

氟污染與植物

徐慈鴻 李貽華

前 言

台灣地區常見空氣污染物主要來源為工廠及交通運輸工具所排放之廢氣及微粒，如二氧化硫(SO₂)、氟化物(HF 或 SiF₄)、氮氧化物(NO_x)、臭氧(O₃)、氯氣(Cl₂)等有毒氣體及灰塵、煙煙等固態污染物。HF (或 SiF₄)對植物之毒性較其他空氣污染物為高，例如：臭氧、二氧化硫、氯氣、過氧硝酸乙醯酯(Peroxyacetyl nitrate, PAN)等，即使微量的氟排放亦會造成植物之受害(Weinstein, 1977; Weinstein & Davison, 2003)，直至今日，隨著工業技術的改進減少污染物之排放，但因其毒性高，即使是開發國家仍舊有危害植物之案例發生。台灣地區並未將空氣中氟化物含量列入環保署之周界空氣品質之監測項目中(附表 1)，僅訂有排放標準，工廠排放管道之標準訂為 10 mg/Nm³。環保單位訂定空氣污染物之標準值常是以保護人畜健康為主要考量，排放管道之排放雖符合標準，排放至周界環境中仍有可能對植物造成危害，在集集、花壇、鶯歌、龍潭等地區皆曾發生氟污染危害農作物之公害糾紛的記錄。

空氣污染物之影響層面極廣，可能直接影響植物對葉部或葉冠造成傷害，例如臭氧、二氧化硫、氮氧化物、氟化物或氯氣等；或影響土壤而間接使植物受害，例如微量元素、粒狀污染物或酸雨等；二氧化硫則可經由上述二種方式對植物造成傷害。有關空氣污染物對作物之影響，大家所關注的多為對作物生長及產量之直接影響；但有些污染物(如氟、微量金屬及有機化合物)可累積於食用部位進而經由食物鏈造成極大之影響。氟化物屬一次空氣污染物(Primary pollutant)，其污染影響屬區域性，屬具累積性之毒物，累積於植物體中除導至葉片受害、影響植株之生理作用而使生長受阻、產量減少外，最值得注意的是，累積有氟的農產品若為人畜食用，將會對人畜造成毒害。在歐洲已有報告指出，牛隻長期食用含有低濃度氟之牧草，影響鈣之代謝，骨頭和牙齒會發生異常性的鈣化，而引起氟慢性中毒現象，造成牲畜的瘦弱和跛足現象。亦有報告指

出，蠶吃了含氟量大於 30 ppm 的桑葉後，會導至不食、不眠、不作繭、嚴重者死亡。氟污染除對植物造成直接之危害，其在植體中之累積情形及衍生而來之影響更不容輕忽。

氟化物污染來源

氟是大自然中普遍存在之元素，常以氟化物的形態存在於土壤或礦石中，如螢石、冰晶石、黑雲母、磷灰石及白雲石等。陶磁磚窯業、煉鋁業、玻璃纖維製造業及磷肥製造業等以黏土礦物為製品原料之產業，在高溫燒製過程中，黏土礦物所含微量的氟會以粒狀或氣狀的形式隨熱氣由煙囪排放至大氣中，無適當的防污設備或防污設備的效率不彰，氟化物則隨廢氣飄散，造成空氣污染。自然界之氟化物以氣體、顆粒或吸附在固體微粒上等形式而到達植物體，19 世紀末期已有報告指出氟化物會對農作物造成不良影響。大氣中最具植物毒性之氟化物為氣態之氟化氫(HF)。除自然界中之氟化物外，工業上也常產生氟化物，如製造磷肥、磷酸或磷元素時會放出氟化物，磷肥工廠可能逸出之氣體有氟化氫或四氟化矽；煉鋁及煉鋼時因電解過程中加入冰晶石、螢石助熔會有氟化氫產生；煤炭含氟量約為 0.008%，煤的燃燒是大氣中氟化物的另一來源；另外，磚瓦、陶器及水泥在製造過程中，原料在加高溫時會放出氟；氟化氫製造廠、石油醚提煉廠亦是氟化物之另一來源。在歐美地區，植物受氟污染危害之情形普遍發生於製鋁工廠(Pandey, 1985; Haidouti, 1993)及肥料工廠(Klumpp 等, 1996)周圍；台灣地區植物受氟污染危害之情形則多發生於磚窯、陶瓷及玻璃纖維工廠周圍，如桃園鶯歌地區(Sun, 1985)、彰化花壇地區(康, 1994)、南投集集地區(徐等, 1996)、桃園龍潭地區(李等, 2003)等。

