氣象因素對污染物傳送及農作物集團之影響

Influences of Meteorological Factors on Pollutant Transport and Plant Community

楊 之 遠
Yorng Chea-Yuan

行政院環境保護署
Bureau of Air Quality Protection and Noise Control
Enviromental Protection Administration

摘 要

往昔，氣象學在傳統的應用上常侷限於天氣預報，尤其惡劣天氣的預報以減少作物之受害。然事實上，作物除受短暫惡劣天氣之危害外，長期不良空氣品質之氣象因素作用下導致之損害更爲作物損害常見的類型之一，因此如何加强氣象學在空氣品質及作物受害領域上的研究亟有必要。

本文擬從氣象學對空氣污染物之影響至其對作物之影響及防範作一概要說明，期能集思廣義，喚起大家對此問題之關切，共同爲保護我國的農業及維護環境品質而努力。

關鍵詞：輸送、滯留高壓、協和作用、作物群落

ABSTRACT

The application of meteorology was limited to weather forecasting in the past years, especially the forecasting of severe weather to decrease the disease of crops. In fact, the disease of crops is not only due to the effect of the short-period severe weather, but also the long-period air pollution. Hence, it is necessary to intensify the research of agricultural meteorology on the air quality and crops disease.

The article made a description of the influences of meteorological factors on air pollutants and crop growth and brought up concerns of every sector and made every effort to protect native agriculture and environmental quality.

Key words: Transport, stagnant high, synergism, plant canopy.

前　　言

四十年來，台灣在經濟掛帥的政策領導和全體人民胼手胝足地辛勤努力下，終於成功地跳脫往昔以農產品出口爲主的經濟型態，邁入工商發達的已開發國家之林。當國人創造出令世人震驚的台灣經濟奇蹟，享受著巨額外匯存底成果的同時，殊不知，在工業化的急速發展過程中，台灣的生態環境正面臨盲目開發所招致的浩劫，而農業在重工輕農的政策導向及社會轉型的巨大衝擊下，亦不能倖免於難。

空氣污染對農業影響之現況分析

台灣地區地狹人稠，隨著工商業的發展，農業的可耕用地正逐漸因工業區、商業區、住宅區之擴張而縮小，甚至在農業區中亦有工廠林立。根據環保署空保處列管之固定污染源資料顯示，台灣地區位於農業區內之工廠共有二百七十三家，其於各縣市分佈的情形見圖1。

