

低钾胁迫下水稻钾高效基因型 若干生长特性和营养特性的研究

刘建祥, 杨肖娥, 杨玉爱, 吴良欢

(浙江大学环资学院资源科学系, 杭州 310029)

摘要: 采用溶液培养筛选, 结合田间试验, 提出了采用低钾胁迫下水稻体内钾利用效率作为衡量水稻钾利用效率的指标; 探讨了钾高效基因型水稻的若干生长特性和营养特性; 指出低钾胁迫导致水稻生物量减少, 植株生长缓慢, 分蘖能力差, 根系生长受到抑制, 根系吸收的钠增加。水稻钾高效基因型低钾胁迫下仍具有较强的生长势(相对干重、相对株高、相对根长较大), 其地上部钾/钠比值高而根部钾/钠比值较低, 地上部和根部钾/氮吸收量比值较低。

关键词: 低钾胁迫; 水稻钾效率; 生长特性; 营养特性

中图分类号: S512.1; Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2003)02-0190-06

Some agronomic and nutritional characteristics for potassium efficient rice genotypes under low potassium stress

LIU Jian-xiang, YANG Xiao-e, YANG Yu-ai, WU Liang-huan

(College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Using solution cultivation, tested with field experiment, the following paper indicates that the internal potassium use efficiency can judge the rice potassium use efficiency. We investigated some agronomic and nutritional characteristics selected for potassium efficiency in rice, found that the low potassium stress led to decrease in shoot biomass, tillering and root growth, while increase in sodium absorption by root. Under low potassium stress, potassium efficient genotypes had higher growth potential (higher relative dry weight, relative shoot length and relative root length), and higher relative K/Na in shoots and lower in root, and lower relative K/N in shoot and root when compared with the potassium inefficient genotypes.

Key words: low potassium stress; rice potassium efficiency; agronomic characteristics; nutritional characteristics

水稻是我国的主要粮食作物, 其常年种植面积和产量占粮食作物的 30% 和 40%^[1]。钾是植物必需的大量元素之一, 对植物的生长、代谢、酶活性调节和渗透调节起着非常重要的作用^[2~5]。生长期为 115 天的单季水稻生产 $9.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 稻谷约需吸收 K_2O 258 kg ^[6]。随着复种指数的提高和肥料的不平衡施用, 土壤缺钾逐渐成为亚洲(包括中国)水稻产量提高的最重要的限制因子之一。我国耕地土壤普遍缺钾, 现有耕地中大约有 1/4 至 1/3 的土壤缺钾或严重缺钾, 尤其是长江以南的广大地区, 缺钾

问题更为普遍, 刘国栋等在中国水稻所富阳科研基地试验农场调查发现, 大约 90% 的水稻都有不同程度的缺钾症状^[7]。许多研究表明, 水稻的不同基因型在钾的吸收、运转、利用等方面存在显著差异^[8~11], 这为提高钾素利用效率, 缓解我国钾素资源不足提供了一条很好的途径。关于钾营养基因型差异在大豆^[12,13]、西红柿^[14]、玉米^[15]和大麦^[16]上的研究较多, 在水稻上研究得还不够深入。筛选钾高效基因型不仅为培育耐低钾水稻基因型提供有价值的遗传资源, 而且为研究植物对钾的吸收、转运和

收稿日期: 2002-03-04

基金项目: 浙江省自然科学基金青年科技人才培养专项基金(315200)资助。

作者简介: 刘建祥(1975—), 男, 湖南长沙人, 博士研究生, 主要研究领域为植物营养分子遗传与环境生态。

利用的生理过程提供了有价值的研究材料^[17]。

现有的研究资料表明,对于水稻钾营养高效基因型的筛选还没有一致的看法和可靠的指标。水稻的生育期较长,水稻耐低钾胁迫是数量遗传^[13],受环境影响很大,很多苗期的筛选指标对于整个生育期来说往往不太合适,因此,选择合适的苗期筛选指标就显得非常重要。本试验采用低钾条件下水稻体内钾利用效率作为筛选指标,研究水稻钾高效基因型的一些生长和营养特性,旨在为研究水稻耐低钾营养胁迫的生理机制提供基础。