植物對氟之吸收、轉移及作用

植物可從空氣、土壤、水中吸收氟，對植物造成危害之氟化物污染源主要來自空氣。氟化物對植物之毒性極強，低濃度下即會使一些敏感性植物受害，例如唐菖蒲處於大氣中氟濃度為 1ppb (約 0.8 mg m^{-3})時，數天內即會出現葉尖枯萎之受害徵狀。氣態氟化物(如 HF 或 SiF_4)主要經由氣孔進入植物體，氟進入葉片內部後會溶於組織液而隨著蒸散流移動，然後聚集於葉尖或葉緣處，累積的量達危害臨界濃度(threshold)時則顯現出受害徵狀，危害臨界濃度之高低因

植物種類而異，唐菖蒲屬植物(*Gladiolus sp.*)為氟化物之敏感植物，葉片出現受害徵狀時，氟的累積量低於 30~50 mg/kg。香蕉屬對氟污染敏感植物(徐等，1996)，其葉片氟累積量在 40 mg/kg 時，葉緣出現枯乾、壞疽之受害徵狀。芹菜(*Apium graveolens*)及菠菜(*Spinacia oleracea*)等為耐氟植物，葉片氟累積量達 2000~2500 ppm 時仍無受害徵狀顯現(Altman 等，1966)。茶科植物為喜氟植物，茶樹成葉含氟量普遍在 500~1000ppm(陳等，1983)；日本於京都府茶園採茶葉分析，老葉之氟含量達 1,270ppm 仍無異常徵狀出現。歐洲赤松(*Pinus sylvestris*)對氟敏感，氟累積量於 50ppm 下即出現明顯之受害徵狀(Vike & Håbjørg，1995)。山茶科(Theaceae)、錦葵科(Malvaceae)、榆科(Ulmaceae)、豆科(Leguminosae)、茜草科(Rubiaceae)、野牡丹科(Melastomataceae)等植物對氟污染具耐受性(Weinstein & Davison，2003)。筆者等(1996)發現，台灣的一些自生植物其葉片氟累積含量達 300ppm 時仍無徵狀產生，如鬼針草、野塘蒿、牛筋草等，顯示其對氟污染極具耐性。夾竹桃、榕樹及印度橡膠樹等綠帶植物對氟污染亦極具耐受性，葉片氟累積含量達 600ppm 時仍無徵狀產生(謝等，1991)。表 1.列出常見植物對氟化物之敏感性。

表1. 常見植物對氟化物污染之相對敏感性

植物種類	敏感性	中度 敏感性	耐受性	植物種類	敏感性	中度 敏感性	耐受性
作物				觀賞花卉			
玉米	+			唐菖蒲	+		
甘藷	+			山茶			+
番茄		+		木本植物			
豌豆		+		歐洲赤松	+		
菠菜			+	槭樹	+		
胡蘿蔔			+	楓樹	+		
茶樹			+	茄苳	+		
果樹				橄欖	+		
香蕉	+			木麻黃		+	
葡萄	+			菩提樹		+	
草莓		+		樟樹		+	
柑橘			+	榕樹			+
雜草				夾竹桃			+
鬼針草			+	構樹			+
野塘蒿			+	印度橡膠樹			+
牛筋草			+	蓖麻			+

植物依對氟之反應可分為：抗氟植物、耐氟植物及氟敏感植物。「抗氟植物」是指植物在污染區仍生長良好，發育正常，植體

中氟累積量相對不高，其原因主要與其生態特性有關，從解剖結構上看是葉片角質、腊質層厚的植物如橡膠榕、夾竹桃、大葉黃楊等植物的抗性都較強；即其吸氟能力小所以不致在污染區中受害。葉片柵狀組織層數多，排列緊密的植物抗性強，上、下表皮細胞多層的抗性強；葉面氣孔小並且氣孔下陷呈水平的或凸出的植物抗性強；這些結構特點都表現出對氟的吸收不利(陳等，1990)。「耐氟植物」是指植物吸氟能力強，植體雖累積高量的氟但仍未出現受害徵狀，主要可能與其生理代謝有關，具此特性者是淨化空氣的優良植物。「氟敏感植物」這類植物的共同特點是含氟量低時即出現受害徵狀，大氣中含有 ppb 濃度的氟時即會受害，例如葡萄及、唐菖蒲，其危害臨界濃度分別為 25 及 35 ppm。

