

酸性濕沈降對農作物影響之探討

蘇慕容 楊純明

臺灣省農業試驗所農藝系作物逆境研究室

摘要

大氣之雨、霧、雪、露等降水型態在 $\text{pH} < 5.6$ 時，被稱為酸性濕沈降，其中較常見者為酸雨及酸霧兩種。雖然自然界可能產生致酸物質，但對濕沈降的酸性貢獻不大，主要來源仍為石化燃料燃燒後之衍生物。目前酸性濕沈降物質的酸鹼值有逐漸下降的趨勢，對全球環境、生態的破壞無遠弗屆，而且日益嚴重。農作物生育期間，植株長期暴露於酸性濕沈降之下將造成傷害，包括葉、莖、花、果實等外觀的損傷、壞疽，生理生化反應的失衡，以及產量、品質的降低。然而，也有部份報告指出酸性濕沈降對農作物的傷害並不明顯，甚至有助於作物生長良好。上述歧異結果之原因，乃由於作物種類、品種(系)、發育時期、表皮特性、受害時間及酸性強度等因素造成，因此釐清這些因素之間的關係，有助於建立正確合適的防制策略。

關鍵詞：酸性濕沈降，酸雨，酸霧，農作物。

Effects of Acid Precipitation on Crops - A minireview

Muh-Rong Su and Chwen-Ming Yang (Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC)

ABSTRACT: When reacted with acidic gases or anionic species, pH of water molecules in the air may fall below 5.6 before 'dropping' down to the ground and is called acidic wet deposition or acid precipitation. Among many forms of precipitation, acid rain and acidic fog are of common awareness. The major sources of these acidic particles are attributed to the burning of fossil oil rather than the natural occurrences. In recent years, acidic precipitation becomes a serious problem to ecosystem and environment in many regions of the world, especially in the industrialized areas including Taiwan. During the growth period of a crop, injuries may occur to leaf, stem, flower and fruit when exposed periodically to acid precipitation. Plants are vulnerable to acid deposition depending on species, variety, growth status, characters of leaf surface, and the nature and treatment of acidic solutions. Quite a few efforts have been made still much experiment needs to be conducted to assess the appropriate strategy for controlling damages caused by acid precipitation.

Key words: Acid precipitation, Acid rain, Acidic fog, Crops.

前言

大氣 CO_2 (現行濃度約為 $340 \cdot \mu\text{l L}^{-1}$) 與水分子結合並達平衡後，形成 pH 值約 5.6 之碳酸，因此正常情況下未受污染的降水 (precipitation) 呈弱酸性。假如大氣含

收到稿件 (Received) : 24 Mar. 1995.

接收刊登 (Accepted) : 11 Apr. 1995.

有 SO_2 、 NO_x 、Cl 及 HF 等物質，與雨水、雪水、霧、露等型態降水結合，並經由光化學反應，則可產生 pH 值低於 5.6 之酸性濕沈降物。酸性濕沈降中較常見者為酸雨 (乃 1852 年英人 R.A. Smith 所創)，也是目前全球矚目並廣泛被探討的型態，

有機酸；其次為酸霧，出現在 70 年代末期，酸性及化學成份濃度皆高於酸雨 (Waldman et al., 1982)。

上述大氣浮塵粒子的來源包含大自然產生（如火山噴出物、動植物分解釋放及空氣閃電衍生物等）與工業化、都市化發展後污染物質的排放，該等酸性沈降物與水結合降落地面後，將對大地生物及生態系造成深遠影響，其層面包括森林、湖泊、水域、土壤等的酸化，並直接或間接傷害動、植物及人體 (Kramer and Tessier, 1982)，長期以往也將不可避免的導致農業生產力降低。

人類超限使用自然資源及製造污染的結果，目前酸性濕沈降與溫室效應、臭氧層破壞並列為全球關切的三大環境問題，各地區問題的嚴重程度雖隨著地理條件、污染背景、及氣象狀況的不同互異，然各先進國家莫不竭力研究、探討，以謀求因應防制策略。本文即針對酸性濕沈降對農作物的影響進行文獻回顧，期能拋磚引玉獲得各界重視，在本省農業尚未因此出現顯著危機前予深入探究、解決。