1 材料与方法

1.1 材料

选用对低钾胁迫不同敏感程度的水稻(*Oryza sativa* L.)基因型(1. 浙辐 910; 2. HA-881043; 3. 二九丰; 4. 九农早 1; 5. 81-280; 6. 湘激 161-1; 7. 圭辐 3; 8. 科庆 47; 9. 铜梁火种)进行溶液培养。种子先用 0.5% NaClO 浸泡 5 min,然后用蒸馏水冲洗干净,蒸馏水浸种 2 d 后于培养箱(37℃)催芽 2 d,每种基因型选发芽一致的水稻种子播种于特制的培养盆中,每种基因型设 2 个钾水平,每水平播 18 颗,采用蒸馏水培养到三叶期,间苗至 9 株,改用营养液(国际水稻所配方)^[18]培养。缺钾处理(K1)钾浓度为 5 mg·kg⁻¹,正常处理(K2)钾浓度为 40 mg·kg⁻¹,一周后缺钾处理钾浓度改为 2 mg·kg⁻¹,每 2 d 调节 pH 至 5.0,每周更换一次营养液,七叶期收获。

1.2 方法

植株样品先用蒸馏水冲洗干净,测量每株株高、根长、分蘖数,然后于 110℃杀青 1 h,80℃烘干,称干重,样品磨碎, H₂SO₄/H₂O₂消煮,火焰分光光度计测定样品钾、钠含量^[19], 茚氏比色法测定样品含氮量^[19]。水稻体内钾利用效率(IKUE)= 每株干重/每株吸收的钾,相对干重(RDW)= 低钾胁迫下干重/正常条件下干重;相对株高(RSL)= 低钾胁迫下株高/正常条件下株高;相对根长(RRL)= 低钾胁迫下根长/正常条件下根长;相对钾(或钠或氮)比值= 低钾胁迫下钾含量(或钠含量或氮吸收量)值/正常条件下钾含量(或钠含量或氮吸收量)值。

2 结果与分析

2.1 水稻钾营养基因型差异

水稻三叶期以前主要是种子营养,介质中的钾营养对其生长影响不大。随着时间的推移,这种影响逐渐增强。至五叶期低钾与正常处理的生长差异比较明显,低钾处理比正常处理叶色较浓绿,七叶期低钾处理出现明显的缺钾症状:下位叶发黄,叶尖焦枯,坏死,整个植株呈火烧状,分蘖数减少(表 1)。衡量水稻钾营养效率的指标很多,大部分人偏重于

采用低钾条件下单位吸收的钾产生的干物质或子粒产量^[20~21]。种植在低钾条件下的水稻,体内钾利用效率差异很大(图 1),平均每吸收 1g 钾生产 2.5449±0.1354 g 干物质,钾素利用效率的顺序为:浙辐 910> HA-881043> 二九丰> 九农早 1> 81-280> 湘激 161-1> 圭辐 3> 科庆 47> 铜梁火种。当低钾胁迫解除后,水稻体内钾利用效率明显下降,平均为每吸收 1g 的钾产生 0.5869 g 干物质,这可能与水稻对钾的奢侈吸收和生长的稀释效应有关。说明在相同低钾胁迫下,钾高效基因型比钾低效基因型能更有效利用体内吸收的钾,以维持植株生长和新陈代谢。Graham 认为,营养高效基因型应该是那些在特定缺素土壤上能获得较高产量的基因型^[22]。由于水稻是以收获子粒产量为目标,所以水

表 1 不同条件下各基因型单株平均分蘖数及相对分蘖数
Table 1 Average tillers and relative tillers (RT) for different rice genotype in different treatment

基因型 Genotypes		平均分蘖数 Average tillers			相对分蘖数 RT K1/K2
		K1	K2		
浙辐 910 Zhefu910	d	2.44	2.56		0.9565
HA-881043	bcd	2.67	3.22		0.8276
二九丰 Erjiufeng	bcd	2.67	2.89		0.9231
九农早 1 Jiunongzao 1	b	2.77	3.67		0.7273
81-280	bcd	2.78	2.89		0.9615
湘激 161-1Xiangji161-1	a	3.89	4.11		0.9459
圭辐 3 Guifu 3	bc	3.00	3.33		0.9000
科庆 47 Keqing 47	cd	2.67	2.78		0.9600
铜梁火种 Tonglianghuozhong	bcd	2.89	3.00		0.9630

注:第 1 列后具有不同字母表示不同基因型的差异显著(P<0.05).
Notes: Rice genotypes of the first column followed with different letter means significant at P<0.05.

