

## 轉作玉米田土壤肥力限制因子研究<sup>1</sup>

李 子 純<sup>2</sup>

**摘要** 本研究係利用廳屬各農場設於全省之轉作玉米田適栽標準栽培區進行者，研究期作及地點包括73年秋作共46點，74年春作共32點。進行方法為於各標準栽培區整地施肥前採取其土壤樣本及剖面，前者作各項理化性質分析，後者為瞭解各試區土系及底土性質、排水狀況等。玉米發芽後30—45日採取植株樣本作葉片分析，以明瞭其營養狀況，並利用「診斷推薦綜合系統」(DRIS)方法計算各養分之指數(DRIS indices)，尋找限制因子，以與土壤分析資料對照。收穫後記錄其產量，目的為探討本省各地轉作田之土壤肥力限制因子。同時在各標準栽培區設無磷區，不施磷肥，以比較磷肥效果，期能獲得轉作田之玉米磷肥診斷標準。所得結果如下：

1. 土壤性質與玉米產量的相關分析顯示玉米產量僅與土壤間含水量成顯著負相關關係。土壤水分影響玉米發芽率及生長，與玉米產量確有最密切的關係。
2. 轉作田土壤磷肥需要量無法依土壤有效磷(Bray P或Olsen P)含量高低決定。但由各試區內無磷區產量均未超過施磷區者可知磷肥對轉作田的重要。
3. 磷肥效果以春作較高。無磷區產量百分率( $NK/NPK \times 100$ )春作平均為81.8，秋作為89.7。其中又以北部及臺東地區磷肥效果最高。
4. 土壤分析資料顯示轉作田土壤中，Fe、Mn及Mg在土層中均有明顯下移現象，而有效性P、K含量則表土遠高於底土。植物分析資料及由其計算出的DRIS指數更顯示玉米生長前期(發芽後至45日)普遍缺P、Mn及Mg而以K含量最高。玉米生長前期，土壤中較高的鉀含量顯然已經抑制玉米對Mg及Mn的吸收。
5. 在針對前項限制因子改良的副試驗中，的確證實P及Mn的重要，而鉀的效果則只在排水較差地區較為明顯。

旱田與水田性質迥異<sup>(3,6)</sup>，本省農田經長期種植水稻後，轉作玉米，土壤肥力應有需要改進或注意之問題存在，極需探討。又磷肥對旱作的效果遠大於水稻，尤其對新由水田轉作之旱田，其磷肥需要量或更為不同。玉米磷肥需要量之診斷雖已有上年度本所及各改良場合作之三要素肥料需要量試驗<sup>(1)</sup>，然仍有在較多地點探討之必要。

新興之「診斷推薦綜合系統」(Diagnosis and Recommendation Integrated System or DRIS)<sup>(2,9,10)</sup>方法係利用葉片分析診斷作物營養狀況，此法係為克服過去利用「臨界濃度」(Critical concentration)或「適量範圍」(Sufficiency range)診斷時，必須受採樣時間、部位，作物品種及地域等限制之缺點而設計。其方法係依各要素間的平衡關係作成各營養素的指數，此指數有正負及高低，但各指數相加之總和必為零，負數愈大即表示產量受其限制愈大，為極佳之診斷推薦方法。本研究中也將試予採用，與土壤分析資料配合，以探尋本省轉作玉米田的土壤肥力限制因子。

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1406 號。本研究承行政院農業發展委員會補助，謹此致謝。  
2. 本所農業化學系研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。  
3. 李研究員子純不幸於77.5.6逝世，本刊深表悼念並緬懷其在土壤肥力試驗研究方面之卓越貢獻。

## 材料及方法

(一) 試驗期作：73年秋作及74年春作

(二) 實施地點：包括農林廳所屬各改良場設於全省之玉米適栽調查標準栽培區73年秋作共46點。74年春作共32點，各場之點數如下：

			73 年 秋 作	74 年 春 作
臺	東	場	5	5
花	蓮	場	5	5
桃	園	場	7	8
臺	中	場	10	5
臺	南	場	12	9
高	雄	場	7	0
合		計	46	32