臺灣的酸性濕沈降現況

臺灣地小人稠，近年來工商業蓬勃發展，經濟成長迅速，相對的空氣污染源的產生及工商業廢棄物也隨之增加，導致環境日益惡化、污染情況日趨嚴重。其中溫室效應及臭氧層的破壞對氣候改變及人體健康影響最直接，酸性濕沈降則明顯危害環境。由於特殊的地理與地形環境，高溫多雨的氣候及島嶼特性，臺灣地區空氣污染物質濃度一向偏高，酸性濕沈降頻率及程度都相當明顯。國內環保單位及環工學者已逐漸重視此一問題，惟焦點多放在酸雨，同為酸性濕沈降的酸霧則尚無評估報告。

早期孫及吳 (1980) 調查臺灣地區雨水平均酸鹼值，證明臺灣酸雨普遍存在 (pH 值可達 4.2 左右)。這也顯示酸雨問題可能早已發生，只是從未被注意。資料經分析後發現，酸雨之主要酸性物質為 SO_4^{-2} ，

次為 NO_3^{-1} 。Chen 等 (1993) 於 1990 ~ 1993 年連續四年間調查臺灣十處地區之雨水 pH 值，其結果以都會地區較鄉村者低，北部地區酸雨問題較南部地區嚴重。陳 (1993) 指出臺灣地區 pH 值小於 5.0 之酸雨發生頻率約為 70%，而且雨水致酸物質比值（即硫酸與硝酸比例）隨地區而異，北部地區約 3:1，南部地區為 4:1，東部地區則 2:1，顯示臺灣地區雨水酸度主要來源為硫酸。Chen 及 Chen (1993) 的調查也顯示，臺灣地區的雨水中硫酸約為硝酸的 2.8 ~ 6.3 倍。Babich 等 (1980) 調查美國東北部地區的雨水成份後發現，硫酸占 65%，硝酸則為 30%。另就季節變化而言，臺灣春季滯留鋒雨及冬季鋒面雨為臺灣易發生酸雨的兩種降水型態。

酸性濕沈降物質中，硫酸的前驅物 SO_2 多來自固定污染源 (Chen and Chen, 1993)；硝酸的沈降過程較複雜，不易求取量化關係 (李, 1994)。氫離子大部份來自海水飛沫，有機酸則主要由生物活動所產生。顯然的，以 SO_2 的釋放管制較易達到預定績效。

酸性濕沈降對農作物的危害

酸性濕沈降物可直接以淋洗方式接觸農作物，由植株地上部孔隙（如氣孔、皮孔、毛孔及傷口等）進入植體，或經過污染的酸性水源灌溉由根系吸收。此外，滲入土中的沈降物可與土壤中離子交換，改變土壤溶液酸鹼值，或因此釋放出毒害金屬離子，由根系吸收、交換進入植體。據此，酸性濕沈降危害農作物一般可分為直接傷害與間接影響兩類。直接傷害包括葉組織的破壞、授粉的阻礙、細胞 pH 的失衡、酵素活性的改變等有關外觀、生理、生化的傷害，間接影響則透過土壤酸化、減少土中有效性養分及毒害物質釋出等方式，最後導致生育受阻及產量降低。

1. 外表徵狀的表現

酸性濕沈降物質降落地面，直接接觸作物表面，作物表面組織對酸性濕沈降的忍受性，就成為逆境的指標之一。因此葉

片損傷程度常被列為研究的調查對象。

Dubay 及 Heagle (1987) 以人工模擬酸雨處理大豆植株，每週兩次，結果 pH 3.2 及 2.7 之酸雨皆造成大豆葉片局部損傷，pH > 3.2 之酸雨則無影響。Irving 及 Miller (1981) 以不同量及時間之人工酸雨 (pH 3.0) 處理生長箱內大豆，三天後調查，在酸雨量 1.9 cm 及 44 mins 的處理條件下，葉片傷害達 20%，但葉片尚無黃萎 (chlorosis) 現象；在 9.25 cm 及 205 mins 的累積酸雨，葉片損傷達 100%，十天後 40% 葉片黃萎。Evan 及 Curry (1979) 以 20 min day⁻¹ 的人工酸雨 (pH 3.4、3.1、2.9、2.7) 處理大豆，結果顯示隨著增加人工酸雨處理時間及 pH 值降低，葉片損傷百分比增加，並且未展開葉對酸雨敏感度大於完全展開葉，再根據解剖顯微鏡觀察，葉緣酸雨滯留是造成損傷之主因。Heagle 等 (1983) 試驗亦有人工酸雨傷害大豆葉片之結果，並測定該酸雨淋洗後之土壤 pH 值、Ca、Mg、K 含量皆比對照低。

