

不同基因型水稻磷营养的差异性研究

李莉梅,郭荣发,郭智娟

(广东海洋大学 农学院,广东 湛江 524088)

[摘要] 为了筛选磷高效基因型水稻种质,以14个不同基因型水稻为供试材料,对低磷和正常供磷处理下水稻分蘖期的生物学性状、磷的吸收利用效率、成熟期产量及其产量构成因素的差异进行了研究。结果表明,低磷胁迫明显影响水稻的生长,分蘖期的株高、分蘖数、干物质质量、磷吸收效率、单株产量分别低于正常供磷处理5.9~14.5 cm,4.5~14.8,2.15~7.53 g/株,5.35~14.46 mg/株,0.5~13.4 g,而根冠比和磷利用效率分别高于正常供磷处理0.01~0.08,133.8~416.4 g/g,且不同基因型水稻间差异显著。说明筛选具有较高磷吸收利用效率和较高产量的水稻种质是可行的。

[关键词] 水稻;磷营养;吸收效率;利用效率

[中图分类号] S511.01

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)11-0075-05

Studies on differences in phosphorus nutrition of rice genotypes

LI Li-mei, GUO Rong-fa, GUO Zhi-juan

(College of Agronomy, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

Abstract: Under the low P and normal P supply, fourteen rice genotypes were selected to study the differences in biological characters, P uptake and utilization efficiency at tillering stage, together with the grain yield and the yield components at maturity in order to screen rice genotypes with higher P efficiency. Results showed that there were significant genotypic differences in shoot height, tillers, dry weigh, P uptake efficiency, P utilization efficiency and rice grain yield under low P supply. Compared with normal P supply, shoot height, tillers, dry weigh, P uptake efficiency and rice grain yield decreased by 5.9 - 14.5 cm, 4.5 - 14.8, 2.15 - 7.53 g/plant, 5.35 - 14.46 mg/plant, 0.5 - 13.4 g, respectively, but ratio of root to shoot and P utilization efficiency increased by 0.01 - 0.08 and 133.8 - 416.4 g/g under low P supply, respectively, which indicated that screening rice genotypes with higher P uptake utilization efficiency and higher grain yield was feasible.

Key words: rice; P nutrition; uptake efficiency; utilization efficiency

磷是植物生长发育和产量形成过程中不可缺少的大量元素之一。但世界上大部分农业土壤严重缺磷^[1-3],我国也有2/3的耕地缺磷^[4]。土壤中磷素不足已成为作物产量提高的主要限制因素之一^[5-6]。施用磷肥是解决土壤缺磷的有效途径,但磷酸盐在土壤中,特别是在我国南方酸性红壤中易被固定,造

成磷肥利用率低下。因此,研究作物高效吸收、运输和利用土壤磷的遗传及其生理生化机制,挖掘利用磷高效植物的基因资源,完善磷高效作物育种技术,已引起研究者的广泛关注。据报道,不同基因型水稻在磷吸收、转运和利用效率等方面存在显著差异^[7-9]。因此,筛选和培育耐低磷基因型水稻是缓解

† 收稿日期: 2006-10-13

[基金项目] 广东省“十五”重大科技专项(2002A2040902)

[作者简介] 李莉梅(1980-),女,河南周口人,在读硕士,主要从事植物营养遗传研究。E-mail: lilimeinh@yahoo.com.cn

[通讯作者] 郭荣发(1956-),男,广东湛江人,教授,主要从事植物营养研究。

磷矿资源缺乏,提高磷肥利用率的一条便捷途径。近年来,人们对耐低磷基因型水稻的筛选,主要采用溶液培养方法进行苗期筛选研究,而采用盆栽试验并结合成熟期籽粒产量研究的报道较少。耐低磷水稻种质资源筛选既要保证种质具有耐低磷基因,又要具有较高的籽粒产量。盆栽试验是矿质营养基因型筛选最理想、最可靠的方法^[10-11]。本研究采用盆栽试验,研究了不同基因型水稻分蘖期和成熟期磷素营养的差异,以期为水稻种质磷素营养特性的评价及水稻磷高效新品种的筛选提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻品种:粤香占、黄绿占、培杂双七、培杂茂三、培杂山青、特优 524、两优培九、优优 128、屈优 418、辽优 1025、辽优 2005、山青 11、春花 306、沃港,均由广东海洋大学水稻育种研究室提供。

