

不同磷效基因型大豆在生长关键时期根系形态变化的研究

吴俊江^{1,2}, 马凤鸣¹, 林浩^{1,2}, 刘丽君², 钟鹏², 林蔚刚², 董德建², 程莉莉^{1,2}, 魏峡^{1,2}, 刘德生³

(1. 东北农业大学农学院, 农业部寒地作物生理生态重点开放实验室, 黑龙江哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院大豆研究所, 黑龙江哈尔滨 150086; 3. 黑龙江省海伦市农业技术推广中心, 黑龙江海伦 152300)

摘要:利用不同磷效基因型大豆: 磷高效品种 (HP134、HP119)、磷低效品种 (LP113、LP102), 采用盆栽控制磷供应量 (低磷和高磷), 探讨其生长关键时期 (花期、结荚期、鼓粒期) 的根系形态变化, 以期从根系形态学特点为筛选磷高效利用基因型大豆提供一定的理论基础。结果表明: 在低磷处理下, 磷高效品种的根系适应性强, 根系通过增加根长、根总表面积、根体积、根直径、总根毛数来增强对土壤中磷素的吸收, 但 HP119 和 HP134 两者适应低磷的根部表现又有所不同; 磷低效品种根系适应性较差, 其根长、根总表面积、根体积、总根毛数在不同处理下相差很大, 多数都呈显著甚至极显著差异, 且各项数值在低磷处理下远低于高磷处理。由此可见, 在大豆生长关键时期可以利用根系形态变化来较好的区分筛选不同磷效基因型。

关键词:大豆; 磷效应; 根系; 形态指标

中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9841(2009)05-0820-04

Root Morphology Traits of Soybean Genotypes with Different Phosphorus Efficiency at Important Growing Stages

WU Jun-jiang^{1,2}, MA Feng-ming¹, LIN Hao^{1,2}, LIU Li-jun², ZHONG Peng², LIN Wei-gang², DONG De-jian², CHENG Li-li^{1,2}, WEI Lai^{1,2}, LIU De-sheng³

(1. College of Agronomy, Key Opening Laboratory of Physiology and Ecology of Crop in Cold Terra of Agriculture Ministry, Northeast Agriculture University, Harbin 150086, Heilongjiang; 2. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang; 3. Hailun City, Agrotechnology Extend Center, Hailun 152300, Heilongjiang, China)

Abstract: In order to characterize the root morphological traits of different phosphorus efficiency soybean, two high phosphorus efficiency soybean HP134 and HP119, and two low phosphorus efficiency soybean LP113 and LP102, were planted in pot experiments under the treatment of low and high phosphorus, and root morphological traits of root length, root surface area, root volume, root diameter and total root hair number were determined at flowering, pod-setting and pod-filling. Under low phosphorous treatment, phosphorus efficiency soybean strengthen their phosphorus absorption by increasing root length, root surface area, root volume, root diameter and total root hair number, hence showed strong adaptability. But the two high phosphorus efficiency soybean have different adaptability of low phosphorus. For low phosphorus efficiency soybeans, the values of root length, root surface area, root volume and total root hair number under low phosphorus treatment were significantly lower than those under high phosphorus treatment, and showed poor low phosphorus adaptability. Therefore, root morphological traits can be used to screen different phosphorus efficiency soybean genotypes at important growing stages.

Key words: Soybean; Phosphorus efficiency; Root; Morphological index

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。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^[1]。土壤缺磷是影响大豆产量的重要因素。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

收稿日期: 2008-11-02

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目 (C2007-13); “十一五” 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD21B01-6); 黑龙江省“十一五” 科技攻关资助项目 (GA06B101-2-5, GA06B101-1-2); 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, 在职博士研究生, 副研究员, 研究方向为大豆高产栽培理论与技术。E-mail: nkywujj@126.com。

通讯作者: 马凤鸣, 教授, 博士生导师。E-mail: fengming_ma@sohu.com。

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、根系活性吸收表面积增大^[2-6],水培条件下,磷吸收效率高的基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^[7-8]。

