

不同大豆基因型耐低磷能力的评价

吴俊江<sup>1</sup>, 钟 鹏<sup>1</sup>, 刘丽君<sup>1</sup>, 刘德生<sup>2</sup>, 林蔚刚<sup>1</sup>, 董德建<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 黑龙江省农业科学院大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; <sup>2</sup> 黑龙江省海伦市农业推广中心, 黑龙江 海伦 152300)

**摘 要:**采用盆栽方法,在低磷(LP)和高磷(HP)水平下,对黑龙江省广泛种植的 20 个大豆品种进行了比较研究,旨在筛选大豆耐低磷基因型,为合理布局大豆种植品种,提高土壤磷素利用率提供试验依据。结果表明:黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 与垦鉴 4、绥农 10、丰收 25、绥农 23、绥农 18 相比,在根干重、冠干重、根系活跃吸收表面积、植株磷含量、分泌性酸性磷酸酶活性等方面差异显著,确定了黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 为耐低磷基因型,垦鉴 4、绥农 10、丰收 25、绥农 23、绥农 18 为不耐低磷基因型。

**关键词:**大豆;低磷胁迫;磷效率

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-9841(2008)06-0983-05

Evaluation on the Low Phosphorous Tolerance of Different Soybean Genotypes

WU Jun-jiang<sup>1</sup>, ZHONG Peng<sup>1</sup>, LIU Li-jun<sup>1</sup>, LIU De-sheng<sup>2</sup>, LIN Wei-gang<sup>1</sup>, DONG De-jian<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; <sup>2</sup> Agro-tech Extension Center of Hailun City, Hailun 152300, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Improving P use efficiency in soybean would have better yield performance under low soil phosphate conditions. To screening soybean cultivars tolerant to low phosphorous, twenty soybean genotypes widely planted in Heilongjiang Province were grown in pot experiment with low and high P rates. Under low P treatment, the genotypes differed greatly for root biomass, shoot biomass, root active absorbing area, plant P concentration, and acid phosphatase activity. Based on the above 5 indexes, Heihe 27, Kenjian 27, Suinong 4, Fengshou 25 and Kejiao 05-1397 were screened as low phosphorous tolerance genotypes, while Kenjian 4, Suinong 10, Suinong 23, Suinong 28 and Fengshou 25 were not tolerant to low phosphorous.

**Key words:** Soybean; Low phosphate stress; Phosphorous efficiency

磷是植物所必需的三大营养元素之一,占植物体干重的 0.2%,具有重要的生理功能<sup>[1]</sup>。土壤缺磷是影响大豆产量的重要因素。据统计,我国磷肥当季利用率只有 15%~25%,若施肥不当还会造成环境污染<sup>[2]</sup>。大豆是人类所需的植物蛋白质和油脂的重要来源,含有多种生理活性成分,是 21 世纪的最佳保健食品。筛选和改良耐低磷大豆种质资源,具有十分重要的意义。

在低磷胁迫下,植物在形态、生理生化和遗传机制等方面有主动适应胁迫的性能,如:根系变细、变长;侧根和根毛数量及长度增加、根重、根体积、根系活跃吸收表面积增大<sup>[3-6,10]</sup>,根系分泌性酸性磷酸酶活性(APA)增加<sup>[5,11-12]</sup>。水培条件下,磷吸收效率高的基

收稿日期:2008-07-22

**基金项目:** 黑龙江省自然科学基金资助项目(C2007-13);黑龙江省“十一五”科技攻关资助项目(GA06B101-2-5,GA06B101-1-2);“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD21B01-6);大豆产业技术体系资助项目;农业部寒地作物生理生态重点开放实验室基金资助项目。

**作者简介:** 吴俊江(1970-),男,硕士,副研究员,主要从事大豆高产栽培理论与技术研究。E-mail:nkywuji@126.com。

**通讯作者:** 钟鹏,助理研究员。E-mail:zhongpengvip@163.com。

因型具有较大的根长和根表面积,吸磷量与根系总长度成正相关<sup>[13-14]</sup>。因此,作物根系的许多指标与磷的吸收密切相关,可作为作物吸磷效率的筛选指标。

