石門水庫灌溉區茶園轉作田水稻生產抑制因子之研究[1]

黃　文　良[2]

一、前　言

民國52年秋季，石門水庫開始放水灌溉以後，中壢紅壤臺地地勢較高處茶園，估計約有6,000多公頃，可得灌溉而改作水田，以利糧食增產(1)。

但歷久經營茶作之酸性紅壤，經轉作水田後，其水稻生育不良，產量很低，在水庫灌溉效用上，殊遇困難。此種新開水田之水稻生育特徵，在其生長初期就分蘗少，葉身狹小，其先端細尖，一穗粒數及稔實率均差，稔熟之穀粒既小且硬，多呈棕褐色，顯然係由土壤本身之養分供給失調所引起者。本所前曾辦理田間試驗結果，其主要低產原因認係土壤磷之供給短少，而每公頃施用磷肥至 150公斤 P_2O_5，其單位面積產量則可有顯著的增產(2)。惟此種紅壤茶園轉作田，經開闢已四、五年，並多量施磷後，其產量仍遠較該地區舊有水田爲低。

筆者爲進一步究明其低產原因，於民國59年及60年，分別在中壢、龍潭、平鎮等地茶園轉作田設置田間試驗，就酸性紅壤本身性質之改善措施，加以各種肥料處理，並由土壤之特性，水稻養分吸收狀態以及產量效應，探討抑制水稻生產之諸因子，以冀獲得增產之可能途徑。茲將所得結果彙報如下，俾資紅壤茶園轉作田稻作肥培改進之參考。

二、材料與方法

1. 田間設計

民國59年在石門水庫灌溉區選擇茶園轉作田4處，即中壢市內厝及過嶺、平鎮東社、龍潭鄉上林，進行兩期作田間試驗。民國60年則依據59年試驗結果，將肥料處理稍加修改後，繼續在中壢市過嶺及龍潭鄉上林兩地，進行兩期作試驗。田間設計各有10種肥料處理，5重複，共50小區，小區面積1/1000公頃，採隨機區集排列，每小區栽植250欉，栽植行距 25cm×16cm，每欉植苗5支，供試品種爲新竹56號。其處理內容列如表一、及表二。

表一、民國59年田間試驗肥料處理

Table. 1 Fertilizer treatments of the field trials in 1970

處理區名 Plot name		施肥量 Amount of applied fertilizers kg/ha							
		N	P_2O_5	K_2O	Lime	Compost	Ca-silicate	$MgSO_4$	$MnSO_4$
1.對照區	P_1	120	150	100	—	—	—	—	—
2.無磷區	P_0	120	0	100	—	—	—	—	—
3.無鉀區	K_0	120	150	0	—	—	—	—	—
4.多磷分施區	P_2s	120	250	100	—	—	—	—	—

本研究承中國農村復興委員會及國家科學委員會補助研究經費，暨蒙新竹區農業改良場、桃園縣政府協辦，謹此誌謝。

1.試驗報告農試字第五九五號　　2.臺灣省農業試驗所技士

5.石灰加施區	LP_1	120	150	100	2,000	—	—	—	—
6.矽酸鈣加施區	SiP_1(1)	120	150	100	—	—	2,000	—	—
(硝酸鈣區	NO_3P_1)	120	150	100	—	—	—	—	—
7.堆肥加施區	CP_1	120	150	100	—	10,000	—	—	—
8.鎂錳加施區	$MgMnP_1$	120	150	100	—	—	—	300	100
9.複合肥料區	CFP_1(2)	120	150	100	—	—	—	—	—
(標準磷分施區	P_1s)	120	150	100	—	—	—	—	—
10.綜合區	$CSiMgMnP_1$(3)	120	150	100	—	10,000	2,000	300	100
(綜合區	$CLMgMnP_1$)	120	150	100	2,000	10,000	—	300	100

〔註〕（1）一期作中壢內厝及平鎮東社使用矽酸鈣，中壢過嶺及龍潭上林使用硝酸鈣，二期作四處均使用矽酸鈣。

（2）一期作使用11—9—18複合肥料，另補充硫安及過磷酸鈣至同對照區三要素量。二期作改爲三要素同對照區，將磷肥分三次施用。

（3）一期作中壢內厝及平鎮東社加施矽酸鈣，中壢過嶺及龍潭上林加施生石灰，二期作四處均加施矽酸鈣。

表二、民國60年田間試驗肥料處理

Table 2. Fertilizer treatments of the field trials in 1971

處理區名 Plot name		施肥量 Amount of applied fertilizers kg/ha					
		N	P_2O_5	K_2O	石灰 Lime	堆肥 Compost	矽酸鈣 Ca-silicate
1.無磷區	P_0	120	0	100	—	—	—
2.少磷區	P_1	120	75	100	—	—	—
3.多磷區	P_2	120	150	100	—	—	—
4.石灰多磷區	LP_2	120	150	100	3,000	—	—
5.石灰多磷分施區	LP_2s	120	150	100	3,000	—	—
6.堆肥少磷區	CP_1	120	75	100	—	10,000	—
7.堆肥多磷區	CP_2	120	150	100	—	10,000	—
8.矽酸鈣少磷區	SiP_1	120	75	100	—	—	3,000
9.矽酸鈣多磷區	SiP_2	120	150	100	—	—	3,000
10.堆肥矽酸鈣多磷區	$CSiP_2$	120	150	100	—	10,000	3,000

