

磷素处理对不同磷效率基因型大豆根系性状的影响

敖雪, 谢甫绶, 张惠君, 刘婧琦, 王海英

(沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:大豆的耐低磷能力与根系性状密切相关。以磷高效基因型大豆锦豆 33 和磷低效基因型大豆铁丰 3 号为试材, 采用沙培的方法, 设 5 个磷浓度, 研究了不同生育时期磷效率基因型大豆的主根长、根冠比、根体积、根系活性和根系比表面积对磷素处理的反应。结果表明: 不同生育时期磷效率基因型大豆根系性状对磷浓度的反应比较复杂。幼苗期, 不同磷浓度处理下主根长度和根冠比磷高效基因型品种均显著高于磷低效基因型品种; 在有些磷浓度处理下根体积、根系活力和根系比表面积等指标基因型间差异达到显著水平, 指标值的大小随磷浓度的变化没有一致的规律性。分枝期, 不同磷效率基因型品种间和不同磷浓度处理间主根长度都没有显著差异。开花期, 不同磷浓度处理下主根长度和根冠比存在显著的基因型间差异, 表现为磷高效品种显著大于磷低效品种。结荚期, 根系活力和根体积在不同磷浓度处理下均表现出显著的基因型间差异。在各磷浓度下, 磷高效品种的根系活力都显著大于磷低效品种的。在 0.5、1.0、1.5 和 2 mmol · L⁻¹ 的磷浓度下, 磷高效品种的根体积显著大于磷低效品种。

关键词:大豆; 磷; 根系性状

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)05-0787-05

Effect of Phosphorus on Root Traits of Soybean Cultivars with Different Phosphorus Efficiencies

AO Xue, XIE Fu-ti, ZHANG Hui-jun, LIU Jing-qi, WANG Hai-ying

(Agronomy College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning, China)

Abstract: The ability of soybean tolerant to low-phosphorus is closely related to root traits. A sand culture experiment was carried out to study the effect of phosphorus levels on taproot length, root/shoot ratio, root volume, root activity and specific root area at different growth stages of Jindou 33 and Tiefeng 3 with different phosphorus efficiencies. Five concentrations of phosphorus in the experiment was designed. Results showed that the relationship between root traits of soybean cultivars with different phosphorus efficiencies at different growth stages and phosphorus levels was very complicated. At seedling stage, the taproot length and root/shoot ratio of phosphorus efficient genotype species were significantly higher than that of phosphorus inefficient genotype under different phosphorus levels; root volume, root activity and specific root area had a significant response to certain phosphorus levels between genotypes, and with the changes of phosphorus levels, these criteria changed non-uniformly. At branching stage, there was no significant response for taproot length in different genotypes with different phosphorus efficiency and under the different phosphorus level treatments. At blooming stage, the taproot length and root/shoot ratio of phosphorus efficient genotype species were significantly higher than that of phosphorus inefficient genotype under different phosphorus levels. At podding stage, roots activity and root volume of phosphorus efficient genotype were significantly higher than that of phosphorus inefficient genotype under 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mmol · L⁻¹ phosphorus levels.

