

低酸化磷肥對水稻及玉米生長及產量之影響¹

施宗禮²

摘 要

施宗禮·1991·低酸化磷肥對水稻及玉米生長及產量之影響。台南區農業改良場研究彙報 27：7~16。

本試驗的主要目的在探討水田及早田施用低酸化磷肥以取代過磷酸鈣之可行性，藉以節省能源而獲得磷肥施用上之最大經濟效益。於1983年七月至1985年六月在台南縣後壁鄉及歸仁鄉等地進行水稻及玉米之肥效試驗。本試驗分無磷、過磷酸鈣（CSP）、75%及50%低酸化磷肥（75%LAP及50%LAP）等四處理。試驗結果顯示：水稻施用磷肥之稻穀產量一期作可增產1.4~3.5%，二期作增產1.3~2.1%，惟三種磷肥間之產量無明顯差異。由產量、磷含量、磷吸收量以及土壤有效磷含量等資料得知75%及50%低酸化磷肥，可以取代過磷酸鈣作為水稻之磷素供給源。至於玉米試驗結果，1983年秋裡作之子實產量，三種磷肥之施用，皆有顯著的增產效果，其增產值為5.0~6.6%，其中尤以50%低酸化磷肥效果較佳。1984年秋裡作之子實產量，施用磷肥處理亦均較無磷區（CK）高產，可增收4.5~5.3%，至於三種磷肥之增產差異則不明顯。綜所上述，不論作物對磷肥效應顯著與否，50%低酸化磷肥可適用於水稻及玉米作為磷素供給源。

關鍵詞：低酸化磷肥、水稻、玉米。

接受日期：1991年4月20日。

前 言

磷素是作物生長所需肥料之三大主要元素之一，其增產效果雖不如氮素明顯，但仍為作物增產途徑所不可欠缺。一般肥料中的磷素在多數土壤施用後不易移動或流失，尤其在酸性土壤中更易為鐵、鋁所吸附，在鹼性石灰質土壤裡更易與鈣結合，此二種情況所產生的不同複合物被釋放供作物吸收利用之溶解度很低，因此磷肥在肥料中之利用率為最低。

磷礦石經酸化後，水溶性磷含量隨之增加，因此低活性的磷礦石可以適度酸化提高水溶性磷的含量，以供作物利用。美國田納西流域管理局（TVA），Khasawneh氏認為低酸化磷肥最適合在長期施用磷肥之土壤使用，因其磷素含量已甚高，低酸化磷肥可以取代一般磷肥⁽¹¹⁾。McLean, Rwwheeler, Watson, Balam, 及 Logan⁽¹²⁻¹⁵⁾等人於1964至1970年研究低酸化磷肥之

1.台南區農業改良場研究報告第192號。

2.本場助理研究員，臺灣省台南市701林森路一段350號。

肥效，在美國俄亥俄州種植一種小米（German millet）紫苜蓿及玉米等作物，結果顯示10~20%酸化的磷肥比重過磷酸鈣效果為佳，咸認為低酸化磷肥中磷酸一鈣溶解時產生的磷酸，不直接與土壤中的鐵、鋁化合，而與未酸化之磷礦石產生作用，使其源源不斷地釋放出磷素，供作物吸收利用。

台肥公司肥料應用研究室江等^(1,2)於六十九年開始以較低濃度之硫酸試製低酸化磷肥，並進行盆栽與田間水稻試驗，結果以50%及35%二種濃度硫酸之酸化時效果最好，尤以酸性土壤更佳。七十年起又進行水稻及蔬菜肥效試驗，結果指出低酸化磷肥施用在有效磷高之土壤肥效較為顯著；對生長期較長之蔬菜（甘藍）一個期作的肥效與過磷酸鈣相當。

本省農民施肥的慣例，不論旱、水田若無適當之複合肥料均採用單質肥料，按照比例混合施用，而磷肥在別無選擇下都以過磷酸鈣為主要供給源。此種長期施用同樣及過量的磷肥，導致土壤中澱積多量溶解性低之磷素，作物利用極為困難，形同無效。本試驗之目的，在探討低酸化磷肥對水田及旱田之肥效，以瞭解作物對低酸化磷肥之吸收利用情形，作為低酸化磷肥在本省應用推廣之依據，以節省能源而獲得施用磷肥之最大經濟效益。

