中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　生物科

080304

『烏』煙『髒』氣&『灰』頭『土』臉的行道樹

學校名稱：臺中市私立東海大學附屬實驗高級中學小學部

作者：	指導老師：
小六 顏名涵 小六 陳益鵬 小六 李秉育 小六 黃彥勳 小五 袁　嶸	許文俐

關鍵詞：空氣汙染、行道樹、樹葉

摘要

本研究為了探討台中市捷運施工、大樓興建及汽機車等帶來的空氣汙染，對行道樹的影響，於是選擇捷運路段〈G6-G8 站〉的樟樹進行研究。我們發現捷運路線的樟葉外觀上有明顯褐斑、葉片色素分布不均、且有厚厚的灰塵及油汙，而以本校校園樟樹做為對照組，發現一年四季，其葉面上的落塵量都較本校多，尤以冬季最明顯，分析此落塵量與四季的雨量多寡有關，且冬季落塵水溶液 pH 值明顯較高，推測是鹼性的水泥灰塵所致，而此路段下層樹葉落塵量約為上層的 2 倍。經實驗也發現這些佈滿塵埃的葉子，它們測得的光合色素含量較對照組低，並且葉片的蒸散速率及蒸散量也降低了。透過顯微鏡的觀察，這些受空氣汙染的葉片會增加葉背氣孔數及擴大氣孔來維持體內的恆定。

壹、研究動機

前年，台中市捷運開始施工了，而我們家剛好住在捷運路線上，每天都看到很多的車子在馬路上穿梭著，由於施工的關係，本來是四線道，現在縮減為三線道，因此在上下班時間，常常擠得水洩不通，車子經常動彈不得的。我發現，因為捷運施工且附近有許多大型建案在蓋大樓，造成塵土到處飛揚，還有那麼多汽機車排放的廢氣，感覺空氣品質似乎變得比以前更糟了。

而在**五年級自然課上過「植物世界面面觀」單元**，了解到葉片是行光合作用的場所，光合效率高時，製造的氧氣和養分也比較多，植物會長得比較好；在**六年級的自然課本「生物與環境」單元**中，提到汙濁的空氣會危害生物健康，而落塵量是檢測空氣汙染的指標之一，落塵量越多，表示空氣汙染越嚴重，因此讓我想到當灰塵太多時，是否也會阻塞葉片的氣孔，進而降低蒸散作用呢？這一連串的問題，激發我想要進一步研究，於是找了幾個對科展研究有興趣的同學，在自然老師的指導下，進行一系列的研究。

貳、文獻探討

一、台中市捷運烏日文心路線及預計通車時間

東起北屯區松竹路二號橋附近，沿松竹路西行跨越台鐵再左轉至北屯路，沿北屯路至文心路四段路口前右轉文心路，沿文心路、文心南路，經中山醫學大學後方空地轉建國北路至大慶街口附近，續沿建國北路（鐵路北側）跨越筏子溪後進入高鐵臺中站區。捷運烏日文心北屯線採高架化方式興建，已核定 18 站。**本研究路段包括下列三站：G6 站：文心路與崇德路交叉路口附近　G7 站：文心路與中清路交叉路口附近　G8 站：文心路與河南路交叉路口附近。預計 107 年通車。**〈台中市政府交通局〉

二、行道樹的功能

〈一〉淨化空氣〈二〉調節局部氣候〈三〉減少噪音〈四〉提高行車安全〈五〉美化鄉鎮市容〈六〉散發芬多精〈七〉陶冶性情、增加精神健康〈八〉庇蔭行人〈九〉提供鳥獸棲息及取食場所〈十〉為珍貴的鄉土文化資產〈奇摩知識〉

參、研究目的

一、想了解捷運路線行道樹種類、數量和生長情形，並就地理環境與空氣品質和本校校園做一比較。
二、想了解一年四季中，本校校園與捷運路線之樟樹葉片落塵量是否有差異？
三、想了解本校校園和捷運路線之樟樹的上、下層樹葉落塵量是否皆有差異？
四、想了解本校校園與捷運路線之樟樹葉片光合色素含量是否有差異？
五、想了解本校校園與捷運路線之樟樹的葉片蒸散速率及蒸散量是否有差異？
六、想了解本校校園與捷運路線之樟樹葉片的氣孔數量及大小是否有差異？

肆、研究設備及器材

校園及捷運路線兩旁的樟樹、修剪葉子專用伸縮桿〈最長 5 公尺〉、果汁機、95%丙酮、研缽及杵、25ml 及 250ml 量筒、燒杯、濾紙、漏斗、試管、電子秤 300g/0.01g、分光光譜儀、pH 值檢測計、雨量筒、試管刷、純水、膠泥、氯化亞鈷試紙、250ml 錐形瓶、有孔橡皮塞、透明膠帶、透明指甲油、載玻片、直尺、紅色奇異筆、攜帶式二氧化碳檢測器、顯微鏡、照相機、電腦、電子白板。

伍、研究過程與結果

研究一、調查捷運路線行道樹種類、生長情形，並就地理環境與空氣品質和本校校園做一比較

〈一〉調查捷運路線 G6-G8 站之行道樹種類、數量及主要行道樹的高度、生長情形及空氣汙染的來源

1.調查步驟：

〈1〉步行調查 G6 至 G8 站間單號和雙號門牌兩側分別有哪些行道樹？以及它們的數量，從調查中找出數量最多的樹種，做為我們研究的對象。

〈2〉利用汽車計算此路段總長度，以了解行道樹的栽植密度。

〈3〉然後依據樹木高度，分為兩種，一為 6 公尺以下高度〈2 層樓〉，一為 7-9 公尺高度〈3 層樓〉，分別調查此路段主要行道樹在這兩種高度的分布數量、生長情形及分析空氣汙染的來源，並且以店家樓層來估算捷運高架橋的高度。

2.調查紀錄：

〈1〉台中市文心路捷運 G6-G8 站之行道樹種類及數量

樹種 / 門牌	**樟樹**	榕樹	福木	洋紫荊	烏心石	台灣欒樹	小葉欖仁	白雞油	茄冬	木棉	菩提樹	黑板樹
單號	**143**	0	4	0	3	5	4	1	0	2	1	5
雙號	**138**	7	1	4	0	1	0	0	6	0	0	0

〈2〉G6-G8 站總長為 2.7 公里，單號有 168 棵樹，雙號有 157 棵樹。

〈3〉捷運路線 G6-G8 站間主要行道樹高度、生長情形及空氣汙染來源

※主要行道樹是樟樹　　捷運高架橋高度約 9 公尺

樹高 / 調查項目	6 公尺以下	7-9 公尺
門牌單號之棵樹	66	71
門牌雙號之棵樹	77	67
樹冠大小	較小	較大
樹幹粗細	較細	較粗
樹齡大小	較小	較大
觀察下層樹葉落塵量多寡	較多	較少
觀察下層樹葉健康情形	較不健康	較健康

可能影響其生長的空氣汙染來源	短期影響	1. 店家拜拜燒紙錢 2. 燃放鞭炮 3. 舖柏油路 4. 挖掘管線、道路施工 5. 霾害、沙塵暴	霾害、沙塵暴
	長期影響	1. 蓋大樓之區段路樹的樹葉會受水泥塵土飛揚的影響 2. 汽、機車排放的廢氣和廢煙 3. 捷運施工、挖掘及灌漿等塵土及水泥灰塵 4. 地面受風吹揚起的塵土 5. 部分區域路旁有土地公廟，受信徒燒紙錢及線香燃燒的影響	1. 蓋大樓之區段路樹的樹葉會受水泥塵土飄揚的影響 2. 捷運施工、挖掘及灌漿等塵土及水泥灰塵

3.調查圖示及說明：

汽機車排放廢氣和廢煙

捷運路線上大型建案施工造成水泥灰塵飛揚

捷運施工、挖掘及灌漿造成水泥灰塵飛揚

土地公廟燃燒紙錢和線香帶來的空氣汙染

4.調查發現及討論：

〈1〉**捷運 G6-G8 站共有 12 種行道樹，其中最多的行道樹是樟樹。**

〈2〉樟樹是上等的行道樹，因為它是常綠大喬木，樹冠濃綠優美，四季常青，冬季不會有落葉的情形，所以台中市不少街道都種植樟樹當作行道樹。

〈3〉捷運 G6-G8 站行道樹之栽植密度單號門牌這一側平均每 16 公尺有一棵行道樹，雙號門牌那一側平均 17 公尺有一棵行道樹。

〈4〉由調查數據發現，6 公尺以下的樟樹和 7-9 公尺高的樟樹約各占一半，而 6 公尺以下的樟樹樹齡較 7-9 公尺的樟樹小，由於樹冠較低且較小，推測樹葉受到各種空氣染源的影響比較大，所以樹葉病徵較明顯且多。**而我們分析最主要的空氣汙染因素有三個：汽機車流量大，排放的廢氣廢煙多、捷運施工帶來以前沒有的汙染及大型建案一個個的蓋，帶來大量的水泥灰塵。**

〈二〉就本校校園和捷運路線之研究對象做說明及分析比較

1.調查步驟：

〈1〉實地觀察並分析比較本校校園和捷運路線的樟樹，生長的地理環境有什麼差異？

〈2〉在兩個研究區域，分別選取 5 棵樟樹，做為研究對象。

〈3〉 以攜帶式二氧化碳檢測器，分別測量兩區域的二氧化碳濃度各三次，求平均值。

〈4〉 於四次下雨的日子，分別取樣兩地的雨水，以 pH 值檢測計測量 pH 值。

〈5〉以布尺量取這些研究樹木的樹圍，並求取平均值。

〈6〉 就研究對象的樹高訂定標準及比較葉片外觀。

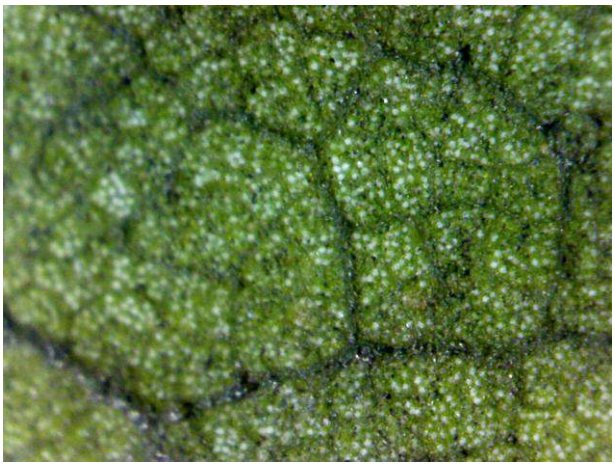
在捷運路線上測量二氧化碳的濃度	在捷運路線上測量樟樹的樹圍

2.調查結果：

項目	本校校園樟樹	捷運路線樟樹
地理環境	本校位於大學校園內，遠離大馬路〈台灣大道〉，整個大環境內，樹木種類及數量都很多，尤其樟樹所在位置，無汽、機車通過。	緊鄰大馬路〈文心路〉，汽機車流量大，且有大型建案及捷運工程等的施工。

樟樹採樣數量及分布區域	前門 3 棵 新大樓前 2 棵	文心路上：綏遠路至梅川路間 1 棵 梅川路至山西路間 1 棵 青島路至中清路間 1 棵 華美街至成都路間 1 棵 成都路至河南路間 1 棵
二氧化碳濃度	**388 ppm**〈測量三次平均值〉	**480 ppm**〈測量三次平均值〉
雨水 pH 值	**6.3**〈測量四次平均值〉	**5.3**〈測量四次平均值〉
樹高	6 公尺以下	6 公尺以下
樹圍	132 公分	128 公分
採樣葉片外觀	葉片深綠色，色素分布均勻，較乾淨無明顯的塵埃在上面	有明顯的褐斑、葉片色素分布不均、有厚厚的灰塵及黑色的油汙

本校校園內的樟樹〈對照組〉		捷運路線兩旁的樟樹〈實驗組〉	
葉面	葉背	葉面	葉背

<table>
<tr><td colspan="2">
</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">本校校園樟葉在顯微鏡下放大 200 倍的情形</td><td colspan="2">捷運路線樟葉在顯微鏡下放大 200 倍的情形</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">可看出葉片很乾淨</td><td colspan="2">可看到葉脈和葉肉上覆蓋著許多黑色油汙</td></tr>
</table>

