

## 难溶性无机磷酸盐对大豆苗期根系生长的影响

谷思玉<sup>1</sup>, 闫 琰<sup>1</sup>, 张彦丽<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 牡丹江师范学院, 黑龙江 牡丹江 157000)

**摘要:** 为了研究不同难溶性磷(钙磷、铝磷和铁磷)与大豆根系生长的关系,以田间筛选试验为基础,采用室内砂培与水培相结合的栽培方法,分别对磷高效基因型(东农44和东大1号)和磷低效基因型(黑河13和黑河24)大豆苗期根系生长进行比较。结果表明:4个基因型大豆利用难溶性磷酸盐的能力存在显著差异。难溶性磷源条件下,各基因型大豆的根干重、根冠比、总根长、根总表面积比对照处理均有显著增加,而根系全磷浓度、磷含量和平均半径均减小。磷高效基因型大豆在各处理下的根长和根表面积均大于磷低效基因型,但磷高效基因型部分性状的适应性未表现出优势。

**关键词:** 大豆基因型;根形态;难溶性磷酸盐;磷吸收利用

**中图分类号:** S565.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-9841(2012)01-0092-04

## Effect of Insoluble Inorganic Phosphate on Root Growth of Soybean Seedlings

GU Si-yu<sup>1</sup>, YAN Yan<sup>1</sup>, ZHANG Yan-li<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang; 2. Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157000, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Based on previous field experiment, two P-efficient soybean genotypes (Dongnong 44 and Dongda 1) and two P-inefficient soybean genotypes (Heihe 13 and Heihe 24) were selected as materials to investigate the relationship between root growth and insoluble phosphate using sand culture and water culture. The results showed that there was significant difference among the ability to use insoluble phosphate for the four soybean genotypes. Compared with control, under the condition of Al-P, Ca-P and Fe-P treatment, the root dry weight, the root/shoot ratio, total length and surface area per plant of root system for the four soybean genotypes increased evidently, while the root P concentration, root P uptake and average root radius all decreased. Under different treatment, the root length and surface area of P-efficient soybean genotypes was greater than that of P-inefficient soybean genotypes, but the adaptability of some traits in P-efficient soybean genotypes did not had advantages.

**Key words:** Soybean genotypes; Root morphology; Sparingly soluble phosphate; Absorption and utilization of phosphorus

磷素是作物生长和发育的必需元素之一,参与植物生长的一系列生理活动。磷素资源是不可再生的,这点相异于氮素。向土壤中施入的磷素是利用自然界中有限的磷矿资源制成的,因磷具有易固定、难移动的特点,土壤中全磷含量通常较高,但是有效磷含量较低,且大部分以钙磷、铝磷、铁磷等不能被植物直接吸收利用的形式存在<sup>[1]</sup>。主要依靠施用磷肥、有机肥等传统改良土壤方法往往不能提高有效磷含量。目前,科研工作者正致力于选育对难溶性磷活化吸收高的大豆品种用以解决上述问题,这也是植物营养学科的研究热点之一<sup>[2-4]</sup>。

已有研究表明,玉米根系通过发生适应性变化来提高对土壤难溶性磷的吸收能力<sup>[5-8]</sup>。但对不同大豆基因型对难溶性磷吸收研究的报道较少,研究

难溶性磷条件下大豆根系的生长情况对探讨大豆适应缺磷胁迫的机理,提高大豆产量,改善大豆品质具有重要的意义。

该研究采用砂培和水培相结合模拟试验,分析植株根系生长指标(根干重、根冠比、根系磷浓度和根系磷含量)和部分根系形态学指标(总根长、根表面积、根半径)的变化,探讨4个大豆基因型在难溶性磷条件下根系生长的差异,为进一步研究大豆的耐低磷机制和拓宽耐低磷种质资源提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

供试大豆品种为东农44、东大1号、黑河13和黑河24,其中东农44和东大1号为磷高效基因型,

收稿日期:2011-11-07

基金项目:黑龙江省教育厅资助项目(10551033);黑龙江省博士后基金资助项目(LRB00061)。

第一作者简介:谷思玉(1964-),女,博士,副教授,主要从事土壤肥力与植物营养遗传方面的研究。E-mail:gusiyu777@163.com。

黑河 13 和黑河 24 为磷低效基因型。供试材料磷素利用率差异是根据前期的试验筛选出来的,即搜集黑龙江大面积种植品种 20 余个,在磷胁迫条件下根据其生物量、根系形态指标等指标的表现进行了筛选和划分。

