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　121-133, 1996

部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應

楊純明[1]　蘇慕容[1]　李裕娟[1]　張愛華[2]

[1] 臺灣省農業試驗所農藝系

[2] 臺灣省農業試驗所農化系

內　容

摘要……122
英文摘要……122
前言……123
篩選酸雨敏感指標作物之重要性……123
人工模擬酸雨之處理方法與調查項目……124
部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應……125
(一)株(莖)高及葉片數之改變……125
(二)植株各部位重量比及根稈比之改變……125
(三)生質量比及葉面積比之改變……127
(四)葉片斑點之出現……128
(五)葉片均質液電導度、酸緩衝量及酸鹼值……129
(六)葉片電解質滲漏液電導度及酸鹼值……129
結語……132
誌謝……133
引用文獻……133

部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應

楊純明[1] 蘇慕容[1] 李裕娟[1] 張愛華[2]

[1] 臺灣省農業試驗所農藝系

[2] 臺灣省農業試驗所農化系

摘 要

我國現有之環島空氣品質與酸雨監測站已證實臺灣地區空氣污染與酸雨問題之嚴重性，加上鄰近中國大陸近年來由於經濟快速起飛，酸性物質之排放大量增加，以及其他地區污染物長程氣流的傳送，未來臺灣地區的空氣污染與酸雨可能日趨惡化。雖然政府已積極管制空氣污染物及其他污染源的排放，然而污染物質的長程輸送短期內仍難解決，尤其對於廣大農業地區及長期低濃度存在之空氣污染物質，目前尚無法進行系統性的監測。因此確有必要儘速進行酸雨有關的研究，究明農作物受到酸雨淋洗的反應徵狀及影響機制，並廣設酸雨監測系統，在尚未全面爆發「農業的酸雨災難」之前，研發出減少或避免酸雨危害的策略及措施，使臺灣地區的農業得以永續發展，更使民生需要的糧食供應不虞匱乏。酸雨對農作物之危害，包含外觀上的傷害、植體組成分的變化、生理反應的異常及生長的阻滯與產量減少等，而作物的反應程度則依作物種類、品種、及生育期而不同，亦因酸雨組成分與強度、雨期長短、及雨量多寡有別。本文研究乃在於探討部份農藝作物對人工模擬酸雨的反應徵狀，瞭解所選用作物的徵狀表現及差異，以應用於未來篩檢酸雨敏感指標作物。

關鍵詞：人工模擬酸雨、徵(性)狀、農藝作物、農藝性狀、乾物質、電導度。

Responses of Some Agronomic Crops to Simulated Acid Rain

Chwen-Ming Yang,[1] Muh-Rong Su,[1] Yuh-Jyuan Lee,[1] and Ay-Hwa Chang[2]
([1] Crop Stress Research, Department of Agronomy; [2] Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC

Abstract: It is proved from the island-wide air pollutant and acidic wet precipitation monitoring networks that air pollution and acid rain become serious environmental problems in Taiwan nowadays. In addition to the long-distance transport of air pollutants and acidic substances from the neighboring districts, such problems can be expected to further deteriorate our environmental quality and human safty. Despite the effort of strict measures in controlling pollutants release by government, the unsolving problem of long-distance transportation will continue paying the price. To ensure a sustaining development of Taiwan agriculture, it is necessary to carry on the related research to study the mechanism causing acid rain injury and the ways to reduce or prevent damages. It is the purpose of this paper to evaluate the characteristics of some agronomic crops in response to simulated acid rain for the screening of acid rain sensitive index crops in the near future.

Key words: Simulated acid rain, Response, Agronomic crops, Agronomic character, Dry matter, Electrical conductivity.

前 言

我國現有之環島空氣品質與酸雨監測站已證實臺灣地區空氣污染(air pollution)與酸雨(acid rain，或稱酸性濕沈降 acidic wet precipitation)問題之嚴重性，加上鄰近中國大陸近年來由於經濟快速起飛，酸性物質之排放大量增加，以及其他地區污染物長程氣流的傳送，未來臺灣地區的空氣污染與酸雨可能日趨惡化。雖然政府已積極管制空氣污染物及其他污染源的排放，然而污染物質的長程輸送短期內仍難解決。甚且受限於儀器設備、人員及經費的不足，目前對於廣大農業地區及長期低濃度存在之空氣污染物質尚無法進行系統性的監測。空氣污染與酸雨對於生物和生態環境的傷害極大，農業產業受到的長遠影響更難估計。因此確有必要在農業區建立全面而密集的觀測網，以實測方式或指標作物區型式，觀測及區分本地與長程污染源，瞭解現況並預測未來問題的演變。同時，亦應儘速進行相關試驗研究，評估空氣污染物與酸雨對重要農作物、土壤、水域等之危害，研擬因應對策，提供資訊作爲環境保護與管理和環保政策擬訂之參採。

