

土壤特性對於磷測定值與田間水稻磷吸取量 相關之影響¹

林家茶 吳懷國 張愛華²

摘要 從20處田間試驗所得無磷區與施磷區之水稻磷吸取量與7種方法所得磷測定值以及田間供試土壤特性因子，經用直線及曲線複迴歸統計分析結果，顯示水稻磷吸取量，在供試地區受土壤特性因子的影響甚大，而受單獨磷測定值的影響則甚小。但各法所得磷測定值與水稻磷吸取量的迴歸方程式中，若參與適當土壤特性因子如 pH、Clay 等，則在第一期作之下，其關係均可獲得顯著改善；而在第二期作之下，若用 Al-Abbas-P (NaOH-Na₂C₂O₄) 參予 CEC 於其迴歸方程式中，或用 N. Caro¹ina-P (HCl-H₂SO₄) 參與 Exchangeable Ca 時，兩者對於水稻磷吸取量之校正，均獲得極顯著的改進。該兩種方法所用抽取液性質懸殊，更可顯示參與土壤特性因子對於水稻磷測定值校正之重要。

從上結果，推測舉行磷測定值田間校正時，應減少土壤特性因子的過分影響，宜參照本省農田詳測資料，劃分為若干區域，分別進行，由於同一區域內，個別農田間之土壤特性未必完全一致，仍應採用本文所述方式IV或V或其他更適合公式，予以校正，藉可提高磷測定值估計稻田磷肥需要量的可靠性。

引 言

Colwell 氏⁽²⁾ 認為測定土壤中所含植物生長要素的目的在於瞭解該等要素在土壤中存在的狀況，俾供合理經濟施肥之依據。因此不僅對該等要素須加以測定，凡可影響作物攝取該等要素的其他土壤特性因子亦須加以考慮。渠並主張土壤速測校正公式宜用直交多項式 (Orthogonal polynomials)，以便參與影響作物對於利用該等要素的其他因子，藉以發揮土壤速測功能。

作者等在前報⁽⁵⁾ 中顯示不同方法所得磷測定值間之差異，主受土壤特性因子的影響，其彼此相關程度可因參與特性因子於其迴歸方程式中而獲得改善，利用化學藥劑抽取土壤中有效態磷，只能表示該土壤對於磷的供應潛能，而植物磷吸取量才能真正表示土壤有效態磷，但此則除受土壤因子影響外，尚與植物、氣候以及管理等有關，因此利用土壤特性因子是否可能改進土壤磷測定值與水稻磷吸取量間之關係，有加以探討的必要。

試驗方法

本試驗之20種供試土壤特性與7種磷測定方法以及在該等土壤上所舉行田間試驗之設計及管理均詳前兩報^(4,5)。本文僅取無磷區與施磷區兩處理水稻，收穫後，經乾燥，稱量，依區別分析其穀葉中含磷百分率，再求其磷吸取量。統計分析乃照下列步驟進行：

迴 歸 方 程 式 Regression equations	決 定 係 數 Coefficients of determination	獨 立 變 數 個 數 No. of independent variable, k
$Y = a_0 + a_1P_1$ I	r_1^2	1
$Y = b_0 + b_1P_1 + b_2P_1^2$ II	R_2^2	2
$Y = c_0 + c_1X_1 + c_2X_1^2$ III	R_3^2	2
$Y = d_0 + d_1P_1 + d_2P_1^2 + d_3X_1 + d_4X_1^2 + d_5P_1X_1$ IV	R_4^2	5
$Y = e_0 + e_1P_1 + e_2P_1^2 + e_3X_1 + e_4X_1^2 + e_5P_1X_1 + e_6W$ V	R_5^2	6

1. 試驗報告農試字第七九八號 2. 臺灣省農業試驗所技正、技術員

將IV式，予以微分 (dY/dX₁)，以測定X之影響方向：

By differentiating equation IV to distinguish the direction of the effect due to X:

$$dY/dX_1 = d_3 + 2d_4X_1 + d_5P_1 \dots \dots \dots \text{VI}$$

$$F\text{-test: } F = \frac{r_1^2/k}{1-r_1^2/n-k-1}, \quad F = \frac{R^2/k}{1-R^2/n-k-1}$$

