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　143-154, 1996

硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響

周煒裕　宋濟民
國立中興大學農藝系

內　容

摘要……144
英文摘要……144
前言……145
材料與方法……146
結果與討論……147
引用文獻……153

硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響

周煒裕　宋濟民

國立中興大學農藝系

摘　要

以水稻良質米台梗九號爲材料，在中興大學試驗田栽培八十四年第二期作，在開花盛期及/或穀粒充實期潰灑 pH2.4、pH 3.4 H_2SO_4 溶液及 3 mM Na_2SO_3 溶液(以濃硫酸滴定至pH 3.4)。每1.25 m^2 內種植20株(行株距各25cm)，五分鐘內共噴灑700ml，每隔一天全株噴灑，處理五至十次。開花盛期至穀粒充實期均處理之結果，劍葉水溶性蛋白、葉綠素含量、滲漏電導度、收穫後穀粒千粒重及產量均未與對照組有統計上之顯著差異。收穫後穀粒之氧化態穀胱甘太(oxidized glutathione, GSSG)含量則顯著的低於對照組。還原態穀胱甘太(reduced glutathione, GSH)含量及 GSH/GSSG 比例則分別低於及高於對照組，但均未達統計上顯著差異。收穫後穀粒經40℃，100％ 相對濕度老化處理0、5或10後，發芽試驗發現隨著老化時間增加，pH 2.4 硫酸液處理收穫的穀粒，其發芽速度(浸潤後三日內)及發芽率逐漸明顯低於未噴灑硫酸液之老化處理種子。整體而言，在本試驗條件下對台梗九號水稻開花盛期至穀粒充實期間之生育並無負面影響。但由穀粒內 GSH、GSSH 含量變化及種子老化處理結果顯示硫酸模擬之酸雨極可能會影響水稻收穫後種子儲藏品質及壽命。

關鍵字：硫酸模擬之酸雨、穀胱甘太、老化處理、發芽。

Effects of Simulated Sulfuric Acid Rain on Flag Leaf and Seeds of Rice.

Wei-Yu Chou and Jih-Min Sung (Department of Agronomy, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

Abstract: This experiment was conducted in the second crop season of 1995 in the experimental farm at the National Chung-Hsing Unicersity using rice variety TK9 as testing material. Simulated acid rain (pH 2.4, 3.4 H_2SO_4 and 3 mM Na_2SO_3, titrated to pH 3.4 with 95％ H_2SO_4) was applied to the rice plants at heading and /or grain filling stages. The treatment was conducted as the follows: 700ml acidic solution was sprayed to rice plants (20 plants/1.25m^2, spacing 25 × 25 cm) in five minutes every other days for five to ten times. The results indicated that the soluble protein contents, chlorophyll content, electro-conductivities, weight/1000 grain and

grain yield in plants subjected to simulated acid rains from heading to grain filling were not statistically different from control plants. Oxidized glutathione (GSSG) contents in grains of acid rain-treated plant were significantly lower than that of control. However, no statistical difference was observed on reduced glutathione (GSH) contents and GSH/GSSG ratios between the treated and control plants. The aging test was further conducted on the rice grains. The harvested grains were aged under 40℃ at 100％ RH for 5 or 10 days. The results indicated that the germination speed (imbibition three days) and germination percentage of grains treated with pH 2.4 H_2SO_4 were significantly lower than those of control, as the aging duration increased from 0 to 10 days. In this specific experimental condition, the simulated sulfuric acid rain treatment from heading to grain filling stages showed no significant effect on the agronomic characteristics in TK9 rice plant. But, the changing of GSH, and GSSG contents in grains and results of aging treatments of grains showed that the simulated sulfuric acid rain could reduce the quality and longevity of rice grains.

Key words: Simulated acid rain, Glutathione, Germination, Aging.

