紅壤茶園轉作水田磷礦粉初效及殘效試驗

陳春泉① 林家棻② 曾肇清③

一、引　　言

石門水庫灌溉區紅壤茶園轉作水田，經田間試驗證明缺磷爲該區水稻生產之限制因素，經施用過磷酸鈣後，水稻產量可達普通水準。故磷肥效果引起農民興趣，使桃園及新竹數萬公頃之紅壤水田，磷肥施用已有顯著增加。近年土壤測定，發現一般水田土壤有效磷含量，亦已顯著提高，故該區磷肥之施用，爲量可觀。

過磷酸鈣中磷之溶解性大，紅壤水田土壤酸度高，且質地粘重，此等磷肥施於土壤，易被鐵鋁固定，效果緩慢，同時如大量施用過磷酸鈣可能增强土壤酸度。反之，强酸至極强酸和細質地紅壤水田，其酸度可能足以促進磷礦粉中磷之溶解，同時一部分土壤酸度被其中和，。推想磷礦粉必有相當效果。磷礦粉價格較過磷酸鈣爲低，如果肥效可靠，將可代替過磷酸鈣而降低成本。

二、試驗材料及方法

1.材料

(1)土壤：桃園縣洪積層臺地紅壤，土壤剖面質地爲坋質粘壤土至坋質粘土，呈棕紅色，無斑紋，排水優良，爲茶園轉作水田第一次栽培水稻，試驗地共有三處：（a）平鎮鄉宋屋，坡度小，表土黃棕色，深度20公分左右，冲蝕輕微，爲頗佳茶園。（b）中壢市崎頂，表土黃紅，冲蝕極嚴重，已不存原有表土，爲荒廢茶園，雜草滋生，土壤十分貧瘠。（c）中壢過嶺，表土紅色，冲蝕頗爲嚴重，土壤頗瘠，過去爲緩坡茶園，現散見相思樹及茶樹，墾爲水田時，高處剝方約一公尺以上。三地水田，表土肥力成分如次：

地點	有機物（%）	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)	pH
宋屋	0.98	39	25	5.2
過嶺	0.46	44	83	5.1
崎頂	0.40	45	57	5.2

(2)水稻品種：蓬萊種新竹56號。

(3)肥料：磷肥分過磷酸鈣及磷礦粉二種，後者通過 140 孔篩/吋^2，氮肥用硫酸銨，鉀肥用氯化鉀，另有紫雲英及堆肥。

2.方法：

(1)處理：55年度肥料處理如表一。

註：本試驗承中國農村復興聯合委員會補助經費，誌此深表謝忱。

①農林廳農產科技正②農業試驗所技正③農業試驗所臨時技術員。

表1. 肥料處理（55年1期及55年2期）

Fertilizer treatments in the 1st and 2nd crops of 1966

處理號碼 Treat. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
過磷酸鈣態 (SP) P_2O_5 (kg/ha)	40	80	160	320	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
磷礦粉態 (RP) P_2O_5 (kg/ha)	—	—	—	—	40	80	160	320	40	80	160	320	—	—
有機肥料 Org. Man, MT/ha	—	—	—	—	—	—	—	—	5*	5*	5*	5*	—	5*

* 55年一期爲紫雲英，二期爲堆肥〔Chinese milk vetch in the 1st crop; compost in the 2nd crop.〕

註：各處理均施用80公斤公頃之 N 及 K_2O

(2)田間排列：小區面積 2.5M×4M=10M²，植水稻170欉，完全逢機區集，重複4次。

(3)殘效試驗：宋屋試驗區兩期後停止；崎頂試驗區至第二年（56年）僅施氮鉀肥以觀察殘效；過嶺至第二年（56年）1—12處理仍依照表一繼續施肥，但其中9、10、11、12處理中之有機肥料以相當於40公斤 P_2O_5 之過磷酸鈣代替之，處理14取銷，至57年僅施氮鉀肥，作磷肥殘效試驗。

(4)土壤分析：

a. pH：玻璃電極，土壤與水比率1：1

b. 土壤有效磷鉀含量磷用 Bray's P_1 法，鉀用 Mehlich's method (1)

c. 土壤有機物 Modified Walkley and Black 法 (2)

d. 土壤不同型態磷 Chang and Jackson 法(3)以及 Peterson and Corey 氏修改法(4)

三、結　　果

1.谷實產量

(1)過嶺及崎頂磷肥效果及其殘效。

過嶺於民國55年至57年，第一、二二年四期施用磷肥，第三年不施磷肥，僅施氮鉀肥，結果如表2。

崎頂55年施用磷肥二期，56年僅施氮鉀肥不施磷肥，結果如表3。

表2. 過嶺谷實產量（公斤/公頃）

Grain yield in Kuo-ling field (kg/ha)

肥料	年期作	P_2O_5 用量 (kg/ha) 0	40	80	160	320	附註
PS	55年1	900	1,475	2,780	2,730	2,250	各期作LSD如下：
	2	638	1,400	1,575	2,238	2,200	5% 1%
	56年1	1,856	2,681	3,225	2,981	2,813	55年1期 590 785
							2 552 735