植物根形态构型及其可塑性对植物吸收土壤磷具有重要作用。大豆磷吸收效率主要决定于根构型,大豆根构型与磷效率密切相关^[9-10],中国存在着丰富的大豆种质资源,为大豆磷效率的遗传改良奠定了物质基础。来源于不同遗传背景的大豆基因型,在同一生态环境和栽培条件下种植,其根形态构型和磷效率对外界环境条件变化的反应有所不同。

研究在低磷和高磷处理下,不同磷效基因型大豆在生长关键时期根系形态变化特点,为遗传改良大豆的根系性状和提高大豆磷效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选取磷高效基因型大豆 HP119、HP134 和磷低效基因型大豆 LP113、LP102 进行盆栽试验,适时播种,每盆 4 株。供试土壤取 100 cm 以下深层黑土 + 粘土,有机质含量 $5.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $32.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $45. \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,每盆装土 14 kg。试验设 2 个供磷水平:施磷(+P),低磷(-P);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 2 次施入,底肥为总施肥量的 2/3,花期追肥 1 次,肥量为总施肥量的 1/3。采用随机区组排列,10 次重复。

1.2 取样和测定方法

于大豆生长关键时期:开花期、结荚期、鼓粒期 3 个时期取样,按施磷(+P),低磷(-P)2 个处理随机取 4 株大豆植株,用根系分析仪测定形态指标(根长、根毛空间总表面积、根体积、平均根径、总根毛数)。

2 结果与分析

2.1 不同磷效基因型大豆生长关键时期根长变化

开花期,磷高效基因型大豆 HP119 在低磷(-P)和高磷(+P)处理下差异达显著水平(表 1),且低磷处理下根长要显著大于高磷处理,说明磷高效基因型大豆的根系能在低磷状态下通过增加根长

来吸收土壤磷素,这种现象在 HP134 上表现更加明显,其在低磷处理下根长约为高磷处理下根长的 3 倍;磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 的根长在低磷处理间差异不显著,并且低磷处理的根长均小于高磷处理的根长,说明磷低效品种根系长度在低磷状态下反应较为迟钝。

结荚期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 都达到整个生育期根系长度的“峰”值,其在低磷下根系通过增加根长吸收土壤磷素效率较高;磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 根长值相差不多,对磷素缺乏表现迟钝。

鼓粒期,各个品种根系趋于衰老,根长普遍下降。

表 1 不同磷效基因型大豆生长关键时期的根长

Table 1 Root length of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at important growing stages/cm

处理 Treatment	开花期 Flowering	结荚期 Pod-setting	鼓粒期 Pod-filing
HP-119	1225.67 ab A	1244.28 bc AB	1065.04 aA
HP+119	922.74 c A	1178.38 bc B	936.93 aA
HP-134	1267.83 a A	1441.12 a A	1375.97 aA
HP+134	432.33 d B	1429.96 a A	1278.53 aA
LP-113	969.56 bc A	1311.82 ab AB	1320.01 aA
LP+113	1172.83 abc A	1095.42 c B	1205.63 aA
LP-102	1095.24 abc A	1249.80 bc AB	1143.39 aA
LP+102	1280.04 a A	1260.56 b AB	1093.55 aA

同列中标以不同大小写字母的值差异分别达到 0.01 和 0.05 显著水平,下同。

Means followed by a different capital letter and lowercase letter within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively. The same as follow.

2.2 不同磷效基因型大豆在生长关键时期的 3D 根总表面积变化

开花期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 在低磷处理下根总表面积都要高于高磷处理下根总表面积(表 2),其中 HP134 低高磷处理下差异极显著,说明该品种通过增加根总表面积来适应低磷环境。磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 的根总表面积均为低磷处理低于高磷处理,其中 LP113 在不同磷处理下差异极显著,与磷高效品种相反,说明磷低效品种的根系适应性较差,不能通过增加根总表面积来适应低磷环境。

结荚期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 在低磷处理下根总表面积值仍都要高于高磷处理,可见其在低磷下适应性极强,而且品种 HP134 并未达

根总表面积“峰”值,仍缓慢增长,可见其根系对磷素反应敏感,适应力强;磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 其根总表面积差异都达显著水平,在低磷处理下根总表面积都显著低于高磷处理,且差值都较大,说明磷低效品种在高低磷处理下根系总表面积变化迟钝。

