

肥培管理及施用石灰資材

對坡地小米產量之影響

周泰鈞 張茂盛¹

摘 要

為探討小米合理、經濟之肥培管理及施用石灰資材對其產量之效應，乃自1989年秋作至1992年春作分別在臺東縣海端鄉之山坡地（麥氏座標078451）設置本試驗。試區土壤屬片岩沖積土，瑞穗(Js)土系，坩質壤土，FCC分類為LGa。土壤原為強酸性，經施用石灰質材料（矽酸爐渣）3噸／公頃後，pH值明顯升高，第一作（施用當期作）增加了0.4~0.6個單位，而第二作為殘效觀察，僅增加約0.2個單位，此外施矽酸爐渣區之土壤氧化鈣、氧化鎂及矽酸含量明顯增加，春作殘效亦同。矽酸爐渣之施用對產量有增產效果，第一作產量明顯增加（1989年秋作約31%；1992年春作約12%）；第二作殘效觀察，效果不很明顯（1990年僅增產約7%）。肥料效果亦相當明顯，三要素增施區產量均比中量區明顯增加；氮肥減施區於生育期即明顯看出缺乏症狀，比推薦量區減產約10~25%，而磷、鉀肥減施區之產量與中量區差異較不明顯，尤其當施用矽酸爐渣改善土壤之酸性、增進土壤中養分之有效性後，氮肥減施區仍顯不足，而磷、鉀肥減施區仍有相當量之增產，可酌予減少磷、鉀肥之施用量。在三要素的推薦上，純就增產觀點來看，三要素增施50%試區較佳，但是氮肥增施區可能導致倒伏，因此氮肥仍以本試驗之推薦量 $N-P_2O_5-K_2O=100-75-75Kg/ha$ 為宜。

關鍵詞：小米、石灰、肥培管理。

前 言

小米為粟類之一種，一度曾為人類主要食用作物之一，且曾被視為神聖祭品及重要補品^(16,26)，隨著時代的演進，小米在開發中或已開發國家已不再扮演主要糧食作物的角色，

¹臺東區農業改良場助理及副研究員。

甚至逐漸消失。本省小米主要栽培於山地，昔日為原住民之主食，後來亦由於水稻及其他糧食作物之推廣而使栽培面積漸減；近年來由於國人飲食習慣的改變，一切講求回歸自然，小米在市場的需求上又起死回生，逐漸受消費者所喜愛⁽⁴⁾。台東為小米栽培主要地區，目前小米已成本縣特產之一，為因應市場需要、及栽培面積之逐年增加，肥培管理技術之改進亟待加強。

小米係耐旱作物，常栽植於山坡地，然而山坡地經雨水長期淋洗作用，土壤大多呈強酸性，曾有研究指出，小米在發芽後30天內對酸性反應最敏感⁽¹⁸⁾，且小米極不耐溼，較喜好中酸性土壤，最適合之土壤pH值為6.5左右⁽¹⁷⁾。早期所做過之石灰及三要素肥料試驗，結果因試區土壤之不同，效果亦不盡相同^(21,28)。

目前農民栽培多採粗放式之管理，產量偏低。究竟係肥培管理不善抑或是酸性土壤之影響所致？合理且經濟之肥培管理究竟該施多少肥料？在在亟須吾人探討。

材 料 與 方 法

本試驗自1989年7月至1992年6月於海端鄉加拿村（麥氏座標為078451）進行，分別以小米臺東選二號（1989秋~1991春作）及DRT1（1992春作）為供試品種。試驗採裂區設計，石灰施用與否為主區，不同三要素用量為副區，四重複，小區面積 $5\text{m} \times 4\text{m} = 20\text{m}^2$ ，行距50cm，條播。二個主處理為：(1)施石灰資材（矽酸爐渣）3噸/公頃，(2)不施石灰資材；而七個副處理則分別為：(1)對照區($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$) ($\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O} = 100-50-50 \text{ Kg/ha}$)，(2)氮肥減施50%區($\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$)，(3)氮肥增施50%區($\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$)，(4)磷肥減施50%區($\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$)，(5)磷肥增施50%區($\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$)，(6)鉀肥減施50%區($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$)，(7)鉀肥增施50%區($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$)。其中磷肥（過磷酸鈣）全量、氮肥（硫酸銨）50%、鉀肥（氯化鉀）60%為基肥在播種前施用，剩餘之50%氮肥及40%鉀肥在播種後45天作追肥施用。矽酸爐渣則於整地前撒施，並充分與土壤混合。

並於種植前及收穫後採集土壤樣品經風乾，過篩（2mm）後分析其理化性質。分析項目及方法⁽⁵⁾分別為：(1)土壤pH值（1:1水土比例），(2)土壤有機質（Walkley Black Method），(3)土壤有效性磷（Bray No. 1 Method），(4)土壤有效性鉀、鈣、鎂（Mehlich's Method）。於小米收穫後調查其農藝性狀及產量，並作經濟效益評估。

結 果 與 討 論

施用石灰資材（矽酸爐渣）對土壤肥力之影響

對提升土壤pH值之效應評估：試區土壤屬片岩沖積土，瑞穗(Js)土系，坩質壤土。分析其土壤理化性（表一~三）可知，試驗前土壤原為強酸性（pH為5.0），經種植小米後，