F-test between:

$$(1) R_2^2 - r_1^2 \quad F = \frac{R_2^2 - r_1^2/2 - 1}{1 - R_2^2/n - k - 1}, \quad (2) R_4^2 - R_2^2 \quad F = \frac{R_4^2 - R_2^2/5 - 2}{1 - R_4^2/n - k - 1}$$

式中 Y 為水稻磷吸取量 kg/ha, P₁ 為各種方法所得磷測定值 ppm, X₁ 或 W 均為土壤特性因子之測定值如 pH, Clay, Exch. Ca 等, a, b, c, d 及 e 均為常數, r 為直線相關係數, R 為曲線相關係數, n 為樣本個數, k 為獨立變數個數, dY/dX₁ 為斜率, 用以測定土壤特性因子對於水稻磷吸取量影響之正負方向。

結果與討論

土壤特性與水稻磷吸取量之關係：從表 1 示水稻磷吸取量與若干土壤特性因子如 pH、粘土、交換性鈣或鹽基飽和度均呈顯著乃至極顯著之負相關，換言之，此等特性因子之測定值，若超過某限

表 1. 水稻磷吸取量與土壤性因子的相關係數

Table 1. Correlation coefficients between the values obtained from P-uptake of rice plant and those from soil characterizing analyses

Soil characteristics	1st crop		2nd crop	
	Y-	Y+	Y-	Y+
PH	- 0.39	- 0.61**	- 0.64**	- 0.66**
Clay %	- 0.42	- 0.63**	- 0.39	- 0.40
Organic matter %	0.20	- 0.47*	- 0.48*	- 0.52*
CEC me/100 gm	- 0.06	- 0.22	0.002	- 0.09
Exch. Ca me/100 gm	- 0.37	- 0.57**	- 0.54*	- 0.54*
Exch. Mg me/100 gm	0.07	- 0.28	- 0.03	- 0.04
Exch. K me/100 gm	0.09	- 0.16	0.04	0.06
Free Fe oxides %	- 0.17	- 0.26	0.04	0.01
Extractable Al ppm	0.05	0.23	0.44	0.43
Base saturation %	- 0.33	- 0.53*	- 0.55*	- 0.51*
K-adsorption ratio KAR	0.26	0.21	0.34	0.38

** and * stand for significant at 0.01 and 0.05 level, respectively. Y- and Y+ indicate the P-uptake obtained from the plots without and with phosphorus, respectively.

度時，對水稻磷之攝取將有不利影響。李子純等⁽³⁾ 研究中部粘板岩沖積土性質與水稻生長之關係時，亦認為土壤 pH 與稻株中磷含量有極顯著之負相關，可能由於 pH 高時，土壤溶液中所含 HCO₃⁻, Ca⁺⁺ 等離子濃度較高所致。由此顯示過去農田磷速測值之校正，僅憑單獨磷測定值與磷吸取量或作物收量百分率（無磷區收量/施磷區收量×100）之相關情形，而忽視土壤特性因子的影響，因而其

相關係數，往往不高，應用於錯綜複雜的農田，其可靠度誠有加以檢討的必要。

土壤磷測定值與水稻磷吸取量之關係：表 2 示勿論期作，施磷與否，水稻磷吸取量與 7 種方法所得磷測定值之相關係數，均未達顯著平準，甚至若干方法所得磷測定值與水稻磷吸取量尚呈負相關，其中尤以 Resin-P, EDTA-P 及 N. Carolina-P 最為明顯。據張守敬氏⁽¹⁾引述 Ishizuka 與 Tanaka 之研究報告，認為磷肥不似氮、鉀肥，即使施用過量，僅提高稻體中磷濃度而不顯著降低收量，因此呈負相關者似非由於土壤中含磷過高所致。又作者等在前報⁽⁵⁾中顯示 Resin-P, EDTA-P 及 N. Carolina-P 之來源均與 Exchangeable Ca 有關，而 Exch. Ca 過量時，確可阻礙水稻對於磷的吸取，因此該等方法所得磷測定值與水稻磷吸取量呈負相關者，推測可能由於其測定值可代表部分 Exch. Ca 所致。

