中華農業研究 27(4):297~308(1978)。

本省中部若干土壤中鉀釋放特性之研究[1]

林 家 棻[2]

摘要：爲探討土壤中鉀之釋放特性，在本省中部選取20種土壤，經連續4作盆栽水稻及用熱水與四酚納硼 (Sodium tetraphenyl boron, NaTBP) 抽取，所得結果扼要如下：

用 30 gm 土壤加 30 mℓ 熱水，抽取時間從 15、30、60、120、180 至 240分鐘，所抽出鉀量與抽出時間之對數成極顯著之直線迴歸，其抽出速率之變異從 8.62~50.01 ppm K/log (min)。另從複迴歸方程式中顯示用熱水抽出之 K 抽出速率與土壤中置換性鉀成正比，而與土壤 pH 或游離鐵含量成反比。

用 1.0 gm 土壤加 NaTPB 液，抽取時間從 15、120、240、480 至 960 分鐘，所抽出的鉀量與抽出時間成極顯著的直線迴歸，其變異範圍從 0.4~3.09 ppm K/min。又從複迴歸方程式顯示以 NaTPB 所得之 K 抽出速率與土壤中非置換性鉀含量成正比，而與土壤 pH 成反比。

同一土壤，連續盆栽 4 作水稻，其 K 總吸取量之變異範圍，在無肥處理之下爲 405~1176 mg K/ 5.0 kg Soil, −K 處理者爲 414~2498 mg K/ 5.0 kg Soil, +K 處理者爲 1537~3436mg K/ 5.0 kg Soil，從−K 處理 4 作水稻總吸取量及栽培後，土壤中置換性鉀普遍劇降，顯示水稻生長期中，必然利用土壤中部分的非置換性鉀。

水稻之 K 吸取速率與土壤中 K 釋放速率有着顯著的關係。但從各溶劑所抽出的 K 有效指數，以估計土壤中 K 供應情形時，仍以 Mehlich 氏鉀與水稻吸取量之相關係數最高，其法亦最便捷。

農田表土中全鉀含量多在 25,000~45,000 kg K/ha，其中多以非置換性鉀存在，而供植物利用之置換性及水溶性鉀爲量不多，鮮有超出全鉀含量之 1 % 者，此三形態鉀係以動力平衡狀態 (Dynamic equilibrium) 存在於土壤中如下式：

水溶性鉀⇆置換性鉀⇆非置換性鉀←礦物性鉀

水稻對於鉀的吸取，有者[11,13]認爲與土壤中置性鉀有關，有者[1]則認爲在不同母質來源的冲積土則與非置換性鉀有關，由於鉀在土壤中係屬動力平衡狀態，本省稻田土壤中鉀之釋放特性，尚乏資料可供參考，有加以探討的必要。

本文之目的在求本省中部若干土壤中鉀之釋放特性與水稻對於鉀之吸取情形，藉以瞭解稻田土壤中鉀之供應狀況。

試 驗 方 法

供試土壤：在本省中部南投、臺中、彰化、及雲林四縣選取 20 地點土壤樣本，其中包括砂頁岩冲積土，粘板岩老冲積土，粘板岩新冲積土，及混合冲積土等 4 類，其一般化學性質詳前報[12]

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告 第 849 號。承中國農村復興聯合委員會補助試驗經費；小型電腦程式承李主任蘭帝設計，謹此誌謝。

2. 本所技正兼農業化學系主任。

盆栽試驗：上述各種土壤各設 3 處理即（1）無肥，（2）無鉀及（3）三要素，重複二次，共計 $3\times20\times2=120$ 盆，每盆用土 5.0 kg 。其中氮（N），磷（P_2O_5），及鉀（K_2O）之施用量，每作各爲 120，80 及 80 kg/ha 。水稻品種用臺中 65 號，其他管理照常，同一土壤，連續栽培 4 作，每作收穫後，記載其谷藁收量及植物體中鉀含量，測定時，先將植物樣本予以乾灰化（550°C）後，用焰光計測定之。

土壤分析：土壤中全鉀用過氯酸抽出測定之，非置換性鉀則用煮沸 1 N 硝酸抽出之，置換性鉀則用中性 1 N 醋酸銨法測定之，有效態鉀則用 Mehlich 氏混合液（0.05 N HCl-0.025N H_2SO_4）抽取之，抽出後，均用焰光計測定之。其結果如表 1 。

