

CHAPTER 2-2

大氣污染之來源與影響

Sources and Effects of Air Pollution

Hsun-Ling Bai

Institute of Environmental Engineering

國立交通大學

National Chiao Tung University

目錄

- 2-2 主要大氣污染物
 - 2-2.6.鉛Pb
 - 2-2.7. 光化學性高氧化物
 - 2-2.8.非甲烷碳氫化合物, NMHC (VOCs)
 - 2-2.9. 異味
 - 2-2.10. 鹵化物
 - 2-2.11.汞 (水銀) Hg
 - 2-2.12. Persistent Organic Pollutants · POPs
- 2-3 空氣污染對人類健康的影響
- 2-4 空氣污染對植物的影響
- 2-5 空氣污染對物質的影響

2-2.6. Lead, 鉛Pb

Source: leaded gasoline (being phased out), paint (houses, cars), smelters (metal refineries); manufacture of lead storage batteries 使用有鉛汽油及燒煤，以及煉鉛、鉛蓄電池製造工廠所排放。

表2-13 中華民國環保署空氣污染物監測結果

鉛Lead, Pb	平均值(臺北市) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
83年	0.24
84年	0.11
85年	0.10
86年	0.09
87年	0.05
88年	0.02
89年	0.03
	國家環境保護計畫目標值
90年	0.07
95年	0.06
100年	0.05

2-2.6. Lead, 鉛Pb

Health Effects: brain and other nervous system damage; children are at special risk. Some lead-containing chemicals cause cancer in animals. Lead causes digestive and other health problems. 鉛中毒輕症時為可逆性 (血中鉛含 40ug/100ml (大人), 10ug/100ml (小孩) 以上)。

鉛在塗料中的防鏽及增艷特性，使其普遍被使用。鉛在人體血液中的半衰期約須30天，一旦不幸進入骨骼中，半衰期更長達25年，根據美國疾病管制署的公告標準，成人血液中鉛濃度超過10ppb (十億分之一濃度)、六歲以下兒童超過5ppb，就可定義為「鉛中毒」。^[1]

症狀：傷害紅血球、肝、腎、神經及智力。鉛化物進入人體可使人貧血、多發性神經病變、腹部疼痛、腎衰竭、高血壓、痛風、**智力減低**。牙齒變黑，神經麻痺，易引發血管病、腦溢血及慢性腎炎等疾病。

Environmental Effects: Lead can harm wildlife.

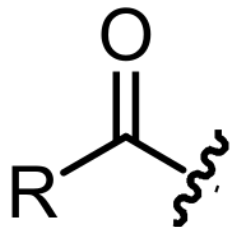
鉛化物會使車輛之觸媒中毒失效

[1] From : [林杰樑生前極關心！鉛中毒症狀難判斷 診斷比治療更困難](#)

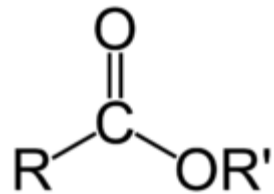
2-2.7. 光化學性高氧化物

石化燃料生產過程中，排放出的氮氧化物 NO_x 和碳氫化合物 HC ，在空氣中累積，在太陽光能(紫外線 $300\text{-}400\text{nm}$)作用下進行光化學反應而生成的煙霧二次污染物，主要成分是臭氧(O_3)和過氧硝酸乙醯酯(又稱過氧乙醯基硝酸酯, 過氧乙醯基硝酸鹽, 過氧硝酸乙醯酯, 或過氧醯基硝酸鹽, peroxy-acetyl nitrate, **PAN**)。

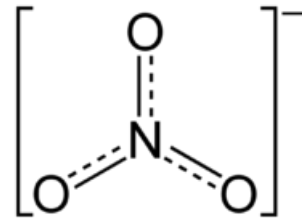
醯基 (acyl group) 指的是有機或無機含氧酸去掉羥基後剩下的一價原子團，通式為 R-M(O)-



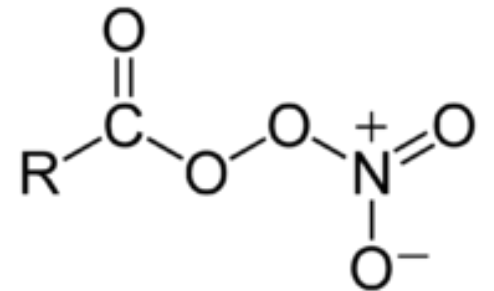
酯 (Ester)，是指有機化學中醇與羧酸或無機含氧酸發生酯化反應生成的產物。



硝酸鹽是一個多原子離子其分子式 NO_3^- , 硝酸鹽同樣描述為有機官能團 RONO_2



過氧醯基硝酸鹽的通式



2-2.7.光化學性高氧化物

- PANs是洛杉磯型煙霧（光化學煙霧）中的主要二次污染成分之一。它不是由人類活動或是自然活動所產生的直接排放物，而是在光的參與下，醛類與氫氧自由基通過氧氣生成過氧醯基，再與二氧化氮反應製得。它不僅是光化學煙霧中刺激眼睛的主要有害物，而且是造成皮膚癌的可能致變劑，還是植物的毒劑。事實上，正是對光化學污染條件下洛杉磯 San Gabriel Valley中農作物病變的研究直接導致了這種「新型」化合物的發現。[1]
- For example, peroxyacetyl nitrate, $\text{CH}_3\text{COOONO}_2$:
$$\text{Hydrocarbons} + \text{O}_2 + \text{NO}_2 + \text{light} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOONO}_2$$
- The general equation is:
$$\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_3 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{C}_x\text{H}_y\text{O}_3\text{NO}_2$$
- PAN的量測一般使用GC (gas chromatograph)+ECD (electron capture detector)，目前已有商用連續自動量測儀器被開發。

2-2.8.

VOCs, HC, Non-Methane Hydrocarbon NMHC 非甲烷碳 氫化合物, THC, TVOCs

常見名詞:

- HC hydrocarbons
- VOCs Volatile Organic Compounds (揮發性有機物，法規定義見次頁)
- TVOCs Total Volatile Organic Compounds
- NMHC Non-methane hydrocarbon
- THC Total hydrocarbons: volatiles and some semi-volatiles HCs

不同的儀器所量測的揮發性有機物就不同，因此在呈現時，需註明儀器量測方法。在名詞定義上，則各有其不同來源而未必相同，建議只採用有法規依據者

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氫化合物, THC, TVOCs

- 在正常大氣條件下，VOCs大都以氣態存在，本身常具危害性，亦為產生臭氧和其他光化學空氣污染物的前驅物質。
- 在「[揮發性有機物空氣污染管制及排放標準（100.02.01.）](#)」中，對揮發性有機物(Volatile Organic Compounds，VOCs)定義：指在一大氣壓下，測量所得**初始沸點在攝氏二百五十度以下有機化合物**之空氣污染物總稱。但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、二硫化碳、碳酸、碳酸鹽、碳酸銨、氰化物或硫氰化物等化合物。
- 而在「[半導體製造業空氣污染管制及排放標準（91.10.16）](#)」中，揮發性有機物係指**有機化合物成份之總稱**。但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、碳酸、碳化物、碳酸鹽、碳酸銨等化合物。

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氫化合物, THC, TVOCs

VOCs反應性:

- 大部份之VOCs具有高度之光化學反應能力，在陽光下經由紫外線照射，排放於大氣中之VOCs很容易被氧化，而氧化所形成之游離基(Radicals)，會再與大氣中其他化學成份，例如NO等反應，形成高濃度之臭氧及其他過氧化物(如PAN等)。
- 在所有之VOCs中，並非每一種VOC皆有相同之光化學臭氧形成潛勢(Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)。美國環保署為了管制VOCs種類，逐年檢討將不易參與光化學反應之化合物，如Methane、Ethane、Methylene Chloride、Freon113、Methyl Chloroform、CFC-11、CFC-12、CFC-22、CFC-23、CFC-114與CFC-115等扣除，未被扣除的VOCs，即為需列管、會產生O₃的**反應性VOC (ROG, reactive organic gas)**。[1,2]

[1] 參考 <https://www.epa.gov/ozone-pollution/ozone-volatile-organic-compound-voc-exemptions-rules>

[2] https://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/vocs/vocproj/2voc_exempt_list.pdf

2-2.8.