	2	1,050	1,670	2,290	2,310	2,210	56年 1 期296 392 2 169 225
	57年 1	2,230	2,850	3,230	3,230	3,130	
	(殘效) 2	1,940	2,490	2,610	2,890	3,040	57年 1 期547 731 2 403 539
RP	55年 1	900	1,650	1,930	2,230	2,500	
	2	638	1,013	1,250	1,913	2,100	
	56年 1	1,856	2,438	2,756	3,019	2,888	
	2	1,050	1,630	1,760	2,030	2,160	
	57年 1	2,230	2,930	3,130	3,150	3,300	
	(殘效) 2	1,940	2,410	2,710	3,000	3,330	
RP+OM (SP)	55年 1	1,000	1,430	1,680	2,450	2,510	
	2	2,150	2,088	2,130	2,363	2,463	
	56年 1	—	2,513	2,850	2,888	3,281	
	2	—	2,100	1,980	2,130	2,360	
	57年 1	—	3,210	3,130	3,340	3,580	
	(殘效) 2	—	2,530	2,660	2,700	3,230	

SP：過磷酸鈣，RP：磷礦粉。OM (SP) ：55 年一期加紫雲英，二期加堆肥，56年兩期均改爲加相當於 40kg/haP_2O_5 之過磷酸鈣。

表3. 崎頂谷實產量

Grain yield in Chi—ting field (kg/ha)

肥料	年	期作	P_2O_5 用量 (kg/ha)					
			0	40	80	100	320	有磷平均
SP	55 年	1	488	860	1,165	1,600	2,165	1,447
		2	150	713	1,163	900	1,450	1,056
	56 年 殘效	1	0	138	172	1,225	1,325	715
		2	450	900	1,275	1,538	2,038	1,437
RP	55 年	1	488	788	715	1,855	1,860	1,304
		2	150	175	300	938	1,325	709
	56 年 殘效	1	0	63	200	638	1,525	606
		2	450	813	1,080	1,500	1,975	1,342

RP+OM	55 年	1	400	620	930	1,145	1,740	1,083
		2	850	813	1,050	1,450	1,852	1,284
	56 年 殘效	1	—	225	263	1,175	1,500	790
		2	—	913	1,150	1,750	2,075	1,472

註：各期作 LSD 如下：

	5%	1%
55. 1.	588	782
2.	563	749
56. 1.	97	129
2.	167	223

表4. 過嶺及崎頂谷實產量簡化表

Summarized table of grain yield for Kuo—liny and Chi—ting fields

地點	效果別	年期	最高產量磷肥處理 (kg/ha) 處理			產量			爲不施磷區產量差異達1%顯著度之 P_2O_5 最低用量			備註
			SP	RP	RP+OM (SP)	SP	RP	RP+OM (SP)	SP	RP	RP+OM (SP)	
過嶺	當期肥效	55. 1	80	320	160—320	2780	2500	2450-2510	40+	40	80	
		55. 2	160	320	330	2238	2100	2463	40	80+	40	
		56. 1	80	160	360	2125	3019	3281	40	40	40	
		56. 2	80—160	320	360	2290-2310	2160	2360	40	40	40	
	殘效	57. 1	80—160	320	320—360	3230	3300	3580	40+	40	40	
		57. 2	320	320	320—360	3040	3300	3230	40	80—	40	
崎頂	當期肥效	55. 1	320	160-320	320	2164	1855-1860	1640	80+	160—	≥60	
		55. 2	320	320		1450	1325	1825	80	160	80	
	殘效	56. 1	320	320	320	1325	1525	1500	40	80	40	
		56. 2	320	320	320	2038	1975	2075	40	40	40	

表2及表3產量簡化於表4，俾便比較，茲將過嶺及崎頂結果說明於下：

A. 磷肥當期作效果。

a. 過嶺磷肥效果由表2所示：

（a）磷肥效果極大，P_2O_5 80kg/ha 以下者，過磷酸鈣較磷礦粉爲佳，320kg/ha者二者效果近似，施用綠肥5噸（55年一期）本身無效，對磷礦粉效果亦無提高之作用，施用堆肥5噸（55年二期）本身效果極大，但與磷礦粉之聯合效果，並不理想，磷礦粉加少量過磷酸鈣效果較單施磷礦粉略有提高，且產量可達最高（56年一、二期）。過磷酸鈣 320kg/ha P_2O_5 者較80及160kg/ha P_2O_5 者爲差。即示過磷酸鈣多量時有害。

（b）不施磷肥區產量隨轉爲水田後時間逐年提高甚多，故雖施用磷肥處理第二年產量亦較第一年爲佳，但以不施磷區爲對照，則磷效降低。

（c）由表4所示施用一般過磷酸鈣達 80—160kg/ha P_2O_5 時產量最高，施用磷礦粉及磷礦粉先後加有機物及過磷酸鈣時 160—320kg/ha P_2O_5 者一般以320 kg/ha P_2O_5 產量最高。各期作產量最高區間比較，磷礦粉最低，其餘二者近似，但差異不顯著。依肥效趨勢，若將磷礦粉用量提高至 320kg/ha P_2O_5 以上，仍有再增產而達到其餘兩者所得最高產量之可能。