3.調查發現：

捷運路線上的樟樹由於地理環境因素不良，測得的二氧化碳濃度明顯較本校校園高，且雨水的 pH 值也較低，並且發現葉片上有厚厚的灰塵及油汙，這些地方都可看出空氣汙染的情形相當嚴重，也似乎跟葉片上出現的各種病徵有關聯。

4.討論：

〈1〉汽機車排放的廢氣包含碳氫化合物、一氧化碳、氮氧化合物、硫氧化合物等，在農業藥物毒物試驗所副研究員徐慈鴻、研究員李貽華「空氣汙染對植物之影響」的**研究報告中提到，氮氧化物會使植物葉間黃化，黃化現象成條狀或斑紋狀不一，部分植物葉片呈現不同顏色之斑點，如棕色至銹色。硫氧化物會使葉片出現漂白病斑**，葉緣捲曲、乾枯。而一氧化碳、二氧化碳對植物之毒性不大，除非是極高濃度否則不會直接傷害植物。我們發現，捷運路線上的樟樹葉片，有出現如報告中敘述的氮氧化合物和硫氧化物造成的傷害徵狀〈實驗二、三、四、五照片〉。

〈2〉捷運路線上的雨水較學校收集到的雨水酸性強，有測到 pH 值 5.0 以下的酸雨，但上述報告中提到，酸雨對植物的直接危害並不明顯，**造成植物葉片受損或生長受阻，通常這些反應要在 pH 值 2-3 時才會發生，而大氣中少有這種酸度。**

〈3〉捷運施工及蓋房子都會使用水泥，**水泥灰塵覆蓋於葉表面會影響光合作用，阻塞**

氣孔，降低蒸散作用和氣體交換速率，甚至因為磨擦葉面而破壞上層表皮結構，進而損害柵狀細胞和海綿細胞，使葉面出現褐斑甚至壞疽，實驗一的樟樹，種在大型建案前方，從照片可看出葉片中有明顯褐斑。

研究二、在一年四季中，本校校園與捷運路線之樟樹葉片落塵量是否有差異？

研究對象：6 公尺以下樟樹

對照組：本校校園樟樹 5 棵

實驗組：捷運路線 G6-G8 站間，平均分散選取 5 棵樟樹。

1.實驗步驟：

〈1〉 於春、夏、秋、冬四季各選一天摘取樹葉，當日必須是未下雨的日子。

〈2〉 每棵樹摘取離地 2 公尺以內老葉，然後各秤取 20 g 葉片 。

〈3〉 準備 250 ml 燒杯 10 個，分別裝入 200 ml 純水。

〈4〉 將秤好重量之葉片 ，分別用試管刷將一片片葉子上的落塵洗入水中。

〈5〉 用 pH 值檢測計測量各燒杯水溶液之 pH 值。

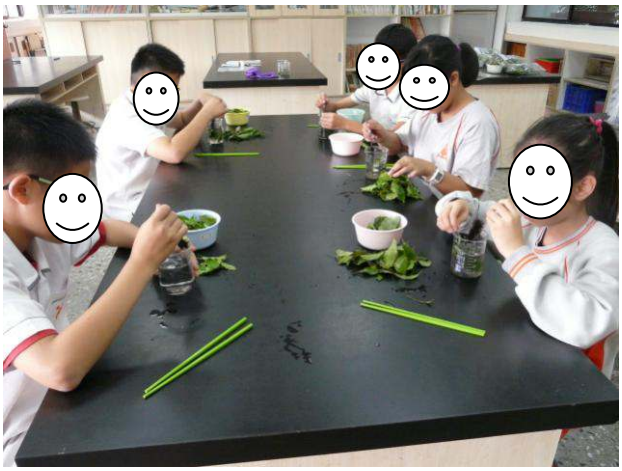
〈6〉 將秤好重量的濾紙放在漏斗上，倒入水溶液，讓塵土留在濾紙上。

〈7〉 將有塵土的濾紙風乾。

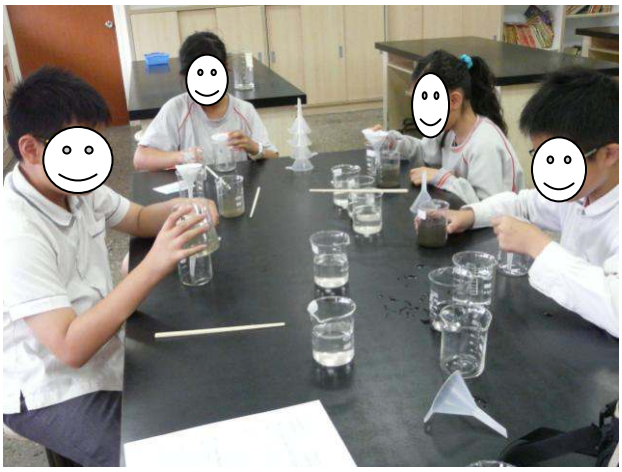
〈8〉 用電子秤〈最小值 0.01 g〉秤取每片濾紙上的落塵重量〈扣除濾紙重量〉。

〈9〉 除了比較對照組和實驗組的落塵量外，並且分析、比較不同季節，落塵量是否有差異？

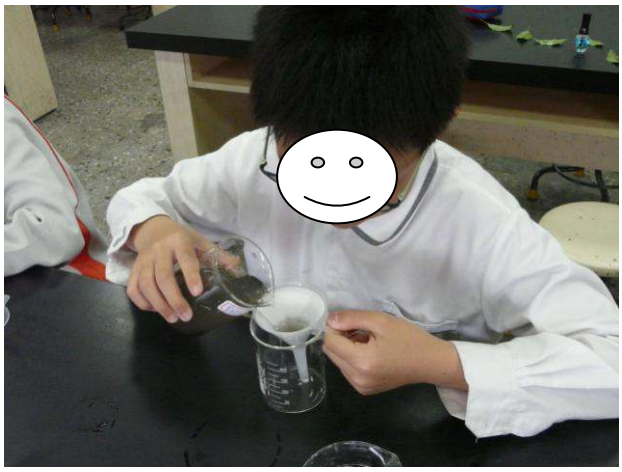
〈10〉上網查詢中央氣象局的雨量資料，整理統計，然後分析比較各季節葉片上的落塵量與雨量的關係。

	
用電子秤秤取 **20 g** 葉片	在裝水的燒杯內用試管刷刷洗葉片上的落塵

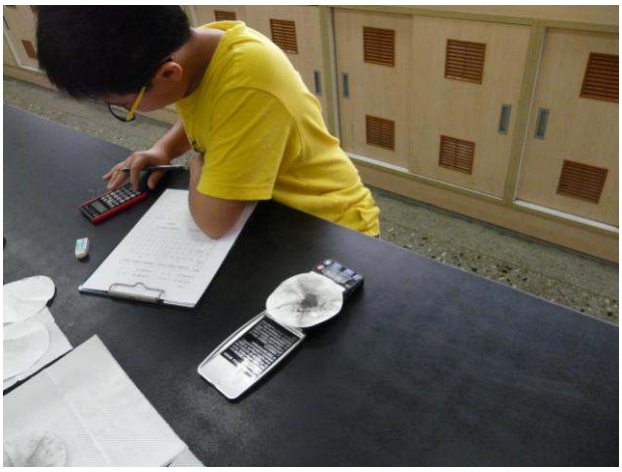
用 **pH** 值檢測計測量各燒杯水溶液之 **pH** 值



用漏斗和濾紙過濾水溶液的落塵



讓落塵留在濾紙上

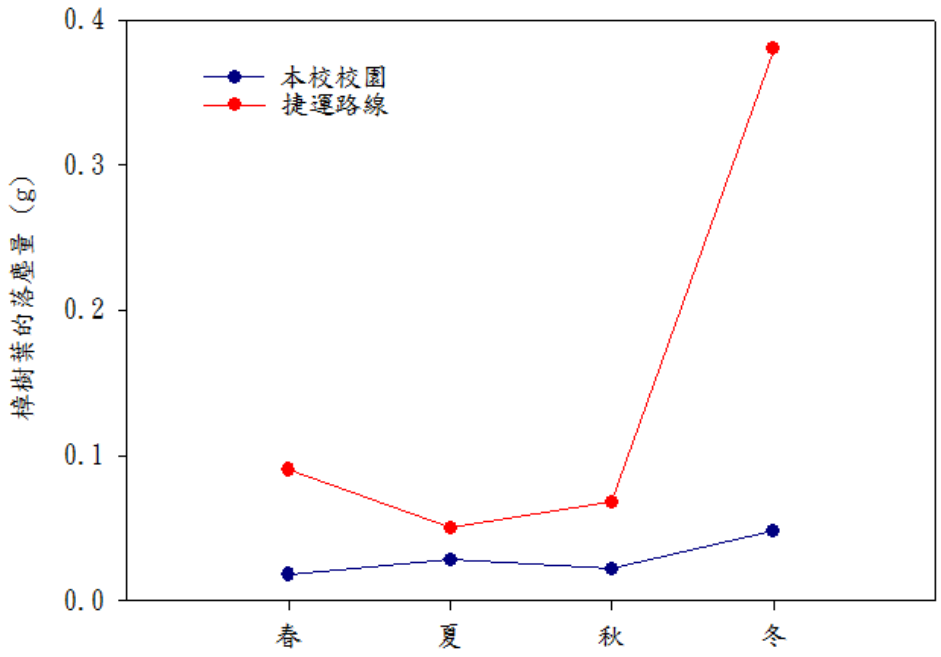


待濾紙風乾後，秤取落塵重量。

2.結果：本校校園樟樹與捷運路線樟樹 **20** 克葉片之落塵量比較

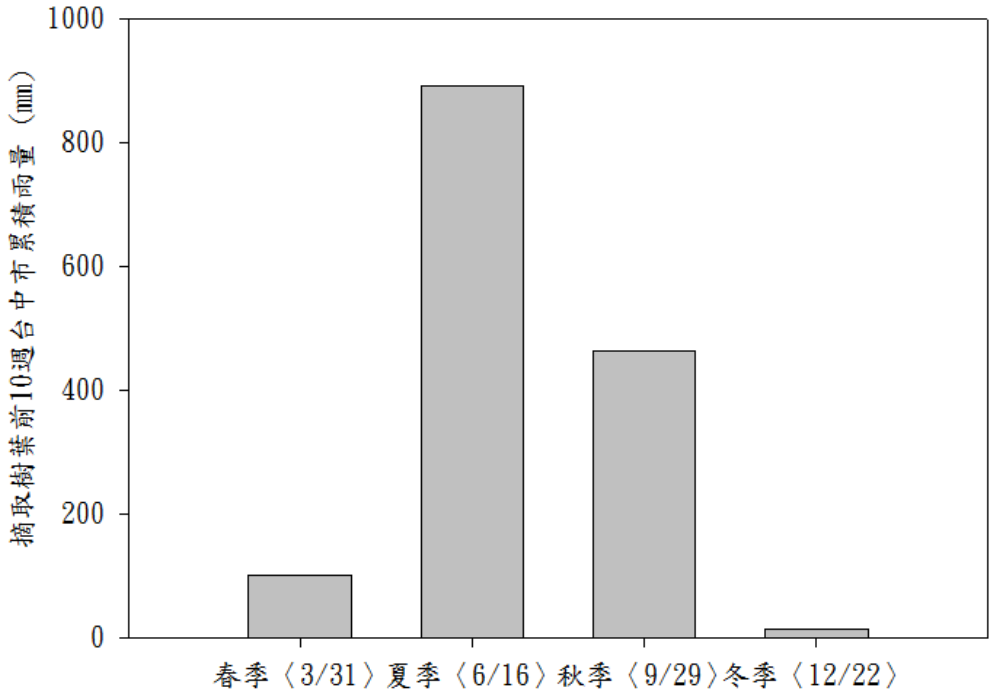
	本校校園樟樹之落塵量（g）					捷運路線樟樹之落塵量（g）				
取樣日期	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
春〈3/31〉	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.10	0.08	0.08	0.07	0.12
夏〈6/16〉	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05
秋〈9/29〉	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.07	0.06	0.07	0.08	0.06
冬〈12/22〉	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.35	0.35	0.30	0.40	0.50

