

組織化學在空氣污染偵測上之應用

前 言

在高度工業發展的國家，以及人口密度偏高的地方，空氣污染的情形常非常的嚴重，許多學者認為，這些污染的空氣會造成植物傷害，嚴重的影響到植物生長，因此開始研究許多農作物對空氣污染之反應。譬如，美洲及歐洲正面臨森林滅絕的問題，問題的成因雖尚未完全明瞭，但可確定的是空氣污染對樹木造成的逆境，扮演重要的角色。原因是高濃度的二氧化硫及氮氧化物所產生的煙霧傷害了幼葉組織。許多逆境因子及污染源共同造成樹木白化、老化及落葉。

由於森林面積的減少，會造成自然界中的空氣淨化區逐漸消失，因此，開始有學者利用落葉當作空氣污染的指標，但落葉的原因很多，用來作為污染的指標常不具專一性。也有文獻指出，赤松組織微細構造的變化情形和環境逆境具相關性。根據許多學者針對葉片構造的變化與環境的關係研究的結果，發現葉片微細構造有季節性的變化，同時也證明空氣污染會造成葉肉及葉脈細胞微細構造的傷害。

空氣污染所造成胞器的變異主要是在葉綠體及膜系。同時，空氣污染除對樹木產生直接的傷害外，還造成間接的傷害，如碳的同化過程改變，造成樹木衰弱，因而葉片對冬季低溫產生凍傷的敏感性提高，或對其他環境因子的敏感度也提高，致易受其他逆境的傷害。因此，利用組織化學法似乎可作為一種有效的偵測工具，來偵測環境品質之惡化。本文的目的，即在介紹以組織化學法偵測空氣污染對植物微細構造上產生的傷害情形及其加成效果，並評估此法在偵測方法及利用上的可行性。

二 氧 化 硫

二氧化硫的來源包括：煤炭業、石化工業、天然氣及火力發電系統

，對植物的影響徵狀為，自葉脈葉緣開始黃化甚至脫落，早期研究多用短時間下高濃度處理，造成葉肉組織崩解，且直接、間接造成表皮及內皮維管組織的傷害。由生理上的分析可知，二氧化硫溶於水中，產生硫酸根離子，造成酸性毒害，干擾代謝，打斷雙硫鍵，抑制 ribulose biphosphate carboxylase (RuBPCase) 和 phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPCase) 活性，影響光合作用進行，最後造成葉綠素的分解，但試驗中所用的濃度過高，故無法正確反應出日常狀況及測知最小的生理反應。近年來試驗多採用小於 1ppm 的低濃度，長期燻蒸處理，以瞭解植物的最初生理反應。

以二氧化硫處理的松、樅為例，光學顯微鏡下觀察發現，傷害主要出現在葉肉細胞中，柵狀薄壁細胞變形，生長速率較慢，也無法形成正常的摺疊形式；維管組織中，形成層的分化能力、導管和篩管細胞的形成速率也下降。細胞層次上則可見細胞壁、細胞核及葉綠素的變形，雖然低濃度的處理下細胞並無崩解，但有細胞質的溶解，故染色情形較正常者淡且不均勻，safranin-orange, hexatoxylin, periodic acid-schiff's reagent (PAS) 的染色皆在細胞壁附近有較強的反應，細胞中央顏色很淡。

除此之外，蛋白質及細胞質絲的組成物—磷脂的量也較少，且多呈現不連續性分布，因此可能造成細胞膜破裂。相反的，含單寧的葉肉細胞比例有上升的趨勢。許多報告中皆指出，不論是利用 PAS 染色顯示細胞中澱粉的含量，或直接調查澱粉粒的數目及大小，經二氧化硫處理者的量都較少，若處理的時間久，甚至完全消失。

利用穿透式電子顯微鏡觀察經二氧化硫處理過之植物組織，和光學顯微鏡下的結果很相近，葉肉組織中的細胞發生變形，葉綠體膨脹，其中的葉綠餅亦膨大且數目較少，而基質、基粒除了形態改變之外，以赤松為例，其數量下降約 $\frac{1}{3}$ ；但是位於葉綠體外澱粉粒附近的質體球和蛋白粒中的脂肪粒數目則大增；而篩管、導管細胞等輸導組織中的情形則和正常細胞反應相似。

二氧化氮

二氧化氮的污染源和二氧化硫相同，皆為煤炭業、石化業、天然氣及火力的發電系統，產生的傷害徵狀為葉緣或葉脈上發生白色或棕色的組織崩潰現象。

光學顯微鏡下所觀察到的二氧化氮處理，造成葉肉細胞中含有澱粉的質體數目下降，和二氧化硫者相反；而輸導組織的細胞中，含有澱粉的質體數目約 6～8 個，與正常者相同；葉肉及輸導組織的細胞中單寧及酚類化合物的含量和其他內容物皆和正常者相近；且有一些結晶狀的物質，存於厚壁細胞中，但成份及來源尚未知。

