相改良要充分利用自然，以固有樹種爲主體，實施栽植原生針闊葉樹種只是恢復原有群落中貴重樹種的成分，要避免引起原有林的嚴重破壞。具體辦法是砍伐部分不良木，保留貴重木，並利用天然或人工形成的大小林間空隙栽植紅松等針闊葉樹種，逐步向接近自然的針闊混交林的方向進行經營。實施改良過程

中，要特別注意保護有特殊動植物生活的生境小區（ Biotopes ）不受干擾，以確保原有的生物多樣性不受損壞。此外，因爲次生林不是單一的整體，林相改良應避免單一實行同一方案，要事先進行規劃，將欲進行改良的林地根據林分演替階段、林分特徵以及立地條件等自然因素劃分爲若干“林分型”，再以“林分型”分別實施不同的措施，從而產生多樣化的森林景觀，達到提高林分生產力、維護林地可再生能力和增加生物多樣性的目的。

3 、半人工林的定株定向培育

“定株”培育是在團塊樹群裡選出一定數量的紅松或在無紅松的闊葉樹團裡選出珍貴闊葉樹作爲培育對象，利用培育木周圍的輔佐木人爲創造側方庇蔭和上方透光的適宜林隙條件。側方庇蔭可抑制培育木直徑生長，上方透光可促其拔高向上生長，對紅松而言有利於防止松梢象甲的發生從而防止幹的早期分杈和結實。同時，這種作法也是模擬紅松在天然林隙中的生長是“先高後徑”不同步增長從而成爲”高幹良材”的。“定向”培育是根據林木特徵和所處立地條件，並按現有主幹分杈的不同高度，確定其經營方向，分杈高的可培育大徑材，分杈矮的可作爲中小徑材培育。因此，同一林分中可以在不同時期內，根據擇伐的思想培育出大、中和小徑材，改變過去爲了紅松的透光而伐除全部闊葉樹並培育成紅松純林和一齊採伐的作法。對未來森林的經營應是不斷通過單株或群團狀的孔狀採伐，在空隙內進行天然或人工更新。這樣經過多次循環實施後，將其誘導成爲接近自然的斑塊鑲嵌格局以及可持續經營的異齡擇伐林相。這樣按照自然格局的異質性分別採取不同措施，而不是按照人爲格局的同一性（同一樹種，同一林齡，同一林層）經營森林，將會保留更多動植物種群的棲息地，使森林更加繁榮健康地成長。

4 、人工紅松純林的經營

在天然紅松混交林皆伐跡地上，人工培育的紅松純林已有 30-40 年的歷史，事實證明在全光條件下，紅松頂枝極易遭受松梢象甲和其它危害，往往主幹發生多次分叉，樹高甚至不足 3 ～ 4 米便開始分叉，而且一般 20 ～ 30 年生頂部便旺盛結實，不僅引起更多分叉，頂枝向上生長也會顯著降低。所以說營造紅松純林，不符合天然紅松的發展過程，根本不可能培育出大徑巨木，不能再繼續走純林→皆伐→純林的道路。對現有人工紅松純林的經營，應是經過多次循環的擇伐作業，最後向著近自然狀態的斑塊鑲嵌異齡混交林發展。採用的措施有二：

一是對現有幼齡期的人工林，發現混生或林下有闊葉樹（不論是否有經濟價值）的地方，解放現有闊葉樹，同時團塊狀（ 3 ～ 5 株或更多）或單株伐掉一部分無生長前途的紅松木，留出較多空隙進行整地，借助周圍有豐富闊葉樹種的種源，促進天然更新，必要時也可進行人工直播，逐步向混交林方向過渡。以後的經營措施應是改皆伐爲擇伐，以培育大徑材爲目標，逐步作到多效益的持續利用。

二是對中後期的人工林，採用兩步走的辦法，第一步先對現有純林的培育，進行修枝與間伐工作，加大培育良材的力度。修枝是因爲在全光條件下，紅松樹冠發達，側枝粗狀，自然整枝不良。鬱閉後，下部出現枯死枝，久不脫落，容易生成死節，影響材質，降低出材等級。通過人工整枝，去除林冠下層的枯死枝、瀕死枝、病蟲枝和部分活枝，可以改善林內通風透光條件，減少病蟲害，尤其是對分叉木的修整可提高林木的高度。間伐是改善林分狀況，加速林木生長，縮短工藝成熟期的有效措施。爲防止頂稍早期分叉，應保持森林有較高密度，造成林木相互庇蔭，不利於蟲害繁殖和結實，利於主幹向生長。一般樹冠的長度不低於樹高的 2/3 或 1/3 時，就不宜進行間伐。只有等樹高基本停止生長時，才考慮加大採伐強度，以促進直徑生長。林內有闊葉樹存在或發生時，必須加以保留，林下灌木和草被也不宜作過多的清理，以增加生物多樣性。第二步通過對成熟木進行單株或團塊狀擇伐，并同時在林隙間人工或天然更新闊葉樹和紅松，經過若干代的努力，使之形成斑塊鑲嵌異齡混交的擇伐林相，爲森林的持續經營奠定基礎。

參考文獻


1 、李景文等 天然楓樺紅松林凋落量動態及養分歸還量， 植物生態學與地植物學學報， 1989 ， 13 （ 1 ） 42-48

2 、李景文等 中國東北闊葉紅松林結構和自我維持機制的研究， 中國森林生態系統定位研究（林業部科技司編）， 東北林業大學出版杜， 1994 ， 508 - 605

3 、李文華等 長白山主要生態系統生物量的研究， 森林生態系統研究， 1981 ，（ 2 ） 34 - 50

4 、齊鴻儒等 紅松人工林 中國林業出版杜， 1991

5 、周以良等 中國森林科學出版杜， 1990

6 、邵青還 第二次林業革命 —” 接近自然的林業” ， 世界林業研究， 1991 ，（ 1 ） 8 - 15

7 、徐振邦等 長白山闊葉紅松林生物生產量的研究， 森林生態系統研究， 1985 ，（ 5 ） 33 - 46

8 、葛劍平等 小興安嶺天然紅松林種群結構的研究， 東北林業大學學報， 1990 ， 18 （ 6 ） 26 - 32

9 、詹洪振等 闊葉紅松林的生物量和營養元素， 林業科學， 1990 ， 26 （ 1 ） 80 - 84

10 、 Plochmann, R.， The Forests of Central Europe - A Changing View . J , Forestry, 1992,（ 6 ） 12-16.

# 森林生態系統工程與森林生態系統

張嘉賓[1]

摘　要：

本文在研究森林生態系統工程及森林生態系統基本概念及其相互關係的基礎上，論述了建設森林生態系統工程的必要性和研究重點，闡明了這一技術對森林生態系統的影響，並以雲南省南華縣上高村爲例，說明了森林生態系統工程是在研究森林生態系統內各組成部分之間相互關係，有關系統、特別是社會系統與森林生態系統之間相互關係的基礎上，利用對於這些關係的規律性的認識，組織管理森林生態系統的技術。它能引導不少國家和地區的林業，由森林蓄積和面積利用，向全森林生態系統利用的方向發展；它能在優化森林結構提高森林質量的前提下，大幅度地提高森林覆蓋率，充分發揮森林在陸地生態平衡中的主體作用；它能將開發森林的消耗性和非消耗性使用價值結合起來，發展經濟、優化環境、富裕人民；它能使森林生態系統內部組成部分之間、森林生態系統與有關系統之間整體協調、循環新生、優化發展，能使林區人口、資源、經濟、糧食 能源、環境持續發展。因此，筆者建議海峽兩岸林學界加強對森林生態系統工程的科技合作和交流，共同爲創建這門新學科、優化森林生態系統、繁榮林業事業作出越來越大的貢獻。

# Forest Ecosystem Engineering and Forest Ecosystem

Zhang JiaBin

Abstract:

On the basis of studying the basic concept and interrelation of forest ecosystem engineering and forest ecosystem , the text discusses necessity and research major of constructing forest ecosystem engineering , expounds the effect of this technique on forest ecosystem , sets an example of Shang-gaocun , Nanhua County , Yunnan Province to illustrate forest ecosystem engineering is a technique which utilize the natural recognition of these relations to manage forest ecosystem based on studying interrelation of each component in forest ecosystem, interrelation of system-related especially

[1] 雲南省現代林業研究所

between social system and forest ecosystem . It can guide many countries and regions' forestry development from the utilization of forest stock and area to the utilization of the whole forest ecosystem; under the premise of optimizing forest structure and enhancing forest quality , it can considerably enhance percent of forest cover and give full play of main effect of forest in the land ecobalance . It can integrate consumption use value and non-consumption use value of developing forest to develop economy, optimize environment and enrich people, it can make entire coordination , cycling regeneration , optimizing development among each component in forest ecosystem , forest ecosystem and related system , it can make population , resource, economy, grain , energy and environment of forest region sustained coordinated development . Therefore, the author suggests that forestry circle strengthen scientific and technical cooperation and exchange of forest ecosystem engineering , make more and more contribution to establishing this new science, optimizing forest ecosystem , booming forestry enterprise.

一、基本概念

（一）森林生態系統

森林生態系統是指以木本植物爲主體的生物系統同與其相適應的環境系統的統一整體。其中，以木本植物爲主體的生物系統是指以木本植物爲主體的植物系統、動物系統、微生物系統；環境系統是指自然環境系統和社會環境系統。這些組成部分按照明確的目標、一定的秩序、彼此聯繫在一起的系統，叫森林生態系統。

（二）森林生態系統工程

森林生態系統工程是組織管理森林生態系統的技術。它是在研究森林生態系統年各組成部分之間，森林生態系統與有關系統之間，特別是與社會系統之間相互關係的基礎上，利用對於這些關係的規律性的認識，爲促進森林生態系統年各組成部分之間，森林生態系統與有關系統之間的整體協調、循環新生、優化發展，爲謀取在森林生態系統內可能取得的最優整體效益而建立起來的組織管理森林生態系統的技術，是現代林業知識體系中的一門技術科學。

二、森林生態系統工程的興起是歷史的必然

從 1763 年德國哈茲山區建立林護官學校開始到如今，應工業革命需要發生。形成和發展起來的近代林學理論。技術已有 234 年的歷史。這一林學理論在培養速生、優質豐產的木材，滿足社會對木材及其製品的需求方面曾起過極爲有益的積極作用，具有不容忽視的歷史地位，但在實踐中，這一理論技術存在的問題也日益顯著，歸納起來，主要有兩條：

（一）“只見樹幹、不見樹木、不見森林、更不見林業”，將木材永續利用理論當作森林永續利用理論，將樹幹、木材當做森林，以偏概全，以部分當整體，不能謀取在林業行業範圍年可能取得的最優整體效益，給林區人民和林業生產帶來難以彌補的重大損失和浪費。例如，在這一理論指導下，將森林資源僅僅理解爲森林蓄積和森林面積。將林產品僅僅理解爲木材及其副產品。在森林資源的調查規劃設計中，重點調查的是森林蓄積量，將蓄積以外的森林葉、花、枝、果、根、樹皮、樹枝、樹液資源，林內植物資訊、林內動物資訊、林內微生物資源、森林環境資源基本上排除在外；在林產品開發中，基本上只是開發木材及其“副產”品，對森林中非木產品的開發很不重視。這樣勢必使大量的森林資源和林產品處於自然損耗和浪費狀態。據我們在雲南省的武定、南華、盈江、通海、漾溪、雲龍、景洪、勐海、勐腊、玉溪、新平、綠春、宜良、路南、東川、騰衝、盈江、瑞麗、麗江、福建三明市、四川涼山州等 20 多個縣市調查，非森林蓄積量資源開發出來的林產品，比森林蓄積量資源開發出來的林產品經濟效益高 4 倍以上。如以雲南省雲龍縣潛澗鄉志奔山林區的南方紅豆杉爲例，紫杉素針劑的經濟效益比紅豆杉木材製品的經濟效益高 230 倍。這些事實足以證明“只見樹幹不見森林”的以偏概全的理論損失浪費太大。

（二）沒有把林區人民作爲經營林業發展森林的主體，沒有把不斷提高林區人民的物質和文化生活水平作爲林業發展的目標；沒有根據結成社會的人們對森林及林產品的日益增長的多種需要來經營林業發展森林。於是，不能充分發揮林區人們的積極性、智慧和力量，不能用取得的效益來鼓舞人們去發展森林、優化森林，創造高質量的森林生態系統。

由於這兩個問題的綜合影響，在那些按近代林學理論進行實踐的地方，出現了森林資源危機，林業經濟危困，林區人民貧困的狀況，有的甚至出現了一系列生態性的不良後果。爲了從根本上擺脫這種狀態，我國林業科技工作者進行了長期的研究，一個由樹幹利用向全樹利用，向全森林生物系統的利用，向全森林生態系統利用；一個將林區人民作爲林業發展的主體，將提高林區人民的物質和文化生活水平作爲經營目標，將按照社會需要逐步來調整森林生態系統結構的林業改革正在我國大地上興起。在這樣的條件下，研究森林生態系統工程內各組成部分之間的相互關係，研究有關系統特別是社會系統對森林生態系統的需要，按照對這些關係，對這些需要的規律性的認識，創建組織管理森林

生態系統的技術，即森林生態系統工程，是歷史發展到當代條件下必然要出現的事物，是歷史的必然。

三、森林生態系統工程研究的重點

森林生態系統工程不能代替有關森林生態系統的各專業學科的研究，如不能代替森林生態學、森林植物學、森林動物學、森林微生物學、森林資源管理學、森林旅遊學、森林測量學、森林測樹學、森林學、林業經濟學、市場學、林區社會學等學科，但要學習和掌握這些學科的有關理論技術，特別是最新研究成果，目的是要綜合應用對於這些學科的規律性的認識，正確地、科學地組織管理好森林生態系統，爲人民謀取在這一系統年可能取得的最優整體效益，它的研究重點主要是：

（一）調查現有森林生態系統的組成、結構、功能、效用、效益，林區人民的物質和文化生活水平，林區人民對經營林業、發展森林的需要；

（二）研究林業發展中存在的表面問題、潛在問題、產生這些問題的原因和根子，找出所在地區林業發展的方針、目標及保障目標得以實施的措施，其中，含政策性措施，結構性改革措施等；

（三）按照林業產出效益的多樣性和受益的社會性特點，研究利用受益的全社會的偉力經營林業發展森林，創建高效益的林業持續發展系統的技術和方法，促進林區人口、社會、資訊、能源、經濟、環境之間的持續穩定協調發展。

（四）研究從謀取森林生態系統內可能取得的最優整體效益出發來組織管理森林生態系統的配套的技術和方法。

四、森林生態系統工程對森林生態系的影響

有了森林生態系統，才有森林生態系統工程，而森林生態系統工程的建立，又勢必對森林生態系統的發展產生極爲有益的積極影響和效果。

（一）能組織化地使用已知的有關森林生態系統的科技成果和各族人民的經驗，通過綜合集成去優化現有的森林生態系統，創建高效益的人造的森林生態系統，促進現行粗放綠化型林業向集約效益型林業發展，促進傳統林業特別是近代林業向現代林業發展，提高經營林業發展森林的整體效益。

（二）能組織化地使用好一切可以使用的現有人力、物力、財力去經營林業發展森林；在同樣的條件下，能取得比不用森林生態系統工程要好得多的效益；能用取得的效益來不斷提高人民經營林業發展森林的積極性。

（三）能促進森林生態系統年各組成部分之間的整體協調、循環新生、優化發展。

（四）能從滿足社會對森林和林產品的不斷增長的多種需要出發來優化現有林，創建人工林，能逐步做到按照社會需要來經營森林，協調社會和森林之間的關係，體現經營森林的目的，使受益的全社會能持續地受益，用取得的效益去調動人們經營林業發展森林的積極性，以便組織全社會的力量更好地促進森

林生態系統的持續發展。

（五）能充分利用森林生態系統全部資源，徹底解決“只見樹幹不見森林”，“只見樹幹不見林區人民”的以偏概全的問題，爲森林生態系的優化發展創造極爲有利的必要條件。

（六）能引導那些仍按近代林學辦事的國家和地區的林業，由只利用森林蓄積資源和面積資源的低水平，向利用森林生態系統內一切被人們認識且可以利用的物質的高水平方面發展，促進這些國家和地區的林業發展。

（七）能爲調整產業分類、產品分類、產值和效益統計、部門分工提供科學依據和數據，能提高林業在社會發展中的地位和作用，舉全社會之力促進森林生態系的發展。

（八）能將開發利用森林的消耗性使用價值和非消耗性使用價值，森林生態環境效益和經濟效益有機地結合在一起，能將森林在陸地生態平衡中的主體作用充分發揮出來，保障農業高產穩產，保障各種水利設施充分發揮效益，增加有機肥源，減少病蟲害的滋生，改善環境，促進國民經濟和社會發展。

應用森林生態系統工程技術，我們在雲南省通海縣四寨村、南華縣上高村、西雙版納州和福建省三明市、甘肅省蘭州市等地進行了觀察、試驗，都取得了比較良好的預期效益，促進了森林生態系的優化發展。例如，南華縣上高村，地處南亞熱帶高原型半濕潤季風區。夏季溫暖濕潤，冬季較寒冷乾燥，月平均最高溫 26 度，月平均最低溫零下 3 度。農業林業生產的主要災害是春旱。全村地貌屬低山緩坡丘陵，平均海拔高度爲 1882M 。全村以紫色土爲主，約占 56 %，黃棕壤占 20.4 %，紅壤占 17.1%，棕壤占 2.5 %，土壤類型較適合於發展林業。試點前，森林植被主要是雲南松純林，由於樵採薪村等人爲活動頻繁，致使天然林面積不斷下降，全村森林覆蓋率僅爲 25 %，人均年收入只有 280 多元，“乾季人畜飲水困難，與雨季吃泥巴水”，林業收入僅占人均年收入的 10 %，農民們經營林業發展森林的積極性不高。針對這一實際情況，通過系統分析，找到了影響森林生態系統發展的主要原因，如孩子生多了要砍樹種糧建房；社會不安定，要偷砍盜伐森林；經濟上貧困，農民要砍樹賣錢；千家萬戶用習慣的“大肚子”灶，燒柴的熱值利用率僅 6-8 %，燒柴消耗量大，農民們勢必要砍樹，危及森林生態系的發展。爲了解決這些問題，必須應用森林生態系統工程技術，採取系統配套的措施，才能扭轉森林生態系的劣化趨勢：

1.將單一的雲南松純林，優化爲用材林、經濟林、多用林相結合的多林種協調發展的結構。以居民點爲爲中心，將高山遠山作爲防護林、用村林區；將雲南松純林優化爲松樹混交林；將山腰緩坡地帶的荒山，發展爲經濟林區，主要種植藍桉、黑荆樹、蘋果、葡萄、桃、李、杏、柿、茶等多種經濟樹種；在宅旁、村旁、水旁、路旁等“四旁”，主要種植以藍桉等經濟樹種爲主體的多功能樹種，發展集經濟、綠化、防護、燃料等多種效用爲一體的多用林。使多林種、多村種在協調發展中產出多種效益，滿足村民們的需要，形成系統生產能力。

2.大力開發林產業和林產品，不斷增加林業收入。在幼林鬱閉前，進行林糧、林茶間作，開發森林種植業，在林年種植黃豆、蚕豆、辣椒、黃瓜、薑等無公害的綠色食品。在幼林鬱閉後，開發森林養殖業，允許適度放牧，在林間的池塘裡養魚。開發森林微生物業，在松樹混交林下來集野生食用菌，如牛肝菌松茸、雞棕等，保護它們的自然再生產條件，促進它們循環再生、持續發展。在開發這些產業的同時，既充實了森林生態系的內涵，使其逐步成爲完備的森林生態系統；同時，林農們又從開發這些林產業中獲得了實惠，提高了他們對完備的森林生態系統的認識，調動了他們經營林業、發展森林的積極，調整整個森林生態系統在調整中，逐步形成了森林生態系統內部各組成部分之間，森林生態系統同農民的利益之間的整體協調、循環新生、優化發展的格局。

開發林產工業，將桉葉加工成桉葉油，葉枯作煉油的燃料，全村 23 戶都從事桉葉油加工，既充分利用了藍桉林資源，又提高了經營藍桉林的效益，取得了葉材兩用、相得益彰的效果。

3.提高薪柴的熱值利用率，減少薪柴消耗。主要措施是將“大肚子”灶改成節柴灶，將熱值利用率由原來的 7-8 %提高到 22.5 %，且每戶年均節柴 20 立方米，全村年均節柴 460 立方米，相當於保護了 92 公頃森林，使其持續的發揮森林的多種有益效用，促進了農、牧業生產。此外，新建沼氣池 11 口，生物質能源的熱值利用率達到了 60 %，有效地節省了燒柴，保護了森林資源，促進了森林生態系統的發展。

4.優化土地利用結構，將農業用地、林業用地的面積結構，由占總面積的 10.7%： 87.3 %；優化爲 17.7 %： 80.3 %(其餘 2 %爲其它用地）。在此基礎上，推廣各種新技術、新品種，提高單位面積上的糧食產量，使全村的糧食年產量由 5.7 萬公斤提高到調 7.萬公斤；人均年占有糧食由 548 公斤提高到 664 公斤。杜絕了毀林種糧現象，保障了森林生態系統的發展。

5.堅持不懈地搞好計劃生育工作，使人口的自然增長率減少了千分之四。

6.改善了林農的生產和生活環境，新建了飲水壩和兩級過濾池，把池塘水變爲了自來水，使 23 戶農民徹底解決了“乾季缺水吃，雨季吃泥水”的問題。經濟發展了，家家都住進了磚木結構的新房，修好了村內道路，鋪上了石子面，使村容村貌大爲改觀、煥然一新。

上述六項措施相互配合、綜合集成，使上高村森林生態系統出現了顯著的變化：

1.六年間新栽藍桉 31.5 萬株，果樹 7843 株。發展果園 2.7 公頃，綠化宜林荒山 13 公頃，優化疏林地 23.3 公頃，在優化森林結構、提高森林生態系質量、增加效益的基礎上，使森林覆蓋率由 25 %提高到 53 %，年均提高 4.66 %，自然環境朝著有利於發展經濟、優化環境的方向發展。

2.六年間人口自然增長率由千分之十下降到千分之六。全村人均收入提高了一倍。林業收入占總收入的比率由 10 %提高到 45.3 %以上。

3.從用地面積到經濟收入，林業都處於全村經濟再生產系統的主體地位。出現了林農牧漁副業系統再生產的新格局；出現了人口、社會、資源、糧食、經濟、環境、能源持續發展的新局面。

4.上高村試點結果證明：森林生態系統工程能優化森林生態系的結構，加速優化森林生態系的進程，能提高當地人民的物質和文化生活水平，使農民收入增加，能對森林生態係的發展產生積極的有益影響和效果。

五、討論意見和建議

（一）森林生態系統工程能引導樹幹利用向全樹利用，向全森林生態系統利用的方向發展，能在優化森林結構、提高森林質量的前提下大幅度地提高森林覆蓋率，發揮森林生態系統在陸地生態平衡中的主體作用；能在優化森林環境的前提下做到發展經濟、富裕人民、爲人類的進步事業做出越來越大的貢獻，因此，它是一門於人類社會生存發展極爲有用的組織管理森林生態系統的技術學科。建議海峽兩岸各高等林業院校、森林學系，開設這門新興學科。

（二）建議海峽兩岸林學界加強森林生態系統工程研究的科技合作和交流，共同爲繁榮林業事業做出新的越來越大的貢獻。

# 福山試驗集水區水文循環分析

陳明杰[1]

摘　要：

本論文爲瞭解森林生態系中水文循環特性，研究區域位於林業試驗所福山分所之天然闊葉林試驗集水區，進行水文循環過程觀測與分析。試驗區域1993年至1995年之水文資料經蒐集分析結果，年、月份降雨量因颱風侵襲與否呈較大的變動，1993年、1994年、1995年之總降雨量分別爲3001.0mm、4915.0mm、2849.0mm；最大之月降雨量爲1000mm、最大一日降雨量爲430mm、最大一小時降雨量爲82mm，皆發生在多次颱風侵襲之1994年。其次，蒐集1號試驗集水區的降雨量、逕流量分析，月逕流量與月降雨量呈顯著相關，年逕流量因年降雨量的大小呈現顯著差距。另外，研討一水文循環模式，經演算結果，福山1號試驗集水區1993年、1994年、1995年之蒸發散損失量分別爲1127mm、1180mm、1118mm，直接逕流量和基底逕流量則隨年降雨量分布而變動，1993年其分別佔年降雨量的9.6%和52.5%，1994年其分別佔年降雨量的23.0%和52.0%，1995年其分別佔年降雨量的12.0%和49.3%。目前，森林生態系水文循環相關之樹冠截留量、幹流量、土壤水分變動測定等正進行觀測，其爲水文模式必需的基礎資料，相關參數將藉由各項實測資料訂定之。

關 鍵 字：1.森林生態系，2.水文循環，3.試驗集水區

# HYDROLOGICAL CYCLING ANALYSIS OF FU-SHAN EXPERIMENTAL WATERSHED

ABSTRACT

This paper is to investigate hydrological cycling in forest ecosystem. Natural board-leaf experimental watersheds on the Fu-shan branch of Taiwan Forestry Research Institute were selected to observe hydrological cycling process. From the analyzed results, firstly, monthly and yearly rainfall amount were different largely on condition of typhoon invaded or not. yearly rainfall amount of 1993, 1994, and 1995 were 3001.0mm, 4915mm, and 2849.0mm. Maximum monthly rainfall amount was about 1000mm occured in Aug. 1994. Maximum daily rainfall amount was about 430mm occured in Sept. 1994. Secondly, the monthly rainfall and runoff data of No.1 experimental watershed were correlated significantly. Monthly runoff amount were variant due to daily rainfall distribution. Thirdly, the program of hydrological cycling model would be studied. From calculated result,estimated evapotranspiration loss of No.1 experimental watershed in 1993, 1994, and 1995 were about 1127mm, 1180mm, and 1118mm. Direct runoff and baseflow varied according to yearly rainfall amount. Direct runoff and baseflow were about 9.6% and 52.5% of yearly rainfall amount in

[1] 國立臺灣大學森林系

1993, about 23.0% and 52.0% in 1994, and about 12.0% and 49.3% in 1995. Parameters of model would be decided by observed data. So, the amount of rainfall, runoff, canopy interception, stem flow, and soil water content etc. would be continuously measured that are necessarily data base for hydrological model.

Key Words:1. Forest ecosystem, 2. Hydrological cycling,, 3.Experimental watershed.

## 一、前言

森林生態系屬於陸地生態系的一種，以林木控制了大部份環境，其中，各組成生物與環境因子間發生廣大且複雜的作用，形成能量傳遞及物質交替循環(劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)。在森林生態系中，生產者、消費者、分解者之間能量、物質相互流轉，同時亦與生態系外之物質和能量等相互交換流動，共同組成一複雜的系統。而生態系中的物質，經由生物的營養活動可逐級轉換，循環於生物與無生物兩大單元之間，各種元素可一再利用，最後回歸於自然界。

水文循環屬於森林生態系中環境因子的一個單元，其外在來源爲降水，在生態系內的流轉包括吸收、貯存、蒸發散作用、逕流等，最後回歸於自然界。水文循環與森林生態系內生物生長息息相關，甚至養分、礦物離子循環過程，亦依賴水文循環而完成。而森林生態系之水文循環過程，通常以集水區爲一個單元來探討，包括水文循環中降水、截留、蒸發、蒸散、逕流、土壤水分貯存變動等各個主要項目，其與集水區內各種物質、養分的輸入及輸出亦有密切關係。

本研究試驗區域位於林業試驗所福山分所轄區內，哈盆溪上游之天然闊葉林集水區。關於集水區水文循環的分析，從建立之雨量、流量測站、氣象觀測站等，蒐集水文循環中之基礎資料。其次，利用水文循環中各項因子的觀測資料，建立集水區水文循環模式，供估算林地蒸發散量、截留蒸發量、直接逕流量、基底逕流量等水文收支項目，研究成果並可供計算集水區內營養元素輸入和輸出的依據。

## 二、試驗區概況

試驗區域位於林試所福山分所轄區，爲南勢溪上游哈盆溪之流域，西北方距離臺北市約 30 km，東側鄰宜蘭市約 16 km。

全區總面積1097.9公頃，爲雪山山脈主、支稜所環抱而成的盆地地形，地形因山岳、溪流交錯，地形起伏變化甚大，哈盆溪上游溪谷呈平坦地形，溪谷部份屬於洪積地層，滲流情形相當良好，因此有部份河段在平時流量狀況下溪流量相當少，在進入哈盆自然保留區後溪流量才大量增加。溪谷兩側山勢地形陡峻，海拔高自 500 m至 1400 m之間，平均坡度約 50%。全區之地質，屬於砂頁岩互層之乾溝層幾乎涵蓋大部份地區。土壤分爲黃壤、崩積土與石質土三大類，黃壤多分佈於山稜、平坦溪谷，崩積土與石質土則分佈在溪流兩側與崖崩處。氣候屬溫暖重濕型，夏季炎熱潮濕，冬季則因東北季風與地形因素造成陰濕多雨，年平均氣溫20.4℃，年平均相對濕度爲 88%，年平均雨量約爲 3000mm。區內天然植群以樟科、殼斗科植物爲主，天然闊葉林之喬木層以鋸葉長尾栲佔優勢，其他尚有紅楠、黃杞、木薑子、香楠等。此外，曾遭人爲開發之哈盆溪河谷兩岸地區，以五節芒爲主要植群，散生先驅樹種，造林地則以柳杉、楓香、琉球松爲主。

如圖 1 所示，於試驗區內已設置兩個試驗集水區，做爲研究水文循環、養分循環等過程與機制的試驗地。1 號試驗集水區爲本論文的研究對象，面積爲37.98公頃，集水區周圍形狀類似三角形，依據五千分之一地形圖其溪流屬於二級河序(Order-2 stream)(夏禹九等，1996)。試驗設備包括量水堰工程，自記式水位雨量測定儀器，和坡面側向流量觀測、林內穿落雨、樹冠截留量和幹流量測定、林分冠層位置之氣象因子觀測試驗等設備。爲因應溪流之洪枯流量差異極大的水文特性，試驗集水區量水堰缺口同時設置一寬5m 、深 1m之矩形缺口，和開口爲直角、深 1.5 m之三角形缺口，從1992年12月開始觀測蒐集資料。

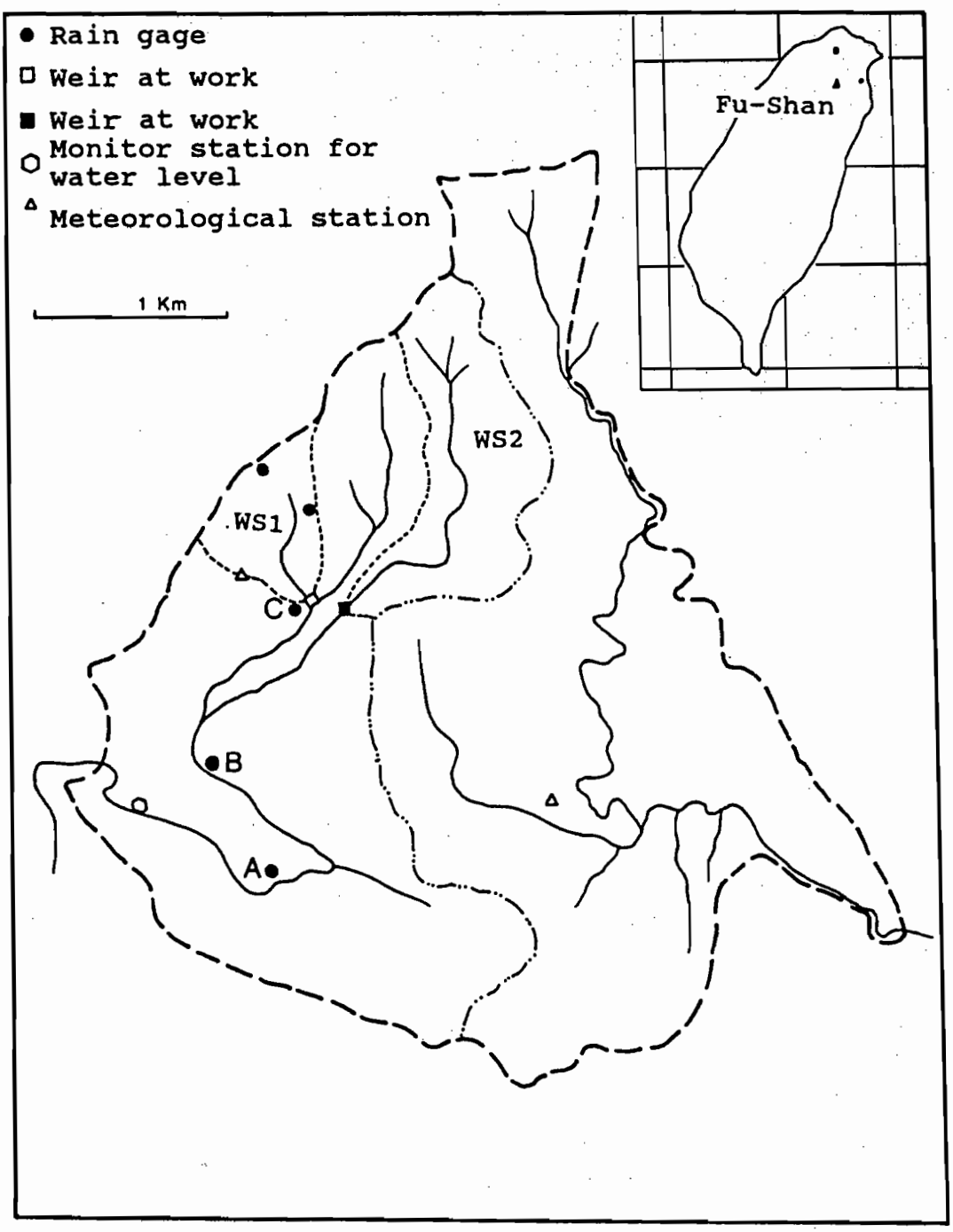



圖 1　福山分所試驗林區域和 1 號試驗集水區

三、研究材料與方法

(一)水文循環模式原理

從集水區水文循環的觀點，水文收支可以表示成：

$$P = Q + ET \pm \triangle S \qquad \text{----------(1)}$$

P ：降水量， Q ：逕流量， ET ：蒸發散量，

△S ：土壤水之貯留（ Storage ）變化量。

(1)式，通常以長期間（年爲單位）表示集水區主要的水文收支項目，無法表示集水區水文循環過程。水文循環模式主要是定量的表示水文循環中各主要成分及其收支情形，其架構可用圖 2 表示(福島、鈴木， 1986)。圖中配置 I 至 V 個水筒（ Tank ），I 與 II 之長方形水筒表示線性水筒，III、IV、V 則屬非線性水筒，巨觀上降雨量 R(t)經過此變換系統，分配成逕流量 Q(t)和蒸發散量 E(t)。

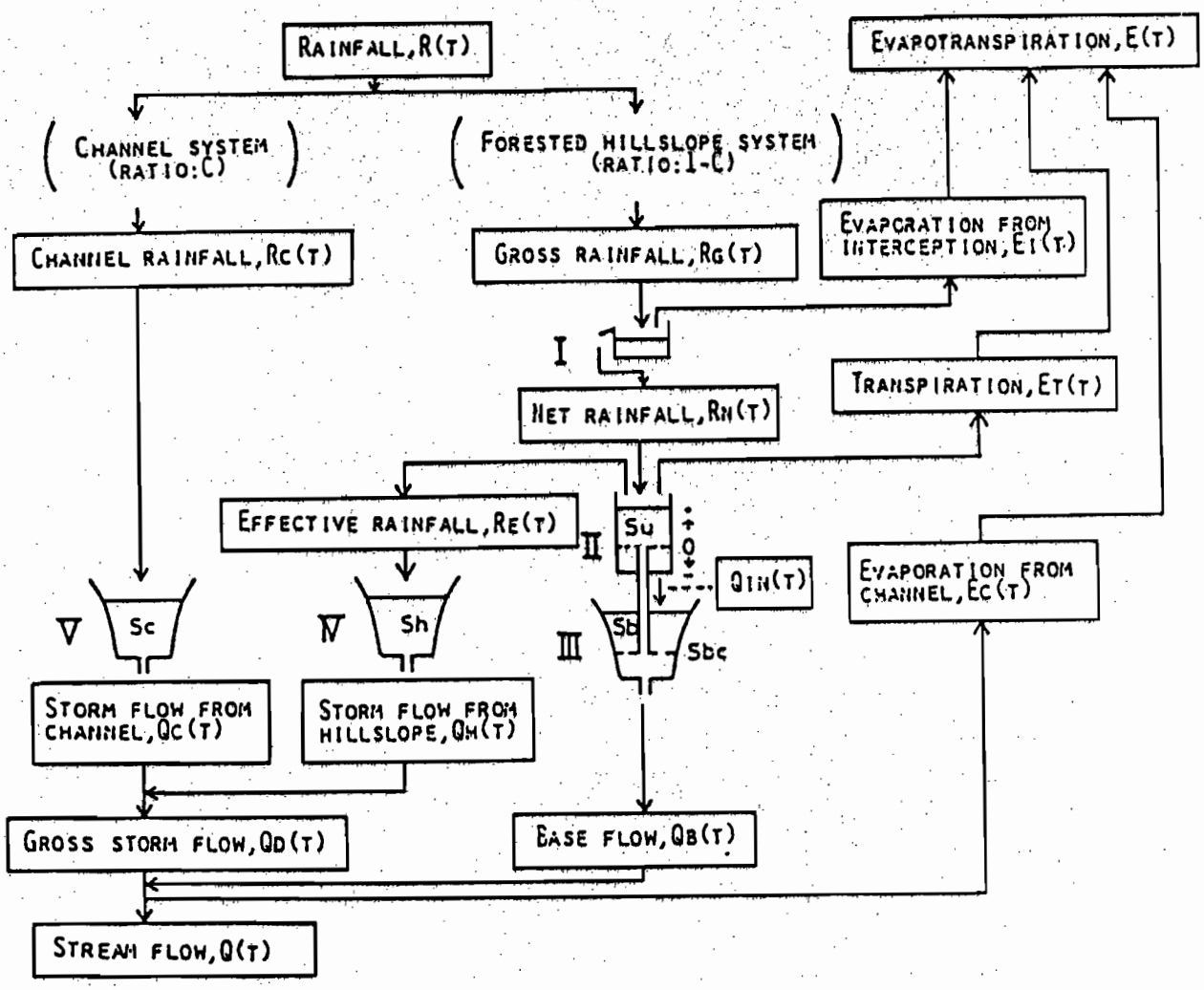



圖 2　集水區水文循環模式(Fukushima Y.and Suzuki M.,1986)

森林集水區分成兩個大系統，其一是非滲透區域的流路系統（以下簡稱流路系），面積比以 C 表示；剩下的部份爲 1 － C ，屬於包含樹冠被覆，具多孔質之森林土壤之林地坡面系統（以下簡稱林地系）。

於流路系，從降雨至逕流產生的變換系，水筒 V 之輸入項爲流路降雨 Rc(t){＝R(t)}，以及貯留水深 Sc ，輸出項爲流路面逕流 Qc(t)，集水區平均狀態之流路系的直接逕流 Qc*(t)，

$$Qc^*(t) = C \cdot Qc(t) \qquad \text{----------(2)}$$

於林地系，樹冠上方的降雨 Rg(t){＝R(t)}，水筒 I 之樹冠部位，一部份截留，一部份爲林內降雨 Rn(t)，進入水筒 II 之變換系，扣除直接逕流之有效降雨 Re(t)，故貯留水深 Su(t)成爲：

$$Su^*(t) = Su(t-1) + Rn(t) - Re(t) \qquad \text{----------(3)}$$

$$Su^{**}(t) = Su^*(t) - Qin(t) \qquad \text{----------(4)}$$

$$Su(t) = Su^{**}(t) - Et(t) \qquad \text{----------(5)}$$

(4)式， Qin(t)爲水筒 II 向水筒 III 移動之土壤水量；(5)式， Et(t)爲全體樹木的蒸散量。

Re(t)加入含有貯留水深 Sh 的水筒IV中，林地系的直接逕流以 Qh(t)表示，集水區內林地系的直接逕流的平均以 Qh*(t)表示，

$$Qh^*(t) = (1 - C) \cdot Qh(t) \qquad \text{----------(6)}$$

全直接逕流 Qd(t)，

$$Qd(t) = Qc^*(t) + Qh^*(t) \qquad \text{----------(7)}$$

另方面，樹冠鬱閉之林地，土壤水分主要經由蒸散作用回到大氣中。蒸散 Et(t)發生在林地表層土壤之水筒 II ，而水筒 II 的下部之深層土壤爲水筒 III ，與水筒 II 以毛管相連結。水筒 III 的水深 Sb(t － 1)加入 Qin(t)，產出基底逕流 Qb(t)。 $S_{bc}$ 爲與抑制蒸散有關之限界貯留水深。

模式中全部逕流水集中於流路後，發生流路面蒸發 Ec(t)，因此， Qb(t)表示在貯留變換過程的值，觀測地點的基底逕流 Qb*(t)爲：

$$Qb^*(t) = (1 - C)Qb(t) - Ec(t) \qquad \text{----------(8)}$$

因而，全逕流 Q(t)

$$Q(t) = Qd(t) + Qb^*(t) \qquad \text{----------(9)}$$

(二)截留蒸發模式

圖 3 乃模式化表示水筒 I 的變換系。樹冠上的降雨 Rg(t)代表樹冠部，貯留水深 $S_1$ 的水筒滿了之後，以比率 $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$，分別向地表部和樹幹部移動。代表樹幹部之水筒，貯留水深 $S_2$ 滿了之後，流到地表面，雨水在兩個水剩餘量之間，以截留蒸發強度 $e_i$(mm/hr)發生蒸發，此值不因季節而變化。 $S_1$ 、 $S_2$ 與林分密度、生長量、樹種、葉面積有關，到達地表之降雨 Rn(t)乃溢過兩水筒之流量的和，最大截留量乃 $S_1$ 與 $S_2$ 的合計值。

截留蒸發 Ei(t)，當 $S_1 + S_2 \geqq e_i$ 時

$$Ei(t) = e_i \qquad \text{----------(10)}$$

當 $e_i > S_1 + S_2 \geqq 0$ 時，則

$$Ei(t) = S_1 + S_2 \qquad \text{----------(11)}$$

集水區的平均截留蒸發 Ei*(t)

$$Ei^*(t) = (1 - C)Ei(t) \qquad \text{----------(12)}$$

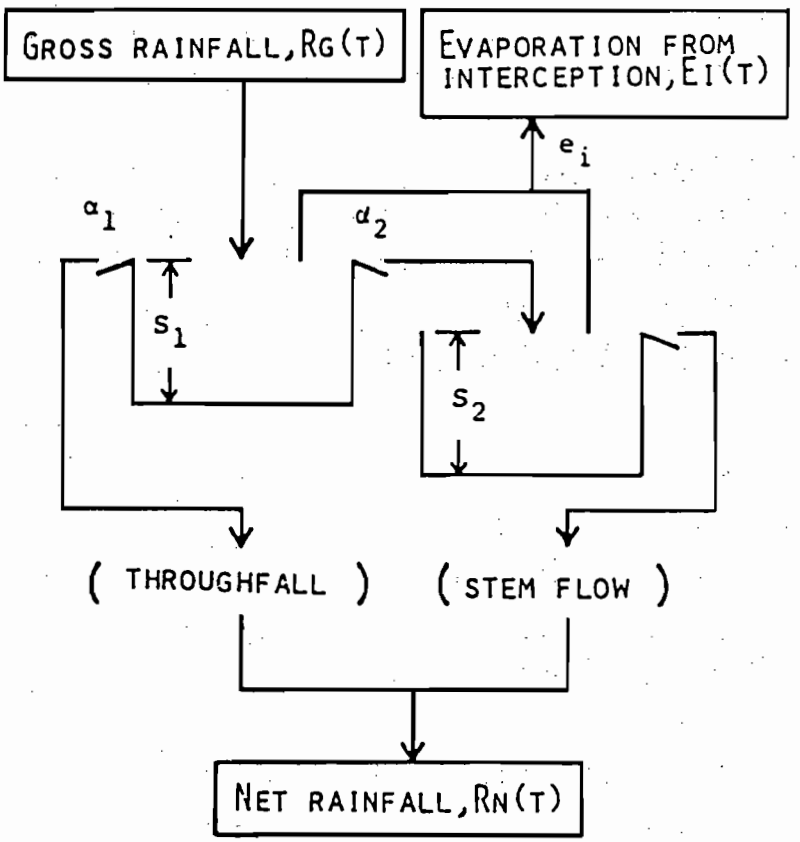



圖 3　樹冠截留蒸發模式(Fukushima Y.and Suzuki M.,1986)

(三)蒸散模式

山地集水區，土壤水分充分時，同一地區的蒸散量季節變化與蒸發相比較，年差異相當小。但是，土壤水分不足時，其將成爲抑制蒸發散的條件，此情形之模式表示如下所述。首先由集水區、樹種，算定月分布之蒸散量潛勢 (potential)。蒸散現象，通常由表層的貯留水深 Su 扣除蒸散潛勢 $e_p(i)$，i 表示 1 ～ 12 月。但是，實際蒸散 Et(t)，因表層水筒Ⅱ的貯留水深 Su 與下層水筒Ⅲ的貯留水深 Sb ，與抑制蒸散的限界水深 $S_{bc}$ ，呈下列三階段的變化，即：

(1)$Su > 0$

$$Et(t) = e_p(i)$$

(2)$Su \leqq 0$ and $Sb > S_{bc}$

$$Et(t) = e_p(i)$$

(3)$Su \leqq 0$ and $Sb \leqq S_{bc}$

$$Et(t) = e_p(i)\frac{Qb(t)}{Qbc}$$

但是， $Qbc = f(S_{bc})$。

(四)貯留量與流量的關係

通常，貯留量 S 與流量 Q 的關係可用 $S = K \cdot Q^p$ 表示，於本水循環模式，需訂定運動係數 K 、 P ，亦即，流路系的 Sc 與 Qc(t)、林地系的 Sh 與 Qh(t)、林地表層部的 Su 與 Qin(t)、以及下層部 Sb 與基底逕流 Qb(t)之水筒 II ～ V 四個變換系的運動係數。

關於直接逕流 Qc(t)與 Qh(t)兩個成分，由雨水流法的結果， $Pc = Ph = 0.6$ ，故而未知參數爲 Kc 與 Kh 。其次，關於 Qin(t)因視爲線性變換系，故 $Pin = 1$ ，而 Kin 爲未知參數。最後，關於基底逕流 Qb(t)， Pb 、 Kb 亦爲未知參數。

以上所述，於應用水文循環模式時，需決定之未知參數有 9 個。又截留蒸發 Ei(t)、蒸散強度 $e_p(i)$、與抑制限界流量 Qbc ，在應用模式之前需先算定。

(五)資料蒐集整理

1.降雨量資料蒐集：雨量計記錄器爲微電腦記錄，間隔時間爲 1min ，記錄蒐集的資料可再整理爲日報表和月報表格式。

2.蒐集 1 號試驗集水區量水堰水位資料：記錄器採微電腦自記式，隔測時間爲 5min，由量水堰缺口之水位觀測，計算逕流量。缺口爲三角形，則水深與流量的關係可用下列公式表示：

$$Q = C \cdot 8/15 \cdot (2g)^{0.5} \cdot \tan(\theta/2) \cdot H^{2.5} \quad \text{----------} \ (13)$$

上式，Q：流量($m^3$/sec)，C：修正係數，g：重力加速度，$\theta$ ：三角形缺口角度，

H：水深(m)

若缺口爲矩形，則水深與流量的關係可用下列公式表示：

$$Q = C \cdot 2/3 \cdot (2g)^{0.5} \cdot B \cdot H^{1.5} \quad \text{----------} \ (14)$$

上式，Q：流量($m^3$/sec)，C：修正係數，g：重力加速度，B：矩形缺口寬度(m)

H：水深(m)

蒐集之水位資料經由公式(13)或公式(14)換算爲流量資料，可再分別整理成日報表和月報表格式。

（六）集水區水文循環模式演算

本研究一方面連續蒐集試驗集水區之降雨、逕流等資料，供探討集水區的水

文特性之外，一方面蒐集與水文循環相關之各個項目的資料。其次，引用福島和鈴木（1986）發表之水文循環模式（HYCYMODEL），並編譯修改完成執行程式。HYCYMODEL 可供計算集水區逕流量之坡面逕流量、河道逕流量、基底流量；蒸發散量之林地和植生的截留蒸發、蒸散、河道蒸發量等，對於森林生態系內水文循環，可得到定量化之整體性的瞭解。HYCYMODEL 根據計算資料可區分爲小時計算單位和日計算單位，相關的參數共有九個。由１號試驗集水區 1993 年、1994 年、1995 年之降雨量與逕流量資料等，進行水文循環演算。

## 四、結果與討論

### （一）１號試驗集水區降雨量和逕流量特性

測定期間之月降雨量分佈情形如圖４所示，在1993年無颱風侵襲，降雨量以4月份爲最高，約爲420mm；1994年7月至10月則有６次颱風侵襲，其中8月份之降雨量最高，約爲1000mm，10月份降雨量亦高達850mm；1995年則無颱風侵襲，以11月份降雨量最高，約爲450mm，其它月份在300mm以下。從上述資料顯示，研究期間之月降雨量因颱風有無侵襲或季節交替等而呈大幅度變動。就臺灣地區之月平均降雨量分佈而言，北部地區 5月至10月的降雨量佔全年降雨量的70％左右，主要是梅雨及颱風侵襲造成大量降雨之故。由測定結果，試驗區域之月降雨量的平均趨勢，7月至10月之間若有颱風侵襲，則將產生降雨量的高峰，除此之外，4月份及11月份爲季節交替期，亦將發生較大的降雨量，而降雨量的時間分布趨勢將反應出集水區的逕流時間分布。

蒐集１號試驗集水區自1993年1月至1995年12月降雨量和月逕流量資料如圖５所示。逕流量乃降雨量經過森林樹冠層截留、集水區蒸發散損失、土壤滲漏損失、土壤孔隙貯存等之後剩餘的水量，在無降雨期間，逕流主要來源爲土壤和母岩孔隙中貯存的水分。逕流量受降雨時間分布的影響，日降雨量大且集中發生於數日之間，此時樹冠截留損失和土壤孔隙貯存已達最大限，故逕流量有較多的趨勢。月逕流量與月降雨量的關係如圖６所示，月份降雨量較多則逕流量呈較多的趨勢，月降雨量較少而逕流量呈較大變動主要受降雨時間分布的影響，降雨量較少之月份其逕流率反而較高，主要是逕流來自土壤孔隙貯存或是母岩裂隙貯存之水分，這些水分可能是當月份之前個月的降雨所供給。探討集水區水文收支，通常以水文年當做區分年收支的準則，其與一般曆年之區分不一定相同，水文年的區分通常係以地中的水量貯存爲最低時當做一年的開始。理想的水文年的決定，係著眼於使不同年度間的土壤水分貯存變化量減爲最小（夏禹九、林淵霖，1981）。

從 1993年1月至1995年12月之降雨量及逕流量資料，1993年總降雨量爲3001.0mm，總逕流量爲1540.4mm，逕流率爲51.3%，1994年總降雨量爲4915.0mm，總逕流量爲2753.6mm，逕流率爲56.0%，1995年總降雨量爲2849.0mm，總逕流量爲1340.3mm，逕流率爲47.0%。就月逕流率而言，通常在冬季期間，由於日降雨量值分布較均勻，因此有較高的逕流率。另外，依日曆來區分各個期間之水文量的結果，例如在12月份較多的降雨量的情況下，將影響次年的１月份的逕流量。

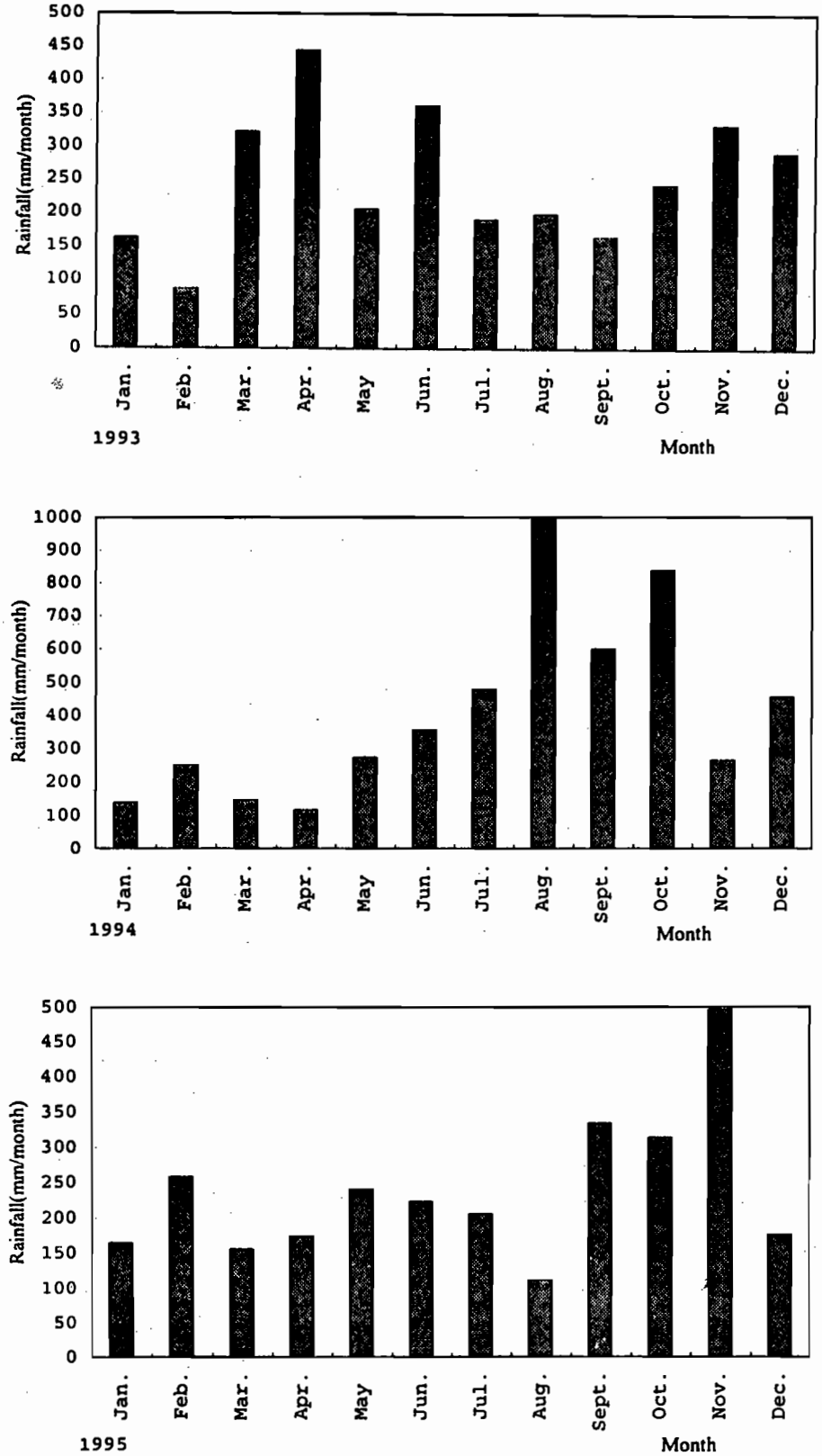



圖4　福山1號試驗集水區1993年至1995年月降雨量分布

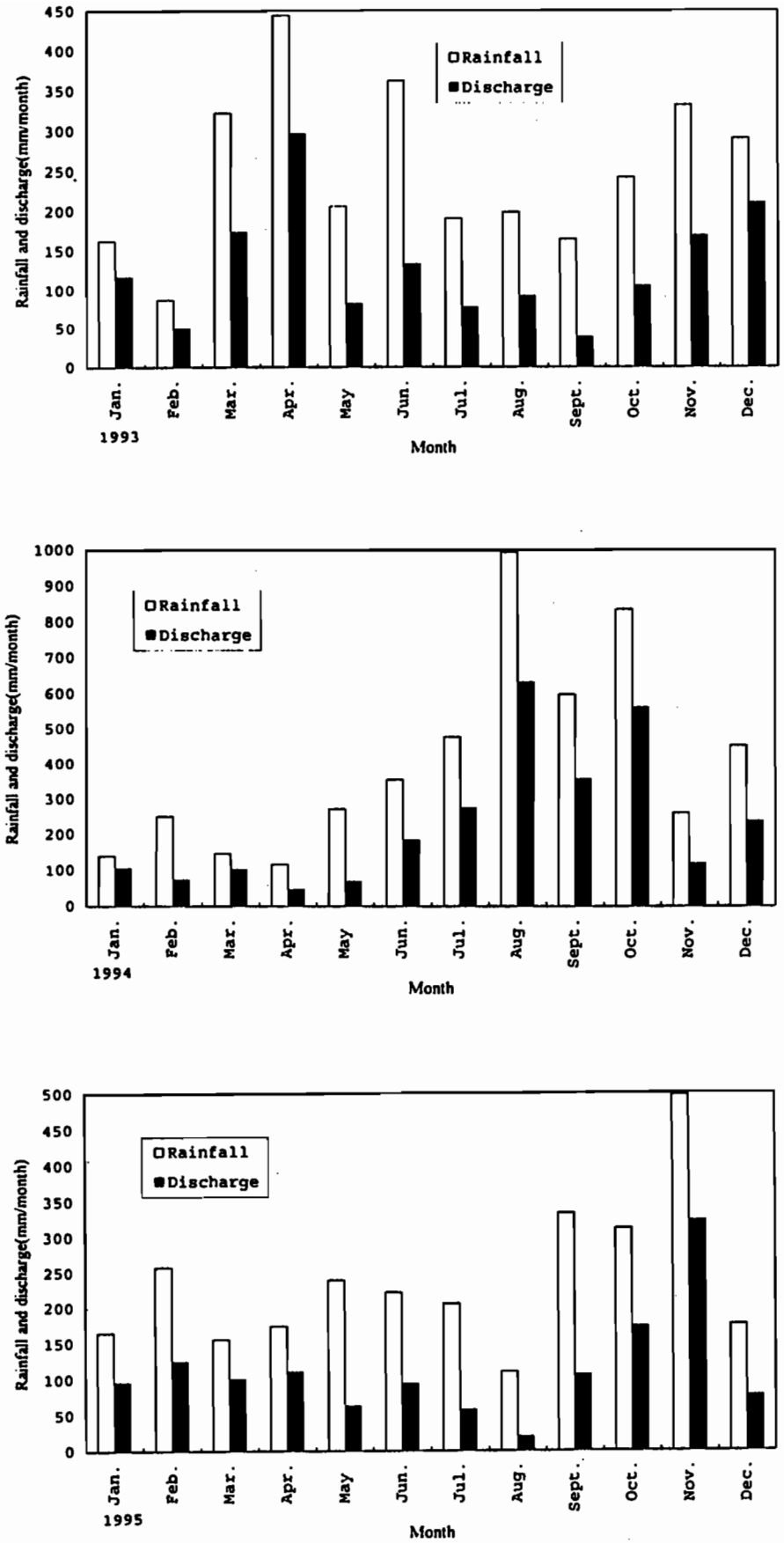



圖5　福山1號試驗集水區年至年月降雨量與月逕流量

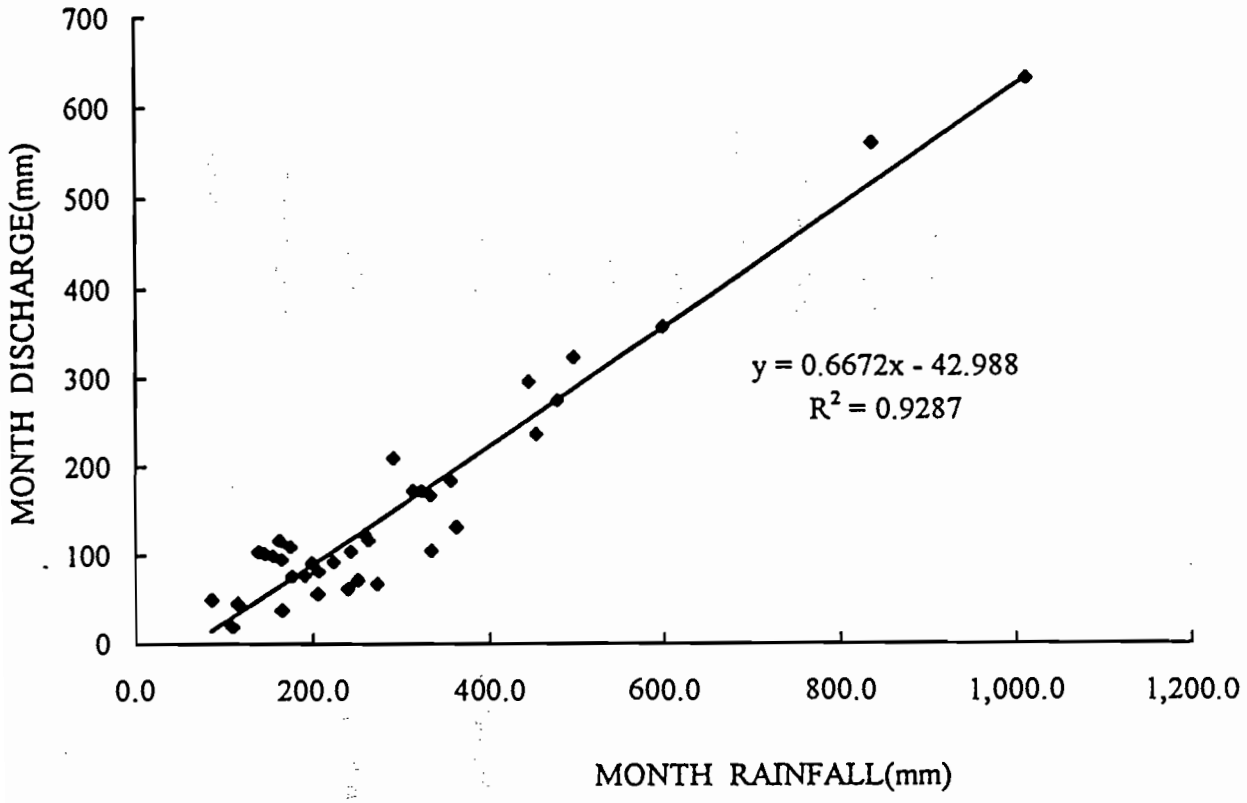



圖6　福山1號試驗集水區月逕流量與月降與雨量之關係

由(1) 式之水收支計算公式，在忽略土壤水分貯存變化量的條件下，1993年的蒸發散損失爲1460.6mm，1994年的蒸發散損失爲2161.4mm，1995年的蒸發散損失爲1508.7mm。從三年的觀測資料比較，其蒸發散損失量有較大差距。在1994年７月至10月有多次颱風侵襲，因颱風刮除部份冠層，造成葉面積指數降低，將減少蒸散損失，而林地因冠層疏開增加輻射能收支，蒸發量將增加。Bosch等（1982）根據世界各地94個試驗集水區的試驗結果指出，砍伐森林將造成年逕流量增加，此乃是蒸散量減少之故，估計每改變10%的森林被覆，闊葉樹林分平均每年將產生25mm的逕流改變量，針葉樹林分平均每年將產生40mm的逕流改變量。服部（1983）指出，檜木林分的年蒸發量約爲147.5mm～448.4mm，約爲林外蒸發量的30%，若對31年生之檜木疏伐，葉面積從5.7ha/ha減爲4.3ha/ha，則林地面蒸發量比疏伐前估計每年增加33mm，然而蒸散量估計減少150mm，由於蒸散量減少，故逕流量將增加。夏禹九等(1982)指出，森林皆伐後第一年增加之年逕流量高達448mm，其中90%是發生在濕季期間，其中大部份原屬於樹冠截留降水的部份。由上述資料可知，林分疏伐或皆伐之後，將減少蒸發散損失進而增加逕流量。就福山之林況而言，1994年颱風侵襲之前，全林分的葉面積指數爲8.4(林國銓等，1994)，颱風侵襲之後葉面積指數降爲4.0(林登秋，未發表)，颱風侵襲對冠層的作用，短時間將減少部份蒸發散損失而增加逕流量，而福山之林分生長勢能相當快，在幾個月內將可恢復原來冠層面貌，因此颱風對於林分之蒸發散的影響應不大。

因此，以1993年、1994年降雨量和逕流量的觀測資料推估之蒸發散損失，相差達700mm左右，遠超過颱風侵襲對冠層的疏開致使逕流量增加的影響，因此，集水區之屬於基底流的滲流損失在估算蒸發散量正確與否相當重要。

關於蒸發散損失量，蒸發散損失包括樹冠截留蒸發，植物體的蒸發和蒸散，林床面（包括溪流）的蒸發等三大部份。一地區之降雨量的多寡可反應出氣候濕潤情況，而氣候濕潤情況反應出蒸發散損失，年降水量超過800mm時，蒸發散因林分條件、氣象條件而呈較大的範圍變動，熱帶、亞熱帶林的年蒸發散量超過1000mm的情況相當多，最大值可達1750mm，大約是年降水量的50%～90%(鈴木，1993）。依福山地區的氣候，屬於溫暖重濕型，夏季炎熱潮濕，假設年土壤水貯存變化量維持在不變的情況下，上述結果可供試驗區估算蒸發散損失量的參考。

（二）集水區水文循環分析

其次，研討水文循環模式，供探討集水區內水文循環過程，並計算各個主要環節的量。茲引用水文循環模式－HYCYMODEL（福島、鈴木，1986）。HYCYMODEL可供計算集水區逕流量之坡面逕流量、河道逕流量、基底流量；蒸發散量之林地和植生的截留蒸發、蒸散、河道蒸發；以及土壤水分貯存變化量等，對於森林生態系內水文循環，可得到定量化之整體性的瞭解。HYCYMODEL根據計算資料可區分爲小時計算單位和日計算單位，相關的參數共有９個。

由前述之福山１號試驗集水區1993年、1994年、和1995年的降雨量與逕流量資料，經HYCYMODEL演算結果如表１所示，1993年、1994年、和1995年的蒸發散損失分別約爲1127mm、1180mm、和1118mm，此稍高於由森林輻射能收支估算之水分損失值1000mm(夏禹九，尚未發表)，然而低於由集水區水文收支計算之蒸發散損失值，而雨量的多寡則反應在逕流量值的變動。福山地區1993年無颱風侵襲，全年亦無極端之降雨量發生，而1994年有６次颱風侵襲，林分冠層受到干擾造成對蒸發散損失的影響尚無法定量，且以日爲計算單位，將無法表現短時間暴雨形成之逕流的特性。由HYCYMODEL演算結果，因降雨量的時間分布等的影響，實測值與計算值往往呈較大差距，全年平均日相對誤差達35％，且暴雨發生時逕流量計算值偏低，然而退水時之逕流量計算值則偏高，此亦可說明上游集水區暴雨時溪流之逕流迅速反應的現象。

（三）實測值與計算值之比較

經由實測資料分析，直接逕流量實測值與計算值的比較，如表２所示，實測值與計算值相對誤差在10％以下，水文模式演算結果的適合性尚佳，然而基底逕流量之實測值與計算值差距較大，1993年和1995基底逕流量之實測值與計算值相差達400mm左右，尤其是1994年，因多次颱風侵襲造成降雨量大增，基底逕流量之實測值與計算值相差達1000mm左右，由蒸發散損失估算的結果可知，本試驗集水區之總逕流量實測值與計算值差距相當大的主要原因，是基底逕流量之實測值誤差相當大的原因所造成，其爲造成實測值與計算值差距相當大的主要原因。

關於水文循環模式演算之參數，首先引用自相關研究報告，並參酌試驗集水區的特性而訂定之。水文循環模式演算過程中之固定參數（Fixed parameter）需由現場實測資料決定，而控制參數（Controllable parameter）則需考慮現場之逕流過

程現象而決定之。因應本省特殊的降雨條件，試驗集水區暴雨時逕流歷線上升段可用運動波逕流模式（Kinematic wave runoff model）予以描述，然而退水段的適合性差（陳明杰，1986），HYCYMODEL基本上是用貯留函數法（Storage function method）描述降雨和逕流過程，參數值的訂定，有待累積更多的資料研討之。另外，樹冠最大截留量，幹流量，林內降雨量，土壤有效孔隙深度，土壤滲透性等相關參數，亦需由現場實測資料訂定之。

表1　福山1號試驗集水區1993年、1994年、1995年計算值之逕流量、蒸發散損失、直接逕流量、基底流量 (單位：mm)

| | Qo | Qc | EV | EI | ET | QD | QB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1993年 | 1540.8 | 1867.1 | 1126.8 | 480.8 | 669.9 | 289.9 | 1577.3 |
| 1994年 | 2753.6 | 3687.9 | 1179.9 | 536.8 | 669.9 | 1129.8 | 2558.2 |
| 1995年 | 1342.9 | 1749.4 | 1118.3 | 475.3 | 666.5 | 343.5 | 1405.9 |

註：Qo：觀測逕流量　Qc：計算逕流量　EV：蒸發散損失量
EI：截留蒸發量　ET：蒸散量　QD：直接逕流量
QB：基底流量

表2　福山1號集水區直接逕流量、基底逕流量計算值與實測值之比較

單位：mm

| | 直接逕流量 | | 基底逕流量 | |
|---|---|---|---|---|
| | 實測值 | 計算值 | 實測值 | 計算值 |
| 1993年 | 278.5 | 289.9 | 1172.5 | 1577.3 |
| 1994年 | 1265.3 | 1129.8 | 1487.2 | 2558.2 |
| 1995年 | 353.2 | 343.5 | 990.8 | 1405.9 |

## 五、結論

本論文以探討森林生態系中水文收支和水文循環結構爲主，從雨量站的設置、集水區量水堰的規劃設計、和自記式水位雨量計的設置等，進行基本資料蒐集。歷經1993年和1995年沒有颱風侵襲，年降雨量分別爲3001mm和2849mm，月份最大降雨量分別發生在四月和十一月；而1994年則有六次颱風侵襲，致使發生年降雨量達4915mm、八月份降雨量達1000mm的情形，研究過程之颱風與否和降雨分布的情形，在長期生態系研究過程，此爲短時間變動的現象，尚無法供說明

長時間對生態系的影響。其次，在觀測及資料蒐集方面，除了試驗集水區的降雨量和逕流量的觀測已相當完備之外，其他如林內降雨量分配的測定、土壤水分貯存量變動的測定等，仍尚欠缺。

本研究嘗試引用一水文模式供計算水文循環中各環節量的分配，經初步演算結果，非暴雨期間模式演算結果與實測值的適合性尚佳，1號試驗集水區的蒸發散損失三年平均值約爲1140mm，年直接逕流量值因年降雨量分布呈極大的變動，約佔年降雨量的9.7%～23.0%，年基底逕流量約佔年降雨量的50.0%～52.0%，1號試驗集水區量水堰的滲流損失約爲400mm～1000mm，致使年總逕流量的計算值大於實測值甚多。目前，水文模式演算中各個參數，先引用集水區條件相似的坪林試驗集水區的結果，然而水文模式中各個參數的訂定，仍需藉由實測資料，才能反應試驗區域的水文特性。

## 六、參考文獻


1. 夏禹九、黃正良、陳明杰（1996）福山試驗集水區量水堰之設計－分段複式量水堰，臺灣林業科學 11(2)：113～122。
2. 夏禹九、楊炳炎、金恆鑣、漆陞忠（1982）皆伐作業對蓮華池試驗集水區溪流量的影響，林業試驗所研究報告第381號，17頁。
3. 夏禹九、林淵霖（1981）森林集水區水文年之選擇，林業試驗所試驗報告第353號，15頁。
4. 夏禹九（1982）蒸發散－Penman公式之推演，中華水土保持學報 13(1/2)：193～201。
5. 陳明杰（1987）臺灣中部森林集水區水文歷線演算方法之研究，臺大實驗林研究報告 1(4)：55～83。
6. 陳明杰（1991）試驗集水區基底逕流遞減特性之研究，臺大實驗林研究報告 5(4)：115～123。
7. 劉棠瑞、蘇鴻傑（1983）森林植物生態學，國立編譯館。
8. 中野秀章（1971）森林伐採および伐跡地の植被變化が流出に及ぼす影響，林業試驗場研究報告 240：1～251。
9. 服部重昭（1983)ヒノキ林における地面蒸發量の季節變化，日林誌 65(6)：102～115。
10. 鈴木雅一（1985）短期水收支法による森林流域からの蒸發散量推定，日林誌 67(4)：115～125。
11. 鈴木雅一、加藤博之、谷誠、福鳥義宏（1979）桐生試驗地における樹冠通過雨量，樹幹流下量，遮斷量の研究（Ⅰ）樹冠通過雨量と樹幹流下量について，日林誌 61(6)：202～210。
12. 鈴木雅一、加藤博之、谷誠、福鳥義宏（1979）桐生試驗地における樹冠通過雨量，樹幹流下量，遮斷量の研究（Ⅱ）遮斷量の解析，日林誌 61(11)：391～398。

13. 鈴木雅一（ 1993 ）森林水文學（塚本良則編），文永堂， pp.91 ～ 102 。

14. 福鳥義宏、鈴木雅一（ 1986 ）山地流域を對象とした水循環モデル提示と桐生流域の 10 年連續日・時間記錄への適用，京大演報 57 ： 162 ～ 185 。

15. Bosch, J.M. and Hewlett, J.D. (1982) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. J. of Hydrology 55:3-23.

# 鹽脅迫對南方主要造林樹種生理特性的影響

曹福亮 張往祥 方升佐

摘 要：

通過盆栽試驗，作者對我國南方主要造林樹種杉木、馬尾松、銀杏、火炬松、中山杉、側柏和刺槐苗斯的耐鹽能力進行了研究。鹽處理水平爲 4 種： CK （ 0.0 %）、 A （ 0.1 %）、 B （ 0.3 %）和 C （ 0.5 ）。測定指標爲：葉片中 $K^+$、 $Na^+$的累積量、 Pro 和葉綠素含量、 SOD 活性水勢 MDA 含量、高生長和存活率。研究結果表明：①隨著鹽濃度的提高和處理時間的延長，各種葉片中 $Na^+$濃度明顯上升，但 $K^+$濃度變化不大。在 C 水平下， 7 個數種葉片中 $Na^+$的含量平均較 CK 高出 577.6 %，最高達 3285.4 %；在 B 水平下，刺槐、側柏、杉木和中山杉葉片中 $Na^+$含量較 CK 分別高出 18.5 %、 132 %、 811.6 %和 722.5 %;在 A 水平下，刺槐、側柏、杉木和中山杉葉片中 $Na^+$的含量分別比 CK 高出 7.1 %、 40.0 %、 142.0 %和 239.0 %。②隨著鹽濃度的提高和峙間的推移，各樹種葉片中脯氨酸（ Pro ）含量均呈上升趨勢，而葉綠素含量呈下降趨勢。其中在 C 水平下，刺槐的 Pro 含量提高最小，較 C K僅高出 9.7 %，銀杏上升幅度最大，高出對照 226.7 %；與 CK 相比，刺槐和銀杏片中的葉綠素含量分別下降了 9.3 %和 41.1 %。③隨著鹽分濃度提高及時間的延長，各樹種的水勢絕對值均呈上升趨勢，而 SOD 活性和 MDA 含量變化規律不明顯。④鹽濃度高低和作用時間長短對 7 個樹種的生長和成活率有顯著影響。在鹽濃度爲 0.3 %時，刺槐、側柏和火炬松的成活率爲 100 %，銀杏爲 86.7 %，而馬尾松、杉木和側柏則分別降低了 58.8 %和 65.7 %。在鹽濃度爲 0.5 %的處理中，僅刺槐的成活率爲 100 %，但生長量極低，其它 6 個樹種大部分死亡。

關鍵詞：南方主要造林樹種、鹽脅迫、苗木生理特性。

# EFFECT OF SALT STRESS ON PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SEEDLINGS OF SEVEN TREE SPECIES IN SOUTHERN CHINA

Fu - Liang Cao Wang - Xiang Zhang Sheng - Zuo Fang

**Abstract**： The puropse of the study was to investigate the mechanism of tolerance to salt stress for some main tree species and finally select suitable tree species for farmers to establish various plantations in the costal area in southern China.

