行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 95-01-08-04

雪山隧道豎井對坪林台灣油杉自然保留區及周邊環境影響評估(1/3)

Evaluate the Environmental Impact of the Syueshan Tunnel Shaft on Pinglin Taiwan Keteleeria Nature Reserve

委託機關：林務局羅東林區管理處

執行機關：國立宜蘭大學

中 華 民 國 九 十 六 年 十 二 月

研 究 團 隊

計畫主持人

機關名稱：國立宜蘭大學
姓名：王兆桓　　職稱：教授　　電話：(03)9357400 轉 791
傳真：(03)9360521　　E-mail: wangandwen@yahoo.com.tw

計畫共同主持人

計畫執行機關	共同主持人	職　稱	電　　話
國立台灣大學	羅漢強	教授	(02)3366-4624
國立宜蘭大學	張章堂	教授	(03)9357400 轉 741

研究人員

序號	機　關　名　稱	單　位　名　稱	研 究 人 員	職　稱
1.	國立宜蘭大學	自然資源學系	王兆桓	教授
2.	國立台灣大學	森林環境暨資源學系	羅漢強	教授
3.	國立宜蘭大學	環境工程學系	張章堂	教授
4.	國立宜蘭大學	自然資源學系	黃　鶯	研究助理
5.	國立宜蘭大學	自然資源學系	蘇柏翰	兼任助理
6.	國立宜蘭大學	自然資源學系	林似俞	兼任助理
7.	國立宜蘭大學	自然資源學系	周玫利	兼任助理
8.	國立宜蘭大學	自然資源學系	羅英瑞	兼任助理
9.	國立宜蘭大學	自然資源學系	張馨尹	兼任助理
10.	國立宜蘭大學	自然資源學系	蘇文玉	兼任助理
11.	國立宜蘭大學	自然資源學系	王文慶	兼任助理
12.	國立宜蘭大學	自然資源學系	朱昱縈	兼任助理
13.	國立宜蘭大學	環境工程學系	馮雅梅	兼任助理
14.	國立宜蘭大學	環境工程學系	吳宜庭	兼任助理
15.	國立宜蘭大學	環境工程學系	林渤原	兼任助理
16.	國立宜蘭大學	環境工程學系	林家豪	兼任助理
17.	國立宜蘭大學	環境工程學系	林益增	兼任助理
18.	國立宜蘭大學	環境工程學系	林玉芳	兼任助理
19.	國立宜蘭大學	環境工程學系	袁嘉敏	兼任助理
20.	國立台灣大學	森林環境暨資源學系	鄒承志	兼任助理
21.	國立台灣大學	森林環境暨資源學系	南珈合	兼任助理
22.	國立台灣大學	森林環境暨資源學系	劉知妤	兼任助理

摘　　要

雪山隧道通車後，其車輛所排放的空氣污染物不易擴散到大氣中，需藉由隧道中抽風機將廢氣向外界抽引排放，將影響排放豎井口鄰近處之空氣品質。為瞭解營運期間通風豎井出口處之空氣品質現況、鄰近坪林台灣油杉自然保留區內之台灣油杉生長與健康狀況，以及豎井排氣之擴散情形，實有必要進行深入研究。

本研究採用林木外部樹冠健康指標、葉身內部構造之顯微觀察以及環境空氣污染之情形，以監測台灣油杉健康程度與環境受污染程度之變化情形，並評估兩者間之關係。在林木調查方面包括台灣油杉每木胸高直徑、樹高、枝下高、根部狀態、樹冠狀態、樹冠密度、樹冠透視度、樹冠稍枯、樹冠重疊狀況和活冠層比率，並計算林木健康分數後予與分級，以了解本研究區內台灣油杉健康程度分佈情形。在顯微鏡觀察方面，台灣油杉之葉，線形而扁平；其中肋貫穿全葉身；其下表皮具多數氣孔；葉肉上半部為柵狀組織，中部為向側緣走向之細胞，下半部為海綿組織。自坪林台灣油杉保留區及四堵苗圃選取樣株合計 30 株及對照樣株 4 株等，採取其葉片；另以與台灣油杉混生之 10 種闊葉樹各 1 株為對照，亦採取其葉片；製成橫切面薄片。在環境監測方面，本研究乃透過氣狀污染物之監測、粉塵濃度、酸沉降採樣與陰陽離子分析等資料，以判定雪山隧道之通風豎井排放廢氣進入大氣後，於本研究區內之濃度，並瞭解通車後排放豎井出口之廢氣濃度對研究區內台灣油杉之生長環境影響及背景空氣品質之調查。

結果顯示研究區內的台灣油杉的健康總分分級，目前只有 1 株列為不健康等級，其餘 265 株皆為正常，代表林分尚無立即衰退的徵兆。經顯微鏡觀察葉子的中肋、葉肉、下表皮及氣孔之構造，第一年結果顯示，以上各株之葉片皆屬正常，無任何外來化學傷害之跡象。第二年尚待持續觀察。長遠而言，仍需持續進行監測，以了解林分是否有漸進式的衰退現象、林分的生長量是否能補償枯死量的損失，以確定研究區內台灣油杉植群之健

康。

在環境監測結果方面，通過雪山隧道車流量於假日都較平常日高出許多，二月份車流量相當龐大， PM_{10}、CO、NO_x 與二氧化硫濃度皆隨著車流量增多而上升。

目前本研究區空氣品質受豎井排氣中粒狀污染物與氣狀污染物所影響皆屬於輕微。酸沉降雨水中陰離子，以 Cl^-、NO_3^-與 SO_4^{2-}離子濃度較為明顯；陽離子，以 Na^+與 NH_4^+離子濃度較為明顯，此地空氣品質已略受豎井排氣、海水飛沫、與種茶區施肥或境外移入之酸沈降物所影響。

以二氧化硫進行台灣油杉受空氣污染物影響評估測試時，五年生台灣油杉葉綠素含量隨二氧化硫濃度與曝露時間增加，而有降低趨勢，且皆較對照組台灣油杉葉綠素含量低。

【關鍵字】雪山隧道、台灣油杉、森林健康監測、空氣污染物

Abstract

The air pollutants discharged from the vehicles are not easy to disperse to the atmosphere in the long tunnel, such as Syueshan Tunnel, since it is a fixed semi-close environment. Generally, the air pollutants are discharged from the vertical shaft. The emitted pollutants however may affect the air quality and the plants, including the growth and health conditions of *Keteleeria davidiana* var. *formosana* Hayata, surrounding the vertical shaft. Therefore, it is very important to understand the influence of air pollutants emitted from vertical shaft of Syueshan Tunnel.

In this study, the tree health index variables, such as diameter, height, crown density, crown transparency, and crown dieback, were measured. Besides, the anatomic technology was used to investigate the leaf structure affected by air pollutants. Leaves of *Keteleeria davidiana* var. *formosana* are linear and flat; a midrib extends through the whole blade; there are many stomata on the lower epidermis; palisade tissues occur in the upper part of the blade, side wards orientated cells in the middle part and spongy tissues in the lower part. Leaves of *K. davidiana* var. *formosana* are collected from 30 individuals in Pin-Lin Reserve and Sz-Du Nursery, as well as 4 controlled trees. Besides, leaves sampled from each one tree of 10 hardwood species. Sections in cross direction of leaves are obtained and observed focusing at midrib, blade, and lower epidermis with stomata in microcopy. In addition, some pollutants, such as particulates, gas pollutants, acid deposition, and ion species, were measured at the surrounding of vertical shaft and the *Keteleeria davidiana* var.

formosana Hayata preservation area. By analyzing the relationship between the air quality and the growth and health characteristics of *Keteleeria davidiana* var. *formosana* Hayata, the influence of air pollutants emitted from Syueshan Tunnel can be established.

The results of the first year monitoring are revealed that there was only 1 out of 266 trees, ranked as un-healthy. Besides, the sample leaves of all collected trees are normal without any phenomenon of chemical damage from outside. The observations need further performance in the following years. Therefore, the forest in the study area would not decline immediately. But it is still necessary to continue monitoring in order to understand whether the stand will decline gradually or not. In the monitoring of the air quality, the concentrations of PM_{10}, CO, NO_x, and SO_2 were increasing with the increasing flow rate of traveling vehicles, especially on weekends or February. Analyzing the ingredients of the rainwater collected from study area, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+ and NH_4^+ had obvious higher concentrations than others. In the simulated test, the chlorophyll quantity of 5-year old *Keteleeria davidiana* var. *formosana* Hayata seedling will decrease as increasing the concentration of SO_2 and the exposure time.

Key words: Syueshan Tunnel, *Keteleeria davidiana* var. *formosana* Hayata, forest health monitoring, air pollutant.

目　　錄

研 究 團 隊 I

摘　　要 II

Abstract IV

目　　錄 VI

圖 目 錄 IX

表 目 錄 XV

壹、 前言 1

貳、 計畫目標 3

參、 材料與方法 4

一、 實施時間與地點 4

二、 研究方法 7

(一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測： 7

(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測： 12

(三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測： 13

(四) 評估台灣油杉健康程度與環境空氣污染間之關係： 15

肆、 結果與討論 16

第一部份：台灣油杉外部樹冠健康指標之監測結果 16

第二部份：台灣油杉葉身構造變化之監測結果 31

(一) 表層組織(Epidermis)： 31

(二) 葉肉(Mesophyll)： 32

(三) 維管束組織(Vascular tissue)： 33

第三部份: 坪林台灣油杉自然保留區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測結果 48

(一) 雪山隧道通風設施與廢氣排放情形之背景資料 48

1-1 國內外隧道空氣品質監測結果 48

1-2 通車前污染物濃度 50

1-2-1 通車前懸浮微粒(PM_{10})濃度 50

1-2-2 通車前一氧化碳(CO)濃度 52

1-2-3 通車前二氧化硫(SO_2)濃度 54
1-2-4 通車前氮氧化物(NOx)濃度 56
1-3 北宜公路污染物濃度監測 60
1-4 空氣穩定度評估資料 61
(二) 對坪林台灣油杉自然保留區環境受空氣污染情形監測之流程與工作 63
(三) 環境監測之結果 65
3-1 車流量監測結果 65
3-2 隧道內空氣品質監測結果 68
3-2-1 懸浮微粒(PM_{10})濃度 68
3-2-2 一氧化碳(CO)濃度 70
3-2-3 二氧化硫(SO_2)濃度 74
3-2-4 氮氧化物(NOx)濃度 79
3-3 豎井區與場址空氣品質監測結果 82
3-3-1 粒狀污染物濃度 82
3-3-2 氣狀污染物濃度 88
3-4 酸沉降監測結果 93
3-4-1 本年度四季之陰離子濃度 93
3-4-2 本年度四季之陽離子濃度 95
3-5 污染物對植物影響模擬結果 96
3-5-1 SO_2 對台灣油杉生長之影響 98
3-5-2 NOx 對台灣油杉生長之影響 98

伍、 結論與建議 100

一、 結論 100
(一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測 100
(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測 101
(三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測 101

二、 建議 103

陸、未來擬進行之工作內容 104

柒、參考文獻 105

一、 林木健康監測之參考文獻 105

二、 植物葉身構造監測之參考文獻 107

三、 空氣污染監測之參考文獻 107

附錄一：離子成分分析之檢量線 109

附錄二：期中報告審查會議辦理情形 117
附錄三：期末報告審查會議辦理情形 122

圖　目　錄

圖 3-1　坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井位置圖 5
圖 3-2　坪林台灣油杉自然保留區林木位置圖(28、29 林班) 6
圖 3-3　坪林台灣油杉 A 區林相外觀 7
圖 3-4　坪林台灣油杉 D 區林相外觀 7
圖 3-5　根部狀態判定圖 8
圖 3-6　冠層狀態判定圖 8
圖 3-7　樹冠密度示意圖(修改自 USDA Forest service) 9
圖 3-8　野外調查人員判識觀測位置示意圖 9
圖 3-9　樹冠透視度與樹冠密度判定依據標準照片 10
圖 3-10　樹冠重疊情形判定圖 11
圖 3-11　樹冠重疊情形評分依據 11
圖 3-12　濕沈降採樣器 15
圖 4-1-1　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑級分佈 17
圖 4-1-2　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高分佈 18
圖 4-1-3　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度分佈 20
圖 4-1-4　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度分佈 21
圖 4-1-5　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯分佈 22
圖 4-1-6　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木根部分級分佈 23
圖 4-1-7　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠狀況分級分佈 23
圖 4-1-8　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠重疊分級分佈 24
圖 4-1-9　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木活樹冠比率分數分佈 25
圖 4-1-10　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯分數分佈 25
圖 4-1-11　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數分佈 26
圖 4-1-12a　坪林國小台灣油杉 原樣木影像 27
圖 4-1-12b　坪林國小台灣油杉 分離影像 27
圖 4-1-12c　台大校園台灣油杉 原樣木影像 27
圖 4-1-12d　台大校園台灣油杉 分離影像 27
圖 4-1-12e　出水溪苗圃台灣油杉 原樣木影像 28
圖 4-1-12f　出水溪苗圃台灣油杉 分離影像 28
圖 4-1-12g　台灣油杉 D051 號 原樣木影像 28
圖 4-1-12h　台灣油杉 D051 號 分離影像 28
圖 4-1-12i　台灣油杉 D061 號 原樣木影像 29
圖 4-1-12j　台灣油杉 D061 號 分離影像 29

圖 4-1-12k　台灣油杉 C063 號 原樣木影像 29
圖 4-1-12l　台灣油杉 C063 號 分離影像 29
圖 4-1-12m　台灣油杉 B003 號 原樣木影像 30
圖 4-1-12n　台灣油杉 B003 號 分離影像 30
圖 4-1-12o　台灣油杉 A003 號 原樣木影像 30
圖 4-1-12p　台灣油杉 A003 號 分離影像 30
圖 4-2-1　台灣油杉葉橫切面之構造簡圖 31
圖 4-2-2　台灣油杉葉下表皮層及海綿組織構造放大簡圖 32
圖 4-2-3　台灣油杉出水溪 1 號_(20x)中肋 36
圖 4-2-4　台灣油杉出水溪 1 號_(20x) 下表皮及氣孔 36
圖 4-2-5　台灣油杉出水溪 2 號_(20x)中肋 36
圖 4-2-6　台灣油杉出水溪 2 號_(20x) 下表皮及氣孔 36
圖 4-2-7　坪林國小_(20x)中肋 37
圖 4-2-8　坪林國小_(40x)下表皮及氣孔 37
圖 4-2-9　台大_(20x)中肋 37
圖 4-2-10　台大_(20x)氣孔及樹脂管 37
圖 4-2-11　台灣油杉 A002_(20x)中肋 37
圖 4-2-12　台灣油杉 A002_(40x)下表皮及氣孔 37
圖 4-2-13　台灣油杉 A003_(20x)中肋 37
圖 4-2-14　台灣油杉 A003_(20x)下表皮及氣孔 37
圖 4-2-15　台灣油杉 A004_(20x)中肋 38
圖 4-2-16　台灣油杉 A004_(20x)下表皮及氣孔 38
圖 4-2-17　台灣油杉 A005_(20x)中肋 38
圖 4-2-18　台灣油杉 A005_(20x)下表皮及氣孔 38
圖 4-2-19　台灣油杉 A006_(20x)中肋 38
圖 4-2-20　台灣油杉 A006_(20x)下表皮及氣孔 38
圖 4-2-21　台灣油杉 A007_(20x)中肋 38
圖 4-2-22　台灣油杉 A007_(20x)下表皮及氣孔 38
圖 4-2-23　台灣油杉 A008_(20x)中肋 39
圖 4-2-24　台灣油杉 A008_(20x)下表皮及氣孔 39
圖 4-2-25　台灣油杉 A009_(20x)中肋 39
圖 4-2-26　台灣油杉 A009_(20x)下表皮及氣孔 39
圖 4-2-27　台灣油杉 A010_(20x)中肋 39
圖 4-2-28　台灣油杉 A010_(20x)下表皮及氣孔 39
圖 4-2-29　台灣油杉 A011_(20x)中肋 39

圖 4-2-30 台灣油杉 A011_(20x)下表皮及氣孔.....39
圖 4-2-31 台灣油杉 A012(20x)中肋.....40
圖 4-2-32 台灣油杉 A012_(20x)下表皮及氣孔.....40
圖 4-2-33 台灣油杉 A013_(20x)中肋.....40
圖 4-2-34 台灣油杉 A013_(20x)下表皮及氣孔.....40
圖 4-2-35 台灣油杉 A014_(20x)中肋.....40
圖 4-2-36 台灣油杉 A014_(20x)下表皮及氣孔.....40
圖 4-2-37 冇樟_(10x) 中肋.....40
圖 4-2-38 冇樟_(20x)上下表皮及葉肉.....40
圖 4-2-39 冇樟_(40x)下表皮及氣孔.....40
圖 4-2-40 紅楠_(20x)中肋.....41
圖 4-2-41 紅楠_(20x)上下表皮及葉肉.....41
圖 4-2-42 紅楠_(20x)下表皮及氣孔.....41
圖 4-2-43 紅楠_(20x)葉緣.....41
圖 4-2-44 西施花_(10x) 中肋.....41
圖 4-2-45 西施花_(20x)下表皮及氣孔.....41
圖 4-2-46 西施花_(40x)下表皮及氣孔.....41
圖 4-2-47 長尾柯_(10x)中肋.....41
圖 4-2-48 長尾柯_ (20x)上下表皮及葉肉.....41
圖 4-2-49 長尾柯_ (40x)下表皮及氣孔.....41
圖 4-2-50 台灣油杉 C037_ (20x)中肋.....42
圖 4-2-51 台灣油杉 C037_(20x)下表皮及氣孔.....42
圖 4-2-52 台灣油杉 C038_ (20x)中肋.....42
圖 4-2-53 台灣油杉 C038_(20x)下表皮及氣孔.....42
圖 4-2-54 台灣油杉 C050_ (20x)中肋.....42
圖 4-2-55 台灣油杉 C050_(20x)下表皮及氣孔.....42
圖 4-2-56 台灣油杉 C055_ (20x)中肋.....42
圖 4-2-57 台灣油杉 C055_(20x)下表皮及氣孔.....42
圖 4-2-58 台灣油杉 C056_ (20x)中肋.....43
圖 4-2-59 台灣油杉 C056_(20x)下表皮及氣孔.....43
圖 4-2-60 台灣油杉 C060_ (20x)中肋.....43
圖 4-2-61 台灣油杉 C060_(20x)下表皮及氣孔.....43
圖 4-2-62 台灣油杉 C067_ (20x)中肋.....43
圖 4-2-63 台灣油杉 C067_(20x)下表皮及氣孔.....43
圖 4-2-64 台灣油杉 C070_ (20x)中肋.....43

圖 4-2-65 台灣油杉 C070_(20x)下表皮及氣孔 43
圖 4-2-66 台灣油杉 C076_ (20x)中肋 44
圖 4-2-67 台灣油杉 C076_(20x)下表皮及氣孔 44
圖 4-2-68 台灣油杉 C077_ (20x)中肋 44
圖 4-2-69 台灣油杉 C077_(20x)下表皮及氣孔 44
圖 4-2-70 大葉楠_(10x)中肋 44
圖 4-2-71 大葉楠_ (20x)上下表皮及葉肉 44
圖 4-2-72 大葉楠_ (40x)下表皮及氣孔 44
圖 4-2-73 楓香_(10x)中肋 44
圖 4-2-74 楓香_ (20x)上下表皮及葉肉 44
圖 4-2-75 楓香_ (40x)下表皮及氣孔 44
圖 4-2-76 梣木_(10x)中肋 45
圖 4-2-77 梣木_ (20x)上下表皮及葉肉 45
圖 4-2-78 梣木_ (40x)下表皮及氣孔 45
圖 4-2-79 台灣油杉 D003_ (20x)中肋 45
圖 4-2-80 台灣油杉 D003_(20x)下表皮及氣孔 45
圖 4-2-81 台灣油杉 D051_ (20x)中肋 45
圖 4-2-82 台灣油杉 D051_(20x)下表皮及氣孔 45
圖 4-2-83 台灣油杉 D052_ (20x)中肋 45
圖 4-2-84 台灣油杉 D052_(20x)下表皮及氣孔 45
圖 4-2-85 台灣油杉 D054_ (20x)中肋 46
圖 4-2-86 台灣油杉 D054_(20x)下表皮及氣孔 46
圖 4-2-87 台灣油杉 D055_ (20x)中肋 46
圖 4-2-88 台灣油杉 D055_(20x)下表皮及氣孔 46
圖 4-2-89 台灣油杉 D056_ (20x)中肋 46
圖 4-2-90 台灣油杉 D056_(20x)下表皮及氣孔 46
圖 4-2-91 台灣油杉 D060_ (20x)中肋 46
圖 4-2-92 台灣油杉 D060_(20x)下表皮氣孔 46
圖 4-2-93 大頭茶_(10x)中肋 47
圖 4-2-94 大頭茶_ (20x)下表皮及葉肉 47
圖 4-2-95 大頭茶_ (40x)下表皮及氣孔 47
圖 4-2-96 白匏仔_(10x)中肋 47
圖 4-2-97 白匏仔_ (20x) 47
圖 4-2-98 白匏仔_ (40x) 上下表皮、葉肉及氣孔 47
圖 4-2-99 裡白饅頭果 _(10x)中肋 47

圖 4-2-100　裡白饅頭果 _ (20x)上下表皮及葉肉 47
圖 4-2-101　裡白饅頭果_ (40x)下表皮及氣孔 47
圖 4-3-1-1　雪山隧道通風設施示意圖 48
圖 4-3-1-2　雪山隧道通車前各測點懸浮微粒背景濃度值 51
圖 4-3-1-3　隧道口與各避車道測點之懸浮微粒濃度變化 52
圖 4-1-2-4　雪山隧道通車前各測點懸浮微粒濃度逐月變化 52
圖 4-3-1-5　雪山隧道通車前各測點一氧化碳背景濃度值 53
圖 4-3-1-6　隧道口與各避車道測點之一氧化碳濃度變化 54
圖 4-3-1-7　雪山隧道通車前各測點一氧化碳濃度逐月變化 54
圖 4-3-1-8　雪山隧道通車前各測點二氧化硫背景濃度值 55
圖 4-3-1-9　隧道口與各避車道測點之二氧化硫濃度變化 56
圖 4-3-1-10　雪山隧道通車前各測點二氧化硫濃度逐月變化 56
圖 4-3-1-11　雪山隧道通車前各測點氮氧化物背景濃度值 57
圖 4-3-1-12　隧道口與各避車道測點之氮氧化物濃度變化 58
圖 4-3-1-13　雪山隧道通車前各測點 NO 濃度逐月變化 58
圖 4-3-1-14　雪山隧道通車前各測點 NO2 濃度逐月變化 59
圖 4-3-1-15　雪山隧道通車前各測點 NOx 濃度逐月變化 59
圖 4-3-1-16　北宜公路污染物濃度監測 61
圖 4-3-2-1　研究流程圖 64
圖 4-3-3-1　北上台北逐月假日與非假日之每日平均車流量 66
圖 4-3-3-2　南下宜蘭逐月假日與非假日之每日平均車流量 67
圖 4-3-3-5　本年度北上懸浮微粒(PM10)平均濃度 69
圖 4-3-3-6　本年度南下懸浮微粒(PM10)平均濃度 69
圖 4-3-3-7　本年度非假日與假日 PM10 平均濃度測值 70
圖 4-3-3-8　非假日 CO 逐時測值 71
圖 4-3-3-9　假日(六)CO 逐時測值 71
圖 4-3-3-10　假日(日)CO 逐時測值 72
圖 4-3-3-11　本年度各季北上車道之 CO 濃度測值 72
圖 4-3-3-12　本年度各次南下車道之 CO 濃度測值 73
圖 4-3-3-13　本年度非假日與假日北上 CO 濃度測值 73
圖 4-3-3-14　本年度非假日與假日南下 CO 濃度測值 74
圖 4-3-3-15　非假日 SO2 逐時測值 75
圖 4-3-3-16　假日(六)SO2 逐時測值 76
圖 4-3-3-17　假日(日)SO2 逐時測值 76
圖 4-3-3-18　本年度各次北上車道之 SO2 濃度測值 77

圖 4-3-3-19　本年度各次南下車道之 SO2 濃度測值 77
圖 4-3-3-20　本年度非假日與假日南下 SO2 濃度測值 78
圖 4-3-3-21　本年度非假日與假日北上 SO2 濃度測值 78
圖 4-3-3-22　非假日 NOx 逐時測值 79
圖 4-3-3-23　假日(六)NOx 逐時測值 80
圖 4-3-3-24　假日(日)NOx 逐時測值 80
圖 4-3-3-25　本年度各次北上車道之 NOX 濃度測 81
圖 4-3-3-26　本年度各次南下車道之 NOX 濃度測 81
圖 4-3-3-27　本年度非假日與假日南下 NOX 濃度測值 82
圖 4-3-3-28　本年度非假日與假日北上 NOX 濃度測值 82
圖 4-3-3-29　第一季空氣中粒狀物濃度 83
圖 4-3-3-30　第二季空氣中粒狀物濃度 85
圖 4-3-3-31　第三季空氣中粒狀物濃度 86
圖 4-3-3-32　第四季空氣中粒狀物濃度 87
圖 4-3-3-33　第一季各監測點污染物濃度之比較 91
圖 4-3-3-34　第二季各監測點污染物濃度之比較 92
圖 4-3-3-35　第三季各監測點污染物濃度之比較 92
圖 4-3-3-36　第四季各監測點污染物濃度之比較 93
圖 4-3-3-37　陰離子濃度測試結果 94
圖 4-3-3-38　陽離子濃度測試結果 96
圖 4-3-3-39　實驗測試用台灣油杉 97
圖 4-3-3-40　SO2 對台灣油杉生長之影響 97
圖 4-3-3-41　各種 SO2 濃度對台灣油杉生長之影響 98
附圖 1-1　氟離子分析之檢量線 110
附圖 1-2　氯離子分析之檢量線 110
附圖 1-3　亞硝酸根離子分析之檢量線 111
附圖 1-4　溴離子分析之檢量線 111
附圖 1-5　硝酸根離子分析之檢量線 112
附圖 1-6　磷酸根離子分析之檢量線 112
附圖 1-7　硫酸根離子分析之檢量線 113
附圖 1-8　鋰離子分析之檢量線 113
附圖 1-9　銨離子分析之檢量線 114
附圖 1-10　鈉離子分析之檢量線 114
附圖 1-11　鉀離子分析之檢量線 115
附圖 1-12　鈣離子分析之檢量線 115

附圖 1-13　鎂離子分析之檢量線 116

表　目　錄

表 3-1　坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井間之距離 4
表 4-1-1　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑統計 16
表 4-1-2　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高統計 18
表 4-1-3　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠比統計 19
表 4-1-4　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度統計 20
表 4-1-5　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度統計 21
表 4-1-6　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯統計 22
表 4-1-7　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數統計 26
表 4-2-1　台灣油杉及其生育地上優勢之代表性闊葉樹種葉片構造觀察結果 34
表 4-3-1-1　雪山隧道各豎井廢氣排放情形推估表 50
表 4-3-1-2　雪山隧道通車前各污染物監測濃度 60
表 4-3-1-3　穩定度分類表 62
表 4-3-1-4　輻射量與日照強度之關係 62
表 4-3-1-5　四季之穩定度評估 62
表 4-3-2-1　實驗參數表 63
表 4-3-3-1　第一季空氣中粒狀物濃度 83
表 4-3-3-2　第二季空氣中粒狀物濃度 84
表 4-3-3-3　第三季空氣中粒狀物濃度 86
表 4-3-3-4　第四季空氣中粒狀物濃度 87
表 4-3-3-5　第一季各監測點污染物濃度之比較 89
表 4-3-3-6　第二季各監測點污染物濃度之比較 90
表 4-3-3-7　第三季各監測點污染物濃度之比較 90
表 4-3-3-8　第四季各監測點污染物濃度之比較 90
表 4-3-3-9　陰離子濃度測試結果 94
表 4-3-3-10　陽離子濃度測試結果 95
表 4-3-3-11　空氣污染物的來源及影響 99

壹、 前言

台灣油杉(*Keteleeria davidiana* var. *formosana*)，屬松科，油杉屬(Li and Keng, 1994)，天然生育地分佈僅限於台灣南北兩端。金平亮三(1936)曾經指出台灣油杉原始分佈較今廣泛，在 1900 年左右曾經有大量的伐採利用。行政院農業委員會在民國七十五年公告了「坪林台灣油杉自然保留區」，面積 34.92ha，為台灣地區以自然保育為目的所設立之保護(留)區之一，因此吾人監測其在生育地上的健康狀態之研究至為重要。

空氣污染造成林木健康損傷的類似議題在歐美曾經發生過，許多歐洲國家自 1980 年代，在”長距離越界空氣污染會議”與”聯合國歐洲經濟委員會”的建議下，陸續進行大面積的森林健康狀況調查，以瞭解其受空氣污染的影響情形(Kohl et al., 1994)。美國自 1990 年基於制訂相關法令與政策的需要，由林務署與環保機關共同發展監測計畫，採取大規模取樣，進行國家森林生態系健康的監測，由各州或各區域提供調查報告，以瞭解森林生態系現況、變化和長期趨勢的資訊(Conkling and Byers, 1993；Alexander and Palmer 1999)。美國更於 1999 年將森林健康監測(FHM)併入森林資源調查與分析(FIA)的計畫中，並依據 FHM 的取樣設計和調查時間間隔來修改，以強化 FIA 的調查方式(USDA Forest Service 2002)。目前森林健康監測的對象，不僅包括大面積的森林，亦可以針對都市的小面積森林或行道樹(USDA Forest Service 2006)。

雪山隧道通車後車流量遽增，每日可超過三萬輛車次，其車輛所排放的空氣污染物藉由抽風機將廢氣經由豎井向外排放，污染物擴散大氣中，可能會以化學方式影響其周圍生物相。坪林台灣油杉自然保留區位於隧道豎井西南方，當冬季期間，盛行東北季風，極易將污染物攜至坪林台灣油杉自然保留區，此外，鄰近 9 號公路上汽機車排放空氣污染物，也可能降落到台灣油杉植株之樹冠層內。研究區內的台灣油杉樹齡較高，是否會嚴

重受到影響，值得進行台灣油杉健康程度與空氣污染程度間關係之監測。

排放廢氣中之一氧化氮及二氧化氮為主要且會危害植物之空氣污染物(李貽華和徐慈鴻，1996)。遭氮氧化物危害的葉片，通常葉間會黃化並呈現條狀或斑紋狀現象，且葉片會變乾而脫落(孫岩章和謝煥儒，1998)。懸浮微粒與落塵則因受重力作用而沉降，對林木及綠地直接造成衝擊，若是落於葉面則干擾光合作用等影響(許博銘，2004)。另高濃度之二氧化硫則會在葉片呈現急性病徵的傷害，對植物會造成不利的影響(陳帥如，2004)。

汽車之排出廢氣成分為碳、氮、磷、硫等元素之氣態氧化物；當大氣中此類氧化物濃度較高時，則依擴散原理，經過氣孔進入葉肉空隙，易和水分子結合，最後產生亞硫酸、亞硝酸及碳酸、磷酸等附著細胞上，進而降低葉肉組織、細胞之 pH 值，乃至殺死細胞。如此病變則首先發生在氣孔區，經過解剖葉片，可以顯微鏡輕易觀察辨識；嚴重時，以肉眼即可辨認。即使污染物之濃度較低時，其對葉片之正常生理亦有妨害，進而間接影響樹木之健康。一般而言，長期觀察樹木之生長量，包括高生長及直徑生長，可作為健康程度變化之指標。

本研究在環境監測方面包括：(1)經由實地調查與監測，以瞭解雪山隧道營運期間排氣豎井鄰近處之空氣品質與台灣油杉生長環境之關係。(2)分析坪林台灣油杉自然保留區內之酸沉降之化學微粒成份，以瞭解廢氣之微粒成份對研究區內土壤與台灣油杉之生長影響。(3)利用監測與分析所得之各項污染物濃度，建立雪山隧道營運期間，研究區之環境背景資料庫。

本研究除了對研究區台灣油杉樹冠健康狀況和環境受空氣污染情形進行監測外，同時也進行台灣油杉葉身構造變化之監測。利用監測與分析所得之台灣油杉樹冠健康指標、葉身構造、以及各項污染物濃度，建立北宜高速公路雪山隧道營運期間，研究區之林木與環境背景資料庫。瞭解雪山隧道營運期間排氣豎井鄰近處之空氣品質與坪林台灣油杉自然保留區生長環境之關係，並評估台灣油杉健康程度與環境空氣品質間之關係。

貳、 計畫目標

為評估雪山隧道通車後，其豎井排放的廢氣對坪林台灣油杉自然保留區之影響，特依據林木外部樹冠健康指標、葉身內部構造之顯微觀察以及環境空氣污染之情形，監測台灣油杉健康程度之變化與環境受污染之程度，並評估兩者間之關係，所得結果可供經營管理者參考。

參、 材料與方法

一、 實施時間與地點

全程計畫實施期間：從民國 95 年 12 月 01 日至 98 年 11 月 30 日。坪林台灣油杉自然保留區位置如圖 3-1 所示，圖 3-2 顯示該自然保留區內天然林的林木位置圖，圖 3-3、圖 3-4 顯示坪林台灣油杉的林相外觀。坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井間之距離如表 3-1 所示，A 區、B 區和 C 區是天然林靠近 1 號豎井，相隔距離分別為 4,357，4,130 和 3,720m，而 D 區為人工林靠近 3 號豎井，僅相距 658m。本研究亦於民宅(天佛禪寺)設置空污取樣，其位於 A 區與 1 號豎井間，距離 1 號豎井為 3,598m。豎井 1 號、2 號和 3 號的高程分別為 700m、500m 和 500m。

表 3-1 坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井間之距離

樣區	高程	方位	豎井 1（公尺）	豎井 2（公尺）	豎井 3（公尺）
A	400	西北	4357	6034	8930
B	600~500	東南	4130	4817	7265
C	600~400	東北	3720	3793	6008
D	500	北	6618	3887	658
天佛禪寺	400	北	3598	5295	8320

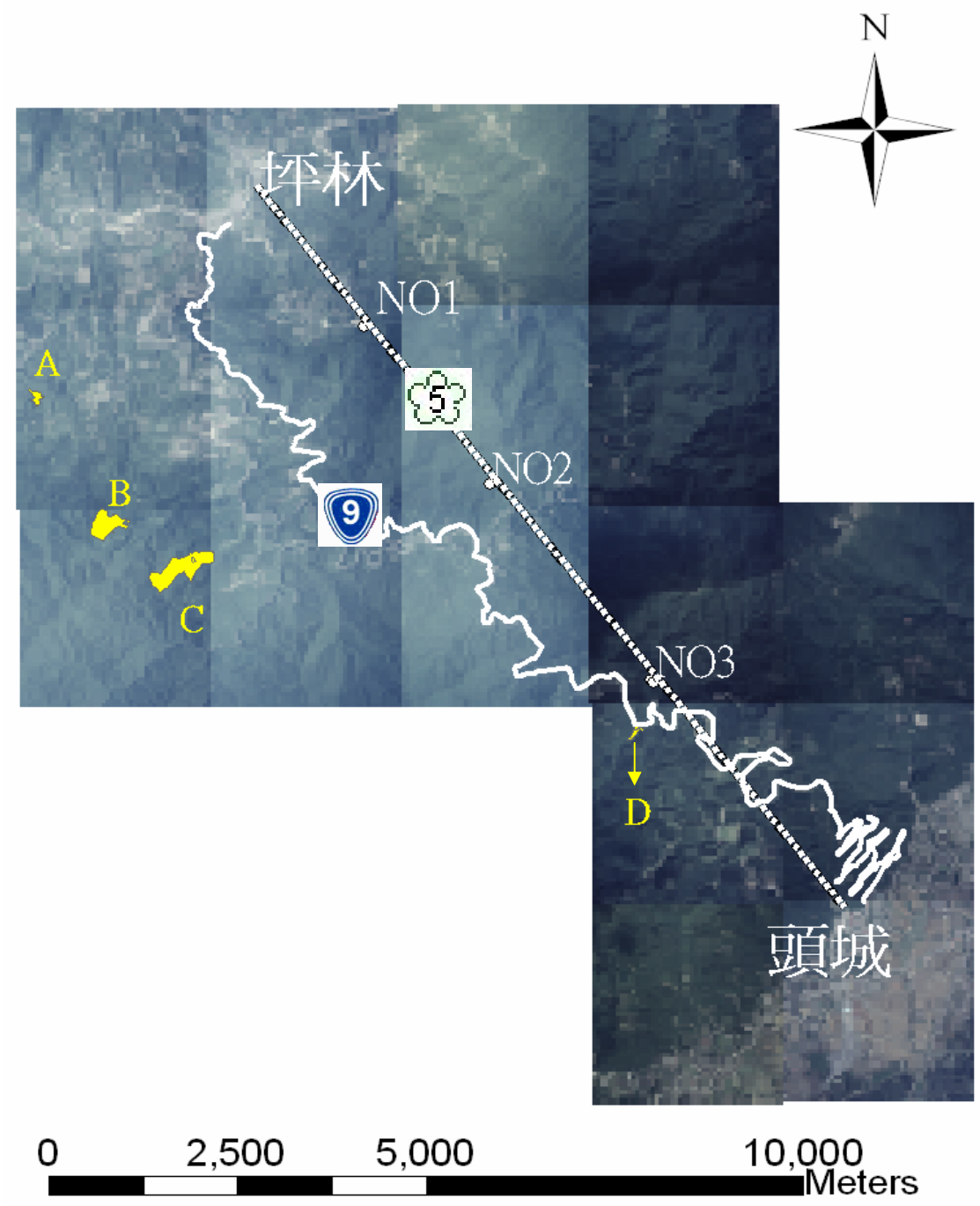


圖 3-1 坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井位置圖

註：A、B、C：天然林區；D：人工林區

NO1：1 號豎井；NO2：2 號豎井；NO3：3 號豎井

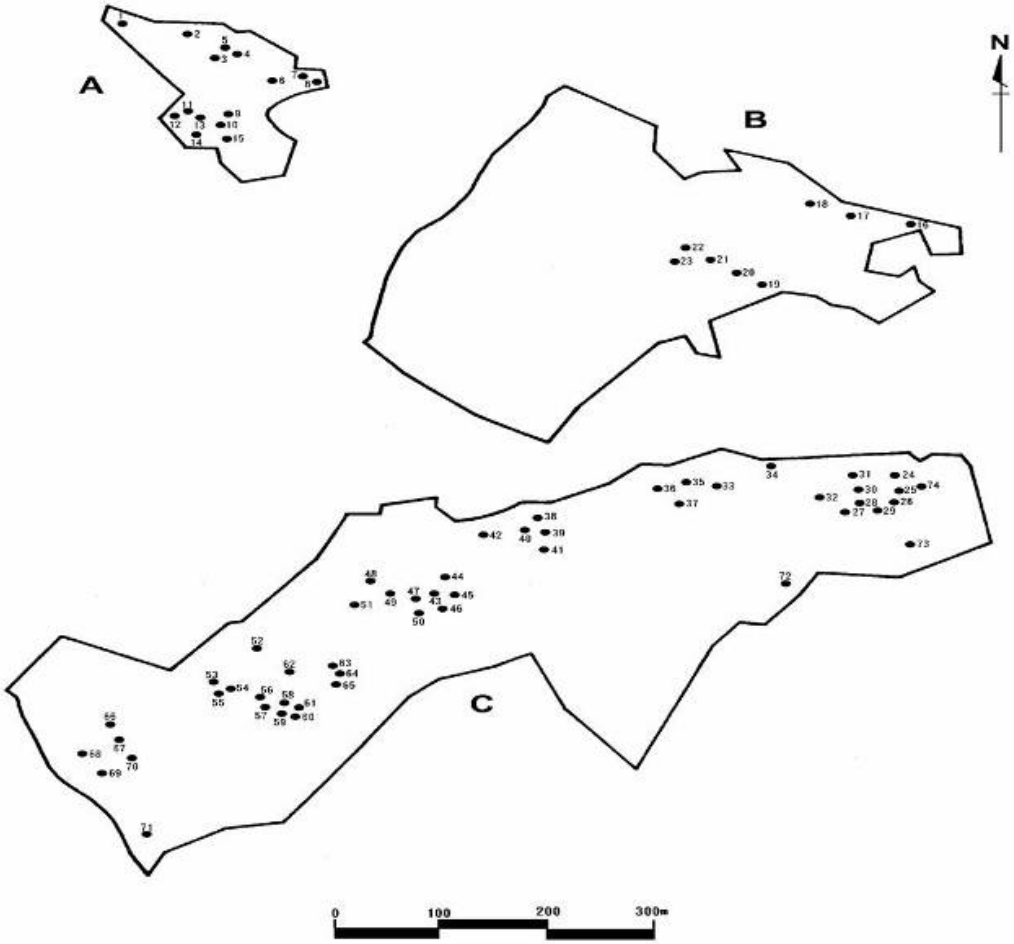


圖 3-2 坪林台灣油杉自然保留區林木位置圖(28、29 林班)

圖 3-3 坪林台灣油杉 A 區林相外觀

圖 3-4 坪林台灣油杉 D 區林相外觀

二、 研究方法

(一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測：

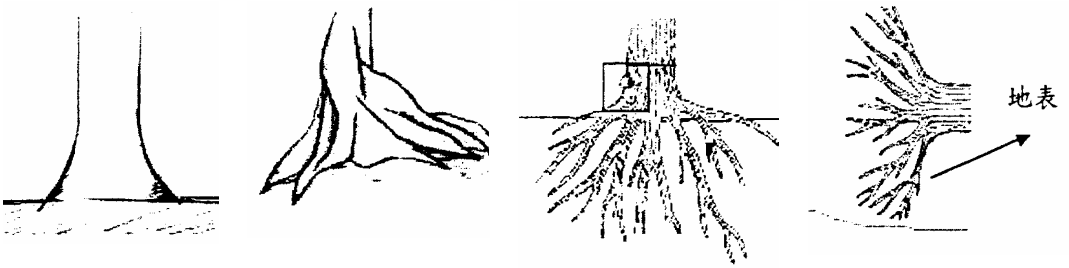
1. 包括國內外常用的樹冠狀況變數：每年每木調查項目包含一般調查常有的胸徑、樹高、枝下高外，還包括國內外常用的樹冠狀況變數(例如：樹冠密度、樹冠透視度、樹冠梢枯)，以監測樹冠健康指標的變化陳朝圳(2006)。

(1) 胸高直徑(DBH)：以胸徑輪尺或直徑捲尺於樹高 1.3m 地方測定，直徑生長量可做為林木健康指標的重要解釋變數，長期監測時可利用直徑與樹高的關係來查看林木是否有特殊異常狀況。

(2) 樹高：以測高器量測，可根據調查之樹高基本資料作為一項重要變數，利用不同年份所調查之數據，看出林木之生長勢，監測林木之健康狀態。

(3) 根部：依根部受害情形的不同，分為以下 4 級。

3：正常無損傷(根系完全埋在土中)。
2：根部裸露但無損傷(板根、氣根類等，只要根系裸露出地面亦算)。
1：裸根有損害(板根、氣根類等，只要根系裸露出地面有損傷情形，例如磨損、病害、天然災害造成等)。
0：根部死亡。

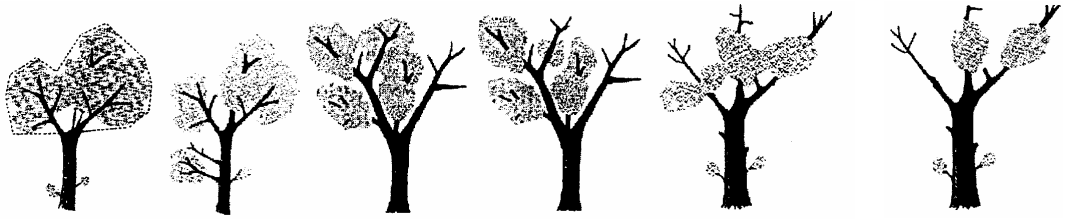


3：根部完整　2：板根或氣根　1：根部受傷　0：根部死亡

圖 3-5 根部狀態判定圖

(4) 冠層狀態(受生長季節或病害影響)：活冠層以上的落葉情形，並依照不同落葉情形給予級分。

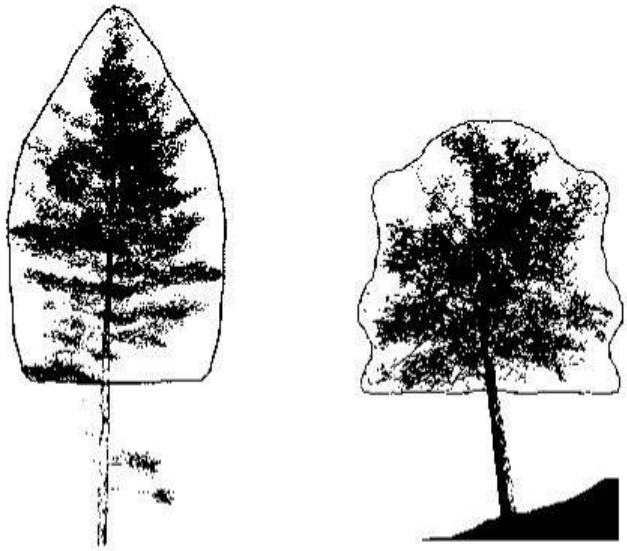
6：無落葉　5：落葉少於 25%　4：25-50%落葉　3：51-75%落葉
2：76-90%落葉　1：超過 90%落葉　0：林木枯死



無落葉　落葉少於 25%　25-50%落葉　51-75%落葉　76-90%落葉　超過 90%

圖 3-6 冠層狀態判定圖

(5) 樹冠密度：依調查比例所示，95%=10，5%=1，樹冠枯死=0。為光線無法穿透部分之樹冠面積的百分比，包括林木側枝以及樹冠葉子部分，即全樹冠視域之林木側枝和葉的面積百分比。



樹冠密度 55%　　樹冠密度 65%
樹冠稍枯　0%　　樹冠稍枯　5%

圖 3-7 樹冠密度示意圖(修改自 USDA Forest service)

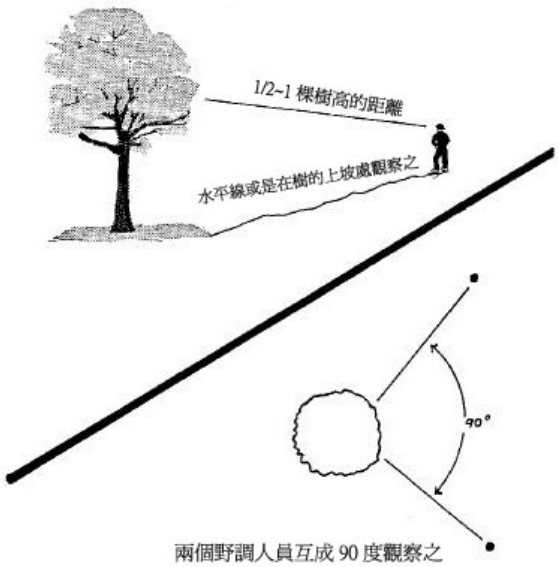


圖 3-8 野外調查人員判識觀測位置示意圖
（修改自 USDA Forest service）

(6) 樹冠透視度：5%=10，95%=1，樹冠枯死=0。觀測方法類似於樹冠密度，為活樹冠、正常有葉透光部分百分比，扣除林木側枝及主幹，而樹冠透視度與林木活力有強烈的相關性。美國國家森林生態系健康的監測，對於樹冠透視度的測量目前無法由儀器直接測量，採取視覺觀測對照透明卡判定。

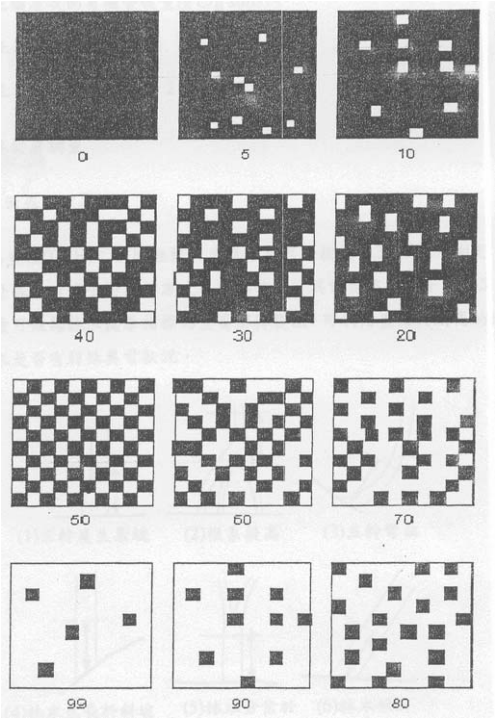


圖 3-9 樹冠透視度與樹冠密度判定依據標準照片

資料來源：
http://www.icp-forests.org/pdf/manual2b.pdf

(7) 樹冠重疊情形：對每個活的或枯死的林木統計林木冠層邊綠部份重疊的數量，包含非樣點中的林木，且不考慮鄰近林木是中間的、抑制、或枯死，觀測方法將冠層切割成為四等分，則依據每一等分不同的覆蓋情形給予不同的評分，其評分標準如下：

