中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）34(1)：045～063 (1985)

稻田土壤不同形態鉀素供應量及對水稻鉀肥效應之關係[1]

李予純　　吳懷國[2]

摘要：爲明瞭水田中各種不同形態鉀素對水稻之鉀素吸收與鉀肥效應的關係；土壤中非交換性鉀蘊藏量對鉀缺乏臨界濃度影響的程度，並比較新興的電超濾法（EUF 法）測鉀與慣用的有效鉀、交換性鉀測定法之優劣，選取本省中、南部各形態鉀含量相差懸殊的土壤，包括粘板岩、砂頁岩及兩者之混合冲積土，臺灣粘土等共十九種，進行盆栽試驗。鉀肥處理分 0、50及 100ppm K 共三等級，氮、磷肥用量依足量供給，每盆用土三公斤，種植水稻三株，重複四次，共 228盆依逢機區集法排列於溫室，於72年一期作種植水稻一作，所得結果摘要於下：

1.在本試驗條件下，水稻吸收的鉀平均約50%來自土壤交換性（包括水溶性）鉀，50%來自非交換性鉀。

2.無鉀區稻藁產量百分率（NP/NPK×100），稻藁含鉀量及水稻鉀吸收量僅與交換性及有效性鉀關係顯著，與非交換性鉀則否，顯示水稻吸收的鉀確以交換性或有效性鉀爲主。

3.無鉀區稻穀產量百分率則僅與非交換性鉀關係顯著，與其他形態鉀之相關關係均低，顯示水稻生長後期所需的鉀已仰賴土壤中由非交換性形態所釋出的鉀。

4.雖無鉀區稻穀產量百分率與 Mehlich 有效鉀含量間之相關不佳，但由 Cate-Nelson 法之檢討可判斷 Mehlich 法有效性鉀對水田之臨界值約在 70ppm 左右。由同法所得非交換性鉀對水田之臨界值約爲 260ppm。

5.根據以上結果，日後在作稻田土壤鉀素診斷時，除應考慮有效鉀含量外，也應注意其非交換性鉀蘊藏量。

6.以電超濾法（或 EUF 法）抽取的鉀幾全爲有效性鉀，其與稻藁產量百分率，水稻鉀吸收量等的關係也與有效性或交換性鉀相近，但相關係數略遜。

7.收穫期稻藁之缺鉀臨界值（即不施鉀而能穫98%產量的稻藁含鉀量）約1.0%。

水稻在生長期中所需鉀素的量在三要素中居首，有時甚至爲其氮吸收量的兩倍以上[22]，通常稻田所施鉀素量約 60kg K_2O/ha（即 50kg K/ha），如以稻藁含鉀量爲1%計算，僅能供給每公頃五噸稻藁產量所需鉀，而鉀肥利用率約在 30—60%之間[10]，施入土壤中的鉀並未全部被水稻利用，則其不足的量必取自土壤（當然仍有部分來自灌溉水）。

通常礦質土壤中含鉀量約爲 0.05—3.5%[21]，含量雖高，但此種鉀多屬礦物性及非交換性形態，不易被作物吸收，而作物能吸收利用者爲僅佔此量1%左右之交換性及水溶性形態存在之鉀。此四種形態的鉀係以可變動的平衡狀態存在土壤中。

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第 1199 號，本計畫承農發會資助，報告受國科會獎助，謹此誌謝。

2.本所農化系副研究員及助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

過去研究對水稻所吸收鉀的形態及其與鉀肥效應間的關係有不同的論點；有人認爲僅與土壤中有效性或交換性鉀有關[1,4]；有人則認爲當同時考慮不同母質土壤時則與非交換性鉀有關[8]。而蔗田土壤鉀素的測定已證明非交換性鉀與甘蔗產量百分率的關係最密切[2]。

水稻吸收的鉀究有若干來自交換性（包括水溶性），若干來自非交換性，又土壤非交換性鉀的蘊藏量對其鉀缺乏臨界值是否也有影響，均爲應予澄清的問題。又電超濾法(Electro-Ultra-Filtration or EUF) 近來爲歐美若干國家熱中研究的土壤測定法，De Datta[28] 等對水稻的研究更發現以此法測得的鉀與水稻對鉀肥效應的關係遠高於交換性鉀者，本研究中鉀的測定也包括 EUF 法，以與其他方法比較。

材料與方法

一、試驗用土壤：

共19種，採自本省中南部稻田（也有少數採自果園）。土類包括砂頁岩、粘板岩及二者之混合冲積土，臺灣粘土等。此等土壤之選取係先依過去分析資料選擇40處含鉀量分佈範圍極廣之地點，先採少量樣本分析其有效鉀含量，再依有效鉀含量之高低等級而選定者。目的爲包括有效鉀各等級含量而非交換性鉀含量差距也大的土壤。其採取地點及所屬土類、土系列於表1。

二、盆栽試驗：

本研究以盆栽試驗進行，各土壤分三種鉀肥等級處理，每盆用土三公斤。即：

K_0 僅施氮 (2.5至3.5g$(NH_4)_2SO_4$) 、磷肥 (1.5g 過磷酸鈣)

K_1 K_0+50ppmK, 即 0.3g KCl/3kg soil (以純 KCl 施用)

K_2 K_0+100ppm K, 即 0.6g KCl/3kg soil.

重複四次，共 19×3×4=228盆依逢機區集法排列於溫室。72年3月12日插秧、每盆3株、品種爲臺農67號，72年7月11日收穫。

三、分析項目：

(一) 土壤分析：

1.一般性質：就試驗前土壤進行分析。

2.鉀含量分析：包括試驗前及收穫後的土壤。

分析項目則分：a. 有效性鉀 (Mehlich 氏法)，b. 交換性鉀 (pH 7.0, 1 N NH_4OAc 法)，c. 電超濾法鉀 (Electro-Ultra-Filtration 或EUF 法)：又分室溫，200 volt 抽取30分鐘；80°C, 400 volt 抽取5分鐘及兩者總和[19]。d. 非交換性鉀 (Hunter & Pratt's No. 1a 法)[13]：此法測得之鉀減去交換性鉀即爲土壤非交換性鉀含量。其中 EUF 法收穫後的土壤未予測定，全鉀因與作物吸收無關，也未測定。

試驗前的土壤19個各項目均重複分析三次，資料中數字係三重複平均值。試驗後的土壤因各處理已有四重複，共有土壤 228 個，故分析時僅重複二次，資料中試驗後土壤各種鉀含量均係八重複平均值。