By pot culture in greenhouse for seven tree species, chinese - fir (*Cunninghamia lanlceolata ( lamb ) Hook.*), maidenhair tree ( *Ginkgo biloba L.* ), masson pine(*Pinus*

*massoniana* Lamb.), Loblolly pine (*Pinus taeda L.)* locust tree *(Robinia pseudoacacia L.)* › Chinese arborvitae *(Platycladis proemtalis L.).* › together with four levels of salinity treatments, CK (0. 0 % ), A (0. 1 %) › B (0. 3 % ), and C (0. 5 % ) of NaCl, some physiological parameters such as $Na^+$ and $K^+$ concentration, free proline content, leaf water potential, chlorophyl content, SOD activity and MDA in leaves, and survial rate of seedlings were investigated. The results obtained by the experiment indicated that ( 1 )high salt content and/or long period of treatment caused $Na^+$ , free proling, and absolute value of water potential increase, meanwhile chlorophyl content, SOD activity, and survival rate of seedlings to decrease and (2)there were no remarkable difference concerning $K^+$ and MDA content among the tree species studied - The tree species were classif ied into three sorts of tolerances to salt stree. Type 1 species *Ginkgo biloba L. and Robinia pseudoacacia* L. were resistant to salt strees (salinity between 0. 3 - 0. 5 % ) Type 2 trees, *Platycladus orientalis* L. and *Pinus taeda* L. , were moderately tolerrant to salt stress ( salinity bteween 0. 1 - 0. 3 %) Type 3 species *Cunninghamia lanceolata ( lamb* ) Hook. were intolerant to salt stress(salinity of less than 0 . 1 % ).

**Key words** : Salt stress, physiological characteristics, seedlings of main tree species.

# 福山試驗林的營養循環研究(1993-1996)

王立志[1] 金恆鑣[2] 夏禹九[3] 洪富文[2] 林國銓[2] 林登秋[4]

摘　要：

本營養循環計畫爲"福山長期生態研究"之一子題，設立於 1992 年。主要目的在運用小集水區研究方式定量各種營養物質於此一亞熱帶闊葉森林生態系統內的聚積與流轉。試驗集水區內長期研究包括三大部份：一爲觀測隨生物活動有關之養分及有機物質的轉變(如生物量聚集、枯落物生產與分解及根群吸收)；二爲水文氣象觀測與能量收支(如降水、林冠截留、蒸發散、水文路徑及溪水流量)；三爲隨水文狀況改變之營養物質變化(如酸雨沉降、林冠交互作用、土壤入滲、地表下逕流及溪水輸出)。 1993-1996 年結果顯示颱風對福山森林生態系的影響甚鉅。生質量方面研究顯示福山建造期與成熟期之森林生物量分別爲 197 與 290 Mg/ha，而有機物及主要營養多聚積於木本植物部份。然 1994 年提姆颱風嚴重破壞林冠結構，使葉面積指數(LAI)降低 46%，而同年後五次颱風更進一步降低 26%的葉面積指數，因而使林下枯落物年掉落量較無颱風年(1993)之量增加一倍。水文研究結果顯示福山溪流年逕流比率約爲 50%，而颱風暴雨分別佔年降雨量之 46% (1994)、 20% (1996)及 0% (1993, 1995)。而集水區降水輸入/溪水輸出之營養收支結果則顯示，除 K 與 N 外，大部分營養物如 $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $SO_4^{2-}$, 及 $PO_4^{3-}$皆呈流失現象。而颱風年之溪水流失量則更大。此四年結果顯示福山氣候環境變異極大，尤受颱風影響。進一步長期生態研究與監測，將有助於了解颱風對此一亞熱帶闊葉林生態系的結構與功能動態變化的影響。

1. 國立臺灣大學　森林學系
Department. of Forestry, National Taiwan University.
2. 臺灣省林業試驗所　研究員
Taiwan Forestry Research Institute.
3. 國立東華大學　自然資源管理學研究所
Graduate School of Natural Resources Management, National Dong-Hua University.
4. 國立彰化師範大學　地理學系
Department of Geography, National Chang-Hua University of Education.

# Nutrient Cycling Study in Fushan Experimental Forest (1993-1996)

L. J. Wang[1], H. B. King[2], Y. J. Hsia[3], F. W. Horng[2],
K. C. Lin[2] and Teng-Chiu Lin[4]

Abstract :

A long term study initiated at the Fushan Experimental Forest, Ilan County, Taiwan in 1992, provides baseline data on the hydrological, nutrient, and energy budgets of this moist, mixed evergreen hardwood forest. The response of this forest ecosystem to natural disturbances, mainly caused by typhoons, and acid deposition are being evaluated. Two experimental watersheds, FS1 (38 ha) and FS2 (94 ha) have been gauged. Bulk precipitation, throughfall and flow integrated stream water samples are taken on a weekly basis and analyzed for their constituents. Within the FS1, above-canopy meteorological parameters have been monitored allowing energy flux calculations, as well as providing background environmental conditions for canopy-level studies.

Annual runoff ratios (ratio between streamflow and precipitation) of FS1 (1993 to 1996) are approximately 50%. Stormflow (quick flow) accounts for about 50% of annual streamflow. Rainfall associated with typhoons accounted for 46% and 20% of annual totals in 1994 and 1996, and 0% in 1993 and 1995, years in which there were no typhoon in this region. The wind associated with typhoon Tim (July 1994) defoliated 46% of the canopy and the following five typhoons that season further defoliated another 27% of the canopy. Canopy recovery was slow taking more than two years. Fractured bedrock around the gauging station at FS1 has resulted in an underestimate of streamflow. Adjusting elemental budgets (1994 and 1995) for deep seepage below the weir indicate that for all elements, except K and N, were being depleted from the watershed. Nutrient inputs and outputs for FS1 were consistently higher in 1994 than in 1995, indicating the important role that typhoons play on nutrient cycle in this forest ecosystem. Comparison of the input/output ratio of nutrients between 1994 and 1995 also indicated that the Fushan forest ecosystem conserved more nutrients in the years without typhoon occurrence.

1. Department. of Forestry, National Taiwan University.
2. Taiwan Forestry Research Institute.
3. Graduate School of Natural Resources Management, National Dong-Hua University.
4. Department of Geography, National Chang-Hua University of Education.

## 前　言

臺灣的生態環境由於近 200 年的開發與利用已受到嚴重的破壞。爲減緩此惡化現象，實有必要積極了解各種生態系統的結構與功能，建立有效的環境生態經營策略。始於 1992 年的"福山長期生態研究"，爲"臺灣長期生態研究網" (Taiwan Ecological Research Network, TERN)的一環，即希望借了解此低海闊葉森林生態系，使我們能更合理的經營臺灣的生態環境。

生態系研究包括生物環境、非生物環境與人類活動間之各種交互作用。亦可略區分爲結構(生產者、消費者與分解者)；功能(能量、水文及營養等循環)及隨時間改變之動態變化。本營養循環研究爲"福山長期生態研究"之一子題。主要在定量各種養分元素在此生態體系中的聚積(pools)與流轉(fluxes) (Likens and Bormman, 1994)。除能了解養分流轉的過程(processes)與機制(mechanism)，面對酸性沉降、土地利用(林業與農業)等環境問題時，並能提供經營資訊。

## 研究方法

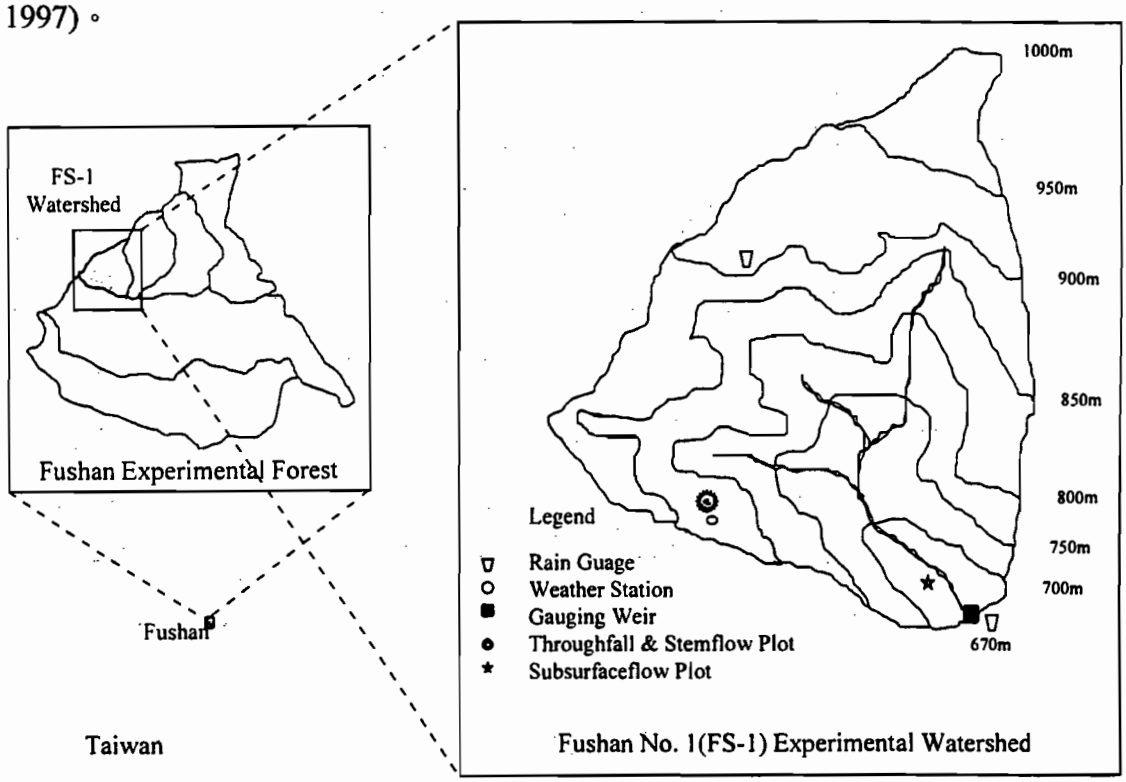
### 研究地描述

福山試驗林位於臺北東南方約四十公里處(24$^0$46'N, 123$^0$4'E ，圖一)，地形上爲臺灣東北部雪山山脈分支，新店溪--南勢溪之上游，海拔高度 500-1300m 。地質上屬新三紀大桶山層，主要岩石以頁岩與砂岩爲主。土壤可區分爲兩類：一爲 Hapludults ，位於較穩定之坡面；二爲 Inceptisols ，位於沖蝕性的坡面(林光清等， 1996)。

氣候屬重濕型氣候。依 1992-1996 之氣象資料顯示福山年平均雨量約 3800 mm ，每年約 220 日降雨天，空氣濕度終年偏高。年平均氣溫約 18.5 ℃，最低氣溫約爲 -1.0 ℃ (表一， Hsia *et al.*, 1997)，屬 Koppen 氏 Cfa 型氣候。夏季盛行西南風，東季盛行東北風 (Hsia *et a.l*, 1997)。

福山森林爲亞熱帶闊葉林。主要由樟科(Lauraceae)與殼斗科(Fagaceae)植物所組成。主要樹種有白校欖(*Castanopsis calesii)*、紅楠型(*Machilus thunbergii*)，長葉木薑子(*Listea acumminata*)及山龍眼(*Helicia formosana)*等(蘇與王， 1987 ；林則桐等， 1995)。葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)約 6-8 間(林國銓等， 1994)，本區植群常受颱風等自然干擾的影響。

福山地區人類活動史始於 200 年前左右，本區至今仍爲原住民的狩獵場所。過去漢人及日人的農墾活動曾對此區植群造成相當程度之干擾(Hsia *et al*, 1997)。



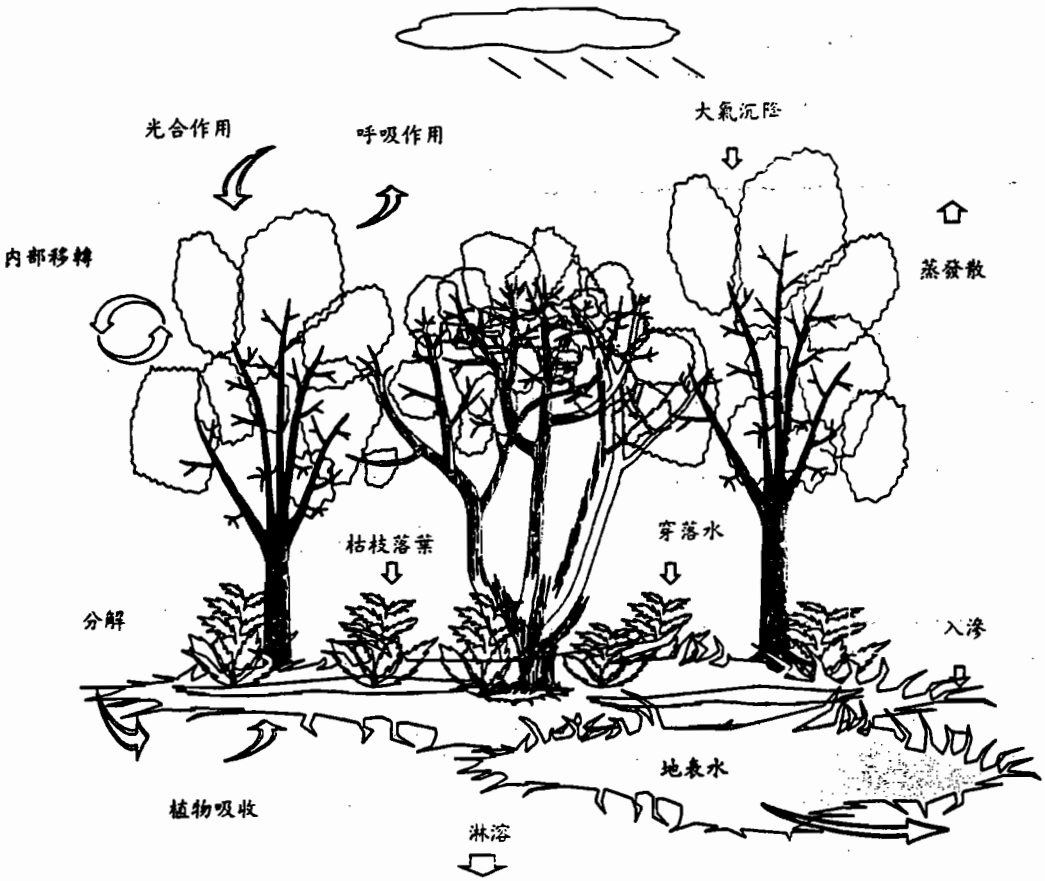

圖一、福山試驗林位置及福山 1 號試驗集水區地形圖

表一、福山試驗林苗圃氣象站 1993-1996 年平均氣象資料 (Hsia *et al*, 1997)

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Annual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mean wind speed (m/s) | 1.6 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.3 | 1.6 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.4 |
| gusty wind speed (m/s) | 11.3 | 11.9 | 15.7 | 12.3 | 12.7 | 10.6 | 36.8 | 28.3 | 25.9 | 24.5 | 17.5 | 10.8 | 36.8 |
| mean air temp. (°C) | 12.0 | 12.1 | 14.5 | 18.0 | 20.2 | 23.4 | 24.3 | 23.9 | 21.8 | 19.1 | 17.0 | 13.3 | 18.3 |
| max, air temp. (°C) | 26.9 | 26.4 | 34.5 | 30.6 | 32.1 | 34.0 | 35.3 | 34.2 | 32.5 | 32.9 | 29.3 | 29.7 | 35.3 |
| min. air temp. (°C) | -1.0 | 1.6 | 2.9 | 6.2 | 10.8 | 15.7 | 18.5 | 16.5 | 9.5 | 8.6 | 3.7 | 1.6 | -1.0 |
| solar irradiance ($MJ/m^2$) | 195 | 195 | 266 | 313 | 365 | 472 | 519 | 518 | 411 | 242 | 186 | 157 | 3841 |
| precipitation (mm) | 130 | 190 | 180 | 260 | 290 | 290 | 410 | 370 | 370 | 490 | 530 | 240 | 3800 |
| rainy day (days) | 19 | 19 | 21 | 20 | 23 | 17 | 16 | 13 | 15 | 18 | 20 | 22 | 223 |

長期監測系統

福山營養循環長期監測系統包括生質與營養觀測、氣象水文觀測及水中營養流轉觀測三大系統(圖二)。生質與營養觀測系統在定量森林生質量與營養(biomass and nutrients)於有機物部分的聚積與分布。並借由永久樣區的設置，長期監測孔隙更新(gap regeneration)之動態變化。氣象水文觀測系統則設置兩處試驗集水區，試驗集水區地形狀況所列如表二，架設林間微氣象觀測塔，定期觀測記錄氣象水文資料，除提供其他研究子題之基本資料外，並進行水文循環、能量收支等研究。水中營養流轉觀測系統則定量雨水、穿落水、土壤水與溪水等文過程組成成分中之水化學變化，以了解其流轉機制，並進行營養收支之研究。




圖二　福山試驗林的營養循環

表二、福山一號(FSWS1)與二號(FSWS2)試驗集水區地形特徵 (Hsia *et al*, 1997)

| Characteristics | FSWS1 | FSWS2 |
|---|---|---|
| Area (A), ha. | 38 | 94 |
| Circumference of Watershed (C), m | 2560 | 4980 |
| Main Stream Length (L), m | 760 | 2060 |
| Mean Watershed Width, (A/L), m | 500 | 460 |
| Form Factor ($A/L^2$) | 0.66 | 0.22 |
| Compactness ($2\sqrt{\pi A}/C$) | 0.85 | 0.69 |
| Average Slope, % | 54 | 58 |
| Maximum Elevation, m | 1000 | 1230 |
| Minimum Elevation, m | 670 | 680 |
| Aspect | SSE | S |

## 結果與討論

福山植群生質量研究顯示建造期森林爲 197 Mg/ha ，成熟期森林則爲 290 Mg/ha 。主要聚積在森林喬木部份(表三，林國銓等， 1994)。至於養分研究顯示 N, P, K, Ca, Mg 等營養亦多聚積於喬木部份(表三，林國銓等， 1996)。而成熟期之主要地上部養分約爲建造期之 1.2-2.5 倍，顯示養分聚積的速率較爲緩慢。

表三、福山試驗林地上部生質量與主要養分布 (林國銓等， 1996)

| Phase | Stratum | Biomass (Mg/ha) | N | P | K | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (kg/ha) | | | | |
| building phase | Tree | 149 | 410 | 23 | 250 | 220 | 120 |
| | Shurb & Herb | 43 | 160 | 12 | 120 | 83 | 50 |
| | Litter Layer | 5 | 71 | 3 | 13 | 40 | 4 |
| | Total | 197 | 640 | 38 | 380 | 340 | 170 |
| mature phase | Tree | 271 | 870 | 60 | 570 | 780 | 180 |
| | Shurb & Herb | 14 | 160 | 6 | 51 | 34 | 14 |
| | Litter Layer | 5 | 79 | 5 | 12 | 29 | 7 |
| | Total | 290 | 1030 | 71 | 630 | 850 | 200 |

颱風造成福山森林嚴重干擾，以 1994 年爲例，林下枯枝落葉量爲 11,677 kg/ha，較無颱風年 5,459 kg/ha (1992)及 5,598 kg/ha (1993) 高出一倍 (表四，林國銓， 1997 ； Horng *et al.*, 1995)。颱風造成的林冠層破壞亦可由葉面積指數(LAI)變化顯示 (圖三， Hsia *et al.*, 1997)，若以 1994 年四月之林冠葉面積指數爲 100 ，1994 年提姆颱風之後， LAI 下降 46%，而同年後五次颱風更進一步使 LAI 下降 26%。至 1996 年底資料顯示 LAI 回復緩慢，並未回復至 1994 年颱風前水準，顯示本森林冠層回恢復較慢。

表四、福山試驗林 1992-1995 年枯枝落葉量變化 (kg/ha/yr)

| Componet | 1992 | 1993 | 1994 |
|---|---|---|---|
| Foliage | 4296 | 4341 | 6945 |
| Large Branches | 723 | 790 | 2780 |
| Small Branches | 46 | 61 | 811 |
| Others | 394 | 406 | 1131 |
| Total | 5459 | 5598 | 11677 |

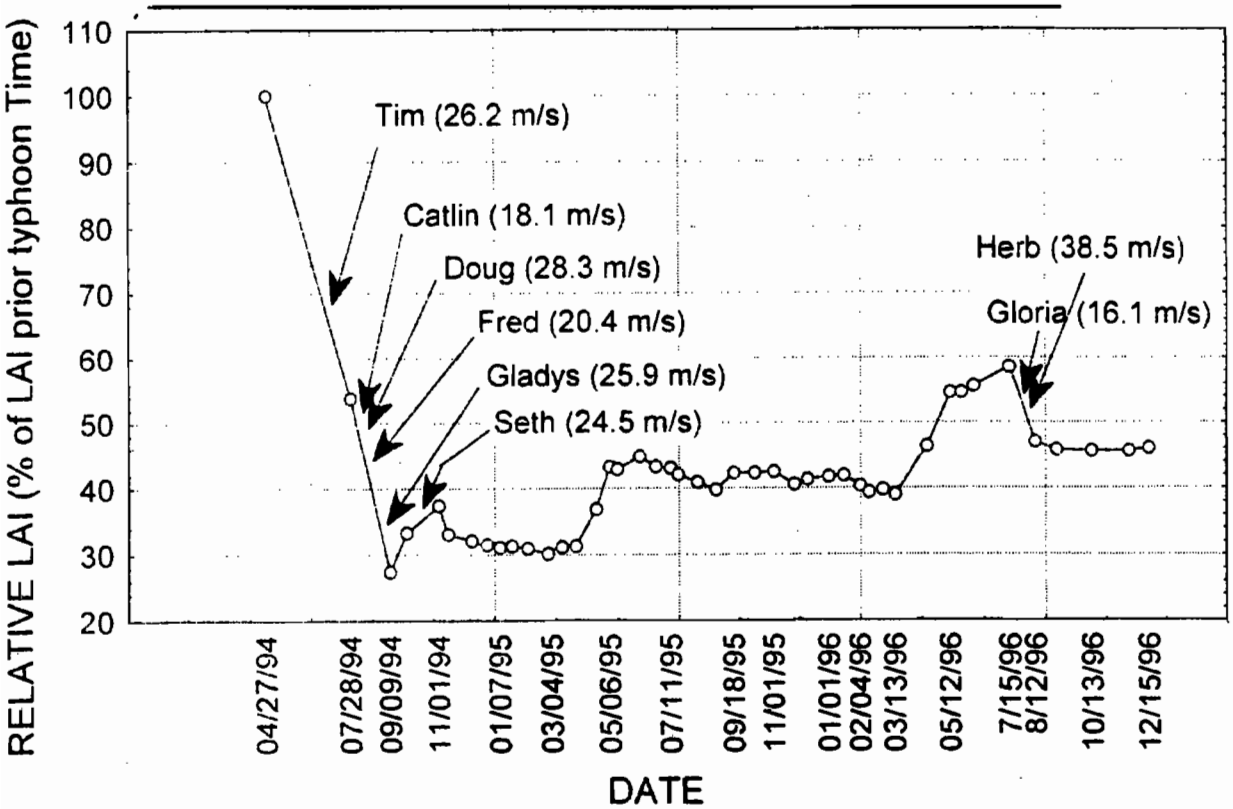
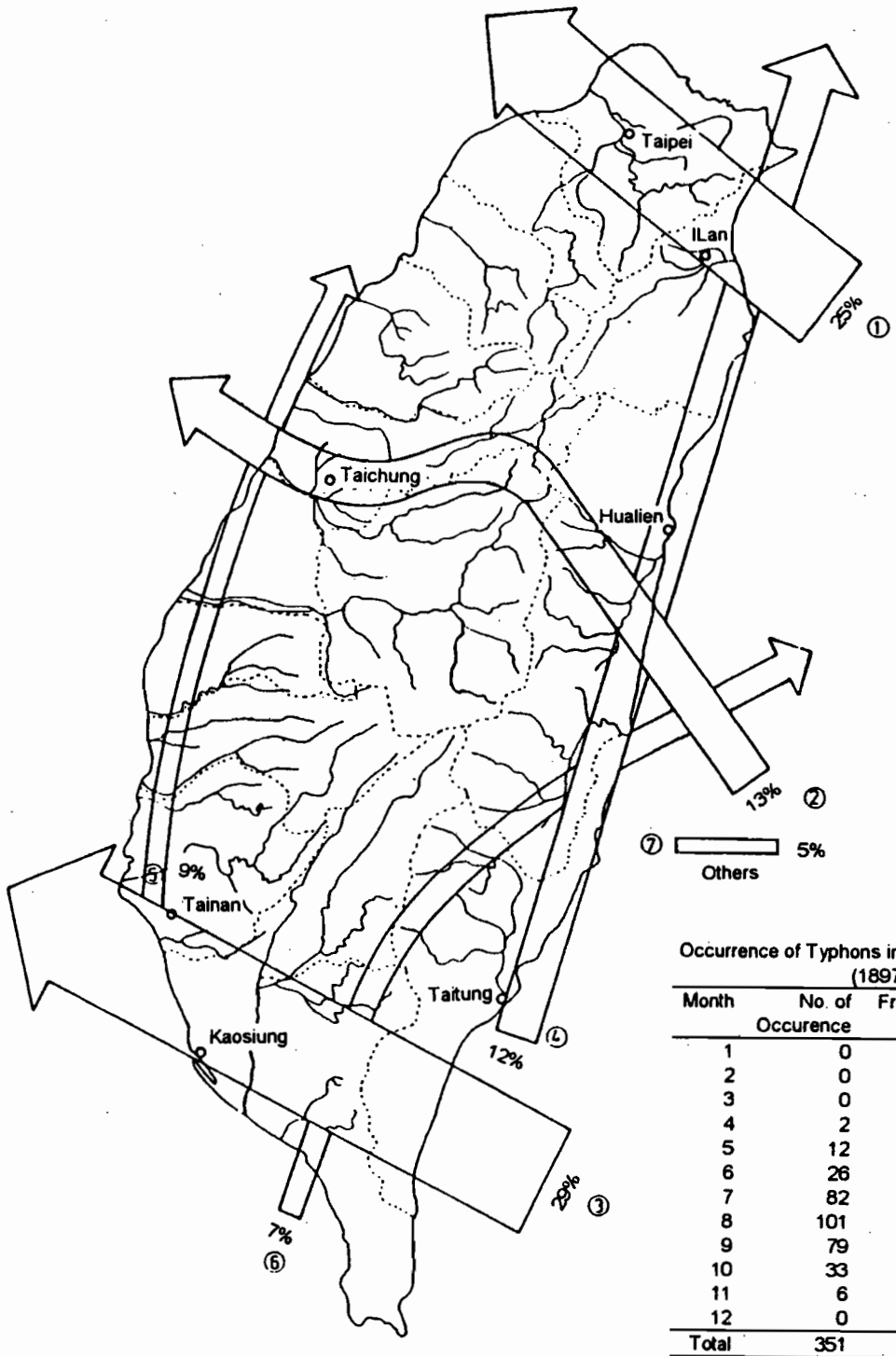



Figure3 The leaf area index of the forest canopy of FS1of the Fushan Experimental Forest.The relative leaf area index is the ratio of readings of an Li-Cor 2000 canopy analyzer with respect to the values on 04/27/1994.

本區生態環境受颱風影響甚大，平均每年 3.5 次颱風會影響福山地區(圖四，中央氣象局， 1996)， 而毀滅性颱風迴歸研究顯示每 8.3 年會發生一次(Mabry *et al*, 1997)。 1993 及 1995 年無颱風侵襲，然 1996 年有六次侵襲記錄，其中有五次颱風降雨量達到 250 mm 以上(表五、 Hsia *et al.*, 1997) 。 1996 年有兩次颱風影響本區，其中強烈颱風賀伯(Herb, July 31, 1996) 降下 775 mm 雨水，使 1996 年年降雨量增加至 4,570 mm 。颱風時降雨分別佔年降雨量的 46% (1994)， 20% (1996) (表六 , Hsia *et al.*, 1997)。 溪水年逕流率約爲 46-50%。暴雨期逕流(storm flow)分別爲年流量的 16% (1993), 49% (1994), 25% (1995), 53% (1995)。其中颱風期暴雨逕流則分別爲年暴雨流量的 70% (1994), 58% (1996), 0% (1993,1995)。顯示暴雨事件對集水區養分動態有極大影響。

表五、 1994 及 1996 年侵襲福山試驗林之颱風特徵 (Hsia *et al*, 1997)

| Year | Name of Typhoon | Total Rainfall mm (P) | Maximum hourly Rainfall, mm | Stormflow mm (Q) | Q/P % | Peak Flow liter/s/ha | Time lag from Peak Rainfall to Peak Flow, hrs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1994 | Tim | 426 | 57 | 139 | 36 | 20 | 134 |
| | Caitlin | 160 | 39 | 21 | 13 | 6 | 74 |
| | Doug | 375 | 41 | 191 | 51 | 16 | 121 |
| | Fred | 344 | 48 | 152 | 44 | 18 | 99 |
| | Claidys | 248 | 86 | 87 | 35 | 37 | 104 |
| | Seth | 719 | 53 | 384 | 53 | 37 | 161 |
| 1996 | Gloria | 106 | 14 | 10 | 10 | 2 | 56 |
| | Herb | 775 | 54 | 477 | 62 | 58 | 131 |




Occurrence of Typhons in Taiwan (1897 - 1996)

| Month | No. of Occurence | Frequency % |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 1 |
| 5 | 12 | 3 |
| 6 | 26 | 7 |
| 7 | 82 | 23 |
| 8 | 101 | 29 |
| 9 | 79 | 23 |
| 10 | 33 | 9 |
| 11 | 6 | 2 |
| 12 | 0 | 0 |
| Total | 351 | 100 |

Figure4 Routes and occurreence time of typhoons in Taiwan.The compiled records span from 1897 to 1996.About 25 % of those typhoons had a direct impact on the Fushan Experimental Forest area.

表六、福山一號集水區於 1994 及 1996 年颱風期間水文特徵 (Hsia *et al*, 1997)

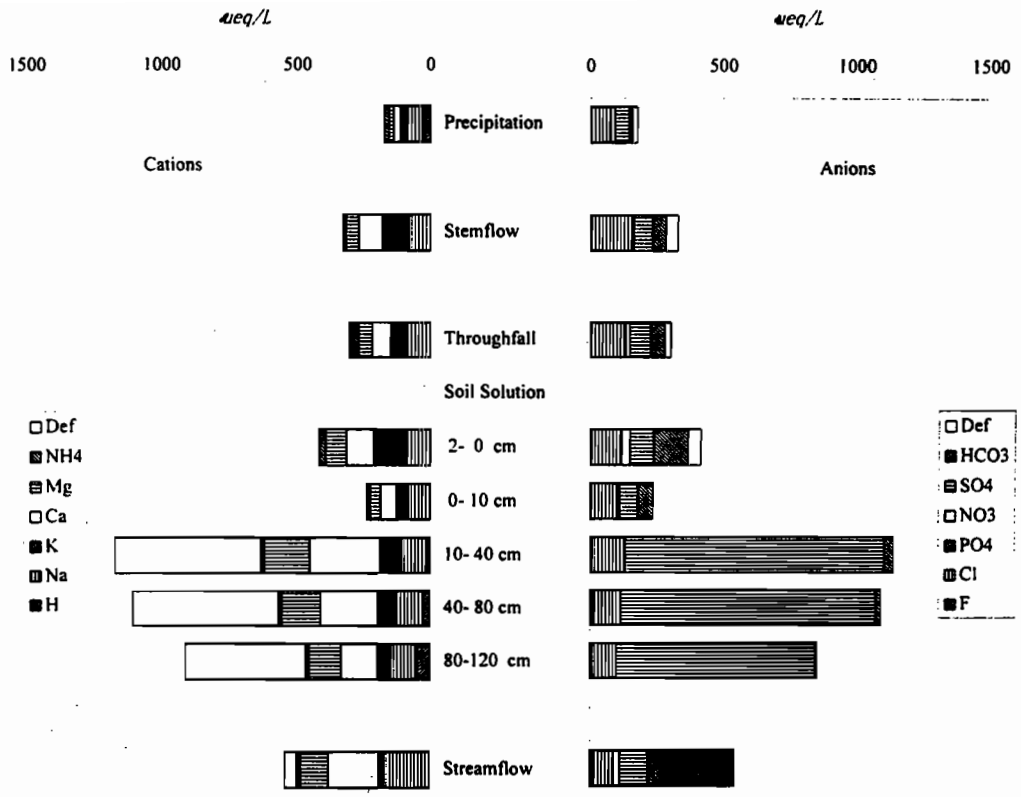
| Year | Rainfall | Streamflow | Storm Flow | Base Flow | Typhoon Rainfall | Typhoon Stormflow |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1993 | 3000 | 1510 | 250 | 1260 | 0.0 | 0 |
| | | (50%)[1] | (16%)[2] | (84%)[2] | | |
| 1994 | 4898 | 2700 | 1330 | 1470 | 2267 | 940 |
| | | (55%)[1] | (49%)[2] | (51%)[2] | (46%)[1] | (70%)[3] |
| 1995 | 2849 | 1310 | 330 | 980 | 0.0 | 0 |
| | | (46%)[1] | (25%)[2] | (75%)[2] | | |
| 1996 | 4567 | 2270 | 1210 | 1060 | 936 | 710 |
| | | (50%)[1] | (53%)[2] | (47%)[2] | (20%)[1] | (58%)[3] |

[1] Figures in parentheses denote percent of the annual total rainfall.

[2] Figures in parentheses denote percent of the annual total streamflow.

[3] Figures in parentheses denote percent of the annual total stormflow.

水化學營養流轉研究顯示當雨水流經森林與土壤而成爲溪流水時，水溶液化學發生連續性改變(圖五， Wang, *et al.*, 1997)。福山的雨水化學受到海洋飛沫的影響以 $Na^+$及 $Cl^-$爲主。當雨水流經森林成爲樹幹截流時， $Na^+$、 $Ca^{2+}$、 $Mg^{2+}$、 $Cl^-$、 $SO_4^{2-}$ 及 $HCO_3^-$ 的濃度增加而使 $K^+$、 $Cl^-$及 $SO_4^{2-}$成爲主要成份，此爲枝葉及樹幹的淋洗作用的結果。至於 $NH_4^+$及 $NO_3^-$濃度的降低，則可能顯示沿著樹幹表皮的吸附現象。與雨水比較，穿落水中的各種化學成分，除 $NO_3^-$外，幾乎皆成顯著增加的趨勢。顯示林冠層枝葉淋洗的現象。自土壤枝葉層下流出的側向水化學組成來看，大部分陰陽離子濃度皆呈增加現象，其中又以 $NH_4^+$、 $PO_4^{3-}$及 $NO_3^-$的增加最爲明顯，顯示林地枝葉層在森林養分循環上佔有重要角色。而由於植群的主動吸收，或是因土壤微生物活動，甚至因可能的土壤吸附，使得自土壤根系層流出的溶液中的各養分濃度皆明顯降低。當水進一步滲入深層土壤時， $SO_4^{2-}$的濃度大幅的增加，因而加速陽離子如 $Na^+$、 $Ca^{2+}$及 $Mg^{2+}$等的淋溶流失。至於溪水化學則以 $Ca^{2+}$、 $Na^+$、 $Mg^{2+}$、 $SO_4^{2-}$及 $HCO_3^-$爲主要離子，顯示此一溪流水的來源主要來自深層的土壤水及地下水，然其水化學亦受到溪流內部過程的影響(Wang, *et al.* ,1997)。




圖五　福山 1 號集水區內不同水文組成水化學離子濃度(μ eq/L)

而集水區降水輸入/溪水輸出之營養收支結果則顯示，除 K 與 N 外，大部分營養物如 Ca, Mg, Na, $SO_4^{2-}$, 及 $PO_4^{3-}$皆呈流失現象(I/O ratio <1，表七)。而颱風年(1994)之溪水流失量則更大，顯示颱風的衝擊。

此四年初步研究結果顯示福山氣候環境變異極大，尤其受到颱風影響。進一步長期生態研究與監測，將有助於了解颱風對此一亞熱帶闊葉林生態系的結構與功能動態變化的影響。

謝誌

本研究之進行承國家科學委員會經費補助，特此致謝!!

表七、福山一號集水區營養收支。(1994 年 3 月至 1995 年 2 月；其中單位以 kg/ha/yr 表示。1994 年各養分年輸出量乘 1.35 ， 1995 年則乘 1.45，以爲修正。假設氯於集水區內之淨收支爲零)。

March 1994 to February, 1995

| | Na | K | Ca | Mg | Cl | $SO_4$-S | $NH_4$-N | $NO_3$-N | Org-N | Inorg-N | Tot-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rainfall Inout | 44 | 14 | 18 | 7 | 92 | 22 | 10 | 6 | | 16 | 16 |
| Throughfall | 50 | 68 | 45 | 17 | 106 | 30 | 11 | 6 | | 17 | |
| Litterfall | | 27 | 68 | 14 | | | | | | 156 | |
| Streamflow Output | 87 | 10 | 120 | 30 | 68 | 31 | 2 | 9 | 3 | 12 | 15 |
| I/O Ratio | 0.50 | 1.43 | 0.15 | 0.24 | 1.35 | 0.72 | 4.50 | 0.63 | | 1.38 | 1.11 |
| Adjusted Output | 117 | 14 | 162 | 41 | 92 | 42 | 3 | 13 | 4 | 16 | 20 |
| Adjusted I/O Ratio | 0.37 | 1.06 | 0.11 | 0.18 | 1.00 | 0.53 | 3.37 | 0.47 | | 1.07 | 0.82 |

March, 1995 to February, 1996

| | Na | K | Ca | Mg | Cl | $SO_4$-S | $NH_4$-N | $NO_3$-N | Org-N | Inorg-N | Tot-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rainfall Inout | 36 | 6 | 19 | 5 | 43 | 16 | 6 | 4 | | 9 | 9 |
| Throughfall | 43 | 60 | 54 | 17 | 81 | 25 | 7 | 2 | | 9 | |
| Litterfall | | 10 | 23 | 5 | | | | | | 54 | |
| Streamflow Output | 42 | 3 | 68 | 17 | 30 | 17 | 1 | 3 | 2 | 3 | 6 |
| I/O Ratio | 0.87 | 2.09 | 0.28 | 0.29 | 1.45 | 0.96 | 7.22 | 1.31 | | 2.64 | 1.64 |
| Adjusted Output | 61 | 5 | 99 | 25 | 43 | 24 | 1 | 4 | 3 | 5 | 8 |
| Adjusted I/O Ratio | 0.66 | 1.44 | 0.19 | 0.19 | 1.00 | 0.65 | 4.98 | 0.91 | | 1.82 | 1.11 |

參考文獻

中央氣象局　1996　氣象年報　中央氣象局

林光清、洪富文、程煒兒、蔣先覺、張雲翔　1996　福山試驗林土壤調查與分類。臺灣林業科學 11(2):159-174 。

林則桐、馬復京、張乃航　1995　福山試驗林的植物社會與天然更新之研究　in 林業試驗所百週年慶學術研討會論文集　pp.:71-81.

林國銓　1997.　福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化. 臺灣林業科學 12(印刷中)

林國銓、洪富文、游漢民、馬復京.　1996　福山試驗林闊葉林生態系地上部養分之聚集與分布.　臺灣林業科學 11(1):29-42.

林國銓, 洪富文, 游漢民, 馬復京.　1994　福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分布.　林業試驗所研究報告季刊 9(4):299-315.

蘇鴻傑、王立志　1988　臺灣北部南勢溪上游集水區之森林植群　臺大實驗林研究報告　2(4):89-100.

Horng, F.W., H.M. Yu, and F.C. Ma　1995　Typhoons of 1994 doubled the annual litter fall of Fu-Shan mixed hardwood forest ecosystem in northeastern, Taiwan.Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 10(4):485-491.

Hsia, Y. J. , H. B. King, F. W. Horng, T. C. Lin, L. J. Wang, K. C. Lin, T.T. Lin and S. P. Hamburg　1997.　Biogeochemistry and Hydrology of a Moist, Subtropical, Mixed Evergreen Forest　Paper presented to the 2nd Asia/Pacific LTER Meeting, March 2-8, Tokyo, Japan.

Likens G.E. and F.H. Bormann. 1994. Biogochemistry of a Forested Ecosystem. 2nd. Springer-Verlag, New York.

Mabry, C., S.P. Hamburg, T.C. Lin, F.W. Horng, H.B. King and Y.J. Hsia.　1997. Typhoon Disturbance and Stand-Level Damage Patterns at a subtropical forest in Taiwan. Biotropica (in press).

Wang, L. J., Y. J. Hsia, H. B. King, R. B. Harrison, C. B. Liou, J. L. Hwong and　T. C. Lin.　1997.　Chemistry Changes in Hydrological Processes of the Fushan Experimental Forest.　Quter. J. Chin. For. (in press).

# 臺灣赤楊林生態系之經營

李明仁[1]

摘　要：

臺灣赤楊爲臺灣之重要先驅樹種，主要分佈於臺灣全省低海拔至 3,000 公尺之河床、溪岸、崩塌地及裸露之跡地，尤以崩塌及裸露地多成臺灣赤楊純林。臺灣赤楊之根部具有共生之放線菌根瘤，可以固定氮素，對林地肥力之保育及生態系養分循環甚爲重要。臺灣赤楊林中可混植其他經濟樹種，如臺灣杉、柳杉等，有利混植之林木之生長。臺灣赤楊林之建造，可採裸根苗或容器苗栽植造林法，或皆伐、留伐天然下種造林法實施之。臺灣赤楊林可生產工業用材，也可生產椙木栽培香菇，或於林中栽培愛玉子等混農林業之方式經營，有利於山村之經濟發展。合理之生態系經營對林地水土保持、養分循環及永續生產甚爲重要。

（關鍵詞）臺灣赤楊、混農林業、生態系經營、固氮作用、養分循環

# Ecosystem Management of Formosan Alder Forest

Ming-Jen Lee

Department of Forest Resources Management, Natl. Chiayi Inst. of Agriculture

Abstract ：

Formosan alder (*Alnus formosana* M.), which possesses symbiotic nitrogen fixation actinorhiza, symbiotically fixes nitrogen, is an effective pioneer species distributed from low to 3,000 m altitude along banks of stream, landslides, and disturbed areas in Taiwan. Especially, Formosan alder developes pure forest on landslides and disturbed sites. Formosan alder is of great importance in the maintenance of forest soil fertility and nutrient cycling of forest ecosystem. Formosan alder forest can foster Taiwania ,Cryptomeria and other tree species. Bare- root planting, ball planting, clear-cutting natural regeneration, or seed-tree natural regeneration can be applied to establish Formosan alder forest. Formosan alder forest can produce industrial roundwood, log wood for shiitake mushroom production, or develope nto agroforestry system by planting with Jelly fig. Rational forest ecosystem management is very important in soil and water conservation, nutrient cycling, as well as sustainable production.

(Key words): *Alnus formosana*, agroforestry,ecosystem management, nitrogen fixation, nutrient cycling.

---

[1] 嘉義農專森林資源管理科

一、臺灣赤楊之地理分佈

臺灣赤楊（ *Alnus formosana* (Burk.) Mak.）又稱臺灣榿木、水柯仔，產於本省低海拔至 3000 公尺之河床、溪岸、崩塌地及裸露之跡地，尤以後者多成純林，爲重要之先驅樹種。本省山胞習稱："山地癈耕，栽植榿木(Iboho)，三年後再耕，土地即軟而勞力亦省"，而且臺灣赤楊具有共生之菌根可以肥沃土壤(劉棠瑞、廖日京， 1970)，由此可知臺灣赤楊能改良林地之土壤性質，並增進土壤肥力。

郭寶章氏(1989)指出，臺灣赤楊爲一落葉性大喬木，樹幹通直，直徑可達 80cm ，爲臺灣特產，亦爲臺灣唯一之一種赤楊類樹種。臺灣赤楊對環境之抵抗力甚強，在臺灣不論山岳、平地、路邊、溪畔、懸崖絕壁，不論乾燥或潮濕，土質肥瘠之條件均能生長。

臺灣赤楊之自然分佈甚廣，自平地溪畔以迄山麓，由海拔 200m 至 2,500m ，而以大甲溪及濁水溪流域爲最盛。大甲溪事業區爲臺灣赤楊分佈較多之地區，其位於臺灣中部山區，海拔高度多在 1,000m 以上，屬於暖帶以迄暖溫帶氣侯，本區爲雨量豐富，年雨量在 3,000mm 以上，年平均氣溫在 15 ℃以下，相對濕度 80%，日照率 50%以上。該地區土壤主屬於粘板岩風化之輕粘土。臺灣赤楊主分佈於大甲溪右岸南向山坡，與松類、鵝耳櫪等陽性樹種混生，以山腹位置之分佈爲大，生長亦佳，亦分佈近溪邊處，分佈於山頂稜線部位，生長既不良，樹姿又矮小，乃因山嶺岩石暴露，土層甚淺，風力強，日照烈，晝夜間氣溫之變化大等不良因素所致。在檜木等針葉樹之伐採跡地或松林之火災跡地，赤楊侵入成爲早期之指標植物，生長頗爲茂盛。

濁水溪一帶亦爲臺灣赤楊天然分佈豐富之地區，該地屬中央山脈之一部分，海拔高度位於 1,400~1,800m 之間，山巒起伏，坡度 10~20 度，部分地形稍呈峻陡，成土母岩以第三世紀之粘板岩爲主，地形變化較暖和之區，土壤爲紅黃灰化土，地形變化稍大之區爲石質土。土壤屬酸性及強酸性，交換性鈣含量不高，有效性磷，鉀含量低，但有機質含量、含氮及陽離子交換能量均較高，土層淺薄，含礫頗多，土壤稍欠肥沃。臺灣赤楊之抗旱性不如耐濕性強，故其造林地之選澤，祗需土壤有適量水分，臺灣赤楊生育地最適當之土壤含水量爲 50%，其屬於需水量較高之樹種，苗木日吸水量爲 1,125ml 。雖在陰天，臺灣赤楊之日吸水量尙達晴天之 88%(張峻德， 1972)。

臺灣赤楊常以天然下種發生於臺灣山區之崩塌地、整治後之裸露地、沖蝕地、及開闢林道與公路所形成之坍方地。臺灣赤楊在崩塌地、裸露地及沖蝕地，常形成純林；而在林道或公路之坍方地，則多呈散狀分佈。

二、臺灣赤楊之根群分佈

臺灣赤楊屬陽性速生樹種，性喜陽光及 pH5~8 之砂質壤土及石礫土壤。臺灣赤楊林一般生長於南向及東向之向陽山坡，根群之主根深入土層，側根則多分佈於 30cm 之淺層土壤。據調查之發現，臺灣赤楊四年生天然林林木之根系垂直分佈狀況爲，其主根可達 60cm 深之石礫層，大側根亦分佈於 30cm 深之土層中，惟其

小側根大部份分佈於 5~10cm 之砂質壤土中(圖一)，而其放線菌根瘤主要著生於細小之側根、近地面之側根及主根，其分佈狀況以 5~10cm 之土層佔 82%， 10~15cm 佔 11%，其餘層次均較少。四年生臺灣赤楊根系之水平分佈情形爲，其根群分佈半徑可達 1.2m 以上，惟其主要之根瘤分佈範圍在 40cm 半徑以內(圖二)。人工林若栽植於黏重土者，其生長均遲緩且根群較淺，而其根瘤僅分佈於地表 5cm 之土層中。

三、放線菌根瘤與共生固氮作用

臺灣赤楊類屬於放線菌根樹種(actinorrhizas)，能與放線菌類 *Frankia* spp.形成共生固氮之放線菌根瘤，其所固定之氮素，對水質及養分循環具有影響作用，在自然界氮素之循環中扮演著重要的角色。

臺灣赤楊放線菌根瘤之微細構造(圖 3)。活根瘤內有許多共生放線菌 *Frankia* 生成之包囊(vesicles)，包囊外有無效空間(void space)，無效空間外有包膜層(capsule layer)。在活根瘤組織之細胞中生有許多菌絲(hyphae)。包囊之直徑爲 2.0~3.1μm ；菌絲之直徑爲 0.3~0.6μm ，具有隔膜(septum)。包囊爲卵形或球形，位於臺灣赤楊根部細胞之周邊部份。無效空間可能是由於標本固定或其他準備步驟所引起的。

李明仁氏(1986)之研究報告指出，臺灣赤楊放線菌根瘤生物量之變異情形，隨月份而有不同程度之增加或減少。活根瘤生物量自四月份逐漸增加至六月份達最高點，然後逐月下降至九月份達最低點，隨之上升，以後數月略有起伏，惟幅度不大。死根瘤生物量爲最大，而以七月份者爲最小。死根瘤生物量之變化呈現兩個高峰，即五月份與九月份爲最高。六、七、八月之死根瘤生物量則較低，而冬季之死根瘤稍增加，春季又下降。可見活根瘤生物量以夏季(六、七、八月)爲較高，秋冬季則較低；而死根瘤生物量則以春夏間較低，而在春秋季較高。活根瘤之生物量約爲死根瘤生物量之 9.6 倍。統計分析結果顯示，五、六、七月份活根瘤生物量顯著($P<0.05$)高於八、九、二月份活根瘤生物量。而五、九月份死根瘤生物量顯著($P<0.05$)高於其他各月份(圖 4)。可見根瘤之生長主要發生於夏季月份，而在冬季仍持續部分成長，在春季恢復生長。根瘤之死亡多發生於春秋季，冬季亦有部分根瘤死亡。

李明仁氏(1986)指出，四年生臺灣赤楊天然林放線菌根瘤之年平均固氮速率爲 9.6 微摩爾乙烯/根瘤克乾重/小時，以五月份之固氮速率 23.2±3.9 微摩爾乙烯/根瘤克乾重/小時爲最高，而以二月份之固氮速率 0.2±0.1 微摩爾乙烯/根瘤克乾重/小時爲最低。在春季，根瘤固氮速率逐漸上升，至五月份達最高峰，隨後在夏季緩和下降，惟仍維持相當高之固氮速率，至秋季其固氮速率則降至年平均值 9.6 以下，冬季期間其固氮速率漸降至最低點 0.2(圖 5)。統計分析結果顯示，五、六、七月之根瘤固氮速率顯著地($P<0.05$)高於九至二月各月份之根瘤固氮速率。可見臺灣赤楊放線菌根瘤之固氮速率以春夏兩季較旺盛，而秋冬兩季則較弱，所以固氮作用主要發生在生長季節。

四、臺灣赤楊之遺傳變異

陳振東氏(1972)研究指出，分佈於低海拔之臺灣赤楊爲採自高山之種子播於平地，經多年培育及馴化的結果，於造林時應分別加以考慮選擇。

施慶芳氏(1975)就自然交配之臺灣赤楊，研究其遺傳性，爲臺灣赤楊育種研究之良好開始。五年生造林木後裔試驗結果顯示，臺灣赤楊之各種生長之遺傳力較低，惟認爲研究之樹齡較小，所獲結果之可靠性或許偏低。

姜家華等氏 (1975 ， 1984)調查不同種源之臺灣赤楊苗木顯示，初期生長與後期生長有密切關係。種源間之差異大，認爲遺傳上之變異性有限，造林時選擇樹形優良之母樹採種，較爲重要。姜家華與王祥文等二氏(1986)曾對不同種源臺灣赤楊早期生長進行研究，由結果得知，地區和種源及地區和母樹之交感效應均顯著，而臺灣赤楊苗木生長受環境影響甚大。由此可知，若試驗地環境與採種母樹之生育地條件相似，則此種源之後裔通常生長良好。

李明仁氏(1996)研究光質對不同種源對臺灣赤楊種子發芽的效應，發現各種光質對不同種源之臺灣赤楊種子之發芽率有差異性存在。

五、固氮放線菌品系與遺傳變異

楊政川等二氏(1986)曾探討以一株由紅赤楊(*Alnus rubra*)分離出之菌種 $HFPArI_3$，及其變種接種臺灣赤楊之有效性。研究結果顯示：固氮放線菌具有品系間之變異，且臺灣赤楊與適當固氮放線菌品系接種時，其共生效應均表現出種內不同種子組間之生態型變異。

簡岳亭與林良平等二氏(1987)從臺灣赤楊根瘤中分離出固氮菌株 *Frankia* sp. NTU1 ，其最適培養之溫度及酸鹼度分別爲 28 ℃與 pH7 ，而其接種所產生根瘤之固氮速率爲 2.0~3.0μmole $C_2H_4$/h.g.nodules 。

唐盛林等氏(1992)自林務局四堵苗圃及林試所六龜分所所採取之臺灣赤楊根瘤，分離出固氮放線菌四堵菌株及六龜菌株，此二菌株均能感染臺灣赤楊苗木，形成有效性根瘤，惟其生長速率及固氮效率均有顯著差異；又其中四堵菌株能感染臺灣赤楊、緊實赤楊(*Alnus firma*)、灰赤楊、紅赤楊及細葉赤楊，而六龜菌株僅能感染臺灣赤楊。由此可知固氮放線菌品系間具有差異性，且對寄主樹種有專一性。

李明仁等二氏(1993)之研究指出，自臺灣赤楊根瘤分離得到 $AfI_2$ 、 $AfI_4$ 、 $AfI_7$ 、 $AfI_8$ 、 $AfI_{10}$ 、及 $AfI_{12}$ 等六株 *Frankia* 放線菌，且試驗証實分離所得六株 *Frankia* 菌對原宿主臺灣赤楊具有相當的親和力。由溫度適應性試驗結果得知，六株 *Frankia* 菌中除了 $AfI_7$ 與 $AfI_8$ 在 20 ℃以下停止生長外，其餘菌株均能在 15~35 ℃間生長，惟一般均以高溫時生長較佳。酸鹼適應性試驗顯示，六株 *Frankia* 菌中除 $AfI_2$ 外，其適宜生長之酸鹼度爲 pH5~9 ，而以 pH7 時之生長狀況最佳，而 $AfI_2$ 爲喜好鹼性之菌株，它在酸性培養基中則停止生長，而在 pH9 時生長最佳。由此可見臺灣赤楊之 *Frankia* 菌株對酸鹼度之適應性有相當大的差異性存在。由厭氧性試驗結果得知，六株 *Frankia* 菌在有氧狀態下之生長情形均較在厭氧狀態下者爲

佳。可見六株 *Frankia* 菌爲好氧性兼微厭氧性，在有氧狀態下生長甚佳，然而在厭氧狀況下仍能維持相當的生長。此一特性與李明仁氏(1986)研究臺灣赤楊天然林放線菌根瘤之分佈狀況在 5~10cm 之土層者佔 82%， 10~15cm 者佔 11%，更深於 15cm 者佔 7%之結果相吻合。

李明仁等二氏(1994)自臺灣赤楊天然林之根瘤分離出十二種固氮放線菌品系， $AfI_2$ 、 $AfI_4$ 、 $AfI_7$ 、 $AfI_8$ 、 $AfI_{10}$ 、 $AfI_{12}$ 、 $AfI_{15}$ 、 $AfI_{17}$ 、 $AfI_{18}$ 、 $AfI_{20}$ 、 $AfI_{21}$ 、及 $AfI_{22}$ 。接種試驗証實，各固氮放線菌株對不同種子組臺灣赤楊幼苗之親和性有相當之差異。其中以 $AfI_4$ 、 $AfI_7$ 、 $AfI_{17}$ 、 $AfI_{20}$ 、及 $AfI_{21}$ 固氮放線菌株，對臺灣赤楊幼苗具有較高之親和性， $AfI_2$ 、 $AfI_8$ 、 $AfI_{10}$ 、及 $AfI_{22}$ 菌株者次之， $AfI_{12}$ 、 $AfI_{15}$ 、及 $AfI_{18}$ 菌株者爲最低，且各菌株與原分離赤楊種子組有高專一性。接種高親和性之固氮放線菌於臺灣赤楊幼苗，可以增進苗木之高生長、根瘤固氮作用、及生物量之生產。

六、栽植造林

臺灣赤楊於春季發芽甚早，如栽植時期不易配合，應將苗木掘出予假植，一般以掘苗後當日栽植完畢，避免假植爲宜，定植時要較苗圃時間稍深並將土踏緊。赤楊能耐水濕，浸根於水中 3~13 天，保持苗木活力，並能促進新根，可提高成活率。將苗木放置於林蔭下超過 5 天，大大降低成活機會，至少應將苗木放入土中假植(陳振東、張峻德， 1973)。

臺灣赤楊之栽植造林成活率平均達 87%，最高爲 97%，成活不困難，但須避免多岩石之急斜乾燥生育地。苗木地際直徑肥大者(1.5~2.0cm)成活率最大，小徑苗(<1.1cm)成活率最低，苗木截莖之保留長度以 40~60cm 爲佳， 20cm 以下者成活率顯著減少(陳振東、張峻德， 1969)。

臺灣赤楊之栽植以擇氣溫尚低，樹液尚未流動，新芽猶未萌發且多雨之時栽植爲宜(12 月下旬至 1 月上旬)，臺灣赤楊純林之建造以 3,000~4,000 株爲適，惟在恆春半島此時巧爲季風時期，栽植後用枯草覆蓋苗木附近，可保土壤濕潤，有利成活(陳振東、張峻德， 1976)。

七、直播造林

赤楊之直播造林宜擇日照較弱之北向或東、西向，土壤疏鬆石礫較少之地行之，粘土質不宜，實施春播，每公頃播 2~4 千穴，每穴播 50 粒，約需種子 4 公升。播種後過 20~30 天可發芽，俟梅雨過後，即著手進行間拔(郭寶章， 1989)。若能適當整治造林跡地，則直播造林可望成功。

八、天然下種造林法

臺灣赤楊之天然下種成林者到處皆是，尤以崩壞地爲然，人工播種造林亦易實施。然而在天然下種與人工直播之間有莫大之差別，以致影響成活及成林。天然下種必在母樹附近，生育地條件適宜，種子之供應亦不虞缺少之條件下，並經

自然競爭後才能成林，一旦成林立木稠密，常優於人工造林。人工直播種子有限，實施次數很少，加上臺灣赤楊種粒細小，而發芽率亦低，直播後之幼苗根系短淺，一遇乾旱及多雨氣侯易致枯死，故較之植苗並不可靠(陳振東， 1972)。

臺灣赤楊爲極陽樹種，應避免幼樹周圍雜草之遮蓋，在栽植之第一年需除草 4 次，尤以 6~8 月間之雨季要加強除草，至第二年樹高大約可達 1.5~2m ，可酌予減少除草次數。一般在生育地較好地況，第四年即形成鬱閉，在濁水溪事業區之除草次數爲 10 次左右。但有時應施行除伐，尤以直播造林爲然，以砍除被壓木及被害木，藉以促進留存木之生長(郭寶章， 1989)。

九、生態系養分循環

李明仁氏(1986)研究發現，四年生臺灣赤楊天然林放線菌根瘤之年平均固氮速率爲 9.6 微摩爾乙烯/根瘤克乾重/小時，標準偏差爲 2.3 。以 3 分子乙炔比 1 分子氮之比例，換算乙炔還原量成固氮速率爲 3.2 微摩爾氮素/根瘤克乾重/小時，相當於 0.27 毫克氮素/根瘤克乾重/小時。

以四年生臺灣赤楊天然林之立木度 6,800 株/公頃，年平均活根瘤生物量 6.9 克/株，年平均固氮速率 0.27 毫克氮素/根瘤克乾重/小時，推測臺灣赤楊天然林之年固氮量爲 37 公斤/公頃。此一固氮量對林分氮素之長期性補充具有重大的價值。林地由於森林收獲伐採、水文之輸出、水流沈積脫氮作用、土壤脫氮作用，每年損失相當可觀的氮素，因而降低了林地之生產力。以最保守之估計，十年生臺灣赤楊林分至少可固定 500 公斤氮素於森林土壤中，加上枝葉腐化所提供之養分，對林地肥力之增進，將有相當大的正面作用。

十、森林施肥與混農林業

森林施肥(forest fertilization)爲提高林地生產力方法之一，惟林地面積遼闊、地形複雜，致施肥困難，效益亦低。因此生物共生固氮作用之應用於育林作業，逐成爲現代林業經營之重要課題。臺灣赤楊應用做爲肥料木與主林木混植之育林作業，以及混農林業栽培愛玉子及薑之經營，在本省仍在試驗階段，惟前景相當美好。有關生物固氮作用與人工施肥之經濟效益，有待進一步之評估。前瞻性之試驗，諸如放線菌 *Frankia* 菌株之選育、赤楊苗木之接種、混植密度、主林木與肥料木之競爭作用、林地肥力之變化、土壤有機質含量、林木生長量、人工施肥之成本、混植育林成本等，對臺灣赤楊之應用於育林肥料作業，將可提供一完整之資料，而使生物固氮作用發揮其實用價值。在美國西北部進行之紅赤楊與花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)之混植試驗證明，紅赤楊對於花旗松之生長具有促進作用(Helgerson *et al.*, 1984)。紅赤楊與黑楊(*Populus trichocarpa*)之混植結果顯示，紅赤楊可以增進黑楊之含氮量及乾物重，同時使林地土壤之含氮量顯著增加(De Bell and Radwan, 1979)。在歐洲，灰赤楊與松類之混植試驗顯示，灰赤楊能促進松類之高生長與直徑生長(Mikola *et al.*, 1983)。現今世界各國對生物固氮作用之應用於林業正在試驗階段。理論上，生物固氮作用是一種理想的森林施肥方法。在本省，

臺灣赤楊分佈廣，適應性高，應加強推廣造林，以增加森林資源，並提高林地生產力。

## 參考文獻


1.李明仁　1986　臺灣赤楊天然林放線菌根瘤生物量及共生固氮作用之季節性變異　中華林學季刊 19(3):13-23 。

2.李明仁、彭惠美　1993　臺灣赤楊放線菌 *Frankia* 品系之特性、感染力及應用之研究。　嘉義農專學報 33:11-25 。

3.李明仁、彭惠美　1994　臺灣赤楊固氮放線菌品系之親和性、固氮作用及生物量生產效率　嘉義農專學報 37:19-32 。

4.李明仁　1996　光質對臺灣赤楊種子發芽的效應　中華林學會 85 年年會特刊 p.90 。

5.姜家華、王祥文　1975　不同種源蝶臺灣赤楊苗木早期生長之研究　臺大實驗林研究報告第 166 號　13pp 。

6.姜家華、王亞男、林世宗、黃錦榮　1984　臺灣赤楊種源後裔試驗　林木改良研討會論文集　農發會林業特刊第七號　p.86-91 。

7.施慶芳　1975　臺灣赤楊自然交配家系五形質之變異及遺傳性之研究　臺大實驗林研究報告(116-15):509-523 。

8.陳振東　1972　談臺灣赤楊之栽培造林　今日造林 41:18-21 。

9.陳振東、張峻德　1969　臺灣赤楊苗木分級及截幹之造林試驗　中興大學、林務局合作試驗報告　中華林學季刊 2(3):37-46 。

10.陳振東、張峻德　1973　臺灣赤楊之分期栽植試驗　中興大學森林系研究報告第 101 號。

11.陳振東、張峻德　1976　臺灣赤楊苗木修剪栽植深度及林地被覆對於其栽植造林之影響　中興大學森林系研究報告第 146 號。

12.張峻德　1972　臺灣主要林木水分生理之研究--臺灣赤楊、楝樹、榔榆及臺灣白蠟樹苗木之吸水性　中華林學季刊 5(2):61-80 。

13.郭寶章　1989　育林學各論　茂昌圖書有限公司　臺北市　466-476 。

14.唐盛林、郭幸榮、王維洋　1992　一個產地臺灣赤楊根瘤固氮放線菌之分離接種及固氮活性之比較　中華林學季刊 25(1):59-72 。

15.劉棠瑞、廖日京　1970　樹林學上冊　臺灣商務印書館　臺北　187-188 。

16.簡岳亭、林良平　1987　臺灣赤楊根瘤之有效固氮菌的形態與生理特性　中國農業化學會誌 25(3):240-250 。

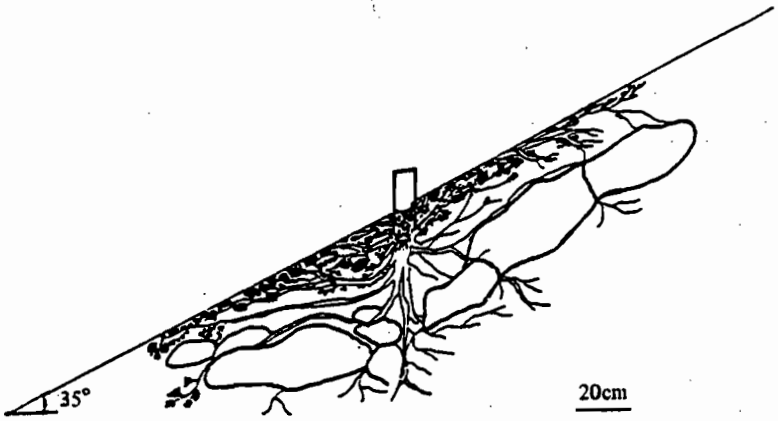
17.De Bell, D.S., and M.A. Radwan. 1979. Growth and nitrogen relations of coppiced black cottonwood and red alder in pure and mixed plantings.　Bot. Gaz. 140 (Supp.):97-101.

18.Helgerson, O.T., J.C. Gordon, and D.A. Perry. 1984. $N_2$ fixation by red alder (*Alnus*

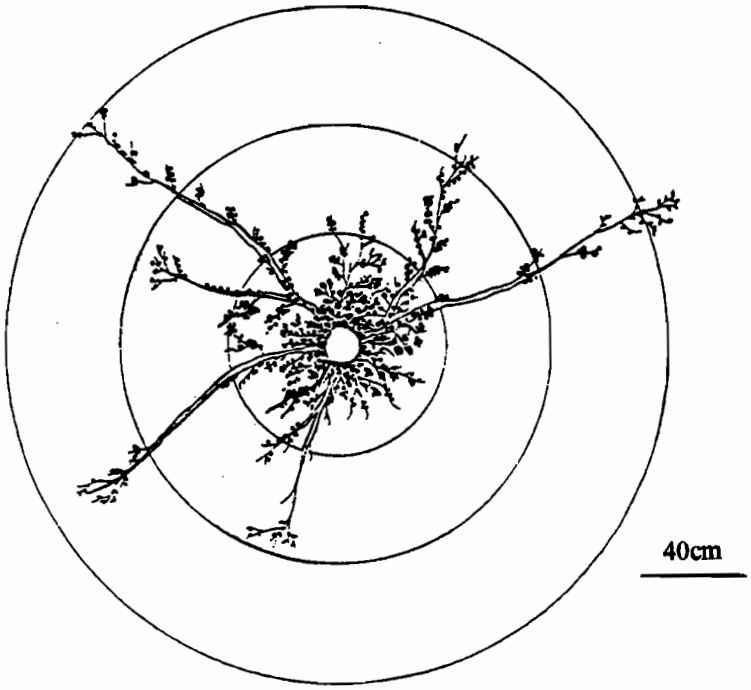
rubra) and Scotch broom (*Cytisus scoparius*) planted under precommercially thinned Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). In Frankia Symbiosis (A.D.L. Akkermans, D. Baker, K. Huss-Danell, and J.D. Tjepkema, eds), p.221-233. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague.

19. Mikola, P., P. Uomala, and E. Malkonen. 1983. Application of biological nitrogen fixation in European silviculture. In Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications (J.C. Gordon, and C.T. Wheeler, eds), p.279-294. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague.

20. Yang, J.C. and J. G. Torrey 1986 Variation on symbiotic association of two Asian alders with two North America *Frankia* strains. Proc. the 5th Internatl. Cong. Soc. Adv. Preed. Res. in Asia and Oceania, p.161-171. Bangkok, Thailand, January,1986.