VOCs 管制考量層面 以 Methylene chloride 為例

- VOCs 管制至少應考量兩個層面: **對O3之生成潛勢、本身的危害性**
 - 例如 二氯甲烷 (Methylene chloride) 是不被USEPA管制應被列為ROG的物種，但因其本身的危害性 (吸入大量的二氯甲烷會 損害中樞神經系統，若接觸到眼睛或皮膚則會導致灼傷)，仍是需要被管制的VOCs
- 對於VOCs性質的了解，最快速的方法還是參考MSDS資料。
- 依據「**固定污染源空氣污染防制費收費費率**」附表規定，加徵了13種個別物種: 甲苯、二甲苯、苯、乙苯、苯乙烯、**二氯甲烷**、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、三氯甲烷(氯仿)、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯，其中甲苯、二甲苯為每公斤5元，其餘每公斤30元。

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氫化合物, THC, TVOCs

VOCs排放來源:

Source: VOCs are released from burning fuel (gasoline, oil, wood coal, natural gas, etc.), solvents, paints, glues and other products used at work or at home. Cars are an important source of VOCs. VOCs include chemicals such as benzene, toluene, methylene chloride and methyl chloroform [3]

[3] 參考Quizlet, <https://quizlet.com/73020465/the-common-air-pollutants-flash-cards/>

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氫化合物, THC, TVOCs

VOCs排放來源:

1. 不完全燃燒

各種氣、液、固體燃料在鍋爐、加熱爐等的外部燃燒，與垃圾、廢五金、農業廢料等的露天燃燒，以及汽、柴油在車輛引擎內的內部燃燒等，當燃燒不完全時皆有可能產生大量之VOCs。

2. 製程排放

在煉油、石化等工業，各種氧化、蒸餾等單元程序與單元操作中的製程排放口與設備元件軸封處等，皆有可能排放出化學反應狀態中之VOCs。

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氫化合物, THC, TVOCs

VOCs排放來源:

3. 油品揮發

在煉油廠、油庫、加油站之貯槽，可能因日夜溫差效應及進出料作用，而由呼吸閥逸散出大量的油品。此外，在加油站加油之同時，或車輛的油箱以及曲軸箱，亦有可能逸散出油品。

4. 溶劑使用

有機溶劑之使用甚為廣泛，煉油、石化及其他製造業等的萃取程序、表面塗裝、表面清洗，乃至汽車保養、乾洗、印刷、建築塗裝、瀝青鋪設，以及一般消費用品等皆有有機溶劑的存在，而這些有機溶劑經使用後，若未加以處理，即直接逸散至大氣中。

5. 生物作用

污水廠及垃圾掩埋場等，因微生物之作用會排放出多種的VOCs。此外，各植物相亦會排出大量的VOCs。

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氫化合物, THC, TVOCs

表2-14中華民國環保署空氣污染物監測結果

(因光化測站之建立，VOCs改為物種化監測，環保署不再統計NMHCs之監測數值)

碳氫化合物 (非甲烷, NMHC)	年(月)平均 值 ppmC as CH4	Am6~9測定值之平均 值, ppmC as CH4	Am6~9之平均值超 過 0.24ppmC 之日 數比率, %
83年	0.52	0.61	74.04
84年	0.53	0.61	71.66
85年	0.58	0.69	73.06
86年	0.57	0.66	74.30
87年	0.41	0.44	63.19
88年	0.37	0.41	61.03
89年	0.30	0.32	51.36

2-2.8. VOCs, Non-Methane Hydrocarbon NMHC非甲烷碳氢化合物, THC, TVOCs

Health Effects: In addition to ozone (smog) effects, many VOCs can cause serious health problems such as cancer and other effects

Environmental Effects: In addition to ozone (smog) effects, some VOCs such as formaldehyde and ethylene may harm plants.

Many VOCs are also hazardous air pollutants, which can cause very serious illnesses. EPA does not list VOCs as criteria air pollutants, but they are included in this list of pollutants because efforts to control smog target VOCs for reduction.

2-2.9.異味

依據環保署相關法規(異味污染物為空氣污染物 (96.08.28.訂定))之定義，異味污染物係指“足以引起厭惡或其他不良情緒反應氣味之污染物”。

其受主觀因素影響甚大，至於是否構成「異味」之程度，則恐有甚大爭議，因此雖然異味在2007年8月28日被正式公告為空氣污染物，但由於不同人員對氣味之「認知」不同，感受程度亦有所不同，故欲予以明確分類實有困難。

異味物質之閾值: 異味物質多半是**硫(S)及氮(N)的還原性化合物或碳氫化合物(HC)**，例如：脂肪族碳氫化合物。一般而言，當異味物質之濃度低於一定值時，就無法由鼻子聞到，因此，通常以鼻子所能聞到之最低濃度，定義為該異味物質之閾值。

2-2.9. 異味

- 物質之所以會產生異味，應具備有下列三種特性：
 1. 可揮發性，藉此作用傳送到嗅覺器官。
 2. 可被嗅覺器官之上表皮細胞所吸附。
 3. 在嗅覺區（或嗅覺上表皮細胞）不常見之物質。

2-2.9.異味通則 (1/2)

Moncrieff(1957)曾提出62條異味與化學組成之一般通則，其中較常見者為：

- 1.強烈味道之物質通常具揮發性，化學反應性較高。
- 2.決定異味之主要因素為該分子之組成架構。
- 3.對環狀化合物而言，環數可決定其異味，如五至六環者具有苦杏仁味，六至九環者為過渡性味道，九至十二環者為樟腦或薄荷味，十三至十六環者為木頭或香柏味，十四至十六者為泥土味，十七至十八環為麝香味，大於十八環者則味道甚輕，甚至於無味道。

MONCRIEFF RW. Olfactory adaptation and odor-intensity., Am J Psychol. 1957 Mar;70(1):1-20.

2-2.9.異味通則 (2/2)

○ Moncrieff(1957) 異味與化學組成之一般通則：

4. **蒸氣壓**：由於異味物質分子必須和味道感覺細胞接觸，因此蒸氣壓較高者其味道較濃，例如汽油和重油比較，樟腦和玻璃比較。

但也有例外，如香貓酮(Civetone)^a，味道強烈但蒸氣壓僅為 10^{-3} mmHg，而水蒸氣壓為17.5mmHg，卻不具味道。

5. **溶解性**：由於異味物質必須穿過油質之纖毛，以及纖毛周圍之水性黏液，才能由感覺細胞感應，因此有些強烈異味物質為可溶於水及油，但乙二醇^b例外，其雖易溶於水，但無明顯異味。

6. **吸收紅外線**：有些證據顯示異味物可吸收紅外線，但石蠟油及二硫化碳例外，它們有異味，但對紅外線基本不吸收。(因此FTIR經常被利用來檢測週界中的異味物質)

a香貓酮(civeton)散發出獨特、具吸引力之香氣，為高級香水之調香材、保留劑、可使精神爽快。

b乙二醇：透明無色，具吸濕性，有甜味。

2-2.9.異味：法規規範物質

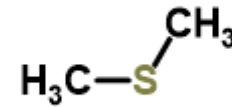
根據「[空氣污染防制法施行細則 \(92.07.23.\)](#)」，惡臭污染物包括下列幾項：

一. 硫化甲基 $[(CH_3)_2S]$ 。

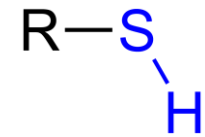
二. 硫醇類 (RSH) 。

三. 甲基胺類 $[(CH_3)_xNH_{3-x}]$ ， $x=1, 2, 3$

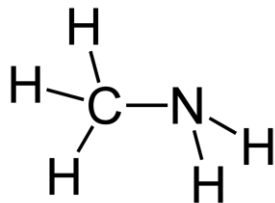
二甲基硫 Dimethyl sulfide
 $(CH_3)_2S$



硫醇類 Thiol
 RSH

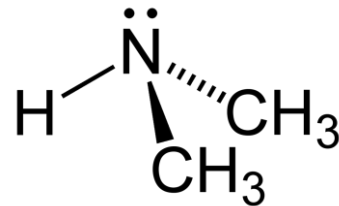


甲胺 Methylamine
 CH_3NH_2



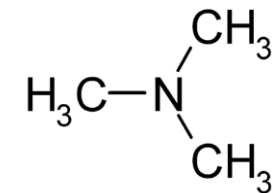
Odor threshold: 0.00075 - 4.8 ppm

二甲胺 Dimethylamine
 $(CH_3)_2NH$



0.00076 - 4.2 ppm

三甲胺 Trimethylamine
 $N(CH_3)_3$ (C_3H_9N)



0.005 - 2.9 ppm

2-2.9. 異味：法規規範物質

而會造成「異味物質」的物種，主要包括下列幾項：

1. 氨 (NH_3)：刺激味
2. 硫化氫 (H_2S)：腐蛋味
3. 硫化甲基 ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$)：腐洋白菜味或腐甘藍菜味
4. 硫醇類 (RSH)：依其化學組成不同，可能有令人不快之臭味、腐洋白菜味及大蒜味
5. 甲基胺類：可分為下列三種
 - (1) 一甲(基)胺 (CH_3NH_2)：氨味、魚腥味
 - (2) 二甲(基)胺 ($(\text{CH}_3)_2\text{NH}$)：氨味、魚腥味
 - (3) 三甲(基)胺 ($(\text{CH}_3)_3\text{N}$)：低濃度腐魚腥味、高濃度氨味