(一) 植物分析：收穫後的稻穀及藁，經 75-80°C 烘乾後，磨碎，稻藁分析其 N, K 含量（本報告僅列 K 資料）。稻穀則分析其鉀含量。

四、記錄項目及統計分析：

(一) 記錄項目：插秧後三週開始，每兩週記錄其株高及分蘖數一次至抽穗時止，收穫後記錄穀、藁收量、穗數等。

(二) 統計項目：土壤各形態鉀素含量對作物鉀吸收量，鉀濃度及鉀肥效果等之單相關及複迴歸，非交換性鉀蘊藏量對有效鉀缺乏臨界值之影響，其他土壤性質之影響等。

表 1. 土壤採取地點及所屬土類

Table 1. Sampling locations and soil groups of the experimental soils

土壤編號	採取地點	農戶姓名	所屬土類	土系
1	臺南縣後壁鄉	林美麗	砂頁岩冲積土	Ts（座駕系）
2	臺南縣後壁鄉	張平貴	砂頁岩冲積土	Ha（後壁系）
3	臺南縣東山鄉	王慶隆	砂頁岩冲積土	Je-Ts（仁德系）
4	臺南白河鎭關子嶺	龔生原	砂頁岩老冲積土（黃壤）	Tn（臺南系）
5	本所農場25號田	本所	砂頁岩粘板岩混合冲積土	TCt（七塊厝系）借用砂頁岩土系
6	臺南縣白河鎭關子嶺	吳勇作	砂頁岩冲積土	Je-Ts（仁德系）
7	臺南縣東山鄉	潘黃麗珠	砂頁岩老冲積土	Kh（崁子頭系）
8	臺南縣東山鄉	方丁江	砂頁岩冲積土	Hd（後壁系）非石灰性
9	臺南縣東山鄉	章三傑	砂頁岩老冲積土	Kn（崁子頭系）
10	臺南縣東山鄉	朱朝文	砂頁岩老冲積土	Lt（隆田系）
11	臺中縣大甲鎭	洪先生	粘板岩冲積土	TKn（高南里系）（借用）
12	臺中縣外埔鄉	葉春鳳	表土粘板岩，下面紅壤	CTg（大崎腳系）
13	臺南縣白河鎭關子嶺	吳陳美莎	砂質頁岩崩積土、淺壤土、	無土系
14	臺南縣後壁鄉	吳清煌	臺灣粘土	Wu（五甲勢系）
15	臺南縣後壁鄉	李坤和	砂頁岩冲積土	Je-Ts（仁德系）
16	臺南縣白河鎭	施賴	砂頁岩冲積土	Tq（頂山角系）
17	臺中縣外埔鄉	張財	砂頁岩，有板岩混合	TTw（同安厝系）
18	臺南縣後壁鄉	蘇登獻	砂頁岩冲積土	Ts（座駕系）
19	南投縣名間鄉	余清俊	粘板岩冲積土	TKn（高南里系，借用）

結果與討論

一、土壤性質及其與各形態鉀含量的關係：

（一）一般性質：本試驗所用土壤之 pH ，有機質，CEC 及質地均相差很多（表 2）。但有效磷多偏低，在 20ppm 以下者有十個，其中有六個含量在 4ppm 以下，屬極低範圍。

（二）各形態鉀的含量：十九土壤中各形態鉀含量多偏高。但有效鉀含量變異較大，在 47至216 ppm 之間，其中僅有九個含量在 70ppm 以下。交換性鉀在 0.14至 0.58me/100g （即 55-227ppm K）之間，在 0.2me/100g 以下者有六個。按本省及日本所定交換性鉀的臨界濃度分別爲70及 100ppm [22]。而 Boyer [6] 所定熱帶土壤交換性鉀的臨界濃度則爲 0.1 me/100g, 但 Boyer 認爲依土壤及作物的不同，此濃度約在 0.07 至 0.2me/100g 之間。按本省 1960 年資料 [17]，本省土壤交換性鉀的分佈在 50—100ppm 之間，本試驗所用 19土壤中，即有 8 個含量大於 100ppm 者。此乃選取土壤時，希望含量範圍較大，而低鉀土壤又不易找到，故呈偏高現象。非交換性鉀含量在 65 至 543ppm 之間，其中僅17號土壤爲 65ppm，在 100ppm 以下。EUF-K(Total) 則在47至 208ppm 之間，平均爲 89 ppm ， 與有效性鉀的範圍幾相同，平均也極爲接近。但均高於 De Datta 等 [28] 所定

表 2. 土 壤 一 般 性 質

Table 2. Some physical and chemical properties of the soils used

Soil No.	pH	O. M. %	CEC meq./100g	Avail. SiO_2 ppm	% Sand	% Clay	% Silt	Texture	Avail. P -ppm-	Avail. K -ppm-	Exchangeable Ca ——meq/100g——	Exchangeable Mg ——meq/100g——	Exchangeable K ——meq/100g——	Exchangeable Al ——meq/100g——	K Sat. %	Non-ex. K ppm	EUF-K 30 min. —ppm—	EUF-K 5 min. —ppm—	EUF-K Total —ppm—
1	5.0	3.00	11.49	26	20.5	35.2	44.4	CL	4	60	7.56	3.92	0.22	0.11	1.86	454	63	15	78
2	5.2	2.20	9.49	24	17.5	30.2	52.4	SiCL	5	47	6.33	3.20	0.14	0.11	1.43	318	38	9	47
3	7.8	2.05	6.87	125	34.3	23.2	42.4	L	10	125	12.88	4.64	0.31	0	1.74	320	97	19	116
4	4.4	1.85	7.72	14	46.7	21.7	32.2	L	15	153	3.56	1.24	0.42	2.38	5.53	192	115	25	140
5	6.5	1.90	6.92	122	32.5	25.0	42.6	L	3	58	7.63	2.58	0.16	0	1.54	243	41	13	54
6	4.8	3.25	9.40	47	42.9	20.4	36.8	L	4	119	2.60	0.87	0.30	1.83	5.36	234	70	18	88
7	6.2	2.20	8.30	63	16.5	26.6	57.0	SiL	90	94	5.04	2.89	0.25	0.01	3.05	283	61	13	74
8	6.3	2.35	12.17	92	7.3	42.0	50.8	SiL	1	100	8.15	4.01	0.31	0	2.36	543	75	20	95
9	5.8	1.85	6.97	41	23.9	25.0	51.2	SiL	11	69	4.94	2.89	0.20	0.01	2.49	216	57	14	71
10	4.0	1.50	13.45	8	37.5	36.2	26.4	CL	30	128	0.52	0.23	0.45	2.07	13.76	350	92	16	108
11	5.7	3.20	6.48	25	22.5	28.2	49.4	CL	167	76	4.50	1.97	0.24	0.07	3.54	213	65	15	80
12	5.5	3.90	7.77	40	24.5	24.4	51.2	SiL	54	131	4.93	1.65	0.37	0.02	5.31	151	110	18	128
13	5.7	2.35	7.27	138	38.5	20.4	41.2	L	48	64	6.56	1.24	0.21	0.03	2.61	181	46	12	58
14	6.3	3.00	14.45	85	13.5	36.4	50.2	SiCL	27	48	11.94	5.78	0.19	0	1.06	378	36	15	51
15	7.2	2.65	10.29	120	28.5	27.0	44.6	L	45	95	10.94	6.20	0.27	0	1.55	318	71	19	90
16	5.6	0.95	3.89	9	63.9	12.8	23.4	SL	127	216	2.36	0.70	0.58	0.03	15.80	203	167	41	208
17	5.3	3.30	5.18	27	35.1	20.2	44.8	L	68	54	3.56	2.38	0.18	0.01	2.94	65	60	9	69
18	5.6	2.60	12.00	47	14.7	26.6	58.8	SiL	2	49	7.44	4.13	0.19	0.01	1.61	301	54	16	70
19	5.8	3.32	4.18	56	15.5	26.6	58.0	SiL	2	54	3.90	1.68	0.15	0	2.50	117	55	9	64
Range	4.0—7.8	0.95—3.90	3.89—14.45	8—138	7.3—63.9	12.8—42.0	23.4—58.8	SL SiCL	1—167	47—216	0.52—12.88	0.23—6.20	0.14—0.58	0—2.38	1.06—15.80	65—543	36—167	9—41	47—208
Mean	5.72	2.50	8.65	58.4	28.2	26.7	45.1		37.5	91.6	6.11	2.76	0.27	0.35	4.00	267	72	17	89

表 3. 土壤性質與各形態鉀含量的關係

Table 3. Correlation coefficients for the relationships between K content and soil properties