供试土壤:试验所用的砖红壤采自广东海洋大学试验农场,土壤含有机质 14.6 g/kg,全氮 0.92 g/kg,碱解氮 88.62 mg/kg,全磷 0.49 g/kg,速效磷 7.76 mg/kg,速效钾 91.2 mg/kg,pH 5.53。土样自然风干,磨碎,过 4 mm 孔径的筛。

1.2 试验设计

1.2.1 试验处理 试验在广东海洋大学网室进行,每个基因型水稻设低磷 P₀(不施磷)和正常供磷 P₁(施磷)两个处理,5 次重复。每盆装土 9 kg,播前施尿素(含 N 46%)3.6 g/盆、氯化钾(含 K₂O 60%)2.75 g/盆,施磷处理施用过磷酸钙(含 P₂O₅ 14%)

8.84 g/盆。种子用 10% H₂O₂ 消毒,催芽后直播于盆中,出苗后每盆定苗 4 株。

1.2.2 测定方法 2006-04-06 播种,05-08(分蘖期)每盆取 1 株,洗净,观测分蘖数、株高,分地上部分和地下部分烘干,称质量,计算干物质量和根冠比。将地上部分磨细,过 0.3 mm 孔径的筛,采用钼钒黄法测定磷含量,计算磷吸收利用效率。各供试品种以抽出 50%的穗为标准记载抽穗期,成熟后每盆取 2 株,测定穗长、有效穗数、单株产量、结实率、千粒重和生物量。干物质量=地上部干物质量+地下部干物质量;根冠比=地上部干物质量/地下部干物质量;磷吸收效率=地上部干物质量×磷含量;磷利用效率=地上部干物质量/地上部磷积累量=1/磷含量;正常供磷处理抽穗期记为 0,低磷处理较正常供磷处理抽穗期提前的天数记为负数,延迟的天数记为正数;生物量=成熟期地上部干物质量。为消除品种个体间差异,品种间相互比较用相对值,同一品种不同处理间比较用绝对值。相对值计算方法为:性状相对值=某品种低磷状态下性状值/同品种正常供磷状态下同一性状值,包括相对株高、相对分蘖数、相对干物质量、相对根冠比、磷相对吸收效率、磷相对利用效率、相对有效穗数、相对单株产量、相对结实率和相对生物量。

2 结果与分析

2.1 磷对分蘖期水稻生物学性状的影响

2.1.1 对分蘖期水稻株高和分蘖数的影响 磷对分蘖期水稻株高和分蘖数的影响见表 1。

表 1 磷对不同基因型水稻株高和分蘖数的影响

Table 1 Shoot height and tillers of different rice genotypes under phosphorus treatments

品种 Variety	株高/cm Shoot height		分蘖数 Tillers		相对株高 Relative shoot height	相对分蘖数 Relative tiller
	P ₀	P ₁	P ₀	P ₁		
粤香占 Yuexiangzhan	53.8	59.7	11.5 **	26.3	0.90 a	0.44 c
黄绿占 Huangluzhan	48.7 *	59.1	12.5 *	22.5	0.82 b	0.56 b
培杂双七 Peizashuangqi	48.9 **	63.4	12.8	20.8	0.77 c	0.62 a
培杂茂三 Peizamaosan	52.5 **	66.0	10.8 **	23.3	0.80 b	0.46 c
培杂山青 Peizashanqing	48.2 **	61.6	12.5 *	23.0	0.78 b	0.54 b
特优 524 Teyou 524	60.3 *	73.3	10.0 *	17.5	0.82 b	0.57 b
两优培九 Liangyoupeiuiu	49.5 **	64.5	12.8 *	22.3	0.77 c	0.57 b
优优 128 Youyou 128	55.8 *	67.0	11.5 **	24.3	0.83 b	0.47 c
屈优 418 Tiyou 418	61.5	67.9	11.3	16.3	0.91 a	0.69 a
辽优 1025 Liaoyou 1025	50.3 *	60.1	7.0 *	14.0	0.84 a	0.50 b
辽优 2005 Liaoyou 2005	59.6 **	73.4	9.5	14.0	0.81 b	0.68 a
山青 11 Shanqing 11	55.2	63.6	11.0	17.8	0.87 a	0.62 a
春花 306 Chunhua 306	51.3 **	65.3	13.5	20.5	0.79 b	0.66 a
沃港 Wogang	52.2	59.4	8.3 **	20.3	0.88 a	0.39 d

注:统计分析用 t 检验。同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

Note:Statistics analysis with t test. Different small letters in the same column mean significant difference at P<0.05 level. The same as below.

