

植物空氣污染病害診斷鑑定技術

謝式垚鈺

國立中興大學植物病理學系

引起植物病害可分為生物及非生物性因子，亦有區分為傳染性及非傳染性，空氣污染引起之植物病害屬於非傳染性病害之一。空氣污染物早在十四世紀由於人類開始利用煤當燃料就成為社會問題，尤其近三十年來，由於工業快速發展，使得空氣污染問題更趨嚴重。

依我國空氣污染防治法中對空氣污染物所下的定義是：空氣中足以直接或間接妨害國民健康或生活環境的物質，包括的種類依形態分有氣狀污染物(SO_x, NO_x, CO, HF 等)、粒狀污染物(酸霧、懸浮微粒、金屬煙煙等)，另依產生之情形有二次污染物(O₃, PAN 等)，以及味道為惡臭物質(H₂S, NH₃ 等)。

空氣污染物的種類依其組成份分為硫化物(SO₂ , H₂S 等)，氮化物(NO₂ , NO 等)，碳氧化物(CO₂ , CO 等)，鹵素及鹵化物(F₂ , HF , Cl₂ , HCl 等)，氧化物(NO_x , O₃ , PAN 等)，揮發性有機化合物，煤塵煙霧，酸性降水等。其中二氧化硫在所有空氣污染中所佔之比例最高，同時也是最早發現引起作物損失之有害氣體。依其對動物之毒性較強者，屬於所謂「A 級的污染物」一包括氟化氫、四氟化矽、氯氣、氯化氫、乙烯、臭氧和 PAN(過氧硝酸乙醯酯類)。在這些空氣污染中在本省較重要且普遍者有二氧化硫、氟化物和臭氧，本文將以此三種污染物為主，並敘述其他次要污染物之來源、造成之病徵、鑑定方法及其他相關研究。

粒狀污染物(Particulates)

粒狀污染物在大氣中有很多型態，可由很微細的氣膠(sub-micron aerosols)到可視落塵(dust)，這些粒狀污染物對植物的影響依他們的大小、累積量和化學性質而異，粒狀污染物如直徑小於 10 μ m 者稱為 PM₁₀，此種粒狀污染物通常長期懸浮在大氣中而被稱為懸浮微粒(suspended particulate)，此種粒狀污染物對人類的健康影響較大。粒子大小除影響其在大氣中的停留時間外，尚影響其被傳送距離，根據調查一條未經鋪設道路顯示，如微粒直徑大於 50 μ m 大都會降落在道路邊緣 8m 以內，而距離道路 30m 很少有微粒直徑大於 20 μ m 來自道路。

來源

1. 自然發生：風吹土壤；塵暴；火山爆發等。
2. 採礦、礦產及其他工業如水泥廠、肥料廠。

3. 道路的使用特別是未經水泥或瀝青等鋪設者(圖 1-2)。
4. 機動車輛所排的廢氣。

植物表面之附著

1. 沈降(sedimentation)：由地心引力把微粒下降到植物表面。
2. 擴散(diffusion)：懸浮微粒由擴散作用而直接接觸到植物表面。
3. 亂流(turbulence)：特別是發生在植物體表面附近的亂流。
4. 去除(removal)：由雨水、霧、微水粒等把微粒帶下而附著植物表面。

對植物的影響

1. 懸浮微粒會附蓋在植物體表面，直接影響到光合作用對光的吸收，間接增加生產成本即清洗蔬菜或生產設施如玻璃及塑膠布等，甚至影響商品價格。
2. 阻塞氣孔或甚至於吸進葉片組織，而影響到蒸散作用。
3. 附著到栽培基質如土壤而導致間接因基質的化學變化而影響到植物的正常生長。

利用植被管理粒狀污染物

植物受粒狀污染物為害，但有些植物可以很有效的獲取到大氣中的微粒，利用此原則，可以在粒狀污染物高污染地區或工廠附近密集種植此種植物，以達到淨化空氣污染物之目的，Spitsyna & Skripal'shchikova (1991)報告在一開放式煤礦場周圍種植 15m 寬赤楊樹(birch)，可以很有效的截獲 50%粒狀污染物。

粒狀污染物之定量

大氣中粒狀污染物含量可利用 Andersen's sampler 吸取單位體積空氣中粒狀污染物(Andersen, 1958)，此種取樣器有六層培養皿，每層上方空氣經過 400 孔細目而吹向培養皿表面，最上層吸附粒子直徑超過 10 μ m 者，最下層則為粒子直徑較小者。此種空氣中取樣器原設計是為用於醫院配合選擇性培養基偵測特殊的病原菌細菌。空氣靜止狀態時此種取樣器之效能取樣速率 23.8L/min 時可達到 100%，如風速過快必須在取樣口前樹立一直板以減低進口空氣流速。

光化學煙霧 (Photochemical smog)

臭氧在十九世紀中葉由 Schonbein 在實驗室首先發現，後來他在空氣中也偵測到臭氧。大氣中的臭氧主要存在平流層(Stratosphere)，離地面 10-50km，能吸收由太陽照射出來之紫外線光。近地面之大氣為對流層(troposphere)，此層從地面止約 10 km 高處，此層臭氧之濃度很低只有數拾 ppb (O^3 10ppb= 2.5×10^{11} molecules/cm³ 在海面, 298k) 佔整個大氣所有臭氧的 10-15%，而平流層臭氧濃度可達 15 ppm 以上。

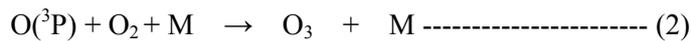
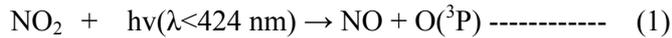
光化學煙霧的種類

光化學煙霧有两大类，臭氧和過氧硝酸乙醯酯類(PANs)，過氧硝酸乙醯酯類包括過氧硝酸乙醯酯(Peroxyacetyl nitrate)、過氧硝酸丙醯酯(Peroxypropionyl nitrate, PPN)、

過氧硝酸丁硝酯(Peroxybutyryl nitrate, PBN)及過氧硝酸苯甲醯酯(Peroxybenzoyl nitrate, PBzN)等。

來源

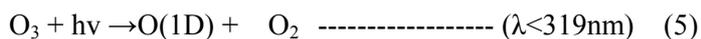
臭氧在大氣中產生的過程，是由 NO₂-NO-O₃ 的光解循環(photolytic cycle)而來，可用下列三個反應式表示，NO₂ 吸收 λ<424 nm 的光照後光分解(1)產生一氧化氮和單重氧[O(³P)]，單重氧再與氧氣反應而產生臭氧(2)：