（d）對强酸性紅壤言，欲求當期作效果最佳，可以施用合於 320kg/ha P_2O_5 之磷礦粉加相當於 40kg/ha P_2O_5 之過磷酸鈣，或施用 320kg/ha P_2O_5 以上之磷礦粉。

b. 崎頂磷肥效果，由表3所示：

（a）本區過磷酸鈣及磷礦粉效果均頗大。兩者均以施用 P_2O_5 320kg/ha 者產量最高，（實際需要量必更高），過磷酸鈣之效果有高於磷礦粉之趨勢，但差異未達顯著水準。

（b）綠肥（55年一期）本身無增產之效，而對磷礦粉之效果亦無促進效果，堆肥（55年二期）效果頗大，在磷肥多時仍有明顯效果。

c. 施用磷肥與不施肥間產量比較，差異達1％顯著標準之最低用量，過嶺以 P_2O_5 40kg/ha 區爲主，崎頂則 80—160kg/ha 始能達到。二處產量皆隨磷礦粉用量而增，過磷酸鈣在過嶺不能太多，而在崎頂則愈多愈好，未發生過多之害。

d. 表2過嶺不施磷肥處理，第一年產量極低，其後逐年增產，表3崎頂二期作產量第二年亦較第一年有增，暗示紅土僅水田利用後土壤中有效磷量逐年增加。

B. 磷肥殘效。

a. 過嶺前二年四期作施用磷肥，第三年殘效極大，可較不施磷區增產每期 1,000—1,400kg/ha 稻谷。過磷酸鈣區殘效起先以 80kg/ha P_2O_5 區達最高，第二期則以 320kg/ha 區殘效最大，磷礦石粉區殘效兩期均隨磷肥用量一直上昇，尤其值得注意者爲磷礦粉區最高產量有超過過磷酸鈣區最高產量。施用磷肥區之殘效產量與不施磷肥區產量比較，施用 P_2O_5 40kg/ha 區，差異已達1％顯著度，三種肥料處理殘效差異不大，唯磷礦粉加過磷酸鈣區殘效產量最高。表2又示，磷肥用量在 80kg/ha 以下時，三種磷肥處理，殘效近似，但施用 320kg/ha 時，則過磷酸鈣殘效略遜。

b. 崎頂表4示施用磷肥一年，第二年殘效亦極大，以施用 P_2O_5 320kg/ha 者產量最高，三種肥料處理差異不大，殘效增產量，隨磷肥用量而增，每期最高可達 300—1,600kg/ha 稻谷，此增產量與55年一、二期施磷當期之效果相似。

(2)三地磷肥效果比較：

55年在宋屋、過嶺及崎頂三地試驗結果如表5：

表5. 55年三處谷產量

Grain yields of three locations in 1966

磷肥別	地點	期作	P_2O_5 施用量 (kg/ha)						備註
			0	40	80	160	320	有磷平均	
SP	宋屋	1	1375	2688	3400	3288	3225	3150	各地各期LSD如下：
		2	2225	3300	3950	3700	3625	3643	
	崎頂	1	488	860	1165	1600	2165	1447	宋屋 5% 1% 1期 545 738 2期 491 653
		2	150	713	1163	900	1450	1056	崎頂
	過嶺	1	900	1475	2780	2730	2250	2306	1期 588 782 2期 563 749
		2	638	1400	1575	2238	2200	1853	過嶺 1期 590 785 2期 552 735
RP	宋屋	1	1375	2275	2813	2988	3038		
		2	2225	2850	2875	3150		3213	
	崎頂	1	488	788	715	1855		1304	
		2	150	275	800	938		709	
	過嶺	1	900	1650	1930	2230		2075	
		2	638	1013	1250	1913		1569	
RP+OM	宋屋	1	1375	2175	2625	3225	3525	2887	
		2	3013	3300	3675	3625	3800	3600	
	崎頂	1	400	620	930	1145	1640	1083	
		2	850	813	1050	1450	1825	1284	
	過嶺	1	1000	1430	1680	2450	2510	2037	
		2	2150	2088	2130	2363	2463	2231	

土地生產力宋屋相當高，接近一般水準，過嶺較差，崎頂則甚差。

茶園轉作第一年水田之磷肥效果，用表5簡化如表6。

表6 三地谷實產量比較表

Summarized table of grain yields at three locations

地點	期作	產量最高處理 P_2O_5 用量（谷產量）(kg/ha)			與不施磷區差異達1%顯著度所需最低 P_2O_5 用量 (kg/ha)			備註
		過磷酸鈣 (SP)	磷礦石粉 (RP)	磷礦粉加有機物 (RP+OM)	過磷酸鈣 (SP)	磷礦粉 (RP)	磷礦粉加有機物 (RP+OM)	
宋屋	1	80 (3400)	160－320 (2988－3038)	320 (3525)	40	40	40	
	2	80 (3950)	320 (3975)	320 (3800)				

過	1	80 (2780)	320 (2500)	160－320 (2450－2510)	80	80	80
嶺	2	160 (2238)	320 (2100)	320 (2463)	40	>80	40
崎	1	320 (2165)	160－320 (1855－1860)	320 (1640)	160	160	320
頂	2	320 (145)	320 (1325)	320 (1825)	80	160	80

