

大豆根系特征与磷素吸收利用的关系

苗淑杰^{1,2,3}, 乔云发¹, 韩晓增¹, 颜心¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150040; 2. 大豆生物学教育部重点实验室, 哈尔滨 150030; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 大豆幼苗经过培养处理形成三种内磷浓度, 在两种不同营养液外磷水平下进行培养, 研究大豆根系特征与磷素吸收利用之间的关系。研究发现, 大豆植株体内磷对促进根系的伸长有着非常重要的作用。对于相同的内磷处理, 不同外源磷对根长影响较大, 外磷浓度越高根长越短, 尤其在磷处理后的第3周, S_2 和 S_3 内磷水平的处理, 从 P_2 降低到 P_1 水平时, 根长分别增加了 5.2% 和 30.1%。在无外磷的条件下, 不同内磷浓度对根表面积的影响从磷处理后的第2周开始均达到了 5% 的显著水平, 而施加外磷的处理, 只有在磷处理后的第4和第5周, 才达到 5% 的差异显著水平。在所有的取样时期, 植株干生物量与磷效率比值没有达到显著水平, 但是, 随着磷效率比值的增加, 达到 0.40 以后, 植株干生物量随着磷效率比值的增加而增加。植株磷效率比值与含磷量之间达到了 1% 的显著水平, 随着磷效率比值的增加, 植株体内含磷量呈指数下降。

关键词 大豆; 根系特征; 磷; 吸收利用

中图分类号 S 565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)01-0016-05

RELATIONSHIP BETWEEN ROOT CHARACTERS AND PHOSPHORUS ABSORPTION IN SOYBEAN

MIAO Shu-jie^{1,2,3}, QIAO Yun-fa¹, HAN Xiao-zeng¹

(1. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Harbin 150040*; 2. *Key Laboratory of soybean Biology of Ministry of Education, Harbin 150030*; 3. *Graduate College, CAS, Beijing, 100049*)

Abstract Soybean seedlings, which cultured for three internal phosphorus concentration, grown in solution culture for 5 weeks, were used to study the relationship between root character and P absorption. Results suggested internal P induced root growth. In the same internal P treatment, external P affected root length and which decreased with P further increase. Especially, on 3 week after P treated, root length of S_2 and S_3 increased separately 5.2% and 30.1%. Without P treatment, the effect of internal P on root surface obtained 5% significant level from 2nd week. However, treatment added P up to 5% significant level only on 4th and 5th week. At all harvest time, dry weight of biomass and P efficiency did not up to significant level, but when P efficiency was above 0.40, dry weight of biomass increased as P efficiency increased. The relationship between P efficiency and P content up to 1% significant level, P content decreased exponentially

收稿日期: 2006-04-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2005CB121101), 黑龙江省攻关项目(GB05C201-01)资助

作者简介: 苗淑杰(1976-), 女, 中国科学院在读博士, 主要从事植物营养方面研究。E-mail: miaoshujie@126.com

通讯作者: 韩晓增研究员, 博士生导师。Tel: 0451-86602940, E-mail: hanxz@cern.ac.cn

with P efficiency increased.

