

苦土石灰與微量元素對強酸性砂頁岩沖積土 水稻生長與產量之影響¹

謝慶芳²

摘 要

本試驗是在南投縣竹山鎮延和里一處容易發生稻熱病和硫化氫毒害之強酸性低產水田實行，該地區的稻穀一般產量約4,500~5,000 kg/ha。

試驗結果發現施用苦土石灰約有下列效果：(1)使土壤中交換性鋁和可萃取性鐵含量極顯著降低而使水稻植物體的磷含量顯著提高，(2)顯著促進土壤中各種硫化物變成可溶性較低之硫酸鹽，而使水稻硫的吸收量極顯著減少，因此水稻植物體遭受硫化物毒害或根部遭受硫化氫毒害之機會也減少。(3)極顯著提高土壤中交換性鈣和水溶性矽酸含量，而使水稻鈣含量極顯著提高而矽酸含量顯著提高。

單獨施用微量元素使水稻植物體鈣、矽酸和磷之含量都有增加傾向，但都未達到顯著水準，而微量元素與苦土石灰同時使用時其增加就達到顯著水準，水稻產量也以微量元素與苦土石灰同時使用者較好，特別是苦土石灰4公噸與錳鋅或錳鋅銅同時使用時水稻產量最高，每公頃產量約6,000 kg，較對照增產約17%或900 kg，主要原因是每橫穗數和每穗粒數的增加。

關鍵字：酸性土壤、水稻、石灰、微量元素。

前 言

根據歐美等國家許多學者之報告，強酸性土壤作物發育不良的主要原因為鈣鎂等鹽基性元素含量低，土壤pH下降，隨之鐵、錳、鋁等離子活性增加，而對作物發生毒害作用，或使磷、鉬被固定而無法為作物所吸收利用，或使一些微量元素的可溶性增強而容易流失。其中鋁離子似乎是強酸性土壤最重要的有害離子，但鋁之溶解性通常都隨土壤pH的高低而不同，pH 7.0時其溶解性接近於零，pH降至5.0以下時，其溶解性即開始急速增加，直至4.5為止^(23,24)。防止鋁害的方法，通常都施用石灰將土壤pH提高至5.5以上，好酸植物不能施用石灰時，可多施磷肥和有機質⁽²²⁾。植物種類不同，對鋁的敏感性也有差別，McLean等將12種植物分為三類⁽¹⁴⁾，如大麥、甜菜、萵苣、timothy等可溶性鋁2 ppm以下，生長即受到抑制者，稱為敏感性植物；7 ppm左右即受到抑制者如甘藍、燕麥、蘿蔔、黑麥、高粱等，屬於中感性植物；14 ppm以上受到抑制者，稱為抗性植物，如玉米、redtop、蕪菁等。同種植物，但品種不同，對鋁的敏感性也不同^(8,19)。水稻在液耕，鋁離子濃度達到1.2 ppm以上時，其生長即開始受到抑制⁽¹⁷⁾，但在浸水的還元狀態下，土壤的pH即逐漸上升至7.0

¹ 臺中區農業改良場研究報告第 0269 號。

² 臺中區農業改良場研究員。

左右，使鋁離子逐漸被固定而失效，因而水田施用石灰之效果常常不明顯。但土壤乾燥而呈氧化狀態之後，鋁離子又逐漸釋放出來而對作物發生毒害作用^(6,13)。

矽是否為作物生長必要的營養元素，歐美國家尚無定論，但亞洲國家許多學者都認為它是促使稻作與其他禾本科作物正常生長不可缺乏的元素^(7,11,16,20,21,26,27)，它主要聚集部位在穀殼角質層與表皮細胞中間的空隙，葉身角質層與表皮細胞中間的空隙，維管束與束鞘及硬膜組織；葉鞘的表皮和薄膜組織細胞壁；莖部的表皮，硬膜組織和維管束鞘，以及薄膜組織的細胞壁等部位^(25,34,35,36,37)；其中穀殼的矽酸(SiO_2)含量約15%，葉身12%，葉鞘10%，莖部5%，主要功用為維持葉片的直立，增加抗蟲與抗真菌能力，防止水分的過度蒸散^(30,31,32,33)。

根據調查報告，日本稻草的矽酸含量約4~20%，平均約11%，矽酸含量低於11%的地區施用矽酸鹽都可使稻穀產量明顯增加⁽¹⁰⁾。通常提高稻株的矽酸含量都可增強其對蟲害和真菌的抵抗力，在稻熱病嚴重的地區使用矽酸爐渣往往可使稻穀產量增加達30%以上⁽¹⁸⁾。