2. 施肥

氮肥用硫酸銨，分爲基肥、一、二次除草期追肥及穗肥共分4次施用；磷肥用過磷酸鈣，以全量做基肥施用，惟磷肥分施區即基肥、一、二次除草期分爲3次施用；鉀肥用氯化鉀，基肥、一、二次除草期共分3次施用；生石灰、矽酸鈣、堆肥、硫酸鎂、硫酸錳等肥料即在插秧前一星期施用。

3. 水稻樣本之採取及分析

水稻草藁樣本，於收穫當天就每小區隨機刈取4欉，將同一處理之第一、三、五重複與第二、四重複分別合併做該處理之二重複樣本，經洗滌、烘乾、粉碎後，供化學分析用。氮素經Kjehldahl法分解後，採用擴散法(3)；磷、鉀、鈣、鎂各要素，經硫酸—過氯酸—硝酸之混合酸濕式分解後，磷用鉬藍法(4)，鉀用熖光儀，鈣用GEDTA滴定法(5)，鎂用原子吸光儀測定之；矽用重量法。

三、結果與討論

(一) 供試田土壤之特徵

1. 一般理化性質

本試驗之供試田，中壢內厝及過嶺、平鎮東社，原隸屬於磚紅化紅壤平鎮系，龍潭上林即屬於磚紅化紅壤銅鑼圈系，經由茶園改作水田後，已歷四、五年。其土壤之一般理化性質示於表三。供試田土壤之共同特徵則均屬强酸性之細質地，粘粒及坍粒含量高，有機質含量中等，鹽基置換容量在 12 me/100g soil，鹽基含量低，有效性磷及矽酸量偏低，地力概屬貧瘠。

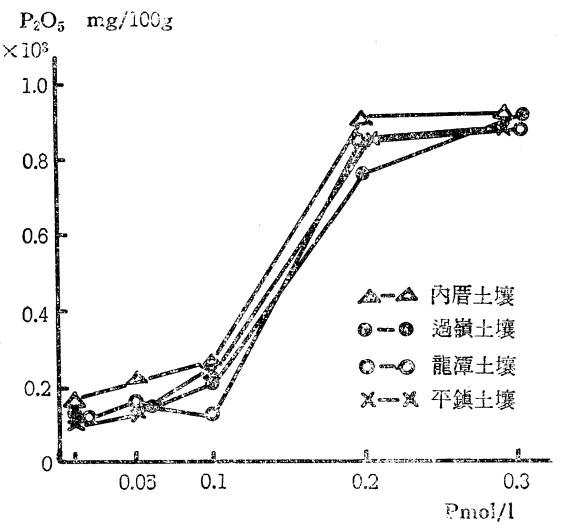
表三、供試田表土之理化性質

Table 3. Physical & chemical properties of the trial soils

供試地點 Locality	質地 Texture	pH	(1) 有機質 O.M.%	全氮 T-N%	置換性鹽基 Exch. base ml/100g(2) CEC	K	Ca	Mg	(3) 有效性磷 Ava. P ppm	(4) 有效態矽酸 Ava. SiO_2 mg/100g
中壢內厝 Chung—Li	Si CL	4.9	1.76	0.146	12.5	0.27	2.50	0.45	5.8	3.08
中壢過嶺 Chung—Li	CL	5.4	1.87	0.159	12.6	0.23	2.79	0.58	6.0	3.89
龍潭上林 Lung—Tang	Si C	5.0	1.49	0.108	12.2	0.25	2.06	0.54	8.4	2.55
平鎮東社 Ping—Tzen	Si C	5.2	1.76	0.130	11.3	0.27	3.30	0.58	8.6	3.75

註：(1) Walkley—Black 法 (2) N—NH_4OAC (pH7.0) 抽出法 (3) Bray 第一法
(4) N—NaOAC (pH4.0) 抽出法(6)

圖一、表示，供試田土壤加以不同濃度之正磷酸 (Na_2HPO_4) 時，其對磷酸之吸收狀態。以0.01MP 濃度之磷酸添加時，幾被吸收固定，之後增加至 0.1MP 濃度，其吸收力之增加較爲緩慢而保持於150—200mg P_2O_5/100 g；當超過 0.1MP 濃度，其吸收力則急劇增加，至0.2MP濃度，將達飽和狀態而在 770—910mg P_2O_5/100g。由此可知，供試田土壤對磷酸之比吸收力特强，一般所施之磷肥幾被固定而其有效性即趨減低。



圖一、供試土壤之磷酸吸收曲線

Fig. 1. P_2O_5 absorption curve of applied soils

2. 試驗處理後有效性磷含量之變化

表四、即59年經兩期作試驗後，將無磷區與對照區 (150kg P_2O_5/ha.) 土壤之有效性磷含量，用 Bray 第一法所測定結果。根據曾、王兩氏(7)之紅壤磷酸測值分級標準，茶園轉作田之有效性磷含量均在「低」級標準 (5—10ppm P)。每公頃經施用 150公斤磷酐後，其弱酸可溶之磷素含量，雖有增加兩倍以上，但仍屬於「中」級標準 (11—20ppm P)，而介於盛氏等(8)在紅壤水田磷素供給力診斷上，採用Bray 第一法之磷素臨界濃度之邊緣 (15—20ppm P) 或以下，而屬於缺磷。

表四、試驗後供試田土壤之有效性 P ppm含量 (Bray 氏 No. 1 法)

Table 4. Available P content of the applied soils after treatments

期作 Crop season	處理 Treat.	中壢內厝 Chung—Li	中壢過嶺 Chung—Li	龍潭上林 Lung—Tang	平鎮東社 Ping—Tzen
一期作 1st Crop	P_0	5.8	6.0	8.4	8.6
	P_1	12.2	13.9	18.6	20.9
二期作 2nd Crop	P_0	4.1	5.5	9.4	8.4
	P_1	10.7	10.1	20.8	18.0

