

# 休耕田轉作玉米之土壤與營養管理

譚增偉、陳桂暖

行政院農業委員會農業試驗所

## 摘 要

於本省中南部沖積土進行多處秋作玉米肥料三要素試驗，探討土壤肥力能限分類(FCC)應用於旱作施肥推荐之可行性。各地玉米之施肥效應大致以氮較高、磷次之、鉀最低。各別氮肥效應之土壤間差異很大，轉作田犁底層之存在降低不同表底土型間之差異，具a因子(強酸性)者氮肥效應最差，具b因子(pH>7.3)氮肥需要量較高，而g因子(排水不良)者氮肥效應亦最低。磷肥效應與土壤有效磷(Bray氏第一法)測定值之關係顯著，唯本試驗結果有效磷之臨界值極高，此與轉作田之無定形鐵含量及鐵活性比有關，可作為磷之施肥診斷參考。鉀肥效應與交換性鉀含量呈極顯著相關，與非交換性鉀則否，但交換性鉀含量低時，非交換性鉀含量低者(k因子)呈更佳之鉀肥效應。又排水不良土壤之k肥效應亦較為明顯，因此對鉀肥效應，除依表土有效鉀含量預測外，尚需考慮非交換性鉀含量及排水不良等因子酌量施肥。土壤管理(整地與否、灌溉)及氣候異常均影響肥料效應與產量。

**關鍵字：**肥力能限分類、有效性磷、交換性鉀、非交換性鉀、強酸性、石灰性、無定形鐵、鐵活性比、排水不良、肥料效率、整地與不整地、深層施肥。

## 前 言

過去本省施肥推荐(如P.K推薦)均以表土有效養分測定結果為依據，實際上施肥量與土壤中有效養分間之關係受其他土壤性質之影響，如表底土質地，pH、排水，CEC等重要土壤性質均應加以考慮。Buol等人曾提出土壤肥力能限分類，該分類係一種技術性的分類系統，以作為肥力管理的依據，該分類即以土壤的表底土

型及肥力限制因子為依據構成土壤肥力能限分類的單位。故如將此分類與有效養分之測定一併應用於施肥推荐，應可獲得更經濟有效之推荐方法。

臺灣省農業試驗所曾於1978~1981年與各區農業改良場合作，完成本省土壤肥力能限分類調查工作，並將此分類系統應用於水稻三要素施肥推薦。然此分類系統尚未應用於旱作物(玉米)施肥推荐。唯在諸多肥力限制因子中，僅就a (強酸性)、b (石灰性)、g (排水不良)、i (Fe-P固定)及k (低非交換性鉀含量)等因子探討其對施肥效應之影響。

### 材料與方法

1.試驗地點及土壤理化性質：於本省中南部沖積土共27處進行秋作臺農1號玉米肥料三要素試驗。試驗地點土壤之理化性質及FCC單位如表1、2、3。

表 1、77 年秋作各試驗地土壤之理化性質

FCC 分類	地點	pH	有機質 (%)	有效性 P (ppm)		有效鉀 (ppm)	交換性鉀 (ppm)	非交換性鉀 (ppm)	Free Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
				Bray 1.	Olsen				Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	
Lb	義竹	A	7.6	1.6	4.5	5.0	37	61	306	0.38	0.86
		B	7.7	0.6	3.3	4.0	22	41	240		
Lak	霧峰	A	4.6	1.1	29.1	20.3	61	98	81	0.32	1.17
		B	4.8	0.7	21.0	14.9	76	104	113		
LCb	元長	A	7.8	1.8	12.0	12.0	58	75	399	0.47	1.0
		B	7.8	1.7	8.3	10.2	5	90	543		
LCa	太保	A	4.7	2.3	17.2	10.9	117	143	192	0.42	1.28
		B	4.8	1.2	5.2	4.4	28	64	516		
Lg	太保	A	5.5	2.6	51.0	35.0	55	78	308	0.36	1.21
		B	6.7	1.9	9.2	10.0	18	58	451		
LC	鹿草	A	6.8	1.9	24.3	22.2	74	105	425	0.35	1.51
		B	7.1	1.2	2.9	6.1	27	66	483		
LCk	斗六	A	6.8	1.0	35.4	31.5	23	36	95	0.57	1.51
		B	7.2	0.6	6.5	13.1	30	48	119		
Lki	太保	A	5.3	3.0	50.0	25.0	25	33	79	1.16	1.54
		B	6.0	2.1	17.0	11.0	17	25	82		
LCk	鹿草	A	6.3	2.0	6.3	9.4	71	90	105	0.78	1.85
		B	7.3	1.1	2.8	6.1	39	59	170		
L	太保	A	5.7	3.2	30.5	3.1	20	33	679	1.23	1.81
		B	6.6	2.2	18.3	18.6	15	30	680		
Lk	霧峰	A	5.5	0.9	16.2	14.0	46	58	90	0.69	1.53
		B	6.4	0.7	6.5	7.5	42	45	101		

註：A：表土，1~15 公分 B：底土，15~30 公分 有效鉀：Mechlich k

表 2、78 年秋作各試驗地土壤之理化性質

FCC 單位	地點	pH	有機質 (%)	有效性磷(ppm)		有效鉀 (ppm)	交換性鉀 (ppm)	非交換性鉀 (ppm)	
				Bray 1.	Olsen				
L	褒忠	A	6.7	1.0	2	3	18	22	210
		B	6.5	0.8	1	3	11	14	280
Cbi	水林	A	7.4	2.5	42	38	16	23	505
		B	7.8	2.1	31	25	20	32	510
Lk	六腳	A	6.1	1.2	38	37	95	120	78
		B	6.0	1.1	24	20	80	100	110
Lk	六腳	A	6.3	1.2	53	47	130	160	105
		B	6.5	1.0	12	13	44	64	134
La	太保	A	4.4	1.4	60	43	108	153	320
		B	4.5	1.0	10	11	25	49	405
Ci	鹿草	A	5.3	2.6	40	45	126	150	510
		B	6.5	1.6	12	17	47	59	654
Ca	鹿草	A	4.8	2.4	26	21	96	132	410
		B	6.0	1.5	8	6	41	80	480
C	鹿草	A	5.8	3.2	5	4	83	115	520
		B	6.8	1.9	2	3	31	67	580

表 3、79 年秋作各試驗地土壤之理化性質

FCC 單位	地點	pH	有機質 (%)	有效性磷(ppm)		有效鉀 (ppm)	交換性鉀 (ppm)	非交換性鉀 (ppm)	
				Bray 1.	Olsen				
L	斗六	A	7.0	1.2	10	9	13	24	305
		B	7.1	0.6	6	4	8	12	387
LG	斗六	A	7.3	1.8	18	16	22	40	302
		B	6.9	1.1	10	7	18	31	400
LGi	斗六	A	6.2	2.3	46	39	27	51	420
		B	6.4	2.1	19	21	23	36	460
LG	斗六	A	5.5	1.2	23	18	76	90	250
		B	6.1	0.8	8	10	14	29	305
Sk	二林	A	6.8	0.7	3	5	26	48	115
		B	7.1	0.5	1	2	17	36	140
Lb	二林	A	7.4	1.9	3	4	25	47	392
		B	7.5	1.2	2	2	13	31	424
Sbk	二林	A	7.4	1.1	3	2	30	51	125
		B	7.6	0.6	0	1	25	37	170
Lg	芳苑	A	6.8	1.4	57	65	147	155	287
		B	6.9	0.8	29	38	55	79	311

- 2.試驗設計及處理：總計氮、磷、鉀各4變級(但因各肥力限制因子而稍有不同)之不完全組合，共八處理、四重複、逢機完全區集。各地小區面積38.5平方公尺，行株距為70×25公分，整地播種、玉米膝高期培土。肥料施用方法依肥料手冊(1)所訂標準方法。
- 3.調查分析項目：試驗開始前採取表土(0~15公分)、底土(15~30公分)分析土壤一般性質及游離鐵、無定形鐵<sup>(4)</sup>。另採土壤剖面標本以鑑定土壤排水情形。調查穀收量。
- 4.玉米幼苗之鋁毒害調查：此為調查本省土壤可能造成Al毒害的情形，以求得其可能之臨界pH值或鋁飽和度。取不同pH之土壤置於塑膠罐中(7×8公分)，水分調節至最大容水量的70%，不加任何肥料。每罐種植3粒剛發芽的玉米種子，種植後7天觀察根系及地上植株生長狀況，並調查根長。交換性鋁用1N KCl抽出以ICP測定，交換性Ca、Mg、K用1 N醋酸銨(pH 7.0)抽出，鋁飽和度之計算屬 $\text{ex. Al (me/100 g) / ex. Ca+Mg+K+Al (me/100 g)}$ 。

## 結果與討論

由各試驗地氮、磷、鉀不同等級肥料之玉米收量可描繪各要素之效應曲線，如以無肥區產量百分率表示(圖2、6、7)三要素對玉米產量之效應以氮最高、磷次之、鉀較低。今依各要素別檢討可能影響肥料需要量之不同表底土型及肥力限制因子。

### 一、氮肥效應

各試驗地之無氮肥產量百分率範圍從28%至85%，可見氮肥效應之土壤間差異很大，由各試驗地之平均氮肥效應求得最高產量之氮肥需要量220公斤/公頃左右，略大於連氏<sup>(3)</sup>所訂之180公斤。主要不同表底土型(L、LC、C、S、LG)之氮肥效應如圖1，其中L、LC、C、LG型土壤之最高產量氮肥需要量差異不大，唯S型土壤之氮肥需要量最大，約270公斤/公頃左右。



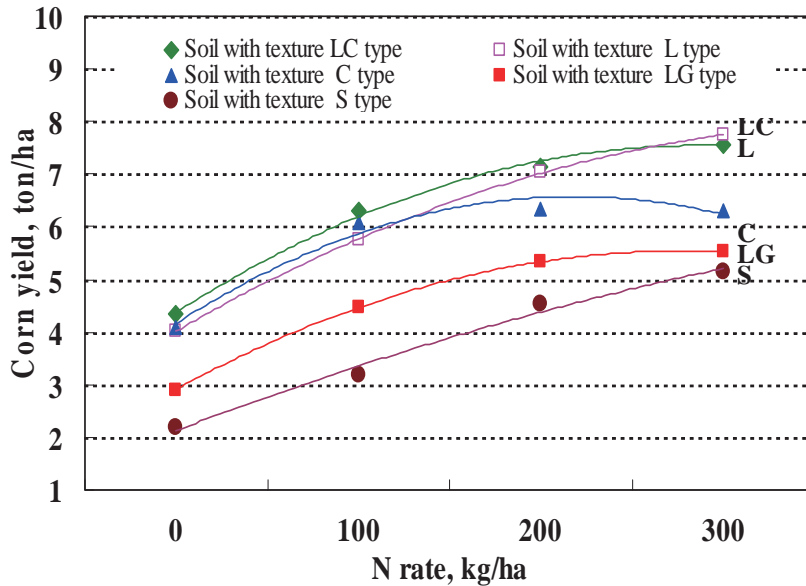


圖 1、不同表底土型試驗地之玉米氮肥效應

土壤肥力能限分類中有關表底土型分類之意義，主要係考慮土壤質地不同可能造成作物根系分布之不同，尤其表土與底土之質地差異大時，可能引起根系發育之障礙，理論上LC或LG型土壤者，因底土質地之突變會嚴重限制查根系之往下伸展，故其生產潛力或氮肥效應與L型不同。本試驗結果，各不同表底土型間之氮肥需要量雖有差異，但未能如預期者，此係因轉作田土壤過去長期種植水稻，土壤中均形成明顯的犁底層，故田間觀察玉米根系，發現大部分玉米根群在土壤中之分佈極淺，此原因會降低土壤因不同表底土型所引起根系分佈之差異。故田間觀察玉米根系在L與LG或LC型土壤間之分佈差異，未能如預期顯現。又本試驗結果，S型土壤之氮肥需要量最高，似並不完全反映根系之影響，可能與該型土壤含較低之有機質、無機態氮及氮肥易流失有關。

本研究中之土壤曾作詳盡之理化性質分析，並將各性質分別與玉米產量百分率作迴歸分析。茲將玉米無氮肥產量百分率與土壤之重要理化性質之單相關係數

列於表4。由於表4知氮肥效應與土壤性質之關係均不顯著，顯然這些土壤測值殊難作為氮肥效果大小的依據。尤其是有機質或無機態氮含量低的土壤，理論上氮肥效應之機會應較多，但由於土壤之其他生長限制因子亦較多，致氮肥效應未能如期顯現。圖2為N肥效應與土壤pH的關係，二者雖不顯著，唯值得注意的是氮肥效應最差的6點，其中4點均屬強酸性土壤(pH<5.0)，另2點則為排水不良土壤(圖2)。該等土壤之氮肥需要量亦低，可能與鋁的毒害及排水不良有關。

表 4、玉米氮區產量百分率與土壤性質的單相關係數

土壤	有機質	pH	Inorg-N	%		
				Sand	Clay	Silt
表土	0.224	-0.355	0.206	-0.143	-0.165	0.086
底土	0.017	-0.303		0.036	0.147	-0.160
表底土平均	0.123	-0.294				

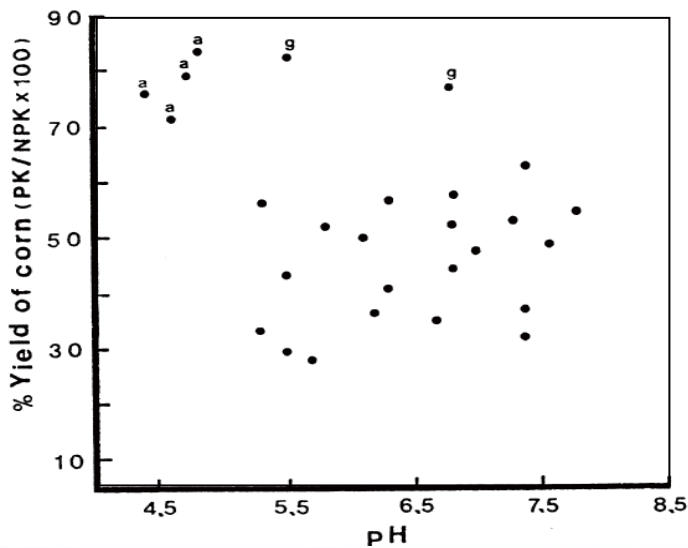


圖 2、氮肥效應與土壤 pH 的關係

本省耕地土壤pH的分佈情形，根據過去土壤肥力能限分類調查(1978~1981)的結果，pH低於5.6的強酸性土壤樣本分佈率高達38%，故強酸性土壤對旱作引起鋁

的毒害問題值得注意。一般而言，作物種類不同，對鋁毒害的忍耐性亦不同(8, 15)Fox則指出酸性土壤因鋁毒害所引起玉米低產的問題，用鋁飽和度作指標較用pH為準確，且其臨界值亦因土壤種類而不同<sup>(7)</sup>。Buol等人<sup>(6)</sup>提出的土壤肥力能限分類系統中有關鋁毒害的因子"a" (強酸生)，其定義為1.土壤深度50公分內鋁飽和度大於60%(因所用抽出劑pH不同，其鋁飽和度或大於67%或86%。或2. pH<5.0 (1:1)，有機質土除外。

