

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(2/3)

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

期 末 報 告



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 七 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

| <u>計畫執行機關</u> | <u>共同主持人</u> | <u>職 稱</u> | <u>電 話</u>        |
|---------------|--------------|------------|-------------------|
| 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

| <u>序號</u> | <u>機 關 名 稱</u> | <u>單 位 名 稱</u> | <u>研 究 人 員</u> | <u>職 稱</u> |
|-----------|----------------|----------------|----------------|------------|
| 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         | 韓姍穎            | 兼任助理       |
| 7.        | 國立宜蘭大學         | 自然資源學系         | 陳鈺惠            | 兼任助理       |
| 8.        | 國立宜蘭大學         | 自然資源學系         | 蘇健民            | 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         | 陳文貴            | 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         | 田育愷            | 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         | 曾建超            | 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      | 劉知好            | 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，於坪林台灣油杉自然保留區內，包括調查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，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木合計 34 株及對照樣木 11 株等，採取其 1 及 2 年生葉片；另亦採取 42 株闊葉樹葉片。葉片皆製成橫切面薄片，再經顯微鏡觀察葉子的中肋、葉肉、下表皮及氣孔之構造。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。此外，亦使用台灣油杉苗木進行模擬試驗，以瞭解空污對台灣油杉生長與葉構造之影響。

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(D032 號)列為不健康等級，1 株(D122 號)列為產生劣化情形，其餘皆為正常，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，本年度結果顯示，幾乎全數葉片皆屬正常，無任何外來化學傷害之跡象，除了一株油杉(No D056)之葉，在氣孔內緣之 1~2 只海綿細胞呈現膨脹。但它們都位於最靠近豎井的 D 區，因此應持續追蹤觀察。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，PM10、CO、NO<sub>x</sub> 與二氧化硫濃度皆隨著車流量增多而上升。酸沈降中 PH 值為 4.6-5.8，陰離子[Cl<sup>-</sup>]，[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]和[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]的濃度範圍分別為 0.35-2.20，0.24-1.70 和 0.1-0.78 mg/L，而陽離子[Na<sup>+</sup>]，[K<sup>+</sup>]和[Ca<sup>2+</sup>]的濃度範圍分別為 0.78-2.67，0.12-2.88 和 0.06-1.69 mg/L。在使用台灣油杉苗木進行模擬試驗方面，以混合高濃度的空氣污染物進行台灣油杉受空氣污染物影響評估測試時，有 2 切片各別發現台灣油杉葉中的海棉薄壁細胞及橫向葉肉薄壁細胞有增大情形。

整體而言，本研究區內的台灣油杉尚無立即衰退的徵兆，然而仍需進行長期之監測，以確保坪林台灣油杉自然保留區內植群之健康。

【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 for *K. davidiana* var. *formosana* in Pinglin Taiwan Keteleeria Nature Reserve. 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. One and 2-year-old leaves of *K. davidiana* var. *formosana* are collected from 34 individuals in Pin-Lin Reserve and Sz-Du Nursery, as well as 11 controlled trees. Besides, leaves are also sampled from 42 broadleaf trees. 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 Pinglin Taiwan Keteleeria Nature Reserve. 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 this year monitoring are revealed that almost all trees are normal, except 1 tree (No D032) ranked as un-healthy and 1 tree (No D122) ranked as health-declined. Besides, almost all sampled leaves are revealed with normal feature without any phenomenon of chemical damage, except leaves from one sampled tree (No D056), which shows 1~2 sponge cells inside a stoma with swelling size. 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<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, and SO<sub>2</sub> were increasing with the increasing flow rate of traveling vehicles, especially on weekends or February. The pH value of the acid deposition was ranged from 4.6 to 5.8. The anion concentrations of [Cl<sup>-</sup>], [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] and [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] in the acid deposition were between 0.35- 2.20, 0.24 - 1.70 and 0.1 - 0.78 mg/L. Whereas, the cation concentrations of [Na<sup>+</sup>], [K<sup>+</sup>] and [Ca<sup>2+</sup>] in the acid deposition were between 0.78- 2.67, 0.12 – 2.88 and 0.06 – 1.69 mg/L. The tissue of leaves, including spongy parenchyma and palisade parenchyma has been enlarged by the mixing high concentration pollutants in the test chamber.

**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 .....                              | VII |
| 表 目 錄 .....                            | IX  |
| 圖 目 錄 .....                            | XI  |
| 壹、前言 .....                             | 1   |
| 一、研究動機及研究問題 .....                      | 1   |
| 二、國內外隧道空氣品質監測結果 .....                  | 3   |
| 三、通車前污染物濃度 .....                       | 6   |
| (一) 通車前懸浮微粒(PM <sub>10</sub> )濃度 ..... | 6   |
| (二) 通車前一氧化碳(CO)濃度 .....                | 8   |
| (三) 通車前二氧化硫(SO <sub>2</sub> )濃度 .....  | 10  |
| (四) 通車前氮氧化物(NO <sub>x</sub> )濃度 .....  | 12  |
| 四、北宜公路污染物濃度監測 .....                    | 16  |
| 五、空氣穩定度評估資料 .....                      | 17  |
| 貳、計畫目標 .....                           | 19  |
| 參、材料與方法 .....                          | 20  |
| 一、實施時間與地點 .....                        | 20  |
| 二、研究方法 .....                           | 22  |
| (一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測 .....              | 23  |
| (二) 台灣油杉葉身構造變化之監測 .....                | 27  |
| (三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測 .....      | 30  |
| (四) 評估台灣油杉健康程度與環境空氣污染間之關係 .....        | 34  |
| (五) 空氣污染物對台灣油杉葉片組織影響 .....             | 35  |
| 肆、結果與討論 .....                          | 36  |
| 一、台灣油杉外部樹冠健康指標之監測結果 .....              | 36  |
| (一) 台灣油杉林木測計之結果 .....                  | 36  |
| (二) 台灣油杉健康判釋之結果 .....                  | 43  |
| (三) 台灣油杉照片監測之結果 .....                  | 50  |
| 二、台灣油杉葉身構造變化之監測結果 .....                | 57  |
| (一) 表層組織(Epidermis) .....              | 58  |
| (二) 葉肉(Mesophyll) .....                | 59  |
| (三) 維管束組織(Vascular tissue) .....       | 60  |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 三、研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測結果 .....       | 95  |
| (一) 車流量監測結果 .....                       | 95  |
| (二) 隧道內空氣品質監測結果 .....                   | 98  |
| 2-1 懸浮微粒(PM <sub>10</sub> )濃度 .....     | 98  |
| 2-2 一氧化碳(CO)濃度 .....                    | 100 |
| 2-3 二氧化硫(SO <sub>2</sub> )濃度 .....      | 104 |
| 2-4 氮氧化物(NO <sub>x</sub> )濃度 .....      | 108 |
| (三) 豎井區與台灣油杉區空氣品質監測結果 .....             | 112 |
| 3-1 粒狀污染物濃度 .....                       | 112 |
| 3-2 氣狀污染物濃度 .....                       | 116 |
| (四) 酸沉降監測結果 .....                       | 122 |
| 4-1 陰離子濃度分析結果 .....                     | 123 |
| 4-2 陽離子濃度分析結果 .....                     | 127 |
| 4-3 通車前酸雨觀測資料 .....                     | 132 |
| (五) 空氣污染物對台灣油杉葉片組織影響 .....              | 133 |
| 伍、結論與建議 .....                           | 146 |
| 一、結論 .....                              | 146 |
| (一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測 .....               | 146 |
| (二) 台灣油杉葉身構造變化之監測 .....                 | 147 |
| (三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測 .....       | 147 |
| 二、建議 .....                              | 149 |
| 陸、未來擬進行之工作內容 .....                      | 150 |
| 柒、參考文獻 .....                            | 151 |
| 一、林木健康監測之參考文獻 .....                     | 151 |
| 二、植物葉身構造監測之參考文獻 .....                   | 153 |
| 三、空氣污染監測之參考文獻 .....                     | 153 |
| 附錄一：「坪林台灣油杉自然保留區」之D區至3號豎井間採集優勢闊葉樹之名錄 .. | 155 |
| 附錄二：離子成分分析之檢量線 .....                    | 159 |
| 附錄三：離子成分分析之管制圖 .....                    | 167 |
| 附錄四：期中報告審查會議辦理情形 .....                  | 173 |
| 附錄五：期末報告審查會議辦理情形 .....                  | 178 |

## 表 目 錄

|            |                                     |     |
|------------|-------------------------------------|-----|
| 表 1-2-1-1  | 雪山隧道各豎井廢氣排放情形推估表.....               | 6   |
| 表 1-3-4-1  | 雪山隧道通車前各污染物監測濃度 .....               | 16  |
| 表 1-5-1-1  | 穩定度分類表 .....                        | 17  |
| 表 1-5-1-2  | 輻射量與日照強度之關係 .....                   | 18  |
| 表 1-5-1-3  | 四季之穩定度評估 .....                      | 18  |
| 表 3-1-1-1  | 坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井間之距離 .....        | 20  |
| 表 3-2-3-1  | 實驗參數表 .....                         | 31  |
| 表 3-5-1-1  | 不同時間及濃度之混合污染物處理一株台灣油杉苗木 (NO.2)..... | 35  |
| 表 4-1-1-1  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑統計 .....           | 36  |
| 表 4-1-1-2  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高統計 .....           | 38  |
| 表 4-1-1-3  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠比統計 .....          | 39  |
| 表 4-1-1-4  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樹高曲線式的迴歸係數 .....       | 40  |
| 表 4-1-2-1  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度統計 .....         | 43  |
| 表 4-1-2-2  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度統計 .....        | 44  |
| 表 4-1-2-3  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯統計 .....         | 45  |
| 表 4-1-2-4  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數統計 .....         | 48  |
| 表 4-1-2-5  | 坪林台灣油杉自然保留區各年度樣木健康分級之分配 .....       | 49  |
| 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 .....  | 61  |
| 表 4-3-3-1  | 96 年第一季空氣中粒狀物濃度 .....               | 113 |
| 表 4-3-3-2  | 96 年第二季空氣中粒狀物濃度 .....               | 113 |
| 表 4-3-3-3  | 96 年第三季空氣中粒狀物濃度 .....               | 113 |
| 表 4-3-3-4  | 96 年第四季空氣中粒狀物濃度 .....               | 113 |
| 表 4-3-3-5  | 97 年第一季空氣中粒狀物濃度 .....               | 114 |
| 表 4-3-3-6  | 97 年第二季空氣中粒狀物濃度 .....               | 114 |
| 表 4-3-3-7  | 97 年第三季空氣中粒狀物濃度 .....               | 114 |
| 表 4-3-3-8  | 97 年第四季空氣中粒狀物濃度 .....               | 114 |
| 表 4-3-3-7  | 96 年第一季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 117 |
| 表 4-3-3-8  | 96 年第二季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 117 |
| 表 4-3-3-9  | 96 年第三季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 118 |
| 表 4-3-3-10 | 96 年第四季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 118 |
| 表 4-3-3-11 | 97 年第一季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 118 |
| 表 4-3-3-12 | 97 年第二季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 119 |
| 表 4-3-3-13 | 97 年第三季各監測點污染物濃度之比較 .....           | 119 |

|            |                           |     |
|------------|---------------------------|-----|
| 表 4-3-3-14 | 97 年第四季各監測點污染物濃度之比較 ..... | 119 |
| 表 4-3-4-1  | A 區陰離子濃度測試結果 .....        | 124 |
| 表 4-3-4-2  | D 區陰離子濃度測試結果 .....        | 124 |
| 表 4-3-4-3  | A 區陽離子濃度測試結果 .....        | 128 |
| 表 4-3-4-4  | D 區陽離子濃度測試結果 .....        | 129 |
| 表 4-3-4-5  | 93 至 95 年離子濃度分析資料 .....   | 132 |

## 圖 目 錄

|           |                                         |    |
|-----------|-----------------------------------------|----|
| 圖 1-2-1-1 | 雪山隧道通風設施示意圖 .....                       | 3  |
| 圖 1-2-1-2 | 雪山隧道透視圖 .....                           | 4  |
| 圖 1-3-1-1 | 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒背景濃度值.....                | 7  |
| 圖 1-3-1-2 | 隧道口與各避車道測點之懸浮微粒濃度變化.....                | 8  |
| 圖 1-3-1-3 | 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒濃度逐月變化 .....              | 8  |
| 圖 1-3-2-1 | 雪山隧道通車前各測點一氧化碳背景濃度值.....                | 9  |
| 圖 1-3-2-2 | 隧道口與各避車道測點之一氧化碳濃度變化.....                | 10 |
| 圖 1-3-2-3 | 雪山隧道通車前各測點一氧化碳濃度逐月變化 .....              | 10 |
| 圖 1-3-3-1 | 雪山隧道通車前各測點二氧化硫背景濃度值.....                | 11 |
| 圖 1-3-3-2 | 隧道口與各避車道測點之二氧化硫濃度變化.....                | 12 |
| 圖 1-3-3-3 | 雪山隧道通車前各測點二氧化硫濃度逐月變化 .....              | 12 |
| 圖 1-3-4-1 | 雪山隧道通車前各測點氮氧化物背景濃度值.....                | 13 |
| 圖 1-3-4-2 | 隧道口與各避車道測點之氮氧化物濃度變化.....                | 14 |
| 圖 1-3-4-3 | 雪山隧道通車前各測點 NO 濃度逐月變化 .....              | 14 |
| 圖 1-3-4-4 | 雪山隧道通車前各測點 NO <sub>2</sub> 濃度逐月變化 ..... | 15 |
| 圖 1-3-4-5 | 雪山隧道通車前各測點 NO <sub>x</sub> 濃度逐月變化 ..... | 15 |
| 圖 1-4-1-1 | 北宜公路污染物濃度監測 .....                       | 16 |
| 圖 3-1-1-1 | 坪林台灣油杉自然保留區與雪山隧道豎井位置圖.....              | 21 |
| 圖 3-1-1-2 | 坪林台灣油杉 A 區林相外觀 .....                    | 22 |
| 圖 3-1-1-3 | 坪林台灣油杉 D 區林相外觀 .....                    | 22 |
| 圖 3-2-1-1 | 根部狀態判定圖 .....                           | 23 |
| 圖 3-2-1-2 | 冠層狀態判定圖 .....                           | 24 |
| 圖 3-2-1-3 | 樹冠密度示意圖(修改自 USDA Forest service) .....  | 24 |
| 圖 3-2-1-4 | 野外調查人員判識觀測位置示意圖 .....                   | 25 |
| 圖 3-2-1-5 | 樹冠透視度與樹冠密度判定依據標準照片 .....                | 25 |
| 圖 3-2-1-6 | 樹冠重疊情形判定圖 .....                         | 26 |
| 圖 3-2-1-7 | 樹冠重疊情形評分依據.....                         | 26 |
| 圖 3-2-2-1 | A 區樣木分布位置.....                          | 28 |
| 圖 3-2-2-2 | C 區樣木分布位置 .....                         | 28 |
| 圖 3-2-2-3 | D 區樣木分布位置.....                          | 29 |
| 圖 3-2-3-1 | 研究流程圖 .....                             | 32 |
| 圖 3-2-3-2 | 酸沉降採樣器 .....                            | 33 |
| 圖 4-1-1-1 | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑級分佈 .....              | 37 |
| 圖 4-1-1-2 | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高分佈.....                | 38 |
| 圖 4-1-1-3 | 坪林台灣油杉自然保留區各區樹高曲線 .....                 | 41 |
| 圖 4-1-1-4 | 坪林台灣油杉自然保留區天然林與人工林樹高曲線 .....            | 42 |



|            |                                |    |
|------------|--------------------------------|----|
| 圖 4-1-2-1  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度分佈 .....    | 43 |
| 圖 4-1-2-2  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度分佈 .....   | 44 |
| 圖 4-1-2-3  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯分數分佈 .....  | 45 |
| 圖 4-1-2-4  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木根部分級分佈 .....    | 46 |
| 圖 4-1-2-5  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠狀況分級分佈 .....  | 46 |
| 圖 4-1-2-6  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠重疊分級分佈 .....  | 47 |
| 圖 4-1-2-7  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木活樹冠比率分數分佈 ..... | 47 |
| 圖 4-1-2-9  | 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數分佈 .....    | 48 |
| 圖 4-1-3-1a | 坪林國小台灣油杉 原樣木影像(96 年拍攝).....    | 50 |
| 圖 4-1-3-1b | 坪林國小台灣油杉 分離影像(96 年拍攝).....     | 50 |
| 圖 4-1-3-1c | 坪林國小台灣油杉 原樣木影像(97 年拍攝).....    | 50 |
| 圖 4-1-3-1d | 坪林國小台灣油杉 分離影像(97 年拍攝).....     | 50 |
| 圖 4-1-3-2a | 台大校園台灣油杉 原樣木影像(96 年拍攝).....    | 51 |
| 圖 4-1-3-2b | 台大校園台灣油杉 分離影像(96 年拍攝).....     | 51 |
| 圖 4-1-3-2c | 台大校園台灣油杉 原樣木影像(97 年拍攝).....    | 51 |
| 圖 4-1-3-2d | 台大校園台灣油杉 分離影像(97 年拍攝).....     | 51 |
| 圖 4-1-3-3a | 出水溪苗圃台灣油杉 原樣木影像(96 年拍攝) .....  | 52 |
| 圖 4-1-3-3b | 出水溪苗圃台灣油杉 分離影像(96 年拍攝).....    | 52 |
| 圖 4-1-3-3c | 出水溪苗圃台灣油杉 原樣木影像(97 年拍攝) .....  | 52 |
| 圖 4-1-3-3d | 出水溪苗圃台灣油杉 分離影像(97 年拍攝).....    | 52 |
| 圖 4-1-3-4a | 台灣油杉 D051 號 原樣木影像(96 年拍攝)..... | 53 |
| 圖 4-1-3-4b | 台灣油杉 D051 號 分離影像(96 年拍攝).....  | 53 |
| 圖 4-1-3-4c | 台灣油杉 D051 號 原樣木影像(97 年拍攝)..... | 53 |
| 圖 4-1-3-4d | 台灣油杉 D051 號 分離影像(97 年拍攝).....  | 53 |
| 圖 4-1-3-5a | 台灣油杉 D061 號 原樣木影像(96 年拍攝)..... | 54 |
| 圖 4-1-3-5b | 台灣油杉 D061 號 分離影像(96 年拍攝).....  | 54 |
| 圖 4-1-3-5c | 台灣油杉 D061 號 原樣木影像(97 年拍攝)..... | 54 |
| 圖 4-1-3-5d | 台灣油杉 D061 號 分離影像(97 年拍攝).....  | 54 |
| 圖 4-1-3-6a | 台灣油杉 C063 號 原樣木影像(96 年拍攝)..... | 55 |
| 圖 4-1-3-6b | 台灣油杉 C063 號 分離影像(96 年拍攝) ..... | 55 |
| 圖 4-1-3-6c | 台灣油杉 C063 號 原樣木影像(97 年拍攝)..... | 55 |
| 圖 4-1-3-6d | 台灣油杉 C063 號 分離影像(97 年拍攝) ..... | 55 |
| 圖 4-1-3-7a | 台灣油杉 A003 號 原樣木影像(96 年拍攝)..... | 56 |
| 圖 4-1-3-7b | 台灣油杉 A003 號 分離影像(96 年拍攝).....  | 56 |
| 圖 4-1-3-7c | 台灣油杉 A003 號 原樣木影像(97 年拍攝)..... | 56 |
| 圖 4-1-3-7d | 台灣油杉 A003 號 分離影像(97 年拍攝).....  | 56 |
| 圖 4-2-1    | 台灣油杉葉橫切面之構造 .....              | 57 |
| 圖 4-2-2    | 冇樟葉肉橫切面之構造.....                | 57 |
| 圖 4-2-3    | 台灣油杉葉下表皮層及海綿組織構造 .....         | 58 |

|           |                                        |    |
|-----------|----------------------------------------|----|
| 圖 4-2-4   | 有樟葉上、下表皮層及氣孔構造.....                    | 59 |
| 圖 4-2-5   | 台電訓練所園區_台灣油杉(200×)中肋.....              | 66 |
| 圖 4-2-6   | 台電訓練所園區_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....      | 66 |
| 圖 4-2-7   | 福山植物園-廁(入_5)_台灣油杉(200×)中肋.....         | 66 |
| 圖 4-2-8   | 福山植物園-廁(入_5)_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 66 |
| 圖 4-2-9   | 福山植物園-廁(入_6)_台灣油杉(200×)中肋.....         | 66 |
| 圖 4-2-10  | 福山植物園-廁(入_6)_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 66 |
| 圖 4-2-11  | 福山植物園-鐵 1_台灣油杉(200×)中肋.....            | 66 |
| 圖 4-2-12  | 福山植物園-鐵 1_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 66 |
| 圖 4-2-13  | 福山植物園-鐵 2_台灣油杉(200×)中肋.....            | 67 |
| 圖 4-2-14  | 福山植物園-鐵 2_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 67 |
| 圖 4-2-15  | 福山植物園-鐵幼 5_台灣油杉(200×)中肋.....           | 67 |
| 圖 4-2-16  | 福山植物園-鐵幼 5_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....   | 67 |
| 圖 4-2-17  | 福山植物園-廁(出_1)_台灣油杉(200×)中肋.....         | 67 |
| 圖 4-2-18  | 福山植物園-廁(出_1)_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 67 |
| 圖 4-2-19  | 福山植物園-廁(出_5)_台灣油杉(200×)中肋.....         | 67 |
| 圖 4-2-20  | 福山植物園-廁(出_5)_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 67 |
| 圖 4-2-21  | 福山植物園-近工作站_台灣油杉(200×)中肋.....           | 68 |
| 圖 4-2-22  | 福山植物園-近工作站_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....   | 68 |
| 圖 4-2-23  | 福山植物園-遠工作站_台灣油杉(200×)中肋.....           | 68 |
| 圖 4-2-24  | 福山植物園-遠工作站_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....   | 68 |
| 圖 4-2-25  | 台灣油杉_坪林國小_1 年生(200X)中肋.....            | 68 |
| 圖 4-2-26  | 台灣油杉_坪林國小_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 68 |
| 圖 4-2-28  | 台灣油杉_坪林國小_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 68 |
| 圖 4-2-29  | A001_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 69 |
| 圖 4-2-30  | A001_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 69 |
| 圖 4-2-31  | A002_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 69 |
| 圖 4-2-32  | A002_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 69 |
| 圖 4-2-33  | A003_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 69 |
| 圖 4-2-34  | A003_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 69 |
| 圖 4-2-35  | A004_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 69 |
| 圖 4-2-36  | A004_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 69 |
| 圖 4-2-37  | A005_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 70 |
| 圖 4-2-38  | A005_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 70 |
| 圖 4-2-51a | A012_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 71 |
| 圖 4-2-52a | A012_台灣油杉(400×)下表皮及氣孔正面.....           | 71 |
| 圖 4-2-52b | A012_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 71 |
| 圖 4-2-53  | A013_台灣油杉(200×)中肋.....                 | 72 |
| 圖 4-2-54  | A013_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 72 |

|           |                                     |    |
|-----------|-------------------------------------|----|
| 圖 4-2-55  | A014_台灣油杉(200×)中肋.....              | 72 |
| 圖 4-2-56  | A014_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....      | 72 |
| 圖 4-2-57a | A 區有樟(40×)中肋.....                   | 72 |
| 圖 4-2-57b | A 區有樟(100×)中肋.....                  | 72 |
| 圖 4-2-58  | A 區有樟(400×) 葉肉及下表皮(氣孔).....         | 72 |
| 圖 4-2-59a | A 區紅楠(100×)中肋.....                  | 72 |
| 圖 4-2-59b | A 區紅楠(200×)中肋.....                  | 72 |
| 圖 4-2-60  | A 區紅楠(200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....         | 72 |
| 圖 4-2-61  | A 區西施花(100×)中肋.....                 | 73 |
| 圖 4-2-62  | A 區西施花(400×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 73 |
| 圖 4-2-63  | A 區楊桐(100×)中肋.....                  | 73 |
| 圖 4-2-64  | A 區楊桐(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔).....        | 73 |
| 圖 4-2-65  | A 區長尾柯(100×)中肋.....                 | 73 |
| 圖 4-2-66  | A 區長尾柯(400×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 73 |
| 圖 4-2-68  | C037_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 73 |
| 圖 4-2-70  | C037_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 74 |
| 圖 4-2-72  | C038_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 74 |
| 圖 4-2-74  | C038_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 74 |
| 圖 4-2-76  | C050_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 74 |
| 圖 4-2-78  | C050_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 75 |
| 圖 4-2-80  | C055_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 75 |
| 圖 4-2-82  | C055_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 75 |
| 圖 4-2-86  | C056_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 76 |
| 圖 4-2-88  | C060_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 76 |
| 圖 4-2-90  | C060_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 76 |
| 圖 4-2-92  | C067_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 76 |
| 圖 4-2-94  | C067_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 77 |
| 圖 4-2-96  | C070_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 77 |
| 圖 4-2-98  | C070_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 77 |
| 圖 4-2-100 | C076_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 77 |
| 圖 4-2-102 | C076_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 78 |
| 圖 4-2-104 | C077_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 78 |
| 圖 4-2-106 | C077_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 78 |
| 圖 4-2-108 | C 區紅皮(400X)葉肉及下表皮(氣孔).....          | 78 |
| 圖 4-2-110 | C 區長尾柯(400X)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 79 |
| 圖 4-2-112 | C 區奧氏虎皮楠(400X)葉肉及下表皮(氣孔).....       | 79 |
| 圖 4-2-114 | C 區山紅柿(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 79 |
| 圖 4-2-116 | D001_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 79 |
| 圖 4-2-118 | D001_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)..... | 80 |

|            |                                        |    |
|------------|----------------------------------------|----|
| 圖 4-2-120  | D004_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 80 |
| 圖 4-2-122  | D004_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 80 |
| 圖 4-2-126  | D008_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 81 |
| 圖 4-2-127a | D051_台灣油杉_1 年生 (100X)中肋(切片 1)。         | 81 |
| 圖 4-2-127b | D051_台灣油杉_1 年生(200X)中肋(切片 2).....      | 81 |
| 圖 4-2-128  | D051_台灣油杉_1 年生(200X) 葉肉及下表皮(氣孔).....   | 81 |
| 圖 4-2-130  | D0051_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....   | 81 |
| 圖 4-2-132  | D052_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 81 |
| 圖 4-2-134  | D052_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 82 |
| 圖 4-2-136  | D054_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 82 |
| 圖 4-2-138  | D054_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 82 |
| 圖 4-2-140  | D055_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 82 |
| 圖 4-2-142  | D055_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 83 |
| 圖 4-2-144  | D056_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 83 |
| 圖 4-2-146  | D056_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 83 |
| 圖 4-2-148  | D060_台灣油杉_1 年生(200X)葉緣(氣孔).....        | 83 |
| 圖 4-2-150  | D060_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 84 |
| 圖 4-2-152  | D070_台灣油杉_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 84 |
| 圖 4-2-154  | D070_台灣油杉_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 84 |
| 圖 4-2-155  | D 區江某(11001)(100×) 中肋.....             | 84 |
| 圖 4-2-156a | D 區江某(11001)(200X) 葉肉及上、下表皮 .....      | 84 |
| 圖 4-2-156b | D 區江某(11001)(400X) 葉肉及下表皮(氣孔).....     | 84 |
| 圖 4-2-157  | D 區稜果榕(11002)(100×)中肋 .....            | 85 |
| 圖 4-2-158  | D 區稜果榕(11002)(200X)葉肉及上、下表皮.....       | 85 |
| 圖 4-2-159a | D 區稜果榕(110002)(400X)下表皮及氣孔正面 .....     | 85 |
| 圖 4-2-159b | D 區稜果榕(110002)(400X)葉肉及下表皮(氣孔).....    | 85 |
| 圖 4-2-160  | D 區裏白饅頭果(11003)(100×)中肋 .....          | 85 |
| 圖 4-2-161a | D 區裏白饅頭果(11003)(200X)葉肉及上、下表皮(氣孔)..... | 85 |
| 圖 4-2-161b | D 區裏白饅頭果(11003)(400X)葉肉及下表皮(氣孔) .....  | 85 |
| 圖 4-2-162  | 0001 紅楠 (100×)中肋.....                  | 85 |
| 圖 4-2-163  | 0001 紅楠 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔).....        | 85 |
| 圖 4-2-166  | 0002 細葉饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 86 |
| 圖 4-2-167  | 0003 江某(100×)中肋 .....                  | 86 |
| 圖 4-2-168  | 0003 江某(400×)葉肉及下表皮(氣孔).....           | 86 |
| 圖 4-2-170a | 1001 水金京 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....      | 86 |
| 圖 4-2-170b | 1001 水金京 (400×)葉肉及下表皮(氣孔).....         | 86 |
| 圖 4-2-171  | 1002 裏白饅頭果 (100×)中肋 .....              | 87 |
| 圖 4-2-172  | 1002 裏白饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 87 |
| 圖 4-2-173a | 1002 裏白饅頭果 (100×)下表皮及氣孔正面.....         | 87 |

|            |                                     |    |
|------------|-------------------------------------|----|
| 圖 4-2-173b | 1002 裏白饅頭果 (100×)葉肉及下表皮(氣孔) .....   | 87 |
| 圖 4-2-174a | 1003 樹杞(40×)中肋 .....                | 87 |
| 圖 4-2-174b | 1003 樹杞(100×)中肋 .....               | 87 |
| 圖 4-2-175a | 1003 樹杞(200×)下表皮及氣孔正面 .....         | 87 |
| 圖 4-2-175b | 1003 樹杞(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....     | 87 |
| 圖 4-2-176  | 2001 紅葉樹 (100×)中肋 .....             | 88 |
| 圖 4-2-177  | 2001 紅葉樹 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....   | 88 |
| 圖 4-2-178a | 2001 紅葉樹 (400×)下表皮及氣孔正面 .....       | 88 |
| 圖 4-2-178b | 2001 紅葉樹 (400×)葉肉及下表皮(氣孔) .....     | 88 |
| 圖 4-2-180  | 2002 裏白饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) ..... | 88 |
| 圖 4-2-181  | 2003 長尾柯(100×)中肋 .....              | 88 |
| 圖 4-2-182  | 2003 長尾柯(200×)葉肉及下表皮(氣孔) .....      | 88 |
| 圖 4-2-184  | 3001 革葉冬青 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....  | 89 |
| 圖 4-2-185  | 3002 江某(100×)中肋 .....               | 89 |
| 圖 4-2-186b | 3002 江某(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....     | 89 |
| 圖 4-2-188a | 3003 革葉冬青 (200×)下表皮及氣孔正面 .....      | 89 |
| 圖 4-2-188b | 3003 革葉冬青 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....  | 89 |
| 圖 4-2-190  | 4001 革葉冬青 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....  | 89 |
| 圖 4-2-191  | 4002 江某 (100×)中肋 .....              | 90 |
| 圖 4-2-192a | 4002 江某 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 90 |
| 圖 4-2-193  | 4003 墨點櫻桃(100×)中肋 .....             | 90 |
| 圖 4-2-194a | 4003 墨點櫻桃(200×)下表皮及氣孔正面 .....       | 90 |
| 圖 4-2-194b | 4003 墨點櫻桃(200×)葉肉及下表皮(氣孔) .....     | 90 |
| 圖 4-2-195a | 5001 江某 (40×)中肋 .....               | 90 |
| 圖 4-2-195b | 5001 江某 (100×)中肋 .....              | 90 |
| 圖 4-2-196  | 5001 江某 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 90 |
| 圖 4-2-198  | 5002 裏白饅頭果(400×)葉肉及下表皮(氣孔) .....    | 90 |
| 圖 4-2-199a | 5003 木荷 (40×)中肋 .....               | 91 |
| 圖 4-2-199b | 5003 木荷 (100×)中肋 .....              | 91 |
| 圖 4-2-200a | 5003 木荷 (200×)下表皮及氣孔正面 .....        | 91 |
| 圖 4-2-200b | 5003 木荷 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 91 |
| 圖 4-2-201  | 6001 水金京(100×)中肋 .....              | 91 |
| 圖 4-2-202a | 6001 水金京(400×)下表皮及氣孔正面 .....        | 91 |
| 圖 4-2-202b | 6001 水金京(400×)葉肉及下表皮(氣孔) .....      | 91 |
| 圖 4-2-203  | 6002 領垂豆(100×)中肋 .....              | 91 |
| 圖 4-2-204a | 6002 領垂豆(200×)下表皮及氣孔正面 .....        | 91 |
| 圖 4-2-204b | 6002 領垂豆(200×)葉肉及下表皮(氣孔) .....      | 91 |
| 圖 4-2-206a | 6003 大頭茶 (200×)下表皮及氣孔正面 .....       | 92 |
| 圖 4-2-206b | 6003 大頭茶 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....   | 92 |

|            |                                      |     |
|------------|--------------------------------------|-----|
| 圖 4-2-207  | 7001 墨點櫻桃(200×)中肋 .....              | 92  |
| 圖 4-2-208  | 7001 墨點櫻桃(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 92  |
| 圖 4-2-209  | 7002 長尾柯 (100×)中肋 .....              | 92  |
| 圖 4-2-210  | 7002 長尾柯 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 92  |
| 圖 4-2-211a | 7002 長尾柯 (400×)下表皮及氣孔正面 .....        | 92  |
| 圖 4-2-211b | 7002 長尾柯 (400×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....    | 92  |
| 圖 4-2-212  | 7003 杜英 (100×)中肋.....                | 92  |
| 圖 4-2-213a | 7003 杜英 (400×)下表皮及氣孔正面 .....         | 92  |
| 圖 4-2-213b | 7003 杜英 (400×)葉肉及上、下表皮(氣孔).....      | 92  |
| 圖 4-2-214  | 9001 薯豆(100×)中肋 .....                | 93  |
| 圖 4-2-215a | 9001 薯豆(400×)下表皮及氣孔正面 .....          | 93  |
| 圖 4-2-215b | 9001 薯豆(400×)葉肉及下表皮(氣孔) .....        | 93  |
| 圖 4-2-217b | 9002 細葉饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....  | 93  |
| 圖 4-2-218  | 9003 小花老鼠刺(100×)中肋.....              | 93  |
| 圖 4-2-219a | 9003 小花老鼠刺(400×)下表皮及氣孔正面 .....       | 93  |
| 圖 4-2-219b | 9003 小花老鼠刺(400×)葉肉及下表皮(氣孔).....      | 93  |
| 圖 4-2-220  | 10001 大明橘(100×)中肋 .....              | 93  |
| 圖 4-2-221b | 10001 大明橘(200×)葉肉及下表皮(氣孔).....       | 93  |
| 圖 4-2-222  | 10002 青剛櫟 (100×)中肋 .....             | 93  |
| 圖 4-2-223  | 10002 青剛櫟 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....   | 93  |
| 圖 4-2-224a | 10002 青剛櫟 (400×)下表皮及氣孔正面.....        | 94  |
| 圖 4-2-224b | 10002 青剛櫟 (400×)葉肉及上、下表皮(氣孔) .....   | 94  |
| 圖 4-2-225  | 10003 倒卵葉冬青(100×)中肋 .....            | 94  |
| 圖 4-2-226a | 10003 倒卵葉冬青(100×)下表皮及氣孔正面 .....      | 94  |
| 圖 4-2-226b | 10003 倒卵葉冬青(100×)葉肉及下表皮(氣孔).....     | 94  |
| 圖 4-3-1-1  | 北上逐月平均車流量 .....                      | 96  |
| 圖 4-3-1-2  | 南下逐月平均車流量 .....                      | 96  |
| 圖 4-3-1-3  | 雪山隧道通車前之台 9 線日平均車流量 .....            | 97  |
| 圖 4-3-1-4  | 雪山隧道通車後之台 9 線日平均車流量 .....            | 97  |
| 圖 4-3-2-1  | 北上懸浮微粒 PM <sub>10</sub> 平均濃度.....    | 98  |
| 圖 4-3-2-2  | 南下懸浮微粒 PM <sub>10</sub> 平均濃度.....    | 99  |
| 圖 4-3-2-3  | 非假日與假日 PM <sub>10</sub> 平均濃度測值 ..... | 99  |
| 圖 4-3-2-4  | 非假日 CO 逐時測值 .....                    | 101 |
| 圖 4-3-2-5  | 假日(六)CO 逐時測值 .....                   | 101 |
| 圖 4-3-2-6  | 假日(日)CO 逐時測值 .....                   | 102 |
| 圖 4-3-2-7  | 隧道內各測點 CO 濃度值.....                   | 102 |
| 圖 4-3-2-8  | 非假日與假日南下 CO 濃度測值 .....               | 103 |
| 圖 4-3-2-9  | 非假日與假日北上 CO 濃度測值 .....               | 103 |
| 圖 4-3-2-10 | 非假日 SO <sub>2</sub> 逐時測值.....        | 105 |

|            |                                                |     |
|------------|------------------------------------------------|-----|
| 圖 4-3-2-11 | 假日(六)SO <sub>2</sub> 逐時測值.....                 | 105 |
| 圖 4-3-2-12 | 假日(日)SO <sub>2</sub> 逐時測值.....                 | 106 |
| 圖 4-3-2-13 | 各次北上車道之 SO <sub>2</sub> 濃度測值 .....             | 106 |
| 圖 4-3-2-14 | 各次南下車道之 SO <sub>2</sub> 濃度測值 .....             | 107 |
| 圖 4-3-2-15 | 非假日與假日南下 SO <sub>2</sub> 濃度測值.....             | 107 |
| 圖 4-3-2-16 | 非假日與假日北上 SO <sub>2</sub> 濃度測值.....             | 108 |
| 圖 4-3-2-17 | 非假日 NO <sub>x</sub> 逐時測值 .....                 | 109 |
| 圖 4-3-2-18 | 假日(六)NO <sub>x</sub> 逐時測值 .....                | 109 |
| 圖 4-3-2-19 | 假日(日) NO <sub>x</sub> 逐時測值 .....               | 110 |
| 圖 4-3-2-20 | 各次南下車道之 NO <sub>x</sub> 濃度測值.....              | 110 |
| 圖 4-3-2-21 | 各次北上車道之 NO <sub>x</sub> 濃度測 .....              | 111 |
| 圖 4-3-2-22 | 非假日與假日南下 NO <sub>x</sub> 濃度測值 .....            | 111 |
| 圖 4-3-2-23 | 本年度非假日與假日北上 NO <sub>x</sub> 濃度測值 .....         | 112 |
| 圖 4-3-3-1  | TSP 濃度各季比較圖 .....                              | 115 |
| 圖 4-3-3-2  | PM <sub>10</sub> 濃度各季比較圖 .....                 | 115 |
| 圖 4-3-3-3  | PM <sub>2.5</sub> 濃度各季比較圖.....                 | 116 |
| 圖 4-3-3-4  | SO <sub>2</sub> 各季濃度比較圖 .....                  | 120 |
| 圖 4-3-3-5  | CO 各季濃度比較圖 .....                               | 120 |
| 圖 4-3-3-6  | NO 各季濃度比較圖 .....                               | 121 |
| 圖 4-3-3-7  | NO <sub>2</sub> 各季濃度比較圖 .....                  | 121 |
| 圖 4-3-3-8  | NO <sub>x</sub> 各季濃度比較圖.....                   | 122 |
| 圖 4-3-3-9  | O <sub>3</sub> 各季濃度比較圖.....                    | 122 |
| 圖 4-3-4-1  | A 區 Cl <sup>-</sup> 離子濃度測試結果.....              | 125 |
| 圖 4-3-4-2  | A 區 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 離子濃度測試結果..... | 125 |
| 圖 4-3-4-3  | A 區 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度測試結果.....   | 126 |
| 圖 4-3-4-4  | A 區 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 濃度測試結果 ..... | 126 |
| 圖 4-3-4-5  | A 區 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度測試結果 ..... | 127 |
| 圖 4-3-4-6  | D 區各陰離子濃度測試結果.....                             | 127 |
| 圖 4-3-4-7  | A 區 Na <sup>+</sup> 濃度測試結果 .....               | 129 |
| 圖 4-3-4-8  | A 區 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度測試結果 .....  | 130 |
| 圖 4-3-4-9  | A 區 K <sup>+</sup> 濃度測試結果 .....                | 130 |
| 圖 4-3-4-10 | A 區 Ca <sup>2+</sup> 濃度測試結果 .....              | 131 |
| 圖 4-3-4-11 | A 區 Mg <sup>2+</sup> 濃度測試結果.....               | 131 |
| 圖 4-3-4-12 | D 區各陽離子濃度測試結果.....                             | 132 |
| 圖 4-3-5-1  | 台灣油杉 100ppb_1 天 (200x)中肋.....                  | 136 |
| 圖 4-3-5-2  | 台灣油杉 100ppb_1 天(200x)下表皮及氣孔 .....              | 136 |
| 圖 4-3-5-3  | 台灣油杉 100ppb_1 天 (200x)葉緣.....                  | 136 |
| 圖 4-3-5-4  | 台灣油杉 100ppb_1 天(400x)下表皮及樹脂管 .....             | 136 |
| 圖 4-3-5-5  | 台灣油杉 100ppb_2 天 (200x)中肋.....                  | 137 |

|            |                                     |     |
|------------|-------------------------------------|-----|
| 圖 4-3-5-6  | 台灣油杉 100ppb_2 天(200x)下表皮及氣孔 .....   | 137 |
| 圖 4-3-5-7  | 台灣油杉 100ppb_2 天 (200x) 葉緣 .....     | 137 |
| 圖 4-3-5-8  | 台灣油杉 100ppb_2 天 (200x)上表皮及葉肉 .....  | 137 |
| 圖 4-3-5-9  | 台灣油杉 200ppb_2 天 (200x)中肋 .....      | 137 |
| 圖 4-3-5-10 | 台灣油杉 200ppb_2 天(200x) 下表皮及氣孔 .....  | 137 |
| 圖 4-3-5-11 | 台灣油杉 200ppb_2 天(200x)葉緣 .....       | 137 |
| 圖 4-3-5-12 | 台灣油杉 200ppb_2 天(200x) 下表皮及樹脂管 ..... | 137 |
| 圖 4-3-5-13 | 台灣油杉對照組 (200x)中肋 .....              | 138 |
| 圖 4-3-5-14 | 台灣油杉對照組 (200x) 下表皮及氣孔 .....         | 138 |
| 圖 4-3-5-15 | 台灣油杉對照組 (200x) 葉緣 .....             | 138 |
| 圖 4-3-5-16 | 台灣油杉對照組 (200x) 下表皮及樹脂管 .....        | 138 |
| 圖 4-3-5-17 | 台灣油杉_1_1_1 (200x)中肋 .....           | 138 |
| 圖 4-3-5-18 | 台灣油杉_1_1_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 138 |
| 圖 4-3-5-19 | 台灣油杉_1_1_2 (200x)中肋 .....           | 138 |
| 圖 4-3-5-20 | 台灣油杉_1_1_2 (200x) 近葉緣及氣孔 .....      | 138 |
| 圖 4-3-5-21 | 台灣油杉_1_1_3 (200x)中肋 .....           | 139 |
| 圖 4-3-5-22 | 台灣油杉_1_1_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 139 |
| 圖 4-3-5-23 | 台灣油杉_1_2_1 (200x)中肋 .....           | 139 |
| 圖 4-3-5-24 | 台灣油杉_1_2_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 139 |
| 圖 4-3-5-25 | 台灣油杉_1_2_2 (200x)中肋 .....           | 139 |
| 圖 4-3-5-26 | 台灣油杉_1_2_2 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 139 |
| 圖 4-3-5-27 | 台灣油杉_1_2_3 (200x)中肋 .....           | 139 |
| 圖 4-3-5-28 | 台灣油杉_1_2_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 139 |
| 圖 4-3-5-29 | 台灣油杉_1_8_1 (200x)中肋 .....           | 140 |
| 圖 4-3-5-30 | 台灣油杉_1_8_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 140 |
| 圖 4-3-5-31 | 台灣油杉_1_8_2 (200x)中肋 .....           | 140 |
| 圖 4-3-5-32 | 台灣油杉_1_8_2 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 140 |
| 圖 4-3-5-33 | 台灣油杉_1_8_3 (200x)中肋 .....           | 140 |
| 圖 4-3-5-34 | 台灣油杉_1_8_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 140 |
| 圖 4-3-5-35 | 台灣油杉_2_1_1 (200x)中肋 .....           | 140 |
| 圖 4-3-5-36 | 台灣油杉_2_1_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 140 |
| 圖 4-3-5-37 | 台灣油杉_2_1_2 (200x)中肋 .....           | 141 |
| 圖 4-3-5-38 | 台灣油杉_2_1_2 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 141 |
| 圖 4-3-5-39 | 台灣油杉_2_1_3 (200x)中肋 .....           | 141 |
| 圖 4-3-5-40 | 台灣油杉_2_1_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 141 |
| 圖 4-3-5-41 | 台灣油杉_2_2_1 (200x)中肋 .....           | 141 |
| 圖 4-3-5-42 | 台灣油杉_2_2_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 141 |
| 圖 4-3-5-43 | 台灣油杉_2_2_2 (200x)中肋 .....           | 141 |
| 圖 4-3-5-44 | 台灣油杉_2_2_2 (200x) 下表皮及氣孔 .....      | 141 |



|            |                                 |     |
|------------|---------------------------------|-----|
| 圖 4-3-5-45 | 台灣油杉_2_2_3 (200x)中肋 .....       | 142 |
| 圖 4-3-5-46 | 台灣油杉_2_2_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 142 |
| 圖 4-3-5-47 | 台灣油杉_2_8_1 (200x)中肋 .....       | 142 |
| 圖 4-3-5-48 | 台灣油杉_2_8_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 142 |
| 圖 4-3-5-49 | 台灣油杉_2_8_2 (200x)中肋 .....       | 142 |
| 圖 4-3-5-50 | 台灣油杉_2_8_2 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 142 |
| 圖 4-3-5-51 | 台灣油杉_2_8_3 (200x)中肋 .....       | 142 |
| 圖 4-3-5-52 | 台灣油杉_2_8_3 (200x)下表皮及氣孔 .....   | 142 |
| 圖 4-3-5-53 | 台灣油杉_2_8_3 (200x)下表皮及氣孔。 .....  | 142 |
| 圖 4-3-5-54 | 台灣油杉_3_1_1 (200x)中肋 .....       | 143 |
| 圖 4-3-5-55 | 台灣油杉_3_1_1 (200x) 上 下表皮及氣孔..... | 143 |
| 圖 4-3-5-56 | 台灣油杉_3_1_2 (200x)中肋 .....       | 143 |
| 圖 4-3-5-57 | 台灣油杉_3_1_2 (200x) 上、下表皮及氣孔..... | 143 |
| 圖 4-3-5-58 | 台灣油杉_3_1_3 (200x)中肋 .....       | 143 |
| 圖 4-3-5-59 | 台灣油杉_3_1_3 (200x) 近葉緣及氣孔 .....  | 143 |
| 圖 4-3-5-60 | 台灣油杉_3_2_1 (200x)中肋 .....       | 143 |
| 圖 4-3-5-61 | 台灣油杉_3_2_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 143 |
| 圖 4-3-5-62 | 台灣油杉_3_2_2 (200x)中肋 .....       | 144 |
| 圖 4-3-5-63 | 台灣油杉_3_2_2 (200x) 下表皮及氣孔。 ..... | 144 |
| 圖 4-3-5-64 | 台灣油杉_3_2_3 (200x)中肋 .....       | 144 |
| 圖 4-3-5-65 | 台灣油杉_3_2_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 144 |
| 圖 4-3-5-66 | 台灣油杉_3_8_1 (200x)中肋 .....       | 144 |
| 圖 4-3-5-67 | 台灣油杉_3_8_1 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 144 |
| 圖 4-3-5-68 | 台灣油杉_3_8_2 (200x)中肋 .....       | 144 |
| 圖 4-3-5-69 | 台灣油杉_3_8_2 (200x) 近葉緣及氣孔 .....  | 144 |
| 圖 4-3-5-70 | 台灣油杉_3_8_3 (200x)中肋 .....       | 145 |
| 圖 4-3-5-71 | 台灣油杉_3_8_3 (200x) 下表皮及氣孔 .....  | 145 |
| 附圖 2-1     | 氟離子分析之檢量線 .....                 | 160 |
| 附圖 2-2     | 氯離子分析之檢量線 .....                 | 160 |
| 附圖 2-3     | 亞硝酸根離子分析之檢量線.....               | 161 |
| 附圖 2-4     | 溴離子分析之檢量線 .....                 | 161 |
| 附圖 2-5     | 硝酸根離子分析之檢量線 .....               | 162 |
| 附圖 2-6     | 磷酸根離子分析之檢量線 .....               | 162 |
| 附圖 2-7     | 硫酸根離子分析之檢量線 .....               | 163 |
| 附圖 2-8     | 鋰離子分析之檢量線 .....                 | 163 |
| 附圖 2-9     | 銨離子分析之檢量線 .....                 | 164 |
| 附圖 2-10    | 鈉離子分析之檢量線 .....                 | 164 |
| 附圖 2-11    | 鉀離子分析之檢量線 .....                 | 165 |
| 附圖 2-12    | 鈣離子分析之檢量線 .....                 | 165 |

|         |                                             |     |
|---------|---------------------------------------------|-----|
| 附圖 2-13 | 鎂離子分析之檢量線 .....                             | 166 |
| 附圖 3-1  | Na <sup>+</sup> 離子分析管制圖 .....               | 168 |
| 附圖 3-2  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 離子分析管制圖 .....  | 168 |
| 附圖 3-3  | K <sup>+</sup> 離子分析管制圖 .....                | 169 |
| 附圖 3-4  | Ca <sup>2+</sup> 離子分析管制圖 .....              | 169 |
| 附圖 3-5  | Mg <sup>2+</sup> 離子分析管制圖 .....              | 170 |
| 附圖 3-6  | Cl <sup>-</sup> 離子分析管制圖 .....               | 170 |
| 附圖 3-7  | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 離子分析管制圖 .....  | 171 |
| 附圖 3-8  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 離子分析管制圖 .....  | 171 |
| 附圖 3-9  | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 離子分析管制圖 ..... | 172 |
| 附圖 3-10 | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 離子分析管制圖 ..... | 172 |

# 壹、前言

## 一、研究動機及研究問題

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(forest health monitoring, FHM)併入森林資源調查與分析(forest inventory and analysis, 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)。

國道五號南港頭城段中雪山隧道通車後，台北與宜蘭兩端每日超過三萬輛車次行駛於隧道內，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，污染物擴散大氣中，可能會以化學方式影響其周圍生物相。雪山隧道由坪林北端入山，沿途設置三處通風豎井，坪林台灣油杉自然保留區位於隧道豎井西南方 1 至 5 公里，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，是否會受到影響，值得進行台灣油杉健康程度與空氣污染程度之監測。

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、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，林木健康受影響時，依序會影響(1)樹冠狀況、(2)樹高生長、(3)胸高直徑生長。因此，長期監測林木之樹冠、樹高、胸高直徑之變化，可作為林木健康程度變化之指標。

本研究在環境監測方面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，判定雪山隧道之通風豎井排放廢氣進入大氣後，於坪林台灣油杉自然保留區內之濃度，以瞭解通車後排放豎井出口之廢氣濃度對坪林台灣油杉自然保留區台灣油杉之生長環境影響及背景空氣品質之調查。另本研究也亦透過國道五號營運期間之交通量、廢氣排放量及設計通風量等資料，瞭解通風豎井排放廢氣特性，並與空氣品質標準相互比較，以建立該地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，建立國道五號雪山隧道營運期間，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。

## 二、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1-2-1-1及圖1-2-1-2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]。

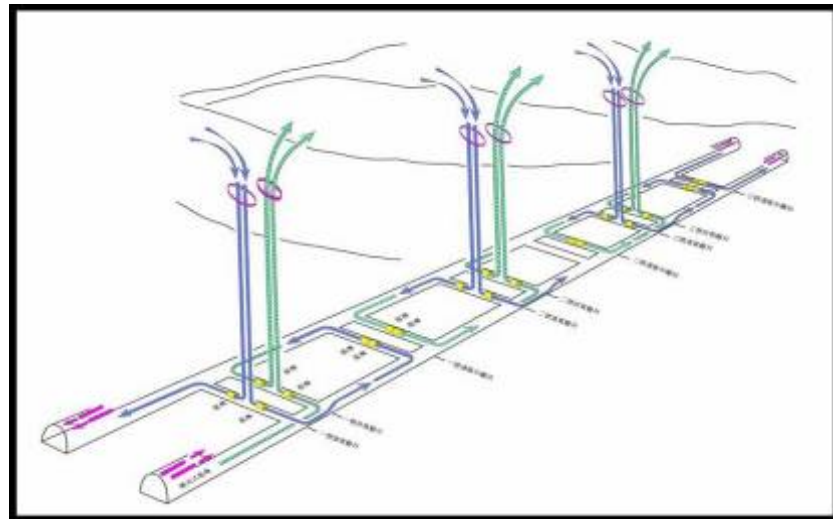


圖 1-2-1-1 雪山隧道通風設施示意圖

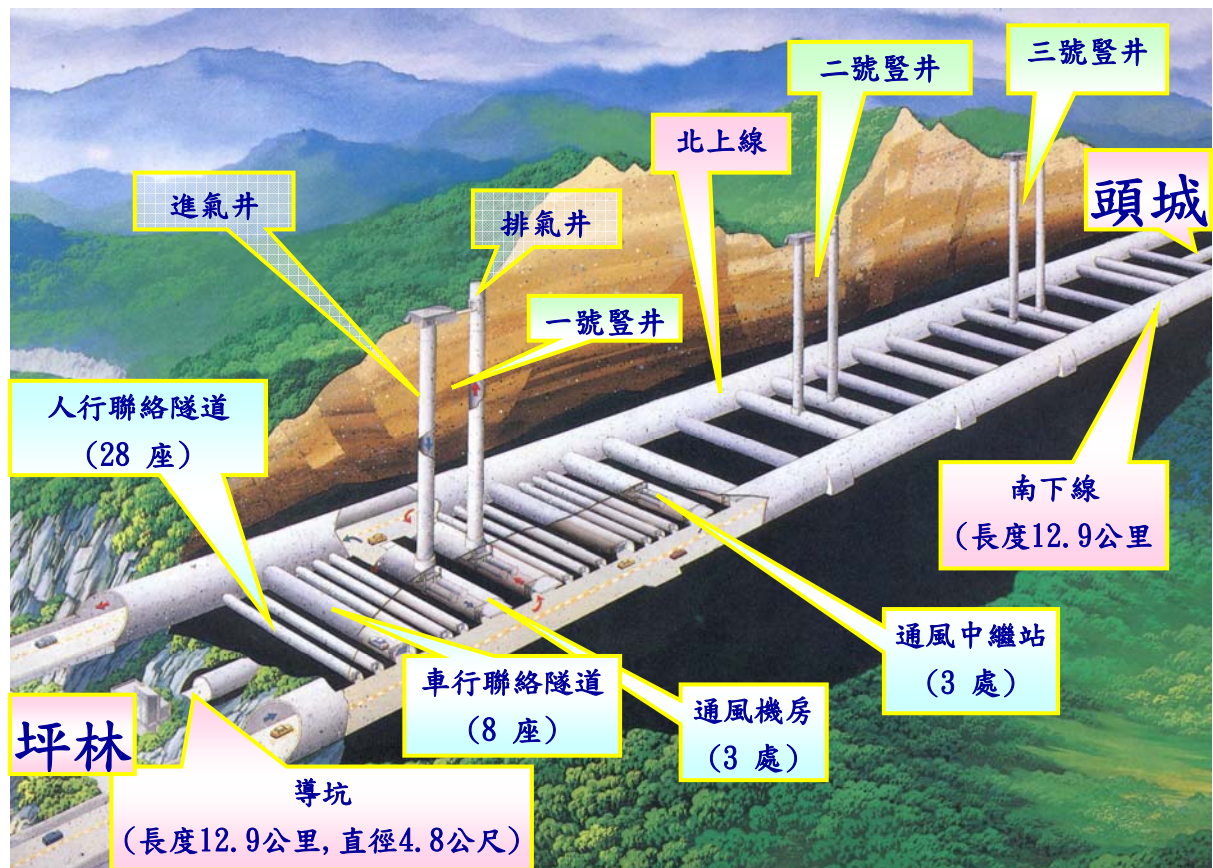


圖 1-2-1-2 雪山隧道透視圖

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（NO<sub>x</sub>）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、總懸浮微粒（TSP）、懸浮微粒（PM<sub>10</sub>）、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，有可能影響坪林台灣油杉自然保留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[國工局，1995]，如表1-2-1-1所示，為原規劃且不限制車種行駛情形下之預估值。得知其模擬結果為：TSP濃度約為3 mg/m<sup>3</sup>；SO<sub>2</sub>濃度約介於1.01 ~ 1.21 ppm；NO<sub>x</sub>濃度約介於11.35 ~ 14.10 ppm；而CO濃度則約介於55.5 ~ 60.8 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，將可能會影響植物生長，進而破壞研究區內之台灣油杉生態，因此需要長期監測。

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，因而妨礙光合作用、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鍊等於1996年之研究，指出SO<sub>2</sub>與NO<sub>x</sub>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<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>.)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，若再次受酸雨沖淋，則因雙重傷害將導致植物加速枯萎而死亡[周孟麟，2001]。

表 1-2-1-1 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 <sub>2</sub> (g/s)   | 1.64  | 2.28  | 2.00  |
|           | NO <sub>x</sub> (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(μg/m <sup>3</sup> ) | 3000  | 3000  | 3000  |
|           | SO <sub>2</sub> (ppm)   | 1.21  | 1.04  | 1.01  |
|           | NO <sub>x</sub> (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。

### 三、通車前污染物濃度

#### (一) 通車前懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)濃度

本研究團隊曾進行五次懸浮微粒濃度採樣分析，其分析結果如圖 1-3-1-1 所示，隧道內外各採樣點之 PM<sub>10</sub> 平均濃度以隧道口測點濃度最低，僅 34.3 μg/m<sup>3</sup>；並以避車道處濃度最高，可達 54.3 μg/m<sup>3</sup>；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<sup>3</sup>。

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 1-3-1-2 所示，隧道內南下線各



避車道之濃度約介於  $48.1 \sim 65.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  間，而北上線各避車道之濃度則約介於  $47.8 \sim 66.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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( $27.1 \sim 36.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )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 1-3-1-3 所示，得知以避車道測點懸浮微粒濃度( $43.7 \sim 63.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )最高，通風站( $52.5 \sim 55.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )次之，再者為通風中繼站測點( $41.7 \sim 49.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，隧道口測點最低( $27.1 \sim 42.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

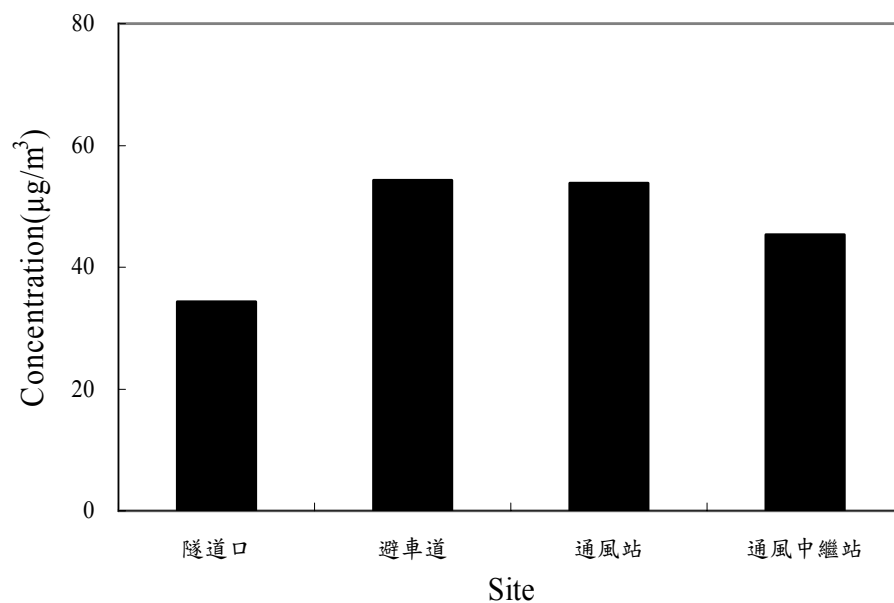
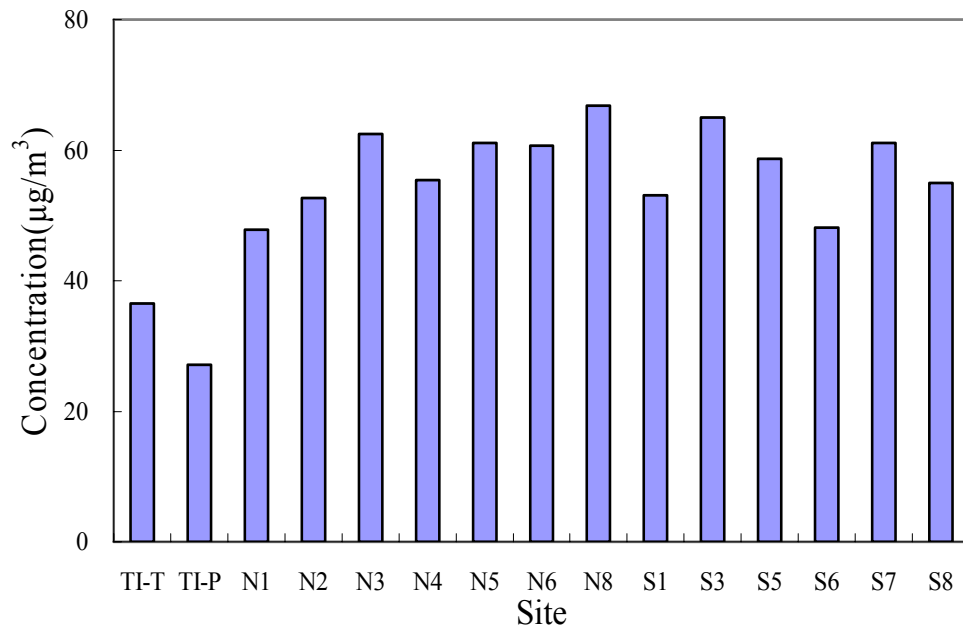


圖 1-3-1-1 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒背景濃度值



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 1-3-1-2 隧道口與各避車道測點之懸浮微粒濃度變化

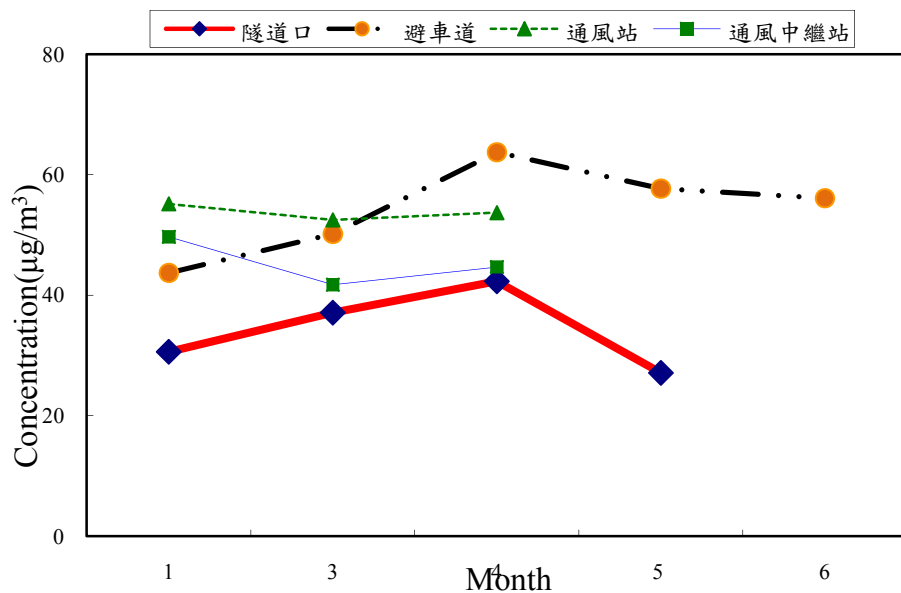


圖 1-3-1-3 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒濃度逐月變化

## (二) 通車前一氧化碳(CO)濃度

本研究團隊曾進行三次一氧化碳濃度採樣分析，其分析結果如圖 1-3-2-1 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 1-3-2-2 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 1-3-2-3 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)。