〔註〕各欄二行數字上爲P_2O_5用量，下括號內爲其產量。

a. 表5及6示宋屋兩期及過嶺第一期作過磷酸鈣 P_2O_5 80 kg/ha 時產量最高，過嶺二期 160kg/ha 最高，過磷酸鈣增加產量遞減。宋屋第二期作需同型態P_2O_5 160kg/ha 始達到最高產量，但磷礦粉及磷礦粉加有機肥料三處兩期作大部份均以 320kg/ha P_2O_5大區最高。

b. 崎頂不分磷肥型態，大都以 320kg/haP_2O_5 產量始達最高，表示缺磷最甚。

c. 若以最高產量處理比較不同磷肥型態則宋屋以過磷酸鈣 80kg/haP_2O_5 產量較高，二期作兩者無差，過嶺一、二期均以過磷酸鈣爲優（80—160kg/haP_2O_5）。崎頂兩期作亦均以過磷酸鈣爲優（320kg/haP_2O_5）。上述差異在統計學上均未達顯著平準。

d. 表6施磷區與不施磷區產量比較，宋屋各種磷肥均以 $P_2O_5$40kg/ha 區之產量已可高出不施磷區達1％顯著度，過嶺則需 80kg/ha,，崎頂則需 160—320kg/ha 始可得顯著增產。

e. 綠肥（一期作）在崎頂及過嶺均無效果，無論有磷礦粉之同施與否，均爲如此，在宋屋則磷礦粉多時綠肥有增產效果，但不顯著。

f. 堆肥效果均頗大，在無磷肥之情況下以過嶺區最大，崎嶺、宋屋較小（兩者差不多）磷礦粉用量增加時堆肥效果均減少，過嶺區減至不顯著之程度，崎頂仍有效，宋屋區效果消失。

g. 施用磷肥最高產量減去無磷區產量如表7。

表7. 最優磷肥處理增產量（公斤/公頃）

Net effects of best treatment of phosphates on grain yields (kg/ha)

地點	期作	過磷酸鈣（無有機肥）		磷礦粉（無有機肥）		磷礦粉（有有機肥）	
		增產量	P_2O_5	增產量	P_2O_5	增產量	P_2O_5
宋	1	2025	80	1663	320	2150	320
屋	2	1725	80	1750	320	787	320
過	1	1880	80	1600	320	1510	320
嶺	2	1600	160	1462	320	313	320
崎	1	1677	320	1372	320	1240	320
頂	2	1300	320	1175	320	975	320

由表7所示用磷肥之谷實產量淨增產量以土壤肥沃者較高，而土壤瘠薄者較低。磷礦粉增產量較過磷酸鈣一般稍低一點，已在前面（c）項說明。又綠肥（一期作）對磷礦粉之效果沒有明顯影響。堆肥（二期）則明顯降低磷礦粉效果，可能因第二期作情形特殊之故。

2.藁產量

各種磷肥處理對稻草之效果與谷實近似。各種磷肥對稻草產量之當期作效果及其殘效，各地平均，列於表8及表9，除少數例外，產量仍以磷肥用量多者，產量較高，並示過磷酸鈣及磷礦粉加有機肥較磷礦粉效果爲大，殘效亦然，且殘效較施肥當年效果略大。各試驗地及期作稻草產量列於表10。稻草產量仍以宋屋爲佳，次爲過嶺，崎頂最差，殘效崎頂較施肥當期爲佳。過嶺則一期作較前二年當期產量爲佳，至於二期則反是，值得探討。

表8. 不同磷肥處理當期作稻草產量平均值比較表（55年宋屋、崎頂及55—56年過嶺平均 kg/ha）

Comparison of straw yields in the year of phosphate application

肥料 \ P_2O_5 (kg/ha) 期作		0	40	80	160	320	平均
SP	1	1614	2128	2109V	2825V	2866V	2632
	2	1516	2100	2556V	2629V	2519V	2451
	平均	1565	2114	2632V	2727V	2692V	2541
RP	1	1614	2219	2326	2625V	2761V	2483
	2	1516	1979	1922	2419V	2669V	2235
	平均	1565	2098	2124	2522V	2715V	2365
RP + OM	1	—	2170	2316	2636V	2841V	2491
	2	—	2439	2551	2728V	2915V	2658
	平均	—	2304	2433	2681V	2878	2574

（V）爲磷肥用量間產量最高者。

表9. 不同磷肥殘效試驗稻草產量平均值比較表（56年崎頂及57年過嶺平均 kg/ha）

Residual effects of phosphates on straw yield

肥料 \ P_2O_5 (kg/ha) 期作		0	40	80	160	320	平均
SP	1	1891	2487	2500	3037V	3025V	2762
	2	1912	2087	2307	2960V	3475V	2707
	平均	1901	2287	2403	2998V	3250V	2734

RP	1	1891	2875V	2556	2812>	2675>	2679
	2	1912	1941	2435	2681	3500	2639
	平均	1901	2158	2495	2747	3237>	2659
RP+OM	1	—	2337	2772	3012V	2975V	2774
	2	—	2000	2256	2679	3647	2645
	平均	—	2168	2514	2845	3311	2710