材料與方法

本試驗水稻部份在台南縣後壁鄉，及玉米部份台南縣歸仁鄉舉行，水稻共辦理1983二期作，1984一、二期作及1985一期作等四次，玉米則有1983及1984秋裡作二次。供試品種，水稻為台農67號，玉米為台南11號。試驗設計採用逢機完全區集，共四處理，四重複，小區面積：水稻 $4.8\text{m} \times 5.1\text{m} = 24.5\text{m}^2$ ，行株距為 $30\text{cm} \times 15\text{cm}$ ，玉米 $4.2\text{m} \times 6.0\text{m} = 25.2\text{m}^2$ ，行株距為 $70\text{cm} \times 25\text{cm}$ 。本試驗施用之磷肥有效磷酐含量、施用量、施用法及試驗地土壤肥力情形分別如表1、表2、表3、表4及表5所示。

表1. 磷肥有效磷酐含量

Table 1. Available P_2O_5 content of different phosphate fertilizers.

處 理 Treatment	總磷酐(%) Total P_2O_5	有效性磷酐(%) Available P_2O_5
過磷酸鈣	18.7	18.5
75% 低酸化磷肥	21.5	14.5
50% 低酸化磷肥	23.9	10.1

註：1.磷肥有效磷含量測定：檸檬酸銨溶液法。

2.低酸化磷肥由台肥公司提供。

表 2. 水稻肥料用量及分施比

Table 2. Rate and Schedule of fertilizer application for rice.

肥料 Fertilizer	1983及1984 二期作 2nd crop	1984及1985 一期作 1st crop	基肥 Basal	一追 1st top dressing	二追 2nd top dressing	穗肥 Heading dressing
	—— 用量 (kg/ha) ——		—— 分施比 (%) ——			
N	110	120	25	20	30	25
P ₂ O ₅	45	54	100	—	—	—
K ₂ O	60	60	40	—	60	—

註：基肥：整地前

一追：一期作插秧後15天，二期作插秧後10天

二追：一期作插秧後30天，二期作插秧後20天

穗肥：幼穗形成期

* 磷肥處理以過磷酸鈣 (CSP) 用量為基準，施用同重量的二種低酸化磷肥 (LAP)

表 3. 玉米肥料用量及分施比

Table 3. Rate and Schedule of fertilizer application for corn.

肥料 Fertilizer	1983及1984 秋裡作 Inter crop, fall	基肥 Basal	追肥 Top dressing
	用量(kg/ha)	—— 分施比(%) ——	
N	140	50	50
P ₂ O ₅	60	100	—
K ₂ O	50	50	50

註：基肥：整地前撒施。

追肥：吐絲始期前條施於行間。

表 4. 水稻田加低酸化磷肥前之土壤肥力

Table 4. Fertility status of rice field before the phosphate treatment.

期作 Crops season	質地 Texture	pH	有機質(%) Organic matter	有效磷(ppm) Available P ₂ O ₅	有效鉀(ppm) Available K ₂ O
1983年二期作	SiL	7.2	2.10	32	35
1984年一期作	SiL	7.1	2.47	35	37
1984年二期作	SiL	6.2	1.85	33	36
1985年一期作	SiL	6.2	1.85	35	37

註：SiL：玢質壤土

表 5. 玉米田加低酸化磷肥前之土壤肥力

Table 5. Fertility status of corn field before the phosphate treatment.

期 作 Crops season	質 地 Texture	pH	有機質(%) Organic matter	有效磷(ppm) Available P ₂ O ₅	有效鉀(ppm) Available K ₂ O
1983年秋裡作	SL	7.7	1.24	35	52
1984年秋裡作	SL	7.1	1.98	36	51

註：1.SL：砂質壤土。

2.土壤pH之測定—玻璃電極法(水：土=1：1)。

3.土壤有機質之測定—比色法(用重鉻酸鉀與濃硫酸氧化土壤中有機物)。

4.土壤中有效磷測定—Bray P method。

5.土壤中有效鉀測定—孟立克氏法(Mehlich's method)。

結果與討論

一、水稻

由表六結果顯示不同磷肥處理對1983年二期作，1984年一、二期作及1985年一期作之稻作農藝性狀，不管是插秧後40天或50天，抑是收穫期其差異均不顯著且各年期均有相同趨勢，但各年期施用磷肥之增產幅度如下：

