

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生活與應用科學科

040811

國立桃園高級中學

指導老師姓名

劉安強

龍佩君

作者姓名

廖翊廷

呂靜怡

謝志昂

賴怡涵

免費空氣污染偵測器 - 地衣與環境污染的探討

壹、研究動機：

高中課程中課本提到的地衣類植物，而我們平常看到樹幹上的灰綠色附生植物可能為地衣。經我們在校園內的初步觀察，發現在靠近交通往來頻繁的校門口區域的地衣生長量趨近於零，而相差不到 100 公尺行政大樓旁的樹木，卻發現了其樹幹上分佈著許多地衣，其懸殊的生長狀態，引起了我們的注意：地衣的生長分布代表了什麼意義呢？

我們希望藉由實地的生物觀察，並結合簡單的實驗對地衣作深一層的認識，進而發展出一套戶外空氣污染程度之指標辨別系統。

貳、研究目的：

- 一、藉由野外觀察了解環境污染和地衣生長程度的相關性。
- 二、了解量化之意義並用以紀錄之。
- 三、將實驗結果應用到日常生活，加強生物指標的實用價值。

參、研究設備及器材：

- 一、捲尺(100m)
- 二、指北針
- 三、數位相機
- 四、格子透明墊（每格面積 1 平方公分）
- 五、顯微鏡
- 六、單槍
- 七、溼度溫度計
- 八、大氣壓力計
- 九、pH 計
- 十、酒精燈
- 十一、廣口瓶
- 十二、燃燒匙



圖 1 顯微鏡



圖 2 pH 計



圖 3 顯微鏡（外接電視）



圖 4 溼度溫度計及大氣壓力計

肆、實驗原理：

一、地衣簡介：

地衣是真菌與藻類的共生體，真菌可得到藻類光合作用的產物，而藻類也藉著真菌以固著地面。地衣依其形態主要可分為葉狀、枝狀與殼狀三類。因為地衣對空氣污染很敏感，特別是二氧化硫，所以可作為空氣污染的指標。若將環境內的地衣數量與大小，長期記錄下來，即可得知該區附近空氣污染的變化情形。

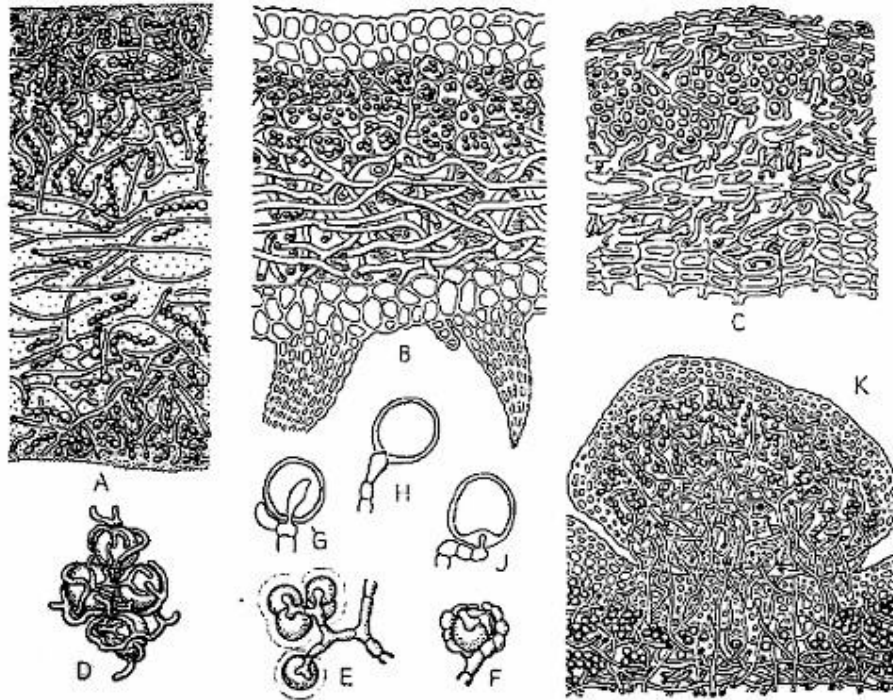


圖 5 地衣的基本結構：A. *Collema* 屬；B. *Sticta* 屬，C. *Graphis* 屬的地衣體，D. *Parmelia* 屬的粉芽；E~J：各種地衣的吸足；K. *Peltigera* 屬的衣瘦
(據：Strasburger's Textbook of botany)

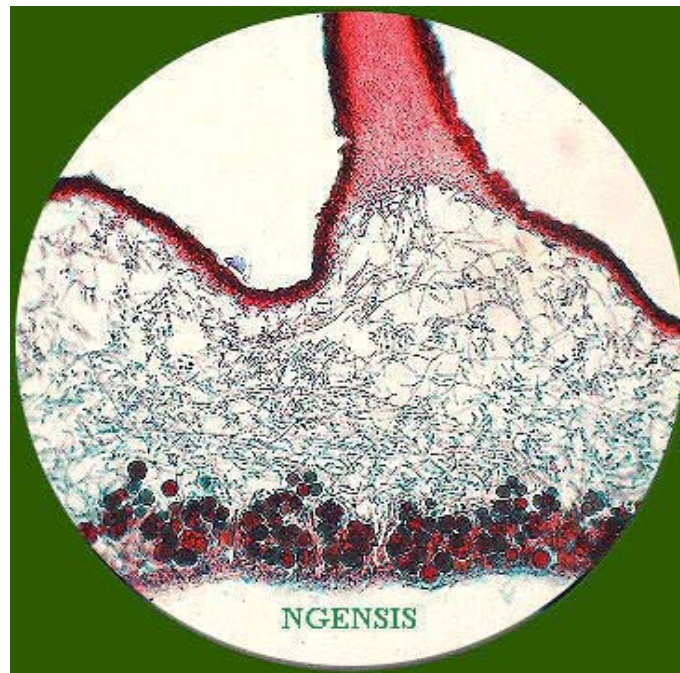


圖 6 地衣體縱切的顯微鏡映像(x160)

二、指標植物：

空氣污染指標植物就是一種對某種空氣污染物特別敏感而會產生獨特典型受害症狀之植物，所以它是一種簡單有效而又省錢的空氣污染偵測方法。

常見的空氣污染物往往是無色、無味、不可捉摸的氣體，或是飄浮於空氣中的微粒（particulate）。由於這類污染物分析上比起水污染物或固態廢棄物要來得困難，故一般非專業單位或人員多無法自行偵測，而即使是專業單位或人員也常受限於昂貴的儀器設備而無法廣泛地偵測污染。植物受到空氣污染的傷害，一旦污染劑量高過它可以忍受的程度，便會表現出某些病徵。

指標植物的優點計有：一、成本極低；二、具有生物監測的內涵，能測知生物是否受害；三、能夠面狀布設，不若儀器的點狀布設。

但它也有缺陷，這包括：一、靈敏度不易達到儀器的層次；二、本身常有變異現象，較不易準確。

綠色植物遭到空氣污染危害後，常會產生具有專一性的病徵，若它的敏感度甚高，則我們實可利用以做為指標植物。由於指標植物成本低、取得容易，故可以大量布設於田間、都會區或工業區附近，以長期監視污染實況。