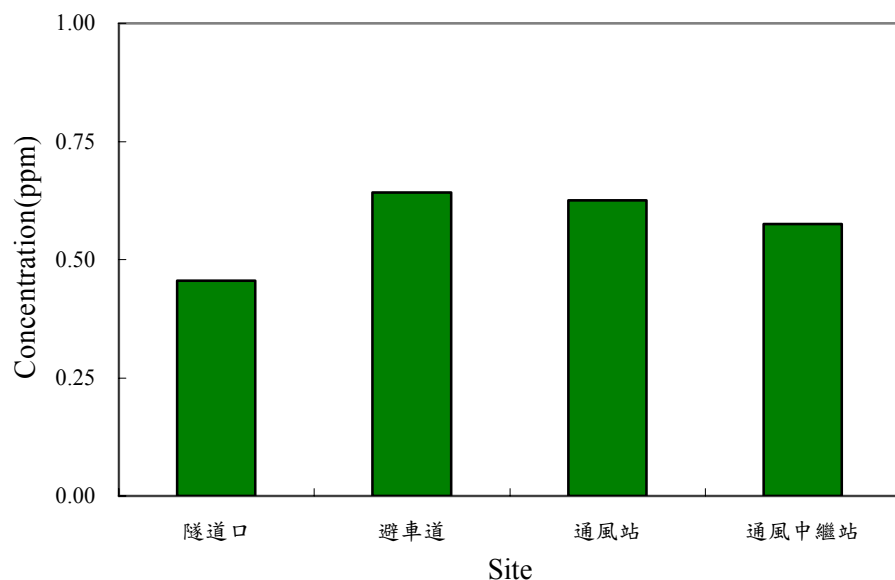


圖 1-3-2-1 雪山隧道通車前各測點一氧化碳背景濃度值

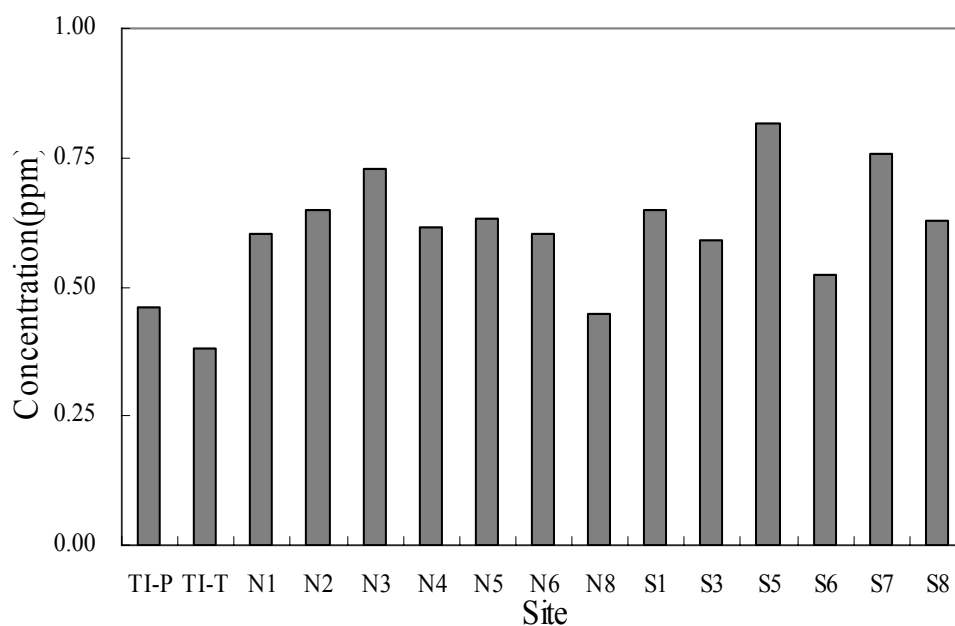


圖 1-3-2-2 隧道口與各避車道測點之一氧化碳濃度變化

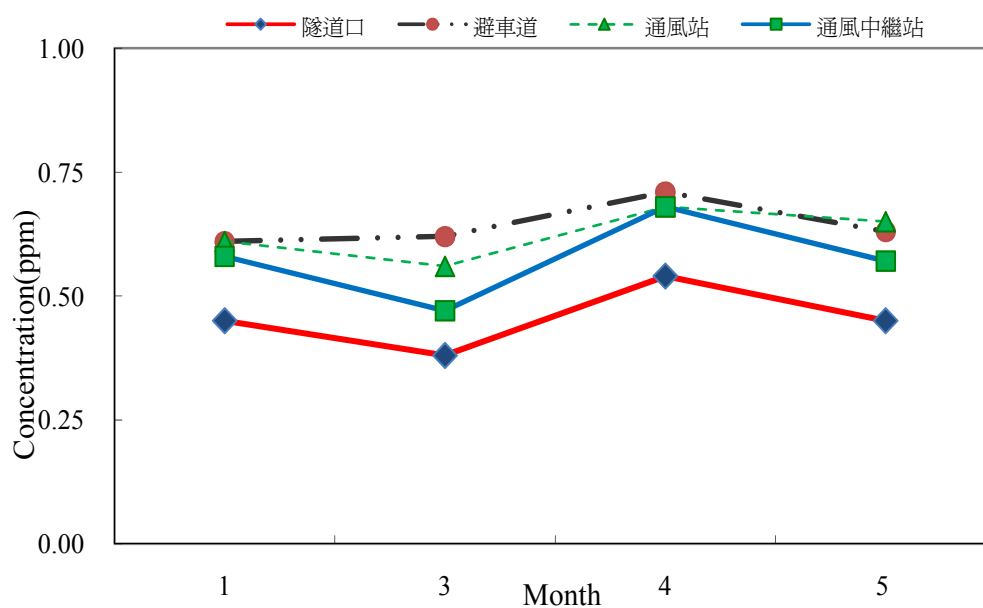


圖 1-3-2-3 雪山隧道通車前各測點一氧化碳濃度逐月變化

### (三) 通車前二氧化硫(SO<sub>2</sub>)濃度

本研究團隊曾進行三次二氧化硫濃度採樣分析，其分析結果如圖 1-3-3-1 所示，隧道內外各採樣點之 SO<sub>2</sub> 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 1-3-3-2 所示，隧道內南下線各避車道之濃度約介於 0.74 ~ 1.11 ppb 之間，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 1-3-3-3 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)。

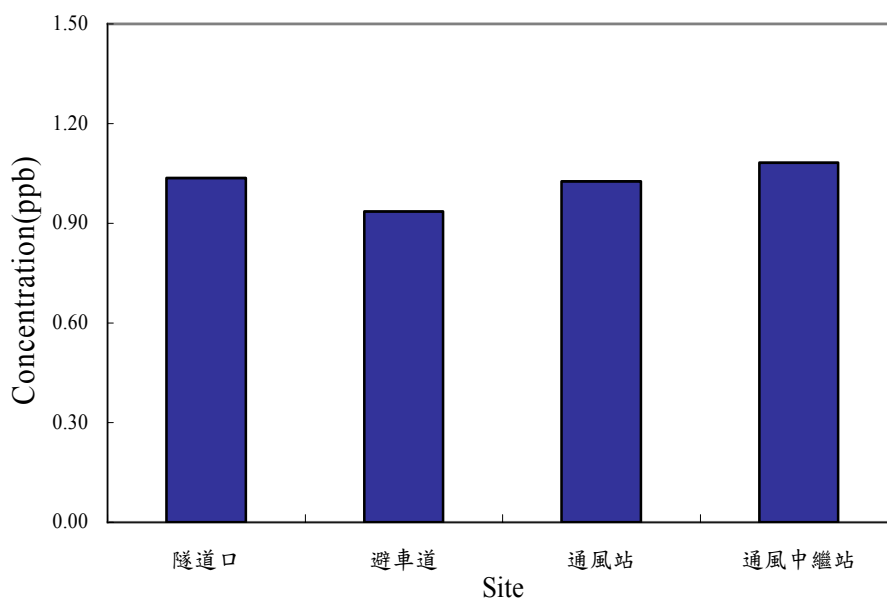


圖 1-3-3-1 雪山隧道通車前各測點二氧化硫背景濃度值

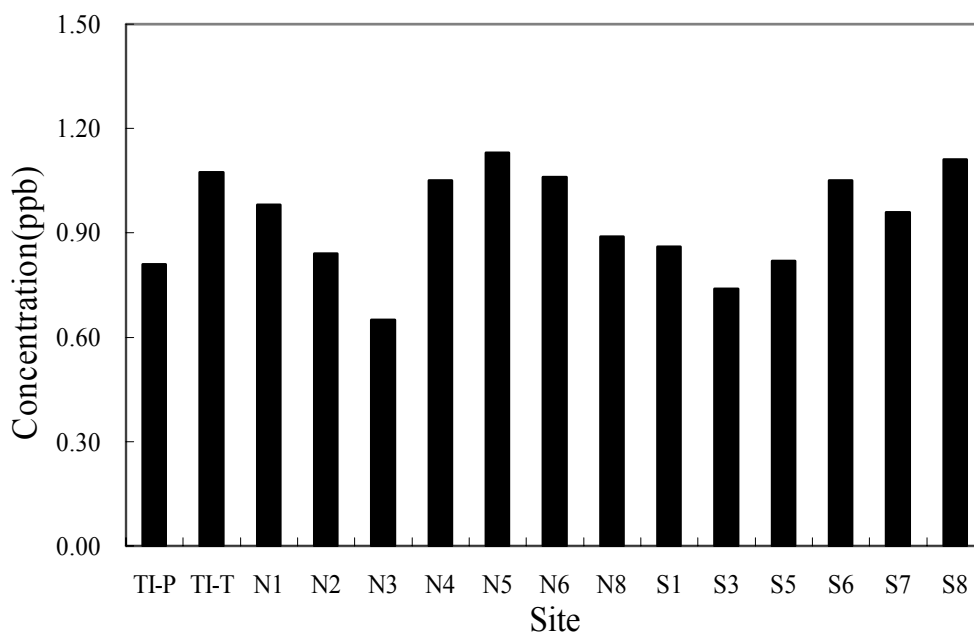


圖 1-3-3-2 隧道口與各避車道測點之二氧化硫濃度變化

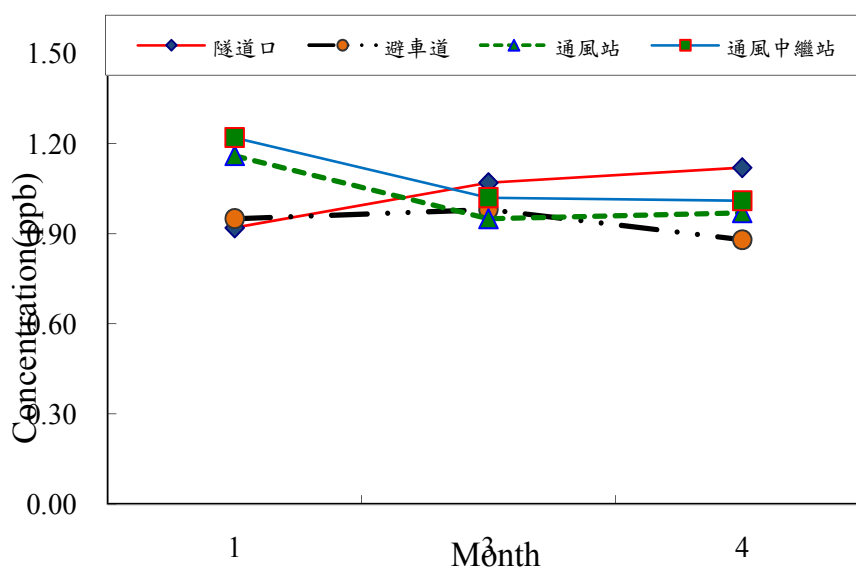


圖 1-3-3-3 雪山隧道通車前各測點二氧化硫濃度逐月變化

#### (四) 通車前氮氧化物( $\text{NO}_x$ )濃度

本研究團隊曾進行三次氮氧化物濃度採樣分析，氮氧化物濃度三次採樣分析結果如圖 1-3-4-1 所示，隧道內外各採樣點之  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  與  $\text{NO}_x$  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 1-3-4-2 所示，隧道內南下線各避車道之 NO、NO<sub>2</sub> 與 NO<sub>x</sub> 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<sub>2</sub> 與 NO<sub>x</sub> 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<sub>2</sub>( 7.07 ~ 7.52 ppb)與 NO<sub>x</sub>( 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 1-3-4-3 至 1-3-4-5 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<sub>2</sub> 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<sub>x</sub> 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)，如表 1-3-4-1 所示。

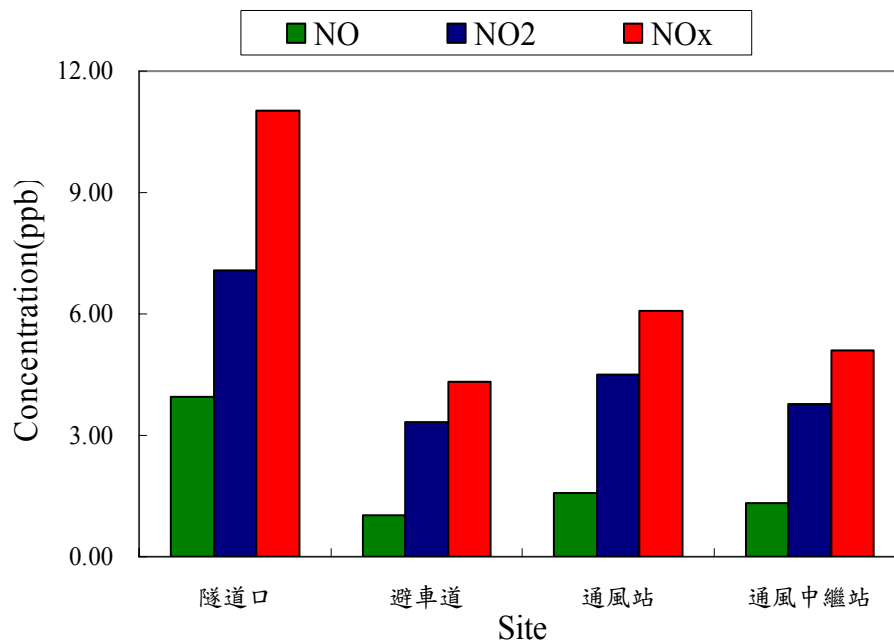


圖 1-3-4-1 雪山隧道通車前各測點氮氧化物背景濃度值

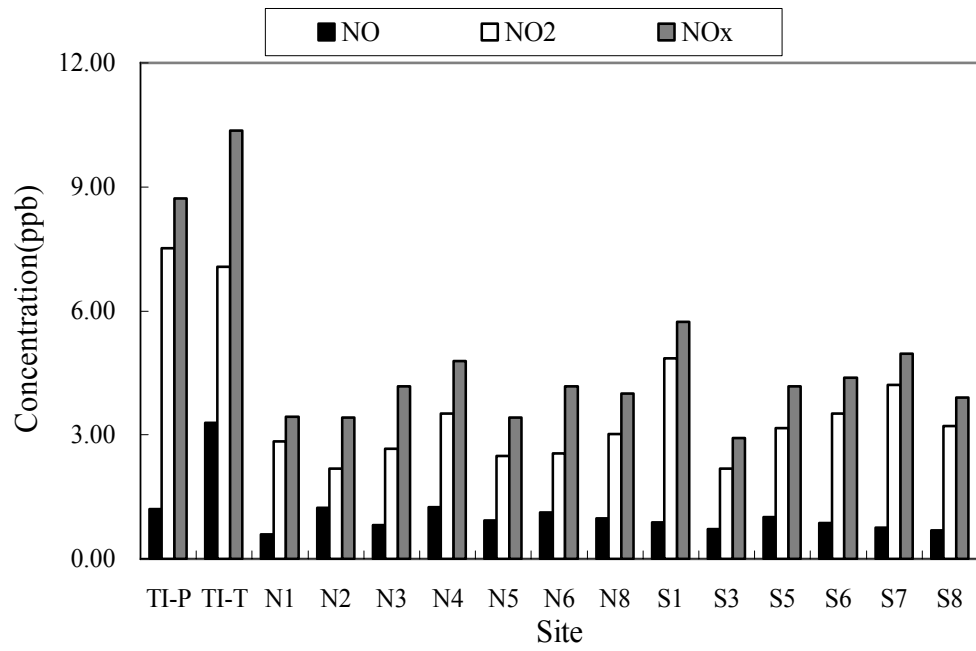


圖 1-3-4-2 隧道口與各避車道測點之氮氧化物濃度變化

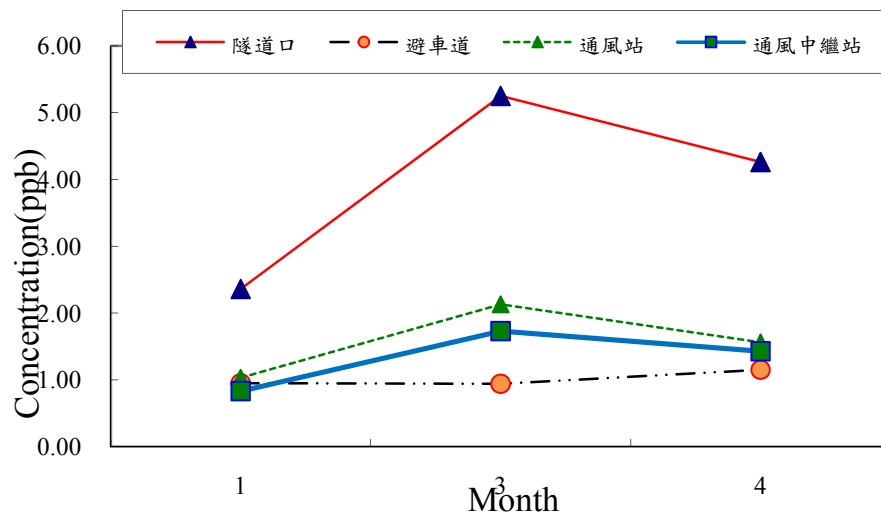


圖 1-3-4-3 雪山隧道通車前各測點 NO 濃度逐月變化



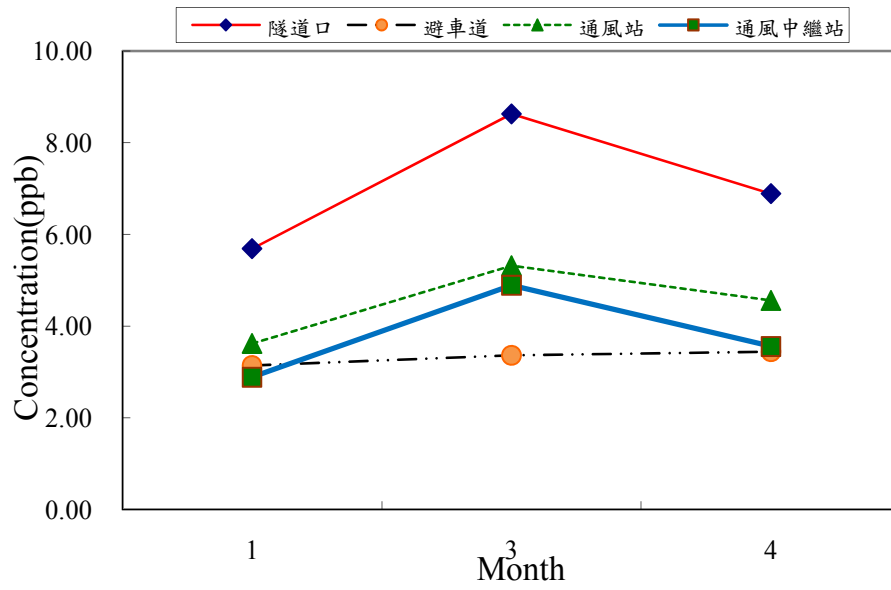


圖 1-3-4-4 雪山隧道通車前各測點 NO<sub>2</sub> 濃度逐月變化

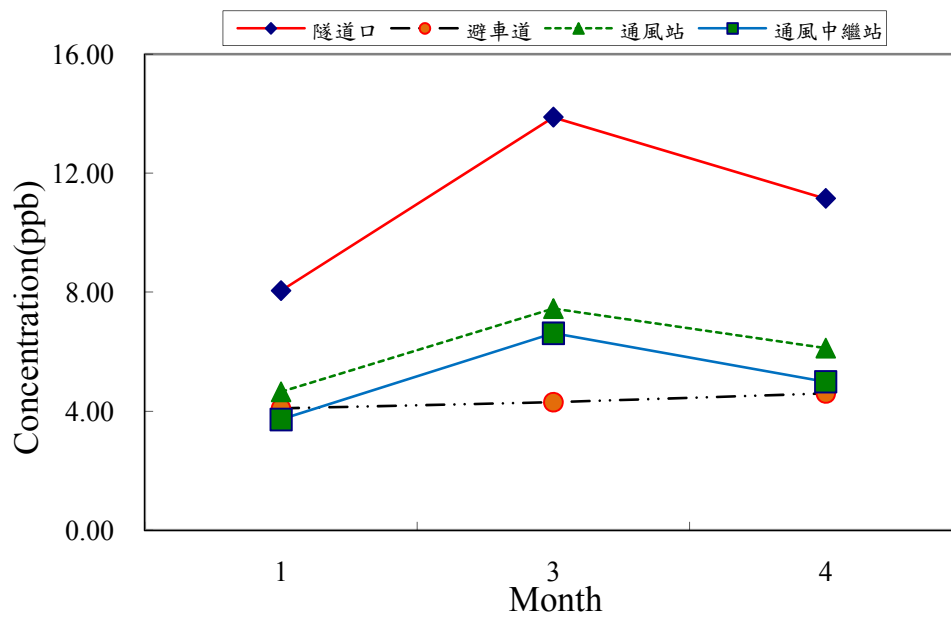


圖 1-3-4-5 雪山隧道通車前各測點 NO<sub>x</sub> 濃度逐月變化

表 1-3-4-1 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<br>出口鄰近處                                       |
| PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 34.3 <sup>**</sup><br>(27.1 ~ 36.5) <sup>*</sup>   | 54.3 <sup>**</sup><br>(43.7 ~ 63.7) <sup>*</sup> | 53.8 <sup>**</sup><br>(52.5 ~ 55.2) <sup>*</sup> | 45.4 <sup>**</sup><br>(41.7 ~ 49.7) <sup>*</sup> | 20.9                                                |
| CO(ppm)                                       | 0.46 <sup>**</sup><br>(0.38 ~ 0.54) <sup>*</sup>   | 0.64 <sup>**</sup><br>(0.61 ~ 0.71) <sup>*</sup> | 0.63 <sup>**</sup><br>(0.56 ~ 0.68) <sup>*</sup> | 0.58 <sup>**</sup><br>(0.47 ~ 0.68) <sup>*</sup> | 0.16 <sup>**</sup><br>(0.11 ~ 0.24) <sup>*</sup>    |
| SO <sub>2</sub> (ppb)                         | 1.04 <sup>**</sup><br>(0.92 ~ 1.12) <sup>*</sup>   | 0.94 <sup>**</sup><br>(0.88 ~ 0.98) <sup>*</sup> | 1.03 <sup>**</sup><br>(0.95 ~ 1.16) <sup>*</sup> | 1.08 <sup>**</sup><br>(1.01 ~ 1.22) <sup>*</sup> | 1.27 <sup>**</sup><br>(1.03 ~ 1.45) <sup>*</sup>    |
| NO(ppb)                                       | 3.96 <sup>**</sup><br>(2.36 ~ 5.25) <sup>*</sup>   | 1.01 <sup>**</sup><br>(0.94 ~ 1.15) <sup>*</sup> | 1.57 <sup>**</sup><br>(1.03 ~ 2.13) <sup>*</sup> | 1.33 <sup>**</sup><br>(0.83 ~ 1.73) <sup>*</sup> | 4.95 <sup>**</sup><br>(4.31 ~ 7.71) <sup>*</sup>    |
| NO <sub>2</sub> (ppb)                         | 7.07 <sup>**</sup><br>(5.69 ~ 8.63) <sup>*</sup>   | 3.31 <sup>**</sup><br>(3.14 ~ 3.36) <sup>*</sup> | 4.50 <sup>**</sup><br>(3.62 ~ 5.32) <sup>*</sup> | 3.78 <sup>**</sup><br>(2.89 ~ 4.89) <sup>*</sup> | 28.24 <sup>**</sup><br>(22.91 ~ 33.52) <sup>*</sup> |
| NO <sub>x</sub> (ppb)                         | 11.03 <sup>**</sup><br>(8.05 ~ 13.88) <sup>*</sup> | 4.33 <sup>**</sup><br>(4.09 ~ 4.59) <sup>*</sup> | 6.07 <sup>**</sup><br>(4.65 ~ 7.45) <sup>*</sup> | 5.11 <sup>**</sup><br>(3.72 ~ 6.62) <sup>*</sup> | 33.19 <sup>**</sup><br>(26.81 ~ 39.82) <sup>*</sup> |

註:\*\*表平均濃度 \*表通車前之濃度範圍

#### 四、北宜公路污染物濃度監測

本研究團隊曾進行北宜公路旁污染物濃度監測，SO<sub>2</sub>的濃度為 3.00 ppb、CO的濃度為0.31 ppm、NO的濃度為 2.09 ppb、NO<sub>2</sub>的濃度為1.33 ppb及NO<sub>x</sub>的濃度為3.41 ppb。如圖1-4-1-1，所示。

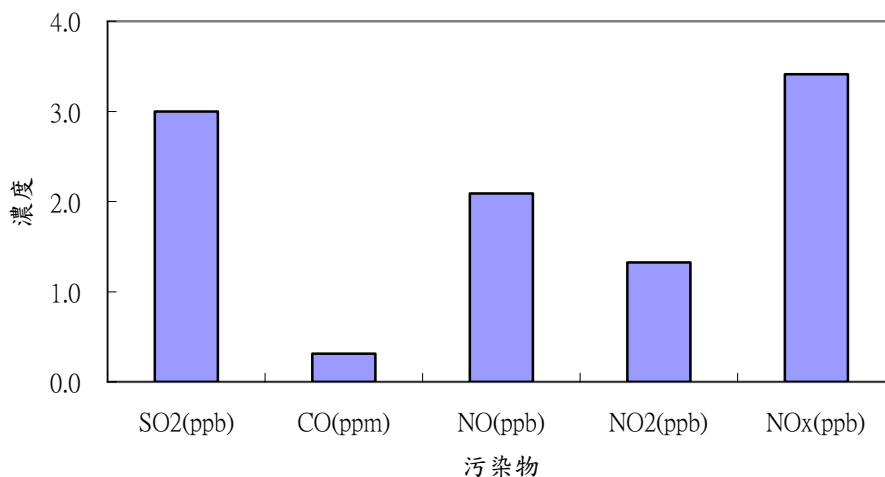


圖 1-4-1-1 北宜公路污染物濃度監測

## 五、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 年)提出，後來在 1974 年(民國 63 年)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 1-5-1-1。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 1-5-1-2。

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 1-5-1-3 所示。

表 1-5-1-1 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 1-5-1-2 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 1-5-1-3 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   |

## 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。

大氣中由汽車廢氣所形成的碳、氮、硫等元素之氣態氧化物，會依擴散原理，經過氣孔進入葉肉空隙，易和水分結合，最後產生亞硫酸、亞硝酸及碳酸等附著細胞上。因此病變容易首先發生在氣孔區，後續會影響樹冠狀況、樹高生長和胸徑生長。利用解剖葉片與監測林木外部生長狀況可瞭解林木健康程度之變化是否與空氣污染有關。

本研究並藉由豎井鄰近處、台灣油杉測站(場址處)之微粒濃度、氣狀物濃度與微粒成份之量測與分析，並交叉比對與分析台灣油杉生長狀況跟監測空氣品質之關係，以建立雪山隧道營運期間此坪林台灣油杉自然保留區之環境背景資料庫，並瞭解豎井排氣對坪林台灣油杉自然保留區之危害程度及其影響範圍。並可以提供環保單位與生態保育單位設置生態保護區空氣品質監測及污染防治系統之參考。因此本計畫之研究目的如下所述。

1. 監測研究區內台灣油杉健康指標，以瞭解林木健康程度之變化。
2. 監測研究區內台灣油杉生長與枯死情形，以瞭解林分現況、變化和長期趨勢。
3. 經過解剖葉片，進行葉內部構造之顯微觀察，以了解受空污危害情形。
4. 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。
5. 分析研究區內之酸沉降之化學微粒成份，以瞭解廢氣之微粒成份對坪林台灣油杉自然保留區內土壤與台灣油杉之生長影響。
6. 利用監測與分析所得之各項污染物濃度，建立國道五號高速公路雪山隧道營運期間，研究區之環境背景資料庫。

## 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與雪山隧道豎井位置，如圖 3-1-1-1 所示，圖 3-1-1-2、圖 3-1-1-3 分別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 3-1-1-1 所示，各區與其最近豎井的距離為 1 至 5 公里，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 1,065m。本研究亦於民宅(天佛禪寺)設置空氣污染物取樣點，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、375m(比較靠近溪溝)和 550m。

表 3-1-1-1 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      | 坡向<br>方位 | 豎井 1<br>(公尺) | 豎井 2<br>(公尺) | 豎井 3<br>(公尺) |
|------|---------|----------|--------------|--------------|--------------|
| A    | 400     | 西北       | 4357         | 6968         | 9844         |
| B    | 500~600 | 東南       | 4130         | 5703         | 8155         |
| C    | 400~600 | 東北       | 3720         | 4648         | 6924         |
| D    | 500     | 北        | 6618         | 3364         | 1065         |
| 天佛禪寺 | 400     | 北        | 3598         | 6228         | 9183         |



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 3-1-1-1 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

No.1：1 號豎井；No.2：2 號豎井；No.3：3 號豎井



圖 3-1-1-2 坪林台灣油杉 A 區林相外觀



圖 3-1-1-3 坪林台灣油杉 D 區林相外觀

## 二、 研究方法

本年度研究於坪林台灣油杉自然保留區內，針對 A、B、C、D 區的台灣油杉，進行每木調查與健康監測。選取 A 區與 C 區(天然林)、D 區(人工林)以及福山植物園區(對照組)的台灣油杉樣木，同時也從 3 號豎井至 D 區沿線選取潤葉樹木，以及研究區內潤葉樹木；各組樣木株數各約 10 株，進行葉構造的解剖觀察。在環境監測方面，在豎井區、坪林台灣油杉自然保留區的 A 區、D 區，其中 A 區鄰近民宅以及北宜公路坪林至礁溪段靠近宜



蘭縣界處，進行空氣品質監測。此外，使用台灣油杉苗木進行模擬試驗，以瞭解空污對台灣油杉生長與葉構造之影響。

### (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。

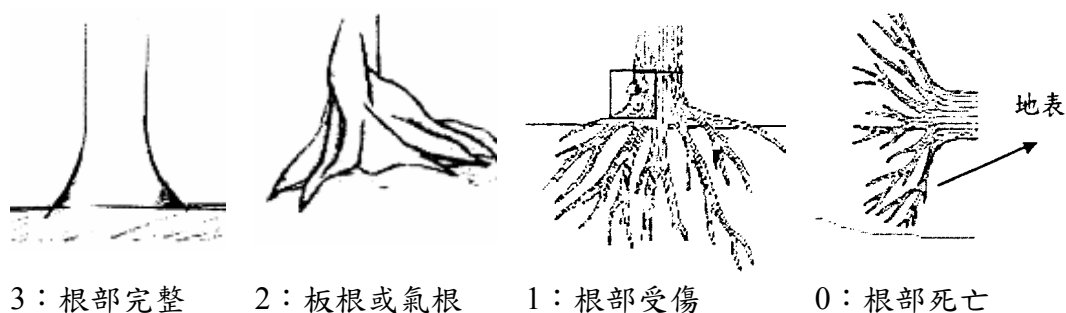


圖 3-2-1-1 根部狀態判定圖

(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

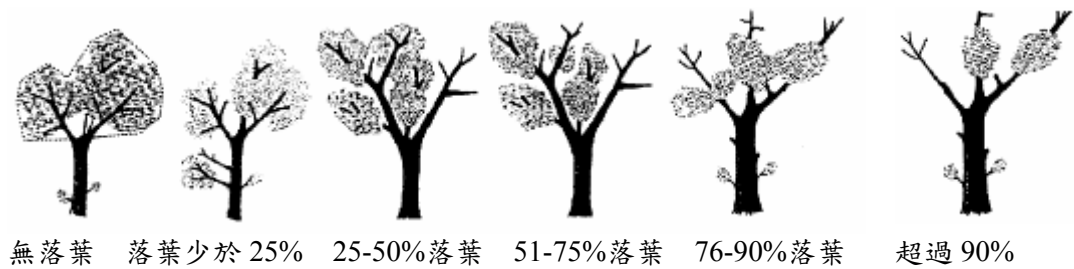


圖 3-2-1-2 冠層狀態判定圖

- (5) 樹冠密度：依調查比例所示，95%=10，85%=9，75%=8，65%=7，55%=6，45%=5，35%=4，25%=3，15%=2，5%=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。

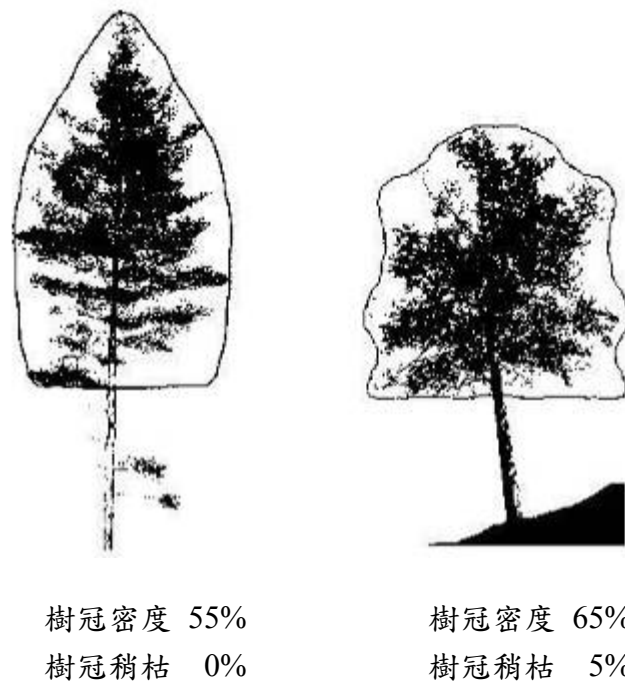


圖 3-2-1-3 樹冠密度示意圖(修改自 USDA Forest service)

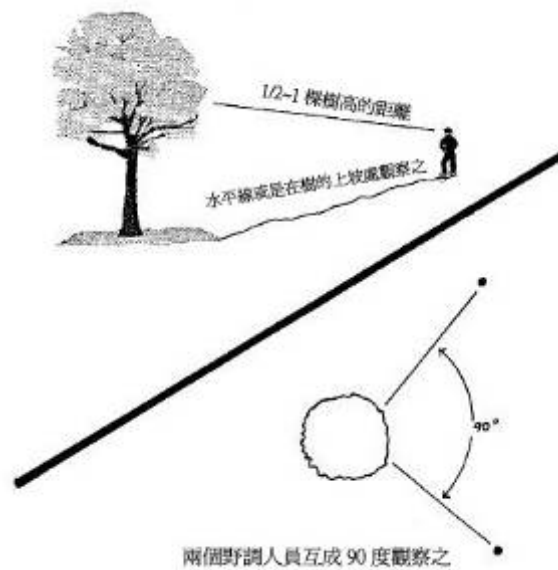


圖 3-2-1-4 野外調查人員判識觀測位置示意圖  
(修改自 USDA Forest service)

- (6) 樹冠透視度：5%=10，  
15%=9，25%=8，  
35%=7，45%=6，  
55%=5，65%=4，  
75%=3，85%=2，  
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。

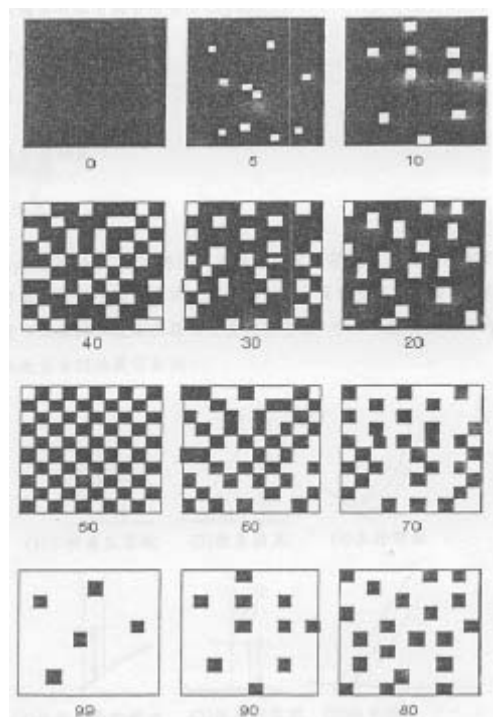


圖 3-2-1-5 樹冠透視度與樹冠密度  
判定依據標準照片

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，統計林木冠層邊緣部份重疊的數量，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

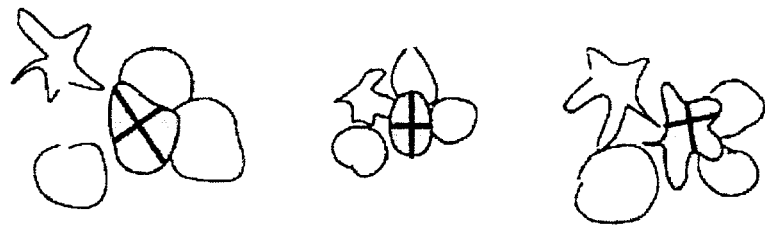


圖 3-2-1-6 樹冠重疊情形判定圖

其評分依據如下圖：

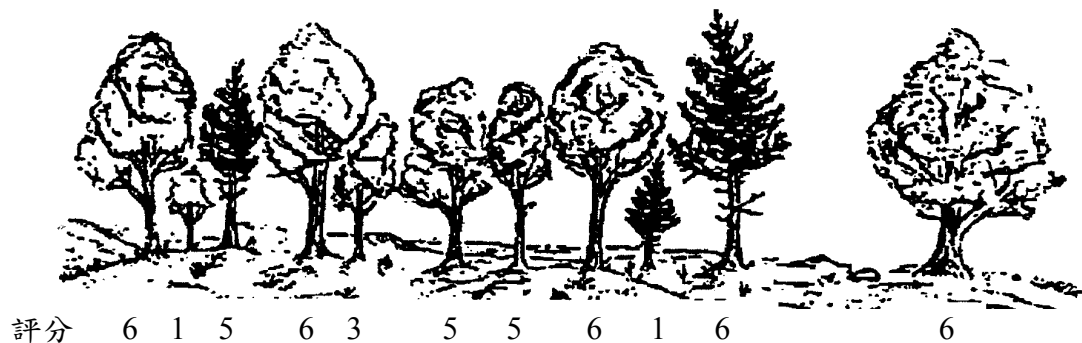


圖 3-2-1-7 樹冠重疊情形評分依據

- (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：以整株林木的梢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，樹冠梢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。

## (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」之 A(地圖一)、C(地圖二)、D(地圖 三)內，依台灣油杉樹木水平及垂直之分佈情形，選取區內存活台灣油杉樣株(共 34 株)，且各區分別選取優勢之代表性闊葉樹種 3 至 5 株，以供參考，即：A 區台灣油杉編號 A001、A002、A003、A004、A005、A006、A007、A008、A009、A010、A011、A012、A013、A014 與闊葉樹冇樟、紅楠、西施花、楊桐和長尾柯；C 區台灣油杉編號 C037、C038、C050、C055、C056、C060、C067、C070、C076、C077 與闊葉樹紅皮、長尾柯、奧氏虎皮楠和山紅柿；D 區台灣油杉編號 D001、D004、D008、D051、D052、D054、D055、D056、

D060、D070 與闊葉樹江某、稜果榕和裏白饅頭果；採集選取樣株之葉片，其中 A 區所選取的台灣油杉樣株每株採集其二年生之葉片，而 C、D 兩區則每株皆採集一年生及兩年生之葉片。

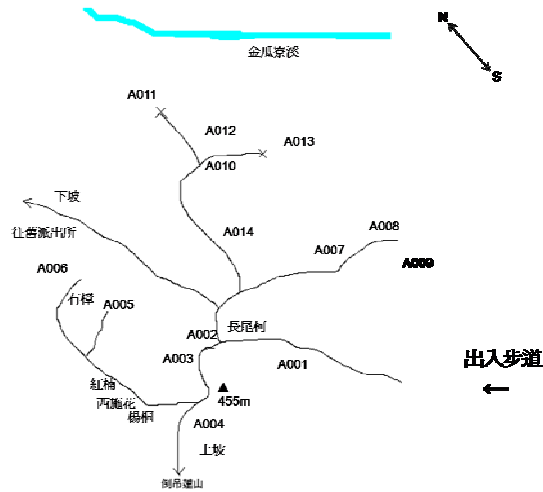


圖 3-2-2-1 A 區樣木分布位置

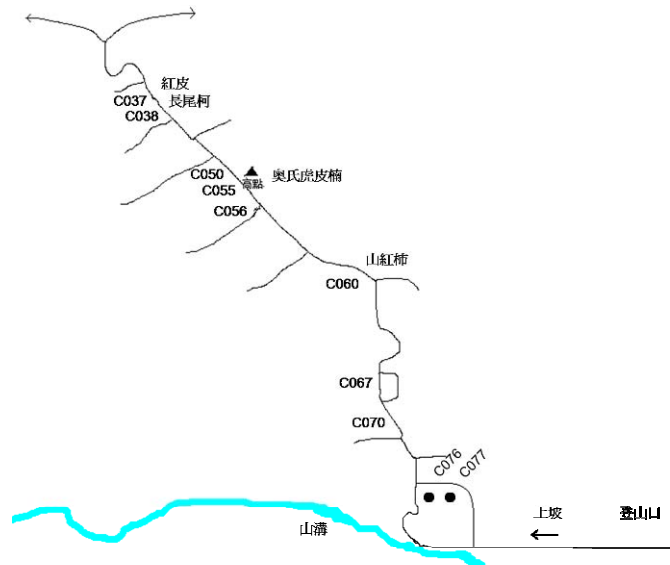


圖 3-2-2-2 C 區樣木分布位置

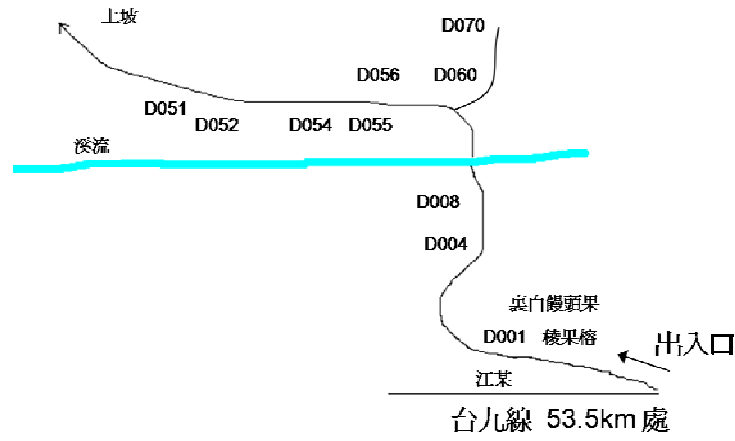


圖 3-2-2-3 D 區樣木分布位置

另外，從坪林台灣油杉自然保留區 D 區至 3 號豎井兩點間，設置一條樣線，總長 1100 m，以 3 號豎井為起點，D 區為終點，每隔 100 m 設置一樣點，共計 10 個樣點（其中 800m 樣點因無法到達而不採計，D 區為終點不計入），每樣點各別採集 3 株代表性優勢闊葉樹之葉片，共計 30 樣株(附錄一)。

採集宜蘭福山植物園(9 株)及台北烏來台電訓練所園區內(1 株)，台灣油杉兩年生葉片，和坪林國小內(1 株)台灣油杉一年生及兩年生葉片，作為觀察台灣油杉葉身構造之對照組。

樣本採集時間為 97 年 3 月中旬至 8 月上旬；採取後，立即使用 F.A.A. 液(福馬林:冰醋酸:酒精= 1:1:18) 固定，攜回研究室以滑動式切片機，切出厚度約 10-30  $\mu\text{m}$  之葉片橫切面切片，製成半永久片，以光學顯微鏡觀察其葉身構造，並紀錄其健康程度並攝影。再者，將坪林台灣油杉自然保留區 A 區編號 A012 之台灣油杉，和坪林台灣油杉自然保留區 D 區至 3 號豎井間

之樣線上所採集的闊葉樹 (共 20 種)之葉，做平表面切面(surfacial view section)，再以稀釋染劑 Safranin-O 之酒精溶液進行染色，以便觀察葉表構造。

### (三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測

本研究依據先前所提出之研究目標，研究流程如圖 3-2-3-1 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 號豎井臨近台灣油杉測站(場址，與 1 號豎井距離約為 100 公尺)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<sub>10</sub>)、細懸浮微粒採樣器(PM<sub>2.5</sub>)、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<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>與 Ca<sup>2+</sup>等十種離子)，本研究之實驗參數如表 3-2-3-1 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。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

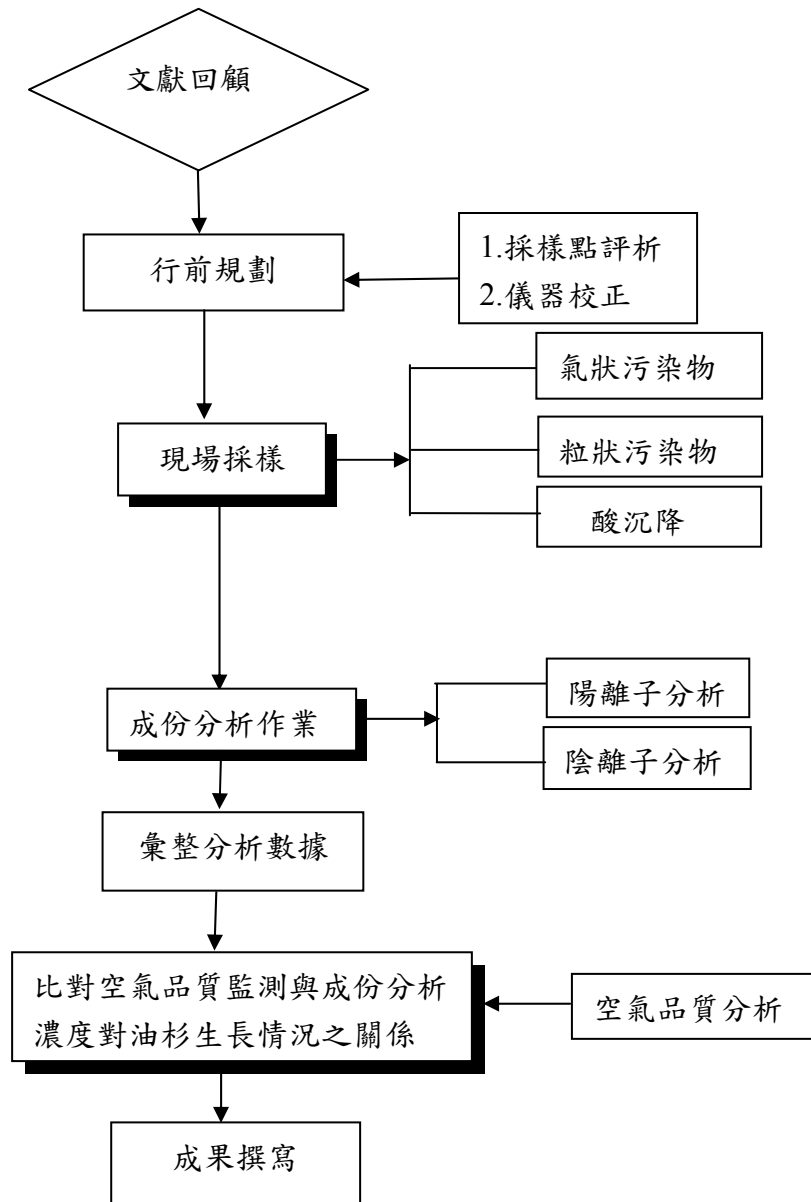


採用美國 Andersen 公司的校正器及其附件，由空氣吸引部、濾紙固定器、流量測定部及保護器(shelter)所構成。濾紙係採用美國 Gelman 公司的 Type A/E 8"\*10"玻璃纖維濾紙及美國 Whatman 公司 Type QAT-UP 的 8"\*10"石英濾紙。

PM<sub>10</sub> 採樣器係採用日本 Kimoto 公司及美國 Andersen 公司的 PM<sub>10</sub> 懸浮微粒(粒徑小於 10 $\mu$ m)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<sup>3</sup>/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<sub>10</sub> 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  $\mu$ m 之微粒進入而被收集。

表 3-2-3-1 實驗參數表

| 項目   | 實驗內容                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 粒狀物  | TSP、PM <sub>10</sub> 、PM <sub>2.5</sub>                                                                                                                                                                                                            |
| 氣狀物  | CO、NO、NO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub>                                                                                                                                                                            |
| 酸沉降  | Cl <sup>-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 、PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、Na <sup>+</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、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、坪林台灣油杉自然保留區臨近民宅                                                                                                                                                                                                              |



註：具陰影者為本研究環境監測之重點

圖 3-2-3-1 研究流程圖

酸沉降採樣設備如圖 3-2-3-2 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。

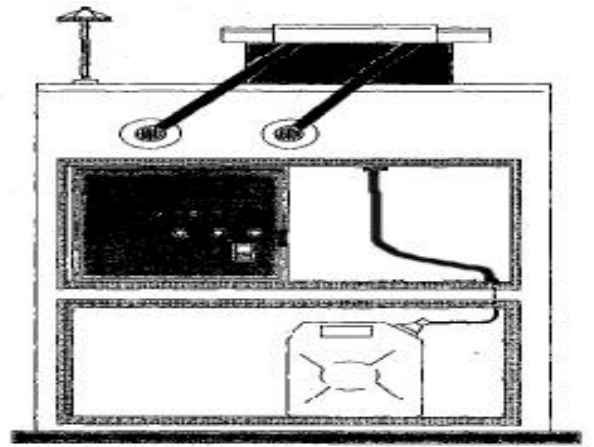


圖 3-2-3-2 酸沈降採樣器

本研究在環境監測方面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坪林台灣油杉自然保留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) 建立國道五號雪山隧道營運期間此坪林台灣油杉自然保留區之環境背景資料庫。
- (2) 分析豎井排氣對坪林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。

**(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，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。

#### (五) 空氣污染物對台灣油杉葉片組織影響

檢測方式是以四株台灣油杉苗木為樣木，依序編號為 NO.1、NO.2、NO.3 及 NO.4(樣木高約 50cm)，在密閉空間內分別以 200 ppb NO<sub>x</sub> 處理 NO.1 樣木兩天、100 ppb NO<sub>x</sub> 處理 NO.2 樣木兩天、NO.3 樣木一天，及對照 NO.4 空白樣木。接著選取 NO.2 樣木連續作不同濃度及時間的混合污染物處理，如表 3-5-1-1。再從樣木枝條上採集 5 片 2 年生葉片，並立即使用 F.A.A.液 (福馬林:冰醋酸:酒精= 1:1:18) 固定。在研究室以滑動式切片機，從樣木葉身中段切出厚度約 20~30 μm 之橫切面切片，以甘油製成半永久片，用光學顯微鏡觀察其葉身構造，紀錄其健康程度並攝影。

表 3-5-1-1 不同時間及濃度之混合污染物處理一株台灣油杉苗木 (NO.2)

單位：ppm

| 暴露時間<br>污 染 物              | 1 小 時       | 2 小 時       | 8 小 時       |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| NO/CO/SO <sub>2</sub> _(1) | 0.5/25/0.25 | 0.5/25/0.25 | 0.5/25/0.25 |
| NO/CO/SO <sub>2</sub> _(2) | 1/50/0.5    | 1/50/0.5    | 1/50/0.5    |
| NO/CO/SO <sub>2</sub> _(3) | 2/100/1     | 2/100/1     | 2/100/1     |

## 肆、結果與討論

### 一、台灣油杉外部樹冠健康指標之監測結果

#### (一) 台灣油杉林木測計之結果

本研究於冬季林木生長停滯時期，已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。另外，依據美國森林健康監測之建議，本研究於夏末初秋之季進行林木健康調查，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。

本次森林測計的調查結果顯示，除了發現 1 株被壓小徑木瀕臨死亡外，並沒有任何樣木在過去一年中死亡。初步完成 DBH、H、HCB 調查分析結果如下：

表 4-1-1-1 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 4-1-1-1 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   | 48.0     | 8.0     | 91.5    | 26.5    |
| B | 10   | 68.4     | 1.4     | 112.4   | 36.1    |
| C | 78   | 43.0     | 2.7     | 150.1   | 34.0    |
| D | 157  | 32.1     | 10.0    | 63.9    | 10.5    |

若將各區台灣油杉樣木的胸徑分為 10 級，則其分佈如圖 4-1-1-1 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。

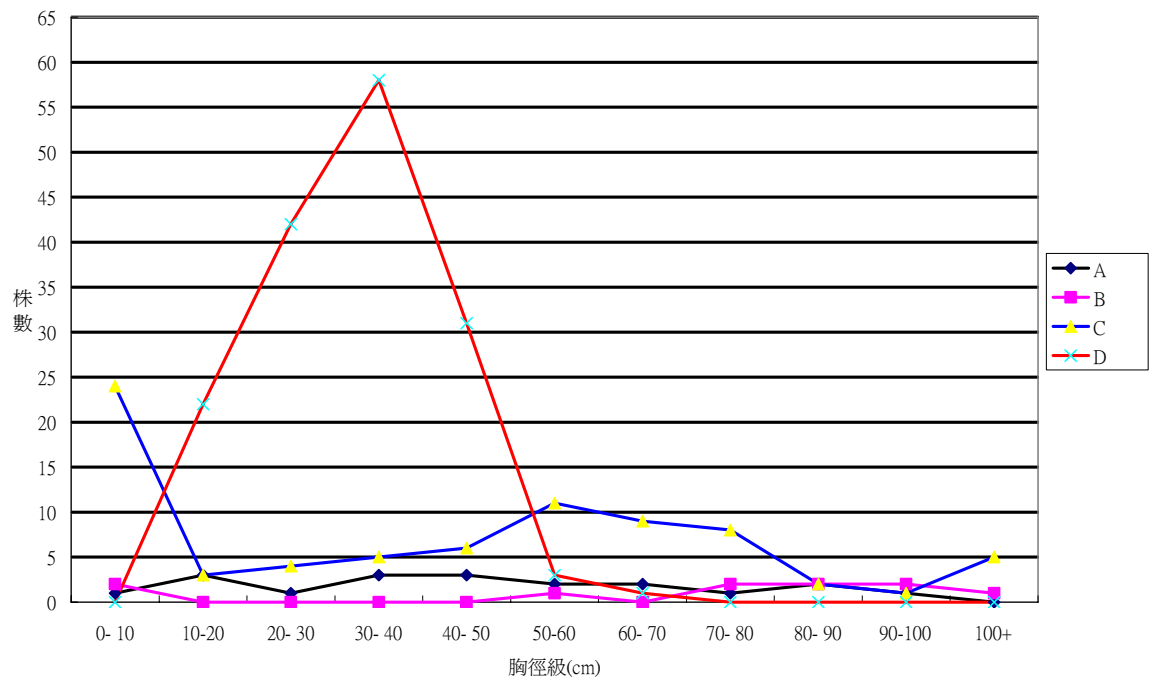


圖 4-1-1-1 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木胸徑級分佈

表 4-1-1-2 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 4-1-1-2 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   | 13.71   | 5.50   | 23.20  | 4.87   |
| B | 10   | 19.23   | 2.05   | 25.54  | 7.88   |
| C | 78   | 13.18   | 2.29   | 29.10  | 7.27   |
| D | 157  | 16.17   | 7.80   | 22.05  | 3.32   |

各區樣木樹高分佈如圖 4-1-1-2 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 株 0-5m 的幼木。

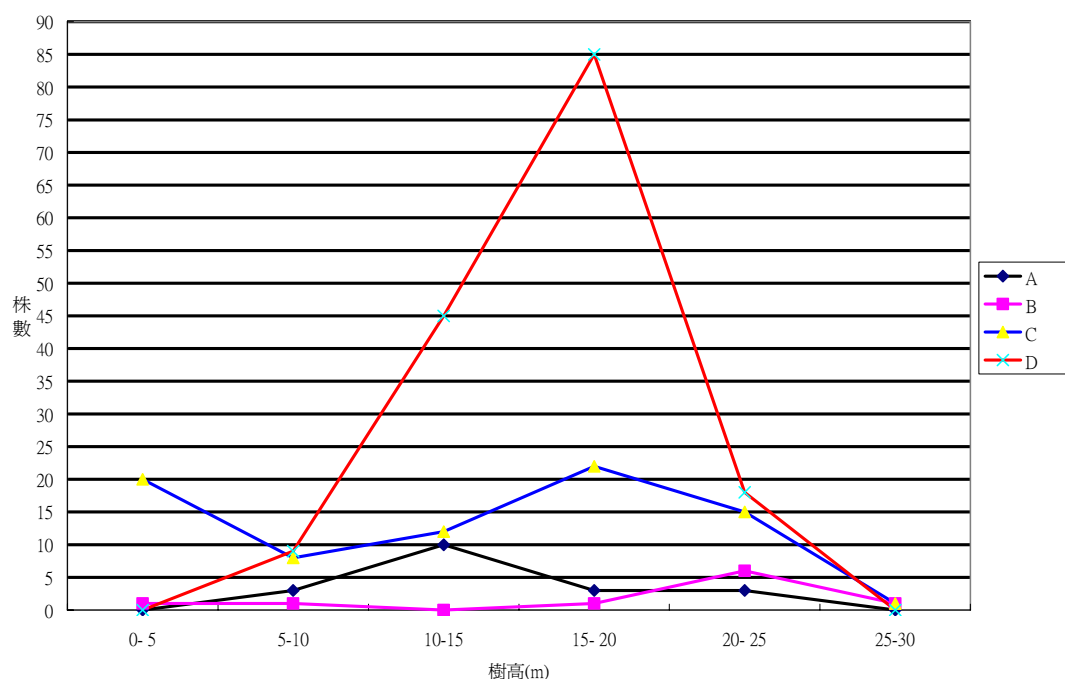


圖 4-1-1-2 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高分佈



表 4-1-1-3 為各區台灣油杉樣木樹冠比的統計量，其中以 A 區的平均樹冠比率最大，而以 B 區最小，D 區的平均樹冠比率最小但變異卻最大。D 區已有林木的樹冠比率少於 20%，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 4-1-1-3 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   | 71.13 | 55.59  | 87.05  | 9.49   |
| B | 10   | 67.75 | 53.46  | 79.46  | 8.87   |
| C | 78   | 68.16 | 21.30  | 91.32  | 14.40  |
| D | 157  | 61.99 | 7.73   | 89.05  | 14.87  |

本研究引用由 Curits et al. (1981)、Larsen and Hann (1987)、Wang and Hann (1988)、Parresol (1992)以及林文亮等(2001)所提出的方法來建立樹高曲線式如下所示：

$$H = 1.3 + \exp(a + b * DBH^c) \dots\dots\dots (1)$$

其中 H：樹高，m；

DBH：胸高直徑，cm；

a,b,c：迴歸係數。

本研究以加權(權重為 DBH 的倒數)與未加權非線性迴歸分析配製各區台灣油杉的樹高曲線式，所得迴歸係數值如表 4-1-1-4 所示，B、C、D 區所配得樹高曲線情形良好，未修正總平方和的判定係數( $R^2$ )皆大於 0.95。以 A 區樣木的觀測值推估非線性樹高曲線迴歸係數時，無法達到收斂的標準，故不提供其樹高曲線。

表 4-1-1-4 坪林台灣油杉自然保留區各區樹高曲線式的迴歸係數

| 區      | n   | a      | b        | c       | MSE    | Uncorrected<br>R <sup>2</sup> |
|--------|-----|--------|----------|---------|--------|-------------------------------|
| 加權     |     |        |          |         |        |                               |
| B      | 10  | 3.9483 | -4.9267  | -0.3903 | 0.0671 | 0.9906                        |
| C      | 78  | 4.7631 | -5.7633  | -0.2644 | 0.1127 | 0.9701                        |
| D(人工林) | 157 | 3.4100 | -6.0017  | -0.6282 | 0.1838 | 0.9753                        |
| 天然林    | 107 | 5.1785 | -5.9834  | -0.2253 | 0.1235 | 0.9678                        |
| 未加權    |     |        |          |         |        |                               |
| B      | 10  | 3.1957 | -15.6897 | -1.0936 | 4.0305 | 0.9934                        |
| C      | 78  | 4.1183 | -5.6527  | -0.3584 | 5.6679 | 0.9759                        |
| D(人工林) | 157 | 3.1182 | -12.7207 | -1.0127 | 5.2788 | 0.9810                        |
| 天然林    | 107 | 4.8013 | -5.7903  | -0.2597 | 6.2766 | 0.9748                        |

註：Uncorrected  $R^2 = (\text{Uncorrected SST} - \text{SSE}) / \text{Uncorrected SST}$

由圖 4-1-1-3 中預測線與實測值的分佈顯示，變異會隨著 DBH 增加而增加，而前人研究使用此樹高曲線式時，亦建議以 DBH 的倒數為權重來配製。此外，由圖中顯示加權的樹高曲線式比未加權的樹高曲線式在 DBH 範圍較大時的 H 預測值較為穩定且合理。因此，本研究採用加權非線性迴歸的樹高曲線式。

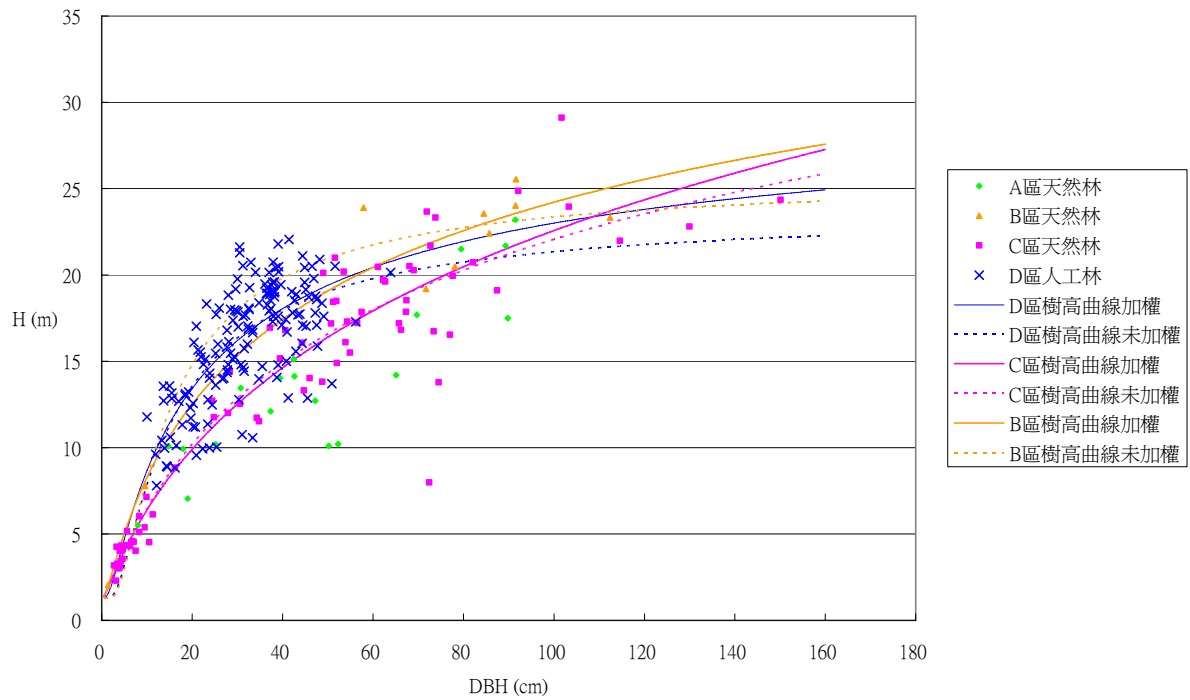


圖 4-1-1-3 坪林台灣油杉自然保留區各區樹高曲線

最後，我們將 A、B、C 區天然林資料合併，配製台灣油杉的天然林樹高曲線式，而 D 區的迴歸式即為台灣油杉的人工林樹高曲線式，如圖 4-1-1-4 所示。目前結果顯示，就相同的 DBH 而言，台灣油杉的人工林 H 值較天然林的 H 值為大。在天然林中，整體而言在 A 區的實測樹高值較天然林樹高曲線為低，亦即 3 區天然林中以 A 區的生長勢較弱，值得加強監測。另外，在 C 區中亦有樣木的實測樹高值偏離迴歸線很多，未來應加強監測其衰退現象。因此，未來監測的重點區域，天然林以 A 區為主，C 區次之；人工林則為 D 區。

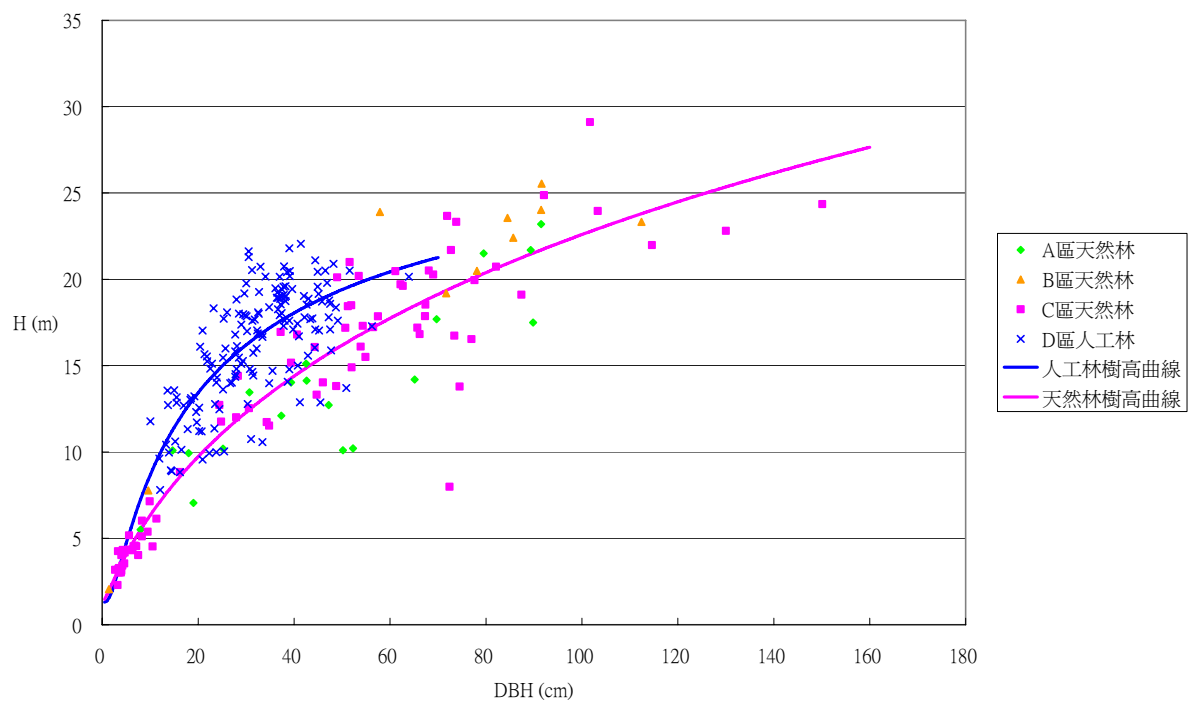


圖 4-1-1-4 坪林台灣油杉自然保留區天然林與人工林樹高曲線

## (二) 台灣油杉健康判釋之結果

各樣區台灣油杉樣木樹冠密度如表 4-1-2-1 所示，A、B 和 C 區的樹冠密度大於 D 區。圖 4-1-2-1 顯示，B 區的分佈最小，而 D 區的分佈最廣，此外 D 區共有 4 株林木的樹冠密度為 20% 以下。

