植物营养与肥料学报 2006,12(3):307-312
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同基因型小麦钾离子吸收动力学分析

赵学强[1,2], 介晓磊[2,4*], 李有田[2], 许仙菊[3], 谭金芳[2], 化党领[2]
(1 中国科学院南京土壤研究所,江苏南京 210008; 2 河南农业大学,河南郑州 450002;
3 中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081; 4 郑州牧业工程高等专科学校,郑州 450011)

摘要: 在日光温室营养液培养条件下,研究了经筛选的不同钾效率基因型小麦在不同钾营养状况下 K^+ 的吸收动力学。结果表明,采用不同钾营养状况小麦 K^+ 吸收动力学参数 Km 和 Imax 对不同基因型小麦钾效率分类,结果与经筛选的不同基因型小麦的钾效率特征相一致,Km 和 Imax 可用来评价和筛选高效吸钾基因型小麦。但不同基因型小麦 Km 和 Imax 在不同钾营养状况下表现规律不相同,Km 和 Imax 值的大小受到小麦本身钾营养状况反馈调节,植物钾营养状况越高,Km 越大,Imax 越小;有的基因型受本身钾营养状况影响较大,有的受其影响较小,但总体上还是相一致的。结果还看出,温 6-986 和周麦 13 是钾高效基因型,予农 015 是钾低效基因型;同一基因型小麦在不同钾营养状况下是以不同机制吸收钾的。

关键词: 小麦; 基因型; 钾离子; 钾营养状况; 动力学分析
中图分类号: S512.1; S143.3　　**文献标识码**: A　　**文章编号**:1008-505X (2006) 03-0307-06

Study on potassium uptake kinetics by different genotype wheat

ZHAO Xue-qiang[1,2], JIE Xiao-lei[2,4*], LI You-tian[2], XU Xian-ju[3], TAN Jin-fang[2], HUA Dang-ling
(*1 Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China; 2 Henan Agric. Univ., Zhengzhou 450002, China;*
3 Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing 100081, China;
4 Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, Zhengzhou, 450011, China)

Abstract: The uptake kinetics parameters play an important role in screening nutrient-efficient genotypes since they could be used to evaluate the ability to uptake nutrient. The potassium uptake kinetics by different genotype under different K nutrition status was studied using greenhouse water culture. The results showed that there was a difference between the dynamic of depletion by different genotype wheat, and the depleting speed of efficient genotype was high while the speed of the inefficient genotype was low. K^+ uptake kinetics parameters Km and Imax could be used to evaluate the differences of low K stress tolerant abilities for different genotype wheat. The results classifying with K^+ uptake kinetics parameters Km and Imax under different K nutrition condition were corresponding with that of different K efficiency wheat screening. However, Km and Imax of different genotype wheat behaved differently under different K status, the value of which was influenced by the nutrition condition of wheat itself. With the increase of K level, the value of Km increased whereas Imax decreased, but some genotypes were influenced relatively largely and the others small, whereas there was still a law generally. W6-986 and ZM13 were potassium-efficient genotypes, and YN 015 was a kind of potassium-inefficient genotype. The same genotype wheat might uptake K^+ with different physiology mechanism under different K nutrition status.
Key words: wheat; genotype; potassium; potassium nutrition condition; kinetics study

50 年代初,Epstein 等首先将酶促反应动力学方程应用于植物对离子吸收的研究,从而开创了植物吸收养分动力学研究的先河[1]。该方程中的 Imax 和 Km 可定量地描述植物吸收养分的特征,为比较

收稿日期: 2005-02-03　　**修改稿收到日期**: 2005-05-11
基金项目: "九五"国家重中之重科技攻关项目(95-001-01-03)资助。
作者简介: 赵学强(1977—),男,河南汤阴人,博士研究生,主要从事植物营养遗传研究。* 通讯作者