鼓粒期,绝大多数品种根系总表面积都呈缓慢下降趋势,但磷高效基因型大豆 HP119 的根系总表面积却在缓慢上升,且维持在较高水平,这可能是 HP119 品种耐低磷的一种根系反应表现,通过根总面积的增加,吸收土壤中磷素。

表2 不同磷效基因型大豆生长关键时期的3D根总表面积

Table 2 Three-D root surface area of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at important growing stages/cm²

处理 Treatment	开花期 Flowering	结荚期 Pod-setting	鼓粒期 Pod-filing
HP-119	292.22 ab AB	531.95 b AB	550.35 a ABC
HP+119	242.66 bc AB	493.46 b B	594.30 a A
HP-134	246.91 bc AB	473.70 b B	376.75 bc DE
HP+134	119.52 d C	470.10 b B	351.26 bc DE
LP-113	197.25 c BC	470.07 b B	299.04 c E
LP+113	337.98 a A	549.60 b AB	441.89 b BCD
LP-102	287.47 ab AB	520.27 b B	429.97 b CD
LP+102	298.58 ab AB	637.05 a A	555.43 a AB

2.3 不同磷效基因型大豆在生长关键时期的根系体积变化

开花期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134,其根系体积均为低磷处理大于高磷处理(表3);磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 中,低高磷对 LP113 影响达极显著,低磷处理下根系体积值不足高磷处理根系体积值的一半,说明磷低效品种 LP113 在低磷环境下难以通过根系体积的变化来适应环境。

结荚期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 的根系体积在低高磷处理下差异不显著,且在低磷处理下根体积值略高些,可见其根系对低磷不敏感,低磷条件下通过根体积的增加来吸收土壤磷素,但是 HP119 未达到根体积的“峰”值,根系仍然发育,可见其根系通过增加根体积来保证磷素的吸收的能力很强。磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 的根系体积在低高磷处理下差异显著,且低磷处理显著小于高磷处理,可见其对土壤磷素敏感,在低磷环境下适应性很差。

鼓粒期,磷高效基因型大豆 P119 与其它品种表现出明显差异,其根体积值在结荚期后仍然增大,低高磷处理差异虽未达到显著,但根体积值都很大,可见其品种优势明显,发达的根系保证了在鼓粒期对土壤营养元素的吸收。

表3 不同磷效基因型大豆生长关键时期的根体积
Table 3 Root volume of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at important growing stages/cm³

处理 Treatment	开花期 Flowering	结荚期 Pod-setting	鼓粒期 Pod-filing
HP-119	5.58 bc ABC	18.33 bc ABC	23.59 b A
HP+119	5.08 bc BC	16.53 bc BC	30.14 a A
HP-134	3.85 cd BCD	12.52 c C	8.21 cd B
HP+134	2.15 d D	12.493 c C	7.77 cd B
LP-113	3.21 d CD	13.76 c BC	5.40 d B
LP+113	7.79 a A	22.01 ab AB	13.04 c B
LP-102	6.012 b AB	17.79 bc ABC	10.46 cd B
LP+102	5.58 bc ABC	26.01 a A	23.41 b A

2.4 不同磷效基因型大豆在大豆关键时期的根径变化

大豆关键时期的大豆根系直径变化与根体积变化的趋势基本相同,低磷处理较高磷处理根径有变小的趋势。不同磷效基因型大豆间差异变化不明显(表4),但磷低效基因型大豆 LP113 和 LP102 在低磷处理下开花期和结荚期的根系直径都要低于高磷处理,可见低磷使其根系径向变细,且根长也小于高磷处理,不利于根系吸收土壤养分。至结荚期后,绝大多数品种根系直径都缓慢下降趋于衰老,而磷高效基因型大豆 HP119 的根系直径却小幅增大,以保证品种在鼓粒期内有发达的根系保证植物体对养分的吸收利用,可能是该品种遗传特性的表现。