Key words: Soybean; Phosphorus; Root traits

磷是植物生长发育所必须的一种大量营养元素, 土壤缺磷已成为现代农业生产发展的主要限制

因素之一。大豆是喜磷作物, 增施磷肥才能获得高产。但磷肥的资源有限, 施入土壤的磷很容易被固

收稿日期: 2008-04-08

基金项目: 辽宁省科技厅科技基金资助项目(2006201008); 辽宁省教育厅创新团队资助项目(2006T116)。

作者简介: 敖雪(1979-), 女, 博士研究生, 研究方向为大豆耐低磷育种。E-mail: cymkaheihei@yahoo.com.cn。

通讯作者: 谢甫绶, 教授, 博士生导师。E-mail: snssoybean@yahoo.com.cn。

定,磷肥利用率低,磷肥的流失也会带来环境污染问题^[1],因此提高作物自身利用土壤磷的能力,利用常规育种方法选育出土壤磷利用力强的作物品种,是摆在育种家面前的一个非常紧迫的任务。植物对土壤中磷的吸收主要依靠根系吸收其周围所接触到的土壤有效磷^[2]。因此,根系性状与品种的耐低磷能力有一定的相关性。前人对根系的一些指标(如根长、根质量、根吸收面积等)与磷吸收的关系以及苗期磷素处理对根系的影响等方面进行过研究^[3-6]。但在大豆不同生育时期,磷素处理对磷效率基因型大豆根系的影响研究还较少。因此,试验采用沙培方法研究了不同生育时期磷素处理对磷高效和磷低效基因型大豆根系性状的影响,旨在明确不同生育时期磷效率基因型大豆品种根系对磷浓度的反应,为选育磷高效基因型大豆提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

以磷高效基因型大豆锦豆 33(代号为 H)和磷低效基因型大豆铁丰 3 号(代号为 L)为试材^[7]。

1.2 试验设计

试验于 2007 年 6 月~9 月在沈阳农业大学农学院试验基地防雨棚内进行。采用沙培进行试验,用盆钵为 20×25 cm 的塑料盆,盆内装清洗干净的石英砂。精选种子用 H₂O₂ 消毒后,避光发芽 72 h 后种植到塑料盆中。试验设 5 个磷处理:0、0.5、1、1.5、2 mmol·L⁻¹,磷源采用 KH₂PO₄。其它营养元素(化合物)参照王应祥等^[8]及 Villagarcia 等^[9]略有改动:4.5 mmol·L⁻¹ KNO₃, 1.2 mmol·L⁻¹ NH₄NO₃, 3.6 mmol·L⁻¹ CaSO₄·2H₂O, 0.25 mmol·L⁻¹ MgSO₄。微量元素为:9 μmol·L⁻¹ H₃BO₃, 0.9

μmol·L⁻¹ MnSO₄, 0.9 μmol·L⁻¹ ZnSO₄, 1.5 μmol·L⁻¹ CuSO₄, 0.18 μmol·L⁻¹ (NH₄)₆Mo₇O₂₄ 和 9 μmol·L⁻¹ Fe-EDTA。调节营养液 pH 在 6.0。每天早上 8:00 用 1 L pH 为 4.5 的蒸馏水浇苗,洗掉多余盐分,然后每盆浇新的 500 mL 营养液,下午 4:00 每盆浇 500 mL pH 为 4.5 蒸馏水一次。前 7 d 浇 1/2 营养液,以后为全营养液。每个处理重复 3 次。处理间和处理内均采用随机排列法。采用 Excel 2003 和 SAS 软件对数据进行统计和分析。

1.3 测定内容与方法

在大豆不同生育时期(苗期、分枝期、开花期、结荚期)测定主根长、根冠比、根体积、根系活性、根系比表面积。将根系从石英砂中小心取出,然后用漏网反复冲洗,收集所有根系用于称重。将根系吸干水分,用直接测定法测定主根长,用排水法测定根系体积,用甲烯兰蘸根法测定根系活力及比表面积。

2 结果与分析

2.1 主根长度

在不同磷素处理下,各个生育时期磷高效基因型大豆的主根长度都大于磷低效基因型大豆,但不同生育时期,品种间主根长度差异达到显著水平的磷素浓度有所不同(表 1)。0、0.5 和 1 mmol·L⁻¹ 浓度下,苗期锦豆 33 的主根长度都显著长于铁丰 3 号,并且随着磷浓度的变化,无论是磷高效基因型还是磷低效基因型大豆的主根长度都有显著的变化,但磷高效基因型的变异幅度要小,表明在苗期大豆的主根长度对磷素的反应比较敏感。虽然分枝期锦豆 33 的主根长度都长于铁丰 3 号,但方差分析结果显示在各种磷素浓度下该差异都未达到显著水平。分枝期随着磷浓度的变化,不同磷效率基因型品种