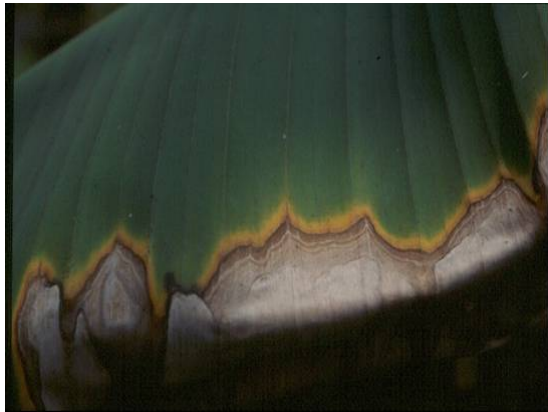
隨暴露時間增加植體中氟的累積量也增加，受害徵狀也愈為明顯，氟化物誘發之徵狀如下：1.受害部葉綠素消失組織黃化，顏色呈灰黃綠色，但葉片仍生存；2.植物受害後組織死亡而造成顏色改變，死亡部位形成紅棕色；3.受害葉子變形及變色，葉片外觀產生捲曲、皺縮及崎嶇不平。一般而言，於高濃度時，組織中氟的濃度增加會造成葉脈間立刻壞疽，低濃度時則逐漸累於葉尖及葉緣處而出現典型之病徵，通常在健康及死亡的組織間會有一條明顯之分界線(李等，1984；謝，1989)。



陶瓷廠周邊受害茶園全景(距工廠愈近之茶樹受害愈嚴重)。



茶葉葉尖及葉緣因氟累積出現枯乾，枯乾部位易剝落。



磚窯廠周邊香蕉葉片受害徵狀(葉緣枯乾，受害部位與健康部位間有明顯黃褐色波狀界限)。



陶瓷廠周邊木本植物—紅楠葉片出現乾枯捲曲之受害徵狀。

氟化物對植物之傷害除因氟累積而對細胞產生破壞外，其對生理和生化之影響亦頗大(李等，1985；Chang，1968；Chang，1970；MuCune，1964)，如影響糖解酵素之活性而干擾呼吸作用；影響光合作用之進行(Boese *et al.*, 1995；Choi *et al.*, 2006)；抑制而干擾氮之代謝(Holopainen，1991)。氟在組織中能與金屬離子鈣、鎂、銅、鋅、鐵或鋁等結合而引起上述元素之缺乏症；氟化氫會影響花粉之發芽及花粉管生長而影響植物之結果及產量(Pandey,1985)等。氟化物除對葉部產生危害，亦會傷害果實部位，例如桃子果實受氟危害時，果實會產生裂縫而失去商品價值。張等(1997)發現氟污染除造成葉尖及葉緣枯乾，也會抑制果實之發育。

氟污染源周界植體中氟化物之累積

氟化物是空氣中之濃度與植物葉部累積量有直接相關性的污染植物之一，污染源周邊植物明顯有氟之累積現象(Krupa，1997)，葉片為氟污染之主要累積部位。國外有關氟污染源周邊植物受氟污染影響之研究，主要探討周邊植物之氟含量及其族群之變化。Pandey(1985)調查煉鋁廠附近植物(*Terminalia tomentosa* 及 *Buchanania lanzan*)葉片中之氟含量，結果發現隨著與工廠距離增加葉片中之氟含量減少，葉部受害面積亦減少，葉綠素 a 及 b 之含量則增加。Lackoricova(1991)發現森林內之蘚苔、地衣其氟含量隨與污染源之距離增加而遞減，加拿大白楊(*Populus canadensis*)及洋槐(*Robinia pseudoacacia*)葉片中之氟含量亦隨與污染源之距離增加而遞減，且其樹皮之 pH 值亦降低，因而影響附生植物之生長及族群之分佈，

