

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(3/3)

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



委託機關：林務局羅東林區管理處

執行機關：國立宜蘭大學

中華民國九十八年十二月

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	森林暨自然資源學系	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	森林暨自然資源學系	黃 鶯	研究助理
5.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	楊銘鑫	兼任助理
6.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	陳鈺惠	兼任助理
7.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	蘇健民	兼任助理
8.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	張洋瑀	兼任助理
9.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	王文慶	兼任助理
10.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	黃翊倫	兼任助理
11.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	曹 靜	兼任助理
12.	國立宜蘭大學	森林暨自然資源學系	林世曉	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，這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與探討。

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、樹冠梢枯、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，自坪林台灣油杉保留區之 A、C 和 D 區選取台灣油杉樣木合計 34 株，另於福山研究中心、出水溪苗圃、坪林國小和台大校園選取對照樣木合計 13 株，採取其 1 及 2 或含 3 年生葉片；此外，亦於 A、C 和 D 區內，以及 D 區至 3 號豎井間，採取 22 株闊葉樹成熟葉片。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，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，以瞭解雪山隧道之通風豎井排放廢氣進入本研究區內之濃度，並判定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。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 D032 和 D122 兩株被壓木被列為產生劣化情形與不健康等級，其餘皆為正常，且其林木健康分級分佈經卡方一致性檢定結果顯示近三年的林木健康分級分佈間並無顯著的差異。三年的調查期間內未發現樣木死亡，胸徑與樹高有生長的

現象，代表林分尚無立即衰退的徵兆。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。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，整體而言，各株樣木之葉片構造大致皆屬正常，只有極少樣木之極少細胞或組織出現異常之形態，尚未能認定屬空氣污染物造成之形態上病徵。不過，D056 樣木已連續兩年有切片細胞出現異常形態，且今年觀測到有異常形態之細胞或組織的樣木株數較去年多，因此未來還需持續對台灣油杉進行長期監測。建議 A、C 及 D 區應每 2 年一次取台灣油杉各約 10 株之 2 年生葉片切片觀察比較，以確保台灣油杉植群之健康。

在環境監測結果方面，雪山隧道尖峰時刻的車流量每小時達 1400 輛，是非尖峰時刻的三倍以上。空氣污染的濃度也取決於通行車輛的數目。結果顯示在隧道內 CO、SO₂、NO_x 與 PM₁₀ 的濃度分別為 8.1 - 39.2ppm、20 - 48ppb、1.2 - 3.1ppm 與 131 - 222μg/m³。相對的，在台灣油杉保留區 CO、O₃、SO₂、NO_x 與 PM₁₀ 的濃度分別為 0.83 - 1.83 ppm、58.2 - 59.1 ppb、12.5 - 14.3 ppb、40.0 - 80.1 ppb 與 25.3 - 29.7μg/m³。酸沉降雨水的 pH 值範圍在 4.6 到 5.8 之間。酸沉降雨水中的陰離子 Cl⁻、NO₃⁻ 與 SO₄²⁻ 的離子濃度為 10.11 - 22.01、2.42 - 17.24 與 1.44 - 7.88μeq/L。而沉降雨水中的陽離子 Na⁺、K⁺ 與 Ca²⁺ 濃度為 7.81 - 26.71、1.23 - 28.81 與 0.61 - 16.9μeq/L。在使用台灣油杉苗木進行模擬試驗方面，以 NO、CO、SO₂ 混合污染物進行台灣油杉受空氣污染物影響評估測試時，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 Pinglin Taiwan Keteleeria Nature 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 2 trees (No D032 and No D122) ranked as health-declined and un-healthy. Besides, almost of the sampled leaves are revealed with normal feature without any phenomenon of chemical damage, except a few leaves shows 1~2 sponge cells inside a stoma with swelling size. However, this year has more trees with swelled sponge cells than last year, so the observations need further performance in the future. 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 Syueshan Tunnel, the number of vehicles in rush hour was about 1400 vehicles per hour and three times larger than during non-rush hour. The pollutant concentrations were also dependent on the number of vehicles. The results showed that the CO, SO₂, NO_x and PM₁₀ concentration could be between 8.1 - 39.2 ppm, 20 - 48 ppb, 1.2 - 3.1 ppm, and 131 - 222 µg/m³, respectively, in the tunnel. In contrast, the CO, O₃, SO₂, NO_x and PM₁₀ concentration could be between 0.83 - 1.83 ppm, 58.2 - 59.1 ppb, 12.5 - 14.3 ppb, 40.0 - 80.1 ppb, and 25.3 - 29.7 µg/m³, respectively, in the Pinglin Taiwan Keteleeria Nature Reserve. The pH value of the acid deposition was ranged from 4.6 to 5.8. The anion concentrations of [Cl⁻], [NO₃⁻] and [SO₄²⁻] in the acid deposition were between 10.11 – 22.01, 2.42 – 17.24 and 1.44 – 7.88 µeq/L. Whereas, the cation concentrations of [Na⁺], [K⁺] and [Ca²⁺] in the acid deposition were between 7.81- 26.71, 1.23 – 28.81 and 0.61 – 16.9 µeq/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	VI
表目錄	VIII
圖目錄	X
壹、前言	1-1
一、研究動機及研究問題	1-1
二、國內外隧道空氣品質監測結果	1-3
三、通車前污染物濃度	1-6
(一) 通車前懸浮微粒(PM ₁₀)濃度	1-6
(二) 通車前一氧化碳(CO)濃度	1-8
(三) 通車前二氧化硫(SO ₂)濃度	1-10
(四) 通車前氮氧化物(NO _x)濃度	1-12
四、北宜公路污染物濃度監測	1-16
五、空氣穩定度評估資料	1-17
貳、計畫目標	2-1
參、材料與方法	3-1
一、實施時間與地點	3-1
二、研究方法	3-4
(一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測	3-4
(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測	3-9
(三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測	3-12
(四) 評估台灣油杉健康程度與環境空氣污染間之關係	3-16
(五) 空氣污染物對台灣油杉葉片組織影響	3-17
肆、結果與討論	4-1
一、台灣油杉外部樹冠健康指標之監測結果	4-1
(一) 台灣油杉林木測計之結果	4-1
(二) 台灣油杉健康判釋之結果	4-6
(三) 台灣油杉照片監測之結果	4-13
二、台灣油杉葉身構造變化之監測結果	4-21
(一) 表層組織(Epidermis)	4-22
(二) 葉肉(Mesophyll)	4-23
(三) 維管束組織(Vascular tissue)	4-24

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	4-73
(一) 車流量監測結果	4-73
(二) 隧道內空氣品質監測結果	4-76
2-1 懸浮微粒(PM ₁₀)濃度	4-76
2-2 一氧化碳(CO)濃度	4-79
2-3 二氧化硫(SO ₂)濃度	4-83
2-4 氮氧化物(NO _x)濃度	4-87
(三) 豎井區與台灣油杉區空氣品質監測結果	4-91
3-1 粒狀污染物濃度	4-91
3-2 氣狀污染物濃度	4-96
(四) 酸沉降監測結果	4-105
4-1 陰離子濃度分析結果	4-105
4-2 陽離子濃度分析結果	4-111
4-3 通車前酸雨觀測資料	4-116
(五) 空氣污染物對台灣油杉葉片組織影響	4-117
伍、結論與建議	5-1
一、結論	5-1
(一) 台灣油杉外部樹冠健康指標之監測	5-1
(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測	5-2
(三) 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測	5-2
二、建議	5-4
陸、參考文獻	6-1
一、林木健康監測之參考文獻	6-1
二、植物葉身構造監測之參考文獻	6-3
三、空氣污染監測之參考文獻	6-3
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	附-1
附錄二：離子成分分析之檢量線	附-3
附錄三：離子成分分析之管制圖	附-11
附錄四：空氣品質標準平均值	附-17
附錄五：林木健康監測調查項目表	附-19
附錄六：期中報告審查會議辦理情形	附-21
附錄七：期末報告審查會議辦理情形	附-26

表 目 錄

表 1-2-1-1	雪山隧道各豎井廢氣排放情形推估表	1-6
表 1-3-4-1	雪山隧道通車前各污染物監測濃度	1-16
表 1-5-1-1	穩定度分類表	1-17
表 1-5-1-2	輻射量與日照強度之關係	1-18
表 1-5-1-3	四季之穩定度評估	1-18
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	3-1
表 3-2-3-1	實驗參數表	3-13
表 3-5-1-1	不同空氣汙染物濃度及時段處理二株（甲、乙）台灣油杉苗木	3-18
表 4-1-1-1	坪林台灣油杉自然保留區各區林木胸徑統計	4-2
表 4-1-1-2	坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹高統計	4-3
表 4-1-1-3	坪林台灣油杉自然保留區各區林木兩年胸徑生長量統計	4-4
表 4-1-1-4	坪林台灣油杉自然保留區各區林木兩年樹高生長量統計	4-5
表 4-1-2-1	坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠密度統計	4-6
表 4-1-2-2	坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠透視度統計	4-7
表 4-1-2-3	坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠梢枯統計	4-8
表 4-1-2-4	坪林台灣油杉自然保留區各區林木健康分數統計	4-11
表 4-1-2-5	坪林台灣油杉自然保留區各年度林木健康分級之分配	4-12
表 4-2-3-1.	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	4-25
表 4-3-3-1	96 年第一季空氣中粒狀物濃度	4-92
表 4-3-3-2	96 年第二季空氣中粒狀物濃度	4-92
表 4-3-3-3	96 年第三季空氣中粒狀物濃度	4-92
表 4-3-3-4	96 年第四季空氣中粒狀物濃度	4-92
表 4-3-3-5	97 年第一季空氣中粒狀物濃度	4-93
表 4-3-3-6	97 年第二季空氣中粒狀物濃度	4-93
表 4-3-3-7	97 年第三季空氣中粒狀物濃度	4-93
表 4-3-3-8	97 年第四季空氣中粒狀物濃度	4-93
表 4-3-3-9	98 年第一季空氣中粒狀物濃度	4-94
表 4-3-3-10	98 年第二季空氣中粒狀物濃度	4-94
表 4-3-3-11	98 年第三季空氣中粒狀物濃度	4-94
表 4-3-3-12	98 年第四季空氣中粒狀物濃度	4-94
表 4-3-3-13	96 年第一季各監測點污染物濃度之比較	4-98
表 4-3-3-14	96 年第二季各監測點污染物濃度之比較	4-98
表 4-3-3-15	96 年第三季各監測點污染物濃度之比較	4-98

表 4-3-3-16	96 年第四季各監測點污染物濃度之比較	4-99
表 4-3-3-17	97 年第一季各監測點污染物濃度之比較	4-99
表 4-3-3-18	97 年第二季各監測點污染物濃度之比較	4-99
表 4-3-3-19	97 年第三季各監測點污染物濃度之比較	4-100
表 4-3-3-20	97 年第四季各監測點污染物濃度之比較	4-100
表 4-3-3-21	98 年第一季各監測點污染物濃度之比較	4-100
表 4-3-3-22	98 年第二季各監測點污染物濃度之比較	4-101
表 4-3-3-23	98 年第三季各監測點污染物濃度之比較	4-101
表 4-3-3-24	98 年第四季各監測點污染物濃度之比較	4-101
表 4-3-4-1	A 區陰離子濃度測試結果	4-107
表 4-3-4-2	D 區陰離子濃度測試結果	4-107
表 4-3-4-3	A 區陽離子濃度測試結果	4-112
表 4-3-4-4	D 區陽離子濃度測試結果	4-112
表 4-3-4-5	93 至 95 年離子濃度分析資料	4-116
表 4-3-5-1	台灣油杉空氣汙染試驗苗木之葉片構造	4-117
附表 4-1	空氣品質標準平均值	附-18
附表 5-1	林木健康監測調查項目表	附-20

圖 目 錄

圖 1-2-1-1	雪山隧道透視圖	1-4
圖 1-3-1-1	雪山隧道通車前各測點懸浮微粒背景濃度值	1-7
圖 1-3-1-2	隧道口與各避車道測點之懸浮微粒濃度變化	1-8
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	1-8
圖 1-3-2-1	雪山隧道通車前各測點一氧化碳背景濃度值	1-9
圖 1-3-2-2	隧道口與各避車道測點之一氧化碳濃度變化	1-10
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	1-10
圖 1-3-3-1	雪山隧道通車前各測點二氧化硫背景濃度值	1-11
圖 1-3-3-2	隧道口與各避車道測點之二氧化硫濃度變化	1-12
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	1-12
圖 1-3-4-1	雪山隧道通車前各測點氮氧化物背景濃度值	1-13
圖 1-3-4-2	隧道口與各避車道測點之氮氧化物濃度變化	1-14
圖 1-3-4-3	雪山隧道通車前各測點 NO 濃度逐月變化	1-14
圖 1-3-4-4	雪山隧道通車前各測點 NO ₂ 濃度逐月變化	1-15
圖 1-3-4-5	雪山隧道通車前各測點 NO _x 濃度逐月變化	1-15
圖 1-4-1-1	北宜公路污染物濃度監測	1-15
圖 1-5-1-1	近五年大氣混合層高度	1-15
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	3-2
圖 3-1-1-2	坪林台灣油杉 A 區林相外觀	3-3
圖 3-1-1-3	坪林台灣油杉 D 區林相外觀	3-3
圖 3-2-1-1	根部狀態判定圖	3-5
圖 3-2-1-2	冠層狀態判定圖	3-5
圖 3-2-1-3	樹冠密度示意圖(修改自 USDA Forest service)	3-6
圖 3-2-1-4	野外調查人員判識觀測位置示意圖	3-6
圖 3-2-1-5	樹冠透視度與樹冠密度判定依據標準照片	3-7
圖 3-2-1-6	樹冠重疊情形判定圖	3-8
圖 3-2-1-7	樹冠重疊情形評分依據	3-8
圖 3-2-2-1	A 區樣木分布位置	3-10
圖 3-2-2-2	C 區樣木分布位置	3-10
圖 3-2-2-3	D 區樣木分布位置	3-11
圖 3-2-2-4	台灣油杉一至三年生枝條之位置圖	3-11
圖 3-2-3-1	研究流程圖	3-14
圖 3-2-3-2	酸沈降採樣器	3-15
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	4-2
圖 4-1-1-2	坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹高分佈	4-3
圖 4-1-1-3	坪林台灣油杉自然保留區各區胸徑級的兩年胸徑生長量	4-4

圖 4-1-1-4	坪林台灣油杉自然保留區各區胸徑級的兩年樹高生長量.....	4-5
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.....	4-6
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.....	4-7
圖 4-1-2-3	坪林台灣油杉自然保留區各區樣木樹冠梢枯分佈.....	4-8
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.....	4-9
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.....	4-9
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.....	4-10
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佈.....	4-10
圖 4-1-2-8	坪林台灣油杉自然保留區各區樣木健康分級分佈.....	4-11
圖 4-1-3-1a	坪林國小台灣油杉 原樣木影像(96 年拍攝).....	4-14
圖 4-1-3-1b	坪林國小台灣油杉 分離影像(96 年拍攝).....	4-14
圖 4-1-3-1c	坪林國小台灣油杉 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-14
圖 4-1-3-1d	坪林國小台灣油杉 分離影像(97 年拍攝).....	4-14
圖 4-1-3-1e	坪林國小台灣油杉 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-14
圖 4-1-3-1f	坪林國小台灣油杉 分離影像(98 年拍攝).....	4-14
圖 4-1-3-2a	台大校園台灣油杉 原樣木影像(96 年拍攝).....	4-15
圖 4-1-3-2b	台大校園台灣油杉 分離影像(96 年拍攝).....	4-15
圖 4-1-3-2c	台大校園台灣油杉 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-15
圖 4-1-3-2d	台大校園台灣油杉 分離影像(97 年拍攝).....	4-15
圖 4-1-3-2e	台大校園台灣油杉 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-15
圖 4-1-3-2f	台大校園台灣油杉 分離影像(98 年拍攝).....	4-15
圖 4-1-3-3a	台灣油杉 C063 號 原樣木影像(96 年拍攝).....	4-16
圖 4-1-3-3b	台灣油杉 C063 號 分離影像(96 年拍攝).....	4-16
圖 4-1-3-3c	台灣油杉 C063 號 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-16
圖 4-1-3-3d	台灣油杉 C063 號 分離影像(97 年拍攝).....	4-16
圖 4-1-3-3e	台灣油杉 C063 號 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-16
圖 4-1-3-3f	台灣油杉 C063 號 分離影像(98 年拍攝).....	4-16
圖 4-1-3-4a	台灣油杉 A003 號 原樣木影像(96 年拍攝).....	4-17
圖 4-1-3-4b	台灣油杉 A003 號 分離影像(96 年拍攝).....	4-17
圖 4-1-3-4c	台灣油杉 A003 號 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-17
圖 4-1-3-4d	台灣油杉 A003 號 分離影像(97 年拍攝).....	4-17
圖 4-1-3-4e	台灣油杉 A003 號 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-17
圖 4-1-3-4f	台灣油杉 A003 號 分離影像(98 年拍攝).....	4-17
圖 4-1-3-5a	台灣油杉 D051 號 原樣木影像(96 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-5b	台灣油杉 D051 號 分離影像(96 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-5c	台灣油杉 D051 號 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-5d	台灣油杉 D051 號 分離影像(98 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-5e	台灣油杉 D051 號 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-5f	台灣油杉 D051 號 分離影像(97 年拍攝).....	4-18

圖 4-1-3-5g	台灣油杉 D051 號 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-5h	台灣油杉 D051 號 分離影像(98 年拍攝).....	4-18
圖 4-1-3-6a	台灣油杉 D061 號 原木影像(96 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6b	台灣油杉 D061 號 分離影像(96 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6c	台灣油杉 D061 號 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6d	台灣油杉 D061 號 分離影像(98 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6e	台灣油杉 D061 號 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6f	台灣油杉 D061 號 分離影像(97 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6g	台灣油杉 D061 號 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-6h	台灣油杉 D061 號 分離影像(98 年拍攝).....	4-19
圖 4-1-3-7a	出水溪苗圃台灣油杉 原樣木影像(96 年拍攝).....	4-20
圖 4-1-3-7b	出水溪苗圃台灣油杉 分離影像(96 年拍攝).....	4-20
圖 4-1-3-7c	出水溪苗圃台灣油杉 原樣木影像(97 年拍攝).....	4-20
圖 4-1-3-7d	出水溪苗圃台灣油杉 分離影像(97 年拍攝).....	4-20
圖 4-1-3-7e	出水溪苗圃台灣油杉 原樣木影像(98 年拍攝).....	4-20
圖 4-1-3-7f	出水溪苗圃台灣油杉 分離影像(98 年拍攝).....	4-20
圖 4-2-1-1	台灣油杉葉橫切面之構造.....	4-21
圖 4-2-1-2	冇樟葉橫切面之構造.....	4-21
圖 4-2-1-3	台灣油杉葉之下表皮層(含氣孔)及海綿組織.....	4-22
圖 4-2-1-4	冇樟之葉肉、上、下表皮層(含氣孔).....	4-23
圖 4-2-3-1	福山_台灣油杉-廁(入 5)_1 年生 (200×) 中肋.....	4-32
圖 4-2-3-2	福山_台灣油杉-廁(入 5)_1 年生 (200×) 葉緣、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-32
圖 4-2-3-3	福山_台灣油杉-廁(入 5)_2 年生 (200×) 中肋.....	4-32
圖 4-2-3-4	福山_台灣油杉-廁(入 5)_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-32
圖 4-2-3-5	福山_台灣油杉-廁(入 5)_3 年生 (200×) 中肋.....	4-32
圖 4-2-3-6	福山_台灣油杉-廁(入 5)_3 年生 (200×) 葉緣、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-32
圖 4-2-3-7	福山_台灣油杉-廁(入 6)_1 年生 (200×) 中肋.....	4-32
圖 4-2-3-8	福山_台灣油杉-廁(入 6)_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-32
圖 4-2-3-9	福山_台灣油杉-廁(入 6)_2 年生 (200×) 中肋.....	4-33
圖 4-2-3-10	福山_台灣油杉-廁(入 6)_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-33
圖 4-2-3-11	福山_台灣油杉-廁(入 6)_3 年生 (200×) 中肋.....	4-33
圖 4-2-3-12	福山_台灣油杉-廁(入 6)_3 年生 (200×) 葉緣、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-33
圖 4-2-3-13	福山_台灣油杉-鐵 1_1 年生 (200×) 中肋.....	4-33
圖 4-2-3-14	福山_台灣油杉-鐵 1_1 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-33
圖 4-2-3-15	福山_台灣油杉-鐵 1_2 年生 (200×) 中肋.....	4-33
圖 4-2-3-16	福山_台灣油杉-鐵 1_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-33
圖 4-2-3-17	福山_台灣油杉-鐵 1_3 年生 (200×) 中肋.....	4-34
圖 4-2-3-18	福山_台灣油杉-鐵 1_3 年生 (200×) 葉緣、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-34
圖 4-2-3-19	福山_台灣油杉-鐵 2_1 年生 (200×) 中肋.....	4-34

圖 4-2-3-20	福山_台灣油杉-鐵 2_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-34
圖 4-2-3-21	福山_台灣油杉-鐵 2_2 年生 (200×) 中肋	4-34
圖 4-2-3-22	福山_台灣油杉-鐵 2_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-34
圖 4-2-3-23	福山_台灣油杉-鐵 2_3 年生 (200×) 中肋	4-34
圖 4-2-3-24	福山_台灣油杉-鐵 2_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-34
圖 4-2-3-25	福山_台灣油杉-鐵幼 5_1 年生 (200×) 中肋.....	4-35
圖 4-2-3-26	福山_台灣油杉-鐵幼 5_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-35
圖 4-2-3-27	福山_台灣油杉-鐵幼 5_2 年生 (200×) 中肋.....	4-35
圖 4-2-3-28	福山_台灣油杉-鐵幼 5_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-35
圖 4-2-3-29	福山_台灣油杉-鐵幼 5_3 年生 (200×) 中肋.....	4-35
圖 4-2-3-30	福山_台灣油杉-鐵幼 5_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-35
圖 4-2-3-31	福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生中肋(200×).....	4-35
圖 4-2-3-32a	福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生 近中肋、葉肉及上表皮(氣孔)(200×)	4-35
圖 4-2-3-32b	福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)(200×)	4-35
圖 4-2-3-33	福山_台灣油杉-廁(出 1)_2 年生 (200×) 中肋	4-36
圖 4-2-3-34	福山_台灣油杉-廁(出 1)_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-36
圖 4-2-3-35	福山_台灣油杉-廁(出 1)_3 年生 (200×) 中肋	4-36
圖 4-2-3-36	福山_台灣油杉-廁(出 1)_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-36
圖 4-2-3-37	福山_台灣油杉-廁(出 5)_1 年生 (200×) 中肋	4-36
圖 4-2-3-38	福山_台灣油杉-廁(出 5)_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-36
圖 4-2-3-39	福山_台灣油杉-廁(出 5)_2 年生 (200×) 中肋	4-36
圖 4-2-3-40	福山_台灣油杉-廁(出 5)_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-36
圖 4-2-3-41	福山_台灣油杉-廁(出 5)_3 年生 (200×) 中肋	4-37
圖 4-2-3-42	福山_台灣油杉-廁(出 5)_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-37
圖 4-2-3-43	福山_台灣油杉-近工作站_1 年生 (200×) 中肋	4-37
圖 4-2-3-44	福山_台灣油杉-近工作站_1 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-37
圖 4-2-3-45	福山_台灣油杉-近工作站_2 年生 (200×) 中肋	4-37
圖 4-2-3-46	福山_台灣油杉-近工作站_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-37
圖 4-2-3-47	福山_台灣油杉-近工作站_3 年生 (200×) 中肋	4-37
圖 4-2-3-48	福山_台灣油杉-近工作站_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-37
圖 4-2-3-49	福山_台灣油杉-遠工作站_1 年生 (200×) 中肋	4-38
圖 4-2-3-50	福山_台灣油杉-遠工作站_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-38
圖 4-2-3-51	福山_台灣油杉-遠工作站_2 年生 (200×) 中肋	4-38
圖 4-2-3-52	福山_台灣油杉-遠工作站_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-38
圖 4-2-3-53	福山_台灣油杉-遠工作站_3 年生 (200×) 中肋	4-38
圖 4-2-3-54	福山_台灣油杉-遠工作站_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-38
圖 4-2-3-55	出水溪_台灣油杉-(前)_1 年生 (200×) 中肋	4-38
圖 4-2-3-56	出水溪_台灣油杉-(前)_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-38
圖 4-2-3-57	出水溪_台灣油杉-(前)_2 年生 (200×) 中肋	4-39

圖 4-2-3-58	出水溪_台灣油杉-(前)_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-39
圖 4-2-3-59	出水溪_台灣油杉-(前)_3 年生 (200×) 中肋	4-39
圖 4-2-3-60	出水溪_台灣油杉-(前)_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-39
圖 4-2-3-61	出水溪_台灣油杉-(旁)_1 年生 (200×) 中肋	4-39
圖 4-2-3-62	出水溪_台灣油杉-(旁)_1 年生 (200×) 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-39
圖 4-2-3-63	出水溪_台灣油杉-(旁)_2 年生 (200×) 中肋	4-39
圖 4-2-3-64	出水溪_台灣油杉-(旁)_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-39
圖 4-2-3-65	出水溪_台灣油杉-(旁)_3 年生 中肋 (200×).....	4-40
圖 4-2-3-66	出水溪_台灣油杉-(旁)_3 年生 近中肋、葉肉及上表皮(氣孔)(200×).....	4-40
圖 4-2-3-67	出水溪_台灣油杉-(旁)_3 年生 葉肉及下表皮(氣孔) (200×).....	4-40
圖 4-2-3-68	坪林國小_台灣油杉_1 年生 (200×) 中肋.....	4-40
圖 4-2-3-69	坪林國小_台灣油杉_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-40
圖 4-2-3-70	坪林國小_台灣油杉_2 年生 (200×) 中肋.....	4-40
圖 4-2-3-71	坪林國小_台灣油杉_2 年生 (200×) 葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)	4-40
圖 4-2-3-72	坪林國小_台灣油杉_3 年生 (200×) 中肋.....	4-40
圖 4-2-3-73	坪林國小_台灣油杉_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-40
圖 4-2-3-74	台大_台灣油杉_1 年生 (200×) 中肋	4-41
圖 4-2-3-75	台大_台灣油杉_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-41
圖 4-2-3-76	台大_台灣油杉_2 年生 (200×) 中肋	4-41
圖 4-2-3-77	台大_台灣油杉_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-41
圖 4-2-3-78	A 區_台灣油杉_01_1 年生 (200×) 中肋.....	4-41
圖 4-2-3-79	A 區_台灣油杉_01_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-41
圖 4-2-3-80	A 區_台灣油杉_01_2 年生 (200×) 中肋.....	4-41
圖 4-2-3-81	A 區_台灣油杉_01_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-41
圖 4-2-3-82	A 區_台灣油杉_01_3 年生 (200×) 中肋.....	4-42
圖 4-2-3-83	A 區_台灣油杉_01_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-42
圖 4-2-3-84	A 區_台灣油杉_02_1 年生 (200×) 中肋.....	4-42
圖 4-2-3-85	A 區_台灣油杉_02_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-42
圖 4-2-3-86	A 區_台灣油杉_02_2 年生 (200×) 中肋.....	4-42
圖 4-2-3-87	A 區_台灣油杉_02_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-42
圖 4-2-3-88	A 區_台灣油杉_02_3 年生 (200×) 中肋.....	4-42
圖 4-2-3-89	A 區_台灣油杉_02_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-42
圖 4-2-3-90	A 區_台灣油杉_03_1 年生 (200×) 中肋.....	4-43
圖 4-2-3-91	A 區_台灣油杉_03_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-43
圖 4-2-3-92	A 區_台灣油杉_03_2 年生 (200×) 中肋.....	4-43
圖 4-2-3-93	A 區_台灣油杉_03_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-43
圖 4-2-3-94	A 區_台灣油杉_03_3 年生 (200×) 中肋.....	4-43
圖 4-2-3-95	A 區_台灣油杉_03_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-43
圖 4-2-3-96	A 區_台灣油杉_04_1 年生 (200×) 中肋.....	4-43

圖 4-2-3-97	A 區_台灣油杉_04_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-43
圖 4-2-3-98	A 區_台灣油杉_04_2 年生 中肋 (200×)	4-44
圖 4-2-3-99a	A 區_台灣油杉_04_2 年生葉肉及上表皮(氣孔) (200×)	4-44
圖 4-2-3-99b	A 區_台灣油杉_04_2 年生葉肉及下表皮(氣孔)(200×)	4-44
圖 4-2-3-100	A 區_台灣油杉_04_3 年生 (200×)中肋	4-44
圖 4-2-3-101	A 區_台灣油杉_04_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-44
圖 4-2-3-102	A 區_台灣油杉_05_1 年生 (200×)中肋	4-44
圖 4-2-3-103	A 區_台灣油杉_05_1 年生 (200×) 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)	4-44
圖 4-2-3-104	A 區_台灣油杉_05_2 年生 (200×)中肋	4-44
圖 4-2-3-105	A 區_台灣油杉_05_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-44
圖 4-2-3-106	A 區_台灣油杉_05_3 年生 (200×)中肋	4-45
圖 4-2-3-107	A 區_台灣油杉_05_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-45
圖 4-2-3-108	A 區_台灣油杉_06_1 年生 (200×)中肋	4-45
圖 4-2-3-109	A 區_台灣油杉_06_1 年生 (200×) 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)	4-45
圖 4-2-3-110	A 區_台灣油杉_06_2 年生 (200×)中肋	4-45
圖 4-2-3-111	A 區_台灣油杉_06_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-45
圖 4-2-3-112	A 區_台灣油杉_06_3 年生 (200×)中肋	4-45
圖 4-2-3-113	A 區_台灣油杉_06_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-45
圖 4-2-3-114	A 區_台灣油杉_07_1 年生 (200×)中肋	4-46
圖 4-2-3-115	A 區_台灣油杉_07_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-46
圖 4-2-3-116	A 區_台灣油杉_07_2 年生 (200×) 中肋	4-46
圖 4-2-3-117	A 區_台灣油杉_07_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-46
圖 4-2-3-118	A 區_台灣油杉_07_3 年生 (200×) 中肋	4-46
圖 4-2-3-119	A 區_台灣油杉_07_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-46
圖 4-2-3-120	A 區_台灣油杉_08_1 年生 (200×) 中肋	4-46
圖 4-2-3-121	A 區_台灣油杉_08_1 年生 (200×) 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)	4-46
圖 4-2-3-122	A 區_台灣油杉_08_2 年生 (200×) 中肋	4-47
圖 4-2-3-123	A 區_台灣油杉_08_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-47
圖 4-2-3-124	A 區_台灣油杉_08_3 年生 (200×) 中肋	4-47
圖 4-2-3-125	A 區_台灣油杉_08_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-47
圖 4-2-3-126	A 區_台灣油杉_09_1 年生 (200×) 中肋	4-47
圖 4-2-3-127	A 區_台灣油杉_09_1 年生 (200×) 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)	4-47
圖 4-2-3-128	A 區_台灣油杉_09_2 年生 (200×) 中肋	4-47
圖 4-2-3-129	A 區_台灣油杉_09_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-47
圖 4-2-3-130	A 區_台灣油杉_09_3 年生 (200×) 中肋	4-48
圖 4-2-3-131	A 區_台灣油杉_09_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-48
圖 4-2-3-132	A 區_台灣油杉_10_1 年生 (200×) 中肋	4-48
圖 4-2-3-133	A 區_台灣油杉_10_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-48
圖 4-2-3-134	A 區_台灣油杉_10_2 年生 (200×) 中肋	4-48

圖 4-2-3-135	A 區_台灣油杉_10_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-48
圖 4-2-3-136	A 區_台灣油杉_10_3 年生 (200×) 中肋	4-48
圖 4-2-3-137	A 區_台灣油杉_10_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-48
圖 4-2-3-138	A 區_台灣油杉_11_1 年生 (200×) 中肋	4-49
圖 4-2-3-139	A 區_台灣油杉_11_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-49
圖 4-2-3-140	A 區_台灣油杉_11_2 年生 (200×) 中肋	4-49
圖 4-2-3-141	A 區_台灣油杉_11_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-49
圖 4-2-3-142	A 區_台灣油杉_11_3 年生 (200×) 中肋	4-49
圖 4-2-3-143	A 區_台灣油杉_11_3 年生 (200×) 葉肉及上、下表皮(氣孔)	4-49
圖 4-2-3-144	A 區_台灣油杉_12_1 年生 (200×) 中肋	4-49
圖 4-2-3-145	A 區_台灣油杉_12_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-49
圖 4-2-3-146	A 區_台灣油杉_12_2 年生 (200×) 中肋	4-50
圖 4-2-3-147	A 區_台灣油杉_12_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-50
圖 4-2-3-148	A 區_台灣油杉_12_3 年生 (200×) 中肋	4-50
圖 4-2-3-149	A 區_台灣油杉_12_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-50
圖 4-2-3-150	A 區_台灣油杉_13_1 年生 (200×) 中肋	4-50
圖 4-2-3-151	A 區_台灣油杉_13_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-50
圖 4-2-3-152	A 區_台灣油杉_13_2 年生 (200×) 中肋	4-50
圖 4-2-3-153	A 區_台灣油杉_13_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-50
圖 4-2-3-154	A 區_台灣油杉_13_3 年生 (200×) 中肋	4-51
圖 4-2-3-155	A 區_台灣油杉_13_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-51
圖 4-2-3-156	A 區_台灣油杉_14_1 年生 (200×) 中肋	4-51
圖 4-2-3-157	A 區_台灣油杉_14_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-51
圖 4-2-3-158	A 區_台灣油杉_14_2 年生 (200×) 中肋	4-51
圖 4-2-3-159	A 區_台灣油杉_14_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-51
圖 4-2-3-160	A 區_台灣油杉_14_31 年生 (200×) 中肋	4-51
圖 4-2-3-161	A 區_台灣油杉_14_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-51
圖 4-2-3-162	A 區冇樟 (100×) 中肋	4-52
圖 4-2-3-163a	A 區冇樟 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-52
圖 4-2-3-163b	A 區冇樟 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-52
圖 4-2-3-164	A 區紅楠 (100×) 中肋	4-52
圖 4-2-3-165a	A 區紅楠 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-52
圖 4-2-3-165b	A 區紅楠 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-52
圖 4-2-3-166	A 區西施花 (100×) 中肋	4-52
圖 4-2-3-167a	A 區西施花 (100×) 葉肉及上、下表皮	4-52
圖 4-2-3-167b	A 區西施花 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-52
圖 4-2-3-168	A 區大明橘 (100×) 中肋	4-52
圖 4-2-3-169a	A 區大明橘 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-52
圖 4-2-3-169b	A 區大明橘 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-52

圖 4-2-3-170	A 區長尾柯 (100×) 中肋	4-52
圖 4-2-3-171a	A 區長尾柯 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-52
圖 4-2-3-171b	A 區長尾柯 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-52
圖 4-2-3-172	C 區_台灣油杉_37_1 年生(200×) 中肋	4-53
圖 4-2-3-173	C 區_台灣油杉_37_1 年生(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-53
圖 4-2-3-174	C 區_台灣油杉_37_2 年生(200×) 中肋	4-53
圖 4-2-3-175	C 區_台灣油杉_37_2 年生(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-53
圖 4-2-3-176	C 區_台灣油杉_37_3 年生(200×) 中肋	4-53
圖 4-2-3-177	C 區_台灣油杉_37_3 年生(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-53
圖 4-2-3-178	C 區_台灣油杉_38_1 年生 (200×) 中肋	4-53
圖 4-2-3-179	C 區_台灣油杉_38_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-53
圖 4-2-3-180	C 區_台灣油杉_38_2 年生 (200×) 中肋	4-54
圖 4-2-3-181	C 區_台灣油杉_38_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-54
圖 4-2-3-182	C 區_台灣油杉_38_3 年生 (200×) 中肋	4-54
圖 4-2-3-183	C 區_台灣油杉_38_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-54
圖 4-2-3-184	C 區_台灣油杉_50_1 年生 (200×) 中肋	4-54
圖 4-2-3-185	C 區_台灣油杉_50_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-54
圖 4-2-3-186	C 區_台灣油杉_50_2 年生 (200×) 中肋	4-54
圖 4-2-3-187	C 區_台灣油杉_50_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-54
圖 4-2-3-188	C 區_台灣油杉_50_3 年生 (200×) 中肋	4-55
圖 4-2-3-189	C 區_台灣油杉_50_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-55
圖 4-2-3-190	C 區_台灣油杉_55_1 年生 (200×) 中肋	4-55
圖 4-2-3-191	C 區_台灣油杉_55_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-55
圖 4-2-3-192	C 區_台灣油杉_55_2 年生 (200×) 中肋	4-55
圖 4-2-3-193	C 區_台灣油杉_55_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-55
圖 4-2-3-194	C 區_台灣油杉_55_3 年生 (200×) 中肋	4-55
圖 4-2-3-195	C 區_台灣油杉_55_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-55
圖 4-2-3-196	C 區_台灣油杉_56_1 年生 (200×) 中肋	4-56
圖 4-2-3-197	C 區_台灣油杉_56_1 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-56
圖 4-2-3-198	C 區_台灣油杉_56_2 年生 (200×) 中肋	4-56
圖 4-2-3-199	C 區_台灣油杉_56_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-56
圖 4-2-3-200	C 區_台灣油杉_56_3 年生 (200×) 中肋	4-56
圖 4-2-3-201	C 區_台灣油杉_56_3 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-56
圖 4-2-3-202	C 區_台灣油杉_60_1 年生 (200×) 中肋	4-56
圖 4-2-3-203	C 區_台灣油杉_60_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-56
圖 4-2-3-204	C 區_台灣油杉_60_2 年生 (200×) 中肋	4-57
圖 4-2-3-205	C 區_台灣油杉_60_2 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-57
圖 4-2-3-206	C 區_台灣油杉_60_3 年生 (200×) 中肋	4-57
圖 4-2-3-207	C 區_台灣油杉_60_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-57

圖 4-2-3-208	C 區_台灣油杉_67_1 年生	(200×) 中肋	4-57
圖 4-2-3-209	C 區_台灣油杉_67_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-57
圖 4-2-3-210	C 區_台灣油杉_67_2 年生	(200×) 中肋	4-57
圖 4-2-3-211	C 區_台灣油杉_67_2 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-57
圖 4-2-3-212	C 區_台灣油杉_67_3 年生	(200×) 中肋	4-58
圖 4-2-3-213	C 區_台灣油杉_67_3 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-58
圖 4-2-3-214	C 區_台灣油杉_70_1 年生	(200×) 中肋	4-58
圖 4-2-3-215	C 區_台灣油杉_70_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-58
圖 4-2-3-216	C 區_台灣油杉_70_2 年生	(200×) 中肋	4-58
圖 4-2-3-217	C 區_台灣油杉_70_2 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-58
圖 4-2-3-218	C 區_台灣油杉_70_3 年生	中肋(200×)	4-58
圖 4-2-3-219a	C 區_台灣油杉_70_3 年生	近中肋、葉肉及上表皮(氣孔) (200×)	4-58
圖 4-2-3-219b	C 區_台灣油杉_70_3 年生	近中肋、葉肉及下表皮(氣孔) (200×)	4-58
圖 4-2-3-220	C 區_台灣油杉_76_1 年生	(200×) 中肋	4-59
圖 4-2-3-221	C 區_台灣油杉_76_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-59
圖 4-2-3-222	C 區_台灣油杉_76_2 年生	(200×) 中肋	4-59
圖 4-2-3-223	C 區_台灣油杉_76_2 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-59
圖 4-2-3-224	C 區_台灣油杉_76_3 年生	(200×) 中肋	4-59
圖 4-2-3-225	C 區_台灣油杉_76_3 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-59
圖 4-2-3-226	C 區_台灣油杉_77_1 年生	(200×) 中肋	4-59
圖 4-2-3-227	C 區_台灣油杉_77_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-59
圖 4-2-3-228	C 區_台灣油杉_77_2 年生	(200×) 中肋	4-60
圖 4-2-3-229	C 區_台灣油杉_77_2 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-60
圖 4-2-3-230	C 區_台灣油杉_77_3 年生	(200×) 中肋	4-60
圖 4-2-3-231	C 區_台灣油杉_77_3 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-60
圖 4-2-3-332	C 區紅皮 (100×) 中肋		4-60
圖 4-2-3-233	C 區紅皮 (200×) 葉肉及上、下表皮(氣孔)		4-60
圖 4-2-3-234a	C 區長尾柯 (100×) 中肋		4-60
圖 4-2-3-234b	C 區長尾柯 (200×) 中肋		4-60
圖 4-2-3-235	C 區長尾柯 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)		4-60
圖 4-2-3-236	C 區奧氏虎皮楠(100×) 中肋		4-61
圖 4-2-3-237a	C 區奧氏虎皮楠(200×) 葉肉及上、下表皮		4-61
圖 4-2-3-237b	C 區奧氏虎皮楠(400×) 葉肉及下表皮(氣孔)		4-61
圖 4-2-3-238	C 區山紅柿 (100×) 中肋		4-61
圖 4-2-3-239	C 區山紅柿 (200×) 葉肉及上、下表皮(氣孔)		4-61
圖 4-2-3-240	D 區_台灣油杉_01_1 年生	(200×) 中肋	4-61
圖 4-2-3-241	D 區_台灣油杉_01_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-61
圖 4-2-3-242	D 區_台灣油杉_01_2 年生	(200×) 中肋	4-61
圖 4-2-3-243	D 區_台灣油杉_01_2 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-61

圖 4-2-3-244	D 區_台灣油杉_01_3 年生	(200×) 中肋	4-62
圖 4-2-3-245	D 區_台灣油杉_01_3 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-62
圖 4-2-3-246	D 區_台灣油杉_04_1 年生	(200×) 中肋	4-62
圖 4-2-3-247	D 區_台灣油杉_04_1 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-62
圖 4-2-3-248	D 區_台灣油杉_04_2 年生	(200×) 中肋	4-62
圖 4-2-3-249	D 區_台灣油杉_04_2 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-62
圖 4-2-3-250	D 區_台灣油杉_04_3 年生	(200×) 中肋	4-62
圖 4-2-3-251	D 區_台灣油杉_04_3 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-62
圖 4-2-3-252	D 區_台灣油杉_08_1 年生	(200×) 中肋	4-63
圖 4-2-3-253	D 區_台灣油杉_08_1 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-63
圖 4-2-3-254	D 區_台灣油杉_08_2 年生	(200×) 中肋	4-63
圖 4-2-3-255	D 區_台灣油杉_08_2 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-63
圖 4-2-3-256	D 區_台灣油杉_08_3 年生	(200×) 中肋	4-63
圖 4-2-3-257	D 區_台灣油杉_08_3 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-63
圖 4-2-3-258	D 區_台灣油杉_51_1 年生	(200×) 中肋	4-63
圖 4-2-3-259	D 區_台灣油杉_51_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-63
圖 4-2-3-260	D 區_台灣油杉_51_2 年生	(200×) 中肋	4-64
圖 4-2-3-261	D 區_台灣油杉_51_2 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-64
圖 4-2-3-262	D 區_台灣油杉_51_3 年生	(200×) 中肋	4-64
圖 4-2-3-263	D 區_台灣油杉_51_3 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-64
圖 4-2-3-264	D 區_台灣油杉_52_1 年生	(200×) 中肋	4-64
圖 4-2-3-265	D 區_台灣油杉_52_1 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-64
圖 4-2-3-266	D 區_台灣油杉_52_2 年生	(200×) 中肋	4-64
圖 4-2-3-267	D 區_台灣油杉_52_2 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-64
圖 4-2-3-268	D 區_台灣油杉_52_3 年生	(200×) 中肋	4-65
圖 4-2-3-269	D 區_台灣油杉_52_3 年生	(200×) 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)	4-65
圖 4-2-3-270	D 區_台灣油杉_54_1 年生	(200×) 中肋	4-65
圖 4-2-3-271	D 區_台灣油杉_54_1 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-65
圖 4-2-3-272	D 區_台灣油杉_54_2 年生	(200×) 中肋	4-65
圖 4-2-3-273	D 區_台灣油杉_54_2 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-65
圖 4-2-3-274	D 區_台灣油杉_54_3 年生	(200×) 中肋	4-65
圖 4-2-3-275	D 區_台灣油杉_54_3 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-65
圖 4-2-3-276	D 區_台灣油杉_55_1 年生	(200×) 中肋	4-66
圖 4-2-3-277	D 區_台灣油杉_55_1 年生	(200×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-66
圖 4-2-3-278	D 區_台灣油杉_55_2 年生	(200×) 中肋	4-66
圖 4-2-3-279	D 區_台灣油杉_55_2 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-66
圖 4-2-3-280	D 區_台灣油杉_55_3 年生	(200×) 中肋	4-66
圖 4-2-3-281	D 區_台灣油杉_55_3 年生	(200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)	4-66
圖 4-2-3-282	D 區_台灣油杉_56_1 年生	(200×) 中肋	4-66

圖 4-2-3-283	D 區_台灣油杉_56_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-66
圖 4-2-3-284a	D 區_台灣油杉_56_2 年生中肋(100×)	4-67
圖 4-2-3-284b	D 區_台灣油杉_56_2 年生中肋 (200×)	4-67
圖 4-2-3-285	D 區_台灣油杉_56_2 年生 近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔) (200×).....	4-67
圖 4-2-3-286	D 區_台灣油杉_56_3 年生 (200×) 中肋	4-67
圖 4-2-3-287	D 區_台灣油杉_56_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-67
圖 4-2-3-288	D 區_台灣油杉_60_1 年生 (200×) 中肋	4-67
圖 4-2-3-289	D 區_台灣油杉_60_1 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-67
圖 4-2-3-290	D 區_台灣油杉_60_2 年生 (200×) 中肋	4-67
圖 4-2-3-291	D 區_台灣油杉_60_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-67
圖 4-2-3-292	D 區_台灣油杉_60_3 年生 (200×) 中肋	4-68
圖 4-2-3-293	D 區_台灣油杉_60_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-68
圖 4-2-3-294	D 區_台灣油杉_70_1 年生 (200×) 中肋	4-68
圖 4-2-3-295	D 區_台灣油杉_70_1 年生 (200×) 近中肋、葉肉及下表皮(氣孔).....	4-68
圖 4-2-3-296	D 區_台灣油杉_70_2 年生 (200×) 中肋	4-68
圖 4-2-3-297	D 區_台灣油杉_70_2 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-68
圖 4-2-3-298	D 區_台灣油杉_70_3 年生 (200×) 中肋	4-68
圖 4-2-3-299	D 區_台灣油杉_70_3 年生 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-68
圖 4-2-3-300a	D 區江某 (40×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-300b	D 區江某 (100×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-301	D 區江某 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-69
圖 4-2-3-302	D 區稜果榕 (100×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-303a	D 區稜果榕 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-69
圖 4-2-3-303b	D 區稜果榕 (400×) 葉肉及上、下表皮(氣孔).....	4-69
圖 4-2-3-304	D 區裏白饅頭果 (100×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-305	D 區裏白饅頭果 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-69
圖 4-2-3-306a	樣點 000_江某 (100×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-306b	樣點 000_江某 (200×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-307	樣點 000_江某 (400×) 葉肉及上、下表皮(氣孔).....	4-69
圖 4-2-3-308	樣點 100_樹杞 (100×) 中肋	4-69
圖 4-2-3-309a	樣點 100_樹杞 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-69
圖 4-2-3-309b	樣點 100_樹杞 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-69
圖 4-2-3-310a	樣點 200_淋漓 (100×) 中肋	4-70
圖 4-2-3-310b	樣點 200_淋漓 (200×) 中肋	4-70
圖 4-2-3-311	樣點 200_淋漓 (200×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-70
圖 4-2-3-312	樣點 300_山紅柿(100×) 中肋	4-70
圖 4-2-3-313a	樣點 300_山紅柿(200×) 葉肉及上、下表皮	4-70
圖 4-2-3-313b	樣點 300_山紅柿(400×) 葉肉及下表皮(氣孔).....	4-70
圖 4-2-3-314	樣點 400_墨點櫻桃(200×) 中肋	4-70

圖 4-2-3-315a	樣點 400_墨點櫻桃 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-70
圖 4-2-3-315b	樣點 400_墨點櫻桃 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-70
圖 4-2-3-316	樣點 500_裏白饅頭果 (100×) 中肋	4-70
圖 4-2-3-317	樣點 500_裏白饅頭果 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-70
圖 4-2-3-318	樣點 500_裏白饅頭果 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-70
圖 4-2-3-319	樣點 500_裏白饅頭果 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-70
圖 4-2-3-320	樣點 600_大頭茶 (100×) 中肋	4-71
圖 4-2-3-321a	樣點 600_大頭茶 (200×) 葉肉及下表皮	4-71
圖 4-2-3-321b	樣點 600_大頭茶 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-71
圖 4-2-3-322	樣點 700_杜英 (100×) 中肋	4-71
圖 4-2-3-323a	樣點 700_杜英 (200×) 葉肉及上、下表皮	4-71
圖 4-2-3-323b	樣點 700_杜英 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-71
圖 4-2-3-324	樣點 900_薯豆 (100×) 中肋	4-71
圖 4-2-3-325a	樣點 900_薯豆 (200×) 近中肋、葉肉及上、下表皮	4-71
圖 4-2-3-325b	樣點 900_薯豆 (400×) 葉肉及下表皮(氣孔)	4-71
圖 4-2-3-326	樣點 1000_大明橘 (100×) 中肋	4-71
圖 4-2-3-327a	樣點 1000_大明橘 (200×)葉肉及上、下表皮	4-71
圖 4-2-3-327b	樣點 1000_大明橘 (400×)葉肉及下表皮(氣孔)	4-71
圖 4-3-1-1	北上逐月平均車流量	4-74
圖 4-3-1-2	南下逐月平均車流量	4-74
圖 4-3-1-3	北上南下逐月平均車流量	4-75
圖 4-3-1-4	雪山隧道通車前之台 9 線日平均車流量	4-75
圖 4-3-1-5	雪山隧道通車後之台 9 線日平均車流量	4-76
圖 4-3-2-1	北上懸浮微粒 PM ₁₀ 平均濃度	4-77
圖 4-3-2-2	南下懸浮微粒 PM ₁₀ 平均濃度	4-77
圖 4-3-2-3	非假日與假日 PM ₁₀ 平均濃度測值	4-78
圖 4-3-2-4	非假日 CO 逐時測值	4-80
圖 4-3-2-5	假日(六)CO 逐時測值	4-80
圖 4-3-2-6	假日(日)CO 逐時測值	4-81
圖 4-3-2-7	隧道內各測點 CO 濃度值	4-81
圖 4-3-2-8	非假日與假日南下 CO 濃度測值	4-82
圖 4-3-2-9	非假日與假日北上 CO 濃度測值	4-82
圖 4-3-2-10	非假日 SO ₂ 逐時測值	4-84
圖 4-3-2-11	假日(六)SO ₂ 逐時測值	4-84
圖 4-3-2-12	假日(日)SO ₂ 逐時測值	4-85
圖 4-3-2-13	隧道內各測點 SO ₂ 濃度測值	4-85
圖 4-3-2-14	非假日與假日南下 SO ₂ 濃度測值	4-86
圖 4-3-2-15	非假日與假日北上 SO ₂ 濃度測值	4-86
圖 4-3-2-16	非假日 NO _x 逐時測值	4-88

圖 4-3-2-17	假日(六)NO _x 逐時測值.....	4-88
圖 4-3-2-18	假日(日) NO _x 逐時測值.....	4-89
圖 4-3-2-19	各季南下車道之 NO _x 濃度測值	4-89
圖 4-3-2-20	非假日與假日南下 NO _x 濃度測值.....	4-90
圖 4-3-2-21	本年度非假日與假日北上 NO _x 濃度測值.....	4-90
圖 4-3-3-1	TSP 濃度各季比較圖	4-95
圖 4-3-3-2	PM ₁₀ 濃度各季比較圖	4-95
圖 4-3-3-3	PM _{2.5} 濃度各季比較圖	4-96
圖 4-3-3-4	SO ₂ 各季濃度比較圖.....	4-102
圖 4-3-3-5	CO 各季濃度比較圖	4-102
圖 4-3-3-6	NO 各季濃度比較圖	4-103
圖 4-3-3-7	NO ₂ 各季濃度比較圖	4-103
圖 4-3-3-8	NO _x 各季濃度比較圖.....	4-104
圖 4-3-3-9	O ₃ 各季濃度比較圖.....	4-104
圖 4-3-4-1	A 區 Cl ⁻ 離子濃度測試結果	4-108
圖 4-3-4-2	A 區 NO ₂ ⁻ 離子濃度測試結果.....	4-108
圖 4-3-4-3	A 區 NO ₃ ⁻ 濃度測試結果	4-109
圖 4-3-4-4	A 區 PO ₄ ³⁻ 濃度測試結果.....	4-109
圖 4-3-4-5	A 區 SO ₄ ²⁻ 濃度測試結果.....	4-110
圖 4-3-4-6	D 區各陰離子濃度測試結果.....	4-110
圖 4-3-4-7	A 區 Na ⁺ 濃度測試結果	4-113
圖 4-3-4-8	A 區 NH ₄ ⁺ 濃度測試結果.....	4-113
圖 4-3-4-9	A 區 K ⁺ 濃度測試結果.....	4-114
圖 4-3-4-10	A 區 Ca ²⁺ 濃度測試結果.....	4-114
圖 4-3-4-11	A 區 Mg ²⁺ 濃度測試結果.....	4-115
圖 4-3-4-12	D 區各季陽離子濃度測試結果.....	4-115
圖 4-3-5-1	甲 1_60 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x) 中肋	4-120
圖 4-3-5-2	甲 1_60 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)下表皮及氣孔	4-120
圖 4-3-5-3	甲 1_60 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)中肋	4-120
圖 4-3-5-4	甲 1_60 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)下表皮及氣孔.....	4-120
圖 4-3-5-5	甲 1_60 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)中肋	4-120
圖 4-3-5-6	甲 1_60 × 10 ³ _8 時_1 年生 (400x)下表皮及氣孔	4-120
圖 4-3-5-7	甲 1_80 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)中肋	4-120
圖 4-3-5-8	甲 1_80 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x) 下表皮及氣孔.....	4-120
圖 4-3-5-9	甲 1_80 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)中肋	4-121
圖 4-3-5-10a	甲 1_80 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)上、下表皮及氣孔.....	4-121
圖 4-3-5-10b	甲 1_80 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)上、下表皮及氣孔.....	4-121
圖 4-3-5-11	甲 1_80 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)中肋	4-121
圖 4-3-5-12a	甲 1_80 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)近中肋及氣孔	4-121

圖 4-3-5-12b	甲 1_80 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-121
圖 4-3-5-13	甲 1_100 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	中肋	4-121
圖 4-3-5-14	甲 1_100 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	近中肋及氣孔	4-121
圖 4-3-5-15	甲 1_100 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	中肋	4-121
圖 4-3-5-16	甲 1_100 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔	4-121
圖 4-3-5-17	甲 1_100 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	中肋	4-122
圖 4-3-5-18	甲 1_100 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔	4-122
圖 4-3-5-19	甲 1_120 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	中肋	4-122
圖 4-3-5-20	甲 1_120 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔	4-122
圖 4-3-5-21	甲 1_120 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	中肋	4-122
圖 4-3-5-22	甲 1_120 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔	4-122
圖 4-3-5-23	甲 1_120 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	中肋	4-122
圖 4-3-5-24	甲 1_120 × 10 ³ _8 時_1 年生 (400x)	下表皮及氣孔	4-122
圖 4-3-5-25	甲 2_60 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	中肋	4-123
圖 4-3-5-27	甲 2_60 × 10 ³ _2 時_2 年生 (200x)	中肋	4-123
圖 4-3-5-28	甲 2_60 × 10 ³ _2 時_2 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-123
圖 4-3-5-29	甲 2_60 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	中肋	4-123
圖 4-3-5-30	甲 2_60 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-123
圖 4-3-5-31	甲 2_60 × 10 ³ _4 時_2 年生 (200x)	中肋	4-123
圖 4-3-5-32	甲 2_60 × 10 ³ _4 時_2 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-123
圖 4-3-5-33	甲 2_60 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	中肋	4-124
圖 4-3-5-34	甲 2_60 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-124
圖 4-3-5-35	甲 2_60 × 10 ³ _8 時_2 年生 (200x)	中肋	4-124
圖 4-3-5-36	甲 2_60 × 10 ³ _8 時_2 年生 (200x)	近中肋及氣孔.....	4-124
圖 4-3-5-37	甲 2_80 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	中肋	4-124
圖 4-3-5-38	甲 2_80 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-124
圖 4-3-5-39	甲 2_80 × 10 ³ _2 時_2 年生 (200x)	中肋	4-124
圖 4-3-5-40	甲 2_80 × 10 ³ _2 時_2 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-124
圖 4-3-5-41	甲 2_80 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	中肋	4-125
圖 4-3-5-42	甲 2_80 × 10 ³ _4 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-125
圖 4-3-5-43	甲 2_80 × 10 ³ _4 時_2 年生 (200x)	中肋	4-125
圖 4-3-5-44	甲 2_80 × 10 ³ _4 時_2 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-125
圖 4-3-5-45	甲 2_80 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	中肋	4-125
圖 4-3-5-46	甲 2_80 × 10 ³ _8 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-125
圖 4-3-5-47	甲 2_80 × 10 ³ _8 時_2 年生 (200x)	中肋	4-125
圖 4-3-5-48	甲 2_80 × 10 ³ _8 時_2 年生 (200x)	下表皮及氣孔.....	4-125
圖 4-3-5-49	乙_100 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	中肋	4-126
圖 4-3-5-50	乙_100 × 10 ³ _2 時_1 年生 (200x)	下表皮及氣孔	4-126
圖 4-3-5-51	乙_100 × 10 ³ _2 時_2 年生 (200x)	中肋	4-126

圖 4-3-5-52	乙 _{100 × 10³_2 時_2 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-126
圖 4-3-5-53	乙 _{100 × 10³_4 時_1 年生 (200x)} 中肋	4-126
圖 4-3-5-54	乙 _{100 × 10³_4 時_1 年生 (200x)} 近中肋及氣孔	4-126
圖 4-3-5-55	乙 _{100 × 10³_4 時_2 年生 (200x)} 中肋	4-126
圖 4-3-5-56	乙 _{100 × 10³_4 時_2 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-126
圖 4-3-5-57	乙 _{100 × 10³_8 時_1 年生 (200x)} 中肋	4-127
圖 4-3-5-58	乙 _{100 × 10³_8 時_1 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-127
圖 4-3-5-59	乙 _{100 × 10³_8 時_2 年生 (200x)} 中肋	4-127
圖 4-3-5-60	乙 _{100 × 10³_8 時_2 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-127
圖 4-3-5-61	乙 _{120 × 10³_2 時_1 年生 (200x)} 中肋	4-127
圖 4-3-5-62	乙 _{120 × 10³_2 時_1 年生 (200x)} 近中肋及氣孔	4-127
圖 4-3-5-63	乙 _{120 × 10³_2 時_2 年生 (200x)} 中肋	4-127
圖 4-3-5-64	乙 _{120 × 10³_2 時_2 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-127
圖 4-3-5-65	乙 _{120 × 10³_4 時_1 年生 (200x)} 中肋	4-128
圖 4-3-5-66	乙 _{120 × 10³_4 時_1 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-128
圖 4-3-5-67	乙 _{120 × 10³_4 時_2 年生 (200x)} 中肋	4-128
圖 4-3-5-68	乙 _{120 × 10³_4 時_2 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-128
圖 4-3-5-69	乙 _{120 × 10³_8 時_1 年生 (200x)} 中肋	4-128
圖 4-3-5-70	乙 _{120 × 10³_8 時_1 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-128
圖 4-3-5-71	乙 _{120 × 10³_8 時_2 年生 (200x)} 中肋	4-128
圖 4-3-5-72	乙 _{120 × 10³_8 時_2 年生 (200x)} 下表皮及氣孔	4-128
附圖 2-1	氟離子分析之檢量線	附-4
附圖 2-2	氯離子分析之檢量線	附-4
附圖 2-3	亞硝酸根離子分析之檢量線	附-5
附圖 2-4	溴離子分析之檢量線	附-5
附圖 2-5	硝酸根離子分析之檢量線	附-6
附圖 2-6	磷酸根離子分析之檢量線	附-6
附圖 2-7	硫酸根離子分析之檢量線	附-7
附圖 2-8	鋰離子分析之檢量線	附-7
附圖 2-9	銨離子分析之檢量線	附-8
附圖 2-10	鈉離子分析之檢量線	附-8
附圖 2-11	鉀離子分析之檢量線	附-9
附圖 2-12	鈣離子分析之檢量線	附-9
附圖 2-13	鎂離子分析之檢量線	附-10
附圖 3-1	Na ⁺ 離子分析管制圖	附-12
附圖 3-2	NH ₄ ⁺ 離子分析管制圖	附-12
附圖 3-3	K ⁺ 離子分析管制圖	附-13
附圖 3-4	Ca ²⁺ 離子分析管制圖	附-13
附圖 3-5	Mg ²⁺ 離子分析管制圖	附-14

附圖 3-6	Cl ⁻ 離子分析管制圖	附-14
附圖 3-7	NO ₂ ⁻ 離子分析管制圖	附-15
附圖 3-8	NO ₃ ⁻ 離子分析管制圖	附-15
附圖 3-9	PO ₄ ³⁻ 離子分析管制圖	附-16
附圖 3-10	SO ₄ ²⁻ 離子分析管制圖	附-16

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 5 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)。

植物無時都必須行光合與呼吸作用，以維持生理所需，其作用之場所在葉肉，作用之原料及產物為 CO_2 和 O_2 ，其進出門戶則在氣孔。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 5 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5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]。

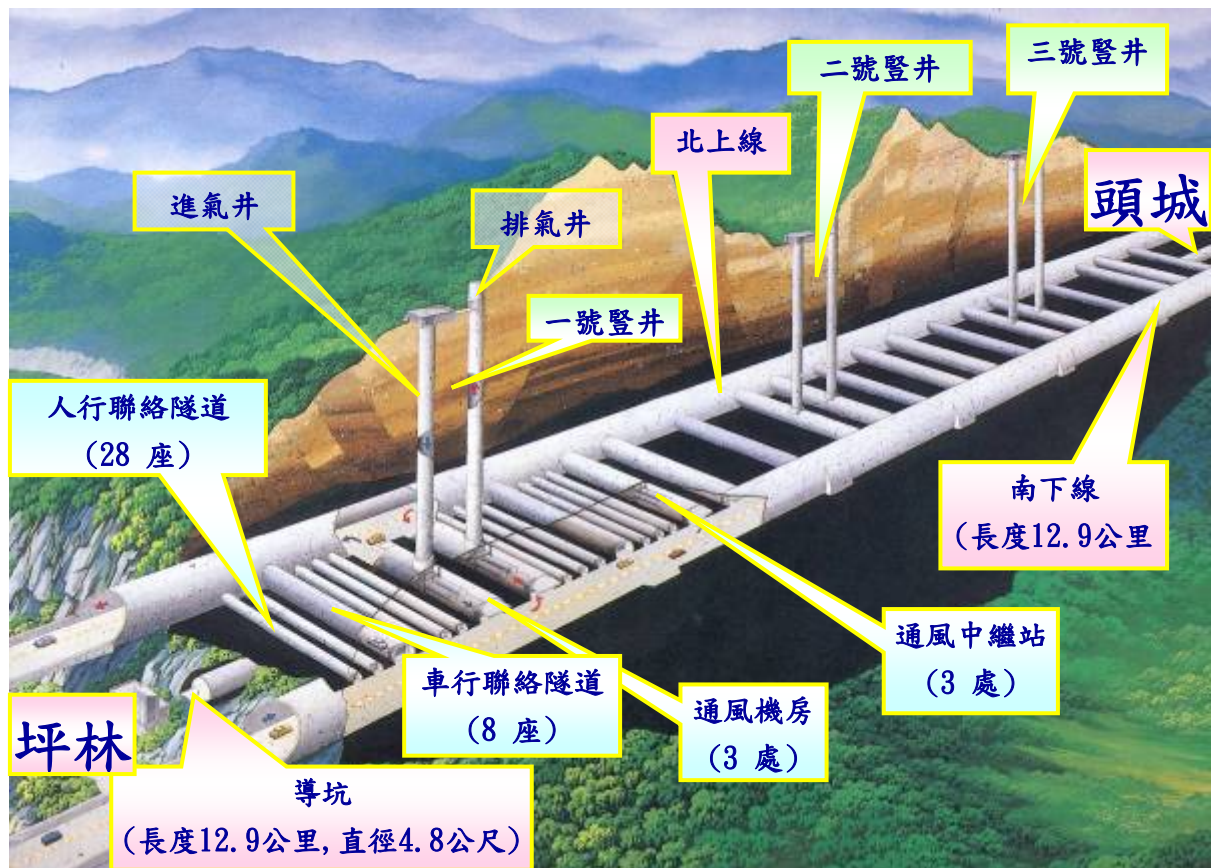


圖 1-2-1-1 雪山隧道透視圖

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_x）、二氧化硫（SO₂）、總懸浮微粒（TSP）、懸浮微粒（PM₁₀）、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/m³；SO₂濃度約介於1.01 ~ 1.21 ppm；NO_x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，且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形成臭氧，而對植物造成許多傷害[Goldsmith and Friberg, 1982]，並且SO₂與NO_x是造成雨水酸化最主要之污染物[陳正平，1996] [林沛鍊，1996]。而當酸雨降至地表土壤，將先和土壤中所含之鹼性金屬離子(如K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺.)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 ₂ (g/s)	1.64	2.28	2.00
	NO _x (g/s)	8.98	12.02	10.56
	CO(g/s)	36.11	54.90	48.22
排氣量(Q)	Q(cms)	520	840	760
廢氣排放濃度(C)	TSP(μg/m ³)	3000	3000	3000
	SO ₂ (ppm)	1.21	1.04	1.01
	NO _x (ppm)	14.10	11.69	11.35
	CO(ppm)	60.76	57.19	55.51

國道 5 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(PM₁₀)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 PM₁₀ 平均濃度以隧道口測點濃度最低，僅 34.3 μg/m³；並以避車道處濃度最高，可達 54.3 μg/m³；另通風站與通風中繼站測點濃度則分別為 53.8 與 45.4 μg/m³。

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 ~ 65.0 μg/m³ 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($27.1 \sim 42.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。

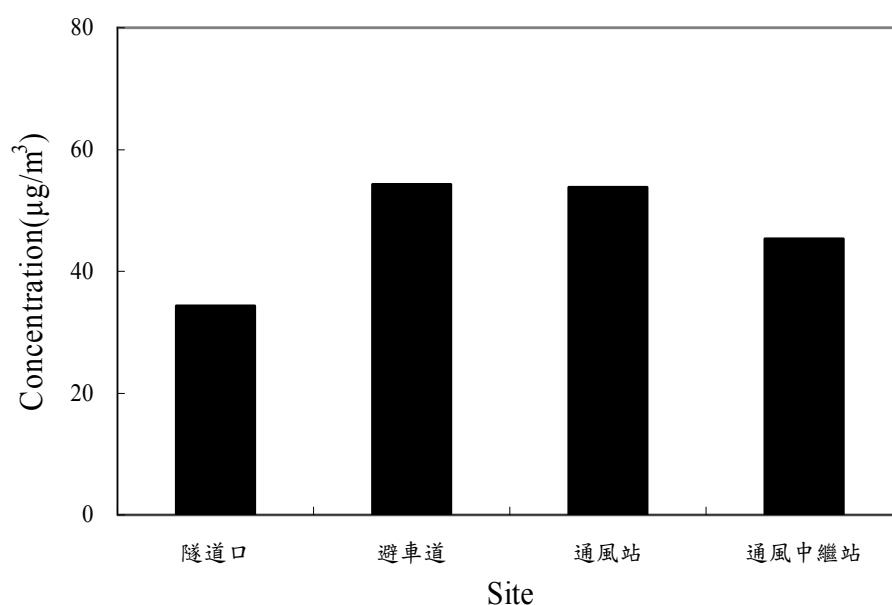
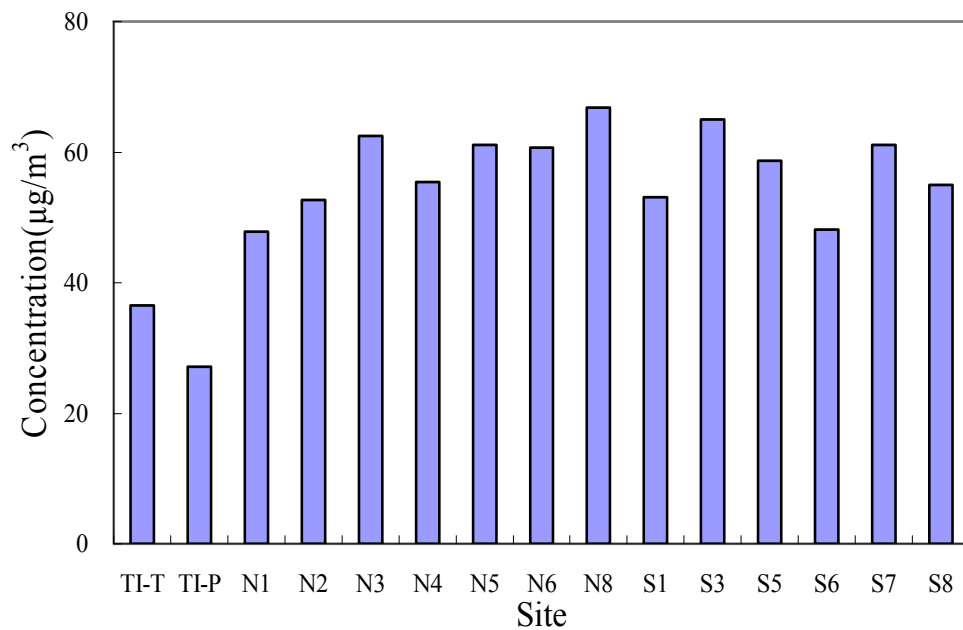


圖 1-3-1-1 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒背景濃度值



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

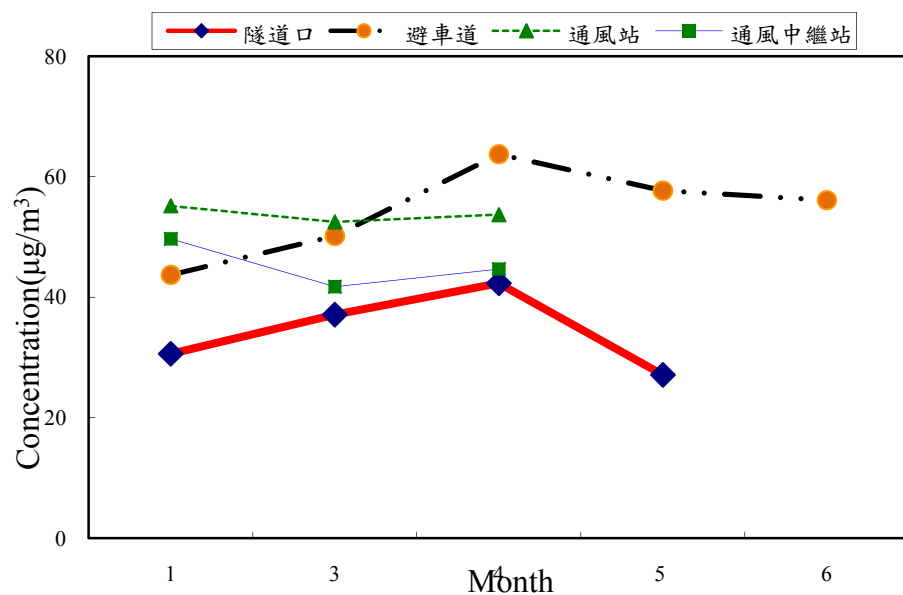


圖 1-3-1-3 雪山隧道通車前各測點懸浮微粒濃度逐月變化

(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)。

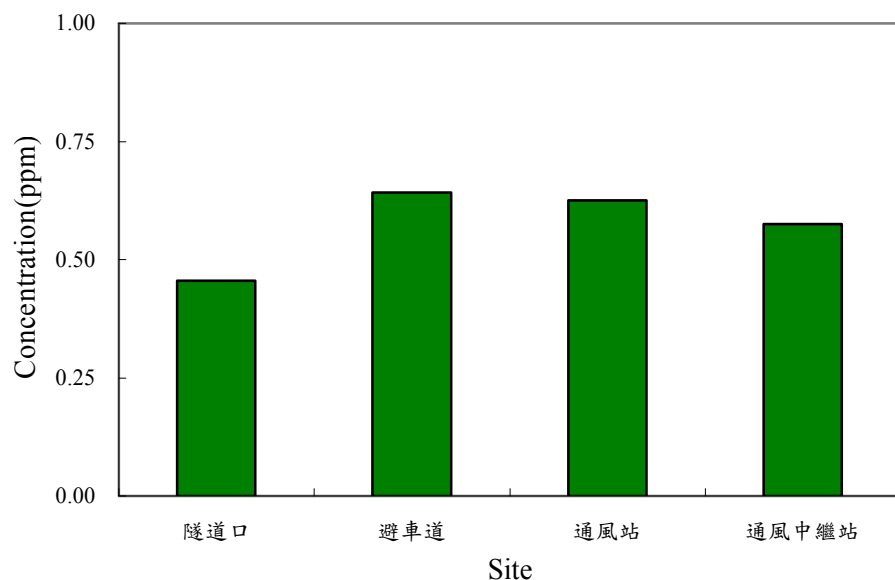


圖 1-3-2-1 雪山隧道通車前各測點一氧化碳背景濃度值

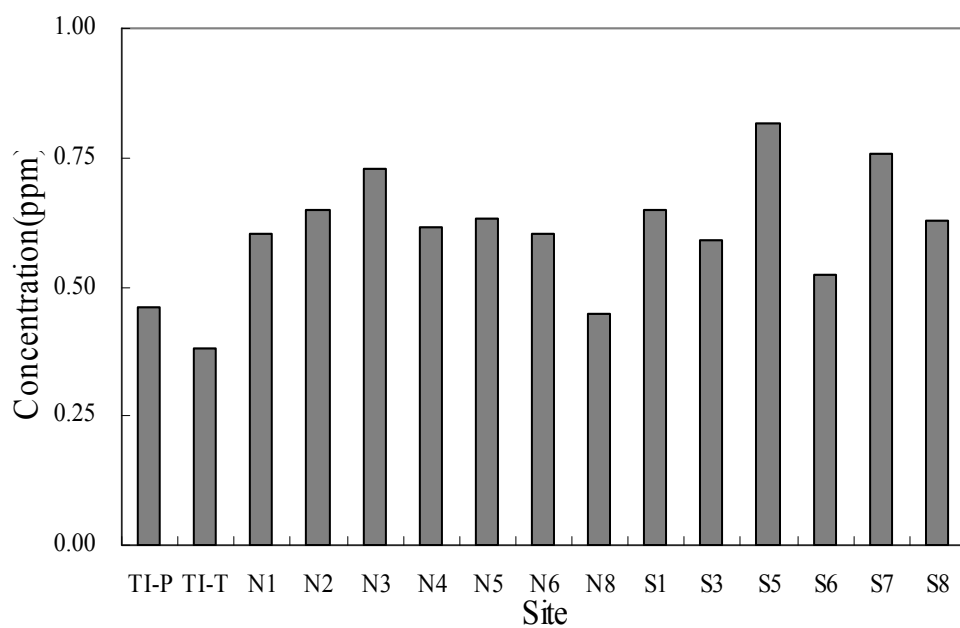


圖 1-3-2-2 隧道口與各避車道測點之一氧化碳濃度變化

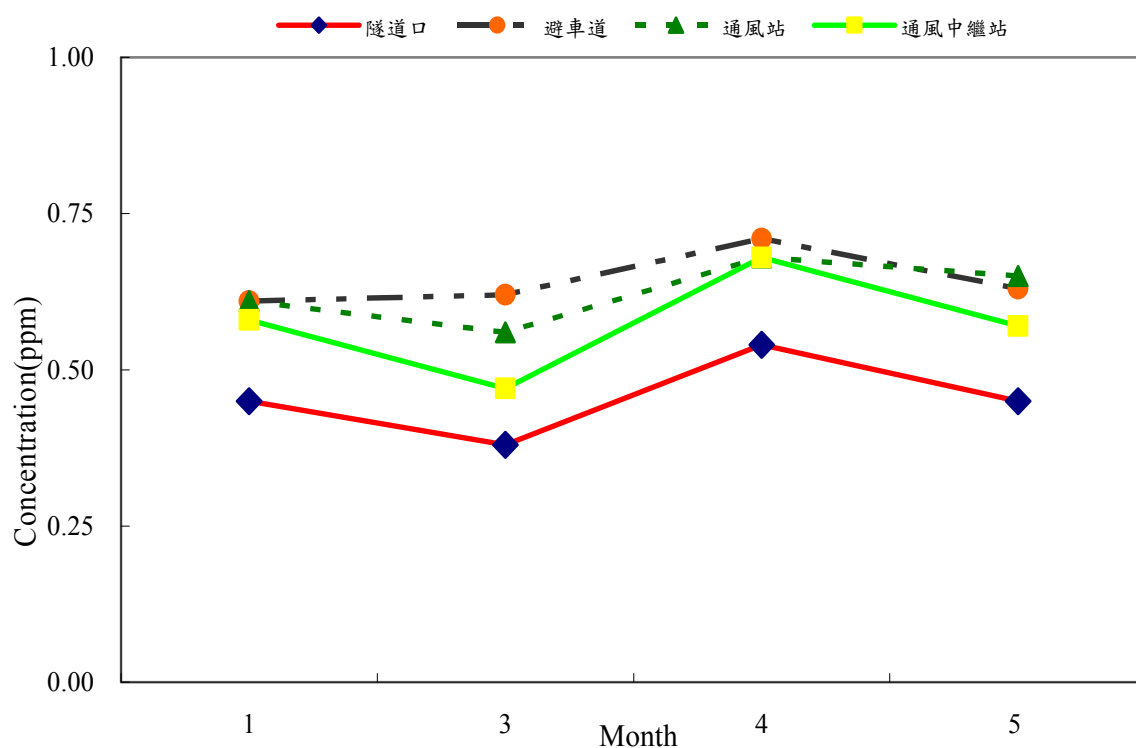


圖 1-3-2-3 雪山隧道通車前各測點一氧化碳濃度逐月變化

(三) 通車前二氧化硫(SO₂)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_2 平均濃度以避車道測點最低，僅 0.94 ppb；通風中繼站最高，可達 1.08 ppb；另通風站與隧道口測點濃度分別為 1.03 與 1.04 ppb。