品种间养分吸收特征提供了量化指标，可用来评价品种之间耐瘠能力，因此受到重视。许多研究者运用动力学方程对离子吸收过程进行了研究，但这些研究大都集中在对单一作物[2]或者对未知钾效率的不同作物或品种[3-5]的 K^+ 吸收动力学研究。1995年 Hull 等[6]对不同牧草品种 K^+ 吸收动力学参数进行了较为系统研究；邹春琴等[7]对经筛选的不同钾效率小麦 K^+ 吸收动力学参数也进行了深入研究。然而，在一些研究中发现，对供试品种进行耐土壤贫瘠能力排序，往往存在不一致的现象。在自然界存在多种钾水平的土壤，而以往的研究大都集中在对单一钾水平下作物 K^+ 吸收动力学参数的研究。在同一钾水平下得出的动力学参数对不同作物进行营养效率研究是否能够真正反映作物的耐瘠能力；钾营养状况对作物 K^+ 的动力学吸收影响大小是否一样；不同钾水平下作物是否以同一机制吸钾都是本项研究要解决的问题。本试验采用溶液培养，设计了4个钾水平，对不同基因型小麦的 K^+ 吸收动力学进行了较为系统研究，以揭示不同钾水平下 K^+ 吸收动力学参数与小麦钾效率的关系、钾营养状况对不同基因型小麦 K^+ 吸收的影响以及不同钾水平下小麦 K^+ 吸收机制，为钾高效基因型小麦的准确筛选和钾肥的合理施用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选用从53份材料经网室盆栽和田间试验根据产量和对钾的反应初步筛选出来的钾效率不同的8个小麦品种，这些品种基本上代表了钾营养效率的主要类型，能反映对钾吸收利用的不同特征。其中温6-986、周麦13、新9、百农64属于钾高效基因型(即在低钾条件下具有高的产量和高的钾利用效率)，温10、高优503属于钾反应中间型基因型，远丰898、予农015属于钾低效基因型[8]。

种子经消毒灭菌后，在室温下浸种24 h，露白的种子用清水冲洗后在经高压消毒灭菌的石英砂中催芽，当生长到7 cm左右时，将石英砂用清水冲洗掉，去掉胚乳，然后转移到pH 6.5的营养液中培养。缺钾营养液的组成采用邹春琴等[9]的方法。试验设4个钾水平，K^+ 浓度分别为0.01、0.20、1.00和2.00 mmol/L。植物所需要的钾用 K_2SO_4 提供。试验用容积为2L的培养盆，每盆营养液中移入24株苗，3 d更换一次营养液，每天调pH到6.5，营养液用泵每天通气12 h。整个试验在日光温室进行，生长至60 d时收获测定分析。

1.2 测定项目与分析方法

测定 K^+ 吸收动力学参数之前，先在缺钾营养液中饥饿48 h后，取12株生长一致的幼苗用0.2 mmol/L $CaSO_4$ 溶液浸洗3次，吸干水分后放入含100 mL吸收液的黑色三角瓶中。吸收液的组成为：KCl 0.2 mmol/L + $CaSO_4$ 0.2 mmol/L，培养温度为(25±2)℃，于不同的时间间隔取样，每次取1 mL吸收液，同时加入1 mL蒸馏水以维持吸收液的体积；并且每次取样加水后对三角瓶称重，用来扣除植物蒸发的量，以计算植物吸收的量，直到吸收液中 K^+ 浓度接近零。整个吸收试验中用通气泵对吸收液保持通气。钾的分析采用火焰光度计法。K^+ 吸收动力学参数的求得主要根据蒋廷惠等[1]的方法，求出 K^+ 吸收动力学参数 Km 和 Imax。Km 是根系对离子的亲和力常数，Imax 是 K^+ 最大吸收速率。