表 2. 水稻磷吸取量與各種方法所得磷測定值的相關係數

Table 2. Correlation coefficients between P-uptake of rice plant and P-test values from various procedures

	Olsen P	Bray P	Resin P	EDTA P	Water P	Al-Abbas P	N. Carolina P
Y- 1st crop	-0.09	0.11	-0.31	-0.14	0.04	0.07	-0.09
Y+ 1st crop	0.02	0.28	-0.26	-0.08	-0.007	0.24	-0.05
Y- 2nd crop	0.08	0.18	-0.22	-0.31	0.23	0.37	-0.18
Y+ 2nd crop	-0.01	0.11	-0.35	-0.37	0.12	0.30	-0.17

Y- and Y+ stand for the P-uptake from the plots without and with Phosphorus, respectively.

土壤特性對於磷測定值與水稻磷吸取量相關之影響：

有關土壤特性因子如交換性鉀、可抽出鋁，及鉀吸着比 (potassium adsorption ratio, KAR) 未列入表 3 內，因統計結果，其對於供試土壤之水稻磷吸取量影響不大。表 3 中 r_1^2 及 R_2^2 乃分別從迴歸方程式 I 及 II 求得，其中水稻磷吸取量與各法所得磷測定值之 R_2^2 值，只有無磷區水稻磷吸取量與 Water-P 所得者達到顯著平準，但 R_2^2 值普遍地較 r_2^2 值為高，尤其在第一期作之下，其差異 ($R_2^2 - r_2^2$) 常達到顯著平準 (表 4)，因而仍用迴歸方程式 II 求其相關情形。

從水稻磷吸取量與土壤特性因子之迴歸方程式 III 所得 R_3^2 值，多較其 R_2^2 值為高，其中以土壤 pH 影響最大，勿論期作，施磷與否，其與水稻磷吸取量所得 R_3^2 值，均達到顯著平準，其次為

表 3. 由迴歸方程式 I 至 IV 所得決定係數 (r^2 或 R^2)

Table 3. Coefficients of determination (r^2 or R^2) for the regression I to IV

Y	P ₁	r_1^2	R_2^2	R_3^2 or R_4^2 for X=					Base saturation	
				pH	Clay	O. M.	CEC	Ca		
1st crop										
Y-				0.3371*	0.3998*	0.4064*	0.2773	0.1410	0.1116	
	Olsen	0.0081	0.2592	0.5476*	0.5184*	0.6084*	0.4356	0.3969	0.4225	