另針對雪山隧道南下線與北上線各 8 個避車道，共 16 個避車道進行量測，如圖 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 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)。

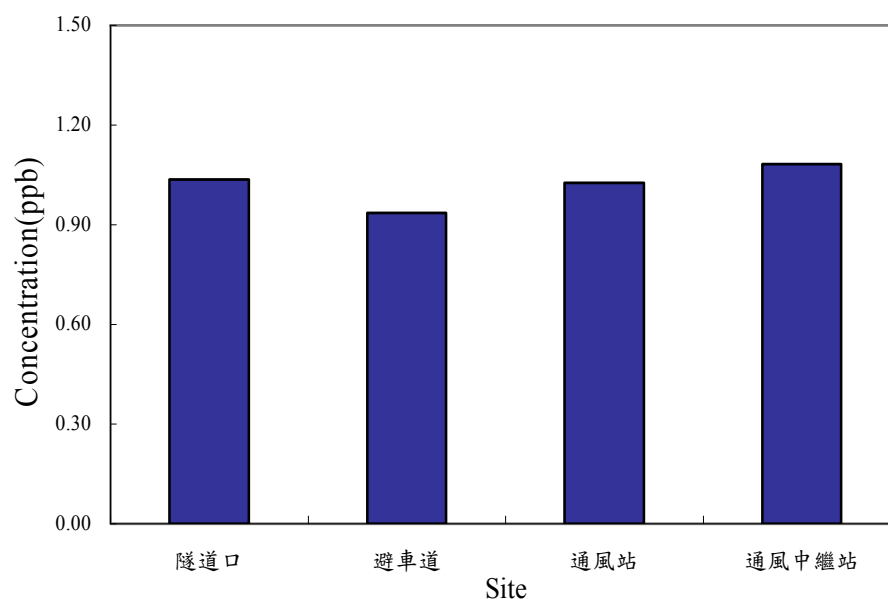


圖 1-3-3-1 雪山隧道通車前各測點二氧化硫背景濃度值

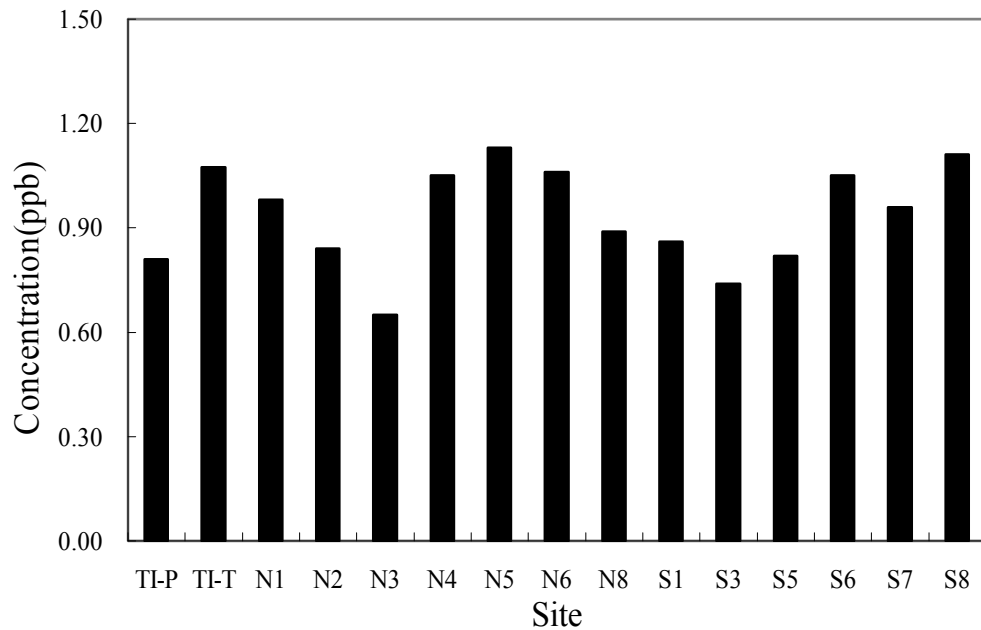


圖 1-3-3-2 隧道口與各避車道測點之二氧化硫濃度變化

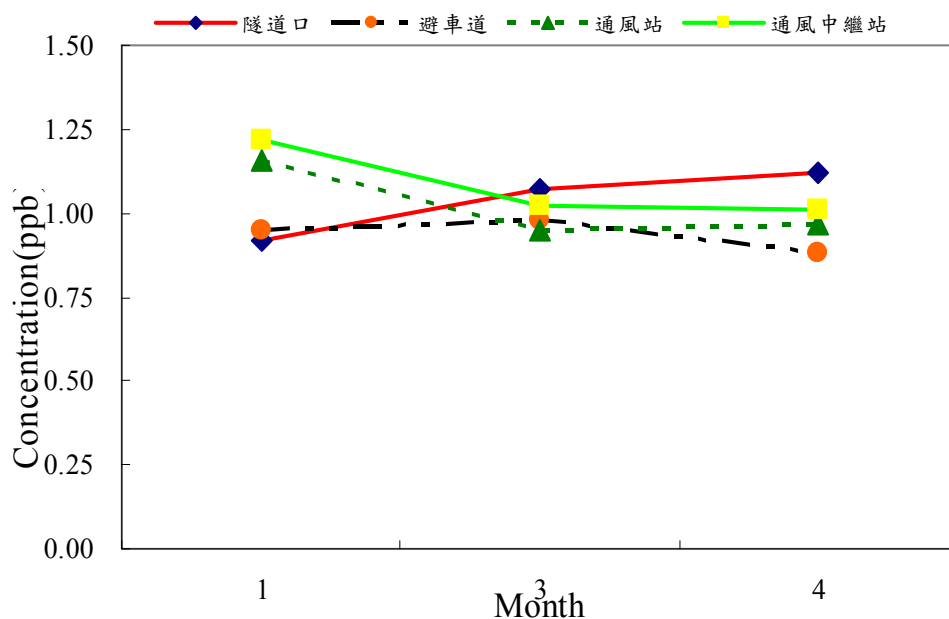


圖 1-3-3-3 雪山隧道通車前各測點二氧化硫濃度逐月變化

(四) 通車前氮氧化物(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 NO 、 NO_2 與 NO_x 平均濃度以避車道測點最低，僅分別為 1.01、3.31 與 4.33 ppb；隧道口最高，分別可達 3.96、7.07 與 11.03 ppb；另通風站為 1.57、4.50 與 6.07 ppb，

而通風中繼站測點濃度則分別為 1.33、3.78 與 5.11 ppb。

另針對雪山隧道南下線與北上線各 8 個避車道，共 16 個避車道進行量測，如圖 1-3-4-2 所示，隧道內南下線各避車道之 NO、NO₂ 與 NO_x 濃度約分別介於 0.69 ~ 1.02、2.19 ~ 4.85 與 2.92 ~ 5.74 ppb 間，而北上線各避車道之 NO、NO₂ 與 NO_x 濃度則約介於 0.59 ~ 1.26、2.19 ~ 7.52 與 3.42 ~ 4.78 ppb 之間，此濃度值比兩端隧道口之濃度 NO(1.21 ~ 3.29 ppb)、NO₂(7.07 ~ 7.52 ppb)與 NO_x(8.73 ~ 10.36 ppb)較低，乃因尚未營運期間，並未受到移動污染源與隧道內光能量較少之影響。

經分別對隧道內外各測點逐月進行量測比較結果如圖 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)。NO₂ 濃度在隧道口測點(5.69 ~ 8.63 ppb)最高，通風站(3.62 ~ 5.32 ppb)次之，再者為通風中繼站測點(2.89 ~ 4.89 ppb)，避車道測點最低(3.14 ~ 3.36 ppb)。NO_x 濃度在隧道口測點(8.05 ~ 13.88 ppb)最高，通風站(4.65 ~ 7.45 ppb)次之，再者為通風中繼站測點(3.72 ~ 6.62 ppb)，避車道測點最低(4.09 ~ 4.59 ppb)，如表 1-3-4-1 所示。

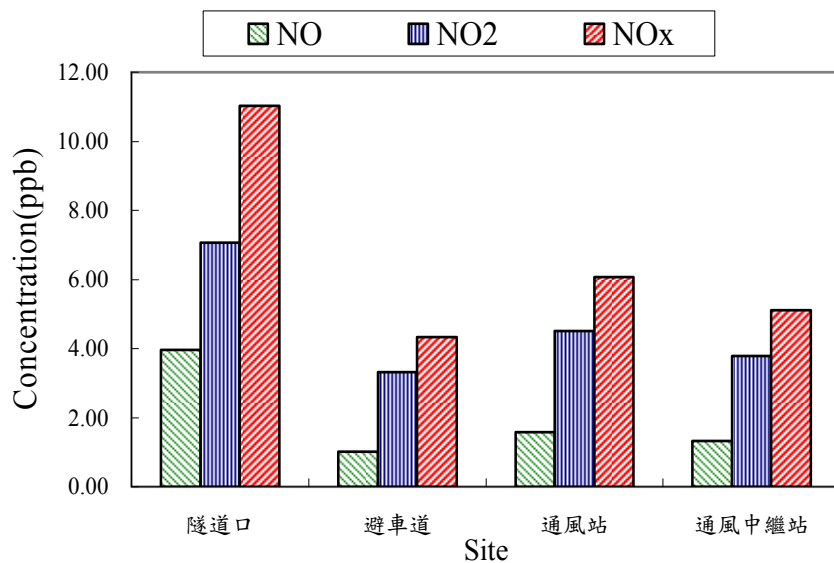


圖 1-3-4-1 雪山隧道通車前各測點氮氧化物背景濃度值

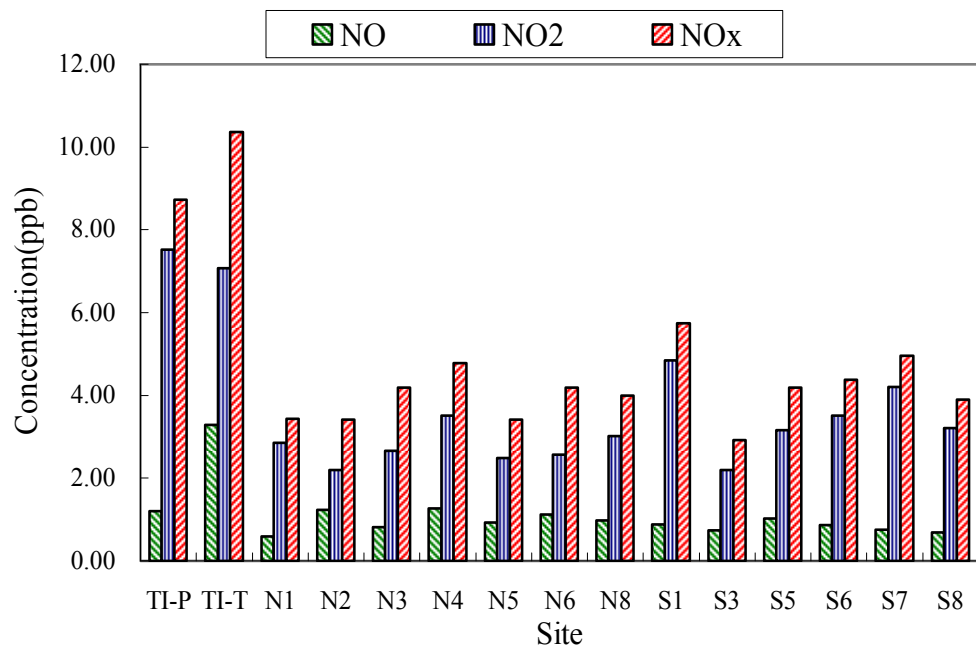


圖 1-3-4-2 隧道口與各避車道測點之氮氧化物濃度變化

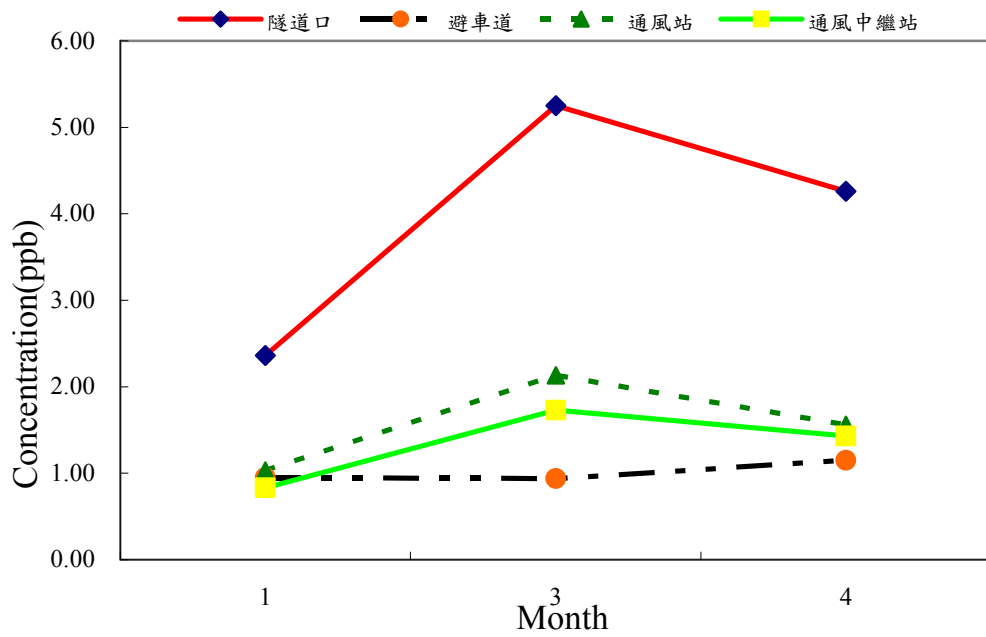


圖 1-3-4-3 雪山隧道通車前各測點 NO 濃度逐月變化

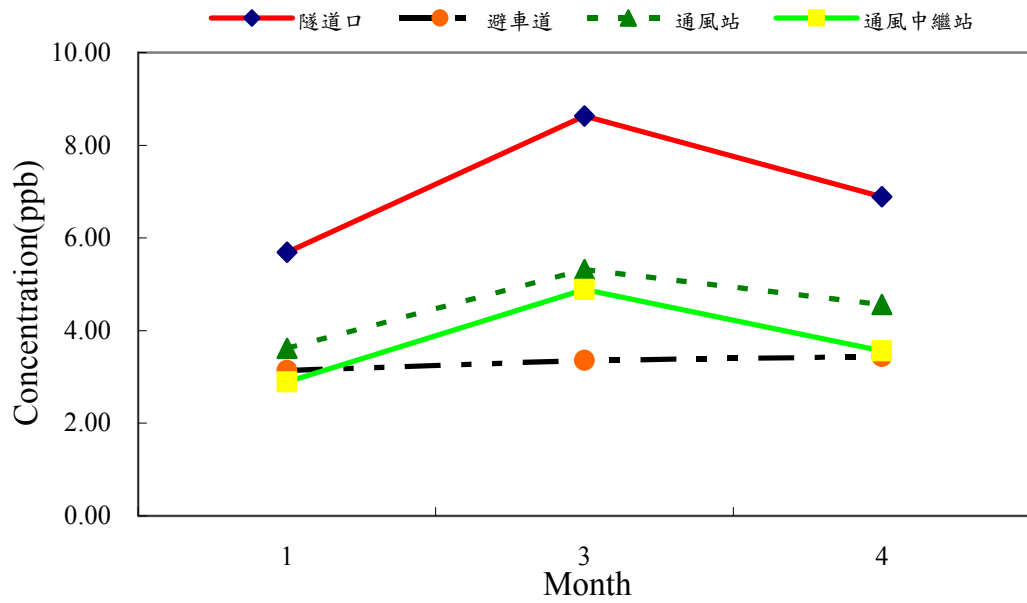


圖 1-3-4-4 雪山隧道通車前各測點 NO_2 濃度逐月變化

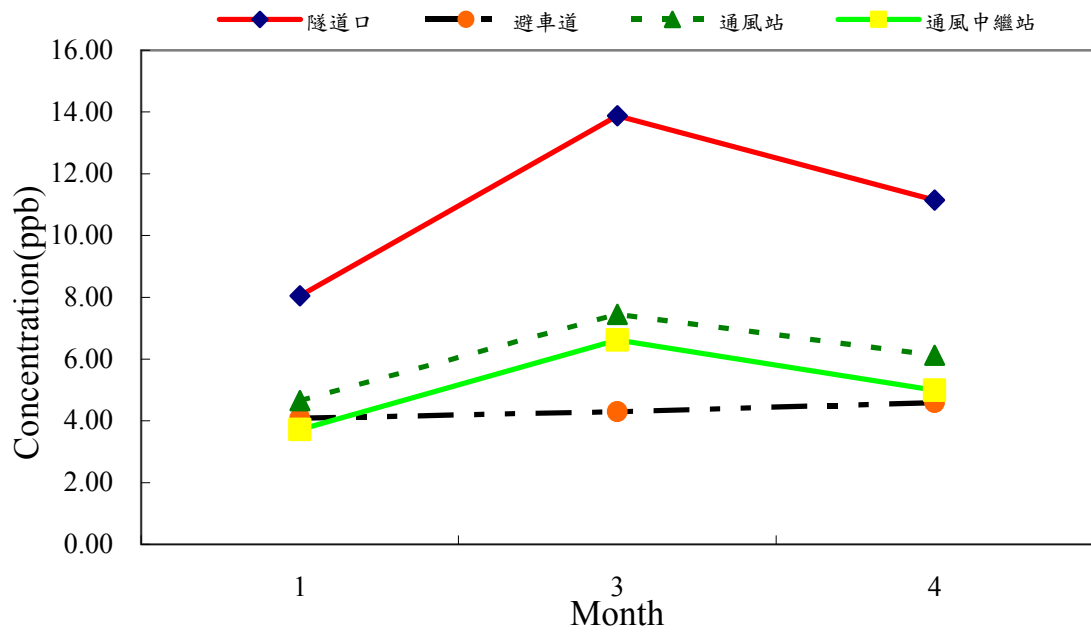


圖 1-3-4-5 雪山隧道通車前各測點 NO_x 濃度逐月變化

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

註:**表平均濃度 *表通車前之濃度範圍

四、北宜公路污染物濃度監測

本研究團隊補進行四次北宜公路旁污染物濃度監測，SO₂的濃度介於 3.00 ~ 10.11 ppb之間、CO的濃度介於0.31 ~ 0.78 ppm之間、NO的濃度介於 2.09 ~ 21.32 ppb之間、NO₂的濃度介於 1.33 ~ 5.12ppb之間及NO_x的濃度介於3.41~ 25.42 ppb之間。如圖1-4-1-1所示。

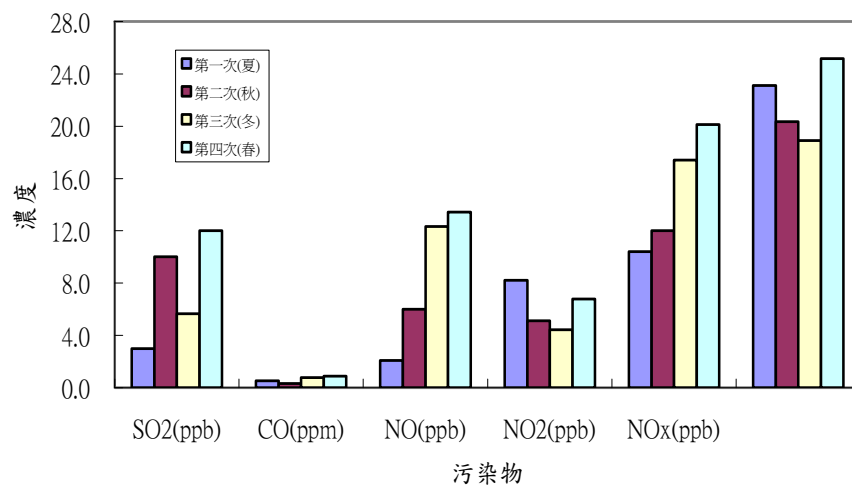


圖 1-4-1-1 北宜公路污染物濃度監測

五、空氣穩定度評估資料

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。國內較缺資料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。

98 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。另近五年大氣混合層高度如圖 1-5-1-1 所示，大氣混合層越低，表示大氣環境穩定度越高。

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

	季平均日照強度	季平均風速 (m/s)	穩定度
97 年第一季	弱	8.1	D
97 年第二季	中	6.9	D
97 年第三季	強	8.3	C
97 年第四季	中	5.5	C
98 年第一季	弱	7.2	D
98 年第二季	中	6.6	D
98 年第三季	強	8.6	D
98 年第四季	中	7.6	D

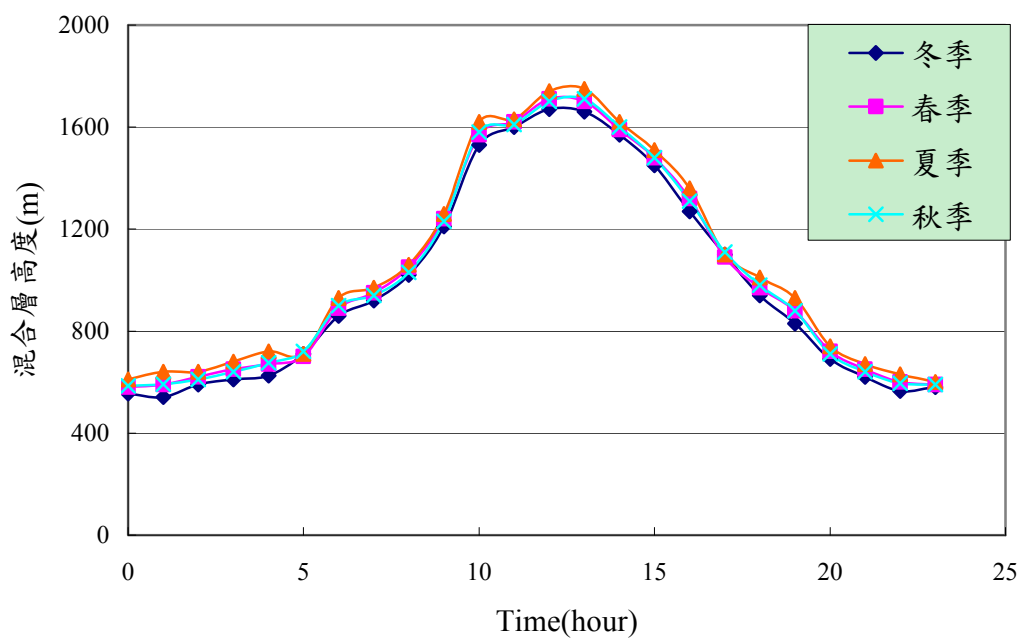


圖 1-5-1-1 近五年大氣混合層高度

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5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 方位	豎井 1 (公尺)	豎井 2 (公尺)	豎井 3 (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 雪山隧道 3 號豎井外觀



圖 3-1-1-3 坪林台灣油杉 A 區林相外觀



圖 3-1-1-4 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。

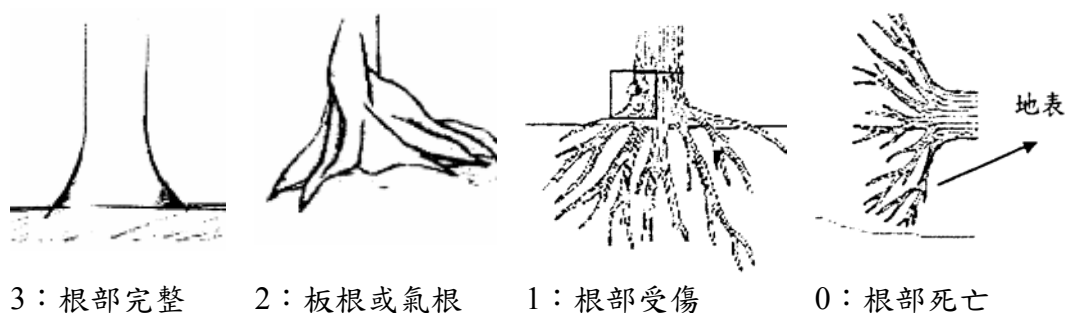


圖 3-2-1-1 根部狀態判定圖

- (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

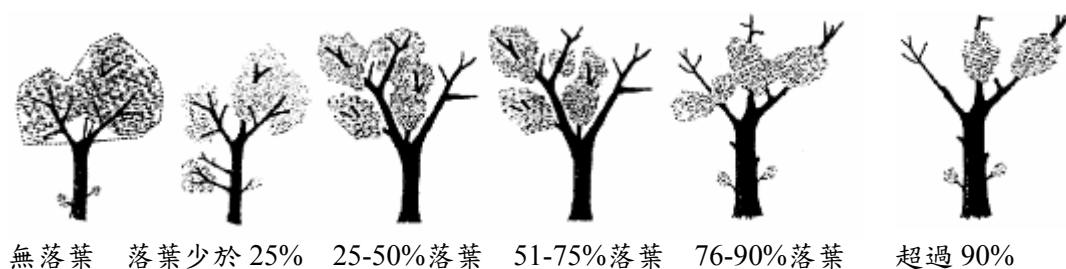


圖 3-2-1-2 冠層狀態判定圖

- (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。

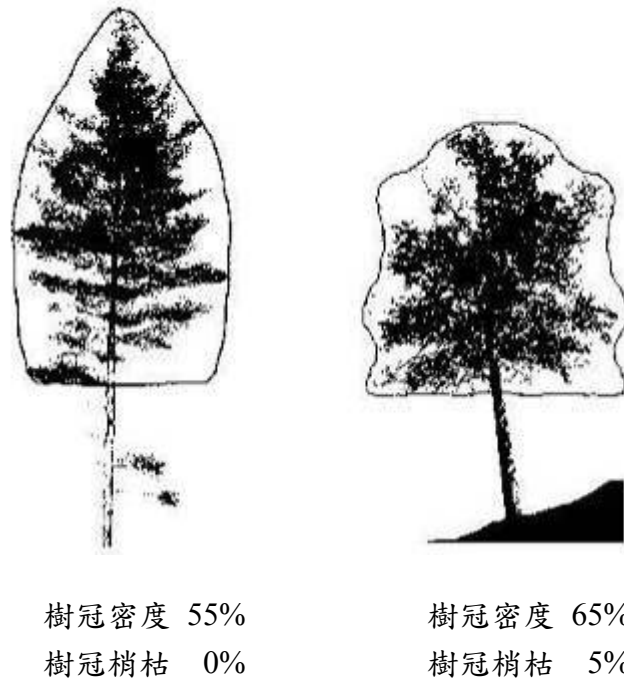


圖 3-2-1-3 樹冠密度示意圖(修改自 USDA Forest service)

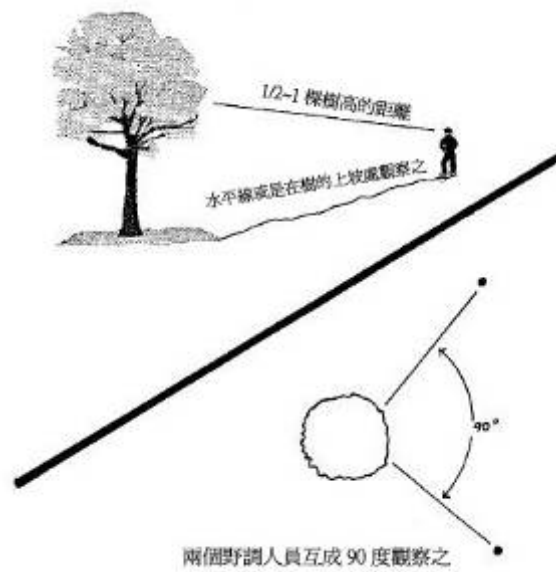


圖 3-2-1-4 野外調查人員判識觀測位置示意圖
(修改自 USDA Forest service)

(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。

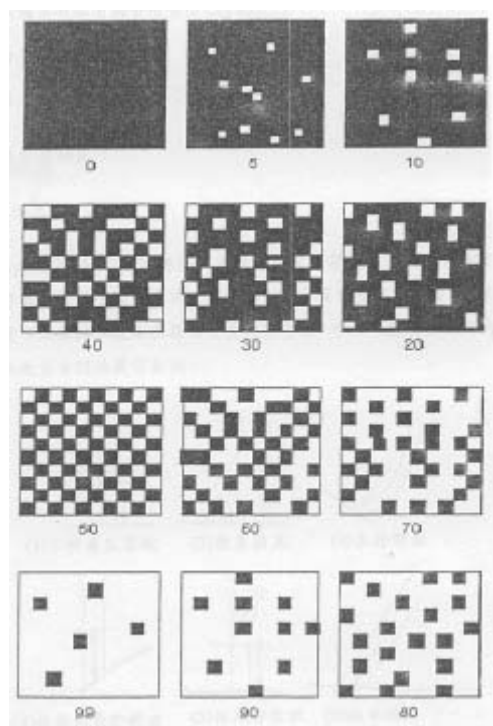


圖 3-2-1-5 樹冠透視度與樹冠密度判定依據標準照片

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

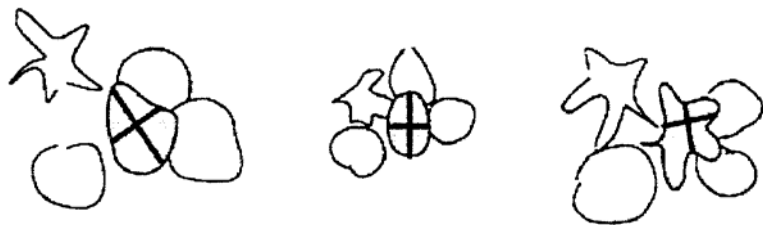


圖 3-2-1-6 樹冠重疊情形判定圖

其評分依據如下圖：

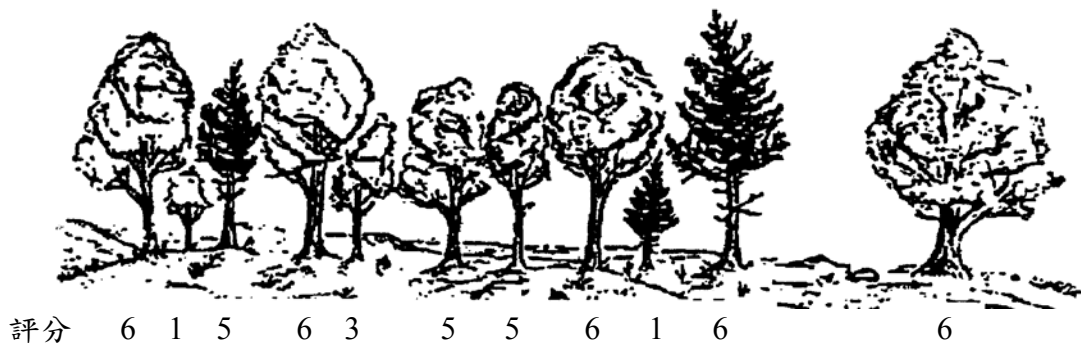


圖 3-2-1-7 樹冠重疊情形評分依據

- (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(圖 3-2-2-1)、C(圖 3-2-2-2)及 D 區(圖 3-2-2-3)內，各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植株(共 34 株)，並選取優勢之代表性闊葉樹種 3 至 5 株，以供對照參考，即：A 區台灣油杉編號 A001、A002、A003、A004、A005、A006、A007、A008、A009、A010、A011、A012、A013、A014 和闊葉樹冇樟、紅楠、西施花、大明橘和長尾柯；C 區台灣油杉編號 C037、C038、C050、C055、C056、C060、C067、C070、C076、C077 和闊葉樹紅皮、長尾柯、奧氏虎皮楠和山红柿；D 區編號台灣油杉 D001、D004、D008、D051、D052、D054、D055、D056、D060、D070 和闊葉樹江某、稜果榕和裏白饅頭果。

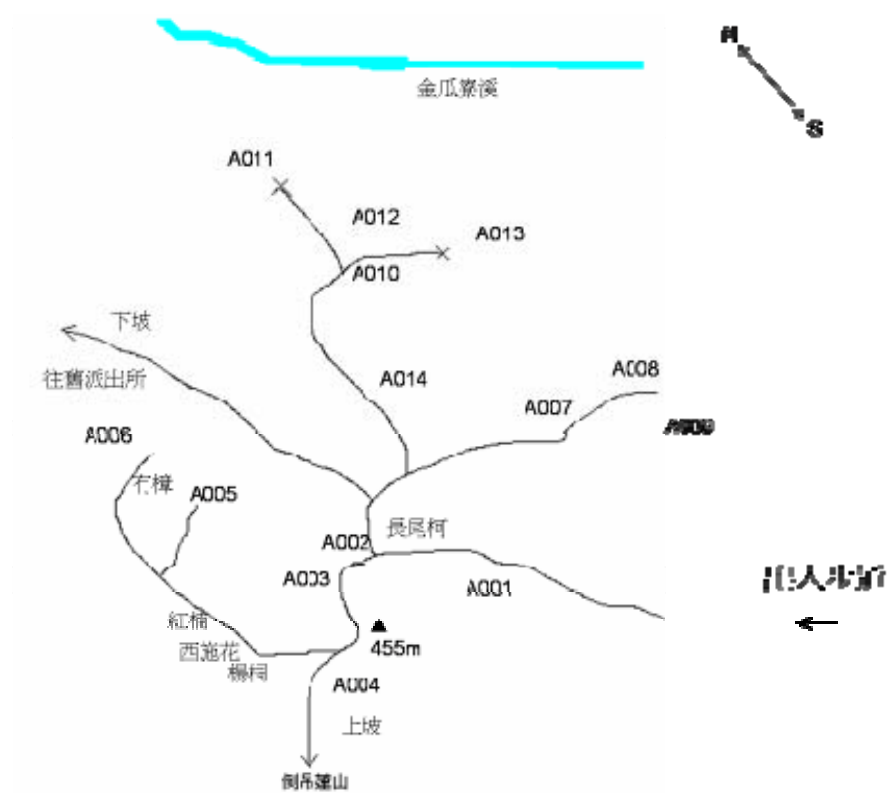


圖 3-2-2-1 A 區樣木分布位置

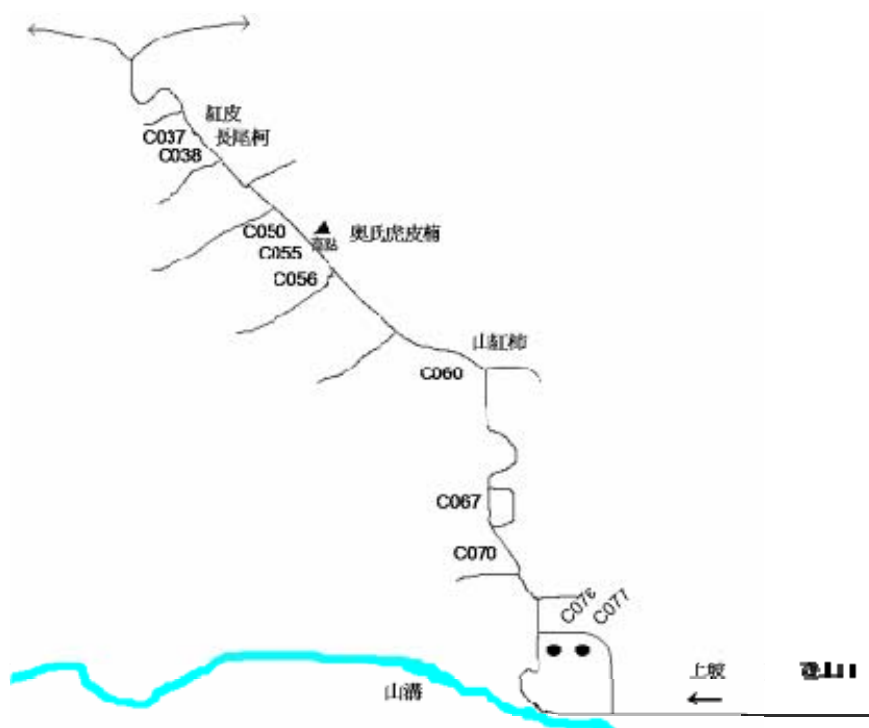


圖 3-2-2-2 C 區樣木分布位置

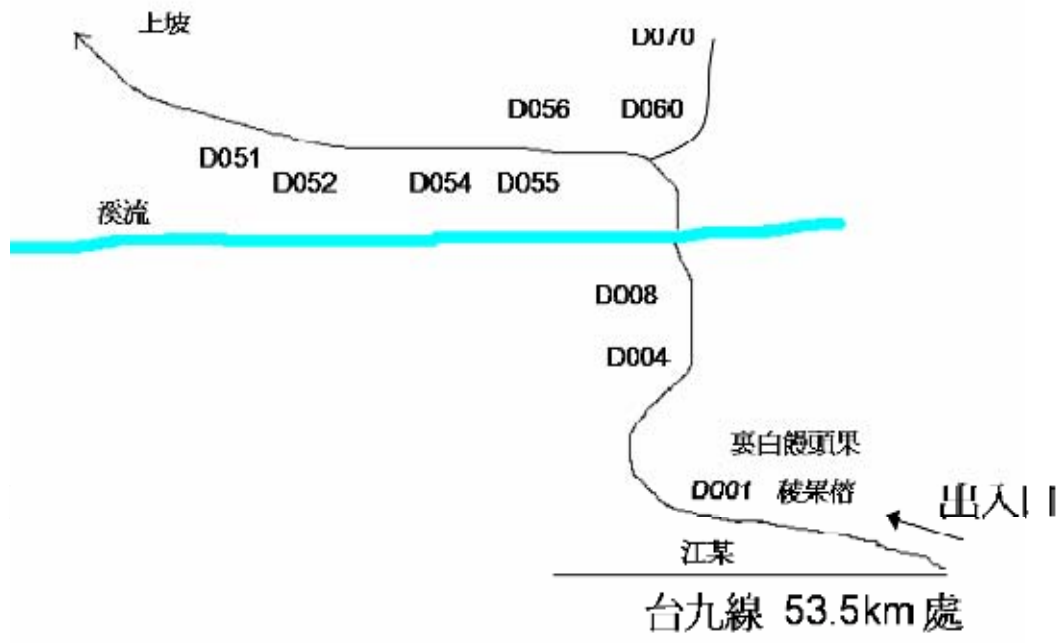


圖 3-2-2-3 D 區樣木分布位置



圖 3-2-2-4 台灣油杉一至三年生枝條之位置圖

另選取台灣油杉對照樣株：林業試驗所福山研究中心 9 株、出水溪苗圃 2 株、坪林國小內 1 株和台大校園內 1 株，共 13 株。

從雪山隧道 3 號豎井為起點至保留區 D 區之間，設置一條長 1100 m 的樣線帶，每隔 100 m 設置一樣點，其中 800m 樣點因地形惡劣無法到達和

1100m 樣點因與 D 區之闊葉樹位置重疊，除此兩處外合計為 10 個樣點，而每樣點採選代表性優勢闊葉樹一株，共 10 株樣木(附錄一)。

台灣油杉樣株的葉片採集，包括一年生、兩年生及三年生之葉片(圖 3-2-2-4，而台大校園內 1 株台灣油杉只具一及兩年生之葉片，而闊葉樹則採集其成熟的葉片。樣本採集時間為 98 年 2 月下旬至 10 月中旬；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 12-30 μm 之葉片橫切面切片，以甘油製成半永久片；以顯微鏡觀察其葉身構造並攝影，並攝影紀錄其健康程度。

(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區(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(PM₁₀)、細懸浮微粒採樣器(PM_{2.5})、酸沈降採樣器、一氧化碳分析儀、氮氧化物分析儀、二氧化硫分析儀與臭氧分析儀。並將採集於濾紙上所得之微粒樣品，進行微粒化學成份分析，以建立豎井所排放微粒之特性。本研究中主要分析之化學成份分為水溶性離子(分析物種包括 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 與 Ca^{2+} 等十種離子)，本研究之實驗參數如表 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

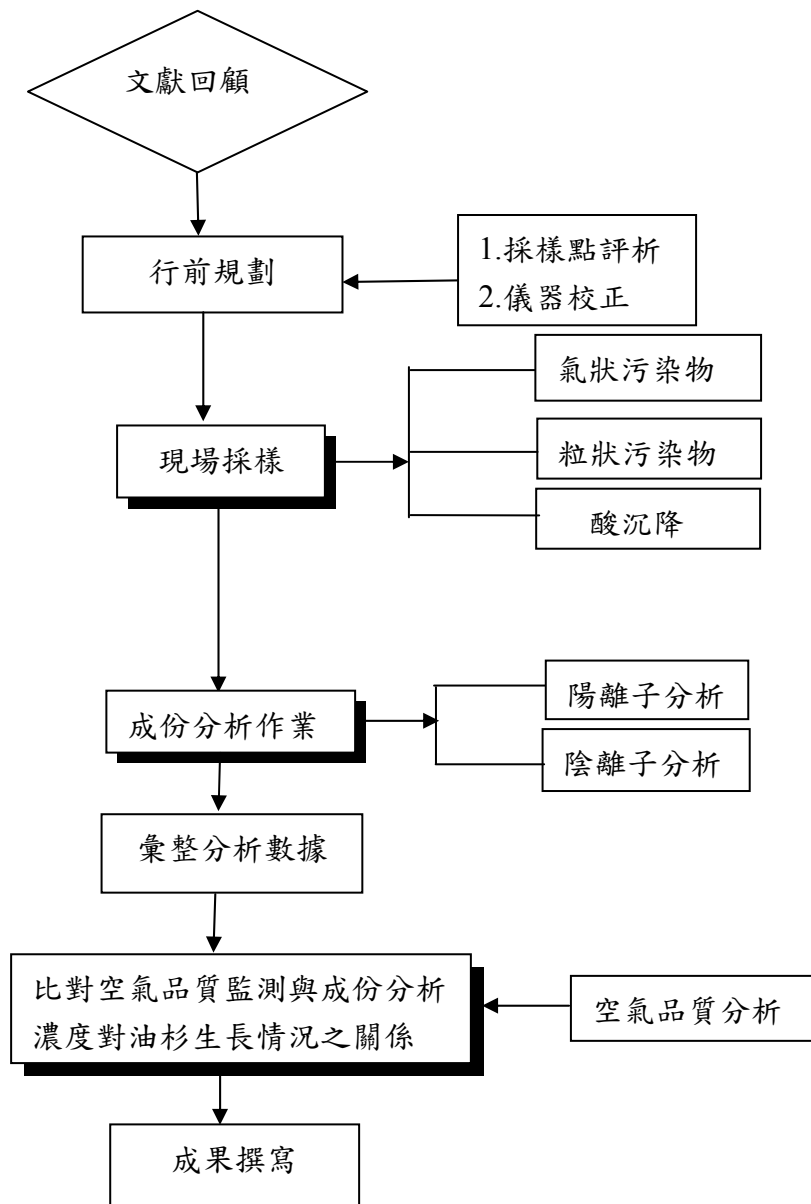
中之停留時間不同，吾人即可藉此性質之差異加以分離。本研究所進行玻璃纖維濾紙上萃取微粒樣品離子成份之程序，係以 20 mL 去離子水浸泡採樣濾紙 24 小時，再取出溶液過濾後作為離子層析儀之分析樣品。本研究使用之採樣設備如下：

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。

PM₁₀ 採樣器係採用日本 Kimoto 公司及美國 Andersen 公司的 PM₁₀ 懸浮微粒(粒徑小於 10μm)採樣器，校正器係採用美國 Andersen 公司之校正器與其附件。濾紙係採用美國 Gelman 公司的 Type A/E 8"×10"玻璃纖維濾紙及美國 Whatman 公司 Type QAT-UP 8"×10"石英濾紙。採樣時控制流量在 1.1～1.7m³/min 內於短時間或連續二十四小時採集空氣中粒狀污染物。PM₁₀ 採樣器與高流量總懸浮微粒 (TSP) 空氣採樣器唯一的差別在於必須在入口處加裝粒徑分離採樣頭，以避免粒徑大於 10 μm 之微粒進入而被收集。

表 3-2-3-1 實驗參數表

項目	實驗內容
粒狀物	TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5}
氣狀物	CO、NO、NO ₂ 、NO _x 、SO ₂ 、O ₃
酸沉降	Cl ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、PO ₄ ³⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、Na ⁺ 、NH ₄ ⁺ 、K ⁺ 、Mg ²⁺ 、Ca ²⁺ 、pH 值
採樣頻率	每季一次(12 月、3 月、6 月、9 月)
採樣地點	1 號豎井鄰近處、坪林台灣油杉自然保留區內、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。

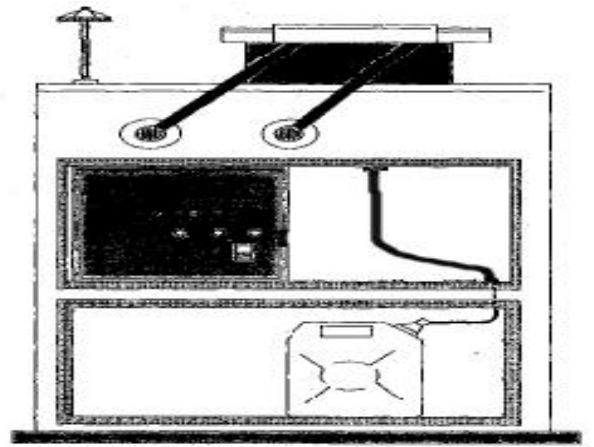


圖 3-2-3-2 酸沈降採樣器

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5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。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

選擇出水溪苗圃之人工栽植的台灣油杉苗木(高約 1m)兩株(甲、乙株)，進行空氣汙染物 (NO、CO、SO₂、O₃) 處理，其中甲樣株連續處理兩次，乙樣株處理一次，每次處理三個時段，分別為 2、4 及 8 小時，各不同空氣汙染物濃度及時段處理如表 3-5-1-1。將樣株置於密閉空間內，充以污染氣體，各處理時段結束後，從樣木之枝條上採集 5-10 片葉片，甲樣株第一次處理後採集 1 年生之葉片，甲樣株第二次及乙樣株處理後，採集 1 年生及 2 年生之葉片，並立即以 F.A.A.液(福馬林:冰醋酸:酒精= 1:1:18)固定。將固定後之台灣油杉葉片以滑動式切片機進行切片，在葉身中段處切出厚度約 30 μ m 之橫切面切片，並置於載玻片上，以甘油封片製成半永久片，於光學顯微鏡下觀察其葉身構造，攝影並紀錄其健康程度。

表 3-5-1-1 不同空氣汙染物濃度及時段處理二株（甲、乙）台灣油杉苗木

甲株樣				
第一次處理				
O₃ 濃度 (ppm) 處理時間	60,000	80,000	100,000	120,000
2 小時	1 年生葉	1 年生葉	1 年生葉	1 年生葉
4 小時	1 年生葉	1 年生葉	1 年生葉	1 年生葉
8 小時	1 年生葉	1 年生葉	1 年生葉	1 年生葉
甲株樣				
第二次處理				
混合汙染物濃度 (ppm) 處理時間	NO : CO : SO ₂ : O ₃ = 0.5 : 25 : 0.25 : 60,000		NO : CO : SO ₂ : O ₃ = 1.0 : 50 : 0.5 : 80,000	
2 小時	1 及 2 年生葉		1 及 2 年生葉	
4 小時	1 及 2 年生葉		1 及 2 年生葉	
8 小時	1 及 2 年生葉		1 及 2 年生葉	
乙樣株				
混合汙染物濃度 (ppm) 處理時間	NO : CO : SO ₂ : O ₃ = 2.0 : 100 : 1.0 : 100,000		NO : CO : SO ₂ : O ₃ = 4.0 : 200 : 2.0 : 120,000	
2 小時	1 及 2 年生葉		1 及 2 年生葉	
4 小時	1 及 2 年生葉		1 及 2 年生葉	
8 小時	1 及 2 年生葉		1 及 2 年生葉	

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，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。此外，雖然美國森林健康監測建議於夏末初秋之季進行林木健康調查，但是台灣夏、秋季常有颱風，且大雨次數愈來愈多，本研究在過去兩年調查亦有受到颱風些微的影響，因此本年度於七月即開始調查，所幸在颱風來臨前即完成調查。本研究森林健康監測項目包括根部、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，並沒有任何林木在過去一年中死亡，且累積 3 年調查期間內亦沒有任何林木死亡。本年度完成 DBH、H、HCB 調查分析結果如下：

表 4-1-1-1 為各區台灣油杉林木胸徑統計，其中以 D 區人工林的林木數 157 株為最多，其胸徑的平均值 32.4cm 與標準差 10.6cm，皆為各區中最小的。反之，天然林 B 區的林木數 10 株為最少，其胸徑的平均值 68.5cm 與標準差 36.0cm 卻居各區之首。天然林 A 區亦有類似 B 區的情況，除林木較少外，各林木間胸徑的差異亦不小；而 C 區的林木數雖較多，但林木間胸徑的差異仍很大。所有四區的林木裡，胸徑最大的單株林木是在 C 區中，其值約為 150cm。

表 4-1-1-1 坪林台灣油杉自然保留區各區林木胸徑統計

區	林木株數	平均胸徑(cm)	最小值(cm)	最大值(cm)	標準差(cm)
A	19	48.2	8.4	91.2	26.4
B	10	68.5	1.7	112.5	36.0
C	78	43.2	2.9	150.1	33.9
D	157	32.4	10.1	63.7	10.6

若將各區台灣油杉林木的胸徑分為 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林木株數最多，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 以上的林木則很少。此外，在 C 區裡也包含了很多小徑木，現場亦可發現天然下種的小苗，顯示 C 區裡的天然更新狀況良好。

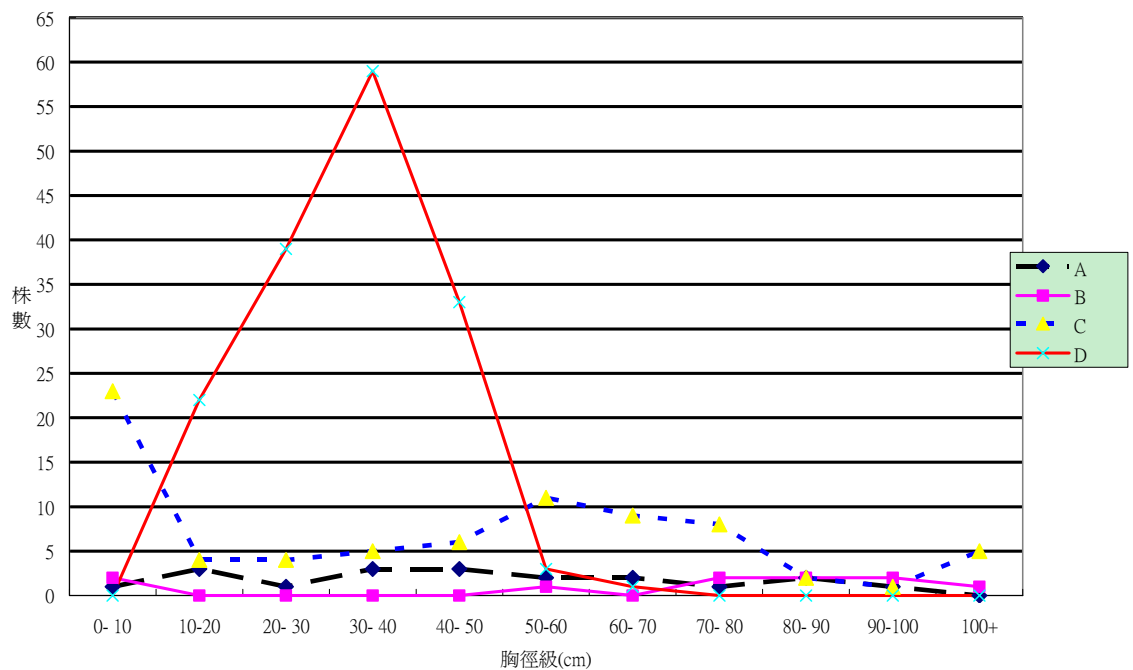


圖 4-1-1-1 坪林台灣油杉自然保留區各區林木胸徑級分佈

表 4-1-1-2 為各區台灣油杉林木樹高統計，其中以 B 區的平均樹高 19.2m 與標準差 7.6m 皆為四區的最大者。最高的單株林木樹高約為 28m，是在 C 區中，但是由於 C 區天然更新狀況良好，有較多的小徑木，故平均樹高 12.9m，反而是四區的最低者。一般而言，人工林較天然林為均勻，本次調查亦顯示出 D 區樹高的標準差 3.3m 為四區的最小者。目前 D 區的平均樹高為 16.3m，已較 A、C 兩區為大，僅次於 B 區。

表 4-1-1-2 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹高統計

區	林木株數	平均樹高(m)	最小值(m)	最大值(m)	標準差(m)
A	19	13.5	5.6	22.6	4.4
B	10	19.2	2.7	25.9	7.6
C	78	12.9	2.7	28.1	6.9
D	157	16.3	6.5	22.1	3.3

各區林木樹高分佈如圖 4-1-1-2 所示，C 區和 D 區的林木較多，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 株樹高為 5m 以下的林木。

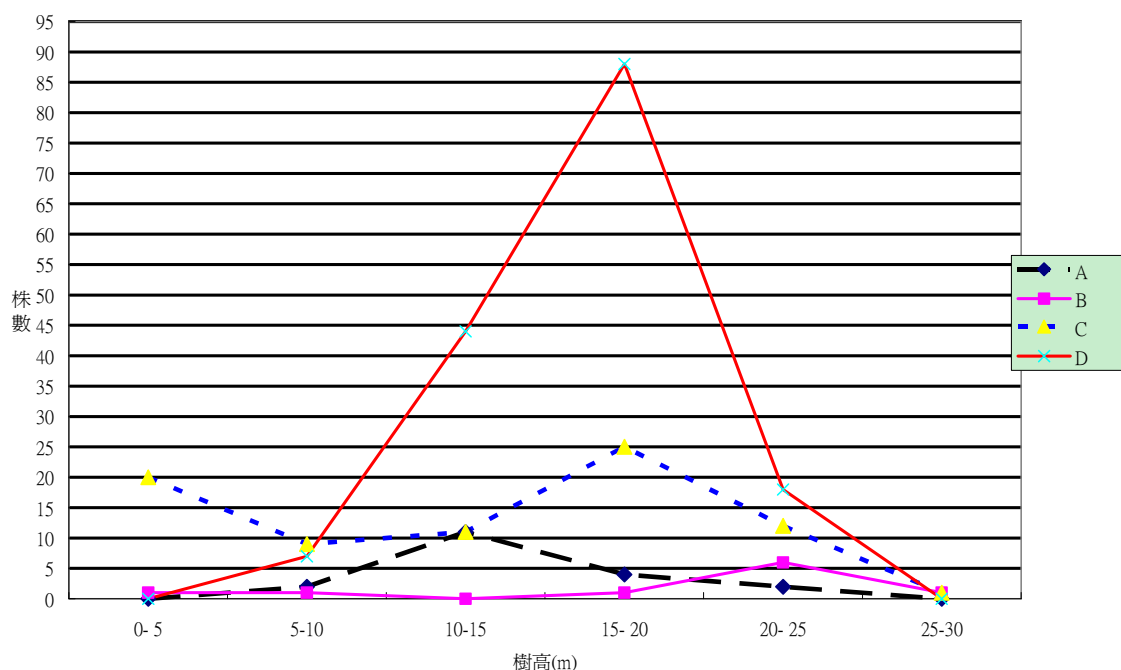


圖 4-1-1-2 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹高分佈

本研究 96 年調查後，經 97 年與 98 年兩次的複測調查，故可得到兩年的生長量。其胸徑生長如表 4-1-1-3 所示，D 區的胸徑生長量為最大，主要原因為它是人工林且林齡較其他 3 區為小；而 B 區是天然林，且大部分是老熟的大徑木，所以其胸徑生長量為最小。

表 4-1-1-3 坪林台灣油杉自然保留區各區林木兩年胸徑生長量統計

區	樣木株數	胸徑(cm)		胸徑生長量(cm)	
		平均值	標準差	平均生長量	標準差
A	19	48.2	26.4	0.48	0.54
B	10	68.5	36.0	0.18	0.35
C	78	43.2	33.9	0.47	0.40
D	157	32.4	10.6	0.56	0.46

圖 4-1-1-3 顯示各區兩年胸徑生長量依照胸徑級分佈的情形，其中 A、B、C 等三區天然林的胸徑生長量隨胸徑級增加而減少，符合專業的認知，即天然林裡大徑木的胸徑年生長量會小於小徑木的胸徑年生長量。D 區的胸徑生長量反而是在大胸徑級者有較高的生長量，其原因為此區人工林可能是同齡林且還在壯年時期，在小胸徑級的林木有許多是屬於被壓木或中勢木，故其生長量會小於上層的優勢木和次優勢木。

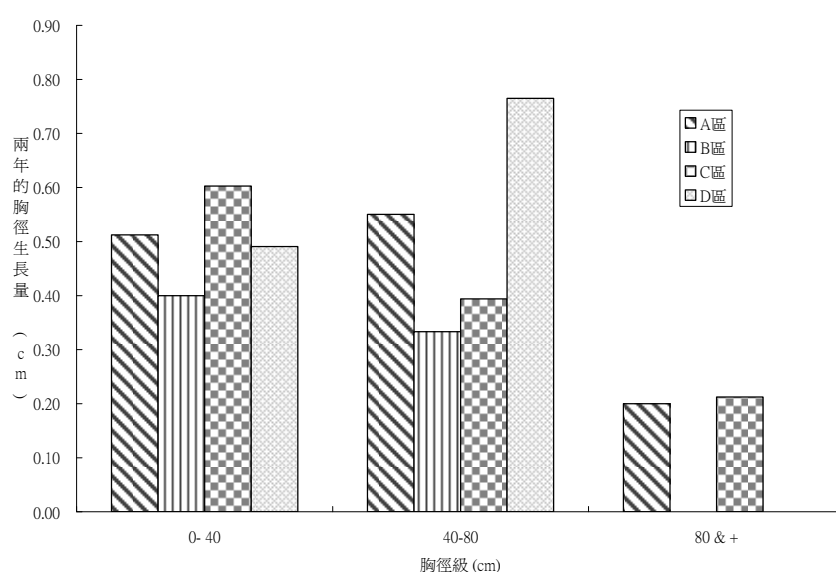


圖 4-1-1-3 坪林台灣油杉自然保留區各區胸徑級的兩年胸徑生長量

表 4-1-1-4 為坪林台灣油杉自然保留區各區林木兩年樹高生長量統計，由於受到颱風的影響，各區受損狀況不一；A 區和 C 區有頂折林木，所以平均高生長較小。一般而言，樹高生長的測量誤差率會較大，因此 B 區和 D 區的高生長沒有顯著的差異。

表 4-1-1-4 坪林台灣油杉自然保留區各區林木兩年樹高生長量統計

區	樣木株數	樹高(m)		樹高生長量(m)	
		平均值	標準差	平均生長量	標準差
A	19	13.5	4.4	0.13	1.12
B	10	19.2	7.6	0.44	0.84
C	78	12.9	6.9	0.12	1.09
D	157	16.3	3.3	0.33	0.66

圖 4-1-1-4 顯示各區兩年樹高生長量依照胸徑級分佈的情形，其天然林 A 區和 C 區的樹高生長量隨胸徑級增加而減少，B 區沒有明顯的趨勢，而人工林 D 區反而是在大胸徑級者有較高的樹高生長量。

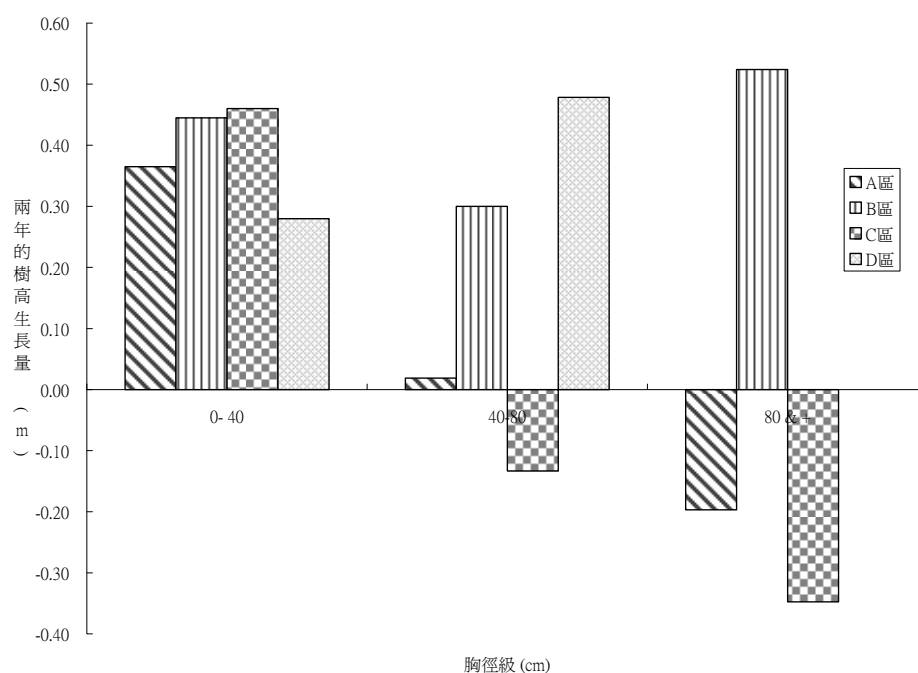


圖 4-1-1-4 坪林台灣油杉自然保留區各區胸徑級的兩年樹高生長量

(二) 台灣油杉健康判釋之結果

各樣區台灣油杉林木樹冠密度如表 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 3 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林木樹冠密度統計

區	林木株數	平均樹冠密度(%)	最小值(%)	最大值(%)	標準差(%)
A	19	68.16	45	95	10.57
B	10	72.00	50	85	9.78
C	78	70.71	25	90	11.61
D	157	58.89	5	95	15.13

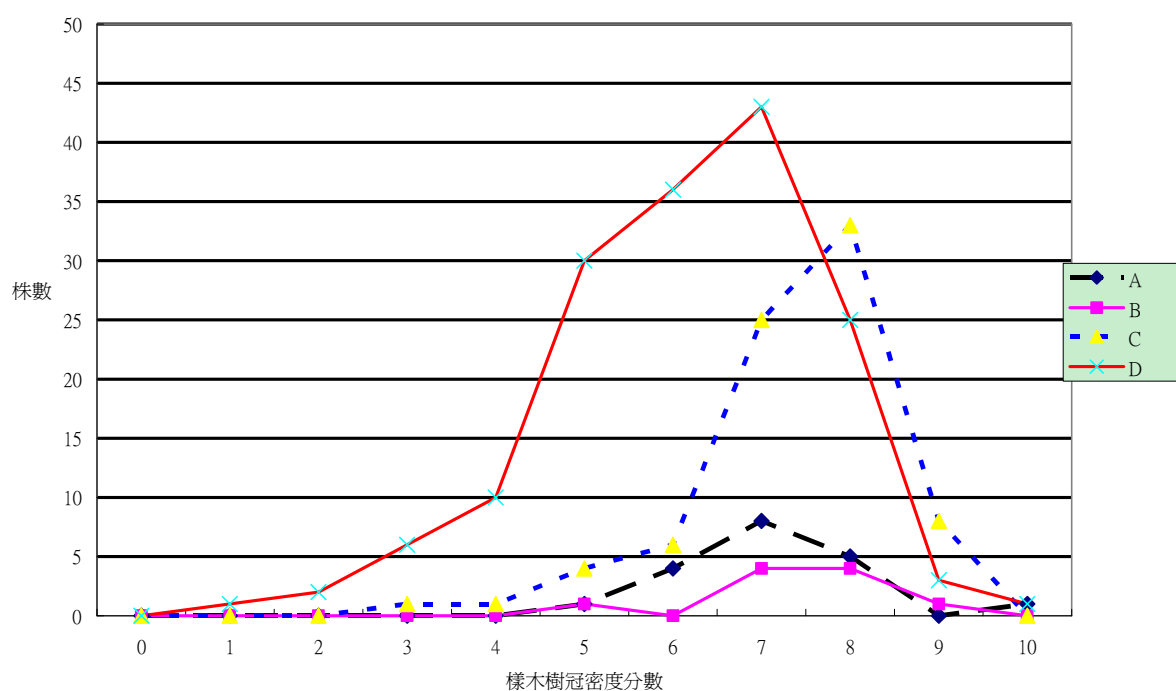


圖 4-1-2-1 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠密度分佈

(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 為各區台灣油杉林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 株林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林木樹冠透視度統計

區	林木株數	平均透視度(%)	最小值(%)	最大值(%)	標準差(%)
A	19	9.74	5	20	3.53
B	10	8.50	5	15	3.37
C	78	8.01	5	30	4.06
D	157	9.81	5	90	8.10

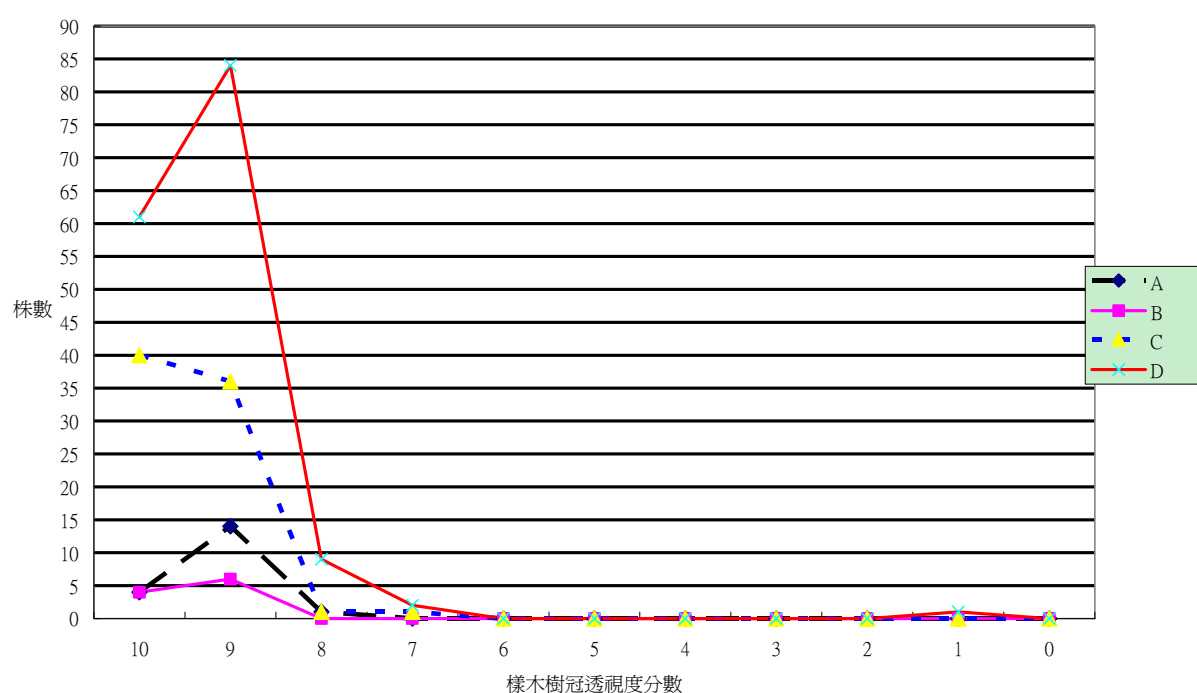


圖 4-1-2-2 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠透視度分佈

(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 為各區台灣油杉林木樹冠梢枯統計量，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。各區台灣油杉林木樹冠梢枯分數如圖 4-1-2-3 所示，其分數為 6 分的林木佔了絕大部份，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林木樹冠梢枯統計

區	林木株數	平均樹冠梢枯 (%)	最小值(%)	最大值(%)	標準差(%)
A	19	7.63	5	15	3.06
B	10	7.00	5	10	2.58
C	78	8.78	5	50	7.13
D	157	10.13	5	95	9.84

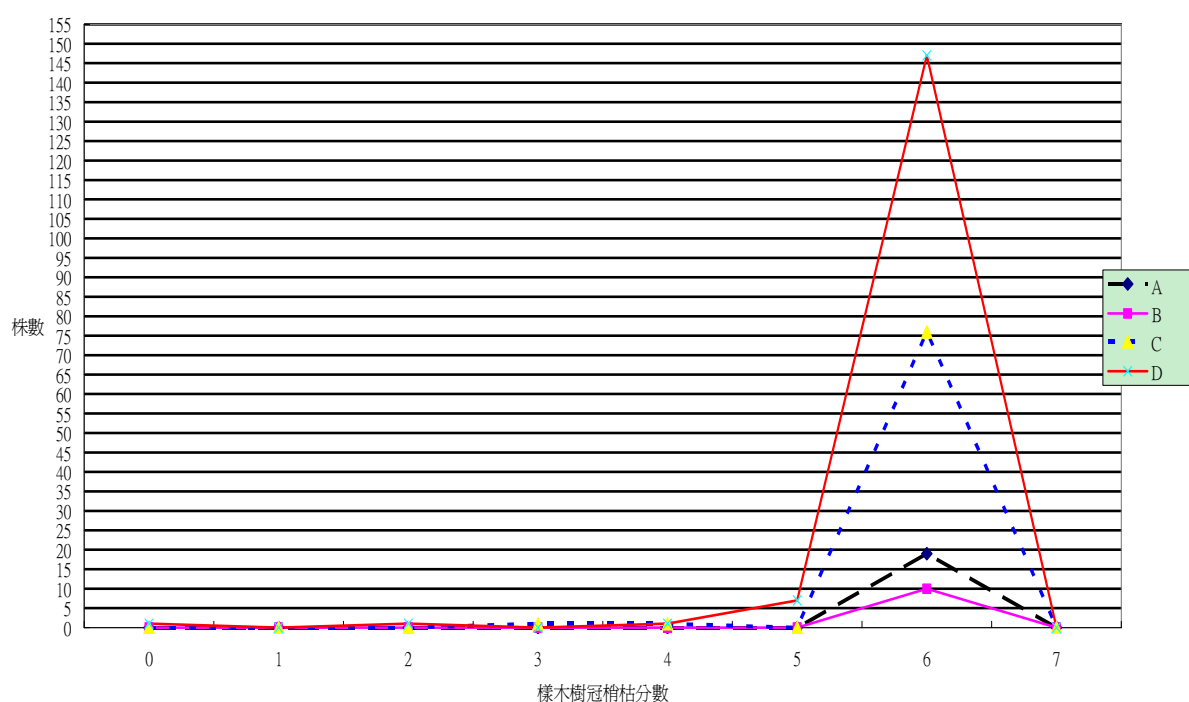


圖 4-1-2-3 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠梢枯分佈

(圖 4-1-2-3 中，樹冠梢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 顯示各區台灣油杉林木根部狀況，其絕大部份的林木為 2 或 3 級，代表根部狀況良好，只有 C 區的第 10 號林木根部有受傷。

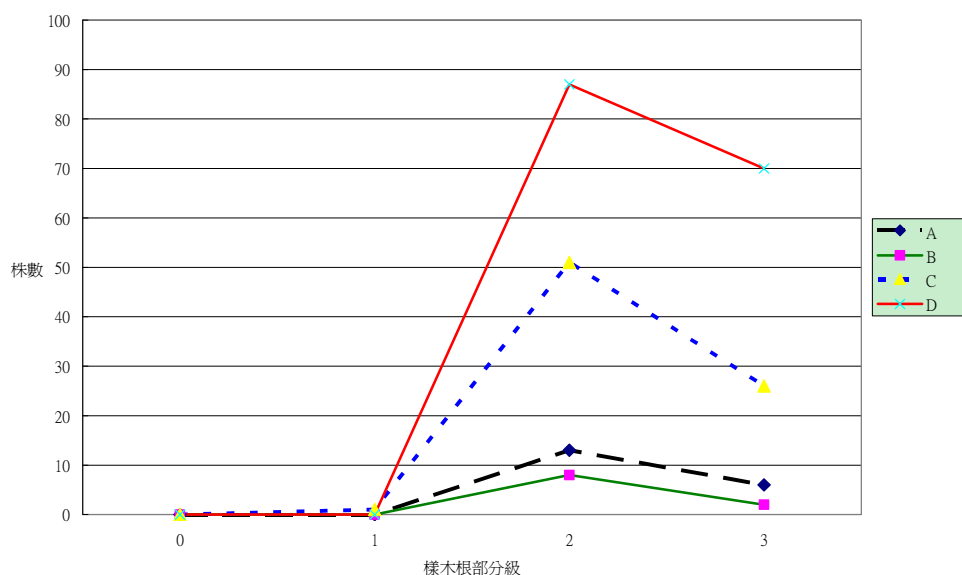


圖 4-1-2-4 坪林台灣油杉自然保留區各區林木根部分級分佈

圖 4-1-2-5 提供各區台灣油杉林木樹冠狀況分佈，以表示活冠層以上落葉的情形，大部份林木列屬於 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%，不利於林木的存活。