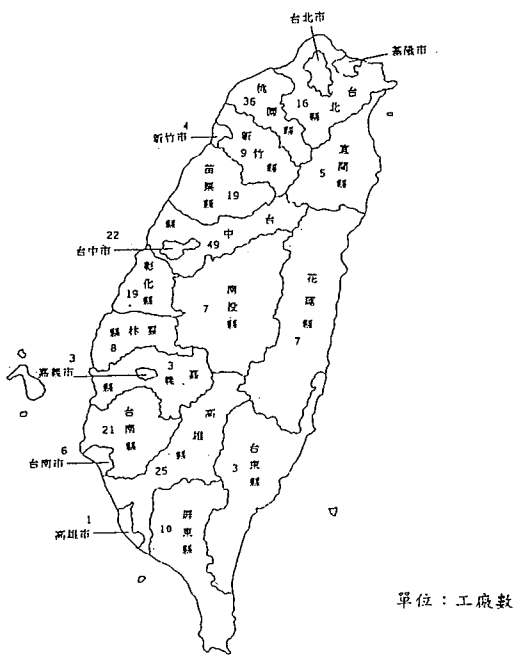


圖1　環保署擴大列管固定空氣污染源位於農業區內工廠分布

由此圖可見台中縣、桃園縣、高雄縣等三縣有較多之工廠分佈於農業區內，而工廠排放廢氣產生空氣污染，勢必會對作物造成嚴重之影響，導致農業的損害。

由環保署七十七年至八十年公害糾紛個案列管追蹤及處理情形年報顯示：近四年來，國內造成農業公害糾紛之空氣污染案例計有十九件，其中較重大之案例可見表1。

表1 造成農業公害之空氣污染重大案例

污染案例發生期間	污染源名稱	地點	受害作物	受害原因	受害情形
78～79	林口火力發電廠	桃園	稻米、防風林	1.東北季風 2.颱風 3.地形 4.鹽沫 5.防風林砍伐 6.空氣污染	影響稻米生長、防風林損壞
78.12.22	永豐條紙漿廠	台東	果樹	紙廠排放廢氣	影響果樹收成
79.5.21	仁大工業區	高雄縣	棗子、番石榴	石化業長期空氣污染及酸雨	棗子、番石榴落果達數十公頃果園，受害人數達二百餘人。
80.6.9	高雄硫酸錏廠	高雄市前鎮區	蔬菜	二氧化硫溢散	鄰近菜園出現枯委現象
81.12.5	協和發電廠	台北縣萬里鄉	花卉作物果菜	電廠排放黑煙	萬里鄉農業課的調查報告指出，農作物栽培面積及年產量損失是：綠竹十公頃年產四十二公噸，蓮霧六百顆年產二十七公噸，甘藷五〇公頃年產七十五公噸，蔬菜類十公頃年產一〇〇公噸等，萬里鄉農耕面積生產每年損失二〇億元。

由污染案例發生之地點與污染源位置之調查顯示，污染源之位置或有位於農業區內，但大部分案例，污染源乃位於鄰近農業地帶之工業區中。因此空氣污染物如何在綜觀天氣系統或局部環流影響下，透過傳輸、擴散、轉化等過程，沉降至作物表面，將是農業氣象學家所急欲探討之課題。

氣象因素對空氣污染物傳送之影響

空氣污染物自排放源口如工廠煙囪、交通工具等排放至大氣中，即受到錯綜複雜的氣象

因素所控制。大體而言，欲明瞭空氣污染物於一地的傳輸、擴散情形，基本上，除了需了解當地的氣候類型外，掌握當地綜觀天氣系統及局部環流之變化亦不可或缺。基於氣象機制之複雜性，吾人將從大尺度、中尺度及小（微）尺度三方面來探討氣象因素對空氣污染物傳送之影響。

㈠大尺度：

台灣地區，由於正位於亞洲大陸與海洋的交接地帶，盛行季風明顯，且北部爲大陸冷高壓南緣，西爲太平洋高壓勢力西端，因而天氣系統甚爲複雜。一般而言，當低壓或鋒面系流多伴隨降水，强風等較不穩定的天氣型態，較利於污染物於大氣中擴散、移除（如圖2、表2）。反之，當台灣地區處於高壓系之輻散區中（如圖3），穩定無風的天氣型態，將使污染物滯留於大氣中，若再伴隨輻射逆溫或沉降逆溫的情況發生，污染物之傳輸或擴散將更形困難，將使空氣品質急劇劣化，達到危害作物的臨界。