伍、研究過程及方法：

經由過去的研究報告顯示，地衣可當作空氣污染的指標性生物，因此我們希望觀察污染程度對地衣外貌的影響。

在桃園區裡，由於校園正好鄰近虎頭山區，而且位置靠近交通流量相當大的成功路幹道，因此我們決定藉由虎頭山的分區觀察，了解空氣污染對地衣生長分佈的影響。

一、野外實地觀察紀錄：

(一)紀錄方式：

- (1)以距離成功路每 100 公尺向上分成 4 個區塊，每區塊取五組觀察作為代表。
- (2)決定代表一區塊的地衣，是以此區塊所有地衣和基質的最平均狀況，取最能代表此環境五組地衣。
- (3)基質表面積測量方式：如果測量對象為樹木，則以捲尺測量，先用捲尺量測基質之樹幹圓周，再用捲尺量至 200 公分的高度加以標記，此時 V （基質表面積）= 樹幹圓周×樹高；如果測量對象為岩石，則以透明格子軟墊（每格面積 1 平方公分）測量，此時 V = 所佔方格數。
- (4)地衣生長表面積測量方式：將透明格子軟墊圍至待測基質上方，利用其易改變形狀之特性，進而測出地衣生長所佔面積。
- (5)測量距離的方式：以大約固定的步伐測量，再以捲尺測出步伐的長度。
- (6)厚度測量方式：採取同面積的地衣，以電子秤測量重量。
- (7)此紀錄之測量數字皆為約略值，因此制定了一套量化系統以方便比較。
- (8)顏色表：自訂顏色表如表 1-6。

(二) 量化系統：

(1) 表 1-1：地衣覆蓋率量化表格

級數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
地衣 基質 體積 (%)	2 以下	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72	77 以上

(2) 表 1-2：地衣生長離地最低距離量化表格

級數	最低距離(cm)
0	160 以上
1	150 160
2	140 150
3	130 140
4	120 130
5	110 120
6	100 110
7	90 100
8	80 90
9	70 80
10	60 70
11	50 60
12	40 50
13	30 40
14	20 30
15	20 以下

(3) 表 1-3：地衣生長表面積量化表格

級數	表面積(cm ²)
0	50 以下
1	50 200
2	200 350
3	350 500
4	500 650
5	650 800
6	800 950
7	950 1100
8	1100 1250
9	1250 1400
10	1400 1550
11	1550 1700
12	1700 1850
13	1850 2000
14	2000 以上








(4)表 1-4：地衣生長厚度

級數	厚度
0	0.3 以下
1	0.3~0.6
2	0.6~0.9
3	0.9~1.2
4	1.2~1.5
5	1.5~1.8
6	1.8~2.1
7	2.1~2.4
8	2.4~2.7
9	2.7~3.0
10	3.0~3.3
11	3.3~3.6
12	3.6~3.9
13	3.9~4.2
14	4.2~4.5
15	4.5 以上

(5)表 1-5：基質面積

級數	基質面積(cm ²)
0	1000 以下
1	1000~6000
2	6000~11000
3	11000~16000
4	16000~21000
5	21000~26000
6	26000~31000
7	31000~36000

(6)表 1-6：自訂顏色表

級數	顏色
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

二、污染物對地衣的傷害研究：

(一)二氧化硫實驗步驟：

- (1)將 0.5g 的硫粉置於燃燒匙中，在酒精燈上加熱。
- (2)將燃燒中的硫粉迅速放入抽濾瓶中，再快速用玻璃片蓋住抽濾瓶的一半瓶口。實驗裝置如圖 7 所示，各小錐形瓶中先置入一小片地衣，各轉向閥均轉為「開」的狀態，以便二氧化硫進入各錐形瓶。
- (3)待小錐形瓶中充滿二氧化硫(SO₂)氣體後，將轉向閥轉為「關」並開始計時。
- (4)一小時後，取出其中一錐形瓶中的地衣進行外觀及顯微鏡的觀察紀錄。
- (5)同上述步驟，進行二小時、三小時、四小時後的觀察。

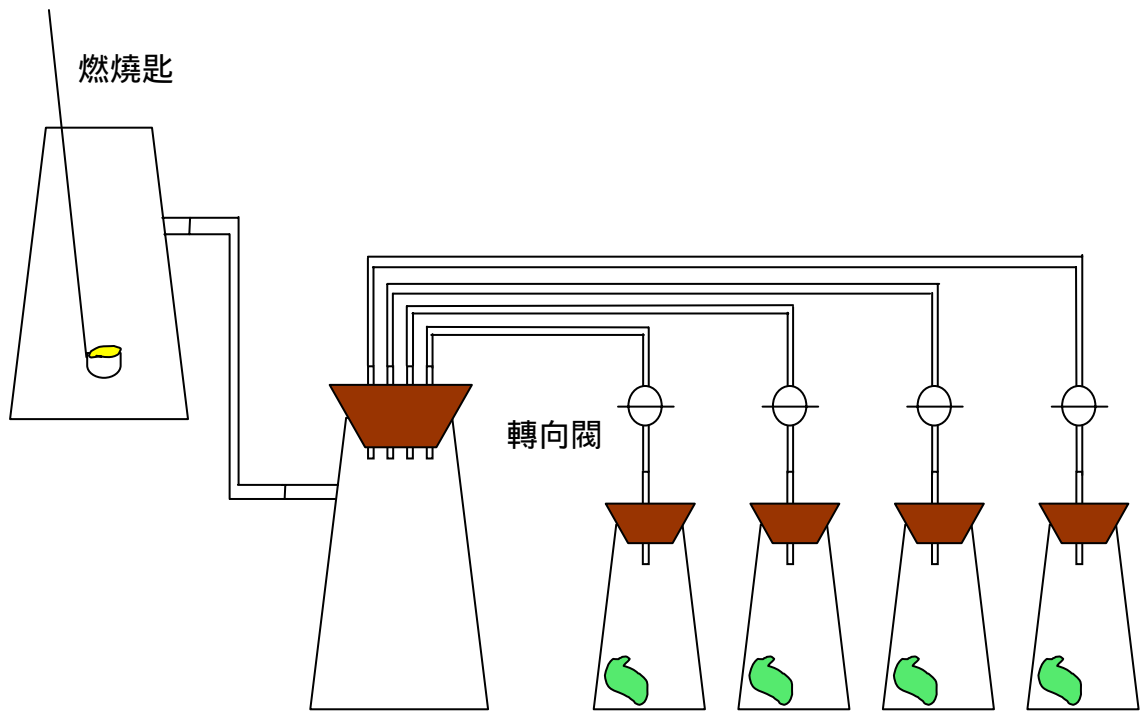


圖 7 燃燒定量硫粉的實驗裝置圖

(二)酸雨實驗步驟：

- (1)調配體積莫耳濃度為 0.1M 的氫氧化鈉 (NaOH) 溶液。
- (2)調配體積莫耳濃度為 0.1M 的醋酸 (CH₃COOH) 溶液。
- (3)利用 pH 計配製出 pH 值為 3、4.4、6.6 的醋酸 - 醋酸鈉緩衝溶液各一瓶。
- (4)取 3 片地衣，每天固定分別噴灑 pH3、4.4、6.6 的溶液，並觀察紀錄。