表 1. 土壤中含鉀狀況及其有關性質

Table 1. Potassium status and other related characteristics of the soils

Soil No.	pH	Free Fe %	$HClO_4$-K ppm	HNO_3-K ppm	NH_4OAc-K ppm	Mehlich-K ppm	Ca/K	Mg/K	$K/\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}$	K/CEC %
Sandstone and shale alluvial soils										
NT-1	5.3	1.47	13,000	256	86.0	44.1	25.0	6.8	0.1178	1.68
2	4.7	0.96	9,000	176	50.8	31.2	37.6	8.9	0.0748	1.09
3	7.5	1.56	9,750	384	78.2	41.4	142.2	12.4	0.0509	1.23
4	5.4	1.56	11,000	416	109.5	58.0	46.3	12.9	0.0972	1.22
5	5.6	1.11	7,750	404	93.8	58.4	30.2	8.9	0.1108	1.54
Slate recent alluvial soils										
CH-1	7.2	1.05	13,500	184	35.2	16.0	95.3	16.9	0.0400	0.93
2	7.6	0.95	13,500	264	54.7	18.6	245.9	15.3	0.0327	1.33
YL-1	6.2	1.02	13,000	248	74.3	39.6	36.5	11.8	0.0887	1.60
2	5.8	0.99	14,000	268	125.1	41.6	19.8	6.5	0.1561	2.69
3	6.1	0.99	13,500	304	113.4	62.0	36.5	9.8	0.1120	1.86
4	7.6	0.72	10,000	256	74.3	26.5	170.7	12.6	0.0455	1.62
5	6.9	0.72	14,000	192	43.0	27.4	63.5	13.1	0.0536	1.10
Slate older alluvial soils										
CH-3	7.2	0.96	16,250	240	54.7	27.2	114.1	7.6	0.0480	1.05
4	7.5	0.81	13,500	188	35.2	14.4	282.8	16.1	0.0245	0.84
5	7.2	1.02	12,000	304	74.3	39.6	90.7	8.6	0.0619	1.29
Mixed alluvial soils										
TC-1	5.3	0.30	12,500	248	89.9	56.8	17.4	4.5	0.1450	2.42
2	5.4	0.21	11,750	188	54.7	37.8	19.2	5.5	0.1064	2.37
3	4.9	0.42	10,500	168	39.1	20.6	31.9	7.5	0.0712	1.20
4	5.7	0.93	9,250	164	27.4	21.6	64.1	17.1	0.0415	0.86
5	6.3	0.93	11,250	204	39.1	22.0	53.4	15.7	0.0538	1.43

置換性鉀之釋放乃用熱水抽取之[5]，法將 30 gm 風乾土壤置於 50-ml 的塑膠離心管中，加 30 ml 水，蓋以橡皮塞，上附冷却管，置於煮沸的水浴鍋上，分別經過 15，30，60，120，180，及 240 分鐘後，取出離心，上澄液中的鉀用焰光計測定之。

非置換性鉀之釋放乃用 NaTPB (Na-tetraphenyl boron) 抽取之。其法係將 1.0 gm 風乾土壤，加入 5 ml 的 0.3 N NaTPB，分別予以搖動 15，120，240，480 及 960 分鐘後，加入 25 ml 的 I N NH_4OAc，以抑制反應，並防止抽出鉀之被固定，然後加入 20 ml 的 Acetone，使 KTPB+NaTPB 之沈澱溶解，共洗 4 次，每次離心後，上澄液均傾於 100 ml 的燒杯中，加入 14 ml 的 2N H_2SO_4，置於水浴鍋上，蒸發乾涸，將殘渣溶於 1 N NH_4OAc 液含有足量的 Na_2SO_4 液中，並用同液稀釋至 50 ml 混勻後，過濾，除去最初 15 ml 的濾液，測定剩餘液中的 K 含量[8]。

結果與討論

供試土壤含鉀狀況

表 1 示各種土壤中鉀之分佈情形，因土壤樣本不多，不易從土壤類別間區分之，據張氏[3]報告臺灣土壤中置換性鉀與非置換性鉀之分佈情形，以紅壤較低，泥岩冲積土較高，其他冲積土居中，本試驗中不含該兩類土壤，不易區分，似屬必然。

表 2. 土壤中各種鉀測定值之平均值，變異係數，變異範圍及彼此間之相關係數

Table 2. Sample means, coefficients of variation, ranges of the K analyses and correlation coefficients between the values obtained for the constituents

	$HC10_4$-K ppm	HNO_3-K ppm	NH_4OAc-K ppm	Mehlich-K ppm	Ca/K	Mg/K	$K/\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}$	K/CEC %
$HC10_4$-K		− 0.229	0.032	−0.157	0.189	−0.072	0.005	0.122
HNO_3-K			0.739**	0.721**	−0.042	−0.134	0.308	0.154
NH_4OAc-K				0.858**	−0.354	−0.502*	0.769**	0.649**
Mehlich-K					−0.553*	−0.557*	0.783**	0.549*
Ca/K						0.563*	− 0.724**	− 0.461*
Mg/K							− 0.755**	− 0.674**
$K/\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}$								− 0.840**
Mean	11950	252.8	67.6	35.2	81.2	10.9	0.077	1.47
C. V. %	17.7	30.5	42.4	42.8	93.4	36.5	49.7	35.7
Range	7750～ 16,250	164～ 416	27.4～ 125.1	14.4～ 62.0	17.4～ 282.8	4.5～ 17.1	0.025～ 0.156	0.84～ 2.69

*Significant at P 0.05, **Significant at P 0.01.