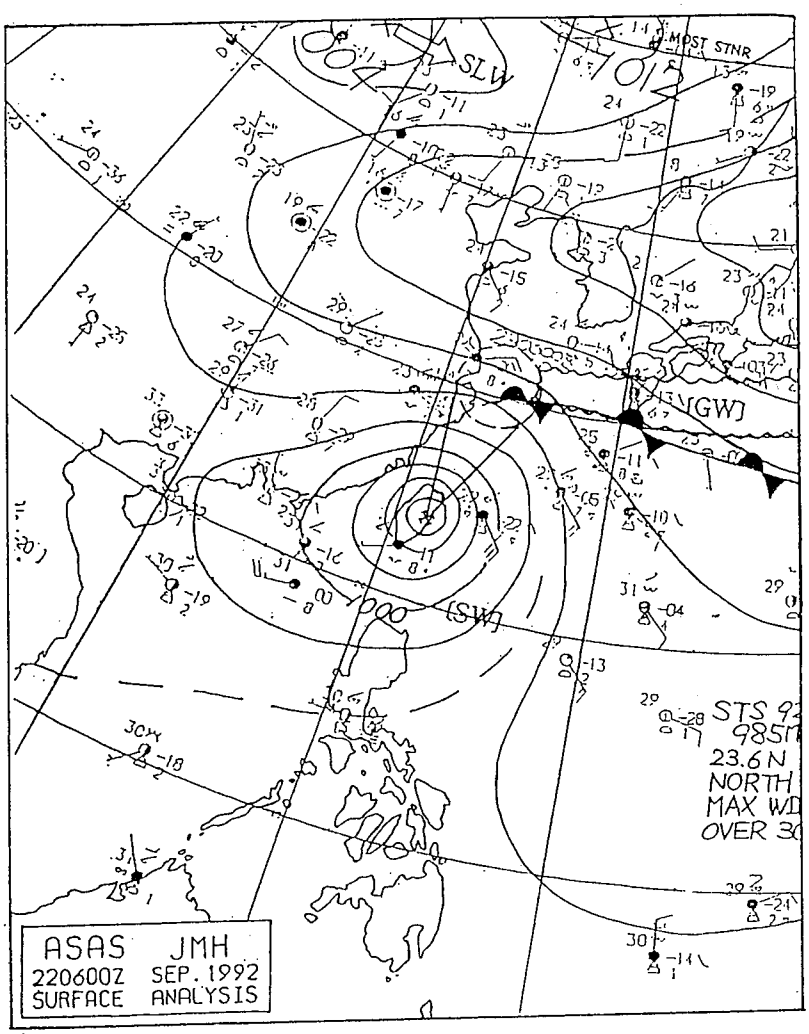


圖2　低壓系統（泰德颱風）影響台灣地區空氣品質個案

表2 泰德颱風影響台灣地區期間(9/19～9/23)大台北、大高雄地區空氣品質變化

PM10濃度(μg/m^3)		大台北地區平均濃度	PSI	大高雄地區平均濃度	PSI
	9/19	79	64	124	87
	9/20	80	65	162	106
	9/21	42	42	162	106
**	9/22	52	51	111	81
	9/23	76	63	79	65
	9/24	108	79	98	74

註：** 颱風登陸台灣日期

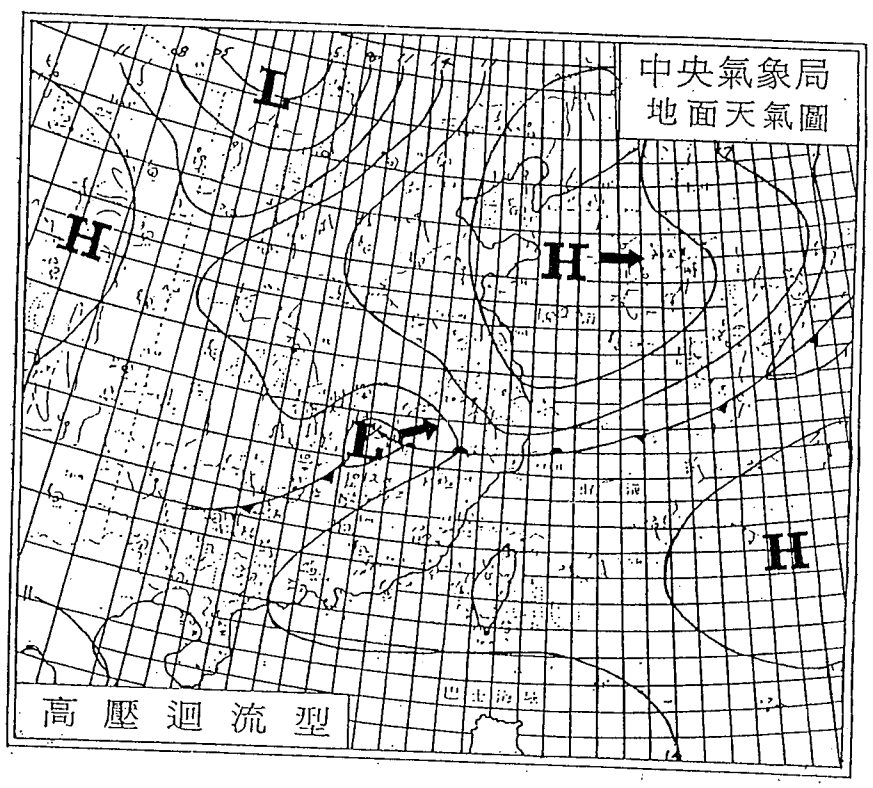


圖3 高壓系統影響台灣地區空氣品質個案
(0800 LST, 民國74年3月26日)