(三) 試驗處理：各適栽調查標準栽培區之面積均為 500m<sup>2</sup>，以其中 100m<sup>2</sup>設無磷區，不施磷肥，無重複。

(四) 調查及分析項目：

1. 土壤採樣分析：各試區整地施肥前採取其表土（0-20cm）及底土（20-40cm）樣本（73年秋作僅採表土）作各項理化性質分析，項目包括土壤PH，有機質，CEC，交換性Ca、Mg、K，有效性P、K、活性鐵、易還原性錳、質地及田間含水量等。同時採取土壤剖面以明瞭其土系及底土性質、排水情形等。
2. 植物採樣分析：玉米發芽後30—45日採取各試區之玉米植株樣本，分析其全株葉片，吐絲期採取總葉作葉片分析，以明瞭其營養狀況，分析項目包括N、P、K、Ca、Mg、Zn、Mn、Cu、Fe等九項。
3. 收穫後記錄其產量。

(五) 統計分析：

1. 玉米產量與土壤理化性質的相關分析。
2. 玉米產量與植物營養要素含量的相關分析。
3. 不同時期玉米葉片養分含量以DRIS方法計算各養分的DRIS指數。

## 結果及討論

(一) 土壤性質與玉米產量：

本研究中之土壤曾作詳盡之理化性質分析共21項目，並將各項性質分別與玉米產量作迴歸分析。茲將兩作玉米產量與其土壤之重要理化性質之單相關係數列於表1（其他性質與產量間無顯著相關者未列出）。

由於玉米產量受地區及氣候的影響很大，尤其東、西部無法同時比較，故表1中除有全省的資料外，另有分為東、西兩部分者。茲分兩作討論如下：

1. 73年秋作：

由表1知在73年秋作中全省43觀察區與產量之關係達顯著程度之土壤性質只有田間含水量

表1. 玉米產量與土壤性質間的單相關係數

年 度	土 層	地 區	樣 本 數	PH	O. M.	CEC	Ex.			Easi. red. Mn	Free Fe	%			Field Capacity													
							Ca	Mg	K			Sand	Clay	Silt														
73	表 土	全 省	43	0.147	-0.173	-0.200	-0.032	-0.092	-0.290	-0.048	-0.67	0.098	-0.002	-0.119	-0.308*													
																東 部	10	0.660*	-0.275	-0.115	0.434	-0.103	-0.212	0.304	-0.197	0.131	-0.072	-0.098
74	表 土	全 省	29	-0.345	0.363*	0.189	-0.245	-0.142	-0.005	-0.336	0.095	0.136	-0.182	0.038														
															東 部	10	0.072	-0.074	0.148	0.024	0.341	0.154	0.110	-0.044	-0.024	0.226	-0.117	-0.065
底 土	全 省	28	-0.297	0.098	0.149	-0.316	-0.210	-0.020	-0.291	** 0.532	0.164	0.289	-0.406*	-0.141														
															東 部	9	0.313	-0.166	0.187	0	0.434	-0.392	0.114	0.529	-0.062	0.265	-0.063	0.067