Trumble 及 Walker (1991) 以 pH 2.5 及 3.0 之人工酸霧處理菜豆，結果葉片上表皮損傷比下表皮嚴重。Musselman 等 (1988) 之草莓人工酸霧試驗結果指出，酸霧使草莓葉片及果實變小、畸形及產生紅褐色斑點，嚴重影響草莓品質。蘋果果皮斑點率隨酸雨 pH 值下降而增加，當 pH = 3 時，果皮已達 47.2% 的傷害，對於花瓣及葉片同樣受到酸雨危害 (Rinallo, 1992)。另 Proctor (1983) 的試驗僅顯出蘋果果皮的傷害，並不影響葉的外觀。在 Hosono 及 Nouchi (1994) 的人工酸雨試驗，作物每週處理三次酸雨 (pH 值為 2.5)，三週後第一本葉損傷面積如下：蘿蔔 70%、菠菜 35%、矮性菜豆 20%、白菜 15%、水稻 5%。

酸性濕沉降對作物的危害，依作物的種類而異 (Hosono and Nouchi, 1994; Musselman *et al.*, 1988; McCool *et al.*, 1990)，但基本上植株常需處於 pH 2.8 或更低的酸性濕沉降環境下，才開始表現葉、莖、花、果實的損傷、壞疽，而在 pH 2.2 或更低的酸霧，才會導致作物產量降低

(Olszyk *et al.*, 1989)。

2. 對根系環境的影響

酸性濕沉降除直接對地上部葉片、莖、花、果實危害外，也會影響地下部根系環境的養分利用效率。礦物元素提供根系吸收及作物生長所需之有效型態，必須存在一定 pH 值範圍之內（一般該土壤環境呈微酸性），而在長期接受酸雨的土壤，必然產生養分有效性降低與土壤酸化現象，尤其在碳酸鈣含量低的土壤更甚。此外，酸雨也會誘導土壤鋁離子釋放，造成鋁毒害 (Taiz and Zeiger, 1991)。

酸雨對微生物相也有影響，Miller 等 (1991) 試驗顯示，酸雨環境使土壤亞硝酸氧化菌及異營菌族群減少，相對於硫酸氧化菌數量的增加，但並不影響土壤 pH 值。推究其原因，發現該土壤屬粉土，陽離子交換容量較高 (21 cmol_c kg⁻¹)。所以，欲判斷酸雨對作物根系環境及土壤酸化的影響，必須注意土壤特性 (Ashenden and Bell, 1987)。

3. 對農作物生長、產量及品質的影響

Irving 及 Miller (1981) 利用人工酸雨及二氧化硫處理大豆植株，雖然最後產量在酸雨處理與對照之間並無顯著差異，但就籽粒乾重而言，酸雨處理之大豆較對照組重，這可能由於酸雨溶液含有氮、硫等離子，扮演葉面施肥的角色。

Smith 等 (1991) 比較兩個大豆品種對人工酸雨的生理反應，結果顯示雨水 pH 值介於 5.6 ~ 3.0 之間並未造成大豆 CO₂ 固定、水分潛勢、葉綠素含量、種子產量、植株乾重及氮的累積等之影響。Kohno 及 Kobayashi (1988) 在溫室進行之大豆人工酸雨試驗，雖然 pH 3.0 以下的酸雨導致大豆新葉損傷，但整體而言酸雨處理並未造成大豆幼苗生長受阻。Reddy (1989) 試驗 20 個大豆品種及 12 個菜豆品種之中，各僅兩個品種由於酸雨導致減產，此四個品種為同遺傳背景的两个大豆與矮生型菜豆。

酸雨影響玉米花粉發芽，隨 pH 值下降發芽率降低 (Wertheim and Craker,

1988)。Dubay (1989)以人工酸雨 pH4.5、3.5、2.5 分別處理玉米受粉前、後，調查種子形成率，發現在受粉前施以酸雨並不影響種子形成，但受粉後處理者比 pH5.5 處理者分別降低 7、29、34%，pH 5.5 又比空白處理低 24%。經由顯微鏡觀察，主要係柱頭表面或花絲內之花粉管伸長受阻，Craker 及 Waldron(1989) 也有相同結論。此外，Wertheim 及 Craker(1987) 認為酸雨也會導致柱頭表面的物理或化學傷害。