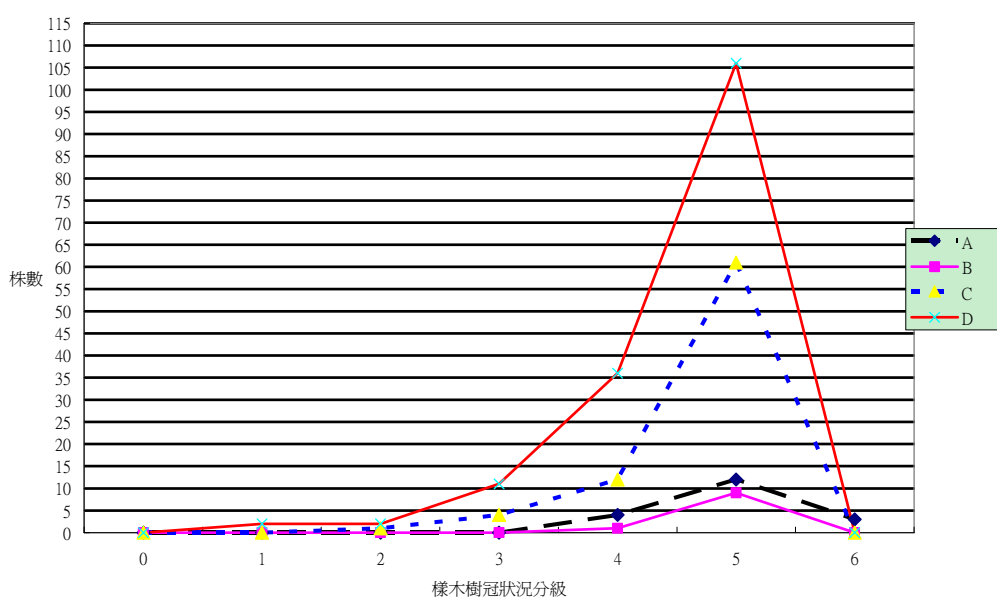


圖 4-1-2-5 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠狀況分級分佈

圖 4-1-2-6 為各區林木樹冠重疊分級情形，6 級為上層木，1 級為樹冠完全被覆蓋。A 區、B 區及 C 區樹冠重疊分級的差異大，而 D 區則集中在第 4 級和第 5 級。D 區的第 1 級林木有 15 株，因此 D 區較 A、B、C 區的林木間競爭為大。

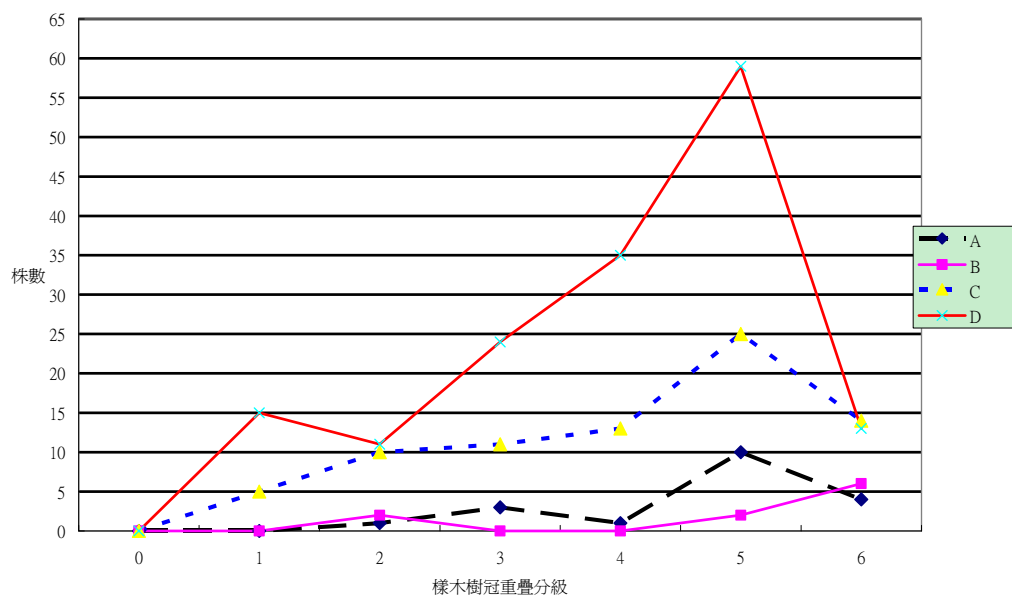


圖 4-1-2-6 坪林台灣油杉自然保留區各區林木樹冠重疊分級分佈

依照林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%)的林木。

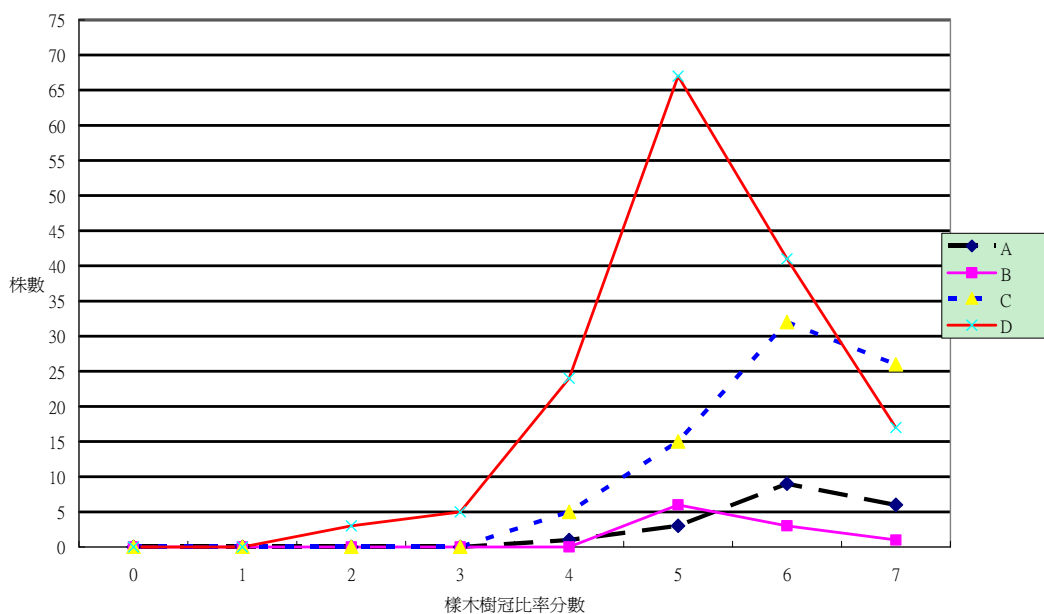


圖 4-1-2-7 坪林台灣油杉自然保留區各區林木活樹冠比率分佈

表 4-1-2-4 為各區台灣油杉林木的健康分數統計，D 區人工林最低，其平均健康分數顯著地低於天然林，主要原因為 D 區有較多的被壓木。圖 4-1-2-8 顯示各區健康台灣油杉林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 92 和 157 株，13 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，因而有較多株健康等級為普通及較差的林木。整體而言，A、B、C 和 D 區都未產生林分立即劣化的情形。與過去的健康分級分配(如表 4-1-2-5)相比較，以卡方一致性檢定，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林木健康分數統計

區	林木株數	平均健康分數(分)	最小值(分)	最大值(分)	標準差(分)
A	19	40.26 ^a	36	47	2.92
B	10	40.40 ^a	34	44	2.67
C	78	39.90 ^a	29	44	2.97
D	157	37.45 ^b	10	46	4.82

註：小寫英文字母相同者代表無顯著差異($\alpha=0.05$)。

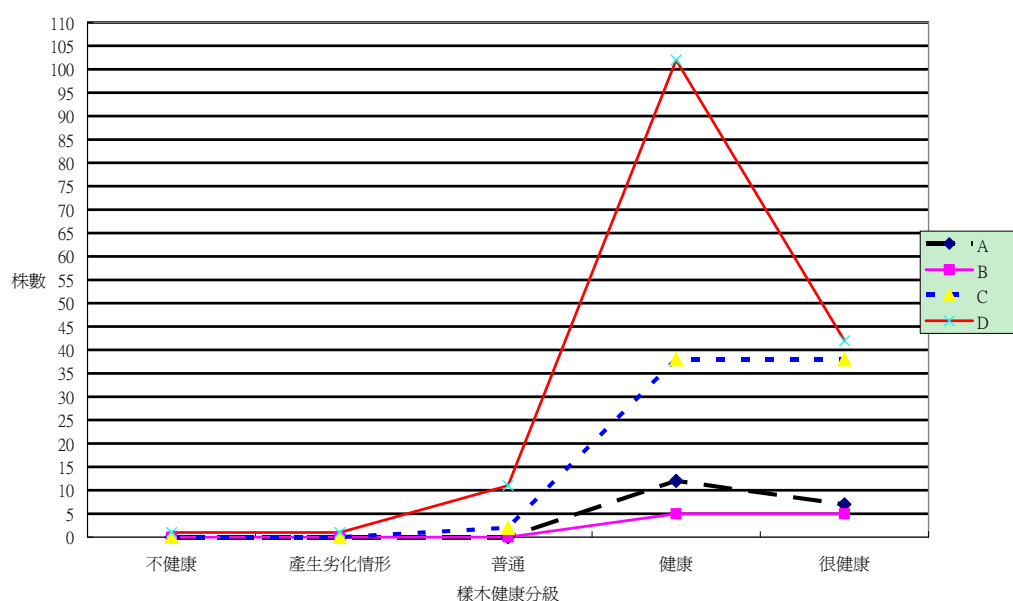


圖 4-1-2-8 坪林台灣油杉自然保留區各區林木健康分級分佈

表 4-1-2-5 坪林台灣油杉自然保留區各年度林木健康分級之分配

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
2009	92	157	13	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。

97 年拍攝坪林國小的台灣油杉已明顯地較 96 年健康，冠層上半部已逐漸生長出新葉，今年(98 年)拍攝的，其冠層上半部長出新葉的量又比去年(97 年)為多，其枝條末梢的枯梢也逐年掉落。出水溪苗圃的台灣油杉，因其鄰近的闊葉樹枝條生長較快，因此已不易拍攝台灣油杉照片。

D 區的兩株樣木 96 年的拍攝角度不易分離影像，97 年改變拍攝角度使其較易分離影像，但卻造成無法和 96 年照片比較，故今年(98 年)同時拍攝兩個角度，使 96、97、98 年的照片可以相互比較，未來如要再拍攝時，則可以 97 年的角度拍攝即可。

圖 4-1-3-1a 至圖 4-1-3-7f 的樣木照片結果，皆沒有顯現林木外部觀測的健康狀況有衰退的現象。另外本年(98 年)度亦針對 D 區林木健康監測列為劣化或不健康的樣木，以及葉切片有異常狀況的樣木，進行拍攝存檔，可提供長期監測參考。



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 4-1-3-1e 坪林國小台灣油杉
原樣木影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-1f 坪林國小台灣油杉
分離影像(98 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 4-1-3-2e 台大校園台灣油杉
原樣木影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-2f 台大校園台灣油杉
分離影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-3a 台灣油杉 C063 號
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-3b 台灣油杉 C063 號
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-3c 台灣油杉 C063 號
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-3d 台灣油杉 C063 號
分離影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-3e 台灣油杉 C063 號
原樣木影像(98 拍攝)

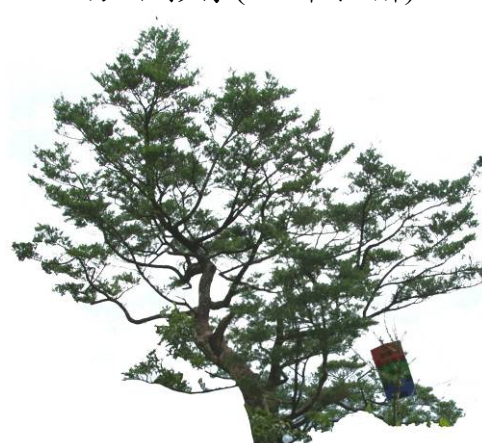


圖 4-1-3-3f 台灣油杉 C063 號
分離影像(98 拍攝)



圖 4-1-3-4a 台灣油杉 A003 號
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-4b 台灣油杉 A003 號
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-4c 台灣油杉 A003 號
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-4d 台灣油杉 A003 號
分離影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-4e 台灣油杉 A003 號
原樣木影像(98 年拍攝)

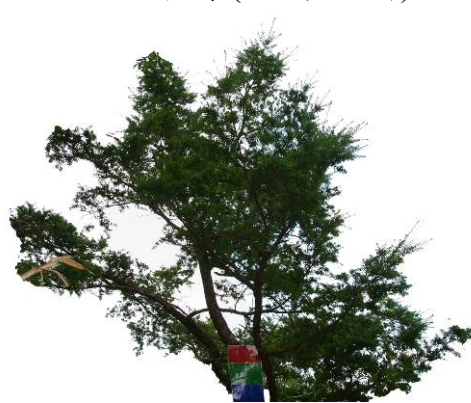


圖 4-1-3-4f 台灣油杉 A003 號
分離影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-5a 台灣油杉 D051 號
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-5b 台灣油杉 D051 號
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-5c 台灣油杉 D051 號
原樣木影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-5d 台灣油杉 D051 號
分離影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-5e 台灣油杉 D051 號
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-5f 台灣油杉 D051 號
分離影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-5g 台灣油杉 D051 號
原樣木影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-5h 台灣油杉 D051 號
分離影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-6a 台灣油杉 D061 號
原木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-6c 台灣油杉 D061 號
原樣木影像(98 拍攝)



圖 4-1-3-6e 台灣油杉 D061 號
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-6g 台灣油杉 D061 號
原樣木影像(98 拍攝)



圖 4-1-3-6b 台灣油杉 D061 號
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-6d 台灣油杉 D061 號
分離影像(98 拍攝)



圖 4-1-3-6f 台灣油杉 D061 號
分離影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-6h 台灣油杉 D061 號
分離影像(98 拍攝)



圖 4-1-3-7a 出水溪苗圃台灣油杉
原樣木影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-7b 出水溪苗圃台灣油杉
分離影像(96 年拍攝)



圖 4-1-3-7c 出水溪苗圃台灣油杉
原樣木影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-7d 出水溪苗圃台灣油杉
分離影像(97 年拍攝)



圖 4-1-3-7e 出水溪苗圃台灣油杉
原樣木影像(98 年拍攝)



圖 4-1-3-7f 出水溪苗圃台灣油杉
分離影像(98 年拍攝)

二、 台灣油杉葉身構造變化之監測結果

台灣油杉及闊葉樹(以冇樟為例)之葉的内部解剖(Anatomy of leaf)簡圖(圖 4-2-1-1、4-2-1-2)，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(fascicular tissue system)，包括中肋(midrib)和葉脈(vein)等。

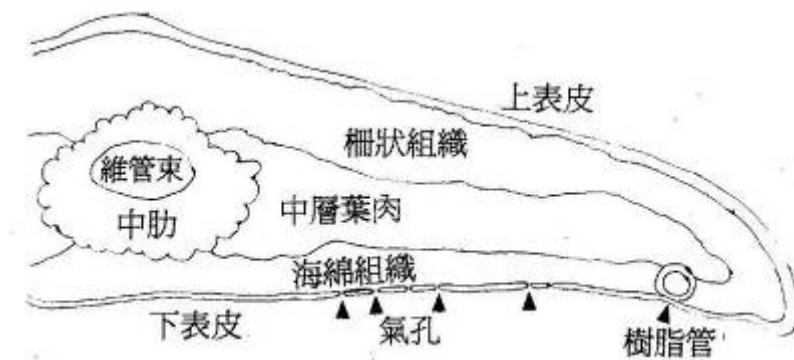


圖 4-2-1-1 台灣油杉葉橫切面之構造

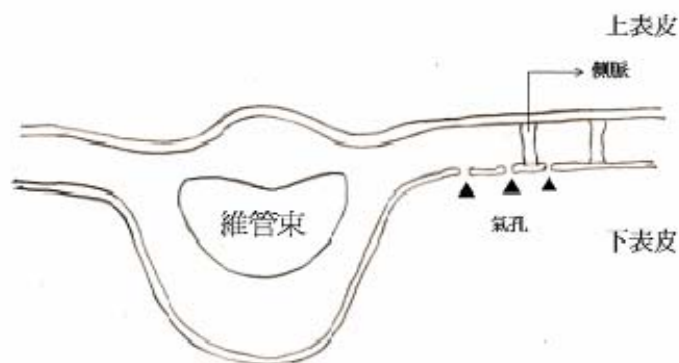


圖 4-2-1-2 冇樟葉橫切面之構造

(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。表皮層具一層細胞，外面細胞壁厚，含有角皮層(cutical layer)，無毛茸；氣孔為下陷型，多分佈於下表皮(圖 4-2-1-3)，極少亦有在上表皮觀察到。

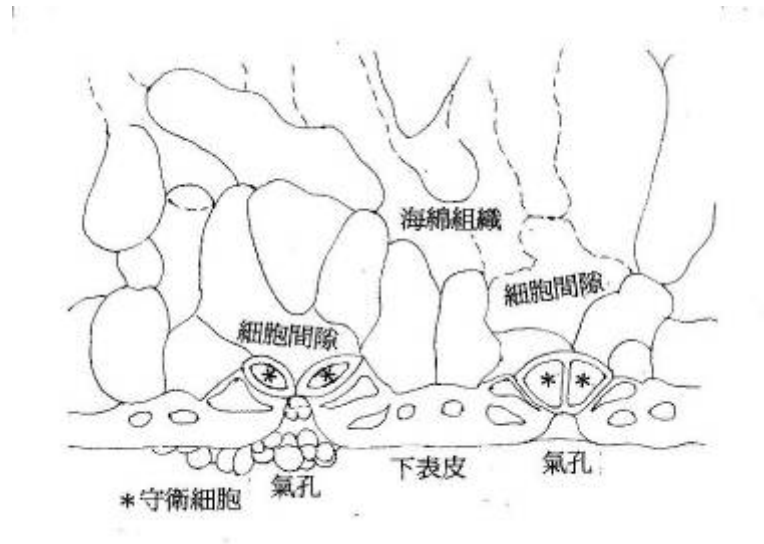


圖 4-2-1-3 台灣油杉葉之下表皮層（含氣孔）及海綿組織

2. 闊葉樹

本報告所列 18 種闊葉樹，葉也屬扁平，有上下表皮層之分。表皮細胞單層，外面細胞壁厚，外被角皮層；氣孔多分佈於下表皮，並與表皮在同一平面上(圖 4-2-1-4)。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、長尾柯、紅皮、奧氏虎皮楠、江某及大明橘等。上下表皮層或具毛茸：大明橘為盾狀毛茸(peltate trichomes)、紅皮則為星狀毛茸(stellate trichomes)、奧氏虎皮楠及裏白饅頭果都為單細胞線狀毛茸(Unicellular linear trichomes)。在墨點櫻桃的葉下表皮層觀察到腺點。

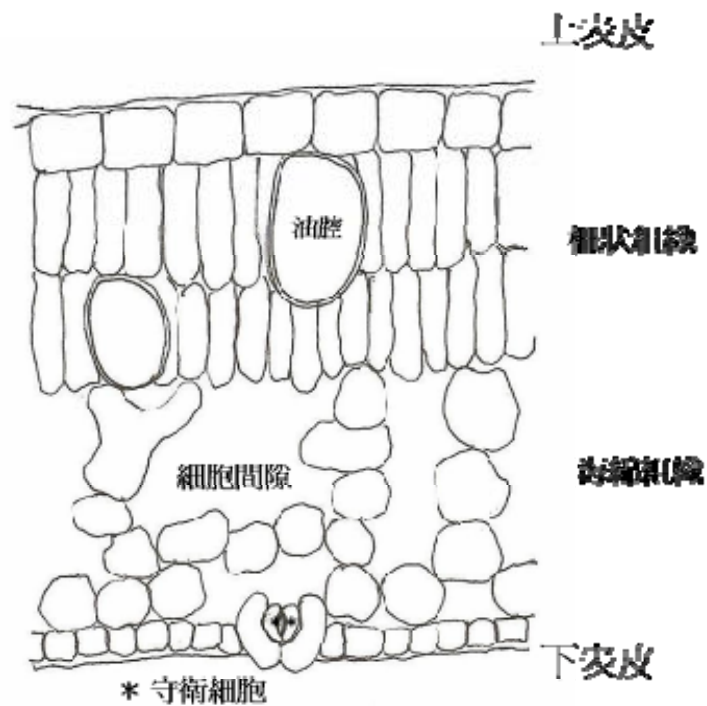


圖 4-2-1-4 有樟之葉肉、上、下表皮層（含氣孔）

(二) 葉肉(Mesophyll)

1. 台灣油杉

緊接著表皮細胞有 1~2 層細胞之次表皮層(hypodermis)，除了葉脈和表皮層以外，稱為葉肉。葉肉分化為明顯的柵狀組織(Palisade tissue)和海綿組織(Spongy tissue)，兩者間之葉肉，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層，在葉片橫切面細胞呈桿狀，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)的柵狀細胞。

海綿細胞的形狀變異較大(圖 4-2-1-3)，通常都為彎曲的細胞長軸，排列很鬆，留有很多的細胞間隙(intercellular space)，所含的葉綠體較少。

海綿組織內含有樹脂管兩支，各分佈於兩側葉緣靠近下表皮之葉肉內，長軸平行中肋。

2. 闊葉樹

本研究所觀察之闊葉樹具 1 至多層次表皮層。葉肉具柵狀組織及海綿組織(圖 4-2-1-4)；前者緊鄰上表皮，依樹種不同而有 1 或至 3 層，在葉橫切面細胞呈桿狀，長軸垂直上表皮，緊密排列，細胞內含大量葉綠體。

海綿細胞的形狀變異大，不規則，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 4-2-1-4)，橫切面上呈圓形至橢圓形，散佈柵狀組織或海綿組織中，數倍大於周圍其他葉肉細胞。

(三) 維管束組織(Vascular tissue)

1. 台灣油杉

台灣油杉葉內有一支中心脈或稱中肋(midrib)縱貫於葉中央。中心脈內主要具有一支並生維管束，其木質部位居向軸(adaxial)面，韌皮部位居背軸(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. 闊葉樹

本研究所觀察之闊葉樹種具有一明顯中肋，含 1 至若干支並生或複並生維管束，木質部位居向軸面，韌皮部位居背軸面。並生維管束呈半環形構造或排列：如山紅柿、裏白饅頭果、冇樟、紅楠、墨點櫻桃和大頭茶；亦有近環形的並生維管束，如西施花、杜英、薯豆、稜果榕；近環形複並生維管束者如長尾柯和紅皮；環形並生維管束如大明橘；網狀中軸如江某。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、福山研究中心、出水溪苗圃、坪林國小和台大校園內之台灣油杉樣株，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，其結果如下所描述（表 4-2-3-1）。

表 4-2-3-1. 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

樹種 株號（圖號）	組織 系統	下表皮 （含氣孔）	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
福山_台灣油杉-廁(入 5)_1 年生 (圖 4-2-3-1、圖 4-2-3-2)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(入 5)_2 年生 (圖 4-2-3-3、圖 4-2-3-4)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(入 5)_3 年生 (圖 4-2-3-5、圖 4-2-3-6)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(入 6)_1 年生 (圖 4-2-3-7、圖 4-2-3-8)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(入 6)_2 年生 (圖 4-2-3-9、圖 4-2-3-10)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(入 6)_3 年生 (圖 4-2-3-11、圖 4-2-3-12)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵 1_1 年生 (圖 4-2-3-13、圖 4-2-3-14)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵 1_2 年生 (圖 4-2-3-15、圖 4-2-3-16)		正常	正常	一只海綿細胞形略大 (112.5 × 100 μm)	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵 1_3 年生 (圖 4-2-3-17、圖 4-2-3-18)		正常	正常	一只海綿細胞形大 (192.5 × 150 μm)	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵 2_1 年生 (圖 4-2-3-19、圖 4-2-3-20)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵 2_2 年生 (圖 4-2-3-21、圖 4-2-3-22)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵 2_3 年生 (圖 4-2-3-23、圖 4-2-3-24)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵幼 5_1 年生 (圖 4-2-3-25、圖 4-2-3-26)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵幼 5_2 年生 (圖 4-2-3-27、圖 4-2-3-28)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-鐵幼 5_3 年生 (圖 4-2-3-29、圖 4-2-3-30)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生(圖 4-2-3-31、圖 4-2-3-32a、圖 4-2-3-32b)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(出 1)_2 年生(圖 4-2-3-33、圖 4-2-3-34)		正常	正常	多數海綿細胞形大 (100-125 × 75-87.5 μm)	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(出 1)_3 年生(圖 4-2-3-35、圖 4-2-3-36)		正常	正常	一只海綿細胞形略大 (90 × 82.5 μm)	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(出 5)_1 年生(圖 4-2-3-37、圖 4-2-3-38)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(出 5)_2 年生(圖 4-2-3-39、圖 4-2-3-40)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-廁(出 5)_3 年生(圖		正常	正常	正常	正常	正常

樹種 株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
4-2-3-41、圖 4-2-3-42)						
福山_台灣油杉-近工作站_1年生(圖 4-2-3-43、圖 4-2-3-44)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-近工作站_2年生(圖 4-2-3-45、圖 4-2-3-46)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-近工作站_3年生(圖 4-2-3-47、圖 4-2-3-48)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-遠工作站_1年生(圖 4-2-3-49、圖 4-2-3-50)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-遠工作站_2年生(圖 4-2-3-51、圖 4-2-3-52)		正常	正常	正常	正常	正常
福山_台灣油杉-遠工作站_3年生(圖 4-2-3-53、圖 4-2-3-54)		正常	正常	正常	正常	正常
出水溪_台灣油杉-(前)_1年生 (圖 4-2-3-55、圖 4-2-3-56)		正常	正常	正常	正常	正常
出水溪_台灣油杉-(前)_2年生 (圖 4-2-3-57、圖 4-2-3-58)		正常	正常	正常	正常	正常
出水溪_台灣油杉-(前)_3年生 (圖 4-2-3-59、圖 4-2-3-60)		正常	正常	正常	正常	正常
出水溪_台灣油杉-(旁)_1年生 (圖 4-2-3-61、圖 4-2-3-62)		正常	正常	正常	正常	正常
出水溪_台灣油杉-(旁)_2年生 (圖 4-2-3-63、圖 4-2-3-64)		正常	正常	正常	正常	正常
出水溪_台灣油杉-(旁)_3年生 (圖 4-2-3-65、圖 4-2-3-66、圖 4-2-3-67)		正常	正常	正常	正常	正常
坪林國小_台灣油杉_1年生 (圖 4-2-3-68、圖 4-2-3-69)		正常	正常	正常	正常	正常
坪林國小_台灣油杉_2年生 (圖 4-2-3-70、圖 4-2-3-71)		正常	正常	正常	正常	正常
坪林國小_台灣油杉_3年生 (圖 4-2-3-72、圖 4-2-3-73)		正常	正常	正常	正常	正常
台大_台灣油杉_1年生 (圖 4-2-3-74、圖 4-2-3-75)		正常	正常	正常	正常	正常
台大_台灣油杉_2年生 (圖 4-2-3-76、圖 4-2-3-77)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_01_1年生 (圖 4-2-3-78、圖 4-2-3-79)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_01_2年生 (圖 4-2-3-80、圖 4-2-3-81)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_01_3年生 (圖 4-2-3-82、圖 4-2-3-83)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_02_1年生 (圖 4-2-3-84、圖 4-2-3-85)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_02_2年生 (圖 4-2-3-86、圖 4-2-3-87)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_02_3年生 (圖 4-2-3-88、圖 4-2-3-89)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_03_1年生 (圖 4-2-3-90、圖 4-2-3-91)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_03_2年生 (圖 4-2-3-92、圖 4-2-3-93)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_03_3年生 (圖 4-2-3-94、圖 4-2-3-95)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_04_1年生 (圖 4-2-3-96、圖 4-2-3-97)		正常	正常	正常	正常	正常

樹種 株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
A 區_台灣油杉_04_2 年生 (圖 4-2-3-98、圖 4-2-3-99a、圖 4-2-3-99b)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_04_3 年生 (圖 4-2-3-100、圖 4-2-3-101)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_05_1 年生 (圖 4-2-3-102、圖 4-2-3-103)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_05_2 年生 (圖 4-2-3-104、圖 4-2-3-105)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_05_3 年生 (圖 4-2-3-106、圖 4-2-3-107)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_06_1 年生 (圖 4-2-3-108、圖 4-2-3-109)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_06_2 年生 (圖 4-2-3-110、圖 4-2-3-111)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_06_3 年生 (圖 4-2-3-112、圖 4-2-3-113)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_07_1 年生 (圖 4-2-3-114、圖 4-2-3-115)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_07_2 年生 (圖 4-2-3-116、圖 4-2-3-117)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_07_3 年生 (圖 4-2-3-118、圖 4-2-3-119)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_08_1 年生 (圖 4-2-3-120、圖 4-2-3-121)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_08_2 年生 (圖 4-2-3-122、圖 4-2-3-123)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_08_3 年生 (圖 4-2-3-124、圖 4-2-3-125)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_09_1 年生 (圖 4-2-3-126、圖 4-2-3-127)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_09_2 年生 (圖 4-2-3-128、圖 4-2-3-129)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_09_3 年生 (圖 4-2-3-130、圖 4-2-3-131)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_10_1 年生 (圖 4-2-3-132、圖 4-2-3-133)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_10_2 年生 (圖 4-2-3-134、圖 4-2-3-135)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_10_3 年生 (圖 4-2-3-136、圖 4-2-3-137)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_11_1 年生 (圖 4-2-3-138、圖 4-2-3-139)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_11_2 年生 (圖 4-2-3-140、圖 4-2-3-141)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_11_3 年生 (圖 4-2-3-142、圖 4-2-3-143)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_12_1 年生 (圖 4-2-3-144、圖 4-2-3-145)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_12_2 年生 (圖 4-2-3-146、圖 4-2-3-147)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_12_3 年生 (圖 4-2-3-148、圖 4-2-3-149)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_13_1 年生 (圖 4-2-3-150、圖 4-2-3-151)		正常	正常	正常	正常	正常

樹種 株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
A 區_台灣油杉_13_2 年生 (圖 4-2-3-152、圖 4-2-3-153)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_13_3 年生 (圖 4-2-3-154、圖 4-2-3-155)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_14_1 年生 (圖 4-2-3-156、圖 4-2-3-157)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_14_2 年生 (圖 4-2-3-158、圖 4-2-3-159)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區_台灣油杉_14_3 年生 (圖 4-2-3-160、圖 4-2-3-161)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區有樟 (圖 4-2-3-162、圖 4-2-3-163a、圖 4-2-3-163b)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區紅楠 (圖 4-2-3-164、圖 4-2-3-165a、圖 4-2-3-165b)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區西施花 (圖 4-2-3-166、圖 4-2-3-167a、圖 4-2-3-167b)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區大明橘 (圖 4-2-3-168、圖 4-2-3-169a、圖 4-2-3-169b)		正常	正常	正常	正常	正常
A 區長尾柯 (圖 4-2-3-170、圖 4-2-3-171a、圖 4-2-3-171b)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_37_1 年生 (圖 4-2-3-172、圖 4-2-3-173)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_37_2 年生 (圖 4-2-3-174、圖 4-2-3-175)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_37_3 年生 (圖 4-2-3-176、圖 4-2-3-177)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_38_1 年生 (圖 4-2-3-178、圖 4-2-3-179)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_38_2 年生 (圖 4-2-3-180、圖 4-2-3-181)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_38_3 年生 (圖 4-2-3-182、圖 4-2-3-183)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_50_1 年生 (圖 4-2-3-184、圖 4-2-3-185)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_50_2 年生 (圖 4-2-3-186、圖 4-2-3-187)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_50_3 年生 (圖 4-2-3-188、圖 4-2-3-189)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_55_1 年生 (圖 4-2-3-190、圖 4-2-3-191)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_55_2 年生 (圖 4-2-3-192、圖 4-2-3-193)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_55_3 年生 (圖 4-2-3-194、圖 4-2-3-195)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_56_1 年生 (圖 4-2-3-196、圖 4-2-3-197)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_56_2 年生 (圖 4-2-3-198、圖 4-2-3-199)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_56_3 年生 (圖 4-2-3-200、圖 4-2-3-201)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_60_1 年生 (圖 4-2-3-202、圖 4-2-3-203)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_60_2 年生 (圖 4-2-3-204、圖 4-2-3-205)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_60_3 年生		正常	正常	正常	正常	正常

樹種 株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
(圖 4-2-3-206、圖 4-2-3-207)						
C 區_台灣油杉_67_1 年生 (圖 4-2-3-208、圖 4-2-3-209)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_67_2 年生 (圖 4-2-3-210、圖 4-2-3-211)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_67_3 年生 (圖 4-2-3-212、圖 4-2-3-213)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_70_1 年生 (圖 4-2-3-214、圖 4-2-3-215)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_70_2 年生 (圖 4-2-3-216、圖 4-2-3-217)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_70_3 年生 (圖 4-2-3-218、圖 4-2-3-219a、圖 4-2-3-219b)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_76_1 年生 (圖 4-2-3-220、圖 4-2-3-221)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_76_2 年生 (圖 4-2-3-222、圖 4-2-3-223)		正常	正常	一只近氣孔處的海綿細胞 形略大 (85 × 107.5 μm)	正常	正常
C 區_台灣油杉_76_3 年生 (圖 4-2-3-224、圖 4-2-3-225)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_77_1 年生 (圖 4-2-3-226、圖 4-2-3-227)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_77_2 年生 (圖 4-2-3-228、圖 4-2-3-229)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區_台灣油杉_77_3 年生 (圖 4-2-3-230、圖 4-2-3-231)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區紅皮 (圖 4-2-3-232、圖 4-2-3-233)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區長尾柯 (圖 4-2-3-234、圖 4-2-3-235)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區奧氏虎皮楠 (圖 4-2-3-236、圖 4-2-3-237)		正常	正常	正常	正常	正常
C 區山紅柿 (圖 4-2-3-238、圖 4-2-3-239)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_01_1 年生 (圖 4-2-3-240、圖 4-2-3-241)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_01_2 年生 (圖 4-2-3-242、圖 4-2-3-243)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_01_3 年生 (圖 4-2-3-244、圖 4-2-3-245)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_04_1 年生 (圖 4-2-3-246、圖 4-2-3-247)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_04_2 年生 (圖 4-2-3-248、圖 4-2-3-249)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_04_3 年生 (圖 4-2-3-250、圖 4-2-3-251)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_08_1 年生 (圖 4-2-3-252、圖 4-2-3-253)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_08_2 年生 (圖 4-2-3-254、圖 4-2-3-255)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_08_3 年生 (圖 4-2-3-256、圖 4-2-3-257)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_51_1 年生 (圖 4-2-3-258、圖 4-2-3-259)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_51_2 年生 (圖 4-2-3-260、圖 4-2-3-261)		正常	正常	正常	正常	正常

樹種 株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
D 區_台灣油杉_51_3 年生 (圖 4-2-3-262、圖 4-2-3-263)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_52_1 年生 (圖 4-2-3-264、圖 4-2-3-265)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_52_2 年生 (圖 4-2-3-266、圖 4-2-3-267)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_52_3 年生 (圖 4-2-3-268、圖 4-2-3-269)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_54_1 年生 (圖 4-2-3-270、圖 4-2-3-271)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_54_2 年生 (圖 4-2-3-272、圖 4-2-3-273)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_54_3 年生 (圖 4-2-3-274、圖 4-2-3-275)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_55_1 年生 (圖 4-2-3-276、圖 4-2-3-277)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_55_2 年生 (圖 4-2-3-278、圖 4-2-3-279)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_55_3 年生 (圖 4-2-3-280、圖 4-2-3-281)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_56_1 年生 (圖 4-2-3-282、圖 4-2-3-283)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_56_2 年生 (圖 4-2-3-284a、圖 4-2-3-284b、圖 4-2-3-285)		正常	柵狀組織下鄰，多數葉肉細胞形大 (87-155 × 80-155 μm)		正常	正常
D 區_台灣油杉_56_3 年生 (圖 4-2-3-286、圖 4-2-3-287)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_60_1 年生 (圖 4-2-3-288、圖 4-2-3-289)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_60_2 年生 (圖 4-2-3-290、圖 4-2-3-291)		正常	正常	一只海綿細胞形大 (130 × 100 μm)	正常	正常
D 區_台灣油杉_60_3 年生 (圖 4-2-3-292、圖 4-2-3-293)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_70_1 年生 (圖 4-2-3-294、圖 4-2-3-295)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_70_2 年生 (圖 4-2-3-296、圖 4-2-3-297)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區_台灣油杉_70_3 年生 (圖 4-2-3-298、圖 4-2-3-299)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區江某(11001) (圖 4-2-3-300a、圖 4-2-3-300b、圖 4-2-3-301)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區稜果榕(11002) (圖 4-2-3-302、圖 4-2-3-303a、圖 4-2-3-303b)		正常	正常	正常	正常	正常
D 區裏白饅頭果(11003) (圖 4-2-3-304、圖 4-2-3-305)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 000_江某 (圖 4-2-3-306a、圖 4-2-3-306b、圖 4-2-3-307)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 100_樹杞 (圖 4-2-3-308、圖 4-2-3-309a、圖 4-2-3-309b)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 200_淋漓 (圖 4-2-3-310a、圖 4-2-3-310b、圖 4-2-3-311)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 300_山紅柿 (圖 4-2-3-312、圖 4-2-3-313a、圖 4-2-3-313b)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 400_墨點櫻桃 (圖 4-2-3-314、圖 4-2-3-315a、圖 4-2-3-315b)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 500_裏白饅頭果		正常	正常	局部葉肉的多數海綿細胞	正常	正常

樹種 株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿 組織	木質部	韌皮部
(圖 4-2-3-316、圖 4-2-3-317、 圖 4-2-3-318、圖 4-2-3-319)				形大 (50-68 × 37-50 μm)		
樣點 600_大頭茶 (圖 4-2-3-320、圖 4-2-3-321a、圖 4-2-3-321b)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 700_杜英 (圖 4-2-3-322、圖 4-2-3-323a、圖 4-2-3-323b)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 900_薯豆 (圖 4-2-3-324、圖 4-2-3-325a、圖 4-2-3-325b)		正常	正常	正常	正常	正常
樣點 1000_大明橘 (圖 4-2-3-326、圖 4-2-3-327a、圖 4-2-3-327b)		正常	正常	正常	正常	正常

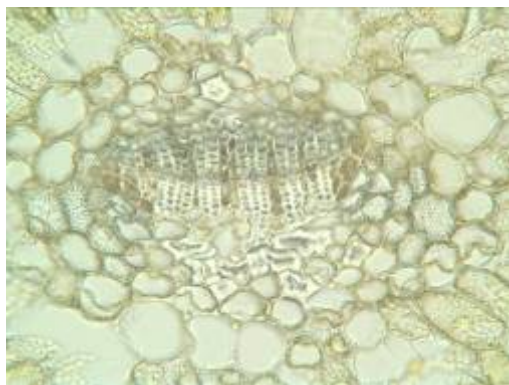


圖 4-2-3-1 福山_台灣油杉-廁(入 5)_1 年生 (200x)
中肋

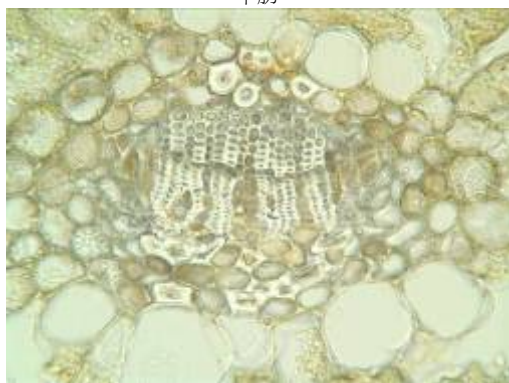


圖 4-2-3-3 福山_台灣油杉-廁(入 5)_2 年生 (200x)
中肋

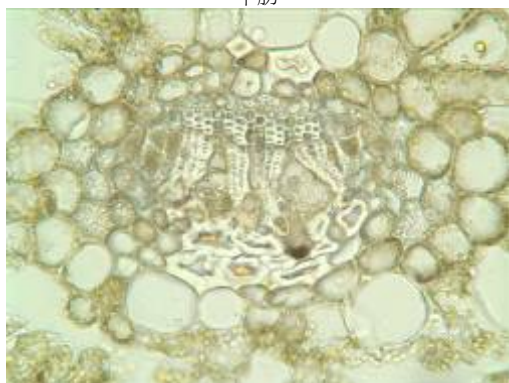


圖 4-2-3-5 福山_台灣油杉-廁(入 5)_3 年生 (200x)
中肋

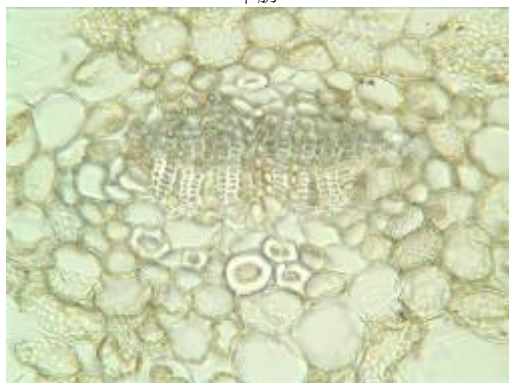


圖 4-2-3-7 福山_台灣油杉-廁(入 6)_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-2 福山_台灣油杉-廁(入 5)_1 年生 (200x)
葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)

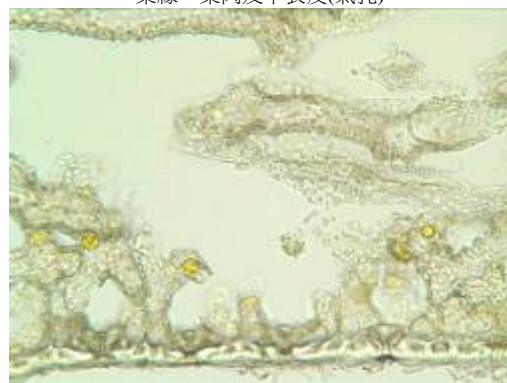


圖 4-2-3-4 福山_台灣油杉-廁(入 5)_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-6 福山_台灣油杉-廁(入 5)_3 年生 (200x)
葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-8 福山_台灣油杉-廁(入 6)_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

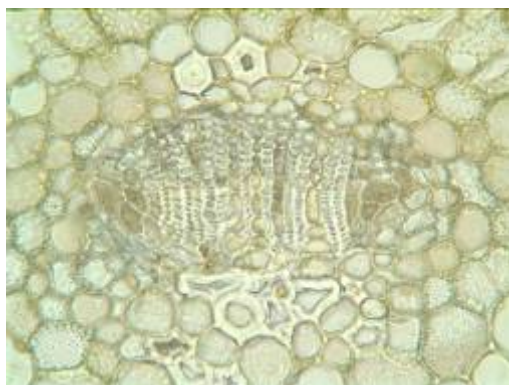


圖 4-2-3-9 福山_台灣油杉-廁(入6)_2年生 (200x)
中肋

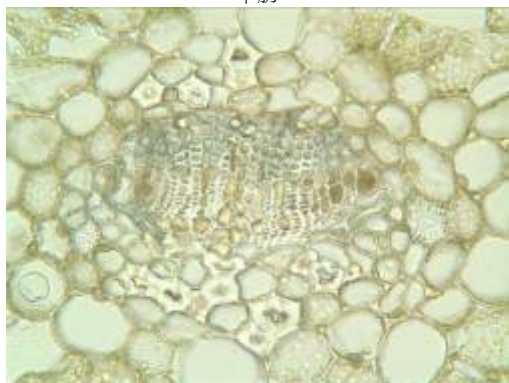


圖 4-2-3-11 福山_台灣油杉-廁(入6)_3年生 (200x)
中肋

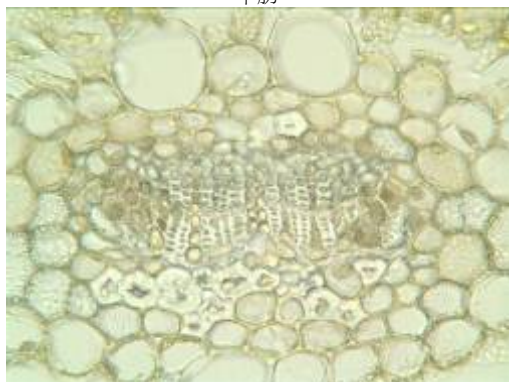


圖 4-2-3-13 福山_台灣油杉-鐵1_1年生 (200x)
中肋

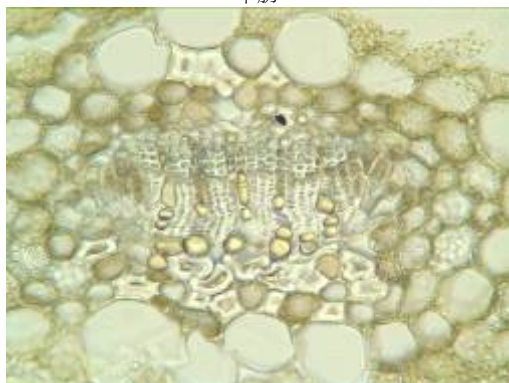


圖 4-2-3-15 福山_台灣油杉-鐵1_2年生 (200x)
中肋

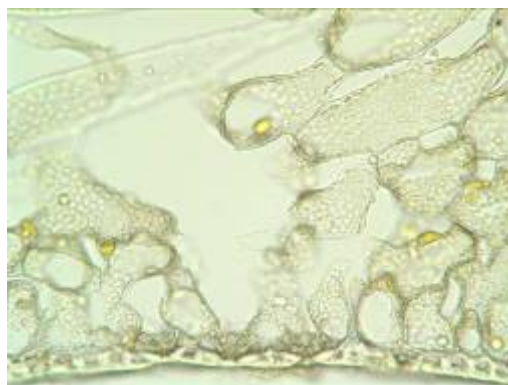


圖 4-2-3-10 福山_台灣油杉-廁(入6)_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-12 福山_台灣油杉-廁(入6)_3年生 (200x)
葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-14 福山_台灣油杉-鐵1_1年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

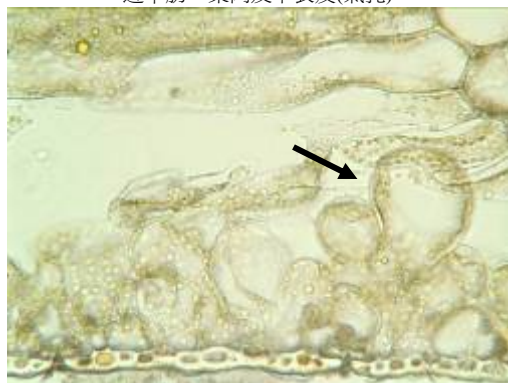


圖 4-2-3-16 福山_台灣油杉-鐵1_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

箭號：在海綿組織內，一只海綿細胞形略大(112.5 × 100 μ m)

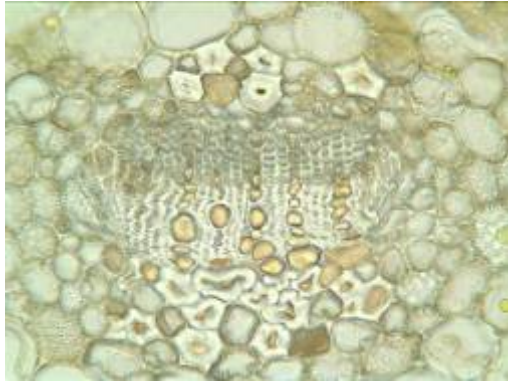


圖 4-2-3-17 福山_台灣油杉-鐵 1_3 年生 (200x)
中肋

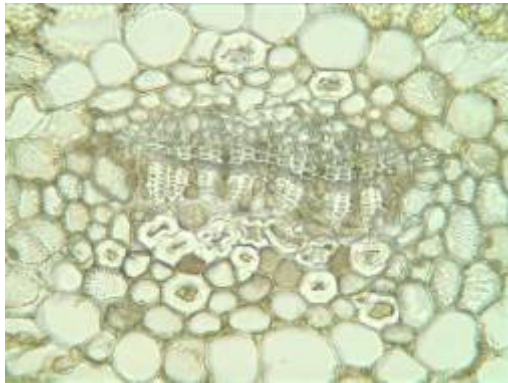


圖 4-2-3-19 福山_台灣油杉-鐵 2_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-21 福山_台灣油杉-鐵 2_2 年生 (200x)
中肋

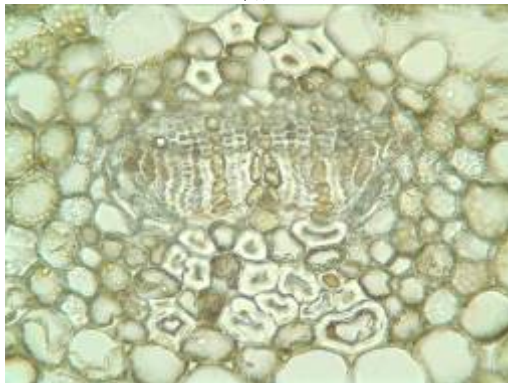


圖 4-2-3-23 福山_台灣油杉-鐵 2_3 年生 (200x)
中肋

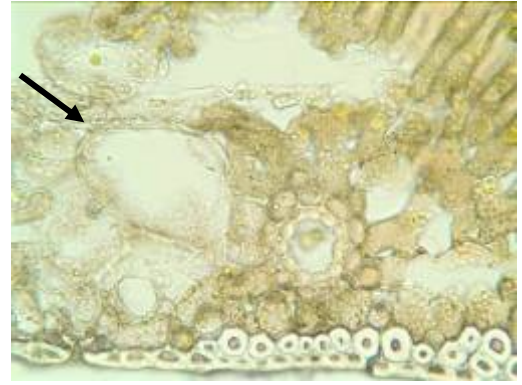


圖 4-2-3-18 福山_台灣油杉-鐵 1_3 年生 (200x)
葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)
箭號：海綿組織內，一只海綿細胞形大 ($192.5 \times 150 \mu\text{m}$)

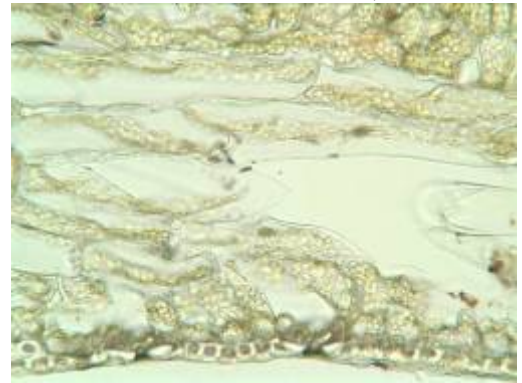


圖 4-2-3-20 福山_台灣油杉-鐵 2_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

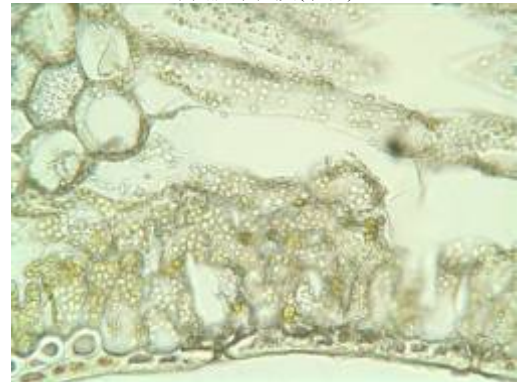


圖 4-2-3-22 福山_台灣油杉-鐵 2_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

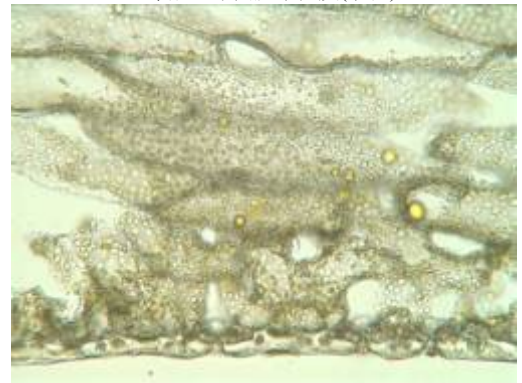


圖 4-2-3-24 福山_台灣油杉-鐵 2_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

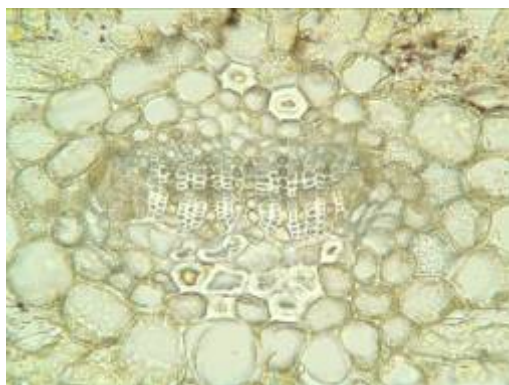


圖 4-2-3-25 福山_台灣油杉-鐵幼 5_1 年生 (200x)
中肋

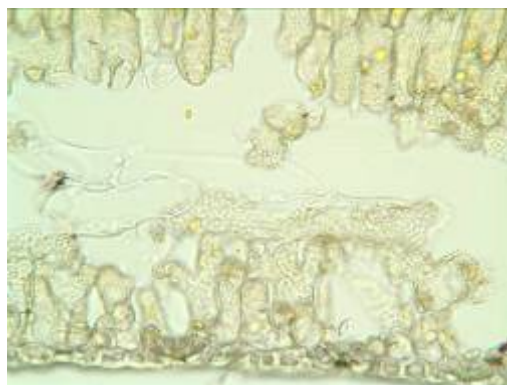


圖 4-2-3-26 福山_台灣油杉-鐵幼 5_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

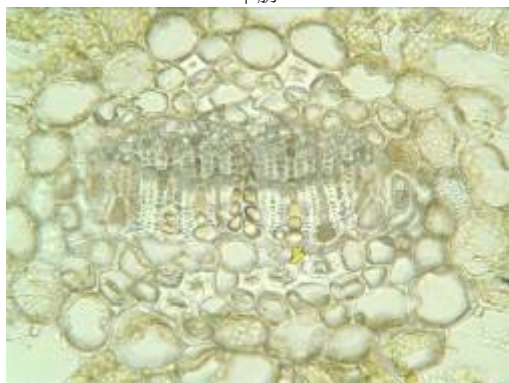


圖 4-2-3-27 福山_台灣油杉-鐵幼 5_2 年生 (200x)
中肋

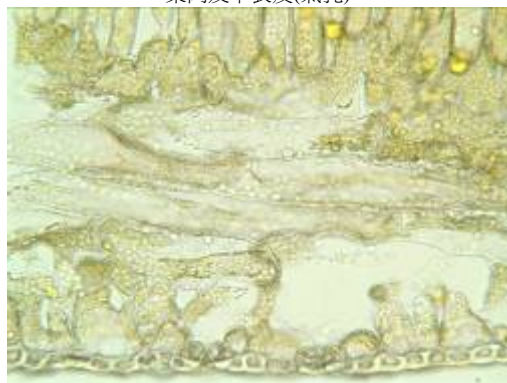


圖 4-2-3-28 福山_台灣油杉-鐵幼 5_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

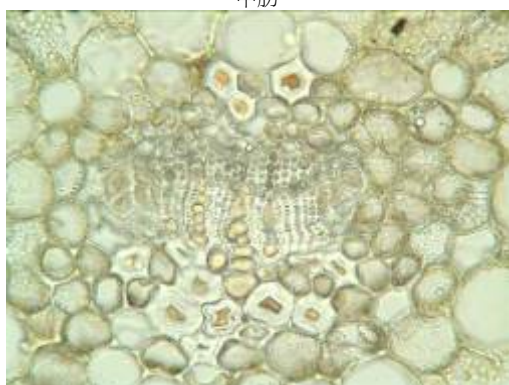


圖 4-2-3-29 福山_台灣油杉-鐵幼 5_3 年生 (200x)
中肋

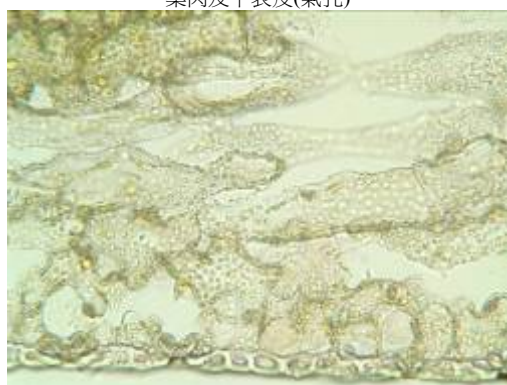


圖 4-2-3-30 福山_台灣油杉-鐵幼 5_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

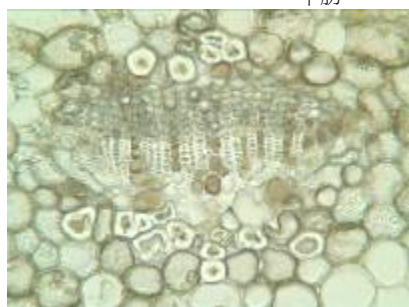


圖 4-2-3-31 福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生
中肋(200x)

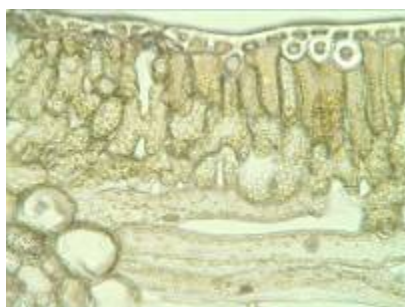


圖 4-2-3-32a 福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生
近中肋、葉肉及上表皮(氣孔)(200x)

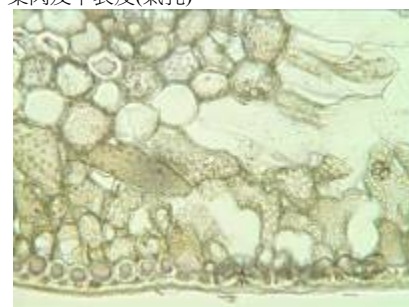


圖 4-2-3-32b 福山_台灣油杉-廁(出 1)_1 年生
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)(200x)

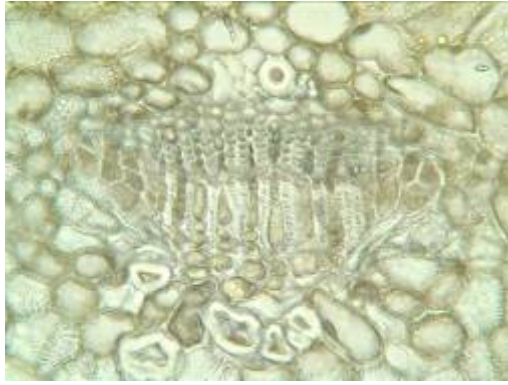


圖 4-2-3-33 福山_台灣油杉-廁(出1)_2年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-35 福山_台灣油杉-廁(出1)_3年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-37 福山_台灣油杉-廁(出5)_1年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-39 福山_台灣油杉-廁(出5)_2年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-34 福山_台灣油杉-廁(出1)_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)
箭號：海綿組織內，多數海綿細胞形大($100-125 \times 5-87.5 \mu m$)



圖 4-2-3-36 福山_台灣油杉-廁(出1)_3年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)
箭號：海綿組織內，一只在氣孔內的海綿細胞形略大($90 \times 82.5 \mu m$)

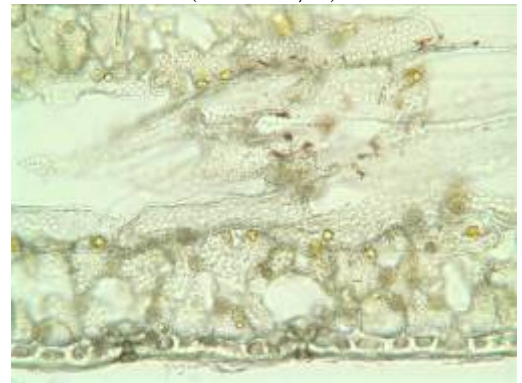


圖 4-2-3-38 福山_台灣油杉-廁(出5)_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

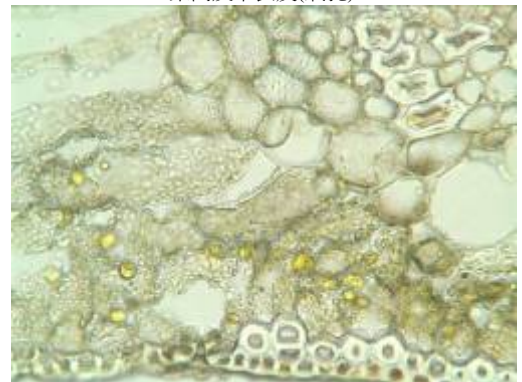


圖 4-2-3-40 福山_台灣油杉-廁(出5)_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

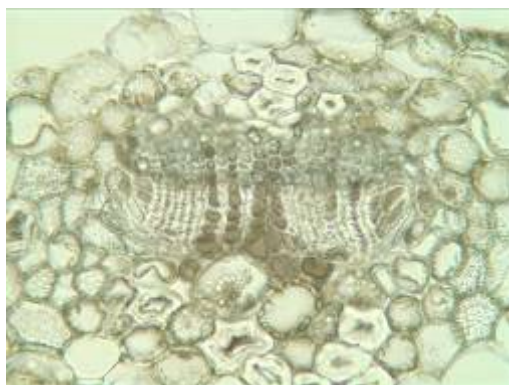


圖 4-2-3-41 福山_台灣油杉-廁(出 5)_3 年生 (200x)
中肋

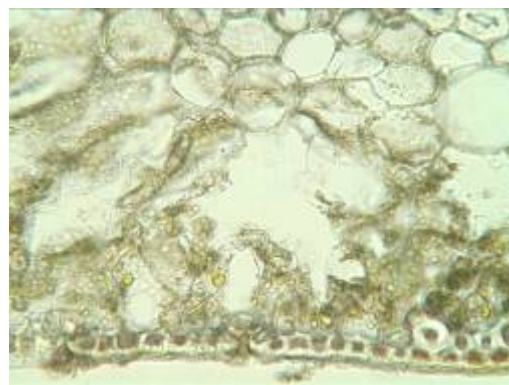


圖 4-2-3-42 福山_台灣油杉-廁(出 5)_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

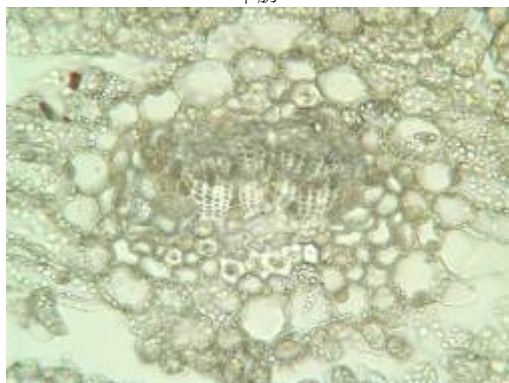


圖 4-2-3-43 福山_台灣油杉-近工作站_1 年生 (200x)
中肋

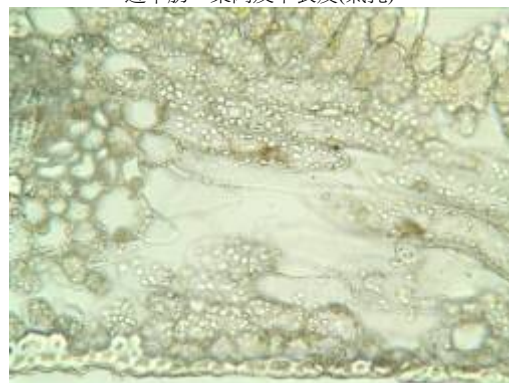


圖 4-2-3-44 福山_台灣油杉-近工作站_1 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-45 福山_台灣油杉-近工作站_2 年生 (200x)
中肋

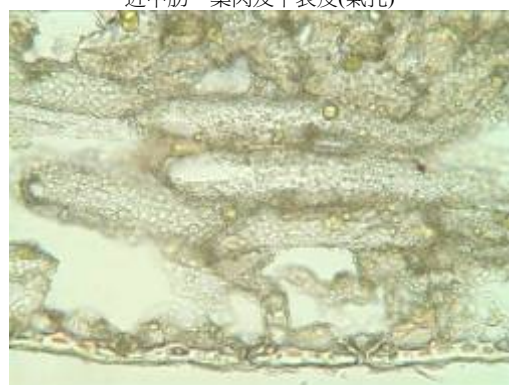


圖 4-2-3-46 福山_台灣油杉-近工作站_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-47 福山_台灣油杉-近工作站_3 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-48 福山_台灣油杉-近工作站_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

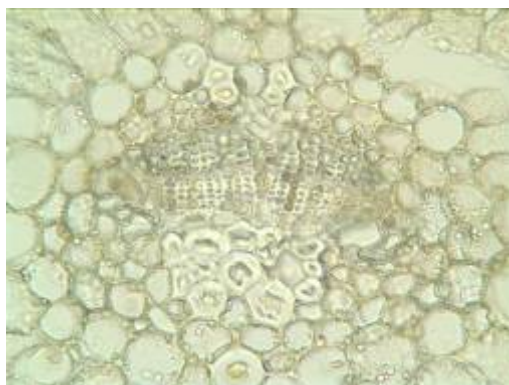


圖 4-2-3-49 福山_台灣油杉-遠工作站_1 年生 (200x)
中肋

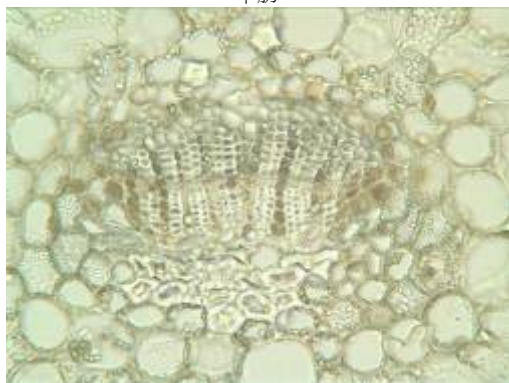


圖 4-2-3-51 福山_台灣油杉-遠工作站_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-53 福山_台灣油杉-遠工作站_3 年生 (200x)
中肋

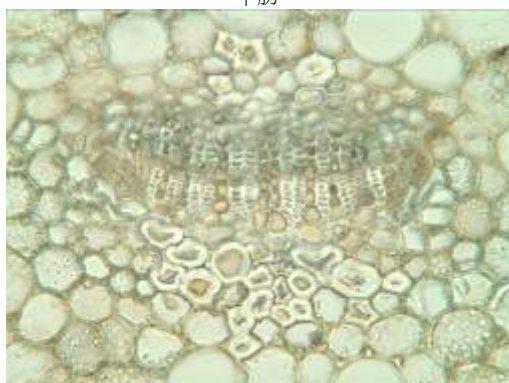


圖 4-2-3-55 出水溪_台灣油杉-(前)_1 年生 (200x)
中肋

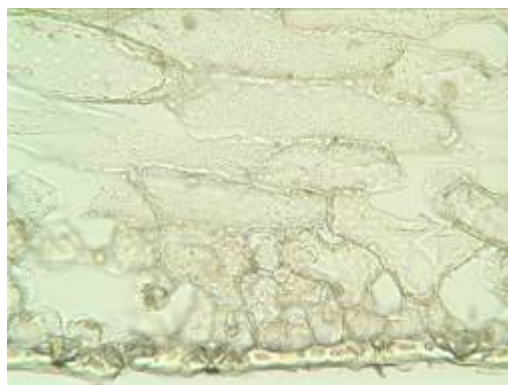


圖 4-2-3-50 福山_台灣油杉-遠工作站_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

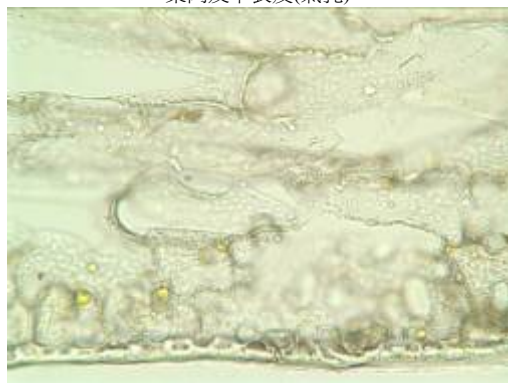


圖 4-2-3-52 福山_台灣油杉-遠工作站_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

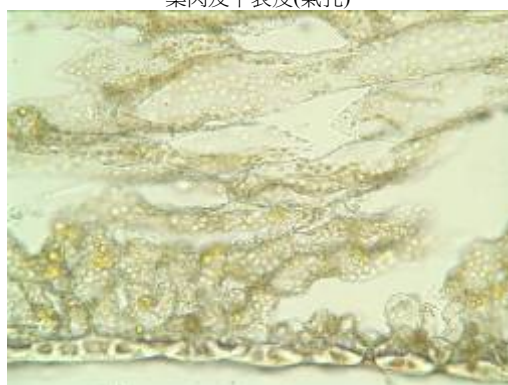


圖 4-2-3-54 福山_台灣油杉-遠工作站_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

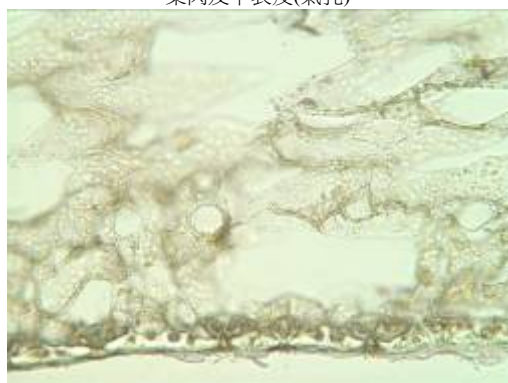


圖 4-2-3-56 出水溪_台灣油杉-(前)_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-57 出水溪_台灣油杉-(前)_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-58 出水溪_台灣油杉-(前)_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-59 出水溪_台灣油杉-(前)_3 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-60 出水溪_台灣油杉-(前)_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-61 出水溪_台灣油杉-(旁)_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-62 出水溪_台灣油杉-(旁)_1 年生 (200x)
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-63 出水溪_台灣油杉-(旁)_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-64 出水溪_台灣油杉-(旁)_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

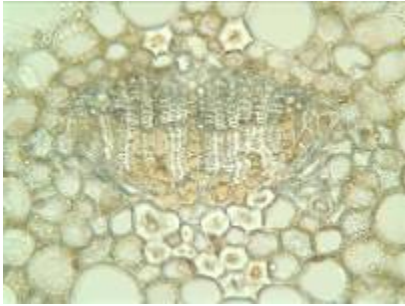


圖 4-2-3-65 出水溪_台灣油杉-(旁)_3 年生
中肋 (200x)

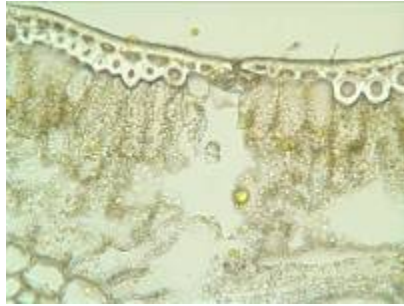


圖 4-2-3-66 出水溪_台灣油杉-(旁)_3 年生
近中肋、葉肉及上表皮(氣孔)(200x)

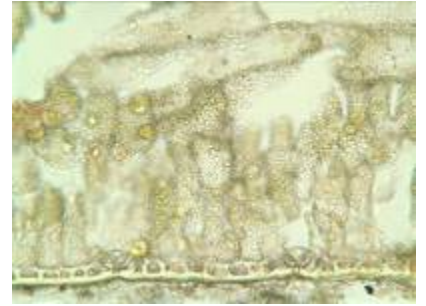


圖 4-2-3-67 出水溪_台灣油杉-(旁)_3 年生
葉肉及下表皮(氣孔) (200x)



圖 4-2-3-68 坪林國小_台灣油杉_1 年生 (200x)
中肋

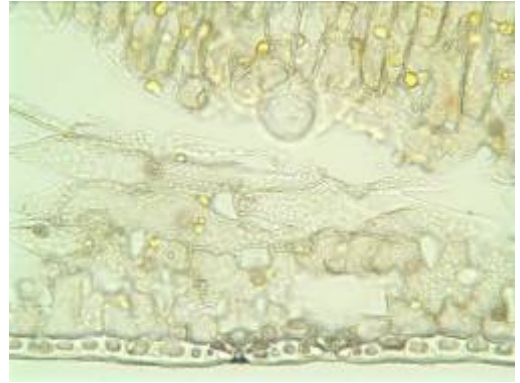


圖 4-2-3-69 坪林國小_台灣油杉_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

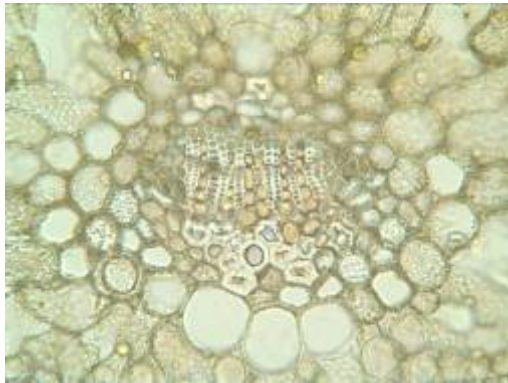


圖 4-2-3-70 坪林國小_台灣油杉_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-71 坪林國小_台灣油杉_2 年生 (200x)
葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)

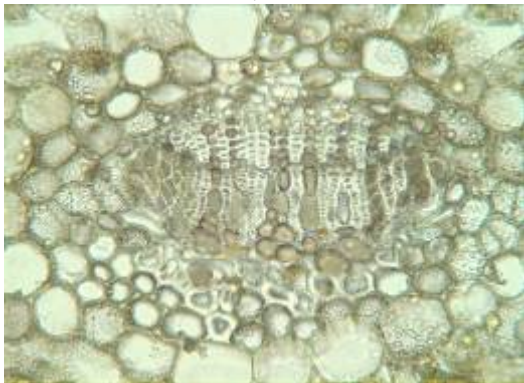


圖 4-2-3-72 坪林國小_台灣油杉_3 年生 (200x)
中肋

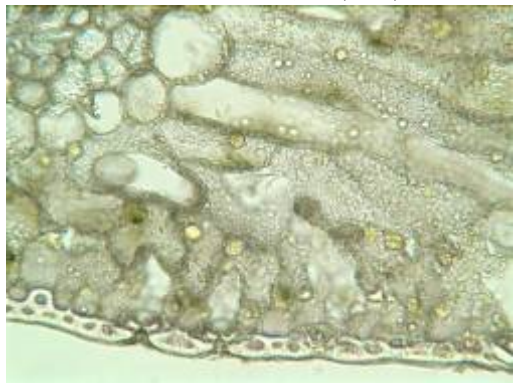


圖 4-2-3-73 坪林國小_台灣油杉_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

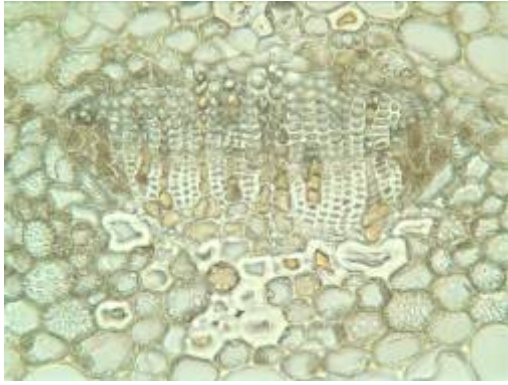


圖 4-2-3-74 台大_台灣油杉_1 年生 (200x)
中肋

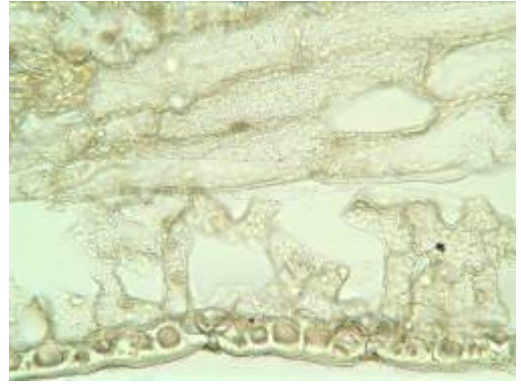


圖 4-2-3-75 台大_台灣油杉_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

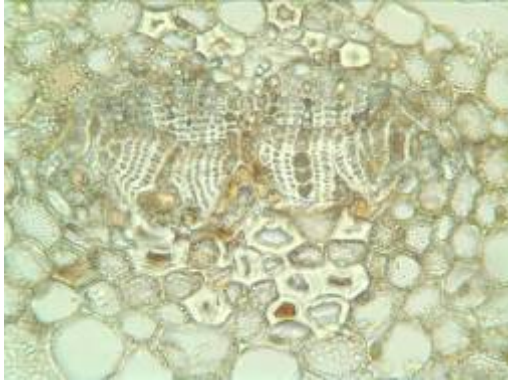


圖 4-2-3-76 台大_台灣油杉_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-77 台大_台灣油杉_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-78 A 區_台灣油杉_01_1 年生 (200x)
中肋