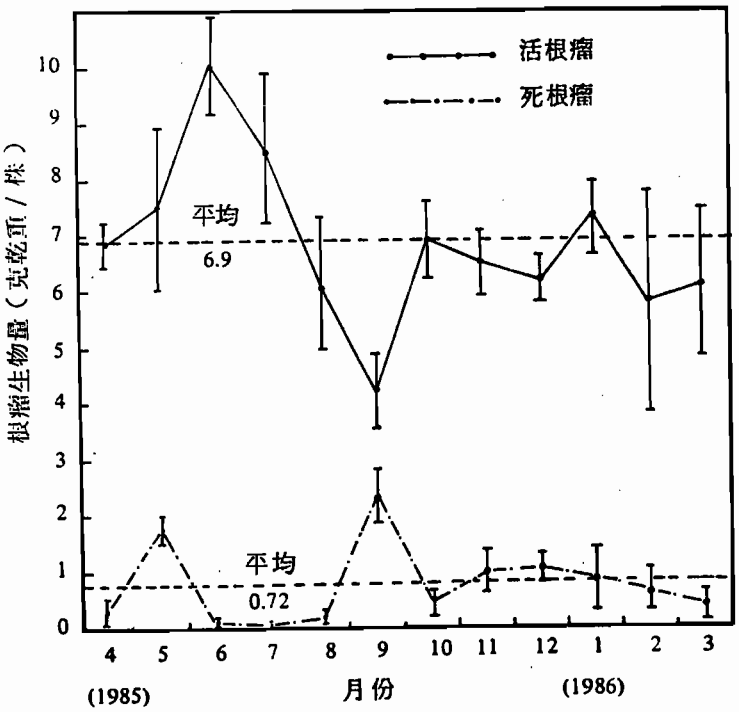



圖一、四年生臺灣赤楊天然林單株根系之垂直分佈情形

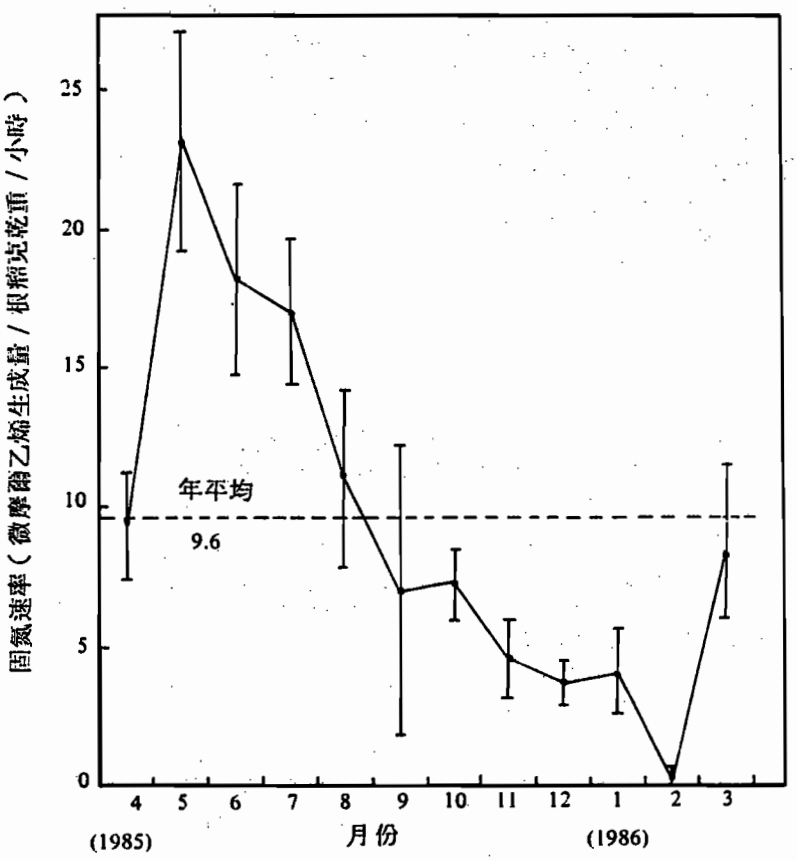



圖二、四年生臺灣赤楊天然林單株根系之水平分佈情形

圖三、臺灣赤楊放線菌根瘤之微細構造，圖示橫線爲一微米。(TEM×6,000)。 V=包囊， Vo=無效空間， C=包膜層， H=菌絲， S=隔膜。




圖四、四年生臺灣赤楊根瘤生物量之季節性變異。圖示 95%信賴區間。




圖五、四年生臺灣赤楊放線菌根瘤固氮速率之季節性變異。
圖示 95%信賴區間。

1.7mm changing seasonly. ( 2 ) About short time respond. The photosynthesis test with various factors and groups showed that under usual temperature range, doubles as much the consistency of $CO_2$ can increase the photosynthesis rate among the group trees so that the tree production increased 50 %-70 %. For the main species under the suitable temperature, increasing or decreasing 5 %, the photosynthesis will be less than 30 %. ( 3 ) About the mid range time respond. Testing over 1000 samples of trees growth rings and analyzing related climate conditions, the result showed that the northeast main trees, growth was no obvious related with short time temperature increasing.But for unreversible warm or cool the climate change was related with tree growth in special area Warming 1 ℃ of the climate the tree growth ring increased about 50 %. ( 4 ) About the range of forests with the KIRA warm index analyzing, it showed that warning 2 ℃, each forest range belt moved up 300m. ( 5 ) The subsitute movable model of forest ecosystem growing showed that the production of each range mid belt increased differently, the forest production of the forest up and mid parts was obviously increased and the composition the forest species changed greatly. Deciduous-broadleaf trees ( *Pinus koraiensis* ) were superior in temperature zone. Mongolia oak forests ( *Quercus mongolica* ) are superior in Xinganling broadleaf forests, comparing with deciduous larch ( *Carix gmelimi* ) .Because of drying the area of suitable forest is decreasing. When the temperature reaches another balance, the forest production will decrease so that the death and demand of the biology will happen. It is because of the speed of the natural turnover is less than that of climate change.
Keywords : Climate change Simulated model Forests trends Respond

森林是地球生物圈的重要組成成份，是陸地生態系統的主體。氣候變遷，在很大程度上影響著森林生態系統的分布、結構和生長。據估計全球在以後幾十年內氣溫將升高 3.5 ～ 4.2 ℃，降水將增加 7 %～ 11 %[1]。雖然目前各種估計有很大的不確定性，但是由大氣 $CO_2$ 等溫室氣體濃度增加正在使地球氣候經歷前所未有的變化這一點是肯定的。因此，全球生態系統特別是陸地生態系統現在的準平衡狀態必將隨之變化，因爲這些生態系統的現實結構、功能和分布格局是對目前氣候狀況的長期適應的結果。許多研究表明，氣候變化的幅度在高緯度比低緯度要大得多，這就意味著，分布在高緯度地區的生態系統將受氣候變化影響最大。

由於熱帶雨林人類活動干擾正在日益減少，溫帶森林和北方森林顯得日益重要，有關高緯度地區的森林生態系統對潛在氣候變化響應的研究很自然地成爲全球變化研究中最活躍的方向之一[2,4]。

東北是中國緯度最高、經度最東的部分，占全國土地總面積的 12.9 %。東北現有森林資源居全國首位，有林地面積占全國的 31.4 %，其中用材林面積占全國的 40.7 %。東北有林地蓄積量占全國的 32.7 %，是中國最重要的木材產地之一，未來氣候變化對東北森林生態系統的影響是生產和科研部門共同關心的問題。眾所周知，研究生態系統對氣候變化的響應實際上就是研究植被－氣候相互作用的動態過程[5]，長白山森林生態系統是有代表性的天然溫帶森林生態系統。這裡物種多樣性極好，生態系統也正處於穩定的發展過程中[6]。是研究植被－氣候相互作用動態過程的理想場所。由於目前尚無一公認的氣候變化趨勢的模式，因此應把主要精力放在東北森林生態系統對氣候變化的敏感性研究上。

一、研究方法

森林生態系統對氣候變化響應的研究在許多方面已經深入的進行。模擬森林生態系統的生長和演替動態生長的計算機模型，因其可重複實驗性和可用於預測已受到廣泛的重視[4,7]。但是森林生態系統的結構、功能和動態與氣候的相互作用歸很結底是由樹木生理和生長決定的。樹木生理對氣候變化的響應研究已在 3 個方面展開，即溫度升高的效應、 $CO_2$ 濃度升高的效應和水份變化的效應[8,9]。另外，氣候與植被分布關係的靜態對應研究[10]和生態系統養份循環研究[7]被認爲在生態系統對大氣 $CO_2$ 及氣候的反饋研究中具有特別的意義。

（一）模擬研究－－森林生長演替模型

70 年代以後森林的生長和演替動態研究的重大革新是以單木爲基礎的林窗模型的廣泛使用和發展。這類模型通過模擬數十個林窗大小（約 1 ／ 12hm$^2$）的小樣地來反映整個森林類型的生長、死亡和更新過程[11,13]。這類模型最早是用於模擬美國東部落葉闊葉林的[14]，後來被證明可用以刻劃世界範圍內的各類森林的空間結構、種類組成和生產力動態[2,11]。由於這類模型主要以氣候變量（月均溫、月均降水）爲驅動參數，目前被廣泛用於森林的中長期動態對氣候變化的響應的預測研究[3]。長白山生態站，通過改進 ZELIG 模型[12]和 FORET 模型[11]，建立了一個適於中國東北的森林生長和演替的林窗模型— NEWCOP [15]（ Northeast Woods Competition Occupation Processor ）。該模型在每個林窗大小（ 800 m$^2$）的被模擬的小樣地上的每株樹的生死全過程逐年被積分。確定了每株樹的最大可能胸徑年增量後，實際增量通過考慮光、 養份、水份和生長季的溫度狀況造成的對各林木的環境壓力算出，並考慮到了落葉樹種未放葉時對常綠樹種生長的重要性[16]。在模擬研究中， 34 個建群樹種被參數化後參加模擬計算。參數化過程綜合了生理生態、養份循環和樹木更新的研究結果。通過大量的驗證證明，模型和所用參數是合適的。這些驗證工作包括沿長白山體海拔梯度每隔 100 m 進行 50 個小樣地上從裸地開始的模擬計算，以考察模型對森林長期動態的模擬能力；對

有重複測量的 100 個小樣地進行現有林分開始的計算以考察對短期森林生長的擬合能力。

關於長白山森林對氣候變化的敏感性的模擬計算分 2 組進行。第 1 組假定氣溫升高 2 ℃，第 2 組假定氣候依 GFDL2 × $CO_2$（即美國地球流體動力學實驗室的 $CO_2$ 倍增氣候變化模型）氣候變化模式線性漸變。

（二）生理生態學研究－－測定光合和呼吸速率

研究樹木光合速率和呼吸對氣候變暖和 $CO_2$ 濃度升高的響應較困難，因爲實驗設備和人工環境與自然條件下的樹木光合相差很遠。另外，養份和水份條件使樹木光合速率對氣候和 $CO_2$ 濃度變化的響應變得更爲複雜[7]。在實驗室條件下，雖然難以測得大樹的光合速率與 $CO_2$ 濃度和溫度的關系，但是即使是對小樹測得有關數據，也有助於理解樹木光合和呼吸對氣候變化的響應規律。基於以上認識，在長白山選擇 15 個建群樹種進行一系列的光合呼吸速率的測定。在水份和養份充分條件下測定各個樹種在 9 種 $CO_2$ 濃度和溫度組合（ 15 ℃， 20 ℃， 25 ℃）×（ 320ppm ， 540ppm ， 720pprn ）下的光合和呼吸速率。獲得在氣候和 $CO_2$ 濃度變化條件下據光合生理測定得到的初級生產力的變化估計。

（三）樹木生長－－年輪研究

大規模樹木開頂式光合實驗也難於換算成樹木的空間生長[7]。但是空間生長格局的變化既影響樹木自身的生存，也通過其在競爭中的地位影響到其它樹木。因此，估計樹木空間生長對氣候變化的響應非常重要，在長白山，由於氣候的垂直梯度的存在，使得直接通過年輪和氣候的相關分析建立 15 個建群樹種的空間生長對氣候變化的響應成爲可能。

樹木年輪對氣候的指示作用已得到廣泛的應用，由於氣候對樹木年輪的影響機理較複雜，通常樹木年輪年代學所用的氣候 － 年輪關係不能用於中短期內樹木空間生長估算。爲了較準確地估計氣候對森林和樹木生長的影響，我們在長白山選擇採集了 1000 多個樹木的年輪樣條[18]。這些樹木分布在 1000 m 的垂直高差範圍內，分屬 15 個建群樹種。爲了排除非氣候因素的干擾和便於互相比較，仔細選擇各個樹木的光條件、肥力條件。把 10a 內各海拔高度的氣候變量（如均溫＞ 10 ℃積溫、無霜期、年降水等）分別與當年的年輪寬進行比較分析即可得出每個樹種的敏感氣候變量和互相關係[18]。由此，可分別估計出氣候變化過程和氣候變化後的各樹種的年輪生長的響應。

（四）樹種分布－－適生環境研究

氣候—植被對應分析已被廣泛地應用於估計氣候變化對植被類型的影響。例如 Holdridge 生命地帶系統就被用於模擬氣候變化可能對全球植被分布格局造成的影響[10]。這種分析只能正確標記出全球 40 %植被類型[17]，而不適於分析的植被分類。在長白山，用 KIRA 溫暖指數分析森林分布與氣候變量的關係。 KIRA 指數的計算類似＞ 5 ℃有效積溫的計算[19]。通過計算目前各森林類型的分布區的 KIRA 指數可得出各個森林類型的 KIRA 指數計的適生範圍。可以假定，在氣候變化後，各森林類型將爲占據其適生環境而遷移。這樣可得到氣候變化後的森林類

型的分布範圍和目前（即氣候不變情形下）的森林類型分布範圍的差異。

二、結　果

（一）模擬研究

模擬研究主要是模擬可能的氣候變化對森林的樹種組成和生物量生產的影響。

1.長期動態模擬－－東北森林對氣候變化的響應假定氣候從現在起經 100a 可餞性地達到 GFDL ，2 × $CO_2$ 平均氣候， NEWCOP 以此作爲氣候參數的模擬結果表明，東北森林的種類組成和生產力在氣候變化條件下將產生很大變化。圖 1 和圖 2 表明目前長白山和小興安嶺的紅松（ *Pinus koraiensis* ）占優勢的地帶性闊葉紅松林將被闊葉樹占主導地位的落葉闊葉林所代替代。而圖 3 和圖 4 則表明大興安嶺目前占優勢地位的興安落葉松林（ *Larix gmelinii* ）可能會被蒙古櫟（ *Quercus mongolica* ）等闊葉樹所替代，因爲這些樹種既適應於較暖的氣候又較耐旱。在生產上有參考價值的是，替代的速度並不快，但原本地帶性頂級森林－－闊葉紅松林（ *Pinus koraiensis* ）和興安落葉松林（ *Larix gmelinii* ）在到達新的平衡氣候前顯示出迅速消失的勢頭。

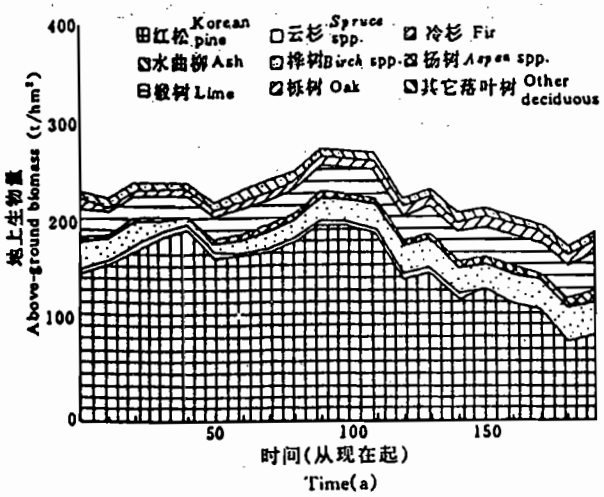



圖 1　小興安嶺地區（五營樣地，47°43′N，128°27′E）現有森林在現有氣候條件下未來 200 a 的動態

Fig. 1　Forest dynamics of Xiaoxing'an region (Wuying site, 47°43′N, 128°27′E) without climate change. Korean pine (*Pinus koraiensis*) is the dominant tree species

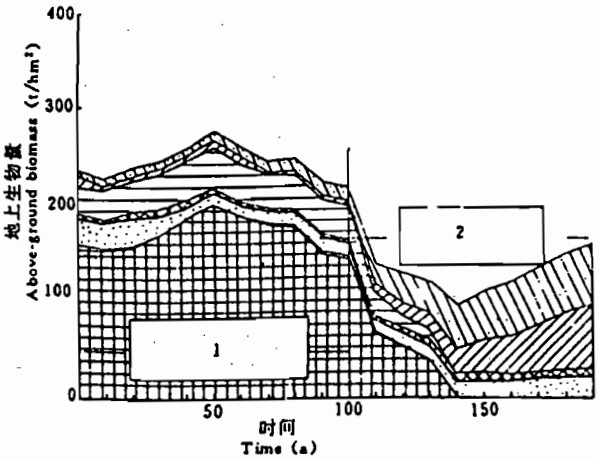



圖 2　小興安嶺地區（五營樣地，47°43′N，128°27′E）現有森林在綫性漸變的 GFDL 2 × $CO_2$ 氣候模式條件下（100 a 達到平均氣候）未來 200 a 的動態

Fig. 2　Forest dynamics of Xiaoxing'an region (Wuying site, 47°43′N, 128°27′E) with climate change. Korean pine (*Pinus koraiensis*) is replaced by deciduous afer getting to equilibrium climate
1. GFDL 2 × $CO_2$ linear transtent climate change scenario; 2. New equelibrium climate

2.中期動態模擬－－長白山的現有林分對氣候變化的響應

在中時間尺度範圍內研究氣候變化可能對現有林分造成的影響在生產上有重要意義。本文報告 50 a 氣候漸變對長白山現存森林可能造成的影響。假定從現在始 50a 內溫度線性地升至高於目前 1.5 ℃，降水比目前增高 10 %和 $CO_2$ 年升 1.5 ppm 。在海拔 630 、 860 、 1090 和 1370m 各有 25 個 600m² 的樣地分別在現在氣候和假定的氣候下被模擬，結果如表 1 。氣候變化將使山上部和山下部的森林增

加生物量而山中部基本保持不變。以上現象解釋爲：山下部的森林闊葉樹組成比例大，如紅松（ *Pinus koraiensis* ）多時，生物量將不會增加。山上部的森林中紅松和闊葉樹的生長變快。山中部的紅松均處於生長減少範圍內。

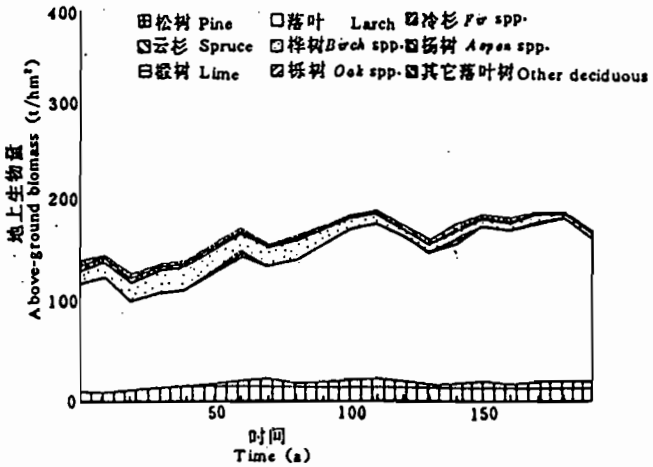



圖 3　大興安嶺地區(阿里河樣地, 50°35′N, 123°44′E)現有森林在現有氣候條件下未來 200 a 的動態

Fig.3　Forest dynamics of Daxing'an region(Alihe site, 50°35′N, 123°44′E) without climate change Xing'an larch(*Larix gmelinii*) is the dominant tree species

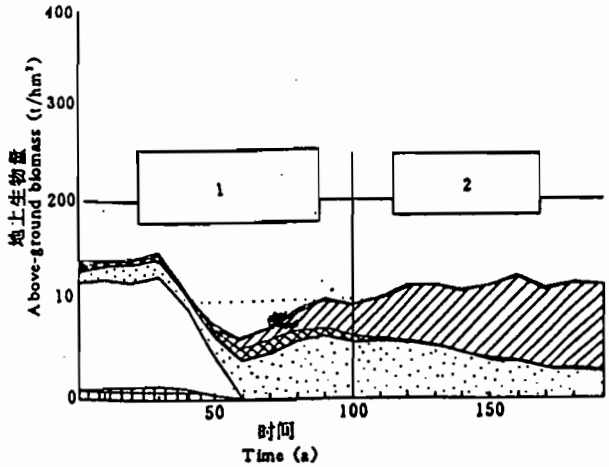



圖 4　大興安嶺地區(阿里河樣地, 50°35′N, 123°44′E)現有森林在线性漸變的 GFDL 2×$CO_2$ 氣候模式條件下(100 a 達到平衡氣候)未來 200 a 的動態。在森林中,興安落葉松的單優樹種地位被蒙古櫟替代

Fig.4　Forest dynamics of Daxing'an region(Alihe site, 50°35′N, 123°44′E) with climate change Mongloia oak (*Quercus mongolica*) replaces the dominant position of Xing'an larch(*Larix gmelinii*)

1. GFDL 2×$CO_2$ linear transient climate change scenario; 2. New equelibrium climate

表 1　現有林分對氣候變化的響應

Table1　Response of stands to climate change.

| 海拔 | 50 年後 的 LAI | | 50 年後 的生物量 | |
|---|---|---|---|---|
| (m) | + 0 ℃ | + 1.5 ℃ | + 0 ℃ | + 1.5 ℃ |
| 630 | 6.5 | 6.7 | 292 | |
| 860 | 6.7 | 6.2 | 265 | |
| 1090 | 6.4 | 6.5 | 231 | |
| 1370 | 5.8 | 6.0 | 209 | |

3.區域研究------模擬東北森林水平分布

首先以 0.5 × 0.5 經緯度生成東北地區模擬網格（共 605 個，約 1.28 × 106km²），分別在現在氣候條件下模擬各格點上的森林動態(從裸地開始） 500 a 。然後各格點從 300a 林分（可看作現存林分）開始，先以線性漸變的 GFDL2 × $CO_2$，氣候變化（ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory ）模式模擬 100a ，然後，以達到平衡態的氣候再摸擬 100a 。結論是，東北紅松占優勢的森林面積將減少，不適於森林生長的面積增加（圖 5 和圖 6 ）。而在 100a 氣候變化期內，東北森林由於天然更新速度遠慢於氣候變化速度將陷入生長衰竭的境地(圖七)。據計

算全東北森林生物量理論值在氣候變化的前 100a 比氣候保持目前狀況下損失 6.53 × 10t.

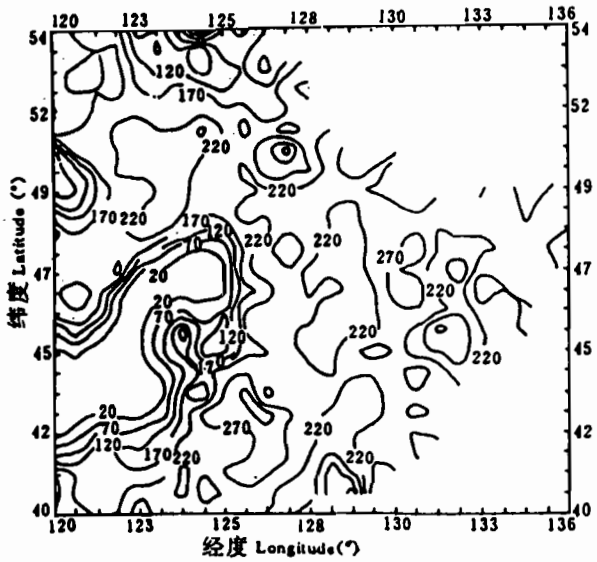



**圖 5 在目前氣候條件下東北森林按生物量計的 NEWCOP 模擬理論分布圖(生物量<20 意味着非宜林地)**

Fig. 5 The forest distribution in the northestern China (by aboveground biomas t/hm$^2$) without climate change. The biomass less than 20 t/hm$^2$ means non - forest standing. This simulation contour map under current climate is very close to the observation

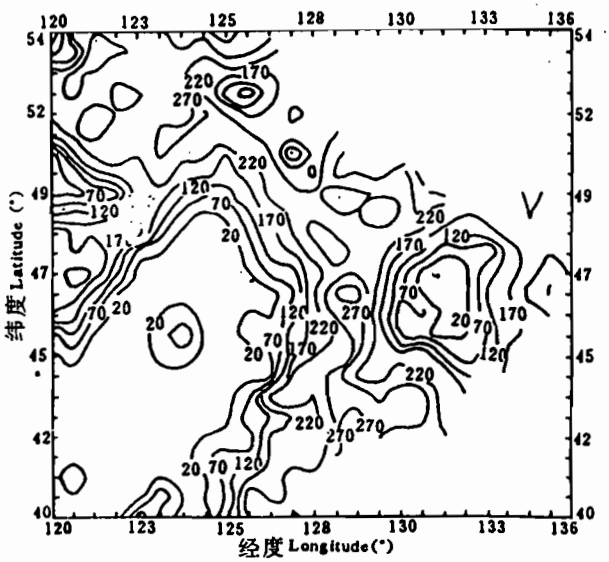



**圖 6 在 GFDL 2 × $CO_2$ 平衡氣候條件下東北森林按生物量計的 NEWCOP 模擬理論分布圖(生物量<20 意味着非宜林地)**

Fig. 6 The forest distribution in the northeastern China (by aboveground biomass t/hm$^2$) with GFDL 2 × $CO_2$ climate change scenario. The area suitable for forest growth is reduced

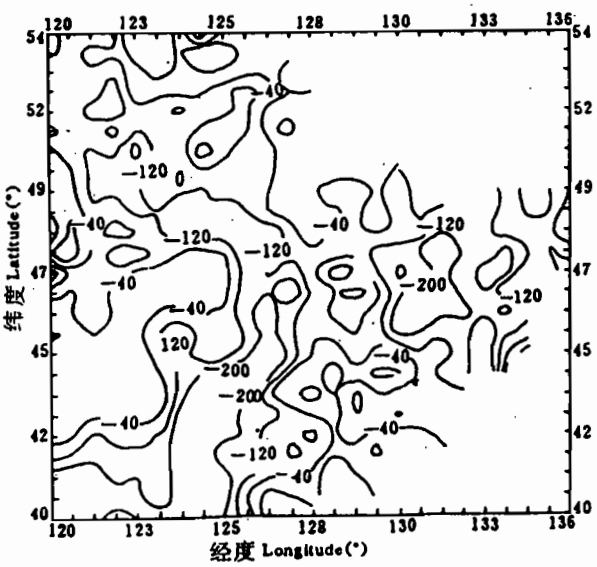



**圖 7 在 GFDL2 × $CO_2$100 a 氣候緩性過程中東北森林生物量損失 NEWCOP 模擬理論分布圖(總損失量為 6.53 × $10^9$t)**

Fig. 7 The amount of forest biomass lose from dieback of trees induced by 100 years linear GFDL 2 × $CO_2$ transient climate change The death amount is much more than growth amount of forest biomass growth(The total lose amount is 6.53 × $10^9$t for the northeastern China)

（二）生理生態研究－－測定光合呼吸速率

從室內多種環境組合下的光合呼吸測定得出下列結論：

在各 $CO_2$ 濃度水平下，溫度升高 5 ℃將平均使淨光合速率減少 5 %～23 %，其中雲杉（*Piece spp.*）、冷杉（*Abies spp.*）和黃檗（*Phellodendrom amurense*）減少率小於 10 %。因此，溫度升高對樹木淨光合造成的影響將主要集中在其他闊葉樹和紅松（*Pinus koraiens*）等針葉樹上。換算成樹木生長，其影響將很有限。在各溫度水平上，$CO_2$ 加倍平均可使各樹種的淨光合速率升高 18 %-74 %。這種效應在其他因素限制有限的情況下必將對樹木生長和森林演替產生較大的影響。

當 $CO_2$ 濃度增大時，樹木呼吸減少。對於固氮樹種和在營養充足的林地上生長的樹木來說，大氣中 $CO_2$ 濃度升高能顯著增加樹木淨光合速率。

圖 3 大興安嶺地區（阿里河樣地，50° 35' N, 123° 44' E）現有森林在現有氣候條件下未來 200 a 的動態

Fig.3 Forest dynamics of Daxing'an region（Alihe site，50° 35' N, 123° 44' E without climate change Xing' an larch（*Larix gmelinii*）is the dominant tree specics

圖 4 大興安嶺地區（阿里河樣地，50° 35' N, 123° 44' E）現有森林在線性漸變的 GFDL 2 × $CO_2$ 氣候模式條件下（100a 達到平衡氣候）未來 200 a 的動態。在森林中，興安落葉松的單優樹種地位被蒙古櫟替代

Fig. 4 Forest dynamics of Daxing，an region（Alihe site 50° 35' N, 123° 44' E）with climate change Mongolia oak（*Quercus mongolica*）replaces the dominant position of Xing， an larch(*Larix gmeliuii*)

1.GFDL 2 × $CO_2$ linear transient climate change scenario；

2. New equilibrium climate

（三）樹木生長研究－－年輪研究

研究表明，樹木年輪與當年的溫濕度條件的關係很不密切，而與所處的平均氣候條件及一些災害性氣候有關。大量的年輪與氣候對應分析表明，在海拔 1000m 左右，如果溫度比目前升高 1 ℃，紅松（*Pinus koraiensis*）、紫綴（*Tilia amurensis*）、蒙古櫟（*Quercus mongolica*）和白樺（*Betula platyphylla*）等樹種的年輪可增寬 50 %左右，而雲杉（*Picea spp.*）和冷杉（*Abies spp.*）年輪將減少[18]這表明，氣候變暖將使 1000 m 以上紅松（*Pinus koraiensis*）和闊葉樹成份和生長速率增加，山下部的闊葉樹比例增加。

（四）樹木適生範圍研究一 KIRA 溫暖指數

研究表明，主要森林景觀類型與 KIRA 溫暖指數有關。通過計算目前森林類型所處的氣候條件的 KIRA 指數範圍，並把它作爲該類型的適生範圍。表 2 用長白

山的各類森林的 KIRA 指數[19]推算的張廣才嶺的森林景觀帶劃分與實際相符[20]，因此可據此推算出溫度升高 2 ℃長白山的森林景觀帶變化約上移 300m 。

（五）監測研究－－ $CO_2$ 濃度的定時、定點監測

長白山的 $CO_2$ 濃度處於與全球一致的增加中，表 3 給出 1992～1993 各季的 $CO_2$ 濃度監測結果。年平均 $CO_2$ 濃度上升了 1.7ppm 。這裡給出的是早 10 時的測值平均（ 8 次／月）。

表 2 長白山和張廣才嶺的森林景觀帶

Tab2 Forest landscape of Changbai Mt. and Zhangguangcai Mt.

| 森林類型 | 長白山森林的垂直分布和 KIRA 指數 | | 張廣才嶺森林的垂直分布 | |
|---|---|---|---|---|
| | elevation | kira index (C.month) | predicted | oberved[20] |
| 南方紅松林 | <600 | <60 | <300 | — |
| 典型紅松林 | 600 ～ 1100 | 60 ～ 43 | 300 ～ 800 | 300 ～ 900 |
| 北方紅松林 | 1100 ～ 1400 | 43 ～ 34 | 800 ～ 1100 | 900 ～ 1100 |
| 雲冷杉林 | 1400 ～ 1800 | 34 ～ 22 | 1100 ～ 1600 | 1100 ～ 1500 |
| 岳樺林 | 1800 ～ 2000 | 22 ～ 16 | 1600 ～ 1800 | >1500 |

表 3 1992 ～ 1993 年長白山大氣中 $CO_2$ 的動態監測

Tab 3 Monitoring of $CO_2$ concentration in Changbai Mt. during the years 1992 ～ 1993

| 年度 | 長白山大氣 $CO_2$ 的動態監測 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 | 年平均 |
| 1992 | 340 | 336 | 355 | 364 | 348.8 |
| 1993 | 341 | 339 | 356 | 366 | 350.5 |
| 增量 | +1 | +3 | +1 | +2 | +1.7 |

三、結　論

氣候變化將對長白山乃至東北造成不利影響，主要是森林樹種的更替會使紅松（ *Pinus koraiensis* ）、落葉松（ *Larix spp.* ）等用材樹種占優勢的森林分布面積大大減少。

森林景觀可能會產生很大變化，闊葉林將分布得更廣，宜林地將減少。應加強現有森林對氣候變化響應的中時間尺度的研究。

References

1 Schelesinger M E *et al.*, Climate Model Simulations of Equilibrium Climatic Response to Increased Carbon Dioxide. Reviews of Geophysics, 1987, 25 : 760 ~ 798

2 Bonan G B *et al*. The Sensitivity of Some High----latitude Boreal Forest to Climatic Parameters , Climatic Change 1990, 16 : 9 ~ 29

3 Pastor J *et al.*, Response of Northern Forests to $CO_2$--Induced Climate Change, Nature, 1988, 334 ( 6177 ) : 55--58

4 Shugart H H *et al.* ,$CO_2$--Climatic Change and Forest Ecosystem,in B. Bolin, *et al.* ( eds. ) . The Greenhouse Dffect, Climatic change, and Ecosystem, SCOPE, 1986,20 : 9~11

5 Shugart H H. Using Ecosystem Models to Asscess Potential Consequences of Global Climatic Change,Trends in Eco Evo ,1990, 5(9):303~307

6 Jeffers J N R. The Importance of Research in temperate Forests, In Yang Hanxi, *et al.* (eds), The Tempera Forest Ecosystem, ITE symposium no, 1986, 68 : 567~579

7 Solomon A M. Transient Response of forests to $CO_2$---induced Climate Change : Simu1ation Modeling Experiments in Eastern North America. Oecologia, 1986, 68 : 567~579

8 Kramer P J *et al.*, Effect of lncreasing $CO_2$ on the Physio1goy and Growth of Forest Trees,in Shands W E *et al* .(eds). Greenhouse Effect, Climate Change, and US Forests, 1987, 219~246

9 Perry D A *et al.*, Climate Change and Ecosystem Response, The North west Environ J. 1990,6 : 293~313

10 Emanuel W R *et al.*, Some ecological consequences of a computer model forest growth .J. Ecol ,1972, 60 : 849~872

11 Shugart H H A, Theory of Forest Dynamic, Springer~Verlag, New York, 1984

12 Botkin D B,Janak J F *et al.,* Some Ecological consequences of a computer Model Forest Growth .J . Eco1, 1972, 60 : 849~872

13 Utban D L. a Versatile Model to Simulate Forest Pattern ; a User's Guide to Zelig Version 1.0 Dept of Eviron Sci UVA Charlottesville VA USA 1990

14 Shgart H H. *et al* .,Development and Appalachian deciduous Forest succession Model and Its Application to Assessment of the Ompact of the Chestnut Bilight .J. Environ. Manag ,1977, 5:161~170

15 延曉冬,趙士洞 溫帶針闊混交林碳量動態的模擬研究 1 喬木層動態生態學雜誌 1995, 14(2) : 6-13

16 Yan Xiaodong, Zhao Shidoing , Simulating the Response of Changbai Mt.

Torests to Potential Climate Change. J. Environ. Sci., 1996(in press)
17 Prentics K C. Bioclimatic Distribution of Vegetation of GCM Studies,J, Geophys Res, 1990, 95 ： 811~930
18 王森、陶大立等 大氣增溫對長白山林木直徑生長的影響應用生態學報導 1995,6(2)： 128~132
19 徐文澤、林長清 長白山植被垂直分布帶與勢量指數關係的初步研究 森林生態系統研究 1980,1 ： 88~95
20 周以良、董世林等 黑龍江樹木志 哈爾濱:黑龍江科學技術出版社 1986,1~15
21 吳榜華 東北木本藥用植物 北京,中國林業出版社 1994
22 吳榜華 東北之林業 現代育林 1996,23 ： 65~72
23 吳榜華 延邊地區紅松（ *Pinus koraiensis* )人工幼林旱害的初步調查 東北林學院學報 1981,1 ： 35~42

# 氣候變遷對中國東北森林影響的初步研究

劉延春[1]　于振良[2]　李世學[3]　吳榜華[4]

摘　要：

研究了氣候變遷對中國東北森林的影響，提出氣候變遷與東北森林生態系統的長、中、短期響應的初步估計。（1）關於 $CO_2$ 濃度的監測。長白山地區的 $CO_2$ 濃度處於與全球平均一致的增長中，年均增長 1.7ppm，並呈季節性周期變化。（2）關於瞬時響應。多因子多組合光合實驗表明，在常見溫度範圍內，$CO_2$ 濃度加倍可使各建群樹種的淨光合速率增加，短期內可使樹木生產力提高 50 %~75 %；對主要樹種，在最適溫區，5 ℃增減溫迫成的光合速率變化小於 30 %，（3）關於中尺度時間響應。1000 多個樹木年輪樣條與相應氣候條件對應分析表明，東北主要樹木生長與短時段升溫一般沒有顯著相關，但不可逆的氣候變暖或變冷則於樹木生長密切相關。在特定區域，氣候變暖 1 ℃可使樹木年輪寬增加約 50 %；（4）關於森林分布的遠景。運用 KIRA 的溫暖指數分析可知，2 ℃增溫可使現有森林各分布帶普遍上移 300m；（5）森林生態系統的生長演替 PATCH 動態摸擬表明：各森林分布帶的生產力（中時間尺度以上）的提高程度大不相同，山上部和山中部森林的生產力提高明顯，森林樹種組成（長時間尺度）發生很大變化。溫帶闊葉紅松林將以落葉闊葉樹占優勢地位，興安落葉松林將爲蒙古櫟林替代。由於可能的乾旱，宜林地面積減少，在氣候達到新的平衡過程中，由於天然更新慢於氣候變化速度可導致森林生產力下降乃至死亡而造成巨大的生物量損失。

關鍵詞：　氣候變遷，模擬模型，森林動態，響應

## The Preliminary Study on the Effect of the Northeast China Forests under the Climate Change

Liu Yanchun, Yu Zhenliang, Li Shixue, Wu Banghua

Abstract:

This paper studied the climate change effected the northeast China forests, pointed out that the north east China forest ecosystem in long mid and short terms is preliminary estimated under the climate change. (1) About the measure of the consistency of $CO_2$. The consistency of $CO_2$ in Changbai Mountain areas in the increasing with the average of the whole world and the annual increasing is

[1] 中國林學會森林旅遊分會常務理事、碩士

[2] 中國科學院自然資源綜合考察委員會

[3] 吉林林學會理事長、教授

[4] 吉林林學院教授、博士生導師

# 大興安嶺 1987 年特大火災後的生態環境變化及森林更新進展

沈國舫[1]　翟明普[1]　王鳳友[2]

摘　要：

本文在簡述了大興安嶺林區 1987 年特大火災的規模、強度及損害等情況後，分別就災後的生態環境變化及森林更新進展進行了介紹和分析，在生態環境變化方面著重論述了火災對林區小氣候、土壤、水文、植被、病蟲害發生及野生動物的影響及其隨災後時間的演變。在森林更新進展方面著重論述了針對該次大火災情採取的主要對策，不同森林更新方式尤其是人工更新所採用的主要技術以及 9 年後所取得的良好更新成績。文章展示了按不同火燒強度及林分狀況採用人工更新和天然更新相配合的正確策略，以及在地處寒溫帶的大興安嶺林區火燒跡地上採用大面積人工更新措施的有效性，改變了在該地區只能依靠天然更新的傳統觀念。

關鍵詞：火災 生態環境 森林更新 大興安嶺

1987 年 5-6 月間在大興安嶺北部林區發生的一場大火，以其巨大規模、特高的強度及引起慘重的損失而震驚中外。火災後不久，國務院曾組織以國內聞名的林學家和生態學家組成的專家組對火災地區進行了深入的實地考察，對這場火災的各項後果及環境影響進行了客觀估量。並對災後如何清理火燒林木恢復生態環境，更新森林資源，加強營林生產等，提出了方針性的意見和建議。這些意見和建議受到了政府的重視，得到了採納並被付諸實施。如今這場大火已經過去十年了，究竟災後的情況發展得怎樣，生態環境是否已得到恢復？火燒跡地是否得到更新？林業生產是否又有所發展？這都是國人普遍關心的問題。本文將主要以 1996 年對災區森林資源恢復更新的檢查總結爲依據對這些問題給予簡要的說明。

## 一、大興安嶺林區 1987 特大火災的基本情況

大興安嶺是我國重點林區和主要木材生產基地之一、總面積 22868 萬 $hm^2$，總蓄積量約 12.5 億 $m^3$。這裡的氣候屬寒溫帶季風氣候類型，冬季漫長少雪，夏季極短或無夏。年平均氣溫-2~4 ℃，一月份平均氣溫-20~-30 ℃（極端最低氣溫爲-52.3 ℃），七月份平均氣溫爲 17~20 ℃，生長期爲 80~120 天。全年降水量爲 350~500mm， 5~8 月雨量占全年的 70 %以上。大興安嶺地區的平均海拔在 300~800m 之間，山地起伏不大，地勢平緩（僅少數陽坡較陡），河谷開闊。大興安嶺植被屬於達烏里植物區系，主要植被爲寒溫帶的明亮針葉林，谷地有泥炭沼澤發育，主要樹種爲興安落葉松（ *Larix gmelinii* ），其蓄積量占總蓄積量的 69%，其次爲白樺（ *Betula platybhylla* ）和樟子松(*Pinus sylvesyris* var. *Mongslica*)，還有少量的紅皮雲杉(*Picea koraiensis* ）、黑樺（ *Betula dahurica* ）、山楊（ *Populus davidiana* ）和鑽天柳（ *Chosenia macrolepis* ）等。大興安嶺地帶性土壤爲棕色針葉林土爲主，上層較厚，一般爲 20~40cm ，河谷低洼處有沼澤土及泥炭土，上下有島狀分布的

[1] 北京林業大學
[2] 東北林業大學

永凍層。

大興安嶺林區分屬兩個林業管理局，一個在內蒙古自治區，另一個在黑龍江省。1987 年 5 月 6 日開始延續了 28 天的特大火災發生在黑龍江省的大興安嶺林管局北部的四個林業局（西林吉、圖強、阿木爾及塔河）境內。火燒範圍 1.33 萬 $hm^2$，過火有林地及疏林地面積 114 萬 $hm^2$，其中受害面積 87 萬 $hm^2$，過火森林蓄積 8025 萬 $m^3$.其中燒死森林蓄積 3960 萬 $m^3$，受害有林地及疏林地面積按不同火燒程度分：嚴重火燒 35 萬 $hm^2$，占 402 %；中度火燒 21 萬 $hm^2$，占 24.1 %；弱度火燒 31 萬 $hm^2$，占 35.7 %。火燒後受害用材林面積按樹種分：落葉松占 77.8 %，白樺占 17.5 %，樟子松占 4.6 %；按齡級組分：幼齡林占 23.2 %，中齡林占 23.7 %，成過熟林占 53.1 %。

這場火災的特點是過火面積大，損失森林蓄積多，房屋設施的損失也特別嚴重，還有人員傷亡；火燒強度大，火頭多個並進，主火帶寬達 10~20km，在主火帶內的林火都已由地面火發展爲林冠火，順風迅速推進，過火林木幾乎全被燒死，不但需作大量跡地清理工作，而且有的地方上無下種母樹，下無更新幼樹，給森林更新帶來難度，也給森林的可持續經營帶來嚴重不利影響，置四個受災林業局於極度困境之中。

二、 1987 特大火災對森林環境的影響及生態環境的恢復

1987 特大森林火災後，盡管下墊面發生了較大變化，但是，從整個地區看，尚未出現明顯的干擾大氣環流和大氣過程的現象，整體森林生態環境也未發生明顯變化，對周邊區域的生態環境也未發生明顯影響。但是，對火災區局部景觀特徵和生態產生了一定影響，這種影響在火災後表現強烈，而隨著植被的逐步恢復而漸趨緩解。

1.景觀的變化　火災前後該地區以興安落葉松佔優勢的原始森林景觀，由於森林火災而發生明顯的變化，目前已經成爲森林、灌叢、次生林、造林地等組成的複合森林景觀；原有的基質（原始林）已成爲剩餘斑塊；昔日的廊道（河谷、沼澤）明顯加寬；旱化景觀比較突出。

2.小氣候的變化　火災後並經過皆伐處理，由於地面失去森林的保護，下墊面白天吸收的太陽輻射增加，地面溫度明顯升高，地表呈現旱化，更新幼苗出現不同程度的日灼傷害，晚間長波輻射相應增加，致使低平地更新幼苗出現一定的霜凍危害，火燒當年晚霜比歷年推遲了近 20 天。這種現象隨著植被的自然恢復和人工更新面積的增加而逐步緩解。空氣相對濕度顯著減小，火燒當年空氣相對濕度比常年減少 6~12 %，出現局地乾燥化現象。

3.森林水文的變化　受災區由於特大森林火災和連續多年的森林皆伐，森林覆被率降低了 14.5 %，森林的蓄水和保水能力隨之下降，調查發現，這場大火直接影響到呼瑪河、盤古河和額木爾河等流域的水質和水量，其泥沙含量和渾濁度有不同程度的增加。1991 年 7 月塔河暴發了歷史上罕見的洪災，可能和大面積火燒跡地及採伐跡地的出現有著密切的關係。山坡上部已經出現了水土流失，尤其是乾旱陽坡和坡度較大的山頂部水土流失比較嚴重，出現了石礫覆蓋度高達 60 %以上的林地，加大了植被恢復與森林更新的難度。火災後 10 年來，隨著植被的恢復和森林更新面積的不斷擴大，江河水質有了一定的改善，

但是，蓄水和保水能力還遠未恢復到原有的水平。

4.植被的變化　特大森林火災直接影響了森林植被。在森林群落分類中，大興安嶺的原生森林植被包括杜香落葉松林、叢樺落葉松林、杜鵑落葉松林、越桔落葉松林、偃松落葉松林、草類落葉松林、石塘落葉松林、杜鵑樟子松林、白樺林和柳樹灌叢等類型。這場大火絕大部分屬速行地表火，發生時有些樹木尚處於休眠狀態，加之這場大火有些地上部分雖被燒死，但地下部分根系卻未死。火災後森林植被的演替大致出現了如下趨勢：火災後喬木層中樟子松、落葉樹針葉樹被火燒死，但林下灌木和草本很快即恢復，山楊通過根蘖，樺樹通過根基萌蘖很快占據優勢，即火災加速了落葉松林、樟子松林向次生白樺林轉化的進程。從山楊白樺林向樟子松林或落葉松林的轉化要完全依靠自然力和種群天然生長過程來實現，因而需要幾十年甚至幾百年的時間。從這個意義上講，採用一些人爲措施加速森林更新和恢復過程是完全必要的。由於火燒跡地的活、死地被物被燒後，白樺種子能接觸土壤，只要土壤水分條件較好，種子能萌發長出實生苗，所以火燒使白樺實生苗與白樺更新幼苗的比例有所增加。火災區內某些植物的數量特徵發生了較大變化，如絹毛繡線菊、越桔、小葉樟、高粱菊等旱生植物的蓋度在各種群落植物中均有一定的提高。在局部極端生境的向陽陡坡，被中旱生草本植被所占據，有些地段甚至出現了乾旱碎石坡。但是，從總體上講，林下原生森林植物群落均可辨識，說明原生植被的生態環境及植物區系組成尚未瓦解。

5.土壤的變化森林土壤類型和結構雖未發生明顯的變化，但是，某些土壤性質發生了一系列變化。

（1）土壤上部有機質層被全部或部分燒掉，表土層特別是枯落物層的組成結構和營養狀況發生了一定變化，枯落物蓄積量明顯減少，原來由難分解的松針爲主的枯落物層被那些容易分解的闊葉樹種枯葉和枯草所取代，加速了養分循環。

（2）土壤溫度的變化　火燒後地面一片焦黑，能吸收較多的熱量，土壤溫度提高。例如，火燒和未被火燒的水蘚層溫度分別爲 57 ℃和 37.5 ℃，兩者相差 19.5 ℃， 5cm 深處分別爲 26 ℃和 23.5 ℃，相差 2.5 ℃。由於火燒後土壤溫度提高，加速了土壤凍層的融化。據調查，泥炭土水蘚層下 43cm 處出現凍層，而在被燒掉的泥炭層下 50cm 處仍未見凍層。然而，森林火災與島狀凍土特性的關係是長期的和複雜的，需進一步研究方可闡明其內在聯繫。

（3）土壤 pH 的變化　據測定，火後土壤表層鹼度提高，炭屑層的 pH 在 8.0~8.5 之間，其下半分解的氈狀凋落物層 pH 值爲 6.0~6.5 ，腐殖質層 pH 爲 5.5 ，澱積層爲 5.0~5.5 ，而未燒過的杜鵑樟子松林下未分解的凋落物層 pH 值爲 5.5 ，半分解氈狀凋落物層 pH 爲 5.8 ，腐殖質層爲 6.0 ，淀積層爲 5.5 ，這些灰分隨水的下滲可以中和原來土壤的酸性，有利於林木更新。

（4）土壤微生物的數量及活性　在火燒後有所增加，土壤真菌、放線菌和細菌組成數量亦發生了一定變化，枯落物層中的數量明顯高於未燒林地，而

在上壤層中除細菌之外則相反。

（5）林下土壤動物種類在火燒後減少，群落組成單調，多樣性指數降低，個體大的捕食性動物種類和數量明顯減少，而個體小的自由生活型動物種類和數量有增加的趨勢。

6.病、蟲、鼠、獸害的變化森林大火改變了森林組成和生態環境，導致昆蟲、動物和菌類的生存條件及食物鏈也發生了一系列變化，因而出現了新的環境條件下的生物災害。樟子松主要病害有瘤鏽病和腐朽菌，落葉松和白樺大徑級立木主要病害是腐朽。過火後的前3年，森林害蟲以燒死木中的蛀幹害蟲爲主，優勢種有西伯利亞吉丁蟲（*Buprestis sibirica*）落葉松八齡小蠹（*Ipsub clongatus*）和松六齡小蠹（*I. acuminatus*）、雲杉大黑天牛（*Monochamus urussovi*）和雲杉小黑天牛（*Msutor*）等。過火林木的危害率達100％。由於生態環境的突發性變化，以前從未在林區出現的農業害蟲也侵入並產生極大危害，1988年在受災局出現了未見記載的黑地狼葉蛾，嚴重危害人工幼林，同時，松大蚜的數量有增多的趨勢。

火燒後動物組成及區系有一定變化，獸類變化的總趨勢是，大型獸類特別是肉食性動物的數量減少，小型草食性動物如雪兔、狍子的數量增加，尤其是嚙齒類動物的數量是猛增，它們對幼樹的啃食給造林更新帶來困難。但是，由於採取了有效的防治措施，並加之森林環境的恢復，林區有害生物種群數量控制在一定水平下，基本上做到"有害不成災"。

三、1987年特大火災後的森林更新進展

1.更新概況

據1996年的調查，四個受災林業局火燒跡地森林更新總面積達96.43萬$hm^2$，其中人工更新保存18.65萬$hm^2$，占人工更新規劃面積的108.1％：人工促進天然更新有成效面積11.35萬$hm^2$，占人工促進天然更新規劃面積的98.5％，天然更新和封山育林有成效面積66.4萬$hm^2$，占天然更新和封山育林規劃面積的87.9％。

森林更新總面積中，針葉樹（興安落葉松、樟子松）和針葉樹爲主的更新林地總面積爲67.91萬$hm^2$，占森林更新總面積的70.4％，其中人工更新林地面積：1.87萬$hm^2$以針葉樹爲主的占100％，人工促進天然更新有效林地中，以針葉樹爲主的占51.4％；在天然更新和封山育林有效林地中。以針葉樹爲主的占65.4％。

2.各種方式的更新成果

根據國務院專家組的建議和隨後進行的規劃設計方案，火災區因地制宜地採取了天然更新、人工更新及人工促進天然更新3種更新方式。對該3種更新方式的效果作如下分析評價。

（1）天然更新　這是占森林更新面積最大的一種更新方式，主要適用於輕度和中度的火燒跡地以及附近有天然下種種源或火燒前原爲楊樺林的重火燒跡地。火燒後歷經9年時間檢查，天然更新有成效面積占規劃留作天然更新面積的87.9％，說明尚有相當面積的火燒跡地，主要是重火燒跡地，未能有效地

進行天然更新。在已天然更新的火燒跡地上幼林已開始鬱閉成林，但其鬱閉程度一般都比較低，有一半左右的幼林鬱閉度在 0.2~.05 之間。從樹種組成看，以針葉樹爲主的天然更新幼林占天然更新有效面積 65.4 %，其餘都形成白樺林、山楊林及闊葉樹爲主的混交林。樟子松林下無論重度還是輕度火燒跡地上樟子松幼苗更新普遍良好，且萌生山楊、樺條很少。白樺以萌生爲主，實生白樺不是 10 %，萌生株的 65 %以上呈叢生狀，質量較差。大興安嶺林區山楊林面積不大，多在陽坡或半陰半陽坡形成，呈塊狀分布，多爲根蘖萌生，質量較差。

大興安嶺地區氣候條件是影響天然更新成效的原因之一。由於氣候寒冷，熱量不足，針葉母樹需間隔 4~5 年才有一次結實豐年，一般完成跡地更新過程需 2 個以上結實豐年，而 1987 年大火以後的 9 年時間未遇一次結實豐年，有限的種源也成爲天然更新的主要限制因子。

總之，大興安嶺火災區的天然更新效果是可以肯定的，更新的面積大，幼林已覆蓋了大面積土地，生態條件得到一定程度的恢復，但是同時也應注意，天然更新形成的幼林質量較差，主要表現在生長過程比較緩慢，密度不足，分布不均勻，樹種組成中針葉樹的比重小，萌生闊葉樹的比重大，難以滿足用材林基地的要求。

（2）人工促進天然更新　在保留有部分針葉樹下種母樹的中重度火燒跡地上，經鬆土整地可促進天然下種更新，這種方法在大興安嶺火災區還是行之有效的。據調查，有更新幼苗的整地穴達 90 %以上，平均每穴有更新幼苗 1-2 株。有足夠數量針葉樹更新的面積，占人工促進天然更新總面積的 51.4 %，比率偏低的原因也是針葉樹大小年現象嚴重，鳥獸危害等而形成的種源不足。實踐證明，人工天然更新只有在結實豐富的種子年，在種子成熟前進行去草皮或翻墾土壤才有較好的效果。在由於人爲或自然力形成的裸露地表，不必進行整地促進天然更新。

（3）人工更新　人工更新以針葉樹植苗方式爲主，它雖然在整個森林更新的面積上並不占主要地位，但就其需求的人力物力和資金投入以所發揮的作用來說卻是舉足輕重的，特別是在連片無母樹的重度及極重度火燒跡地上幾乎是實現森林及時更新的唯一選擇。大興安嶺火災區的人工更新條件良好，只要認真執行技術規程，造林生成活率一般可以達到 90 %以上，以後保存率逐年下降，到第四年穩定下來，保存率可達 85 %以上。興安落葉松的植苗成活率和保存率一般高於樟子松和紅皮雲杉，其原因主要是苗木質量的保證和生活力的維持。由於林地上保留有少量樺、楊等闊葉樹，所以針葉樹的造林密度一般爲每公頃 2000 株左右即可。從生長表現看， 8~9 年生興安落葉松已接近全林鬱閉，平均高可達 2.5-2.8m ，平均胸徑 1.5cm 左右，個別地段的平均高達 4.0m 左右，平均胸徑 3.0cm 左右，個別單株年高生長量可達 70-100cm 。這樣高的生長量應該說樹種的表現是很好的。大興安嶺火災區大面積的人工幼林已經鬱鬱蔥蔥，茁壯生長，顯示出人工更新幼林在建成商品用材林基地中的重要性。

3.人工更新的主要技術經驗

大興安嶺北四局營林基礎差，技術積累少，設施嚴重不足，給開展大面積人工更新帶來難度，林業部和大興安嶺林管局及時組織了國內幾個知名林業科

技單位：北京林業大學、東北林業大學、中國林科院、中科院應用生態研究所等，對四個受災局進行對口科技支援。經過對口支援單位與大興安嶺當地營林科技林幹部的通力協作，在學習外地經驗的基礎上，不斷探索研究，逐步形成了一整套適合於本地區的人工更新技術體系。這個技術系列包括人工更新立地選擇，樹種選擇、密度調控、人工更新和天然更新的結合，針葉混交林培育等。

（1）人工更新的立地選擇　通過大量標準地調查並使用數量化理論方法得出影響人工更新的主導立地因子。例如，得出影響該地區興安落葉松人工林生長的主導因子是土壤厚度，其次是坡位，列出不同立地條件下林本上層高生長的預測表，並提出林種樹種安排的建議。對造林更新調查設計和營林具有指導意義。

（2）人工更新的選擇本地區主要造林樹種有興安落葉松、樟子松、紅皮雲杉、白樺和甜楊等，這是人工更新最可靠的樹種。興安落葉松是最主要的成林樹種，以其爲優勢的林分面積，占有林地總面積的 71.9 %。且具喜光、耐寒、耐水濕、耐貧瘠和早期速生等優點，當列爲第一位更新樹種，人工更新面積可達 70 %。樟子松喜光，耐乾旱瘠薄，但不耐水濕和粘重土壤。木材經濟價值高，頗受歡迎，人工更新面積可控制在 20 %以上，對其造林成活率低，保存率低和鼠害嚴重的問題當加強研究。紅皮雲杉、白樺和甜楊也應適當發展，面積一般應占 5~10 %。

（3）密度控制　通過對不同立地條件的人工林生長發育進程的研究，根據不同林種材種的規格要求提出本地區興安落葉松、樟子松的合理造林密度爲每公頃 3300 株，紅皮雲杉爲每公頃 4400 株。在進行“人工混”局部造林時，視現有白樺的有效株數每公頃栽植針葉樹 1500~2000 株。

（4）人工更新與天然更新的結合及針闊混交林的培育　大興安嶺林區天然更新，尤其是闊葉樹的天然更新良好，所以在立地較好並進行人工更新的地段，往往也是有楊樺更新幼樹的地段，應根據楊樺幼樹的更新頻度，採用不同密度的局部植苗，“栽針保闊”，以“人天混”方式使其形成結構合理的針闊混交林，在幼林撫育中應砍去山楊、白樺生長不良的植株，每叢應保留 1-2 株健壯的萌條，絕對不應全部砍光。混交林中針葉樹和闊葉樹的比例一般應爲 7 ： 3 或 8 ： 2 。

（5）優質壯苗的培育　由於苗木是人工植苗更新的基礎，所以優質壯苗培育是火災區森林資源恢復的重要內容，並進行苗木生長規律、容器苗、與移植容器苗培育、出圃苗齡型、貯藏方法、稀土元素應用及苗木質量化學調控等系列研究工作。結果表明，應用有序樣品聚類分析方法對興安落葉松和樟子松 5 種主要苗木類型的年生長期進行定量劃分，爲培育苗木提供了理論依據；容器苗尤其是移植容器苗具有根系完整，無緩苗期，造林成活率高等特點，並找出保證造林成功和使苗木瀕危致死的臨界值；在比較了苗木不同貯藏方法後，肯定了窖藏法，廢棄當地生產上沿用的露天假植＋草帘；用 200ppm 的硝酸稀土和螯合稀土-鉬浸種 4 小時，能顯著促進興安落葉松種子萌發出土，稀土的效果

最好，可提高實驗室發芽率 15.1 %，場圃出苗率 14 %-27 %；藥物處理可抑制落葉松苗木莖的高生長，提高木質化程度，縮小莖根比，促進鬚根發育，從而減少造林後苗木枯梢率。這些研究都對指導苗木生產起到了良好作用。

（6）營林機械選型及設備配備　分別對苗圃機械配備的原則、方法及其實踐進行探討，根據苗圃規模、地理環境條件，苗木種類、生產工藝、作業方式、管理人員及生產人員的素質，經濟條件及機械設備的現狀等多種因素，提出 19 種育苗機械的設備配備方案；通過澆灌系統的類型選擇，主要技術參數的確定，噴灌系統的布置，噴頭及管道的選型，管道的水力計算，水泵的選擇等分析計算，制訂了中心苗圃噴灌系統規劃設計；研製了既能夠保護母樹又能提高種子品質的樟子松球果 6 種採摘機具，經過生產試驗並通過技術成果鑒定；進行了人工促進天然更新機械的選型，並提出了自製簡易設備的方案。此項工作大大提高了火燒區營林的機械化水平。

四、第二期恢復與發展工程展望

大興安嶺 1987 火災區的森林資源恢復工作，由於中外各界人士的關心支持和鼎心協作，取得了可喜可賀的成績，但是這些成績是初步的，森林資源恢復工作則是長期的艱巨的，必須盡快啓動第二期工程，將此項工作繼續開展下去。

第二期工程的主要任務是：

1.加速火燒跡地未造林地段森林資源的更新恢復

第一期工程規劃設計的 1043 萬 $hm^2$ 範圍內還有 7 萬 $hm^2$ 火燒跡地由於交通、立地、母樹等種種原因而尚未更新，在原規劃設計之外，尚有 6.2 萬 $hm^2$ 疏林地和 13.6 萬 $hm^2$ 無林地未列入原更新規劃總量，以上幾項合計 25 萬 $hm^2$ 尚需進行人工更新。在旱生現象比較嚴重的陽坡，需加強植被保護和建設，侍條件具備時採用人工更新，加速恢復進程。

2.加強現有林的經營力度

大興安嶺特大火災後經過 9 年艱苦奮鬥，已經有 96.43 萬 $hm^2$ 林分面積達到恢復更新標準，以森林資源恢復更新爲主的生態建設，遏制了生態條件惡化的趨勢，今後的營林工作要鞏固和擴大已有成果，還必須制訂科學的營林規劃措施，加強營林工作。密度不足或組成不合理的幼林需要初植加密或引入針葉樹種加以改造。全力填補受災後森林資源齡級結構中已經出現的斷檔和缺口。因地制宜地通過多種撫育管理措施提高森林生產力。實現森林資源的永續利用和高質量的森林資源恢復將集中體現在森林生產力的顯著提高上，要努力把大興安嶺北四局的森林生產力從目前每年每公頃 1.5 立方米左右的水平提高到這個地區自然條件下可以達到的每年每公頃 3 立方米左右的水平，這將是林業工作者長期奮鬥的目標，我們從現在開始向這個目標邁進。整個地區林業的可持續發展，把北四局真正建成國家大徑級商品用材林基地，並做到生態環境的良性循環。大興安嶺林區的營林水平已經從火災前的租放經營走了出來，要不失時機地利用現在已經掌握的更新成功經驗，只能前進不能後退，不斷開創營林工作新局面。

3.增加科技含量，注重質量要求

第二期工程在質量上要堅持高標準標準嚴要求，首先要提高良種優化水平，提供真正的優質苗木，提高容器苗的比重；改善樹種結構，在人工更新中適當增加樟子松和紅皮雲杉的比重；擴大優質樹種的引種試驗，加快白樺良種選育及實生苗繁育的步伐；及時進行科學定向的撫育管理，有效地實現高產優質針闊葉混交林的培育。

大興安嶺林區是我國北方地區重要的商品材基地，又是松嫩平原乃至整個東北平原和呼倫貝爾草原的天然綠色生態屏障，是黑龍江和嫩江的天然水源林，在我國的國計民生中占有非常重要的地位，通過全面恢復森林資源和生態環境的幾期工程，將使已取得的更新成果得以鞏固和發展，使這顆北方綠色明珠爲當代人民和子孫後代安居樂業提供保障，爲林業企業的興旺發達奠定堅實的基礎，爲我國的林業事業的可持續發展做出貢獻。

主要參考文獻：

1.國務院大興安嶺恢復生產重建家園領導小組專家組，大興安嶺特大火災區恢復森林資源和生態環境考察報告匯編。北京：中國林業出版社， 1987
2.大興安嶺“56”特大火災區森林資源恢復更新檢查總結報告（內部材料）1996.7
3.沈國舫主編，北京林業大學學報，大興安嶺特大火災區恢復森林資源研究論文專輯，I-III 1990（增刊1，增刊2），1993（增刊1)

# 塔塔加地區森林火災對松類造林地之植群、微氣候及土壤性質的影響

楊美玲[1,2]、姜家華[2]、王亞男[2]、鐘三雄[3]

摘　要：

玉山國家公園塔塔加地區，於民國八十二年一月六日發生該園區成立以來最大的森林火災，焚燒範圍約達三百公頃。自民國八十四年四月至八十五年三月期間，選擇該區之麟趾山東側及東南側坡地爲林火區試驗地，進行植群調查、微氣候觀測、土壤之有機質與pH值的測定等工作。

林火區目前之植物組成，係以高山芒、巒大蕨、馬醉木、紅毛杜鵑、百喜草、褐毛柳、玉山箭竹等爲主，其出現頻度均高於百分之五十，其重要值總和高達166.43，其中以高山芒最爲優勢，其重要值爲63.04。此乃由於林冠疏開，大量陽光直射林床，在林下日照充足情形下，植群當以這些陽性植物爲優勢。對照區仍維持原有林相植被狀況，下層地被植群以玉山箭竹爲主，上層植群則以臺灣華山松與臺灣二葉松佔優勢。

林火區試驗地之PAR年平均值增爲0.811 mol/m$^2$，爲對照區之五倍，而其各時分之PAR年平均值最高可達3.479 mol/m$^2$，究其原因應爲林冠疏開，大量陽光可直射林床所致，此現象與目前植群調查以陽性植物爲優勢之結果一致。火災後，林火區因林冠的疏開，破壞森林原有之調溫功能，使得林火區之氣溫年平均值爲9.95℃，較對照區高0.98℃，且大量的陽光可直射林內，使得林火區各時分之氣溫年平均高低(日夜)溫差增加爲12.11℃，較對照區高2.22℃。

由於林火區之土壤表面堆積許多深色的灰炭遺跡，使得表土具有較高的吸熱能力，並會改變原有的熱傳導性質，導致林火區的表土溫度年均值增爲12.02℃，比對照區高出2.72℃；同理，林火區表土之各時分年平均高低(日夜)溫差增爲9.65℃，較對照區高出7.88℃。

林火發生時所產生的高熱，將使得表土之有機質因高溫而碳化，導致林火區表土之有機質含量的降低；另植物體及枯枝葉層因被燒成灰分，大量的養分可從灰分中重新釋放回林地，將導致土壤的pH值的增高。

## 壹、前言

由於人類的活動，排放過多的廢氣至大氣層，造成溫室效應的日益嚴重；另過度的放牧、開墾、大規模森林砍伐，使得森林面積急速減少，更促進全球溫室效應的惡化，導致環球性的氣象(如溫度、雨量)異常，而異常的天災將造

[1] 陽明山國家公園管理處
[2] 國立臺灣大學森林系
[3] 經濟部中央地質調查所

成人類生命與財產的損失，故全球環境變遷問題已成爲國際性之重要研究範疇。

雖然溫室效應爲造成環球性氣候異常之主因，但森林大火是否會影響局部地區的氣候變化？其對微環境變遷的衝擊爲何？

根據林務局統計資料顯示，臺灣地區從民國56年至84年間共發生906次森林火災，焚燒面積共有31700公頃，平均每年發生31次森林火災，平均每年焚燒面積有1093公頃。玉山國家公園塔塔加地區於民國八十二年一月六日發現森林火災後，火勢隨即擴大燃燒達六天又七小時方被控制撲滅，火災波及區達299.39公頃，受害森林面積共267.55公頃(林朝欽, 1994)，爲該園區成立以來最大型的森林火災。

爲瞭解該地區天然景觀及自然生態環境所受的的衝擊，陳隆陞等人(1994)曾進行初步之調查，惟該報告中並無林火區微氣象因子之觀測。本研究除進行林火區之植群調查外，並對於林火區與對照區之日輻射量、土壤表面溫度、氣溫等微氣象因子進行一年期(民國八十四年四月至八十五年三月)的連續觀測，並依不同深度採集二區之土壤試樣，分析土壤的有機質含量與pH值，藉以瞭解森林火災對松林之植群、微氣候及土壤性質的影響。

## 貳、研究樣區環境概述

塔塔加地區位於國有林玉山事業區第二十四班、第二十五班林地及臺大實驗林地之交界，爲沙里仙溪與楠梓仙溪之分水嶺，屬啞口地形。火災區包括沙里仙溪東測的玉山山塊及楠梓仙溪之源頭地帶，山勢陡峻，坡度在50-55度之間。

火災區域由鞍部至玉山前峰海拔爲2680-3236公尺處，其植群上層爲以臺灣二葉松爲主要樹種的次生林，林木稀疏，伴生有森氏杜鵑、臺灣馬醉木、臺灣刺柏、褐毛柳等次生灌叢，林下則密生玉山箭竹。主要造林樹種有臺灣二葉松、華山松、紅檜、扁柏及臺灣赤楊等(劉儒淵，1993)。

整個火災跡地範圍，西緣起自塔塔加鞍部附近2850高地(麟趾山-大竹山)，東側至玉山前峰附近3150高地，北界爲塔塔加鞍部至玉山前峰稜線，南端約達楠梓仙溪林道標高2300公尺處，總面積約300公頃。

由於火災區面積廣大，且大部分地勢陡峭不易調查，故本次調查與研究之樣區初步選擇火災跡地之西南區，即麟趾山東至東南向之側坡，係屬阿里山事業區第二十四林班林區，火災前原林相以華山松及臺灣二葉松爲主。

另於林火區試驗地附近未受該次火災波及，且與林火區試驗地同坡向高度相近之區域擇爲對照區試驗地。

## 參、研究方法

### 一、植群調查:

選定林火區與對照區試驗地，並設置10m×25m大樣區進行植群調查，每個大樣區再分成10個5m×5m之小樣區，以調查各小樣區內之植物種類、株數、胸徑、覆蓋度等。

### 二、儀器架設與微氣候資料之紀錄擷取:

將量子感測器及土溫與氣溫感測器分別架設於火災區與對照區內，並連接至微電腦資料紀錄器(data logger)，以觀測並連續記錄二區之微氣候變化。

本研究分別架設二組微電腦紀錄器及微氣候感測器於標高約2650m與2600m之林緣處，每臺紀錄器各接八個感測器，其中包括三個量子感測器以量測光合作用有效輻射(Phtosynthetically Active Radiation；波長量測範圍爲400 nm至700 nm，本文後將簡稱爲PAR)，三個熱阻式溫度感測器插入表土以量測表土溫度變化，兩熱阻式溫度感測器置於離地面高約一公尺之遮陰板下以量測氣溫，並將微電腦計錄器設定爲每分鐘暫存一次偵測值，每小時紀錄一次平均值(一小時內60個暫存值之平均)，二十四小時連續紀錄。

所用氣候觀測之儀器設備，均爲LI-COR公司出品:LI-1000資料記錄器、LI-190SA量子感測器(quantum sensor)及LI-1000-16熱阻式溫度感測器(thermistor type temperature sensor)。由於LI-1000資料紀錄器之記憶體容量只有32K，約可容納一個月的紀錄值，故每月即需以個人電腦擷取紀錄器中之資料。

### 三、土樣之採集與分析:

於火災區與對照區內分別設三個與二個土壤樣區，土壤樣區之大小爲10m×25m，各樣區內依不同高度分上中下三個採樣點隨機採樣，每一採樣點依深度0-5cm、5-10cm、10-15cm、15-20cm分別採樣及進行室內實驗分析。pH值之測定係採用水與土壤重量比爲1:5之混合液，以pH計量測；有機質係以重鉻酸鉀氧化滴定法測定。

## 肆、結果與討論

### 一、植群調查

民國八十四年七月九日於林火區試驗地之植群調查結果如表一。其中頻度(frequency)之值爲該種植物出現之樣區數除以調查之總樣區數(以百分比表示)，相對頻度爲該種植物頻度與樣區內所有植物頻度總和之百分比值，覆蓋度(coverage)之值爲該種值物所覆蓋之面積除以調查總樣區數，相對覆蓋度爲該種植物覆蓋度與樣區內所有植物覆蓋度總和之百分比值，重要值(important value)之計算係採用相對頻度與相對覆蓋度之總和。

由表一可知，林火區目前之植物組成，係以高山芒、巒大蕨、馬醉木、紅毛杜鵑、百喜草、褐毛柳、玉山箭竹等爲主，其出現頻度均高於百分之五十，其重要值總和高達166.43，其中以高山芒最爲優勢，其重要值爲63.04。