- (1)過磷酸鈣：一期作部份 1984年增產3.5%，1985年增產2.8%。二期作部份 1983年增產1.7%，1984年增產1.5%。
- (2)75%低酸化磷肥：一期作部份 1984年增產3.4%，1985年增產3.5%。二期作部份 1983年增產2.1%，1984年增產2.1%。
- (3)50%低酸化磷肥：一期作部份 1984年增產3.2%，1985年增產1.4%。二期作部份 1983年增產1.3%，1984年1.8%。

以期作別探討磷肥之效果，則以各年度之第一期作增產之幅度較大，此似與生長期較長呈正相關，又從表七得知稻穀、稻葉磷之含量及稻穀、稻葉或稻穀加稻葉磷之吸收量均以各年度之第一期作高於二期作，此與磷肥在各期作之增產幅度有相同趨勢，據前推論生長期之長短足以影響磷肥之增產效果。施肥除了必需考慮要素之間平衡以外，尚須兼顧土壤本身對要素供應之容量(Capacity)、強度(Intensity)及釋放速率(Kinetic)等因素。從經濟觀點及節省能源前提下，從表六至表八統計分析結果，咸認為75%及50%之低酸化磷肥可取代過磷酸鈣作為水稻栽培之磷素來源。

表 6. 不同磷肥處理對水稻農藝性狀與稻穀產量之影響

Table 6. Effects of various phosphate fertilizers on the agronomic characteristics and grain yield of rice.

處 理 Treatment	生 育 期# Growth stage		收 穫 期 Harvesting stage				
	株 高 Plant height (cm)	分 蘗 數 Tillering No. (Stalk)	株 高 Plant height (cm)	穗 數 Head No. (Head)	藁 重 Straw (kg/ha)	產 量 Yield (kg/ha)	指 數 Index (%)
1983二期作							
過 磷 酸 鈣	83.6a	15.5a	108.5a	14.3a	4936a	5649a	101.7
75%低酸化磷肥	85.4a	14.8a	107.2a	14.3a	4896a	5672a	102.1
50%低酸化磷肥	84.1a	14.2a	107.4a	14.2a	4967a	5626a	101.3
無 磷	83.8a	14.7a	107.2a	14.3a	4924a	5556a	100.0
1984一期作							
過 磷 酸 鈣	50.5a	21.5a	103.0a	17.9a	5374a	5748a	103.5
75%低酸化磷肥	52.0a	21.6a	104.0a	17.6a	5336a	5741a	103.4
50%低酸化磷肥	52.2a	21.0a	103.3a	17.8a	5211a	5729a	103.2
無 磷	50.7a	21.2a	102.2a	17.7a	5181a	5552a	100.0
1984二期作							
過 磷 酸 鈣	80.1a	14.4a	113.3a	13.7a	5260a	5680a	101.5
75%低酸化磷肥	80.5a	15.7a	111.7a	13.6a	5200a	5714a	102.1
50%低酸化磷肥	81.0a	15.5a	112.0a	13.6a	5320a	5696a	101.8
無 磷	80.4a	14.8a	110.6a	13.3a	5150a	5598a	100.0
1985一期作							
過 磷 酸 鈣	41.7a	20.8a	108.6a	18.3a	5725a	5994a	102.8
75%低酸化磷肥	45.0a	22.7a	109.2a	18.9a	5770a	6031a	103.5
50%低酸化磷肥	41.7a	21.2a	108.1a	18.1a	5680a	5913a	101.4
無 磷	43.9a	22.0a	107.5a	18.0a	5600a	5831a	100.0

