

不同水稻品种对钾的吸收 及其对钾肥的反应

林咸永 孙 羲

(浙江农业大学, 310029)

摘 要

测定了 9 个水稻品种在 $0.1\text{mmol/L K}_2\text{SO}_4 + 0.2\text{mmol/L CaSO}_4$ 溶液中吸收 2 小时和 4 小时的 K^+ 浓度和 pH 值的变化。结果表明溶液的 pH 变化与 K^+ 浓度变化呈极显著的正相关, 这为建立快速简便地筛选高吸钾速率水稻品种的方法提供了基础。幼苗耗竭试验表明, 水稻利用土壤中的钾大部分来自非交换性钾源。各品种的吸钾总量与来自非交换性钾及 1mol/L HNO_3 不能提取的钾和矿物钾均有极显著的相关性, 这可作为筛选吸钾能力强的水稻品种的指标。此外, 还研究了不同品种对钾肥的反应。

关键词 水稻品种, 吸钾能力, pH, 非交换性钾, 1mol/L HNO_3 不能提取的钾和矿物钾

我国耕地土壤普遍缺钾, 严重缺钾的土壤(速效钾 $<50\text{mg/kg}$) 和一般缺钾的土壤(速效钾为 $50\text{—}70\text{mg/kg}$) 总计 3.4 亿多亩, 约占全国耕地面积的 23%, 在南方大部分为水稻土^[1]。近年来, 由于复种指数和单产的提高, 氮、磷化肥用量的增加, 缺钾的严重性加剧。但是我国钾矿资源贫乏, 经济还比较落后, 依靠进口钾肥解决大面积的缺钾问题, 目前尚有困难。施用有机肥料或稻草还田等方法虽有一定的效果, 但与解决农村燃料、牲畜饲料和造纸工业等发生矛盾。因此, 必须寻找多种新的解决途径^[2]。

许多研究表明, 不同植物种类或品种在钾的吸收^[3,5-8,10]、利用^[6,8-10]和运转^[6]等方面有显著的差异。因此, 可以筛选利用吸钾能力强以及对土壤和肥料中钾素利用效率高的作物品种, 以适应低钾的土壤。这不仅可节省钾肥以缓解目前钾肥的短缺, 还可以为耐低钾品种的遗传育种提供种质资源和营养性状的数据。国内外在这方面的研究尚少。本研究通过水培、幼苗耗竭试验和田间试验试图建立一个快速简便地筛选吸钾能力强的水稻品种的方法, 并探讨不同品种对钾肥的反应。

一、材料与方 法

(一) 不同水稻品种对 K^+ 的吸收试验

选用汕优 6 号、汕优 64、协优 46、II 优 46、秀水 04、秀水 48、秀水 11、8619、T8340 等 9 个水稻品种为供试材料, 发芽后转移到 0.2mmol/L CaSO_4 溶液上培育, 获 15 天龄幼苗。各品种选生长一致的幼苗 10 株, 放在 $0.1\text{mmol/L K}_2\text{SO}_4 + 0.2\text{mmol/L CaSO}_4$ 溶液中, 重复 3 次。在控制光照和温度下吸收 2 小时和 4 小时, 测定溶液的 pH 值和 K^+ 浓度。pH 值和 K^+ 浓度分别用 pH 计和火焰光度计测定。

(二) 幼苗耗竭试验

选用以上7个品种进行耗竭试验。供试土壤为粗粉质黄松田土种,土壤速效钾含量为 50.6mg/kg,缓效钾含量为 239.4mg/kg。土壤经风干后,粉碎过 20 目筛,称取 250 克,装在小塑料盒中。每盒播发芽种子 40 颗,连续种植,每茬 30 天收获,每茬种前每公斤土施 0.3 克 N, 0.3 克 P, 但不施钾。土壤和植株含钾量按常规分析方法。