表一、林火區植群調查結果(調查日期:八十四年七月九日)

| 樹種　樣區 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 出現樣區數 | 頻度 | 相對頻度 | 覆蓋度 | 相對覆蓋度 | 重要值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 紅毛杜鵑 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | * | * | | | | * | | | | 25 | **78.12** | 9.55 | 480812 | 7.454 | **17.00** |
| 巒大蕨 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | * | * | * | * | | * | * | * | * | 30 | **93.75** | 11.46 | 614748 | 9.531 | **20.99** |
| 馬醉木 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | 30 | **93.75** | 11.46 | 356168 | 5.522 | **16.98** |
| 褐毛柳 | * | * | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | * | * | | * | * | | * | | | | | | | | | | 19 | **59.37** | 7.26 | 36433 | 0.565 | **7.82** |
| 高山芒 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | 32 | **100.00** | 12.22 | 3278020 | 50.820 | **63.04** |
| 百喜草 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | * | * | | * | | * | * | * | * | | | * | * | | | | | * | 23 | **71.87** | 8.79 | 692764 | 10.740 | **19.53** |
| 臺灣百合 | | * | | | | | | * | * | | * | | | * | | | | | | * | | | | | | | | | * | * | * | | 9 | **28.12** | 3.44 | 2627 | 0.041 | **3.48** |
| 紫花地丁 | * | | | | | | * | | | * | | * | | * | * | * | * | | | * | | | | | | * | | | | | * | * | 12 | **37.50** | 4.58 | 6489 | 0.101 | **4.68** |
| 玉山抱莖籟蕭 | | | * | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | | * | | | 5 | **15.62** | 1.91 | 3567 | 0.055 | **1.96** |
| 玉山金絲桃 | | | | | | | | | | | * | | | * | | | | * | * | * | * | | * | * | * | * | | | | * | * | * | 13 | **40.62** | 4.97 | 10894 | 0.169 | **5.13** |
| 玉山薊 | | | * | | | | * | | | | | | | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | 3 | **9.37** | 1.15 | 860 | 0.013 | **1.16** |
| 森氏杜鵑 | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 1350 | 0.021 | **0.40** |
| 高山薔薇 | | | | | | | * | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | **6.25** | 0.76 | 1945 | 0.030 | **0.79** |
| 散血丹 | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 285 | 0.004 | **0.39** |
| 火炭母草 | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 290 | 0.004 | **0.39** |
| 過山龍 | | | | | | | | | | * | * | * | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | 4 | **12.50** | 1.53 | 1573 | 0.024 | **1.55** |
| 玉山箭竹 | | | | | | | | | | | | | * | * | * | | | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | 17 | **53.12** | 6.49 | 940520 | 14.581 | **21.07** |
| 臺灣澤蘭 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 128 | 0.002 | **0.38** |
| 玉山龍膽 | | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | | | | | * | * | * | * | | * | * | | * | 9 | **28.12** | 3.44 | 2962 | 0.046 | **3.48** |
| 玉山小米草 | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | 3 | **9.37** | 1.15 | 1525 | 0.024 | **1.17** |
| 玉山飛蓬草 | | | | | | | | | | * | * | | | | * | | | | | | | | | | | * | | | | * | | | 5 | **15.62** | 1.91 | 3750 | 0.058 | **1.97** |
| 黃苑 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | | | * | | | * | | * | 4 | **12.50** | 1.53 | 794 | 0.012 | **1.54** |
| 臺灣粉條兒菜 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | | * | | * | * | 4 | **12.50** | 1.53 | 1760 | 0.027 | **1.56** |
| 山油點草 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | | | | 2 | **6.25** | 0.76 | 197 | 0.003 | **0.77** |
| 大花落新婦 | | | | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 1670 | 0.026 | **0.41** |
| 玉山石竹 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 420 | 0.007 | **0.39** |
| 虎杖 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 180 | 0.003 | **0.38** |
| 昭和草 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 121 | 0.002 | **0.38** |
| 玉山針蘭 | | | | | | | | | | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | **3.12** | 0.38 | 6832 | 0.106 | **0.49** |
| 厚唇粉蝶蘭 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | * | * | * | | | | * | * | 5 | **5.62** | 0.69 | 573 | 0.009 | **0.70** |

火災後的林地，由於林冠疏開，林床裸露，日照量充足，萌芽的幼苗能持續生長，初期形成的植物社會中，以陽性植物居多，而陽性植物的生長速率往往比陰性植物快許多，對於環境資源的競爭力亦較強，故在初期的植物社會中當能保持優勢。

表二、全年每月之平均值(八十四年四月至八十五年三月)

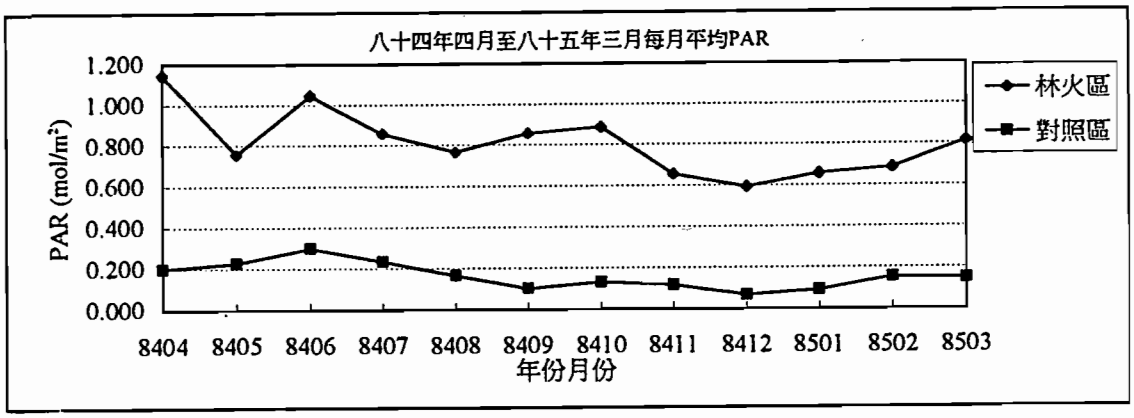
| 年份<br>月份 | 林火區<br>(PAR) | 對照區<br>(PAR) | 林火區<br>(土溫) | 對照區<br>(土溫) | 林火區<br>(氣溫) | 對照區<br>(氣溫) | 二區差值<br>(土溫) | 二區差值<br>(氣溫) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8404 | 1.147 | 0.200 | 12.95 | 8.78 | 11.24 | 10.13 | 4.17 | 1.11 |
| 8405 | 0.757 | 0.229 | 13.23 | 10.53 | 11.58 | 11.03 | 2.70 | 0.55 |
| 8406 | 1.047 | 0.300 | 15.50 | 12.76 | 13.55 | 13.00 | 2.73 | 0.56 |
| 8407 | 0.858 | 0.233 | 15.95 | 13.26 | 13.66 | 12.91 | 2.68 | 0.74 |
| 8408 | 0.767 | 0.166 | 15.33 | 12.62 | 13.08 | 12.13 | 2.71 | 0.94 |
| 8409 | 0.859 | 0.103 | 15.59 | 12.36 | 12.97 | 11.79 | 3.23 | 1.18 |
| 8410 | 0.888 | 0.132 | 14.59 | 11.47 | 12.37 | 11.03 | 3.12 | 1.34 |
| 8411 | 0.656 | 0.118 | 10.83 | 8.77 | 8.34 | 7.34 | 2.06 | 1.00 |
| 8412 | 0.592 | 0.065 | 6.82 | 5.04 | 4.34 | 3.27 | 1.77 | 1.07 |
| 8501 | 0.659 | 0.093 | 6.09 | 3.78 | 4.09 | 3.08 | 2.30 | 1.01 |
| 8502 | 0.685 | 0.153 | 7.32 | 4.97 | 5.43 | 4.41 | 2.35 | 1.02 |
| 8503 | 0.817 | 0.149 | 10.10 | 7.22 | 8.82 | 7.62 | 2.88 | 1.20 |
| 年平均值 | 0.811 | 0.162 | 12.02 | 9.30 | 9.95 | 8.98 | 2.72 | 0.98 |

備註：PAR單位爲mol/m$^2$；土溫及氣溫單位均爲攝氏溫度。

## 二、微氣候觀測

### 1.PAR

林火區之每月PAR平均值爲0.592~1.147 mol/m$^2$，最低在十二月份，最高在四月份，全年平均值爲0.811 mol/m$^2$，而對照區之每月PAR平均值則介於0.065~0.300 mol/m$^2$，最低在十二月，最高在六月，全年平均值0.162 mol/m$^2$(表二、圖一)。全年林火區內之PAR最高時段發生於上午十點至十一點間其平均值爲3.479 mol/m$^2$，而對照區則於上午九至十點間，其PAR可達最高，其值爲0.812 mol/m$^2$，另二區在上午七點至八點時段，其PAR值均驟增，但對照區增加的幅度較低(表三、圖二)。

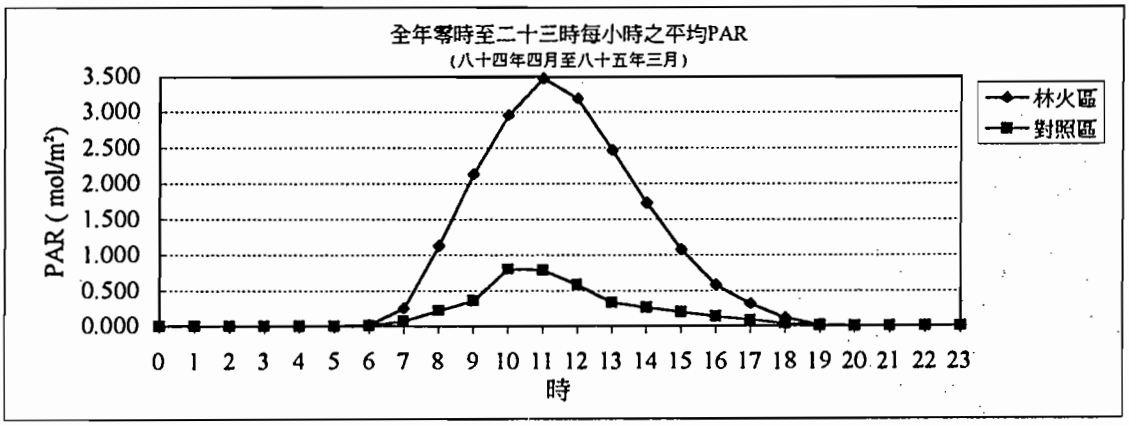



圖一、林火區與對照區試驗地每月平均PAR之變化圖

表三、全年各時分之每小時平均值(八十四年四月至八十五年三月)

| 時分 | 林火區 (PAR) | 對照區 (PAR) | 林火區 (土溫) | 對照區 (土溫) | 林火區 (氣溫) | 對照區 (氣溫) | 二區差值 (土溫) | 二區差值 (氣溫) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.000 | 0.000 | 9.66 | 8.97 | 6.06 | 5.94 | 0.69 | 0.12 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 9.40 | 8.88 | 5.90 | 5.75 | 0.52 | 0.16 |
| 2 | 0.000 | 0.000 | 9.17 | 8.78 | 5.76 | 5.57 | 0.38 | 0.19 |
| 3 | 0.000 | 0.000 | 8.96 | 8.70 | 5.64 | 5.42 | 0.26 | 0.23 |
| 4 | 0.000 | 0.000 | 8.77 | 8.62 | 5.56 | 5.30 | 0.15 | 0.26 |
| 5 | 0.000 | 0.000 | 8.59 | 8.55 | 5.51 | 5.24 | 0.05 | 0.28 |
| 6 | 0.016 | 0.005 | 8.45 | 8.48 | 5.55 | 5.22 | -0.03 | 0.33 |
| 7 | 0.254 | 0.073 | 8.51 | 8.45 | 7.47 | 6.18 | 0.06 | 1.29 |
| 8 | 1.135 | 0.217 | 10.04 | 8.57 | 13.77 | 9.65 | 1.47 | 4.11 |
| 9 | 2.138 | 0.359 | 13.22 | 8.87 | 16.48 | 12.42 | 4.35 | 4.05 |
| 10 | 2.960 | 0.812 | 16.10 | 9.27 | 17.32 | 14.25 | 6.84 | 3.07 |
| 11 | 3.479 | 0.797 | 17.78 | 9.60 | 17.62 | 15.11 | 8.18 | 2.51 |
| 12 | 3.197 | 0.586 | 18.10 | 9.89 | 17.15 | 14.84 | 8.22 | 2.31 |
| 13 | 2.470 | 0.336 | 16.95 | 10.08 | 15.85 | 13.93 | 6.87 | 1.92 |
| 14 | 1.731 | 0.260 | 15.70 | 10.19 | 14.31 | 12.97 | 5.50 | 1.34 |
| 15 | 1.083 | 0.199 | 14.80 | 10.22 | 12.87 | 12.07 | 4.58 | 0.80 |
| 16 | 0.587 | 0.135 | 14.08 | 10.18 | 11.60 | 11.14 | 3.90 | 0.46 |
| 17 | 0.317 | 0.084 | 13.39 | 10.07 | 10.52 | 10.27 | 3.32 | 0.24 |
| 18 | 0.120 | 0.034 | 12.67 | 9.91 | 9.24 | 9.25 | 2.76 | -0.01 |
| 19 | 0.017 | 0.005 | 11.94 | 9.72 | 8.07 | 8.21 | 2.22 | -0.14 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 11.30 | 9.52 | 7.33 | 7.41 | 1.78 | -0.08 |
| 21 | 0.000 | 0.000 | 10.77 | 9.36 | 6.82 | 6.84 | 1.41 | -0.01 |
| 22 | 0.000 | 0.000 | 10.34 | 9.21 | 6.53 | 6.48 | 1.13 | 0.06 |
| 23 | 0.000 | 0.000 | 9.98 | 9.09 | 6.27 | 6.17 | 0.89 | 0.10 |

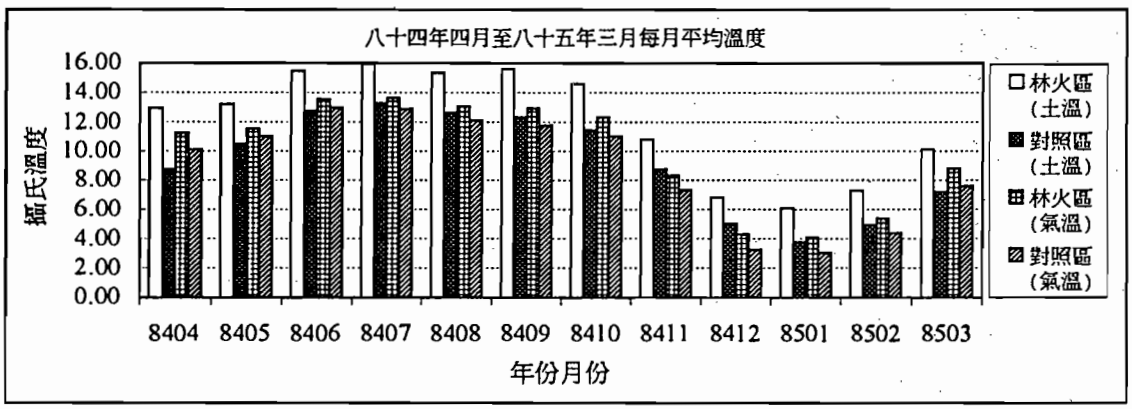
備註：PAR單位爲mol/m²；土溫及氣溫單位均爲攝氏溫度。



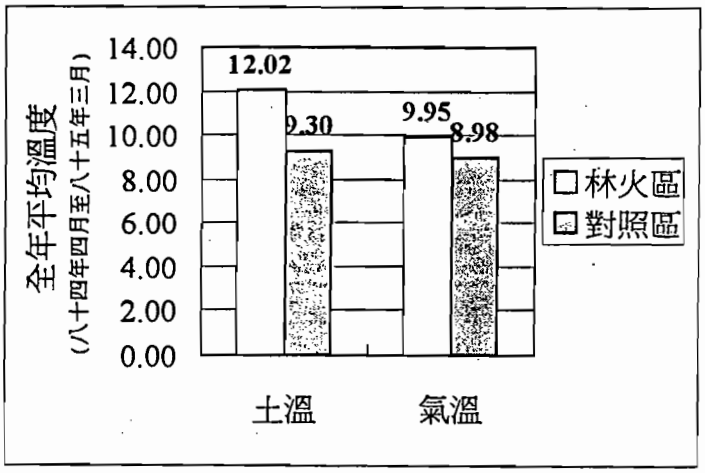

圖二、林火區與對照區試驗地各時分每小時平均PAR的變化圖

2.氣溫

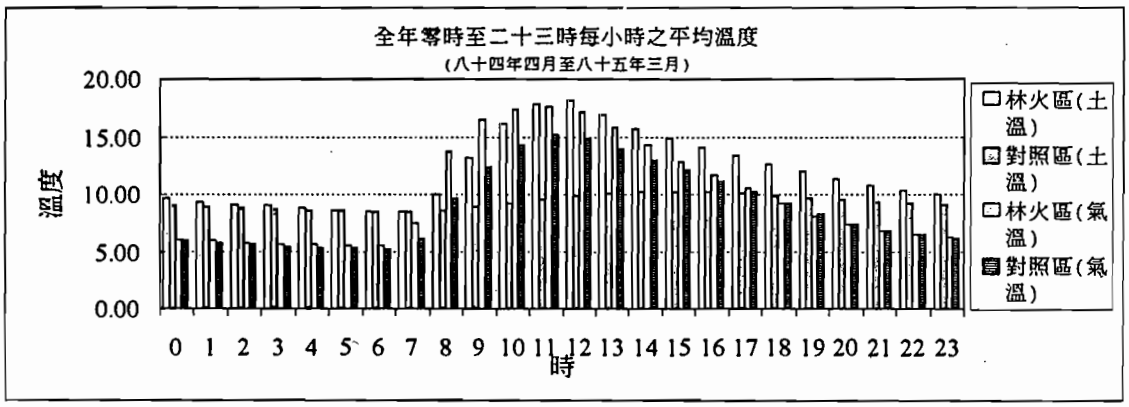
由表二及圖三可知，林火區氣溫之月均溫最低爲4.09℃(一月份)，最高爲13.66℃(七月份)，而對照區內氣溫之月均溫最低爲3.08℃(一月份)，最高爲13.00℃(六月份)。二區之月平均氣溫差異並不大，約爲0.55~1.34℃，以年均溫而言，林火區之氣溫(9.95℃)比對照區(8.98℃)高0.98℃(表二、圖四)。




圖三、林火區與對照區試驗地每月平均溫度變化圖




圖四、林火區與對照區試驗地之全年平均土溫及氣溫比較圖




圖五、林火區與對照區試驗地之全年各時分平均土溫及氣溫比較圖

由表三可知，林火區全年各時分之年平均氣溫爲5.51℃~17.62℃，年平均高低溫差有12.11℃，而對照區則爲5.22℃~15.11℃，其年平均高低溫差爲9.89℃，故林火區各時分年平均高低溫差較對照區高2.22℃。圖十爲二區氣溫各時分之年均溫變化圖，下午五至九點，林火區之年均溫較對照區稍低(0.01℃~0.14℃)，其餘時分，林火區之年均溫均較對照區爲高(0.06℃~4.11℃)，另林火區與對照區均於上午十至十一點時段間，其氣溫年平均值最高，分別爲17.62℃與15.11℃，但二區各時分之氣溫差異最大之時段卻爲七點至九點間，其年平均溫差可達4.05~4.11℃，其原因應爲該時段之PAR值驟增，且林火區之PAR增加幅度遠高於對照區之故(表三)。

造成林內太陽輻射量有差異的原因有:方位、坡度、地形、樹冠覆蓋度及其形狀等因子(蘇鴻傑，1987；梁亞忠，1994)，故對於方位、坡度、地形等因子相似之相鄰二林區，其林內的PAR主要與樹冠覆蓋度有關，二者大致呈負相關變化之趨勢(Kimmins，1987；梁亞忠，1994)。本研究由於林火區與對照區相鄰近，地理環境類似，故二區林內PAR之差異，主要由於林火區內之林冠疏開，陽光可直射林床，使PAR年均值增爲五倍，達0.811 mol/m$^2$。另由於林冠疏開，喪失森林原有調溫之功能，使得林火區內全年各時分之平均高低溫差增爲12.11℃，增加2.22℃，而林火區年均溫增爲9.95℃，升高了0.98℃。

3.土壤溫度

受限於儀器配備與經費，本研究僅觀測0-5公分深之表土溫度變化。林火區表土溫度之月均溫最低爲6.09℃(一月份)，最高爲15.95℃(七月份)，年均溫爲12.02℃，而對照區表土溫度之月均溫最低爲3.78℃，最高爲13.26℃，年均溫爲9.30℃(表二)。二區之月平均表土溫度差爲1.77℃~4.17℃，以年均溫而言，林火區之表土溫度較對照區高2.72℃(表二、圖四)。

林火區全年各時分之年平均表土溫度爲8.45℃(上午五至六點)~18.10℃(上午十一至十二點)，其年平均高低溫差有9.65℃，而對照區則爲8.45℃(上午七至八點)~10.22℃(下午二至三點)，其年平均高低溫差僅爲1.77℃，故林火區各時分之年平均高低溫差較對照區高7.88℃(表三)，二區各時分之年平均表土溫度變化如圖十。上午五至六點間，林火區之年平均表土溫度較對照區稍低(0.03℃)，其餘時分，林火區之年平均表土溫度均較對照區爲高(0.05℃~8.22℃)，晚上十一點至清晨七點，二區表土之年均溫差低(小於1℃)，而上午十一點至十二點時段，二區表土之年均溫差可達最高爲8.22℃(表三)。

林火後土壤性質變異的程度與林火當時所達溫度及持續時間有關，而林火的溫度則受到燃料類型、枯枝葉層特性(厚度、密度、含水率)、土壤特性(質地、有機質含量、含水率)等因素所控制。林火對林地土溫的影響僅侷限在土壤表層，林火後的土壤表層溫度將增高(Neal *et al.*, 1965; Daubenmire, 1968; Shannon and Wright, 1977; 呂福原等, 1983; 呂金誠, 1990)，其表層溫度的高低溫變異性亦會增大(呂金誠，1990)。

森林火災發生後，使得塔塔加地區林火區表土溫度之年均溫增爲12.02℃，升高了2.72℃，另其表土溫度各時分之年平均高低溫差可達9.65℃，增高7.88℃，推究其原因可能爲(呂金誠，1990):(1).林冠疏開、林床裸露，大量的陽光可直接照射到林床，使得表土的溫度可提高、(2).土壤表面堆積許多林火產生的深

黑色灰炭遺跡，將使表土有較高的吸熱能力，並將改變土壤表層的反射率及熱傳導性質，使得表土溫度升高，且高低溫差異加大。

4.土壤之有機質與pH值

各土樣之有機質含量與pH值，其分析結果之平均值如表四、表五。

表四 試驗區土樣之有機質含量分析平均值(%)

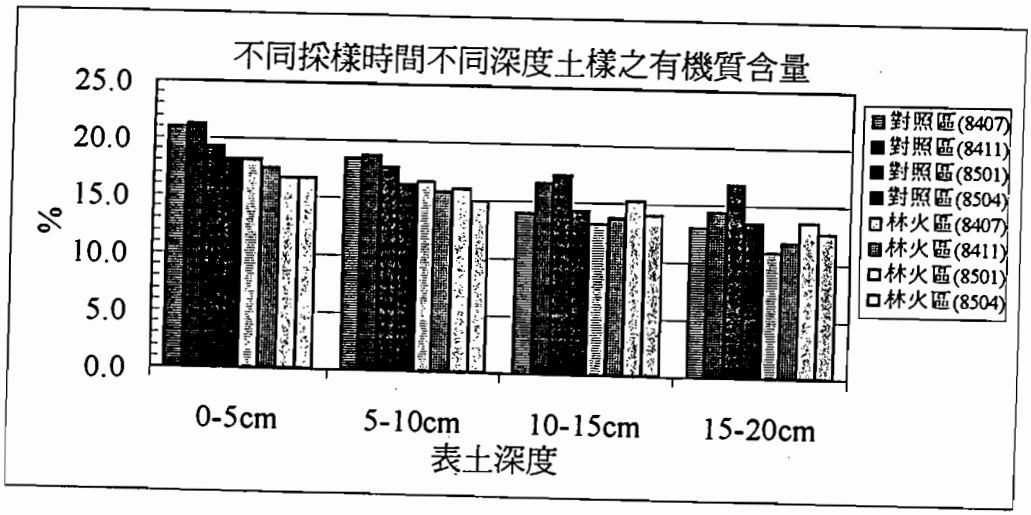
| 有機質 | 0-5cm | 5-10cm | 10-15cm | 15-20cm |
|---|---|---|---|---|
| 對照區(8407) | 21.01 | 18.49 | 14.06 | 13.11 |
| 對照區(8411) | 21.21 | 18.71 | 16.68 | 14.49 |
| 對照區(8501) | 19.28 | 17.79 | 17.37 | 16.80 |
| 對照區(8504) | 18.18 | 16.22 | 14.33 | 13.47 |
| 林火區(8407) | 18.25 | 16.49 | 13.22 | 10.93 |
| 林火區(8411) | 17.52 | 15.66 | 13.80 | 11.75 |
| 林火區(8501) | 16.73 | 15.96 | 15.28 | 13.63 |
| 林火區(8504) | 16.70 | 15.07 | 14.08 | 12.60 |

表五 試驗區土樣之pH分析平均值

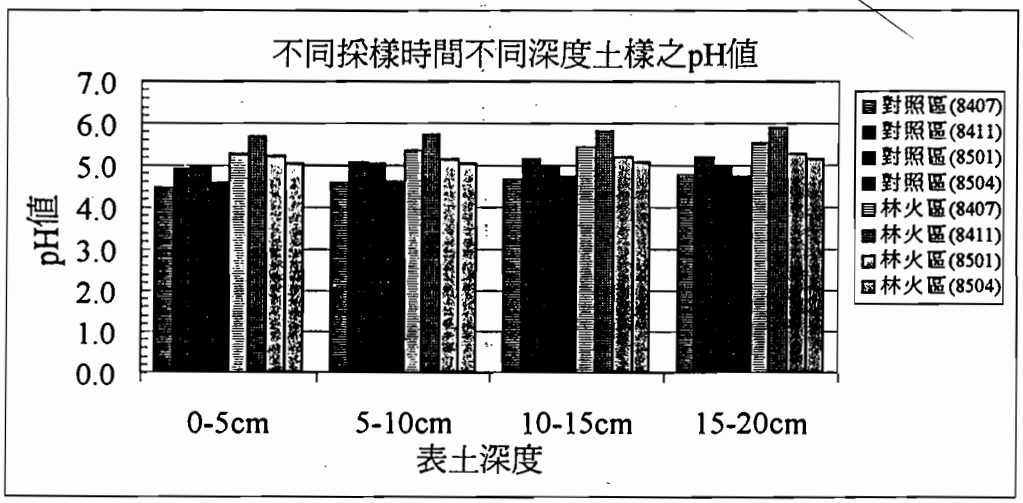
| pH值 | 0-5cm | 5-10cm | 10-15cm | 15-20cm |
|---|---|---|---|---|
| 對照區(8407) | 4.48 | 4.59 | 4.65 | 4.77 |
| 對照區(8411) | 4.91 | 5.06 | 5.14 | 5.20 |
| 對照區(8501) | 4.98 | 5.02 | 5.02 | 5.02 |
| 對照區(8504) | 4.57 | 4.63 | 4.72 | 4.74 |
| 林火區(8407) | 5.28 | 5.35 | 5.42 | 5.52 |
| 林火區(8411) | 5.68 | 5.71 | 5.81 | 5.87 |
| 林火區(8501) | 5.23 | 5.17 | 5.19 | 5.28 |
| 林火區(8504) | 5.04 | 5.03 | 5.10 | 5.16 |

林火區中不同深度之土壤有機質含量均比對照區爲低，且不論在林火區或對照區，其土壤之有機質含量有隨深度增加而降低之趨勢(圖六、圖八)；而二區土壤之pH值的變化趨勢與有機質含量相反，林火區中不同深度之土壤pH值均較對照區爲高，且二區土壤之pH值有隨深度增加而升高之趨勢(圖七、圖九)。

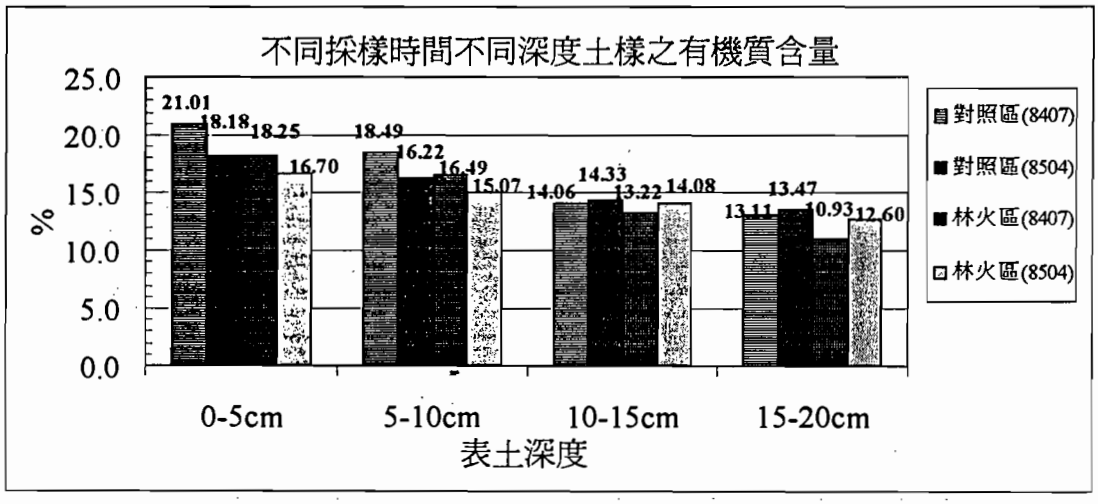
土壤有機質含量之增減，依林火的型態而異，發生樹冠火時，土壤中的有機質增加，而發生地表火則降低有機質的含量(林昭遠，1991)。另地表之有機質堆積層遭受高溫形成灰分，表土中之有機質亦會因此炭化，導致土壤中有機質含量下降，故林火後土壤中的有機質將減少。圖六顯示林火區內不同深度(0~20公分)之土壤有機質含量均較對照區者爲低，顯示此林火區發生地面火，使得表土中的有機質被高溫炭化，導致林火區內表土之有機質含量降低。



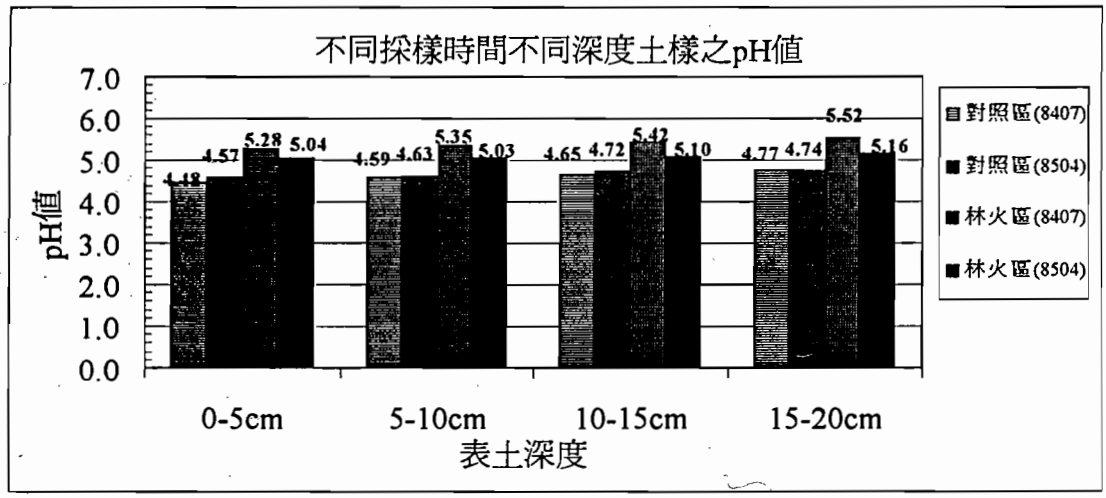

圖六、不同採樣時間不同深度土樣之有機質含量




圖七、不同採樣時間不同深度土樣之pH值




圖八、比較84年7月與85年4月不同深度土樣之有機質含量的差異




圖九、比較年月與年月不同深度土樣之pH值的差異

圖七中，林火區內不同深度(0~20公分)之表土pH值均比對照區者爲高，此乃由於大部分植物燃燒後所留下來的灰分，可釋出大量交換性強的陽離子，如鉀、鈉、鈣、鎂等，將置換出土壤中的氫離子，導致土壤的pH值增高。pH值變化的程度及持續時間，需視原有的pH值、有機質含量、燃燒強度、燃燒產生的灰分總量及其化學性質、降雨量等因子而定。

## 陸、結論

由84年4月至85年3月觀測資料顯示，林火區試驗地之PAR(光合作用有效輻射)年平均值增爲0.811 mol/m$^2$，爲對照區之五倍，而其各時分之PAR年平均值最高可達3.479 mol/m$^2$，究其原因應爲林冠疏開，大量陽光可直射林床所致。火災後，林火區因林冠的疏開，破壞森林原有之調溫功能，使得林火區之氣溫年平均值爲9.95℃，較對照區高0.98℃，且大量的陽光可直射林內，使得林火區各時分之氣溫年平均高低(日夜)溫差增加爲12.11℃，較對照區高2.22℃。

由於林火區之土壤表面堆積許多深色的灰炭遺跡，使得表土具有較高的吸熱能力，並會改變原有的熱傳導性質，導致林火區的表土溫度年均值增爲12.02℃，比對照區高出2.72℃；同理，林火區表土之各時分年平均高低(日夜)溫差增爲9.65℃，較對照區高出7.88℃。另植物體及枯枝葉層因被燒成灰分，大量的養分可從灰分中重新釋放回林地，將導致土壤pH值和有效性養分的增高，另由於林火的高溫將使表土之有機質灰化，導致土壤有機質含量降低。

## 參考文獻


呂金誠 (1990) 野火對臺灣主要森林生態系影響之研究 國立中興大學植物學研究所博士論文 共167頁。

呂金誠、蔡進來、林昭遠、陳明義 (1986) 人倫臺灣二葉松林火燒後之值群演替 中興大學實驗林研究報告 7:11-12。

呂福原、歐辰雄、廖秋成 (1983) 林火對土壤效應之研究 中興大學實驗林研究報告, 5:47-54。

林昭遠 (1991) 野火影響森林土壤性質之研究 國立中興大學植物學研究所博士論文 共149頁。

林朝欽 (1992) 臺灣地區國有林之森林火災分析 林業試驗所研究報告季刊 7(2):169-178。

林朝欽 (1994) 國有林玉山事業區塔塔加之森林火災研究 中華林學季刊 27(1):23-32。

梁亞忠 (1994) 資料記錄器、光量子與溫度感測器在森林微環境之應用 中華林學季刊 27(4):15-36。

陳隆陞、許重州、陳道正、蘇志峰、江丁祥 (1994) 玉山塔塔加森林火燒跡地生態環境變遷及保育措施之研究 玉山國家公園研究叢刊 2005 共86頁。

劉儒淵 (1993) 踐踏對玉山國家公園高山植群之研究　臺灣大學森林學研究所博士論文 44-48頁。

蘇鴻傑 (1987) 森林生育地因子及其定量評估 中華林學季刊 20(1):1-14。

Daubenmire, R. (1968) Ecology of fire in grasslands: Adv. Ecol. Res., 5, 209-266.

Kimmins, J.P. (1987) Forest ecology: Macmillan Publishing Company, N.Y., pp149-174.

Shannon, S.H., and Wright, H.A. (1977) Effects of fire, ash and litter on soil nitrate, temperature, moisture and tobosa grass production in the rolling plains: J. Range Manag., 30, 266-270.

# 森林火災區域高火險災害趨勢的預測分析

曹　君[1]

摘　要：

林火災變是森林生態系統的最主要災變之一，研究區域高火險時段林火災變趨勢的預測問題，確定區域森林火災中、長期預測模型意義重大。文章運用灰色系統理論，建立了衡量林火災變對森林生態系統的的數量指標，確定了進行定量研究的基本方法。依據大興安嶺地區 20 多年的林火災變統計資料，建立了區域高火險災害趨勢預測模型群，通過殘差檢驗，給出區域林火災變未來年份林火災害趨勢的預測結果，並給出區域林火災變的災害趨勢預測結果。

關鍵詞：　林火災變　灰色系統　災變預測模型

## 1．前言

森林火災嚴重地威脅著人類賴以生存的環境。它直接關係到人類現在和未來的生存與發展，它給人類造成的損失已引起世界範圍的廣泛關注。由於森林火災區域高火險的發生和發展受區域氣象要素，可燃物類型、可燃物積累、火源情況、林火管理水平和林火控制能力等眾多因素的影響，並且林火災變對森林生態系統的影響有時明顯，有時隱蔽；有時是暫短的，有時是長期的；有時是簡單的，有時又是極其複雜的。總之森林火災是對森林生態系統的影響是巨大的，而且森林生態系統各因素對森林火災而言，其相互間的關連程度很難準確的定量描述。即便是某一局部地區的信息也只能是一部分信息已知，而另一部分信息未知，這樣就給區域森林火災高火險時段的預測帶來困難。本文運用灰色系統理論中的動態災變預測方法，對森林火災指標：林火發生率、森林燃燒率、森林火災率和森林火災頻率運行區域高火險災害預測，建立了不同災變閾值的灰色災變預測 GM（1，1）模型群，運用灰色聚類分析，建立了森林火災的高火險與非高火險年份進行聚類預測，預測分析結果表明，運用灰色系統理論建立森林火災區域高火險災害趨勢預測模型，可爲森林防火指揮部門提供科學的理論依據。

## 2．林火控制指標

林火發生率、森林燃燒率、森林火災率和森林火災頻率是衡量某一地區林火出現頻度和火燒地面積大小、林火控制水平的重要指標。其具體內涵公式表示

$$\text{林火發生率}=\frac{\text{林火發生次數}}{\text{被保護林地面積（公頃）}}\times 100000 \qquad (1)$$

即某一地區 10 萬公頃林地每年發生林火次數（次／年× 10 萬公頃）

$$\text{森林燃燒率}=\frac{\text{火燒林地面積}}{\text{被保護林地面積（公頃）}}\times 100000 \qquad (2)$$

即某一地區 10 萬公頃林地每年過火林地面積（公頃／年× 10 萬公頃）。

$$\text{森林火災率}=(\text{森林燃燒率}\times\text{林火發生率})^{1/2} \qquad (3)$$

---

[1] 東北林業大學

即考慮某一地區 10 萬公頃林地每年過火林地面積和林地發生火災次數的共同作用。

森林火災次數（次／年）　　（4）

即某地區火災次數受氣候條件、可燃物類型及積累、火源分布情況和林火管理水平的直接影響。

依據大興安嶺地區 1967-1986 年 20 年間森林火災統計資料繪製的上述林火控制指標年際變化曲線見圖 1 。

3 ・灰色系統預測模型

災變預測實際上是對系統特徵量出現異常值的預測，多爲異常值出現的時間序列預測。

（1）給定原始數列

$$\{x_j^{(0)}(i)\} = (x_j^{(0)}(1),\ x_j^{(0)}(2),\ \cdots,\ x_j^{(0)}(n))$$

$$i=1,\ 2,\ \cdots,\ n,\quad j=1,\ 2,\ 3,\ 4$$

（2）若令$\xi_j$爲異常值（災變預值），則當

$$x_j^{(0)}(i) \geqslant \xi_j$$

爲對應災變值年號（有序正整數序列）$\{\omega_j^{(k)}(i')\}$

（3）對原始數列 $\{\omega_j^{(k)}(i')\}$ 作一次累加生成，得到一次累加生成數列

$$\{\omega_j^{(1)}(i')\} = (\omega_j^{(1)}(1),\ \omega_j^{(1)}(2),\ \cdots,\ \omega_j^{(1)}(n'))$$

其中，$\omega_j^{(1)}(K) = \sum_{m=1}^{k} \omega_j^{(0)}(m)$；

（4）建立白化形成的微分方程

$$\frac{d\omega^{(1)}(t)}{dt} + a\omega^{(1)}(t) = u$$

此方程的離散響應形式爲 $\hat{\omega}_j(k+1) = (\omega_j^{(0)}(1) - \frac{u_j}{a_j})\, e^{a_j k} + \frac{u_j}{a_j}$

參數列 $\hat{a}_j = \begin{bmatrix} a_j \\ u_j \end{bmatrix} = (B_j^T B_j)^{-1} B_j^T \cdot Y_{jN}$

其中 $B_j = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(\omega_j^{(1)}(1) + \omega_j^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(\omega_j^{(1)}(2) + \omega_j^{(1)}(3)) & 1 \\ \cdots\cdots & \\ -\frac{1}{2}(\omega_j^{(1)}(n'-1) + \omega_j^{(1)}(n')) & 1 \end{bmatrix}$

$$Y_{in} = [\omega_j^{(0)}(1),\ \omega_j^{(0)}(2),\ \cdots,\ \omega_j^{(0)}(n');$$

（5）求出$\hat{\omega}_j^{(1)}(k+1)$在中 $k=1,\ 2,\ \cdots,\ n'-1$點的值，累減生成得

$$\{\hat{\omega}_j^{(0)}(i)\} = (\hat{\omega}_j^{(0)}(1),\ \hat{\omega}_j^{(0)}(2),\ \cdots,\ \hat{\omega}_j^{(0)}(n'))$$

即預測數列；

（6）災變預測年號 $\hat{T}_j^{(0)}(i) = \hat{\omega}_j^{(0)}(i)$ ＋初始年號

（7）對模型進行後驗差檢驗

爲了判別模型的優劣，按如下的定義 c 、 p 進行檢驗，稱爲驗差指標檢驗。設

$$q^{(k)} \triangleq |\omega_j^{(0)}(k) - \hat{\omega}_j^{(0)}(k)|$$

$$S_1^2 \triangleq \frac{1}{n'}\sum_{k=1}^{n'}[q(k) - \bar{q}]^2$$

$$\bar{q} \triangleq \frac{1}{n'}\sum_{k=1}^{n'} q^{(k)} \qquad (k=1, 2, \cdots, n')$$

$$\bar{\omega} \triangleq \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\omega_j^{(0)}(k) \qquad (n'<n)$$

$$S_2^2 \triangleq \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}[\omega_j^{(0)}(k) - \bar{\omega}]^2$$

我們定義 $c=S_1/S_2$ 爲第一後驗差指標；定義 $p \triangleq p\{|q(k) - \bar{q}| < 0.6745 s_2\}$ 爲第二後驗差指標。

指標 c 越小，說明模型精度高，因爲此時 $S_1$ 小而 $S_2$ 大，表明即使在原始數據很離散的情況下，而模型值與實際值的差並不離散。

指標 p 越大，模型精度越高， p ＝ 1 爲最高指標，因爲 p 越大表明誤差與誤差的平均值小於給定的 0．6745$S_2$ 的點就越多。

應用 c 、 p 綜合評判模型精度，其檢驗合格後即可用於預測。

4 ．林火災變未來年份預測結果

根據大興安嶺地區 1967-1986 年森林燃燒率、森林火災率、林火發生率和森林火災次數的統計資料及林火控制指標年際變化圖，在考慮 1987 年以前該地區林火控制能力變化不大的實際歷史背景，取災變閾值如圖 1 ，則當爲重燒年份，這樣得到災變時間序列，以原始序列號代替原始時間序列建立災變模型群，其預測模型群見表 1 。

表 1

| 預測項目 | 預測模型 | $\hat{a}$ | $\hat{u}$ |
|---|---|---|---|
| 森林燃燒率 | $\hat{\omega}_1^{(1)}(k+1)=32.25e^{0.208k}-26.25$ | −0.208 | 5.46 |
| 林火發生率 | $\hat{\omega}_2^{(1)}(k+1)=34.63e^{0.245k}-27.63$ | −0.245 | 6.77 |
| 森林火災率 | $\hat{\omega}_3^{(1)}(k+1)=38.92e^{0.192k}-32.92$ | −0.192 | 6.32 |
| 森林火災次數 | $\hat{\omega}_4^{(1)}(k+1)=54.9e^{0.169k}-47.9$ | −0.169 | 8.1 |

模型預測值見表 2 、 3 、 4 、 5 ，未來年分預測結果見表 6 。

表 2　森林燃燒率災變預測結果與檢驗

| 項目 / 年份 | 統計值 $\omega_1^{(0)}(k+1)$ | 預測值 $\hat{\omega}_1^{(0)}(k+1)$ | 精　度 % | 殘　差 $\varepsilon_1(k+1)=\omega_1^{(0)}(k+1)-\hat{\omega}_1^{(0)}(k+1)$ | 相對誤差 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1972 | 6 | 6 | 100 | 0 | 0 |
| 1973 | 7 | 7.452 | 93.9 | −0.452 | −6.456 |
| 1976 | 10 | 9.175 | 91.7 | 0.825 | 8.249 |
| 1977 | 11 | 11.297 | 97.4 | −0.297 | −2.699 |
| 1980 | 14 | 13.909 | 99.35 | 0.091 | 0.652 |

表 3 林火發生率災變預測結果與檢驗

| 項目 / 年份 | 統計值 $\omega_2^{(0)}(k+1)$ | 預測值 $\hat{\omega}_2^{(0)}(k+1)$ | 精度 % | 殘差 $\varepsilon_2(k+1)=\omega_2^{(0)}(k+1)-\hat{\omega}_2^{(0)}(k+1)$ | 相對誤差 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1973 | 7 | 7 | 100 | 0 | 0 |
| 1975 | 9 | 10.115 | 88.98 | −1.115 | −12.388 |
| 1979 | 13 | 11.974 | 92.21 | 1.026 | 7.894 |
| 1981 | 15 | 14.174 | 94.49 | 0.826 | 5.505 |
| 1982 | 16 | 16.780 | 95.35 | −0.779 | −4.870 |
| 1986 | 20 | 19.863 | 99.32 | 0.137 | 0.686 |

表 4 森林火災變預測結果與檢驗

| 項目 / 年份 | 統計值 $\omega_3^{(0)}(k+1)$ | 預測值 $\hat{\omega}_3^{(0)}(k+1)$ | 精度 % | 殘差 $\varepsilon_3(k+1)=\omega_3^{(0)}(k+1)-\hat{\omega}_3^{(0)}(k+1)$ | 相對誤差 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1972 | 6 | 6 | 100 | 0 | 0 |
| 1973 | 7 | 8.240 | 85 | −1.24 | −17.72 |
| 1977 | 11 | 9.989 | 90.8 | 1.01 | 9.19 |
| 1979 | 13 | 12.109 | 93.2 | 0.89 | 6.85 |
| 1980 | 14 | 14.680 | 95.4 | −0.68 | −4.85 |

表 5 森林火災變預測結果與檢驗

| 項目 / 年份 | 統計值 $\omega_4^{(0)}(k+1)$ | 預測值 $\hat{\omega}_4^{(0)}(k+1)$ | 精度 % | 殘差 $\varepsilon_4(k+1)=\omega_4^{(0)}(k+1)-\hat{\omega}_4^{(0)}(k+1)$ | 相對誤差 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1973 | 7 | 7 | 100 | 0 | 0 |
| 1975 | 9 | 9.619 | 93.6 | −0.619 | −6.88 |
| 1979 | 13 | 12.295 | 94.6 | 0.705 | 5.42 |
| 1982 | 16 | 15.715 | 98.2 | 0.285 | 1.78 |
| 1986 | 20 | 20.086 | 99.6 | −0.086 | −0.43 |

表 6 未來年景預測及後驗差檢驗

| 災變模型群（因子） | 閾值 | 有效預測年份 | | | 后驗差檢驗 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 87 年 | 88 年 | 89 年 | c | p | 等級 |
| 森林燃燒率 | 2010 | 87.08 | 0 | 0 | 0.172 | 1 | 好 |
| 林火發生率 | 1.1 | 0 | 0 | 89.51 | 0.195 | 1 | 好 |
| 森林火災率 | 0.0004 | 87.57 | 0 | 0 | 0.306 | 1 | 好 |
| 森林火災次數 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0.104 | 1 | 好 |

5 ．結果分析

（ 1 ）本應用灰色變預測理論研討的災變預測模型基本上反映了森林火災重燒年份時間演變規律，有助於人們對未來年森林防火工作中可能遇到的突發問題作出科學的預測。

（ 2 ）從圖 1 可見，該地區每隔 4~6 年就有一次嚴重的森林火災，其損失是嚴重的。從預測結果看， 1987 年森林燃燒率和森林火災率爲重燒災變年、森林火災次數和林火發生率不爲重燒災變年與 87 年統計資料結果相符合。

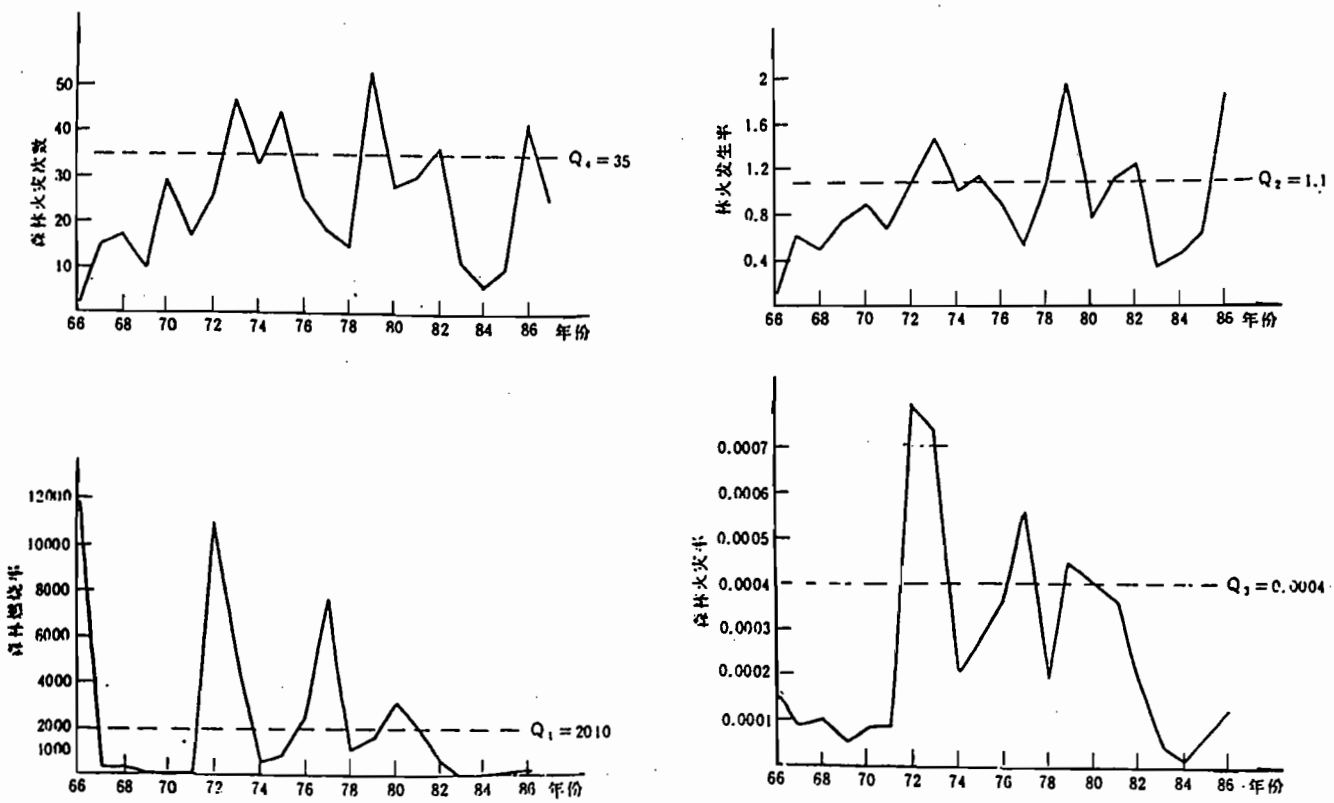



圖 1

（ 3 ）森林火災重燒年具有規律的，森林火災重燒年份研究系統是有序的，有其整體功能。本文給出的預測模型基本反映了森林火災重燒年份出現的規律，預測結果是令人滿意的。

參考文獻

（１）鄧聚龍，灰色預測與決策，華中工學院出版社， 1986 。
（２）曹軍等，森林火災重燒年景跨年度預測的研究，預測， 1993 ，（１），38-41 。
（３）王述洋、曹軍等，森林火災重燒年份中長期預測模型的探討，林業科技 1992 ，（６），28-31 。
（４）馬延方，旱雹災害對定西縣糧食生產影響的預測，系統工程理論與實踐， 1989 （４），64-67 。

# 臺灣高山森林及草原微生物生態系

楊盛行[1]　賴朝明　孫瓏月　羅陽青　范曉雲　馮志峰　林家慶　魏嘉碧

摘要：

高山森林及草原地區，由於溫度較低，有機物分解速率較慢，因而土壤有機物含量較高。塔塔加地區海拔 2,000-2,500 公尺土壤溫度在元月最低介於 4-5 ℃，而在 9 月可達 13-16 ℃，土壤因長年落葉累積、分解產生有機酸而呈酸性，上層土壤 pH 介於 3.7-4.8 ，而下層土壤 pH 則介於 3.8-4.9 。水分含量上層土壤爲 41.3-91.1 % ，下層土壤爲 39.8-89.9 % 。在雲杉、鐵杉和草原三個區域中，細菌數目最高。雲杉區每克乾重土壤含有細菌 $4.60 \times 10^4 \sim 1.92 \times 10^7$ 個菌落，鐵杉區含 $1.12 \times 10^5 \sim 7.30 \times 10^6$ 個菌落，草原區含 $1.50 \sim 8.43 \times 10^5$ 個菌落。真菌數目次之，雲杉區土壤每克乾重含 $3.50 \times 10^3 \sim 2.65 \times 10^5$ 個菌落，鐵杉區爲 $1.30 \times 10^3 \sim 4.93 \times 10^4$ 個菌落，草原區含 $1.90 \times 10^3 \sim 2.22 \times 10^5$ 個菌落。放線菌數目與真菌數目相近，雲杉區土壤每克乾重含 $5.00 \times 10^3 \sim 2.90 \times 10^4$ 個菌落。鐵杉區爲 $1.00 \times 10^3 \sim 8.20 \times 10^4$ 個菌落，而草原區含 $1.10 \times 10^3 \sim 2.17 \times 10^4$ 個菌落。在臺灣北部山區，其土壤有機質含量較低，但土壤溫度較高，因而其上層土壤每克乾重含有細菌 $10^5$-$10^6$ 個菌落，真菌 $10^4$-$10^5$ 個菌落，放線菌 $10^4$-$10^5$ 個菌落。而下層土壤每克乾重含有細菌 $10^5$-$10^6$ 個菌落，真菌 $10^3$-$10^5$ 個菌落和放線菌 $10^3$-$10^5$ 個菌落。在塔塔加森林地區，因有機物含量較高，因而其所含具纖維素分解能力之微生物族群佔全體微生物族群之 50-80 % ,比北部山區土壤高，其在森林地區養分循環上佔相當重要之地位。另外測定尿素酶、 L-天冬醯胺酶、醯胺酶、酸性磷酸酯酶、磷酸二酯酶、芳香基硫酸酯酶、硫氰酸酶、纖維素酶八種酵素活性，上層土壤之酵素活性比下層土壤高，且隨氣溫下降而下降。

# Microbial Ecology of Tatachia Mountain Soil

S.S. Yang, C.M. Lai, L.Y. Sun, Y.C. Lo, S.Y. Fan, C.F. Feng, C.C. Lin and C.B. Wei

summary:

In order to investigate the role of microbes on the nutrient transformation in the Tatachia Mountain soil, the microbial populations and soil enzyme activities of forest and grassland soils were determined during the past 8 months. It was found that: (1). Soil temperatures were between 4 and 16 ℃. Soil pH ranged from 3.7 to 4.9 pH values were lower in Hemlock forest area than Spruce and grassland areas. (2). Bacteria were the most abundant microflora, each gram contained $10^5$ to $10^7$ bacteria, $10^3$ to $10^5$ actinomycetes, and $10^3$ to $10^4$ fungi. Microbial population was higher in upperlayer soil than that in bottom layer. There are 50 to 80% of the total microflora with cellulolytic activity. (3). Enzymatic activities (urease, L-

[1]國立臺灣大學農業化學系

asparaginase, amidase, acid phosphatase, phosphodies-terase, arylsulfatase, rhodanese, and cellulase) of upper layer soil were higher than those in bottom layer. There are the positive correlations between bacterial population and rhodanese activity, between fungal population and urease, L-asparaginase, amidase, and phosphodiesterase activities, between actinomycete population and L-asparaginase, and amidase activities.

## 緒　言：

土壤中之微生物主要有細菌、放線菌、真菌、藻類、原生動物和病毒六大類。 以數目而言細菌含量最高，放線菌和真菌數目次之 ，而藻類數目最低（ Alexander, 1977 ）。森林草原區處女地每克土壤含 $1.09 \times 10^6$ 個菌落，其中放線菌佔 8.1 % ，而在耕作土壤每克土壤含 $2.62 \times 10^6$ 個菌落，其中放線菌佔 28.0 % （ Mishustin, 1956 ）。耕作表土每克土壤含 $3.5 \times 10^4$ 個菌落，而草原表土可達 $4.4 \times 10^4$ 個菌落（ Newton *et al.*, 1939 ）。 藻類在潮濕土壤數多，而土壤 pH 低於 5.0 則生長不佳（ Alexander, 1977 ）。土壤酵素，大部分來自微生物和根圈分泌物，目前已知有 50 種以上之酵素存於土壤與養分吸收及循環有關（ Lynch, 1983 ）。 過去國內對森林及草原土壤微生物相之變化及其酵素活性之資料甚少，因而本文針對塔塔加地區之森林及草原地區探討其微生物相及酵素活性之季節變化，提供森林及草原土壤養分循環研究之參考。

## 材料及方法

### 1. 採樣地點

於海拔 2,000 至 2,500 公尺高之塔塔加地區之高山森林及草原地區如圖 1 所示。其上部爲臺灣雲杉與臺灣鐵杉混合林，中部爲臺灣雲杉純林，而下方爲闊葉樹和臺灣雲杉混合林，而草原區則於其附近。

### 2. 培養基

森林及草原土壤中細菌數以營養洋菜培養基行之，每升含牛肉抽出物 3.0 克,蛋白凍 5.0 克和洋菜 15.0 克，其最終 pH 爲 6.8 。而放線菌則以甘油酵母抽出物培養基測定，每升含甘油 5.0ml ，酵母抽出物 2.0 克， $K_2HPO_4$ 1.0 克和洋菜 15.0 克，其最終 pH 爲 7.0 。必要時添加鏈黴素和 cycloheximide 至最後濃度各爲 10 $\mu$ g/ml 以抑制細菌和黴菌之生長。黴菌則以 Rose bengal 培養基測定,每升含蛋白凍 5.0 克，葡萄糖 10.0 克， $KH_2PO_4$ 1.0 克， $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 克， Rose bengal 33.0 毫克和洋菜 20.0 克，其最終 pH 爲 6.8 。而纖維素分解菌則以 CMC 爲一碳源之 Mandels-Reese 培養基行之（ Mandels *et al.*, 1981 ）。而溶磷菌則以磷酸鈣培養基測定（ Young, 1990 ）,固氮菌群則以甘露醇培養基測定之（ Harrigan *et al.*, 1966 ）。

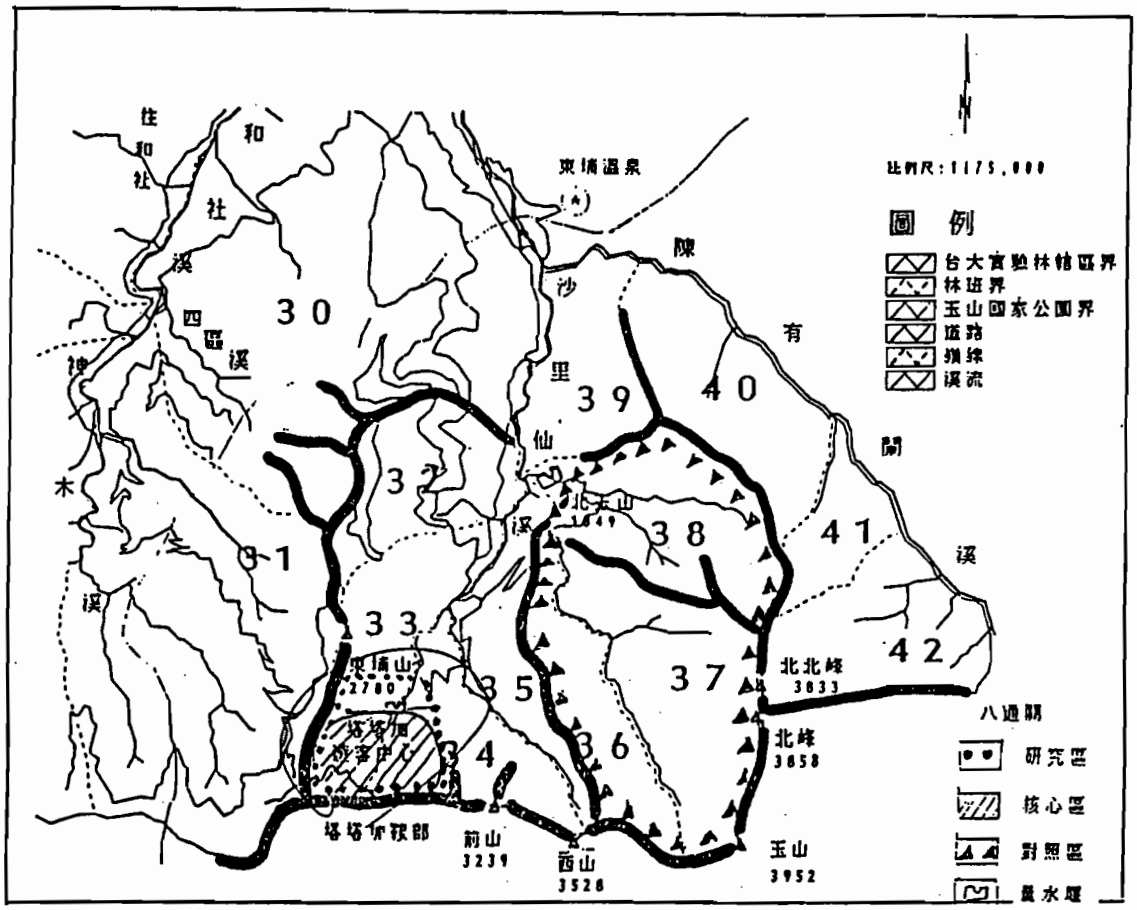



圖 1. 塔塔加高山森林及草原研究區位置圖

3. 細菌數之測定

土壤經混合均勻後，以無菌水作一系列稀釋後，取 1ml 懸浮液以營養洋菜培養基在 25 ℃下培養 3-5 天，觀察並計算其菌落數。

4. 放線菌數之測定

土壤經無菌水系列稀釋後，以甘油酵母抽出物培養基，在 28 ℃下培養一週，觀察及計算其菌落數。

5. 真菌數之測定

土壤經無菌水系列稀釋後，以 Rose bengal 培養基，於 25 ℃下培養 3-5 天，觀察並計算其菌落數。

6. 具纖維素分解酵素活性微生物菌落之測定

土壤經無菌水系列稀釋後，以 CMC 爲唯一碳源之 Mandels-Reese 培養基，於 25 ℃下培養 3-7 天，以剛果紅噴灑，如產生透明帶，即爲具纖維素分解酵素之菌株。

7. 溶磷菌族群之測定

土壤經無菌水系列稀釋後，以磷礦粉爲唯一磷源之培養基，於 25 ℃下培養 3-5 天，如有透明圈則爲溶磷菌。

8. 固氮菌群之測定

土壤經無菌水系列稀釋後，以未含氮源之甘露醇培養基，於 25 ℃下培養 3-7 天，分離並測定固氮族群。

9. 微生物相之季節性變化

分別於春、夏、秋、冬四季取樣，測定三個地區，上、下層土壤微生物相之變化情形。

10. 林相對微生物相之變化

在二種林相，一種草原區比較林相對微生物相分佈之影響。

11. 土壤剖面對微生物相之影響

在三種土壤中，測定不同剖面之微生物相分佈。

12. 溫度對耐冷性微生物之影響

土壤懸浮液，經適當稀釋後，抽取 1 ml 添加至營養洋菜培養基中，於 4-60 ℃下培養 2-7 天，比較溫度對耐冷菌分佈之影響。

## 結果與討論

### 一、土壤性質

塔塔加高山森林區，海拔 2,000-2,500 公尺，其土壤特性如表一所示。三種土壤 pH 皆屬於酸性土壤，雲杉區及鐵杉區之有機碳含量較高，且溫度低，故有機酸含量高。而草原區之全碳含量較低，故 pH 略高。由於位於高山區，霧氣重，故土壤水分含量較高，介於 46.8-141.8 %（以土壤乾重計算）（或 31.8-58.7 % ,以土壤濕重計算）。雲杉區土壤含氮高，鐵杉區土壤次之，而草原區較低，其 C/N 比雲杉區爲 18.8-23.5 ，鐵杉區爲 20.0-25.5 ，草原區爲 12.5-20.0 。

### 二、環境條件

塔塔加高山森林及草原區，因海拔較高，因而氣溫及土溫皆較低，在冬季其土溫高於氣溫 1-2 ℃，而夏季時其土溫則比氣溫低 1-3 ℃（表二）。全年土溫介於 4-16 ℃，因而其所存在之微生物可能是可以耐低溫之微生物族群。而且此地區之累計雨量據姚氏(1997)稱 85 年 1 月 18 日至 7 月 24 日及 10 月 16 日至 11 月 30 日塔塔加之平均氣溫爲 12.2 ℃，草溫 9.6 ℃，蒸發散量爲 432.5 mm 佔降雨量之 23.3 % ，比玉山地區之蒸發散量低，但佔降雨量百分比則高。而本研究採樣時之實測土壤溫度皆介於上述測定值中。

### 三、細菌數目之變化

在過去一年，分別於雲杉區、鐵杉區和草原區，測定其細菌數目，其結果如表三所示。在 1996 ～ 1997 年間，塔塔加高山森林及草原地區土壤之細菌含量每克土壤乾重介於 $10^5$-$10^7$ 之間,草原區土壤由於有機物含量及植被較穩定，因而其細菌族群數之變化也較少，介於 $2.49 \times 10^5$ ～ $1.00 \times 10^6$ 個菌落，而雲

杉區及鐵杉區由於其有機質含量，水分含量變化較大，故細菌族群數變化也較大，雲杉區每克乾重土壤含 $1.58 \times 10^5 \sim 2.09 \times 10^7$ 個菌落，鐵杉區每克乾重土壤含 $3.12 \times 10^5 \sim 8.39 \times 10^6$ 個菌落。而且上層土壤有機物較豐，故其細菌族群數較高。尤其在草原區更爲明顯。

表一、塔塔加森林區土壤特性

| 性　質 | 雲杉區 | | 鐵杉區 | | 草原區 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 上　層 | 下　層 | 上　層 | 下　層 | 上　層 | 下　層 |
| pH | 3.77-4.83 | 3.83-4.90 | 3.65-4.29 | 3.90-4.62 | 4.08-4.73 | 4.32-4.65 |
| 水分含量 | 51.44-120.20* | 50.12-141.77 | 59.32-96.00 | 50.72-89.69 | 66.05-91.07 | 46.75-71.20 |
| (%) | (33.85-54.61**) | (33.19-58.66) | (38.45-48.50) | (33.61-47.45) | (39.15-47.61) | (31.80-41.66) |
| 顏　色 | 褐色-黑褐色 | 褐色-黃褐色 | 褐色-黑褐色 | 黃褐色-紅褐色 | 黑　色 | 黃棕色-黑色 |
| 表土植被 | 雲杉、箭竹、蕨類 | | 鐵杉、箭竹 | | 禾本草 | |
| 全碳量(%) | 30-33 | | 26-28 | | 10-12 | |
| 全氮量(%) | 1.4-1.6 | | 1.1-1.3 | | 0.6-0.8 | |
| C/N | 18.8-23.5 | | 20.0-25.5 | | 12.5-20.0 | |

* 係以土壤乾物重爲基礎計算
**係以土壤濕物重爲基礎計算

表二、塔塔加地區環境條件

| 性　質 | 雲杉區 | 鐵杉區 | 草原區 |
|---|---|---|---|
| 氣溫(℃) | 4-15 | 3-16 | 3-20 |
| 土溫(℃) | 4-14 | 4-16 | 4-15 |
| 雨量(mm) | 1856.4 | 1856.4 | 1856.4 |
| 平均相對濕度(%)* | 79.8 | 79.8 | 79.8 |

*姚(1997)

表三、塔塔加森林及草原區細菌數目之變化*

| 取樣日期 | 雲杉區 | | 鐵杉區 | | 草原區 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 上　層 | 下　層 | 上　層 | 下　層 | 上　層 | 下　層 |
| 20/09/1996 | $3.65 \times 10^6$ | $2.09 \times 10^7$ | $8.39 \times 10^6$ | $3.84 \times 10^6$ | $8.75 \times 10^5$ | $5.95 \times 10^5$ |
| 27/10/1996 | $1.73 \times 10^5$ | $1.58 \times 10^5$ | $3.86 \times 10^5$ | $3.12 \times 10^5$ | $6.61 \times 10^5$ | $4.19 \times 10^5$ |
| 27/01/1997 | $1.20 \times 10^6$ | $8.05 \times 10^5$ | $3.26 \times 10^5$ | $3.13 \times 10^5$ | $1.00 \times 10^6$ | $2.49 \times 10^5$ |

* 每克土壤乾物重所含之菌落數

而在北部低海拔之基隆、金山和野柳山丘每克乾重土壤含有細菌之菌落數介於 $10^4$-$10^6$ 之間。 由於北區土壤之水分含量較低，有機物含量也較低，故其細菌菌落數反而比塔塔加高山森林土壤略低。由於北部山區土壤質地較黏重，有機質及微生物之移動較慢，因而下層土壤細菌數目明顯的比上層土壤低（楊，1997）。

四、真菌數目之變化

由於高山森林區土壤有機物含量高，溫度低，有機酸含量較高，其土壤 pH 爲酸性，故有利真菌族群之建立。每克乾重土壤含 $10^3$-$10^5$個菌落。雲杉區真菌數目略高於其他二區，而鐵杉區則略低。雲杉區每克乾重土壤含真菌 $2.95 \times 10^4 \sim 4.01 \times 10^5$個菌落，草原區介於 $3.52 \times 10^3 \sim 2.62 \times 10^5$個菌落，鐵杉區介於 $2.42 \times 10^3 \sim 4.83 \times 10^4$個菌落。下層土壤由於通氣情形及土壤有機物含量較低，其真菌之族群數也略比上層土壤低（表四）。

而在北部山區，其土壤水分含量較低，在三個山區土壤，其每克乾重土壤含有 $10^3$-$10^5$個菌落，其受周圍環境影響較大， 1997 年元月氣溫較低,故其真菌菌落數皆在 $10^4$ 附近。由於北部山區土壤有機質含量較低且黏重,因而下層真菌數目比上層少（楊， 1997 ）。

五、放線菌數目之變化

放線菌因具有多種酵素可以利用多種物質爲碳源及能源，在土壤養分之循環上佔極重要之地位。高山森林地區由於落葉豐，纖維質有機物含量高，因而放線菌族群較高。每克乾重土壤雲杉區含 $1.01 \sim 4.53 \times 10^4$個菌落，雲杉區含 $1.06 \times 10^3 \sim 1.05 \times 10^5$個菌落，草原區含 $2.17 \times 10^3 \sim 2.24 \times 10^4$個菌落。由於放線菌好氣性居多，且表層有機物比底層多，因而上層土壤放線菌之菌落較下層多。森林區土壤之放線菌之數目亦略比草原區高（表五）。

臺灣北部山區三種土壤每克乾重土壤含有 $10^3$-$10^5$個放線菌菌落，三者之菌落數含量沒有明顯差異。但下層土壤之放線菌菌落數亦較上層爲低（楊， 1997 ）。

六、土壤深度對微生物生態之影響

不同剖面層次之雲杉林、鐵杉林和草原土壤之微生物生態如表六所示。三種土壤之微生物數目之變化趨勢皆相同。 O 層有機質含量高故無論細菌數、真菌數及放線菌數皆最高，而後隨剖面深度增加，其數量減少。三種土壤細菌數目最高，而森林土壤因有機質含量較高，故放線菌數目次之，而真菌數目最低。但在草原土壤，則真菌數目次之，而放線菌數目最少。

表四、塔塔加森林及草原區真菌數目之變化*

| 取樣日期 | 雲杉區 | | 鐵杉區 | | 草原區 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 |
| 20/09/1996 | $3.12 \times 10^4$ | $2.95 \times 10^4$ | $3.21 \times 10^4$ | $1.60 \times 10^4$ | $6.55 \times 10^3$ | $3.52 \times 10^3$ |
| 27/10/1996 | $1.06 \times 10^5$ | $8.24 \times 10^4$ | $4.83 \times 10^4$ | $3.97 \times 10^4$ | $5.89 \times 10^4$ | $1.43 \times 10^4$ |
| 27/01/1997 | $4.01 \times 10^5$ | $3.37 \times 10^5$ | $3.65 \times 10^4$ | $3.16 \times 10^4$ | $2.62 \times 10^5$ | $5.19 \times 10^4$ |

● 每克濕物重土壤之真菌菌落數

表五、塔塔加森林及草原區放線菌數目之變化*

| 取樣日期 | 雲杉區 | | 鐵杉區 | | 草原區 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 |
| 20/09/1996 | $4.14 \times 10^4$ | $2.90 \times 10^4$ | $1.05 \times 10^5$ | $3.87 \times 10^4$ | $3.02 \times 10^3$ | $2.17 \times 10^3$ |
| 27/10/1996 | $1.04 \times 10^4$ | $1.01 \times 10^4$ | $1.70 \times 10^3$ | $1.06 \times 10^3$ | $1.88 \times 10^4$ | $5.40 \times 10^3$ |
| 27/01/1997 | $4.53 \times 10^4$ | $3.24 \times 10^4$ | $1.68 \times 10^4$ | $1.03 \times 10^4$ | $2.24 \times 10^4$ | $4.40 \times 10^3$ |