表 10. 各試驗地各期作各磷肥處理對稻草產量與谷產量平均比較表（四級 P_2O_5 處理之平均值）

Effects of phosphates on straw and grain yields at different locations

磷肥	55年						56年				57年	
	宋屋		崎頂		過嶺		過嶺		崎頂		過嶺	
	1期	2期	1期	2期	1期	2期	1期	2期	1期	2期	1期	2期
SP	2859	3472	1906	1322	2809	2406	2953	2605	2337	3122	3187	2292
	3150	3643	1447	1056	2306	1853	2925	2120	715	1437	3109	2756
RP	2606	3384	1822	881	2793	2115	2709	2607	2125	2810	3234	2469
	2778	3212	1304	709	2075	1569	2775	1895	606	1342	3126	2803
RP+OM	2522	3484	1847	1300	2678	2850	2915	2992	2356	3072	3192	2219
	2887	3600	1083	1284	2037	2231	2883	2142	790	1472	3315	2776

*上行草、下行谷實（單位：kg/ha）

稻草與谷實比率，凡谷實產量較低者，其比率有較大之趨勢，茲以磷礦粉處理爲例，列於表11，該表除少許例外，凡谷實產量低者，草谷比率皆大，而以崎頂殘效試驗者最爲明顯。故磷肥與水稻結實，影響頗大。

表 11. 55年磷礦粉處理區草谷比率

The effects of rock phosphate on the straw and grain ratio

期作 \ 地點 \ P_2O_5 (kg/ha)		0	40	80	160	320
宋屋	1	1.14 (1375)	1.07 (2275)	0.92 (2813)	0.95 (2988)	1.28 (3975)
	2	1.24 (2225)	1.17 (2850)	1.12 (2813)	0.99 (3150)	0.74 (1860)
過嶺	1	1.71 (900)	1.50 (1650)	1.30 (1925)	0.90 (2225)	1.28 (2500)
	2	2.21 (638)	1.73 (1013)	1.29 (1250)	1.40 (1913)	1.15 (2100)

崎頂		1	2.54 (488)	1.81 (788)	1.75 (715)	1.25 (1855)	1.24 (1860)
		2	3.42 (150)	2.00 (275)	1.21 (300)	1.11 (938)	1.08 (1325)
殘效	56年崎頂	1	—	24.21 (63)	9.62 (300)	3.64 (638)	1.79 (1525)
		2	—	2.30 (813)	2.29 (1080)	1.83 (1500)	2.1 (1975)
	57年過嶺	1	—	1.10 (2925)	1.02 (3132)	1.05 (2150)	0.9 (3300)
		2	—	0.94 (2137)	0.87 (2750)	0.87 (3000)	0.86 (3325)

( ) 內爲谷實產量 kg/ha

3.谷實磷含量

各處理谷實之磷含量列於表12，谷實磷含量隨磷肥用量而增加，所以二期谷實磷含量一般較一期爲高，施用綠肥者與對照區近似，施用堆肥者與施用過磷酸鈣 40kg/ha者近似，磷礦粉處理之谷實磷含量較其他磷肥者有較低之趨勢。過嶺56年谷實磷含量較55年者爲高，崎頂56年磷肥殘效試驗谷實磷含量較55年者爲低。但宋屋產量最高，其谷實中磷含量並不最高，而崎頂產量最低，其谷實磷含量並不最低。

表 12. 谷 磷 含 量 (%)

Phosphate Contents of Grain

P_2O_5 (kg/ha) 期別 / 地點年 / 磷肥		40		80		160		320		有磷平均		0	
		一	二	一	二	一	二	一	二	一	二	一	二
SP	宋屋55年	0.27	0.24	0.36	0.34	0.39	0.37	0.48	0.48	0.35	0.36	0.21	0.20
	過嶺55	0.23	0.30	0.27	0.33	0.37	0.39	0.46	0.49	0.33	0.38	0.16	0.22
	56	0.32	0.33	0.33	0.35	0.46	0.45	0.42	0.54	0.36	0.42	0.17	0.24
	崎頂55	0.22	0.36	0.23	0.34	0.30	0.42	0.29	0.52	0.26	0.41	0.19	0.35
	56	0.16	0.30	0.21	0.27	0.26	0.31	0.32	0.35	0.25	0.31	0.24	0.27
	平均55	0.24	0.30	0.28	0.34	0.35	0.39	0.41	0.49	0.31	0.38	0.16	0.26
	56	0.21	0.32	0.27	0.31	0.36	0.38	0.37	0.45	0.30	0.36	0.21	0.26
RP	宋屋55年	0.21	0.26	0.30	0.26	0.42	0.31	0.34	0.39	0.32	0.31	0.21	0.20
	過嶺55	0.17	0.26	0.19	0.30	0.26	0.34	0.35	0.40	0.24	0.35	0.16	0.22
	56	0.20	0.32	0.20	0.38	0.27	0.46	0.40	0.54	0.27	0.43	0.17	0.24
	崎頂55	0.19	0.30	0.18	0.35	0.26	0.41	0.34	0.48	0.24	0.38	0.19	0.35
	56	0.21	0.25	0.21	0.33	0.23	0.30	0.27	0.37	0.23	0.32	0.24	0.27
	平均55	0.19	0.27	0.22	0.30	0.31	0.35	0.34	0.42	0.30	0.35	0.19	0.26
	56	0.21	0.28	0.21	0.35	0.25	0.38	0.33	0.45	0.25	0.37	0.21	0.26