圖3為本省土壤pH與鋁飽和度的關係，二者呈極顯著負相關，且土類不同，其鋁飽和度呈明顯差異，即紅壤較高、砂頁岩、粘板岩沖積土較低，此差異在pH小於4.5時尤其明顯，圖中之黑點尚包括幾點臺東之黑土(pH<4.6)，亦顯示較南部平原之沖積土為高。又圖中pH>5.6之土壤，幾乎測不出交換性鋁，而pH<5.0之土壤，其鋁飽和度>60%者不多見。

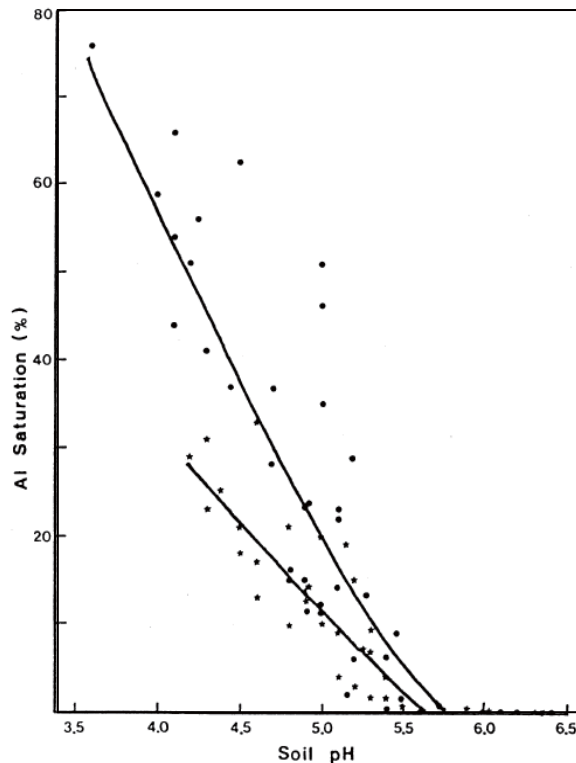


圖 3、土壤 pH 與鋁飽和度的關係

許多研究指出作物地上部受鋁毒害之症狀與磷缺乏或鈣缺乏者類似，這是因為鋁的毒害會抑制作物對養分(P、Ca、Mg、K、Fe、Zn、Cu、Mn)的吸收，尤其是P、Ca和Mg<sup>(9,12)</sup>，故在田間極不易觀察或鑑定作物之鋁毒害症狀。又據研究指出鋁的毒害會阻礙根的細胞分裂，致影響根的伸長，減少主根生長及支側根的形成，造成粗短而扭曲形狀<sup>(8,9,15,16)</sup>。故從觀察比較作物根系之形態特徵，或許較能觀察作物是否受到鋁之毒害問題。

為了探究鋁的毒害對玉米根生長的影響，以求出本省土壤引起鋁毒害的臨界pH值，圖4為玉米幼苗根長與土壤pH的關係，顯然根的生長在pH<5.0以下會受到抑制，尤其pH在4.5以下的土壤更明顯，此時經觀察結果發現根呈粗短，扭曲形狀。圖4中根長若改為與鋁飽和度的關係，則二者之相關更佳，雖然如此，單從圖4之關係尚難明確指出本省土壤引起鋁毒害的臨界pH值，若從比較玉米幼苗根的形態及Buol等人<sup>(6)</sup>提出的FCC系統中關於"a"因子的定義，並考慮土壤pH測定的方便性，可約略定義。"a"為pH<5.0 (1:1)。圖2中具a因子的殘點，其無氮肥產量百分率均較其他點為高，計算其氮肥需要量，亦較低，約在120/公頃以下左右，此氮肥效應較差的原因，即與A1的毒害有關。

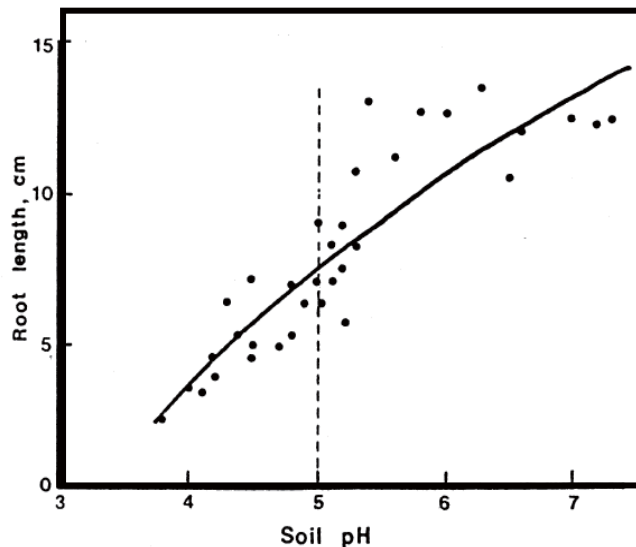


圖 4、根長與土壤 pH 的關係



圖2具g因子的兩點，其氮肥效應亦較差，顯示排水不良亦影響氮肥需要量，經計算其最高產量之氮肥需要量為130/公頃左右(圖5)，此與woodruff等<sup>(19)</sup>之結果不同，彼等指出玉米之最高產量氮肥需要量隨地下水位增高而增加，唯彼等係利用人工排水管控制地下水位，故根系之生育似與實際田間不同。本省西部沖積平原排水不良土壤於秋作玉米生長期間，地下水位一般正逢下降，故玉米大致不易遭受排水不良之害。本試驗中，排水不良之試驗地播種期較早，生育前期地下水位曾達至地表下20至30公分，期間又逢大雨，玉米根系已嚴重受害，故試驗結果其氮肥效應較差。

至於b因子(石灰性)因對銨態氮肥會導致氨之揮發損失，故其氮肥需要量較一般土壤為高約230/公頃左右(圖5)。

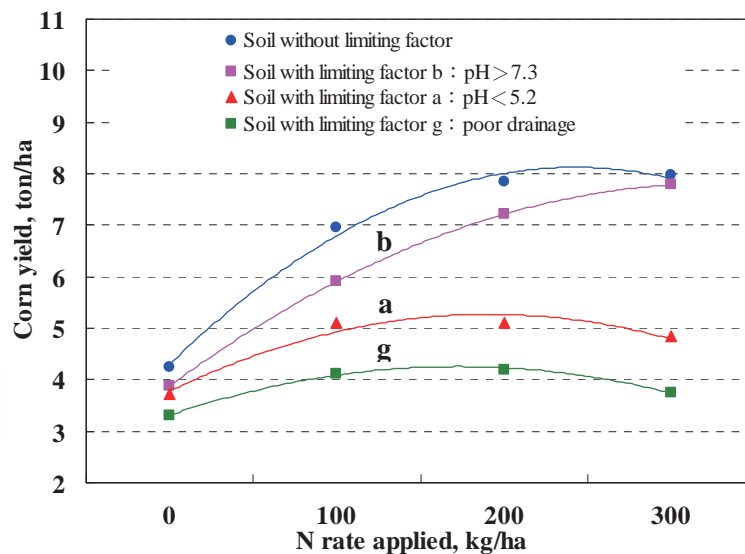


圖 5、具不同肥力限制因子土壤之玉米氮肥效應(b：石灰性，pH>7.3 a：強酸性，pH<5.2 g：排水不良)

## 二、磷肥效應

土壤肥力能限分類因注重表底土型，故本研究分別測表、底土之重要性質，其與磷肥效應間之單相關係如表5，由表5知土壤性質中僅有效磷之相關係數較

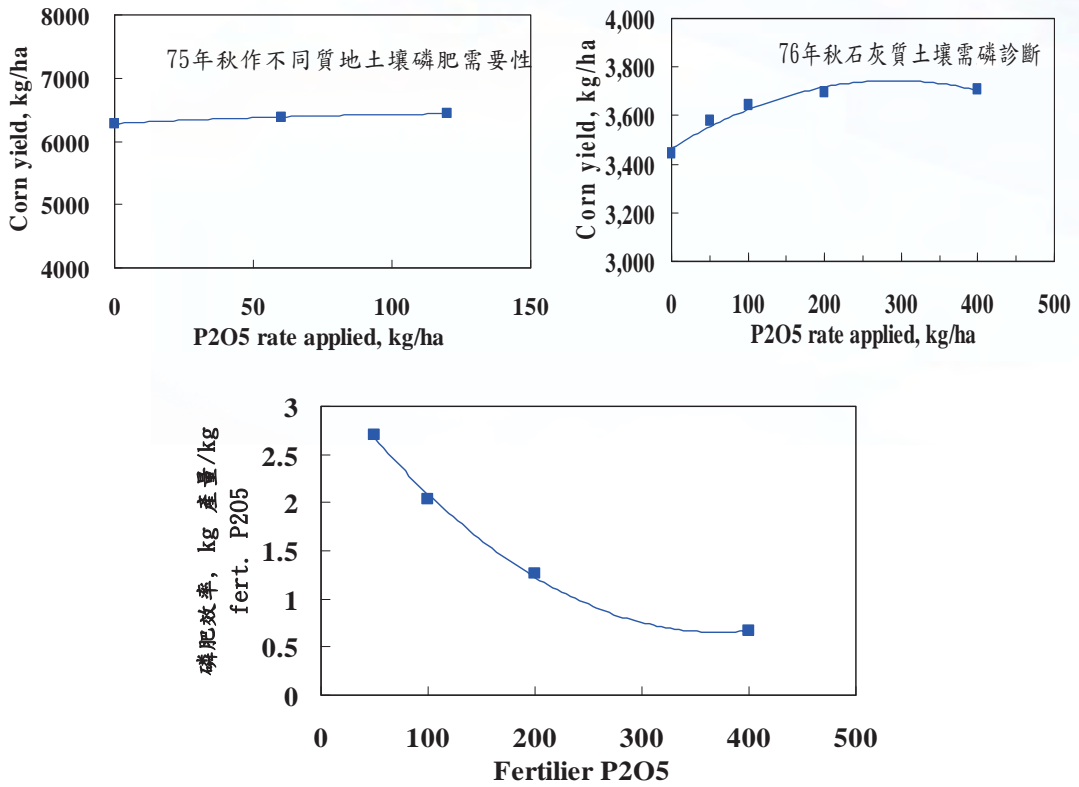
高，均以表土較佳，且Bray氏第一法優於Olsen氏法。27個試驗地之結果，二者相關達極顯著(圖6)，值得注意的是圖中如4至8號土壤其有效磷高達30 ppm以上，但仍有10%以上之增產效果，此趨勢與李氏<sup>(2)</sup>之結果類似。若以此圖而論其95%磷效應之表土Bray P臨界值高達40 ppm，遠大於過去連氏所定之20 ppm<sup>(3)</sup>。

表 5、玉米無磷區產量百分率與土壤性質的單相關係數

土壤	Bray P	Olsen P	有機質	pH	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
表土	0.821**	0.612**	-0.172	-0.238	0.147
底土	0.211	0.239	0.045	-0.316	0.116
表底土平均	0.410*	0.3698*	-0.048	-0.303	

Millelsen等<sup>(5)</sup>在水田排水後，種植旱作主磷肥試驗中亦發現在有效磷達超過一般旱作物臨界濃度時，磷肥仍然有極顯著的增產效果。Willett等<sup>(17,18)</sup>發現經浸水—放乾的土壤會增加土壤對磷的吸著力，而此種新轉為旱作土壤的缺磷係由於土壤中磷形態的改變致影響磷對作物的有效性，而此種影響通常在轉為旱作後的第二或三年即會自然消失。譚氏<sup>(4)</sup>指出一般水田比旱田具較高之無定形鐵含量，且土壤經浸水放乾後土壤對磷的吸著力增加，乃因無定形鐵含量增加，此對原為旱田土壤者尤其明顯。Mitchell等<sup>(11)</sup>謂無定形鐵較結晶性鐵具較大之表面積，其對磷之吸著約為結晶性鐵之109倍，且對磷產生較大之包裹作用。而Sah等<sup>(13,14)</sup>指出浸水—放乾的土壤，游離鐵中之無定形鐵會顯著增加，致磷轉變成一般旱作不易利用的RS-P。綜合上述結果，對初由水田轉作旱作易發生缺磷問題，或謂有效磷含量高時仍具有磷肥效果，可解釋為1.轉作田具較高之無定形鐵含量，致增加土壤對磷之吸著能力。2.抽出之有效磷包括旱作無法利用的RS-P，此RS-P對水田轉作時，在無機磷中所佔之百分率會增加。

圖6中有效磷含量高而呈明顯磷肥效應的幾點(4至8號土)，均為土壤具較高之無定形鐵含量及鐵活性比，又有效磷含量高而無磷肥效果的幾點(9至13號土)，原即為旱田土壤(9至10號土)，或為具低無定形鐵含量及鐵活性比之轉作田(11, 12,



磷肥效率= kg 子實(施磷區產量-無磷區產量)/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>用量)

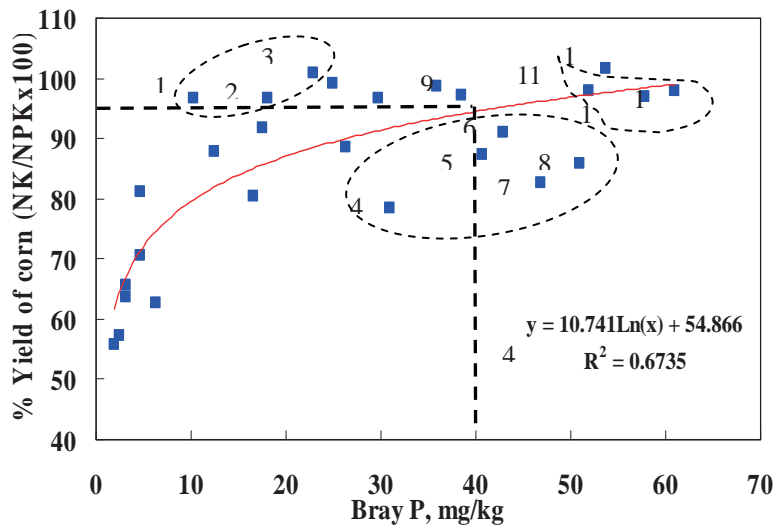


圖 6、土壤有效性磷與玉米產量百分率的關係

13號土)。11至13號土壤之有機質含量不高，多年來之耕作方式均將稻草燒成灰，可能為具較低鐵活性比原因之一，因稻草燒成灰，減少了微生物所需之碳源，致降低水田土壤之還原程度，使鐵不易因還原而溶解，故該等土壤於浸水放乾時其無定形鐵含量及鐵活性比均較低。

