

第五屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA5-018

作品名稱：衣所欲言－

探討環境污染對地衣的影響

姓名：陳昱甄

關鍵字：空氣污染、指標植物、_____

研究題目：衣所欲言－探討環境污染對地衣的影響

一、研究動機：

高中課程中課本曾提到地衣類植物，經由老師敘述我們知道地衣是一種對空氣污染極為敏感的生物，因此引起我研究的興趣。如果地衣對空氣真如此敏感，那麼對於汽機車廢氣污染嚴重的市區而言，是否具有指標或監測的功能呢？可惜的是，相關文獻僅止於利用地衣的分布及生長情況來判斷空氣污染的好壞，但對於空氣污染較為嚴重的市區，根本就很難找到地衣，要如何應用地衣判斷空氣品質，卻找不到具體的文獻資料，因此想設計一套方法來利用地衣觀察都市空氣品質。

此外，相關文獻僅止於探討空氣污染對地衣的影響，卻找不到水污染對地衣影響研究，因此除了空氣污染，針對各種水污染物對地衣的影響也是我極感興趣課題。

二、研究目的：

- 1.藉由地衣暴露於汽機車廢氣觀察研究，了解廢氣對地衣的影響。
- 2.設計簡易的地衣偵測系統，將其置於不同定點觀測實驗點空氣品質。
- 3.設計相關化學實驗以了解各種水污染物對地衣的影響。
- 4.將實驗結果應用到日常生活，加強生物指標的實用價值。

三、實驗原理：

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，只要照一般種植花木之方法種植在住家或辦公場所附近，就可根據其葉片所產生之異常症狀以判斷我們住家或辦公場所遭受到何種空氣污染物之污染，所以它是一種簡單有效而又省錢的空氣污染偵測方法。

自然界中有甚多敏感的植物可以充當空氣污染的指標植物，若能善加利用，將能幫忙鑑定空氣污染物以及污染來源。

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。台灣地區截至 1992 年三月，也僅有 19 個較完整的空氣污染監測站在做例行的監測，每一站的設備成本估計約新台幣 450 萬，且只限於監測二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、一氧化碳（CO）、臭氧（O₃）及懸浮微粒（suspended particulate）等五項，外加風速、風向、露點、氣溫等氣象資料及少數幾站外加碳氫化物一項。

以如此高成本的儀器設備來監測空氣污染，事實上是頗不經濟的，因為這些儀器的壽命一般大約只有五年，而耗用以維護的人力、時間，更是不可計數。因此，如有可以替代的器材或甚至生物，無疑將可以替國家省下甚多資源。而這些

替代性器材中一般又以指標植物 (indicator plant) 最受科學家矚目。

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。其中過程是相當複雜的，有一些是污染物直接對組織、細胞或酵素等造成傷害，有一些則是間接衍生出代謝異常。由於一方面不同的污染物有不同的作用機制，另一方面不同的植物品種 (species)、變種 (variety) 或栽培種 (cultivar) 各有不同的生化組成與生理代謝，因此最終表現在外，讓人肉眼可加辨識的病徵，也就各有不同。若這類病徵達到完全與眾不同的程度，這些病徵特性便可充做特定污染的指標。

由一棵植物忠實反應污染劑量，實在是最經濟的環境污染監測方法。它的優點計有：一、成本極低，不若一部儀器動輒耗費數十萬元；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；四、能綜合監測，同時監測多種污染物。

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，監測結果較難一致，也較不易準確。雖說有這些缺點，但無疑地，它有存在的價值，尤其對一些無力購置監測儀的國家，指標植物無疑可以用以監測污染、診斷污染。

倒是未來生物技術的發達，可以預期將能改進特殊指標植物的靈敏度，屆時超靈敏度的指標植物一旦出世，指標植物的應用預料將更為廣泛、精確而有效。

綠色植物遭到空氣污染危害後，往往會立即失綠，並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靈敏的指標植物。它的用途有些是在定性的診斷上，有些則已近似儀器般可用以監測污染的濃度。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，充當污染的見證者，因而指標植物實甚具實用價值。

地衣是探查二氧化硫污染的優良指標植物，二氧化硫是工業廢氣造成的公害，地衣的敏感性很高，在含有二氧化硫的區域裡，地衣立即會枯死。

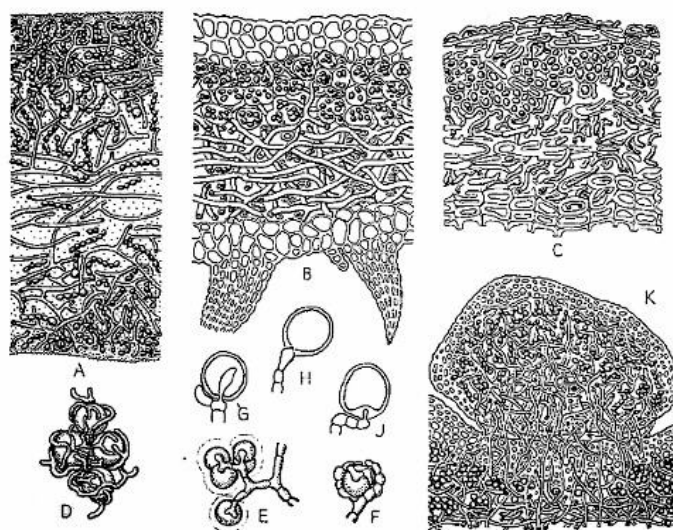


圖 1 地衣的基本結構

四、研究過程：

I. 空氣污染對地衣的影響：

1. 車輛廢氣對地衣的影響實驗：

- (1) 取兩片新鮮的地衣，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) 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。
- ###### 2. 以自製地衣觀察裝置分區觀測不同地區的污染程度比較：