● 每克濕物重土壤之菌落數

表六、不同剖面土壤之微生物生態*

| 土壤剖面 | 深 度 (cm) | 細 菌 數 | 真 菌 數 | 放線菌數 |
|---|---|---|---|---|
| 雲杉林土壤 | | | | |
| 0 層 | 0-13 | $8.55 \times 10^6$ | $8.55 \times 10^5$ | $6.41 \times 10^5$ |
| 1A 層 | 14-31 | $8.10 \times 10^5$ | $3.92 \times 10^3$ | $7.58 \times 10^4$ |
| 2A 層 | 31-46 | $3.00 \times 10^5$ | $3.71 \times 10^3$ | $1.37 \times 10^4$ |
| 2B 層 | 47-60 | $1.91 \times 10^3$ | $4.05 \times 10^2$ | $4.87 \times 10^3$ |
| 2B2 層 | 61-91 | $5.42 \times 10^4$ | $3.86 \times 10^2$ | $2.16 \times 10^4$ |
| 1E 層 | > 91 | $1.85 \times 10^4$ | $5.87 \times 10^2$ | $9.30 \times 10^3$ |
| 鐵杉林土壤 | | | | |
| 0 層 | 0-13 | $1.16 \times 10^5$ | $8.05 \times 10^4$ | $8.14 \times 10^4$ |
| 1A 層 | 13-24 | $7.70 \times 10^4$ | $6.84 \times 10^3$ | $3.13 \times 10^4$ |
| 2A1 層 | 25-64 | $6.85 \times 10^4$ | $1.92 \times 10^3$ | $1.25 \times 10^4$ |
| 2B 層 | 65-81 | $7.17 \times 10^4$ | $4.85 \times 10^3$ | $1.04 \times 10^4$ |
| 2B2 層 | 82-125 | $5.77 \times 10^4$ | $9.52 \times 10^2$ | $1.02 \times 10^4$ |
| 1E 層 | > 125 | $1.08 \times 10^4$ | $5.05 \times 10^3$ | $7.65 \times 10^4$ |
| 草原土壤 | | | | |
| 0 層 | 0-16 | $3.23 \times 10^5$ | $1.99 \times 10^4$ | $6.83 \times 10^3$ |
| 1A 層 | 17-21 | $1.80 \times 10^5$ | $4.24 \times 10^3$ | $1.41 \times 10^2$ |
| 2A 層 | 22-28 | $4.75 \times 10^5$ | $1.78 \times 10^4$ | $1.68 \times 10^2$ |
| 2B 層 | 29-57 | $6.78 \times 10^4$ | $5.16 \times 10^2$ | $1.56 \times 10^2$ |
| 2B2 層 | 58-94 | $2.93 \times 10^3$ | $1.10 \times 10^2$ | $1.57 \times 10^2$ |
| 1E 層 | > 94 | $5.99 \times 10^2$ | $3.45 \times 10^1$ | $1.20 \times 10^1$ |

* 每克乾重土壤之菌落數

七、具纖維素分解活性微生物數目

由於森林土壤含有多量之纖維素廢棄物，因而探討鐵杉林土壤中具纖維素分解活性微生物之比例，其結果如表七所示。由表七知在上層土壤中具纖維素分解活性之菌落數，每克乾重土壤介於 $1.22 \sim 3.76 \times 10^5$ 個菌落，佔總菌數之 59.22 ～ 62.67％，平均爲 62.25％。而下層土壤，每克乾重土壤中含有 $1.19 \sim 5.57 \times 10^5$ 個具纖維素分解活性菌落，其絕對數值雖比上層土壤略低約 15％，但其佔總菌數之百分比則爲 53.1 ～ 78.91％，平均爲 70.55％ 比上層土壤高約 8.30％。

表七、鐵杉區土壤微生物相之分佈情形

| 微生物種類 | 上 層 土 壤 | 下 層 土 壤 |
|---|---|---|
| 總菌數* | $2.06 \sim 6.00 \times 10^5$ | $1.19 \sim 5.57 \times 10^5$ |
| | $(3.47 \times 10^5)$** | $(2.92 \times 10^5)$ |
| 具纖維素分解活性 | | |
| 菌數* | $1.22 \sim 3.76 \times 10^5$ | $9.39 \times 104 \sim 2.96 \times 10^5$ |
| | $(2.16 \times 10^5)$ | $(2.06 \times 10^5)$ |
| 佔總菌數百分比(% ) | 59.22-62.67 | 53.14-78.91 |
| | (62.25) | (70.55) |
| 溶磷活性 | | |
| 菌數* | $6.85 \times 10^4 \sim 1.07 \times 10^5$ | $8.06 \times 104 \sim 1.82 \times 10^5$ |
| | $(9.24 \times 10^4)$ | $(1.22 \times 10^5)$ |
| 佔總菌數百分比(% ) | 17.83-33.25 | 32.68-67.73 |
| | (26.63) | (41.78) |
| 固氮活性 | | |
| 菌數* | $1.68 \sim 7.89 \times 10^4$ | $2.54 \sim 8.96 \times 10^4$ |
| | $(4.38 \times 10^4)$ | $(5.79 \times 10^4)$ |
| 佔總菌數百分比(% ) | 8.16-13.15 | 16.09-21.34 |
| | (12.62) | (19.83) |

* 每克乾重土壤菌落數

**(　)內爲平均值

八、具溶磷能力微生物族群

由於森林土壤之肥力全來自森林之落葉、母質及大氣之沉降物。因而探討其土壤中溶磷菌族群之分佈情形，其結果如表七所示。在鐵杉區上層土壤，每克乾重土壤含 $6.85 \times 10^4 \sim 1.07 \times 10^5$ 個溶磷菌落，平均爲 $9.24 \times 10^4$ 個菌落，佔總菌數之 17.83 ～ 33.25 % ，平均爲 26.63 % 。至於下層土壤，每克乾重土壤含 $8.06 \times 10^4 \sim 1.82 \times 10^5$ 個溶磷菌落，平均爲 $1.22 \times 10^5$ 個菌落。佔總菌數之 32.68-67.73 % ，平均爲 41.78 % 。下層土壤無論是溶磷菌之菌落數或是佔總菌數之百分比皆比上層土壤高。

九、具固氮能力微生物族群

森林土壤之氮素來源有大氣沉降物、落葉分解及固定大氣中氮素。鐵杉區上層土壤每克乾重含固氮活性 $1.68 \sim 7.89 \times 10^4$ 個菌落，平均爲 $4.38 \times 10^4$ 個菌落，佔總菌數之 8.16-13.15 % ，平均爲 12.62 % 。而下層土壤每克含 $2.54 \sim 8.96 \times 10^4$ 個固氮菌落，平均爲 $5.79 \times 10^4$ 個菌落，佔總菌數之 16.09-21.34 % ，平均爲 19.83 % 。下層土壤固氮菌無論是菌數或佔總菌數之百分比皆比上層土壤高（表七）。

十、培養溫度對高山森林土壤微生物族群之影響

高山森林及草原土壤，由於海拔較高，故溫度較低，土壤中存在之微生物是否爲嗜冷性或耐冷性? 因而將其在不同溫度下培養，結果發現在 25 ℃或 30

℃下培養時，其微生物之數目皆比在 10 ℃下培養甚高，可見塔塔加高山森林及草原區土壤中所含之微生物大部分爲耐冷性菌而非嗜冷性菌。

十一、土壤酵素活性

塔塔加雲杉區、鐵杉區和草原區之土壤酵素活性如表八所示。由表八知三種土壤中，雲杉區之尿素酶和L-天冬醯胺酶活性較高，而草原區之酸性磷酸酯酶較高。其他五種酵素活性在三種土壤中之活性受環境因子影響，變化較不規律。所有之酵素活性皆隨土溫而變化，在元月分土溫較低，故土壤酵素活性亦低，而九月及十月土溫較高，則土壤酵素活性亦高。另外下層土壤因爲部分微生物族群較低，且基質濃度亦較低，因而其酵素活性亦比上層爲低。部分酵素活性與土壤微生物族群呈正相關性。可見土壤酵素活性受環境因子及微生物族群之影響。

表八、塔塔加高山森林及草原土壤酵素活性*

| 酵素 | 雲杉區 | | 鐵杉區 | | 草原區 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20/09/1996 | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 | 上層 | 下層 |
| 尿素酶 | 408 ± 40 | 232 ± 6 | 151 ± 3 | 115 ± 7 | 163 ± 46 | 43 ± 8 |
| L-天冬醯胺酶 | 293 ± 17 | 145 ± 11 | 57 ± 23 | 49 ± 23 | 189 ± 7 | 37 ± 20 |
| 醯胺酶 | 895 ± 77 | 568 ± 8 | 282 ± 15 | 234 ± 33 | 722 ± 68 | 528 ± 42 |
| 酸性磷酸酯酶 | 3.30 ± 0.60 | 1.66 ± 0.10 | 1.88 ± 0.09 | 1.45 ± 0.14 | 2.90 ± 0.25 | 1.22 ± 0.29 |
| 磷酸二酯酶 | 1176 ± 84 | 638 ± 48 | 371 ± 88 | 247 ± 26 | 782 ± 41 | 255 ± 55 |
| 芳香基硫酸酯酶 | 1534 ± 372 | 1108 ± 126 | 1543 ± 179 | 1059 ± 269 | 1613 ± 71 | 720 ± 72 |
| 硫氰酸酶 | 160 ± 108 | 223 ± 36 | 57 ± 34 | 134 ± 90 | 160 ± 108 | 166 ± 31 |
| 纖維素酶 | 934 ± 354 | 520 ± 100 | 656 ± 174 | 566 ± 230 | 292 ± 138 | 72 ± 46 |
| 27/10/1996 | | | | | | |
| 尿素酶 | 198 ± 78 | 168 ± 84 | 259 ± 225 | 282 ± 209 | 175 ± 56 | 43 ± 7 |
| L-天冬醯胺酶 | 155 ± 69 | 113 ± 83 | 60 ± 36 | 48 ± 17 | 110 ± 38 | 34 ± 24 |
| 醯胺酶 | 751 ± 366 | 596 ± 342 | 475 ± 253 | 403 ± 205 | 632 ± 313 | 307 ± 159 |
| 酸性磷酸酯酶 | 1.55 ± 0.51 | 1.27 ± 0.69 | 1.69 ± 0.78 | 1.72 ± 0.69 | 2.10 ± 0.51 | 0.62 ± 0.20 |
| 磷酸二酯酶 | 212 ± 107 | 179 ± 135 | 363 ± 139 | 349 ± 37 | 274 ± 89 | 61 ± 58 |
| 芳香基硫酸酯酶 | 1156 ± 456 | 850 ± 565 | 733 ± 329 | 668 ± 283 | 904 ± 379 | 352 ± 308 |
| 硫氰酸酶 | 36.0 ± 12.6 | 36.3 ± 11.5 | 16.9 ± 7.4 | 21.4 ± 10.5 | 15.2 ± 1.6 | 6.4 ± 0.6 |
| 纖維素酶 | 674 ± 756 | 647 ± 862 | 1404 ± 1537 | 742 ± 860 | 786 ± 679 | 58 ± 11 |
| 27/01/1997 | | | | | | |
| 尿素酶 | 286 ± 54 | 168 ± 28 | 85 ± 51 | 57 ± 14 | 108 ± 16 | 37 ± 7 |
| L-天冬醯胺酶 | 177 ± 43 | 134 ± 25 | 40 ± 14 | 25 ± 17 | 89 ± 20 | 32 ± 6 |
| 醯胺酶 | 345 ± 234 | 248 ± 81 | 1082 ± 230 | 760 ± 167 | 490 ± 26 | 418 ± 227 |
| 酸性磷酸酯酶 | 3.13 ± 0.37 | 2.89 ± 0.72 | 2.07 ± 1.40 | 2.29 ± 1.60 | 3.30 ± 0.82 | 2.41 ± 0.81 |
| 磷酸二酯酶 | 581 ± 318 | 520 ± 330 | 774 ± 87 | 576 ± 136 | 725 ± 212 | 363 ± 128 |
| 芳香基硫酸酯酶 | 453 ± 117 | 400 ± 169 | 1148 ± 127 | 755 ± 95 | 661 ± 29 | 346 ± 70 |
| 硫氰酸酶 | 7.9 ± 3.8 | 6.5 ± 2.3 | 12.3 ± 3.0 | 12.1 ± 3.1 | 4.5 ± 2.8 | 5.2 ± 1.1 |
| 纖維素酶 | 615 ± 300 | 496 ± 117 | 642 ± 390 | 358 ± 258 | 301 ± 49 | 151 ± 20 |

* 尿素酶、L-天冬醯胺酶、醯胺酶活性單位爲 $\mu$ g $NH_4^+$—N/g soil/2h
酸性磷酸酯酶活性單位爲 mg p-nitrophenol/g soil/h
磷酸二酯酶、芳香基硫酸酯酶活性單位爲 $\mu$ g p-nitrophenol/g soil/h
硫氰酸酶活性單位爲 nM SCN/g soil/h
纖維素酶活性單位爲 mg glucose/Kg soil/24h

致　謝

本研究承國立臺灣大學實驗林管理處處長　李國忠教授、塔塔加高山森林生態系全體研究人員及農業化學系同學協助樣區管理及採樣事宜，行政院國家科學委員會經費補助(NSC-86-2621-B002-021-A07)使得本研究得以順利進行特致謝忱。

參考文獻

1.足立人. (1931a). 臺灣土壤之微生物研究. 第一報. 熱帶農學會誌. 3,130-203.

2.足立人. (1931b). 赭土之微生物學的性質. 熱帶農學會誌. 3, 274-314.

3.足立人. (1933a). 看天田之微生物學的性質. 一般概念及根瘤菌接種.熱帶農學會誌. 5, 107-121.

4.足立人. (1933b). 鹼性土壤之微生物學性質. 熱帶農學會誌. 5, 15-26.

5.姚榮鼐. (1997). 塔塔加高山生態系能量收支之研究(I). 塔塔加通訊.第三號. 2.

6.楊盛行. (1977). 臺灣北部核能發電廠及火力發電廠周圍微生物生態調查. 中華民國微生物學會. pp.50.

7.Alexander, M. (1977). Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

8.Mandels, M., Mrdeiros, J. E., Andreotti, R. E. and Bisset, F. H. (1981). Evaluation of cellulase culture filtrates under use conditions. Biotechnol. Bioeng., 23, 2009-2026.

9.Mishustin, E. N. (1956). Soil Fert., 19, 385-392.

10.Newton, J. D., Wyatt, F. A., Ignatieff, V. and Ward, A. S. (1939). Can. J. Res. C., 17, 256-293.

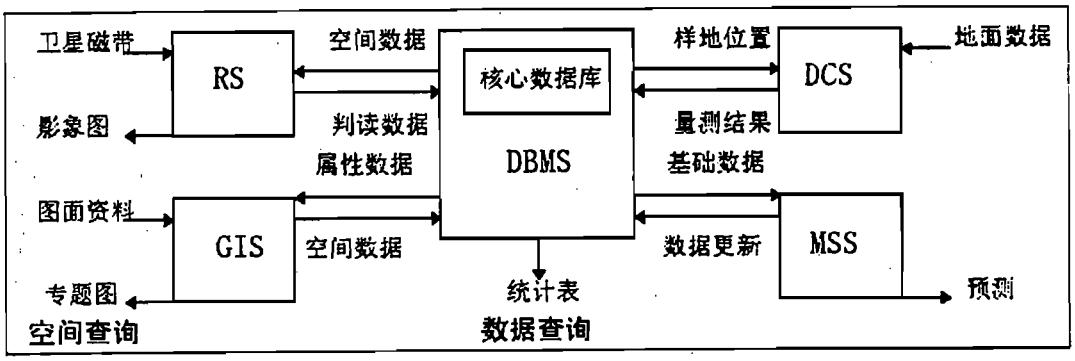



圖 1:森林資源監測系統結構

3 、森林資源數據庫中的核心數據庫

森林資源數據庫中不僅存儲反映森林資源的數據，如面積、蓄積等，也存儲大量與資源相關的屬性數據，森林資源數據庫中一個重要的組成部分稱做核心數據庫。核心數據庫是對來自多種信息源的原始數據進行處理後產出的中間數據，用於生成統計報表和專題圖。系統的所有產出使用這同一套數據，確保系統在具有不同的信息來源和對資源數據進行不同方式的更新的情況下都具有數據的一致性，統計成果的一致性。從系統結構來講，正是通過對核心數據庫的共享，各子系統耦合成爲一個有機的整體。

核心數據庫反映三個實體：

（ 1 ）樣地柵格點實體：樣地柵格點是地面樣地點和遙感加密樣地點的總稱。每個記錄有確定的地理座標。

（ 2 ）樣木實體：每個樣木（記錄）含於某個樣地柵格點中。

（ 3 ）區域實體：造林和消耗調查中的地域單位。每個記錄代表的區劃範圍中含多個樣地柵格點。

在樣地柵格點實體中，地面樣地的屬性數目大大多於遙感加密樣地點的屬性數目。因此，在組織樣地點的數據時將屬性分成三類：

(1)共有屬性：指地面樣地點和遙感加密樣地點共有的屬性，如地理座標、地類等。數據來源除了來自遙感，地面調查之外，還可以來自地理信息系統。

(2)地面樣地專有屬性：遙感判讀不能提供的樣地的其他屬性，由地面調查提供數據。

(3)地面樣地點遙感判讀屬性：由遙感判讀提供的地面樣地的屬性。

樣地柵格點的全部數據用關係數據結構的二維表可以表示成圖 2 的三種表。

| | 公共属性 | 地面样地专用属性 | 地面样地的遥感判读属性 |
|---|---|---|---|
| 地面样地的记录 | 表1 | 表2 | 表3 |
| 遥感样地的记录 | 表1 | | |

圖 2　核心數據庫柵格點實體表結構

表 1 和表 2 是統計報表和專題圖的基礎，表 3 用以分析遙感判讀的精度，或進一步用於森林蓄積的分層抽樣。樣本數據的統計結果做爲地面樣地點的測樹因子數據提供給上述的表 2 。區域數據除直接用於統計製表外，如果有地理範圍，可以將數據進行轉換加到其覆蓋的樣地柵格點上。

樣木實體和區域實體數據結構與原體系相同，其描述從略。

4 、核心數據庫信息來源與資源統計

圖 1 描述了森林資源監測系統各子系統和數據庫的信息源。由於各省不在同一年調查，因而在同一年不同省或同一省在不同年，系統處於不同狀態。存在四種情況。

1 、當年複查省份的系統建立階段。信息來源包括：以往地面樣地歷史資料，當年調查地面樣地資料，柵格點上遙感判讀材料，造林核查、消耗量調查等的區域性調查材料，其它輔助材料，例如高程等地形地勢因子。

2 、當年非複查省份的系統建立階段。爲了能產生全國統計，有可能對當年非複查省建立核心數據庫，其信息來源只有以往地面樣地歷史資料和其它輔助材料。對於這類省份，採用模型更新以往的數據，轉換成新系核心數據庫數據，這相當於圖 2 中表 1 沒有遙感加密點，表 3 無數據。

3 、當年複查省的系統年度運行階段。信息來源包括：當年複查的部分地面樣地材料。柵格點上遙感判讀材料。區域性調查材料。

4 、非複查省的年度運行階段。其信息來源只可能有區域性調查或某些輔助材料。

在系統建立階段完成後，任何一個省都可以進行資源統計和成圖，所需全部數據來源於核心數據庫。

面積和蓄積統計採用遙感判讀地類爲第一相，地面點地類爲第二相的兩相分層抽樣技術，此技術詳見 Cochran, W. G.的 sampling techniques 。對於建立階段的非複測省份，沒有遙感判讀材料，此技術退化爲地面樣地隨機抽樣技術，因而保證森林資源調查數據由原系統向新系統的平穩過渡。

5 、江西省實驗情況簡介

1996 年在江西省進行建立新森林資源監測體系的實驗。地理信息系統軟件採用 Genamap ，遙感圖像處理採用 Ermapper ，數據庫管理採用 Oracle 。這些軟件分別裝在 Indigo 工作站和 Challenge 服務器上，用以太網（ ethernet ）

相連。基礎地理信息庫包括 8 個層，專題地理信息庫包括 6 個層。以 1 ： 5 萬地形圖（縣界和樣地）、 1 ： 50 萬地形圖（其它界線、形、地物）和有關專題圖爲基礎進行數字化。以 TM 衛星磁帶經幾何精校正、重採樣和圖像增強後，形成 1 ： 50000 影像圖。在影像圖上套繪高斯一克呂格坐標系。在 1 × 2km 的公里網交點上目視解釋約 83000 個判讀點。判讀地類分爲 14 個地類。在 8 × 8 公里網交點上進行地面實測（共布設 2600 個地面樣地）。地面實測樣地面積 0.04 公頃和 0.08 公頃二種。由於樣地可能跨越二種以上地類，採用四種方法（中心點法、純優勢地類法、混合優勢地類法、全部地類法）確定地面樣地地類和樣地蓄積量。經實驗結果分析，以全部地類法精度最高。

上述抽樣設計，達到活立木總蓄積抽樣精度爲 92.54 %（ 0.04ha ）和 92.92 %（ 0.08ha ），有林地面積精度爲 96.59 %，比系統抽樣提高效率 23 %。同時產出各種圖件。比起原有的森林資源連續清查體系（地面樣地 11000 多個），顯著提高效率，達到設計目的。

1996 年是江西省資源監測系統的建立階段，因而不存在數據更新問題。但是我們設計了兩種數據更新方式，一種是統計數據的更新方式、另一種是逐個樣地的數據更新方式。將這兩種方式用於 1991 年的調查數據，進而產生 92-97 年的預測數據。其預測結果與 96 年調查數據的誤差均在 5%以內。這個結果說明，以省爲總體結合數據更新產生全國逐年森林資源統計的設計是可以實現的。

# 森林資源的反饋優化控制

彭世揆[1]

摘　要：

森林資源的優化反饋控制目前普遍採用的方法是線性規劃或目標規劃方法。這種方法的優點在於較容易處理森林資源經營管理中所必須的各種的約束條件。然而它的缺點也是明顯的，即它缺乏反饋機制，不能實時地根據變化了的資源狀態調整輸入（經營管理措施）使控制朝著優化目標的軌跡運行。本文提出採用 LQR（線性二次型調節器）模型建立起目標、控制（輸入）以及狀態之間的反饋運行機制，使控制成爲狀態的函數。即便在管理過程中，原定的優化路線有所偏離，也可以根據偏離後的狀態，實時自動地改變輸入，使其最大限度地沿著優化目標的軌跡運行。文中以同齡林的齡級結構調整爲例，結合 Leslie 生長收穫矩陣，具體討論了這種方法的建模過程，實施效果以及有關的技術問題。

[1] 南京林業大學

吉林在一、二萬以前，即大理冰期時最低氣溫比現在還低 10 ℃以上。長白山一帶有大理冰期的冰川遺跡。吉林中、西部地區處於冰緣地帶。冰緣植物的指示種，在榆樹市周家油房的地層孢粉中普遍存在。此外松遼平原還發現杜香（ *Ledum palustre* ）、越橘（ *Vaccinium vitisidaea* ）、篤斯越桔（ *Vaccinium uliginosum* ）、林奈草（ *Linnaea borealis* ）、赤楊（ *Alnus japonica* ）等現代植物。長白松（ *Pinus sylvestris* ）也是在冰川期由新疆北部經西伯利亞再進入侵白山林區的。間冰期溫度回升，氣候轉暖，使熱帶、亞熱帶植物：狗棗獼猴桃（ *Actinidia kolomikta* ）、軟棗獼猴桃（ *Actinidia arguta planchon* ）。五味子（ *Schizandra chinensis* ）等藤本植物由南向北遷移到吉林。冰川期以後，吉林植物被的水平分布基本上與現代植被分布大致相同。

火山爆發在一定範圍影響長白山森林植被的形成與演替。據歷史記載，長白山最後幾次火山爆發是在 1597 、 1668 、 1702 年，康熙十六年（ 1677 年）內務大臣武默納等人調查報告說： 1668 年的火山爆發在局部地區發生，並未對長白山植被發生毀滅性的作用。中科院原林土所用同位素（ $C^{14}$ ）對長白山炭化木進行測定，證明距今 1100 年的一次火山爆發，毀滅了原生的森林植被。他們對大量炭化木分析，還證明長白山在毀滅性爆發前的植被，是以紅松、雲杉與多種闊葉樹混交的針闊混交林與現存的地帶植被基本一致。長白山最後一次火山爆發是 1702 年，距今不到 300 年，但露水河林業局尚有 400 ～ 500 年生的“紅松王”，說明長白山最後一次火山爆發僅影響了局部區域的森林植被。

總之，地質歷史時期森林塑造的時間跨度，由古生代、中生代、新生代到第四紀的漫長歲月，歷盡滄桑，過渡到人類活動爲主導因素的歷史時期。

## 二、人類杜會時期的竊林變遷

森林的變遷在地史時期因氣候關係有很大變化。在人類社會發展時期，氣候變化也改變過森林的遷移和演替，但近代森林的興衰則主要因爲人類活動的干擾。

### （一）古代人類社會與森林變遷

吉林最早記載有人類活動是四萬年前的“榆樹人”和二萬年前的“安圖人”。他們都屬於人類的“新人”階段。人類以森林爲穴居，依靠森林生存和繁衍。在松花江流域，居住著肅慎人。他們曾以楛木作矢，獻給周武王。在永吉縣、蛟河市一帶開始用農具種粟、黍，說明此時已開始對森林的利用。到漢代，挹婁人善種五穀和養豬，並能製作麻布和陶鍋，至唐代，肅慎族後裔建立了粟末靺羯爲主的渤海政權，農業日漸發達，當時“盧城”（即安圖縣明月鎮）之稻，爲渤海政權的著名物產之一。除採伐木材還能製造航海船隻，修建宮殿。之後，渤海爲遼所滅，居民流散，農業蕭條，農田演替爲次生林。遼、金、元三代，這裡的女貞族一直處於“無市井城廓，逐水爲居，以射獵爲主業”的狀態，農田墾殖甚微。按現今吉林版圖範圍內的森林而言，清代以前的森林，基本上以原始狀態保存下來。

五千年前吉林西部屬森林草原地帶，這種景觀一直延續到明成祖朱棣的永樂八年（ 1410 年），直至十七世紀上半葉皇太極的時代史書曾記載“伏騎士數百於河曲柳林中……途邊多榆、柳，長林豐草”，松花江嫩江沿岸廣泛分布著樑、槭、榆等天然喬林。通榆縣的烏蘭花、新華、團結等鄉的的崗上還生長茂密的榆林。

（二）近代人類社會與森林變遷

清初、吉林的東、中部雖然經過歷代開發，但因明末東北戰亂而荒涼："滿地荒草，黃羊山雉群集，古木怪石嵯峨"。十六世紀初期，清朝奪取全國政權，定都北京，東北大批滿族官兵、旗人擁進關內各地。東北人煙稀少，土地荒蕪，但卻爲森林的休養生息創造了一個好的機遇。順治六年（1649年）先後頒發過招民開墾政策，致使關內漢民一度遷入東北。康熙帝平息三藩之後，社會逐漸安定。爲了維護清王朝的統治並保護其長白山發祥聖地，於1668年開始了"四禁"：即禁止農墾、禁止漁獵，禁止採伐森林、禁止採礦。刑律定爲："皇陵山前山後各有禁限，若有盜砍樹株驗實真正椿楂，比照盜大祀神御物斬罪，奏請定奪。放火燒山者俱照前擬斷，充軍邊衛。

康熙二十年（1681年），據昊南學的《寧古塔紀略》一書記載：他與父母從寧古塔（令黑龍江省寧安縣）經船廠（今古林市）返北京，經過大小鳥稽（即森林之意）時的見聞："進入鳥稽，古名黑松林，樹木參天……綿綿延延，不知紀極。其中多峻嶺嶢岩，石經高低難行，其上鳥聲咿啞不絕，微風震撼，則如波濤洶涌，颼颼颯颯，不可名狀……。是夕宿於嶺下，帳房臨澗，澗水淙淙然，音韻幽闐。……適夜半，怪聲忽起，如山崩地裂，萬千年古樹，勿焉摧折也……。穿過小鳥稽，經過三十里，情景亦相似。"這是一段當時吉林浩瀚森林的生動描敘。康熙二十一年（1682年），康熙帝第二次東巡東北，朝拜長白山，途經海龍一帶圍場，沿途狩獵。其隨員南懷仁（比利時人），曾在《滿洲旅行記》一書中寫到："遼東及迤東的全部山嶺，古樹聚茂，鬱鬱蒼蒼，爲最大森林。已經幾世紀時間從未採伐，全不知刀斧之聲。各種樹木，叢生茂密，蔽天蓋地。經數月間旅行，並通過沿途密生榛實的矮林，惟余自有生以來，如此茂密叢生的大森林，實所未見。"

咸豐八年（1858年），何秋濤著《朔方備乘》一書，第十五（艮維窩集考）稱："東北方曰艮維，吉林、黑龍江兩省實屬艮維之地，山水靈秀，拱衛陪京，其問窩集（即大森林之意）者，蓋大老林之名，……材木不可勝用……。地氣若寒，人跡罕到……以故深山林木，鮮罹斧斤之患。而數千百里，絕少蹊徑，較之長城巨防，尤爲險阻。"東北自康熙年開始封禁（1668年）至咸豐十年（公元1860年）才完全開放，一共封禁了長遠200年，封禁政策一方面推遲了吉林的開發，阻礙了各族人民經濟文化和社會進步，但在客觀上卻起到嚴格的保護森林作用。18世紀中葉以後，關內土地兼併盛行。加上天災人禍的逼迫，關內大量漢族農民流入吉林墾荒，從乾隆三十六年（1771年）到四十六年（1781年），僅10年間就由56673人增加到135827人。清朝自19世紀中葉以後，內政失修，外強入侵，陷入了喪權辱國的境地。北邊的沙皇俄國和東邊的天皇日本通過政治、軍事、商業等多種形式強占領上，掠奪資源。咸豐八年和十年（1860年），先後簽訂了不平等的《中俄瑷琿條約》和《中俄北京條約》，割去外興安嶺、烏蘇里江以東及庫頁島約100平方公里的國土，其中林地面積達5471.6萬公頃，相當於我國現有森林面積的50％，蓄積量62.9億$m^3$，占全國現有森林蓄積的67％。光緒二十七年（1901年）沙俄借山兵東北之機，在通化組成伐木、製材商團。1902年又成立"遠東林業公司"，大肆掠奪鴨綠江的森林。

庚子之役，沙俄在參加八國聯軍侵略北京的同時，又出兵東三省，侵入吉林的安圖縣二道江地區，採伐森林。與此同時，還在撫松縣五道碗子附近，修築窄軌鐵路，掠奪木材。

日俄戰爭後，日本帝國主義取代了沙俄在東三省的勢力。光緒三十年（1927年）成立了中日兩國會辦的鴨綠江伐木公司”。民國五年（1916年）日本資本家與吉林省督軍又簽訂《吉、黑林礦借款條約》。當時吉林政府爲解決財政危機，採取發放“林場權”的措施。日本財閥，如“三井物產”、“三菱”、“大倉組合”、“王子製紙”等聚集吉林，成立了富寧、興林、華森、黃川等林業公司，修建吉-敦鐵路，沿鐵路線的森林被大量採伐。民國初年，產銷正旺，其年採伐量達100至180萬$m^3$，民國八年採伐量竟達360萬$m^3$之多。1911年地主韓憲忠在靖宇、樺甸等縣進行採伐，此外“雙十號”、“丁二號”、“安東《本》宇號”等採伐商，專門採伐100 cm以上的大徑級良材，使大好長白山森林受到嚴重的破壞。據統計，1931年“九一八”事變後，日本帝國主義侵占東北三省的14年間，掠奪大、小興安嶺及長白山林區的木材竟達一億多$m^3$，破壞森林面積達600萬公頃，其中交通方便的長白山林區受害最嚴重。自1929年至1942年的十三年間，森林面積減少18％，森林蓄積量減少14.3％。

如前所述，人口劇增、毀林墾荒也是吉林森林銳減的主要因素之一。據統計清乾隆五十六年（1791年）吉林僅有15萬人，到了1898年，即光緒二十四年，人口已邊78萬人。十九世紀以後，山東、河北的農民不斷湧進吉林，到宣統三年（即1911年），人口已增加到554萬人，時過120年，人口增加36倍多，森林的消失和人口的增長呈正比例發展。

三、森林變遷與環境

森林是陸地生態系統的主體，是地球生物圈的重要組成成份。森林的存在、分布、結構、生長、生產率以及其發展和變遷，都在很大程度上受到氣候條件的影響和制約，隨著氣候條件的變化而發生變化。同時森林的存在能引起下墊面反射率、粗糙度、水熱平衡狀況發生變化，森林遭受破壞，失去了水源涵養與水土保持作用，從而破壞了生態平衡，必然導致氣候惡化、水土流失，使林區珍稀植物生存條件受到威脅。

（一）對環境資源的影響

關於大面積採伐森林造成環境資源質量下降的記述頗多。例如清朝保廉在他的《辛卯傳行記》中紀述祁連山森林遭受破壞後的情況：“甘帥少雨，特祁連積雪以潤田疇，蓋山木陰森，雪不驟化，夏日漸融，流入弱水，引爲十二渠，利至濤也。去年（光緒十六年，即1890年）設立電線，某大員代辦杆木，遣兵砍伐，摧殘太甚，無以蔭雪，稍暖遽消，即虞泛濫。入夏之雨又虞旱嘆。怨答之聲，徹於四境。”又如：清朝梅曾亮（伯言）在《書棚民事》中記載：“皆言：未開之山，上堅石固，草樹茂密，葉積數年可二三寸，每天雨從樹至葉面上，厲石隙，滴瀝成泉，其下水也緩，又水下土不隨下。水緩故低田受之不爲災，而半月不雨高田就受其浸漑。今以斧斤童其山，而以鋤犁疏其土，一雨未畢而沙石隨下，奔流注壑，澗中皆塡圩不可貯水，畢至窪田乃之。及窪田竭，而山田之水無繼者，是爲開不毛之土，而病，而瘠有谷之田，利無稅之庸而瘠有稅之戶也。”

據吉林省氣象局觀測，由於吉林長白山森林銳減，旱澇頻率與日驟增、大旱次數不斷增多：1852～1874年間，旱澇出現頻率爲12％，無一次大旱年；1875～1924年間，旱澇年頻率爲26％，出現4次大旱年；1925～1974

年間，旱澇頻率增至 38 %，出現 5 次大旱年。近 430 年，年降水量共減少 20 多毫米，平均每年減少 0.5 毫米。長白山南坡大片森林被砍伐後，降水量減少 25 %～ 40 %，氣溫升高 0.9 ℃，地溫升高 1 ℃。

據吉林水利部門報導；由於長期以來長白山區森林過量採伐，造成水土流失面積日趨嚴重，截止 1986 年，水土流失面積已達 344.4 萬公頃。初步計算，全省每年表土流失量達 1 億噸，流失的養份相當於一年的有機肥的施用量。水土流失不僅沖刷掉大量的土壤中氮、磷、鉀養份，破壞耕地的養份平衡，而且淤積下游河道，減弱水庫的蓄水防洪功能。以松花湖爲例，這是我國北方最大的人工湖，這裡峰巒育翠，碧水藍天，湖光山色，秀麗多姿，豐滿發電廠大壩將濤濤松花江水攔腰切斷，形成集發電、旅游、農業灌溉於一體的生態經濟系統。湖水含沙量平均每立方米爲 1.84 公斤，其含沙淤積量低於三門峽等水庫，但與歷史上松花湖相比，隨著森林遭受破壞程度不同，其泥沙量變幅增大。 1943 ～ 1958 年的 15 年，年平均入湖泥沙量爲 46.5 萬 $m^3$； 1959 ～ 1968 年年均入湖泥沙量增加到 500 萬 $m^3$， 1969 年（文化大革命）期間，年均入湖泥沙量猛增至 3100 萬 $m^3$； 1970 年以後，泥沙淤積量才穩定在 534 萬 $m^3$。撫今追昔，世世代代被譽爲“銅幫鐵底”的松花江，已把玉帶縈回的江水風光，留存在人們的千古絕唱之中，描摹在人們妙手丹青的畫圖上。眾山默默江水涔涔，在追尋那失去的容顏！恢復松花江流域生態迫在眉睫！

.（二）對生物資源的影響

4 年前，聯合國環境署執行主任多德斯韋爾到北京參加世界環境日，她曾向全世界大聲疾呼：這個地球已經失去耐心！ 1996 年 7 月她再次蒞臨北京，在中國第四次環保大會上，重申了她的這種擔憂：“去年，聯合國環境署報告說，動植物滅絕的速率已經達到了警戒線。同樣令人驚慌的是，全球大量水土流失的問題…這些是我們自己行爲方式帶來環境後果當中的一部分。”

吉林曾謠譽爲：“棒打獐子瓢舀魚，野雉飛到飯鍋裡”五十年代，中國科學院動物研究所調查長白山有 51 種獸類，截止 1985 年，在 30 多年時間裡，東北虎、豹、猞猁、狼、豺等大型珍貴獸類已瀕臨絕跡，東北虎在 1975 年調查時全省僅 20 隻，較 1969 年減少 70 %以上，到 1985 年東北虎經推算爲 10 只左右。據（長白山志）記載：汪清縣 1973 年收購哈什蟆“油” 2 萬多公斤，到 1982 年，僅收購 1500 公斤。其他多數動物的數量也普遍下降。

珍稀植物也大量減少。例如吉林山蔘： 1927 年全省山蔘產量達 750 公斤； 60 年代，年平均收購量爲 500 公斤， 70 年代年均收購量下降到 150 公斤； 80 年代初僅有 75 公斤。東北紅豆杉（ *Taxus cuspidata* ）、刺楸（ *Kalopanax septemtobum* ）等珍貴樹種已瀕臨絕種。 1992 年，我國正式出版了《中國植物紅皮書》（第一冊）專門用來記錄瀕危植物物種。在世界自然和自然資源保護聯盟維護物種生存委員會的創意下，無論是發達國家還是發展中國家，都在編寫這樣的書籍，意在提醒人們加強保護，以維護珍貴資源的生存。我國的第一冊裡就記述 389 種瀕危植物。鑒於吉林的大量高等植物的生存受到威脅，預計在今後的記錄裡將要占很大的篇幅。

四、近四十年來的林業建設

吉林是國家重要林業省之一，近四十年來各項林業建設取得了一定的成績，爲改變生態環境，特別是爲吉林西部防護林建設作出了不可磨滅的歷史貢獻，簡述如下：

一是制定了保護森林有計劃地發展林業的方針政策。貫徹執行了《森林法》，頒發了森林限額採伐規程等一系列保護森林、促進林業發展的方針政策。

二是建全了林業機構。森林工業局已由 1949 年的 6 個發展到 20 個，各市縣建立林業局 52 個，建立林場 499 個，配備了專職林業職工 23.4 萬人。

三是“三北”防護林建設工作取得了重大進展，吉林中西部地區森林覆蓋率由 1949 年的 5.5 %提高到 12 %，以防風固沙和農田防護林爲主體的區域防護林體系基本形成，較好地發揮了緩解風沙自然災害，改善了農業生態環境。

四是森林防火取得了重大成績，實現了連續 15 年無重大森林火災。

五是營林工作、林產工業、多種經營以及第三產業都有了一定的發展。鋸材等加工能力達 136 萬 $m^3$，人造板、紙漿、林化、森林動植物資源和非生物資源的開發利用、多種經營活動、森林旅游也有了一定進展。

此外在林業教育、科學研究等方面都有了很大發展，林區社會安定，生活福利設施逐漸得到改善……這一切都是有目共睹的。但是“毀林容易建林難”，長期歷史的欠帳和現實工作中的失誤，需要我們認真的總結，深刻的反思！

路漫漫其修遠兮！

吉林森林和生態環境變化的歷史是我們一份珍貴的遺產。特別應當提到的是，近 100 年是吉林人在這個大地上創造奇跡的 100 年，也是人們對她掠奪地開發的 100 年。它使人們獲得了比以往任何時候都巨大的財富，也將人們賴以生存的家園破壞到了無以復加的地步。生存與發展，使國際社會第一次把環境會計學帶進了經濟增長的成本中。這就是 1992 年，世界環發大會倡導的“可持續發展”的思想。迨一概念被定義爲“在不危及後人需要的前提下，尋找滿足我們當代人需要的發展途徑。”

時至今日，人們終於明白了一個道理：森林作爲自然生態系統，是大自然的重要組成成份。她對我們人類一無所求，而人類只有在她的蔭蔽下才能得以幸福的生存。森林不是一個取之不盡用之不竭、可以任意揮霍的園地，人類不善待他，這個園地最終將變成墓地。

歷史之反思，歷史之教訓，定將喚起“窩集”的復蘇與“山青水秀”的回歸！

人們正在努力。

主要參考文獻


1・ 中國植被編輯委員會《中國植被》科學出版社 1980 年

2・ 劉培新《東北自然地理》新知識出版社 1956 年

3・ 斯行健等《中生代植物》中國植物化石第二冊科學出版社 1963 年

4・ 路統信《森林、環境、綠化》臺灣大學森林研究所 1985 年

5・ 河北師大生物系《生物進化論》人民教育出版社 1978 年

6・ 安俊義　吉林省營城地區晚侏羅世孢粉組合（摘要）吉林省煤田地質研究所 1979 年 2 月

7・ 東北地質學院研究院《東北化石手冊》 1970 年

8・ 國語：《國語下》

9・ 後漢書：《挹婁傳》

10・《渤海國記》卷中

11・ 趙大昌 長白山火山爆發對植被發展演替關係的初步探討森林生態系統研究（Ⅱ）中科院林土所 1981 年

12・ 滿洲事情案內事務所《滿洲帝口概覽》 1943 年（康德十年）

13・ 劉壯飛等《長白山森林資源開發與管理》中國林業出版社 1985 年

14・ 董智勇、佟新夫等《中國森林史資料匯編》中國林學會林業史學會 1993 年 7 月

15・ 王憲成等《吉林省國有林區治危興林對策與發展戰略研究》吉林科技出版社 1992 年 9 月

16・ 賈廣和等《吉林生態經濟林業》吉林人民出版社 1991 年 10 月

17・ 吳榜華《林區社會學》中國林業出版社 1993 年

18・ 吳榜華《吉林次生林經營》延邊大學出版社 1991 年

19・ 吳榜華　銀杏引種的調查初報　吉林學院學報 1995 年 4 月

20・ 王九齡、李蔭秀《北京森林史輯要》北京科技出版社 1992 年

21・ 陶炎《中國森林的歷史變遷》中國林業出版社 1994 年 10 月

22・ 王曼華　吉林省全新世孢粉組合特徵的初步研究　長春地理研究所 1979 年 3 月

23・ 裘善文等　中國東北晚冰期以來自然環境演化的初步探討　長春地理研究所 1979 年

# 生物木材科學與資源的合理利用

李堅[1]

摘　要：

隨著人類的進步和生態學的發展，正在興起“生物圈規劃”和“人與生物圈”的研究，衝擊著傳統的木材科學研究領域，逐漸增加了與生態和環境科學有關的研究內容，進而形成了木材科學的一個重要分支-生物木材科學。它是以木材性質分析爲基礎，以生物學、林學和環境學爲關聯學科，側重研究林木在不同生態環境中木材形成與材質的分析、經營技術與材質的關係、生態環境與材質變異的關係、林木與人類生存的關係、幼齡材與成熟材的界定及材質早期預測等等，進而揭示生物學、林學、環境學與木材材性的關係，爲搞好集約經營，優化林木材質，發揮林木的多功能、多效益，和保護環境，提高木材品質，改善人類生活質量等均具有重要意義。木材~人類和環境的關係及合理利用森林與生物資源已愈來愈引起世人的關注。本文預測了中國和世界木材資源的供需狀況，並對如何科學合理地利用木材生物資源進行了分析和論述，爲促進高質量高性能的生物材料及衍生製品的創生和發展、保護生態環境和林業的可持續發展提供科學依據。

關鍵詞：生物木材科學，木材預測，合理利用。

## 一，生物木材科學的研究

近年來，世界各國由於“生物圈規劃”和“人與生物圈”研究的開展，生態學的研究十分活躍，它衝擊著傳統的木材科學領域，使其逐漸劃分爲兩個分支：“生物木材科學和工藝木材科學”。生物木材科學是以生物學、林學、環境科學爲主要關聯學科，側重於生物科學的理論，著眼於林木在不同生態環境下，立木的成長和木材材質的變異，以便在科學的經營措施下，改善林木的材質，適合於多種利用，從而改善人類的生存環境，美化人類的生活。“工藝木材科學”則是以物理學、力學、化學和工藝學爲主要關聯學科，側重於技術科學的理論，著眼於木材本身的材性變異，研究改性的木材，木材的機械與工藝加工及其資源的綜合利用。

### 1．學術動態

50 年代初，日本的加納 孟發表了“木材材質的森林生物學研究”（系列文章 1~17 ， 1950~1967 年）；佑伯 浩陸續發表了“針葉樹材年輪構造的研究”（系列文章 1~5 ， 1963~1965 ）；久保隆文的“日本產針葉樹材的晚材形成特性”（ 1983 ），“不同樹冠量的柳杉年輪構造及其形成”（系列文章 1~5 ， 1981~1983 ）；川口正夫的“針葉樹材的年輪構造解析”（ 1979 年）等都提到了生長輪的材質分析。美國學者 P.R.Larson 從 1957 年開始發表了“環境對樹木比重與晚材率的影響”（ 1957 ），“從生理學研究早晚材的過渡問題”（ 1960 年），

[1] 東北林業大學

“從生物學探討木材的質量”（1962年），“光周期對松木管胞直徑的間接作用”，(1962年），“乾旱對管胞直徑的間接作用”（1967年）等系列文章。D.M.Smith也提出了“火炬松次生林輪寬、晚材率與密度之間的關係”（1955年），“針葉樹材的物候學與木材形成的關係”（1978年）等文章。這些學者的論述，給生物木材科學的研究打下了基礎。

前蘇聯學者在本世紀初就已開始創立林型的學說，研究森林對自然和歷史的關係，描述組成森林的樹種、動物、氣候、土壤等演變過程（φ.T..MOP30B，1903年）。以後，B.H.Cyaциb又給予補充、完善。成爲當時的林型學說；1946年召開的全蘇林業科學會議上，A.H.щaMephHи koBa肯定了林型學說。И.C.Meи exoB（1949）發表了“樟子松在不同林型的材性變化”，以後又提出了“柞木在不同環境的材性變異”，1979年發表了“樹木年輪結構的變化在林學與樹木氣候學中的意義”。歐洲的學者S.Ke1lomaki（1979年）研究了“太陽輻射、氣溫對歐洲松木材密度的影響”；同年A.C.Саиноу發表了環境因子對歐洲松樹幹生長量的影響“。D.I.Matyiris（1979年）研究了”四個種源的輻射松在希臘兩種立地條件下木材密度的變異“；W.J.Smith（1978年）觀測了三種外來針葉樹材（濕地松、火炬松和加勒比松）生長情況與木材形成；J.R.Hamilton (1978年）研究了“立地土壤對北方赤櫟木材比重的影響”。

我國學者從1956年開始開展了“落葉松林型與材性關係”、“杉木生長量與材性關係”、“紅松生長與氣候因子的相關性”、“生長條件與材性關係”、“人工林紅松材質變異”、以及“林木生長輪材質預測”等方面的研究，到七十年代末和八十年代，我國的“林木生長條件與材性關係”研究已獲得了長足的進步。九十年代初開始了短周期工業材定向培育技術與材質優化關係及其幼齡材與成熟材的界定和材質早期預測的研究，取得了一系列研究成果，豐富了生物木材科學的內容，加深了人們對生物木材科學研究內涵及重要意義的認識和理解。

2．研究方法

①計算機視覺分析

以往木材解剖構造研究多數採用光鏡和電鏡的人工視覺觀察，對於需要完成大量木材解剖分子統計分析的測量而言，這種方法需要耗費巨大的人力和物力，而且速度很慢，精度低。因此，開發和研制一種快速、準確、自動化程度高的木材構造分析方法已是全世界木材科學研究者亟待解決的問題。美國、日本、加拿大、法國等都在不同程度上開展了該方面的研究工作。80年代以來，由於計算機和數字圖像處理技術的發展與普及，爲世界各國研究計算機視覺在木材科學研究中的應用奠定了堅實基礎。

計算機視覺在木材科學中的應用主要包括：（1）木材細胞解剖形態分析；（2）木材細胞數目分布密度的統計分析；（3）木材生長輪的晚材率測量；（4）木材生長速度測量；（5）木材解剖分子的特徵量提取；（6）木材細胞解剖形

態的識別；（ 7 ）木材生長輪材質的分析與預測等。

木材構造測量原理框圖如圖 1 所示。用一準直光源(或激光源）照射被測試樣，利用光學顯微鏡或透鏡組成的光學系統將圖像呈到 CCD 攝像機上，再由放大成楨，預處理等將圖像數字化後送入計算機，計算機利用應用軟件庫中的應用軟件完成對採樣圖像的去除噪聲、濾除外部信號的影響。然後將圖像二值化處理，即設定一灰度閾值，凡亮度高於此閾值的像素均置成白色（灰度級 225 ），凡亮度低於此閾值的像素均置成黑色（灰度級 0 ）。試樣的移動、聚焦、分析和處理等全過程，都有載物臺和自動聚焦軟件硬件完成。

利用圖像處理後木材構造如圖 2 所示，二值化圖像如圖 3 所示。

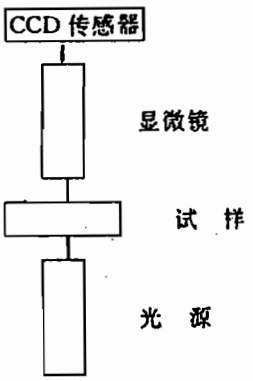



圖 1 木材構造測量原理框圖

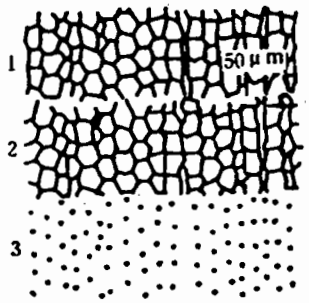



圖 2 圖像處理後日本柳杉圖像

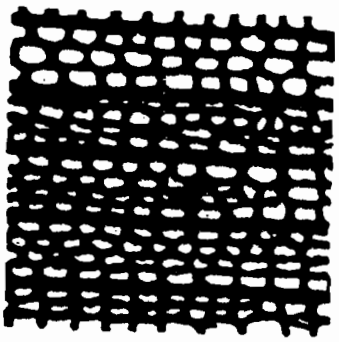


圖 3 人工林長白落葉松木材解剖構造二值化圖像

②生長輪材質分析

林木生長輪材質的變異應屬生物木材科學範疇。它主要是研究樹木在不同生長條件下林木材質的變異規律，即探討森林生態學提出的影響林木生長的主要因子與材質變化的相互關係，觀察和解釋林木在天然更新與人工撫育下，林木生長與木材材質變異的現像，進而爲林木的天然更新和集約經營提供科學依據。

爲了尋求林木材質的變異規律，試圖通過簡便而科學的技術措施，達到掌握不同生態環境下林木材質的變化過程。要了解在一個生長季裏(即一個生長輪)，

木材解剖分子的變化及其對應的氣候因子、土壤條件等各項因素之間的相互關係等問題，經過多年的觀察和摸索，終於找到了一條可靠的研究途徑--林木的生長輪材質分析法。

生長輪材質分析大致有：細胞的壁厚、直徑、早晚材（或者過渡帶）的寬度、生長輪、各區段密度、管胞長度（木纖維長度）、木材顯微硬度以及小拉伸強度等 8 個項目。

③數量化分析

由於數量化理論擅長於處理多因子之間的相互關係，所以這種方法目前得到了廣泛的應用。

數量化理論I是針對因變量是數量化因子、自變量中含有非數量化因子的情況。在實際工作中，可以應用數量化理論I建立起因變量和自變量的綜合數學模式，從而解決預測問題。

數學的職能之一是研究事物的“數量”規律。但是在實際問題中，除了大量的“量的數據”之外，亦有許多“質的數據”。後者是非數量的數據，一般不易進行定量處理。就研究林學而言，諸如坡向的陰、陽，坡度的陡、緩，林分的疏、密，樹種的針、闊，土壤的顏色紅、黃等等，比比皆是。

生物學中的某種數量因子（因變量），從專業角度考慮與這些非數量因子（自變量）有關，我們能否把非數量因子定量地表達出來，這是一個問題。另一方面，對這些自變量與因變量，我們一時還找不出它們之間的確切函數關係，怎樣進行定量處理，特別是自變量因子很多時，如何進行定量地綜合。爲了解決這個問題，產生了數量化方法。數量化方法基本是針對非數量化因子而言的。

數量化理論I是從一定數量的實際觀測資料出發，經過統計分析建立起綜合數學模式，求解後在一定精度水平上對某種變量進行定量地數值預報。

經驗証明，在生物學領域裏，數量化理論I是一個行之有效的數學方法，其特點是對過去許多只能定性感知的關係給出定量的數值表達，以便於權衡取捨。因而可預見，這一數學方法必將得到廣泛採用。

3 ．研究方向

生物木材科學以木材性質爲基礎，以生物學、林學、環境科學爲關聯學科，側重於生物科學理論，著眼於林木在不同生態環境中樹木的成長與木材材質變異，以便在科學的經營措施下，改善林木的材質，適於加工利用，改進人類的生存環境，提高人類的生活質量。

國內外研究者著重研究了林木生長與環境因子的關係、經營措施與林木材質的關係、生長輪材質分析與早期預測、幼齡材與成熟材的性質變異等等。這些研究所具有的現實意義在於：隨著森林資源結構的變化，天然林減少，人工林和速生豐產林增加，林木的生長速率不均一，材質變異加大，衝擊著傳統的木材加工

方法和利用途徑。因此大有必要從生物學的角度去認識和解釋人工林木材質的變異，探索集約經營與材質優化的關係，從而爲天然林的選擇和人工林定向培育優良材質，提供科學的理論依據。主要研究下列內容：

①林木生長與環境因子的關係。林木的環境因子包括陽光輻射、熱效益、碳素效益、水分的作用、礦物質及機械因子等，在不同程度上與樹木的生長發生相互作用。我國研究者魏亞、欒樹杰、王書光等進行了“以數量化的模式探討紅松生長與氣候的相關性”、“紅松早晚材的形成與物候期的關係”以及“紅松林直徑生長與氣候因子的相關分析”等有關方面的研究，結果表明，樹木連年生長量是一個可靠的天然氣候記錄器。了解林木自然生長量的周期變化，也有利於樹木年代學、森林氣象學的研究與預測。

不同的環境因子往往彼此制約，對林木的生長形成綜合作用。譬如紅松的徑向生長量與氣候因子間的相關，是複雜的多變的，對每株樹的生長都可能有不同的主導因素和次要因子，但在同一標準地裏生長的同一樹種的林木大部分主導因素相同的。

②經營措施與林木材質的關係。當今世界林業正處在由利用天然林木材向利用人工林木材的轉移時期，中國的木材資源結構也正在發生變化，即由人工林和速生豐產林提供的木材資源將逐漸增加。因此改善經營措施，加強人工撫育，提供速生優質的木材資源的研究無疑是舉世矚目的重大科學研究課題。通過對育種、疏伐、整枝、施肥和灌溉等人工撫育措施與材質變異關係的研究，預測速生林和短周期工業用材林的材質材性，探討培育優質木材和改良木材的途徑。

③生長輪材質分析與早期預測。採用生長輪材質分析方法，對木材的解剖分子和物理特徵進行多種測定，如年輪寬、晚材率、密度、管胞長度、壁腔比、纖絲角、木材顯微硬度等，從而分析樹木的生長、晚材形成、邊心材轉化與環境因子、經營措施的相關性；分析人工林木在生長過程中材性的變異規律，確定短周期工業用材林的成熟期以及進行材質的早期預測。

欒樹杰等發明的“生長輪材質分析法”、“樹幹徑向生長測微儀”以及“以紅松樹枝的指標預測樹幹材質”對預測林木材質變異，研究材質優化、森林經營決策和定向培育短周期工業用材林均大有裨益。

④幼齡材與成熟材的性質變異。世界各國，未來的商用材將主要來源於人工林。特別是人工速生豐產林，及定向培育短周期工業用材林所提供的木材，含有大量的寬年輪的幼齡材，有的商品材甚至可能全部是幼齡材。

幼齡材是由幼齡的或未成熟的形成層所形成的次生本質部。位於髓心附近，是樹木生長發育早期形成的。幼齡材的外部爲成熟材。幼齡材與成熟材相比，成熟材具有該樹種木材的正常性質，而幼齡材材性普遍較差，影響木材的加工與利用。有的幼齡材不適於作結構材，並且在一些用途中常常限制使用。國內外研究者對不同樹種幼齡期的畫分、幼齡材在樹幹內的變化以及幼齡材與成熟材材性的比較等做了大量研究。研究指出，畫分幼齡材的依據有三：①以解剖特徵和纖維

形態爲依據；②以物理力學性質的變異爲依據；③以解剖特徵結合物理力學性質爲依據。安徽農業大學徐有明根據木材解剖特性和物理力學性質的徑向變異，確定中條山油松的幼齡期爲 14a 左右；徐從健根據纖維形態特徵畫分中條山山楊的幼齡期爲 15a 左右；劉盛全和費本華以解剖特徵和物理力學性結合考慮，確定刺楸和銅錢樹的幼齡期分別爲 17a 和 10a 左右。

東北林業大學李堅等全面系統地研究了杉木、長白落葉松、馬尾松、濕地松和火炬松木材解剖特性和木材物理力學特性等重要的材性指標，分析了木材生長輪材性變異規律。首次提出了有序聚類最優畫分模型，界定了 5 個樹種人工林木材幼齡材與成熟材的界限。即長白落葉松、濕地松和火炬松成熟期起始齡爲 15 年，馬尾松爲 13 年，杉木爲 14 年。採用幼齡材材性指標數據，重新回歸建模，在此基礎上篩選和建立材質早期預測模型，得到高擬合度的預測結果，在短周期工業用材林材質早期預測的技術和理論上取得了突破。

一般認爲，幼齡材的材質比成熟材低劣，針葉樹材比闊葉樹材更爲明顯。針葉樹幼齡材與成熟材相比，具有：晚材率低、纖維長度短、微纖絲角大、纖維素含量低而木素含量高，生材含水率高等特點。

由於幼齡材的材質普遍次於成熟材，而製材、乾燥、人造板的加工、製漿造紙生產等均與幼齡材的材質密切相關，因此給傳統的木材加工工藝、加工設備及產品質量帶來一系列新的問題。目前，有關幼齡材的加工利用方面的研究較少，因此應該以幼齡材的材質材性爲基礎，探討幼齡材在人造板生產、製材、乾燥、油漆、膠合以及製漿造紙等加工過程中出現的問題及解決辦法確定科學的加工工藝，做到適材適用，爲充分、合理、有效地利用速生豐產林和短周期工業用材林提供科學的理論依據。

通過對上述內容的研究，揭示了生物學、林學、環境科學與木材材性的關係。在當前森林資源結構變化——人工林和速生豐產林增加而天然林和原始林減少的時期，小徑木、幼齡材、低質材產量增加，搞好集約經營，優化林木材質，發揮林木的多種功能和多途徑效益，對保護環境、提高木材質量、改善人類生活環境均具有重要的現實意義。

二、世界和中國木材供需預測

世界木材生產量在逐漸下降。易於獲得的針葉材和闊葉材的大量消耗以及來自環境保護方面的限制，使木材供應來源逐漸減少，受影響最嚴重的是那些傳統的木材生產區。然而木材的需求量卻在明顯增加，據聯合國糧農組織（ FAO ）預測，到 2010 年世界人口將在 1990 年的基礎上增長 37 %，而全球對木材的需求量將增長 40 %以上，即從 34.33 億 $m^3$ 增加到 50 多億 $m^3$ 。

1990~2010 年全球木材及林產品需求增長預測如下：

| 產品 | 1990 年（需求量） | 2010 年（需求量） | 增長比例（%） |
|---|---|---|---|
| 原木（百萬 $m^3$ ） | 3433 | 5069 | 47.7 |
| 其中： | | | |
| 薪炭材（百萬 $m^3$ ） | 1778 | 2395 | 34.7 |
| 工業材（百萬 $m^3$ ） | 1655 | 2674 | 61.6 |
| 鋸材（百萬 $m^3$ ） | 489 | 745 | 52.4 |
| 本質人造板（百萬 $m^3$ ） | 132 | 313 | 137 |
| 木漿（百萬 t) | 142 | 283 | 99.3 |
| 紙和紙板（百萬 t) | 213 | 443 | 108 |

到 2000 年，中國的木材需要量預計達 2.67 億 $m^3$，而預計生產量只能達到 2.11 億 $m^3$，相差 5600 萬 $m^3$ 。可見，木材供需緊張的局面將長期存在下去。

從木材消耗量來看，全國人均僅有 0.224$m^3$，只有現在世界人均木材消耗量 0.65$m^3$的 34 %。若 2000 年平均每人消費量能達到目前世界平均水平的一半，就需要木材 3.9 億 $m^3$，這是我國森林資源無力負擔的。

因此，如何保護好現有的森林資源，如何合理利用有限的資源，如何積極發展和增加資源，是挖掘資源潛力，提高木材加工利用率，緩解日趨緊張的木材供需矛盾的根本大計。爲解決這一問題，我國有關方面的著名專家候知正、陳平安和王愷等曾開展了“我國木材資源合理利用戰略和對策研究”的研討，所提出的合理利用我國木材資源的戰略，對策和措施對緩解我國木材供需矛盾和提高木材生產，加工及利用水平均起到重要和積極的作用。

三、森林資源的合理利用

1.充分利用森林採伐剩餘物和木材加工剩餘物

要充分利用林區的採伐，加工和造材剩餘物，大力生產木片，開展小材小料加工，發展人造板生產。木片是造紙、纖維板和刨花板生產的原料。利用採伐和加工剩餘物及小徑木、枝丫材生產木片，發展造紙和人造板，在國際上被稱爲“速效林業”，已成爲林產品國際貿易的大宗商品。預計到 2000 年，我國原木計劃產量可達 9500 萬 $m^3$ ，將產生有利用價值的採伐剩餘物 1818 萬 $m^3$ ，預計其中有 70 %可收集起來加以利用；木材加工剩餘物的數量也是非常可觀的，全國木材加工剩餘物數量平均爲加工原木的 34.4 %，即每 1 萬 $m^3$ 原木經過製材和再加工爲各種產品，就可產生 2440$m^3$ 剩餘物，其中板皮，板條、刨花、碎單板占全部剩餘物的 71 %，鋸末占 29 %。

現在，應該利用當前多數林業局原木計畫產量調減，運材能力過剩的條件，迅速擴大木片生產，並且組織和協調有關部門，解決阻礙木片發展速度的諸多因素，如木片的長途運輸和儲存問題，木片的價格、稅收和銷售渠道等問題，能促進木片生產的大發展。按照年增長量 30 萬 $m^3$計算，到 2000 年即能將全國

的木片產量提高到 300~400 萬 $m^3$，可代替 300~400 萬 $m^3$ 原木用於造紙生產，還可部分出口。

2.加強技術改造，提高原木加工利用率。除少部分直接以原木形式利用外，絕大部分原木都要經過鋸割加工之後才能利用。因此，製材加工質量和技術水平，對木材能否得到合理利用，對提高木材利用率有著極爲重要的影響。

①管理好原木，一定要分樹種、等級、材長和徑級進鋸，結合制訂任務需要，‘按戶供料”、“專料專用”。根據各用材單位制訂的鋸材數量及質量要求，制訂好主副產品搭配的作業計畫，按時保質保量完成。學習製材先進技術，不斷提高鋸材規格質量，力爭達到鋸材不用刨光經過砂光就可使用的程度。

②加強對製材企業的技術改造。對製材企業技術改造，要以提高產品質量。木材利用率及經濟效益爲中心，應根據原木的樹種、徑級範圍、質量狀況、產品要求，使產品定向化，使鋸機設備專門化，向專業化製材方向發展，試製高精度高張緊度鋸機，強化對舊設備的維修和改造，因地制宜地製定材工藝，提高製材工人素質和技術水平。

③解決木材乾燥問題，是製材產品結構改革範圍內必須考慮解決的問題，也是對製材傳統產業技術改造的一個重要方面，經過乾燥使木材達到運輸含水率（20％）的要求，在貯運過程中減少變形、開裂或霉變等。

④解決鋸材包裝，這是製材產品結構改革必須解決的又一個問題。關鍵在於解決包裝技術和制訂木材包裝標準，以保證經數次裝卸和長途運輸而不開裂、翹曲、損壞和遺失。以往這樣的損失約占材積的 5％。

⑤加強製材技術的科學研究，技術開發，培育和引進高技術、新技術。

3.提高人造板質量，擴大人造板應用領域。目前，我國人造板工業企業生產規模小，設備陳舊，工藝落後，產品質次價高，品種單一用途較少，因而造成我國木材的綜合利用率只有 50％~60％，而且纖維板和刨花板的產品質量、品種、規格等都不能滿足廣大用戶的要求。其次，技術結構不合理，不配套；人造板的膠粘劑、表面加工及應用技術還未配套發展，技術開發工作跟不上，因而用途狹窄，主要集中用於家具生產。

現在，應該利用好引進的人造板生產和二次加工設備，不斷開發新產品，發展深加工，迅速提高人造板質量，擴大使用範圍，對現有企業進行挖潛改造，調整產品結構，使人造板生產繼續發展。此外，還應發展膠合木，開發小徑材的重組木生產。

4..提高認識，強化木材保護。木材經防腐、防蟲、滯火、尺寸穩定等防護處理後，可提高和改善使用功能，延長使用壽命，節約大量維修用材和費用。這是節約木材的重要措施，對森林資源貧乏的我國尤爲重要。 40 多年來，我國鐵道部門防腐木材 2300$m^3$，按使用壽命延長 4 倍計算，爲國家節約木材近 1 億 $m^3$。

但我國木材保護工作與世界各國差距很大。今後應該提高認識，採取有力措施，加強木材防護工作的組織領導，制訂對木材保護的有關規定，提高木材乾燥生產能力，由目前的 250 萬 $m^3$ 提高到 2000 年的 500 萬 $m^3$；提高木材防腐廠生產能力，由現在的 100 多萬 $m^3$ 提高到 2000 年的 200 萬 $m^3$ 以上。在木材過夏貯存期間進行科學保管和防腐、防蛀、防變形、防霉等處理，進一步加強木材防護技術的研究、開發和應用。如發展高效、低毒、多品種的防腐劑，改進防腐處理技術，提高木材防腐質量。

5.厲行節約建築用材。我國基本建設耗用木材數量很大，根據 1981 年木材調撥計畫的分析，約占原木產量的 20.2 %。實際上，由於計畫外基本建設項目增多，其數量可能達到 20 %~25 %。根據我國森林資源急劇下降的局面，木材計畫產量還要進一步調減，很難滿足建築上的需求。因此，對建築用木材必須貫徹合理利用、綜合利用和節約利用的方針，加強領導，強化管理，理順建築木材管理體制，組建全國建築木材企業集團，建立全國膠合板模板生產基地；繼續倡導節約木材，養成自覺節約木材的風氣，不僅要小材大用，次材優用，而且還要大力開拓人造板材在建築中的應用以替代實體木材，從而增加建築木材供應量，滿足社會需要。

6.加強速生林木材性質及加工利用研究。採取集約經營方法，抓緊營造一批速生豐產林，使之成爲新的商品材基地，是扭轉原有林區資源急劇下降的被動局面，緩解今後木材供需矛盾的根本性措施。我國初步設想，大體用 30 年時間，全國建設速生豐產林基地 0.2 億 h $m^3$。我國速生樹種主要有楊樹、桉樹、泡桐、杉木、落葉松、馬尾松等。這些樹種木材材性變異性很大，要加強對這些速生材材性和加工工藝的研究，根據木材質量和徑級大小分層次加工利用；根據不同樹種木材的材質和材性，適樹適用，並採取科學處理方法改良速生木材的缺點，做到合理利用和充分利用。也可根據用途需要營造短周期工業用材林，根據材性變異規律，準確確定成熟期，並分析材質材性。

7.重視闊葉材資源開發與利用。雖然我國森林資源不足，但另一方面又有相當數量的闊葉林，特別是在南方稱爲的“雜木”，受到長期的冷落，在貯木場大量積壓，造成降等變質，只好作等外材廉價處理，有的廢棄山場，或作燒柴用，使這一大宗資源未能得到應有的加工利用。全國闊葉林蓄積量占總蓄積量的 45.5 %，要利用好這將近一半的森林資源。

8.改變消費結構，大力節約薪材。薪材是我國木材消費的重要方面。據中國能源研究會統計，全國每年用於薪材就消耗森林資源 1.4 億 $m^3$，占森林資源消耗量的一半。另據林業部門估算，薪材年消耗量爲 5000~7000 萬 $m^3$，占森林資源消耗量的 1 ／ 3 ，相當於全國木材計畫產量。薪材主要是農村民用能源，占材

能源消耗的 34 %左右，城鎮也有大量消耗。在有條件的地方，應積極推廣以煤代木，以電、沼氣、太陽能代木，可節約一部分薪材，用以轉爲纖維板、刨花板或製漿造紙的原料。另外，我國有大片的宜林荒山荒地，應鼓勵和保護農民營造薪炭林，作爲民用能源。此外，凡不能用作工業原料的木材廢料，如鋸末、樹皮等，可研究製成壓縮燃料。

9.實現木質森林資源的高效利用。通過增加科技含量，注意滲入和融合新技術、高技術，大力發展木材工業、林產化學工業，使森林資源利用向高效率、多功能方向發展，通過木材深加工，提高產品質量及利用水平，使其利用效益相當於大幅度增加的工業用木材量。

10.重視非本質森林資源的多效利用。注意研究和開發利用林地上的全部生物量，譬如，研究經濟林栽培與加工利用技術，研究開發新的植物資源，研究樹木抽提物的深加工技術等。總之，充分開發和利用大自然賦予人類的野生動、植物資源，生產多種多樣的綠色產品，爲人類造福。

11.發展城市林業和森林旅遊促進景觀森林資源利用

森林資源的利用，除木質森林資源和非木質資源利用外，景觀森林資源利用亦是其重要組成。而在景觀森林資源利用方面，特別是在林業系統，以森林旅遊爲主體的景觀森林資源利用更爲有限。

綜合考慮林業所有多方面的問題而不僅僅只考慮木材生產地必須考慮林業對環境的作用，甚至對民族文化的影響等。森林作爲景觀成分，其影響力將愈來愈大。可以這樣認爲，林業以森林爲基礎而擴展，開始將森林不僅作爲一個木材生產基地，而且作爲景觀處理中最大的自然生態系統、基因庫，生物多樣性基地以及物質和能量攔蓄壩等來進行研究和應用開發的時機已經到來。

在景觀森林資源利用中，城市森林與森林旅遊是其核心內容。城市森林景觀，包括旅遊景觀均屬於景觀森林資源範圍的內容之一。

城市森林的發展前景是廣闊的。一是“城市人口爆炸”。 1978~1990 年間，我國城市從 193 個增加到了 461 個，增加了 268 個，城市人口從 1.22 億增加到 3.3 億，城市人口占總人口的 29.4 %。 1990 年世界城市人口所占比率僅僅 3.6 %，到了 1990 年已達 42.6 %，據預測，到 2000 年將達 51 %。二是能源危機。由於發展中國家城市及其周圍居民的缺柴量越來越大，其對周圍的破壞也越來越嚴重。這自然成其爲城市森林將要解決的問題之一。三是資源短缺。在眾多短缺資源中，水和能源是城市資源危機的關鍵因素之一。城市森林發展可以在很大程度上緩解這一危機。四是城市環境污染。這主要表現在噪音污染，懸浮塵粒污染和水污染上面。

不言而喻，通過發展城市森林解決或控制上述問題，不論是生態效益，經濟效益，還是社會效益都將是十分明顯的。

從人類生活、生存的高度出發、把森林引入城市，讓城市座落在森林中，建城先造林，城市與森林共存，人類與森林共存，是當今城市建設的方向，也是城市林業的發展方向。要鞏固和擴大城市綠地，繼續植樹造林綠化，提高城市綠化水平。

這表現了在我國發展城市森林的可能性和必要性。而城市森林及城市森林景觀是景觀的重要組成內容之一，故我國城市森林化的趨勢亦表現了我國景觀森林資源需求的必然性。

森林旅遊，特別是廣義上的旅遊與景觀森林資源的利用有著緊密聯繫，因爲景觀系統所具有的多種功能主要表明在兩個方面：其一是景觀作爲生態系統的能源和物質循環的載體，它與社會物質文化系統緊密相關，是景觀生態學研究的主要方向；景觀系統的另一功能，也是最易被忽視的一個方面，是它作爲社會精神文化系統的信源而存在。可以這樣說，旅遊，包括森林旅遊在內，較好的表現了景觀的這兩大功能。

12.實行林業保護政策實現森林資源高速、優質、高效和可持續發展

認真貫徹林業保護政策和借鑒國外先進經驗，做到：①林業決策者必須懂得林業要持續生存和發展必須首先保護森林內部的生態關係；②國家必須對工業進行統一治理，把大氣污染降至森林能承受的程度，否則森林和林業部不能生存；③林業所產爲“生態產品”，效益向社會外溢，是一項社會福利事業，所以國家必須給予林業優惠的政策並進行包括經濟在內的扶持，林業不可搞純粹的市場經濟，否則將引起森林過伐；④林業要擠入世界先進地位，必須首先保護，恢復天然林並遵循自然規律合理經營天然林；⑤必須在生態基礎上建立人工林，大規模的人工林應該是無數符合林分天然結構的小規模森林的集合體。

綜上所述，採取這些有效措施，加之國家採取的對策，既可合理利用有限的森林和生物資源，保持生態環境，又可緩解木材供需矛盾，爲國民經濟持續、穩定、協調發展起到積極促進的作用。

參考文獻

（1）徐有芳，積極適應社會主義市場經濟的要求，進一步深化林業改革做好林業工作，把林業推向高產優質高效持續發展的新階段，在全國林業廳局長會議上的講話， 1994

（2）李堅，木材資源與對外貿易，哈爾濱：東北林業大學出版杜， 1989

（3）張華嶺等，林木蔥鬱森林資源，北京：科學普及出版社， 1988

（4）鄭玉華等，中國竹材加工機械圖冊， 竹類情報中心， 1992

（5）周以良等，中國的森林，北京：科學出版社， 1990

（6）李堅、欒樹杰，生物木材學，哈爾濱：東北林業大學出版社， 1993

（7）寇慶德、于肇波、李堅等，木材的結合利用與節約代用，長沙，湖南科技出版社， 1988

（8）李堅，森林資源結構的變化與未來的家具用材，家具， 1993 ， No.4
（9）李堅等，木材科學，哈爾濱：東北林業大學出版社， 1994
（10）李堅等，新型木材，哈爾濱：東北林業大學出版杜， 1993
（11 ）李堅等，現有林經營管理導論，哈爾濱：東北林業大學出版社， 1994
（12）尹思慈、李堅、安培鈞等，木材學，北京，中國林業出版社， 1996

# 塔塔加鞍部森林植群對土壤碳與氮養分動態之影響

林虔隆[1]

摘　要：

生態系內植群組成與結構影響土壤養分含量與收支（即固定與流動），尤以碳與氮二者最爲顯著。本研究第一年乃欲藉技術簡單而耗費低廉之方法（廣口瓶培育法，需一個月培育時間）來比較林地及草生地二者間養分釋出是否因植群不同而有所差異及知悉其差異程度。養分元素主探討碳(Carbon)與氮(Nitrogen)二者。碳爲生物能量主要來源，氮則爲光合作用中葉綠體之重要組成。第二年則欲以微滲量計法(microlysimeter)進行監測，使吾人能於最短時間內（一小時）獲得上述資訊，藉以瞭解生態系內養分收支之動態情形。第三年則整合全部資料，以利明瞭生態系養分循環與森林生產力之關係，並與微生物相關資料進行判釋，尋出植群對生育地養分含量之影響，再而探討養分供應對微生物族群之消長，微生物對養分釋出與固定之關係，最末尋找養分動態循環對生態系生產力之關係以及整體模式。

SUMMARY

Several studies suggest that vegetation composition and stand structure of ecosystem may affect the pool sizes and flux rates of soil nutrients, especially carbon (C) and nitrogen (N). First year of this research tries to use low-technique, cost-less 30-days incubation method to compare the degree of nutrient released from forest and grassland due to vegetation difference. Carbon, energy source, and nitrogen, major chloroplast component in photosynthesis, will be investigated. Organic C and N, and potential C and N mineralization will be determined on surface soil samples (0 to 5 cm depth) collected. In second year microlysimeter will be used to monitor potential C and N mineralization. In the third year all the data collected will be integrated to find the relationship between nutrient cycle of ecosystem and forest productivity. Then, data of microbial activity will be used to interpret potential nutrient mineralization. Therefore, the following relationships could be found: Vegetation may affect soil C and N inputs (i.e., pool size and availability), thereby, influencing microbial activity which in turn control C and N mineralization. These effects then feedback to vegetation and, in the long run, influence site quality and productivity.