表 4-1-2-1 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   | 66.32     | 45     | 90     | 11.88  |
| B | 10   | 67.00     | 60     | 80     | 7.53   |
| C | 78   | 66.28     | 25     | 90     | 12.42  |
| D | 157  | 57.39     | 5      | 85     | 14.95  |

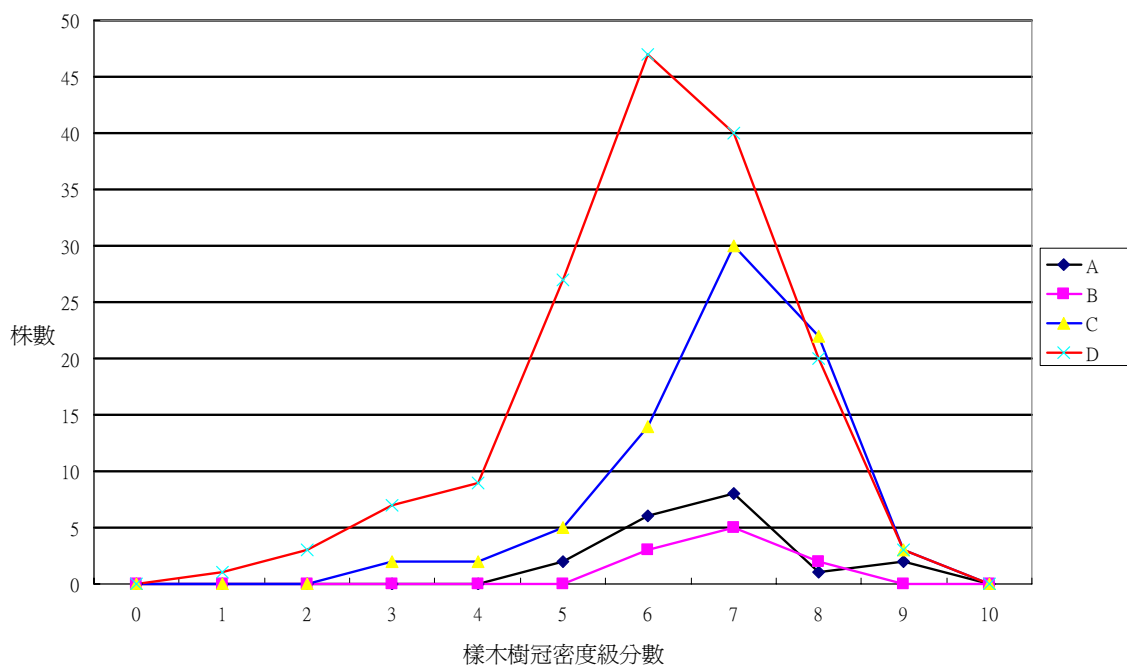


圖 4-1-2-1 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠密度分佈

(圖 4-1-2-1 中，樹冠密度與級分數的關係是以比例表示，各級分為：95%=10 分，85%=9 分，75%=8 分，65%=7 分，55%=6 分，45%=5 分，35%=4 分，25%=3 分，15%=2 分，5%=1 分，樹冠枯死=0 分。)

表 4-1-2-2 為各區台灣油杉樣木樹冠透視度統計量，天然林的 A、B 和 C 三區中以 C 區的最小，圖 4-1-2-2 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 90%，活力很差。

表 4-1-2-2 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   | 12.89    | 5      | 25     | 5.61   |
| B | 10   | 12.00    | 5      | 15     | 3.50   |
| C | 78   | 9.94     | 5      | 30     | 5.00   |
| D | 157  | 10.80    | 5      | 90     | 8.08   |

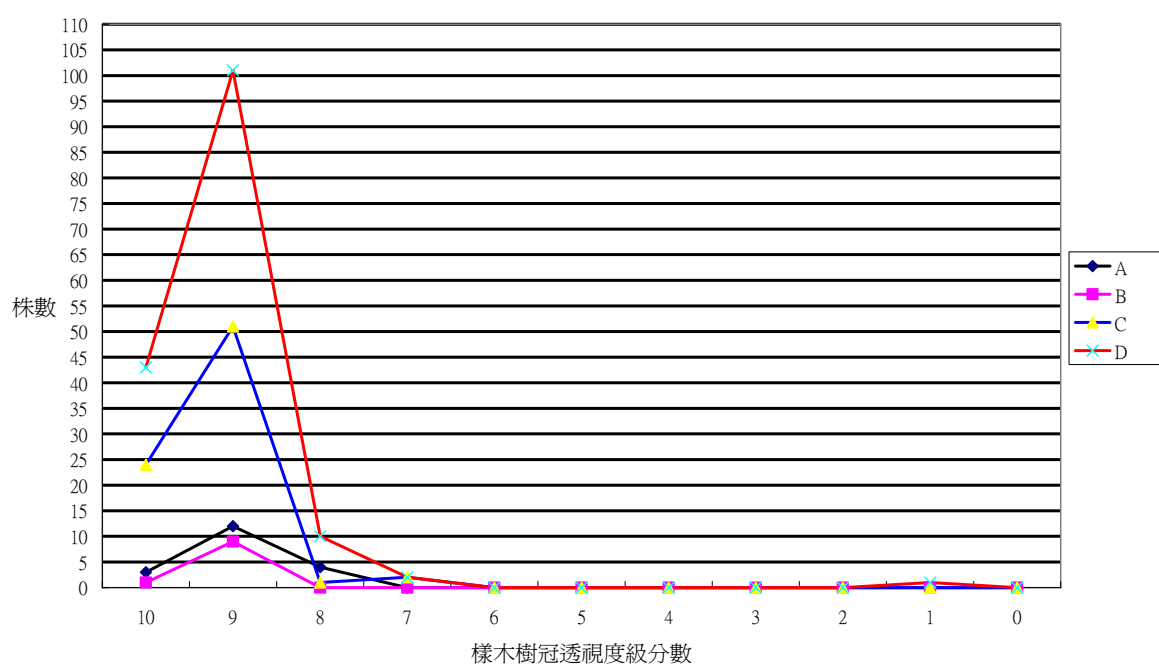


圖 4-1-2-2 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠透視度分佈

(圖 4-1-2-2 中，樹冠透視度與級分數的關係為：5%=10 分，15%=9 分，25%=8 分，35%=7 分，45%=6 分，55%=5 分，65%=4 分，75%=3 分，85%=2 分，95%=1 分，樹冠枯死=0 分。)

表 4-1-2-3 為各區台灣油杉樣木樹冠稍枯度統計量，以 D 區人工林最高，不過各區的平均值尚低，並無異常枯萎現象。各區台灣油杉樣木樹冠稍枯分數如圖 4-1-2-3 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 株被壓林木的分數為 2 分以下，代表該區有零星的林木具衰退的徵兆。

表 4-1-2-3 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 | 平均樹冠稍枯<br>(%) | 最小值(%) | 最大值(%) | 標準差(%) |
|---|------|---------------|--------|--------|--------|
| A | 19   | 6.84          | 0      | 10     | 2.99   |
| B | 10   | 8.50          | 5      | 10     | 2.42   |
| C | 78   | 9.62          | 5      | 50     | 7.20   |
| D | 157  | 10.10         | 5      | 95     | 9.98   |

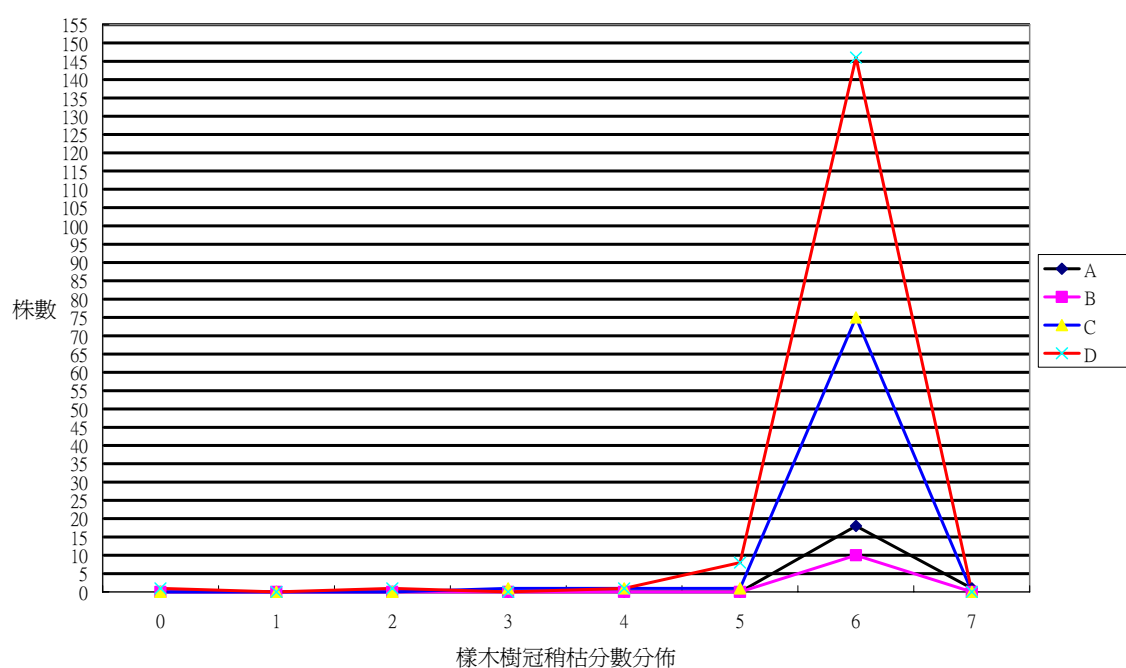


圖 4-1-2-3 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠稍枯分數分佈

(圖 4-1-2-3 中，樹冠稍枯與級分數的關係為：

7 分：無；6 分：1-15%；5 分：16-30%；4 分：31-45%；3 分：46-60%；

2 分：61-75%；1 分：76-90%；0 分：91-100%。)

由圖 4-1-2-4 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。

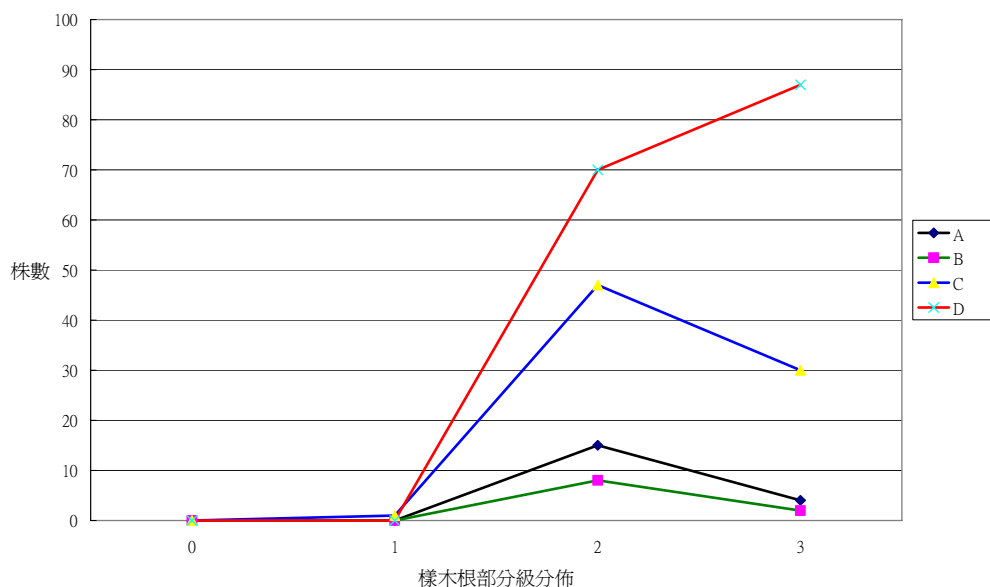


圖 4-1-2-4 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木根部分級分佈

圖 4-1-2-5 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 2 株(D032 和 D122 號)列為 1 級，代表落葉量都超過 90%，不利於樣木的存活。

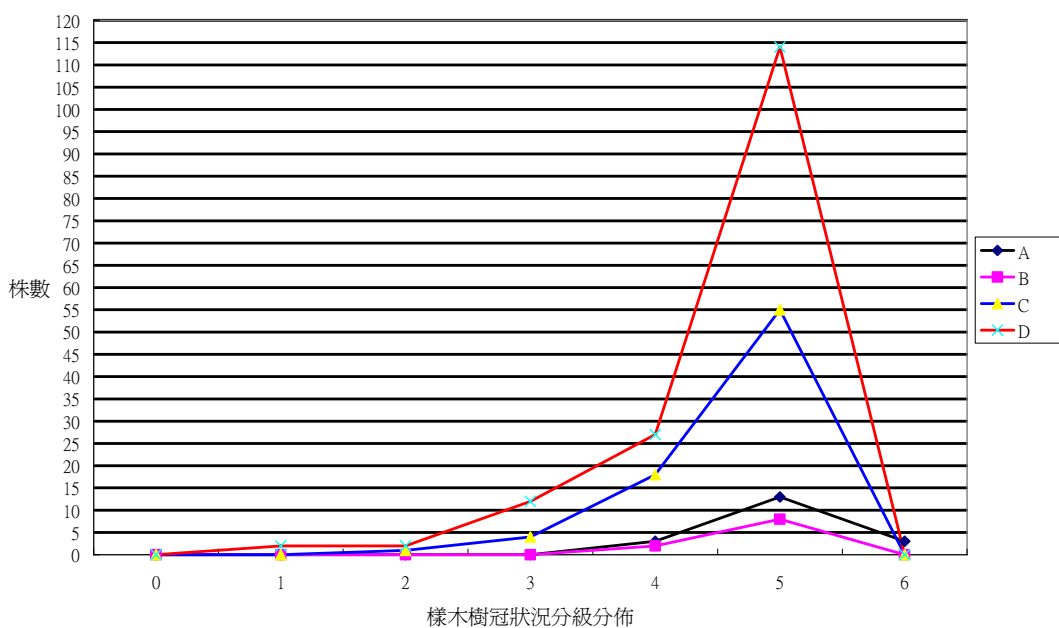


圖 4-1-2-5 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠狀況分級分佈



圖 4-1-2-6 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 和第 5 級。D 區的被壓木有 14 株，因此 D 區較 A、B、C 區的林木間競爭為大。

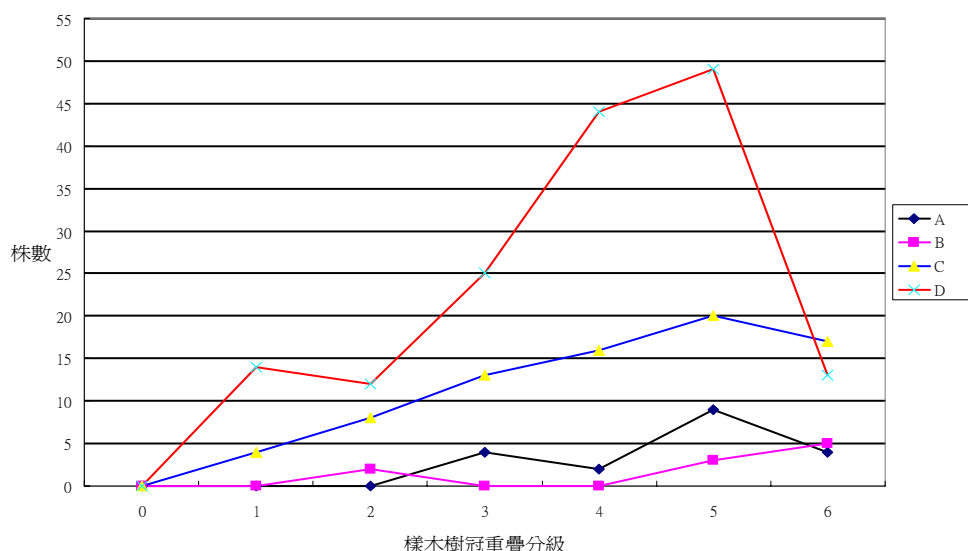


圖 4-1-2-6 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠重疊分級分佈

依照樣木活樹冠比率給予分數如圖 4-1-2-7 所示，以 5 分和 6 分的株數最多，同樣地可以發現，D 區具 2 分以下((活樹冠比率小於 30%)的樣木。

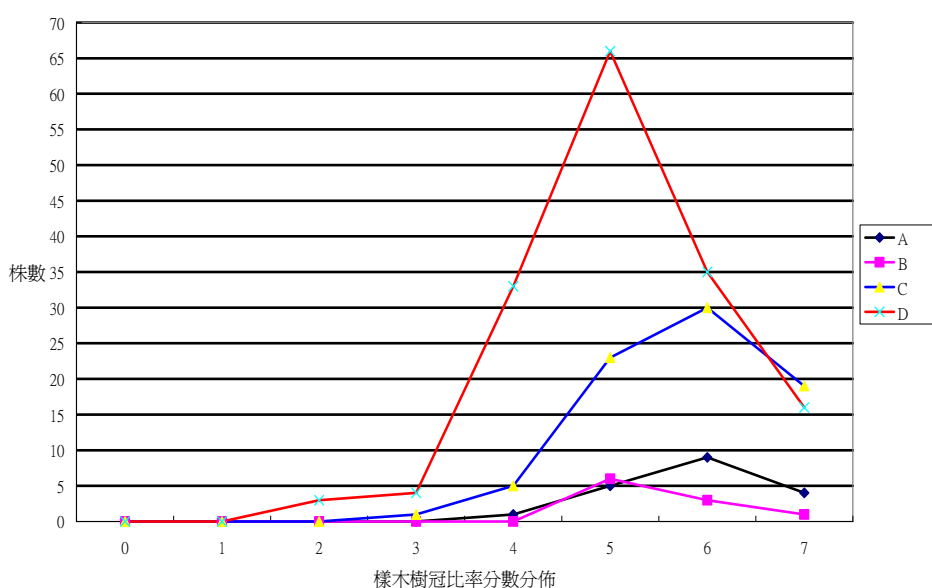


圖 4-1-2-7 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木活樹冠比率分數分佈

表 4-1-2-4 為各區台灣油杉樣木的健康分數統計，D 區人工林最低，但各區平均健康分數無顯著差異。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 70 和 180 株，12 株普通(21-30 分)，產生劣化情形(11-20 分)的林木有 1 株，不健康(1-10 分)的林木有 1 株。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。與去年的健康分級分配(如表 4-1-2-5)相比較，以卡方檢定，並無顯著的差異。

表 4-1-2-4 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 | 平均健康分數(分) | 最小值(分) | 最大值(分) | 標準差(分) |
|---|------|-----------|--------|--------|--------|
| A | 19   | 39.47     | 35     | 46     | 2.91   |
| B | 10   | 39.40     | 35     | 41     | 1.71   |
| C | 78   | 38.99     | 28     | 43     | 3.19   |
| D | 157  | 37.19     | 9      | 45     | 4.71   |

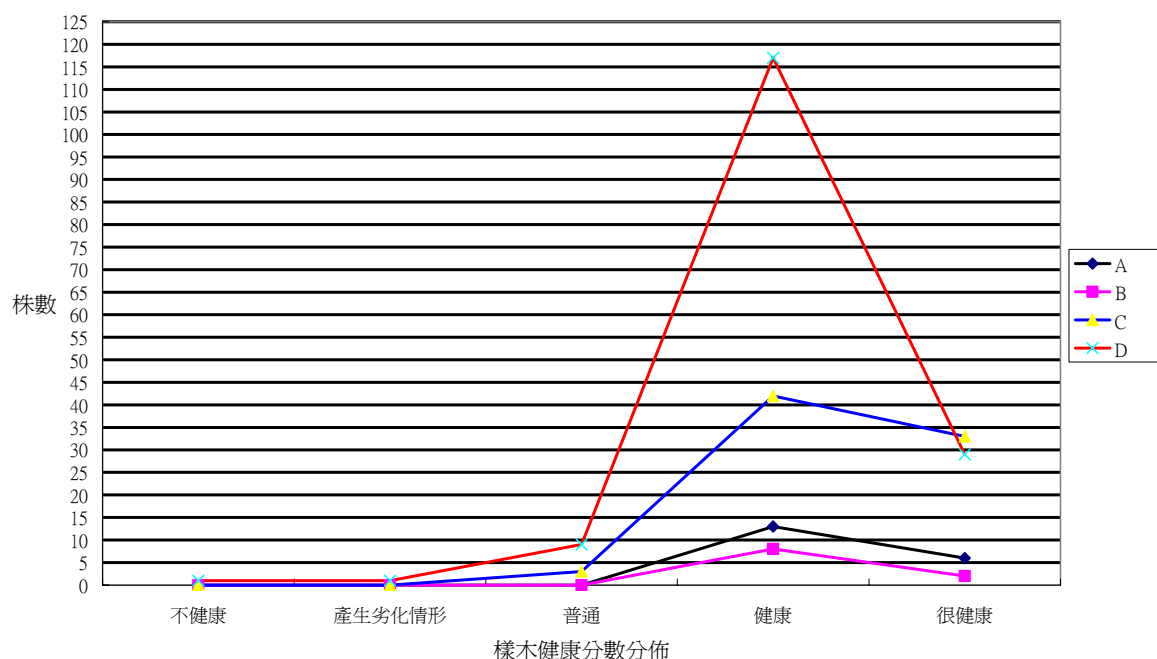


圖 4-1-2-9 坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分數分佈

表 4-1-2-5 坪林台灣油杉自然保留區各年度樣木健康分級之分配

| 年度   | 很健康 | 健康  | 普通 | 劣化或不健康 |
|------|-----|-----|----|--------|
| 2007 | 63  | 185 | 14 | 2      |
| 2008 | 70  | 180 | 12 | 2      |

### (三) 台灣油杉照片監測之結果

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 4-1-3-1 至圖 4-1-3-7 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。今年拍攝坪林國小的台灣油杉已明顯地較去年健康，冠層上半部已逐漸生長出新葉，後續仍會持續追蹤。



圖 4-1-3-1a 坪林國小台灣油杉  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-1b 坪林國小台灣油杉  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-1c 坪林國小台灣油杉  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-1d 坪林國小台灣油杉  
分離影像(97 年拍攝)





圖 4-1-3-2a 台大校園台灣油杉  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-2b 台大校園台灣油杉  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-2c 台大校園台灣油杉  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-2d 台大校園台灣油杉  
分離影像(97 年拍攝)





圖 4-1-3-3a 出水溪苗圃台灣油杉  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-3b 出水溪苗圃台灣油杉  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-3c 出水溪苗圃台灣油杉  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-3d 出水溪苗圃台灣油杉  
分離影像(97 年拍攝)



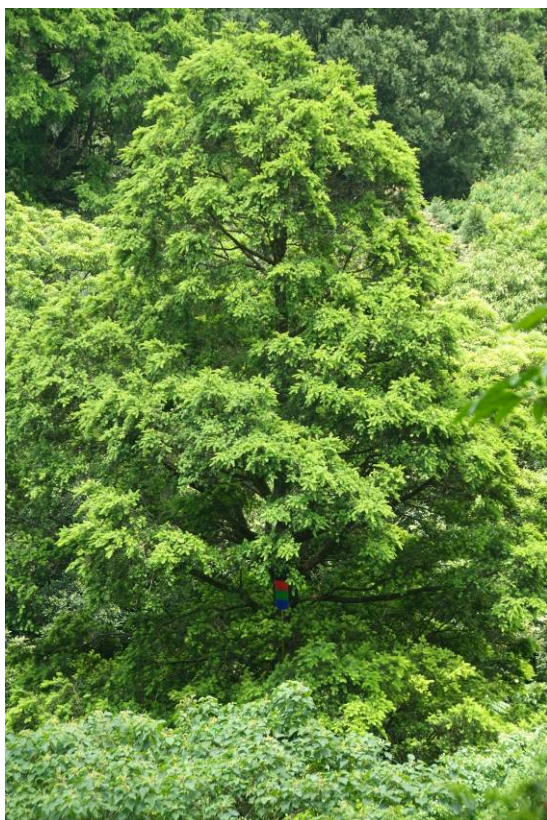


圖 4-1-3-4a 台灣油杉 D051 號  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-4b 台灣油杉 D051 號  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-4c 台灣油杉 D051 號  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-4d 台灣油杉 D051 號  
分離影像(97 年拍攝)



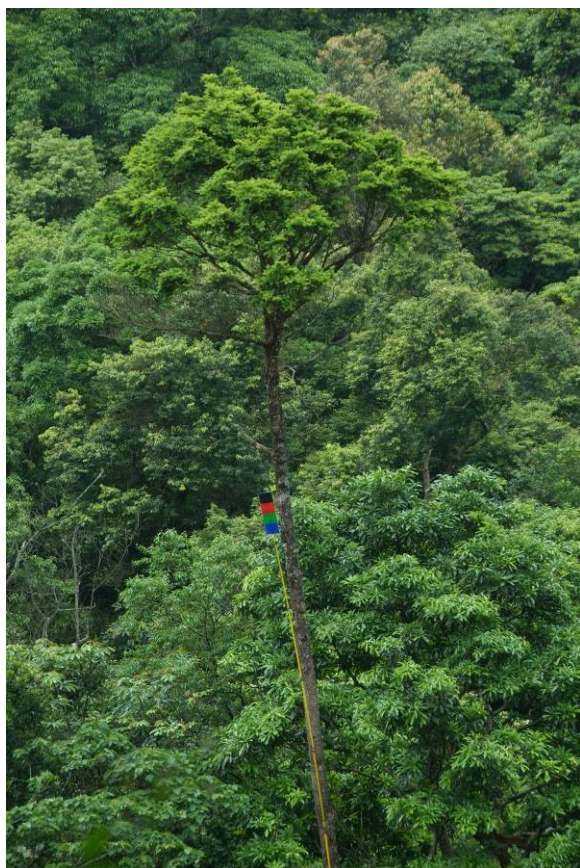


圖 4-1-3-5a 台灣油杉 D061 號  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-5b 台灣油杉 D061 號  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-5c 台灣油杉 D061 號  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-5d 台灣油杉 D061 號  
分離影像(97 年拍攝)



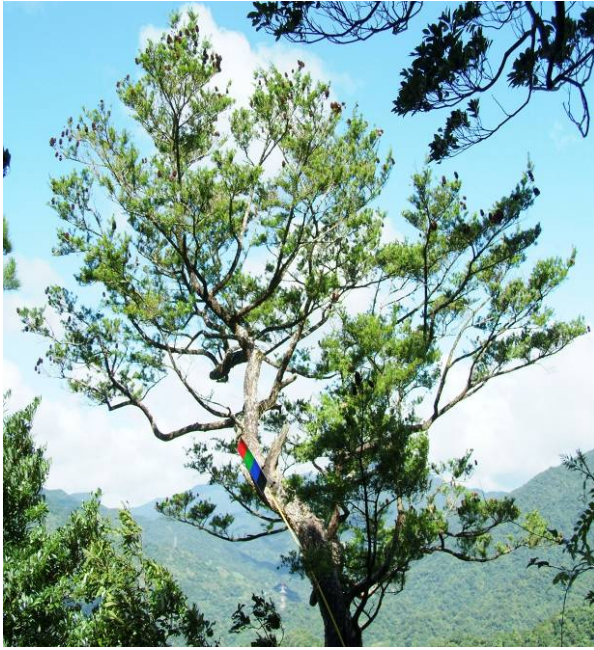


圖 4-1-3-6a 台灣油杉 C063 號  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-6b 台灣油杉 C063 號  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-6c 台灣油杉 C063 號  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-6d 台灣油杉 C063 號  
分離影像(97 年拍攝)





圖 4-1-3-7a 台灣油杉 A003 號  
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-7b 台灣油杉 A003 號  
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-7c 台灣油杉 A003 號  
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-7d 台灣油杉 A003 號  
分離影像(97 年拍攝)

## 二、台灣油杉葉身構造變化之監測結果

台灣油杉(圖 4-2-1)及闊葉樹(以冇樟為例) (圖 4-2-2)之葉的內部解剖 (Anatomy of leaf) 簡圖，顯示兩者葉身均由三類組織系統( tissue system )組成，就是表層組織系( dermal tissue system )，包括表皮細胞( epidermal cells )、守衛細胞、毛茸( trichomes )等；基本組織系( fundamental tissue system )，包括葉肉( mesophyll )；和管束組織系( fasciculus tissue system )，包括中肋( midrib )和葉脈( vein )等。

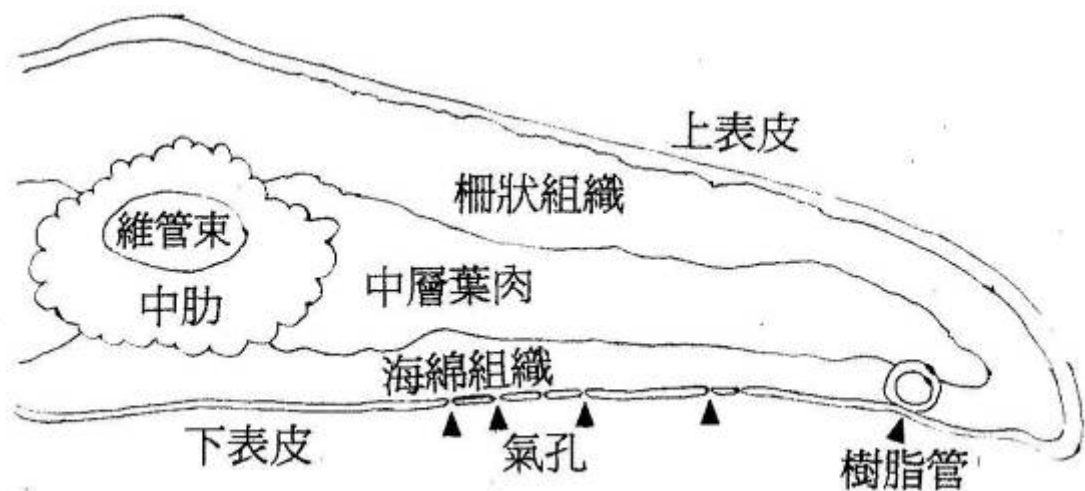


圖 4-2-1 台灣油杉葉橫切面之構造

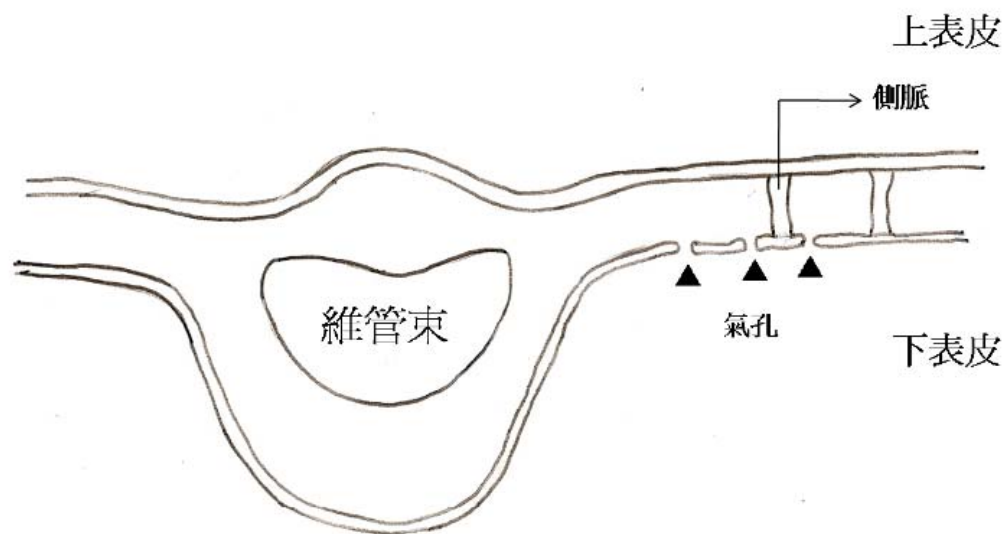


圖 4-2-2 冇樟葉肉橫切面之構造

## (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。表層組織具一層細胞，細胞壁厚，外層有很厚的角皮層( cutical layer )，無毛茸；氣孔為下陷型，多分佈於下表皮(圖 4-2-1-3)，亦有在上表皮觀察到。

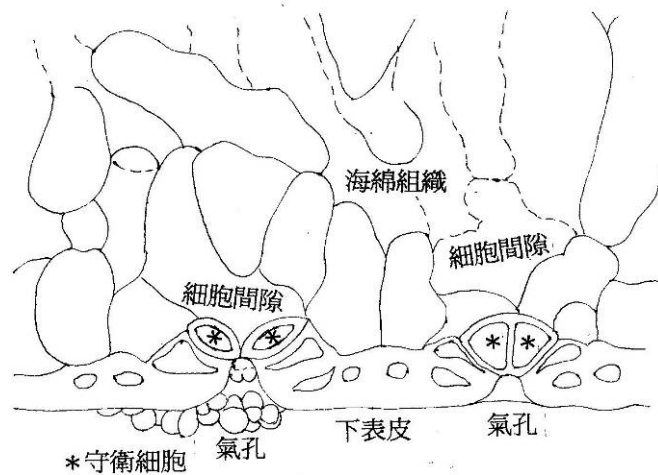


圖 4-2-3 台灣油杉葉下表皮層及海綿組織構造

### 2. 其他闊葉樹

本報告所列 26 種闊葉樹，葉也屬扁平，有上下表皮之分。單層表皮，細胞壁厚，外向壁堆積厚的角皮層。裏白饅頭果及奧氏虎皮楠具有單細胞線狀毛茸( Unicellular linear trichomes )、楊桐具盾狀毛茸( peltate trichomes )，紅皮則有星狀毛茸( stellate trichomes )。氣孔形態各不相同，而有些樹種可在守衛細胞旁明顯看出副細胞( subsidiary cells ) 相鄰在左右兩側，如冇樟、紅楠、裏白饅頭果等；氣孔多分佈於下表皮，並與表皮在同一平面上( 圖 4-2-4 )；亦可從平表面切面，看出副細胞與守衛細胞的相對排列和細胞數量。

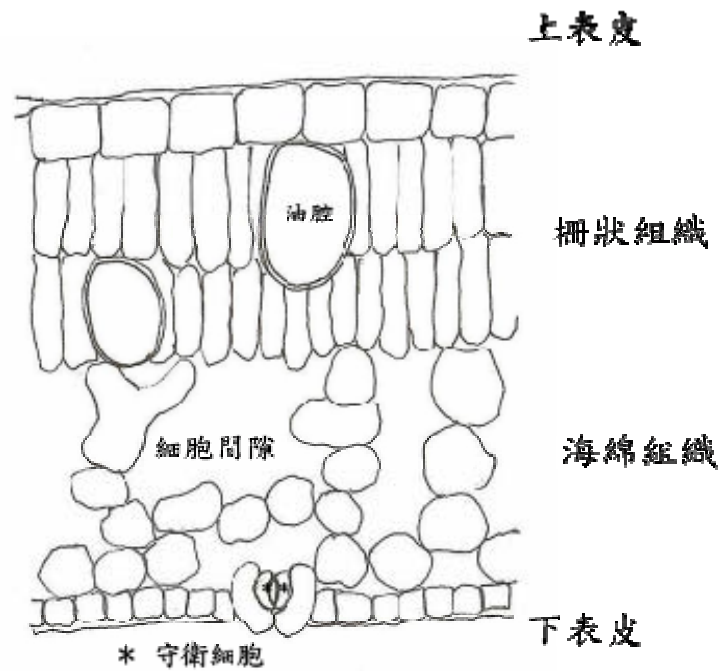


圖 4-2-4 有樟葉上、下表皮層及氣孔構造

## (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，細胞橫臥長柱體形，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。柵狀薄壁細胞在葉片橫切面呈桿狀，排列相當緊密，常含有大量的葉綠體。其中，也觀察到微裂狀(lobed)的柵狀薄壁細胞。

海綿薄壁細胞的形狀變異較大(圖 4-2-3)，通常都為彎曲的細胞，排列很鬆，留有很多的細胞間隙( intercellular space )，所含的葉綠體也較少。

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，長軸平行中肋。

### 2. 其他闊葉樹

本報告所觀察 26 種闊葉樹具 1 至多層次表皮。葉肉分化柵狀組織及



海綿組織(圖 4-2-4)，前者緊鄰上表皮，在橫切面上呈桿狀，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。海綿薄壁細胞的形狀變異大，不規則多面體形至球形，排列疏鬆，留有許多細胞間隙，葉綠體含量依樹種而異，或較柵狀組織少，或沒有明顯差異。

紅楠和冇樟等樟科植物均具有油腔( Oil cavities) (圖 4-2-4)，橫切面上呈圓形至橢圓形，散佈柵狀組織或海綿組織中，數倍大於周圍葉肉薄壁細胞。

從稜果榕葉片橫切面看來，在海綿組織中的石囊( lithocysts )內，具有明顯的鐘乳狀結晶( cystolith )。

### (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，其內木質部居向軸(adaxial)面，韌皮部居背軸( abaxial )面，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轉輸組織( transfusion tissue )，含有管胞( tracheid )和薄壁細胞。

#### 2. 其他闊葉樹

本報告所列之 26 種代表性優勢闊葉樹種也具有一明顯中肋，其並生維管束內，木質部居向軸面，韌皮部居背軸面者。並生維管束呈半環形的，如革葉冬青、山紅柿、裏白饅頭果、冇樟、紅楠、墨點櫻桃、小花老鼠刺和大頭茶等；並生維管束亦有近環形的，如倒卵葉冬青、西施花、杜英、薯豆、水金京、稜果榕、大明橘和木荷，及並生維管束呈環形，如楊桐。維管束外圍有層狀或局部群聚之厚壁組織組成之

韌皮纖維。

觀察「坪林台灣油杉自然保留區」之 A、C、D 區、坪林國小、福山植物園及台電訓練所園區內各台灣油杉樣株，及 A、C、D 區和 D 區至 3 號豎井間之代表性優勢闊葉樹葉片構造，其結果如表一所描述。

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

| 系統、株號(圖號)                                      | 組織樹種<br>下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |      | 中心脈 |     |
|------------------------------------------------|----------------------|------|------|-----|-----|
|                                                |                      | 柵狀組織 | 海綿組織 | 木質部 | 韌皮部 |
| 台灣油杉_台電訓練所園區<br>(圖 4-2-5、圖 4-2-6)              | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-廁(入_5)<br>(圖 4-2-7、圖 4-2-8)         | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-廁(入_6)<br>(圖 4-2-9、圖 4-2-10)        | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-鐵 1<br>(表一續)<br>(圖 4-2-11、圖 4-2-12) | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-鐵 2<br>(圖 4-2-13、圖 4-2-14)          | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-鐵幼 5<br>(圖 4-2-15、圖 4-2-16)         | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-廁(出_1)<br>(圖 4-2-17、圖 4-2-18)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-廁(出_5)<br>(圖 4-2-19、圖 4-2-20)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-近工作站(圖<br>4-2-21、圖 4-2-22)          | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_福山植物園-遠工作站(圖<br>4-2-23、圖 4-2-24)          | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_坪林國小_1 年生<br>(圖 4-2-25、圖 4-2-26)          | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_坪林國小_2 年生<br>(圖 4-2-27、圖 4-2-28)          | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A001<br>(圖 4-2-29、圖 4-2-30)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A002<br>(圖 4-2-31、圖 4-2-32)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A003<br>(圖 4-2-33、圖 4-2-34)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A004<br>(圖 4-2-35、圖 4-2-36)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A005<br>(圖 4-2-37、圖 4-2-38)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A006<br>(圖 4-2-39、圖 4-2-40)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A007                                      | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |

| 系統、株號(圖號)                                   | 組織樹種<br>下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |      | 中心脈 |     |
|---------------------------------------------|----------------------|------|------|-----|-----|
|                                             |                      | 柵狀組織 | 海綿組織 | 木質部 | 韌皮部 |
| (圖 4-2-41、圖 4-2-42)                         |                      |      |      |     |     |
| 台灣油杉 A008<br>(圖 4-2-43、圖 4-2-44)            | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A009<br>(圖 4-2-45、圖 4-2-46)            | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A010<br>(圖 4-2-47、圖 4-2-48)            | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A011<br>(圖 4-2-49、圖 4-2-50)            | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A012<br>(圖 4-2-51、圖 4-2-52a、圖 4-2-52b) | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A013<br>(圖 4-2-53、圖 4-2-54)            | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 A014<br>(圖 4-2-55、圖 4-2-56)            | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| A 區冇樟<br>(圖 4-2-57a、圖 4-2-57b、圖 4-2-58)     | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| A 區紅楠<br>(圖 4-2-59a、圖 4-2-59b、圖 4-2-60)     | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| A 區西施花<br>(圖 4-2-61、圖 4-2-62)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| A 區楊桐<br>(圖 4-2-63、圖 4-2-64)                | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| A 區長尾柯<br>(圖 4-2-65、圖 4-2-66)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C037_1 年生<br>(圖 4-2-67、圖 4-2-68)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C037_2 年生<br>(圖 4-2-69、圖 4-2-70)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C038_1 年生<br>(圖 4-2-71、圖 4-2-72)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C038_2 年生<br>(圖 4-2-73、圖 4-2-74)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C050_1 年生<br>(圖 4-2-75、圖 4-2-76)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C050_2 年生<br>(圖 4-2-77、圖 4-2-78)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C055_1 年生<br>(圖 4-2-79、圖 4-2-80)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C055_2 年生<br>(圖 4-2-81、圖 4-2-82)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C056_1 年生<br>(圖 4-2-83、圖 4-2-84)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C056_2 年生<br>(圖 4-2-85、圖 4-2-86)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 C060_1 年生<br>(圖 4-2-87、圖 4-2-88)       | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |



| 系統、株號(圖號)                                           | 組織樹種<br>下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |      | 中心脈   |     |
|-----------------------------------------------------|----------------------|------|------|-------|-----|
|                                                     |                      | 柵狀組織 | 海綿組織 | 木質部   | 韌皮部 |
| 台灣油杉 C060_2 年生<br>(圖 4-2-89、圖 4-2-90)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C067_1 年生<br>(圖 4-2-91、圖 4-2-92)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C067_2 年生<br>(圖 4-2-93、圖 4-2-94)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C070_1 年生<br>(圖 4-2-95、圖 4-2-96)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C070_2 年生<br>(圖 4-2-97、圖 4-2-98)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C076_1 年生<br>(圖 4-2-99、圖 4-2-100)              | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C076_2 年生<br>(圖 4-2-101、圖 4-2-102)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C077_1 年生<br>(圖 4-2-103、圖 4-2-104)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 C077_2 年生<br>(圖 4-2-105、圖 4-2-106)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| C 區紅皮<br>(圖 4-2-107、圖 4-2-108)                      | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| C 區長尾柯<br>(圖 4-2-109、圖 4-2-110)                     | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| C 區奧氏虎皮楠<br>(圖 4-2-111、圖 4-2-112)                   | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| C 區山紅柿<br>(圖 4-2-113、圖 4-2-114)                     | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D001_1 年生<br>(圖 4-2-115、圖 4-2-116)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D001_2 年生<br>(圖 4-2-117、圖 4-2-118)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D004_1 年生<br>(圖 4-2-119、圖 4-2-120)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D004_2 年生<br>(圖 4-2-121、圖 4-2-122)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D008_1 年生<br>(圖 4-2-123、圖 4-2-124a、圖 4-2-124b) | 正常<br>(上表皮亦有)        | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D008_2 年生<br>(圖 4-2-125、圖 4-2-126)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D051_1 年生<br>(圖 4-2-127a、圖 4-2-127b、圖 4-2-128) | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
|                                                     |                      |      |      | 中肋處異常 |     |
| 台灣油杉 D051_2 年生<br>(圖 4-2-129、圖 4-2-130)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D052_1 年生<br>(圖 4-2-131、圖 4-2-132)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D052_2 年生<br>(圖 4-2-133、圖 4-2-134)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |
| 台灣油杉 D054_1 年生                                      | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常    | 正常  |

| 系統、株號(圖號)<br>組織樹種                                                 | 下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |             | 中心脈 |     |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|------|-------------|-----|-----|
|                                                                   |              | 柵狀組織 | 海綿組織        | 木質部 | 韌皮部 |
| (圖 4-2-135、圖 4-2-136)                                             |              |      |             |     |     |
| 台灣油杉 D054_2 年生<br>(圖 4-2-137、圖 4-2-138)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D055_1 年生<br>(圖 4-2-139、圖 4-2-140)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D055_2 年生<br>(圖 4-2-141、圖 4-2-142)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D056_1 年生<br>(圖 4-2-143、圖 4-2-144)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D056_2 年生<br>(圖 4-2-145、圖 4-2-146)                           | 正常           | 正常   | 膨大的<br>葉肉細胞 | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D060_1 年生<br>(圖 4-2-147、圖 4-2-148)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D060_2 年生<br>(圖 4-2-149、圖 4-2-150)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D070_1 年生<br>(圖 4-2-151、圖 4-2-152)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉 D070_2 年生<br>(圖 4-2-153、圖 4-2-154)                           | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| D 區江某(1100-1)<br>(圖 4-2-155、圖 4-2-156a、圖 4-2-156b)                | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| D 區稜果榕(1100-2)<br>(圖 4-2-157、圖 4-2-158、<br>圖 4-2-159a、圖 4-2-159b) | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| D 區裏白饅頭果(1100-3)<br>(圖 4-2-160、圖 4-2-161a、圖 4-2-161b)             | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 000-1 紅楠<br>(圖 4-2-162、圖 4-2-163、<br>圖 4-2-164a、圖 4-2-164b)       | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 000-2 細葉饅頭果<br>(圖 4-2-165、圖 4-2-166)                              | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 000-3 江某<br>(圖 4-2-167、圖 4-2-168)                                 | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 100-1 水金京<br>(圖 4-2-169、圖 4-2-170a、圖 4-2-170b)                    | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 100-2 裏白饅頭果<br>(圖 4-2-171、圖 4-2-172、<br>圖 4-2-173a、圖 4-2-173b)    | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 100-3 樹杞<br>(圖 4-2-174a、圖 4-2-174b、<br>圖 4-2-175a、圖 4-2-175b)     | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 200-1 紅葉樹<br>(圖 4-2-176、圖 4-2-177、<br>圖 4-2-178a、圖 4-2-178b)      | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 200-2 裏白饅頭果<br>(圖 4-2-179、圖 4-2-180)                              | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |
| 200-3 長尾柯<br>(圖 4-2-181、圖 4-2-182)                                | 正常           | 正常   | 正常          | 正常  | 正常  |

| 系統、株號(圖號)                                                     | 組織樹種<br>下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |      | 中心脈 |     |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|------|------|-----|-----|
|                                                               |                      | 柵狀組織 | 海綿組織 | 木質部 | 韌皮部 |
| 300-1 革葉冬青<br>(圖 4-2-183、圖 4-2-184)                           | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 300-2 江某<br>(圖 4-2-185、圖 4-2-186a、圖 4-2-186b)                 | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 300-3 革葉冬青<br>(圖 4-2-187、圖 4-2-188a、圖 4-2-188b)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 400-1 革葉冬青<br>(圖 4-2-189、圖 4-2-190)                           | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 400-2 江某<br>(圖 4-2-191、圖 4-2-192a、圖 4-2-192b)                 | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 400-3 墨點櫻桃<br>(圖 4-2-193、圖 4-2-194a、圖 4-2-194b)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 500-1 江某<br>(圖 4-2-195a、圖 4-2-195b、圖 4-2-196)                 | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 500-2 裏白饅頭果<br>(圖 4-2-197、圖 4-2-198)                          | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 500-3 木荷<br>(圖 4-2-199a、圖 4-2-199b、<br>圖 4-2-200a、圖 4-2-200b) | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 600-1 水金京<br>(圖 4-2-201、圖 4-2-202a、圖 4-2-202b)                | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 600-2 領垂豆<br>(圖 4-2-203、圖 4-2-204a、圖 4-2-204b)                | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 600-3 大頭茶<br>(圖 4-2-205、圖 4-2-206a、圖 4-2-206b)                | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 700-1 墨點櫻桃<br>(圖 4-2-207、圖 4-2-208)                           | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 700-2 長尾柯<br>(圖 4-2-209、圖 4-2-210、<br>圖 4-2-211a、圖 4-2-211b)  | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 700-3 杜英<br>(圖 4-2-212、圖 4-2-213a、圖 4-2-213b)                 | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 900-1 薯豆<br>(圖 4-2-214、圖 4-2-215a、圖 4-2-215b)                 | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 900-2 細葉饅頭果<br>(圖 4-2-216、圖 4-2-217a、圖 4-2-217b)              | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 900-3 小花老鼠刺<br>(圖 4-2-218、圖 4-2-219a、圖 4-2-219b)              | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 1000-1 大明橘<br>(圖 4-2-220、圖 4-2-221a、圖 4-2-221b)               | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 1000-2 青剛櫟<br>(圖 4-2-222、圖 4-2-223、<br>圖 4-2-224a、圖 4-2-224b) | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |
| 1000-3 倒卵葉冬青<br>(圖 4-2-225、圖 4-2-226a、圖 4-2-226b)             | 正常                   | 正常   | 正常   | 正常  | 正常  |

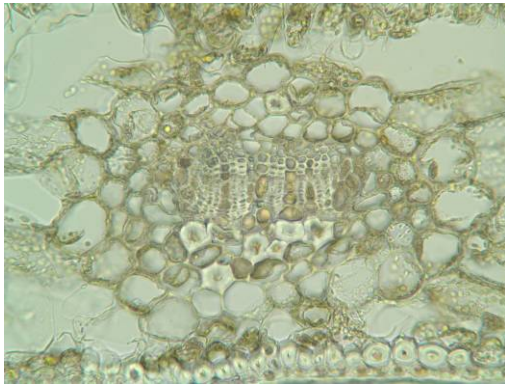


圖 4-2-5 台電訓練所園區\_台灣油杉(200×)中肋

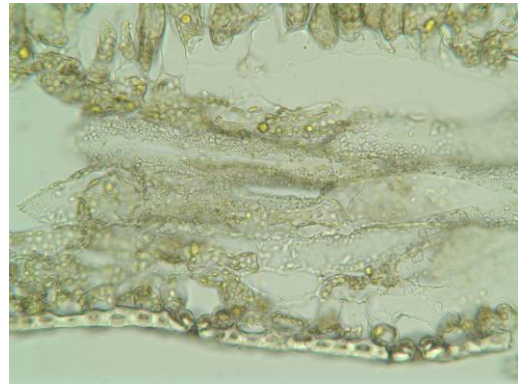


圖 4-2-6 台電訓練所園區\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

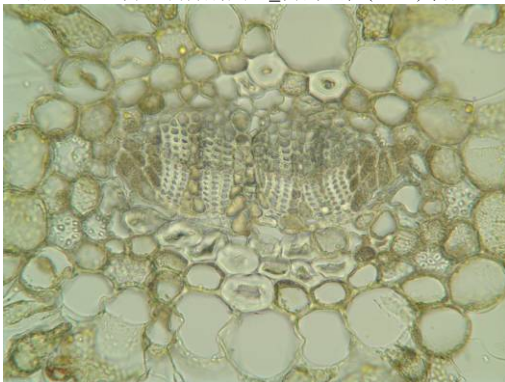


圖 4-2-7 福山植物園-廁(入\_5)\_台灣油杉(200×)中肋

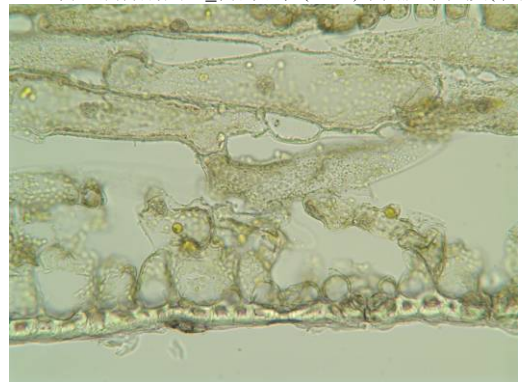


圖 4-2-8 福山植物園-廁(入\_5)\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-9 福山植物園-廁(入\_6)\_台灣油杉(200×)中肋

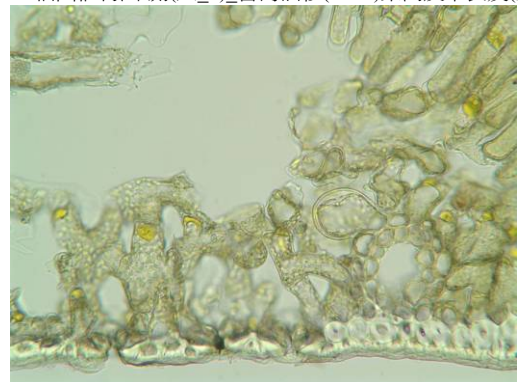


圖 4-2-10 福山植物園-廁(入\_6)\_台灣油杉(200×)  
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-11 福山植物園-鐵 1\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-12 福山植物園-鐵 1\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



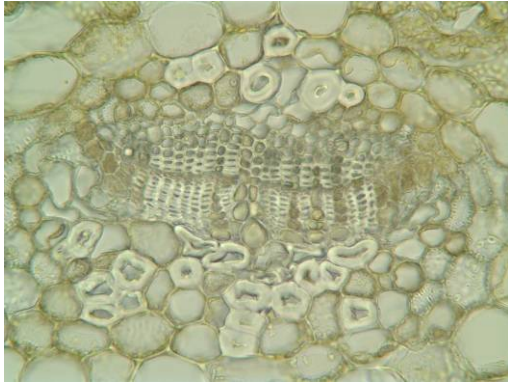


圖 4-2-13 福山植物園-鐵 2\_台灣油杉(200×)中肋

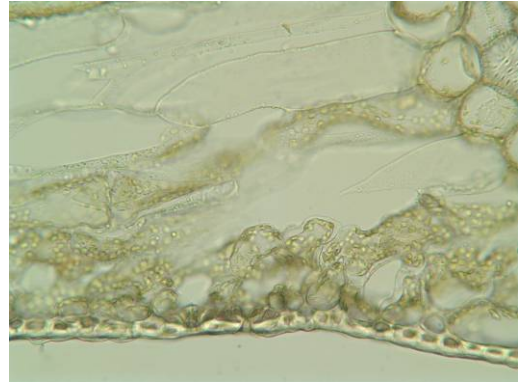


圖 4-2-14 福山植物園-鐵 2\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

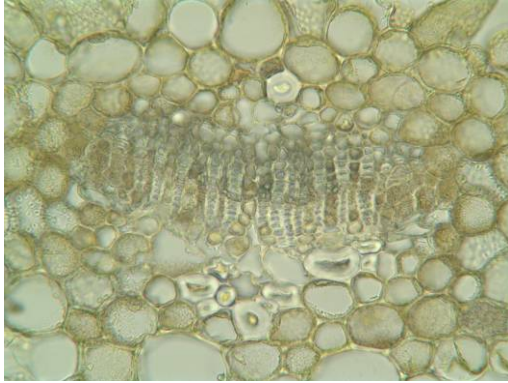


圖 4-2-15 福山植物園-鐵幼 5\_台灣油杉(200×)中肋

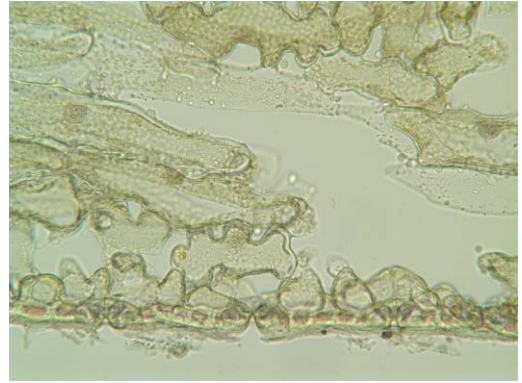


圖 4-2-16 福山植物園-鐵幼 5\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-17 福山植物園-廁(出\_1)\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-18 福山植物園-廁(出\_1)\_台灣油杉(200×)  
葉肉及下表皮(氣孔)

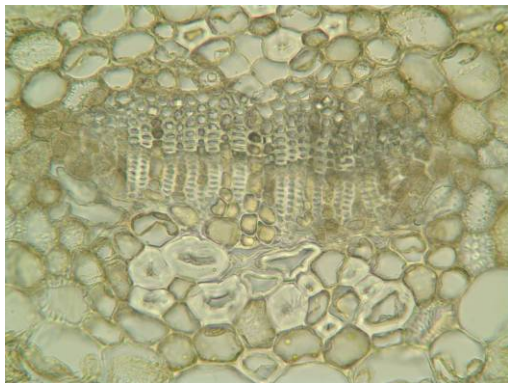


圖 4-2-19 福山植物園-廁(出\_5)\_台灣油杉(200×)中肋

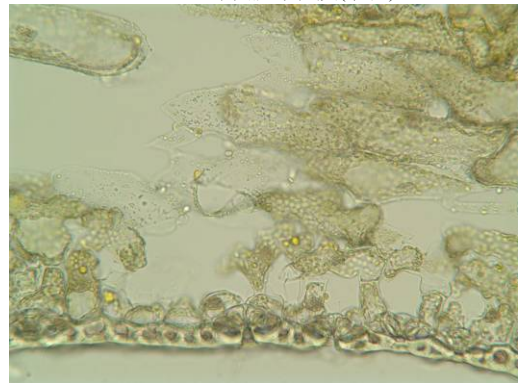


圖 4-2-20 福山植物園-廁(出\_5)\_台灣油杉  
(200×)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-21 福山植物園-近工作站\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-22 福山植物園-近工作站\_台灣油杉(200×)  
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-23 福山植物園-遠工作站\_台灣油杉(200×)中肋

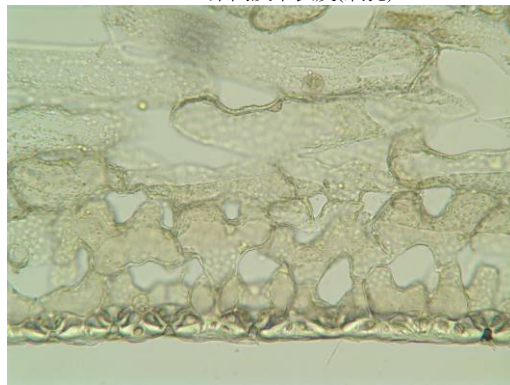


圖 4-2-24 福山植物園-遠工作站\_台灣油杉(200×)  
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-25 台灣油杉\_坪林國小\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-26 台灣油杉\_坪林國小\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

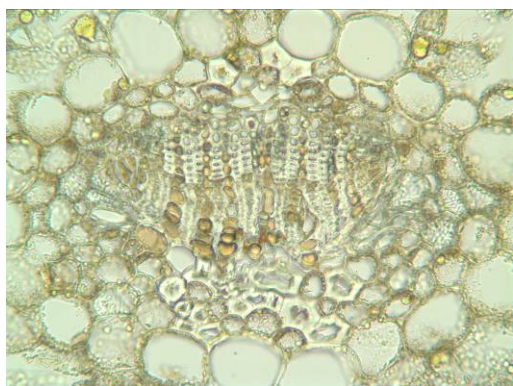


圖 4-2-27 台灣油杉\_坪林國小\_2 年生(200X)中肋

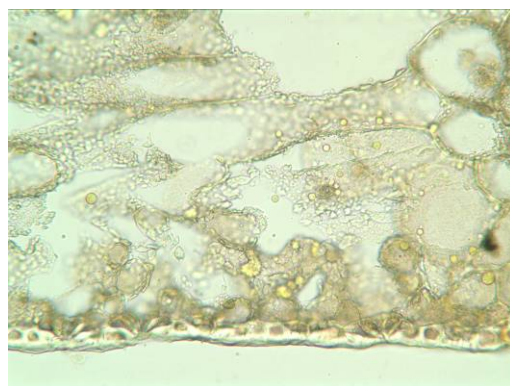


圖 4-2-28 台灣油杉\_坪林國小\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



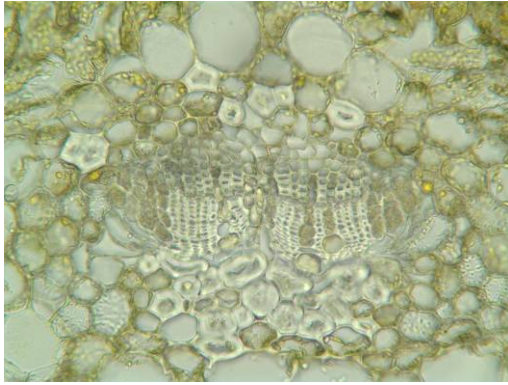


圖 4-2-29 A001\_台灣油杉(200×)中肋

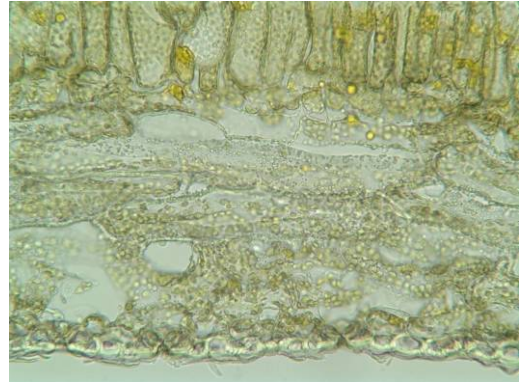


圖 4-2-30 A001\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

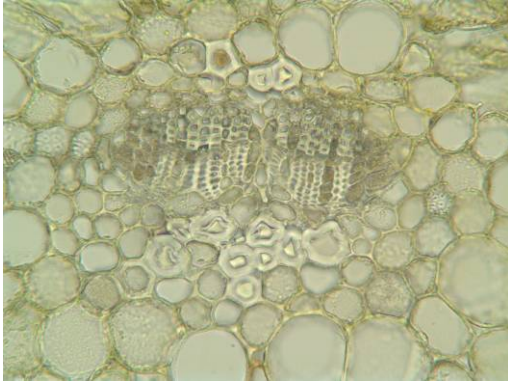


圖 4-2-31 A002\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-32 A002\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

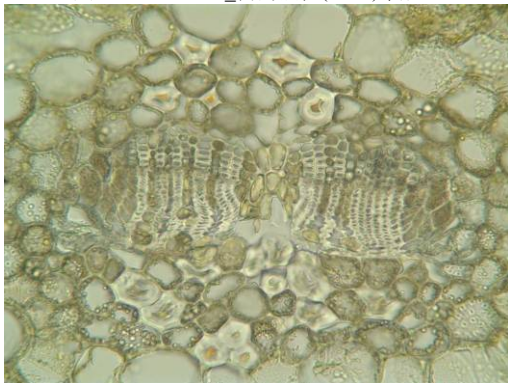


圖 4-2-33 A003\_台灣油杉(200×)中肋

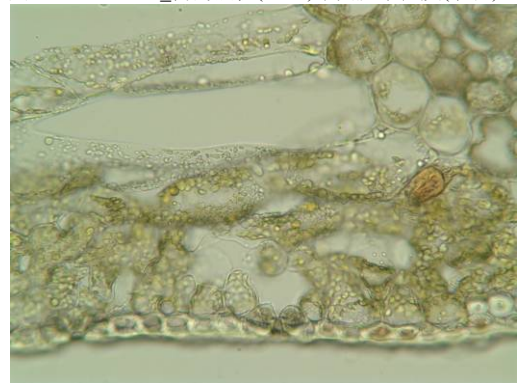


圖 4-2-34 A003\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-35 A004\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-36 A004\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