表 1 不同生育时期磷效率基因型大豆的主根长度

Table 1 Taproot length of soybean cultivars with different phosphorus efficiencies at different growth stages/cm								
磷浓度 P concentration /mmol·L ⁻¹	苗期 Seedling		分枝期 Branching		开花期 Blooming		结荚期 Podding	
	H	L	H	L	H	L	H	L
0	24.5e	19.0f	39.0a	32.7ab	41.7a	33.3bc	40.0bc	37.5bcd
0.5	32.0a	30.0b	33.0ab	32.7ab	40.2a	33.7bc	42.0b	40.0bc
1.0	25.0e	18.5g	28.7ab	23.0b	40.0a	30.0cd	52.3a	44.0b
1.5	29.0bc	29.0bc	33.7ab	29.0ab	35.0b	29.3d	35.0cd	34.0cd
2.0	27.0d	26.0d	30.5ab	28.0ab	32.0ab	31.0de	35.0cd	32.5d

每一列数据后不同字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。H:磷高效基因型锦豆 33,L:磷低效基因型铁丰 3 号。其余表同。
Values followed by a different letter within a column are significantly different at P<0.05. H:Phosphorus high-efficiency Jindou33. L:Phosphorus low-efficiency Tiefeng 3. The same as below.

的主根长度变化较小,说明分枝期是主根长度对磷素较钝感的时期。在不同的磷浓度下,开花期两品种间的主根长度均表现为磷高效品种的主根长度显著大于磷低效品种,随着磷浓度的升高,两品种的主根长度都有缩短的趋势,说明高磷胁迫下会抑制主根的伸长。在结荚期只有1 mmol·L⁻¹的磷浓度下磷高效基因型品种的主根长度显著大于磷低效基因型。

2.2 根冠比

根冠比是指植物地下部分与地上部分的鲜重或干重的比值。它的大小反映了植物地下部分与地上部分的相关性。从表 2 中可以看出,不同磷素处理下,磷高效基因型品种锦豆 33 的根冠比在各个生育时期都比磷低效基因型品种铁丰 3 号要高,但在不

同生育时期,两品种根冠比差异达到显著水平的磷素浓度有所不同。苗期,不同的磷浓度下两个品种间均有显著的差异,且磷浓度最高时,两品种的根冠比都为最小值,表明磷浓度过高,对大豆苗期的生长有抑制作用。分枝期,除了 2 mmol·L⁻¹的磷浓度外,其他各个浓度下两品种的根冠比都有显著的差异。开花期,除了 0.5 mmol·L⁻¹的磷浓度外,其他各浓度下品种间根冠比都有显著的差异。结荚期,磷浓度在 0、1.5、2 mmol·L⁻¹时品种间表现出显著的差异。从表 2 中还可以看出,不同磷效率基因型品种的根冠比的最大值几乎都出现在 0 mmol·L⁻¹的浓度下,这主要是因为苗期,由于受到磷胁迫的影响,植株地上部分生长受到抑制比较严重,导致根冠比较大。

表 2 不同生育时期磷效率基因型大豆的根冠比

磷浓度 P concentration /mmol·L ⁻¹	苗期 Seedling		分枝期 Branching		开花期 Blooming		结荚期 Podding	
	H	L	H	L	H	L	H	L
0	3.52a	2.52bc	3.41a	2.18b	2.40a	2.22b	1.77a	1.37b
0.5	3.05b	2.39c	1.51c	1.24d	0.83f	0.80f	0.84d	0.80de
1.0	3.67a	2.44bc	1.23d	0.62e	1.61d	0.79f	0.78de	0.70ef
1.5	3.00b	1.82d	1.41c	1.08de	0.81f	0.53g	1.32b	0.76def
2.0	2.34c	1.58d	0.81e	0.64e	2.00c	0.93e	1.05f	0.62c

