

钾素营养对水稻根系生长和 养分吸收的影响*

陈 际 型

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文研究了大田和盆栽试验中钾素营养对水稻根系形态、活力及其对养分吸收的影响。试验结果表明: (1) 在氮磷肥的基础上施钾能促进稻根的生长; (2) 土壤供钾潜力、钾肥种类和水稻品种的吸 K 特性均影响根系的生长; (3) 在缺钾的酸性土壤上, 吸钾强的品种, 施钾的促根效应最为明显; (4) 施钾能增加小于 0.2mm 的细根量, 提高稻根的再生能力, 影响 N、P、K、Ca、Mg 等营养元素的吸收及其在地上和地下部分间的分配; (5) 施钾地上部分钾的浓度增加, 氮、磷浓度降低。对缺镁土壤, 植株镁的浓度降低, 根中镁的浓度增加; (6) 土壤供钾潜力对植株地上部分和根的含钙量无明显影响; (7) 在低钾土壤上施钾, 还能提高水稻根系对 α -萘胺的氧化力、亚铁离子的氧化力, 对稻根的活力也有明显的影响。

关键词 钾素营养, 根系的生长, 根系活力

根系是植物的吸收器官, 同时也是一个重要的代谢器官。它的生长好坏, 直接制约了地上部分的生长和产量的高低。但目前国内外有关根系生长与植物营养关系的研究, 可能由于直接观察根困难, 研究资料不多, 特别是钾素营养能否促进根系的生长尚有着相矛盾的结果^[1, 2]。本工作在 N、P 的基础上考察钾素营养对水稻根系的形态、活力及其对养分吸收的影响, 主要结果如下。

1 材料与方 法

1.1 盆栽试验

供试土壤为第四纪红色粘土和湖积物发育的水稻土。土壤代换性钾含量分别为 43 和 78 mg/kg, 缓效性钾为 135 和 304 mg/kg。为便于根土分离采用尼龙网隔根箱进行土培试验。供试水稻品种为吸钾能力不同的中国 91(粳稻), 团结 1 号(籼稻)和汕优 64(杂交籼稻)。在氮、磷基础上设施钾和不施钾两个处理, 重复三次。待生长一段时间后打开隔根箱, 测定根长、根半径和根表面积以及植株养分含量。植株中 N、P、K、Ca、Mg 含量按常规法测定。根长(L)系实际测量所得, 根半径(r)和根系表面积(S)按下式计算:

* 本工作得到国家自然科学基金会的资助。

$$r_0 = \sqrt{\frac{W(\text{g}) \times 1(\text{cm}^3/\text{g})}{\pi \times L(\text{cm})}}$$

$$S_{\text{根}} = 2\pi rL$$

L ——实际测量的根长(cm); r ——根半径(cm); W ——鲜根重(g); π ——常数 3.1416;

S ——根系表面积(cm^2)。

1.2 水稻吸收动力学特性试验

用单一浓度的亏缺曲线法测定^[3]。供试的不同水稻品种在完全营养液中培养 25 天后, 选择均匀的幼苗植株 30 株, 先在蒸馏水中饥饿培养 24 小时, 然后在 5mg/kg K 的 500ml 恒体积溶液中吸收 0—30 小时, 取样测定不同时间时 C_K 浓度的变化。以时间对浓度作图, 分别求得吸 K 动力学特征值, F_{max} , K_m 和 C_{min} 。

1.3 稻根的再生试验

供试水稻品种为杂优 2 号(籼稻), 在施钾和未施钾土壤上栽培一段时间后, 小心拔出洗净根上粘附的土粒, 选择均匀植株数株剪去根, 将无根植株分别置于富钾和缺钾的营养液中培养 14 天后, 观察测量稻根的再生情况。

2 结果与讨论

2.1 钾素营养对水稻根系生长的影响

在 NP 的基础上, 钾素营养与水根系的生长有着极密切的关系(表 1)。

表 1 在供钾潜力不同的土壤上施钾对稻根生长的影响

Table 1 Effect of K application on rice root growth in soils of different K-supplying potentials

土壤 Soil	处理 Treatment	根鲜重(g / pot) F. W. of roots	根总长(m / pot) Total length of roots	根表面积* (cm^2 / pot) Surface area of roots
酸性水稻土	NP	4.63	23.9	372.6
	NPK	19.64	71.5	1328.4
中性水稻土	NP	23.29	72.0	1451.5
	NPK	32.00	73.4	1718.3