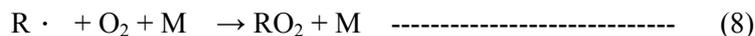
M 為第三種物質，可吸收反應的能量，M 是 N₂、O₂ 或其它物質。由於這三個反應式反應非常迅速，其全反應將維持光穩定狀態(photostationary state)，而穩定臭氧濃度受 [NO₂] 和 [NO] 濃度的影響(4)：

$$[\text{O}_3] = j_1 [\text{NO}_2] / k_2 [\text{NO}] \text{----- (4)}$$

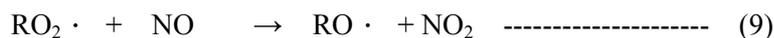
j₁ 為 NO₂ 依日夜、季節和高度的分解率，k₂ 為方程式(3)反應速率，由(4)式可以看出，在理論上不考慮其它污染物作用時，即沒有其它作用進行 NO 轉換成 NO₂ 時，臭氧平衡濃度在白天將與 [NO₂] / [NO] 之比例成正比。[NO₂] / [NO] =1 時中午時段溫度 298K，在對流層臭氧的濃度為 5x10¹¹ molecule/cm³ (=20 ppb)。大氣環境中因碳氫化合物加入而破壞了光解循環(5、6)，由於臭氧光解所產生的氫氧基(OH, hydroxyl radical)因反應活性很強，會攻擊碳氫化合物(7)產生許多烷基過氧基(RO₂·, alkylperoxy radical)：



RH 為揮發性有機化合物(volatile organic compounds, VOCs)，其來源有車輛廢氣、工業有機溶劑和化學與石化業污染氣，RH 和 OH 反應產生有機基(organic radicals, R·)，R· 和氧結合產生烷基過氧基(peroxy radicals, RO₂·)(8)



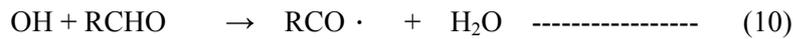
烷基過氧基將 NO 氧化成 NO₂，同時生成烷氧基(RO·, Alkoxy radical)(9)



因而破壞了臭氧光解循環，因此 VOCs 加速 NO 轉換成 NO₂，使 NO₂ 濃度增加，臭氧也就比例地快速增加，且又使 NO 濃度下降，濃度幾近可忽略，臭氧沒有 NO 的反應(3)，臭氧濃度逐漸累積(Grennfelt & Schjoldager, 1984; Krupa & Manning, 1988; Seinfeld, 1986)。

在對流層下方特別是高污染之都會區，氫氧基與醛類(RCHO, aldehydes)反應生成烷基

過氧基(Acyl radical, RCO·)，再進一步與 NO₂ 生成 PAN:



RC(O)OO· (acylperoxy radical) 可和 NO、NO₂ 或 HO₂ 基反應



反應式(13)中 R 若為一個碳、二個碳、三個碳或苯基，則 RCOO₂NO₂ 依序為過氧硝酸乙醯酯 (PAN, CH₃C(O)OONO₂、過氧硝酸丙醯酯 (PPN)、過氧硝酸丁醯酯 (PBN) 或過氧硝酸苯甲醯酯 (PBzN) 等。在標準壓力和溫度 298K 下 PPN 反應回反應物的時間為 30min。

以上為臭氧及 PAN 之形成過程，總過氧化物之頂峰值常出現在午後，而 PAN 的頂峰值比臭氧稍晚，約在 12:00 至 14:00 間。

光化學煙霧大量形成的要件

1. 足夠的 NO_x 與 NMHC 當作用基質。
2. 充足的陽光供分解基質的能量。
3. 微風或無風狀態下使產物得以累積。

光化學反應前驅物 NO_x 與 NMHC，主要來自工業廢氣及汽、機車排氣。在光化學煙霧形成過程中，須在空氣擴散流通不良的地理條件，使前驅物累積；而充份且強烈的日照提供反應的能量；在低風速下，光化學反應時間才會充裕、持續和完全。

臭氧對植物的傷害

臭氧對植物造成的葉部典型病徵為上表面出現白色、紅紫色或褐色的細點斑(圖 37-48)；嚴重者則會出現白色或褐色的塊斑。臭氧為害植物之急性病徵一般多分佈於中齡成熟葉，不易傷害較幼小或太老葉片，但慢性病徵則主要在老葉。由於塊斑是由很多細小斑所構成，其與健全組織邊緣之界限通常不很清楚，此點與二氧化硫或氟化物所造成之斑塊最大的差異。

臭氧在葉表面造成細點斑病徵，主要是破壞了柵狀組織，而不破壞上表皮細胞，但在高濃度下，會導致大量細胞受損，而出現嚴重壞疽現象。紅紫色或褐色點斑病徵之形成機制有(a)細胞中 Tannin 含量之多寡；(b)與 Flavonoid 色素累積有關；(c)植物經 O₃ 會造成光合色素分解而出現褐紅色斑和(d)臭氧會促進 Anthocyanin 及 Polyphenols 之生成。

臭氧之生物檢定

Heggestad (1991) 利用三種菸草品種對臭氧不同敏感性來估計不同地區大氣中的臭氧量，超敏感的 Bel-W3、較不敏感的 Bel-B 與 Bel-C。本省台大孫教授岩章也利用 Bel-W3

當生物檢定。

PAN 對植物的傷害

PAN 是光化學反應的指標污染物，因為只有人為因素才會產生 PAN，不像 O₃ 會自然產生。PAN 有光毒性(Phototoxic) 對敏感植物造成傷害，其傷害植物的臨界劑量為上午 15ppb×4 hr 或午後 25ppb×4 hr。若 PAN 污染大於其臨界劑量時，敏感植物如矮牽牛、番茄、萵苣等會出現葉下表面亮光斑、亮銅斑或銀白斑等病徵(圖 49)，嚴重時甚至雙面壞疽甚至全葉枯萎，剛成熟且成長快速之葉片比較容易受害，幼葉及老葉則較不易受害。病徵的出現在幼葉一般為葉尖處，剛成熟葉為上半葉，成熟葉為下半葉，葉片受害區域成橫帶狀分佈，其原因為相同葉齡及細胞恰好成熟時的區域才會受害。幼小及成長快速的植物對 PAN 比成熟植株敏感，如有 3-4 葉片的番茄比有 6-8 葉片的植株敏感。PAN 的亮銅斑等傷害痕跡一般出現在葉下表面，但有時菸草、矮牽牛及番茄在葉上表面會出現受害病徵。

