



植物與空氣污染

省立教育學院 湯清二

科學教育近年來的趨勢，是謀求人類生存環境的諧和。在「七十年代的學校及科學教育」一文中，特別指出科學教育的目的是維持生物圈（Biosphere）內的諧和生活。當人類登入太空時，就深深體會，我們居住的地球有如太空船一樣，需要珍惜，在統整科學教育（integrate science）中，亦將環境教育列入教材之內，且是重要一環。而我們知道環境生態問題根本解決之道在於教育，所以先進國家將環境教育列入科學教育的範疇之內。國內在這方面的介紹較少，尤其是植物與空氣污染，由於筆者工作地點處於本省空氣污染最嚴重的地區之一，想借貴刊一角，根據多年研究的心得，從生物學（以植物為主）角度來介紹空氣污染與植物，使各位讀者能概略的了解，並請惠予指教。

近年來人類爲了維持生存、改善生活、提高生活水準，使更爲美滿，乃積極開發天然資源、廣設工廠、礦場、產製各種產品以供人類享用。又因人口的不斷增加，資源的消耗更見龐大，在衆多工業產品大量製造的過程中，產生許多廢物、廢氣、廢水，使吾人生存環境的品質，發生了嚴重的污染，受到了甚大的危害。

我國這些年來，由於國人的努力，經濟發展已將進入已開發國家之列。因之各種工廠、礦場、發電廠林立，環境污染（Environmental Pollution）接續而來，污染區域日趨擴大，不但農林作物受到損害，賠償糾紛，層出疊見。而環境衛生趨向惡劣，使國民健康深受影響，更受到政府與社會的重視。

植物一向被認爲對空氣有淨化的能力。據說日據時代日本人攻打霧社時，曾使用毒氣，但因當地林木參天，屢次沒有成功。同時植物對落塵（Dustfall）及噪音等均有改善的效果。

據報告國外空氣污染危害植物的情形，有下列幾個主要事例，如美國洛杉磯市東南方的隘口，部份污染物可由此吹飄至200公里外，使該地區植物受害。遇雨時，空氣污染物被雨水所冲刷

流入土壤或溶於水中，均可減少爲害。但在細雨濛濛的情形下或在逆溫時，空氣中 SO_2 與水作用形成亞硫酸（Sulphurous acid），或硫酸鹽（Sulphates）對植物更增加其危害。如斯坎的那維亞半島（Scandinavia）的酸雨（Acid Rain）和黑雪（Black Snow）係由英國和魯爾工業區的污染由風吹來所造成。在加拿大安大略省（Ontario）的森林，受到二氧化硫（ SO_2 ）之影響，在12哩範圍內的林木全死；而半數以上林木致死的距離遠達24哩；輕微受害的距離，就更遠了。其受害面積約達150平方哩（Square miles），其林木之經濟損失單受二氧化硫影響十年間（1953～1963）即達一百多萬美金。美國森林亦面臨空氣污染之嚴重問題，例如：加州洛杉磯之植物呈現銀葉（Silver leaf）之病害，最後經證實乃由汽車排氣經光化學反應形成的氧化劑所致。本省植物受空氣污染之害亦時有所聞，例如彰化山中里附近之大葉桉、菩提樹均受空氣污染所影響，生長情形不良，甚至枯死。

空氣污染除了對植物有傷害外，對人畜亦產生很大影響。有毒氣體及污染物對人畜的呼吸器官如氣管、咽喉等以及眼睛均產生傷害。

植物是空氣污染的最好指標

當然測度空氣的污染情形，最好用精密儀器測定，但綠色植物對空氣污染物較儀器敏感，因此植物是空氣污染的最好指標（indicator）。不同樹種對不同的有毒氣體（如 SO_2 、 Cl_2 、 H_2S 、氟化物等）的容忍性（tolerance）、耐性和敏感度不同。有些低等植物如地衣（Lichen）和苔類（Moss）等對空氣污染很敏感，可以當做污染的指標，同時也是好的探測器（Monitor）。世界各先進國家，早就重視此一問題，究竟那些樹種抗拒污染能力較強？那一種較敏感？值得吾人加以探討，提供林業工作上的參考。又有毒氣體危害林木的生理情形如何？植物受傷的部位是一定的，且受傷程度因植物而異，因樹種不同而異，也因氣體種類之不同而異，據A. C. Stern 稱：臭氣（Ozone）危害植物葉片的柵狀組織（Palisade cells），而毒霧（Smog）危害植物葉片的海綿組織（Spongy Paranchyma Cells），如此也可以做為鑑別污染物的參考。此外植物是空氣污染最好的指標還有下列理由：