2.5 不同磷效基因型大豆在生长关键时期的总根尖数变化

开花期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 的总根尖数表现为低磷处理显著高于高磷处理(表5),说明磷高效基因型大豆可以在低磷环境下,通过增加根尖数来增加大根系吸收面积,进而提高对低磷环境的适应性。磷低效品种 LP102 在低磷处理下,其根尖数极显著小于高磷处理,说明该品种根系在花期对低磷环境适应性较差,总根数少,根吸收面积也相应变小。

表 4 不同磷效基因型大豆生长关键时期根系直径
Table 4 Root diameter of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at important growing stages/mm

处理 Treatment	开花期 Flowering	结荚期 Pod-setting	鼓粒期 Pod-filing
HP-119	0.75 bcd BC	1.38 abAB	1.67 b A
HP+119	0.84 ab AB	1.34 ab AB	2.02 a A
HP-134	0.62 f D	1.04 c B	0.87 cd B
HP+134	0.71 de BCD	1.05 c B	0.87 cd B
LP-113	0.65 ef CD	1.15 bc B	0.72 d B
LP+113	0.92 a A	1.60 a A	1.17 c B
LP-102	0.83 abc AB	1.35 ab AB	0.97 cd B
LP+102	0.75 cd BC	1.63 a A	1.65 b A

结荚期,磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 的总根尖数都较花期增加,且低磷处理下总根尖数值大于高磷处理,HP119 达显著水平;磷低效基因型大豆 LP102 高低磷处理下差异不明显,高磷处理下总根尖数一直呈下降趋势,花期较低磷处理略高,磷低效基因型大豆 LP113 在花期低磷促使其根尖数增长,但高低磷相比其增幅都趋于一致。

鼓粒期,多数根系衰老程度加剧,但就总根毛数而言,规律性不强,有增加也有减小,这可能是由于取样时破坏了脆弱的根尖导致,也可能与品种特性有关,需进一步研究探讨。

表 5 不同磷效基因型大豆生长关键时期根系总根尖数
Table 5 Total number of root tips of soybean genotypes with different phosphorus efficiency at important growing stages

处理 Treatment	开花期 Flowering	结荚期 Pod-setting	鼓粒期 Pod-filing
HP-119	1886.0 b B	2200.8 ab ABC	1908.3 d C
HP+119	1656.0 c B	1694.8 c C	1908.5 d C
HP-134	2646.3 a A	2727.5 a AB	2863.5 ab AB
HP+134	1330.5 c B	2565.0 a A	2328.5 cd BC
LP-113	1890.0 b B	2276.8 ab ABC	3087.8 a A
LP+113	1661.8 bc B	1735.0 c C	2501.0 b bc ABC
LP-102	1833.0 bc B	2211.8 ab ABC	2101.0 cd C
LP+102	2743.5 a A	2246.8 bc BC	2108.3 cd C

3 结论与讨论

董钻^[11]研究表明,作物自身的正常生长发育是地上部光合作用与地下部、根群吸收水分、养分相统一的系统过程,强大的根系势必促进地上部的同化作用。基因型不同大豆在生殖生长期根系形态性状存在较明显的差异,产量较高的基因型大豆在根系生物量、根体积和根长均大于产量较低的基因型大豆,所以,选育具有根系强大,生殖生长期分布广,衰

老死亡缓慢的品种将有利于对水分和养分的吸收。关于这方面的研究,Hudak^[12]和 杨秀红^[13]等人也得到了统一的研究结果。

金剑等^[14]指出,在雨养农业中如何根据气候变化因地制宜的进行科学合理施肥,协调水肥关系,调控根系发育,扩大根系吸收空间,提高水分及养分利用率,进而提高作物产量是十分必要的。

利用磷高效品种(HP134、HP119)和磷低效品种(LP113、LP102),在低磷(-P)和高磷(+P)处理下,研究生长关键时期(花期、结荚期、鼓粒期)的根系形态变化。磷高效基因型大豆在低磷处理下,根系适应性强,根系通过增加根长、根总表面积、根体积、根直径、总根毛数来增大对土壤中磷素的吸收,低磷处理下往往根长、根总表面积、根体积、根直径都要显著高于高磷处理,根构型的改变可增强其耐低磷能力。但磷高效基因型大豆 HP119 和 HP134 两者适应低磷的根部表现又有不同,HP119 能在结荚期至鼓粒期通过增加根总表面积和根系总体积来维持其磷的高效利用,而 HP134 则通过增加根长和总根尖数,并降低其根径值来适应低磷环境。

磷低效基因型大豆在低磷处理下,根系适应性较差。低磷处理与高磷处理相比,其根长、根总表面积、根体积、总根毛数的数值相差很大,多数都呈显著差异甚至极显著差异,其各项数值远低于高磷处理。

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] 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.)
- [3] 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.)
- [4] 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.)