臺灣中部地區稻穀產量最高的彰化平原，土壤大部分屬於粘板岩沖積土，土壤反應多數是中性至微鹼性，土壤之鹽基性元素和矽酸含量特別高，鈣約1,000~4,000 ppm，鎂約100~400 ppm，矽酸多數在100 ppm以上，氮素用量都在160~240 kg/ha左右，而水稻仍不致於倒伏。相反地，南投和臺中兩縣平地一些砂頁岩沖積土的酸性很強，鹽基性元素和矽酸的含量都很低，一般稱為秋落田⁽¹²⁾，鈣多數在600 ppm以下，鎂多數在100 ppm以下，矽酸多數在50 ppm以下，氮素用量往往只有90~100 kg/ha左右，水稻即易倒伏或發生嚴重的稻熱病，稻穀產量很低，有些有機質含量較高而排水性較差的水田容易於第二期作初中期氣溫較高時從土壤中產生硫化氫，以傷害水稻根部，使稻株突然枯死。

改良此類土壤，一般都施用石灰、矽酸爐渣、穀殼等^(1,2,3,18)以提高土壤的鹽基和矽酸含量，對水稻的正常生長和產量都有幫助，作者⁽³⁾以臺中市舊社pH 5.3，交換性鈣約460 ppm，鎂66 ppm，水溶性矽酸約16 ppm砂質壤土進行盆栽試驗結果，單獨施用1,200 ppm苦土石灰，在低氮和中氮下，水稻產量反而下降，但在高氮下，則約增產7.1%，單獨施用6,000 ppm穀殼時，無論在低氮或高氮下，稻穀產量都較對照高約11%；石灰與穀殼同時使用時只在高氮下增產 24.8%。

本試驗的主要目的，希望瞭解施用石灰與微量元素對時常發生硫化氫毒害強酸性秋落田之改良效果。

材料與方法

本試驗是在南投縣竹山鎮延和里一處時常發生硫化氫毒害之水田舉行。試驗處理有12項，按照逢機完全區集排列，重複四次，每小區面積10 m²，以下分別說明12項之處理代號及內容。

處理1. Ca_0T_0 ：對照。

處理2. Ca_0T_1 ：每公頃施用錳6 kg。

處理3. Ca_0T_2 ：每公頃施用錳、鋅各6 kg。

處理4. Ca_0T_3 ：每公頃施用錳、鋅各6 kg，銅2 kg。

處理5. Ca_2T_0 ：每公頃施用苦土石灰2 m.t.

處理6. Ca_2T_1 ：每公頃施用苦土石灰2 m.t.，錳6 kg。

處理7. Ca_2T_2 ：每公頃施用苦土石灰2 m.t.，錳和鋅各6 kg。

處理8. Ca₂T₃：每公頃施用苦土石灰2 m.t.，錳和鋅各6 kg，銅2 kg。

處理9. Ca₄T₀：每公頃施用苦土石灰4 m.t.

處理10. Ca₄T₁：每公頃施用苦土石灰4 m.t.，錳6 kg。

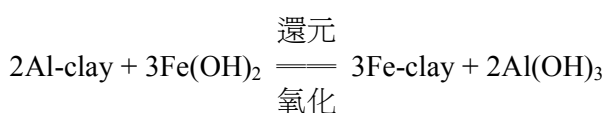
處理11. Ca₄T₂：每公頃施用苦土石灰4 m.t.，錳和鋅各6 kg。

處理12. Ca₄T₃：每公頃施用苦土石灰4 m.t.，錳和鋅各6 kg銅2 kg。

石灰與微量元素施下，稍加混合即進行插秧。水稻品種採用臺農67號，插秧日期為7月19日，行株距24×21 cm，N-P₂O₅-K₂O使用量為54-60-100 kg/ha，按照標準方法使用。採收日期為11月2日。採收前先採取稻株樣品，先以自來水清洗，再以蒸餾水洗一次後烘乾磨粉，然後進行礦物成分之全分析。氮、磷、鉀、鈣、鎂等巨量元素分析前先稱取植物體樣品以AR級濃硫酸處理後再加過氧化氫消化，然後以擴散法測定氮素、以比色法測定磷、以火焰光度計測定鉀、而以原子吸光儀測定鈣和鎂。矽酸則以測定巨量元素剩下之濾紙進一步燃燒再以高溫灰化爐灰化後測定。測硫樣品是以硝酸和過氯酸消化後以氯化鋇處理並以重量法測定⁽⁴⁾。微量元素樣品是依照稻米研究所吉田氏法以1N鹽酸處理後以原子吸光儀測定⁽³⁸⁾。測鉛樣品也按測定巨量元素方法消化後以比色法測定⁽¹⁵⁾。株高，每叢穗數及其他產量構成因素的調查也於採收前先行調查並採樣後進行。稻穀產量是將每小區水稻全部採收，曬乾，風選後稱取重量。土壤樣品於稻穀採收後即刻進行，並按小區別分開風乾後磨粉，然後進行各項化驗工作。有機質是以Walkley-Black法測定；有效磷是以Bray No. 1法測定；有效性SO₄⁻²以醋酸銨萃取後以比色法測定⁽⁵⁾；有效性矽酸是以蒸餾水萃取後以silicomolybdate法測定⁽⁹⁾；交換性鋁以1N KCl萃取後以比色法測定⁽¹⁵⁾；交換性陽離子以中性醋酸銨萃取後，鉀和鈉以火焰光度計測定，鈣和鎂以原子吸光儀測定；微量元素以0.1 N HCl萃取後以原子吸光儀測定。