以黑龙江省种植的 20 个大豆基因型为材料,设置低磷和高磷条件,以根干重、冠干重、根系活跃吸收表面积、植株磷含量和分泌性酸性磷酸酶活性为指标,以期筛选出大豆耐低磷基因型,为大豆生产提供指导和依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

黑河 27、黑农 43、黑农 52、黑农 56、黑河 33、黑河 16、安 01-875、嫩丰 18、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、

克交 05-1397、垦鉴 4、绥农 10、丰收 25、绥农 23、绥农 18、合丰 37、绥农 11、克交 05-877、均来源于黑龙江省农业科学院。

1.2 试验方法

供试土壤取 100 cm 以下深层黑土和粘土,土壤含有机质 5.3 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 32.6 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 2.3 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 45.5 mg·kg<sup>-1</sup>,每盆装土 14 kg。

设 2 个供磷水平,即高磷肥(HP),低磷肥(LP),施磷处理每盆磷酸二铵 4.56 g,尿素 1.52 g,硫酸钾 1.60 g,低磷处理施入尿素 1.52 g,硫酸钾 1.60 g,不施磷肥。肥料分底肥和追肥两次施入,底肥施入总施肥量的 2/3,追肥施入总施肥量的 1/3。采用随机区组排列,3 次重复。2007 年 5 月 1 日播种,在适宜水分下大豆出苗后培养 35 d 收获大豆植株。

1.3 测试指标和方法

根体积测定:Epson 根系扫描仪。  
根总长度测定:Epson 根系扫描仪。  
根系活跃吸收表面积:根据  $S = 2(\pi VL)^{1/2}$  计算,V 是根系体积,S 是活性吸收表面积、L 为根长<sup>[7-9]</sup>。

生物量的测定:将上述植株置于烘箱中,105℃ 杀青 10 min,然后在 75℃ 烘干至恒重,分别称量根干重和地上部干重。

磷含量测定:采用浓硫酸消煮法和钒钼黄比色法<sup>[7-9]</sup>,以单位植株的磷含量作为评价大豆植株磷吸收效率的指标(mg·株<sup>-1</sup>)。

APA 的测定<sup>[15]</sup>:酶活性以在单位时间(h)内单株大豆根系水解 p-NPP(对硝基苯磷酸二钠)生成的对硝基苯酚的量来表示(μmol·h<sup>-1</sup>·株<sup>-1</sup>)。

1.4 评价方法

采用低磷胁迫下测定的各项指标的绝对值与耐性因子相结合的分析方法,对供试大豆基因型的耐低磷能力进行综合评价。耐性因子(Endurable factor,EF)是各指标的低磷处理与对照的相对比值,表示植物忍耐低磷胁迫能力的大小。

耐性因子 = 低磷胁迫下各指标测定值/对照的测定值。

所有数据用 Excel 2003 处理,用 DPS 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 低磷胁迫对不同基因型大豆各项指标的影响

在低磷胁迫下,测定大豆植株根干重、冠干重、活性吸收表面积、植株磷含量和酸性磷酸酶活性各项指标(表 1)。结果表明:不同基因型间的根部生

表 1 低磷胁迫下不同大豆基因型各项指标

Table 1 The assay of the different index of soybeans under low phosphorous stress