(三) 田间试验

以汕优 6 号、协优 46、秀水 48 为供试品种。设 4 个 K 水平,分别为:(1) 不施钾 (K_0); (2) 亩施 2.5kg K_2O (K_1); (3) 亩施 5.0kg K_2O (K_2); (4) 亩施 7.5kg K_2O (K_3)。各处理氮肥和磷肥施用量相等。供试土壤类型同上,其主要农化性状见表 1。试验为裂区设计,以肥料为主区,品种为副区,随机排列,重复 3 次。

表 1 供试土壤的主要农化性状

Table 1 The main agrochemical properties of the soil tested

土壤深度 (cm) Soil depth	pH	有机质 (%) O. M.	水解氮 (mg/kg) Hydrolyzable N	速效磷 (mg/kg) Avail. P	全钾 (%) Total K	速效钾 (mg/kg) Avail. K	缓效钾 (mg/kg) slowly avail. K
0—20	6.10	1.92	102.7	39.0	1.44	47.2	242.8
20—50	6.78	1.16	26.1	23.1	1.59	25.5	294.5

二、试验结果

(一) 不同水稻品种对 K^+ 的吸收

在低浓度范围内,植物吸收钾是主动吸收的过程,同时分泌质子,使溶液酸化。不同大麦品种对钾的吸收与 H^+ 分泌,在 15 分钟和 24 小时均呈极显著的正相关^[9]。那么水稻是否有同样的现象? 若是,则可测定溶液的 pH 变化来推测品种的吸钾能力。结果表明,将 15 天龄幼苗在起始 pH 值 5.63,

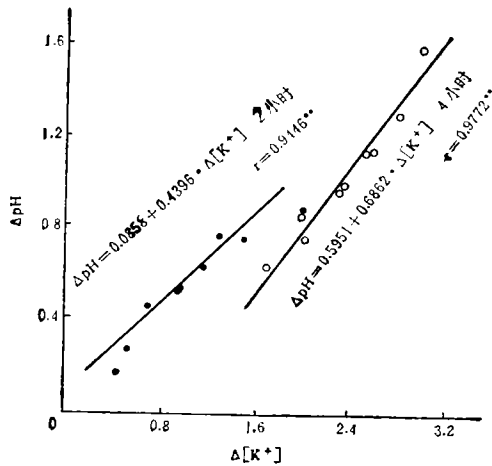


图 1 溶液 pH 值和 K^+ 浓度变化的相关性
Fig. 1 correlation between changes of solution
and K concentration

将 15 天龄幼苗在起始 pH 值 5.63, K^+ 浓度 7.65mg/kg 的 $K_2SO_4 + CaSO_4$ 溶液中培养 2 小时和 4 小时,溶液的 pH 值降低均以协优 46 最大, K^+ 浓度降低也最多; 而 pH 值降低最小的秀水 48, 其 K^+ 浓度降低也最低(表 2)。根据相关分析, 2 小时和 4 小时溶液 K^+ 浓度和 pH 值的变化均达极显著的正相关(图 1), 可见上述的设想是可行的。

(二) 不同水稻品种对土壤中各种形态钾吸收利用的差异

1. 不同水稻品种的干物重 不同水稻品种二茬幼苗的干物重在 7 个品种间的差异均达到 1% 的显著水平(表

3)。协优 46 在 7 个品种中干物重最大, 其钾素利用效率最高, 秀水 48 干物重最小, 其钾

表 2 9 个水稻品种对 K^+ 的吸收和溶液的 pH 变化Table 2 Changes in K^+ uptake and solution pH for nine rice varieties