2 结果和分析

2.1 不同基因型小麦 K^+ 吸收动力学参数比较

不同钾营养状况下不同基因型小麦 K^+ 吸收动力学参数 Km 和 Imax(表1)看出，不同基因型小麦在不同钾营养状况下动力学参数变化较大，有的品种变化非常大，如高优503 Km 值在 K^+ 浓度为0.01 mmol/L时，排列序号为7，而在0.20 mmol/L时，序号为1；远丰898在1.00 mmol/L Km 值序号为8，而在2.00 mmol/L序号为1。Imax 值也有这种情况，但没有 Km 值变化明显，有的品种参数值很稳定。如予农015 Imax 值在4个钾水平下序号都是8；周麦13和温6-986也较稳定。从变异系数来看，随着钾浓度升高，不同基因型小麦动力学参数 Km 和 Imax 差异总体趋势是增大，但不同钾水平之间的变化幅度相差很大。Km 值从0.01到0.20 mmol/L升高11.45，从0.20到1.00 mmol/L升高41.06，从1.00到2.00 mmol/L升高90.92；Imax 值从0.01到0.20 mmol/L降低3.5，从0.20到1.00 mmol/L升高47.37，从1.00到2.00 mmol/L升高6.48。可见从0.20到1.00 mmol/L Km 和 Imax 变化幅度都较大，说明在 K^+ 0.20 mmol/L和1.00 mmol/L之间小麦对钾的吸收机制发生了变化，可能存在一种过渡状态。

表 1　不同钾营养状况的不同基因型小麦 K^+ 吸收动力学参数比较

Table 1　Differences in kinetics parameters of K^+ by different genotype wheat of different K^+ nutrition status

品种 Varieties	K^+浓度 K^+ Concentration (mmol /L)							
	0.01		0.20		1.00		2.00	
	Km	Imax	Km	Imax	Km	Imax	Km	Imax
高优 503 GY503	1.84(7)	3.15 (1)	2.21(1)	2.51 (3)	2.58(3)	2.64 (3)	27.63(2)	0.52 (5)
远丰 898 YF898	2.06(2)	3.01 (4)	1.38(7)	2.18 (7)	1.1(8)	3.16 (1)	37.38(1)	0.46 (6)
百农 64 BN64	1.75(8)	2.36 (7)	1.64(3)	2.31 (6)	2.62(2)	1.25 (5)	-4.45(7)	0.67 (3)
周麦 13 ZM13	1.86(6)	2.90 (5)	1.42(6)	2.45 (4)	1.33(7)	1.26 (4)	3.99(5)	1.48 (1)
温 10 W10	2.06(2)	2.73 (6)	2.00(2)	2.40 (5)	1.87(5)	1.12 (7)	17.05(3)	0.41 (7)
温 6-986 W6-986	1.96(5)	3.14 (2)	1.36(8)	2.65 (1)	1.80(6)	2.78 (2)	0.8(6)	0.67 (3)
新 9 X9	1.98(4)	3.14 (2)	1.63(4)	2.55 (2)	2.11(4)	1.19 (6)	-8.9(8)	0.72 (2)
予农 015 YN015	2.21(1)	2.35 (8)	1.48(5)	2.05 (8)	5.67(1)	0.52 (8)	11.41(4)	0.13 (8)
均值 Mean	1.97	2.85	1.64	2.39	2.39	1.74	10.61	0.63
标准差 SD	0.15	0.34	0.31	0.19	1.43	0.97	16.02	0.39
变异系数 CV%	7.48	11.82	18.93	8.32	59.99	55.69	150.91	62.17

注:Km 单位(K mg/L),Imax 单位 [K 10^{-3}mg/(g·min),FW];括号中的数字是根据它们的数值大小的排序号。

Note: Km(K mg/L), Imax [K 10^{-3}mg/(g·min), FW]; The number in brackets was the rank according the value of Km and Imax.