	Ex. K	Non-ex. K	EUF-K 30m.	EUF-K 5m.	Total	K Sat. %	pH	CEC	O. M.	Clay	Silt	Sand
Avail. K	0.966**	− 0.072	0.956**	0.884**	0.960**	0.789**	− 0.138	− 0.234	− 0.453	− 0.408	− 0.717**	0.718**
Ex. K		0.035	0.937**	0.865**	0.941**	0.857**	− 0.256	− 0.061	− 0.471*	− 0.252	− 0.759**	0.670**
Non-ex. K			0.132	0.072	− 0.096	− 0.139	0.170	0.776**	− 0.197	0.784**	0.061	− 0.436
EUF-K 30min.(200V.)				0.887**	0.996**	0.776**	− 0.149	− 0.307	− 0.378	− 0.420	− 0.650**	0.676**
EUF-K 5 min.(400V.)					0.923**	0.685**	− 0.016	− 0.142	− 0.502*	− 0.359	− 0.639**	0.638**
EUF-K Total						0.773**	− 0.127	− 0.282	− 0.408	− 0.417	− 0.660**	0.681**
K Sat. %							− 0.483*	− 0.134	− 0.496*	− 0.281	− 0.770**	0.671**
pH								− 0.126	0.008	− 0.006	0.362	− 0.260
CEC									0.048	0.772**	0.087	− 0.446
O. M.										0.147	0.546*	− 0.464*
Clay											0.334	− 0.737**
Silt												− 0.883**

*Significant at 5% level; **Significant at 1 % level

EUF-K (Total) 的臨界濃度 30ppm。鉀的飽和百分率 (K Sat.%) (係Ex. K/Ex. (Ca+Mg+K+Al)×100) 在1.06至15.80之間。據 Graham[11]：鉀的理想飽和度應在 2－5 %之間，本試驗所用土壤中鉀的飽和度在 2 %以下者有七個，5 %以上者有五個，在 2－5 %之間者佔七個。

(三) 土壤性質與各形態鉀含量的關係：土壤性質中與鉀含量關係較密切者應爲土壤 pH，有機物含量，陽離子交換能量，及土壤中粘、砂、坋粒含量等[21]，經將此等性質與各形態鉀含量間作迴歸分析，其結果列於表 3。

由表 3 土壤中有效鉀含量與土壤中坋粒含量成極顯著負相關，與砂粒含量則成極顯著正相關關係。交換性鉀與土壤性質的關係與有效鉀接近。非交換性鉀則與有效性及交換性鉀不同，與土壤 CEC 及 Clay 含量成極顯著正相關關係，而與其他性質關係均不顯著。交換性及非交換性鉀與土壤中 Clay 及 Silt 的含量及 Clay mineral 的性質均有密切關係，Kansal and Sekhon[15] 曾有詳細的研究，認爲 Clay 及 Silt 能控制土壤中交換性及有效性鉀的含量，土壤中 Clay 愈多，其溶液中水溶液性鉀一定愈少。本試驗中交換性及非交換性鉀與土壤中 Clay, Silt 及 Sand 的相關關係似顯示有效性及交換性鉀多屬水溶性者。

以 EUF 方法抽出的鉀與有效性或交換性鉀均極相似，但與非交換性鉀則迥異。由EUF-K(Total) 的含量（表 2）與有效鉀幾相同（與交換性鉀也極接近），其與土壤性質的關係又幾一致，可見以 EUF 法抽取的鉀幾全爲有效性或交換性者。

本研究中無論有效性或交換性鉀，與非交換性鉀間之相關均幾等於零，爲澄清究竟何種形態鉀素對水稻施鉀效應較有關係，可謂試驗條件最爲理想。

二、水稻產量與鉀肥效應：

(一) 鉀肥效應：19土壤無鉀區平均稻穀產量百分率爲94.4，藁產量百分率爲91.6（附表 1）。

經將此19土壤依其有效鉀含量之高低分爲：低（<50ppm K, 共有土壤 3 個）；中（

表 4. 不同等級有效鉀含量土壤之鉀肥效應

Table 4. Potassium response in soil groups of different soil available K levels

Available K level	Grain yield g/pot			Straw yield g/pot		
	K_0	K_1	K_2	K_0	K_1	K_2
LOW (<50 ppm)	26.10	26.10	26.61	28.75	29.51	32.02
LSD 5 %		NS			2.12	
LSD 1 %					2.88	
MEDIUM (51-99 ppm)	25.73	26.92	27.19	28.95	31.33	32.50
LSD 5 %		NS			1.39	
LSD 1 %					1.84	
HIGH (>100 ppm)	28.41	28.73	29.50	34.41	35.45	34.56
LSD 5 %		NS				
LSD 1 %					NS	

51-99ppmK, 共有土壤9個）；及高（>100ppmK, 共有土壤7個）三等級，分別作變方分析，求各等級土壤之鉀肥處理肥效是否顯著。結果穀產量在三等級中均未達顯著平準；但稻藁則不然，在低及中二等級土壤中均達1%顯著平準（表4），僅有效鉀含量屬於高等級之土壤無顯著鉀肥效應。

表 5. 水稻無鉀區產量百分率、含鉀量、鉀吸收量及鉀肥利用率與土壤中不同形態鉀的關係

Table 5. Correlation coefficients for relationships between soil K and % yield of K_0 plot, K content in straw, K uptake and K fertilizer efficiency

	% Yield of Grain	% Yield of Straw	K % In Straw	K Uptake by Straw	K Uptake Total	K Fertilizer efficiency
Available K	0.113	0.475*	0.782**	0.773**	0.753**	— 0.529*
Exchangeable K	0.076	0.489*	0.789**	0.854**	0.838**	— 0.546*
Non-ex. K	0.491*	0.245	0.339	0.348	0.366	— 0.377
EUF-K 30 min.	0.097	0.350	0.730**	0.708**	0.681**	— 0.551 *
EUF-K 5 min.	0.114	0.502*	0.753**	0.672**	0.636**	— 0.634**
EUF-K Total	0.102	0.384	0.747**	0.714**	0.684**	— 0.576**
K Sat. %	— 0.078	0.351	0.552*	0.705**	0.699**	— 0.383

*Significant at 5% level; **Significant at 1 % level

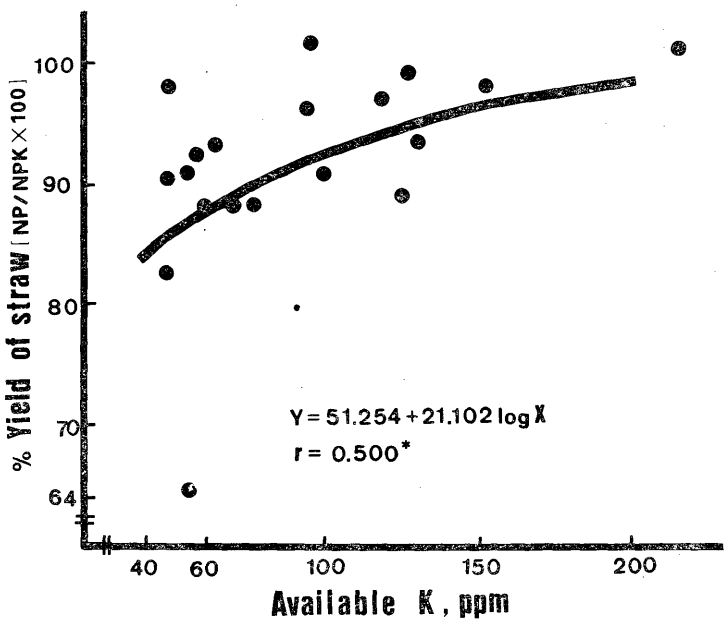


圖 1. 土壤有效鉀與無鉀區稻藁產量百分率之關係

Fig. 1. Relationship between available (Mehlich) K and relative yield of rice straw