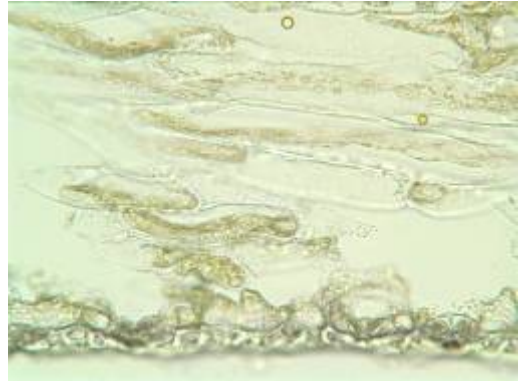


圖 4-2-3-79 A 區_台灣油杉_01_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-80 A 區_台灣油杉_01_2 年生 (200x)
中肋

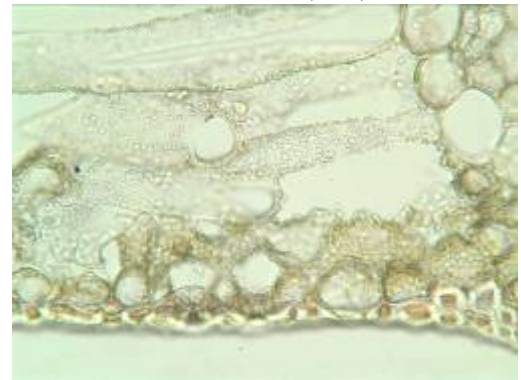


圖 4-2-3-81 A 區_台灣油杉_01_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-82 A 區_台灣油杉_01_3 年生 (200x)
中肋

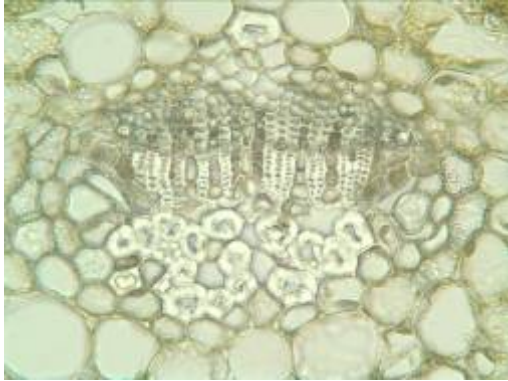


圖 4-2-3-84 A 區_台灣油杉_02_1 年生 (200x)
中肋

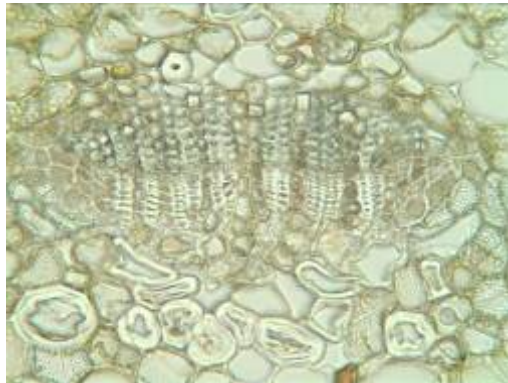


圖 4-2-3-86 A 區_台灣油杉_02_2 年生 (200x)
中肋

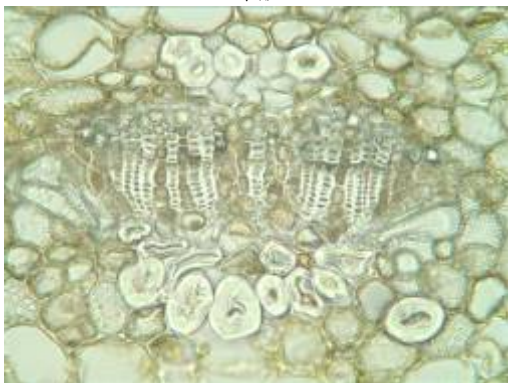


圖 4-2-3-88 A 區_台灣油杉_02_3 年生 (200x)
中肋

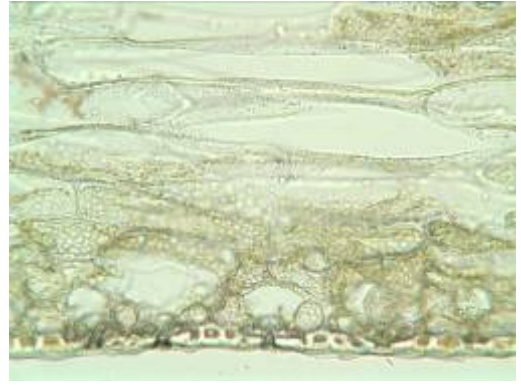


圖 4-2-3-83 A 區_台灣油杉_01_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

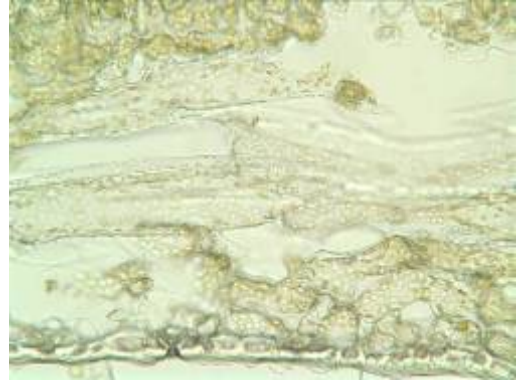


圖 4-2-3-85 A 區_台灣油杉_02_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

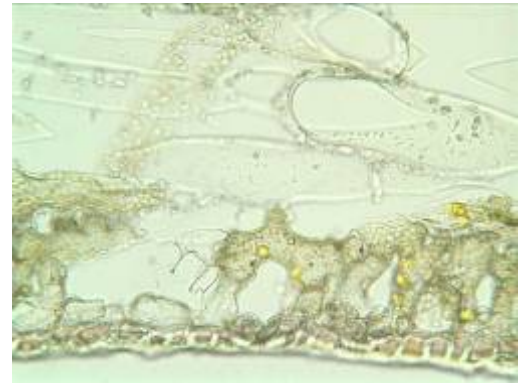


圖 4-2-3-87 A 區_台灣油杉_02_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

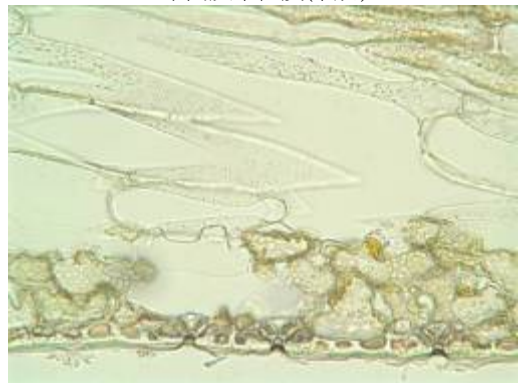


圖 4-2-3-89 A 區_台灣油杉_02_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

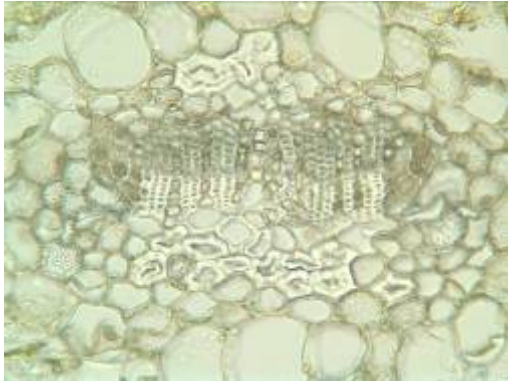


圖 4-2-3-90 A 區_台灣油杉_03_1 年生 (200x)
中肋

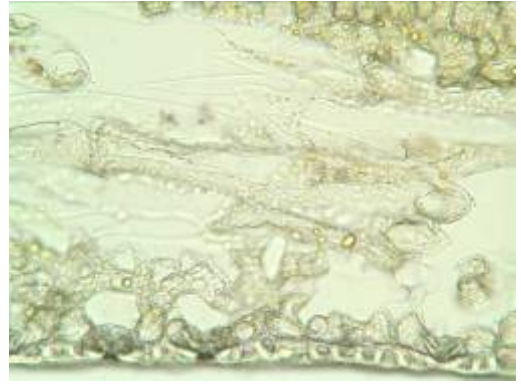


圖 4-2-3-91 A 區_台灣油杉_03_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

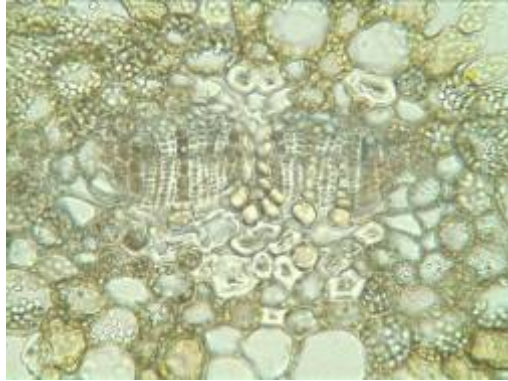


圖 4-2-3-92 A 區_台灣油杉_03_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-93 A 區_台灣油杉_03_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

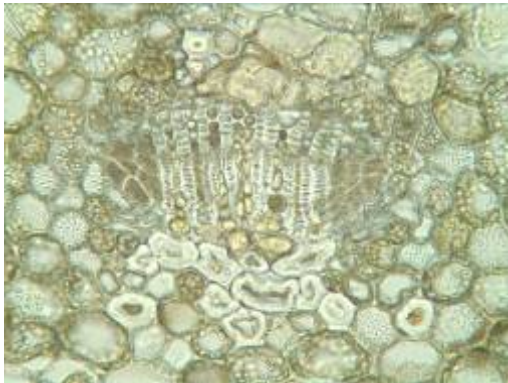


圖 4-2-3-94 A 區_台灣油杉_03_3 年生 (200x)
中肋

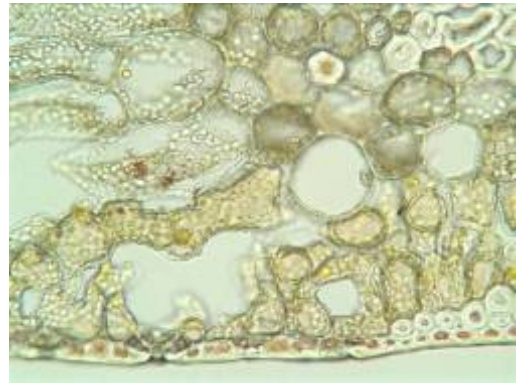


圖 4-2-3-95 A 區_台灣油杉_03_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-96 A 區_台灣油杉_04_1 年生 (200x)
中肋

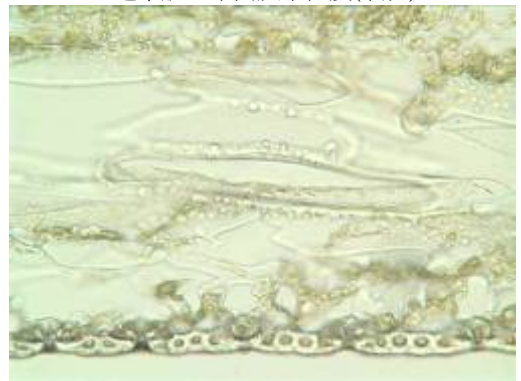


圖 4-2-3-97 A 區_台灣油杉_04_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-98 A 區_台灣油杉_04_2 年生
中肋 (200x)



圖 4-2-3-99a A 區_台灣油杉_04_2 年生葉
肉及上表皮(氣孔) (200x)



圖 4-2-3-99b A 區_台灣油杉_04_2 年生葉
肉及下表皮(氣孔)(200x)

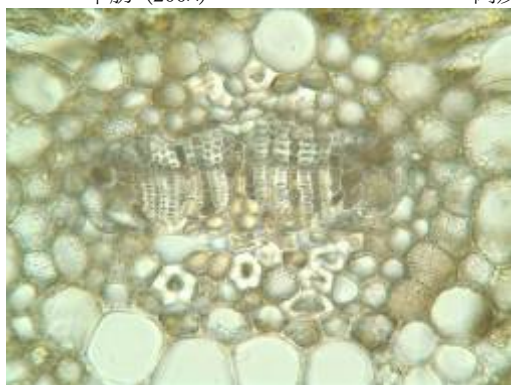


圖 4-2-3-100 A 區_台灣油杉_04_3 年生 (200x)中肋

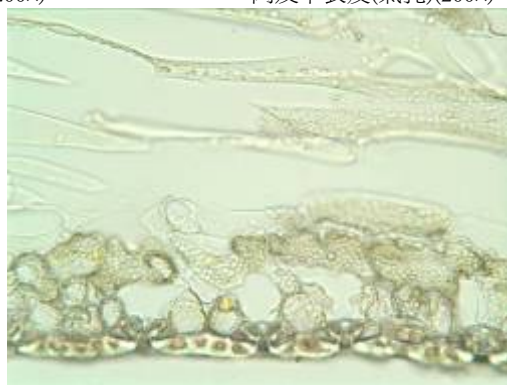


圖 4-2-3-101 A 區_台灣油杉_04_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

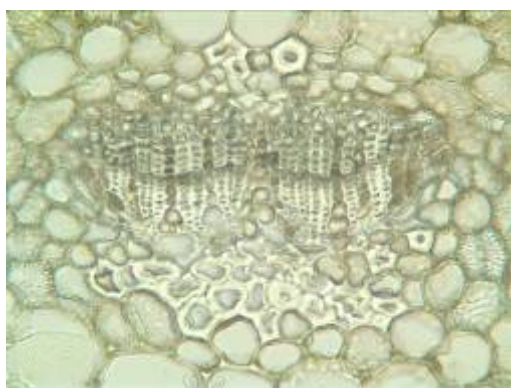


圖 4-2-3-102 A 區_台灣油杉_05_1 年生 (200x)中肋



圖 4-2-3-103 A 區_台灣油杉_05_1 年生 (200x)
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)

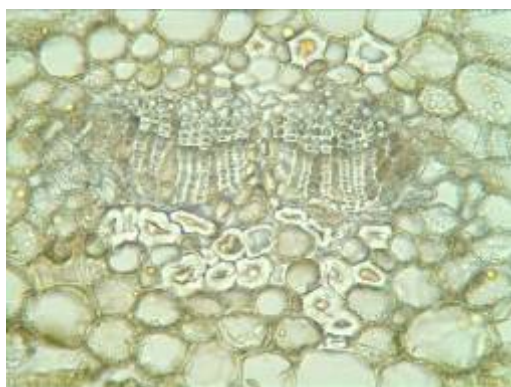


圖 4-2-3-104 A 區_台灣油杉_05_2 年生 (200x)中肋



圖 4-2-3-105 A 區_台灣油杉_05_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

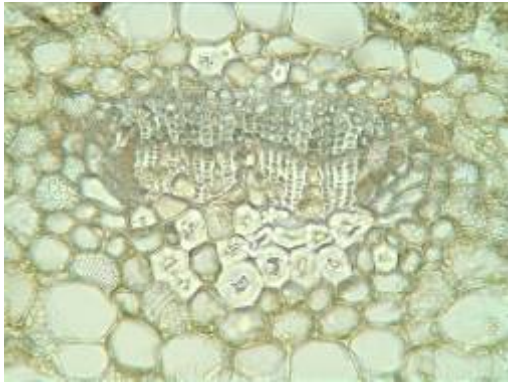


圖 4-2-3-106 A 區_台灣油杉_05_3 年生 (200x)中肋



圖 4-2-3-108 A 區_台灣油杉_06_1 年生 (200x)中肋

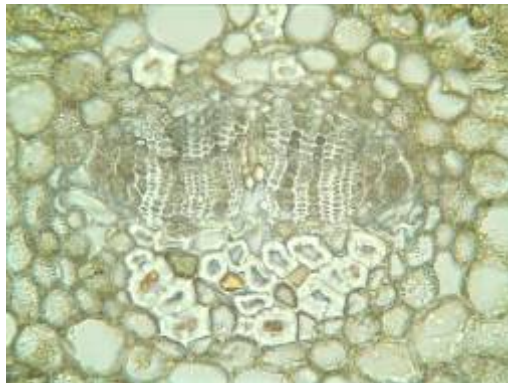


圖 4-2-3-110 A 區_台灣油杉_06_2 年生 (200x)中肋



圖 4-2-3-112 A 區_台灣油杉_06_3 年生 (200x)中肋

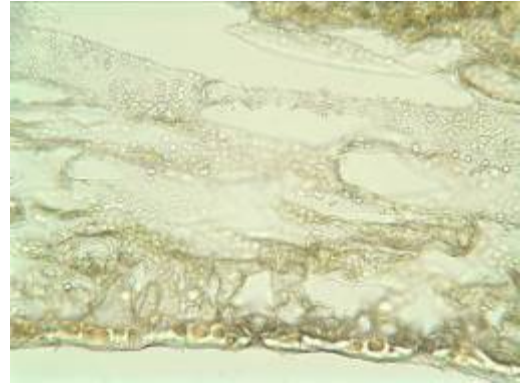


圖 4-2-3-107 A 區_台灣油杉_05_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-109 A 區_台灣油杉_06_1 年生 (200x)
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-111 A 區_台灣油杉_06_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

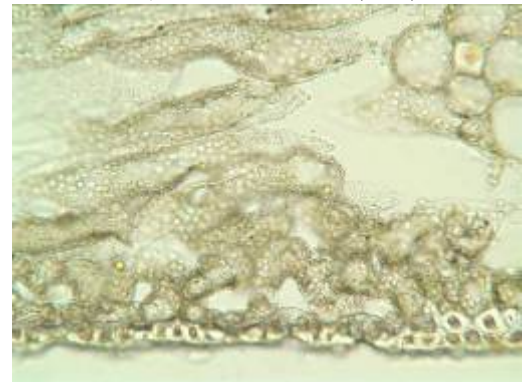


圖 4-2-3-113 A 區_台灣油杉_06_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

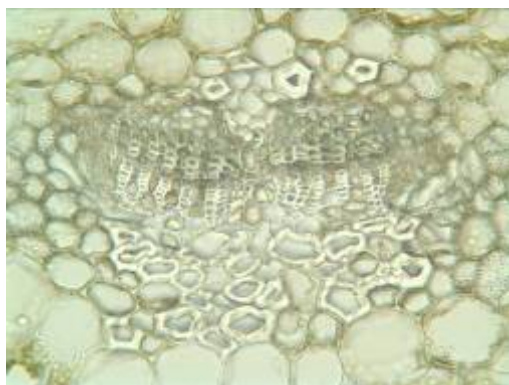


圖 4-2-3-114 A 區_台灣油杉_07_1 年生 (200x)中肋

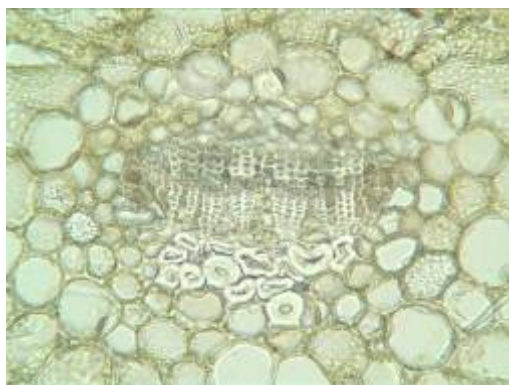


圖 4-2-3-116 A 區_台灣油杉_07_2 年生 (200x)
中肋

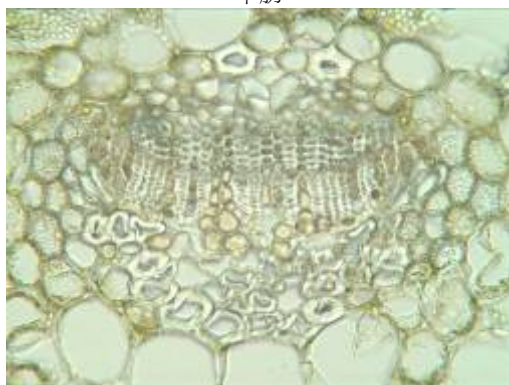


圖 4-2-3-118 A 區_台灣油杉_07_3 年生 (200x)
中肋

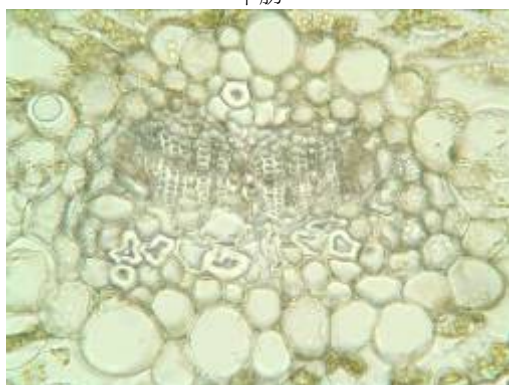


圖 4-2-3-120 A 區_台灣油杉_08_1 年生 (200x)
中肋

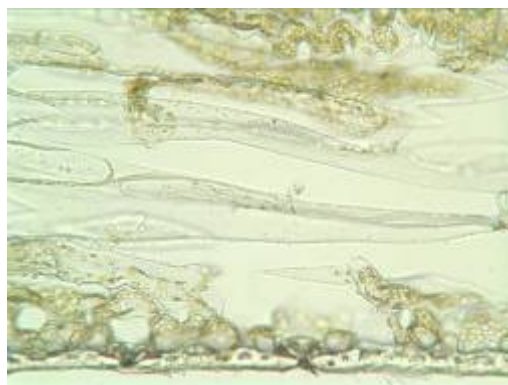


圖 4-2-3-115 A 區_台灣油杉_07_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

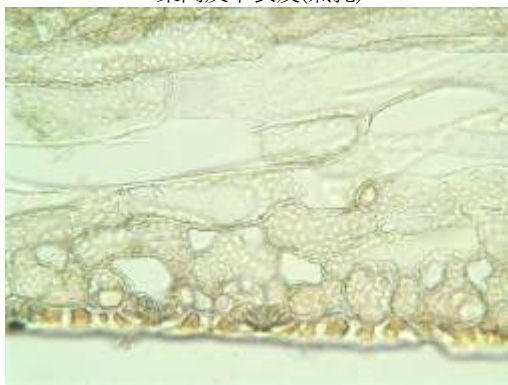


圖 4-2-3-117 A 區_台灣油杉_07_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

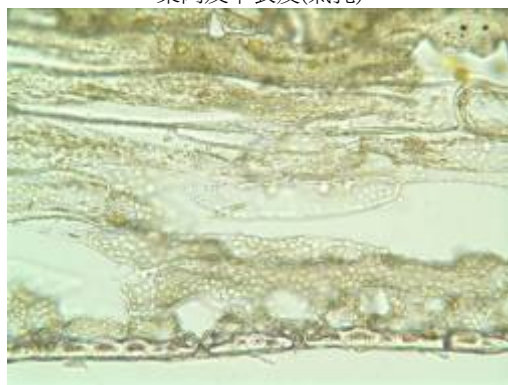


圖 4-2-3-119 A 區_台灣油杉_07_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

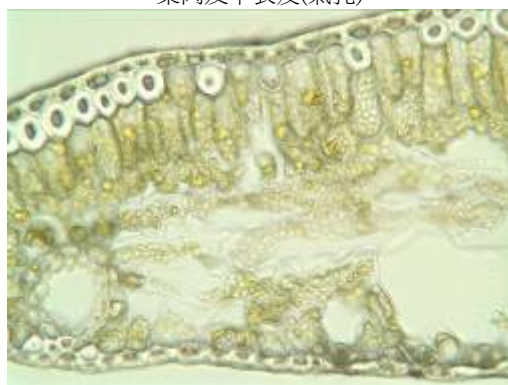


圖 4-2-3-121 A 區_台灣油杉_08_1 年生 (200x)
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-122 A 區_台灣油杉_08_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-124 A 區_台灣油杉_08_3 年生 (200x)
中肋

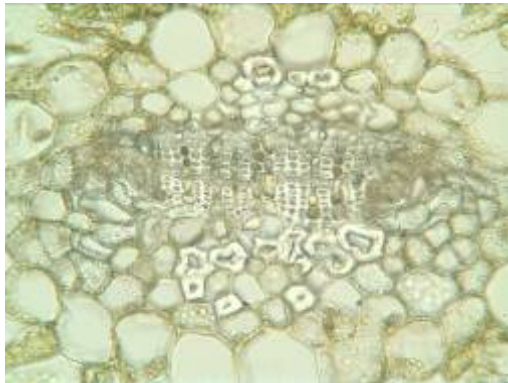


圖 4-2-3-126 A 區_台灣油杉_09_1 年生 (200x)
中肋

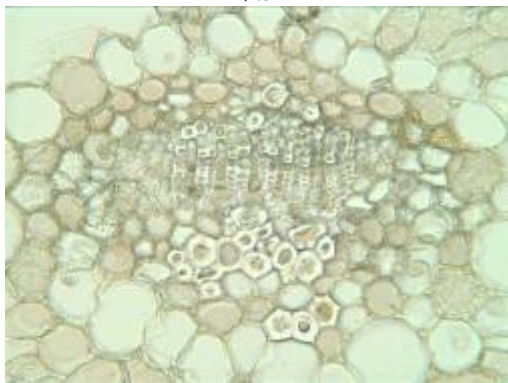


圖 4-2-3-128 A 區_台灣油杉_09_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-123 A 區_台灣油杉_08_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-125 A 區_台灣油杉_08_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-127 A 區_台灣油杉_09_1 年生 (200x)
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)

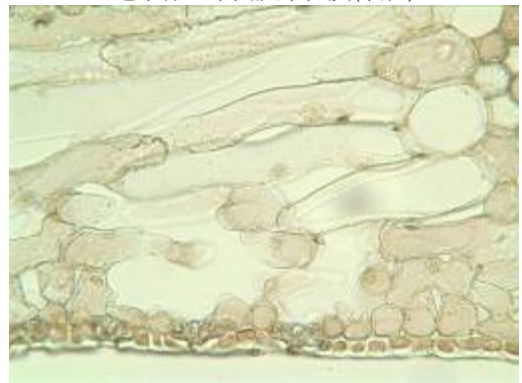


圖 4-2-3-129 A 區_台灣油杉_09_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

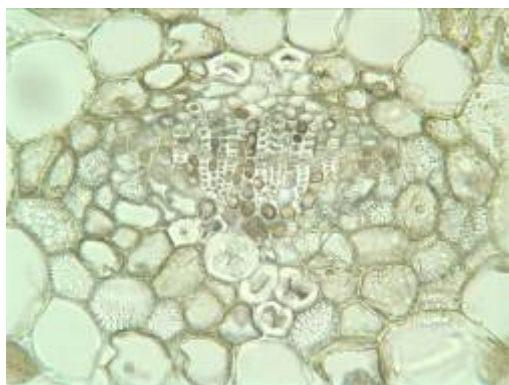


圖 4-2-3-130 A 區_台灣油杉_09_3 年生 (200x)
中肋

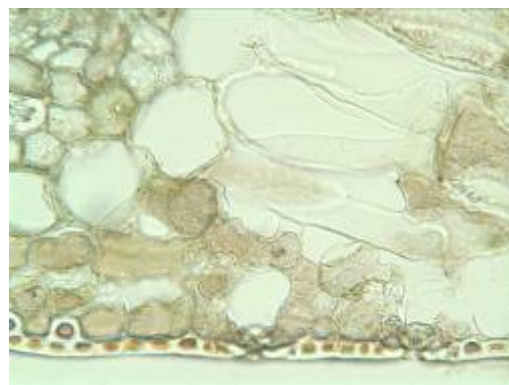


圖 4-2-3-131 A 區_台灣油杉_09_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-132 A 區_台灣油杉_10_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-133 A 區_台灣油杉_10_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-134 A 區_台灣油杉_10_2 年生 (200x)
中肋

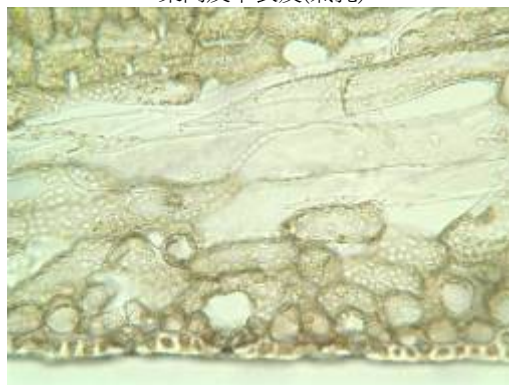


圖 4-2-3-135 A 區_台灣油杉_10_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

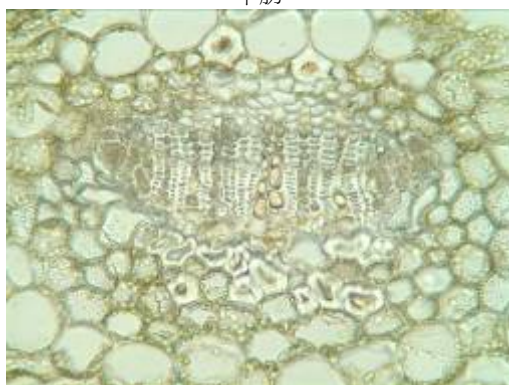


圖 4-2-3-136 A 區_台灣油杉_10_3 年生 (200x)
中肋

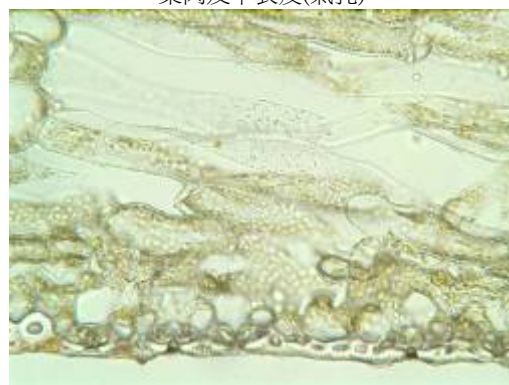


圖 4-2-3-137 A 區_台灣油杉_10_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-138 A 區_台灣油杉_11_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-140 A 區_台灣油杉_11_2 年生 (200x)
中肋

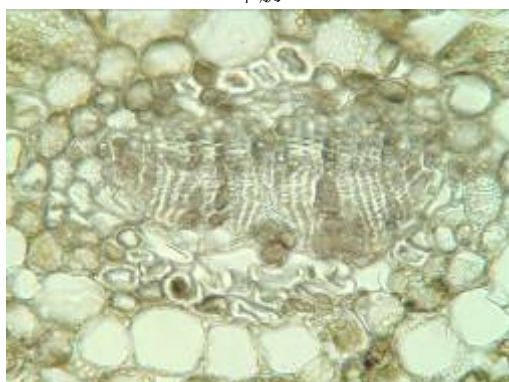


圖 4-2-3-142 A 區_台灣油杉_11_3 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-144 A 區_台灣油杉_12_1 年生 (200x)
中肋

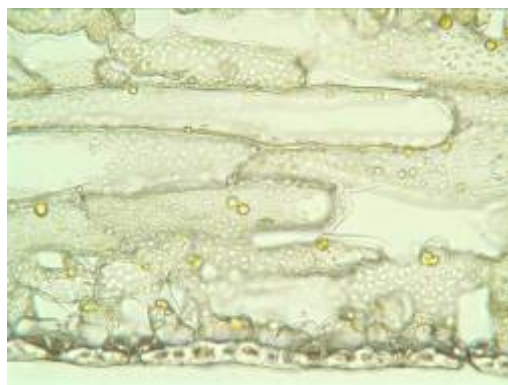


圖 4-2-3-139 A 區_台灣油杉_11_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-141 A 區_台灣油杉_11_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-143 A 區_台灣油杉_11_3 年生 (200x)
葉肉及上、下表皮(氣孔)

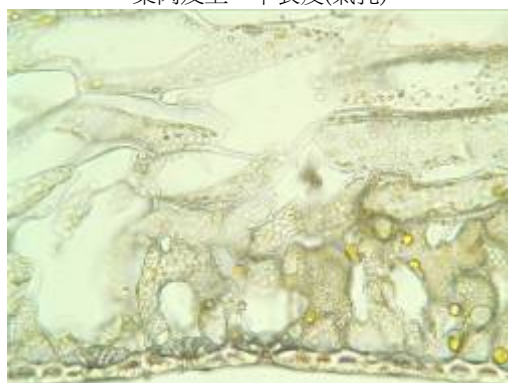


圖 4-2-3-145 A 區_台灣油杉_12_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

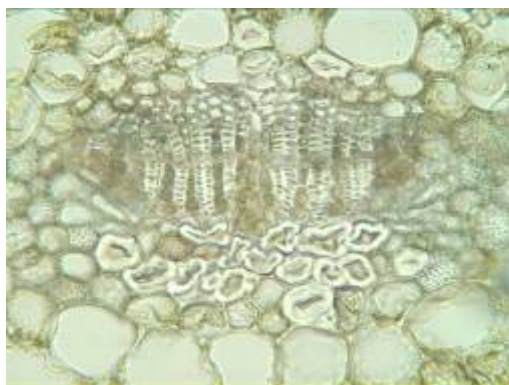


圖 4-2-3-146 A 區_台灣油杉_12_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-148 A 區_台灣油杉_12_3 年生 (200x)
中肋

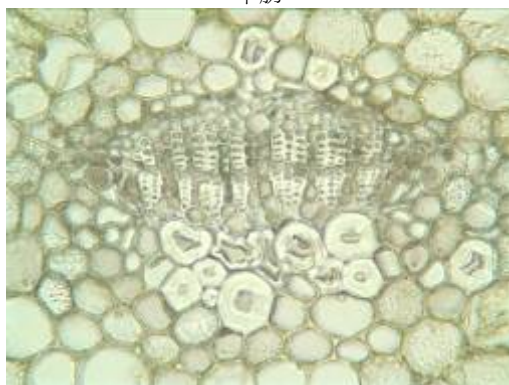


圖 4-2-3-150 A 區_台灣油杉_13_1 年生 (200x)
中肋

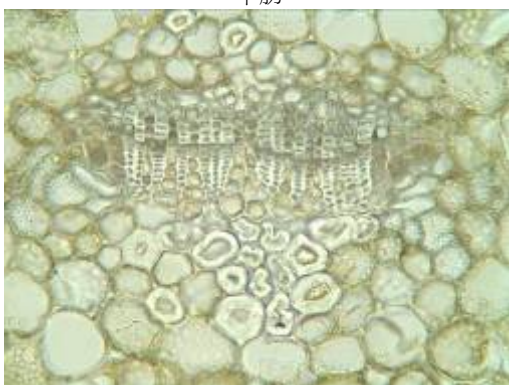


圖 4-2-3-152 A 區_台灣油杉_13_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-147 A 區_台灣油杉_12_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-149 A 區_台灣油杉_12_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

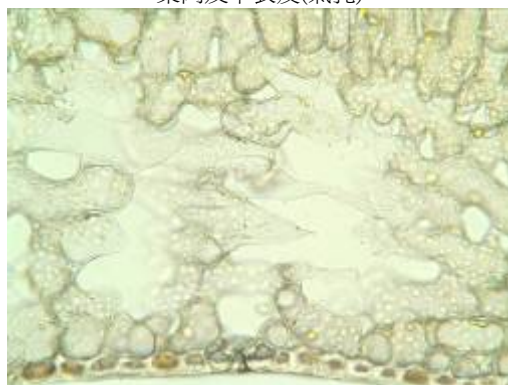


圖 4-2-3-151 A 區_台灣油杉_13_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-153 A 區_台灣油杉_13_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

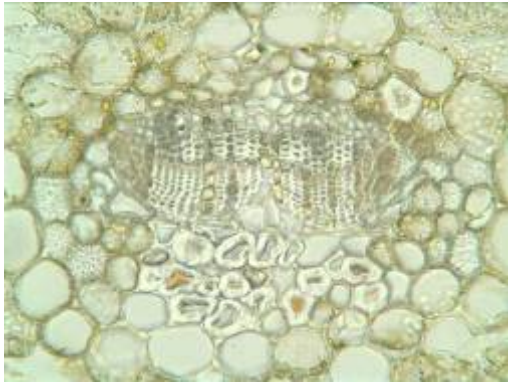


圖 4-2-3-154 A 區_台灣油杉_13_3 年生 (200x)
中肋

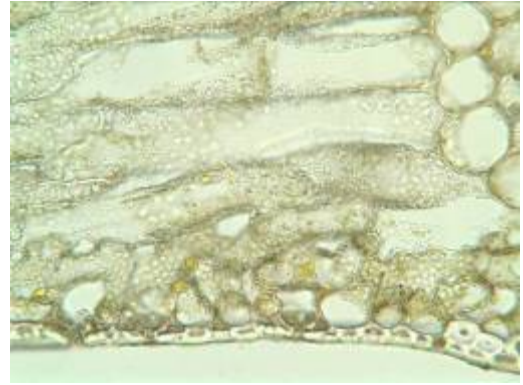


圖 4-2-3-155 A 區_台灣油杉_13_3 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

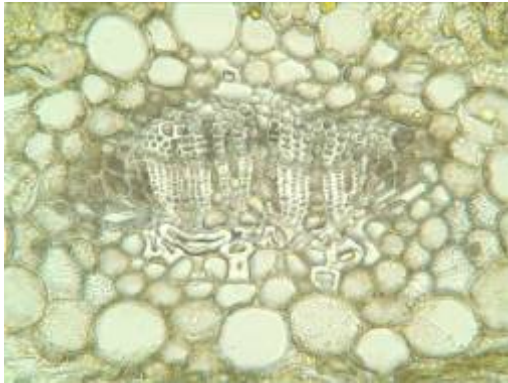


圖 4-2-3-156 A 區_台灣油杉_14_1 年生 (200x)
中肋

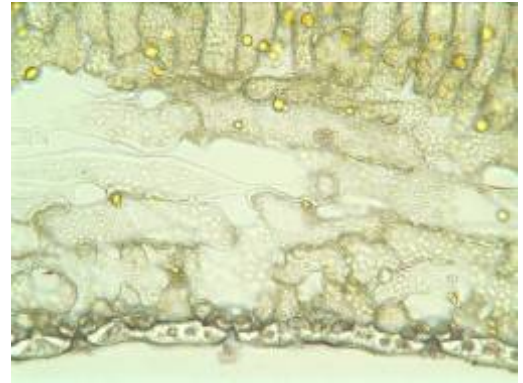


圖 4-2-3-157 A 區_台灣油杉_14_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

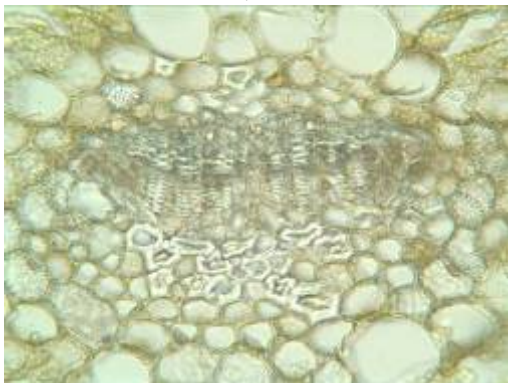


圖 4-2-3-158 A 區_台灣油杉_14_2 年生 (200x)
中肋

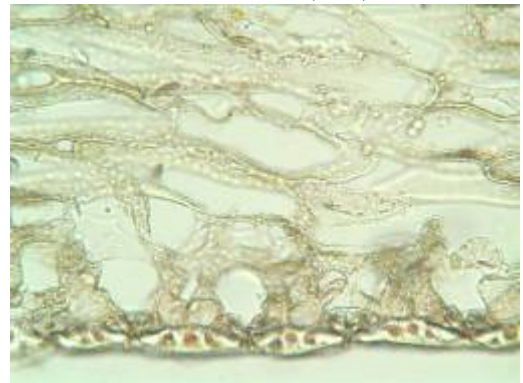


圖 4-2-3-159 A 區_台灣油杉_14_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-160 A 區_台灣油杉_14_31 年生 (200x)
中肋

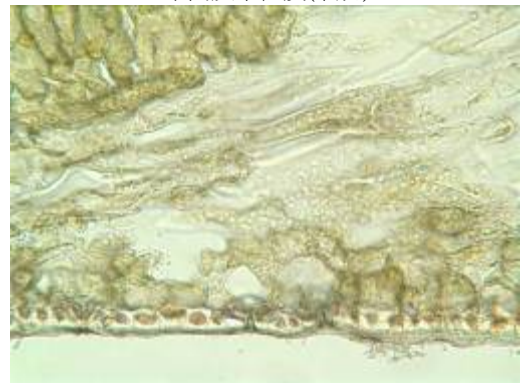


圖 4-2-3-161 A 區_台灣油杉_14_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-162 A 區有樟 (100x)
中肋

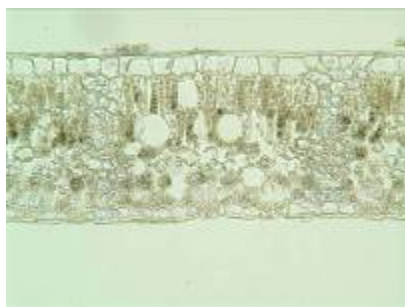


圖 4-2-3-163a A 區有樟 (200x)
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-3-163b A 區有樟 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

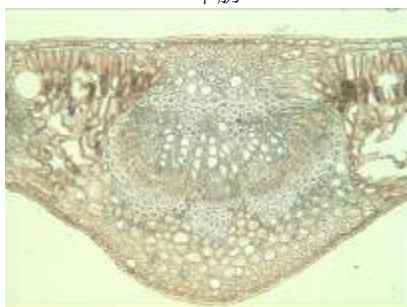


圖 4-2-3-164 A 區紅楠 (100x)
中肋

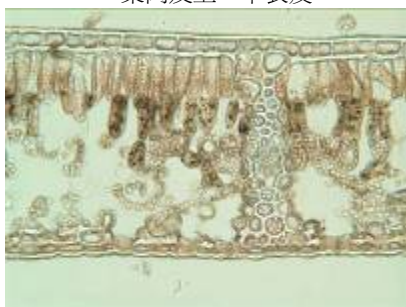


圖 4-2-3-165a A 區紅楠 (200x)
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-3-165b A 區紅楠 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

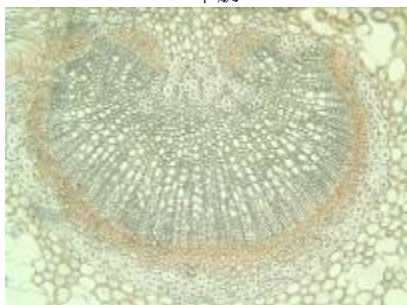


圖 4-2-3-166 A 區西施花 (100x)
中肋



圖 4-2-3-167a A 區西施花 (100x)
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-3-167b A 區西施花 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

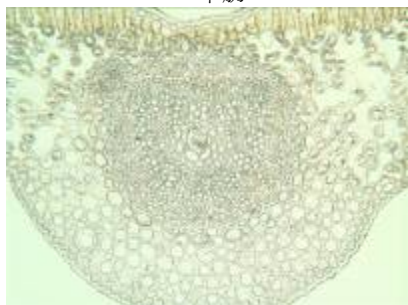


圖 4-2-3-168 A 區大明橘 (100x)
中肋



圖 4-2-3-169a A 區大明橘 (200x)
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-3-169b A 區大明橘 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-170 A 區長尾柯 (100x)
中肋

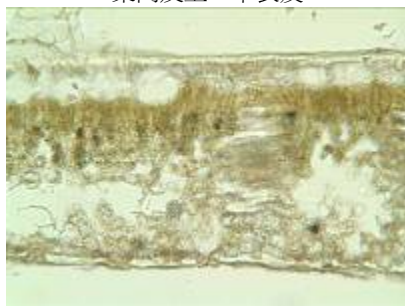


圖 4-2-3-171a A 區長尾柯 (200x)
葉肉及上、下表皮

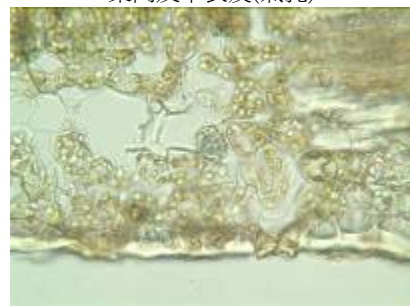


圖 4-2-3-171b A 區長尾柯 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

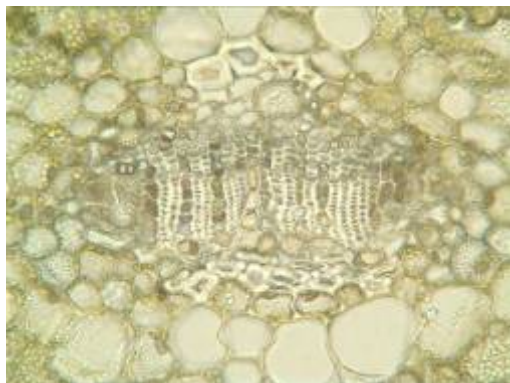


圖 4-2-3-172 C區_台灣油杉_37_1年生(200x)
中肋



圖 4-2-3-174 C區_台灣油杉_37_2年生(200x)
中肋

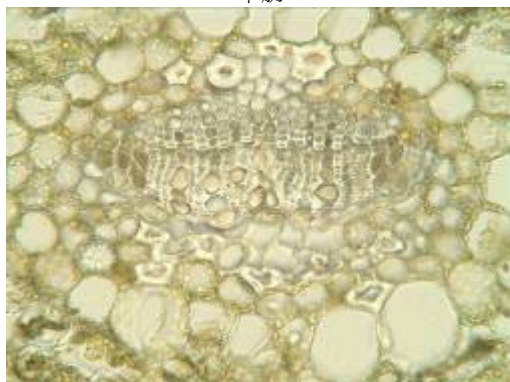


圖 4-2-3-176 C區_台灣油杉_37_3年生(200x)
中肋



圖 4-2-3-178 C區_台灣油杉_38_1年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-173 C區_台灣油杉_37_1年生(200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

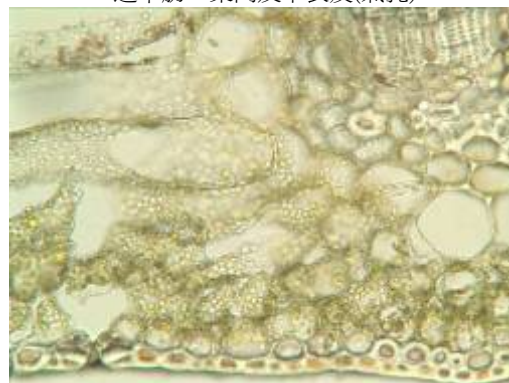


圖 4-2-3-175 C區_台灣油杉_37_2年生(200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

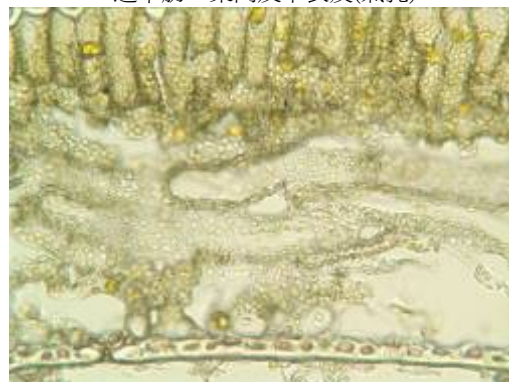


圖 4-2-3-177 C區_台灣油杉_37_3年生(200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

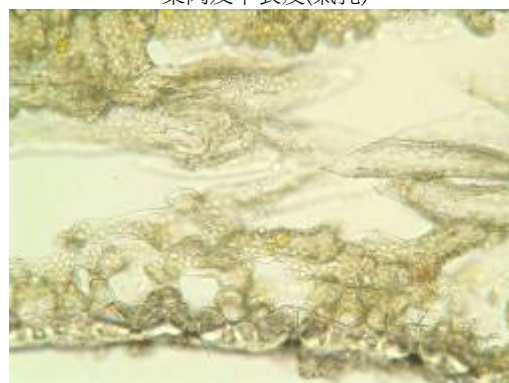


圖 4-2-3-179 C區_台灣油杉_38_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-180 C區_台灣油杉_38_2年生 (200x)
中肋

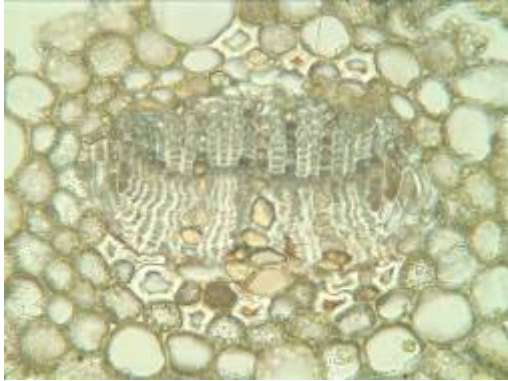


圖 4-2-3-182 C區_台灣油杉_38_3年生 (200x)
中肋

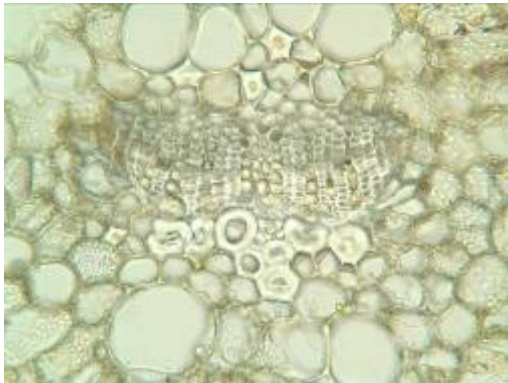


圖 4-2-3-184 C區_台灣油杉_50_1年生 (200x)
中肋

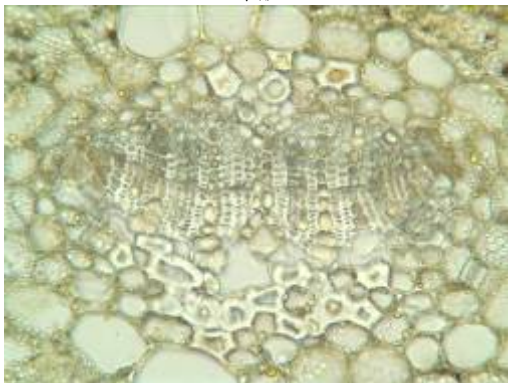


圖 4-2-3-186 C區_台灣油杉_50_2年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-181 C區_台灣油杉_38_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-183 C區_台灣油杉_38_3年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

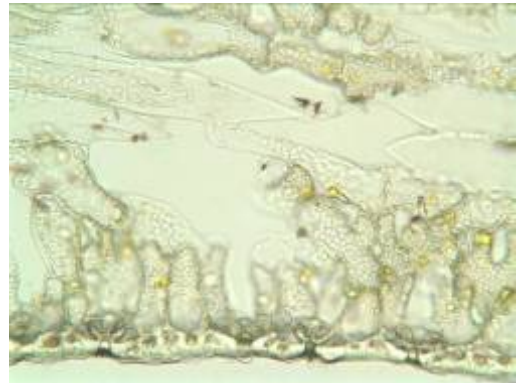


圖 4-2-3-185 C區_台灣油杉_50_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

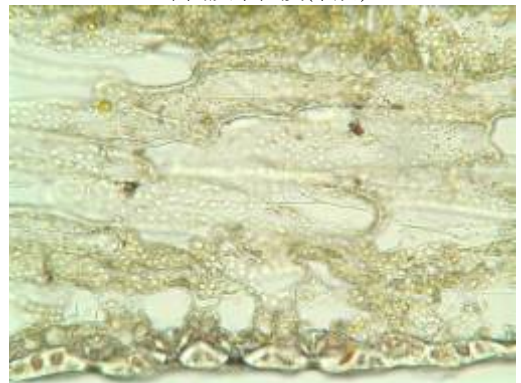


圖 4-2-3-187 C區_台灣油杉_50_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

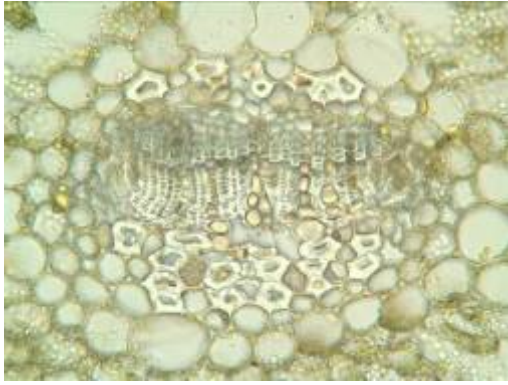


圖 4-2-3-188 C區_台灣油杉_50_3年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-189 C區_台灣油杉_50_3年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

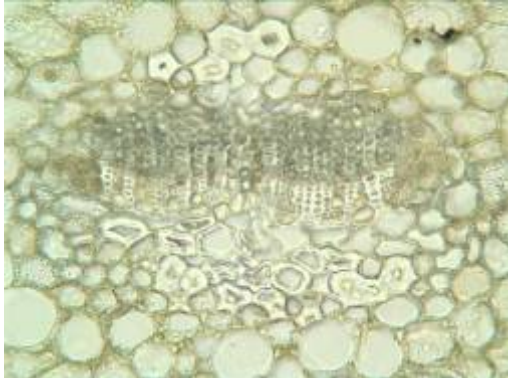


圖 4-2-3-190 C區_台灣油杉_55_1年生 (200x)
中肋

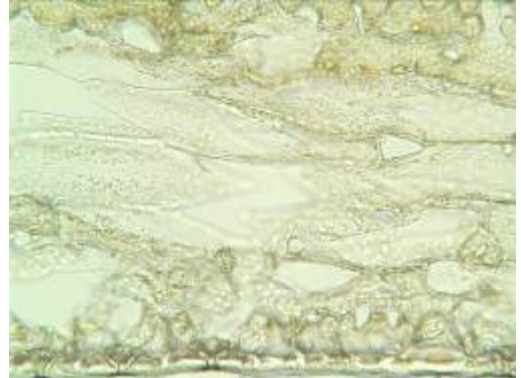


圖 4-2-3-191 C區_台灣油杉_55_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

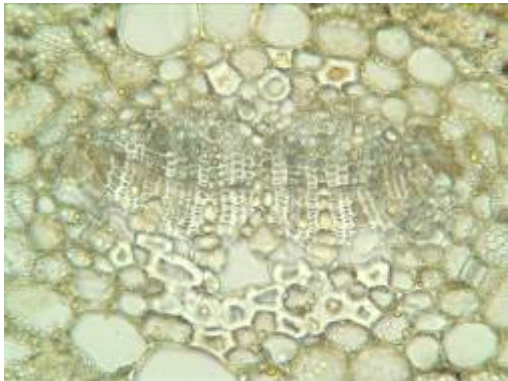


圖 4-2-3-192 C區_台灣油杉_55_2年生 (200x)
中肋

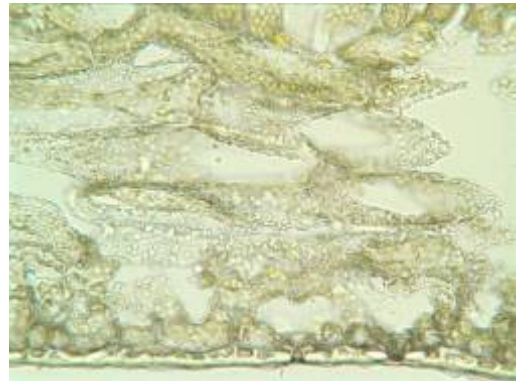


圖 4-2-3-193 C區_台灣油杉_55_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

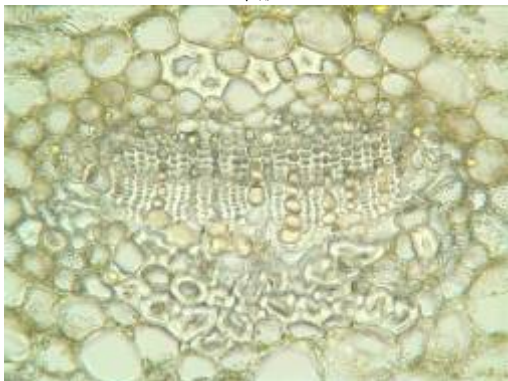


圖 4-2-3-194 C區_台灣油杉_55_3年生 (200x)
中肋

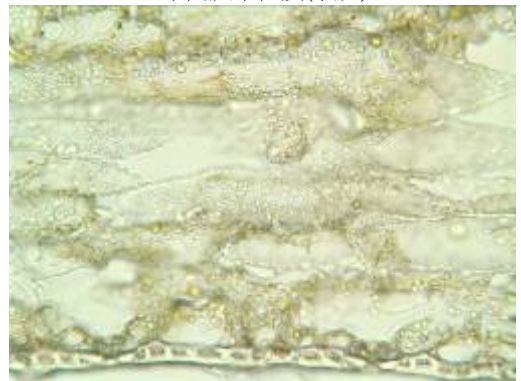


圖 4-2-3-195 C區_台灣油杉_55_3年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

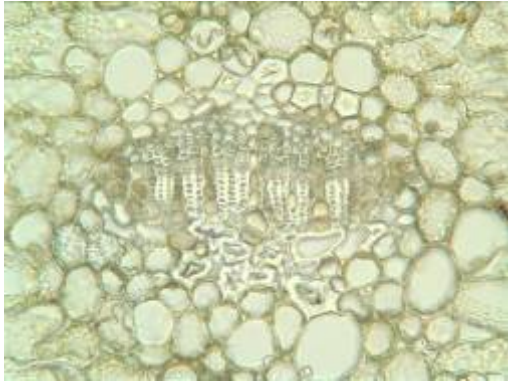


圖 4-2-3-196 C區_台灣油杉_56_1年生 (200x)
中肋

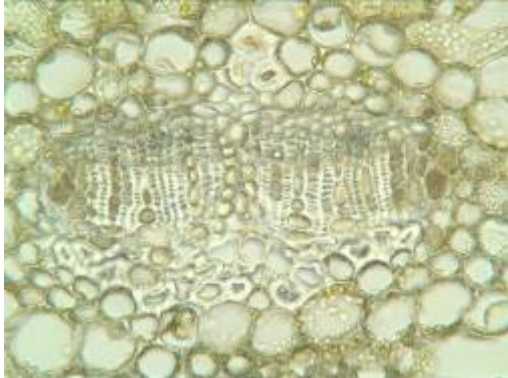


圖 4-2-3-198 C區_台灣油杉_56_2年生 (200x)
中肋

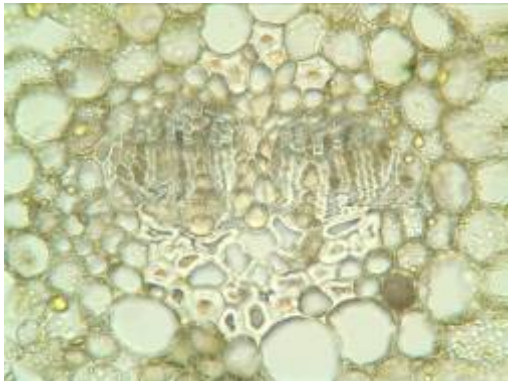


圖 4-2-3-200 C區_台灣油杉_56_3年生 (200x)
中肋

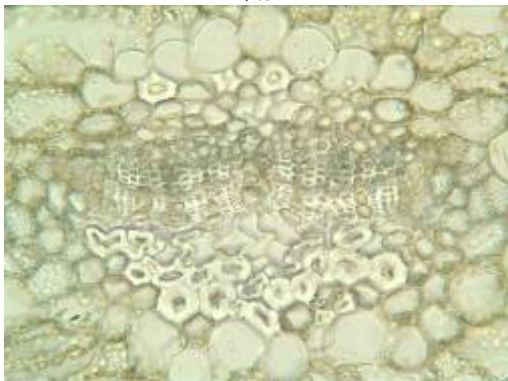


圖 4-2-3-202 C區_台灣油杉_60_1年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-197 C區_台灣油杉_56_1年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-199 C區_台灣油杉_56_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

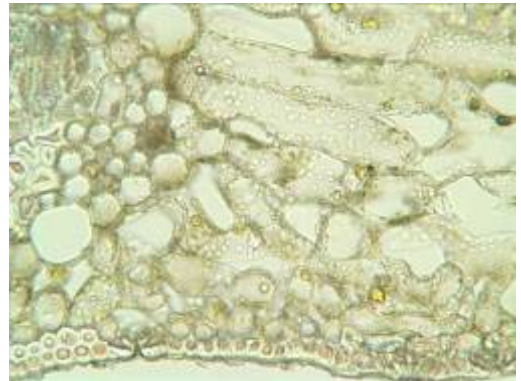


圖 4-2-3-201 C區_台灣油杉_56_3年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

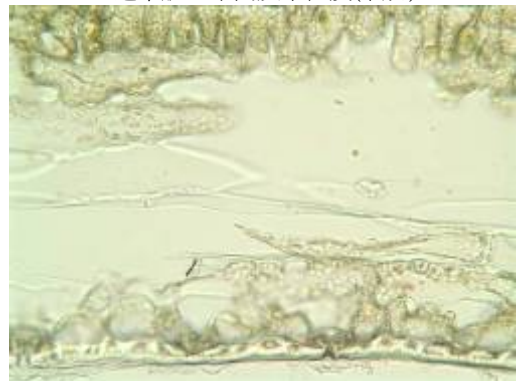


圖 4-2-3-203 C區_台灣油杉_60_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

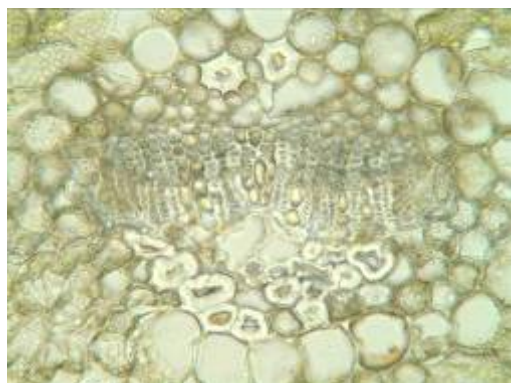


圖 4-2-3-204 C區_台灣油杉_60_2年生 (200x)
中肋

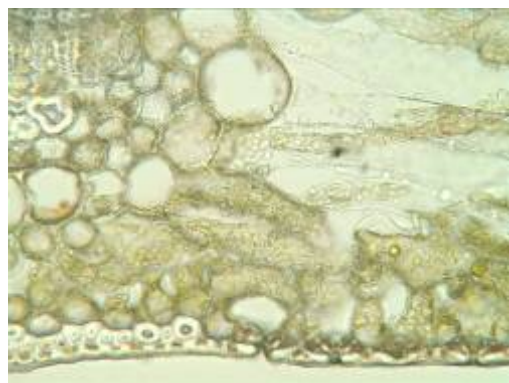


圖 4-2-3-205 C區_台灣油杉_60_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

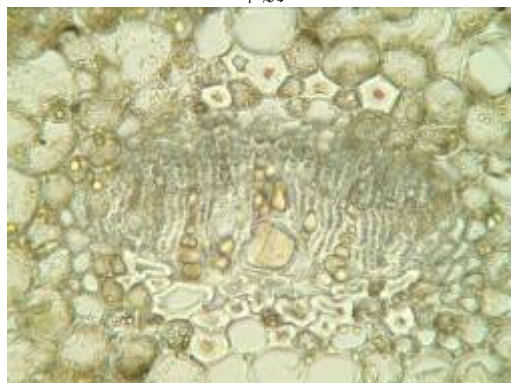


圖 4-2-3-206 C區_台灣油杉_60_3年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-207 C區_台灣油杉_60_3年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

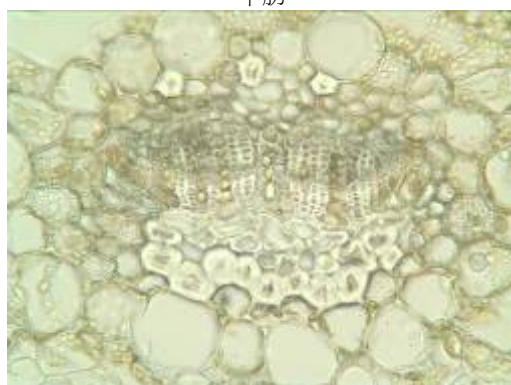


圖 4-2-3-208 C區_台灣油杉_67_1年生 (200x)
中肋

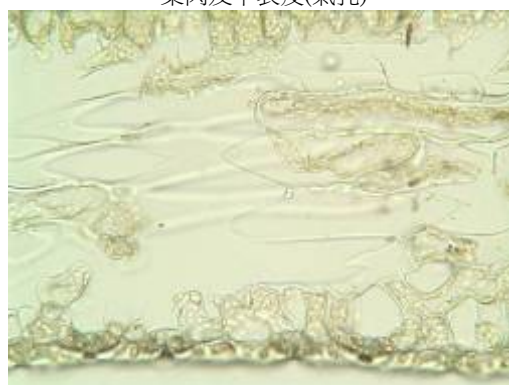


圖 4-2-3-209 C區_台灣油杉_67_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

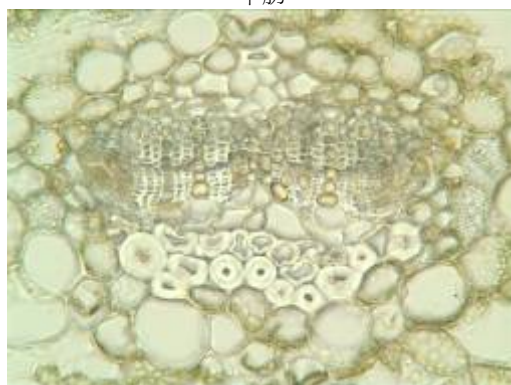


圖 4-2-3-210 C區_台灣油杉_67_2年生 (200x)
中肋

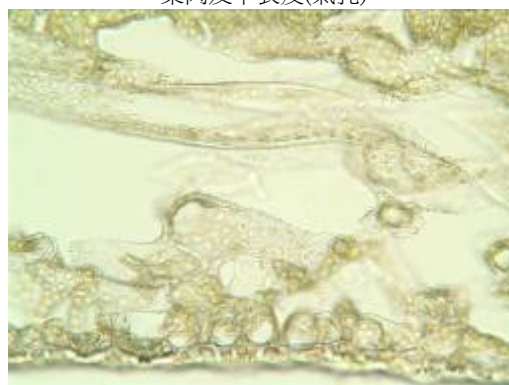


圖 4-2-3-211 C區_台灣油杉_67_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

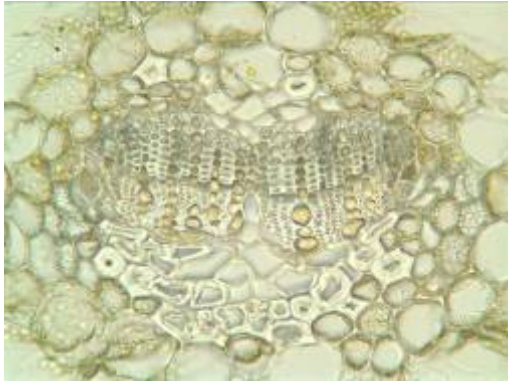


圖 4-2-3-212 C區_台灣油杉_67_3年生 (200×)
中肋

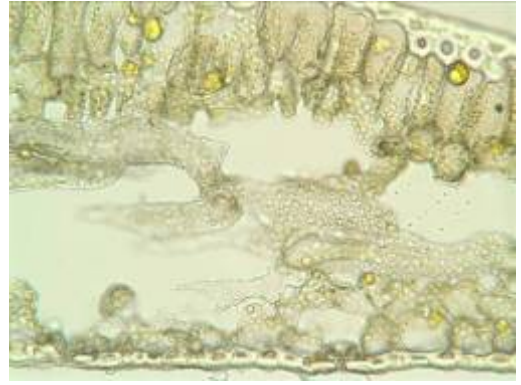


圖 4-2-3-213 C區_台灣油杉_67_3年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

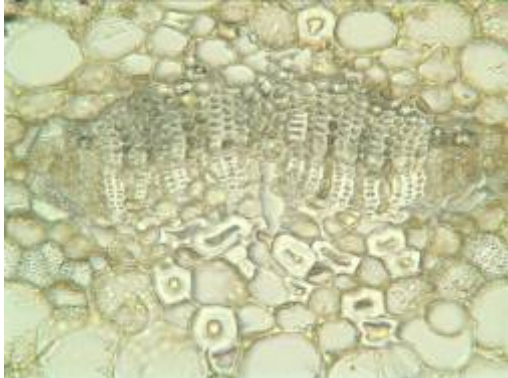


圖 4-2-3-214 C區_台灣油杉_70_1年生 (200×)
中肋

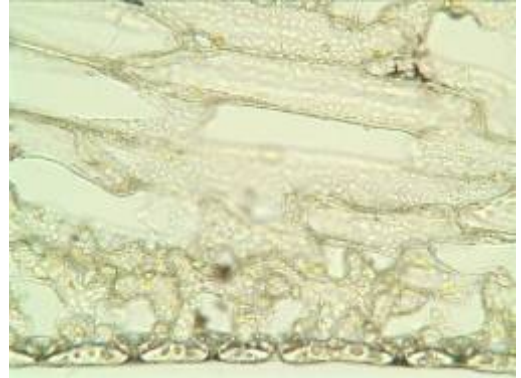


圖 4-2-3-215 C區_台灣油杉_70_1年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

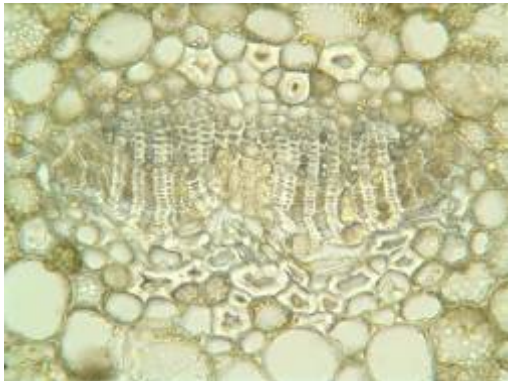


圖 4-2-3-216 C區_台灣油杉_70_2年生 (200×)
中肋



圖 4-2-3-217 C區_台灣油杉_70_2年生 (200×)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

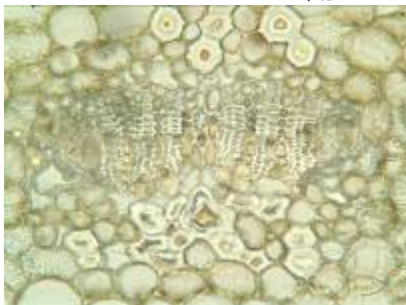


圖 4-2-3-218 C區_台灣油杉_70_3年生
中肋(200×)

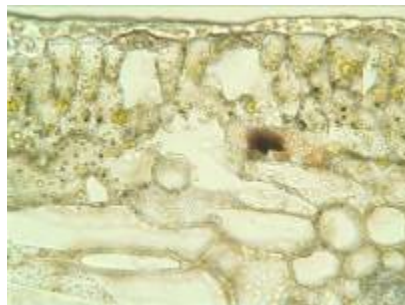


圖 4-2-3-219a C區_台灣油杉_70_3年生
近中肋、葉肉及上表皮(氣孔) (200×)



圖 4-2-3-219b C區_台灣油杉_70_3年生
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔) (200×)



圖 4-2-3-220 C區_台灣油杉_76_1年生 (200×)
中肋



圖 4-2-3-222 C區_台灣油杉_76_2年生 (200×)
中肋

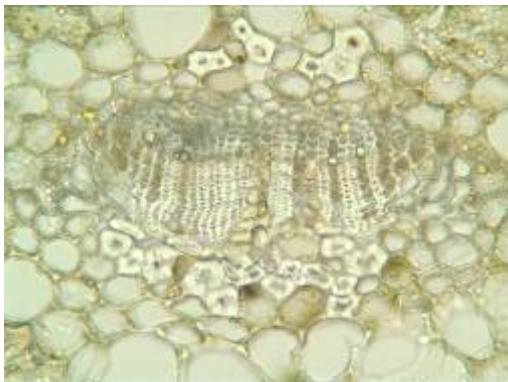


圖 4-2-3-224 C區_台灣油杉_76_3年生 (200×)
中肋

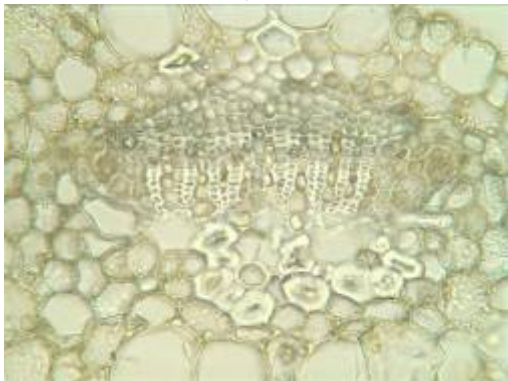


圖 4-2-3-226 C區_台灣油杉_77_1年生 (200×)
中肋

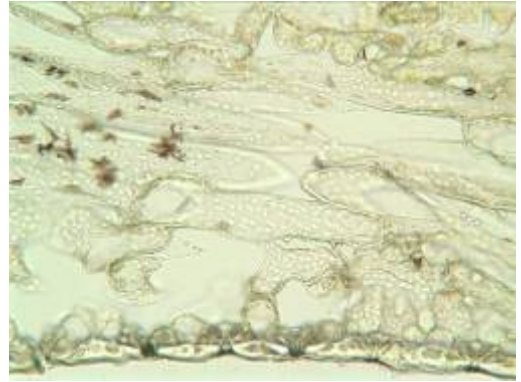


圖 4-2-3-221 C區_台灣油杉_76_1年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-223 C區_台灣油杉_76_2年生 (200×)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)
箭號：海綿組織內，一只近氣孔處的海綿細胞形略大
(85 × 107.5 μm)



圖 4-2-3-225 C區_台灣油杉_76_3年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-227 C區_台灣油杉_77_1年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