基因型 Genotype	根干重 Root weight/g	冠干重 Shoot weight/g	活性表面积 Active area/cm <sup>2</sup>	磷含量 Phosphate uptake/ mg·plant <sup>-1</sup>	酸性磷酸酶活性 Acid phosphatase activity/ μmol·h <sup>-1</sup> ·plant <sup>-1</sup>
黑河 27 Heihe 27	0.945 a	2.250 a	263.07 ab	1.763 efg	0.586 cd
黑农 43 Heinong 43	0.829 b	2.080 b	261.77 ab	1.781 efg	0.562 ef
黑农 52 Heinong 52	0.822 b	2.010 b	255.13 b	1.754 fg	0.553 fg
黑农 56 Heinong 56	0.802 c	1.973 b	260.57 ab	1.783 def	0.665 a
黑河 33 Heihe 33	0.706 ef	1.793 cd	236.97 cd	1.707 h	0.521 h
黑河 16 Heihe16	0.714 ef	1.793 cd	225.83 ef	1.710 h	0.518 h
安 01-875 An 01-875	0.697 f	1.793 cd	241.80 c	1.943 a	0.489 j
嫩丰 18 Nenfeng 18	0.743 d	1.821 c	227.17 def	1.558 i	0.494 ij
垦鉴 27 Kenjian 27	0.948 a	2.080 b	265.40 ab	1.804 bcd	0.566 def
绥农 4 Suinong 4	0.945 a	2.210 a	268.07 a	1.792 cdef	0.541 g
丰收 25 Fengshou 25	0.631 g	1.690 de	217.93 fg	1.762 gh	0.423 l
丰收 24 Fengshou 24	0.962 a	2.260 a	266.07 a	1.849 b	0.585 cd
克交 05-1397 Kejiao 05-1397	0.960 a	2.280 a	270.97 a	1.827 bc	0.583 h
垦鉴 4 Kenjian 4	0.625 g	1.651 ef	212.10 g	1.756 fg	0.513 h
绥农 10 Suinong 10	0.646 g	1.623 f	213.57 g	1.681 h	0.608 b
绥农 23 Suinong 23	0.645 g	1.652 ef	218.43 fg	1.686 h	0.588 bc
绥农 18 Suinong 18	0.641 g	1.623 f	213.73 g	1.673 h	0.563 ef
合丰 37 Hefeng 37	0.732 de	1.822 c	238.40 c	1.825 bc	0.511 h
绥农 11 Suinong 11	0.725 de	1.790 cd	239.07 c	1.799 cde	0.425 l
克交 05-877 Kejiao 05-877	0.706 ef	1.771 cde	235.27 cde	1.840 b	0.455 k

不同小写字母表示差异达 5% 显著水平,下同。  
Different letter mean significant at 5% level,same as follow.

物量存在显著差异,其中黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 的根干重和根系活跃吸收表面积均显著大于垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25。可见植物在低磷胁迫下根系形态发生适应性反应,这种反应能力在耐低磷胁迫和低磷敏感品种间存在显著差异,这可能是植物耐低磷胁迫与否的重要原因之一。

不同大豆基因型对磷的吸收能力表现出较大的差异,如垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 在低磷处理条件下单株磷吸收量分别达 1.804、1.792、1.849、1.827 mg,而绥农 10、绥农 23、绥农 18 仅分别为 1.681、1.686、1.673 mg,差异显著。从各基因型的生长状况可以看出,黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、

丰收 24、克交 05-1397 在低磷胁迫条件下生长状况良好,能够有效利用生长介质中有限的磷素满足自身生长发育的需要,为以后的生殖生长打下良好的基础。一般来讲,在等量胁迫条件下,养分效率高的品种能够产出较多的生物量或产量,所以黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 具有较强的耐低磷能力,而垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25 从上述几项指标评价来看,忍耐低磷胁迫的能力较差。