水稻較旱作更能有效利用土壤中的養分爲公認的事實[8]。故一般水稻對磷、鉀肥的效應均偏低，無鉀（或磷）區產量多在90—100%範圍內。Tanaka 氏[27]謂亞洲地區冲積土上水稻通常對鉀肥的效應均低，據日本一項對約 1,200個試驗地點所作的調查，其平均 NP/NPK 產量爲 96%。過去本省曾、王氏[1]在進行土壤鉀素測定法與水稻產量的相關研究時，其田間及盆栽試驗均係連續進行兩或三作以降低其無鉀區土壤鉀素含量，始獲得較爲理想的反應曲線。當時所得有效鉀（Mehlich 氏法）的臨界濃度爲 35ppmK。其後在1966—68年間所作的研究中鉀的臨界濃度提高爲 50-80ppm K[22]，此種不同結果原因雖不易解釋，但高產品種的引用應爲重要原因之一。

（二）鉀肥效應與土壤中不同形態鉀含量的關係：

1. 與有效性及交換性鉀的關係：表 5 顯示無鉀區稻藁產量百分率（NP/NPK×100），稻藁鉀含量及水稻鉀吸收量均與有效性（圖 1）及交換性鉀成顯著或極顯著之正相關關係，而與非交換性鉀的關係則不顯著。此等關係顯示有效性或交換性鉀確能代表水稻所吸收的鉀（圖 2），而非交換性鉀則否。但有效性及交換性鉀與稻穀產量百分率的相關係數却很低（圖 3），顯示鉀雖被水稻吸收，但未使水稻增產，其原因應爲：①土壤中有效鉀含量已高，更多的鉀不能再使水稻增產。②稻穀產量受其他因子限制。本試驗中前者的影響應較大。雖然如此，由於仍有一部份土壤之有效鉀在缺乏範圍，故可由圖 3 根據 Cate-Nelson 的 Discontinuous model[7] 法，判斷有效鉀之缺乏臨界值約在 70 ppm（無鉀區產量爲 95 %）。如此劃分後左上角之例外土壤有四個，其中最上方之兩土壤顯係由於非交換性鉀含量甚高（分別爲318及 454ppm），右下角之例外土壤一個，其非交換性鉀含量爲 234ppm。

2. 與非交換性鉀的關係：表 5 第一行中，稻穀產量百分率僅與非交換性鉀呈 5 %顯著相關關係（圖 4 顯示其曲線相關關係更達 1 %顯著程度），與其他形態鉀的相關關係均低。但非交換性鉀與稻藁產量百分率，稻藁鉀含量及水稻鉀吸收量等的關係却均遠遜於其他形態鉀者。此種關係實頗難了解。

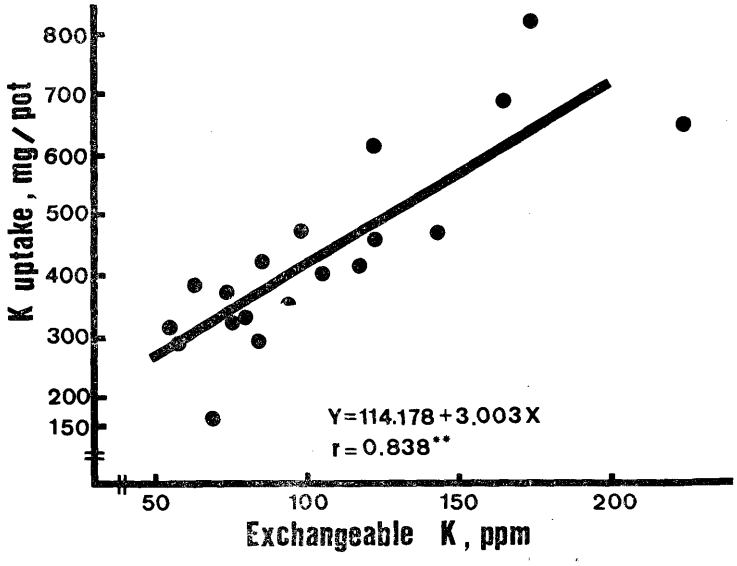


圖 2. 土壤交換性鉀與水稻鉀吸收量的關係

Fig. 2. Relationship between exchangeable K and K uptake by the rice plant

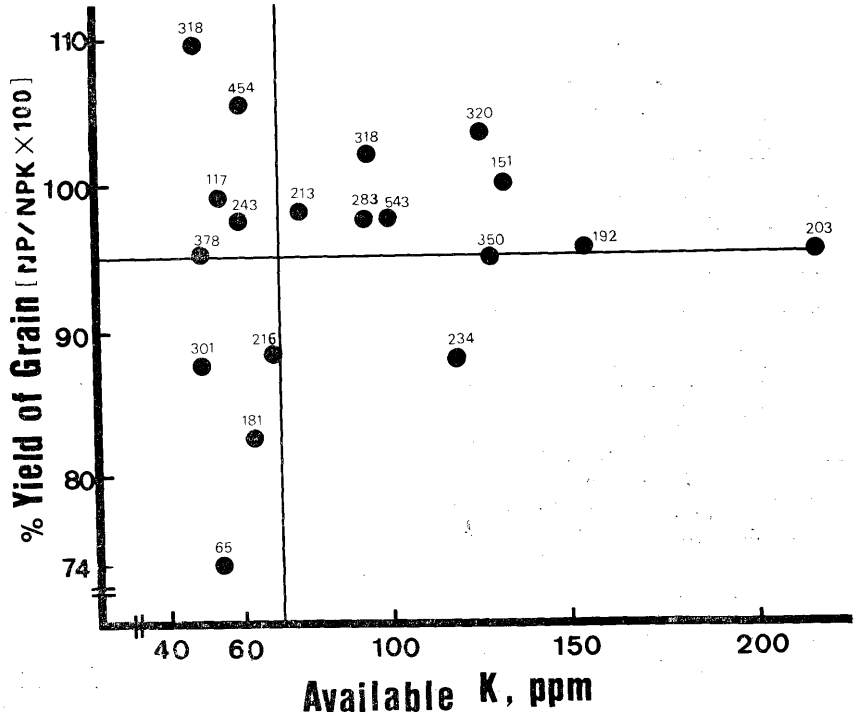


圖 3. 土壤有效鉀與無鉀區稻穀產量百分率的關係（圖中各點上方的數字爲其非交換性鉀含量）

Fig. 3. Relationship between available (Melich) K and relative yield of rice grain (No. above each point indicates soil non-ex. K level)

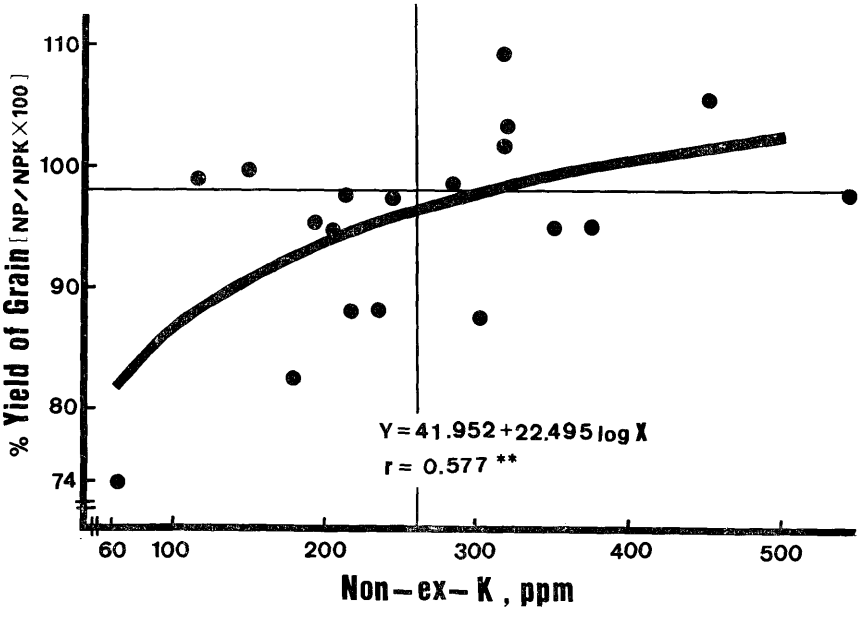


圖 4. 土壤非交換性鉀與無鉀區稻穀產量百分率的關係

Fig. 4. Relationship between non-exchangeable K and relative yield of rice grain

按水稻對鉀的吸收常延續至水稻成熟期[14]，缺鉀常導致水稻稔實率及千粒重的降低[18]。雖然稻穗中所含的鉀僅佔水稻總吸收量的5%[24]，但鉀仍爲水稻後期生長所必需的要素。且水稻高產的要訣爲開花期以後乾物產量的提高，開花期以前過多的乾物產量反而導致減產[25]。