前　言

在植物吸收的營養元素比例之中，硫的含量約佔第十五或第十六位。若以碳含量爲100，則氮含量約爲10，而硫約佔0.6，與磷、鉀、鈣相當(Pitman and Cram, 1977; Raven 1980)。S/N 比例約爲1/20，植物對硫與氮之吸收大致需顧及此一比例之平衡，因此，當外界環境中硫含量有改變時，遲早將影響到植物對其他重要養分，例如氮素的吸收與利用。自然界的硫含量在海水中約爲25mM，淡水中約0.1-1.0mM，一般可耕地則約 0.5mM(Evans, 1975; Raven 1980; Syers et al., 1987)。由於自然界硫含量尚稱充足，常被誤以爲硫對植物並不重要；硫通常是以硫酸根形式被植物所吸收，空氣中之二氧化硫及農民施用含硫肥料如硫酸銨常常成爲土壤中硫的補充來源。

硫以SO_4^{2-}之形式被植物根部吸收，幾乎全數運送至葉部後才被還原同化(Evans, 1975)並轉運至其他部位，但仍有約10-20％是以SO_4^{2-}形式累積著。當外界硫濃度較高時，有相當大比例的硫經過莖部時會以SO_4^{2-}形式被留住(Syers et al., 1987)。當外界的硫含量減少時，儘管先前硫酸根形式的硫(sulfate-S)可自根部向莖部移動，但此時植物體內的硫再移動性卻極差，無法如N、P及K 可自成熟葉片向新葉、幼葉移動。因此，當外界缺N、P及K時，老葉易先出現缺乏該元素之徵狀；但外界缺S時卻易由新葉、幼葉出現缺硫而壞疽的徵狀。

由於自然界硫含量尚稱充足，在加上空氣中之二氧化硫及農民施用含硫肥料等，基本上並不易缺硫。反而是人類燃燒石化燃料，例如煤及石油製品，形成大量的硫氧化物例如二氧化硫(SO_2)；另外，高溫鍋爐中或引擎的高溫環境中形成了大量的氮氧化物(NOx)。這兩種化合物經過大氣反應轉變爲硫酸與硝酸，隨雨落下形成酸雨。

SO_3^{2-}及HSO_3^{1-}對植物的生化與生理反應過程具有毒性已被證實(Zeigler, 1975; Malhotra and Hocking, 1976)，植物必須藉著改變SO_3^{2-}及HSO_3^{1-}成爲毒性較低的形式如SO_4^{2-}，以克服其毒害。細胞內酵素或非酵

素之機制，可將SO_3^{2-}氧化爲SO_4^{2-}。

植物對酸性沉降(acid precipitation)的最外表接觸爲角質層(cuticle)，許多試驗顯示酸性沉降會造成角質層的損害(Evanz and Curry, 1979; Caporn and Hutchison, 1986)。在以剝離的柚子、桃子、檸檬角質層爲材料，比較硫酸液、硝酸液、鹽酸液(pH均4.0)對角質層質子通透性之影響，發現硫酸可造最大之通透性。而且，角質層對質子通透之抵擋只有數小時之效果(Hugh et al., 1993)。

Porter and Sheridan(1981)發現模擬酸雨中，pH2.0的硝酸雨比pH2.0的硫酸雨更易造成苜蓿葉片的外表傷害，但硫酸雨卻降低較多的淨光合能力。Cohen et al. (1982)亦發現硫酸與硝酸的混合酸雨比單獨酸雨更易造成*Brassica japonica*的減產；但是對萵苣則正好相反。Irving (1985)則發現模擬酸雨中SO_4^{2-}對NO_3^{1-}之低比值較高比值易使蘿蔔及大豆減產。另外，Misra et al. (1989)指出酸性土壤並沒有大幅限制水稻產量，但對於落花生則有相當大的影響。

由上學者之研究顯示酸雨中的硫酸易擴大質子對角質層的通透性、易降低光合能力等，對葉片外部傷害徵狀之效果則依不同作物而有差別。但是，對於較耐酸性土壤且爲本省大宗作物的水稻而言，酸雨中的硫酸究竟對水稻光合作用、稻穀產量影響多大？則未有明確的資料。因此，本試驗擬探討硫酸與亞硫酸鹽混合液處理對水稻劍葉葉綠素、水溶性蛋白質及對收穫後穀粒內穀胱甘太(glutathione)含量及種子發芽率之影響。