Key words Soybean; Root character; Phosphorus; Absorption

磷素在土壤中的不易移动性和易固定性,决定了植物对磷素营养的吸收主要依靠根系吸收其周围所接触到的土壤有效磷^[1]。另外,由于长期施肥等因素造成的磷在土壤中的分布不均匀,一般土壤表层有效磷含量较高^[2],而根系是植物吸收养分的主要器官,特别是对于磷这种在土壤中难以被吸收利用的元素,植物根系接触到的土壤体积越大,活化能力越强,就越有利于磷的吸收,所以,根系的许多性状,如根长、根质量、根系吸收面积、根构型^[3]等与磷吸收有着密切的关系^[4,5]。磷在土壤中主要借助扩散方式移到根表,扩散速度很慢,只有到达根表后才能被作物吸收,因此,根系的形态学特征及其生理吸收特性对植物吸收利用土壤中难溶磷具有决定性的影响^[6]。在缺磷条件下许多植物产生大量的纤细根和侧根,以充分利用光合产物增大根系吸收磷的面积,根毛与植物吸磷量之间有显著正相关关系^[7,8]。对磷高效基因型的菜豆进行研究发现,低磷时基根根长和根表面积降低较少且在介质表层的分布增加,而小麦在缺磷时,根轴数量和侧根长度明显减少,根轴长度、侧根数量和根系长度等均显著提高^[9]。这些研究表明,植物的根构型对低磷胁迫具有适应性的变化,磷高效基因型在低磷条件下能保持一定的根长、根表面积,且根系向地性减弱而形成浅根式的根构型,根系内竞争减少,从而能够利用更多的土壤磷。但是,当幼苗体内含磷量不同时,不同磷素营养环境下,大豆根系特征和磷素吸收利用的关系未见报道,本文将从内外两种磷源角度分析大豆根系特征与磷素吸收利用之间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试品种为黑农 35,设 2 个外磷水平,分别为 $P_1(0)$ 和 $P_2(30\mu\text{mol/L})$,然后在 2 个外磷水平下设 3 个内磷水平,共 6 个处理。3 个内磷水平通过以下方法培养获得:1)提前培养 5d,当真叶完全展开时去除子叶,记为 S_1 ;2)正常培养,当真叶展开时去除子叶,记为 S_2 ;3)正常培养,不去除子叶,记为 S_3 。4 次重复,随机排列。移栽时各处理接种根瘤菌合丰 25,4d 后再接一次根瘤菌悬液,以后换为无根瘤菌

营养液。

1.2 大豆培养

按照试验设计的要求在不同时间培养大豆幼苗,见下面的方法:大豆种子用 70% 乙醇灭菌,以无菌水冲洗 7~8 次,放入带有 5~7mm 孔径的塑料板上,然后放入盛有 1mmol/L CaCl_2 和 $5\mu\text{mol/L}$ LH_3BO_3 , pH 为 5.5~6.0 的塑料桶中,桶中液面恰好浸没种子一半。25℃~30℃ 条件下,避光催芽,待主根长 4~5cm,须根尚未长出时,移栽,10 株/盆,用脱脂棉将豆苗固定住,24h 连续通气供氧。整个试验过程都用蒸馏水,将 5L 蒸馏水放入 5L 盆中。一定容积的营养液加入单个盆中,营养液组成($\mu\text{mol/L}$), K_2SO_4 , 600; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 600; H_3BO_3 , 5; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.75; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 1; $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.2; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.2; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0.03; Fe-NaEDTA , 10。移栽后每周更换营养液 2 次,每天用 0.01mol/L HCl 或 0.01mol/L NaOH 调营养液 pH 为 5.5~6.0。

1.3 分析测定

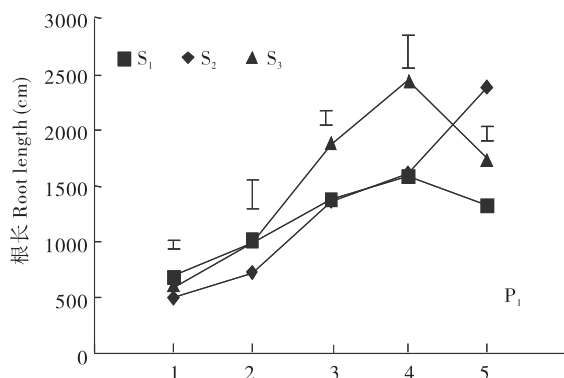
磷处理后第 1、2、3、4 和 5 周分别取样,取样时,将整株大豆用 0.1mol/L 的 HCl 蘸洗一次,再用蒸馏水洗两次。然后,将植株分为地上、根和根瘤三部分,测定鲜重、干重,根系用 Win2000 扫描获得根系特征指标。再将所有的部分在 105℃ 杀青 30min,然后将温度降至 80℃ 烘干,备用氮磷分析。全氮用凯氏定氮仪测定,磷用钼锑抗比色法测定^[10]。