Imax 及 Km 可以作为基因型适应土壤中营养条件的适应水平的有用指标。Cacco 等[4]假设在吸收过程中这两个动力学参数的 4 种情况:Ⅰ. 高 Imax 和低 Km,这类植物能适应广泛范围的营养条件;Ⅱ. 高 Imax 和高 Km 的基因型适应于高浓度的养分条件;Ⅲ. 低 Imax 和低 Km 则比较适合低的养分情况;Ⅳ. 低 Imax 和高 Km 的植物在任何浓度条件下都是不利的。由于动力学参数在 4 个钾浓度下的表现的复杂性,采用上述方法,根据表 1,把 8 个小麦基因型分成 4 类(表 2)。划分依据是高于平均值的为高,低于平均值的为低。表 2 表明,8 个基因型小麦的 K^+ 吸收动力学参数按照 4 个钾营养水平分别进行钾效率分类得到的结果不太一致,但从 4 个钾水平全面考虑,得到的结果与筛选出的 8 个基因型小麦钾营养效率是相一致的。温 6-986 和周麦 13 在 4 个钾水平下分类的结果比较一致,都属于Ⅰ类;说明两者是能适应广泛范围营养条件的基因型,这和这两个小麦品种的筛选营养性状十分一致。这两种基因型小麦都是钾高效基因型小麦,可以作为很好的遗传育种材料。

予农 015 在 4 个钾水平下分类的结果也比较一致,都属于Ⅳ类。是一种在任何浓度条件下都不利的基因型,这也是和这个小麦品种的筛选营养性状相一致的,这种基因型属于应该淘汰的基因型。从这 3 个小麦品种的动力学参数筛选结果可以看出,小麦的钾营养效率是受作物本身基因型控制并且可以遗传的。它们的钾高效和钾低效营养性状得到进一步的证实,说明了 K^+ 吸收动力学参数 Km 和 Imax 可用来评价品种之间耐瘠能力,是进行筛选高效吸钾基因型小麦的较好指标。

表 2　不同基因型小麦钾效率分类结果

Table 2　Results of K efficiency of different genotype wheat classified

类别 Type	K^+浓度 K^+ concentration(mmol /L)				平均 Average
	0.01	0.20	1.00	2.00	
Ⅰ	W6-986 ZM13 GY503	W6-986 ZM13 X9	W6-986 YF898	W6-986 ZM13 BN64 X9	W6-986 ZM13
Ⅱ	X9 YF898	GY503 W10	GY503	—	GY503 YF898
Ⅲ	BN64	YF898 YN015	ZM13 W10	—	X9 BN64
Ⅳ	YN015 W10	BN64	YN015 BN54	YN015 GY503 YF898 W10	YN015 W10

注(Note):Ⅰ. 高 Vmax 和低 Km High Vmax and low Km;Ⅱ. 高 Vmax 和高 Km High Vmax and high Km;Ⅲ. 低 Vmax 和低 Km Low Vmax and low Km;Ⅳ. 低 Vmax 和高 Km Low Vmax and high Km. GY503—高优 503 Gaoyou 503;YF898—远丰 898 Yuanfeng898;BN64—百农 64 Bainong;ZM13—周麦 13 Zhoumai 13;W10—温 10 Wen 10;W6-986—温 6-986 Wen 6-986;X9—新 9 Xin 9;YN015—予农 015 Yuong 015,下同 same as follows.

表2还看出，除温6－986、周麦13和予农015表现规律较一致外，其他5个品种动力学参数分类结果表现并不一致，但还是有规律的。如新9属于I、II和III类，从来没有分布在IV类中，并且主要属于I类，说明新9对广泛范围的营养条件是有一定适应能力的，只是它的钾营养效率受其体内钾营养状况影响较大，当其体内养分状况改变时，它不能做出快速反应。因此，新9也是一种钾高效品种，只是它的适应能力低于温6-986和周麦13。百农64在I类中出现1次，在III和IV中出现2次，而在II中没有出现，变化较大，说明它在体内钾营养状况比较高时能适应广泛范围营养条件，但在钾营养状况低时主要是适合低的养分状况，甚至什么条件都不能够适应，受其体内的营养状况影响很大，钾营养效率低于新9。高优503主要属于II类，表明高优503是不能适应广泛范围营养条件的基因型，但其比较适合高养分的营养条件，是一种中间型基因型。温10主要分布在II、III和IV类中，而且是主要分布在IV类，而从来也没有出现在I类中，说明它在其体内养分状况较高时能适应低养分的，但它却不能适应广泛范围的养分条件，这在某种程度上对于目前的土壤缺钾状况是有益的。因此，温10也是一种中间型基因型。远丰898在I、II、III和IV中都出现了，说明它是一种受其体内钾营养条件影响很大的基因型，表现很不一致，其体内养分状况只要改变，对养分的吸收能力也改变。不同基因型小麦随着体内钾营养状况的改变来适应不同的外界条件。