材料與方法

(一)材料之預備

以水稻良質米台梗九號爲材料，在中興大學(台中市內)試驗田進行民國八十四年第二期作，株距25cm×25cm，施肥及管理均依一般慣用方式，於十月八日達開花盛期起陸續進行試驗處理。

(二)硫酸與亞硫酸鹽混合液處理

以不同濃度的硫酸及亞硫酸鹽混合物模擬酸雨中由SO_2轉變而來之部份，進行噴灑，觀察其對水稻葉片之影響。在開花期及充實期起，每間隔一天全株噴灑，藥劑量爲1.25m^2內種植20株(行株距各25cm)，五分鐘內共噴灑700ml，處理五至十次，處理期間以PVC塑膠布遮雨，以避免降雨干擾，並且定期採樣分析及調查記錄之，試驗取樣爲三重複。藥劑處理濃度如下：

對照組：不加以處理，正常栽培方式。

處理一：以95％H_2SO_4緩緩加入蒸餾水中至pH3.4爲止，再加入tween 20至濃度爲0.02％。

處理二：以95％H_2SO_4緩緩加入3mM Na_2SO_3溶液中至pH3.4爲止，再加入tween 20至濃度爲0.02％。

處理三：以95％H_2SO_4緩緩加入蒸餾水至pH2.4爲止，再加入tween 20至濃度爲0.02％。

(三)調查項目

a.葉片滲漏電導度：

剪取劍葉葉圓片(直徑0.65cm)5片，立即置於含10ml去離子水試管中，在室溫下緩慢震盪24小時後，利用Suntex 17A電導度計讀取電導度值。

b.葉片葉綠素含量：

剪取15片葉圓片置於研缽中，以1 ml sodium phosphote buffer (50 mM, pH 6.8) 研磨成均質，取40 μ l未離心之均質液加入960 μ l絕對酒精，在4℃，黑暗下放置30分鐘之後。在4℃下以1000g離心15分鐘，測上清液在波長665nm、649nm下之吸光值。樣品中葉綠素濃度(total chlorophy11)爲 $6.1\times A_{665}+20.04\times A_{649}$(μ g/ml)，而樣品中葉綠素含量(mg/g f.w.)則爲total chlorophy11×1000÷40÷1000÷g. fresh weight。

c.葉片可溶性蛋白質含量：

剪取15片葉圓片置於研缽中，以1ml sodium phosphate buffer (50 mM, pH 6.8) 研磨成均質，在4℃下以17600 g離心20分鐘。取上清液20 μ l，加入5ml dye solution，靜置10分鐘後測定波長595nm下之吸光值。樣品內蛋白質含量以小牛血清蛋白(bovine serum albumin)做出標準曲線來估算，其消光係數爲0.01 μ $g^{-1}cm^{-1}$。樣品內蛋白質含量則爲：蛋白質量×50(稀釋倍數)÷切離葉片鮮重÷1000＝mg/g f.w.。

d.穀光甘太(glutathione)含量分析：

包括reduced form, bound form, oxidized form分析如下：

取植物材料0.5g以2ml, 5％ SSA (5-sulfosalicylic acid, W/V)內含1mM Na_2EDTA, 4℃下研磨萃取，離心，取上清液測定GSH/GSSH，殘渣保留供抽取bound form glutathione。

測定Total GSH時，700ul daily buffer(NADPH)＋100ul DTNB＋100ul萃取液，30℃水平搖動10分鐘，加10ul GR，以412nm測其反應速率。

測定oxidized form(GSSG)時，取上清液200ul＋4ul vinylpyridine劇烈搖動後，沿管壁緩緩加入6ul 35uM triethanolamine, 震動並使pH維持於6～7，若pH大於7則少加些triethanolamine，30℃下靜置60mins，取25ul如上分析。

測定bound form (PSSG)時，取殘渣以2ml 20mM phosphate buffer pH 7.4 (5 mM Na2EDTA, 10mM DDT)爲抽取液，30℃震動抽取60mins，離心後如測total form方法。