此外，汽車排氣中的臭氣含有多種VOC物質，主要有甲醛、丙烯醛等燃料不完全燃燒或中間裂解產物。

2-2.10. 鹵化物

(1) 鹵代烴

鹵代烴主要人為源如三氯甲烷 (CHCl_3)、氯乙烷 (CH_3CCl_2)、四氯化碳 (CCl_4)、氯乙烯 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$)、氯氟甲烷 (C1FM) 等是重要的化學溶劑，也是有機合成工業的重要原料和中間體。在生產和使用過程中因揮發而進入大氣。

海洋也排放相當量的二氯甲烷。

氟氯碳化物或稱氟利昂(Freon)類 (CFC) 化合物，其中最重要的是一氟三氯甲烷 (CFC-11)、二氟二氯甲烷 (CFC-12)。其之前廣泛用作冷媒、氣溶膠噴霧劑、電子工業的溶劑、製造塑料的泡沫發生劑和消防滅火劑等。但因為其為破壞臭氧層物質，因此自85年一月起環保署即全面禁用CFC，工業即以**氟氯碳氫化物(HCFCs)**取代之。

德國政府自2006年元月起亦禁止使用HCFCs於醫療器材中，該項禁令也是全球首例。2009年12月15日，美國環保署 (EPA) 也同時公佈了兩項在2010年限制提供和使用**氟氯烴 (HCFCs)**，包括R-22) 的規定。

2-2.10. 鹵化物

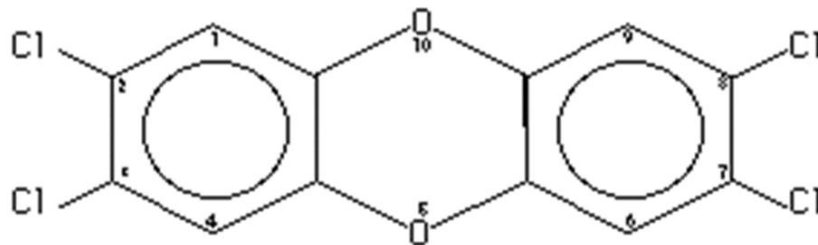
● HCFC管制:

- 我國為依循 [蒙特婁議定書 \(哥本哈根修正案\)](#) 的管制規範，達到2004年削減35%消費量、2010年削減75%、2015年削減90%、2020年削減99.5%、2020-2030年間僅保留0.5%之基準消費量用來供應既有設備的維護需求、**2030年淘汰HCFCs**的目標，自1996年即開始陸續採取各項管制行動並研擬HCFCs消費量管制措施，自2003年開始施行「**氟氯烴消費量管理辦法**」
- 目前使用較廣的HCFC替代品包括**HFC-32、HFC-134a、R410A (HFC-32和HFC-125以1:1比例混合)**、**氨、二氧化碳**等 (From Wikipedia)
- 氟氯烴 (HCFCs) 未經許可不得輸入，且逐步管制、限縮其用途，惟目前國內**舊式車輛空調系統及舊式空調設備**需使用上述管制冷媒，致市場供不應求。
 - 有利可圖的走私行為: [2018-02-27高雄關查獲近13公噸管制冷媒 市值逾500萬元](#)

2-2.10. 鹵化物: Dioxins 戴奧辛

(2) Dioxins 戴奧辛

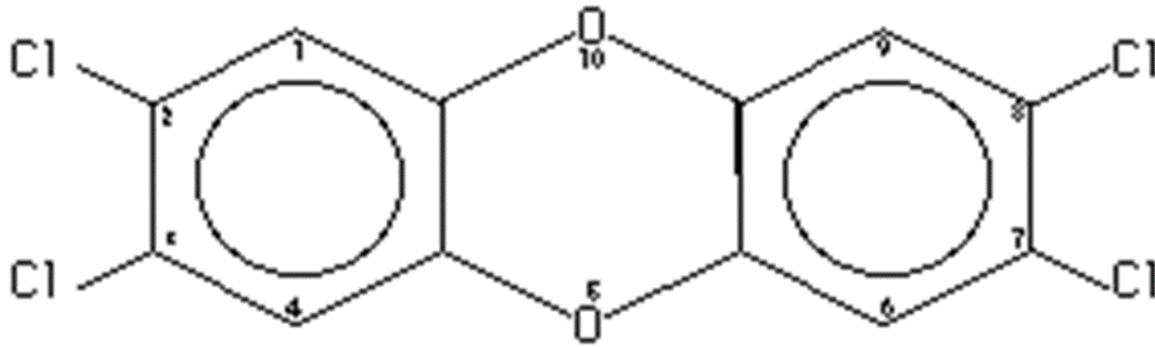
- 一九九九年五月間，比利時發生戴奧辛污染農畜用飼料事件，引發國際間對食品及乳製品中戴奧辛含量問題的重視及討論。
- 戴奧辛（Dioxin, Polychlorinated dibenzodioxins的簡稱）是兩個氧原子聯結一對苯環類化合物之統稱。
- 戴奧辛為約210種不同的化合物之總稱。包括75種多氯二聯苯戴奧辛（Polychlorinated dibenzo-p-dioxins，簡稱**PCDDs**）及135種多氯二聯苯呋喃（Polychlorinated dibenzofurans，簡稱**PCDFs**）。



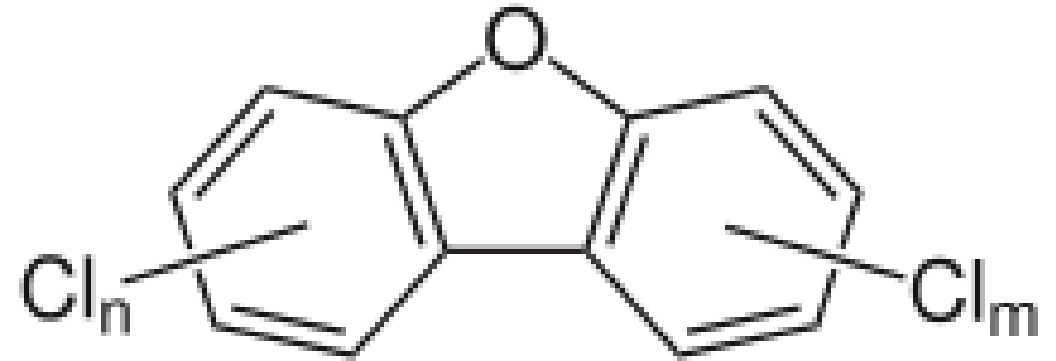
2-2.10. 鹵化物: Dioxins 戴奧辛

其中以數目字1,2,3,4, 6,7,8,9註明的位置的碳原子各有一個氫原子。這些氫原子均可被氯原子取代。

若位於2,3,7,8的氫原子被氯原子取代，則生成:2,3,7,8-四氯聯苯戴奧辛(2,3,7,8-TCDD) (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo -p- dioxin), 即戴奧辛的代表型，簡稱dioxin。



2,3,7,8 Dibenzo-p-dioxin



General chemical structure of **PCDFs**,
where $2 \leq n+m \leq 8$

2-2.10. 鹵化物：戴奧辛物理及化學特性

(一)戴奧辛的物理及化學性質(以2,3,7,8-TCDD為例)：

1. 顏色/性狀：無色針狀。
2. 分子量：322。
3. 熔點：相當高，約305°C~306°C。
4. 辛醇與水的分配係數的對數值($\log K_{ow}$)為6.8。
5. 溶解度：難溶於水
 - (1)水：19.3ng/L。
 - (2)丙酮：0.1g/L。
 - (3)氯仿：0.37g/L。
 - (4)親脂性。
6. 蒸氣壓：極低 7.4×10^{-10} mmHg (25°C)。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛物理及化學特性

(二)戴奧辛的安定性：

化學安定性甚高，在700°C以下不會熱分解。亦不易受生物分解。

1. 暴露在**異辛烷及紫外光**時會改變其化學性質。
2. 戴奧辛在平常狀態下是**非常穩定**的。
3. 戴奧辛在熱、酸、鹼中是非常穩定的。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛物理及化學特性

(三)環境分解性：

1. 生物分解性：模擬水生生態試驗中，100種微生物中僅有5種可分解TCDD。
2. 非生物分解性：在土壤、玻璃及植物葉片上照光6小時，TCDD各減少15%，60%及100%（可光降解）。與氫氧自由基反應半生期為8.3天。在水中不會水解或與單氧或超氧自由基反應。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛物理及化學特性

(四)環境轉移性：

1. **生物濃縮**：鱒魚28天暴露試驗顯示，平均生物濃縮係數(BCF)於乾重及濕重情形下分別為29,200及5,840，排泄半生期14.5天，**生物濃縮性高**，很容易透過食物鏈(Food Chain)轉移到人體。
2. **土壤吸收及移動**：平均土壤吸附係數對數值(logK_{oc})為7.39。**在土壤中移動性極慢，10公分需大於10年的時間。**
3. **在水及土壤中揮發性**：由於水中溶解度為19.3 ng/L，蒸氣壓值為 7.4×10^{-10} mmHg(25°C)，亨利常數為 1.62×10^{-5} atm·m³/mole，揮發速度不快。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