上層木- 6
下層木- 5：與鄰木樹冠重疊小於 1/4
4：與鄰木樹冠重疊等於 1/4 至小於 1/2
3：與鄰木樹冠重疊等於 1/2 至小於 3/4
2：與鄰木樹冠重疊等於 3/4 至小於 1
1：樹冠完全被覆蓋
0：林木枯死

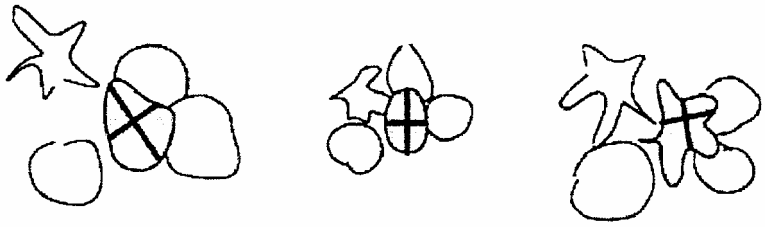


圖 3-10 樹冠重疊情形判定圖

其評分依據如下圖：

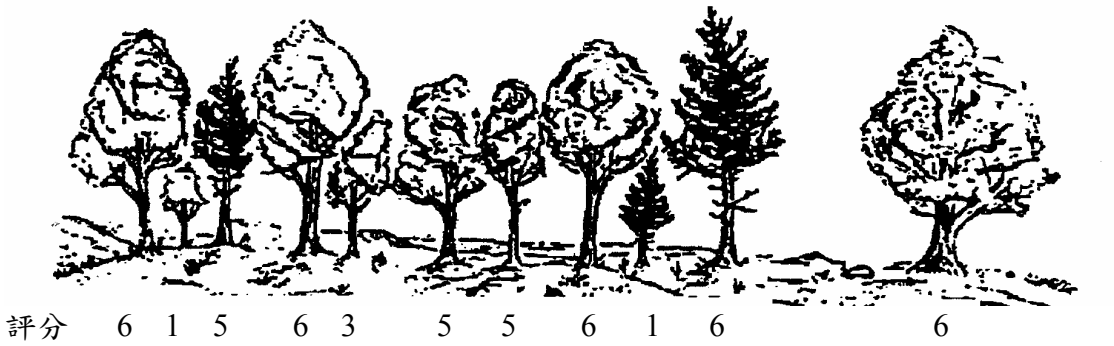


圖 3-11 樹冠重疊情形評分依據

(8) 活冠層比率：活冠層比的計算方法林木實際總長度視為 y，活冠層長度視為 x，將 x 除以 y 乘以 100 就可得到活冠層比率。為活冠長佔全樹高的比例，此變數易顯現出林木活力，且可間接了解胸徑生長。

8：91-100%	7：76-90%	6：61-75%
5：46-60%	4：31-45%	3：16-30%
2：1-15%	1：完全落葉但無死亡	0：枯死

(9) 樹冠梢枯：以整株林木的稍枯佔整個冠層的比例，發生於橫向枝稍末端持續朝向樹幹或由樹頂向下縱向的枯死，常出現在樹冠上半部和外部，樹冠稍枯是林木衰退徵兆敘述的最佳特徵。

7：無	6：1-15%	5：16-30%
4：31-45%	3：46-60%	2：61-75%
1：76-90%	0：91-100%	

分數總合為 3+6+10+10+6+8+7=50，健康度最佳者為 50 分，最差為 0 分，並將總分劃分為 6 個等級，41-50 分為很健康，31-40 分為健康，21-30 分為普通，11-20 分產生劣化情形，1-10 分為不健康，0 分為林木呈現枯死狀態。

2. 選擇視野良好的樣木，視天氣狀況不定期拍攝林木樹冠外部狀況，進行監測與比對。本研究影像分離的對象是選擇視野良好的樣木，因此樹高較高時必需選背景影像差異較大的角度拍攝。目前本研究是以影像編輯軟體作影像分離，所花人工較多，未來應增加程式模組協助樹木和背景的區分。

(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測：

1. 參考坪林台灣油杉自然保留區之方位及海拔高選取約 30 株樣木為主要調查對象，分別在三年期間內，定期從樣木採取多數生長旺盛之枝條，並以顯微鏡觀察其葉身構造。坪林台灣油杉經過三年累計數據之比較，可以瞭解台灣油杉樣木健康狀況之變化，主要變項是三年內先後空氣品質可能累積之負面效應。
2. 另以健康的台灣油杉孤立木(例如：羅東林區管理處轄區內出水溪苗圃、台灣大學校園內台灣油杉、坪林國小校園內台灣油杉)為對照，試將對照組與坪林台灣油杉個體間和環境間差異忽略，可作解剖學上質性比較，但不作試驗設計統計上之對照。
3. 主要還是在監測坪林台灣油杉葉部的變化，因為這是一個連續性的監

測，由它變化的趨勢即可能看出是否受到影響。因此，對照組的樣本也不必要多，集中絕大部分的工作量在研究區內的樣木。

4. 如果說光學顯微鏡是相對巨觀（20μm 以上），電子顯微鏡是相對微觀（0.01μm 以下）。本計畫以先確定巨觀的可能傷害為優先，後續再嘗試升級探討微觀資訊。

5. 一般而言，不同樹種對空氣污染有不同程度之耐抗性。目前已知的研究，在控制密閉空間內特定成分之空氣污染，對若干不同行道樹種葉肉有傷害。然而對台灣油杉林分內不同種之闊葉樹的傷害，尚待研究。因此，本研究在區內選擇一塊台灣油杉與闊葉樹作對照，同時監測闊葉樹之影響。

(三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測：

1. 將嘗試收集國工局與其他單位之監測資料並彙整，以利對照通車前後之差異性。

2. 於雪山隧道排氣豎井鄰近處與坪林台灣油杉自然保留區內架設監測點，並規劃每季採樣一次。本計劃進行逐季採樣，每季採樣樣品數與連續監測數據應可滿足評估與分析，而在人力與時間足夠下亦可在規劃之採樣時間外進行機動採樣，使監測與分析數據更為完善。

3. 本計劃將進行逐季採樣，而每季採樣之監測時間約需三天，每季樣品數應可滿足評估與分析。酸沉降採樣器將固定放置採樣處，並於規劃時間內收樣並帶回實驗室進行水溶性離子分析；另粒狀污染物與氣狀污染物監測與採樣時間皆按環保署規定辦理，並蒐集其他單位之監測數據，以利比對監測與分析數據之準確性。

4. 每次採樣使用包括：總懸浮微粒、懸浮微粒、細懸浮微粒、酸沈降、一氧化碳、氮氧化合物、二氧化硫與臭氧等採樣設備，並進行後續相關重要項目之分析。

5. 本研究規劃於台灣油杉自然保留區架設酸沉降採樣器，此採樣器可自

動收集非下雨天與雨天之樣本，以利分析不同氣候型態下之空氣品質，並評估對植物的影響。NOx ＋ H_2O 化合成 HNO_2 不論發生在葉肉內，或在大氣中形成酸雨，再降落台灣油杉樹冠，滲入葉肉內，都會對葉肉造成相同傷害，其差別只是發生的時間點。

6. 本研究使用之採樣設備如下:

TSP 採樣器係採用美國 General Metal 公司的高流量採樣器，校正器係採用美國 Andersen 公司的校正器及其附件，由空氣吸引部、濾紙固定器、流量測定部及保護器(shelter)所構成。濾紙係採用美國 Gelman 公司的 Type A/E 8"*10"玻璃纖維濾紙及美國 Whatman 公司 Type QAT-UP 的 8"*10"石英濾紙。

PM_{10} 採樣器係採用日本 Kimoto 公司及美國 Andersen 公司的 PM_{10} 懸浮微粒(粒徑小於 10μm)採樣器，校正器係採用美國 Andersen 公司之校正器與其附件。濾紙係採用美國 Gelman 公司的 Type A/E 8”×10”玻璃纖維濾紙及美國 Whatman 公司 Type QAT-UP 8”×10”石英濾紙。採樣時控制流量在 1.1～1.7m^3/min 內於短時間或連續二十四小時採集空氣中粒狀污染物。PM_{10} 採樣器與高流量總懸浮微粒（TSP）空氣採樣器唯一的差別在於必須在入口處加裝粒徑分離採樣頭，以避免粒徑大於 10 μm 之微粒進入而被收集。

酸沉降採樣設備如圖 3-12 所示，計有感應式雨水採樣器、酸鹼值測定計及磅秤、雨量計等，用以採集濕沈降樣品，並於現場測定所採集樣品之 pH 值。當降雨時，感應器表面潮溼後，儀器感應作動而打開三角蓋，從而使雨水收集桶與大氣接觸，開始採樣。當降雨停止時，感應器自動加熱使其表面乾燥，則三角頂蓋重新將接水承斗覆蓋。總降雨時數可由計時器記錄顯示。

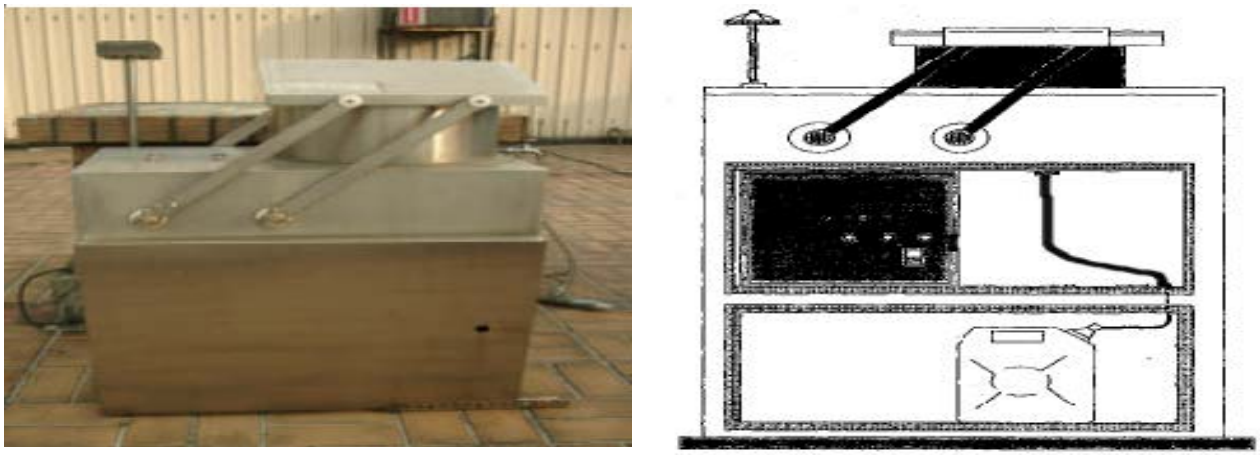


圖 3-12 濕沈降採樣器

(四) 評估台灣油杉健康程度與環境空氣污染間之關係：

本計畫的三項研究看似獨立，其實是相關的，將來可以採用定量和定性的分析，以瞭解三項監測結果的相關性。空氣污染對樹木造成健康傷害的影響常需要較長的時間觀測。本計畫所採用的方法，比較可以早期發現病徵。坪林台灣油杉自然保留區如有受到空氣污染影響的話，本計畫三年研究應該可以看到變化。結合前述監測結果，採用統計分析，以評估雪山隧道豎井對坪林台灣油杉自然保留區之影響，本研究結果亦可提供將來在該區域後續監測的建議。

肆、 結果與討論

第一部份：台灣油杉外部樹冠健康指標之監測結果

於冬季林木生長停滯時期，進行森林測計的調查工作。完成 A、B、C、D 等 4 區的立木胸高直徑(DBH)、樹高(H)、枝下高(HCB)的調查工作，其中 A、B、C 等 3 區為天然林，D 區為人工林。依據美國森林健康監測之建議，於夏末初秋之季進行林木健康調查，本研究調查項目包括根部、冠層狀態、樹冠密度、樹冠透視度、樹冠重疊情形、活冠層比率和樹冠梢枯(陳朝圳，2006)，並將分數總合為健康分數。各項調查分析結果如下：

表 4-1-1 為各區台灣油杉樣木胸徑統計，其中以 D 區人工林的樣木株數為最多，但其胸徑的平均值與標準差則為各區中最小的。反之，天然林 B 區的樣木株數最少，其胸徑的平均值與標準差卻居各區之首。天然林 A 區亦有類似 B 區的情況，除樣木較少外，各樣木間胸徑的差異亦不小；而 C 區的樣木數雖較多，但樣木間胸徑的差異仍很大。

表 4-1-1 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑統計

區	樣木株數	平均胸徑(cm)	最小值(cm)	最大值(cm)	標準差(cm)
A	19	47.2	4.6	90.9	27.22
B	10	68.9	1.0	118.9	37.11
C	78	42.9	2.4	152.3	34.23
D	157	31.8	9.8	62.4	10.45

若將各區台灣油杉樣木的胸徑分為 10 級，則其分佈如圖 4-1-1 所示。其中，以 D 區台灣油杉人工林的樣木株數最多，其次為 C 區台灣油杉天然林。在 D 區的人工林中，胸徑分配以 30-40 cm 居最多數，而胸徑在 50 cm 以上的樣木則很少。此外，在 C 區裡也包含了很多小徑木，顯示 C 區裡的天然更新狀況良好。

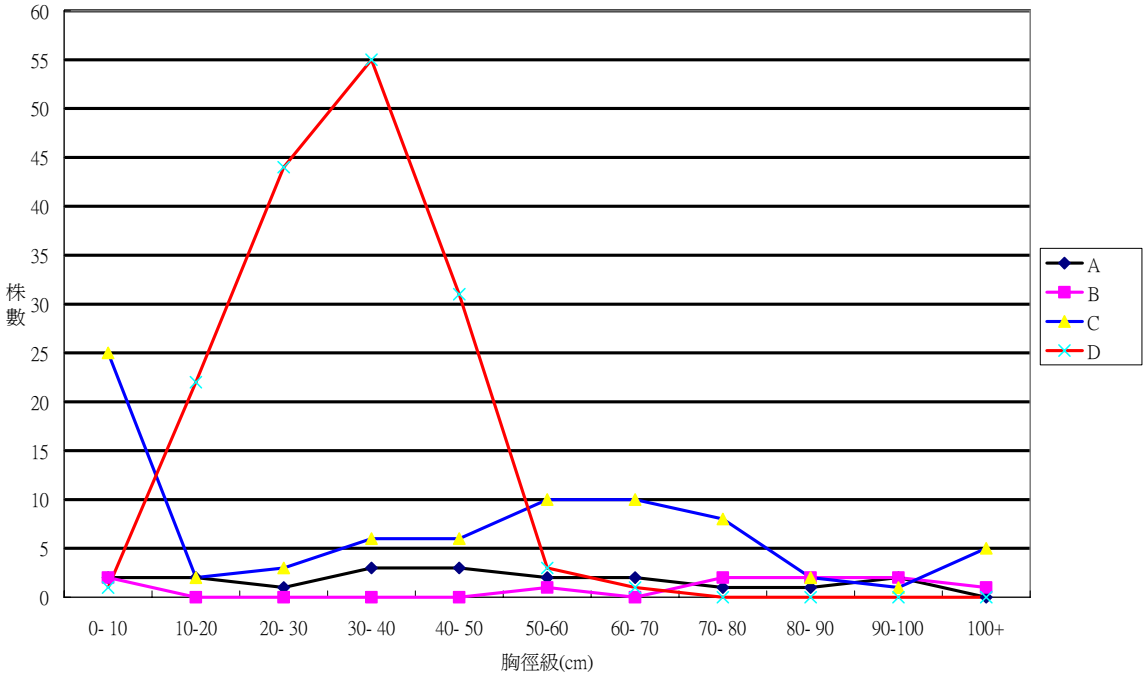


圖 4-1-1 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑級分佈

表 4-1-2 為各區台灣油杉樣木樹高統計，其中以 B 區的平均樹高最大，但是最高的單株樣木樹高是在 C 區，由於 C 區天然更新狀況良好，有很多小徑木，故平均樹高反而最低。D 區台灣油杉人工林的生育地環境不錯，故其生長狀況相對於其他 3 區相當良好。

表 4-1-2 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高統計

區	樣木株數	平均樹高(m)	最小值(m)	最大值(m)	標準差(m)
A	19	13.20	6.04	23.10	4.80
B	10	18.64	1.80	25.19	7.58
C	78	12.89	2.15	28.10	7.21
D	157	15.96	7.80	21.02	3.25

各區樣木樹高分佈如圖 4-1-2 所示，C 區和 D 區的樣木較多，樹高以 15-20m 最多，而 A 區的樹高以 10-15m 最多，B 區則以 20-25m 最多。此外，C 區有 20 多株 0-5m 的幼木。

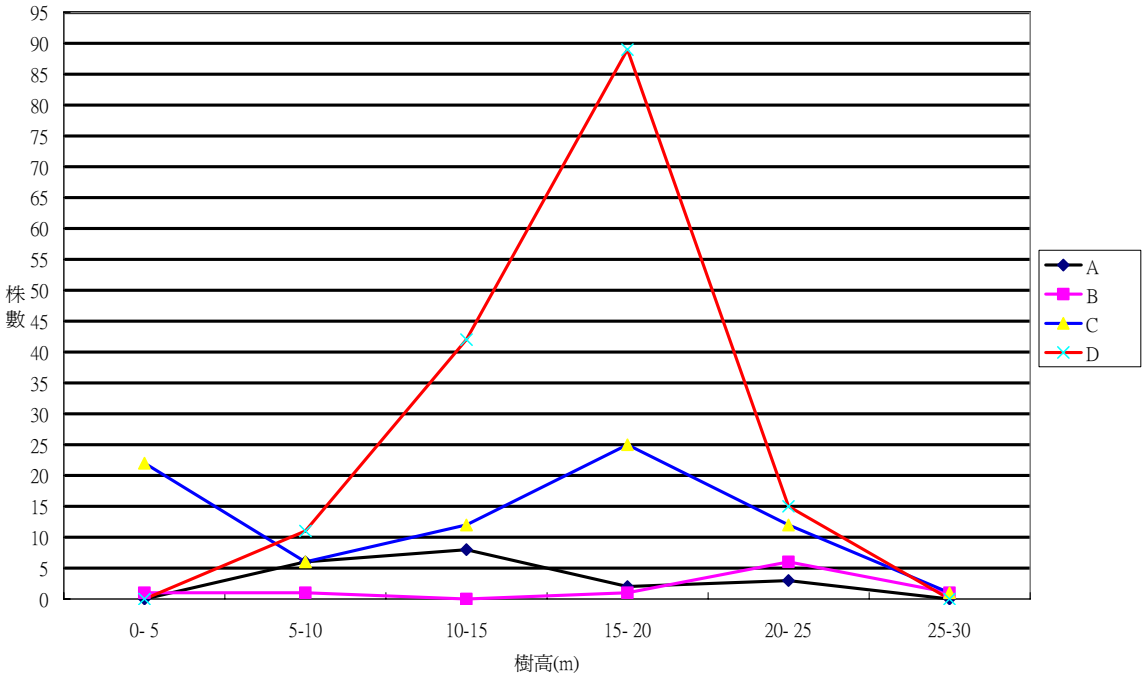


圖 4-1-2 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高分佈

表 4-1-3 為各區台灣油杉樣木樹冠比的統計量,其中以 B 區的平均樹冠比率最大且變異最小，D 區的平均樹冠比率最小但變異卻最大，其主要原因為 D 區為人工林，林分密度較大，林木間距離較近，競爭壓力較大。

表 4-1-3 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠比統計

區	樣木株數	平均(%)	最小值(%)	最大值(%)	標準差(%)
A	19	69.85	54.75	87.48	10.65
B	10	70.80	63.80	81.34	5.57
C	78	68.28	30.11	89.37	12.03
D	157	62.95	12.05	89.32	14.52

各樣區台灣油杉樣木樹冠密度如表 4-1-4 所示，A、B 和 C 區的樹冠密度大於 D 區。圖 4-1-3 顯示，B 區的分佈最小，而 D 區的分佈最廣，此外 C 與 D 區共有 8 株林木的樹冠密度為 20%以下。

表 4-1-4　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度統計

區	樣木株數	平均樹冠密度(%)	最小值(%)	最大值(%)	標準差(%)
A	19	57.63	40.00	85.00	13.27
B	10	59.50	50.00	75.00	8.32
C	78	62.31	20.00	90.00	15.00
D	157	51.40	0.00	90.00	15.95

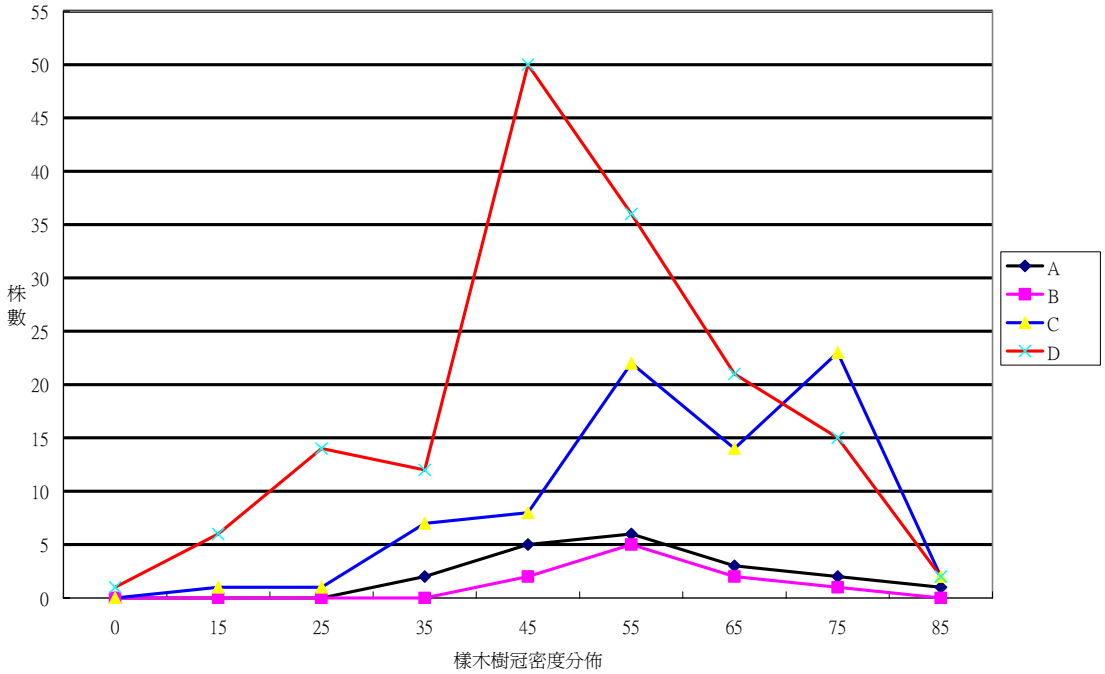


圖 4-1-3 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度分佈

表 4-1-5 為各區台灣油杉樣木樹冠透視度統計量，D 區的平均樹冠透視度最小，代表 D 區林木的活力較強，而天然林的 A、B 和 C 三區中以 C 區的圖 4-1-4 顯示大部份林木的樹冠透視度都在 30%以內，而 D 區有 1 株樣木的樹冠透視度大於 85%，活力很差。

表 4-1-5 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度統計

區	樣木株數	平均透視度(%)	最小值(%)	最大值(%)	標準差(%)
A	19	16.05	5.00	30.00	6.99
B	10	16.50	10.00	20.00	3.37
C	78	12.50	5.00	35.00	7.55
D	157	9.94	5.00	90.00	8.07

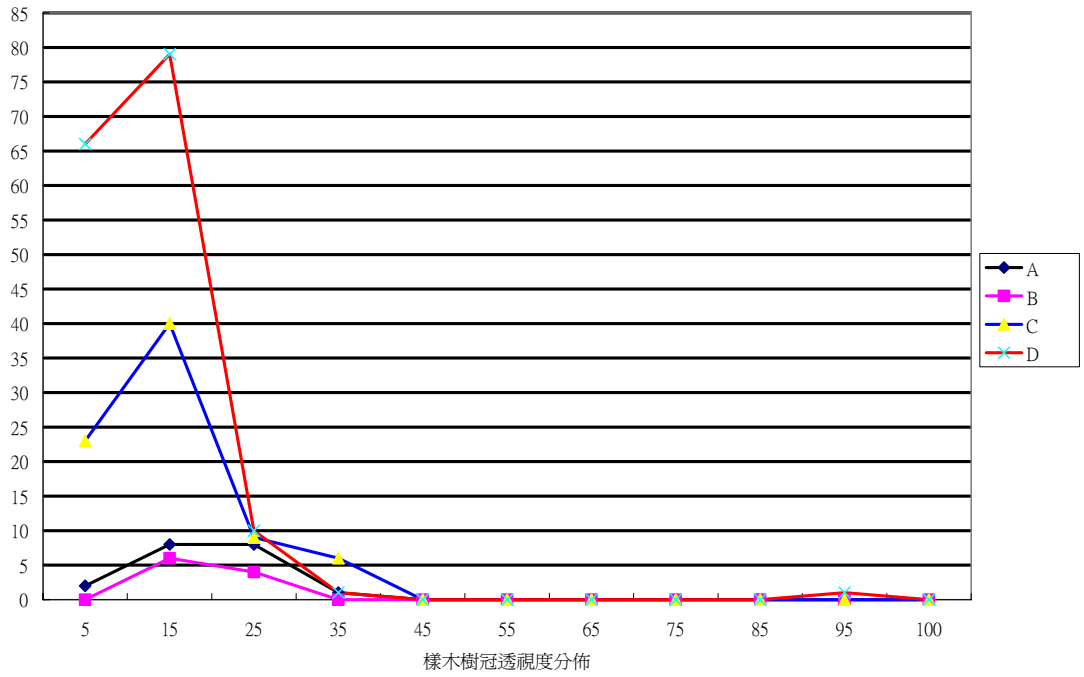


圖 4-1-4 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度分佈

表 4-1-6 為各區台灣油杉樣木樹冠稍枯度統計量，以 B 區較大，D 區人工林最低，不過各區的平均值尚低，並無異常枯萎現象。圖 4-1-5 顯示，D 區有 1 株樣木樹冠稍枯值大於 80%，樹冠稍枯是林木衰退徵兆的特徵。

表 4-1-6　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯統計

區	樣木株數	平均	最小值	最大值	標準差
A	19	8.42	-	30.00	7.08
B	10	16.00	0.00	25.00	7.75
C	78	14.17	0.00	50.00	10.97
D	157	10.86	5.00	95.00	10.35

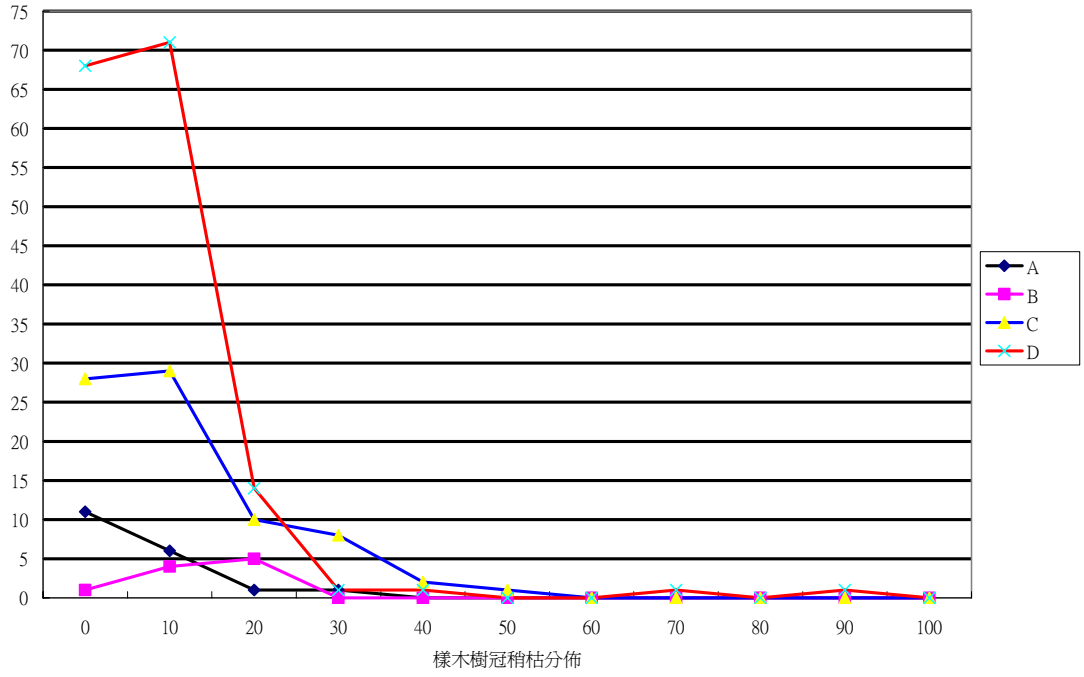


圖 4-1-5 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯分佈

由圖 4-1-6 顯示各區台灣油杉樣木根部狀況，其絕大部份的樣木為 2 或 3 級，代表根部狀況良好，只有 C 區的第 10 號樣木根部有受傷。

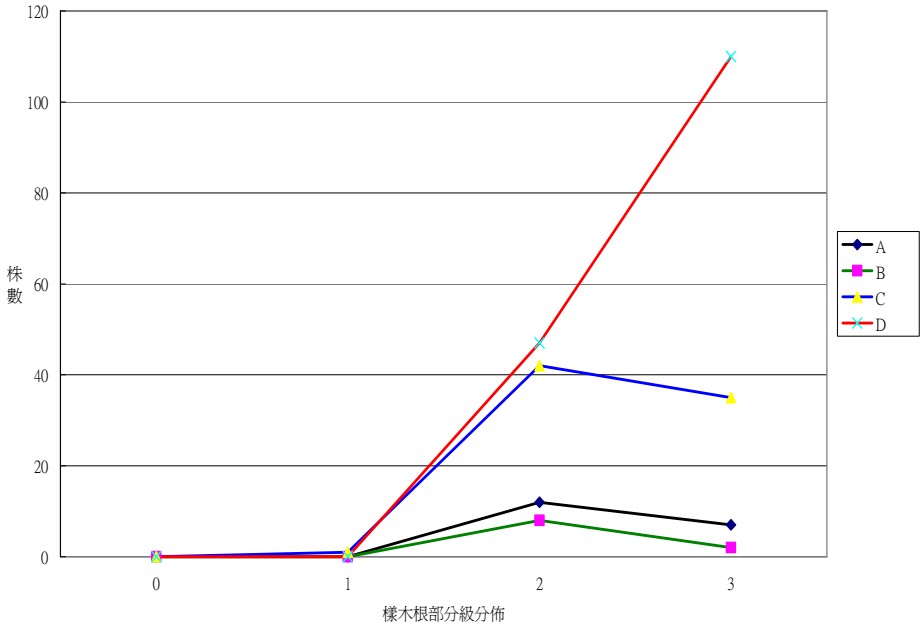


圖 4-1-6 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木根部分級分佈

圖 4-1-7 提供各區台灣油杉樣木樹冠狀況分佈，以表示活冠層以上落葉的情形，大部份樣木列屬於 4、5 和 6 級，表示落葉量都在 50%內，但是 D 區有株列為 1 級，代表落葉量都超過 90%，不利於樣木的存活。

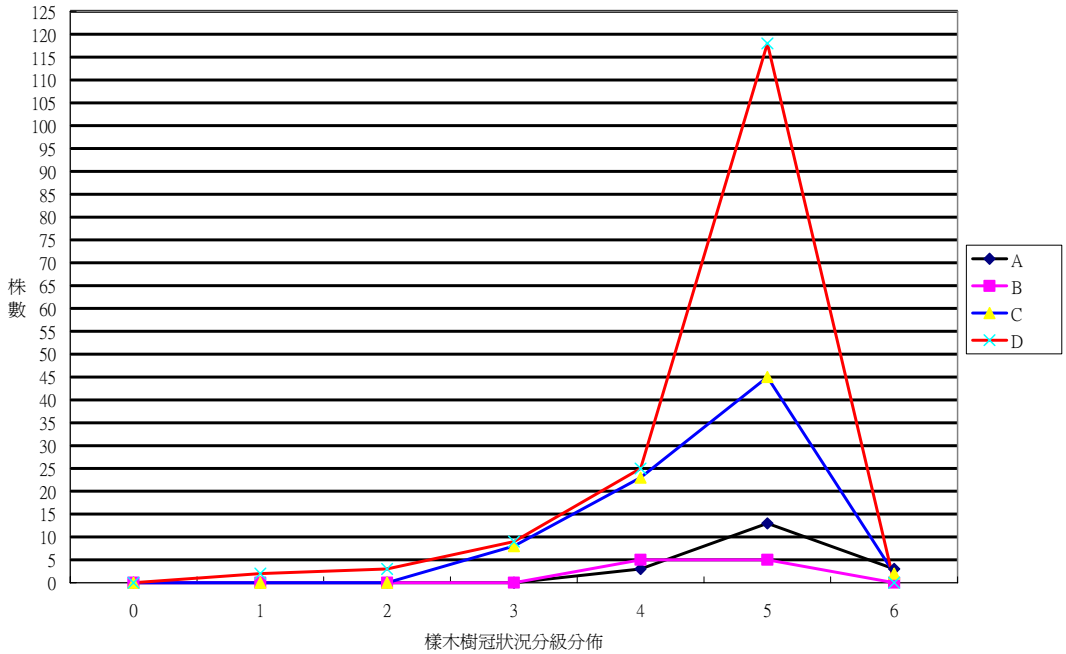


圖 4-1-7 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠狀況分級分佈

圖 4-1-8 為各區樣木樹冠重疊分級情形，6 為上層木，1 為樹冠完全被覆蓋。A 區、B 區及 C 區樹冠重疊分級的差異大，而 D 區則集中在第 4 級上下。D 區的被壓木有 17 株，A 區的被壓木有 1 株，各約佔該區 11%的樣木，因此 A、D 區較 B、C 區的林木間競爭為大。

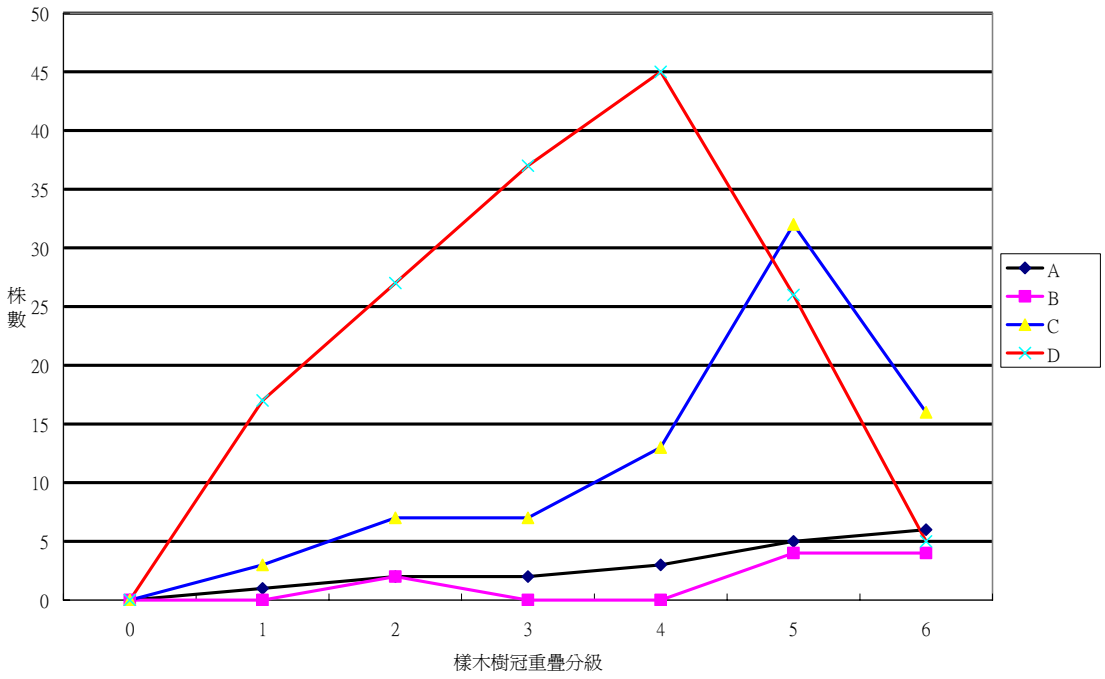


圖 4-1-8 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠重疊分級分佈

依照樣木活樹冠比率給予分數如圖 4-1-9 所示，各區皆以 6 分(活樹冠比率介於 61-75%)的株數最多，同樣地可以發現，D 區具有 3 分以下((活樹冠比率小於 30%)的樣木。

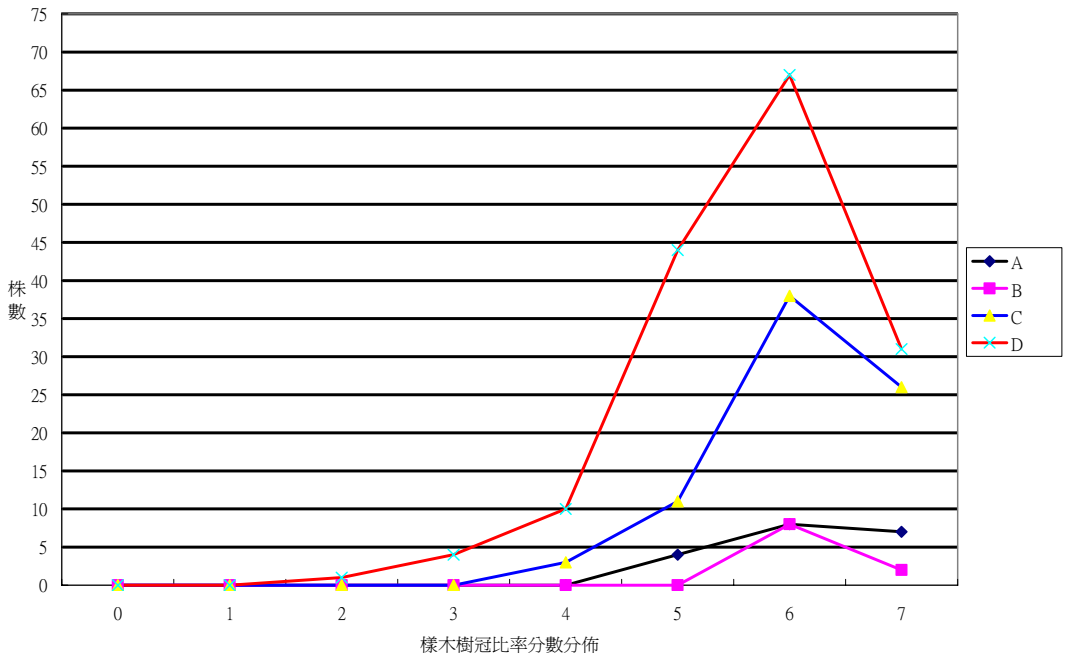


圖 4-1-9 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木活樹冠比率分數分佈

各區台灣油杉樣木樹冠稍枯分數如圖 4-1-10 所示，其分數為 6 分和 5 分的樣木佔了絕大部份，只有 D 區有 2 株林木的分數小於 2 分(樹冠稍枯比率大於 60%)，代表這兩區各有零星的林木具衰退的徵兆。

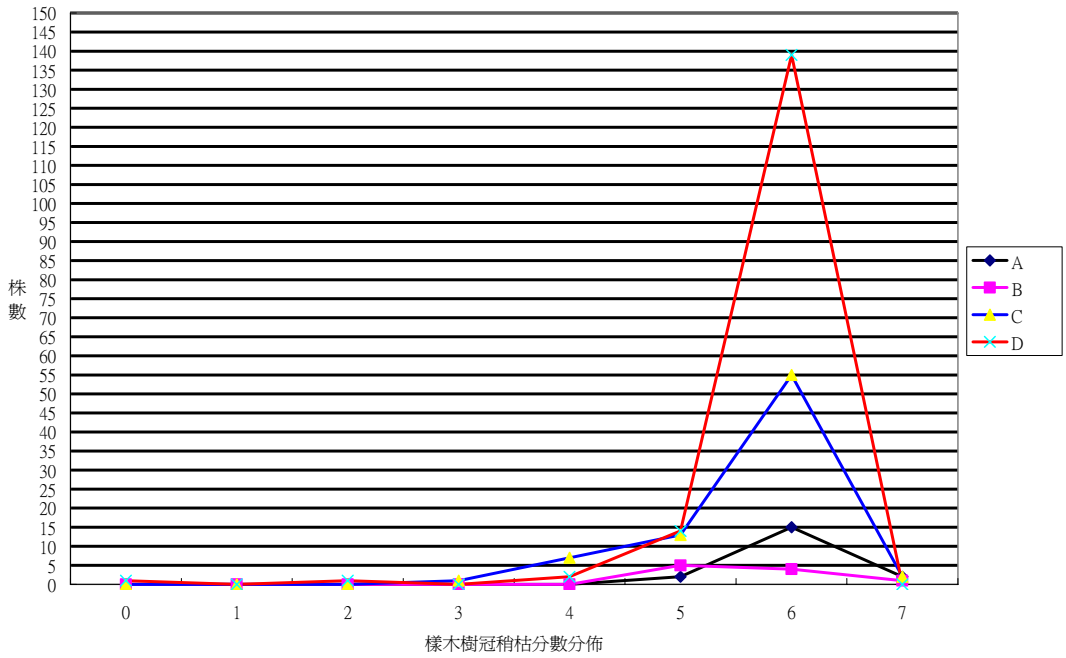


圖 4-1-10 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯分數分佈

表 4-1-7 為各區台灣油杉樣木的健康分數統計，D 區人工林最低，圖 4-1-11 顯示各區健康台灣油杉樣木的健康分數分佈情形，其中很健康(41-50 分)和健康(31-40 分)各有 63 和 185 株，14 株普通(21-30 分)，不健康(1-10 分)的林木有 2 株， D 區有一棵不健康的林木。D 區人工林可能受到林分密度較密，生長競爭較大，因而有較多株普通的樣木。整體而言，A、B、C 和 D 區都未產生林分立即劣化的情形。

表 4-1-7　坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數統計

區	樣木株數	平均	最小值	最大值	標準差
A	19	38.58	33.00	46.00	3.49
B	10	38.10	33.00	41.00	2.42
C	78	38.65	26.00	45.00	3.46
D	157	36.88	8.00	46.00	4.76

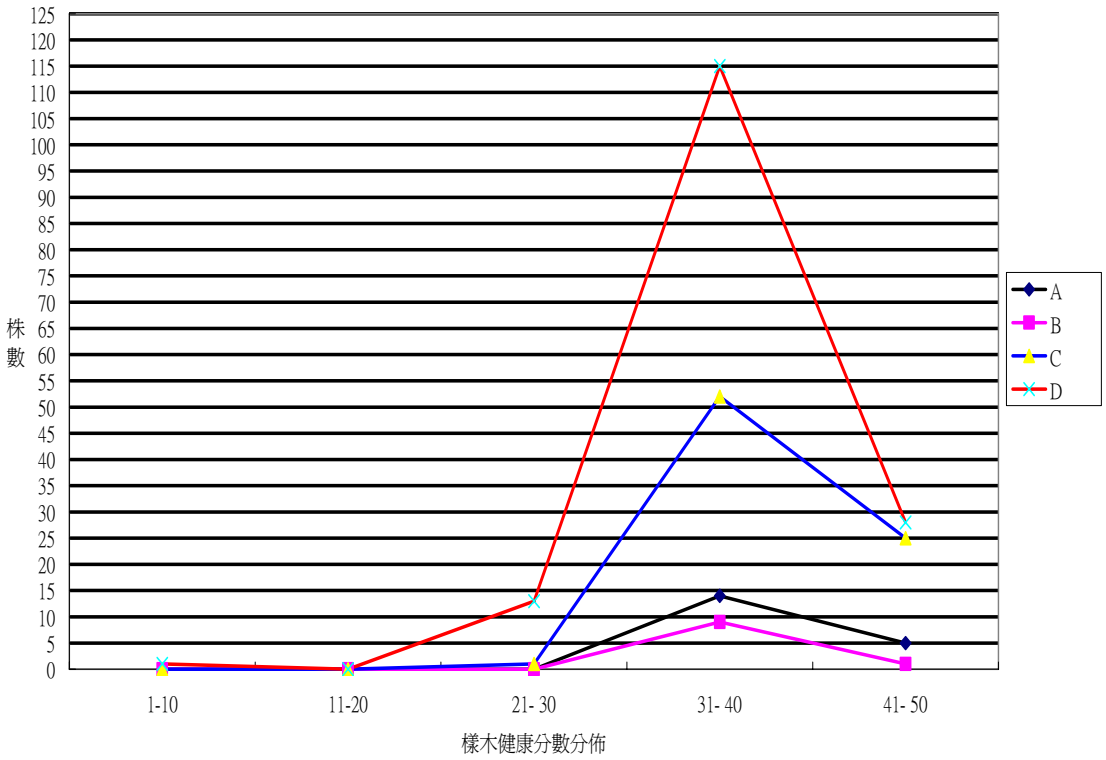


圖 4-1-11 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數分佈

本研究選擇各區視野良好的樣木，以及台大校園的台灣油杉、坪林國小的台灣油杉、出水溪苗圃的台灣油杉。視天氣狀況不定期拍攝林木樹冠

外部狀況，並將樣木影像分離。圖 4-1-12a 至圖 4-1-12p 為樣木影像分離前後情況的例子，將來可以用於長期監測林木樹冠變化的情形，也可以用於協助調查人員從事林木健康等級判釋的材料。

圖 4-1-12a 坪林國小台灣油杉
原樣木影像

圖 4-1-12b 坪林國小台灣油杉
分離影像

圖 4-1-12c 台大校園台灣油杉
原樣木影像

圖 4-1-12d 台大校園台灣油杉
分離影像

圖 4-1-12e 出水溪苗圃台灣油杉
原樣木影像

圖 4-1-12f 出水溪苗圃台灣油杉
分離影像

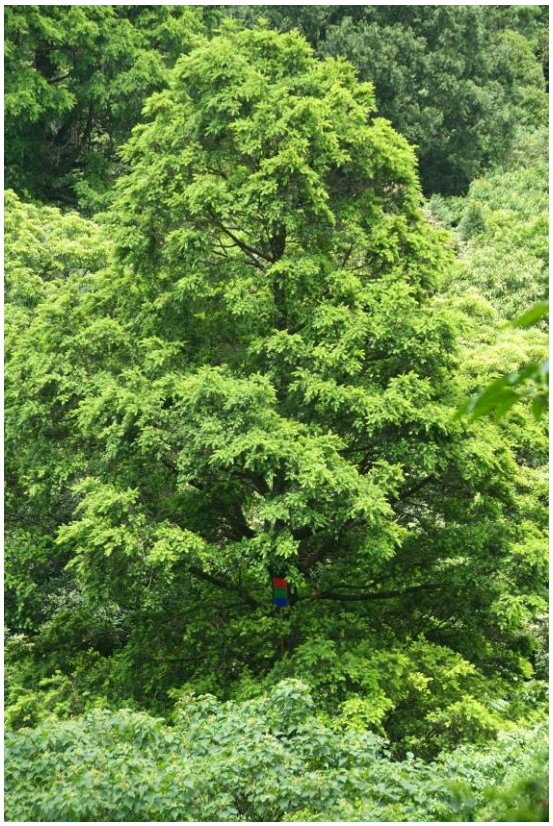


圖 4-1-12g 台灣油杉 D051 號
原樣木影像

圖 4-1-12h 台灣油杉 D051 號
分離影像

圖 4-1-12i 台灣油杉 D061 號
原樣木影像

圖 4-1-12j 台灣油杉 D061 號
分離影像

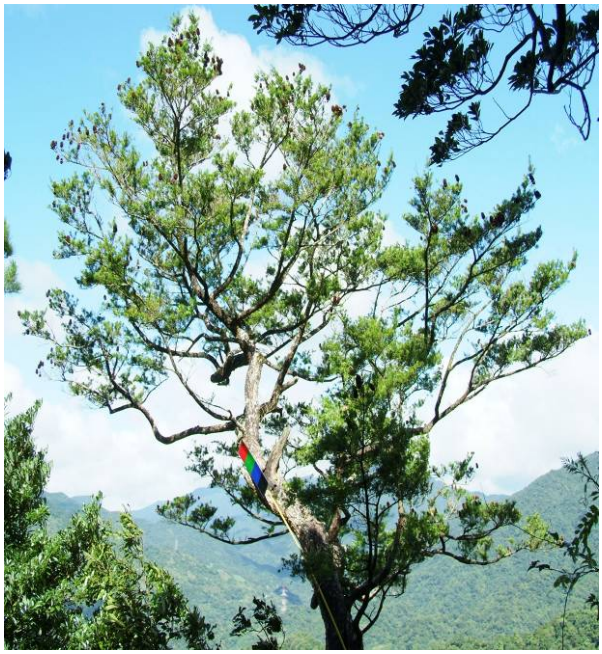


圖 4-1-12k 台灣油杉 C063 號
原樣木影像

圖 4-1-12l 台灣油杉 C063 號
分離影像

圖 4-1-12m 台灣油杉 B003 號
原樣木影像

圖 4-1-12n 台灣油杉 B003 號
分離影像

圖 4-1-12o 台灣油杉 A003 號
原樣木影像

圖 4-1-12p 台灣油杉 A003 號
分離影像

第二部份：台灣油杉葉身構造變化之監測結果

台灣油杉及闊葉樹的葉解剖(Anatomy of leaf)，皆由三類組織系統(tissue system)組成，就是表層組織系(dermal tissue system)，包括表皮細胞，守衛細胞，毛茸等；基本組織系(fundamental tissue system)，包括葉肉(mesophyll)；和管束組織系(fasciculur tissue system)，包括中肋(midrib)和葉脈(vein)等(圖 4-2-1)。