### 2.2 低磷胁迫下不同基因型大豆各项指标耐性因子的比较

根据在低磷与高磷条件下各项指标的测定结果,计算耐性因子(见表 2)。

表 2 不同大豆基因型耐性因子的比较

基因型 Genotype	耐性因子 Endurable factor				
	根干重 Root weight	冠干重 Shoot weight	活性表面积 Root active area	磷含量 Phosphate content	酸性磷酸酶活性 Acid phosphatase activity
黑河 27 Heihe 27	2.247 b	0.978 a	2.180 b	0.154 a	2.110 cd
黑农 43 Heinong 43	2.093 c	0.742 ef	2.317 a	0.152 a	2.250 a
黑农 52 Heinong 52	2.000 c	0.755 de	1.873 d	0.125 abc	2.223 ab
黑农 56 Heinong 56	1.973 c	0.824 c	2.047 c	0.118 abc	2.150 bc
黑河 33 Heihe 33	1.793 d	0.757 de	1.737 e	0.122 abc	1.827 f
黑河 16 Heihe16	1.777 d	0.716f g	1.663 f	0.116 abc	1.640 g
安 01-875 An 01-875	1.773 d	0.574 i	1.550 g	0.151 a	1.423 i
嫩丰 18 Nenfeng 18	2.320 b	0.695 g	1.457 h	0.117 abc	1.333 j
垦鉴 27 Kenjian 27	2.080 c	0.963 a	2.277 a	0.145 a	2.050 d
绥农 4 Suinong 4	2.857 a	0.963 a	2.157 d	0.145 a	2.133 c
丰收 25 Fengshou 25	1.687 de	0.544 i	1.423 i	0.105 bc	1.163 k
丰收 24 Fengshou 24	2.827 a	0.874 b	2.120 b	0.148 a	1.957 e
克交 05-1397 Kejiao 05-1397	2.943 a	0.987 a	2.147 b	0.142 ab	2.086 cd
垦鉴 4 Kenjian 4	1.147 f	0.578 i	1.337 j	0.102 c	1.037 l
绥农 10 Suinong 10	1.260 f	0.644 h	1.316 j	0.106 bc	1.093 kl
绥农 23 Suinong 23	1.120 f	0.475 j	1.270 k	0.104 bc	1.036 l
绥农 18 Suinong 18	1.623 e	0.568 i	1.210 k	0.102 c	1.067 l
合丰 37 Hefeng 37	1.800 d	0.764 de	1.460 h	0.132 abc	1.530 h
绥农 11 Suinong 11	1.743 de	0.682 g	1.460 h	0.133 abc	1.527 h
克交 05-877 Kejiao 05-877	1.747 de	0.778 d	1.496 gh	0.126 abc	1.556 h

结果表明:黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 根干重耐性因子、冠干重耐性因子、活性表面积耐性因子、磷含量耐性因子、APA 耐性因子与垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25 各耐性因子之间存在显著差异;从以上结果可以看出,低磷胁迫下,黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 根干重是对照的 2 倍以上,吸收表面积也达到对照的 2 倍左右,根系生长加快以扩大对介质中磷素营养的吸收,植株对磷的积累量(磷含量)较高,冠干重在低磷胁迫条件下并未受到严重影响,同时分泌酸性磷酸酶的活性提高 2 倍左右,说明黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 主动适应

低磷胁迫的能力较强。

### 2.3 综合评价

参照相关文献的耐低磷筛选的方法<sup>[16-18]</sup>,确定的筛选标准是:对低磷胁迫下测定的绝对值和耐性因子进行综合评价,耐低磷基因型不仅低磷胁迫下测定值要大,而且耐性因子(相对值)也要大。每项测定指标按测定值差异显著程度分类,并分别赋予得分进行评分,满分是 30 分。每一列数据后标作 a,所有与其差异不显著的基因型(标有 a 字母)赋予 3 分;按着字母顺序最后一位字母赋予 1 分,中间字母之间差异平均分配 2 分。

表3 不同大豆基因型的综合评价分析  
Table 3 The analysis of different soybean genotypes with two types of evaluation