Y+	Bray	0.0121	0.1679	0.4900	0.5625*	0.6084*	0.4489	0.3969	0.4356	
	Resin	0.0961	0.2180	0.4900	0.5929*	0.4225	0.3364	0.2916	0.2809	
	EDTA	0.0196	0.0279	0.3969	0.5041	0.4489	0.3025	0.2116	0.2704	
	Water	0.0016	0.3011*	0.6241*	0.6561**	0.6724**	0.5329*	0.4900	0.5041	
	Al-Abbas	0.0049	0.0343	0.5929*	0.4489	0.5476*	0.3249	0.2116	0.2116	
	N. Carolina	0.0081	0.1972	0.6084*	0.5041	0.4225	0.4761	0.3481	0.3025	
				0.4182**	0.5606**	0.2796*	0.3864*	0.3634*	0.3070*	
	Olsen	0.0004	0.2644	0.6561**	0.6724**	0.4761	0.6084*	0.5625*	0.5476*	
	Bray	0.0784	0.0902	0.4489	0.6724**	0.4761	0.5476*	0.4225	0.3721	
	Resin	0.0676	0.1704	0.5184*	0.6400**	0.3249	0.3969	0.4761	0.4225	
Y-	EDTA	0.0064	0.0084	0.4356	0.6724**	0.3364	0.4225	0.3721	0.3136	
	Water	0.0001	0.1287	0.5626*	0.6084*	0.4761	0.4761	0.4900	0.4624	
	Al-Abbas	0.0576	0.0876	0.6561**	0.7225**	0.3844	0.6084*	0.4356	0.4225	
	N. Carolina	0.0025	0.2427	0.5625*	0.6400**	0.3969	0.5041	0.5625*	0.5041	
	2nd crop									
				0.4368**	0.1878	0.3146*	0.2274	0.3456*	0.3588*	
	Olsen	0.0064	0.0787	0.4761	0.3481	0.4356	0.3969	0.4096	0.4489	
	Bray	0.0324	0.0402	0.4489	0.2916	0.4489	0.3481	0.3844	0.3969	
	Resin	0.0484	0.0506	0.4356	0.3136	0.3721	0.2601	0.3721	0.3844	
	EDTA	0.0961	0.1080	0.4624	0.3364	0.3481	0.2601	0.3969	0.4225	
Water	0.0529	0.0534	0.5041	0.3844	0.3721	0.3481	0.4096	0.4225		
Al-Abbas	0.1369	0.1370	0.4900	0.4489	0.5041	0.6724**	0.4761	0.4225		
N. Carolina	0.0324	0.1325	0.5929*	0.2704	0.3600	0.3600	0.6400**	0.6241*		
Y+				0.4720**	0.3429*	0.3635*	0.2709	0.3895*	0.3332*	
	Olsen	0.0001	0.0791	0.5184*	0.4624	0.4356	0.3721	0.4489	0.4489	
	Bray	0.0121	0.0182	0.5041	0.3969	0.4761	0.3481	0.4356	0.3844	
	Resin	0.1225	0.1279	0.4624	0.4356	0.3969	0.2916	0.4356	0.3969	
	EDTA	0.1369	0.1415	0.5184*	0.4489	0.4356	0.3249	0.4489	0.4225	
	Water	0.0144	0.0154	0.5014	0.5476*	0.3969	0.3364	0.4096	0.3721	
	Al-Abbas	0.0009	0.0964	0.5184*	0.5329*	0.5041	0.6889**	0.4761	0.3844	
	N. Carolina	0.0289	0.0609	0.6241*	0.3721	0.3969	0.3025	0.6724**	0.6084*	

* and ** stand for significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Clay 與有機物含量，再次為 CEC，交換性鈣及鹽基飽和度。換言之，在此等供試土壤中，水稻磷吸取量受土壤特性因子之影響甚大，將迴歸方程式 IV 予以微分後，求其接近數據中心位置之斜率 (dY/dX_i) 時，顯示土壤特性因子的影響均屬負效應 (表 4)，因而單憑土壤磷測定值甚難與水稻磷吸取量獲得顯著的相關。

表 4. $R_2^2-r_1^2$ 與 $R_4^2-R_2^2$ 之差異顯著性 F 值測定及迴歸方程式IV之斜率 (dY/dX) 正負效應

Table 4. F-tests for the significance of differences between $R_2^2-r_1^2$ and between $R_4^2-R_2^2$ and sign, positive or negative, for general trend with respect to X (dY/dX) in regression IV

Y	P ₁	$R_2^2-r_1^2$	pH	Clay	$R_4^2-R_2^2$			Base saturation
					O. M.	CEC	Ca	
1st crop								
Y-	Olsen	**	— *		— **			
	Bray			— *	— **			
	Resin			— *				
	EDTA							
	Water	**	— *	— *	— **			
	Al-Abbas	*	— **		— **			
	N. Carolina	*	— *					
Y+	Olsen	*	— **	— **		— *	— *	— *
	Bray			— **		— *		
	Resin		— *	— **				
	EDTA			— **				
	Water		— **	— **				
	Al-Abbas		— **	— **		— **		
	N. Carolina	**	— *	— **			— *	
2nd crop								
Y-	Olsen							
	Bray							
	Resin							
	EDTA							
	Water							
	Al-Abbas							
	N. Carolina		— **			— **	— **	— **
Y+	Olsen		— *					

Bray						
Resin						
EDTA	— *					
Water			— **			
Al-Abbas	— *	— **		— **		
N. Carolina	— **				— **	— **