2.3 根体积

在不同生育时期,磷高效和磷低效基因型大豆的根体积都有差异,且品种间差异达到显著水平的磷素浓度有所不同(见表 3)。在苗期,不同的磷浓度下两品种的根体积都表现出显著的差异。分枝期,在 0.5、1 和 1.5 mmol·L⁻¹的磷浓度下,磷高效基因型大豆的根体积显著高于磷低效基因型的,其

他浓度下差异不显著。开花期,在 1.5 和 2 mmol·L⁻¹的磷浓度下,两品种的根体积差异显著。结荚期,在 0.5、1、1.5 和 2 mmol·L⁻¹的磷浓度下,两品种的根体积差异显著。在不同的生育时期,磷高效和磷低效基因型大豆的根体积都随着磷浓度的变化而有所变化,且都是在中间磷浓度下根体积比较大,表明磷浓度过高或过低都不利于根体积的增加。

表 3 不同生育时期磷效率基因型大豆的根体积

磷浓度 P concentration /mmol·L ⁻¹	苗期 Seedling		分枝期 Branching		开花期 Blooming		结荚期 Podding	
	H	L	H	L	H	L	H	L
0	5.50f	9.00b	8.87e	7.93e	15.63d	13.10d	15.67f	20.50ef
0.5	9.00b	12.50a	45.00a	36.00b	39.63a	40.40a	50.33b	48.33c
1.0	8.30c	7.20d	37.00b	26.00c	40.67a	38.50ab	64.00a	53.67b
1.5	9.00b	8.00c	29.33c	20.33d	38.00ab	16.63d	38.33d	33.33e
2.0	8.20c	6.90e	17.00de	22.75d	26.00b	22.80c	39.00d	31.50e

2.4 根系活力

植物根系是活跃的吸收器官和合成器官,根的生长情况和活力水平直接影响地上部的生长、营养状况和产量水平。从表 4 中可以看出,两个品种的根系活力在不同的生育时期都表现出差异,但在不同的生育时期,两品种差异达到显著水平的磷素浓

度亦有所不同。0 mmol·L⁻¹的磷浓度下磷高效基因型大豆苗期的根系活力显著高于磷低效基因型的,其他磷浓度下两品种根系活力差异不明显。在分枝期,除了 0 mmol·L⁻¹磷浓度下两品种没有显著差异外,其他各浓度都有显著的差异,且磷高效基因型品种的根系活力在各个磷浓度下都表现出显著的

差异,表明在此时期根系活力对磷浓度比较敏感;开花期和结荚期,不同的磷素浓度下,两品种的根系活

表4 不同生育时期磷效率基因型大豆的根系活力

磷浓度 P concentration /mmol · L ⁻¹	苗期 Seedling		分枝期 Branching		开花期 Blooming		结荚期 Podding	
	H		H		H		H	
	L	L	L	L	L	L	L	L
0.0	49.19c	48.97d	48.47d	48.53d	48.46c	48.90b	48.89c	42.65g
0.5	49.60b	49.80b	49.75b	48.63d	48.01c	48.99b	55.22a	48.32d
1.0	48.63d	48.88d	49.17c	49.68b	49.27a	45.79d	48.82c	49.65b
1.5	49.70a	49.75a	42.09e	49.60b	48.81b	49.14a	46.65e	49.51b
2.0	49.51a	50.06a	50.95a	32.10f	49.58a	48.79b	48.71c	44.74f

2.5 根系比表面积

根系比表面积即单位体积的吸收面积,其大小在一定程度上反映根系的粗细、分枝和根毛的多少。从表5中可以看出,在不同生育时期,0 mmol · L⁻¹的磷浓度下,磷高效基因型品种的根系比表面积都

大于磷低效基因型品种的。方差分析结果表明,除了分枝期以外,其他时期两品种的差异都达到了显著水平。0.5 mmol · L⁻¹的磷浓度下,两品种苗期的根系比表面积也表现出显著的差异。