2 结果与分析

2.1 植株的根系特征变化

根长是描述根系吸收水分和养分能力的重要参数之一^[11],本试验对不同的外源磷水平各处理进行比较,无磷处理的根长比施加磷处理的长,尤其在无磷的各处理中,在所有的取样时期,三种不同的内磷水平之间都达到了 5% 的差异显著水平,而且在两种外源磷水平条件下,根长都是随着内磷含量的增加而增加,无外加磷时内磷的作用更明显(图 1),这说明大豆植株体内磷对促进根系的伸长有着非常重要的作用。对于相同的内磷处理,不同外源磷对其影响差异较大,外磷浓度越高根长越短,尤其在磷处

理后的第3周, S_2 和 S_3 内磷水平的处理, 从 P_2 降低



到 P_1 水平时, 根长分别增加了 5.2% 和 30.1%。

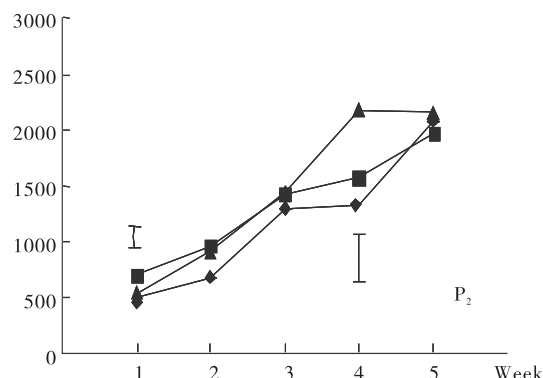


图1 磷对根长的影响

Fig. 1 Effect of phosphorus on root length

根系表面积是根系与环境介质直接接触的重要指标, 是作物吸收营养能力和吸收量的重要决定因子。根系的表面积越大与环境介质中的营养元素接触的机会就越多, 吸收养分的能力就越强^[12]。供试条件下, 磷对根系表面积的影响从磷处理后的第2周以后才开始明显(图2)。相同内磷条件下, 只有 S_2 内磷的两个处理中根系表面积随磷水平的增加而降低, 其他两个内磷浓度的处理, 外磷对根表面积的影响不规律, 但是, 在相同外源磷水平时, 内磷浓度越高根表面积越大, 无论哪种外磷水平, 内磷对根表面积的影响都是从磷处理后的第2周开始的。通

过统计分析, 在无外磷的条件下, 不同内磷浓度对根表面积的影响从磷处理后的第2周开始均达到了5%的显著水平, 而施加外磷的处理, 只有在磷处理后的第4和第5周时, 不同内磷对根表面积的影响才达到5%的差异显著水平(图2)。在缺磷胁迫下, 植物的根长和根表面积等因素都随之提高, 可能是植物在感受低磷信号后, 会及时调运地上部的光合产物到地下部以促进根系的伸长和数量的增加, 进而增加根系吸收养分的表面积, 以满足其在缺磷条件下对磷素的需求, 植物的根长和根表面积也可以看作对环境养分吸收的重要根形态指标^[11]。

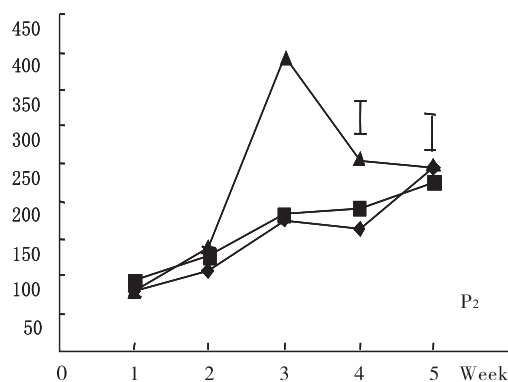
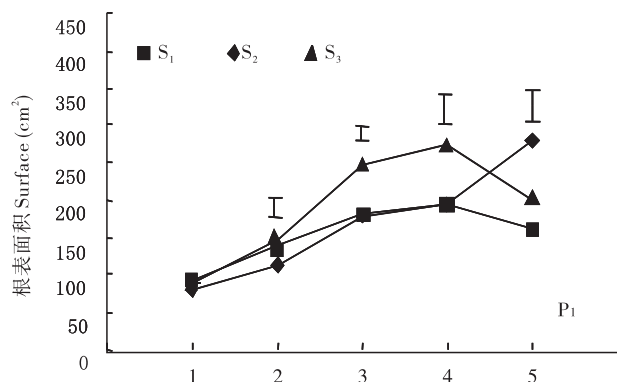