秋作（第一作）收穫後未施矽酸爐渣區土壤pH值隨季節之變化，已略升高為5.3(1989年), 5.4(1991年),而施用矽酸爐渣區pH值提升為 5.9及5.7,比未施區增加約 0.6及 0.3個單位，明顯升高。春作（第二作）殘效亦有相同趨勢，收穫後pH值隨季節變化，未施區為 5.8 (1990年),而施用爐渣區為 6.0，僅比未施區增加0.2個單位。矽酸爐渣之主要成份為鈣鎂鋁矽酸鹽，當將其加入酸性土壤時，其中所含之 CaSiO_3 可水解而中和土壤之酸度。爐渣在提升土壤pH的效應上已有報告加以證實及肯定^(9,12)。

對土壤磷有效性之影響：酸性土壤常因無定形氧化鐵、鋁及水氧化鐵、鋁的存在而有強的磷固定能力，導致土壤磷的有效性低，進而抑制作物之正常生長。施用石灰以改善酸性土壤至中性時，磷之有效性以及磷被作物吸收的量將會得以增進^(14,15,19,20)，但是也有減少^(8,10,11,22,25)，或不受影響^(23,24) 的情形，眾說紛紜。本試驗施用矽酸爐渣後對土壤中磷有效性之影響，有增進的效果（1991秋作）、亦有減少的情形（1990春、秋作及1992春作），各期作結果並不相同（表一～三），是否係受土壤不同所致，抑或氣候所影響，尚無文獻資料可供參考而有待探討。

對土壤鈣、鎂有效性及矽酸含量之影響：酸性土壤往往會因缺乏鈣和鎂而抑制作物的生長，由表一～三資料可看出，矽酸爐渣施用區土壤中氧化鈣及氧化鎂的含量明顯地比未施區高出許多，因而有改善酸性土壤鈣和鎂缺乏的效應，許多研究報告亦有相同的結果^(1,2,3,6,7)。同時施用矽酸爐渣後可大幅提高土壤中矽酸之含量，而經作物根吸收後的矽元素可強化表皮細胞的組織，對禾本科植株之抗倒伏、抗病蟲害及緩和氮肥過多之害，有明顯的效果^(1,20)。

施用石灰資材（矽酸爐渣）對小米農藝性狀及產量之影響

本試驗1989年秋作由於生長初期遭逢連續大雨，試區積水，缺株情形甚為嚴重，影響試驗之準確性；1990、1991年秋作亦因颱風豪雨之影響，全無收成；1991年春作受嚴重亢旱之影響，亦無收穫。僅就1989年秋作及1990、1992春作小米結果加以探討。如表四～六資料所示，矽酸爐渣之施用對小米穗長、每穗粒重及容積重影響並不明顯，而對株高似有增長的效果；對產量則有增產效果（圖一～三），1989年秋作施爐渣區比未施區收穫量多約31%；而1990年春作為矽酸爐渣施用之殘效觀察，效果已較不明顯，僅增產約 7%。1992年春作施爐渣區比未施區增產約 12%。在相同的氣候及栽培管理條件下，可能藉由上述爐渣之施用對酸性土壤pH值的改善，以及鈣、鎂、矽等元素有效性之增進的結果，因而促進小米的生育，增加產量。

表一、1989年秋作及1990年春作試區土壤理化性質

Table 1. The soil physical and chemical properties of the fall and spring cropping plots in 1989 and 1990

Treat. ¹	Text.	pH	O.M. (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂ (ppm)
				fall crop 1989				
Before exp.	SiL	5.0	3.1	189	236	2921	102	52
After exp.								
Non-Silica Slag								
N ₂ P ₂ K ₂	SiL	5.4	4.3	126	210	4176	299	41
N ₁ P ₂ K ₂	SiL	5.4	4.2	173	265	3790	373	74
N ₃ P ₂ K ₂	SiL	5.3	4.5	136	286	3671	371	61
N ₂ P ₁ K ₂	SiL	5.3	4.4	117	289	3697	373	54
N ₂ P ₃ K ₂	SiL	5.3	4.3	151	253	3689	295	43
N ₂ P ₂ K ₁	SiL	5.4	4.3	140	212	3904	328	43
N ₂ P ₂ K ₃	SiL	5.1	4.4	171	327	3263	349	42
Silica Slag (3 tons/ha)								
N ₂ P ₂ K ₂	SiL	5.9	4.4	155	211	6122	465	209
N ₁ P ₂ K ₂	SiL	5.8	4.3	149	234	6078	375	165
N ₃ P ₂ K ₂	SiL	5.8	3.9	157	268	6202	432	125
N ₂ P ₁ K ₂	SiL	5.9	4.0	121	207	6157	398	186
N ₂ P ₃ K ₂	SiL	5.9	4.2	147	211	6368	409	146
N ₂ P ₂ K ₁	SiL	5.9	4.1	123	213	6321	444	189
N ₂ P ₂ K ₃	SiL	5.9	4.3	141	288	6541	412	175
				spring crop 1990				
After exp.								
Non-Silica Slag								
N ₂ P ₂ K ₂	SiL	5.8	3.7	213	282	3328	312	69
N ₁ P ₂ K ₂	SiL	5.6	3.8	190	309	3846	373	89
N ₃ P ₂ K ₂	SiL	5.8	3.8	188	292	3220	324	76
N ₂ P ₁ K ₂	SiL	5.7	4.0	168	375	3488	352	69
N ₂ P ₃ K ₂	SiL	5.7	3.6	223	301	3499	316	71
N ₂ P ₂ K ₁	SiL	5.9	3.9	182	242	3360	319	64
N ₂ P ₂ K ₃	SiL	5.8	3.7	198	448	3134	280	64
Silica Slag (3 tons/ha)								
N ₂ P ₂ K ₂	SiL	6.1	3.6	159	318	4398	466	160
N ₁ P ₂ K ₂	SiL	5.9	4.0	171	337	4482	434	140
N ₃ P ₂ K ₂	SiL	5.9	3.8	233	333	4134	427	136
N ₂ P ₁ K ₂	SiL	6.0	3.8	134	207	3993	438	132
N ₂ P ₃ K ₂	SiL	6.0	3.9	253	437	4522	519	212
N ₂ P ₂ K ₁	SiL	6.0	3.7	171	309	4336	506	160
N ₂ P ₂ K ₃	SiL	6.1	3.7	155	413	4363	466	163