酸雨可對農作物、土壤、森林、湖泊水域、及物質等造成嚴重的危害。從文獻報告(蘇及楊，1995)發現，包括農藝作物(如玉米、大豆、苜蓿等)、園藝作物(如蔬菜類之豌豆、菠菜、洋蔥、白蘿蔔等，果樹類之蘋果、柑橘等，花卉類之康乃馨、菊花等)、或許多森林樹種，都有受到酸雨影響而改變其生長、產量、及品質的紀錄，顯見解決酸雨問題之迫切性與必要性。酸雨對農作物之危害，包含外觀上的傷害、植體組成分的變化、生理反應的異常及生長的阻滯與產量減少等。然而，作物的反應程度則依作物種類、品種、及生育期而不同(Musselman and Sterrett, 1988)，亦因酸雨組成分與強度、雨期長短、及雨量多寡有別(Irving, 1983; McCool et al.，1990)，尤以SO_4^{-2}與NO_3^{-1}之比例更是重要關鍵(Irving and Miller，1981; Olson et al.，1987)。陳(1993)之報告指出，臺灣地區SO_4^{-2}與NO_3^{-1}之比例在北部約爲3:1，南部約爲4:1，東部約爲2:1，且pH 值低於5.0之酸雨發生頻率70%左右。因此，欲篩選出適當的作物作爲酸雨指標作物，必需尋找可靠而明確的判斷指標(徵狀)，建立具有上述敏感特徵(性)之作物與品種及其生育期之關係，並確立合適指標性(徵)狀的定性與定量表現。

本文係綜合作者從事人工(爲)模擬酸雨(simulated acid rain)試驗之部份結果，陳述部份農藝作物經人工模擬酸雨處理後之徵狀反應，期以作爲未來篩檢酸雨敏感指標作物之參考，並以作爲評估酸雨程度、劣變趨勢和對作物可能的影響的基礎。

篩選酸雨敏感指標作物之重要性

爲瞭解某地區的酸雨狀況，最直接的方法就是在該地區普設酸雨監測站，成立密集的監測網，長期而有計畫的追蹤及分析酸雨的組成分與分布。但是此一方法所獲得的資料並不能解釋、評估或預測酸雨對農作物生產的影響，提供預警酸雨危害作物的必要資訊。欲瞭解酸雨對農作物的效應，除了必須長期的追蹤酸雨濃度、組

成分與分布，也需要深入探討作物在形態、生理生化、及產量上的變化，同時調查土壤物理化學性質的改變，才能推斷造成酸雨影響的機制，釐清酸雨—作物—土壤間的關係及交感作用，實際估算酸雨的危害程度，達到定性與定量的評估。

然而這種複雜而繁覆的程序只有針對高經濟價值及重要農作物產業方符合實施效益，不適用於一般作物。因此，如何評估酸雨對某一特定作物生產的影響，在執行上有其先天的困難度。目前臺灣地區並無酸雨危害作物的實例，原因可能是(1)難以確認酸雨危害的徵狀，(2)酸雨的危害機制與其他天然或人爲災害混雜，(3)酸雨目前的濃度尚未達到明顯危害的程度，即作物具有相當忍受酸雨作用的能力，或(4)缺乏有心與有系統的辨識、研究。由於在可預見的未來全球酸雨問題將持續的惡化，臺灣地區的酸雨形成仍受到其他國家及地區長程傳送的影響。因此確有必要儘速進行酸雨有關的研究，究明農作物受到酸雨淋洗的反應徵狀及影響機制，並廣設酸雨監測系統，在尚未全面爆發「農業的酸雨災難」之前，研發出減少或避免酸雨危害的策略及措施，使臺灣地區的農業得以永續發展，更使民生需要的糧食供應不虞匱乏。

酸雨敏感作物具有多方面的應用價值，首先它可以當作指標作物(姚及蔡，1995)，配合現有的酸雨監測網，整合而建立完整的農業監測與預警系統，互補於判斷與評估酸雨潛在影響，得以及時採行適當的措施減少或避免酸雨對農作物的嚴重危害，造成無可彌補的損失。尤其相對於酸雨測定儀器設備的昂貴，及籌設上的費力耗時，酸雨敏感作物擁有"物美價廉"的優點。其次，酸雨敏感作物是最佳的研究材料，可以協助吾人瞭解農作物對酸雨的徵狀反應及酸雨的危害機制，據以研擬適當因應措施與策略。所建立之關係曲線可製成定量模式，用以區分酸雨危害等級。