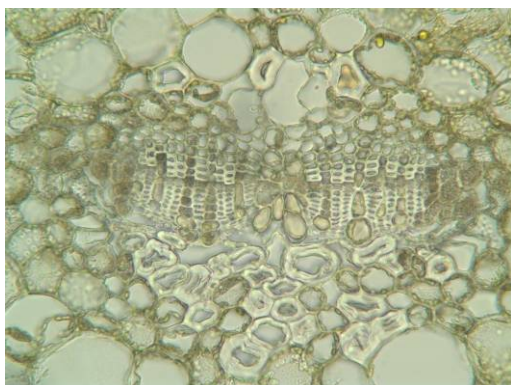


圖 4-2-37 A005\_台灣油杉(200×)中肋

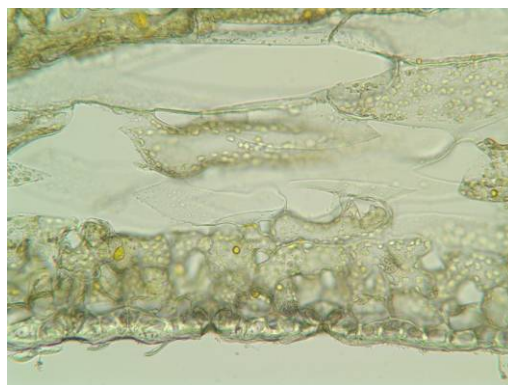


圖 4-2-38 A005\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

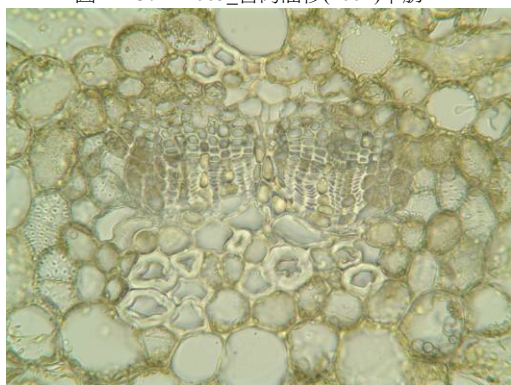


圖 4-2-39 A006\_台灣油杉(200×)中肋

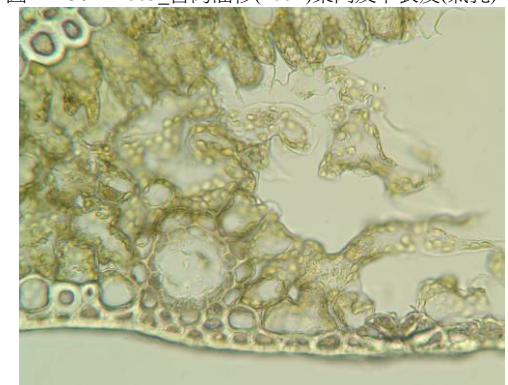


圖 4-2-40 A006\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

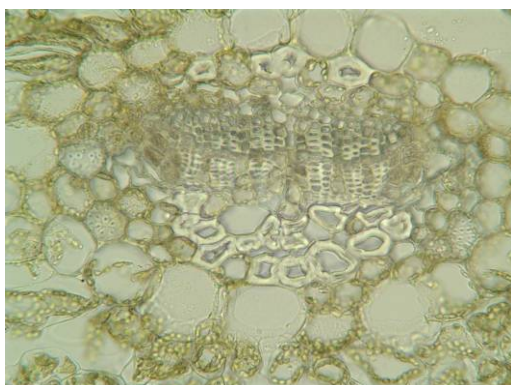


圖 4-2-41 A007\_台灣油杉(200×)中肋

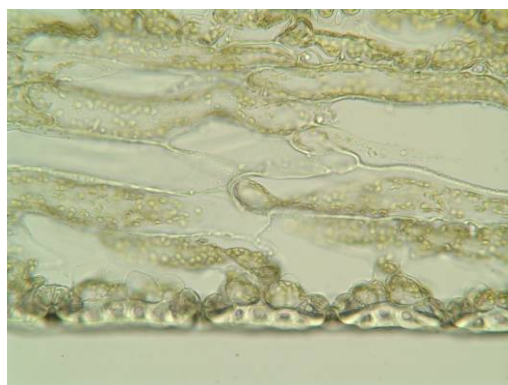


圖 4-2-42 A007\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

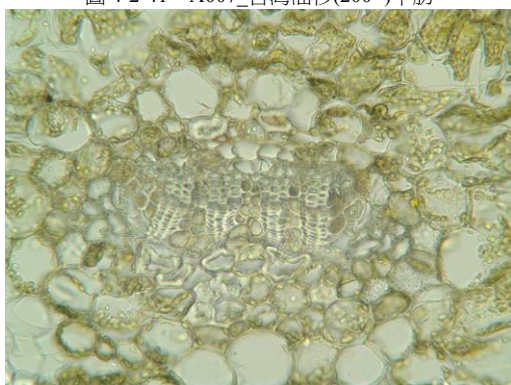


圖 4-2-43 A008\_台灣油杉(200×)中肋

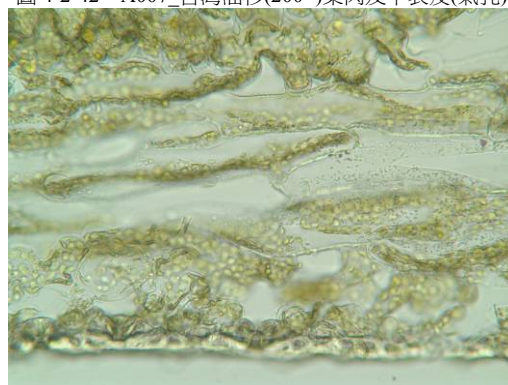


圖 4-2-44 A008\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



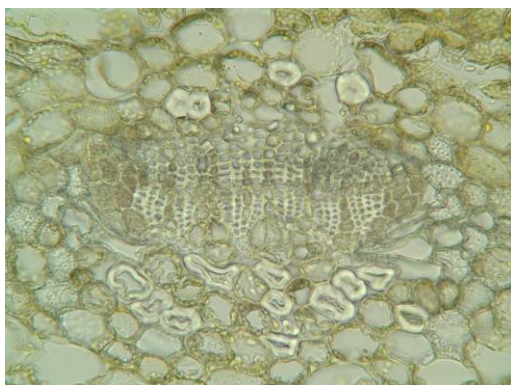


圖 4-2-45 A009\_台灣油杉(200×)中肋

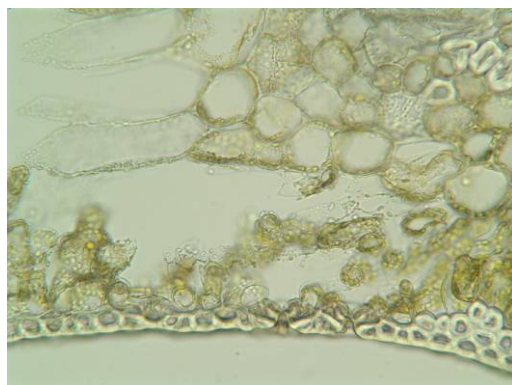


圖 4-2-46 A009\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

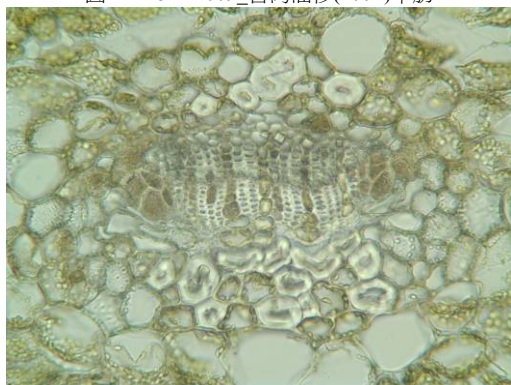


圖 4-2-47 A010\_台灣油杉(200×)中肋

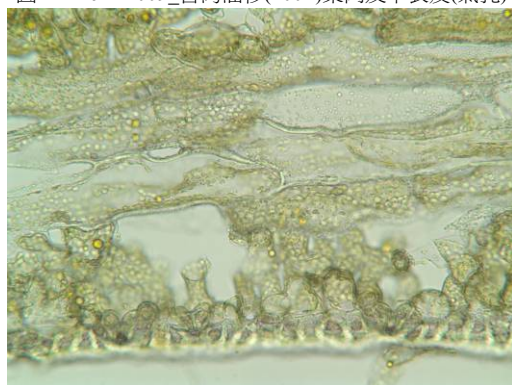


圖 4-2-48 A010\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

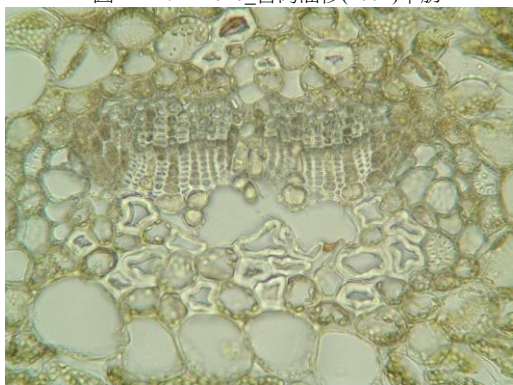


圖 4-2-49 A011\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-50 A011\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-51a A012\_台灣油杉(200×)中肋

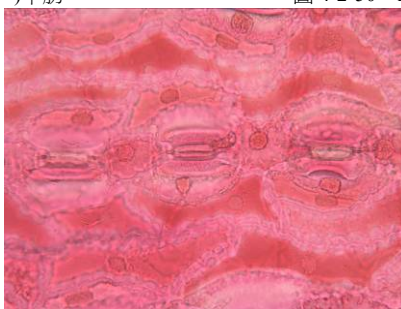


圖 4-2-52a A012\_台灣油杉(400×)  
下表皮及氣孔正面

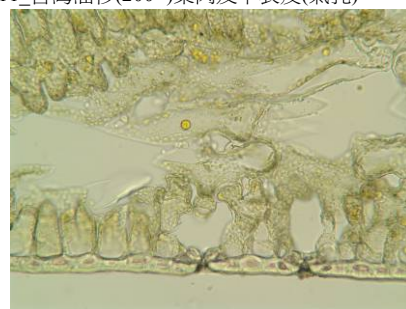


圖 4-2-52b A012\_台灣油杉(200×)  
)葉肉及下表皮(氣孔)



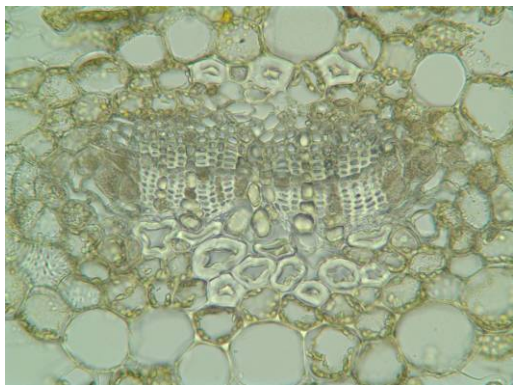


圖 4-2-53 A013\_台灣油杉(200×)中肋

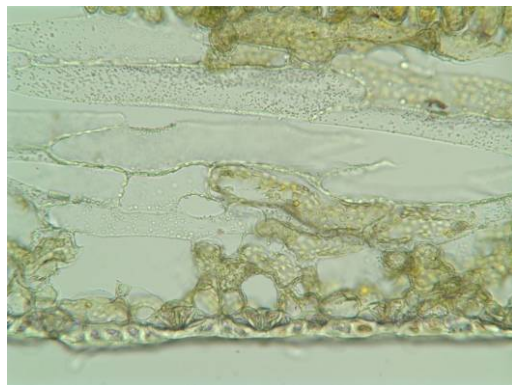


圖 4-2-54 A013\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-55 A014\_台灣油杉(200×)中肋



圖 4-2-56 A014\_台灣油杉(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-57a A 區冇樟(40×)中肋

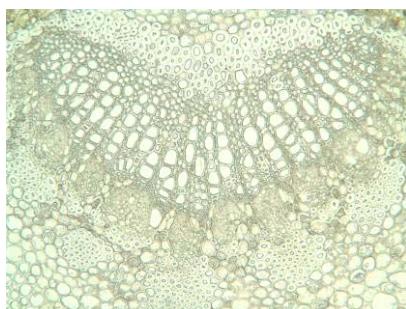


圖 4-2-57b A 區冇樟(100×)中肋



圖 4-2-58 A 區冇樟(400×)  
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-59a A 區紅楠(100×)中肋

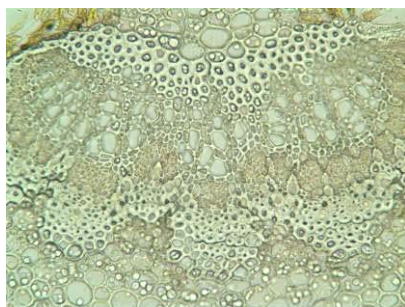


圖 4-2-59b A 區紅楠(200×)中肋



圖 4-2-60 A 區紅楠(200×)  
葉肉及下表皮(氣孔)



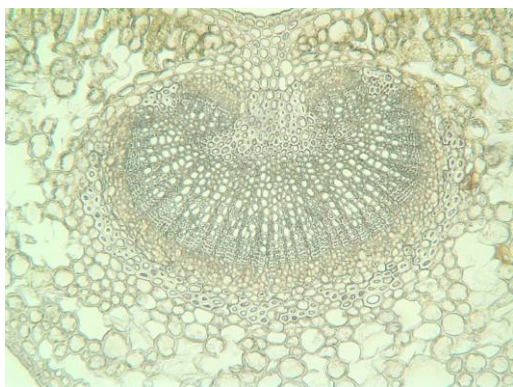


圖 4-2-61 A 區西施花(100×)中肋



圖 4-2-62 A 區西施花(400×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-63 A 區楊桐(100×)中肋



圖 4-2-64 A 區楊桐(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



圖 4-2-65 A 區長尾柯(100×)中肋



圖 4-2-66 A 區長尾柯(400×)葉肉及下表皮(氣孔)

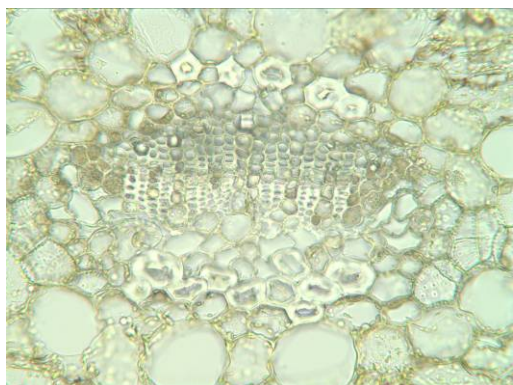


圖 4-2-67 C037\_台灣油杉\_1年生(200X)中肋



圖 4-2-68 C037\_台灣油杉\_1年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-69 C037\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

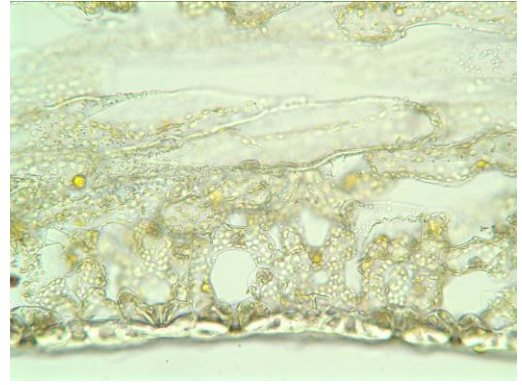


圖 4-2-70 C037\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

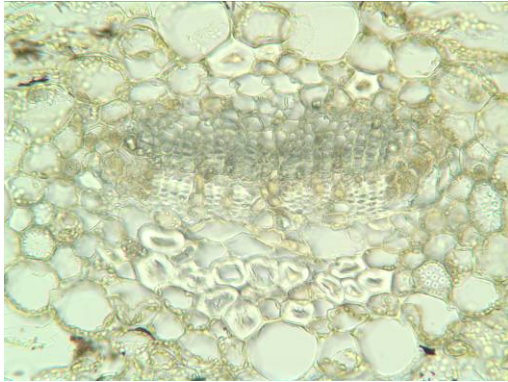


圖 4-2-71 C038\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

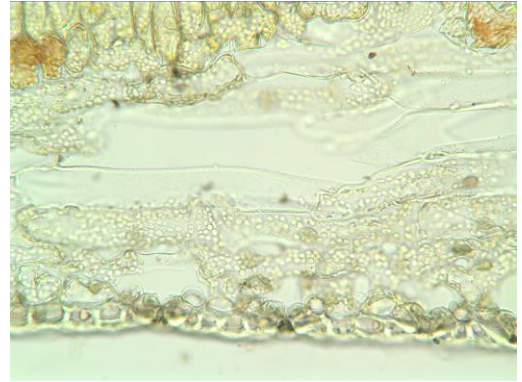


圖 4-2-72 C038\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-73 C038\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

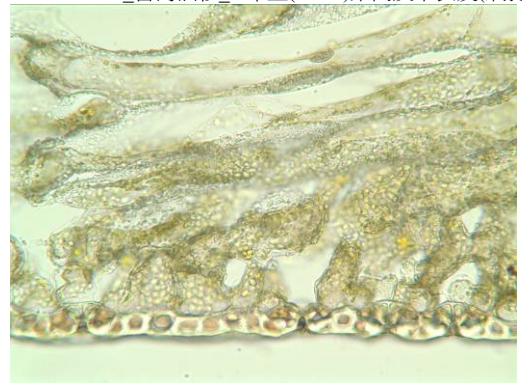


圖 4-2-74 C038\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-75 C050\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-76 C050\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



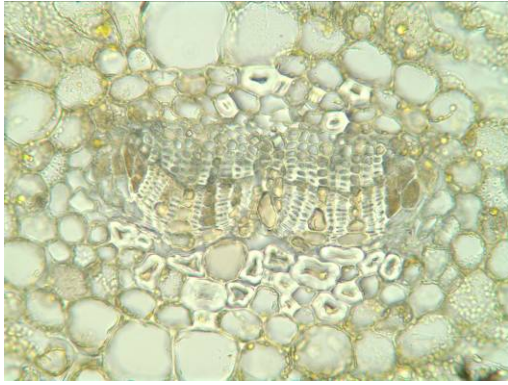


圖 4-2-77 C050\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

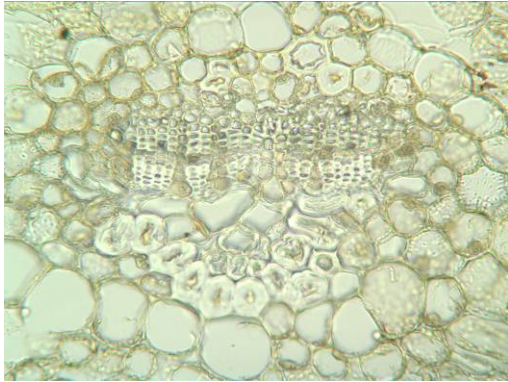


圖 4-2-79 C055\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

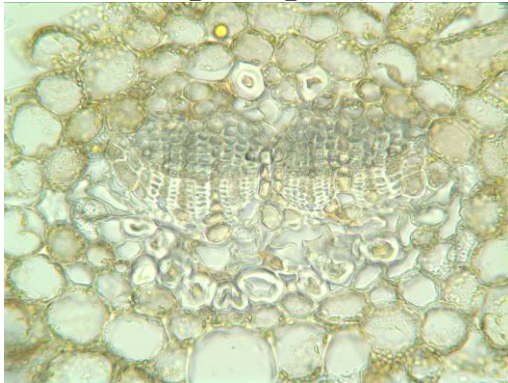


圖 4-2-81 C055\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

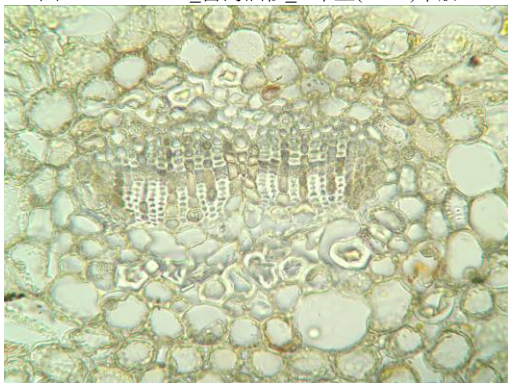


圖 4-2-83 C056\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

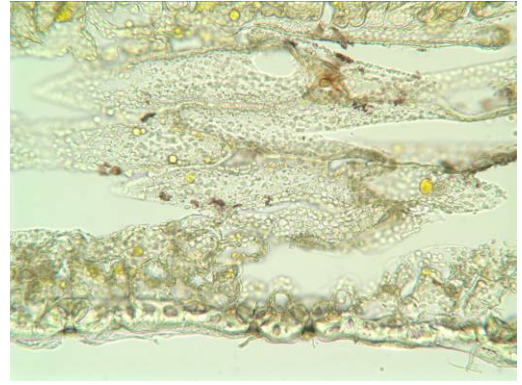


圖 4-2-78 C050\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

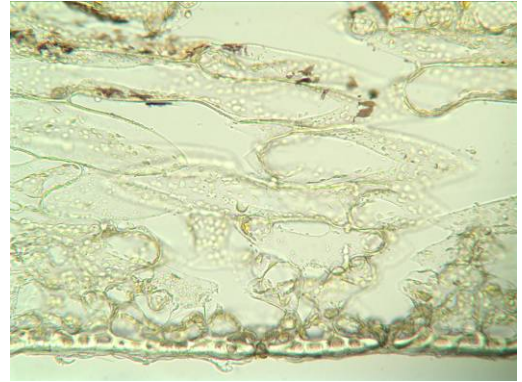


圖 4-2-80 C055\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

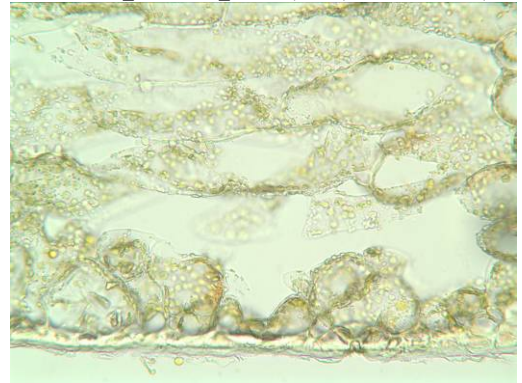


圖 4-2-82 C055\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-84 C056\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



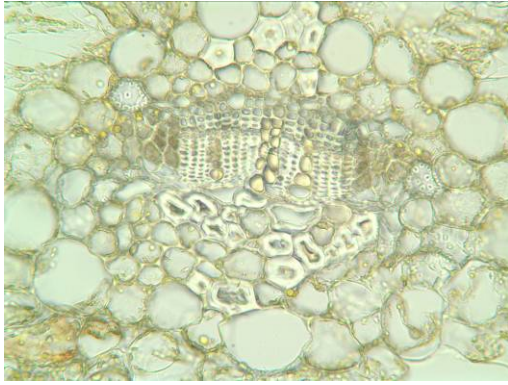


圖 4-2-85 C056\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

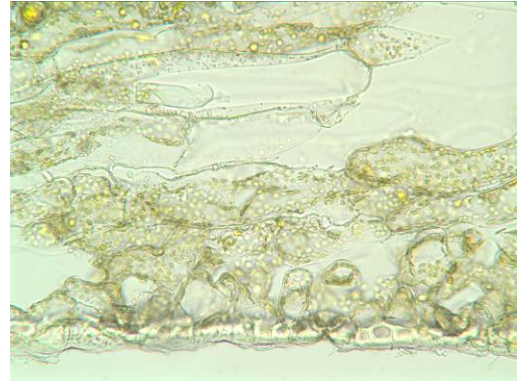


圖 4-2-86 C056\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-87 C060\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

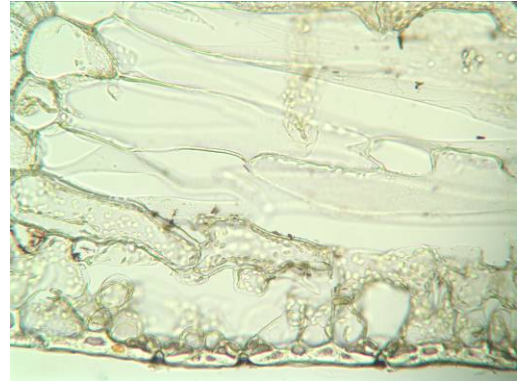


圖 4-2-88 C060\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-89 C060\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-90 C060\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-91 C067\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-92 C067\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-93 C067\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-95 C070\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-97 C070\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-99 C076\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

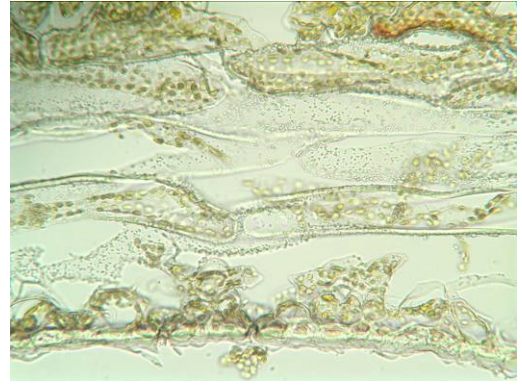


圖 4-2-94 C067\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

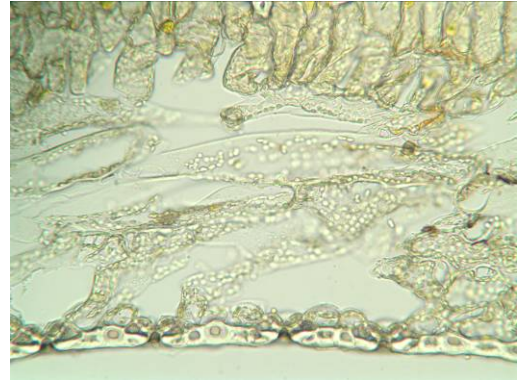


圖 4-2-96 C070\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

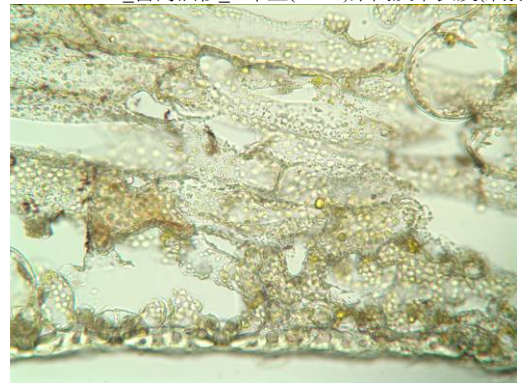


圖 4-2-98 C070\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-100 C076\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-101 C076\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

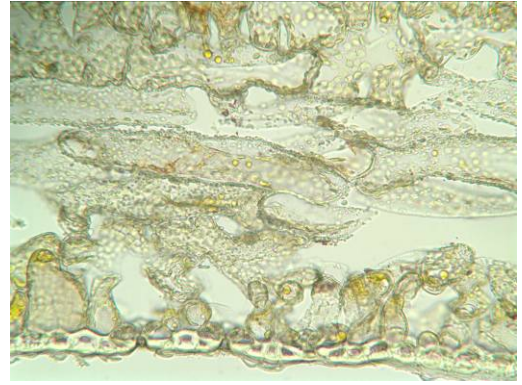


圖 4-2-102 C076\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-103 C077\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-104 C077\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-105 C077\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

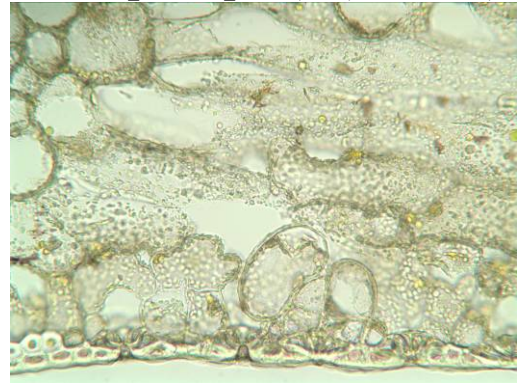


圖 4-2-106 C077\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

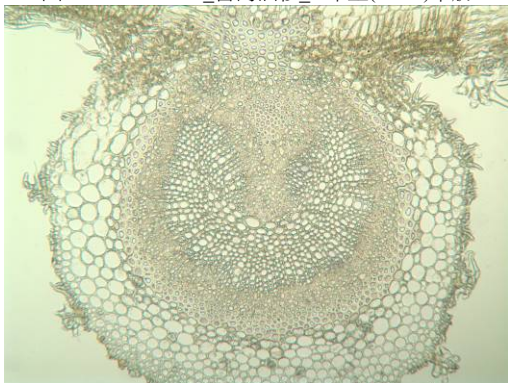


圖 4-2-107 C 區紅皮(100X)中肋



圖 4-2-108 C 區紅皮(400X)葉肉及下表皮(氣孔)



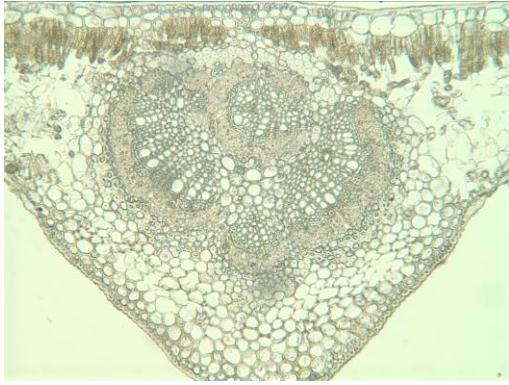


圖 4-2-109 C 區長尾柯(100×)中肋



圖 4-2-111 C 區奧氏虎皮楠(100×)中肋

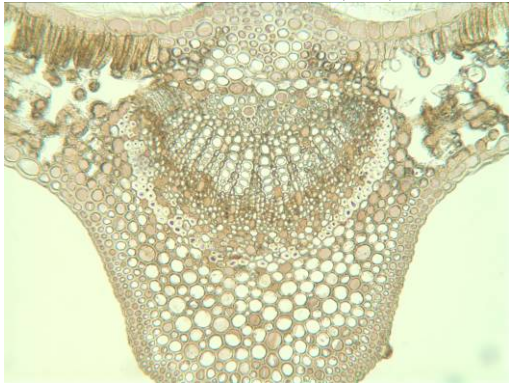


圖 4-2-113 C 區山紅柿(100×)中肋

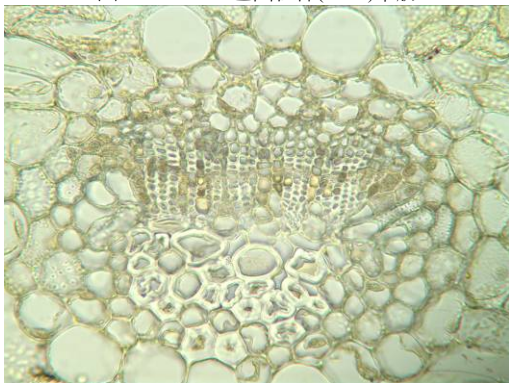


圖 4-2-115 D001\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

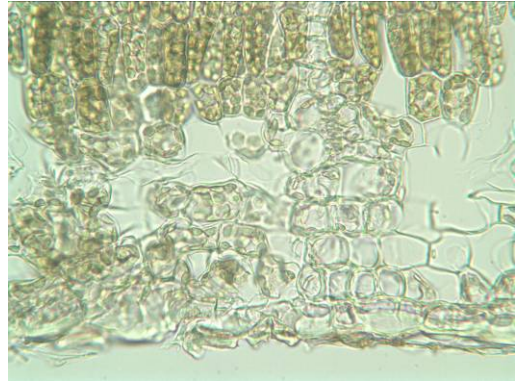


圖 4-2-110 C 區長尾柯(400X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-112 C 區奧氏虎皮楠(400X)葉肉及下表皮(氣孔)

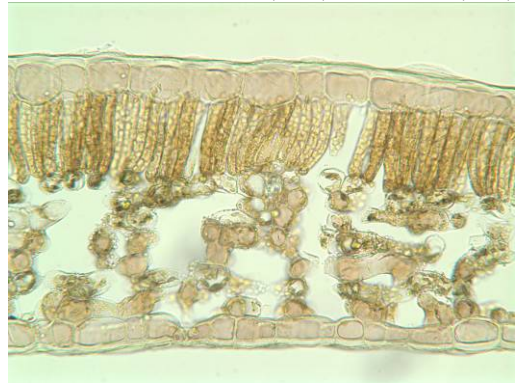


圖 4-2-114 C 區山紅柿(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-116 D001\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



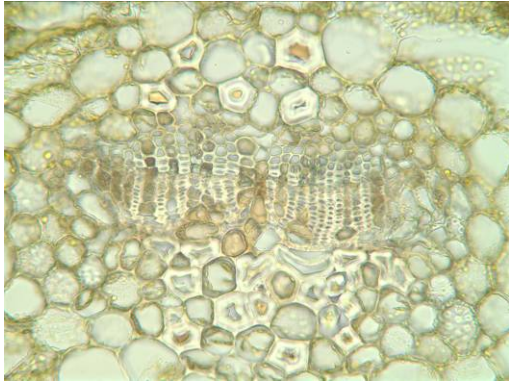


圖 4-2-117 D001\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

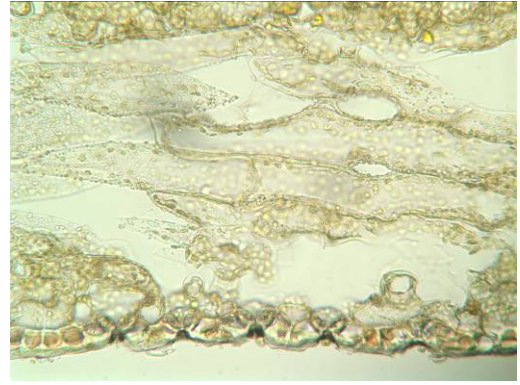


圖 4-2-118 D001\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-119 D004\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

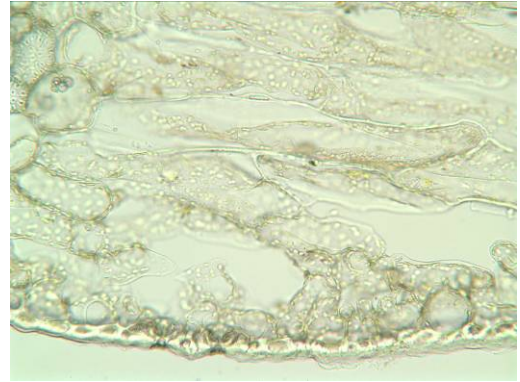


圖 4-2-120 D004\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

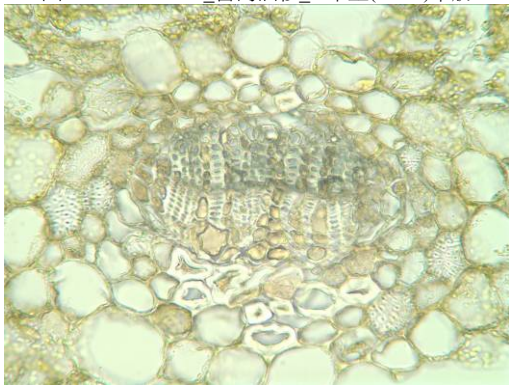


圖 4-2-121 D004\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

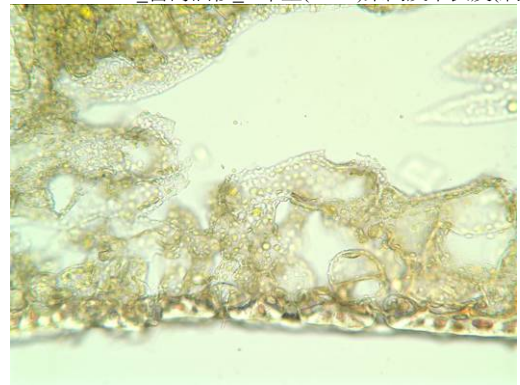


圖 4-2-122 D004\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-123 D008\_台灣油杉\_1 年生  
(200X)中肋

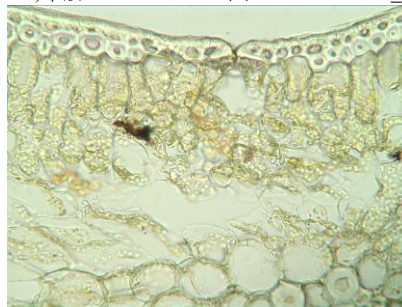


圖 4-2-124a D008\_台灣油杉\_1 年生  
(200X)葉肉及上表皮(氣孔)

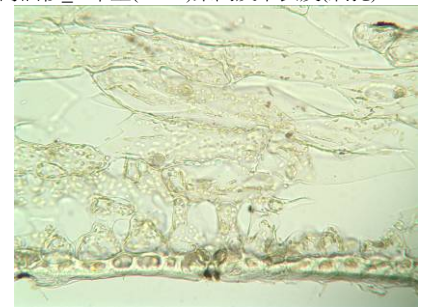


圖 4-2-124b D008\_台灣油杉\_1 年生  
(200X)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-125 D008\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

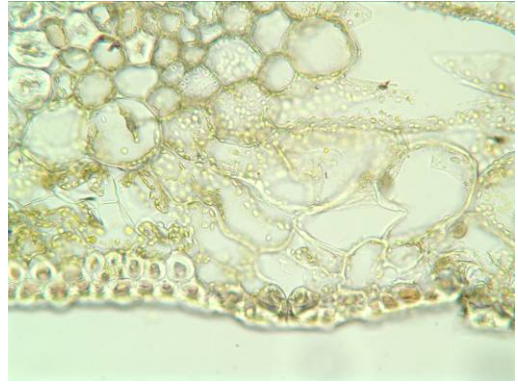


圖 4-2-126 D008\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

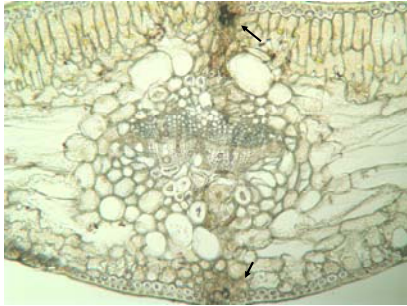


圖 4-2-127a D051\_台灣油杉\_1 年生  
(100X)中肋(切片 1)。



圖 4-2-127b D051\_台灣油杉\_1 年生(200X)  
中肋(切片 2)



圖 4-2-128 D051\_台灣油杉\_1 年生(200X)  
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-129 D051\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋

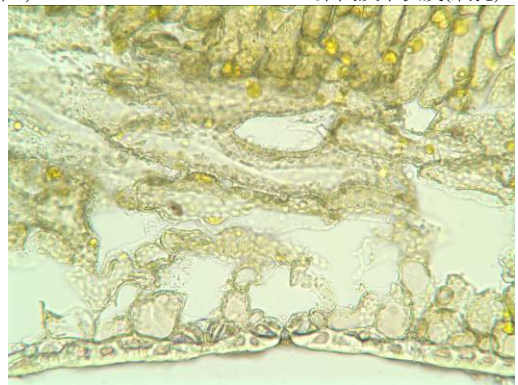


圖 4-2-130 D0051\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

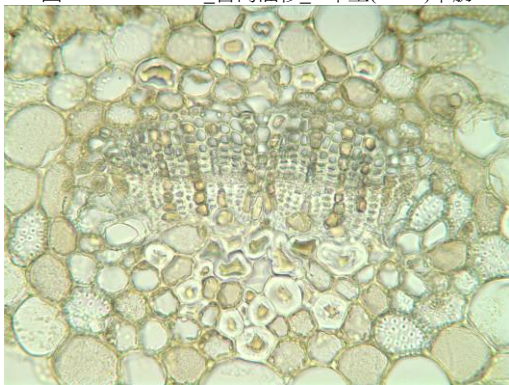


圖 4-2-131 D052\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-132 D052\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



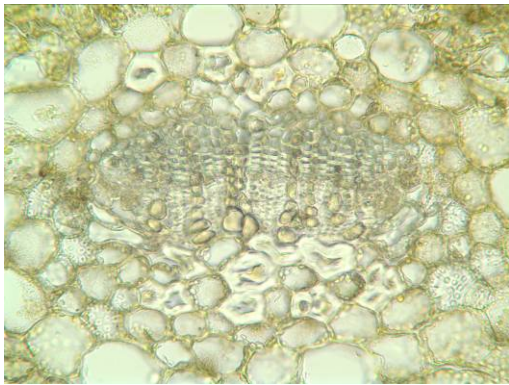


圖 4-2-133 D052\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-135 D054\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

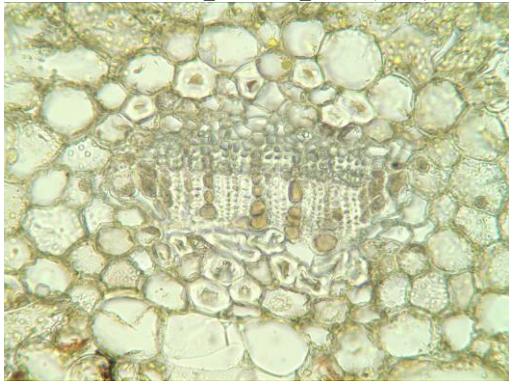


圖 4-2-137 D0054\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-139 D0055\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-134 D052\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

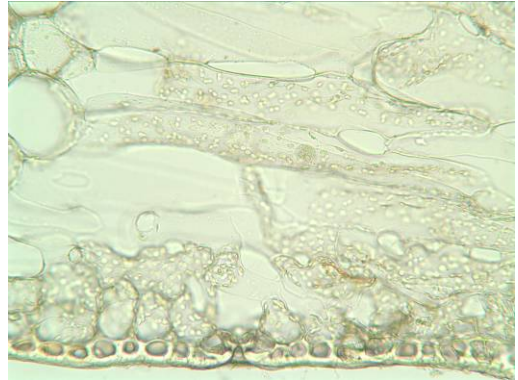


圖 4-2-136 D054\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-138 D054\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

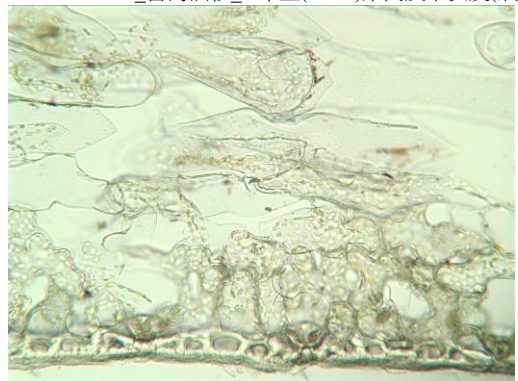


圖 4-2-140 D055\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



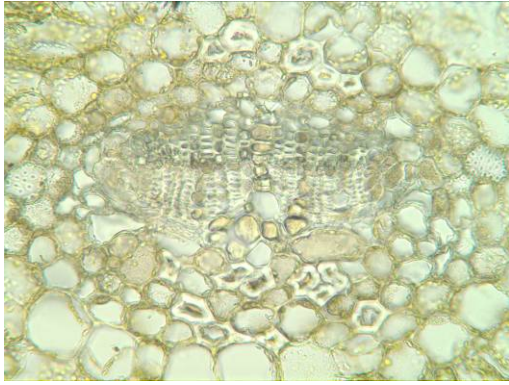


圖 4-2-141 D055\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-143 D056\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋



圖 4-2-145 D056\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-147 D060\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

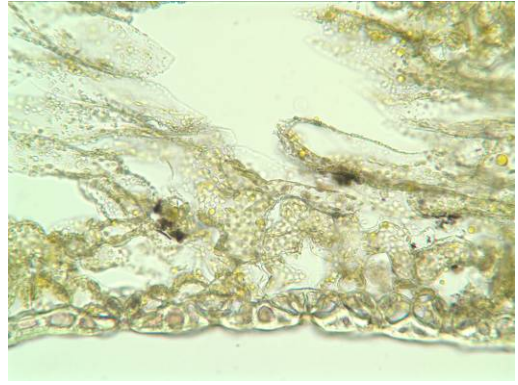


圖 4-2-142 D055\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-144 D056\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-146 D056\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-148 D060\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉緣(氣孔)





圖 4-2-149 D060\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-150 D060\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

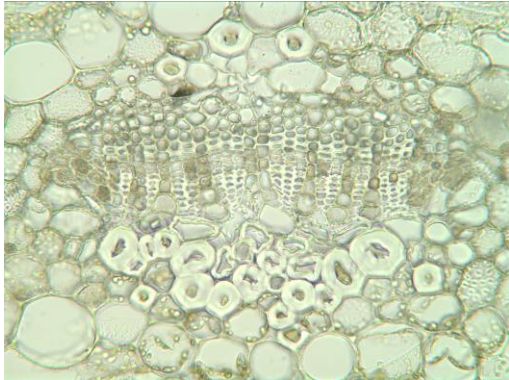


圖 4-2-151 D070\_台灣油杉\_1 年生(200X)中肋

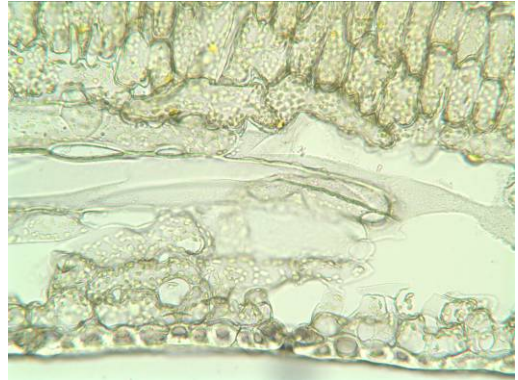


圖 4-2-152 D070\_台灣油杉\_1 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

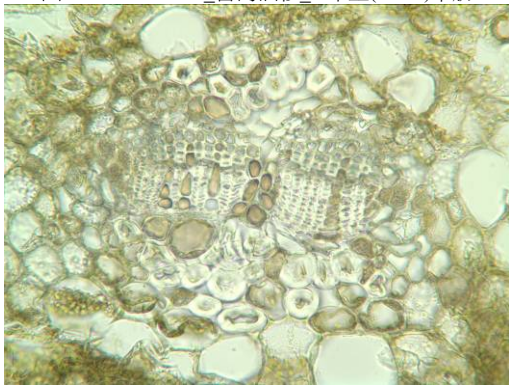


圖 4-2-153 D070\_台灣油杉\_2 年生(200X)中肋



圖 4-2-154 D070\_台灣油杉\_2 年生(200X)葉肉及下表皮(氣孔)

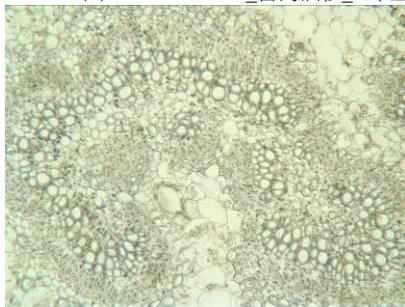


圖 4-2-155 D 區江某(11001)(100×)  
中肋

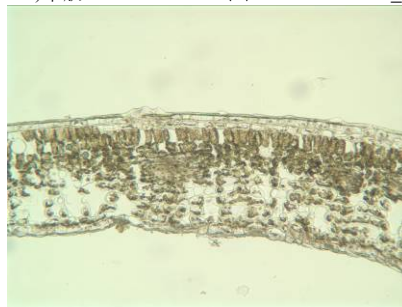


圖 4-2-156a D 區江某(11001)(200X)  
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-156b D 區江某(11001)(400X)  
葉肉及下表皮(氣孔)



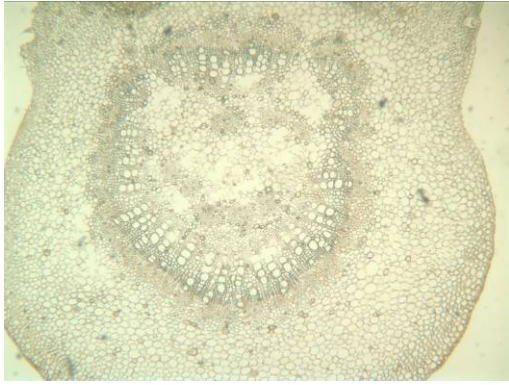


圖 4-2-157 D 區稜果榕(11002)(100×)中肋



圖 4-2-158 D 區稜果榕(11002)(200×)葉肉及上、下表皮

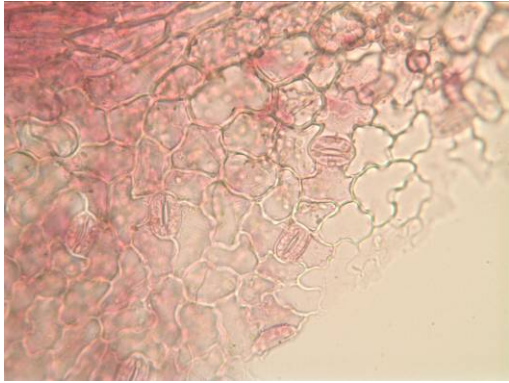


圖 4-2-159a D 區稜果榕(11002)(400×)下表皮及氣孔正面

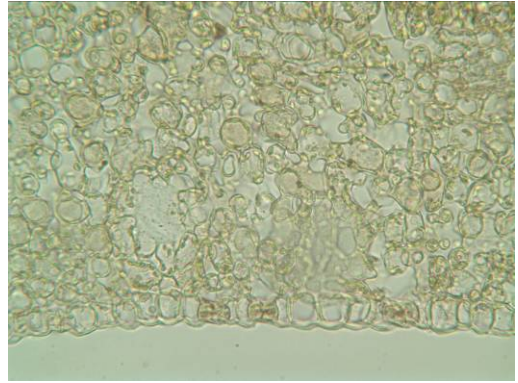


圖 4-2-159b D 區稜果榕(11002)(400×)葉肉及下表皮(氣孔)

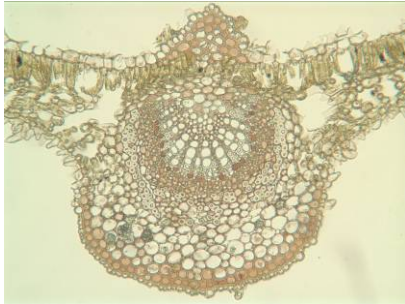


圖 4-2-160 D 區裏白饅頭果(11003)(100×)中肋

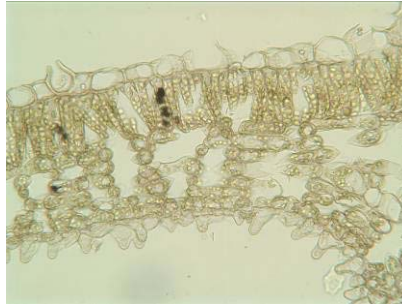


圖 4-2-161a D 區裏白饅頭果(11003)(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

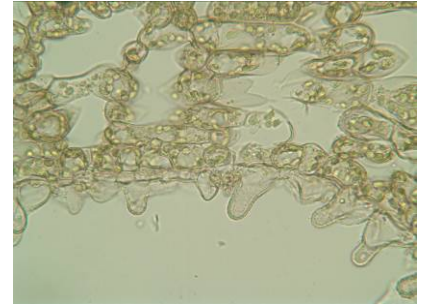


圖 4-2-161b D 區裏白饅頭果(11003)(400×)葉肉及下表皮(氣孔)

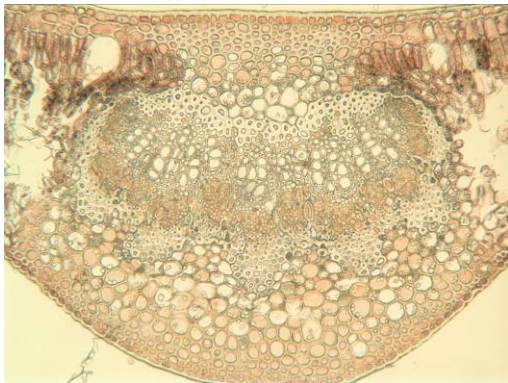


圖 4-2-162 0001 紅楠 (100×)中肋



圖 4-2-163 0001 紅楠 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



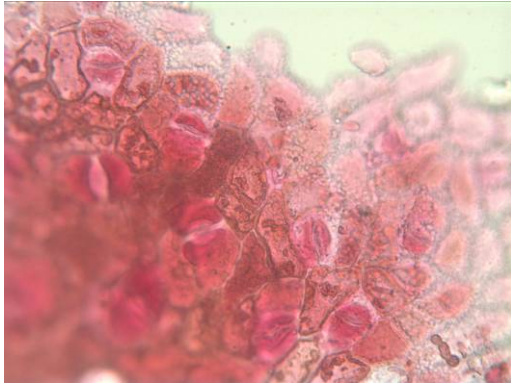


圖 4-2-164a 0001 紅楠 (400×)下表皮及氣孔正面

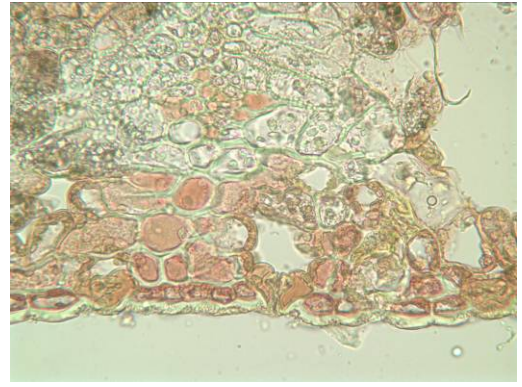


圖 4-2-164b 0001 紅楠 (100×)葉肉及下表皮(氣孔)

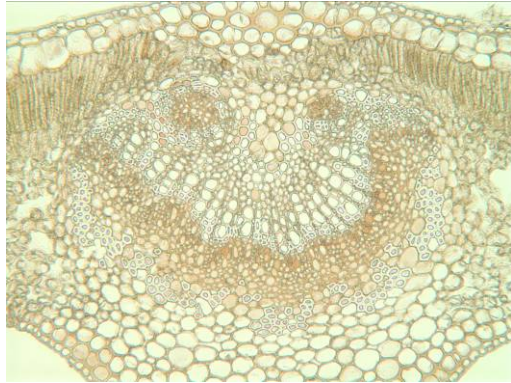


圖 4-2-165 0002 細葉鰻頭果 (100×)中肋



圖 4-2-166 0002 細葉鰻頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

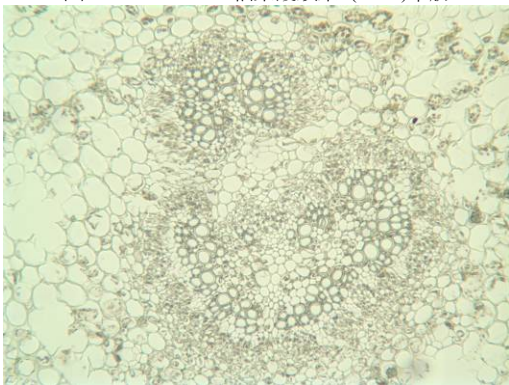


圖 4-2-167 0003 江某(100×)中肋

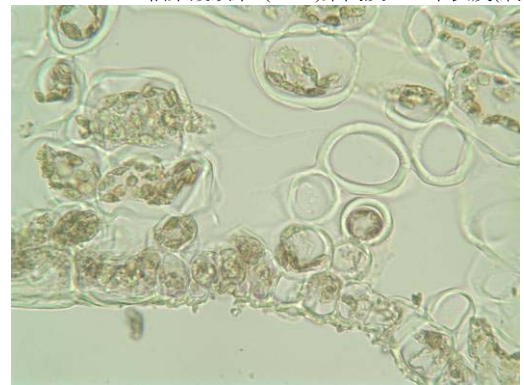


圖 4-2-168 0003 江某(400×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-169 1001 水金京 (100×)中肋

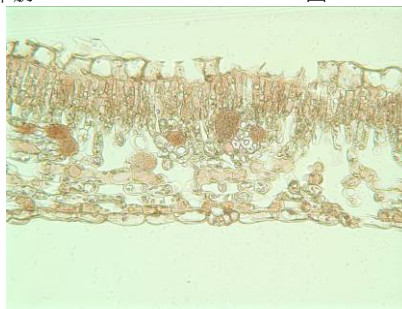


圖 4-2-170a 1001 水金京 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

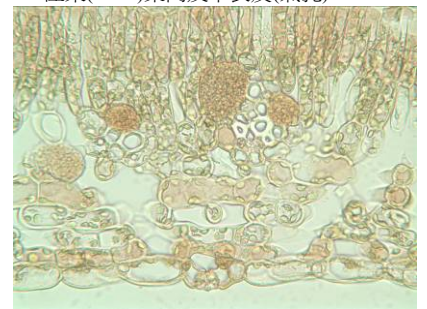


圖 4-2-170b 1001 水金京 (400×)葉肉及下表皮(氣孔)



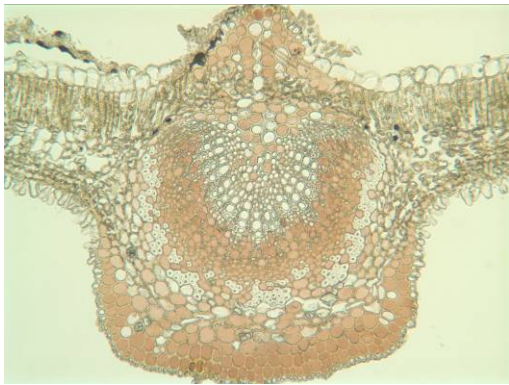


圖 4-2-171 1002 裏白饅頭果 (100×)中肋

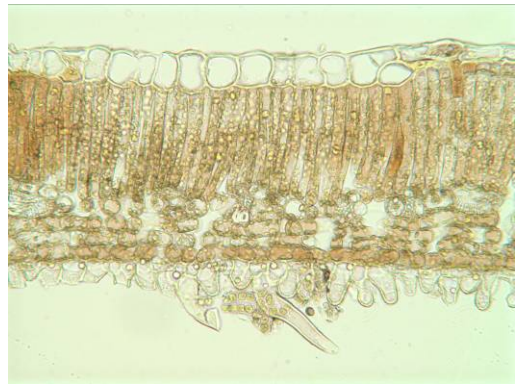


圖 4-2-172 1002 裏白饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

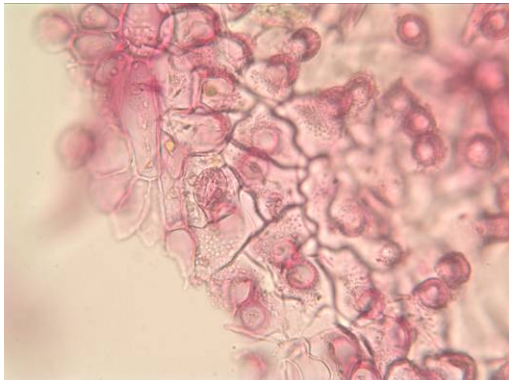


圖 4-2-173a 1002 裏白饅頭果 (100×)下表皮及氣孔正面

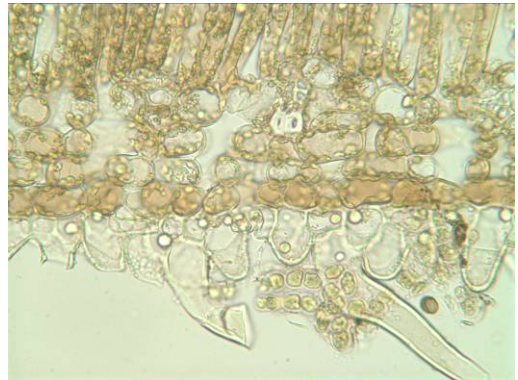


圖 4-2-173b 1002 裏白饅頭果 (100×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-174a 1003 樹杞(40×)中肋



圖 4-2-174b 1003 樹杞(100×)中肋



圖 4-2-175a 1003 樹杞(200×)下表皮及氣孔正面

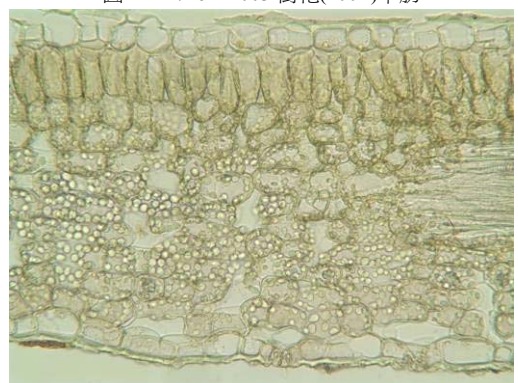


圖 4-2-175b 1003 樹杞(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



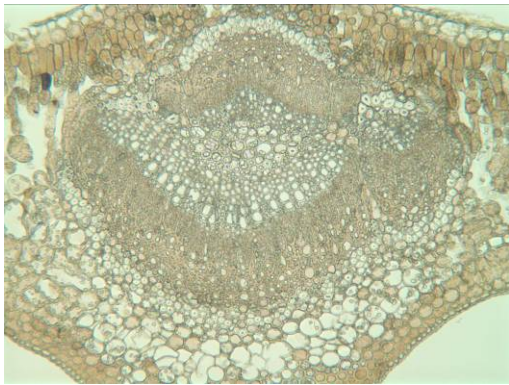


圖 4-2-176 2001 紅葉樹 (100×)中肋

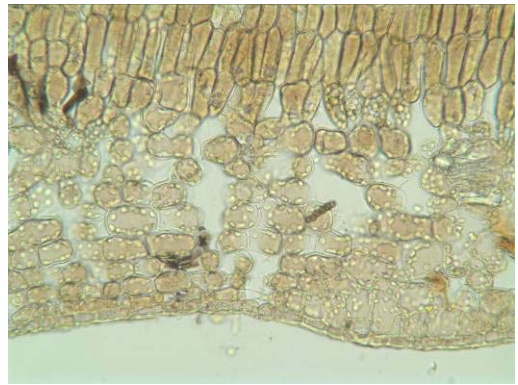


圖 4-2-177 2001 紅葉樹 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

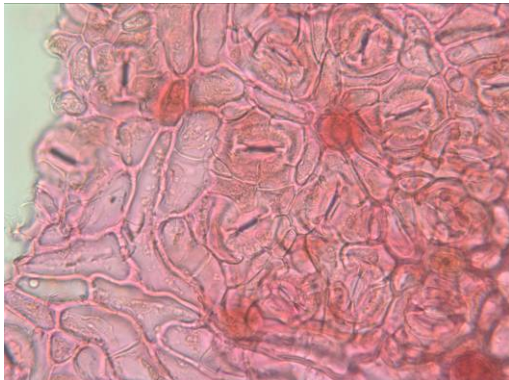


圖 4-2-178a 2001 紅葉樹 (400×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-178b 2001 紅葉樹 (400×)葉肉及下表皮(氣孔)

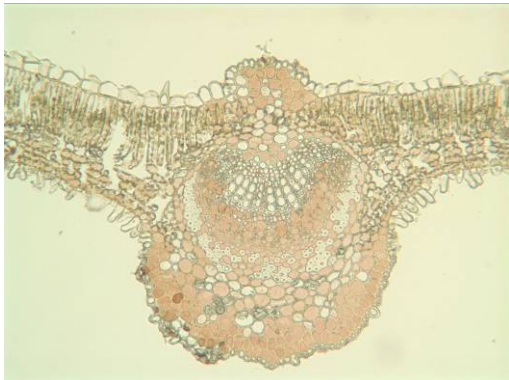


圖 4-2-179 2002 裏白饅頭果 (100×)中肋



圖 4-2-180 2002 裏白饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

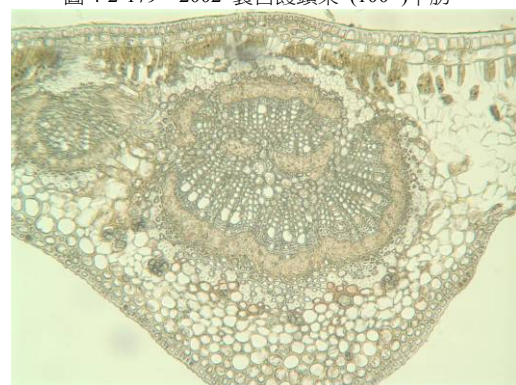


圖 4-2-181 2003 長尾柯(100×)中肋

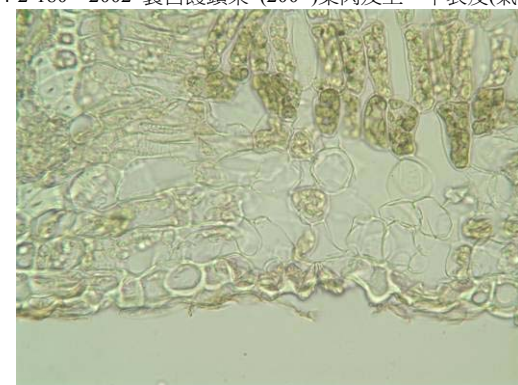


圖 4-2-182 2003 長尾柯(200×)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-183 3001 革葉冬青 (100×)中肋



圖 4-2-184 3001 革葉冬青 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

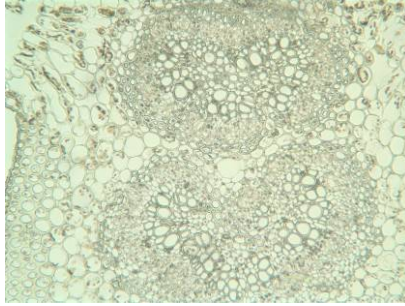


圖 4-2-185 3002 江某(100×)中肋

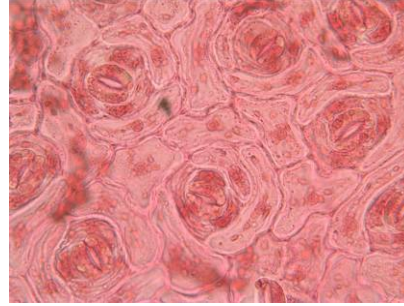


圖 4-2-186a 3002 江某(200×)下表皮及氣孔正面

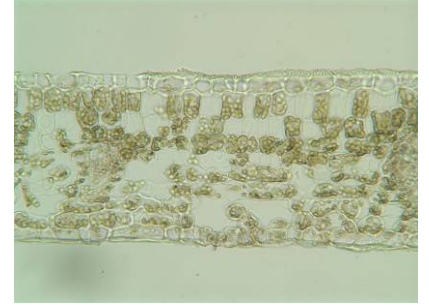


圖 4-2-186b 3002 江某(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

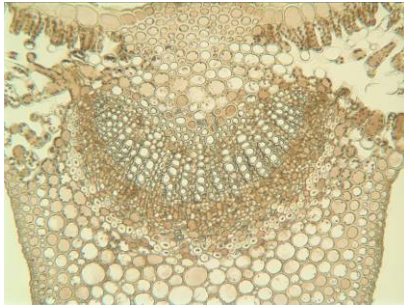


圖 4-2-187 3003 革葉冬青 (100×)中肋

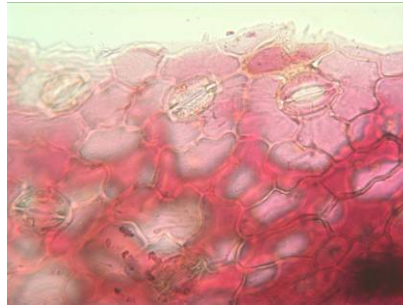


圖 4-2-188a 3003 革葉冬青 (200×)下表皮及氣孔正面

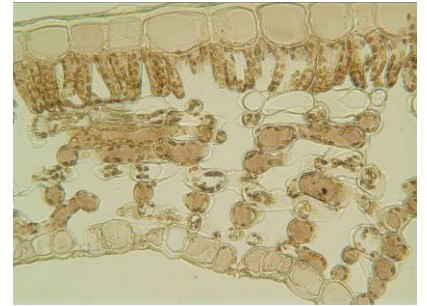


圖 4-2-188b 3003 革葉冬青 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

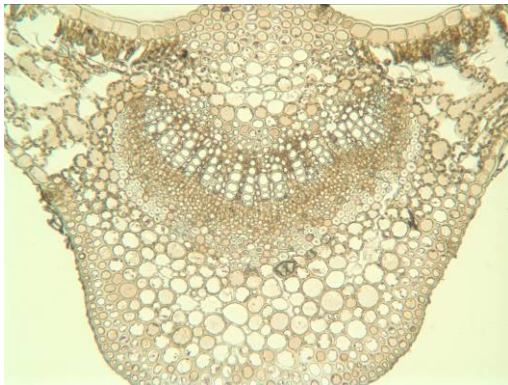


圖 4-2-189 4001 革葉冬青 (100×)中肋



圖 4-2-190 4001 革葉冬青 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



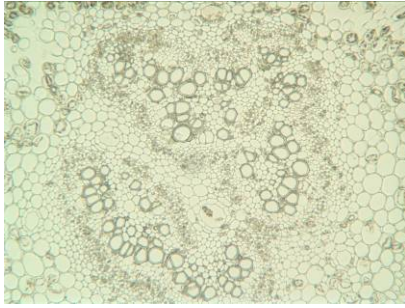


圖 4-2-191 4002 江某 (100×)中肋



圖 4-2-192a 4002 江某 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

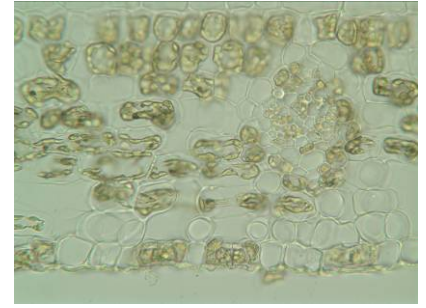


圖 4-2-192b 4002 江某 (100×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

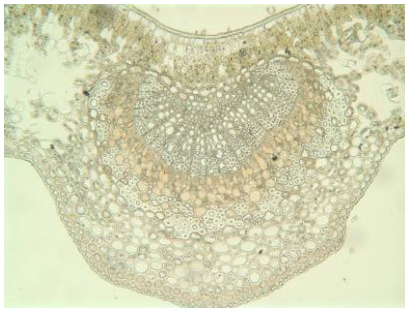


圖 4-2-193 4003 墨點櫻桃(100×)中肋

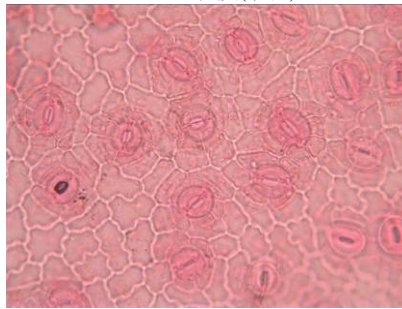


圖 4-2-194a 4003 墨點櫻桃(200×)下表皮及氣孔正面

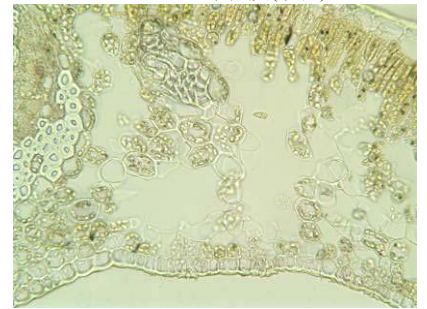


圖 4-2-194b 4003 墨點櫻桃(200×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-195a 5001 江某 (40×)中肋