開頂式熏氣箱及抗氧化劑對臭氧傷害之評估

評估臭氧對作物的減產量，可以使用兩種方法即開頂式熏氣箱(Open-top chamber, OTC)或噴灑抗氧化劑(anti-ozonant)，前者利用活性炭過濾空氣與未過濾者或額外加入污染物進行田間比較，後者噴灑 ethylenediurea (EDU)。

OTC 技術在 1980 年被廣泛用以評估空氣污染物所造成之減產。美國國家作物減產評估網，長期評估臭氧污染對經濟作物產量之影響，証實作物在生長季中暴露於一定劑量的臭氧會對產量有影響。在生長季中若每天暴露 7 hr (10:00am-17:00pm)，平均濃度 60ppb 臭氧，大豆減產 18.8%，小麥 3.6%，棉花 15.2%，花生 19.7%，劍萵苣 30.3%，蕪菁 23.9%，菠菜 14.4%，菜豆 4.8%。Nouchi *et al.*(1991)在日本用臭氧長期處理期水稻，以每日 8 hr 50ppb 處理 6 星期後，發現其乾重量有些微降低；而以每日 8 hr 100 ppb 處理 5 星期後，乾重降低 50%。

利用抗氧化劑要比使用 OTC 方便且便宜，很多抗氧化劑曾用噴灑葉面或灌注到土壤的方式來評估大氣臭氧對農作物產量的影響，其中最有效是 EDU，EDU 可以保護植物免受臭氧傷害，其程度幾乎可達 100%，因此比較施用與不施用 EDU 間的差異即可了解是否受臭氧傷害及其傷害度 (Bell & Marshall, 2000)。

二氧化硫 (Sulfur dioxide)

硫為植物正常生長與發育所需主要營養，其需要一般由土壤吸收硫酸根(SO₄²⁻)，再轉移到葉部進行還原及同化成有機硫化合物，植物也可以由葉片吸收硫化物如二氧化硫、硫化氫或其他揮化性硫化物，這些硫化物在低量下對植物不但無害，反而在土壤中硫酸根缺乏時有益其生長，但在工業區常常出現二氧化硫過量情形，導致周遭植物所到傷害。

依 Finlayson-Pitts & Pitts (1986)報告大氣中二氧化硫濃度依污染程度可由無污染區的 < 1ppb、鄉村地區的 1-30ppb、中度污染區的 30-200ppb 到高度污染區的

200-2000ppb，SO₂一旦釋放到空中利用擴散(乾式沈降, dry deposition)方式以不同的速度轉移到地面，此速度受氣象因子之影響，植物暴露在 SO₂ 後對其直接吸收或受沈降而來的影響而導致受害或生長受阻。在空氣中之 SO₂ 也會以不同的速度轉變成 SO₄²⁻，然後這些 SO₄²⁻ 微粒會以布浪式運動(Brownian motion)乾式沈降或濕式沈降(wet deposition)降雨方式到達植物表面或地面。

二氧化硫污染源

在眾多空氣污染源中，二氧化硫(SO₂)是最早為人們所發現，亦是研究最多的一種污染物，其來源可能由自然現象所產生，如火山爆發產生 SO₂ 及 H₂S，同時人類的活動也可產生 SO₂，如石化燃料的燃燒，燒煤、石油和天然氣，另者工廠排放廢氣，如冶煉工業、發電廠、熔煉硫磺及生產硫酸都會有 SO₂ 的污染。還有都會地區交通工具排放廢氣，尤其是柴油車亦會排放 SO₂；甚至植物本身也會產生。

二氧化硫傷害作物之病徵

二氧化硫對農作物之傷害，可分為急性傷害及慢性傷害，急性傷害在作物暴露於高濃度 SO₂ 中，會造成漂白、壞疽、暗青色水浸狀病徵，而使葉片捲曲、枯萎、落葉，甚至全株死亡(圖 18-36)。慢性傷害則為作物長期暴露於低濃度 SO₂ 下，常會有生長緩慢、葉片黃化，而致產量降低等現象，且不論濃度高低，暴露的時間愈長，傷害愈大。

電顯觀察其微細構造，大豆細胞膜與細胞壁分離，細胞質萎縮，葉綠體之餅間層排列鬆散。玉米受害後，細胞膜與細胞壁亦呈分離現象，葉綠體扭曲變形，葉綠餅排列鬆散，葉綠體雙層膜間有空胞或破裂等現象。

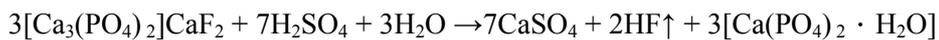
氟化物 (Fluorides)

氟在地球上是一種相當普遍且豐富之元素，平均含量達 0.06-0.09%，因其為鹵素族中最活潑者，故絕大部份均以共價鍵或離子鍵之氟化物型態存在於土壤或礦物中，例如在地殼陸域岩石中含氟平均為 650mg/kg，土壤為 285mg/kg，一般下層土比上層土高，但如施用磷礦粉，則上層較高。在非空氣污染地區植物體：土壤中：磷肥之含氟量為 30：300：30,000 mg/kg。氟化物在大氣中普遍存在，背景值僅有 0.01-0.2 ppb，但如有含氟塵土之飛揚，森林火災或火山之活動，氟含量會增高，在德國非工業區之大氣中含氟量為 0.05-2.0ppb，而工業區為 0.5-4.0ppb。

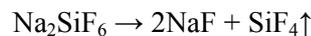
氟雖然很普遍存在地殼上，但含氟的空氣污染物並不多，一般只極部性的發生在某些工廠範圍內。在台灣在 1970 年代末由於經濟突飛猛進，造成建築業輝煌時期，因此磚塊的需要量很大。中部地區以花壇鄉為規模最大且最集中之生產地點，磚廠為增加產量紛紛改為隧道窯，而鄰近地區農作物每年均發生空氣污染損害糾紛，經調查認為與磚廠廢氣有關。大氣中以氟化氫為主，其次為四氟化矽(SiF₄)，氟矽酸(H₂SiF₆)或氟元素。