㈡中尺度：

台灣爲一多山的島嶼，因此濱海地區及山地在綜觀天氣系統微弱時，海陸風環流及山谷風環流將分別主宰其天氣型態。由於濱海地區，常爲重大工業區設置的地點，當海風吹拂時，濱海工業區之空氣污染物質將隨之往內陸傳送，除了將造成內陸地區之污染濃度升高外，鄰近農業區之作物生長亦可能因此空氣污染或海風中之鹽沫影響而受害，如林口電廠與北桃地區之公害糾紛即爲一例。此外，大氣邊界層中溫度的垂直結構分布，亦是影響空氣污染物及煙流擴散的重要因素（見圖4）。

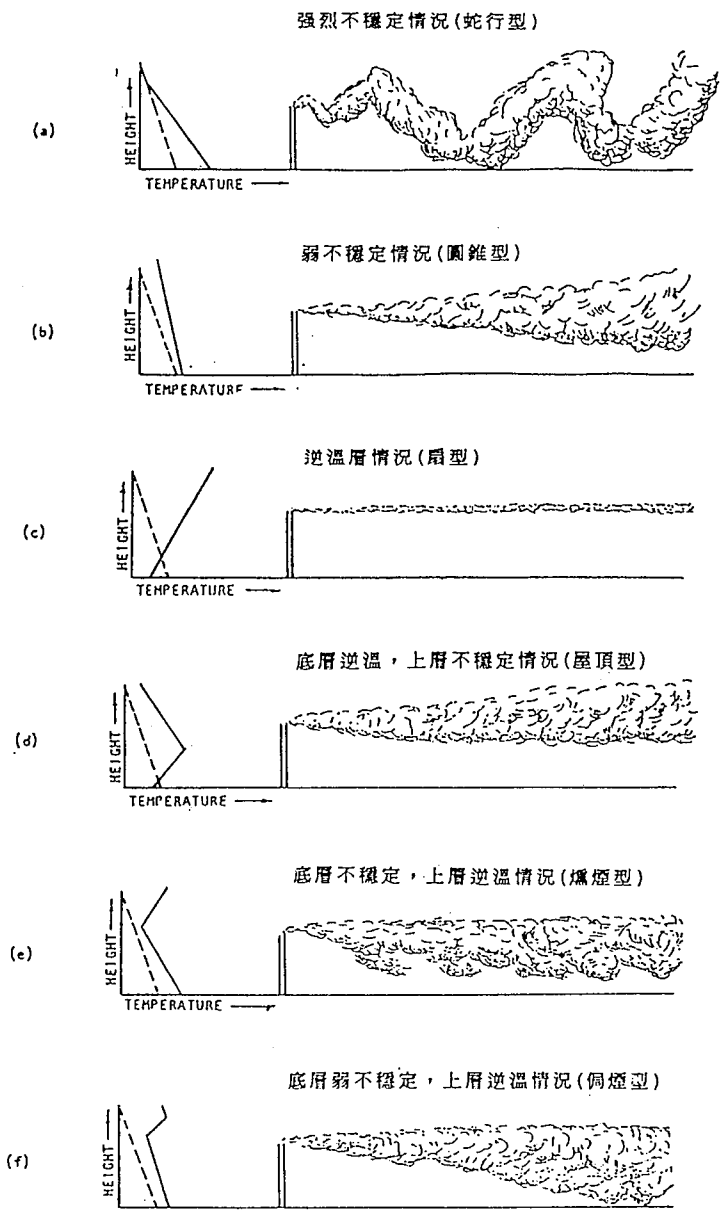


圖4　不同溫度垂直結構影響煙流擴散型態（虛線爲乾絶熱直減率）

當邊界層中有逆溫層存在時，逆溫穩定的溫度結構，將使其下層的污染物無法做有效的垂直擴散，造成空氣品質劣化的情形發生。

㈢小（微）尺度：

除了上述綜觀尺度、中尺度等天氣型態會對空氣污染物之傳送、擴散造成影響外，在微尺度方面空氣污染物如何因重力沉澱、碰撞、攔截、布朗運動等微氣象因素沉積、附著於植

物表面，過去一直罕有相關之研究提出。近年來，由於空氣污染物對作物之危害日益嚴重，因此，這些攸關農業之微氣象機制乃日益獲得農業氣象及環保學家之重視，以下吾人將對這些機制作一簡要的描述：