結果與討論

試驗結果顯示，施用苦土石灰與微量元素對本類土壤肥力有顯著改進效果(表一)。未施苦土石灰區土壤中交換性鈣為560~575 ppm，施用苦土石灰2公噸及4公噸區各極顯著提高為733~788 ppm，及885~993 ppm；未施用苦土石灰區pH 4.9~5.0，施用苦土石灰2公噸及4公噸區也各極顯著提高為5.7~5.8，及6.0~6.4；有效性硫酸離子，也因施用苦土石灰而顯著提高，未施苦土石灰區之SO₄⁻²為89~133 ppm，2公噸區為116~167 ppm，4公噸區為126~166 ppm，表示施用苦土石灰可促進土壤中還元態硫之氧化，因而可以減少產生硫化氫的機會；水溶性矽酸含量則因施用苦土石灰而極顯著提高，未施用區的矽酸為19~26 ppm，苦土石灰2公噸區為30~34 ppm，但苦土石灰4公噸區並未繼續增加，只有29~34 ppm，此種水溶性矽酸含量的提高，將對水稻的正常生長與抗病蟲力有幫助^(10,18)；交換性鋁也因施用苦土石灰而極顯著降低，未施用區的交換性鋁13.5~16.5 ppm，苦土石灰2公噸區為2.2~3.5 ppm，4公噸區1.6~3.3 ppm，表示施用苦土石灰可以減少土壤中交換性鋁含量，以減少對水稻之毒害作用，其效果雖然在長期浸水的還元狀態下較不明顯，但在開始曬田土壤乾燥之後即會大量顯現出來，Cate和Magistad兩氏^(6,13)對此曾以化學反應式表示如下：



此外可萃取性鐵含量則隨著苦土石灰之施用極顯著降低，可以減少其對水稻的毒害作用。可萃取性鋅含量是隨鋅之施用而增加與苦土石灰之施用與否關係較少。

表一、水稻採收期試驗田土壤之化學分析結果

Table 1. Chemical analysis for the soils of experiment plots at harvest time

Treatments ¹	pH	OM (%)	Available		Water soluble SiO ₂ (ppm)	Exchan- geable Al (ppm)	Exchangable cations				Extractable trace element			
			P (ppm)	SO ₄ ⁻² (ppm)			K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
----- ppm -----														
1.Ca ₀ T ₀	4.9c**	2.9	80	98b*	22bc**	16.5a**	58	33	560d**	60	73a**	2.3	2.8bcde**	0.38
2.Ca ₀ T ₁	5.0c	2.8	74	133ab	19c	15.2a	55	32	568d	62	69a	3.0	3.3abc	0.46
3.Ca ₀ T ₂	5.0c	2.8	85	99b	20bc	13.5a	63	33	565d	62	67a	4.8	3.6ab	0.49
4.Ca ₀ T ₃	5.0c	3.0	84	127ab	26abc	14.5a	66	34	575d	62	70a	3.5	4.1a	0.83
5.Ca ₂ T ₀	5.7b	2.9	91	116ab	34a	2.5b	61	36	733c	70	49b	4.1	2.5bcde	0.69
6.Ca ₂ T ₁	5.7b	3.0	90	156a	30ab	3.5b	65	35	763bc	68	50b	5.0	2.4cde	0.77
7.Ca ₂ T ₂	5.7b	2.8	87	154a	34a	2.6b	60	34	788bc	63	47b	4.0	2.7bcde	0.65
8.Ca ₂ T ₃	5.8b	3.0	82	167a	33a	2.2b	53	34	788bc	73	48b	4.1	2.8bcde	0.68
9.Ca ₄ T ₀	6.0ab	3.1	80	149ab	34a	3.3b	50	35	885abc	72	42b	2.9	1.7e	0.64
10.Ca ₄ T ₁	6.2ab	3.0	80	166a	34a	1.6b	53	34	918ab	77	38b	5.6	2.0de	0.81
11.Ca ₄ T ₂	6.1ab	3.0	92	126ab	29ab	2.0b	63	34	893abc	72	40b	5.9	3.0abcd	0.71
12.Ca ₄ T ₃	6.4a	3.1	87	163a	30ab	1.4b	54	35	993a	66	38b	4.4	3.3abc	0.90

¹Ca₀: no limestone, Ca₂: dolomitic limestone 2m.t./ha, Ca₄: dolomitic limestone 4 m.t./ha,

T₀: no trace element, T₁: manganese 6 kg/ha, T₂: manganese and zinc respectively

6 kg/ha, T₃: manganese and zinc respectively 6 kg and copper 2kg per ha.