關鍵字：森林、植群、草原、碳、氮、養分動態

Keywords：forest、vegetation、grassland、carbon、nitrogen、nutrient dynamics.

[1] 中國文化大學　森林學系

一、前言：

生育地上的植群種類殊影響土壤之養分有效度及養分循環，尤其是土壤碳與氮。雖然吾人知悉此一情形，但此獨特植群影響力若與氣候、土壤、時間和地形等作用因子分開探討，卻又因樹種可適生於各類生育地上而使吾人難以明確瞭解（ Jenny, 1980; Van Cleve *et al*., 1991 ）。近年來許多研究指出，在同一生育地（例如林地或草生地）上不同植種對氮之有效度具顯著的影響（ Wedin and Tilman, 1990; Harris and Riha, 1991; Gower and Son, 1992; Van Vuuren *et al*., 1992; Wood *et al*., 1992; Prescott and Preston, 1994 ）。然而其影響程度，受到枯枝落葉性狀之不同，或者是養分吸收、根域效應與草食動物等受植群斡旋之因子所左右，使吾人至今仍無法完全瞭解（ Hobbie, 1992 ）。 Gower and Son （ 1992 ）二氏則指稱，枝葉的木質素／氮（ lignin/N ）與土壤之淨氮礦質化速率呈顯著相關。二氏臆測枯枝落葉內之木質素／氮或爲影響氮有效度之一重要回饋機制。 Pastor *et al*.（ 1987 ）更指出雲杉之針葉，由於木質素含量高，氮含量低，以及分解緩慢，使得寒帶林內氮有效度大爲減低。這些研究在在指出植群可經由其所生產之枝葉的品質來影響土壤養分之含量與有效度，尤其是碳與氮二者。

Wedin and Tilman （ 1990 ）二氏發現草生地在短短三年之間氮年淨礦質化速率變化可達十倍之多。 Klemmedson （ 1987, 1991 ）則指稱，松林內隨著樑木基部斷面積(basal area)的增加，土壤內有機碳與有機氮之含量亦增，並造成分解較易發生的環境。 Smethurst and Nambiar （ 1989 ）指出雜草妨礙放射松苗木的生長乃藉由對礦質化氮的競爭所致。上述諸研究正說明，養分有效度的動態改變，是由於植群組成在時空的轉變下，造成土壤有機物在量與質二者的變化以及養分的流失（如淋溶作用的發生）。

土壤碳與氮之養分動態或因植群經營而有所改變。然而，至今仍甚少研究植物社會的改變（組成與結構）對土壤碳與氮循環之影響。本研究期以塔塔加高山生態系臺灣雲杉與草原二植物相爲對像，配合微生物之生態與分解，冀能對環境變遷內養分循環與利用提供相關訊息。

二、材料與方法：

（一）試驗區域：

本試驗所用土壤乃取自塔塔加高山沙里仙溪上游集水區之臺灣雲杉林及其附近之草生地，量測表土層之有機碳、有機氮以及礦質化碳與礦質化氮。蔣先覺等人（ 1994 ）曾對本區土壤做過初步物化方面之調查。

（二）取樣時間

在 1996 年 09 月（有機物分解時期）進行土壤取樣。

（三）土壤取樣、前處理與培育處理

土壤取樣與礦質化碳及礦質化氮之分析過程如 Wood et al.（ 1992 ）所述。

茲分別於二地區內逢機採取 20 個土樣（不包括枯枝落葉層），採取 0 － 5 公分深度之土壤，並將土壤均勻混合，置入封口塑膠袋內，並迅速置入冷庫內低溫貯藏，以供日後處理用。

土壤經運送至實驗室內旋即置入冷凍室（溫度低於 5 ℃）內，直至處理開始進行。

處理開始進行前，首先將土壤過篩（ 2 mm）。然後秤取 25 克土壤（以乾重爲基礎）至 200ml 塑膠製樣本瓶內。如有必要，可加去離子水（ deionized water ）調整樣本之含水量至田間含水量（ field capacity ）。在培育處理進行之前，將土壤連同樣本瓶置入壓克力製廣口瓶內。廣口瓶內注有 20 cc之水分以維持濕度，並以 50ml 附蓋之玻璃瓶（瓶蓋需打開）內裝 10ml 1N NaOH 吸收土壤所釋出之二氧化碳（ Schimel ， 1968 ）。廣口瓶經緊蓋後即置入培養箱內在 25 ℃及黑暗情況下培育 30 天。

（四）有機碳、有機氮與礦質化碳與及礦質化氮之量測

在培育處理進行前先行量測表土有機碳、有機氮以及硝酸態氮與銨態氮。土壤有機碳含量以土壤有機質量直接測定法（ LOI 法）估算之，並假設有機物中含有 58 %的有機碳。土壤有機氮以微凱氏氮法分析估算之。土壤硝酸態氮、銨態氮以及氫氧化鈉所吸收土壤呼吸釋出之二氧化碳則於 30 天的培育處理結束後量測之。硝酸態氮與銨態氮利用比色法量測之（郭魁士， 1985 ）。二氧化碳則以鹽酸（ 1N )在過量之氯化鋇（ $BaCl_2$ )反滴定估算之（ Anderson ， 1982 )。

（五）計算

表土土壤潛在性氮礦質化量是由培育處理進行前後所測得無機氮濃度之差值而得。表土土壤潛在性碳礦質化量乃由培育處理中鹼基與三空白樣本所得二氧化碳量均值之差值而來。碳轉換率與相對氮礦質化量則分別由潛在性碳或氮礦質化量佔土壤有機碳或氮量之百分比而得之（ Schimel, 1986 ）。

三、結果與討論：

土壤有機碳與氮濃度

土壤來源對表土土壤有機碳濃度與有機氮濃度和有機碳氮比之影響茲列如表一所示。由結果發現土壤有機碳濃度與有機氮濃度和有機碳氮比受土壤來源之影響甚爲顯著，亦即草生地比雲杉林含有較高濃度之土壤有機碳與有機氮和有機碳氮比（如表 1 所示）。

潛在性碳與氮礦質化量

土壤來源對表土土壤碳礦質化量、碳轉換率、氮礦質化量、相對氮礦質化量和碳氮礦質量比之影響茲列如表 2 。由結果發現土壤碳礦質化量、碳轉換率、氮礦質化量、相對氮礦質化量和碳氮礦質量比亦受土壤來源極顯著之影響，亦即雲杉林比草生地含有較高之土壤碳礦質化量、碳轉換率、氮礦質化量和相對氮礦質

化量，但碳氮礦質量比則較低（如表 2 所示）。

表 1. 土壤來源對表土土壤（ 0-5 公分）有機碳濃度與有機氮濃度和有機碳氮比之影響

Table 1. Organic C and N concentration and organic C:N as affected by soil source.

| 土壤來源 Soil source | 有機碳 Organic C ( g $kg^{-1}$ ) | 有機氮 Organic N ( g $kg^{-1}$ ) | 有機碳氮比 Organic C:N ( g $g^{-1}$ ) |
|---|---|---|---|
| 雲杉林 | 8.0 | 2.62 | 3 |
| 草生地 | 132.7 | 4.88 | 27 |

表 2. 土壤來源對表土土壤（ 0-5 公分深度）潛在性碳與氮礦質化量之影響

Table 2. Potential C and N mineralization as affected by soil source.

| 土壤來源 Soil source | 碳礦質化量 Potential C Mineralization ( mg $kg^{-1}$ ) | 碳轉換率 C Turnover (%) | 氮礦質化量 Potential N Mineralization ( mg $kg^{-1}$ ) | 相對氮礦質化量 Relative N Mineralization (%) | 碳氮礦質量比 C : N Mineralized ( g $g^{-1}$ ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 雲杉林 | 503 | 6.28 | 6.4 | 0.24 | 79 |
| 草生地 | 171 | 0.13 | 1.6 | 0.03 | 107 |

由於雲杉林與草生地分屬兩種絕然不同之生育地型（鬱閉與開闊），而取樣時間尚屬林分生長之養分分解時期，故雲杉林土壤有較旺盛之礦質化作用而積聚較少有機物，草生地則積聚較多有機物而礦質化作用較不旺盛(如表 1 和表 2 所示)，而土壤內微生物族群之多寡與種類雖影響有機物積聚分解之動態循環，但微生物活力(microbial activity)卻受周遭生育地環境影響甚劇 (Lin, 1994)，故吾人可勾勒出森林作業對土壤養分積聚與釋出動態變化之影響模式(如圖 1，仿 Lin, 1994 )。生育地進行任何森林作業（即使是自然的力量）會影響該林分組成，進而影響枯枝落葉的組成與數量，枯枝落葉即代表土壤有機物的來源與積聚，此正影響生育地土壤內微生物族群組成種類與群落大小，微生物則控制有機物的礦質化作用與生物固定作用，亦即無機養分的釋出與貯存，除因淋溶損失外，土壤無機養分又重新進入養分循環的生態體系，成爲一回饋控制。而收穫則是使森林生態系重新建立 (Lin, 1994)。

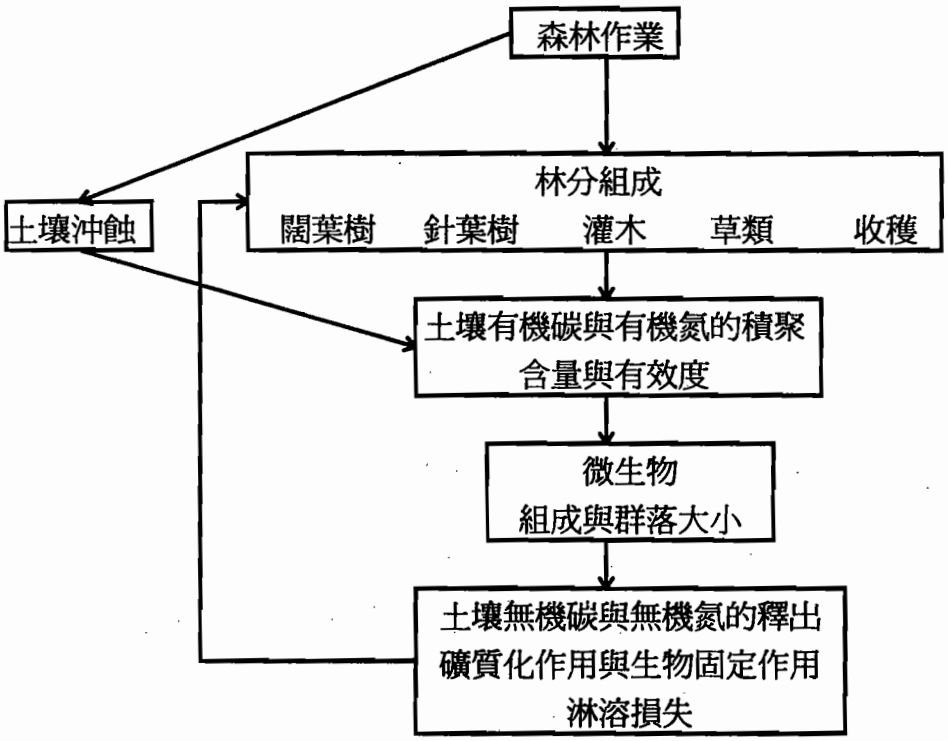



圖 1. 林分組成對土壤碳與氮積聚與釋出動態變化之影響模式。（仿 Lin, 1994 ）

Scott (1955)曾指稱枯枝落葉每年對土壤提供大部分養分元素與有機質。雖然 Miller and Edwards (1985)發現生育地整治並不影響土壤有機質含量，然而 Vitousek and Matson (1985a, b)卻指出，若生育地整治移除表土層的有機物質，則在德達松林分發育的頭三年會由於沖蝕減少氮的固定，造成硝酸態氮元素的淋溶損失。 Tiedemann and Klemmedson (1977)發現在天然林內將部分植群收穫後雖會使表土溫度增加，但表土濕度卻無顯著變化。而表土溫度增加會加速土壤礦質化過程（ Jenny, 1930 ）。因此，森林作業會影響林分組成與結構，進而影響枯枝落葉量與土壤礦化作用，最末使森林生態系呈現開放式養分循環。

Burke *et al.* (1989)曾以碳氮礦質量比作爲易變基質有效度 (labile substrate availability) 的指標。 Nadelhoffer *et al.* (1991)更指稱有效態碳與有效態氮的相對比值較大會產生較高的氮固定作用潛勢。本試驗所得之碳氮礦質量比值範圍爲 60-124 ，恰爲冷溫帶土壤標準典型值 (Hendrickson and Robinson, 1984; Hendrickson, 1985; Wood *et al.*, 1990) 。故本試驗之草生地土壤或屬易變碳 (labile C) 較少者。

四、結論：

塔塔加鞍部森林植群與草生地對土壤碳與氮養分動態確有影響。在雲杉林，土壤雖然有機碳與有機氮量較低，但易變碳與易變氮所佔比率則較高；而在草生地則呈現相反之情形。由於本試驗取樣時間屬有機物分解末期，仍須進一步取樣調查，以確切明瞭植群對土壤有機物的積聚與分解以及養分動態之影響。

五、誌謝：

本計畫承行政院國家科學委員會補助（計畫編號 NSC86-2621-B-034-001-A07)，特此致謝。部分土壤分析工作蒙國立臺灣大學森林學系郭幸榮教授惠允借用林木生理生態研究室及設備與該室研究人員協助，亦於此一併致謝。

六、引用文獻：

郭魁士 1985 土壤分析 中國書局。

蔣先覺、陳尊賢、林光清、洪富文 1984 臺灣高山森林土壤形態、性質與分類 臺灣省林業試驗所。

Anderson, J. P. E. 1982. Soil respiration. *In:* Page, A. L. (ed.) Methods of soil analysis. Part II. 2nd ed., ASA, Madison, WI., pp. 831 - 837.

Burke, I. C., W. A. Reiners, and D. S. Schimel. 1989. Organic matter turnover in a sagebrush steppe landscape. Biogechem. 7 : 11 - 32.

Gower, S. T. and Y. Son. 1992. Differences in soil and leaf litterfall nitrogen dynamics for five forest plantations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56 : 1959 - 1966.

Harris, M. M. and S. J. Riha. 1991. Carbon and nitrogen dunamics in forest floor during short-term laboratory incubations. Soil Biol. Biochem. 23 : 1035 - 1041.

Hendrickson, O. Q. 1985. Variation in the C:N ratio of substrate mineralized during forest humus decomposition. Soil Biol. Biochem. 17 : 435 - 440.

Hendrickson, O. Q. and J. B. Robinson. 1984. Effects of roots and litter on mineralization processes in forest soil. Plant and Soil 80 : 391 - 405.

Hobbie, S. E. 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. Trends Ecol. Evol. 7 : 336 - 339.

Jenny, H. 1930. A study of the influence of climate upon nitrogen and organic matter content of the soil. Univ. Missouri Agric. Expt. Stn. Res. Bull. 152.

Jenny, H. 1980. The soil resource. Springer, New York.

Kelmmedson, J. O. 1987. Influence of oak in pine forests of central Arizona on selected nutrients of forest floor and soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 51 : 1623 - 1628.

Klemmedson, J. O. 1991. Oak influences on nutrient availability in pine forests of central Arizona. Soil Sci. Soc. Am. J. 55 : 248 - 253.

Lin, C. L. 1994. Management of forest community vegetation composition impacts on soil carbon and nitrogen. Ph. D. dissertation, School of Forestry, Auburn University, Auburn, Alabama, U. S. A.

Miller, J. H. and M. B. Edwards. 1985. Impacts of various intensities of site preparation on Piedmont soils after 2 years. *In:* Shoulders, E. ed. Proceedings of the Third Biennial Southern Silvicultural Research Conference. atlanta, GA. November 7 - 8, 1984. USDA For. Ser., Southern For. Expt. Stn., New Orleans,

LA., Gen. Tech. Rep. SO-54. pp. 65 - 73.

Nadelhoffer, K. J., A. E. Giblin, G. R. Sgaver, and J. A. Launder. 1991. Effects of temperature and substrate quality on element mineralization in six arctic soils. Ecology 72 : 242 - 253.

Pastor, J., R. H. Gardner, V. H. Dale, and W. M. Post. 1987. Successional changes in nitrogen availability as a potential factor contributing to spruce declines in boreal North America. Can. J. For. Res. 17 : 1394 - 1400.

Prescott, C. E., M. A. McDonald, and G. F. Weetman. 1993. Availability of N and P in forest floors of adjacent stands of western red cedar - western hemlock, and hemlock - amabilis fir on northern Vancouver Island. Can. J. For. Res. 23 : 605 - 610.

Schimel, D. S. 1986. Carbon and nitrogen turnover in adjacent grassland and cropland ecosystems. Biogeochem.2 : 345 - 357.

Scott, D. R. M. 1955. Amount and chemical composition of the organic matter contributed by overstory and understory vegetation to forest soil. School of Forestry, Yale University, Bull. No. 62.

Smethurst, P. J. and E. K. S. Nambiar. 1989. Role of weeds in the management of nitrogen in a young *Pinus radiata* plantation. New For. 3 : 203 - 224.

Tiedemann, A. R. and J. O. Klemedson. 1977. Effect of mesquite trees on vegetation and soils in the desert grassland. J. Range. Manage. 30 : 361 - 367.

Van Cleve, K., F. S. Chapin, C. T. Dyrness, and L. A. Vieeck. 1991. Element cycling in taiga forests : state-factor control. BioScience 41 : 78 - 88.

Van Vuuren, M. M. I., R. Aerts, F. Berendse, and W. Devisser. 1992. Nitrogen mineralization in heathland ecosystems dominated by different plant species. Biogeochemistry 16 : 151 - 166.

Vitousek, P. M. amd P. A. Matson. 1985a. Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. Ecology 66 : 1360 - 1376.

Vitousek, P. M. amd P. A. Matson. 1985b. Intensive harvesting and site preparation decrease soil nitrogen availability in young plantation. South. J. Appl. For. 9 : 120 - 125.

Wedin, D. A., and D. Tilman. 1990. Species effects on nitrogen cycling : a test with perennial grasses. Oecologia 84 : 433 - 441.

Wood, C. W., R. J. Mitchell, B. R. Zutter, and C. L. Lin. 1992. Loblolly pine plant community effects on soil carbon and nitrogen. Soil Sci. 154 (5) : 410 - 419.

# 混農林業在中國農村持續發展中的作用與優化模式

薛建輝[1]　熊文愈[1]

摘　　要：

中國混農林業有悠久的經營歷史和經驗，近年來科學研究工作不斷深入。現代混農林業根據生產經營者的目的要求、當地自然環境條件和社會經濟背景以及經營對象的性質、功能，按空間位置和時間次序，加以合理組合，補充必要的物質和能量，使之成爲相互促進、循環利用、多級生產、穩定高效的林業複合經營體系。中國農村發展混農林業，可充分利用土地資源，減緩農、林業爭地矛盾，有效保護現有森林資源，改善農村生態環境，增加農民收入，實現社會、經濟、生態持續、協調發展。中國混農林業的成功模式主要有：南方丘陵山區林—果、林—農、林—藥、膠—茶複合經營；南方低濕地林—農—漁複合經營；北方林—農、林—藥、果—藥複合經營等。

用生態系統的基本原理和生態系統工程的方法，在研究複合系統中各組分相互作用機制的基礎上，提出生產上可行，經濟上合理的林農複合經營方案，進行系統評價和技術參數設計，用系統決策模型選擇最優方案，通過系統組建和實施、預測和調控，實現優化管理。

當今，改變傳統林業的經營方式勢在必行。把農業、林業和土地利用有機結合起來，因地制宜，建立生產力高、綜合效益大、穩定持續的混農林業生產體系，既可生產糧食和農、牧產品以滿足社會需要，取得近期效益，又可解決農林爭地的矛盾，促進森林資源的發展。從傳統的單一生產轉向多種經營，綜合利用，以短養長，主副結合，正是實現農村經濟、社會可持續發展的一條有效途徑。

## 1．傳統林業、現代林業和混農林業

傳統林業認爲森林的主要功能是生產木材，長期以來，這一指導思想對世界各國的林業方針政策起著支配作用，至今影響尚未減弱，特別是在人少地多、資源豐富、資本雄厚的國家和地區普遍採用，而在人多地少、經濟落後的地區則難以推行。

現代林業把森林作爲生態系統整體來考慮。根據其自然環境條件和組成結構特徵，應用現代科學技術，進行多種經營，綜合利用。在生產木材的同時，也改善環境條件，提供社會服務，以發揮森林的經濟、生態和社會效益。當前所謂的“生態林業”，也屬於這一範疇（熊文愈，1990；薛建輝，1990）。

混農林業（Agroforestry）這一名詞是在1977年國際混農林業研究會（ICRAF）成立時提出的。即在同一片土地上，把農業、林業、畜牧業等生產

[1] 南京林業大學

結合起來，建立綜合持久的土地利用管理體系（Bene *et al.*, 1977；King and Chandler，1978）。中國原始的混農林業已有千年以上的歷史。

現代混農林業是在傳統混農林業的基礎上發展起來的。它根據生產經營者的目的要求、當地自然環境條件和社會經濟背景以及經營對象的性質、功能，按空間位置和時間、季節次序，加以合理調配組合，補充必要的物質和能源，使之成爲相互促進、循環利用、多級生產、穩定高效的以林爲主的生產體系。

混農林業具有以下優點：

1．1 造林初期，間種糧食、經濟作物，充分利用林地空間和氣候、土壤資源，以短養長，取得近期經濟效益，償還部分投資。對林下作物進行的中耕、除草、施肥等管理措施，改善了幼樹的生長環境，提高了幼林的成活率和保存率，加速成林速率，以耕低撫，降低撫育成本。我國南方杉木造林，杉、桐、糧食作物同時種下，2—3 年後停止作物種植，油桐開始結實，5—6 年後，杉木進入生長盛期，林冠開始鬱閉，除去桐樹，就是一種使用多年的傳統混農林業。

1．2 在天然林和人工林的成林經營管理上，在不改變林分的基本結構和不影響林木生長的前提下，充分利用林內生態環境，建立多層次、多鏈環的複合經營體系，使農、林、牧、漁、副等各業部分或全面有機結合，以提高系統的生物產量和經濟效益。我國長白山紅松闊葉林下栽培人蔘，四川西部山區森林放養鹿麝，西雙版納熱帶森林下種植砂仁、千年健，南方竹林內培養竹蓀、菌菇，以及海南熱帶雨林中栽植黃芹等，都是利用天然林內的氣候、土壤條件進行多種經營，盡管組合簡單，但成效十分顯著。如能因地因時制宜，選配適當經濟物種進行多級生產，效益尤佳。至於人工林內進行副業生產，更是相當普遍。諸如南方杉木林下種植砂仁、黃連、生薑，江浙一帶的林—茶混作，海南、雲南的膠—茶、膠—咖啡、膠—胡椒間作等。

1．3 在人多地少的地區發展混農林業，可充分利用土地資源，減緩農、林爭地矛盾，有效地保護森林資源。在農業地區，間種林木可以改善農田小氣候，有利於作物的穩產高產，降低成本，還可爲當地提供木材和薪材等。草場植樹可以控制土壤侵蝕和沙化，防止牧草群落退化，提高牧草的產量和質量，並可爲牲畜提供庇蔭保護。混農林業還可利用當地多餘勞力，增加農、林副產品生產，促進農村經濟發展。

2．中國混農林業的發展歷程

中國農業始源於森林，從採集草木種實和捕獵野生動物發展而來。原始農業的刀耕火種就是混農林業的原始形式，盛行於新石器時代，持續 7000—8000 年之久。在公元前 20 世紀前後，人口繁殖、部落兼併，氏族公社發展爲奴隸社會，流動的刀耕火種演變爲定居的熟荒耕作。長期定居耕作促使土地私有制的發展。多種經濟成爲謀求自給自足小農生產的唯一形式，逐漸發展爲以農爲主，農、林、牧、漁、副綜合經營的傳統混農林業。經不斷充實完善，成爲中國小農經濟

的傳統生產體系，先後持續3000多年。本世紀50年代以來，中國人口激增，耕地減少，工業發展，環境惡化，傳統混農林業遭到削弱。現代混農林業的提出，應用生態系統工程的原理和方法，調整農村產業結構，從單純的農業生產改變爲農、工、貿三位一體。在農業生產組合中，適當減少作物種植，增加林、牧、漁、副的比重，使之搭配合理，在現代農村經濟發展中充分發揮其經濟、生態和社會效益。

中國傳統混農林業的主要組合模式有50種以上，可歸納爲五大類。

（1）以農爲主的農、林結合。常見於大面積的平原農業地區，以單株、叢狀、塊狀、條狀、帶狀植樹造林，形成農林間作、農田林網、防護林帶，諸如山東、安徽、河南的農桐、農棗、農柿間作，華北、西北、華東的農田林網，沿海及“三北”防護林帶等。

（2）以林爲主的林、農、牧結合。在天然的和人工的用材林、經濟林（果樹、薪炭和特用經濟林）、水源林（河源、流域山區）、風景林（森林公園、名勝古跡、寺廟林）、自然保護區等，在不影響森林主體效益的前提下，一林多用，從事副業生產，適當間種糧食、蔬菜、飼料、藥用和經濟作物，諸如東北林下的人蔘生產，杉木林的油桐、糧食、藥草、山蒼子的間作，桑園蔬菜、飼料、綠肥的間作，竹林的菌菇栽培，松林下的茶葉間作，橡膠園的咖啡、胡椒、茶葉生產，熱帶林下的砂仁、巴天戟栽培以及林農結合的荒山造林等。還有利用森林環境和飼料資源，進行家禽家畜和野生動物的放養，如東北的林中養鹿，四川的圍林養麝，江蘇的竹林養雞、杉林養羊等。

（3）以牧爲主的牧林結合。在草原、牧地進行喬、灌、草結合的叢狀、帶狀植樹造林，以保護畜群和牧草生產，如內蒙草原和西部高原疏林草地。

（4）以漁爲主的綜合經營。在江河、湖泊沿岸和水庫、魚池周圍植樹造林，既可防浪護堤、阻止水土流失，還有利於漁業發展。如長江和珠江三角洲的桑基魚塘、果基魚塘、茶基魚塘、蔗基魚塘、樹基魚塘、稻田養魚等，都有悠久歷史，至今仍在改進發展中。

（5）庭院綜合經營。在農戶家前宅後、村莊附近、道路兩旁，充分利用土地和水體空間，小規模種植林木、果樹、瓜菜、水生作物，養殖禽畜、魚類等。除自給外，還可出售，成爲家庭主要收入之一。這種組合形式因地而異，在中國農村極爲普遍。

幾千年來，以農爲主，林、牧、漁、副綜合經營的混農林業生產體系，是在封閉的中國農村社會裡形成和發展的，對自給自足的小農經濟，的確起過積極作用。然而這種小而全、只求溫飽的小農生產規模小，產量少，效益低，經不起商品經濟的衝擊。

3．現代混農村業的設計與優化管理

現代混農林業是按生態系統工程的原理和方法，對林、農、牧、漁、副各業進行優化組合、協調發展、循環生產、綜合利用（熊文愈，1990）。

生態系統工程是在生態系統和系統工程的基礎上發展起來的。所謂生態系統工程方法，實際是將系統工程與生物、環境科學的理論相結合的方法。即：根據地區的自然環境條件和社會經濟背景，以及組建生態系統的目的要求，組成部分的性質、結構聯繫和物能流動的特點，著眼於系統整體的經濟、生態和社會等方面的綜合效益，採用定性和定量相結合的方法，進行調查、分析、決策、規劃、設計、組建、管理、調整、更新等措施，擬定出組合合理、結構穩定、功能效益顯著的優化生態系統方案。這一方案的制定和實施，我們稱之爲生態系統工程。

如果將傳統混農林業的兩項或三項組合改變爲多項組合，把林、農、牧、漁、副等都包括進去，成爲複合經營體系，那麼僅僅有一般生態學的理論和簡單的工程措施是不夠的。必須要以系統工程的方法論作爲指導思想，以系統生態學作爲理論基礎，即按生態系統工程的原理、方法、技術，對當地的林、農、牧、漁、副各業，分清共主次地位、時空順序、規模大小、數量比例，進行優化組合，合理管理，才能實現現代混農林業的目的要求。

混農林業屬生物性的生產，地域性很強，與自然環境條件至爲密切，經營的植物和動物的生物學特性，諸如壽命長短、生育規律、體形大小、成熟期限等都有巨大的差異，故在設計人工混農林或改造天然林時都應加以注意。要因地因時制宜，各適其所其時，有效利用環境資源，提高物能轉化、積累、分解和再生產的速率，充分發揮系統的整體功能。

根據生態系統工程的原理和方法，現代混農林業的規劃設計應按下列基本步驟進行：

確定設計的目的要求

↓

調查當地氣候、土壤、生物資源本底資料

↓

制定若干生產體系可行方案

↓

進行系統評價、決策模擬，選擇最優方案

↓

根據最優方案，進行系統工程技術參數設計

↓

根據最優設計，組建混農林業體系

↓

運行和調控混農林業體系

↓

改造和更新混農林業體系

江蘇省里下河濕地混農林業生產體系的設計和實施，就是按上述過程進行的。里下河是湖蕩地區，水多地少，葦草叢生，農業產量低，經濟效益差，林木質源異常缺乏。自 70 年代後期，當地群眾在科技人員協助下，根據自然資源條件，先進行挖深水體、墊高垛地的水土分離，後採取林農、林漁、林農漁、林、農、漁和自然灘地等 7 種利用方案。通過最優綜合評價，林農漁複合經營體系是最優方案，比其他項或單項經營的效益都高。而林、農、漁 3 者的空間配置、時序安排、數量比例的優化，就是系統技術參數的設計過程。按造林密度，用灰色系統決策方法選擇林下間作的優化組合。根據魚種的生活特性和活動範圍，實行分層放養以提高產量。當林木達到主伐年齡時，可對原有混農林業的生產體系進行調整、改造和更新組建（熊文愈， 1990 ；薛建輝， 1990 ）。

上述爲濕地混農林業的實例，而在其他以林爲主的的陵山區和以農爲主的平原地區，混農林業的目的要求不盡相同，則應因地制宜，按上述基本步驟進行。

## 4 ．結束語

近年來，由於人口增殖，耕地縮小，糧食、能源日益緊張，環境日趨惡化。農林生產和土地利用總的趨勢是，從單項栽培轉向多種經營，從自給生產轉向商品生產，從水平單層結構轉向立體多層利用，從傳統耕種轉向知識密集型生產，從近期經濟收益轉向長期綜合效益。這是現代林業發展所面臨的挑戰，也爲現代林業發展提供了廣闊前景。現代混農林業正是實現農村經濟、社會持續發展的一條有效途徑。 1977 年國際混農林業研究會（ ICRAF ）的成立，使混農林業的研究進入一個新階段。這對保護和發展森林資源，促進糧食和農副業生產以及發展農村經濟，必將起著積極作用。

生態系統工程是一新興的邊緣學科，爲現代混農林業的發展奠定了理論基礎。用生態系統工程的原理和方法，將林、農、牧、漁、副各業合理組合成爲多功能、高效率的綜合生產體系，進行科學的經營管理，使之相輔相成，循環生產，多級利用，以取得最高的系統綜合效益。

隨著生態學、生物工程技術、系統工程、計算機技術的發展，生態系統工程的理論和方法論，將爲現代林業包括混農林業的設計和經營注入新的活力，開闢更新更廣的研究領域。

## 5 ．主要參考文獻

〔1〕 丁岩欽等 系統分析及其在生態學上的應用 生態學雜誌 1982 （ 2 ）： 46 — 51

〔2〕 馬世駿 生態工程—生態系統原理的應用 生態學雜誌 1983 （ 4 ）： 20 — 22

〔3〕 朱志明等 農業系統優化結構的探討—百發村農業優化結構的設計與實施 系統工程應用案例集 1988 ： 49 — 55

〔4〕 錢學森等 論系統工程 湖南科學技術出版社 1988

〔5〕 熊文愈等 論生態系統工程 南京林業大學學報 1985 （ 1 ）： 1 — 11

〔6〕 熊文愈等 混農林業：一條發展林業的有效途徑 世界林業研究 2：27 — 30
〔7〕 熊文愈 生態系統工程與現代混農林業 生態學雜誌 1990
〔8〕 薛建輝 江蘇里下河灘地林農複合生態系統工程優化模式的研究 博士學位論文 1990
〔9〕 薛建輝 灰色局勢決策方法在林下間作物組合優化中的應用 生態學雜誌 1990
〔10〕 中國農業遺產研究室編 中國農學史 科學出版社 1984
〔11〕 鄧宏海 新的農業革命 廣西人民出版社 1986
〔12〕 杜石然等 中國科學技術史稿 科學出版杜 1982
〔13〕 楊挺秀 中國農業的思考 中國科學院《現代化農業探討》編輯部 1987
〔14〕 胡壽田等 生態農業 湖北科技出版社 1988
〔15〕 閻萬英、尹英華 中國農業發展史 天津科技出版社 1992
〔16〕 張鈞成 中國林業傳統引論 中國林業出版社 1992
〔17〕 梅興保 糧、桑、菜、牧人工生態系統的探討 生態學雜誌 1983 2（4）：46 — 49
〔18〕 Budd W. W. eds. Planning for Agroforestry. Netherlands ： Elsevier Science Publishers B. V. 1990.
〔19〕 Hsiung W. Y. Agroforestry Systems for Wetland in China. Proceedings of Agroforestry for Rural Needs,1987,1 ： 13-20
〔20〕 Nair P. K. R. Agroforestry Systems in the Tropics. Netherlands ： K1uwer Academic Publishers, 1989
〔21〕 Odum H. T. Systems Ecology. New York ： Wiley and Sons, 1983
〔22〕 Steppler H. A. eds. Agroforestry ： a decade of development. ICRAF, Nairbi, 1987

# 臺灣森林土壤中鐵、鋁之分布與聚積

蔣先覺[1]、杜清澤[2]、王明光[3]

摘　要：

本研究分別爲(i)大禹嶺風口之 9 個土壤層次;(ii)祝山 10 層次及(iii)塔塔加 7 個層次的三個臺灣中部高山森林土壤樣體做爲本研究的範例。由一般化學分析，及 Citrate-dithionite bicarbonate (Fed, Ald)， Acid-ammonium oxalate (pH=3) (Feo, Alo)， 與 Sodium Pyrophosphate (Fep, Alp)溶液方法萃取土壤樣本，並以原子吸收光譜儀測定土壤溶液中的鐵鋁氧化物之含量，得知有大量的三二氧化物聚積於 B 化育層。其因乃由於酸性的森林土壤，鐵鋁氧化物歷經有機酸之錯合作用，由 A 層向 B 層移動，再結晶沉澱於土壤 B 層。

土壤 B 化育層的粘粒懸浮液，經高梯度磁場分離機處理濃縮鐵鋁氧化物，再以 X-射線繞射，電子繞射，及穿透式電子顯微鏡觀察，而得知土壤 B 層有鋁取代纖鐵礦，針鐵礦及含鋁夾層蛭石的存在，此証據有助於土壤化育及分類的研究。

## 一、緒言：

臺灣地處亞熱帶，乃一多山海島，南北縱長 394 公里，東西寬最大 144 公里，總面積爲 35989.76 平方公里，其中可用之農牧生產之可耕地的最大開發限度爲 10,714 平方公里，其餘爲林地，佔相當高的比例，海拔最高達 3997 公尺，嶺峻坡陡，形成各種不同的氣候帶，與植生之分布帶。

臺灣高山林地的土壤，以往由於峻嶺陡坡，交通主至爲不便。所謂淋澱土(spodsols)，凡遇到土壤樣體具有 A2 層，即洗出層(eluviation horizon)，與 B2 層，即洗入層(illuviation horizon )，均沿用俄國觀念(Dokuchave ,1883)，統以灰化土(podzol) 稱之(茹、華,1947 ；朱,1956 ；蔣等,1984 ；林務局,1980)。至陳等(1989)，研究拉拉山與北插天山之土壤；蔣等(1990)研究小雪山、船形山、阿里山等地之土壤；劉、陳(1991)研究玫瑰西魔山等之土壤，均引用美國土壤分類學系統(Soil Taxonomy )(Soil Sruvey Staff, 1993 )之觀念，開啓了臺灣森林土壤研究之新局面。

森林屬重要之民生資源，是利用土地的生產事業之一，土壤對於林木之生長、發育、分布與營建，極具重要作用。大多數林木之根系，最初之生長形態，主要取決於遺傳，其後根系之發育，多取決於土壤。故近年來基於臺灣高山林道網之發展，與經濟之繁榮，從事森林土壤之研究者日眾(陳等,1989 ；蔣等,1990 ；蔣等,1994 ；程,1995)臺灣省林業試驗所現正大規模的高山林地土壤調查，此項研

[1] 臺灣省林業試驗所育林系森林土壤研究室

[2] 臺灣省林業試驗所育林系

[3] 國立臺灣大學農化研究所

究實務工作之進行方興未艾。

本研究爲探討鐵，鋁在高山林地土壤中之分布與聚積。依(i)野外觀察成土因子，土體之形態，並採集樣本；(ii)理化性質分析，以補野外觀察之不足；(iii)綜合研究所得結果等步驟進行。

本研究之主目的在於探究大禹嶺、祝山、塔塔加等林地土壤中鐵， 鋁之分布與聚積。

二、材料與方法：

(一)野外觀察：

據美國農部土壤調查手冊(Soil Survey Staff,1993)描述，選定土壤樣體所處之地理位置、地形特性、氣候情況、逕流等級、沖蝕形態、水份、溫度境況、植生種類、診斷特性、及環境之特殊狀況；與樣體之描述，諸如土色、質地、構造、結持度、根系、孔隙、層界等等一一詳加記錄，並採集分層樣本，攜回備用。

(二)實驗室理化性質之分析：

各樣體之分層樣本攜返實驗室後，經氣乾、研磨、過篩、裝瓶備用。其次進行機械分析(Gee and Bauder, 1982)， pH ，有機質(Nelson and Sommer , 1982)之檢測，及交換性陽離子均依據土壤分析的一般方法測定之。而鐵，鋁氧化物之萃取，游離態氧化鐵，鋁將用檸檬酸鈉，連二亞硫酸鈉及碳酸氫鈉之方法(Mehra and Jackson 1960)萃取之，以 Fed ， Ald 表示之；無機態無定形氧化鐵，鋁採用酸性草酸氨之方法(Mckeagus and Day, 1966)萃取之，以 Feo ， Alo 表之；有機態鐵，鋁之萃取則採用焦磷酸鈉(PH10.0)方法，以 Fep ， Ald 表示之(Loveland and Dighy 1984)。所有萃取液均以原子吸光儀測定之。以 Fed-Feo 表示結晶性的氧化鐵。

(三)粘土礦物及氧化鐵，鋁之 X-射線繞射分析：

經除去有機質之粘粒懸浮液，分成二部份，其一以高梯度磁場分離機濃縮氧化鐵作鐵氧化物之鑑別；其二去除鐵、鋁，分別以鉀、鎂飽和之，作粘土礦物之鑑別。上述鉀、鎂飽和之粘土均各作成定位片，以室溫，加熱 110 ℃、 250 ℃、 350 ℃、 450 ℃、 550 ℃各兩小時之處理；鎂飽和者以室溫，及以甘油燻蒸處理；均以 X-射線由 4-50° 2 $\theta$ 繞射分析。

(四)穿透式電子顯微鏡觀察：

將粘粒經高梯度磁場分離機濃縮鐵氧化物之粘粒懸浮液置放於銅目上，作鍍碳處理後，以日立牌穿透式電子顯微鏡觀察，並作電子繞射，研究氧化鐵之形態及其物種。

三、結果與討論：

(一)樣體之形態與環境因子之關係：

各供試樣體之形態特徵，與有關環境因素均列於表一、二、三，以此討論其異同，各供試樣體所處環境之共同特徵敘述如下：

1.供試樣體所處位置，據表一所載均在海拔高 2400 公尺以上，氣溫年均溫在 10 ℃以下，冬夏季溫差都在 5 ℃以上，屬冷溫帶相(郭， 1978)雖爲針闊葉樹混生林相，惟針葉樹仍佔優勢，更妙的是下層地被植物同以箭竹爲優勢，尤其是大禹嶺樣體，幾全爲其覆蓋，海拔最高，幾接近亞寒帶林相，土溫境況(Soil temperature regimes )爲寒冷境況(cryic)屬中央山脈，較爲特殊。塔塔加、祝山的土溫境況均爲溫和(mesic )，依序爲阿里山山脈與玉山山脈。

2.雨量豐沛，年雨量均在 2500mm 以上，雖夏季多於冬季，且多暴雨，易形成逕流，引起水蝕，亦影響土壤化育，但在時間分配上，仍屬均勻。土壤水份境況(soil moisture regime )均爲過濕(perudic )。

3.各樣體所居地形，雖局部平緩，坡度均在 20%以上，惟整體而言，仍屬嶺峻坡陡，表面排水迅速，沖蝕嚴重。

由於局部地形平緩，土壤可以穩定進行化育，其化育之歷程頗爲久遠，故化育層次完整而明顯，其主要化育層次之特徵爲:

(1)0 層：爲枯落葉所累積的結果，本層呈現著有機物質的三種形態，(i)輕微腐爛的形態，可以認明物質的原本面貌；(ii)半腐爛的形態，仔細觀察，尚可辨明物質之來源；(iii)高度腐爛的形態，已不能辨識其來自何物。各供試樣體 0 層厚度均在 5-10 公分，相當的厚，其原因乃低溫而分解較慢所致。

(2)A 化育層：乃礦質土(mineral soil )深受完全分解之有機質的影響，充分混合而組成之暗色化育層，其厚度爲 12-25 公分，由於地處潮濕，且近地表，空氣易流通，更有 0 層覆被，溫度較高，微生物活動也甚頻繁，促使有機酸之產生，在在顯示有機物質聚積於此。故大禹嶺、塔塔加兩樣體均有黑瘠診斷表育層之出現。

(3)E 化育層：其主要特徵爲粘粒，鐵，鋁及碳酸鹽之洗出，上層有機酸之滲入，源源不斷，留存抗蝕性(resistivity)較強，粒徑較粗的物質，顯示著溶解作用(decomposition), 洗出作用(eluviation)與漂白作用(bleaching)或脫色作用(leucinizalion)之強烈進行，促使礦物受有機酸或酸的影響而毀損，潰壞。又處於濕潤性環境，土壤水分境況爲濕潤，且爲針葉樹與箭竹居優勢之林地，有機物含量較多，凡此，均足以促使土壤趨於強酸性，乃引起若干物質，尤其鐵，鋁，錳等變爲活潑而易於溶解，成爲可移動的狀態，而發生位移

(translocation)。由局部地形之變異，塔塔加樣體即沒有 E 層之存在，由於其處於鞍部，且爲迎風面，乃較乾之處所，影響水分之停留時間，洗出作用較弱，故無從表現。

(4)B 化育層：乃由位移所洗入(illuviation )的粘粒，鐵，鋁，有機物質等居優勢之化育層。以土色而言，已被覆(coating)二三氧化物與上覆層(overlying horizon )(O 、 A or E )有明顯的低色值(color value )，高色度(chroma )，或較紅(redder)之差異，因洗入作用之盛行，由於環境因子之各別差異，又有特徵之顯現，如大禹嶺樣體有粘聚層(argillic horizon)，表現粘粒之聚積，可見粘粒膜(Clay films or Clay Skins )，此種特徵與此地之母質爲千枚岩有相當的關連。祝山樣體有淋澱層(spodic horizon)之存在，此乃表示有 85%以上之淋澱物質(spodic material)之洗入。此類物質之大量洗入爲無定形物質與有機物、鋁、鐵之錯合物。須具有高 pH 可變電荷(high pH-dependent charge)，大比表面積(larg surface area)，以及高保水力(high water retention)等條件(Soil Survey Staff, 1993)符合祝山樣體之環境現實狀況。塔塔加具有一個變遷層(cambic horizon )(37-80 cm)，此乃表示土色與構造之變異略有洗入聚積現象，其居於鞍部迎風面，年降雨量 3640mm ，多集中於夏季，曾出現日降雨量 656mm ，其降雨強度可想而知。此等水分形成逕流，地面排水良好，留存於土壤者不多。洗入作用不甚強烈，有所關連，高色值與高色度得以維持。至於構造與水分是相互依賴而變化，本層多爲角塊狀構造 (angular blocky)。

(二)土壤之理化性質：

本研究共採集 3 個樣體之分層樣本，爲大禹嶺 7 個樣本，祝山 10 個，塔塔加 7 個，共計 24 個樣本。各樣本之理化性質列於表四。就質地而言，大禹嶺、塔塔加兩樣體之質地較細，尤其大禹嶺，此與母質有關(其母質爲千枚岩)，其次爲塔塔加之母質爲砂岩、頁岩，以祝山之質地最粗，觀察其母質爲砂岩；就其在樣體上之垂直分布而言，其近表面之層次的較粗，底層較細，此表示粘粒有位移現象。其次探討其 pH 值，此三個供試樣體有一共同特性，其 pH 值較低，隨樣體深度之增加而漸增，此乃受降水與有機物分解所產生之有機酸或酸之影響；加之針葉樹與箭竹居優勢之林地；或出現 OA 層之 pH 值較下伏之層次略高，乃受外來物或落塵之影響；下層土壤則爲母質風化而生成，仍存餘蔭。此種 pH 值近於 4 之酸性環境，有助於土壤中鐵，鋁之溶解與移動，在底土再結晶沉澱，形成氧化物，有機錯合物，或無定形物質。

有機碳之含量，就各供試樣體之各化育層之分布而言，均以 A 化育層之含量最高，由於其爲林地，有充份之給源。其下各層隨深度之增深而漸次減低。三個樣體中以祝山有機質之含量最低，其於各化育層之分布較爲均勻，顯示移動緩和，此與其處之位置有關連，恰好在雲霧帶內(蔣等， 1994)，雨量多逕流量大，也是相關因子之一。質地較粗，也有影響。陽離子交換能量，所有供試樣體之表層均較高，淋洗作用較強烈之樣體之 CEC 變動較大，其變動乃受土壤中有機碳含量之影響最大，另外受土壤膠體之種類與數量，粘粒之粗細，與溫度之高低等等之影響，故影響到鐵、鋁之移動，分布與聚積。

(三)土壤中鐵、鋁之分布與聚積：

以三種化學溶解所萃取之鐵、鋁含量有共同之特性，其量均隨樣體深度之加深而增多，此乃表亦有向下移動之傾向， B 化育層明顯地多於 E 化育層，顯露著聚積於 B 化育層之趨勢(表五)。

以三種化學溶液所萃取鐵，鋁之量作一比較。此三種化學溶液所萃取之鐵量，均以 Fed 之量最高，乃顯露土壤中氧化鐵的游離度，可視爲土壤風化程度之指標。氧化鐵之游離度與年雨量有極密切的相關性(Singer,1966)。此三供試樣體之地理位置，降雨量均相當高。土壤中之鐵，以有機錯合物(organic complexes)包括結晶性與非結晶性(noncrystalline and crystalline)之形態共同存在。 Fed-Feo 之差表示結晶性的氧化鐵。三種化學溶液所萃取的鐵含量，分別表示三種不同形態，即 Fed 表示游離態； Feo 表示無定形無機態； Fep 表示有機態。其在供試樣體上之分布而言，如表所示，在大禹嶺樣體之分布情況， Fed 以B層分布最多，且聚積在B層之底部，A層次之，E層最少， Feo 及 Fep 之分布亦復如是；祝山樣體之分布狀況， Fed 亦以 B 層分布最多，聚積於 B 層之頂部， E 層次之， A 層最少； Feo 與 Fep 亦以 B 層分布爲最多，也聚積於 B 層之頂部， A 層次之， E 層最少；塔塔加樣體 Fed 以 B 層之分布最多，聚積於 B 層之頂部， A 層次之， Feo 也是如此。此乃顯示土壤中鐵由 A 層經 E 層之洗出，聚積於 B 層，此與蔣等(1990 ， 1994)之報告相吻合。

三種方法所萃取之鋁量，亦有隨樣體深度之增深而加多之趨勢，三種方法中，大體言之，也是以 Ald 之量居高，僅有大禹嶺之 E ，與祝山之 E 爲例外，前者以 Alo 之量居高， Alp 次之， Ald 最低；後者 E1(21-25cm)層頂部以 Alp 居高，次爲 Alo ， Ald 僅見痕跡量， E2(25-32cm)Ald 與 Alp 同居首位，次爲 Alo ， Ald 殿後。稚此等現象出現，乃洗出作用(eluviation)盛行之化育層，乃溶淋作用(leaching)之表現。塔塔加則 Ald 居首位， Alo 之量僅及其半。 Ald 之量最多，透露著鋁存在於此三樣體土壤中，沒有機複合物(organic complexes) 與水氧化合物(hydrous oxides) 等之形態共同存在。 Alo 與 Alp 之含量均相近，甚有後者較前者爲多，或相等，尤其 B 層之底部，此乃顯示鋁在 B 層以多量無定形有機態存在之事實，供試三樣體均有共有的現象。至於鋁在土壤中之動態，一如鐵，有自上而下移動之傾向，鐵多聚積於 B 層之頂部，鋁則以其底部較多， Dekimpe and Martel 1976, Wang *et al.*, 1986, 蔣等,1994 等均有同樣的報導。

關於土壤中鐵，鋁移動之機制，眾說紛紜 Buurman and Vanreeuwijk (1984)，則主張以有機態之鉗合形式下移，也有主張以無機態之鋁，矽凝膠(aluminosilicate sols) 方式下移。前者說明土壤體中鐵、鋁之聚積，起因於鐵、鋁與有機酸作用，形成錯合物(Complexes) 而下移， Bloomfield(1953)首倡此說。其後 Malcolm and McCracken (1968) 發現土壤中具有多種酚類及還原醣(reducing sugar)與有機酸對鐵，鋁之移動大有助益。稍後 Greenland(1970)提出有機酸，陽離子以及粘粒間之交互作用(The mechanism of interaction among organic acid with cation and clay)，促使其移動。也有以庫倫交感作用(Coulombic interaction)，水橋(water bridge)，陰離子交換(anion exchange) ，以及配位交換(ligand exchange) 等作用作爲其立論之依據，至於無機態移動之學說，首由 Rode(1970)所提出，其認爲鐵，鋁水合氧化凝膠(Al and Fe hydrous oxide sols) 之形式移動，凝膠之可逆電荷(reversal chrage) 促使諸如矽凝膠(silica sols) 之免於絮聚方式之形式移動。 Farmer (1982)強調鋁英石(allophane) 與絲狀鋁英石(imogolite) 存在於淋澱層

(spodic horizon)，對於淋澱作用之重要性； Anderson 等(1982) 認爲土壤中的鐵、鋁以 $Al_2O_3$-$Fe_2O_3$-$SiO_2$-$H_2O$ 之凝膠移動，同時 Farmer and Fraser(1982)更強調鋁、矽以鋁矽凝膠(aluminosilicate sol) 或鋁矽有機錯合物(aluminosilicate-organic matter complexes) 共同移動。

綜上所述，三種化學溶解方法所萃之鐵、鋁等之含量在成土化育過程中所代表之意義， Fed 爲游離之氧化鐵，若以全量之百分率表示，則爲氧化鐵之游離度； Feo 爲無定形無機態，而 Fed-Feo 之差值，乃結晶性氧化鐵數量之表達方式，此種游離態結晶性含量高，有阻礙淋澱化作用之進行(Wang *et al.*,1989)，其游離度反映氧化還原之形態特徵(redoximorphic feature)。 Feo/Fed 之比值，乃氧化鐵之活性度，反映土壤中有機碳與水份狀況。 Fep 代表鐵與有機物之複合物，在本研究中其移動之情況與有機碳之移動頗有關連，有機碳有礙氧化物結晶之形成。氧化鋁與此種關連性較小，可能由於其價態缺乏變化所致。上述兩種學說均可說明鐵，鋁等在土壤中移動分布，與聚積之狀況。

(四)粘土礦物及氧化鐵之 X-射線繞射

粘土經高梯度磁場分離機濃縮氧化鐵後，其磁性粘粒之鉀飽和粘土，經不同溫度加熱處理後，其 1.4 奈米的 XRD 繞射峰在 350 ℃加熱會消失，此證明有鋁一夾層蛭石存在於 B 層中，而 A 層的粘土則只含有一般蛭石，其 1.4 奈米在加熱 100 ℃後即會消失。另外以示差性 X-射線繞射圖譜發現在 B 層土壤中含有纖鐵礦及晶性不良的針鐵礦。這些結果與阿里山，小雪山的 B 層以及東寶津寒山及思源啞口的薄膠層相當相似(蔣等,1990 及 1994)。

(五)電子顯微鏡觀察

在 B 層經高梯度磁分離機濃縮的粘粒中，電子顯微鏡的顯域與暗域圖，及電子繞射圖譜，均可証明纖鐵礦以(010)晶面，以針狀的外貌存在於土壤中。

四、結論：

高山森林土壤由於表土的酸性及含高有機質含量，而造成鐵、鋁、有機質及粘土由 A 層向 B 層移動，而積聚於粘重的 B 層，而在 B 層的鐵鋁可以生成纖鐵礦及針鐵礦，另在 B 層中由於鋁的不斷淋洗，而生成鋁水化夾層間蛭石。

參考文獻

1. 朱惠民. 1956. 臺灣灰壤理化性質與分類之研究。中華農學會報 74 期:36-49.

2. 林務局. 1980. 臺灣森林土壤圖.

3. 茹皆耀、華孟. 1947. 臺中縣之土壤。臺灣省農業試驗所報告第 6 號.

4. 張仲民. 1971. 臺灣灰化土之粘土礦物及其相關化學性質研究，中國農業化學會誌， 9(1.2):24-48.

5. 梁鉅榮、朱惠民. 1957. 花蓮縣之土壤，臺灣省農業試驗所報告第 34 號.

6. 梁鉅榮、陳春泉. 1953. 高雄縣之土壤，臺灣省農業試驗所報告第 11 號.

7. 郭寶章. 1978. 臺灣之森林及樹木分布與溫量指數之關係。中華民國農學團體六十七年度聯合年會特刊， p.105-113.

8. 陳尊賢、林光清、張仲民. 1989. 北插天區土壤之特性、化育與分類。中國農業化學會誌， 27(2):145-155.

9. 程意雯. 1995. 臺灣高山森林土壤中之纖鐵礦及針鐵礦之生成。國立臺灣大學農化研究所碩士論文.

10.劉鎮宗、陳尊賢. 1991. 臺灣塔曼山區森林土壤中之纖鐵礦與針鐵礦。中國農業化學會誌， 29(4):484-491.

11.蔣先覺、王明光、洪富文、王麗斐、胡弘道. 1990. 小雪山及阿里山森林土壤中鐵的聚積與分佈，中國農業化學會誌， 28(1):49-58.

12.蔣先覺、程意雯、楊家宏、洪富文、王明光.1994. 高山森林土壤薄膠層中之氧化鐵. 中國農業化學會誌， 32(6):666-674.

13.Bloomfield, C. 1953. A study of podzolization of Fe and Al in Scotspine needl. J. Soil Sci. 5:39-45.

14.Buurman, P. and L. P. Vanreeuwijk. 1984. Pro-imogolite and the process of podzol formation: a critical note. J. Soil Sci. 35:452-477.

15.DeKimpe, C.R, and Y.A. Martel. 1976. Effects of vegetation on the distribution of carbon , iron and aluminum in the B horizon of northern Applachian Spodosol. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:70-80.

16.Gee, G.W. and J.W. Bauder, 1982. Particle-size analysis Chap. 14. p. 377-382. 2nd ed. Klute et at. (eds.). Method of Soil Analysis Part. 1. Published by Soil Sci . Soc. of Am. Madison, WI.

17.Farmer, V. C. 1982. Significance of the presence of allophane and imogolite in podzol Bs horizons for podzolization mechanism:A review. Soil. Sci. Plant Nutr. 28:571-578.

18.Farmer, V. C. and A. R. Fraser. 1982. Chemical and colloidal stability of soils in the AlO-FeO-SiO-HO system, their role in podzolization. J. Soil Sci. 33:734-742.

19. Greenland, D.J. 1970. Interaction between humic and fulvic acid and clay. Soil. Sci. 111:34-41.

20.Loveland P.J. and Dighy P. 1984. The extraction of Fe and Al by 0.1M pyrophosphate solutions : Comparison of some techniques. J. Soil Sci. 35:243-250.

21.Malcolm R. L. and R. L. McCracken, 1968. Canopy drip:A source of mobile soil organic matter for mobilization of iron and aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32:834-838.

22.Mckeague J.A. and Day J.H. 1966. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differenting various class of soils. J. Soil Sci. 46:13-22.

23.Mehra O.P. and M.L, Jackson. 1960. Iron oxides removed from soil and clay by

dithionite-citrate system buffer with sodium bicarbonate, Clays Clay Minerals. 7:317-327.

24.Nelson , D.W. and C.E. Sommers, 1983, Total carbon , organic carbon, and organic matter, Chap. 29, p.539-580. 2nd ed. Page *et al.* (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2, Published by Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.

25.Rode, A.A. 1970. Podzol forming process. Acad Sci. USSR., DoKuchaev, Inst., Mosco (Isreal Program for Scientific Translation Jerusalem).

26.Singer. A. 1966. The mineralogy of the clay fraction of basaltic soils in the Galilee Isreal. J. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:70-80.

27.Soil Survey Staff, 1993. key to soil taxnomy, p. 20, placic horizon, Monograph No.19, SMSS 5th ed., Pocahontas Press, Inc, Blacksburg, Virginia, USA.

28.Wang, C., G. J. Ross, and R. Protz. 1989. Effect of crystalline iron oxide on development and classification for podzolic soil in West Labredor, Newfondland. Soil Sci. Soc.Am. J. 53:870-875.

29.Wang, C., J.A. McKeague, and H. Kodama. 1986. Pedogenic of spodosols in Quebec Canada. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:711-718.