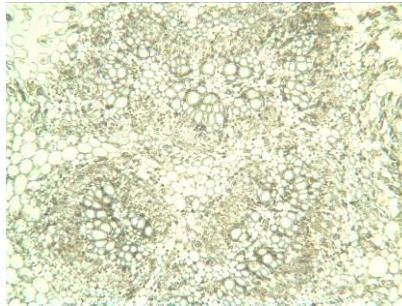


圖 4-2-195b 5001 江某 (100×)中肋

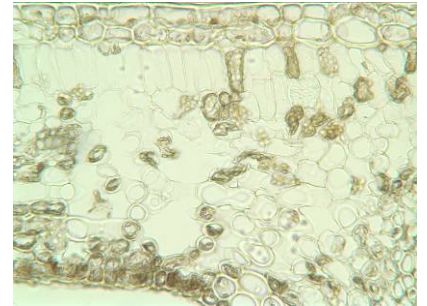


圖 4-2-196 5001 江某 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

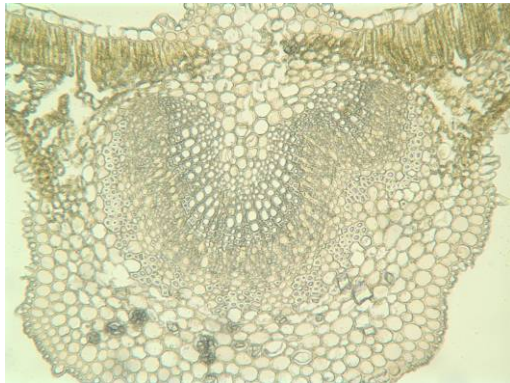


圖 4-2-197 5002 裹白饅頭果(100×)中肋

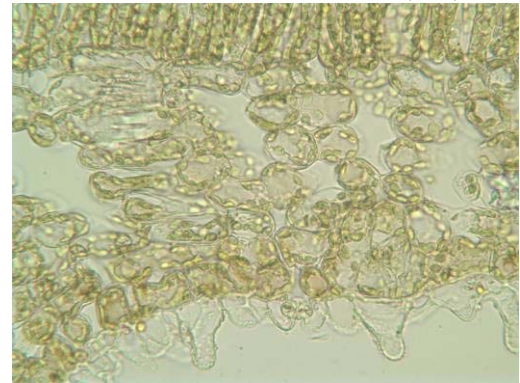


圖 4-2-198 5002 裹白饅頭果(400×)葉肉及下表皮(氣孔)





圖 4-2-199a 5003 木荷 (40×)中肋

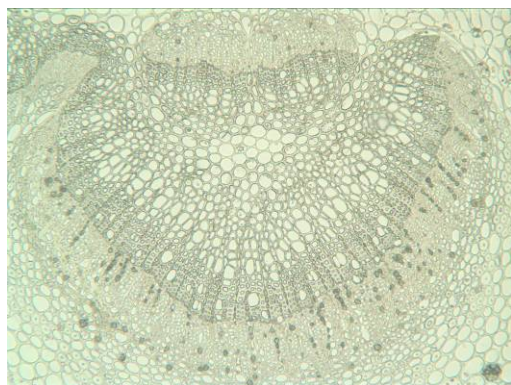


圖 4-2-199b 5003 木荷 (100×)中肋

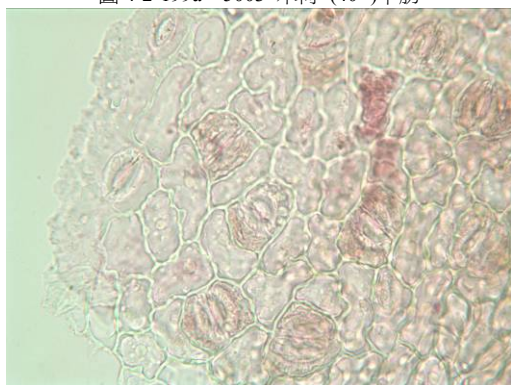


圖 4-2-200a 5003 木荷 (200×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-200b 5003 木荷 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

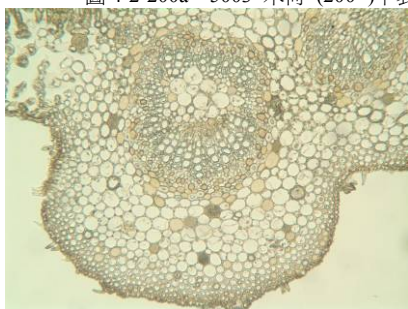


圖 4-2-201 6001 水金京(100×)中肋

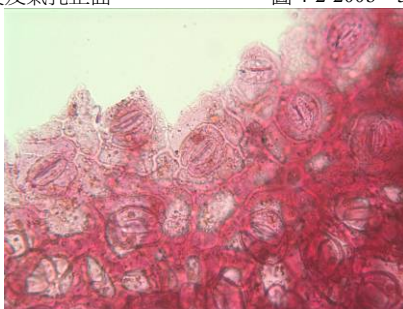


圖 4-2-202a 6001 水金京(400×)下表皮及氣孔正面

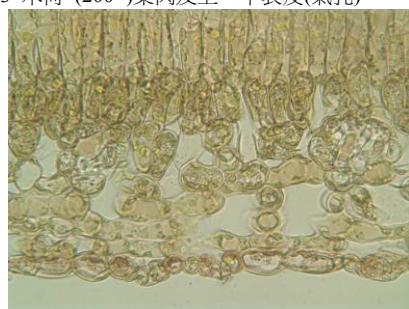


圖 4-2-202b 6001 水金京(400×)葉肉及下表皮(氣孔)

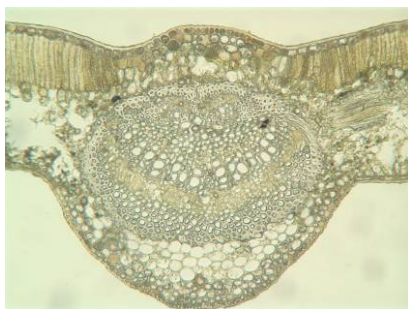


圖 4-2-203 6002 領垂豆(100×)中肋

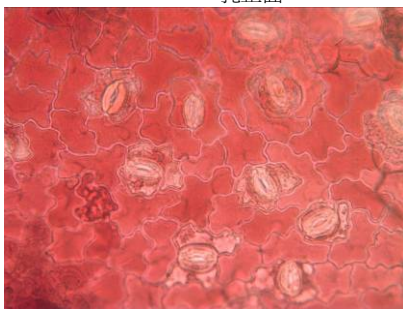


圖 4-2-204a 6002 領垂豆(200×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-204b 6002 領垂豆(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

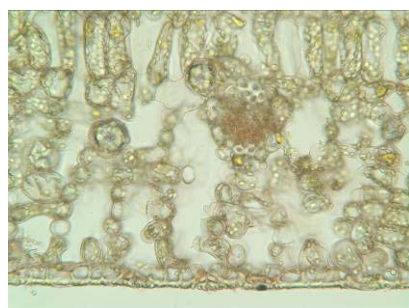
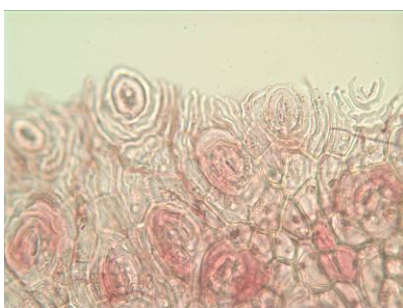
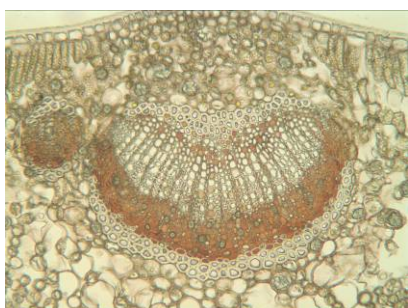




圖 4-2-205 6003 大頭茶 (100×)中肋



圖 4-2-206a 6003 大頭茶 (200×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-206b 6003 大頭茶 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



圖 4-2-207 7001 墨點櫻桃(200×)中肋



圖 4-2-208 7001 墨點櫻桃(200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



圖 4-2-209 7002 長尾柯 (100×)中肋

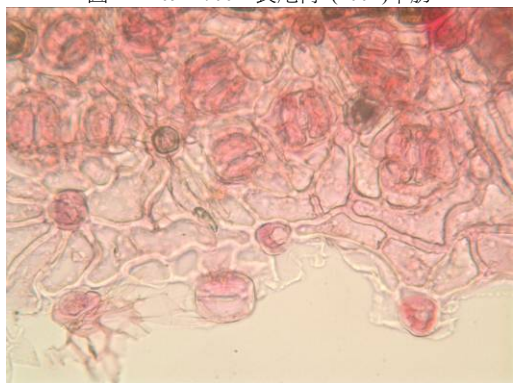


圖 4-2-210 7002 長尾柯 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



圖 4-2-211a 7002 長尾柯 (400×)下表皮及氣孔正面

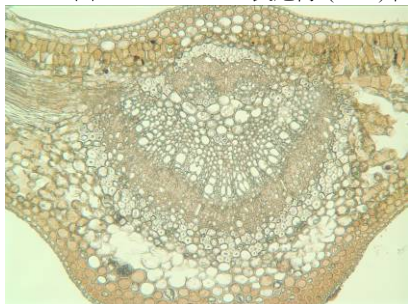


圖 4-2-211b 7002 長尾柯 (400×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

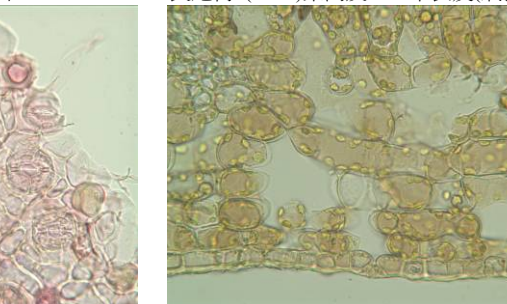


圖 4-2-212 7003 杜英 (100×)中肋

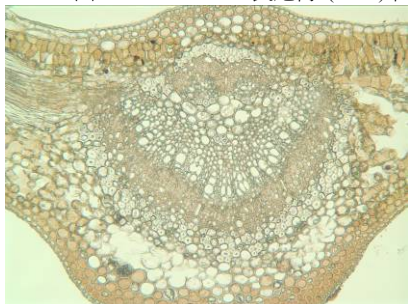


圖 4-2-213a 7003 杜英 (400×)下表皮及氣孔正面

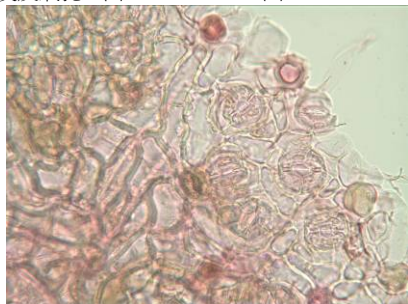


圖 4-2-213b 7003 杜英 (400×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

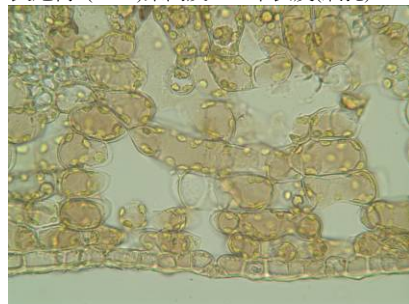






圖 4-2-214 9001 薯豆(100×)中肋

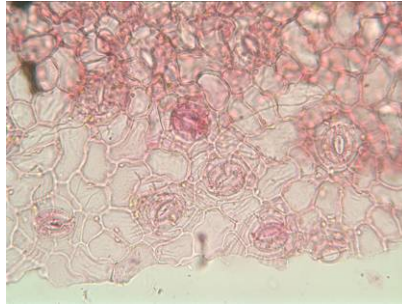


圖 4-2-215a 9001 薯豆(400×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-215b 9001 薯豆(400×)葉肉及下表皮(氣孔)

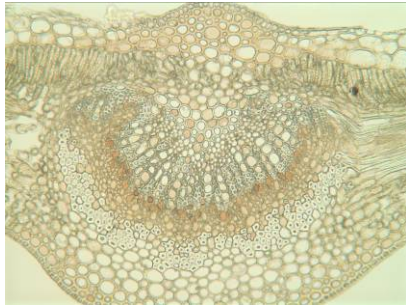


圖 4-2-216 9002 細葉饅頭果 (100×)中肋

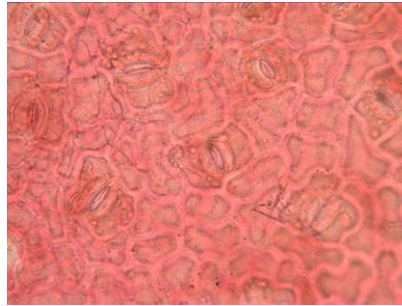


圖 4-2-217a 9002 細葉饅頭果 (200×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-217b 9002 細葉饅頭果 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

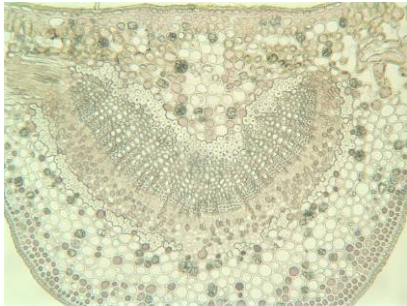


圖 4-2-218 9003 小花老鼠刺(100×)中肋

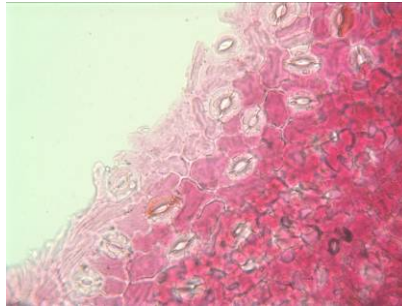


圖 4-2-219a 9003 小花老鼠刺(400×)下表皮及氣孔正面



圖 4-2-219b 9003 小花老鼠刺(400×)葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-220 10001 大明橘(100×)中肋

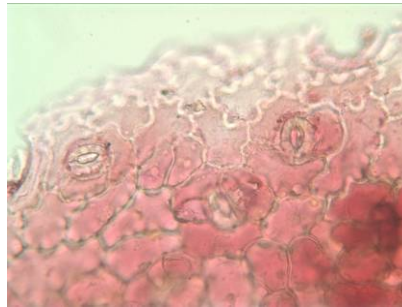


圖 4-2-221a 10001 大明橘(200×)下表皮及氣孔正面

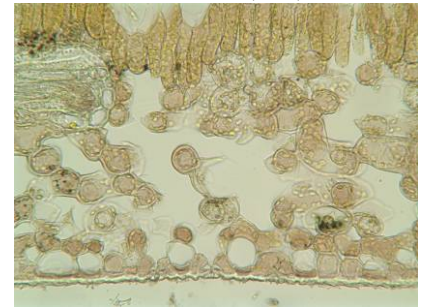


圖 4-2-221b 10001 大明橘(200×)葉肉及下表皮(氣孔)

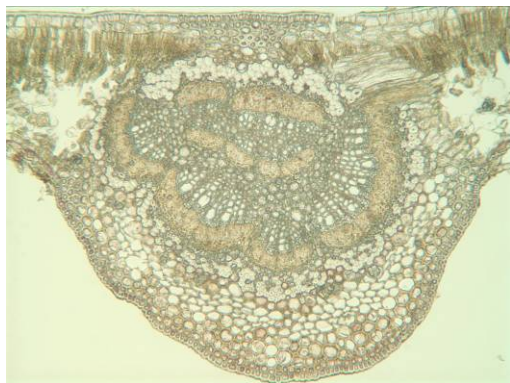


圖 4-2-222 10002 青剛櫟 (100×)中肋



圖 4-2-223 10002 青剛櫟 (200×)葉肉及上、下表皮(氣孔)



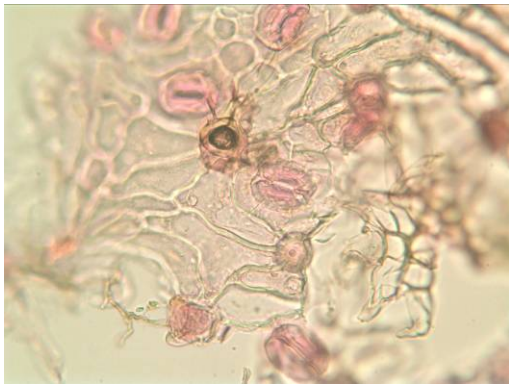


圖 4-2-224a 10002 青剛櫟 (400×)下表皮及氣孔正面

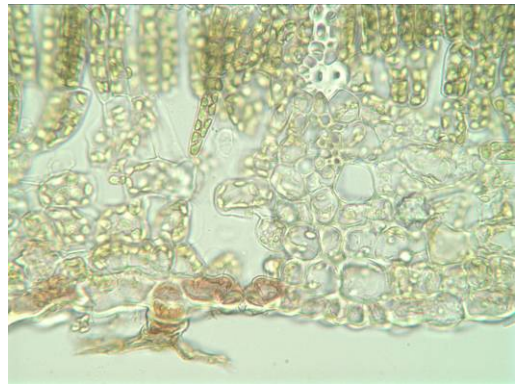


圖 4-2-224b 10002 青剛櫟 (400×)葉肉及上、下表皮(氣孔)

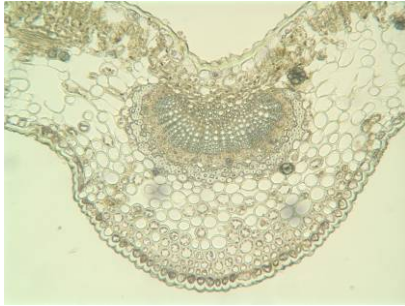


圖 4-2-225 10003 倒卵葉冬青(100×)中肋

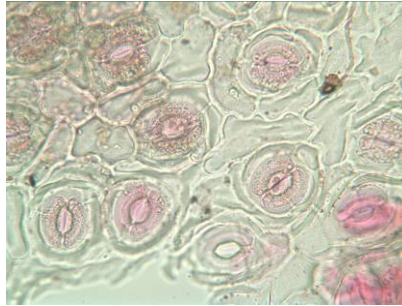


圖 4-2-226a 10003 倒卵葉冬青(100×)下表皮及氣孔正面

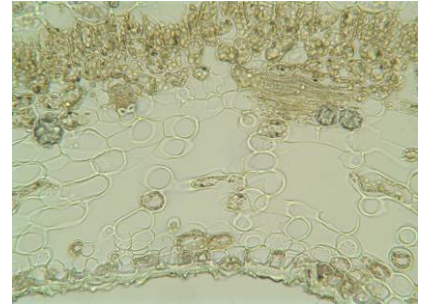


圖 4-2-226b 10003 倒卵葉冬青(100×)葉肉及下表皮(氣孔)

### 三、 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測結果

#### (一) 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。

從九十五年八月至九十七年七月雪山隧道通車後之兩年逐月平均車流量統計，如圖 4-3-1-1 至 4-3-1-2 所示。無論是北上或南下線，其車流量於寒暑假，都較平常月份高出許多。北上線除去二月、七月後平均每月車流量約為 50 萬車次；而二月、七月份之車流量最高，約可達 60 萬車次；故在此二個月份，國道五號之車流量成長約 20%。南下線除去二月、七月後平均每月車流量約為 52 萬車次；而二月、七月份之車流量最高，約可達 65 萬車次；即在此二個月份，國道五號之車流量成長約 25% [交通部，2008]。得知雪山隧道於二月、七月份車流量相當龐大，也許是因為春節期間與暑假期間，返鄉或遊客車潮眾多，造成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。於尖峰時期，由於車流量較大，建議啟動通風設備，以降低濃度。

雪山隧道通車前后台九線之車流量統計，如圖 4-3-1-3 至 4-3-1-4 所示，雪山隧道通車前台九線之車流量平均每日車流量約為 4000 車次，雪山隧道通車后台九線之車流量平均每日車流量約為 1200 車次，由此可見車流量降低頗多。

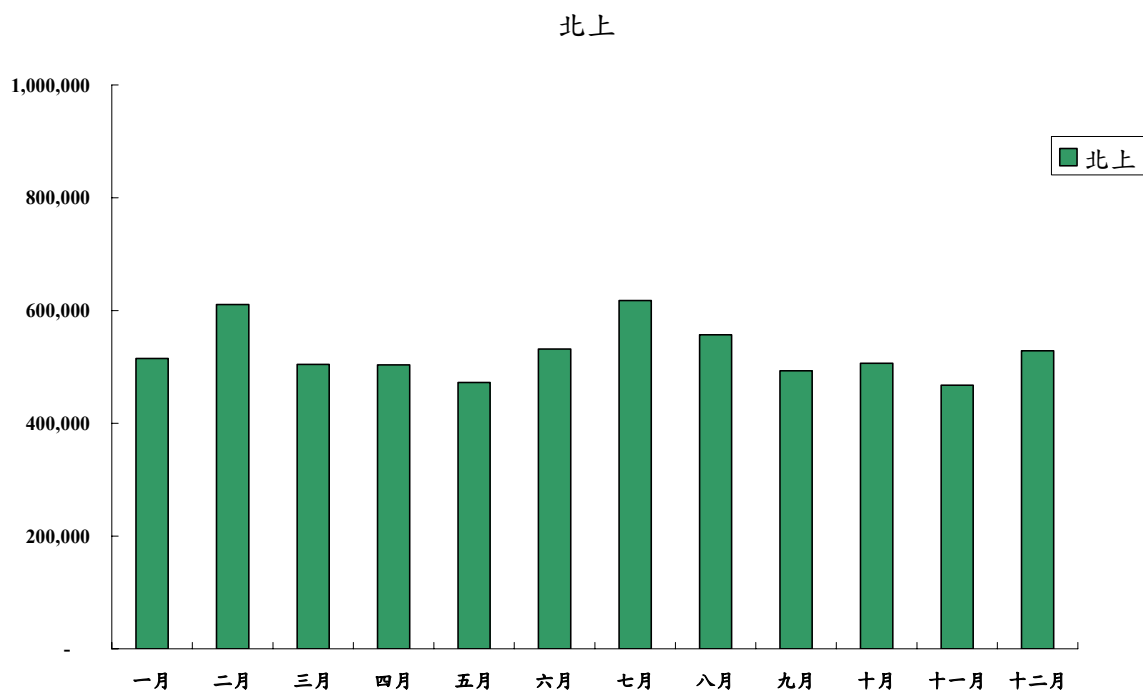


圖 4-3-1-1 北上逐月平均車流量

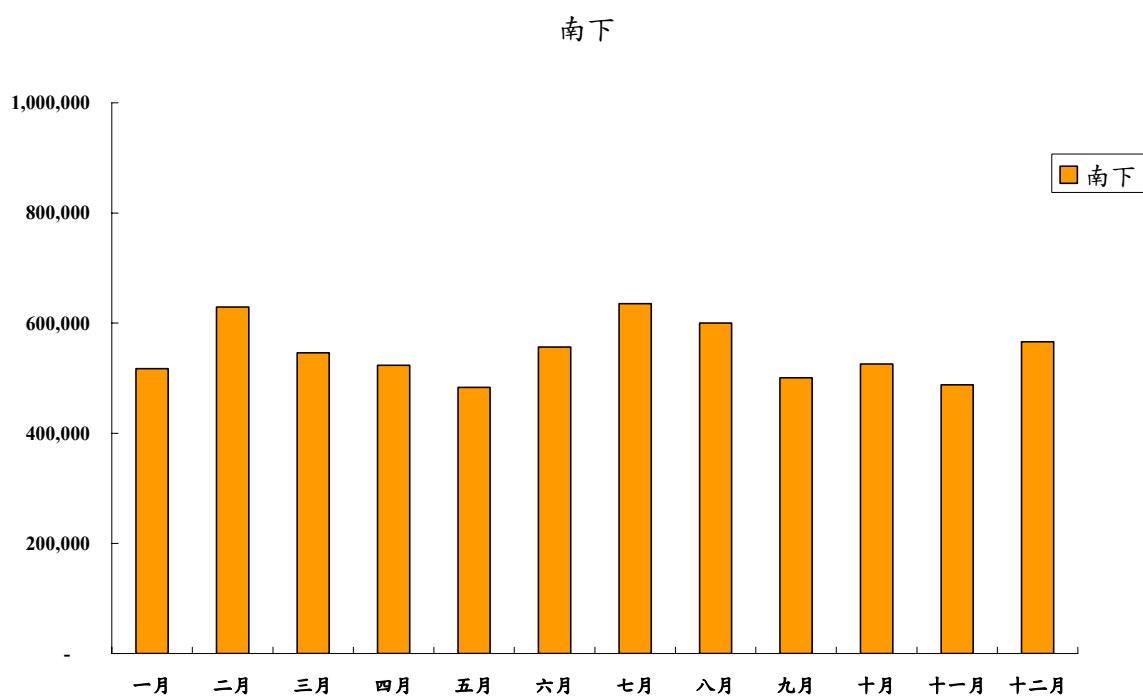


圖 4-3-1-2 南下逐月平均車流量



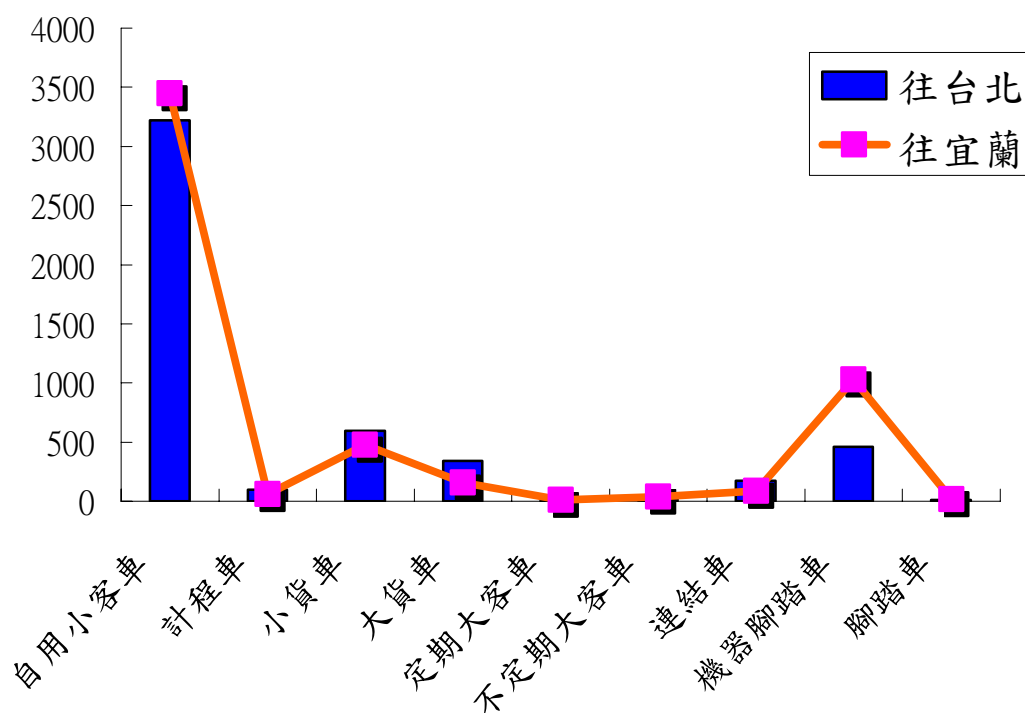


圖 4-3-1-3 雪山隧道通車前之台 9 線日平均車流量

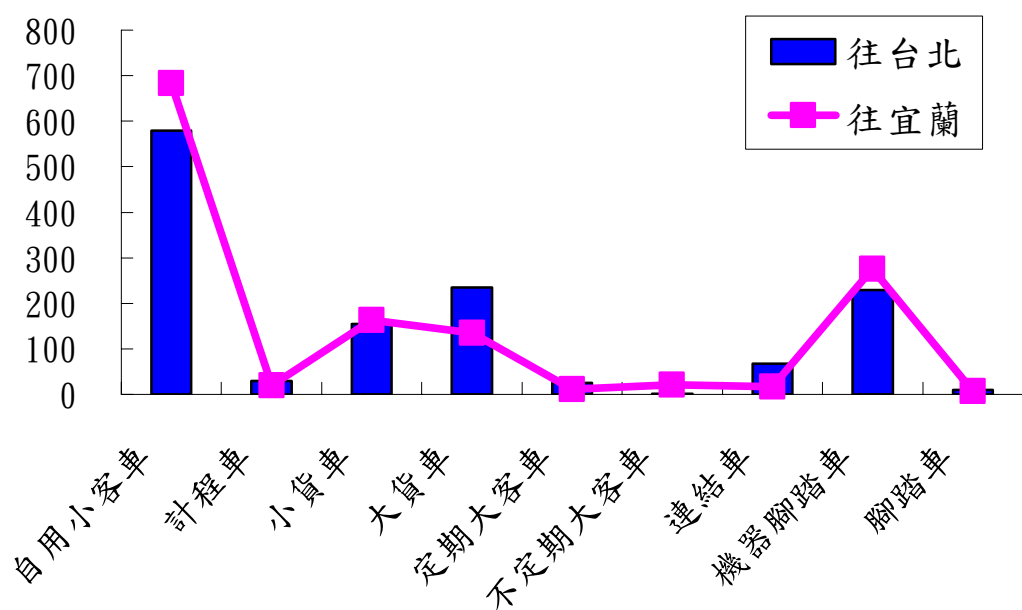


圖 4-3-1-4 雪山隧道通車後之台 9 線日平均車流量

## (二) 隧道內空氣品質監測結果

### 2-1 懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)濃度

各測點之 PM<sub>10</sub> 濃度如圖 4-3-2-1 至圖 4-3-2-3 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，中間處(N4 與 S4)次之( 168 ~ 183  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，近入風口處(隧道內 N8 與 S1)最低( 131 ~ 141  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。而於假日時段近出風口處亦可高達 215 ~ 222  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之間，中間處為 178 ~ 201  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之間，近入風口處為 145 ~ 153  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之間。在尖峰時段，近出風口處與中間處 PM<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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(125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，易對人體健康產生影響。

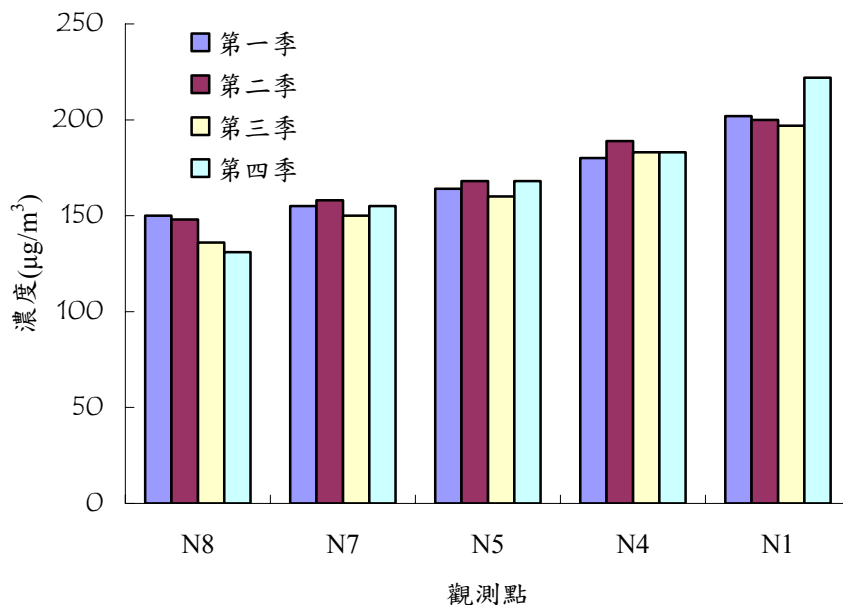


圖 4-3-2-1 北上懸浮微粒 PM<sub>10</sub> 平均濃度

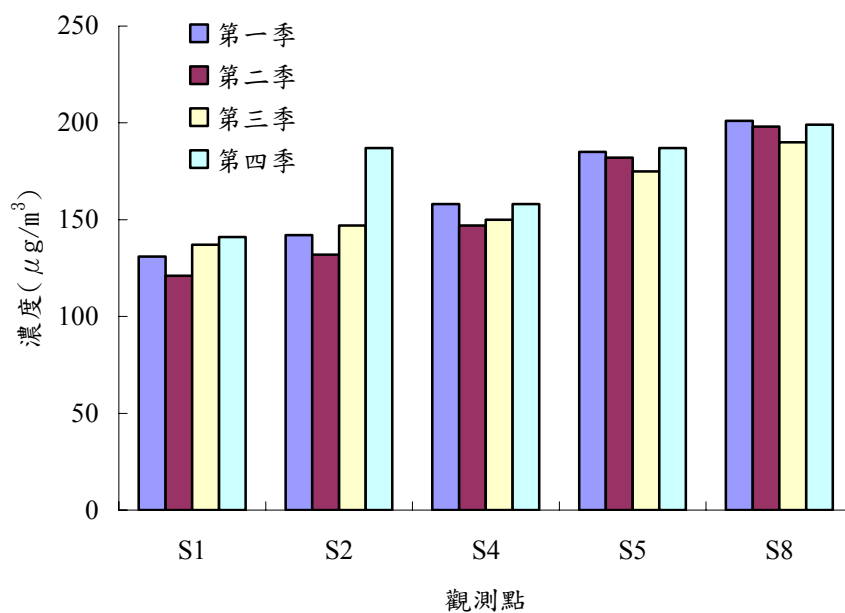


圖 4-3-2-2 南下懸浮微粒 PM<sub>10</sub> 平均濃度

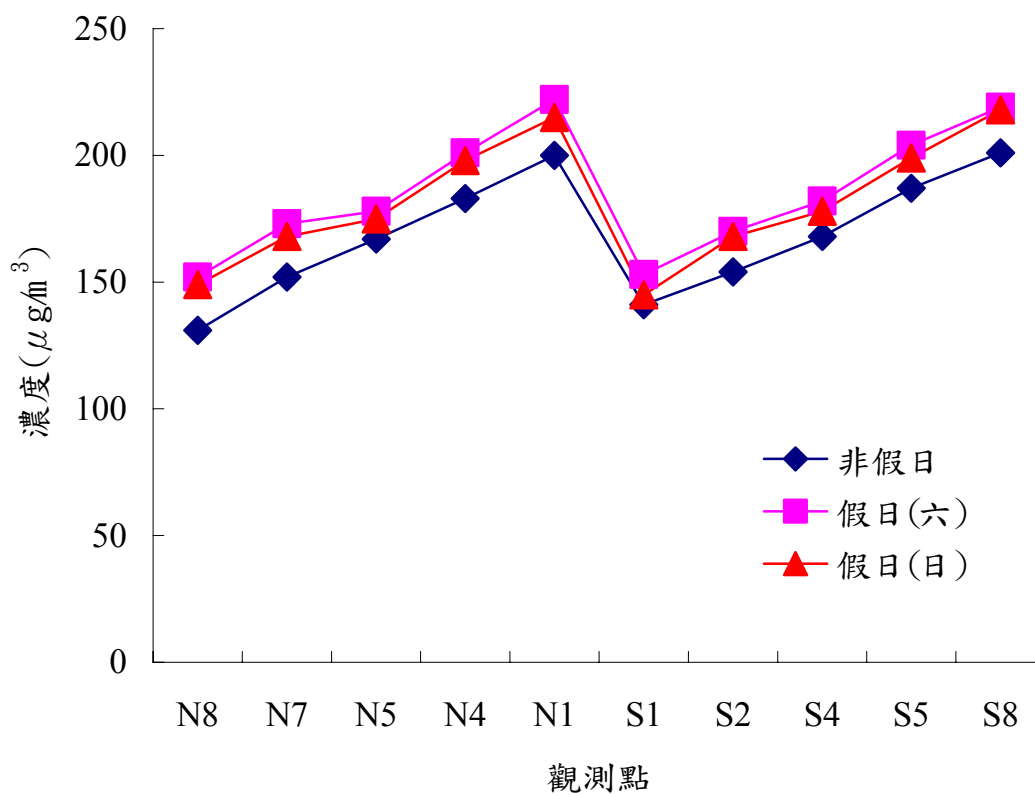


圖 4-3-2-3 非假日與假日 PM<sub>10</sub> 平均濃度測值

## 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 4-3-2-4~6 北上線至圖 4-3-2-9 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。

上年度 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，今年度 CO 濃度略為增加，約介於 8.1 ~ 25.9 ppm 之間。



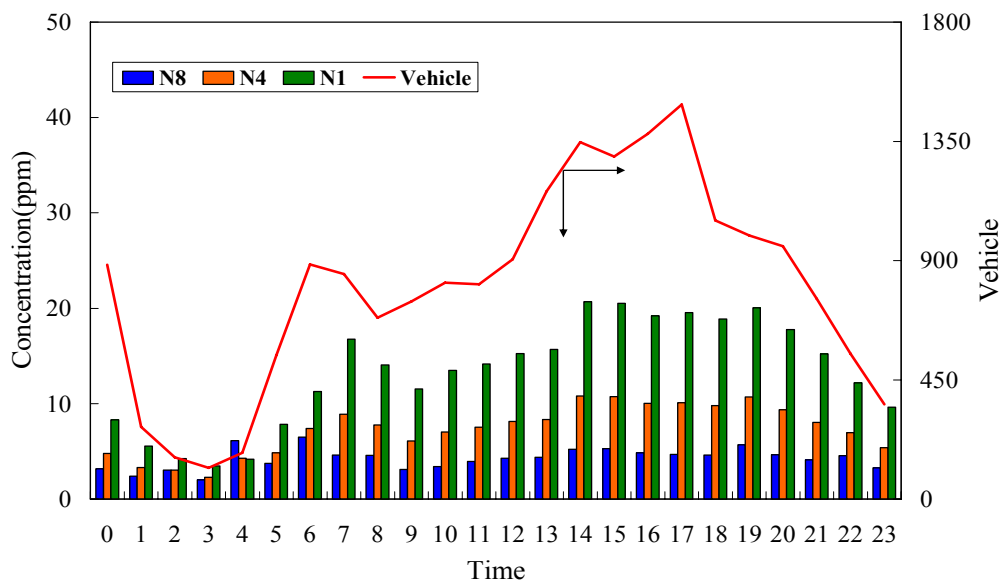


圖 4-3-2-4 非假日 CO 逐時測值

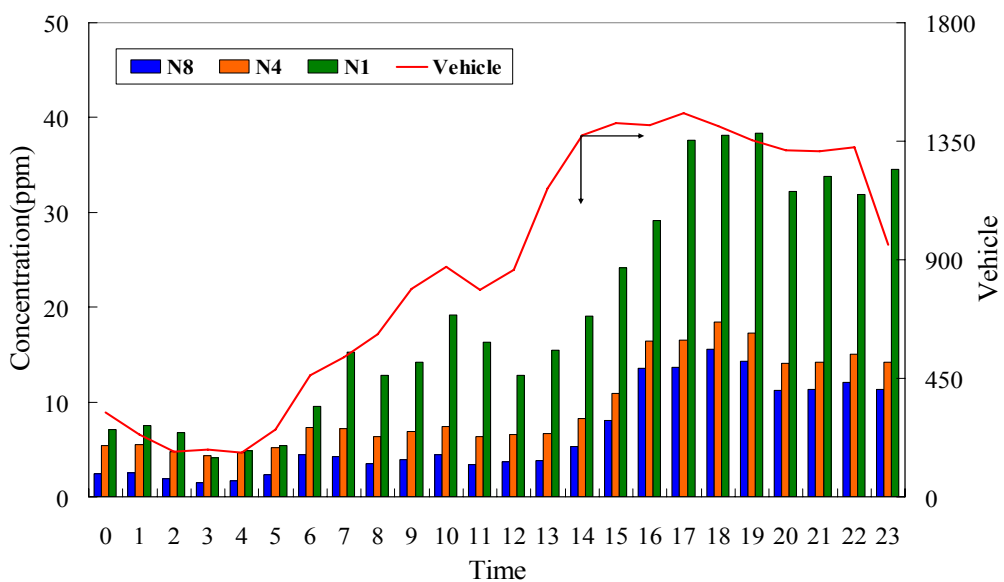


圖 4-3-2-5 假日(六)CO 逐時測值

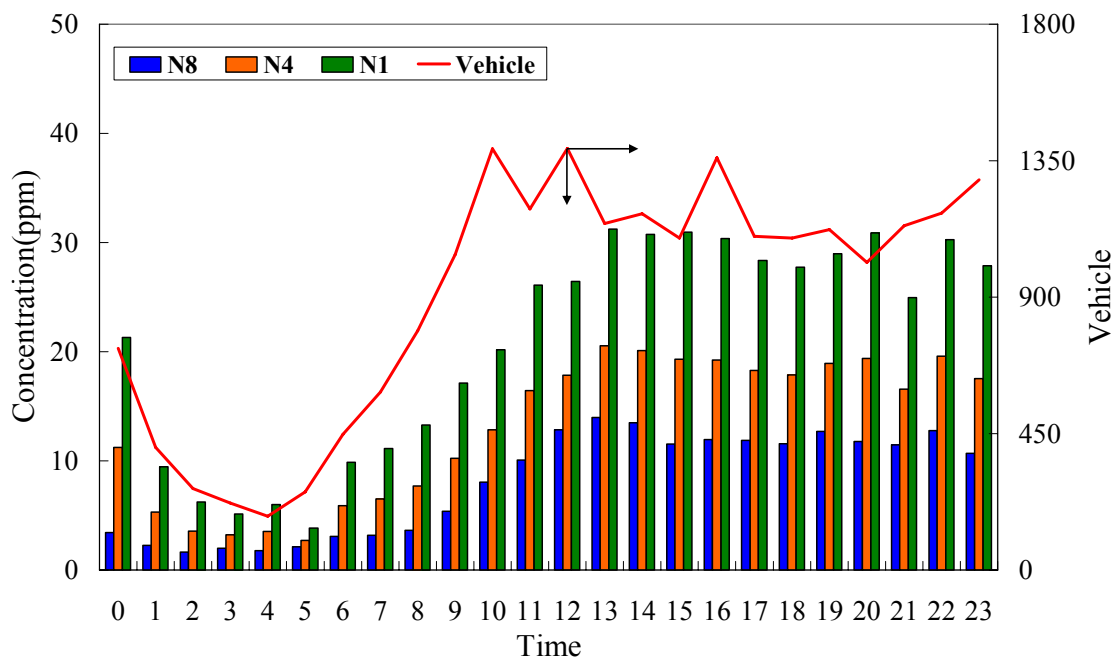


圖 4-3-2-6 假日(日)CO 逐時測值

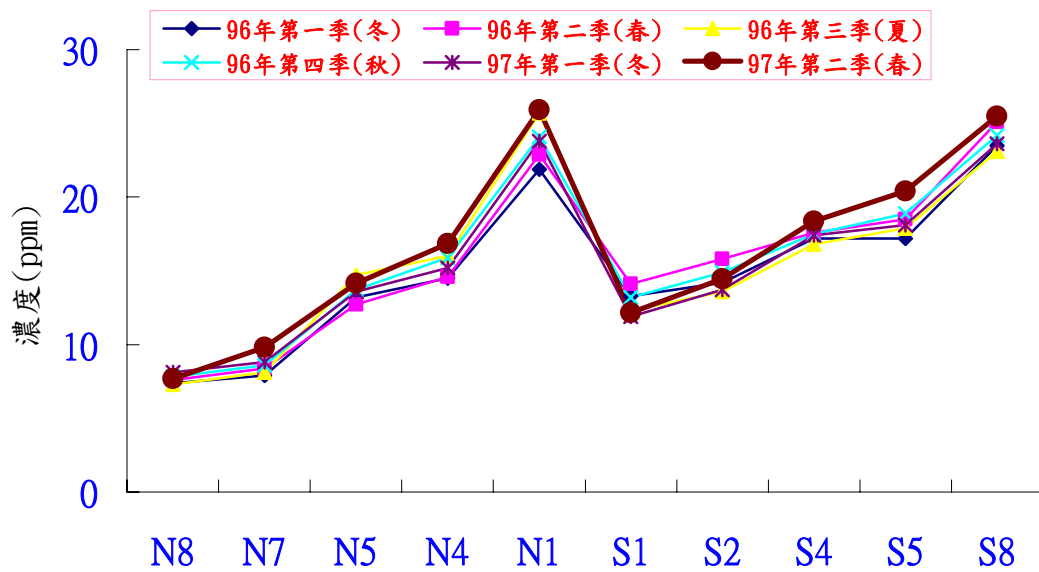


圖 4-3-2-7 隧道內各測點 CO 濃度值

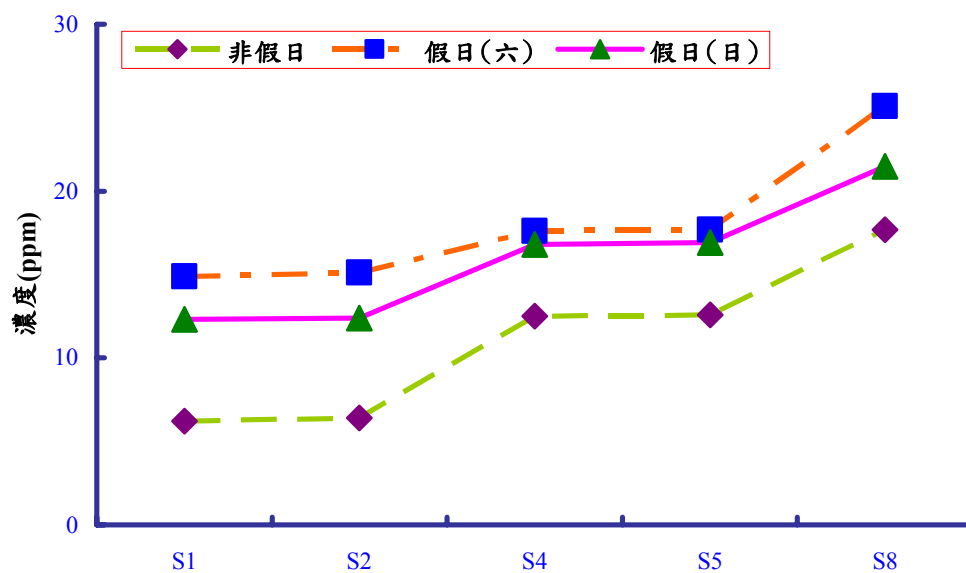


圖 4-3-2-8 非假日與假日南下 CO 濃度測值

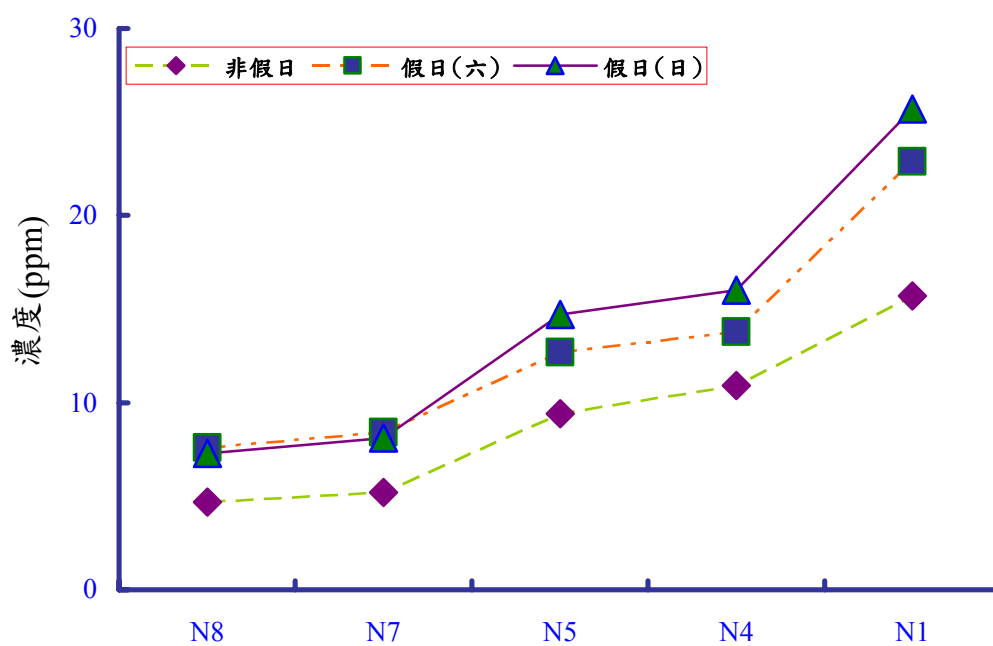


圖 4-3-2-9 非假日與假日北上 CO 濃度測值

## 2-3 二氧化硫(SO<sub>2</sub>)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 4-3-2-10 至圖 4-3-2-16 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 4-2-3-2、4-2-3-3、4-2-3-4、4-2-3-5 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)。上年度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；今年度 SO<sub>2</sub> 濃度亦略為增加，約介於 11.0 ~ 34.0 ppb 之間。

另比較各測點 SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 濃度之比值約 0.97 倍，而近出風口處與近入風口處 SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 濃度之比值約 0.97 倍，而近出風口處與近入風口處 SO<sub>2</sub> 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。



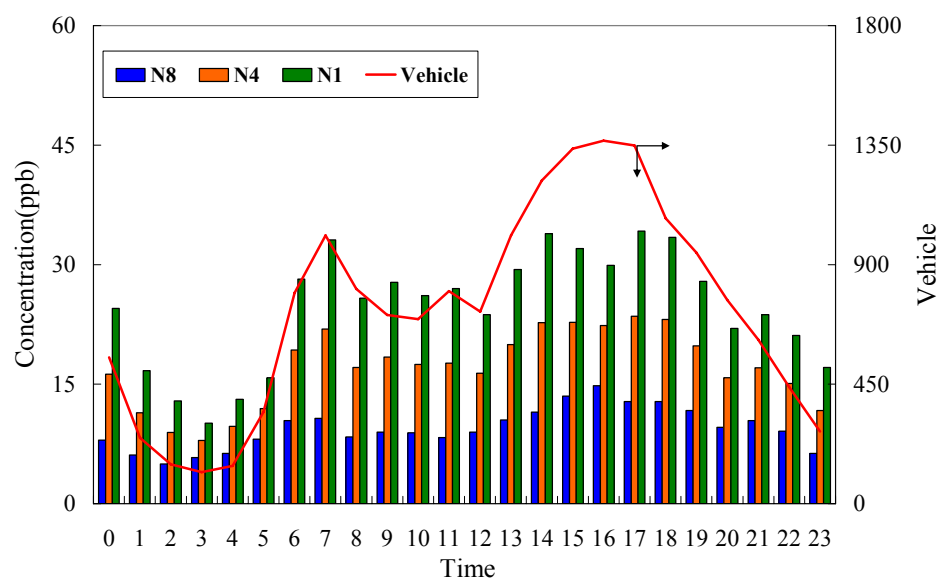


圖 4-3-2-10 非假日 SO<sub>2</sub> 逐時測值

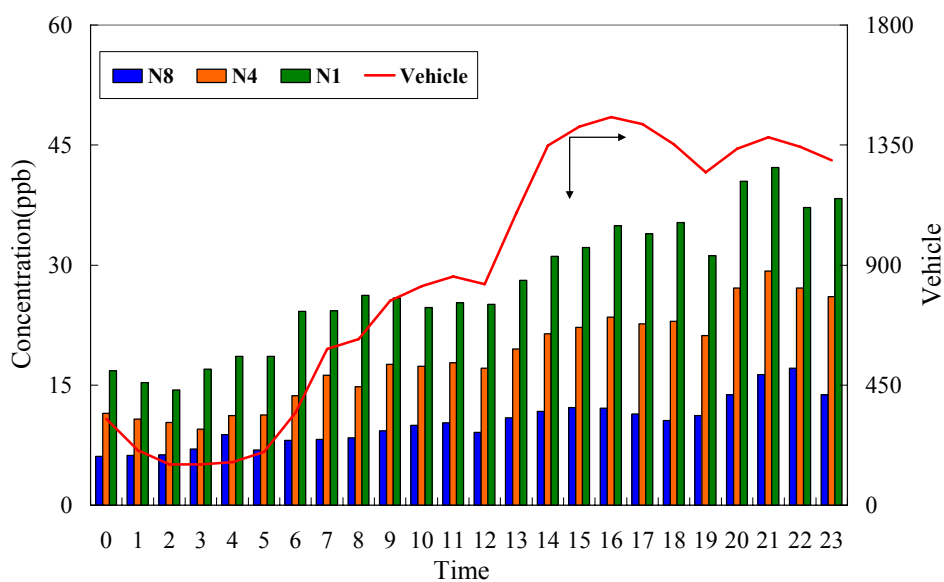


圖 4-3-2-11 假日(六)SO<sub>2</sub> 逐時測值

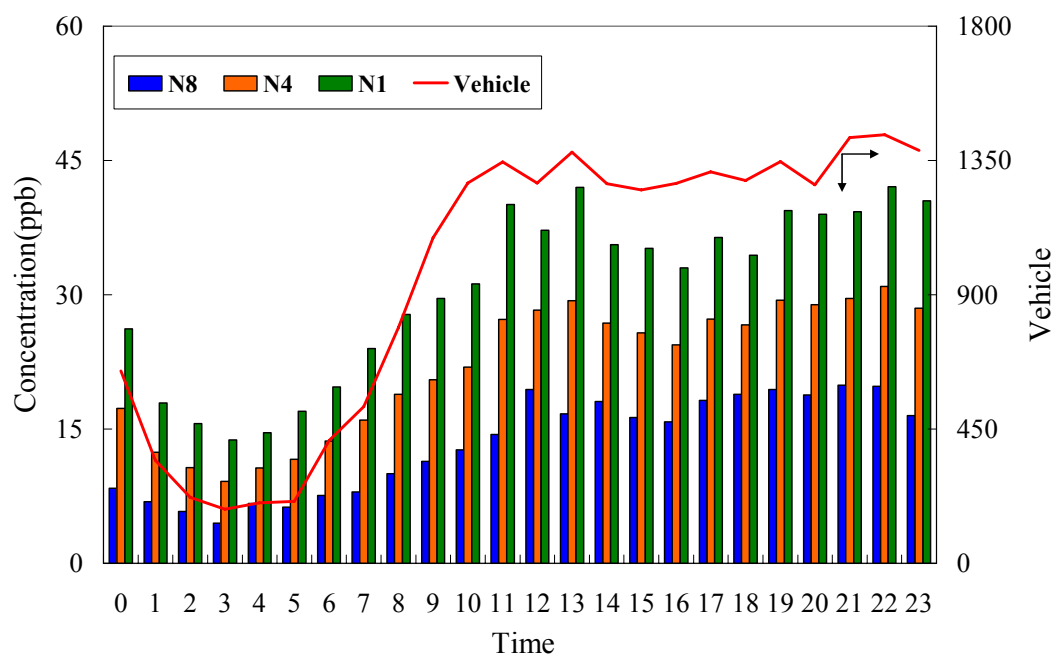


圖 4-3-2-12 假日(日)SO<sub>2</sub>逐時測值

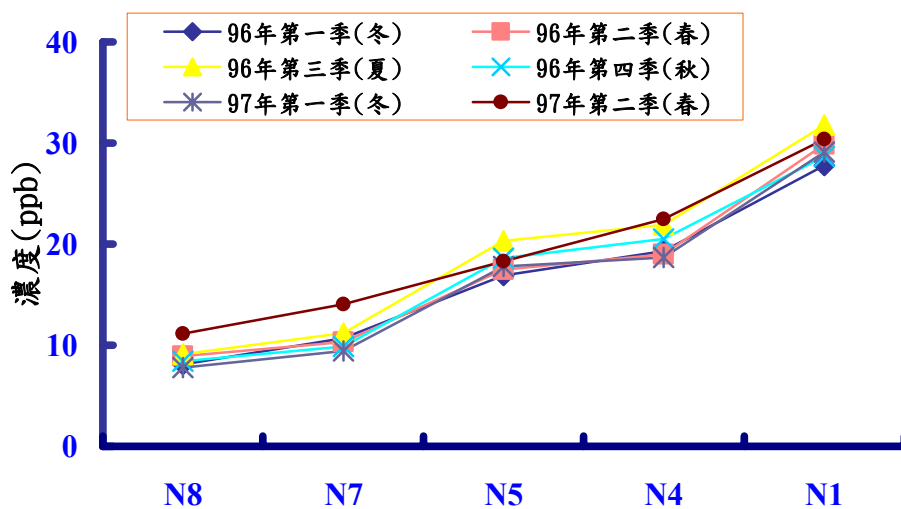


圖 4-3-2-13 各次北上車道之 SO<sub>2</sub> 濃度測值

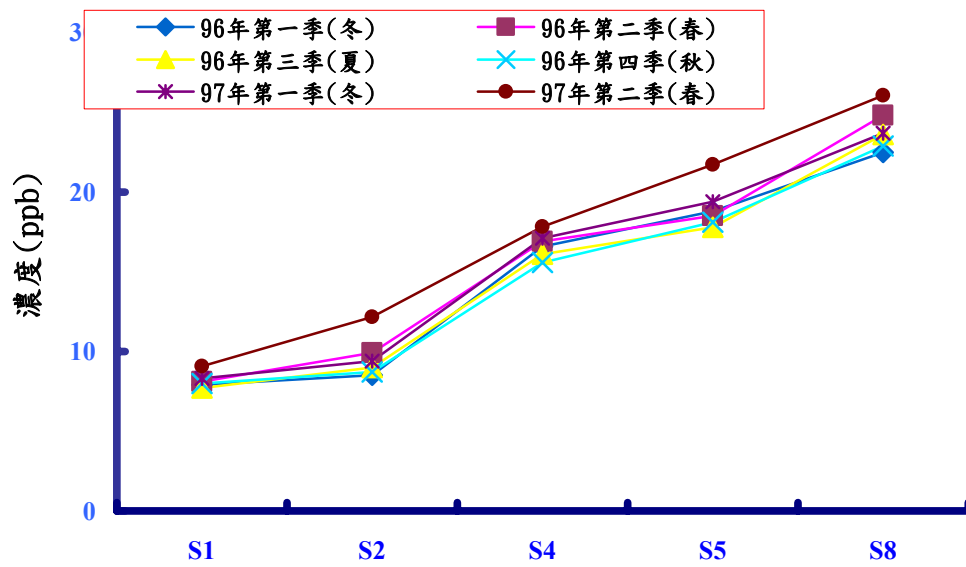


圖 4-3-2-14 各次南下車道之 SO<sub>2</sub> 濃度測值

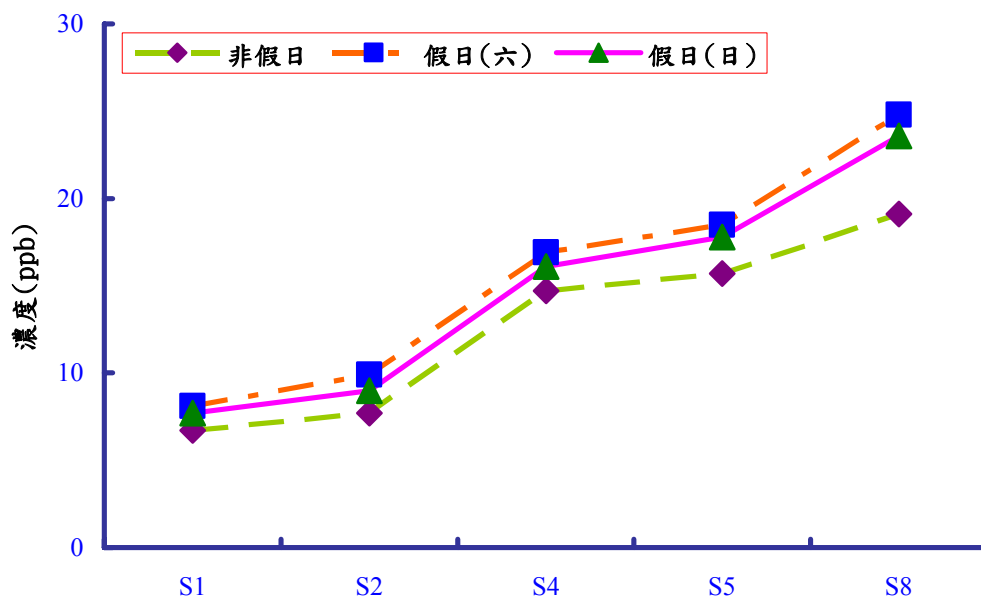


圖 4-3-2-15 非假日與假日南下 SO<sub>2</sub> 濃度測值

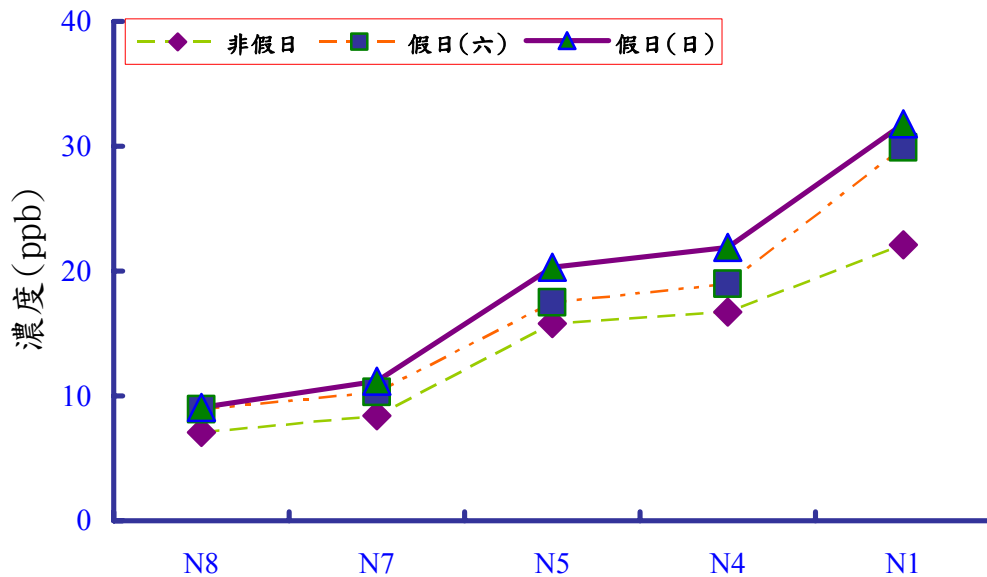


圖 4-3-2-16 非假日與假日北上 SO<sub>2</sub> 濃度測值

## 2-4 氮氧化物(NO<sub>x</sub>)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 4-3-2-17 至圖 4-3-2-23 所示，發現其 NO<sub>x</sub> 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)。NO<sub>x</sub> 濃度變化與 CO 濃度變化趨勢相似，上年度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；今年度 NO<sub>x</sub> 濃度略為增加，約介於 600 ~ 2000 ppb 之間。