*, **: Respectively significantly different at 5% and 1% levels by Duncan's multiple range test.

植物體分析結果(表二)，發現植物體之鈣含量在處理1 (對照)為0.25%，而處理2, 3, 4 (不同微量元素)為0.27%，0.28%及0.27%，處理5和9 (苦土石灰2公噸及4公噸)為0.26和0.28%，都未顯著增加，但處理6 (苦土石灰2公噸及錳)、處理8 (苦土石灰2公噸及錳鋅銅)、處理10 (苦土石灰4公噸及錳)、處理11 (苦土石灰4公噸及錳鋅)、處理12(苦土石灰4公噸及錳鋅銅)為31%和30%，其增加達到極顯著水準，表示微量元素錳鋅銅等和苦土石灰分開使用效果較小，而二者連合使用時植體之鈣含量就顯著提高。

植物體之鋁含量(表二)，處理1(對照)為111 ppm，處理2, 3, 4 (不同微量元素)分別為110 ppm，95 ppm，及105 ppm，處理5和9 (苦土石灰2公噸及4公噸)為111 ppm和90 ppm，其降低都不明顯，但處理7 (苦土石灰2公噸和錳鋅) 78 ppm，處理8 (苦土石灰2公噸和錳鋅銅) 69 ppm，處理10 (苦土石灰4公噸和錳) 73 ppm，處理11 (苦土石灰4公噸和錳鋅) 66 ppm，處理12 (苦土石灰4公噸和錳鋅銅) 65 ppm，都有明顯降低傾向，其降低程度雖未達到顯著水準，但似乎已經可以看出大量的苦土石灰配合微量元素使用有抑制鋁含量的作用。

植物體之磷含量，微量元素處理只有處理4 (錳鋅銅) 0.105%稍微高於處理1, 2, 3之0.073，0.068，0.078%，表示錳鋅銅連合處理較有利於磷之吸收；苦土石灰2公噸處理5, 6, 7, 8當中只有處理5 (只用苦土石灰2公噸) 0.118%和處理7 (苦土石灰2公噸和錳鋅) 0.12%之磷含量顯著高於處理1之0.073%；苦土石灰4公噸處理9, 10, 11, 12之磷吸收量分別為0.115%，0.108%，0.113%及0.125%都顯

著高於處理1之0.073%，其中處理12(苦土石灰4公噸及錳鋅銅)更顯著高於處理9、處理10和處理11，表示在本土壤使用苦土石灰4公噸加錳鋅銅三種微量元素時植體磷之含量最高。

表二、採收期水稻植物體之化學分析結果

Table 2. Chemical analysis for rice plants at harvest time

Treat-ments ¹	N	P	S	SiO ₂	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al ²
	----- % ----- ppm -----											
1.Ca ₀ T ₀	0.47	0.073de*	0.35ab**	4.9b*	1.95	0.25c**	0.09	318	179bc**	57bc**	3.9	111
2.Ca ₀ T ₁	0.43	0.068e	0.35ab	5.8ab	1.98	0.27abc	0.08	326	320a	63bc	3.8	110
3.Ca ₀ T ₂	0.46	0.078cde	0.32bc	6.0ab	1.85	0.28abc	0.09	309	296ab	102a	4.4	95
4.Ca ₀ T ₃	0.47	0.105bcd	0.38a	5.5ab	1.55	0.27abc	0.08	308	241abc	77ab	4.5	105
5.Ca ₂ T ₀	0.46	0.118a	0.27cd	5.6ab	1.90	0.26bc	0.09	336	119c	47bc	3.9	111
6.Ca ₂ T ₁	0.46	0.088bcde	0.27cd	6.7a	1.88	0.31a	0.09	304	296ab	51bc	4.0	96
7.Ca ₂ T ₂	0.46	0.120a	0.27cd	6.1ab	1.88	0.29abc	0.09	334	274ab	95a	4.6	78
8.Ca ₂ T ₃	0.44	0.083bcde	0.28cd	6.5a	1.93	0.31a	0.09	324	175bc	81ab	4.6	69
9.Ca ₄ T ₀	0.42	0.115b	0.27cd	6.3ab	1.85	0.28abc	0.09	295	128c	41c	4.3	90
10.Ca ₄ T ₁	0.46	0.108bc	0.26d	6.4a	1.90	0.31a	0.10	348	298ab	48bc	4.5	73
11.Ca ₄ T ₂	0.49	0.113b	0.26d	6.5a	1.88	0.31a	0.09	324	208abc	56bc	4.8	66
12.Ca ₄ T ₃	0.47	0.125a	0.27cd	6.0ab	1.88	0.30ab	0.09	291	203abc	55bc	4.8	65

¹ *, **: See Table 1.

² Sampled at panicle initiation stage.