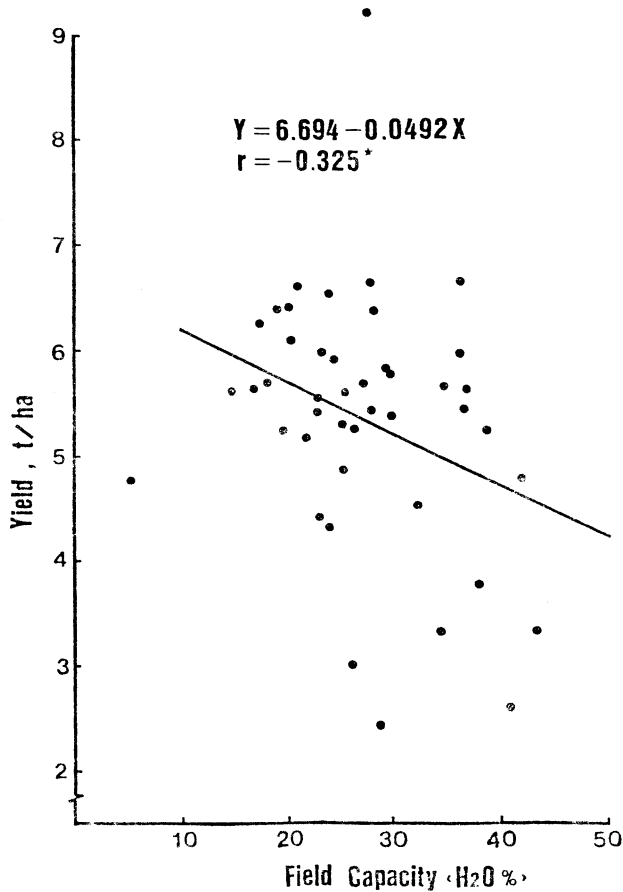


圖1. 玉米產量與土壤田間容水量的相關關係

，與其他土壤性質之關係均不顯著。玉米產量與田間容水量呈 5% 顯著程度的負相關關係（圖 1）。顯示田間容水量高者，也即土壤質地較細者，玉米產量較低。土壤水分影響玉米的發芽率及生長。對玉米產量的影響的確大於土壤其他性質。

如將東、西部分開計算，則東部地區（包括臺東、花蓮）十處之產量僅與土壤性質中之 PH 呈 5% 顯著之正相關關係（表 1，其關係繪於圖 2。圖中各點之數字代表地點：1—5 為臺東；6—10 為花蓮。此圖顯示花蓮地區之玉米產量與土壤 PH 之關係似更密切。

73 年秋作東部地區十標準栽培區之玉米產量及主要土壤性質列於表 2。由此表可知十處土壤之 PH 在 5.0 至 7.7 之間。PH 對產量的影響通常係由於 PH 與其他土壤性質之關係而起。經迴歸分析結果，PH 僅與土壤交換性鈣及有效磷間有顯著的相關關係，單相關係數依次為： $r = 0.834^{**}$  及  $-0.743^*$  (Bray P),  $-0.726^*$  (Olsen P)。

本報告前已述及新由水田轉為旱田之土壤有效磷含量無法以 Bray 或 Olsen 法測得之磷表示，則其與玉米產量之關係可不必重視。因此玉米產量即僅與土壤中交換性鈣含量有顯著正相關關係：含鈣高的土壤玉米產量較高。經查玉米與鈣的關係並不顯著 ( $r = 0.439^{ns}$ )。表 2 的資料也顯示在臺東池上與成功兩地含鈣均高，而產量却相差懸殊。此二試區同為有機物、CEC 及交換性鈣高之黑色土，但成功的土壤遠較池上粘重，Clay 含量依次為 42% 及 19%，故成功的玉米產量遠低於池上，足見質地對產量影響之巨，過細的質地不利於玉米生長。

表 1 顯示西部33標準栽培區的玉米產量與土壤性質間全無顯著相關關係。

2.74年春作：

由表 1 知74年春作中，與玉米產量關係達顯著平準之表土土壤性質僅土壤有機質含量。在三要素肥料中，玉米需要量最多者仍為氮肥、故與土壤有機質之正相關關係應可想像。又與底土中活性鐵含量成 1% 顯著之正相關關係，顯示底土中Free Fe含量高者，玉米產量較高。底土Free Fe含量高多為表土淋洗較多也即排水較佳者，結果與一期作甚相符合。