图2 磷对根表面积的影响

Fig. 2 Effect of phosphorus on root surface

2.2 植株生物量、含磷量和磷效率比值

从植株干生物量(表1)的情况可以看出, 磷处理后第1周不同内外磷处理对植株干生物量的影响较小, 各处理间无明显差异, 随着生育期的延长, 磷对植株生物量的影响开始逐渐增加, 表现出明显的规律性: 从外磷处理后的第3周开始, 无外磷处理植株的干生物量随着内磷含量的增加先增加后又降低, 而施加外磷的处理干生物量随着内磷含量的增

加而增加。这说明大豆生长在缺磷介质中时, 植株体内含有的磷对植株干物质积累有着非常重要的作用, 但是仍有很大部分的磷参与到植株生长发育过程中, 这与内磷含量高的处理根长和根表面积都较大的情况相适应, 而 S_2 的内磷浓度植株, 体内含有的磷供给到植株生长所需磷份额较少, 因此, 根长和根表面积都不及高内磷的 S_3 处理大, 但是, 比较而言有较大量的内磷用于植株体干物质的积累, S_1 内

磷处理虽然供给植株生长的磷较少,由于内磷含量本身较低,用于干物质积累的磷量也较少,导致植株干生物量较低。

植株体内含磷量与干生物量有着相同的趋势,这与植株体内磷素的储备和运转直接相关。比较而言,无论哪种内磷浓度条件下,施加外磷的处理植株体内含磷量都比不施磷的处理高,相同外磷条件下,磷处

理后的 1 到 3 周,植株体内含磷量表现出 $S_2>S_3>S_1$ 的趋势,而从第 4 周开始, $S_2>S_1>S_3$ (表 1)。

植株磷效率比值是指植株干生物量与植株磷素含量比值,可以表示出植株磷素的利用效率^[13]。本试验条件下,无论哪种磷处理,植株磷效率比值都随内磷浓度增加,表现出先降低后又增加的趋势(表 1)。

表 1 不同磷处理在各取样时期植株干生物量(g/plant)、含磷量(mg/g)和磷效率比值
Table 1 Plant dry weight, phosphorus content and phosphorus efficiency in different treatment at all harvest time

处理后的周数 (Weeks after treatment)																
处理	1			2			3			4			5			
	干生	含磷量	磷效率	干生	含磷量	磷效率	干生	含磷量	磷效率	干生	含磷量	磷效率	干生	含磷量	磷效率	
	物量		比值	物量		比值	物量		比值	物量		比值	物量		比值	
	Dry	Phos-	Phos-	Dry	Phos-	Phos-	Dry	Phos-	Phos-	Dry	Phos-	Phos-	Dry	Phos-	Phosphorus	
	weight	phorus	phorus	weight	phorus	phorus	weight	phorus	phorus	weight	phorus	phorus	weight	phorus	efficiency	
S ₁ P ₁	0.19	1.80	0.56	0.22	1.95	0.53	0.37	1.60	0.63	0.41	1.40	0.72	0.51	1.39	0.73	
S ₂ P ₁	0.16	3.17	0.32	0.21	3.35	0.30	0.50	1.89	0.53	0.55	1.43	0.70	0.63	1.27	0.79	
S ₃ P ₁	0.11	2.87	0.36	0.11	2.40	0.42	0.32	1.75	0.57	0.33	1.36	0.74	0.43	1.05	0.95	
S ₁ P ₂	0.13	2.53	0.40	0.13	2.57	0.40	0.30	2.80	0.36	0.36	4.14	0.24	0.38	4.40	0.23	
S ₂ P ₂	0.19	4.09	0.25	0.21	4.38	0.23	0.39	4.58	0.22	0.38	4.38	0.23	0.39	5.66	0.18	
S ₃ P ₂	0.16	3.39	0.30	0.22	4.07	0.25	0.46	4.41	0.23	0.52	3.61	0.28	0.65	4.00	0.25	