* and ** stand for significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

從水稻磷吸取量與土壤特性因子及磷測定值之迴歸方程式 IV 所得 R_4^2 值均較 R_3^2 值為高，且在第一期作之下，勿論施磷與否，若參與適當的土壤特性因子如 pH 或 Clay 等於其迴歸方程式 IV 中，則各種方法所得磷測定值，除 EDTA 法外，似乎均有同等功效，其 R_4^2 值均達到顯著乃至極顯著平準；但在第二期作之下，其 R_4^2 值顯著與否，與磷測定方法似有關係，或因第二期作栽培前，未曾重新採取土壤分析。在 7 種測定法中，以 Al-Abbas-P 參與 CEC 所得 R_4^2 值，或以 N. Carolina-P 參與 Exch. Ca 所得 R_4^2 值最高，均達到極顯著平準，其中值得注意者為 Al-Abbas-P 乃用 NaOH-Na₂C₂O₄ 鹼性抽取液，而 N. Carolina-P 乃用 HCl-H₂SO₄ 酸性抽出液，兩者性質迥然不同，但可因參與適當土壤特性因子，而改善水稻磷吸取量之校正公式，更可顯現土壤特性因子的重要性。

水稻磷吸取量實測值與迴歸方程式所得估計值之比較：以上各節多討論磷測定值及土壤特性因子在迴歸方程式中對於 R^2 值之影響。事實上，各迴歸方程式所得水稻磷吸取量之估計與其實測值之分佈情形，亦有加以探討的必要。為節省篇幅起見，僅將 Al-Abbas 氏法所得磷測定值舉例於次：

圖1. 乃將 Al-Abbas-P 測定值及土壤特性因子測定值分別代入迴歸方程式 II, III 及 IV 求得之水稻磷吸取量估計值，再與其實測值繪於座標圖上，並在 45° 處繪一對角線，若估計值與實測值愈近似，則點之分佈愈接近對角線，否則反是。圖 1a 及 1d 乃單獨以磷測定值估計水稻磷吸取量，其 R_2^2 值均未達顯著平準，其點之分佈多遠離對角線，圖 1b 及 1e 乃以土壤特性 pH 及 CEC 分別估計水稻磷吸取量，其 R_3^2 值前者達到顯著平準，後者則否。圖 1c 及 1f 乃分別以磷測定值與土壤 pH，及磷測定值與 CEC 估計水稻磷吸取量，其 R_4^2 值前者達到顯著平準，後者則達到極顯著平準，後者點之分佈相當接近於對角線。但前者（圖1c）仍有若干點之分佈遠離對角線，且多在對角線之下方，換言之，從迴歸方程式 IV 所得估計值中，若干點遠較實測值為低，此可能因迴歸方程式 IV 尚未包括其他足可影響水稻磷吸取量之土壤特性因子在內。圖2. 乃從迴歸方程式 V 求得之水稻磷吸取量之估計值與其實測值之分佈情形，顯示添加 Clay 因子後，所得 R_5^2 值較 R_4^2 值為高，其點之分佈若與圖 1c 比較時，則更接近於 45° 對角線，在迴歸方程式中，未列入 (Clay)², Clay × pH, Clay × P 及 Clay × pH × P 等項，乃因本試驗中樣本總數共為 20，若將以上各項列入，則自由度劇降，影響試驗結果的準確性。

以上在表示土壤特性因子對於水稻磷吸取量有密切關係。因此推測舉行磷測定值田間校正時，為減少土壤特性因子過分影響而沖淡磷測定值的效應，宜將本省農田參照土壤詳測資料及其表土特性劃分為若干區域，分別進行，由於同一區域內，個別農田間之土壤特性甚難一致，仍宜採用本文所述迴歸方程式 IV 或 V 或其他更適合的公式，以求同一區域內所受土壤特性因子的影響，藉可提高磷測定值的準確性，發揮土壤磷測定值的功效。