#. 調查日數：一期作插秧後50天，二期作插秧後40天。

二. 玉米

1983年秋裡作試驗結果顯示，施用磷肥對玉米子實產量有增產的效果，平均增產值約6%，三種磷肥效果相當，其中以50%低酸化磷肥效果稍佳，其產量經變方分析結果，50%及75%低酸化磷肥兩處理較無磷區之產量差異高達1%之極顯著水準，而過磷酸鈣處理亦較無磷者達5%之顯著差異。1984年秋裡作玉米之子實產量，施用磷肥者亦均較無磷者增產4.5~5.3%之間，而產量差異達到1%之極顯著水準，三種磷肥效果相若。可見對於磷肥效應顯著的玉米亦可以用低酸化磷肥取代過磷酸鈣，由1983及1984年兩期作之調查結果，株高及穗長等農藝性狀施用磷肥處理均較無磷區者略高及較長，惟各處理間之差異則不明顯（表九）。

表 7. 不同磷肥處理對水稻植體磷素成分與吸收量之影響

Table 7. Effects of various phosphate fertilizers on the content and uptake of phosphorous in the rice plant.

處 理 Treatment	磷含量(%) Phosphorous content		磷吸收量(kg/ha) Phosphorous absorption		
	穀 Grain	藁 Straw	穀 Grain	藁 Straw	穀 + 藁 Grain+Straw
1983二期作					
過 磷 酸 鈣	0.221a	0.066a	12.48a	3.25a	15.73a
75%低酸化磷肥	0.212a	0.062a	12.02a	3.04a	15.06a
50%低酸化磷肥	0.225a	0.062a	12.66a	3.08a	15.74a
無 磷	0.206a	0.058a	11.45a	2.88a	14.33a
1984一期作					
過 磷 酸 鈣	0.260a	0.079a	14.44a	4.07a	18.51a
75%低酸化磷肥	0.245a	0.082a	14.08a	4.38a	18.46a
50%低酸化磷肥	0.264a	0.102a	15.16a	5.44a	20.60a
無 磷	0.266a	0.092a	15.24a	4.77a	20.01a
1984二期作					
過 磷 酸 鈣	0.216a	0.058a	12.09a	2.98a	15.07a
75%低酸化磷肥	0.220a	0.066a	12.05a	3.45a	15.50a
50%低酸化磷肥	0.211a	0.062a	12.05a	3.23a	15.28a
無 磷	0.220a	0.062a	12.53a	3.30a	15.83a
1985一期作					
過 磷 酸 鈣	0.261a	0.079a	15.21a	4.40a	19.61a
75%低酸化磷肥	0.243a	0.082a	14.56a	4.67a	19.23a
50%低酸化磷肥	0.263a	0.098a	15.86a	5.65a	21.51a
無 磷	0.268a	0.092a	15.84a	5.20a	21.04a

表 8. 供試稻田收穫後土壤中有效磷素含量之變化

Table 8. Studies on the change of available phosphorus content in the paddy fields after the harvest.

處 理 Treatment	1983二期作 2nd crop	1984一期作 1st crop	1984二期作 2nd crop	1985一期作 1st crop
	ppm			
過 磷 酸 鈣	57.3	19.3	56.8	21.3
75%低酸化磷肥	50.3	20.1	51.6	21.1
50%低酸化磷肥	60.5	19.7	61.6	21.2
無 磷	42.1	19.1	43.1	20.2