圖 8 pH3、4.4、6.6 緩衝溶液

(三)汽、機車廢氣實驗步驟：

- (1)取兩片地衣，分裝於兩廣口瓶中。
- (2)將此二廣口瓶分置於汽車及機車排氣口，以廢氣噴 5 分鐘。
- (3)蓋上瓶口並靜置一天後觀察。
- (4)以同一個樣品、同樣的實驗方法，每日定時噴氣 5 分鐘，連續觀察 5 天。

陸、實驗結果與討論：

一、實地紀錄：

(一)環境概述：如下表 2 及圖 9。

表 2 各區塊環境觀察紀錄表

區塊一 (離幹道 100m)	區塊二 (離幹道 200m)	區塊三 (離幹道 300m)	區塊四 (離幹道 400m)
(1)此區為兒童遊樂區，流動高，樹多為人工種植，幾無落葉，腐植質缺乏。 (2)此區地衣多生於較高的樹幹上，數量、分布皆不多。 (3)光照充足，地衣多向南生長，背對車道。	(1)疏林、光照、通風良好。 (2)地表落葉多，草、灌木植物較少。 (3)此區地衣不限於樹幹，岩石上亦有。 (4)車道位於此區東方，地衣多向西南生長。	(1)地表佈滿落葉，腐植質豐富，草、灌木多。 (2)地衣多生於東南方，背向西方的車道。	(1)由於此地區位於地勢較高處，人車活動不頻繁，因此空氣品質較佳。 (2)此區基質數目、種類皆多，提供地衣多樣的生活環境。 (3)地衣無特定生長方向。



圖 9 實地觀測分區圖 - 環境概述

(二)實地基本紀錄：如下表 3~表 4 及圖 10~圖 21 所示。

表 3 各區塊實地紀錄

區塊		一					二				
組別		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
距幹道長(m)		100					200				
距車道長(m)		向下 38 m	向下 35 m	向下 42 m	向下 40 m	向下 38 m	向下 35 m	向下 37 m	向下 45 m	向下 40 m	向下 42 m
氣壓(mmHg)		756					755				
溫度()		20					20				
溼度(%)		78					78				
基質	生長方式	人工 種植	人工 種植	人工 種植	人工 種植	人工 種植	人工堆置	自然 生長	人工 種植	人工 種植	人工 種植
	種類	樹	樹	岩石	岩石	岩石	岩石	樹	樹	岩石	樹
	表面積 (c m ²)	3	1	3	6	3	1	1	3	1	4
地衣	離地 最低點 (cm)	0	0	0	3	1	12	7	10	13	13
	顏色	6	7	7	6	6	4	5	5	4	5
	表面積 (c m ²)	1	0	2	1	6	2	1	2	1	3
生長情形敘述		(1)分塊生長於基質表面 (2)無大塊密集分佈情形					(1)只生長於 同側 (2)地衣呈散 狀分佈	(1)沿樹幹呈條狀分佈。 (2)只生長於同側			
厚度		0	1	0	1	2	4	2	4	7	7
地衣表V 基質表V %		1.36	1.36	2.41	0.27	5.28	1.65	2.53	2.21	6.44	1.78

區塊		三					四				
組別		3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5
距幹道長(m)		300					400				
距車道長(m)		向下 35 m	向下 38 m	向下 40 m	向下 42 m	向下 45 m	向下 42 m	向下 40 m	向下 38 m	向下 38 m	向下 35 m
氣壓(mmHg)		752					750				
溫度()		20					20				
溼度(%)		79					78				
基質	生長方式	自然生長	自然生長	自然生長	自然生長	自然生長	自然生長	自然風化	自然生長	自然生長	自然生長
	種類	樹	樹	岩石	岩石	樹	樹	岩石	岩石	樹	樹
	表面積(c m ²)	3	2	3	1	4	7	5	3	4	6
地衣	離地最低點(cm)	11	11	10	13	13	12	14	15	14	10
	顏色	4	3	3	2	3	3	2	2	3	4
	表面積(c m ²)	7	8	2	1	3	8	12	14	10	14
生長情形敘述		(1)沿樹幹呈條狀分佈 (2)無明顯聚集同側的情形					(1)沿樹幹呈長條狀生長 (2)無明顯聚集同側的情形		(1)成散狀分佈於岩石表面 (2)數量多，厚且濃密		
厚度		7	8	11	9	15	12	15	10	15	15
地衣表V 基質表V %		7.03	10.19	15.82	30.26	23.04	33.05	83.21	45.58	46.72	72.31

表 4 各區塊離地高度、地衣表面積、厚度及覆蓋率紀錄

	區塊 1					區塊 2					區塊 3					區塊 4				
離地 長度 (cm)	170	230	165	135	150	50	93	65	40	37	54	60	15	30	62	45	30	10	3	17
	平均值 = 170 (0)					平均值 = 57 (11)					平均值 = 44 (12)					平均值 = 21 (14)				
地衣 表面積 (cm ²)	190	30	289	78	289	228	152	315	77	352	956	1121	2262	1513	3917	1127	1764	7019	7569	19523
	平均值 = 175 (1)					平均值 = 225 (2)					平均值 = 1954 (13)					平均值 = 7400 (14)				
厚度	0.21	0.52	0.08	0.31	0.73	1.30	0.78	1.28	2.40	2.17	2.20	2.70	3.55	2.86	4.73	3.71	4.56	3.20	5.17	5.20
	平均值 = 0.31 (1)					平均值 = 2.85 (9)					平均值 = 3.21 (10)					平均值 = 4.37 (14)				
地衣 覆蓋率 (%)	1.36	1.36	2.41	0.27	5.28	1.65	2.53	2.21	6.44	1.78	7.0	10.2	15.8	30.3	23.0	33.1	83.2	45.6	46.7	72.3
	平均值 = 2.14 (2)					平均值 = 2.92 (2)					平均值 = 17.27 (5)					平均值 = 56.17 (12)				