### 1.2 试验设计

试验在智能型人工气候植物箱(HPG-400HX)中进行,砂培试验装置参照文献[9]。精选种子用 0.1% 双氧水消毒后播于石英砂中,用 1/2 正常供磷营养液浇灌,待种子萌发到 2 片子叶刚展开时取出,移植到上述砂培试验装置塑料篮内,每桶 10 株,每天早晚各通气 2 h。试验设 4 个磷处理:对照仅提供高磷营养液,其它处理为 Al-P:  $\text{AlPO}_4$  ( $0.262 \text{ g} \cdot \text{盒}^{-1}$ ); Ca-P:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  ( $0.247 \text{ g} \cdot \text{盒}^{-1}$ ); Fe-P:  $\text{FePO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  ( $0.478 \text{ g} \cdot \text{盒}^{-1}$ ) 均与石英砂混匀后加入无磷营养液,上述难溶性磷酸盐的浓度均为假设其全部可溶时的浓度,相当于  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

正常供磷营养液磷源为  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ( $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  P),其它营养元素(化合物)的含量( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )为:  $0.75 \text{ K}_2\text{SO}_4$ 、 $0.65 \text{ MgSO}_4$ 、 $0.1 \text{ KCl}$ 、 $2.0 \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;微量元素( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )为:  $1.0 \text{ H}_3\text{BO}_3$ 、 $1.0 \text{ MnSO}_4$ 、 $0.1 \text{ CuSO}_4$ 、 $1.0 \text{ ZnSO}_4$ 、 $0.5 (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 、 $100 \text{ Fe-EDTA}$ 。无磷大豆营养液中的  $\text{K}^+$  用  $\text{K}_2\text{SO}_4$  补齐。每处理设 3 次重复。大豆生长阶段,定时用  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 HCl 和 NaOH 调 pH 至 6.5 ~ 7.0,每 3 d 更换营养液。大豆移苗 15 d 后收获植株,测量地上部株高,地下

部样品用扫描仪扫描,经图像分析软件 WINRHIZO (Regent InsInc Canada) 计算总根长、表面积和根半径后,在  $75^\circ\text{C}$  下烘干称重,最后将样品粉碎用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  法消煮,钼锑抗比色法测定全磷。

### 1.3 数据分析

应用 Excel 2003 对 3 次重复的数据采用平均值的方法计算,SAS 软件进行双因素方差分析后,运用新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆在不同磷处理下的根系生物量与根冠比

相同磷处理下,4 个大豆基因型的根干重均存在显著差异,并且不同磷处理条件下大豆根系干重也受到显著影响(表 1)。4 个大豆基因型在难溶性磷条件下的根系干重均高于对照,说明不同大豆基因型对不同磷源的反应存在较大差异。东农 44,东大 1 号和黑河 24 均表现为 Al-P > Fe-P > Ca-P > HP,黑河 13 为 Fe-P > Al-P > Ca-P > HP。

从根冠比看,4 个大豆在不同基因型和磷处理间均存在显著差异。难溶性磷条件下,除黑河 13 外,其它各基因型的根冠比较对照均显著增加,说明难溶性磷条件可强化 4 个基因型根系吸收功能,是作物对营养逆境的一种主动适应机制。

表 1 不同磷处理大豆根系干重和根冠比

Table 1 Root dry weight and root/shoot ratio of soybean under different P treatment

基因型 Genotype	根部生物量 Root biomass/ $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$				根冠比 Root/Shoot			
	Control	AL-P	Ca-P	Fe-P	Control	AL-P	Ca-P	Fe-P
东农 44 Donghong44	0.109c	0.134c	0.123c	0.127b	0.271a	0.317d	0.332b	0.305d
东大 1 号 Nongda 1	0.112b	0.157a	0.143a	0.151a	0.236d	0.390a	0.291c	0.412a
黑河 13 Heihe 13	0.122a	0.141b	0.134b	0.150a	0.385a	0.340c	0.234d	0.339c
黑河 24 Heihe 24	0.097d	0.126d	0.119d	0.121c	0.255c	0.351b	0.351a	0.343b

表中数据为 3 次重复的平均值,同一列数据后不同字母者表示差异达 5% 显著水平,下同。

Data in the table is the average of 3 plants; Different letters in the same column mean significant at 5% level, the same below.