⑴重力沉澱：

當大氣之慣性力和黏滯力之比值Reynold number值甚小時，即此時大氣之黏滯效應甚爲顯著，則空氣污染物微粒於大氣中所受之牽曳力可依Stokes' Law表爲：

$Drag = 3\pi \rho_0 \upsilon dpu$

其中 ρ_0：空氣密度(g/cm^3)

υ ：空氣之動摩擦係數(cm^2/s)

dp ：球狀微粒之直徑

u ：微粒相對於空氣之速度(cm/s)

當微粒在牽曳力、重力、浮力之作用下達成平衡時，可寫爲：

$1/6\,\pi\, dp^3(\rho - \rho 0)g = 3\pi\rho 0\upsilon dpVs$, ρ ：微粒密度

則可得微粒之終端速度(Vs)

$$Vs = \frac{dp^2 g}{18\upsilon} \quad \frac{(\rho - \rho_0)}{\rho_0}$$

因爲 $\rho_0 << \rho$

則終端速度 $Vs = \frac{dp^2 g}{18\upsilon} \quad \frac{\rho}{\rho_0}$

當空氣污染物微粒因重力沈澱而沈降於植物體表面，其沈降之終端速度與粒子大小及密度成正比，與風速無關。

⑵碰撞：

粒子對植物體表面之碰撞效率由Fuchs(1964)及May and Clifford(1967)之實驗可求出爲三個參數之函數，其分別爲

(A)Stokes' number (K)：

$K = \frac{S}{L}$，其中 $S = Vs\,u/g$，爲初速u之粒子在停止前所走之距離

L ＝阻礙物之有效直徑

(B)流體之Reynold number(Re)：

$Re = uL/\upsilon$

(C)粒子與阻礙物之大小比：dP/L

由圖5可見粒子之撞擊效率與Stokes' number成正比；