表2. 73年秋作東部玉米適栽標準栽培區玉米產量及主要土壤性質

地 點	產 量 kg/ha	pH	O. M. %	CEC	Ex.			%		Field Cap.
					Ca me/10	Mg	K	Clay	Silt	
臺 東 太 麻	6,659	7.7	1.3	2.89	21.38	0.63	0.063	15.6	71.1	36.51
豐 谷	5,778	5.7	1.9	6.11	3.50	0.76	0.243	12.6	45.7	29.83
豐 樂	5,664	5.6	1.4	5.38	3.00	0.72	0.166	14.8	57.5	34.59
池 上	5,824	6.4	2.3	22.65	12.00	3.81	0.442	18.8	37.5	29.45
成 功	3,324	5.9	4.7	44.62	18.00	14.72	0.780	41.8	42.5	43.40
花 蓮 玉 里	3,333	6.0	2.0	4.91	3.38	0.44	0.128	15.2	59.5	34.79
玉 里	4,317	6.9	1.7	28.87	16.00	3.71	0.895	13.2	28.3	24.27
富 源	2,593	5.0	3.8	9.83	3.13	0.41	0.409	16.2	64.1	41.00
風 林	2,433	5.4	0.5	3.75	1.75	0.26	0.281	8.0	62.7	28.91
風 林	3,000	5.1	1.8	7.92	2.68	0.30	0.148	13.4	50.9	26.43

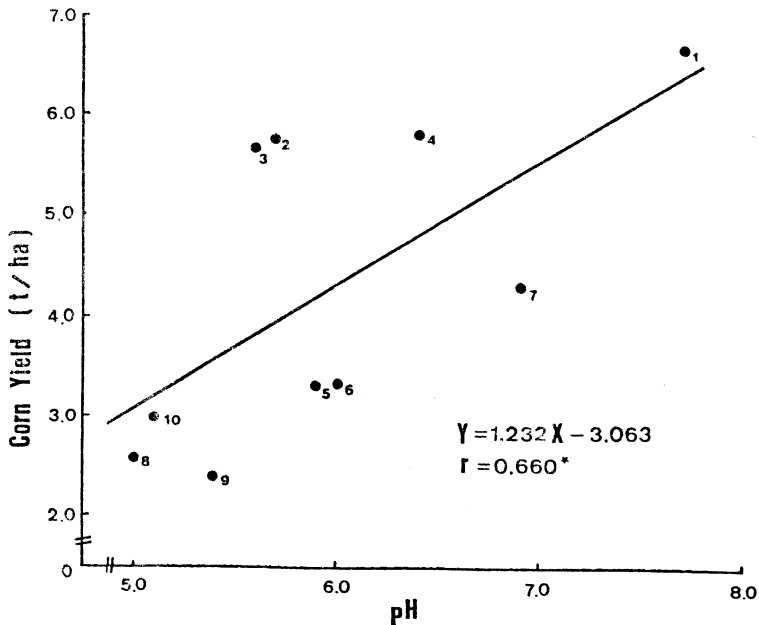


圖2. 東部試區玉米產量與土壤pH的關係 (73年秋作)

### 3. 轉作田表、底土養分含量的比較：

轉作田土壤由於過去長期種植水稻，絕大部分土壤中均形成明顯的犁底層，其深度約在15-20cm，厚度約為3-4cm，兩層中養分含量大不相同。

為比較各試區中表、底土活性鐵，易還原性錳，及有效磷、鉀含量，將74年春作32試區各項目之含量範圍及其平均值列於表3。此表顯示土壤中 Fe, Mn確有明顯下移現象，而有效磷、鉀含量則反是。此現象應係由於本省土壤長期種植水稻，土壤中 Fe, Mn因浸水還原而淋洗至下層。有效磷、鉀則因過去施肥多在表土，而其在土壤中的移動又較困難，故均以表土明顯高於底土。

但玉米根的伸長雖快，田間觀察發現，大部分玉米根羣密集在表土內，不易穿透犁底層。

表3. 74年春作玉米適栽標準栽培區土壤中活性鐵，易還原性錳及有效磷、鉀在表、底土壤中含量範圍及平均值

項 目	活 性 鐵 Fe (%)		易 還 原 性 錳 Mn (ppm)		有 效 磷 Olsen p (ppm)		有 效 磷 Bray p (ppm)		有 效 鉀 Mechlich k (ppm)	
	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40	2—20	20—40	0—20	20—40
土 層 (cm)	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40	2—20	20—40	0—20	20—40
範 圍	0.38-1.43	0.52-2.65	3—304	9—440	5—159	3—75	2—46	0.1—31	16—273	17—137
平 均	0.78	1.08	58	110	33	11	18	5	83	49