2.3 相关分析

对不同磷水平条件下植株干生物量和植株磷效率比值进行相关分析,结果表明,在所有的取样时期,植株干生物量与磷效率比值没有达到显著水平,但是,随着磷效率比值的增加,达到 0.40 以后,植株

干生物量随着磷效率比值的增加而增加(图 3)。植株磷效率比值与含磷量之间达到了 1% 的极显著水平,随着磷效率比值的增加,植株体内含磷量呈指数下降(图 3)。

将根系的形态特征与植株体内含磷量进行相关

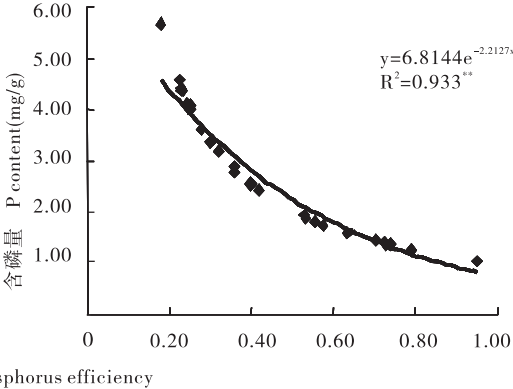
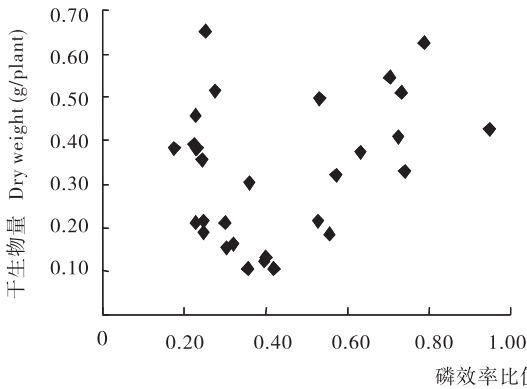


图 3 磷效率比值与植株干生物量和含磷量间的关系

Fig. 3 The relationship between phosphorus efficiency and phosphorus content, dry weight

分析,发现根长和根表面积与植株体内含磷量之间有相似的关系,植株体内含磷量与根长和根表面积的关系都是在磷处理后的第 1 周呈极显著的负相关,随着生育期的延长变为不相关,而后到第 5 周时又呈现出极显著的正相关关系(图 4、5)

3 讨论

由于磷在土壤中被固定而难以移动,植物对磷

素的吸收利用主要靠根系所接触到的土壤磷素来实现,因此,对根系形态特征的研究成为近年来磷胁迫条件下磷素利用效率研究的热点。目前,认为根系的许多特征,如根长、根质量和根表面积等与磷吸收有密切的关系^[4,5],但本试验中不考虑内外磷条件下,根长和根表面积与磷素效率比值并没有显著的相关性。在无外磷条件下,根长和根表面积随内磷含量的增加而增加,并且三种内磷处理间都达到了