品 种 Variety	2 小 时 2 hours				4 小 时 4 hours			
	pH	Δ pH	[K^+]	Δ [K^+]	pH	Δ pH	[K^+]	Δ [K^+]
汕优 6 号	4.87	0.76	6.35	1.30	4.50	1.13	5.05	2.60
汕优 64	4.88	0.75	6.15	1.50	4.34	1.29	4.84	2.81
协优 46	4.76	0.87	5.64	2.01	4.05	1.58	4.65	3.00
II 优 46	5.37	0.26	7.13	0.52	4.88	0.75	5.63	2.02
秀水 04	5.19	0.44	7.03	0.62	4.78	0.85	5.65	2.00
秀水 48	5.48	0.15	7.22	0.43	5.01	0.62	5.94	1.71
秀水 11	5.10	0.53	6.71	0.94	4.65	0.98	5.30	2.35
8619	5.01	0.62	6.51	1.14	4.51	1.12	5.12	2.53
T8340	5.11	0.52	6.72	0.93	4.67	0.96	5.34	2.31

注: Δ pH, Δ [K^+] 分别表示溶液的 pH 值和 K^+ 浓度的变化。

素利用效率最低。二茬各品种的干物重和钾素利用效率之间的相关系数分别为: 0.8133、0.8574, 分别达到 5% 和 1% 的显著水平。

表 3 不同水稻品种各茬幼苗干物重和钾素利用效率

Table 3 Dry weight (DW) and K utilization efficiency (KUE) of rice varieties

品 种 Variety	第一茬 Crop 1		第二茬 Crop 2	
	干物重 (g) DW(g)	钾素利用效率 (KUE, mg DW/mgK)	干物重 (g) DW(g)	钾素利用效率 (KUE, mg DW/mgK)
汕优 6 号	3.81	268.89	3.25	449.24
汕优 64	3.96	270.20	3.29	492.61
协优 46	4.18	285.71	3.58	509.16
秀水 04	2.98	250.40	2.59	438.60
秀水 48	2.91	243.19	2.55	431.59
8619	3.88	249.00	2.61	436.30
T8340	3.07	239.92	2.67	401.60

2. 连续种植时土壤钾素含量的变化 土壤中交换性钾和缓效钾含量随着种植茬数的增加而降低(表 4), 但各品种间差异不大。

3. 不同水稻品种对土壤中各形态钾的吸收利用 通常认为作物的吸钾总量 (K_T) 包括以下几部分: (1) 交换钾量 (K_E) = 种前土壤交换钾量 - 收获后土壤交换钾量; (2) 非交换钾量 (K_N) = $K_T - K_E$, 其中又可分为: a, 缓效钾量 (K_A) = (种前 1mol/L HNO_3 提取量 - 收获后 1mol/L HNO_3 提取量) - K_E ; b, 1mol/L HNO_3 不能提取的钾和矿物钾量 ($K_N - K_A$)。现就 7 个水稻品种在二茬试验中对各形态钾的吸收利用状况进行讨论。

由表 5 可见, 各品种吸钾总量中来自非交换钾的比例大于交换钾。不同品种有一定的差异, 其中来自 1mol/L HNO_3 不能提取的钾和矿物钾的比例差异较大, 第一茬的变幅是 6.43—16.56%, 其中最大的是 8619, 其次是协优 46, 秀水 48 最小; 第二茬水稻吸钾总量中 $K_N - K_A$ 所占的比例有所提高, 其变幅为 16.25—37.70%, 其中以协优 46 最高, 秀

水 48 最低。

表 4 连续种稻时土壤钾素含量的变化

Table 4 The changes of soil K concentration in case of successive cropping of rice

品 种 Variety	第一茬 Crop 1		第二茬 Crop 2	
	交换性钾 (mg/kg) Avail. K (mg/kg)	缓效钾 (mg/kg) Slowly avail. K (mg/kg)	交换性钾 (mg/kg) Avail. K (mg/kg)	缓效钾 (mg/kg) Slowly avail. K (mg/kg)
汕优 6 号	29.4	211.5	22.0	200.6
汕优 64	27.0	212.5	18.4	203.9
协优 46	28.0	211.8	20.0	202.3
秀水 04	27.8	218.2	19.6	207.0
秀水 48	27.8	217.4	20.0	205.4
8619	25.6	212.4	18.2	200.4
T8340	28.6	214.1	20.3	200.7