### 2.2 大豆在不同磷处理下的根系磷浓度和根系吸磷量

相同磷处理条件下,4 个大豆基因型的根系磷浓度和吸磷量均存在显著差异(表 2)。与对照相比,Al-P、Ca-P 和 Fe-P 处理显著降低了 4 个大豆基因型的根系磷浓度。4 个大豆基因型在难溶性磷条

件下,Ca-P 处理的根系磷浓度显著高于 Al-P 和 Fe-P 处理,说明试验所选大豆基因型对钙磷含量较多的土壤具有较强的适应能力。各基因型的根系磷浓度均表现为 Ca-P > Fe-P > Al-P。

在根系吸磷量方面,东农 44,东大 1 号和黑河 13 的表现规律与全磷浓度时相同,而黑河 24 在难

溶性磷条件下的根系含磷量高于正常供磷,可能是由于根系干重差异所致。其中,磷高效东农44和东大1号根系磷含量都远高于磷低效的黑河13和

黑河24,说明在难溶性磷胁迫条件下,前2个品种利用磷素的能力更强,这与前期在可溶性磷条件下对其的筛选结果一致。

表2 不同磷处理大豆根系磷浓度和根系磷含量

Table 2 Genotypic variation of soybean in root P concentration and root P uptake

基因型 Genotype	根系磷浓度 P concentration of root/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$				根系含磷量 P content of root/ $\text{mg} \cdot \text{plant}^{-1}$			
	Control	Al-P	Ca-P	Fe-P	Control	Al-P	Ca-P	Fe-P
东农44 Dongnong 44	25.314a	14.601b	20.359a	18.062a	2.759a	1.822c	2.504b	2.294b
东大1号 Dongda 1	24.106b	13.185c	18.249c	15.601c	2.700b	2.070b	2.610a	2.355a
黑河13 Heihe 13	19.831d	11.743d	15.553d	13.351d	2.419c	1.656d	2.084d	2.003d
黑河24 Heihe 24	21.398c	16.657a	18.651b	17.507b	2.076d	2.099a	2.219c	2.118c

### 2.3 大豆在不同磷处理下的根系生长形态

磷形态对大豆的根系形态有显著影响(图1)。难溶性磷刺激根系的生长,表现为根长和根表面积较对照处理增加,根半径减少,说明在难溶性磷条件下,大豆可通过改变根系形态增大根系与环境接触的机会,从而提高大豆根系对难溶性磷环境的适应能力。磷高效基因型的根长和根表面积为 Al-P > Ca-P > Fe-P > HP; 磷低效基因型为: Al-P > Ca-P > Fe-P > HP。各基因型的根半径为 Fe-P > Ca-P > Al-P > HP。

从图1还可看出,磷高效基因型在 Al-P 和 Ca-P 处理下的根长和根表面积均显著大于磷低效基因型。说明在这2种磷处理下,磷高效基因型较磷低效基因型大豆根系生长形态方面的适应能力强,从而减少低磷胁迫对磷高效大豆基因型生长造成的负面影响。

## 3 讨论

筛选和培育利用难溶性磷酸盐能力较强的作物基因型是缓解土壤磷素有效性低的途径之一。不同基因型在难溶性磷酸盐利用能力方面的差异在小豆<sup>[10]</sup>、花生<sup>[11]</sup>、小麦<sup>[12]</sup>和菜豆<sup>[13-14]</sup>等作物上均有报道。根系发育是植物遗传系统和外部环境共同作用的结果,具有很大的可塑性,土壤营养元素的有效性和分布是影响根系构型的重要因子之一。已有研究表明,低磷胁迫下,植物根系对环境难溶性磷的活化、有效吸收、转运、分配及再利用等均会发生适应性的改变<sup>[15]</sup>。

该试验结果表明,当以 Al-P、Ca-P 和 Fe-P 作为单独磷源时,4个大豆基因型的干重、根冠比、全磷浓度、吸磷量以及根系形态生长指标都存在显著的基因型差异,不同效率大豆基因型的变化程度不同,表明这4个大豆基因型根系在吸收和利用难溶性磷酸盐方面存在显著差异。磷高效的东农44和