* 水稻品种为汕优 64, 肥料量, N 0.14 g/kg, P_2O_5 0.14g/kg, K_2O 0.17g/kg, 以下试验同。

由表可见, 水稻施钾后在供钾潜力不同的土壤上其根重、总根长、根表面积都有不同程度的增加, 尤其在缺 K 的酸性水稻土上鲜根重、总根长和根表面积均增加了 3—4 倍, 而且在酸性水稻土上施钾后植株的根冠比也是增加的(表 2), 这表明施钾促进了地上部分干物质的累积, 增加了光合产物向地下部分的转移, 这更有利于根系的生长。

钾肥的种类对稻根的形态分布也有一定的影响(表 3), 施用硫酸钾与氯化钾相比较时, 硫酸钾更有利于粗根的增长。

在另一个试验中, 我们还观察到施钾能增加半径小于 0.2mm 的细根量(表 4)。考虑到植物对磷的吸收与根毛关系密切, 所以增加细根量显然有利于对磷的吸收。

表 2 施钾对植株根冠比的影响

Table 2 Effect of K application on the root-shoot ratio of plant

土壤	品种	处理	根干重(g)	植株干重(g)	根冠比
Soil	Cultivar	Treatment	D. W. of roots	D. W. of shoots	Root-shoot ratio
酸性水稻土	汕优 64	NP	0.59	2.70	0.22
	团结 1 号		0.53	2.56	0.21
	汕优 64	NPK	2.30	6.73	0.34
	团结 1 号		1.93	6.70	0.29

表 3 钾肥种类对根系形态分布的影响

Table 3 Effect of K fertilizer species on the morphology of rice roots

土壤	处理	地上部分 干重(g)	根总重 (g)	根的形态分布*			
				Morphological characteristics			
				粗根 (条)	粗根重 (g)	细根重(<0.2mm) (g)	其余根重 (g)
Soil	Treatment	D. W. of tops	Total weight of roots	No. of thick roots	D. W. of thick roots	D. W. of thin roots	D. W. of remainder roots
酸性	CK	5.35	2.34	122	0.68	0.39	1.27
水稻土	KCl	8.30	5.04	162	1.08	0.85	3.11
	K ₂ SO ₄	10.61	5.24	214	1.38	0.57	3.29

* 水稻品种为汕优 64

表 4 钾素营养与水稻细根(<0.2mm)生长的关系

Table 4 K nutrition and the growth of thin roots thinner than 0.2mm in diameter

土壤	品种	处理	鲜根重		
			Fresh weight of roots (g / pot)		
			总根重	>0.2 mm 根重	细根重 <0.2mm
Soil	Cultivar	Treatment	Total	>0.2mm roots	<0.2mm roots
中性水稻土	杂优 2 号	NP	28.1	27.6	0.51
		NPK	31.3	29.3	1.98
酸性水稻土	杂优 2 号	NP	24.9	24.6	0.30
		NPK	28.3	24.2	4.14

水稻根系的生长不但与土壤的供钾潜力和钾肥的使用及其种类有关,而且由于水稻品种的吸钾特性不同(表 5),根系的生长也不相同。

由表 5 可见,根据吸钾的动力学参数来判断,吸钾能力最强者为汕优 64,次之为团结 1 号,中国 91 吸 K 能力最弱。所以在低钾土壤上相同的氮、磷水平下,吸钾强的品种根长、根重和根表面积都较大,施钾后稻根的增量也较吸钾弱的品种为大(表 6)。

表 5 不同品种的水稻的吸钾动力学特征

Table 5 The kinetic characteristics of K uptake for different rice cultivars

品种 Cultivar	Fmax ($\times 10^{-12}$ mol / cm ² / sec)	Km ($\times 10^{-5}$ mol / L)	Cmin ($\times 10^{-5}$ mol / L)
汕优 64	4.68	4.60	1.28
团结 1 号	4.58	6.91	4.66
中国 91	2.96	10.50	7.67

表 6 在低钾土壤上不同吸钾特性的水稻对稻根生长的影响

Table 6 Effect of K-absorbing characteristics of rice on the growth of rice roots on soil low in K

土壤 Soil	处理 Treatment	品种 Cultivar	鲜根重 (g / pot) F. W. of root	增加(%) Increment	总根长 (m / pot) Total length of root	增加(%) Increment	根表面积 (cm ² / pot) Surface area of root	增加(%) Increment
酸性 水稻土	NP	中国 91	2.34	100	9.72	100	169.2	100
		团结 1 号	3.23	138	16.87	174	261.7	155
		汕优 64	4.63	198	23.92	246	372.6	220
	NPK	中国 91	7.42	317	29.64	304	525.3	311
		团结 1 号	16.23	694	56.80	584	1096.8	632
		汕优 64	19.64	839	71.53	736	1328.4	785