但是，酸雨敏感作物的篩檢過程卻相當的費事。首要工作是確立合適的人工(爲)酸雨組成分與濃度，由於天然的酸雨隨著大氣中的化學物質種類及自然引發的物理化學作用而異，因此唯有從收集與分析某特定地區的酸雨結果來模擬，配製適用於當地的人工模擬酸雨。接著是選擇合適的徵(性)狀指標，作爲區分作物的反應標準與依據，此一工作端賴長期試驗方能獲致成果。再者是人工雨水淋洗設施的製作，考量降水的速率與強度、淋洗量、淋洗時間及淋洗次數。當見仁見智的處理系統設立後，再以此篩檢農作物，尋找反應最敏感最可靠的徵(性)狀與作物。

本文研究乃在於探討部份農藝作物對人工模擬酸雨的反應徵狀，瞭解所選用作物的徵狀表現及差異，以應用於未來篩檢酸雨敏感指標作物。

人工模擬酸雨之處理方法與調查項目

本文研究所採用之試驗材料分別爲水稻、菜豆、大豆、落花生、甘藷、及玉米等六種農藝作物，其中水稻臺農67號先行育苗二週後，移植於1/2000 acre之Wagner's pots中; 甘藷甕菜種係以具7～8葉之枝條插植於8.5吋盆缽內; 玉米Honey 236、大豆高雄3號、落花生臺南11號、及菜豆矮種籽仁等均以種子直播於8.5吋盆缽。每盆一株，栽培介質爲土壤。

人工模擬酸雨係以硫酸及硝酸(SO_4^{-2}：NO_3^{-1}= 4:1，w/w)配成之酸液(選擇表一中pH= 2.5 者)混以自來水，混合後模擬酸雨酸鹼值(pH)範圍介於爲2.6 ～2.8，電導度值(electrical conductivity，EC)範圍爲12.0 ～24.5 S m^{-1}。對照溶液爲自來水，pH值介於6.9～7.3，EC值介於 2.7～3.2 S m^{-1}。另以不處理爲第二對照組。

人工模擬酸雨處理時期於作物之營養生長期間，酸雨淋洗流速爲7.13 L/m^2/min，每天每次淋洗時間40 min，淋洗量約600 L。淋洗處理於當地時間10: 00-13: 00之間實施，每一處理連續淋洗四天，於第五天取樣測定葉片均質液(foliage homogeneous solution)pH 值與EC 值、酸緩衝量(acid buffering capacity，ABC)、及葉片電解質滲漏量。取作物植株鮮葉1 g 經添加液態氮磨碎後加純水(≧18 MΩ)80 ml，均勻混合後得葉片均質液。均質液酸緩衝量(ml/g)係定義爲以0.02 N HCl溶液滴定造成均質液pH值下降一數值之HCl溶液容量(ml)。葉片電解質滲漏量是稱取2 g 鮮葉加水80 ml純水後，於第5，10，30，60，90，及120min 測定之EC值(換算爲單位鮮重)。爲瞭解人工模擬酸雨是否滲入葉片內或改變葉體硫氮比例，另測定葉片乾物質全硫及全氮含量，比較作物間之差異(本文未列出)。

Table 1. The relationships between the composition and pH value of simulated acid rain.

pH	H_2SO_4	HNO_3	比例
	mg L	mg L	
2. 5	340. 0	85. 0	4: 1
3. 0	112. 0	28. 0	4: 1
3. 5	36. 8	9. 20	4: 1
4. 0	11. 84	2. 96	4: 1
4. 5	3. 872	0. 968	4: 1
5. 0	1. 262	0. 316	4: 1

除了以上四項性狀，處理前、後亦調查人工模擬酸雨處理植株及對照植株之農藝性狀(如株高、莖高或莖長，葉片數)改變，並目視估算葉斑比率。其中水稻及玉米量測植株高度，菜豆、大豆及落花生量測莖高，甘藷則爲莖長。葉斑依斑點所佔面積比率區分爲六等級，A級: 0%，B級：1-20%，C級: 21-40%，D級: 41-60%，E級: 61-80%，F級: 81--100%。

植株各部位(根、莖及葉)鮮重則於取樣時稱量，並於80℃烘乾72 h 後稱取乾重，以計算各部位之重量比(weight ratio)。另以植株乾重與植株鮮重比值估算作物之生質量比(biomass ratio)，以根乾重與(莖加葉)乾重和之比值估算根稈比(root/shoot ratio)，以葉面積與葉乾重比值代表葉面積比(leaf area ratio)。各試驗重覆3-5次，每一次試驗具有5-6重覆。各調查性(徵)狀以每次試驗平均值爲其代表值，再取各次試驗平均值之平均爲試驗代表值，並計算標準差(standard error，SE)。