污染來源

1. 燃燒過程(煤炭含有 0.08%之氟)：火力發電廠需使用大量燃煤，一座現代化發電廠生產一百萬瓦千電量，每天需燃燒 10^4 噸煤，而煤炭含氟平均為 0.08%，因此一年所排放之氟化物氣體總量相當可觀。
2. 製造氟之化學工業；
3. 陶瓷業及磚瓦廠(含釉藥廠)：許多陶瓷業把含氟礦物當做釉藥來使用，因此像琉璃瓦廠，琺瑯廠及瓷磚廠，均會排放氟化物氣體；而製造磚瓦因使用粘土(含氟 0.01-0.1%)，且燃燒煤炭故亦會排放出氟化物氣體。
4. 化學製造業(1)反應槽與吸收槽。(2)氟乙烯快速冷卻設備。(3)氟化鐵溶解槽；
5. 磷肥製造廠、磷酸廠、磷元素廠：這些工廠為氟化物主要污染源工業，他們以磷礦石為原料，磷礦石除含磷酸三鈣外尚有 3-4% 之氟，用來製造磷礦粉、過磷酸鈣、重過磷酸鈣、溶性磷肥、熔磷與磷酸液等。氟的污染可由礦石因研磨所產生之灰塵；礦石與硫酸作用產生磷酸鹽時；或由於電熔爐加熱產生元素磷皆會產生 HF 或 SiF_4 氣體，此外產製磷酸鈣肥料之熟化堆置場亦因未加蓋揮散出氟化物氣體，這類工廠之廢水處理池亦會排放氟化物氣體，而影響附近農作物。其酸解過程之方程式如下：



6. 特殊玻璃工廠：如玻璃纖維廠或製造電視映像管玻璃工廠，在原料中使用氟矽酸鈉(Na_2SiF_6)，當高溫熔解時會產生 SiF_4 等氣體溢出：



7. 煉鋁廠：主要原料為鋁礬土，因其電解過程中要加入冰晶石、氟化鋁和氟石做為助熔劑，熔點大約 2000 C，在此高溫下一部分就以 HF 型態揮發。原料鋁礬土 1 噸要加入冰晶石 20 kg、氟化鋁 20 kg、氟石 2 kg，而 2.6 噸原料才能提煉 1 噸鋁，造成約有 25 kg 氟之排放，所幸煉鋁廠皆能有效控制氟排放達 80%以上。
8. 垃圾焚化爐

美國 EPA 調查該國主要工業總排氟量，依次為陶瓷與磚廠、鋼鐵廠(平爐)，煉鋁廠、燃煤火力發電廠、鋼鐵廠(電解爐)、過磷酸鈣肥料廠、鋼鐵廠(鹼氧爐)、磷製造廠、非鐵金屬廠、磷酸廠(濕式法)，玻璃與玻璃纖維廠，焊接廠等，估算每年排入大氣之總氟量在 118,700 公噸，數量極多，因此也造成了工廠周圍植物大量受害現象。

氟化物氣體危害植物極為嚴重，如美國愛達荷州之一磷酸工廠使附近花旗松枯死二百英畝，蒙他那州之一煉鋁廠周圍二千英畝之西部黃松和柱松枯死，在歐洲挪威大鋁礦場附近 2 km 範圍內之針葉林受到影響，有許多案例顯現出其葉部之氟含量，在距離污染源 5 km 範圍內，有一定之相關性。

1.植物吸收氟化物之途徑：

氟進入植物體內可經由空氣、土壤或水體中獲得，在沒有工業污染之前，由根部吸入是氟化物進入植物體中最主要之途徑；但是工業發達後製造業所排放之 HF 與

SiF₄量遠超過根部吸收的量，這些對植物之毒性卻遠大於由根部吸入之氟離子，故目前主要之氟化物為害，大都來自空氣污染源。

氟化物空氣污染物由工廠排放後，經環境傳輸、擴散、稀釋後其含量非常低約 1-10 ppb，氟化物氣體主要經植物葉片氣孔吸入，少數可經由莖部之皮目吸入，由氣孔附近之隙薄壁細胞 (Lacunose parenchyma) 滲入輸導管組織之滲透薄壁細胞(transfusion parenchyma)，因此該類細胞含氟量較柵狀組織之薄壁細胞多。氟化物進入輸導管後隨著從根部水之上升流—蒸散流，逐漸聚集在葉尖或葉緣處。但如果葉面因下雨或泌露現象，而有水滴存在的話，易溶於水之氟化氫，就會直接溶入而成氫氟酸(HF 的水溶液)，並在葉面上呈現接觸性傷害；另外如禾本科植物，除由氣孔吸收外，也會經由葉緣之水孔吸收氣體，再經覆蓋組織以及通導管而達到導管。

除由葉部進入外，氟化物亦可由莖部經木質部來運送至葉部，或隨光合產物由葉片移至莖部，不過以此狀態進入植物體時氟離子濃度並不會太高。

氟化物在輸導管運送時，如果是矽酸植物(如稻、麥)，則會遇膠狀矽酸，而結合成難溶於水之氟矽酸化合物；如果是石灰植物(如大豆、油菜)體內，氟化物亦會與鈣形成難溶於水之氟化鈣，這兩種化合物再隨蒸散流而到達葉尖堆積，此皆可利用紅外線吸收光譜分析儀測出。

氟化氫或四氟化矽氣體溶於水後形成氫氟酸或氟矽酸，均屬毒性極強之溶液，故進入植物體後，就逐漸破壞葉內細胞並降低組織功能，故很少再流轉到其他部位，大部份就堆積在葉尖、葉緣，俟濃度較高，細胞組織崩解，就呈現受害症狀。所以氟化氫處理植物後，其體內含氟濃度依序是葉尖>葉身>葉鞘>莖>根，氟很少往根部移動，故不認為可由根部排泄掉。如比較在細胞器官內之氟濃度之大小，可發現氟濃度依細胞壁>葉綠體>溶解性蛋白質>粒線體>微粒體。若依整個生長期而言一般老葉因生長暴露期間較久，所以較中葉及上葉含氟量多，可觀察植物葉序之不同受害程度而推定某一地區過去一段時間內空氣污染之變化情形。植物因為品種不同、花青素多寡、葉形不同、葉肉厚度相異，且氟化物濃度高、低或接觸時段之長、短而出現不同之症狀，一般而言，因氟離子可抑制植物之新陳代謝，故在高濃度薰蒸下，植物組織中氟濃度一下驟增，故立刻就近破壞造成葉脈間之壞疽，褪綠現象，而氟進入葉片之濃度如僅達次毒性級時，它就會向頂端隨著蒸散流自由移轉，如果蒸散流受阻礙時，氟離子就會就近累積，而不需移至較高處之葉緣，氟化物對植物之危害症狀可分為三種：1.葉緣及葉尖焦枯；2.整葉黃化褪綠；3.葉尖及葉緣褪綠。