計算Reduced form(GSH)＝total form－oxidized form

e.葉綠素螢光釋出量：

葉綠素螢光反應是以Plant Stress Meter測之(Biomonitor, S.C.I. AB, Sweden)，先將遮光夾夾住葉片，遮光10分鐘以上，再測定之。

f.一般農藝性狀及產量調查：

株高、穗數、一穗粒數、稔實率及千粒重等。

g.水稻種子人工老化後發芽試驗：

將收穫後之種子以40℃，100％相對濕度在黑暗下處理5天或10天後，進行發芽試驗，調查其在26±1℃下發芽速度(3日內)及15日內之發芽率。

結果與討論

在開花期噴灑稀釋硫酸液後，以打孔器取水稻台梗九號劍葉葉圓片進行電導度測定時，經24小時之震盪後發現對照組葉圓片大多數仍漂浮於去離子水之上，而各處理之葉圓片幾乎均沈入去離子水中，如表一；這表示添加展著劑tween 20於處理藥劑中，雖經十日在田間的自然環境下，噴灑後附著於葉片之展著劑tween 20仍有效果，可增加葉片表面與去離子水之接觸面，而使處理之葉圓片沈入去離子水中。當植物遭受逆境時，若其細胞膜系已有損傷時，細胞內容物易滲出細胞外造成溶液中電解質增加，使電導度變大。在開花期噴灑稀釋硫酸液後，由表一可知pH2.4之處理，葉片滲漏電導度略高於其他處理；但整體說來，電導度及葉綠素含量差異不大。水溶性蛋白質含量，則以處理組略高於對照組，但差異仍未顯著。

本試驗中有關Na_2SO_3處理試驗結果僅列於圖表中以供參考，並未併入變方分析。因爲在許多調查項目中，Na_2SO_3處理結果較近似對照組，似乎與一般模擬酸雨試驗之結果趨勢不同。雖然亞硫酸根對植物之危害較硫酸根大，但在大氣中亞硫酸濃度較低而且較不穩定，在本試驗中亦發現每次配妥之pH3.4 Na_2SO_3溶液經過12小時後其pH值已降至pH3.0附近，但未含Na_2SO_3的pH3.4及pH2.4稀硫酸溶液則無明顯之pH值波動，顯示Na_2SO_3溶液確實較不穩定；這

表一　開花期噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉之影響

Table 1. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading on flag leaf of rice cv. TK9.

	No. of leaf disk floating	Conductivity μ Ω/cm	Chlorophyll mg/g f.w.	Soluble protein mg/g f.w.
Check	3.17	2066	3.25	45.56
	±1.59	± 334	±0.34	± 3.66
pH 2.4	0.33	2334	3.35	55.93
	±0.33	± 176	±0.27	± 3.52
pH 3.4	0.83	1900	3.51	52.08
	±0.17	± 404	±0.36	± 6.71
3mM Na_2SO_3	0.67	1700	3.70	47.84
and pH 3.4	±0.67	± 174	±0.29	± 3.32

導致本試驗中Na_2SO_3處理之樣本平均值標準偏差(standard error)普遍較大。有關Na_2SO_3處理對水稻生育之影響有待進一步研究，若欲如本試驗在田間進行之，則試驗重複數應再提高，才可獲得較確切的結果。

由開花盛期起每隔一天處理五次後(開花期處理)與處理十次後(自開花期處理至穀粒充實期)之結果如表二，兩個時期取樣測電導度時均以對照組葉圓片未沈入去離子水之片數較多。開花期處理之電導度、葉綠素含量、水溶性蛋白質含量並無明顯差異，穀粒充實期處理則以對照組有最大的電導度及最低的水溶性蛋白質含量。無論是何種處理，葉綠素含量與水溶性蛋白質含量均以開花盛期大於穀粒充實期。單獨在穀粒充實期每隔一天處理五次後之結果如表三，各項調查分析項目均未有明顯差異。基本上，水稻是耐酸性土壤的作物(Misra et al., 1989)，其能忍受之酸雨pH值亦可能較低；可能必須使用更低pH值硫酸液並延長處理時間，才容易出現明顯的傷害病徵與生理指標可供探討。