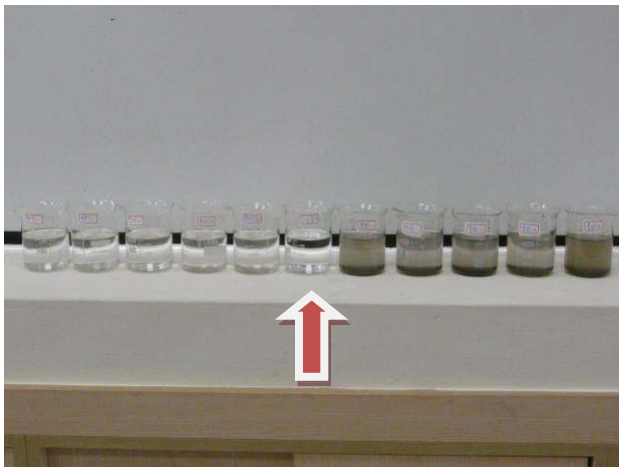
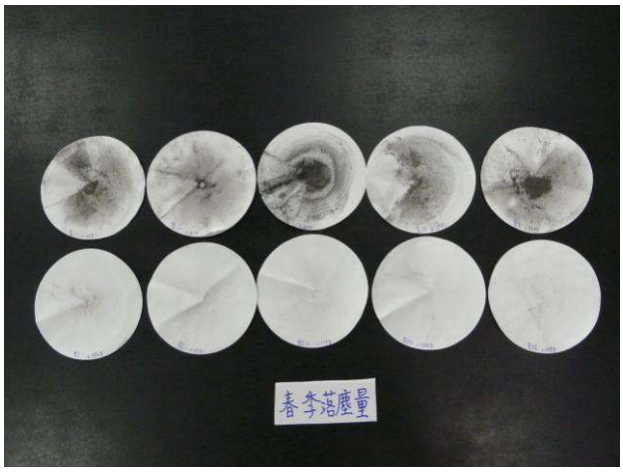
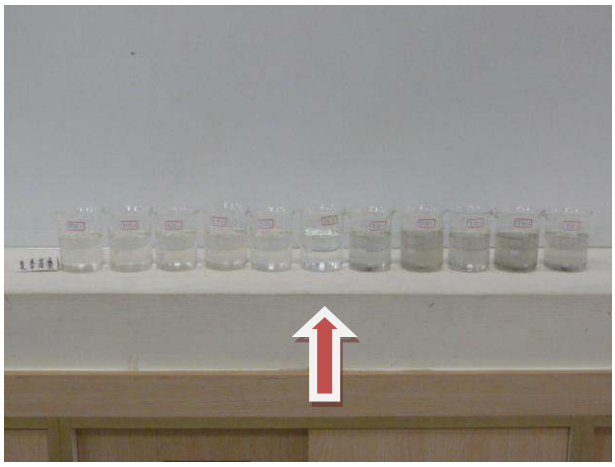
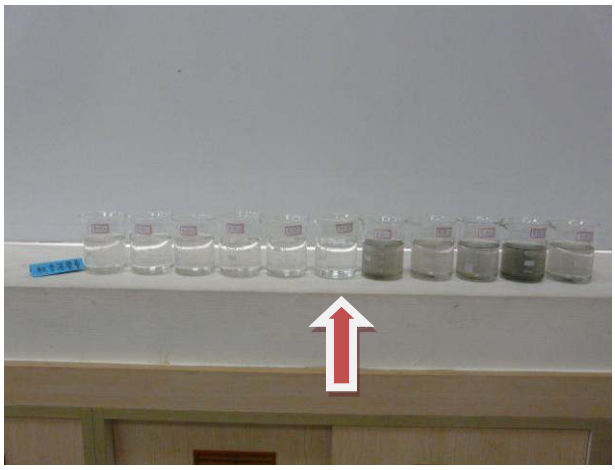
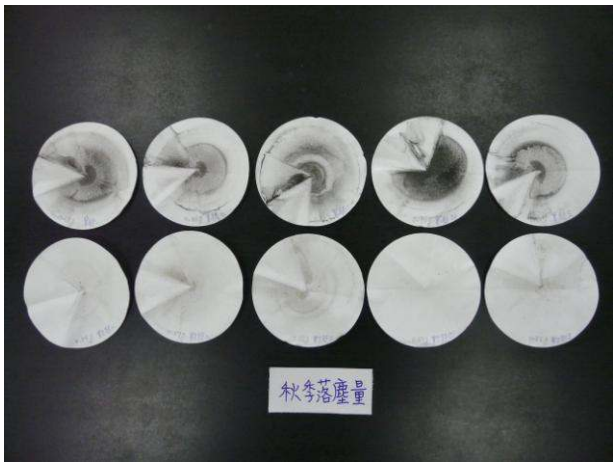
取樣日期	本校校園樟樹之落塵量（g）	捷運路線樟樹之落塵量（g）
春〈3/31〉	**0.02**	**0.09**
夏〈6/16〉	**0.03**	**0.05**
秋〈9/29〉	**0.02**	**0.07**
冬〈12/22〉	**0.05**	**0.38**
全年平均值	**0.03**	**0.15**

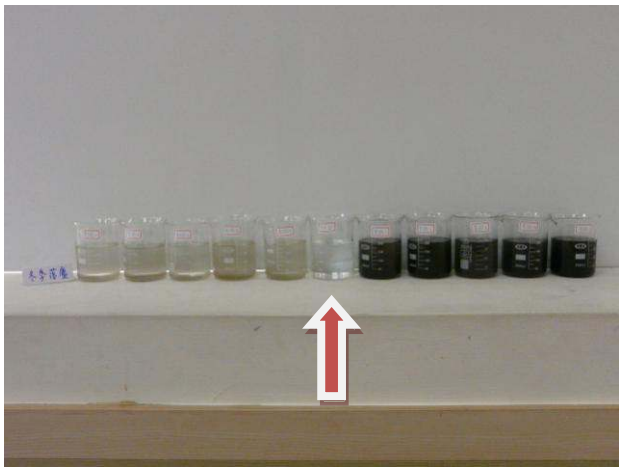


※先期研究發現老葉在樹上約有十週的壽命，於是根據中央氣象局的雨量資料，將每一個採樣日期前 **70** 天的台中市的雨量數據，整理出如下的統計表**(2014** 年氣象局數據**)**。

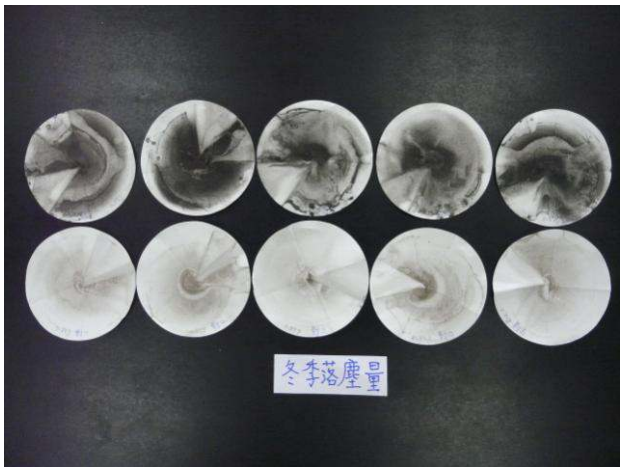
葉片採樣季節及日期	春季〈3/31〉	夏季〈6/16〉	秋季〈9/29〉	冬季〈12/22〉
雨量統計起迄日期	〈1/21~3/31〉	〈4/18~6/16〉	〈7/23~9/29〉	〈10/14~12/22〉
採樣前十週的雨量〈mm〉	102.7	**892.9**	464.6	**15.4**



	
春季落塵水溶液比較：左 5 個〈對照組〉、中〈純水〉、右 5 個〈實驗組〉	春季落塵量比較：對照組〈下排〉 實驗組〈上排〉
	
夏季落塵水溶液比較：左 5 個〈對照組〉、中〈純水〉、右 5 個〈實驗組〉	夏季落塵量比較：對照組〈下排〉 實驗組〈上排〉
	
秋季落塵水溶液比較：左 5 個〈對照組〉、中〈純水〉、右 5 個〈實驗組〉	秋季落塵量比較：對照組〈下排〉 實驗組〈上排〉

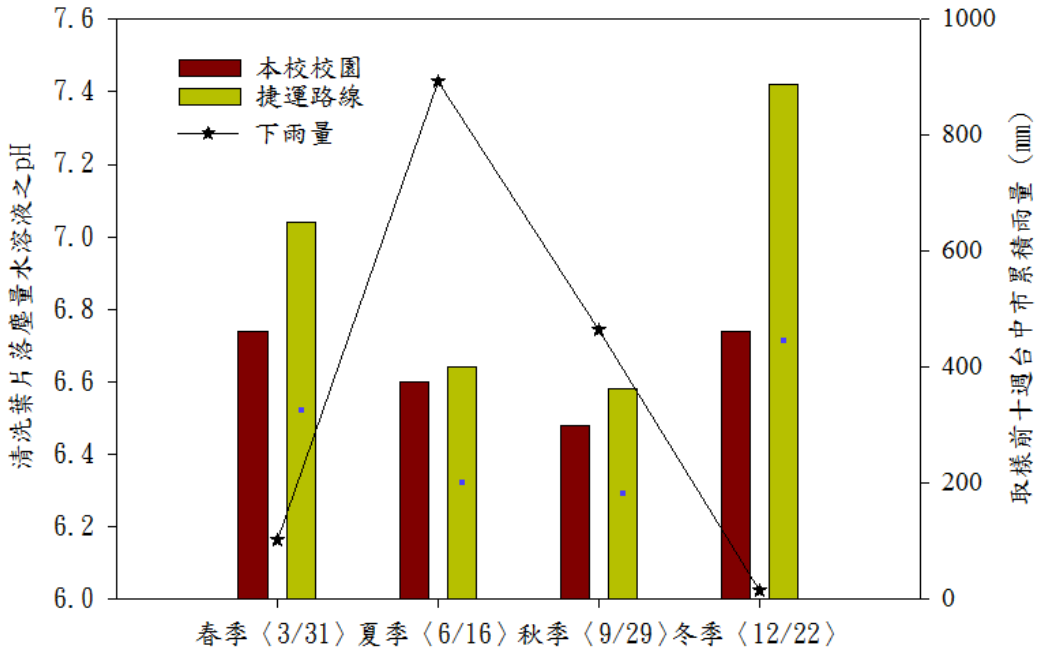


冬季落塵水溶液比較：左 5 個〈對照組〉、中〈純水〉、右 5 個〈實驗組〉



冬季落塵量比較：對照組〈下排〉
實驗組〈上排〉

處理 / 季節	本校校園樟樹之落塵 pH 值						捷運路線樟樹之落塵 pH 值					
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
春〈3/31〉	6.8	6.8	6.7	6.6	6.8	**6.7**	7.2	7.0	7.0	6.9	7.1	**7.0**
夏〈6/16〉	6.7	6.7	6.6	6.4	6.6	**6.6**	6.6	6.7	6.6	6.6	6.7	**6.6**
秋〈9/29〉	6.5	6.6	6.5	6.4	6.4	**6.5**	6.6	6.5	6.6	6.6	6.6	**6.6**
冬〈12/22〉	6.8	6.8	6.8	6.6	6.7	**6.7**	7.3	7.3	7.5	7.5	7.5	**7.4**



3.討論：

〈1〉不論哪個季節，捷運路線上的樟葉落塵量都較本校校園的樟葉來得多，這個結果與我們的預期是相符合的。分析捷運路線樟樹上的落塵，不外乎是來自於汽機車經過揚起的地面塵土、蓋房子與捷運施工都要灌漿，使得大量的水泥灰塵覆蓋在葉片上，另外道路施工、挖掘管線也會使得地面塵土到處飛揚，以上施工帶來的落塵，在本校全部沒有，而本校校園內禁止停車，圍牆外的車道及停車場與樟樹有一段距離，所以本校校園樟葉明顯乾淨許多。