5%的差异显著水平,有外磷时,尽管三种内磷处理的根长、根表面积与无外磷的趋势相同,但只有磷处理后的第4周和第5周达到了5%的显著水平,表

明在缺磷条件下,内磷对根系的伸长和根表面积的增加起着非常重要的作用,培养内磷含量高的种子对提高大豆耐低磷胁迫能力将有非常重要的意义。

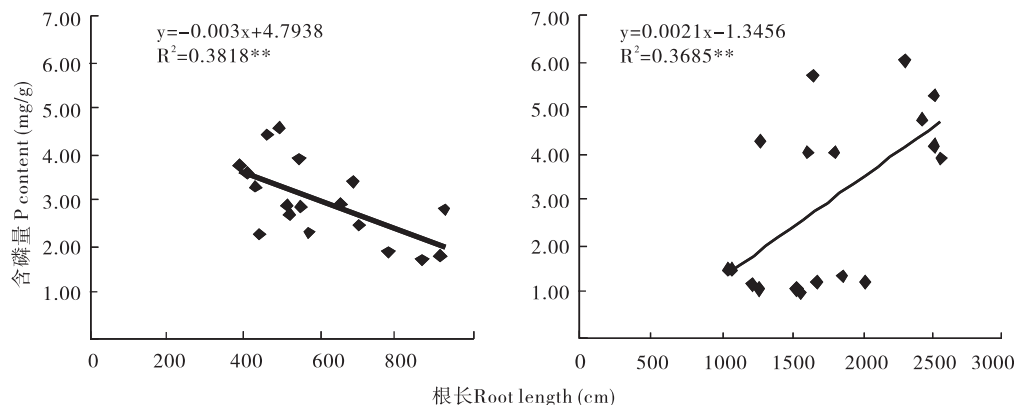


图4 总根长与含磷量的关系

Fig. 4 The relationship between total root length and phosphorus content

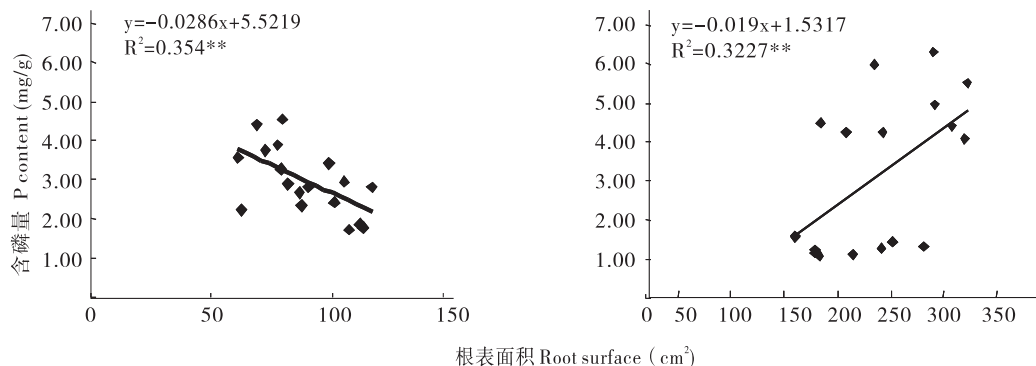


图5 根表面积与含磷量的关系

Fig. 5 The relationship between root surface and phosphorus content

本试验条件下,植株磷效率比值与植株干生物量之间无明显的相关性,与植株含磷量呈指数负相关,而根长和根表面积与含磷量间出现先极显著负相关,后又极显著正相关的现象(图4、5)。这可能是因为是在取样前期,植株体内的含磷量可以满足根系生长对磷素的需求,由于根系的生长而导致体内含磷量降低,随着植株的生长发育,植株为了适应低磷环境,通过促进根系生长来提高对根际环境中磷素的吸收,因此导致根系的这些形态特征指标与植株体内含磷量呈现出显著的正相关。

参 考 文 献

- [1] 王美丽,严小龙. 大豆根形态和根系分泌物特性与磷效率[J]. 华南农业大学学报,2001,22(3):1-3.
- [2] 彭克明. 农业化学(总论)(第二版)[M]. 北京:农业出版社,1996,115.
- [3] 廖红,严小龙. 菜豆根构型对低磷胁迫的适应性变化及其基因型差异[J]. 植物学报,2000,42(2):158-163.
- [4] 严小龙,廖红,戈振扬,等. 植物根构型特性与磷吸收效率[J].

植物学通报,1999,22(3):1-3.

- [5] 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.
- [6] 张福锁,林翠兰. 植物营养基因型差异的机理,土壤与植物营养学研究新动态(第一卷)[M]. 北京:北京农业大学出版社,1992,23-30.
- [7] 刘国栋,李继云. 低磷胁迫下小麦根系反应的基因型差异[J]. 植物营养与肥料学报,1996,2(3):212-218.
- [8] 曹爱琴,廖红. 低磷土壤条件下菜豆根构型的适应性变化与磷效率[J]. 土壤学报,2002,39(2):276-282.
- [9] 孙海国,张福锁. 缺磷胁迫下的小麦根系形态特征研究[J]. 应用生态学报,2002,13(3):295-299.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社. 2000,185-188.
- [11] 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.
- [12] 刘慧,刘景福,刘武定. 不同磷营养油菜品种根系形态及生理特性差异研究[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(1):40-45.
- [13] 童学军,李惠珍,曾焕泰,等. 低磷胁迫下溶液培养大豆生长和磷素营养特性及其土壤下磷效率特性的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(3):298-304.