由表 1 可知,除粤香占、屈优 418、山青 11、沃港外,低磷处理的其余水稻品种的株高均显著或极显著低于正常供磷处理。不同基因型水稻间的株高也表现出一定差异,其中屈优 418 的相对株高达到 0.91,而培杂双七和两优培九的相对株高只有 0.77。低磷处理下水稻分蘖受到明显抑制,正常供磷处理的所有供试水稻品种的分蘖数均高于低磷处理;从相对分蘖数来看,相对分蘖数最大的品种为屈优 418,达到了 0.69,而沃港的相对分蘖数最小,只有 0.39,说明不同基因型水稻对低磷胁迫的敏感度不同,基因型间差异较大。

2.1.2 对分蘖期水稻干物质质量和根冠比的影响

分蘖期不同基因型水稻干物质积累量,能在一定程

度上反映水稻基因型间对养分的吸收、转运以及利用效率。由表 2 可知,所有供试水稻品种的干物质质量均表现为低磷处理明显低于正常供磷处理,基因型间和处理间存在显著或极显著差异,说明低磷胁迫明显抑制了水稻的生长,但不同基因型水稻对低磷胁迫的反应程度不同,屈优 418、辽优 1025、辽优 2005、山青 11 相对干物质质量均大于 0.5,显著高于其他水稻品种,优优 128、培杂双七、培杂茂三、培杂山青、特优 524、两优培九、粤香占、黄绿占的相对干物质质量均小于 0.4。不同磷处理水稻基因型间根冠比差异显著,均表现为低磷处理明显高于正常供磷处理。

表 2 磷对不同基因型水稻干物质质量和根冠比的影响

Table 2 Dry weight and ratio of root to shoot of different genotypes under phosphorus treatments

品种 Variety	干物质质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight		根冠比 Ratio of root to shoot		相对干物质质量 Relative dry weight	相对根冠比 Relative ratio of root to shoot
	P ₀	P ₁	P ₀	P ₁		
粤香占 Yuexiangzhan	2.72 *	7.24	0.18	0.15	0.38 b	1.20 c
黄绿占 Huangluzhan	2.27 *	5.78	0.19 **	0.12	0.39 b	1.58 a
培杂双七 Peizashuangqi	2.75 **	7.99	0.20 **	0.14	0.34 c	1.43 a
培杂茂三 Peizamaosan	2.37 **	6.75	0.17 **	0.12	0.35 c	1.42 a
培杂山青 Peizashanqing	2.88 **	8.28	0.15	0.13	0.35 c	1.15 c
特优 524 Teyou 524	3.62 **	10.49	0.20 *	0.16	0.35 c	1.25 b
两优培九 Liangyoupeiuiu	3.10 *	7.89	0.16 *	0.13	0.39 b	1.23 b
优优 128 Youyou 128	2.66 **	10.19	0.17 *	0.14	0.26 d	1.21 c
屈优 418 Tiyou 418	3.96	6.50	0.15	0.13	0.61 a	1.15 c
辽优 1025 Liaoyou 1025	3.25 *	5.74	0.24 **	0.17	0.57 a	1.41 a
辽优 2005 Liaoyou 2005	2.92 *	5.07	0.15	0.14	0.58 a	1.07 d
山青 11 Shanqing 11	2.95 *	5.20	0.20 **	0.13	0.57 a	1.54 a
春花 306 Chunhua 306	2.81 *	6.43	0.17 **	0.13	0.44 b	1.31 b
沃港 Wogang	2.10 *	4.89	0.25 **	0.17	0.43 b	1.47 a