改變當地之植物生態。余叔文等(1990)發現重慶南山森林中之主要樹種馬尾松(*Pinus massoniana*)有逐漸減少之趨勢，由其葉片產生之徵狀及檢測葉片之硫及氟含量，愈接近工廠其狀況愈顯著，並檢測空氣中二氧化硫及氟含量，結果發現空氣污染是危害主因。Haidouti(1993)之研究報告指出，煉鋁廠周圍之自生植物形態上已受嚴重傷害，受害徵狀為葉片黃化、壞疽，分析葉片之氟含量發現，隨徵狀之嚴重程度加大其氟含量亦增加，但某些種類植物雖累積高量氟卻無異常徵狀出現；工廠周邊土壤總氟含量偏高，土壤性質亦受污染物影響而改變，例如形成氟化氫而影響土壤之 pH 值，繼而影響地表覆蓋植被之生長。報告中將植物依受害徵狀輕重程度劃分成三區：壞疽、黃化及無徵狀，這三區植物之氟含量範圍分別為 200~400ppm、100~200ppm 及小於 100ppm，植物葉片氟含量在 200~400ppm 約分佈在工廠周圍 2.5 公里內，植物葉片氟含量在 100~200ppm 約分佈在工廠周圍 2.5~7.5 公里內，至距工廠 15 公里處植物葉片中之含氟量尚有 50ppm，氟污染之擴散範圍極大。Klump 等(1996)以敏感之唐菖蒲葉部受害程度及黑麥草(*Lolium multiflorum*)之氟累積量來探討氟污染影響情形，葉部氟累積量與葉部受害面積之線性關係顯著，發現肥料工廠所排放出之氣態氟或粒狀氟化氫是造成 Atlantic 雨林衰退之主要原因。由上述之報告顯示，氟化物污染源周圍植物普遍有氟之累積情形，植物體中氟之累積量與污染源之距離呈正相關。氟污染除植物生長受直接影響外，對植物生態乃至整個生態系之影響亦頗大，值得深思。

台灣地區植物受氟污染情形則多發生在陶瓷、磚窯廠周圍。鶯歌地區有許多磚窯及陶瓷工廠，工廠周圍之水稻秧苗出現葉尖尖枯、黃化之病徵，結果於受害的稻葉、稻穀及稻穗中皆分析到較高之氟累積量，其中以稻葉之氟累積最高，枯萎部位之氟含量為 460~1280ppm (Sun, 1985)。花壇地區亦曾發生氟化物污染危害之案例，水稻葉片之氟含量為 70.4~283ppm(康, 1994)。徐等(1999)調查中部地區磚窯廠周邊作物及自生草本植物受大氣中氟污染之影響，植體中氟之累積量普遍較非污染區為高。磚窯廠周邊自生草本植物葉片之氟累積量隨著與污染源距離增加而減少，植體中氟化物之累積以葉部高於莖部，葉部氟累積倍數達莖部之 4.0~9.3 倍，以昭和草為例，其葉片之含氟量為 220ppm 時，莖部為 23.6ppm。當地主要作物香蕉及檳榔植株之氟含量調查結果發現，成熟葉之含氟量較新葉為高，葉部又以葉尖最高；果實氟含量則未增高，與非污染區相近，可見香蕉葉部所累積之氟並不會轉移至香蕉果實而影響食用安

全。自生植物葉片中氟含量視植物種類而異，如：野塘蒿其最高氟含量為 326ppm，竹仔菜之最高含量為 108ppm，這些自生植物其氟含量頗高但並無受氟危害之徵狀出現，可見這些自生植物對氟污染之忍受性頗高，應可利用作為探討氟污染影響範圍之監測指標植物。筆者於桃園地區一陶瓷廠周邊進行自生草本植物氟含量調查，結果發現磁磚廠周邊之茶樹及草本、木本植物之葉片皆明顯有氟累積現象，位於工廠西南側之咸豐草葉片出現氟危害之徵狀，有輕微之緣枯現象，葉片氟含量達 7665ppm；有輕微之緣枯現象之野塘蒿其氟含量達 5526ppm，本區無受害徵狀之野塘蒿葉片氟含量為 1893ppm。工廠西南側屬下風處，西南側生長之植物其氟含量較周界其他方位處為高，東北側之野塘蒿氟含量為 164ppm。周邊多年生木本植物—紅楠(*Machilus thunbergii* Siel. Dt Zucc. 樟科楠木屬)及黃肉樹(*Litsea hypophaea* Hay. 樟科木薑子屬)之葉片同樣出現葉尖及葉緣乾枯捲曲之徵狀。紅楠葉片氟累積量為 1903~2644 ppm；黃肉樹葉片之氟累積量為 1184.3 ppm，葉片乾枯部位之含氟量為綠色部位之 1.9 倍。陶瓷工廠周圍之主要栽培作物為茶葉，茶葉之葉尖枯乾，分析茶葉之綠色部位及枯乾部位氟含量，枯乾部位之氟含量約為綠色部位之 1.6 倍。上述二個調查區域(中部磚窯廠及桃園陶瓷廠)其空氣品質經環保單位監測雖屬合格，但周邊植物之氟含量則普遍偏高，部分植物有氟化物危害之徵狀產生，氟化物污染對植物之危害多因長期累積而導致，研訂空氣品質標準時，應將長期氟化物污染下所造成之慢性危害情形列入考慮。空氣中之氟化物雖不如二氧化硫可飄散較遠，通常 4~5 公里範圍為其污染受害區域範圍，影響區域內之植物明顯有氟之累積，除直接影響植物生長外，對植物生態乃至整個生態系之影響亦頗大，值得深思。