¹N₂P₂K₂ : N-P₂O₅-K₂O=100-50-50Kg/ha.N₁P₂K₂ : - 50% N.N₃P₂K₂ : + 50% N.N₂P₁K₂ : - 50% P₂O₅.N₂P₃K₂ : + 50% P₂O₅.N₂P₂K₁ : - 50% K₂O.N₂P₂K₃ : + 50% K₂O.

表二、1990年秋作試區土壤理化性質

Table 2. The soil physical and chemical properties of the fall cropping plots in 1990

Treat.	Text.	pH	O.M. (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO (Kg/ha)	MgO	SiO ₂ (ppm)
Before exp.	SiCL	4.2	3.8	356	328	437	15	58
After exp.								
Non-Silica Slag								
N ₂ P ₂ K ₂	SiCL	4.1	3.9	391	231	379	18	82
N ₁ P ₂ K ₂	SiCL	4.2	4.1	389	280	427	27	80
N ₃ P ₂ K ₂	SiCL	3.9	4.0	329	279	348	17	85
N ₂ P ₁ K ₂	SiCL	4.0	3.9	332	234	344	17	82
N ₂ P ₃ K ₂	SiCL	3.8	4.0	437	193	373	18	83
N ₂ P ₂ K ₁	SiCL	3.9	4.0	359	222	314	15	87
N ₂ P ₂ K ₃	SiCL	4.0	3.8	393	280	367	30	95
Silica Slag (3 tons/ha)								
N ₂ P ₂ K ₂	SiCL	4.6	4.0	307	299	2379	461	312
N ₁ P ₂ K ₂	SiCL	4.6	3.9	317	270	1578	231	261
N ₃ P ₂ K ₂	SiCL	4.6	4.0	321	289	3078	632	454
N ₂ P ₁ K ₂	SiCL	4.6	4.1	317	294	1833	367	276
N ₂ P ₃ K ₂	SiCL	4.8	3.9	541	269	2935	536	332
N ₂ P ₂ K ₁	SiCL	4.6	3.9	368	229	2583	637	404
N ₂ P ₂ K ₃	SiCL	4.7	3.8	370	313	2696	443	318

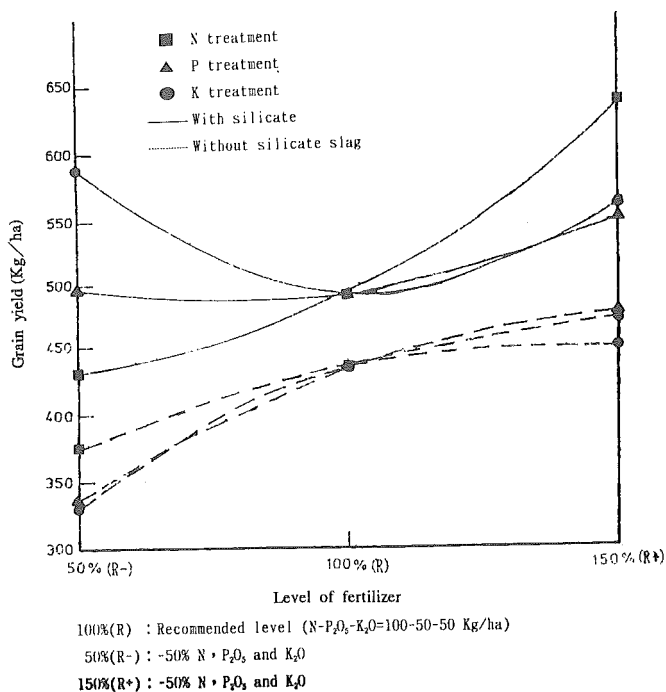
¹The same as table 1.

表三、1991年秋作及1992年春作試區土壤理化性質

Table 3. The soil physical and chemical properties of the fall and spring cropping plots in 1991 and 1992 respectively