### (二) 磷肥效果：

由於試區多，無法將各標準栽培區產量個別列出，故僅將試區依地域分為五部分，各以其產量之範圍及平均值列於表4。表4中73年秋作僅以36處計算。因部分觀察區未設無磷區；74年僅以27處計算。因該年五月下旬南部地區受強風豪雨侵襲，部分試區玉米倒伏嚴重，產量無法計算。

表4之資料顯示除北部地區兩作產量極為接近，花蓮地區春作產量較高外，其他地區秋作玉米產量均顯著高於春作。兩作中產量最低者均為花蓮地區。無磷區產量百分率(NK/NPK×100%)則秋作平均為89.7%；春作為81%，春作磷肥效果普遍較好，其中又以北部(桃園、新竹)及臺東地區磷肥效果最好。但據本研究兩作資料之迴歸分析結果，土壤中有效磷含量(Bray P或Olsen P)或葉片中磷含量與無磷區玉米產量百分率均無顯著之相關關係。

圖3為74年春作各標準栽培區無磷區產量指數與土壤有效磷的相關關係圖(與Olsen P的相關係數 $r=0.2699^{ns}$ )。其間的關係雖不顯著，但可看出2試區中，僅一試區(Bray P=12 ppm)無磷區產量為99%，其他各試區雖有效磷(Bray p)高達45ppm P，施磷仍可獲5%以上的增產。

由表4知兩作中以74年春作北部地區各試區產量差異最大，無磷區產量範圍在1.8-6.4t/ha間，磷肥效果也高，但此七處無磷區產量百分率與土壤有效磷含量間也無顯著之相關關係；其與Bray P的曲線相關係數 $r=0.515^{ns}$ 與Olsen P則 $r=0.351^{ns}$ 。

由於Bray及Olsen氏法測得的土壤有效磷均與無磷區產量百分率間無顯著的相關關係，而觀察區中無磷區產量又無超過施磷區者，故本試驗中只能獲知轉作玉米田磷肥的重要性，但無法定出需磷診斷標準。唯由診斷推薦綜合系統方法計算出之各養分DRIS指數判斷，春作中多數缺磷區之磷肥用量(最高用量90kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha)仍嫌不足。73年度由本所及各區農改場設於全省八地點之玉米三要素需要量試驗中也發現秋作玉米平均需磷量可能略高於100kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/

表4. 各地區無磷區及施磷區兩作玉米產量 (kg/ha) 及無磷區產量指數

地 區	73 年 秋 作						74 年 春 作					
	試驗 點數	Po		P		Po/P	試驗 點數	Po		P		Po/P
		範 圍	平 均	範 圍	平 均	× 100		範 圍	平 均	範 圍	平 均	× 100
北 部	3	3,699	4,505	5,438	5,709	78.9	7	1,761	4,744	3,894	6,092	77.9
		5,064		5,993				6,393		7,831		
中 部	10	4,730	5,459	4,867	5,654	93.6	5	3,560	4,184	3,700	4,684	89.3
		6,300		6,650				4,730		5,600		
南 部	18	4,145	5,433	3,777	5,364	97.6	6	2,952	3,712	3,280	4,150	89.4
		6,900		6,606				4,766		5,280		
臺 東	5	3,020	4,662	3,324	5,450	85.5	5	2,416	3,379	4,109	5,041	67.0
		5,548		6,659				4,618		5,879		
花 蓮	5	—	—	2,433	3,135	—	4	2,718	3,301	3,185	3,894	84.4
				4,317				3,669		4,379		
平 均			5,015		5,102	89.7			3,864		4,772	81.0