土壤中非交換性鉀有隨作物生長時間長久而漸趨重要的趨向[3,23]，本試驗中每盆用土爲三公斤，此項結果即顯示本試驗中生長後期賴非交換性鉀之供給已漸趨重要。

在圖4土壤非交換性鉀與無鉀區稻穀產量之關係圖中，如也依 Cate-Nelson 氏法判斷，則非交換性鉀之缺乏臨界值約在 260ppm（無鉀區產量爲98%），如此劃分後，右下角之例外土壤有三個，其中兩個的有效鉀含量分別爲48及 49ppm，遠低於前節中訂定的有效鉀臨界濃度 70ppm。

依此，日後在作稻田土壤鉀素施肥推薦時，除應考慮有效鉀含量外，也應注意非交換性鉀蘊藏量。

3.與 EUF-K 的關係：以 EUF 法抽取的鉀無論係以室溫，200V 抽取30分鐘或 80°C, 400V 抽取5分鐘或其總量與無鉀區稻谷，稻藁產量百分率及稻藁鉀含量，鉀吸收量等的關係均與有效性及交換性鉀接近，即除與稻谷產量百分率相關極差外，與其他各項的相關關係均甚密切，但相關係數則略低。按 Wanasuria, De Datta 等[28]在菲律賓五種不同土壤進行的田間試驗結果，其 EUF-K(Total) 與稻谷產量百分率（NP/NPK ×100）的關係遠高於交換性鉀者。彼等所用五土壤的交換性鉀在 19—54ppmK 之間，EUF-K(Total) 在 20—32ppm 間，而其 CEC 則在 20—40me/100g 之間。其有效性鉀含量低，而 CEC 則高，與本省土壤恰相反，彼等土壤中所含 Clay mineral 應多爲2：1型者，對鉀之固定力較强。土壤性質的不同應即爲試驗結果迥異的原因。

三、稻藁含鉀量與鉀肥效應：

圖5爲收穫時稻藁含鉀量與無鉀區稻藁產量百分率的相關關係，其曲線相關已達1%顯著平準。

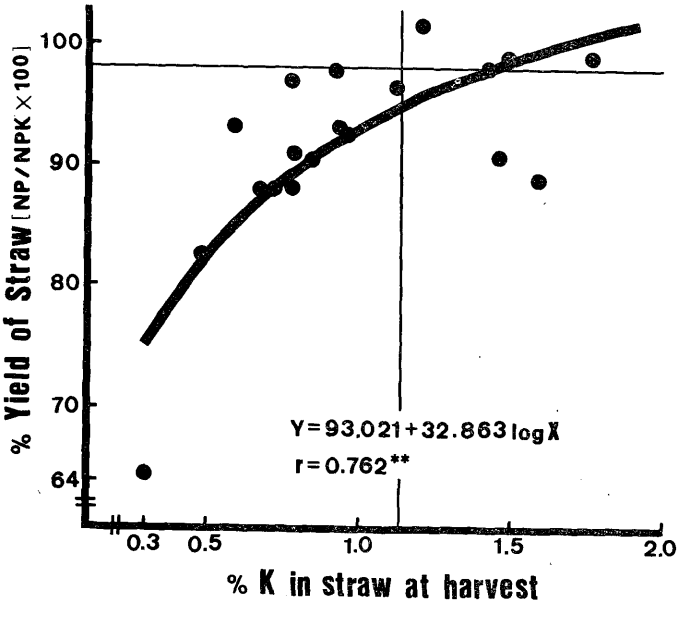


圖 5. 稻藁含鉀量與無鉀區稻藁產量百分率的關係。

Fig. 5. Relationship between K level in straw and relative yield of rice straw

如依 Cate-Nelson 的 Discontinuous model 方法[7] 判定稻藁含鉀量的臨界值，則達98%的產量時，含鉀量應爲1.14%。圖6爲收穫時稻藁含鉀量與無鉀區稻谷產量百分率的關係，其相關未達統計上的顯著平準，如也依 Cate-Nelson 氏法判定，則達98%產量的含鉀量應爲1.0%。

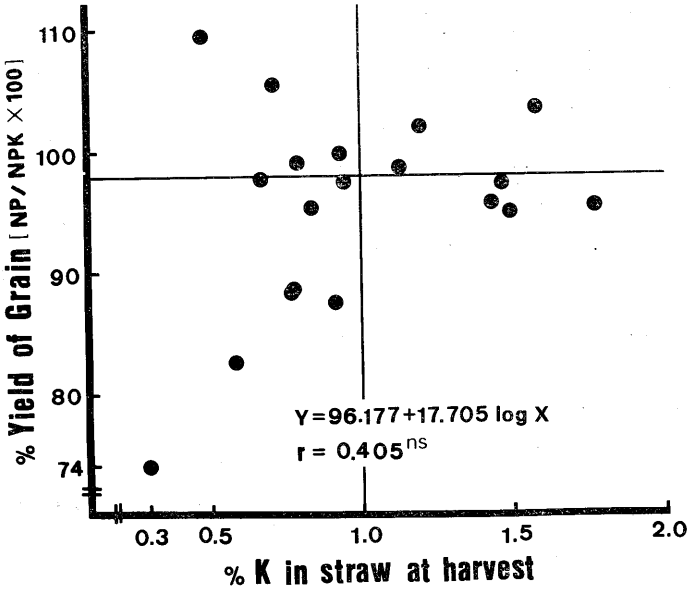


圖 6. 稻藁含鉀量與無鉀區稻穀產量百分率的關係

Fig. 6. Relationship between K level in straw and relative yield of rice grain

過去國內外對稻藁含鉀量臨界值的研究不多，但結果相差很大。據日本研究者依其國內不同地區所作肥料試驗資料所訂定之水稻收穫期稻藁含鉀量的臨界濃度爲 K_2O 1.0%[5]。Tanaka 等在 IRRI 所定成熟時鉀的臨界濃度爲 K 1.0%[26]。而蘇氏等1964年在本省紅壤20處進行田間試驗，結果則稻谷產量達98%的稻藁含鉀濃度爲 K 1.7—1.8%[4]。本次溫室試驗所得臨界濃度與日本及國際稻米研究所所得者接近，而與本省所得之資料反而相差較遠，是否溫室內條件與田間條件不同或1964年品種（新竹56號）與本試驗品種（臺農67號）生理特性不同所引起，無法確定。

四、水稻吸收的鉀與土壤鉀形態的關係：

供試土壤中各形態鉀在試驗前後的含量範圍及其平均值列於表6。各土壤之個別資料則列於附表

表 6. 供試土壤中不同形態鉀在試驗前（括號外）後（括號內）的含量範圍及其平均值。

Table 6. The range and mean values of soil potassium contents of the experimental soils both before (outside parenthesis) and after (inside parenthesis) cropping