从稻根的再生试验看(表 7), 水稻根系的生长还与植株体内原有的含钾状况有关。由表 7 可见, 施钾者与对照相比, 缺钾稻株的再生根数增加了 60%, 根长增加了 114%。而富钾植株的再生根数仅增加 17%, 根长增加了 24%。这表明根系的生长尤其是它的发根力依从于植株体内的含 K 量并与钾的吸收之间存在着反馈调节作用。

表 7 钾素营养对稻根再生能力的影响

Table 7 Effect of K nutrition on the regrowth capability of rice roots

植株材料 Plant material	稻根含 K 量 (g / kg) K in the rice root	处理 Treatment	发根数 No. of the regrowth roots	根长度(cm) Root length		根重(mg) Root weight	
				总根长 Total	平均单根长 Average	鲜重 Fresh	干重 Dry
缺钾植株 (剪去根)	11.6	-K	34	115.6	3.4	210	30
		+K	55	253.0	4.6	350	75
富钾植株 (剪去根)	27.1	-K	64	238.6	4.0	880	210
		+K	75	343.6	4.6	940	350

2.2 钾素营养对水稻养分吸收的影响

植物根的重要作用之一，是吸收养分和水分。水稻施钾后对 N、P、K、Ca、Mg 等营养元素的吸收以及地上和地下部分的养分分配都产生了较明显的影响(表 8)。

表 8 钾素营养对水稻植株和根系养分浓度的影响(分蘖盛期)

Table 8 Effect of K nutrition on the nutrient concentrations in the aerial and under-ground parts of rice plants at full tillering stage

品种 Cultivar	土壤 Soil	处理 Treatment	植株养分浓度(g/kg)					根系养分浓度(g/kg)				
			Nutrient concentration in rice plant					Nutrient concentration in roots				
			N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
汕优 64	酸性	NP	43.4	7.4	5.9	3.6	3.0	25.4	4.9	3.2	2.1	0.4
	水稻土	NPK	24.9	5.1	13.0	4.0	1.9	15.7	3.4	3.8	2.4	1.5
	中性	NP	21.4	7.0	5.7	5.0	5.9	10.4	5.2	3.2	5.8	2.4
	水稻土	NPK	18.9	6.9	12.3	5.6	4.9	9.9	4.6	3.8	5.6	3.7

由表可见，施钾后水稻地上部分钾的浓度随钾的吸收通量的增加而增加(表 9)。氮、磷的养分浓度则随干物质的稀释效应普遍降低，而根的 N、P 和 K 含量的这种变化趋势则较不明显。对镁而言，其变化与土壤含镁量有关，酸性水稻土含镁少(代换性 Mg 为 74 mg/kg)，施钾后植株镁的浓度降低但根中镁的浓度反而有所提高，这是由于钾和镁从介质进入根系过程不存在着相互竞争作用之故。中性水稻土含 Mg 较多(代换性 Mg 544mg/kg)导致根系镁的含量增加，提高了镁的运转指数，使地上部分镁的含量不随施钾而明显降低。施 K 一般不影响钙的运输，所以土壤供钾潜力不同对植株体内和根中含钙量无明显的影响。

表 9 施钾对水稻(杂优 2 号)钾吸收通量的影响

Table 9 Effect of K application on the flux of K uptake of rice plants

土壤 Soil	处理 Treatment	K 的吸收通量(F _k) Uptake flux of K × 10 ⁻¹² mol/cm ² /sec	备注 Note
酸性水稻土	NP	0.26	$F_k = \frac{U_2 - U_1}{(t_2 - t_1)} \times \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(S_2 - S_1)}$
	NPK	0.79	
中性水稻土	NP	1.57	式中: t 为采样时间 U 为 K ⁺ 的吸收总量, S 为根的表面积
	NPK	2.42	

2.3 钾素营养对水稻根系活力的影响

稻根处在淹水的强还原条件下，不受还原性物质的毒害而保持其活力，主要是由于水稻根系具有泌氧的机能，故一般以根系对 α-萘胺的氧化或根系脱氢酶的活性来衡量

稻根活力的高低。在低钾土壤上施钾能提高水稻根系对 α -萘胺的氧化能力^[4] 和增加稻根脱氢酶的活性^[5], 说明钾素营养对根系活力也有明显的影响。

在含钾相同的土壤上, 由于不同水稻品种泌氧的差异(表 10), 吸钾强的品种对亚铁离子的氧化能力较强, 在稻根的外表面积聚更多的棕色的 FeOOH 沉淀。

表 10 施钾对土壤溶解氧含量的影响

Table 10 Effect of K application on the content of dissolved oxygen in soil

土壤 Soil	品种 Cultivar	处理 Treatment	溶解氧 Dissolved oxygen
酸性水稻土	汕优 64	NP	5.3
		NPK	6.3
	团结 1 号	NP	4.7
		NPK	5.4