原為旱田土壤之1，2，3號土，其無磷區產量百分率大於95%，而其有效磷含量均小於22 ppm則與連氏<sup>(3)</sup>所定之臨界值20ppm接近。圖6若將4至8號土不計，則有效磷含量與玉米磷肥效應之關係會更好，而95%磷效應之表土有效磷臨界值則降為30ppm。由於本試驗求得之表土有效磷臨界值極高，若依連氏所定根據表土有效磷測定值之磷肥推荐量，此時應考慮無定形鐵含量及鐵活性比之影響，尤其當鐵活性比大於0.45時，增加磷酐用量75公斤/公頃確有必要。

原FCC系統中列有磷的固定因子"i" (Fe-P固定作用)，其定義為游離氧比鐵對粘粒含量之比大於0.2，但為方便田間利用，其定義或為色彩之紅色度需大於5YR且具團粒構造者<sup>(6)</sup>。但本省沖積土其鐵對粘粒含量之比均小於0.2<sup>(4)</sup>，而轉作田確實發生鐵對磷的固定作用，此與無定形鐵有關，故"i"之定義應用於本省需作修正，其與無定形鐵及鐵活性比有關，目前鐵活性比可暫定為>0.45。

### 三、鉀肥效應

表6為幾個重要土壤性質與玉米無鉀肥產量百分率之單相關係數，其中僅交換性鉀和孟立克氏鉀含量與鉀肥效應呈有關，且以前者較佳，又不同土層之測值以表土之相關較底土好，而表土和底土平均測值之相關略大於表土。FCC中有關許多肥力限制因子之測值均定義為以0~50公分之測值表示，但由表5，6知，與肥效有關之幾個重要土壤性質的相關情形均以表土較佳，此可能與本省土壤一般較密實且犁底層普遍存在致使根系分佈較淺有關。故FCC應用於本省土壤，有關肥力限制因子的測定值如a、b、k、及i等，僅測表土即可。

圖7為以玉米無鉀區產量百分率所示鉀肥效應與表土交換性鉀的相關關係，由該圖可得95%效應之臨界值為91 ppm，略大於連氏所訂之80 ppm<sup>(3)</sup>。交換性鉀與孟



立克氏鉀含量呈極顯著相關，但與非交換性鉀含量則否(相關係數分別為0.913及0.174)。

表 6、玉米無鉀區產量百分率與土壤性質的單相關係數

土壤	交換性鉀	Mechlich k	非交換性鉀	有機質	pH
表土	0.9879**	0.881**	0.269	-0.044	-0.048
底土	0.357	0.327	0.303	-0.070	-0.039
表底土平均	0.640**	0.348	0.204	-0.033	-0.108

雖然鉀肥應與非交換性鉀含量知相關不顯著，但在表土交換性鉀含量低而約略相同時，非交換性鉀含量高著其鉀肥效應較佳。如圖7之9，8，7號土壤，三者之交換性鉀含量低(約30 ppm)而略同，但前者之非交換性鉀含量高達616ppm約為後二者(分別為79、95 ppm)之7倍，其鉀肥效應明顯低於後二者，6，5與4，3號土及1與2號土之間亦有類似的結果，但當交換性鉀含量高時(約大於90 ppm)，非交換性鉀含量的高低並不影響鉀肥效應。此非交換性鉀之臨界值約略可定為120 ppm，具此因子而非交換性鉀含量低(約60 ppm)者，由鉀肥效應曲線計算其最高產量之氧化鉀需要量應增加20~40公斤/公頃。又圖7之10及11號土壤交換性鉀含量高達78 ppm，但前者係排水不良土壤，施鉀肥仍然有明顯的效果。因此對鉀肥效應，除依表土有效鉀含量預測外，尚需考慮非交換性鉀含量及排水不良等因子酌量施肥。

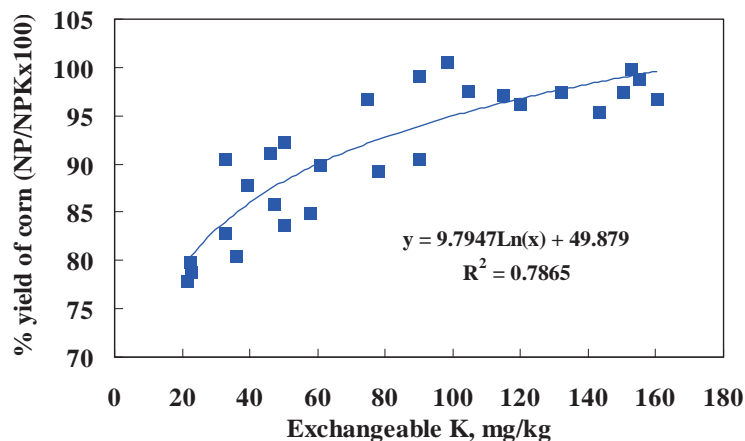


圖 7、土壤交換性鉀與玉米產量百分率的關係

#### 四、土壤適性

玉米對土壤的基本要求為維持支持力、保水度(供排水、毛管水等)與根系發展；基於此，玉米除不宜種植於保水力極差的砂質土、極淺層或石礫土，以及不利根系發育的黏重土壤及排水不良水田外，其它任何土壤均可栽培。雖然臺農351號與臺農1號玉米之耐酸性頗強(臺農1號更佳)，如能就強酸性土壤，每公頃施用矽酸爐渣或苦土石灰2~3噸，於播種前一星期全面混入土中，可增進土壤中各元素的有效性，尤其是鎂的不足。玉米又為辨識多種營養元素缺乏症狀之良好指標作物(見圖)；氮磷鉀鎂鋅五大元素，前三者要足夠，後二元不可少，任何一種出現缺乏症狀就不易有高產量，此為高產之基本要求。

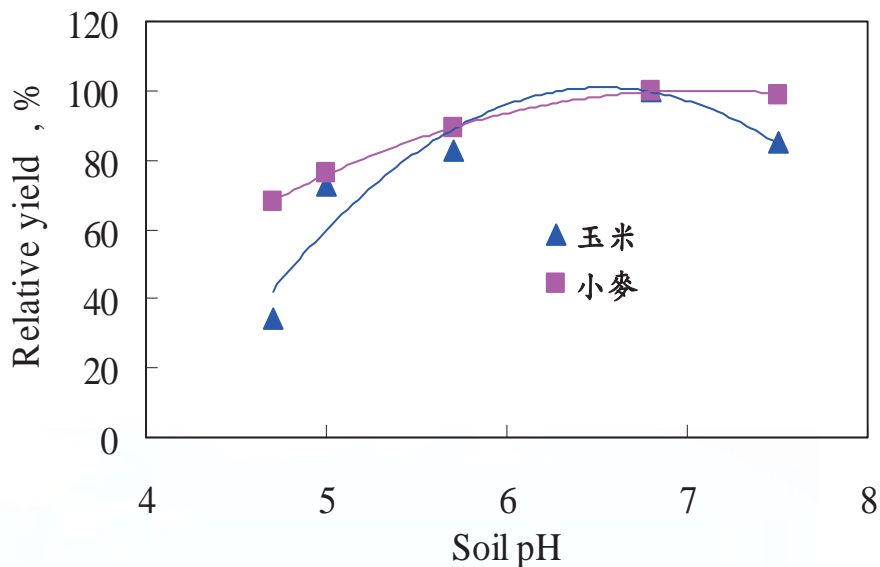


圖 8、玉米秋作(臺農 351 號)與小麥(臺中選 2 號)對土壤 pH 之適性-101 年本所農場 (譚, 未發表)

今以臺南縣佳里鎮與西港鄉之土壤特性為例，概括評估其對飼料玉米栽培之適應性。該地區土壤質地分佈多屬砂質壤土與壤土，合計佔95%，其他為粉質壤土佔5%，幾乎不見更粘的土壤如砂質粘壤土、粘質壤土或粉質粘壤土；又土層深厚，剖面中無質地突變情形，土層中有效水分供應充足；雖土壤pH範圍分佈廣，從強

酸性至強鹼性(pH最低4.2最高8.2)，並可伴有鎂、鋅的問題，但這些問題都容易解決。有機質含量雖不高(佳里鎮0.87~2.67%，西港鄉0.7~2%屬偏低)，卻易顯現施氮肥的效果，故為栽種玉米頗適合的地區。相關之土壤特性與肥力表徵，均可由進入本所農化組網頁查詢；通常土壤肥力的相關分析並不需要每期作或每年送樣檢測，網頁的土壤資訊已可提供並解決大部分土壤肥力與作物營養問題。

### 五、肥料三要素及鎂鋅推薦用量

氮、磷、鉀三要素是玉米生長時的重要補充養分，尤以氮素最重要。磷的需要性與缺磷症在幼株特別顯著，在生育初期幼株所需磷量比成熟的植株要來得多，當土壤能充分供應幼株所需磷量，則很少發生缺磷症，但若幼株表現嚴重缺磷時，很少有機會能克服缺磷而正常生長者，並且此症狀將延續至成熟。缺鉀症有時反應在玉米穗上，使穗軸變小變形且先端子實無法生長而成錐形(見圖9)，已形成之籽粒亦成熟不足，澱粉多而蛋白質少。土壤在酸化過程中如施氮肥之酸化，鎂較易流失，致酸性土壤特別在質地較粗的土壤，土壤中置換性鎂量少，易發生缺鎂症；土壤中置換性鎂量雖多，但鉀含量多時，亦會發生缺鎂，因鉀能抑制鎂之吸收。土壤缺鎂，視嚴重程度，施用硫酸鎂有時可達25-50%增產效果。缺鋅可以發生於相當範圍的土壤質地及土壤pH值，但它通常在砂質壤土或石灰質土壤被發現(圖10)。



圖 9、飼料玉米缺磷之植株初期(左圖)與嚴重缺鉀之穗軸(右圖)生育型態





圖 10、上左玉米缺鎂，上中缺鋅，上右缺鉀

#### 六、肥料需求基準與計算

收量6.5噸/公頃之玉米植株三要素吸收量為N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O各120、45、100~120公斤/公頃；一般旱田土壤氮肥之利用率為30%、磷肥最低為25%、鉀肥較高可達45%以上。今以佳里鎮營頂里北邊之坵質壤土為例，其有效性磷23 ppm、鉀58 ppm，則肥料三要素每公頃需求估計為：

1. 氮：(120 (植株吸收量)-65 (土壤、灌溉水及雨水供給量))÷0.3 (氮肥利用率)=180 公斤
2. 磷：土壤中磷酐有效供給量 = 23 ppm×2.5×2.29×0.25 (磷利用率) = 33公斤  
磷酐需要量=(45(植株吸收量)-33(土壤有效供給量))÷0.25(磷肥利用率)=50公斤
3. 鉀：土壤中氧化鉀有效供給量= 58 ppm×2.5×1.2×0.45 (鉀利用率)=78公斤  
氧化鉀需要量=(110 (植株吸收量)-78 (土壤有效供給量))÷0.45 (磷肥利用率)=70公斤

今以玉米收量 6.5 噸/公頃為基準，各預期產量之氮素推薦量如表 1。

表 7.飼料玉米各預期產量之氮素推薦量(公斤/公頃)

肥料	預期產量(公斤/公頃)									
	4,500	5,000	5,500	6000	6,500	7,000	7,500	8,000	8,500	9,000
N 素	125	138	152	166	180	194	208	220	235	250



一般每公頃施用量為150~200公斤，可視生產潛力調節之。又不整地栽培者因氮肥的揮失、固定等較多，而土壤氮的礦化供應卻減少，每公頃氮推薦量較整地者需增加20~30公斤。

## 七、休修耕田之土壤肥力動態

民國93~97年度調查桃竹苗及臺中、南投雲嘉等地區休耕田之肥力動態與轉作時施肥調節現況。休耕田在未種植綠肥狀態下，若為休耕一期以上之水田由於田區土壤進入另一種平衡狀態，原土壤中的氮經由長時間的淋洗、脫氮而損失嚴重，另一方面土壤氮的礦化供應急遽減少；此時土壤中硝酸態氮含量僅為未休耕土壤20~50%，甚至更低，而有機質含量亦大幅減少，砂頁土壤減少0.2~0.7%，較粘者可達0.4~1.0%，如霧峰的砂壤中可由原來的1.6%降為1.1%，臺南的坩質粘壤土從2.8%降為2%。故氮素推薦用量應增加30~40公斤。此同時，土壤中有效性鉀亦淋洗而損失，推薦用量酌增加10~30公斤。相反的，原土壤中用白雷氏法測定的磷的有效性，會因在旱田狀態磷吸附機制與無機磷型態之改變而顯著增加，且與時俱增，此時推薦用量可減少20~50公斤，如臺南的坩質壤中，其有效性磷為20 ppm，按原推薦用量50公斤，此時可減少為用量最，多30公斤即可。

休耕田若為栽種綠肥，確可藉其吸及截取貯存養分以達保肥功能，尤其是有效減少原土壤中硝酸態氮及鉀之淋洗損失，此對粗質地土壤效益更明顯，至少可減少淋洗損失60%以上。本調查顯示，不論何種土壤，若能有效利用豆科綠肥，其能顯著提高土壤中氮之有效釋放而減少次作氮肥施用量50%以上。由於綠肥作物都在綠色時或成熟之後立刻犁入土壤中，因此分解甚快，雖可以補充活性、快速分解的有機質，一般而言，其僅能維持原土壤中有機質之含量水準，對增加土壤有機質之影響是可以忽略的，更無法期望翻入一次綠肥而使土壤有機質含量增加許多。但是每次犁入綠肥，其分解則滿足接著種植作物之有機質需求，尤其是砂質土壤及沒有其他來源有機質之土壤。又綠肥作物分解過程可明顯增進原土壤中磷(包括綠肥釋放出的磷)之有效度，與無綠肥區比較，不分作物別，20個觀察區，均

100%有效增加植體中磷含量；此應為綠肥作物分解過程中產生有機酸、銨離子與CO<sub>2</sub>之故，正因如此，栽種綠肥作物，會降低非石灰性土壤之pH，(酸化現象)，如為休耕4-5年以上，一年兩次以上綠肥作物，pH下降幅度可達一個單位以上；唯再經水田作用即可逐漸恢復其pH。此不足慮，倒是土壤中養分調節須注意。

政府為解決稻米生產過剩，自推行水旱田利用調整計畫，其中休耕一綠肥措施已行之多年，但政府未能配合政策宣導綠肥之有效利用，依筆者調查，100%農友並未真正了解綠肥作物之功能，更不用說要如何去作省肥的計算或調節應用，實削減了此一政策上非常重要之衍生績效，殊為可惜。

#### 八、休耕田復耕飼料玉米合理化施肥田間示範觀摩

97年起肥料價格問題風波不斷，雖然尿素及硫酸銨肥料曾降價，然基於高價肥料時代的不可避免，為減輕長久以來農民生產成本及有效提高產量與品質，並兼顧環境保育，有必要正確宣導合理化施肥措施；另者，水旱田利用調整計畫，政府推行多年，主以減少稻作生產面積，解決稻米生產過剩問題為目標，然農友普遍不知休耕田及配合栽種綠肥作物下之土壤肥力狀況，更不知就本身農田土壤特性，如何利用綠肥作物作適當調節省施化學肥料，且甚多水田是在長年連續休耕栽種綠肥作物狀態下，對非石灰性土壤已造成明顯酸化現象，土壤明顯有鈣、鎂的問題；但農民不知此問題之存在，亦不知如何改進，致復耕時面臨的土壤與作物營養問題，更認為是施肥不足所致，衍生的諸多土壤肥力與施肥之觀念與技術極需宣導。故於草屯鎮洪姓農友處舉辦休耕田復耕飼料玉米(秋作)合理化施肥田間示範觀摩會，以宣導正確省肥之觀念與技術。