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。

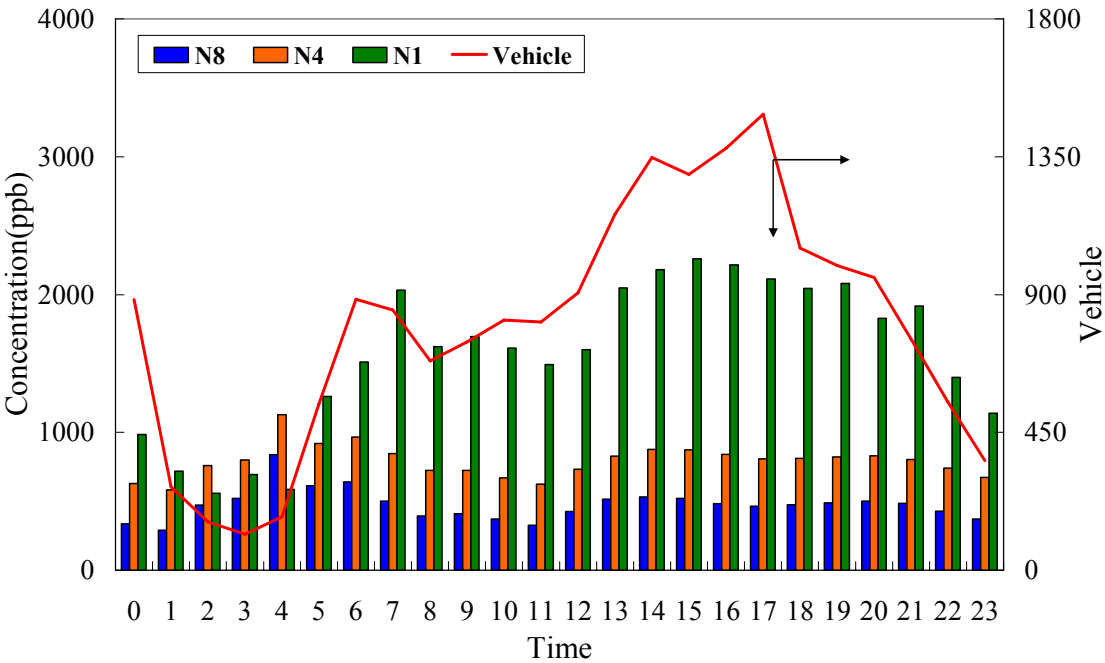


圖 4-3-2-17 非假日 NO<sub>x</sub> 逐時測值

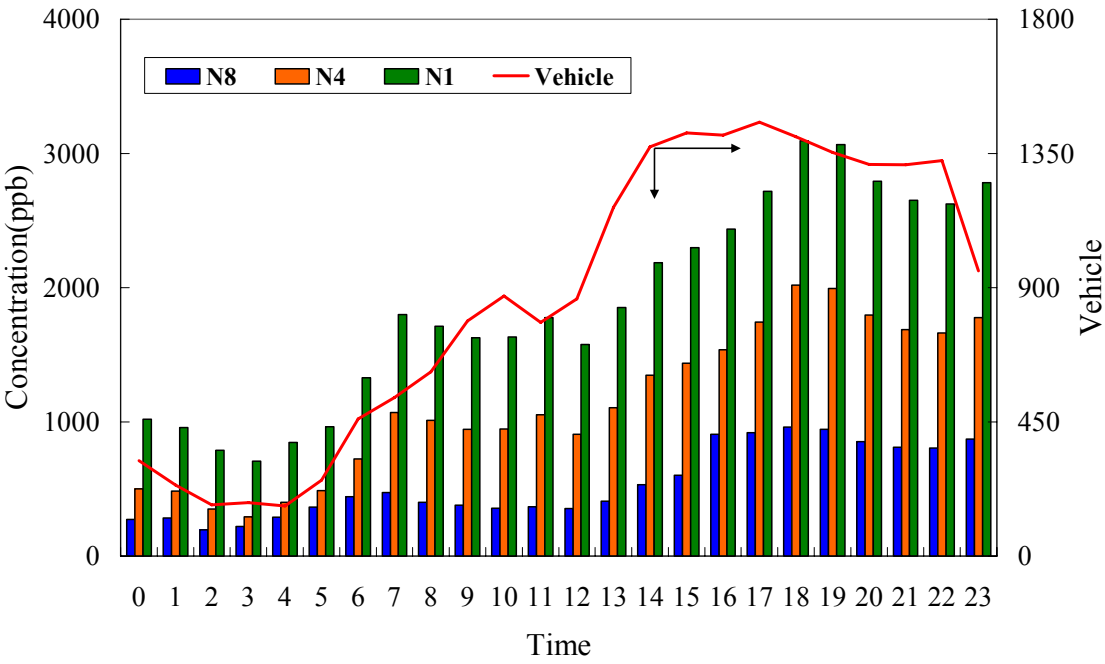


圖 4-3-2-18 假日(六)NO<sub>x</sub> 逐時測值

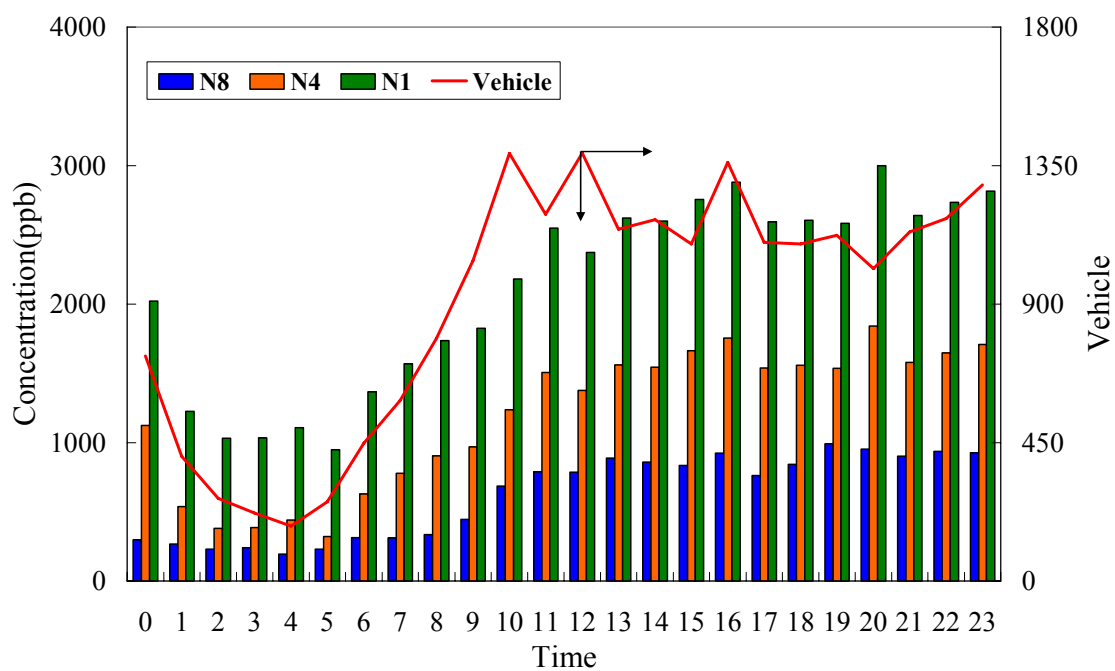


圖 4-3-2-19 假日(日) NO<sub>x</sub> 逐時測值

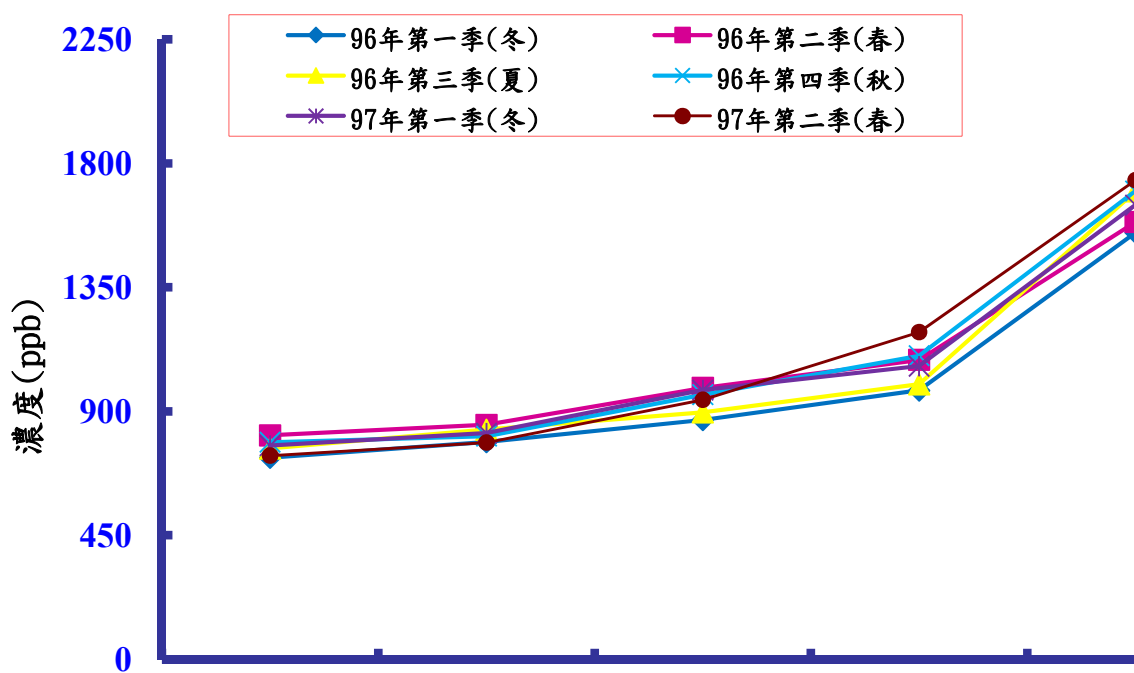


圖 4-3-2-20 各次南下車道之 NO<sub>x</sub> 濃度測值

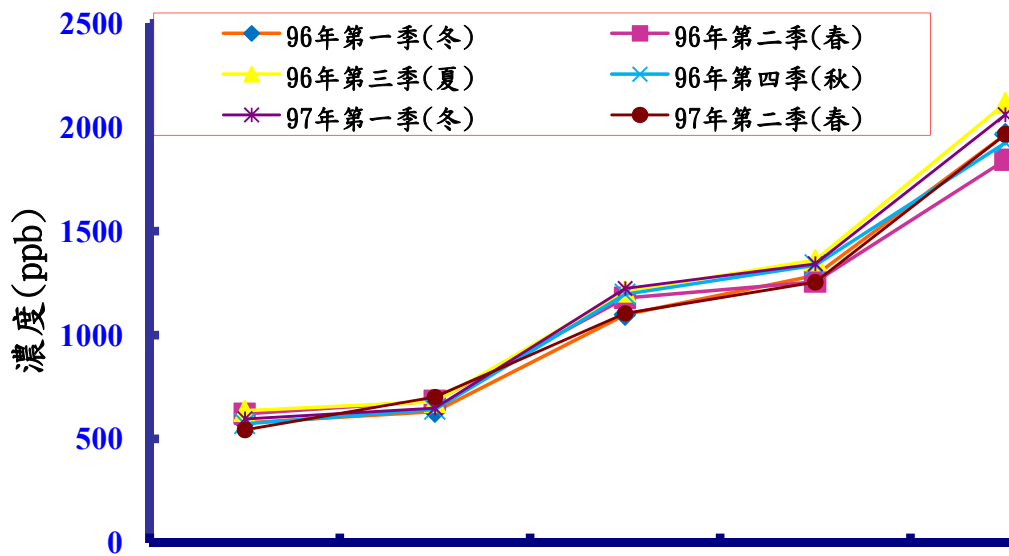


圖 4-3-2-21 各次北上車道之 NO<sub>x</sub> 濃度測

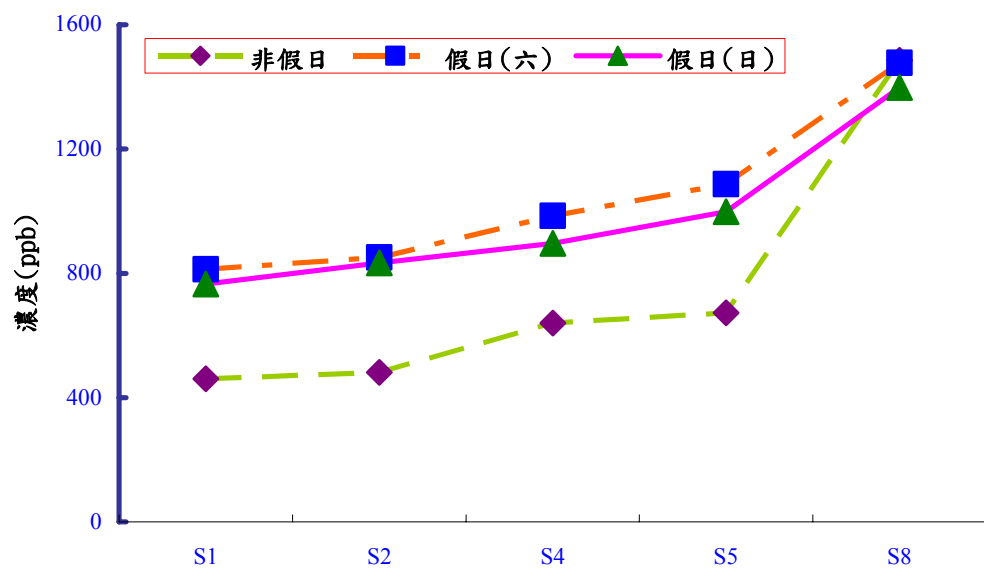


圖 4-3-2-22 非假日與假日南下 NO<sub>x</sub> 濃度測值

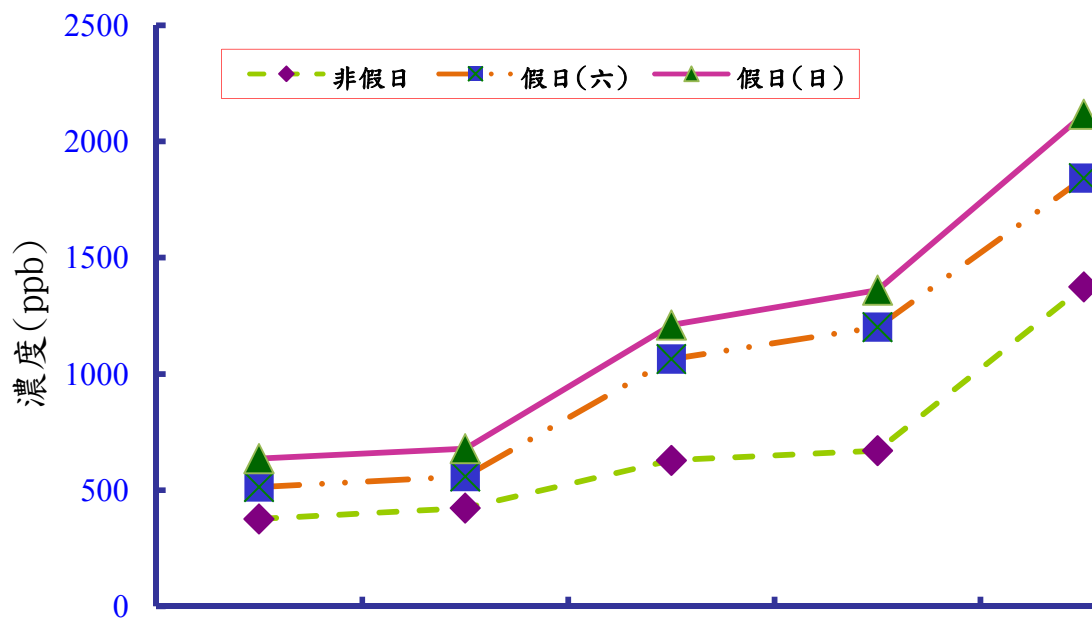


圖 4-3-2-23 本年度非假日與假日北上 NO<sub>x</sub> 濃度測值

### (三) 豎井區與台灣油杉區空氣品質監測結果

#### 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<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 濃度量測工作，經實驗人員於 96 年第一季(冬季)至 97 年第四季(秋季)分別對各測站進行量測結果如表 4-3-3-1 至表 4-3-3-8 所示，其各季濃度比較圖，如圖 4-3-3-1 至圖 4-3-3-3 所示，可知三測站之 TSP 濃度皆以豎井區濃度最高，最低皆為台灣油杉區，三測站 PM<sub>10</sub> 與 PM<sub>2.5</sub> 濃度大部分皆以民宅最高，最低大部分皆為台灣油杉區，而在整體性看來，97 年度之濃度與 96 年之濃度相比，除 TSP 之外 PM<sub>10</sub> 與 PM<sub>2.5</sub> 同期之污染濃度都較高，原因可能以雪山隧道開通初期，民眾接受度有限，初期只有小型貨車等由於經濟因素選擇以國道五號來往於台北、宜蘭地區，直到 97 年度東部民眾於春節返鄉，造成 PM<sub>10</sub> 與 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升，而現今車流量大多穩定，故後三季變化不大，在三測站各季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 96 年第一季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 71.32             | 23.40             | 8.20              |
| 民宅       | 58.41             | 28.30             | 10.63             |
| 台灣油杉區    | 35.72             | 16.33             | 5.57              |

表 4-3-3-2 96 年第二季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 69.58             | 28.32             | 10.25             |
| 民宅       | 56.81             | 30.12             | 13.62             |
| 台灣油杉區    | 34.28             | 21.24             | 9.85              |

表 4-3-3-3 96 年第三季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 73.28             | 29.31             | 9.65              |
| 民宅       | 59.56             | 31.25             | 13.31             |
| 台灣油杉區    | 36.54             | 22.57             | 8.61              |

表 4-3-3-4 96 年第四季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 70.25             | 32.25             | 8.81              |
| 民宅       | 60.54             | 30.21             | 11.23             |
| 台灣油杉區    | 32.25             | 23.56             | 7.69              |

表 4-3-3-5 97 年第一季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 65.84             | 35.6              | 9.5               |
| 民宅       | 49.12             | 39.42             | 15.6              |
| 台灣油杉區    | 40.56             | 28.91             | 10.6              |

表 4-3-3-6 97 年第二季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 68.97             | 33.40             | 12.54             |
| 民宅       | 51.60             | 29.70             | 11.01             |
| 台灣油杉區    | 39.54             | 25.45             | 11.90             |

表 4-3-3-7 97 年第三季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 66.82             | 32.05             | 10.13             |
| 民宅       | 50.81             | 26.34             | 13.52             |
| 台灣油杉區    | 40.14             | 27.55             | 10.30             |

表 4-3-3-8 97 年第四季空氣中粒狀物濃度

| 濃度<br>地點 | TSP               | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2.5</sub> |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> | μg/m <sup>3</sup> |
| 豎井區      | 68.33             | 33.59             | 9.14              |
| 民宅       | 49.10             | 27.19             | 10.23             |
| 台灣油杉區    | 33.64             | 24.45             | 8.12              |

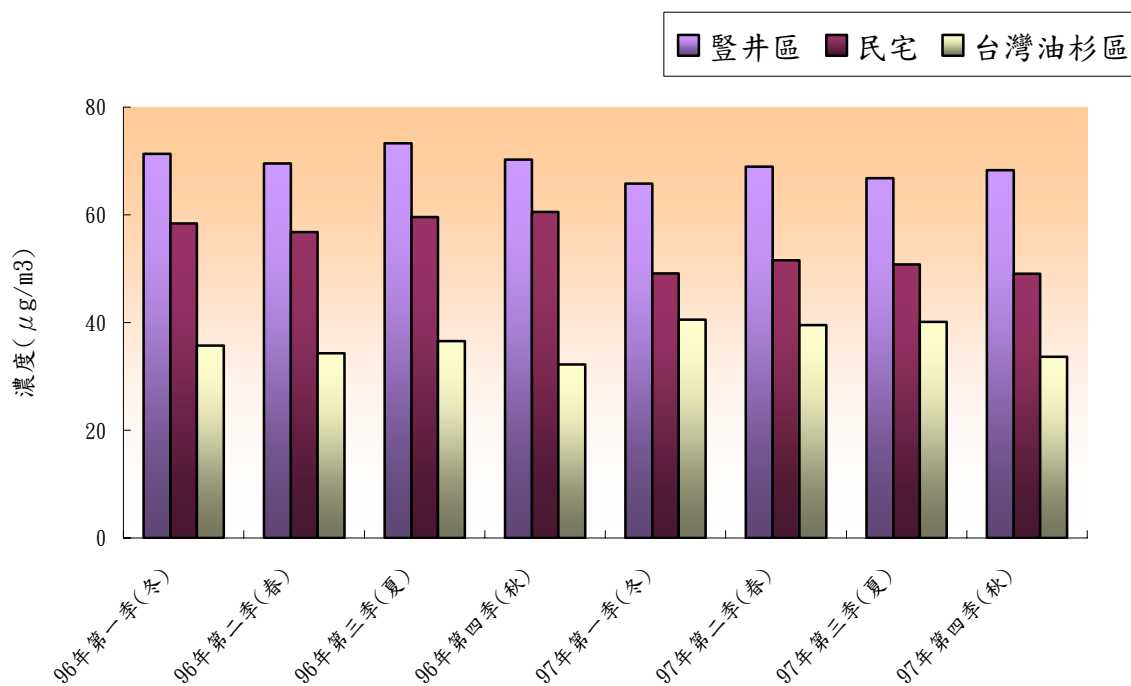


圖 4-3-3-1 TSP 濃度各季比較圖

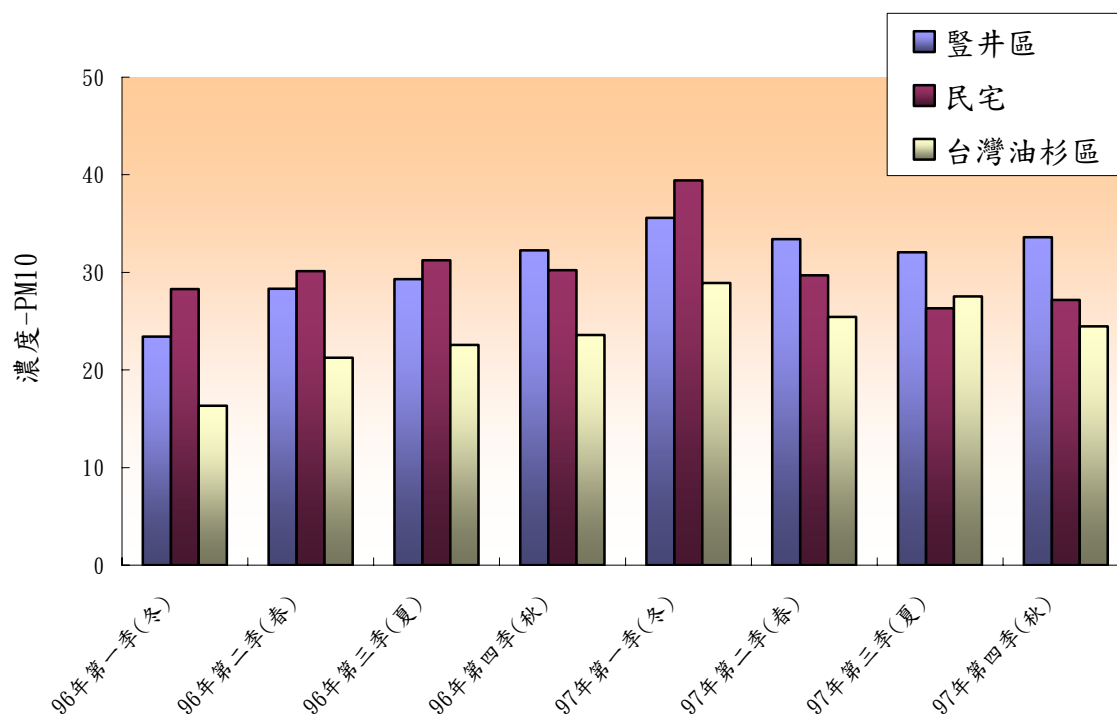


圖 4-3-3-2 PM<sub>10</sub> 濃度各季比較圖

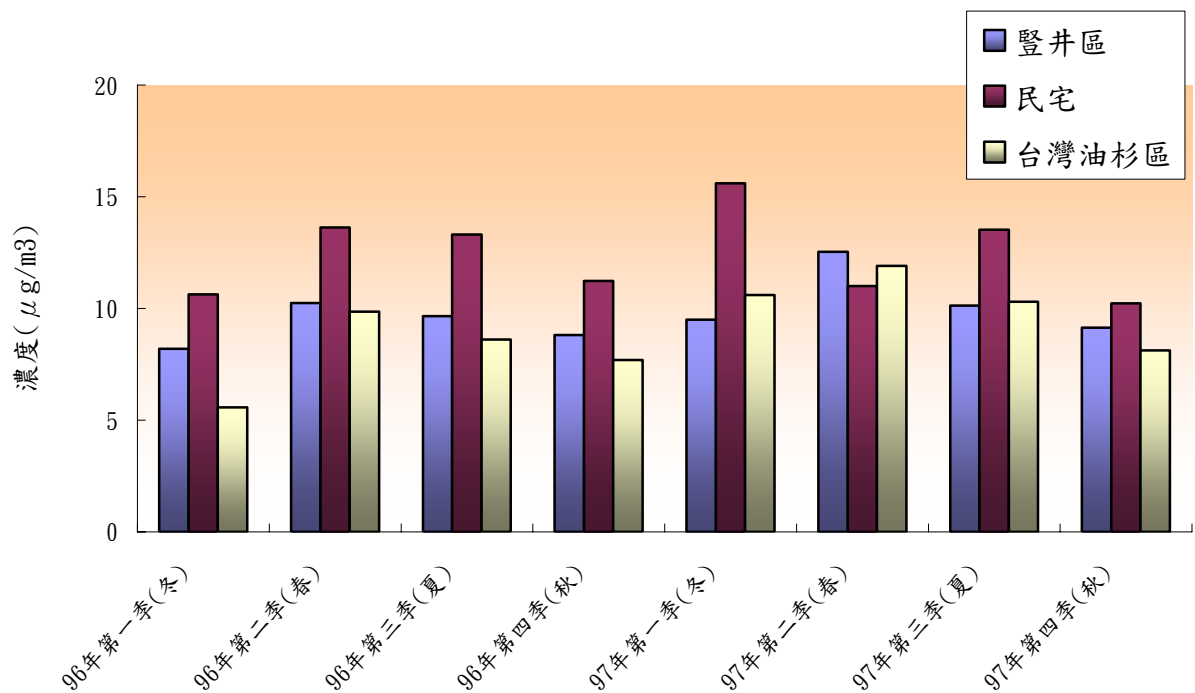


圖 4-3-3-3 PM<sub>2.5</sub> 濃度各季比較圖

### 3-2 氣狀污染物濃度

本研究已進行八季豎井區空氣品質監測作業，並完成八季空氣品質監測結果數據分析，如表 4-3-3-7 至表 4-3-3-14 與圖 4-3-3-4 至圖 4-3-3-9 所示。就 SO<sub>2</sub> 濃度而言，除了第三、四季(夏、秋季)，皆顯示三個測站中，以豎井區所測得的 SO<sub>2</sub> 濃度值最高，而台灣油杉區與民宅之濃度明顯較低。各監測點之 CO 濃度以冬季之濃度較低，其餘季節濃度略高；NO 濃度除了民宅最低之外，其普遍濃度在 97 年度後，民眾對於國道五號倚重性提升，造成豎井區與台灣油杉區濃度略為上升；NO<sub>2</sub> 平均濃度並無急速升高或是下降，唯台灣油杉區呈一個緩慢下降的驅勢；NO<sub>x</sub> 濃度在民宅最低，在豎井區和台灣油杉區都為偏高，以整體來看，同樣也是於 97 年度後濃度有較為明顯的提升；而 O<sub>3</sub> 濃度在 96 年與 97 年各別比較下，冬季時較高，以秋季最低。四季數據之有所差異，可能為季節性造成所有差異。



由實驗結果得知台灣油杉區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；但因本年度已通行大客車，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 4-3-3-7 96 年第一季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 14.5 | 13.8  | 12.4 |
| CO(ppm)               | 1.30 | 0.60  | 0.78 |
| NO(ppb)               | 50.0 | 45.0  | 20.0 |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 10.0 | 20.0  | 15.0 |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 60.0 | 67.0  | 35.0 |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 68.3 | 65.4  | 64.6 |

表 4-3-3-8 96 年第二季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 21.3 | 20.8  | 19.9 |
| CO(ppm)               | 1.82 | 1.71  | 1.36 |
| NO(ppb)               | 78.0 | 67.0  | 32.0 |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 17.0 | 15.0  | 12.0 |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 95.0 | 82.0  | 44.0 |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 56.7 | 53.2  | 51.2 |

表 4-3-3-9 96 年第三季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 3.60 | 2.30  | 1.90 |
| CO(ppm)               | 1.80 | 1.40  | 2.32 |
| NO(ppb)               | 49.0 | 40.0  | 13.0 |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 12.3 | 17.0  | 18.0 |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 54.5 | 64.0  | 32.0 |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 34.0 | 53.6  | 44.9 |

表 4-3-3-10 96 年第四季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 5.80 | 2.88  | 3.80 |
| CO(ppm)               | 1.60 | 1.30  | 2.27 |
| NO(ppb)               | 46.5 | 59.0  | 30.0 |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 13.5 | 21.0  | 11.0 |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 44.5 | 67.0  | 49.0 |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 25.6 | 42.6  | 54.2 |

表 4-3-3-11 97 年第一季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 15.6 | 11.5  | 9.8  |
| CO(ppm)               | 1.6  | 0.8   | 0.69 |
| NO(ppb)               | 46   | 38    | 27   |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 15   | 18    | 13   |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 61   | 56    | 40   |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 62.6 | 58.9  | 56.1 |

表 4-3-3-12 97 年第二季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 16.6 | 13.7  | 10.9 |
| CO(ppm)               | 1.98 | 1.86  | 1.61 |
| NO(ppb)               | 85   | 81    | 40   |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 16   | 13    | 18   |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 101  | 94    | 58   |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 61.8 | 55.6  | 50.4 |

表 4-3-3-13 97 年第三季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 14.1 | 11.8  | 9.8  |
| CO(ppm)               | 1.25 | 1.67  | 1.44 |
| NO(ppb)               | 72   | 76    | 36   |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 14   | 11    | 17   |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 94   | 87    | 53   |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 54.9 | 53.1  | 47.6 |

表 4-3-3-14 97 年第四季各監測點污染物濃度之比較

|                       | 豎井區  | 台灣油杉區 | 民宅   |
|-----------------------|------|-------|------|
| SO <sub>2</sub> (ppb) | 13.8 | 10.06 | 9.2  |
| CO(ppm)               | 1.19 | 1.63  | 1.32 |
| NO(ppb)               | 73   | 73    | 33   |
| NO <sub>2</sub> (ppb) | 13   | 10    | 15   |
| NO <sub>x</sub> (ppb) | 89   | 83    | 50   |
| O <sub>3</sub> (ppb)  | 52.4 | 52.31 | 45.9 |

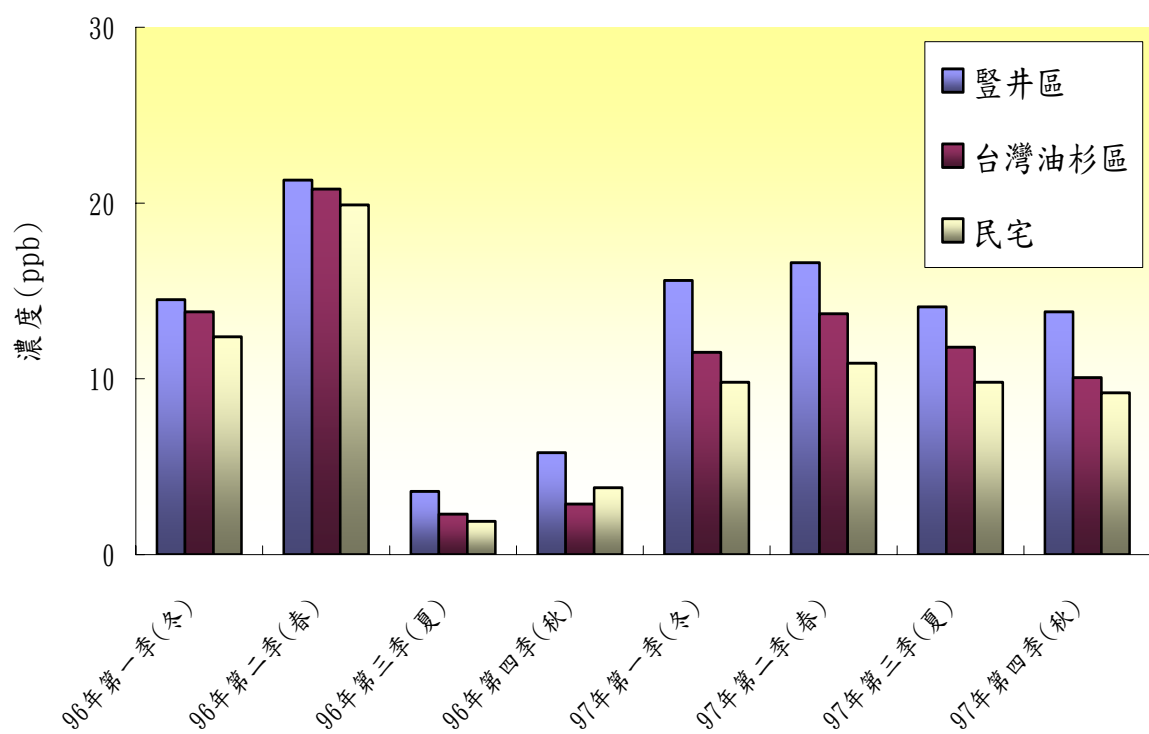


圖 4-3-3-4 SO<sub>2</sub> 各季濃度比較圖

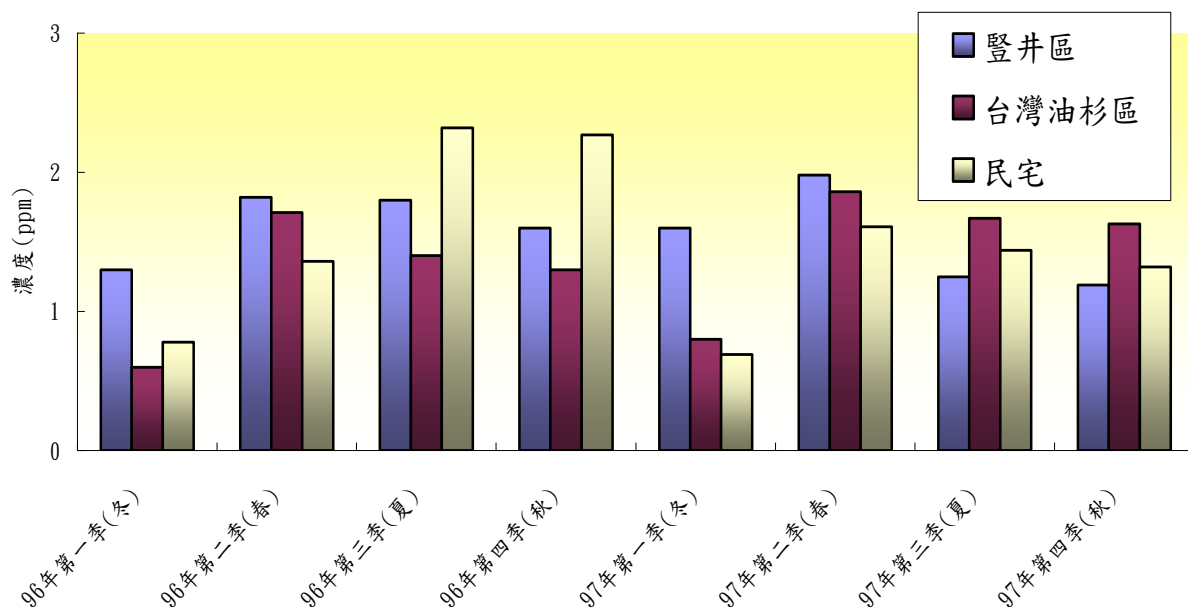


圖 4-3-3-5 CO 各季濃度比較圖



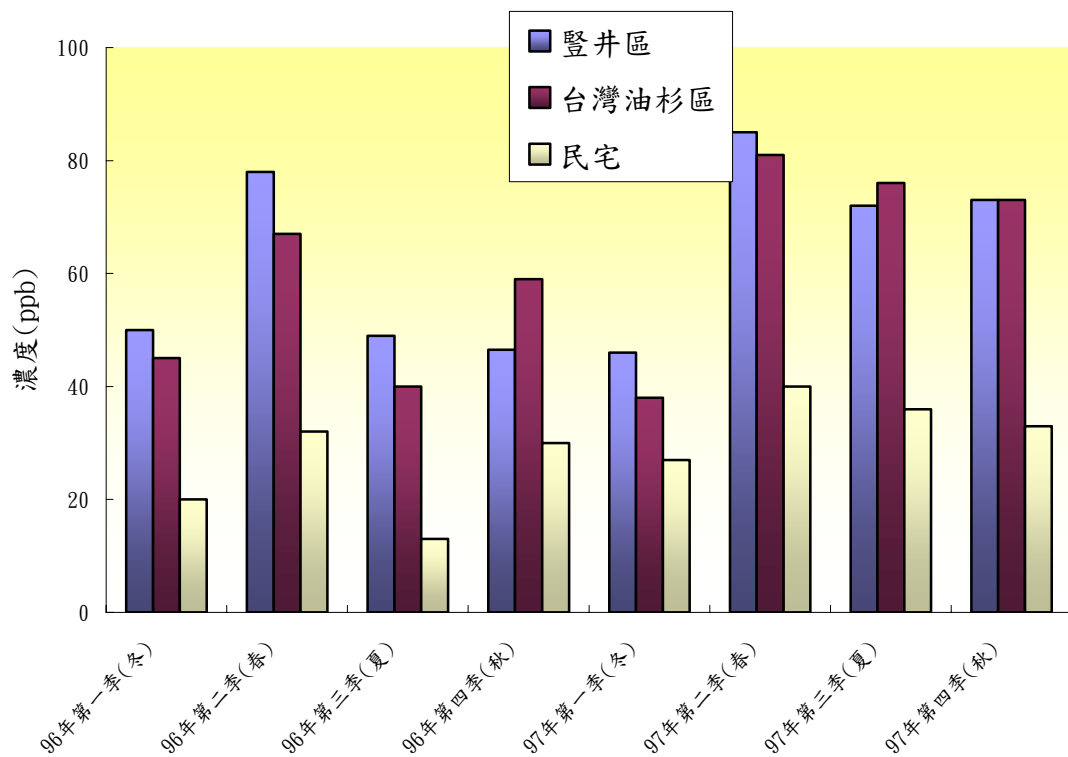


圖 4-3-3-6 NO 各季濃度比較圖

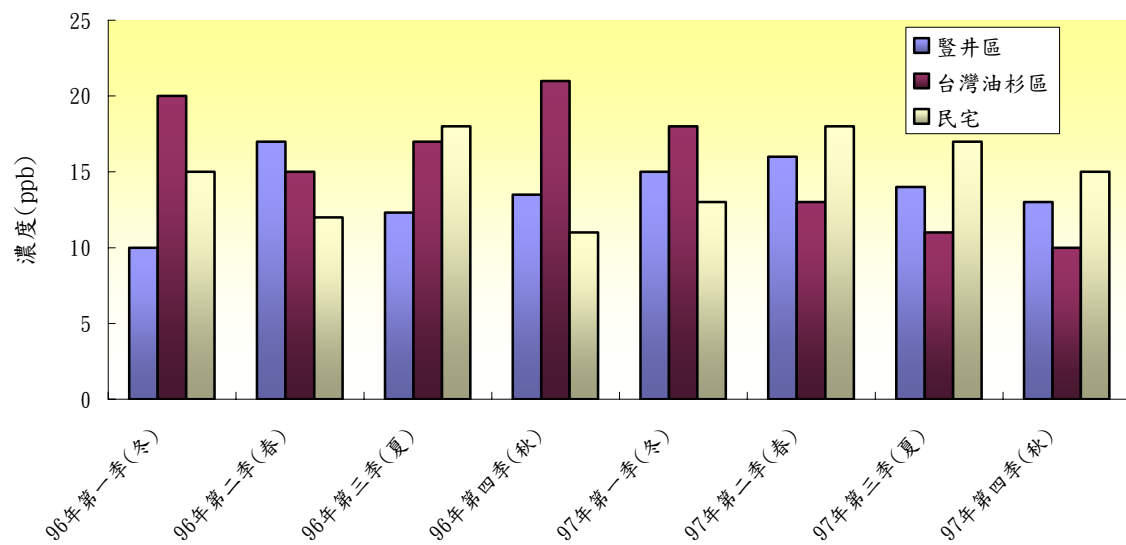


圖 4-3-3-7 NO<sub>2</sub> 各季濃度比較圖

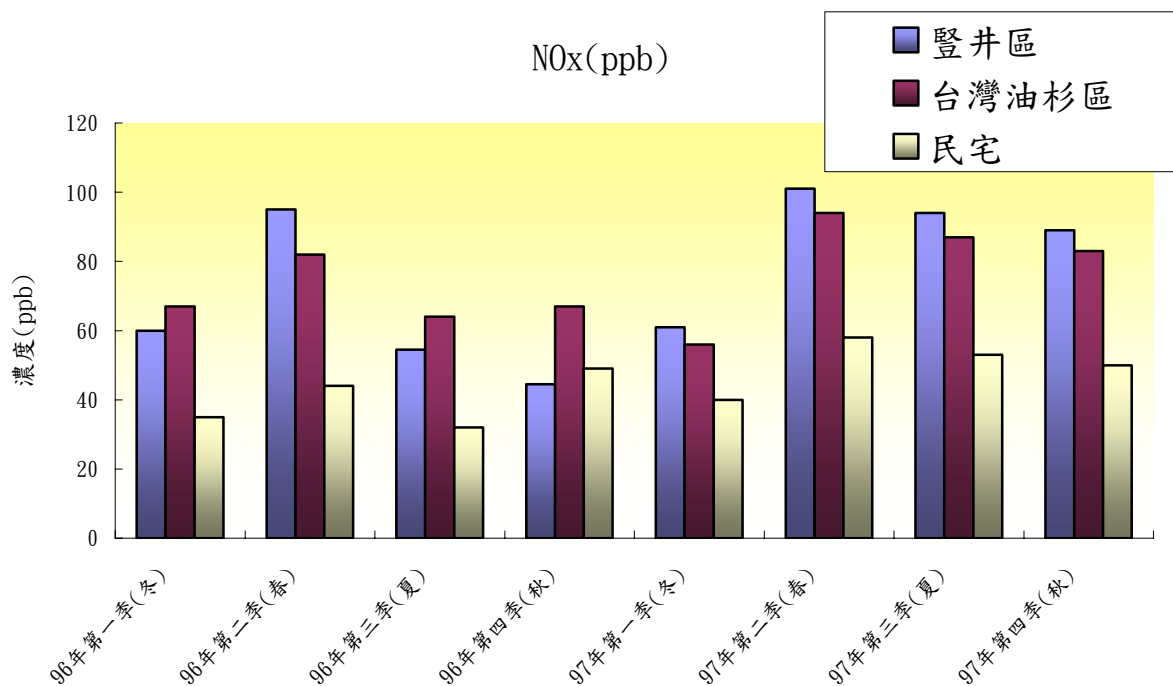


圖 4-3-3-8 NO<sub>x</sub> 各季濃度比較圖

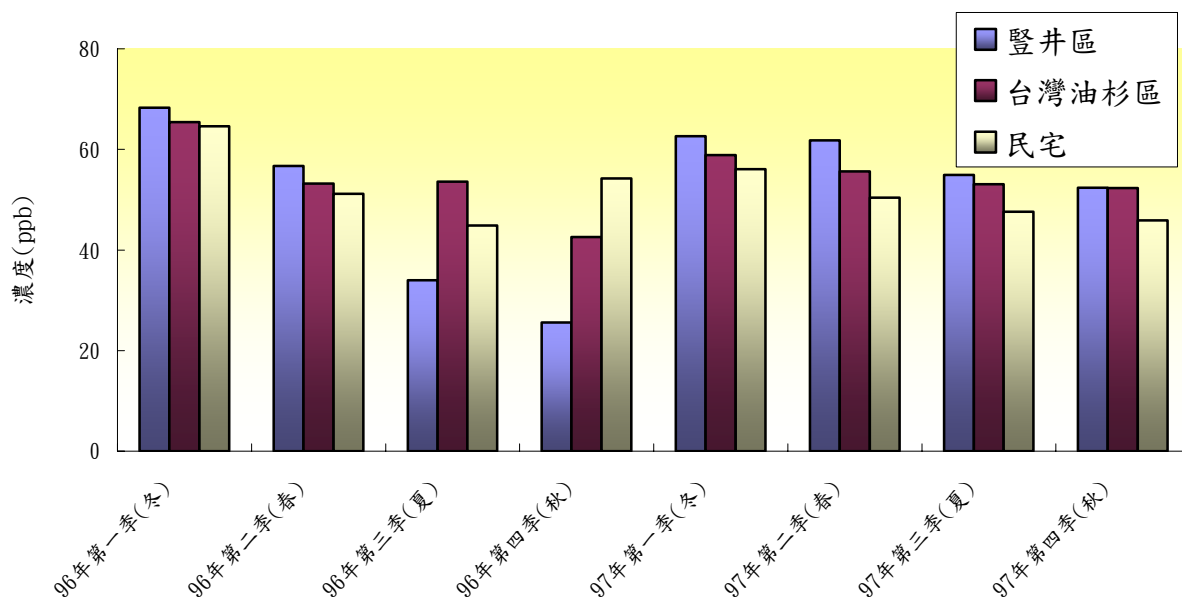


圖 4-3-3-9 O<sub>3</sub> 各季濃度比較圖

#### (四) 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，乃於原 96 年度 A 區測點架設酸沉降採樣器，並於 D 區新增一測點，以分析雨水中陰離子濃度(含

$\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ），與陽離子濃度(含  $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ )，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；另管制圖如附錄二所示。本次 A 區分析結果為 97 年度第三季和第四季，並加入 96 年度第一季到第四季數據及 97 年度第一季和第二季加以比較，D 區分析結果為 97 年度第三季和第四季，並加入 97 年度第一季和第二季加以比較。

#### 4-1 陰離子濃度分析結果

本計畫乃以離子層析儀(IC)分析四季之陰離子濃度，本次分析結果為 97 年度第三季和第四季，並加入 96 年度第一季到第四季數據及 97 年度第一季和第二季加以比較，如表 4-3-4-1 至表 4-3-4-2 及圖 4-3-4-1 至圖 4-3-4-6 所示。由 A 區 97 年度第三季(夏季)時之所採集雨水中陰離子濃度可得知，以 $[\text{NO}_3^-]$ 及 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 濃度較其他陰離子濃度為高，其中以 $[\text{NO}_3^-]$ 濃度為最大，約為 1.36mg/L，其次為 $[\text{PO}_4^{3-}]$ ，約 1.13 mg/L。在 97 年度第四季(秋季)時所分析陰離子中，亦以 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 濃度為最大，約為 2.09 mg/L， $[\text{NO}_3^-]$ 與 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度分別約為 1.97 mg/L 及 1.64 mg/L。而 D 區 97 年度第三季(夏季)時之所採集雨水中陰離子濃度，濃度較高者與前一測點略為不同，且較高濃度陰離子乃為 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_2^-]$ 及 $[\text{NO}_3^-]$ ，其中以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為 3.35mg/L； $[\text{NO}_2^-]$ 與 $[\text{NO}_3^-]$ 濃度分別約為 1.95mg/L 及 1.68mg/L。在 97 年度第四季(秋季)時陰離子濃度，以 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_3^-]$ 及 $[\text{NO}_2^-]$ 等離子濃度較高，但以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為 2.86 mg/L；而 $[\text{NO}_3^-]$ 與 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度分別約為 1.85 mg/L 及 1.81 mg/L。本年度陰離子濃度略高於 96 年度測試結果，其原因可能雪山隧道車流量略為增加或已通行大客車所致，即此地空氣品質已略受豎井排氣所影響。

表 4-3-4-1 A 區陰離子濃度測試結果

| 監測項目<br>監測季別 | 陰離子(mg/L) |                 |                              |                              |                               |                               |
|--------------|-----------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              | pH        | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| 96 年第一季(冬)   | 5.4       | 0.35            | 0.24                         | 0.47                         | 0.33                          | 0.12                          |
| 96 年第二季(春)   | 5         | 1.87            | 0.5                          | 1.34                         | 2.31                          | 0.78                          |
| 96 年第三季(夏)   | 5.6       | 0.38            | 0.46                         | 0.89                         | 0.66                          | 0.6                           |
| 96 年第四季(秋)   | 5.8       | 0.88            | 0.67                         | 1.12                         | 0.88                          | 0.63                          |
| 97 年第一季(冬)   | 5.6       | 1.47            | 1.01                         | 1.97                         | 0.57                          | 1.06                          |
| 97 年第二季(春)   | 4.9       | 2.02            | 1.7                          | 1.88                         | 2.18                          | ND(≤0.10)                     |
| 97 年第三季(夏)   | 5.2       | 0.96            | 0.83                         | 1.36                         | 1.13                          | 0.58                          |
| 97 年第四季(秋)   | 5.3       | 1.56            | 1.64                         | 1.97                         | 2.09                          | 0.64                          |

表 4-3-4-2 D 區陰離子濃度測試結果

| 監測項目<br>監測季別 | 陰離子(mg/L) |                 |                              |                              |                               |                               |
|--------------|-----------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              | pH        | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| 97 年第一季(冬)   | 5.3       | 3.11            | 1.74                         | 1.43                         | 1.18                          | 1.27                          |
| 97 年第二季(春)   | 4.6       | 2.56            | 1.7                          | 1.36                         | 1.48                          | 1.45                          |
| 97 年第三季(夏)   | 4.9       | 3.35            | 1.95                         | 1.68                         | 1.05                          | 1.63                          |
| 97 年第四季(秋)   | 5.1       | 2.86            | 1.81                         | 1.85                         | 0.82                          | 1.12                          |



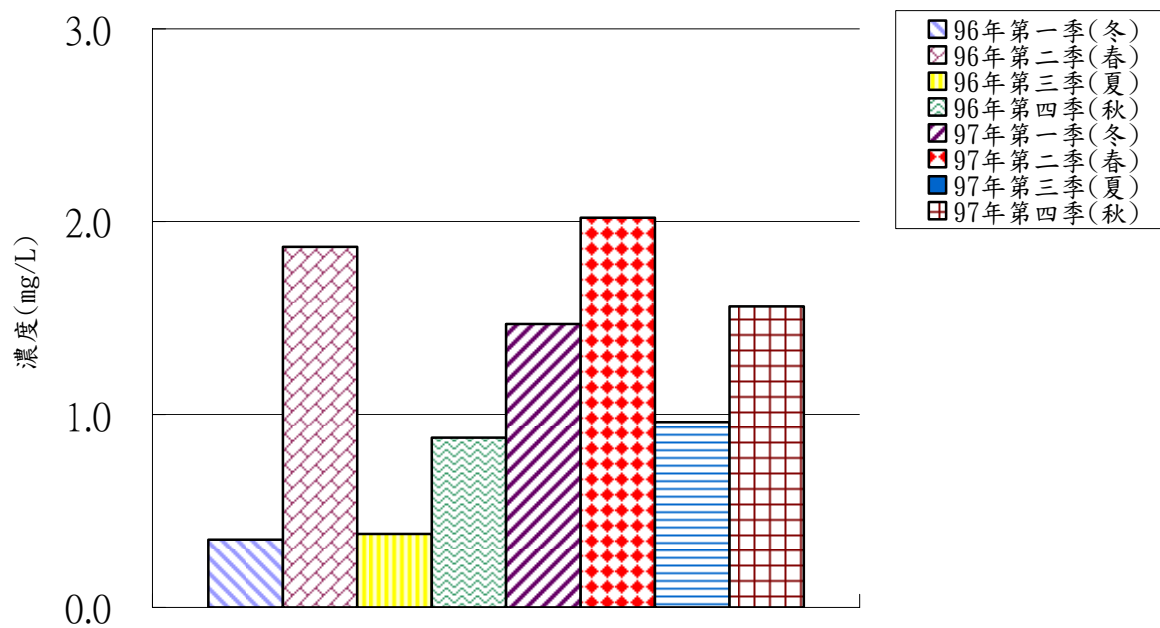


圖 4-3-4-1 A 區 Cl<sup>-</sup>離子濃度測試結果

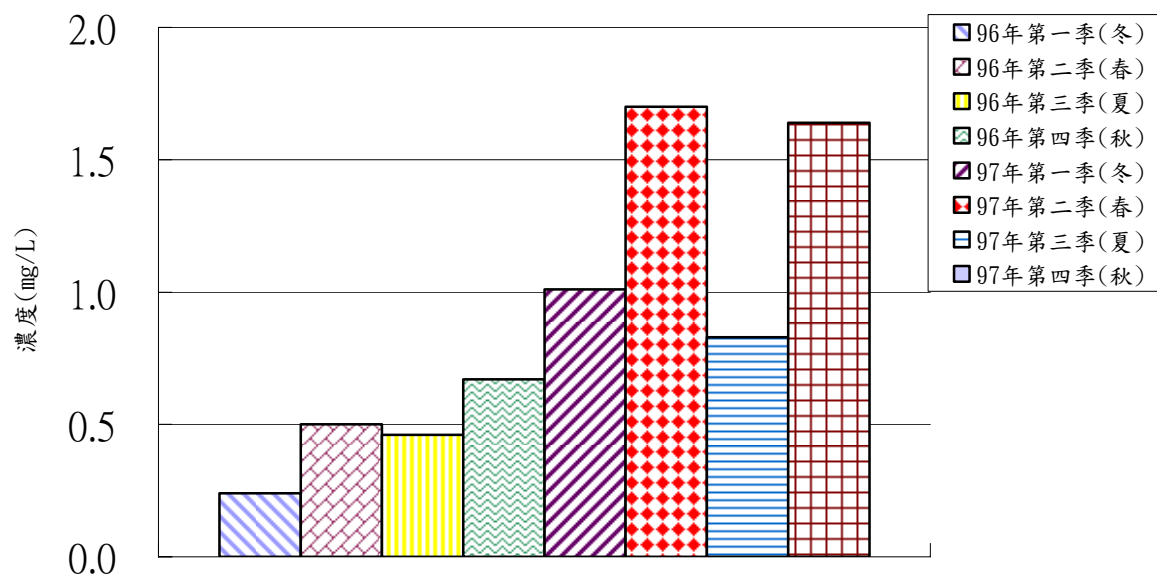


圖 4-3-4-2 A 區 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>離子濃度測試結果

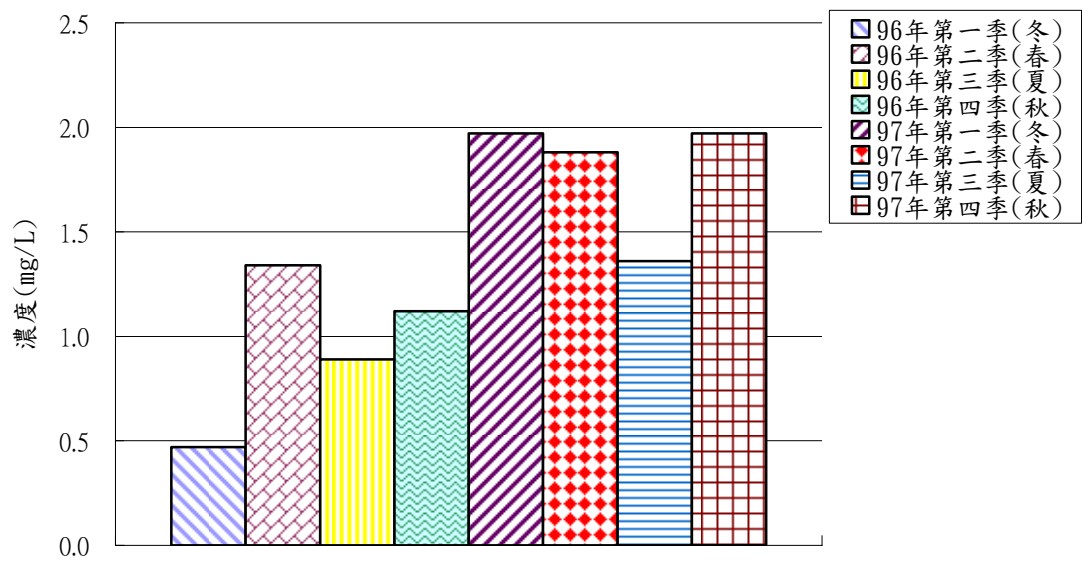


圖 4-3-4-3 A 區 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度測試結果

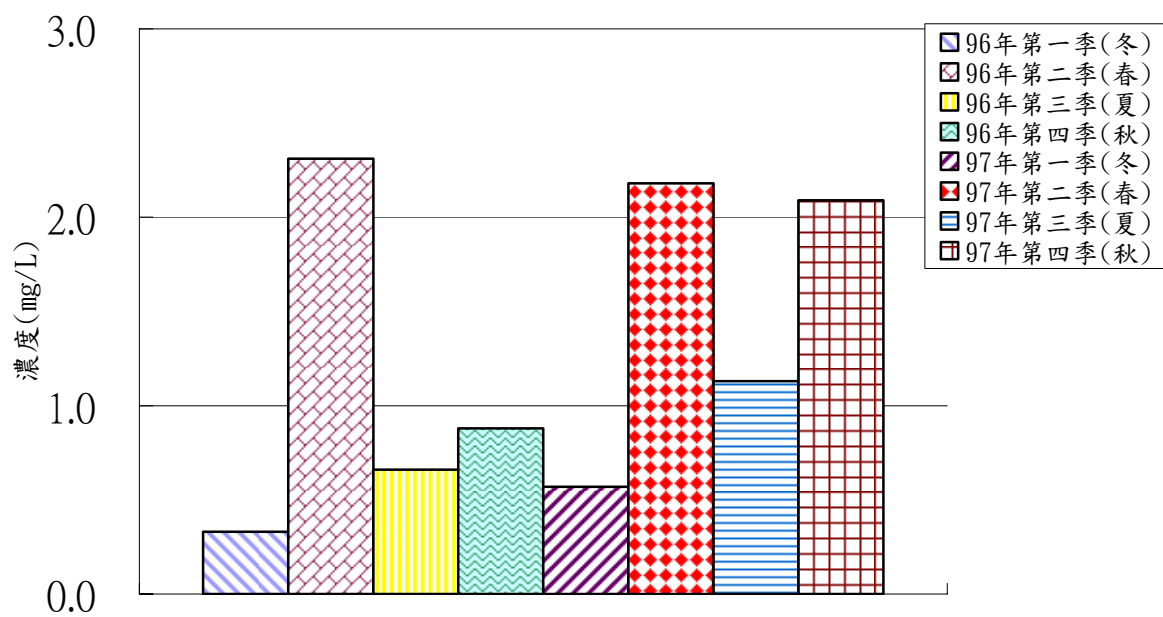


圖 4-3-4-4 A 區 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>濃度測試結果

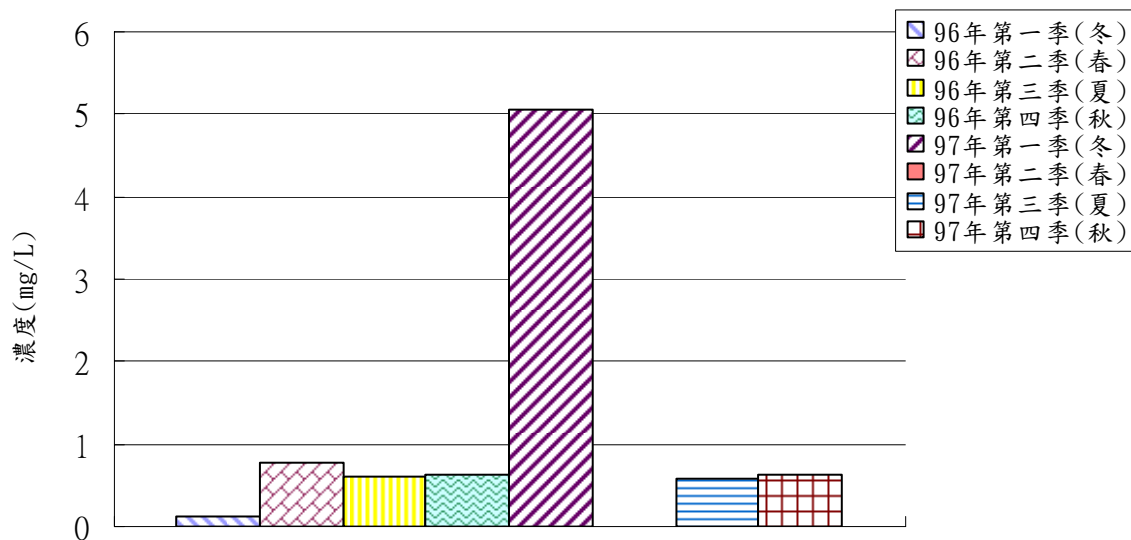


圖 4-3-4-5 A 區 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度測試結果

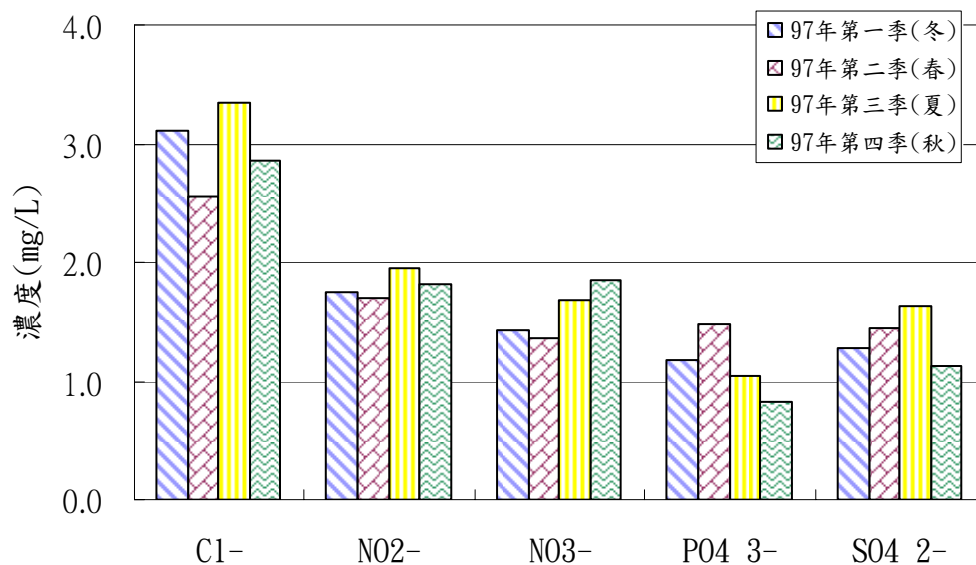


圖 4-3-4-6 D 區各陰離子濃度測試結果

## 4-2 陽離子濃度分析結果

本計畫亦以離子層析儀(IC)分析四季陽離子濃度變化，本次分析結果為 97 年度第三季和第四季，並加入 96 年度第一季到第四季數據及 97 年度第

一季和第二季加以比較，如表 4-3-4-3 至表 4-3-4-4 及圖 4-3-4-7 至圖 4-3-4-12 所示，在 A 區 97 年度第三季(夏季)時所採集之雨水，其所分析出各陽離子濃度中，以 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{K}^+]$ 濃度較為其他離子高，其  $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{K}^+]$ 濃度分別約為 2.35 mg/L 與 1.28 mg/L。在 97 年度第四季(秋季)時所採集之雨水，其所分析出各陽離子濃度中，以 $[\text{K}^+]$ 與 $[\text{Na}^+]$ 濃度較為其他離子高，其 $[\text{K}^+]$ 濃度與 $[\text{Na}^+]$ 濃度分別為 2.05 mg/L 與 1.84 mg/L。而 D 區 97 年度第三季(夏季)時所採集之雨水，其所分析各陽離子濃度中，以 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{Ca}^{2+}]$ 濃度為較高，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Ca}^{2+}]$ 濃度分別約為 1.38 mg/L 與 0.94 mg/L。在 97 年度第四季(秋季)時所採集之雨水，其所分析出各陽離子濃度中，以 $[\text{Ca}^{2+}]$ 與 $[\text{Na}^+]$ 濃度較為明顯，其  $[\text{Ca}^{2+}]$ 濃度與 $[\text{Na}^+]$ 濃度分別為 1.18 mg/L 與 0.94 mg/L。本年度陽離子濃度略高於 96 年度測試結果，其原因可能雪山隧道車流量略為增加或通行大客車所致，即此地空氣品質已略受豎井排氣所影響，尤其 pH 已下降至 5.0 以下，值得予以關注。

表 4-3-4-3 A 區陽離子濃度測試結果

| 監測項目<br>監測季別 | 陽離子(mg/L) |               |                 |              |                  |                  |
|--------------|-----------|---------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|
|              | pH        | $\text{Na}^+$ | $\text{NH}_4^+$ | $\text{K}^+$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ |
| 96 年第一季(冬)   | 5.4       | 0.68          | 0.45            | 0.12         | 0.06             | 0.08             |
| 96 年第二季(春)   | 5         | 1.09          | 0.76            | 1.28         | 0.83             | 0.5              |
| 96 年第三季(夏)   | 5.6       | 0.78          | 0.67            | 0.56         | 0.45             | 0.35             |
| 96 年第四季(秋)   | 5.8       | 0.91          | 0.55            | 0.77         | 0.53             | 0.78             |
| 97 年第一季(冬)   | 5.6       | 2.67          | 0.48            | 0.67         | 1.69             | 0.45             |
| 97 年第二季(春)   | 4.9       | 1.18          | 0.71            | 2.88         | 0.85             | 0.62             |
| 97 年第三季(夏)   | 5.2       | 2.35          | 0.39            | 1.28         | 0.21             | 0.49             |
| 97 年第四季(秋)   | 5.3       | 1.84          | 0.84            | 2.05         | 1.18             | 0.76             |



表 4-3-4-4 D 區陽離子濃度測試結果

| 監測項目<br>監測季別 | 陽離子(mg/L) |                 |                              |                |                  |                  |
|--------------|-----------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|
|              | pH        | Na <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> |
| 97 年第一季(冬)   | 5.3       | 1.53            | 0.37                         | ND (≤0.08)     | 0.73             | 0.44             |
| 97 年第二季(春)   | 4.6       | 0.55            | 0.61                         | 0.68           | 1.09             | ND(≤0.12)        |
| 97 年第二季(夏)   | 4.9       | 1.38            | 0.73                         | 0.62           | 0.94             | 0.52             |
| 97 年第二季(秋)   | 5.1       | 0.94            | 0.51                         | 0.72           | 1.18             | 0.41             |

