由作物逆境觀點看空氣污染防制工作

陳 雄 文

環保署空氣品質保護及噪音管制處處長

摘 要

農業作物所經歷逆境的複雜性，在全球氣候變遷、天然災害增加及環境品質劣化的多重影響下，正逐日的增加。本文依據作物受污染危害現象的尺度，依序按原生性污染物、光氧化物、及酸性沉降的危害及防制、以及全球氣候變遷的危害及減緩措施等課題，探討相對應空氣品質防制工作的現況及展望。

Air Pollution Control for Reducing the Environmental Stresses on the Crops

Hsiung-Wen Chen (Bureau of Air Quality Protection and Noise Control, Environmental Protection Administration, Executive Yuan, ROC)

ABSTRACT: The complexity of environmental stresses experienced by the crops is arising due to the climate change, the increase of natural disasters, and the degradation of environmental quality. The status and the future perspectives of the air quality protections and pollution preventions have been discussed based on the scale of the stressed phenomena onto the crops. The areas of the primary pollutants, photochemical smog, acid deposition, vulnerability and adaptation or mitigation of climate change are discussed.

一、前 言

農業作物所經歷逆境的複雜性，在全球氣候變遷、天然災害增加及環境品質劣化的多重影響下，正逐日的增加。因應加入關貿總協之後，各項農產品將隨之進一步開放進口，我國的農業也將面臨結構性的改變與衝擊。在此一時刻討論作物逆境的防護及空氣品質的保護，格外顯出其時代性及重要性。

傳統上討論作物逆境的發生原因，主要集中在農業氣象災害，如寒潮、降霜、乾旱、豪雨、冰雹、颱風及焚風等天氣現象，對農作物生長及產量的影響。近年來由於國人環保意識的覺醒，無法坐視空氣污染造成農業損害，歷年來環保糾紛案件中有關農作物受損的案例如表一所示。依據統計 [1]，空氣污染所造成的環境糾紛事件以水稻爲先，損害面積約爲數百公頃至一千公頃，蔬菜及果樹的危害其次，每年農作物損害賠償約在一千萬至五千萬之譜，足見其嚴重性。

空氣污染對作物的危害，可按照危害的直接程度分爲原生性、二次性、三次性以及輻射性等，在大氣中傳播的途徑分別爲小尺度、中尺度、區域尺度以及全球尺度，其複雜的程度依序增加，相對應防制工作的複雜性也因此依序增加，詳如表二所列。本文將依據作物受污染危害現象的尺度，探討相對

應空氣品質防制工作的現況及展望。

表一 歷年環保糾紛造成農作損害案件表

代號	年、月	名稱
B7703	77, 4	後勁盆栽枯死案
D7803	78, 4	淡水養殖池修築案
D8014	81, 8	協合電廠黑煙污染馬蹄蘭
E7703	77, 10	協興玻璃熱氣廢水致稻作枯死
E7903	79, 11	奇園窯業污染農田
E8101	81, 3	廣信窯業濃煙致花木枯萎
F7802	78, 4	信大水泥飛灰污染農作
I7902	79, 8	通霄電廠致水稻苗等作物枯萎
I8001	80, 5	頭份工業區化工廠損害農作物
S7817	78, 9	台塑林園廠白色粉末污染農作物
S7819	78, 9	仁大工業區酸雨造成附近果樹落果
S8103	81, 7	大社高塑惡臭危害農業

表二 不同空間尺度作物空氣污染危害及防制工作

項 目	原生性污染	光化煙霧	酸性沉降	全球變遷
空間尺度	10m～1Km	10Km～50Km	50Km～500Km	洲際～全球
時間尺度	天 ～ 週	月 ～ 季	季 ～ 年	十年～百年
危害原因	污染物直接傷害作物組織	反應生成高氧化力氣體	酸性物質傷害植體、土壤酸化微生物生態破壞、重金屬溶出毒害、病蟲害抗性降低	CO_2引發生理異常、高溫導致早熟、乾旱暴雨頻率增加、海平面上升農地減少、病蟲害抗性降低
損害金額	1～5千萬／年	11～14%/年	（未估計）	（未估計）
不確定性	低	中	高	最高
防制工作	空污相關法規	空污相關法規都市發展、	空污相關法規都市發展、區域發展、區域跨國公約	空污相關法規能源產業政策農林業政策、全球氣候變化綱要公約