2.2 钾营养状况对 K^+ 吸收动力学参数的影响

2.2.1 不同基因型小麦动力学参数随钾营养水平变化差异 不同基因型小麦动力学参数随钾营养水平变化(图1)看出，在0.01、0.20和2.00 mmol/L钾水平下，8个基因型小麦之间Imax值差异不大；但在1.00 mmol/L钾水平下8个基因型小麦之间Imax值相差较大。远丰898、温6-986和新9 Imax值急剧升高，而其他品种Imax值急剧下降。说明在1.00 mmol/L钾水平以上，不同基因型小麦吸钾机理可能发生了变化。另外也同样可以看出，温6-986、周麦13和新9在4个钾水平都处于较高位置，是钾高效品种，而予农015却始终处于最低位置，其他4个品种没有明显的变化趋势，波动较大。图1还看出，在0.01、0.20和1.00 mmol/L钾水平，8个基因型小麦之间Km值相差不大，而在2.00 mmol/L钾水平下，8个基因型小麦之间发生了很大的变化，远丰898、高优503、温10和予农015急剧上升，而新9和百农64急剧下降；周麦13和温6－986变化不大。说明周麦13和温6－986的确是一种较稳定的钾高效品种，能适应较广范围的营养条件，而新9和百农64虽也是钾高效基因型，但不如温6-986和周麦13，因为新9和百农64的Km值变化较大，受到环境条件的影响较大，适应的营养范围不如温6-986和周麦13广泛。

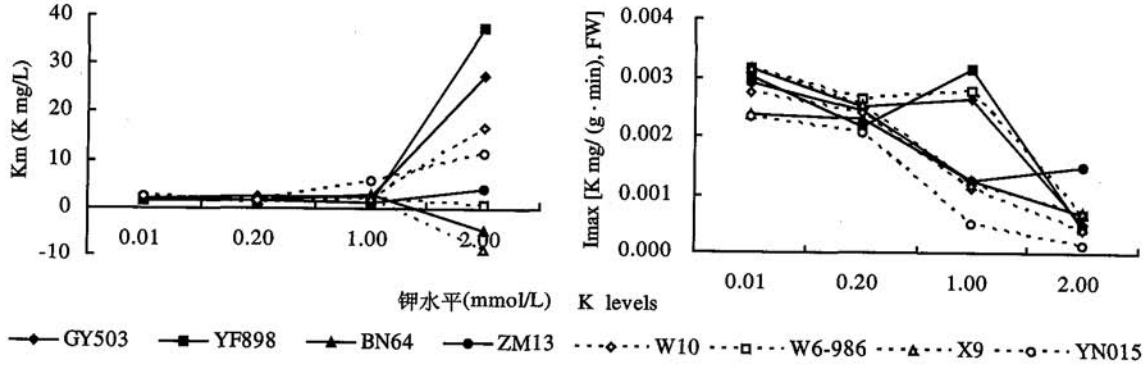

图1 不同基因型小麦动力学参数随钾营养水平变化差异

Fig.1 Changing variations for kinetics parameters of wheat genotypes with K nutrition levels

2.2.2 不同钾营养水平下小麦 K^+ 吸收动力学参数总体变化 不同钾营养水平下小麦 K^+ 吸收动力学参数总体变化趋势见图2。图2表明，随着小麦钾营养状况的升高，小麦Km值变化趋势总体是升高的，也就是亲和力下降。这说明小麦本身钾营养状况的升高降低了小麦对钾的亲合力。但在0.01、0.20和1.00 mmol/L钾水平之间，Km值相差不大，而从1.00 mmol/L钾水平到2.00 mmol/L钾水平，Km值却急剧升高，差异显著。图2也可以看出，随着小麦钾营养状况升高，小麦 K^+ 吸收动力学参数