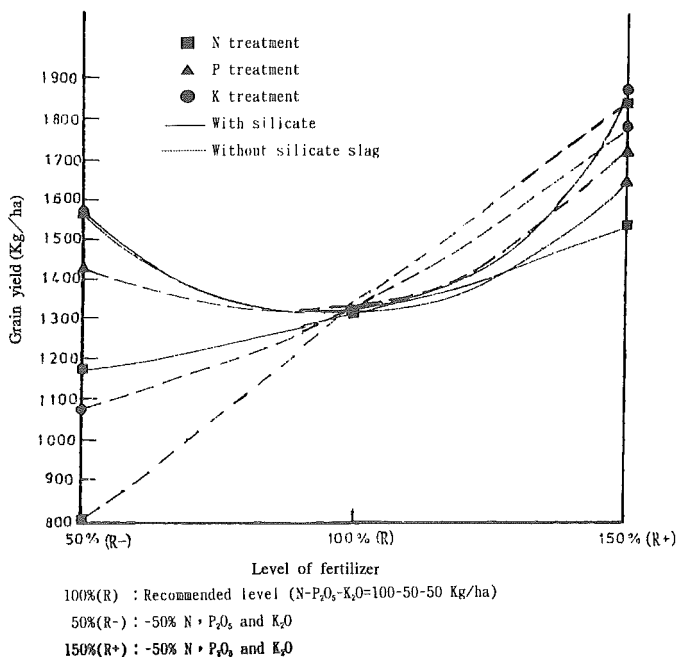
Treat.	Text.	pH	O.M. (%)	P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO			SiO ₂ (ppm)	
				(Kg/ha)				
fall crop 1991								
Before exp.	SiCL	5.3	3.0	71	241	3398	290	27
After exp.								
Non-Silica Slag								
N ₂ P ₂ K ₂	SiCL	5.4	4.3	104	299	3179	195	30
N ₁ P ₂ K ₂	SiCL	5.0	4.9	120	319	3820	294	32
N ₃ P ₂ K ₂	SiCL	5.4	3.9	106	304	2826	237	33
N ₂ P ₁ K ₂	SiCL	5.5	4.3	95	309	3081	259	36
N ₂ P ₃ K ₂	SiCL	5.4	4.4	151	357	3064	321	35
N ₂ P ₂ K ₁	SiCL	5.4	4.2	100	400	2860	244	37
N ₂ P ₂ K ₃	SiCL	5.6	4.2	126	550	3058	275	39
Silica Slag (3 tons/ha)								
N ₂ P ₂ K ₂	SiCL	5.8	3.6	114	381	4850	432	96
N ₁ P ₂ K ₂	SiCL	5.7	4.2	188	398	4508	518	99
N ₃ P ₂ K ₂	SiCL	5.6	4.3	86	342	4251	374	89
N ₂ P ₁ K ₂	SiCL	5.8	4.0	61	336	4701	572	104
N ₂ P ₃ K ₂	SiCL	5.9	4.0	207	332	4860	343	120
N ₂ P ₂ K ₁	SiCL	5.6	4.0	130	268	4283	264	138
N ₂ P ₂ K ₃	SiCL	5.7	4.1	127	435	4433	360	102
spring crop 1992								
Before exp.	SiCL	5.8	5.2	56	183	5551	358	52
After exp.								
Non-Silica Slag								
N ₂ P ₂ K ₂	SiCL	5.7	4.5	96	222	5413	357	60
N ₁ P ₂ K ₂	SiCL	5.9	4.1	81	194	5868	379	54
N ₃ P ₂ K ₂	SiCL	5.7	4.8	109	241	5190	336	55
N ₂ P ₁ K ₂	SiCL	5.8	4.8	65	306	5762	403	54
N ₂ P ₃ K ₂	SiCL	5.9	4.4	159	298	6077	422	57
N ₂ P ₂ K ₁	SiCL	5.7	4.4	111	166	5573	310	53
N ₂ P ₂ K ₃	SiCL	5.8	4.9	108	322	5755	315	51
Silica Slag (3 tons/ha)								
N ₂ P ₂ K ₂	SiCL	5.9	4.4	70	183	6011	460	109
N ₁ P ₂ K ₂	SiCL	6.0	4.6	75	207	6659	606	117
N ₃ P ₂ K ₂	SiCL	5.7	4.3	81	214	5975	412	125
N ₂ P ₁ K ₂	SiCL	6.1	4.0	54	195	6956	611	106
N ₂ P ₃ K ₂	SiCL	5.9	4.3	97	188	6168	404	116
N ₂ P ₂ K ₁	SiCL	6.3	4.5	93	143	7070	429	129
N ₂ P ₂ K ₃	SiCL	6.1	4.5	79	251	6732	432	105

The same as table 1.



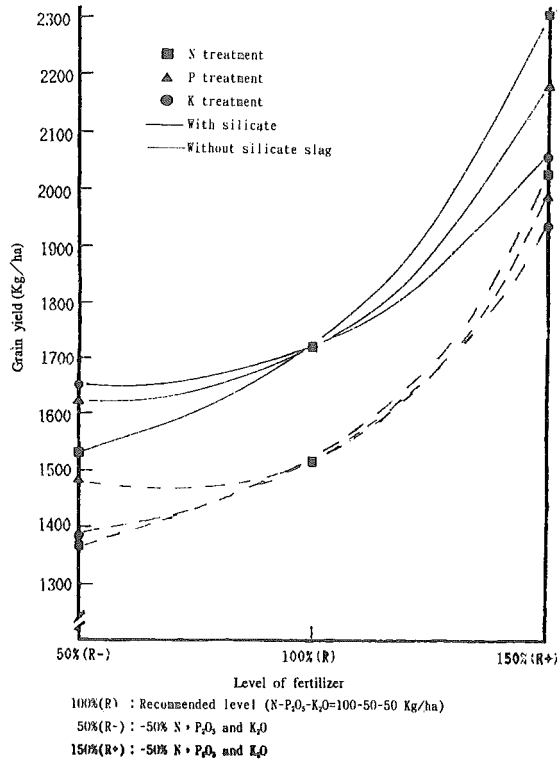
圖一、三要素及石灰資材對小米之肥效(1989年秋作)

Fig.1.Effect of fertilizer and liming on yield of fall millet in 1989.



圖二、三要素及石灰資材對小米之肥效(1990年春作)

Fig.2.Effect of fertilizer and liming on yield of spring millet in 1990.



圖三、三要素及石灰資材對小米之肥效(1992年春作)

Fig.3. Effect of fertilizer and liming on yield of spring millet in 1992.