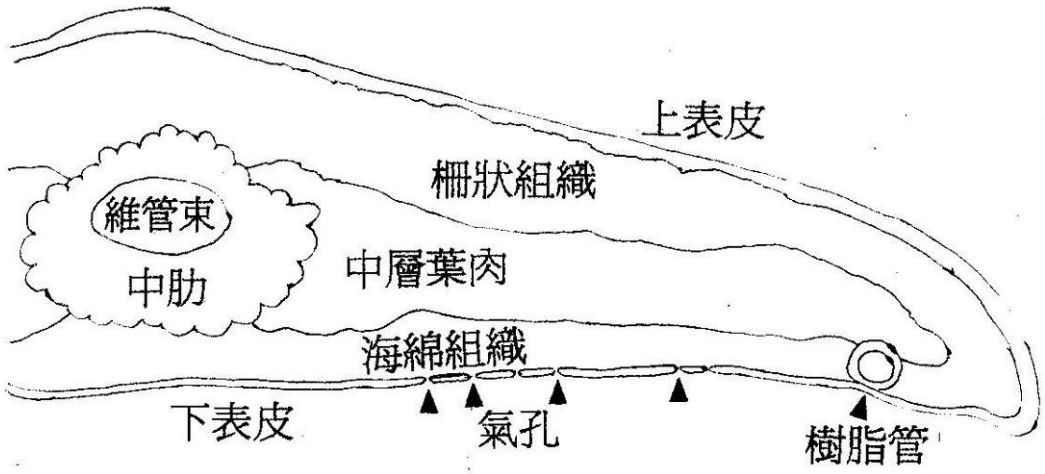


圖 4-2-1 台灣油杉葉橫切面之構造簡圖

(一) 表層組織(Epidermis)：

1. 台灣油杉

台灣油杉的葉是扁平的，所以葉有上表皮和下表皮之分。表層組織有一層細胞，細胞壁厚，外層有很厚的角皮層（cuticle），無毛茸，氣孔為下陷型，多分佈於下表皮(圖 4-2-2)。

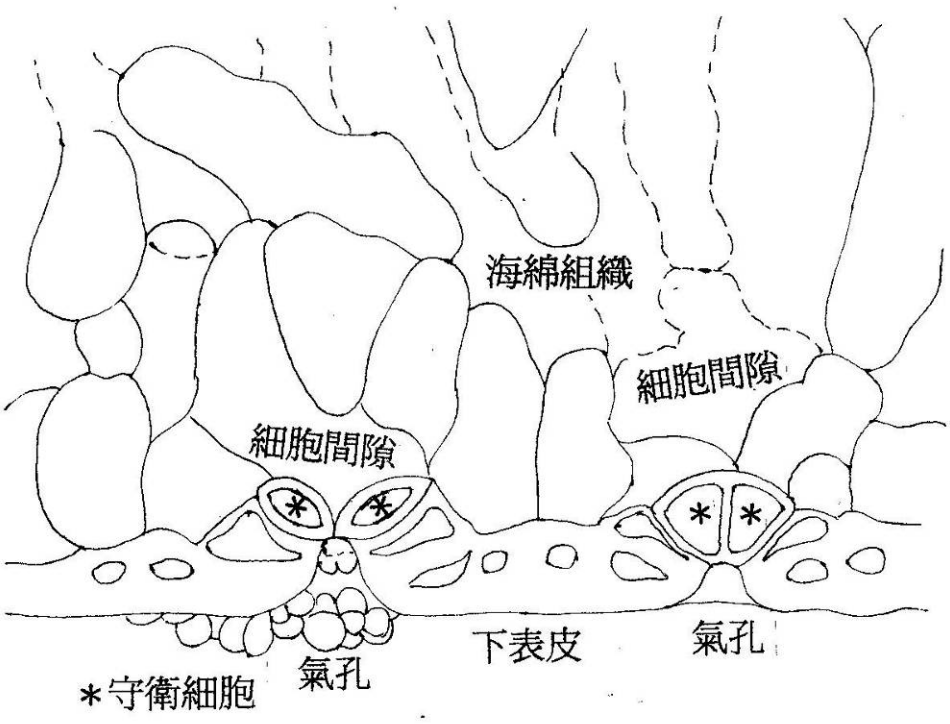


圖 4-2-2 台灣油杉葉下表皮層及海綿組織構造放大簡圖

2. 闊葉樹種

另外所列十種闊葉樹，葉也屬扁平，有上下表皮層之分。上層表皮層之表面細胞壁厚，及堆積厚的角皮層。白匏仔下表皮層具星狀毛茸(stellate trichomes），裡白饅頭果下表皮層則有單細胞線狀毛茸（Unicellular linear trichomes）。氣孔絕多分佈於下表皮成層，並與表皮層在同一平面上，惟白匏仔氣孔明顯突出表皮細胞。

(二) 葉肉(Mesophyll)：

1. 台灣油杉

緊接著表皮細胞有 1~2 層次表皮層(hypodermis)，除了葉脈和表皮以外之薄壁細胞，稱為葉肉。葉肉分化為明顯的柵狀組織和海綿組織，兩者之間，還有中間組織，細胞長柱體形，垂直中心脈走向達兩側葉緣。柵狀組織在緊接著上表皮之下面。柵狀薄壁細胞在橫切面(與葉片

軸之垂直切面)呈桿狀；在縱切面(與葉面之平行面)則為圓形，排列相當緊密，常含有大量的葉綠體。細胞端或為微裂狀(lobed)。

海棉薄壁細胞的形狀變異較大，通常都為彎曲的細胞，排列很鬆，留有很多的間隙，所含的葉綠體也較少(圖 4-2-2)。

薄壁細胞內含有單寧和樹脂，樹脂管兩支，各分佈於兩側葉緣靠近下表皮之葉肉內。

2. 闊葉樹種

葉肉分化柵狀組織及海綿組織；前者緊鄰上表皮之下，在葉橫切面上呈桿柱狀，長軸垂直上表皮，緊密排列，依樹種不同有 1 至 3 層，細胞內含大量葉綠體。

海棉組織細胞的形狀變異大，不規則多面體形至球形，排列疏鬆，留有許多間隙，葉綠體含量依樹種而異，或較柵狀組織少，或沒有明顯差異。

紅楠、方樟和大葉楠等樟科植物均具有油腔（Oil cavities）細胞，葉橫切面上呈圓形至橢圓形，單獨零星散佈柵狀組織或海綿組織中，數倍大於周圍葉肉細胞。

(三) 維管束組織(Vascular tissue)：

1. 台灣油杉

台灣油杉葉內有一支中心脈或稱中肋(midrib)縱貫於葉中央。在葉內之維管束組織為構成葉脈(vein)的主要成分，有時葉脈一詞也包括圍繞在維管束附近之基本組織。中心脈具有一支維管束，其內木質部居上及韌皮部居下，維管束外圍有一明顯的內皮包圍著，在維管束與內皮之間為滲透組織(transfusion tissue)，含有管胞和薄壁細胞。

2. 其他闊葉樹

所列之十種闊葉樹種葉內也具有一明顯中肋，維管束內木質部與韌皮

部之排列依樹種而異，橫切面上有木質部居上半韌皮部居下半者如方樟、紅楠、西施花、長尾柯、大葉楠、楞木、大頭茶和裡白饅頭果，也有木質部居內韌皮部居外形成一環帶者如楓香和白匏仔。維管束韌皮部外圍有層狀或局部群聚之厚壁組織組成之韌皮纖維。

初步觀察 A 區、C 區及 D 區各台灣油杉樣株、坪林國小、台大等地對照樣株，及各區內之代表性闊葉樹葉片構造，皆呈現正常之形態(表 4-2-1)。

表 4-2-1 台灣油杉及其生育地上優勢之代表性闊葉樹種葉片構造觀察結果

組織系統 樹種、株號 (圖號)	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
		柵狀組織	海綿組織	木質部	韌皮部
出水溪台灣油杉 1 號 （圖 4-2-3、圖 4-2-4）	正常	正常	正常	正常	正常
出水溪台灣油杉 2 號 （圖 4-2-5、圖 4-2-6）	正常	正常	正常	正常	正常
坪林國小台灣油杉 (圖 4-2-7、圖 4-2-8)	正常	正常	正常	正常	正常
台大台灣油杉 (圖 4-2-9、圖 4-2-10)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A002 (圖 4-2-11、圖 4-2-12)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A003 (圖 4-2-13、圖 4-2-14)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A004 (圖 4-2-15、圖 4-2-16)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A005 (圖 4-2-17、圖 4-2-18)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A006 (圖 4-2-19、圖 4-2-20)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A007 (圖 4-2-21、圖 4-2-22)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A008 (圖 4-2-23、圖 4-2-24)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A009 (圖 4-2-25、圖 4-2-26)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A010 (圖 4-2-27、圖 4-2-28)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A011	正常	正常	正常	正常	正常

組織系統 樹種、株號 (圖號)	下表皮 (含氣孔)	葉肉 柵狀組織	葉肉 海綿組織	中心脈 木質部	中心脈 韌皮部
(圖 4-2-29、圖 4-2-30)					
台灣油杉 A012 (圖 4-2-31、圖 4-2-32)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A013 (圖 4-2-33、圖 4-2-34)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 A014 (圖 4-2-35、圖 4-2-36)	正常	正常	正常	正常	正常
A 區冇樟 (圖 4-2-37、38、39)	正常	正常	正常	正常	正常
A 區紅楠 (圖 4-2-40、 41、42、43)	正常	正常	正常	正常	正常
A 區西施花 (圖 4-2-44、45、46)	正常	正常	正常	正常	正常
A 區長尾柯 (圖 4-2-47、48、49)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C037 (圖 4-2-50、圖 4-2-51)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C038 (圖 4-2-52、圖 4-2-53)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C050 (圖 4-2-54、圖 4-2-55)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C055 (圖 4-2-56、圖 4-2-57)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C056 (圖 4-2-58、圖 4-2-59)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C060 (圖 4-2-60、圖 4-2-61)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C067 (圖 4-2-62、圖 4-2-63)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C070 (圖 4-2-64、圖 4-2-65)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C076 (圖 4-2-66、圖 4-2-67)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 C077 (圖 4-2-68、圖 4-2-69)	正常	正常	正常	正常	正常
C 區大葉楠 (圖 4-2-70、71、72)	正常	正常	正常	正常	正常
C 區楓香 (圖 4-2-73、74、75)	正常	正常	正常	正常	正常
C 區梣木 (圖 4-2-76、77、78)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 D003	正常	正常	正常	正常	正常

組織系統 樹種、株號 (圖號)	下表皮 (含氣孔)	葉肉 柵狀組織	葉肉 海綿組織	中心脈 木質部	中心脈 韌皮部
(圖 4-2-79、圖 4-2-80)					
台灣油杉 D051 (圖 4-2-81、圖 4-2-82)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 D052 (圖 4-2-83、圖 4-2-84)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 D054 (圖 4-2-85、圖 4-2-86)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 D055 (圖 4-2-87、圖 4-2-88)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 D056 (圖 4-2-89、圖 4-2-90)	正常	正常	正常	正常	正常
台灣油杉 D060 (圖 4-2-91、圖 4-2-92)	正常	正常	正常	正常	正常
D 區大頭茶 (圖 4-2-93、94、95)	正常	正常	正常	正常	正常
D 區白匏仔 (圖 4-2-96、97、98)	正常	正常	正常	正常	正常
D 區裡白饅頭果 (圖 4-2-99、100、101)	正常	正常	正常	正常	正常

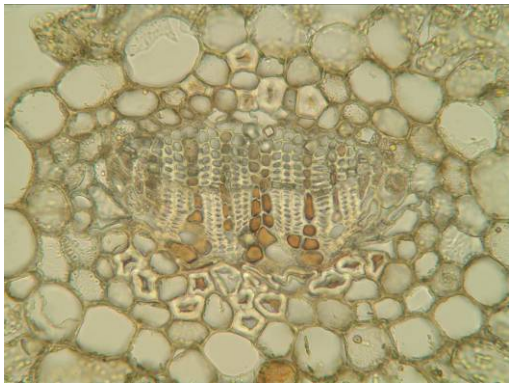


圖 4-2-3 台灣油杉出水溪 1 號_(20x) 中肋

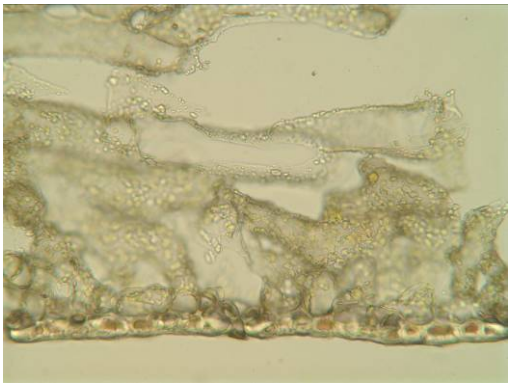


圖 4-2-4 台灣油杉出水溪 1 號_(20x) 下表皮及氣孔

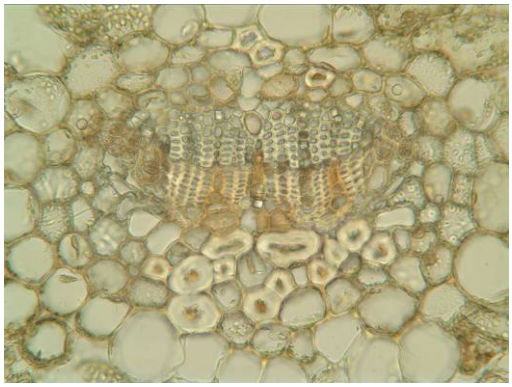


圖 4-2-5 台灣油杉出水溪 2 號_(20x)

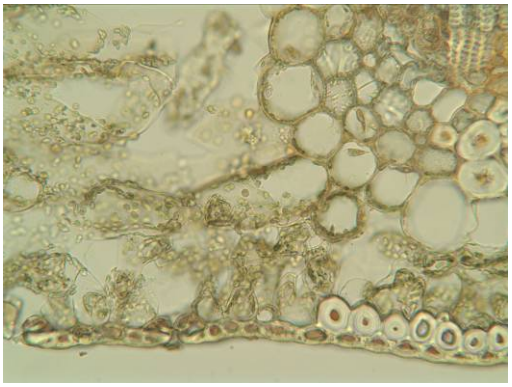


圖 4-2-6 台灣油杉出水溪 2 號

中肋

圖 4-2-7 坪林國小_(20x)中肋

_(20x)　下表皮及氣孔

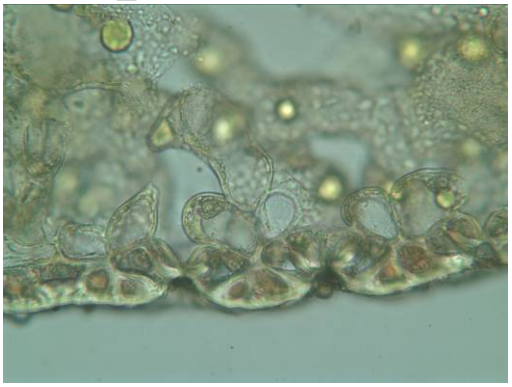


圖 4-2-8 坪林國小_(40x)下表皮及氣孔

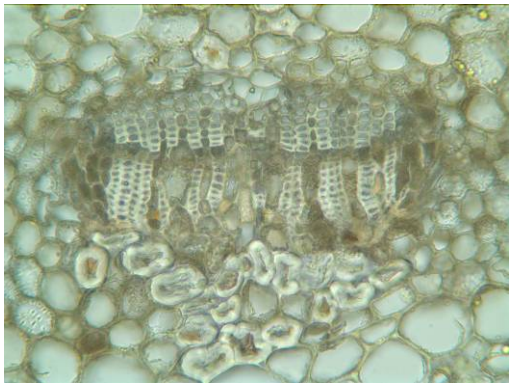


圖 4-2-9 台大_(20x)中肋

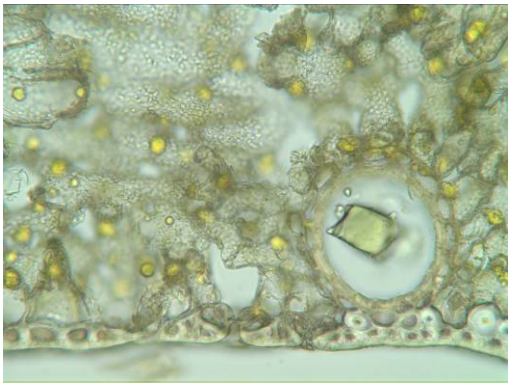


圖 4-2-10 台大_(20x)氣孔及樹脂管

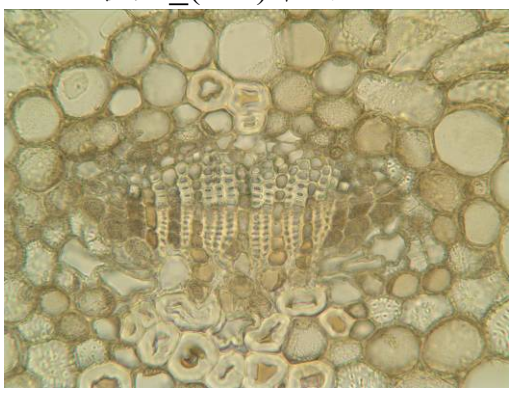


圖 4-2-11 台灣油杉 A002_(20x)中肋

圖 4-2-12 台灣油杉 A002_(40x)下表皮及氣孔

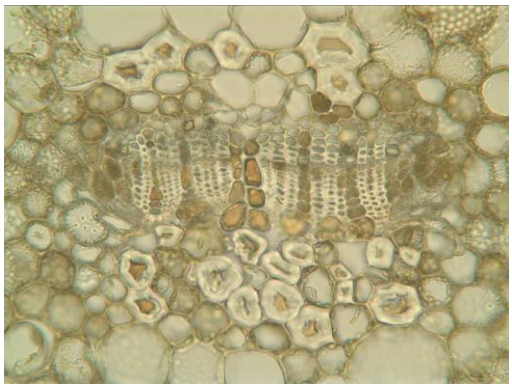


圖 4-2-13 台灣油杉 A003_(20x)中肋

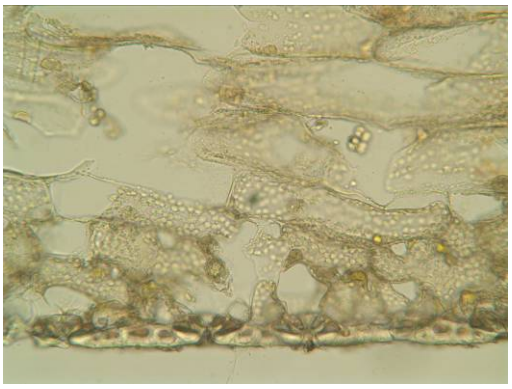


圖 4-2-14 台灣油杉 A003_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-15 台灣油杉 A004_(20x)中肋

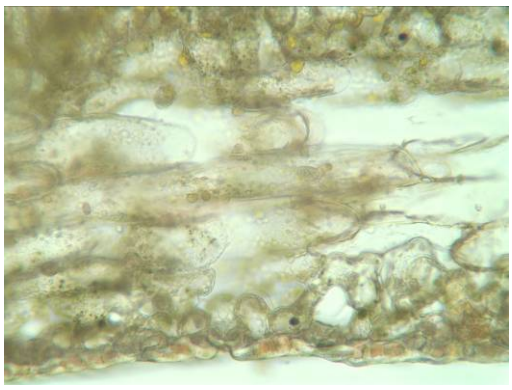


圖 4-2-16 台灣油杉 A004_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-17 台灣油杉 A005_(20x)中肋

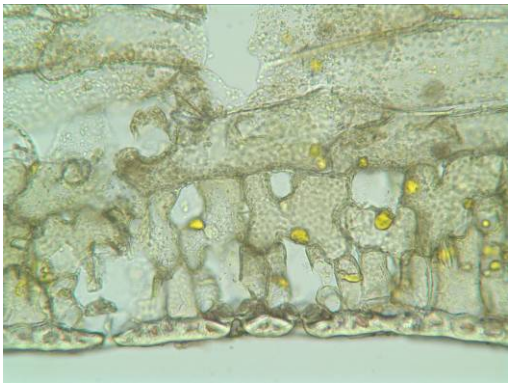


圖 4-2-18 台灣油杉 A005_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-19 台灣油杉 A006_(20x)中肋

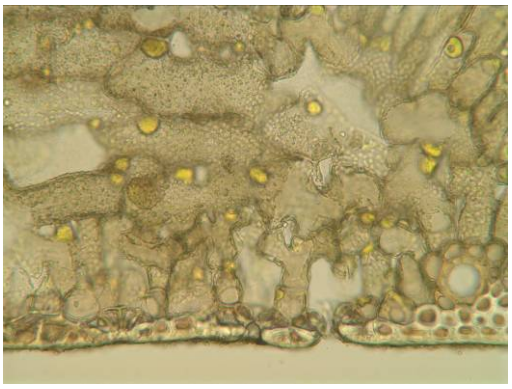


圖 4-2-20 台灣油杉 A006_(20x)下表皮及氣孔

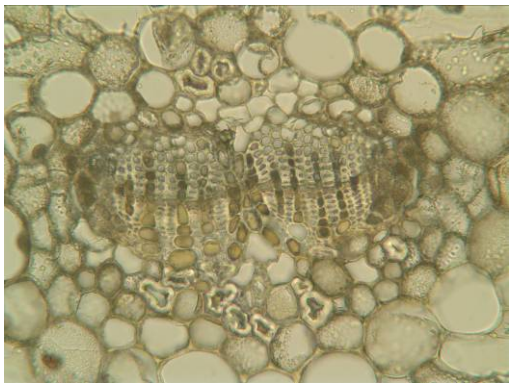


圖 4-2-21 台灣油杉 A007_(20x)中肋

圖 4-2-22 台灣油杉 A007_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-23 台灣油杉 A008_(20x)中肋

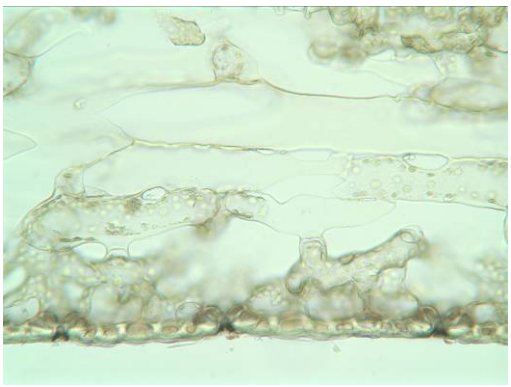


圖 4-2-24 台灣油杉 A008_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-25 台灣油杉 A009_(20x)中肋

圖 4-2-26 台灣油杉 A009_(20x)下表皮及氣孔

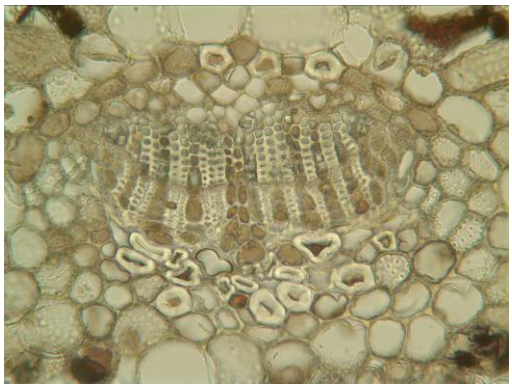


圖 4-2-27 台灣油杉 A010_(20x)中肋

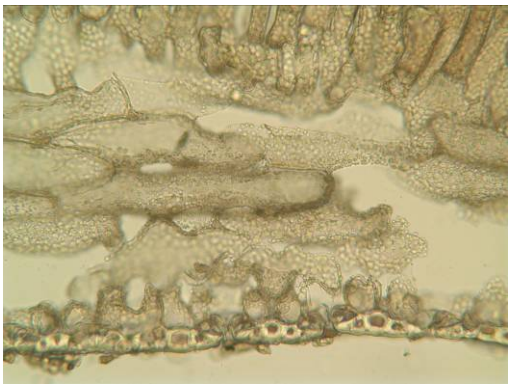


圖 4-2-28 台灣油杉 A010_(20x)下表皮及氣孔

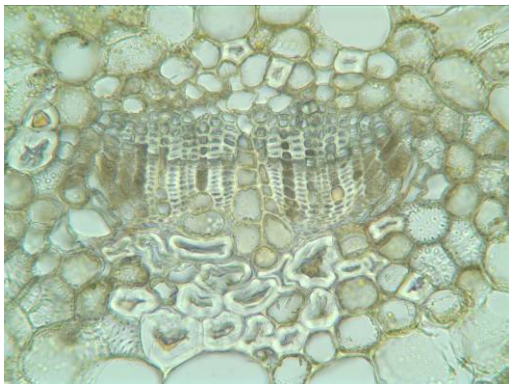


圖 4-2-29 台灣油杉 A011_(20x)中肋

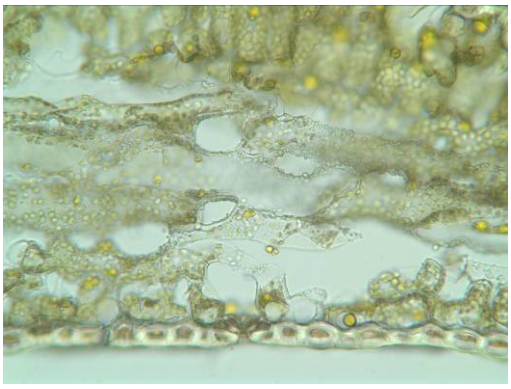


圖 4-2-30 台灣油杉 A011_(20x)下表皮及氣孔

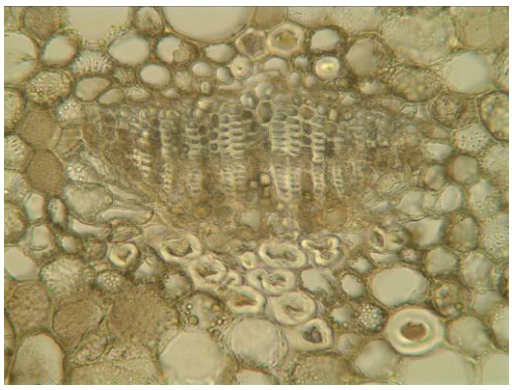


圖 4-2-31 台灣油杉 A012(20x)中肋

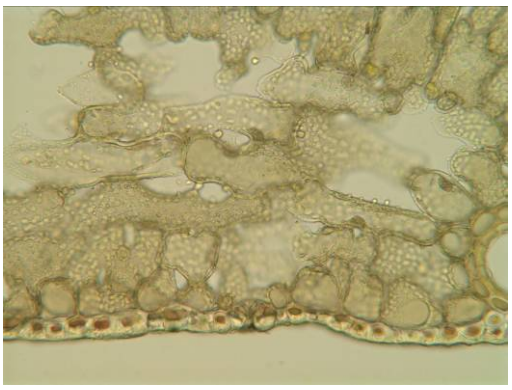


圖 4-2-32 台灣油杉 A012_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-33 台灣油杉 A013_(20x)中肋

圖 4-2-34 台灣油杉 A013_(20x)下表皮及氣孔

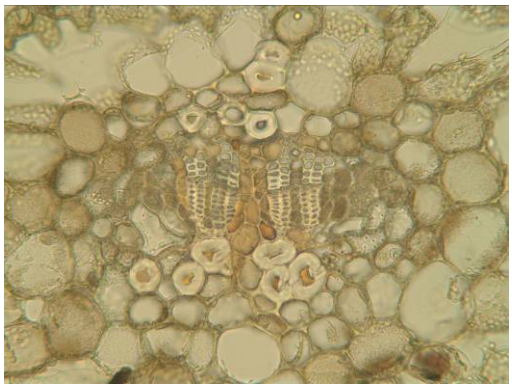


圖 4-2-35 台灣油杉 A014_(20x)中肋

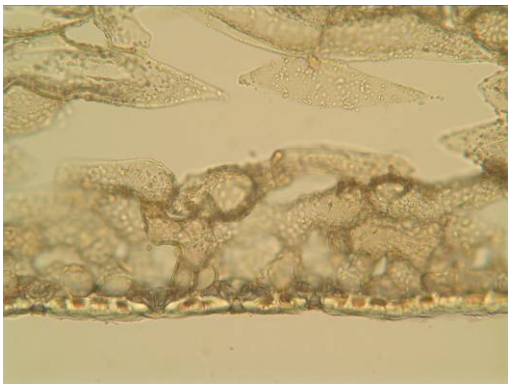


圖 4-2-36 台灣油杉 A014_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-37 肖樟_(10x)中肋

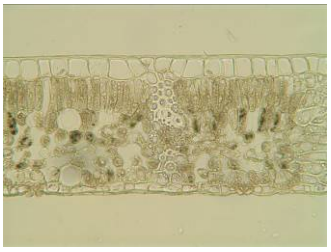


圖 4-2-38 肖樟_(20x)上下表皮及葉肉

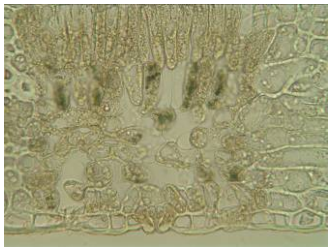


圖 4-2-39 肖樟_(40x)下表皮及氣孔

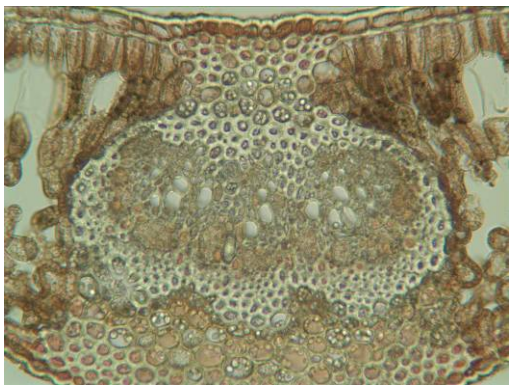


圖 4-2-40 紅楠_(20x)中肋

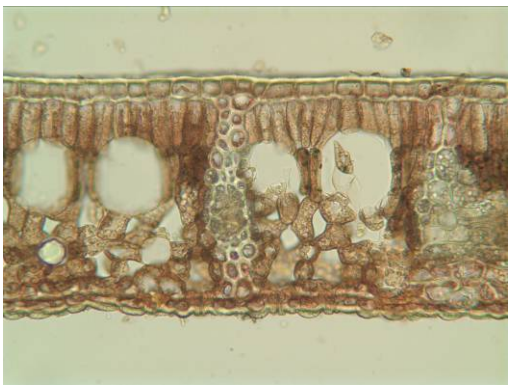


圖 4-2-41 紅楠_(20x)上下表皮及葉肉

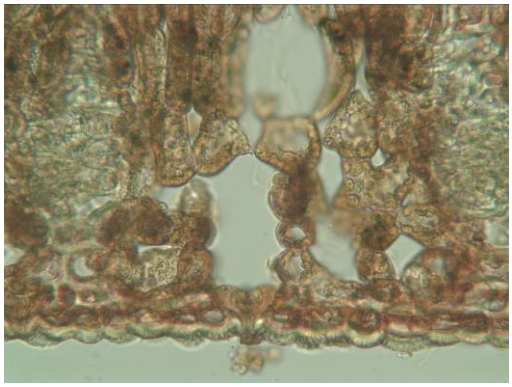


圖 4-2-42 紅楠_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-43 紅楠_(20x)葉緣

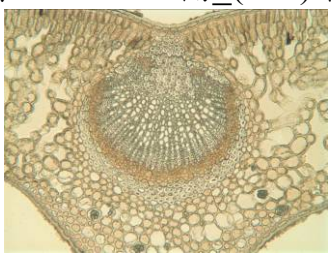


圖 4-2-44 西施花_(10x)中肋

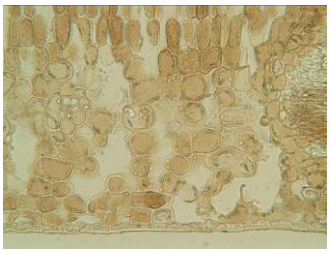


圖 4-2-45 西施花_(20x)下表皮及氣孔

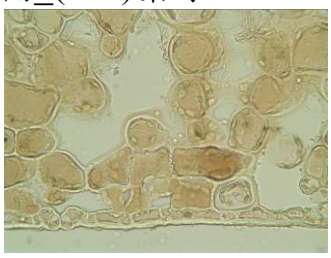


圖 4-2-46 西施花_(40x)下表皮及氣孔

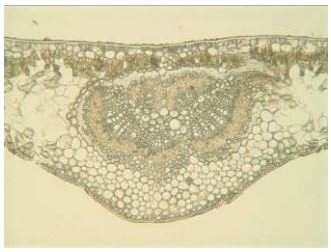


圖 4-2-47 長尾柯_(10x)中肋

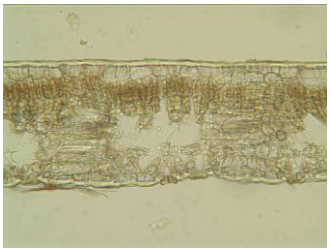


圖 4-2-48 長尾柯_(20x)上下表皮及葉肉

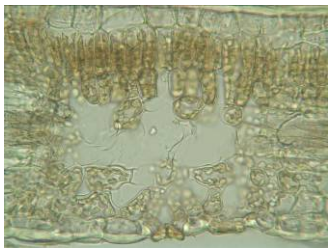


圖 4-2-49 長尾柯_(40x)下表皮及氣孔

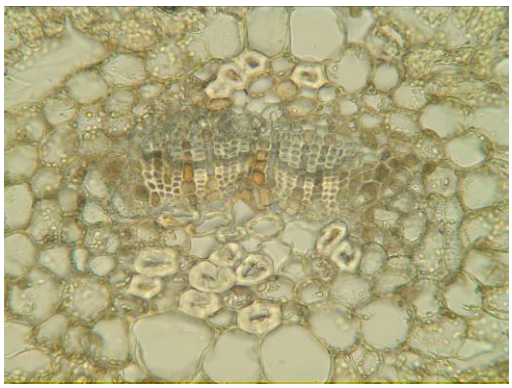


圖 4-2-50 台灣油杉 C037_ (20x)中肋

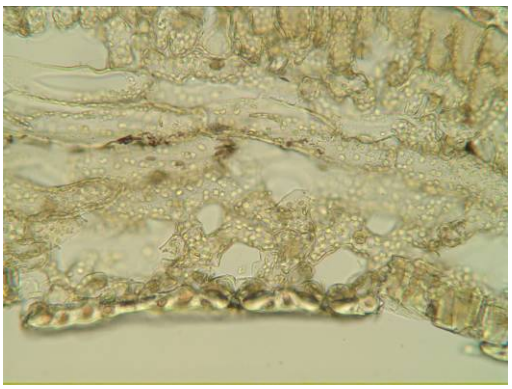


圖 4-2-51 台灣油杉 C037_(20x)下表皮及氣孔

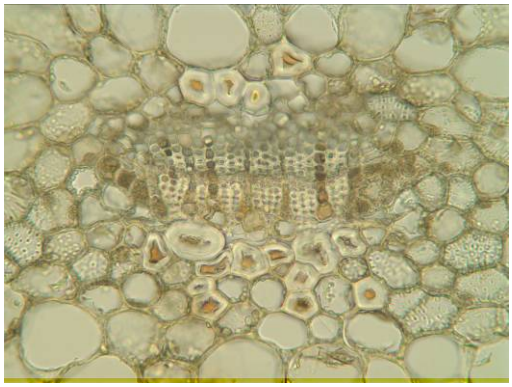


圖 4-2-52 台灣油杉 C038_ (20x)中肋

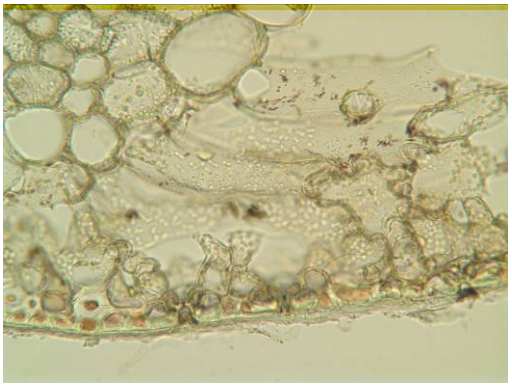


圖 4-2-53 台灣油杉 C038_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-54 台灣油杉 C050_ (20x)中肋

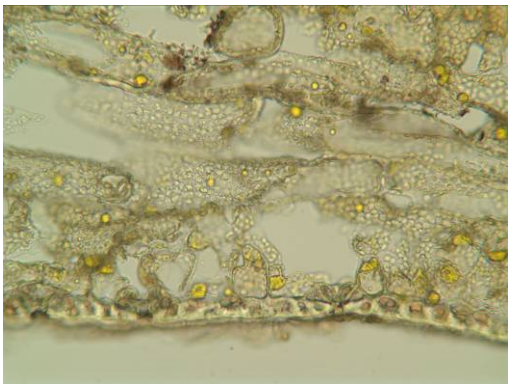


圖 4-2-55 台灣油杉 C050_(20x)下表皮及氣孔

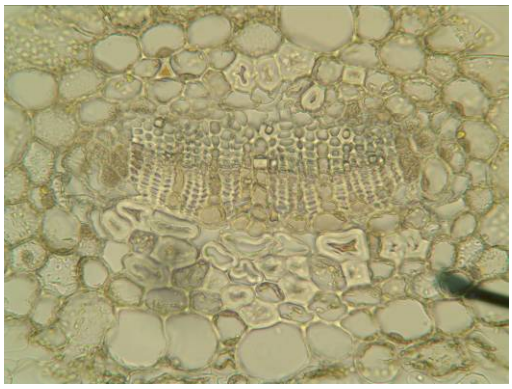


圖 4-2-56 台灣油杉 C055_ (20x)中肋

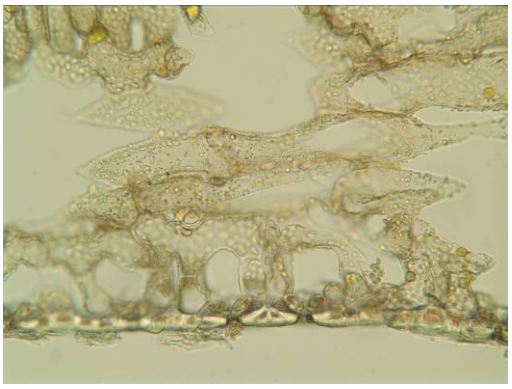


圖 4-2-57 台灣油杉 C055_(20x)下表皮及氣孔

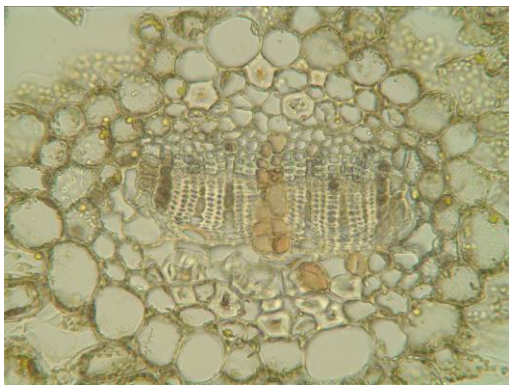


圖 4-2-58 台灣油杉 C056_ (20x)中肋

圖 4-2-59 台灣油杉 C056_(20x)下表皮及氣孔

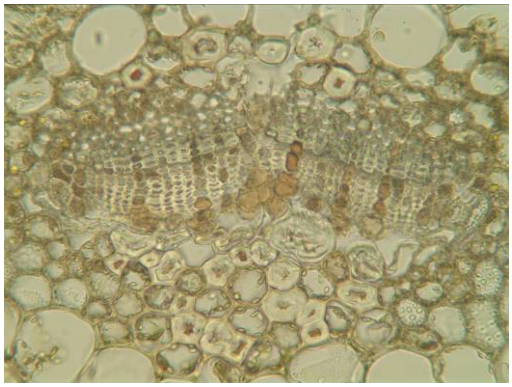


圖 4-2-60 台灣油杉 C060_ (20x)中肋

圖 4-2-61 台灣油杉 C060_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-62 台灣油杉 C067_ (20x)中肋

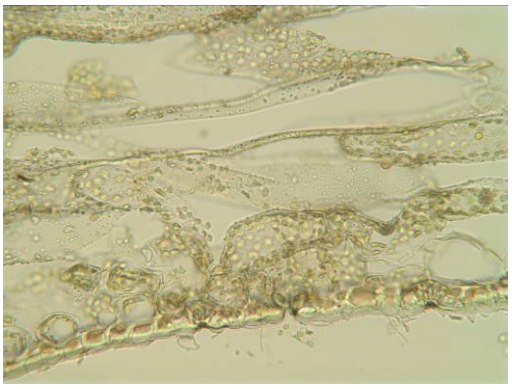


圖 4-2-63 台灣油杉 C067_(20x)下表皮及氣孔

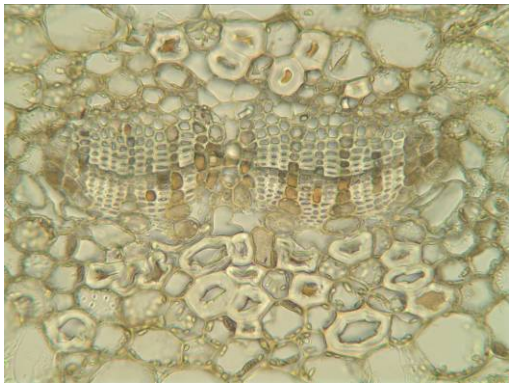


圖 4-2-64 台灣油杉 C070_ (20x)中肋

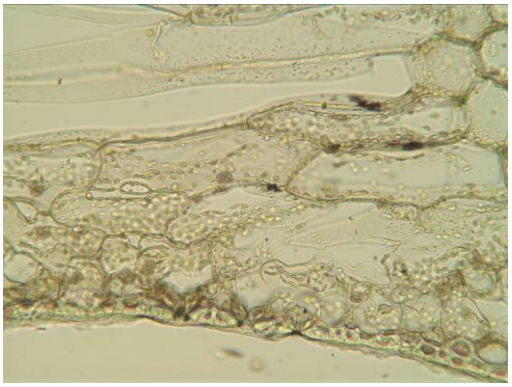


圖 4-2-65 台灣油杉 C070_(20x)下表皮及氣孔

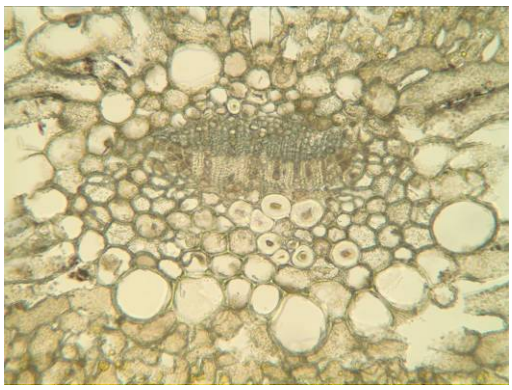


圖 4-2-66 台灣油杉 C076_ (20x)中肋

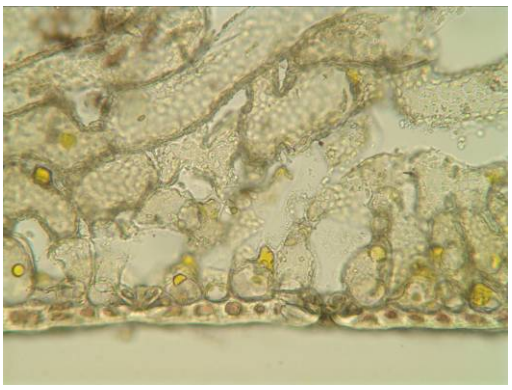


圖 4-2-67 台灣油杉 C076_(20x)下表皮及氣孔

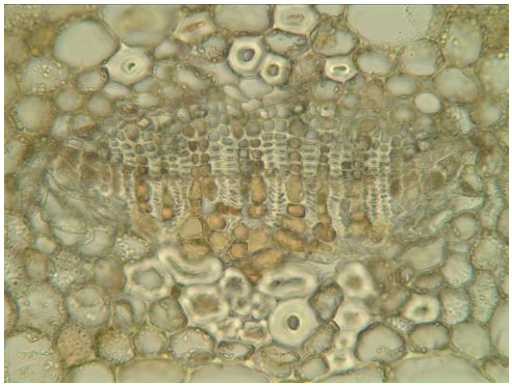


圖 4-2-68 台灣油杉 C077_ (20x)中肋

圖 4-2-69 台灣油杉 C077_(20x)下表皮及氣孔

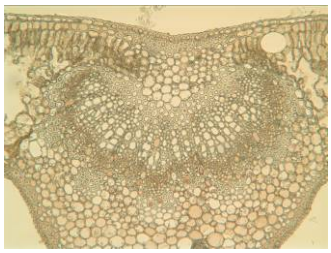


圖 4-2-70 大葉楠_(10x)中肋

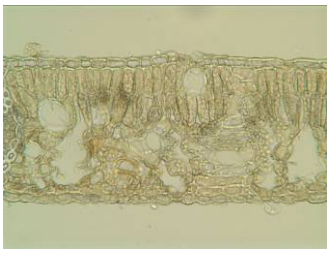


圖 4-2-71 大葉楠_(20x)上下表皮及葉肉

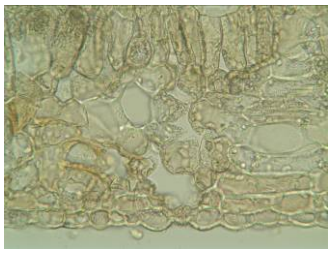


圖 4-2-72 大葉楠_(40x)下表皮及氣孔

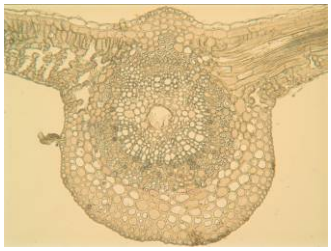


圖 4-2-73 楓香_(10x)中肋

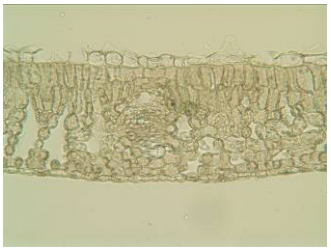


圖 4-2-74 楓香_ (20x)上下表皮及葉肉

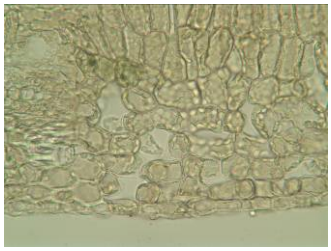


圖 4-2-75 楓香_ (40x)下表皮及氣孔

圖 4-2-76 梣木_(10x)中肋

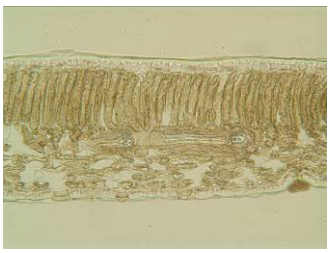


圖 4-2-77 梣木_(20x)上下表皮及葉肉

圖 4-2-78 梣木_(40x)下表皮及氣孔

圖 4-2-79 台灣油杉 D003_(20x)中肋

圖 4-2-80 台灣油杉 D003_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-81 台灣油杉 D051_(20x)中肋