毒性

若以戴奧辛及砒喃之毒性強度來區分，以四個氯之TCDDs較強，其中又以**2,3,7,8-TCDD之毒性最強，僅具1至3個氯者則不具毒性。**

LD₅₀: 0.6 μg/kg雄性天竺鼠體重。

急性效應: 氯症瘡(chloracne)。

慢性效應: 各種癌症。引發畸形兒的出現。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

Dioxin的來源

戴奧辛/呋喃的產生機制，乃因燃燒物中一些含氯苯或氯酚等之有機化學劑(如塑膠PVC、PCB、殺蟲劑、除草劑、清潔劑、農藥及木材防腐劑等)於焚化過程中，因燃燒溫度太低、氧氣不足、混合不充份或停留時間太短，而導致不完全燃燒，成為爐內產生PCDDs及PCDFs之主要原因。

(一)自然生成：

燃燒未經污染的木材也可能產生微量的戴奧辛(包括2,3,7,8-TCDD)，其濃度約在10~12ppt的範圍內。另外森林失火也被認為可能是多氯二聯苯戴奧辛(PCDDs)的自然來源之一。

(二)工業原料製程的副產物：

如用於木材防腐劑的五氯酚(Pentachlorophenol, PCP)和作為除草劑的2,4,5-三氯酚(2,4,5-Trichlorophenol, 2,4,5-TCP)等氯酚類化合物，於產製過程中，亦含微量的戴奧辛副產物。herbicides, fungicides等之製造程序。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

(三)特定工業製程的燃燒行為：

例如金屬冶煉、以廢棄物為燃料之水泥窯、紙漿廠紙漿加氯漂白過程、燃煤或燃油火力發電廠...等的高溫製程，亦可能產生。

(四)廢棄物焚化爐：

一般廢棄物、事業廢棄物焚化爐於燃燒過程中，若操作條件控制不當，也會產生戴奧辛。

(五)其他人為的燃燒行為：

香煙的煙霧、汽、柴油機動車和飛機的廢氣，以及燃燒含氯有機物污染的東西，如露天燃燒垃圾、廢電纜、廢五金等，也被認為是戴奧辛存在環境中的可能來源。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛法規

排放標準(我國法規)

"戴奧辛" 相關法規共 8 筆:

1. 中小型廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準 (94.03.16.)
2. 廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準 (92.08.20.)
3. 煉鋼業電弧爐戴奧辛管制及排放標準 (91.10.16)
4. 鋼鐵業燒結工場戴奧辛管制及排放標準 (93.06.16.)
5. 鋼鐵業集塵灰高溫冶煉設施戴奧辛管制及排放標準 (94.10.12.)
6. 固定污染源戴奧辛排放標準 (95.01.02.)
7. 火化場、輪胎裂解製程、電力業汽電共生業燃煤鍋爐、觸媒再生製程...等固定污染源，應每二年定期檢測戴奧辛排放一次(95.04.06.)
8. 委託環境檢驗測定機構配合本署辦理固定污染源戴奧辛採樣、檢測及資料管理等相關工作 (99.09.09.)

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

焚化爐設計處理量在4公噸/hr以上的煙道排氣所含濃度必須低於0.1 ng-TEQ/Nm³。在4公噸/hr以下者則為0.5 ng-TEQ/Nm³。

TEQ為毒性當量(toxicity equivalency quantity of TCDD)。為能將各種PCDDs及PCDFs之毒性作統一計算，遂發展出毒性當量係數(Toxicity Equivalent Factor, TEF)的觀念以做為換算的依據。

各國目前統一採用NATO(或International)值，其中以最毒之2,3,7,8-TCDD之TEF為基準(1.0)，其他之PCDDs及PCDFs則按其毒性之不同分別以小數表示。當進行PCDDs及PCDFs之採樣分析時，必須求得具毒性之各種氯原子數及其同份異構物之濃度，再按TEF加權計算求得2,3,7,8-TCDD之毒性當量值(Toxicity Equivalent Quantity, TEQ)。

2-2.10. :戴奧辛

戴奧辛國際毒性當量因子I-TEF International Toxicity Equivalency Factor

戴奧辛污染物	國際毒性當量因子 (TEF)	備註：
2,3,7,8-TCDD	1.0	TCDD : tetrachlorinated dibenzo-p-dioxin
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	PeCDD : pentachlorinated dibenzo-p-dioxin
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	HxCDD : hexachlorinated dibenzo-p-dioxin
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	HpCDD : heptachlorinated dibenzo-p-dioxin
1,2,3,7,8,9-HpCDD	0.1	OCDD : octachlorinated dibenzo-p-dioxin
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	PCDDs : polychlorinated dibenzodioxins
OCDD	0.001	TCDF : tetrachlorinated dibenzofuran
2,3,7,8-TCDF	0.1	PeCDF : pentachlorinated dibenzofuran
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	HxCDF : hexachlorinated dibenzofuran
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	HpCDF : heptachlorinated dibenzofuran
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	OCDF : octachlorinated dibenzofuran
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	PCDFs : polychlorinated dibenzofurans
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	
OCDF	0.001	
其他PCDDs及PCDFs	0	

$$TEQ = \sum (PCDD_i \times TEF_i) + \sum (PCDF_i \times TEF_i)$$

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

控制方法

良好燃燒實務(Good combustion practice, GCP, 3T)是戴奧辛及呋喃去除的必要之道。

良好燃燒實務包括高溫、足夠停留時間、良好混合度、進料控制、二次空氣分佈、爐體形狀、適當過剩氧量、避免顆粒狀物飛散、連續監測控制等。

為儘量提升燃燒效率，規定二次空氣注入口下游燃燒溫度一小時平均值**不得低於850°C**。

在二次燃燒室之氣體滯留時間應達**2秒以上**(歐洲共同體與我國新設焚化爐之標準)，以完全分解破壞含氯之碳氫環狀化合物。

且**煙道出口CO一小時動平均值應低於100 ppm**。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

De Novo Synthesis 戴奧辛低溫再合成:

即使於爐內高溫將戴奧辛及呋喃完全去除，廢氣中仍有部份微量較不易藉燃燒而分解之物質(如氯苯、氯酚等)，若干未經完全燃燒破壞之**前驅物質(如氯苯及氯酚等)**隨廢氣離開燃燒室後，在特定的環境下(充份氧量、具催化性物質如 CuCl_2 、具活性接觸面如飛灰、特定溫度範圍**250~400°C**) 將促使PCDD/PCDF之再合成，此低溫再生成現象稱為**De Novo Synthesis低溫再合成**，其中**廢氣溫度**為此種再合成現象之關鍵。

故**廢氣進入除塵裝置前**，溫度須驟降至**220°C以下**，以防止重金屬(例如**銅**)在揮發狀態扮演觸媒角色，使未燃燒完全之含氯環狀碳氫化合物再起反應產生戴奧辛/呋喃。

目前廢棄物焚化廠中，發電或產生蒸汽係主要的功能之一。故廢氣通過鍋爐後，溫度多已降低至250°C以下，因此上述之再合成現象將不可避免的在鍋爐內發生，是故當PCDDs及PCDFs之排放標準甚嚴時，恐無法僅藉高溫分解的方法即達到PCDDs及PCDFs之排放標準，故**集塵設備入口廢氣溫度應控制在200°C以下**。

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

日本制定戴奧辛對策法

日本是國際上唯一訂有戴奧辛的空氣濃度標準者(600 fg ITEQ/m³，也就是0.6pg ITEQ/m³，人體暴露限值建議 1-4pg TEQ /day/body weight，此標準值係陽明大學紀凱獻教授提供)。

為強化戴奧辛排放管制，雖針對焚化爐規定排放標準，惟焚化爐密集地區，受戴奧辛污染危險程度雖相對提高，現行規定仍不足以防患，因此即曾因電視台報導焚化爐較集中之埼玉縣所澤市所產蔬菜戴奧辛殘留超過標準，而引起軒然大波，因而日本政府通過之「戴奧辛對策法」