氟化物傷害作物之病徵

氟化氫或四氟化矽氣體進入植物體後，溶於水後形成氫氟酸或氟矽酸，均屬毒性極強之溶液，故進入植物體後，就逐漸破壞葉內細胞並降低組織功能，故很少再流轉到其他部位，大部份就堆積在葉尖、葉緣，俟濃度較高，細胞組織崩解，就呈現受害症狀(圖 3-17)。所以氟化氫處理植物後，其體內含氟濃度依序是葉尖>葉身>葉鞘>莖>根，氟很少往根部移動，故不認為可由根部排泄掉。如比較在細胞器官內之氟濃度之大小，可發現氟濃度依細胞壁>葉綠體>溶解性蛋白質>粒線體>微粒體。若依整

個生長期而言一般老葉因生長暴露期間較久，所以較中葉及上葉含氟量多，可觀察植物葉序之不同受害程度而推定某一地區過去一段時間內空氣污染之變化情形。植物因為品種不同、花青素多寡、葉形不同、葉肉厚度相異，且氟化物濃度高、低或接觸時段之長、短而出現不同之症狀，一般而言，因氟離子可抑制植物之新陳代謝，故在高濃度薰蒸下，植物組織中氟濃度一下驟增，故立刻就近破壞造成葉脈間之壞疽，褪綠現象，而氟進入葉片之濃度如僅達次毒性級時，它就會向頂端隨著蒸散流自由移轉，如果蒸散流受阻礙時，氟離子就會就近累積，而不需移至較高處之葉緣，氟化物對植物之危害症狀可分為三種：1.葉緣及葉尖焦枯；2.整葉黃化褪綠；3.葉尖及葉緣褪綠。

植物對氟化氫之忍受限值與氟累積量的關係

植物體蓄積氟化物之量，可因種類及地區而異，在自然狀況下，未受工業污染亦即在自然環境背景之植物體葉片乾重含氟量在 20 mg/kg 以下。但山茶科含氟有偏高現象達 37.5-390 mg/kg，如再施用未脫氟之過磷酸肥料，其葉片含氟量甚至可達 121-1370 mg/kg。對大多數敏感之植物而言，氟化物在植物體內危害之臨界劑量為 80-100 mg/kg，較耐性之植物為 200 mg/kg。敏感之植物如唐菖蒲在暴露於含氟 0.01 ppb 之空氣中，六星期後造成葉片尖端長 2.5-7.5 cm 之枯萎，葉片含氟量達 148 mg/kg；如果 HF 濃度為 10 ppb，只經 22 hr 之薰蒸接觸，就會造成葉子尖端 10 cm 長受害，葉片氟量達 297 mg/kg。植物對 HF 的敏感性通常以危害發生症狀時之濃度值 ($C=ppb$) 與所需要暴露時間 ($T=hr$)，兩者之乘積值 ($C \times T$) (即暴露係數)愈小者愈敏感。由表一可清楚看出敏感性之作物在低濃度及短時間下即會產生症狀，而暴露係數在高濃度薰蒸下，亦逐漸增加，亦即生物濃縮值，會隨環境劣化而遞減。而較耐性之作物，其暴露係數較敏感植物為大，且葉片所累積氟含量亦有增多之現象，需注意在 HF 低濃度下(1.5 ppb)薰蒸出現症狀時，耐性植物葉片所累積之氟含量可達 200-300 mg/kg 之多，此係值得警惕之訊息。

表一、一些植物受氟化氫傷害時之暴露係數與葉片含氟量

Table 1. Exposure coefficient of some plants when injured by HF and their corresponded florid contents in leaves

植物	1.5 ppb		5 ppb		10 ppb		平均	
	$C \times T$	葉片之 氟含量						
唐菖蒲	97	37	119	46	137	57	108	47
苔 蘚	97	53	92	72	118	64	103	63
落葉松	107	53	119	147	118	106	115	102
松、石南	438	61	258	77	243	65	313	67
香 檜	318	138	286	107	-	-	301	121
杏、櫻花	246	69	1172	79	194	109	187	86

蘋果	302	179	379	183	346	163	343	175
紫丁香	138	123	248	21	-	-	193	175
榆, 桑, 柳, 楓	246	217	313	231	300	215	280	223
玉 米	-	-	747	178	496	47	622	113
葡 萄	-	-	252	138	344	122	298	130
南 瓜	-	-	631	134	421	179	526	157
樹 莓	306	243	306	216	183	162	265	207
胡 椒	218	149	274	203	183	244	227	199
番 茄	-	-	327	278	302	207	115	243
胡蘿蔔	284	323	398	223	425	307	369	451

C= ppb, T= hr, 不容易受害者暴露係數大, 植物葉片含氟亦較高。(康, 1994)

農作物因空氣污染而累積大量氟化物, 該作物收穫後供人、畜食用, 在國外已有多起造成動物氟中毒 (fluorosis) 案例, 如日本養蠶戶因將含氟 30 mg/kg 之桑葉餵食蠶隻, 結果蠶隻陷入發育不良無法作繭吐絲; 在歐洲因牛隻長期食用含低濃度氟 (20-30mg/kg) 之牧草, 而引起氟慢性中毒現象, 如門牙琺瑯質缺乏、長骨刺及造成長骨、肋骨、顎骨之畸型, 伴隨著酵素功能之瓦解, 使進食困難失去食慾。

行動跛癱、體重降低、減低繁殖力、減少牛乳與畜牧之生產, 曾造成挪威畜牧業者大量損失。因此挪威政府為防範飼料乾牧草含氟達 30mg/kg, 因而嚴格限制空氣品質之年平均值達 0.0002 mg/Nm³; 約 0.24 ppb。

有關 HF 等空氣污染物進入植物體後, 是否會代謝成更劇毒之物質而影響人畜食用安全? 南非之 *Dichapetalum* spp. 與澳洲之 *Acacia georginegidyca* 等植物會形成單氟醋酸(FCH₂COOH), 該物對馬之 LD₅₀ 為 1mg/kg, 對豬之 LD₅₀ 為 0.35 mg/kg, 故屬劇毒物質其在動物體內經酵素反應轉化成 fluocitric acid, 遮閉 citric acid 在 Krebs cycle 之反應, 此部份尚待國內學者深入研究, 以確保農產品安全。

氯氣(Chlorine)