Forms of K / Treatment / Item	Available K			Exchangeable K			Non-exchangeable K		
	Kppm								
	K_0	K_1	K_2	K_0	K_1	K_2	K_0	K_1	K_2
Range	47—216 (14—43)	(14—55)	(18—71)	56—225 (20—56)	(19—59)	(23—71)	65—543 (66—416)	(61-423)	(55-433)
Mean	92 (26)	(29)	(31)	106 (34)	(36)	(39)	267 (195)	(200)	(204)

2。由表 6 知：①無鉀區有效鉀含量在試驗前的範圍爲 47-216ppm，平均爲 92ppm；試驗後降低爲 14-43ppm，平均爲 26ppm。②交換性鉀在試驗前的含量範圍爲 56-225ppm，平均爲 106ppm；試驗後則降低爲 20-56ppm，平均爲 34ppm。③非交換性鉀在試驗前後的範圍分別爲：65-543ppm 及 66-416ppm，試驗前後之平均依次爲267及 195ppm。

如水稻吸收的鉀以交換性及非交換性鉀計算，則前者平均降低72ppm，後者平均降低也爲72ppm，兩者降低數值恰相等。本試驗中未曾排水，減低之鉀應均爲水稻所吸收，則水稻吸收的鉀以平均而言，50%來自交換性，另50%來自非交換性鉀。

水稻吸收的鉀有一半來自非交換性形態，而表 5 却顯示稻藁鉀含量及鉀吸收總量均僅與交換性鉀關係顯著，與非交換性鉀關係則不顯著，其原因頗值探索。經將表 6 資料中試驗前後土壤（無鉀處理）各形態鉀含量及其降低量與土壤性質等作迴歸分析，其結果列於表 7。表 7 顯示有效性及交換性鉀降低的量與其原含量間的相關係數幾達 1。即水稻吸收的鉀與土壤中所含交換性鉀的量恰成正比。而非交換性鉀降低的量與其原含量間的關係却遠遜於前二者。此等關係應可解釋水稻吸收的非交換性鉀雖約佔一半，但與水稻鉀吸收量的關係却遠遜於交換性或有效性鉀者之原因。

表 7. 水稻栽培後無鉀處理土壤中各形態鉀降低量與其原含量及土壤性質的關係。

Table 7. Correlation coefficients for relationship between the amount of soil K removed by cropping and its original content as well as soil properties (K_0 treatment)

Form of K removed	Orig. avail. K	Orig. ex. K	Orig. Non-ex. K	K Sat. %	pH	CEC	O. M.	Clay	Silt	Sand
Avail. K	0.983**	0.946**	− 0.192	0.819**	− 0.249	− 0.296	− 0.424	− 0.474*	− 0.736**	0.765**
Ex. K	0.959**	0.974**	− 0.099	0.874**	− 0.339	− 0.177	− 0.481*	− 0.340	− 0.779**	0.729**
Non-ex. K	0.374	0.484*	0.667*	0.369	− 0.180	0.534*	− 0.464*	0.511*	− 0.497*	0.102

表 8 爲試驗中各土壤交換性及非交換性鉀減低的量與水稻吸收鉀量的比較，由此表知十九個土壤中絕大多數土壤其交換性及非交換性鉀降低量的和均與水稻鉀吸收總量接近（稻根鉀吸收量未于計算）。僅土壤 2，18，及19三土壤中水稻吸收的鉀量遠高於土壤中交換性及非交換性鉀減低的總量，其中又以18及19號兩土壤相差最多，顯示在此等土壤中，水稻吸收的鉀除交換性及非交換性者外，仍有部分未被 Hunter & Pratt 法抽出者。Oliveira 等[20] 曾以少量土壤（700克）種植燕麥草，並連續收割七次，使其儘量吸收土壤中的鉀，結果發現植物吸收的鉀數倍於土壤交換性及非交換性鉀（1N HNO_3 抽取者）的和，雖然其理由不十分清楚，但認爲此種植物能吸收但未被抽取之鉀與土壤中的粘土礦物有關（包括 chloritized, expansible, layer silicates），這種鉀，出現在粘土礦物的層間（interlayer），易與土壤中 ex. 及 non-ex. K 平衡，但由於受粘土礦物層間 Fe 及 Al 的阻礙，無法在短時間中被抽出。

又表 8 係依有效鉀含量分高、中、低三等級排列者（與表 4 同），此表也顯示有效鉀含量低之土壤其交換性及非交換性鉀降低的量（即被作物吸收的量）也均較低。

五、土壤中各形態鉀殘存量與其原含量及土壤性質的關係：

土壤中各形態鉀素係以可變動的平衡狀態存於土壤中者，作物吸收的鉀開始時必爲有效性或交換性（包括水溶性）者，至於交換性鉀降低至何種濃度時非交換性鉀即開始釋出，應爲值得探討的問題。

表 8. 試驗中土壤交換性及非交換性鉀降低量與水稻吸收鉀量的比較。

Table 8. Amount of soil exchangeable and non-exchangeable K decreased during the experiment and K uptake by the rice plant

Soil No.	Avail. K level	Ex. K decreased		Non-ex. K decreased		K decreased Total	K Uptake*
		ppm	mg/pot	ppm	mg/pot	mg/pot	mg/pot
2		22	66	59	177	243	315
14	LOW	20	60	82	246	306	319
18		30	90	14	42	132	372
Average		24	72	52	155	227	335
1		39	117	105	315	432	419
5		39	117	85	255	372	392
7		67	201	85	255	456	472
9		59	177	64	192	369	328
11	MEDIUM	58	174	72	216	390	351
13		61	183	51	153	336	290
15		62	186	82	246	432	404
17		41	123	0	0	123	161
19		37	81	8	24	105	289
Average		51	151	61	184	335	345
3		80	240	69	207	447	462
4		142	426	100	300	726	692
6		98	294	78	234	528	416
8	HIGH	84	252	127	381	633	616
10		146	438	162	486	924	820
12		110	330	45	135	465	471
16		185	555	74	222	777	646
Average		121	362	94	281	643	589

*Total uptake by rice grain and straw

Tabatabai 氏等[23]曾以美國 Iowa 州表底土共14個進行研究，發現當植物吸收土壤中的交換性鉀而使其降低至某一「最低濃度」（minimal level）時，土壤中交換性鉀即不再降低，而由非交換性鉀釋出補充，但在達到此最低濃度以前非交換性鉀之釋出量極少或甚至無釋出。此最低濃度之高低與表土中 Clay 含量成極密切之正相關關係。且土壤中 Minimal ex. K 愈高，其被作物吸收的 Non-ex. K 也愈高。

經將本試驗中所得資料（表6）之 K_0 處理各形態鉀殘存量與其原含量及土壤性質作迴歸分析，

表 9. 水稻栽培後無鉀處理土壤中各形態鉀殘存量與其原含量及土壤性質的關係。

Table 9. Correlation coefficients for relationships between the amount of soil K that remained after harvest and its original content as well as soil properties (K_0 treatment)

Form of K remaining	Orig. Avail. K	Orig. Ex. K	Orig. Non-ex. K	K Sat. %	pH	CEC	O. M.	Clay	Silt	Sand
Avail. K	0.030	0.047	0.670**	− 0.214	0.610**	0.354	− 0.131	0.383	0.148	− 0.300
Ex. K	− 0.034	0.049	0.594**	− 0.129	0.383	0.515*	0.075	0.407	0.138	− 0.304
Non-ex. K	− 0.240	− 0.157	0.951**	− 0.323	0.282	0.731**	− 0. 47	0.751**	0.280	− 0.577**

結果列於表 9 。表 9 顯示有效鉀殘存量僅與土壤中非交換性鉀原含量及土壤 pH 成極顯著正相關關係(與 Clay 含量關係未達顯著平準），即土壤 pH 高，非交換性鉀含量高的土壤，有效鉀殘存量也較高。顯示當作物將有效性鉀吸收後，土壤中因機動性平衡而調整的新有效性鉀量確受非交換性鉀蘊藏量多寡的影響，而且土壤 pH 也有正的影響。如以土壤此二性質共同估計有效鉀的殘存量，其準確度可達70%，其複迴歸方程式及複相關係數如下：