圖 4-2-82 台灣油杉 D051_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-83 台灣油杉 D052_(20x)中肋

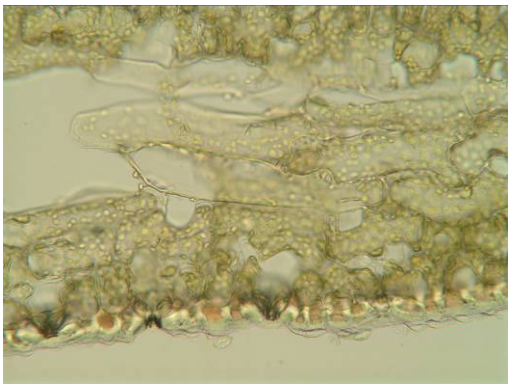


圖 4-2-84 台灣油杉 D052_(20x)下表皮及氣孔

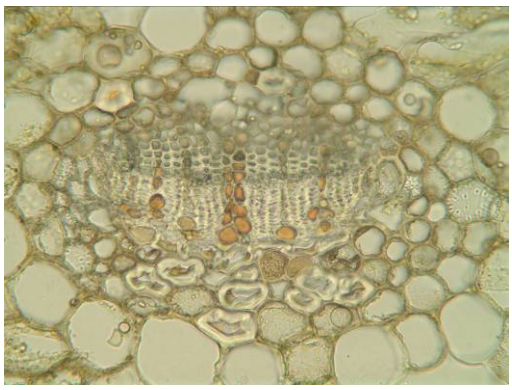


圖 4-2-85 台灣油杉 D054_ (20x)中肋

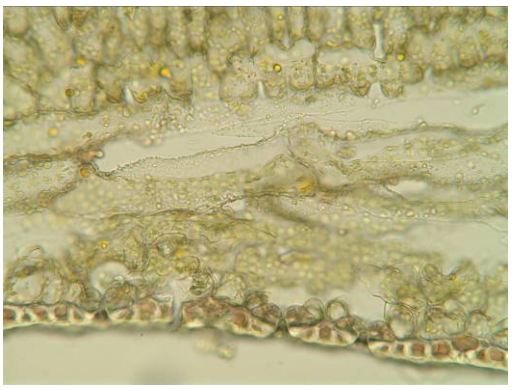


圖 4-2-86 台灣油杉 D054_(20x)下表皮及氣孔

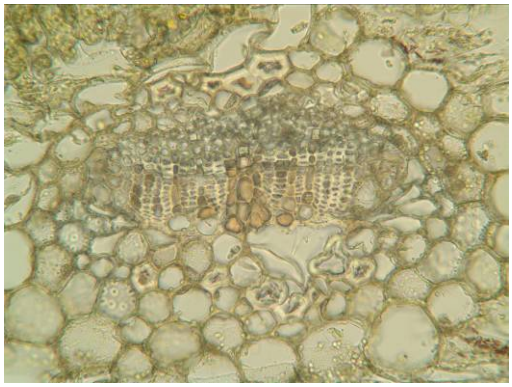


圖 4-2-87 台灣油杉 D055_ (20x)中肋

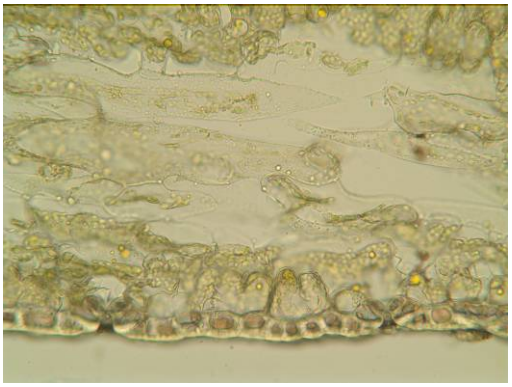


圖 4-2-88 台灣油杉 D055_(20x)下表皮及氣孔

圖 4-2-89 台灣油杉 D056_ (20x)中肋

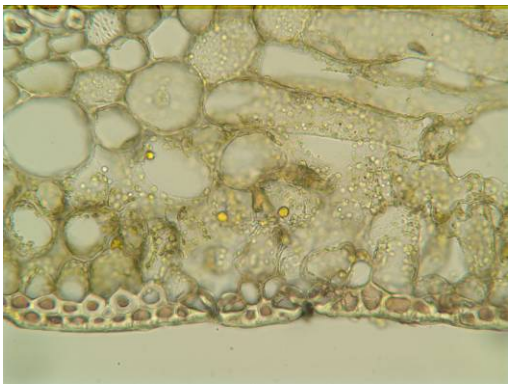


圖 4-2-90 台灣油杉 D056_(20x)下表皮及氣孔

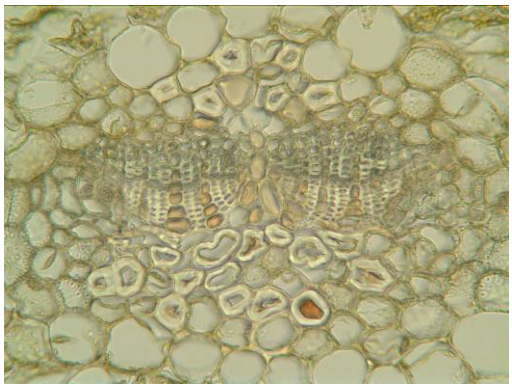


圖 4-2-91 台灣油杉 D060_ (20x)中肋

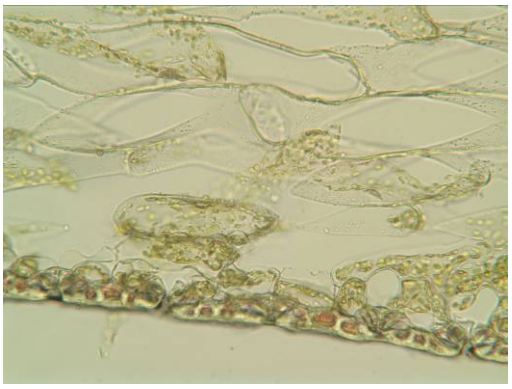


圖 4-2-92 台灣油杉 D060_(20x)下表皮氣孔

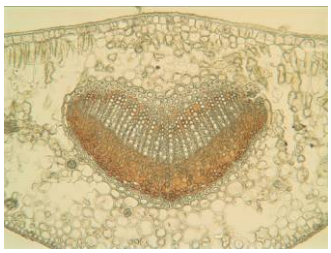


圖 4-2-93 大頭茶_(10x)中肋

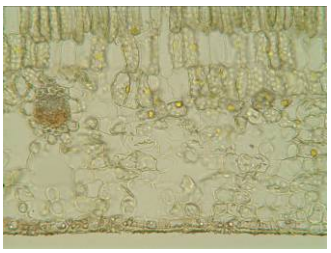


圖 4-2-94 大頭茶_(20x)下表皮及葉肉

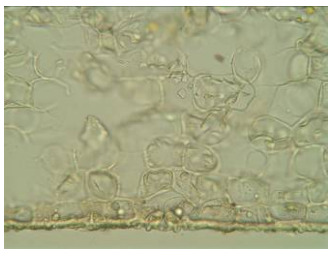


圖 4-2-95 大頭茶_ (40x)下表皮及氣孔

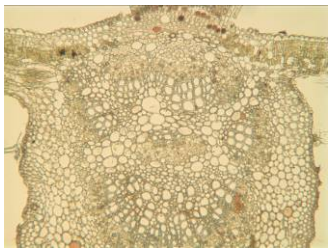


圖 4-2-96 白匏仔_(10x)中肋

圖 4-2-97 白匏仔_(20x)

圖 4-2-98 白匏仔_(40x) 上下表皮、葉肉及氣孔

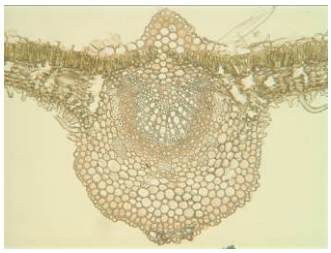


圖 4-2-99 裡白饅頭果_(10x)中肋

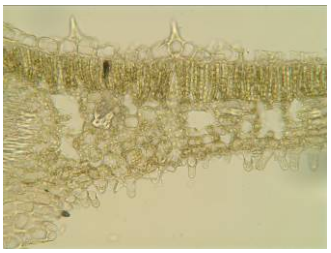


圖 4-2-100 裡白饅頭果 _ (20x)上下表皮及葉肉

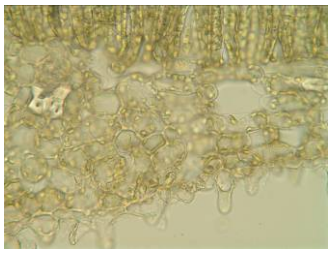


圖 4-2-101 裡白饅頭果_ (40x)下表皮及氣孔

第三部份:坪林台灣油杉自然保留區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測結果

(一) 雪山隧道通風設施與廢氣排放情形之背景資料

1-1 國內外隧道空氣品質監測結果

雪山隧道為一座具有雙行通車孔道的加強縱流式通風隧道，如圖 4-3-1-1 所示，每組通風站設置進氣豎井與排氣豎井各一座，新鮮空氣由進氣豎井引入隧道，稀釋隧道汽車排放廢氣及煙塵，污濁空氣再經由排氣豎井排出[交通部，2003]。排氣豎井為隧道內空氣最污濁的地方，需經由通風設備運作使排氣豎井與空氣互換處的污染物濃度恰能符合安全標準[陳慶祥，1998]

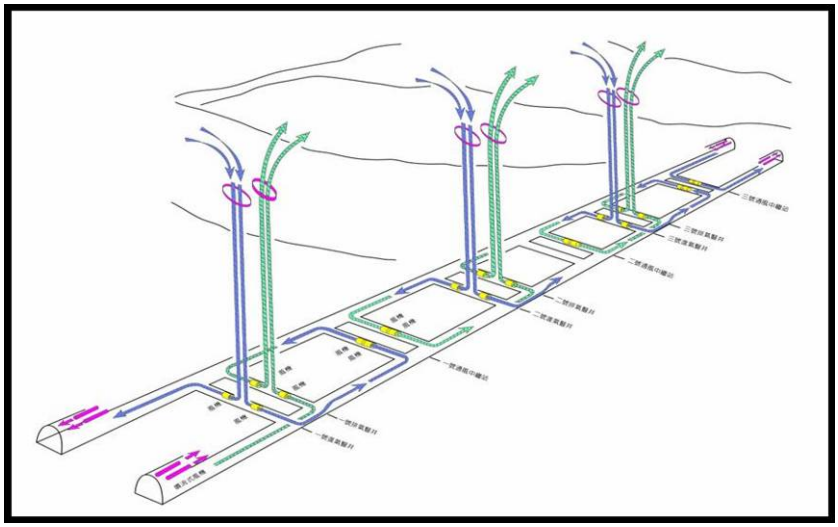


圖 4-3-1-1　雪山隧道通風設施示意圖

車輛行經隧道時，所排放的廢氣主要包含有一氧化碳（CO）、氮氧化物（NOX）、二氧化硫（SO_2）、總懸浮微粒（TSP）、懸浮微粒(PM_{10})、煙塵（Dust）等[王聖偉，2000]。國內部份學者過去曾經於主要都會區地下道進行空氣污染調查工作，如台北市隧道及地下道內空氣污染情形之調查[徐淵靜，1989] [蔣氏與江氏，1993]、桃園市民族路地下道內一氧化碳之監測[汪氏與江氏，1996]與高雄市車行地下道空氣品質特性研究[洪等，1998]。研究皆顯示，車行地下道中空氣污染物的濃度有時會達到周界大氣環境中 5

～10 倍，這些高濃度之空氣污染物不僅對人體健康有很大的影響，當廢氣經由排氣豎井排放出，亦將影響研究區內之台灣油杉生長環境。

除國內的相關研究外，國外學者對公路隧道之空氣品質也相當重視。Lonneman 等人[Lonneman , et al., 1970] [Lonneman , et al., 1986]的報告中指出，於 1970 與 1982 年的調查結果指出，美國 Lincoln 隧道中一氧化碳平均濃度分別為 15.6 與 65.8 ppm，氮氧化物平均濃度分別為 2.42 與 6.29 ppm。Haerter [1991]則指出一般公路隧道一氧化碳濃度約介於 20 ~ 100 ppm 間。而 Touaty 等人[Touaty, et al., 1996]在 1996 年於巴黎所進行的研究與 Duffy 等人[Duffy, et al., 1996]在 1996 年於雪梨 Harbour 隧道所進行的研究，及 Rogak 等人[Rogak, et al., 1998]於 1998 年在加拿大之 Cassiar 隧道所進行之研究，同樣發現隧道中之污染物主要是由燃料(如汽油或柴油)燃燒所產生。

另交通部國工局最早曾於 1995 年委託中興公司進行調查工作，模擬營運期間各豎井之廢氣排放情形[交通部，1995]，如表 4-3-1-1 所示，為原規劃之預估值，且為不限制車種行駛之情形下預估值。得知其模擬結果為：TSP 濃度約為 3 mg/m^3 ；SO2 濃度約介於 1.01 ~ 1.21 ppm ；NOx 濃度約介於 11.35 ~ 14.10 ppm；而 CO 濃度則約介於 55.51 ~ 60.76 ppm 間。由此可知，當這些高濃度之廢氣經由排氣豎井排出後，雖與戶外大氣進行混合稀釋，但污染物經長期的累積於葉面且經由沉降於土壤表面，將影響植物生長更甚者破壞研究區內之台灣油杉生態。

當通風豎井之排放廢氣進入大氣後，空氣污染物將影響林木與植物之生長，孫岩章於 1985 年，提出落塵和懸浮微粒降落在植物葉片表面上時，容易阻礙陽光和堵塞氣孔，因而防礙光合作用、呼吸作用和蒸散作用，而且塵埃中可能含一些有毒物質（如氟化物等）可通過溶解滲透，進入植物體內，影響植物生育[孫岩章，1985]。另廢氣成分中含有多種揮發性物質，大多為臭氧前趨物，待排放至大氣中與充足之光能量行成臭氧，而對植物造成許多傷害[Goldsmith and Friberg, 1982]，另根據陳正平等與林沛練等於

1996 年之研究，指出污染物 SO_2 與 NO_x 是造成雨水酸化最主要之污染物[陳正平，1996] [林沛鍊，1996]。而當酸雨降至地表土壤，將先和土壤中所含之鹼性金屬離子(如 K^+, Na^+, Ca^{2+},Mg^{2+}) 等先行中和，導致此等鹽基離子之流失，間接降低土壤之肥沃度，而使得林木之生長受到妨礙[林能暉等，1995]。另當森林經由酸雨的沖刷，導致植物樹葉上之養分被酸雨沖淋而流失；其保護組織也因酸化而受到相當程度的傷害，使得微生物藉此得以進入植物細胞內加以破壞，若再次受雨酸化，則因雙重傷害將導致植物加速枯萎而死亡[周孟麟，2001]。

表 4-3-1-1　雪山隧道各豎井廢氣排放情形推估表

排放指標	污染物	地點		
		一號豎井	二號豎井	三號豎井
總排放量(q)	TSP(g/s)	1.64	2.28	2.01
	SO_2(g/s)	1.64	2.28	2.00
	NO_x(g/s)	8.98	12.02	10.56
	CO(g/s)	36.11	54.90	48.22
排氣量(Q)	Q(cms)	520	840	760
廢氣排放濃度(C)	TSP($\mu g/m^3$)	3000	3000	3000
	SO_2(ppm)	1.21	1.04	1.01
	NO_x(ppm)	14.10	11.69	11.35
	CO(ppm)	60.76	57.19	55.51

國道五號之隧道區各通風站之大氣溫度、CO、NO 及 VI（能見度）及運作模式、PIARC（世界道路協會）對隧道空氣品質標準等資訊，詳見 http://www.freeway.gov.tw/content/webpage/5index.htm所示，根據近期研究顯示對鄰近茶樹影響非常輕微。

1-2　通車前污染物濃度

1-2-1 通車前懸浮微粒(PM_{10})濃度

五次懸浮微粒濃度採樣分析結果如圖 4-3-1-2 所示，隧道內外各採樣點之 PM_{10} 平均濃度以隧道口測點濃度最低，僅 34.3 $\mu g/m^3$；並以避車道處濃

度最高，可達 54.3 μg/m^3；另通風站與通風中繼站測點濃度則分別為 53.8 與 45.4 μg/m^3。

另針對雪山隧道南下線與北上線各 8 個避車道處懸浮微粒濃度進行採樣分析，共計 16 個避車道進行量測，如圖 4-3-1-3 所示，隧道內南下線各避車道之濃度約介於 48.1 ~ 65.0 μg/m^3 間，而北上線各避車道之濃度則約介於 47.8 ~ 66.8 μg/m^{3}之間，可知營運前無論北上線或南下線各避車道之懸浮微粒濃度差異有限，但避車道之懸浮微粒濃度較兩端隧道口之懸浮微粒濃度(27.1 ~ 36.5 μg/m^3)略高。由此顯示出，雖仍未通車，但因長隧道內之擴散稀釋現象較差，致使濃度值高出隧道口許多。

經比較隧道內外各測點懸浮微粒濃度逐月量測結果，如圖 4-3-1-4 所示，得知以避車道測點懸浮微粒濃度(43.7 ~ 63.7 μg/m^3)最高，通風站(52.5 ~ 55.2 μg/m^3)次之，再者為通風中繼站測點(41.7 ~ 49.7 μg/m^3)，隧道口測點最低(27.1 ~ 42.3 μg/m^3) 。

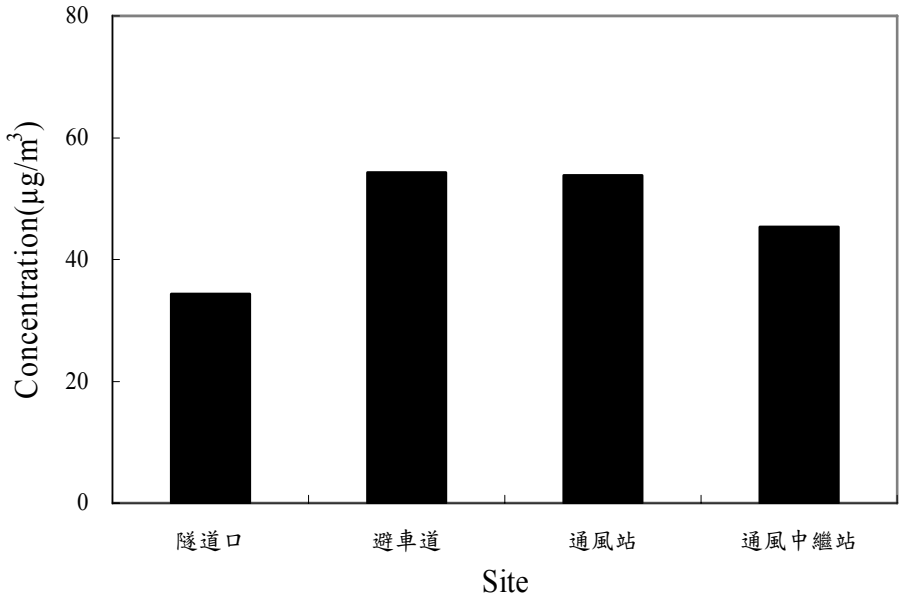
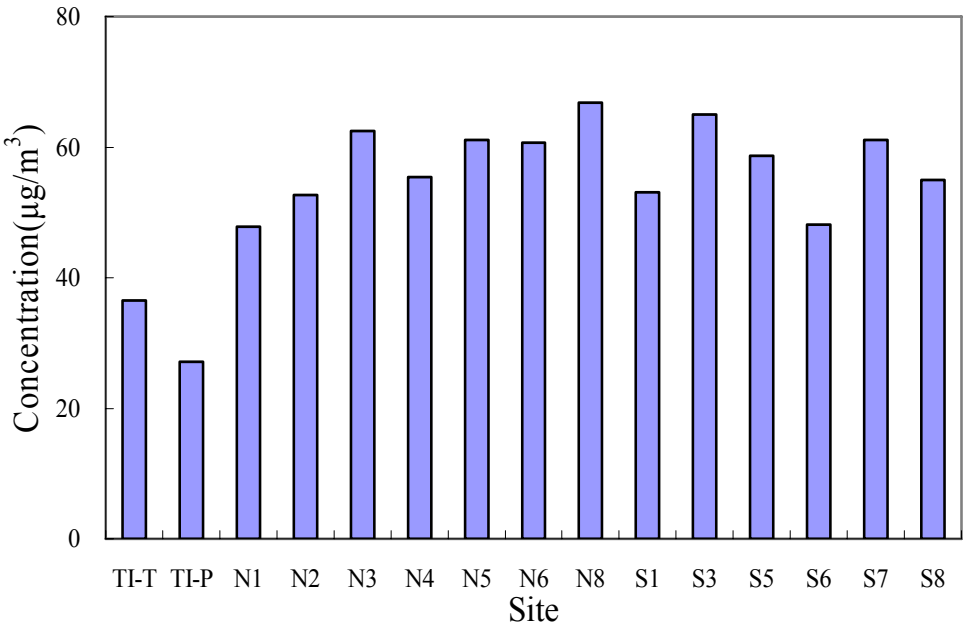


圖 4-3-1-2　雪山隧道通車前各測點懸浮微粒背景濃度值



註：TI-P：表坪林隧道口 TI-T：表頭城隧道口 S：表南下線 N：表北上線

圖 4-3-1-3 隧道口與各避車道測點之懸浮微粒濃度變化

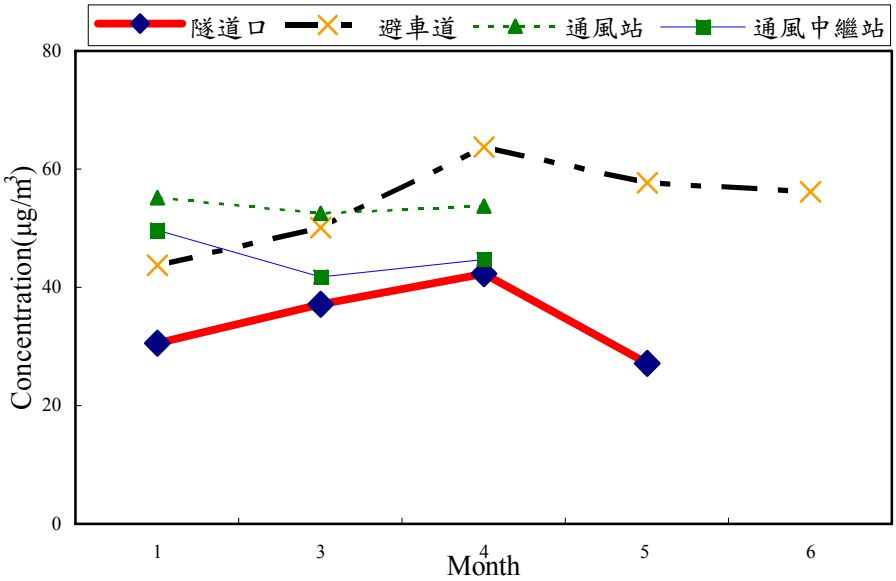


圖 4-1-2-4 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒濃度逐月變化

1-2-2 通車前一氧化碳(CO)濃度

一氧化碳濃度三次採樣分析結果如圖 4-3-1-5 所示，隧道內外各採樣點之 CO 平均濃度以隧道口測點最低，僅 0.46 ppm；避車道最高，可達 0.64 ppm；另通風站與通風中繼站測點濃度分別為 0.63 與 0.58 ppm。

另針對雪山隧道南下線與北上線各 8 個避車道，共 16 個避車道進行量測，如圖 4-3-1-6 所示，隧道內南下線各避車道之濃度約介於 0.52 ~ 0.76 ppm 間，而北上線各避車道之濃度則約介於 0.45 ~ 0.73 ppm 之間，此濃度值與兩端隧道口之濃度(0.38 ~ 0.46 ppm)相近，乃因尚未營運期間，並未受到移動污染源之影響。

經分別對隧道內外各測點逐月進行量測比較結果如圖 4-3-1-7 所示，得知避車道測點(0.61 ~ 0.71 ppm)最高，通風站(0.56 ~ 0.68 ppm)次之，再者為通風中繼站測點(0.47 ~ 0.68 ppm) ，隧道口測點最低(0.38 ~ 0.64 ppm) 。

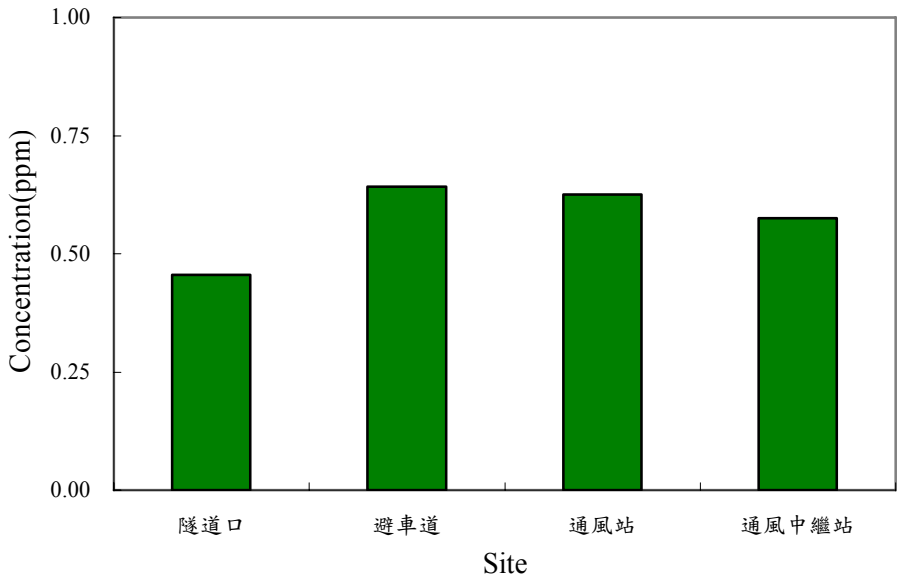


圖 4-3-1-5　雪山隧道通車前各測點一氧化碳背景濃度值

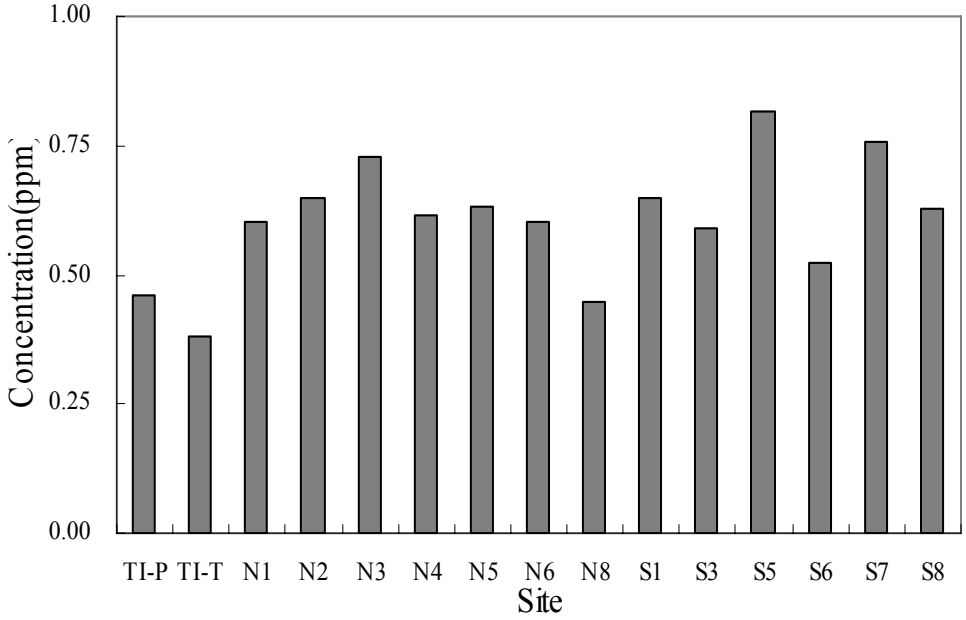


圖 4-3-1-6　隧道口與各避車道測點之一氧化碳濃度變化

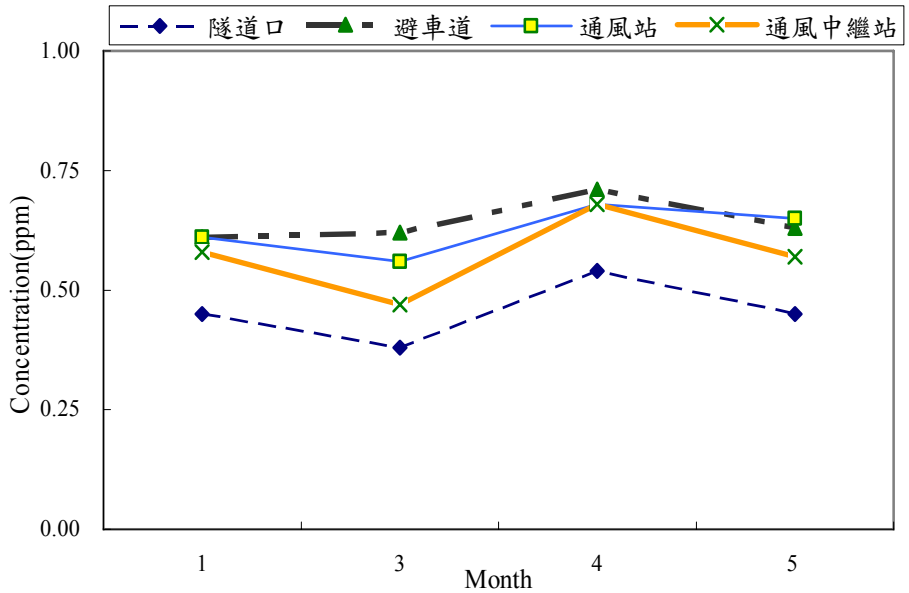


圖 4-3-1-7　雪山隧道通車前各測點一氧化碳濃度逐月變化

1-2-3 通車前二氧化硫(SO_2)濃度

二氧化硫濃度三次採樣分析結果如圖 4-3-1-8 所示，隧道內外各採樣點之 SO_2 平均濃度以避車道測點最低，僅 0.94 ppb；通風中繼站最高，可達 1.08 ppb；另通風站與隧道口測點濃度分別為 1.03 與 1.04 ppb。

另針對雪山隧道南下線與北上線各 8 個避車道，共 16 個避車道進行量

測，如圖 4-3-1-9 所示，隧道內南下線各避車道之濃度約介於 0.74 ~ 1.11 ppb 間，而北上線各避車道之濃度則約介於 0.65 ~ 1.13 ppb 之間，此濃度值與兩端隧道口之濃度(0.81 ~ 1.07 ppb)相近，乃因尚未營運期間，並未受到移動污染源之影響。

經分別對隧道內外各測點逐月進行量測比較結果如圖 4-3-1-10 所示，得知通風中繼站測點(1.01 ~ 1.22 ppb)最高，通風站(0.95 ~ 1.16 ppb)次之，再者為隧道口測點(0.92 ~ 1.12 ppb)，避車道測點最低(0.88 ~ 0.98 ppb)。

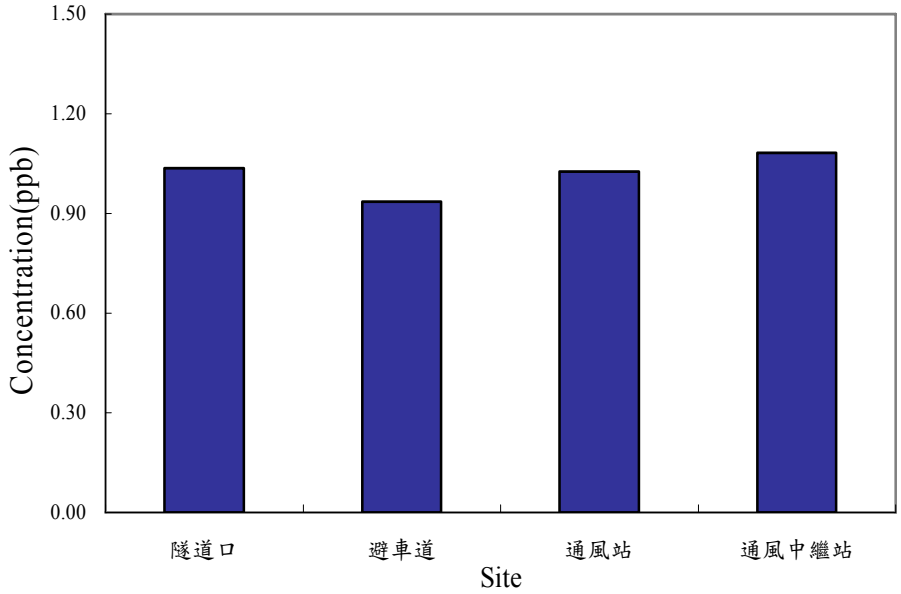


圖 4-3-1-8 雪山隧道通車前各測點二氧化硫背景濃度值

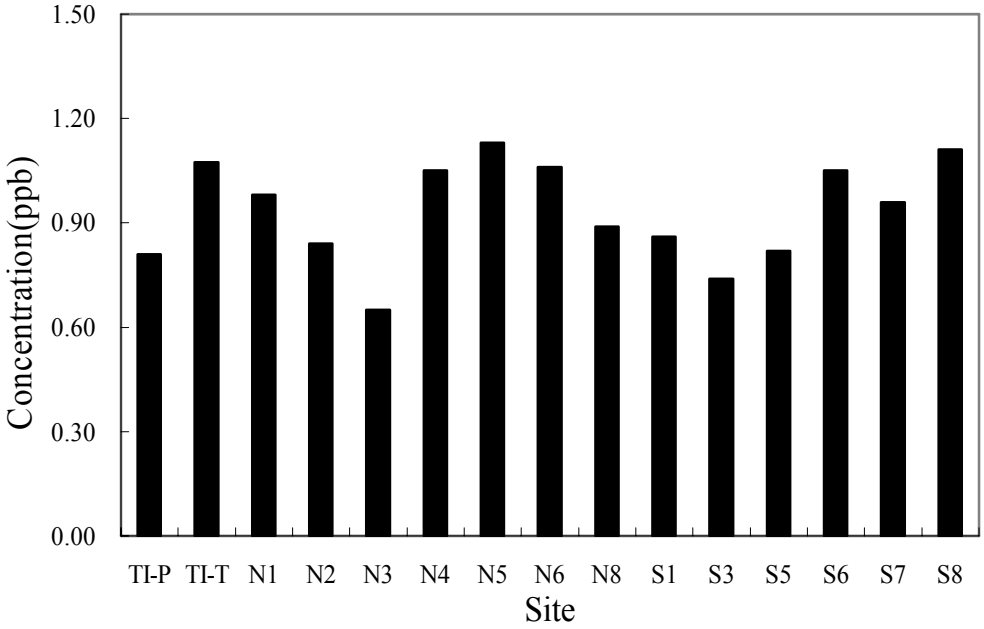


圖 4-3-1-9　隧道口與各避車道測點之二氧化硫濃度變化

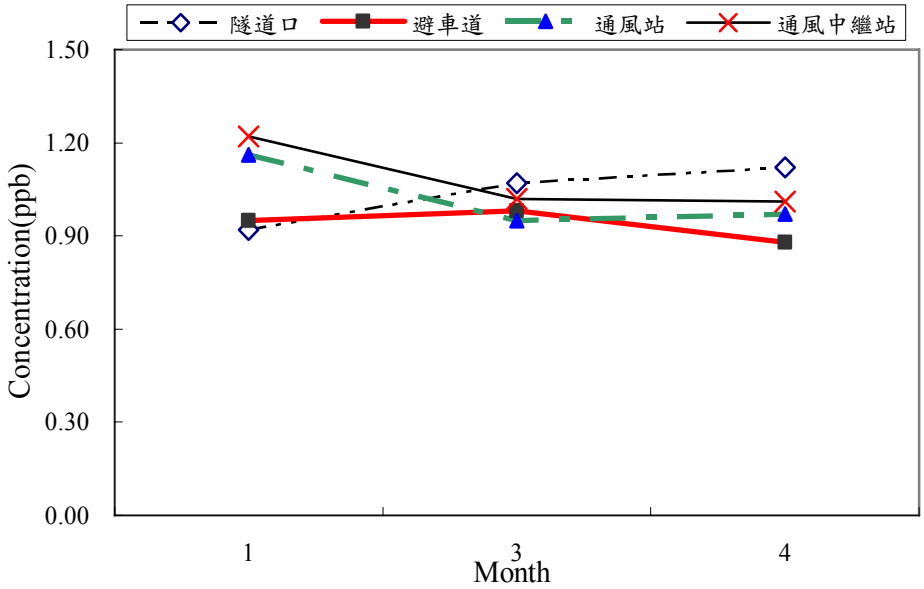


圖 4-3-1-10　雪山隧道通車前各測點二氧化硫濃度逐月變化

1-2-4 通車前氮氧化物(NOx)濃度

氮氧化物濃度三次採樣分析結果如圖 4-3-1-11 所示，隧道內外各採樣點之 NO、NO_2 與 NO_x 平均濃度以避車道測點最低，僅分別為 1.01、3.31 與 4.33 ppb；隧道口最高，分別可達 3.96、7.07 與 11.03 ppb；另通風站為 1.57、4.50 與 6.07 ppb，而通風中繼站測點濃度則分別為 1.33、3.78 與 5.11

ppb。

另針對雪山隧道南下線與北上線各 8 個避車道，共 16 個避車道進行量測，如圖 4-3-1-12 所示，隧道內南下線各避車道之 NO、NO_2 與 NO_x 濃度約分別介於 0.69 ~ 1.02、2.19 ~ 4.85 與 2.92 ~ 5.74 ppb 間，而北上線各避車道之 NO、NO_2 與 NO_x 濃度則約介於 0.59 ~ 1.26、2.19 ~ 7.52 與 3.42 ~ 4.78 ppb 之間，此濃度值比兩端隧道口之濃度 NO(1.21 ~ 3.29 ppb)、NO_2(7.07 ~ 7.52 ppb)與 NO_x(8.73 ~ 10.36 ppb)較低，乃因尚未營運期間，並未受到移動污染源與隧道內光能量較少之影響。

經分別對隧道內外各測點逐月進行量測比較結果如圖 4-3-1-13 至 4-3-1-15 所示，得知 NO 濃度在隧道口測點(2.36 ~ 5.25 ppb)最高，通風站(1.03 ~ 2.13 ppb)次之，再者為通風中繼站測點(0.83 ~ 1.73 ppb)，避車道測點最低(0.94 ~ 1.15 ppb) 。NO_2 濃度在隧道口測點(5.69 ~ 8.63 ppb)最高，通風站(3.62 ~ 5.32 ppb)次之，再者為通風中繼站測點(2.89 ~ 4.89 ppb)，避車道測點最低(3.14 ~ 3.36 ppb) 。NO_x 濃度在隧道口測點(8.05 ~ 13.88 ppb)最高，通風站(4.65 ~ 7.45 ppb)次之，再者為通風中繼站測點(3.72 ~ 6.62 ppb)，避車道測點最低(4.09 ~ 4.59 ppb)。

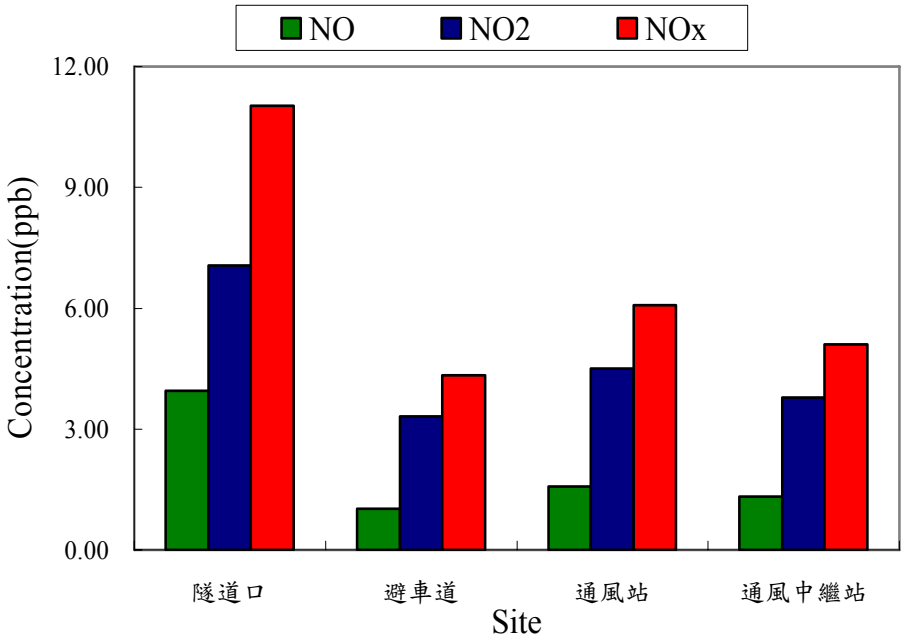


圖 4-3-1-11　雪山隧道通車前各測點氮氧化物背景濃度值

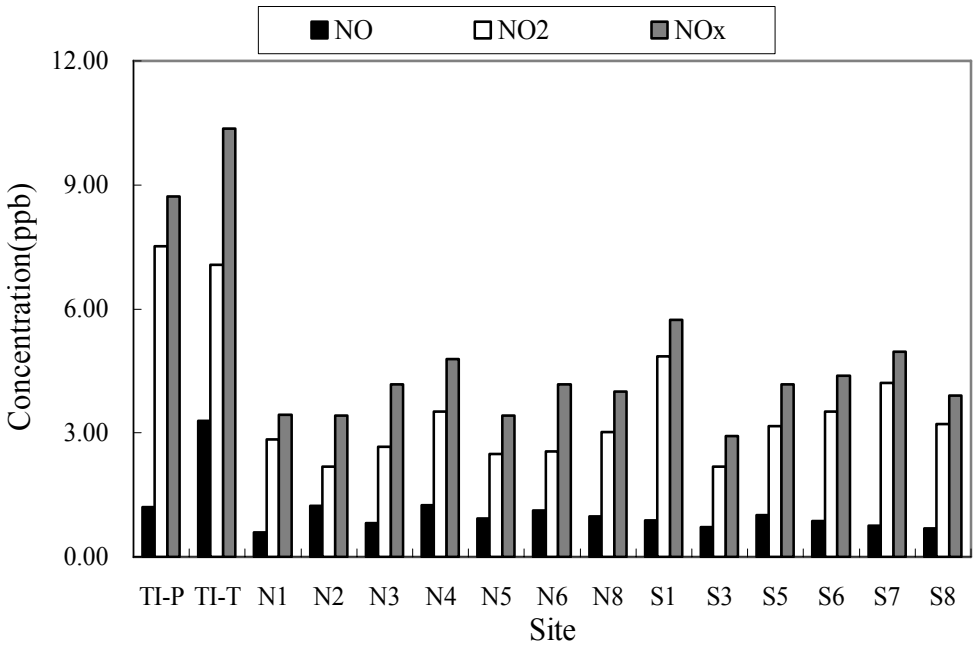


圖 4-3-1-12　隧道口與各避車道測點之氮氧化物濃度變化

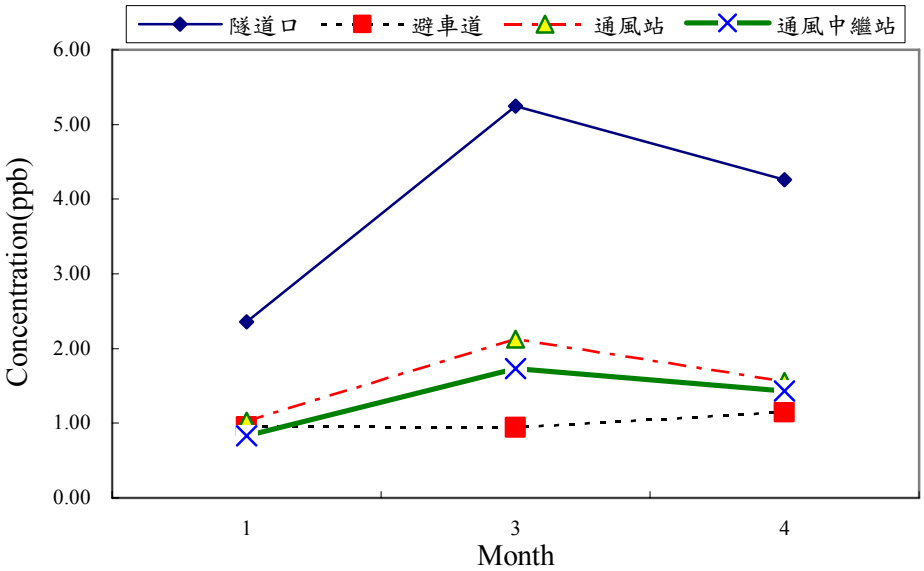


圖 4-3-1-13　雪山隧道通車前各測點 NO 濃度逐月變化

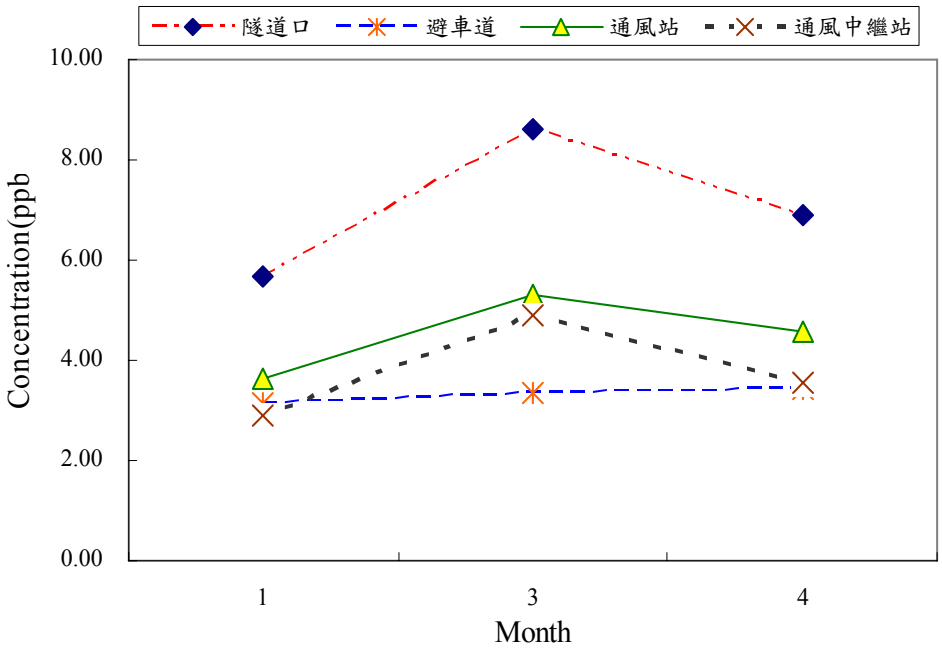


圖 4-3-1-14　雪山隧道通車前各測點 NO_2 濃度逐月變化

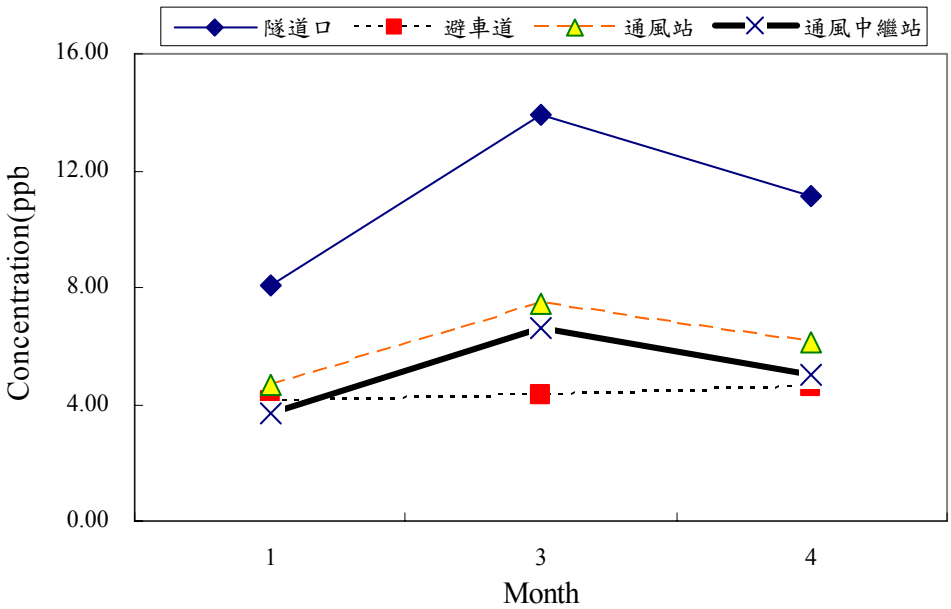


圖 4-3-1-15　雪山隧道通車前各測點 NOx 濃度逐月變化

表 4-3-1-2 雪山隧道通車前各污染物監測濃度

污染物	地點				
	隧道口	避車道	通風站	通風中繼站	排氣豎井出口鄰近處
$PM_{10}(\mu g/m^3)$	34.3** (27.1 ~ 36.5)*	54.3** (43.7 ~ 63.7)*	53.8** (52.5 ~ 55.2)*	45.4** (41.7 ~ 49.7)*	20.9
CO(ppm)	0.46** (0.38 ~ 0.54)*	0.64** (0.61 ~ 0.71)*	0.63** (0.56 ~ 0.68)*	0.58** (0.47 ~ 0.68)*	0.16** (0.11 ~ 0.24)*
SO_2(ppb)	1.04** (0.92 ~ 1.12)*	0.94** (0.88 ~ 0.98)*	1.03** (0.95 ~ 1.16)*	1.08** (1.01 ~ 1.22)*	1.27** (1.03 ~ 1.45)*
NO(ppb)	3.96** (2.36 ~ 5.25)*	1.01** (0.94 ~ 1.15)*	1.57** (1.03 ~ 2.13)*	1.33** (0.83 ~ 1.73)*	4.95** (4.31 ~ 7.71)*
NO_2(ppb)	7.07** (5.69 ~ 8.63)*	3.31** (3.14 ~ 3.36)*	4.50** (3.62 ~ 5.32)*	3.78** (2.89 ~ 4.89)*	28.24** (22.91 ~ 33.52)*
NO_x(ppb)	11.03** (8.05 ~ 13.88)*	4.33** (4.09 ~ 4.59)*	6.07** (4.65 ~ 7.45)*	5.11** (3.72~ 6.62)*	33.19** (26.81 ~ 39.82)*