【注】() 內為量化等級

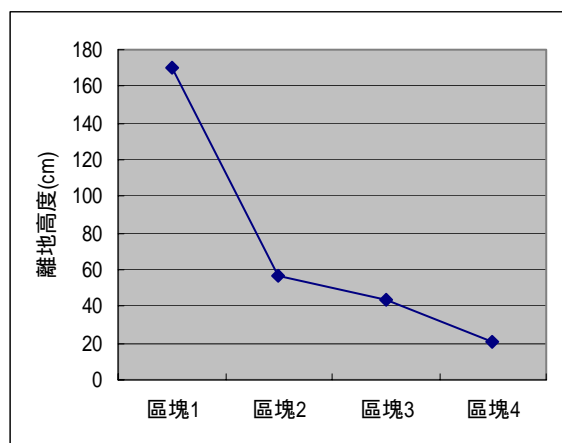


圖 10 各區塊地衣離地高度關係圖

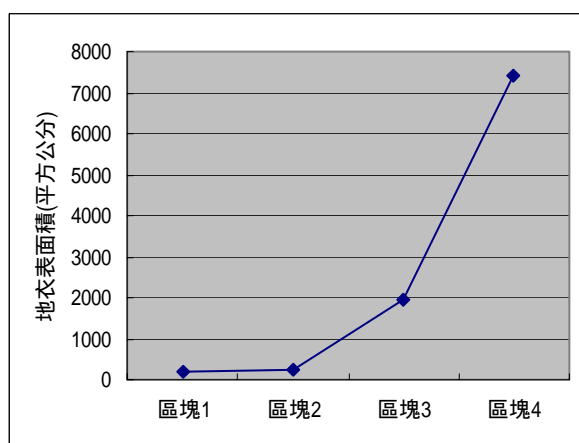


圖 11 各區塊地衣表面積關係圖

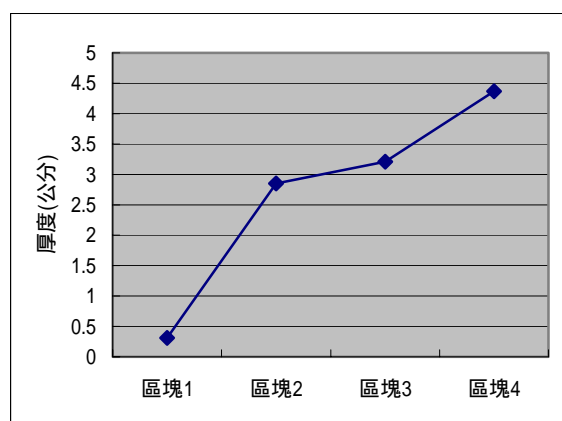


圖 12 各區塊地衣厚度關係圖

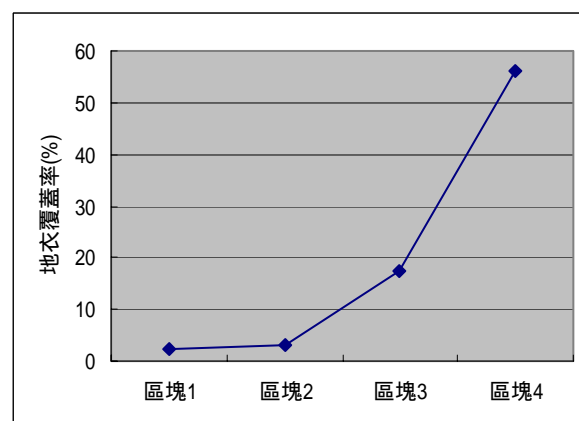


圖 13 各區塊地衣覆蓋率關係圖



圖 14 主幹道路旁的樹木 (無地衣生長)



圖 15 區塊一中的樹木



圖 16 區塊一中的樹木



圖 17 區塊二中的樹木



圖 18 區塊二中岩石上的地衣



圖 19 區塊三中的樹木



圖 20 區塊四中的樹木



圖 21 區塊四中的樹木

(三)野外觀察討論：

- (1)離主要幹道愈近的地方，其地衣覆蓋率及厚度愈小，離地面生長最低距離愈高，地衣顏色也愈深。
- (2)空氣品質愈差之處，地衣生長愈不集中，有偏向某處的趨勢，一般地衣生長方向的背側，多為車道或其他空氣污染較嚴重的地區。
- (3)表面較平滑的物體（如竹子），較不易發現地衣，這是因為地衣是以假根固定基質，若為過於平滑的物體，地衣較不易附著。

二、地衣與環境污染物的關係：

在野外觀察時，我們無法明確的知道空氣污染嚴重程度和地衣受破壞的形態的比較，故我們做了以下幾個實驗：二氧化硫對地衣的破壞、酸雨對地衣的影響及汽機車廢氣對地衣的破壞程度，以便深入了解地衣與破壞因素之間的關係。

(一)二氧化硫對地衣的破壞：

二氧化硫的來源除煤炭之燃燒外，石油與天然氣之生產、精製、利用，硫磺與硫酸之製造與工業利用均可能產生，故其發生極為普通。為了解地衣這個對空氣污染特別敏感的植物在碰到二氧化硫時會有何反應而進行一系列實驗，盼能找出二氧化硫對地衣破壞的相對關係。

(1)實驗結果：如表 5~表 6 及圖 22~圖 27 所示。

表 5 地衣受二氧化硫燻煙實驗後的外觀觀察紀錄

	外觀	放大鏡
觀察紀錄	(1)顏色明顯變深 (2)萎縮嚴重 (3)無光澤	(1)厚度縮減許多 (2)顏色轉為深綠，有些甚至變為黑色。 (3)裂縫、皺紋增多。



圖 22 受到四小時二氧化硫燻煙實驗的地衣及其對照組

表 6 地衣受到二氧化硫燻煙過後每隔一段固定時間使用顯微鏡觀察的紀錄

	一小時後	二小時後	三小時後	四小時後
低 倍 顯 微 鏡 (10x4)	(1)藻類群中間呈現深綠色，而邊緣可發現不少的淺綠色地衣。 (2)菌絲呈透明無色，無明顯變化。	(1)深綠色區域向外擴張，淺綠色部分相對減少。 (2)菌絲呈無萎縮狀態。	(1)深綠色區域已佔去了大部份，淺綠色地衣只剩些許。 (2)菌絲沒受到任何破壞。	(1)全部面積的藻類皆已變成黑色。 (2)菌絲無明顯變化。
中 倍 顯 微 鏡 (10x10)	深綠色藻類占 50% 淺綠色藻類占 45% 無色菌絲占 5%	深綠色藻類 80% 淺綠色藻類 15% 無色菌絲占 5%	深綠色藻類占 90% 淺綠色藻類占 5% 無色菌絲占 5%	深綠色藻類 95% 淺綠色藻類占 0% 無色菌絲占 5%

【補充】：中倍比低倍更可以看出地衣內部的變化，因此以數字記錄之。

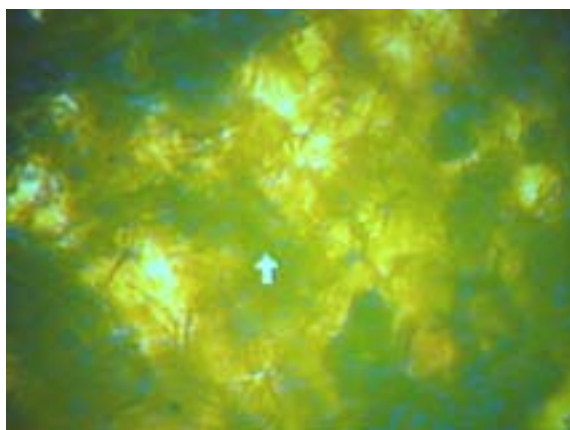


圖 23 未受破壞的地衣藻類 (中倍)