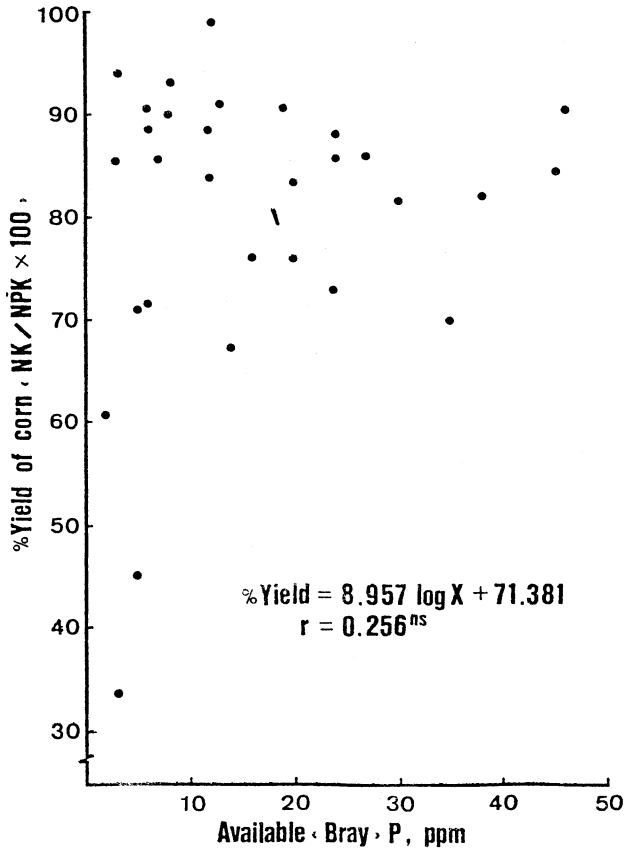


圖3. 土壤有效磷與無磷區玉米產量百分率的關係



表 5 顯示鉀的含量在花蓮地區尤高，在 5.39—6.49% 之間，75 年秋作該地區各栽培區含量也在 3.98—6.23% 之間，其他各地雖少有超過 6% 者，但在各要素中，仍屬含量偏高者。

雖然由於施鉀而引起鉀過多或毒害的情形非常少，但在肥力低的土壤中連續施用鉀肥時常有引起次要元素缺乏情形的報告，如若干作物及土壤因鉀過多而引起 Mn 的缺乏，Zn 及 Fe 的吸收也受阻<sup>(92)</sup>。

鉀過多也常引起其他元素吸收的障礙，其中最顯著的例子為 Mg，曾在很多土壤及作物中發現<sup>(4)</sup>。

本試驗中東部兩作適栽栽培區土壤之 K/Mg 比與玉米葉片 Mg 含量 (30—45 日) 間即有 5% 顯著程度的負相關關係如圖 4 此圖顯示當土壤 K/Mg 比大於 0.46 時，玉米葉片 Mg 含量均在 0.24% 以下。

表 5 的 DRIS 指數中顯示東部十處標準栽培區中有七處以 Mn 的指數最低，也即此七處最缺乏的要素可能是 Mn，在全省其他栽培區中，情形也與此相似。按玉米對錳的需要量較低<sup>(2)</sup>，雖其生長初期需 Mn 較多，但需要量隨玉米成長而漸減<sup>(7)</sup>，故美國種植玉米甚少有缺 Mn 的情形發生<sup>(2)</sup>。本省農田土壤由於陽離子交換能量原即較低，更經長年種植水稻，表土中的 Mn 因還原及淋洗而移至底層，且前曾述及表土含鉀量高，玉米生長前期含鉀量特高，更可能影響 Mn 吸收，故玉米前期對 Mn 的缺乏極有可能，其中又以 pH 較高之土壤為然。