部份農藝作物對人工模擬酸雨之徵狀反應

(一)株(莖)高及葉片數之改變

根據試驗結果，發現經過人工模擬酸雨處理之作物植株伸長比率有小於未處理對照植株之趨勢(圖一)，除了水稻之外其餘五種作物均達顯著水準。而且除了水稻、玉米、及落花生之外，處理植株葉片增加率亦低於對照植株。以自來水淋洗之大豆及甘藷植株，其莖高(或莖長)與葉片數增加率仍高於酸雨處理株，但是與未處理植株之間無極顯著差異。顯然的，造成大豆與甘藷莖高(長)及葉片數增加率減緩的原因在於人工模擬酸雨而非雨水處理，即伸長的減緩係由酸雨組成分與酸鹼度造成；菜豆、落花生及玉米株(莖)高和菜豆葉片數之增加率的減緩，則受到酸雨與自來水處理交感的影響，無法以單一因子圓滿解釋。因此，由於如株(莖)高及葉片數等農藝性狀對酸雨淋洗產生徵狀差異，將可利用於比較酸雨對作物的淋洗效應及篩檢酸雨敏感作物。

(二)植株各部位重量比及根稈比之改變

作物植株各部位之重量比繪示於圖二，菜豆、大豆、甘藷、及玉米之根重比均因人工模擬酸雨處理明顯下降，而自來水處理株與酸雨處理株之間無差異，顯示這四種作物可因酸雨或自來水之淋洗處理促進根部乾重快速增加。相對於此一現象，甘藷莖部重量卻因酸雨或自來水處理而增加；落花生葉部重量比以酸雨處理株最小，即酸雨顯著減少葉片重量的增加，而水稻葉

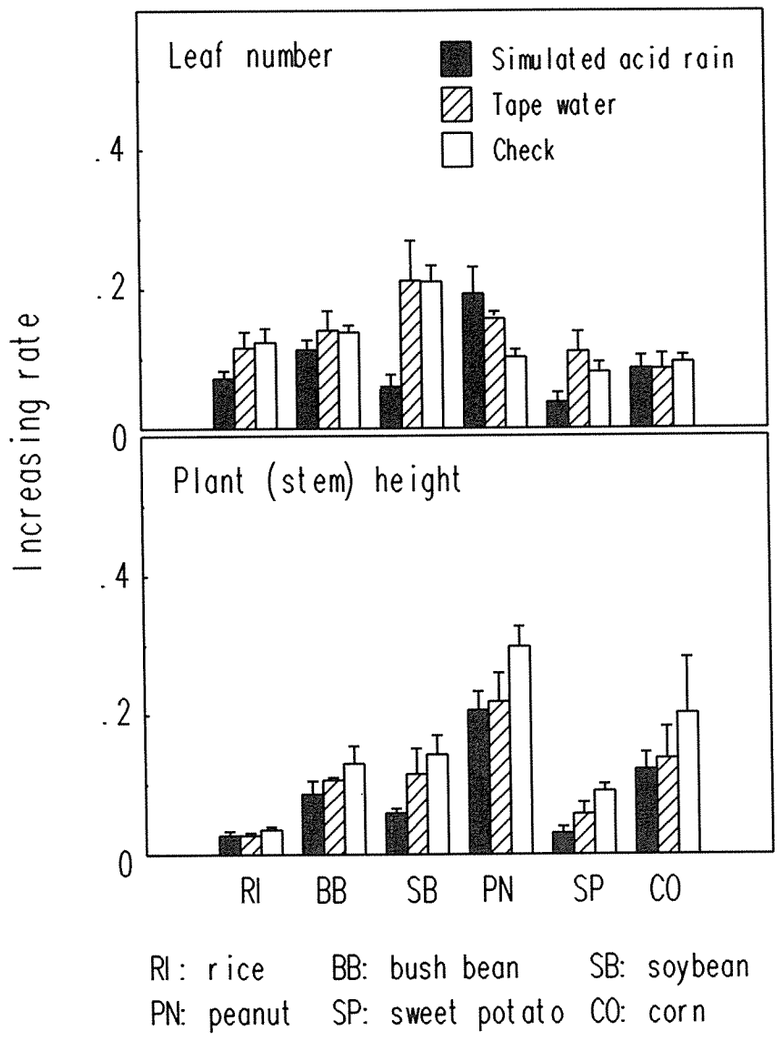


Fig. 1. The increasing rates of plant (or stem) height and leaf number in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water. Standard error is included.