雖然酸雨對玉米有上述的影響，但 Banwart 等 (1987) 以人工酸雨 pH5.6~3.0 處理兩個玉米品種，結果兩品種皆不受酸雨影響。Banwart 等 (1990) 以兩個玉米品種進行酸雨及乾旱逆境試驗，結果乾旱逆境明顯使產量減少，pH3.0 的酸雨卻不影響玉米產量。Smith 等 (1990) 以人工酸雨 pH3.0、4.2 及 5.6 處理兩雜交玉米，並評估葉片 CO₂ 固定作用、水分潛勢、葉綠素含量及花粉發芽率的改變，結果酸雨並未對上述性狀造成影響。

Ashenden 及 Bell(1987) 以春大麥為材料進行酸雨試驗，在不同類型土壤及酸雨 pH3.5 ~ 4.5 範圍內，產量減少 10 ~ 30%。Rinallo(1992) 以蘋果樹為材料，施以三種模擬雨水 (pH5.6、4.0、3.0)，結果以 pH3.0 處理在果實重量、著果數、外觀及乾物重都有降低的情形。Rinallo 等 (1993) 的蘋果樹試驗指出，在 pH3.0 的人工酸雨處理下，蘋果果肉乾物質、鉀、鈣、糖分及維他命 C 含量減少，酸度、氮、重金屬增加。Proctor(1983) 則認為酸雨並不會對蘋果重量、大小、硬度、可溶性固形物及澱粉含量造成影響。Olson 等 (1987) 的蘿蔔試驗，pH4.8 與 4.0 之酸雨導致塊根乾重下降，同時降低植物對組織的穩定性及乾旱的抵抗力。酸霧減少菜豆、菠菜產量，蕃茄根重，以及延遲菜豆及苜蓿成熟 (Musselman and Sterrett, 1988)。此外，青椒在 pH2.69 以下之酸霧，葉片、結果數目、葉綠素、類胡蘿蔔素含量有提高的趨勢，其中葉綠素含量增加可能是作物

對酸霧逆境之適應性 (Takemoto *et al.*, 1988)。同時，酸霧對草莓及苜蓿也會影響某些生理作用，包括淨光合作用、氣孔導度、蒸散作用、葉的緩衝能力等 (Takemoto *et al.*, 1989; Temple *et al.*, 1987)。

作物對酸性濕沉降的反應

葉片表皮為酸性濕沉降物質進入植物體主要途徑，扮演選擇膜的角色。因此，葉表皮組織對酸的阻絕能力強，可減少酸對葉肉細胞的直接危害，其中以角質層 (cutin) 及蠟質為主要部份，而成為抗酸雨的重要構造，其他如表皮厚度、表皮完整性及葉片方向都可影響酸雨的危害。不同作物葉表皮對酸的阻絕能力不一，通常遭逢酸性溶液後並不會馬上滲透入表皮內，但隨時間增加滲透程度逐漸提高，其中硫酸溶液對多數作物的滲透性高於其他酸液 (Hauser *et al.*, 1993)。

葉片表皮內部陽離子 (尤其是鈣離子) 能防止酸離子的侵入，但不同作物可能由不同價數的陽離子扮演抗酸角色，Trites 及 Bidwell(1987) 發現施用 Ca、Mg、P 與 N 等有助於減輕酸雨對菜豆葉片的危害，此現象提供防制酸雨侵害作物葉片一可行途徑。

當作物細胞 (或組織) 之 apoplast 及 cytosol 內含有高濃度的硫酸根，並缺乏足夠的氮及同化物質時，將導致蛋白質變性、碳素同化減弱，並影響細胞膜的完整性 (破壞水分子間的氫鍵) 及細胞內 pH 值的穩定性。增強光合作用與氮素營養可以緩和硫酸根的毒害，若氮素供應受限制，且硫酸根過多，則可予暫存液胞之中。雖然硫酸根可以重回細胞質，但一般流動速率很緩慢，部份硫酸根可以有機硫型態 (如 glutathione) 儲存 (Sheppard, 1994)。

結 語

酸性濕沉降 (尤其酸雨) 目前已是全球性的重要環境問題，影響層面廣泛而深遠，並且具有時間效應及累積效果。雖然在一般生長期間較短的農作物上的徵狀不

如其他生態系統顯著，其對農作物具有危害則無庸置疑。而由於作物種類、品種、發育時期、葉表面特性、受害時間與酸沉降速率、氫離子濃度等因子的差異，將會造成不同傷害程度，使得判斷濕性沉降對農作物的危害益顯困難。