〈2〉本校校園樟葉一年四季落塵量差異不大，唯冬季較多一些，而落塵水溶液 pH 值也無明顯差異。

〈3〉經過一年的採樣調查，發現捷運路線的樟葉落塵量，四季有明顯的不同，冬季葉片上的落塵量最多，其次是春季、秋季，而夏季最少。這個結果，經過我們比對採樣前 70 天的雨量，發現雨量愈多，落塵量愈少，反之，雨量愈少，落塵量愈多。**冬季的葉片最髒，我們分析原因，除台中冬季乾旱少雨外，從秋季開始吹東北季風，風沙大量附著在樹葉上有關。而夏季採樣的葉片，最乾淨，是因為這一年的梅雨季下了驚人的雨量，葉片已被雨水洗得乾乾淨淨的了。**

〈4〉經檢測發現在捷運路線上，春季及冬季採樣葉片之落塵水溶液 pH 值明顯較本校葉片來得高，而這兩季落塵量也確實比本校高很多。因有研究報告指出，水泥灰塵為鹼性物質，所以推測這些落塵來源與捷運施工所帶來的水泥灰塵有關。

〈5〉捷運路線採集的樟葉樣本中，有發現到部分葉子背面有黑色的油垢，放入水中清洗，試管刷能刷下落塵，但這黑色油垢不溶於水，於是用丙酮來清洗，很快就洗掉了，推測可能是汽機車排放的油氣，附著在葉片上。

研究三、本校校園和捷運路線之樟樹的上、下層樹葉落塵量比較

研究對象：6 公尺高樟樹

1.實驗步驟：

〈1〉 在本校校園及捷運路線〈分散取樣〉各選取 5 棵樟樹。

〈2〉 分別摘取上層〈6 公尺高〉及下層〈離地 2 公尺以內〉的老葉，然後各秤取 20 g 葉片。

〈3〉 準備 250 ml 燒杯 20 個，分別裝入 200 ml 純水。

〈4〉 將秤好重量的葉片，分別用試管刷將一片片葉子上的落塵洗入水中。

〈5〉 將濾紙放在漏斗上，倒入水溶液，讓塵土留在濾紙上。

〈6〉 濾紙放置通風處風乾。

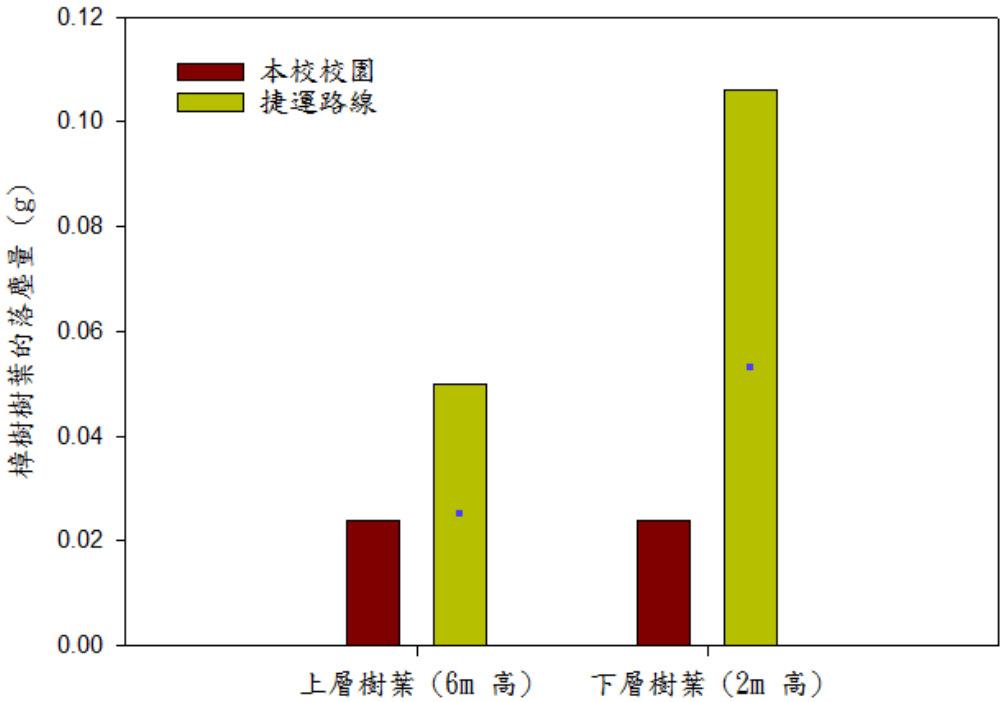
〈7〉 用電子秤〈最小值 0.01 g〉秤取每片濾紙上的落塵重量。

〈8〉 分析比較本校校園上、下層樟葉的落塵量及捷運路線上、下層樟葉的落塵量是否有差異？

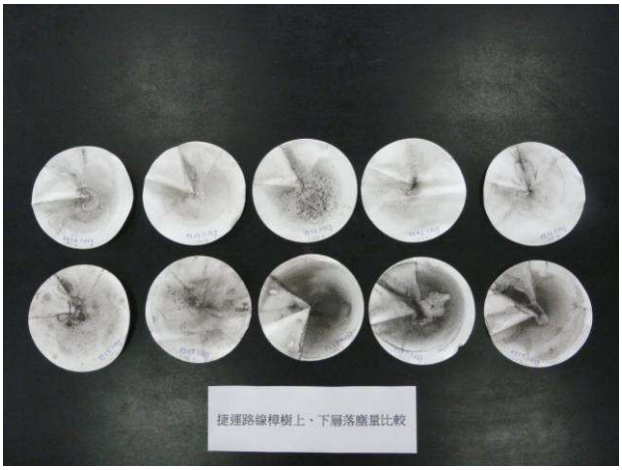
用修剪伸縮桿剪取本校校園樟樹上層樹葉	用修剪伸縮桿剪取捷運路線樟樹上層樹葉

2.結果：本校校園與捷運路線不同高度(6m 以上與 2m 以下)樹葉落塵量之比較

樹葉來源 / 所在位置	本校校園樟樹之落塵量（g）						捷運路線樟樹之落塵量（g）					
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
上層樹葉（6m）	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	**0.02**	0.05	0.06	0.07	0.03	0.04	**0.05**
下層樹葉（2m）	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	**0.02**	0.11	0.07	0.16	0.10	0.09	**0.11**



由上面圖表數據可看出，本校樟樹上下層樹葉落塵量沒有差異，而捷運路線的樟樹下層樹葉落塵量明顯較上層多，約為 2 倍。

	
本校校園樟樹樹葉落塵量很少，且上（上排）、下層（下排）樹葉落塵量沒差別。	捷運路線樟樹樹葉落塵量很多，且下層（下排）樹葉落塵量明顯較上層（上排）多。

3.討論：

關於本校校園與捷運路線樟樹上下層樹葉落塵量的差異，所呈現的情形不同，我們認為本校位居大學校園內，樹木本來就多，在各種樹木層層包圍下，位居裡面的小學部，校園內的樟樹，沒有車輛經過及興建校舍帶來的塵土，只有一般風吹動所揚起的少量塵土，所以空氣乾淨，因此上下層樹葉的灰塵量很少，也沒有差異。而捷運路線的樟樹，就如同前面研究一所分析的資料，位居下層的樹葉受到空氣汙染的來源較上層多，上層樹葉的落塵來源主要有捷運灌漿工程〈捷運高架橋約 9 公尺高〉及興建大樓的水泥灰塵，而下層樹葉不僅有這兩種汙染源，尚有來來往往的車輛揚起的塵土及道路挖掘、施工所帶來的地面塵土，所以下層樹葉落塵量明顯較上層多很多。

研究四、比較本校校園與捷運路線之樟樹的葉片光合色素含量是否有差異？

研究對象：6 公尺以下樟樹

對照組：本校校園樟樹 5 棵

實驗組：捷運路線 G6-G8 站間，平均分散選取 5 棵樟樹。

1.實驗步驟：

〈1〉 每棵樹摘取離地 2 公尺以內的老葉 20 片。

〈2〉 去除葉柄後，將葉片洗淨、風乾，放入果汁機內打 20 秒，使成碎片。

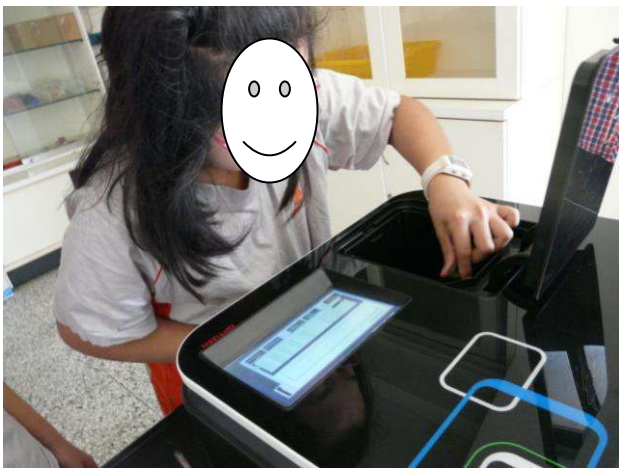
〈3〉 秤取 1g 碎葉，放入研缽中，並加入 95%丙酮 15ml，然後研磨 4 分鐘。

〈4〉 以濾紙過濾，取過濾液裝入試管內。

〈5〉 用量筒量取上述過濾液 1ml，然後加丙酮稀釋至 10ml。

〈6〉 倒入測量容器內，以分光光譜儀在 450nm 的波長下，測定其透光率。

〈7〉 我們以透光率大小來比較對照組和實驗組的葉片之光合色素含量是否有差異？

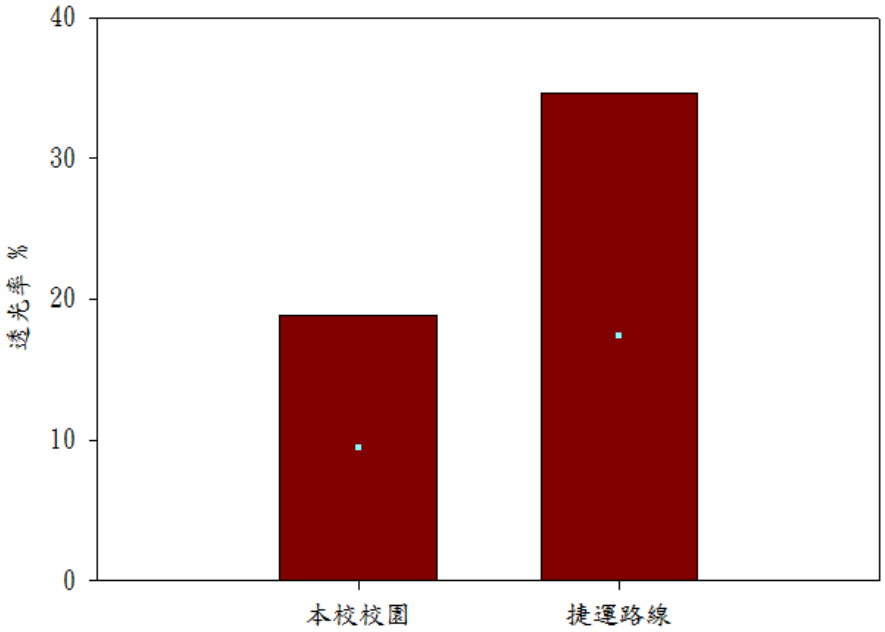
將洗淨、風乾之葉片放入果汁機打成碎葉	以丙酮萃取碎葉中的色素
	
過濾葉片色素液	將葉片色素液放入分光光譜儀中測量光合色素的透光率

2.結果：

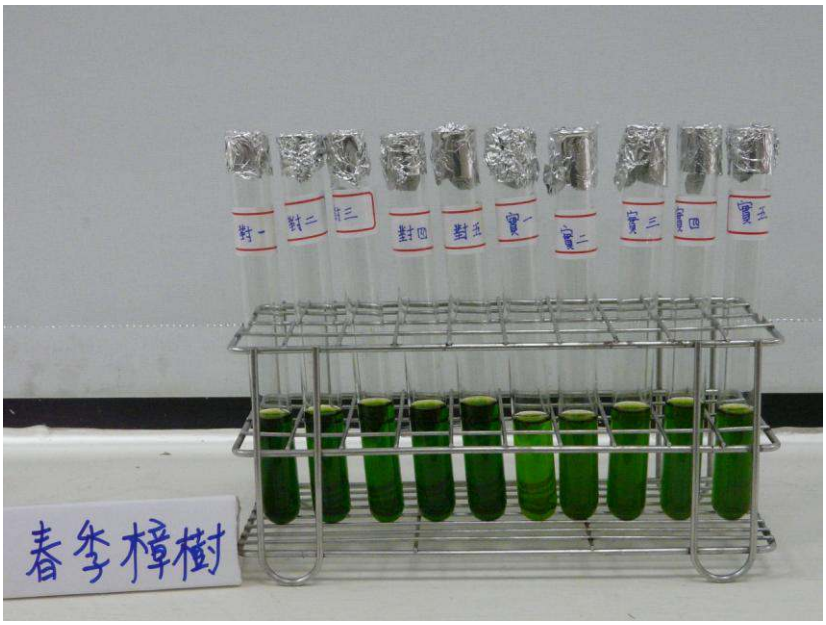
實驗日期：3 月 24 日

※說明：透光率高表示光合色素含量少，透光率低表示光合色素含量多。　單位：%

樣品編號 / 處理	1	2	3	4	5	平均
本校校園樟樹樹葉透光率	12.30	19.92	26.07	20.66	15.34	**18.86**
捷運路線樟樹樹葉透光率	40.83	36.72	32.42	28.96	34.34	**34.65**