2.2 磷对不同基因型水稻磷吸收利用效率的影响

一般情况下,磷高效作物对低磷胁迫的反应主要表现在从土壤中吸收磷的能力强,或在吸收后的利用效率高,或二者均占优势,这与品种的特性有关。本研究以单株水稻地上部分吸收的磷量来衡量其吸收效率,以地上部分单位吸磷量合成的干物质质量来衡量其利用效率。由表 3 可知,正常供磷处理的水稻品种(除屈优 418、辽优 2005 和沃港外)磷吸收效率均显著或极显著高于低磷处理,基因型间差异显著,屈优 418、辽优 1025、辽优 2005、山青 11、春花 306 的磷相对吸收效率均超过 30%,而培杂双七、培杂茂三、培杂山青均低于 20%,其余品种介于 20%~30%。低磷处理的磷利用效率明显高于正常供磷处理,说明低磷胁迫提高了水稻的磷利用效率。屈优 418 的磷相对利用效率高于 180%,粤香占、培

杂双七、春花 306 3 个水稻品种的磷相对利用效率在 130%以下,不同基因型水稻间存在显著差异。

2.3 磷对不同基因型水稻产量及其构成因素的影响

营养缺乏最终表现在对产量的影响上,而产量又受其构成要素和形成过程的影响。由表 4 可知,不同磷处理下,部分供试水稻品种的有效穗数、穗长、单株产量、结实率和生物量差异达到显著或极显著水平。正常供磷处理所有供试水稻品种的单株产量、生物量和结实率均高于低磷处理,有效穗数除培杂茂三外,其他品种也表现出相似的规律,说明低磷胁迫对上述性状的影响相对较大。由表 5 可知,上述性状不同基因型水稻间差异显著,如供试品种山青 11 的相对单株产量只有 0.54,而两优培九的相对单株产量高达 0.98。穗长和千粒重两个性状可

能更多的是与自身生物学特性有关,与磷处理关系 延迟达 12 d,受低磷胁迫的影响相对较大。不大。低磷处理使抽穗期延迟,其中山青 11 抽穗期

表 3 磷对不同基因型水稻磷吸收利用效率的影响

Table 3 Shoot P uptake and utilization efficiency of different rice genotypes

品种 Variety	磷吸收效率/(mg·株 ⁻¹) Uptake efficiency		磷利用效率/(g·g ⁻¹) Utilization efficiency		磷相对吸收效率/% Relative uptake efficiency	磷相对利用效率/% Relative utilization efficiency
	P ₀	P ₁	P ₀	P ₁		
粤香占 Yuexiangzhan	3.80 **	13.42	604.6	470.8	28.3 b	128.4 e
黄绿占 Huangluzhan	3.00 *	10.63	636.1	483.6	28.3 b	131.5 d
培杂双七 Peizashuangqi	3.01 **	17.47	759.9	613.2	17.3 c	123.9 e
培杂茂三 Peizamaosan	2.49 **	13.55	713.6 *	445.0	18.4 c	160.4 b
培杂山青 Peizashanqing	2.85 **	16.59	726.8 *	503.1	17.2 c	144.5 c
特优 524 Teyou 524	3.89 **	17.82	773.4 *	506.1	21.8 c	152.8 b
两优培九 Liangyoupei jiu	3.49 *	12.99	765.1 *	538.2	26.9 b	142.2 c
优优 128 Youyou 128	3.72 **	14.55	821.7	615.0	25.6 b	133.6 d
雁优 418 Tiyou 418	4.78	12.03	893.7 **	477.3	39.7 a	187.2 a
辽优 1025 Liaoyou 1025	3.13 *	9.60	836.1 **	512.6	32.6 a	163.1 b
辽优 2005 Liaoyou 2005	3.13	8.48	813.7 *	522.7	37.0 a	155.7 b
山青 11 Shanqing 11	3.18 *	9.17	771.6 *	501.8	34.6 a	153.8 b
春花 306 Chunhua 306	3.05 *	9.33	786.8	609.0	32.7 a	129.2 e
沃港 Wogang	2.23	7.96	817.0 *	525.5	28.0 b	155.5 b