2-2.10. 鹵化物:戴奧辛

對策特色

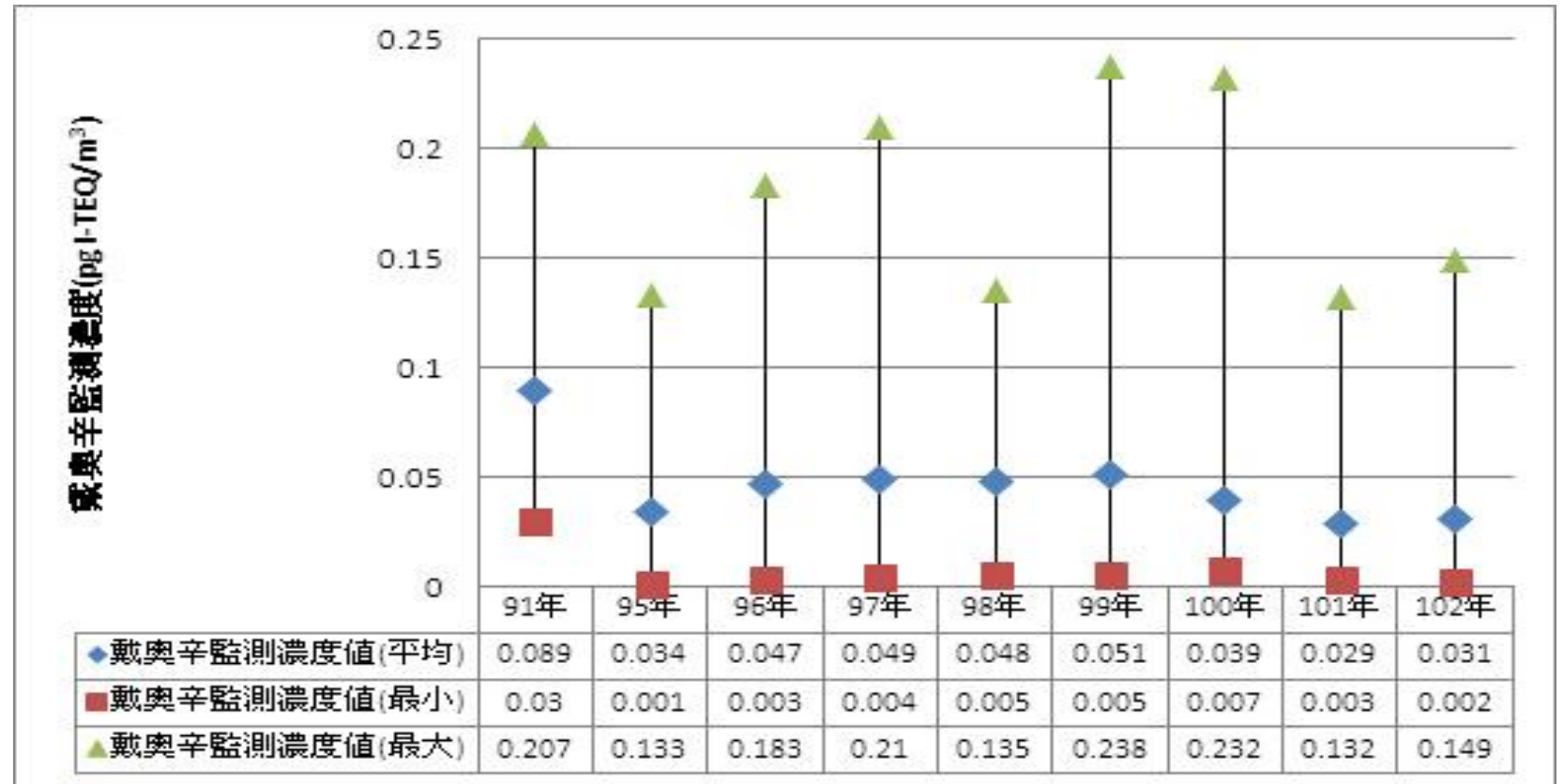
- 強化排煙限制：目前僅對焚化爐、製鐵用電爐規定排煙限制，本次預定將小型焚化爐（處理能力每小時不滿200公斤者）、鋁精練工廠亦列入管理對象
- 新設排水限制：對象除廢棄物焚化爐、掩埋場外，亦將檢討將紙漿工廠、煉鋁工廠等列入管制
- **總量削減計畫**：首創總量限制之世界先例，對無法達成大氣環境基準且嚴重污染地區，都道府縣知事可制定總量削減計畫，適用更嚴格之管制
- 加強罰則：違反排放限制者，可處拘役6個月以下或罰鍰50萬日圓以下之刑罰，較現行罰則嚴格

2-2.10. 鹵化物

我國戴奧辛監測現況：

(民95.8-10月)

空品區	空品區平均值 (pg TEQ/m ³)
北部空品區	0.022
竹苗空品區	0.031
中部空品區	0.052
雲嘉南空品區	0.030
高屏空品區	0.043
花東空品區域	0.011
宜蘭空品區	0.020



註: 空氣品質監測值一般監測時間越久, 平均值越低。環保署的公告監測結果沒有說明監測時間, 一般可能是採48~72hrs監測取得一個樣本值(from詢問陽明大學紀凱獻教授)。

98年戴奧辛排放源集中區監測結果彙整表

測站名稱	空品區	PCDDs/Fs(pg I-TEQ/m ³)			
		9811	9901	9905	9907
中山站(中山國小)	北部空品區	0.049	<i>0.149</i>	0.037	0.057
八德站(八德國小)	北部空品區	0.058	0.051	0.066	0.045
北部空品區平均值		0.039	0.069	0.039	0.036
北部空品區最小值		0.020	0.043	0.011	0.010
北部空品區最大值		0.058	0.149	0.084	0.057
后里站(后里鄉公所)	中部空品區	<i>0.067</i>	0.042	0.056	0.010
月眉站(月眉國小)	中部空品區	0.033	0.037	0.055	0.013
全興站(全興工區服務中心)	中部空品區	0.050	<i>0.324</i>	<i>0.584</i>	<i>0.281</i>
中部空品區平均值		0.041	0.119	0.135	0.055
中部空品區最小值		0.028	0.037	0.035	0.010
中部空品區最大值		0.067	0.324	0.584	0.281
餐旅國中	高屏空品區	0.040	0.125	0.080	<i>0.059</i>
中油大林埔油庫	高屏空品區	0.044	0.108	0.073	0.019
勞工局職訓中心	高屏空品區	<i>0.093</i>	<i>0.190</i>	<i>0.096</i>	0.040
高屏空品區平均值		0.059	0.105	0.064	0.026
高屏空品區最小值		0.040	0.063	0.046	0.013
高屏空品區最大值		0.093	0.190	0.096	0.059

2-2.10. 鹵化物: 氟化物

(3) 氟化物

氟化物包括氟化氫 (HF)、氟化矽 (SiF₄)、氟矽酸 (H₂SiF₆)、氟 (F₂) 等。氟化物的污染源主要是使用螢石、冰晶石、磷礦石和氟化氫的企業，諸如煉鋁廠、磷肥廠、煉鋼廠、玻璃廠、火箭燃料廠等。地殼中平均含氟量為 660 ppm，大量以土為原料的陶瓷、磚瓦等工業，以及燃煤量大的工業（煤含氟幾十至幾百 ppm）亦排放較多的氟化物。

例如，煉鋁廠，大量使用螢石 (CaF₂) 作原料，螢石在高溫處理時發生以下反應：



即有大量的氟化矽和氟化氫進入大氣。

又如磷肥廠，大量使用磷礦石 3Ca₃(PO₄)₂ · CaF₂ 為原料，磷礦石在用硫酸處理時產生 HF、SiF₄ 和 H₂SiF₆，並排入大氣。

2-2.10. 鹵化物

(4) 其他含氯化合物

大氣中含氯的無機物主要是氯氣 (Cl_2) 和氯化氫 (HCl)。

氯氣 (Cl_2) 主要由化工廠、塑料廠、自來水淨化廠等產生，火山活動也排放一定量的 Cl_2 。

氯化氫主要來自鹽酸製造、**廢棄物焚燒**等。其環境背景濃度為 1.3~5 ppb (太平洋上空)。

氯化氫在空氣中可形成鹽酸霧；除硫酸和硝酸外，鹽酸也是構成酸雨的成分。

2-2.11. Mercury 汞, 水銀, Hg

- 汞 (Mercury) 主要來自 硃砂 (硫化汞 HgS) 礦產，攝入或吸入的硃砂粉塵都是劇毒的。
- 汞中毒還能由接觸可溶解於水的汞（例如 氯化汞 和 甲基汞）引起，或是吸入汞蒸氣或者食用被汞污染的海產品或吸食入汞 化合物 引起中毒。
- 汞污染可以是天然來源 (*e. g.*, volcanos, fires, surface emissions) 以及人為活動所造成 (*e. g.*, combustion, commercial products)。

2-2.11. Mercury 汞, 水銀, Hg

- 環境中的汞可分為：
 - ✓ inorganic (e.g., elemental mercury vapor [Hg⁰],
 - ✓ gas-phase ionic mercury [Hg²⁺],
 - ✓ particulate-bound mercury [Hg_p]),
 - ✓ organic forms (e.g., methylmercury).