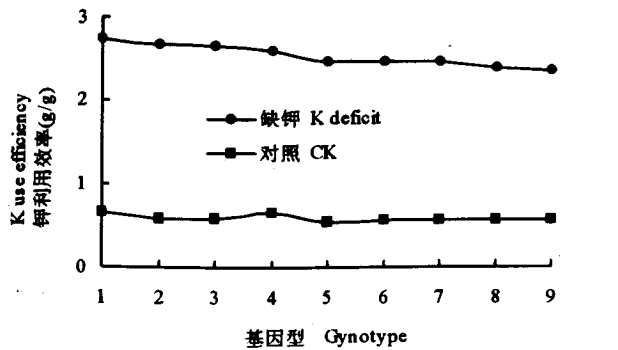


图 1 不同条件下水稻各基因型体内钾利用效率(g/g)
Fig.1 The Effect of K deficit on IKUE of rice genotypes under different conditions

稻钾高效基因型应该是那些在低钾胁迫下单位吸收的钾产生的子粒产量较高的基因型。实践证明,采用钾体内利用效率(IKUE)来衡量水稻钾生理效率是切实可行的。我们的田间试验同样证明水稻体内钾利用效率(子粒产量/吸收的钾)差异显著,溶液培养试验与田间试验的水稻体内钾利用效率的相关性达极显著水平($r = 0.8265^{**}$, $n = 9$)。可见,直接以苗期的体内钾利用效率作为筛选指标,然后进行大田验证是一条筛选水稻钾高效基因型的可行途径。

2.2 水稻钾高效基因型的生长特性

低钾胁迫下水稻的生长受到很大影响,生物量平均减少 26.5%。但不同水稻基因型对低钾胁迫的敏感程度不同,相对干重最大可相差 20.95%。相关分析表明(图 2),低钾胁迫下的体内钾利用效率与地上部、根部的相对干重的相关性分别达极显著或显著水平, r 分别为 0.9177^{**} 、 0.6572^{*} ($n = 9$)。以上说明,钾高效基因型对低钾胁迫的抗性较强,生长受到抑制的程度较轻,故相对干重较大。安林升等认为相对干重可以作为筛选的生理指标^[9],这与我们的研究结果一致。与低磷胁迫不同的是,低钾胁迫抑制根的生长,特别是出现明显的缺钾症状后,缺钾水稻根系生长明显受阻,这在相对干重和

相对根长的数值(表 2)上可以反映出来。低钾胁迫下根系吸收的钾被运往地上部,根系因缺钾而生长受阻甚至坏死。Noguchi 和 Sugawara 的研究也表明,低钾胁迫导致根长、根毛数量减少^[23]。相关分析表明,低钾胁迫下体内钾利用效率与相对株高和相对根长的相关性均达显著水平, r 分别为 0.7215^{*} 、 0.7885^{*} ($n = 9$,图 3)。说明钾高效基因型在低钾胁迫下仍能保持较强的生长势,故相对干重也比较大。

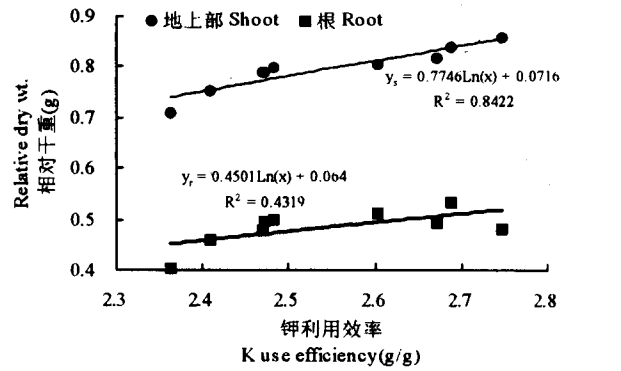


图 2 低钾胁迫下体内钾利用效率与地上部(或根部)相对干重的相关性

Fig. 2 The correlation between internal K use efficiency (IKUE) and relative dry weight (DW) of shoot or root under low K stress