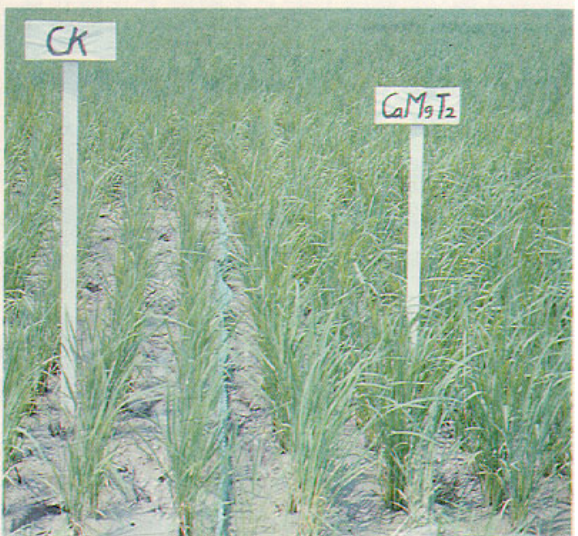
植物體之硫含量似乎只與苦土石灰之施用與否有密切關係，未施苦土石灰處理1, 2, 3, 4植物體之含硫量為0.32~0.38%，而施用苦土石灰2公噸處理5, 6, 7, 8植物體之含硫量極顯著降至0.27~0.28%，但施用苦土石灰4公噸處理9, 10, 11, 12植物體之含硫量並未繼續降而仍維持在0.26~0.27%。施用苦土石灰後植物體之硫吸收量極顯著減少之主要原因可能因施用苦土石灰之後土壤中各種形態之硫都容易變成硫酸鈣沈澱而被作物吸收之效率較低的關係^(28,29)，這也是在秋落水田施用石灰可以防止硫化氫毒害(圖一~六)之主要原因。

施用微量元素與苦土石灰似乎都有提高植物體矽酸含量之效果，但二者單獨使用之效果都不大，處理1(對照)植物體之矽酸含量4.9%，而微量元素單獨處理2(錳)，處理3(錳鋅)，處理4(錳鋅銅)分別為5.8%，6.0%，5.5%，苦土石灰單獨處理5(2公噸)及處理9(4公噸)分別為5.6%，及6.3%，其增加都未達到顯著水準，但苦土石灰與微量元素連合處理6(苦土石灰2公噸及錳)，處理8(苦土石灰2公噸及錳鋅銅)，處理10(苦土石灰4公噸及錳)，處理11(苦土石灰4公噸及錳鋅)分別為6.7%，6.5%，6.4%，6.5%，其增加都達到5%之顯著水準。

土壤分析結果(表一)顯示本項土壤之錳、鋅、銅含量都有較低傾向，而植物體分析結果(表二)雖然也顯示施用錳處理2, 6, 10植物體之錳含量，施用鋅處理3, 7的植物體之鋅含量都顯著增加，但並未發現有缺乏上述任何三種元素之現象，而施用上述三種微量元素對水稻生長與產量有幫助之主要原因，似為上述三種微量元素在本項土壤與苦土石灰連合作用，以抑制鋁之毒害並增強水稻對鈣、磷、和矽酸之吸收。



1|2
3|4
5|6



圖一、(前面)土壤中產生少量硫化氫只將部分稻根殺死，水稻不會出現枯死現象，但卻呈現黃化症狀，就是施用大量氮肥，葉色仍然無法恢復正常的綠色。(後面)正常土壤中未產生硫化氫，正常綠色之水稻

Fig. 1. (Front) Small amount of hydrogen sulphide in the soils only killed parts of rice roots to cause chlorosis instead of wilting. These rice plants are difficult to return green even high rate of nitrogen is applied. (Rear) No H₂S in the normal soil, therefore rice plants are normally green.

圖二、產生少量硫化氫，水稻根部一部分被殺死而變黑，稻株黃化、生長受阻，而未枯死(中及右)，左邊為正常稻株

Fig. 2. Parts of rice roots was killed by small amount of hydrogen sulphide appeared in the soil and turned black in color and the rice plants were chlorotic and retarded without wilting symptom (middle and right,) and the left was normal plant.

圖三、二期作地溫很高時，稻田土壤中產生大量硫化氫將水稻根部大量殺死，而使地上部嚴重枯死情形

Fig. 3. Large amount of hydrogen sulphide had produced in the soil to kill most of the rice roots to cause serious wilting of rice plants in the second crop as soil temperature was high.

圖四、遭受硫化氫毒害之水稻根部全部枯死而變黑

Fig. 4. Rice roots had almost completely killed by hydrogen sulphide and turned black in color.

圖五、以醋酸鉛處理過的濾紙在田間測到硫化氫而變成銀褐色(左)，未以醋酸鉛處理過之濾紙無法測到硫化氫(右)

Fig. 5. Lead acetate-treated filter paper detected hydrogen sulphide in the paddy field and turned into silver brown color (left), and the normal filter paper (right).