通常模擬酸雨處理易侵蝕葉表臘質等保護構造(Evanz and Curry, 1979; Caporn and Hutchison, 1986; Hugh et al., 1993)，若傷害繼續擴大，則導致葉片滲漏電導度增加。嚴重酸雨傷害易造成造成葉片葉綠素含量及光合作用率等久下降爲眾所周知，但有的學者亦發現pH2.5酸霧處理後，紅縱樹(red spruce)幼苗單位葉面積內葉綠素含量明顯增加，但表示成每單位葉綠素的光飽和及二氧化碳飽和之光合用速率則明顯下降，類似情形在豆類及番椒均有之(Eamus and Fowler, 1990)，這種結果多發生在酸雨處理傷害造成落葉，而殘存之未傷害葉片上。但本試驗期間之田間觀察並未能發現酸雨傷害的病徵，葉片數亦未減少或變形等。而常被用於逆境傷害生理指標之一的葉片葉綠素螢光反應(Bolhar-Nordenkampf and Oquist, 1993)亦無差異，如表四。由於劍葉葉片之葉綠表、水溶性蛋白質含量、滲漏電導度及葉綠素螢光反應等均無明顯差異，可推測本酸雨試驗對穀粒充實性狀應不易造成影響，而由表五也發現千粒重、稔實率及產量等均未有顯著差異。

Lee et al. (1981) 調查模擬之硫酸雨對35種作物之傷害，發現pH3.0、3.5及4.0之下，分別有31、28及5種作物葉部出現傷害徵狀，但是對產量之影響則依利用部位及作物種類不同而有所差異。一般學者多集中注意酸雨造成葉片等營養器官之傷害程度，但

表二 開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉之影響

Table 2. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on flag leaf of rice cv. TK9.

Treatment	Stage	No. of leaf disk floating	Conductivity μ Ω/cm	Chlorophyll mg/g f.w.	Soluble protein mg/g f.w.
Check	heading	2.50	1566	3.30	51.11
		±0.29	± 240	±0.16	± 2.32
	grain filling	3.83	1966	2.97	30.04
		±0.60	± 318	±0.28	± 3.97
pH 2.4	heading	0.17	1434	3.35	51.52
		±0.17	± 134	0.28	± 2.16
	grain filling	2.67	1434	2.71	38.92
		±1.30	± 66	±0.36	± 4.87
pH 3.4	heading	2.0	1966	3.14	46.64
		±1.53	± 318	±0.20	± 1.37
	grain filling	3.50	1334	2.75	41.53
		±0.58	± 186	±0.18	± 0.99
3mM Na_2SO_3 and pH 3.4	heading	0.50	1600	3.45	47.20
		±0.50	± 100	±0.14	± 1.80
	graing filling	0.00	1500	3.17	33.55
		±0.00	± 58	±0.09	± 2.61

表三　穀粒充實期噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉之影響

Table 3. Effect of simulated sulfuric acid rain at grain filling stage on flag leaf of rice cv. TK9.

	No. of leaf disk floating	Conductivity μ Ω/cm	Chlorophyll mg/g f.w.	Soluble protein mg/g f.w.
Check	3.17	2066	3.03	35.97
	±1.59	± 334	±0.12	± 1.25
pH 2.4	3.83	1400	2.90	32.96
	±1.17	± 152	±0.09	± 4.37
pH 3.4	3.33	1334	3.20	32.87
	±0.83	± 34	±0.30	± 2.66
3mM Na_2SO_3	3.33	2000	2.98	35.25
and pH 3.4	±1.20	± 306	±0.13	± 0.56

表四　開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻劍葉葉綠素螢光釋出量之影響

Table 4. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on chlorophyll fluorescence of flag leaf of rice cv. TK9.