Jones氏¹⁵指出玉米吐絲期雌穗著生節位葉片三要素適當濃度分別為N: 2.76~3.50%, P: 0.25~0.40%, K: 1.71~2.5%。Nebert等則界定在N: 2.60~4.00%, P: 0.25~0.50%, K: 1.70~3.00%, 由表十可見本試驗在玉米吐絲期所採葉片三要素分析值均界於上述標準之間, 施用磷肥對玉米成熟期子實三要素含量並無增加之效果。至於三要素吸收量卻因磷肥的施用提高玉米子實產量的事實使得吸收量均大於未施磷肥處理。1983年秋裡作玉米收穫後經測定各磷肥處理, 土壤有效磷含量分別為無磷: 33 (ppm), 過磷酸鈣: 37 (ppm), 75%低酸化磷肥: 38 (ppm), 50%低酸化磷肥: 41 (ppm) (表十一); 1984年秋裡作亦分別為無磷: 34 (ppm), 過磷酸鈣: 38 (ppm), 75%低酸化磷肥: 40 (ppm), 50%低酸化磷肥: 41 (ppm) (表十一), 可見施用磷肥可以維持較高的土壤肥力, 而二種低酸化磷肥優於過磷酸鈣處理, 其中又以50%低酸化磷肥更佳。因栽培作物時乃施用同重量磷肥, 三種磷肥之有效磷含量依次為過磷酸鈣18.5%, 75%低酸化磷肥14.5%; 50%低酸化磷肥10.1%, 總磷含量則分別為18.7%、21.5%與23.9%, 在經過一個期作的生長過程, 二種低酸化磷肥中原非速效的磷素, 漸漸轉變為有效態玉米吸收利用。由表五可看出不施用磷肥時, 每種植一公頃玉米, 其種子自土壤中吸收磷素量在1983年秋裡作為16.96公斤, 導致土壤有效磷測值下降2ppm, 相當於消耗了五公斤有效磷素, 其餘11.96公斤的磷素乃靠土壤固定性磷素的釋放。在1984年秋裡作為17.43公斤, 導致土壤有效磷測值下降3ppm, 相當於消耗了七公斤半的有效磷素, 其餘9.62公斤的磷素亦靠土壤固定性磷素的釋放。如果再加玉米桿之吸收量當不過這個數值。因此以保持土壤肥力效果而言, 長久不施磷肥將使土壤不斷支出磷素造成磷素之匱乏。

表 9. 不同磷肥處理對玉米農藝性狀及子實產量之影響

Table 9. Effects of various phosphate fertilizers on the agronomic characteristics and grain yield of corn.

處 理 Treatment	株 高(cm) Plant height			桿 重 Stem weight (kg/ha)	產 量 Yield (kg/ha)	指 數 Index (%)
	吐絲期 Silky stage	收 穫 期 Harvesting stage	穗 長 Ear length (cm)			
1983秋裡作						
過 磷 酸 鈣	—	222.1a	13.7a	—	5580a	106.3
75%低酸化磷肥	—	224.1a	13.8a	—	5514a	105.0
50%低酸化磷肥	—	219.5a	14.2a	—	5595a	106.6
無 磷	—	215.4a	13.6a	—	5249b	100.0
1984秋裡作						
過 磷 酸 鈣	210.0a	212.5a	15.6a	20,075a	5650a	105.3
75%低酸化磷肥	205.7a	211.6a	15.5a	20,713a	5603b	104.5
50%低酸化磷肥	206.0a	211.2a	15.6a	19,520a	5630a	105.0
無 磷	205.8a	209.8a	15.2a	19,046a	5365c	100.0

註：同一欄內字母相同者表示依據Duncan's Multipl Range test在5%顯著水準沒有差異。

表10. 不同磷肥處理對玉米三要素成分及其吸收量之影響

Table 10. Effects of various phosphate fertilizers on the content and uptake of NPK in corn plant.

處 理 Treatment	吐絲期葉片(%) Leaves of silky stage			子 實(%) Grain			子實吸收量(kg/ha) Quantity absorbed by grain		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1983秋裡作									
過 磷 酸 鈣	2.73	0.305	2.00	1.43	0.329	0.41	79.8	18.29	22.68
75%低酸化磷肥	2.92	0.320	1.88	1.42	0.328	0.41	78.0	18.05	22.33
50%低酸化磷肥	2.71	0.295	1.80	1.36	0.319	0.43	76.0	17.85	23.81
無 磷	2.94	0.301	1.82	1.39	0.323	0.42	73.1	16.96	21.88
1984秋裡作									
過 磷 酸 鈣	2.80	0.307	1.96	1.42	0.330	0.40	80.23	18.64	22.60
75%低酸化磷肥	2.82	0.322	1.92	1.43	0.326	0.42	80.12	18.26	23.53
50%低酸化磷肥	2.76	0.305	1.86	1.40	0.322	0.45	78.82	18.12	24.20
無 磷	2.84	0.303	1.83	1.40	0.325	0.43	75.11	17.43	23.06

表11. 供試玉米田收穫後土壤中有效磷素含量之變化

Table 11. Studies on the change of available phosphorus content in the corn fields after harvest.