由圖表數據可看出，本校校園樟樹樹葉色素萃取液之透光率較捷運路線低，表示光合色素含量較多。



光合色素含量比較：對照組〈左 5 支〉顏色較深、較濃
實驗組〈右 5 支〉顏色較淺、較淡

3.討論：

〈1〉 植物白天會行光合作用，合成生長所需的養分，其反應式如下：

$$\text{二氧化碳+水} \xrightarrow[\text{葉綠體}]{\text{陽光}} \text{葡萄糖+氧氣}$$

高等植物的葉綠體是光合作用的場所，葉綠體內含葉綠餅及基質，白天在光照下藉由葉綠餅中的葉綠素 a、葉綠素 b 及胡蘿蔔素等色素吸光進行光反應，葉

綠素能吸收可見光中的紅色光及藍色光，而胡蘿蔔素則僅能吸收藍色光。紅色光的波長範圍為 640-740nm，藍色光為 420-490nm，由於波長愈短，能量愈大，所以我們以分光光譜儀測葉片的透光率，以葉片透光率來表示光合色素含量的多寡，若光合色素含量較多，相對透光率一定較低，**在這實驗中我們是利用藍光波長進行區段搜尋，找出最佳的波長，於是設定波長為 450nm。**

〈2〉 影響葉片光合色素含量的因素有很多，包括氣溫、日照、葉片年齡、季節、落塵量等等，我們選定春季同一天採樣來分析兩地的樟葉光合色素含量，而且控制樹高、採樣葉片年齡、葉片所在高度等變因，就是要就研究二的實驗結果，捷運路線上的樟葉落塵量較本校校園的多很多，要看看葉片上的落塵，是否也影響到光合色素的含量，本實驗的結果顯示，確實葉片上的落塵量愈多，會影響綠色葉片進行光合作用，其所測得的光合色素含量也會愈少。

研究五、比較本校校園與捷運路線之樟樹的葉片蒸散速率及蒸散量是否有差異？

研究對象：6 公尺以下樟樹

對照組：本校校園樟樹 5 棵

實驗組：捷運路線 G6-G8 站間，平均分散選取 5 棵樟樹。

〈一〉蒸散速率

1.實驗步驟：

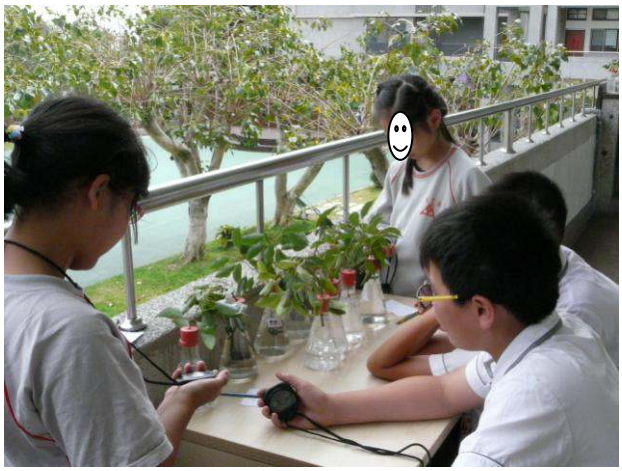
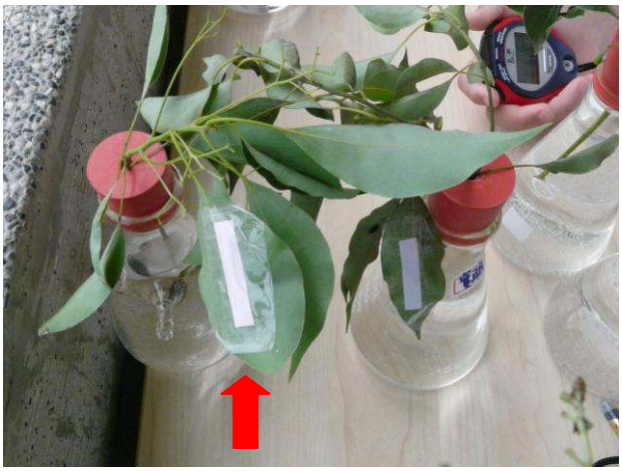
〈1〉 每棵樹分別摘取離地 2 公尺以內帶有約 10 片老葉的枝條一段。

〈2〉 將枝條基部插入裝滿水的錐形瓶內，並用有孔橡皮塞固定好枝葉。

〈3〉 將紅色氯化亞鈷試紙貼到長 4 公分，寬 2 公分的透明膠帶上，用吹風機熱風吹至試紙完全變藍色。

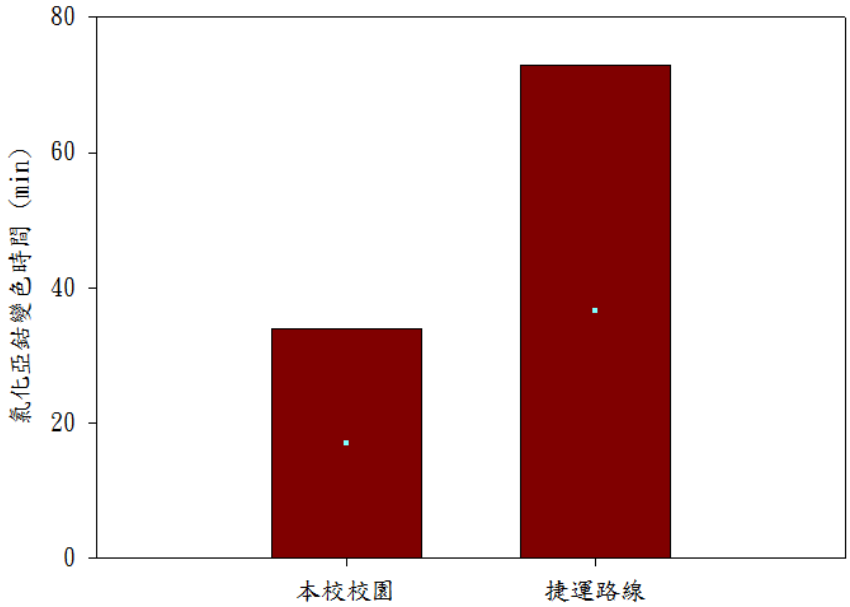
〈4〉 立刻貼到葉片背面，並按下馬錶計時，**觀察並記下氯化亞鈷試紙由藍色完全變成紅色的時間。我們是以時間來比較葉片蒸散速率的快慢。**

〈5〉 所有處理皆放置走廊陽光充足且通風的地方，讓水分能從葉背氣孔中迅速地蒸散出去。

	
以馬錶計時氯化亞鈷試紙變色時間	對照組氯化亞鈷試紙已由藍色變紅色了

2.結果：

不同地點的樟樹 變色時間(分）	本校校園樟樹 （對照組）	捷運路線樟樹 （實驗組）
1	20	86
2	35	77
3	18	54
4	30	59
5	69	89
平均	**34**	**73**



由圖表數據可看出，本校校園樟樹葉片水分蒸散速率明顯較捷運路線的樟樹快。

〈二〉蒸散量

1.實驗步驟：

〈1〉 每棵樹摘取離地 2 公尺以內帶有 10 片以上老葉的枝條一段。

〈2〉 每個樹枝留下大小相近的葉片 6 片。

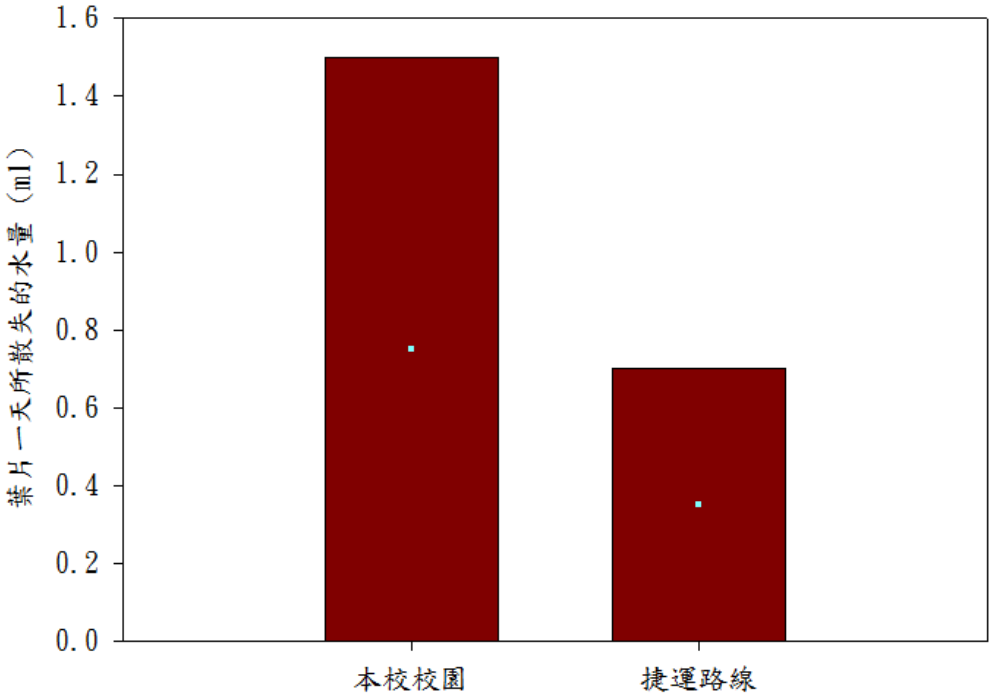
〈3〉 將樹枝插入 25ml 的量筒內，量筒內水位原始高度為 25ml，筒口用膠泥封住，以避免水分從筒口蒸發出去。

〈4〉 放置於陽光充足且通風的地方，觀察並記錄 1 天後，各個量筒之水分蒸散量。

將各處理放置陽光充足且通風的地方。

2.結果：

不同地點的樟樹 一天的 蒸散水量（ml）	本校校園樟樹 （對照組）	捷運路線樟樹 （實驗組）
1	2.4	0.6
2	1.2	0.4
3	1.0	1.0
4	1.6	0.8
5	1.2	0.9
平均	**1.5**	**0.7**



由圖表數據可看出，一天後，本校校園樟樹枝條葉片的水分蒸散量，比捷運路線的來得多。

一天後，對照組的水量很明顯地減少較多。

3.討論：

有報告指出，大氣中的懸浮粒狀汙染物，受重力作用而沉降，會覆蓋在植株上，造成葉片氣孔阻塞，降低蒸散作用，而植物蒸散作用包括蒸散速率和蒸散量，由於研究二的實驗結果，顯示捷運路線受空氣汙染的情況較本校校園來得嚴重，而葉片