1. 植物本身對污染物而言，無時無刻都在接受。
2. 對於不同的污染物，不同植物品種有不同的抗性（Sensitivity）。
3. 因為氣孔通常在白天啓開著，用葉片分析可以比較白天和夜間的污染情形。
4. 不同的污染物經葉片分析，可以知道葉的受害部位及污染情形。
5. 田間試驗（Field, Ex.）檢查可以知道一年或以後幾年的污染情形，尤其是針葉（Conifers）每年生長一次同時存在數年更有利研究。
6. 綠色植物對空氣污染物較儀器敏銳。

空氣污染及危害的分類

A 空氣污染及危害的分類

- 天然污染：如火山爆發
- 人爲污染（Artificial Pollution）
 - 可見傷害（Invisible Injury）
 - 隱藏傷害（Hidden Injury）
 - 急性傷害（Acute Injury）
 - 慢性傷害（Chronic Injury）

B 空氣污染物（Air pollutants）的分類及來源

主要污染物分類

第一類是氣體

如臭氧（ O_3 ）、二氧化硫（ SO_2 ）、二氧化氮（ NO_2 ）、氟化物（F）、氯（Cl）、硫化氫（ H_2S ）、乙烯、 NH_3 、PAN₃

第二類是固體

如落塵（塵埃）、重金屬粒子

主要污染物來源

(一) 二氧化硫（Sulfur dioxide SO_2 ）：二氧化硫為無色的氣體，有刺激性的奇臭，較空氣重2.2倍，性不穩定，易溶於水。在各類污染物中 SO_2 由於來源廣泛而普遍，所以為發生最多，亦為人類發現最早的污染物。 SO_2 的為害顯著，亦為吾人所最重視者。其主要的來源有：

① 以煤為燃料的排煙中含有二氧化硫。煤內的含硫量，由於煤質的不同而有多寡，一般為煤的重量的0.7~2%，亦有高達6%者。由於煤是人類主要的熱能源，使用極為普遍，因此由煤的燃燒所產生的 SO_2 ，在空氣中佔絕大成份。

② 石油的燃燒亦為空氣中二氧化硫的重要來源。目前石油的使用極為普遍，舉凡工廠、發電廠等的燃料、各種車輛的動力，均使用石油特別是重油，其排煙中的 SO_2 亦為空氣污染的重要來源。據測驗，中東地區所產生的重油含硫量平均約為2.6%，燃燒100噸重油，即可排出約5.2噸的 SO_2 於空氣中，其對空氣污染之嚴重，實在驚人。

③硫酸及硫磺之製造所發生者。

④金屬礦物之精煉與製造所發生者。

⑤天然氣之生產及其他所發生者。

(一)硫化氫 (H_2S Hydrogen Sulphide) : 硫化氫亦為硫化物 (Silphides) 中造成空氣污染的重要污染物質。工廠中燃燒重油及煤, 除產生 SO_2 外, 尚產生 H_2S , 對植物造成危害。

(二)氟 (Fluorine, F_2) 及氟化物 (Fluorides) : 氟及氟化物亦為重要的空氣污染物。其主要來源為鋁煉裝廠、磷肥製造廠、煉鋼廠、磚廠、陶瓷工廠等。而以煉製鋁時, 用氟量多, 其中半數變為廢氣排出為最嚴重。氟化物中以氟化氫 (Hydrogen Fluoride H_2F_2) 的產生為最普遍, H_2F_2 為無色之液體, 比重略輕, 極易揮發, 有劇毒, 在空氣污染物中以蒸氣態存在, 易被植物吸收, 對植物有強烈之毒性, 在 SO_2 為害濃度的 1% 的低濃度下, 即可對植物有害。惟此一污染物的發生, 僅在有限工廠中排出, 遠較 SO_2 的範圍為小。