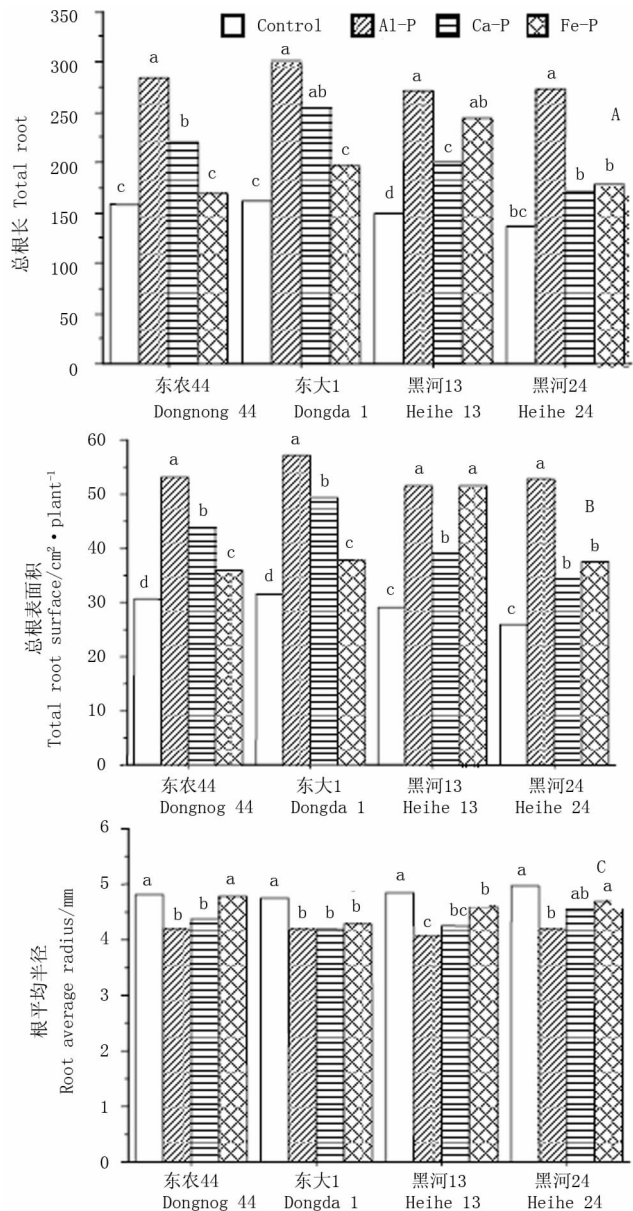


图1 不同磷处理下大豆总根长(A), 根表面积(B)和根平均半径(C)的基因型差异  
Fig. 1 Genotypic variation of soybean in total root length (A), root surface (B) and root average radius (C) with different P treatment

东大 1 号在利用难溶性磷源方面表现出明显的优势,其生理机制有待于进一步探讨。

有同位素示踪试验结果显示,3 种难溶性无机磷组分对玉米有效性的顺序为 Ca-P > Al-P > Fe-P<sup>[16]</sup>。该试验中,在各大豆基因型的根系全磷浓度方面也大致表现出这种规律,这可能是由于供试品种对北方 Ca-P 较丰富的土壤一种适应反应。据报道,根长和根表面积对植物获得磷营养具有决定性的影响<sup>[17-18]</sup>,该试验在对照、Al-P 和 Ca-P 条件下,磷高效基因型的总根长和根表面积均比磷低效大豆基因型大,表明磷高效基因型根系对难溶性磷的适应性反应在幼苗生长早期就已表现出来。

由于不同基因型的生育期和对光照反应的程度不同,因此苗期对难溶性磷的反应不一定与最终的经济产量相同。因此应通过盆栽或大田试验,对不同基因型大豆耐难溶性磷的活化吸收机制和生长状况进行更深一步的研究,进而从现有的大豆种质资源中筛选出具有较强利用难溶性磷酸盐能力的基因型。