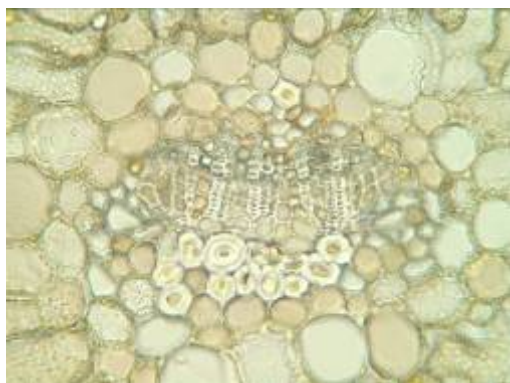


圖 4-2-3-228 C區_台灣油杉_77_2年生 (200x)
中肋

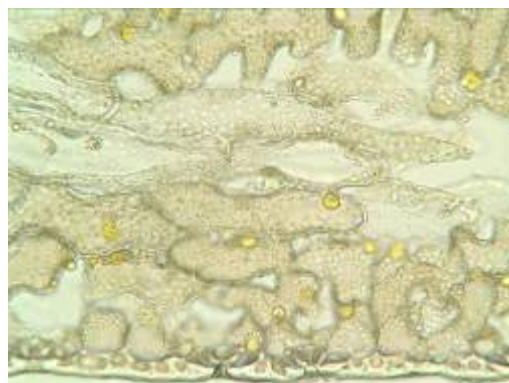


圖 4-2-3-229 C區_台灣油杉_77_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

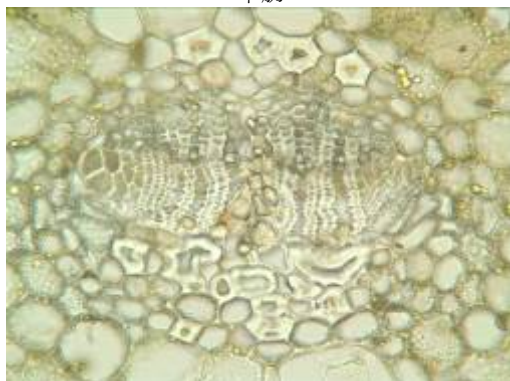


圖 4-2-3-230 C區_台灣油杉_77_3年生 (200x)
中肋

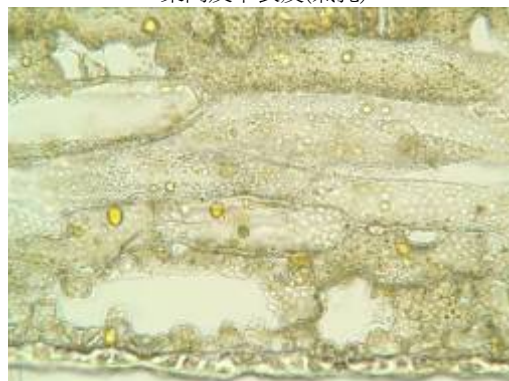


圖 4-2-3-231 C區_台灣油杉_77_3年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-332 C區紅皮 (100x)
中肋



圖 4-2-3-233 C區紅皮 (200x)
葉肉及上、下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-234a C區長尾柯 (100x)
中肋



圖 4-2-3-234b C區長尾柯 (200x)
中肋

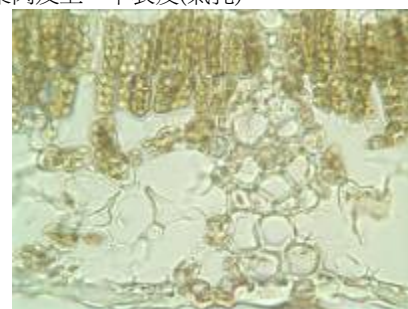


圖 4-2-3-235 C區長尾柯 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-236 C 區奧氏虎皮楠(100x)
中肋



圖 4-2-3-237a C 區奧氏虎皮楠(200x)
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-3-237b C 區奧氏虎皮楠(400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-238 C 區山紅柿 (100x)
中肋

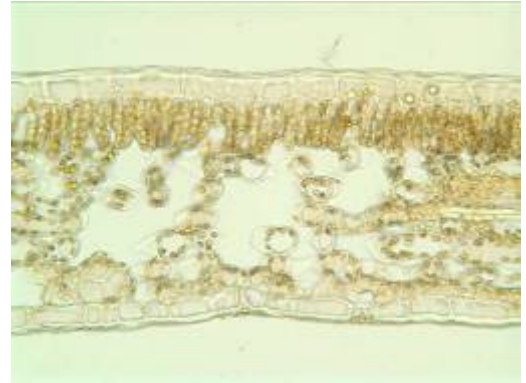


圖 4-2-3-239 C 區山紅柿 (200x)
葉肉及上、下表皮(氣孔)

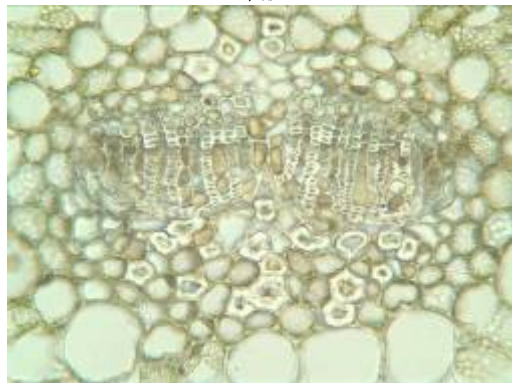


圖 4-2-3-240 D 區_台灣油杉_01_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-241 D 區_台灣油杉_01_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

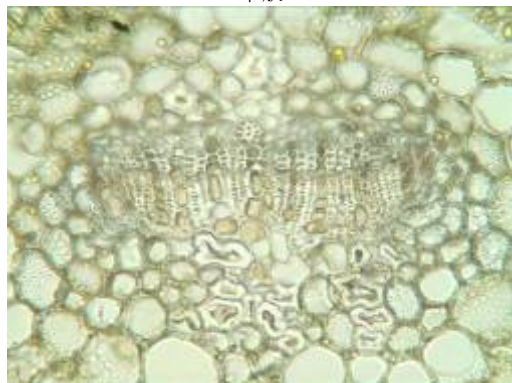


圖 4-2-3-242 D 區_台灣油杉_01_2 年生 (200x)
中肋

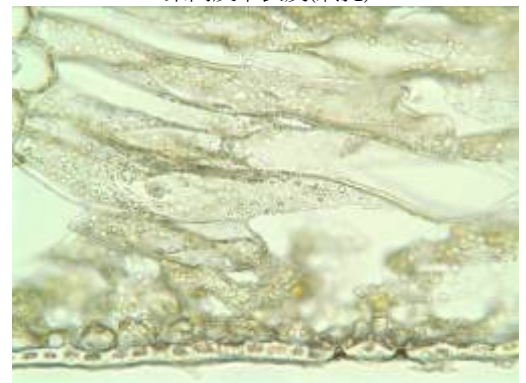


圖 4-2-3-243 D 區_台灣油杉_01_2 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-244 D區_台灣油杉_01_3年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-245 D區_台灣油杉_01_3年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

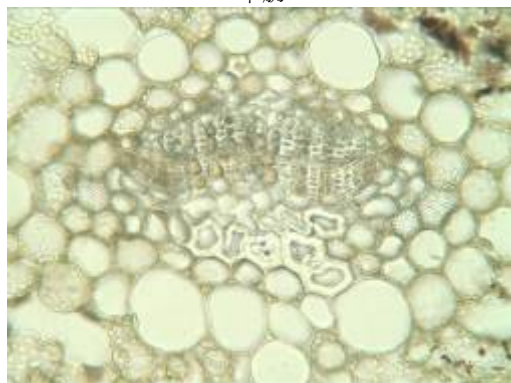


圖 4-2-3-246 D區_台灣油杉_04_1年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-247 D區_台灣油杉_04_1年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-248 D區_台灣油杉_04_2年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-249 D區_台灣油杉_04_2年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-250 D區_台灣油杉_04_3年生 (200x)
中肋

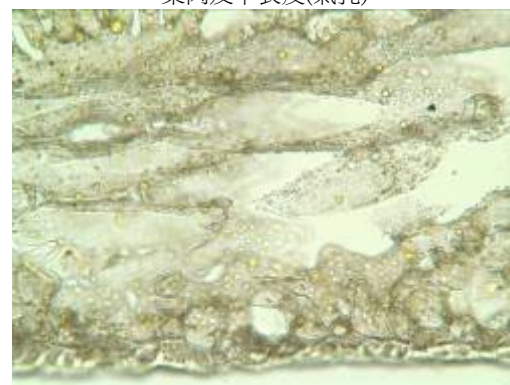


圖 4-2-3-251 D區_台灣油杉_04_3年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

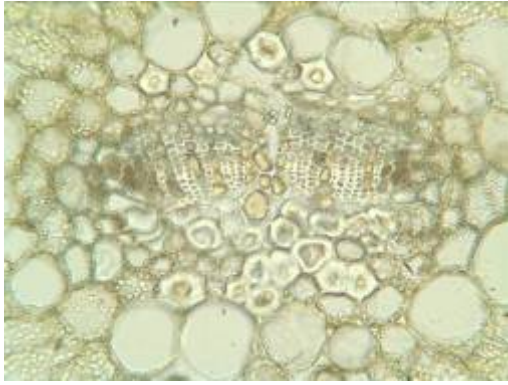


圖 4-2-3-252 D區_台灣油杉_08_1年生 (200×)
中肋



圖 4-2-3-254 D區_台灣油杉_08_2年生 (200×)
中肋

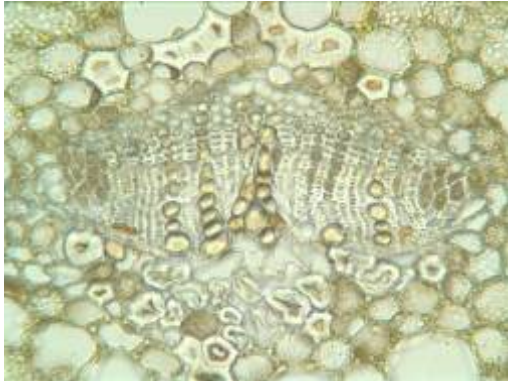


圖 4-2-3-256 D區_台灣油杉_08_3年生 (200×)
中肋

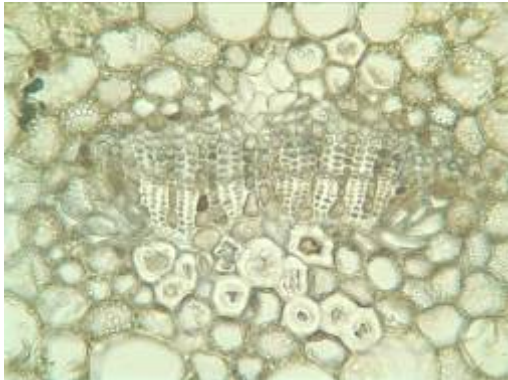


圖 4-2-3-258 D區_台灣油杉_51_1年生 (200×)
中肋

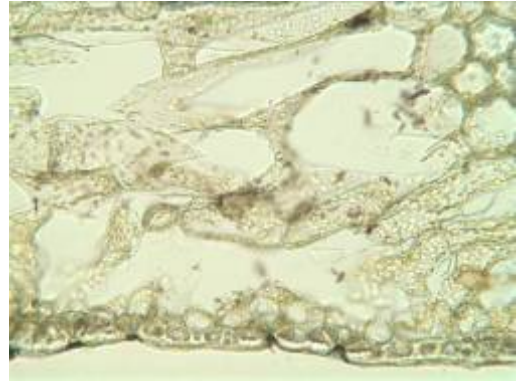


圖 4-2-3-253 D區_台灣油杉_08_1年生 (200×)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

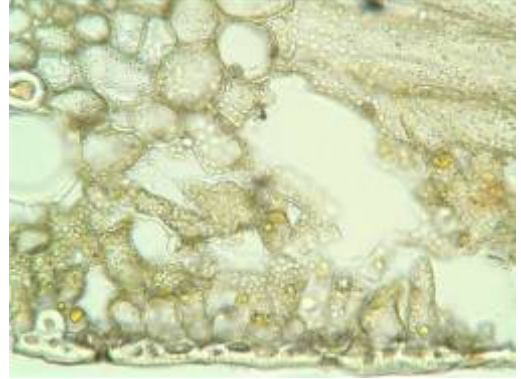


圖 4-2-3-255 D區_台灣油杉_08_2年生 (200×)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

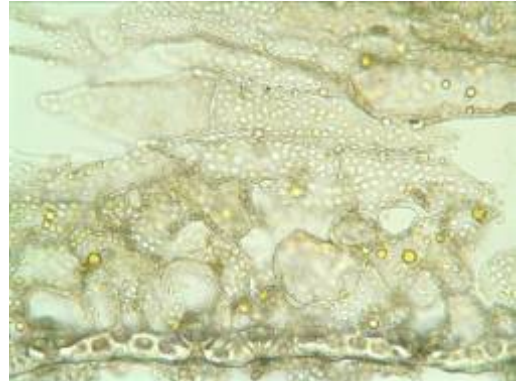


圖 4-2-3-257 D區_台灣油杉_08_3年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-259 D區_台灣油杉_51_1年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

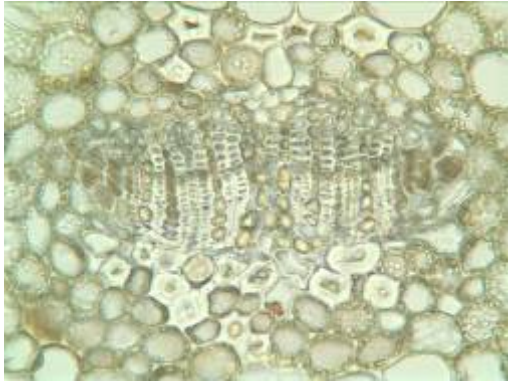


圖 4-2-3-260 D區_台灣油杉_51_2年生 (200×)
中肋

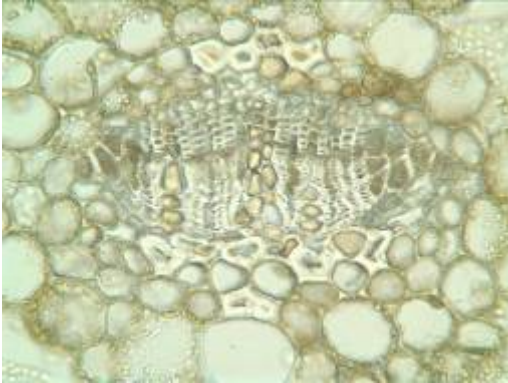


圖 4-2-3-262 D區_台灣油杉_51_3年生 (200×)
中肋



圖 4-2-3-264 D區_台灣油杉_52_1年生 (200×)
中肋



圖 4-2-3-266 D區_台灣油杉_52_2年生 (200×)
中肋



圖 4-2-3-261 D區_台灣油杉_51_2年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

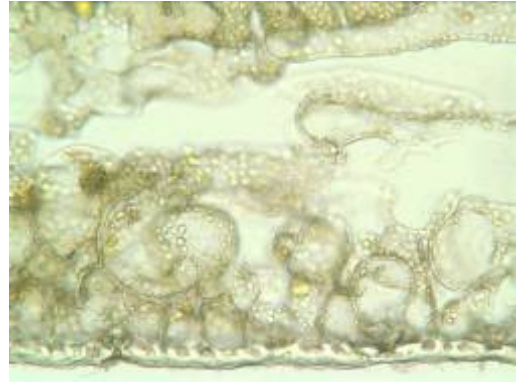


圖 4-2-3-263 D區_台灣油杉_51_3年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

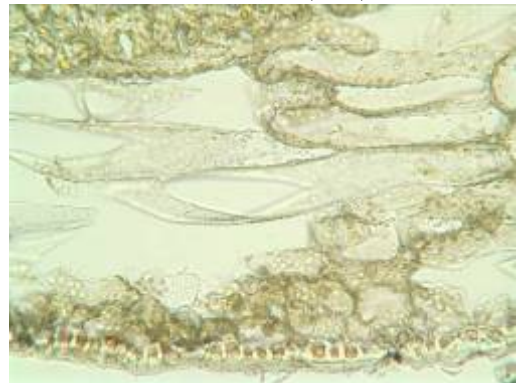


圖 4-2-3-265 D區_台灣油杉_52_1年生 (200×)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-267 D區_台灣油杉_52_2年生 (200×)
葉肉及下表皮(氣孔)

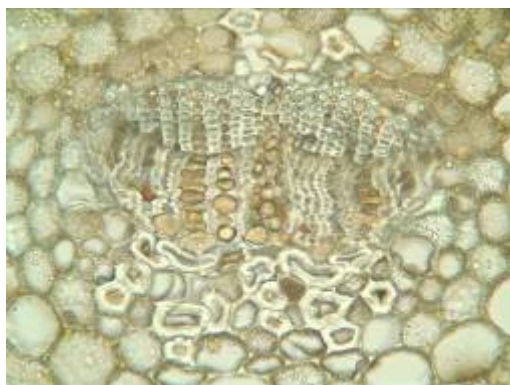


圖 4-2-3-268 D區_台灣油杉_52_3年生 (200x)
中肋

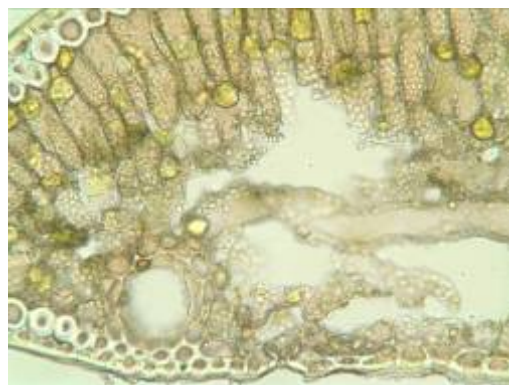


圖 4-2-3-269 D區_台灣油杉_52_3年生 (200x)
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-270 D區_台灣油杉_54_1年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-271 D區_台灣油杉_54_1年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-272 D區_台灣油杉_54_2年生 (200x)
中肋

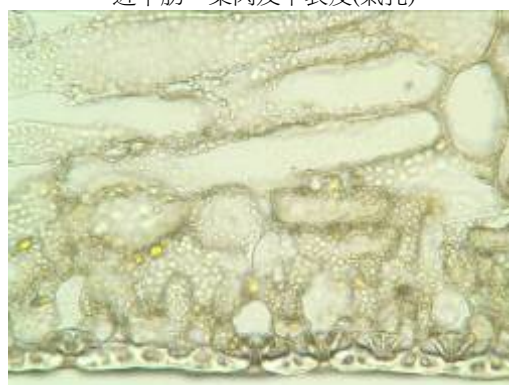


圖 4-2-3-273 D區_台灣油杉_54_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-274 D區_台灣油杉_54_3年生 (200x)
中肋

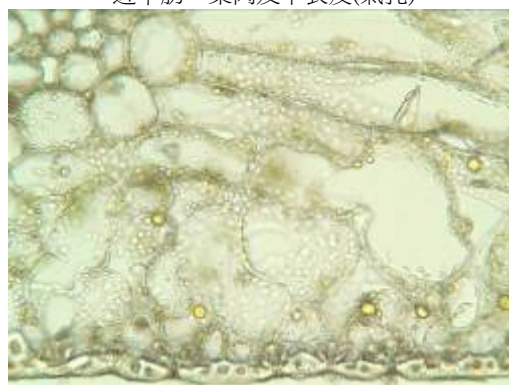


圖 4-2-3-275 D區_台灣油杉_54_3年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

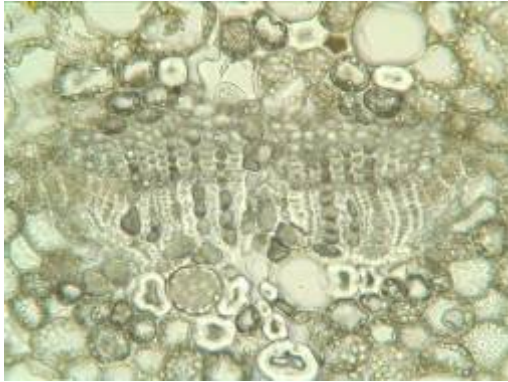


圖 4-2-3-276 D區_台灣油杉_55_1年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-277 D區_台灣油杉_55_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

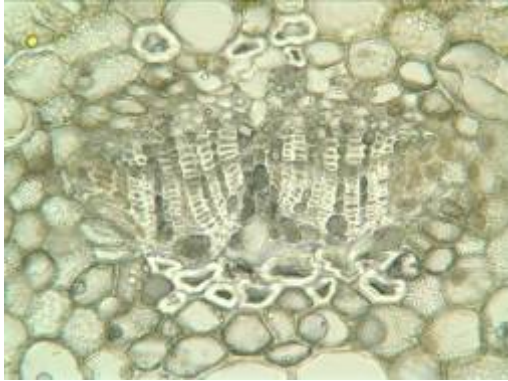


圖 4-2-3-278 D區_台灣油杉_55_2年生 (200x)
中肋

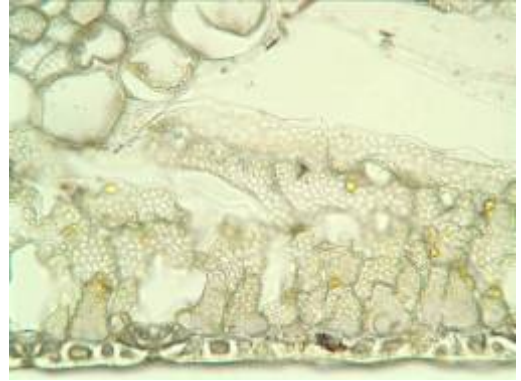


圖 4-2-3-279 D區_台灣油杉_55_2年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

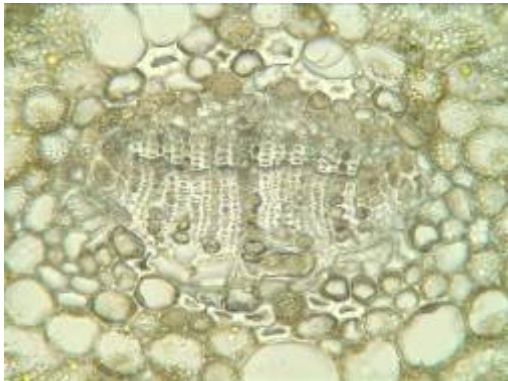


圖 4-2-3-280 D區_台灣油杉_55_3年生 (200x)
中肋

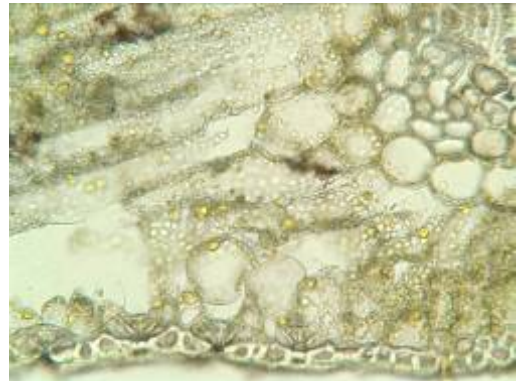


圖 4-2-3-281 D區_台灣油杉_55_3年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-282 D區_台灣油杉_56_1年生 (200x)
中肋

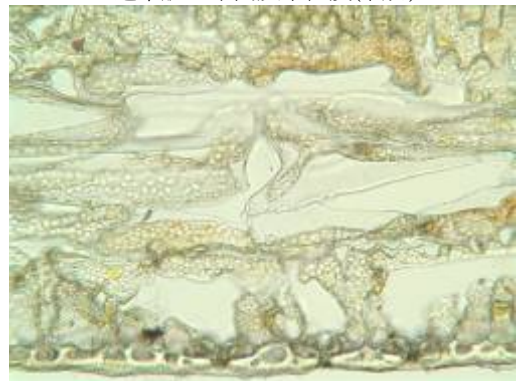


圖 4-2-3-283 D區_台灣油杉_56_1年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-284a D區_台灣油杉_56_2 年生
中肋(100x)
兩箭號間：在中肋處，柵狀組織下鄰多數葉肉
細胞形大(87-155 × 80-155 μm)



圖 4-2-3-284b D區_台灣油杉_56_2 年生
中肋 (200x)



圖 4-2-3-285 D區_台灣油杉_56_2 年生
近葉緣、葉肉及下表皮(氣孔) (200x)



圖 4-2-3-286 D區_台灣油杉_56_3 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-287 D區_台灣油杉_56_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-288 D區_台灣油杉_60_1 年生 (200x)
中肋

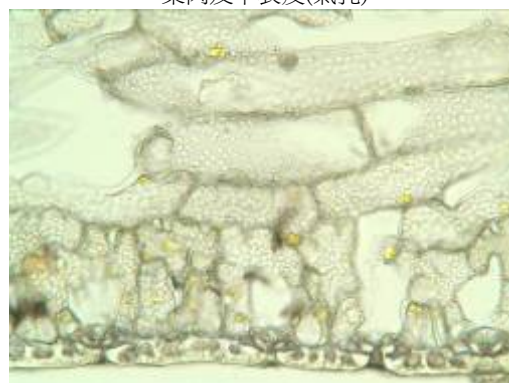


圖 4-2-3-289 D區_台灣油杉_60_1 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-290 D區_台灣油杉_60_2 年生 (200x)
中肋

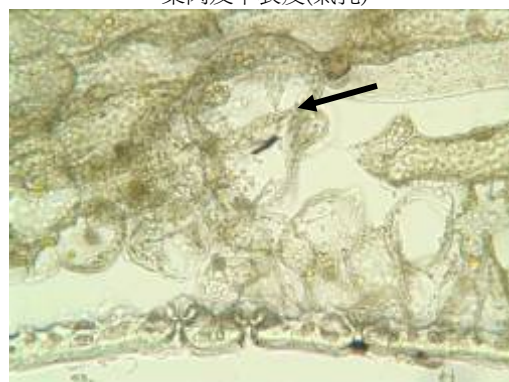


圖 4-2-3-291 D區_台灣油杉_60_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)
箭號：海綿組織內，一只海綿細胞形大 (130 × 100 μm)



圖 4-2-3-292 D 區_台灣油杉_60_3 年生 (200x)
中肋



圖 4-2-3-293 D 區_台灣油杉_60_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

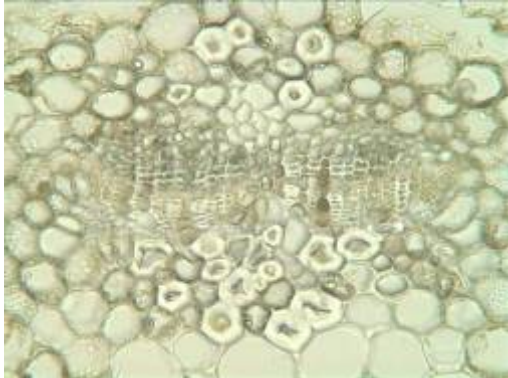


圖 4-2-3-294 D 區_台灣油杉_70_1 年生 (200x)
中肋

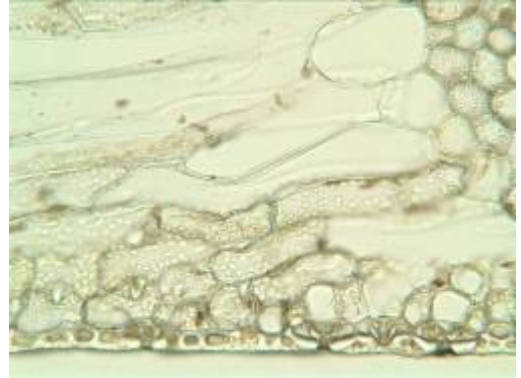


圖 4-2-3-295 D 區_台灣油杉_70_1 年生 (200x)
近中肋、葉肉及下表皮(氣孔)

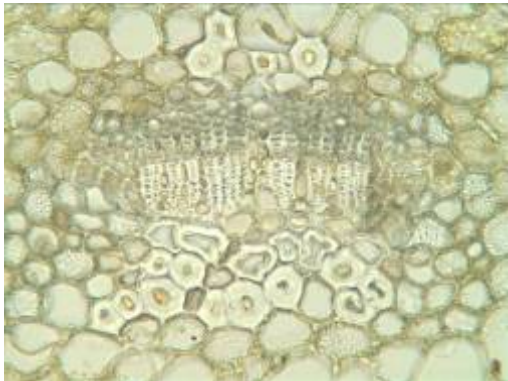


圖 4-2-3-296 D 區_台灣油杉_70_2 年生 (200x)
中肋

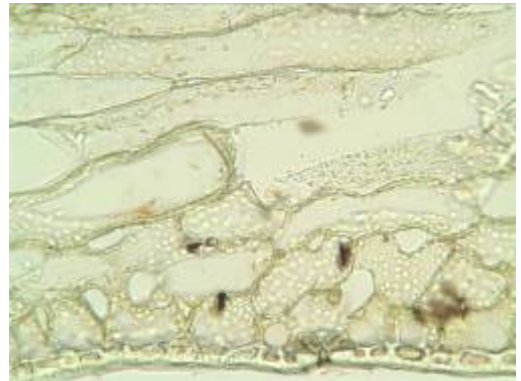


圖 4-2-3-297 D 區_台灣油杉_70_2 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)

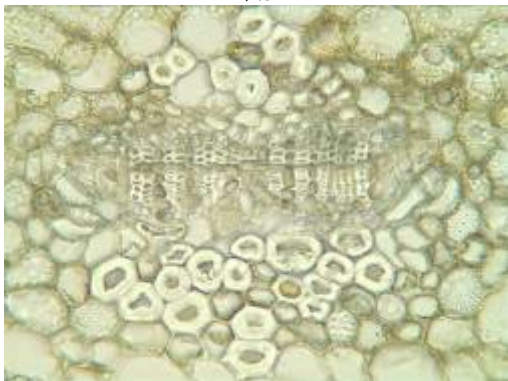


圖 4-2-3-298 D 區_台灣油杉_70_3 年生 (200x)
中肋

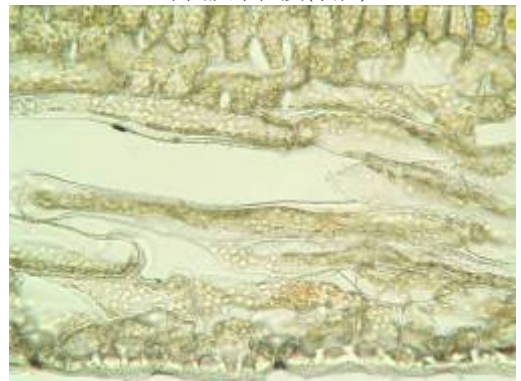


圖 4-2-3-299 D 區_台灣油杉_70_3 年生 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-300a D 區江某 (40x)
中肋

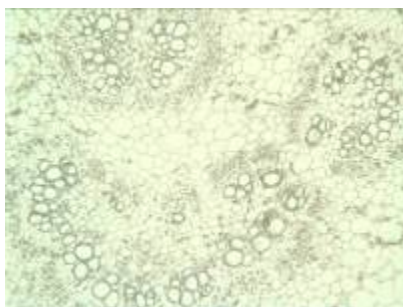


圖 4-2-3-300b D 區江某 (100x)
中肋

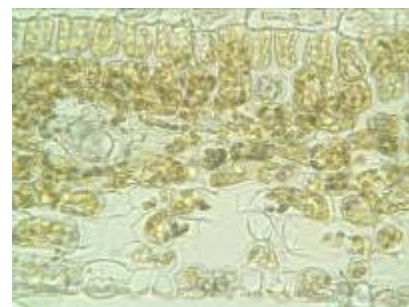


圖 4-2-3-301 D 區江某 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-302 D 區稜果榕 (100x)
中肋

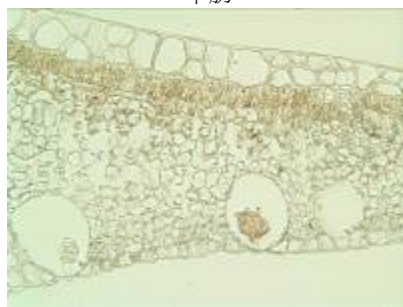


圖 4-2-3-303a D 區稜果榕 (200x)
葉肉及上、下表皮

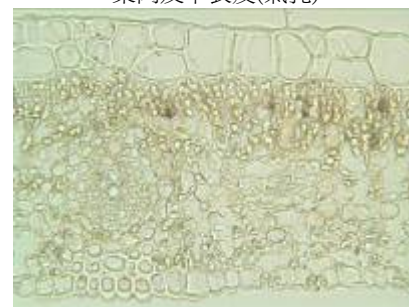


圖 4-2-3-303b D 區稜果榕 (400x)
葉肉及上、下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-304 D 區裏白饅頭果 (100x)
中肋

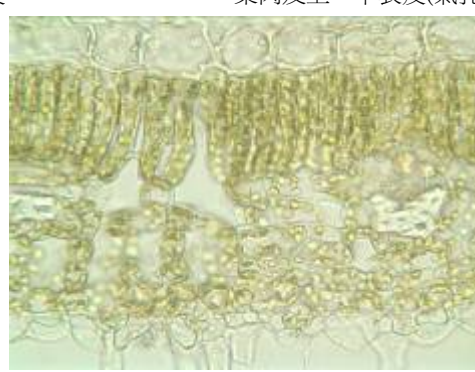


圖 4-2-3-305 D 區裏白饅頭果 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

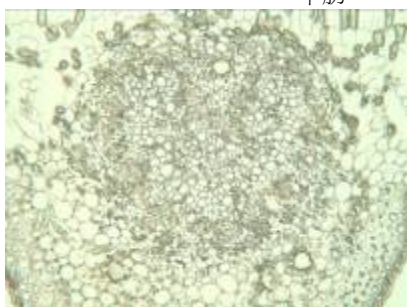


圖 4-2-3-306a 樣點 000_江某 (100x)
中肋

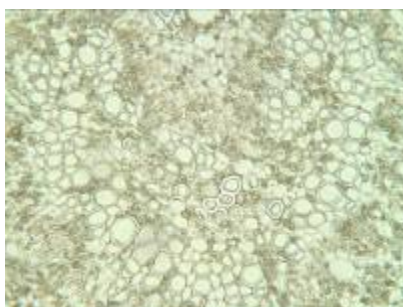


圖 4-2-3-306b 樣點 000_江某 (200x)
中肋

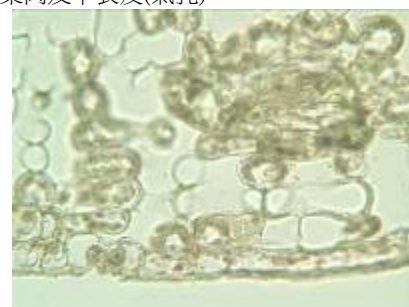


圖 4-2-3-307 樣點 000_江某 (400x)
葉肉及上、下表皮(氣孔)

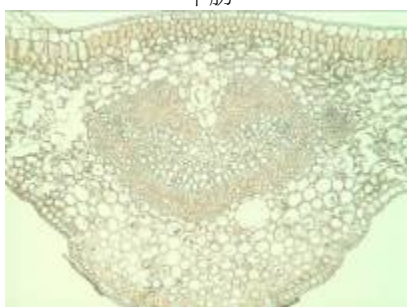


圖 4-2-3-308 樣點 100_樹杞 (100x)
中肋



圖 4-2-3-309a 樣點 100_樹杞 (200x)
葉肉及上、下表皮

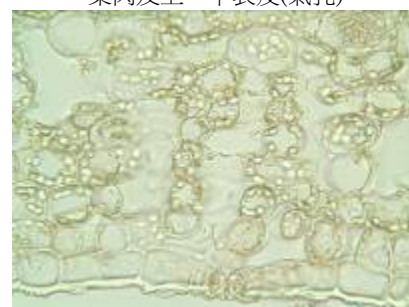


圖 4-2-3-309b 樣點 100_樹杞 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

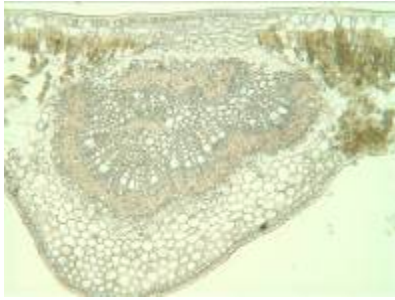


圖 4-2-3-310a 樣點 200_淋瀝 (100x)
中肋

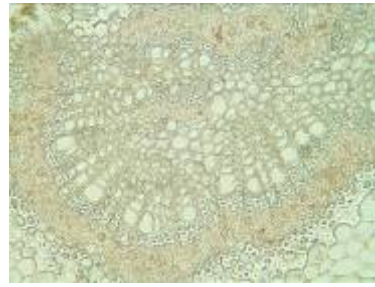


圖 4-2-3-310b 樣點 200_淋瀝 (200x)
中肋



圖 4-2-3-311 樣點 200_淋瀝 (200x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-312 樣點 300_山紅柿 (100x)
中肋

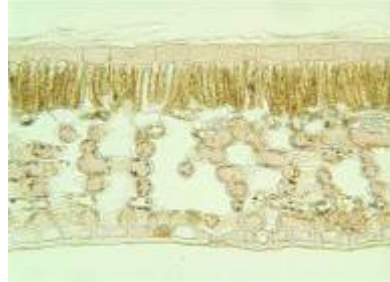


圖 4-2-3-313a 樣點 300_山紅柿(200x)
葉肉及上、下表皮



圖 4-2-3-313b 樣點 300_山紅柿(400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-314 樣點 400_墨點櫻桃(200x)
中肋



圖 4-2-3-315a 樣點 400_墨點櫻桃 (200x)
葉肉及上、下表皮

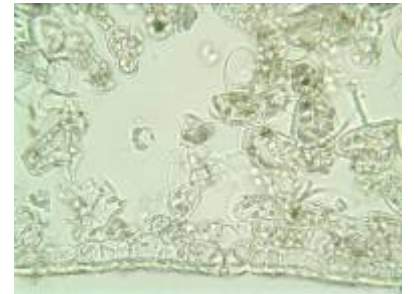


圖 4-2-3-315b 樣點 400_墨點櫻桃 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-316 樣點 500_裏白饅頭果 (100x)
中肋



圖 4-2-3-317 樣點 500_裏白饅頭果 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

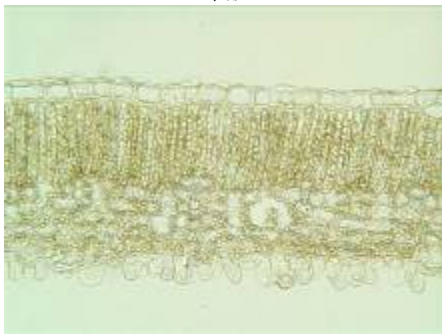


圖 4-2-3-318 樣點 500_裏白饅頭果 (200x)
葉肉及上、下表皮

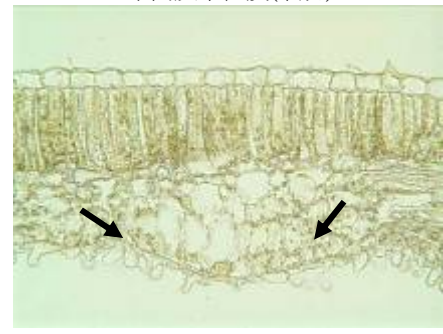


圖 4-2-3-319 樣點 500_裏白饅頭果 (200x)
葉肉及上、下表皮
兩箭號間：局部葉肉的多數細胞形大 (50-68 × 37-50 μm)



圖 4-2-3-320 樣點 600_大頭茶 (100x)
中肋

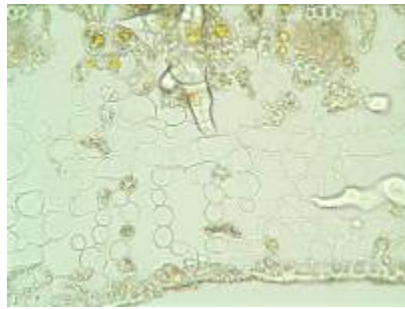


圖 4-2-3-321a 樣點 600_大頭茶 (200x)
葉肉及下表皮



圖 4-2-3-321b 樣點 600_大頭茶 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-322 樣點 700_杜英 (100x)
中肋

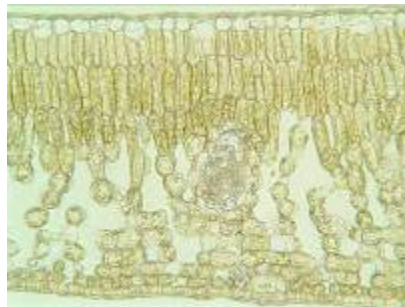


圖 4-2-3-323a 樣點 700_杜英 (200x)
葉肉及上、下表皮

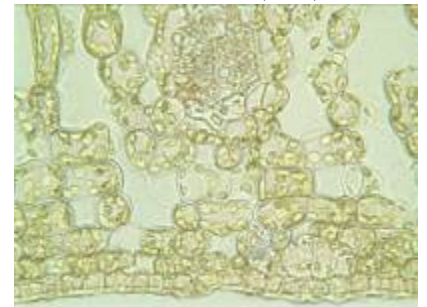


圖 4-2-3-323b 樣點 700_杜英 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-324 樣點 900_薯豆 (100x)
中肋

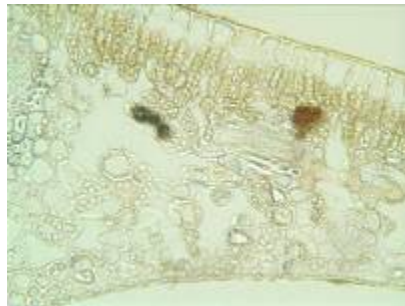


圖 4-2-3-325a 樣點 900_薯豆 (200x)
近中肋、葉肉及上、下表皮

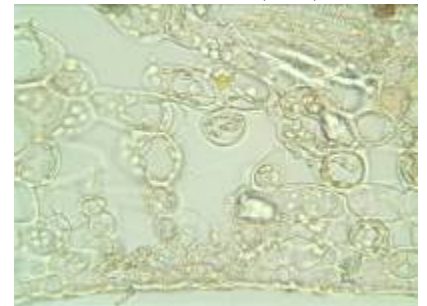


圖 4-2-3-325b 樣點 900_薯豆 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)



圖 4-2-3-326 樣點 1000_大明橘 (100x)
中肋



圖 4-2-3-327a 樣點 1000_大明橘 (200x)
葉肉及上、下表皮

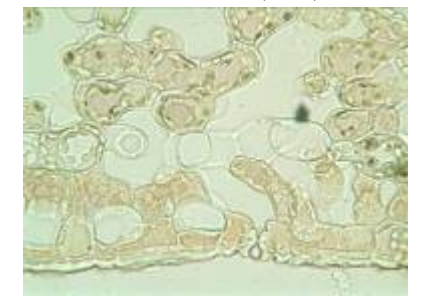


圖 4-2-3-327b 樣點 1000_大明橘 (400x)
葉肉及下表皮(氣孔)

本次研究中，在福山研究中心所採集之台灣油杉葉中，其海綿組織有少數 (圖 4-2-3-16、18、36)或是多數(圖 4-2-3-34)細胞形大，其中只有一例細胞位居氣孔之內鄰(圖 4-2-3-36)，其餘三例之形大的海綿細胞位居氣孔旁側(圖 4-2-3-16、18、34)；而保留區 C 區(編號 C076：圖 4-2-3-223)、D 區(編號 D060：圖 4-2-3-291)的 2 年生油杉葉中，觀察到類似案例；另在 D 區(編號 D056)的 2 年生

油杉葉中，觀察到柵狀組織下鄰之葉肉具多數細胞大形(圖 4-2-3-284a)。

而從雪山隧道 3 號豎井起至保留區 D 區之 500 m 處的一株裏白饅頭果，在其葉內的部分海綿組織具有海綿細胞形大的情形(圖 4-2-3-319)。

以上少數特殊案例，發生於坪林台灣油杉自然保留區及其他對照地區之樣木上，而此現象是否與空氣汙染物有關聯性，目前未能作出明確結論，但仍須長期觀察此現象之後續情況。

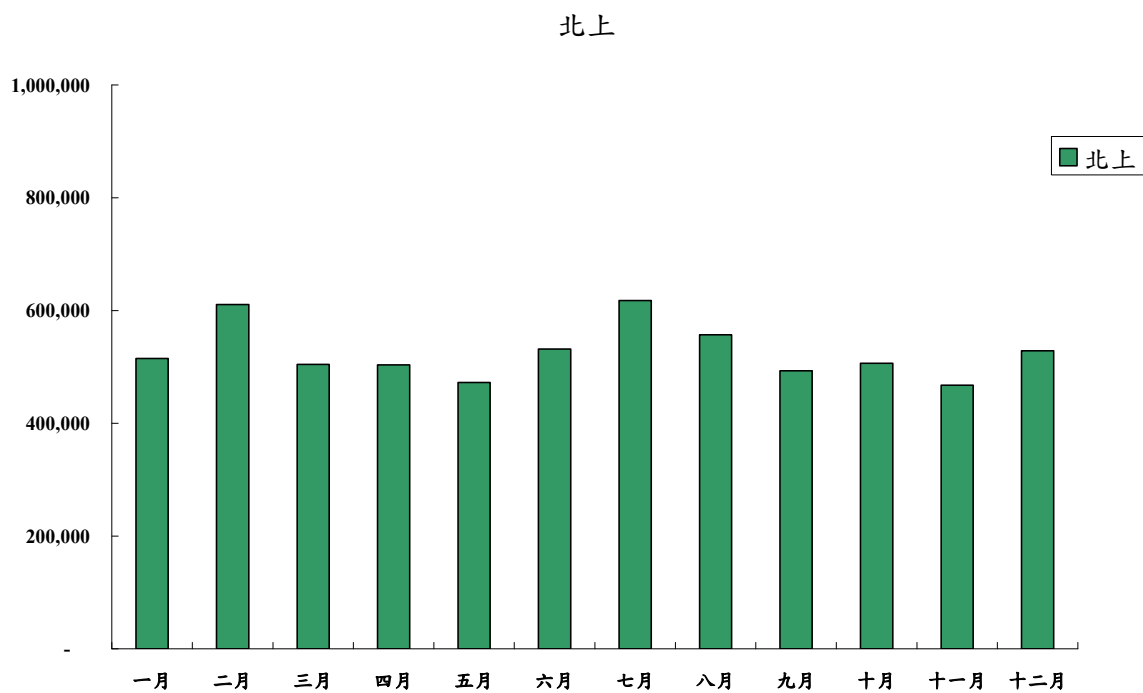
三、 研究區內易到達地與臨近環境受空氣污染情形之監測結果

(一) 車流量監測結果

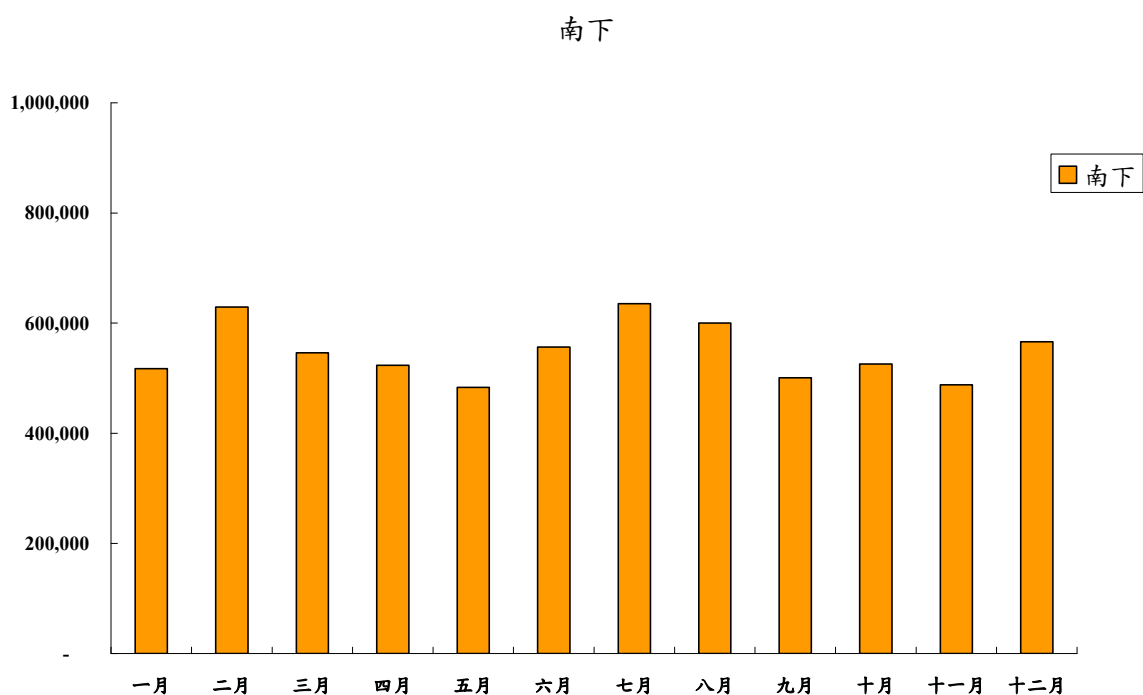
雪山隧道通車後所產生之空氣污染來源主要為車輛排放之廢氣，因此為評估雪山隧道通車後空氣品質之影響，通車後車流量與排放特性之關係，進行車流量資料收集及調查方面，於監測採樣同時，利用設置攝錄影機之方式記錄交通量，再以人工計數統計方式，將經過隧道之車輛數，每隔一小時計數一次。另亦經由坪林行控中心所提供車流量資料，進行比對。

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(註：圖 4-3-1-3 為九十七年八月至九十八年九月之北上南下車流量)。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 5 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 5 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，有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。

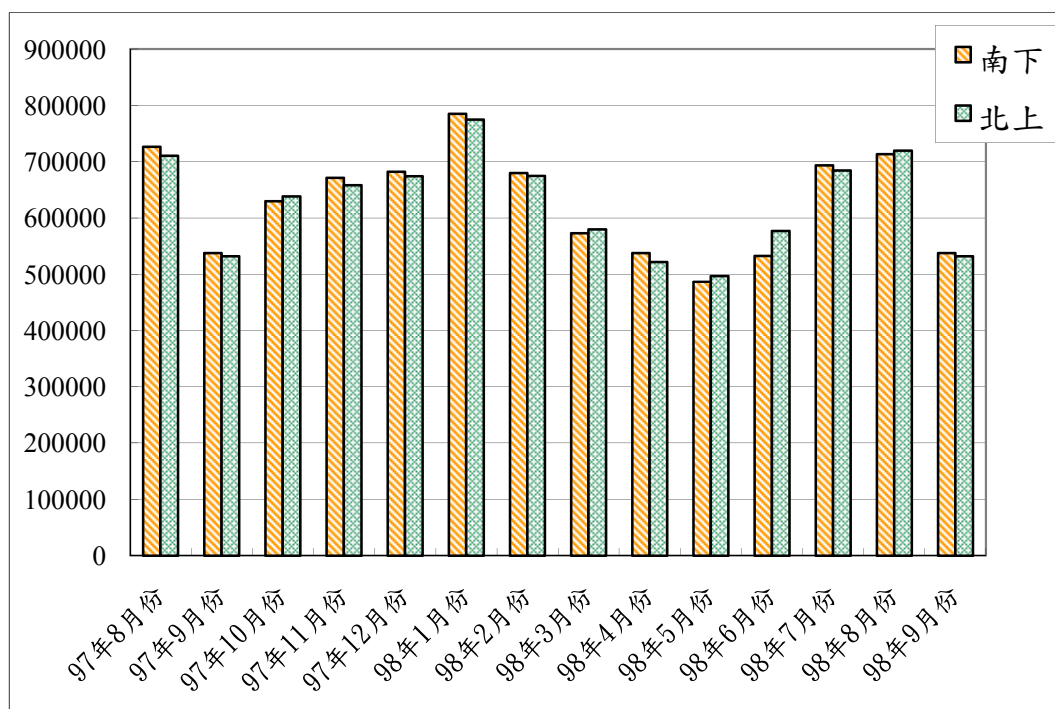
雪山隧道通車前後台九線之車流量統計，如圖 4-3-1-1 至 4-3-1-5 所示，雪山隧道通車前台九線之車流量平均每日車流量約為 4000 車次，雪山隧道通車後台九線之車流量平均每日車流量約為 1200 車次，由此可見車流量降低頗多。



(統計期間：95 年 8 月至 97 年 七月)
圖 4-3-1-1 北上逐月平均車流量



(統計期間：95 年 8 月至 97 年 七月)
圖 4-3-1-2 南下逐月平均車流量



(統計期間：97年8月至98年9月)

圖 4-3-1-3 北上南下逐月平均車流量

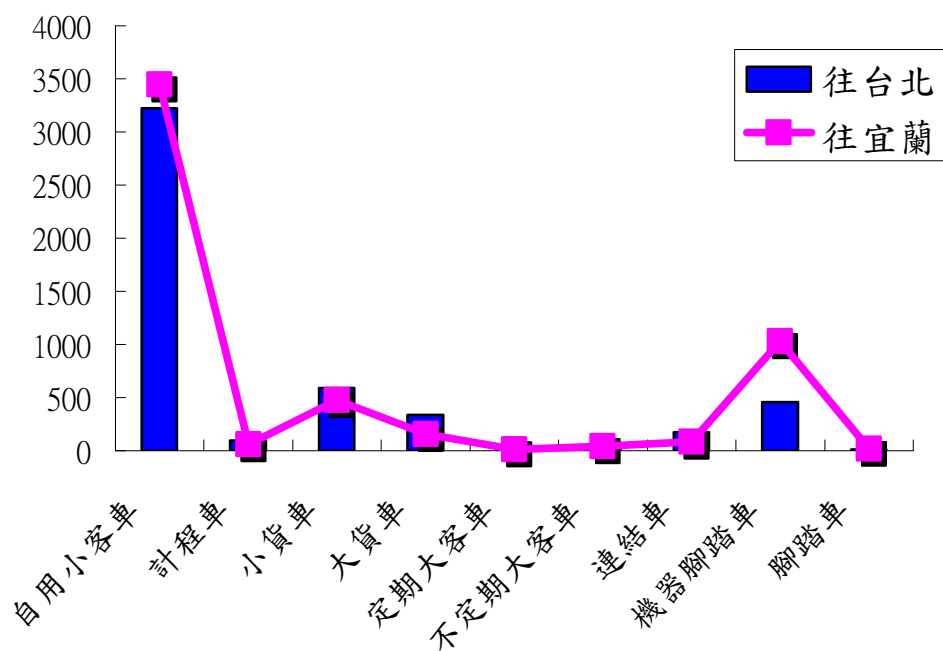


圖 4-3-1-4 雪山隧道通車前之台 9 線日平均車流量

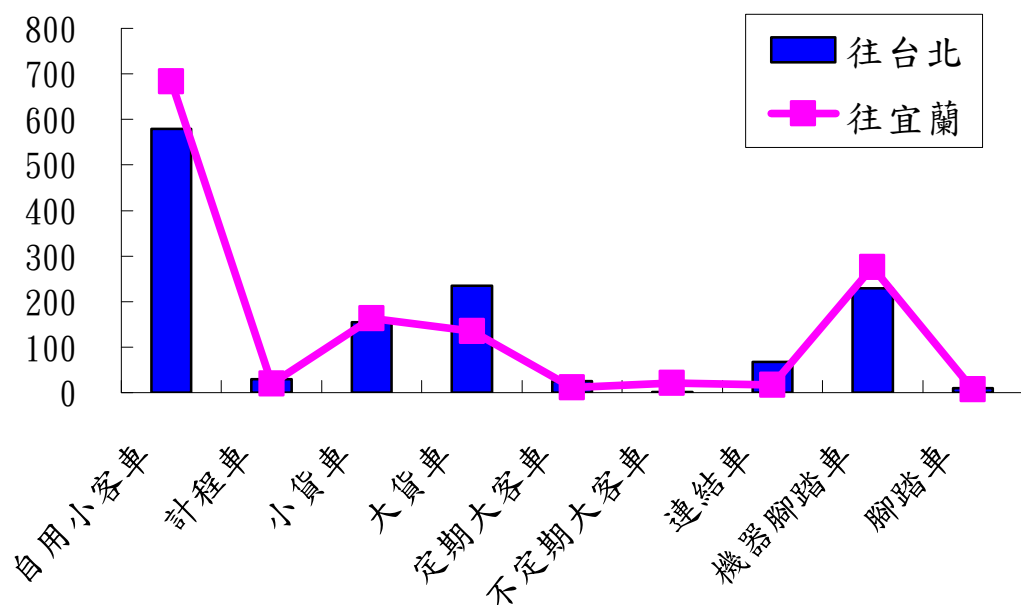


圖 4-3-1-5 雪山隧道通車後之台 9 線日平均車流量

(二) 隧道內空氣品質監測結果

2-1 懸浮微粒(PM₁₀)濃度

各測點之 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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。

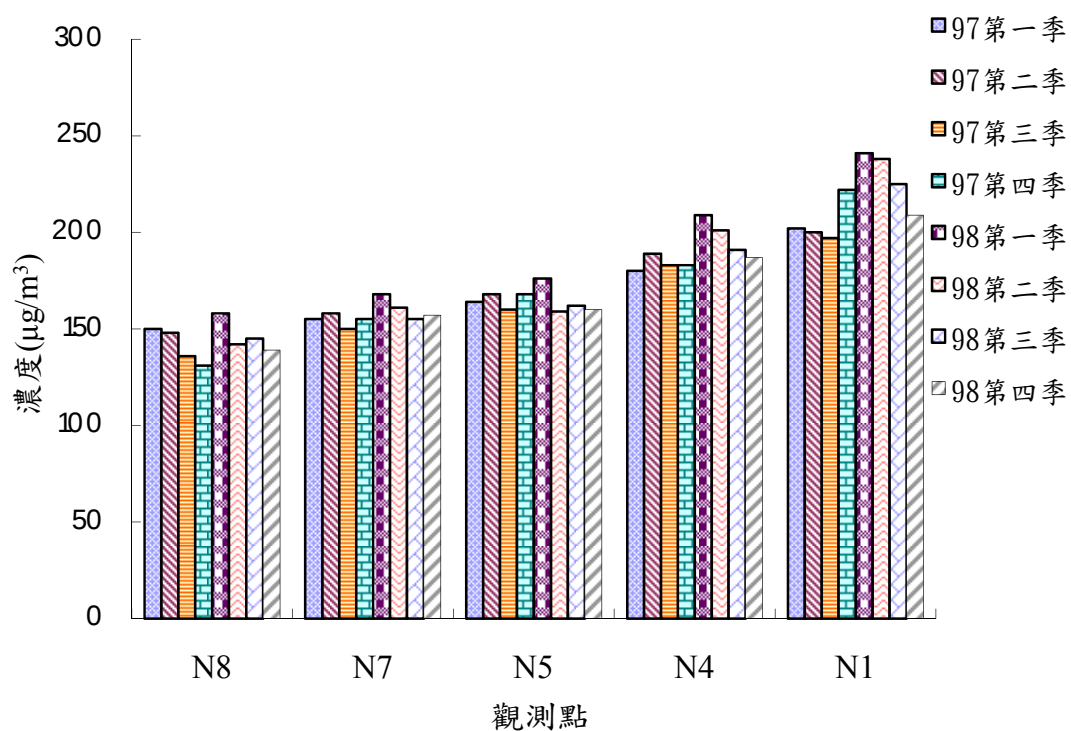


圖 4-3-2-1 北上懸浮微粒 PM₁₀ 平均濃度

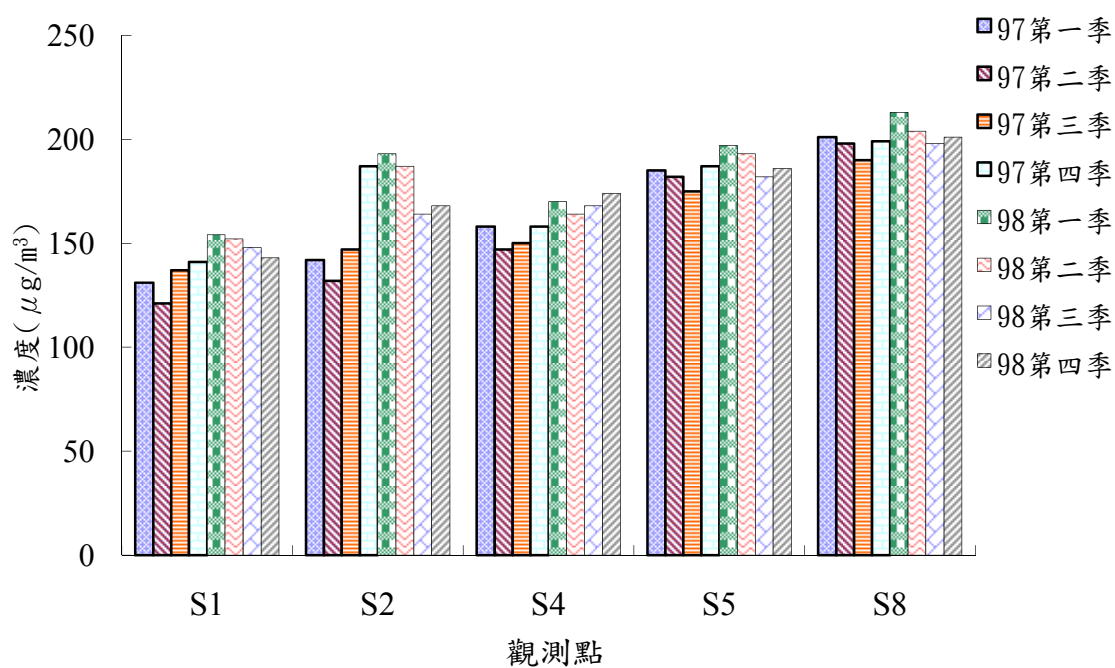


圖 4-3-2-2 南下懸浮微粒 PM₁₀ 平均濃度

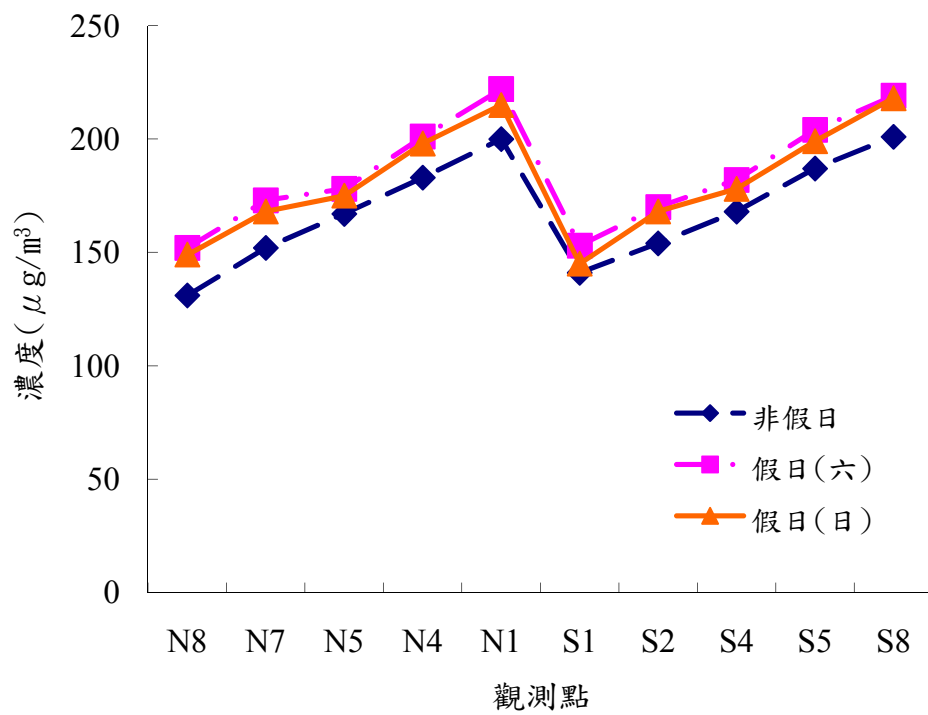


圖 4-3-2-3 非假日與假日 PM_{10} 平均濃度測值

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。由圖 4-3-2-4 至圖 4-3-2-9 發現其北上線 CO 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。

96 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，97 年度 CO 濃度略為增加，約介於 8.1 ~ 25.9 ppm 之間。

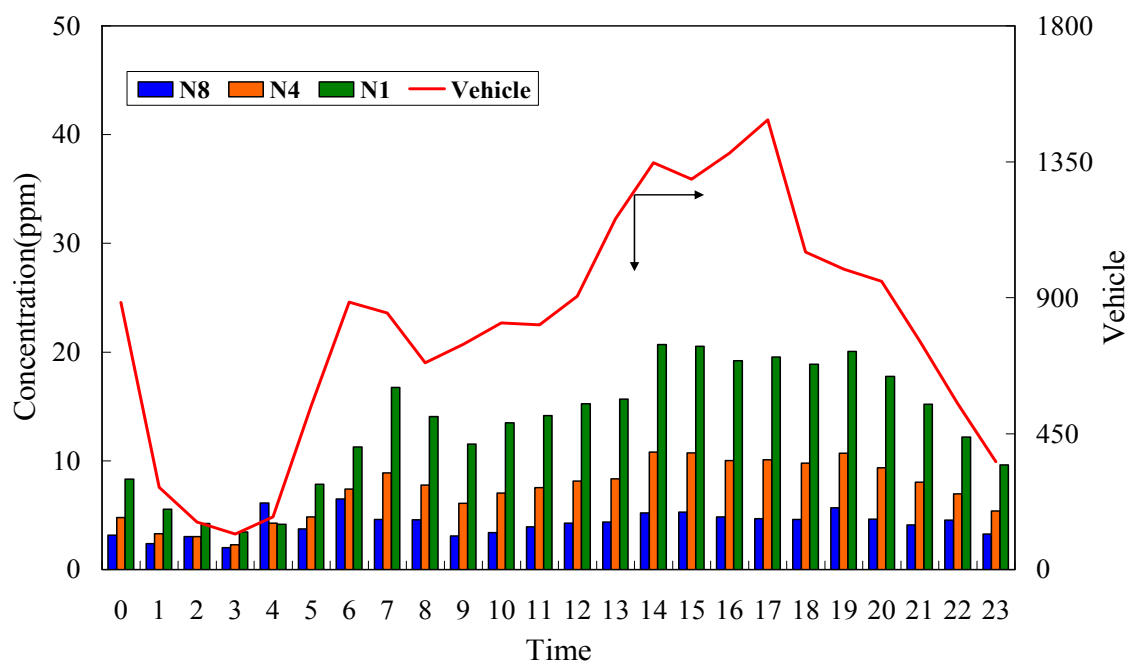


圖 4-3-2-4 非假日 CO 逐時測值

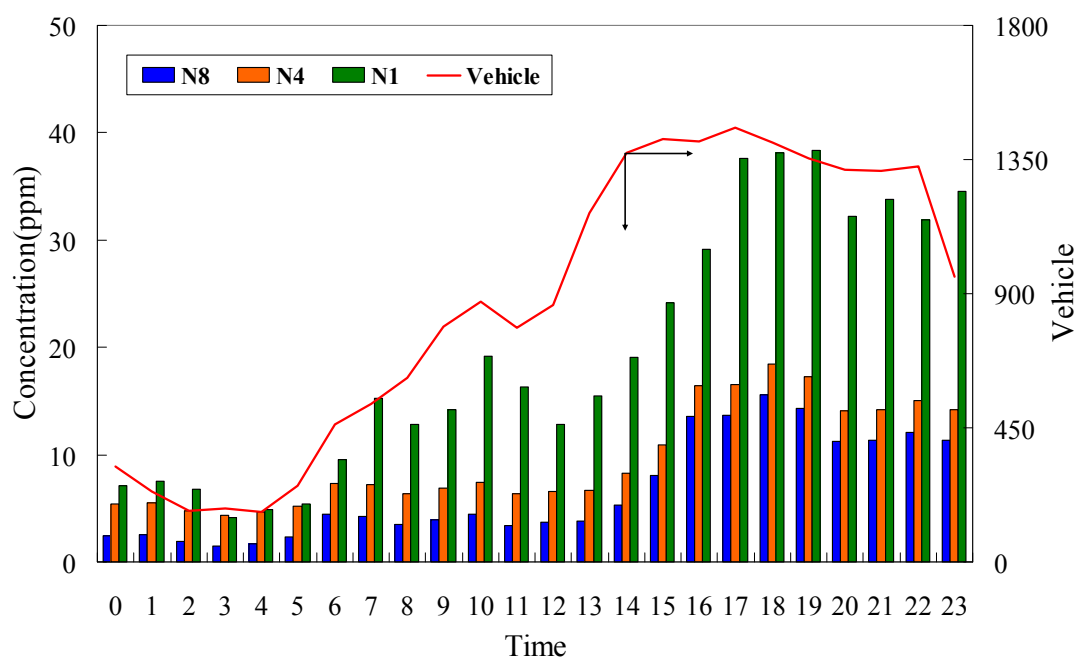


圖 4-3-2-5 假日(六)CO 逐時測值

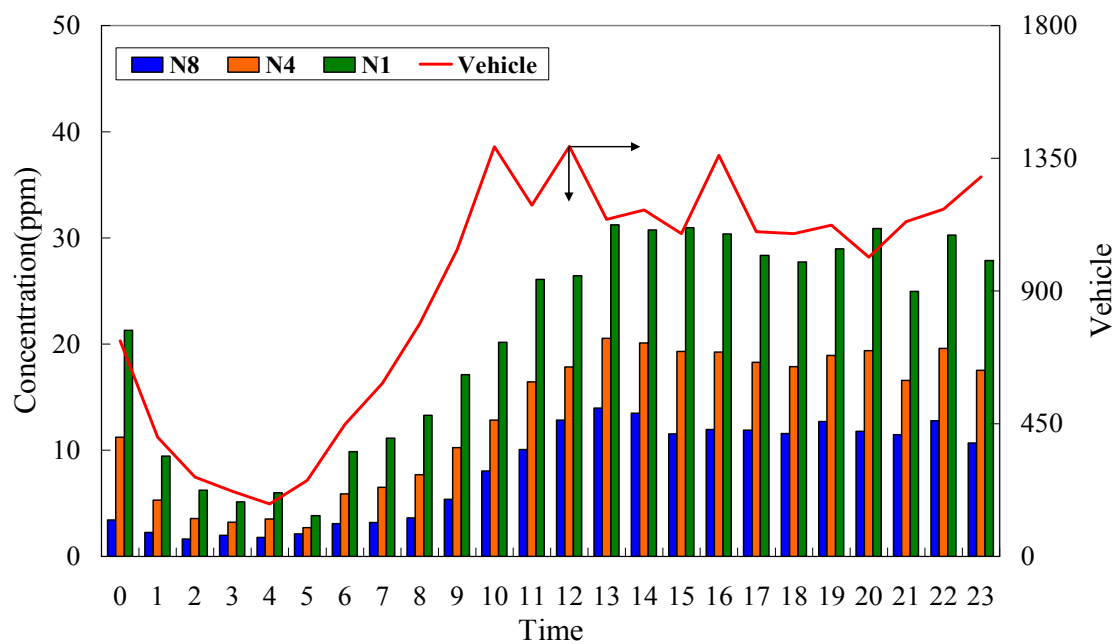


圖 4-3-2-6 假日(日)CO 逐時測值

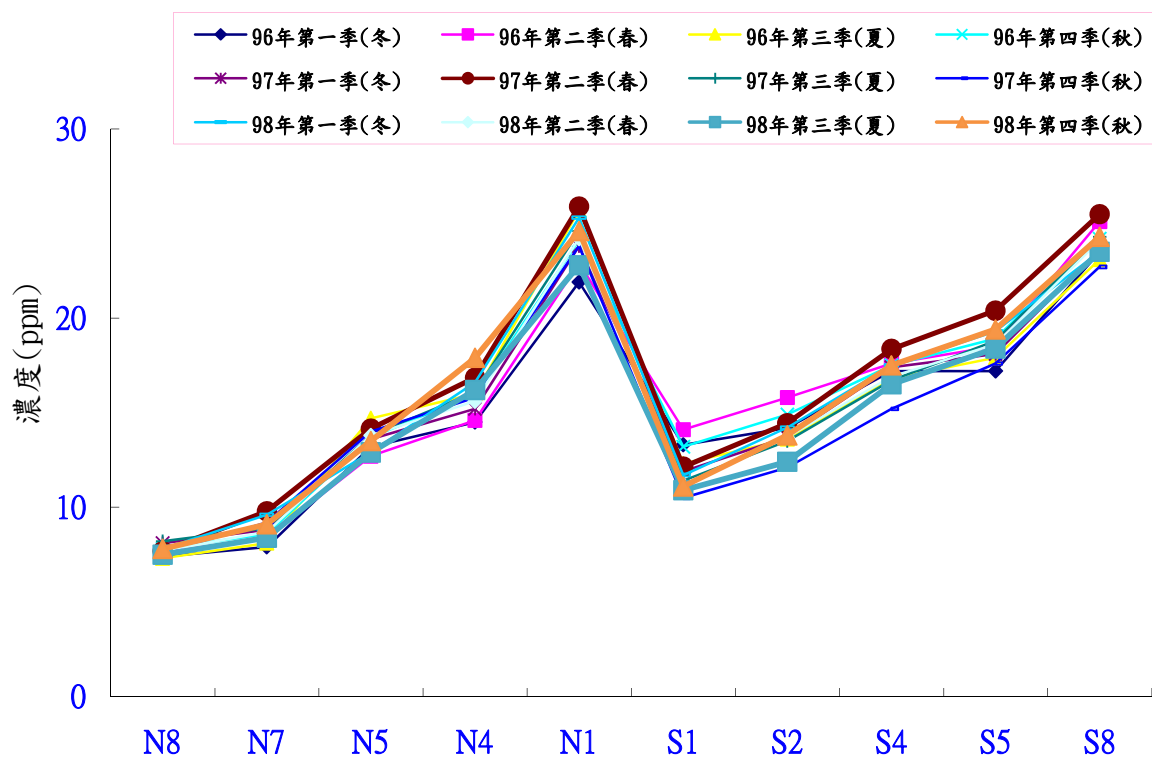


圖 4-3-2-7 隧道內各測點 CO 濃度值

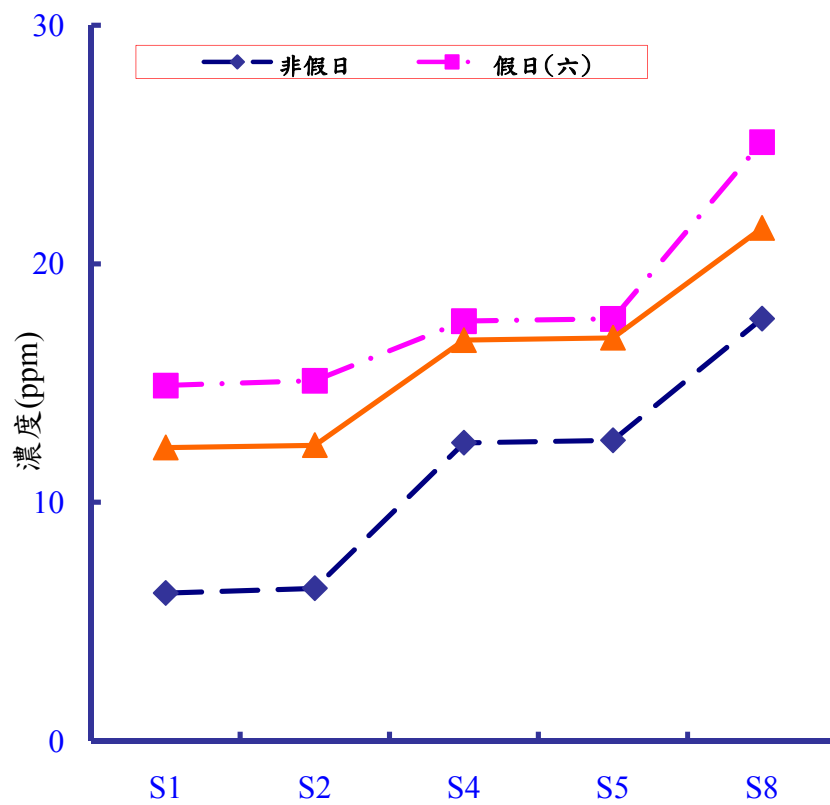


圖 4-3-2-8 非假日與假日南下 CO 濃度測值

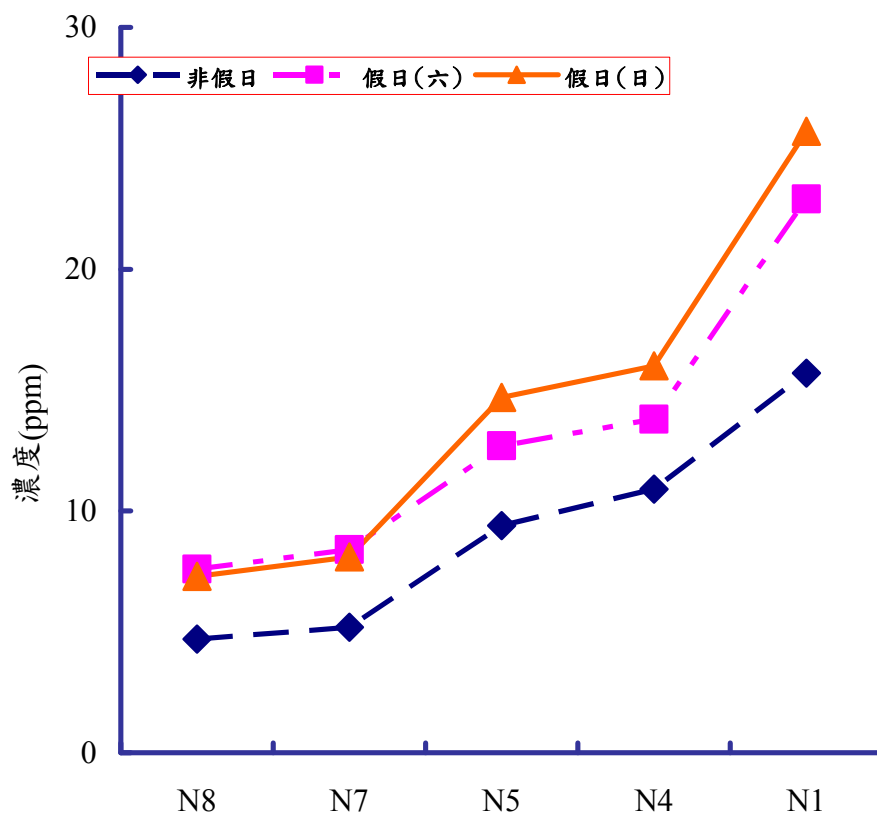


圖 4-3-2-9 非假日與假日北上 CO 濃度測值

2-3 二氧化硫(SO₂)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 4-3-2-15 所示，98 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 4-2-3-3-2、4-2-3-3-3、4-2-3-3-4、4-2-3-3-5 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)。97 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；98 年度 SO₂ 濃度亦略為增加，約介於 11.0 ~ 34.0 ppb 之間。