(三)氯 (Chlorine, Cl_2) 及氯化物 (Chlorides) : 氯及氯化物之主要來源為塑膠廠、玻璃工廠等。

不同污染物對植物的傷害

當植物暴露於有毒空氣時, 植物的受傷部位是一定的且受害的程度, 因植物而異, 須要仔細檢查, 因為還有其他的因素如土壤、氣候條件 (光、濕度、溫度、風向)、樹齡、葉齡、生育時期、品種、病蟲害, 以及人為傷害等因素所影響, 因此要鑑別是不容易的, 況且還加上協成作用 (Synergistic effect)、拮抗作用 (Antagonistic effect) 的影響, 傷害情形有相似情形, 容易混淆, 故研究污染物對植物傷害誠屬重要, 茲簡單介紹幾種重要污染物對植物的傷害情形:

(一)光化學反應: 在空氣中常含氮、氫化合物及一些未飽和的氮氫化合物, 這些物質暴露在陽光下吸收了紫外光後, 產生了一連串的化學反應而產生 PAN (即 Peroxy Propionyl nitrate,

Peroxybutyl nitrate Peroxyacetyl nitrate, 此等總稱為 PAN'S), 另外在光化學反應後亦產生臭氧 (O_3)。

A、臭氧對植物的傷害

臭氧對植物會構成多種形式的傷害, 以菸草斑點病 (Tobacco fleck) 為例, 當烟葉暴露於臭氧引起無數的小斑點, 剛開始時烟葉呈黑色小斑點, 隔 24 小時後黑色小斑點漸漸轉淡, 再經數天後則變白。對四季豆而言, 在葉上表面呈現黑色斑點而後整個葉子呈漂白狀。植物受臭氧之傷害主要是由於葉子之柵狀組織被破壞, 其細胞壁開始潰爛, 葉綠素被破壞, 木本植物的葉子暴露於臭氧時葉上呈紅棕色斑點, 當柵狀組織被傷害時, 產生非連續性的孔洞。

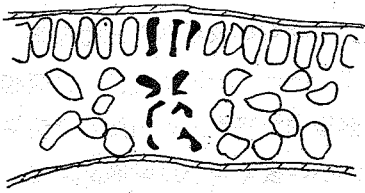
B、PAN'S 對植物的傷害

PAN'S 對許多植物的幼苗及幼嫩的葉子有極大的毒害作用, 可以看到的傷害是葉子呈黃銅色斑點、銀白色帶及雪白色帶 (Leaf banding)。因此有人說受 PAN 危害的植物是銀葉特徵 (Silver Leaf Symptom)。受 PAN 傷害的葉子, 其海綿細胞及下表皮細胞萎縮, 使葉綠體喪失它的完整性。暴露時間延長則海綿細胞萎縮, 細胞質變成淡色或棕色。

(二)二氧化硫 (SO_2) 對植物的傷害

二氧化硫可引起急性及慢性的傷害, 其急性的傷害是葉子枯黃、脫落, 並從葉尖、葉緣及葉脈間開始。葉綠素被破壞, 受害部份葉色變成棕色, 葉脈仍呈綠色, 當受害部份達約 $\frac{1}{3}$ 時, 即落葉。慢性的傷害, 葉子呈棕紅色的斑點, 腫脹, 而後葉子變白。而馬尾松 (一般松類 *pinus* 亦類似) 的傷害是葉的尖端受害, 葉綠素喪失, 葉色由淡綠色漸呈灰綠色及褐色, 最後呈棕色。葉肉組織內細胞有原生質分離現象, 且表面失去臘質。同時, 我們經常發現在葉針的中央部份常呈環帶狀 (band) 的黃褐色乾枯, 隔一段時間, 則此環帶部份 (變色部份) 相連接繼續擴大。一般言之, 葉面上具有臘質的植物較不易受 SO_2 的危害。 SO_2 危害植物生理情形和氟化物不同, SO_2

危害潤葉樹的生理情形，是從氣孔進入，先行危害氣孔附近的細胞，再使海綿組織受害，最後將柵狀組織破壞，如模式圖一。

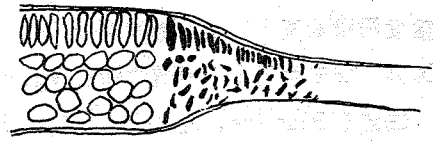


模式圖一

(三) 氟化物對植物的傷害

氟化物對植物的傷害最易鑑別，本省也曾發生氟化物對農作物的傷害，例如氟化物危害毛柿，其有毒氣經氣孔進入葉細胞後，被輸導 (transposed) 在葉的尖端及葉緣處，當這些組織細胞內氟的濃度累積增加達到受害濃度時，細胞和組織開始受害，自葉尖、葉緣向內開始變色，當葉色變成紅棕色時，組織即行死去，此一紅棕色受害部位與正常組織間常有明顯的黑色狹線。且葉受害部份成波狀或帶狀，所呈現的紅棕色也不