為求釐清酸性濕沉降對各種農作物的真正傷害，瞭解其影響機制，可在控制環境下運用適當的試驗設計、淋洗設施與處理方法，並且借助合理的統計方法（如多變量分析），以減少試驗干擾。研究首先應篩檢不同作物及各品系（種）之間對酸性濕沉降的敏感性，以瞭解臺灣地區酸雨是否對各農作物造成生產上的障礙。並應長期追蹤酸性濕沉降對本省農業區土地的影響，評估其對酸性沉降物質的緩衝能力及成害臨界點，以及時採取因應措施。其次，當針對敏感性作物研發有效的保護藥劑，期以減輕污染物對作物之危害。然而酸性濕沉降防制根本之道，仍在減少人為污染物的產生。政府有關單位當思研擬有效管制政策，民衆亦應盡國民責任配合，共同攜手為改善生活環境努力，則不僅對農作物傷害可降低，更可避免整個環境生態繼續惡化。

誌 謝

作者對本所農工系姚銘輝先生所提供的部份參考文獻表示由衷的感謝。本文登記為臺灣省農業試驗所報告第 1760 號。

引用文獻

- 李崇德 1994 酸性沉降控制策略及綜合評估之研究。臺灣地區酸性沉降物之調查研究子題（四）。行政院環境保護署，臺北市。
- 孫岩章、吳瑞鈺 1980 臺灣地區的酸雨。科學發展月刊 8:428-434。
- 陳淨修 1993 臺灣地區酸雨防治策略。pp.70-79。臺灣地區空氣汙染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯。中華農業氣象學會出版，臺中縣。
- Ashenden, T. W. and S. Bell. 1987. Yield reductions in winter barley grown on a range of soils and exposed to simulated acid rain. *Plant and Soil* 98:433-437.
- Babich, H., D. L. Davis and G. C. Stotzky. 1980. Acid precipitation. *Atmos. Environ.* 14:6-13.
- Banwart, W. L., E. L. Ziegler and P. M. Porter. 1990. Field corn response to acid rain-drought stress interaction. *J. Environ. Qual.* 19:321-324.
- Banwart, W. L., P. M. Porter, J. J. Hassett and W. M. Walker. 1987. Simulated acid rain effects on yield response of two corn cultivars. *Agron. J.* 79:497-501.
- Chen, J. H., K. H. Chang and F. T. Jeng. 1993. The acid rain in Taiwan area. In: *Proceedings of International Conference on Regional Environment and Climate Changes in East Asia*. pp.28A1-28A4. Nov.30-Dec.3, 1993. Taipei, Taiwan.
- Chen, J. S. and C. S. Chen. 1993. The study on characteristics of acid rain in Taiwan area. In: *Proceedings of International Conference on Regional Environment and Climate Changes in East Asia*. pp.263-267. Nov.30-Dec.3, 1993. Taipei, Taiwan.
- Craker, L. E. and P. F. Waldron. 1989. Acid rain and seed yield reductions in corn. *J. Environ. Qual.* 18:127-129.
- Dubay, D. T. and A. S. Heagle. 1987. The effects of simulated acid rain with and without ambient rain on the growth and yield of field-growth soybeans. *Environ. Exp. Bot.* 27:395-401.
- Dubay, D. T. 1989. Direct effects of simulated acid rain on sexual reproduction in corn. *J. Environ. Qual.* 18:217-221.
- Evans, L. S. and T. M. Curry. 1979. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. *Amer. J. Bot.* 66:953-962.
- Hauser, H. D., K. D. Walters and V. S. Berg. 1993. Patterns of effective permeability of leaf cuticles to acids. *Plant Physiol.* 101:251-257.
- Heagle, A. S., R. B. Philbeck, P. F. Brewer and R. E. Ferrell. 1983. Response of soybeans to simulated acid rain in the field. *J. Environ. Qual.* 12:538-543.
- Hosono, T. and I. Nouchi. 1994. Effects of simulated acid rain on growth, yield and net-photosynthesis of several agricultural crops. *J. Agri. Met.* 50:121-127.
- Irving, P. M. and J. E. Miller. 1981.