三要素施用量對小米農藝性狀及產量之影響

三要素對小米產量之效果相當顯著（圖一～三），而由表四～六可看出，三要素之施用對小米穗長、每穗粒重及容積重影響並不明顯，但對株高則有較明顯的效果，分別增施三要素區之株高均高於對照區（ $N_2P_2K_2$ ），而三要素減施區之株高則均比對照區為低；三要素增施區平均產量均比對照區顯著增加，其中氮肥增施區（ $N_3P_2K_2$ ）約增產20～33%（1989年秋作增加20%，1990年春作為28%，1992年春作為33%）；磷肥增施區（ $N_2P_3K_2$ ）增產約11～29%，（1989年秋作增加11%，1990年春作為27%，1992年春作為29%）；鉀肥增施區（ $N_2P_2K_3$ ）約增產23～38%，（1990年春作增加38%，1992年春作為23%）。氮肥減施區（ $N_1P_2K_2$ ）於生育期即明顯看出缺乏症狀，比推薦量（對照區）減產，1989年秋作約為13%，1990年春作減產25%，1992年春作減少約10%；而磷肥減施區（ $N_2P_1K_2$ ）、鉀肥減施區（ $N_2P_2K_1$ ）之產量於未施用矽酸爐渣時與對照區產量差異之間較明顯，不過當施用矽酸爐渣改善土壤之酸性、增進土壤中養分之有效性後，磷、鉀肥減施區並未減產，故磷、鉀肥之施用量可酌予減少，但氮肥減施區產量偏低，仍略顯不足。

由上述結果可知，本試驗所定之推薦量（對照區），由試驗所得結果來看，於強酸性土壤而未施用石灰資材條件下，尚符合作物生長所需；當氮、鉀肥減施時，明顯地減產，尤其氮肥減施區可明顯的看出缺乏症狀；當施用石灰資材改善土壤之酸性後，氮肥減施區略顯不足，但磷、鉀肥減施區則有相當量之增產，可酌予減少磷、鉀肥之施用量。綜合言之，在三要素的推薦上，若純就增產觀點來看，三要素各分別增施50%試區較佳，但是氮肥增施區可能導致倒伏，因此氮肥仍以本試驗之推薦量 $N-P_2O_5-K_2O=100-75-75\text{Kg/ha}$ 為宜。

石灰資材（矽酸爐渣）及三要素對小米生產經濟效益評估

由1990年春作（殘效觀察）及1992年春作各處理產量及經濟效益之評估（表七、八）可看出，施用爐渣因改善土壤酸性，增進土壤中養分之有效性，可增加產量。若就其短期（施用當期作）毛收益觀之，似乎並不符合經濟效益之原則（施用爐渣後增產值減去材料及工資支出，其毛收益為-2520元/公頃），但就其全年兩作（第二作為殘效試驗，未施爐渣）之淨效益來看，施用爐渣仍有其潛力的，且此殘效能持續多久則有待進一步去探討；肥料效果則是相當顯著，尤以氮肥增施區公頃毛收益最高，為27,532元，其次為鉀肥增施區之25,652元，再次為磷肥增施區之24,584元。

表四、1989年秋作不同肥培管理間小米農藝性狀及產量

Table 4. Agronomic characters and yields of millet in different fertilizer managements in fall crop of 1989

Treat. ¹	Plant height (cm)	Ear length (cm)	Ear weight (g)	Volumetric weight (g/cc)	Yield (kg/ha)	Index
Non-Silica Slag						
N ₂ P ₂ K ₂	69.0	20.4	3.99	0.62	437 ^{b2}	100.0
N ₁ P ₂ K ₂	65.8	21.3	3.54	0.62	375 ^{ab}	85.8
N ₃ P ₂ K ₂	75.3	18.6	3.58	0.61	472 ^{bc}	108.0
N ₂ P ₁ K ₂	65.5	18.9	3.70	0.62	336 ^a	76.9
N ₂ P ₃ K ₂	76.0	20.5	4.19	0.61	478 ^{bc}	109.4
N ₂ P ₂ K ₁	67.3	19.1	3.50	0.62	330 ^a	75.5
N ₂ P ₂ K ₃	74.0	21.8	4.31	0.61	450 ^b	103.0
Mean	70.4	20.1	3.83	0.61	411	(100)
Silica Slag (3 tons/ha)						
N ₂ P ₂ K ₂	75.5	19.9	3.41	0.62	491 ^{ab}	112.4
N ₁ P ₂ K ₂	72.8	19.1	3.36	0.61	430 ^a	98.4
N ₃ P ₂ K ₂	82.8	19.1	3.86	0.62	637 ^c	145.8
N ₂ P ₁ K ₂	72.8	21.5	3.34	0.62	497 ^{ab}	113.7
N ₂ P ₃ K ₂	76.5	21.1	4.29	0.60	552 ^b	126.3
N ₂ P ₂ K ₁	73.5	19.4	4.00	0.61	587 ^{bc}	134.3
N ₂ P ₂ K ₃	79.5	20.5	3.92	0.62	562 ^b	128.6
Mean	76.2	20.1	3.74	0.61	537	(131)
Mean						
N ₂ P ₂ K ₂	72.3	20.2	3.70	0.62	464	100.0
N ₁ P ₂ K ₂	69.3	20.2	3.45	0.62	403	86.9
N ₃ P ₂ K ₂	79.1	18.9	3.72	0.62	555	119.6
N ₂ P ₁ K ₂	69.1	20.2	3.52	0.62	417	107.1
N ₂ P ₃ K ₂	76.3	20.8	4.24	0.61	515	111.0
N ₂ P ₂ K ₁	70.4	19.3	3.75	0.62	459	98.9
N ₂ P ₂ K ₃	76.8	21.2	4.12	0.62	506	109.1