表 2 不同条件下各基因型单株根长、干重及相对根长和相对干重

Table 2 Root length or dry weight and relative root length (RRL) or dry weight (RRDW) per plant for different rice genotypes in different treatments

基因型		根长(cm/plant)		相对根长	基因型		根干重(g/plant)		相对干重
Genotypes		RL		RRL	Genotypes		RDW		RRDW
		K1	K2	K1/K2			K1	K2	K1/K2
浙辐 910 Zhefu 910	a	23.14	27.00	0.8571	浙辐 910 Zhefu 910	bc	0.0422	0.0878	0.4810
HA-881043	b	20.31	24.67	0.8235	HA-881043	bc	0.0444	0.0833	0.5333
二九丰 Erjiufeng	c	19.44	23.75	0.8187	二九丰 Erjiufeng	cd	0.0344	0.0700	0.4921
九农早 1 Jiunongzao 1	c	19.13	24.00	0.7969	九农早 1 Jiunongzao 1	ab	0.0522	0.1022	0.5109
81-280	c	19.63	24.00	0.8177	81-280	ab	0.0511	0.1022	0.5000
湘激 161-1 Xiangji 161-1	d	18.25	22.75	0.8022	湘激 161-1 Xiangji 161-1	a	0.0600	0.1211	0.4954
圭辐 3 Guifu 3	d	18.56	23.38	0.7938	圭辐 3 Guifu 3	cd	0.0356	0.0744	0.4776
科庆 47 Keqing 47	e	17.44	21.81	0.7994	科庆 47 Keqing 47	d	0.0256	0.0556	0.4600
铜梁火种	f	16.57	20.92	0.7923	铜梁火种	bc	0.0400	0.0989	0.4045
Tonglianghuozhong					Tonglianghuozhong				

注:第 1 列和第 5 列中具有不同字母表示不同基因型的差异显著($P<0.05$)。

Notes: Rice genotypes of the first and fifth column followed with differemt letter means significant at $P<0.05$.

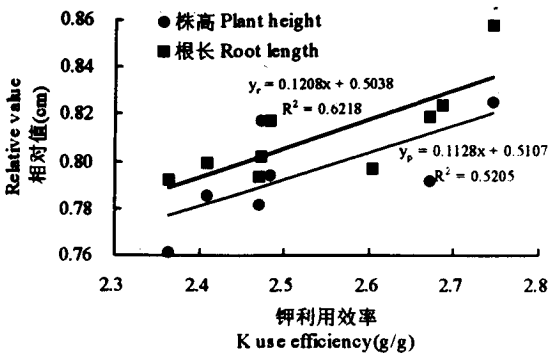


图 3 低钾胁迫下体内钾利用效率与相对株高或相对根长的相关性

Fig. 3 The correlation between internal K use efficiency (IKUE) and relative shoot or root length under low K stress

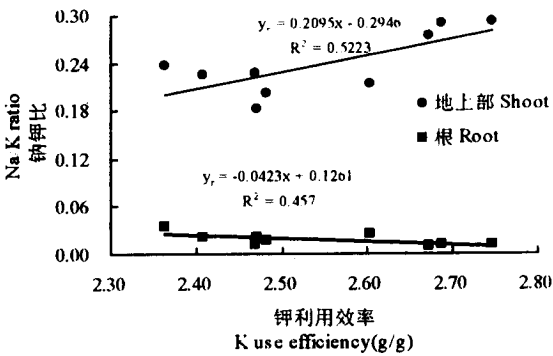


图 4 低钾胁迫下体内钾利用效率与地上部或根部钾/钠含量相对比值的相关性

Fig. 4 The correlation between internal K use efficiency (IKUE) and relative K/Na in shoot or root under low K stress