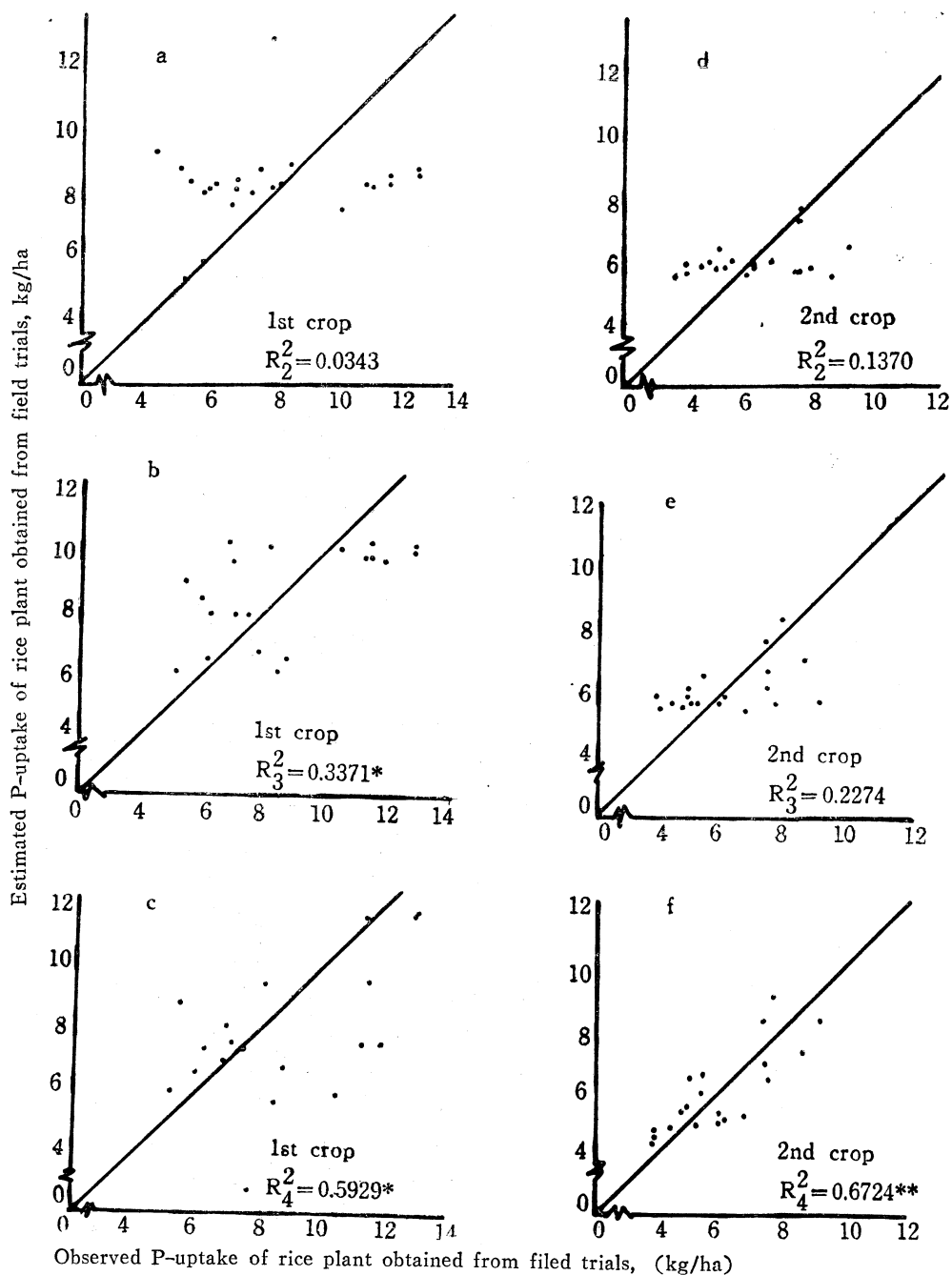


圖1. 由下列迴歸方程式所得估計值與水稻磷吸取量實測值之比較

Fig. 1. Dot charts showing observation and estimation for equations:

a. $Y = 9.5404 - 0.0194P + 0.00005P^2$, b. $Y = -45.2971 + 18.5090 (\text{pH}) - 1.5583 (\text{pH})^2$,
 c. $Y = -14.9903 - 0.3221P + 0.0003P^2 + 13.2950 (\text{pH}) - 1.3713 (\text{pH})^2 + 0.0373P \times (\text{pH})$

d. $Y = 5.3270 - 0.0074P - 0.000001P^2$,

e. $Y = 11.9678 - 0.9449 (\text{CEC}) + 0.0343 (\text{CEC})^2$

f. $Y = 16.9100 - 0.0285P - 0.00003P^2 - 1.7318 (\text{CEC}) + 0.0475 (\text{CEC})^2 + 0.0047P \times (\text{CEC})$

* $Y = P$ -uptake from the plots treated without phosphorus,

$P = P$ -test values obtained from Al-Abbas method.