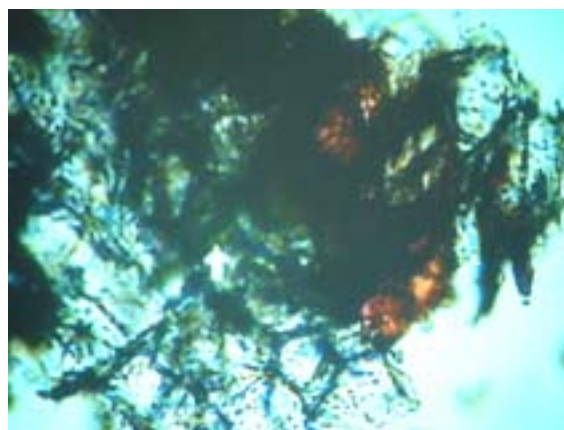


圖 24 受二氧化硫破壞地衣中的藻類



圖 25 正常狀態下地衣的菌絲 (高倍)



圖 26 受二氧化硫燻煙實驗地衣中的菌絲 (中倍)

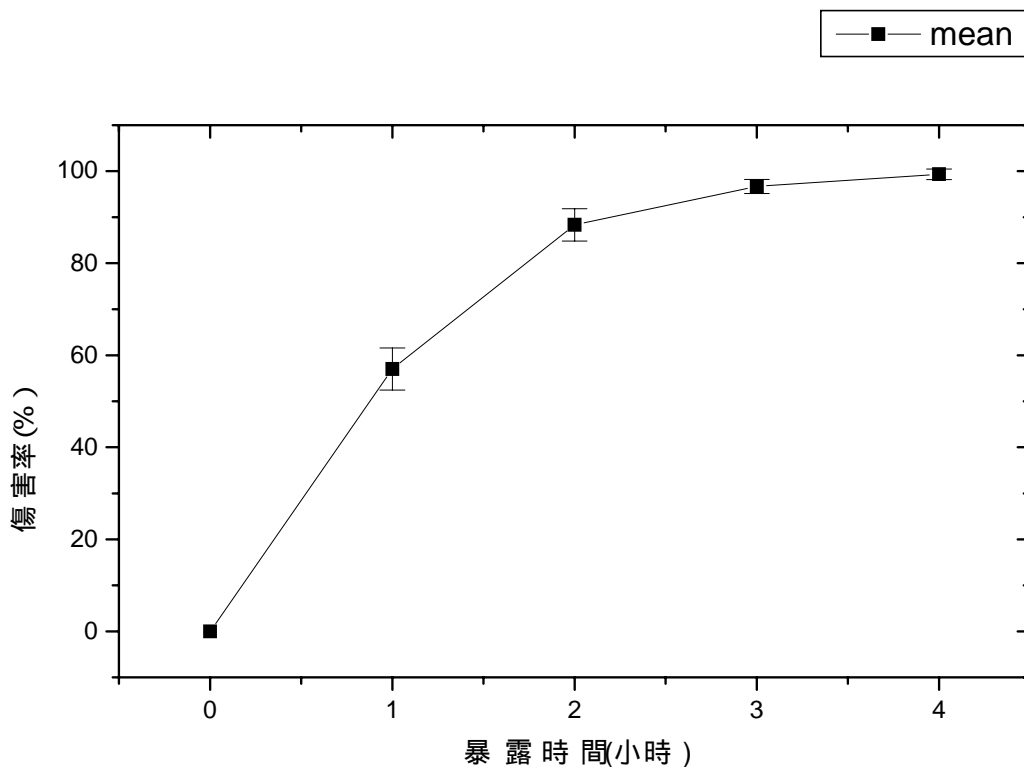


圖 27 二氧化硫燻煙時間對地衣的傷害影響關係圖

(2)實驗討論：

由實驗觀察可知，地衣在相同濃度但不同時間的破壞下，會出現隨時間增加而破壞加劇的情形，其症狀描述如下：

- 1 外觀上會有萎縮的情況，而嚴重時，甚至會出現萎縮成粉末狀的情形。
- 2 顏色變得很深，因而呈現無光澤的狀態。
- 4 在顯微鏡底下觀察，發現藻類群在短時間內從淺綠色變成深綠色。
- 5 顯微鏡底下觀察發現，在短時間內菌絲對二氧化硫的侵襲並未造成影響。
- 6 我們在進行二氧化硫影響實驗的顯微鏡觀察時，任取三個區塊，計算該區塊中受到傷害的藻類數目除此區塊中藻類的總數，定義為傷害率。將三個區塊的傷害率平均後，可作出傷害率隨時間變化的關係圖（如圖 27）。由此圖可知，地衣暴露在高劑量的二氧化硫時，藻類死亡速度很快，顯示地衣對二氧化硫相當敏感。

地衣是藻類和菌類的共生體，其能量的來源大部分來自藻類的光合作用。在觀察中發現，地衣體中藻類群的變化是由淺綠色逐漸變為深綠色，討論結果是由於葉綠體受到破壞才会有淺綠色藻類群的變化。葉綠體受到破壞後，則無法進行光合作用，所以沒有能量的產生，而造成地衣的死亡。

雖知二氧化硫會影響地衣的生長,但在虎頭山道路上的地衣生長是否和該處的二氧化硫有絕對關係則未可知。為了進一步了解這個問題,我們選擇了四個地點,以抽氣幫浦取樣(如圖 28~圖 29)四個小時後,委託專業的機構分析此四處的二氧化硫含量,其分析結果如附件一。由實驗的結果得知,二氧化硫在道路旁的含量較大,且越往山區則含量略減。雖越往山區二氧化硫越少,但其含量差異並不大,因此我們認為二氧化硫的含量對地衣生長並非唯一的影響因素。



圖 28 抽氣幫浦



圖 29 以抽氣幫浦採取空氣樣品

(二)酸雨對地衣的影響：

酸雨,是因為硫酸根離子和硝酸根離子混入雲層形成雨水,而使雨水呈現酸性。由於大氣中原含有二氧化碳,而雨水中也溶有部分二氧化碳所形成的碳酸根離子,所以正常雨水之 pH 值原是 5.6,如果雨水 pH 值在 5.6 以下,則就可稱其為酸雨。