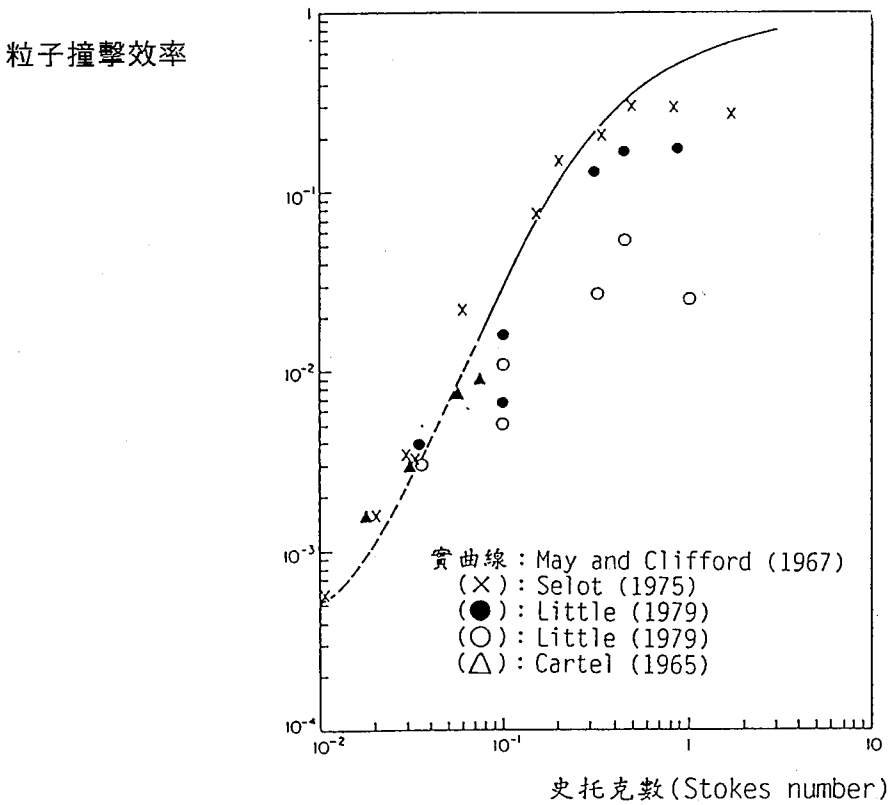


圖5 史托克數(stokes' number)與粒子撞擊效率之關係

由圖6可見粒子撞擊效率隨風速增大而增加，而dP/L比值愈大，粒子撞擊效率亦愈大。

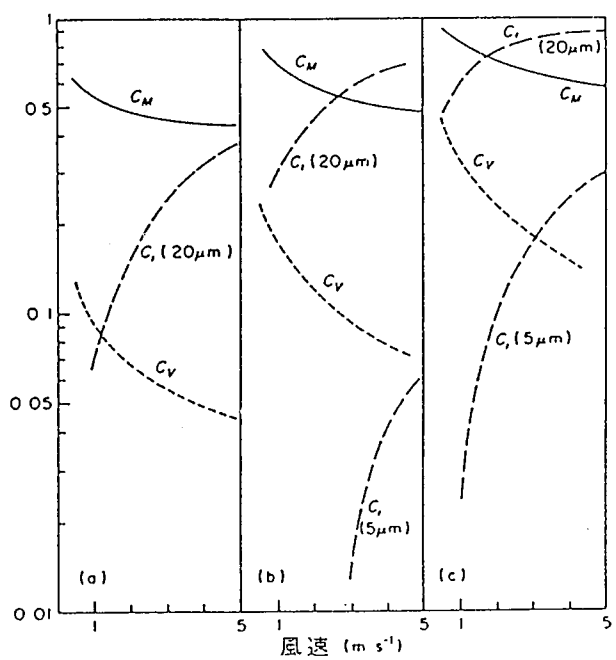


圖6 May and Clifford (1967)分別就(a)10mm，(b)3mm，(c)1mm 直徑圖柱所作之水平風速與動量傳輸係數(Cm)、水汽傳輸係數(Cv)及粒子撞擊效率(Ci)之關係

註：微粒於植物表面之撞擊效率(Ci)

Ci＝與植物表面碰撞之微粒個數／通過垂直風向之單位截面上的微粒數

微粒於植物表面之捕獲效率(Cp)

Cp＝被植物表面捕獲之微粒個數／通過垂直風向之單位截面上的微粒數

微粒於植物表面之沈積速度(Ug)

Ug＝風速(u)×捕獲效率(Cp)

⑶攔截：

Tauber(1967)研究在不同植物表面上花粉粒的自然沈積發現，具有茸毛結構的柳樹細枝表面上有40,000個顆粒，但在平滑的樺樹細枝上則只有數百個顆粒。可見植物對顆粒的攔截，在具有茸毛結構的植物表面上有相當顯著的效應。

White and Turner(1970)則利用含鹽小滴於栲、橡、樺、榛等植物之上風處噴灑 卻發現相反的結果（見表3）。

表3 植物細枝及葉面對含鹽小滴之捕獲效率(Cp)

植物種	葉	細枝平均直徑(mm)			
		0.6	3.6	5.8	10.0
栲	0.034	0.064	0.027	0.027	0.008
橡	0.016	0.17	0.019	0.019	0.00
樺	0.032	0.063	0.133	0.028	0.052
榛	0.010	0.061	0.002	0.014	0.002
	平均	0.090	0.045	0.022	0.015