該觀摩會主要宣導休耕田如何利用栽種適當綠肥作物以達省肥與調節土壤肥效功能，同時配合精準之肥力診斷，以採行必要之土壤酸鹼度調節與鈣、鎂補充措施，易使玉米達高產量，增加農民收益減少外匯損失。如栽種田菁或青皮豆等豆科綠肥作物，利用其省肥(固氮)、保肥(吸收、截取並貯存養分)、增進肥效(分解過程等)等功能，精準計算並掩施於土壤，每公頃可減用硫酸銨8~12包、過磷酸鈣1~3

包及氯化鉀3~5包；尤其可調節鉀對鎂吸收之拮抗作用，解決本省多元性土壤長久以來因作物別而被忽視的鎂的缺乏與有效性問題。

表8為洪姓農友處97年示範推廣區之土壤特性(秋作玉米前採土)，該田區已休耕種綠肥作物-青皮豆多年，土壤淋洗作用強，強酸性嚴重缺Ca、Mg，故需施苦土石灰以提高酸鹼度及充分補充鎂。缺Mg症狀更易誤認缺N致多施N肥，有效性鉀含量高更易造成植株缺Mg(土壤K/Mg高)；種綠肥可降低土壤K之供應強度。基此特性，在土壤強酸性情形下，施用苦土石灰；依土壤肥力分析結果，加上綠肥之有效養分供給，強力建議農友減施1/3化學肥料(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O慣用量150-60-90以上，本推薦用量100-40-60)，結果與對照區比較，玉米植株生育差異極明顯(圖11)，並於97年12月17日召開田間示範觀摩會，成效良好。南投縣草屯鎮於97年一期採休耕種綠肥作物(田菁或青皮豆)之農戶有352戶，計121.72公頃，按此推廣，估計二期作至少可節省硫酸銨肥料60噸、氯化鉀24噸、過磷酸鈣15噸；總估至少可節省肥料用量30%以上。

表 8、洪姓農友處示範推廣區之土壤特性(97.10.15 玉米播種)

土層	質地	pH	有機質	交換性-Ca	交換性-Mg	有效性鉀
表土	壤土	4.5	2.1%	390 ppm 極低	67 ppm 極低	72 ppm 高
底土	砂壤土	5.0	1.1%	380 ppm 極低	48 ppm 極低	28 ppm 低



圖 11、休耕田栽種豆科綠肥作物與合理施用苦土石灰對轉作飼料玉米之效應(減肥與增產)



九、(活化休耕田)綠肥作物之合理利用

表 9、各地區適宜栽培之綠肥作物對照表

縣市別	期作別	綠肥作物種類
臺北 桃園	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、油菜、滿江紅
新竹 基隆	裏作	油菜、埃及三葉草、大豆類、紫雲英、羽扇豆、大菜、苕子、早苗蓼
苗栗	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、油菜、滿江紅
	裏作	油菜、埃及三葉草、大豆類、紫雲英、羽扇豆、大菜、苕子、早苗蓼
臺中 彰化 南投	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅、苕子
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、油菜、滿江紅
	裏作	油菜、埃及三葉草、大豆類、紫雲英、大菜、苕子、蕎麥、早苗蓼
雲林 嘉義 臺南	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅
	中間作	田菁、大豆類
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅
	裏作	油菜、埃及三葉草、大豆類、紫雲英、苕子、蕎麥、早苗蓼
高雄 屏東 澎湖	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅
	中間作	田菁、大豆類
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、滿江紅
	裏作	大豆類
臺東	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、紫雲英、富貴豆、滿江紅
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、富貴豆、滿江紅
	裏作	油菜、大菜、紫雲英、早苗蓼
花蓮 宜蘭	一期作	田菁、太陽麻、大豆類、富貴豆、滿江紅
	二期作	田菁、太陽麻、大豆類、富貴豆、滿江紅
	裏作	紫雲英、埃及三葉草、大豆類、油菜、大菜、早苗蓼

羽扇豆又名魯冰、富貴豆又名虎爪豆



表 10、各種綠肥作物每公頃可提供之三要素量(公斤/公頃)或相當之肥料量(公斤、包/公頃)對照表

綠肥種類	產量 (公斤/公頃)	氮 (N)	磷酐 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	氧化鉀 (K <sub>2</sub> O)	硫酸銨 (公斤/包)	尿素(公斤 /包)	過磷酸鈣 (公斤/包)	氯化鉀 (公斤/包)
田菁	30,000	70	8.3	63	333 8.3	152 3.8	46 1.2	105 2.6
太陽麻	20,000	46	10	17.5	220 5.5	101 2.5	56 1.4	97 2.4
大豆類	20,000	89	10	58	426 10.6	194 4.8	57 1.4	96 2.4
富貴豆	25,000	19	14	50	91 2.3	41 1.0	76 1.9	79 2.0
苕子	40,000	112	26	86	533 13.3	244 6.1	144 3.6	143 3.6
埃及三葉草	25,000	54	16	49	256 6.4	117 2.9	90 2.3	81 2.0
紫雲英	25,000	60	11	46	286 7.1	130 3.3	63 1.6	77 1.9
羽扇豆	18,000	36	6.3	27	171 4.3	78 2.0	35 0.9	45 1.1
油菜	20,000	21	2	28	100 2.5	46 1.1	12 0.3	47 1.2
大菜	12,000	14	5	30	64 1.6	29 0.7	28 0.7	49 1.2
蕎麥	15,000	30	11	24	143 3.6	65 1.6	63 1.6	40 1.0
早苗蓼	20,000	25	15	70	119 3.0	54 1.4	83 2.1	117 2.9
滿江紅	25,000	60	11	46	286 7.1	130 3.3	63 1.6	77 1.9

### 綠肥翻耕適期

綠肥翻耕適期應掌握鮮草產量最高和肥份總含量最高時期進行。翻耕過早，雖然植株柔嫩多汁，容易腐爛，但鮮草產量低，養分總含量也低。反之，翻耕過遲，植株老化，木質素、纖維素增加，腐爛分解困難。綠肥的鮮草產量最高時期與可獲得的總氮量最多時期基本上是一致的。

主要綠肥翻耕適期，紫雲英、油菜為盛花期，苕子為現蕾至初花期，黃花苜蓿為盛花至初莢期，田菁為現蕾至初花期，太陽麻為初花至盛花期，大豆為植株豆莢充實期，埃及三葉草為開花期。

### 玉米對綠肥(田菁)氮素利用率

玉米對綠肥(田菁)氮素利用率與整地與否及氮肥用量有關(圖12)；其與氮肥用量呈負相關，顯然，玉米對綠肥(田菁)氮素利用率一般極低，小於22%，整地者更低，此與預期所能替代(減少)的肥料氮素量相差極大。

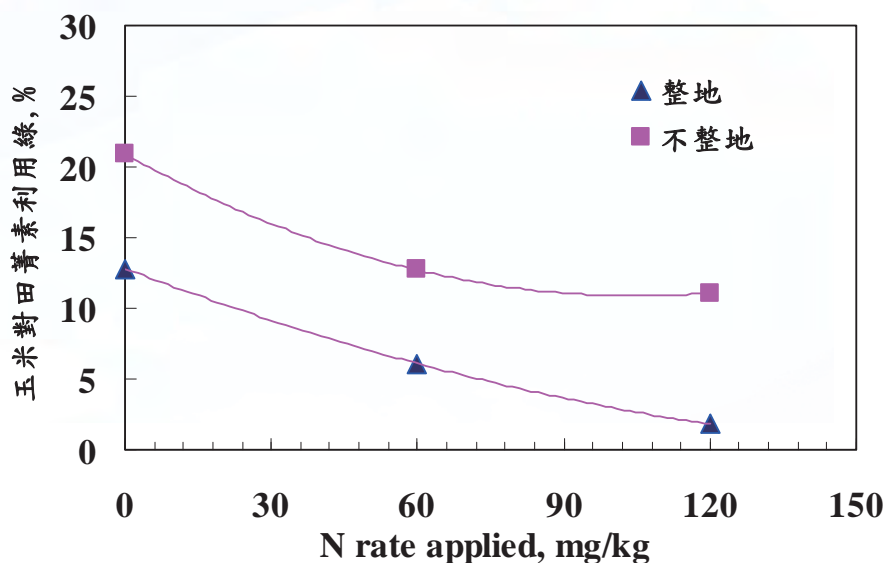


圖 12、整地與不整地玉米對綠肥(田菁)氮素利用率與化學氮肥施用量之關係(製自王等人, 1993)

#### 十、水資源利用效率-氣候異常與土壤適性關係

101年本所秋作玉米與大豆分別於9月10日與9月13日整地播種，唯9月14日深夜之一場暴雨，瞬間雨量達100mm/hr，造成大豆試區形成嚴重之土壤結皮(厚度0.5-1.5cm)，事後無法突破結皮覆蓋者即無法發芽，雨水對大豆種子本身之發芽需要相當有助力，唯形成之土壤結皮是一大障礙(圖13)，其發芽率不及20%，致需重新整地播種。部分玉米試區因排水未先妥善處理，唯已播種正逢發芽，淹水造成其後之幼苗生育初期葉片黃化及生育緩慢矮小(圖13)；唯生育中期可見假土壤鉀抑制水澆之效應。

101年玉米秋作氣候異常(臺中霧峰地區本所試驗田)，11月17日至12月10日間為玉米穗發育關鍵期，唯連續陰雨致日照時數與光照(輻射強度)不足，嚴重影響玉米穗之結實飽和度如圖14。

緣此，不整地栽培之可行性值得進一步探討，尤其就本試區土壤剖面之質地分佈與土層深厚情形，有效水分供應充足(資料分析中)，足可發展因應氣候變遷缺水情形下之旱作物栽培規劃。

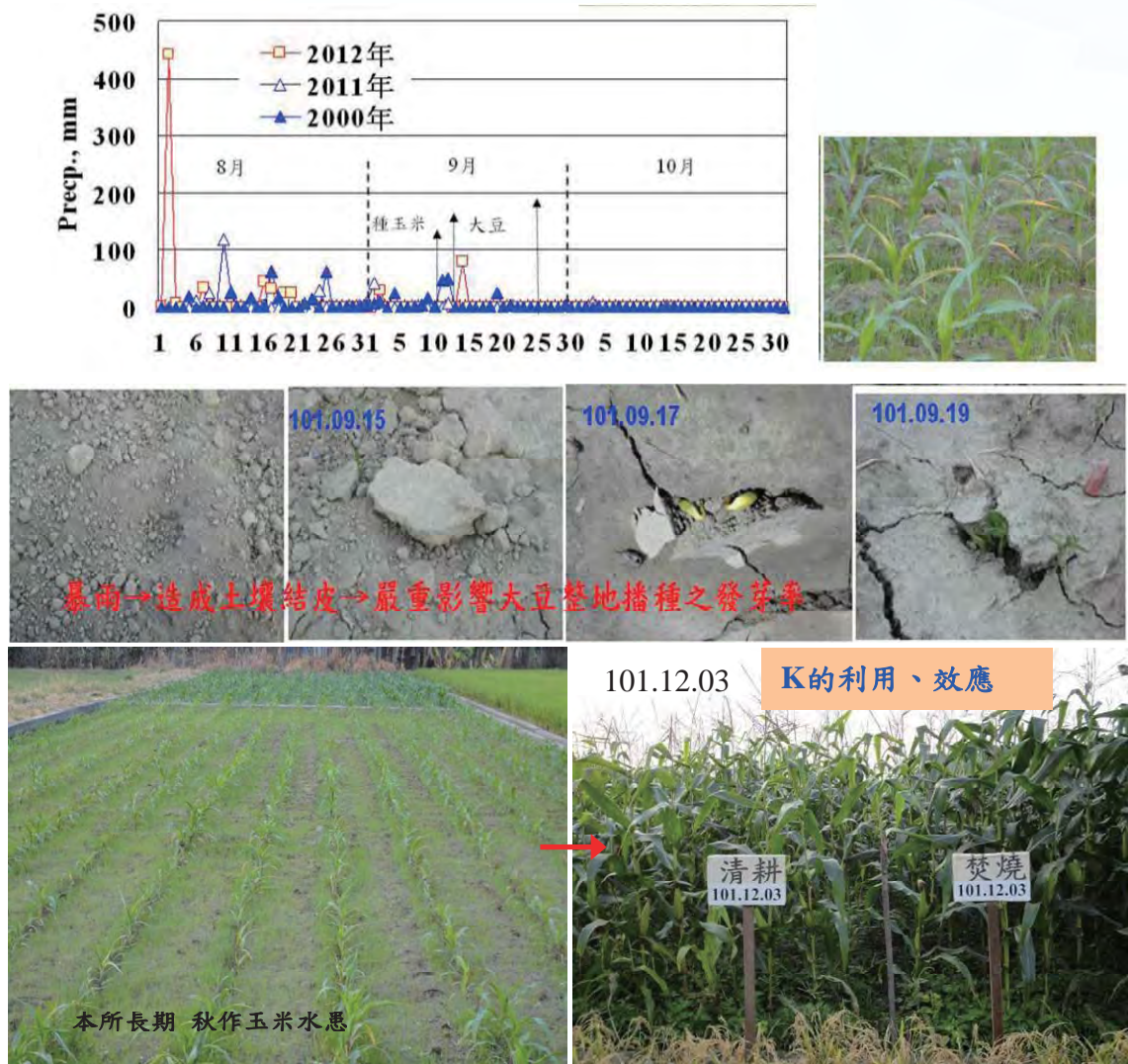


圖 13、101 年秋作玉米大雨造土壤結皮妨礙發芽與幼株黃化；其後鉀抑制水渙之效應(下圖右)。

本年度水稻一期作中後期雨量分佈異於往常，致連輪作區之春作玉米倒伏嚴重；水稻則因土壤氮素與 曬田管理良好，致無倒伏情形，但一般農家田區則倒伏



嚴重(非淹水區)。玉米倒伏則無關氮肥管理，主因土壤含水量過多(非不整地栽培)對玉米植株之機械支持力不足所致。顯示因應氣候變遷之作物種類、不整地災培與氮肥管理技術之重要。