Imax下降，也就是吸钾速率下降。这表明小麦本身钾营养状况的升高限制了小麦对钾的吸收。但是Imax值在不同钾水平间下降幅度不一样，在 0.01、0.20 和 1.00 mmol/L 之间下降幅度较小，分别为 0.0004 和 0.0007，而在 1.00 和 2.00 mmol/L 下降幅度为 0.0011，几乎是前两者的 2 倍。上述分析说明小麦对 K^+ 的吸收在不同的营养条件下是以不同机制吸收的，特别是可能在 1.00 mmol/L 钾水平到 2.00 mmol/L 钾水平之间存在一种过渡状态，在这种状态以前作物是以一种机理吸钾，在这种状态以后是以另外一种机理吸钾。

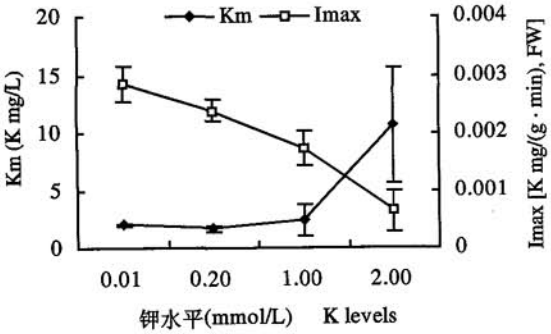

图 2　钾营养状况对小麦动力学参数的影响

Fig.2　Influence of K nutrition condition on the kinetics parameters of wheat

3　讨论

植物对养分的吸收受到多方面因素的影响，如外界环境（光照、水分、pH 值、通气和肥料种类等）和本身基因型的影响，而不同基因型作物对养分吸收和利用效率之间的差异则主要是受作物本身基因型特性（根系形态学和生理学特征）影响。本项研究中的品种主要是根据筛选出来的不同钾效率的小麦品种在吸收动力学上的差异，来判断这些品种是否也有根系吸收高效方面的原因。由 K^+ 耗竭曲线计算出的动力学参数分类的结果在 4 个钾水平下有的基因型表现一致，有的基因型表现不一致。从表面上来看，用动力学分析来研究不同基因型小麦的钾营养特性是不太完善的，而且需要应用其他的根系形态和生理研究相结合，才能反映植物对钾的吸收效率和耐低钾能力的大小[9]。但是从深层次分析一下，小麦对钾的吸收受到本身基因型的决定，但是其表现型却要受到许多因素的影响。正是动力学参数排序的多样性才反映了自然界作物品种钾营养效率的多样性，有的敏感，有的不敏感，有的高效，有的低效，有的属于中间型。本试验动力学参数排序的不一致性正好说明了这一点。在本试验条件下，有的品种钾营养效率和以前筛选结果相一致，这证明了作物的钾营养效率是受作物本身的基因型决定的而且是可以遗传的；有的品种在 4 个钾水平下钾效率表现不太一致，这种不一致性说明了小麦钾营养效率是受多基因控制的。钾效率是一种数量遗传性状，钾的吸收受到多因素的影响特别是其体内钾营养状况的影响，但不同基因型小麦钾效率受体内钾营养状况的影响大小不一样，有的表现明显，有的表现不明显。

本试验的研究结果也表明，采用多层次的钾营养水平对不同基因型钾效率进行研究比采用一个钾水平研究更能反映钾的营养效率，更能够反映实际，比采用一个钾水平分类更准确。K^+ 吸收动力学参数可作为筛选钾高效基因型小麦的较好指标，可用来评价品种之间耐瘠能力的差别。