因葉的死亡而褪色。而氟化物危害潤葉樹的生理情形，有毒氣體，亦是由氣孔進入樹體，隨水流輸導集聚至葉尖及葉緣，破壞細胞，其情形如模式圖二。



模式圖二

四氯化物對植物的傷害

植物受氯氣傷害的顯著地方是葉的尖端、葉緣及中肋處，中年的葉子受氯的傷害最容易，其次是老葉，再次是嫩葉。一般植物受氯為害，葉有漂白現象，呈黃褐色。

(四) 乙烯 (ethylene) 對植物的傷害

乙烯是一種植物賀爾蒙，導致植物生理反常，如形成花瓣畸形、枝葉下垂、早期落葉，同時有抑制植物生長作用。

不同樹種對污染的容忍程度

今以二氧化硫為例，說明植物對 SO_2 的抗性。如表 1

表 1 一般常見植物對二氧化硫危害之抗性指數

Table 1. Relative sensitivity of common plants to injury by Sulfur Dioxide

(Determined by O'Gara)

敏感 Sensitive	中度 Intermediate	頑強 Resistant
苜蓿 Alfalfa 1.0	花菜 Cauliflower 1.6	曇華 Canna 2.6
大麥 Barley 1.0	蕃茄 Tomato 1.7	玫瑰 Rose 2.8
棉花 Cotton 1.0	蘋果 Apple 1.8	馬鈴薯 Potato 3.0
香豌豆 Sweet pea 1.1	包心菜 Cabbage 2.0	楓樹 Maple 3.3
錦葵 Mallow 1.1	蜀葵 Hollyhock 2.1	忍冬 Honeysuckle 3.5
菠菜 Spinach 1.2	醋栗 Gooseberry 2.1	木槿 Hibiscus 3.7
萵苣 Lettuce 1.2	韭菜 Leek 2.2	洋蔥 Onion 3.8
南瓜 Pumpkin 1.3	葡萄 Grape 2.2-3.0	玉蜀黍 Corn 4.0
燕麥 Oats 1.3	桃 Peach 2.3	菊花 Chrysanthemum 5.3-7.3
酢醬草 Clover 1.4	樺木 Birch 2.4	香瓜 Muskmelon 7.7
小麥 Wheat 1.5	李 Plum 2.5	水蠟樹 Privet 15

二氧化硫對植物之危害亦受環境因子之影響，較易危害之狀況包括①強光之照射（尤以晨間為明顯）②高相對濕度③適量的水份供應④適中的溫度。其理論乃由於以上多種狀況皆能促使氣孔打開，而增加二氧化硫之被吸收量。

※不同樹種對污染物的抗性指數為當植物暴露於二氧化硫 1.25 ppm 的空氣中一小時，則植物受害，此時其指數為一，若在 2.50ppm 一小時則受害，則指數為 2，餘類推。

結論與展望

(一)我們知道空氣污染在本省日益嚴重，也是當前不容忽視的重要課題，在國家高度發展成安和樂利社會中，如何提高生活環境品質及維持生態系的平衡是科學教育的趨勢。

(二)在防治污染方面，當然最好是不排放廢氣，但事實上有困難，因此應在治本及治標上多謀發展。

A 治本方面

1. 希望會產生有毒污染物的工廠，儘量避免輸入（當然國防工業例外）。

2. 限制或輔導產生污染空氣之工廠的設立，政府最近幾年已積極在進行，如大園工業區的設立，將會產生污染的工廠集中。

3. 嚴格管制及執行污染空氣的排放標準。希望污染的程度，讓大氣中有自淨能力為度。

4. 希望衛生工程方面能儘速謀求解決辦法。（如回收及副產品等。）

B 治標方面：

1. 增加煙鹵高度。

2. 廣泛栽植耐污染的樹木。

3. 全省普設污染物監視站全天候監視（政府業已施行）。如當污染物濃度太高時，應加以制止工廠排放廢氣。

總之，我們必須重視這一問題，因為空氣污染這種危害即使濃度低時，也只是隱藏危害，但會產生累積的作用，如果危害已至可見程度時，欲求補救，為時已晚矣。（本年第一次國建會亦討論這問題），而其他有關植物與空氣污染深入研究尚待大家繼續努力。