- (1) 將寶特瓶兩側割開，將其向上翻成類似翅膀的形狀，並將線穿入，接著將地衣放置在沾濕的化妝棉上，並放入寶特瓶內，即完成（如圖 2）。依上述步驟分別作了五組裝置（其中一組為對照組）。
 - (2) 將裝置分別置於『桃園市區』、『桃園煉油廠』、『桃園縣竹圍海邊』、『桃園縣果林村田野住宅區』，放置七天後取下作觀察紀錄。
- 註：四組地衣皆從同一棵樹採集而得。



圖 2 地衣實地實驗裝置圖

II. 水污染物對地衣的影響：

1. 水溶液 pH 值對地衣的影響：

- (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 (CH_3COOH) 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) 採集 3 片健康的地衣，每天固定分別噴灑 pH3、4.4、6.6 的溶液，並觀察紀錄之。

2.各種水污染物對地衣的影響：

(1)分別配置 0.01 M 之銅離子、鋅離子、鉛離子、鎳離子、汞離子、稀釋 100 倍漂白水溶液、自來水及校園荷花池水，並分置於小型噴霧瓶中。

(2)採集 8 片健康的地衣，分別噴灑銅離子、鋅離子、鉛離子、鎳離子、汞離子、漂白水溶液、自來水及校園荷花池水，並觀察紀錄之。

五、研究結果及討論：

I.空氣污染對地衣的影響：

1.車輛廢氣對地衣的影響實驗：

由於我們觀察的地點為道路旁，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，因此我們亦針對汽、機車排放廢氣對地衣的影響進行一系列的實驗觀察。