Avail. K remaining in soil $= 0.042 \times$ Non-ex. K $+ 4.74 \times$ pH $- 12.296$ $\quad R = 0.838^{**}$

$R^2 = 70.2\%$

茲將本試驗中19土壤依上式估計出的殘存量 (Estimated avail. K(ppm)) 與實際殘存量 (Observed avail. K (ppm) 列表比較如下：

Soil No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Obser. Kppm	34	27	43	18	22	14	28	39	21	20	23	22	15	35	34	30	25	30	15
Estim. Kppm	31	26	38	17	28	20	29	40	24	21	24	20	22	34	35	23	16	27	20

誌謝：本報告承農委會技正蘇楠榮先生，本系前主任林家棻先生及現主任連深先生提供極有價值之修正意見，謹此致最誠摯之謝意。

參考文獻

1. 王捷皇、曾憲鼎・1962・紅壤有效磷酸及鉀素與水稻效應之相關研究、中華農學會報新40：50—62。
2. 方英傑、王傳釗・1979・蔗田土壤非交換性鉀素之測定及其與甘蔗生長之關係、臺糖研究彙報No. 86：21-40.
3. 林家棻・1978・本省中部若干土壤中鉀釋放特性之研究、中華農業研究27（4）：297—308。
4. 盛澄淵、蘇楠榮、林桐鐘、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48：18。
5. Angladette, A. 1967. Nutritional status as indicated by plant analysis In 'The mineral nutrition of the rice plant'. IRRI. Los Banos, Philippines.
6. Boyer, J. 1972. Soil potassium. In 'Soils of the humid tropics'. pp. 102-35. Natl. Acad. Sci., Washington, D. C.
7. Cate, R. B., and L. A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. Inter. Soil Testing Series Tech. Bull. 1. North Carolina State Univ.
8. Chang, S. C. 1967. Phosphorus and potassium tests of rice soils in 'The mineral nutrition of the rice plant'. IRRI, Los Banos, Philippines.
9. Cornell International Agri. Bull. 37. 1979. Potassium fertility in Oxisols and Ultisols of the humid

tropics.

10. Engelstad, O. P., W. L. Parks. 1976. Build up of P and K in soils and effective use of these reserves. TVA Fertilizer Conference Proceedings. 1976. TVA Bull. Y-106. Muscle Shoals, Alabama, U. S. A.
11. Graham, E. R. 1959. An explanation of theory and methods of soil testing. Mo. Agr. Exp. Sta. Bull. 734.
12. Hsi, L. C. and S. C. Chang. 1960. Soils and soil fertility of Taiwan, Report on soils and fertilizer uses in Taiwan, R. O. C. JCRR Plant Industry Series No. 20.
13. Hunter, A. H. and P. E. Pratt. 1957. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid. SSSAP 21:595-598.
14. Ishizuka, Y. 1967. Nutrient uptake at different stages of growth In 'The mineral nutrition of the rice plant'. IRRI, Los Banos, Philippines.
15. Kansal, B. D. and G. S. Sekhon. 1976. Influence of amount of clay and nature of clay minerals on potassium availability. Potassium in soils, crops and fertilizers. Bull. Indian Soc. Soil Sci. 10:78-95.
16. Kasai, Z. and K. Asada. 1967. Translocation of mineral nutrients and other substances within the rice plant In 'The mineral nutrition of the rice plant'. IRRI. Los Banos, Philippines.
17. Lin, C. F. 1978. The fertility of paddy soils in Taiwan. Tech. Bull. No. 41. FFTC, Taipei, Taiwan.
18. Murayama, N. 1967. The influence of mineral nutrition on the characteristics of plant organs. In 'The mineral nutrition of the rice plant'
19. Nemeth, K. 1979. The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultra-filtration (EUF). Advances in Agronomy, 31:155-188.
20. Oliveira, V., A. E. Ludwick, and M. T. Beatty. 1971. Potassium removed from some Southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. SSSA P 35:763-767.
21. Sekhon, G. S. 1978. Potassium in soils and crops. Proceedings of a symposium published by Potash Res. Inst. of India, New Delhi (India).
22. Su, N. R. 1976. Potassium fertilization of rice, In 'The fertility of paddy soils and fertilizer application for rice'. FFTC, ASPAC, Taipei, Taiwan.
23. Tabatabai, M. A., and J. J. Haway. 1969. Potassium supplying power of Iowa soils at their "Minimal" levels of exchangeable potassium. SSSAP 33:105-109.
24. Tanaka, A., S. A. Navasero, C. V. Garcia, F. T. Parao, and E. Ramirez 1964. Growth habit of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. Tech. Bull. 3. IRRI, Los Banos, Philippines.
25. Tanaka, A., K. Kawano, and J. Yamaguchi 1966. Photosynthesis, respiration, and plant type of the tropical rice plant. Tech. Bull. 7. IRRI, Los Banos, Philippines.
26. Tanaka, A. and S. Yoshida. 1970. IRRI Tech. Bull. 10.
27. Tanaka, A. 1971. Ecology of rice in the tropics. Yokendo, Tokyo, Japan (In Japanese).
28. Wanasuric, S., S. K. De Datta. 1982. Rice yield in relation to eletro-ultra-filtration extractable soil potassium. Potash review, Subject 9, No. 4.

Potassium Response and Its Relation with Different Forms of Soil Potassium in Paddy

Tze-Shun Lee and Hwai-Gwo Wu[2]

Summary

To clarify the forms of soil potassium absorbed by the rice plant and their relation with the yield response of paddy rice, as well as to estimate the influence of soil non-exchangeable K content on the critical level of the more easily available sources of soil K for rice, a greenhouse experiment was conducted in the 1st crop, 1983. Ninteen soils including different soil groups with a wide range of potassium content were used. Three levels of fertilizer-K were applied, i. e., 0, 50, and 100 ppm, each with 4 replicates. N and K fertilizers were applied in sufficient amount. 3 kgs of soil were used in each pot. A total of 228 pots were arranged in the greenhouse in a randomized complete block design.

The results are summarized below.

1. Under the condition of this experiment, 50% of the potassium absorbed by the rice plant was supplied by the soil exchangeable K, and the other 50% by non-exchangeable K.
2. Percentage yield of straw (NP/NPK×100), potassium content of straw as well as potassium uptake by the rice plant were all signififantly correlated with available and exchangeable K but not with non-exchangeable K.
3. Percentage yield of grain was significantly correlated only with the non-exchangeable K. This fact indicated that potassium absorbed by the rice plant during its later growth stages might be mainly K released from non-exchangeable form.
4. Potassium extracted by EUF method were found to be all in the available form; its relationships with yield response, potassium content of rice straw and potassium uptake by the rice plant were almost the same as those of the exchangeable K or available K with the latters, though slightly inferior.
5. Therefore, potassium test for paddy soils should be based not only on available K, non-exchangeable K should also be considered when its content is low, e. g., lower than 260 ppm.
6. Though the correlation of percentage K_0 yield with the available K was not significant, application of the Cate-Nelson's discontinous model of evaluation on the data revealed the critical level of Mehlich available K to be around 70 ppm.
7. The critical K content of straw, at which the rice yield attained 98% of the maxima was about 1.0%.

1. Contribution No. 1199 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Soil Scientist and Assistant, respectively, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, R. O. C.