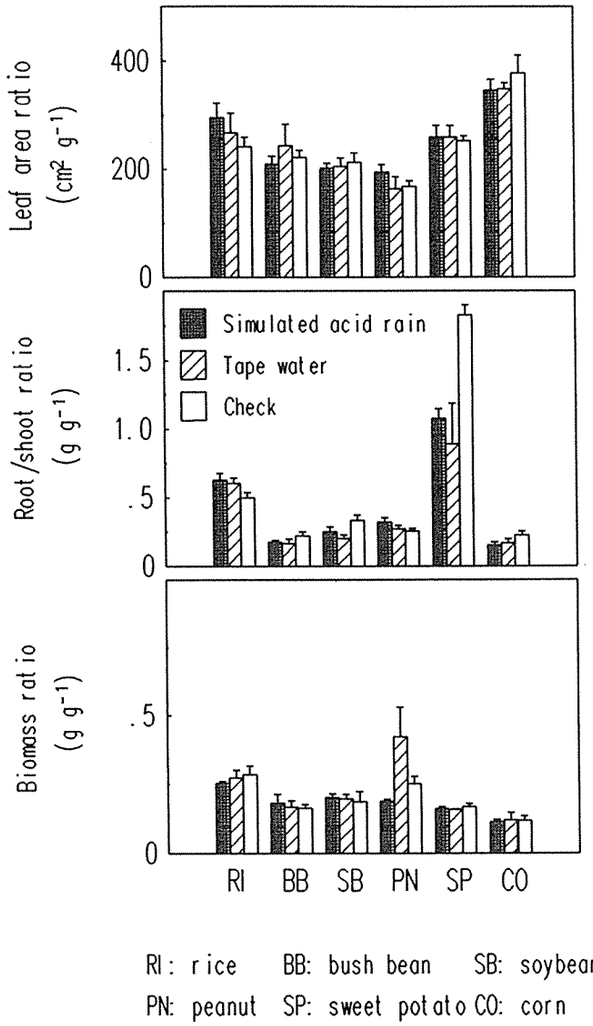


Fig. 2. Changes of weight ratios of root, stem, and leaf in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water.

部重量比的減少則爲酸雨雨自來水處理交感所造成。另一方面，酸雨與自來水處理降低了大豆、甘藷、及玉米的根稈比，卻提高了水稻的根稈比(圖三)。由此可知，酸雨可能改變作物的乾物質蓄積與分布，作物之間反應不一，端視作物種類而異。

(三)生質量比及葉面積比之改變

除了落花生，參試作物的生質量比值並不因酸雨淋洗改變(圖三)。換言之，水稻、菜豆、大豆、甘藷、及玉米植株的水分含量不受酸雨處理的影響，但是落花生的酸雨處理株則增加了水分含量。所計算的葉

面積比僅水稻的酸雨處理株顯著升高(圖三)，顯示酸雨淋洗處理將減少水稻葉片單位面積的重量。此結果配合前述葉重比的減少，可知酸雨不利於稻株葉部的生長，長期而言將對水稻植株的生長造成負面作用，妨礙乾物質的生成。

(四)葉片斑點之出現

經過四天(每天 40 min)人工模擬酸雨淋洗處理後，第五天所調查之作物葉片斑點面積分級如表二所示。其中，菜豆人工模擬酸雨處理植株葉片斑點達 C 級最嚴重，即斑點出現所佔面積介於葉面積21-40%之間。大豆及甘藷酸雨處理株葉片斑點達 B 級，即斑點出現所佔面積介於葉面積1-20%之間，但是大豆斑點面積百分比遠較甘藷者高(資料未列出)。水稻、落花生及玉米酸雨處理植株葉片並未出現斑點，屬於 A 級內。以上結果顯示，酸雨淋洗可能使作物葉片產生斑點(褐色或白色)，惟斑點出現及所佔有的面積比例隨作物種類及酸雨組成分與濃度而異。