(1)實驗結果：如圖 3~圖 7 及表 1 所示。

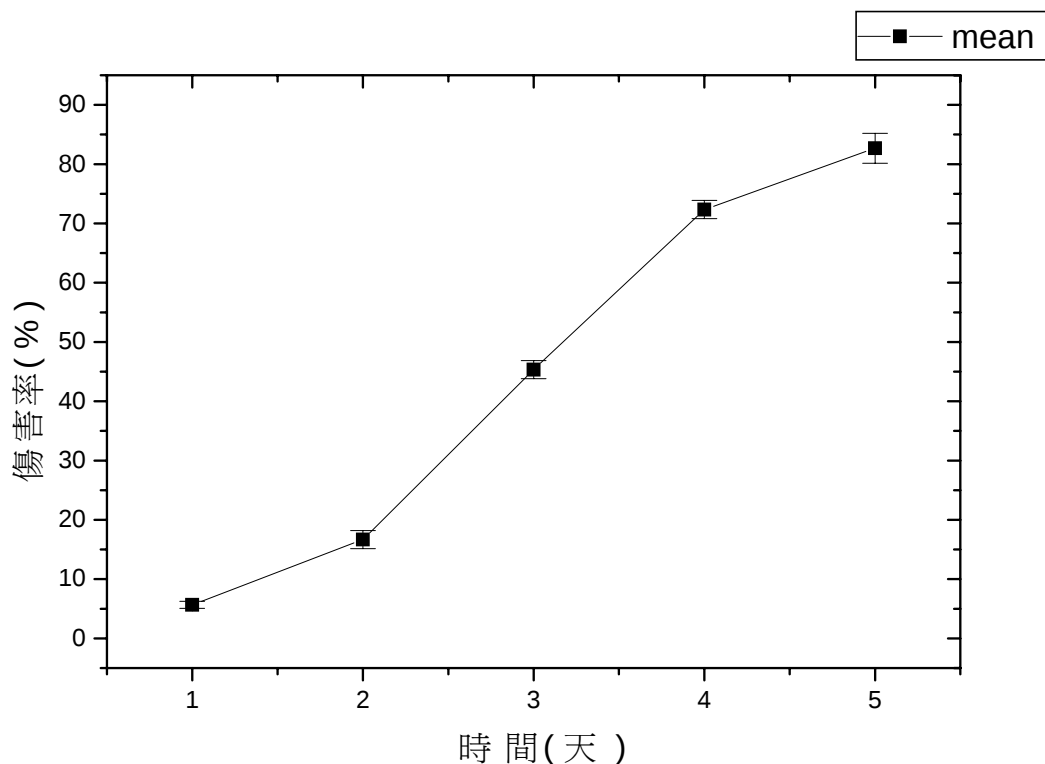


圖 3 車輛廢氣對地衣的傷害影響關係圖

表 1 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	- 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	- 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	- 萎縮情況加劇 - 顏色變深 - 表面出現些微乾燥現象	- 深綠色藻類比例明顯增加，甚至有部份藻類群外圍被深綠色藻類包圍，且塊狀分布擴大。 - 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	- 萎縮加劇 - 表面發現乾燥現象 - 顏色變深	- 萎縮情況加劇 - 乾燥情況加劇 - 顏色變深 - 平坦部份的地衣嚴重萎縮且較縫隙處明顯	- 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。 - 發現少量褐色斑點分布於外圍 - 淺綠色藻類 20% - 深綠色藻類 65% - 菌絲 10% - 褐色斑點 5%
第五天	- 萎縮情形嚴重且出現輕微粉末狀 - 表面更加乾燥且無光澤 - 顏色呈深綠色	- 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 - 平坦處的地衣幾乎呈現粉末狀	- 藻類群大部分都變為深綠色 - 褐色斑點比例增加且呈塊狀分布於深綠色藻類群的外圍 - 菌絲呈透明無色，未受破壞。 - 淺綠色藻類 5% - 深綠色藻類 75% - 菌絲 10% - 褐色斑點 10%

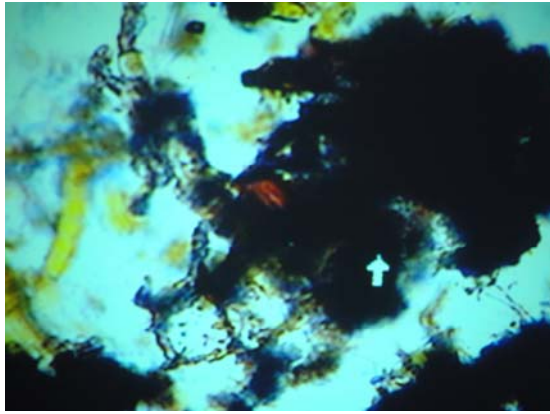


圖 4 受汽車廢氣破壞地衣中的藻類

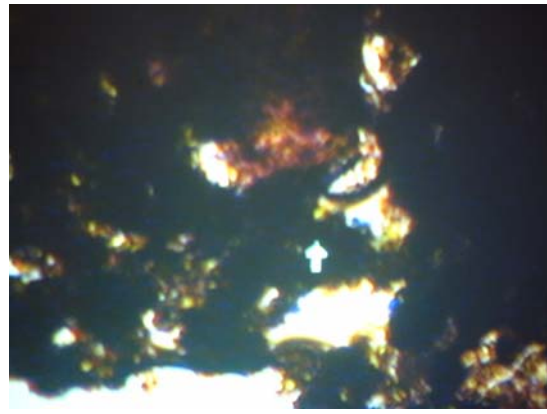


圖 5 受機車廢氣破壞地衣中的藻類



圖 6 受汽車廢氣破壞地衣中的菌絲



圖 7 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相當一致，推測應是使用的燃料相同，燃燒所產生的污染物成分差異不大所致。
- ②車輛廢氣會對藻類產生直接的傷害，但對菌絲則無，我們推測車輛排放廢氣量愈多，對地衣傷害愈大。
- ③由於我們偵測選擇的觀察地點為一般道路，因此會有許多車輛經過，而根據觀察的結果，在車流量大的幹道旁幾乎沒有地衣，愈往山區，車流量愈少，地衣量愈多且分布愈廣。

2.以自製地衣觀察裝置分區觀測不同地區的污染程度比較：

我們選擇了四個不同典型的環境（市區、煉油廠、田邊、海邊）並設計實驗來了解不同環境對地衣所造成的影響（其中另置一相同實驗裝置於環境較佳的室內作為對照組），其實驗結果可提供民眾作為參考。由於放置時間有限，從外觀上來觀察並無太大的差異，故使用放大鏡及顯微鏡來觀察，其結果如下：

(1)放大鏡的觀察紀錄：

- ①市區的地衣和煉油廠的地衣外觀上看起來只有些微差異，但煉油廠的裂痕比市區的多，顏色較深，萎縮程度也較大。。
- ②田邊的地衣和對照組差不多，很難分辨，只有在邊緣處有極小的萎縮狀；海邊的地衣萎縮部份較田邊大一些，其餘並無太大

的差異。

(2)顯微鏡下的觀察紀錄：如下表 2~表 6 及圖 8~圖 13。

①表 2、對照組：

載玻片編號	淺綠色	深綠色	褐色斑點
1	97%	3%	0%
2	95%	5%	0%
3	93%	7%	0%
4	98%	2%	0%
5	92%	8%	0%
平均	95%	5%	0%

②表 3、市區觀察結果：

載玻片編號	淺綠色	深綠色	褐色斑點
1	80%	18%	2%
2	50%	45%	5%
3	40%	54%	6%
4	40%	50%	10%
5	50%	42%	8%
平均	52%	41.8%	6.2%

③表 4、煉油廠觀察結果：

載玻片編號	淺綠色	深綠色	褐色斑點
1	30%	55%	15%
2	45%	45%	10%
3	40%	49%	11%
4	65%	20%	15%
5	20%	70%	10%
平均	40%	47.8%	12.2%

④表 5、田邊觀察結果：

載玻片編號	淺綠色	深綠色	褐色斑點
1	80%	20%	0%
2	80%	20%	0%
3	90%	10%	0%
4	95%	5%	0%
5	80%	20%	0%
平均	85%	15%	0%