註:**表平均濃度　*表通車前之濃度範圍

1-3　北宜公路污染物濃度監測

位於北宜公路污染物濃度監測，SO_2 的濃度為 3.00 ppb、CO 的濃度為 0.31 ppm、NO 的濃度為 2.09 ppb、NO_2 的濃度為 1.33 ppb 及 NOx 的濃度為 3.41 ppb。如圖 4-3-1-16，所示。

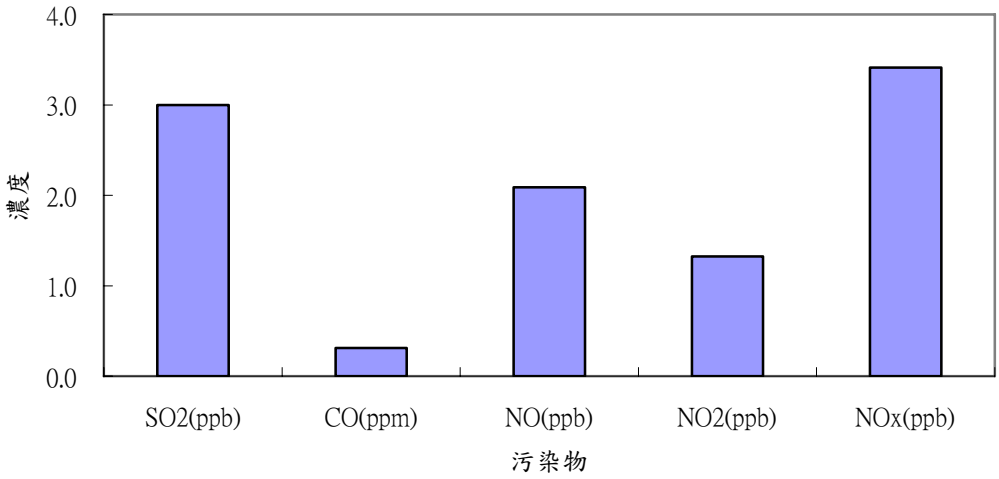


圖 4-3-1-16　北宜公路污染物濃度監測

1-4　空氣穩定度評估資料

一般空氣品質模式所需輸入之氣象資料包括日期、時間、風向、風速、地面溫度、大氣穩定度及混合層高度。與國內氣象監測資料比較，所缺者為穩定度及混合層高度；其中穩定度必須由風速、日照強度、雲量等地面氣象監測資料求得，而混合層高度則必須由探空資料，輔以逐時之地面溫度才能求出。

根據「Air Pollution Modeling」一書，大氣穩定度的計算方法可由下列方法加以決定：

Pasquill 方法首先在 1961 年(民國 50)提出，後來在 1974 年(民國 63)修正，目前在穩定度分類系統上，使用的頻率最高。穩定度等級分成六級，分別是 A,B,C,D,E,F，其穩定度的決定因素為日照強度、雲量及風速。白天依照日照強度分為強、中、弱三個等級，而夜晚則以雲量 0.5 作為分界點。配合五個風速區間之風速大小既可求出穩定度等級，其分類方式參考表 4-3-1-3。日照強度之決定可從兩個方式來看，若氣象測站有監測輻射量者，

可由輻射量查出日照強度，如表 4-3-1-4。

今年度，四季之季平均日照強度分別為弱、中、強及中。四季之季平均風速分別為 8.1、6.9 、8.3 及 5.5 m/s，以上數據為中央氣象局所提供。由以上數據，得知四季之大氣穩定度分別為 D、D、C 及 C，如表 4-3-1-5 所示。

表 4-3-1-3　穩定度分類表

時間	輻射量	地表風速(m/s)				
		＜2	2to3	3to5	5to6	＞6
日間	強	A	A-B	B	C	C
	中	A-B	B	B-C	C-D	D
	弱	B	C	C	D	D
	雲量					
夜間	＞＝0.5	F	E	D	D	D
	＜0.5	F	F	E	D	D

表 4-3-1-4　輻射量與日照強度之關係

日照強度	輻射量(ly/min)
弱	<0.4
中	0.4 to 0.8
強	>0.8

表 4-3-1-5　四季之穩定度評估

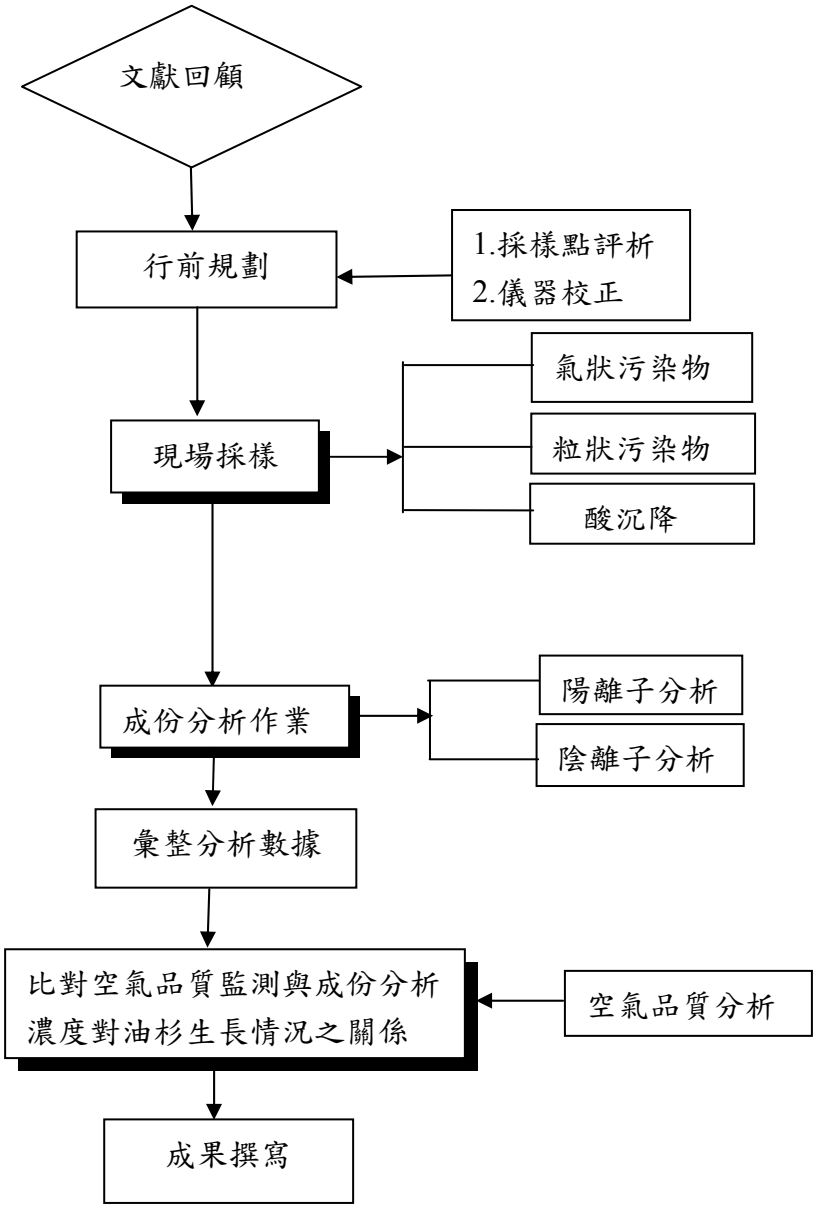
	第一季	第二季	第三季	第四季
季平均日照強度	弱	中	強	中
季平均風速 (m/s)	8.1	6.9	8.3	5.5
穩定度	D	D	C	C

(二) 對坪林台灣油杉自然保留區環境受空氣污染情形監測之流程與工作

本研究依據先前所提出之研究目標，研究流程如圖 4-3-2-1 所示，擬於雪山隧道1號排氣豎井鄰近處(排氣豎井出口鄰近法定周界範圍10公尺處)與坪林台灣油杉自然保留區內架設監測點，因為該計劃之台灣油杉區大部分是靠近坪林附近，而 1 號豎井比較靠近坪林的台灣油杉區，2、3 號豎井則較靠近頭城，故選擇 1 號豎井來進行監測，另亦於 1 號豎井臨近的台灣油杉 A 區及臨近民宅(大林村 9 鄰 28 號)。並規劃於每季採樣一次，每次採樣設備含總懸浮微粒採樣器(TSP)、懸浮微粒採樣器(PM_{10})、細懸浮微粒採樣器($PM_{2.5}$)、酸沈降採樣器、一氧化碳分析儀、氮氧化物分析儀、二氧化硫分析儀與臭氧分析儀。並將採集於濾紙上所得之微粒樣品，進行微粒化學成份分析，以建立豎井所排放微粒之特性。本研究中主要分析之化學成份分為水溶性離子(分析物種包括 Cl^-、NO_3^-、NO_2^-、PO_4^{3-}、SO_4^{2-}、Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}與 Ca^{2+}等十種離子)，本研究之實驗參數如表 4-3-2-0 所示。其中水溶性離子係以離子層析儀(Ion chromatography, IC)進行分析，離子層析儀是屬於液相層析儀的一種，其原理係利用流洗液與固相離子交換樹脂間之離子交換，由於每種離子在管柱中之停留時間不同，吾人即可藉此性質之差異加以分離。本研究所進行玻璃纖維濾紙上萃取微粒樣品離子成份之程序，係以 20 mL 去離子水浸泡採樣濾紙 24 小時，再取出溶液過濾後作為離子層析儀之分析樣品。

表 4-3-2-1　實驗參數表

項目	實驗內容
粒狀物	TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$
氣狀物	CO、NO、NO_2、NOx、SO_2、O_3
酸沉降	Cl^-、NO_3^-、NO_2^-、PO_4^{3-}、SO_4^{2-}、Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 、pH 值
採樣頻率	每季一次(12 月、3 月、6 月、9 月)
採樣地點	1 號豎井鄰近處、坪林台灣油杉自然保留區內



註：具陰影者為本研究重點

圖 4-3-2-1　研究流程圖

本研究之主要工作項目如下：

1. 排放豎井鄰近處之空氣品質監測與坪林台灣油杉自然保留區內酸性沉降之成分分析

(1) 於採樣作業開始前，對採樣儀器進行檢查與流量校正。

(2) 於採樣地點架設高量採樣器與氣狀污染物連續監測分析儀。

(3) 將採集完畢之濾紙帶回實驗室調理與後續分析。

(4) 將樣品進行前處理，進行微粒成份分析。

(5) 使用電腦分析、統計數據及繪製圖表。

(6) 建立之排放豎井鄰近處與研究區之空氣品質與微粒特徵資料。

2. 比對空氣品質監測與成份分析濃度對台灣油杉生長情況之關係

(1) 建立蔣渭水高速公路雪山隧道營運期間此研究區之環境背景資料庫。

(2) 分析豎井排氣對台灣油杉自然保留區可能產生之危害，及其影響範圍。

(3) 將監測結果與推估排放量結果進行分析，依據其空氣污染排放特性研擬可行之短期及中長期污染改善策略。

(三) 環境監測之結果

3-1 車流量監測結果

雪山隧道通車後所產生之空氣污染來源主要為車輛排放之廢氣，因此為評估雪山隧道通車後空氣品質之影響，通車後車流量與排放特性之關係，進行車流量資料收集及調查方面，於監測採樣同時，利用設置攝錄影機之方式記錄交通量，再以人工計數統計方式，將經過隧道之車輛數，每隔一小時計數一次。另亦經由坪林行控中心所提供車流量資料，進行比對。

從九十五年八月至九十六年三月雪山隧道通車後之車流量統計，如圖 4-3-3-1 及 4-3-3-2 所示。無論是北上或南下線，其車流量於假日(週六與週

日)都較平常日高出許多。北上線非假日平均每日車流量約為 15,340 車次，並於二月份平均每日車流量最高，此時段每日車流量可達 21805 車次；假日平均每日車流量則高達 21705 車次且於二月份平均每日車流量最高，此時段每日車流量可達 22,419 車次，其假日車流量較非假日多出 41.49 %。南下線非假日平均每日車流量則約為 15,752 車次，並於二月份平均每日車流量最高，此時段每日車流量可達 21,438 車次；假日平均每日車流量則高達 23,971 車次且於二月份平均每日車流量最高，其每日車流量可達 25844 車次，其假日車流量較非假日多出 52.17 % [交通部，2007] 。得知雪山隧道於二月份車流量相當龐大，此時隧道豎井所排放污染物濃度略高，極可能對台灣油杉區植物生長帶來危害，建議應對所排放廢氣予以處理。。

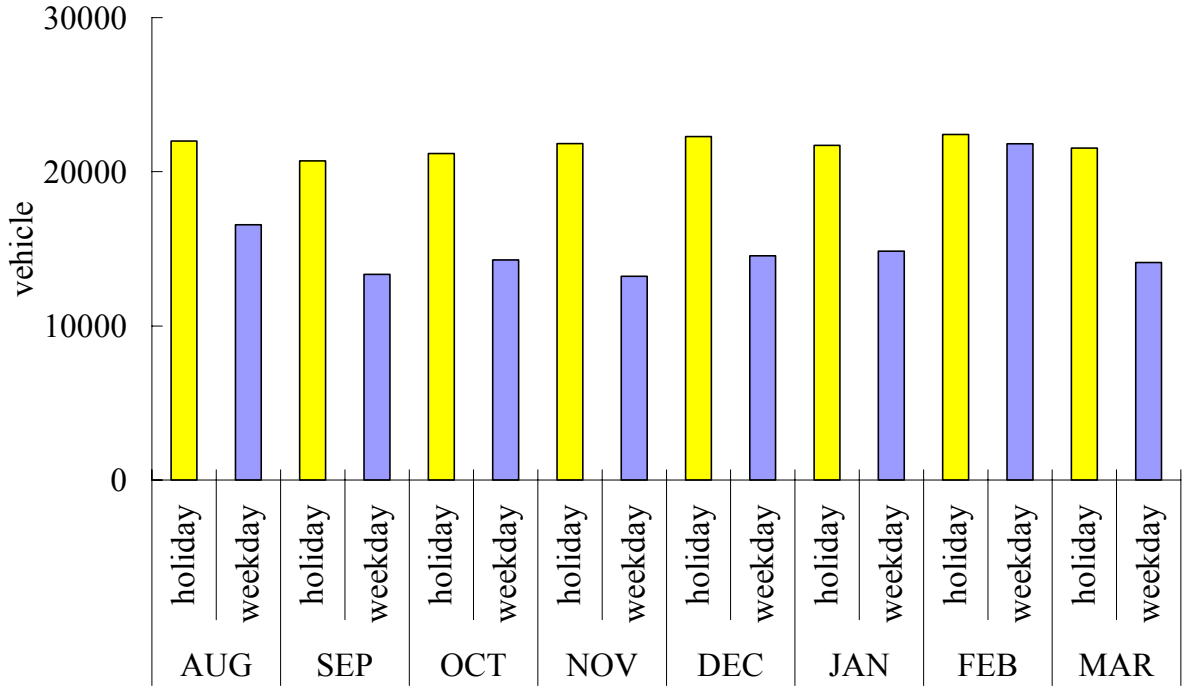


圖 4-3-3-1　北上台北逐月假日與非假日之每日平均車流量

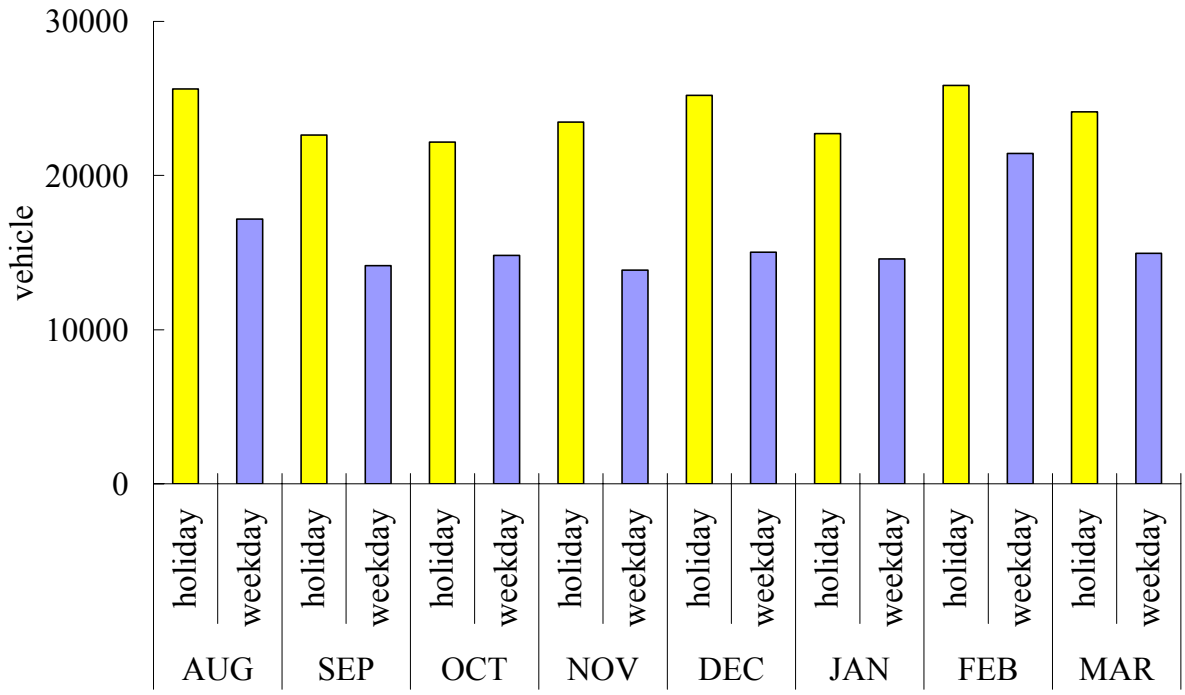


圖 4-3-3-2　南下宜蘭逐月假日與非假日之每日平均車流量

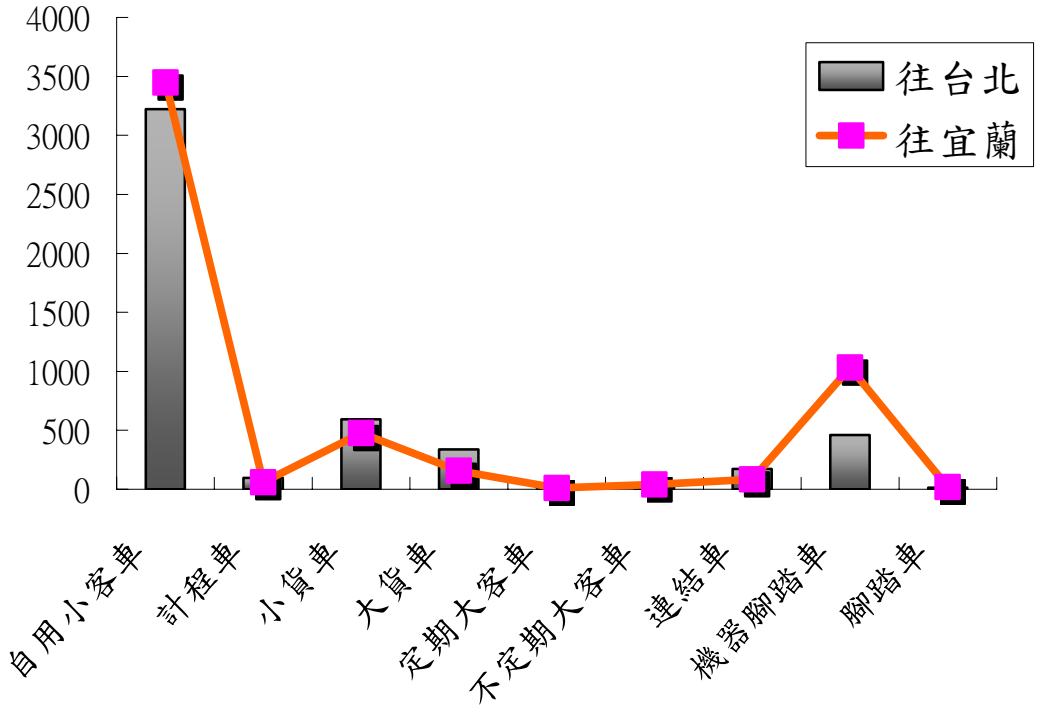


圖 4-3-3-3　雪山隧道通車前之台 9 線日平均車流量

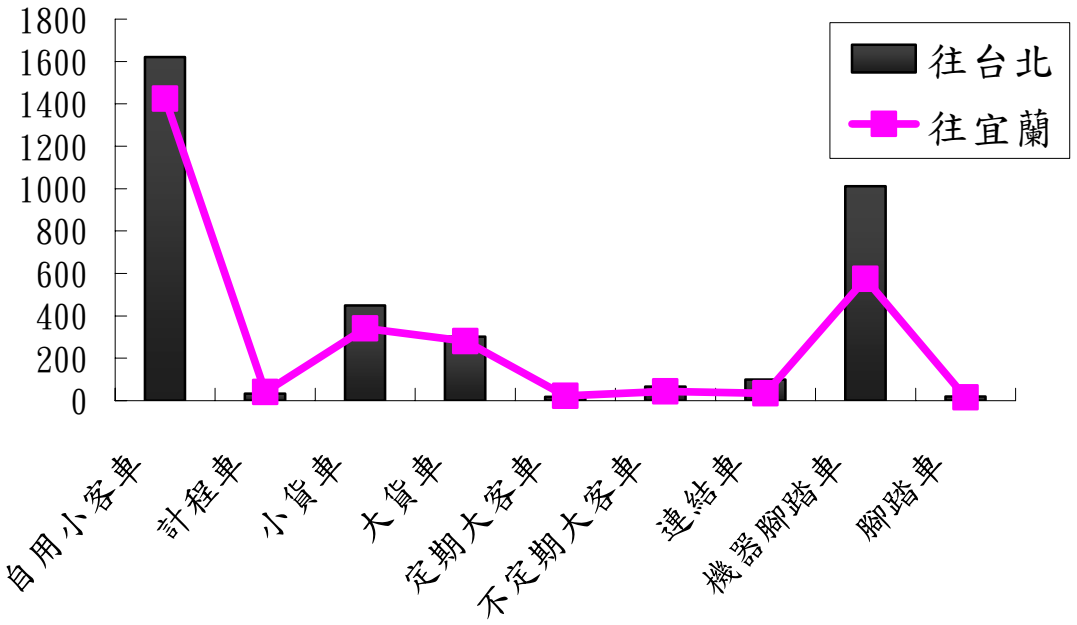


圖 4-3-3-4　雪山隧道通車後之台 9 線日平均車流量

3-2　隧道內空氣品質監測結果

3-2-1 懸浮微粒(PM_{10})濃度

各測點之 PM_{10} 濃度如圖 4-3-3-5 至圖 4-3-3-7 所示，非假日尖峰時段之濃度以近出風口處(隧道內 N1 與 S8)最高(200 ~ 201 μg/m^3)，中間處(N4 與 S4)次之(168 ~ 183 μg/m^3)，近入風口處(隧道內 N8 與 S1)最低(131 ~ 141 μg/m^3)。而於假日時段近出風口處亦可高達 215 ~ 222 μg/m^3 之間，中間處為 178 ~ 201 μg/m^3 之間，近入風口處為 145 ~ 153 μg/m^3 之間。在尖峰時段，近出風口處與中間處 PM_{10} 濃度之比值約介於 1.10 ~ 1.21 倍，而近出風口處與近入風口處 PM_{10} 濃度的比值則介於 1.45 ~ 1.48 倍；於假日時段，近出風口處、中間處與近入風口處 PM_{10} 濃度較非假日同時段之濃度分別高出 7.50 ~ 11.00、5.95 ~ 9.84 與 2.84 ~ 16.03 %，得知各測點濃度因車流量增多而上升，且於尖峰時段近出風口處之濃度已高於空氣品質標準(250μg/m^3)，易對人體健康產生影響。

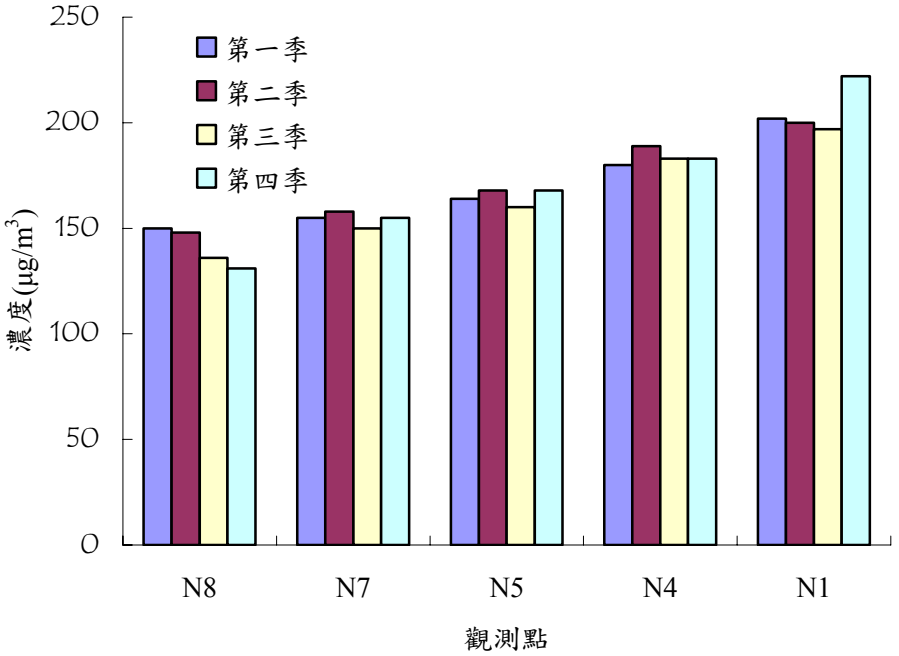


圖 4-3-3-5 本年度北上懸浮微粒(PM_{10})平均濃度

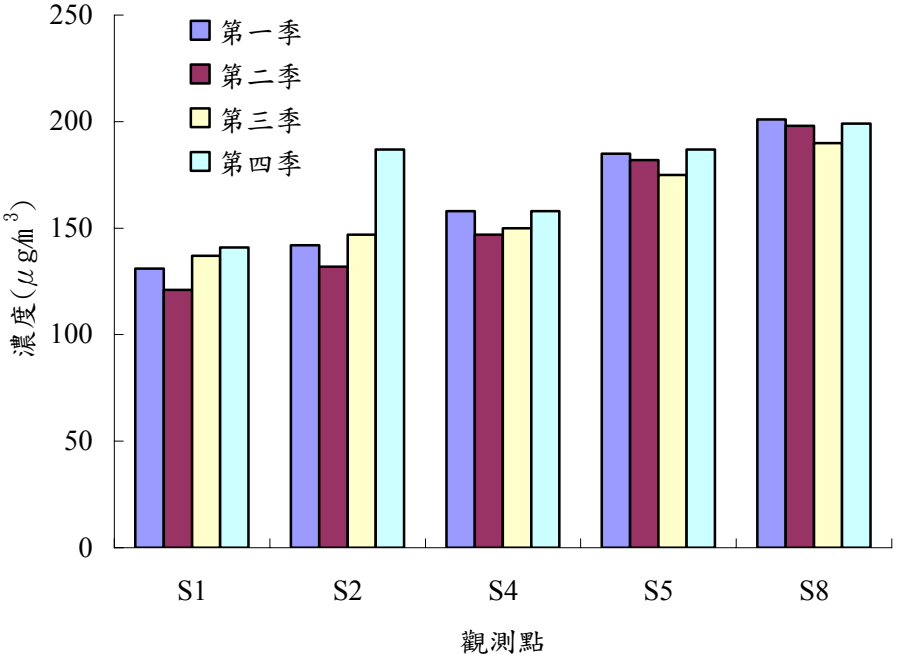


圖 4-3-3-6 本年度南下懸浮微粒(PM_{10})平均濃度

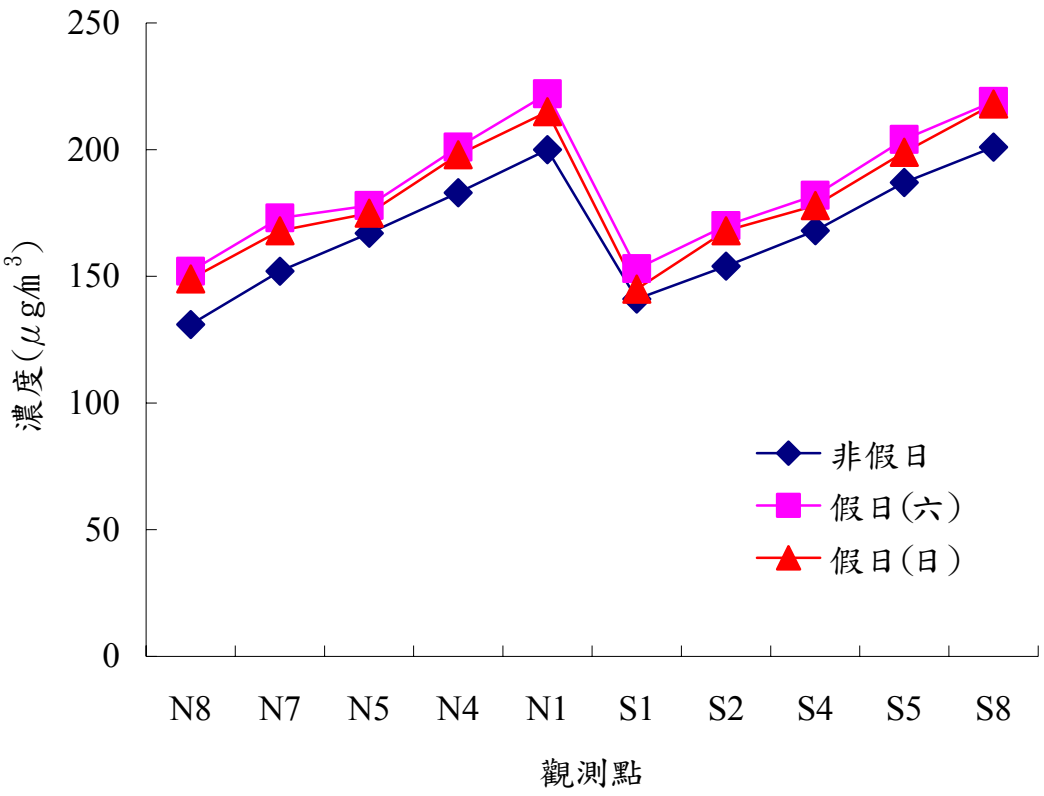


圖 4-3-3-7　本年度非假日與假日 PM_{10} 平均濃度測值

3-2-2 一氧化碳(CO)濃度

一氧化碳為汽車燃燒不完全的產物，隧道通風設計時，常以 CO 濃度為設計標準之一。圖 4-3-3-8 至圖 4-3-3-14 發現其濃度變化與車流量尖離峰變化趨勢相似，北上線假日與非假日各測點之濃度分別約為 N1(21.9 ~ 25.7 ppm)、N4(14.5 ~ 16.0 ppm) 、N5(12.7 ~ 14.7 ppm) 、N7(7.9 ~ 8.8 ppm)與 N8(7.3 ~ 8.1 ppm)。南下線假日與非假日各測點之濃度範圍分別為 S1(11.9 ~ 13.3 ppm)、S2(13.6 ~ 15.8 ppm) 、S4(16.8 ~ 17.6 ppm)、S5(17.2~ 18.5 ppm)與 S8(23.1 ~ 25.1pm) 另比較各測點 CO 濃度隨隧道空間之分布情形，非假日北上線近出風口處與中間處 CO 濃度之比值約介於 1.01 ~ 1.06 倍，而近出風口處與近入風口處 CO 濃度的比值則介於 3.00 ~ 3.17 倍；而南下線近出風口處與中間處 CO 濃度之比值約介於 1.04 ~ 1.11 倍，而近出風口處與近入風口處 CO 濃度的比值則介於 1.78 ~ 1.94 倍；假日北上線近出風口處

與中間處 CO 濃度之比值約介於 1.08 ~ 1.16 倍，而近出風口處與近入風口處 CO 濃度的比值則介於 3.22 ~ 3.05 倍；而南下線近出風口處與中間處 CO 濃度之比值約介於 1.01 ~ 1.14 倍，而近出風口處與近入風口處 CO 濃度的比值則介於 1.68 ~ 1.75 倍，其原因可能與隧道內污染物擴散方向與車行之方向相同，易產生隧道之活塞效應有關。而 CO 易與血紅素結合，降低血液的攜氧能力，影響中樞神經系統，降低時間差辨識力，因此駕駛人暴露在隧道中的時間較長，其暴露風險也較高。

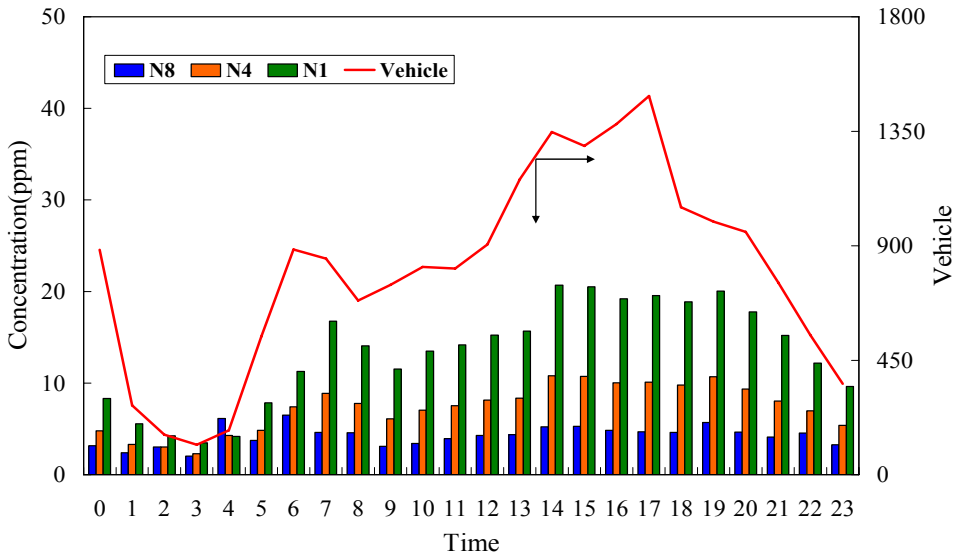


圖 4-3-3-8　非假日 CO 逐時測值

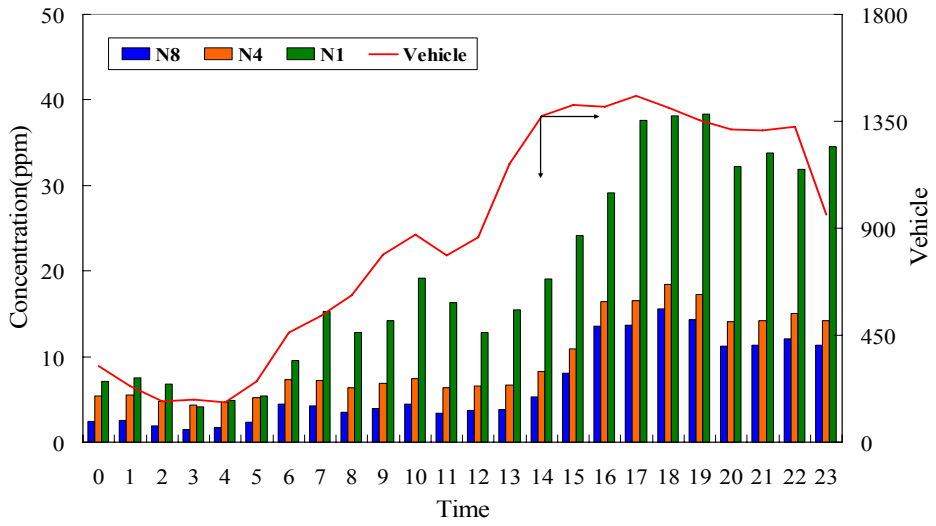


圖 4-3-3-9　假日(六)CO 逐時測值

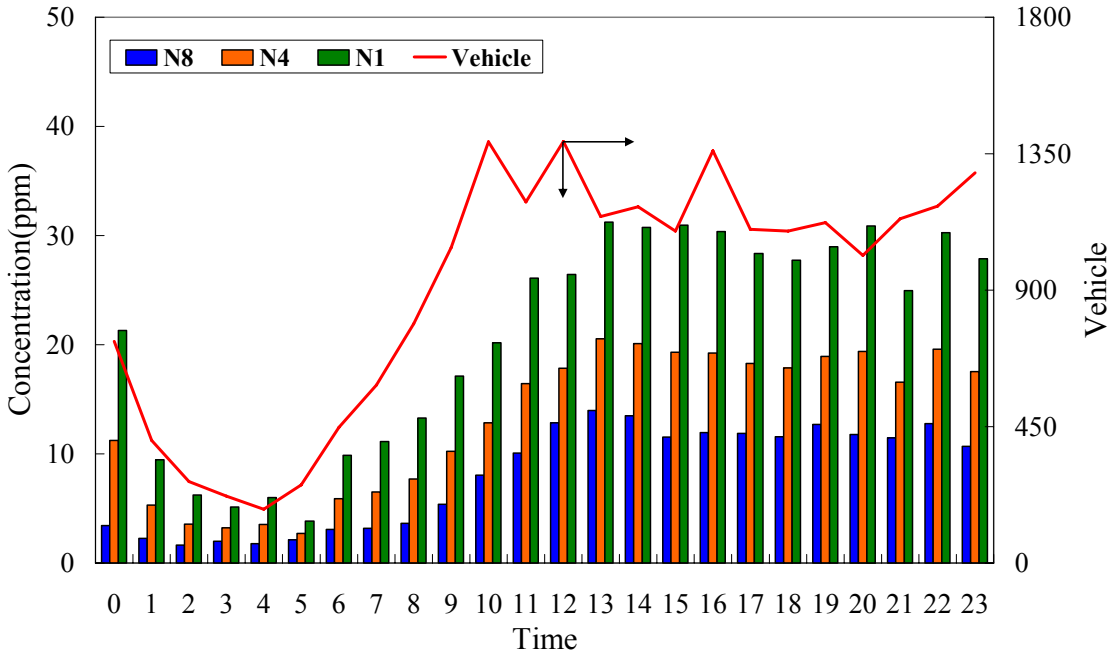


圖 4-3-3-10　假日(日)CO 逐時測值

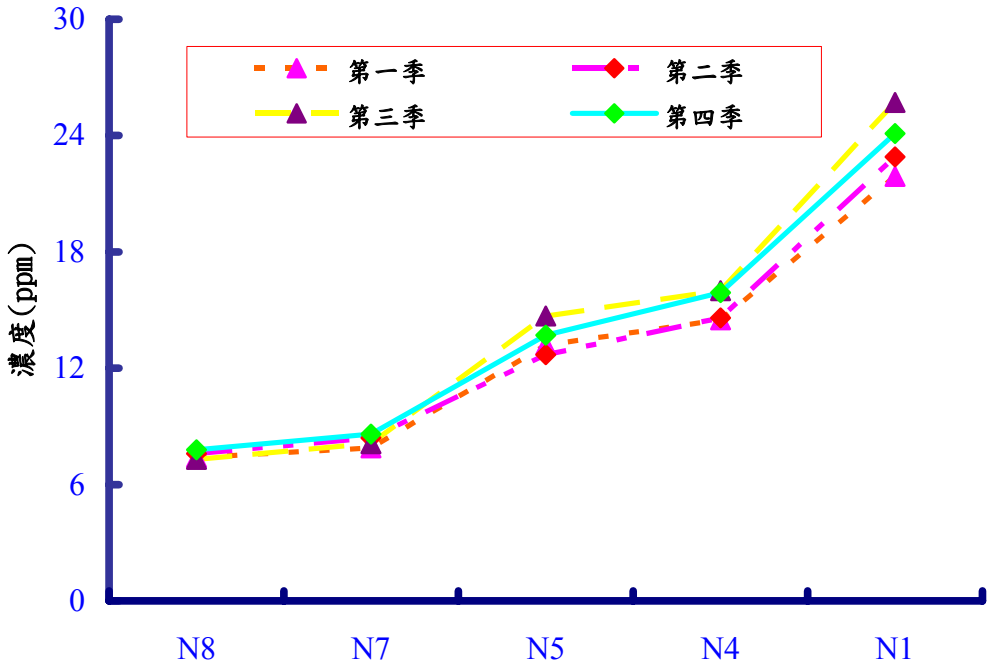


圖 4-3-3-11　本年度各季北上車道之 CO 濃度測值

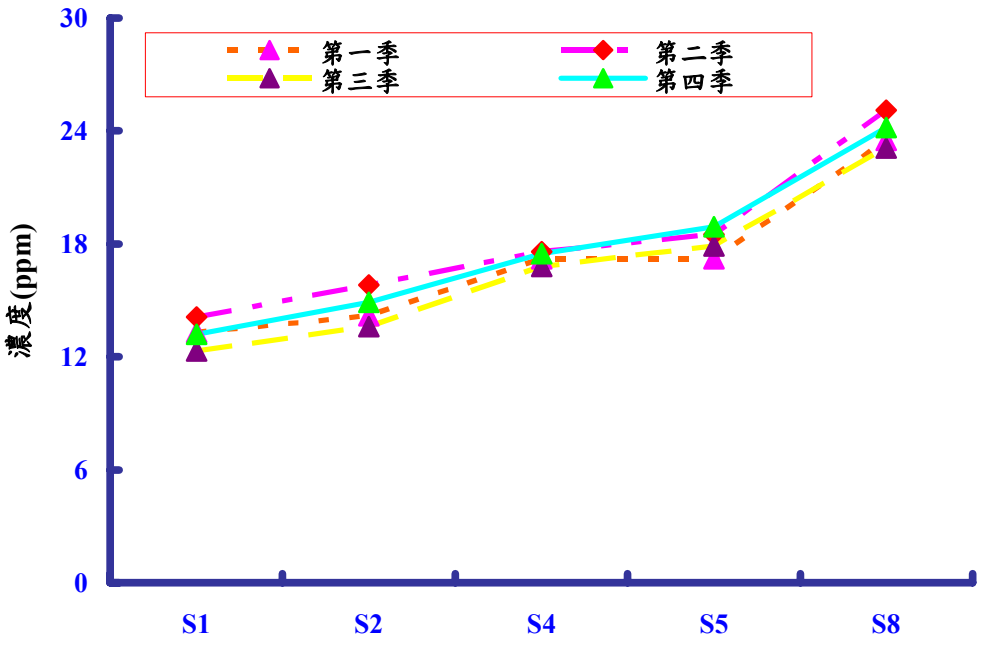


圖 4-3-3-12 本年度各次南下車道之 CO 濃度測值

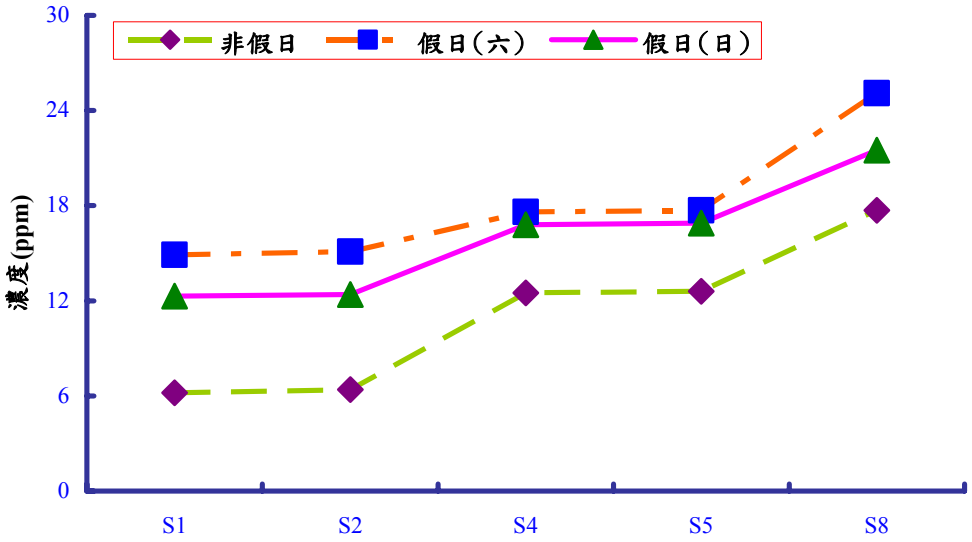


圖 4-3-3-13　本年度非假日與假日北上 CO 濃度測值

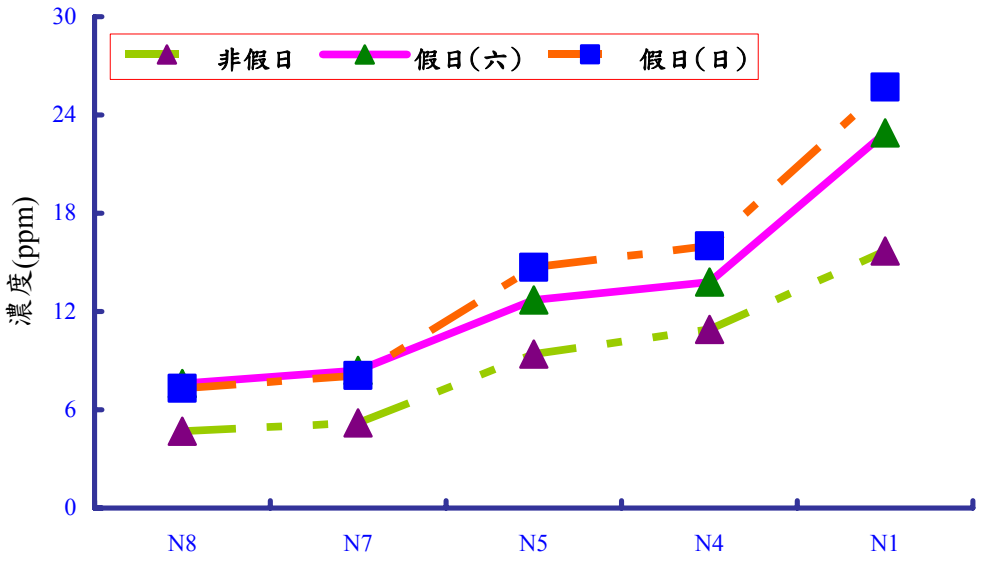


圖 4-3-3-14　本年度非假日與假日南下 CO 濃度測值

3-2-3 二氧化硫(SO_2)濃度

隧道內二氧化硫濃度於近出風口處、中間處與近入風口處之變化趨勢如圖 4-3-3-15 至圖 4-3-3-21 所示，本年度歷次隧道內二氧化硫濃度於近出風口處、中間處與近入風口處之變化趨勢如圖 4-2-12、4-2-13、4-2-14、4-2-15 所示，北上線假日與非假日各測點之濃度分別約為 N1(27.8 ~ 31.8 ppb)、N4(18.7 ~ 21.9 ppb) 、N5(16.9~20.3 ppb) 、N7(9.4 ~ 11.2 ppb)與 N8(7.8 ~ 9.1 ppb)。另南下線假日與非假日各測點之濃度分別為 S1(7.7 ~ 8.3 ppb) 、S2(8.5~ 9.9 ppb)、S4(15.6~ 17.1 ppb)、S5(17.8~ 19.4 ppb)與 S8(22.5 ~ 24.8 ppb)。另比較各測點 SO_2 濃度隨隧道空間之分布情形，非假日北上線近出風口處與中間處 SO_2 濃度之比值約介於 0.93 ~ 0.95 倍，而近出風口處與近入風口處 SO_2 濃度的比值則介於 3.49 ~ 3.56 倍；而南下線近出風口處與中間處 SO_2 濃度之比值約 0.97 倍，而近出風口處與近入風口處 SO_2 濃度的比值則介於 2.92 ~ 2.99 倍；假日北上線近出風口處與中間處 SO_2 濃度之比值約介於 0.93 ~ 1.02 倍，而近出風口處與近入風口處 SO_2 濃度的比值則介於 3.49 ~ 3.36 倍；而南下線近出風口處與中間處 SO_2 濃度之比值約 0.97 倍，而近出風口處與近入風口處 SO_2 濃度的比值則約 3.06 倍，其原因可能與隧道內