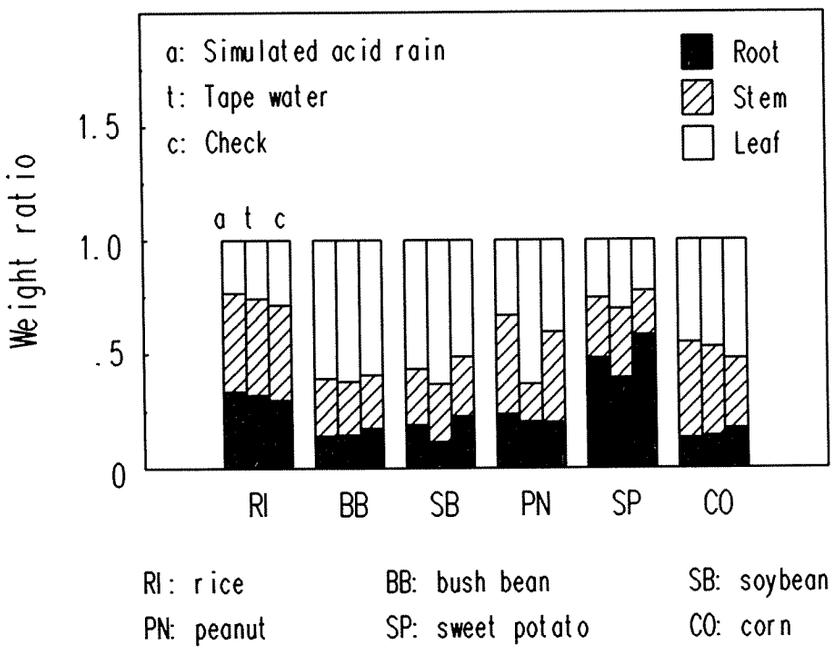


Fig. 3. Changes of ratios of biomass, root/shoot, and leaf area in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water. Standard error is included.

Table 2. Classification of leaf spots for some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water during the vegetative stage.

Crop	Treatment	Classification@ A	B	C	D	E	F
Rice	Simulated acid rain	v					
	Tape water	v					
	Check	v					
Bush bean	Simulated acid rain			v			
	Tape water	v					
	Check	v					
Soybean	Simulated acid rain		v				
	Tape water	v					
	Check	v					
Peanut	Simulated acid rain	v					
	Tape water	v					
	Check	v					
Sweet potato	Simulated acid rain		v				
	Tape water	v					
	Check	v					
Corn	Simulated acid rain	v					
	Tape water	v					
	Check	v					

@ Percentage of spots area: A: 0%，B: 1-20%，C: 21-40%，D: 41-60%，E: 61-80%，F: 81-100%。

(五)葉片均質液電導度、酸緩衝量及酸鹼值

作物葉片均質液之電導度值以大豆最高(3.762 S/m)，甘藷最低(2.057 S/m)；酸緩衝量以菜豆最高(1.624 ml/g)，甘藷最低(1.042 ml/g)；酸鹼值以水稻最高(6.56)，菜豆最低(5.95)(表三)，顯見作物間呈現相當的變異。基本上經人工模擬酸雨淋洗後葉片均質液之電導度、酸緩衝量及酸鹼值並無顯著改變，惟作物間仍存在差異。對這些參試作物而言，葉片均質液之電導度、酸緩衝量及酸鹼值爲較穩定的性狀，短期酸雨淋洗將不能造成改變。

(六)葉片電解質滲漏液電導度及酸鹼值

將作物葉片完全浸潤於純水(≧18 MΩ)中，可通透細胞膜的電解物質於是不斷的滲漏出葉片至純水，致使純水的電導度及酸鹼值改變。隨著電解質持續的釋出及細胞膜結構的鬆散，更多的電解物質混溶於水中，提升了滲漏液的電導度，視電解離子的陰陽電荷比例也升高或降低了滲漏液

Table 3. Electrical conductivity, acid buffering capacity, and pH value of homogeneous solutions of crops foliage response to simulated acid rain and tape water treatments. Standard error is included.

Crop	Treatment	Electrical conductivity	Acid buffering capacity	pH
		S m^{-1}	ml g^{-1}	
Rice	Simulated acid rain	2.802±0.114	1.318±0.260	6.22±0.72
	Tape water	2.774±0.351	1.410±0.269	6.35±0.58
	Check	2.398±0.251	1.301±0.117	6.56±0.50
Bush bean	Simulated acid rain	2.387±0.176	1.650±0.164	5.85±0.43
	Tape water	2.208±0.232	1.548±0.223	5.97±0.25
	Check	2.271±0.111	1.624±0.352	5.95±0.26
Soybean	Simulated acid rain	3.765±0.155	1.286±0.166	6.24±0.23
	Tape water	3.590±0.312	1.346±0.188	6.36±0.17
	Check	3.762±0.033	1.470±0.204	6.25±0.20
Peanut	Simulated acid rain	2.496±0.177	1.396±0.148	6.31±0.30
	Tape water	2.239±0.134	1.295±0.141	6.32±0.36
	Check	2.455±0.210	1.350±0.055	6.28±0.39
Sweet potato	Simulated acid rain	1.955±0.151	1.360±0.210	6.03±0.40
	Tape water	2.023±0.185	1.123±0.093	6.11±0.40
	Check	2.057±0.167	1.042±0.114	6.26±0.37
Corn	Simulated acid rain	1.762±0.251	1.446±0.246	6.13±0.24
	Tape water	1.975±0.171	1.637±0.310	6.11±0.33
	Check	2.083±0.161	1.481±0.301	6.05±0.25