附表 1. 水稻種植前土壤有效鉀含量，水稻穀、藁產量及其含鉀量、水稻總吸收鉀量及鉀肥利用率。

Appendix Table 1. Soil available K at planting, rice yield and K content of harvested grain, straw, K uptake as well as K fertilizer efficiency

Soil No. & Treat.	Soil Avail. K		Grain Yield		K% in Grain	Straw Yield		K% in Straw	Total uptake mg K/pot	K fertil. efficiency*
	Level K	ppm	g/pot	$K_0/K_{max.}$ %		g/pot	$K_0/K_{max.}$ %			
2 K_0		47	31.41	109.6	0.52	31.58	82.7	0.48	315	
K_1			28.26		0.52	33.44		0.74	395	50
K_2			28.67		0.48	38.17		1.02	527	68
14 K_0	LOW	48	24.05	95.3	0.45	25.16	90.6	0.84	319	
K_1			25.23		0.46	27.40		1.08	412	59
K_2			25.05		0.44	27.78		1.32	477	50
18 K_0		49	22.84	87.5	0.44	29.51	98.0	0.92	372	
K_1			24.81		0.46	27.69		1.20	446	47
K_2			26.11		0.42	30.10		1.29	498	40
Average		48		97.5	0.47		90.4	0.99	418	52
1 K_0		60	31.49	105.6	0.47	38.19	87.9	0.71	419	
K_1			28.14		0.47	40.73		0.94	515	61
K_2			29.82		0.47	43.45		1.08	609	61
5 K_0		58	27.01	97.6	0.44	28.69	92.4	0.95	392	
K_1			27.48		0.43	31.05		1.22	497	67
K_2			27.67		0.44	29.18		1.49	557	53
7 K_0		94	29.57	98.6	0.46	29.99	96.3	1.12	472	
K_1			30.00		0.46	30.65		1.39	564	59
K_2			29.40		0.44	31.14		1.70	658	59
9 K_0	MEDIUM	69	24.59	88.3	0.45	27.86	88.2	0.78	328	
K_1			27.65		0.45	29.07		1.09	441	72
K_2			27.84		0.44	31.58		1.33	542	68
11 K_0		76	28.26	97.8	0.46	33.07	88.3	0.67	351	
K_1			28.90		0.44	36.66		0.84	435	54
K_2			28.47		0.44	37.46		1.12	545	62
13 K_0		64	24.98	82.6	0.47	29.90	93.3	0.58	290	
K_1			27.37		0.47	30.89		0.92	413	78
K_2			30.23		0.46	32.06		1.21	527	75
15 K_0		95	21.55	101.9	0.43	25.90	101.5	1.20	404	
K_1			21.15		0.40	23.76		1.43	425	13

續附表1.

Soil No. & Treat.	Soil Avail. K Level K	ppm	Grain Yield g/pot	Grain Yield $K_0/K_{max.}$ %	K% in Grain	Straw Yield g/pot	Straw Yield $K_0/K_{max.}$ %	K% in Straw	Total Uptake mg K/pot	K fertil. efficiency*
K_2			20.66		0.41	25.52		1.56	483	25
17 K_0		54	20.67	74.1	0.44	23.35	64.4	0.30	161	
K_1	MEDIUM		27.90		0.43	33.63		0.48	281	76
K_2			27.28		0.43	36.24		0.75	389	73
19 K_0		54	23.45	98.9	0.44	23.59	91.0	0.79	289	
K_1			23.70		0.45	25.55		1.11	391	65
K_2			23.36		0.43	25.91		1.48	483	62
Average		69		93.9	0.45		89.3	1.04	439	60
3 K_0		125	20.08	103.6	0.48	22.99	89.0	1.59	462	
K_1			19.27		0.47	25.83		1.64	515	34
K_2			19.39		0.46	23.74		1.90	540	25
4 K_0		153	30.83	95.7	0.49	37.81	98.2	1.43	692	
K_1			30.61		0.53	38.49		1.66	801	69
K_2			32.22		0.49	33.86		2.04	849	50
6 K_0		119	27.93	88.3	0.48	36.56	97.0	0.77	416	
K_1			30.58		0.48	37.08		1.08	547	83
K_2			31.63		0.49	37.71		1.22	615	63
8 K_0	HIGH	100	29.54	97.6	0.44	33.07	90.7	1.47	616	
K_1			29.07		0.47	36.47		1.53	695	50
K_2			30.27		0.45	33.74		1.78	737	39
10 K_0		156	33.78	95.1	0.45	44.82	99.2	1.49	820	
K_1			33.50		0.46	45.18		1.55	854	22
K_2			35.53		0.48	44.38		1.86	1,005	59
12 K_0		131	31.04	99.7	0.45	35.55	93.4	0.93	471	
K_1			31.14		0.44	37.17		1.17	572	64
K_2			30.89		0.44	38.08		1.35	650	57
16 K_0		216	25.70	95.4	0.44	30.09	99.0	1.77	646	
K_1			26.93		0.46	27.91		1.91	657	7
K_2			26.58		0.49	30.39		1.99	735	28
Average		143		96.5	0.47		95.2	1.53	662	46
Meam (Total)		91.6	27.43	95.4	0.46	32.23	91.6	1.22	517.8	53.9

*以 K_1 施入 157 mg K/pot; K_2 施入 314 mg K/pot 計算。

附表 2. 試驗前（括號外）後（括號內）土壤中不同形態鉀含量（Kppm）

Appendix Table 2. Soil potassium contents before (outside parenthesis) and after (inside parenthesis) cropping

Soil No.	Avail. K level	Available K			Exchangeable K			Non-exchangeable K		
		K_0	K_1	K_2	K_0	K_1	K_2	K_0	K_1	K_2
2		47(27)	(28)	(28)	56(34)	(32)	(35)	318(259)	(253)	(259)
14	LOW	48(35)	(34)	(37)	76(56)	(57)	(61)	378(296)	(304)	(300)
18		49(30)	(30)	(32)	74(44)	(46)	(47)	301(287)	(301)	(308)
Average		48(31)	(31)	(32)	69(45)	(45)	(48)	332(231)	(286)	(289)
1		60(34)	(43)	(34)	86(47)	(52)	(47)	454(349)	(352)	(377)
5		58(22)	(22)	(23)	63(24)	(24)	(28)	234(149)	(156)	(150)
7		94(28)	(29)	(33)	99(32)	(37)	(33)	283(198)	(201)	(202)
9		69(21)	(23)	(24)	80(21)	(31)	(33)	216(152)	(169)	(163)
11	MEDIUM	76(23)	(24)	(25)	94(36)	(39)	(37)	213(141)	(138)	(148)
13		64(15)	(15)	(18)	84(23)	(24)	(26)	181(130)	(127)	(129)
15		95(34)	(37)	(41)	106(44)	(49)	(51)	318(236)	(240)	(249)
17		54(25)	(22)	(20)	70(29)	(29)	(28)	65(66)	(61)	(55)
19		54(15)	(19)	(18)	58(21)	(22)	(23)	117(109)	(120)	(111)
Average		69(24)	(26)	(27)	82(31)	(34)	(34)	231(170)	(174)	(176)
3		125(43)	(45)	(58)	123(43)	(47)	(62)	320(251)	(246)	(276)
4		153(18)	(19)	(23)	166(24)	(19)	(24)	192(92)	(104)	(112)
6		119(14)	(14)	(18)	118(20)	(23)	(28)	234(156)	(166)	(166)
8	HIGH	100(39)	(38)	(34)	123(39)	(38)	(44)	543(416)	(423)	(433)
10		128(20)	(22)	(22)	175(29)	(28)	(32)	350(188)	(196)	(190)
12		131(22)	(24)	(23)	144(34)	(35)	(36)	151(106)	(106)	(103)
16		216(30)	(55)	(71)	225(40)	(59)	(71)	203(129)	(130)	(148)
Average		282(27)	(31)	(36)	153(33)	(36)	(42)	285(191)	(196)	(204)