二、原生性污染物的危害及防制

過去各次環保糾紛的發生，大都肇因於近距離原生性污染物造成作物的損害，諸如後勁盆栽案、電廠黑煙污染馬蹄蘭、窯業污染農田、水泥飛灰污染農作、惡臭危害農作、玻璃廠廢熱氣致水稻枯萎等，如表一所示。各次糾紛的發生原因諸如工廠操作或防制不當、意外事故發生、氣象擴散能力變異、營建工程或礦窯業等逸散性粉塵污染防制不當等，由於污染源與農地之間的距離較近，污染濃度較高，危害性也較明顯，因而在責任歸屬及認定工作上也較容易，然而一般來說，污染源若完全依據現行環保法規即可防止大部份此類污染事件的發生：

1.排放標準
- A.排放口濃度標準
- B.周界標準
- C.排放口高度限值

2.固定污染源設置操作許可辦法
3.污染源處理設備操作規範
4.特殊工業區緩衝帶設置辦法
5.化學災害預防及應變體系之建置

除既有的法規以外，尚有下列問題仍未妥善解決，有待各方面的努力：

1.特殊危害農作污染物排放標準的研訂

由於過去訂定排放標準及周界標準大多以人員的保護爲出發，對人體危害性較低而對作物危害性較高的污染物，如乙炔、乙烯等，乃以勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準的1/50作爲周界標準，此類標準是否可保護作物、且一般經勞委會認可之監測系統技術是否足以反映等問題，尚待進一步檢討。

2.污染密集區域空氣品質的改善及維護

過去曾經發生不少工業區附近農作損害糾紛，對於單一排放標準應用在工業區內，因污染源過分密集，造成空氣品質不良的情況，目前除在新建工業區環評結論中要求工業區建立總量管制審查制度，在售地階段即予規範及輔導，對於既有工業區密集排放的情形，亦可經由縣市空氣品質維護改善計畫的實施，予以減量。然而爲加速此類污染密集區域空氣品質的改善及維護，尚須定訂强有力的管制法規。

3.指標作物監測方法的標準化

空氣污染物造成作物的損害，因污染物的濃度及其他環境因子的協成作用而異，並不存在簡單的線性關係，因此以指標作物監測污染源的影響最爲直接。然而因指標作物的基質、營養、病虫害及氣象逆境的防護等因素過於複雜，栽培、觀察及分析耗時過久，並不適合廣爲設置，如何克服此一問題，以進行污染源作物危害的長期監測，需要將指標作物監測的方法予以標準化。

4.農業區附近固定源排放標準的研定

在農業技術不斷提升以及農地釋出的國家政策引導下，我國的農地單位面積生產量將繼續的增加，因而對環境污染逆境的敏感性亦將相對提高，對於高產量農地附近的固定源設置，除要求依規定設置緩衝帶以外，需不需要依據空污法授權訂定區域較嚴格的排放標準，以確保農業的持續發展？又該如何定訂？值得吾人深思。

三、光氧化物的危害及防制

依據空氣品質監測站數據分析結果，台灣地區每年約有2500～3000站次之八小時臭氧濃度超過60PPB之空氣品質標準[2]，對農作物的影響甚鉅。國內有關光氧化物中臭氧及PAN對作物的危害觀測及研究也顯示，都會區周圍的菠菜及葉用甘藷葉面漂白與空氣中的光氧化物濃度有顯著的關係[3]，國外研究也指出[4-6]，臭氧造成農作物的減產，以高出現頻率之50-87PPB濃度區間危害性最大，美國NCLAN(National Crop Loss Assessment Network)推估減產程度達全年產量的11～14%，已達危及正常的農業經濟活動的程度，值得重視。

光氧化物的發生原因，包括前驅物質（NOx,VOC）的排放、混合以及反應等機制的作用，因而在管制上須針對發生光氧化物潛勢最高的污染源，才能有效防制。由於光化煙霧的生成爲都會區密集排放的結果，除了傳統的管末排放管制以外，尚需配合都會區各項機能妥善的規劃、低污染交通工具推行及大眾運輸系統的建置等污染預防措施，加上污染抵減及交換等經濟誘因措施的實施，方能畢竟其功。

目前各項空氣污染防制措施中，可達成上述目的者如：

1.加强機車定期檢驗
2.汽機車免費檢測
3.加强路邊稽查取締
4.補助加氣站及計程車改裝爲LPG車
5.工廠污染防制輔導及評鑑

基於現階段光氧化物管制措施不足之處，以及未來預期中防制工作的需求，爲使國內光化煙霧的管制策略能具有更紮實的科學根據，對光化煙霧的影響更加量化，以喚起民眾對光化煙霧防制的意識，亟需對光化煙霧防制相關研究工作繼續加强。相關研究之架構可按照邏輯分爲排放量資料的掌握、光化煙霧對民眾及環境系統的影響評估、以及控制策略研擬三大部分，分別研究管制策略的實施對象、管制策略的必要性、以及建立管制策略等三大方向[7]。茲分述如下：