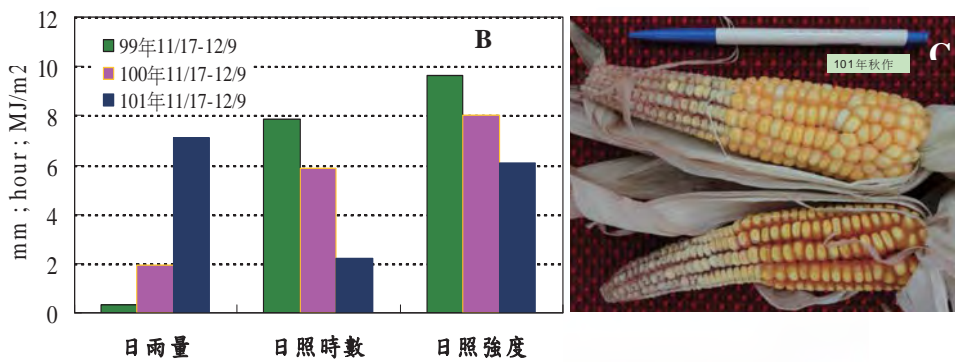
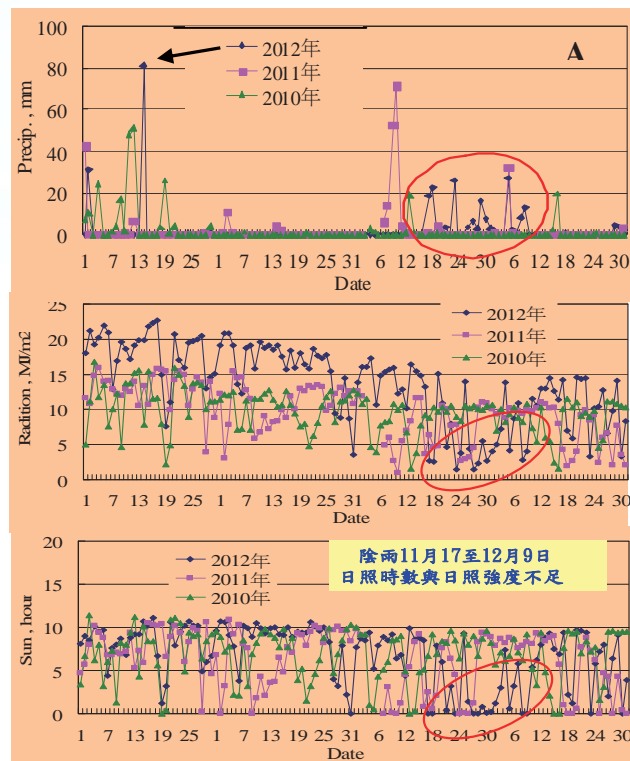


圖 14、101 年玉米秋作氣候異常(臺中霧峰地區本所試驗田)，11 月 17 日至 12 月 10 日間為玉米穗發育關鍵期，唯連續陰雨致日照時數與光照(輻射強度)不足，嚴重影響玉米穗之結實飽和度如上圖↑。



## 十一、連輪作、品種與土壤管理-環境-作物系統下之土壤性質作物生育特徵

99~101年玉米(臺農1號)產量不論春作或秋作，連作與輪作間之差異並不明顯，尤其在連作區土壤pH已 $<5.0$ ，顯示臺農1號玉米比臺農351號更耐連作與耐酸性；而殘株處理方式不論是掩埋、清耕(移除)、焚燒對水稻與玉米產量影響並不明顯(圖21)；本試區2001年以前，玉米(臺農351號)連作則減產嚴重，連作數年即幾無產量，而輪作效果雖遠較水稻顯著，但年度間亦呈下降趨勢，唯不致有連作之幼苗嚴重枯死情形。臺農351號玉米連作數年生育受阻，在改種臺農1號至今即見生育良好(圖18)，顯見玉米連作，植物相剋作用的效力及其對品種的專一性值得注意。推測，來自玉米本身根系分泌物的自毒作用或不耐強酸性是臺農351號玉米連作障礙的主因。連續20年間不同耕作制度對土壤pH的影響顯示，不同耕作制度間造成土壤pH呈明顯差異，以水稻連作者最高、穩定且無逐年減少或增加情形，水旱田輪作者次之，旱作連作者最低並呈逐年減少趨勢(圖16、17)，表示不同耕作制度中水田作用對穩定土壤酸鹼度的重要性。顯示施用硫酸銨氮肥之旱作連作，土壤酸化嚴重，此時pH可從水田連作之 $5.8$ 下降至 $<4.0$ ，此顯示非石灰性沖積土對pH呈較低緩衝能量。水旱田輪作區，每年種玉米後pH較水田連作者在20年間平均下降 $1.05\pm 0.36$ 單位，種玉米後之經一作水田則回昇 $0.57\pm 0.29$ 單位，但仍無法回昇到原來的數值( $5.8\pm 0.28$ )；此pH的下降幅度大而回昇幅度小，應與土壤母質非石灰性、使用氮肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及僅一作水田作用有關。

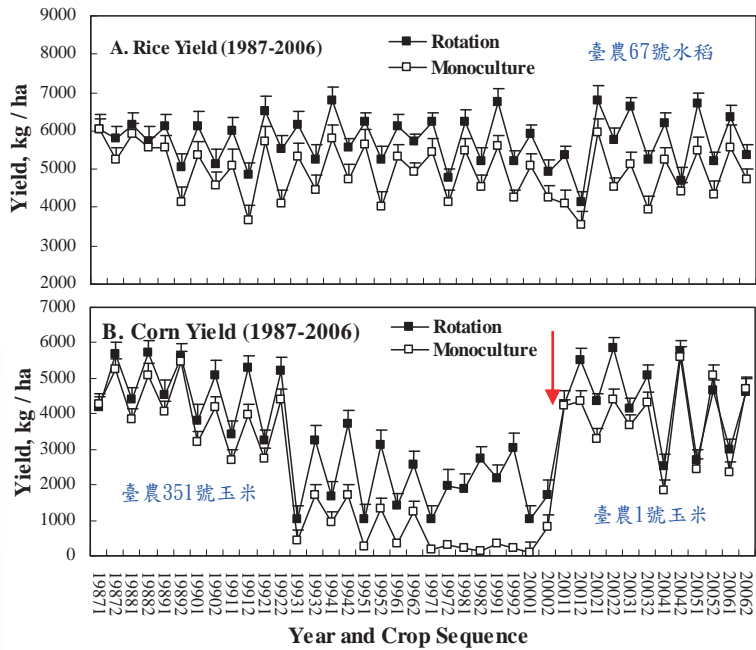


圖 15、連作與輪作對水稻及玉米連續 20 年間產量之影響。19871、19872 分別表示 1987 年一期作 (水稻或春作玉米)及 1987 年二期作 (水稻或秋作玉米)。

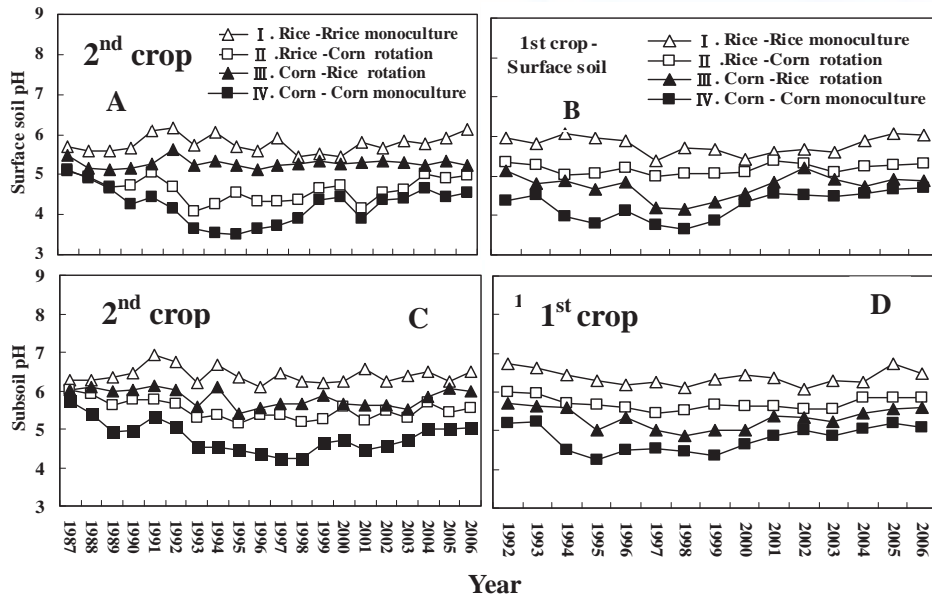


圖 16、長期不同耕作制度對一、二期作後表底土酸鹼度之影響。

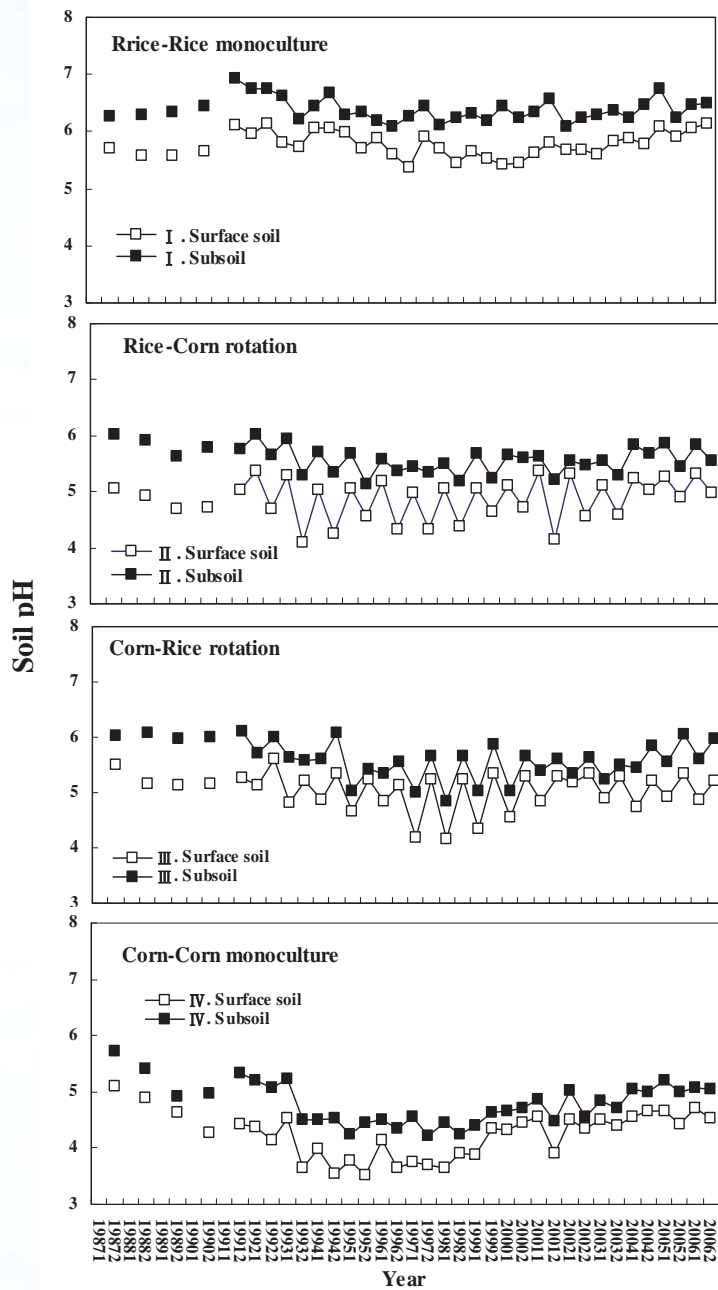


圖 17、長期不同耕作制度連續 一、二期作之表底土 pH 分佈趨勢。19871、19872 分別表示 1987 年一期作 (水稻或春作玉米) 及 1987 年二期作 (水稻或秋作玉米)，餘類推。



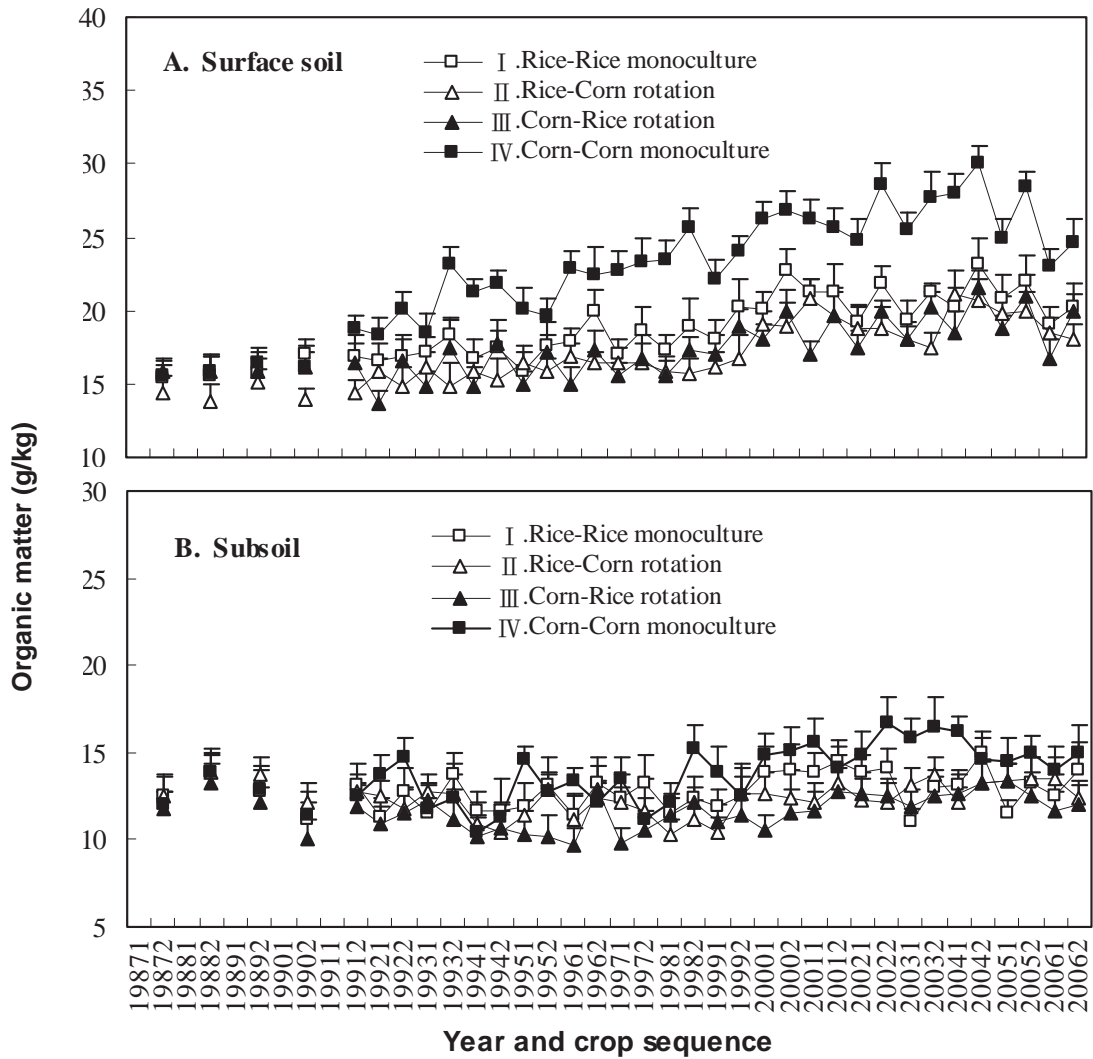


圖 18、長期不同耕作制度連續一、二期作對表底土有機質含量分佈趨勢及差異比較。19871、19872 分別表示 1987 年一期作 (水稻或春作玉米) 及 1987 年二期作 (水稻或秋作玉米)，餘類推。