落塵量多，勢必會阻塞氣孔，進而影響葉片的蒸散作用，本實驗的結果，確實符合此項推測。

研究六、比較本校校園與捷運路線之樟樹葉片的氣孔數量及大小是否有差異？

研究對象：6 公尺以下樟樹

對照組：本校校園樟樹 5 棵

實驗組：捷運路線 G6-G8 站間，平均分散選取 5 棵樟樹。

1.實驗步驟：

〈1〉 每棵樹分別摘取離地 2 公尺以內的老葉 4 片。

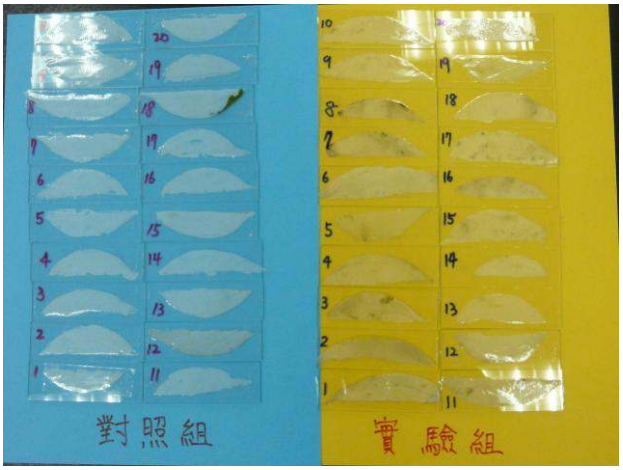
〈2〉 將葉片清洗乾淨並擦乾。

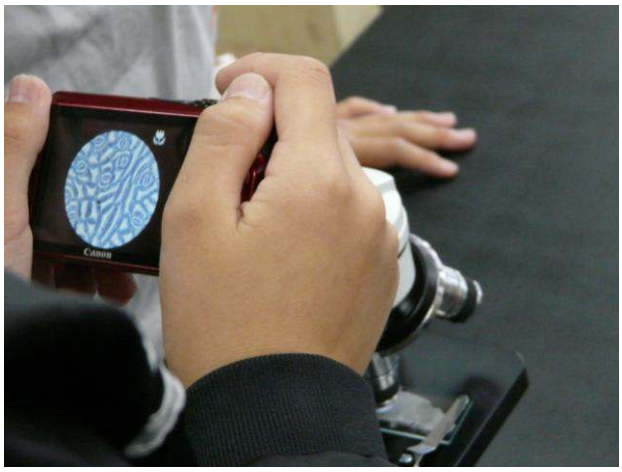
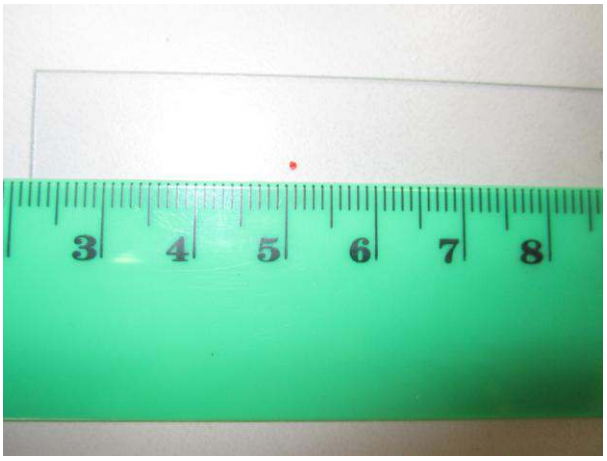
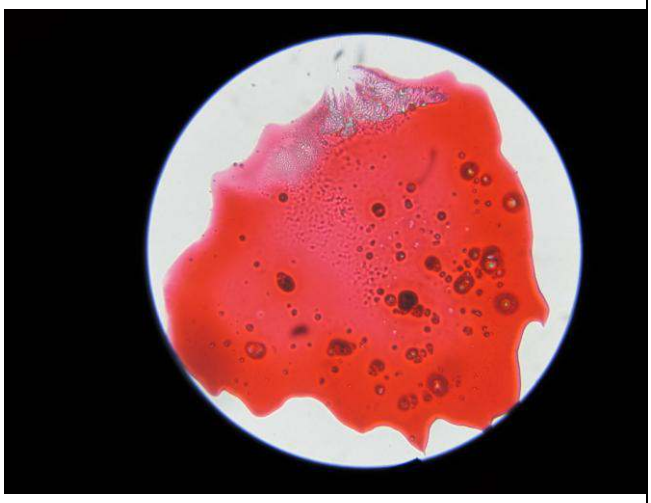
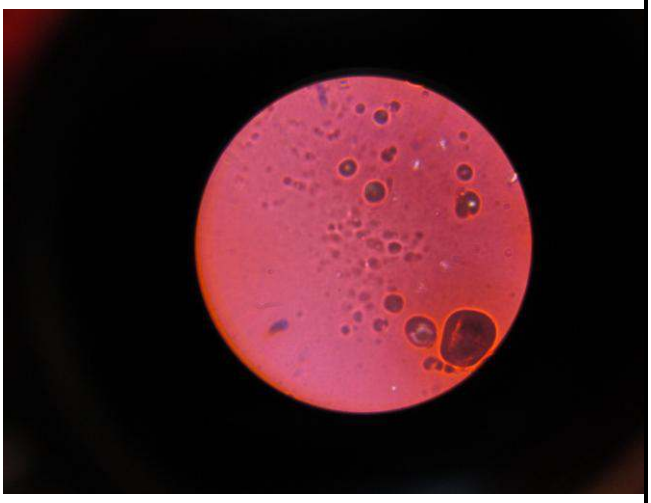
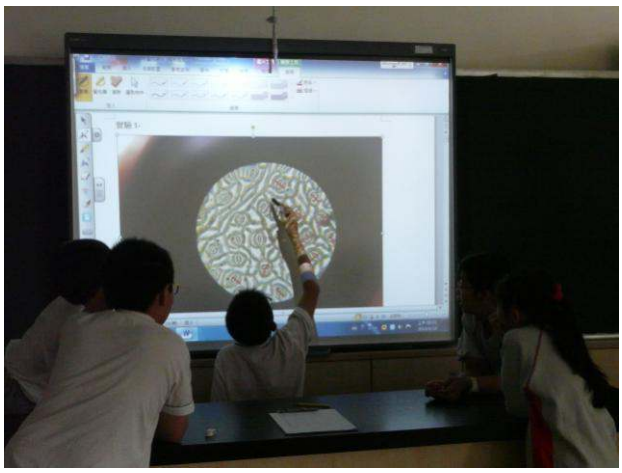
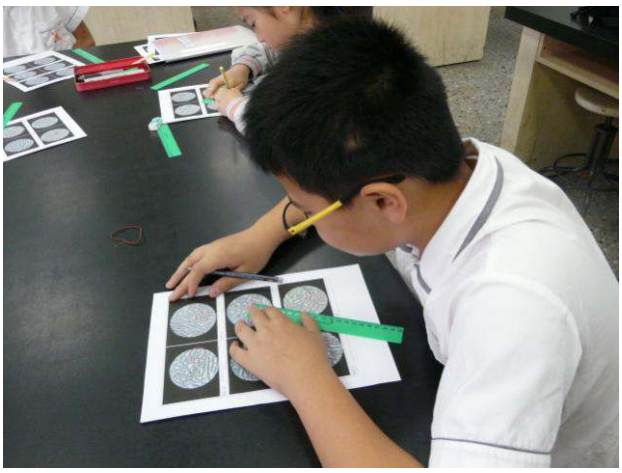
〈3〉 利用指甲油印痕法轉印氣孔，即在葉背塗上透明指甲油，等其晾乾後，貼上透明膠帶，然後撕下膠帶，貼在載玻片上。

〈4〉 將載玻片放置顯微鏡下，然後用相機拍下放大 600 倍之後，視野下的氣孔，以電腦連接電子白板，計算對照組和實驗組的氣孔數量是否有差異？

〈5〉 另外也用紅色奇異筆在載玻片上畫下 0.1 公分的圓點，分別拍下在 400 倍和 600 倍下的影像，以了解放大 600 倍的葉面積可能的大小，而方便讓我們估算一片葉子，大概會相差多少的氣孔數目？

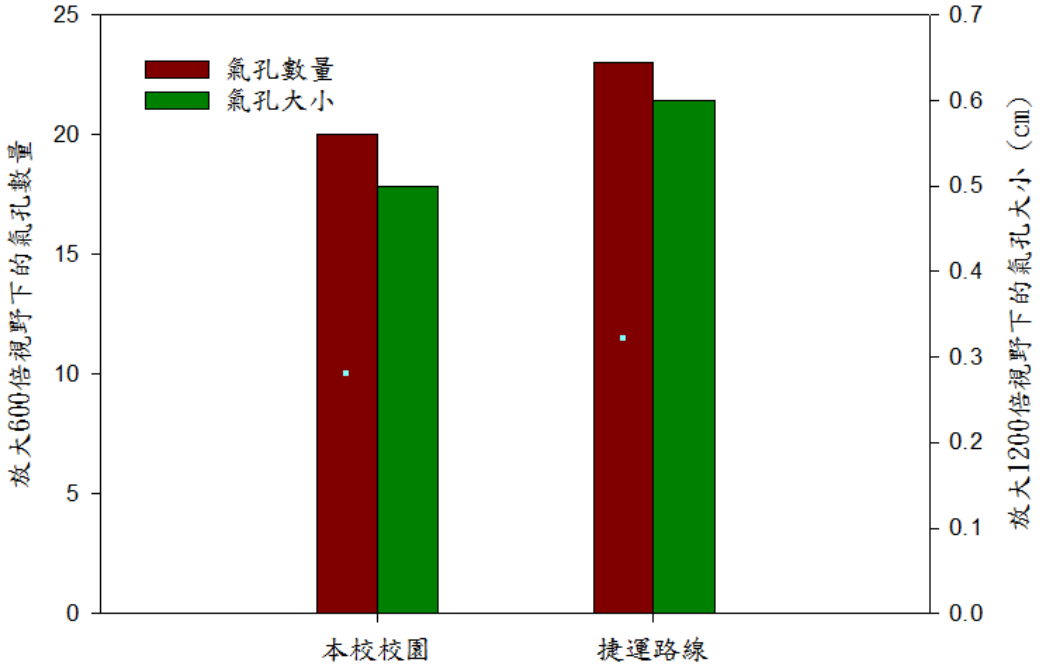
〈6〉 接著將每個載玻片上的氣孔放大 1200 倍，以照相機拍下視野下的氣孔，列印出同樣尺寸的照片，每張照片選取完整的一個氣孔，用直尺測量每個氣孔的縱徑和橫徑，以（縱徑＋橫徑）/ 2 表示每個氣孔的大小，再來分析比較對照組和實驗組的氣孔大小有沒有差異？