- Productivity of field-grown soybeans exposed to acid rain and sulfur dioxide alone and in combination. *J. Environ. Qual.* 10:473-478.
- Kohno, Y. and T. Kobayashi. 1988. Effect of simulated acid rain on the growth of soybean. *Water, Air, and Soil Pollut.* 43:11-19.
- Kramer, J. and A. Tessier. 1982. Acidification of aquatic systems, a critique of chemical approaches. *Environ. Sci. Technol.* 16:606A-614A.
- McCool, P. M., R. C. Musselman and J. L. Sterrett. 1990. Injury of three ornamental flower crops from simulated acidic fog. *Plant Dis.* 74:310-312.
- Miller, K. W., M. A. Cole and W. L. Banwart. 1991. Microbial populations in an argonomically managed mollisol treated with simulated acid rain. *J. Environ. Qual.* 20:845-849.
- Musselman, R. C. and J. L. Sterrett. 1988. Sensitivity of plants to acidic fog. *J. Environ. Qual.* 17:329-333.
- Musselman, R. C., J. L. Sterrett and V. Voth. 1988. Effects of simulated acidic fog on strawberry productivity. *HotSci.* 23:128-130.
- Olson, R. L. Jr., W. E. Winner and L. D. Moore. 1987. Effects of 'pristine' and 'industrial' simulated acidic precipitation on greenhouse-grown radishes. *Environ. Exp. Bot.* 27:239-244.
- Olszyk, D. M., A. Bytnerowicz and B. K. Takemoto. 1989. Photochemical oxidant pollution and vegetation: effect of mixtures of gases, fog and particles. *Environ. Pollut.* 61:11-29.
- Proctor, J. T. A. 1983. Effect of simulated sulfuric acid rain on apple tree foliage, nutrient content, yield and fruit quality. *Environ. Exp. Bot.* 23:167-174.
- Reddy, M. R. 1989. Acid precipitation effects on growth and yield responses of twenty soybean and twelve snap bean cultivars. *J. Environ. Qual.* 18:145-148.
- Rinallo, C. 1992. Effects acidity of simulated rain on the fruiting of 'summerred' apple trees. *J. Environ. Qual.* 21:61-68.
- Rinallo, C., G. Modi, A. Ena and R. Calamassi. 1993. Effects of simulated rain acidity on the chemical composition of apple fruit. *J. Horti. Sci.* 68:275-280.
- Sheppard, L. J. 1994. Causal mechanisms by which sulphate, nitrate and acidity influence frost hardiness in red spruce: review and hypothesis. *New Phytol.* 127:69-82.
- Smith, C. R., B. L. Vasilas, W. L. Banwart, D. B. Peters and W. M. Walker. 1990. Lack of physiological response of two corn hybrids to simulated acid rain. *Environ. Exp. Bot.* 30:435-442.
- Smith, C. R., B. L. Vasilas, W. L. Banwart and W. M. Walker. 1991. Physiological response of two soybean cultivars to simulated acid rain. *New Phytol.* 119:53-60.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. *Plant Physiology*. pp.367-368. The Benjamin Co., California, USA.
- Takemoto, B. K., A. Bytnerowicz and D. M. Olszyk. 1988. Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green pepper (*Capsicum annuum* L.) exposed to acidic fog and ambient ozone. *Plant Physiol.* 88:477-482.
- Takemoto, B. K., A. Bytnerowicz and D. M. Olszyk. 1989. Physiological responses of field-grown strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.) exposed to acidic fog and ambient ozone. *Environ. Exp. Bot.* 29:379-386.
- Temple, P. J., R. W. Lennox, A. Bytnerowicz and O. C. Taylor. 1987. Interactive effects of simulated acidic fog and ozone on field-grown alfalfa. *Environ. Exp. Bot.* 27:409-417.
- Trites, L. F. and R. G. S. Bidwell. 1987. Effect of acidic precipitation on bean plants. *Can. J. Bot.* 65:1121-1126.
- Trumble, J. T. and G. P. Walker. 1991. Acute effects of acidic fog on photosynthetic activity and morphology of *Phaseolus lunatus*. *HortSci.* 26:1531-1534.
- Waldman, J. M., J. W. Munger, D. J. Jacob, R. C. Flagan, J. J. Morgan and M. R. Hoffmann. 1982. Chemical composition of acid fog. *Science* 218:677-679.
- Wertheim, F. S. and L. E. Craker. 1987. Acid rain and pollen germination in corn. *Environ. Pollut.* 48:165-172.
- Wertheim, F. S. and L. E. Craker. 1988. Effects of acid rain on corn silks and pollen germination. *J. Environ. Qual.* 17:135-138.