另比較各測點 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 濃度之比值約 0.97 倍，而近出風口處與近入風口處 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 濃度之比值約 0.97 倍，而近出風口處與近入風口處 SO₂ 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。

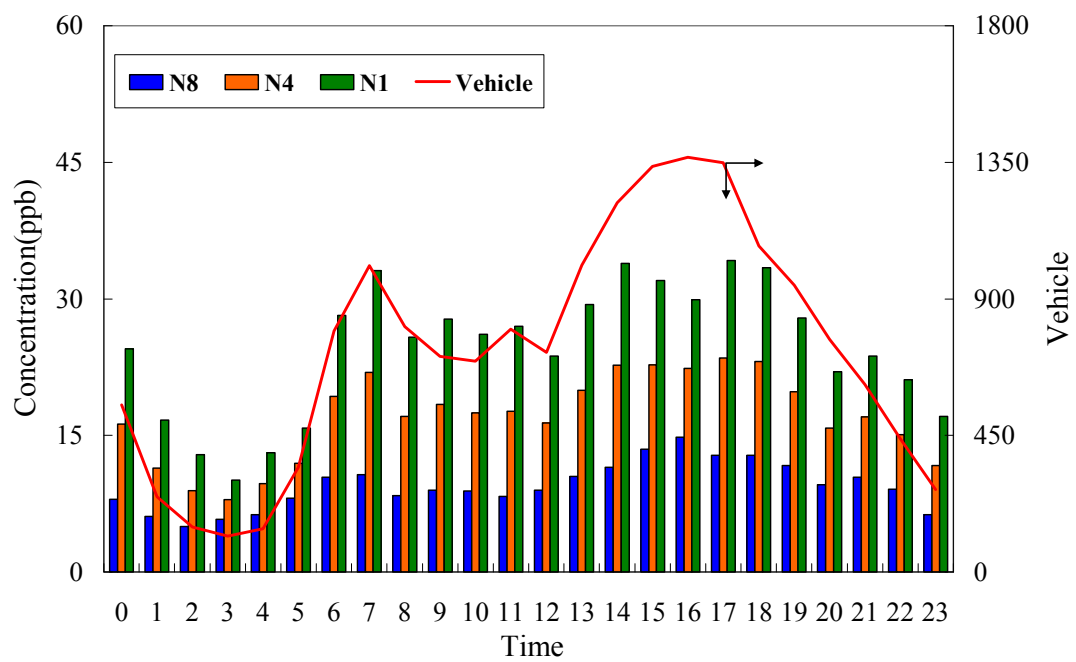


圖 4-3-2-10 非假日 SO₂ 逐時測值

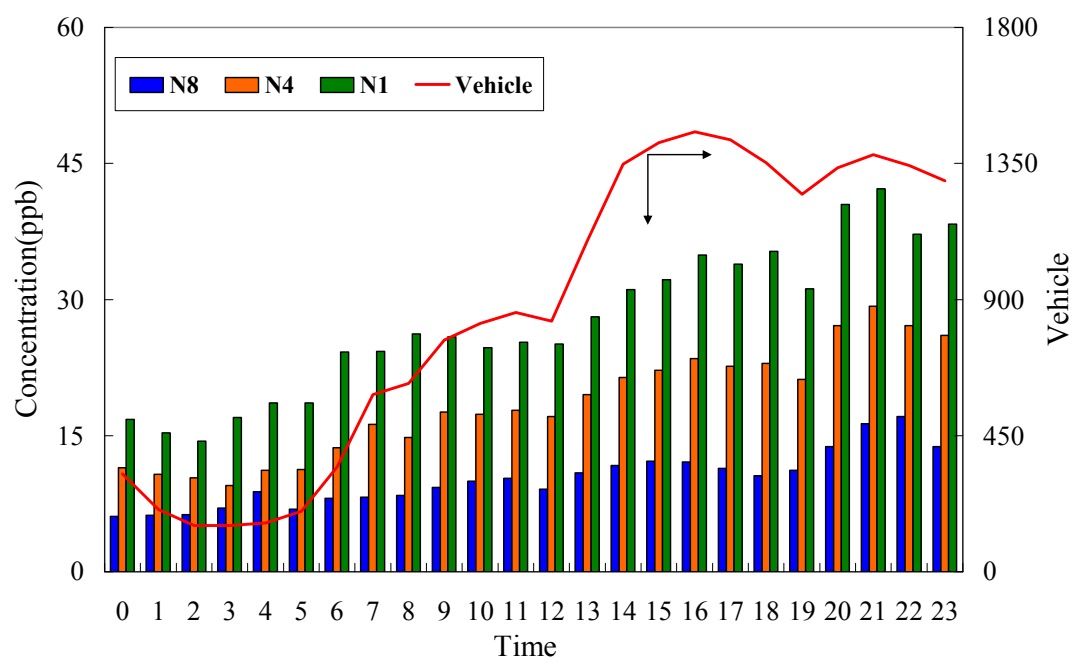


圖 4-3-2-11 假日(六)SO₂ 逐時測值

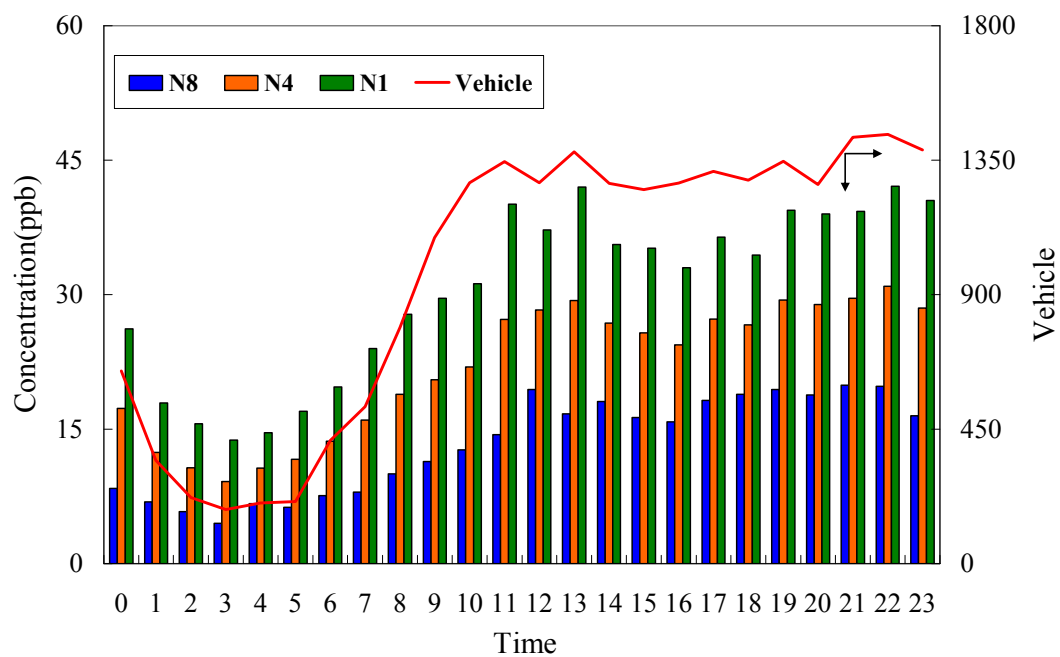


圖 4-3-2-12 假日(日)SO₂逐時測值

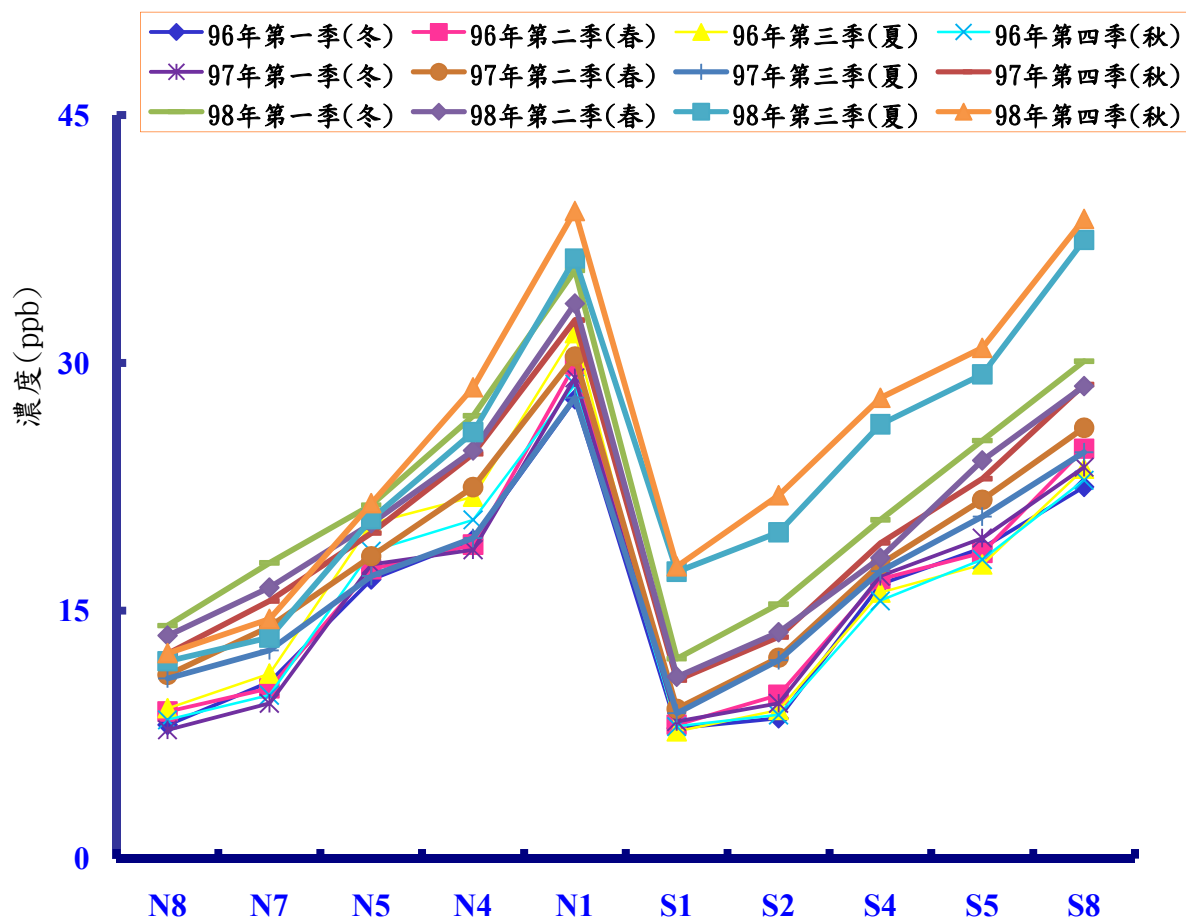


圖 4-3-2-13 隧道內各測點 SO₂ 濃度測值

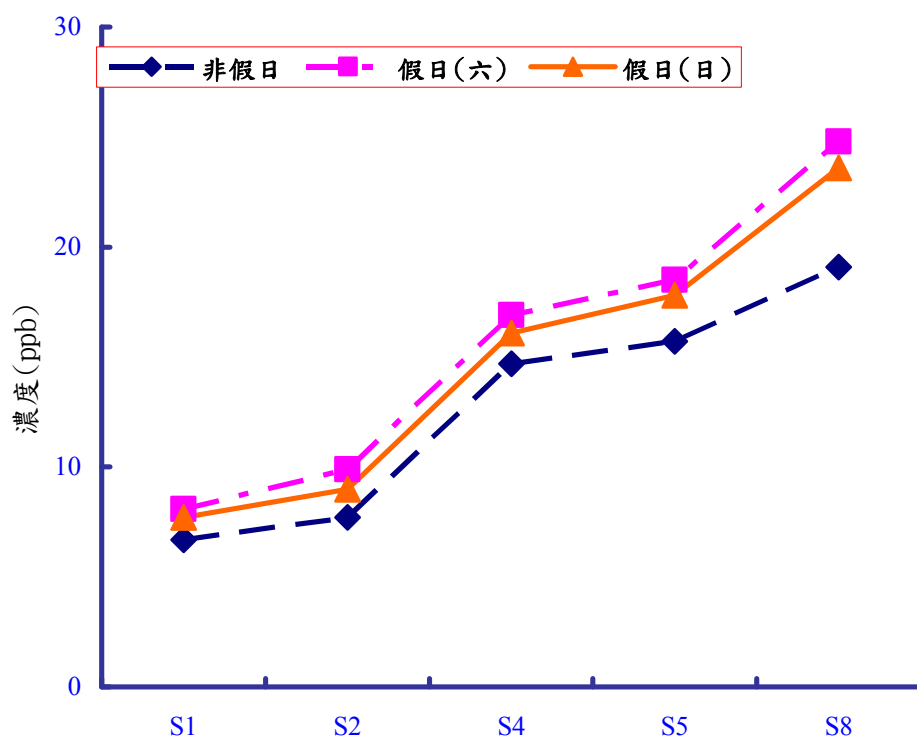


圖 4-3-2-14 非假日與假日南下 SO₂ 濃度測值

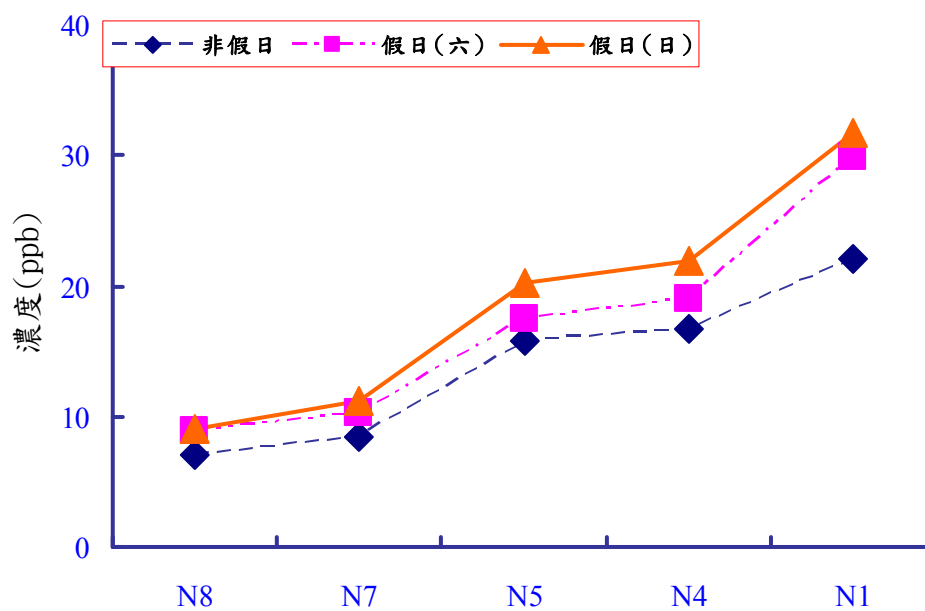


圖 4-3-2-15 非假日與假日北上 SO₂ 濃度測值

2-4 氮氧化物(NO_x)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 4-3-2-16 至圖 4-3-2-21 所示，發現其 NO_x 濃度變化與車流量尖離峰變化趨勢亦與 CO 濃度與車流量尖離峰變化趨勢相似，其假日與非假日各測點之濃度分別約為 N1(1843 ~ 2192 ppb)、N4(1256 ~ 1360 ppb)、N5(1098 ~ 1248 ppb)、N7(631 ~ 692 ppb)、與 N8(573 ~ 647 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 ~ 1254 ppb)與 S8(1549 ~ 1765 ppb)。NO_x 濃度變化與 CO 濃度變化趨勢相似，97 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；98 年度 NO_x 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 ~ 3.9 與 3.1 ~ 3.4 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。

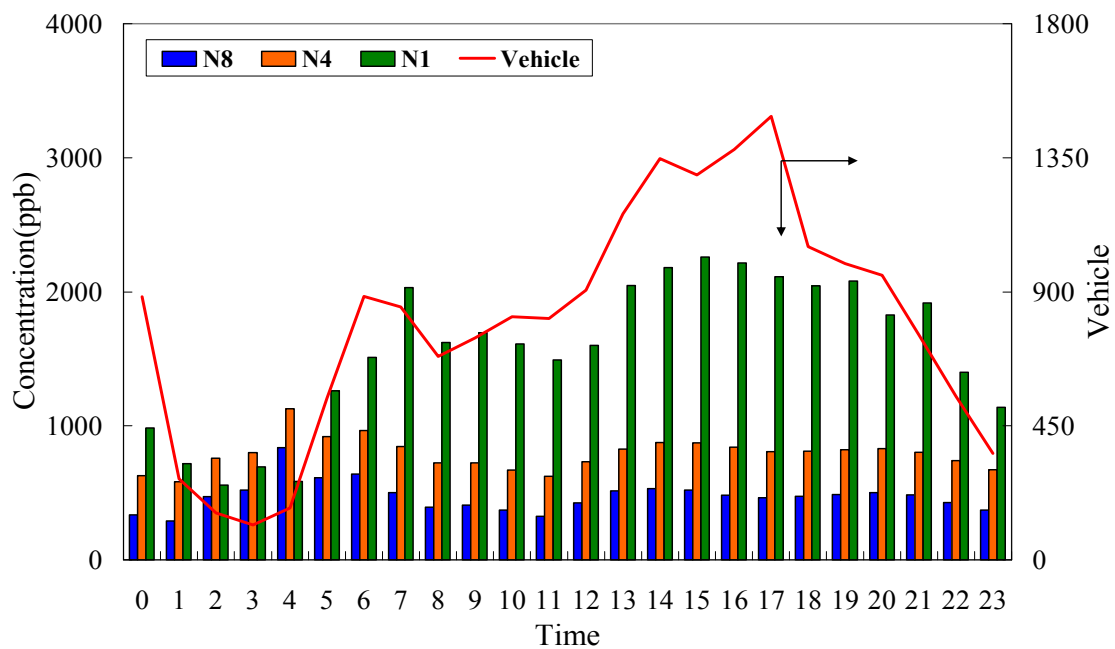


圖 4-3-2-16 非假日 NO_x 逐時測值

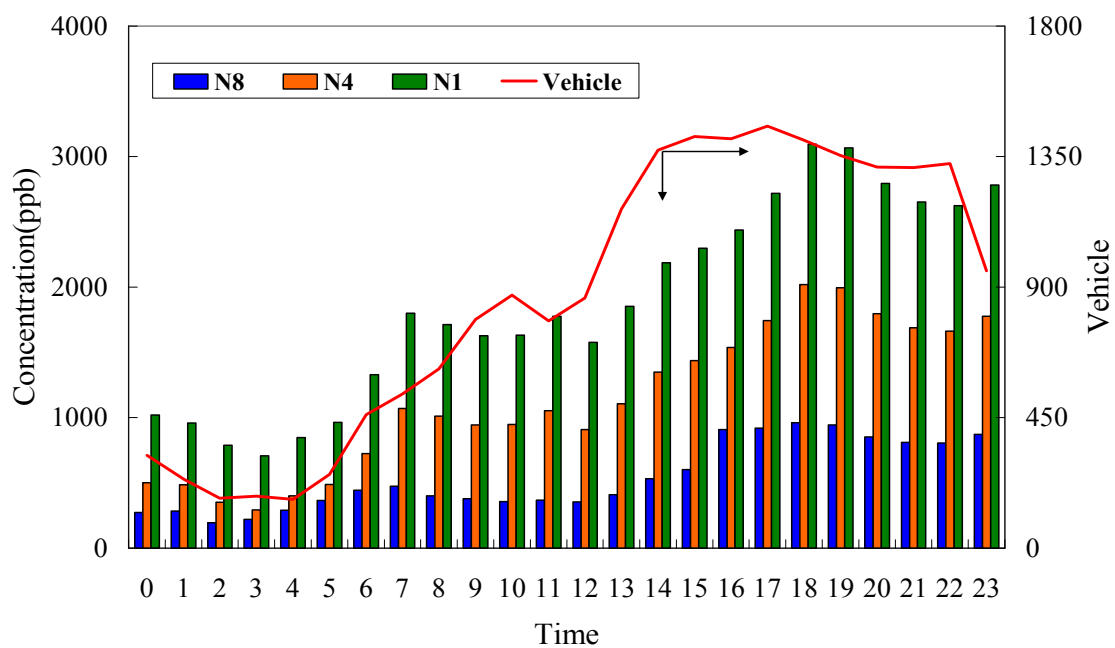


圖 4-3-2-17 假日(六)NO_x 逐時測值

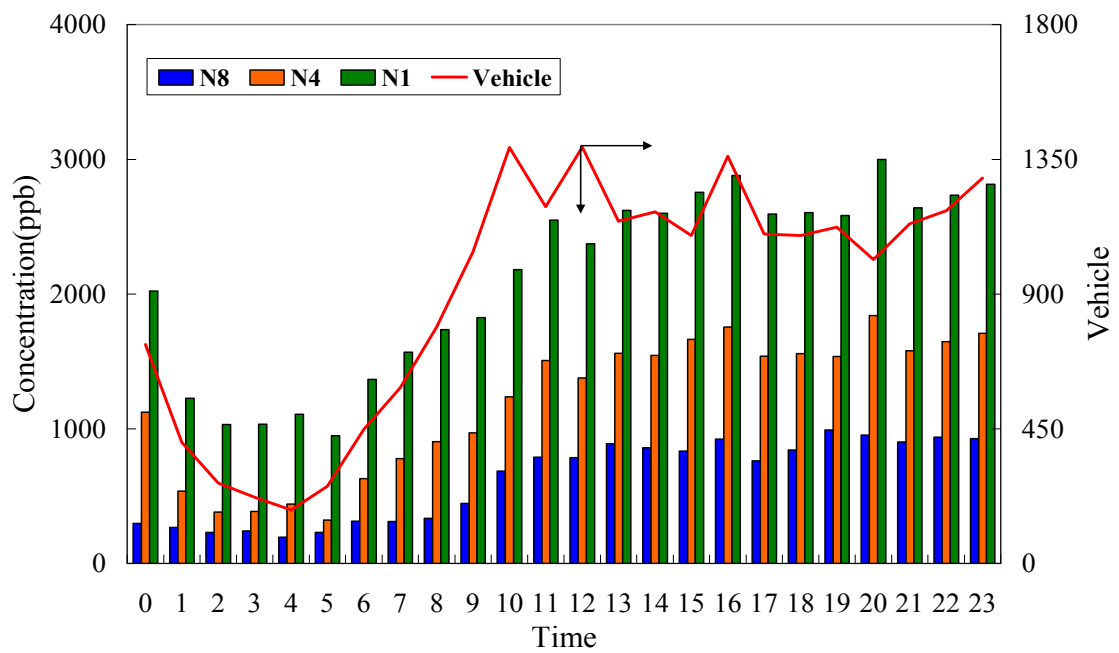


圖 4-3-2-18 假日(日) NO_x 逐時測值

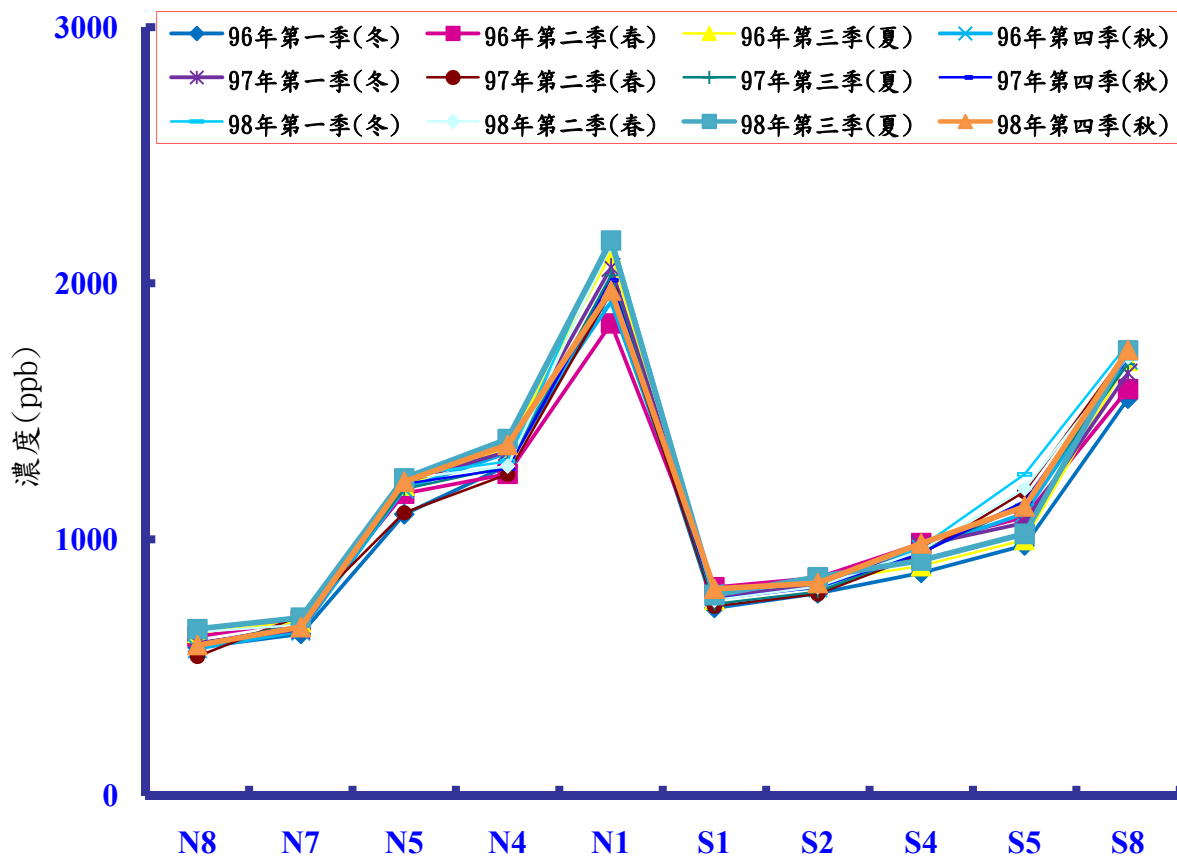


圖 4-3-2-19 各季南下車道之 NO_x 濃度測值

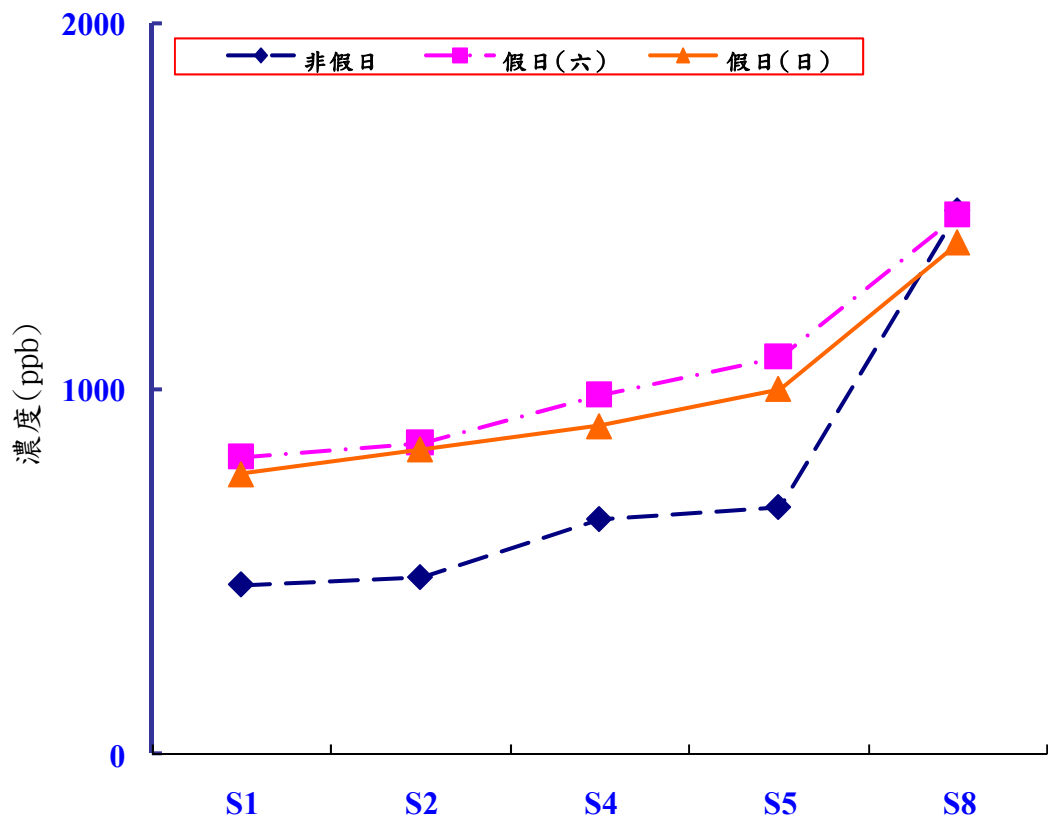


圖 4-3-2-20 非假日與假日南下 NO_x 濃度測值

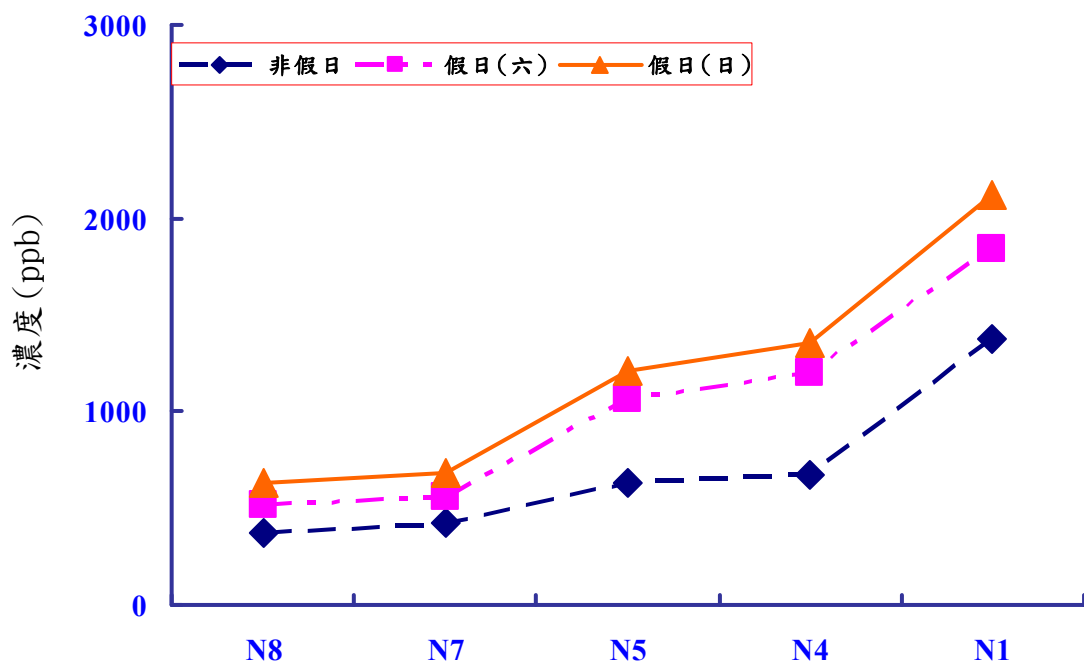


圖 4-3-2-21 本年度非假日與假日北上 NO_x 濃度測值

(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 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 濃度量測工作，經實驗人員於 96 年第一季(冬季)至 98 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 4-3-3-12 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 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 濃度大部分皆以民宅最高，最低濃度大部分位於台灣油杉區，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 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 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 5 號來往於台北、宜蘭地區。直至 97 年度與 98 年度東部民眾於春節返鄉，造成 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 濃度明顯上升。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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	71.32	23.40	8.20
民宅	58.41	28.30	10.63
台灣油杉 A 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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	69.58	28.32	10.25
民宅	56.81	30.12	13.62
台灣油杉 A 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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	73.28	29.31	9.65
民宅	59.56	31.25	13.31
台灣油杉 A 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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	70.25	32.25	8.81
民宅	60.54	30.21	11.23
台灣油杉 A 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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	65.84	35.6	9.5
民宅	49.12	39.42	15.6
台灣油杉 A 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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	68.97	33.40	12.54
民宅	51.60	29.70	11.01
台灣油杉 A 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

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	67.23	34.21	11.89
民宅	50.76	30.61	10.92
台灣油杉 A 區	40.38	24.55	12.18

表 4-3-3-8 97 年第四季空氣中粒狀物濃度

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	69.02	35.61	12.17
民宅	52.10	29.35	11.05
台灣油杉 A 區	39.68	25.41	11.43

表 4-3-3-9 98 年第一季空氣中粒狀物濃度

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	66.31	34.90	8.9
民宅	50.03	37.80	12.30
台灣油杉 A 區	38.50	31.60	10.50

表 4-3-3-10 98 年第二季空氣中粒狀物濃度

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	71.93	34.62	13.01
民宅	53.24	31.40	11.35
台灣油杉 A 區	40.16	33.80	12.75

表 4-3-3-11 98 年第三季空氣中粒狀物濃度

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	72.84	35.84	10.81
民宅	55.65	29.51	12.84
台灣油杉 A 區	42.38	26.43	10.54

表 4-3-3-12 98 年第四季空氣中粒狀物濃度

地點 \ 濃度	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
豎井區	68.92	36.29	11.09
民宅	56.43	31.46	11.18
台灣油杉 A 區	41.85	25.94	9.67

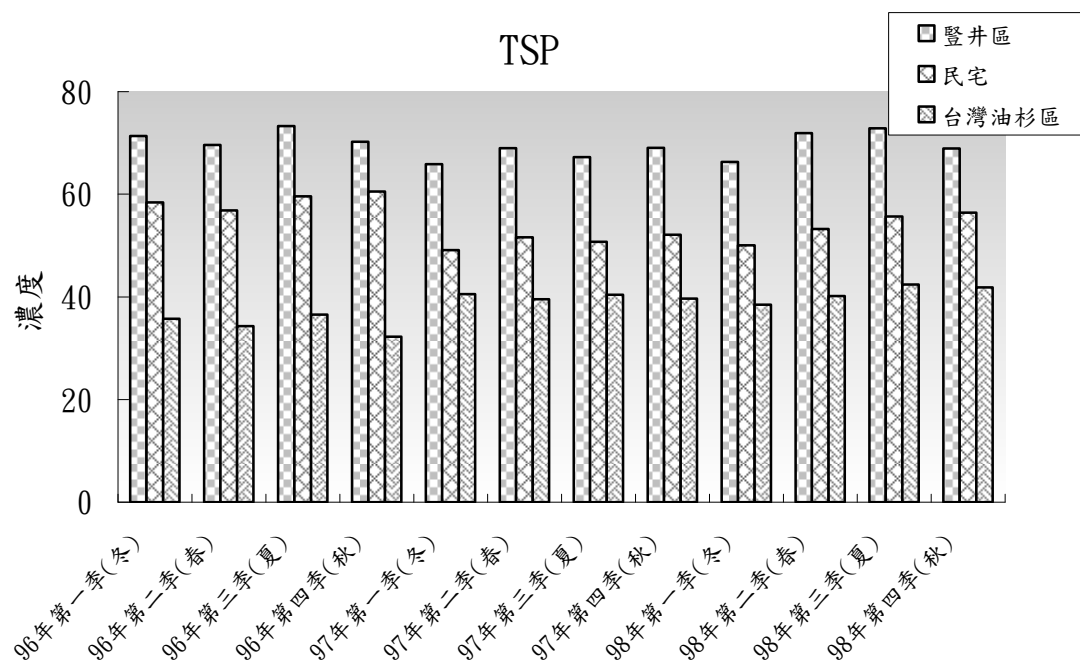


圖 4-3-3-1 TSP 濃度各季比較圖

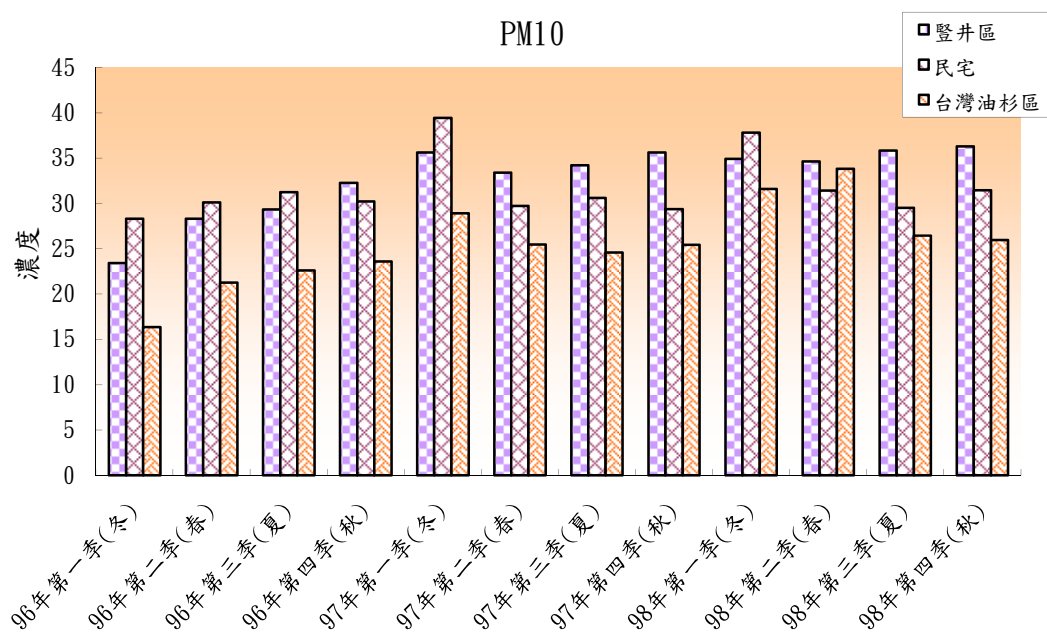


圖 4-3-3-2 PM₁₀ 濃度各季比較圖

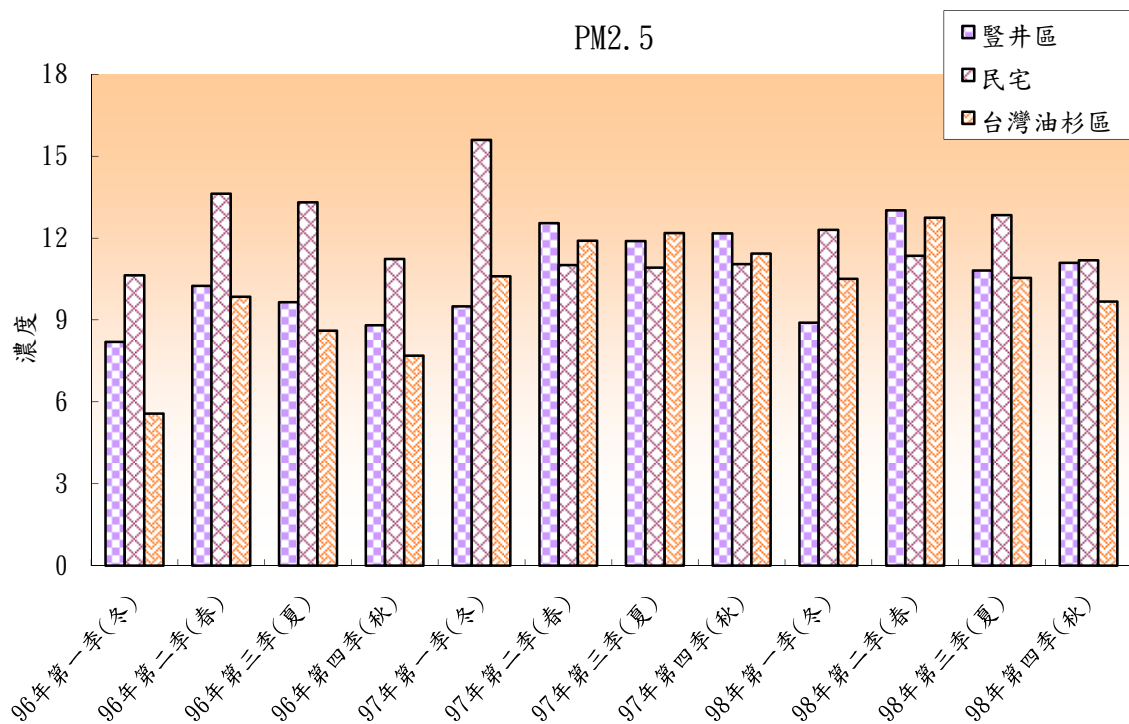


圖 4-3-3-3 PM_{2.5} 濃度各季比較圖

3-2 氣狀污染物濃度

本研究已進行十二季豎井區空氣品質監測作業，並完成十二季空氣品質監測結果數據分析，如表 4-3-3-13 至表 4-3-3-24 與圖 4-3-3-4 至圖 4-3-3-9 所示。就 SO₂ 濃度而言，除了第三、四季(夏、秋季)，皆顯示四個測站中，以豎井區所測得的 SO₂ 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 5 號倚重性提升，造成豎井區與台灣油杉區濃度略為上升；NO₂ 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_x 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 O₃ 濃度在 96、97 年與 98 年各別比較下，冬季時較高，以秋季較低。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 97 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 4-3-3-13 96 年第一季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	14.5	12.4	13.8	11.9
CO(ppm)	1.30	0.78	0.60	0.8
NO(ppb)	50.0	20.0	45.0	37
NO ₂ (ppb)	10.0	15.0	20.0	21
NO _x (ppb)	60.0	35.0	67.0	58
O ₃ (ppb)	68.3	64.6	65.4	63.1

表 4-3-3-14 96 年第二季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	21.3	19.9	20.8	17.9
CO(ppm)	1.82	1.36	1.71	1.33
NO(ppb)	78.0	32.0	67.0	63
NO ₂ (ppb)	17.0	12.0	15.0	12
NO _x (ppb)	95.0	44.0	82.0	75
O ₃ (ppb)	56.7	51.2	53.2	50.7

表 4-3-3-15 96 年第三季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	3.60	1.90	2.30	2.6
CO(ppm)	1.80	2.32	1.40	1.2
NO(ppb)	49.0	13.0	40.0	41
NO ₂ (ppb)	12.3	18.0	17.0	13
NO _x (ppb)	54.5	32.0	64.0	54
O ₃ (ppb)	34.0	44.9	53.6	49.6

表 4-3-3-16 96 年第四季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區 民宅		台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	5.80	3.80	2.88	2.67
CO(ppm)	1.60	2.27	1.30	0.8
NO(ppb)	46.5	30.0	59.0	54
NO ₂ (ppb)	13.5	11.0	21.0	20
NO _x (ppb)	44.5	49.0	67.0	74
O ₃ (ppb)	25.6	54.2	42.6	39.3

表 4-3-3-17 97 年第一季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	15.6	9.8	11.5	10.6
CO(ppm)	1.6	0.69	0.8	0.6
NO(ppb)	46	27	38	39
NO ₂ (ppb)	15	13	18	14
NO _x (ppb)	61	40	56	43
O ₃ (ppb)	62.6	56.1	58.9	56.7

表 4-3-3-18 97 年第二季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	16.6	10.9	13.7	12.9
CO(ppm)	1.98	1.61	1.86	1.74
NO(ppb)	85	40	81	77
NO ₂ (ppb)	16	18	13	11
NO _x (ppb)	101	58	94	88
O ₃ (ppb)	61.8	50.4	55.6	53.8

表 4-3-3-19 97 年第三季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	14.1	9.8	11.8	13.8
CO(ppm)	1.25	1.44	1.67	1.6
NO(ppb)	72	36	76	71
NO ₂ (ppb)	14	17	11	15
NO _x (ppb)	94	53	87	86
O ₃ (ppb)	54.9	47.6	53.1	56.2

表 4-3-3-20 97 年第四季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	13.8	9.2	10.06	12.9
CO(ppm)	1.19	1.32	1.63	1.1
NO(ppb)	73	33	73	55
NO ₂ (ppb)	13	15	10	19
NO _x (ppb)	89	50	83	74
O ₃ (ppb)	52.4	45.9	52.31	52.6

表 4-3-3-21 98 年第一季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	14.7	10.4	15.5	11.3
CO(ppm)	1.54	1.17	1.77	0.8
NO(ppb)	67	34	69	53
NO ₂ (ppb)	14	18	16	15
NO _x (ppb)	81	52	85	68
O ₃ (ppb)	55	47.1	51.2	57.6

表 4-3-3-22 98 年第二季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	19.6	10.8	19.5	17.6
CO(ppm)	1.89	0.9	1.93	1.88
NO(ppb)	56	35	71	69
NO ₂ (ppb)	21	14	16	13
NO _x (ppb)	77	49	87	81
O ₃ (ppb)	59.6	49.5	54.6	53.4

表 4-3-3-23 98 年第三季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	18.4	12.1	12.9	11.6
CO(ppm)	2.1	1.53	1.87	1.08
NO(ppb)	68	42	51	45
NO ₂ (ppb)	19	11	17	12
NO _x (ppb)	87	53	68	57
O ₃ (ppb)	57.4	51.7	56.4	51.7

表 4-3-3-24 98 年第四季各監測點污染物濃度之比較

	豎井區	民宅	台灣油杉 A 區	台灣油杉 D 區
SO ₂ (ppb)	17.5	10.7	11.8	10.1
CO(ppm)	1.8	1.38	1.52	0.9
NO(ppb)	57	40	42	38
NO ₂ (ppb)	14	12	13	10
NO _x (ppb)	71	52	55	48
O ₃ (ppb)	58.6	46.9	50.8	51.3

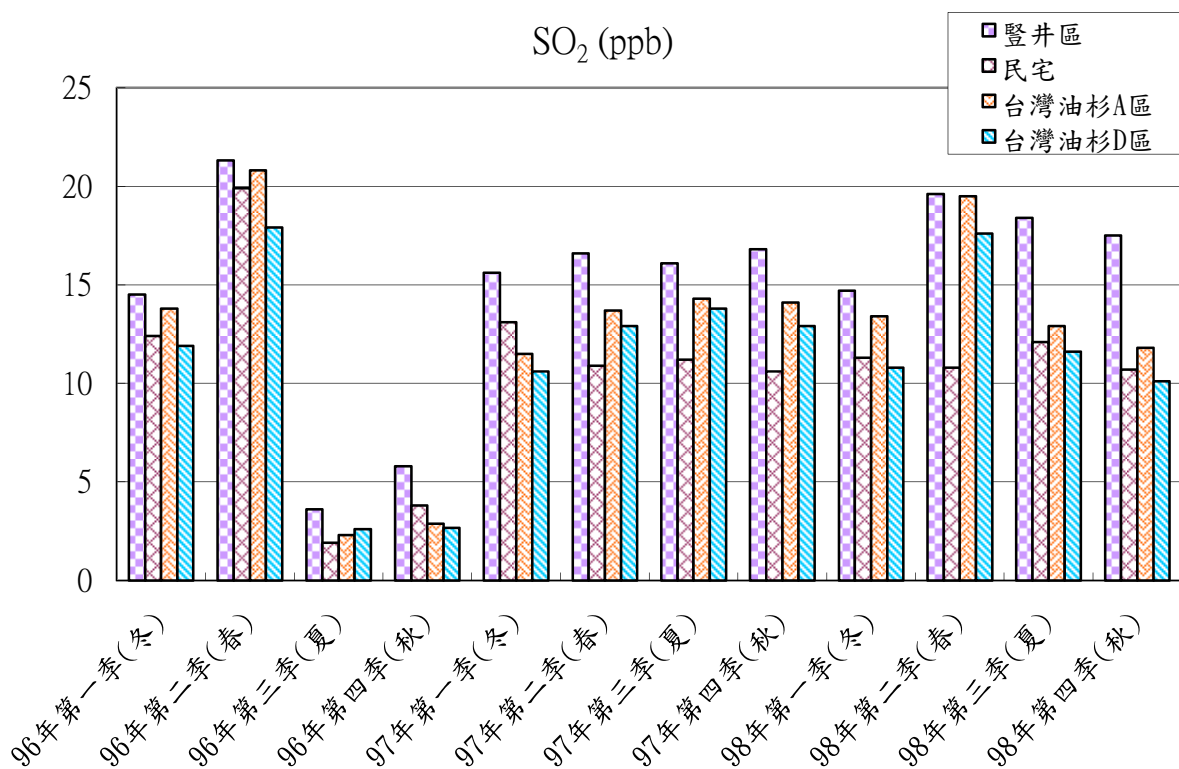


圖 4-3-3-4 SO₂ 各季濃度比較圖

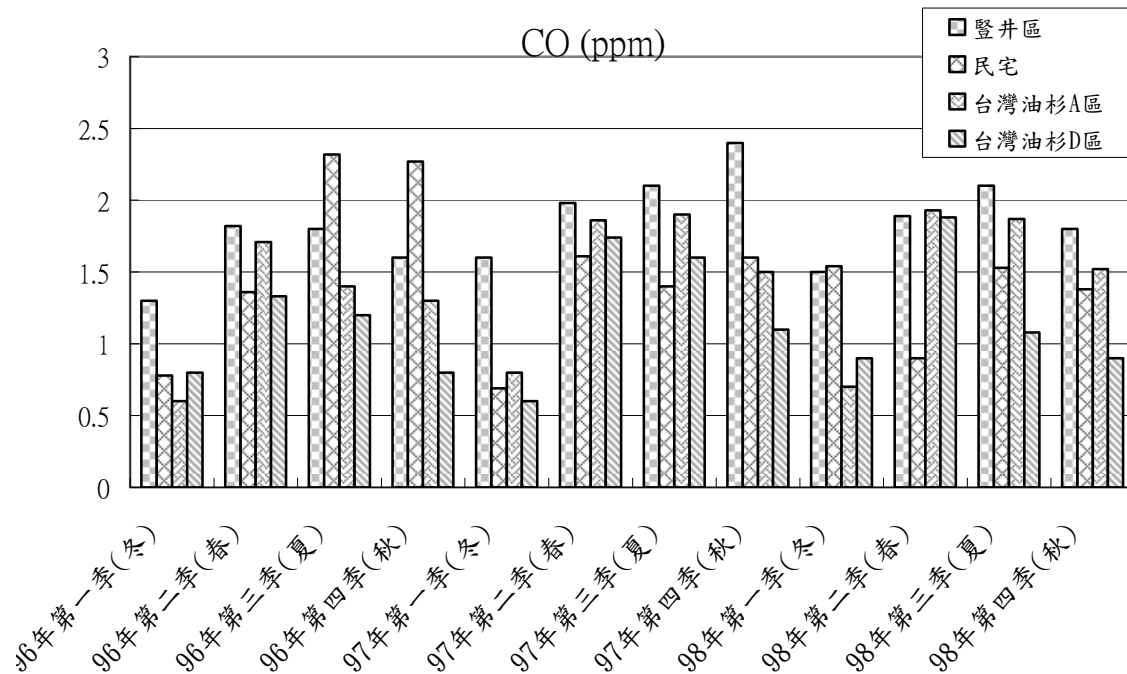


圖 4-3-3-5 CO 各季濃度比較圖

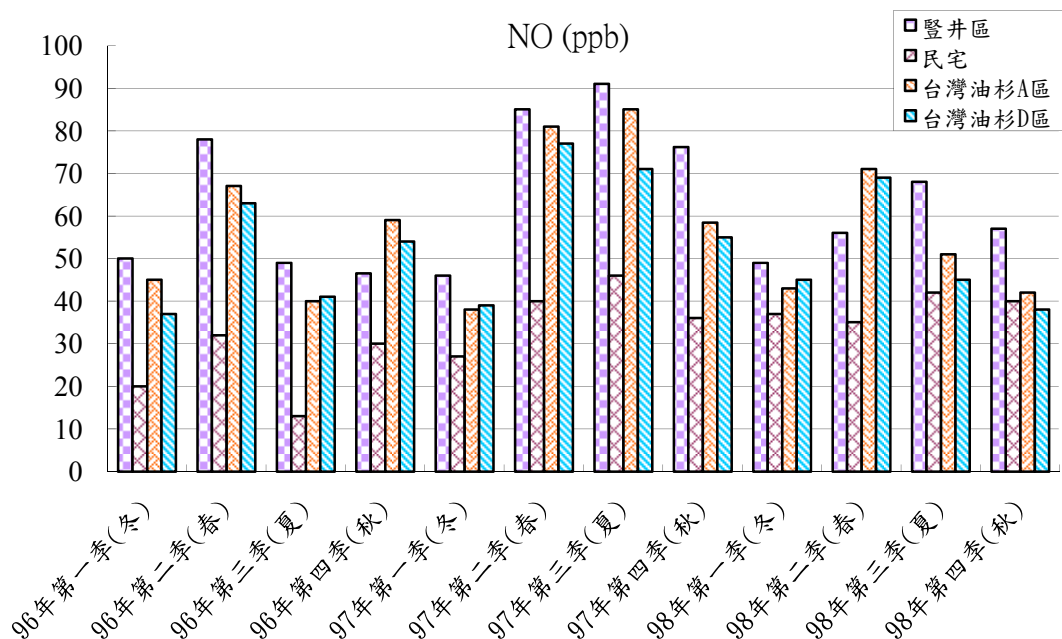


圖 4-3-3-6 NO 各季濃度比較圖

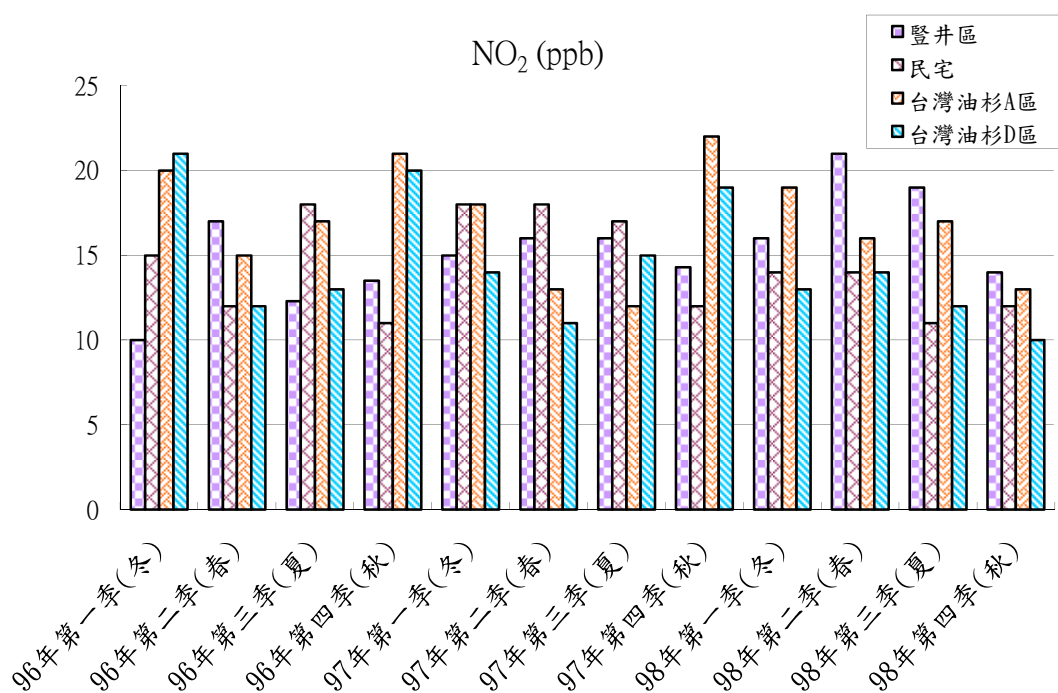


圖 4-3-3-7 NO₂ 各季濃度比較圖

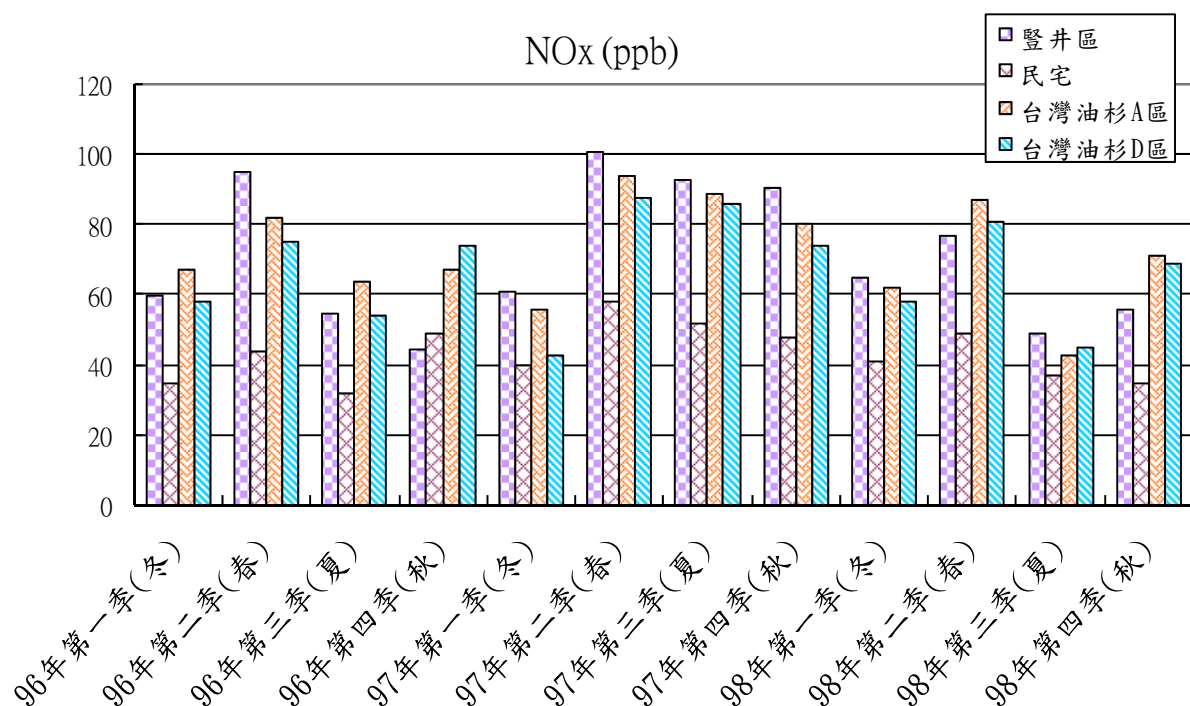


圖 4-3-3-8 NO_x 各季濃度比較圖

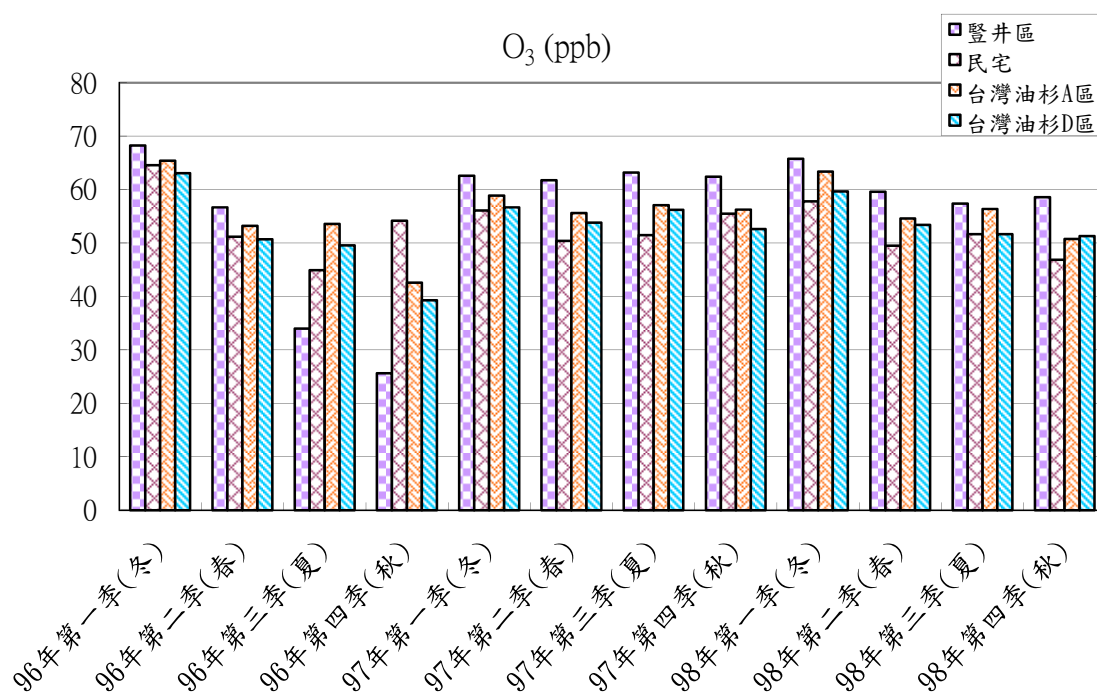


圖 4-3-3-9 O₃ 各季濃度比較圖

(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 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-})，與陽離子濃度(含 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})，所使用儀器離子層析儀(Ion Chromatography, IC)，廠牌與機型分別為 Metrohm Inc.與 Model 761 compact IC，另分析所建立檢量線，如附錄一所示；另管制圖如附錄二所示。本次 A 區分析結果為 96 年度第一季至 98 年度第四季數據加以比較，D 區分析結果為 97 年度第一季至 98 年度第四季加以比較。

4-1 陰離子濃度分析結果

離子層析儀(IC)分析四季之陰離子濃度分析結果，如表 4-3-4-1 至表 4-3-4-2-3 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 $[\text{Cl}^-]$ 及 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 濃度較其他陰離子濃度為高，其中以 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 濃度為最大，約為 $36.06\mu\text{eq/L}$ ，其次為 $[\text{Cl}^-]$ ，約 $27.0\mu\text{eq/L}$ 。但在 98 年度第一季(冬季)時，以 $[\text{NO}_2^-]$ 及 $[\text{Cl}^-]$ 濃度較其他陰離子濃度為高，其中以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為 $53.5\mu\text{eq/L}$ ，其次為 $[\text{NO}_2^-]$ ，約 $52.4\mu\text{eq/L}$ 。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 $66.7\mu\text{eq/L}$ ， $[\text{NO}_3^-]$ 與 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度分別約為 $31.77\mu\text{eq/L}$ 及 $35.7\mu\text{eq/L}$ 。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 $94.4\mu\text{eq/L}$ ； $[\text{NO}_2^-]$ 與 $[\text{NO}_3^-]$ 濃度分別約為 $42.4\mu\text{eq/L}$ 及 $36.5\mu\text{eq/L}$ 。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 $80.6\mu\text{eq/L}$ ；而 $[\text{NO}_3^-]$ 與 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度分別約為 $40.2\mu\text{eq/L}$ 及 $39.3\mu\text{eq/L}$ 。在 98 年度第一季(冬季)時陰離子濃度，以 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 及 $[\text{NO}_2^-]$ 等離子濃度較高，仍以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為

78.6 $\mu\text{eq/L}$ ；而 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 與 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度分別約為 40.5 $\mu\text{eq/L}$ 及 46.5 $\mu\text{eq/L}$ 。在 98 年度第二季(春季)時陰離子濃度，以 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 及 $[\text{NO}_2^-]$ 等離子濃度較高，但以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為 89.6 $\mu\text{eq/L}$ ；而 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 與 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度分別約為 46.3 $\mu\text{eq/L}$ 及 57.8 $\mu\text{eq/L}$ 。在 98 年度第三季(夏季)時其陰離子濃度大小順序依序為 $[\text{Cl}^-]$ 50.6 $\mu\text{eq/L}$ 、 $[\text{NO}_2^-]$ 48.7 $\mu\text{eq/L}$ 及 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 31.7 $\mu\text{eq/L}$ 。在 98 年度第四季(秋季)時，陰離子濃度仍以 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 及 $[\text{NO}_2^-]$ 濃度較高，分別為 42.3 $\mu\text{eq/L}$ 、24.6 $\mu\text{eq/L}$ 及 33.4 $\mu\text{eq/L}$ 。98 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 監測季別	陰離子(μeq/L)					
	pH	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
96 年第一季(冬)	5.4	9.9	5.2	7.58	10.53	1.25
96 年第二季(春)	5	52.7	10.9	21.6	73.72	8.13
96 年第三季(夏)	5.6	10.7	10.0	14.36	21.06	6.25
96 年第四季(秋)	5.8	0.88	14.6	18.07	28.09	6.56
97 年第一季(冬)	5.6	24.8	22.0	31.77	18.19	11.04
97 年第二季(春)	4.9	56.9	37.0	30.32	69.57	ND(≤0.10)
97 年第三季(夏)	5.2	27.0	18.0	21.94	36.06	6.04
97 年第四季(秋)	5.3	43.9	35.7	31.77	66.70	6.67
98 年第一季(冬)	5.8	53.5	52.4	20.48	33.83	13.96
98 年第二季(春)	5.9	76.3	63.9	4.03	36.70	11.77
98 年第三季(夏)	5.5	50.6	48.7	10.6	31.7	9.42
98 年第四季(秋)	5.6	42.3	33.4	15.8	24.6	8.46

表 4-3-4-2 D 區陰離子濃度測試結果

監測項目 監測季別	陰離子(μeq/L)					
	pH	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
97 年第一季(冬)	5.3	87.6	37.8	23.1	37.7	13.2
97 年第二季(春)	4.6	72.1	37.0	29.6	47.2	15.1
97 年第三季(夏)	4.9	94.4	42.4	36.5	33.5	17.0
97 年第四季(秋)	5.1	80.6	39.3	40.2	26.2	11.7
98 年第一季(冬)	5.4	78.6	46.5	24.3	40.5	13.6
98 年第二季(春)	5.7	89.6	57.8	29.1	46.3	16.6
98 年第三季(夏)	5.4	90.7	40.2	32.4	30.4	13.8
98 年第四季(秋)	5.3	78.3	37.5	35.1	22.6	10.8