⑤表 6、海邊觀察結果：

載玻片編號	淺綠色	深綠色	褐色斑點
1	70%	30%	0%
2	80%	20%	0%
3	90%	10%	0%
4	85%	15%	0%
5	90%	10%	0%
平均	83%	17%	0%

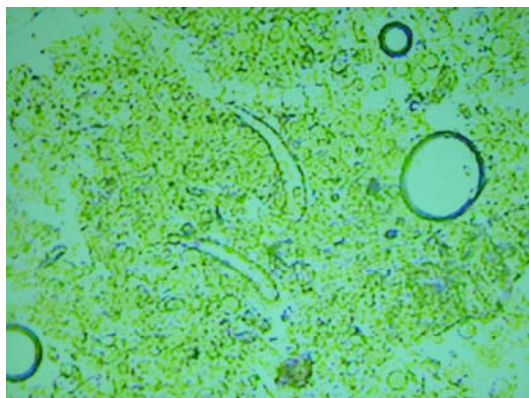


圖 8 對照組地衣中的藻類

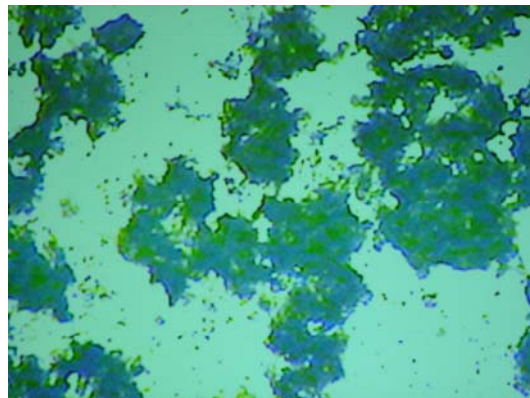


圖 9 放置市區一周地衣中的藻類

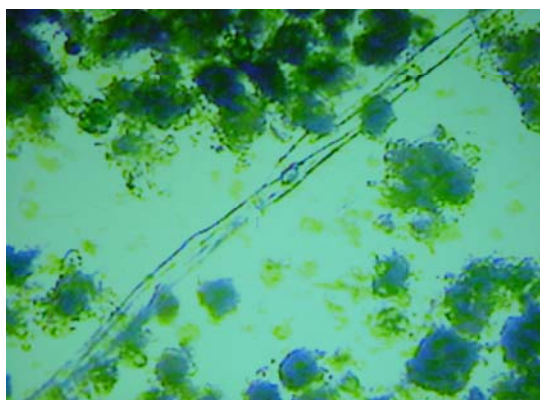


圖 10 放置煉油廠一周地衣中的藻類

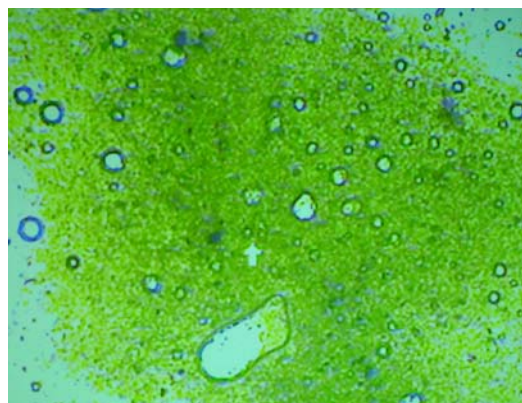


圖 11 放置田邊一周地衣中的藻類

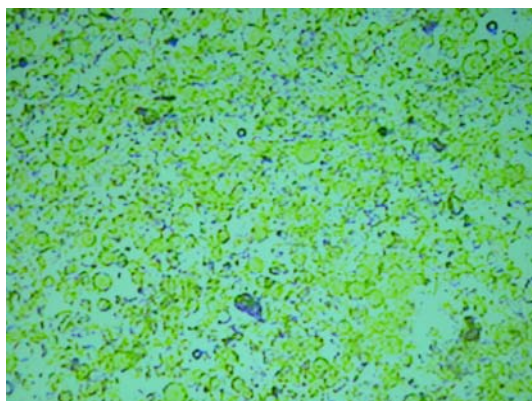


圖 12 放置海邊一周地衣中的藻類

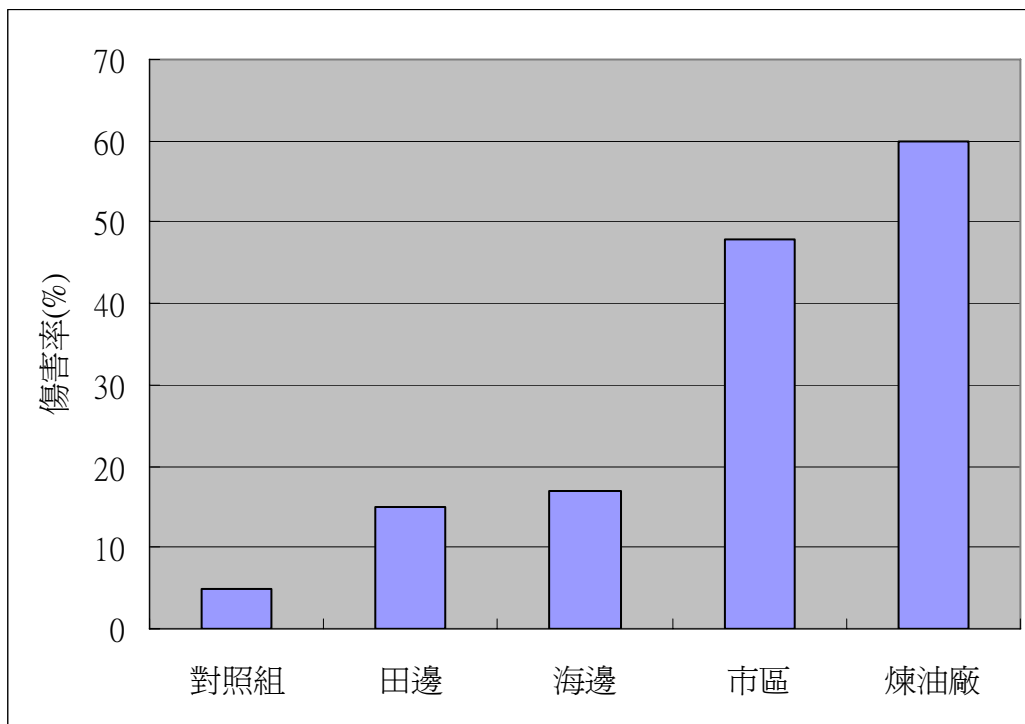


圖 13 不同環境對地衣的傷害率比較

(2)討論：

由實驗結果可知地衣破壞率為煉油廠>市區>海邊>田邊，這個結果顯示在煉油廠附近的空氣品質較糟，可能的原因是煉油廠排放廢氣中含二氧化硫等對地衣傷害較大的物質，使得地衣受到嚴重的傷害。住宅區的實驗結果傷害率也不小，其原因為可能是選擇的地點十分靠近省道，平時車水馬龍，排放廢氣嚴重，對地衣造成明顯的傷害。至於田邊及海邊，空氣污染較不嚴重，故對地衣傷害較小。

II.水污染物對地衣的影響：

1. 水溶液 pH 值對地衣的影響：