當從人為活動所排放時，主要污染源為石化燃料燃燒(如燃煤發電廠)、水泥業、集塵灰冶煉、廢棄物焚化爐，非鐵金屬、鋼鐵製程等。

Mercury and its compounds are **persistent, bio-accumulative and toxic** (環境持久性、生物累積性與毒性)

2-2.11. Mercury 汞, 水銀, Hg

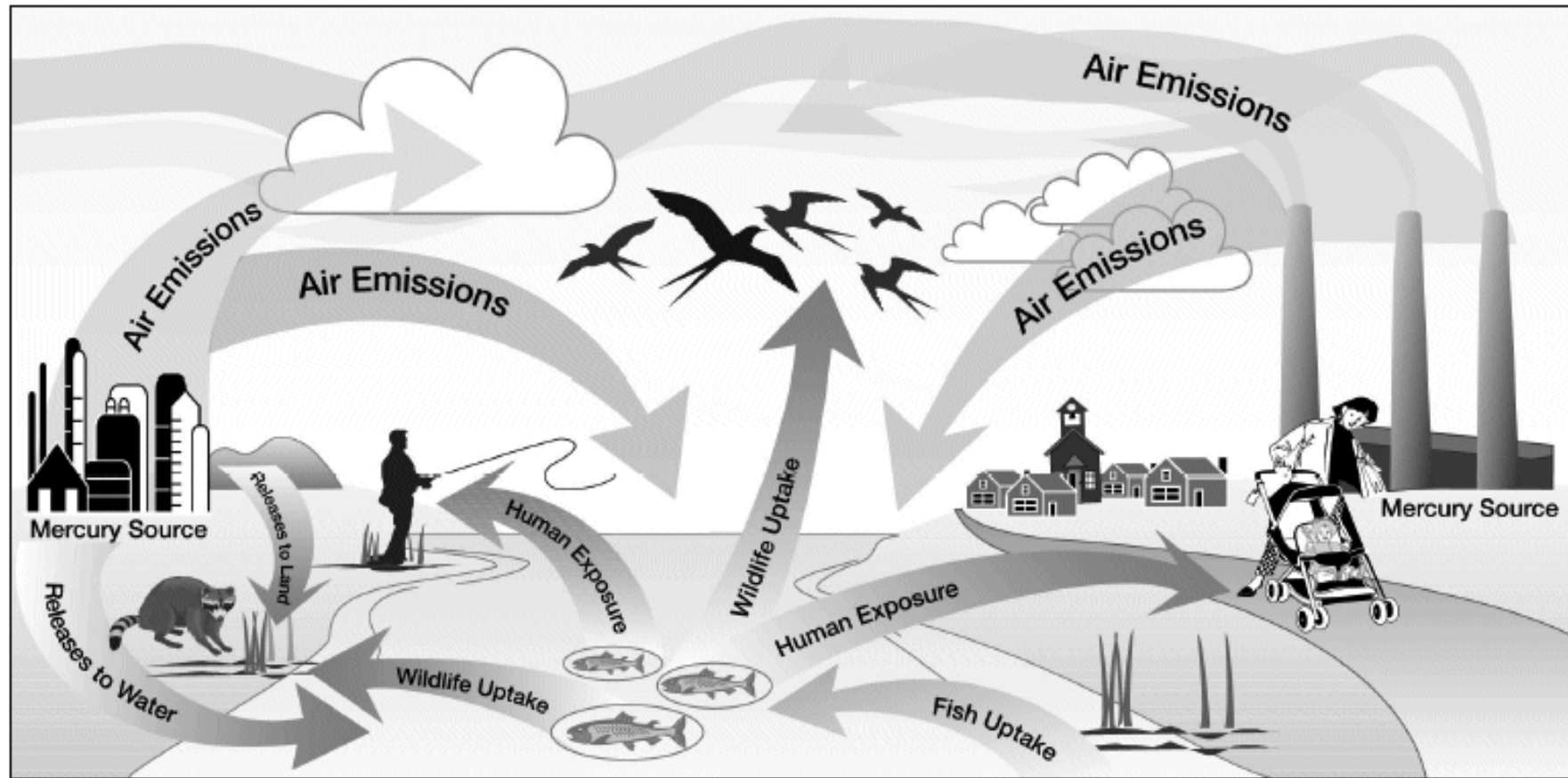


Figure 1. Mercury Fish Ingestion Exposure Pathway, the Focus of the *Mercury Research Strategy*.

微生物能將浮在水面的汞轉換成甲基汞（methyl mercury），因而增強汞的毒性

2-2.11. Mercury 汞, 水銀, Hg

- 汞中毒為不可逆性。汞中毒時血、尿中含超量的汞。（一般以尿中汞每升大於100ug或血中汞超過每百毫升3ug以上）。人體如果吸入大量水銀氣，將有喪命之虞，如果食用含水銀的海鮮類食物，也會傷害人體神經系統，並造成孕婦生下缺陷兒。
- 日本在1950年起陸續發生的水俣病，實際上即為有機汞中毒之徵狀。（詳Wikipedia: [水俣病](#)）
 - ✓ [微生物](#)能將浮在水面的汞轉換成[甲基汞](#)（methyl mercury），而該物質易被大部分水生[生物](#)吸收。甲基汞以其造成[神經](#)受損出名，而[魚](#)類是主要從水中吸收甲基汞的生物。甲基汞儲積在魚中，進而入侵到整個[食物鏈](#)內。進食這些魚的[動物](#)，歷經長期吸收汞所導致的中毒現象，包括了[生殖](#)能力退化，[消化系統](#)損壞，[胃](#)崩解，[DNA](#)異變，和[腎](#)敗壞。
 - ✓ 症狀：牙齦疼痛、體重減輕、顫抖、寫字歪斜、步履不穩、容易興奮、腎小管細胞壞死。

2-2.11. Mercury 汞, 水銀, Hg

在美國環保人士及衛生團體的大力疾呼下，美國舊金山、波士頓等許多城市2000年下令已禁止販售水銀溫度計，數位顯示溫度計逐漸有取代傳統水銀溫度計的趨勢。根據美國環保署的估計，全球每年約售出五百八十萬支含水銀的溫度計，每年約有高達十七噸水銀因溫度計在醫學使用後遭丟棄。我國環保署從2008年7月1日也開始推動禁止販賣水銀溫度計，並改用電子式體溫計代替。

2-2.11. 汞和其他重金屬

94-102年 重金屬(鉛、鎘、汞、砷)排放量

重金屬	年度排放量 (公噸 / 年)								
	94年	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年
鉛	8.99	9.16	9.83	10.09	9.43	10.25	10.37	15.87	13.88
主要排放業別(102年該業別佔全國排放比例)： 燃煤發電及汽電共生鍋爐 (31.4%)、燃煤蒸汽鍋爐 (27.8%)、電弧爐 (16.9%)									
鎘	0.94	0.97	1.05	1.01	0.88	0.85	0.83	0.88	0.84
主要排放業別(102年該業別佔全國排放比例)： 燃煤發電及汽電共生鍋爐 (45.2%)、電弧爐 (13.4%)、水泥窯 (9.1%)									
汞	1.31	1.30	1.34	1.40	1.31	1.41	1.45	1.85	1.87
主要排放業別(102年該業別佔全國排放比例)： 水泥窯 (19.7%)、燃煤發電及汽電共生鍋爐 (18.7%)、集塵灰高溫冶煉設施 (14.8%)、燃煤蒸氣鍋爐(10.7%)									
砷	3.85	3.78	4.35	4.02	3.96	4.00	3.75	4.20	3.69
主要排放業別(102年該業別佔全國排放比例)：燃煤發電及汽電共生鍋爐 (62.7%)、水泥窯 (15.0%)									

2-2.12. Persistent Organic Pollutants , POPs

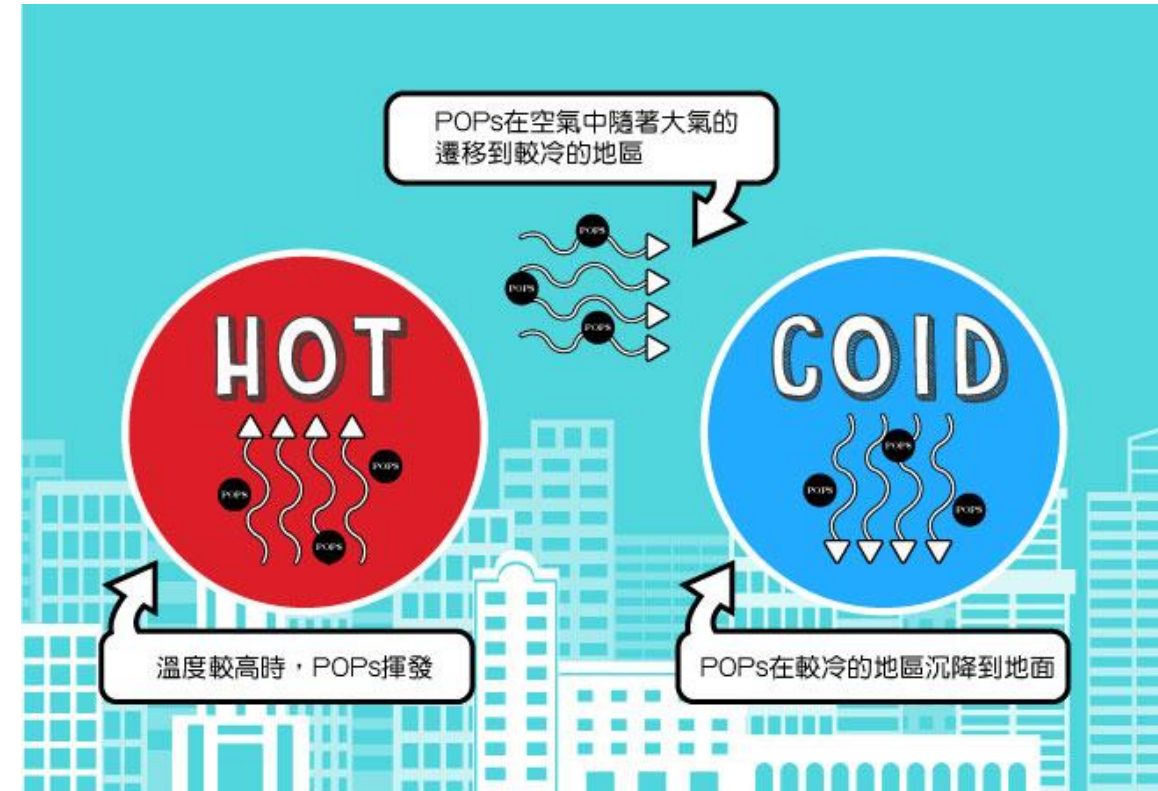
- 持久性有機污染物 (Persistent Organic Pollutants, 簡稱POPs) 是指具有以下四大特性的化學物質：