(1)實驗結果：如表 7~表 8 及圖 30~圖 34 所示。



圖 30 不同 pH 值的緩衝溶液對地衣的影響實驗

表 7 不同 pH 值對地衣的影響觀察紀錄（四天後）

	pH3	pH4.4	pH6.6
外觀	<ul style="list-style-type: none"> · 顏色有變深的趨勢 · 有萎縮情形 	<ul style="list-style-type: none"> · 顏色略為變深 · 萎縮情形不明顯 	無變化
放大鏡	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情形可輕易察覺 · 呈現輕微的乾燥現象 · 顏色變深 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情形較不嚴重 · 無乾燥情形 	無變化
顯微鏡	<ul style="list-style-type: none"> · 出現塊狀深色藻類群分布於淺綠色藻類群外圍 · 菌絲呈現無色透明。 · 中倍： 深綠色藻類 17% 淺綠色藻類 75% 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 出現點狀深色藻類群分布於淺綠色藻類群外圍 · 菌絲呈現無色透明。 · 中倍： 深綠色藻類 9% 淺綠色藻類 81% 菌絲 10% 	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群呈現青綠色顯然未受破壞。 · 菌絲呈現無色透明。 · 中倍： 淺綠色藻類 86% 菌絲 14%

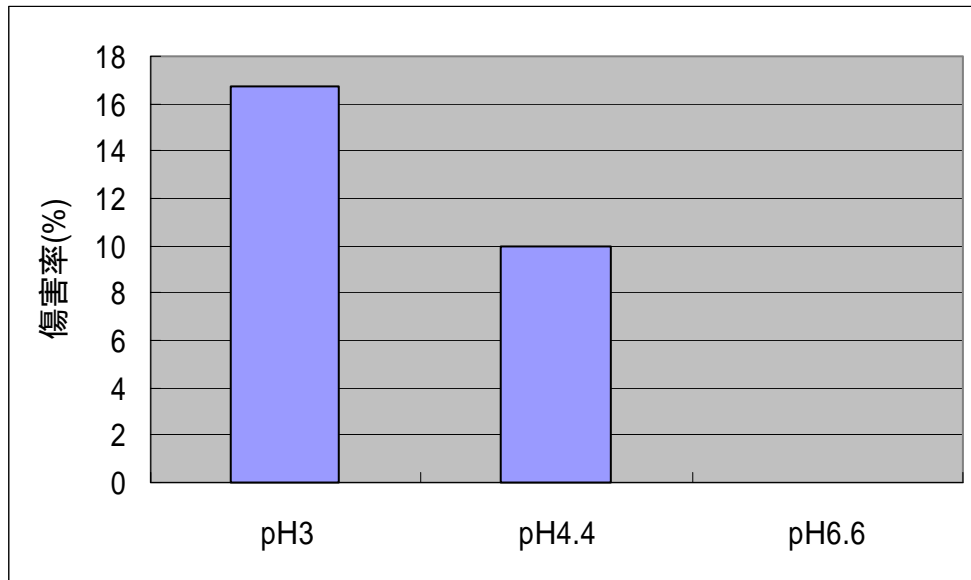


圖 31 不同 pH 值對地衣的影響（四天後）

表 8 pH3 對地衣的影響每日觀察之紀錄

	第一天	第二天	第三天	第四天
外觀	無變化	無變化	無變化	<ul style="list-style-type: none"> · 有輕微萎縮情形 · 顏色略變深
放大鏡	無變化	無變化	<ul style="list-style-type: none"> · 有輕微萎縮情形 · 顏色不變 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情況易觀察 · 顏色略深 · 有輕微乾燥情形
顯微鏡	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群呈現青綠色 · 菌絲完整 · 淺綠色藻類 92% · 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群仍呈現青綠色。 · 菌絲未改變 · 淺綠色藻類 92% · 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群外圍出現少量深綠色藻類 · 菌絲未改變 · 淺綠色藻類 85% · 深綠色藻類 7% · 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群出現塊狀深綠色藻類分布於淺綠色的藻類群的外圍 · 菌絲未改變 · 淺綠色藻類 77% · 深綠色藻類 15% · 菌絲 8%
	第五天	第六天	第七天	第八天
外觀	<ul style="list-style-type: none"> · 顏色變深 · 有萎縮情形 · 表面有輕微乾燥的情況 	<ul style="list-style-type: none"> · 顏色變的較深 · 萎縮情形明顯 · 乾燥情形明顯，無光澤 	<ul style="list-style-type: none"> · 顏色呈現深綠色 · 萎縮情形明顯且嚴重 · 毫無光澤，乾燥情形明顯 	<ul style="list-style-type: none"> · 顏色呈現深綠色 · 萎縮情形嚴重
放大鏡	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情況加劇 · 顏色變深 · 表面乾燥情形加劇 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情形加劇 · 顏色變為深綠色 · 乾燥情形加劇 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情形嚴重且呈現輕微的粉末狀 · 顏色變為深綠色 · 乾燥情形明顯而嚴重 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮嚴重，呈現粉末狀 · 顏色為深綠色 · 毫無光澤且乾燥情形嚴重
顯微鏡	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群的塊狀深綠色藻類有擴張趨勢 · 菌絲完整 · 淺綠色藻類 68% · 深綠色藻類 24% · 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群的外圍大部份皆呈現深綠色。 · 菌絲未改變 · 淺綠色藻類 53% · 深綠色藻類 39% · 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 深綠色藻類群明顯增加 · 菌絲未改變 · 淺綠色藻類 35% · 深綠色藻類 57% · 菌絲 8% 	<ul style="list-style-type: none"> · 深綠色藻類群繼續增加 · 菌絲未改變 · 淺綠色藻類 19% · 深綠色藻類 73% · 菌絲 8%