酸雨，是指硫氧化物、氮氧化物這些物質排放到大氣中後，因為光線、水分、氧氣等因素之影響產生了化學反應，最後產生了硫酸根離子和硝酸根離子。在人為污染排放方面，前者則與化石燃料使用、火力電廠、含硫有機物燃燒有關；後者主要源自工廠高溫燃燒過程，交通工具排放等因素。由於大氣中原本就含有二氧化碳，而雨水中也溶有一部分二氧化碳形成碳酸根離子（帶有微酸性），所以正常雨水之 pH 值應該是 5.6，如果雨水 pH 值在 5.6 以下，則就可稱其為酸雨。在研究空氣污染對地衣的影響時，我們同時也想了解水溶液酸鹼值是否也會對地衣產生影響，因而進行相關實驗研究。

(1)實驗結果：如表 7~表 8 及圖 14~圖 17 所示。

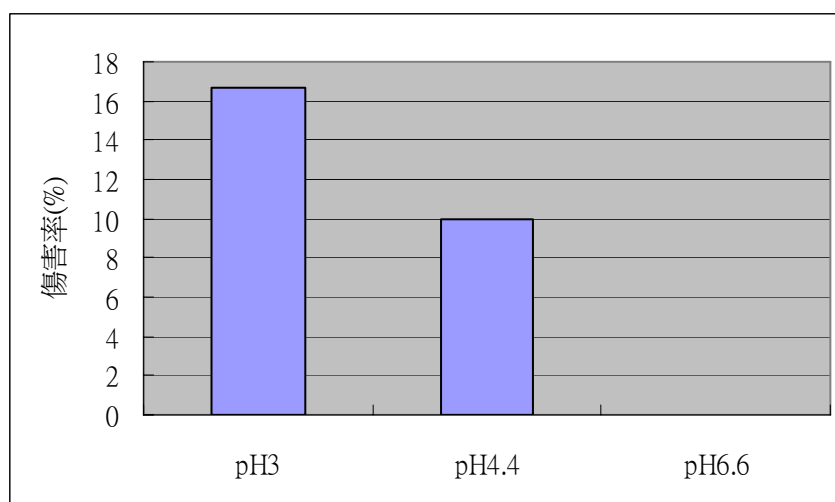


圖 14 不同 pH 值對地衣的影響（四天後）

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	• 顏色有變深的趨勢 • 有萎縮情形	• 顏色略為變深 • 萎縮情形不明顯	無變化
放大鏡	• 萎縮情形可輕易察覺，約只剩原來的四分之三。 • 呈現輕微的乾燥現象 • 顏色變深	• 萎縮情形較不嚴重，需仔細觀察方能察覺。 • 無乾燥情形	無變化
顯微鏡	• 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，與實驗前觀察者相同。 • 中倍： 深綠色藻類 17% 淺綠色藻類 75% 菌絲 8%	• 藻類群大都呈現淺綠色，但仍可發現點狀深綠色藻類分布於藻類群外圍。 • 菌絲呈現無色透明，與實驗前觀察者相同。 • 中倍： 深綠色藻類 9% 淺綠色藻類 81% 菌絲 10%	• 藻類群呈現青綠色顯然未受破壞。 • 菌絲呈現無色透明，與實驗前觀察者相同。 • 中倍： 淺綠色藻類 86% 菌絲 14%