2.3 水稻钾高效基因型的营养特性

钾的非专一功能之一是细胞的渗透调节。液泡中的钾离子主要起渗透剂的作用^[24],调节细胞水势和膨压,从而调节气孔开闭和植物运动^[25]。钠的化学结构与钾很相似,在很多情况下,钠对钾具有部分替代作用,但其替代能力强弱与环境离子浓度及基因型有关。水稻在缺钾条件下可以吸收较多的钠,以作为补偿和调节。不同水稻基因型对钠的吸收强度不一样,且根部钠浓度比地上部大得多(表 3),但钠吸收量仍以地上部较多。相关分析表明,低钾胁迫下体内钾利用效率与地上部和根部钾/钠相对含量分别呈显著正相关和显著负相关(图 4),*r* 分别为 0.7227* 和 -0.6760* (*n* = 9)。说明钾高效

基因型能较多地吸收钠,以部分地替代钾的非专一功能。但这种替代作用主要发生在根部,钾高效基因型地上部钾/钠相对比值高而根部钾/钠相对比值较低。水稻不同基因型吸收利用氮也存在差异。9 种基因型地上部和根部单株相对吸氮量(K1/K2)平均值分别为 0.8896 ± 0.1360 和 0.3369 ± 0.1074。相关分析表明,低钾胁迫下水稻体内钾利用效率与地上部和根部钾/氮吸收量相对比值分别呈显著和极显著负相关(图 5),*r* 分别为 -0.7448* 和 -0.8190** (*n* = 9)。由此说明钾高效基因型具有较低的钾/氮吸收量比值,在低钾胁迫下仍具有较强的吸氮能力,钾氮互作效率高,因而其相对生物量也较大。

表 3 不同处理各基因型单株地上部和根部钠含量及相对含量

Table 3 Sodium concentration (SC) in shoot and root and relative sodium concentration (RSC) per plant for different rice genotypes in different treatments

基因型 Genotypes	地上部钠含量(%)		相对含量 RSC	根部钠含量(%)		相对含量 RSC
	SC in shoot			SC in root		
	K1	K2		K1/K2	K1	
浙辐 910 Zhefu 910	0.3351	0.4086	0.8200	1.1551	0.0901	12.8218
HA-881043 HA-881043	0.3179	0.4205	0.7561	1.4267	0.1027	13.8867
二九丰 Erjiufeng	0.2849	0.3492	0.8159	1.9097	0.1292	14.7835
九农早 1 Jiunongzao 1	0.4198	0.3351	1.2529	1.1001	0.1721	6.3911
81-280 81-280	0.4350	0.4021	1.0818	1.1642	0.1164	9.9986
湘激 161-1 Xiangji 161-1	0.4503	0.3652	1.2331	1.3060	0.1105	11.8140
圭辐 3 Guifu 3	0.3506	0.3377	1.0380	1.9126	0.1728	11.0704
科庆 47 Keqing 47	0.4482	0.4136	1.0836	0.8197	0.2071	3.9587
铜梁火种 Tonglianghuozhong	0.3481	0.3485	0.9989	1.1350	0.2126	5.3391

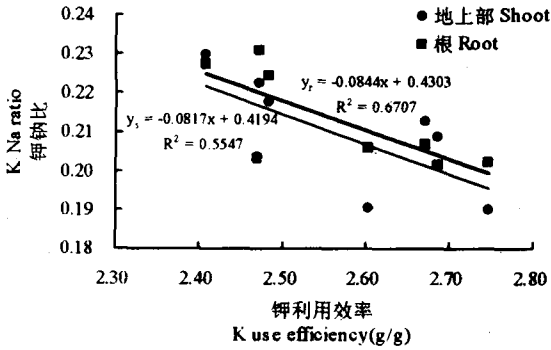


图5 低钾胁迫下体内钾利用效率与地上部或根部钾/氮吸收量相对比值的相关性

Fig. 4 The correlation between internal K use efficiency (IKUE) and relative K/N in shoot or root under low K stress