由此實驗發現，兩面都有茸毛的榛葉表面，其對含鹽小滴的捕獲率最差。

由以上實驗結果發現，對乾燥的粒子而言，植物表面的茸毛結構，似乎可緩衝粒子碰撞的彈出，增加植物表面對粒子的捕獲率，反之，對液滴的捕獲則不然。

⑷布朗運動：

對於相當微小之粒子（小於1μm），如汽機車排放之鉛粒子，工業煙霧等，粒子以類似分子擴散方式之布朗運動沈積於植物表面。

由圖7可見，粒子之沈積速度與摩擦速度成正比。當粒子之直徑大於1μm，粒子之沈積速度會隨粒徑增加而增加。而粒子直徑小於10μm，其沈積速度有陡降之勢，此乃因粒子撞擊效率減少。但當粒子直徑小於1μm時，沈積速度會隨粒子直徑減小而增加，此即是因布朗運動之作用。

根據實驗的結果顯示，大氣中粒子主要的沈降方式與粒子之大小有關，對於較大的粒子，沈澱、碰撞均是主要的沈降方式，而對於非常小的粒子（粒子直徑小於1μm），其沈降方式則以布朗運動爲主（見表4）。

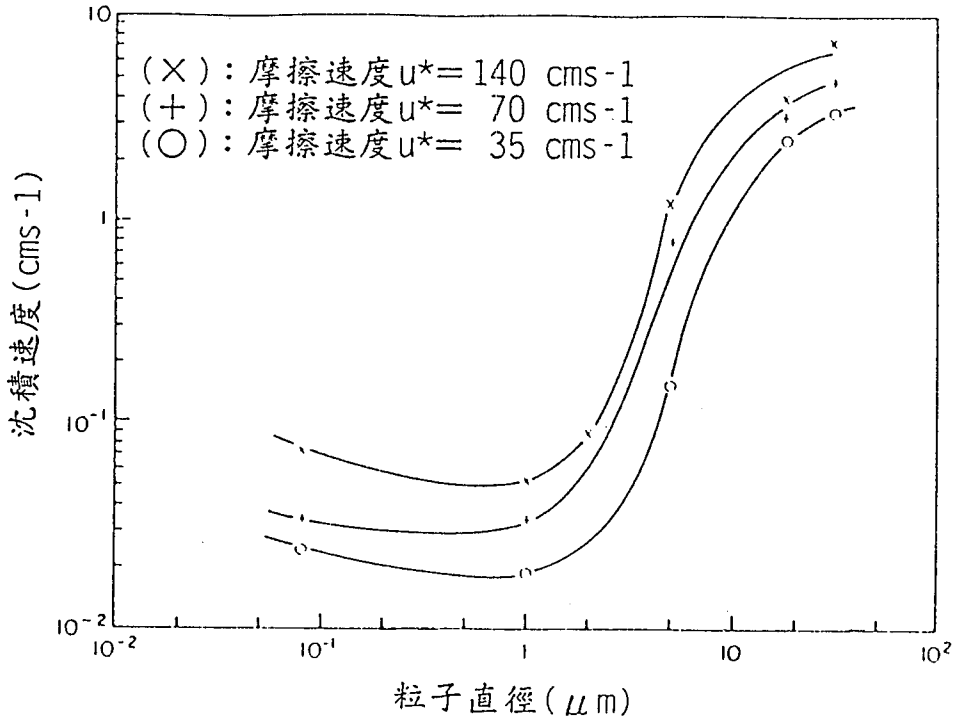


圖7　粒子之直徑和摩擦速度與粒子沈積速度間之關係

表4　大氣中的粒子及其主要沈降方式

粒子	直徑範圍 (μm)	主要之沈降方式 (其他非在雨中者)
土壤及路塵	10 至100	沈澱
孢子及花粉	5 至 50	沈澱、碰撞
飛灰	1 至 20	沈澱、碰撞
細菌	1 至 10	不確定
海鹽晶核	0.5 至 5	碰撞、沈澱
硫酸銨	0.1 至 1	不確定
來自路上車輪的鉛	0.04至 1	布朗擴散
柴油及當地的煙	0.01至 1	布朗擴散

由於風速，溼度等氣象因素對植物體捕獲微粒與否有深刻的影響。如植物或微粒表面具有黏性或潮濕時，則可捕獲大部分撞擊粒子（不使彈出、吹出）；且當風速增强時，其捕獲效率愈强，故在海岸附近，若大氣中之含鹽小滴納入含硫、氟氧化物之污染物質，並以高效率沈積於作物表面，則對此作物將造成非常嚴重之傷害，尤其有平流霧發生時，情形將更甚之。