圖六、對照區水稻生長較差(左)，施用苦土石灰與錳鋅水稻生長較好(右)

Fig. 6. The growth of rice plants in the check plot (left) are apparently poor than those in the plot treated with dolomitic limestone and manganese and zinc (right).

水稻生長與產量調查結果(表三)顯示，水稻株高隨著苦土石灰施用量之增加而逐漸增加，處理1(對照) 97.3 cm，處理5(苦土石灰2公噸) 100.4 cm，而處理9(苦土石灰4公噸) 103.2 cm。但施用錳、鋅使水稻株高更進一步增加並隨著苦土石灰用量之增加而更加提高，處理2(錳)株高99 cm，處理3(錳鋅) 101.8 cm，處理6(苦土石灰2公噸加錳) 103 cm，處理7(苦土石灰2公噸加錳鋅) 103.1 cm，處理10(苦土石灰4公噸加錳) 107.1 cm，處理11(苦土石灰4公噸加錳鋅) 106.1 cm。施用銅則水稻生長受到抑制，但仍隨石灰用量之增加而增加，處理4(錳鋅銅) 98.3 cm，與對照97.3 cm非常接近而低於處理3之101.8 cm，處理8(苦土石灰2公噸加錳鋅銅) 101.9 cm，處理12(苦土石灰4公噸加錳鋅銅) 103 cm。

每穗穗數之增加只在施用苦土石灰4公噸同時施用微量元素之處理10、處理11、處理12之19.0支、18.8和18.5支有明顯增加傾向，此一結果顯示必須有高量苦土石灰(4公噸)和微量元素同時使用，本土壤之水稻每穗穗數才有明顯增加希望。

每穗粒數似與苦土石灰之關係較為密切，處理1(對照)每穗粒數為70.3，而處理5(苦土石灰2公噸)每穗粒數顯著增加至78.1，處理6(苦土石灰2公噸加錳)和處理7(苦土石灰2公噸加錳鋅)各為74.6和75.0，其增加都未達到顯著水準，處理8(苦土石灰2公噸加錳鋅銅)為78.4，其增加達到5%顯著水準。處理9(苦土石灰4公噸)，10(苦土石灰4公噸加錳)、11(苦土石灰4公噸加錳鋅)、12(苦土石灰4公噸加錳鋅銅)各為78.2，76.9，77.4，77.1，都顯著高於處理1之70.3。此一結果顯示必須有高量苦土石灰(4公噸)每穗粒數才能穩定增加。

表三、水稻之生長、產量與產量構成因素之調查

Table 3. Rice growth, yield, and yield components at harvest time

Treatments ¹	Plant height (cm)	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Ripened grains (%)	1000 Grain weight (g)	Grain		Straw kg/10m ²	Grain/straw ratio
						Yield kg/10m ²	Index		
1. Ca ₀ T ₀	97.3e*	17.7ab*	70.3d*	85.0	24.8bc*	5.09de*	100.0	4.72f*	1.08
2. Ca ₀ T ₁	99.0de	17.8ab	72.1bcd	86.9	25.4abc	5.06e	99.4	5.13de	0.99
3. Ca ₀ T ₂	01.8cd	17.7ab	71.9bc	87.9	25.5ab	5.40cde	106.1	5.10e	1.06
4. Ca ₀ T ₃	98.3e	17.8ab	73.4abcd	84.8	25.1abc	5.42cd	106.5	5.25de	1.03
5. Ca ₂ T ₀	00.4cde	17.8ab	78.1ab	89.3	25.7a	5.56bc	109.2	5.18de	1.07
6. Ca ₂ T ₁	03.0bc	17.3b	74.6abcd	89.3	25.7a	5.71abc	112.2	5.50abcd	1.04
7. Ca ₂ T ₂	03.1bc	17.8ab	75.0abcd	87.4	25.5abc	5.68abc	111.6	5.67abc	1.00
8. Ca ₂ T ₃	01.9cd	18.4ab	78.4a	88.6	25.6a	5.55bc	109.0	5.39bcde	1.03
9. Ca ₄ T ₀	03.2bc	17.8ab	78.2ab	86.7	24.8bc	5.88ab	115.5	5.74a	1.02
10. Ca ₄ T ₁	07.1a	19.0a	76.9abc	82.6	24.7c	5.64abc	110.8	5.82a	0.97
11. Ca ₄ T ₂	06.1ab	18.8a	77.4abc	85.3	25.0abc	5.98a	117.5	5.64abc	1.06
12. Ca ₄ T ₃	03.0bc	18.5ab	77.1abc	86.2	25.1abc	5.96a	117.1	5.32cde	1.12

¹ and *: See Table 1.