3.試驗處理後土壤各型態磷量之變化

供試土壤各型態磷之測定，依江川、關谷兩氏(9)經修改 Chang 及 Jackson (10)之分別定量法，以2.5%醋酸，N-氟化氨，0.1N-氫氧化鈉，分別溶提測定 Ca-P, Al-P及Fe-P；有機型磷，依林，瀧嶋兩氏之方法(11)：全磷以硝酸一過氯酸加熱分解後測定之；難溶型磷即由全磷與各型態磷總和之差量求出。經試驗處理後，無磷區與對照區土壤之各型態磷量之變化，示於表五、及圖二。另爲比較茶園轉作田與其鄰近未經轉作之茶園土壤中各型態磷之分佈，其測定結果示於表六。

表五、處理後土壤之各型態磷含量變化

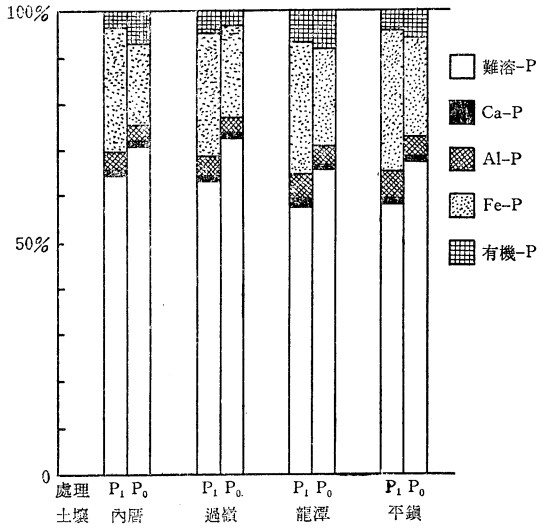
Table 5. Changes in fractionated P contents of the applied soils after treatments.

地點 Locality	處理 Treat.	全—P ppm	%	Ca—P ppm	%	Al—P ppm	%	Fe—P ppm	%	有機—P ppm	%	難溶—P ppm	%
中壢內厝	P_0	961.8	100	11.1	1.15	32.3	3.36	217.5	22.62	20.5	2.14	680.3	70.73
Chung—Li	P_1	1,139.7	100	12.3	1.08	43.6	3.83	304.2	26.69	44.6	3.91	734.9	64.49
中壢過嶺	P_0	902.5	100	11.1	1.23	30.9	3.42	179.0	19.84	29.6	3.28	651.9	72.23
Chung—Li	P_1	1,076.2	100	15.3	1.42	42.2	3.92	287.2	26.69	54.6	5.07	676.9	62.90
龍潭上林	P_0	906.7	100	10.2	1.13	36.2	4.00	193.2	21.31	74.5	8.23	592.5	65.33
Lung—Tang	P_1	1,105.9	100	17.0	1.54	60.3	5.45	315.0	28.48	77.4	7.00	636.1	57.53
平鎮東社	P_0	915.2	100	11.9	1.30	39.7	4.34	193.7	21.17	56.7	6.19	613.1	67.00
Ping—Tzen	P_1	1,093.2	100	14.9	1.36	62.2	5.69	331.4	30.32	51.2	4.69	633.3	57.94

表六、茶園轉作田與其隣近茶園土壤中各型態磷含量之比較

Table 6. Fractional P contents of the paddy soils converted from tea plantation and the soils of vicinal tea garden

地點 Locality	作物 Crop	全—P ppm	%	Ca—P ppm	%	Al—P ppm	%	Fe—P ppm	%	有機—P ppm	%	難溶—P ppm	%
過嶺 Chung Li	茶轉田 Paddy	902.5	100	11.1	1.23	30.9	3.43	179.0	19.83	29.6	3.28	651.9	72.23
	茶園 Tea	557.7	100	50.6	9.07	174.6	31.31	49.6	8.87	22.7	4.07	260.2	46.66
龍潭 Lung—Tang	茶轉田 Paddy	906.7	100	10.2	1.12	36.2	3.99	193.2	21.31	74.5	8.22	592.2	65.35
	茶園 Tea	675.8	100	15.9	2.35	198.6	29.39	49.8	7.37	10.7	1.58	400.8	59.31



圖二、試驗處理後土壤各型態磷之含量比

Fig. 2. Percentage contents of fractionated P in the soils after treatments.

紅壤茶園土壤之磷酸型態，其過半爲難溶型磷，次爲 Al 型磷約佔30%，兩者合佔約80%至90%，而其他型態磷僅佔20%至10%。經改作水田歷四、五年而大量施用磷肥後，隨全磷量之增加，在各型態磷之間亦起變異，其中難溶型磷與Fe型磷之增加及 Al 型磷之減少最爲顯著；難溶型磷之增加量略等於全磷之增加量，而Fe型磷與 Al 型磷之增減量則幾等於兩者之相對增減量，其結果即難溶型磷幾佔70%，Fe 型磷佔20%，兩者合佔約達 90%。同時有效性較高之 Ca 型磷，其量雖微，但其劇減亦甚爲顯著。

在59年兩期作試驗後，無磷區與對照區土壤中磷型態之變化，經施用150公斤 P_2O_5/ 公頃後，隨全磷量之增加，各型態磷均有增加，惟 Fe 型磷之增加最爲明顯，幾佔全磷增加量之49%至77%，次爲難溶型磷。