處 理 Treatment	1983 秋裡作 Inter corp, fall (ppm)	1984 秋裡作 Inter corp, fall (ppm)
磷 酸 鈣	37	38
75%低酸化磷肥	38	40
50%低酸化磷肥	41	41
無 磷	33	34

引用文獻

1. 江景村、翟鴻祥·1981·磷礦石及不同酸化磷肥之效果試驗研究。經濟部七十年研究發展專題報告。
2. 江景村、翟鴻祥、謝佑立·1982·低度酸化磷肥對水稻及蔬菜肥效試驗。經濟部七十一年度研究發展專題報告。
3. 林家菜·1967·臺灣省農田土壤肥力測定。臺灣省農試所報告第28號。
4. 張新吉·1977·玉米品種及栽培。台南區農業改良場編印。農業推廣教材 No. 10。
5. 張愛華·1981·本省現行土壤測定方法，作物需肥診斷技術。臺灣省農業試驗所編印。
6. 陳春泉·1971·苗栗以北地區水田土壤肥力測定結果之研究。農業研究 20(1)：21。
7. 無名氏·單張204B——土肥02水稻施肥技術。農林廳肥料技術小組編印。
8. 楊光盛·1982·廢棄物肥料化研究，各種磷礦石、不同酸化磷肥之應用及氮肥經濟合理施肥量之診斷推薦模式。台肥公司出國研習報告。
9. 鄭榮賢·1968·稻田土壤磷鉀速測應用示範，民國57年一期作及二期作。高雄區農業改良場油印報告。
10. Jone, Jr. J. B. and H. V. Eck, 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum In Walsh, L. M., and J. D. Beaton (Edi) Soil Testing and plant Analysis. Soil Sci. Soc. America.
11. Khasaweh, F. E. and E. C. Doll. 1987. The use of phosphate rock for direct application to soil. Adv. Agron. 30 : 159–206. Larsen, S. Soil phosphorus. Adv. Agron. 19 : 151–210.
12. Mclean, E. O. and R. W. Wheeler. 1964. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants : I . Growth chamber studies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28 : 545–550.
13. Mclean, E. O., R. W. Wheeler, and J. D. Watson. 1965. Partially acidulated phosphate as a source of phosphorus to plants : II. Growth chamber and field corn studies. Soil Sci. Am. Proc. 29 : 625–628.
14. Mclean, E. O. and B. S. Balam. 1967. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plants : III . Uptake by corn from soil of different calcium status. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31 : 811–814.
15. Mclean, E. O. and T. J. Logan. 1970. Sources of phosphorus for plants grown in soils of different phosphorus fixation tendencies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34 : 907–911.

Studies on the Effects of Low Acidified Phosphates on the Growth and Yield of Rice and Corn¹

Shih, T. L.²

Summary

This study was attempted to explore the possibility of using low acidified phosphorus (LAP) to replace calcium superphosphate (CSP) in upland and paddy field. Fertilizer experiments were conducted in July 1983 to June 1985 at Ho-pi and Kuei-zen of Tainan Prefecture to valuate the effect of LAP on the growth and yield of rice and corn crops. Four treatments, i.e. no phosphate fertilizer (NPF); calcium (CSP); 75% LAP and 50% LAP, were used in a latin square plots with four replications. In rice, phosphate fertilizers increased 1.4~3.5% of yield in the spring crop and 1.3~2.1% in the fall crop and no difference in yield was observed among the three phosphate fertilizers treated. Results of the yield, phosphate content, absorption of P_2O_5 , and available phosphate indicated that 75% and 50% LAP can be used to replace CSP in rice cultivation. In the fall crop of 1983, the three phosphate fertilizer also increased 5.0~6.6% of corn grain yield, and the best yield was observed in the plots with 50% LAP. In the fall crop of 1984, phosphate fertilizers also increased 4.5~5.3% of corn grain yield, and no difference was observed as yields between phosphate fertilizers and non-treated control. In general, 50% LAP can be used to replace CSP as phosphate source in rice and corn production.

Accepted for publication: April 20, 1991

1. Contribution No.192 from Tainan District Agricultural Improvement Station.

2. Assistant Soil Scientist, Tainan DAIS, 350, Section 1, Linsen Road, Tainan 701, Taiwan, R.O.C.