植物对低浓度 K^+（< 1mmol/L）的吸收以主动吸收为主，主动吸收通过载体蛋白来完成，这种吸收机制称为高亲和吸收。高亲和吸收服从简单的 Michaelis－Menten 动力学方程。植物在高浓度 K^+（1～50 mmol/L）时的吸收属 K^+ 低亲合吸收，主要通过 K^+ 通道完成[9]。以往这方面研究集中在对同一营养状况植物对不同浓度 K^+ 的吸收，本试验研究了不同营养状况小麦对同一浓度 K^+ 的吸收，结果发现，不同钾营养状况小麦对 K^+ 也可能是以不同机制吸收的，特别在 K^+ 浓度为 1.00 mmol/L 以上时，小麦对 K^+ 的吸收机制可能发生了改变。这一结论在实际中可能更有意义，因为自然界存在不同钾水平的土壤。在不同钾水平土壤上生长的植物是通过什么样的方式吸钾是一个值得探讨的问题。本试验研究了不同基因型小麦 4 个钾水平下 K^+ 的吸收，得出了不同钾营养状况小麦对 K^+ 可能存在不同的吸收机制，这对合理施用钾肥是有一定指导意义的。要想更清楚了解不同营养状况的小麦对 K^+ 吸收机制的差异，尚需要多设计几个钾水平进一步系统研究。

参 考 文 献：

[1]　蒋廷惠，郑绍建，石锦芹，等．植物吸收养分动力学研究中的几个问题[J]．植物营养与肥料学报，1995，1(2)：11-17.
Jiang T H, Zheng S J, Shi J Q *et al*. Several considerations in kinetic research on nutrients uptake by plants [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1995, 1(2): 11-17.

[2] 彭克勤,胡笃敬.空心莲子草 K^+ 吸收的动力学研究[J].植物生理学报,1986,12(2):187-193.

Peng K Q, Hu D J. A kinetic study of potassium uptake by *Alternanthera Philoxeroides* (Mart.) Griseb [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1986, 12(2): 187-193.

[3] 倪晋山,安林昇.三系杂交水稻幼苗 NH_4^+、K^+ 吸收动力学分析[J].植物生理学报,1984,10(4):381-389.

Ni J S, An L S. Kinetic analysis of NH_4^+ and K^+ uptake in seedlings of hybrid rice [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1984,10(4): 381-389.

[4] 倪晋山.小麦吸收、累积硝酸根的品种间差异[J].植物生理学报,1982,8(3):307-315.

Ni J S. Varietal differences in nitrate uptake and accumulation by wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1982, 8(3): 307-315.

[5] 魏朝富,谢德体,郭碧花,等.酸性水稻土上水稻对硅、钾、钙、镁的吸收及其动力学研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):452-457.

Wei C F, Xie D T, Guo B H *et al*. Study on uptake of Si, K, Ca, Mg by rice and its dynamics in acid paddy soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(4): 452-457.

[6] Hull R I, Duff D T. Comparing cultivars of three cool-season turfgrasses for potassium uptake kinetics and potassium recovery in the field [J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18(3): 467-485.

[7] 邹春琴,李振声,李继云.小麦对钾高效吸收的根系形态学和生理学特征[J].植物营养与肥料学报,2001,7(1):36-43.

Zou C Q, Li Z S, Li J Y. Study on difference in morpholofical and physiological characters of wheat varieties to potassium[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(1):36-43.

[8] 李见云,王宜伦,介晓磊,等.不同小麦品种钾素积累差异及其对钾肥施用的产量效应[J].河南农业大学学报,2002,36(2):125-128.

Li J Y, Wang Y L, Jie X L *et al*. Differences in potassium accumulation among different wheat varieties and response to potassium application [J]. J. of Henan Agric. Univ., 2002, 36 (2): 125-128.

[9] 吴平,印莉萍,张立平.植物营养分子生理学[M].北京:科学出版社,2001.164-165.

Wu P, Yin L P, Zhang L P. Plant Nutritional Molecular Physiology [M]. Beijing: Science Press, 2001. 164-165.