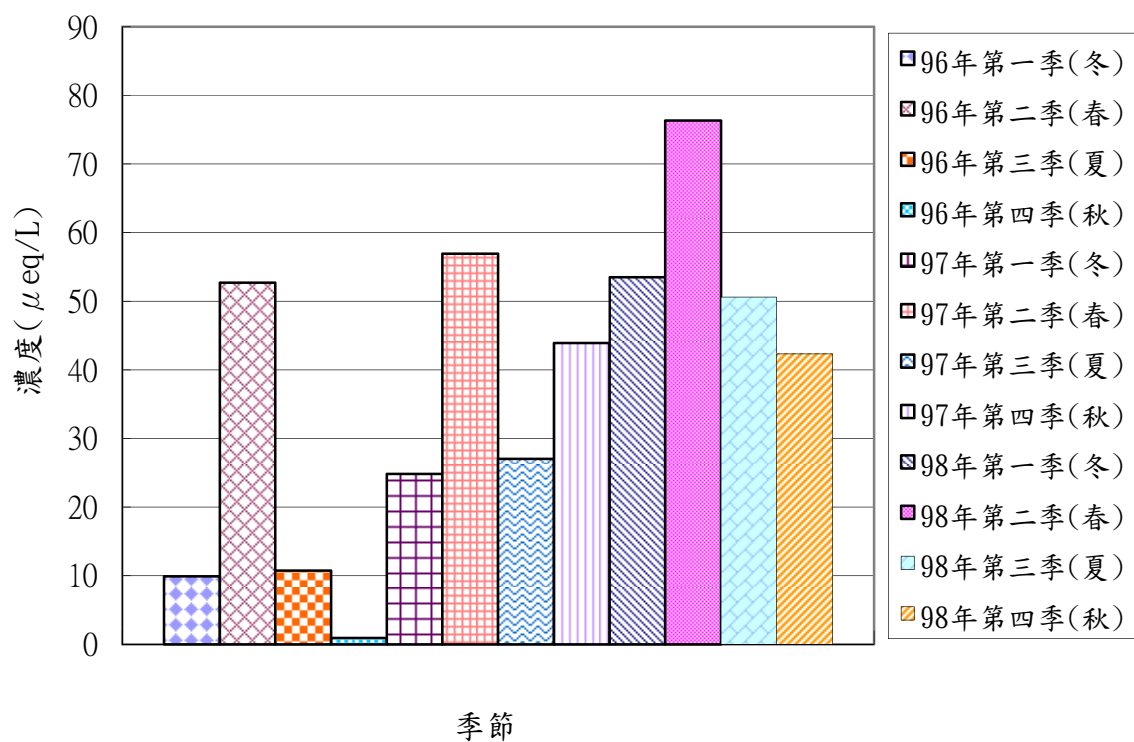


圖 4-3-4-1 A 區 Cl⁻離子濃度測試結果

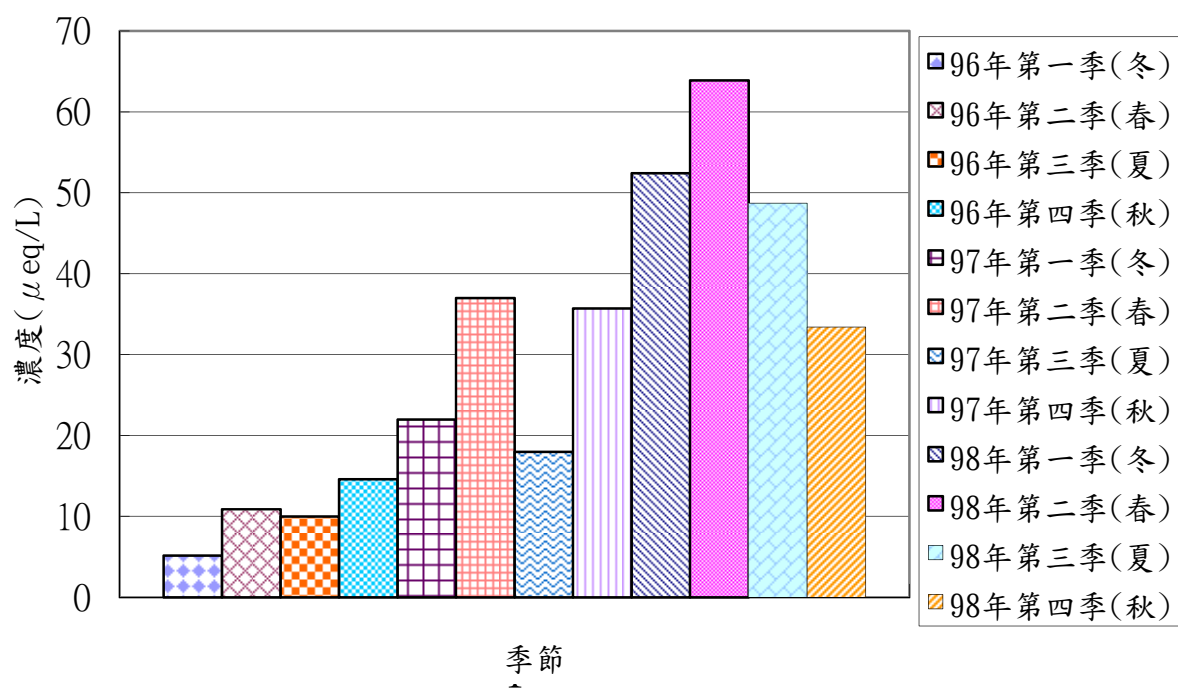


圖 4-3-4-2 A 區 NO₂⁻離子濃度測試結果

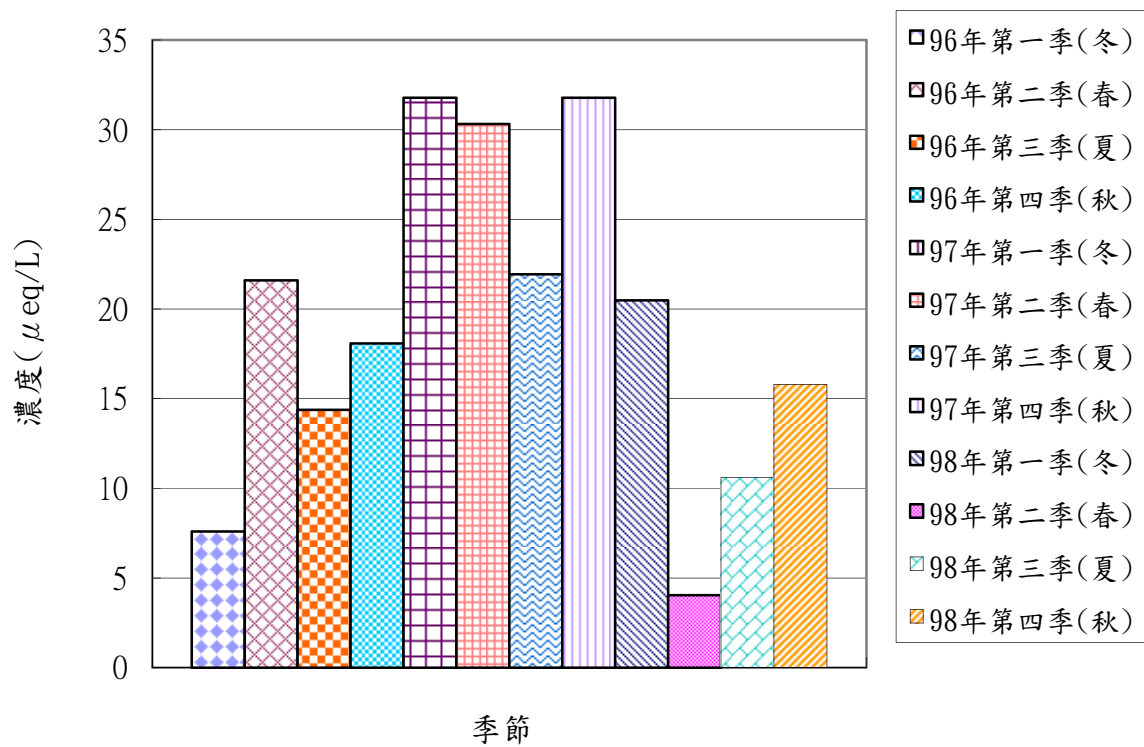


圖 4-3-4-3 A 區 NO_3^- 濃度測試結果

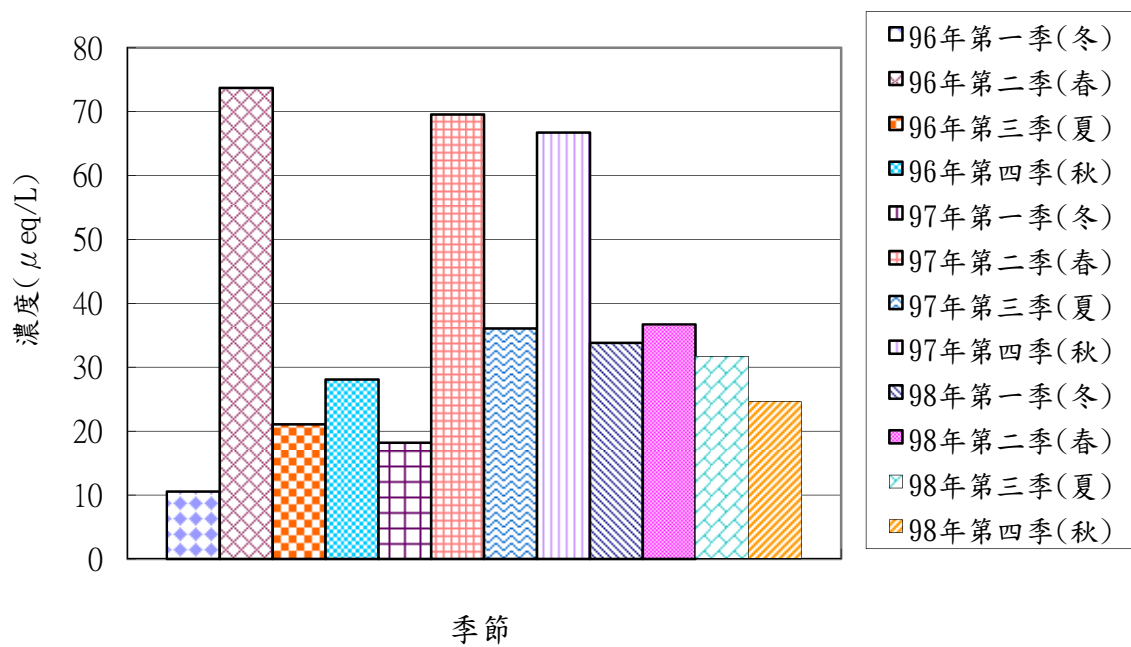


圖 4-3-4-4 A 區 PO_4^{3-} 濃度測試結果

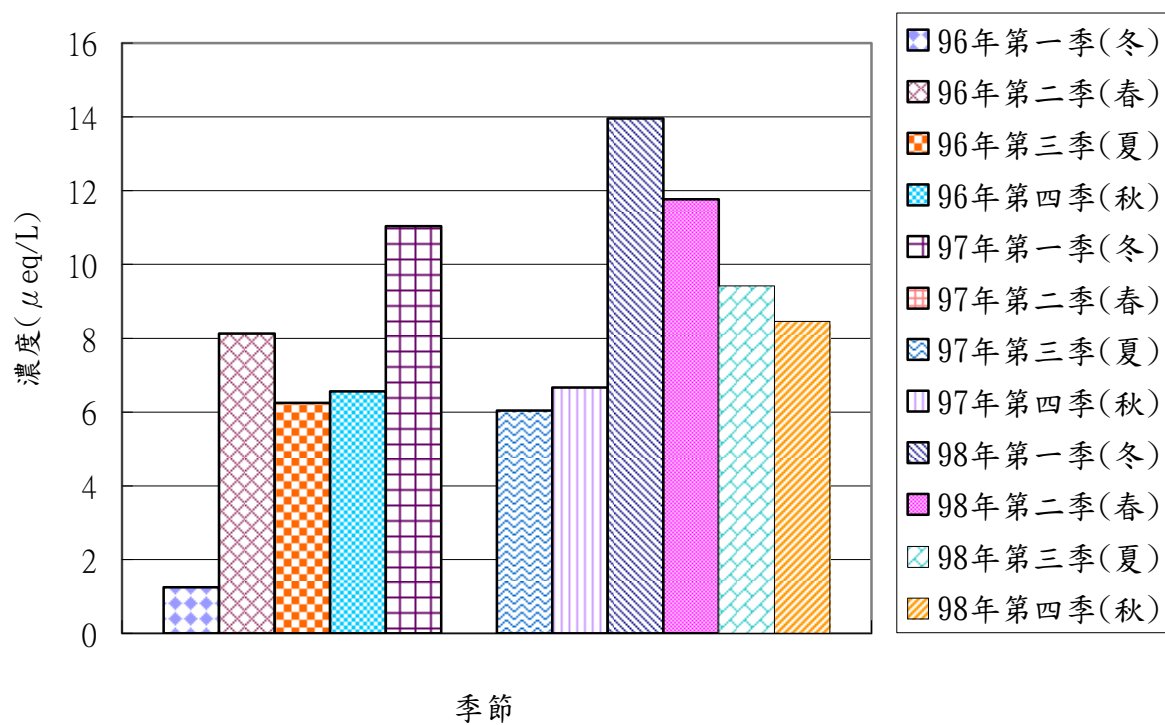


圖 4-3-4-5 A 區 SO_4^{2-} 濃度測試結果

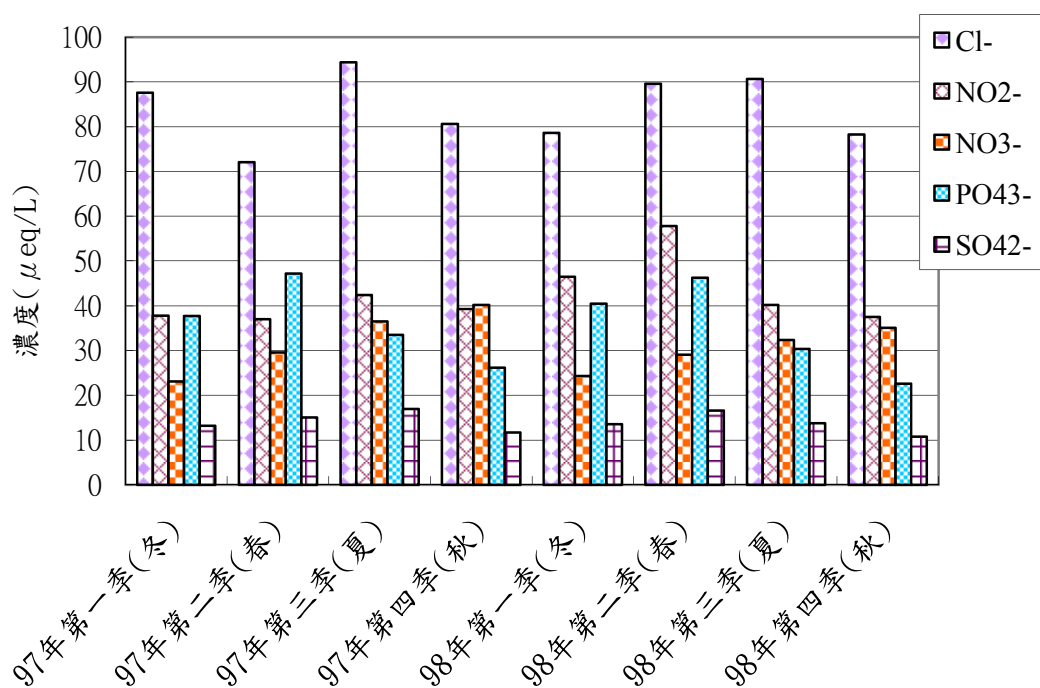


圖 4-3-4-6 D 區各陰離子濃度測試結果

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 98 年度第三季及第四季，並加入 96 年度第一季到第四季數據及 97 年度第一季和第四季加以比較，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 $102\mu\text{eq/L}$ 與 $32.8\mu\text{eq/L}$ 。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 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{Mg}^{2+}]$ 濃度較為其他離子高，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度分別為 $80.0\mu\text{eq/L}$ 與 $52.6\mu\text{eq/L}$ 。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 $[\text{Mg}^{2+}]$ 濃度為較高，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度分別約為 $60.0\mu\text{eq/L}$ 與 $42.8\mu\text{eq/L}$ 。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 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度較為明顯，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Mg}^{2+}]$ 濃度分別為 $40.9\mu\text{eq/L}$ 與 $33.7\mu\text{eq/L}$ 。在 98 年度第一季(冬季)時所採集之雨水，其所分析出各陽離子濃度中，以 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度較為明顯，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度分別為 $64.3\mu\text{eq/L}$ 與 $32.1\mu\text{eq/L}$ 。在 98 年度第二季(春季)時所採集之雨水，其所分析出各陽離子濃度中，以 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度較為明顯，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度分別為 $56.1\mu\text{eq/L}$ 與 $50.2\mu\text{eq/L}$ 。在 98 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，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度分別為 $53.2\mu\text{eq/L}$ 與 $43.6\mu\text{eq/L}$ ，仍以 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{Mg}_2^+]$ 濃度較為明顯。在 98 年度第三季(秋季)時所分析出各陽離子濃度中，最高為 $[\text{Na}^+]$ $48.7\mu\text{eq/L}$ 與 $[\text{Mg}_2^+]$ $48.4\mu\text{eq/L}$ 。98 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 監測季別	陽離子(μeq/L)					
	pH	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
96 年第一季(冬)	5.4	29.6	25.0	3.08	0.15	6.58
96 年第二季(春)	5	47.4	42.2	32.8	20.8	41.2
96 年第三季(夏)	5.6	33.9	37.2	14.4	11.3	28.8
96 年第四季(秋)	5.8	39.6	30.6	19.7	13.3	64.2
97 年第一季(冬)	5.6	116	26.7	17.2	42.3	37.0
97 年第二季(春)	4.9	51.3	39.4	73.9	21.3	51.0
97 年第三季(夏)	5.2	102	21.7	32.8	5.25	40.3
97 年第四季(秋)	5.3	80.0	46.7	52.6	29.5	62.6
98 年第一季(冬)	5.8	59.1	28.9	45.6	21.0	56.0
98 年第二季(春)	5.9	73.0	42.2	23.6	15.0	46.9
98 年第三季(夏)	5.5	53.2	26.4	27.9	17.4	43.6
98 年第四季(秋)	5.6	48.7	35.7	31.5	13.9	48.4

表 4-3-4-4 D 區陽離子濃度測試結果

監測項目 監測季別	陽離子(μeq/L)					
	pH	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
97 年第一季(冬)	5.3	66.5	20.6	ND (≤0.08)	18.3	36.2
97 年第二季(春)	4.6	23.9	33.9	17.4	27.3	ND(≤0.12)
97 年第三季(夏)	4.9	60.0	40.6	15.9	23.5	42.8
97 年第四季(秋)	5.1	40.9	28.3	18.5	29.5	33.7
98 年第一季(冬)	4.7	64.3	31.1	ND (≤0.08)	25.3	32.1
98 年第二季(春)	5.2	56.1	23.3	13.5	19.8	50.2
98 年第三季(夏)	5.4	57.3	35.7	12.1	19.8	33.9
98 年第四季(秋)	5.3	36.6	22.3	15.8	23.5	27.4

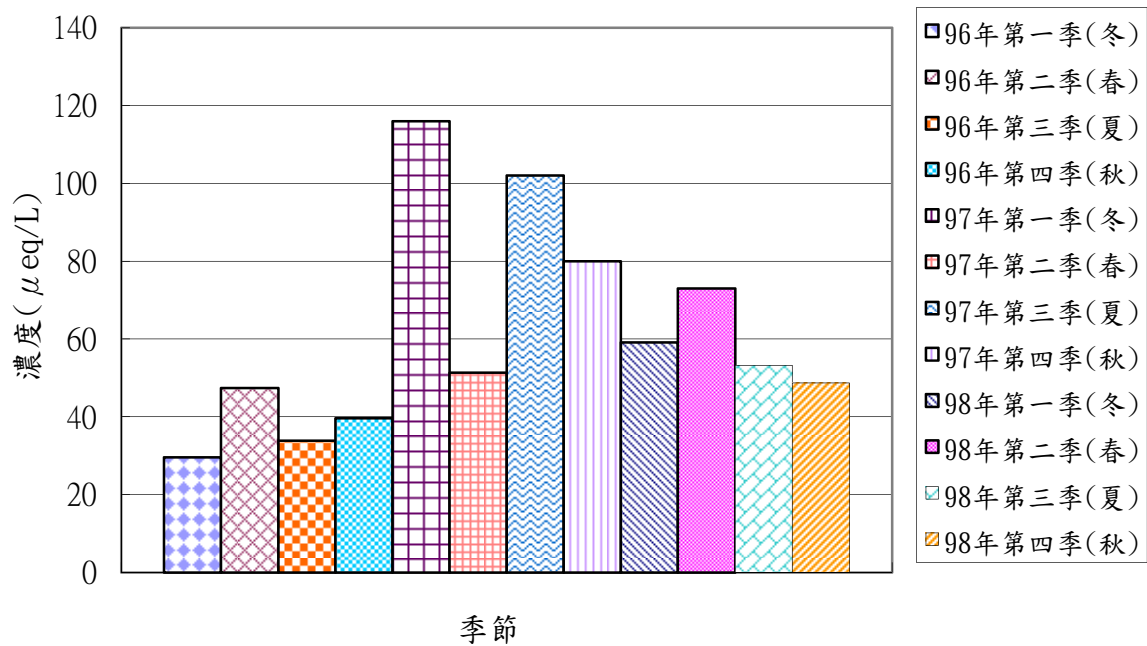


圖 4-3-4-7 A 區 Na⁺濃度測試結果

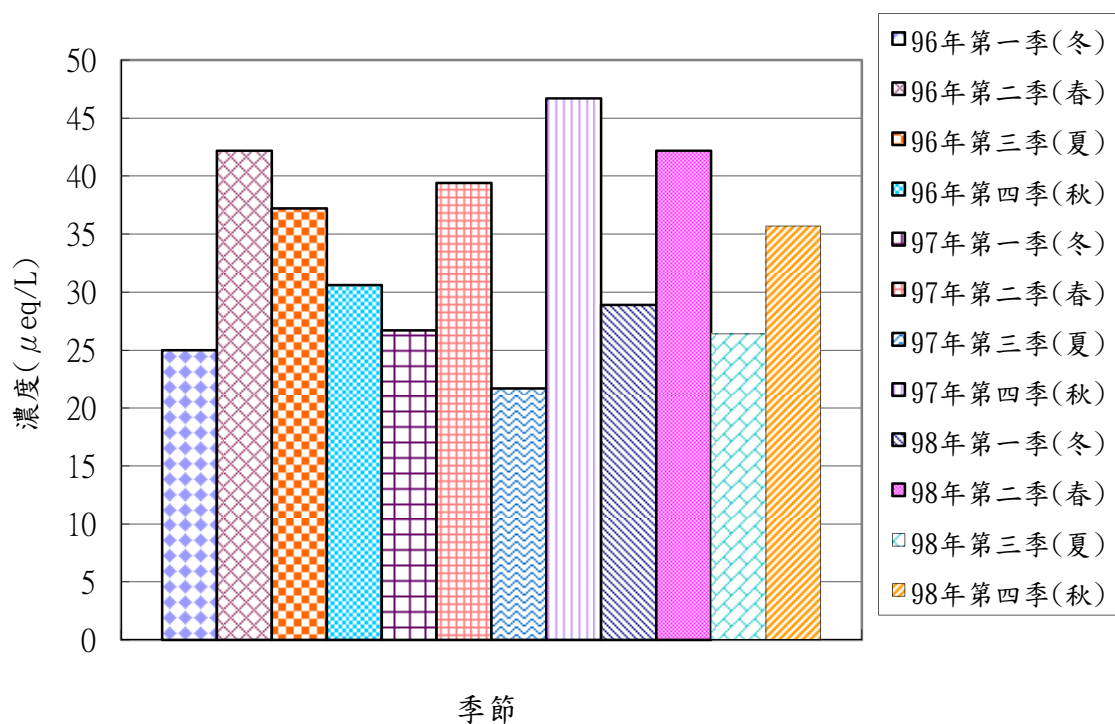


圖 4-3-4-8 A 區 NH₄⁺濃度測試結果

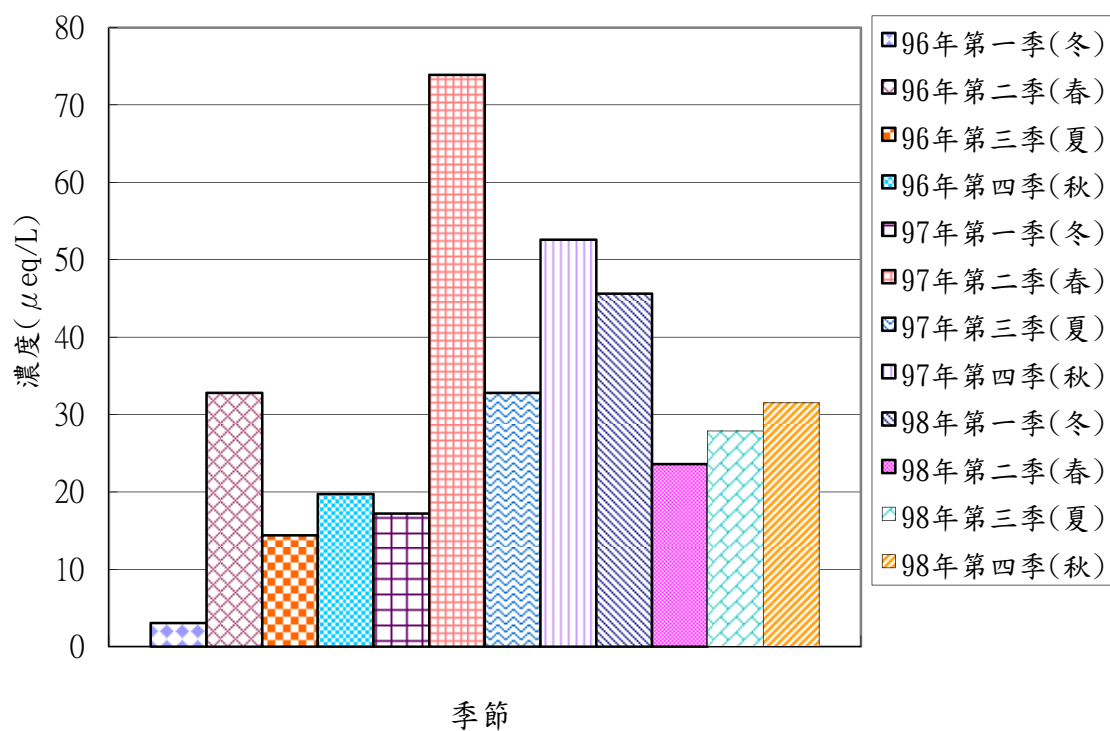


圖 4-3-4-9 A 區 K⁺濃度測試結果

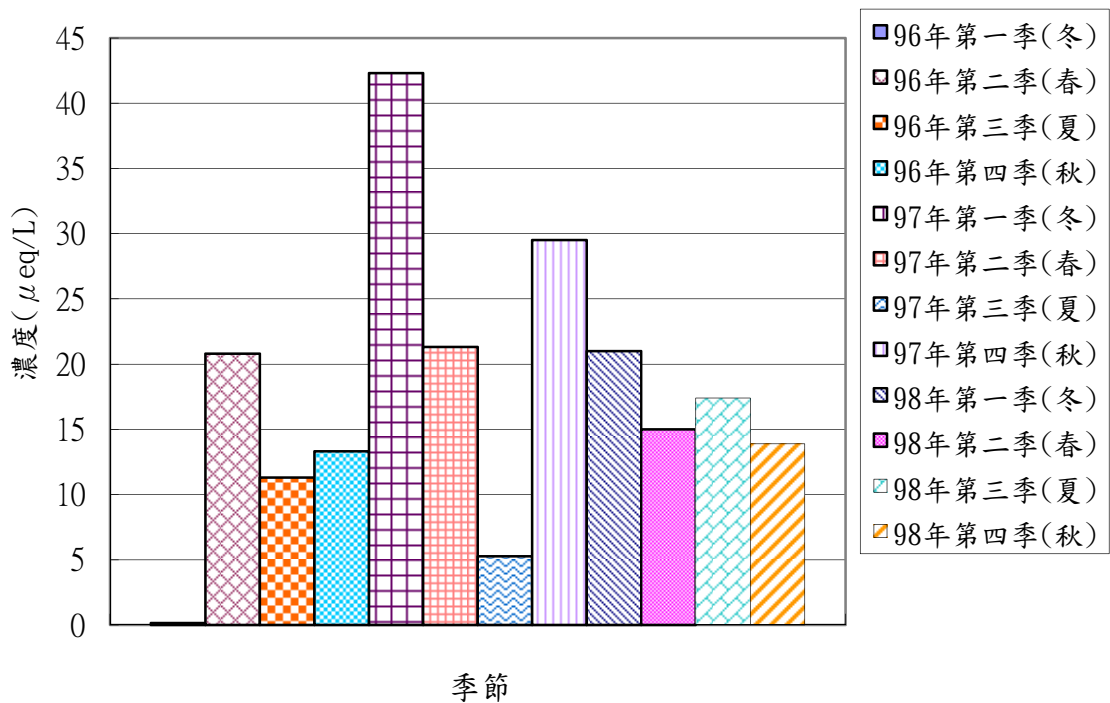


圖 4-3-4-10 A 區 Ca²⁺濃度測試結果

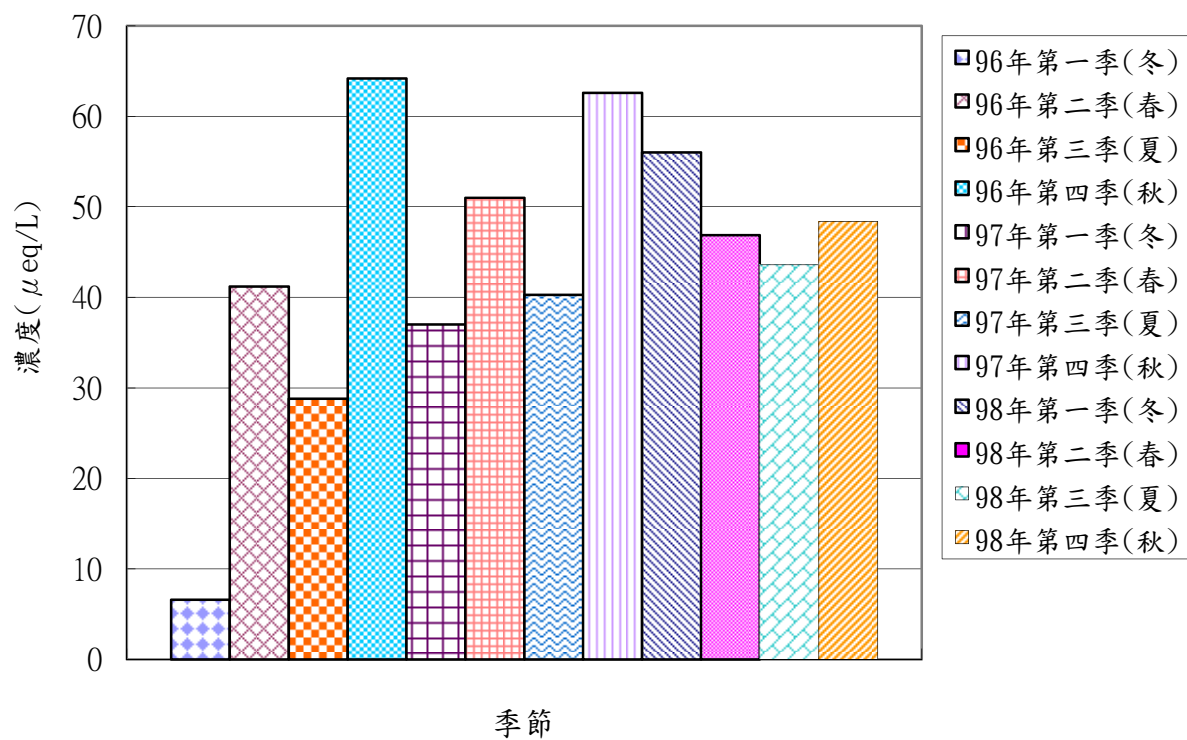


圖 4-3-4-11 A 區 Mg^{2+} 濃度測試結果

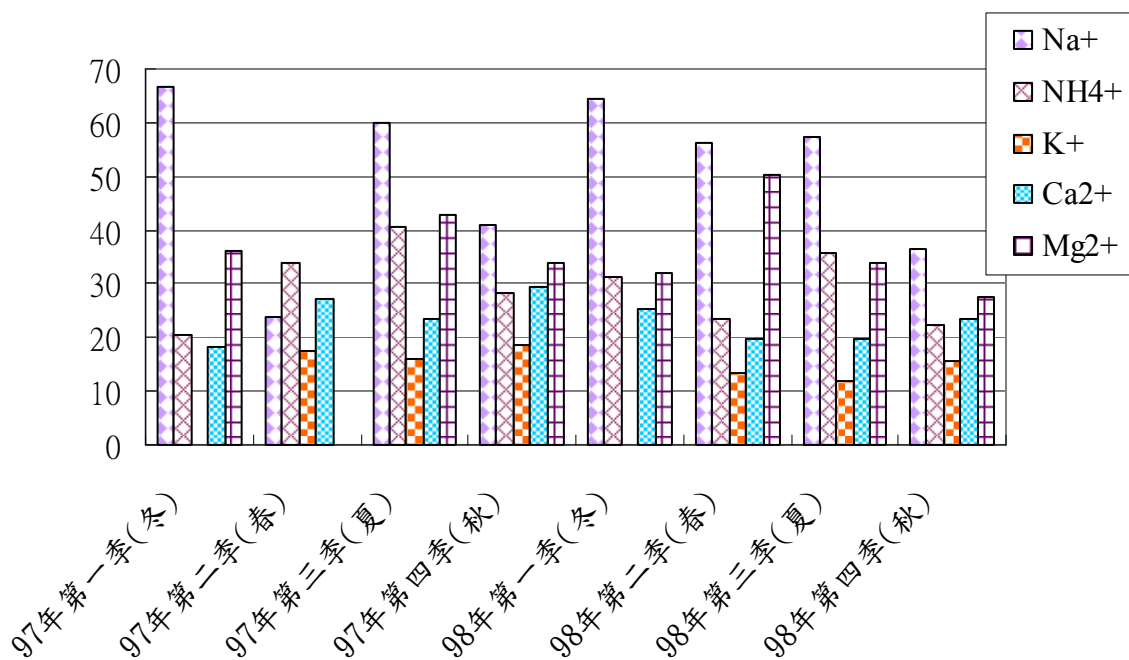


圖 4-3-4-12 D 區各季陽離子濃度測試結果

4-3 通車前酸雨觀測資料

經統計 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:μeq/L

年分	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻ /NO ₃ ⁻
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(palisade tissue) 和海綿組織(spongy tissue)，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。柵狀細胞在葉片橫切面呈桿狀，排列相當緊密，含有大量的葉綠體。其中，也觀察到微裂狀(lobed)的柵狀細胞。海綿細胞的形狀變異較大，通常都為彎曲的細胞，排列疏鬆，留有很多的細胞間隙(intercellular space)，所含的葉綠體較少；而在混合污染物處理的油杉葉中海棉薄壁細胞及橫向葉肉薄壁細胞有增大情形(例如：圖 4-3-5-10b、圖 4-3-5-12b)。

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(endodermis)包圍著，在維管束與內皮之間為轉輸組織(transfusion tissue)，含有管胞、薄壁細胞和纖維。

觀察台灣油杉實驗苗木之葉片構造，其結果如表 4-3-5-1。

表 4-3-5-1 台灣油杉空氣汙染試驗苗木之葉片構造

樹種 、株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿組織 (含樹脂管)	木質部	韌皮部
甲株樣 第一次空汙處理： 汙染物濃度 O ₃ =60,000 (ppm)，2、4、8 小時						

樹種 、株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿組織 (含樹脂管)	木質部	韌皮部
甲 1_60 × 10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-1、圖 4-3-5-2)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 1_60 × 10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-3、圖 4-3-5-4)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 1_60 × 10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-5、圖 4-3-5-6)		正常	正常	正常	正常	正常
汙染物濃度 O₃=80,000 (ppm) , 2、4、8 小時						
甲 1_80 × 10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-7、圖 4-3-5-8)		正常	正常	一只海綿細胞形略大 (77.5 × 100μm)	正常	正常
甲 1_80 × 10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-9、圖 4-3-5-10a、圖 4-3-5-10b)		正常	正常	一只在氣孔內的海綿細胞 形略大(75 × 65μm)	正常	正常
甲 1_80 × 10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-11、圖 4-3-5-12a、 圖 4-3-5-12b)		正常	正常	多數的海綿細胞形略大 (78.5-57 × 65-40μm)	正常	正常
汙染物濃度 O₃=100,000 (ppm) , 2、4、8 小時						
甲 1_100 × 10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-13、圖 4-3-5-14)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 1_100 × 10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-15、圖 4-3-5-16)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 1_100 × 10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-17、圖 4-3-5-18)		正常	正常	正常	正常	正常
汙染物濃度 O₃=120,000 (ppm) , 2、4、8 小時						
甲 1_120 × 10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-19、圖 4-3-5-20)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 1_120 × 10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-21、圖 4-3-5-22)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 1_120 × 10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-23、圖 4-3-5-24)		正常	正常	正常	正常	正常
甲株樣 第二次空汙處理：						
汙染物濃度 NO : CO : SO₂ : O₃=0.5 : 25 : 0.25 : 60,000 (ppm) , 2、4、8 小時						
甲 2_60 × 10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-25、圖 4-3-5-26)		正常	正常	一只在氣孔內的海綿細胞 形大(105 × 70μm)	正常	正常
甲 2_60 × 10 ³ _2 時_2 年生 (圖 4-3-5-27、圖 4-3-5-28)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_60 × 10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-29、圖 4-3-5-30)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_60 × 10 ³ _4 時_2 年生 (圖 4-3-5-31、圖 4-3-5-32)		正常	正常	一只海綿細胞形大 (105 × 75μm)	正常	正常
甲 2_60 × 10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-33、圖 4-3-5-34)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_60 × 10 ³ _8 時_2 年生		正常	正常	一只近氣孔的海綿細胞 形大(110 × 87.5μm)	正常	正常

樹種 、株號 (圖號)	組織 系統	下表皮 (含氣孔)	葉肉		中心脈	
			柵狀 組織	海綿組織 (含樹脂管)	木質部	韌皮部
(圖 4-3-5-35、圖 4-3-5-36)						
汙染物濃度 NO：CO：SO ₂ ：O ₃ =1.0：50：0.5：80,000 (ppm)，2、4、8 小時						
甲 2_80×10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-37、圖 4-3-5-38)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_80×10 ³ _2 時_2 年生 (圖 4-3-5-39、圖 4-3-5-40)		正常	正常	一只近氣孔的海綿細胞形 大(142.5×105μm)	正常	正常
甲 2_80×10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-41、圖 4-3-5-42)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_80×10 ³ _4 時_2 年生 (圖 4-3-5-43、圖 4-3-5-44)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_80×10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-45、圖 4-3-5-46)		正常	正常	正常	正常	正常
甲 2_80×10 ³ _8 時_2 年生 (圖 4-3-5-47、圖 4-3-5-48)		正常	正常	正常	正常	正常
乙株樣 空汙處理：						
汙染物濃度 NO：CO：SO ₂ ：O ₃ =2.0：100：1.0：100,000 (ppm)，2、4、8 小時						
乙_100×10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-49、圖 4-3-5-50)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_100×10 ³ _2 時_2 年生 (圖 4-3-5-51、圖 4-3-5-52)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_100×10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-53、圖 4-3-5-54)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_100×10 ³ _4 時_2 年生 (圖 4-3-5-55、圖 4-3-5-56)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_100×10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-57、圖 4-3-5-58)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_100×10 ³ _8 時_2 年生 (圖 4-3-5-59、圖 4-3-5-60)		正常	正常	正常	正常	正常
汙染物濃度 NO：CO：SO ₂ ：O ₃ =4.0：200：2.0：120,000 (ppm)，2、4、8 小時						
乙_120×10 ³ _2 時_1 年生 (圖 4-3-5-61、圖 4-3-5-62)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_120×10 ³ _2 時_2 年生 (圖 4-3-5-63、圖 4-3-5-64)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_120×10 ³ _4 時_1 年生 (圖 4-3-5-65、圖 4-3-5-66)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_120×10 ³ _4 時_2 年生 (圖 4-3-5-67、圖 4-3-5-68)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_120×10 ³ _8 時_1 年生 (圖 4-3-5-69、圖 4-3-5-70)		正常	正常	正常	正常	正常
乙_120×10 ³ _8 時_2 年生 (圖 4-3-5-71、圖 4-3-5-72)		正常	正常	正常	正常	正常

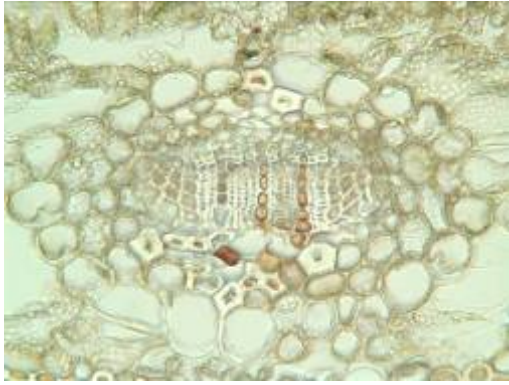


圖 4-3-5-1 甲 $1_{60} \times 10^3_2$ 時₁ 年生 (200x) 中肋

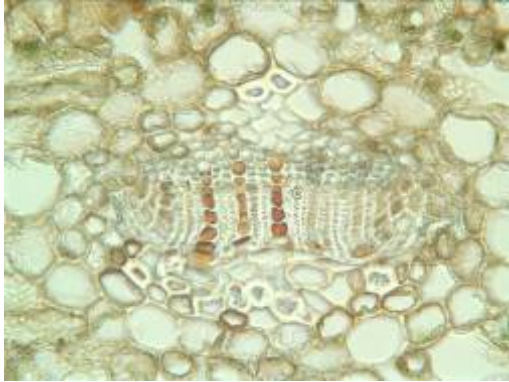


圖 4-3-5-3 甲 $1_{60} \times 103_4$ 時₁ 年生 (200x) 中肋

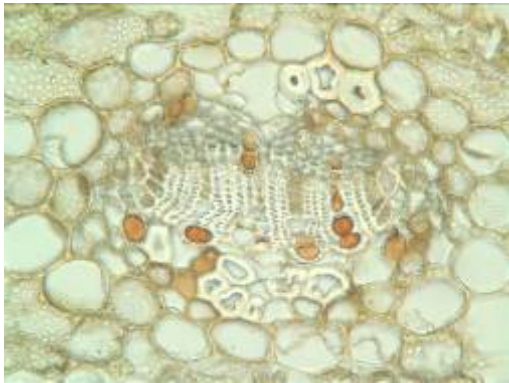


圖 4-3-5-5 甲 $1_{60} \times 10^3_8$ 時₁ 年生 (200x) 中肋

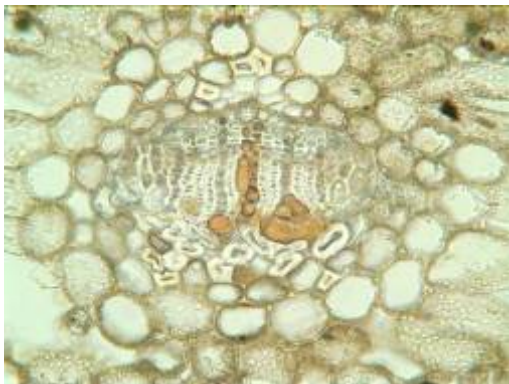


圖 4-3-5-7 甲 $1_{80} \times 10^3_2$ 時₁ 年生 (200x) 中肋



圖 4-3-5-2 甲 $1_{60} \times 10^3_2$ 時₁ 年生 (200x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-4 甲 $1_{60} \times 103_4$ 時₁ 年生 (200x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-6 甲 $1_{60} \times 10^3_8$ 時₁ 年生 (400x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-8 甲 $1_{80} \times 10^3_2$ 時₁ 年生 (200x)
下表皮及氣孔

箭號：海綿組織內，一只海綿細胞形略大($77.5 \times 100\mu\text{m}$)

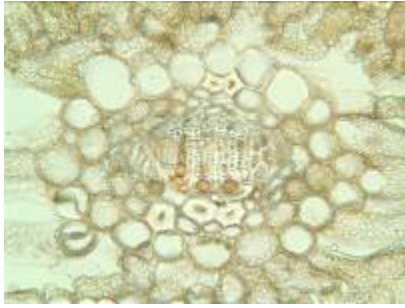


圖 4-3-5-9 甲 $1_{80} \times 10^3_4$ 時₁ 年生 (200x) 中肋

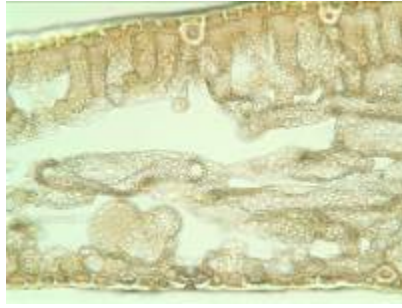


圖 4-3-5-10a 甲 $1_{80} \times 10^3_4$ 時₁ 年生 (200x) 上、下表皮及氣孔



圖 4-3-5-10b 甲 $1_{80} \times 10^3_4$ 時₁ 年生 (200x) 上、下表皮及氣孔
箭號：海綿組織內，一只在氣孔內的海綿細胞形略大($75 \times 65\mu\text{m}$)

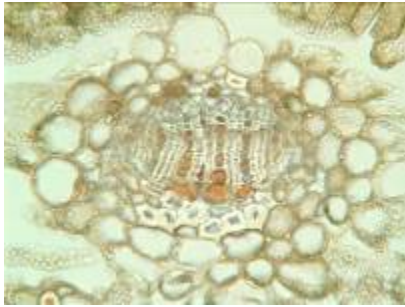


圖 4-3-5-11 甲 $1_{80} \times 10^3_8$ 時₁ 年生 (200x) 中肋



圖 4-3-5-12a 甲 $1_{80} \times 10^3_8$ 時₁ 年生 (200x) 近中肋及氣孔

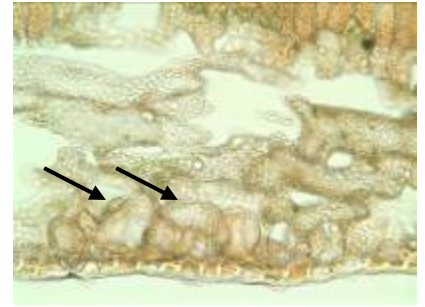


圖 4-3-5-12b 甲 $1_{80} \times 10^3_8$ 時₁ 年生 (200x) 下表皮及氣孔
箭號：海綿組織內，多數的海綿細胞形略大($785-57 \times 65-40\mu\text{m}$)

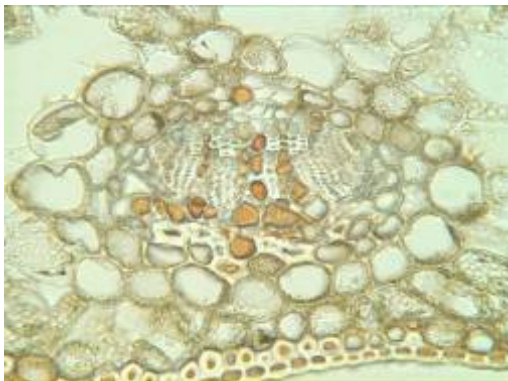


圖 4-3-5-13 甲 $1_{100} \times 10^3_2$ 時₁ 年生 (200x) 中肋

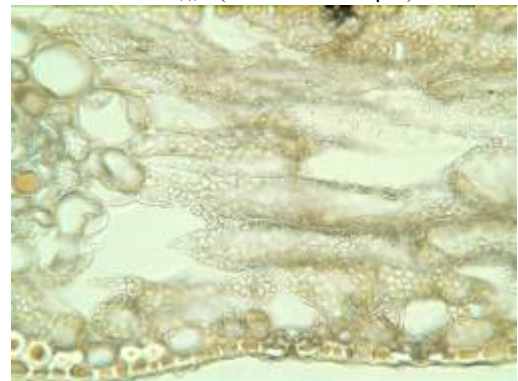


圖 4-3-5-14 甲 $1_{100} \times 10^3_2$ 時₁ 年生 (200x) 近中肋及氣孔



圖 4-3-5-15 甲 $1_{100} \times 10^3_4$ 時₁ 年生 (200x) 中肋

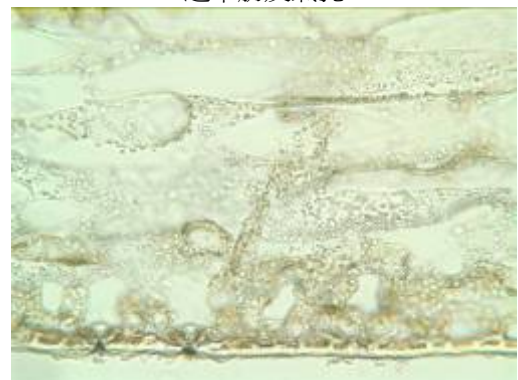


圖 4-3-5-16 甲 $1_{100} \times 10^3_4$ 時₁ 年生 (200x) 下表皮及氣孔

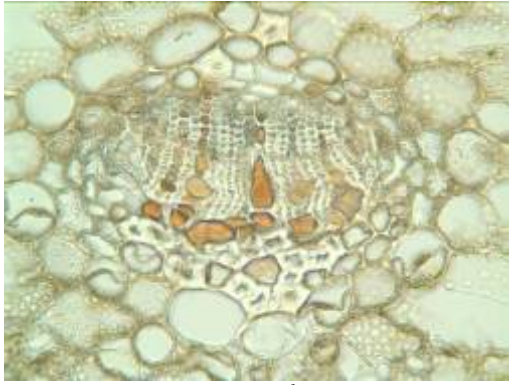


圖 4-3-5-17 甲 1_100 × 10³_8 時_1 年生(200x)
中肋

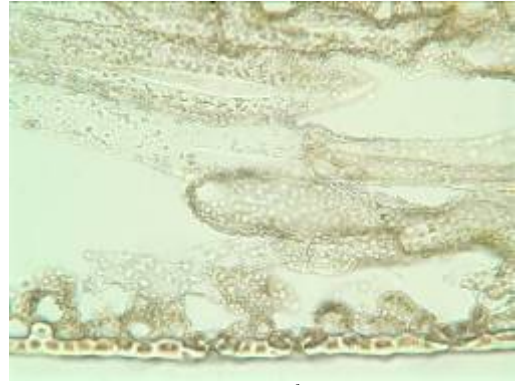


圖 4-3-5-18 甲 1_100 × 10³_8 時_1 年生(200x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-19 甲 1_120 × 10³_2 時_1 年生(200x)
中肋

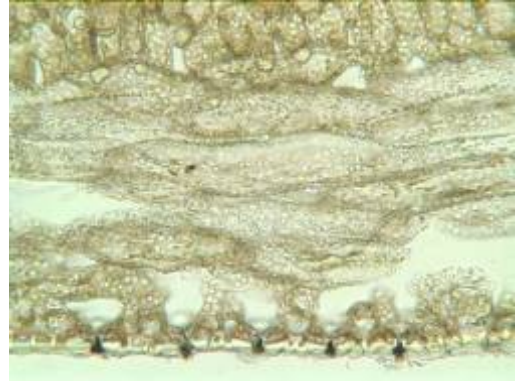


圖 4-3-5-20 甲 1_120 × 10³_2 時_1 年生(200x)
下表皮及氣孔

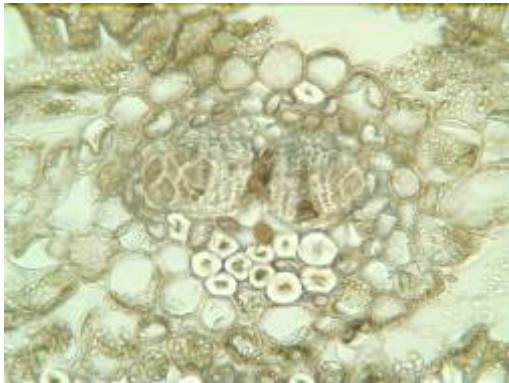


圖 4-3-5-21 甲 1_120 × 10³_4 時_1 年生(200x)
中肋

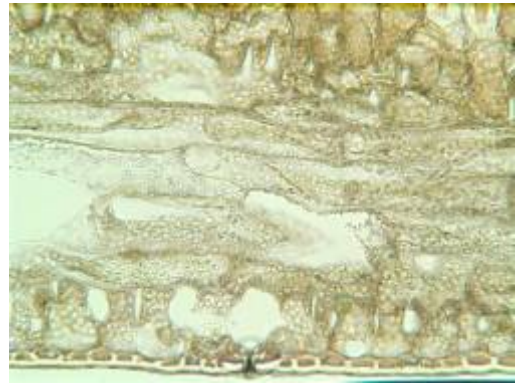


圖 4-3-5-22 甲 1_120 × 10³_4 時_1 年生(200x)
下表皮及氣孔

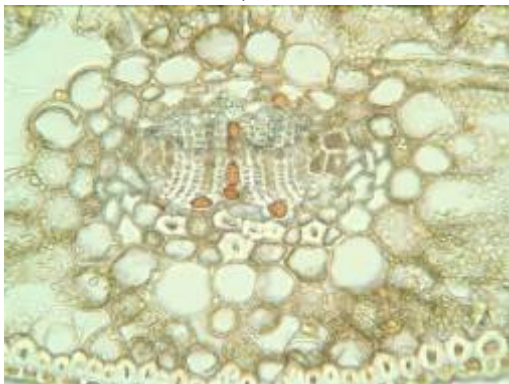


圖 4-3-5-23 甲 1_120 × 10³_8 時_1 年生(200x)
中肋



圖 4-3-5-24 甲 1_120 × 10³_8 時_1 年生(400x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-25 甲 $2_{60} \times 10^3_2$ 時₁年生 (200x) 中肋



圖 4-3-5-26 甲 $2_{60} \times 10^3_2$ 時₁年生 (200x)
下表皮及氣孔
箭號：海綿組織內，一只在氣孔內的海綿細胞形大($105 \times 70 \mu\text{m}$)

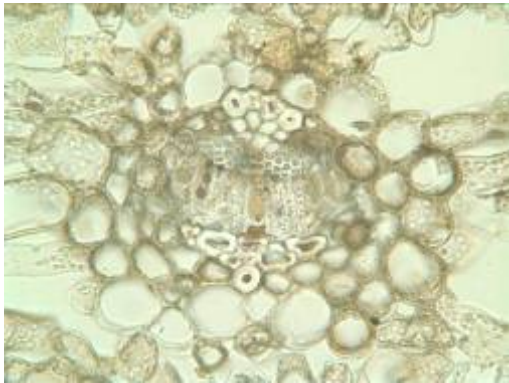


圖 4-3-5-27 甲 $2_{60} \times 10^3_2$ 時₂年生 (200x)
中肋

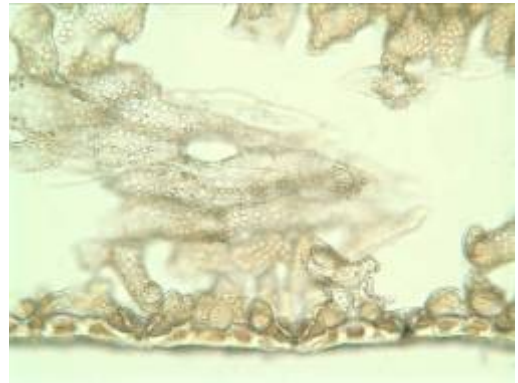


圖 4-3-5-28 甲 $2_{60} \times 10^3_2$ 時₂年生 (200x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-29 甲 $2_{60} \times 10^3_4$ 時₁年生 (200x)
中肋

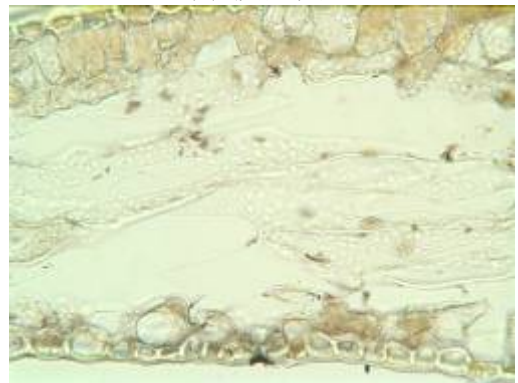


圖 4-3-5-30 甲 $2_{60} \times 10^3_4$ 時₁年生 (200x)
下表皮及氣孔

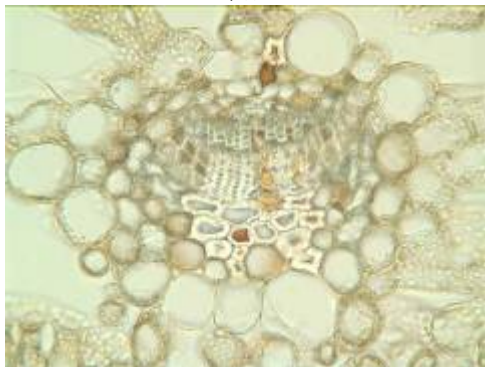


圖 4-3-5-31 甲 $2_{60} \times 10^3_4$ 時₂年生 (200x)
中肋



圖 4-3-5-32 甲 $2_{60} \times 10^3_4$ 時₂年生 (200x)
下表皮及氣孔
箭號：海綿組織內，一只海綿細胞形大($105 \times 75 \mu\text{m}$)

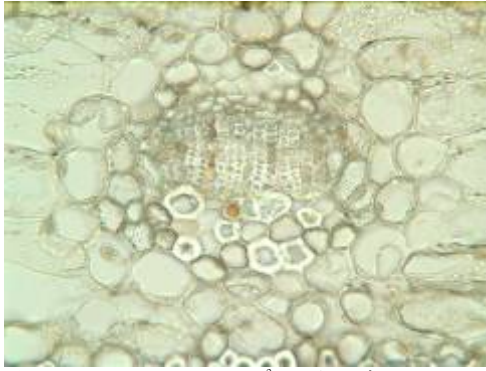


圖 4-3-5-33 甲 $2_{60} \times 10^3_8$ 時₁年生 (200x)
中肋

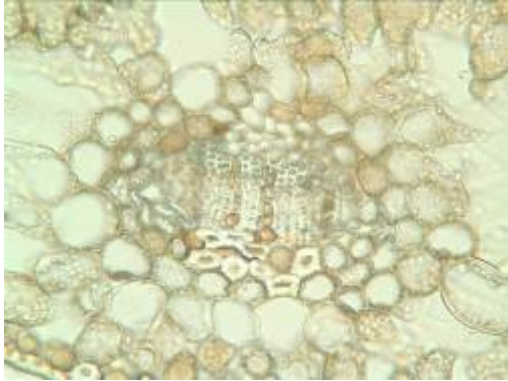


圖 4-3-5-35 甲 $2_{60} \times 10^3_8$ 時₂年生 (200x)
中肋

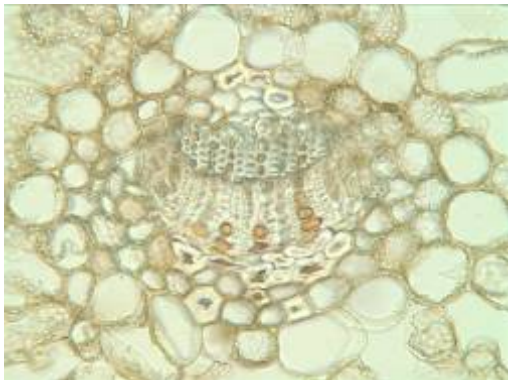


圖 4-3-5-37 甲 $2_{80} \times 10^3_2$ 時₁年生 (200x)
中肋

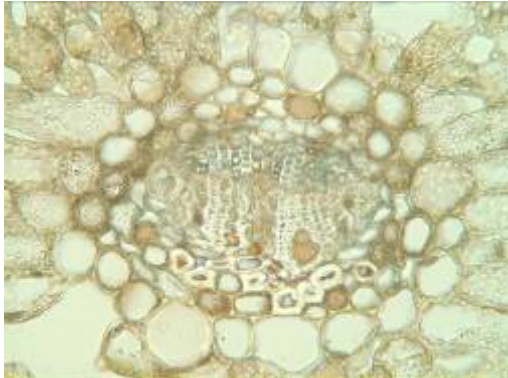


圖 4-3-5-39 甲 $2_{80} \times 10^3_2$ 時₂年生 (200x)
中肋

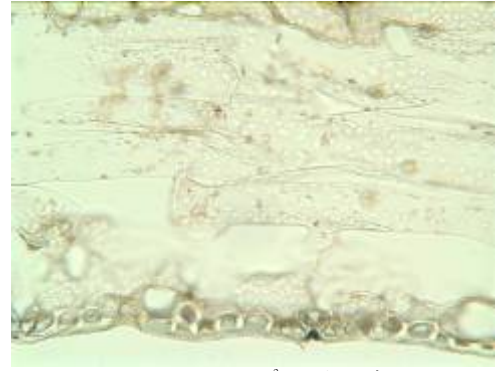


圖 4-3-5-34 甲 $2_{60} \times 10^3_8$ 時₁年生 (200x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-36 甲 $2_{60} \times 10^3_8$ 時₂年生 (200x)
近中肋及氣孔
箭號：海綿組織內，一只近氣孔的海綿細胞形大($110 \times 87.5\mu\text{m}$)

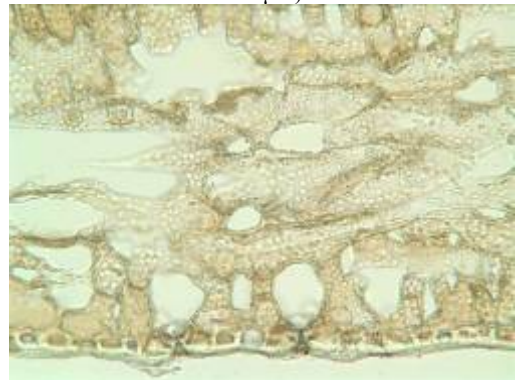


圖 4-3-5-38 甲 $2_{80} \times 10^3_2$ 時₁年生 (200x)
下表皮及氣孔



圖 4-3-5-40 甲 $2_{80} \times 10^3_2$ 時₂年生 (200x)
下表皮及氣孔
箭號：海綿組織內，一只近氣孔的海綿細胞形大($142.5 \times 105\mu\text{m}$)

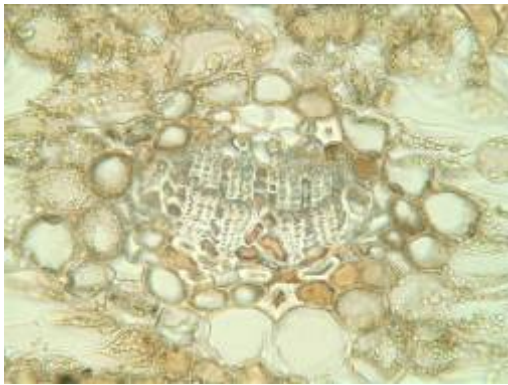


圖 4-3-5-41 甲 $2_{80} \times 10^3_4$ 時_1 年生 (200x)
中肋

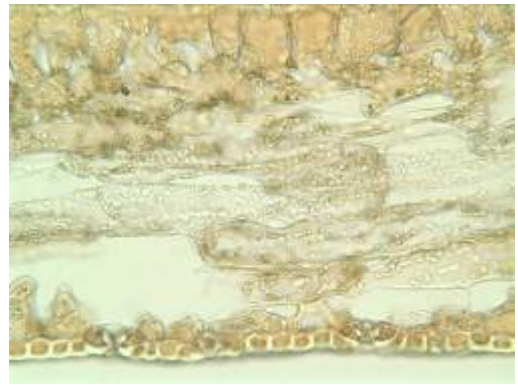


圖 4-3-5-42 甲 $2_{80} \times 10^3_4$ 時_1 年生 (200x)
下表皮及氣孔

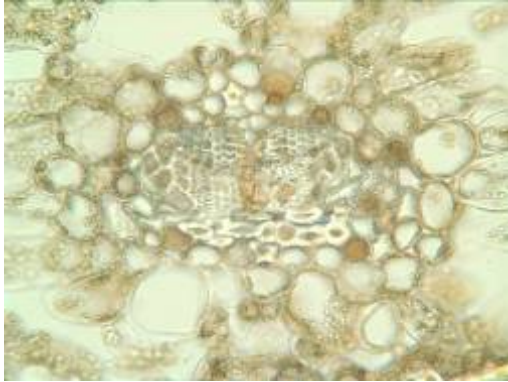


圖 4-3-5-43 甲 $2_{80} \times 10^3_4$ 時_2 年生 (200x)
中肋

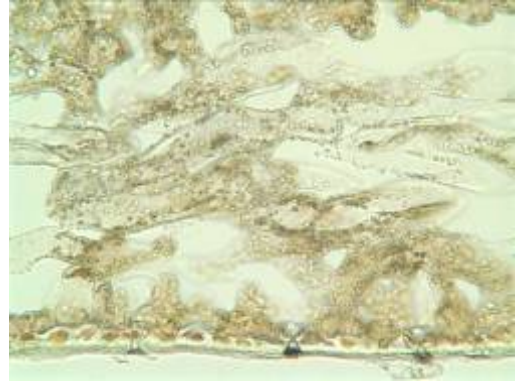


圖 4-3-5-44 甲 $2_{80} \times 10^3_4$ 時_2 年生 (200x)
下表皮及氣孔

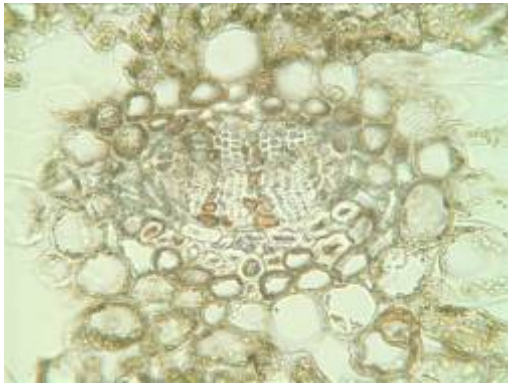


圖 4-3-5-45 甲 $2_{80} \times 10^3_8$ 時_1 年生 (200x)
中肋

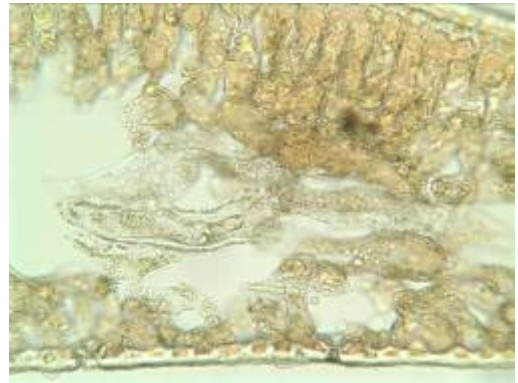


圖 4-3-5-46 甲 $2_{80} \times 10^3_8$ 時_1 年生 (200x)
下表皮及氣孔

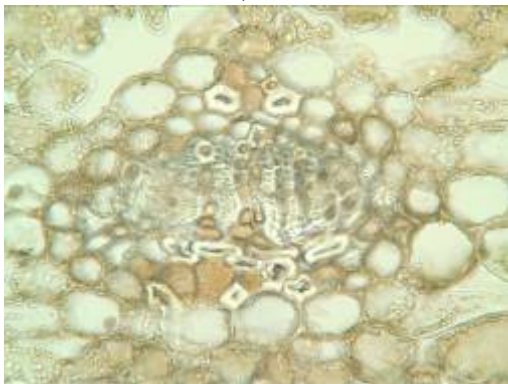


圖 4-3-5-47 甲 $2_{80} \times 10^3_8$ 時_2 年生 (200x)
中肋

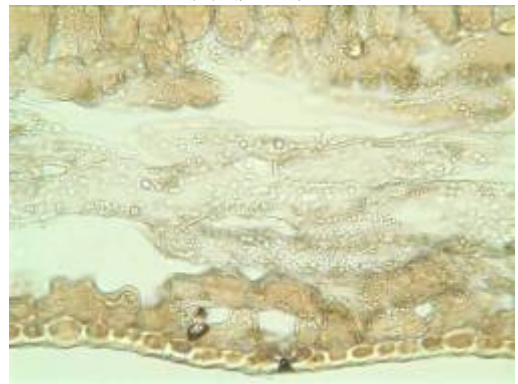


圖 4-3-5-48 甲 $2_{80} \times 10^3_8$ 時_2 年生 (200x)
下表皮及氣孔

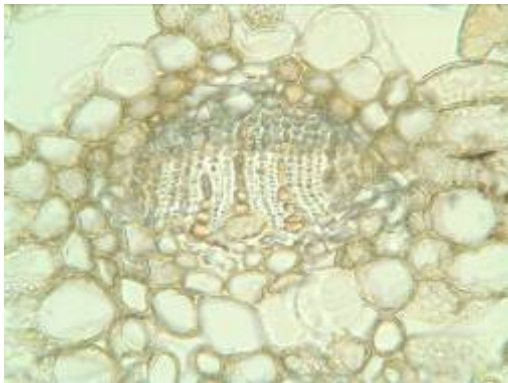


圖 4-3-5-49 乙_{100 × 10³_2 時_1 年生 (200x)}

中肋

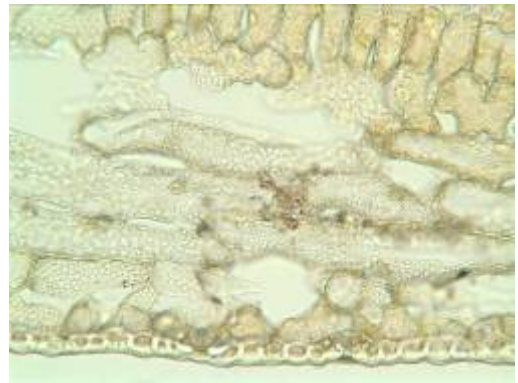


圖 4-3-5-50 乙_{100 × 10³_2 時_1 年生 (200x)}

下表皮及氣孔

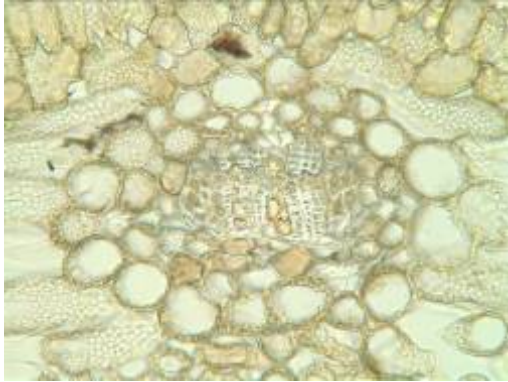


圖 4-3-5-51 乙_{100 × 10³_2 時_2 年生 (200x)}

中肋

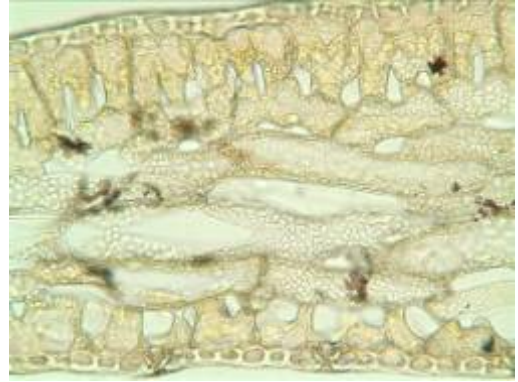


圖 4-3-5-52 乙_{100 × 10³_2 時_2 年生 (200x)}

下表皮及氣孔



圖 4-3-5-53 乙_{100 × 10³_4 時_1 年生 (200x)}

中肋

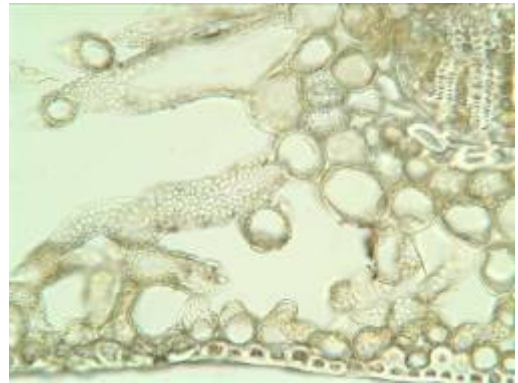


圖 4-3-5-54 乙_{100 × 10³_4 時_1 年生 (200x)}

近中肋及氣孔

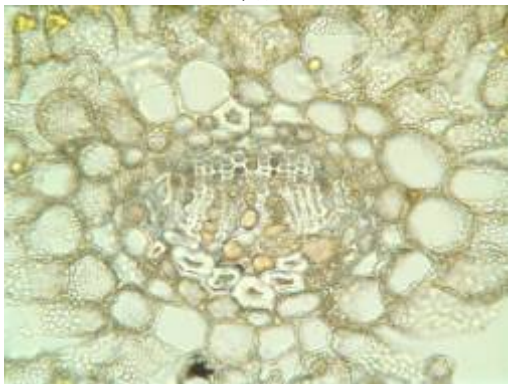


圖 4-3-5-55 乙_{100 × 10³_4 時_2 年生 (200x)}

中肋

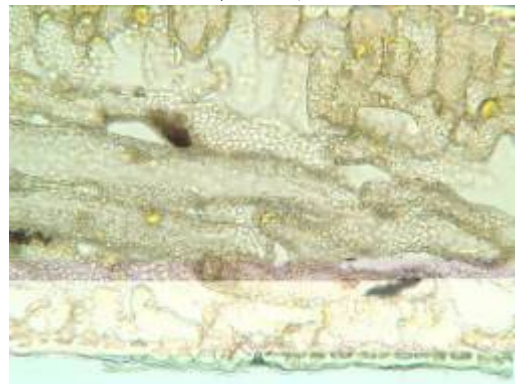


圖 4-3-5-56 乙_{100 × 10³_4 時_2 年生 (200x)}

下表皮及氣孔



圖 4-3-5-57 乙_100 × 10³_8 時_1 年生 (200x)
中肋

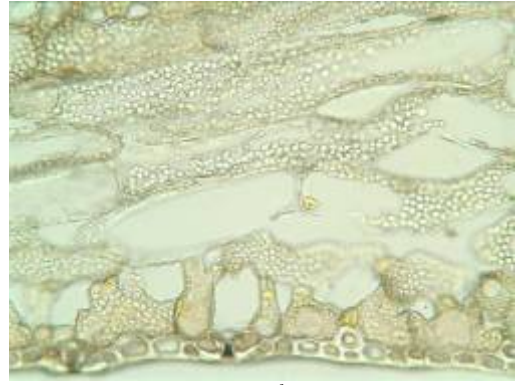


圖 4-3-5-58 乙_100 × 10³_8 時_1 年生 (200x)
下表皮及氣孔

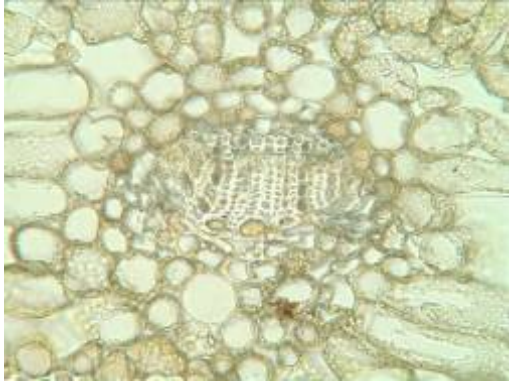


圖 4-3-5-59 乙_100 × 10³_8 時_2 年生 (200x)
中肋



圖 4-3-5-60 乙_100 × 10³_8 時_2 年生 (200x)
下表皮及氣孔

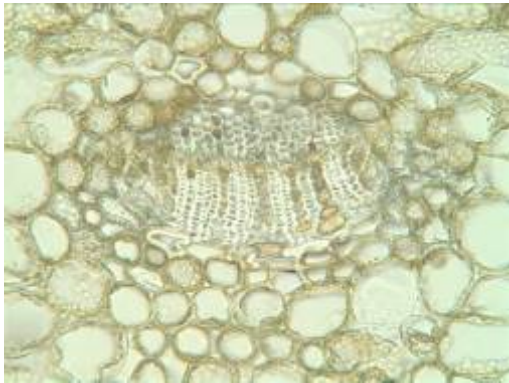


圖 4-3-5-61 乙_120 × 10³_2 時_1 年生 (200x)
中肋



圖 4-3-5-62 乙_120 × 10³_2 時_1 年生 (200x)
近中肋及氣孔

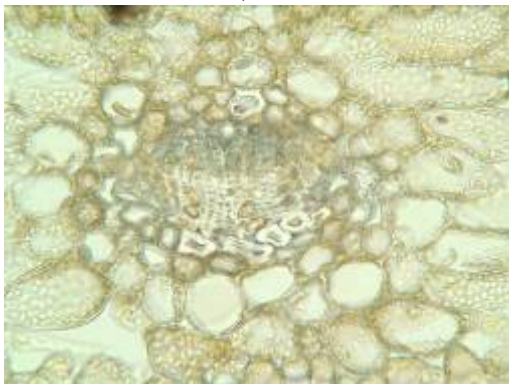


圖 4-3-5-63 乙_120 × 10³_2 時_2 年生 (200x)
中肋

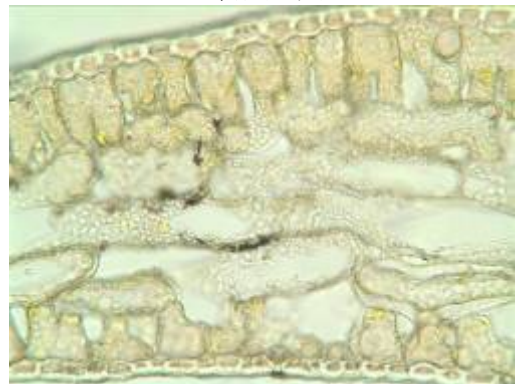


圖 4-3-5-64 乙_120 × 10³_2 時_2 年生 (200x)
下表皮及氣孔

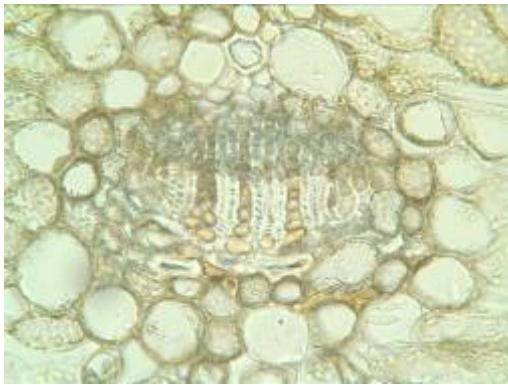


圖 4-3-5-65 乙_{120 × 10³_4 時_1 年生 (200x)}

中肋

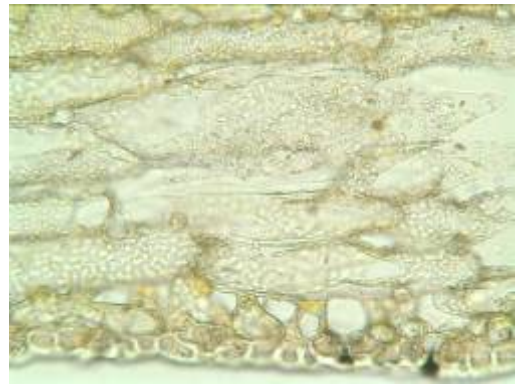


圖 4-3-5-66 乙_{120 × 10³_4 時_1 年生 (200x)}

下表皮及氣孔

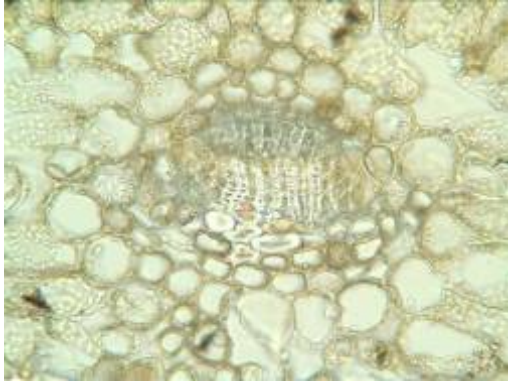


圖 4-3-5-67 乙_{120 × 10³_4 時_2 年生 (200x)}

中肋



圖 4-3-5-68 乙_{120 × 10³_4 時_2 年生 (200x)}

下表皮及氣孔

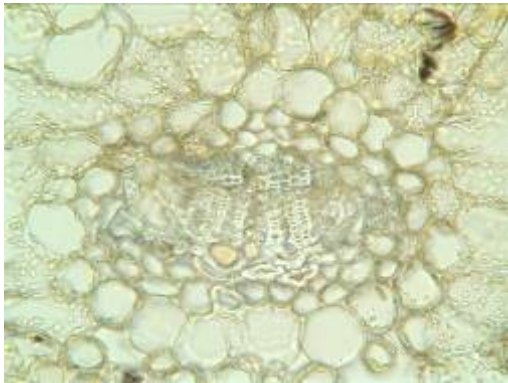


圖 4-3-5-69 乙_{120 × 10³_8 時_1 年生 (200x)}

中肋



圖 4-3-5-70 乙_{120 × 10³_8 時_1 年生 (200x)}

下表皮及氣孔

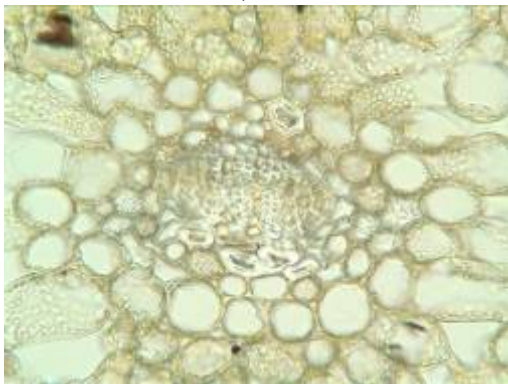


圖 4-3-5-71 乙_{120 × 10³_8 時_2 年生 (200x)}

中肋

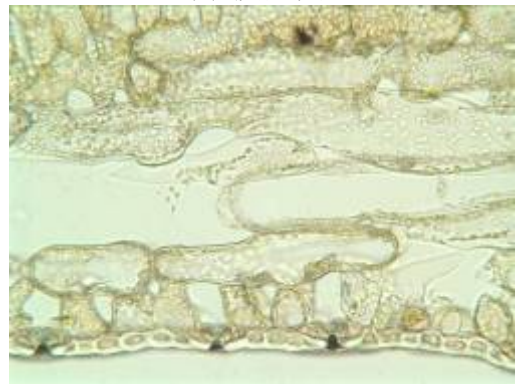


圖 4-3-5-72 乙_{120 × 10³_8 時_2 年生 (200x)}

下表皮及氣孔

在空氣汙染物處理台灣油杉的葉中，海綿組織有少數(圖 4-3-5-10b)或多數(圖 4-3-5-12b)細胞形大，會壓擠或占據鄰近細胞之空間(圖 4-3-5-26、32、36、40)，當中圖 4-3-5-10b 與圖 4-3-5-26，形大的海綿細胞直接位居氣孔之內鄰，其餘四例之形大的海綿細胞位居氣孔旁側(圖 4-3-5-12b、32、36、40)。

以上所述形大的海綿細胞，於「坪林台灣油杉自然保留區」內的台灣油杉葉片中，亦觀察到極少數類似的案例，而此現象是否與空氣汙染物處理有所關聯，目前未能作出明確結論，但仍須長期觀察此現象之後續情況。

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、樹高、枝下高的調查工作，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林木株數最多，其次為 C 區台灣油杉天然林。
2. 在各區台灣油杉林木胸徑的統計量方面，胸徑平均值以 D 區 32.4cm 為各區中最小者，而以 B 區 68.5cm 為最大。兩年的胸徑生長量以 D 區 0.56cm 為最大，B 區 0.18 cm 為最小。A、B、C 區天然林中，胸徑生長量隨胸徑級增加而減少，但在 D 區人工林中卻相反。將各區台灣油杉林木的胸徑分為 10 級，在 D 區的人工林中，胸徑分配以 30-40 cm 居最多數，而在 50 cm 以上的林木則很少。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。
3. 在各區台灣油杉林木樹高方面，以 B 區的平均樹高 19.2m 最大，但最高的單株林木樹高 28.1m 是在 C 區。兩年的樹高生長量以 A 和 C 區較 B 和 D 區為小。A 和 C 區的樹高生長量隨胸徑級增加而減少；D 區則相反，在大胸徑級者有較高的樹高生長量。
4. 為避免受颱風之干擾，本年度(98 年)於暑假開始時(7 月)即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 株台灣油杉林木屬於被壓木，被列為不健康和產生劣化情形外，其餘的林木皆屬正常。本研究 3 個年度的林木健康分級分佈經卡方一致性檢定結果無顯著的差異；此外，這三年調查中並無發現林木死亡。
5. 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，不過長期監測上仍需注意其生長、枯死與健康情形。

(二) 台灣油杉葉身構造變化之監測

雪山隧道自 2006 年 06 月開通，至今約有 3 年 4 個月。以上結果包含「坪林台灣油杉自然保留區」之 A、C、D 區及對照地區-福山研究中心、出水溪苗圃、坪林國小和台大校園內的台灣油杉，以及坪林台灣油杉自然保留區內，乃至 3 號豎井為起點至坪林台灣油杉自然保留區 D 區間的少數優勢闊葉樹種；整體而言，各株樣木之葉片構造大致皆屬正常，只有極少樣木之極少細胞或組織出現異常之形態，尚未能認定屬空氣汙染物造成之形態上病徵。

未來還需持續進行「坪林台灣油杉自然保留區」內，對台灣油杉的長期監測，建議 A、C 及 D 區應每 2 年一次取台灣油杉各約 10 株之 2 年生葉片切片觀察比較，以確保台灣油杉植群之健康。今後，若樣株葉肉海綿組織之膨大細胞個案增多，則應召集專家會勘討論，研議保育對策。

(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 32,224 車次；假日每日車流量則高達 72,932 車次，假日車流量較非假日多出 55.81 %。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 $139 \sim 219 \mu g/m^3$ 之間，而於假日時段 PM_{10} 濃度約介於 $143 \sim 241 \mu g/m^3$ 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，98 年度因通行大客車 CO 濃度略為增加，約介於 $1.54 \sim 1.93 \text{ ppm}$ 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 77~81 ppb 之間。

5. 98 年度豎井區與民宅及油杉測站 TSP 濃度約介於 66.31 ~ 71.93、50.03~53.24 與 38.50~40.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，另豎井區與民宅及油杉測站 PM_{10} 濃度約介於 34.62 ~ 34.90、31.40 ~ 37.80 與 31.60 ~ 33.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，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. 98 年度之豎井區、民宅、台灣油杉 A 區與台灣油杉 D 區所測得之 SO_2 濃度各約為 14.7~19.6、10.4 ~ 10.8、15.5 ~ 19.5 與 11.3 ~ 17.6 ppb。而 CO 濃度各約為 1.54~1.89、0.9 ~ 1.17、1.77 ~ 1.93 與 0.8~1.88 ppm； O_3 濃度各約為 55.0~59.6、47.1~49.5、51.2 ~ 54.6 與 53.4~57.6 ppb。 NO_x 濃度各約為 77.0~81.0、49.0~52.0、85.0 ~ 87.0 與 68.0 ~ 81.0 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. 98 年度台灣油杉 A 區所採集雨水中，以 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_2^-]$ 及 $[\text{PO}_4^{3-}]$ 濃度較其他陰離子濃度為高，其中以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為 76.3 $\mu\text{eq}/\text{L}$ 。而台灣油杉 D 區所採集雨水中較高濃度陰離子乃為 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_2^-]$ 及 $[\text{PO}_4^{3-}]$ ，並以 $[\text{Cl}^-]$ 濃度為最大，約為 89.6 $\mu\text{eq}/\text{L}$ 。
8. 98 年度酸沉降雨水中陽離子，在 A 區各陽離子濃度中，以 $[\text{Na}^+]$ 與 $[\text{NH}_4^+]$ 濃度較為其他離子高，其 $[\text{Na}^+]$ 濃度與 $[\text{NH}_4^+]$ 濃度分別約為 64.3 $\mu\text{eq}/\text{L}$ 與 31.1 $\mu\text{eq}/\text{L}$ 。

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. 目前廢氣排放僅有 O_3 超出法規標準值，而目前報告中台灣油杉生長正常，是否台灣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台灣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. 雪山隧道豎井對坪林台灣油杉自然保留區及周邊環境之影響無法於本研究期程中顯示出來，但仍有需要以長時間進行持續之監測。而監測之項目如下： TSP 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 CO 、 SO_2 、雨水中陰離子(含 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-})，與陽離子(含 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})，監測之頻率以半年一次為基準。
6. 由於從台灣油杉樣木葉切片發現異常形態之細胞有逐年增加，且 D056 樣木已連續兩年發現此狀況，雖然病徵不明顯故尚未能認定屬於空氣污染物造成之形態上之病徵，但是未來還需持續對台灣油杉進行長期監測。建議每 2 年一次取台灣油杉樣木葉切片觀察比較，以確保台灣油杉植群之健康。
7. 一般而言，林木生長、枯死與健康監測以每 5 年調查一次即可，但由過去 3 年拍攝照片瞭解台灣油杉冠梢枯萎小枝條之變化，將來如果要協助判定樹冠的變化是受天然災害(颱風或乾旱)或化學污染(酸雨或

- 空氣污染)，而造成林木樹冠受損、生長衰退或死亡，則建議以每 2 年調查一次較佳。此外，雖然美國森林健康監測建議夏末初秋時進行調查，但是台灣東北部在該時期易受颱風所干擾，故建議提早於七月進行，如果不幸仍遇到颱風則於颱風過後約 1 個月才進行健康調查。
8. 雪隧豎井工程的環說書內容建議施工單位委託當地林務局單位，就施工區周邊 2 公里範圍內進行台灣油杉詳細調查，未來亦隨時加以監測。本研究所調查的坪林台灣油杉保留區之 D 區有 157 株台灣油杉，距雪隧 3 號豎井約 1 公里，具代表性，可做為未來監測的重點。
 9. 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，因經費有限，請高公局、國工局共同分擔經費執行。
 10. 羅東林區管理處對於台灣油杉林木部份具專業知識，建議由其分擔此部份工作；環境影響因素部份，高公局、國工局對比較具專業知識，建議由其分擔此部份工作。
 11. 請羅東林管處建議林務局對所管轄的坪林台灣油杉自然保留區及雪隧豎井周邊森林，定期進行航照拍攝，包括可見光與紅外光，以利於該地區長期森林健康的監測。

陸、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

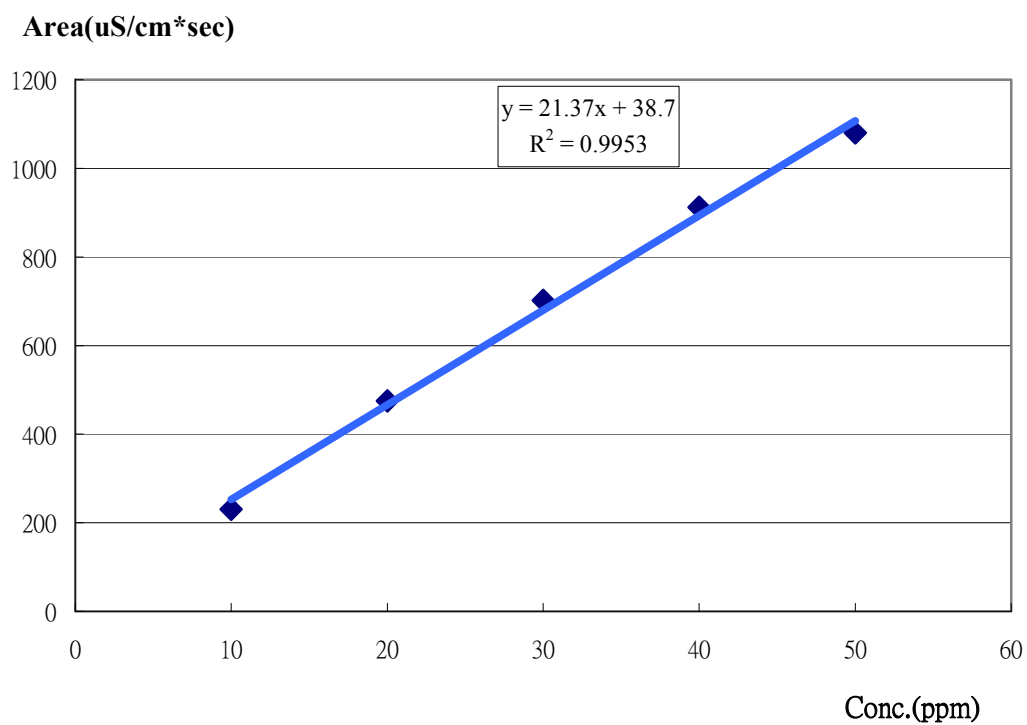
1. 王聖偉，高雄市中正地下道及過港隧道空氣污染物採樣與特性分析，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2000。
2. 交通部，台灣區國道新建工程局，蔣渭水高速公路坪林隧道豎井排氣對茶樹生長環境影響調查研究，中興工程顧問社執行技術研究報告，1995。
3. 交通部台灣區國道新建工程局，國道蔣渭水高速公路工程簡介，2003。
4. 交通部，台灣區國道新建工程局網站 <http://gip.tanecb.gov.tw/>，2007。
5. 李貽華、徐慈鴻，空氣污染對植物之影響，農業世界雜誌，第151期: p.64~67，1996。
6. 汪天得，江旭程，交通污染對街道附近空氣品質之影響，第十三屆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.