污染物擴散方向與車行之方向相同，易產生隧道之活塞效應有關。

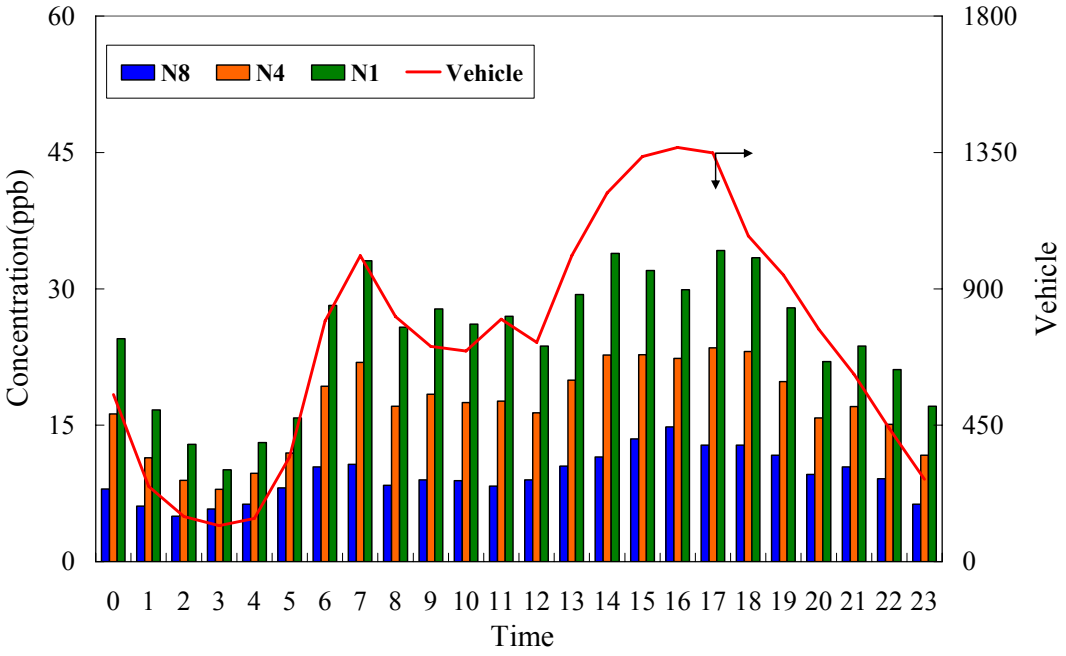


圖 4-3-3-15　非假日 SO_2 逐時測值

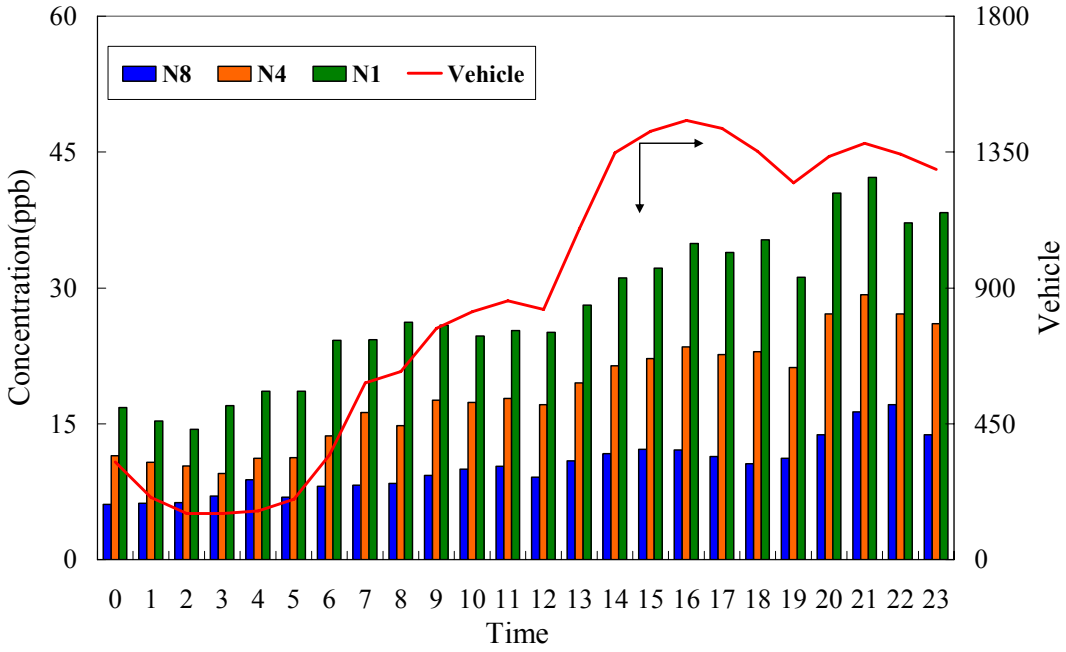


圖 4-3-3-16　假日(六)SO_2逐時測值

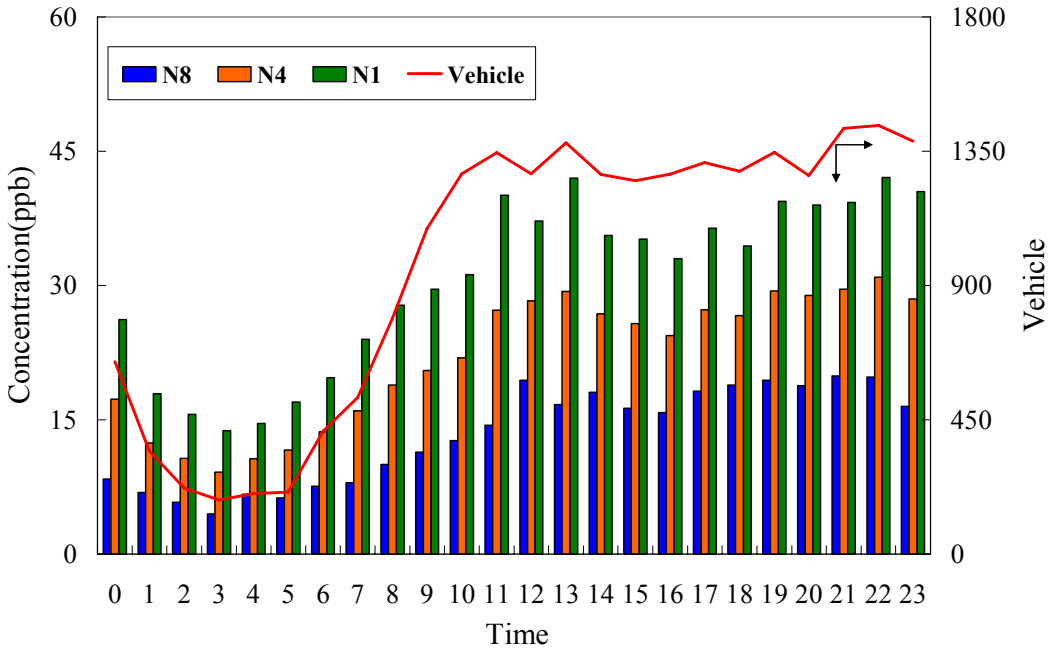


圖 4-3-3-17　假日(日)SO_2逐時測值

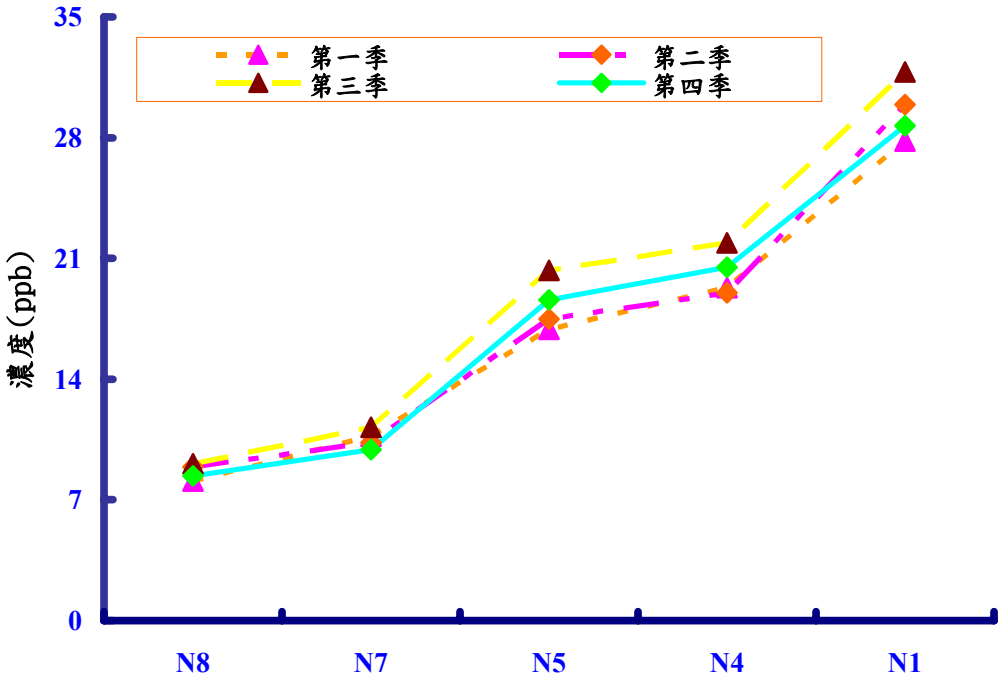


圖 4-3-3-18　本年度各次北上車道之 SO_2 濃度測值

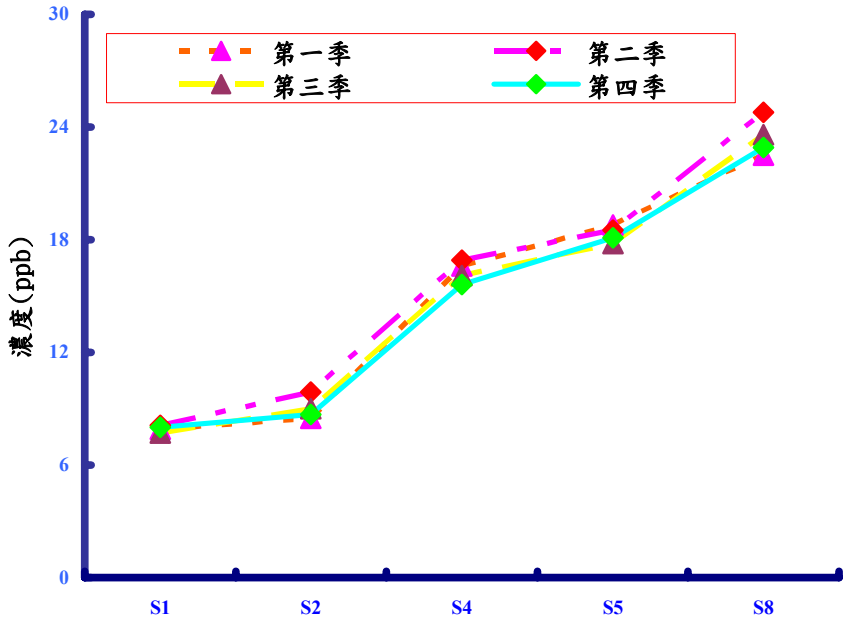


圖 4-3-3-19　本年度各次南下車道之 SO_2 濃度測值

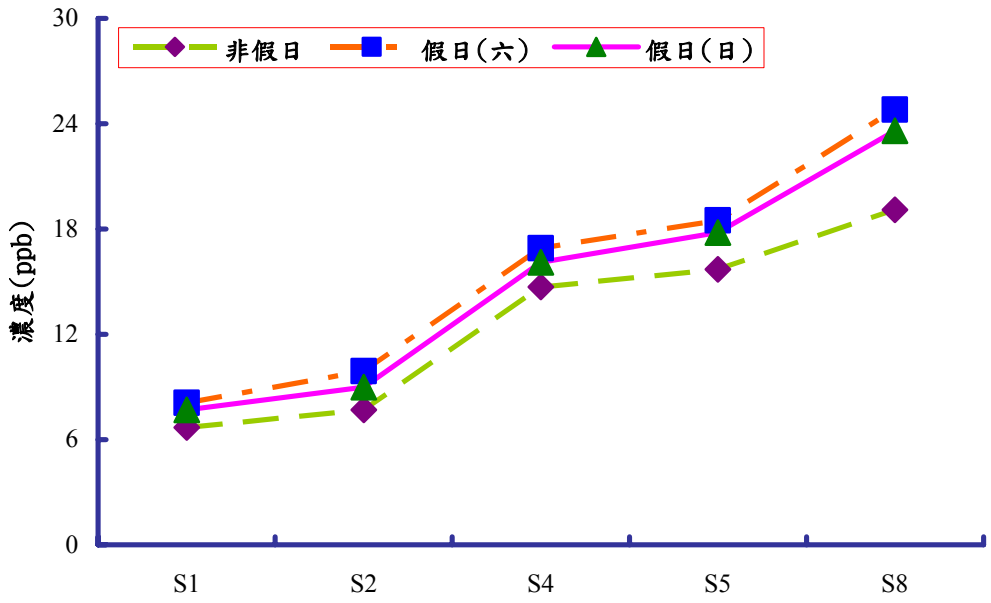


圖 4-3-3-20　本年度非假日與假日南下 SO_2 濃度測值

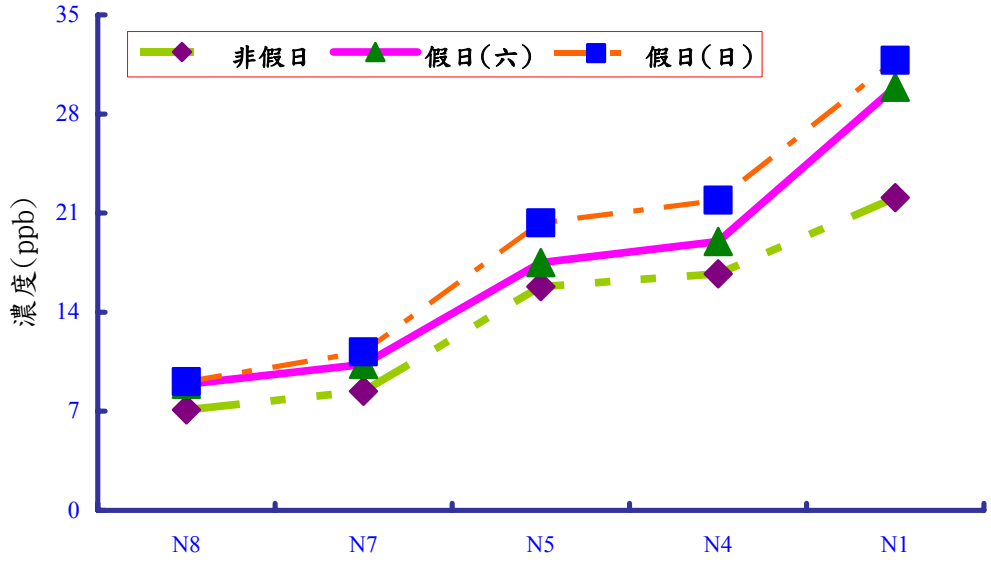


圖 4-3-3-21　本年度非假日與假日北上 SO_2 濃度測值

3-2-4 氮氧化物(NOx)濃度

氮氧化物為移動污染源所排放的主要空氣污染物之一，其成因係因氮氣在引擎內高溫氧化所產生。本計劃監測結果如圖 4-3-3-22 至圖 4-3-3-28 所示，發現其 NO_x 濃度變化與車流量尖離峰變化趨勢亦與 CO 濃度與車流量尖離峰變化趨勢相似，其假日與非假日各測點之濃度分別約為 N1(1843 ~ 2117 ppb)、N4(1256 ~ 1360 ppb)、N5(1098 ~ 1224 ppb)、N7(631 ~ 683 ppb)、與 N8(573 ~635 ppb)，南下線各測點之濃度範圍分別 S1(732 ~813 ppb)、S2(789 ~ 851 ppb)、S4(869~985 ppb)、S5(976 ~ 1102 ppb)與 S8(1549 ~ 1700 ppb)。顯示氮氧化物濃度自近入風口處向近出風口處累積，比較各測點氮氧化物濃度隨隧道空間之分布情形，得知北上線非假日與假日近出風口處之濃度分別約為近入風口處之 2.5 ~ 3.8 與 3.1 ~ 3.3 倍，約為中間處之 1.8 ~ 2.4 與 1.6 ~ 1.7 倍；而南下線其非假日與假日近出風口處之濃度則分別約為近入風口處之 1.8 ~ 1.9 與 1.6 ~ 1.8 倍，約為中間處之 1.6 ~ 1.9 與 1.5 ~ 1.7 倍。其濃度變化趨勢受車流量之影響，顯示氮氧化物和一氧化碳相同，受活塞效應的作用很明顯。

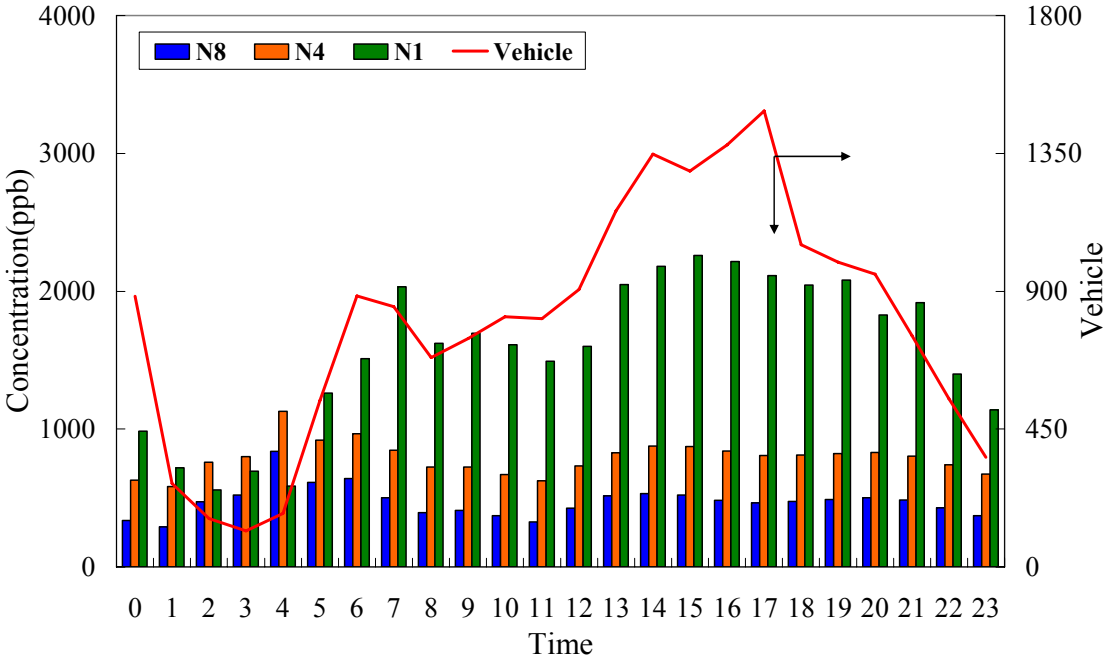


圖 4-3-3-22 非假日 NOx 逐時測值

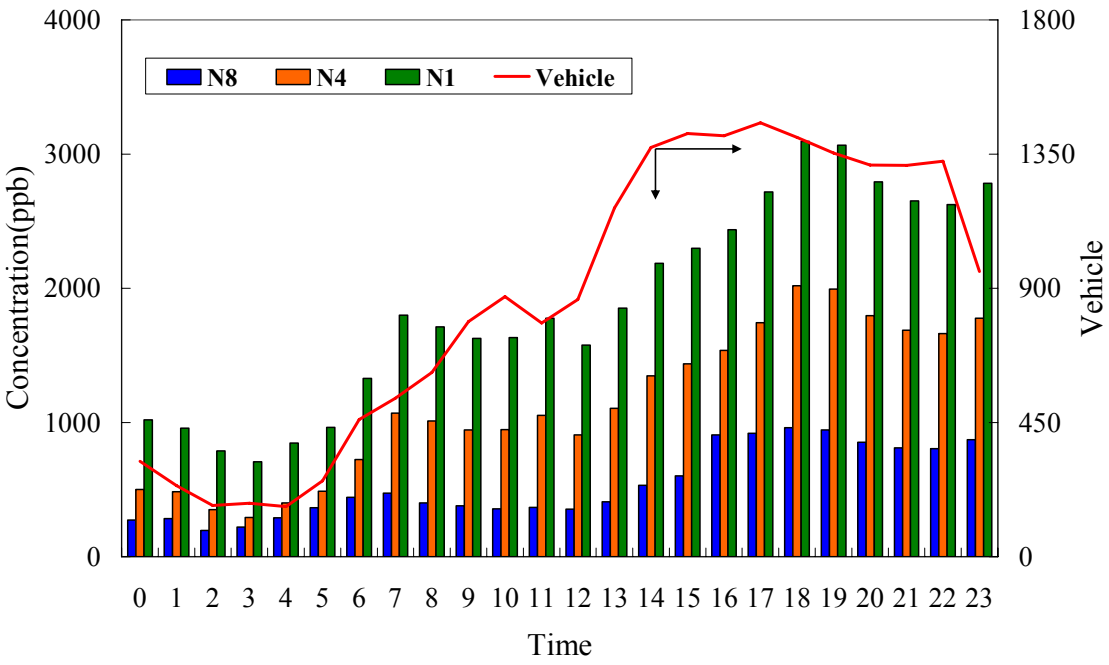


圖 4-3-3-23　假日(六)NOx 逐時測值

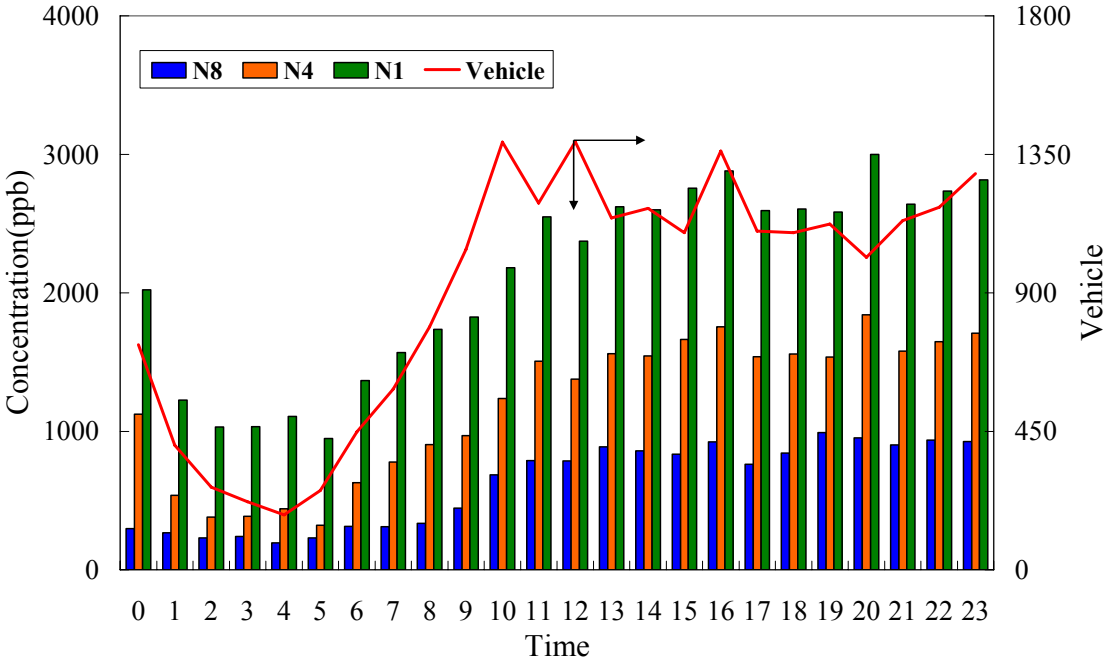


圖 4-3-3-24　假日(日)NOx 逐時測值

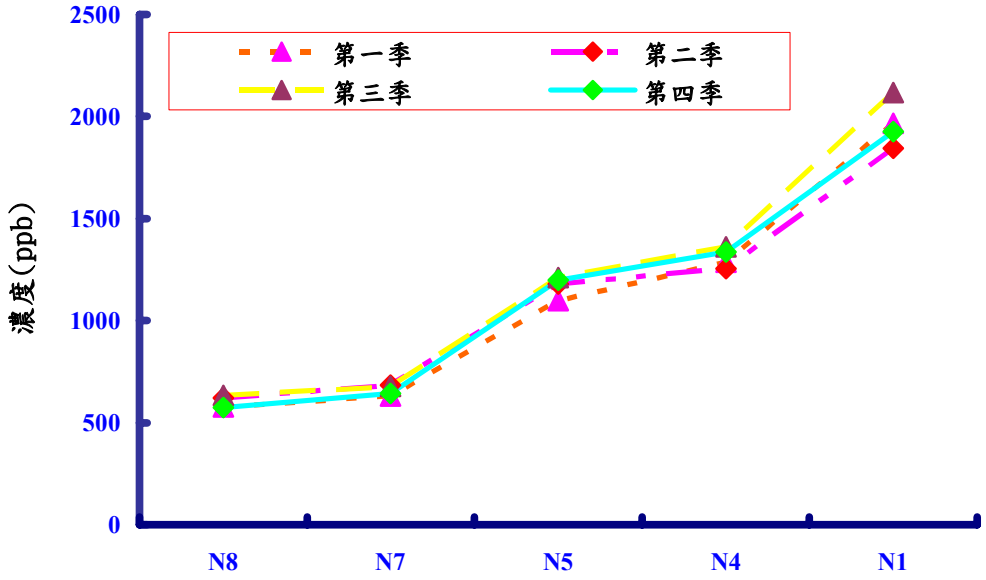


圖 4-3-3-25　本年度各次北上車道之 NO_X 濃度測

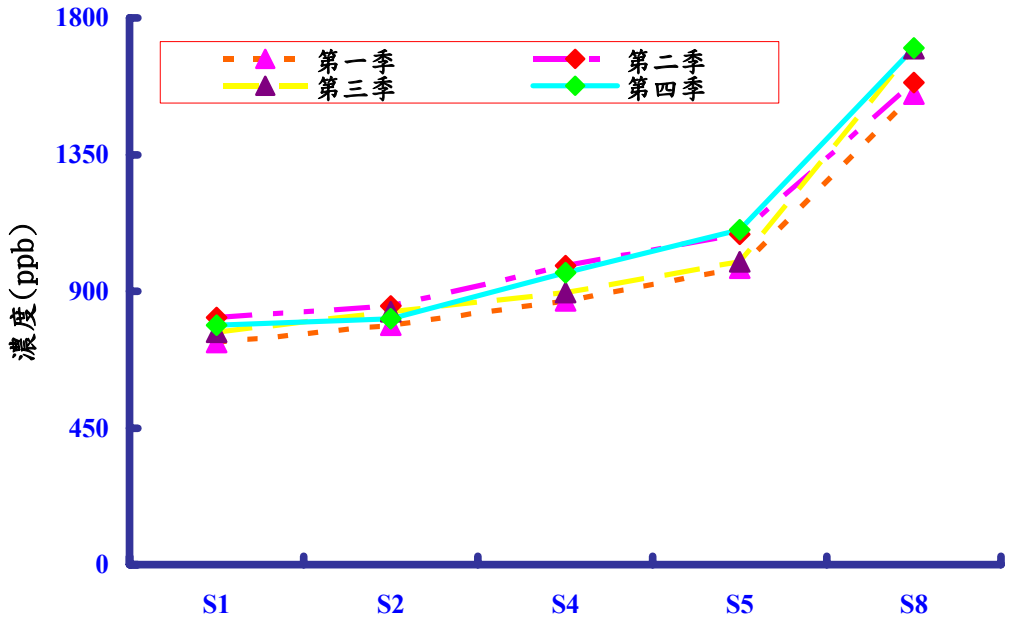


圖 4-3-3-26　本年度各次南下車道之 NO_X 濃度測

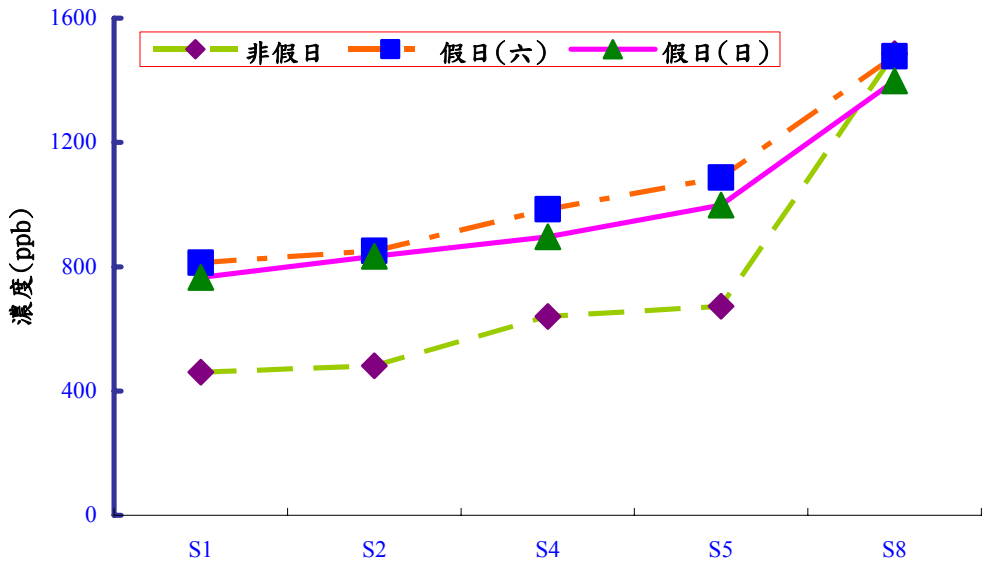


圖 4-3-3-27　本年度非假日與假日南下 NO_X 濃度測值

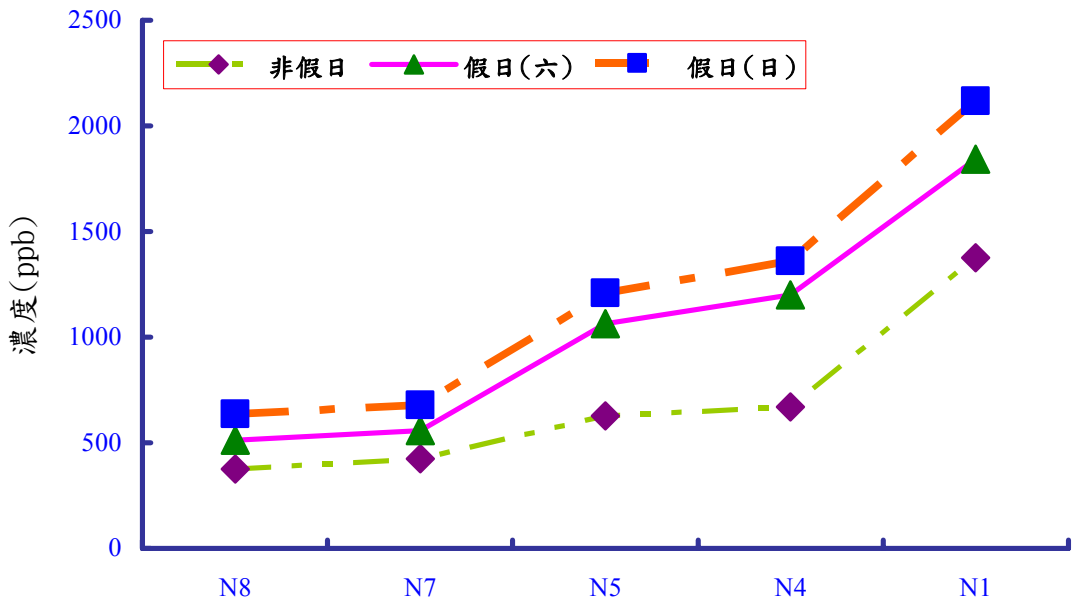


圖 4-3-3-28 本年度非假日與假日北上 NO_X 濃度測值

3-3　豎井區與場址空氣品質監測結果

3-3-1 粒狀污染物濃度

為瞭解豎井區與台灣油杉區粉塵濃度，乃進行豎井區與台灣油杉區及民宅等三地之 TSP 與 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度量測工作，經實驗人員於第一季(冬季)分別對各測站進行量測結果如表 4-3-3-1 及圖 4-3-3-29 所示，可知三測站

之 TSP 濃度以民宅濃度最高，最低為台灣油杉區，其三測站 TSP 濃度大小分別約為 71.32、58.41 與 35.72 μg/m^3，三測站 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 濃度皆亦以民宅最高，最低亦為台灣油杉區，其三測站 PM_{10} 濃度大小分別約為 28.30、23.40 與 16.33 μg/m^3；$PM_{2.5}$ 濃度大小分別約為 10.63、8.20 與 5.57 μg/m^3，三測站各濃度皆未超過法定 PSI 濃度值，即台灣油杉區空氣品質受豎井排氣所影響應屬輕微。

表 4-3-3-1　第一季空氣中粒狀物濃度

濃度 / 地點	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$
	μg/m^3	μg/m^3	μg/m^3
豎井區	71.32	23.40	8.20
民宅	58.41	28.30	10.63
場址	35.72	16.33	5.57

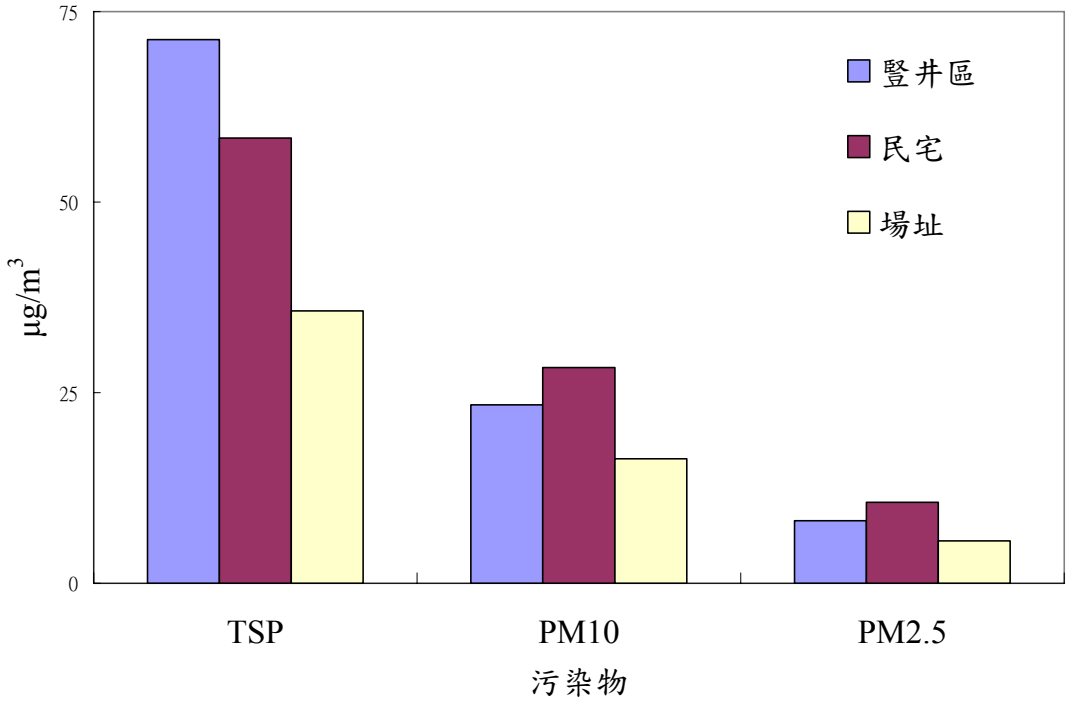


圖 4-3-3-29 第一季空氣中粒狀物濃度

為瞭解豎井區與台灣油杉區粉塵濃度，乃進行豎井區與台灣油杉區及民宅等三地之 TSP 與 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度量測工作，經本實驗人員於第二季(春季)分別對各測站進行量測結果如表 4-3-3-2 及圖 4-3-3-30 所示，可知三測站 TSP 濃度以豎井區濃度最高，最低為台灣油杉區，其三測站 TSP 濃度大小分別約為 69.58、56.81 與 34.28 μg/m^3，三測站 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 濃度皆亦以民宅最高，最低亦為場址，其三測站 PM_{10} 濃度大小分別約為 28.32、30.12 與 21.24 μg/m^3； $PM_{2.5}$ 濃度大小分別約為 10.25、10.25 與 9.85 μg/m^3，三測站各濃度皆未超過法定 PSI 濃度值，即台灣油杉區空氣品質受豎井排氣所影響應屬輕微。

表 4-3-3-2 第二季空氣中粒狀物濃度

濃度 / 地點	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$
	μg/m^3	μg/m^3	μg/m^3
豎井區	69.58	28.32	10.25
民宅	56.81	30.12	13.62
場址	34.28	21.24	9.85

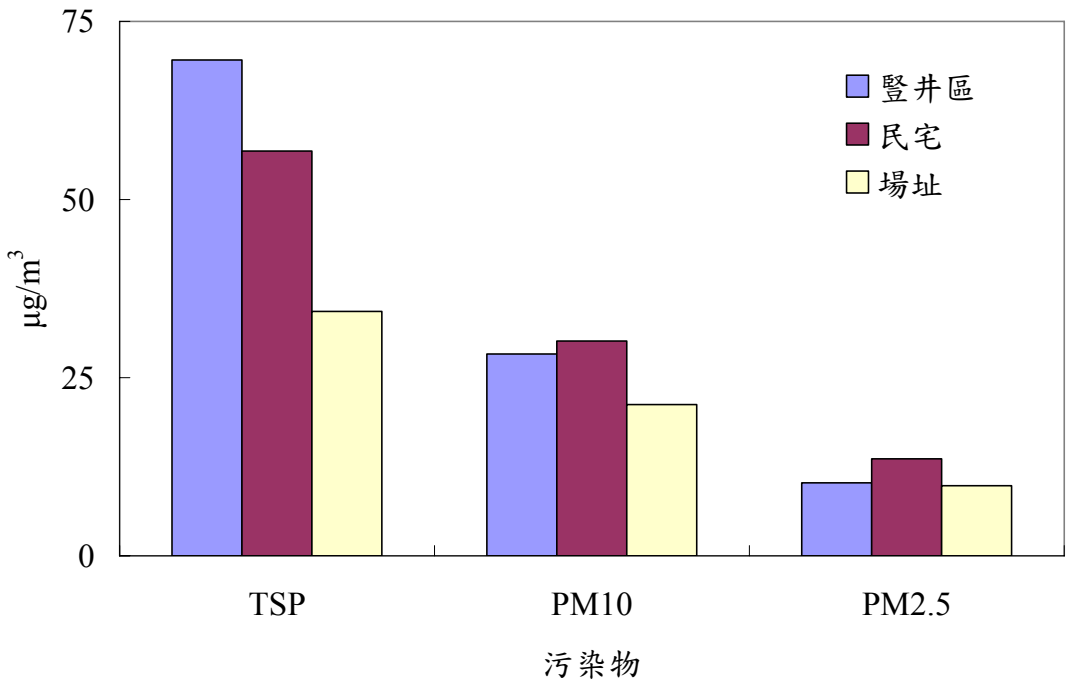


圖 4-3-3-30　第二季空氣中粒狀物濃度

為瞭解豎井區與場址粉塵濃度，乃進行豎井區與場址及民宅等三地之總懸浮微粒(TSP)與粗懸浮微粒(PM_{10})及細懸浮微粒($PM_{2.5}$)濃度量測工作，經本實驗人員於第三季(夏季)分別對各測站進行量測結果如表 4-3-3-3 及圖 4-3-3-31 所示，可知三測站 TSP 濃度以豎井區濃度最高，最低為場址，其三測站 TSP 濃度大小分別約為 73.28、59.56 與 36.54 μg/m^3，三測站 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 濃度皆亦以民宅最高，最低亦為場址，其三測站 PM_{10} 濃度大小分別約為 29.31、31.25 與 22.57 μg/m^3； $PM_{2.5}$ 濃度大小分別約為 9.65、13.31 與 8.61 μg/m^3，三測站各濃度皆未超過法定空氣品質標準濃度，即台灣油杉區空氣品質受豎井排氣所影響應屬輕微。

表 4-3-3-3　第三季空氣中粒狀物濃度

濃度 / 地點	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$
	μg/m³	μg/m³	μg/m³
豎井區	73.28	29.31	9.65
民宅	59.56	31.25	13.31
場址	36.54	22.57	8.61

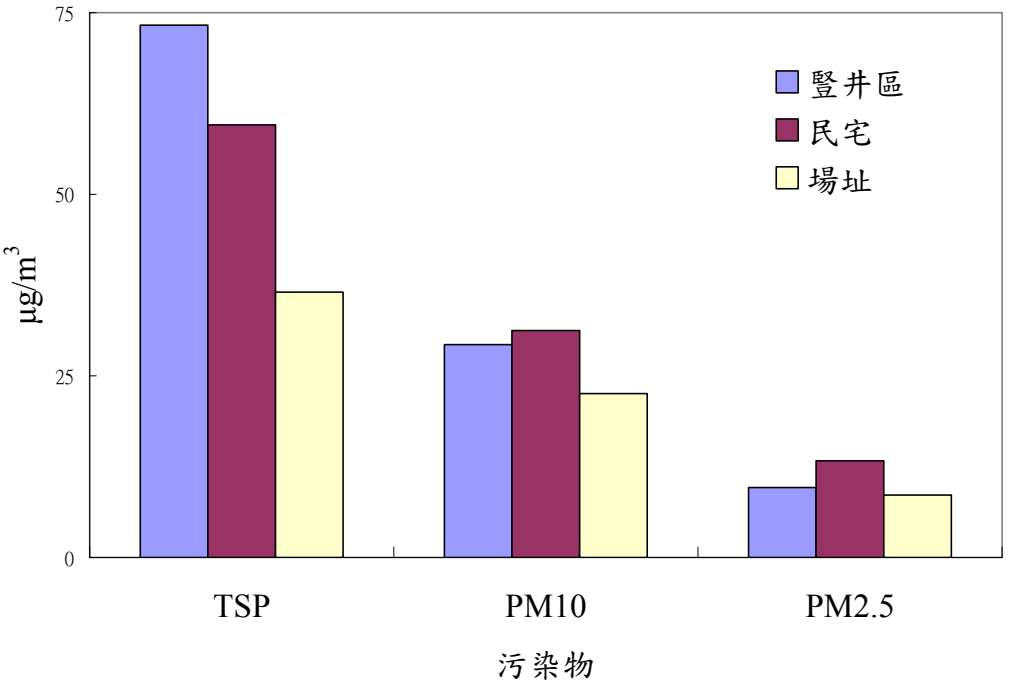


圖 4-3-3-31 第三季空氣中粒狀物濃度

為瞭解豎井區與場址粉塵濃度，乃進行豎井區與場址及民宅等三地之總懸浮微粒(TSP)與粗懸浮微粒(PM_{10})及細懸浮微粒($PM_{2.5}$)濃度量測工作，經本實驗人員於第四季(秋季)分別對各測站進行量測結果如表 4-3-3-4 及圖 4-3-3-32 所示，可知三測站 TSP 與 PM_{10} 濃度以豎井區濃度最高，最低為場址，其三測站 TSP 濃度大小分別約為 70.25、60.54 與 32.25 μg/m³ ；PM_{10}

濃度大小分別約為 32.25、30.21 與 23.56 μg/m^3，三測站 $PM_{2.5}$ 濃度皆亦以民宅最高，最低亦為場址，其三測站 $PM_{2.5}$ 濃度大小分別約為 8.81、11.23 與 7.69 μg/m^3，三測站各濃度皆未超過法定空氣品質標準濃度，即台灣油杉區空氣品質受豎井排氣所影響應屬輕微。

表 4-3-3-4　第四季空氣中粒狀物濃度

濃度 / 地點	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$
	μg/m^3	μg/m^3	μg/m^3
豎井區	70.25	32.25	8.81
民宅	60.54	30.21	11.23
場址	32.25	23.56	7.69

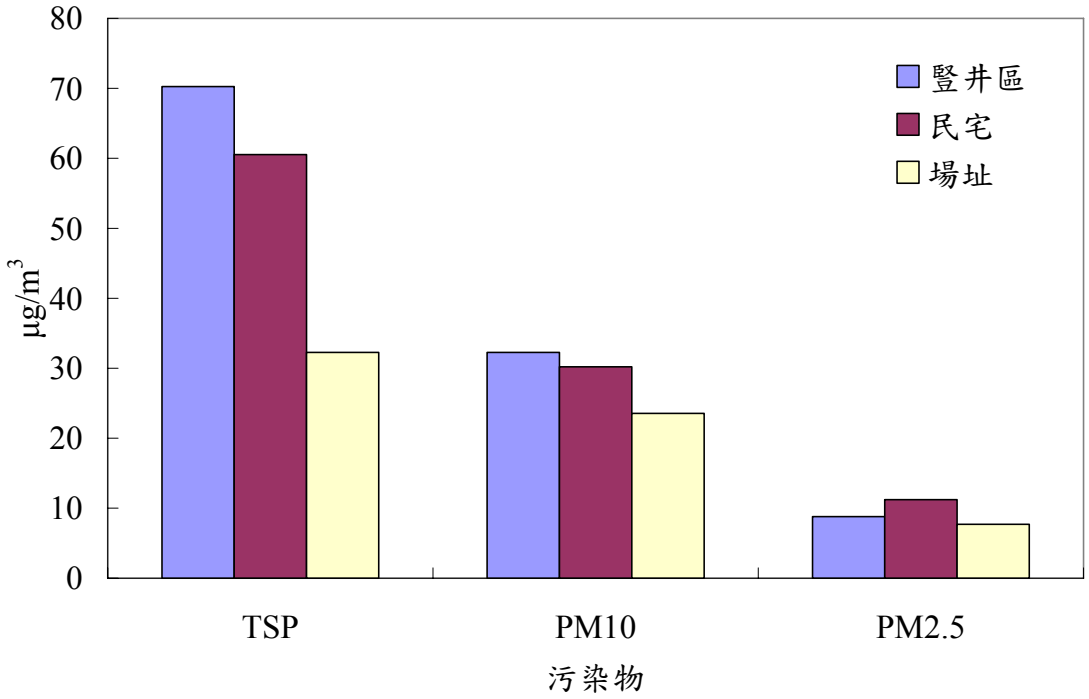


圖 4-3-3-32　第四季空氣中粒狀物濃度

3-3-2 氣狀污染物濃度

本研究已進行一年度(四季)豎井區空氣品質監測作業，並完成四季空氣品質監測結果數據分析，如圖 4-3-3-33、圖 4-3-3-34、圖 4-3-3-35 及圖 4-3-3-36 所示。就 SO_2 濃度而言，除了第四季(秋季)，皆顯示三個測站中，以豎井區所測得的 SO_2 濃度值最高。第一季豎井區濃度約為 14.5 ppb，而台灣油杉區與民宅之濃度明顯較豎井區來的低，其濃度僅各約為 13.8 ppb 與 12.4 ppb。第二季豎井區濃度約為 21.3 ppb，而台灣油杉區與民宅之濃度明顯較豎井區來的低，其濃度僅各約為 20.78 ppb 與 19.87 ppb。第三季豎井區濃度約為 3.6 ppb，而台灣油杉區與民宅之濃度明顯較豎井區來的低，其濃度僅各約為 2.3 ppb 與 1.9 ppb。第四季豎井區濃度約為 5.8 ppb，而台灣油杉區與民宅之濃度明顯較豎井區來的低，其濃度僅各約為 28.8 ppb 與 3.8 ppb。