表一 土壤體環境記要

| 地名 | 地理特性 經度 E | 緯度 N | 海拔高度 | 坡度 % | 坡向 | 坡型 | 坡長 m | 坡面位置 | 地形位置 | 年雨量 mm | 氣象特性 氣溫 年均溫 | 夏均溫 | 冬均溫 | 逕流 | 沖蝕 程度 | 排水 狀況 | 母岩 | 植生 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 大禹嶺 | 121° 17'4" | 24° 9' 4" | 3160 | 35 | 270° | 凸 | 100 | 30m | 山脊 | 2500 | 5℃ | 8℃ | 2℃ | 中 | 2 | 良 | 千枚岩 | 箭竹、雲杉、鐵杉 |
| 祝山 | 120° 48'18" | 23° 30'33" | 2425 | 20 | 68° | 凸 | 50 | 10m | 山脊 | 4160 | 10℃ | 14℃ | 6℃ | 低 | 1 | 良 | 砂岩 | 紅檜、二葉松 |
| 塔塔加 | 120° 53'58" | 22° 29'24" | 2616 | 45 | 225° | 凸 | 70 | 50m | 鞍部 | 3895 | 79.3℃ | 11℃ | 3℃ | 高 | 1 | 良 | 砂岩頁岩 | 箭竹、雲杉、鐵杉 |

＊2：中等，1：輕微

表二 土壤樣體之特徵與分類

| 土名 | 土溫境況 | 水分境況 | 診斷表育層 | 診斷化育層 | 土壤分類 |
|---|---|---|---|---|---|
| 大禹嶺 | 寒冷 | 過濕 | 黑瘠表育層 | 漂白層、粘聚層 | Fine-loamy, mixed, frigid Typic Haplumbrept. |
| 祝山 | 溫和 | 過濕 | 淡色表育層 | 淋澱層 | Fine-loamy, mixed, mesic Typic Haplorthods |
| 塔塔加 | 溫和 | 過濕 | 黑瘠表育層 | 變育層 | Fine-loamy, mixed, mesic Typic Haplumbrepts. |

表三 供試樣體形態之描述

| 化育層 | 深度 (cm) | 土色 | 斑紋 (Mottles) | 質地[1] | 構造[2] | 結持度[3] | 含石量 | 根系[4]界層[5] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 大 禹 嶺 | | | | | |
| 0a | 0-6 | 10YR3/2 | | SiL | w.f.sbk. | | | m.v.f. |
| A1 | 6-15 | 10YR2/1 | | SiL | w.f.sbk. | s.v.f | | m.v.f<br>f. |
| A2 | 15-26 | 10YR2/1 | | C.L | m.m sbk<br>m.f.s | s.h.f | | m.v.f.<br>f.few.m |
| A3 | 26-31 | 10YR2/2 | | C.L | mmsbk.<br>m.f.g | s.h.f | | |
| E | 31-33 | 2.5Y6/2 50%<br>2.5Y5/2 50% | | C | m | s.h.f | | m.v.f.<br>f. |
| Bt | 33-38 | 10YR 6/8 80%<br>2.5YR6/2 20% | 5yr4/6 | C | m | s.h.f | | m.v.f.<br>f. |
| Bs | 38-48 | 10YR4/3 30%<br>10YR3/3 20%<br>7.5YR5/8 50% | 75YR5/8 | Sicl<br>C | mfabk<br>m.f.g | s.h.f | | |
| | | | 祝 山 | | | | | |
| Oa | 0-9 | 10YR2/1 | | | | | | c.r<br>m.r<br>vfr.f.r. |
| A | 9-21 | 10YR4/1 (50%)<br>10YR5/1 (50%) | | SL | m | f. | | few.cr.<br>common f |
| E1 | 21-25 | 10YR7/1(65%)<br>10YR7/2(35%) | | SL | m | firm | | few.cr.<br>common f&m. |
| E2 | 25-32 | 10YR7/1 50%<br>10YR7/2 35%<br>10YR8/1 15% | | SL | m | firm | | few.cr.<br>common f&m. |
| E3 | 32-40 | 10YR7/1 35%<br>10YR7/2 35%<br>10YR8/1 30% | | L | w.p.m. | f. | | few.f.R<br>medium |
| B\E | 40-47 | 10YR7/1 45%<br>10YR6/8 40%<br>7.5YR4/4 10%<br>7.5YR3/2 5% | | L | m.m.abk<br>f.abk | f. | | few.f.R<br>medium |
| Bs1 | 47-62 | 10YR6/8 70%<br>10YR8/6 20%<br>10YR5/6 10% | | L | m.m.abk<br>f.abk | f. | | few.f.R<br>medium |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bs2 | 62-92 | 10YR6/8 60%<br>10YR8/6 40% | CL | m.m.abk<br>f.abk | f. | | few.f.R<br>medium |
| Bw1 | 92-108 | 10YR6/8 60%<br>10YR8/6 40% | SL | m.m.abk<br>m.f.abk | v.f. | | f-coarse<br>r. |
| Bw2 | 108-130 | 10YR5/6 | CL | s.m.abk<br>m.f.abk | v.f | | |
| Bw3 | 130-162 | 10YR7/8 | CL | s.m.abk<br>m.f.abk | f. | 20%<br>60% | fine root |
| B\C | 162-190 | 10YR3/8 60%<br>2.5YR4/8 20%<br>10YR8/6 20% | CL | s.m.abk<br>m.f.abk | f. | | f.f root |
| | | 塔 塔 加 | | | | | |
| 0a | 0-5 | 10YR2/1 | SiL | w.m.g. | firable | | v.f.f<br>c.m. |
| A1 | 5-12 | 10YR3/1 | SiL | m.m.sbk.<br>m.f.sbk | firable | | mvf.f. |
| A2 | 12-20 | 10YR3/2 | SiL | m.f.sbk | firable | | mf<br>cvf. |
| AB | 20-37 | 10YR3/3 80%<br>10YR4/4 20% | SiL | m.f.abk | | | cvf.<br>mf |
| Bw1 | 37-48 | 10YR5/8 95%<br>10YR5/6 5% | SiL | m.f.sbk.<br>m.f.abk | firm | 5 | cvf.<br>f. |
| Bw2 | 48-65 | 7.5YR5/8 90%<br>10YR4/4 10% | SiCL | m.m.abk.<br>m.f.abk. | firm | | vf.<br>f |
| Bw3 | 65-80 | 10YR5/6 | C.L | m.m.abk<br>m.f.abk. | firm | 30% | |

1.Si:silt , L:Loam , C:Clay S:Sand
2.w:weak , f:fine , Sbk:Subangular. blocky. , m:moderate , m:medium. , abk:angular blocky.
3.s:soft , v.fr:Very friabl , sh:slighthy hard. , f:firm , vf:very firm
4.c:coarse , r:root , f:few , m:medium , m.v.f:many very fine , co:common
5.c.w:clear wavy , aw:abrupt wavy , gw:fradual wavy , gs:gradual wavy , cs:clear smooth
ci:clear irregular

表四 土壤樣體之理化性質

| 化育層 | 深度 (cm) | 質地 (TOTAL) 粘粒 LT 0.002 | 坋粒 0.002 -0.05 | 砂粒 0.05 -2 | PH CACL₂ .01M 1:2 | $H_2O$ 1:1 | 有機碳 Organic | (NH4OAC EXTRACTABLE BASES) Ca | Mg | Na | K | SUM BASES | ACID-ITY | EXTR AL | (-----CEC---) SUM CATS | $NH_4$-Ace. | BASES +AL | AL SAT | -BASE SAT- SUM | NH4 OAC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | < | % <2MM | > | | | <- | - | - | - | - | - | cmol/kg | - | - | - | -> | <- | % | -> |
| | | | | | | | | | | 大 | 禹 | 嶺 | | | | | | | | |
| 0a | 0-6 | — | — | — | 12.7 | 2.2 | 16.4 | 2.4 | 17.5 | 0.2 | 2.4 | 17.5 | 25.1 | — | 42.6 | 32.3 | — | — | 41 | 54 |
| A1 | 6-15 | 30.8 | 48.6 | 20.6 | 5.3 | 5.8 | 17.7 | 3.2 | 1.3 | 0.1 | 1.1 | 5.7 | 42.9 | 1.8 | 48.6 | 43.5 | 7.5 | 24 | 12 | 13 |
| A2 | 15-26 | 34.6 | 58.9 | 6.5 | 3.9 | 4.5 | 11.4 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 1.5 | 46.4 | 2.6 | 47.9 | 40.7 | 4.1 | 63 | 3 | 4 |
| A3 | 26-31 | 34.4 | 61.9 | 3.7 | 3.7 | 4.1 | 6.53 | 0.2 | 0.2 | TR | 0.2 | 0.6 | 43.2 | 2.5 | 43.8 | 37.8 | 3.1 | 81 | 1 | 2 |
| E | 31-33 | 30.4 | 65.2 | 4.4 | 3.7 | 4.0 | 1.56 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | TR | 0.4 | 12.0 | 3.4 | 23.4 | 19.1 | 3.8 | 89 | 2 | 2 |
| Bt | 33-38 | 35.7 | 57.9 | 6.4 | 3.7 | 4.2 | 1.53 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 14.6 | 6.0 | 25.0 | 18.2 | 6.4 | 94 | 2 | 2 |
| Bs | 38-48 | 23.9 | 56.0 | 20.1 | 3.8 | 4.4 | 2.51 | TR | TR | 0.1 | TR | 0.1 | 27.4 | 3.8 | 27.5 | 17.2 | 3.9 | 97 | TR | 1 |
| C1 | 48-93 | 7.8 | 19.1 | 73.1 | 4.1 | 4.5 | 1.45 | 0.1 | TR | 0.1 | TR | 0.2 | 15.1 | 4.1 | 15.3 | 12.2 | 4.3 | 95 | 1 | 2 |
| C2 | 93-110 | 12.7 | 29.9 | 57.4 | 4.6 | 5.2 | 1.43 | TR | TR | 0.1 | TR | 0.1 | 19.8 | 2.2 | 19.9 | 14.3 | 2.3 | 96 | 1 | 1 |
| C3 | 110-160 | 14.4 | 28.4 | 57.2 | 4.5 | 5.0 | 1.22 | TR | TR | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 14.7 | 2.8 | 14.9 | 10.4 | 3.0 | 93 | 1 | 2 |
| | | | | | | | | | | 祝 | | 山 | | | | | | | | |
| 0a | 0-9 | — | — | — | 3.4 | 4.0 | 23.0 | — | — | — | — | — | — | 1.8 | — | — | 1.8 | 100 | — | — |
| A | 9-21 | 3.2 | 31.7 | 65.1 | 3.1 | 3.7 | 0.89 | 0.1 | 0.3 | TR | 0.1 | 0.5 | 13.5 | 3.5 | 14.0 | 26.0 | 4.0 | 88 | 4 | 2 |
| $E_1$ | 21-25 | 6.4 | 33.5 | 60.1 | 3.4 | 3.7 | 0.90 | TR | TR | TR | TR | TR | 7.1 | 8.2 | 7.1 | 19.6 | 8.2 | 100 | TR | TR |
| E2 | 25-32 | 5.2 | 31.7 | 63.0 | 3.7 | 4.0 | 0.60 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | TR | 0.3 | 5.5 | 10.9 | 5.8 | 12.3 | 11.2 | 97 | 5 | 2 |
| E3 | 32-40 | 9.3 | 55.6 | 35.1 | 3.8 | 4.2 | 0.47 | 0.1 | TR | TR | TR | 0.1 | 8.3 | 11.5 | 8.4 | 29.7 | 11.6 | 99 | 1 | TR |
| EB/E | 40-47 | 23.5 | 31.5 | 45.0 | 3.7 | 4.3 | 0.55 | 0.1 | 0.1 | TR | TR | 0.2 | 16.3 | 12.0 | 16.5 | 28.8 | 12.2 | 98 | 1 | 1 |
| $Bs_1$ | 47-61 | 25.4 | 22.3 | 52.3 | 4.0 | 4.6 | 0.57 | 0.1 | TR | TR | 0.2 | 0.3 | 15.2 | 9.7 | 15.5 | 12.0 | 1.0 | 97 | 2 | 1 |
| $Bs_2$ | 61-92 | 30.4 | 31.6 | 38.0 | 4.2 | 4.9 | 0.57 | 0.1 | TR | TR | TR | 0.1 | 16.9 | 1.6 | 17.0 | 33.6 | 1.7 | 94 | 1 | TR |
| $Bw_1$ | 92-108 | 18.2 | 21.8 | 60.0 | 4.2 | 4.7 | 0.32 | 0.1 | 0.1 | TR | TR | 0.2 | 9.6 | 2.9 | 9.8 | 14.9 | 3.1 | 94 | 2 | 1 |
| $Bw_2$ | 108-130 | 29.6 | 26.2 | 44.2 | 4.3 | 5.1 | 0.20 | 0.1 | TR | TR | TR | 0.1 | 12.3 | 2.2 | 12.4 | 10.2 | 2.3 | 96 | 1 | 1 |
| $Bw_3$ | 130-162 | 65.2 | 27.8 | 37.0 | 4.2 | 4.9 | 0.3 | 0.1 | TR | TR | TR | 0.1 | 11.9 | 1.4 | 12.0 | 11.1 | 1.5 | 93 | 1 | 1 |
| B/C | 162-190 | 33.2 | 22.5 | 44.3 | 4.4 | 5.2 | 0.23 | 0.1 | TR | 0.1 | TR | 0.2 | 11.6 | -- | 11.8 | 13.3 | | | 2 | 2 |
| | | | | | | | | | | 塔 | 塔 | 加 | | | | | | | | |
| OA | 0-5 | 31.1 | 45.0 | 23.9 | 3.7 | 3.9 | 11.7 | 1.5 | 0.6 | 0.2 | 0.1 | 2.4 | 46.2 | 8.8 | 48.6 | 31.6 | 11.2 | 79 | 5 | 8 |
| $A_1$ | 5-12 | 31.8 | 45.2 | 23.0 | 3.7 | 3.9 | 8.83 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | TR | 0.8 | 41.9 | 9.8 | 42.7 | 30.6 | 10.6 | 92 | 2 | 3 |
| $A_2$ | 12-20 | 33.8 | 45.7 | 20.5 | 3.8 | 4.1 | 6.30 | 0.2 | 0.2 | TR | TR | 0.4 | 42.1 | 9.3 | 42.5 | 29.4 | 9.7 | 96 | 1 | 1 |
| AB | 20-37 | 34.8 | 44.5 | 20.7 | 4 | 4.5 | 3.42 | TR | 0.1 | 0.1 | TR | 0.2 | 33.3 | 7.4 | 33.5 | 23.2 | 7.6 | 97 | 1 | 1 |
| $Bw_1$ | 37-48 | 31.8 | 40.3 | 27.9 | 4.1 | 4.7 | 1.56 | TR | 0.1 | TR | TR | 0.1 | 23.3 | 6.0 | 23.4 | 33.7 | 6.1 | 98 | TR | TR |
| $Bw_2$ | 48-65 | 33.2 | 44.3 | 22.5 | 4.3 | 5.1 | 1.35 | TR | 0.1 | TR | TR | 0.1 | 20.3 | 4.0 | 20.4 | 15.0 | 4.1 | 98 | TR | 1 |
| $Bw_3$ | 65-80 | 28.3 | 37.0 | 34.6 | 4.4 | 5.0 | 0.57 | TR | TR | TR | TR | TR | 14.5 | 3.4 | 14.5 | 10.2 | 3.4 | 100 | TR | TR |

TR：trace

表五 三種化學溶解方法所萃取之鐵、鋁含量

| 化育層 | 深度 (cm) | Dithionite-citrate bicarbonate Extractable Fed | Ald | Acid ammonirm oxalate Feo | Alo | Sodium pyrophosphate Fep | Alp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | <-------- | -- | gkg$^{-1}$ | ---------- | ---------- | -> |
| | | | 大 | 禹 | 嶺 | | |
| 0a | 0-6 | 14 | 3 | 4.8 | 2.5 | 4 | 1 |
| A1 | 6-15 | 24 | 7 | 7.4 | 3.3 | 7 | 3 |
| A2 | 15-26 | 27 | 8 | 11.0 | 4.3 | 11 | 5 |
| A3 | 26-31 | 19 | 5 | 7.5 | 5.1 | 7 | 4 |
| E | 31-33 | 11 | 1 | 1.4 | 2.5 | 1 | 2 |
| Bt | 33-38 | 57 | 9 | 7.0 | 3.3 | 12 | 4 |
| Bs | 38-48 | 58 | 9 | 20.6 | 5.1 | 20 | 5 |
| C1 | 48-93 | 25 | 10 | 7.6 | 5.8 | 6 | 5 |
| C2 | 93-110 | 24 | 10 | 13.4 | 7.9 | 8 | 6 |
| C3 | 110-160 | 19 | 13 | 7.3 | 4.9 | 5 | 4 |
| | | | 祝 | 山 | | | |
| 0a | 0-9 | — | — | 1.4 | 1.0 | 1 | 1 |
| A | 9-21 | 1 | 1 | 0.8 | 0.5 | 1 | TR |
| $E_1$ | 21-25 | 2 | TR | 0.5 | 0.4 | TR | 1 |
| E2 | 25-32 | 3 | 1 | 0.7 | 0.5 | 1 | 1 |
| E3 | 32-40 | 7 | 1 | 1.3 | 1.0 | 1 | 1 |
| EB/E | 40-47 | 38 | 6 | 3.4 | 2.2 | 12 | 3 |
| $Bs_1$ | 47-61 | 48 | 9 | 9.1 | 3.1 | 20 | 5 |
| $Bs_2$ | 61-92 | 48 | 11 | 1.16 | 4.3 | 19 | 6 |
| $Bw_1$ | 92-108 | 41 | 8 | 5.8 | 2.3 | 11 | 3 |
| $Bw_2$ | 108-130 | 48 | 16 | 4.4 | 3.2 | 11 | 5 |
| $Bw_3$ | 130-162 | 34 | 11 | 2.6 | 2.6 | 12 | 5 |
| B/C | 162-190 | 60 | 16 | 3.1 | 2. | 6 | 3 |
| | | | 塔 | 塔 | 加 | | |
| OA | 0-5 | 31 | 9 | 7.8 | 4.4 | — | — |
| $A_1$ | 5-12 | 36 | 12 | 10.7 | 5.5 | — | — |
| $A_2$ | 12-20 | 38 | 12 | 10.7 | 5.5 | — | — |
| AB | 20-37 | 40 | 11 | 13.1 | 5.3 | — | — |
| $Bw_1$ | 37-48 | 46 | 11 | 11.9 | 4.3 | — | — |
| $Bw_2$ | 48-65 | 49 | 13 | 15.3 | 5.7 | — | — |
| $Bw_3$ | 65-80 | 29 | 10 | 7.3 | 4.8 | — | — |

TR ： trace

# 主要針葉樹的體細胞遺傳研究

陳正華[1] 陳曉松[1] 賈敬駕[1] 鄭均寶[2]
韓一凡[3] 朱至清[4] 顧淑榮[4]

摘　要：

1．以油松（*Pinus tabulaeformis*）種胚爲材料，建立了體細胞無性系，以MS爲基本培養基，細胞分裂素與生長素的比例以10：1爲宜，但6苄基腺嘌呤和激動素均不應超過1mg/1。同時，活性碳對芽增殖有明顯的促進作用。嫩芽在1／2MS培養基＋激動素0.1mg/1、吲哚丁酸0.1mg/1、萘乙酸0.1mg/1，生根率達32.4％。

以10年生落葉松（*Larix*）優良個體休眠芽爲材料，研究了組織培養條件下影響不定芽增殖的因素，發現：紅光照射24小時／日，並延續一定時間，可明顯地促進芽伸長；改變MS培養基中的無機氮含量可促進側芽的形成，已建立了不定芽增殖體系，每個休眠芽年繁殖系數達$2^5$至$3^5$。

2．以白皮松（*Pinus bungeana Zucc*）和油松的未成熟胚乳爲外植體進行培養。獲得了單倍體叢芽。萘氧乙酸1-6mg/1和6苄基腺嘌呤0.5mg/1對油松胚乳的誘導起重要作用，癒傷組織誘導率可達22-25％。癒傷組織中染色體數爲體細胞數的一半，共12條。上述培養基添加ABA時，癒傷組織分化了叢芽。

3．以雲杉（*Picea meyeui* Rehd et. Wils）爲材料，研究了幼態（種胚頂芽）和成熟態（40齡樹頂芽）細胞的超微結構。幼態頂芽細胞中細胞器結構明顯地比成熟態的簡單，幼態細胞的線粒體，內質網等的數量要比成熟態細胞內的少。幼態細胞過氧化物酶活性明顯高於成熟態細胞。而且過氧化物酶在成熟態細胞中多位於內質網膜，而在幼態細胞中則位於液泡膜。

## 引言

在世界範圍內，在天然林和人工林中，松科植物占有其重要的地位。它不僅是重要的造林樹種，而且可以保持水土涵養水源，恢復良好的生態環境，不斷提供優質木材及多種工業原料，還有重要的觀賞價值。然而松科樹種都是高度雜合的，雖然多年來開展了優樹選種工作並對優良母樹進行營養繁殖，以保持其優良遺傳特性。但由於松科植物營養繁殖很困難，迄今僅有嫁接方法用於生產，如油松種子園中絕大部分種植的是由幼樹嫁接苗所產生的無性系。近20年來，世界各國對松科樹種的體細胞無性系建立給與了特別的注意，松科的許多樹種的離體再生難度很大，據統計，在松屬的116個種，變種和雜種中，僅有30個左右已離體培養的再生技術，而在成功的樹種中，大都採用幼態外植體爲材料才得到了成功。我國特有的松科樹種離體培養難度更大，因而成功的報導很少。我們選擇了我國主要針葉樹，油松，落葉松等爲材料建立了體細胞無性系，以白皮松和油松爲材料建立了單倍體無性系，並以雲杉爲材料對幼態

1 中國科學院遺傳研究所
2 河北林學院
3 中國林業科學院林業研究所
4 中國科學院植物研究所

及成熟態細胞超微結構的差異進行了研究。

1 ・針葉樹體細胞無性系的建立

1 ・ 1 ・油松體細胞無性系的建立

油松離體培養外植體容易褐變死亡，我們在培養過程，注意到了每個環節。如外植體的預處理及初始培養，不定芽再生的培養基及適宜的激素配比，不同發育時期不定芽的激素調節及防止褐變，特別研究了交替使用活性炭的作用，使不定芽增殖並延發生伸成苗，在誘導生根中不僅注意到激素困子，而且注意到苗生根的最佳時期。從而建立了高頻率穩定的完整植株再生程序[1]。

1 ・ 1 ・ 1 外植體的選擇與初始培養條件

取油松的成熟種子，以子葉及子葉下胚軸爲外植體，它屬於幼態組織，相對成熟態組織要容易誘導。選擇發育良好的種子，於 3-5 ℃下沙藏 5-7 天，剝出種胚，按常規滅菌後，接種到適宜的培養基中，研究表明，種胚在初始培養所用培養基十分重要，在種胚萌發過程必須加有適量激素。如不加激素，會導致以後培養的失敗。如在無激素培養基中僅培養 7 天，再轉入加有細胞分裂素與生長素的 MS 培養基 6 苄基腺嘌呤（ 6BA ） 1.0mg/1 （以下同），＋激動素（ KT ） 0.5 ＋萘乙酸（ NAA ） 0.1-0.5 培養 70 天，沒有得到任何分化的結果，下胚軸伸長，逐漸老化。而在開始便接種在上述培養基上時，下胚軸及子葉分化不定芽的頻率達接種外植體的 52.4 ％，下胚軸並未見老化，這表明種胚細胞在初始培養中便需要接受激素的誘導，下胚軸或子葉細胞在種胚萌動初期對激素的作用十分敏感，這一點往往容易被人們所忽視。

1 ・ 1 ・ 2 誘導不定芽發生最佳培養基與激素配比。

對油松種胚誘導不定芽發生，經比較以 MS 培養基較爲適宜，細胞分裂素（ 6BA ＋ KT ）濃度以 1.0-2.0mg/1 爲宜， NAA 以 0.2-0.5 爲宜，蔗糖濃度以 2.5-4 ％爲宜。細胞分裂素與生長素之比 3 ： 1 ，或 10 ： 1 ， 15 ： 1 均可誘導不定芽發生，然而經篩選，以 MS ＋ 6BA1.0 ＋ KT0.5 ＋ NAA0.1-0.5 ，或 MS ＋ 6BA1.0 ＋玉米素（ ZT ）， 0.2 ＋ NAA0.1-0.5 ，蔗糖濃度 4 ％， pH5.8 ，兩種培養基最適宜不定芽的分化頻率均可達 60 ％。

1 ・ 1 ・ 3 交替使用活性碳對芽分化、增殖與成苗的作用。

活性炭一般用於防止外植體的褐變，並吸附細胞分泌的有毒物質，然而活性炭也能吸附培養基中的各種成分，爲了補償吸附失去的激素，加活性炭的培養基其激素濃度均比原設計的提高 5-10 倍，研究發現以下三種培養基（ 1 ） MS ＋ 6BA5.0 ＋ KT2.5 ＋ NAA0.5 ；(2)MS ＋ 6BA10.0 ＋ KT1.0 ＋ NAA1.0 ；(3 ） MS ＋ 6BA5.0 ＋ KT5.0 ＋ NAA2.5 ，同時均加入 2g ／ 1 活性炭後，對下胚軸不定芽的分化有明顯的促進作用，並顯著促進不定芽的生長及莖的延伸。以不加活性碳培養基爲對照（ MS ＋ 6BA1.0 ＋ KT0.5-1.0 ＋ NAA0.1-0.5 ），在對照培養基上。連續培養下胚軸外植體時，完全受到抑制，不能繼續分化不定芽，而在加有上述 3 種含活性炭的培養基中則有 14.2-32.0 ％的外植體分化了不定芽，且有將近 50 ％左右的芽明顯延伸抽莖。然而再連續用含活性炭的培養基上繼代培養時，則分化頻率又有所降低，死苗率則有所提高，苗的生長也受

到抑制。這表明含活性炭的培養基也不可連續使用。如再轉入不加活性炭的三種培養基：（1）MS + 6BA1.0 + KT0.5 + NAA0.5；（2）MS + 6BA1.0 + KT2.0 + NAA0.1；（3）MS + 6BA1.0 + KT0.5 + NAA0.1，進行增殖培養，在第 36 天觀察增殖率時，不定芽的分化頻率大大提高，爲 53.1-81.1 %，並未見衰弱者，但新增殖的芽在無活性炭的培養基上，芽叢不能伸長，如不轉入含活性碳的培養基上便會老化。如再轉到含活性碳的培養基後，90 %的芽突起形成叢狀芽，經 60 天便抽生嫩莖。這表明下胚軸外植體接種後必須將無活性炭與有活性炭培養基交替使用才可形成正常苗。

子葉外植體在無活性炭培養基上接種，再轉入含活性炭培養基後，所得結果與上述下胚軸外植體培養結果有所不同，子葉的生長和不定芽的分化均受到抑制，而在對照培養基上不加活性炭卻有 26 %的外植體分化了不定芽，60 %的子葉外植體繼續生長。然而再轉入無活性炭的培養基時分化與增殖又受到抑制，因此需要轉入含活性碳的培養基中。也同樣需要與含活性炭培養基交替使用，只是經兩次無活性炭培養，再經兩次有活性炭培養基培養。據以上所述，加活性的培養基可促進具芽突的外植體發生叢芽，而且芽容易延伸而發育成無根植株，但培養基中激素濃度應加大，加大 10 倍激素的培養基要比加大 5 倍的培養基好。應指出的是，不加活性炭培養基叢芽數量多，但難以伸長生長而逐漸衰弱，因此，在油松芽增殖培養中必須根據培養物的發育狀態交替使用活性炭或不加活性炭的培養基。

1・1・4 苗誘導生根的適宜時期與培養條件

經多種處理研究發現，選擇苗發育的適宜時期是誘導苗生根成敗的關鍵。以不同大小的苗誘導生根的試驗表明，以選擇增殖培養 30-40 天的苗誘導生根爲宜。從外觀上看，芽較幼嫩，剛剛開始抽莖，針葉鮮綠。如芽已伸長，基部已變褐的老化苗不易發根。所用培養基的激素配比也很重要，應加入低濃度的生長素及細胞分裂素爲宜，我們採用的配方是 1／2MS + KT0.1，IBA0.1，NAA0.1。生長素如 NAA 達到 1mg/1 則基部容易癒傷組織化，反面抑制了根系發生，在上述低水平激素培養基，加之選擇適宜的誘導發根的苗期，可使生根率達 32.4 %。

1・2 落葉松體細胞無性系的建立

落葉松是針葉樹中速生的建築用材樹種，通過長期的樹種改良，已獲得一批優良個體，迫切需要加速優樹繁殖。由於用種子繁殖個體間變異大，而以種胚爲起始培養的材料，又缺少田間鑒定的步驟，其無性後代的優劣難以預料，因此選用 10 年生興安落葉松優良個體的休眠芽爲材料，篩選優良的體細胞無性系並探索培養技術，目前可能以一個休眠芽爲基礎，年繁殖系數達 $2^5$-$3^5$。在此基礎上又以 60、80 年的休眠芽爲材料，獲得了大量不定芽的發生[2]。取得的結果如下。

1・2・1 紅光對落葉松休眠芽伸長的促進作用

爲了使成年樹休眠芽能作爲快速繁殖優良母樹的起始材料，必須使芽不僅能夠增殖，而且能夠伸長成爲正常的苗。研究表明，光質對頂芽的伸長有不同的影響，所用的紅光與白光分別照射培養的外植體 λ=600-700nm，每日照 24 小時，來自紅色螢光燈管。白色光 λ 爲 253.7nm，每日照射 16 小時，光來自

白色螢光燈管，同時接種的芽連續進行 8 周的照射。所試驗的 59 個體眠芽，100 %抽莖。平均高度近 3cm ，而白光下的芽接種 65 個，有 66 %抽梢，平均株高 1.63cm 。在紅光下不僅表現抽梢率高，株高比白光下的苗高出近 1 倍，而且幼苗生長健壯，針葉呈鮮綠色，白光下葉色淡黃、基部發黑，並有部分苗出現封頂現象。對紅光的反應來自不同無性系的芽差異很大，雖然多數都能抽莖，但高度有很大差異，平均株物高 0.61cm 到 4.88cm 不等，但總體看來，爲了提高抽莖率並獲得優質的苗還應在無性系間進行選擇，建立優良的抽莖一致的無性系。

此外光作爲組織培養的因子之一往往被忽視，一般組織培養所注意的是光的輻照度，即每平方米的瓦數（ W ／ $M^2$ ）。而實際上光譜因子的差異也會影響到培養效果，近年來紅光對組織培養的有利影響報導日益增多，如紅光有利於水稻分生組織的細胞分裂，有利於馬鈴薯莖的伸長及甜菜的側芽增殖等等。

1 · 2 · 2 培養基中無機氮的含量對落葉松頂芽伸長的影響。

在組織培養中同一種培養基不一定完全適合於多種作物，需根據不同作物種類對其中各種成分加以調整才能使培養達到最佳效果，落葉松的培養選用 MS 培養基對抽莖並不適宜。因此，我們對 MS 大量元素的成分進行了調整，經正交試驗發現影響最大的因素是 $NH_4NO_3$ 的濃度，在 MS 培養基中爲 1650mg ／（ 20.6mM ），在此基礎上設計了四個處理，即 MS 培養基含量的 1 ／ 2（ 10.3mM ），1 ／ 4 （ 5.15mM ），1 ／ 10 （ 2.06mM ）及 0 ，各處理的其餘成分同 MS 培養基，各處理均在紅光下培養 8 周。經觀察，最佳處理爲 MS 原量的 1 ／ 2 含量（即 10.3mM $NH_4NO_3$ ）該處理平均苗高 7.30cm ，而對照爲 4.4cm 。側芽發生率達 85 %，而對照僅爲 11 %。 $NH_4NO_3$1 ／ 4 、 1 ／ 10 及 0 處理無論苗平均高度及側芽發生率也都優於對照，差異達到了顯著。由此看來， $NH_4$ 離子與 $NO_3$ 離子的比例對培養效果影響較大。減少銨離子的濃度，有利於芽的延伸與增殖。

1 · 2 · 3 成年樹不同樹齡對休眠芽抽莖的影響

採用 10 年、 40 年、 60 年、 80 年生樹休眠芽培養在相同的條件下， 2 個月後進行觀察，結果表明，隨年齡增加抽莖高度呈遞減趨勢， 10 年生芽平均高度爲 3cm ，並有側芽形成， 40 年和 60 年樹的芽平均高度降低到 1.34 和 1.00cm ，且無側芽形成，而 80 年生樹木芽平均高度爲 0.63cm 。也無側芽形成。

1 · 2 · 4 多因子改進後的培養效果

根據以上所得經驗，建立了落葉松成熟態休眠芽的繁殖體系，即外植體在含 0.5 %活性炭的改良 MS 培養基($NH_4NO_3$ 減半）激素水平與油松相同，在紅光（ 24 小時／日)下培養 20 天，再轉入不含活性炭的相同培養基中培養，每 8 周繼代培養一次，每次取莖尖及帶側芽莖段再次繼代培養， 10 年生興安落葉松平均每個休眠芽每次繼代可產生 2-3 個側芽，而且隨繼代次數的增加側芽形成數目有增加的趨勢，由此每個休眠芽一年繁殖系數達 $2^5$-$3^5$ 。

2 ．從白皮松和油松的未成熟胚乳獲得單倍體叢芽

2 ． 1 萘氧乙酸（ NOA ）在白皮松、油松胚乳培養中的作用。

在無菌條件下，從毬果中取出未成熟的種子，經滅菌後取出雌配子體，接種在含不同激素的改良 MS 培養基上， 1 周後，雌配子體膨大變爲棕色，再經 20 天培養後，只有在含有 NOA 的培養基上外植體產生了淡黃色的癒傷組織，培養基爲改良 MS ＋ NOA2mg/（以下同）十 KT0.5 。油松及白皮松兩種材料均只有在添加 NOA 的培養基上誘導產生了癒傷組織，其頻率白皮松爲 6.3 ％，油松爲 16.7 ％。在對 NOA 濃度的試驗中 1-6mg/l 的範圍均有癒傷組織發生，但以 2mg/l 的濃度最爲理想，經重覆試驗白皮松雌配子體產生癒傷組織頻率達 22-25 ％。然而 NOA 必須與細胞分裂素配合使用，即 NOA2mg/l+KT0.5 ，兩種材料均產生了癒傷組織， 6BA 較 KT 的效果更好，在癒傷組織的繼代培養中也必須加 NOA ，它可使癒傷組織質量保持良好的狀態，且增殖數量也較多。 NOA 在以往的裸子植物組織培養中未見有報導，在被子植物中也很少使用。

2 ． 2 脫落酸（ ABA ）在芽分化中的作用

爲了促使癒傷組織分化出芽，进而發育成植株，配置了常規所用的細胞分裂素及生長素如 6BA 、 KT 及 ZT 與 NAA 等大量配比試驗，均未得到分化的結果。只有在添加 0.1mg/lABA 的原誘導癒傷組織的培養基上，經過 2 個半月的培養才分化出綠色叢芽。

2 ． 3 癒傷組織倍性觀察表明系單倍性來源

取新鮮的癒傷組織經飽和對二氯代苯預處理，在卡諾液中固定，水解、染色製片，在顯微鏡下觀察發現，染色體數目多數爲 n ＝ 12 ，而正常體細胞數目爲 2n=24 ，表明癒傷組織細胞是來自雌配子體中的單倍體胚乳細胞。裸子植物與被子植物不同，被子植物胚乳係雙受精產物，因而爲三倍體，而裸子植物爲單受精，胚乳細胞是單倍性的。由此可以產生單倍體植株，這將爲裸子植物單倍體育種提供了可能性[3]。

3 ．針葉樹雲杉（ *Picea meyeri* Rehd et Wils ）幼態與成熟態細胞超微結構的差異研究

由於針對樹系高度雜和的群體，用無性繁殖法是保持樹木遺傳增益的重要措施，但隨樹木年齡的增長其無性繁殖的能力下降甚至完全喪失，而只有成熟態材料才是經表型鑒定的具優良遺傳性的個體，因此，成熟態樹木如何恢復幼態，便成爲眾多森林學家所關心的課題。過去人們對幼態與成熟態的研究，有關形態或生理特性研究較多，而對超微結構的特徵報導很少。

我們以雲杉爲材料，研究了幼態及成熟態分生組織細胞的超微結構差異。幼態細胞來自萌發種子的頂芽，成熟態細胞則來自 40 齡樹陽面側枝頂芽，採用賈敬駕等（ 1997 ）的方法進行電鏡超薄切片的製備[4]。過氧化物酶定位及活性檢查採用 Graham （ 1966 ）法[6]，包埋的材料用 NOVA 型超薄切片机切片後，用 JEM-1200 型透射電鏡觀察並照像。

3 · 1 雲杉成熟態及幼態頂芽的超微結構

超薄切片的觀察表明，總的趨勢是成熟態樹木頂芽細胞的細胞器結構複雜， 數量也多，細胞多呈磚方形，細胞核大，染色質較深，前質體內的澱粉粒和脂滴數量較多。線粒體數目多，呈橢圓形，結構複雜，內部有眾多的山脊狀突起，整個線粒體多爲內質網所環繞，在細胞連接處分布密集，內質網廣泛分布於細胞質中，其數目明顯多於幼態頂芽細胞，主要呈管狀，並相互聯接成一連續的網狀膜系統。粗面內質網多分布於貯存液泡和核的周圍。核糖體廣泛分布放粗面內質網上，很少散在細胞質中，溶酶體等細胞器數量都要明顯多於幼態頂芽細胞，液泡的體積大，數量少，貯藏液泡數目較多，絮狀內含物多於幼態細胞。細胞間隙系統十分發達，胞間連絲的數目也明顯多。

幼態雲杉頂芽細胞的超微結構觀察表明，細胞多呈圓球形，核較成熟態細胞小，染色質較淺，線粒體也呈橢圓形，數目比成熟態細胞明顯地少，其內部的山脊相互連接成網狀，線粒體主要分布在內質網相對集中的區域，均勻地分布在細胞質中，主要係滑面內質網，整個內質網系統不發達，幾乎所有核糖體都是游離的，整個細胞中存在著大量體積小的液泡。細胞之間隙不太發達，胞間連絲的數目也較少。

頂端分生組織是植物生長與機體形成中心，超微結構觀察證實了隨著樹齡的增加幼態樹將向成熟態樹過渡，其頂端分生組織內細胞器不斷增多且複雜化。主要是線粒體、內質網、溶酶體等細胞器數量增加，結構更爲複雜。此外，澱粉粒。脂滴等內含物在此種細胞中體積大，數量多，細胞間隙系統也發達。有報導認爲在成熟態細胞發育成爲花器官後，細胞出現一個有性復壯過程，即細胞質中的細胞器減少，如 Bonga （ 1982 ）認爲這種有性復壯主要發生在減數分裂時期以前，這時期胞質的線粒體，核糖體及質體大大減少，而且線粒體結構簡單化，這便使細胞恢復幼態。而且認爲這一過程可能與細胞的游離狀態有關可能使細胞脫分化。消除了以往的分化程序[5,7]。細胞超微結構的觀察可能作爲細胞幼態是否恢復的一種標誌。

3 · 2 雲杉幼態和成熟態材料中過氧化物酶的定位和活性觀察

通過酶定位的研究發現胚芽細胞中的過氧化物酶的活性明顯高於成熟態，而且主要存在於內質網膜，液泡膜，質膜以及胞間連絲的通道上，其中以在液泡膜上活性表現最強。而成熟態雲杉頂芽細胞也存在過氧化物酶，但其活性低於前者，而且主要定位於內質網膜上。早已有報導認爲過氧化物酶的活性與樹木的幼態因素呈正相關，如 Moncousin 等（ 1984 ）便提出植物幼態材料中與多呈現較高的過氧化物酶活性[8]，我們的研究證實了這一觀點，但對過氧化物酶維持和恢復細胞幼態的機理並不清楚。

參考文獻

1 · 鄭均寶、王進茂、杜克久、李立國、陳正華、谷瑞升， 1996 ，油松體細胞無性系的建立。遺傳學報 23 （ 4 ）： 307-314

2 · 陳穎、李玲、韓一凡， 1995 ，林業科技通訊，第 10 期， 14-16 頁。

3 · 啓淑榮、朱至清、趙敬芳、陳正華， 1995 ，白皮松和油松雌配子體癒傷組織的誘導和分化。植物學報， 37 （ 3 ）： 217-221 。

4 · 賈敬鴛、陳正華、陳曉松， 1997 ，雲杉針葉三磷酸腺苷酶活性的超

微細胞化學定位。遺傳，第十九卷，第一期， 26-27 頁
5．陳正華， 1986 木本植物組織培養的一般技術。見：木本植物組織培養及其應用，陳正華主編，高等教育出版社，第 24-74 頁。
6．Graham，R.C.,*et al.*，1966，J．Histochem，Cytochem.，14，291-302。
7．Bonga 人M：1982，Vegetative propagation in relation to juvemlity，matuiity and rejurenation，in：Tissue Culture Forestry（T.M.Bonga and D.J. Durzan eds,）pp.387-412。
8．Moncousin *et al.*,1991，Plant Physiol.，138：223-230.

# 臺灣扁柏、紅檜人工種子之研製

王亞男[1] 、姜家華[2] 、林敏宜[3]

摘　要：

取紅檜1g之胚性癒合組織放入含WPM（Woody plant medium）50ml之125ml之生長錐形瓶中，設定轉速120rpm，培養溫度25℃恆溫，8天後測出其生長最高峰曲線。測其濕重，取200g之懸浮培養細胞，經40mesh尼龍網過濾後，移入2L攪拌通氣式之生物反應器，內含1.5LWPM+0.5mg/l ABA之培養液。反應器中設定之條件爲pH5.2-5.8，通氣量每分鐘0.4vol.air/vol，磁石攪拌轉速40rpm，室溫控制在25℃，持續使用Eyela監控儀器控制溶氧量及pH值，可誘導出球形、心型、魚雷型體胚。

以誘導出臺灣扁柏芽體、紅檜體胚爲材料，製造粉圓型人工種子，將材料與3 % Sodium alginate 放漏斗中均勻攪拌後，以蠕動幫浦快速抽吸，使其滴落於25mM $CaCl_2 \cdot 2H_2O$中，並用磁石攪拌，1分鐘之內可製造出130顆以上之人工種子，其中約有60顆爲成功之人工種子，另有一半爲空粒。將其播種在無菌培養基中，臺灣扁柏發芽率60%，50%的發根率。將其播種在插花泡綿上，兩個禮拜後有45%發芽，換入發根培養液三個禮拜後，有發根現象，發根率爲30%。經４℃貯存後，介質播種後達40%發芽率，10%發根率。

以臺灣扁柏莖頂、芽體爲材料，市售之藥用褐色透明膠囊製作膠囊型人工種子，在膠囊內層以彩色筆塗刷Resin，播種在市用插花泡綿介質，發芽率65%，外加發根培養液，經由泡綿吸收，發根率達50%。經4℃貯藏後仍能保持其活力發芽率50%，發根率42%。

## 壹、前　言

種子，一般指經過有性繁殖過程而產生之結合胚，基本構造包括有性胚、子葉或胚乳及種皮。而人工種子（Artificial seed)或稱合成種子（Synthetic seed）乃是利用組織培養的方式大量生產遺傳形質相同之材料，再用人造胚乳與人造種皮包裹材料而作成類似種子狀構造者稱之。而被包埋之植物在適當環境下可毫無困難突破人工胚乳及人工種皮，萌芽長成正常植株（Ibarbia,1988;李,1989;池,1991;Dupuis *et al.*,1994）。

[1] 國立臺灣大學森林系系主任
[2] 國立臺灣大學森林系教授
[3] 國立臺灣大學森林系研究所

狹義的人工種子專指材料爲體胚者，尤其在作物方面多屬此定義；而廣義的人工種子則包括有性胚、不定芽、體胚、癒合組織或生長點等具有再生能力之植物組織包被而成者稱之（Redenbaugh *et al.*,1991; 滕 ,1992）。

人工種子具有組織培養之優點，又模擬種子之形態，且經過組織培養之體胚，具有數量多（一升培養基中可產生十萬個體胚），繁殖速度快，結構完整等特點，特別是在大量快速繁殖苗木和人工造林方面，人工種子比試管苗繁殖更能節省成本與勞力（郭,1990）。

生物反應器主要的目的是提供最佳反應環境，使反應能有最大的產物。它的特點是（1）能保持高細胞密度（$75\times10^6$cell/ml）（2）維持高的培養生長速率（3）細胞生長基質可重覆使用（4）培養細胞具均質性（5）便利監控細胞生長過程（6）容易改變生長面積和轉換生長空間（Atkinson & Mavituna, 1991）。

本實驗擬測試使用生物反應器在最適生長條件下誘導紅檜體胚。並用臺灣扁柏芽體，莖頂爲材料，以不同包裹方式製成人工種子，貯存6個禮拜後播種，測其轉換率。

## 貳、材料方法

### 一、材料

1.紅檜體胚的誘導

(1).種子來源：1992年9月採自阿里山之紅檜未成熟胚。

(2).消毒：1/500安期消毒液處理-10分鐘→70% 酒精消毒-60秒→20% NaOCl（加2滴tween20）-10分鐘→6% $H_2O_2$-10分鐘→無菌水沖洗4~5次。

(3).癒合組織誘導：剖開紅檜毬果，取其未成熟胚爲培植體，置於固體培養基，其成分爲：WPM基礎培養基＋myo-inosital 2000mg/l＋glutamine 10mg/l＋yeast extract 500mg/l＋casein hydrolysate 500mg/l＋sucrose 30g/l，另添加2,4-D（2mg/l），在黑暗中進行培養。

(4).液態懸浮培養：取1克胚性癒合組織，放入125ml三角錐型瓶中，加上50ml相同成分之液態培養基，並添加0.1mg/l NAA及0.5mg/l BA在Shaker中振盪培養，轉速120rpm, 培養溫度爲25℃恆溫，置於黑暗中。7天後用40mesh濾網過篩，約5~6天繼代培養一次，記錄其生長曲線。

(5).生物反應器條件測試：取200g之懸浮培養細胞，經40mesh尼龍網過濾後，移入2L攪拌通氣式之生物反應器，內含1.5LWPM +0.5mg/l ABA之培養液。反應器中設定之條件爲pH5.2-5.8，通氣量每分鐘0.4 vol.air/vol，磁石攪拌轉速40rpm，室溫控制在25℃，持續使用Eyela監控儀器控制溶氧量及pH值。

2.臺灣扁柏微體繁殖

(1).來源：臺灣扁柏種子（77年11月26日，棲蘭五號）。

(2).育苗：流水處理三天，播種在等比例珍珠石、蛭石、泥炭土介質中，置於生長控制箱，日溫26℃，夜溫20℃，濕度85%，光週期16小時，定時澆水，以花寶一號（N：P：K=1：1：1）做施肥處理，二個月後長

成約二公分小苗。

(3).表面消毒：1/500安期消毒液(Antiseptal)-10分鐘→0.5% NaOCl 100ml加兩滴Tween20-10分鐘→3%$H_2O_2$-5分鐘→在無菌操作檯中以無菌水沖洗3-5次。

(4).微體繁殖:取葉片、莖段爲微体繁殖之材料使用固体培養基，其成分爲：WPM基礎培養基myo-inositol 200mg/l＋glutamine 450mg/l＋yeast extract 500mg/l＋casein hydrolysate 500mg/l＋sucrose 30g/l＋NAA 0.5mg/l＋IBA 2mg/l，放置在25±1℃恆溫，光度2000Lux，光週期16小時下培養，每30天用WPM培養基繼代一次。

3.臺灣扁柏芽體誘導

(1).來源:臺灣扁柏種子（77年11月26日，棲蘭五號）。

(2).種子消毒：種子殺菌前流水處理三天，70%酒精-5分鐘＋2%NaOCl 100ml加兩滴Tween20-10分鐘＋10%$H_2O_2$-10分鐘＋在無菌操作檯中以無菌水沖洗3-5次。

(3).固體培養基：以1/4MS基礎培養基，配合3%蔗糖，加入0.1mg/l NAA，0.2mg/l BAP，每瓶培養基中放置10個胚。

二、方法

1.粉圓形人工種子

(1).測試藻膠酸鈉及氯化鈣溶液配置：配置不同濃度的藻酸鈉及氯化鈣溶液，經高溫高壓滅菌後，將不同濃度藻酸鈉溶液，以2～3mm口徑的滴管（pipette）吸取，滴落於$CaCl_2 \cdot 2H_2O$溶液中。

(2).測試不同包被方法：將欲包被之材料（芽體、小苗、體胚、莖頂），置入WPM+生長調節劑NAA或2,4-D 0.1mg/l+sodium alginate中，利用藥匙和滴管滴入$CaCl_2 \cdot 2H_2O$中。種子包被過程中使用下列三種方法：

a.直接滴落：將包被物直接滴於100CC $CaCl_2 \cdot 2H_2O$溶液中。

b.迴轉式振盪：同1，並用迴轉振盪器振盪，設定轉速60-120rpm。

c.磁石攪拌：將100ml $CaCl_2 \cdot 2H_2O$放入 500CC燒杯中，加入一塊2cm磁石，置於500rpm轉速的磁場攪拌器中。滴入材料後，待15-20分鐘後以篩網濾去氯化鈣溶液，用無菌蒸餾水洗淨三次。

(3).建立半自動化生產系統：利用(1)、(2)測試出之條件將材料與Sodium alginate放漏斗中均勻攪拌後，以蠕動幫浦快速抽吸，使其滴落於$CaCl_2 \cdot 2H_2O$中，並用磁石攪拌，待15-20分鐘後以篩網濾去氯化鈣液，用無菌蒸餾水洗淨三次。

2.膠囊型人工種苗

購取市售之褐色藥用透明膠囊爲種皮材料，在下膠囊內層用彩色筆塗刷Resin，作成內膜，在紫外線殺菌燈下持續殺菌4小時，配製培養基（WPM+生長調節劑NAA或2,4-D 0.1mg）冷卻至40℃後滴入膠囊中。待培養基凝固後，將植物體放入培養基中，蓋上膠囊。

3.種子播種及轉換率之測定

(1)無菌播種:每瓶125ml三角錐型瓶放置30CC含WPM之洋菜培養基，每瓶

播種5顆粉圓形種子，20重複，共一百粒。一個月後，植物體突破包裹膠體時，再更換培養基。

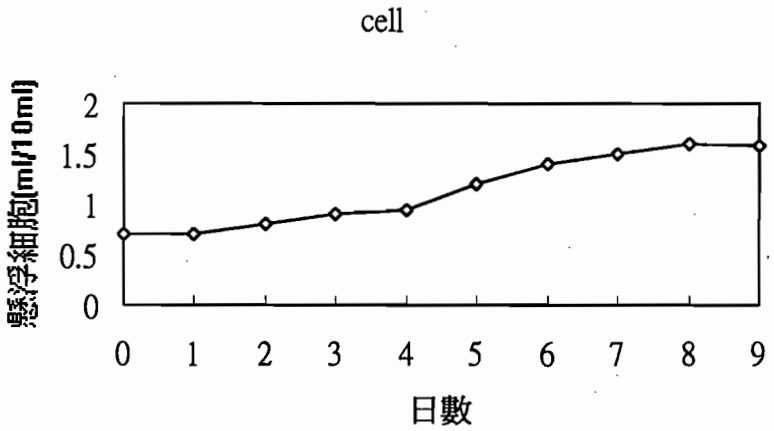
（2）介質播種:將100顆粉圓形及膠囊型人工種子播種在市用插花泡綿介質（此介質事先經高溫高壓滅菌），放置在溫度22-24℃，光週期16小時之生長控制箱中。

（3）貯藏:將200顆種子放置在直徑9CM無菌培養皿中，用parafilm封好，放置在4℃冰箱中。待一個月後，取出分別播種在無菌培養基和介質中，測其轉換率。

## 參、結果與討論

一、癒合組織誘導：紅檜未成熟胚在黑暗中培養一個月後獲得白色稍帶溼軟、黏稠狀之癒合組織。

二、紅檜癒合組織懸浮細胞培養之結果




圖一、紅檜胚原性細胞懸浮培養

由生長曲線得知紅檜胚原性細胞第8天生長量達最高峰，測其濕重，取200克懸浮培養細胞，放入攪拌通氣式之生物反應器中。

三、生物反應器條件測試

在培養初期，pH值會快速下降，培養一星期後pH值會慢慢上升，經由監控器控制，可將pH值維持在5.2～5.8之間。磁石攪拌轉速40rpm，速度太慢易有粘滯現象產生。在培養過程中，水氣易持續蒸發，每星期須添加50ml無菌蒸餾水，以免無機鹽類離子濃度太高。六星期後形成球形胚、心形胚及魚雷型胚。

四、粉圓形人工種子

1.藻膠酸鈉成形

人工種皮中藻膠酸鈉的濃度與形成人工種子的硬度及人工種子的運輸、貯藏有密切關係。藻酸（alginate）是由褐藻（brown algae）提煉出來，其主要成分爲甘露糖酸（mammuronic acid）和古耳糖酸（guluronic acid），兩者的比率當古耳糖酸含量高時硬度增強。甘露糖酸和古耳糖酸羧基，易與$Na^+$、$Ca^{2+}$等離子結合成鹽類（Renbaugh *et al.*,1987;鄭,1989）。由於藻酸的濃度及在氯化鈣中浸泡的時間會影響製作人工種子之大小及硬度，進而影響它的發芽狀況，所以在實驗前應嚐試找出最適合的濃度及時間（Ghosh and Sen,1994）。

表一、利用不同濃度的藻膠酸鈉和25mM氯化鈣溶液搭配，結果形成不同形狀與品質的人工種子。

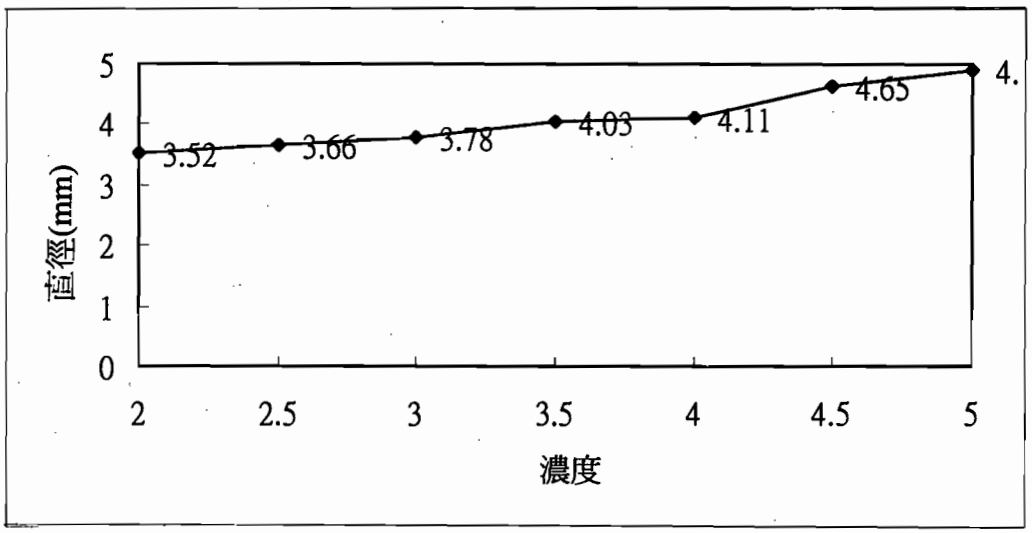
| 膠酸鈉濃度（%） | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 氯化鈣濃度（mM） | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 工種子形成時間（min） | × | 20 | 10-15 | 8-10 | 2-5 |
| 人工種子特徵 | 太軟，無法成形 | 太軟，形狀不一，成透明狀 | 顆粒圓，硬度適中，半透明 | 顆粒硬，成淺乳白色 | 太硬，成白色 |

當藻膠酸鈉濃度太稀時，不能與氯化鈣溶液交換離子，無法形成聚合，即使可以聚合，包裹的種皮太薄，也不利於保存、運輸和播種。濃度太高時，形成大量鈣離子聚合，硬度太硬。且藻膠酸鈉濃度愈高，形成的種子厚度愈厚，更不利於發芽。

在藻膠酸鈉中加入培養基，會使形成的膠粒硬度下降，主要原因爲$Ca^{2+}$離子與古耳糖酸的羧基（-COOL⁻ group）形成離子鍵，受到鹽類中陰、陽離子的影響。如$PO_4^{3-}$、$SO_4^{2-}$濃度過高，會與$Ca^{2+}$產生沈澱；而陽離子，可能在$Ca^{2+}$與古耳糖酸之羧基形成離子鍵時，具有拮抗作用，結果可能造成硬度下降（鄭,1989）。在本實驗中採用3% Sodium alginate與25mM $CaCl_2 \cdot 2H_2O$形成人工種子之硬度較適用。

2.藻膠酸鈉濃度與人工種子大小關係

人工種子作好時，使用測微尺測其直徑大小。結果在相同滴管口徑下，隨著藻膠酸鈉的濃度增加，人工種子的直徑也相對增大。




圖二、不同藻膠酸鈉濃度對人工種子直徑形成之影響

3.包被過程

a.直接滴落時，種子因方向性引力不同，雖然會在氯化鈣中聚合，但是形成不規則狀。

b.使用迴轉式振盪器在60-120rpm轉速下，隨著轉速加大，藻膠酸鈉聚合時間縮短，易形成圓形狀種子，但是此種方法易使植物體包被在側面，不但失去保護的效果，也會影響植物體發芽的狀況。

c.植物體滴落入磁石攪拌器，在300-500rpm下，可使85%以上植物體包裹在中央。

4.半自動化生產：將材料與3% Sodium alginate放漏斗中均勻攪拌後，以蠕動幫浦快速抽吸，使其滴落於25mM $CaCl_2 2H_2O$中，1分鐘之內可製造出130顆以上之人工種子，其中約有60顆爲成功之人工種子，另有一半爲空粒。雖然以此方式製造人工種子速度很快，但是蠕動幫浦轉軸易壓擠植物體，造成巨大損失。

五、膠囊型人工種子

膠囊形人工種子植物體可突破種皮，向外發芽。發芽過程中由於外種皮可提供保護，種子播種後之保水力優於粉圓型人工種子。膠囊型人工種子製作過程中，由於膠囊有遇水即溶之特性，所以塗覆Resin要整個內面皆塗滿，才不至於有滲漏產生。培養基注入溫度太高也會溶解膠囊，所以注入時需保持40℃八分滿，培養基量太多將導致膠囊體變形而無法覆蓋上膠囊。

六、種子播種及轉換率之測定

播種一直是有關能否發揮人工種子在生產上具有應用潛力的問題，在試管無菌苗條件下，轉換率較高，但在土壤或其它有菌基質裏，轉換率顯著下降。影響轉換的一個重要原因爲人工種子抗病力差，有的在播種一周左右，膠囊便發霉變質，有的雖萌芽或長出新葉，也會因抵抗不了病害的

侵染而壞死（嚴,1990）。但是Sharma等（1994）利用*Zingiber officinale* Rosc.爲材料，在沒有消毒過的介質中也得到很好的轉換率，他們認爲膠粒的外殼提供了保護作用，減少微生物、病菌的侵襲。

1.紅檜體胚製成之人工種子

經過幾次的繼代培養後，紅檜懸浮細胞逐漸形成肉眼可見的體胚，形成球形、心形、魚雷型胚等，但因發育階段無法控制同步化。經過包裹後播種，體胚逐漸畸型、死亡。

製做人工種子的關鍵，首先在於能同步化地產生健壯飽滿的胚狀體。胚狀體較小、較弱，對發芽時的養分供給和土壤情況的適應等要求比較嚴格（Wake *et al.*,1992）。此次實驗，對紅檜體胚同步化的條件尚未掌握，因此體胚在發芽過程中易變畸型或逐漸死亡。

據前人報告歸納出促進體胚生長的因子：

(1).養分

嚴等人（1990）認爲降低無機鹽濃度，在培養基中添加水解酪蛋白以及丙氨酸等物質，因爲水解酪蛋白中的氮源物質較易被體胚吸收，故有利於健壯、飽滿的胚狀體發生。氮和硝酸銨有利棉花，番木瓜，胚胎發育和成熟，如加入甘氨酸，丙氨酸對其有利，加入脯氨酸更佳。碳源對包裹後的胚狀體萌芽是必須的，而且葡萄糖能促進胚的萌芽（嚴1990）。Redenbaugh（1987）認爲麥芽糖是一種催熟因子，能誘導停滯在前期的體胚進一步發育成熟。本實驗採用WPM基礎培養基加上myo-inositol 2000mg/l，yeast extract 500mg/l，Casein hrdrolysate 500mg/l，sucrose 30g/l，Glutamine 10mg/l，可誘導紅檜胚狀體形成。

(2).植物生長調節劑

誘導體胚發生時常採用2,4-D以誘導癒合組織，當癒合組織形成後再去掉或降低2,4-D。體胚發生過程，6-BA，NAA，2,4-D，ABA交替配合使用非常重要。而ABA爲一種生長抑制劑，它能抑制次級胚或不正常胚的產生並促進正常胚的發育和成熟（Attre and Fowke, 1993）。本實驗使用2,4-D 2mg/l，經20天左右，可誘得一白色，稍帶黏質（mucilaginous）之細胞聚集。加入ABA0.1－0.5mg/l培養6週後，出現球形、心形及魚雷型胚，但是並無進一步成熟現象。

2.臺灣扁柏無菌苗之芽體、小苗製成之人工種子

臺灣扁柏種子經誘導兩個月後長成約0.5CM的芽體或小苗，用解剖刀切下，藻膠酸鈉包裹成人工種子播種。芽體在WPM固體培養基中可得60%發芽率，更換發根培養基可得50%發根率。將其播種在插花泡綿上，兩個禮拜後有45%發芽，換入發根培養液三個禮拜後，有發根現象，發根率爲30%。經過4℃冰箱貯存6個禮拜後，人工種子的活力下降，40%發芽率，10%發根率。

Monika（1993）報導在藻膠酸鈉溶液中加入0.5%（w/v）活性碳（activated charcoal），能顯著增加內陸形雲杉和黑雲杉之發根率。

Mukunthakumar and Mathur（1992）將粉圓形種子外圍包裹一層礦物油後可使male bamboo Dend-rocalamus strictus L.的轉換率增加爲56%。

人工種子的保存多數是把人工種子放在2-4℃低溫條件下保存，但隨時間延長，人工種子萌芽率顯著下降（Ghosh and Sen,1994）。其主要原因可能在人工種子被包埋時，胚尚未處於休眠狀態，而持續具有大量呼吸作用。包埋使體胚得不到氧氣，導致活力下降（Redenbaugh *et al.*,1987、1988；郭,1990）。但是Monika（1993）以內陸型雲杉做材料，貯存4℃下一個月，並沒有減低發芽率。而挪威雲杉、德達松和糖松在4℃下貯存6個月，活力也沒有降低（Gupta *et al.*,1988）。而在本實驗中的人工種子，經6個禮拜貯存後，活力下降。

3.膠囊型人工種子

膠囊型人工種子發芽率65%，外加發根培養液，經由泡綿吸收，發根率達50%。貯藏試驗結果，因Resin具有高度不透水性，膠囊經長時間保存後，仍很完整，在4℃貯藏下仍能保持其活力發芽率50%，發根率42%。

## 肆、結　　論

人工種苗之技術研發已在作物類方面建立繁殖系統，林業急需無性繁殖苗木，在林木育種方面，對於一些高經濟價值，或不易由傳統千插嫁接方式之樹種、具特殊用途、稀有樹種，最適宜用人工種子開發。本實驗在臺灣扁柏、紅檜人工種子之製作已有一初步成果，希望下一步能朝整個系統自動化製作方面著手。

## 伍、引用文獻


池仲藝 1991 人工種子　種苗通訊　5:7-9。

李文權 1989 人工種子的製作方法及其應用價值 科學農業 37（7-8）:171-177。

郭仲琛 1990 植物體細胞胚胎發生和人工種子的研究 植物體細胞胚胎發生和人工種子　科學出版社 p:1-9。

滕惠蘭 1992 人工種子的發展現況 植物組織培養技術及其應用研討會論文集。

鄭萬興 1989 人工種子的包被物藻酸鈉包被甘藍種子與香蕉體胚對其發芽的影響 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文。

嚴祥和 金冀毅 郭仲琛 1990 芹菜人工種子系統研究 植物體細胞胚胎發生和人工種子　科學出版社 p:81-86。

Attre,S.M. and L.C.Fowke, 1993 Embryogeny of gymnosperms：advances in synthetic seed technology of conifer. Plant cell,Tissue and organ culture. v35（1）：1-35.

Atkinson,B and Mavituna,F. 1991 Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook "Second Edition,Stockton Press,NewYork.

Dupuis,J.M.,C.Roffat,T.Richard, and F.Molle, 1994 Pharmaceutical capsule as a coating system for artificial seeds. Bio/Technology 12 :385-389.

Ghosh,B.,S.Sen, 1994 Plant regeneration from alginate encapsulated somatic embryos of *Asparagus cooperi* baker. Plant Cell Rep. v13 (7) :381-385.

Gupta,K.P. 1988 Aduance in biotechnology of conifer. Current Science 57 (12) :629-637.

Ibarbia,E.A. 1988 Synthetic seed: Is it the future. West Grow Ship. v59 (2) :12.

Monika,M.L.,T.E.Tautorus, S.I. Kikcio, T. D. Bethune, and D.I.Dunstan, 1993 Germination of encapsulated embryos of interior spruce (*Picea glauca engelmannii* complex) and black spruce (*Picea mariana* Mill.) Plant Cell Rep.12:385-389.

Mukunthakumar,S. and J.Mathur, 1992 Artificial seed production in the male bamboo Dendrocalamus strictus L. Plant Science Limerick. v87 (1) :109-113.

Redenbaugh,K.,D.Slade,P.Viss, and J.A.Fulii, 1987 Encapsulation of somatic embryos in synthetic seed coats. Hort. Science. 22:803-809.

Redenbaugh,K.,J.A.Fujii, and D.Slade, 1991 Synthetic seed technology.Scale Up and automation in plant propagation p:35-74.

Sharma,T.R.,B.M.Singh, and R.S.Chauhan, 1994 Production disease-free encapsulated buds of *Zingiber officinale* Rosc. Plant Cell Rep. 13:300-302.

Wake,H,A.Akasaka,H.Umetsu,Y.Ozeki,K.Shimomura, and T.Matsunaga, 1992 Enchanced germination of artificial seeds by marine cyanobacterial extract. Apple.Micro.Biotechnol. v36 (5) :684-688.

# 松柏類植物體細胞胚胎發生的應用和基礎研究

郭仲琛[1] 桂耀林[1] 楊映根[1] 楊金玲[1]

摘　要：

松柏類植物爲重要的造林樹種，我們對青扦（*Picea wilsonic*）、白扦（*P. meyeri*）、火炬松（*Pinus taeda*）、羅漢松（*Podocarpus microphyllus*）等曾作過一些研究。松柏類植物的組織培養，多以合子胚爲材料。球果在4℃-6℃下保存1—2個月後，可取幼胚接種於LP補加2,4-D 2mg／L,6-BA 1mg／L和3%蔗糖的培養基上黑暗培養，二個月後產生癒傷組織並形成具胚頭和胚柄的胚性胚柄團。將此種癒傷組織轉入MS補加2,4-D 1mg／L，激動素1mg／L，ABA 5mg／L，2%蔗糖的分化培養基上即可產生體細胞胚。體胚分化過程中，光是重要的誘導因素。癒傷組織必需在黑暗下生長，而體胚分化則要在光下進行。此外，培養基中添加ABA、硝酸銀或PEG等，對提高體胚的誘導率也有十分明顯的作用。爲了促進體胚轉化成苗，將體胚置於4℃低溫下逐級脫水乾化，可以促進體胚正常化及提高萌發率。目前，通過體胚發生這一途徑，已在許多植物上建立了快速繁殖的無性系。結合海藻酸鈉的包埋技術，還可將體胚製作成人工種子，爲今後人工種子的大規模生產及森林樹種的大量繁殖和播種，提供了重要手段。將體胚發生與基因工程相結合，將爲培育優良的抗病、抗蟲新樹種提供更有效途徑，對林業育種和良種繁育具有重要意義。

木本植物的體胚發生已越來越爲人們所重視，利用體胚發生這一途徑已在林木的快速繁殖，優良樹種的選育，種質超低溫保存以及抗蟲，抗病基因轉導等方面取得了不少進展〔1~14〕，特別在松柏類植物方面，自1985年首次從雲杉（*Picea akier*）合子胚誘導產生體細胞胚胎發生以來，已有20多種松柏類植物成功的誘導出體細胞胚如挪威雲杉，糖松，火炬松，輻射松等。通過體胚發生途徑，已在一些松柏類植物上，獲得了再生植株並移栽成活〔11〕。根據Gupta教授推測，到2000年松柏類植物體胚發生繁殖技術可以應用於商業化生產〔2〕。因此體胚發生的研究在理論和實踐上都具有重要意義。

近年來我們對木本植物特別在松柏類植物組織培養方面，已對青扦（*Picea wilsorui* L），白扦（*Picea nogeri* R），火炬松（*Pinus taecla* L.），金錢松（*Pseudolarix amabilis* R）等植物進行了體胚發生的研究，取得一定進展，現將我們的工作介紹如下：

## 一、植物體細胞胚發生無性系的建立和植株再生

在松柏類體細胞胚的誘導中，外植體的選擇是成功的關鍵因素之一，因爲，同一種植物的不同組織或同一組織的不同發育時期對離體培養的反應不同。我們在青扦和白扦的研究中，最好的外植體是從種子中分離出來的幼胚。在北京條件下，球果在七月中旬採摘後放在4-6℃低溫下冷藏1-2個月，然後從

1 中國科學院植物研究所

球果中取出幼胚，接種在改良的LP附加2mg／L 2,4-D，1mg／L的6-BA和3%蔗糖培養基上，在黑暗中培養二個月後才會產生白色癒傷組織。培養基所含的不同激素組合對癒傷組織的誘導有著明顯的影響。在未加任何激素的改良LP基本培養基上，種胚僅稍微膨大，但並不進一步產生癒傷組織。單獨附加2,4-D時誘導頻率較低，6—BA的加入可顯著地提高誘導頻率。2,4-D 2ppm和6-BA 1ppm是誘導白扦種胚產生癒傷組織的最佳激素組合（表1）。

表1 2,4-D、6-BA對白扦癒傷組織誘導的作用

Table1 effects of 2,4-D,6-BA on callus induction of *Picea meyeri* Rehd.et Wils.

| 2,4-D濃度 Concentration of 2,4-D(ppm) | 6-BA濃度 Concentration of 6-BA(ppm) | | |
|---|---|---|---|
| | 0 | 0.5 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 12 | 24 | 66 |
| 2 | 8 | 44 | 96 |
| 3 | 18 | 52 | 42 |

1.接種外植體數均爲50。 2.培養時間爲20天。 3.表中數字爲癒傷組織誘導頻率（%）。

1. Number of explants is 50。 2. Culture days is 20。 3. The number in the table means percentage of forming callus （%）

表2 ABA濃度對白扦體細胞胚胎發生的影響

Table2 Effects of concentration of ABA on somatic embryogenesis of *Picea meyeri* Rehd.et Wils.

| ABA濃度 Concen-tration of ABA (ppm) | 分化頻率 Differ-entiation frequency (%) | 每塊癒傷組織上的胚狀體個數 Number of somatic embryos per callus | 子葉期胚狀體出現的時間 Time of appering of somatic embryos with cotyledons(days) | 胚狀體的形態 Morphology of somatic embryos |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 20 | 4 | 60 | 胚軸短且腫大透明，子葉卷曲，有玻璃化的傾向。 |
| 1 | 35 | 7 | 60 | |
| 2 | 80 | 25 | 50 | |
| 3 | 95 | 50 | 35 | 胚狀體大而健壯，胚根明顯，胚軸細長，子葉舒展。 |
| 5 | 100 | 70 | 30 | |
| 8 | 100 | 70 | 30 | |
| 10 | 100 | 55 | 25 | 胚軸有癒傷組織化傾向 |

接種的癒傷組織數均爲20。

Number of incubated calli is 20.

在相同的激素條件（2,4-D 2ppm、6-BA 1ppm）下，以改良LP爲基本培養基比MS效果好，後者誘導頻率僅爲58%。

胚性癒傷組織中一些細胞可進行不對稱的分裂，形成胚端和胚柄細胞，胚端細胞分裂後形成裂生多胚。在切片中觀察到體細胞胚的多胚現象類似於合子胚的發生過程，早期的胚柄細胞經分裂形成長長的胚柄，從而形成由胚端及胚柄組成的胚性胚柄團（Embryonic Suspensor Mass）。這種胚性胚柄團能長期繼代培養並保持分化能力，這對於長期保存材料極爲有利。當將這種胚性癒傷組織轉入MS附加2,4-D 1mg／L，激動素1mg／L，ABA 5mg／L和2%蔗糖的分化培養基在光下培養時，癒傷組織則變爲深褐色並出現綠點，胚性胚柄團發育成具有多子葉和胚根的成熟胚。

培養基中ABA的濃度及用ABA培養時間長短是影響體胚的重要因素，結果如表2。

從表2中可以看出，當培養基中ABA的濃度由0.5mg／L提高到2mg／L時，體胚分化頻率逐漸提高，ABA濃度提高到3-8mg／L時，體胚分化頻率明顯提高而且發育正常但ABA濃度達到10mg／L時，體胚出現癒傷組織化的傾向。因此，我們實驗中證明5mg／L的ABA濃度對白扦體胚的發育是最合適的，這和挪威雲杉研究中的得的結果是一致的[7]。蔗糖濃度對體細胞胚的形成與發育也有著重要的作用，結果如表3。

表3 蔗糖濃度對白扦體細胞胚胎發生的影響

Table 3 Effects of concentration of sucrose on somatic embryogenesis of *Picea meyeri* Rehd.et Wils。

| 蔗糖濃度 Concentration of sucrose (g／l) | 分化頻率 Differentiation frequency(%) | 每塊癒傷組織上的胚狀體個數 Number of somatic embryos per callus | 胚狀體的形態 Morphology of somatic embryos |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | — |
| 10 | 50 | 5 | 正常 |
| 20 | 100 | 70 | |
| 30 | 70 | 20 | |
| 40 | 30 | 4 | |
| 60 | 10 | 2 | |
| 90 | 10 | 2 | 胚軸質硬且腫大，子葉瘦小卷曲。 |
| 120 | 0 | 0 | — |

接種的癒傷組織數均爲20。

Number of incubated calli is 20.