氟污染之化學分析

科學數據是最能取信於大眾，污染危害農作物之公害糾紛若可藉由化學分析予以鑑定，對當更具公信力。適合利用植體分析來鑑定是否為空氣污染危害之污染物須具有下列特性：有累積性、不易被分解、且非植體中普遍存在之元素，氟化物即具上述特性。氟化物對植物之危害除造成典型之徵狀外，氟化物會累積於植體中，植株受害枯乾甚至死亡後仍可自植體中分析出氟之成份，因此利用植體中氟含量除可助於更明確地判斷是否為氟化物危害外，尚可推估空氣中氟之污染情形，因為植體中之氟累積量與空氣中氟含量之相

關性極大。氟含量分析可利用色度計(*colorimeter*)、氟離子選擇電極(*fluoride selective electrode*)或離子層析儀(*ion chromatography*)等儀器檢測，而植體中之氟含量則多採用氟離子選擇電極分析，將植物烘乾、磨粉、過篩後，以 1N 鹽酸溶液萃取，再加總離子強度調整緩衝溶液(*TISAB*)，然後以氟離子選擇電極檢測。

空氣污染物與植體接觸造成危害後，可能被植物代謝而隨之消失，因此並非所有污染物危害植物後皆可藉由化學分析予以鑑定。無法由受害植體中檢驗出之污染物有：臭氧、氮氧化物、乙烯等。臭氧由葉面氣孔進入植物體，接觸細胞後形成自由基(*free radical*)，因強烈之氧化作用而逐漸消失，並不會以臭氧之形式存在植體中，因而在受害植體中無法檢測出臭氧之含量。氮氧化物進入植物後之情形與臭氧相仿，會因強烈之氧化作用而逐漸消失，因而在受害植體中無法檢測出氮氧化物之含量。空氣中過量之乙烯會對植物造成落葉或落果之現象，而植物本身亦含有乙烯，因此檢驗植體中之乙烯含量並無法區分其來源，而無法鑑識是有受乙烯危害。

結 語

大氣中的氟化物累積於植物體中除會導至葉片受害、影響植株之生理作用而使生長受阻、產量減少外，最值得注意的是，累積有氟的農產品若為人畜食用，間接會對人畜造成毒害(*世界衛生組織, WHO*)。在歐洲已有報告指出，牛隻長期食用含有低濃度氟之牧草，而引起氟慢性中毒現象。印度地區曾發生飲用水遭氟污染而引起氟骨症。大陸四川田園及農業區之居民發現有氟中毒之情形，其原因是飲用氟含量較高的茶磚沖泡之茶水(*Fung, 1999*)。西藏人因生活中頗嗜好茶磚，攝取氟太多，有不少西藏人因而在齒面上生成黃斑和鋸齒狀的腐蝕氟中毒之現象(*Cao, 2004*)。張等(*2002*)報告中即指出中國少數民族地區在出現飲茶型氟中毒，原因為飲用氟含量較高的茶磚沖泡之茶水所導致。台灣地區磚窯廠或陶瓷廠附近之農作物雖無明顯氟之危害徵狀產生，但有氟之累積情形，其累積量是否會對人畜造成毒害，尤其是葉部可食用之作物，如茶葉或葉菜類等，值得進一步探討。目前環保單位訂定空氣污染物之標準值是以保護人畜健康為主要考量，氟化物污染對植物之危害多因長期累積而導致，環保單位在研訂空氣品質標準時，應將長期氟化物污染下所造成之慢性危害情形及氟在植體中之累積性列入考慮，以保障農作物之品質及人畜之食用安全。