Chang 及 Jackson兩氏指出[12]，土壤中磷酸的化學風化進行過程爲Ca—P→Al—P→Fe—P→Occluded P。又據江氏報告[13]，桃園强酸性紅壤對磷酸之吸收固定力强，且其固定速度甚速，在磷酸施用初期，其固定型態大部分爲 Al 型磷，之後隨湛水日數之經過，Fe型磷就急劇增加，而磷酸之主要蓄積型態爲Al型磷與 Fe型磷。本試驗供試土壤各型態磷之分析結果顯示，强酸性紅壤茶園之磷酸固定力特强，其主要蓄積型態爲難溶型磷與 Al 型磷。經轉作水田而在湛水條件下，隨游離鐵之溶出，Al 型磷即轉變爲Fe型磷，甚而趨於變成結合能更大而難於溶提之所謂 "Occluded P" 等難溶型磷化合物。 因此， 强酸性紅壤茶園轉作田之磷酸有效度極低，且所施用之磷肥即被迅速吸收固定而減低其可溶性。

（二）處理對水稻生育與產量之效應

1.處理對農藝性狀之影響

茲將59年一、二期作，中壢內厝與龍潭上林兩處試驗地，就處理效果特爲顯著的無磷區、對照區及矽酸鈣加施區之生育調查結果列於表七。

表七、內厝及龍潭試驗田59年第一、二期作之水稻農藝性狀

Table 7. Agronomic characters of rice plants in the trials of 1970

地點 Locality	期作 Crops	處理 Treat.	株高 Height cm	穗數 Panicle No. /hill	一穗粒數 Spikelet No. /pa.	稔實率 Filled grain%	千粒重 1000 grain wt.
中壢內厝 Chung—Li	一期作 1st Crop	P_0	64.4	8.5	31.9	53.9	19.7
		P_1	106.5	13.2	48.5	62.4	21.6
		SiP_1	108.3	12.7	54.8	73.6	23.3
	二期作 2nd Crop	P_0	96.8	10.6	39.7	69.1	24.0
		P_1	98.3	12.8	46.2	77.3	24.3
		SiP_1	98.7	12.7	50.1	85.4	24.3

龍潭上林 Lung—Tang	一期作 1st Crop	P_0	91.8	10.5	51.2	80.4	20.9
		P_1	96.9	13.4	52.6	82.2	23.6
		SiP_1	96.6	13.1	52.4	82.0	23.4
	二期作 2nd Crop	P_0	77.6	8.0	17.1	26.9	20.3
		P_1	88.3	12.5	39.2	74.1	22.4
		SiP_1	91.9	12.5	51.0	81.1	23.2

無磷區之水稻生育，即在生育初期就受阻，株高較矮，分蘖少，莖葉細狹，葉身呈濃綠色而有較硬之狀，但似缺乏彈性，呈現有磷素缺乏之各徵狀。施用150公斤磷酐/公頃之對照區，其株高及分蘖等諸性狀顯有改進，但仍比該地區舊有紅壤水田者差。矽酸鈣之加施，可增加株高，其莖葉成直立狀，故其生育比前述兩處理區較佳。至於收量構成要素，無磷區之一穗粒數少，稔實率低，所稔熟之穀粒較小且硬，多呈棕褐色，因而千粒重較輕。多施磷肥或磷肥與矽酸鈣併施，即隨生育諸性狀之改進，其收量構成各要素均有顯著的促進效果，尤以磷肥與矽酸鈣之併施，對一穗粒數、稔實率及千粒重之增進頗爲顯著。

2.各處理之產量效應

表八、九、及十即59年及60年第一、二期作試驗之稻谷產量及變方分析結果。

表八、59年第一期作各肥料處理之稻谷產量 (kg/ha)

Table 8. Grain yields of the fertilizer treatments in the 1st crop of 1970

處理 Treat. \ 地點 Locality		中壢內厝 Chung—Li		中壢過嶺 Chung—Li		龍潭上林 Lung—Tang		平鎮東社 Ping—Tzen	
1.對照區	P_1	4156	(100)	5405	(100)	4331	(100)	4309	(100)
2.無磷區	P_0	956	(23)	4385	(81)	2755	(64)	3778	(88)
3.無鉀區	K_0	4188	(101)	5360	(99)	4290	(99)	4118	(96)
4.多磷分施區	P_{2S}	4460	(107)	5383	(100)	4317	(100)	4221	(98)
5.石灰加施區	LP_1	4304	(104)	5668	(105)	4631	(107)	4224	(98)
6.矽酸鈣加施區	SiP_1	4870	(117)		—		—	4595	(107)
(硝酸鈣區)	NO_3P_1		—	5420	(100)	4383	(101)		—
7.堆肥加施區	CP_1	4904	(118)	5620	(104)	4495	(104)	4600	(107)
8.鎂錳加施區	$MgMnP_1$	4082	(98)	5443	(101)	4262	(98)	4169	(97)
9.複合肥料區	C.F.P_1	4060	(98)	5045	(93)	3806	(88)	4151	(96)
10.綜合區	$CSiMgMnP_1$	5220	(126)		—		—	5213	(121)
(綜合區)	$CLMgMnP_1$		—	5900	(109)	4754	(110)		—
F 值			66.45**		16.50**		73.23**		14.30**
MSD			558		388		255		394
LSD			416		289		190		294