表 4 磷对不同基因型水稻产量构成因素的影响

Table 4 Effect of different P treatments on yield components of rice genotypes

品种 Variety	处理 Treatment	有效穗数 Available spike	穗长/cm Panicle length	千粒重/g Thousand-seed weight	单株产量/g Grain yield	结实率/% Setting rate	生物量/(g·株 ⁻¹) Biomass	抽穗期/d Heading
粤香占 Yuexiangzhan	P ₀	13.0	20.5	19.5	26.2	74.8 *	61.3	+4
	P ₁	15.6	18.9	18.0	28.3	80.8	61.7	0
黄绿占 Huangluzhan	P ₀	12.6 *	19.5	18.9	25.2 *	66.5 *	72.9	+9
	P ₁	16.2	19.9	18.8	36.2	81.1	74.8	0
培杂双七 Peizashuangqi	P ₀	11.2 *	21.7	18.2	27.2	72.6	65.7 *	+4
	P ₁	14.9	22.3	17.1	32.7	74.8	77.3	0
培杂茂三 Peizamaosan	P ₀	13.2	21.3	20.8	26.3	63.4	60.5	+6
	P ₁	12.6	20.0	18.7	27.6	68.2	64.3	0
培杂山青 Peizashanqing	P ₀	11.2 *	20.6	21.5	29.0	62.0 *	59.6	+7
	P ₁	14.4	19.5	21.2	31.4	79.7	62.0	0
特优 524 Teyou 524	P ₀	8.1 *	21.9 *	27.6	25.6 *	68.0	63.3 *	+5
	P ₁	11.6	25.2	27.0	34.8	70.2	83.5	0
两优培九 Liangyoupei jiu	P ₀	10.3	24.6	26.2	20.5	61.6	68.2	+4
	P ₁	11.2	24.7	24.2	21.0	61.9	72.1	0
优优 128 Youyou 128	P ₀	9.8	21.9	23.9	19.6	70.9 *	68.1	+6
	P ₁	11.0	22.0	24.0	22.2	77.9	70.2	0
雁优 418 Tiyou 418	P ₀	12.6 *	24.3	27.7	37.8	87.7	76.9	+4
	P ₁	16.6	22.1	25.9	40.8	88.1	81.2	0
辽优 1025 Liaoyou 1025	P ₀	11.8	13.9	24.3	35.6	82.0	66.9 *	+4
	P ₁	14.0	15.7	22.8	37.2	86.5	79.3	0
辽优 2005 Liaoyou 2005	P ₀	12.4 *	22.3 *	22.6	27.4 *	83.0 *	60.3 *	+5
	P ₁	15.9	24.4	22.6	36.2	90.7	70.4	0
山青 11 Shanqing 11	P ₀	10.5	23.3	20.8	15.9 **	65.0 *	53.2 *	+12
	P ₁	13.0	23.1	21.6	29.3	72.9	67.4	0
春花 306 Chunhua 306	P ₀	11.5 *	21.9	20.6	19.2 *	68.8	56.3 *	+9
	P ₁	15.0	22.1	21.5	26.2	69.6	66.1	0
沃港 Wogang	P ₀	11.0	21.7	16.0	17.8 *	70.4	45.5 *	+4
	P ₁	14.0	22.0	16.3	26.4	73.8	62.1	0

表 5 不同基因型水稻产量构成因素的相对性状
Table 5 Relative characters of yield components for different rice genotypes

品种 Variety	相对有效穗数 Relative available spike	相对单株产量 Relative grain yield	相对结实率 Relative setting rate	相对生物量 Relative biomass
粤香占 Yuexiangzhan	0.83 c	0.93 a	0.93 a	0.99 a
黄绿占 Huangluzhan	0.78 d	0.70 c	0.82 b	0.97 a
培杂双七 Peizashuangqi	0.75 d	0.83 b	0.97 a	0.85 b
培杂茂三 Peizamaosan	1.05 a	0.95 a	0.92 a	0.94 a
培杂山青 Peizashanqing	0.79 c	0.92 a	0.78 c	0.96 a
特优 524 Teyou 524	0.70 e	0.74 b	0.97 a	0.76 c
两优培九 Liangyoupeijiu	0.92 b	0.98 a	1.00 a	0.95 a
优优 128 Youyou 128	0.89 b	0.88 a	0.91 a	0.97 a
雁优 418 Tiyou 418	0.76 d	0.93 a	1.00 a	0.95 a
辽优 1025 Liaoyou 1025	0.84 c	0.96 a	0.95 a	0.84 b
辽优 2005 Liaoyou 2005	0.78 d	0.76 b	0.92 a	0.86 b
山青 11 Shanqing 11	0.81 c	0.54 d	0.89 a	0.79 c
春花 306 Chunhua 306	0.77 d	0.73 b	0.99 a	0.85 b
沃港 Wogang	0.79 c	0.67 c	0.95 a	0.73 c