RP + OM	宋屋55	0.21	0.27	0.24	0.26	0.30	0.33	0.39	0.39	0.28	0.31	0.19	0.23
	過嶺55	0.18	0.40	0.20	0.37	0.27	0.45	0.33	0.42	0.25	0.41	0.15	0.30
	56	0.33	0.40	0.32	0.42	0.39	0.49	0.41	0.52	0.36	0.46	—	—
	崎頂55	0.20	0.40	0.21	0.36	0.26	0.41	0.25	0.45	0.23	0.41	0.18	0.33
	56	0.19	0.34	0.22	0.27	0.27	0.34	0.30	0.45	0.25	0.35	—	—
	平均55	0.20	0.36	0.22	0.33	0.28	0.40	0.32	0.42	0.32	0.38	0.17	0.32
	56	0.29	0.73	0.27	0.35	0.33	0.42	0.35	0.48	0.30	0.41	—	—

4.施用磷肥與土壤之關係

(1)施用磷肥與土壤 pH

表 13. 試驗一期後土壤 pH

(Soil pH After One Cropping)

磷肥	地點	P_2O_5 用量 (kg/ha)						備註
		40	80	160	320	有磷平均	無磷	
SP	宋屋	5.7	5.6	5.5	5.9	5.5	5.4	試驗前 PH： 宋屋 5.2 過嶺 5.1 崎頂 5.2 試驗一期後總平均 PH： 宋屋 5.6 過嶺 5.1 崎頂 5.5
	過嶺	5.0	5.0	5.0	4.9	5.0	5.2	
	崎頂	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.7	
	平均	5.4	5.4	5.3	5.4	5.3		
RP	宋屋	5.7	5.7	5.9	5.7	5.7	5.4	
	過嶺	5.2	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	
	崎頂	5.6	5.7	5.8	5.8	5.6	5.7	
	平均	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5		
RP+G	宋屋	5.7	5.4	5.3	5.5	5.5	5.3	
	過嶺	5.1	5.1	5.1	5.3	5.1	5.1	
	崎頂	5.7	5.8	5.6	5.7	5.7	5.8	
	平均	5.5	5.4	5.3	5.5	5.5		
	總平均	5.5	5.4	5.4	5.4			

G：紫雲英 5,000kg/ha

三地土壤反應近似，栽培一期水稻後土壤 pH 列於表 13，除過嶺外，pH 略有提高，乃因水田利用之故，土壤 pH 與磷肥之用量關係極爲微少。唯使用磷礦粉者，pH 略高於磷礦粉加綠肥者，後者又略高於施用過磷酸鈣者，過嶺之過磷酸鈣處理，施用 $P_2O_5$160 及 320kg/ha 之產量降低，似非由於土壤酸性增强之故。

(2)土壤磷含量

土壤不同型態磷含量及其變遷，列於表14，而各試驗地各形態磷之和列於表15。依據表

14不施磷肥者，土壤各型磷含量均有提高，而以宋屋爲最高，當爲宋屋產量最高之故。第一期作施用綠肥，第二期施用堆肥，土壤磷含量均有提高，故該處理產量不低。土壤中磷含量均隨磷肥用量而有增高之趨勢，且 Fe-P 增加最爲顯著。崎頂土壤最瘠，產量最低，但磷含量不最低，56年不施磷肥其磷含量比55年略有減低之趨勢。

表 14. 土壤中不同形態磷

Fractions of phosphorous in the soils after different phosphate treatments

P_2O_5 (kg/ha) / 磷肥 / 磷型態 / 地點 / 年份		40				80				160				320			
		宋屋	過嶺*	崎頂		宋屋	過嶺*	崎頂		宋屋	過嶺*	崎頂		宋屋	過嶺*	崎頂	
		55	55—56	55	56	55	55—56	55	56	55	55—56	55	56	55	55—56	55	56
SP	Al-P	7.7	2.2	9.6	1.3	8.5	2.7	7.3	1.2	5.4	10.3	8.0	4.1	10.05	19.1	17.1	7.4
	Fe-P	43.0	3.7	77.7	37.0	50.7	44.3	60.7	52.2	49.6	93.6	75.6	65.6	155.2	121.7	103.5	102.6
	Ca-P	9.5	1.4	35.6	9.7	9.7	9.4	25.6	35.2	14.0	16.4	12.4	11.0	23.0	2.3	15.3	14.1
RP	Al-P	8.3	1.07	3.83	1.1	5.3	2.6	5.1	2.0	13.7	4.5	9.6	4.5	13.7	5.4	18.9	10.8
	Fe-P	43.1	27.9	6.7	35.6	37.1	36.6	48.2	43.0	75.7	53.7	77.4	59.8	70.8	70.2	105.1	100.9
	Ca-P	15.9	15.2	11.7	14.0	10.4	22.3	20.1	18.8	16.7	40.6	48.1	14.3	95.5	63.7	114.4	64.8
RP+OM	Al-P	6.75	2.7	306	1.6	6.1	2.3	6.0	1.8	11.0	5.3	7.1	2.1	12.7	9.9	10.1	11.2
	Fe-P	41.6	41.5	43.7	45.3	43.5	42.2	52.2	46.3	62.2	64.3	56.5	101.6	72.8	96.9	71.8	64.9
	Ca-P	20.4	17.8	11.1	15.2	17.7	18.3	19.1	2.0	62.5	36.8	2.5	58.4	58.8	123.6	43.9	33.0