【說明】：由於 pH3 的變化較其他二者顯著，故研究中只針對 pH3 的影響作進一步描述。

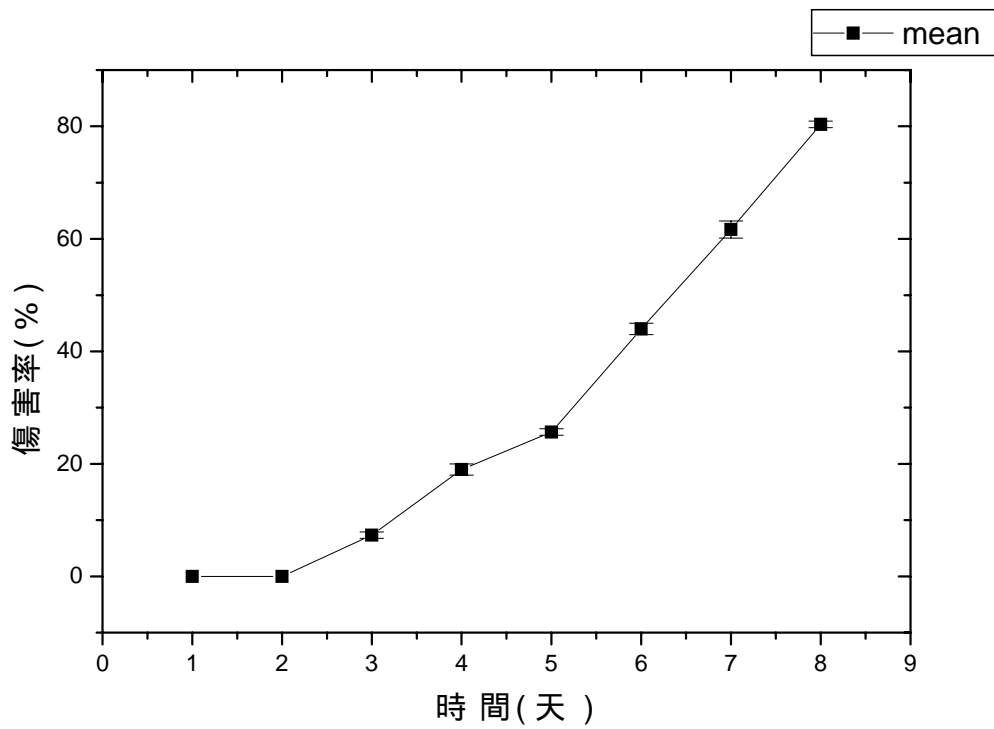


圖 32 pH3 緩衝溶液對地衣的傷害影響關係圖

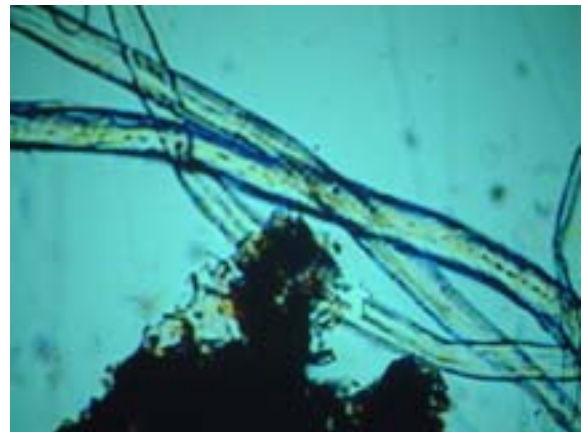
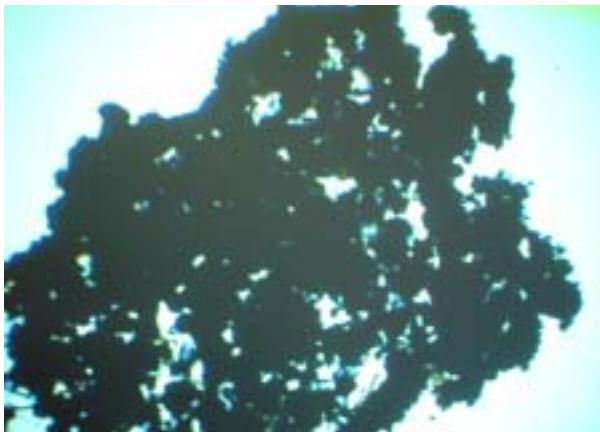


圖 33 受 pH3 緩衝液影響地衣中的藻類(八天) 圖 34 受 pH3 緩衝液影響地衣中的菌絲(八天)

(2)實驗討論：

- 1 由實驗結果得知酸雨對地衣的傷害較二氧化硫輕。
- 2 pH 值愈低，對地衣的傷害愈大。
- 3 隨時間增加，地衣受酸雨的影響愈大，其外觀特徵為顏色加深、厚度減小、分布區域減少等。

(三)汽、機車廢氣對地衣的影響：

由於觀察地點為道路旁，來往車輛頻繁，且車輛排放廢氣為空氣污染的主要來源之一，因此我們針對汽、機車排放廢氣對地衣的影響進行實驗觀察

(1)實驗結果：如表 9 及圖 35~圖 40 所示。

表 9 車輛廢氣對地衣的影響每日觀察之紀錄

	外觀	放大鏡	顯微鏡
第一天	無變化	無變化	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群呈現淺綠色，但藻類群外圍出現一些呈點狀分布的深綠色藻類。 · 菌絲呈透明無色 · 淺綠色藻類 85% · 深綠色藻類 5% · 菌絲 10%
第二天	無變化	出現些微萎縮	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群大體上仍為淺綠色，但深綠色藻類比例略增且成塊狀分布。 · 菌絲呈透明無色，未受破壞。 · 淺綠色藻類 75% · 深綠色藻類 15% · 菌絲 10%
第三天	地衣開始萎縮	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情況加劇 · 顏色變深 · 表面出現些微乾燥現象 	<ul style="list-style-type: none"> · 深綠色藻類比例明顯增加 · 菌絲呈透明無色，未受破壞。 · 淺綠色藻類 50% · 深綠色藻類 40% · 菌絲 10%
第四天	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮狀況加劇 · 表面發現乾燥現象 · 顏色變深 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情況加劇 · 乾燥情況加劇 · 顏色變深 	<ul style="list-style-type: none"> · 深綠色藻類增加明顯，有許多藻類群甚至整群變成深綠色。 · 菌絲呈透明無色，未受破壞。 · 淺綠色藻類 20% · 深綠色藻類 70% · 菌絲 10%
第五天	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情形嚴重且出現輕微粉末狀 · 表面乾燥且無光澤 · 顏色呈深綠色 	<ul style="list-style-type: none"> · 萎縮情況十分嚴重，且地衣面積明顯縮小，厚度變薄，並呈粉末狀態。 · 顏色變為深綠色 	<ul style="list-style-type: none"> · 藻類群大部分都變為深綠色 · 菌絲呈透明無色，未受破壞。 · 淺綠色藻類 5% · 深綠色藻類 85% · 菌絲 10%

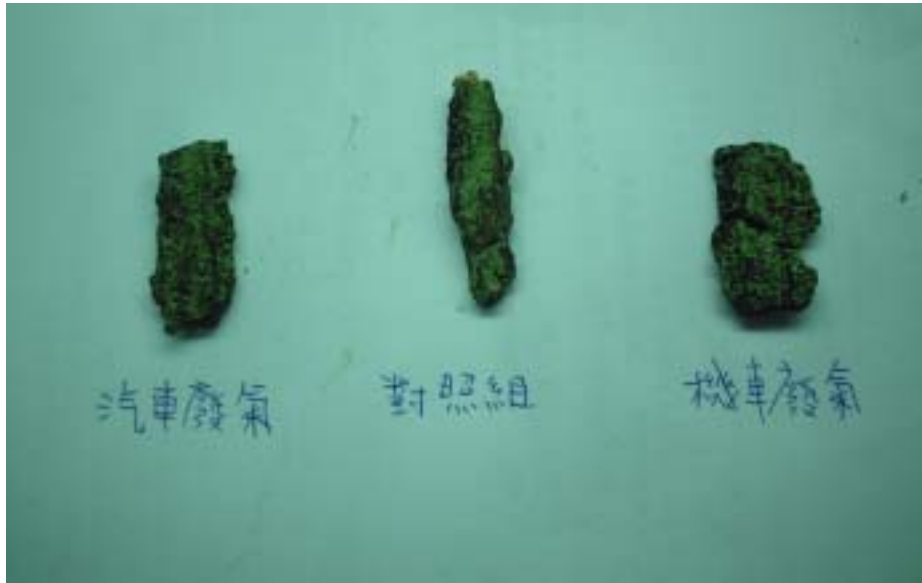


圖 35 汽機車廢氣對地衣的影響 (外觀)