3 讨 论

本研究结果表明,低磷处理的根冠比明显高于正常供磷处理,其可能原因是低磷胁迫使水稻调整了光合作用产物的分配,将光合产物优先转移到根部,促进了根系的生长,以最大限度地吸收磷营养。Lynch^[12]、林文雄等^[13]、李海波等^[14]、李锋等^[15]的研究也表明,根系形态的变化以及根冠比的增加是植物对低磷胁迫的适应性反应,以尽可能多的吸收磷营养满足自身生长的需要。另外,在低磷处理下,所有供试品种的磷利用效率明显高于正常供磷处理,这可能也是水稻在低磷胁迫下的一种正常适应性反应,这与郭再华等^[16]的研究结论相同。同时,分蘖期水稻株高、分蘖数、干物质量、磷吸收利用效率以及根冠比对磷胁迫的反应存在显著的基因型差异,这说明从目前水稻种质资源中筛选磷吸收能力或者利用能力强的水稻种质是可行的。缺磷土壤的水稻产量是许多研究人员用来评价水稻磷效率的一个重要指标,本研究雁优 418 和辽优 1025 等品种低磷处理与正常供磷处理单株产量差异相对较小,说明低磷胁迫对这些水稻种质的产量影响较小,据此可以初步认为这些品种具有较强的耐低磷胁迫能力。

[参考文献]

[1] 张淑华,潘国君,刘传雪. 水稻品种耐低磷胁迫特性研究进展[J]. 黑龙江农业科学,2006(4):91-95.
[2] 李永夫,罗安程,王为木,等. 耐低磷水稻基因型筛选指标的研究[J]. 应用生态学报,2005,16(1):119-124.
[3] 刘建祥,杨肖娥,杨玉爱,等. 低磷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[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(2):190-195.

[4] 李继云,刘秀娣,周伟. 有效利用土壤营养元素的作物育种新技术研究[J]. 中国科学:B 辑,1995,25(1):41-48.
[5] Fairhurst T,Lefroy R,Mutert E,et al. The importance,distribution and causes of phosphorus deficiency as a constraint to cropproduction in the tropics[J]. Agrofor Forum,1999,9:2-8.
[6] Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes[J]. Plant and Soil,2001,237:173-195.
[7] Fageria N K,Wright R J,Baligar V C. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency[J]. Plant and Soil,1988,111:105-109.
[8] Senamayaka N. Varietal tolerance to phosphorus deficiency in wet land rice soils[J]. Trop Agric,1984,140:69-78.
[9] Zaheer A,Maqsood A G,Riaz H Q. Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops[J]. Plant Nutr,2001,24(8):1149-1171.
[10] 刘建中,李玉京,李滨,等. 不同生产时期小麦品种有效利用土壤潜在磷特性的鉴定[J]. 作物学报,1999,25(5):560-564.
[11] Gerloff G C. Intact-plant screening for tolerance of nutrient-deficiency stress[J]. Plant and Soil,1987,99:3-15.
[12] Lynch J P. Root architecture and plant productirty[J]. Plant Physiol,1995,10(9):7-13
[13] 林文雄,石秋梅,郭玉春,等. 水稻磷效率差异的生理生化特性[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(6):578-583.
[14] 李海波,夏铭,吴平. 低磷胁迫对水稻苗期侧根生长及养分吸收的影响[J]. 植物学报,2001,43(11):1154-1160.
[15] 李锋,潘晓华,刘小英,等. 低磷胁迫对不同水稻品种根系形态和养分吸收的影响[J]. 作物学报,2004,30(5):438-442.
[16] 郭再华,贺立源,徐才国. 磷水平对不同耐低磷水稻苗根系生长及氮、磷、钾吸收的影响[J]. 应用与环境生物学报,2006,12(4):449-452.