基因型 Genotype	得分 Value										总分 Total
	根干重 Root weigh	冠干重 Shoot weigh	表面积 Surface area	磷含量 Phosphate uptake	酸性磷酸 酶活性 APA	EF <sub>R</sub>	EF <sub>G</sub>	EF <sub>M</sub>	EF <sub>P</sub>	EF <sub>A</sub>	
黑河 27 Heihe 27	3.00	3.00	3.00	2.00	2.64	2.60	3.00	2.80	3.00	2.64	27.68
黑农 43 Heinong 43	2.67	2.60	3.00	2.00	2.28	2.20	2.12	3.00	3.00	3.00	25.87
黑农 52 Heinong 52	2.67	2.60	2.67	1.75	2.10	2.20	2.34	2.40	3.00	3.00	24.73
黑农 56 Heinong 56	2.34	2.60	3.00	2.25	3.00	2.20	2.56	2.60	3.00	2.82	26.37
黑河 33 Heihe 33	1.68	2.20	2.34	1.25	1.74	1.80	2.34	2.20	3.00	2.10	20.65
黑河 16 Heihe16	1.68	2.20	1.68	1.25	1.74	1.80	1.68	2.00	3.00	1.92	18.95
安 01-875 An 01-875	1.35	2.20	2.34	3.00	1.38	1.80	1.24	1.80	3.00	1.56	19.67
嫩丰 18 Nenfeng 18	2.67	2.20	2.00	1.00	1.56	2.60	1.68	1.60	3.00	1.38	19.69
垦鉴 27 Kenjian 27	3.00	2.60	3.00	2.75	2.46	2.20	3.00	3.00	3.00	2.46	27.47
绥农 4 Suinong 4	3.00	3.00	3.00	2.50	1.92	3.00	3.00	2.40	3.00	2.64	27.46
丰收 25 Fengshou 25	1.00	1.80	1.35	1.50	1.00	1.80	1.24	1.40	2.00	1.20	14.29
丰收 24 Fengshou 24	3.00	3.00	3.00	2.75	2.64	3.00	2.78	2.80	3.00	2.28	28.25
克交 05-1397 Kejiao 05-1397	3.00	3.00	3.00	2.75	1.74	3.00	3.00	2.80	3.00	2.64	27.93
垦鉴 4 Kenjian 4	1.00	1.40	1.00	1.75	1.74	1.00	1.24	1.20	1.00	1.00	12.33
绥农 10 Suinong 10	1.00	1.00	1.00	1.25	2.82	1.00	1.46	1.20	2.00	1.20	13.93
绥农 23 Suinong 23	1.00	1.40	1.35	1.25	2.82	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	13.82
绥农 18 Suinong 18	1.00	1.00	1.00	1.25	2.28	1.40	1.24	1.00	1.00	1.00	12.17
合丰 37 Hefeng 37	2.00	2.20	2.34	2.75	1.74	1.80	2.34	1.60	3.00	1.74	21.51
绥农 11 Suinong 11	2.00	2.20	2.34	2.50	1.00	1.80	1.68	1.60	3.00	1.74	19.86
克交 05-877 Kejiao 05-877	1.68	2.20	2.34	2.75	1.20	1.80	2.34	1.80	3.00	1.74	20.85

APA;acid phosphatase activity.  
EF<sub>R</sub>,EF<sub>G</sub>,EF<sub>M</sub>,EF<sub>P</sub> and EF<sub>A</sub> indicate endurable factor for root weight ,shoot weight ,root active area,phosphate uptake,acid phosphatase activity ,respectively.

综合评价得分结果显示(表3):黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05- 1397 分别为 27. 68、27. 47、27. 46、28. 25、27. 93 分,得分率在 90% 以上,所以最终确定黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 为耐低磷基因型;垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25 分别为 12. 33、13. 93、13. 82、12. 17、14. 29 分,得分率不足 50%,确定垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25 为不耐低磷基因型;其它品种得分率在 50% ~ 90% 之间,确定为中等耐低磷基因型。

3 结论与讨论

磷是植物生长所必需的三大营养元素之一,参与植物体组成与各种新陈代谢的过程。如果植物生长的环境中缺磷,则会造成植物的代谢受阻,抗逆性下降<sup>[1,4]</sup>。结果显示各基因型间耐低磷的能力差异显著,黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 的耐低磷能力较强,评价得分率在 90% 以上,而垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25 得分率不足 50%,耐低磷能力较弱,绝大部分基因型是处