表 2 中值得注意者爲全鉀 ($HClO_4$-K) 含量與其鉀因子間均無顯明關係。非置換性鉀(HNO_3-K) 僅與置換性鉀 (NH_4OAc-K) 及 Mehlich-K 呈顯著的相關。而置換性鉀除與全鉀及 Ca/K 相關不顯明外，與其他鉀因子間之相關係數均達到顯著乃至極顯著平準。 Mehlich-K 除與全鉀無

關外，與其他鉀因子均有顯著乃至極顯著之關係。 Ca/K 與 Mg/K 爲正相關而與鉀吸着比 ($K/\sqrt{(Ca+Mg)/2}$ 或 K/CEC 則爲負相關，乃由於前兩者分式中 K 爲分母所致。供試土壤陽離子交換能量中所佔 Ca 及 Mg 離子較多，鉀吸着比與 K/CEC 呈負相關，自屬必然。

有關鉀因子中，變異係數最大者爲 Ca/K ，最小者爲全鉀含量，其他鉀因子居中。

綜上而言，置換性鉀與 Mehlich-K 之測定值除可表示土壤中含鉀情形外，對於其他鉀因子亦多有關係，過去檢定土壤中鉀供應情形，利用此兩法測定值，多可獲得良好結果者，可能與此有關。

表 3. 用熱水在 15、30、60、120、180 與 240 分鐘所抽出鉀之測定值，鉀抽出速率及抽出鉀佔土壤中全鉀之百分比

Table 3. K extracted in 15, 30, 60, 120, 180, and 240 minutes; rate of K extracted; and percentage of total of soil K extracted with hot water

Soil No.	K extraction with hot water, ppm min.						Rate of K extraction with hot water from 15 to 240 min. ppm K/log t (min)	K extracted by hot water in 240 min. % of total
	15	30	60	120	180	240		
Soil releasing small amounts of K								
CH-1	17.0	20.0	23.0	25.0	26.0	28.0	8.62	0.21
CH-4	16.8	18.0	24.0	23.0	28.0	32.5	11.84	0.24
TC-5	18.0	20.0	26.0	28.3	32.0	35.0	13.95	0.31
YL-5	23.0	24.0	32.3	33.5	36.0	41.5	14.60	0.30
TC-4	13.5	17.8	25.0	27.0	30.3	32.5	15.50	0.35
TC-3	17.5	20.0	29.3	30.3	33.3	39.5	17.04	0.38
CH-3	20.0	24.0	34.5	33.5	38.0	47.0	19.65	0.29
Soil releasing medium amounts of K								
NT-3	41.0	45.3	53.0	62.0	64.0	65.0	21.59	0.67
CH-2	30.3	34.5	47.8	50.0	54.0	56.0	22.02	0.41
NT-2	29.5	33.0	39.0	48.5	52.8	61.0	25.36	0.68
CH-5	37.0	39.5	61.0	58.0	64.0	68.0	26.12	0.57
NT-1	41.0	45.0	56.0	62.0	66.0	73.3	26.17	0.56
YL-1	32.3	41.5	48.8	60.0	61.0	64.0	26.63	0.49
NT-4	43.8	44.8	58.0	66.0	70.0	77.3	28.51	0.70
Soil releasing large amounts of K								
NT-5	41.8	52.0	64.0	70.5	77.5	82.3	32.81	1.06
YL-4	46.5	52.0	64.0	75.0	82.3	85.5	34.06	0.86
TC-2	27.0	34.0	42.0	60.0	65.3	66.0	35.52	0.56
TC-1	45.8	62.0	65.0	80.0	90.5	98.0	40.90	0.73
YL-3	59.0	64.0	79.0	99.5	106.5	112.5	47.60	0.86
YL-2	68.0	76.3	92.5	108.0	119.5	126.8	50.01	0.91

土壤中鉀釋放特性

一、置換性鉀之釋放特性（用熱水抽出者）：從 15 至 240 分鐘間，用熱水所抽出之鉀示於表 3。該表中第 8 行所稱鉀抽出速率乃指每種土壤在一定抽出時間內與其鉀抽出量間所得直線迴歸之斜率，人爲地將斜率緩急分爲慢中快三級，該表示鉀之抽出速率與土壤類別間之區分不甚明顯，一般言之，砂頁岩冲積土（NT 1-5）鉀之抽出速率多屬中或快級，而粘版岩冲積土及混合冲積土則多分佈於各等級間，在 240 分鐘內所抽出之鉀多未超出全鉀之 1 %，多屬置換性鉀範圍，此與 Nash 氏[5] 所得結果頗相符合。其中抽出速率最低者爲土號 CH-1 (8.62 mg K/log t (min))，最高者爲 YL-2 (50.01 mg K/log t (min))，兩者相差約達 6 倍，就所抽出鉀佔全鉀百分比而言，最低者爲 CH-1 僅 0.21 %。最高者爲 NT-5，達 1.06 %，高低相差亦達 5 倍上下。