	第一天	第二天	第三天	第四天
外觀	無變化	無變化	無變化	• 有輕微萎縮情形 • 顏色略變深
放大鏡	無變化	無變化	• 有輕微萎縮情形 • 顏色不變	• 萎縮情況可輕易觀察 • 顏色略深 • 有輕微乾燥情形
顯微鏡	• 藻類群呈現青綠色 • 菌絲完整 - 淺綠色藻類 92% - 菌絲 8%	• 藻類群仍呈現青綠色，與實驗前生長情形相同。 • 菌絲未改變 - 淺綠色藻類 92% - 菌絲 8%	• 藻類群外圍出現少量深綠色藻類且呈點狀分布 • 菌絲未改變 - 淺綠色藻類 85% - 深綠色藻類 7% - 菌絲 8%	• 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	• 顏色變深 • 有萎縮情形 • 表面有輕微乾燥的情況	• 顏色變的較深 • 萎縮情形明顯，且平坦處較縫隙處嚴重。 • 乾燥情形明顯，無光澤。	• 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。	• 顏色呈現深綠色 • 萎縮情形嚴重，平坦處呈現粉末狀態，縫隙處則較不明顯。
放大鏡	• 萎縮情況加劇 • 顏色變深 • 表面乾燥情形加劇	• 萎縮情形加劇，地衣體積約只剩實驗前的一半。 • 顏色變為深綠色 • 乾燥情形加劇	• 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	• 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	• 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%	• 藻類群的外圍大部份皆呈現深綠色，淺綠色藻類群則分部於中央位置。 • 菌絲未改變 - 淺綠色藻類 53% - 深綠色藻類 39% - 菌絲 8%	• 深綠色藻類群明顯增加 • 發現少量褐色斑點隨機分布於藻類群的外圍 • 菌絲未改變 - 淺綠色藻類 35% - 深綠色藻類 52% - 褐色斑點 5% - 菌絲 8%	• 深綠色藻類群繼續增加 • 褐色斑點略增 • 菌絲未改變 - 淺綠色藻類 19% - 深綠色藻類 64% - 褐色斑點 9% - 菌絲 8%