處理 / 地點 / 磷型態	無磷				有機肥（55年）			試驗前		
	宋屋55年	過嶺 55—56年	崎頂 55年	崎頂 55年	宋屋	過嶺	崎頂	宋屋	過嶺	崎頂
Al-P	5.42	0.37	3.8	0.65	5.3	0.45	4.1	0.1	0	0.7
Fe-P	20.2	22.5	32.9	33.1	34.8	21.2	42.7	21.3	19.3	35.8
Ca-P	15.7	6.0	7.7	12.0	7.8	6.5	11.3	6.4	5.3	6.2

※資料爲四期作平均

表 15. 土壤各型磷量合計比較表

Summation of phosphorus fractions in experimented soils

P_2O_5 (kg/ha) / 磷肥 / 年期作 / 地點		40			80			160			320		
		宋屋	過嶺	崎頂	宋屋	過嶺	崎頂	宋屋	過嶺	崎頂	宋屋	過嶺	崎頂
SP	55年 1	53.9	40.5	182.6	55.6	35.1	62.9	53.8	146.3	99.0	61.6	33	128.1
	2	66.9	47.3	63.5	82.3	26.0	125.8	93.2	66	12.2	75.0	132.5	344.0

	56年 1		56.7	42		54.3	60		83.4	77.5		139.4	138.8
	2		72.3	54		109.9	67.3		150	83.9		349.5	109.4
RP	55年 1	56.7	47.6	52.2	46.0	4861	56.7	60.5	69.0	110.4	56.0	6.6	162.2
	2	78.1	29.9	52.5	57.7	74.3	90.3	61.8	69.7	153.9	303.6	196.8	314.6
	56年 1		40.9	19.4		69.5	62.1		86.4	98.8		157.2	195.9
	2		58.2	52.0		98.5	65.6		172.9	86.3		262.7	147.3
RP+OM	56年 1	50.4	42.9	52.3	51.3	30.8	70.3	63.25	35	72.9	96.1	40.9	55.2
	2	87.1	41.4	64.7	83.2	50.5	84.3	208.2	82.9	104.6	193.7	623.1*	179.2
	56年 1		50.9	64.6		50.1	82.4		172.3	218.1		97.5	56.6
	2		147.7	59.6		120.2	54.0		147	96.3		160.3	161.8

處理 / 地點 / 年期作		無磷			有機肥			試驗前		
		宋屋	過嶺	崎頂	宋屋	過嶺	崎頂	宋屋	過嶺	崎頂
55年	1	66.7	22.58	44.1	44.3	28.2	50.7	27.8	24.6	42.7
	2	55.95	40.4	44.8	41.6	29.2	65.7			
56年	1		27.9	43.4						
	2		36.7	48.1						

土壤施用過磷酸鈣者有 Fe–P 略多於施用磷礦粉者之現象，土壤中 Ca–P 除有少數例外，施用磷礦粉區最多，磷礦粉加少量過磷酸鈣者次之，而以過磷酸鈣者爲最少。當其用量達 320kg/ha 時 Ca–P 尤多。然無論施用何種磷肥，土壤中 Al–P, Fe–P 及 Ca–P 皆有顯著增加。土壤中磷之增加情形，表15各型磷之和。可獲清晰之印象。

四、討　　論

本試驗三處地點以宋屋土壤較佳，過嶺次之、崎頂則甚瘠。依表土性質判斷，宋屋冲蝕輕微，保存表土，崎頂因過去茶園管理不善，表土盡失，致生荒草，而過嶺剝方甚多，改爲水田以後，一方面因舊存表土無多，一方面因心土翻爲表土，以致水田表土色紅，幾已不存舊有表土，肥度當與崎頂無異。又查土壤有機物含量，宋屋雖較高，但仍微少，與過嶺及崎頂高出分量並不太大，且後二者間相互差異尤微，且後二者有效磷鉀含量，較宋屋略高，但土地生產力，則以宋屋爲最高，過嶺次之，崎頂最差，故紅壤茶園轉作水田，除三要素之缺乏爲水稻生長之重要限制因子外，其他土壤性質之不同，實爲重要因素。再查單施氮鉀肥及綠肥三處皆難提高產量，但若改用堆肥，則增產不亞於中量或多量磷肥。故堆肥對改良紅壤，頗有效果。但觀察磷礦粉加綠肥處理，不分地點，不論磷肥用量，其對磷礦粉之單用區，不能增產或增產不太顯著。又當施用磷肥時，效果未能顯出，此類堆肥與磷肥之負連應，暗示堆肥與此類土壤之主要效果可能是土壤不溶性磷素之釋放。如土壤施磷增產限度很高（例