由熱水抽出所得置換性鉀釋放速率與土壤其他因子之關係，經用小型電腦分析結果，從數十種不同組合迴歸方程式中，以釋放速率與土壤中置換性鉀含量及游離鐵之複迴歸方程式所估計之鉀釋放量與實測值最爲接近（圖 1）。其次則爲釋放速率與土壤置換性鉀含量及 pH（圖 2）。圖 1 所示迴歸方程式中，鉀釋放速率與置換性鉀含量成正比而與游離鐵含量成反比，Ponamperuma[7] 認爲土壤中鉀多與游離鐵結合，稻田灌水後三價鐵還原爲二價鐵而釋放鉀，因此在乾土情形之下，游離鐵愈多，鉀之釋放速率愈慢。至於土壤 pH 與鉀釋放之關係，目前仍衆說紛紛[2,6,9,10]，尚無定論，蓋土壤 pH 不僅影響土壤中鉀之釋放，亦影響作物之生長，兩者甚難區分。圖 2 所示迴歸方程式中，鉀之釋放速率仍與置換性鉀成正比而與土壤 pH 成反比。Bolton 氏[4] 引述 Black 氏研究所得結果認爲土壤 pH 高時，土壤溶液中可給態鉀 (Labile K) 含量減少，其原因乃由於 K 對於 Ca 離子的取代較 Al 離子爲易，因此，當酸性土壤施用石灰提高土壤 pH 後，土壤溶液中可給態 K 漸減少，換言之，pH 高時，K 之釋放較少。

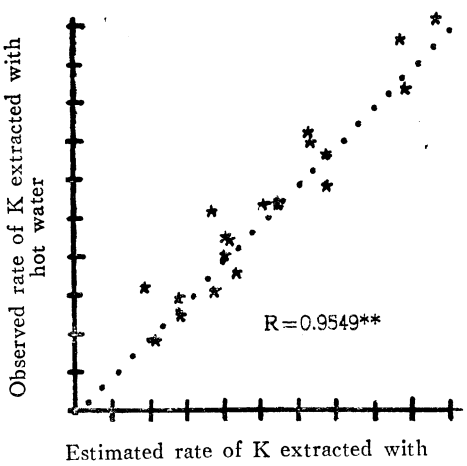


圖 1. 從下列迴歸方程式所得 K 抽出速率之估計值與實測值之關係

Fig 1. Dot chart showing observation and estimation for equation :

$$Y=-14.81\ (Fe)+0.4053K_{NH_4OAc}+12.35$$

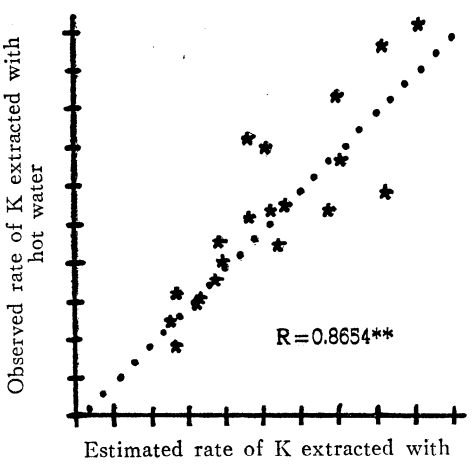


圖 2. 從下列迴歸方程式所得 K 抽出速率之估計值與實測值之關係

Fig 2. Dot chart showing observation and estimation for equation :

$$Y=-1.863\ (pH)+0.3276K_{NH_4OAc}+1.545$$

二、非置換性鉀之釋放特性（用 NaTPB 抽出者）：在室溫之下，從 15 至 960 分鐘間，用 NaTPB 所抽出之鉀示於表 4。該表第 7 行所稱鉀抽出速率仍指每種土壤，用 NaTPB 抽取時，抽出時間與其鉀抽出量間所得直線迴歸之斜率，依其斜率之緩急，再分爲慢中快三級，土壤類別間之鉀釋放速率仍無顯明區分，但其趨向仍以砂頁岩冲積土中非置換性鉀之釋放速率較快（NT 3, 4, 5），所抽出之鉀佔全鉀之百分比亦較高，粘板岩冲積土（CH-1, CH 4 及 YL 5）較爲緩慢，所抽出鉀佔全鉀百分比亦低。從表 1 可知供試土壤中以 YL-2 所含之置換性鉀最高，達 125.1ppm，而表 4 中用 NaTPB 抽取時，最初 15 分鐘所抽出之鉀已超出此範圍，因此 NaTPB 所抽出之鉀主爲非置換性鉀，其 K 抽出速率，似可視爲非置換性鉀之釋放速率。從個別土壤而言，其釋放速率從 0.4 ppm K/min (CH-1) 至 3.09 ppm K/min (NT-4)。在 960 分鐘內所抽出之鉀佔全鉀之百分比從 5.0 %至 37.2 % (NT-5)，其間相差約在 7 倍以上。