各監測點之 CO 濃度以台灣油杉區之濃度較低，其餘地區皆偏高。第一季 CO 濃度，台灣油杉區濃度約為 0.6 ppm，而豎井區與民宅所測得的 CO 濃度約 1.3 及 0.78 ppm。第二季 CO 濃度，台灣油杉區濃度約為 1.7 ppm，而豎井區與民宅所測得的 CO 濃度約 1.8 及 1.36 ppm。第三季 CO 濃度，台灣油杉區濃度約為 1.4 ppm，而豎井區與民宅所測得的 CO 濃度約 1.8 及 2.32 ppm。第四季 CO 濃度，台灣油杉區濃度約為 1.3 ppm，而豎井區與民宅所測得的 CO 濃度約 1.6 及 2.27 ppm。

各監測點所測得之 NO、及 NO_x 濃度，第一季(冬季)NO 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 50.0、45 及 20 ppb；NO_2 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 10.0、20 及 15 ppb；NO_x 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 60.0、67 及 35 ppb。第二季(春季)NO 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 78.0、67 及 32 ppb；NO_2 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 17.0、15 及 12 ppb；NO_x 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 95.0、82 及 44 ppb。第三季(夏季)NO 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 49.01、40 及 13 ppb；NO_2 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為

12.3、17 及 18 ppb；NO_x 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 54.5、64 及 32 ppb。第四季(秋季)NO 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 46.5、59 及 30 ppb；NO_2 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 13.5、21 及 11 ppb；NO_x 濃度，豎井區、台灣油杉區及民宅分別為 44.5、67 及 49 ppb。

各監測點所測得 O_3 濃度，第一季(冬季)豎井區、台灣油杉區及民宅區濃度分別為 68.3、65.4 及 64.6 ppb；第二季(春季)豎井區、台灣油杉區及民宅區濃度分別為 56.7、53.2 及 51.2 ppb；第三季(夏季)豎井區、台灣油杉區及民宅區濃度分別為 34、53.6 及 44.9 ppb；第四季(秋季)豎井區、台灣油杉區及民宅區濃度分別為 25.6、42.6 及 54.2 ppb。四季數據之差異，可能為季節性差異，而非採樣時間差異。

由實驗結果得知場址測站氣狀污染物濃度頗低，台灣油杉區空氣品質受豎井排氣所影響，至目前為止應屬輕微；但因本年度即將通行大客車，通行大客車後，較易排放較高濃度污染物，台灣油杉區空氣品質是否受通行大客車後豎井排氣所影響，需進一步測試與觀察。

表 4-3-3-5　第一季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	鄰近豎井區	民宅
SO_2(ppb)	14.5	13.8	12.4
CO(ppm)	1.30	0.60	0.78
NO(ppb)	50.0	45	20
NO_2(ppb)	10.0	20	15
NOx(ppb)	60.0	67	35
O_3(ppb)	68.3	65.4	64.6

表 4-3-3-6　第二季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	鄰近豎井區	民宅
SO_2(ppb)	21.3	20.8	19.9
CO(ppm)	1.82	1.71	1.36
NO(ppb)	78.0	67.0	32.0
NO_2(ppb)	17.0	15.0	12.0
NOx(ppb)	95.0	82.0	44.0
O_3(ppb)	56.7	53.2	51.2

表 4-3-3-7　第三季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	鄰近豎井區	民宅
SO_2(ppb)	3.60	2.30	1.90
CO(ppm)	1.80	1.40	2.32
NO(ppb)	49.0	40.0	13.0
NO_2(ppb)	12.3	17.0	18.0
NOx(ppb)	54.5	64.0	32.0
O_3(ppb)	34.0	53.6	44.9

表 4-3-3-8　第四季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	鄰近豎井區	民宅
SO_2(ppb)	5.80	2.88	3.80
CO(ppm)	1.60	1.30	2.27
NO(ppb)	46.5	59.0	30.0
NO_2(ppb)	13.5	21.0	11.0
NOx(ppb)	44.5	67.0	49.0
O_3(ppb)	25.6	42.6	54.2

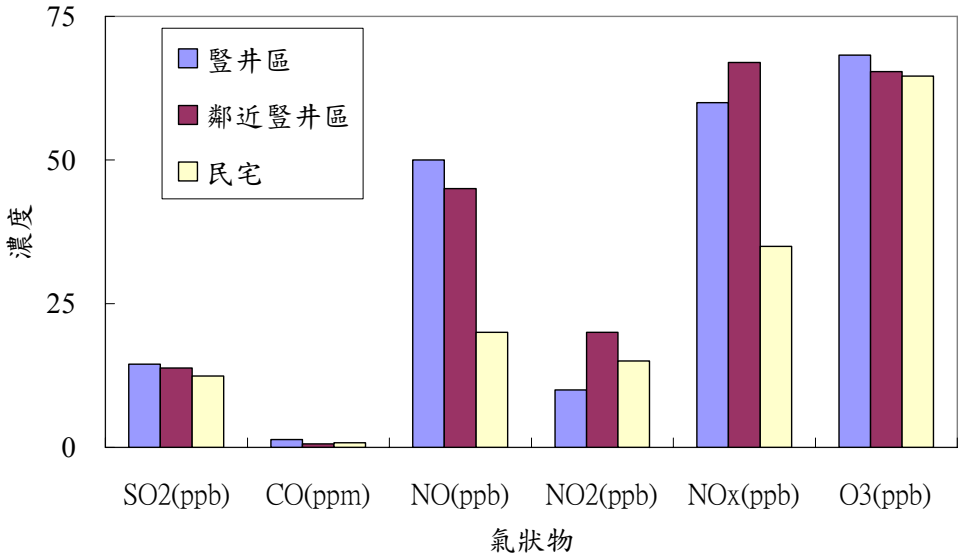


圖 4-3-3-33　第一季各監測點污染物濃度之比較

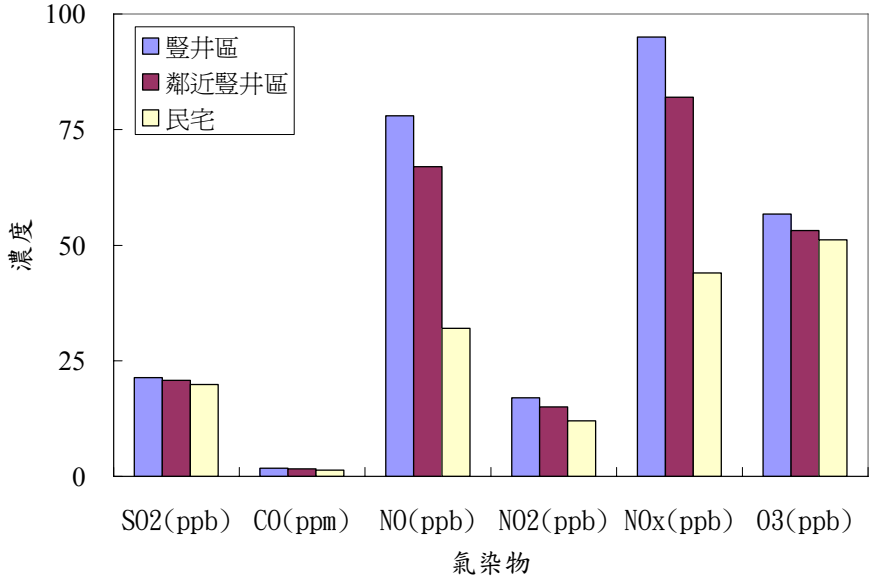


圖 4-3-3-34　第二季各監測點污染物濃度之比較

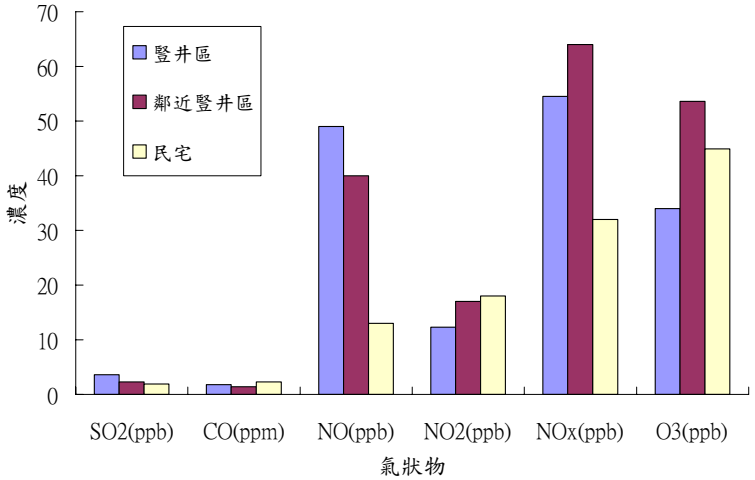


圖 4-3-3-35 第三季各監測點污染物濃度之比較

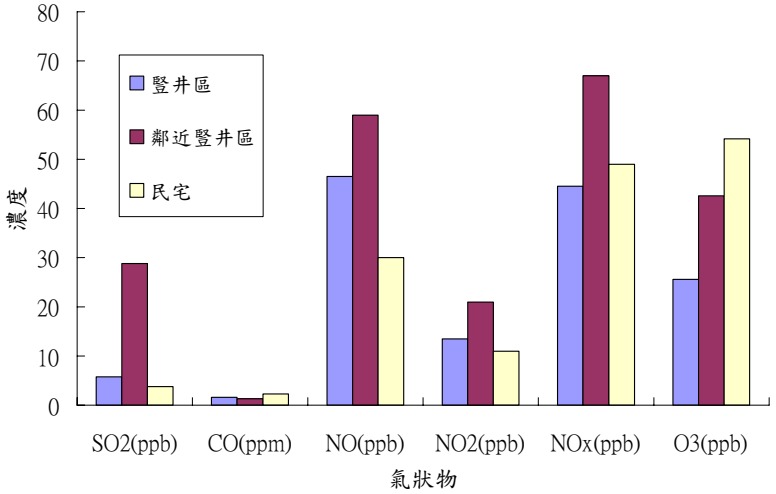


圖 4-3-3-36　第四季各監測點污染物濃度之比較

3-4　酸沉降監測結果

本研究為瞭解酸沉降對台灣油杉生長之影響，乃於場址架設酸沉降採樣器，以分析雨水中陰離子濃度(含 Cl^-、NO_3^-、NO_2^-、PO_4^{3-}、SO_4^{2-})，與陽離子濃度(含 Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+})，所使用儀器離子層析儀(Ion Chromatography, IC)，廠牌與機型分別為 Metrohm Inc.與 Model 761 compact IC，另分析所建立檢量線，如附錄一所示，本年度四季分析結果，如表 4-3-3-9、表 4-3-3-10、圖 4-3-3-37 及圖 4-3-3-38 所示。

3-4-1 本年度四季之陰離子濃度

本計畫乃以離子層析儀(IC)分析四季之陰離子濃度。在第一季(冬季)時之所採集雨水之陰離子元素，在所分析出各陰離子濃度中，以[Cl^-]、[NO^{3-}]及[SO_4^{2-}]離子濃度較為明顯，其中以[NO^{3-}]離子濃度為最大，約為 0.47 mg/L；另以[Cl^-]與[SO_4^{2-}]離子濃度而言，兩種離子濃度測定結果約為 0.35 mg/L 及 0.33 mg/L。在第二季(春季)時之所採集雨水之陰離子元素，在所分析出各陰離子濃度中，以[Cl^-]、[NO^{3-}]及[PO_4^{3-}]離子濃度較為明顯，其中以[PO_4^{3-}]離子濃度為最大，約為 2.31 mg/L；另以[Cl^-]與[NO^{3-}]離子濃度而言，兩種離子濃度測定結果約為 1.87 mg/L 及 1.34 mg/L。在第三季(夏季)時之

所採集雨水之陰離子元素，在所分析出各陰離子濃度中，以[NO^{3-}]、 [PO_4^{3-}]及[SO_4^{2-}]離子濃度較為明顯，其中以[NO^{3-}]離子濃度為最大，約為 0.89 mg/L；另以[PO_4^{3-}]與[SO_4^{2-}]離子濃度而言，兩種離子濃度測定結果約為 0.66 mg/L 及 0.60 mg/L。在第四季(秋季)時之所採集雨水之陰離子元素，在所分析出各陰離子濃度中，以[Cl^-]、[NO^{3-}]及[PO_4^{3-}]離子濃度較為明顯，其中以[NO^{3-}]離子濃度為最大，約為 1.12 mg/L；另以[Cl^-]與[PO_4^{3-}]離子濃度而言，兩種離子濃度測定結果約為 0.88 mg/L 及 0.88 mg/L。即台灣油杉區酸沉降物質已屬不低，此地空氣品質已略受豎井排氣與海水飛沫或境外移入之酸沉降物質所影響。

表 4-3-3-9　陰離子濃度測試結果

—	陰離子(mg/L)					
	pH	Cl^-	NO^{2-}	NO^{3-}	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
第一季(冬季)	5.4	0.35	0.24	0.47	0.33	0.12
第二季(春季)	5.0	1.87	0.50	1.34	2.31	0.78
第三季(夏季)	5.6	0.38	0.46	0.89	0.66	0.60
第四季(秋季)	5.8	0.88	0.67	1.12	0.88	0.63

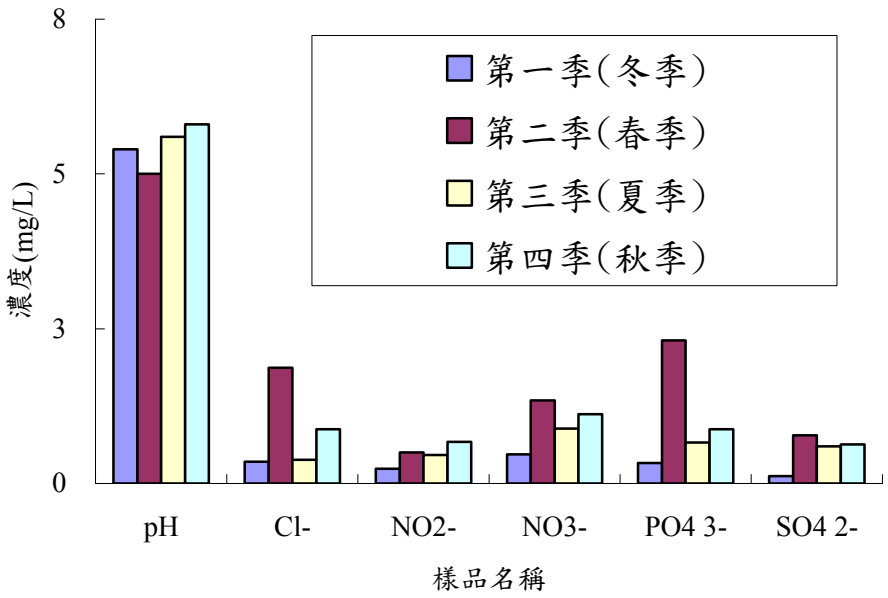


圖 4-3-3-37　陰離子濃度測試結果

3-4-2 本年度四季之陽離子濃度

本計畫亦以離子層析儀(IC)分析四季陽離子濃度變化，在第一季(冬季)時之所採集雨水之陽離子濃度測試，在所分析出各陽離子濃度中，以[Na^+]與[NH_4^+]離子濃度較為明顯，其中以[Na^+]離子濃度為最大，約為 0.68 mg/L；而[NH_4^+]離子濃度測定結果約為 0.45mg/L。在第二季(春季)時之所採集雨水之陽離子濃度測試，在所分析出各陽離子濃度中，以[Na^+]與[K^+]離子濃度較為明顯，其中以[K^+]離子濃度為最大，約為 1.28 mg/L；而[Na^+]離子濃度測定結果約為 1.09 mg/L。在第三季(夏季)時之所採集雨水之陽離子濃度測試，在所分析出各陽離子濃度中，以[Na^+]與[NH_4^+]離子濃度較為明顯，其中以[Na^+]離子濃度為最大，約為 0.78 mg/L；而[NH_4^+]離子濃度測定結果約為 0.67 mg/L。在第四季(秋季)時之所採集雨水之陽離子濃度測試，在所分析出各陽離子濃度中，以[Na^+]、[K^+]及[Mg^{2+}]離子濃度較為明顯，其中以[Na^+]離子濃度為最大，約為 0.78 mg/L；而[K^+]及[Mg^{2+}]離子濃度測定結果分別約為 0.77 mg/L 及 0.78 mg/L。即台灣油杉區陽離子濃度已屬不低，此地空氣品質已略受豎井排氣、海水飛沫與種茶區施肥所影響。

表 4-3-3-10　陽離子濃度測試結果

樣品名稱	陽離子(mg/L)					
	pH	Na^+	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
第一季(冬季)	5.4	0.68	0.45	0.12	0.06	0.08
第二季(春季)	5.0	1.09	0.76	1.28	0.83	0.50
第三季(夏季)	5.6	0.78	0.67	0.56	0.45	0.35
第四季(秋季)	5.8	0.91	0.55	0.77	0.53	0.78

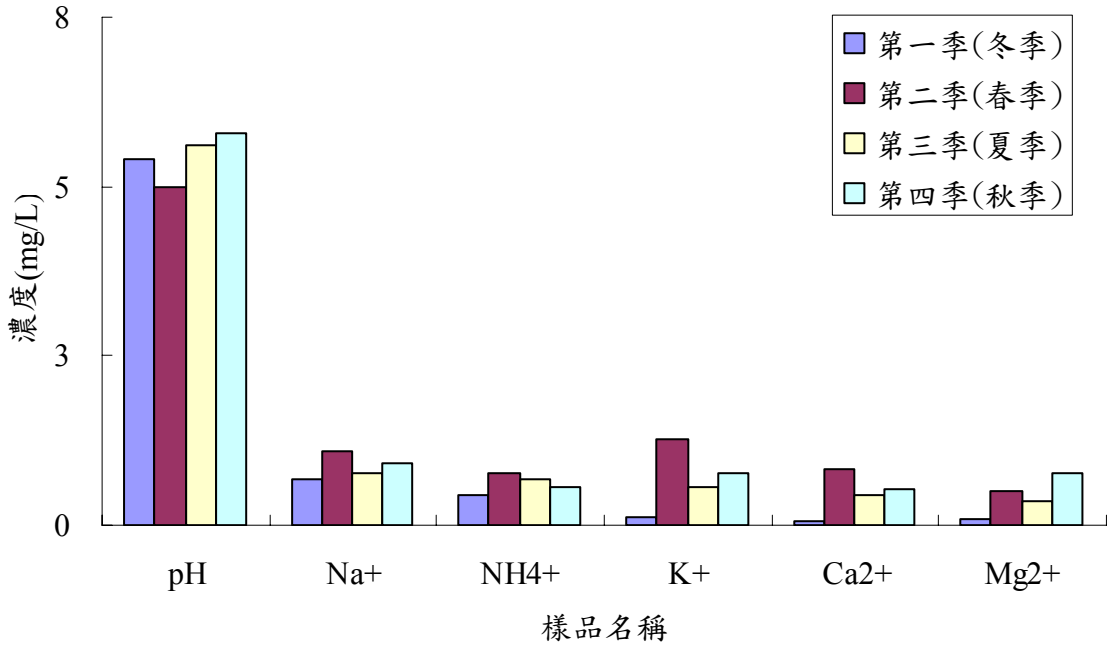


圖 4-3-3-38　陽離子濃度測試結果

3-5　污染物對植物影響模擬結果

為瞭解豎井所排放氣體(如 SO_2)，是否對台灣油杉產生影響，特規劃測試箱，所測試兩株台灣油杉如圖 4-3-3-39 所示，本研究乃進行各種高濃度(含 12、37、86、184、380、760ppb)二氧化硫與曝露時間(一週至五週)，二氧化硫對台灣油杉生長影響模擬測試，研究結果如圖 4-3-3-40 與圖 4-3-3-41 所示。由圖可知，以二氧化硫進行測試時，五年生台灣油杉葉綠素含量隨二氧化硫濃度與曝露時間增加，而有降低趨勢，且皆較對照組台灣油杉葉綠素含量低。近期將樣品送至台大化驗，以進一步釐清 SO_2 是否對台灣油杉葉綠素產生影響。

圖 4-3-3-39　實驗測試用台灣油杉

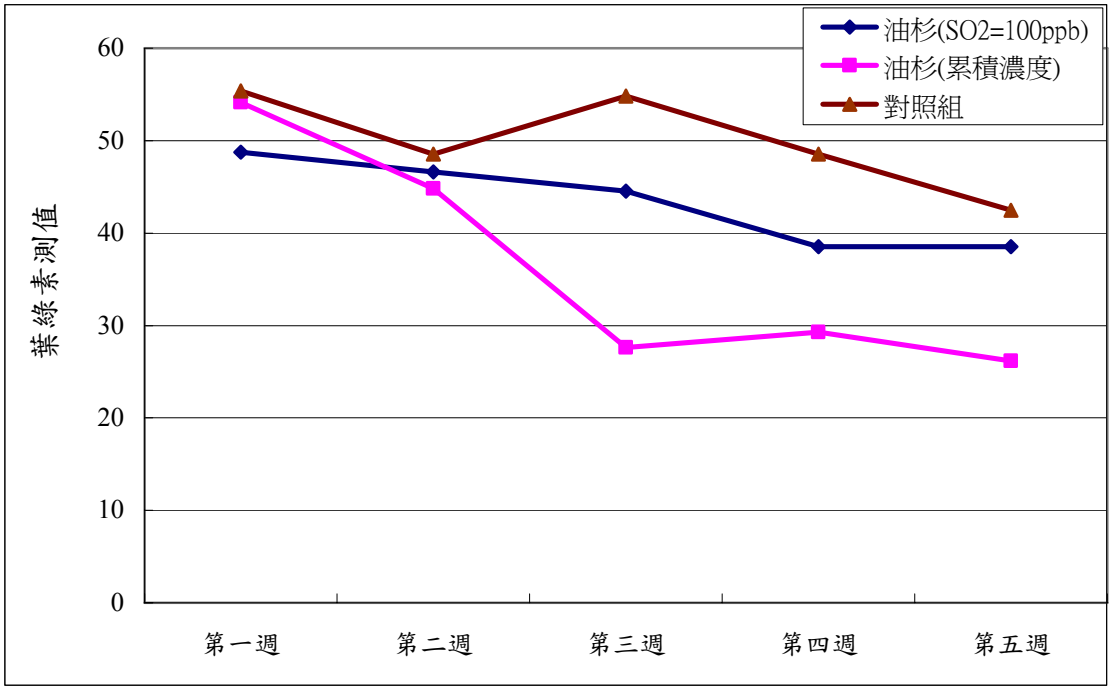


圖 4-3-3-40 SO_2 對台灣油杉生長之影響

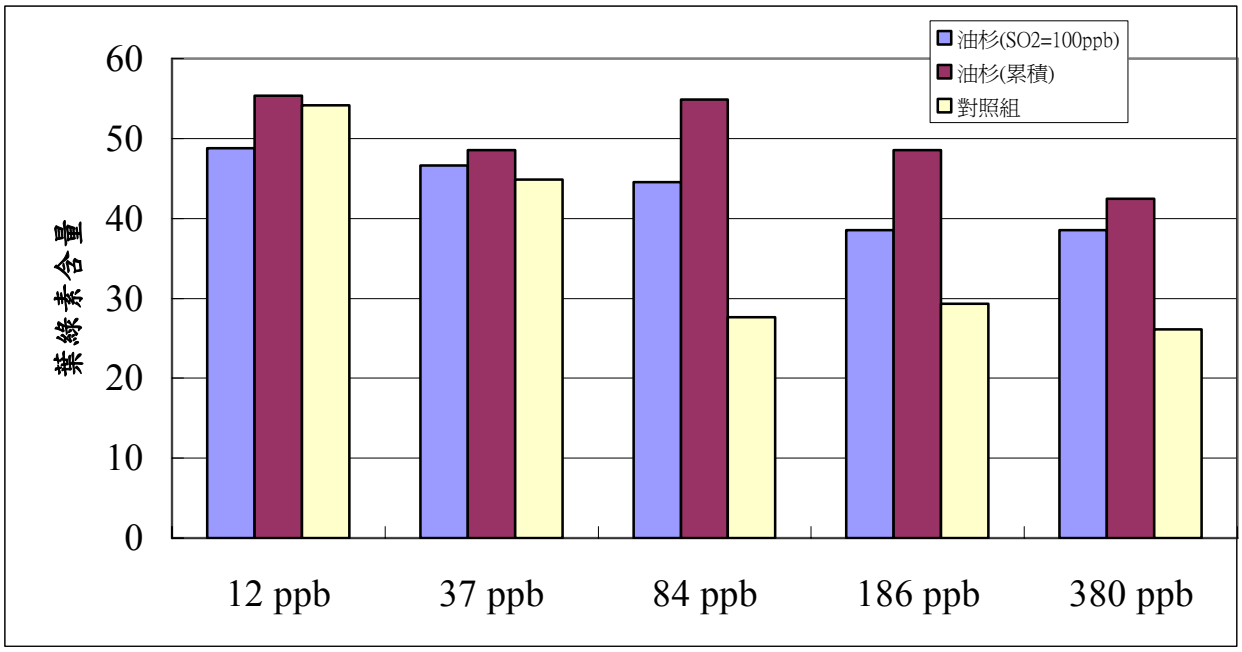


圖 4-3-3-41　各種 SO_2 濃度對台灣油杉生長之影響

3-5-1 SO_2 對台灣油杉生長之影響

目前國內主要產生二氧化硫(SO_2)的來源為電廠、工業、家庭及商業用暖氣，而本計劃(SO_2)主要來源為車用暖氣。而 SO_2 對台灣油杉生長之主要影響為導致森林的消失以及地衣及苔蘚的減少等等。

3-5-2 NOx 對台灣油杉生長之影響

目前國內主要產生氮氧化物(NO_X)與氨氣(NH_3)的來源為電廠及交通工具(氮氧化物)、農業(氨氣)，而本計劃(NO_X)與氨氣(NH_3)的主要來源為交通工具及農業。而這些污染來源對台灣油杉生長主要影響為，改變植物生長及加大壓力敏感度，造成土壤酸性化及優氧化。

表 4-3-3-11　空氣污染物的來源及影響

污染物	來源	影響	效應尺度
二氧化硫(SO_2)	電廠、工業、家庭及商業用暖氣	森林的消失以及地衣及苔蘚的減少	當地性
氮氧化物(NO_X)與氨氣(NH_3)	電廠及交通工具(氮氧化物)、農業(氨氣)	改變植物生長及加大壓力敏感度，造成土壤酸性化及優氧化	當地性及地區性
酸性沉積物	自二氧化硫與氮氧化物產生之二次污染物	造成土壤及淡水的酸性化，森林的減少	地區性
臭氧(O_3)	自碳氫化合物及氮氧化物產生之二次污染物	減緩植物生長，造成森林的消失	地區性
毒性金屬(如鉛、鎘)	熔鍊工業、交通工具(鉛)	降低土壤微生物的活性，縮減土壤無脊椎動物的族群	當地性及地區性
持久性有機污染物(Persistent organic pollutants, POPs)	工業、燃料燃燒、使用殺蟲劑	食物鏈中的生物累積效應	當地性及全球性

參考來源：台灣生物多樣性的損失—哪些資源正在流失(池文傑)

http://biodiv.niu.edu.tw/

伍、 結論與建議

一、 結論

(一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測

1. 於冬季林木生長停滯時期，進行林木測計的調查工作。完成 A、B、C、D 等 4 區的立木胸高直徑(DBH)、樹高(H)、枝下高(HCB)的調查工作，其中 A、B、C 等 3 區為天然林，D 區為人工林。以 D 區台灣油杉人工林的樣木株數最多，其次為 C 區台灣油杉天然林。
2. 在各區台灣油杉樣木胸徑的統計量方面，D 區的胸徑平均值與標準差為各區中最小者，而以 B 區的胸徑平均值與標準差為最大。
3. 將各區台灣油杉樣木的胸徑分為 10 級，在 D 區的人工林中，胸徑分配以 30-40 cm 居最多數，而胸徑在 50 cm 以上的樣木則很少。此外，在 C 區裡也包含了很多小徑木，顯示 C 區裡的天然更新狀況良好。
4. 在各區台灣油杉樣木樹高的統計方面，以 B 區的平均樹高最大，但最高的單株樣木樹高是在 C 區。D 區台灣油杉人工林的生育地環境不錯，故其生長狀況相對於其他 3 區相當良好。
5. 於夏末初秋之季，進行林木健康監測調查，總合各項目的分數作為林木健康的分級依據，顯示除了 1 株台灣油杉樣木屬於被壓木列為不健康外，其餘的樣木皆屬正常。
6. 到目前為止，外在的環境變化並未造成坪林台灣油杉自然保留區林分的急速衰退。不過後續調查仍需注意其生長量是否能夠補償其枯死量。

(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測

在坪林台灣油杉自然保留區內台灣油杉及少數闊葉樹種，從葉之形態上觀察，大致上皆屬正常，排除任何外來化學污染物之傷害。長遠而言，仍可進行持續之監測，以確定研究區內台灣油杉植群之健康。

(三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測

1. 通過雪山隧道車流量於假日都較平常日高出許多，非假日每日車流量約為 31,093 車次；假日每日車流量則高達 45,676 車次，假日車流量較非假日多出 46.90 %。雪山隧道於二月份車流量相當龐大，此時隧道豎井所排放污染物濃度略高，極可能對台灣油杉區植物生長帶來危害。
2. 雪山隧道內非假日尖峰時段 PM_{10} 濃度約介於 131 ～ 201 $\mu g/m^3$ 之間，而於假日時段 PM_{10} 濃度約介於 145 ~ 222 $\mu g/m^3$ 之間，且 PM_{10} 濃度易因車流量增多而上升，即隧道豎井所排放粒狀物濃度隨之增高。
3. 雪山隧道內 CO 濃度變化與車流量尖離峰變化趨勢相似，非假日尖峰時段 CO 濃度約介於 7.3 ~ 23.1 ppm 之間，另假日尖峰時段 CO 濃度約介於 8.1 ~ 25.7 ppm 之間。因植物對 CO 容忍度較高，曝露在此濃度，尚不致產生太大危害。
4. 隧道內 NOx 濃度變化與 CO 濃度變化趨勢相似，於非假日尖峰濃度約介於 573 ~ 1843 ppb 之間，假日尖峰時段濃度則約介於 650 ~ 2117 ppb 之間。非假日二氧化硫濃度約介於 7.7 ~ 27.8 ppb 之間，另假日尖峰時段二氧化硫濃度則約介於 8.3 ~ 31.8 ppb 之間。
5. 本年度豎井區與民宅及場址三測站 TSP 濃度大小分別約為 69.58 ~ 73.28、56.81 ~ 60.54 與 32.25 ~ 36.54 $\mu g/m^3$ 及豎井區與民宅及場址三測站 PM_{10} 濃度大小分別約為 23.40 ~ 32.25、28.30 ~ 31.25 與 16.33 ~

23.56 μg/m^3，三測站各濃度皆未超過法定空氣品質標準濃度(250 μg/m^3)，即至目前台灣油杉區空氣品質受豎井排氣中粒狀污染物所影響屬於輕微。

6. 全年度之豎井區、台灣油杉區與民宅所測得二氧化硫濃度各約為 3.6 ~21.3 、2.3 ~ 28.8 與 1.9 ~ 19.87 ppb。各監測點之 CO 與 O_3 濃度以豎井區之濃度較高，該點濃度分別約為 1.3 ~ 1.8 ppm 與 25.6 ~ 68.3 ppb 之間，而台灣油杉區與民宅所測得的 CO 濃度分別約介於 0.6 ~ 1.7 ppm 與 0.78 ~ 1.36 ppm 之間及台灣油杉區與民宅所測得的 O3 濃度 42.6 ~65.4 ppb 與 44.9 ~ 64.6 ppb 之間。所測得 NO 與 NO_x 全年度平均濃度分別約介於 13 ~ 78 ppb 及 35 ~ 90 ppb 之間，而 NO_2 所測得的濃度約介於 10 ~ 21 ppb 之間。即至目前台灣油杉區空氣品質受豎井排氣中氣狀污染物所影響屬於輕微。

7. 酸沉降雨水中陰離子，以 Cl^-、NO_3^-與 SO_4^{2-}離子濃度較為明顯，全年度離子濃度分別約為 0.35 ~ 1.87、0.47 ~ 1.34 與 0.12 ~ 0.78mg/L，此地空氣品質已略受豎井排氣與海水飛沫或境外移入之酸沉降物質所影響。

8. 酸沉降雨水中陽離子，以 Na^+與 NH_4^+離子濃度較為明顯，全年度離子濃度分別約為 0.68 ~ 1.09 與 0.45 ~ 0.76 mg/L，台灣油杉區陽離子濃度已屬不低，此地空氣品質已略受豎井排氣、海水飛沫與種茶區施肥所影響。

9. 以二氧化硫進行台灣油杉受空氣污染物影響評估測試時，五年生台灣油杉葉綠素含量隨二氧化硫濃度與曝露時間增加，而有降低趨勢，且皆較對照組台灣油杉葉綠素含量低。

10. 至於廢氣成分對土壤及台灣油杉之生長影響，目前尚沒有明確數據，可得知兩者間之因果關係；即雪山隧道豎井排氣對坪林台灣油杉自然保留區之影響並非單一因素。

二、 建議

1. 於雪山隧道車流量尖峰時段，隧道豎井所排放污染物濃度頗高，極可能危害台灣油杉區植物生長，建議應對所排放廢氣予以處理。
2. 至目前隧道內氣狀污染物濃度仍屬頗低，台灣油杉區空氣品質受豎井排氣所影響有限，但因本年度即將通行大客車，通行大客車後，較易排放較高濃度污染物，台灣油杉區空氣品質是否受通行大客車後豎井排氣所影響，需進一步測試與觀察。
3. 本研究雖採用台灣油杉葉綠素含量評估台灣油杉生長受空氣污染物影響，所獲得客觀數值仍屬有限，往後建議採用光合作用測試、顯微鏡觀察傷癒組織測試及混合空氣污染物對台灣油杉生長影響等，以進一步判定台灣油杉是否受豎井所排放空氣污染物影響。
4. 三年計畫針對空氣污染數值，或許並不是有很大影響，短期間研究係較難以看出影響，所以要去很清楚界定責任較難，建議管理處可接續持續監測項目。
5. 三年計畫監測期間屬於短期，建議管理處可接續持續監測。關鍵點為如何偵測出林木受損？它的空間份佈為何？空氣污染數值變動的情形為何？

陸、未來擬進行之工作內容

1. 持續進行林健康監測，以了解林分是否有衰退的徵兆。。
2. 由連續調查資料，以了解胸高直徑與樹高關係變化的情形，用以推測林分生產力是否有衰退。
3. 由連續調查資料，以了解林木枯死的機率是否有增加的現象，並了解其生長量是否能補償其枯死量。
4. 持續進行葉形態之觀察，以利於了解是否有外來化學污染物之傷害，以確定研究區內台灣油杉植群之健康。
5. 持續進行通行雪山隧道車流量監測作業，及雪山隧道內空氣品質監測作業，以利瞭解雪山隧道污染物排放特性。
6. 持續進行豎井區、台灣油杉區與台灣油杉區臨近民宅空氣品質(含粒狀污染物與氣狀污染物)監測作業，並進行空氣品質監測結果整理作業。
7. 持續進行宜蘭大學與台灣油杉區酸沉降中陰陽離子監測作業，並進行酸沉降中陰陽離子分析結果整理作業。
8. 因應即將通行大客車，擬另行進行較密集採樣作業，以利解析雪山隧道與豎井所排放空氣污染物之排放特性。
9. 持續進行其他空氣污染物(如 O3、NOx)對台灣油杉生長影響之評估作業。

柒、參考文獻

一、 林木健康監測之參考文獻

1. 王光仁(2006)，檜木老熟林健康指數評估－以太平山國家森林遊樂區為例，碩士論文，國立宜蘭大學自然資源學系。
2. 王兆桓(2005)，太平山國家森林遊樂區老熟檜木森林健康指數評估，行政院農業委員會林務局保育研究系列第 93-8 號。
3. 王兆桓、林文亮、陳家玉、陳子英 (2003) 棲蘭老熟檜木健康指標之建立與分級。生態系經營—永久樣區理論與實務探討研討會，行政院農業委員會林務局編印，pp.19-35。
4. 王兆桓、陳子英 (2002) 林木健康指標評估方法之建立—以棲蘭地區老熟檜木為例，行政院農業委員會林務局保育研究系列第 91-6 號，47p。
5. 李威震(2006)，台灣東北部海岸保安林木麻黃林分健康監測之研究，碩士論文，國立宜蘭大學自然資源學系。
6. 呂坤旺、周中華、鍾宜君、王兆桓 (2002) 臺灣東部老樹評比暨活力調查研究。國立宜蘭技術學報第九期生物資源專輯。P211-221。
7. 邱祈榮、聶齊平 (2000) 美國森林健康監測評量體系之介紹。台灣林業 26(3): 46-58。
8. 周文賢 (2002) 多變量統計分析-SAS/STAT 使用方法。智勝文化事業，台北。P.419-488。
9. 陳子英、王兆桓 (2001) 坪林台灣油杉自然保留區植群監測。 行政院農業委員會林務局保育研究系列第 89-1 號。p.7-8, 21-30.
10. 陳家玉(2003)棲蘭山檜木老熟林健康指標評估法，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
11. 陳家玉、林文亮、王兆桓、陳子英 (2002) 棲蘭老熟檜木健康指標之建構，中華林學會 91 年會論文發表會，pp.175-187。
12. 陳朝圳(2006)，第四次森林資源調查項目之評估，行政院農業委員會林務局委辦計畫。
13. 榮民森林保育事業管理處 (1999) 棲蘭、明池森林遊樂區 森林資源解說手冊。行政院國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處。p.15-16, 106-107, 125-127。
14. 馮豐隆 (1996) 介紹”美國國有林健康監測計劃”。台灣林業 22(9): 39-42。
15. Alexander, S.A. and Palmer, C.J. (1999) Forest health monitoring in the United States: first four years. Environ. monit. assess. 55: 267-277.
16. Burkman, W.G. and Hertel, G.D. (1992) Forest health monitoring: a national program to detect, evaluate and understand change. J. For. 90(9): 26-27.
17. Burkman, W.G., Vissage, J.S., Hoffard, W.H., Starkey, D.A. and Bechtold, W.A. (1998) Summary report: forest health monitoring in the South, 1993 and 1994. Resource Bulletin SRS-32. Southern Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. pp.1-2.
18. Conkling, B.L. and Byers, G.E. (1993) Forest health monitoring field methods guide. Internal Report. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV.
19. Conkling, B.L., Hoover, C.M., Smith, W.D. and Palmer, C.J. (2002) Using forest health monitoring data to integrate above and below ground carbon information. Environ. pollut. 116: S221-S232.
20. Cumming A.B., Galvin, M.F., Rabaglia, R.J., Cumming, J.R. and Twardus, D.B. (2001) Forest health monitoring protocol applied to roadside trees in Maryland. J. arboric. 27(3): 126-137.

21. Dwyer, J.P., Cutter, B.E. and Wetteroff, J.J. (1995) A dendrochronological study of black and scarlet oak decline in the Missouri Ozarks. For. ecol. manage. 75:69-75.
22. Gertner, G. and Kohl, M. (1995) Correlated observer errors and their effects on survey estimates of needle-leaf loss. For. Sci. 41(4): 758-776.
23. Innes, J.L.(1998) Role of diagnostic studies in forest monitoring programmes. Chemosphere 36(4-5): 1025-1030.
24. Kohl, M., Innes, J. L. and Kaufmann, E. (1994) Reliability of differing densities of sample grids used for the monitoring of forest condition in Europe. Environ. monit. assess. 29:201-220.
25. Koch, L., Rogers, P., Michelle, F., Atkins, D. and Spiegel, L. (2001) Wyoming forest health report: a baseline assessment, 1995-1998. Rocky Mountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. pp.10-11, 48.
26. Leininger, T.D. (2002) Response of tree crown conditions to natural and induced variations in Throughfall. In: Outcalt, Kenneth W., ed. Proceedings of the eleventh biennial southern silivicultural research conference. Gen. Tech. SRS-48, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p.92-96.
27. Ling, K.A. and Ashmore, M.R. (1999) Influence of tree health in ground flora in the Chiltern Beechwods, England. For. ecol. manage. 119:77-88.
28. Metzger J. M. and Oren, R. (2001) The effect of crown dimensions on transparency and the assessment of tree health. Ecol. Appl 11(6): 1634-1640.
29. Miller-Weeks, M., Burkman, W. G., Twardus, D. and Mielke, M. (1994) Forest health in the Northeastern United States. J. For. 92(7): 30-33.
30. Nash, B. L., Saunders, M. C., Miller, B. J., Bloom, C.A., Davis, D. D. and Skelly, J. M. (1992) Forest health, an expert advisory system for assessing foliar and crown health of selected northern hardwoods. Can. J. For. Res. 22(11): 1770-1775.
31. Renaud, J. P. and Mauffette, Y. (1991) The relationships of crown dieback with carbohydrate content and growth of sugar maple. Can. J. For. Res. 21(7): 1111-1118.
32. Rogers, P. (2002) Using forest health monitoring to assess aspen forest cover change in the southern Rockies ecoregion. For. Eco. Manage. 155: 223-236.
33. Rogers, P., Atkins, D., Frank, M. and Parker, D. (2001) Forest health monitoring in the interior west: a baseline summary of forest issues, 1996-1999. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-75. Rocky Mountain Research Station, in cooperation with USDA Forest Service, State and Private Forestry, Regions 1-4. pp.4, 35.
34. Schreuder, H. T. and Czaplewski, R.L. (1993) Long-term strategy for the statistical design of a forest health monitoring system. Environ. monit. assess. 27: 81-94.
35. Scott, C. T., Kohl, M. and Schnellbacher, H. J. (1999) A comparison of periodic and annual forest surveys. For. Sci. 45(3): 433-451.
36. Smith, W.B. (2002) Forest inventory and analysis: a national inventory and monitoring program. Environ. pollut. 116: S233-S242.
37. Stapanian, M.A., Cline S. P. and Cassell, D. L. (1997) Evaluation of a measurement method for forest vegetation in a large-scale ecological survey. Environ. monit. assess. 45: 237-257.
38. Strand G.-H. (1996) Detection of observer bias in ongoing forest health monitoring programmes. Can. J. For. Res. 26:1692-1696.
39. USDA Forest Service (2002a) Forest Inventory and Analysis: tree crown condition indicator. FIA Field Methods for Phase 3 Measurements, Crown Condition Classification. <http://www.fia.fed.us/library.htm#Manuals>
40. USDA Forest Service (2002b) Summary of indicators sampled by the FIA phase 3 protocols. < http://www.nature.nps.gov/im/monitor/fhmindic.htm >
41. Walters, G. M. and McCarthy, B.C. (1997) Forest decline and tree mortality in a Southeastern Ohio Oak-Hickory forest. Ohio J. Sci. 97(1): 5-9.

二、 植物葉身構造監測之參考文獻

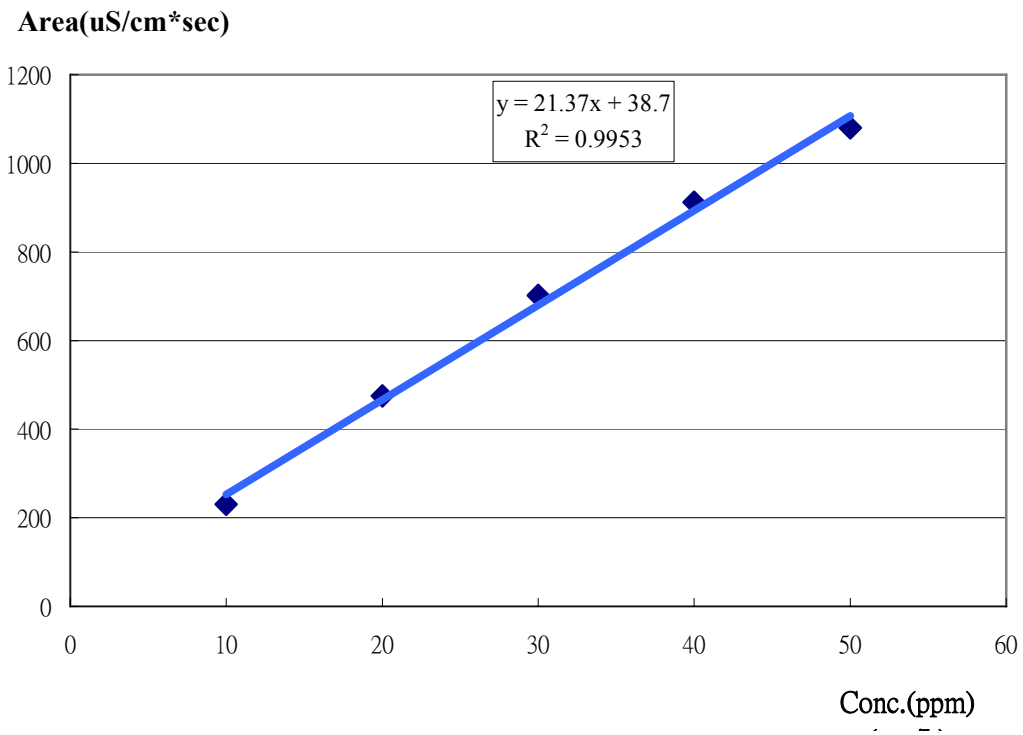
1. 行政院農業委員會。1988。七十七農林字第七○三○二三八Ａ號。
2. 蔡淑華。1975。植物組織切片技術綱要。茂昌。台北市。30-44 pp。
3. 金平亮三。1936。台灣樹木誌。台灣總督府中央研究所林業部。
4. Bell, J.N.B. and Treshow, M. (ed.) (2002) Air pollution and plant life. John Wiley & Sons. New York.
5. Dässler, H.-G. and S. Börtitz, S. (ed.) (1988) Air pollution and its influence on vegetation: causes, effects, prophylaxis, and therapy. [translator, Eva Katzer]. Kluwer Academic Publishers. U.S. and Canada.
6. Guderian, R. (ed.) (1985) Air pollution by photochemical oxidants: formation, transport, control, and effects on plants. Springer-Verlag. New York.
7. Jarvis, P.G. and T. A. Mansfield, T.A. (ed.) (1981) Stomatal physiology. Cambridge Univ. Press. Cambridge, New York.
8. Johansen, D. A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill. New York.
9. Li, H.L. and Keng, H. 1994. PINACEAE In: Flora of Taiwan 2nd Ed. Vol (1): 567-581. Editorial Committee of the Flora of Taiwan. 2nd Ed. National Taiwan University. Taipei, R.O.C.
10. Schulze, E.-D., Lange, O.L. and Oren, R. (ed.) (1989) Forest decline and air pollution: a study of spruce (Picea abies) on acid soils. Springer-Verlag. New York, Berlin.
11. Ziegler, E., Farquhar, G.D. and Cowan, I.R. (ed.) (1987) Stomatal function. Stanford Univ. Press. Stanford, Calif. U.S.