关于水稻根系的泌氧能力, 现在认为是由于水稻根系具有乙醇酸途径, 所以钾素营养的促根泌氧效应与促进根的乙醇酸途径与气腔的形成都有关系。

3 讨 论

至今人们对钾素营养在改变根系生长形态方面的作用的报道还不太一致, 其原因在于根系的发生、生长及发育是受植物激素控制^[6]。而 K 素营养一般只能部分调节植物激素的平衡, 所以有人认为从钾本身的影响来看, 比磷、氮要小些, 但与磷、氮之类的其它养分相配合应该能改善根系的生长^[7]。根据我们多年的试验表明, 在氮、磷肥的基础上施钾, 确能明显影响根的形态与生长。这是由于在氮、磷肥的基础上, 施钾控制了 IAA (吲哚乙酸) 氧化酶的活性, 提高了 IAA 的含量, 促进碳水化合物向根系转运, 从而促进了稻根的生长^[8,9]。

单独施钾不配合氮, 因根部没有足够含氮化合物的存在与光合产物进行同化作用, 抑制了碳水化合物源源流入, 所以钾肥的促根效应不太明显。

当然, 矿质营养的促根效应是一个较复杂的过程, 其机理尚待进一步探讨, 但施钾促根的实际意义是很清楚的。通过钾肥的施用, 促进根系的生长, 改善根际的土壤环境并使植株体内养分较为平衡, 这对我国南方的土壤, 尤其是低、湿、冷、烂的土壤更具有实践意义, 因为在这种水稻土上水稻根系常生长不良, 施钾是一个有利于水稻生长的行之有效的措施。

参 考 文 献

1. Welbank P. J. et al., 1973: Root growth of cereal crops. Am. Rep. Roth. Exp. Sta., 26 — 66.
2. Nye P. H. et al. 1977: Solute movement in the soil-root system. 198 — 202, Black Well Scientific Pub.
3. Niel son N. E. et al., 1978: Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. Agron. J. 70:695 — 698.

4. 陈际型、杜承林、马茂桐, 1982: 水稻钾素营养对土壤氧化还原状况的影响。土壤, 第14卷4期, 140—142页。
5. 周健民, 1989: 秧苗钾素营养在水稻增产中的作用, 土壤肥料, 2, 31—35页。
6. H. 马斯纳著, 曹一平、陆景陵等译, 1991: 高等植物的矿质营养, 258—269页, 北京农业大学出版社。
7. Köpke U., 1989: 土壤结构和钾素的垂直分布以及对作物生长的影响, 中国科学院南京土壤研究所, 国际钾肥研究所(瑞士), 第四次钾素讨论会, 39—52页, 江苏科学出版社。
8. 赵仲仁、黄桂琴、李广仁, 1991: 钾素对离体黄瓜子叶生根及根生长的促进作用, 植物生理学通讯, 27(3): 197—199。
9. Hartt C. E., 1970: Effect of potassium deficiency upon translocation of ^{14}C in detached blades of sugarcane, *Plant physiol*, 45, 183—187。

EFFECT OF K NUTRITION ON RICE ROOT GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE

Chen Jixing

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

Summary

Field and pot experiments were made to study the effect of K nutrition on the morphology, activity and nutrient uptake of rice roots.

Results showed that K application based on N and P fertilization can promote the growth of rice roots. The effect of K on root growth was influenced by a number of factors such as the K-supplying potential, kinds of K fertilizer and the K-absorbing characteristics of different cultivars of rice. The strongly K-absorbing cultivar grown on acid soils deficient in K showed the most beneficial effect of K application on root growth. K fertilization increased the amount of roots thinner than 0.2mm in diameter, enhanced the regrowth capability of rice roots, and encouraged the uptake of nutrients such as N, P, K, Ca and Mg, as well as influenced the nutrient distribution in the aerial and underground parts of the plants. As a result of K application, the K concentration in the aerial part increased while the plant root increased, whereas it was reduced in the aerial part of plants grown on Mg-deficient soils. The K-supplying potential in soil had no marked effect on the Ca content in the aerial part and roots of the plant.

K application on soils low in K can also encourage the rice root to oxidize α -naphthamine and ferrous ion, thus increasing the activity of the root.

Key words K nutrient, Root growth, Activity of rice roots