土壤中非置換性鉀之釋放速率與土壤其他因子之關係，經統計分析結果，認爲與土壤中非置換性鉀含量（用煮沸 I N HNO_3 抽出者）及 pH 最爲密切，其中前者爲正關係，後者爲負關係如圖 3 中複迴歸方程式所示。Bolton 氏[4] 以裸麥草 (Ryegrass) 爲指示作物，探討土壤 pH 與土壤中非置換性鉀之釋放時，認爲在不施用石灰之土壤 (pH 4.5)，裸麥草所吸取之非置換性鉀多于施用石灰之土壤 (pH 5.5～7.0)。又張氏[3] 研究本省各類土壤對于鉀固定能量時，亦發現强酸性土壤對于鉀之固定力較弱而中性及鹼性土壤則較强。

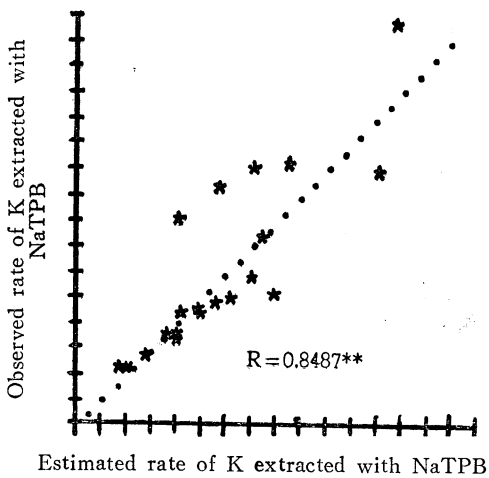


圖 3. 從下列迴歸方程式所得 K 抽出速率之估計值與實測值之關係

Fig 3. Dot chart showing observation and estimation for equation

$$Y=-0.2994\ (pH)+0.0069\ K_{HNO_3}+1.316$$

Y stands for estimated rate of K extracted with NaTPB

土壤鉀釋放速率與水稻鉀吸取速率之關係

表 5 示在無肥處理之下，第一作水稻鉀吸取量之變異範圍從 185 mg K/pot (TC-3) 至 566 mg K/Pot (NT-4)，其間相差約爲 3 倍，但在無 K 處理之下，其變異範圍從 157 mg K/pot (TC-3) 至 1,452 mg K/pot (YL-3)，其間相差達 10 倍，換言之，施用 NP 肥料之後，促進水稻根羣發育，增加水稻對于土壤中 K 之吸取，在施用 NPK 處理之下，其變異範圍爲 554 mg K/pot (CH-4) 至 1,139 mg K/pot (NT-1)，其間相差仍達 2 倍。若以 4 作水稻 K 之總吸取量而言，無肥處理者爲 405～1176 mg K/pot，無 K 處理者爲 322～2930 mg K/pot，施 K 處理者爲 1535～3436 mg K/pot，其變異趨向仍與第一作類似。

表 4. 用 NaTPB 在 15，120，240，480 與 960 分鐘所抽出鉀之測定值，鉀抽出速率及抽出鉀佔土壤中全鉀之百分比

Table 4. K extracted in 15, 120, 240, 480, and 960 min., rate of K extracted, and percentage of total soil K extracted with NaTPB

Soil No.	K extraction with NaTPB, ppm					Rate of K extraction with NaTPB from 15 to 960 min. ppm K/min.	K extracted by NaTPB in 960 min. % of total K
	15	120	240	480	960 min		
Soil releasing small amounts of K							
CH-1	248	375	390	478	670	0.40	5.0
CH-4	260	303	385	480	645	0.40	4.8
YL-5	305	445	508	560	855	0.52	6.1
YL-4	383	480	530	665	1,010	0.64	10.1
TC-4	235	290	375	525	865	0.67	9.4
CH-3	380	553	630	790	1,080	0.69	6.6
TC-2	255	320	400	463	1,060	0.83	9.0
CH-2	435	675	775	940	1,318	0.85	9.8
TC-3	238	410	815	835	1,150	0.88	11.0
Soil releasing medium amounts of K							
NT-2	318	518	625	740	1,260	0.92	14.0
CH-5	588	770	905	1,090	1,533	0.95	12.8
YL-3	710	915	1,675	1,510	1,775	0.99	13.1
YL-2	398	575	610	870	1,485	1.12	10.6
NT-1	353	510	610	795	1,740	1.43	13.4
TC-5	365	818	1,360	1,498	2,025	1.57	18.0
YL-1	455	755	1,035	1,335	2,260	1.83	17.4
Soil releasing large amounts of K							
NT-5	995	1,485	1,570	2,330	2,885	1.93	37.2
TC-1	428	630	890	1,520	2,260	1.97	18.1
NT-3	513	898	1,303	1,745	2,480	1.99	25.4
NT-4	930	1,540	1,658	2,870	3,875	3.09	35.2