表 5 不同水稻品种的吸钾量与各种形态钾的关系

Table 5 Relationship between total K and the various forms of soil K taken up by rice varieties

品 种 Variety	第 一 茬 Crop 1							
	K_T (mg/pot)	K_E (mg/pot)	K_N (mg/pot)	K_A (mg/pot)	$K_N - K_A$ (mg/pot)	K_N/K_T (%)	K_A/K_T (%)	$\frac{K_N - K_A}{K_T}$ (%)
汕优 6 号	14.17	5.30	8.87	6.98	1.80	62.60	49.26	13.34
汕优 64	14.66	5.90	8.76	6.73	2.30	59.75	45.90	13.85
协优 46	14.63	5.65	8.98	6.90	2.08	61.38	47.16	14.22
秀水 04	11.81	5.70	6.11	5.30	0.81	51.73	44.88	6.85
秀水 48	11.97	5.70	6.27	5.50	0.77	52.38	45.95	6.43
8619	15.58	6.25	9.33	6.75	2.58	59.88	43.32	16.56
T8340	12.80	5.50	7.30	6.33	0.97	57.03	49.45	7.58

品 种 Variety	第 二 茬 Crop 2							
	K_T (mg/pot)	K_E (mg/pot)	K_N (mg/pot)	K_A (mg/pot)	$K_N - K_A$ (mg/pot)	K_N/K_T (%)	K_A/K_T (%)	$\frac{K_N - K_A}{K_T}$ (%)
汕优 6 号	7.23	1.85	5.38	2.73	2.65	74.41	37.76	36.65
汕优 64	6.68	2.15	4.53	2.15	2.38	67.81	32.19	35.60
协优 46	7.03	2.00	5.03	2.38	2.65	71.65	33.85	37.70
秀水 04	5.91	2.05	3.86	2.80	1.06	65.31	47.38	17.93
秀水 48	5.91	1.95	3.96	3.00	0.96	67.01	50.76	16.25
8619	5.98	1.85	4.13	3.00	1.13	69.06	50.17	18.89
T8340	6.65	2.08	4.57	3.35	1.22	68.72	50.38	18.34

从表 6 中可以看出,各品种的吸钾总量 (K_T) 与干物重有极显著的正相关。就本试验条件下,干物质积累量大的品种其吸钾总量较高,吸钾能力也较强。因此这类在低钾条件下仍能保持较高的干物质生产的品种属于耐低钾的品种^[5,6]。再从植株的吸钾总量

表 6 不同水稻品种的吸钾总量与干物重和各种形态钾的相关系数

Table 6 Correlation coefficients (r) among total K uptake (K), dry weight and soil K forms of rice varieties

项 目 Item	第一茬 Crop 1	第二茬 Crop 2
DW (g)	0.9242**	0.8479**
K _E (mg)	0.4438	0.0169
K _N (mg)	0.9801**	0.9820**
K _A (mg)	0.8935**	-0.3975
K _N - K _A (mg)	0.9900**	0.8970**
K _N /K _T (%)	0.8732**	0.8363**
K _A /K _T (%)	0.1657	0.7406*
K _N - K _A /K _T (%)	0.9867**	0.8418**

(K_T) 与各形态钾的相关性看, K_T 与 K_E 没有明显的相关, 但与 K_N 和 K_N - K_A 均呈极显著的正相关, 而与 K_A 之间在第一茬有显著的正相关, 第二茬却没有明显的相关。表 6 还表明吸钾总量 (K_T) 与各形态钾所占比例的相关性也有类似的结果。K_T 与 K_N/K_T 和 K_N - K_A/K_T 之间均达极显著的正相关, 而与 K_A/K_T 第一茬无相关性, 第二茬有显著的相关。