參考文獻

1. 李國欽、李貽華。1984。空氣污染為害植物之診斷。臺灣植物保護中心印，台中。
2. 李貽華、李國欽。1985。空氣污染對農作物之影響 II、氟化物。科學農業，33：68-71。
3. 李貽華、徐慈鴻、蔣慕琰。1996。氟化物污染源周邊植物氟之累積情形。農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯 p.87~96。臺灣省農業試驗所印行，台中。
4. 李貽華、徐慈鴻、蔣慕琰。2003。磁磚廠周邊茶樹及雜草受氟害之徵狀及氟累積量之研究。中國農業化學會誌 41: 87~94。
5. 李貽華、徐慈鴻、蔣慕琰。2004。公害污染對植物之影響與鑑定案例介紹。145 頁。農業藥物毒物試驗所印行，台中。
6. 林茂盛、張瑞明、陳琳湖。1994。空氣污染危害農作物徵狀診斷圖鑑，pp. 60-82。臺灣省農業試驗所，台中。
7. 徐慈鴻、李貽華、蔣慕琰。1999。磚窯廠周邊香蕉及檳榔氟化物累積及葉部傷害。中國農業化學會誌 37: 489-497。
8. 張承林、黃輝白、陳厚彬。1997。芒果對氟的吸收與果實生理病害關係。園藝學報 24：111-114。
9. 張鳳屏、楊光盛。1994。包種茶中無機成分之含量與其浸出率之研究。臺灣茶業研究彙報 13：121-138。
10. 陳國階，余大富。1990。環境中的氟，pp. 84-102. 科學出版社，北京。
11. 劉振宇、商啟。1995。台灣磚瓦窯業產業污染及能源消耗量之研究。台灣銀行季刊，46: 304-337。
12. 謝慶芳、林景和、徐國男。1991。綠帶植物對窯業廢氣之抵抗性試驗。台中區農業改良場研究彙報 30：53-69。
13. 謝慶芳。1989。利用指標植物監測空氣污染。pp.7。台中區農業改良場特第 11 號。
14. 康耿章。1994。花壇地區氟化物空氣污染之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
15. Altman, P. L. and D. S. Dittmer. 1966. Susceptibility to air pollutants : Spermatophytes Part III. Fluoride. *In* : Environmental Biology. pp. 312-313. Federation of American Societies for Experimental Biology Press, Maryland, USA.
16. Boese, S. R., D. C. MacLean and D. El-Mogazi. 1995. Effect of fluoride on chlorophyll a fluorescence in spinach. *Environ. Pollut.* 89: 203-208.
17. Cao, J., S. F. Luo, J. W. Liu and Y. Li. 2004. Safety evaluation on fluoride content in black tea. *Food Chem.* 88: 233-236.
18. Choi, D. S., M. Kayama, H. O. Jin, C. H. Lee, T. Izuta and T. Koike. 2006. Growth and photosynthetic responses of two pine species (*Pinus koraiensis* and *Pinus rigida*) in a polluted industrial region in Korea. *Environ. Pollut.* 139: 421-432.
19. Davison, A. W. 1983. Uptake, transport and accumulation of soil and airborne fluorides by vegetation. *In* : Fluorides - Effects on Vegetation, Animals and Humans.