污染來源

1. 使用氯氣事業：自來水廠、農藥工廠、廢水處理廠、漂白水工廠、紙漿廠、游泳池和氯乙烯單體工廠等。
2. 鹼氯工廠：由食鹽水電解, 其尾氣常有少聞氯氣。

$$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + 1/2 \text{H}_2 + 1/2 \text{Cl}_2\uparrow$$
3. 氯氣貯藏槽外洩：由於氯氣腐蝕性很強, 因而不小心即會發生外洩意外, 本省經常有此意外發生。彰化縣內火力發電廠, 曾因用於消除冷卻管避免貝殼類附生的氯氣外洩而導致附近農作物受害嚴重。

氯氣傷害作物之病徵

葉片受害時組織褪色而呈漂白斑塊, 此與氯化氫漂白色澤相似。在高濃度污染下,

植物會產生提早落葉現象特別是木本植物，而剩下新芽及花器不出現病徵。成熟葉受害一般較嚴重，網狀葉在葉脈間之組織受害而呈漂白，但主脈仍保持綠色，但受害嚴重之草本植物則全葉漂白甚至倒伏。有些受害植物葉片並不呈現白色，而出現紅色至淡粉紅色病斑。平行脈葉片受害時葉脈間出現漂白條紋及細斑(圖 50)。

氨氣(Ammonia)

氨氣傷害作物之病徵

大氣中的氨氣來源大都來自自然的進行步驟如由動物排泄物和植物代謝，但此種氨氣濃度都很低而達不到修害植物的程度，植物可以扮演氨氣的吸收者也可以為釋放者，完全依賴其氣孔下腔(sub-stomatal cavities)與大氣中氨氣的濃度差而異，氣孔下腔氨氣濃度則受其附近細胞間隙內液相氨離子(NH₄⁺)之影響(Fowler, 2002)。

傷害植物氨氣的污染源主要為工廠外洩，本省主要為冷凍工廠液氨的外洩。受氨氣傷害之病徵通常出現較深或明顯之色斑，有黑、褐、亮銅、銀化及漂白等色，並沒有專一性，高雄市於 1984 年水稻第一期作發現不明黃化，後來經證明為附近的冷凍工廠氨氣外洩所造成的(Sun, 1989)。

乙烯(Ethylene)

乙烯類傷害作物之病徵

乙烯為揮發性有機 (volatile organic compounds, VOCs) 空氣污染物之一，為一種植物生長激素之一，在正常生理狀態下合成適當份量扮演非常多步驟，如生長調節、花器發育、果實成熟、器官的老化與分離層等，但相反的由於外來的過量會引起不同部位之變形(distortion)、降低頂端優勢(apical dominance)、促進側芽生長及造成葉片或花朵提前脫落(Abeles *et.al.*, 1992; Roberts & Tucker, 1985)。空氣中尚約有 13,000 種 VOCs，這些 VOCs 除與光化學氧化物產生有關外，很少可以直接傷害植物。

依 Sawada & Totsuka (1986)估計全球每年乙烯釋放大氣的總量達 35.39×10⁶ 噸，其中 26%為人為造成的，而人為中以燃燒有機物及可化油料之燃燒佔最重要地位，如燃燒水稻殘株造成局部乙烯濃度高達 4 ppm (Abeles, 1973)。乙烯為原油中成份之一，因此石化工業及塑膠工業所排放之廢氣中常含有相當濃度之乙烯，此外機動車輛所排放的廢氣及有機物質之燃燒也是乙烯重要污染源(Abeles & Heggsted, 1973)。依據鄭與孫(2003)之調查，本省高雄林園及大社石化工業區附近乙烯有 9 ppm 之記錄，他們証實石化工業區附近大氣中乙烯是一種重要污染項目，對植物會造成一定的損害。

嘉特麗亞蘭花(*Cattleya*)對乙烯非常敏感，處理 2 ppb 24 小時花萼先端或邊緣出現枯萎現象，蘋果樹經 10 ppb 48 小時處理枝條會引起腫大，嘉特麗亞蘭經 20 ppb 處理 24 小時葉片則會黃化而脫落，花苞及花瓣褐變，嚴重時會提早落花，並抑制芽的生長，此引起美國加州在 1960 年代嘉特麗亞蘭生產者重大損失。康乃馨經 30 ppb 48 小時的處理抑制開花，甜椒與番茄經 100 ppb 8 小時處理會導致花器掉落(Collins & Bell)。木本植物經高濃度 20ppm 傷害時，會造成葉片脫落，番石榴未熟果實出現黃化而提早落果，濃度低時果實外表出現褐斑，有時新葉會出現褐化。乙烯會造成植物的分蘖增加，

枝條頂生優勢被抑制而造成植株生長停頓，如禾木科植物水稻分蘖增加。Katsuta & Ota (1988)報告水稻出穗前 4 或 10 天以 0.1ppm 乙烯處理十天造成稻莖縮短，延後一星期抽穗，如再提早處理劍葉則引起外捲現象，並影響稻穗的分化、成熟率及千粒重，抽穗後處理會加速稻穗之黃化，產量損失可能達到 20%。

在生物檢定方面 Tonnejck *et al.* (1999) 在荷蘭發現乙烯在大氣濃度與引起馬鈴薯葉片外捲(epinasty)的角度有關，而訂定利用馬鈴薯當為鑑測聚乙烯工廠附近乙烯濃度之依據。Pleijel *et al.* (1994)在瑞典利用矮牽牛花 (*Petunia hybrida*)當乙烯生物檢定植物，在公路兩旁種植矮牽牛花，愈接近道路的矮牽牛受較高乙烯濃度之影響開花期較短，但花朵則較小。

植物空氣污染病害診斷二分鑑定系統

田間發生疑似空氣污染物傷害農作物時，應將該區域及附近受害及未受害植物作全面調查，詳細檢視受害徵狀並加以記錄，配合環境條件的基本資料，進行病原學 (Etiology)之探討，朝著各種可能方向包括蟲害、營養失調、環境迫害、生物性或傳播性病害等項推斷，此二分法鑑定系統表面似乎簡單，但事實上鑑定者針對每一問題下定斷時即關係到鑑定是否準確，因此在下任何一個問題的答案時必須詳加考慮推敲，不能因一時的疏忽而導致一步錯全盤錯的結果。