由此可见, 缺钾土壤中水稻的钾素来源不仅仅是交换钾和缓效钾两方面。本试验结果表明 1mol/L HNO₃ 不能提取的钾和矿物钾 (K_N - K_A) 也是水稻重要的钾源, 它对不同水稻品种的贡献大小是衡量其吸钾能力的良好指标。

(三) 不同水稻品种对钾肥的反应

选择对钾吸收有差异的三个水稻品种进行田间试验。结果表明, 在不施钾肥时, 协优 46 在三个品种中产量最高, 秀水 48 最低。施用钾肥后三个品种均有不同程度的增产, 其幅度以协优 46 最大, 汕优 6 号次之, 秀水 48 最小。三个品种在各个钾水平下的产量按协

表 7 不同水稻品种对钾肥的反应

Table 7 Yield responses of rice varieties to K application

处 理 Treatment	品 种 Variety	稻谷产量(公斤/亩) Grain yield (kg/mu)	增产(公斤/亩) Yield increase (kg/mu)	增产百分率(%) Yield increment(%)
K ₀	汕优 6 号	301.52		
	协优 46	392.31		
	秀水 48	265.91		
K ₁	汕优 6 号	316.35	14.83	4.92
	协优 46	415.26	22.95	5.82
	秀水 48	278.25	12.34	4.64
K ₂	汕优 6 号	332.60	31.08	10.31
	协优 46	441.30	48.99	12.49
	秀水 48	292.66	26.75	10.06
K ₃	汕优 6 号	337.14	35.62	11.81
	协优 46	447.40	55.09	14.04
	秀水 48	290.30	30.39	11.34

优 46>汕优 6 号>秀水 48 的顺序递减(表 7)。

经统计分析,不同钾水平间的产量达极显著的差异,不同品种间产量的差异及品种与钾水平的交互作用也达到极显著的水平。多重比较的结果表明,三个水稻品种分别在 K_0 、 K_1 、 K_2 和 K_3 下的产量差异达显著水平;三个品种在四个钾水平间的产量差异亦达到极显著水平。

三、讨 论

耐低钾的水稻品种一般具有吸钾能力强和钾素利用效率高两种性状^{15,16}。过去,采用动力学参数 (K_m 、 I_{max} 、 C_{min}) 作为筛选指标³,但方法较为繁琐,而且在测定 C_{min} 时要用 ^{86}Rb 代替 ^{40}K 。一方面 Rb^+ 的吸收特性不一定能完全代表 K^+ 的吸收;另一方面大批样本的筛选也有一定的困难。从本试验结果看,不同水稻品种对 K^+ 的吸收与溶液的 pH 变化呈极显著的正相关。因此,测定吸收液 pH 变化不失为一种筛选吸钾能力强的水稻品种的快速简便的方法。水稻对 1mol/L HNO_3 不能提取的钾和矿物钾 ($K_N - K_A$) 的利用也是表征不同品种吸钾能力的良好指标,它既可作为一种筛选指标,又可解释某些品种在同样低钾土壤条件下能吸收较多的钾且具有较高的干物质积累量的原因。

这种在苗期的筛选鉴定方法是否有生产上的实用价值?根据倪晋山等¹⁾的研究,耐低钾能力具有可变性的仅 10%,大多数品种的耐低钾能力在其一生中都有相对的稳定性,况且前期耐低钾能力弱而后期耐低钾能力强的品种,由于前期受到低钾逆境的胁迫,限制了其营养生长,其生物产量和经济产量往往较低,很少体现耐低钾的潜力。而筛选出的品种辅之于田间试验可剔除前期耐而后期不耐的品种。本试验结果表明协优 46 是苗期筛选出来的耐低钾品种,在田间试验中也具有较高的产量。