Treatment	$t_{1/2}$ (ms)	F_o*	Fm*	Fv*/Fm
Check	107.1	0.467	1.912	0.75
	± 4.1	±0.008	±0.041	±0.01
pH 2.4	108.7	0.446	1.821	0.75
	± 8.2	±0.009	±0.180	±0.03
pH 3.4	98.4	0.462	1.741	0.73
	± 4.2	±0.029	±0.131	±0.02
3mM Na_2SO_3 and pH 3.4	114.9	0.454	1.771	0.74
	± 2.8	±0.006	±0.048	±0.01

* ：F_0 ：minimal level ；Fm ：maximal level
Fv ：variable level = Fm − F_0

表五　開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻農藝性狀之影響

Table 5. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on yield characteristics of rice cv TK9.

Treatment	Plant height (cm)	Panicle no.	1000 grains wt.(gm)	Grain no./ panicle	Fertile %	Yield kg/ha
Check	106.8	16.7	23.4	123.2	88.7	6771
	± 0.9	± 1.6	± 0.5	± 3.0	± 2.2	± 463
pH 2.4	105.4	15.4	22.8	118.2	90.0	5970
	± 1.7	± 0.8	± 0.3	± 4.0	± 1.2	± 128
pH 3.4	107.6	17.2	22.5	102.5	91.6	5758
	± 1.9	± 1.4	± 0.2	± 8.7	± 1.5	± 129
3mM Na_2SO_3 and pH 3.4	106.9	14.1	23.5	130.3	91.8	6392
	± 2.4	± 1.2	± 0.8	± 9.8	± 1.3	± 934

酸雨對種子內有機硫之影響則較少受到注意。植物體內水溶性非蛋白質之硫氫化合物(thio compound)約有90％是以穀胱甘太(glutathione)形式存在(De Kok and Stulen, 1993)，穀胱甘太除參與硫之代謝亦廣泛參與植物對抗過氧化(Oosterhaven et al., 1995)及其他逆境如鎘離子毒害等(Chen and Kao, 1995)，亦與小麥種子蛋白質分解(Kobrehel et al., 1992)、打破大麥種子休眠(Fontaine et al., 1995)等有關。由前述有關穀胱甘太之已知研究，加上由表六發現pH2.4及pH3.4之酸雨處理後，水稻去殼種子內氧化態穀胱甘太含量明顯低於對照組。推測雖然本試驗中水稻產量性狀未有明顯改變，如表五；但種子內含物如穀胱甘太含量已發生改變，可能影響種子性狀，例如種子活力、發芽率及儲存品質等。

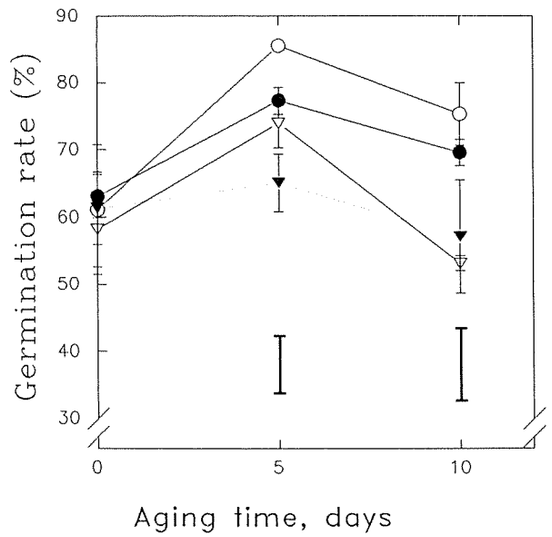
由於不同處理間調查的諸多性狀僅氧化態穀胱甘太含量有較明顯之差距，爲了加快比較出酸雨處理後的微小差異，乃將收穫後種子以40℃，100％相對濕度在黑暗下進行人工老化處理。由圖一可知未進行老化處理前，酸雨處理後收穫的種子與對照組種子的浸潤三日內發芽率並無差異，亦即種子發芽整齊度無差異，但老化處理5或10日的結果則明顯區別出酸雨處理的種子發芽整齊度不如對照組，而pH2.4酸雨處理結果更明顯比對照組爲差。這顯示本試驗的微量酸雨處理之下，雖然水稻劍葉(主要光合作用場所之一)在穀粒充實期間未明顯受到傷害，但穀粒充實的內容物組成可能已不如對照組爲佳。另外，由圖二可發現浸潤十五日內的種子發芽率亦是相同的趨勢。由以上結果推測酸雨極可能會影響吾人食用的稻米品質及繁殖用的水稻種子儲存期限。由於一般酸雨試驗極少涉及處理後收穫種子之研究，因此有待進一步探討。