1.前軀物排放源資料建立更新

中長期來看，台灣地區光化煙霧污染防制工作首要的重點應當是管制對象的確立，包括固定源（點源）、移動源（線源）及逸散源（面源）同時進行管制。目前國內雖然已建有第二代的排放量資料系統，其中固定源及移動源氮氧化物排放量的推估，因排放係數及資料庫的品質均較佳，推估成果的爭議性較低，但是在反應性有機物方面，因化合物種太多，且大多以逸散源的型式排放，推估成果的可靠性較低。以目前排放量資料庫的品質而言，雖可充作初步評估的依據，但未來在執行減量規劃時，其準確性尚可加强。

除建立更新前驅物的排放量資料庫以外，過去對資料庫品質管制及查核工作僅限於推估過程的系統檢討，並無系統外的品質稽核，應由各污染物環境品質的定量關係，以及特定擴散性質條件（如隧道、追蹤氣體施放）下排放量與環境品質的關連性，加强並擴大這一方面的研究。

2.光化煙霧對環境影響之探討

定性上光化煙霧對呼吸系統及眼睛黏膜、特定農作物、文化古蹟畫作、油漆、橡膠等財產，以及能見度環境美質等具有明顯的影響，是國內外學者研究一致的看法。然而定量上在國內究竟有多大的影響、造成的社會及經濟成本有多少等問題，並無初步的答案。此方面亦值得深入的研究，以加强民眾宣導並提高民眾對此問題的意識，另一方面，則做爲管制措施强制施行的依據。

由於光化煙霧污染具有廣泛空間分布的特性，雖藉由現有站網可知測站代表區域附近的臭氧及PM10濃度，但對沒有測站的區域則一無所知，可結合目前酸雨作物指標測站，廣爲設置光化煙霧的簡易測站，如指標作物測站及簡易被動式光氧化物測站等，以增加對光化煙霧影響範圍以及程度的瞭解。

3.光化模式發展驗證及管制策略之研定

光化煙霧防制策略的擬定，就行政層面來看，須要預知管制措施執行之後所能達成環境品質改善的有效性，就環境保護及涵容量的層面來看，則需知道解決目前及未來光化煙霧危害所需的減量目標，光化模式則爲連接前述前驅物排放及環境影響之工具。

由於前驅物排放到大氣中，直到影響環境之間，存在有複雜的光化學反應、大氣擴散及環流作用、氣膠沉降及氧化物的表面反應等移除作用，爲一非線性的系統，

無法藉由簡單的高斯模式正確的模擬。為發展驗證本土化的光化模式，必須要有充分的實驗觀測數據基礎，非但增進吾人對台灣地區光化煙霧現象的瞭解，更藉由各單元現象的數學化、模式的重組及驗證，增加吾人對模式作為策略研擬工具的信賴度。

由於一項防制策略的形成，非但要由空氣品質的維護改善出發，更要考慮到國家未來經濟的發展、各項減量技術的發展、行政成本效益、以及社會各方建言的考量等，為縮短策略形成所需的時間，加速凝聚各方面的共識，則需藉助策略方案的模式模擬。對於單項減量措施之技術可行性及成本效益性，亦應再更深入的探討，使其能成為眞正具體可行的防制方案，包括管制規範訂定、宣導、與執行等時程的配合，以及污染者及環保單位之經費配合等皆應妥為規劃。

四、酸性沉降的危害及防制

以往酸雨造成作物危害的報告並不多，以78年仁大工業區酸雨造成落果案最為矚目。由於酸性沉降對多年生林木果樹的危害，藉著降雨系統的移動，已成為國際重視的環保話題，但對於草本的農藝作物來說，酸雨的直接影響遠小於間接的影響[8]，包括土壤的酸化、土壤微生物生態破壞、病虫害抗性的降低[9]、重金屬溶出造成毒害等。