- pp. 61-82. Shupe, J. L., Peterson, H. B., and Leone, N. C. (eds.) . Paragon Press, Salt Lake City, Utah, USA.
20. Fung, K. F., Z. Q. Zhang, J. W. C. Wong and M. H. Wong. 1999. Fluoride contents in tea and soil from tea plantations and the release of fluoride into tea liquor during infusion. *Environ. Pollut.* 104:197-205
 21. Haidouti, C., A. Chronopoulou and J. Chronopoulou. 1993. Effects of fluoride emissions from industry on the fluoride emissions from industry on the fluoride concentration of soils and vegetation. *Biochem. System. Ecol.* 21:195-208.
 22. Hornotvedt R. 1995. Fluoride uptake in conifers related to emissions from aluminum smelters in Norway. *Sci. Total Environ.* 163: 35~37.
 23. Klumpp A., M. Domingos and G. Klumpp. 1996. Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertilizer industries at Cubatão, Brazil. *Sci. Total Environ.* 192: 219-228.
 24. Krupa, S. V. 1997. Air quality and crops. *In: Air Pollution, People, and Plants. (An Introduction).* pp. 95-116. APS (The American Phytopathological Society) Press, Minnesota, USA.
 25. Lackoricova, A. and A. Kubinska. 1991. The fluoride accumulation in transplanted soil mosses and lichen in flood plain forests closed to Bratislava (Southwestern Slovakia). *Biologia* 46: 781-789.
 26. Pandey, G. P. 1985. Effects of gaseous hydrogen fluoride on leaves of *Terminalia tomentosa* and *Buchanania lazan* trees. *Environ. Pollut. Ser. A.*, 37: 323-334.
 27. Sun, E. J. and H. J. Su. 1985. Fluoride content injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. *Environ. Pollut. Ser. A*, 37 : 323-334.
 28. Treshow, M. 1971. Fluorides as air pollutants affecting plants. *Ann. Rev. Phytopathology* 9: 21-44.
 29. Treshow, M. and K. A. Franklin. 1991. Fluoride: Origins and effects. *In : Plant Stress from Air Pollution.* pp. 61-76. John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, USA.
 30. Van der Eerden, L. J. 1991. Fluoride content in grass as related to atmospheric fluoride concentrations: a simplified predictive model. *Agric. Ecosys. Environ.* 37:257-273
 31. Vike, E. 1999. Air-pollutant dispersal patterns and vegetation damage in the vicinity of three aluminum smelters in Norway. *Sci. Total Environ.* 236: 75-90.
 32. Vike, E. and A. Håbjørg. 1995. Variation in fluoride content and leaf injury on plants associated with three aluminium smelters in Norway. *Sci. Total Environ.* 163: 25-34.
 33. Weinstein, L.H. and A. W. Davison. 2003. Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride. *Environ. Pollut.* 125: 3-11
 34. Weinstein, L.H., 1977. Fluoride and plant life. *Journal of Occupational Medicine* 19, 49-78.
 35. WHO. 1984. Fluorine and Fluorides, pp. 136. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

附表 1.

中華民國 81 年 4 月 10 日行政院環境保護署(81)環
署空字第一三四六五號令訂定發布全文六條
中華民國 88 年 7 月 21 日行政院環境保護署(88)環
署空字第○○四六六六五號令修正發布第一條、第
二條條文
中華民國 93 年 10 月 13 日行政院環境保護署環署
空字第 0930072220 號令修正發布第二
條條文

空氣污染物之空氣品質標準

項	目	標	準	值	單	位
總懸浮微粒 (TSP)	24 小時值			250	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)	
	年幾何平均值			130		
粒徑小於等於十微米 (μm) 之 懸 浮 微 粒 (PM10)	日平均值或			125	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)	
	24 小時值					
	年平均值			65		
二氧化硫 (SO_2)	小時平均值			0.25	ppm (體積濃度百萬分之 一)	
	日平均值			0.1		
	年平均值			0.03		
二氧化氮 (NO_2)	小時平均值			0.25	ppm (體積濃度百萬分之 一)	
	年平均值			0.05		
一氧化碳 (CO)	小時平均值			35	ppm (體積濃度百萬分之 一)	
	8 小時平均值			9		
臭氧 (O_3)	小時平均值			0.12	ppm (體積濃度百萬分之 一)	
	8 小時平均值			0.06		
鉛 (Pb)	月平均值			1.0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)	

說明：

小時平均值：係指 1 小時內各測值之算術平均值。

8 小時平均值：係指連續 8 個小時之小時平均值之算術平均值。

日平均值：係指 1 日內各小時平均值之算術平均值。

24 小時值：係指連續採樣 24 小時所得之樣本，經分析後所得之
值。

月平均值：係指全月中各日平均值之算術平均值。

年平均值：係指全年中各日平均值之算術平均值。

年幾何平均值：係指全年中各 24 小時值之幾何平均值。

資料來源：行政院環境保護署(<http://w3.epa.gov.tw/epalaw/docfile/040060.doc>)