表 8 pH3 對地衣的影響每日觀察之紀錄

【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。

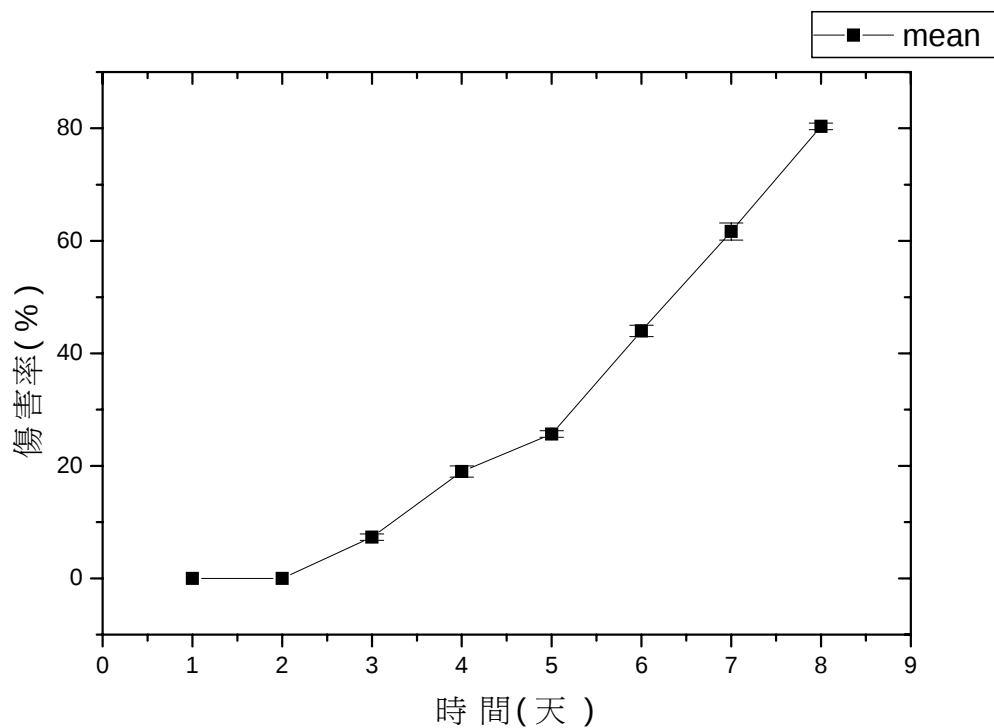


圖 15 pH3 緩衝溶液對地衣的傷害影響關係圖

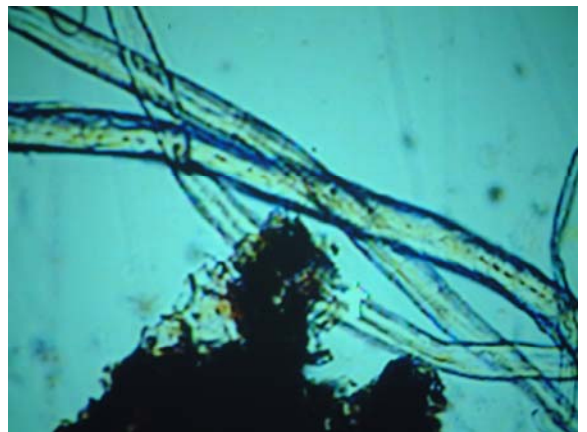
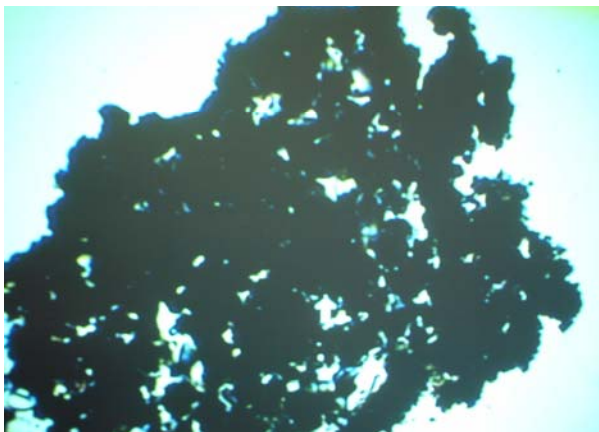


圖 16 受 pH3 緩衝液影響地衣中的藻類(八天) 圖 17 受 pH3 緩衝液影響地衣中的菌絲(八天)

(2)實驗討論：

- ① pH 值愈低，表示溶解的酸性物質愈多，對地衣的傷害愈大。
- ② 由於 pH3 的緩衝溶液對地衣傷害較明顯，因此以此組實驗作為代表。
- 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。

2.各種水污染物對地衣的影響：

(1)實驗結果：如下表 9~表 15 及圖 18 所示（各金屬離子為 0.01 M，漂白水則為稀釋 100 倍）。

表 9 銅離子溶液對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	變化不明顯	稍微萎縮	稍微萎縮	稍微萎縮
放大鏡	稍微萎縮	稍微萎縮，有部分呈較暗的綠色。	萎縮及暗綠色部分增加	萎縮及暗綠色部分增加
顯微鏡	菌絲完整 黑色藻類約 9 % 淺綠色藻類約 91 %	菌絲完整 黑色藻類約 16 % 淺綠色藻類約 84 %	菌絲完整 黑色藻類約 26 % 淺綠色藻類約 74 %	菌絲完整 黑色藻類約 32 % 淺綠色藻類約 68 %

表 10 鋅離子溶液對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	明顯萎縮	萎縮明顯，肉眼可看到的綠色部分很少。	地衣萎縮且顏色變暗	萎縮加劇，顏色更暗。
放大鏡	可看出部分地衣呈現暗綠色	暗綠色部分增加	地衣顏色呈暗綠色，幾乎看不到淺綠色地衣。	地衣顏色呈暗綠色，幾乎看不到淺綠色地衣。
顯微鏡	菌絲完整 黑色藻類約 31 % 淺綠色藻類約 69 %	菌絲完整 黑色藻類約 43 % 淺綠色藻類約 57 %	菌絲完整 黑色藻類約 66 % 淺綠色藻類約 34 %	菌絲完整 黑色藻類約 77 % 淺綠色藻類約 23 %

表 11 鉛離子溶液對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	變化不明顯	萎縮增加	萎縮增加	萎縮增加
放大鏡	有些微萎縮，部分地衣呈暗綠色。	稍微萎縮，有部分呈較暗的綠色。	萎縮及暗綠色部分增加	萎縮及暗綠色部分增加
顯微鏡	菌絲完整 黑色藻類約 18 % 淺綠色藻類約 82 %	菌絲完整 黑色藻類約 29 % 淺綠色藻類約 71 %	菌絲完整 黑色藻類約 34 % 淺綠色藻類約 66 %	菌絲完整 黑色藻類約 47 % 淺綠色藻類約 53 %

表 12 鎳離子溶液對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	有些微萎縮	萎縮增加	萎縮增加	萎縮增加
放大鏡	有些微萎縮，部分地衣呈暗綠色。	暗綠色部分增加	暗綠色部分增加更多	暗綠色部分增加，綠色部分減少。
顯微鏡	菌絲完整 黑色藻類約 14 % 淺綠色藻類約 86 %	菌絲完整 黑色藻類約 18 % 淺綠色藻類約 82 %	菌絲完整 黑色藻類約 31 % 淺綠色藻類約 69 %	菌絲完整 黑色藻類約 39 % 淺綠色藻類約 61 %

表 13 汞離子溶液對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	無明顯變化	無明顯變化	無明顯變化	無明顯變化
放大鏡	有些微萎縮	有些微萎縮	有些微萎縮	有些微萎縮
顯微鏡	菌絲完整 黑色藻類約 6 % 淺綠色藻類約 94 %	菌絲完整 黑色藻類約 12 % 淺綠色藻類約 88 %	菌絲完整 黑色藻類約 19 % 淺綠色藻類約 81 %	菌絲完整 黑色藻類約 27 % 淺綠色藻類約 73 %

表 14 漂白水溶液對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	有些微萎縮	有些微萎縮	萎縮部分增加	萎縮部分增加
放大鏡	有些微萎縮	暗綠色部分增加	暗綠色部分增加	暗綠色部分增加
顯微鏡	菌絲完整 黑色藻類約 8 % 淺綠色藻類約 92 %	菌絲完整 黑色藻類約 17 % 淺綠色藻類約 83 %	菌絲完整 黑色藻類約 27 % 淺綠色藻類約 73 %	菌絲完整 黑色藻類約 34 % 淺綠色藻類約 66 %