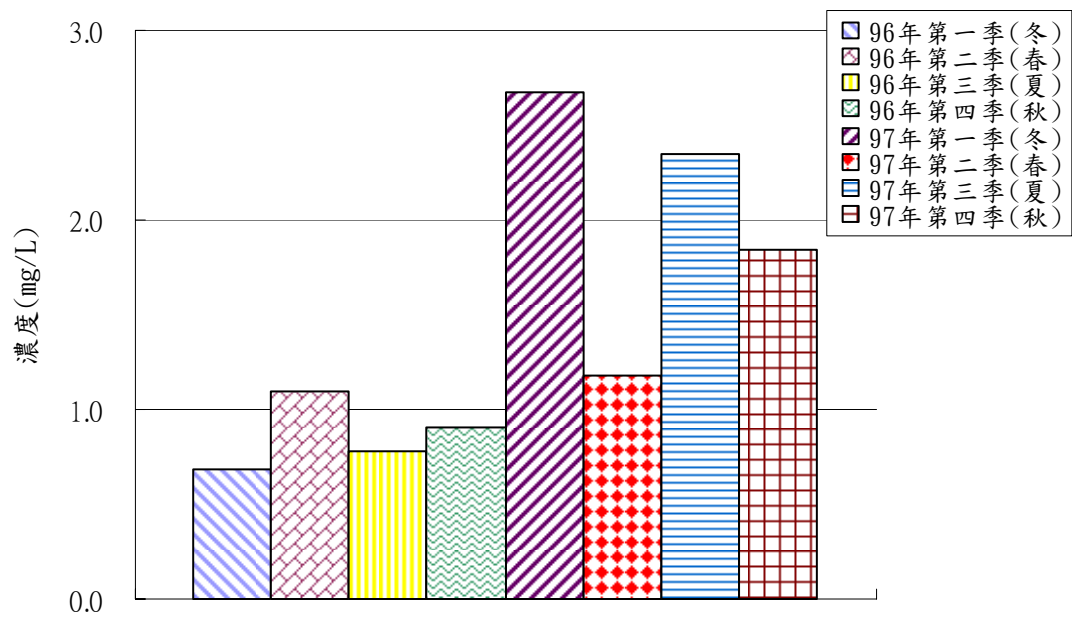


圖 4-3-4-7 A 區 Na<sup>+</sup>濃度測試結果

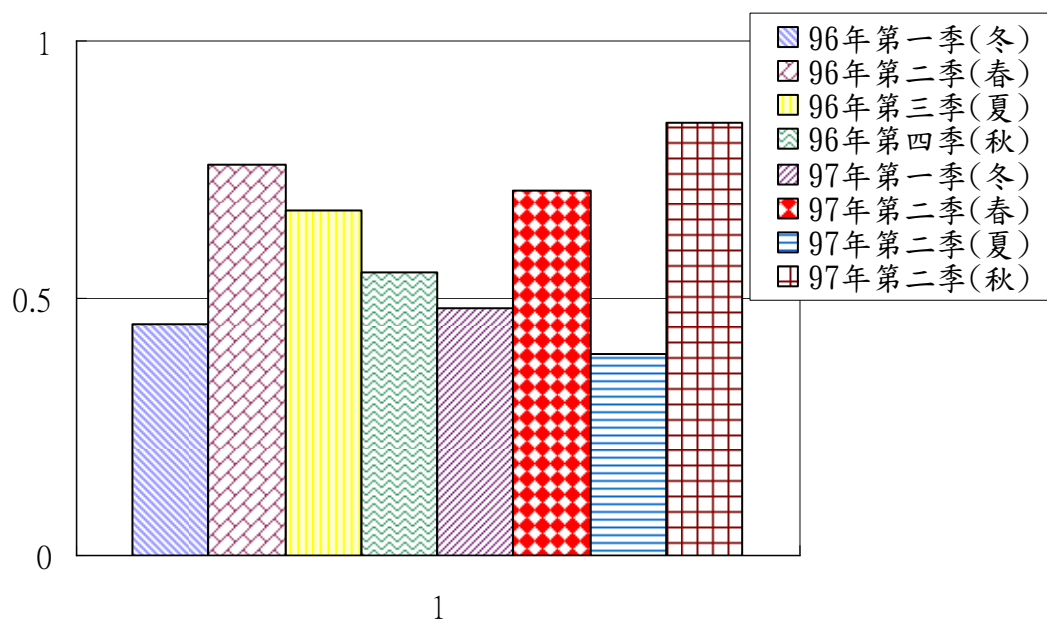


圖 4-3-4-8 A 區  $\text{NH}_4^+$  濃度測試結果

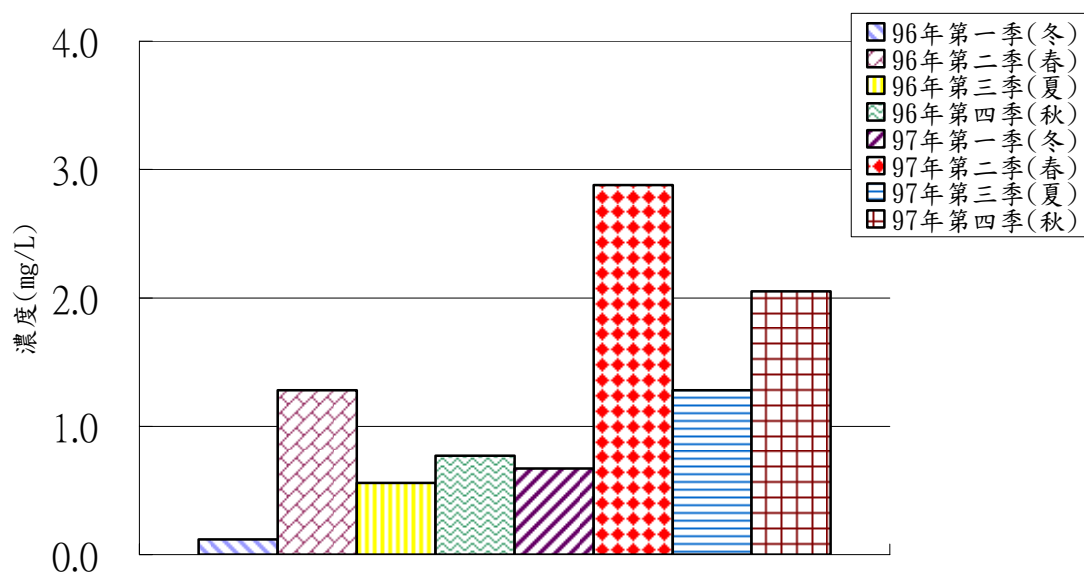


圖 4-3-4-9 A 區  $\text{K}^+$  濃度測試結果

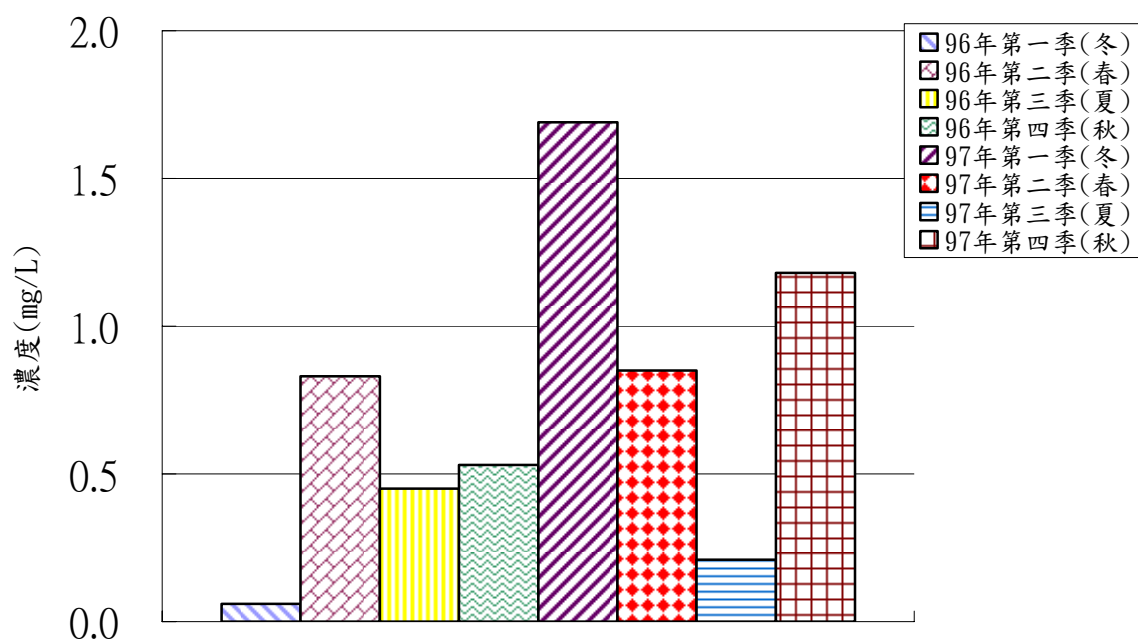


圖 4-3-4-10 A 區  $\text{Ca}^{2+}$  濃度測試結果

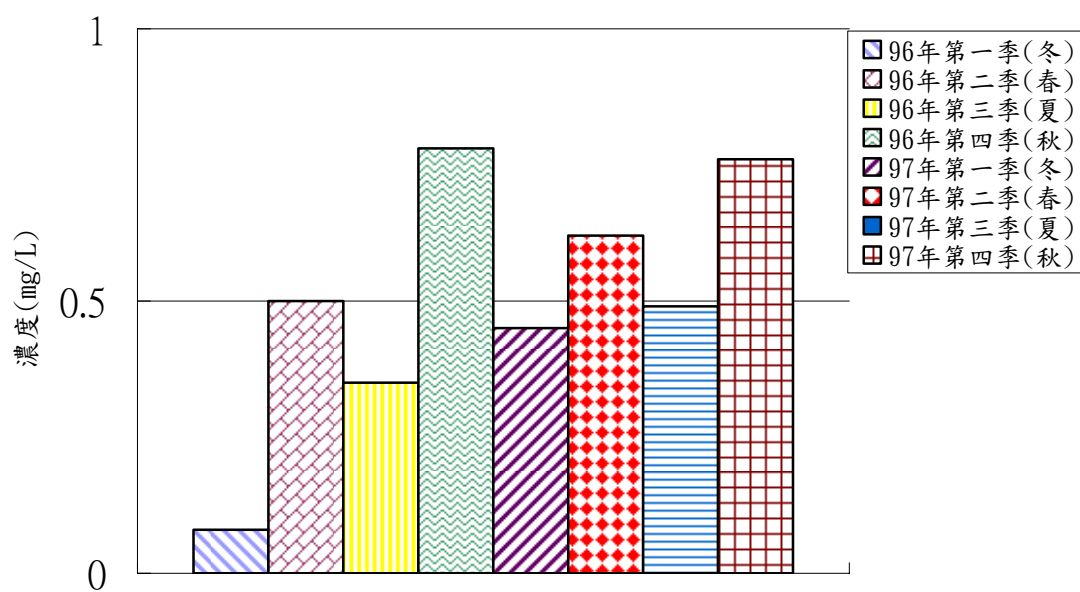


圖 4-3-4-11 A 區  $\text{Mg}^{2+}$  濃度測試結果

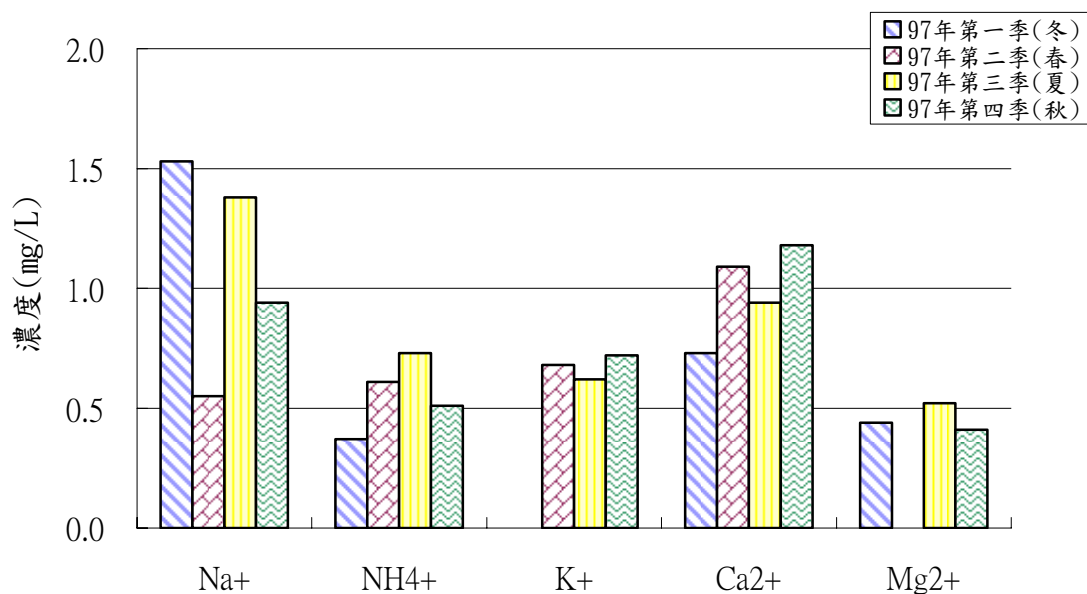


圖 4-3-4-12 D 區各陽離子濃度測試結果

#### 4-3 通車前酸雨觀測資料

以下重點統計 93 至 95 年之離子分析資料，依統計離子濃度資料所進行之分析如表 4-3-4-5 所示。

表 4-3-4-5 93 至 95 年離子濃度分析資料

單位:  $\mu\text{eq/L}$

| 年分   | pH  | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | H <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|------|-----|-----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2004 | 4.6 | 210             | 71.6                         | 135.3                         | 86.9           | 83.3                         | 180.7           | 12.6           | 23.2             | 30.7             | 1.9                                                         |
| 2005 | 4.5 | 214.9           | 67.7                         | 117.7                         | 81.5           | 76.9                         | 179.8           | 12             | 19.1             | 19.7             | 1.7                                                         |
| 2006 | 4.8 | 202.1           | 89.6                         | 127.1                         | 24.5           | 84.5                         | 182.7           | 8.2            | 28.4             | 21.1             | 1.4                                                         |



## (五) 空氣污染物對台灣油杉葉片組織影響

空氣污染物對台灣油杉葉片組織檢測結果分為兩大部分進行說明：

### 1. 葉肉( Mesophyll )：

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，細胞橫臥長柱體形，垂直中心脈走向達兩側葉緣。柵狀組織緊接著上表皮。柵狀薄壁細胞在葉片橫切面呈桿狀，排列相當緊密，常含有大量的葉綠體。其中，也觀察到微裂狀( lobed )的柵狀薄壁細胞。海綿薄壁細胞的形狀變異較大，通常都為彎曲的細胞，排列很鬆，留有很多的細胞間隙( intercellular space )，所含的葉綠體也較少；而在混合污染物處理的油杉葉中海綿薄壁細胞及橫向葉肉薄壁細胞有增大情形(圖 4-3-5-53、圖 4-3-5-63)。

### 2. 維管束組織( Vascular tissue )：

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，其內木質部居向軸( adaxial )面，韌皮部居背軸( abaxial )面，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轉輸組織 ( transfusion tissue )，含有管胞和薄壁細胞。

觀察台灣油杉四株實驗苗木之葉片構造，其結果如次表 4-3-5-1 所描述。

表 4-3-5-1 台灣油杉四株空氣污染試驗苗木之葉片構造

| 樹種、株號 (圖號)                                                       | 組織系統 | 下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |                | 中心脈 |     |
|------------------------------------------------------------------|------|--------------|------|----------------|-----|-----|
|                                                                  |      |              | 柵狀組織 | 海綿組織<br>(含樹脂管) | 木質部 | 韌皮部 |
| 台灣油杉_100 ppb_1 天<br>(圖 4-3-5-1、圖 4-3-5-2、圖 4-3-5-3、圖 4-3-5-4)    |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_100 ppb_2 天<br>(圖 4-3-5-5、圖 4-3-5-6、圖 4-3-5-7、圖 4-3-5-8)    |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_200 ppb_2 天<br>(圖 4-3-5-9、圖 4-3-5-10、圖 4-3-5-11、圖 4-3-5-12) |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_對照組<br>(圖 4-3-5-13、圖 4-3-5-14、圖 4-3-5-15、圖 4-3-5-16)        |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 0.5/25/0.25，1 小時 單位：ppm          |      |              |      |                |     |     |
| 台灣油杉_1_1_1<br>(圖 4-3-5-17、圖 4-3-5-18)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_1_1_2<br>(圖 4-3-5-19、圖 4-3-5-20)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_1_1_3<br>(圖 4-3-5-21、圖 4-3-5-22)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> =0.5/25/0.25，2 小時 單位：ppm           |      |              |      |                |     |     |
| 台灣油杉_1_2_1<br>(圖 4-3-5-23、圖 4-3-5-24)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_1_2_2<br>(圖 4-3-5-25、圖 4-3-5-26)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_1_2_3<br>(圖 4-3-5-27、圖 4-3-5-28)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 0.5/25/0.25，8 小時 單位：ppm          |      |              |      |                |     |     |
| 台灣油杉_1_8_1<br>(圖 4-3-5-29、圖 4-3-5-30)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_1_8_2<br>(圖 4-3-5-31、圖 4-3-5-32)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_1_8_3<br>(圖 4-3-5-33、圖 4-3-5-34)                            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常  |

| 樹種、株號 (圖號)                                       | 組織系統 | 下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉   |                | 中心脈 |        |
|--------------------------------------------------|------|--------------|------|----------------|-----|--------|
|                                                  |      |              | 柵狀組織 | 海綿組織<br>(含樹脂管) | 木質部 | 韌皮部    |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 1/50/0.5，1 小時    |      |              |      |                |     | 單位：ppm |
| 台灣油杉_2_1_1<br>(圖 4-3-5-35、圖 4-3-5-36)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_2_1_2<br>(圖 4-3-5-37、圖 4-3-5-38)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_2_1_3<br>(圖 4-3-5-39、圖 4-3-5-40)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 1/50/0.5，2 小時    |      |              |      |                |     | 單位：ppm |
| 台灣油杉_2_2_1<br>(圖 4-3-5-41、圖 4-3-5-42)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_2_2_2<br>(圖 4-3-5-43、圖 4-3-5-44)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_2_2_3<br>(圖 4-3-5-45、圖 4-3-5-46)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 1/50/0.5，8 小時    |      |              |      |                |     | 單位：ppm |
| 台灣油杉_2_8_1<br>(圖 4-3-5-47、圖 4-3-5-48)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_2_8_2<br>(圖 4-3-5-49、圖 4-3-5-50)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_2_8_3<br>(圖 4-3-5-51、圖 4-3-5-52、圖 4-3-5-53) |      | 正常           | 正常   | 海綿薄壁細胞增大       | 正常  | 正常     |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 2/100/1，1 小時     |      |              |      |                |     | 單位：ppm |
| 台灣油杉_3_1_1<br>(圖 4-3-5-54、圖 4-3-5-55)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_3_1_2<br>(圖 4-3-5-56、圖 4-3-5-57)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 台灣油杉_3_1_3<br>(圖 4-3-5-58、圖 4-3-5-59)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 2/100/1，2 小時     |      |              |      |                |     | 單位：ppm |
| 台灣油杉_3_2_1<br>(圖 4-3-5-60、圖 4-3-5-61)            |      | 正常           | 正常   | 正常             | 正常  | 正常     |

| 樹種、株號 (圖號)                                   | 組織系統 | 下表皮<br>(含氣孔) | 葉肉       |                | 中心脈 |     |
|----------------------------------------------|------|--------------|----------|----------------|-----|-----|
|                                              |      |              | 柵狀組織     | 海綿組織<br>(含樹脂管) | 木質部 | 韌皮部 |
| 台灣油杉_3_2_2<br>(圖 4-3-5-62、圖 4-3-5-63)        | 正常   | 正常           | 正常       | 正常             | 正常  | 正常  |
|                                              |      |              | 橫向葉肉細胞增大 |                |     |     |
| 台灣油杉_3_2_3<br>(圖 4-3-5-64、圖 4-3-5-65)        | 正常   | 正常           | 正常       | 正常             | 正常  | 正常  |
| 混合污染物濃度 NO/CO/SO <sub>2</sub> = 2/100/1，8 小時 |      |              |          |                |     |     |
| 單位：ppm                                       |      |              |          |                |     |     |
| 台灣油杉_3_8_1<br>(圖 4-3-5-66、圖 4-3-5-67)        | 正常   | 正常           | 正常       | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_3_8_2<br>(圖 4-3-5-68、圖 4-3-5-69)        | 正常   | 正常           | 正常       | 正常             | 正常  | 正常  |
| 台灣油杉_3_8_3<br>(圖 4-3-5-70、圖 4-3-5-71)        | 正常   | 正常           | 正常       | 正常             | 正常  | 正常  |

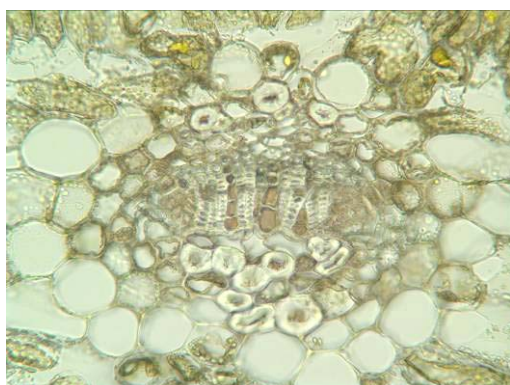


圖 4-3-5-1 台灣油杉 100ppb\_1 天 (200x) 中肋

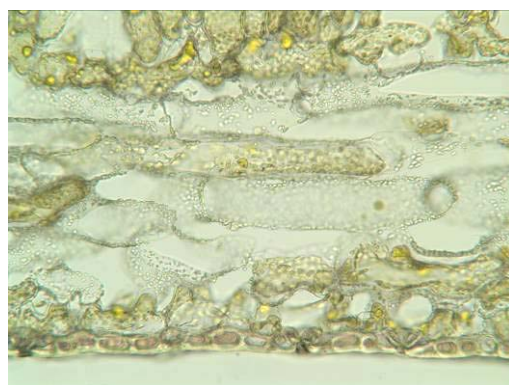


圖 4-3-5-2 台灣油杉 100ppb\_1 天(200x)下表皮及氣孔



圖 4-3-5-3 台灣油杉 100ppb\_1 天 (200x) 葉緣

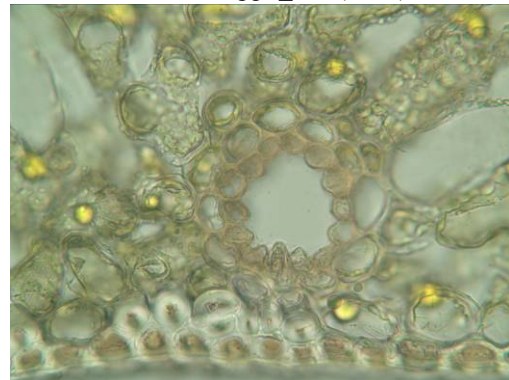


圖 4-3-5-4 台灣油杉 100ppb\_1 天(400x)下表皮及樹脂管



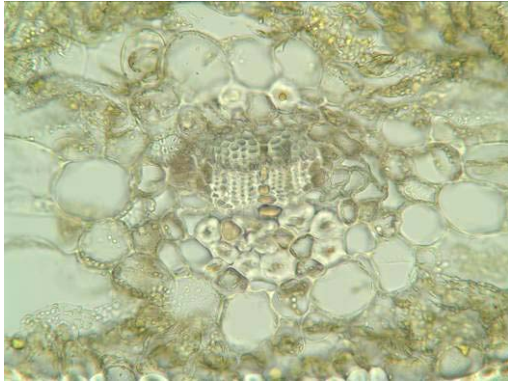


圖 4-3-5-5 台灣油杉 100ppb\_2 天 (200x)中肋

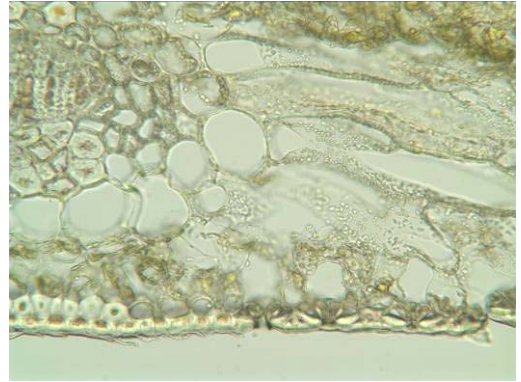


圖 4-3-5-6 台灣油杉 100ppb\_2 天(200x)下表皮及氣孔



圖 4-3-5-7 台灣油杉 100ppb\_2 天 (200x) 葉緣

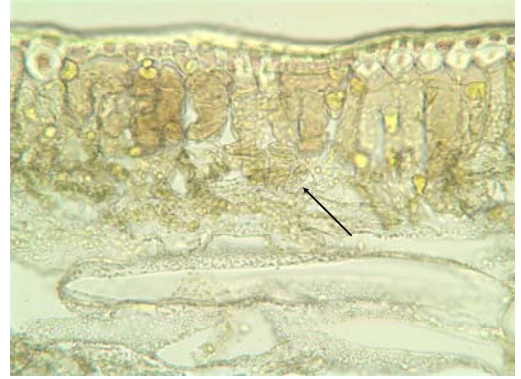


圖 4-3-5-8 台灣油杉 100ppb\_2 天 (200x)上表皮及葉肉

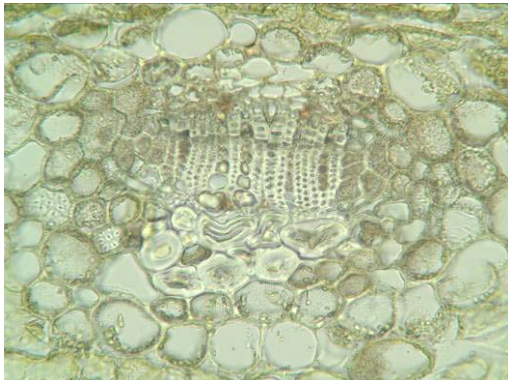


圖 4-3-5-9 台灣油杉 200ppb\_2 天 (200x)中肋

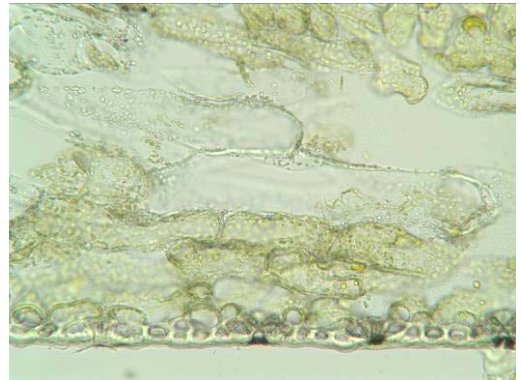


圖 4-3-5-10 台灣油杉 200ppb\_2 天(200x) 下表皮及氣孔



圖 4-3-5-11 台灣油杉 200ppb\_2 天(200x)葉緣



圖 4-3-5-12 台灣油杉 200ppb\_2 天(200x) 下表皮及樹脂管



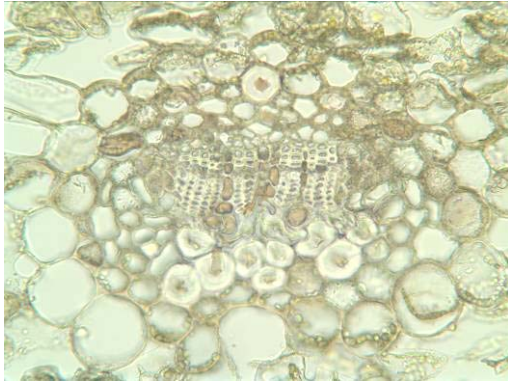


圖 4-3-5-13 台灣油杉對照組 (200x) 中肋



圖 4-3-5-14 台灣油杉對照組 (200x) 下表皮及氣孔



圖 4-3-5-15 台灣油杉對照組 (200x) 葉緣



圖 4-3-5-16 台灣油杉對照組 (200x) 下表皮及樹脂管

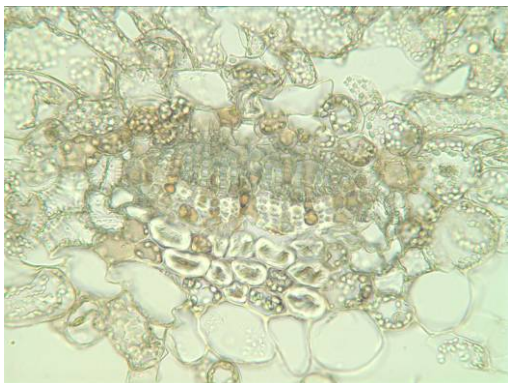


圖 4-3-5-17 台灣油杉\_1\_1\_1 (200x) 中肋

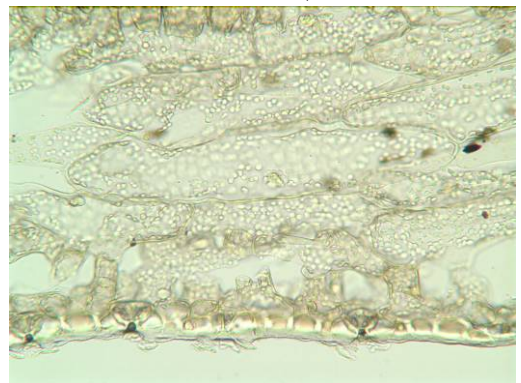


圖 4-3-5-18 台灣油杉\_1\_1\_1 (200x) 下表皮及氣孔

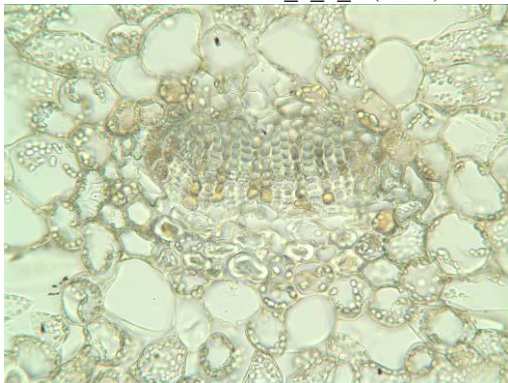


圖 4-3-5-19 台灣油杉\_1\_1\_2 (200x) 中肋



圖 4-3-5-20 台灣油杉\_1\_1\_2 (200x) 近葉緣及氣孔



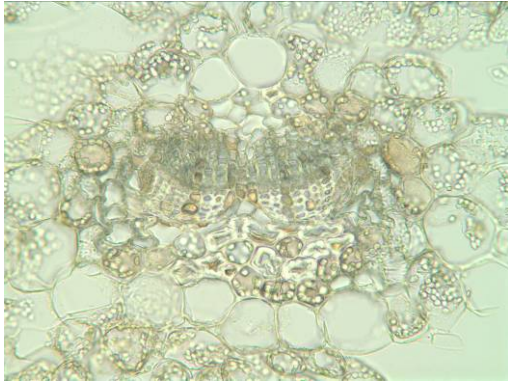


圖 4-3-5-21 台灣油杉\_1\_1\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-22 台灣油杉\_1\_1\_3 (200x) 下表皮及氣孔



圖 4-3-5-23 台灣油杉\_1\_2\_1 (200x) 中肋



圖 4-3-5-24 台灣油杉\_1\_2\_1 (200x) 下表皮及氣孔

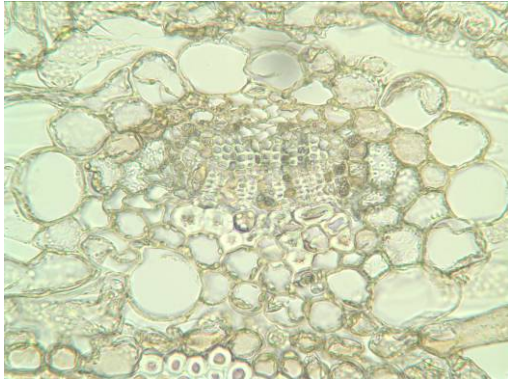


圖 4-3-5-25 台灣油杉\_1\_2\_2 (200x) 中肋

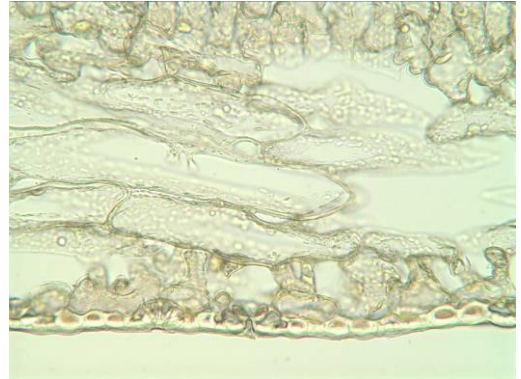


圖 4-3-5-26 台灣油杉\_1\_2\_2 (200x) 下表皮及氣孔

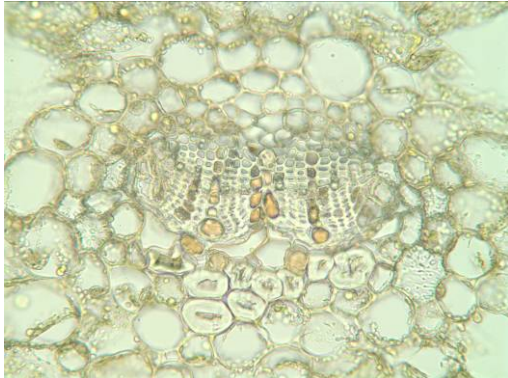


圖 4-3-5-27 台灣油杉\_1\_2\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-28 台灣油杉\_1\_2\_3 (200x) 下表皮及氣孔



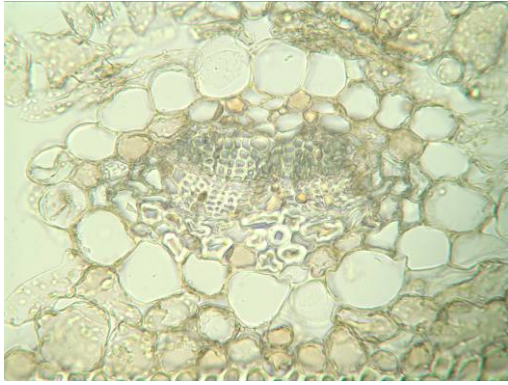


圖 4-3-5-29 台灣油杉\_1\_8\_1 (200x) 中肋

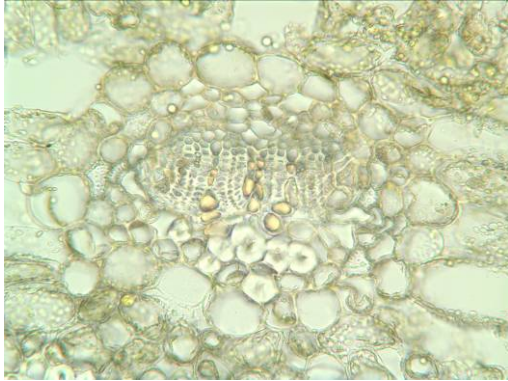


圖 4-3-5-31 台灣油杉\_1\_8\_2 (200x) 中肋



圖 4-3-5-33 台灣油杉\_1\_8\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-35 台灣油杉\_2\_1\_1 (200x) 中肋

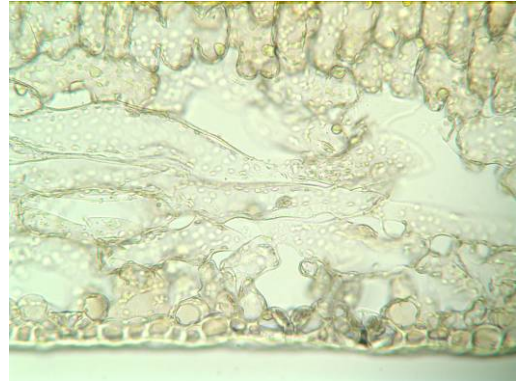


圖 4-3-5-30 台灣油杉\_1\_8\_1 (200x) 下表皮及氣孔

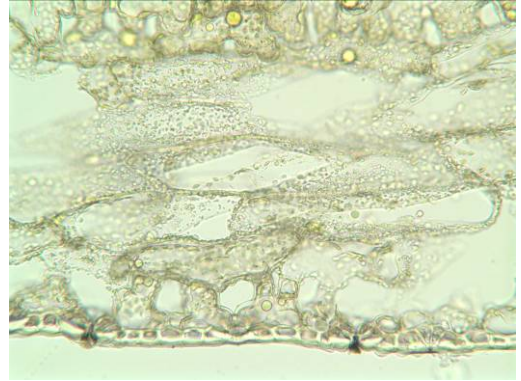


圖 4-3-5-32 台灣油杉\_1\_8\_2 (200x) 下表皮及氣孔

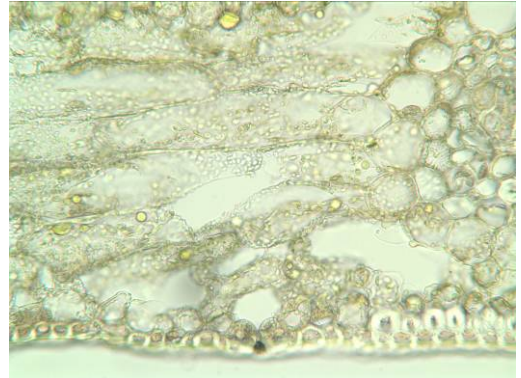


圖 4-3-5-34 台灣油杉\_1\_8\_3 (200x) 下表皮及氣孔

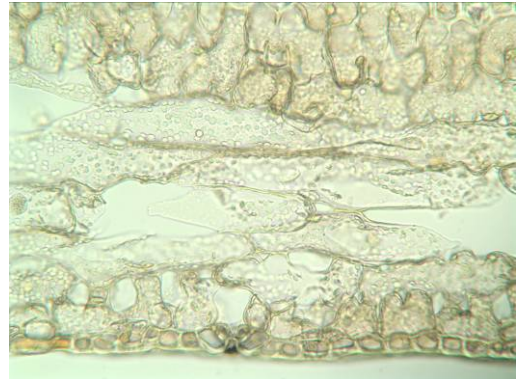


圖 4-3-5-36 台灣油杉\_2\_1\_1 (200x) 下表皮及氣孔



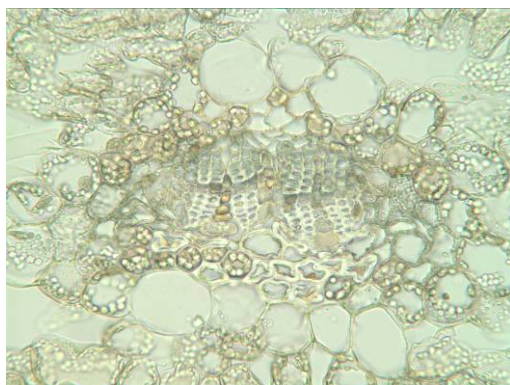


圖 4-3-5-37 台灣油杉\_2\_1\_2 (200x) 中肋

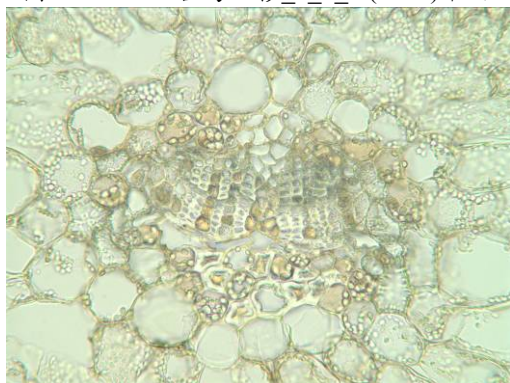


圖 4-3-5-39 台灣油杉\_2\_1\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-41 台灣油杉\_2\_2\_1 (200x) 中肋

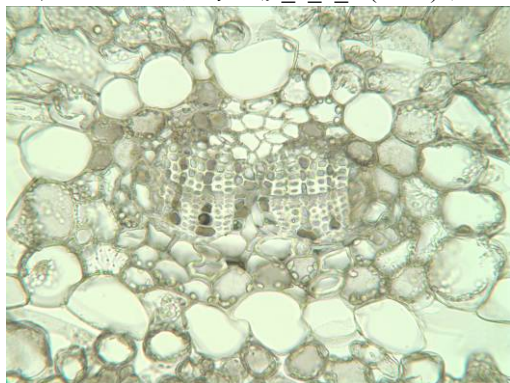


圖 4-3-5-43 台灣油杉\_2\_2\_2 (200x) 中肋



圖 4-3-5-38 台灣油杉\_2\_1\_2 (200x) 下表皮及氣孔

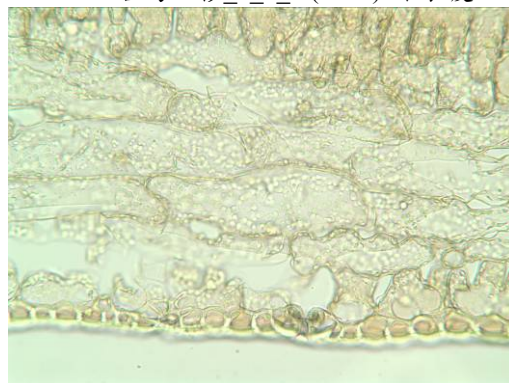


圖 4-3-5-40 台灣油杉\_2\_1\_3 (200x) 下表皮及氣孔



圖 4-3-5-42 台灣油杉\_2\_2\_1 (200x) 下表皮及氣孔



圖 4-3-5-44 台灣油杉\_2\_2\_2 (200x) 下表皮及氣孔



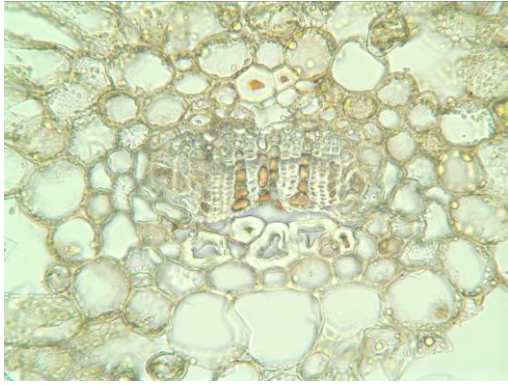


圖 4-3-5-45 台灣油杉\_2\_2\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-46 台灣油杉\_2\_2\_3 (200x) 下表皮及氣孔

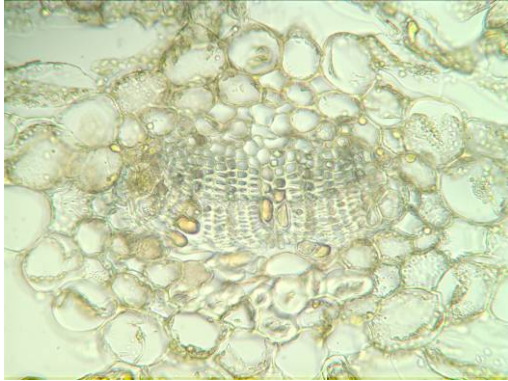


圖 4-3-5-47 台灣油杉\_2\_8\_1 (200x) 中肋



圖 4-3-5-48 台灣油杉\_2\_8\_1 (200x) 下表皮及氣孔

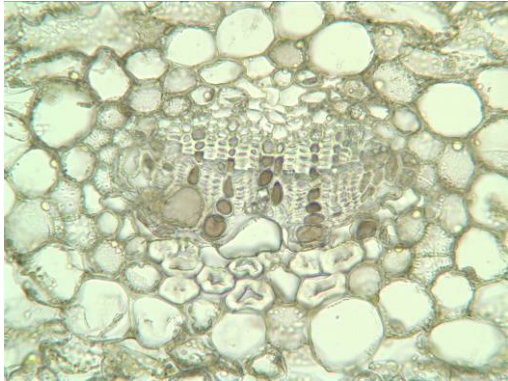


圖 4-3-5-49 台灣油杉\_2\_8\_2 (200x) 中肋



圖 4-3-5-50 台灣油杉\_2\_8\_2 (200x) 下表皮及氣孔

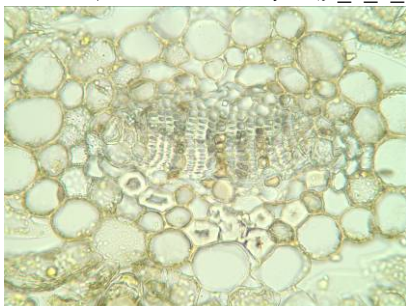


圖 4-3-5-51 台灣油杉\_2\_8\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-52 台灣油杉\_2\_8\_3 (200x) 下表皮及氣孔



圖 4-3-5-53 台灣油杉\_2\_8\_3 (200x) 下表皮及氣孔。  
箭號：海綿薄壁細胞增大





圖 4-3-5-54 台灣油杉\_3\_1\_1 (200x)中肋



圖 4-3-5-55 台灣油杉\_3\_1\_1 (200x) 上 下表皮及氣孔

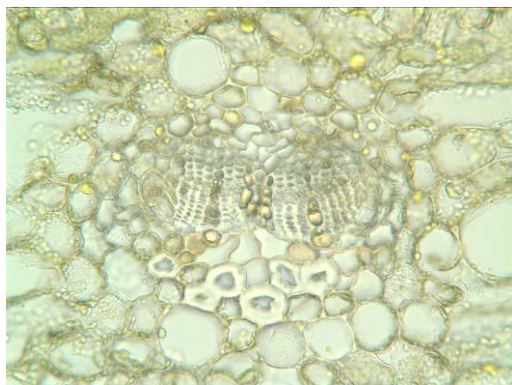


圖 4-3-5-56 台灣油杉\_3\_1\_2 (200x)中肋



圖 4-3-5-57 台灣油杉\_3\_1\_2 (200x) 上、下表皮及氣孔

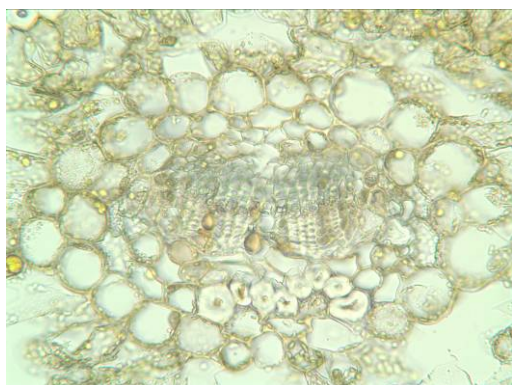


圖 4-3-5-58 台灣油杉\_3\_1\_3 (200x)中肋



圖 4-3-5-59 台灣油杉\_3\_1\_3 (200x) 近葉緣及氣孔



圖 4-3-5-60 台灣油杉\_3\_2\_1 (200x)中肋



圖 4-3-5-61 台灣油杉\_3\_2\_1 (200x) 下表皮及氣孔





圖 4-3-5-62 台灣油杉\_3\_2\_2 (200x) 中肋



圖 4-3-5-63 台灣油杉\_3\_2\_2 (200x) 下表皮及氣孔。  
箭號：橫向葉肉細胞增大

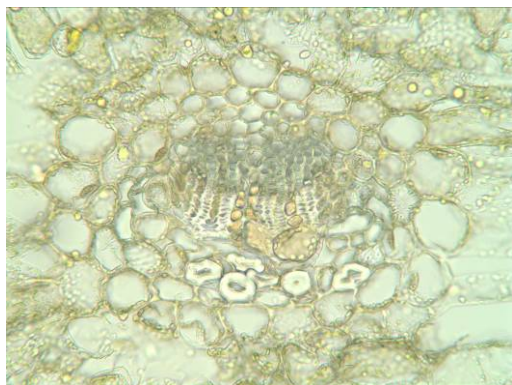


圖 4-3-5-64 台灣油杉\_3\_2\_3 (200x) 中肋



圖 4-3-5-65 台灣油杉\_3\_2\_3 (200x) 下表皮及氣孔

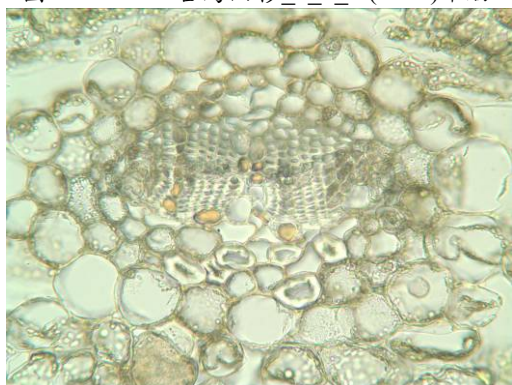


圖 4-3-5-66 台灣油杉\_3\_8\_1 (200x) 中肋



圖 4-3-5-67 台灣油杉\_3\_8\_1 (200x) 下表皮及氣孔

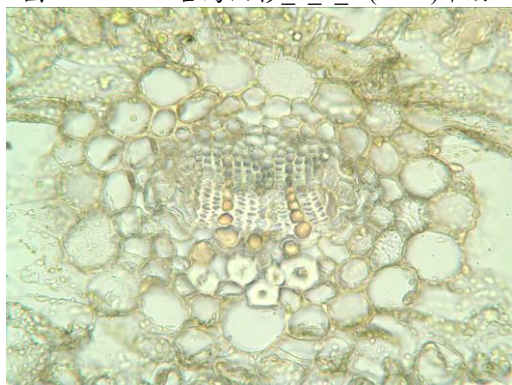


圖 4-3-5-68 台灣油杉\_3\_8\_2 (200x) 中肋



圖 4-3-5-69 台灣油杉\_3\_8\_2 (200x) 近葉緣及氣孔



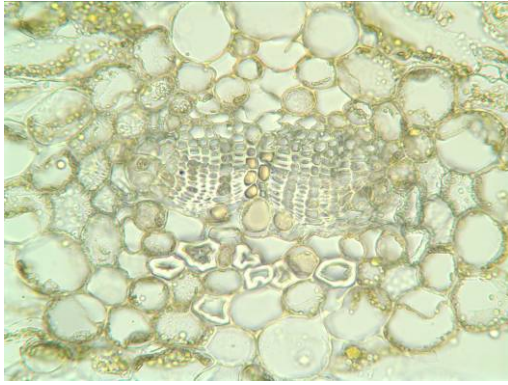


圖 4-3-5-70 台灣油杉\_3\_8\_3 (200x) 中肋

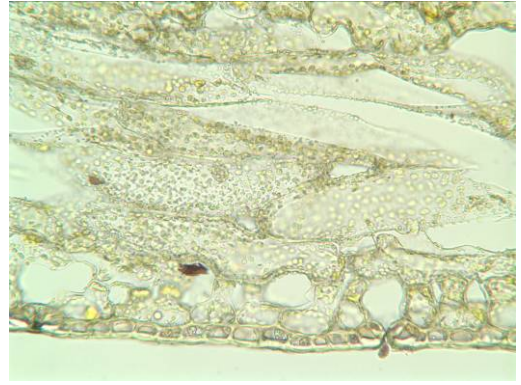


圖 4-3-5-71 台灣油杉\_3\_8\_3 (200x) 下表皮及氣孔

## 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. 應用非線性迴歸分析，並以 DBH 的倒數為權重，所配得台灣油杉樹高曲線情形良好，可供未來監測使用，當林木生長情形過度偏低於迴歸線時，則應注意其衰退現象。
6. 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，顯示除了有 2 株台灣油杉樣木屬於被壓木，被列為不健康和產生劣化情形外，其餘的樣木皆屬正常。本年度林木健康分級的分配與去年的分配無顯著差異；此外，累計至今，這兩年調查中並無發現樣木死亡。
7. 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與枯死情形。

## (二) 台灣油杉葉身構造變化之監測

雪山隧道自 2006 年六月開通，至今約有二年四個月。「坪林台灣油杉自然保留區」之 A、C、D 區內，D 區至 3 號豎井間，採取台灣油杉及少數優勢闊葉樹種的葉進行觀察，其葉構造大多皆屬正常，未發現形態及解剖上之異常，但為確認坪林台灣油杉自然保留區內植群之健康，坪林台灣油杉自然保留區之樹木仍須進行長期之監測。在 D 區葉切片中有一個中心脈中肋處異常(D051)，另有一葉切片有膨大葉肉細胞(D056)，需要後續追蹤調查。

## (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。
2. 雪山隧道內非假日尖峰時段  $PM_{10}$  濃度約介於  $131 \sim 201 \mu g/m^3$  之間，而於假日時段  $PM_{10}$  濃度約介於  $145 \sim 222 \mu g/m^3$  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，今年度因通行大客車 CO 濃度略為增加，約介於  $8.1 \sim 25.9 \text{ ppm}$  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  $NO_x$  濃度變化與 CO 濃度變化趨勢相似，今年  $NO_x$  濃度略為增加，約介於  $600 \sim 2000 \text{ ppb}$  之間。
5. 今年度豎井區與民宅及油杉測站 TSP 濃度約介於  $70.1 \sim 75.2$ 、 $50.2 \sim 53.2$  與  $40.1 \sim 41.1 \mu g/m^3$ ，另豎井區與民宅及油杉測站  $PM_{10}$  濃度約介於  $34.3 \sim 37.2$ 、 $31.4 \sim 40.6$  與  $25.3 \sim 29.7 \mu g/m^3$ ，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. 今年度之豎井區、台灣油杉區與民宅所測得二氧化硫濃度各約為 18.6 ~19.3、12.5 ~ 14.3 與 10.2 ~ 11.2 ppb。今年度之豎井區、台灣油杉區與民宅所測得 CO 濃度各約為 1.51 ~1.93、0.83 ~ 1.83 與 0.77 ~ 1.73 ppm；所測得 O<sub>3</sub> 濃度各約為 62.4 ~63.1、58.2 ~ 59.1 與 55.1 ~ 57.2 ppm。今年度之豎井區、台灣油杉區與民宅所測得 NO<sub>x</sub> 濃度各約為 48.2 ~84.6、40.0 ~80.1 與 28.1 ~ 38.6 ppb。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. 今年度台灣油杉 A 區所採集雨水中，以[Cl<sup>-</sup>]、[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]及[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]濃度較其他陰離子濃度為高，其中以[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]濃度為最大，約為 1.97 mg/L。而台灣油杉 D 區所採集雨水中較高濃度陰離子乃為[Cl<sup>-</sup>]、[NO<sub>2</sub><sup>-</sup>]及[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]，並以[Cl<sup>-</sup>]濃度為最大，約為 3.11 mg/L。
8. 酸沉降雨水中陽離子，在 A 區各陽離子濃度中，以[Na<sup>+</sup>]與[Ca<sup>2+</sup>]濃度較為其他離子高，其 [Na<sup>+</sup>]濃度與[Ca<sup>2+</sup>]濃度分別約為 2.67 mg/L 與 1.69 mg/L。
9. 混合污染物處理的台灣油杉葉中棉薄壁細胞及橫向葉肉薄壁細胞各有一個葉切片具細胞增大情形。
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並非單一影響因素，也有可能為外來因素影響，因此需要長期監測各種因素與台灣油杉區之間的變化，而加以探討。



## 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，將來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. 目前隧道內因本年度已通行大客車，通行大客車後，已排放較高濃度污染物，坪林台灣油杉自然保留區空氣品質是否受通行大客車後豎井排氣所影響，需長期測試與觀察。
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，建議管理處可接續持續監測項目。
4. 廢氣排放有超過法定標準，尤其  $\text{SO}_2$  或其他氣體，但在報告中油杉生長正常，是否油杉忍受度較高或受監測時間短而致，尚不明確。由於植物生長是否受污染物影響需長時間監測，目前較無法判別是否因油杉忍受度較高或是監測時間短等相關因素，建議需持續觀察。
5. 本年度在 D 區的葉切片中，發現有一個中肋異常與另一個葉肉細胞膨大情形，其他葉切片皆屬正常。但由於 D 區是最靠近豎井的研究區，是否有可能成為最先的病徵顯現區，後續應持續追蹤，以了解其為持續現象或偶發現象。
6. 本計畫不應僅由羅東處獨自負擔，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、國工局共同分擔經費執行。後續延伸計畫所需相關經費預估如表 5-1。

## 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，用以推測林分生長勢是否有衰退。
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. 追蹤監測 D 區，林木編號 D051 與 D056 的葉切片情形，以及 D032 與 D122 的生長勢變化情形。
6. 持續進行豎井區、台灣油杉 A 區與 D 區及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. 下年度擬與高公局協調，規劃管制策略。

## 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. 林文亮、王兆桓、陳家玉(2001)台灣地區人工林樹高方程式之建立。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告。第 15 卷第 1 期。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. Alexander, S.A. and Palmer, C.J. (1999) Forest health monitoring in the United States: first four years. Environ. monit. assess. 55: 267-277.
17. 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.
18. 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.
19. Curtis, R.O., G. W. Clendenen and D. J. DeMars. 1981. A new stand simulator for coast Douglas-fir: DFSIM user's guide. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-128.
20. Conkling, B.L. and Byers, G.E. (1993) Forest health monitoring field methods guide. Internal Report. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV.
21. 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.
22. 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.
  23. 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.
  24. 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.
  25. Innes, J.L.(1998) Role of diagnostic studies in forest monitoring programmes. *Chemosphere* 36(4-5): 1025-1030.
  26. 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.
  27. 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.
  28. Larsen, D. R. and D. W. Hann. 1987. Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. *Research Bulletin* (49):1-16.
  29. 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 silvicultural research conference. Gen. Tech. SRS-48, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p.92-96.
  30. Ling, K.A. and Ashmore, M.R. (1999) Influence of tree health in ground flora in the Chiltern Beechwoods, England. *For. ecol. manage.* 119:77-88.
  31. 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.
  32. 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.
  33. 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.
  34. Parresol. B. R. 1992. Baldcypress height-diameter equations and their prediction confidence intervals. *Can. J. for. Res.* (22):1429-1434.
  35. 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.
  36. Rogers, P. (2002) Using forest health monitoring to assess aspen forest cover change in the southern Rockies ecoregion. *For. Eco. Manage.* 155: 223-236.
  37. 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.
  38. 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.
  39. Scott, C. T., Kohl, M. and Schnellbacher, H. J. (1999) A comparison of periodic and annual forest surveys. *For. Sci.* 45(3): 433-451.
  40. Smith, W.B. (2002) Forest inventory and analysis: a national inventory and monitoring program. *Environ. pollut.* 116: S233-S242.
  41. 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.
  42. Strand G.-H. (1996) Detection of observer bias in ongoing forest health monitoring



- programmes. Can. J. For. Res. 26:1692-1696.
43. 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>>
  44. USDA Forest Service (2002b) Summary of indicators sampled by the FIA phase 3 protocols. <<http://www.nature.nps.gov/im/monitor/fhmindic.htm>>
  45. Wang, C. – H. and D.W. Hann. 1998. Height-diameter equations for sixteen tree species in the central western Willamette valley of Oregon. Oregon State University. Forest Research Laboratory, Res. Pap.(51):1-7.
  46. 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。七十七農林字第七〇三〇二三八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.tanecb.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，酸沉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：「坪林台灣油杉自然保留區」之 D 區至 3 號豎井間採集  
優勢闊葉樹之名錄

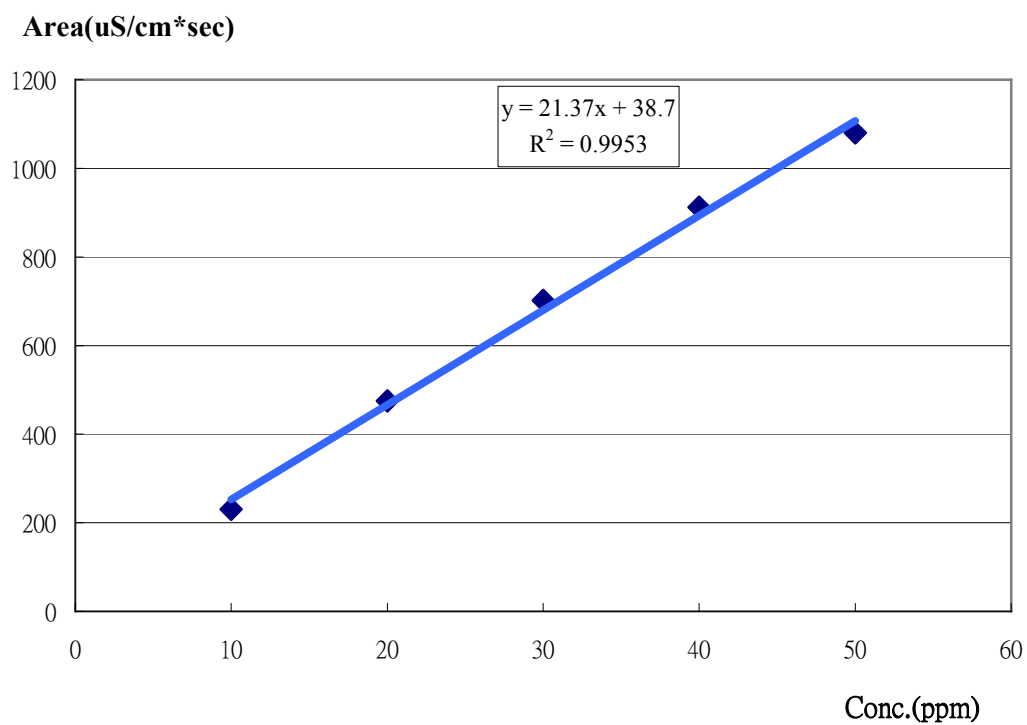
| 物種中名                        | 樣木<br>編號 | 科名                           | 學名                                                                            |
|-----------------------------|----------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A 區</b>                  |          |                              |                                                                               |
| 長尾柯                         |          | 殼斗科<br>( Fagaceae )          | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i>                             |
| 冇樟                          |          | 樟科<br>( Lauraceae )          | <i>Cinnamomum micranthum</i>                                                  |
| 紅楠                          |          | 樟科<br>( Lauraceae )          | <i>Machilus thunbergii</i>                                                    |
| 西施花                         |          | 杜鵑花科<br>( Ericaceae )        | <i>Rhododendron ellipticum</i>                                                |
| 楊桐                          |          | 茶科<br>( Theaceae )           | <i>Adinandra formosana</i> var. <i>formosana</i>                              |
| <b>C 區</b>                  |          |                              |                                                                               |
| 紅皮                          |          | 安息香科<br>( Styracaceae )      | <i>Styrax suberifolia</i>                                                     |
| 長尾柯                         |          | 殼斗科<br>( Fagaceae )          | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i>                             |
| 奧氏虎皮楠                       |          | 虎皮楠科<br>( Daphniphyllaceae ) | <i>Daphniphyllum glaucescens</i> ssp. <i>oldhamii</i><br>var. <i>oldhamii</i> |
| 山紅柿                         |          | 柿樹科<br>( Ebenaceae )         | <i>Diospyros morrisiana</i>                                                   |
| <b>D 區 (同距三號豎井 1100 m)</b>  |          |                              |                                                                               |
| 江某                          | 11001    | 五加科<br>( Araliaceae )        | <i>Schefflera octophylla</i>                                                  |
| 稜果榕                         | 11002    | 桑科<br>( Moraceae )           | <i>Ficus septica</i>                                                          |
| 裏白饅頭果                       | 11003    | 大戟科<br>( Euphorbiaceae )     | <i>Glochidion acuminatum</i>                                                  |
| <b>鄰三號豎井旁(距三號豎井 0000 m)</b> |          |                              |                                                                               |
| 紅楠                          | 0001     | 樟科<br>( Lauraceae )          | <i>Machilus thunbergii</i>                                                    |
| 細葉饅頭果                       | 0002     | 大戟科<br>( Euphorbiaceae )     | <i>Glochidion rubrum</i>                                                      |
| 江某                          | 0003     | 五加科<br>( Araliaceae )        | <i>Schefflera octophylla</i>                                                  |
| <b>距三號豎井 100 m</b>          |          |                              |                                                                               |
| 水金京                         | 1001     | 茜草科<br>( Rubiaceae )         | <i>Wendlandia formosana</i>                                                   |
| 裏白饅頭果                       | 1002     | 大戟科<br>( Euphorbiaceae )     | <i>Glochidion acuminatum</i>                                                  |
| 樹杞                          | 1003     | 紫金牛科<br>( Myrsinaceae )      | <i>Ardisia sieboldii</i>                                                      |
| <b>距三號豎井 200 m</b>          |          |                              |                                                                               |
| 紅葉樹                         | 2001     | 山龍眼科                         | <i>Helicia cochinchinensis</i>                                                |



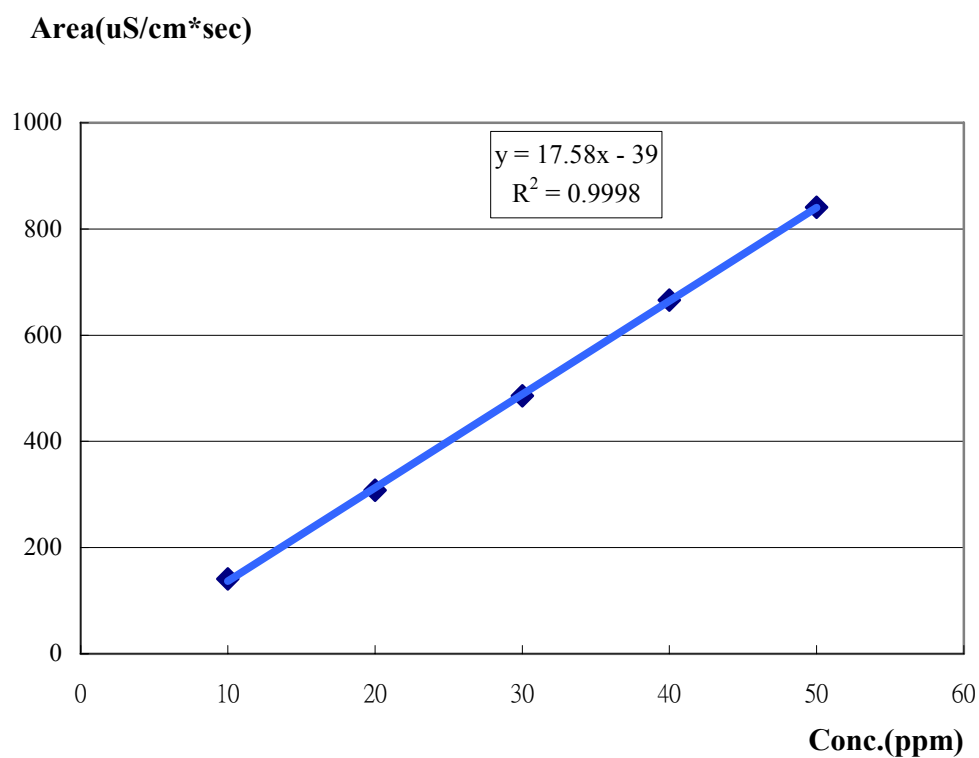
|             |      |                           |                                                   |
|-------------|------|---------------------------|---------------------------------------------------|
|             |      | ( Proteaceae )            |                                                   |
| 裏白饅頭果       | 2002 | 大戟科<br>( Euphorbiaceae )  | <i>Glochidion acuminatum</i>                      |
| 長尾柯         | 2003 | 殼斗科<br>( Fagaceae )       | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i> |
| 距三號豎井 300 m |      |                           |                                                   |
| 革葉冬青        | 3001 | 冬青科<br>( Aquifoliaceae )  | <i>Ilex cochinchinensis</i>                       |
| 江某          | 3002 | 五加科<br>( Araliaceae )     | <i>Schefflera octophylla</i>                      |
| 革葉冬青        | 3003 | 冬青科<br>( Aquifoliaceae )  | <i>Ilex cochinchinensis</i>                       |
| 距三號豎井 400 m |      |                           |                                                   |
| 革葉冬青        | 4001 | 冬青科<br>( Aquifoliaceae )  | <i>Ilex cochinchinensis</i>                       |
| 江某          | 4002 | 五加科<br>( Araliaceae )     | <i>Schefflera octophylla</i>                      |
| 墨點櫻桃        | 4003 | 薔薇科<br>( Rosaceae )       | <i>Prunus phaeosticta</i>                         |
| 距三號豎井 500 m |      |                           |                                                   |
| 江某          | 5001 | 五加科<br>( Araliaceae )     | <i>Schefflera octophylla</i>                      |
| 裏白饅頭果       | 5002 | 大戟科<br>( Euphorbiaceae )  | <i>Glochidion acuminatum</i>                      |
| 木荷          | 5003 | 茶科<br>( Theaceae )        | <i>Schima superba</i> var. <i>superba</i>         |
| 距三號豎井 600 m |      |                           |                                                   |
| 水金京         | 6001 | 茜草科<br>( Rubiaceae )      | <i>Wendlandia formosana</i>                       |
| 領垂豆         | 6002 | 豆科<br>( Leguminosae )     | <i>Pithecollobium lucidum</i>                     |
| 大頭茶         | 6003 | 茶科<br>( Theaceae )        | <i>Gordonia axillaris</i>                         |
| 距三號豎井 700 m |      |                           |                                                   |
| 墨點櫻桃        | 7001 | 薔薇科<br>( Rosaceae )       | <i>Prunus phaeosticta</i>                         |
| 長尾柯         | 7002 | 殼斗科<br>( Fagaceae )       | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i> |
| 杜英          | 7003 | 杜英科<br>( Elaeocarpaceae ) | <i>Elaeocarpus sylvestris</i>                     |
| 距三號豎井 900 m |      |                           |                                                   |
| 薯豆          | 9001 | 杜英科<br>( Elaeocarpaceae ) | <i>Elaeocarpus japonicus</i>                      |
| 細葉饅頭果       | 9002 | 大戟科<br>( Euphorbiaceae )  | <i>Glochidion rubrum</i>                          |
| 小花老鼠刺       | 9003 | 虎耳草科<br>( Saxifragaceae ) | <i>Itea parviflora</i>                            |

| 距三號豎井 1000 m |       |                          |                               |
|--------------|-------|--------------------------|-------------------------------|
| 大明橘          | 10001 | 紫金牛科<br>( Myrsinaceae )  | <i>Myrsine sequinii</i>       |
| 青剛櫟          | 10002 | 殼斗科<br>( Fagaceae )      | <i>Cyclobalanopsis glauca</i> |
| 倒卵葉冬青        | 10003 | 冬青科<br>( Aquifoliaceae ) | <i>Ilex maximowicziana</i>    |

