

不同形态氮肥对大豆根系形态及磷效率的影响

严 君^{1,2}, 韩晓增¹, 祖 伟¹

(1. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑土区农业生态院重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081)

摘 要:采用框栽试验方法, 研究生物固氮 (CK), NO_3^- -N, NH_4^+ -N, Glycin-N, Protein-N 和 Urea-N 6 种不同形态氮素对大豆各生育时期根系生物量、根冠比、根系形态及磷效率的影响。结果表明: 不同形态 N 处理对大豆根系生物量、根系形态特征 (根长、根体积、根表面积及根尖数等) 及磷吸收、利用效率影响不同, 随着生育期的推进, NO_3^- -N 和 Protein-N 均显著高于其它处理, 但二者之间差异不显著; Glycin-N, Urea-N 和 NH_4^+ -N 均高于 CK (生物固氮), 但 Glycin-N、Urea-N 和 NH_4^+ -N 处理间差异不显著。不同形态 N 处理的根干重、根长、根体积、根表面积均高于 CK, 而根冠比、平均直径以及磷利用效率则低于 CK。

关键词:根系形态; 磷效率; 氮素; 大豆

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841 (2010) 06-1003-05

Effects of Nitrogen Forms on Root Morphology and Phosphorous Efficiency in Soybean (*Glycine max* L.)

YAN Jun^{1,2}, HAN Xiao-zeng¹, ZU Wei¹

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030; 2. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, Heilongjiang, China)

Abstract: Nitrogen plays an important role in root morphology and efficiency of phosphorous in soybean. In this paper, a pot culture experiment was carried out to study the effects of different forms N (including N_2 , NO_3^- -N, NH_4^+ -N, Glycin-N, Protein-N and Urea-N) on the variation of dry weight (DW), root to shoot ratio (R/S), root morphology and efficiency of P in soybean (*Glycine max* L.). The results showed that the impacts of nitrogen forms on soybean root growth, root morphology, efficiency of P absorption and utilization were different, for example, efficiency of P absorption in NO_3^- -N and Protein-N treatment was higher than that in other N treatments with soybean growth stages, while no significant difference was found between NO_3^- -N and Protein-N treatment, moreover, efficiency of P absorption in Glycin-N, Urea-N and NH_4^+ -N treatment was higher than that in CK (biological nitrogen fixation), however, no significant difference was found among these three treatments, the similar trend appeared in root DW, root length, root surface area, root volume, and so on. But the reverse condition was showed in R/S, root average diameter and efficiency of P utilization.

Key words: Root morphology; Efficiency of P; Nitrogen; Soybean

根系作为作物重要的吸收和代谢器官, 其生长状况不仅直接控制着作物根系吸收水分和养分的能力, 而且制约着作物地上部生长发育^[1]。氮素是植物生长必需的营养元素, 氮素的形态、用量对植物根系的生长、形态以及在介质中分布的影响最为明显^[2]。Bhat^[3]研究表明, 供应适量的 NO_3^- -N 促进苹果根系侧根的发生, 根系生物量增大。供应过量 NH_4^+ -N 则对根系有一定毒害作用, 会抑制根系的生长发育, 降低根系生物量^[4]。另有研究表明, 供应 N 能够增加作物对 P 的吸收和利用, 这可能是植物

本身的一种生理反应^[5]。Smith 等^[6-7]用 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 预处理 16 h 后, 玉米苗期磷的吸收速率增加, 这可能是因为阴离子的吸收与 N 中间产物的合成有关^[8]。

目前 N、P 胁迫或 NO_3^- -N, NH_4^+ -N 及 NH_4NO_3 -N 对作物根系形态的研究较多, 而对于氨基酸态氮、蛋白态氮以及酰胺态氮对大豆根系形态的影响还鲜有报道。该文采用框栽试验方法, 研究供应不同 NO_3^- -N, NH_4^+ -N, Glycin-N, Protein-N 和 Urea-N 对大豆根系形态及磷吸收利用效率的影响, 旨在为农业

收稿日期: 2010-06-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2005CB121106) 资助项目; 国家科技支撑计划 (2006BAD21B01, 2006BAD05B05) 资助项目。

第一作者简介: 严君 (1982-), 女, 博士, 主要从事大豆营养调控方面的研究。E-mail: yanjun985625@163.com。

通讯作者: 韩晓增, 研究员, 博士生导师。E-mail: xzhan@neigaehrb.ac.cn。

生产中合理施氮肥和提高磷肥利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试大豆品种:黑农35。供试肥料:硝酸钾,硫酸铵,甘氨酸,尿素均为分析纯,豆粉(豆粒磨碎过40目筛)。供试土壤:典型黑土(基本理化性质为:有机碳:28.64 g·kg⁻¹,全氮:2.32 g·kg⁻¹,碱解氮:167.9 mg·kg⁻¹,pH:6.1),将黑土和砂子按1:1的比例混匀,目的在于降低黑土的含氮量。