	
在葉背塗上透明指甲油	將轉印好氣孔的透明膠帶貼在載玻片上

	
用相機拍下顯微鏡下的氣孔	紅點為直徑 **0.1** 公分的圓
	
放大 **400** 倍的紅點，未超出顯微鏡視野邊界。	放大 **600** 倍的紅點，已超出顯微鏡視野邊界。
	
將影像連接電子白板方便計算氣孔數量	用直尺量氣孔的縱徑和橫徑

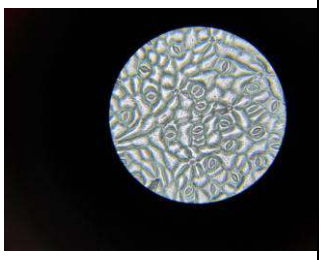
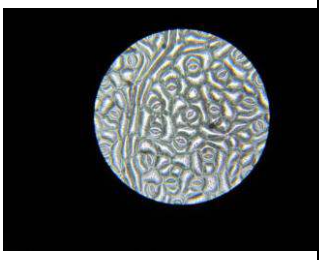
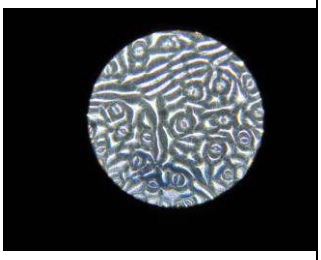
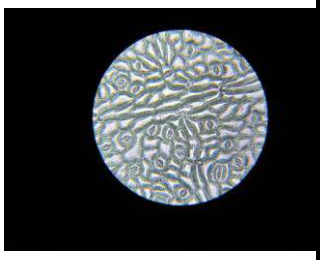
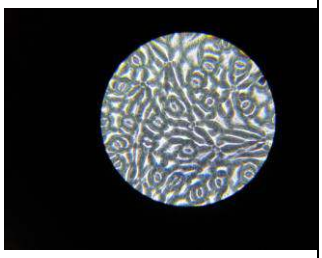
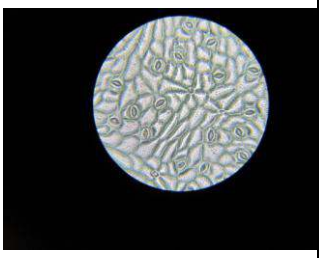
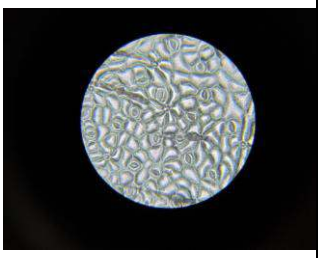
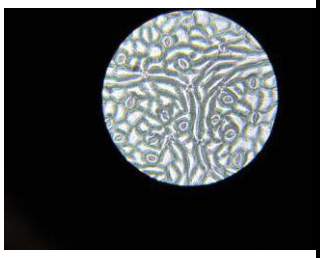
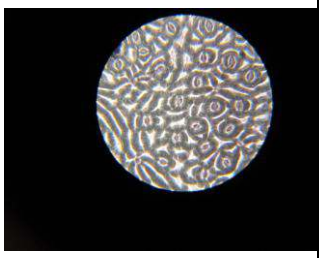
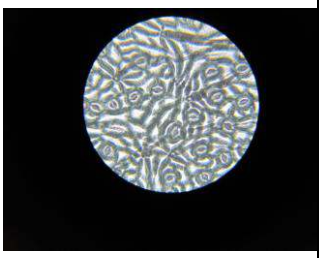
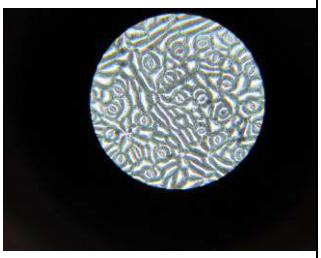
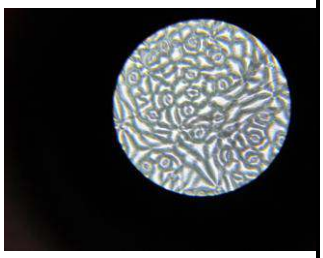
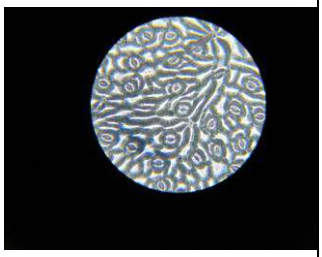
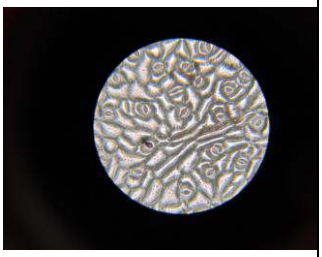
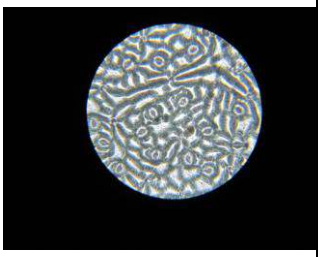
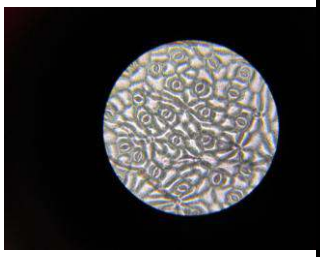
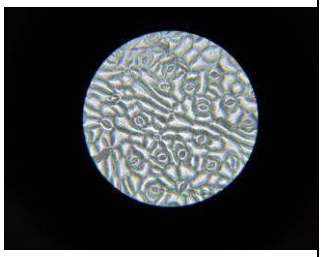
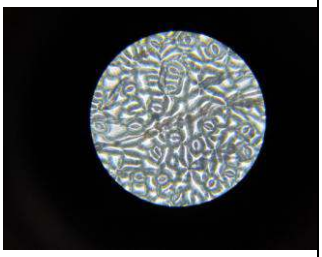
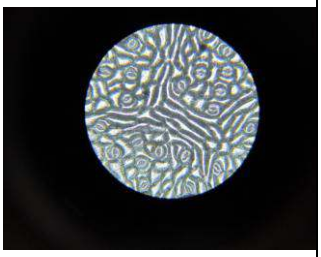
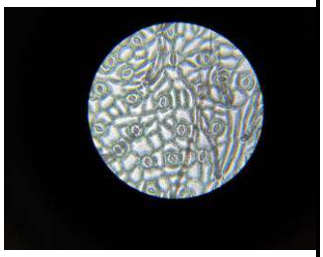
2.結果：

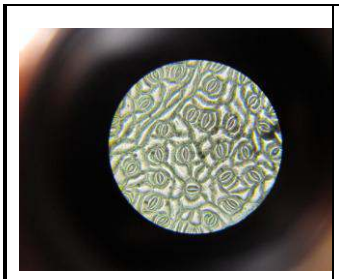
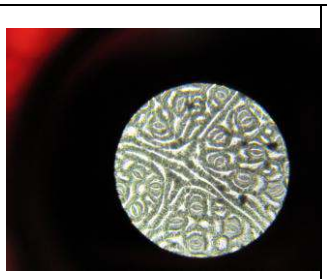
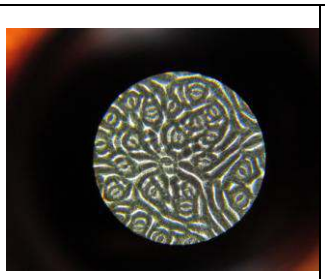
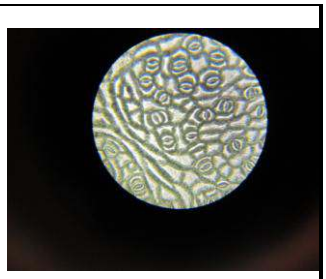
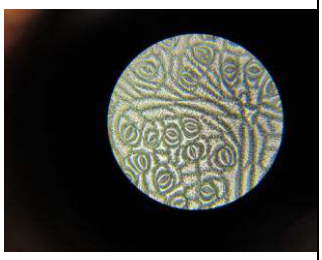
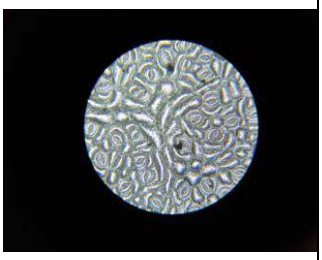
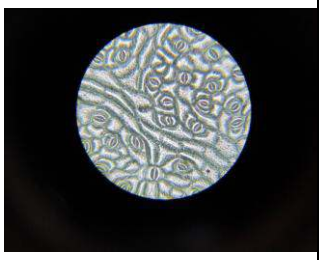
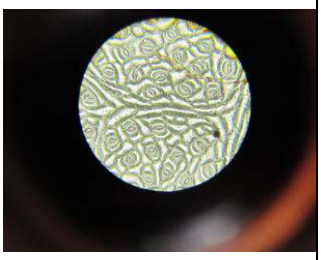
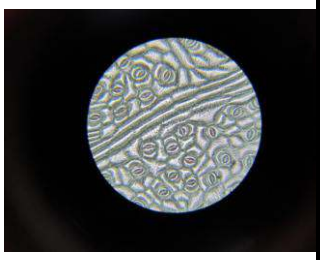
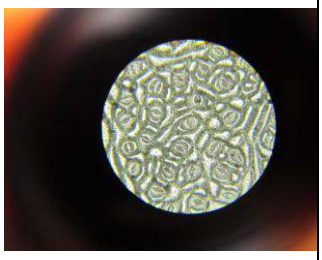
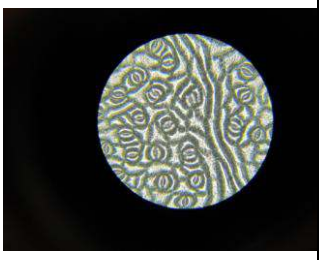
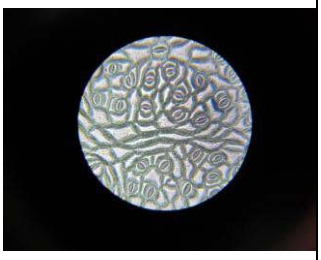
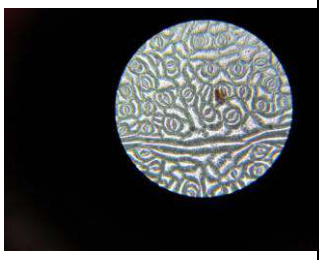
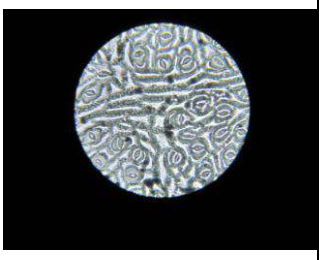
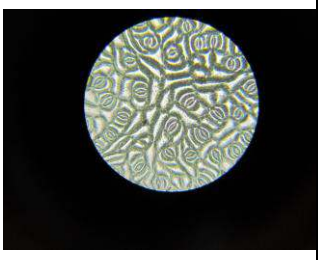
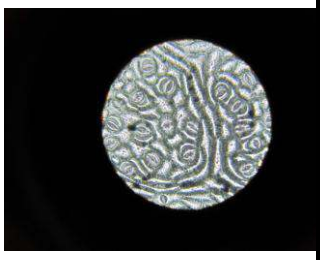
不同地點樟葉氣孔	本校校園	捷運路線	本校校園	捷運路線
	放大 600 倍下的氣孔數量（個）〈3/4 個氣孔即算 1 個氣孔〉		放大 1200 倍下的氣孔大小（cm）（縱徑＋橫徑）/ 2	
20 個樣本平均值	20	23	0.5	0.6



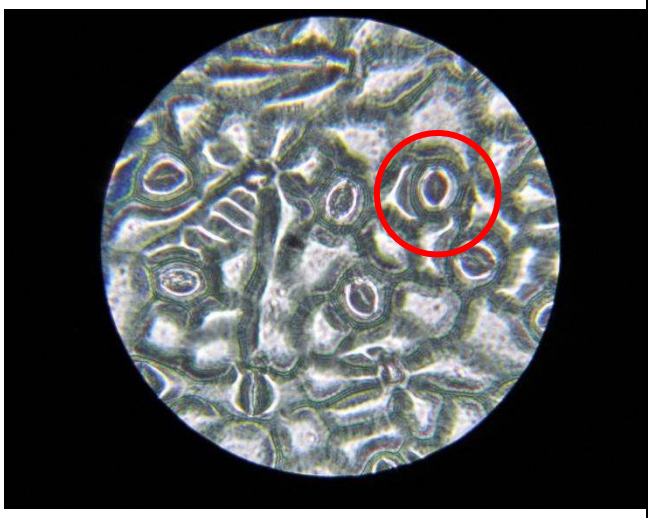
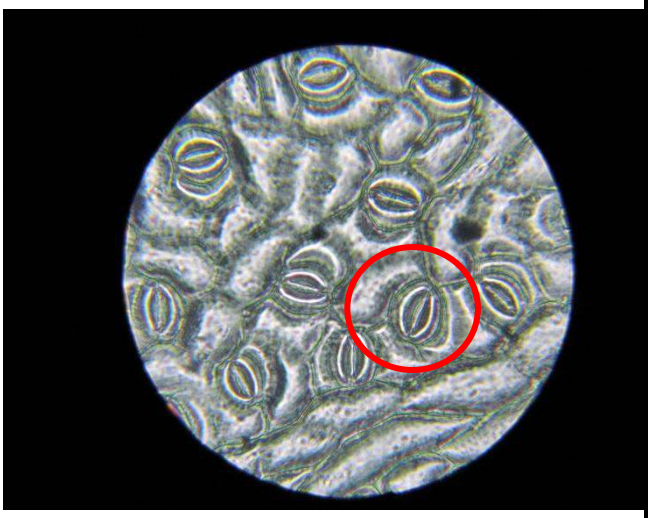
實驗數據顯示，在葉片放大相同的倍數下，捷運路線的樟葉氣孔數量較本校校園來得多，且氣孔也較大些。針對氣孔數量的差異，雖然放大 600 倍下，捷運路線的樟葉氣孔數量只比本校樟葉平均多 3 個，但我們由上圖直徑 0.1 公分的紅點在顯微鏡下放大的情形，推算在 600 倍下看到的葉片大小實際應略小於直徑 0.1 公分的圓，而依此估算一片葉子，若為 10 平方公分，則是直徑 0.1 公分圓〈面積 0.00785 平方公分〉的 1273 倍，則一片葉子氣孔數量就相差 3822 個。