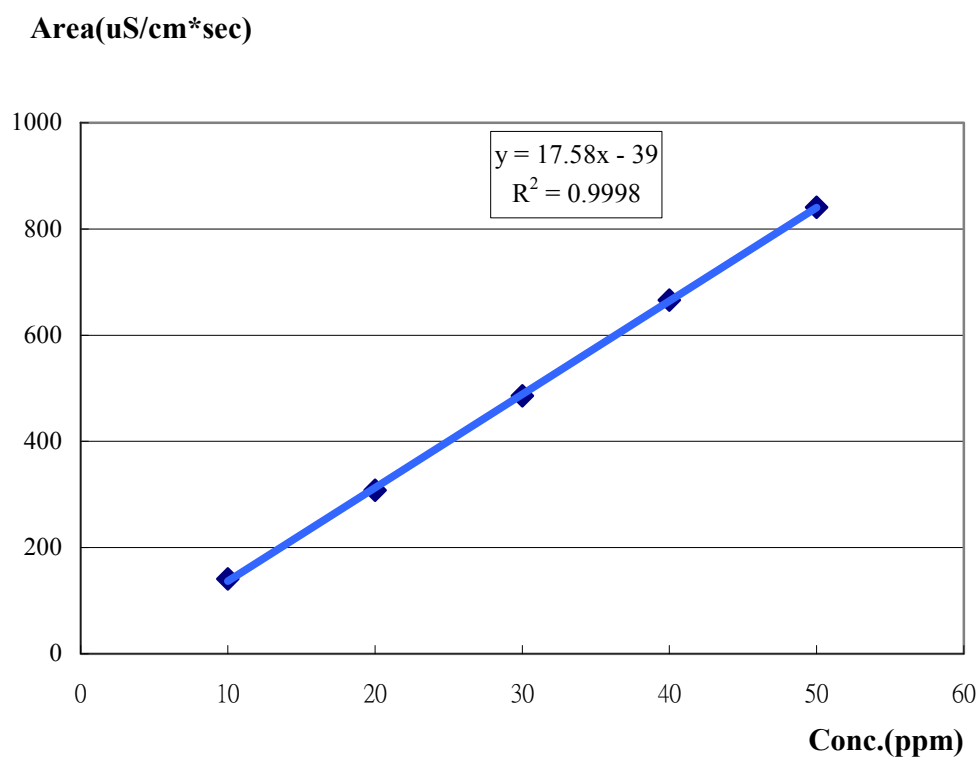
附錄一：「坪林台灣油杉自然保留區」之 D 區至 3 號豎井間採集
優勢闊葉樹之名錄

物種中名	科名	學名
A 區		
長尾柯	殼斗科 (Fagaceae)	<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i>
冇樟	樟科 (Lauraceae)	<i>Cinnamomum micranthum</i>
紅楠	樟科 (Lauraceae)	<i>Machilus thunbergii</i>
西施花	杜鵑花科 (Ericaceae)	<i>Rhododendron ellipticum</i>
大明橘	紫金牛科 (Myrsinaceae)	<i>Myrsine sequinii</i>
C 區		
紅皮	安息香科 (Styracaceae)	<i>Styrax suberifolia</i>
長尾柯	殼斗科 (Fagaceae)	<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i>
奧氏虎皮楠	樟科 (Lauraceae)	<i>Daphniphyllum glaucescens</i> ssp. <i>oldhamii</i> var. <i>oldhamii</i>
山紅柿	柿樹科 (Ebenaceae)	<i>Diospyros morrisiana</i>
D 區(同距三號豎井 1100 m)		
江某	五加科 (Araliaceae)	<i>Schefflera octophylla</i>
稜果榕	桑科 (Moraceae)	<i>Ficus septica</i>
裏白饅頭果	大戟科 (Euphorbiaceae)	<i>Glochidion acuminatum</i>
鄰三號豎井旁(距三號豎井 0000 m)		
江某	五加科 (Araliaceae)	<i>Schefflera octophylla</i>
距三號豎井 100 m		
樹杞	紫金牛科 (Myrsinaceae)	<i>Ardisia sieboldii</i>
距三號豎井 200 m		
淋漓(烏來柯)	殼斗科 (Fagaceae)	<i>Limlia uraiana</i>
距三號豎井 300 m		
山紅柿	柿樹科 (Ebenaceae)	<i>Diospyros morrisiana</i>
距三號豎井 400 m		
墨點櫻桃	薔薇科 (Rosaceae)	<i>Prunus phaeosticta</i>
距三號豎井 500 m		
裏白饅頭果	大戟科 (Euphorbiaceae)	<i>Glochidion acuminatum</i>
距三號豎井 600 m		
大頭茶	茶科 (Theaceae)	<i>Gordonia axillaris</i>
距三號豎井 700 m		
杜英	杜英科 (Elaeocarpaceae)	<i>Elaeocarpus sylvestris</i>
距三號豎井 900 m		
薯豆	杜英科 (Elaeocarpaceae)	<i>Elaeocarpus japonicus</i>
距三號豎井 1000 m		
大明橘	紫金牛科 (Myrsinaceae)	<i>Myrsine sequinii</i>

附錄二：離子成分分析之檢量線

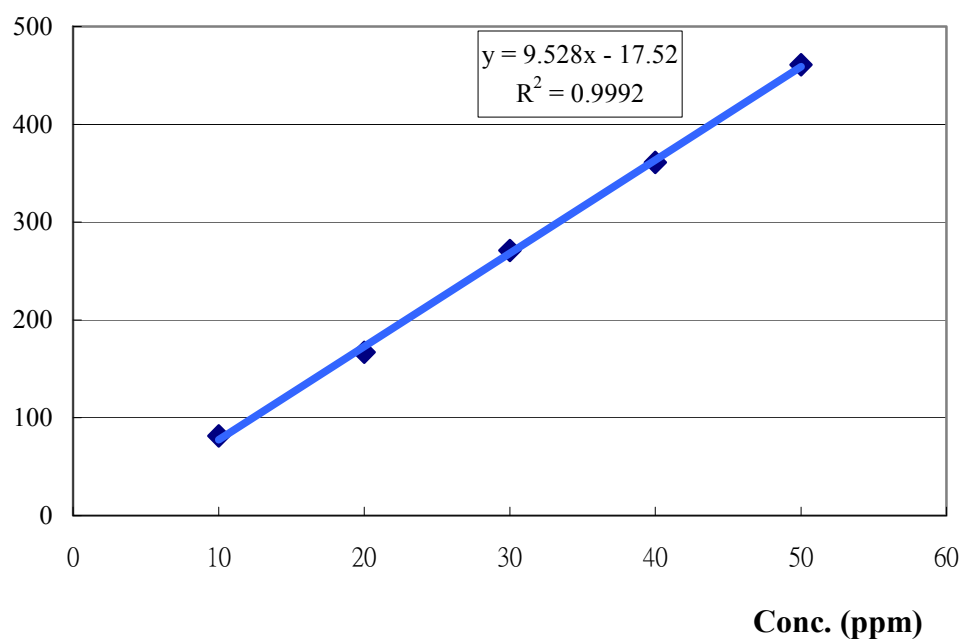


附圖 2-1 氟離子分析之檢量線



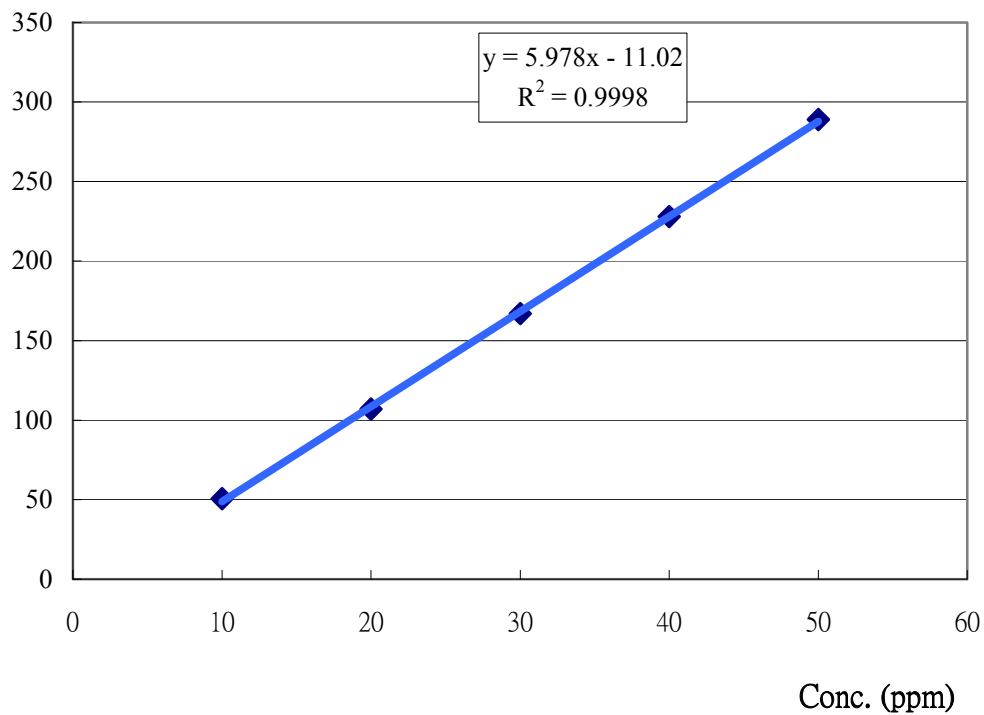
附圖 2-2 氯離子分析之檢量線

Area(uS/cm*sec)

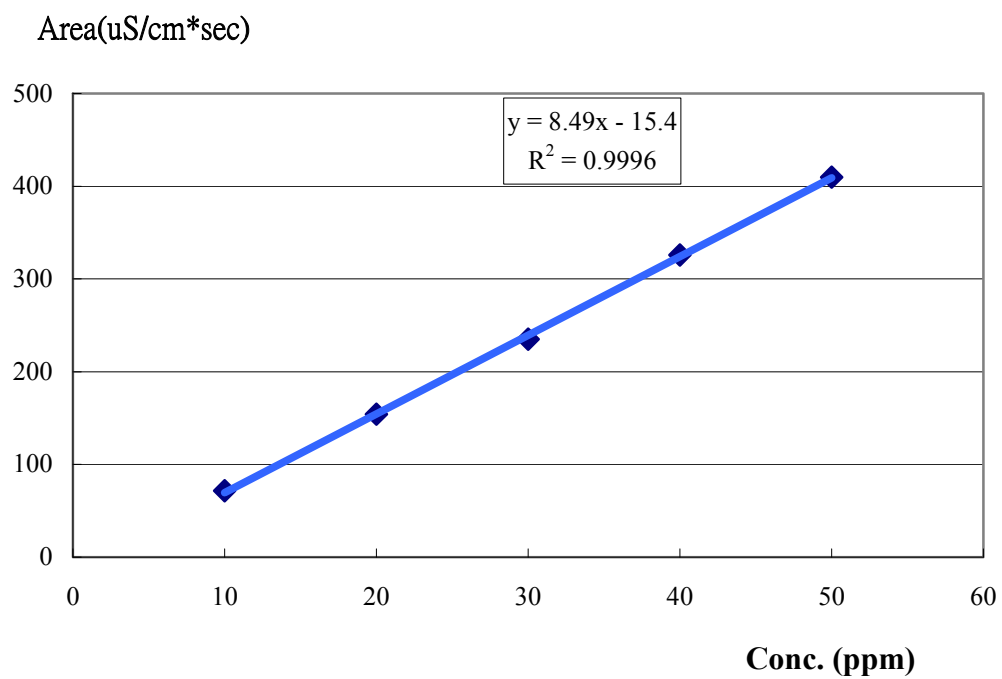


附圖 2-3 亞硝酸根離子分析之檢量線

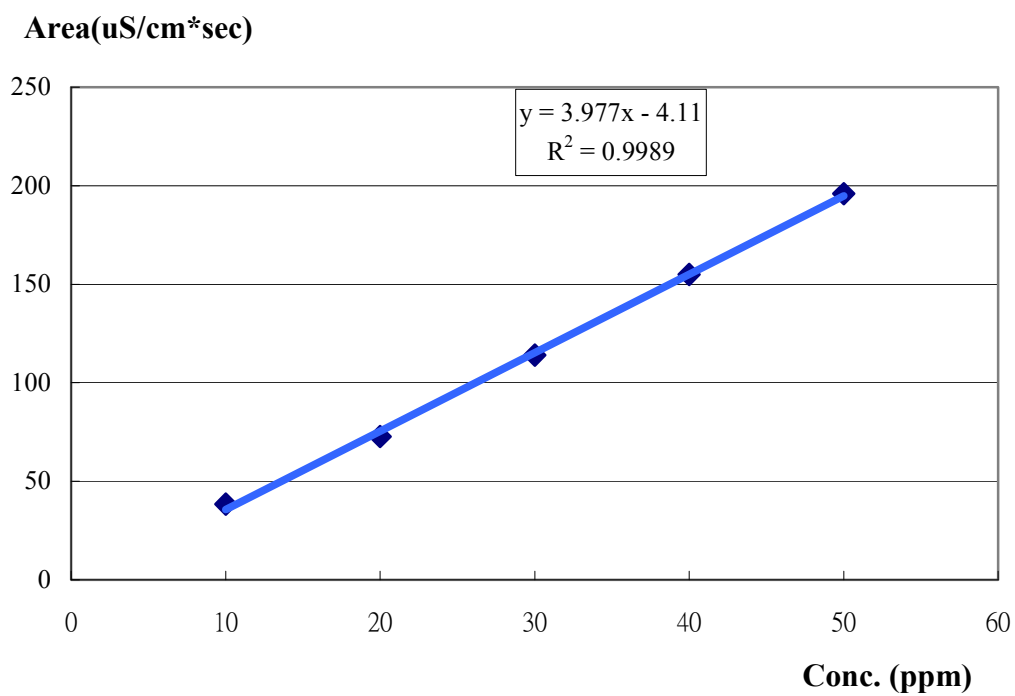
Area(uS/cm*sec)



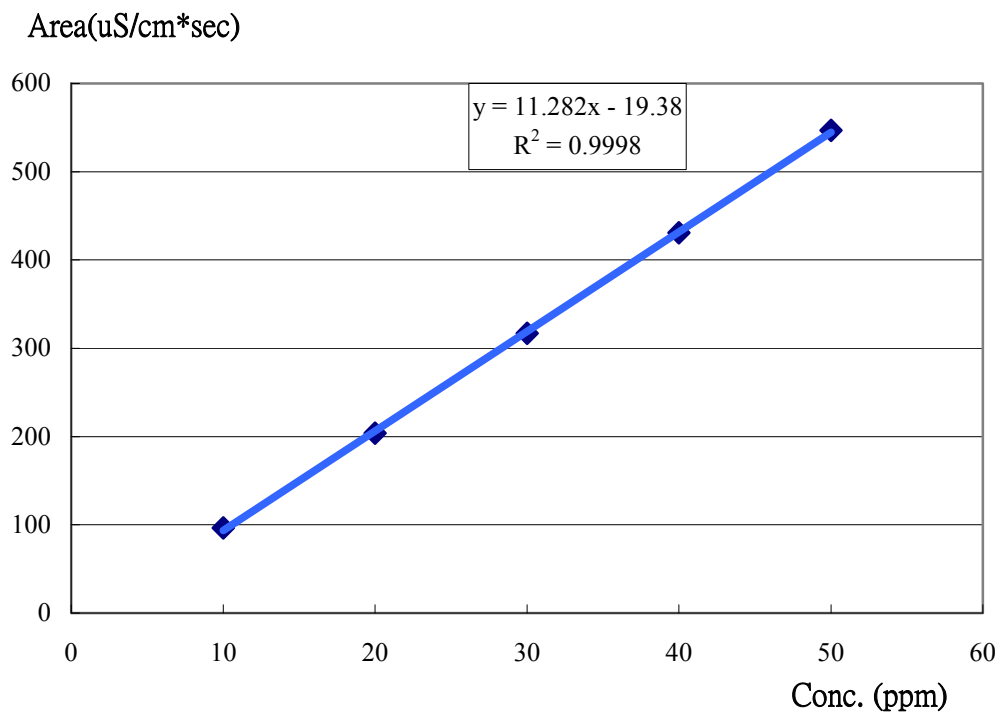
附圖 2-4 溴離子分析之檢量線



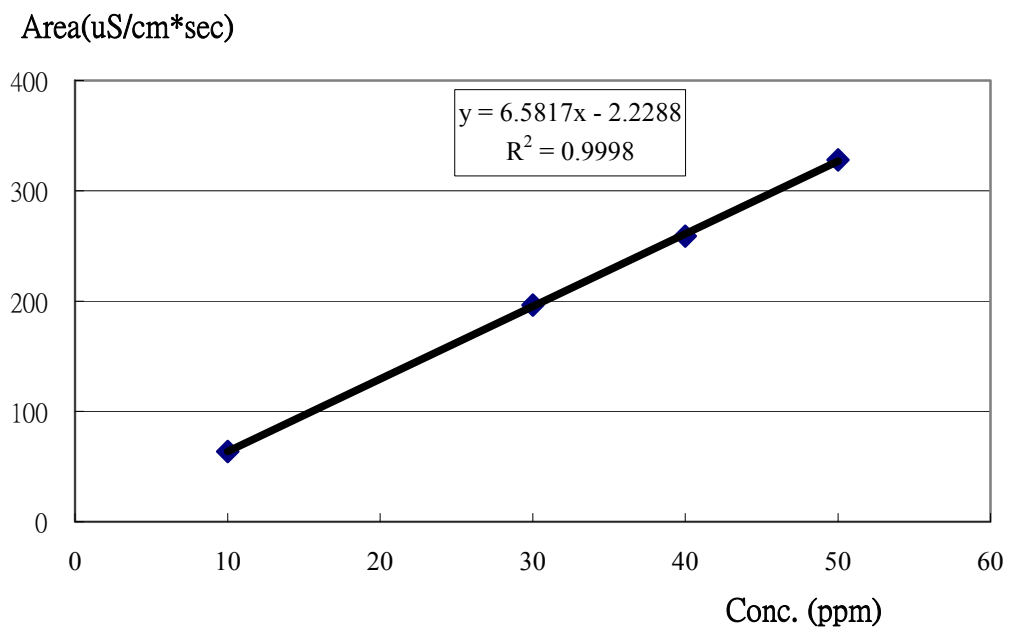
附圖 2-5 硝酸根離子分析之檢量線



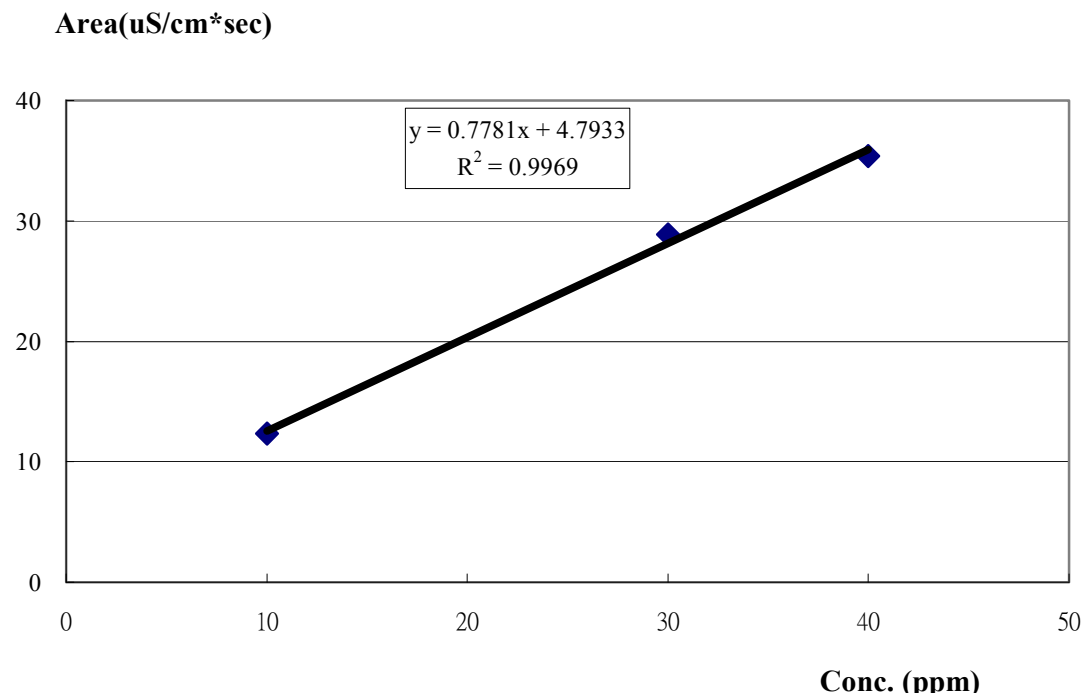
附圖 2-6 磷酸根離子分析之檢量線



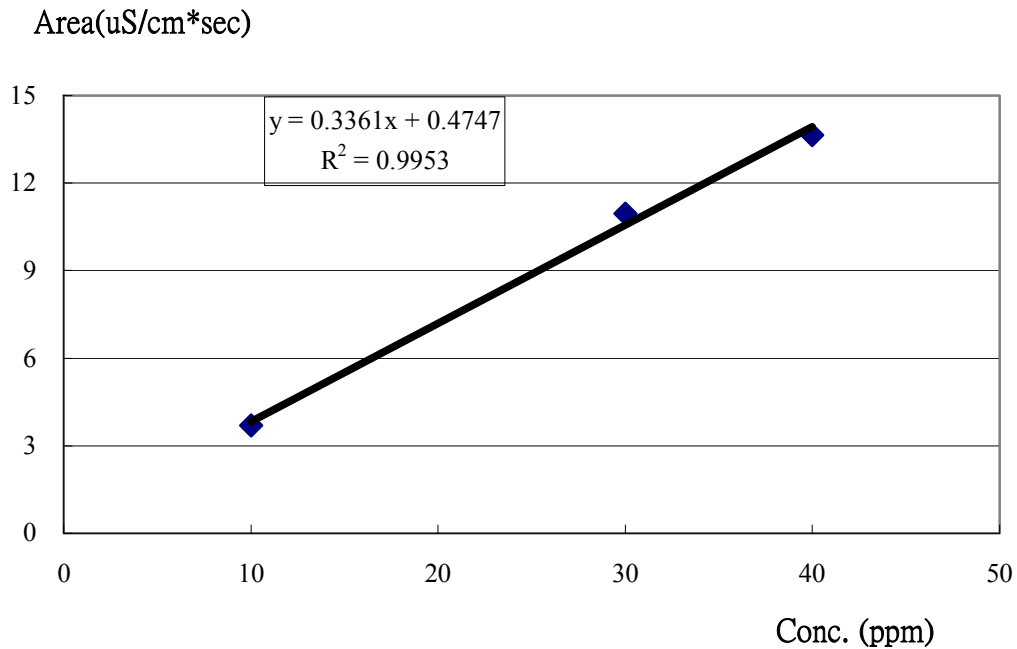
附圖 2-7 硫酸根離子分析之檢量線



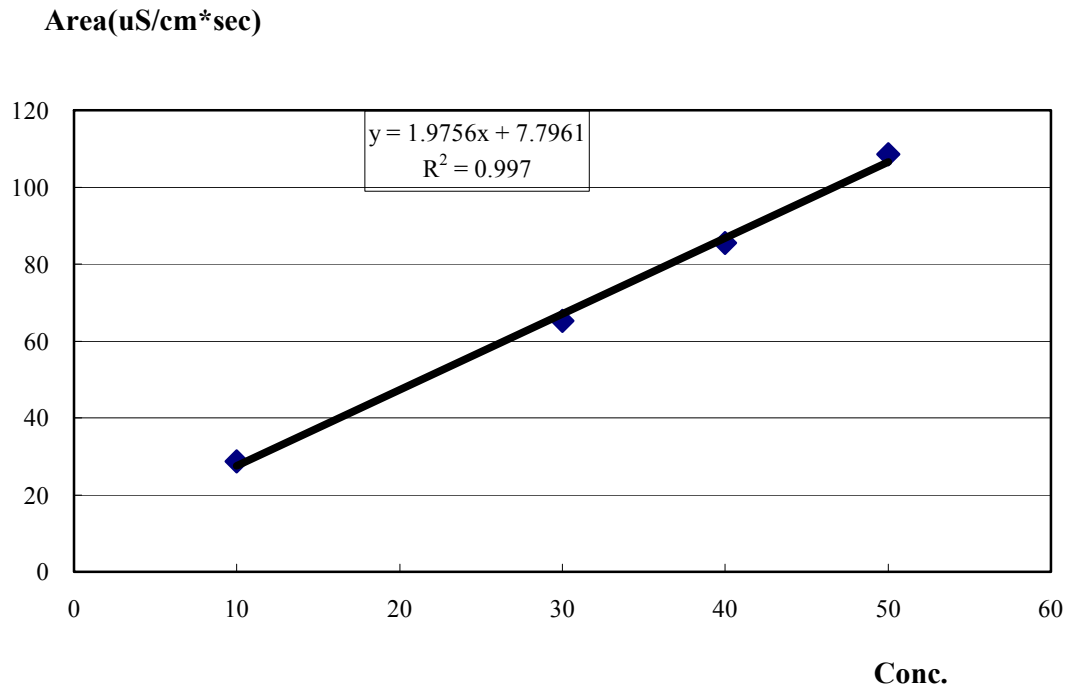
附圖 2-8 鋰離子分析之檢量線



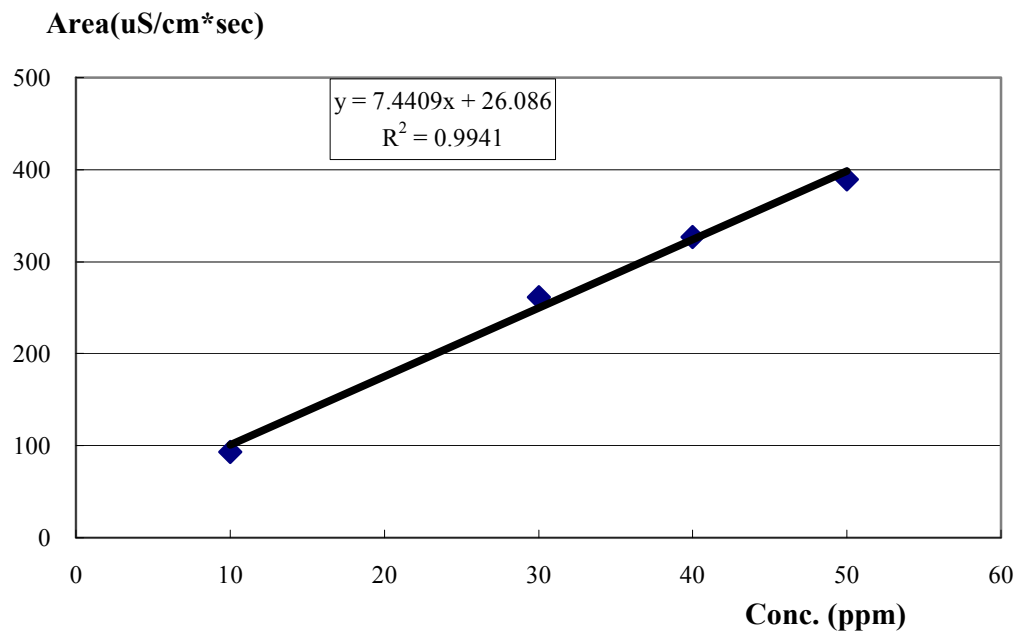
附圖 2-9 銨離子分析之檢量線



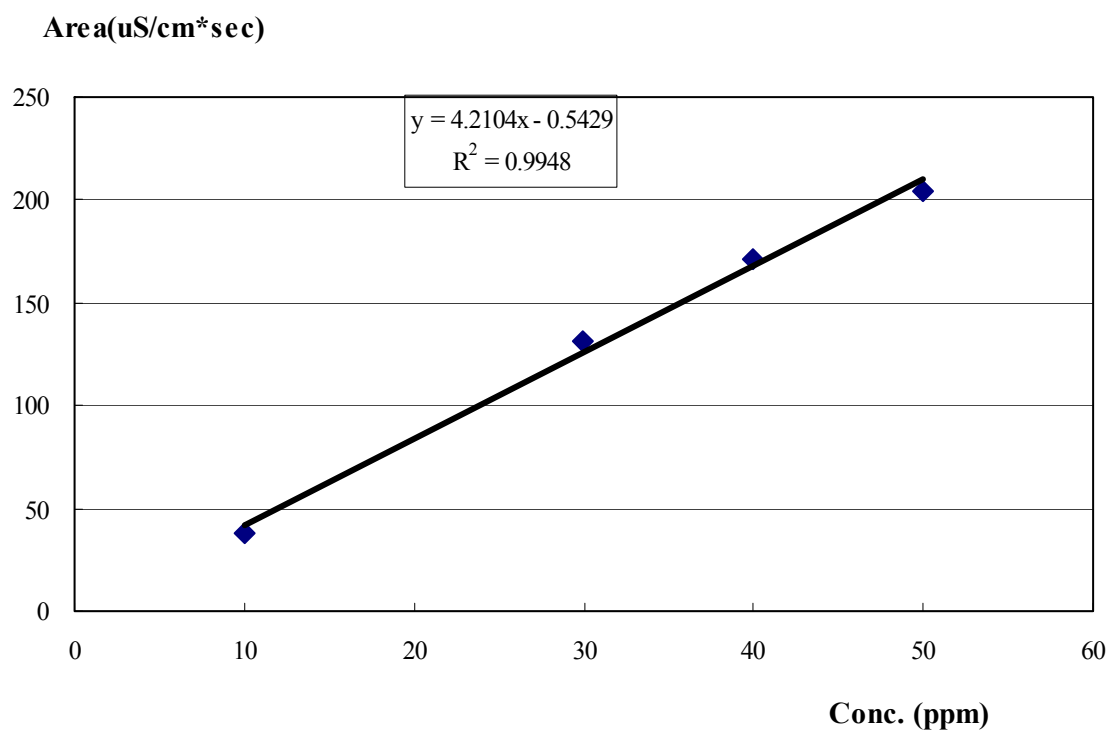
附圖 2-10 鈉離子分析之檢量線



附圖 2-11 鉀離子分析之檢量線

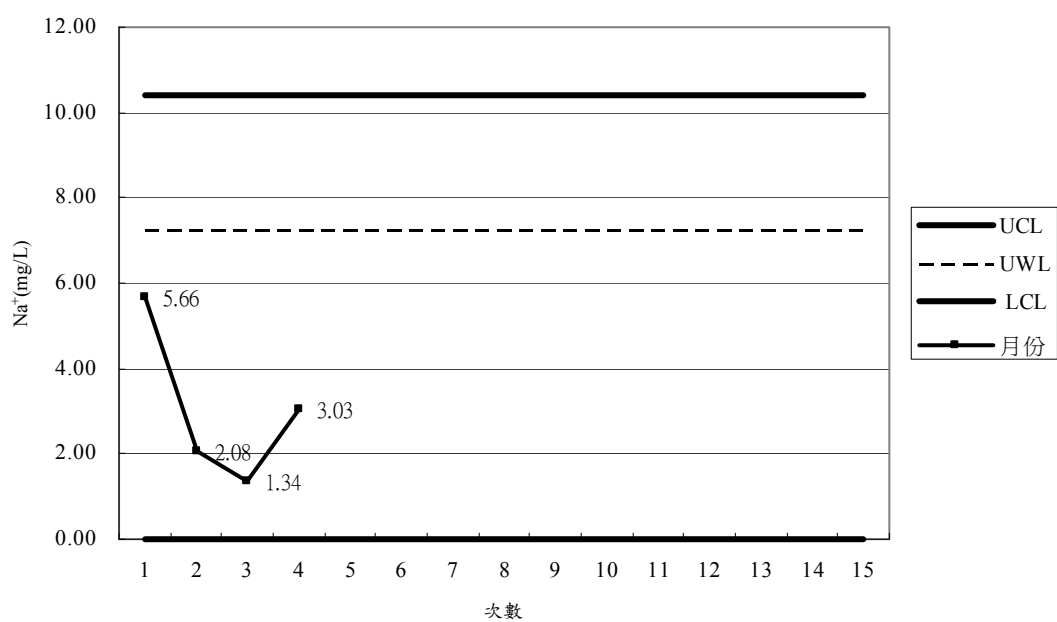


附圖 2-12 鈣離子分析之檢量線

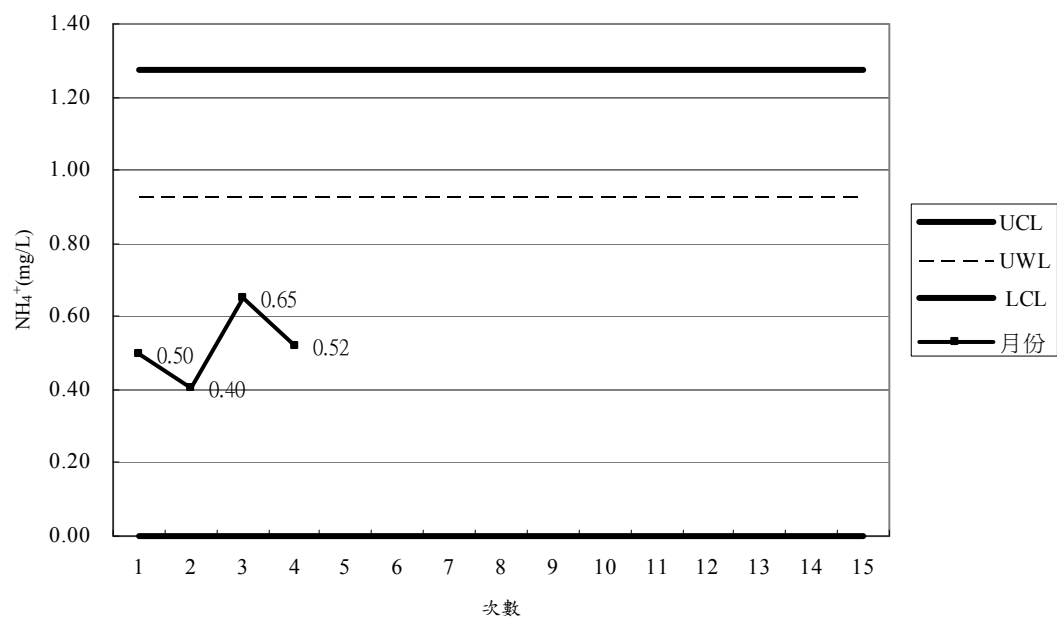


附圖 2-13 鎂離子分析之檢量線

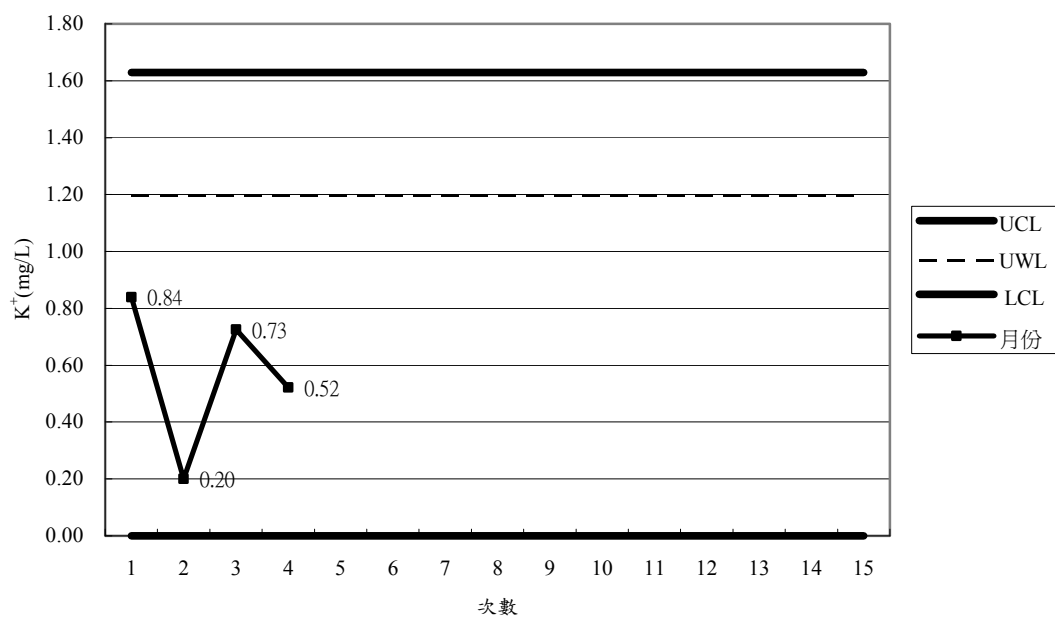
附錄三：離子成分分析之管制圖



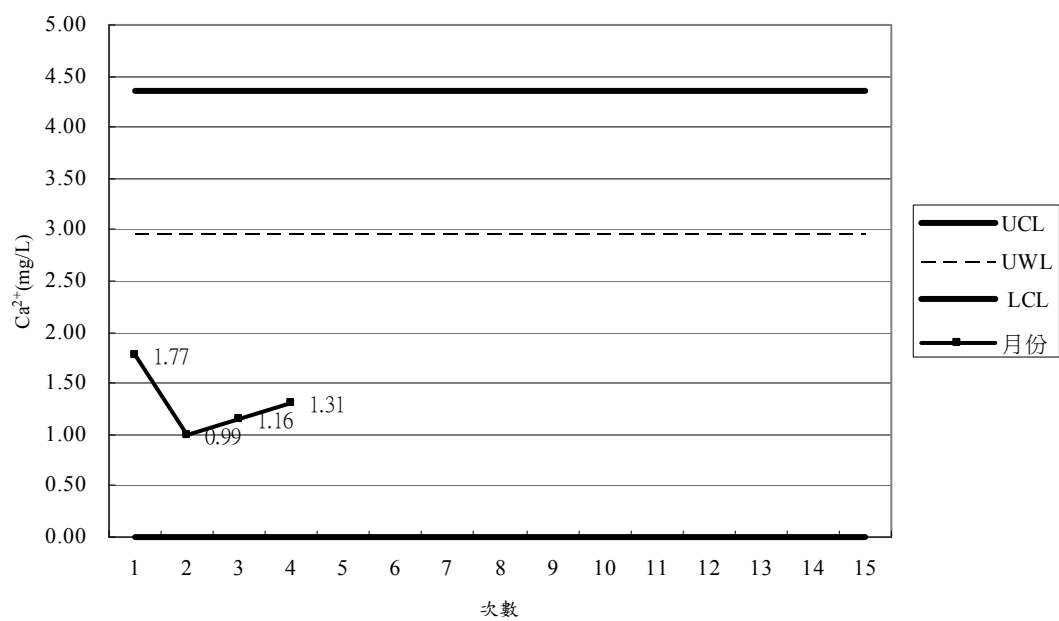
附圖 3-1 Na⁺離子分析管制圖



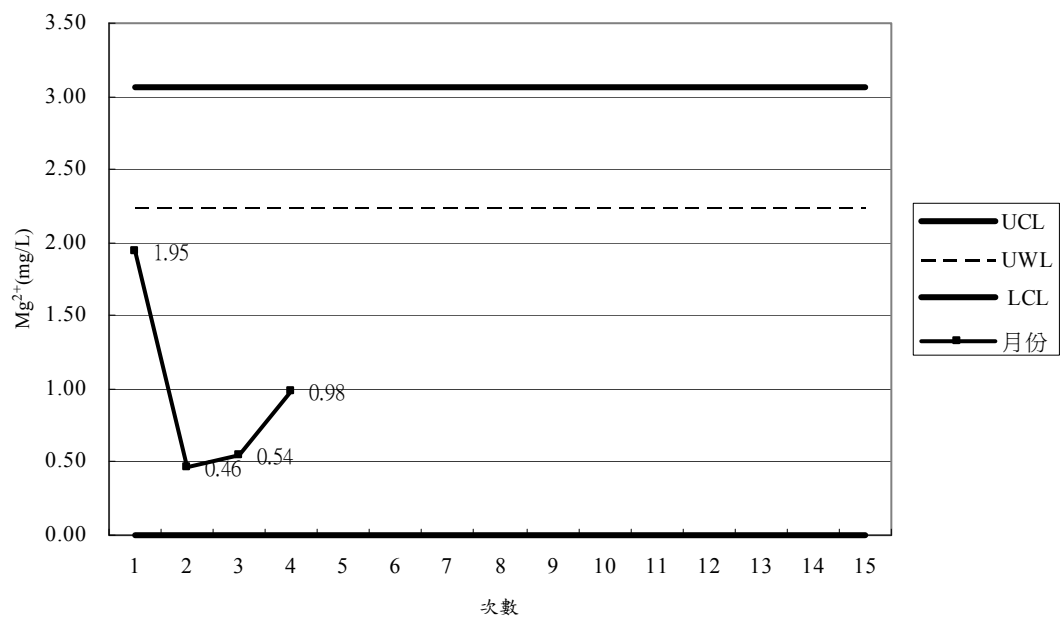
附圖 3-2 NH₄⁺離子分析管制圖



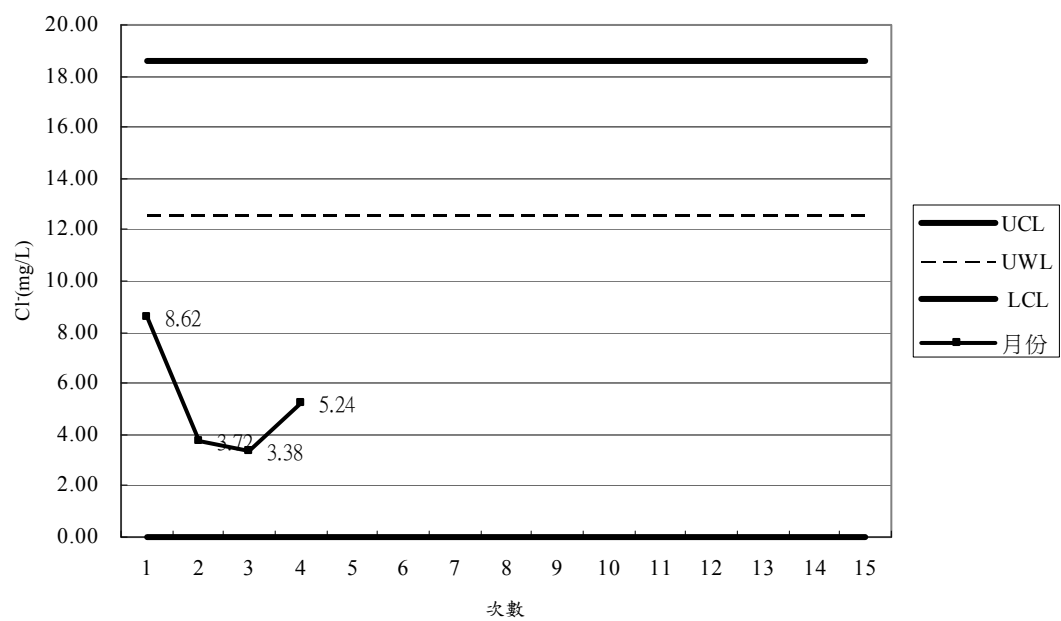
附圖 3-3 K^+ 離子分析管制圖



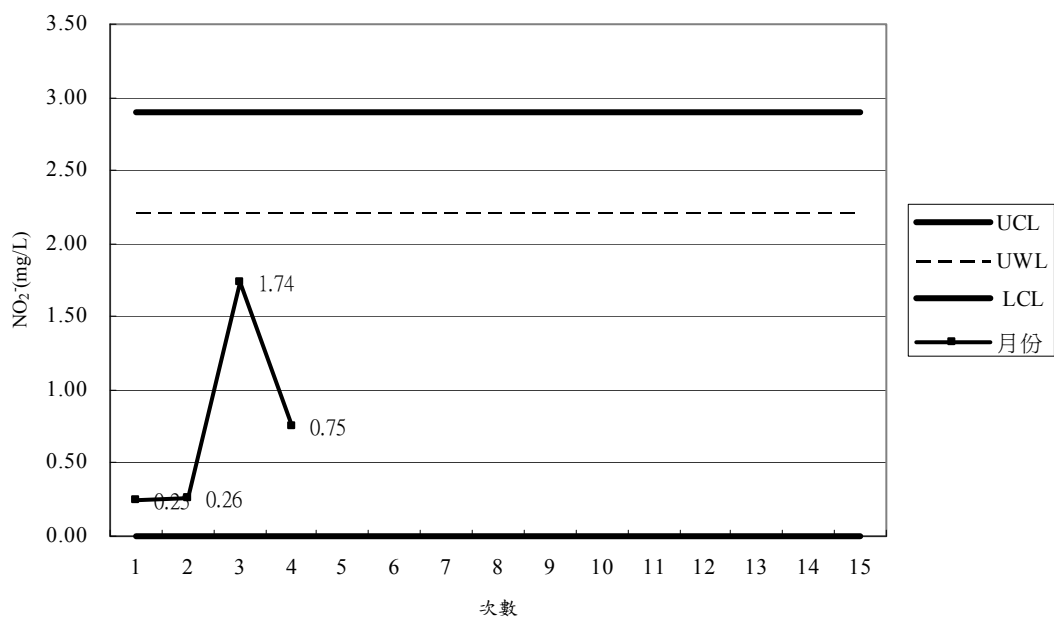
附圖 3-4 Ca^{2+} 離子分析管制圖



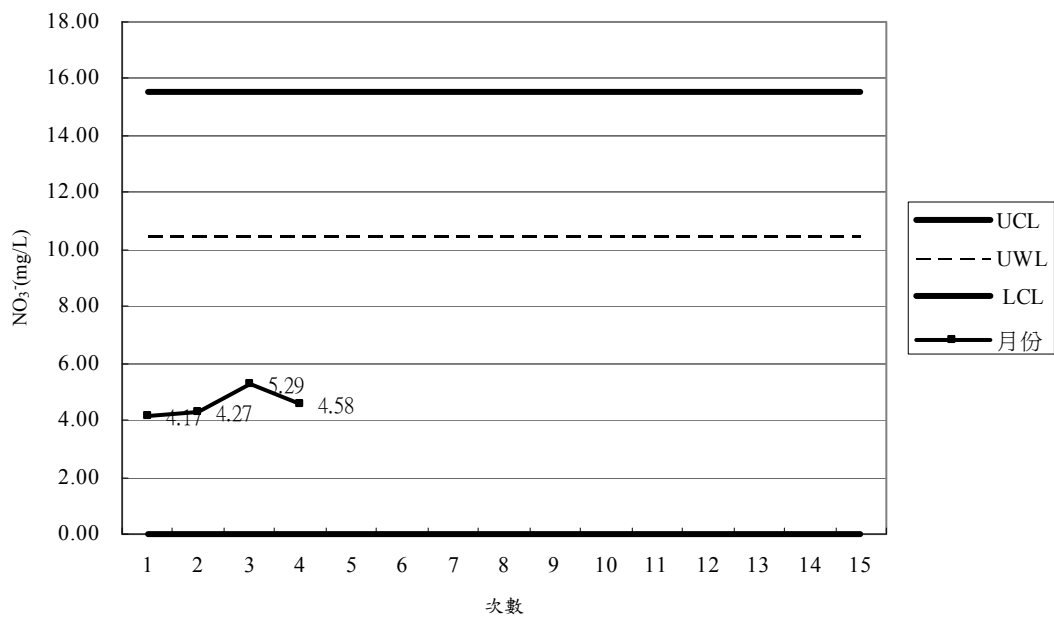
附圖 3-5 Mg^{2+} 離子分析管制圖



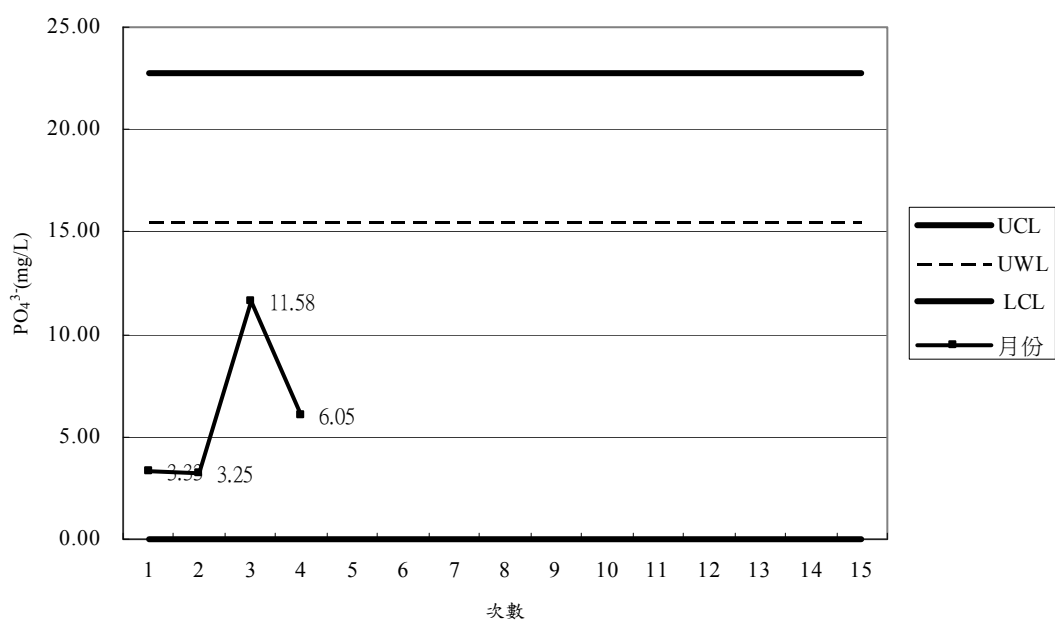
附圖 3-6 Cl^{-} 離子分析管制圖



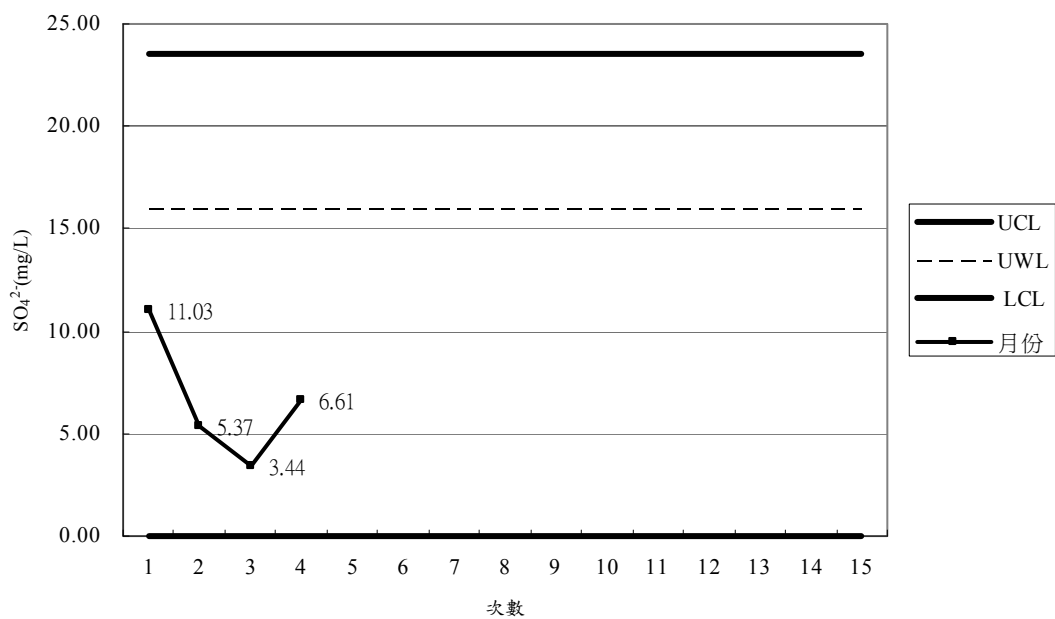
附圖 3-7 NO_2^- 離子分析管制圖



附圖 3-8 NO_3^- 離子分析管制圖



附圖 3-9 PO_4^{3-} 離子分析管制圖



附圖 3-10 SO_4^{2-} 離子分析管制圖

附錄四：空氣品質標準平均值

附表 4-1 空氣品質標準平均值

項 目	標 準	值	單 位
總懸浮微粒 (TSP)	二十四小時值	二五〇	$\mu\text{g} / \text{m}^3$ (微克/立方公尺)
	年幾何平均值	一三〇	
粒徑小於等於十微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM ₁₀)	日平均值或二十四小時值	一二五	$\mu\text{g} / \text{m}^3$ (微克/立方公尺)
	年平均值	六五	
	小時平均值	〇・二五	
二氧化硫 (SO ₂)	日平均值	〇・一	ppm (體積濃度百萬分之一)
	年平均值	〇・〇三	
	小時平均值	〇・二五	
二氧化氮 (NO ₂)	年平均值	〇・〇五	ppm (體積濃度百萬分之一)
	小時平均值	三五	
一氧化碳 (CO)	八小時平均值	九	ppm (體積濃度百萬分之一)
	小時平均值	〇・一二	
臭氧 (O ₃)	八小時平均值	〇・〇六	ppm (體積濃度百萬分之一)
	小時平均值	〇・〇六	
鉛 (Pb)	月平均值	一・〇	$\mu\text{g} / \text{m}^3$ (微克/立方公尺)

備註：1ppm=1000ppb

資料來源：行政院環境保護署

附錄五：林木健康監測調查項目表

附表 5-1 林木健康監測調查項目表

樣 區	黃 牌 樹 號	樹 種	調 查 日 期	活 冠 層 比 例 (%)	根 部	冠 層 狀 態	樹 冠 重 疊	樹 冠 密 型 (%)	樹 冠 透 視 (%)	樹 冠 梢 枯 (%)	修 正 頂 枯 (%)	實 測 活 冠 比 (%)	備 註

附錄六：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 (3/3)」委託研究計畫第三年期中審查會議

一、會議時間：98 年 5 月 8 日（星期五）上午 10 時 00 分

二、會議地點：本處三樓會議室

三、主持人：吳副處長坤銘

四、出席者、列席者：如會議簽到簿。

五、會議記錄：

審查單位	審查意見	辦理情形
國立台灣 師範大學 陳正達 教授	1.請針對研究計畫預期完成的工作項目與進度，表列說明相關工作完成的狀況，是否依計畫完成，或者有落後的情況。	依計畫完成
	2.請對台九線的空氣品質狀態也同時進行監測，否則依現有資料(1-16 頁)，台九線位於雪山隧道豎井與坪林臺灣油杉自然保留區中間，可是污染物濃度卻比兩側的豎井及自然保留區低，違反常理。	已針對台九線的空氣品質，進行補充監測，如 1-5 節所示。
	3.本計畫中對大氣環境穩定度的評估，非常不理想。之所以希望本計畫針對大氣穩定狀況提出資料，是希望在進行空氣污染物濃度監測時，可以瞭解是否因為大氣環境條件的差異，導致擴散的情形有所不同，同時也可以協助瞭解濃度監測結果變化的原因。在 1-17~18 頁中以季節平均狀況表示的日照、風速、雲量與上述監測時的大氣環境穩定狀況無關，在此並沒有實質意義。	已計算大氣混合層高度，如 1-5 節所示，大氣混合層越低，表示大氣環境穩定度越高。
林業 試驗所 黃進睦 副研究員	1.本研究中大徑木在短期間內的胸徑及樹高生長量雖然沒有顯著的成長，但有必要做長期的監測。	遵照辦理。
	2.健康指標監測技術應移轉給羅東處。	可將重點放在樹冠梢枯及頂枯情形。
	3.D 區切片應列入比較。	D 區切片已經列入比較。

	4.大客車通車後，小客車數量是否有變化？	大客車通車後，小客車數量略為增加。
	5.4-47 頁最後一段第二行所述之「因本年度已通行大客車」，係指 96、97、98 哪一年？	該文字敘述修改為 97 年度。
	6.本計畫報告書中應該將污染物濃度的法定標準列為附錄之一部分。	已增加空氣品質標準平均值於附錄四。
	7.本計畫報告書中污染物之濃度，係以 ppm 或 ppb 表示，請予以統一，以免造成數值判斷上之混淆，並請修正部分有誤之數值。	除 CO 以 ppm 表示之外，其他污染已改為 ppb 表示。
本處 治山課 賴柳英 技正	雪山隧道豎井對坪林台灣油杉自然保留區及周邊環境之影響無法於本研究期中顯示出來，但所得到之資料是未來監測之基礎，建議研究團隊於期末報告時列出應持續監測之項目及頻率，以做為後續實施監測之參考。	將於期末報告列明持續監測之項目及頻率，如建議事項。
本處 礁溪站 吳思儀 技正	1.本計畫已進行至第 3 年，調查坪林台灣油杉自然保留區所得之林分結構及初步各分區更新狀況等資料，對林務機關未來經營管理上非常具有參考價值。	知悉。
	2.就目前所得結果，可能因為本計畫僅進行至第三年，無法看出顯著影響，故建議本處未來仍應持續進行監測。	將於期末報告列明持續監測之項目及頻率，如建議事項。
	3.請研究團隊針對未來進行林分結構、健康監測及葉身解剖等監測項目之間隔時間，提出建議。	建議 A, C 及 D 區應每 2 年取台灣油杉各 10 株之葉片切片比較。林分調查與健康監測如需配合提供資訊，
林務局 (未派員， 採書面 審查)	1.報告顯示三年來所進行之研究監測，尚未發現雪山隧道豎井所排放之氣體對台灣油杉有顯著影響，如未來再持續進行監測，是否有每年監測之必要性？或是否隔幾年監測 1 次即可？其適當的間隔時間為何，建議於期末報告時提供相關資訊。	將於期末報告列明持續監測之項目及頻率，如建議事項。
	2.報告書因以黑白印刷，條狀圖或曲線圖等圖表之呈現應以不同花樣來做區分，而非以顏色區分，否則會發生圖表不易或無法明確判圖之情形，無法呈現研究結果。	已將條狀圖與曲線圖等圖表修正為不同花樣來做區分。
	3.第 1-2 頁倒數第 5 行「於台灣自然油杉保留區內之濃度」文字有誤，請更正為「於坪林台灣油杉自然保留區內之濃度」。	已將「於台灣自然油杉保留區內之濃度」文字修正為「於坪林台灣油杉自然保留區內之濃度」。

國道高速公路局坪林行控中心 彭若帆 主任	1.有關後續研究監測所需經費，本局至民國 100 年止無相關經費編列。	知悉。
	2.有關前面所提到的技術轉移的部分，所指為何？	應該是指林木監測部分。
	3.有關本計畫書中所列「通車前」之污染物濃度數值是不準確的，因為通車前的打掃動作會帶來灰塵等，這些都會影響到污染物的數值，而且排風機也非 24 小時打開，只有測試時才打開，所以通車前的標準樣本值應該是經過一段時間讓隧道裡的灰塵等顆粒沉降下來後再測量。	所提到「通車前」之污染物濃度數值乃為通車當天，未開放行駛車輛之隧道內空氣品質監測結果。
國道高速公路局頭城工務段 陳郁青	1.坪林行控中心於去年 12 月正式成立，負責管理雪山隧道通風機房、雪山隧道內部運作及車流量之統計，貴處若有相關環境監測及雪隧內之問題可洽坪林行控中心詢問。本頭城工務段為管理隧道外之土木工程及環境監測，若有這方面的問題可洽本段詢問。	感謝惠予協助。
	2.請貴處發文時同時發給高工局、北區工程處、頭城工務段和坪林行控中心，以利文件資料可提早收到，不然等本局轉文下來時，開會時程都已經過了，也來不及進行資料之審閱。	知悉。
	3.報告內 P1-1、P1-2、P1-3、P1-6、P2-1、P3-14、P4-24、P4-42 有關國道 5 號請以阿拉伯數字表示。	依建議修改。
	4.P1-7 第四段說明「由此顯示出，雖仍未通車...」。請問上面所說之數據為未通車之數據嗎？表達方式不清楚，是否可用另一方式表達。	於 P1-7 文字敘述已修改為「即使尚未通車，因通車前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」。
	5.P4-60 有提到為豎井排氣所影響，但有關空氣品質的研判需多方面考量，故建議可增加敘述附近週遭人為之開發是否增多、旅客到此旅遊次數是否有增加、季節的影響、風面影響、人為開發、監測時間點環境現況說明及照片等佐證資料，請多方面收集資料並嚴加判斷以提高可信度。	已於期末報告 4-3-4-1 節予以補充。

	6.P5-4 有關第 5 點說明，本局長官指示只依當初國工局移交給予本局對環評承諾事項執行監測及預算之編列，故無法支援貴局經費上之協助。建議貴局可向環保單位提出此案目前經費之情形及困難點，請環保單位協助幫忙。	已詢問環保署與環保局，該兩單位仍建議國工局或高公局編列預算。
	7.P5-4 第 8 點有關環境影響因素部份，可請貴處發文說明需要的相關資料及訊息，若為本段所監測之項目本段會盡量提供完整之數據及周邊環境現況，若為雪山隧道內之監測數據請發文給予坪林行控中心協助提供。	本報告已部份彙整頭城工務段所監測數據，如 4-3-2-2 節內容所示。
	8.建議加入環說書內之監測頻率表，可更加清楚瞭解監測項目。	已於期末報告中補充。
	9.建議貴處邀請國工局參加會議。	知悉。
台北 工作站 洪西洲 主任	建議研究團隊可以深入研究空氣污染物濃度對油杉葉部構造的影響，以瞭解當污染物濃度達到何種程度時會造成油杉葉部構造產生變化或是病變。這個資料也可以當作樹種抗污性之參考指標。	已於期末報告中補充。

六、會議結論：

- (一) 本期中報告審核通過，請研究團隊依本會議各委員意見，於期末報告中一併修正與回應。
- (二) 有關本案是否持續進行監測及後續技術轉移、相關經費分攤等問題，本處另案再行討論。

附錄七：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

羅東林區管理處

「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

(3/3)」第三年委託研究計畫期末報告會議紀錄

一、會議時間：98 年 11 月 30 日（星期一）上午 09 時 30 分

二、會議地點：本處三樓會議室

三、主持人：邱秘書惠玲 代

四、出(列)席人員：詳如「簽到名冊」

五、記錄：傅正儀

六、審查委員及出席人員意見：

審查單位	審查意見	辦理情形
國立台灣 師範大學 陳正達 教授	1. 北宜公路的污染物的輔助監測，應該加入期末報告中。另豎井區與民宅、油杉區的濃度空間分佈的合理性必須加以討論，如果可能，可以將觀測的誤差範圍加以估計，只是前述誤差也許應該包含觀測時間的差異、環境不同等因素的討論。	北宜公路的污染物的輔助監測已加入期末報告中，如 page1-16 所示，採樣時間與其他測點同一天。
	2. 大氣穩定度對空氣污染物濃度的影響，應該與監測期間的狀況為主，而非整個平均季節的評估，未來如果還有監測的機會，也許可以試著蒐集同時期的氣象資料，評估其影響。	謝謝委員指正，未來有機會進行本研究將試著蒐集同時期的氣象資料，評估其影響。
	3. 報告中圖與表之間的空氣污染物濃度觀測值有差異，請釐清其正確性。	已修正。

林業 試驗所 黃進睦 副研究員	1. 贅字：①摘要第一段：台灣油杉生長與健康. 重覆(II頁)②建議：第9項：侷限與經費有限. 同意③P1-5：孫岩章於 1985...[孫岩章，1985]；陳正平等與林沛鍊等於 1996 年...[陳正平，1996 年][林沛鍊，1996 年]參考文獻，重覆用字請刪除 錯字：P1-5：行成臭氣→形(倒數第6行)	①已將贅字刪除 ②已將贅字刪除，如 page 5-5 ③已將贅字刪除 錯字「行」已修正為「形」
	2. 建議：圖 1-2-1-1 不清楚，且與圖 1-2-1-2 重覆。	已將圖 1-2-1-1 刪除
	3. 因持用每木調查→樣木是否去除？	全區台灣油杉每木的調查部分將樣木改為林木；其他的抽樣調查部分(例如：選擇視野良好的樣木拍攝照片、抽樣進行葉片顯微觀察)還是維持樣木。
	4. 建議第4點：尤其 SO ₂ 或其他氣體，語意不明確且應沒超過法定標準。	已將敘述文意修改
	5. P4-95 圖的位置錯誤，請重排。	已將該圖位置修正
	6. D 區分數最低的是否與 D056 葉片異常的同一株。	二者不同，D 區分數最低的為下層的 1 株被壓木，D056 為上層木。
	7. P4，P36、P1-18 時間是要一致。	時間已修改為一致，如 page1-18
	8. P4-95	如前述第5點修改
本處 治山課 賴柳英 技正	可否在葉肉、樹冠健康狀況及環境空氣污染等三項指標，做一聯結。環境污染部分，在目前並看不出影響，若日後開始有影響時，後續的監測，是否有些關鍵值，可做為機關日後工作的要點，請於結論上給一個日後監測關鍵點的建議。	本研究的結果，可做為目前森林健康狀況的基礎線。後續的監測，則在檢定新的觀測是否顯著地偏離現有值而向劣化方向進行。同時，監測環境污染物的濃度是否有增加的現象，是否有超過法定標準值。
太平山工 作站 李威震 技正	報告中有提及以空拍協助監測事宜，應可二年後再請該團隊加入繼續研究。	空拍部份可由第四次森林資源調查的航拍取得，目的是保存目前健康狀況下的大面積影像檔，未來如果地面監測有發現異常時，且欲進一步了解大面積森林狀況，可利用各期空拍照片協助進行比對。

本處 育樂課 江玲怡 技士	本研究呈現結果和預期預測相同，研究團隊 3 年來積極投入，幫台灣油杉做了一個完善健檢，建立詳實基礎資料，未來每二年監測，因部分健康監測指標判釋因人而異，這部分屆時請研究團隊技術轉移(如教育訓練方式)，另為有利後續監測準備及銜接，建議將林木健康監測調查項目表，放入附錄。	健康監測指標判釋方面，在進行各次調查前，都需要重新校正訓練判釋人員的判釋能力，判釋值穩定後才適合野外調查。屆時如有需要，本研究室應當義務訓練貴處派出的調查人員。
------------------------	--	--

七、會議結論：

1. 本期末報告審核通過，請研究團隊針對委員意見酌予修正，文中引用資料如有錯誤之處、措詞用字、排版等錯誤，請統一訂正。
2. 依據合約書第 9 條計畫執行成果報告，其著作權歸本處所有。故本研究成果非經本處許可禁止擅自對外發表。