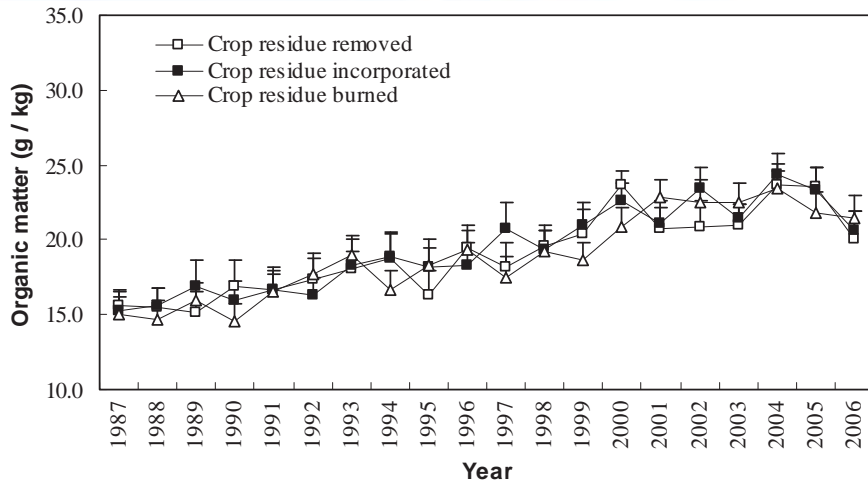


圖 19、長期作物殘體管理對二期作後表土有機質含量分佈趨勢及差異比較。

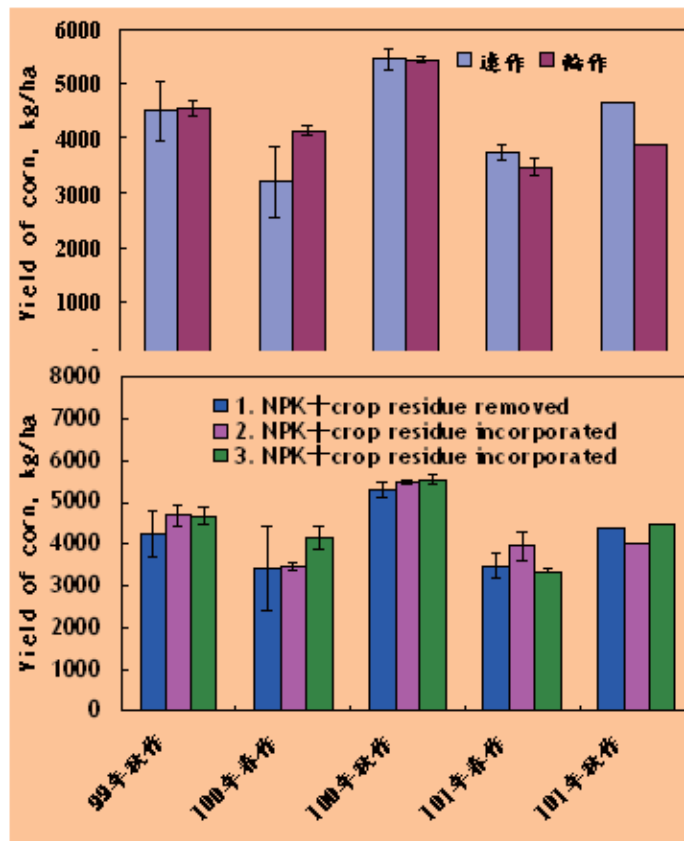


圖 20、連輪作及作物殘株處理對玉米春、秋期作產量的影響(99-101 年)



十二、玉米肥料利用率與養份效率(計算)

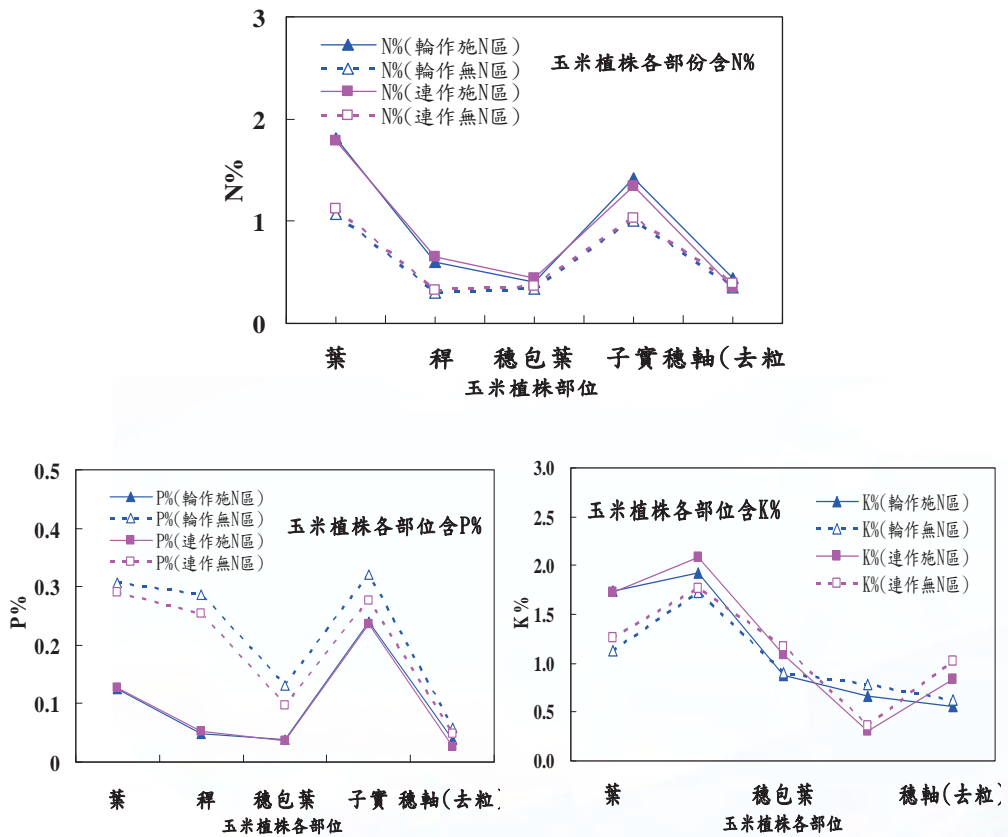


圖 21、玉米收穫期各部份(器官)養分含量

1. 輪作施氮區玉米N吸收量=63.02×1.813%(葉)+141.31×0.597%(稈)+48×0.407%(穗包葉)+341.37×1.423%(子實)+55.88×0.445%(穗軸-去粒)×134.5支×100×10<sup>-3</sup>
2. 輪作無氮區玉米N吸收量=38.45×1.068%(葉)+85.37×0.305%(稈)+12.76×0.343%(穗包葉)+134.2×1.002%(子實)+29.7×0.347%(穗軸-去粒)×134.5支×100×10<sup>-3</sup>
3. 連作施氮區玉米N吸收量=69.77×1.788%(葉)+150.48×0.652%(稈)+53.67×0.448%(穗包葉)+381.38×1.347%(子實)+54.88×0.355%(穗軸-去粒)×140.33支×100×10<sup>-3</sup>
4. 連作施氮區玉米N吸收量=42.25×1.125%(葉)+98.07×0.328%(稈)+12.27×0.370%(穗包葉)+181.8×1.03%(子實)+32.69×0.392%(穗軸-去粒)×140.33支×100×10<sup>-3</sup>
5. N肥有效率 =(施N肥區產量－無N肥區產量)/氮素用量  
 例：輪作區N肥有效率=(4591.4 kg/ha-1804.99 kg/ha)/136.5 kg=20.41 kg grain/ha/kg N  
 連作區N肥有效率=(5352.02kg/ha－2551.20kg/ha)/136.5 kg=20.52 kg grain/ha/kg N
6. N肥利用率 =(施N肥區氮素吸收量－無N肥區氮素吸收量)/氮素用量136.5  
 例：輪作區N肥利用率=(7.28789－2.16253)×134.5支×100×10<sup>-3</sup>/136.5=50.50%  
 連作區N肥利用率=(7.80107－2.84307)×140.3支×100×10<sup>-3</sup>/136.5=50.97%

### 十三、其他綜合討論議題與文獻回顧

N肥料效率-N肥用量-土壤殘留NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N量-玉米產量間關係(Onken等, 1985)

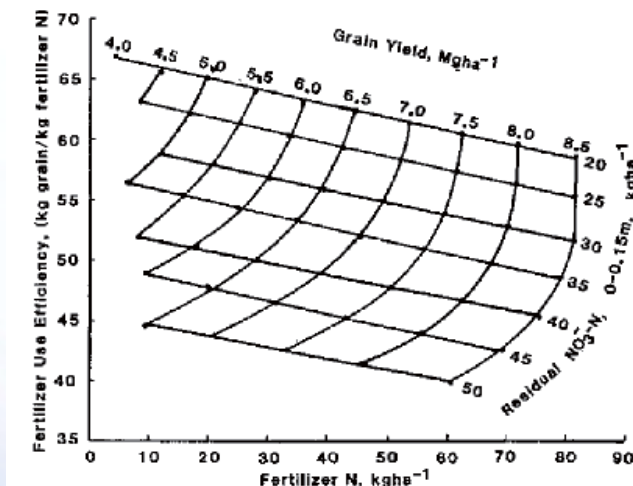


Fig. 5. Relationship between fertilizer use efficiency and applied fertilizer N at several corn grain yields and residual soil NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N levels measured to 0.15m.



## 轉作田玉米之土壤肥力限制因子研究（摘自李, 1988）

本研究係利用廳屬各農改場設於全省之轉作玉米田適栽標準栽培區進行者，研究之期作及地點包括73年秋作共46點，74年春共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。并在玉米發芽後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，以與土壤分析資料互相對照。收穫後記錄其產量，以探討本省各地轉作玉米田之土壤肥力限制因子。同時在各標準栽培區設無磷區，與施磷區，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. 除北部及花蓮地區外，秋作玉米產量顯著高於春作，兩作中產量最低者均為花蓮地區。
2. 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81.0，秋作為89.7。其中又以北部及臺東地區磷肥效果最高。
3. 土壤有效磷含量(Bray P或Olsen P)與磷肥效果間並無顯著之相關關係。但標準栽培區中無磷區產量無超過施磷區者，即使有效磷(Bray P)高達45 ppm P之試區，施磷仍可獲5%以上之增產，足見磷肥對轉作玉米田之重要。因而轉作田之磷肥需要量不能比照一般農田，依其土壤中有效磷含量作施磷量之推薦標準。
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，由於轉作田的犁底層硬磐多在20cm左右，玉米根不易穿透，而玉米生長前期所需P、Mn及Mg又較多，則玉米生長前期的土壤肥力限制因子應為K的過多，及P、Mn、Mg的缺乏。

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。(資料來源：李, 1986)

### 玉米產量與葉片無機養分含量的關係

本研究中兩作玉米均於發芽後30~45日採取植株作全株葉片分析。74年春作並於雌穗吐絲期採取穗葉作葉片分析，分析項目包括N、P、K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mn、Fe等9項。分析結果曾試與產量作迴歸分析，但其間之關係不穩定，顯示葉片養分含量受多種因子影響，與玉米產量間並無顯著相關關係。

### 玉米葉片養分含量之DRIS指數

本研究中之玉米葉片養分含量資料曾依診斷推薦綜合系統方法<sup>(3,11,12)</sup>計算各養分的DRIS指數。由兩作生長前期(發芽後30~45日)之分析資料計算出之DRIS指數中，發現此時期之DRIS指數中，最低也即最缺乏的要素多數地區均為Mn，其次為Mg及P，而指數中最高者，幾乎均為鉀，顯示玉米葉片中鉀含量與其他要素相較，普遍偏高。茲以東部地區施磷處理為例。將其葉片分析結果及DRIS指數列於表5，美國對玉米此生長期所訂養分的適量範圍<sup>(10)</sup>也列於此表，以資參考。

由表5比較本省玉米無機養分含量與各要素之適量範圍，以鉀含量超過此範圍者最多，而磷、鈣及鎂的含量，則均過低，氮則幾均在適量範圍內。在微量要素中，僅Mn的含量有40%低於適量範圍，Cu、Zn含量適中，Fe則均偏高。

表5顯示鉀的含量在花蓮地區尤高，在5.39~6.49%之間，73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。

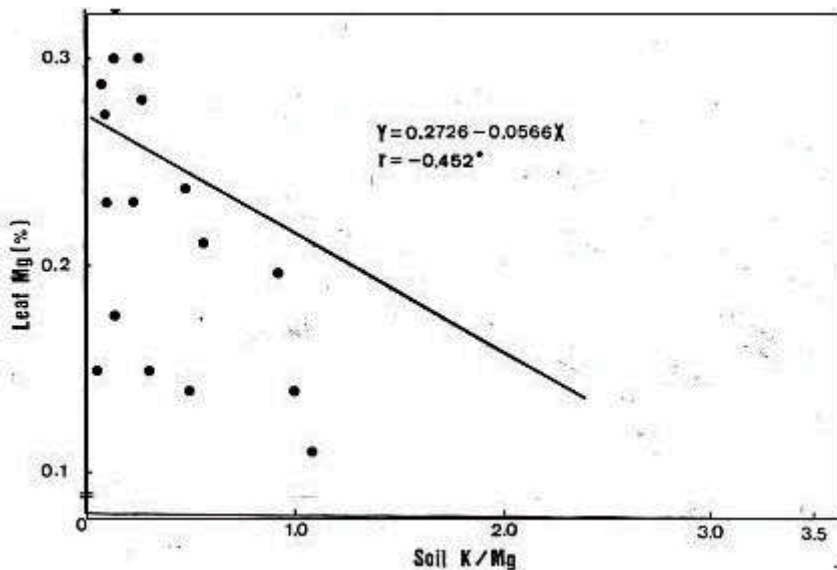
雖然由於施鉀而引起鉀過多或毒害的情形非常少，但在肥力低的土壤中連續施用鉀肥時常有引起次要元素缺乏情形的報告，如若干作物及土壤因鉀過多而引起Mn的缺乏，Zn及Fe的吸收也受阻<sup>(9a)</sup>。