從 4 作水稻之 K 總吸取量，及栽培後土壤中置換性鉀普遍較栽培前降低，足見水稻在生長期中需要吸取土壤中部分之非置換性鉀。

若將每期作水稻鉀吸取量予以累加作縱軸，期作累加作橫軸如圖 4，爲求清晰起見，僅將 10 種土壤示于該圖上，其中以第一作至第三作水稻之 K 吸取量多成直線，其坡度以施 K 處理最爲峻急

，無肥與無 K 處理則較爲弛緩，經用迴歸統計求該等直線的坡度，視作水稻對于土壤中 K 之吸取速率如表 5 中之第 8～10 行。此等水稻之 K 吸取速率與土壤中鉀釋放速率之關係如表 6。其中顯示在盆栽無肥處理之下，水稻 K 吸取速率與土壤置換性鉀釋放速率(熱水抽出者)及非置換性鉀釋放速率（以 NaTPB 抽取者）均有關係，且達極顯著平準。但在無鉀處理之下，僅與置換性鉀之釋放速率有關，而在施鉀處理之下，則與非置換性鉀之釋放速率有關。由於土壤中各形態鉀係以動力平衡狀態存在於土壤中，本試驗設計中尚無法探知土壤中置換性鉀水稻吸取後，降低至何種濃度時，非置換性鉀才開始釋放，假定在無鉀處理之下，非置換性鉀尚未開始釋放而水稻根羣已先受到抑制，則其吸取速率可能與非置換性鉀之釋放速率無關，施鉀處理之下，由於水稻生長良好，根羣發達反而與非置換性鉀之釋放速率有關，關於此點，今後仍待賡續研究。

表 5. 第一作水稻鉀吸取量與四作總吸取量，水稻鉀吸取速率，及栽培前後土壤中置換性鉀含量

Table 5. Uptake of K by the first rice crop, total uptake by the four rice crops, rate of K-uptake by plant, and exchangeable soil K before and after croppings

Soil No.	Uptake of K by cropping						Rate of K uptake by plants			Soil exchangeable K	
	1st Crop			Total of 4 Crops							
	None	−K	+K	None	−K	+K	None	−K	+K	Before cropping (ppm)	After cropping (ppm)
	mg K/pot (5 kg. Soil)										
NT-1	397	831	1,139	846	1,272	3,390	163	187	1,066	86.0	25.8
2	322	644	786	638	962	1,901	116	142	482	50.8	16.9
3	411	616	853	892	1,226	2,387	177	223	621	78.2	54.2
4	566	1,092	967	1,176	1,814	2,989	229	293	813	109.5	58.3
5	378	1,142	1,077	1,054	2,498	3,436	244	455	949	93.8	38.7
CH-1	200	337	554	427	683	1,535	79	153	391	35.2	14.1
2	248	469	692	596	822	1,924	138	129	490	54.7	24.5
YL-1	361	1,018	916	884	1,861	2,407	204	375	601	74.3	18.5
2	352	845	951	808	1,214	2,408	165	155	577	125.1	20.7
3	422	1,452	972	956	2,930	2,601	194	664	662	113.4	37.0
4	256	691	716	741	1,131	1,987	197	335	523	74.3	26.3
5	261	495	814	623	971	2,181	138	203	542	43.0	21.5
CH-3	243	453	707	496	695	1,846	89	100	457	54.7	22.5
4	189	222	555	405	414	1,537	83	75	367	35.2	21.0
5	301	699	842	656	1,271	2,361	138	232	598	74.3	30.0
TC-1	465	1,057	945	979	1,592	2,111	197	219	490	89.9	18.5
2	299	510	790	704	968	1,770	173	205	424	54.7	15.4
3	185	157	763	504	322	1,667	123	70	397	39.1	14.3
4	214	503	716	598	790	2,041	156	123	549	27.4	13.3
5	272	479	870	668	848	2,377	158	169	617	39.1	17.2

表 6. 土壤中鉀釋放速率與水稻鉀吸取速率之相關係數

Table 6. Correlation coefficients between rate of K-uptake by rice plant and rate of soil potassium release

Soil K-release	Rate of K-uptake by rice plant		
	None	−K	+K
Rate of soil K-release by hot water extraction	0.61**	0.58**	0.27
Rate of soil K-release by NaTPB extraction	0.73**	0.34	0.60**