氣象學在減低之作物損害之應用

台灣地區，冬夏兩季天氣分受大陸冷高壓及太平洋副熱帶高壓主宰，再加上南北地理差異及地形分布，遂而導致各地區氣象因素及空氣污染濃度分布的不同，對於作物生長及受損之影響亦有差別，如何透過氣象學家和農藝學家之共同努力及研究，而使作物受害降低爲一重要課題。

基於氣候統計和區域之地理特徵等氣象上之知識，將可成功地選擇理想的工廠設置位置，使其污染對農業之影響降至最低並利用氣象因素的選擇而增加農業產量。配合空氣品質劣化情況之氣象預報如不良之擴散條件或有利於污染物向下傳輸至作物群落(plant canopy)等狀況發生時，採取適當之預防措施如早獲、植被、噴灑等措施，均可降低危害損害。此外，氣象預報對減低空氣污染對作物損害之幫助，並不只著重於氣象上的準確性，更重要的是可提供充分的預警，以使預防對策適時採用。農藝學家亦可利用非氣象之方式來減低污染對作物之損害如選擇適當的栽培法或培育抗污染性高的品種，而培育抗污染性高之品種，爲一長期但有用之工作。

簡言之，氣象在減低作物遭受空氣污染爲害之應用可分爲下列四點：

1. 作物受害之預防。
2. 作物栽培區域及工廠位置之選擇。
3. 作物受害範圍、原因分析之診斷。
4. 作物受害污染源之追蹤及鑑定。

結　　論

由於空氣污染導致作物損失之問題牽涉甚廣，包括生理學、生物學、化學等多學科之範圍，除非能透過各學科科技交流之途徑，累積各學科之理論與實際上之交流合作，如此，才能在此方面有長足的進步。目前，國內尙乏其他領域的專家學者對空氣污染導致作物損害問題之研究，尤其氣象學理在此方面的應用。

氣象學在空氣污染物輸送、擴散及作物受害方面的分析常扮演極爲關鍵的角色，雖然目前氣象學者在此領域貢獻不多，但是無庸置疑，氣象在此方面的重要性不容忽視，這也是本文撰寫之目的，期能拋磚引玉，讓大家了解、正視氣象在作物受害領域的重要性，並加以研究探討。

引用文獻

陳淨修，1987：空氣品質管理－預測與評估。

Air Pollution Control Association. 1968. Annotated Bibliography of Air Pollution Meteorology,

APCA TA-8, Meteorogical Committee Informative Report No.2, J. Air Pollution Control Association.

Benedict, H. M., C. J. Miller and R. E. Olson. 1971. Economic Impact of Air Polloutant on Plants in the U.S.A., Stanford Research Institute, Menlo Park, Calif.

Carter, M. V. 1965. Ascospore Deposition in Eutypa Armeniacae. Australian Journal of Agriculture Research 16: 825-836.

Chamberlain, A. C. 1935. Aspect of Traval and Deposition of Aerosol and Vapour Clouds. Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Report 1261, H.M.S.O., London.

Chamberlain, A.C. and P. Liffle. 1979. Transport and Capture of Particles by Vegetation. Plants and Their Atmospheric Environment. p.147-173.

Fuchs, N. A. 1964. The Mechanics of Aeroslos. Pergamon Press, Oxford.

Geiger, R. 1980. The Climate near the Ground. Revised Edition. p.43-54.

May, K. R. and R. Clifford. 1967. Am. Occup. Hyg. 10: 83-95.

Tauber, H. 1965. Differential Pollen Dispersion and the Interpretation of Pollen Diagrams. Grological Survey of Denmark, Serues II, No. 89, Copenhagen.

White E. J. and F. Turner. 1970. A Method of Estimating Income of Nutrients in Catch of Airborne Particles by a Woodland Canopy. Journal of Applied Ecology 7: 441-461.

Win-Nielson, A. C. 1980. Plant Injury from Air Pollution Guide to Agricultural Meteorological Practices. Appendix III, AP III 1-4.