¹The same as table 1.²Yield means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

表五、1990年春作不同肥培管理間小米農藝性狀及產量

Table 5. Agronomic characters and yields of millet in different fertilizer managements in spring crop of 1990

Treat. ¹	Plant height (cm)	Ear length (cm)	Ear weight (g)	Volumetric weight (g /cc)	Yield (kg/ha)	Index
Non-Silica Slag						
N ₂ P ₂ K ₂	146.8	20.8	4.64	0.70	1327 ^{ab2}	100.0
N ₁ P ₂ K ₂	126.1	15.2	3.29	0.74	807 ^a	60.8
N ₃ P ₂ K ₂	147.7	23.8	5.72	0.76	1837 ^c	138.4
N ₂ P ₁ K ₂	140.2	20.3	5.12	0.69	1427 ^{ab}	107.5
N ₂ P ₃ K ₂	149.5	22.2	5.19	0.75	1718 ^c	129.5
N ₂ P ₂ K ₁	142.6	20.4	4.74	0.74	1077 ^a	81.1
N ₂ P ₂ K ₃	145.5	21.7	5.76	0.75	1792 ^c	135.0
Mean	142.6	20.6	4.92	0.73	1427	(100)
Silica Slag (3 tons/ha)						
N ₁ P ₂ K ₂	121.6	15.6	3.79	0.75	1179 ^a	88.8
N ₃ P ₂ K ₂	154.5	24.2	5.05	0.76	1539 ^{ab}	115.9
N ₂ P ₁ K ₂	146.2	20.9	4.94	0.75	1580 ^{ab}	119.1
N ₂ P ₃ K ₂	150.5	22.6	5.05	0.71	1643 ^{bc}	123.8
N ₂ P ₂ K ₁	139.2	20.6	4.51	0.69	1575 ^{ab}	118.7
N ₂ P ₂ K ₃	148.4	21.0	5.44	0.73	1865 ^c	140.5
Mean	144.2	20.9	4.78	0.73	1528	(107)
Mean						
N ₂ P ₂ K ₂	147.9	21.0	4.65	0.73	1323	100.0
N ₁ P ₂ K ₂	123.9	15.4	3.54	0.75	993	75.1
N ₃ P ₂ K ₂	151.1	24.0	5.39	0.76	1688	127.6
N ₂ P ₁ K ₂	143.2	20.6	5.03	0.72	1504	113.7
N ₂ P ₃ K ₂	150.0	22.4	5.12	0.73	1681	127.1
N ₂ P ₂ K ₁	140.9	20.5	4.63	0.72	1326	100.2
N ₂ P ₂ K ₃	147.0	21.4	5.60	0.74	1828	138.2

¹The same as table 1.

²The same as table 4.

表六、1992年春作不同肥培管理間小米農藝性狀及產量

Table 6. Agronomic characters and yields of millet in different fertilizer managements in spring crop of 1992

Treat. ¹	Plant height (cm)	Ear length (cm)	Ear weight (g)	Volumetric weight (g /cc)	Yield (kg/ha)	Index
Non-Silica Slag						
N ₂ P ₂ K ₂	136.5	16.7	4.15	0.68	1518 ^{ab2}	100.0
N ₁ P ₂ K ₂	117.3	15.5	3.30	0.54	1371 ^a	90.3
N ₃ P ₂ K ₂	137.4	17.4	5.05	0.74	2017 ^c	132.9
N ₂ P ₁ K ₂	130.4	16.1	3.75	0.62	1482 ^a	97.6
N ₂ P ₃ K ₂	139.1	17.1	4.45	0.70	1984 ^c	130.7
N ₂ P ₂ K ₁	132.6	16.2	3.77	0.58	1377 ^a	90.7
N ₂ P ₂ K ₃	135.3	17.0	4.67	0.69	1928 ^c	127.0
Mean	132.7	16.6	4.16	0.65	1668	(100)
Silica Slag (3 tons/ha)						
N ₂ P ₂ K ₂	138.5	17.2	4.75	0.71	1720 ^{ab}	113.3
N ₁ P ₂ K ₂	113.1	16.3	4.08	0.58	1529 ^a	100.7
N ₃ P ₂ K ₂	143.7	17.9	5.77	0.74	2296 ^c	151.3
N ₂ P ₁ K ₂	136.0	16.7	4.32	0.65	1624 ^a	107.0
N ₂ P ₃ K ₂	141.2	17.3	4.93	0.72	2176 ^v	143.3
N ₂ P ₂ K ₁	134.5	16.9	4.38	0.63	1650 ^a	108.7
N ₂ P ₂ K ₃	140.0	17.3	5.08	0.72	2051 ^{bc}	135.1
Mean	135.3	17.1	4.76	0.69	1864	(112)
Mean						
N ₂ P ₂ K ₂	137.5	17.0	4.45	0.70	1619	100.0
N ₁ P ₂ K ₂	115.2	15.9	3.69	0.56	1450	89.6
N ₃ P ₂ K ₂	140.6	17.7	5.41	0.74	2157	133.2
N ₂ P ₁ K ₂	133.2	16.4	4.04	0.64	1553	95.9
N ₂ P ₃ K ₂	140.2	17.2	4.69	0.71	2080	128.5
N ₂ P ₂ K ₁	133.6	16.6	4.08	0.61	1514	93.5
N ₂ P ₂ K ₃	137.7	17.2	4.72	0.71	1990	122.9

¹The same as table 1.²The same as table 4.