三、 空氣污染監測之參考文獻

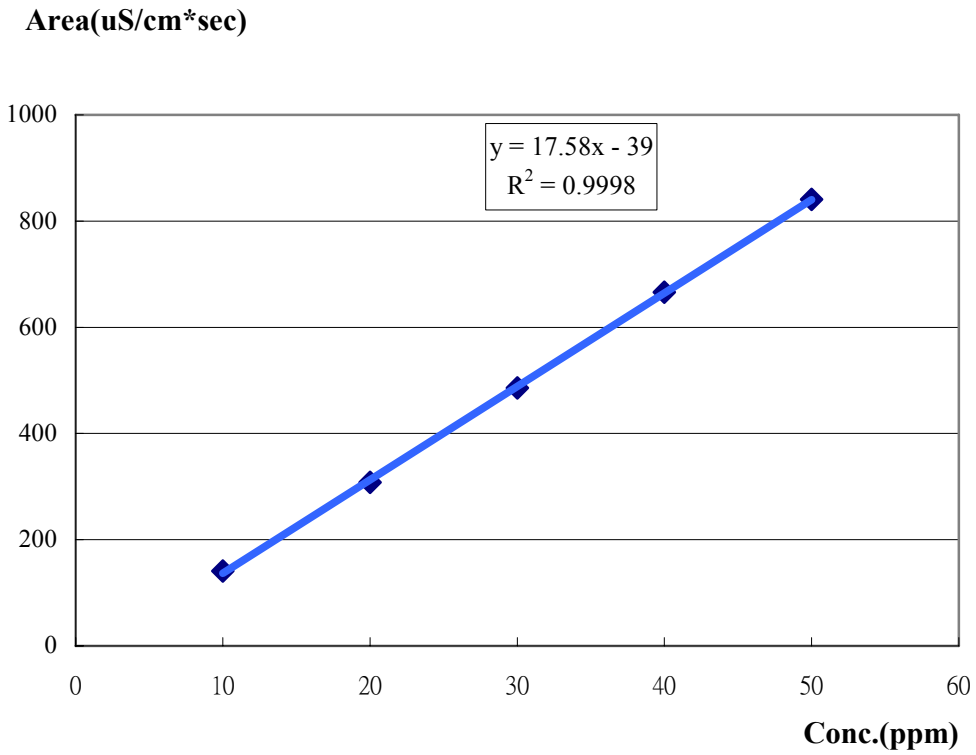
1. 王聖偉，高雄市中正地下道及過港隧道空氣污染物採樣與特性分析，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2000。
2. 交通部，台灣區國道新建工程局，蔣渭水高速公路坪林隧道豎井排氣對茶樹生長環境影響調查研究，中興工程顧問社執行技術研究報告， 1995。
3. 交通部台灣區國道新建工程局，國道蔣渭水高速公路工程簡介，2003。
4. 交通部，台灣區國道新建工程局網站 http://gip.taneeb.gov.tw/，2007。
5. 李貽華、徐慈鴻，空氣污染對植物之影響，農業世界雜誌，第 151 期: p.64～67，1996。
6. 汪天得，江旭程，交通污染對街道附近空氣品質之影響，第十三屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，p. 837～844，1996。
7. 林沛鍊等，酸沈降與氣象條件關係之研究，國立中央大學大氣物理研究所，1996。
8. 林能暉、李清勝、郭鴻基等，空氣監測資料與酸雨測站之調查分析及研判，EPA-84-L102-03-02，行政院環境保護署，1995。
9. 周孟麟，臺灣北部地區酸沈降之時空分佈特徵與天氣類型關係之研究，碩士論文，中國文化大學大氣科學研究所，2001。
10. 洪崇軒、袁中新、施志恆等，高雄市車行地下道空氣品質特性研究，第十五屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，p.656～663，1998。
11. 徐淵靜，道路隧道噪音與空氣污染之研究，學術研究報告，NSC 78-0410-E009-005，國科會，1989。
12. 孫岩章，環境污染及破壞對植物之影響，科學農業，第 33 期，p.97～122，1985。
13. 孫岩章、謝煥儒，空氣污染對生態環境影響調查評估，科技計畫報告。NSC87-EPA-P-005-003，行政院環境保護署，1998。
14. 陳正平，未來空氣污染與酸雨物質長程傳送對我國影響與研究，國立臺灣大學全球

變遷研究中心，1996。
15. 陳帥如，環境綠化植物對臭氧及二氧化硫之抗耐性比較，碩士論文，國立臺灣大學園藝學研究所，2004。
16. 陳慶祥，坪林長公路隧道通風系統分析，淡江理工學刊，第 1 卷第 1 期，p.85 ~ 92，1998。
17. 許博銘，科學園區周界之植物葉面落塵中陰陽離子分析研究，碩士論文，國立清華大學原子科學系，2004。
18. 蔣本基、江右君，台北地區空氣中揮發性有機物特性與污染源分析，第十屆空氣污染控制技術研討會，p.201~208，1993。
19. Lonneman W.A.; Selia, R.L., and Meeks, S.A., Non-methane Organic Composition in the Lincoln Tunnel, Environ. Sci. Technol., Vol.20, pp.790-802, 1986.
20. Lonneman W.A.; Kopczynski, S.L.; Darley, P.E., and Sutterfield, F.D., Hydrocarbon Composition of Urban Air Pollution, Environ. Sci. Technol., Vol.8, pp.229-235, 1974.
21. Haerter A., Road Tunnel Air and the Environment, in Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, edited by Alex Haerter, published by Elsevier Applied Science, London and New York, 1991.
22. Touaty M. and Bonsang B., Hydrocarbon Emissions in a Highway Tunnel in the Paris area, Atmospheric Environment, Vol.34, pp.985-996, 2000.
23. Duffy, B.L.; Nelson, P.F., Non-methane Exhaust Composition in the Sydney Harbour Tunnel: a Focus on benzene and 1,3-butadiene, Atmospheric Environment, Vol.30, pp.2759-2768, 1996.
24. Rogak S. N.; Green S. I. and Pott U, Use of Tracer Gas for Direct Calibration of Emission- Factor Measurements in a Traffic Tunnel, Journal of Air and Waste Manage. Assc., Vol.48, pp.545-552, 1998.
25. Goldsmith, J. R., and Friberg, L. T., Effects of Air Pollution on Human Health. Vol.II, edited by A. C. Stern, Academic Press, NY, 1982.

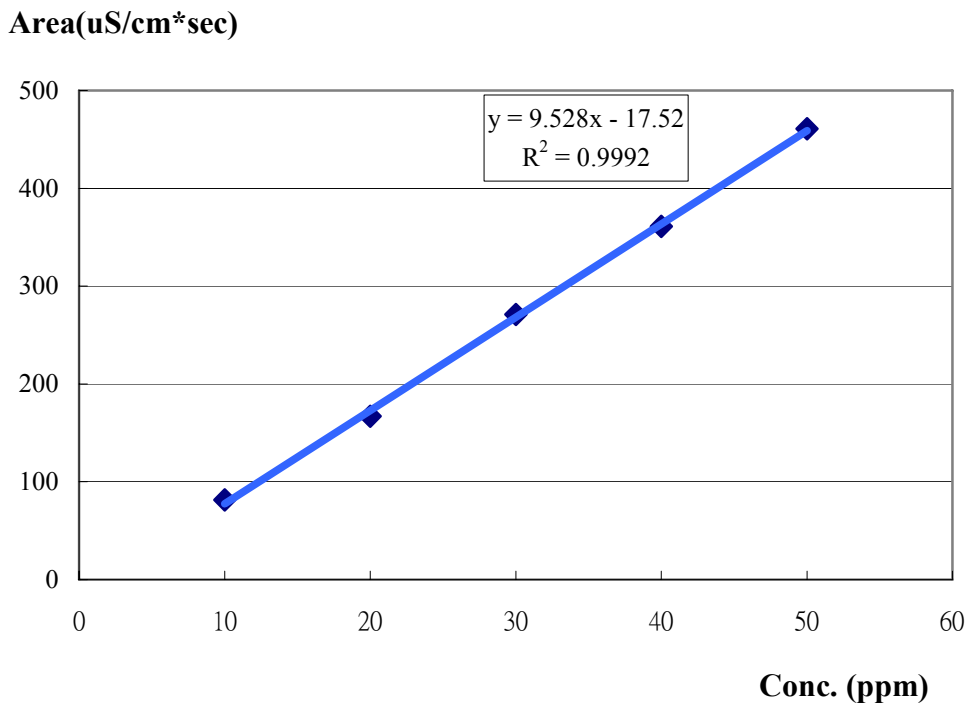
附錄一：離子成分分析之檢量線



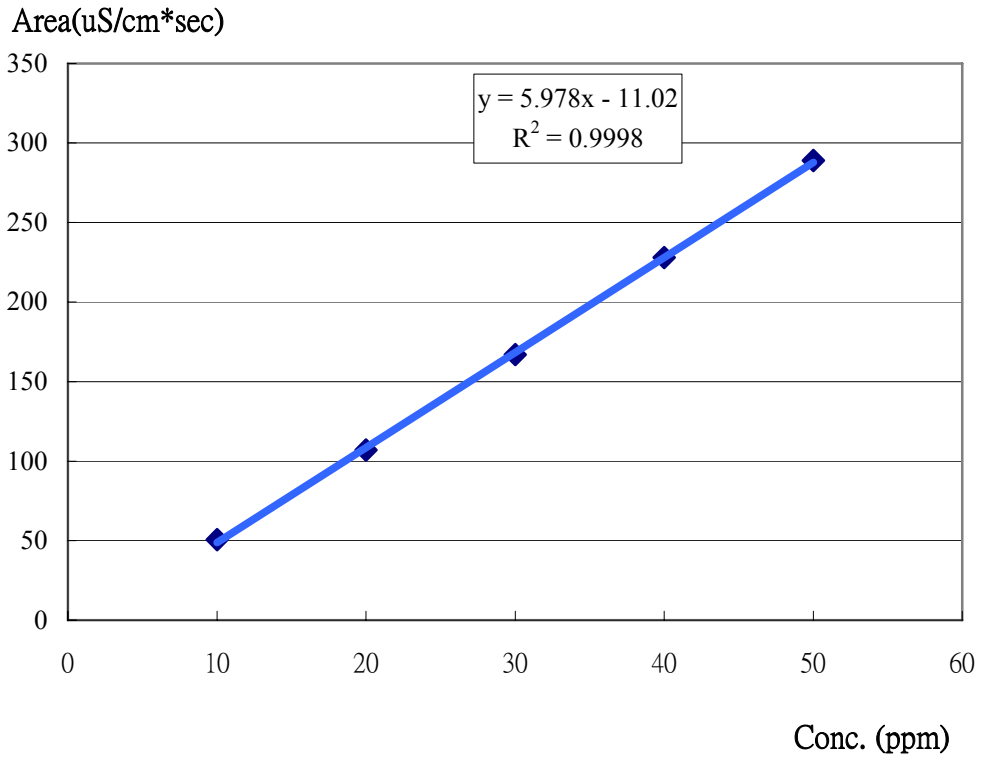
附圖 1-1　氟離子分析之檢量線



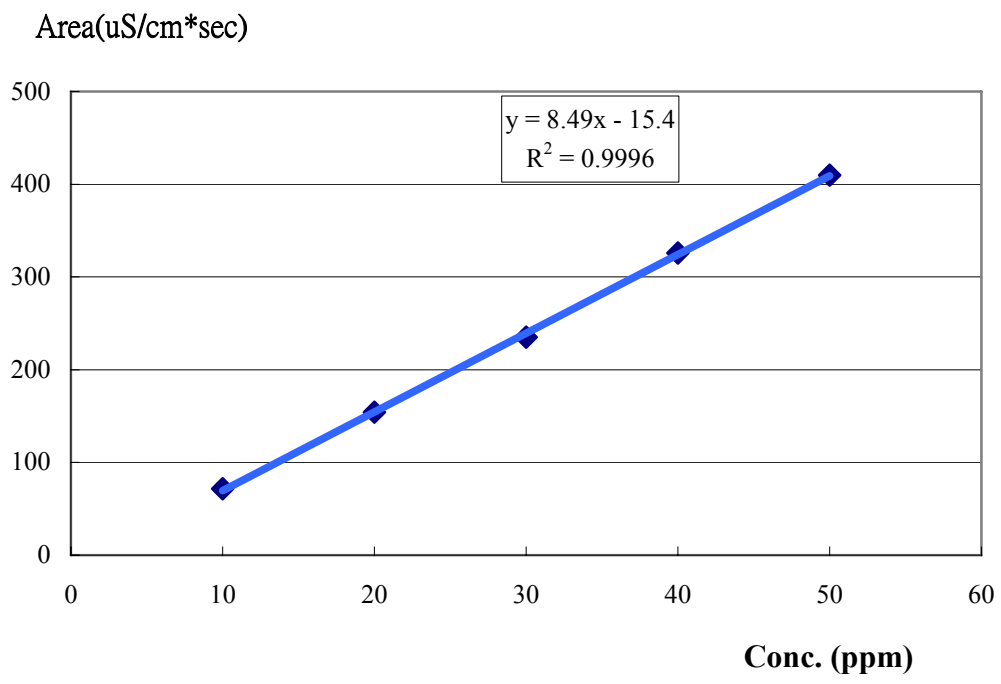
附圖 1-2　氯離子分析之檢量線



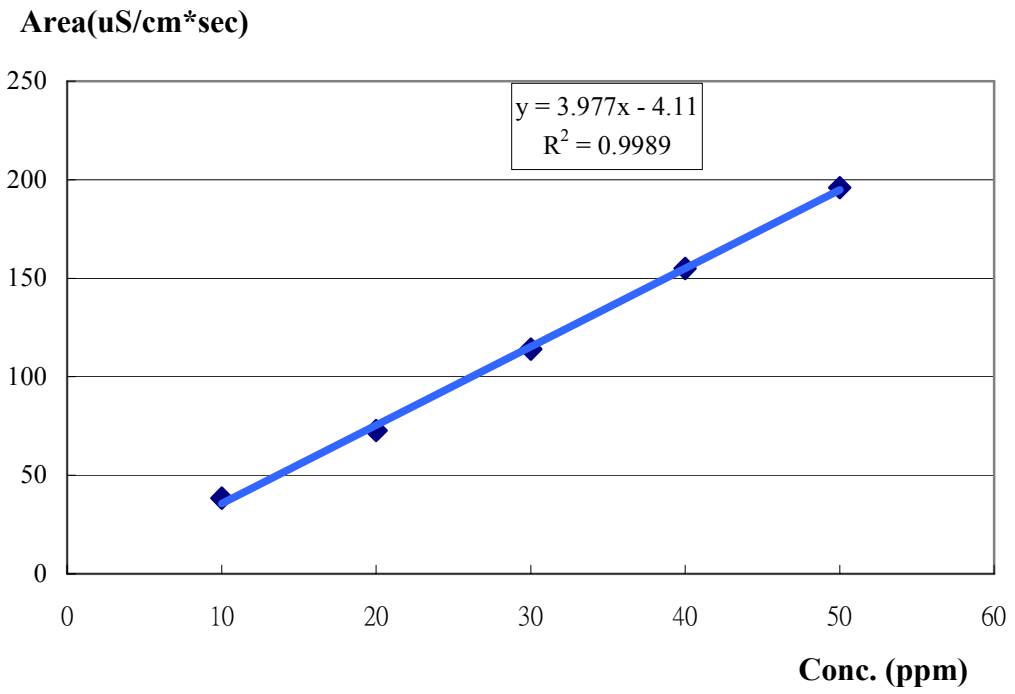
附圖 1-3　亞硝酸根離子分析之檢量線



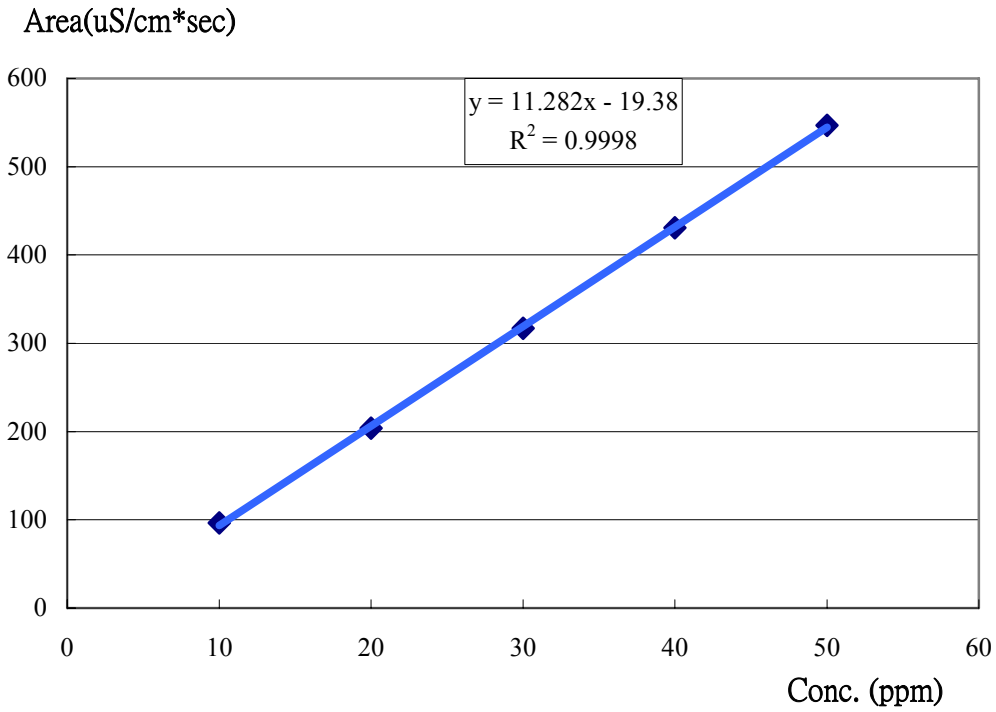
附圖 1-4　溴離子分析之檢量線



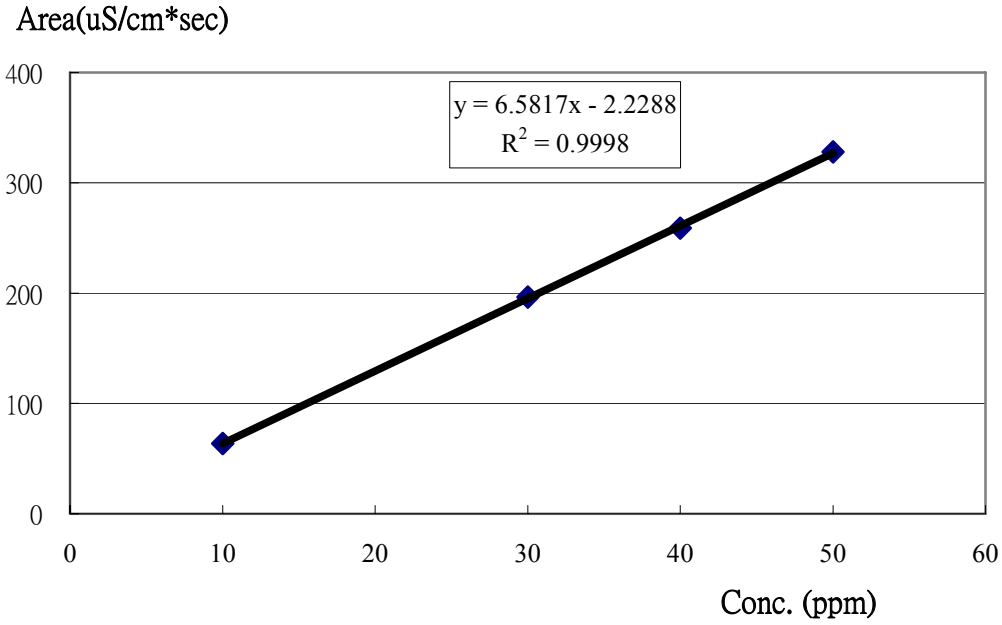
附圖 1-5　硝酸根離子分析之檢量線



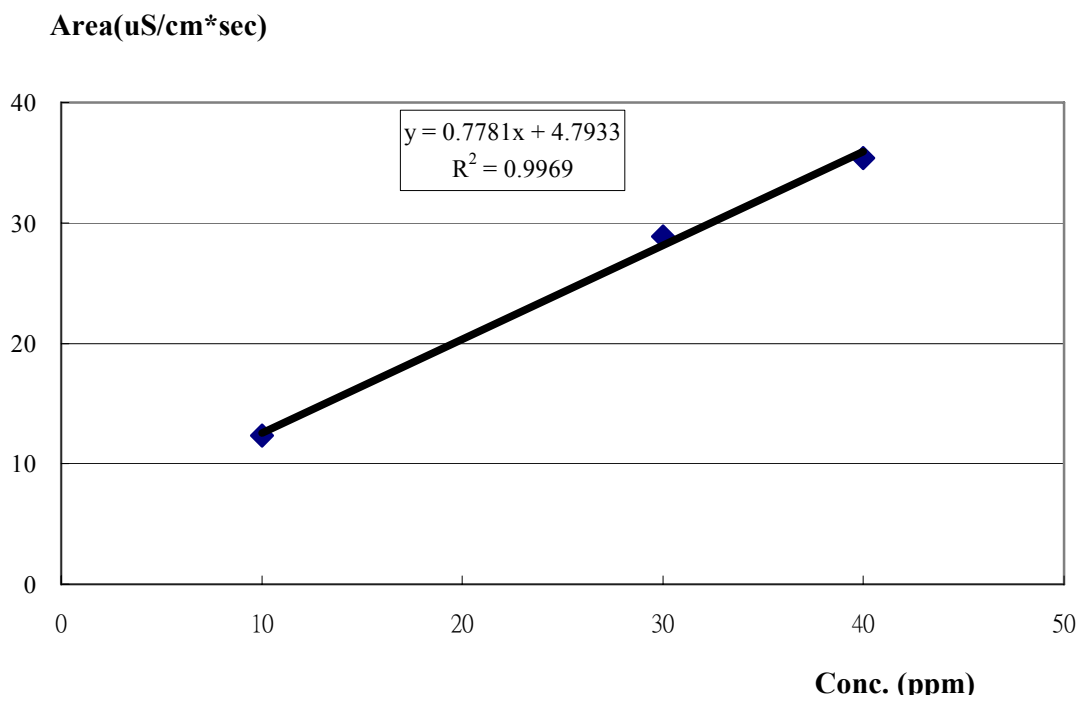
附圖 1-6　磷酸根離子分析之檢量線



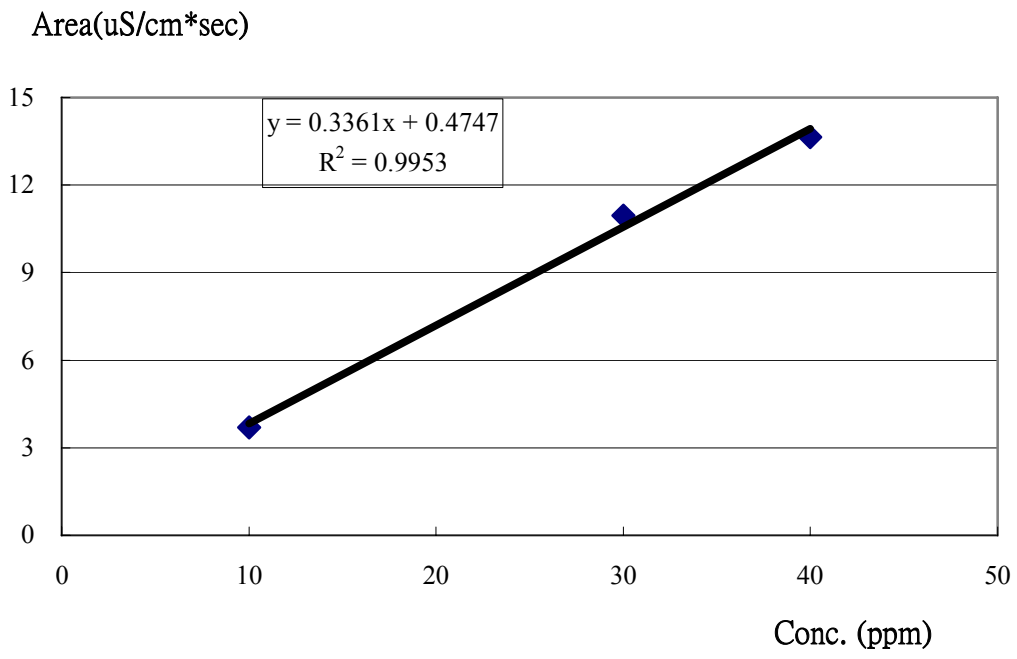
附圖 1-7　硫酸根離子分析之檢量線



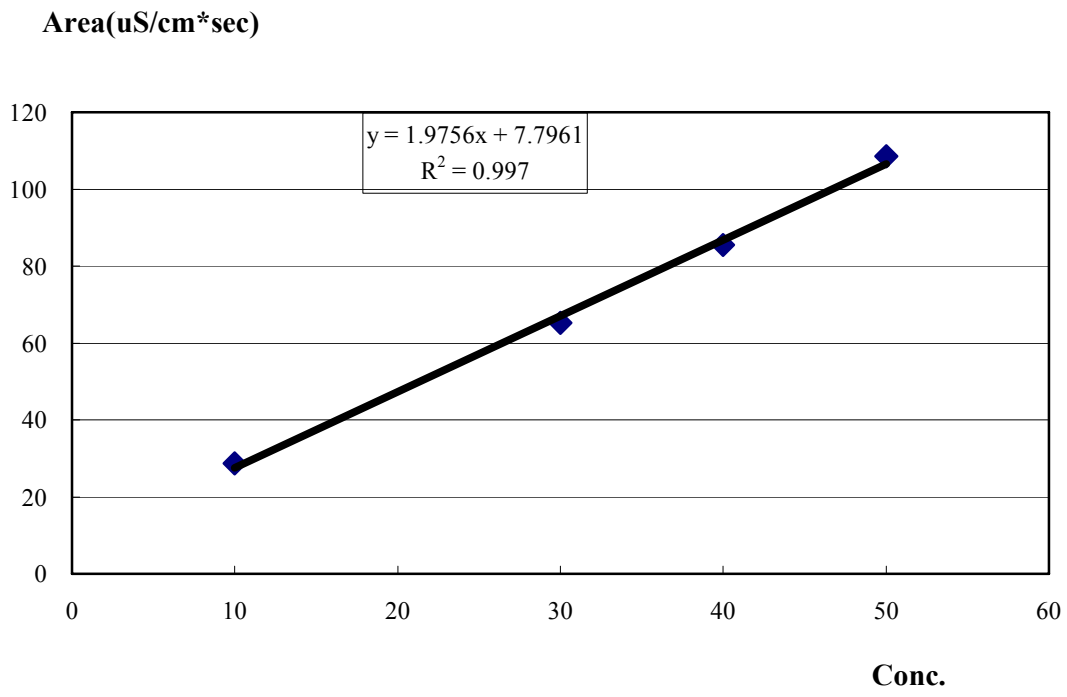
附圖 1-8　鋰離子分析之檢量線



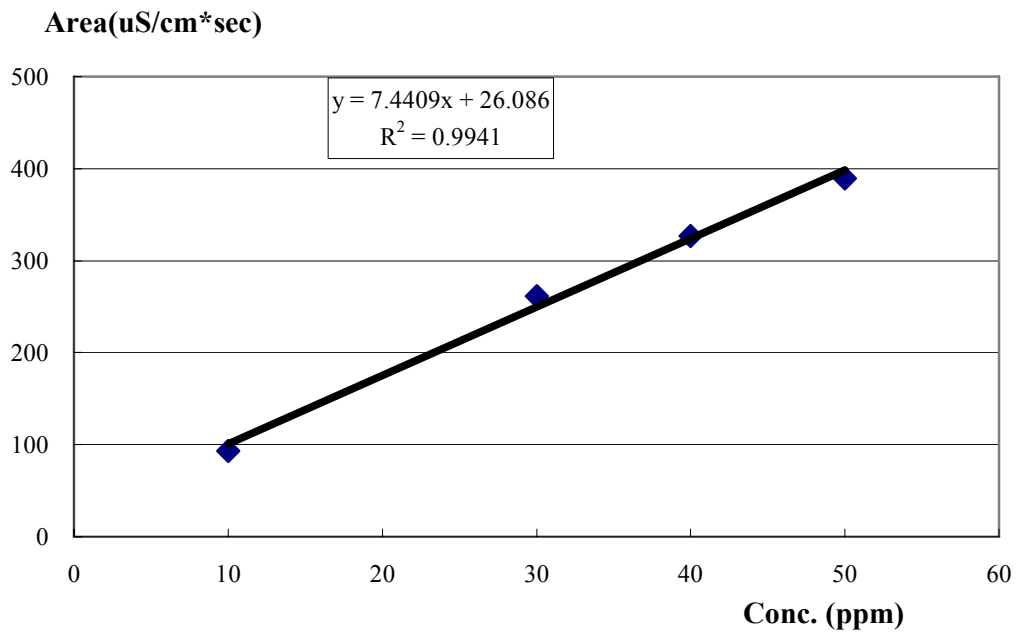
附圖 1-9　銨離子分析之檢量線



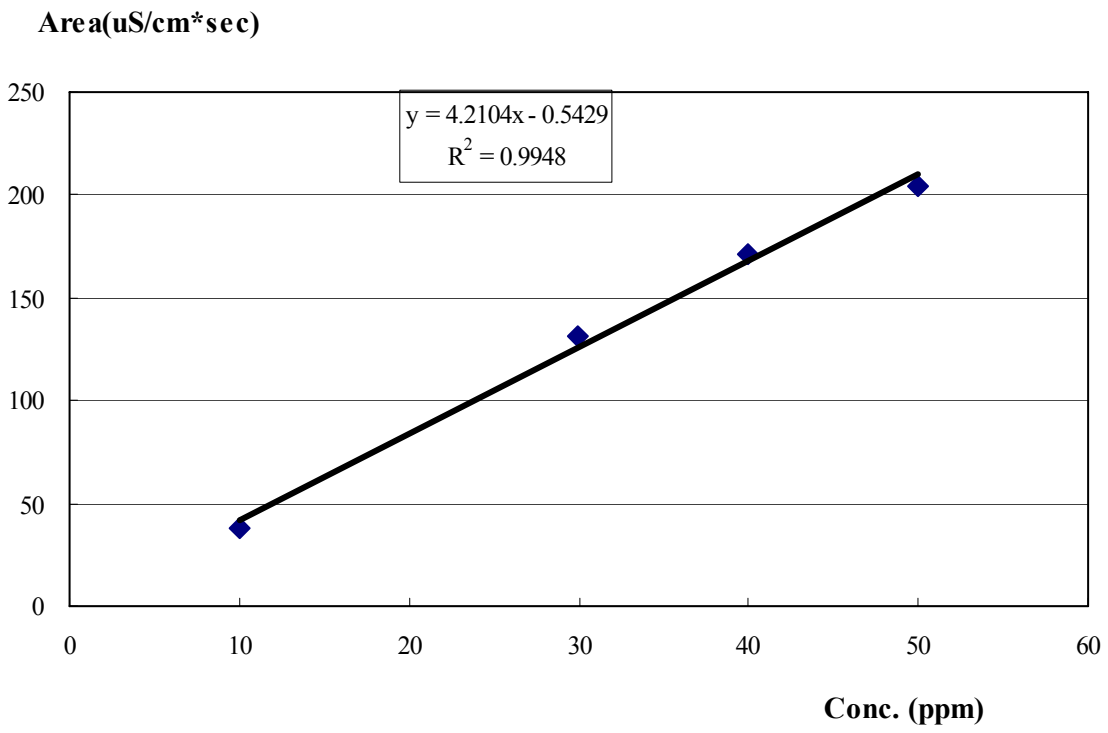
附圖 1-10　鈉離子分析之檢量線



附圖 1-11　鉀離子分析之檢量線



附圖 1-12　鈣離子分析之檢量線



附圖 1-13　鎂離子分析之檢量線

附錄二：期中報告審查會議辦理情形

「雪山隧道暨井對坪林臺灣油杉自然保留區及周邊環境影響評估（1/3）」委託計畫期中審查會議

一、會議時間：96 年 4 月 23 日（星期一）下午 15 時整

二、會議地點：本處三樓會議室

三、主持人： 林鴻忠處長　　會議記錄：江玲怡

四、參加單位及人員：

國道新建工程局	陳瑞斌、莊益賓、張揚明
國立台灣師範大學	陳正達
林業試驗所	黃進睦
秘書	吳坤銘
處長室	賴柳英

五、列席人員：

國立宜蘭大學	王兆桓、張章堂、袁嘉敏
國立台灣大學	羅漢強
冬山工作站	陳勝雄
太平山工作站	林芳立
南澳工作站	郭倩文
礁溪工作站	李威震
育樂課	林香𣪍

六、發言紀要與回覆：

審查單位	審查意見	辦理情形
國立台灣師範大學陳正達教授	1. 本案較可惜應於通車前就台灣油杉環境進行監測，即可清楚了解通車前、後之影響，建議在報告內容中加入背景資料，利用比對分析差異。	已取得背景資料值，並加入比較分析。
	2. 利用既得監測資料可較節省經費，是否可得到較代表性評估，如高公局有通風口資訊，當研究單位無法密集觀測取樣，建議向相關單位蒐取資料。	已向坪林行控中心取得車流量資料。
	3. 酸雨影響為何？或許對空氣污染般嚴重，對採樣與植物造成影響，建議將酸雨列入研究。	經實驗過後，此地空氣品質已略受豎井排氣與海水飛沫或境外移入之酸沉降物質所影響。酸雨也會對樹葉多少有負面影響，油杉葉之解剖觀察可以辨識酸雨之可能性。但樹葉氣孔絕多（或完全）只分佈於葉背面，沈降之酸雨不會直接飄落聚集在氣孔上。
林業試驗所黃進睦研究員	1. 建議在報告中加入豎井與台灣油杉相對位置，並說明為何選擇 1 號豎井來監測，其他 2、3 號豎井是否無影響。	已在報告中表一相入相對位置，因為該計劃之油杉區大部分是靠近坪林附近，而 1 號豎井比較靠近坪林的油杉區，2、3 號豎井則較靠近頭城，故選擇 1 號豎井來進行監測。
	2. 建議比對的 4 株樣木應定期監測外，應再加入其他監測對象，如此污染情形較易顯見。	四株樣木（台大一株、坪林國小一株、出水溪苗圃兩株）定期監測外，還增列四堵油杉生育地之油杉監測。此外還增選林內之闊葉樹種若干，以為監測參考。
	3. 車流量以固定長度而言，進入車量其實誤差不大，是否降低車速或許會造成污染。	降低車速時，因行駛時間增加，相對其所排放之廢氣量也增加，故降低車速或許有可能會造成污染，由相關文獻亦可得知，CO 排放量亦隨車速降低而增加。
國道新建工程局陳瑞斌	1. p2—保留區與 1 號豎井之間地理關係並未詳述，如距離、高差及方位等。1 號豎井空照圖應非 1 號豎井，請再確認是否正確。	保留區與 1 號豎井間之距離、高差及方位等已列於期末報告表一中；原照片非為 1 號豎井口照片，原照片已予以刪除。

審查單位	審查意見	辦理情形
課長	2. p7—(1)主要變項為三年內先後空氣品質可能累積之負面效應，如何驗證該敘述為真?	將持續長期針對空氣品質方面進行監測，再經由監測所得之數據來進行判斷空氣品質所累積之負面的效應，本年度之監測結果。如果油杉葉之構造出現不正常之病症，原因可能不只一項，空氣品質可能是其中一項，也可能不是。須從對照組比對逐項驗證。
	3. p8—(2)於排氣豎井鄰近處指的是隧道內或排氣豎井出口?既然做環境監測應於豎井出口處較為符合實況。	排氣豎井鄰近處是指排氣豎井出口鄰近 10 公尺處(法定周界範圍)。
	4. p18—2.分析乾沉降與濕沉降之化學微粒成分，可知廢氣成分對土壤及油杉之生長影響，請確認兩者間之因果關係。	酸沉降之化學成分分析已補充，至於廢氣成分對土壤及油杉之生長影響，目前尚沒有明確數據，可得知兩者間之因果關係。
	5. p19—表 2-1 係原規劃之預估值，為不限制車種行駛之情形下預估，而目前係採限制車種行駛管制。	已於期末報告中該章節處註明其為原規劃之預估值，為不限制車種行駛之情形下預估值。
	6. p19—(三)豎井鄰近處請再詳述該位置，同第 3 點意見。	排氣豎井鄰近處是指排氣豎井出口鄰近 10 公尺處(法定周界範圍)
	7. p21—雪隧車流量可於 http://211.79.135.72/Linkvol/menu.htm 查知，本局可提供今年以來之小時交通量電子檔供研究單位參考。	已向坪林行控中心取得車流量資料。
	8. p22--「此時隧道豎井所排放污染物濃度頗高….」因前文係說明交通量而非污染物濃度，該結論稍嫌武斷，建議刪除。	已修正原有敘述。
	9. p23—調查統計後之敘述宜以圖或表表示較為易讀。另文中指「出風口處之濃度已高於空氣品質標準」，有 2 點應說明，1.出風口處指隧道內或排出大氣後，2.空氣品質標準係若干，讓讀者易於瞭解。	已說明出風口處是指隧道內；另空氣品質標準值為 250μg/m^3。
	10. p30—豎井區、場址及民宅請分別敘述其位置。及粒狀物空氣品質標準。	豎井區、場址及民宅其位置乃補充敘述。另粒狀物空氣品質標準乃依「空氣污染防制法」第五條第三項規定訂定之，粒徑小於等於十微米（μm）之懸浮微粒（PM_{10}）之二十四小時值為 250μg/m^3。

審查單位	審查意見	辦理情形
	11. 綜合意見 (1) 隧道區各通風站之大氣溫度、CO、NO 及 VI（能見度）及運作模式、PIARC（世界道路協會）對隧道空氣品質標準等資訊，本局每週公佈於網頁供各界參考。	已於報告中增列網址。另雪山隧道豎井排氣對坪林台灣油杉自然保留區之影響並非單一因素，已補充說明於結論中。
	(2)雪山隧道豎井排氣對坪林臺灣油杉自然保留區之影響並非單一因素，請研究團隊應排除其它因素之影響後，再做出適當之結論。	油杉葉之構造觀察尚未完成，也因此尚無研究命題之結論。
國道新建工程局莊益賓組長	1. 雪山隧道目前在評估階段符合標準，根據近期研究顯示對鄰近茶樹影響非常輕微。	已補充說明於期末報告中。
	2. 經研究分析來了解由豎井或台九線哪一個空氣污染影響較嚴重，未來可提供本單位參考。	經過實地的檢測結果，台九線的空氣污染程度與豎井相比較，仍小於豎井之污染程度。
本處林香艷技正	1. 封面格式請依林務局規定修正。	已修正。
	2. 第 3 頁相關位置請再予標示，另建議圖二與圖三對調位置較清楚表達。	已修正。
	3. 研究方法示意圖，在文字內容中看不到說明，請予補充。	已補充說明。
	4. 第七頁3.保留區內易到達地與鄰近環境受空氣污染情形之監測部分，是否有量化資料，如距離試驗地長度等，可清楚表示數據。	保留區與鄰近最近豎井距離如期末報告中之表一，樣區內監測之樣木已分別紀錄其編號及水平位置。
	5. 第八頁請補充採樣器原理說明。	已補充。
	6. 報告中二氧化硫英文大小寫寫法、文獻、字體大小請統一。	已修正於全文，皆為二氧化硫或 SO_2。
本處陳勝雄技正	1. 針對第 2、7 頁內容，北宜高速公路修正為蔣渭水高速公路；第 7 頁寒溪苗圃請修正為出水溪苗圃。	北宜高速公路修正為蔣渭水高速公路已修正。「寒溪苗圃」更正為「出水溪苗圃」
	2. 第 7 頁（1）保留區內選擇 30 株優勢及次優勢樣木，在報告中未明列取樣 30 株樣木位置。另為何取樣時為取被壓木，是否也應一併取樣較客觀。	30 株樣木選取時，已不限定優勢及次優勢木，還包括被壓木及小徑幼木。
本處林芳立技正	報告第七頁（1）油杉取樣採人工判釋成果，樹葉對環境污染物影響較明顯，比值應較高。	油杉樹葉對環境污染物影響較明顯，「比值應較高」-----不甚明瞭？一般而言，環境空污物會傷害樹葉構造。
結論	1. 建議礁溪四堵（北宜公路旁）台灣油杉生育地可供列入對照組試驗。	四堵油杉即為 D 區，已列入監測，但其靠近 3 號豎井。
	2. 本期中報告審核通過，請依本會議各委員意見修正。	已修正。

附錄三：期末報告審查會議辦理情形

「雪山隧道暨井對坪林臺灣油杉自然保留區及周邊環境影響評估（1/3）」委託計畫期末審查會議

一、會議時間：96 年 11 月 9 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、會議地點：本處三樓會議室　　會議記錄：江玲怡

三、主持人： 吳坤銘秘書

四、參加人員：

國道新建工程局　陳瑞斌、莊益賓、張揚明

台灣區國道高速公路局　黃碧惠、陳郁青

國立台灣師範大學　陳正達

林業試驗所　黃進睦

林務局　劉瓊蓮

處長室　賴柳英

五、列席人員：

國立宜蘭大學　王兆桓、張章堂、袁嘉敏

國立台灣大學　南珈合、鄒承志、劉知妤

冬山工作站　苗華紘

太平山工作站　林芳立

南澳工作站　郭倩文

礁溪工作站　吳錫洲

育樂課　林香雃

六、會議記錄：

審查單位	審查意見	辦理情形
國立台灣師範大學 陳正達教授	1. 研究團隊針對某些意見增加不少環境監測，如酸沉降、化學分析、通車前資料分析等，計畫可更周全，其中通車前資料分析與監測值有些差異，北宜公路比隧道數據低多，如果純粹從北宜公路角度來看，還是有很大影響，對計畫主題來看，仍需長期監測。	雪山隧道內屬於密閉空間採樣，所以濃度相對來說比較高，亦建議持續長期監測。
	2. 在考量四個季節採樣時間，是否採樣具代表性，儘可能提供空氣穩定度部份評估資料。	穩定度評估資料部分整理後將放置於報告中。
	3. 針對應完成工作與預計目標，建議管理單位在會前逐一審查，已易了解達成程度。	未來年度計畫報告時，會提供審用的評估指標。
林業試驗所 黃進睦研究員	1. 第 87、88 頁濃度數據上之問題，第 1、2 季數據差距很大，是否要注意採樣時間。	由於採樣時間固定為下午時段，1、2 季數據之差異，可能為季節性差異，而非採樣時間差異。
	2. 第 88 頁表 4-3-8 中臨近豎井區 SO2 數值 28.8，應為 2.88 請修正之。	已修改錯誤值。
	3. 第 87 頁採樣地點與文字敘述請統一。	整篇報告內容中已修改統一。
	4. 第 80 頁建議做粒狀污染物監測，另文字贅字太多情形請修正。	已修正太多不必要之贅詞。
	5. 第 10 頁 2、(1) 計量其長度用意為何？在報告中都未再加以敘述，建議刪除。	接受「建議刪除」
	6. 第 10 頁 i 樹冠梢枯部分，在分數總和上，最差應為 0 分非 40 分。	已修正。
	7. 第 12 頁材料部份設備濾紙第 1.2 段中，玻璃纖維濾紙「及」美國…..與玻璃纖維濾紙「或」美國…..意義相同，請統一。	文字敘述部分已修改統一。
	8. 數據顯示正常，係受採樣關係，樣本皆採取生長旺盛枝條，分析結果當會顯示正常。	若存有空污傷害，必在全株各枝椏出現共同病癥，不會只限於局部枝椏。
	9. 建議張老師將受 SO2 影響監測數據交羅老師進行在林木影響程度上分析。	可依張老師意見，配合觀察林木受影響程度。 近期將與羅老師討論「SO_2 監測數據在林木影響程度上分析」。
	10. 建議王老師將第 4 頁 2 張圖做整合，較清楚看出豎井位置。	已整合為 1 張圖。

審查單位	審查意見	辦理情形
	11. 第 17、23 頁圖很相似，建議將樹冠比與活冠比資料合而為一。	第 17 頁樹冠比圖已刪除。
	12. 第 17 頁圖 3 用比例圖，圖例應是範圍 1-10、10-20……等。第 4.5.6.7.8.9.10.11.12 頁之圖縱座標未標示，請補正。	為配合第 11 點之意見，已將 17 頁圖刪除，其餘各圖已標示縱座標。
國道新建工程局莊益賓組長	1. 本案標題雪山隧道英文翻譯應為「Shuehshan Tunnel」，而非「Hyuehshan Tunnel」	根據國工局官方網站 http://www.taneeb.gov.tw/ 雙語詞彙對照雪山隧道英文翻譯為 Syueshan Tunnel。
	2. 第 4、5 頁圖一、二、三極不清晰，其中圖一亦無比例關係。	已將圖一刪除，並修正圖二、圖三。
	3. 第 98 頁之結論與建議第 7 及第 8 點「此地空氣品質略受豎井排氣與海水飛沫或境外移入之酸沉降物質所影響」。請問上述綜合之成因是推論，還是結論？可否說明何為境外移入之酸沉降物質？	已予以說明。
	4. 第 100 頁（二）建議第 2 點之後半段敘述與第 4 點重複。	第 100 頁建議之重複第 4 點已刪除。
	5. 有關本案第 118 頁對於國工局莊益賓所提第 2 點意見所做回復說明，請提供檢測結果之佐證。就地理位置而言，省道台 9 線比雪山隧道豎井距離台灣油杉自然保留區更近，而假日尖峰時，除了行駛於雪山隧道之車輛外，亦有大量車流使用台 9 線，本案影響之原因請一併研究台 9 線車流排放對於台灣油杉自然保留區之影響，並請釐清其分別影響之程度，以提供管理單位參考因應。	車流量數據部份在整理之後已放置報告內，且詳細說明。
	6. 目錄中主要研究目的等敘述，應不屬於目錄，請修正。	已修正，併入前言中。
	7. 第 48 頁當這些高濃度之廢氣經由排氣豎井排出後……破壞坪林保留區之油杉生態，是委託國工局計畫，而非交通部。並請比照第 81 頁為瞭解豎井區與場址粉塵濃度之 3 測站未超過的資料，請再確認。	3 測站經實驗過後得知影響並不大，需長期監測。
	8. 第 64 頁月份誤值，96 年 8 月至 97 年 3 月應修正為 95 年 8 月至 96 年 3 月。	月份誤值部份已修改為 95 年 8 月至 96 年 3 月。

審查單位	審查意見	辦理情形
	9. 第 65 頁〔交通部，2007〕是網頁資料，文字非交通部，資料建議移至車流量百分比後。	已修改。
	10. 第 98 頁 1、最後一句「極可能對油杉區植物生長帶來危害」，非俟研究計畫所獲結論，建議文字刪除。	報告中結論 5-1 部分第 1 點已將最後一句「極可能對油杉區植物生長帶來危害」刪除。
台灣區國道高速公路局意見	植物研究方式與空氣監測，請再與詳述，另簡報方面排版建議修正，較易清楚了解。	簡報排版方面已修改過。
本處洪西洲主任	坪林國小樣樹有不正常落葉情形，係由空污或排水不良現象造成，僅進行中肋、氣孔分析較不易分辨。有關羅老師研究採樣枝條在健康處，分析結果當然健康，若採樣在枝條末端掉葉處，或許會有不同結果。	若存有空污傷害，必在全株各枝椏出現共同病癥，不會只限於局部枝椏。 從外表健康之樹冠處採樣枝條，是否健康，分析後才能結論。若採樣在枝條末端掉葉之局部樹冠處，或許已有前因造成之後果，會困擾分析。
冬山工作站苗華紘主任	說明空氣品質資料編排上可做一個通車前、後比對，較易了解情形。通車後是否因環境有受改變，是否可在找一處距離較遠處做一比照（包含葉狀況）可做更清楚比對。	出水溪苗圃及台大校園可算是距離較遠處，兩地之台灣油杉已作比照了。此外，將向福山植物園申請台灣油杉採樣。
礁溪工作站吳錫洲技士	期中報告提出請將寒溪苗圃修正為出水溪苗圃部分，僅 26 頁修正，第 10 頁請補正。	已補正。
林務局劉瓊蓮簡任技正	1. 報告中名詞請統一，如保留區名詞出現處應以全名表示、油杉種類很多，油杉敘述上請以台灣油杉表示。	整篇報告中所有油杉名詞已統一修正為「台灣油杉」。
	2. 各單位意見很多，如何去確切釐清污染源，不是很容易，請研究團隊提出較信服樣木選擇上之對照組與實驗組，另研究成果要有說服力，故在實驗設計上，請加強敘述與研究背景資料。	如果有偵測出空氣污染受害林木，則可以由受害林木的空間分佈與出現的頻度可以知道污染來源的主要方向，本研究將由豎井區向 D 區沿線採樣，也將向福山植物園申請台灣油杉採樣。此外，依據第 1 年的林木健康等級檢討樣木的分佈情形後，再做必要的調整。

審查單位	審查意見	辦理情形
	3. 三年計畫針對空氣污染數值，或許並不是有很大影響，短期間研究係較難以看出影響，所以要去很清楚界定責任較難，請最終建議管理處可接續持續監測項目。	三年計畫監測期間屬於短期，建議管理處可接續持續監測。關鍵點為如何偵測出林木受損？它的空間份佈為何？空氣污染數值變動的情形為何？
	4. 研究上選擇一些獨立木分析，生長位置皆位屬校園、苗圃較偏僻處，建議樣木部份應做一些考慮，避開一些環境因子。	將向福山植物園申請台灣油杉採樣，另外由豎井向D區沿線採樣。
	5. 先前棲地查證委員提出，本計畫不應由羅東處獨自負擔，應由相關單位進行責任分工，因侷限年度經費有限，請高公局、國工局把意見帶回去研商，共同分工執行。	請由國工局與高工局研商。

七、會議結論：

（一）本計畫由高公局、國工局與本處持續共同規劃執行會更好。

（二）本期末報告審核通過，請依本會議各委員意見修正。