1. 植株之受害部位
 - A. 僅地上部 2
 - B. 地下部位也受害 28
2. 所有受害部位是否有蟲體及相關物
 - A. 有 3
 - B. 沒有 4
3. 受害植株的徵狀與文獻所載此類蟲害性狀是否相似
 - A. 是 **(此蟲是危害主因，非公害造成)**
 - B. 否 4
4. 受害作物種類
 - A. 只有一種 14
 - B. 一種以上 5
5. 受害作物種類間對各種空氣污染物的敏感度是否一樣
 - A. 是 13
 - B. 否 6
6. 附近野生植物是否受害
 - A. 是 7
 - B. 否 15
7. 傷害可能由污染物造成，尋找附近是否有傷害植株之污染物

- A. 有 8
- B. 沒有 (空氣污染極不可能是傷害之原因)
8. 調閱氣象資料於傷害發生前有无異常如下霜、暴風雪、高溫等
- A. 有 9
- B. 沒有 10
9. 受害植株徵狀與氣象異常所造成之傷害是否相似
- A. 是 (很可能是環境迫害：氣象異常)
- B. 否 10
10. 依發生地區之地理環境特性，風向及可疑排放源之位置探討污染物能否到達受害區
- A. 可以 11
- B. 不可以(空氣污染極不可能是傷害之原因)
11. 已知污染物種類
- A. 一種 16
- B. 一種以上 12
12. 受害植株徵狀是否與多種可疑污染物所造成者相似
- A. 是 (由病徵研判主要污染物種類)
- B. 否 17
13. 其他可疑污染物之種類
- A. 一種 17
- B. 一種以上 (由病徵研判主要污染物種類)
14. 野生植物是否受害
- A. 是 (可以證明傷害是由環境迫害造成)
- B. 否 15
15. 可能是營養失調所造成取樣化驗證明之
- A. 是 (營養失調極可能為其原因，如缺 N、P、K、Fe、Zn、Mg、B、Ca或Mn、Cu、B、Mo、Cl和重金屬過多)
- B. 否
16. 該污染物是否能造成受害植株相似之徵狀
- A. 是 (現大致可判定污染物的種類及來源，但需進行下列工作做最後之確認 a. 葉片分析；b. 確認無生物性病因；c. 再仔細檢查有否害蟲；d. 研讀氣象資料；e. 將受害徵狀與各種不同污染物危害徵狀詳加比較，作出正確的鑑定結論)
- B. 否 (空氣污染極不可能是傷害之原因)
17. 危害作物的污染物種類確定：污染物的可能污染源及種類
- A. 一種 16
- B. 多種 (依調查表找出最主要排放源)
18. 受害株病徵與傳播性病害徵狀是否一致
- A. 是 (證明受害作物確由生物性病原造成)

- B. 否 19
19. 受害作物對空氣污染物是否較敏感
- A. 是 20
- B. 否 21
20. 在受害區範圍內，未受害者對污染物是否較敏感而未受害
- A. 是 (由此推論此為非空氣污染所造成)
- B. 否 23
21. 最近是否有意外事件(如運送車外漏)造成高濃度污染物污染
- A. 是 22
- B. 否 24
22. 受害株上病徵是否與該污染物的危害症狀一致
- A. 是 (可確定是意外事件)
- B. 否 (排除空氣污染為主因，重新探討環境迫害或營養失調)
23. 收集受害區附近工廠排放廢氣中是否有可疑污染物及污染源
- A. 有 8
- B. 否 (排除空氣污染為主因，可能其他因子：環境迫害或營養失調)
24. 受害作物對污染物是否有耐性
- 是 23
- 否 25
25. 在受害區範圍內，迎面而來之可能污染源種類
- A. 僅一種 16
- B. 一種以上 17
26. 受害植株分佈是否與灌溉渠道或水流方向一致
- A. 是 30
- B. 否 27
27. 根部是否腐爛，地上部是否萎凋
- A. 是 28
- B. 否 30
28. 受害植株進行病害診斷，確認是否有線蟲或其他生物性病原
- A. 是 29
- B. 否 30
29. 受害植株徵狀是否與此生物性病害之病似
- A. 是 (確認為生物性所造成而非公害)
- B. 否 30
30. 附近野生植物是否受到傷害
- A. 是 31
- B. 否 32
31. 此非營養失調單獨造成，尋找附近可疑排放源是否有致作物傷害之污染物

- A. 是 32
- B. 否 33
32. 受害植物所呈現徵狀與可疑污染物所造之傷害是否相似
- A. 是 (現應可判定污染物種類及來源，但仍需 a. 再仔細檢查，確定為非生物性. b. 分析土壤或灌溉水，確定污染物之存在)
- B. 否 33
33. 查閱氣象資料，分析是否有環境迫害因子存在
- A. 是 34
- B. 否 29
34. 受害植株所呈現徵狀與此環境迫害因子危害狀是否相似
- A. 是 (環境迫害因子是事件發生之主因)
- B. 否 29

參考文獻

1. 康耿章。1994。花壇地區氟化物空氣污染之研究。國立中興大學土壤研究所碩士論文。121p。
2. 鄭及昉、孫岩章。2003。可化工業區附近空氣中乙烯濃度及其對植物的影響。中華民國環保學會會誌 26: (in press)。
3. Andersen, A. A. 1958. A new sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles. *J. Bacteriol.* 76:471-484.
4. Abeles, F. B., Mattoo, A. K., and Suttle, J. C. 1992. Ethylene in Plant Biology. Pp. 158-161.
4. Abeles, F. B. 1973. Ethylene in plant Biology. Chapter 11. Air pollution and ethylene cycle. Academic Press, New York.
5. Bell, J. N. B., and Marshall, F. M. 2000. Field studies on impacts of air pollution on agricultural crops. In Agrawal, S. B. and Agrawal, M. eds. *Environmental Pollution Plant Response*. Lewis Publishers. Boca Raton, pp. 99-110.
6. Collins, C. D., and Bell, J. N. B. 2002. Effects of volatile organic compounds. *In* Bell, J. N. B. and Treshow, M. ed. *Air Pollution and Plant Life*. p.173-186. John Wiley & Sons, Ltd. 465p.
7. Flinlayson-Pitts, B. J., and Pitts, Jr., J. N. 1986. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*. John Wiley & Sons, New York, NY.
8. Fowler, D. 2002. Pollutant deposition and uptake by vegetation. *In* Bell, J. N. B. and Treshow, M. ed. *Air Pollution and Plant Life*. p.43-67. John Wiley & Sons, Ltd. 465p.
9. Grennfelt, P., and Schjoldager, J. 1984. Photochemical oxidants in the troposphere: A mounting menace. *AMBIO* 13:61-67.
10. Katsuta, M., and Ota, Y. 1988. Effect of ethylene as an air pollutant on the reproductive growth and the yield of rice plants. [Japanese] *Jap. J. Crop Sci.* 57:444-448.