1. 持久性

POPs對生物降解、光解、化學分解等作用有較強的抵抗能力，因此這些物質一旦排放到環境中就難以被分解，且能在水體、土壤及底泥等多種環境介質中殘留數年或更長的時間。

2. 半揮發性

POPs都具有半揮發性，能夠從土壤、水體揮發到空氣中，並以蒸氣的形式存在於空氣中或吸附在大氣顆粒物上，從而能在大氣環境中進行遠距離遷移。同時，半揮發性的特徵又使得POPs不會永久停留於空氣中，而會重新沉降到地球表面。



註: 資料來源為環保署 [毒物與化學局](#) 網站 (毒化局於105年12月28日正式成立)。

持久性有機污染物(Persistent Organic Pollutants, 簡稱POPs)於2004年5月17日國際公約 [斯德哥爾摩公約](#) 正式生效後，我國也開始重視此類物質。

2-2.12. Persistent Organic Pollutants , POPs

- POPs四大特性：

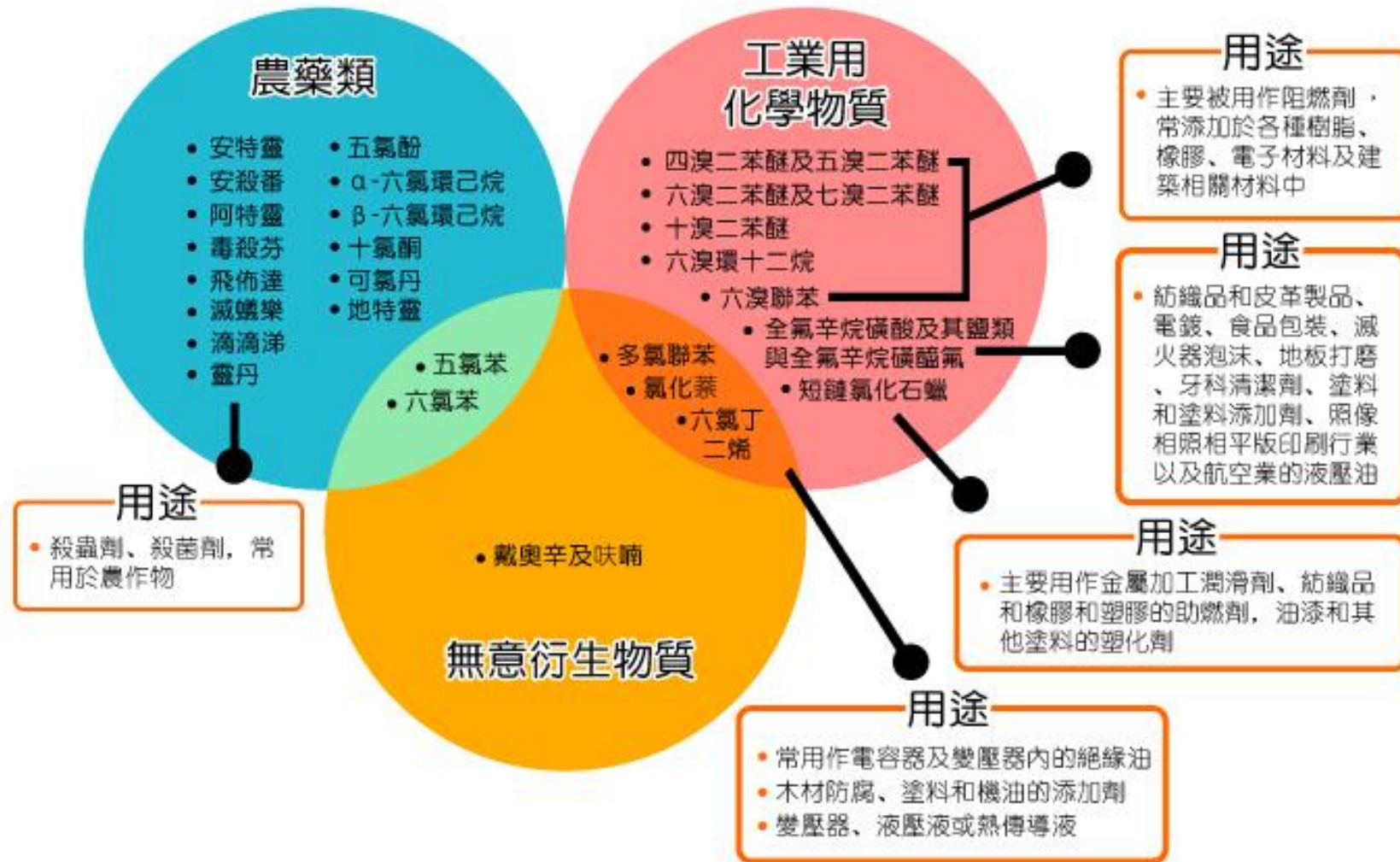
3. 生物累積性

有機化合物進入水體後，其在水生生物體內濃度升高的現象稱為生物累積作用。因POPs具有生物累積性，因此在生物鏈越上端的物種其體內累積濃度將越高，危害性也將越大。

4. 高毒性

在公約中規定的POPs，大多具有很高的毒性，部分POPs還具有致癌性、致畸性、致突變性、生殖毒性及免疫毒性等。這些物質嚴重危害生物體健康，而且這種毒性還會由於污染物的持久性而持續一段時間。

2-2.12. Persistent Organic Pollutants , POPs



註: 雖然汞並未直接列為POPs，但我國環保署辦理的POPs研討會名稱為: 2015持久性有機污染物及汞管理研討會

2-3. 空氣污染對人類健康的影響

空氣（大氣）污染對人的影響不同於水污染和土壤污染，它不僅時間長，而且範圍廣（既是地域性的，更有全球性的影響）。一個健康的成人大約每天要吃一~二公斤的食物、喝二公升左右的水，每分鐘卻需十三公升的空氣，每天約13.6公斤（合10立方米）。不吃飯還可活五個星期，不喝水可活五天，但只要五分鐘沒空氣，就活不了。

不論是氣體或顆粒性污染物，當濃度太高、量太多或吸入的氣體毒性太強時，均促使呼吸器官內正常防禦功能及清除功能喪失，而危及生命。空氣污染對呼吸氣管患者有不良影響，空氣污染濃度增加，嚴重地影響健康並加速死亡。

2-3. 空氣污染對人類健康的影響

空氣污染物對動物、植物及物質的影響較容易測定,但對人類的影響則較難,因為對人類的研究,必須根據流行病的案例epidemiological evidence來估計。

由於道德及倫理上的考慮,我們不可能將人類故意直接露於可能致病的空氣污染物中來進行研究,因此流行病學研究又變成是唯一可行的方法,不過其研究結果卻包含太多統計關連。但縱然如此,仍有相當高的可信度,因為至少案例都是來自真實世界的污染事件,比在實驗室以模擬方法求出者好得多。

Keywords: Toxicology 、 Clinical Studies 、 Epidemiology 、 air pollution or air quality