3 讨论

钾是水稻必需的大量元素之一,水稻吸收的钾主要存在于稻草中,随着复种指数的提高,高产品种的推广以及稻草还田的减少(即使焚烧后还田钾素随水流失也很严重),土壤缺钾越来越严重。传统的做法是不断增施钾肥,但我国可溶性钾矿资源严重缺乏,除青海和新疆罗布泊钾矿资源外,目前在其它地方尚未发现具有开发利用价值的钾矿资源。到1997年底,我国化肥生产量已达2809.04万吨(以纯养分计),其中钾肥21.82万吨,进口钾肥达267.78万吨,花费大量资金^[26]。我国是栽培水稻最早的国家之一,拥有非常丰富的遗传资源。选育耐低钾的水稻基因型(吸收效率高或利用效率高的基因型)具有重要的意义。但简单而又可靠的筛选方法、筛选指标以及对钾高效的生长特性、营养特性、生理特性及遗传特性的深入了解是培育钾高效基因型水稻的必要前提。李共福等^[11]主张在幼苗期通过一定时间的暗处理,让稻株饥饿致死,根据不同基因型稻株死亡速率判别基因型的耐低钾能力,然后在低钾培养液中采用⁸⁶Rb⁺测定K⁺吸收C_{min},用¹⁴C测定呼吸速率,淘汰C_{min}高和呼吸速率大的稻株,最后将入选稻株移植于缺钾大田进行筛选鉴别,但这种方法比较烦琐,且周期较长。刘国栋等^[26]认为,比较水稻吸钾速率基因型差异时采用溶液培养的三叶期苗比较合适,而比较不同基因型钾素利用效率则以五叶期的较好。但水稻三叶期以前主要是种子营养,我们的试验证明,三叶期缺钾处理与对照的差异并不显著,五叶期虽然出现差异,但仍未表现出明显的缺钾症状,故我们认为采用七叶期研究水

稻钾素利用效率较为合适。刘国栋等^[27]指出,溶液培养筛选籼稻和粳稻高效吸钾基因型的合适K⁺浓度为0.2 mmol·L⁻¹,但我们的试验认为筛选钾高效基因型以正常处理40 mg·kg⁻¹ K⁺,缺钾处理前期用5 mg·kg⁻¹ K⁺培养,后期改为2 mg·kg⁻¹ K⁺培养为宜。通过溶液培养试验筛选和田间试验的验证,我们发现用苗期的水稻体内钾利用效率可以比较准确地表征水稻的钾效率,苗期以生物量为依据的利用效率与收获期以产量为依据的利用效率的相关性达极显著水平($r = 0.8265^{**}$, $n = 9$)。低钾胁迫导致水稻生物量减少,植株生长缓慢,分蘖能力差,根系生长受到抑制,根系吸收的钠增加。钾高效水稻基因型适应了低钾胁迫的环境,具有特定的生长与营养特性。水稻钾高效基因型在低钾胁迫下仍具有较强的生长势(相对干重、相对株高、相对根长较大),其地上部钾/钠相对比值高而根部钾/钠相对比值较低,地上部和根部钾/氮相对比值较低。水稻遗传群体中体内钾利用效率存在基因型差异,对我国丰富的水稻遗传资源进行苗期筛选,可以筛选出钾高效利用的基因型,既可以直接应用于农业生产,又可以作为研究钾高效基因型生理生化特性的试验材料,对缓解我国钾素资源不足和提高现有钾素资源的利用效率具有重要的理论与实践意义。

参考文献:

- [1] 马忠玉, 吴永常. 我国水稻品种遗传改进在增产中的贡献分析[J]. 中国水稻科学, 2000, 14 (2): 112-114.
- [2] Lüttge U and Pitman M G. Transport in Plants[M]. Heidelberg: Springer, 1976. Vol. 2A, 2B.
- [3] Glass A D M. Regulation of ion transport[J]. Annu. Rev. Plant Physiol., 1983, 34: 311-326.
- [4] Kochian L V and Lucas W J. Potassium transport in roots[J]. Adv. Bot. Res., 1988, 15: 93-178.
- [5] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. San Diego: Academic Press, 1995.
- [6] De Datta S K and Mikkelsen D S. Potassium nutrition of rice[A]. In: Munson R D (ed.). Potassium in Agriculture[M], American Society of Agronomy, Crop Science Society of American and Soil Science Society of American, Madison, 1985. 666.
- [7] 刘国栋, 刘更另. 论缓解我国钾源短缺问题的新对策[J]. 中国农业科学, 1995, 28 (1): 25-32.
- [8] 刘亨官, 刘振新, 刘放新. 水稻耐低钾品种(系)鉴定筛选及其吸钾特性的研究[J]. 福建省农科院学报, 1987, 2(2): 10-17.
- [9] 安林升, 倪晋山. 耐低钾水稻的钾营养特性[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31 (4): 257-259.
- [10] 谢少平, 倪晋山, 李共福. 耐低钾籼稻幼苗根部的K⁺(⁸⁶Rb⁺)运输和通量分析[J]. 植物生理学报, 1989, 15(4):

- 377-381.
- [11] 李共福, 谢少平. 水稻耐低钾能力及其鉴定研究[J]. 作物研究, 1991, 5 (1): 4-9.
- [12] Sale P W G, Campell L C. Differential response to K deficiency among soybean cultivars[J]. Plant and Soil, 1987, 104: 183-190.
- [13] Shea P E, Gerloff G C and Gabelman W H. Differing efficiencies of potassium utilization in strains of snapbeans, *Phaseolus vulgaris* L[J]. Plant and Soil, 1968, 28: 337-346.
- [14] Gerloff G C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorous and potassium[A]. In: Wright M J (ed.). Plant Adaptation to Mineral Stress[C]. Ithaca: Cornell Univ. Agr. Exp. Sta., 1976. 161-173.
- [15] Baliar V C and Barber S A. Genotype differences of corn in ion uptake[J]. Agron. J., 1970, 71: 870-873.
- [16] Pettersson S and Jensen P. Variation among species and varieties in uptake and utilization of potassium[J]. Plant and Soil, 1983, 72: 231-237.
- [17] Gerloff G C and Gableman W H. Genetic basis of inorganic nutrition[A]. In: Lauchli A and Bielecki R L (eds). Encyclopedia of Plant Physiology, New Series: Inorganic Plant nutrition[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1983. Vol. 15B, 453-480.
- [18] Yoshida S, Forno D A, Cock J H and Gomez K A. Laboratory manual for physiological studies of rice. (The third edition)[M]. Manila: Int. Rice Res. Inst., 1976. 61-64.
- [19] 南京农业大学. 土壤农化分析(第二版)[M]. 北京: 农业出版社, 1994.
- [20] Gableman W H and Gerloff G C. The search for, and interpretation of, genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient[A]. In: Saric Serbian M (ed). Genetic specificity of mineral nutrition in plants[M]. Beograd: Acad. Sci. and Arts., 1982. 301-312.
- [21] Gerloff G C. Intact plant screening for tolerance to nutrient deficiency stress[J]. Plant and Soil, 1987, 99: 3-15.
- [22] Graham R D. Breeding for nutritional characteristics in cereals [A]. In: Tinker P B, Läuchli A (eds). Advances in plant nutrition[M]. New York: Praeger, 1984, 1: 57-102.
- [23] Noguchi Y and Sugawara T. Potassium and japonica rice. Summary of twenty-five years' research[R]. International Potash Institute. Switzerland: Berne., 1966, 27: 783-787.
- [24] Flowers T J, Lauchli A. Sodium versus potassium substitution and compartmentation[A]. In: Lauchli A, Bielecki R L (eds). Encycl. Plant Physiol (new series, Vol 15B)[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1983, 651-689.
- [25] Glass A D M. An introduction to current concepts[A]. In: Glass ADM(ed). Plant Nutrition[M], Jones and Bartlett Publishers Inc., 1989, 84-124.
- [26] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 1997. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [27] 刘国栋, 刘更另. 水稻耐低钾基因型筛选方法的研究[J]. 土壤学报, 1996, 32(2): 113-119.