如崎頂無論施用何種磷肥至 320 公斤 P_2O_5 以上仍有大幅增產可能）使堆肥效果因施磷肥而減低之程度小。由上述可推論施用堆肥可節省磷肥用量，在不施堆肥情況下，各土壤之磷礦粉需要量實際上均在 320 kg/ha P_2O_5 以上。

又各種磷肥產量最高處理淨增產量，雖土壤佳者較劣者略高，但差異並不太多，是故土壤最高產量之高低差異，乃由土壤原有生產力所決定。故改良土壤，必須從增進土壤原有生產力着手。但影響此原有生產力，除土壤冲蝕外，尙有何種因素，或已遭嚴重冲蝕之土壤，如何改良，始可回復或提高其生產力，有待探尋。施用過磷酸鈣，產量最差之崎頂土壤，以320kg/ha 產量最高（表 5）其餘則以 80kg/ha 時已達最高，施用 320kg/ha 時反而略有減產。土壤 pH（表13）被其影響之可能性不大。有無其他微量要素受其影響，或某種要素之頡頏作用，亦值研究。

過嶺水稻產量（表 2）不施磷肥者，三年間產量漸增，可解釋爲土壤有效磷是因固定磷由於土壤還原而釋出之故，而施磷者第二年較第一年略有增產，第三年較第二年產量亦較高。故不能以磷肥之豐缺予以解釋。「磷肥殘效」似乎尙含有某種「水田」利用而自然改良之效果在內，此自然之改良使土壤更適於水稻之生產原因爲何，亦耐人尋味。

一般水田土壤肥力試驗，第一期磷肥效果較第二期爲大。可能因二期氣溫較高，土壤釋放磷之能力較一期爲大所致，但本試驗不施磷肥區，除宋屋二期產量較一期爲高外皆以一期產量較二期爲高，查表15不施磷肥區，土壤磷含量除宋屋外，大體二期較一期爲高。故一期產量較高必爲氣候或其他因子所致。

稻草與谷實比率，凡產量低者，比率較大，尤以崎頂之比率最爲特殊，而以56年一期爲甚。崎頂稻草產量比過嶺相差並不太多，但谷實產量則差異甚大，乃因結實不良之故。此結實不良之原因甚多，土壤肥力之關係，僅爲原因之一。此種情形今後須特加注意。

五、結　　論

1. 三個試驗地皆爲紅壤茶園轉作水田第一次栽培水稻，宋屋地方最佳，過嶺次之崎頂最差。
2. 過磷酸鈣普通以每公頃 P_2O_5 80–160kg 爲最宜，多時對當期作有害，但土壤極爲瘠薄者，以 320kg/ha P_2O_5 爲適，磷礦粉各種土壤皆以 320kg/ha P_2O_5 爲佳，如再加少量過磷酸鈣（40kg/ha P_2O_5）更佳，磷礦粉用量再予增加至 320kg/ha P_2O_5 以上產量亦可能再增。
3. 施用 P_2O_5 80kg/ha 以下者以過磷酸鈣爲佳，用量多時磷礦粉效果接近過磷酸鈣。
4. 殘效過磷酸鈣及磷礦粉近似，但有時磷礦粉之殘效有超過過磷酸鈣之情形。
5. 施用磷肥當期效果與殘效近似，且用量多者殘效亦較大。
6. 綠肥無效果或效果不大，對磷礦粉效果亦無影響，堆肥效果頗大，其效果可與 P_2O_5 40–80kg/ha 者近似，或可接近 320kg/ha P_2O_5 之效果。堆肥與磷礦粉之間有極明顯之負連應，即一者之施用，減少他者之效果，此暗示堆肥可促進土壤中原有不溶性磷素之有效化而減低水稻對磷肥之需求程度。
7. 茶園轉作之紅壤水田不施磷肥區，谷實產量逐年增加，土壤有效磷含量亦因水田利用而

漸增。

8. 土壤生產力高者，磷肥效果有略佳之趨勢。唯土地之基本生產力，磷肥尙難加以顯著之改進。
9. 磷肥對稻草之增產效果，與谷實近似。
10. 谷實產量低之土地，稻草與谷實比率較大，尤以崎頂爲最大。磷肥與水稻結實頗有影響。水稻結實不佳之問題，須加注意。
11. 磷肥用量多者，谷實含磷量亦較高。
12. 土壤 pH 值，僅受多量磷肥之輕微影響。
13. 土壤 Al-P, Fe-P及Ca-P 之含量，與磷肥用量有關，而 Fe-P 之增加最大。土壤中 Ca-P 之增加，施磷礦粉者較過磷酸鈣爲高。

參 考 文 獻

1. 林家棻等氏56臺灣省農田肥力測定：臺省農試所報告28號。
2. Jackson, M. L. 1958, Soil chemical Analysis, Prenlice—Hall Inc Englewood chiff. N. J.
3. Chang S. C. and Jackson, M. L. 1957, Fractionation of soil Phosphorus, Soil Science 84 : 133-144.
4. Peter, C. W. and Corey, R. B. 1906. A modified Chang and Jackson Procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. SSSA proceedings 30(50) : 565—565