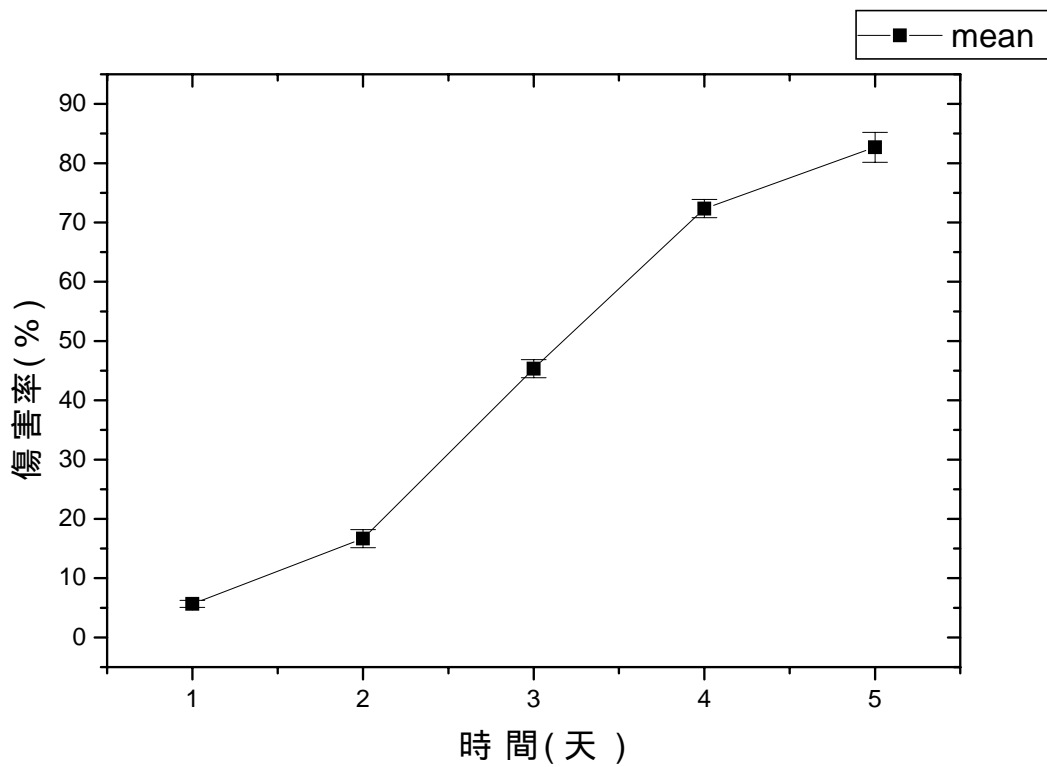


圖 36 車輛廢氣對地衣的傷害影響關係圖

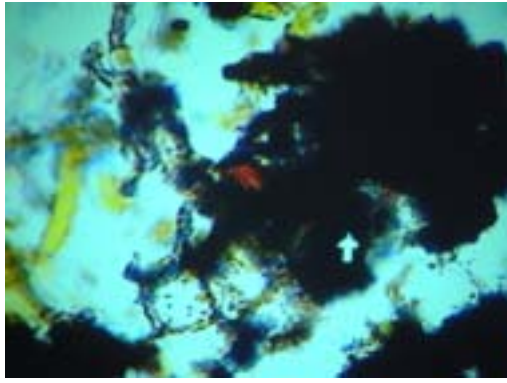


圖 37 受汽車廢氣破壞地衣中的藻類

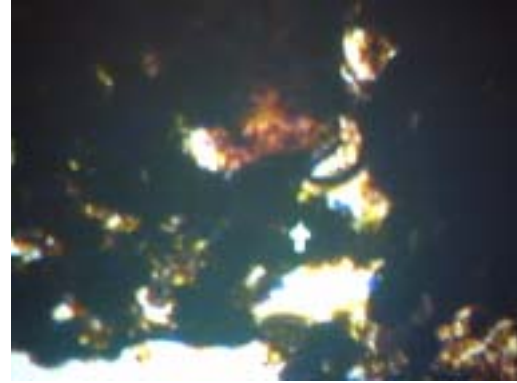


圖 38 受機車廢氣破壞地衣中的藻類



圖 39 受汽車廢氣破壞地衣中的菌絲



圖 40 受機車廢氣破壞地衣中的菌絲

(2)實驗討論：

- 1 汽車廢氣與機車廢氣對地衣的影響一致，推測應是使用的燃料相同。
- 2 車輛廢氣會對藻類產生直接的傷害，但對菌絲則無。
- 3 在二氧化硫實驗中，已知在觀察區域中，二氧化硫的含量差異不大，因此造成觀測區域地衣生長情形不同的原因，可能就是車輛廢氣。

柒、結論：

地衣對空氣污染非常敏感，故可作為空氣污染的指標生物。若我們要觀察一地的空氣污染程度，我們可對地衣進行觀察，若該處的地衣：

(1)厚度愈低 (2)顏色愈深 (3)種類愈少 (4)覆蓋率愈低 (5)數量愈少 (6)生長分布愈不均勻等，即可判斷該地的空氣品質愈差。

本研究中，我們針對環境中最常見的三項污染進行實驗，發現這三項因素均會影響地衣的生長，其中尤以二氧化硫的影響為甚。

根據實驗觀察，我們將地衣受污染的病徵整理如下：

(一)肉眼可見：

- (1)地衣表面顏色變深
- (2)地衣萎縮、厚度變低且隨污染物累積而數量逐漸減少

(二)顯微鏡觀察：

- (1)隨著污染物數量及暴露時間的增加，淺綠色藻類的數量減少，深綠色或黑色的藻類數量增加
- (3)菌絲在短時間內不受污染物的影響，但會隨著藻類死亡而逐漸受到影響

近年來工商業發達、人口及車輛快速成長，使得環境品質日益惡化。而能夠善加利用生物指標，就可以作到自我監控所處環境品質的好壞。

捌、未來展望：

在對地衣有了基礎的認識後，未來我們希望進行更加深入的研究，使地衣成為有效且實用的植物指標。此外，我們也希望將此成果透過高中職社區化的機制，介紹給虎頭山附近的居民，使其透過簡單的地衣觀察，了解自己所處的環境之空氣品質，甚至可以對自己生活的環境作一長期的監控。

玖、參考文獻：

1. 施河，基礎生物，南一書局
2. 賴明洲，地衣植物簡介，科學月刊 7 (1) 台灣地衣類彩色圖鑑 (一)，行政院農業委員會

評語

040811 高中組生活與應用科學科 最佳(鄉土)教材獎

免費空氣污染偵測器—地衣與環境污染的探討

本作品以地衣來偵測空氣污染，以大自然的生物偵測大自然的環境，非常有意思。

因為地衣對生長環境非常敏感，所以在野外觀察及室內實驗中，除考慮污染源的影響外，應考慮其它外在條件，例如溫度、濕度、海拔高度等之影響，避免實驗數據之誤差。建議未來能朝利用地衣來預警環境污染的方向努力。