稔實率大致正常，處理間沒有顯著差異，主要原因似是沒有嚴重病蟲害，氣象情況也大致良好之關係。

千粒重只有處理5 (苦土石灰2公噸) 25.7 g，處理6 (苦土石灰2公噸加錳) 25.7 g，處理8 (苦土石灰2公噸加錳鋅銅) 25.6 g，較處理1 (對照) 24.8 g有顯著增加，而處理9 (苦土石灰4公噸) 24.8 g，處理10 (苦土石灰4公噸加錳) 24.7 g則顯著降低。

稻穀產量處理3 (錳鋅) 5.4kg/10 m²，處理4 (錳鋅銅) 5.42 kg/10 m²，而處理1 (對照)只有5.09 kg/10 m²，前二者與後者之差異雖然沒有達到顯著水準，但似乎已經明顯地可以看出錳鋅或錳鋅銅聯合使用，對本土壤水稻之生產有幫助。苦土石灰之效果很明顯地高於微量元素，處理5 (苦土石灰2公噸)的稻穀產量5.56 kg/10 m²，顯著高於對照，而處理9 (苦土石灰4公噸)的5.88 kg/10 m²，更高於處理5，可是產量最高的為高量(4公噸)苦土石灰加錳鋅的處理11或加錳鋅銅的處理12，分別為5.98 kg/10 m²和5.96 kg/10 m²，各增產17.5%和17.1%，也就是說，欲在本土壤獲得最高的稻穀產量，必須同時施用高量的苦土石灰和錳鋅銅等三種微量元素。

誌 謝

本試驗承蒙行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳經費補助，田間工作由王振興與張清津先生協助，土壤及植物體化驗工作由劉金錢小姐幫忙，報告則由陳瓊芳小姐協助整理，謹此一併敬表謝意。

參考文獻

1. 李宿淵 1976 水分管理和施用穀殼對土壤肥力和稻穀產量之影響 中興大學土壤系碩士論文。
2. 陳錦松 1976 水分管理和施用穀殼對水田氧化還元狀態和稻穀產量之影響 中興大學土壤系碩士論文。

3. 謝慶芳、蔡宗仁、黃祥慶、林昭遠 1983 穀殼、石灰及氮肥對生長於強酸性砂頁岩沖積土稻株之矽酸含量及生長之影響 臺中區農業改良場研究彙報 7: 108~120。
4. Allison, L.E., L. Bernstein, C.A. Bower, J.W. Brown, M. Fireman, J.T. Hatcher, H.E. Hayward, G.A. Pearson, R.C. Reeve, L.A. Richards and L.V. Wilcox. 1969. Methods of plant analysis p.128-134. In: Richards, L.A (ed.). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, USDA.
5. Bardsley, C. E. and J. D. Lancaster. 1965. Acetate-soluble sulfate. p.1111-1113. In: Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy.
6. Cate, R.B., Jr. and A.P. Sukhai. 1964. A study of aluminum in rice soils. Soil Sci. 98: 85-93.
7. Cock, J. H. and S. Yoshida. 1970. An assessment of the effects of silicate application on rice by a simulation method. Soil Sci. Plant Nutri. (Tokyo) 16: 212-214.
8. Foy, C.D., G.R. Burns, J.C. Brown and A.L. Fleming. 1965. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around their roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 64-67.
9. Hesse, P.R. 1972. Water-soluble silicon. p.368. In: A Textbook of Soil Chemical Analysis. Chemical Publishing Co., Inc., New York.
10. Imaizumi, K. and S. Yoshida. 1958. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy fields. Bull. Nat. Inst. Agri. Sci. (Japan) B. Ser. 8: 261-304.
11. Ishibashi, H. and M. Kawano. 1959. The effect of silica on the growth of rice plants in water culture. Soils Fertilizers 22: 144.
12. Ishizuka, Y. 1971. Akioki. p.68-69. In: Nutrient Deficiencies of Crops. Food & Fertilizer Technology Center, ASPAC.
13. Magistad, O.C. 1925. The aluminum content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. Soil Sci. 20: 181-225.
14. McLean, F. T. and B. E. Gilbert. 1927. The relative aluminum tolerance of crop plants. Soil Sci. 24: 163-175.
15. McLean, E.O. 1965. Exchangeable aluminum. p.985-990. In: Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy.
16. Mitsui, S. and H. Takatoh. 1961. Nutritional study of silicon in graminaceous crops: 1. Growth of rice plants without SiO₂ and symptoms of SiO₂ deficiency. Soils Fertilizers 24: 295.
17. Miyake, K. 1916. The toxic action of soluble aluminum salts upon the growth of the rice plant. Jour. Biol. Chem. 25: 23-28.
18. Miyoshi, H. and H. Ishii. 1961. Effect of silicic slag on paddy rice: II. Relationship between the increase of grain yield by applying silicic slag and the growth form of the rice plant. Soils fertilizers 24: 310.
19. Neenan, M. 1960. The effects of soil acidity on the growth of cereals, with particular reference to the differential reaction of varieties thereto. Plant Soil 12: 324-328.
20. Okuda, A. and E. Takahashi. 1962. Studies on the physiological role of silicon in crop plants: 2. Effect of silicon-supplying period on the growth and nutrient uptake of rice plants. Soils Fertilizers 25: 314.