在低钾土壤中应用吸钾能力强的水稻品种,就可以节省钾肥的投入,提高土壤钾和钾肥的利用效率。但人们担心这样会造成农田钾素亏缺而影响钾的平衡。研究表明,在不施钾的水田中,连续 8 年种植高产耐低钾品种,土壤全钾含量未见减少,速效钾含量在前三年逐渐降低,以后便相对稳定在 $40mg/kg^2$ 。一般土壤耕层 15cm 内含有 0.5—2.5% 的钾,即每亩耕层土壤中含有钾 750—3750 $kg^{[4]}$ 。在这样丰富的土壤钾中绝大部分是难溶性的,一般植物能够利用的仅属少数,况且水稻还能够利用心层土中的钾。因此,在选用耐低钾品种的同时施用低量钾肥、利用水稻根系开发利用土壤中难溶性钾,一方面不会影响土壤钾的平衡,另一方面就我国目前的经济条件而言对于缓解钾肥的矛盾也是十分有意义的。

参 考 文 献

1. 中国农科院土肥所,1986: 中国化肥区划。中国农业科技出版社。
2. 沈中泉等,1988: 生物钾肥的增产作用及对土壤平衡的影响。土壤学报,第 25 卷 1 期,31—39 页。
3. 倪晋山,1984: 三系杂交稻幼苗 NH_4^+ 、 K^+ 吸收的动力学分析。植物生理学报,第 10 卷 4 期,381—390 页。

1) 倪晋山等,1989: 水稻耐低钾能力鉴定法及耐低钾品种生产推广的效益。(资料)。

2) 倪晋山等,1989: 水稻耐低钾能力鉴定法及耐钾品种生产推广的效益。(资料)。

4. 罗成秀等, 1988: 湖南省土壤钾和钾肥。湖南科学技术出版社。
5. 刘亨官等, 1987: 水稻耐低钾品种(系)鉴定筛选及其吸钾特性的研究。福建省农科院学报, 第2期, 10—17页。
6. Gerloff, G.C. and W.H. Gabelman, 1983: Genetic basis of inorganic plant nutrition. in "Encyclopedia of Plant Physiology" (Lauchli, A. and R.L. Bielecki, ed.) Volume, 15B, Inorganic Plant Nutrition, pp 453—480, Sping-Verlag.
7. Glass, A.D.M., 1981: Varietal differences in potassium uptake by barley. *Plant Physiol.* 65:160—164.
8. Glass, A.D.M. et al, 1981: Correlations between potassium uptake and hydrogen efflux in barley varieties. *Plant Physiol.* 68:451—459.
9. Mengel, K., 1989: Experimental approaches of K⁺ Efficiency in different crop species. in "Methods of K-Research in Plants" pp. 67—76. IPI, Switzerland.
10. Pettersson, S. and P. Jensen, 1983: Variation among species and varieties in uptake and utilization of potassium. *Plant and Soil*, 72: 231—237.

DIFFERENCES OF RICE VARIETIES IN POTASSIUM UPTAKE AND RESPONSE TO POTASSIUM APPLICATION

Lin Xianyong and Sun Xi

(Zhejiang Agricultural University, 310029)

Summary

pH changes and K uptake by nine rice varieties in a solution containing 0.1 mmol/L K₂SO₄ plus 0.2 mmol/L CaSO₄ were measured in the study. Changes of pH and K concentration were strongly correlated over 2 and 4 hours, which could be the basis for the establishment of a rapid and simple method for screening, selecting rice varieties with a high rate of K uptake. Based on the total K uptake by rice in a successive cropping experiment, the greater part of its K requirement was obtained from non-exchangeable sources. Total K uptake by rice varieties was significantly correlated with non-exchangeable potassium and potassium in extractable with 1 mol/L HNO₃ and mineral potassium, which could be used as criteria for screening high potassium-absorbing rice varieties. Yield responses of rice varieties to K application were studied as well.

Key words Rice varieties, Potassium-absorbing power, pH, Non-exchangeable potassium, Potassium in extractable with 1 mol/L HNO₃ and mineral potassium