## 附錄二：離子成分分析之檢量線



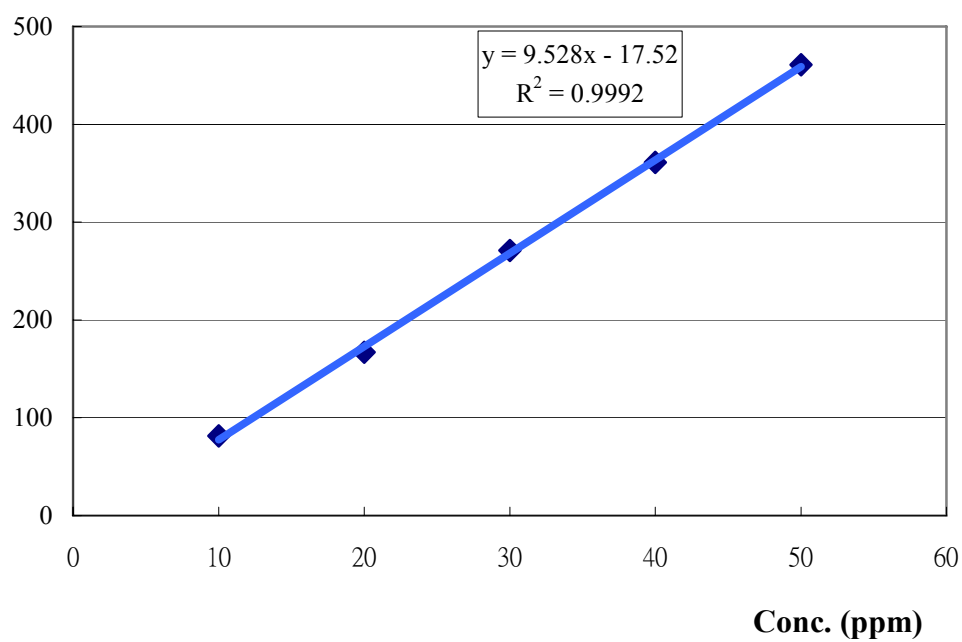
附圖 2-1 氟離子分析之檢量線



附圖 2-2 氯離子分析之檢量線

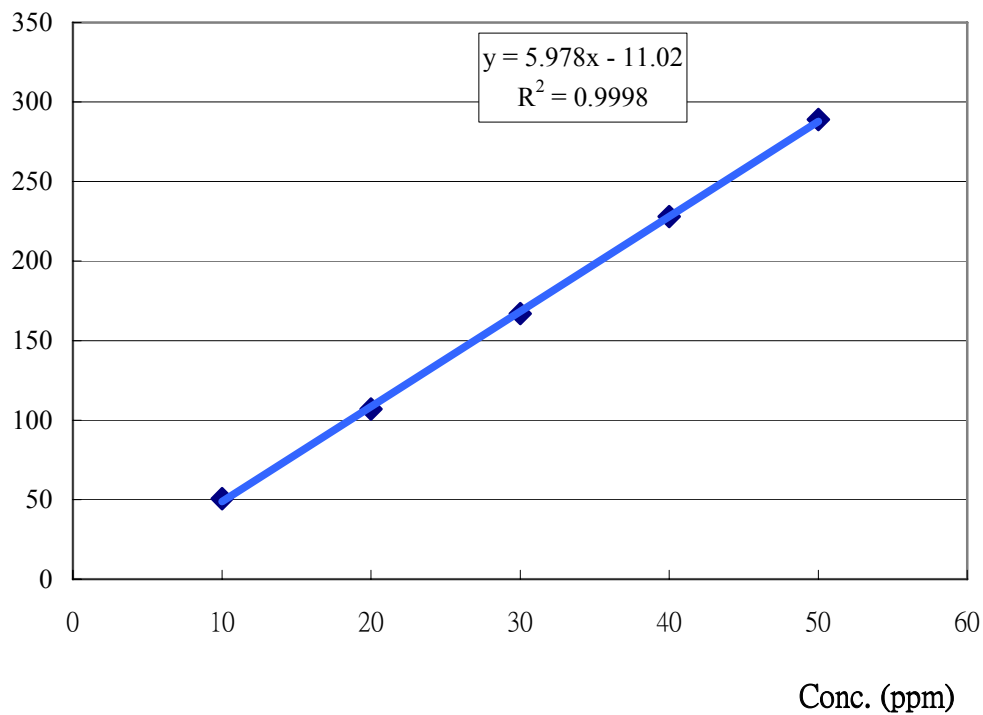


Area(uS/cm\*sec)

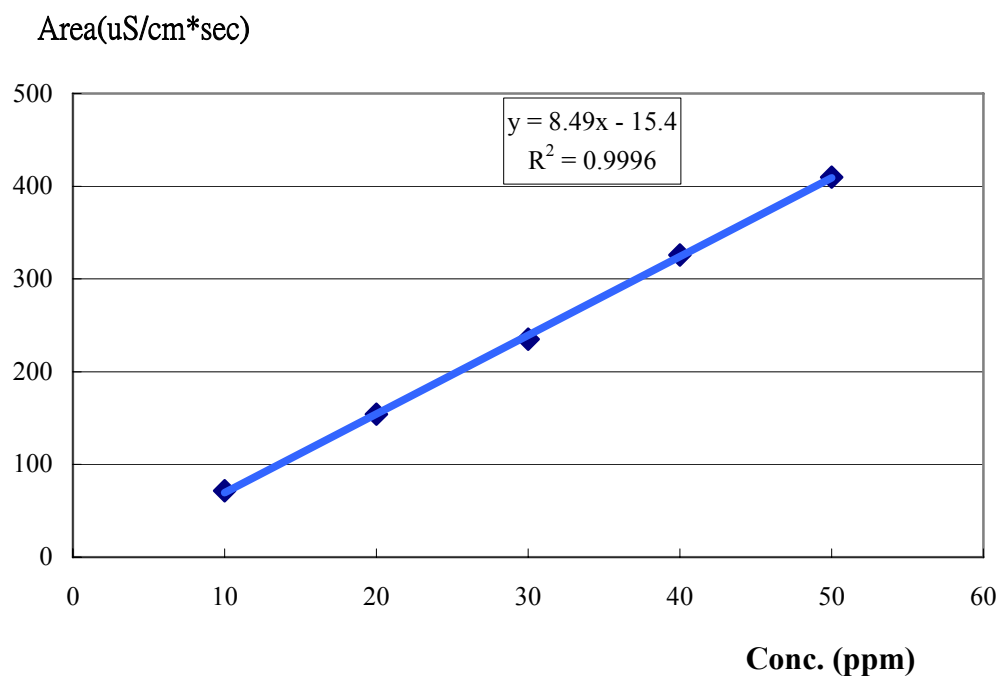


附圖 2-3 亞硝酸根離子分析之檢量線

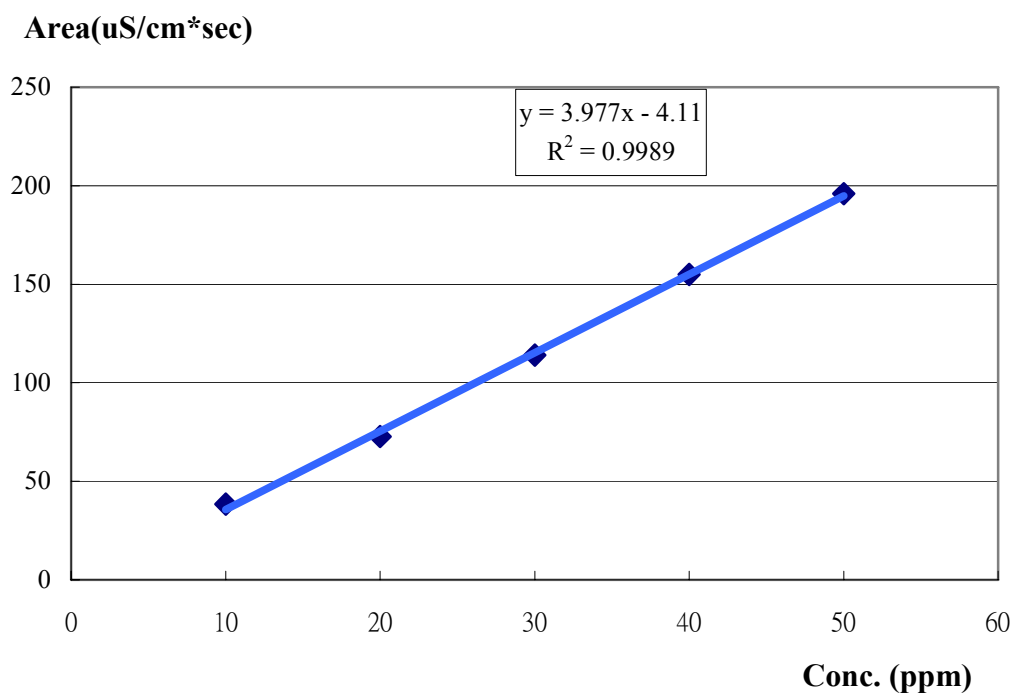
Area(uS/cm\*sec)



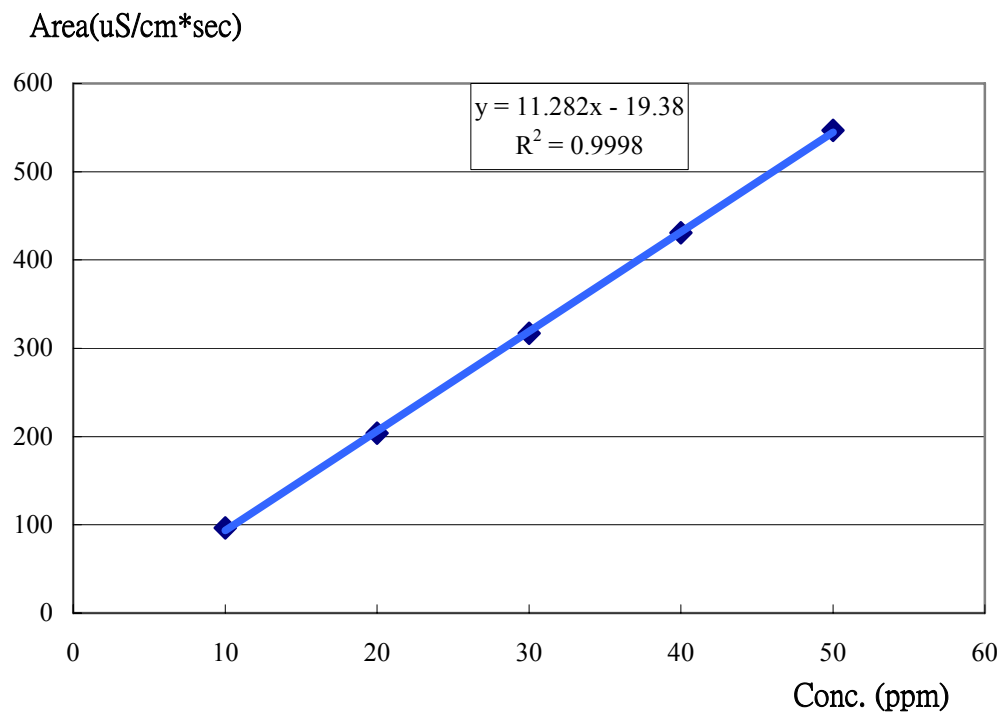
附圖 2-4 溴離子分析之檢量線



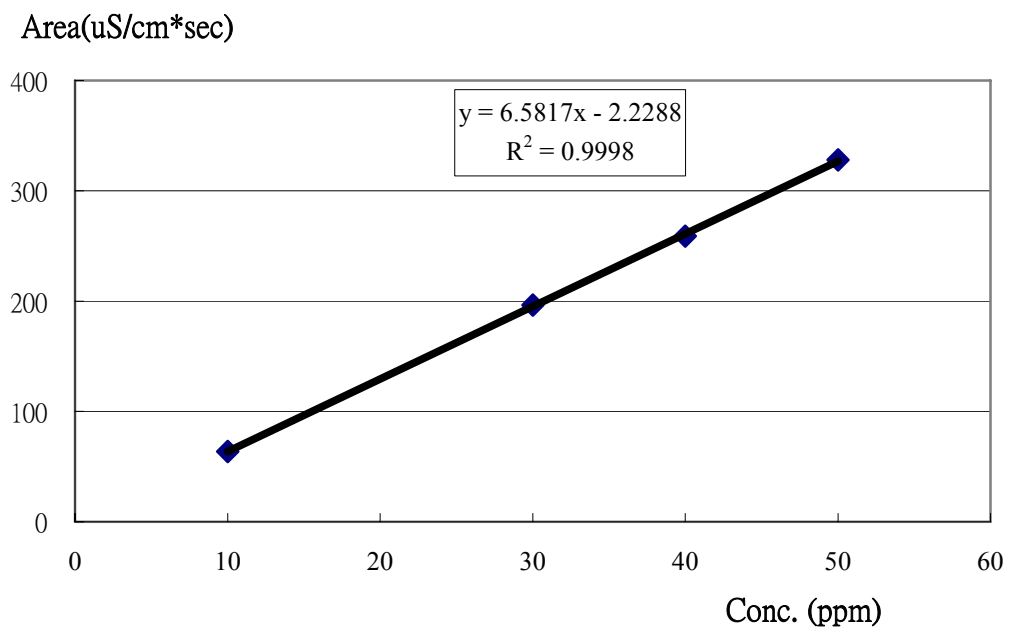
附圖 2-5 硝酸根離子分析之檢量線



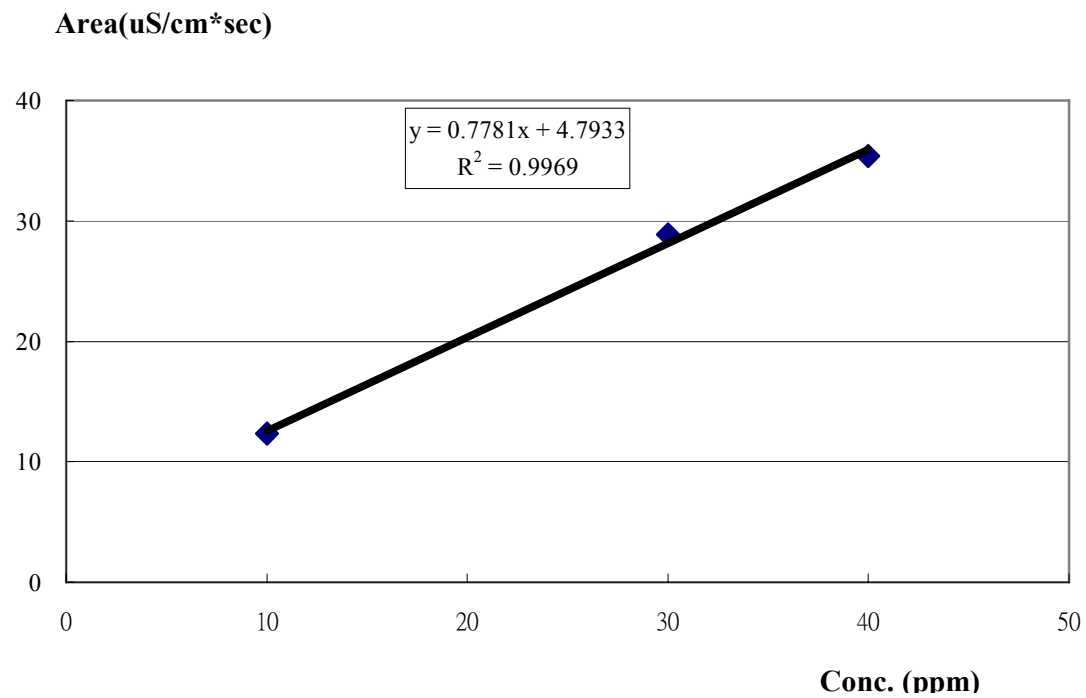
附圖 2-6 磷酸根離子分析之檢量線



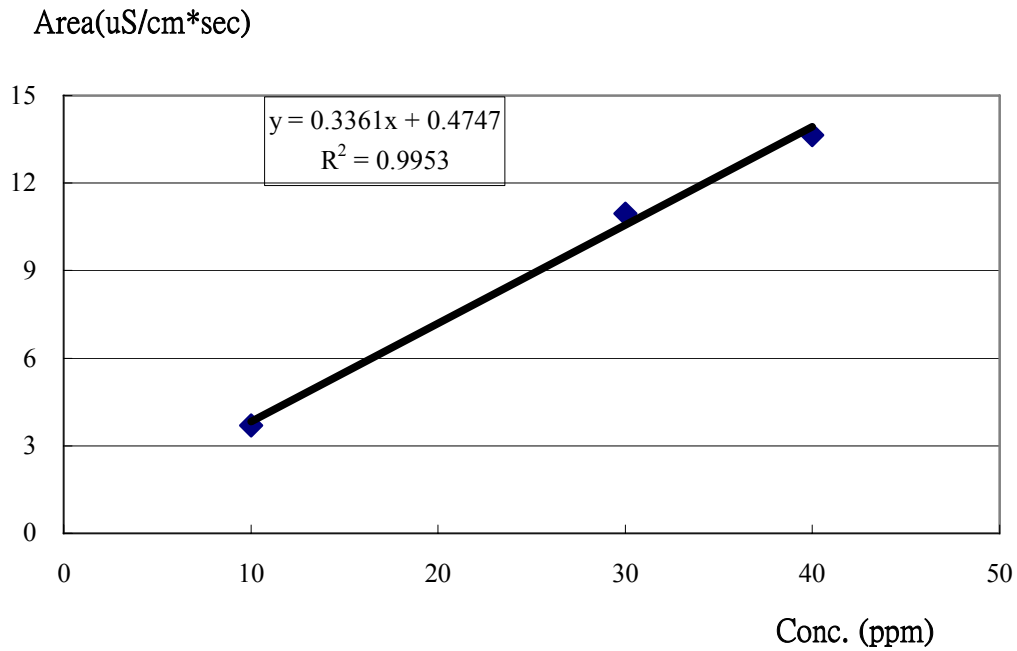
附圖 2-7 硫酸根離子分析之檢量線



附圖 2-8 鋰離子分析之檢量線

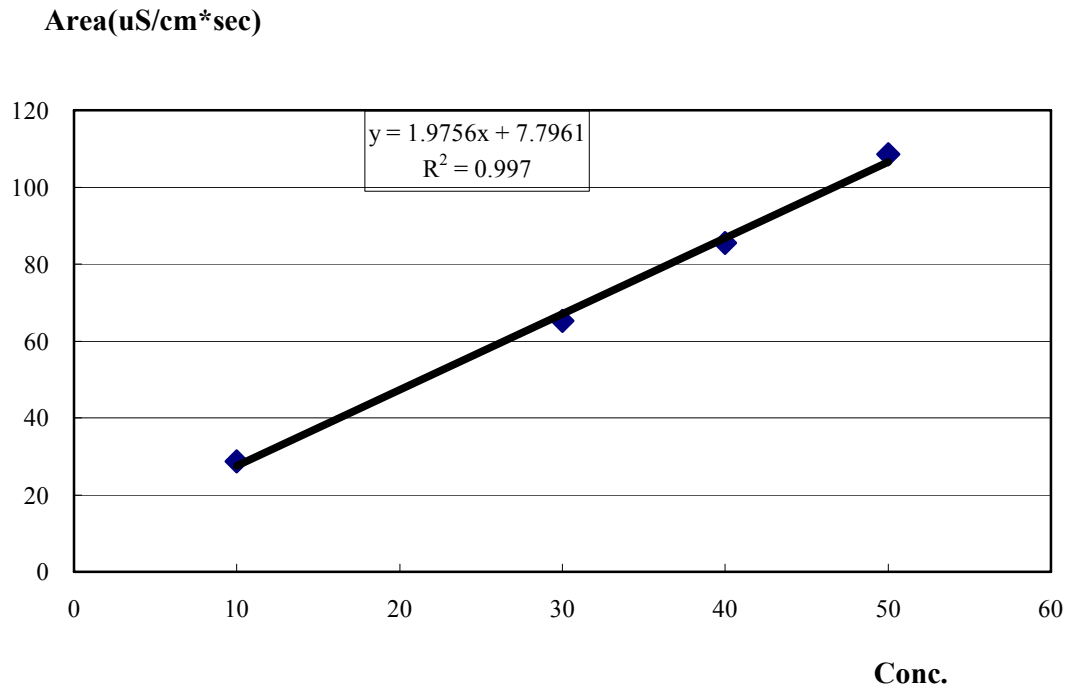


附圖 2-9 銨離子分析之檢量線

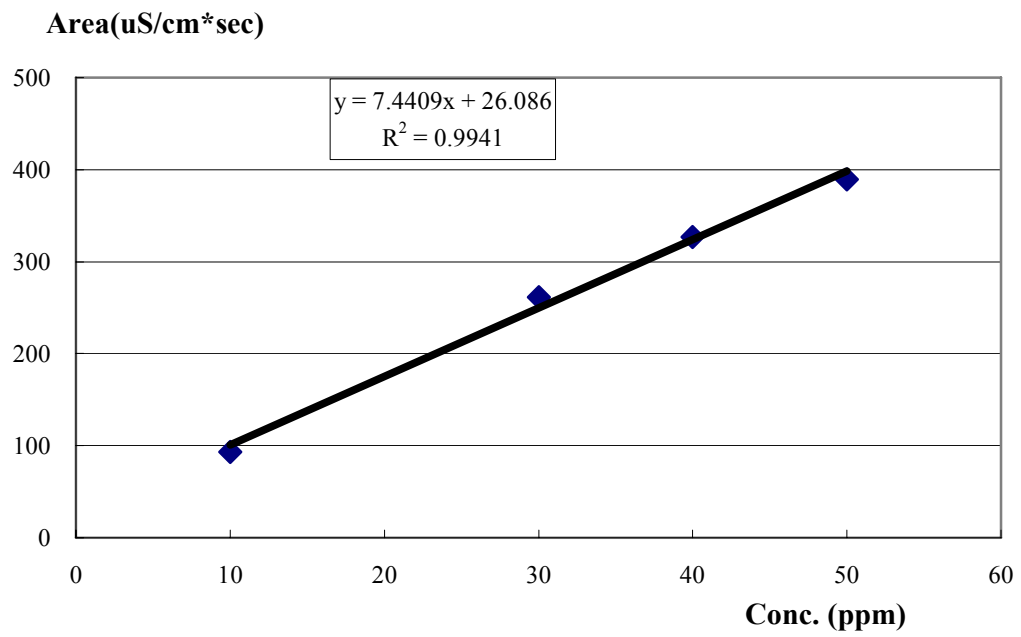


附圖 2-10 鈉離子分析之檢量線

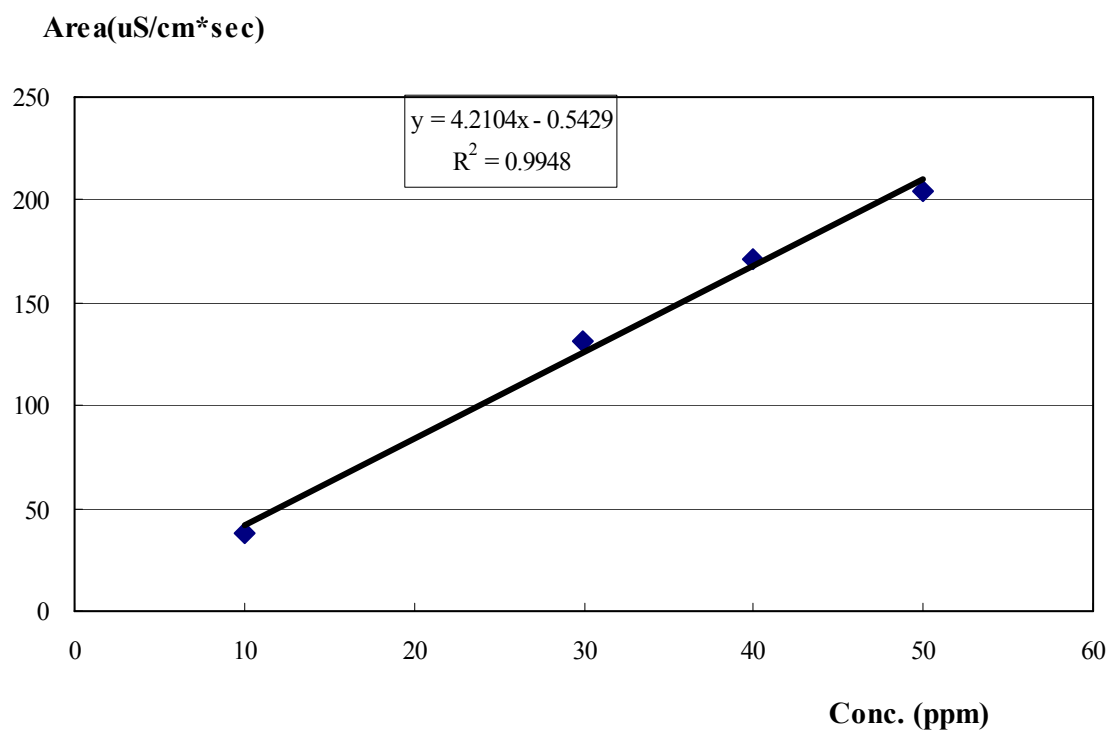




附圖 2-11 鉀離子分析之檢量線

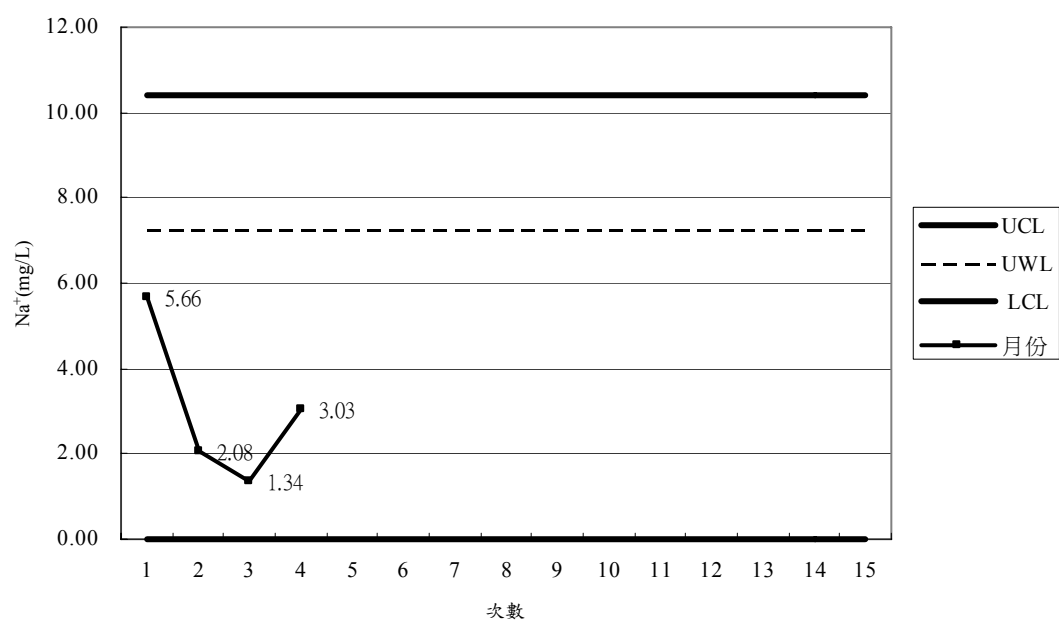


附圖 2-12 鈣離子分析之檢量線

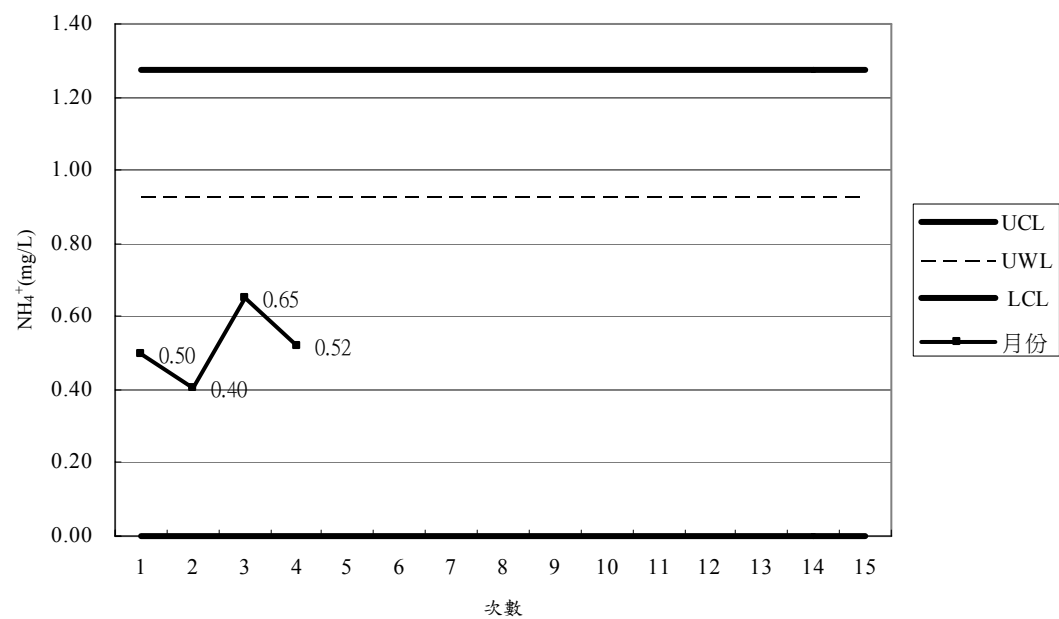


附圖 2-13 鎂離子分析之檢量線

### 附錄三：離子成分分析之管制圖

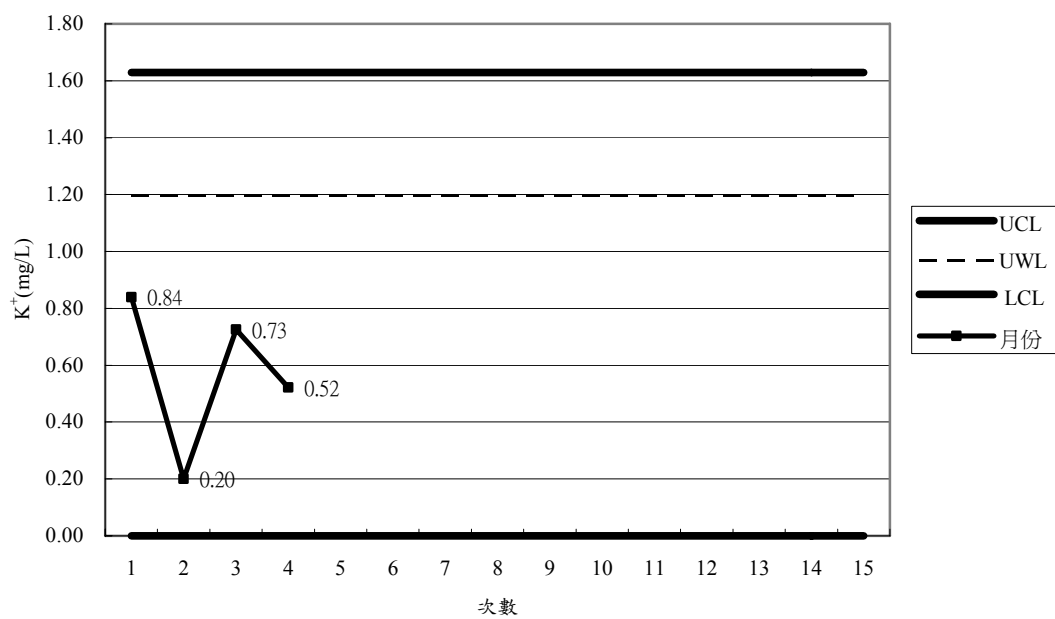


附圖 3-1 Na<sup>+</sup>離子分析管制圖

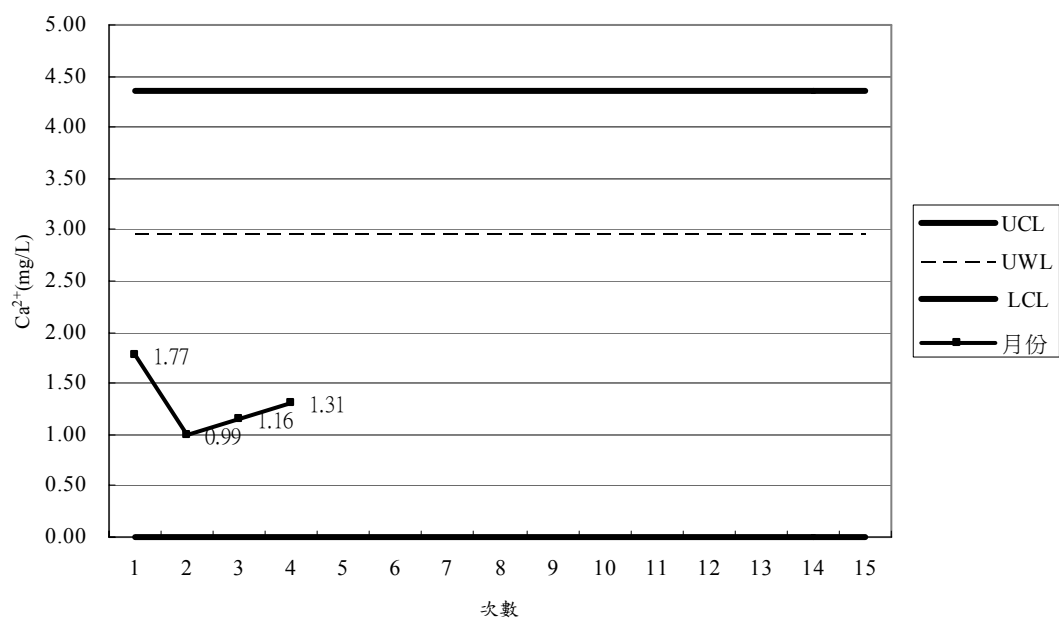


附圖 3-2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>離子分析管制圖

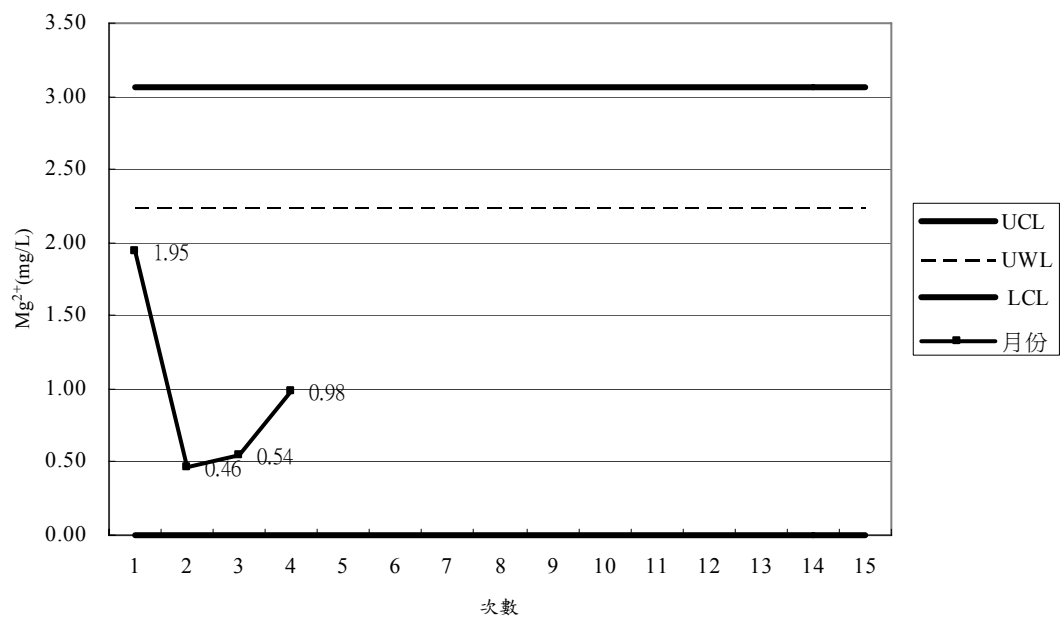




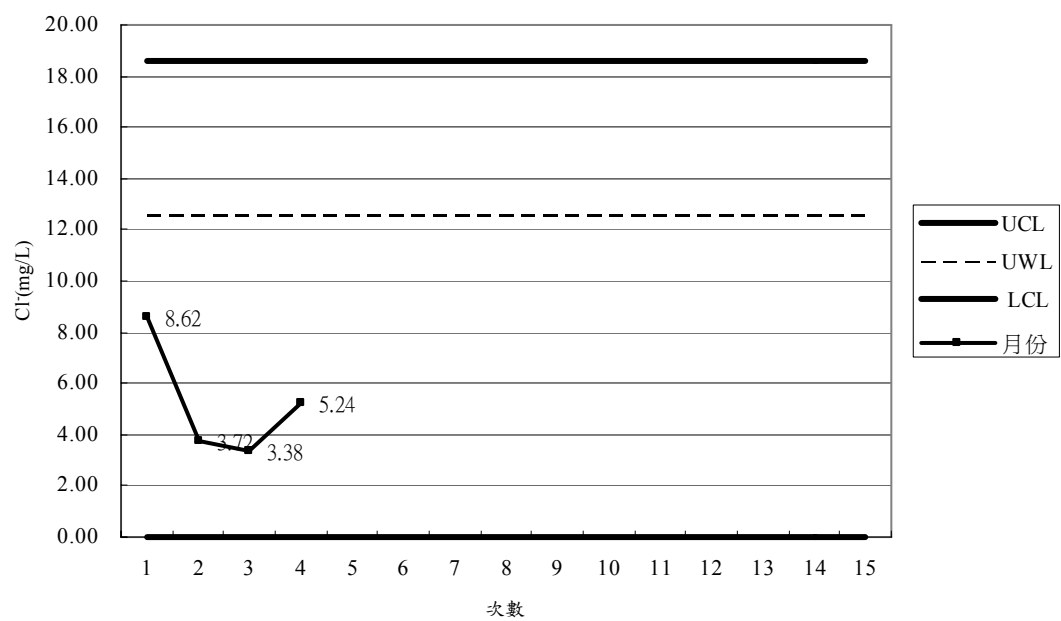
附圖 3-3  $K^+$  離子分析管制圖



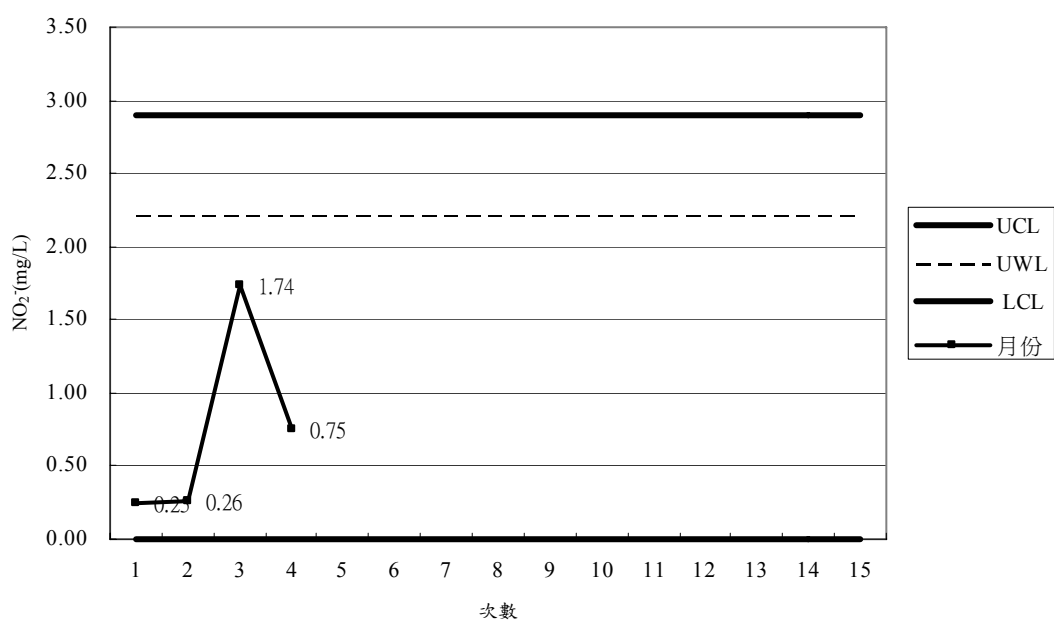
附圖 3-4  $Ca^{2+}$  離子分析管制圖



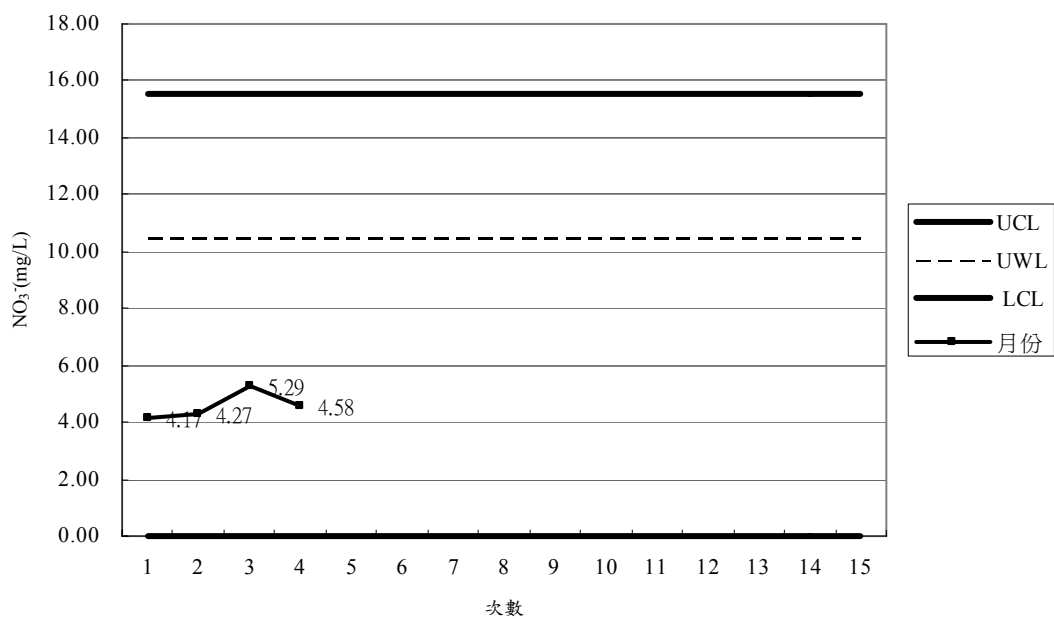
附圖 3-5  $\text{Mg}^{2+}$  離子分析管制圖



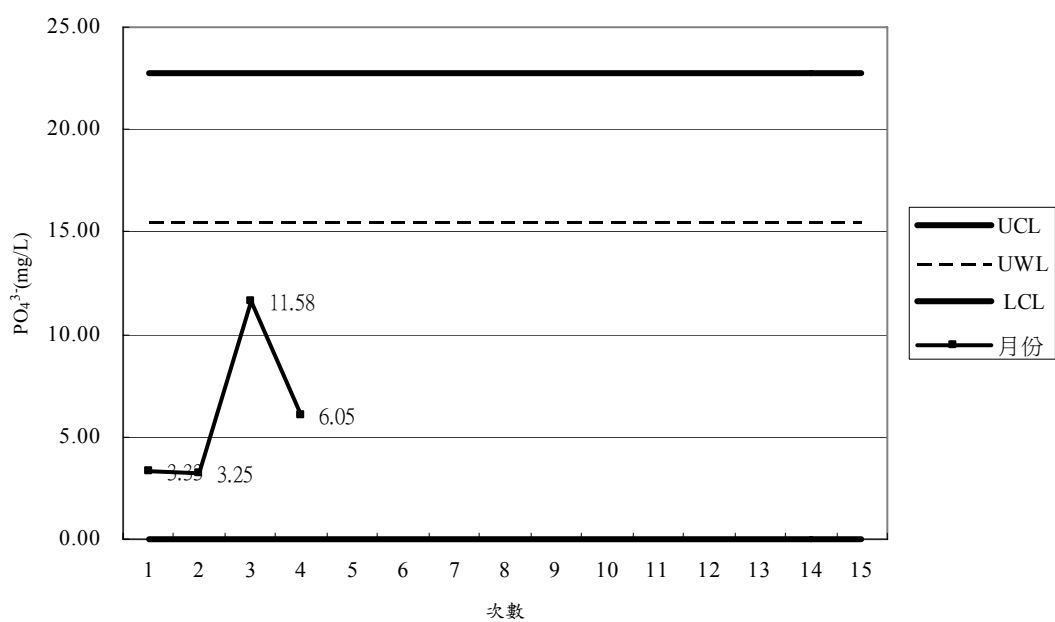
附圖 3-6  $\text{Cl}^-$  離子分析管制圖



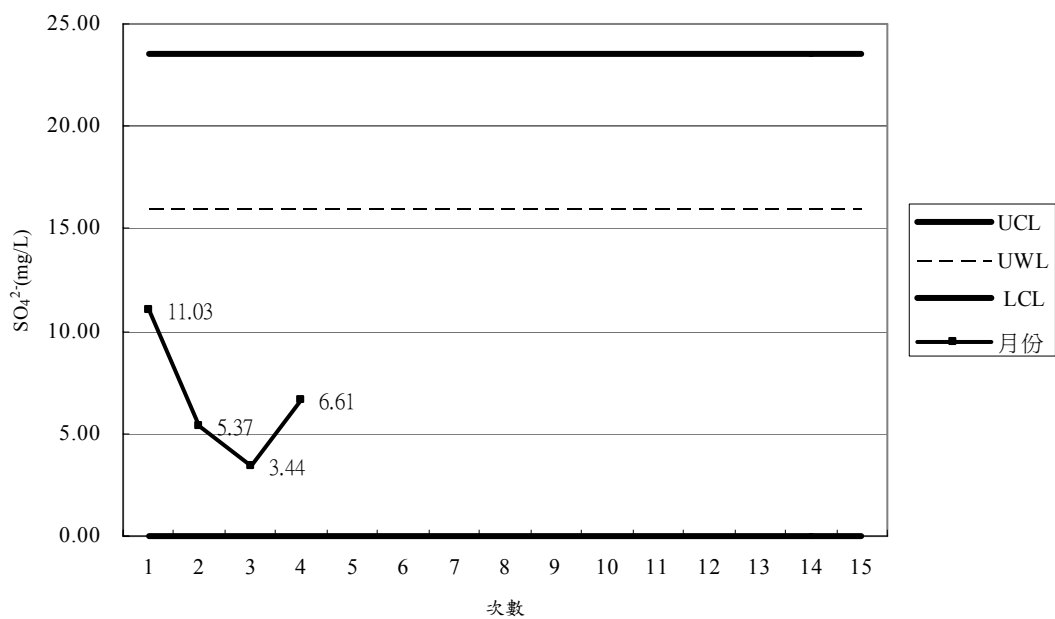
附圖 3-7  $\text{NO}_2^-$  離子分析管制圖



附圖 3-8  $\text{NO}_3^-$  離子分析管制圖



附圖 3-9  $\text{PO}_4^{3-}$  離子分析管制圖



附圖 3-10  $\text{SO}_4^{2-}$  離子分析管制圖



#### 附錄四：期中報告審查會議辦理情形

## 期中報告審查意見與回覆情形

### 「雪山隧道豎井對坪林臺灣油杉自然保留區及周邊環境影響評估 (2/3)」委託計畫期中審查會議

一、會議時間：97 年 5 月 5 日（星期一）上午 9 時 30 分

二、會議地點：本處三樓會議室

三、主持人：吳秘書坤銘

四、參加人員：

|          |        |
|----------|--------|
| 國立台灣師範大學 | 陳教授正達  |
| 林業試驗所    | 黃研究員進睦 |
| 處長室      | 賴技正柳英  |
| 國道高速公路局  | 陳郁青    |

五、列席人員：

|        |             |
|--------|-------------|
| 國立宜蘭大學 | 王教授兆桓、張教授章堂 |
| 國立台灣大學 | 羅教授漢強       |
| 冬山工作站  | 請假          |
| 台北工作站  | 洪主任西洲       |
| 太平山工作站 | 周主任真坪       |
| 南澳工作站  | 林技士世委       |
| 礁溪工作站  | 王主任崑德       |
| 育樂課    | 林技正香鑾、江玲怡   |

## 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<br>陳正達教授 | 1. 請問本研究中，通車前與台九線數據資料，是研究團隊取自外部資料彙整或是自行調查的。         | 通車前與台九線空氣品質量測乃由本團隊自行調查，並已註明於 page 6。                     |
|                   | 2. 空氣品質監測資料，包括假日、非假日，請針對樣本採集過程多予著墨，透過計畫更可了解整體影響。    | 空氣品質監測資料，包括假日、非假日採樣方法(如地點、時間、採樣時間，及車流量大小)，並已註明於 page 30。 |
|                   | 3. 本案若考慮整體環境監測，建議未來調查應開始擴大自豎井區至附近範圍資料收集，進行平面監測。     | 目前所調查之範圍已有豎井區與油杉區及鄰近地區一點(共計三點)設立監測點，擬於下年度再評估擴充監測點。       |
|                   | 4. 第 59-61 頁主要談台九線與雪隧的資料不太一致，請針對圖與文字再加以著墨，並持續觀測。    | 感謝委員意見，已修正，並已列明於 page 5。                                 |
|                   | 5. 污染物監測與穩定度有關，建議加強穩定度監測，雖有難度但建議嘗試分析。               | 穩定度分析將於期末報告列明。                                           |
|                   | 6. 請問是否能用三個豎井口排氣量去做空氣品質模擬？                          | 三個豎井口排氣之空氣品質模擬，將在期末報告中附上。                                |
| 林業試驗所<br>黃進睦研究員   | 1. 有關報告中第 1、2 頁使用國道 5 號與蔣渭水高速公路二名詞請統一。              | 已將第 2 頁倒數第 3 行蔣渭水高速公路統一為「國道 5 號公路」。                      |
|                   | 2. 第 4 頁「防」礙請修正為妨礙；到數第二段重複 2 次預估值，且定義下太早，請修正之。      | 第 4 頁「防」礙已修正為「妨」礙；到數第二段重複 2 次預估值部分已修正，定義部分修辭已更正。         |
|                   | 3. 第 76 頁 3-1 中描述方法，每季都重複描述，建議修正為詳細描述表達一次即可。        | 第 76 頁第 3-1 節中每季重複描述已修正為只有一段描述，並已列明於 page111。            |
|                   | 4. 第 82、83 頁文字應以重點描述，其詳如圖。                          | 文字敘述內容以修改為無數字顯示，變更成數據高低比較方式，並已修正於 page116。               |
|                   | 5. 第 84 頁請將本年度即將通行大客車中即將二字刪除、第 89 頁到數第二行語意表達應與上述一致。 | 文字敘述中「即將」通行修正為「已」通行，並已修正於 page116。                       |
|                   | 6. 第 84 頁場址名稱應指油杉測站，請統一修正。                          | 場址已修改為台灣油杉測站，並已修正於 page116。                              |
|                   | 7. 第 5 頁中受雨水酸化建議修正為酸雨，另污染物描述重複 2 次。                 | 雨水酸化修正為酸雨沖淋，污染物描述變更修辭，並已修正於 page5。                       |

| 審查單位            | 審查意見                                                                       | 辦理情形                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | 8. 建議加強環境調查，了解一下 C 區臺灣油杉生長機制為何？為什麼生長特別佳。                                   | D 區人工林生長情形較佳，因其地勢較平坦。天然林中以 C 區株數最多，有天然更新之現象，且該區不易到達較少受干擾，故其目前更新生長部份較佳。                                                                                                                                   |
|                 | 9. 第 100 頁結論第九點語意有些矛盾，建議修正。                                                | 結論第九點之修辭已有加以修正，並已修正於 page147。                                                                                                                                                                            |
| 本處<br>周真坪<br>技正 | 1. 建議將雪隧整體及大客車通車時間列出。                                                      | A. 95.06.16 通行小客車，速限 70 km/hr，70 km/hr 以上取締。<br>B. 96.10.01 提高速限，速限 70 km/hr，80 km/hr 以上取締。<br>C. 96.11.15 通行大客車，速限 70 km/hr，80 km/hr 以上取締。<br>D. 97.03.16 提高速限，速限 80 km/hr，90 km/hr 以上取締，並已補充於 page2 中。 |
|                 | 2. 報告中提出對茶樹影響較輕微，建議將其他相關報告列出以供比對。                                          | 將依委員意見，期末報告中增列對茶樹生長影響之相關報告。                                                                                                                                                                              |
|                 | 3. 第 44-46 頁資料都顯示正常，建議加入採集時間點，供日後比對之用。                                     | 遵照辦理。                                                                                                                                                                                                    |
|                 | 4. 第 78 頁中顯示民宅粒狀污染物濃度較高，是否受炊事、燒香行為而增加，建議再簡單加以描述。                           | 是否受炊事、燒香行為而增加，將於另外兩季調查，並加以探討。                                                                                                                                                                            |
|                 | 5. 第 59 頁中到數二行，若濃度持續增高，未來如何處理因應部份，請研究單位參考相關案例，提出建議。                        | 於尖峰時期，由於車流量較大，可啟動通風設備，以降低濃度，並已列明於 page94。                                                                                                                                                                |
|                 | 6. 請以圖示方式標示出豎井、油杉區、民宅相關位置，以供了解。                                            | 已標示出豎井、油杉區、民宅相關位置，於 page20。                                                                                                                                                                              |
| 本處<br>洪西洲<br>技正 | 第 27 頁(二)2. 在報中僅顯示出健康數據，其中坪林國小樣樹有不正常落葉情形，可能係由排水不良現象造成，是否能將坪林國小列入對照樣本，供作探討。 | 遵照辦理。第一年度起已經列入對照樣本。                                                                                                                                                                                      |
| 本處<br>王崑德<br>技正 | 1. 廢氣排放有超過法定標準，尤其 SO <sub>2</sub> 或其他氣體，是否受東北季風影響，造成不易消散，在報告中，顯示油杉正        | 由於植物生長需長時間監測，目前較無法判別是否因油杉忍受度較高或是監測時間短等相關因素，建議需持續觀察，並已列                                                                                                                                                   |

| 審查單位            | 審查意見                                                                               | 辦理情形                                                                                |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | 常，是否油杉忍受度較高或受監測時間短而致。                                                              | 明於 page148。                                                                         |
|                 | 2. 本計畫建議持續監測，考量相關責任問題，有關經費應與高公局、國工局分攤，如此監測才有意義。                                    | 已規劃所需經費，並已建請高公局、國工局分攤所需經費，並已列明於 page148。                                            |
| 本處<br>林世委<br>技士 | 1. 有關境外移入污染物排放量有多少？                                                                | 將依委員意見，期末報告中增列境外移入污染物排放量。                                                           |
|                 | 2. 台九線通車前沿線車流量多，故污染物呈平均分配，目前車流量少，污染物全集中於在豎井附近，在空氣品質上無明顯差異。                         | 因雪隧通車前，台九線沿線車流量多，污染物較平均分配；目前車流量少，污染物大多來自豎井排放或雪隧出口排放，較易對油杉區空氣品質產生影響，並已列明於 page15~16。 |
| 本處<br>林香白<br>技正 | 針對 101 頁建議 4，計畫經費讓林務局相當關注，在去年棲地查證會議中，委員也建議應請高公局、國工局酌予分攤經費，這部分上次會議請高公局將意見呈報，請高公局回應。 | 已規劃所需經費，並已建請高公局、國工局分攤所需經費，並已列明於 page148。                                            |
| 國道高速公路局<br>陳郁青  | 1. 第 101 頁建議 2. 本年度已通行大客車，語意表達修正應一致。                                               | 感謝委員意見，已於報告中修正文字敘述中「即將」通行修正為「已」通行，並已修正於 page97。                                     |
|                 | 2. 有關所提經費部分，目前正在研擬，為爭取順利爭取相關經費，請貴處行文擬討。                                            | 已規劃所需經費，並已建請高公局、國工局分攤所需經費，並已列明於 page148。                                            |

## 七、會議結論：

- (一) 本期中報告審核通過，請依本會議各委員意見修正。
- (二) 有關本計畫經費擬請高公局、國工局共同分攤部分，因本案係需長期監測，後續監測工作，請研究團隊研商列出未來應持續監測項目、內容、及經費，再函請高公局、國工局共同分攤。



## 附錄五：期末報告審查會議辦理情形

## 期末報告審查意見與回覆情形

「雪山隧道豎井對坪林臺灣油杉自然保留區及周邊環境影響評估（2/3）」

### 委託計畫期末審查會議

一、會議時間：97 年 11 月 10 日（星期一）上午 9 時

二、會議地點：本處三樓會議室

三、主持人：吳秘書坤銘

紀錄：江玲怡

四、參加人員：

國立台灣師範大學 陳教授正達

林業試驗所 黃研究員進睦

林務局 劉簡任技正瓊蓮

治山課 賴技正柳英

國道高速公路局 陳郁青

五、列席人員：

國立宜蘭大學 王教授兆桓、張教授章堂

國立台灣大學 羅教授漢強

冬山工作站 請假

台北工作站 請假

太平山工作站 請假

南澳工作站 請假

礁溪工作站 王主任崑德

## 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<br>陳正達教授 | 1. 空氣污染物以季為分析標準，請問次數為何？                                                        | 採樣頻率為每季一次                                          |
|                   | 2. 目前雖有台九線取樣資料，且濃度相當低，分析次數僅一次，台九線位於豎井區與油杉區中間，為何台九線濃度較低，並與豎井關係為何？建議台九線部份仍需持續監測。 | 下年度台九線部份仍需持續監測                                     |
|                   | 3. 研究中呈現相當多離子濃度分析，但酸雨對油杉影響部份，仍看不到通車前酸雨資料，建議找尋通車前酸雨觀測資料，作前後比較。                  | 通車前酸雨觀測資料詳見表 4-3-4-5(Page132)所示。                   |
|                   | 4. 穩定度分析部分，因大氣狀況不同，其觀測或許會不同，穩定度雖監測較複雜，建議仍有建立穩定度資料。                             | 穩定度分析頗為複雜，目前有四季之穩定度評估如表 1-5-1-3 (Page18) 所示。       |
|                   | 5. 第 101 頁表單位錯誤、第 127 頁「陽」離子請修正為「陰」離子。                                         | P101 表單位已更改為 ppm，P127 為陽離子種類錯誤，已做修正。               |
| 林業試驗所<br>黃進睦研究員   | 1. 第 2 頁內容，有關雪山隧道豎井速限文字內容，與報告關聯性為何？建議刪除修正；最後一行「坪林保留區」請寫全銜。                     | 刪除速限文字內容；最後一行修改為全銜                                 |
|                   | 2. 第 4 頁敘述尚屬前言，請將第 9 行「亦將」修正。                                                  | 改為「有可能」                                            |
|                   | 3. 報告中圖、表符號請統一（如第 8、10、12、15 頁）                                                | 表內符號已做統一。                                          |
|                   | 4. 第 8 頁有關避車道、通風站、中繼站三個關聯性為何？中繼站指何？                                            | 避車道、通風站、中繼站三個關聯性如圖 1-2-1-2(Page4)所示。               |
|                   | 5. 目前已屬期末報告，第 21 頁請將第一行「預定」及第 22 頁第一行「將」刪除。                                    | 已將其刪除。                                             |
|                   | 6. 第 52 頁 D051 影像分離拍攝角度應一致，較易瞭解前後差異。                                           | 原則上，拍攝角度會採一致，如因故須更改角度時，會於更改年度同時拍攝兩種角度，以便前後年度都可以比較。 |
|                   | 7. 第 94 頁（一）車流量監測結果內容，應屬材料與方法。                                                 | 僅第一段為簡述監測方法，其後為監測結果報告。                             |
|                   | 8. 第 94.95 頁文章內容與圖顯示時間不符，請修正。                                                  | 文章內容為九十五年八月至九十七年七月雪山隧道                             |

| 審查單位                  | 審查意見                                                                                                 | 辦理情形                                 |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                       |                                                                                                      | 通車後，兩年逐月平均車流量統計結果。                   |
|                       | 9. 報告中單位標示、圖例表示請統一，如 96、97、101、105、106 頁等，請再檢視修正。                                                    | 圖例已統一，如第 96、97、101、105、106 頁所示。      |
| 國立台灣師範大學<br>陳正達<br>教授 | 1. 第 102 頁北下與南上二張圖應相反，是否有誤。                                                                          | 已於 P102 將其修正                         |
|                       | 2. 第 97 頁起 2-1、2-2、2-3 之文章內容與對照圖之敘述，宜再檢視與補充。                                                         | 已於 102、103、106、107、108 頁將其修正圖示縱座標間隔。 |
|                       | 3. 報告中民宅資料較不足，建議再補充。                                                                                 | 民宅資料已列明於 page 20 中。                  |
|                       | 4. 第 84 頁場址名稱應指油杉測站，請統一修正。                                                                           | 場址名稱已改為油杉測站                          |
|                       | 5. 建議 1 中，目前資料無明確影響，請將即可能危害修正。                                                                       | 已將「極可能」一詞修改為「將來可能」。                  |
| 劉簡任技正<br>瓊蓮           | 1. 本案經費編列相當大，截至目前所呈現資料尚無影響，應檢視本計畫是否有急迫性，考量優先順序進行後續研究。上次也提及與高工局經費分攤部分，請研究團隊針對期迫性需求，分別提出單位自行辦理及委託辦理項目。 | 依會議結論辦理。                             |
|                       | 2. 健康形質監測資訊，對於管理處自然保留區經營管理上有相當助益，視實際可運用技術。                                                           | 健康監測技術正逐步朝向普及化，全國森林資源調查已納入考量。        |
|                       | 3. 報告中「保留區」名詞係屬法定名詞，仍請修正為「自然保留區」。                                                                    | 已修正。                                 |
|                       | 4. 若持續進行 10 年研究發現，豎井對坪林台灣油杉自然保留區有影響，高公局能主動回應，有無其他減緩措施，則後續監測計畫執行才有價值與意義。                              | 可請高公局研擬相關管制措施。                       |
|                       | 5. 本案第三年進行焦點，建議放在長期監測之準備，請研究單位設計，以較少經費執行，並將本處人員可參與項目分別列出。                                            | 遵照辦理。                                |
| 本處<br>王崑德<br>技正       | 1. 目前監測與評估資訊，雖顯示正常，且研究經費較高，但仍有其意義與需求。                                                                | 感謝委員予以肯定。                            |
|                       | 2. 本區本站有現場人員 1 位，負責查報現況，但因人員不足，每半年才進行物候監測調查，此調查                                                      | 此部份資料，將來可以和長期監測資料比對，可以協助了解其死亡之變化。    |

| 審查單位            | 審查意見                                                               | 辦理情形                                            |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                 | 從以前 92 年至今持續進行，此部份資料，是否可提供研究單位列入健康評估指標。                            |                                                 |
| 本處<br>賴柳英<br>技正 | 本研究雖至目前尚無影響，且著重於基礎資料建立，但未來希望研究單位提供，當污染排放量到達多少，本處需特別注意，應進行何種經營管理手段。 | 下年度擬與高公局協調，規劃管制策略，並將未來工作內容納入本項工作，如 Page 150 所示。 |
| 國道高速公路局<br>陳郁青  | 1. 建議可以將車流狀況和空氣品質分析比對，並將採樣環境、風向、氣溫等資訊列入。                           | 已有進行車流量與空氣品質分析比對，未來將會加入採樣環境、風向和氣溫等資料。           |
|                 | 2. 本單位會針對當污染超過標準值時，研擬相關管制措施。                                       | 知悉。                                             |
|                 | 3. 有關所提經費分攤部分，請貴單位行文本局擬討，並副知北區工程處頭城工務段。                            | 依會議結論辦理。                                        |

#### 七、會議結論：

- (一) 本期末報告審核通過，請依本會議各委員意見修正。
- (二) 本案請高公局研擬相關應對策略，俾利後續研究計畫推行。
- (三) 為使研究長期進行，有關本計畫未來經費分攤、持續監測項目、內容，請本處在 98 年上半年行文高公局共同推動。