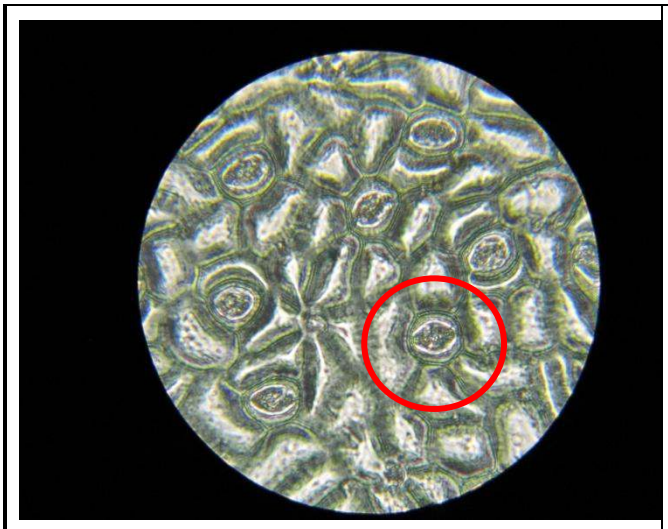
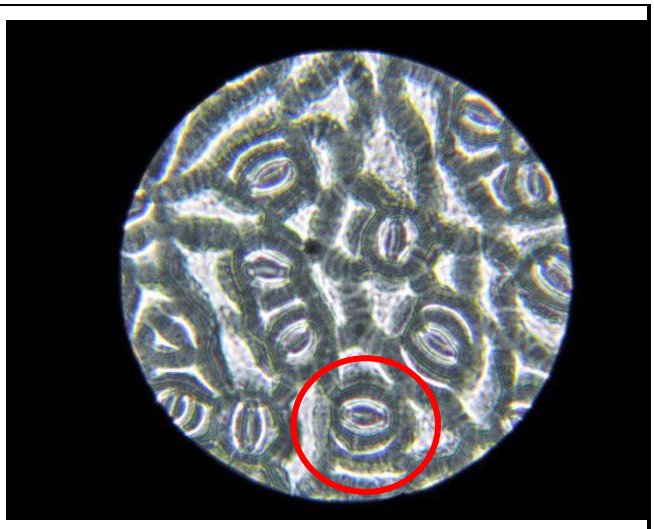
※以下為放大 **600** 倍的葉片氣孔。

			
對照 1：20 個	對照 2：19 個	對照 3：20 個	對照 4：20 個
			
對照 5：20 個	對照 6：17 個	對照 7：19 個	對照 8：16 個
			
對照 9：21 個	對照 **10**：17 個	對照 **11**：25 個	對照 **12**：20 個
			
對照 **13**：24 個	對照 **14**：20 個	對照 **15**：16 個	對照 **16**：22 個
			
對照 **17**：21 個	對照 **18**：20 個	對照 **19**：21 個	對照 **20**：22 個

			
實驗 1：24 個	實驗 2：16 個	實驗 3：20 個	實驗 4：21 個
			
實驗 5：15 個	實驗 6：22 個	實驗 7：21 個	實驗 8：28 個
			
實驗 9：19 個	實驗 10：25 個	實驗 11：26 個	實驗 12：23 個
			
實驗 13：28 個	實驗 14：20 個	實驗 15：22 個	實驗 16：28 個
			
實驗 17：29 個	實驗 18：22 個	實驗 19：26 個	實驗 20：18 個

※以下為放大 1200 倍的葉片氣孔，我們是以這樣的照片尺寸來測量氣孔的縱徑和橫徑的，以〈縱徑+橫徑〉/ 2 來表示氣孔的大小，由於篇幅的關係，只列出對照組和實驗組各 4 張照片，尚有 32 張照片未列出，請參閱原始資料。

對照 1　〈0.5+0.3〉/ 2=0.4	實驗 1　〈0.7+0.4〉/ 2=0.55
	
對照 2　〈0.6+0.4〉/ 2=0.5	實驗 2　〈0.6+0.6〉/ 2=0.6
	
對照 3　〈0.6+0.4〉/ 2=0.5	實驗 3　〈0.6+0.5〉/ 2=0.55

	
對照 4　　〈0.6+0.4〉/ 2=0.5	**實驗 4　　〈0.8+0.5〉/ 2=0.65**

3.討論：

〈1〉**植物葉片上的氣孔是由一對半月形的保衛細胞圍成，它負責控制氣孔的開閉，氣孔對植物體來說是個很重要的構造，舉凡光合作用、呼吸作用以及蒸散作用都需要借助它才能夠進行。**若葉片上的落塵太多或受其他空氣汙染因子的影響，就會造成氣孔阻塞，因而降低蒸散作用及影響氣體的交換。**有報告指出，植物在空氣污染地區的氣孔密度比無污染地區高，那是因為氣孔被塵埃粒子所堵塞，無法發揮應有的功能，所以增加其葉背氣孔數來維持體內的恆定。**我們的實驗結果，與此相符合，捷運路線的樟葉氣孔數目比本校校園還要多。而捷運路線葉片的氣孔略大於本校樟葉氣孔，我們認為也是植物改變其生理特性來適應環境的一種方式。

〈2〉一般陸生植物，葉片氣孔都位在下表皮，上表皮沒有氣孔，而樟樹也是如此。由於樟樹是木本植物，我們曾試圖要用鑷子撕下它的下表皮，發現表皮與葉肉黏得很緊，無法像鴨趾草那樣的草本植物輕易地就能撕下，所以用指甲油印痕法來轉印氣孔。

陸、結論

一、我們研究的捷運 G6-G8 站之路段，最多的行道樹是樟樹。這些樟樹樹高都在 4-9 公尺間。

二、經過調查，發現研究的捷運 G6-G8 站之路段的樟樹，6 公尺以下的樟樹較 7-9 公尺高的樟樹，受到空氣汙染的影響更嚴重，樹葉看起來較不健康。而我們分析最主要的空氣汙染因素有三個：汽機車流量大，排放的廢氣廢煙多、捷運施工帶來以前沒有的汙染及大型建案一個個的蓋，帶來大量的水泥灰塵。

三、我們以本校校園樟樹當對照組，與捷運路線樟樹做比較，發現他們的地理環境有顯著的差異，捷運路線空氣汙染嚴重，二氧化碳濃度較高，雨水 pH 值較低，所以採摘的葉片外觀就有明顯的不同，本校校園樟葉葉片深綠色，色素分布均勻，較乾淨無明顯的塵埃在上面，而捷運路線樟葉有明顯的褐斑、葉片色素分布不均、有厚厚的灰塵及黑色的油汙。

四、經過一年的採樣調查，不論哪個季節，捷運路線上的樟葉落塵量都較本校校園的樟葉來得多。此外，發現捷運路線的樟葉落塵量，四季有明顯的不同，冬季葉片上的落塵量最多，其次是春季、秋季，而夏季最少。這個結果，經過我們比對採樣前 70 天的雨量，發現和雨量的多寡有關。而冬季採樣葉片最髒，推測除雨量少的因素外，尚有東北季風帶來大量的風沙附著在葉片上的關係。

五、經檢測發現在捷運路線上，春季及冬季採樣葉片之落塵水溶液 pH 值明顯較本校葉片來得高，而這兩季落塵量也確實比本校高很多。因有研究報告指出，水泥灰塵為鹼性物質，所以推測這些落塵來源與捷運施工所帶來的水泥灰塵有關。

六、我們發現在文心路近中清路口採摘的葉片，有明顯的黑色油汙，它不溶於水，但可溶解於丙酮中，推測是汽機車排放的油氣附著於葉片上，而中清路是通往高速公路的交通要道，車輛非常多，等紅燈時，汽機車怠速情形特別嚴重，推測可能是此項因素造成的。

七、本校校園與捷運路線樟樹上下層樹葉落塵量所呈現的情形不同，本校樟樹上下層樹葉落塵量沒有差異，因為本校校園無嚴重的空氣汙染因素，葉子上的落塵主要來源是風吹動帶來的塵土，而捷運路線的樟樹下層樹葉落塵量明顯較上層多，約為 2 倍，探究原因是下層受到空氣汙染的影響因子較上層多，所以樹葉特別的髒。

八、落塵量可以當作空氣汙染的一個指標，由於捷運路線空氣汙染嚴重，出現在樹葉的落塵量明顯較本校校園〈對照組〉多，而葉片布滿塵埃，經由我們實驗後驗證，葉片的光合色素含量變少了，顯然影響光合作用的進行。並且也明顯地降低葉片的蒸散速率及蒸散量，所以捷運路線的樟樹長得比較不好。

九、植物葉片的氣孔是非常重要的構造，舉凡光合作用、呼吸作用以及蒸散作用都需要借助它才能夠進行。若氣孔被塵埃阻塞，就無法發揮應有的功能，我們由顯微鏡的觀察及統計，發現植物會增加其葉背氣孔數及擴大氣孔來維持體內的恆定。

十、雖然空氣污染會造成植物葉片出現一些病徵，但道路兩旁甚至中間，也因為有行道樹的葉片去吸收二氧化碳及製造氧氣，並且吸附灰塵，才能讓我們生活環境的空氣品質不至於更糟，藉此研究也告訴大家種樹的必要性，並且大家要以實際行動來減少生活環境中的空氣汙染來源。

柒、參考資料及其他

一、王純姬等編著.2013：國民小學九年一貫自然與生活科技領域五上第二單元植物世界面面觀.康軒文教教科書.
二、王純姬等編著.2013：國民小學九年一貫自然與生活科技領域六下第三單元生物與環境.康軒文教教科書.
三、徐慈鴻、李貽華.空氣汙染對植物之影響. www.sdec.ntpc.edu.tw/epaper/10012/1.htm
四、3-3 葉的構造與氣孔開閉. 210.60.246.140/bio/Word/grade3/3-3.doc
五、樟樹.維基百科，自由的百科全書. zh.wikipedia.org/zh-tw/樟树
六、落塵量對氣孔的影響.http://www.tactri.gov.tw/htdocs/project/proj62.pdf
七、蔡建平.空氣汙染對植物氣孔密度的影響.
八、葉綠素—學習加油站.content.edu.tw/junior/bio/tc_wc/textbook/ch03/supply3-06.htm
九、第七章 廢氣控制 - 國立桃園高級農工職業學校(National Tao-yuan Agricultural & Industrial Vocat). www.tyai.tyc.edu.tw/am/mtkao/file/car/a/car-a14.pdf
十、請問種植行道樹有何特殊或是重要的功能? http://wwwdb.tesri.gov.tw/tree/shade_tree/fuction.asp
十一、捷運烏日文心北屯線(綠線) 台中市政府交通局網頁.

捌、誌謝

感謝三義火炎山生態教育館提供協助，讓我們實驗得以順利進行。

【評語】080304

1. 觀察紀錄詳細，具有探究精神。

2. 應說明樹齡、挑選實驗用樟樹及採取葉片之準則，以免造成誤差。

3. 可探討降雨、風速等不同天候因素，對行道樹落塵量之影響。

4. 可再加強定量分析及圖表呈現方式，同一組數據用圖或表擇一呈現即可。