穿透式電子顯微鏡下所觀察到的輸導組織，經二氧化氮處理後，發生單寧聚集的情形，而一般正常的細胞或經二氧化硫、臭氧處理者則無此一情形。葉肉細胞中葉綠體的長度愈小，含有澱粉的質體數目則減少，但所有質體皆有腫大的情形發生，而且葉綠體中的葉綠餅也有膨大的現象，表示膜系受到傷害。除此之外，基粒的數目銳減成原有的 $\frac{1}{3}$ 。

臭 氧

臭氧造成許多種類的植物產生顯微構造上的變異，葉綠體是第一個受影響的胞器。以高於 0.03ppm 濃度的臭氧處理，會造成基質密度增加、結晶纖維形成及膜系的破壞，也會造成細胞質的聚集。以 0.1ppm 的低濃度處理則可造成葉綠體皺縮，長期燻蒸臭氧亦造成未成熟的葉肉細胞中原生質剝離，或葉綠體及原生質聚集在細胞邊緣的狀況；葉肉中含有澱粉的質體數目則不似二氧化硫處理的減少，及二氧化氮處理的增加，而是與正常者無異。輸導組織中活細胞內含澱粉的質體數目也和正常者相同，約 6～8 個。

以 0.1ppm 之低濃度臭氧處理植株，利用穿透式電子顯微鏡觀察，發現葉綠體內質體球數量及體積增加，葉綠餅膨脹，另外也造成基質中粒狀物的皺縮。但是若以臭氧處理赤松，卻發現葉綠餅的構造及基粒的

形成並不受影響，葉肉細胞中含澱粉的質體數目雖不變，但長度增加，表示各植物種間的差異性很高。

除了種間的差異之外，同一種植物各株間甚至同一株內各細胞間的歧異性也很高。例如：地衣，有些種可耐臭氧處理，亦即產生的傷害情形不明顯，有些種類則反應明顯。即使同一株植株中，各部位細胞亦有相當大的差別，如 *Flavoparmelia caperata* (L.) 經處理12小時後，有些細胞保持完整，有些雖有質離現象，但葉綠餅仍存在，另有些細胞不僅質離，胞器模糊不清，且有大而明顯的空洞。

二種以上污染源

以二種或以上的污染源共同處理，對植物的傷害不一致，有的產生補償的效果，有的卻是加成作用。以二氧化硫及臭氧共同處理為例，在輸導組織、葉肉細胞中並無明顯的形態及組織上的變化，只是在一些細胞中有較高的澱粉含量。在電顯下觀察亦是如此，共同處理者及正常者的葉綠體、葉綠餅及內部的澱粉粒皆呈現完整的狀態。唯一的差異在篩細胞，正常者會在篩細胞間產生 $1.5\sim 2\mu\text{m}$ 的厚壁，而單獨以二氧化硫或臭氧處理也會產生厚壁，但以二氧化硫及臭氧共同處理則無此現象，只有約 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 的薄壁。共同處理下所造成的傷害反不及單獨處理所造成的傷害，表示二者有相互補償的效果。

但也有些例子（如樅）顯示，傷害多集中出現於柵狀薄壁細胞中，不僅有單寧的累積，且澱粉粒完全消失，表示傷害情形較單獨處理時嚴重。在篩細胞中，共同處理的結果，造成正常的篩管相當少，即輸導作用遭受損害。在葉綠體中亦有較臭氧或二氧化硫明顯的破壞情形，在顯示有加成效果的存在。而以地衣為例，不論是 *Flavoparmelia caperata* (L.) 或 *Umbilicaria mammulata* (Ach.)，以二氧化硫或臭氧單獨處理12小時或20小時，皆造成傷害，甚至產生質離現象；但共同處理的結果則和正常者相近，雖然各細胞有差異存在，但大體而言，傷害不大，膜系保持完整，和赤松相同，也有補償效果。

也有一些報告指出，利用臭氧及二氧化氮共同處理，膜系、胞器的完整性較單獨處理來得好，表示有補償效應的存在；而澱粉的累積卻有加成的效果。二氧化氮、臭氧及二氧化硫三者共同處理的效果則更趨複雜。

結 論

由以上可知，組織化學法的確為一個有效的偵測工具，可以測出各別污染源對植物組織的直接傷害情形、對組織發育的影響，及最易發生的受害部位。因此，可利用在今日日益嚴重的空氣污染問題上，做為一個偵測方法。各污染源以不同濃度加以混合處理，或處理至不同植物上，所產生的反應不一，複雜性相當高。必須對各種不同植物，各種濃度之混合處理，有系統的加以研究，必可提昇組織化學法的實用性及準確性。

(資料提供：高佑靈、范基南)