**Shows significance at 1%.

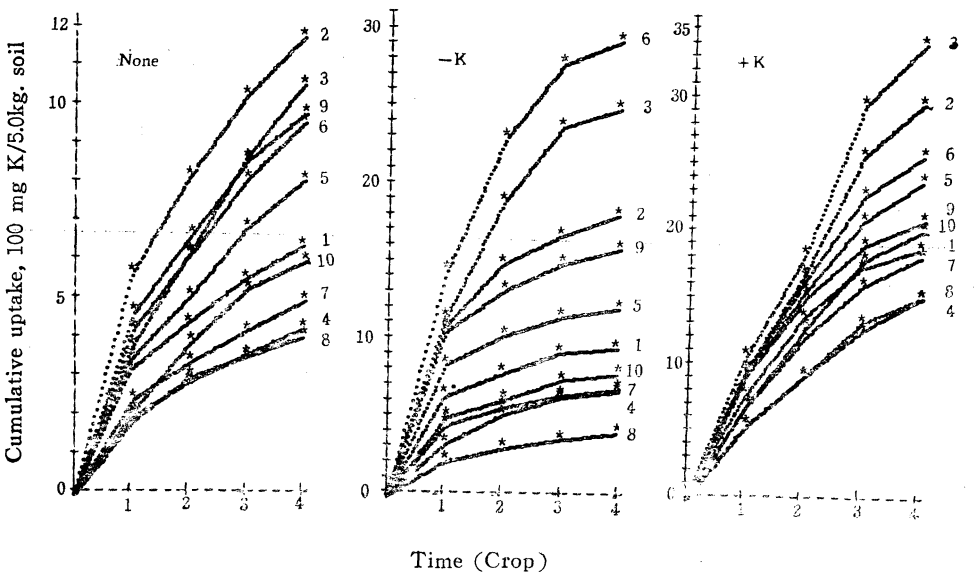


圖 4. 連續 4 作水稻，對于 10 種土壤中鉀吸取之累積量

Fig. 4. Cumulative uptake of K by four successive rice crops on soils 1 (NT-2), 2 (NT-4), 3 (NT-5), 4 (CH-1), 5 (YL-2), 6 (YL-3), 7 (CH-3), 8 (CH-4), 9 (TC-1), and 10 (TC-4)

水稻對於土壤中鉀之吸取

表 7 示土壤中全鉀含量與每作水稻鉀吸取量之相關係數均未達到顯著平準，而非置換性鉀，置換性鉀以及有效態鉀與每作水稻鉀吸取量之相關係數則均達到顯著乃至極顯著程度，其中值得注意者爲第一作時，非置換性鉀與水稻鉀吸取量之相關係數低於置換性鉀者，但在第四作時則反是。因此土壤中非置換性鉀有隨時間長久而漸趨重要的傾向。

表 8 示以各種溶劑所抽出的鉀加上熱水或 NaTPB 之鉀抽出速率與第一作無鉀區水稻鉀吸取量之複迴歸方程式及其複相關係數情形。其中複相關係數雖分別較表 7 中之單相關係數爲高，但不明顯，最高者爲水稻鉀吸取量與 Mehlich K 加上置換性 Mg/K 之比。但從土壤速測立場，仍以 Mehlich

氏鉀最爲便捷。

表 7. 每作無鉀區水稻鉀吸取量與土壤中各形態鉀之相關係數

Table 7. Correlation coefficients showing the relationship between K-uptake of rice plant treated without potassium and amount of various forms of soil K

Form of soil K	1st Crop	2nd Crop	3rd Crop	4 th Crop
Total K ($HClO_4$-extracted)	− 0.1017	− 0.2014	− 0.1780	− 0.1444
Non-exchangeable K (boiling HNO_3 extracted)	0.6492**	0.6418**	0.4942*	0.8695**
Exchangeable K (Neutral N NH_4OAc extracted)	0.8441**	0.6384**	0.4802*	0.6697**
Available K (0.05N HCI+0.025N H_2SO_4 extracted)	0.9164**	0.7959**	0.6412*	0.7262**

* and ** refer to significant at P. 0.05 and 0.01, respectively.