表4 不同初始細胞密度對青扦癒傷組織的誘導和體胚發生的影響

Table 4 Effect of different inoculum on calli biomass and embryogenesis of *Picea wilsonii*

| 接種量 inoculum (%) | 癒傷生物量 Calli Biomass (g.F.W.／100ml) | 癒傷生長率 growed rate of calli(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis (%) |
|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 0.38 | 90.0 | 0 | 0 |
| 1.0 | 2.27 | 127.0 | 50.6 | 26.1 |
| 2.0 | 7.37 | 268.5 | 165.9 | 90.5 |
| 5.0 | 13.79 | 175.9 | 0 | 0 |

表3中，20g／L的蔗糖濃度最適宜於誘導白扦的體細胞胚。蔗糖濃度過高或過低，分化頻率都會明顯降低，有時還出現胚狀體發育不正常的情況。

將具有多子葉的體細胞胚轉移到無激素的1／2 MS培養基上，子葉便開始張開，胚軸伸長，形成具有真葉的小苗。

二、胚性細胞的懸浮培養

通過對青扦癒傷組織進行懸浮培養，我們得到如下一些結果。

1．細胞密度對體胚發生的影響

細胞懸浮培養中初始細胞密度對胚性癒傷組織的增殖十分重要，從表4可以看出，細胞密度爲0.2%時，細胞增殖的延遲期延長，底物消耗慢，細胞的增殖和生長受到抑制，細胞易衰老和變異，並影響以後體胚的分化。

細胞密度2%時，細胞生長速度加快，很快進入對數增長期，生長速度快，所以其倍增時間短，生長速率大。但是接種量過大（5%鮮重）細胞很快分裂，生長很快進入靜止期對胚分化不利，在胚性癒傷組織接種中，以2%接種量較爲合適。

2．不同轉速下細胞生長及對體胚分化的影響

隨著搖床轉速的增加，懸浮液中底物消耗增快，影響了以後的體胚分化能力。

表5 搖床不同轉速對青扦癒傷組織的誘導及體胚發生的影響

Table 5 Effect of different shake rate on calli induce and embryogenesis of *Picea wilsonii*

| 轉速 Shake rate (r／min) | 癒傷生物量 Calli Biomass (g.F.W.／100ml) | 癒傷生長率 growed rate of calli(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis (%) |
|---|---|---|---|---|
| 50 | 3.16 | 57.67 | 0 | 0 |
| 100 | 7.37 | 268.5 | 165.9 | 90.5 |
| 150 | 4.04 | 101.64 | 70.8 | 30.9 |
| 200 | 3.70 | 84.95 | 0 | 0 |

表5表明，胚性癒傷組織的懸浮培養每分鐘100 r／min的轉速較適宜。搖床轉速對細胞增殖，底物消耗的影響是通過改變培養液中的溶氧量而實現的。隨著轉速的提高，供氧量會增加，但超過一定速度時細胞的生長和增值則有害。Thomas等認爲，過高轉速下，由於高氧濃度有毒性及高轉速下培養中諸如乙醇、乙烯、二氧化碳等揮發性氣體跑出來，所以對細胞生長不利[15]。

3．不同初始PH值對癒傷組織生長及體胚發生的影響

分別控制誘導培養基和分化培養基的初始PH值爲5.0，5.5，5.8，6.0，6.5和7.0，進行胚性癒傷組織的誘導和體胚分化實驗。懸浮培養一個月後統計癒傷生物量和癒傷生長率，然後把懸浮培養物分別轉入固體分化培養基中，三個月後統計產生具有5mm以上長度的正常體胚數，結果如表6所示。

表6 初始PH值對青扦癒傷組織誘導及體胚發生的形響

Table 6 Effect of initial PH on calli induction and embryogenesis of *Picea wilsonii*

| 培養基PH值 PH of Medium | 癒傷生物量 Calli Biomass (g.F.W.／100ml) | 癒傷生長率 growed rate of calli(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis (%) |
|---|---|---|---|---|
| 5.0 | 2.54 | 26.93 | 112.3 | 70.5 |
| 5.5 | 3.82 | 90.79 | 131.4 | 84.3 |
| 5.8 | 7.37 | 268.5 | 165.9 | 90.5 |
| 6.0 | 3.03 | 51.43 | 142.6 | 75.1 |
| 6.5 | 3.00 | 50.00 | 103.5 | 60.8 |
| 7.0 | 2.77 | 38.30 | 98.7 | 15.1 |

從表6可以看出，較佳PH值爲5.8，其癒傷生長率爲268.5%，體胚分化率爲90.5%。因此，在實驗中，嚴格控制PH值是提高體胚分化率的又一個重要條件。

在細胞生長的延遲期，PH值從初始的5.8上升至6.4，隨著細胞進入對數生長期，底物被消耗，PH值逐漸下降，當底物濃度被消耗至約爲6.5g／L時，PH值停止下降，此時，PH值爲4.8，第八天以後，PH值稍有上升，而糖的消耗也已達6.0%左右，這一時間對培養基來說，物質消耗及PH值均勻不適宜狀態，此時可作爲換培養基的指標。胚胎分化過程中，PH值的變化趨勢與誘導過程相似，只是變化比較平線。實驗結果表明，在細胞的延遲期，PH值稍有上升，從對數生長期至靜止期，PH值下降，底物消耗低於臨界濃度時，細胞停止生長並衰老死亡，表明爲PH值下降，PH值的變化範圍在4.8-6.4之間。

4．不同初始蔗糖濃度對青扦癒傷組織生長及體胚分化的影響

將胚性癒傷組織接種於含不同蔗糖濃度的誘導和分化培養基中，蔗糖濃度分別爲5.0g／L，10.0g／L，20.0g／L，40.0g／L和60.0g／L在誘導培養基中懸浮培養一個月後分別統計其癒傷生物量和生長率。然後轉入固體分化培養基，三個月後統計其體胚發生率和產生子葉胚的數目，結果如表7所示。

表7 不同蔗糖濃度對青扦癒傷組織的誘導及體胚發生的影響

Table 7 Effect of different Conc. of sugar on Calli induction and embryogenesis of *Picea wilsonii*

| 蔗糖濃度 Con. of sugar (g／L) | 癒傷生物量 Calli Biomass (g.F.W.／100ml) | 癒傷生長率 growed rate of calli(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis (%) |
|---|---|---|---|---|
| 5.0 | 2.31 | 15.3 | 0 | 0 |
| 10.0 | 2.32 | 15.8 | 71.2 | 20.1 |
| 20.0 | 7.37 | 268.5 | 165.9 | 90.5 |
| 40.0 | 2.84 | 42.1 | 98.3 | 30.4 |
| 60.0 | 2.69 | 30.4 | 0 | 0 |

三、不同培養方式對體胚發生的影響

爲了更好地建立體胚發生的程序，我們還對 A.由固體→液體→固體和 B.一直在固體的培養方式進行了比較，結果如表8,9,所示：

不同培養方式對體胚發生效果的影響是明顯的。採用A種培養方式，其癒傷組織生長率爲268.5%比B種21.6%高246.9%，體胚分化頻率和產生正常子葉胚數，分別也比B種培養方式高51.5%和255.5個／克，因此我們認爲採用固體→液體→固體培養方式可更好獲得分化能力強的胚性癒傷組織和體細胞胚。

四、體細胞胚胎發生的應用及發展前景

1.植物體細胞胚胎發生已在許多種植物中建立了無性系，它可以採用液氮進行超低溫保存，爲種質保存開闢了一條新途徑，爲進一步應用打下基礎。

2.體細胞胚胎發生技術，通過包埋可以製作人工種子，成爲森林材料大量繁殖苗木的重要手段。

3.體胚發生可以和基因工程緊密結合起來，爲培育優良的抗病，抗蟲新品種提供更有效的新途徑。特別在松柏類植物中，轉入抗蟲基因，將抗蟲基因工程植株採用體胚發生技術製造人工種子，對快速大量繁殖優良品種具有重要意義。

表8 不同培養方式對青扦體胚發生的影響

Table 8 Effect of diferent methods of culture on embryogenesis of *Picea wilsonii*

| 培養方式 Methods of culture | 癒傷生長率 growed rate of calli(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis (%) |
|---|---|---|---|
| A固-液-固Solid-suspension-solid | 268.5 | 286.2 | 92.9 |
| B固-固 Solid-Solid | 21.6 | 30.7 | 41.4 |
| A／B | 12.4 | 9.3 | 2.2 |

表9 不同懸浮時間對青扦體胚發生的影響

Table 9 Effect of different suspension time on embryogenesis of *Picea wilsonii*

| 懸浮時間（周）Suspension time (week) | 分化時間 Different iation time(week ) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4 | | 8 | | 12 | |
| | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis(%) | 正常體胚數 No. of normal embryoids (no.／g) | 體胚分化率 The frequency of embryogenesis(%) |
| 5 | ／ | ／ | 91.6 | 57 | 165.9 | 90.5 |
| 10 | 87.3 | 57 | 208.2 | 86 | 286.2 | 92.9 |

參考文獻


1.黃健秋，衛志明。松屬樹種的組織培養和原生質體培養。植物學通報。1994.11（1）：34-42

2.Gupta P K *et al.*，Fofestry in the 21st century.Biotechnology. 1993. 11：454-459

3.Jain S M., Gupta P K., Newton RJ., Somatic Embryogenesis in Woody Plants。Kluwer Academic Publishers.1994

4.李映紅，郭仲琛。青扦在不同條件下的體細胞胚胎發生及苗的形成。植物學報。1990。32：568-570

5.楊映根，桂耀林，唐巍，趙燃，郭仲琛。青扦癒傷組織在繼代培養中的分化能力及染色體穩定研究.植物學報，1994.36（12）：934-939

6.Von Arnold S., Eriksson T., *In vitro* studies of adventitious shoot formation in *Pinus contorta*. Can J Bot. 1982.59：870-874

7.Hakman I., von Arnold S., Plantlet regeneration through somatic embryogenesis in *Picea abies* (Norway spruce) J. Plant Physiol.1985.121：149-158

8.von Arnold S., Improved efficiency of somatic embryogenesis in mature embryos of *Picea abies* (L.) Karst.J. Plant Physiol.1987.128：233-244

9.Lu C Y., Thorpe T A., Somatic embryogenesis and plantlet regeneration in cultured immature embryos of *Picea glauca* J. Plant Physiol.1987.128 ： 297-302

10.Tremblay F M., Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from embryos isolated from stored seeds of *Picea glauca*.Can J Bot.1990.68：236-242

11.Gupta P K., Durzan D J. Biotechnology of somatic polyembryogenesis and plant regeneration in loblolly pine. Bio Technology.1987.5：147-151

12.Ammirato P V.The effects of abscisic acid on the development of somatic embryos from cells of caraway (*Carum*

*carvi* L.) . Bot. Gaz.1974.135：328-337
13.Ammirato P V.The regulation of somatic embryo development in plant cell cultures：supension culture techniques and hormone requirements.Bio. Technology.1983. 1：68-74
14.von Arnold S., Hakman I., Regulation of somatic development in *Picea abies* by abscisic acid (ABA) .J. Plant Physiol. 1988.132：164-169
15.Thomas. Volatile emissions of plant tissue culture, L. Identification of the major components,In Vitro.1979.15：654

# 大陸林木植物快速繁殖與離體植物種質庫

朱至清[1]　陳維倫[1]

摘　要：

七十年代以來，大陸植物學家廣泛進行了莖尖培養、花藥培養、子房培養、胚乳培養、體細胞培養和原生質體培養等各類組織培養，獲得500多種植物的再生植株，其中150餘種爲林木果樹。利用莖尖培養脫毒，得到柑橘、蘋果、葡萄、泡桐、桉樹和毛白楊等木本植物的去病毒植株，建立了無病原體母本園，進行了工廠化育苗，初步應用於林木生產。蘋果無病毒苗生產已經達到每年100萬株的水平。爲了保存林木果樹、農作物和野生植物的試管苗、細胞突變體和轉基困植物，中國科學院決定在植物研究所籌建植物離體種質庫（Plant Cultures Bank，簡稱PCB），計劃於1998年建成。PCB的任務是培養、收集和保存瀕危或有利用價值的野生植物以及經濟植物的試管苗，生物工程上有用的胚性細胞系、細胞突變體和轉基因植物。PCB現已保存各類植物培養物約160種，包括蕨類植物54種，苦苣苔科25種，蘭花16種，獼猴桃16種，泡桐6品種，馬鈴薯4品種，食蟲植物16種，細胞系和轉基因植物12種，其他觀賞植物和經濟植物40餘種。PCB還收集1400種植物的組織培養英文文獻卡片和700種植物的中文文獻卡片，可供查閱。PCB承接其他單位委託的離體組織培養研究任務。

## 一、大陸組織培養研究概況

七十年代以來，我國植物細胞和組織培養研究發展很快。1990年時統計，大陸的研究者已經從442種植物的外植體獲得再生植株，所用的外植體種類有莖尖、體細胞癒傷組織、花藥或小孢子、子房、胚乳和原生質體等（孫敬三、陳維倫，1990）。近年來又有許多新的報導，迄今爲止，大陸植物組織培養獲得成功的種類估計在500種以上。其中林木果樹植物150餘種，野生和栽培觀賞植物140餘種，禾本科作物和草類30餘種，豆科農作物16種，蔬菜瓜果40餘種，藥用植物60餘種，其它經濟作物20餘種。羅士韋和許智宏（1988）主編的《經濟植物組織培養》和陳正華（1986）主編的《木本植物組織培養》兩本文集反映了大陸植物組織培養研究者的主要研究成果。

八十年代以後，植物組織培養成爲生物工程的一個重要組成部分，大陸原來專門從事組織培養研究的人員中的大部分轉向植物細胞工程和基因工程，研究對象漸漸集中於少數經濟植物，在快速繁殖、單倍體育種、體細胞無性系變異育種、基因轉化等方面取得了許多成績。這方面的工作可以參閱幾本有關的書籍和在北京舉行的國際會議的論文集（中國科學院植物研究所、蘭州大學生物系，1989；孫敬三、陳維倫，1990；胡含、王恆立，1990；郭仲琛、桂耀林，1990；You and Chen，1992；Xu and Chen，1996）。少數植物組織培養研究者仍然關注組織培養的基本問題，注意的焦點在於離體細胞全能性的基因調控，試圖回答是否有特定的基因控制離體細胞的胚胎發生和植株再生。這是一個很難解決的問題，國內外還沒有令人信服的研究結果。中國科學院植物所和遺傳所的研究人員以小麥和水稻爲材料，正在尋找與植株再生能力有關的分子標記，希望有一天可以在基因水平上解釋細胞全能性的表達問題。

---

[1] 中國科學院植物研究所

二、大陸果樹林木的快速繁殖研究進展

1980年以來，無病種苗生產和快速繁殖作爲植物細胞工程的重要組成部分，一直受到各方面的重視。1980—1985年主要進行馬鈴薯和甘蔗的脫毒試管苗生產。1985—1990年擴大了研究的對象，南方以香蕉、柑橘等亞熱帶果樹爲主，北方以蘋果及其營養系砧木和葡萄爲主，還包括有桉樹、毛白楊和各種花卉。與此同時，各種病原體檢測技術也得到了相應的發展。在這一時期，政府和地方當局投資在廣東新會、順德，廣西南寧，河北石家莊、昌黎，山東臨朐等地建立了一批有一定規模的試管苗工廠。此外，還在遼寧興城，福建寧德和甘肅蘭州等地建立了多個無病原體果樹母本園。通過這些試管苗工廠和母本園向各地提供了大量的無病優質種苗。1990年以後，建立一些主要果樹的病原體鑒定新方法，開展了木瓜環斑病毒（papaya ring spot virus）的檢測、脫除和快繁，泡桐叢枝病MLO的檢測、脫除和快繁，以及棕櫚藤的種苗工廠化生產等。在這一研究領域，中國科學院一直起著領導和協調作用。從事此項研究的有數百人，主要集中於中國科學院植物研究所、微生物研究所、上海植物生理研究所、華南植物研究所、昆明植物研究所、武漢病毒研究所、西北植物研究所，中國農業科學院的花卉蔬菜研究所、遼寧興城果樹所、河南鄭州果樹所、重慶柑橘所，福建省農科院果樹所，河北省昌黎果樹所，遼寧省熊岳果樹所等機構。

現將幾種主要林木果樹脫毒快繁研究和應用的情況分述如下。

（1）柑橘及其砧木。經過多年的努力，改進了微嫁接（micrografting ）技術和指示植物鑒定，得到了去除黃龍病（YSO）和裂皮病（CEN）病原菌的主要栽培品種和砧木的無病植株，在湖北、四川和湖南等省建立了多個無病母本園。無病柑橘種苗已在生產中大量使用，表現爲生長健壯，結果提早，質量改善，產量提高。黃龍病和裂皮病的血清學檢測方法正在研究之中。

（2）蘋果及其砧木。已經查明大陸蘋果產區的主要危害病毒爲蘋果花葉病毒（AMV）、鏽果病毒（病原體爲類病毒和MLO）、綠皺果病毒（AGCV）、褪綠葉斑病（ACLSV）、莖溝（ASGV）和莖痘病毒（ASPV）（後三種爲潛隱性病毒）．通過熱處理和莖尖培養得到了大部分主要栽培品種和營養系砧木（EM7、9、26，MM106）的無以上六種病毒的植株。病毒鑒定使用了改進的指示植物法，可使檢測的時間大爲縮短。褪綠葉斑病和莖溝病毒的血清學檢測方法也已完成。蘋果病毒的主要傳染途徑是通過嫁接，與昆蟲無關，因此無病母本園和無病毒植株的生產比較簡便，推廣應用極爲迅速。無病毒蘋果試管苗生產集中於河北昌黎，山東臨朐，遼寧熊岳等地，年產量100萬苗以上。

（3）葡萄。通過熱處理和莖尖培養及指示植物鑒定，目前已得到了20多個品種的去除了葡萄扇葉病毒（GFV）、卷葉病毒（GRLV）、栓皮病毒（GCBV）和莖豆病毒（GSPV）的無病毒植株。GFV和GRKV的ELISA檢測已經建立和應用。試管苗生產工藝業已完善，並在甘肅建立了大陸第一個無病毒葡萄母本園。但是由於葡萄酒市場不景氣和鮮食葡萄品種更新過於頻繁，試管苗生產規模很小，每年大約10萬株。

（4）造林樹種和經濟林木。在南寧建立了桉樹試管苗工廠，在石家莊有小規模的毛白楊試管苗廠，然而苗木價格低，市場極不穩定，限制了進一步發展。1990年以後，對華北地區主要的林糧間作樹種泡桐的叢枝病進行了研究，獲得了去MLO的植株，製備了MLO的單克隆抗體和DNA探針。試管苗快速繁殖工藝

也已建立，田間試驗正在進行中。爲解決棕櫚藤（Rattan，包括省藤亞科省藤族的多種植物）資源日益枯竭的問題，進行了試管苗工廠化試驗，其優良品種的選育和繁殖工藝已經完成。

三、無病毒試管苗的保存和離體種質庫

隨著快速繁殖和細胞工程育種的產業化，大陸組織培養研究漸漸集中到少數有市場前景的種類和品種上去。已經研究成功的許多種植物的無病毒試管苗、細胞突變體、胚性癒傷組織系，甚至轉基因植物，如果近期不被利用，便有逐漸丟失的可能，需要設法加以保存，以便將來在研究、教學和生產上加以應用。另一方面，許多野生植物也有必要通過離體培養進行長期保存和繁殖。爲了上述目的，1996年中國科學院決定，在植物研究所籌建植物離體種質庫（Plant Cultures Bank，簡稱PCB)，現將其宗旨和基本情況簡介如下。

（1）隸屬關係和負責人：植物離體種質庫（PCB）是中國科學院典型培養物委員會的一個組成部分，現已正在籌建之中，計劃在1998年建成。地址：中國科學院植物研究所，北京香山，100093。電話：（86）（10）62590833。FAX：（86）(10）62590833。負責人：1、朱至清，電話：（86）(10) 62591431-6258，Email：〈cc.chu@bj.col.co.cn)。2、陳維倫，電話（86）（10）62591431-6257。

（2）PCB的目的和任務：目的是收集和保存植物試管苗和離體培養物，爲植物生物技術研究與教學和瀕危植物保護服務。收集和保存的植物對象主要是：1、需要用離體方法保存的，有理論研究或應用價值的野生植物，特別是珍稀瀕危植物。2、植物生物技術研究材料，包括無菌苗、無病毒苗、特殊的細胞突變體和轉基因植物試管苗等。

（3）研究工作內容：1、每一個種、品種或無性系的快速繁殖程序。2、每一個種、品種或無性系的保藏方法，目前主要用減緩生長法。3、編制保存植物培養物名錄。4、編輯植物組織培養的文獻目錄與文摘。

（4）保存物的提供、交流和技術服務辦法（討論中，尚未實行）：1、A類植物材料，由PCB研製。提供教學和研究用時，只收少量成本費。提供商業部門使用時，採取技術轉讓方式。2、B類植物材料，由其它單位委託PCB保存，凡屬公立單位委託者，不收保存費。提供他人使用時需經委託者同意後，方可發放。3、PCB承接國內外委託的離體培養技術研究任務。4、歡迎查閱PCB收集的文獻資料。PCB現有1400種植物的組織培養英文文獻卡片和700種植物的中文文獻卡片可供查閱。

四、PCB保存的植物培養物名錄（截至1996年5月31日）

（1）蕨類（Fern）（試管苗）

| | |
|---|---|
| 1、腎蕨 | *Nephrodepsis auriculata*（3，編號） |
| 2、蜈蚣蕨 | *Petris rittata*（11） |
| 3、鳳尾蕨 | *Petris* sp.（14） |
| 4、鳳尾蕨 | *Petris nervosa*（15） |
| 5、華南鐵角蕨 | *Asplenium anstrochinense*（18） |
| 6、虎尾鐵角蕨 | *Aslenium incisum*（21） |
| 7、細葉陰地蕨 | *Botrichium teratum*（26） |
| 8、倒挂鐵角蕨 | *Asplenium normale*（32） |

| | |
|---|---|
| 9、鞭葉鐵角蕨 | *Adiantum caudatum* (33) |
| 10、狗脊 | *Woodwardia japonica* (44) |
| 11、大葉貫眾 | *Cyrtomium muticuns* (45) |
| 12、光石韋 | *Pyroosia calvata* (49) |
| 13、中華莢果蕨 | *Metteuccia orintalis* (50) |
| 14、過山蕨 | *Captosorus sibiricus* (57) |
| 15、荷葉鐵線蕨 | *Adiantum reniforme* (85) |
| 16、廬山石韋 | *Pyrrosia shearri* (87) |
| 17、槲蕨 | *Drynaria fortunei* (88) |
| 18、金山石韋 | *Pyrrosia nanchuanens* (89) |
| 19、褐柄劍蕨 | *Loxogramme saziran* (90) |
| 20、黃瓦韋 | *Lepisonis asteropis* (92) |
| 21、大羽貫眾 | *Cyrtomium talanseae* (94) |
| 22、華中鐵角蕨 | *Asplenium seralii* (96) |
| 23、黑鱗鱗毛蕨 | *Dryopteris* sp. (99) |
| 24、三翅鐵角蕨 | *Asplenium tripteroupus* (86) |
| 25、友水龍骨 | *Polypodiodes amoenum* (106) |
| 26、柳葉蕨 | *Dyrtogonellum flaxxinellum* (107) |
| 27、紅蓋鱗毛蕨 | *Dryopteris erythyosoca* (117) |
| 28、石韋 | *Pyroosia lingu* (118) |
| 29、黑足鱗毛蕨 | *Dryopteris fuscipes* (119) |
| 30、鳥巢蕨 | *Neottoperis nidus* (123) |
| 31、扇蕨 | *Neodheiropteris palmatopedata* (124) |
| 32、鳳尾蕨、蜈蚣蕨 | (同2) (131) |
| 33、江南星蕨 | *Microsorium fortunei* (132) |
| 34、貫眾 | *Cyrtorium fortunei* (134) |
| 35、長羽風丫蕨 | *Coniogramme longissima* (135) |
| 36、西南鳳尾蕨 | *Petris wallichiana* (136) |
| 37、四川鱗蓋蕨 | *Microlepia szechuanica* (137) |
| 38、漸尖毛蕨 | *Cycosonus acuminatus* (139) |
| 39、金星蕨 | *Parathelypteris glanduligera* (140) |
| 40、南川復葉耳蕨 | *Arachiniodes nonchuonensis* (141) |
| 41、邊緣鱗蓋蕨 | *Microlepia marginata* (142) |
| 42、光蹄蓋蕨 | *Athyrium otopyorum* (143) |
| 43、峨嵋蕨 | *Lunathyrium wilsoni* (153) |
| 44、石韋(海南) | *Pyrrosia* sp. (138) |
| 45、瓶蕨(五指山) | *Trichomanes anriculatum* (159) |
| 46、腸蕨(五指山) | *Diplaziopsis* sp. (161) |
| 47、錢氏蕨 | (162) |
| 48、莢囊蕨 | *Struthiopteris eburnea* (167) |
| 49、中國蕨 | *Sinopteris grevilleoides* (222) |
| 50、大葉骨碎補 | *Davallia divaricata* |
| 51、奇數鱗毛蕨 | *Cyrtomium sieboldii* |
| 52、峨嵋風丫蕨 | *Conigramme longissima* |

53、瓦氏鹿角蕨　　*Platycerium wallichii*
54、腎蕨　　（美國引入栽培種）

(2) 苦苣苔科　(Gersneriaceae)（試管苗）
1、條葉唇柱苣苔　　*Chirita linearifolia* (1)
2、螞蟥七　　*Chirita fimberisepla* (2)
3、螞蟥七　　*Chirita fimberisepta* (3)
4、小花苣苔　　*Chritopsis repanda* (4)
5、刺齒唇柱苣苔　　*Chirita spinulos* (5，6)
6、羽裂唇柱苣苔　　*Chirita pinnatifita* (7)
7、金盞苣苔　　*Isometrum farreri* (8)
8、光蕊唇柱苣苔　　*Chirita leiandra* (9)
9、半蒴苣苔　　*Hemiboea henryi* (10)
10、荔波唇柱苣苔　　*Chirita liboensis* (203)
11、焰苞唇柱苣苔　　*Chirita spadiciformis* (33)
12、煙葉唇柱苣苔　　*Chirita heterotricha* (202)
13、未定名　　暫缺
14、芒毛苣苔　　暫缺
15、厚葉唇柱苣苔　　暫缺
16、芒毛苣苔　　*Aechynanthus speciosus*
17、扭角苣苔　　*Streptocarpus hybrida*
18、　　*Streptocarpus nobilis*
19、大岩桐　　*Sinningia speciosa*
20、大岩桐　　*Sinningia speciosa*，*miniature Mjx*
21、大岩桐　　*Sinningia speciosa*，spee (compact)
22、大岩桐　　*Sinningia speciosa*，*Tampa bat beauty*
23、非洲紫羅蘭　　*Saintpaulia inonantha*，深紫色
24、非洲紫羅蘭　　*Saintpaulia inonantha*，深紫色，重瓣
25、非洲紫羅蘭　　*Saintpaulia inonantha*，粉紅色

(3) 蘭花 (Orchids)（試管苗）
1、石槲　　*Dendrobium insigne* (785)
2、石槲　　*Dendrobium bigibbium var.compactum*(795)
3、香莢蘭　　*Vjnilla planifolia* (780)
4、卡特蘭　　*Laelia mogobambae* (725)
5、文心蘭　　*Oncidium* sp., Milley Way
6、蝦脊蘭　　*Calathe* hybrida (Takane X Kozu)
7、文心蘭　　*Oncidium* sp. (025)
8、文心蘭　　*Oncidium*
9、文心蘭　　*Oncidium*
10、血葉蘭　　*Oncidium*
11、蝴蝶蘭　　*Phalaenopsis*
12、蝴蝶蘭　　*Phalaenopsis*
13、春蘭x墨蘭　　F1

14、石槲　　*Dendrobium* sp. (from Canada)
15、大花惠蘭　　*Cymbidium* sp. (from Canada)
16、未定名　　(from Bahama)

(4) 獼猴桃(*Actinidia*) (試管苗)
1、獼猴桃(雌)　　*Actinidia* (43-3-14C)
2、獼猴桃(雄)　　*Actinidia* (48-2-17C)
3、黑蕊獼猴桃(雌)　　*A. malanandia*
4、軟棗獼猴桃(雌)　　*A. arguta*
5、紫果獼猴桃(雌)　　*A. purpurea*
6、狗棗獼猴桃(雌)　　*A. kolomikta*
7、美味獼猴桃(雌)　　*A. deleciosa*
8、對萼獼猴桃(雌)　　*A. valata*
9、葛棗獼猴桃(雄)　　*A. polygama*
10、闊葉獼猴桃(雌)　　*A. lalifolia*
11、中華獼猴桃(雌)　　*A. Chinensis*

(5)泡桐(*Paulownia tomentosa*) (無MLO試管苗)
1、楸葉桐無性系1個
2、桐選I號無性系5個
3、桐選II號無性系3個
4、毛×白無性系2個
5、豫林無性系6個
6、豫雜無性系2個

(6) 馬鈴薯無病毒試管苗
1、青薯168
2、東農303
3、山西5號
4、內蒙7號

(7) 馬鈴薯轉基因植物
1、D-538-1　　35S/thaumatin + *NPT II*
2、D-528-3　　35S/thaumatin + *NPT II*
3、C2-14　　patatin class II/15kd Zein + *NPT II*
4、C4-4　　patatin class II/15kd Zein + *NPT II*
5、3F1-DA-11　　35S/ipt + *NPT II*
6、3F1-DC-4　　35S/ipt + *NPT II*
7、Sp-10Z-1　　sporamin/10kd Zein + *NPT II*
8、Sp-10Z-2　　sporamin/10kd Zein + *NPT II*
9、PiG-1　　ipt/GUS + *NPT II*

（8）胚性細胞系、細胞突變體和轉基因植物
1、抗黑脛病煙草細胞突變體無性系8個
2、轉慈菇胰蛋白酶抑制劑基因煙草株系2個
3、玉米胚性細胞系A188

（9）食蟲植物（Carnivorous plants）
1、*Drosera aliciae*（783）
2、*Drosera bulkeaua*（784）
3、*Drosera communis*（788）
4、*Drosera dielsiaua*（789）
5、*Drosera wantaua*（792）
6、*Drosera spathualta*（795）
7、*Drosera aliciae*（778）
8、*Drosera capensis*（779）
9、*Drosera pygmaea*（543）
10、*Drosera capillaris*（541）
11、*Drosera intermidia*（542）
12、*Drosera spathulata*（1747）
13、*Drosophyllum*（781）
14、*Dionaea*
15、*Dionaea binata*
16、*Dionaea adelae*

（10）其它觀賞與經濟植物試管苗
1、鐵線蓮（*Clematis*）7個品種
2、百合（*Lilium*）9個品種（來自日本）
2、小蒼蘭（*Freesia*）5個品種（來自日本）
3、菊花（*Chrysanthemum*）2個品種（來自加拿大）
4、萬壽花（*Xolanchoe*）2個品種
5、多漿植物（仙人掌類）10種
6、榕樹（*Ficus*）3種
7、朱蕉（*Cordyline terminalis*）1個品種（來自加拿大）
8、莢迷（*Viburnum*），紅花紅葉
9、觀賞煙草（*Nicotiana*）1個品種
10、六月雪（*Serissa serissoides*）
11、金線蓮（*Anoectochilus roxburgii*）
12、花燭（*Anthurium andraeanum*）
13、人參果（*Solanum muricatum*）
14、神秘果（*Synsepaium dulcificum*）
15、中國科學院上海植物生理所委託保存的試管苗10種

參考文獻

1、陳正華主編，1986，木本植物組織培養及其應用，高等教育出版社。
2、羅士韋、許智宏主編，1988，經濟植物組織培養，科學出版社。
3、中國科學院植物研究所，蘭州大學生物系，植物細胞工程基礎研究新進展，學術期刊出版社。
4、孫敬三、陳維倫主編，1990，植物生物技術和作物改良，最高科學技術出版社。
5、郭仲琛、桂耀林主編，1990，植物體細胞胚胎發生和人工種子，科學出版社。
6、胡含、王恆立主編，1990，植物細胞工程與育種，北京工業大學出版社。
7、You CB and Chen ZL，1992，Agricultural Biotechnology，Proceeding of Asia-Pacific Conference on Agricultural Biotechnology，China Science and Technology Press。
8、Xue ZH and Chen ZH，1996，Plant Biotechnology for Sustanable Development of Agriculture，Proceeding of 2nd Asia-Pacific Conference on Plant Cell and Tissue Culture，China Forestry Publishing House。

# 素心蘭、四季蘭和報歲蘭之無菌發芽[1]

# Seed Germination of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors*, *Cymbidium ensifolium* var. *rubrigemmum* and *Cymbidium sinense in vitro*.

李 晊[2]

by Nean Lee

關鍵字：地生性蕙蘭，果莢及種子成熟度，前處理，圓球胚，根莖，培養基，胚發生

Key words : terrestrial *Cymbidium*, maturity of capsule and seed, pretreatment, globular embryo, medium, embryogenesis

## 摘 要：

素心蘭、四季蘭於授粉後 190 天，報歲蘭於授粉後 150 天，朔果之寬幅剛達到最大而種皮細胞核剛要完全消失時視爲剛「成熟」種子，此時發芽最容易，其胚只發育到原胚至圓球胚階段，過此時期胚雖增大，但仍處圓球胚期，發芽反而不易。推測係胚外壁被覆一層膜，不利養水分之通透而抑制發芽。以超音波振盪 30~120 分鐘，可振破種皮及胚包被物， pH 3 無菌水處理一週可提高種子發芽率。發芽喜低濃度鹽類如 1/10MS ，加 20g 蔗糖添加馬鈴薯 15~45g/*l* 及活性碳。發芽後形成根莖，繁殖根莖以 1/2MS ， 1g/*l* 活性碳，30g/*l* 蔗糖培養，分化莖葉時宜加入 NAA 1mg/*l* 及 BA 1~3 1mg/*l* ，濃度視種及品種而異。種子無菌發芽過程，可視爲胚培養。

## 前 言

蕙蘭屬（ *Cymbidium* ）是目前世界上蘭花栽培最廣的一屬，原生種約 70 種，並有許多變種。分佈甚廣，北自韓國、日本、中國大陸，南至喜馬拉雅山、菲律賓、新幾內亞及澳洲。臺灣原產有 10 個種、 4 個變種及一個品型（ form ）（臺灣植物誌， 1974 ）。

*Cymbidium* 因分佈的地域廣，各區域所產的種都有不同的特色，依習性可分爲下列三類（黑崎陽人， 1970 ）：第一類原產於溫帶地方，如日本、韓國、大陸長江流域及本省山地，種類有報歲蘭、春蘭、寒蘭、四季蘭、素心蘭等，全爲小型地生蘭，在直立的花莖上有一至數朵小花，許多種具有芳香，日人稱之爲「東洋蘭」，國人則特稱其爲「中國蘭」，簡稱「國蘭」。第二類原產於

---

[1] 本文主要成果得自：呂依倫、張耀乾、李志仁、利幸貞、張莉欣及廖曼利六位研究生之論文，並獲得國科會及農委會之資助，特表謝忱。

[2] 國立臺灣大學園藝系教授。

喜馬拉雅山麓、緬甸、泰國北部等熱帶高海拔地區，皆爲大型著生蘭，花莖大多成弧弓型，每莖有花 10 朵左右，花型大、花色豔麗、無香味，是今日園藝品種的主流，日人稱之爲「東亞蘭」，亦有人稱之爲「虎頭蘭」，或者音譯爲「新美娘蘭」。第三類原產於印度錫金、阿薩姆省、馬來半島、蘇門答臘、菲律賓及澳洲北部，大都爲著生蘭，有革質硬葉，花莖下垂，有十多朵小花，與一般常見的蕙蘭不同，臺灣原生於海拔 500-2,000 公尺內之鳳蘭（ *Cym. dayamum* ）亦屬此類。綜觀 *Cymbidium* 各種之分布，可發現凡緯度愈高，亦即愈靠近溫帶，則著生性的蕙蘭種類愈少，地生性的蕙蘭種類愈多，向南則反之（林， 1976 ）。

除前述之原生地著生型或地生型外，蕙蘭屬的種子發芽過程與其後之器官分化可分爲兩大類。一類是種子發芽不易且發芽不整齊，發芽後先形成根莖（ rhizome ），再由根莖分化出莖葉（ shoot ）。另一類是種子發芽容易且一致，種子發芽吸水膨大形成原球體（ protocorm ），原球體即直接分化莖葉。日人認爲溫帶地生性小型蕙蘭發芽形成根莖，而著生型的熱帶大型蕙蘭大多直接長成原球體（澤完和鳥瀉博高， 1968 ； 黑崎陽人， 1970 ）。臺灣地處亞熱帶，同時原生有此兩類蕙蘭。發芽極爲困難，發芽後形成根莖者如素心蘭（呂， 1988 ； 李， 1991 ； 利， 1992 ）；四季蘭（利， 1992 ）和報歲蘭（李， 1991 ），臺灣春蘭。而鳳蘭、金稜邊則屬於易發芽，發芽後形成原球體者（呂， 1988； 呂和李， 1990 ）。

依臺灣植物誌（ 1974 ）認爲素心蘭（ *Cymbidium ensifolium* var. *misericors* ）和四季蘭（ *Cymbidium ensifolium* var. *rubrigemmum* ）是建蘭（ *Cymbidium ensifolium* ）的變種，能在夏天高溫下開花（利， 1992； Lee and Lee,1993 ），而報歲蘭（ *Cymbidium sinense* ）則在農曆春節盛花，日/夜溫 20/15 ℃最利花梗抽長及花序發育（李， 1991 ）。這些種或變種花朵清香秀麗，葉姿優雅。開花後亦可當室內觀葉植物擺飾，已有不少植株外銷日、韓及其他亞洲國家，在產業上極具發展潛力。現在商業及趣味栽培者，多靠分株繁殖，繁殖速度緩慢，不少仰賴山採。爲達快速繁殖和保育目的，國立臺灣大學園藝系花卉研究室從事蕙蘭屬研究已十年有餘，多位研究生參與此項研究（呂， 1988 ； 利， 1992 ； 李， 1991 ； 張， 1989 ； 張， 1994 ； 廖， 1995 ），主要研究方向有二：一爲種子無菌發芽生理、器官分化與小苗的培育，以便達到大量繁殖的目的；另一方向爲開花生理之研究，以達縮短栽培時間、控制花期及提高品質之目的。本文旨在探討素心蘭、四季蘭和報歲蘭發芽困難之原因及解決之道，發芽後之器官分化另文發表中（廖等， 1997 ）。

## 果莢、種子成熟度、胚發育與發芽

### 一、果莢成熟度

蕙蘭屬植物在授粉後，子房變成吸水和養分的積貯（ sink ）（ Hsiang, 1951 a, b; Harrison and Arditti, 1976 ），子房壁累積大量澱粉（蕭， 1978 ），分解很慢，可能是 auxin 抑制了分解酵素的活性（ Hsiang, 1951 b ）。在果莢發育早期，主要是子房壁異常的細胞分裂，胚珠尚未明顯生長（ Taylor *et al.*, 1982 ）。依李（ 1991 ）的研究，素心蘭的子房，在授粉前爲淡黃綠色，授粉後一星期可明顯看到蕊柱膨大轉綠，柱頭、萼片及花瓣向內

包捲，子房迅速增長，到授粉後 2 個月可達最長，以後果莢長度不再增長，寬度到 6 個月後也達最大幅寬，以後也不再增大，此與最易發芽之果莢成熟度在授粉後 190 天（表 1 ）相符，報歲蘭的果莢寬度也是在授粉後 150 天達到最寬，此時也是最易發芽時期。過此時期，能發芽的種子數降的非常低（表 3 ）。四季蘭與素心蘭同在授粉後 190 天採收的種子最易發芽（表 2 ）。素心蘭自授粉後 190 天達到最大果莢，一直到授粉後 400 天，及報歲蘭自授粉後 150 天達到最大果莢，一直到授粉後 250 天，其果莢仍呈綠色，無黃熟或破裂現象（圖 1 ），若無授粉時間記錄，會被誤認爲還是「綠熟期」。可見以果莢外表色澤來判斷種子成熟度與發芽的好壞，是不可靠的指標。一般素心蘭在溫室栽培下，授粉後 15 個月左右果莢才會裂開（呂， 1988 ）。

二、種子成熟度

成熟的種子非常細小，其內無胚乳，重約 0.3~14 $\mu$ g ，長 0.25~1.2mm ，寬 0.090~0.750mm ，外被透明單層細胞種皮，細胞內容物消失，胚發育程度非常原始，只發育到原胚至圓球胚階段（ proembryo-globular embryo stage ）；胚與種皮間佔有很大氣室（ air space ），種子與胚的體積比，依種而異，可由 46 到 175 倍，氣室約佔種子體積的 63~96 %（ Arditti, *et al.*,1979; 1980; Gandawidjaja and Arditti, 1983 ）。

綜觀素心蘭、四季蘭和報歲蘭「成熟的種子」（ mature seeds ），應定義在「最快也最容易發芽的種子」，此時期前二者是在授粉後 190 天，報歲蘭則在授粉後 150 天，此時果莢寬度剛達到最大，種子的長度與最寬處之寬幅也剛達最大，種皮細胞核大部分消失，少許細胞核尚可看到（圖 2 ）。也就是在種皮細胞核剛消失時，此時播種最易發芽 。過此時間種子皺縮（表 4 ），胚增大，其胚細胞數也增多（表 5 ， 6 和圖 3 ），但發芽反而不易（表 1 ， 2 ， 3 ），顯示種子的成熟度極明顯影響其發芽。

剛成熟的素心蘭、四季蘭和報歲蘭的種子，氣室所佔比例很大（圖 2 ），種子若不經前處理（ pretreatments ），直接播種在培養基時，常浮懸於培養基所凝水滴上，或液體培養液之水面上，無法吸收養分和水分，故不少學者推斷蘭花種子不易發芽原因，係種皮不透水或含抑制物質所致（王， 1981 ； 1985； 加古舜治， 1968 ），至於如何克服，於後文敘述。

三、蘭花之授粉、受精與胚的發生學

蘭科植物的生殖生長，小孢子分化較早，花朵盛開時小孢子已分化完全，而大孢子之發育需賴授粉之刺激，花粉管所分泌的 IAA 刺激胎座邊緣之胎原細胞（ archesporial cell ）分裂，大孢子分化完全即胚囊（ embryo sac ）。由於大孢子發育於授粉之後，故蘭花自授粉至受精，其間需一段時間，而時間的長短視屬和種的不同而異， Wirth 和 Withner （ 1959 ）曾將數十種蘭花由授粉至受精所需時間編列成表以供參考。

臺灣一葉蘭大孢子形成見於授粉後 40 天， 40-50 天受精， 60 天時已有部份結合子開始分裂，到 120 天橢圓球狀的的胚本體開始有極化現象，種皮上的核消失，於 140 天極化更爲明顯，但以後變化甚少，之後可使發育較慢者迎頭

趕上；這可說明臺灣一葉蘭在授粉後 140 天即可發芽，但以授粉後 180 天採收果莢播種，發芽最快也最整齊（李， 1990 ）。

蝴蝶蘭屬中之 *P. pulcherrima* 和 *P. schilleriana* 需授粉後 63-70 天才受精，而白花雜交種"Dos Puebles"胚珠形成於授粉後 53-55 天；受精在授粉後 58-60 天，胚發育到可採收播種在授粉後 115-120 天。白花雜交種蝴蝶蘭授粉後植株移入日/夜溫 30/25 ℃的人工氣候室，果莢發育呈 S 型生長曲線，授粉後 100 天種子已具發芽能力， 110 天採收播種 10 天即發芽良好，延至 190 天以上果莢黃熟裂開才播種者，不損及種子發芽能力及原球體之發育；可發芽之種子，種皮透明，僅細胞相連之細胞壁加厚，細胞內容物消失，膜狀物破碎，胚充滿於種皮內，切片觀察胚呈橢圓形，胚細胞已分化成兩區，頂端細胞較下端細胞小（李， 1990 ）。

素心蘭自授粉到受精，需 120-150 天，受精後約 1-2 個月以上的靜止期結合子才開始分裂（蕭， 1978 ）。在溫室栽培的素心蘭，授粉後 140 天，其結合子尚未分裂， 190 天圓球胚細胞看不出極化，種皮細胞尚存少量細胞核，至 210 天，橢圓球狀的胚本體開始有極化現象，到 350 天胚雖增大，細胞數也增多（表 5 、 6 ）但極化並非很明顯（李， 1991 ；利， 1992 ）。四季蘭與素心蘭相近，在授粉後 120 天結合子尚未分裂， 150 天已形成原胚， 190 天達圓球胚並略有極化， 210 天以後極化明顯（利， 1992 ）。報歲蘭於授粉後 100 天胚囊形成，但似尚未受精，到 137 天，結合子已分裂成數個細胞，到 150 天，胚已發育到原胚至圓球胚階段。自 150 到 250 天間，胚也不斷增大，胚細胞數增多，極化現象也明顯，但均停留在圓球胚階段，在此段時間內，可使發育慢者迎頭趕上，但對發芽並無助益（表 1 、 2 、 3 ）。以 TTC （ 2, 3-5-triphenyl tetrazolium chloride ）測試胚活力也很高，授粉後 170 天以後空胚率在 3%以下（表 7 ）。雖在最適成熟度時播種，種子發芽最多（表 1 、 2 、 3 ），但其發芽率大都低於 2%（李， 1992 ），高者約 10%（呂等， 1992 ），顯示發芽率低，並非胚活力問題。經光學顯微鏡及掃瞄電子顯微鏡的觀察，認爲蘭胚在圓球胚發育的後期，圓球胚外面覆一層厚膜，以超音波振破之（圖 4 ），使之易於吸收水與養分，即可改善種子之發芽（表 8 ）。此膜對發芽之障礙，尤甚於種皮。筆者認爲這才是地生性蕙蘭屬種子，不易發芽之主要致因，與田等（ 1985 ）見解相近。至於蘭胚何以長期停留在圓球胚階段？此厚膜的作用何在？在演化上和生態上耐人尋味。素心蘭種子在綠熟果莢的後期，如授粉後 240 天，果莢已很乾燥，種子脫離胎座，以 SEM 觀察，不必再固定、脫水、乾燥，可直接離子覆膜（ coating ），表示種子含水極低，胚呈靜止狀態（ quiescence ）。此時 ABA 含量高（王， 1985； 加古舜治， 1968 ），乃胚發育過程中必然現象（ Raghavna ， 1986 ），未必如王氏（ 1985 ）所言，因 ABA 含量高，抑制發芽而使種子進入休眠。蓋休眠（ dormancy ）係指植物構造上之分生組織（ meristem ）暫時性看不出其生長者（ Lang, 1987 ），而蘭胚在種子成熟時，大多只發育到圓球胚（ globular embryo ）階段，尚未分化出分生組織，經播種發芽形成原球體（ prorocorm ）時才分化出生長點。故是蘭胚發生學（ embyryogenesis ）上器官分化的問題，而非器官休眠的問題。

## 種子前處理及發芽

不少學者推斷蘭種子不易發芽，係種皮不透水不透氣或含抑制物質有關。故予藥劑處理如 KCl 、 KOH 、 NaOCl 等（王， 1981 ；呂， 1988 ；加古舜治， 1968 ； Nakumura ， 1964 ），或人工剪破種皮（田等， 1985 ），或以超音波振盪 4-16 分鐘以振破種皮（呂， 1988 ； Miyoshi & Mii ， 1987 ），可提高其發芽率。然本研究多年從事地生性蕙蘭屬、根節蘭屬及拖鞋蘭類之研究，認爲發芽不易及發芽很慢，乃胚太幼小，均在原胚到圓球胚階段，氣室太大（圖 2 、 3 ），且種皮有拒水性（ Kano, 1968 ； Stoutamire, 1974 ），使種子浮於水面不易吸水，胚外壁包裹一層不易通透之物質。故素心蘭種子以超音波振盪 30~120 分鐘，振裂包裹物質（圖 4 ），再液體振盪培養一週，使胚浸泡於水中，同時也可洗去發芽抑制物，再移入固體培養基培養，均可促進其發芽（表 8 ）。繡邊根節蘭（ *Calanthe tricarinata* ）其種子需超音波振盪 45 分鐘，振破胚之膜狀物方能發芽（葉， 1990 ），之後超音波振盪延長到 120 分鐘，發芽率更提高。以往繡邊根節蘭種子未予超音波處理，多年試驗，一粒種子也未曾發芽（未發表資料）。近年對數種拖鞋蘭進行無菌發芽試驗，超音波振盪 120 分鐘，方能達到最高發芽率（陳， 1996 ）。利（ 1992 ）從事素心蘭和四季蘭之無菌播種研究，超音波振盪時間由呂（ 1988 ）之 5 分鐘和李（ 1991 ）之 10 分鐘，增加到 30 分鐘，此時種皮已大多被振破，甚至將胚振出種皮，裸露於培養液中（圖 4A, B ）；再把液體懸浮培養時間由 1 週延長至 2 週，發芽率則大爲提高，試管內已可發芽超出 10%以上，而表 8 發芽數不多，乃每批種子其個別果莢間的差異性相當大所致。並非所有蘭花種子超音波處理均可促發芽，紅花鶴頂蘭（ *Phaius tankervilliae* ）超音波振盪發芽率降低（吳和李， 1991 ），顯示胚已受到傷害。若種子發芽困難，胚外面之包被物是障礙原因之一，則以 pH 3 處理素心蘭種子 1 週，大爲提高發芽種子（表. 9 ），及 5 ℃處理 1 週或 0.1mM $AgNO_3$ 處理，提高發芽數（李， 1991 ），均是改善此膜狀物之通透性。蝴蝶蘭葉片組織培養，葉表皮覆一層角質層，予 0.1mM $AgNO_3$ 處理 2 小時，可破壞此角質層，促進不定芽的形成（王和李， 1991 ），則蘭胚膜狀覆蓋物是否爲角質層，有待未來加以探究。王（ 1985 ）以有機溶劑及 KOH 處理素心蘭種子，作用主在腐蝕種皮，或洗去種子所含 ABA ，是否處理後種子所含 ABA 量果真降低？由於未做分析不得而知，但是有機溶劑或 KOH 的效果若能有效腐蝕種皮，恐怕同時也會傷害到胚，故以物理性的超音波震盪破壞包被物較化學藥劑處理爲適。

素心蘭、四季蘭於授粉後 190 天，報歲蘭於授粉後 150 天發芽最佳，此時種子剛成熟，種皮尚存少許細胞核，可能其包被物質尚未太厚，較易讓養水分進入，也易被超音波所振破，過了此期則不易。或爲因含高量 ABA （王， 1985 ）抑制發芽，但不少植物種子含 ABA 高也會發芽，如蘋果（ Rudnicki ， 1973 ）、梨等就胚發生學上看， ABA 是種子發育過程中必要的植物荷爾蒙（ Raghavan ， 1986 ），所以筆者認爲種子含高 ABA 並非發芽困難之致因。顯然在剛「成熟」種子若予播種，使之易得養水分，則蘭胚之器官分化較易，其後小苗也長的較快。若過此時，胚脫離胎座，已缺養水分的供給，以後即使獲得養水分供給也大不如剛「成熟」種子。

## 培養基與發芽

### 一、發芽與器官分化

蘭之種子在環境適宜時，吸水發芽，及胚膨大突出種皮，如臺灣一葉蘭，以胚表皮細胞延伸形成吸收毛，突破種皮稱爲「發芽」（李， 1990 ），此時已有葉綠素形成，種子呈綠色，但無光合作用能力，於野生狀態下，如無根共生菌（ mycorrhiza ）感染，無法繼續發育成原球體（ protocorm ），若被根共生菌感染，則胚迅速膨大，並於頂端形成生長點，而後分化葉和根完成幼苗之發育。自 1922 年 Kundson 氏一連串的試驗，證實蘭種子只要外界供應充足的養分，在適宜的無菌環境下，即可發芽生長，這種無菌發芽的成功，取代根菌功能，使蘭之育種、繁殖大放異彩。但至今尚有多種野生蘭發芽甚爲困難，需與蘭菌共生，方能發芽，但選擇適當成熟度及利用超音波震盪振破胚外壁包被物質，即可提高發芽已如前述。

報歲蘭和素心蘭種子在播種後，有些可在播種一星期內膨大，但有些卻不會，不過即使種子或胚已吸水膨大，亦常因胚之無法突破種皮而無法發芽。種子萌芽過程相當緩慢且不一致，自播種後兩個月至十二個月皆可陸續發芽，當胚吸水膨大突破種皮後會形成白色原球體，此時期因外表可見之器官分化，與一般蘭科植物的原球體（ protocorm ）相似，故亦稱之爲原球體。素心蘭原球體表面不甚平滑，與一般的原球體相異。原球體逐漸分化，長出第一片鱗片葉（ cataphyll ）後，其形態即開始轉成典型的根莖，此時長約 0.5cm （呂， 1988 ；李， 1991 ）。根莖表面有許多瘤狀突起，有的瘤狀突起表面生有許多毛茸（ trichome ），根莖露出在培養基上面的部份，瘤狀的吸收毛較長較多，吸收毛皆爲單細胞管狀白色。吸收毛生長一段時間後，即開始從基部脫離或萎縮掉落，在解剖顯微鏡下觀察，瘤狀突起爲黑褐色突起的斑點。原球體階段時表面沒有氣孔，當根莖長到 1cm 長開始變綠，此時開始有氣孔的分佈，長成的根莖表面有無數的氣孔。

根莖的分生組織有一片大的及及一片小鱗片覆蓋保護，隨著根莖的生長，此鱗片葉亦不斷更新，但後段的部位並不長鱗片葉。種子發芽後培養一段時間，常在六個月後，根莖表面會規則地長出許多三角型的鱗片葉，保護自己的頂端分生組織。根莖頂端分化成芽體的速度不一，最快於播種後 6 個月有長大的芽體，隨著芽體葉片展開，才有真正的根形成（呂， 1988 ）。

### 二、培養基成分

素心蘭、四季蘭和報歲蘭之種子發芽喜低濃度鹽類，如 1/10MS 或 Curtis 或 Th-GD1 配方，加入 20g/l 蔗糖， 2 g/l 活性碳，添加馬鈴薯 15~45g/l 或蘋果泥 25 g/l ，均可促進種子發芽。 BA 與 NAA 等植物生長調節劑無促進效果（呂等， 1992 ；李， 1991 ）。發芽形成根莖後，可取根莖頂端（ tip ）或其後之根莖段（ section ）各 1cm 長放入分化根莖之培養基，待長出大量根莖後，再切取 1cm 之根莖端或根莖段至入分化莖葉（ shoot ，簡稱爲芽）之培養基，即可誘引大量植株之生成，而達到大量繁殖之目的。

素心蘭和報歲蘭根莖在 1/2MS 巨量元素濃度並添加 30g/l 蔗糖、活性碳 1 g/l 並降低洋菜用量爲 6.0~6.5 g/l 的固體培養基中，可以生長良好，得大量

加古舜治 1968 シュンラン種子の發芽に關する研究 引自 "ラン科植物の種子形成と無菌播種" 鳥潟博高編 誠文堂 新光社 東京 pp.174-232.

黒崎陽人 1970 東洋蘭 泰文館 pp.15-47.

澤完、鳥潟博高 1968 *Cymbidium* 種子の無菌發芽と發芽生態に關するの研究 引自"ラン科植物の種子形成と無菌播種" 鳥潟博高編 誠文堂 新光社 東京 pp.77-92

Arditti, J.1967a. Factors affecting the germination of orchid seeds. Bot. Rev. 33:1-97.

Arditti, J., J. D. Michaud. and P. L. Healey. 1979. Morphometry of orchid seeds. I. *Paphiopedilum* and native California and related species of *Cypripedium*. Amer. J. Bot. 66(10):1128-1137.

Arditti, J., J. D. Michaud, and P. L. Healey. 1980. Morphometry of orchid seed. II. Native California and related species of *Calypso*, *Cephalanthera*, *Corallorhiza* and *Epipactis*. Amer. J. Bot. 67(3):347-360.

Gandawidjaja, D. and J. Arditti. 1983. The orchids of Krakatau, evidence for a mode of transport. Amer. Bot. 52:127-130.

Harrison, C. R. and L. Arditti. 1976. Postpollination phenomeon in orchid flowers. VII. phosphate movent among floral segments. Amer. J. Bot. 63:911-918.

Hsiang, T. H. T. 1951a. Physiological and biochemical changes accompanying pollination in orchid flowers. I. General observation and water relations.plant physiol. 26:441-445.

Hsiang, T. H. T. 1951b. Physiological and biochemical changes accompanying pollination in orchid flowers. II. Respiration, catalase activity, and chemical constituents. Plant Physiol. 26:708-721.

Kano, K. 1968. Acceleration of the germination of so-called "hard to germinate" orchid seeds. Amer. Orchid Soc. Bull. 37:690-697.

Kundson. L. 1922. Nonsymbiotic germination of orchid seed. Bot. Gaz. 73:1-25.

Lang, G. A. 1987. Dormancy: A new universal terminology. HortScience 22:817-820.

Lee, N and C. Z. Lee. 1993. Growth and flowering of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors* as influenced by temperature. Acta Hort. 337:123-130.

Miyoshi, K. and M. Mii. 1987. Ultrasonic hormonal treatments for enhancing seed germination and protocorm formation of *Calamthe disolor*. 12th World Orchid Conf. p.292.

Nagashima, T. 1982. Studies on the seed germination and embryogenesis in the *Bletilla striata* Rchb. f. and *Calanthe discolor* Lindl. J. Japan Soc. Hort. Sci. 51:82-93.

Nakamura, S. I. 1964. Einge Experiment Zur Samekeimung Einer Chlorophyllfreien Erdorchidee Galeola septentrionalis Reichb. F. Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ. 86(Bot. Ser No.4):1-48.

Rudmicki, R. 1973. Accumulation of abscisic acid on maturing apple seeds. Proc. Res. Inst. Pom. Sk. Pol. Ser. E. 284-290.

Raghavan, V. 1986. Embryogenesis in Angiosperms. Cambridge Univ. Press. NY.303pp.

Stoutamire, W. 1974. Terrestrial orchid seedling, pp.101-128. In: The Orchids: Scientific studies. ed. by C. L. Withner. Wiley-Interscience, New York.

Taylor, J. S., S. J. Blackman, and E. C. Yeung. 1982. Hormonal structural aspects of fruit development on the orchid, *Epidendrum*. J. Exp. Bot. 33(134):195-505.

Veyret, Y. 1974. Development of the embryo and the young seedling stages of orchids. In: The Orchids. Scientific Studies. ed. by C. L. Withner. John Wiley and Sons, Inco. pp.233-265.

Wirth, M. and C. L. Withner. 1959. Embryology and development in the Orchidaceae. In: The Orchids, A Scientific Survey. ed. by C. L. Withner. Ronald Press, NY. pp.155-188.

ıble 1. Effect of capsule maturity on seed germination in vitro of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors.*

| ays after | Months | after | sowing |
|---|---|---|---|
| ɔllination | 3 | 6 | 9 |
| | No. of seeds germination per tube[z] | | |
| 00 | 0.0b | 0.0b | 0.0c |
| 40 | 0.0b | 0.0b | 0.0c |
| 70 | 0.0b | 0.4b | 3.0c |
| 90 | 1.8a | 21.1a | 23.2a |
| 0 | 0.0b | 0.8b | 1.8c |
| 0 | 0.7b | 2.2b | 6.6b |
| 0 | 0.3b | 2.2b | 6.6b |
| 0 | 0.4b | 2.0b | 5.4bc |

ans of 10 to 12 tubes.

2. Effect of capsule maturity on seed germination in vitro of *Cymbidium ensifolium* var. *rubrigemmum.*[z]

| after | Months | after | sowing | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ination | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | No. of seeds germination per tube | | | | |
| | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a |
| | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a |
| | 0.0a | 0.0a | 17.8b | 34.3b | 46.1b |
| | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a |

of 10 tubes.

Table 3. Effect of capsule maturity on seed germination in vitro of *Cymbidium sinense*.

| Days after pollination | Months after sowing 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| | No. of seeds germination per tube[Z] | | | |
| 100 | 0.0a | 0.0b | 0.0b | 0.0b |
| 137[Y] | 0.0a | 0.2b | 5.8b | 14.4b |
| 150 | 0.0a | 25.6a | 81.9a | 131.5a |
| 193 | 0.0a | 0.0b | 0.0b | 0.3b |
| 219 | 0.0a | 0.0b | 0.1b | 0.2b |
| 250 | 0.0a | 0.0b | 0.0b | 0.3b |

Z: Means of 10 to 12 tubes.

Y: Means of only 5 tubes.

Table 4. Relationship between seed size and the days after pollination of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors*.[Z]

| Days after pollination | Seed size Length ( mm ) | Width ( mm ) |
|---|---|---|
| 150 | 0.84 ± 0.19 [Y] | 0.17 ± 0.03 |
| 170 | 1.08 ± 0.18 | 0.21 ± 0.05 |
| 190 | 1.04 ± 0.18 | 0.20 ± 0.05 |
| 240 | 1.01 ± 0.17 | 0.18 ± 0.04 |
| 400 | 0.91 ± 0.17 | 0.18 ± 0.03 |

Z : The data is the average of 20 - 50 seeds.
Y : Mean ± SE.

Table 5. Embryo size and the days after pollination of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors*.[Z]

| Days after pollination | Embryo size (mm) | | Suspensor length (mm) |
|---|---|---|---|
| | Length | Width | |
| 150 | 0.10 ± 0.02 [Y] | 0.07 ± 0.01 | 0.08 ± 0.02 |
| 170 | 0.12 ± 0.02 | 0.08 ± 0.02 | 0.10 ± 0.04 |
| 190 | 0.14 ± 0.02 | 0.09 ± 0.02 | 0.09 ± 0.02 |
| 240 | 0.16 ± 0.16 | 0.12 ± 0.02 | 0.04 ± 0.02 |
| 400 | 0.18 ± 0.01 | 0.13 ± 0.02 | 0.05 ± 0.02 |

Z : The data is average of 20 - 50 embryos.
Y : Mean ± SE.

Table 6. The embryo diameter and cell number at the largest cross section area of embryo on the day after pollination of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors*.[Z]

| Days after pollination | Diameter (μm) | NO. of cells |
|---|---|---|
| 150 | 51.25 ± 8.93[Y] | 13.8 ± 6.6 |
| 170 | 66.25 ± 7.18 | 20.0 ± 3.1 |
| 190 | 99.75 ± 5.95 | 31.6 ± 3.9 |
| 210 | 113.75 ± 14.58 | 35.1 ± 5.7 |
| 250 | 116.25 ± 7.22 | 35.7 ± 3.4 |

Z : The data is average of 10 embryos.
Y : Mean± SE.

Table 7. Effect of capsule maturity on seed viability of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors.* [z]

| Days after pollination | Seed with good viability ( % ) | Seed still with viability ( % ) | seed without viability ( % ) | seed without embryo ( % ) |
|---|---|---|---|---|
| 150 | 0.0 ± 0.0 | 8.2 ± 1.1 | 61.6 ± 5.7 | 30.2 ± 5.0 |
| 170 | 5.2 ± 1.8 | 69.0 ± 2.9 | 24.4 ± 1.9 | 1.4 ± 1.3 |
| 190 | 68.1 ± 4.2 | 24.7 ± 5.2 | 5.6 ± 1.4 | 1.6 ± 1.3 |
| 240 | 66.4 ± 9.3 | 26.0 ± 9.0 | 4.7 ± 1.3 | 2.9 ± 1.2 |
| 400 | 45.3 ± 3.7 | 30.8 ± 5.7 | 22.6 ± 2.6 | 1.3 ± 0.8 |

Z : 500 seeds were observed.

Y : Seed stained with 1 % TTC ( 2,3,5 - triphenyl tetrazolium chloride ) solution in dark condition. Viable seeds have red-stained embryos,seeds still with viability but that viability decreased have yellow - stained embryos, and seeds lost viability have gray - stained embryos.

Table 8. Effect of ultrasonic on seed germination in vitro of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors.* [z]

| Treatment (min) | Months after sowing 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | No. of seeds germination per tube | | | | | |
| 0 | 0.0a | 0.0a | 0.4b | 3.3b | 9.1b | 13.2c |
| 10 | 0.0a | 0.0a | 0.4b | 4.8b | 10.0b | 15.0bc |
| 30 | 0.0a | 0.0a | 1.9a | 5.4b | 12.4b | 23.5ab |
| 60 | 0.0a | 0.0a | 0.6b | 3.9b | 7.8b | 13.7c |
| 120 | 0.0a | 0.0a | 3.0a | 10.2a | 21.3a | 30.2a |

Z: Seed maturity is 193 days after pollination.

Y: Means of 11 tubes.

Table 9 Effect of pH value in one week pretreatment seeds in suspension culture on germination in vitro of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors* .[Z,Y]

| pH value in seed pretreatment solution | Months after sowing | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| | NO. of seeds germinated per tube | | | | | |
| 2.0 ± 0.02 | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a |
| 3.0 ± 0.02 | 0.0a | 0.0a | 1.0b | 43.4b | 57.7b | 71.0b |
| 4.0 ± 0.02 | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 1.0a | 2.6a | 11.3a |
| 5.0 ± 0.02 | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 0.0a | 2.4a |

Z : Maturity of seed is 192 days after pollination. Each data is mean of 10 tubes.

Y : The pH of germinating medium is 5.0.

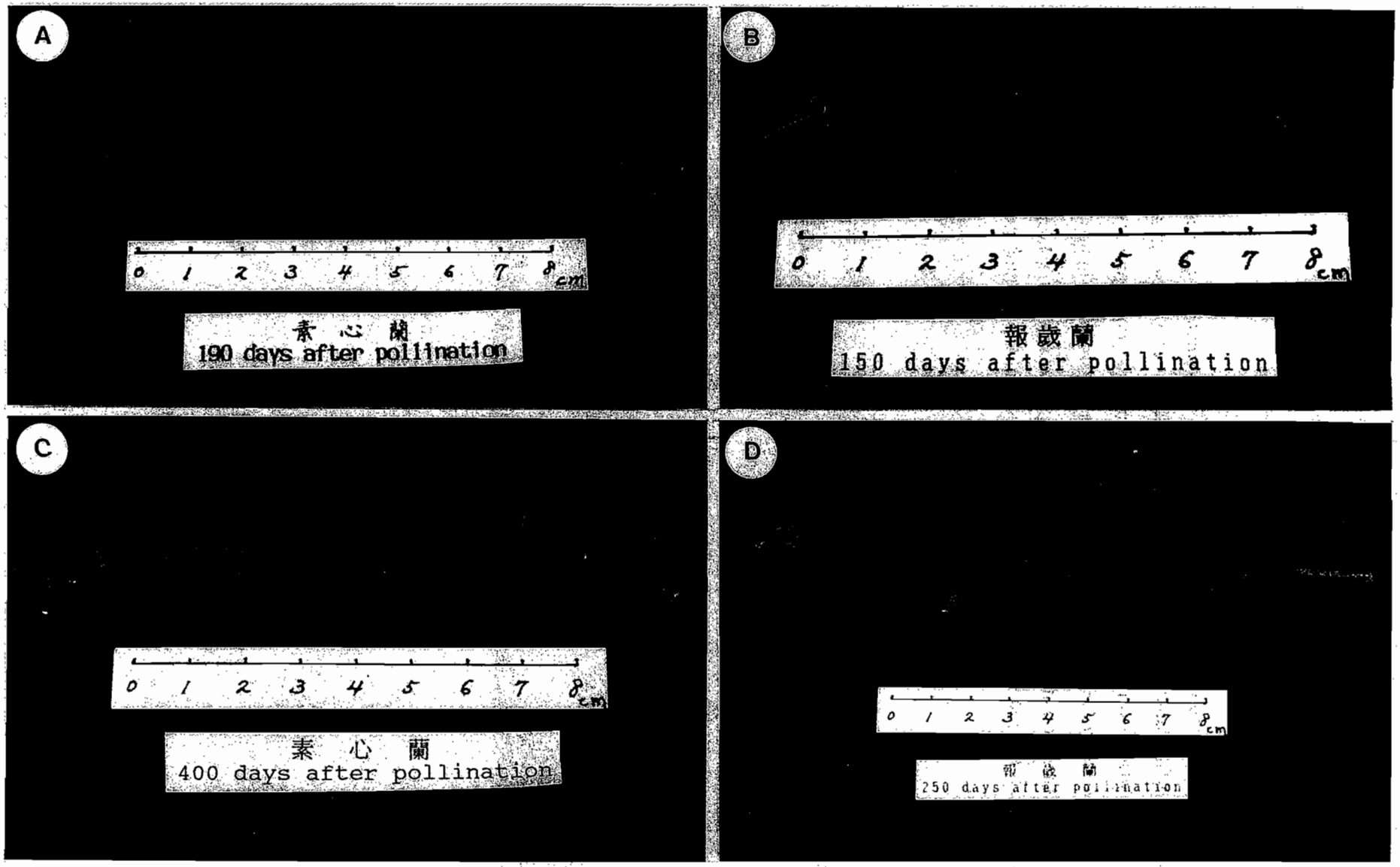



Fig. 1. Capsule maturity 190 days (A) and 400 days (B) after pollination in *Cym. ensifolium* var. *misericors* and 150 days (C) and 250 days (D) after pollination in *Cym. sinense*.

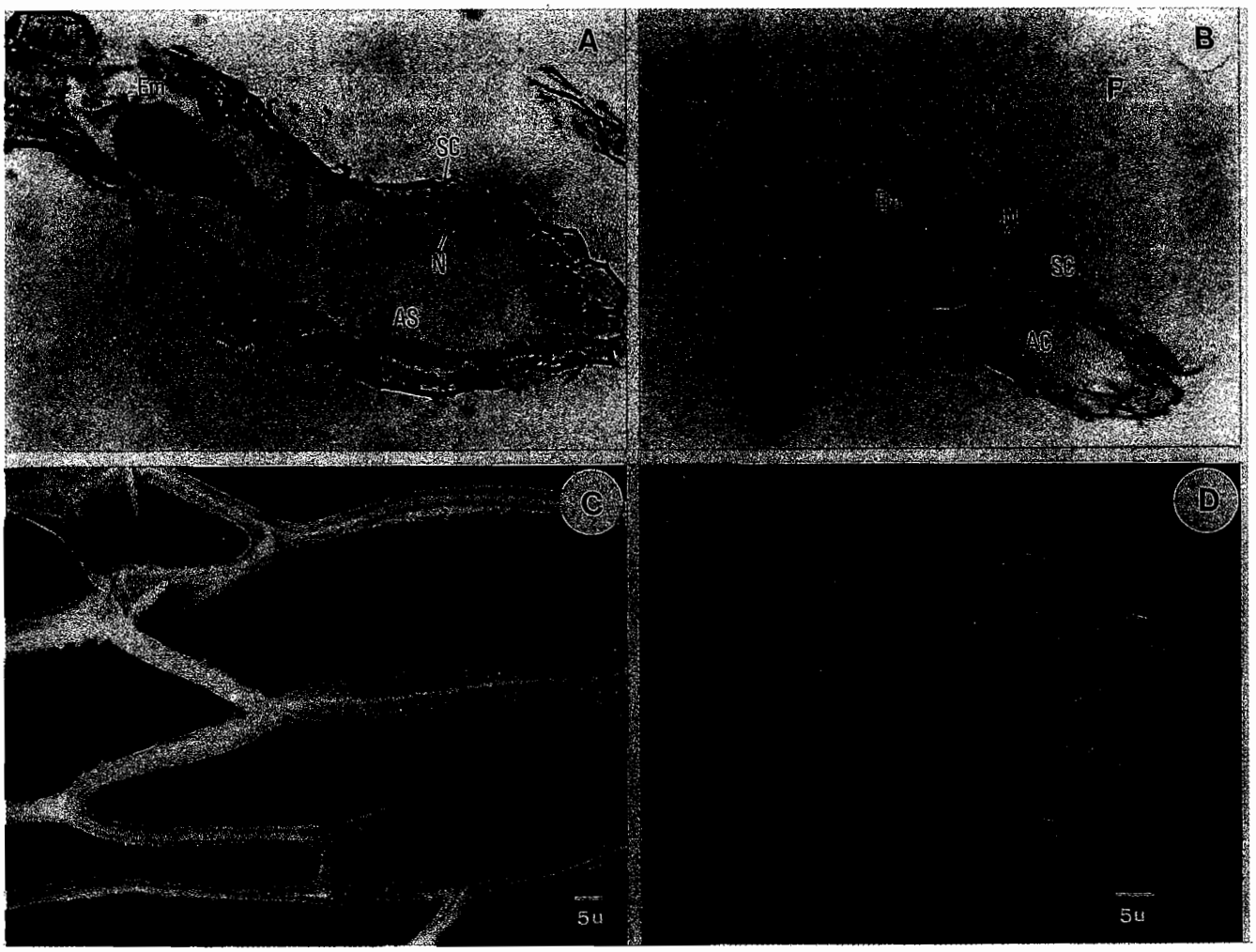



Fig. 2. Seed and embryo development 190 days after pollination in *Cym. ensifolium* var. *misericors* (A × 500) and 150 days after pollination in *Cym. sinense.* (B × 500), nucleus still in some seed coat cells. Seed coat of *Cym. ensifolium* var. *misericors* with inner and outer cell wall (C, D), the outer cell wall was broken after seed treated with 30 minutes ultrasonic wave (C). The hole at micro phyle end (D). AS, air space ; Em; embryo ; N ; nucleus ; SC ; seed coat.

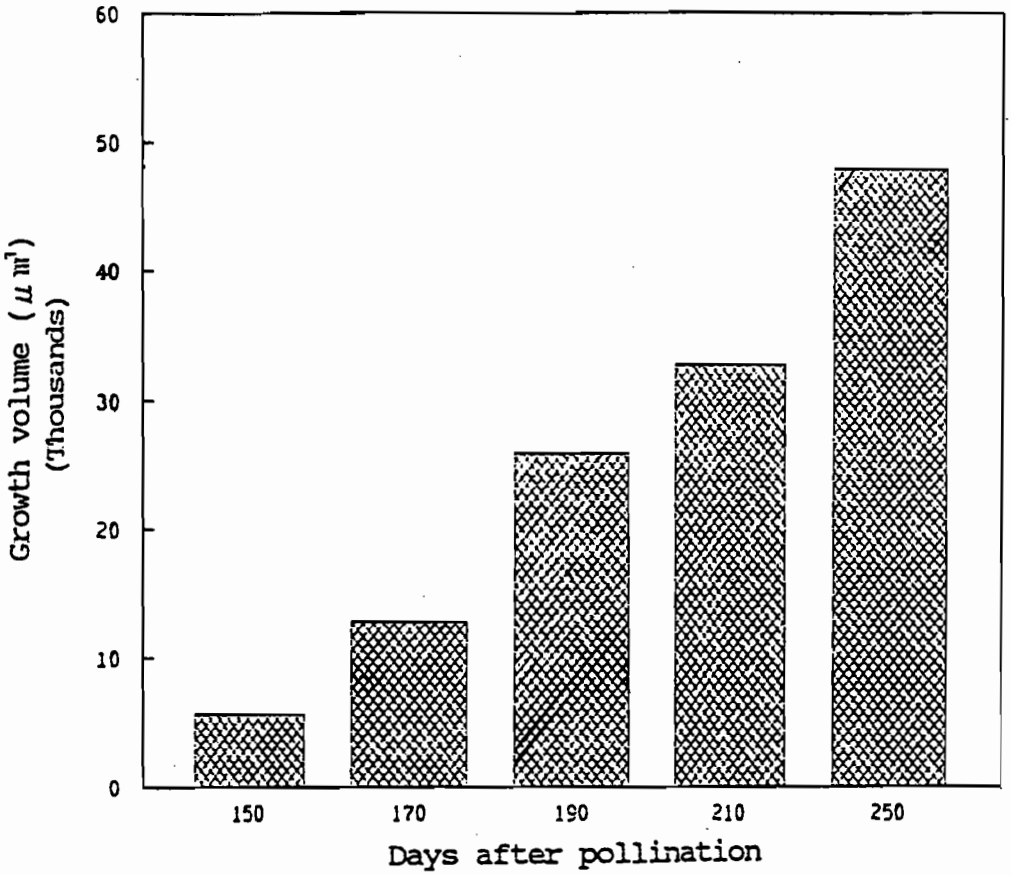



Figure 3. The growth volume of embryos at various stage after pollination in Cymbidium ensifolium var. misericors.

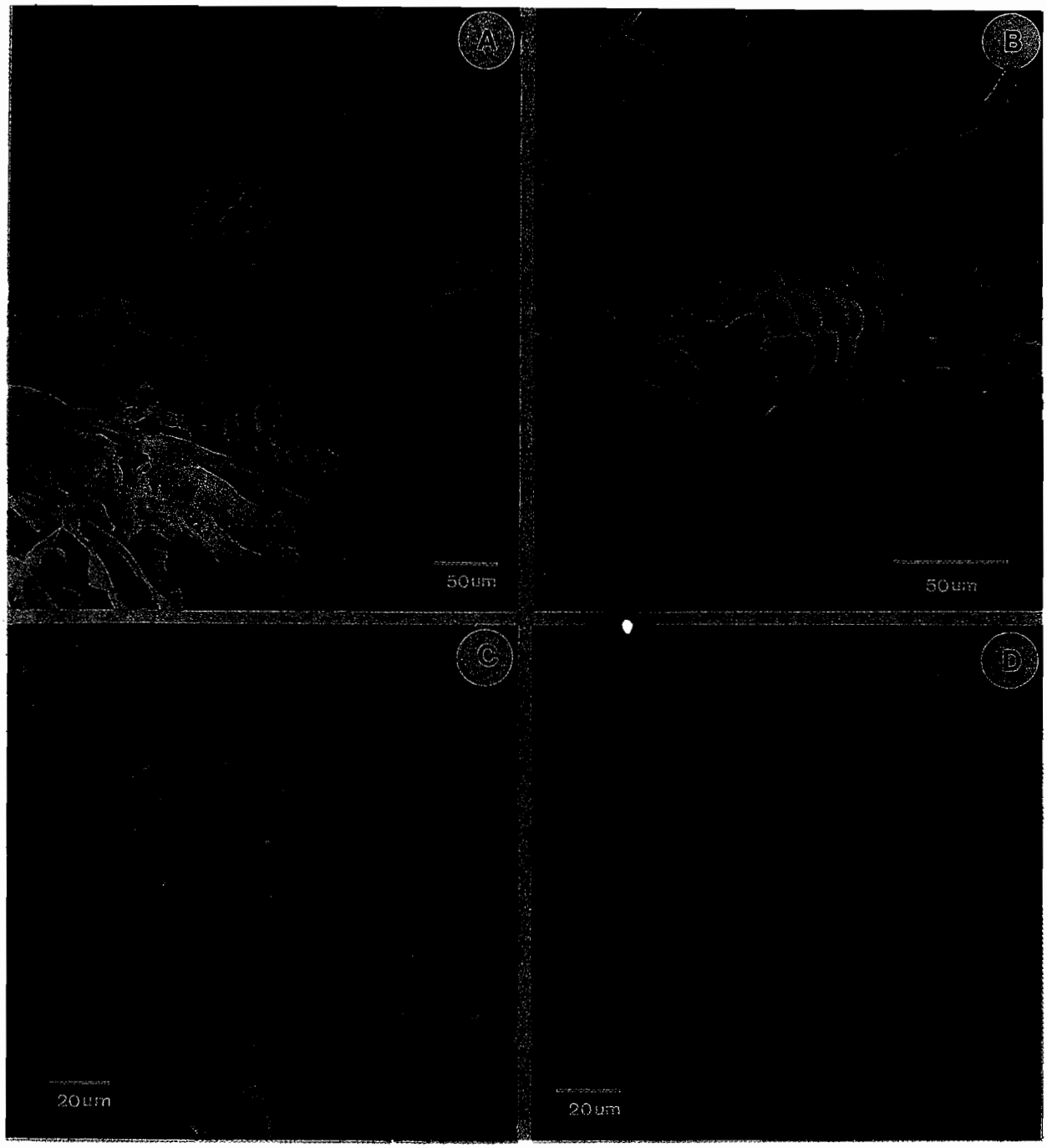



Fig. 4. Scanning micrograph of embryo of *Cym. sinense*. (A, B, C) 150 days after pollination and embryo of *Cym. ensifolium* var. *misericors* 190 days after pollination (D). The film-like layer embeded the embryo was broken after seed treated with 30 minutes ultrasonic wave (C, D).

# 木本植物幼年期及開花

張唯勤[1]、林崇熙[1]

植物器官可以由植物組織培養的方式來大量增殖，如根、枝條等等。而在花的增殖上，所有的例子皆需要經過營養器官的階段，再使其開花．在本實驗之中，利用綠竹（ *Bambusa oldhamii* ）的莖頂在人工的培養基中可以形成叢生芽體且可以發根形成小苗，經過 10 個月的繼代培養，出現試管內開花的現象。單獨將花序培養在相同的培養基中，花序可以在試管內增殖。以試管內之枝條及花序爲培植體誘得胚性癒傷組織及體胚，體胚可以在試管內發芽形成植株，花序誘導而來之體胚直接開花形成花序，花序在人工培養基中可增殖成叢生狀的花序。所得的花序放在花序增殖的培養基中亦可達到增殖的效果。將開花後之小植株移出，不論來源爲何，除少數的例子，大都能自基部長出新生營養枝條而不會死亡。

[1] 中央研究院植物研究所