2-3. 空氣污染對人類健康的影響

- 人類呼吸系統的功能,在於吸收新陳代謝所需的氧氣,與吐出二氧化碳。此二種氣體於肺部發生交換,血液將氧氣運送到各部組織並將二氧化碳帶回到肺部然而在呼吸時所吸入的污染物,皆可能被吸附而免於進入肺泡囊內；
- 氣體是被吸附在咽喉部或氣管內,而微粒子可能沉積在黏液層,然而由纖毛的作用以清除之,但長期暴露在高污染空氣中,將使呼吸器官清除機能負荷過重,導至沉留量加高而引起疾病如氣管炎(bronchitis)、肺癌(lung cancer)等。
- 由動物對各種污染氣實驗得證,在高濃度空氣污染之下,將有特殊的影響。譬如說阻礙了氣管纖毛的功能,進而迫使喪失主要的清除機能。(H.C. Perkins 黃正義 黃炯昌譯,空氣污染學,科技,1992)
- 碳氫化合物(HC)及二次污染物長期暴露會造成慢性的影響有很多；例如苯會增加人體白血病發生的機率,而光化學氧化物會造成眼睛、口、鼻黏膜的刺激,即使是低濃度,也可以發生肺水腫。至於懸浮微粒則直徑 $10\mu\text{m}$ 以下者會進入我們的肺,造成慢性呼吸疾病。微粒如果含有**重金屬**,則會經由血液帶到全身,引起全身性疾病。

2-3. 空氣污染對人類健康的影響

錳中毒

- 不可逆性。空氣中充滿錳煙霧之慢性中毒。
- 症狀：巴金森氏症候群（步履不穩，無法倒退走路、轉彎時必須小跔步、姿勢像公雞、講話小聲且有點口吃、寫字歪七扭八越寫越小、記憶力減退、性慾減退）。

鎘中毒

- 輕症時為可逆性。尿中鎘含量高。
- 症狀：骨頭酸痛、四肢肌肉抽搐、麻木、腎及肺機能傷害（以腎小管傷害為主）。

有機溶劑中毒

- 渡過危險期後常為可逆性。台灣由於大量使用冷氣機，使得眾多作業人員曝露在有機溶劑的密閉空間中。
- 症狀：心情不佳、脾氣變壞、頭痛、心理行為動作機能受損，十年曝露以上可能造成腦部萎縮。苯可引起血癌的發生。

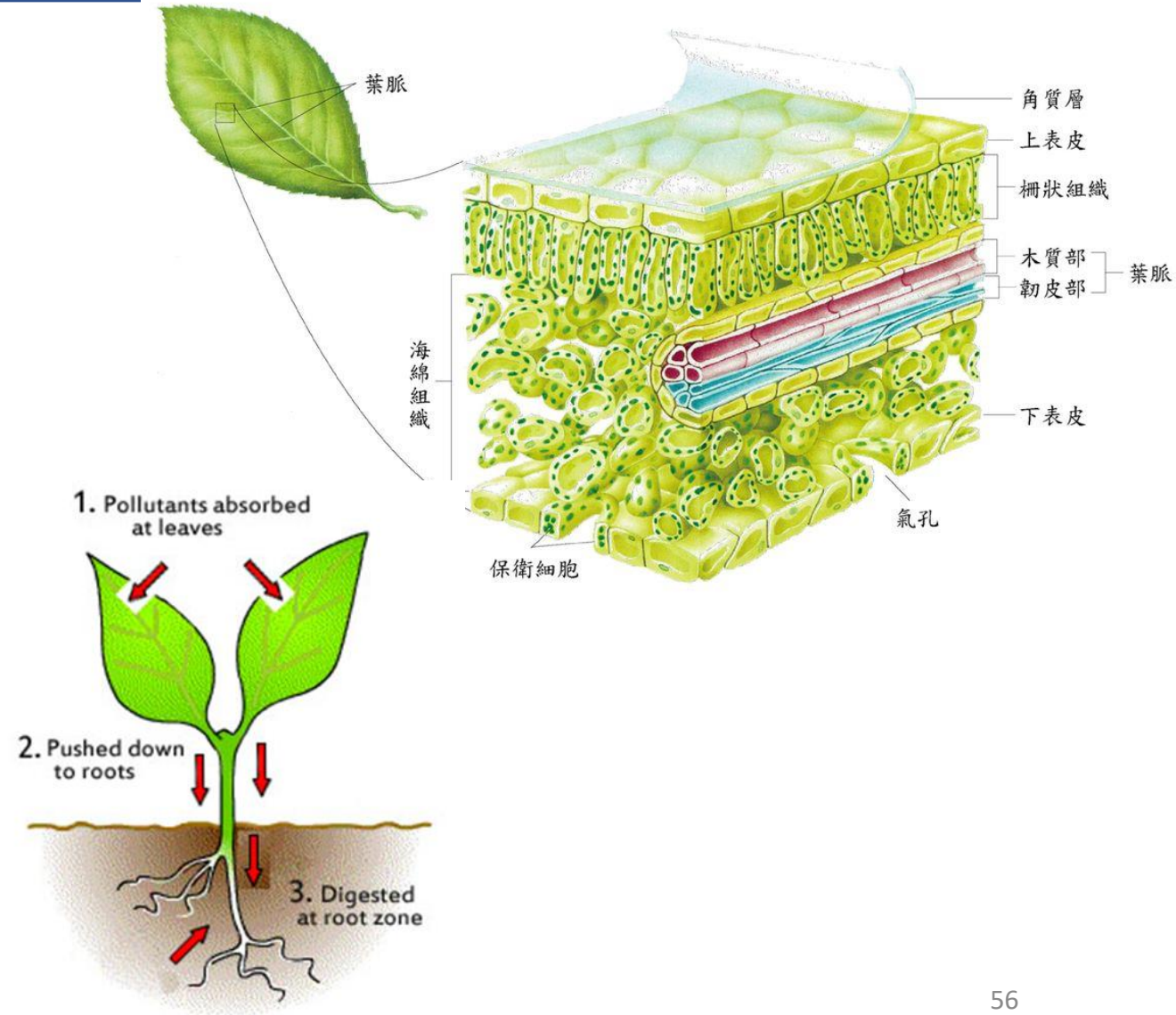
2-4. 空氣污染對植物的影響

空氣污染會毀損果蔬，使植物葉子組織破壞，而導致枯黃、掉葉、捲葉等病態。同時亦會使河湖及土壤酸化，終至破壞整個生態系。

一片葉子的構造中，葉脈的功能如動物的血管，其作用在於輸送水分，礦物質及營養。葉子的組織，可分層表示，上下各有表皮層，中間夾有進行光合作用的細胞。

二氧化碳經由底面表皮層的氣孔，進入葉內而進行光合作用。每個氣孔有兩個保護細胞，可開閉功能，以控制氣體進出。氣體污染物也就跟著進出。

葉的構造



2-4. 空氣污染對植物的影響

葉子受污染後,可發生數種病態。許多的污染物,皆可損傷葉子的組織。常見的傷害計有三種主要形態:

1. 急性傷害:

植物長期曝露於高濃度污染物之下,在短時間內即會引起急性傷害,譬如植物在煙煙情況下即會發生急性傷害。此種現象於數小時或數天之內即可顯現出來,因為葉細胞的死亡,產生了明顯的壞疽病態,亦即葉子組織的死亡部分。

2. 慢性傷害:

植物長期暴露在低濃度的污染環境下將受到慢性傷害,常見之病態為萎黃及掉葉情況。如微粒對植物的影響,主要是因微粒佈滿葉面,影響光合作用而枯萎。

3. 生長呆滯suppression of growth:

此種傷害不易覺察,因其僅呆滯了植物的生長速度。若欲明瞭其真象,需藉控制良好的狀況,譬如在溫室內,分別觀察輕度污染與無污染的情況下。植物的生長情形並作長期的測驗分析,始能論斷。

論斷空氣污染的不良效果時,我們應瞭解在污染區域內的一些其他影響因素,如有關植物病害,供給養料情況、蟲害、氣候等情況。(H.C. Perkins黃正義 黃炯昌譯,空氣污染學,科技圖書,1992)

2-5. 空氣污染對物質的影響

對金屬、建築等的影響—空氣污染可使金屬腐蝕生鏽，如電纜、鐵軌、橋樑、屋頂等，另外亦會使粉刷牆、紡織品褪色且減低耐久性，或引起輪胎的龜裂，造成經濟的損失。



對藝術寶藏之影響—空氣污染致使藝術品逐漸被損壞、薰，脆，以至於面目全非。

物料腐蝕因素: 濕度 + 污染

2-6. 空氣污染物的移除

Sinks of Air Pollution

- Biological Sinks
- Mechanical Sinks
- Photochemical Sinks

2-6. 空氣污染物的移除

Pollutant	Removal mechanism	Estimated time in atmosphere
Particulate matter Lead	Larger particles settle to earth; smaller particles brought down with precipitation	Minutes to a few days
Sulfur dioxide	Oxidation to sulfate by photochemical reactions and incorporation into precipitation	1-4 days
Carbon monoxide	Photochemical reactions with CH_4 and OH	1-3 months
Nitrogen oxides	Oxidation to nitrate and incorporation into precipitation	2-5 days
Volatile organic compounds	Photochemical reactions with NO and ozone	Hours to a few days

Thanks for your participation