表七、三要素及石灰資材（矽酸爐渣）對第一作小米生產經濟效益評估

Table 7. Economic evaluation of the first cropping millet (spring crop 1992) in different liming and rates of N, P, K

Treat. ¹	Yield (Kg/ha)	Income ² from yield	Cost (N.T./ha)			Gross ⁶ profits —— (N.T./ha) ——	Difference ⁷
			Silica ³ slag	Chemical ⁴ fertilizer	Apply ⁵ slag		
Non-Silica Slag							
N ₂ P ₂ K ₂	1518	45,540	—	4,461	—	41,079	ck
N ₁ P ₂ K ₂	1371	41,130	—	3,092	—	38,038	- 3041
N ₃ P ₂ K ₂	2017	60,510	—	5,830	—	54,680	+13601
N ₂ P ₁ K ₂	1482	44,460	—	3,898	—	40,562	- 517
N ₂ P ₃ K ₂	1984	59,520	—	5,024	—	54,496	+13417
N ₂ P ₂ K ₁	1377	41,310	—	4,162	—	37,148	- 3931
N ₂ P ₂ K ₃	1928	57,840	—	4,760	—	53,080	+12001
Mean	1668	50,040	—	4,461	—	45,579	(ck)
Silica Slag (3 tons/ha)							
N ₂ P ₂ K ₂	1720	51,600	5,400	4,461	3,000	38,739	- 2340
N ₁ P ₂ K ₂	1529	45,870	5,400	3,092	3,000	34,378	- 6701
N ₃ P ₂ K ₂	2296	68,880	5,400	5,830	3,000	54,650	+13571
N ₂ P ₁ K ₂	1624	48,720	5,400	3,898	3,000	36,422	- 4657
N ₂ P ₃ K ₂	2176	65,280	5,400	5,024	3,000	51,856	+10777
N ₂ P ₂ K ₁	1650	49,500	5,400	4,162	3,000	36,938	- 4141
N ₂ P ₂ K ₃	2051	61,530	5,400	4,760	3,000	48,370	+ 7291
Mean	1864	55,920	5,400	4,461	3,000	43,059	(- 2520)

¹The same as table 1.

²30 N.T./Kg for millet grains.

³1,800 N.T./ton for silica slag.

⁴Ammonium sulfate, calcium superphosphate and potassium chloride are 230, 162 and 288 N.T. per 40Kg respectively.

⁵3,000 N.T./ha for apply slag.

⁶Gross profit = Incomes - Cost.

⁷Comparisons with the recommend level treatment (N₂P₂K₂).

表八、三要素及石灰資材（矽酸爐渣）對第二作小米生產經濟效益評估

Table 8. Economic evaluation of the second cropped millet (spring crop 1990) in different liming and rates of N, P, K

Treat. ¹	Yield (Kg/ha)	Income ² from yield	Cost (N.T./ha)			Gross ⁶ profits	
			Silica ³ slag	Chemical ⁴ fertilizer	Apply ⁵ slag	Difference ⁷ ——(N.T./ha)——	
Non-Silica Slag							
N ₂ P ₂ K ₂	1327	39,810	—	4,461	—	35,349	ck
N ₁ P ₂ K ₂	807	24,210	—	3,092	—	21,118	-14231
N ₃ P ₂ K ₂	1837	55,110	—	5,830	—	49,280	+13931
N ₂ P ₁ K ₂	1427	42,810	—	3,898	—	38,912	+ 3563
N ₂ P ₃ K ₂	1718	51,540	—	5,024	—	46,516	+11167
N ₂ P ₂ K ₁	1077	32,310	—	4,162	—	28,148	- 7201
N ₂ P ₂ K ₃	1792	53,760	—	4,760	—	49,000	+13651
Mean	1427	42,810	—	4,461	—	38,349	(ck)
Silica Slag (3 tons/ha)							
N ₂ P ₂ K ₂	1319	39,570	—	4,461	—	35,109	- 240
N ₁ P ₂ K ₂	1179	35,370	—	3,092	—	32,278	- 3071
N ₃ P ₂ K ₂	1539	46,170	—	5,830	—	40,340	+ 4991
N ₂ P ₁ K ₂	1580	47,400	—	3,898	—	43,502	+ 8153
N ₂ P ₃ K ₂	1643	49,290	—	5,024	—	44,266	+ 8917
N ₂ P ₂ K ₁	1575	47,250	—	4,162	—	43,088	+ 7739
N ₂ P ₂ K ₃	1865	55,950	—	4,760	—	51,190	+15841
Mean	1528	45,840	—	4,461	—	41,379	(+ 6030)

^{1,2,3,4,5,6,7}The same as table 7.