表5 不同生育时期磷效率基因型大豆的根系比表面积

磷浓度 P concentration /mmol · L ⁻¹	苗期 Seedling		分枝期 Branching		开花期 Blooming		结荚期 Podding	
	H		H		H		H	
	L	L	L	L	L	L	L	L
0	2.54a	1.60b	1.85a	1.64a	1.82c	1.39b	1.82a	1.24b
0.5	1.57b	1.16c	0.81d	0.84d	1.24c	1.22cd	0.78d	0.77d
1.0	1.71b	1.95b	0.98cd	1.15c	1.22cd	1.05d	0.57e	0.41e
1.5	1.56b	1.76b	1.51ab	1.79a	1.28c	2.43a	0.81cd	0.91c
2.0	1.71b	1.99b	1.23bc	1.24bc	1.62b	0.77e	0.58e	1.31b

3 讨论

由于磷在土壤中的移动性较差,植物对土壤中磷的吸收主要依靠根系吸收其周围所接触到的土壤有效磷。因此,根系的一些性状与吸收土壤中磷的能力关系密切。缺磷时植物可能会通过根长、根表面积的相对增加等来提高吸收土壤中的有效磷的能力。有研究表明,在苗期,不同磷处理下,大豆的根冠比、主根长、总吸收面积和活跃吸收面积有变化,但品种间缺乏明显一致的规律性^[10]。丁玉川等研究了移苗后15 d和22 d两个时期磷浓度变化对大豆生长发育的影响,结果表明,不同磷浓度对大豆株高、根体积等具有显著或极显著影响,且不同大豆品种和不同生长发育阶段对磷浓度的反应表现出显著差异。通过对磷高效和磷低效基因型大豆在不同生育时期根系性状对不同磷浓度的反应进行研究,结果表明,磷高效基因型品种和磷低效基因型品种在

不同生育时期、不同磷浓度下根系性状的变化比较复杂。例如在苗期,主根长度和根冠比这两个参数在不同磷浓度下磷高效基因型品种都显著大于磷低效基因型品种。前人的研究结果也证明在苗期根长与苗期的磷积累量呈显著的正相关关系^[11-13]。而根体积、根系活力、根系比表面积这3个参数虽然部分浓度下两个品种间达到显著差异,但大小关系随磷浓度的变化没有一致的规律性。分枝期,主根长度在不同磷效率基因型品种间以及不同浓度间都没有显著差异。有些指标在生育后期低磷浓度下表现出基因型间的差异,如根系活力在结荚期的0、0.5 mmol · L⁻¹的磷浓度下磷高效基因型品种显著大于磷低效基因型品种。多数指标都是在某个浓度、某个生育时期上表现出磷高效基因型品种显著优于磷低效基因型的,如试验结果中的根系比表面积等。研究只是用一个磷高效和一个磷低效品种作为研究材料,初步探讨了不同生育时期根系性状对磷素处