〔註〕理論F值5%2.22, 1%3.07

表九、59年第二期作各肥料處理之稻谷產量（kg/ha）

Table 9. Grain yields of the fertilizer treatments in the 2nd crop of 1970

處理 Treat. \ 地點 Locality		中壢內厝 Chung—Li		中壢過嶺 Chung—Li		龍潭上林 Lung—Tang		平鎮東社 Ping—Tzen	
1 對照區	P_1	3502	(100)	3728	(100)	3604	(100)	4073	(100)
2 無磷區	P_0	2860	(82)	2972	(80)	930	(26)	3421	(84)
3 無鉀區	K_0	3316	(95)	3340	(90)	3388	(94)	3677	(90)
4 多磷分施區	P_{2S}	3510	(100)	3774	(101)	3656	(101)	4068	(100)
5 石灰加施區	LP_1	3514	(100)	3810	(102)	3470	(95)	3766	(93)
6 矽酸鈣加施區	SiP_1	3948	(113)	4232	(114)	3946	(110)	4383	(108)
7 堆肥加施區	CP_1	3488	(100)	4040	(108)	3666	(102)	4241	(104)
8 鎂錳加施區	$MgMnP_1$	3278	(94)	3730	(100)	3504	(97)	3910	(96)
9 標準磷分施區	P_{1S}	3420	(98)	3864	(104)	3626	(101)	4146	(102)
10綜合區	$CSiMgMnP_1$	4060	(116)	4224	(113)	4224	(115)	4595	(113)
F 值		26.13**		36.03**		188.55**		21.26**	
MSD		256		245		248		288	
LSD		188		184		186		216	

〔註〕理論F值5%2.22， 1%3.07。

本試驗各供試田一、二期作，在處理間均達1%之極顯著標準。在各肥料處理間，施磷顯然可促進諸農藝性狀而大量提高產量，故可知茶園轉作田土壤有效態磷供給之短少，乃爲其水稻生產之最大限制因子；每公頃施用150公斤P_2O_5時，59年第一期作比無磷區平均得 57%之增產，第二期作亦得46%之增產。施磷效果最爲顯著之中壢內厝與龍潭上林試驗田，前者第一期作有 335%，後者第二期作有287%之增產。然而試以每公頃施用 250公斤 P_2O_5，並做三次分施結果，除第一期作施磷效果極爲顯著的內厝試驗田，比對照區有 7 %之增產外，其他試驗田或期作均無差異。本省紅壤水田土壤，由於其礬土性化之性質，對磷酸之吸收固定力强，慣用量之磷肥迅即被固定，故被認爲施磷以期增加土壤之有效性磷量有限。本試驗結果顯示，經由强酸性紅壤茶園轉作之新開田，其磷酸固定力似較一般紅壤水田特强，慣用量磷肥之加倍施用即每公頃施用150公斤 P_2O_5，雖可多少增加土壤有效性磷量而得相當的增產效應，但每公頃施用多達250公斤 P_2O_5，仍不能有效供給水稻生育所需更多之磷酸而得預期效果。此結果，亦可由供試田土壤之磷酸吸收曲線（圖一）察知。爲進一步明瞭茶園轉作田之磷肥經濟施肥量，在60年第一、二期作，將磷肥用量分爲無磷區，每公頃75公斤及150公斤P_2O_5區等三

表十、60年第一、二期作各肥料處理之稻谷產量（kg/ha）

Table 10. Grain yields of the fertilizer treatments in two crop seasons of 1971

處理Treat. \ 地點 Locality \ 期作 Crops		一期作 1st Crop 中壢過嶺 Chung—Li		一期作 1st Crop 龍潭上林 Lung—Tang		二期作 2nd Crop 中壢過嶺 Chung—Li		二期作 2nd Crop 龍潭上林 Lung—Tang	
1 無磷區	P_0	3146	(86)	3436	(90)	3274	(97)	2956	(92)
2 少磷區	P_1	3604	(98)	3798	(99)	3512	(93)	3114	(97)
3 多磷區	P_2	3668	(100)	3822	(100)	3754	(100)	3194	(100)

4 石灰多磷區	LP_2	4028	(110)	4014	(105)	3660	(97)	3130	(98)
5 石灰多磷分施區	LP_{2S}	4018	(110)	4122	(108)	3626	(96)	3220	(101)
6 堆肥少磷區	CP_1	3808	(104)	3828	(100)	3603	(96)	3290	(103)
7 堆肥多磷區	CP_2	3824	(104)	3906	(102)	3974	(106)	3398	(106)
8 矽酸鈣少磷區	SiP_1	4386	(119)	4086	(107)	3901	(104)	3480	(109)
9 矽酸鈣多磷區	SiP_2	4436	(121)	4140	(108)	3999	(106)	3516	(110)
10綜合區	$CSiP_2$	4714	(128)	4356	(114)	4518	(120)	3590	(112)
F 值			23.63**		4.00**		10.17**		18.73**
MSD			335		407		306		166
LSD			250		304		228		124

〔註〕理論F值5%2.22，　1%3.07。

種等級而觀察結果，其磷肥之肥效雖不如59年之顯著，但第一期作施用 75 公斤區，比無磷區平均得12.5%之增產，施用150公斤 P_2O_5 區得13.8%之增產，而第二期作分別得6.4%及 11.5%之增產。就磷肥用量對第一、二期作之產量效應而言，第一期作施用75公斤與150公斤P_2O_5 區之間肥效差異較小，但第二期作之差異即頗爲顯著，故茶園轉作田之磷肥用量，仍以每公頃施用150公斤P_2O_5 爲宜。

矽酸鈣之加施，各供試田均有極顯著的增產效果，故可知茶園轉作田土壤有效態矽酸供給之短少，亦爲稻作生產限制因子之一。59年一、二期作之矽酸鈣加施區，比對照區平均各得11.8%及10.7%之增產；60年一、二期作平均亦各得 13.0%及9.8%之增產。矽酸鈣之施用，顯然可以增進一穗粒數、稔實率及千粒重等收量構成要素而得增產。