鉀過多也常引起其他要素吸收的障礙，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>。

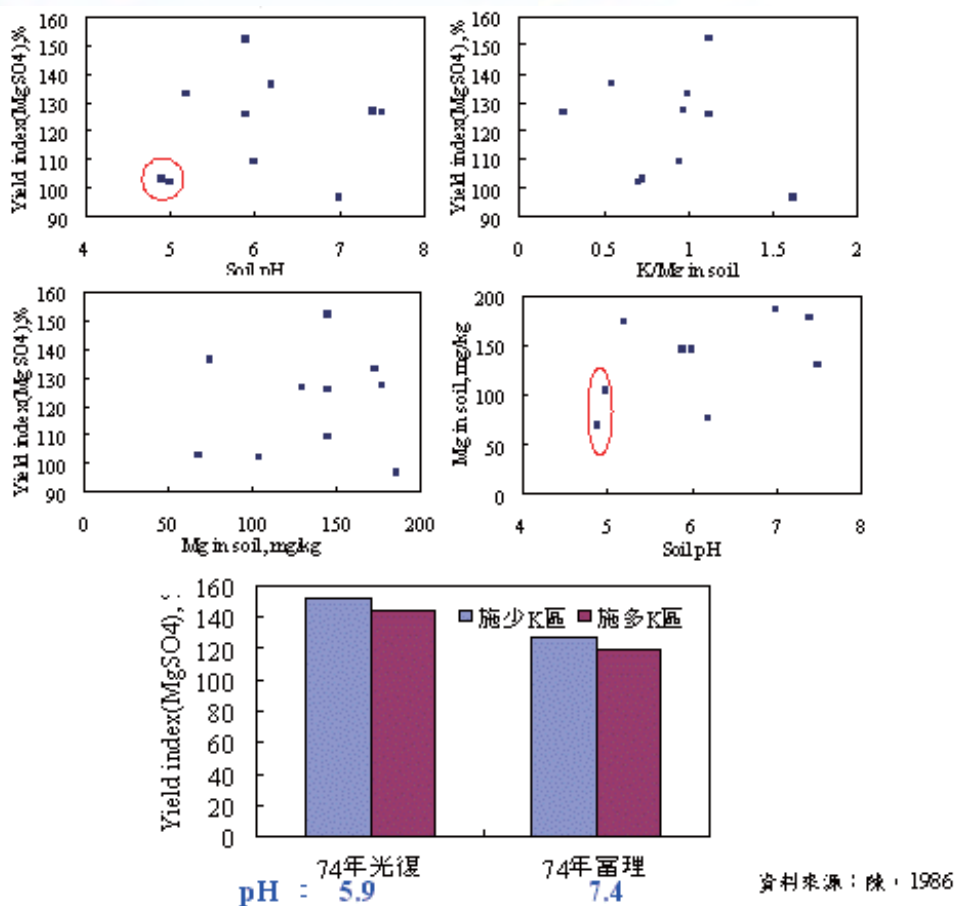
本試驗於東部兩作適栽栽培區土壤之K/Mg比與玉米葉片Mg含量(30~45日)間即有5%顯著程度的負相關關係如圖4，此圖顯示當土壤K/Mg比大於0.46時，玉米葉片Mg含量多在0.24%以下。

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的吸收，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。



稻田轉作玉米缺鎂防治試驗



### 玉米無機營養綜合診斷研究

診斷推薦整合系統(DIAGNOSIS AND RECOMMENDATION INTEGRATED SYSTEM 簡稱 DRIS)為一種新興的方法。國外相關的研究報告已相當多，且所論及的作物已遍及甘蔗、柑桔、小麥、大豆、玉米等之作物。

DRIS係依各營養要素平衡關係，去求各要素的指數(DRIS INDEX)，指數之正負值評鑑該營養要素含量的多或缺，各營養要素的指數總合為1<sup>(9)</sup>。此方法與過去利用臨界濃度(CRITICAL CONCENTRATION)或適量範圍(SUFFICIENCY RANGE)診斷，同樣依一定之範圍作各營養素的標準含量，去評鑑作物。而後者診斷時須受採樣時間、部位、品種及地域等限制，評鑑的方式也係單一因子的討論，



DRIS診斷兼顧各營養間的平衡，且完全不受上述因素限制<sup>(5,9)</sup>，為一簡單、客觀及實用的方法。已廣泛使用於甘蔗、柑桔、小麥、大豆、玉米等作物<sup>(2,4,6,8,9,10)</sup>。

DRIS NORMS之建立根據與方法(9)，是將該作物的產區盡可能包括在內，且需大量之資料，如此才能包容土壤、氣候、品種、以及各種採樣時期等因子，正因如此在診斷標準中已含上述影響產量之變異，故能在診斷時不受其限制。再就產量區分為高產與低產二部分，以(DRIS NORMS)高產部分各營養要素相互間的比值求平均數，標準差、C.V值，作為DRIS的標準。診斷時再依DRIS INDEX的求法(9)求出各營養素的指數值，正值表多，負值表不足。SUMNER曾嘗試一種修正之建法(7)用各營養要素的臨界值平均數來求相互比值以取代原來由樣本直接求出的DRIS NORMS。本研究討論到引用國外標準時，即用此法建立。(資料來源：陳，1986)

表 4、四種 DRIS 標準診斷指數比較表

縣	產量	期作	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	DRIS										
			%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	index										
新竹	2492	FALL	>8000	3.12	0.24	3.7	0.27	0.18	138	78	7	45	11	-15	28	-26	-13	-19	37	-17		
			>7000											10	-13	22	-18	-11	-17	24	-11	15
			>6000											9	-11	20	-18	-10	-17	22	-9	16
			>5000											8	-11	20	-20	-10	-16	21	-8	17
臺灣	8284	FALL	>8000	2.8	0.29	2.68	0.38	0.29	167	68	12	41	-4	-5	6	-10	0.02	-13	20	3	3	
			>7000											-3	-6	3	-7	2	-12	13	6	4
			>6000											-3	-5	2	-7	2	-13	12	7	4
			>5000											-4	-5	3	-9	2	12	11	7	7
彰化	6900	FALL	>8000	3	0.29	1.7	0.59	0.28	15	33	11	36	4	0.8	-7	14	2	-14	-3	2	1	
			>7000											4	-0.6	-10	14	3	-13	-7	5	4
			>6000											3	-0.6	-10	13	4	-13	-6	6	4
			>5000											2	-0.9	-9	11	4	-12	-7	7	6
新竹	3470	SPRING	>8000	4.3	0.32	2.61	0.43	0.31	552	50	14	87	6	-16	-5	-20	-7	17	-0.9	-3	29	
			>7000											5	-15	-8	-16	-6	16	-7	0.5	31
			>6000											4	-15	-8	-16	-5	15	-6	2	30
			>5000											4	-14	-8	-17	-5	13	-7	3	31
臺東	7577	SPRING	>8000	3.1	0.4	1.85	0.59	0.27	225	40	11	23	2	16	-6	12	-0.5	-3	2	1	-22	
			>7000											2	12	-8	11	0.6	-6	-2	4	-17
			>6000											2	12	-8	11	0.9	-3	-2	5	-17
			>5000											0.06	10	-8	8	1	-2	-2	6	-12

## 摘 要 (李, 1988)

本研究係由桃園、臺南、高雄、臺東、花蓮區農業改良場與本所共同負責進行。目的在建立本省玉米無機營養因子綜合診斷標準(DRIS NORMS)。自民國75年秋作起至77年春作止連續四期調查區域遍及13個縣僅臺北、宜蘭、及離島之澎湖三縣除外，全部調查的點數共有184點，其中春作75點，秋作109點，每期作膝高期(30~45日)採取植株樣本及抽穗期採取穗葉樣本，分析植體中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn等9項含量，以建立適合本省的DRIS標準，所得結果如下：

- 一、玉米植體樣本中，各營養要素間之相互比值與產量的複相關達極顯著水準( $r=0.55$   $n=367$ )。顯示玉米植體中營養比值之不同確能反映產量之高低。因此DRIS系統所依據要素平衡比值作為玉米診斷的方法確能符合統計之實。
- 二、本省玉米的植物體中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn九項營養要素之平均含量與美國玉米植體中之臨界值比較，本省玉米之含量除Fe高於其標準及Mn、Cu、Zn三者含量在其範圍內外，餘N等5項的含量都達低於美國玉米臨界含量之下限。而與SUM. NER的臨界平均數(CRITICAL VALUE)比較兩者之Ca、K含量顯然不同。以此兩個國外標準所建的DRIS系統皆無法適當的診斷本省之玉米。
- 三、建立本省玉米DRIS NORMS時所定高產定義範圍四種，分別 $>8000$ 、 $>7000$ 、 $>6000$ 及 $>5000$  kg/ha。此4種DRIS NORMS皆可正確診斷本省玉米。不同的是產量範圍定的高，雖可增加DRIS INDEX的敏銳性，即指數正，負值皆較大，但範圍定得太高符合條件的樣本大為減少。而以 $>5000$  kg/ha當作高產範圍的DRIS NORMS，並不影響對本省玉米營養的診斷，又能因包容較多的樣本而兼具統計上的代表性。因此本研究依此建立診斷標準。

## 結果與討論 (李, 1988)

- 一、DRIS診斷推薦系統，在診斷及推斷時，是以各要素之平衡比為標準，是整體性的較過去之推薦法僅注重單一營養要素臨界含量值作為診斷的方法，顯然更為慎密，且因兼及各營養比之C.V值，正確性自然較高而合理。

- 二、此建立本省無機營養推薦標準時，遍及全省13個縣，其土質、氣候等不同影響玉米產量之因素，以及膝高期(30~45日)穗葉二種營養分析資料等皆涵蓋在內。使得所建立之DRIS更具實用價值，亦即診斷推薦時不受採樣時期、部位等影響，使用起來十分方便。
- 三、建立DRIS系統高產界定以5000 kg/ha較為洽當，而國外之DRIS標準不適用於本省玉米的診斷推薦。
- 四、玉米植株中營養比與產量存有極顯著之複相關。
- 五、由於土壤之變化極大，氣象亦為影響作物之主要因子，區域性之肥料試驗為過去本省兼顧此兩個變因下尋求合理施肥推薦的方法。但各農田之個別差異仍無法掌握，DRIS可在此方面加以補足，首先田間試驗即可利用它平衡比觀念設定肥料試驗客觀的肥料處理的等級，求得該區域的推薦量。在實際用於各個別之農田時DRIS可追蹤調整因個別農田所產生之差異，而令施肥推薦更為合理。

#### 玉米在浸水情況下發芽障礙之改進(陳等人, 1985)

利用過氧化鈣、不整地、打破犁底層三種方法在不同排水等級土壤試驗浸水情況下玉米發芽。在種子外面包裹過氧化鈣，希望使玉米種子在浸水土壤中得到額外氧氣供應。不整地及打破犁底層藉以增加滲漏，加速溶氧之供應。由於浸水土壤氧氣的供應主要來自水中之溶氧，排水良好的土壤滲漏較快，氧氣供應較速，可能有利於發芽。

田間試驗結果顯示，排水良好之陳厝寮系紅土，玉米播種後經人為浸水，其發芽率比排水不良之大肚系高出10~20%以上。故選擇排水良好土壤推行轉作應是減少轉作風險的可行途徑。

不整地及深溝打破犁底層的播種方式均可提高浸水土壤的還原電位，但對增加浸水玉米發芽率的效果不甚明顯。利用35%過氧化鈣包裹玉米種子在浸水3~5天的情況下約可增加13~15%之發芽率，不失為一經濟可行的方法。



根據三處試驗結果進行迴歸分析，發現春作玉米發芽率隨浸水還原電位之降低而直線下降，土壤還原電位低於+400 mv即可能對玉米發芽產生不利的影響，低於30mv則幾乎沒有種子發芽。結果並顯示在秋作播種期高溫下，浸水對玉米之發芽為害更烈，推測秋作需要較春作更高的還原電位，才能夠維持80%以上的發芽率。

#### 改進整地與灌溉方法對轉作玉米產量之影響(陳等人, 1985)

轉作稻田土壤可能存在對旱作根系發展之限制因子很多，通氣、壓實及底土肥力可能是重要因素之一，本文主要針對壓實問題加以探討。稻田壓實主要在犁底層限制旱作物根系生長。田間管理方面。一般農民灌溉次數太頻繁，影響根系分佈及土壤通氣，亦不利於根系的發展。

犁底層壓實以紅壤及砂頁岩沖積土較為嚴重，其總體密度達1.85~1.9 g/cc，較粘板岩沖積土的1.59~1.75 g/cc高出甚多，皆足以妨礙玉米根系伸展。

本試驗發展一種栽培方法，利用開30公分深溝打破犁底層的不整地栽培，以消除犁底層的壓實障礙；配合肥料深施，並改良灌溉方式為計畫灌溉，亦即延緩種植後第1次灌溉時間至抽穗前，以建立玉米深入的根系。試驗在5個面積較大，具代表性的土系，包括紅壤的陳厝寮系，粘板岩沖積土的二林及鹿港系，以及砂頁岩沖積土的大肚及大里系，進行連續兩年四期作玉米田間試驗。

試驗發現砂頁岩沖積土大里系秋作每公頃玉米產量由6公噸提高到7.5公噸，增產25%，春作自6.2公噸提高到7公噸，增產13%，紅壤陳厝寮系由6.6公噸提高到7.7公噸，增產17%。

第1年試驗發現經打破犁底層，玉米根系可以向下伸展，但底土之肥力及壓實成為新的產量限制因子。5個土系中，底土肥力以紅壤最劣，嚴重缺磷，砂頁岩沖積土次之，粘板岩沖積土最好。20~60公分壓實亦以紅壤最嚴重，砂頁岩沖積土次之，粘板岩沖積土最輕。底土pH亦以紅壤較低。

臺中外埔紅壤，利用深耕改善底土並綜合改良60公分土層之肥力，玉米產量由每公頃5.8公噸提高到8.3公噸，增產43%。(資料來源：陳, 1985)



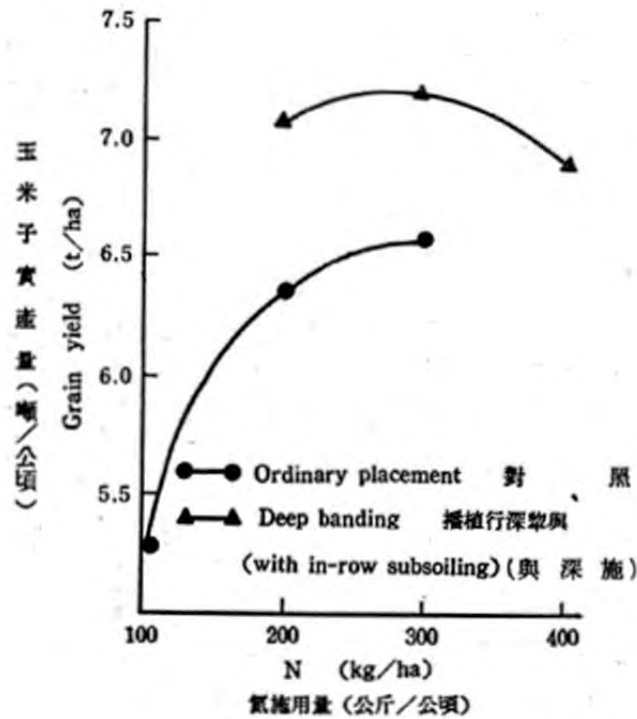
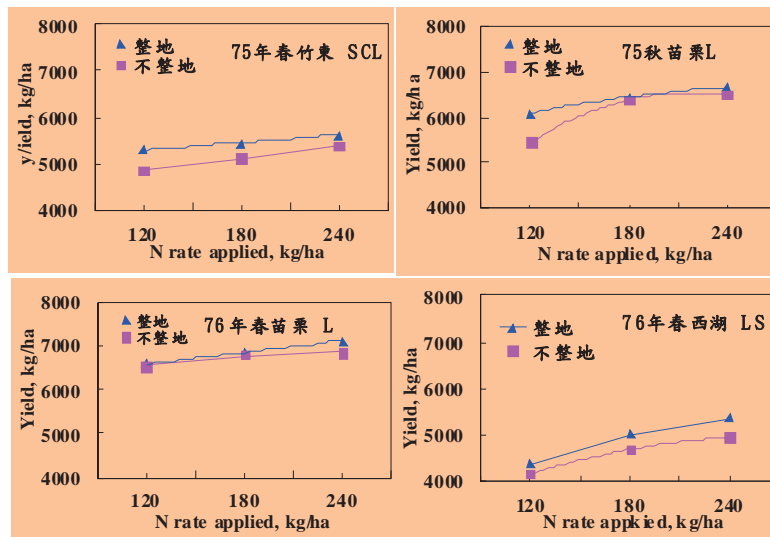