酸雨的防制除了降低酸性氣體的排放總量之外，對於光氧化物的防制亦須同步進行[10-11]。後者的防制說明如上，有關酸性氣體的防制措施有：

1.油品燃煤含硫份規範
2.機動車輛加裝觸媒轉化器
3.鍋爐加裝脫硫及脫硝控制設備
4.長期酸性沉降監測及防制研究
5.參與區域跨國防制及研究工作

除了本署主要執掌空氣污染防制措施之外，相關能源政策、交通政策亦對酸性氣體的排放削減具有決定性的影響，諸如：

1.再生能源的開發使用
2.節能技術開發推廣
3.清潔燃料使用
4.電動車開發推廣

由於酸性沉降為一區域跨國性的污染現象，因此其防制工作亦需經由國際研究、會商以及協定等方式加以推動。1990年起世界銀行以及亞洲開發銀行正進行「亞洲酸雨計畫」[12]，希望藉著歐洲酸雨防制計畫的經驗，在預期下一世紀亞洲將有高度成長經濟活動之先，推估可能連帶造成的酸性氣體排放，經區域性擴散沉降之後，對東亞地區各地生態系統及土壤可能造成的影響，並藉研究計畫的成果，推動區域防制協定的簽署。雖然在達成具體減量協定之前，需先形成合適的政治及外交局勢，然而對於各國經濟發展及排放量的推估、大氣擴散沉降模式、以及各地生態所能承受的臨界酸性沉降量等各主題之基本數據、研究方法及過程等，都應先受到學界嚴謹的考核，以免造成誤導及不公。相關的研究工作包括下列方向：

1.酸性沉降調查分析

除現行環保署在全省設有十二個酸性沉降測站之外，林業單位在福山及南仁山亦有測站進行長期雨水觀測，為增加農業作物所承受之污染曝露量，環保署亦委託農試所在全省24個農改場設置空氣污染指標植物區，利用已知植物受污染影響的性狀，分析空氣中二氧化硫、臭氧、PAN 等一般空氣污染物以及氟化物、氨氣及乙烯等工業污染程度，未來亦將對酸性沉降敏感之指標作物加入植栽。

由於觀測站記錄方式的限制，對於降水生命週期的雨水性質時間變化未能詳盡分析；雨水中氧化物質無法適當保存，因而雨水資料中均無氧化物濃度；降雨前空氣中酸性懸浮微粒亦無分析記錄；同一場降水缺乏酸雨及酸霧的同步觀測等等限制，目前仍未有研究明確分析各項成因的重要性，包括雲內洗除、雲下洗除、境外移入、以及酸性懸浮微粒沉降等機制，可作為防制策略擬定的有力支持。

2.酸性沉降影響評估

長時間的酸性物質除直接造成植物的傷害以外，其間接對土壤、水體及生態系統的影響更不容忽視，且經由食物鏈的累積效果，最後造成人體重金屬曝露量及危害的增加等等課題，為本處推動相關研究的重點項目。由於各階段的影響關係都存在有高度的不確定性及非線性，因而在連接及整合應用時須先估計不確定性的傳播。

在土壤酸化極限度評估工作當中，亟需對硝酸根及其他離子的容受極限度、土壤中鹽基陽離子與鋁離子的比值（BC/Al）、土壤緩衝能力及施肥方式的關係等課題，進一步加以研究，方能正確評估台灣地區森林及土壤系統對酸性沉降的涵容能力。

3.減量技術及政策評估

在酸性沉降的防制工作當中，非但需要排放管末的減量技術，尚需在重大酸性氣體排放源區位的選擇及規劃上，依據酸性沉降排放源及受體點的關係予以慎重考量，以避免生態系統酸性沉降涵容能力的耗用。

五、氣候變遷的危害及減緩措施

全球溫室效應所引發的氣溫及降水異常、海平面上升等現象，對於海島國家之農業而言，其影響及衝擊非常顯著。由於氣溫及降水的空間分布改變，局部地區的適作品種將迅速的改變，因而農地土地使用型態、鄉村社會及經濟也連帶變遷。

究竟全球溫室效應對台灣地區農業的影響程度如何？台灣農業的適應能力如何？目前尚在評估中，相關之溫室效應減緩措施亦在審慎研擬。為加強我國對國際環保事務的參與，行政院於1994年 8 月將原來之「全球環境變遷工作小組」擴編提升為「全球環境變遷政策指導小組」，以下分為七個工作小組、研擬推動內政、外交、經濟、農業、以及環保等相關各部會環境保護之整體政策，其中「氣候綱要公約工作小組」由環保署空保處擔任召集工作，目前積極進行資料準備工作。相關分析工作包括：