表 8. 第一作無鉀區水稻鉀吸取量與土壤中各種鉀測定值之迴歸方程式及其迴歸係數

Table 8. Multiple Regression equations and regression coefficients for the relationship between K-uptake of rice plant and K status of the soil

Dependent variable	Independent variable	Regression equation	R
K-uptake of rice from −K treatment of the first Crop			
ditto	K extracted by HNO_3+rate of K extraction by hot water	$Y=1.779K_{HNO_3}+17.112K_{H_2O}-207.767$	0.844**
ditto	K extracted by HNO+rate of K extraction by NaTPB	$Y=1.958K_{HNO_3}+130.5K_{NaTPB}+35.994$	0.674**
ditto	K extracted by NH_4 OAc+rate of K extraction by hot water	$Y=8.492K_{NH_4OAc}+3.919K_{H_2O}+9.571$	0.847**
ditto	K extracted by NH_4 OAc+rate of extraction by NaTPB	$Y=8.738K_{NH_4OAc}+77.108K_{NaTPB}+3.261$	0.854**
ditto	K extracted by Mehlich solution+rate of K extraction by hot water	$Y=17.730K_{Mehlich}+4.548K_{H_2O}-57.183$	0.922**
ditto	K extracted by Mehlich solution+rate of K extraction by NaTPB	$Y=21.577K_{Mehlich}-38.687K_{NaTPB}-29.062$	0.918**
ditto	K extracted by Mehlich solution+ratio of exchangeable Mg to exchangeable K	$Y=230.744K_{Mehlich}+18.699Mg/K-330.831$	0.936**

** significant at P. 0.01

參 考 文 獻

1. Chang, S. C. 1967. Phosphorus and potassium testing of rice soils. The mineral nutrition of the rice plant. pp. 373—381. Proceedings of a symposium at the International Rice Research Institute.
2. Chute, J. H., & Quirk, J. P. 1967. Diffusion of potassium from mica-like clay minerals. Nature, Lond. 213, 1156.
3. Hsi, L. C., & S. C. Chang, 1960. Soils and soil fertility of Taiwan. Report on Soils and Fertilizer Uses in Taiwan, Republic of China. JCRR. Plant Industry Series No. 20.
4. Islam, A., & J. Bolton. 1970. The effect of soil pH on potassium intensity and release of non-exchangeable potassium to ryegrass . J. Agr. Sci., Camb. 75 : 571—576.
5. Nash, V. E. 1971. Potassium release characteristics of some soils of the Mississippi Central Plain as revealed by various extracting agents. Soil Sci., 114 : 313—317.
6. Newman, A. C. D. 1969. Cation exchange properties of micas. I. The relation between mica composition and potassium exchange in solution of different pH. J. Soil Sci. 20 : 357—373.
7. Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, Vol. 24.
8. Schulte, E. E. & Corey, R. B. 1963. Extraction of potassium from soils with sodium tetraphenylboron. Proc. SSSA 29 : 33—35.
9. Tucker, B. M. 1965. The solubility of potassium from soil illite I. The dependence of solubility on pH. Aust. J. Soil Res. 2 : 56—66.
10. Williams, D. E. & Jenny, H. 1952. The replacement of non-exchangeable potassium by various acids and salts. Proc. SSSA. 16 : 216—221.
11. 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。
12. 林家棻、張愛華、吳懷國、1977，中部土壤所含磷形態與稻谷收量及磷吸取量之關係，中華農業研究 26（1）25～41。
13 盛澄淵、蘇楠榮、林銅鐘、馮明彬、1964，桃園紅壤磷鉀含量與水稻營養及肥料效應之關係，中華農學會報新48：18。

Potassium release characteristics of some selected soils of central Taiwan[1]

Char-fen Lin[2]

Summary

To evaluate K release, twenty soils from central Taiwan were intensively cropped with rice in pots, and soil K was extracted with hot water as well as sodium tetraphnylboron (NaTPB) for varying periods. When 30—gm soil samples were equilibrated with 30 ml hot water for 15, 30, 60, 120, 180, and 240 min., K extracted with hot water was linearly correlated with the logarithm of time from 15 to 240 min. Rate of K release varied from 8.62 to 50.01 ppm K/log (min.). Multiple regression equation between K release and other soil factors indicated that the rate of K release with hot water was positively proportional to the amount of exchangeable K present in the soil, but negatively to the soil pH or to the content of free iron oxides.

When 1-gm soil samples were equilibrated with solution containing NaTPB for 15, 120, 240, 480, and 960 min. Rate of K release varied from 0.4 to 3.09 ppm K/min. It was also found that the rate of K release was positively correlated with the content of non-exchangeable K (extracted by boiling N nitric acid) and negatively with soil pH as shown in a multiple regression equation.

Amounts of plant available K, as determined from cumulative K uptake by four successive croppings of rice plant varied from 405 to 1176, 414—2498, and 1537—3436 mg K/5.0 kg soil for the none, −K and +K treatments, respectively. The rate of K uptake was fairly well correlated with the rate of K release from the soil extracted either with hot water or with NaTPB. However, for the purpose of soil testing, the K values obtained by Mehlich procedure may adequately predicate the K supplying power of the soil.

1. Contribution No. 849 from the Taiwan Agricultural Research Institute. This study was financially supported in part by the JCRR.

2. Senior Soil specialist and Head of the Department of Agr. Chem. TARI.