266;12604-12611.

- [8] 刘友良,江良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性[M]. 植物生理与分子生物学(第二版),北京:科学出版社,1999:752-767. (Liu Y L, Jiang L J. The reaction and tolerance of plant after salt stress[M]. Plant Physiology and Molecular Biology (The second page), Beijing: Scientific Press, 1999:752-767.)
- [9] 彭志红,彭克勤. 渗透胁迫下植物的脯氨酸积累的研究进展[J]. 中国农学通报,2002,18(4):80-83. (Peng Z H, Peng K Q. Research progress on accumulation of proline under osmotic stress in plants[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(4): 80-83.)
- [10] 李明,王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报,2002,22(4):503-507. (Li M, Wang G X. Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and lipid peroxidation in glycyrrhiza uralensis seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(4): 503-507.)
- [11] Asada K, Takahashi M. Production and scavenging of active oxygen in *Photosynthesis*[M]// Kyle D J, Osmond C B, Amtzen C J. Photoinhibition. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1987: 227-287.
- [12] Song X S, Hu W H, Mao W H, et al. Response of ascorbate peroxidase isoenzymes and ascorbate regeneration system to abiotic stresses in *Cucumis sativus* L.[J]. Plant Physiology et Biochemistry, 2005, 43: 1082-1088.
- [13] Noctor G, Foyer C H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1998, 49: 249-279.
- [14] Zeevaert J A D. Abscisic acid metabolism and its regulation [M]. // Hall M, Libbenga K. Biochemistry and molecular biology of plant hormones. Amsterdam: Elsevier Science BV, 1999, 189-207.
- [15] Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants[J]. Annual Review of Plant Biology, 2002, 53: 247-273.
- [16] Lenzi A, Fambrini M, Barotti S, et al. Seed germination and seedling growth in a wilted mutant of sunflower (*Helianthus annuus* L.); effect of abscisic acid and osmotic potential. [J]. Environmental and Experimental Botany 1995, 35: 427-434.
- [17] Yamaguchi T, Street H E. Stimulation of the growth of excised cultured roots of soya bean by abscisic acid[J]. Annals of Botany, 1977, 41: 1129-1133.
- [18] Gazzarrini S, McCourt P. Genetic interactions between ABA, ethylene and sugar signaling pathways[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2001, 4: 387-391.

(上接第 823 页)

- [5] 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.)
- [6] 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.)
- [7] 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.)
- [8] Gerloff G C, Gabelman W H. Genetic basis of inorganic plant nutrition[M]. Encyclopedia of Plant Physiology (Lauchli A, Bielecki R L. eds). Springer-verlay, Berlin, 1983: 453-480.
- [9] 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.)
- [10] 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.)
- [11] 董钻. 盆栽条件下大豆冠根比研究初报[J]. 吉林农业科学, 1982, 4: 22-26. (Dong Z. Study on root/shoot ratio during pot experiment [J]. Jilin Agricultural Science, 1982, 4: 22-26.)
- [12] 杨秀红,吴宗琪,张国栋. 对肥水条件反应不同的大豆品种根系性状的比较研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(3): 23-25. (Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. A comparative study on characteristics of root system between drought resistant and water-fertilizer favorite soybean varieties [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(3): 23-25.)
- [13] Hudak C M. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought-resistant soybean plant introduction [J]. Agronomy Journal, 1996, 88: 478-485.
- [14] 金剑,刘晓冰,王光华,等. 大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究[J]. 大豆科学, 2004, 23(4): 253-257. (Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Study on relationship between root morphology during reproductive and yield in soybean [J]. Soybean Science, 2004, 23(4): 253-257.)