理的反应,有些结论可能不具有代表性,还有待于进一步的研究。

参考文献

- [1] Gahoonia T S, Nielsen N E. Root traits as tools for low phosphorus tolerance on tropical soils[J]. *Plant and Soil*, 2004, 260: 47-57.
- [2] 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 conditions[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2000, 22(1): 21.)
- [3] Gerloff G C, Gabelman W H. Genetic basis of inorganic plant nutrition[M]//Lauchli A, Bielecki R L. *Encyclopedia of Plant Physiology*. Berlin: Springer-verlag, 1983: 453-480.
- [4] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 不同磷水平对大豆植株生长发育的影响[J]. *山西农业科学*, 2006, 34(1): 47-49. (Ding Y C, Chen M C, Chen B, et al. Effect of different phosphorus levels on plant growth and development of soybean[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2006, 34(1): 47-49.)
- [5] Wang L D, Liao H, Yan X L. Genetic variability four root hair traits as related to phosphorus status in soybean[J]. *Plant and Soil*, 2004, 261(3): 77-84.
- [6] 金剑, 王光华, 刘晓冰, 等. 不同施磷量对大豆苗期根系形态性状的影响[J]. *大豆科学*, 2006, 25(4): 360-364. (Jin J, Wang G H, Liu X B, et al. Effect of different phosphorus regimes on root morphological characteristics of soybean seedling[J]. *Soybean Science*, 2006, 25(4): 360-364.)
- [7] 李志刚, 谢甫绶, 宋书宏. 大豆高效利用磷素基因型的筛选[J]. *中国农学通报*, 2004, 20(5): 126-129. (Li Z G, Xie F T, Song S H. The selection of high phosphorus using efficient soybean genotype[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(5): 126-129.)
- [8] 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 adaptation to low P stress[J]. *Soybean Science*, 2003, 22(3): 208-212.)
- [9] Villagarcia M R, Thomas E, Carter J, et al. Genotypic rankings for aluminum tolerance of soybean roots grown in hydroponics and sand culture[J]. *Crop Science*, 2001, 41: 1499-1507.
- [10] 王美丽, 严小龙. 大豆根形态和根分泌物特性与磷效率[J]. *华南农业大学学报*, 2001, 22(3): 1-4. (Wang M L, Yan X L. Characteristics on root morphology and root exudation of soybean in relation to phosphorus efficiency[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2001, 22(3): 1-4.)
- [11] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究[J]. *西北植物学报*, 2005, 25(9): 1791-1797. (Ding Y C, Chen M C, Chen B, et al. Phosphorous uptakes and uses of different soybean varieties[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(9): 1791-1797.)
- [12] 申忠宝, 齐志勇, 金剑. 大豆不同生殖生长期干旱胁迫条件下施磷对根系形态性状的影响[J]. *大豆科学*, 2007, 26(4): 528-532. (Shen Z B, Qi Z Y, Jin J. Effect of phosphorus application on morphological characters of root under drought stress at different reproductive stages in soybean[J]. *Soybean Science*, 2007, 26(4): 528-532.) (in English)
- [13] 苗淑杰, 乔云发, 韩晓增, 等. 大豆根系特征与磷素吸收利用的关系[J]. *大豆科学*, 2007, 26(1): 16-20. (Miao S J, Qiao Y F, Han X Z, et al. Relationship between root characters and phosphorus absorptions in soybean[J]. *Soybean Science*, 2007, 26(1): 16-20.)

2009 年《杂交水稻》征订启事

《杂交水稻》是由国家杂交水稻工程技术研究中心和湖南杂交水稻研究中心主办的、对国内外公开发行的专业技术刊物, 获第二届国家期刊奖提名奖, 为全国中文核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、中国科技论文统计源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、《中国期刊网》和《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊、万方数据资源系统数字化期刊群全文收录期刊、湖南省一级期刊、湖南省优秀科技期刊、湖南省十佳科技期刊、全国优秀科技期刊、中国期刊方阵双效期刊。主要宣传报道我国及国外杂交水稻研究、应用中的最新成果、进展、动态、技术经验和信息等。辟有专题与综述、选育选配、栽培技术、繁殖制种、新组合、基础理论、国外动态和简讯等栏目。双月刊, 大 16 开本, 96 页, 逢单月出版, 每册定价 8 元, 年价 48 元。订阅办法: (1) 可到当地邮局订阅, 邮发代号: 42-297。 (2) 直接向本刊杂志社订阅, 挂号费每个订户全年 18 元整。请将款邮至长沙市马坡岭远大二路 736 号《杂交水稻》杂志社或信汇长沙市农行马坡岭支行, 账户为湖南省农业科学院, 账号 035801040000341 (务请注明为杂交水稻 2009 年杂志款), 邮编 410125, 电话 0731-2872955, 2872954; E-mail: jhybrice@public.cs.hn.cn; http://zjsd.chinajournal.net.cn。欢迎订阅, 并欢迎投稿、刊登广告。