的酸鹼值。由圖四曲線趨勢，大致上各作物葉片滲漏液之電導度隨著浸潤時間增加而升高，顯示電解物質自葉片持續釋出，經人工模擬酸雨或自來水淋洗過之葉片亦呈現類似曲線。對水稻及玉米而言，酸雨處理將降低葉片滲漏量，大豆則係促進作用，菜豆、落花生及甘藷無顯著效應。水稻之反應曲線顯示其爲酸雨所造成，玉米及大豆的試驗結果則無法區分酸雨與自來水的各別作用(圖四)。圖五顯示，人工模擬酸雨及自來水淋洗將不能明顯改變葉片滲漏液之酸鹼值，表示葉片釋出之電解質電荷似維持一定的比例。由此可知，葉片滲漏量在作物間存有差異，不同作物之滲漏趨勢及滲漏量需經試驗獲得。

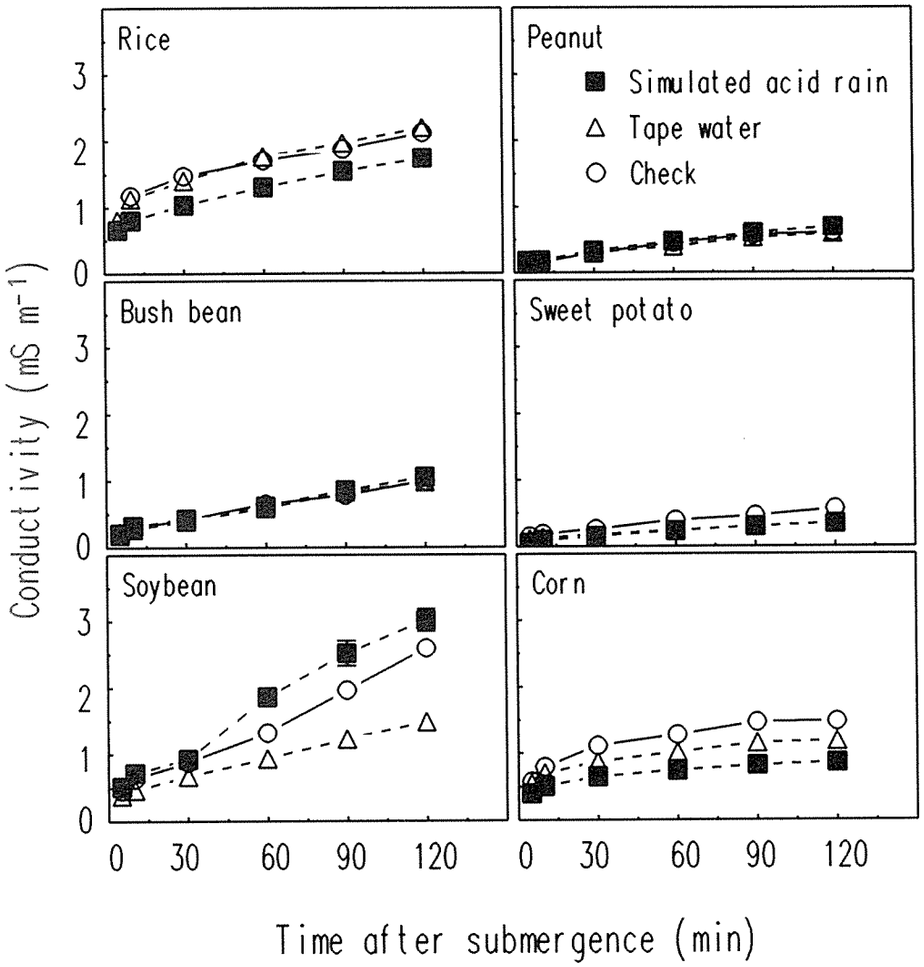


Fig. 4. Changes of electrical conductivity of folial leakage solutions in some agronomic crops treated with simulated acid rain rain and tape water. Standard error is included.