但玉米雌穗吐絲期之穗葉養分分析及 DRIS 指數則顯示此時期之營養狀況與初期不同，此時鉀含量已不再偏高，而 P 及 Mn 的缺乏也恢復正常。

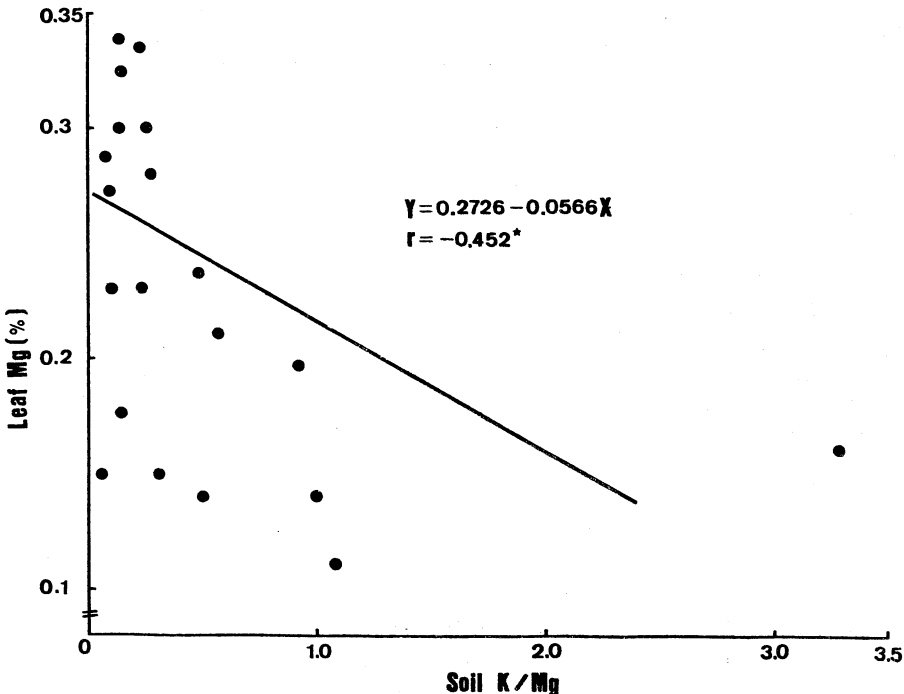


圖 4. 東部地區土壤 K/Mg 比與玉米葉片 Mg 含量的關係

## 副 試 驗

## 稻田轉作玉米土壤肥力限制因子改良試驗

本研究為係於75年春作分別在臺東關山及彰化二林、芳苑等三處同時進行，目的為探討 Mn、Mg、P 及 K 的施用對玉米產量的影響，由農試所及臺東改良場合作進行。

三試區土壤分屬強酸性及石灰質土壤，表土有效磷含量在 8 至 27ppm P 之間，質地分屬壤土及粉質壤土，交換性鎂含量在 0.25 至 3.21me/100g soil 之間，DTPA 抽取性 Mn 在 4 至 10ppm 間，有效鉀含量在 12 至 58ppm K 之間。

試驗共分五處理（依次為 NPK、-P、-K、+Mn+MnMg），五重複，田間排列依拉丁方設計，小區面積 38.5m<sup>2</sup>。

所得結果如下：

1. 各處理中，以磷肥效果最大，三試區施磷（100kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha）增產率在 4—26% 之間，平均增產 11%。
2. 錳效果居次，錳係以硫酸錳（20kg MnO/ha）與三要素基肥同時施於播種溝側，其增產率在 6—14% 之間，平均為 9%。
3. 鉀肥（80kg K<sub>2</sub>O/ha）效果在 0—8% 之間，平均為 4%，鉀肥效果之高低與土壤有效性或交換性鉀含量之高低無關，僅在排水情況較差之試區效果較佳。
4. 施 Mg 可減低玉米對 Mn 的吸收，當施 Mn 處理再加施 Mg 肥時（80kg MgO/ha），三試區玉米產量均隨之降低。顯示在此等轉作田中，玉米對錳的需求較 Mg 更重要。