表 15 自來水及校園荷花池水對地衣的影響

	1 小時後	2 小時後	3 小時後	4 小時後
外觀	無變化	無變化	無變化	無變化
放大鏡	無變化	無變化	無變化	無變化
顯微鏡	無變化	無變化	無變化	無變化

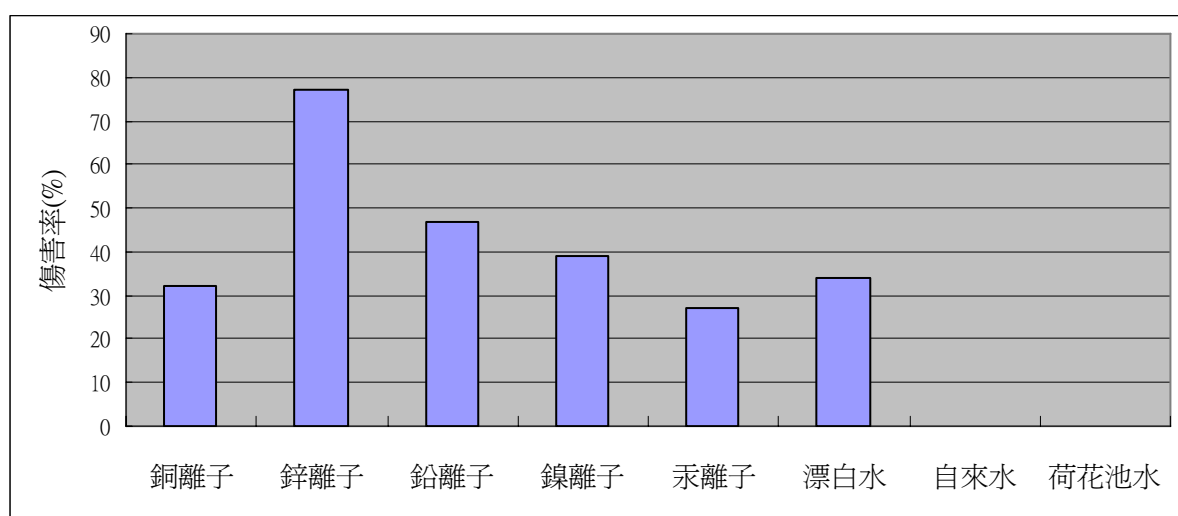


圖 18 不同金屬離子（均 0.01 M）、漂白水（稀釋 100 倍）、自來水及荷花池水對地衣的影響（四小時後）。

(2)實驗討論：根據表 9～表 14，可看出當環境水樣中金屬離子或漂白水濃度過高時，會對地衣造成傷害。因此，可利用此一現象來檢測電鍍工廠或高度金屬污染工業的排放廢水，若其廢水含大量金屬離子時，就會對地衣造成影響。此外，對於自來水及校園荷花池水的實驗中，幾乎看不到對地衣有任何影響，顯示自來水及荷花池水中所含的金屬離子很低，故對地衣不會造成傷害。

六、結論及應用：

地衣對空氣污染非常敏感，故可作為空氣污染的指標生物。指標生物之應用價值在於即使沒有高貴的儀器及專業的訓練，我們也可以藉由其生長的情形，對所處環境的好壞作簡單的評估。這個方法不但簡單、且不需花費任何費用，實可謂之自然的環境污染偵測器，極具應用價值。

地衣在受到污染物的傷害後，其病徵主要出現在原葉體上，根據實驗結果及我們所收集到的資料顯示：地衣的傷害是由藻類開始，藻類一旦死亡則菌絲因得不到養分而逐漸死亡，最後導致整個地衣死亡。本研究中，我們針對環境中最常見的汽機車排放廢氣進行實驗，發現此因素會影響地衣的生長，且對於地衣中的藻類有明顯的破壞性。此外，也針對水污染（酸雨、金屬離子及漂白水）對地衣的影響進行實驗，結果發現雨水 pH 過低、金屬離子濃度偏高、漂白水濃度漂高等因素，都會對地衣造成傷害。

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)地衣體表面顏色變深，有褐化或黑化現象。
- (2)地衣體萎縮、厚度變低且隨污染物累積而數量逐漸減少。
- (3)地衣體表面出現不正常裂縫，有乾化、崩解之現象。

(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。
- (2)當污染物嚴重堆積於地衣體內時，深色藻類群中會出現少許褐色或深紅色的斑點。
- (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。透過這次的研究，讓我們更加的了解生物與環境間的關係是密不可分的。只要能夠善加利用生物指標，就可以作到人人監控自己的環境，了解自己所處環境品質的好壞，進而關心自己週遭的生態環境。

七、參考資料：

- 1.賴明洲，台灣地衣類彩色圖鑑（一），行政院農業委員會
- 2.賴明洲，什麼是地衣？科學月刊 52
- 3.蕭淑玲、陳佳芬，台北市區及陽明山區樹生型地衣生態之調查研究，華岡理科學報 12，1995