堆肥之加施，各供試田亦有顯著的增產，59年第一期作，比對照區得 4 %至18%之增產，第二期作之效果較低，平均得 4 %之增產；而60年第一期作之少磷及多磷堆肥區，比單施少磷或多施區平均各得3.2%之增產，第二期作平均得4.6%之增產。施用堆肥於水田之效果，就無機養分之供給而言，除三要素及微量要素以外，矽酸之供給亦屬重要，此由多磷堆肥區之未能獲得預期之增產效果亦可看出。惟施用堆肥以期增加有效態矽酸供給之效果，不如直接施用矽酸鈣肥料之顯著。

矽酸鈣與堆肥之併用（綜合區），各供試田水稻之株高、穗數、穗重、千粒重等諸農藝性狀均有良好影響，而其稻谷產量尤有更顯著的增產，59年第一期作比對照區平均得 23.5%之增產，比矽酸鈣單施區或堆肥單施區平均各得10.2%及 9.8%之增產；第二期作比對照區平均得 14.1%之增產，比矽酸單施區或堆肥單施區平均各得3.0%及10.2%之增產；而60年第一期作比多磷區平均得 21.1%之增產，比矽酸鈣單施區（矽酸鈣多磷區）或堆肥單施區（堆肥多磷區）平均各得5.8%及 17.3%之增產；第二期作比多磷區平均得16.7%之增產，比矽酸鈣單施區或堆肥單施區平均各得 7.9%及11.2%之增產。若矽酸鈣與堆肥併施區（綜合區），矽酸鈣加施區及堆肥加施區，各比較對照區之稻谷產量，即可知矽酸鈣與堆肥併用區之稻谷產量，幾等於矽酸鈣加施區與堆肥加施區兩區增產量之和或以上，即矽酸鈣與堆肥同時加施於茶園轉作田時，兩種肥料相佐促進肥效而可獲得更高的產量。

生石灰之加施，旨在提高土壤反應，以冀增加有效態磷之供給，惟本試驗除60年第一期作之石灰多磷區與石灰多磷分施區，比多磷區各得7.4%及8.7%之增產外，其他期作均未能獲得預期之效果。

硫酸鎂、硫酸錳之加施，或硝酸鈣，複合肥料等處理區之稻谷產量，均與對照區無差異或稍遜。

（三）茶園轉作田水稻之養分含量

1. 養分吸收特性

由表十一可知，依一般水田之水稻無機養分含量來衡量時，供試田水稻之磷素，矽酸及鎂含量很低，而鐵錳含量則偏高。此種强酸性紅壤茶園轉作田水稻之養分吸收狀態，正反映出其土壤本身之要素供應力而有明顯的相關。

表十一、59年一、二期作收穫期供試田對照區之藁稈無機養分含量

Table 11. % nutrient contents in straw of check plots at harvesting time in two crop seasons, 1970

期作 Crop	試驗地 Locality	N%	P%*	K%	Ca%	Mg%	SiO_2%	Fe%	Mn%
一期 1st Crop	中壢內厝 Chung—Li	1.12	0.074 (0.046)	1.60	0.28	0.125	6.47	0.060	0.092
	中壢過嶺 Chung—Li	0.61	0.098 (0.076)	1.82	0.29	0.099	4.34	0.018	0.155
	龍潭上林 Lung—Tang	0.62	0.100 (0.049)	1.53	0.28	0.097	4.78	0.028	0.097
	平鎮東社 Ping—Tzen	0.89	0.108 (0.070)	1.88	0.28	0.088	5.72	0.034	0.120
二期 2nd Crop	中壢內厝 Chung—Li	1.11	0.109 (0.063)	1.73	0.16	0.212	5.88	0.030	0.120
	中壢過嶺 Chung—Li	0.84	0.083 (0.068)	1.83	0.19	0.124	6.19	0.023	0.232
	龍潭上林 Lung—Tang	0.96	0.107 (0.063)	1.75	0.17	0.142	5.66	0.055	0.140
	平鎮東社 Ping—Tzen	0.96	0.086 (0.063)	1.60	0.18	0.119	6.92	0.029	0.083

*括弧內數字表示無磷區藁稈之磷素含量。

Bray 第一法所得之土壤有效性磷素量，各供試田均在低級標準而屬於缺磷，因而收穫期無磷區之藁稈磷素含量亦很低，第一期作在0.046%至0.076%；第二期作在0.063%至0.068%。盛氏等指出(8)，在一般情形下，紅壤水田收穫期藁稈中磷素之臨界濃度，在0.075%左右，在此濃度以下時，施磷有效之機會佔多。本試驗結果表示，無磷區之藁稈磷素含量均在臨界濃度以下，施磷皆可增加藁稈含磷量而獲得顯著的增產，惟每公頃施磷 150公斤而言，茶園轉作田土壤對磷酸的吸收固定力似特强，水稻之磷肥利用率可謂甚低。

N-醋酸鈉緩衝液可溶提之土壤有效態矽酸量，各供試田均在 4mg SiO_2/100g Soil 以下，而藁稈之矽酸含量在7%以下，皆在藉矽質肥料之施用而可得增產之範圍內(14) (15) (6)。施用矽酸質肥料，亦可顯著的增加藁稈含矽量而得增產，故茶園轉作田土壤之矽酸供應之短少，應予注意。