Hughes and Cox(1994)指出在人爲實驗條件下，樺樹(mountain paper birch)的花粉發芽明顯受溫度及酸霧影響；而Palokangas et al. (1995)亦指出甲蟲(*Phratora polaris*)躲在模擬酸雨噴施的植物葉背比躲在對照組植物葉背更容易被掠食者所捕獲。顯然的，由表六、圖一及圖二的結果可推測自然界中，某種程度的酸雨強度及降雨量之下，植物外觀雖無明顯變化，但酸雨可能已影響整個生態系。

表六　開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液後對台梗九號水稻去殼後米粒穀胱甘太(glutathione)含量之影響

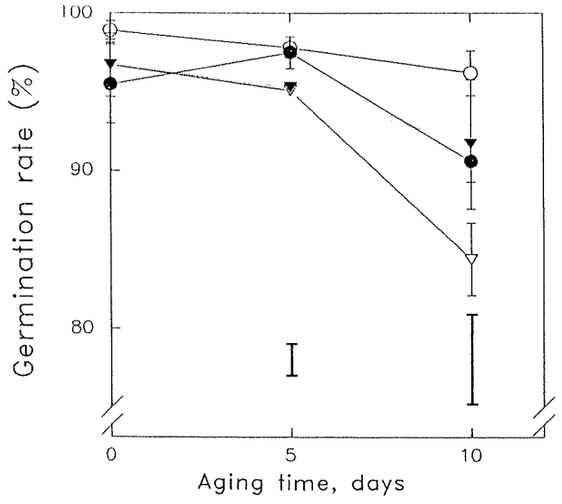
Table 6. Effect of simulated sulfuric acid rain at heading and grain filling stage on glutathione content in hulled grain of rice cv. TK9.

Treatment	Reduced form μg/grain	Bound form μg/grain	Oxidized form μg/grain	Reduced oxidized ration
Check	1.344	0.502	0.067	20.07
	±0.108	±0.007	±0.005	± 1.11
pH 2.4	1.237	0.437	0.047	26.93
	±0.068	±0.024	±0.003	± 3.32
pH 3.4	1.078	0.417	0.039	28.27
	±0.104	±0.062	±0.005	± 2.48
LSD 5％	ns	ns	0.015	ns
3mM Na_2SO_3 and pH 3.4	1.344	0.500	0.051	29.57
	±0.046	±0.022	±0.010	± 8.36



圖一：開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液對台梗九號水稻種子老化處理後浸潤三日發芽率之響。

Fig.1. Changes in germination rates of accelerated aging rice seeds imbibed for 3 days. Seeds were harvested from rice plant cv. TK9 treated with simulated sulfuric acid rain (—●— check, —○— pH3.4, —▽— pH2.4, —▼— Na_2SO_4 (pH3.4) at anthesis and grain filling stage. Coarse vertical bars indicated LSD at 5% level.



圖二：開花期及穀粒充實期各噴灑5次硫酸液對台梗九號水稻種子老化處理後浸潤十五日發芽率之影響。

Fig.2. Changes in germination rates of accelerated aging rice seeds imbibed for 15 days. Treatments were the same as those in figure 1.

引用文獻

Bolhar-Nordenkampf, H.R. and G. Oquist. 1993. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis reseach. In Photosynthesis and production on a changing environment. (eds Hall, D.O., J.M.O. Scurlock, H.R. Bolhar, R.C. Nordenkampf, Leegood and S.P. Long) pp.193-219. Chapman & Hall, London, UK.

Capom, S.J. and T.C. Hutchinson, 1986. The contrasting response to simulated acid rain of leaves and cotyledons of cabbage (*Brassica oleracea* L.) New Phytol. 103: 311-324.

Chen, S.L. and C.H. Kao. 1995. Glutathione reduces the inhibition of rice seedling root growth caused by cadmium. Plant growth regulation 16:249-252.