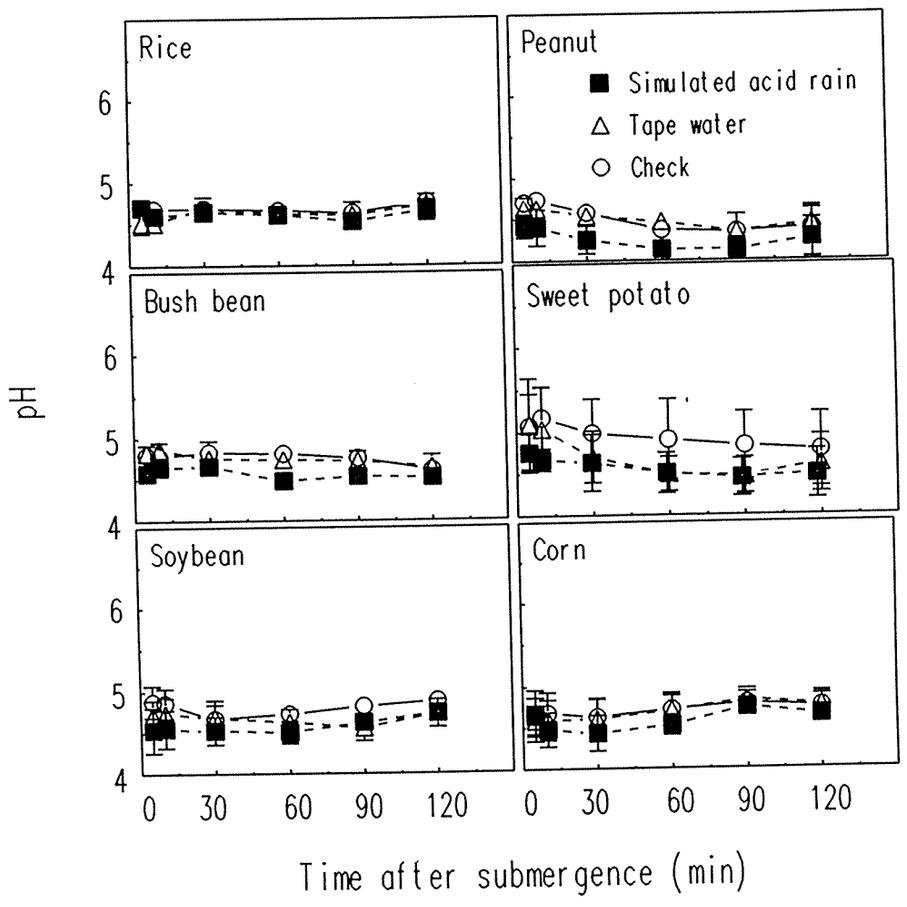


Fig. 5. Changes of pH value of folial leakage solutions in some agronomic crops treated with simulated acid rain and tape water. Standard error is included.

結　語

酸雨對作物的效應，可能是直接自植體孔隙(如氣孔、皮孔)進入植株地上部、落在地面上再滲入土中由根系吸收、或與土壤粒子進行離子交換而釋出毒害陽離子(如鋁離子、銅離子)被根部過多吸收所引起。惟個別農作物對酸雨的吸收程度與因此引起的作用並不一致，尚有許多疑點需予以澄清、瞭解。爲充分瞭解對農作物對酸雨淋洗的反應，須分從形態、生理生化及植體組成分等方向探討、分析，再予綜合評估。本文乃由外觀形態及若干生理現象探究部分農藝作物對短期人工模擬酸雨淋洗的徵(性)狀差異，期以找出可供篩檢酸雨敏感作物的指標徵(性)狀, 據以進行篩檢工作。

由試驗的結果，具有作爲酸雨淋洗反應徵(性)狀潛力者如次: (1)農藝性狀(如株高、莖高及葉片數等)，(2)乾物質的蓄積與分布，(3)葉片斑點面積比例，及(4)葉片電解質滲漏量。惟以上各項均因作物種類而異，出現的效應可能係正面的或負面的，而且程度有別應注意釐清。其中農藝性狀調查及葉片斑點面積比例估計有非破壞檢測特性，不改變作物生育狀態。另兩項性狀則需要取樣攜回實驗室處理與分析，非一般人所能辦理。其它項目如植體成分分析、葉片氣孔導度、葉片水分潛勢、植體溫度、及植體輻射光譜等，亦可參予徵狀篩選試驗。

誌　謝

臺灣省農業試驗所研究報告第1838號。本文研究承行政院環境保護署經費補助(計畫編號EPA-85-1404-09-19)，特此致謝。

引用文獻

姚銘輝 蔡金川. 1995. 酸雨指標作物之研究－利用模擬方式評估兩種篩選方法. 中華農業氣象 2: 157-162.

陳淨修. 1993. 臺灣地區酸雨防制策略. pp. 70-79. 臺電灣地區空氣污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，臺中市.

蘇慕容 楊純明. 1995. 酸性濕沉降對農作物影響探討. 中華農業氣象 2: 47-52.

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.

Irving, P. M. 1983. Acidic precitation effects on crops: a review and analysis of research. J. Environ. Qual. 12: 442-453.

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.

Musselman, R. C. and J. L. Sterrett. 1988. Sensitivity of plants to acidic fog. J. Environ. Qual. 17: 329-333.

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.

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