茶園轉作田土壤之置換性鎂含量，多在 0.5me/100g Soil 左右，按曾、王兩氏之水田土壤含鎂量標準(7)，則在「低級標準」之上緣，而供試田水稻之鎂含量在 0.09%至 0.15%，較一般水田者爲低。

2. 處理區之水稻養分含量與增產效果之關係

表十二爲各處理區之4處試驗地平均無機養分含量。施用150公斤 P_2O_5/ha. 時，比無磷區可顯著的增加藁稈中磷素含量，即第一期作由0.060%增至0.095%，第二期作由0.064%增至0.096%。施用250公斤 P_2O_5 之多磷分施區，其藁稈磷素含量稍有增加趨勢，但其增加率似仍有限。由此可知，茶園轉作田水稻之磷素吸收，顯然受土壤本身之供應抑制，而其藁稈磷素含量與施磷增產效果間之關

係較爲明顯。矽酸鈣或堆肥之加施，以及矽酸鈣與堆肥之併施（綜合區），對藁稈矽酸含量有顯著的增加，但仍較連氏所指出（[14]）之9％臨界濃度爲低。由藁稈含矽量與增產效果之關係觀之，茶園轉作田除缺磷之外，缺矽問題，亦甚爲嚴重。其他肥料之施用，概略可提高藁稈中養分含量，但對稻谷產量未能得增產效果。

表十二、59年一、二期作收穫期四處試驗田各處理區之平均水稻無機養分含量

Table 2. Average nutrient contents at 4 localities of rice plants for different treatments

期作 Crop	處理 Treatment	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	SiO_2%	Fe%	Mn%
一期作 1st Crop	1 對照區 P_1	0.81	0.095	1.71	0.28	0.102	5.45	0.035	0.116
	2 無磷區 P_0	0.81	0.060	1.69	0.28	0.100	4.83	0.030	0.144
	3 無鉀區 K_0	0.77	0.092	1.66	0.32	0.104	4.48	0.036	0.111
	4 多磷分施區 P_{2S}	0.78	0.093	1.81	0.29	0.093	4.92	0.036	0.103
	5 石灰加施區 LP_1	0.75	0.093	1.74	0.32	0.101	5.52	0.034	0.077
	6 矽酸鈣加施區 SiP_1	0.80	0.079	1.87	0.33	0.106	6.90	0.039	0.114
	（硝酸鈣加施區 No_3P_1）	0.76	0.102	1.71	0.30	0.095	4.15	0.020	0.105
	7 堆肥加施區 CP_1	0.73	0.093	1.88	0.30	0.098	6.05	0.042	0.115
	8 鎂錳加施區 $MgMnP_1$	0.83	0.093	1.77	0.30	0.107	4.69	0.032	0.128
	9 複合肥料區 C.F.P_1	0.72	0.083	1.76	0.32	0.086	5.64	0.042	0.121
	10綜合區 $CSiMgMnP_1$	0.85	0.082	1.75	0.31	0.094	6.34	0.046	0.115
	（綜合區 $CLMgMnP_1$）	0.70	0.096	1.70	0.32	0.102	5.05	0.019	0.103
二期作 2nd Crop	1 對照區 P_1	1.02	0.096	1.73	0.20	0.149	6.16	0.025	0.144
	2 無磷區 P_0	0.96	0.064	1.54	0.20	0.136	6.01	0.025	0.158
	3 無鉀區 K_0	1.00	0.094	1.32	0.21	0.168	5.55	0.026	0.157
	4 多磷分施區 P_{2S}	1.01	0.103	1.70	0.21	0.150	5.58	0.029	0.134
	5 石灰加施區 LP_1	0.96	0.087	1.59	0.23	0.151	5.85	0.031	0.093
	6 矽酸鈣加施區 SiP_1	0.93	0.082	1.62	0.22	0.154	8.37	0.029	0.128
	7 堆肥加施區 CP_1	0.99	0.082	1.63	0.20	0.142	7.16	0.031	0.155
	8 鎂錳加施區 $MgMnP_1$	0.93	0.085	1.70	0.20	0.144	5.74	0.032	0.141
	9 標準磷分施區 P_{1S}	1.01	0.088	1.73	0.22	0.147	5.77	0.030	0.168
	10綜合區 $CSiMgMnP_1$	0.97	0.079	1.82	0.20	0.150	8.77	0.027	0.131

四、摘要與結論

本試驗爲究明石門水庫灌溉區內，經由紅壤茶園改作之新開田低產原因，並冀求得提高單位面積產量之肥培改善措施。於民國59年及60年辦理田間試驗，以探討肥料效應，土壤及無機養分吸收特性。茲將所得結果摘要如下：

1. 供試田土壤係强酸性之磚紅化紅壤，地力概屬貧瘠，置換能量在12me/100g soil，鹽基含量少，對磷酸之比較吸收力特强，所施之磷肥易被吸收固定，其土壤磷酸之蓄積型態則結合能較大的

Fe型磷與 Occluded 型等之難溶磷佔絕大部分，故 Bray 第一法所得之有效性磷量在低級標準而屬於缺磷。醋酸緩衝液可溶提之有效態矽酸含量在 4mg SiO_2/100g soil 以下，亦屬於缺矽。