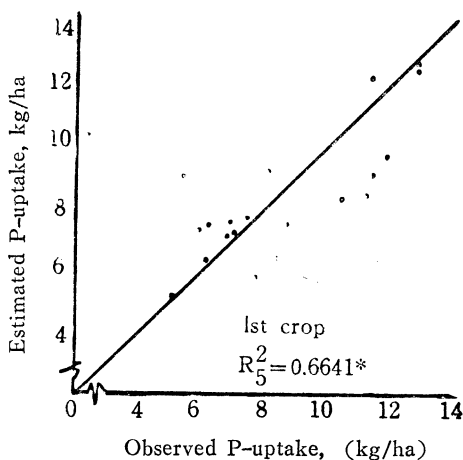


圖2. 由下列迴歸方程式所得估計值與水稻磷吸取量實測值之比較
 Fig. 2. Dot chart showing observation and estimation for equation:

$$Y = -40.74 - 0.2030P + 0.0002P^2 + 20.6131(\text{pH}) - 1.85(\text{pH})^2 + 0.0236P \times (\text{pH}) - 0.0942(\text{Clay})$$

*Y=P-uptake from field trials treated without phosphorus,

P=P-test values obtained from Al-Abbas method.

參考文獻

1. Chang, S. C. 1976. Phosphorus in submerged soils and phosphorus nutrition and fertilization of rice (manuscript) presented at Seminar on the Fertility of Paddy Soils. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Taiwan, Republic of China.
2. Colwell, J. D. 1967. The calibration of soil tests. Jour. Aust. Inst. Agr. Sci. 33 (4) : 321-330.
3. 李子純、李顯琨、林家榮 1974 中部粘板岩沖積土性質與水稻生長及產量之關係研究 農業研究23 (4) : 242-254, 臺灣省農業試驗所。
4. 林家榮、張愛華、吳懷國 1977 中部土壤所含磷形態與稻穀收量及磷吸取量之關係。中華農業研究26(1) : 25-41 臺灣省農業試驗所。
5. 林家榮、張愛華、吳懷國 1977 土壤特性對於磷測定值間相關之影響 中華農業研究26(2) : 127-137 臺灣省農業試驗所。

EFFECTS OF SOIL COMPOSITION ON THE RELATIONSHIPS BETWEEN P-UPTAKE OF RICE PLANT AND SOIL TEST VALUES FOR PHOSPHORUS FERTILIZER REQUIREMENTS

by

C. F. Lin, W. K. Wu, and A. H. Chang

Summary

This paper was a continuation of the previous one for the purpose of obtaining the relationships between P-uptake of rice plant and soil P-test values as affected by soil composition participating in the calibration equation. The P-uptake of rice plant including grain and straw was obtained from plots treated with and without phosphorus from twenty field trials scattered in Central Taiwan. The soil composition and soil P-test methods were all the same as given in the previous paper.

The results indicated that P-uptake of rice plant under field condition was highly affected by soil composition but less by P-test value alone in the region. The relationships between P-uptake of rice plant and soil P-test values obtained by various procedures were generally improved, if allowance was made for the effects of soil composition, particularly with respect to pH and clay, in the case of the first crop. While in the second crop, the P-test calibration equation was remarkably improved either by adding the variable for CEC in Al-Abbas-P test value or by adding exchangeable Ca in North Carolina-P. As these two extractants ($\text{NaOH-Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ vs $\text{HCl-H}_2\text{SO}_4$) are extremely different in nature, it further confirms the importance of participating soil composition in the P-test calibration equation.

From the effects of soil composition on the relations between P-uptake of rice plant and soil P-test values that have been demonstrated, it is suggested that to reduce the effects of variation in soil composition for soil testing, a region may be partitioned into areas of relatively uniform soil and developing soil tests for these more uniform areas. As the variation in soil composition from paddy to paddy is unavoidable, the P-test calibration equation for grain yield may be improved by taking the form corresponding to regression IV or V as given in the paper or other fitting model to allow for variation in soil composition.