21. Okuda, A. and E. Takahashi. 1963. The physiological role of silicon in crop plants: 8. Examination of the specific behavior of lowland rice as regards silicon uptake. *Soils Fertilizers* 26: 124.
22. Pratt, P.F. 1966. Aluminum. p.3-12. In: Homer D.Chapman (ed.). *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Uni. of California Citrus Research Center and Agri. Experi. Station, Riverside.
23. Singh, S.S. 1967. Sulfate ions and ion activity produce $(Al)(OH)_3$ in Wyoming bentonite suspensions. *Soil Sci.* 104: 433-438.
24. Singh, S.S. and J.E. Brydon. 1967. Precipitation of aluminum by calcium hydroxide in the presence of Wyoming bentonite and sulfate ions. *Soil Sci.* 103: 162-167.
25. Tanaka, A. and Y. P. Park. 1966. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)* 12: 191-196.
26. Utagawa, I. and K. Kashima. 1963. The physiological functions of silicic acid applied to rice and wheat: I . Effect of silicic acid on the movement of mineral nutrients from leaves, stalks, and roots to the ears. *Bull. Fac. Agri. Kagoshima Uni.* 13: 116.
27. Utagawa, I. and K. Kiyoto. 1963. The physiological functions of silicic acid applied to rice and wheat. II . Effect of silicic acid on the movement of carbohydrates assimilated from leaf blades, leaf sheaths, stalks and roots to ears. *Bull. Fac. Agri. Kagoshima Uni.*, 13: 136-154.
28. Williams, C.H. and A. Steinbergs. 1962. The evaluation of plant- available sulfur in soils. I . The chemical nature of sulphate in some Australian soils. *Plant Soil* 17: 279-294.
29. Williams, C.H. and A. Steinbergs. 1964. The evaluation of plant- available sulfur in soil. II . The availability of adsorbed and insoluble sulphates. *Plant Soil* 21: 50-62.
30. Yoshida, S.. 1965. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. *Bull. Nat. Inst. Agri. Sci. (Japan) Ser. B*15: 1-58.
31. Yoshida, S., S. A. Navasero, and E. A. Ramirez. 1969. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. *Plant and Soil Food (Tokyo)* 31: 48-56.
32. Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1959a. The chemical nature of silicon in rice plant. *Soil and Plant Food (Tokyo)* 5: 23-27.
33. Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1959b. Role of silicon in rice nutrition. *Soil and Plant Food (Tokyo)* 5: 127-133.
34. Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1962a. Histochemistry of silicon in rice plant. I . A new method for determining the localization of silicon within plant tissues. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)* 8: 30-35.
35. Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1962b. Histochemistry of silicon in rice plant. II . Localization of silicon within rice tissues. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)* 8: 36-41.
36. Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1962c. Histochemistry of silicon in rice plant. III. The presence of cuticle-silica double layer in the epidermal tissue. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)* 8: 1-5.
37. Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi. 1962d. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)* 8: 107-113.
38. Yoshida, S., D.A. Forno, J.H. Cock and K.A. Gomez. 1972. *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*. IRRI. Philippines.

Effects of Dolomitic Limestone and Microelements on the Growth and Yield of Lowland Rice in a Strongly Acid Sand-Shale Alluvial Soil¹

Ching-Fang Hsieh²

ABSTRACT

This experiment was conducted in a strongly acid sand-shale alluvial soil at Yenho Village, Chusan Hsiang, Nantou Hsien where rice blast and hydrogen sulphide toxicity were often causing very serious growth failure of rice. The common yield of rice was about 4,500 - 5,000 kg/ha in this area.

It was found in the experiment that soil treatment of dolomitic limestone had the following advantages for improving the above acid soil: (1) Very significantly lowered down the exchangeable aluminum and extractable iron in the soil and promoted the uptake of phosphorus by rice plants. (2) Significantly promoted the conversion of the different form of sulfur compound or element into less soluble sulphates and very significantly reduced the uptake of sulfur by rice plants, and thus decreased the chance of the toxicities of sulfur in rice plants or hydrogen sulphide on rice roots. (3) Very significantly increased the soil exchangeable calcium and water soluble silica, and thus very significantly promoted the uptake of calcium and significantly increased the uptake of silica by rice plants, and therefore rice plants were better in growth.

The uptake of calcium, silica, and phosphorus by rice plants tended to be higher in the simple treatment of microelements, but it was not statistically significant. However, combined treatment of microelements and dolomitic limestone significantly increased the uptake of the above three elements, and the rice yields were also better, especially the highest yield, 6,000 kg/ha, was obtained in the treatments with 4 ton dolomitic limestone plus manganese and zinc or plus manganese, zinc and copper. This yield was 17% or 900 kg/ha higher than that of the check.

Key words: acid soil, lowland rice, limestone, microelements.

¹ Contribution No. 0269 from Taichung DAIS.

² Senior Soil Scientist of Taichung DAIS.