于中等耐低磷水平。  
耐低磷基因型是指植物对磷素具有高效吸收能力和高效转化机制<sup>[4,14,19]</sup>,王应祥<sup>[13]</sup>等认为磷利用效率对大豆总体效率贡献不大,总体效率主要由吸收效率决定。孙海国等<sup>[15]</sup>对磷效率有关性状的研究表明,吸收效率与磷效率的相关程度较高,而与磷效率有关的次级生理指标中,以根干重的作用最大。低磷营养胁迫下,耐低磷胁迫品种能保证较高的吸收能力,吸收更多的养分以满足植株体内对养分的需求,满足光合作用和光合产物转运等方面对营养的需要,最终获得较高的生物量。所以低磷胁迫下植株对磷的吸收与积累是基础,在对耐低磷基因型筛选过程中,没有把磷利用效率作为筛选的指标,而是以磷吸收效率为主,把根干重和活跃吸收面积作为第一重要指标。黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 磷吸收效率、根干重和根系活跃吸收面积均显著高于垦鉴 4、绥农 10、绥农 23、绥农 18、丰收 25 所以最终确定黑河 27、垦鉴 27、绥农 4、丰收 24、克交 05-1397 为耐低磷基因型。

## 参考文献

- [1] 王艳,李晓林,张福锁. 不同基因型植物低磷胁迫适应机理的研究进展[J]. 生态农业研究,2000,8(4):34-36. (Wang Y, Li X L, Zhang F S. Current research on suitable mechanisms on different plant genotypes under Phosphorous stress[J]. Eco-agriculture Research,2000,8(4):34-36.)
- [2] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(3):193-205. (Li S X. Current situation and outlook of plant nutrition and fertilizer science[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,1999,5(3):193-205.)
- [3] 赵华,徐森,石磊. 植物根系形态对低磷胁迫应答的研究进展[J]. 植物学通报,2006,23(4):409-417. (Zhao H, Xu S, Shi L. Advances in plant root morphology adaptability to phosphorous deficiency stress[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2006, 23(4):409-417.)
- [4] 吴平,印莉萍,张立平,等. 植物营养分子生理学[M]. 北京:科学出版社,2001:103-105. (Wu P, Yin L P, Zhang L P. Plant Nutrition and molecule physiology[M]. Beijing: Science Press,2001:103-105.)
- [5] 郭再华,贺立源,徐才国. 低磷胁迫时植物根系的形态学变化[J]. 土壤通报,2005,36(5):760-763. (Guo Z H, He L Y, Xu G C. Morphological variety of plants tolerance to low-P stress[J]. Chinese Journal of Soil Science,2005,36(5):760-763.)
- [6] 曹敏建,佟占昌,韩明祺. 磷高效利用的大豆遗传资源的筛选与评价[J]. 作物杂志,2001(4):22-24. (Cao M J, Tong Z C, Han Q M. Evaluation and filter on phosphate high active exploit of soybean inheritance resources[J]. Crop Magazine, 2001(4):22-24.)
- [7] 张宪政. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:5-96. (Zhang X Z. Guide of phytophysiological experiment[M]. Beijing: China Agriculture Press,2000, :5-96.)
- [8] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,1990:5-8. (Zhang Z L. A Guide of phytophysiological experiment[M]. Beijing: High Education Press,1990:5-8.)
- [9] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2000:59-60,173-174. (Zou Q. Guide of phytophysiological experiment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 59- 60, 173-174.)
- [10] 曹爱琴,严小龙. 不同供磷条件下大豆根构型的适应性变化[J]. 华南农业大学学报,2000,22(1):21. (Cao A Q, Yan X L. Adaptation of soybean root architecture under different P condition[J]. Journal of South China Agricultural University,2000,22(1):21.)
- [11] 丁洪,李生秀,郭庆元. 酸性磷酸酶活性与大豆耐低磷能力相关研究[J]. 植物营养与肥料学报,1997,3(2):123-128. (Ding H, Li S X, Guo Q Y. Study on correlation between acid phosphatase activity and low phosphorus tolerance of soybean[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,1997,3(2):123-128.)