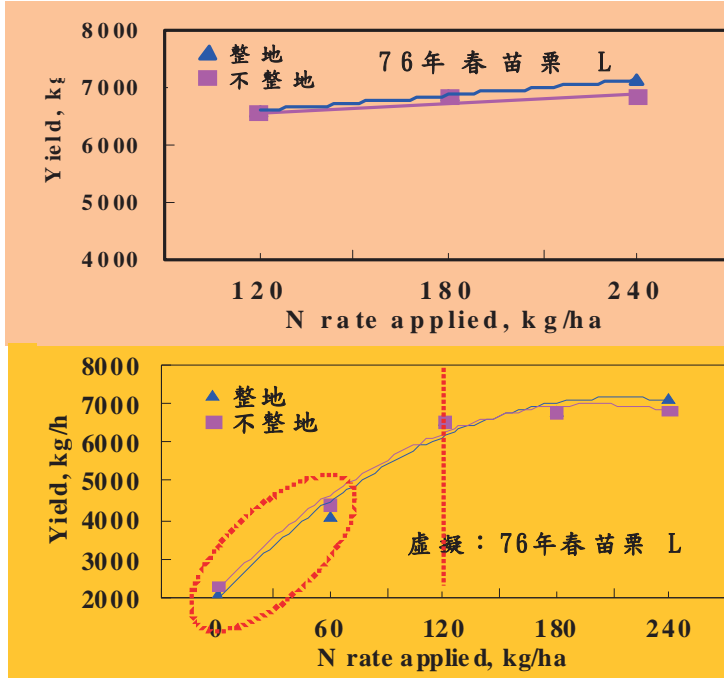
圖 2、在霧峰試區玉米收量對氮素用量和播植行深犁以及肥料深施之效應 (連,



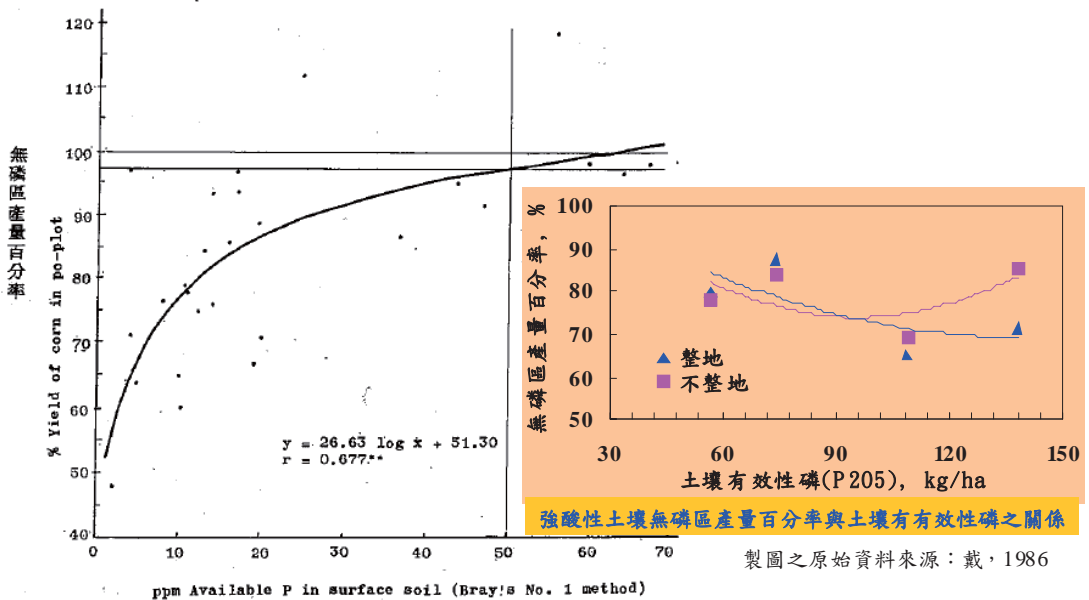
### 強酸性土壤整地與不整地之氮肥效果

製圖之原始資料來源：戴，1986

(處理)對照組之設定考量：設立 0 kg/ha 之需要性



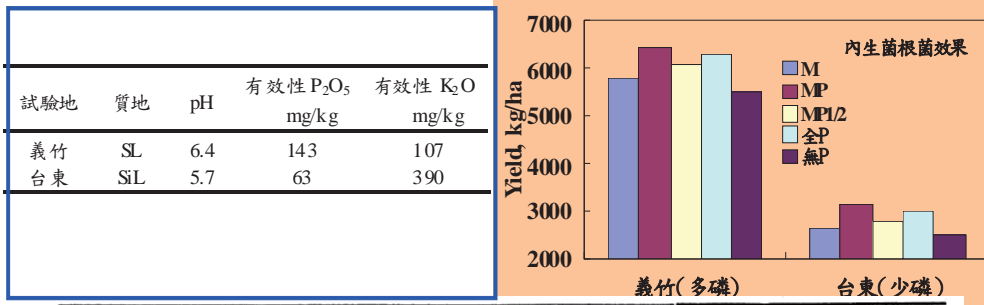
製圖之原始資料來源：戴，1986



製圖之原始資料來源：戴，1986

圖 2 玉米對磷肥之效應與土壤有效磷含量間之關係 (林家榮，1970)

處理 Treatment	株高 Height (cm)		產量 (kg/ha) yield	指數 Index
	處理後四週 4 wks after treatment	處理後八週 8 wks after treatment		
義竹 M	58.8 bc**	222.4 ab	5,804.7 bc	106
MP	72.3 ab	249.5 a	6,423.0 a	117
MP'	71.7 ab	242.1 a	6,112.7 ab	111
P	76.1 a	241.6 a	6,275.7 a	114
-P	54.1 c	212.5 b	5,504.5 c	100



處理 Treatment	株高 Height (cm)		產量 (kg/ha) yield	指數 Index
	處理後四週 4 wks after treatment	處理後八週 8 wks after treatment		
台東 M	19.9 c**	194.1 c	2,616.1 b	104
MP	56.4 a	251.3 a	3,154.0 a	126
MP'	43.0 b	241.1 b	2,770.1 a	110
P	53.4 a	252.6 a	2,991.1 a	119
-P	19.7 c	194.4 c	2,508.9 b	100

製圖之原始資料來源：程，1986

### 田菁氮素之利用率(摘自王等人, 1993)

表四係田菁區玉米之氮素吸收量減無田菁區玉米之氮素收量之差值除以田菁氮素含量之值，即田菁植體中所含氮素在玉米作被吸收利用之比率。表中顯示隨著氮肥用量之增加，田菁氮素之利用率降低，且在不整地區之利用率高於整地區，此應系受整地區有較多土壤礦化之無機態氮素影響之故，而不整地區因土壤中無機態氮素較少，且不整地田菁敷蓋區有較佳之土地理化性質，以致秋作玉米對水分及養分之吸收能力較佳，所以田菁所含之氮素被玉米吸收利用之比率高於整地區。四處試區之平均值顯示，整地區田菁氮素之被利用率偏低；N 0 kg/ha區為12.8%，N 60 kg/ha區為6.1%，N 120 kg/ha區則僅為1.8%。

不同氮肥用量下玉米對整地下掩埋或不整地下敷蓋之田菁之植體中氮素吸收率比較

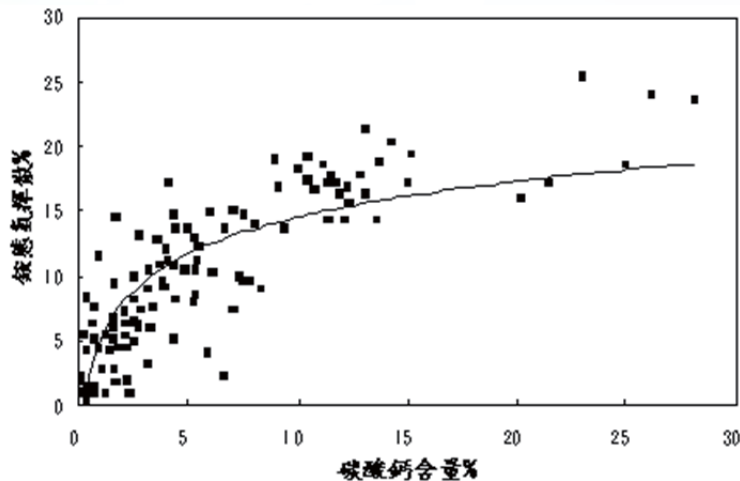
Fertilizer N Applied (kg/ha)	Sesbania nitrogen utility(%)									
	Location 1		Location 2		Location 3		Location 5		Mean	
	With tilled	no tilled	With tilled	no tilled	With tilled	no tilled	With tilled	no tilled	With tilled	no tilled
0	19.6 <sup>(1)</sup>	26.9 <sup>(2)</sup>	9.3	16.0	14.1	32.9 <sup>(3)</sup>	8.2	7.9	12.8	20.9
60	4.1	0	11.7	9.0	5.8	28.1	2.8	13.6	6.1	12.7
120	6.5	18.4	-0.7	9.8	-1.4	12.5	2.8	3.7	1.8	11.1
180	4.3	24.3	—	—	0.4	11.5	-5.9	8.5	—	—
N content										
In sesbania (kg/ha)	91	93	100	110	99	107	135	135	106	111

註：<sup>(1)</sup>各數據係玉米氮素吸收量之差(田菁區減無田菁區)除以田菁氮素含量，並為2重覆平均。

<sup>(2)</sup>location 1 缺不整地無田菁區，本列數據係由不整地田菁敷蓋區之玉米氮素吸收量減整地無田菁區替代。

<sup>(3)</sup>location 1、2 及 3 為 1993 秋作、location 5 為 1994 秋作。圖製資料來源：王， 1995

石灰質(性)與非石灰質(性)土壤





## 參考文獻

1. 作物施肥手冊 1987 玉米 p.38-42 臺灣省政府農林廳編。
2. 李子純 1988 轉作玉米田土壤肥力限制因子研究 中華農業研究 37(2):165-176。
3. 連深 1986 轉作玉米肥料需要量與土壤肥力之關係 中華農業研究 35(3):318-344。
4. 譚增偉 1991 本省中南部沖積土不同型態鐵在剖面中之分佈及其對土壤磷吸著的影響 中華農業研究 40(1):47-70。
- 4a. 陳世雄、楊策群、朱德民 1985 玉米在浸水情況下發芽障礙之改進 p.18-24 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4b. 陳世雄、楊策群、朱德民 1985 改進整地與灌溉方法對轉作玉米產量之影響 p.25-36 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4c. 陳忠民、林萬居、張茂盛 1986 玉米鎂缺乏症之防治試驗 p.54-61 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4d. 連深 1986 轉作田玉米不整地與肥料深施效果試驗 p.25-37 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4e. 戴堯城、陳釗和 1986 玉米不整地與磷肥用量試驗 p.42-53 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4f. 程永雄、李垂芳 1986 土壤有益內生菌根菌種繁殖及其田間應用 p.75-81 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4g. 王鍾和、連深、洪崑煌 1993 轉作田夏作田菁及其耕耘方式對秋作玉米生育及子實生產之影響 p.1-32 土壤肥料試驗報告 臺灣省政府農林廳編印。
- 4h. Onken, A. B., R. L. Matheson, and D. M. Nesmith. 1985. Fertilizer nitrogen and residual nitrate-nitrogen effects on irrigated corn yield. Soil Soc. Am. J. 49:134-139.

5. Brandon, D. M., and Mikkelsen. 1979. Phosphorus transformations in alternately flooded California soils: I. Cause of plant phosphorus efficiency in rice rotation crops and correctional methods. *SSSAJ*. 43:898-994.
6. Boul, S. W., P.A. Sanchez, K. B. Cate, and M. A. Granger. 1975. Soil fertility capability classification: A technical soil classification system for fertility management. p. 126-145. In: E. Bronemisz and A. Alvarado (eds):*Soil management in tropical America*. North Carolina State University, Raleigh, N.C.
7. Fox, R. H. 1979. Soil pH, aluminum saturation, and corn grain yield. *Soil Sci*. 127:330-334.
8. Foy, C. D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. In *The plant root and its environment*. Univ. Press of Virginia, Charlottesville. p.601-642.
9. Haynes, R. J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil* 68:289-308.
10. Lin, C. C. 1985. Fertility capability classification (FCC) as a guide to PK-fertilization of lowland rice. *FFTC Book Series* 29:103-120.
11. Metchell. B. D., V. C. Farmer, and W. J. Mchardy. 1964. Amorphous inorganic materials in soils. *Adv. Agron*. 16:327-384.
12. Moore, D. P. 1974. Physiological effects of pH on roots. p.135-151. In *The plant root and its environment*. Univ. Press of Virginia, Charlottesville.
13. Sah, R. N., and D. D. Mikkelsen. 1986. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformation of phosphate in drained soils:1.Effects on matter on phosphate sorption. *Soil Sci*.142:267-274.
14. Sah, R. N., and D. D. Mikkelsen. 1986. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformation of phosphate in drained soils:2.Effects on amorphous iron content and phosphate transformation. *Soil Sci*. 142:346-351.

15. Saigusa, M., S. Shoji, and T. Takahashi. 1980. Plant root growth in acid Andosols from northeastern Japan:2. Exchange acidity as a realistic measure of aluminum toxicity potential. *Soil Sci.* 130:242-250.
16. Shoji, S., M. Saigusa, and T. Takahashi. 1980. Plant root growth in acid Andosols from northeastern Japan:1. Soil properties and root growth of burdock, barley, and orchard grass. *Soil Sci.* 130:124-131.
17. Willett, I.R., and M. L. Higgins. 1978. Phosphate sorption by reduced and reoxidized rice soils. *Aust. J. Soil Res.* 16:319-326.
18. 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.
19. Woodruff, J. R., J. T. Ligon, and B. R. Sminth. 1984. Water table depth interaction with nitrogen rates on subirrigated corn. *Agro. J.* 76:280-283.