## 參 考 文 獻

1. 連深等·1985·稻田轉作玉米之施肥效應及營養因素探討（一）三要素需要量及矽酸爐渣和堆肥之效應  
農林廳73年度土壤肥素試驗示範報告
2. Aldrich, S. R., and E. R. Leng. 1972. Modern corn production.
3. Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Sci. Bull. 1. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa.
4. Boynton, D., and A. B. Burrell. 1944. Potassium induced magnesium deficiency in the McIntosh apple tree. Soil Sci. 58 : 441-454.
5. Brandon, D. M., and D. S. Mikkelsen. 1979. Phosphorus transformations in alternately flooded California soils: I. Cause of plant phosphorus deficiency in rice rotation crops and correctional methods. SSSA J. 43 : 898-994.
6. Foth, H. D., 1984. Fundamentals of Soil Science. 7th ed., John Wiley & Sons.
7. Gorsline, G. W., D. E. Baker and W. I. Thomas. 1965. Accumulation of eleven elements by field corn (*Zea mays* L.) Penn. State Univ. Exp. Sta. Bull. 725, 30 p.
8. IRRI. 1978. Soils and rice. The International Rice Research Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.
9. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano, W. L. Lindsay. 1972. Micronutrients in Agriculture. Proceedings of a symposium held at Muscle Shoals, Alabama, April 20-22, 1971. Soil Sci. Soc. of America, Inc.
- 9a. Reuther, W., and P. F. Smith. 1954. Leaf analysis of citrus. Chap. 7 : 257-294. in 'Mineral nutrition of fruit crops'. N. F. Childers, Ed. Somerset Press, Somerville, New Jersey.
10. Schulte, E. E., K. A. Kelling. 1984. Plant analysis: Uses and Limitations, in 'Proceedings of the 1984 Fertilizer, Agrilime & Pest Management Conference'. Vol. 23, University of Wisconsin-

sin, Madison, Wis., U. S. A.

11. Sumner, M. E. 1976. Use of the DRIS System in foliar diagnosing field problems at high levels. *Am. Soc. Agron.*, Huston, Texas, Nov. 30, 1976.
12. Sumner, M. E. 1977b. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. *Commum. Soil Sci. Plant Anal.* 8 : 269-280.
13. Willett, I. R., and M. L. Higgins. 1973. Phosphate sorption by reduced and reoxidized rice soils. *Aust. J. Soil Res.*, 16 : 319-326.
14. Willett, I. R. 1979. The effects of flooding for rice culture on soil chemical properties and subsequent maize growth. *Plant and Soil* 52 : 373-383.

## Study on Fertility Constraints of the Paddies Converted for Corn Production

Lee Tze-Shun

### Summary

This study was carried out on all the standardized corn cultivation plots laid out islandwide for corn adaptation on the converted paddies. Forty-six plots in the autumn crop, 1984, and thirty-two plots in the spring crop, 1985 were included in this study.

Surface and sub-soil samples were collected from each of these plots before land preparation and fertilization, physical and chemical properties were analyzed. Plant samples were taken twice: once for whole corn plants 30 to 45 days after emergence, and once for ear leaf at the silking stage. Nutrient concentration were determined and DRIS indices calculated for each element. To evaluate P response and P diagnostic criteria, 100m<sup>2</sup> within each of the 500m<sup>2</sup> plots applied no phosphorus. Yields were recorded after harvesting.

The results are summarized below.

1. Among all the soil properties, only the water holding capacity was significantly negative correlated with corn yield. Soil moisture is really the most important factor that effects the emergence and growth of corn.
2. Neither Bray nor Olsen's method can effectively extract the amount of phosphate that is available for the plants grown in the converted paddies. The fact that corn yield was always higher in the plots with P than those without it proves the necessity of P fertilization in those soils.
3. Yield response to phosphate was higher in the spring than autumn crop. The percentage yield without P (NK/NPK×100) were 81.0 and 89.7 respectively, and the best response was found in Northern Taiwan and Taitung area.

4. Soil analysis results shown that free Fe, easily reducible Mn and exchangeable Mg were obviously lower in the surface than sub-soil, while available P, K concentration were in the opposite way. Plant analysis data and the DRIS indices calculated from it indicated that there are widespread deficiencies of Mn, Mg, P and an excess of K among all these converted paddies in the early growth period (45 days after emergence) of corn,
5. In a subsidiary experiment carried out in 1986 in three field trials including both eastern and western Taiwan, phosphorus and manganese proved to be both beneficial and potassium response was found only in the ill-drainage area.

---

1. Contribution No. 1406 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI).

2. Senior Soil Scientist, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wu-feng, Taichung, Taiwan 41301, R. O. C.