Cohen, C.J., L.C. Grothaus and S.C. Perrigan. 1982. Effects of simulated sulfuric and sulfuric-nitric acid rain on crop plants: results of 1980 crop survey. Special Rep. 670. Oregon State Univ. Corvallis, OR.

De Kok, L.J. and I. Stulen. 1993. Role of glutathione in plants under oxidative stress. In Sulfur nutrition and assimilation in higher plants. (eds. L.J. Kok et al.) SPB Academic Publishing bv, Hgue, Netherlands.

Eamus, D. and D. Fowler. 1990. Photosynthetic and stomatal conductance response to acid mist of red spruce seedlings. Plant Cell Eviron. 13:349-357.

Evans, L.S. and T.M. Curry. 1970. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. Am. J. Bot. 64:903-913.

Evans, L.T. 1975. Sulphur in agriculture. In:Sulphur in Australian agriculture, McLachlan, K.D. ed. pp. 3-9. Sydney: Sydney U.P.

Fontaine, O., J.P. Bilard and C. Huault. 1995. Effect of glutathione on dormancy breakage in barley seeds. Plant growth regulation 16:55-58.

Hsieh, W.L. and J.M. Sung. 1986. CO_2 exchange rate and translocation during reproductive growth in soybean differing in leaf morphology, J. Agric. Assoc. China NS 135:25-32.

Hugh, D.H., K.D. Walters and V.S. Berg. 1993. Pattems of effective permeability of leaf cuticles to acids. Plant Physiol. 101:251-257.

Hughes, R.N. and R.M. Cox. 1994. Acidic fog and temperature effects on stigmatic receptivity in two birch species. J. Environ. Quality 23(4):686-692.

Irving, P.M. 1985. Modeling the response of greenhounse-grown radish plant to acidic reain. Environ. Exp. Bot. 25:327-338.

Kobrehel, K., J. H. Wong, A. Balogh, F. Kiss, B. C. Yee and B.B. Buchanan. 1992. Specific reduction of wheat storage proteins by thioredoxin *h*. Plant Physiol. 99:919-924.

Lee, J.J., G.E. Neely, S.C. Perrigan and L.C. Grothaus. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. Environ. Exper. bot. 21(2):171-185.

Malhotra, S.S. and D. Hoching. 1976. Biochemical and cytological effects of sulfur dioxide on plant metabolism. New Phytol. 76:227-237.

Misra, U.K., S. Satapathy and N. Panda. 1989. Characterization of some acid soils of Orissa:I-Nature of soil acidity, J.Indian Soc. Soil Sci. 37:22-28.

Oosterhaven, K., K. J. Hartmans, J. J. C. Scheffer and L.H.W. van der Plas. 1995.

S-carvone inhibits phenylalanine ammonia lyase(PAL) activity and suberization during would healing of potato tubers. J.Plant Physiol. 146: 288-294.

Palocangas, P., S. Neuvonen and S. Haapala. 1995. The effects of simulated acid rain on growth and susceptibility to predation of *Phratora polaris* (Col., Chrysomelidae) Environ. pollution 89:67-71.

Pitman, M.G. and W.J. Cram, 1977. Regulation of ion content in whole plants. Symp. Soc. Exp. Biol. 31:391-424.

Porter, J. R. and R. P. Sheridan. 1981. Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate heavy metals, fluoride and simulated acid rain. Plant Physiol. 68: 143-148.

Raven, J. A. 1980. Nutrient transport in microalgae. Adv. Microbil. Physiol. 21: 47-226.

Syers, J.K., R.J. Skinner and D. Cutin 1987. Soil and fertilizer sulphur in U.K. agriculture. The Fertilizer Society, Procs. No. 264.pp.1-43.

von Hippel, P. H., V., Peticolas, L. Schack and L. Karlson, 1973. Model studies on the effects of neutral sals on the conformational stability of biological macromolecules. I.Ion binding to polyacrylamide and polystyrene columns. Biochemistry. 12:1256-1264.

Ziegler, I. 1975. The effects of sulfur dioxide pollution on plant metabolism. Residue Rev. 56:79-105.