2. 茶園轉作田之水稻生育，在生育初期即呈衰弱狀，株高較矮，分蘖少，莖葉細狹，葉身呈濃綠色而有較硬感，且似缺乏彈性。至生殖生長期後，其一穗粒數之形成與稔實受阻，穀粒較小且硬，多呈棕褐色，千粒重較輕。
3. 水稻之磷素含量與施磷增產效果間之關係，供試田無磷區之藁稈磷素含量皆在臨界濃度以下，介於0.046%至0.076%間，磷肥慣用量之加倍施用即150公斤 P_2O_5/ha.，能大幅增加含磷量而得極顯著的增產；59年第一期作平均得57%，第二期作平均得46%之增產。施磷量增多至 250公斤並行分施時，藁稈含磷量之增加有限而未能得預期的增產效果。
4. 矽酸鈣之加施，能增加藁稈之矽酸含量而得極顯著的增產；59年第一、二期作比對照區平均各得11.8%及10.7%之增產；60年第一、二期作亦平均各得 13.0%及9.8%之增產。其增產效果乃爲一穗粒數、稔實率及千粒重等收量構成要素之顯著增進使然。
5. 堆肥之加施，亦得很顯著的增產效應；59年第一期作比對照區得 4 %至18%，第二期作平均得 4 %之增產；60年第一、二期作平均各得3.2%及4.6%之增產。由無機養分含量觀之，堆肥之施用顯然可增加藁稈矽酸含量。
6. 矽酸鈣與堆肥之併用，增產效果更顯著；59年第一、二期作比對照區平均各得23.5%及14.1%之增產，60年第一、二期作平均各得21.1%及16.7%之增產。故茶園轉作田之肥培改善措施，除施用多量磷肥（150公斤 P_2O_5/ha.）之外，矽酸鈣及堆肥之加施，更能提高其單位面積產量。

五、參 考 文 獻

（1）石門水庫計劃資料整理與研究（1967）經濟部水資源委員會出版　經濟研究叢刊四。

（2）五十六年度各試驗場所水稻土壤肥料試驗研究成果報告（1968）農林廳彙編。

（3）李蘭帝（1964）：擴散法在氮定量之應用　土壤肥料通訊156期。

（4）同上（1966）：大量植物樣本氮磷鉀的迅速測定法　農業研究15卷2期。

（5）同上（1967）：植物體鈣鎂鐵及錳的迅速測定法　土壤肥料通訊205期。

（6）吉田昌一、今泉吉郎（1958）：日本農業技術研究所報告B 8號。

（7）曾憲鼎、王接皇（1963）：臺灣土壤速測之研究報告（水稻）土壤肥料通訊151期。

（8）盛澄淵、蘇楠榮、林銅鐘、馮明彬（1964）：桃園紅壤磷鉀含量與水稻營養及肥料效應之關係　中華農學會報新第48期18～34頁。

（9）江川友治、關谷宏三（1959）：日本農業技術研究所土壤第一科成績書。

(10) Chang, S.C. & Jackson, M.L. (1957) : Soil Sci., 84 : 131

(11) 林武、瀧嶋康夫（1953）：土壤肥力誌23：257

(12) Chang, S.C. & Jackson, M.L. (1958) : Jour. Soil Sci., 9 : 109

(13) 江景村（1963）：土壤肥力誌34：18

(14) 連深（1963）：矽對水稻之效應（第二報）農業研究12卷3期16～28頁。

(15) 吳啓東、連深（1965）：矽對水稻之效應（第三報）農業研究14卷3期45～48頁。

STUDIES ON SOME GROWTH INHIBITING FACTORS OF LATOSOLIC PADDIES NEWLY CONVERTED FROM TEA PLANTATION IN SHIEH—MUN DAM IRRIGATION AREAS[1]

By

Huang Wen—Lian[2]

Summary

In attempt to clear the cause of low productivity and find out the efficient fertilization of latosolic paddies newly converted from tea plantation in Shieh-Mun Dam irrigation areas, field trials were carried out during the crop seasons of 1970 and 1971. The results obtained are as follows :

1. The tested paddy soils recently converted from upland conditions are reddish brown latosols which are strongly acidic and relatively low in fertility. It is characterized by large capacity of fixation of phosphorous and quick transition of applied phosphorous to firmly combined compounds, of which insoluble—P and Fe—P occupy more than 90 per cent. Consequently the available amount of soil phosphorous is extremely low. Silica content extractable with pH 4.0 acetate—buffer solution is also very low, being below 4 mg SiO_2/100g soil.
2. The rice plants grown in this soil are showing short plant height, few tillers, and narrow dark green leaves. At the reproductive stage the formation of spikelets per ear and maturity are apparently inhibited. The spikelets are rather small and mostly in dark brown color, thus resulting in low 1,000 grain weight.
3. The poor growth of paddies in this soil is primarily due to extreme defficiency of phosphorous ; P content in straw ranged from 0.046% to 0.076%. Application of phosphorous at the rate of 150 kg P_2O_5/ha. markedly raised the P content in straw and gave remarkable grain yield increase ; the increases of grain yield in average were 57 % in the first crop and 46% in the second crop in 1970. However, at the rate of P_2O_5 250kg/ha. with split application gave no increase in yield.
4. Additional supply of calcium silicate gave a substantial increases of grain yield, primarily due to marked increase in panicle weight and 1,000 grain weight. The increases were 11.8% and 10.7% in the first and second crops in 1970, and were 13.0% and 9.8% respectively in 1971.
5. Application of compost was also beneficial, giving consistent yield increase of 3% to 4% than that of check in both 1970 and 1971. It seemed that compost was an important source of silica supply.
6. The additional use of calcium silicate with compost showed marked effect on grain production ; comparing with check, increases were 23.5% and 14.1% respectively in the first and second crops in 1970, and they were 21.1% and 16.7% respectively in the two crops of 1971.

---

1. Serial No. (Q) 595
2. Associate Agronomist of TARI, Taiwan, Republic of China