11. Krupa, S. V., and Manning, W. J. 1988. Atmospheric ozone:formation and effects on vegetation. Environ. Pollut. 50:101-137.
12. Nouchi, I., Ito, O., Harazono, Y., and Kobayashi, K. 1991. Effects of chronic ozone exposure on growth, root respiration and nutrient uptake of rice plants. Environ. Pollut. 74:149-164.
13. Pleijel, H., Ahlfors, A., Skarby, L., Pihl, G., Sellden, G. and Sjodin, A. 1994. Effects of air pollutant emissions from a rural motorway on *Petunia* and *Trifolium*. Sci. Tot. Environ. 146/147:117-123.
14. Roberts, J. A., and Tucker, G. A. 1985. Ethylene and Plant Development. Butterworths Ltd. New York. 79-83.
15. Seinfeld, J. H. 1986. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. John Wiley & Sons, Inc.
16. Spitsyna, N. T., and Skripal'shchikova, L. N. 1991. Phytomass and dust accumulation of birch forests near open-pit mines. Soviet J Ecology 22: 345-359.
17. Sun, E. J. 1989. Discoloration of rice leaves caused by ammonia gas released from refrigeration factory. Plant Prot. Bull. 31:256-262.
18. Tonneijck, A. E. G., ten Berge, W. F., Jansen, B. P., and Bakker, C. 1999. Epinastic response of potato to atmospheric ethylene near polyethylene manufacturing plants. Chemosphere 39:1617-1628.

粒狀污染物



1. 植物葉表面受粒狀污染嚴重的覆蓋，幾乎所有的葉片全部被覆蓋。
(dust pollution. Jpeg)



2. 未鋪設道路由汽車跑動所造成粒狀污染物大量飛揚並覆蓋到路旁植物情形。(dust pollution from running car. Jpeg)

氟化物造成的病徵

這些照片在彰化縣花壇鄉磚瓦廠或在桃園縣某磁磚工廠附近實地所拍得，樣品並經化學分析都有不正常氟化物過量的情形，証實確為氟化物所引起。



3. 對香蕉葉片造成緣枯病病徵－全株受害狀。



4. 對香蕉葉片造成緣枯病病徵－單葉近照。



5. 唐昌蒲對氟化物非常敏感，造成葉尖枯黃現象。



6. 對月桃葉緣造成褐枯現象。



7. 對棕櫚幼小分孽株葉尖造成枯萎現象。



11. 花生對氟化物也很敏感，沿著葉尖及葉緣產生深褐色斑塊。



8. 對棕櫚成葉葉尖造成枯萎現象。



12. 對茶樹葉片造成緣枯病病徵。



9. 水稻插秧不久受害情形—葉片末端灰白化。



13. 對桂花樹葉片造成緣枯病病徵。



10. 水稻在收穫期受害稻穀尖端變成灰白色，緊接著是褐色帶，與不到一半的健全組織相隔。



14. 對橄欖樹葉片造成葉緣褐色斑塊—全株受害狀。



15. 對橄欖樹葉片造成葉緣褐色斑塊—每一片成熟葉都受到傷害。



16. 對相思樹葉片末端造成枯死。



17. 受害相思樹葉片幾乎掉光。

二氧化硫造成病徵



18. 在山紅柿葉片上形成顏色非常特殊的磚紅色斑塊。



19. 對唐昌蒲葉片造成水浸狀灰白色斑塊，葉緣有脫水捲縮現象。



20. 在無患子葉片產生漂白斑塊。



23. 大豆葉片受害出現褐色斑塊



24. 大豆葉片受害出現漂白斑。



21. 番茄葉片有很多漂白斑，而葉脈仍保持綠色。



22. 大豆葉片受害呈現水浸狀。



25. 相思樹葉片受不同程度之傷害，右上受害最嚴重幾乎所有葉片皆褐化，左下為無病徵的對照，其他的有零星褐色斑塊。



26. 在水稻台南秈十五號葉片出現嚴重漂白斑塊。



29. 在甘藷葉片造成嚴重水浸狀後脫水萎捲。



27. 在水稻台農秈二十號葉片出現紅褐色大斑塊。



30. 玉米嚴重受害時葉片出現白化萎縮。



28. 在水稻嘉農秈選八號葉片出現褐色斑塊。



31. 玉米葉片受害出現褐色斑塊。



32. 馬櫻丹受害葉片出現褐色斑塊。



35. 菸草葉片出現水浸狀多角不規則型灰色斑。



33. 烏心石受害葉片除未成熟葉外其餘幾乎落光(左)，圖右為未受害對照。



36. 光蠟樹葉片出現灰褐色斑塊。



34. 烏心石受害葉片黃化並有橄欖色塊斑。

臭氧造成病徵



37. 在菸草 *Amarillo parado* 品種葉片上形成很多細小淡黃色斑點。



38. 在無患子葉片上產生細小淡黃色斑點。



39. 在山紅柿葉片上產生很多橄欖色細小斑。



40. 番茄右葉有很多細小灰色斑，左葉受害較嚴重有白化現象，其與二氧化硫傷害最大差別在病斑沒有明顯邊緣。



41. 在相思樹葉片上形成很多細小褐色斑點，最右葉為無受害葉片。



42. 在唐昌蒲葉片上形成很多黃褐色細小斑，而聚集時會呈現斑塊，但其邊緣沒有很清楚界限。



43. 水稻葉片出現很多褐色細小斑。



44. 在甘藷葉片上出現很多紫色細小斑(左)或灰色細小斑(右)。



45. 玉米葉片受害先出現黃色細小斑，大都集中在葉尖附近，之後該部位轉變成黃化斑塊，最右為剛受害而最左為為害兩週後。



46. 馬櫻丹受害葉片出現密集的褐色細小斑。

過氧硝酸乙醯酯造成病徵



47. 大豆葉片出現黃褐色細小斑。
48.



49. 光蠟樹葉片出現很多淡黃色細小斑。



50. 萵苣出現葉下表面亮銅斑(左一)或銀白斑(左二)等病徵，右上角為單株受害情形，右下角為田間受害情形。(pan.Jpeg)

氯氣造成病徵



51. A:花生：葉片成淡褐色；B:蕨類：左無傷害對照，右受害葉片幾乎全褐化；C:亞麻：葉片出現灰色斑塊，嚴重者葉片捲曲萎縮；D:唐昌蒲：葉片灰白色小斑，葉尖較嚴重者萎縮捲曲。(cl.Jpeg)