主要參考文獻

1. 王子定 美國森林面臨之嚴重問題——空氣污染 今日造林 第 49 期 1973
2. 張中和 森林保護 中興大學農學院叢書 1967 年 5 月
3. 張中和、湯清二 空氣污染對林木生長之影響研究 國立中興大學森林系 1974
4. 張中和、湯清二 空氣污染對林木生長之影響研究（續） 國立中興大學森林系 1975 年 2 月
5. 周昌弘 空氣污染對植物的傷害 大陸雜誌 第五十六卷 第五期
6. 吳龍溪 植物污染性病害之商榷 科學農業 第十八卷 第七、八期 1970.7
7. 路統信 空氣污染對於林木之為害 中華林學季刊 第四卷 第三期 1971.6
8. 淺川照彥 大氣污染の實態と公害對策 P220
9. 山添文雄 植物被害の原因とな爲大氣汚染物質 植物防疫 第 27 期 第 6 號 1973 P220
10. 井上敏雄 亞硫酸ガスによる樹木の被害 植物防疫 第 27 期 第 6 號
11. P. A. MURTHA Ertis: Records SO₂ fume damage to forests, Wawa, Ontario December 1973. The Forestry Chronicle Page. 251-252.
12. Samuel N. Linzon: Economic Effects of Sulfur Dioxide On Forest Growth Journal of the Air Pollution (下接 49 頁)

Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	G	σ	π	λ	μ	δ	ζ			
2	ϕ	θ	ρ	R	S	N				
3	A	B	C	ω	ϵ					
4	D	E	F	η	Y					
5	H	M	K							
6	P	Q								
7	V									
8										
9										
10										

在上表中共有十列，每一列有 $11-n$ ($n=1, 2, \dots, 10$) 個正方形，在第一行或第一列的正方形都是相同的數目。

由於當時還不流行雙重足碼的記數法，因此，他只好選用一些拉丁字母或希臘字母 (G, ϕ

參考資料：

H. Meschkowski, Ways of Thought of Great Mathematicans, Holden-Day Inc. 第 33 ~ 45 頁。

(上接 39 頁)

Control Association February

13. Henry C. Wohlers and Thomas H. Snape:

Air Pollution Detection Vol III

Number 2 Dec. 1973

Journal of College Science

Teaching.

1971 Volume 21 NO.2 page 81-

86.

14. A. C. Stern: Air pollution Vol I 1968

page 257-280.

15. Air pollution Damages trees: U. S.

Departement of Agriculture.

(上接 45 頁)

本)

2. 簡茂發等著：教育研究法 (台灣省國民學校教師研習會出版)

3. 教育部中等教育司：高級中學科學課程問卷調

, A, D, ...) 來表示正方形的名稱，如果用現在的符號 $a(m, n)$ 來表示第 m 列第 n 行的數，則我們可以看出巴斯卡三角形是依下列法則造出來的：

左上角第一個正方形的元素是可以任意選定，一旦定好後其他位置的數也可定了！因此，這個數也稱為母數，其他位置的數是依 $a(m, n) = a(m-1, n) + a(m, n-1)$ 定出來，也就是 $a(m, n)$ 這個數是緊鄰它的左邊正方形的數與它的上方正方形內的數之和。

當然這裏滿足了下列的初步條件：

$$a(m, n) = a(m, 0) = 0$$

因此，若經選定 $a(1, 1)$ [表中取成 1]，則可得到如此的巴斯卡三角形。

巴斯卡除了建造這個三角形外，還導出了相當於目前熟知的幾個組合公式。當然，現在常用的巴斯卡三角形，已經不再是原始的形式，但是，我們仍可看出它與原始巴斯卡三角形的關係。

查統計分析 (師大科教中心編印)

4. 唐守謙著：現代教育統計學 (台灣書店)

5. 李長貴著：心理學與教育學統計法 (正中書局)