## 参考文献

- [1] 姜勇,张玉革,闻大,等. 沈阳市郊耕地土壤交换性铁含量的空间异质性[J]. 水土保持学报,2003,17(1):119-121. (Jiang Y, Zhang Y G, Wen D, et al. Spatial heterogeneity of exchangeable iron content in cultivated soils of shenyang suburbs[J]. Journal of Soil Water Conservation,2003,17(1):119-121.)
- [2] 赖怀,于智卫,沈春鹏,等. 不同大豆基因型对难溶性磷的吸收研究[C]. 土壤资源持续利用与生态环境安全学术会议论文集,2009:422-428. (Lai H, Yu Z W, S C P, et al. Study of different soybean genotypes to hard dissolved phosphorus absorption [C]. Proceedings of Soil Sustainable Utilization and Ecology Environmental Safety,2009:422-428.)
- [3] 沈宏,杨存义,范小威,等. 大豆根系分泌物和根细胞壁对难溶性磷的活化[J]. 生态环境,2004,13(4):633-635. (Shen H, Yang C Y, Fan X W, et al. Mobilization of sparingly soluble phosphates by root exudates and root cell wall of soybean seedlings [J]. Ecology and Environment,2004,13(4):633-635.)
- [4] 沈宏,菊井森士,严小龙,等. 大豆根分泌物活化难溶性铝磷的研究[J]. 水土保持学报,2005,19(1):68-70. (Shen H, Kikui S, Yan X L, et al. Mobilization of insoluble aluminum bound phosphate by soybean root exudates[J]. Journal of Soil Water Conservation,2005,19(1):68-70.)
- [5] 张福锁,曹一平. 根际动态过程与植物营养[J]. 土壤学报,1992,29(3):239-250. (Zhang F S, Cao Y P. Rhizosphere dynamics and plant nutrition[J]. Acta Pedologica Sinica,1992,29(3):239-250.)
- [6] Liu Y, Mi G H, Chen F J, et al. Rhizosphere effect and root growth of two maize (*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability[J]. Plant Science,2004,167:217-223.
- [7] Gaume A, Mächler F, De León C, et al. Low-P tolerance by maize (*Zea mays* L.) genotypes: Significance of root growth, and organic acids and acid phosphatase root exudation [J]. Plant and Soil, 2001, 228:353-264.
- [8] 米国华,邢建平,陈范骏,等. 玉米苗期根系生长与耐低磷的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(5):468-472. (Mi G H, Xing J P, Chen F J, et al. Maize root growth in relation to tolerance to low phosphorus [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2004, 10(5):468-472.)
- [9] 李永夫,罗安程,魏兴华,等. 水稻利用难溶性磷酸盐的基因型差异及其与根系分泌物活化特性的关系[J]. 中国水稻科学,2006,20(5):493-498. (Li Y F, Luo A C, Wei X H, et al. Genotypic variation of rice in utilization of sparingly soluble phosphate and its relationship with mobilization characteristic of root exudation [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2006, 20(5):493-498.)
- [10] Subbarao G V, Ae N, Otani T. Genetic variation in acquisition, and utilization of phosphorus from iron-bound phosphorus in pigeonpea [J]. Soil science and plant nutrition,1997,43(3):511-519.
- [11] Wissuwa M, Ae N. Genotypic variation for phosphorus uptake from hardly soluble iron-phosphate in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Plant & Soil,1999,206(2):163-171.
- [12] Osborne L D, Rengel Z. Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from iron phosphate [J]. Australian Journal of Agricultural Research,2002,53(7):837-844.
- [13] Shen H, Yan X L, Zhao M, et al. Exudation of organic acids in common bean as related to mobilization of aluminum and iron-bound phosphates [J]. Environmental and Experimental Botany, 2002,48(1):1-9.
- [14] 赵明,沈宏,严小龙. 不同菜豆基因型根系对难溶性磷的活化吸收[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(4):435-440. (Zhao M, Shen H, Yan X L. Mobilization and uptake of insoluble phosphorus by different common bean genotypes [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science,2002,8(4):435-440.)
- [15] 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. (Li H B, Xia M, Wu P. Effect of phosphorus deficiency stress on rice lateral root growth and nutrient absorption [J]. Acta Botanica Sinica, 2001,43(11):1154-1160.)
- [16] 冯固,杨茂秋,白灯莎,等. 用<sup>32</sup>P示踪研究石灰性土壤中磷素的形态及有效性的变化[J]. 土壤学报,1996,33(3):301-306. (Feng G, Yang M Q, Bai D S, et al. Study on changes in fractions and availability of phosphorus in calcareous soil by <sup>32</sup>P tracer method [J]. Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3):301-306.)
- [17] Borkert C M, Barber S A. Effect of supplying P to a portion of the soybean on root growth and P uptake kinetics [J]. Journal of Plant Nutrition,1983,6:895-910.
- [18] Barber S A, Mackey A D. Root growth and phosphorus and potassium uptake by two genotypes in field [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,1986,10:217-230.