- [12] Gerloff G C, Gabelman W H. Genetic basis of inorganic plant nutrition[M]. Encyclopedia of plant physiology (Lauchli A and Bielecki R L. eds). Springer-verlag, Berlin, 1983:453-480.
- [13] 王应祥,廖红,严小龙. 大豆适应低磷胁迫的机理初探[J]. 大豆科学,2003,22(3):208-212. (Wang Y X, Liao H, Yan X L. Preliminary studies on the mechanisms of soybean in adaption to low P stress[J]. Soybean Science,2003,22(3):208-212.)
- [14] 王毅. 植物耐低磷胁迫遗传学研究策略[J]. 热带农业科学,2004,24(2):34-41. (Wang Y. Strategy genetics research on plant tolerant to low phosphorus[J]. Chinese Journal Tropical Agriculture,2004,24(2):34-41.)
- [15] 孙海国,张福锁. 缺磷条件下的小麦根系酸性磷酸酶活性研究[J]. 应用生态学报,2002,13(3):379-381. (Sun H G, Zhang F S. Effect of phosphorus deficiency on activity of acid phosphatase exuded by wheat roots[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002,13(3):379-381.)
- [16] 龚江,李绍长,夏春兰. 低磷胁迫下玉米自交系磷高效基因型筛选[J]. 新疆农业科学,2002,39(2):77-81. (Gong J, Li S C, Xia C L. Selection of maize inbred for high phosphate efficiency in low phosphate stress[J]. Xinjiang Agricultural Science,2002,39(2):77-81.)
- [17] 郭再华,贺立源,徐才国. 不同耐低磷水稻基因型秧苗对难溶性磷的吸收利用[J]. 作物学报,2005,31(10):1322-1327. (Guo Z H, He L Y, Xu C G. Uptake and use of sparingly soluble phosphorus by rice genotypes with different P-efficiency[J]. Acta Agronomica Sinica,2005,31(10):1322-1327.)
- [18] 张丽梅,贺立源,李建生. 玉米自交系耐低磷材料苗期筛选研究[J]. 中国农业科学,2004,37(12):1955-1959. (Zhang L M, He L Y, Li J S. Investigation of maize inbred lines on tolerance to low-phosphorus stress at seedling stage[J]. Scientia Agricultura Sinica,2004,37(12):1955-1959.)
- [19] Schachtmar D P, Reid R J, Ayling S M. Phosphorus uptake by plants from soil to cell[J]. Plant Physiology,1998,116:447-453.
- (上接第982页)
- [5] 邱强,李东波,石一鸣,等. 大豆高产种植方式的研究[J]. 吉林农业科学,2006,31(4):8-10. (Qiu Q, Li D B, Shi Y M, et al. Studies on planting modes for high yield of soybean[J]. Journal of Jilin Agriculture Sciences,2006,31(4):8-10.)
- [6] 章建新,胡根海. 春大豆主要农艺性状的相关分析[J]. 新疆农业科学,2003,40(1):16-19. (Zhang J X, Hu G H. Correlation analysis of spring soybean major agronomic characters[J]. Journal of Xinjiang Agriculture Science,2003,40(1):16-19.)
- [7] 翟云龙,章建新,薛丽华,等. 密度对超高产春大豆农艺性状的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(2):109-111. (Zhai Y L, Zhang J X, Xue L H, et al. Study on the effect of plant density on the agronomic characters of super-high yield spring soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(2):109-111.)
- [8] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社,2000:19-21. (Ling Q Hong. Crop community quality[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press,2000:19-21.)