誌 謝

本研究承行政院農業委員會試驗計畫 79農建— 7.1—糧—17，80農建— 7.1—糧—35，81農建—12.2—糧—29經費補助，謹此誌謝。

參 考 文 獻

1. 周泰鈞 張茂盛 1990 不同規格矽酸爐渣對作物肥效及土壤良效果觀察 p.55-59 土壤肥料試驗報告 臺灣省農林廳編印。
2. 連深 王鐘和 1982 稻田長期連用矽酸爐渣對水稻之肥效及其殘效 p.1-19 土壤肥料試驗報告 臺灣省農林廳編印。
3. 連深 王鐘和 1983 長期施用矽酸爐渣對水稻收量和土壤化學性質的影響 中華農業研究 32(2):185-199。
4. 郭能成 1990 滄海一粟~論小米 臺東區農業改良場研究彙報4: 1-44。
5. 張愛華 1981 本省現行土壤測定方法 p.9-26 作物需肥診斷技術 農試所特刊第13號。
6. 黃山內 黃祥慶 1981 矽酸爐渣長期連用對土壤與作物之累積影響及其殘效之研究 p.235-237 七十年度臺灣稻作改良年報。
7. 鄭上田 吳盛文 陳釗和 1988 酸性土壤稻田轉作高粱施用石灰質材之改良效果試驗 p.82-91 土壤肥料試驗報告 臺灣省農林廳編印。
8. Amarasiri, S. L., and S. R. Olsen. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37 : 716-721.
9. Anderson, D. L., G. H. Snyder, and F. G. Martin. 1991. Multiyear response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosol. Agron. J. 83: 870-874.
10. Anjos, J. T., and D. L. Rowell. 1987. The effect of lime on phosphorus adsorption and barley growth in three acid soils. Plant and soil. 103: 75-82.
11. Bar-Yosef, B., U. Kafafi, R. Rosenberg, and G. Sposito. 1988. Phosphorus adsorption by Kaolinite and montmorillonite: I. Effect of time, ionic strength, and pH. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1580-1585.
12. Carter, O. R., B. L. Collier, and F. L. Davis. 1951. Blast furnace slag as agricultural liming material. Agron. J. 43: 430-433.
13. Chen, J. H., and S. A. Barber. 1990. Effect of liming and adding phosphate on predicted phosphorus by maize on acid soils of three soil orders. Soil Sci. 150: 844-850.
14. Dalal, R. C. 1986. Yield response of corn to lime and urea application on an acidic tropical soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17: 789-798.
15. Friesen, D. K., A. S. R. Juo, and M. H. Miller. 1980. Liming and lime-phosphorus-zinc interactions in two Nigerian Ultisols: I. Interactions in the soil.

- Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 1221-1226.
16. Hill, A. F. 1952. *Economic Botany*. 2nd eds. New York McGraw-Hill.
 17. Hollowell, E.A. 1957. Grasses. In Soil U.S. Dept. Agric. Yearbook. p.642-650
 18. Kim. D. B. 1957. Otnoshenie chumizy k reaktsii suedy. (Relation of foxtail millet to the relation of its environment). (In Russian) Vestnik Moskov. Univ. Ser. Biol. Pochvoved Geol. Geog. 12(2): 111-117.
 19. Kunishi, H. M. 1982. Combined effects of lime, phosphate fertilizer, and Aluminum on plant yield from an acid soil of the southeastern United States. Soil Sci. 134:233-238.
 20. Mahler, R. L., and R. E. McDole. 1985. The influence of lime and phosphorus on crop production on Northern Idaho. Commun. Soil Sci. plant Anal. 16: 485-499.
 21. Malm, N. R., and K. O. Rachie. 1971. The Setaria millets. A review of the world literature. Experimenty station, college of Agriculture, University of Nebraska. USA.
 22. Murrmann, R. P., and M. Peech. 1969. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:205-210.
 23. Reeve, N. G., and M. E. Sumner. 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. Soil Sci. Soc. Am. J. 34: 263-267.
 24. Sanchez, P. A., and G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In Khaswneh et al. (eds.) *The Role of Phosphorus In Agriculture*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wis., p.471-514.
 25. Sumner, M. E. 1979. Response of alfalfa and sorghum to lime and P on highly weathered soils. Agron. J. 71:763-766.
 26. Takiliana, B. D. 1955. Cultivation of Kang crop in Banaskantha. The Farmer 7(10): 53-55.
 27. Taylor, A. W., and E. L. Gurney. 1965. The effect of lime on the phosphate potential and resin-extractable phosphate in five acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 482-484.
 28. Vinall, H. N. 1924. Foxtail millet: Its culture and utilization in the United States. U.S.D.A. Farmers Bul. 793.
 29. Yoshida, S. 1975. The physiology of silicon in rice. ASPAC/FFTC Technical Bulletin No. 25.

A Study of the Effects of Fertilization and Liming on Yield of Slope-land Foxtail Millet.

Tai-Chun Chou and Moa-Shen Chang¹

Abstract

This trial was conducted on slope land (strong acid, silt loam, Schist Alluvial soils) from fall of 1989 to spring of 1990. The objective of this experiment is to find out the reasonable fertilization and the effect of liming on the yield of foxtail millet.

The soil pH values were raised about 0.4-0.6 units, and Ca, Mg, Si in soil also increased and enhanced 31% (fall crop 1989) and 12% (spring 1992) more in yield after silicate slag was applied. It seems as if it was better to last for the second crop in 1990 spring but not obviously in yield (increase 7% only).

The yield was decreased by 13% (fall 1989), 25% (spring 1990), and 10% (spring 1992) in -50% N treatment, as compared with the recommended treatment (Control), and then the treatment of +50% N increased 20-33%. The treatment of +50% P and +50% K increased yields by 11-29% and 23-38%. The yield of -50% P and -50% K fertilizer treatments were not significantly different from control.

It is concluded that the silicate slag can raise soil pH value and improve nutrients availability in acid soils. The maintenance of high yield under 50% reduction in K fertilizer, might be attributed to the existence of Ca in applied silicate slag, which can promote K use of crops.

Key words: Foxtail millet, Liming, Fertilizing management.

¹Assistant and Associate Soil Scientist of Taitung DAIS.