1.排放清冊的建立

包括能源、工業、農林部門、溶劑及其他產物的使用、土地使用變遷、以及廢污物質等六大部門之二氧化碳等六項溫室效應氣體的相關基本資料、活動量、排放係數、以及損失項（Sink Term）等資料的彙整，並以國際統一的制式試算表填報計算國家的淨排放量，作為以下影響評估及減緩措施評析的依據，並須接受國際間的互相檢核。

2.氣候變遷影響及因應對策分析

此一部份主要應用已發展成熟較無爭議的評估模式，進行損害以及因應對策的評估，包括氣候、農業、牧草地、林業、水資源、海岸線變遷、以及其他生物社經項目等。評估結果尚需以可比較的共通形式進行跨部門整合、及下述減緩措施分析的整合。至於因應對策的的評析方面，則須確立因應政策的目標、因應政策基本要素及評估範疇、損害度及因應技術分析、對目前政策敏感性的評估以及因應政策方案分析等，並且凝聚社會各方面對因相關因應對策的共識。

3.減緩措施評析

除上述因氣候變遷造成國內影響部份，須研擬具體可行的因應補救對策以外，在積極面更需在各部門擬定溫室效應的減緩措施，能源部門包括工業、運輸、農業能源使用、傳統能源供應、及再生能源供應等五方面，非能源部門則包括林業、農業、牧草地、廢污物質等四方面。經GDP 、人口、燃料價格、能源政策、能源密度、國家預測資料彙整、排放係數等主要情境假

設之後，進行總體經濟衝擊評估，進一步擬定排放減量、能源使用量、排放削減價格、以及技術可行性等減緩政策方案，評估減緩措施方案之碳量收支、價格及收益收支、總體經濟效益、以及政策執行障礙等項目整體的可行性。

六、結　論

經由大氣的傳輸、擴散、轉化以及移除等機制的共同作用，空氣污染物輾轉造成農作物不良的影響。由於近距離小尺度的影響，空氣污染物濃度較高、危害較顯著、因果關係也較明顯，因而管制工作的施行較爲順暢。然而在都會區的光化煙霧、區域性酸性沉降、以及全球環境變遷等議題上，其對農業的影響層面更深更廣，防制工作也更爲複雜，其間尚有許多課題值得學界進一步探討及推廣，以使我國農業可永續發展，亟需各方面的共同努力。

引用文獻

李國欽 1991 農業環境污染及其因應對策，農業環境與水土資源保育利用，中華民國農學團體80年聯合會。

張能復 1996 都會區臭氧污染潛勢分析及防制之研究，第一年期中報告，環保署委託計畫，p1-2.

孫岩章 1994 台灣北部地區O_3對葉用甘藷及菠菜之影響，中研院植物學彙刊35(3):165-170。

Rosenbaum, B. J., T. C. Strickland and M. K. Mcdowell. 1994. Mapping critical levels of ozone, SO_2, and NO_2 for crops, forests and natural vegetation in the U. S. Water Air & Soil Pollut. 74:307-319.

Krupa, S. V., M. Nosal and A. H. Legge. 1994. Ambient ozone and crop loss: Establishing a cause-effect relationship, Environ. Pollut. 83(3):269-276.

Tingley, D. T., D. M. Olszyk, A. A. Herstrom and E. H. Lee. 1994. Effects of ozone on crops, in "Tropospheric ozone: Human health and agriculture impacts" ed. by D. J. McKee, Lewis Publishers, BocaRaton, pp195-202.

張能復等. 1996. 台灣地區二次污染防制研究中長程規劃草案，個人通訊。

Khan, M. R. and M. W. Khan. 1994. Effects of simulated acid rain and root-knot nematode on tomato, Plant Pathology, 43(1):41-49.

Soares, A., J. Y. Ming and J. Pearson. 1995. Physiological indicators and susceptibility of plants to acidifying atmospheric pollution: a multivariate approach. Environ. Pollut. 87:159-166.

Liu and Smith 1995. The avalibility of H_2O_2 in acidification of cloud, Atmospheric Environment 29:22.

Zhlia et al. 1993. Feature of cloudwater chemistry over some areas in China, Proceeding of the Inter. Conf. on Regional Env. and Climate change in East Asia, Taipei, Taiwan, Nov. 30-Dec. 2. p.339-342.

Carmichael, G. R. et al. 1993. Acid raind and emission in Asia: An international collaborative project on acid rain in Asia, Proceeding of the Intl. Conf. on Regional Env. and Climate change in East Asia, Taipei, Taiwan, Nov. 30-Dec. 2. p.328-333.