1.2 试验设计

采用框栽试验方法,每框(PVC材料,直径×高:15 cm×20 cm)装土3 kg(以风干土计),设6个处理,各形态氮肥与土壤混匀以基肥的形式一次性施入,折合纯氮量均为75 kg·hm⁻²。同时配施104 mg·kg⁻¹ KH₂PO₄,合P₂O₅为40.6 kg·hm⁻²,K₂O为26.5 kg·hm⁻²,随机排列,4次重复。具体设计见表1。

表1 氮处理及施肥量

Table 1 N treatments and application volume

编号 No.	处理 Treatments	氮肥 Nitrogen	氮施用量 N application volume /g·pot ⁻¹
1	CK	无	0
2	NO ₃ ⁻ -N	KNO ₃	1.82
3	NH ₄ ⁺ -N	(NH ₄) ₂ SO ₄	1.19
4	Glycin-N	甘氨酸	1.35
5	Protein-N	豆粉	3.57
6	Urea-N	尿素	0.54

于2008年5月10日播种,每盆保苗2株,生长期各处理土壤含水量保持在田间持水量的65%左右。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系形态指标测定 采用根系扫描分析仪(WinRHIZO-2004a, Canada)进行测定:在大豆的不同生育时期(苗期、花期、鼓粒期和成熟期)取样,将根系用流水缓缓冲洗干净,冲洗时在根系下面放置100目的筛子以防止脱落的根系被水冲走,将整株大豆用蒸馏水充分冲洗干净。根系形态特性用根系分析系统进行测定:将根系样品放置在30×40 cm树脂玻璃槽内,并注水至3~4 mm深使根系充分散开,双面光源扫描根系,经专用数字化软件(WinRHIZO-2004a)分析后获得根长、根表面积、根体积、平均直径、根尖数等形态指标。

1.3.2 植株磷含量测定 采用H₂SO₄-H₂O₂消煮-钼锑抗比色法测定^[9]。

1.4 数据分析

采用Excel 2003, DPS2000对数据进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同形态氮处理对大豆根系生物量的影响

2.1.1 根干重 由图1可见,不同形态氮处理下,大豆根干重随着生育期的推进呈逐渐增加的趋势,在鼓粒期达到峰值,而后随着根系的衰老,根系生物量也显著减少。但各生育时期各施氮处理根系生物量均较CK(即生物固氮)有不同程度的增加,花期以前大豆根系生物量的变化趋势表现为:NH₄⁺-N > Urea-N > Glycin-N > Protein-N > NO₃⁻-N > CK,鼓粒期的变化趋势为:Protein-N > CK > NO₃⁻-N > NH₄⁺-N > Glycin-N > Urea-N > NH₄⁺-N,各处理较CK分别增加了3.6%, -1.1%, -3.7%, -4.3%和-9.2%,Protein-N处理除与CK差异不显著外,与其它各处理间差异极显著(P<0.01)。其中NH₄⁺-N处理根系生物量最低,可能是由于大豆根系释放H⁺使质膜的酯化键桥解体,导致膜透性增加,降低了根系生物量。各生育时期根系生物量平均值的大小变化情况,表现Protein-N > NH₄⁺-N > Urea-N > CK > Glycin-N > NO₃⁻-N,其中Protein-N、NH₄⁺-N和Urea-N较CK分别增加了5.7%, 4.1%和1.0%,而Glycin-N和NO₃⁻-N较CK则下降了0.9%和0.5%。

2.1.2 根冠比 根冠比是影响作物养分吸收效率的重要因子,作物根冠比的变化是作物对逆境的适应性反应机制^[10]。由图1可见,随着生育期的推进,不同形态氮处理根冠比呈逐渐降低的变化趋势。大豆各生育时期根冠比的平均值表现为CK > NH₄⁺-N > NO₃⁻-N > Glycin-N > Protein-N > Urea-N,各处理较CK分别下降了5.7%, 7.3%, 9.3%, 11.8%和12.7%,这可能是由于CK缺少外源氮的供给,根系生物量较大,而有利于地上部分的生长发育,从而使得根冠比显著高于其它处理。

2.2 不同形态N对大豆根系形态特征的影响

植物吸收养分的能力主要取决于根系的形态^[11]。不同形态氮处理,根系形态特征(根长、根表面积、根体积、根尖数、平均直径等)受影响程度存在差异(图2)。不同形态N处理下,大豆根长、根体积、根表面积、根尖数均随生育期的推进而逐渐

增加。不同生育时期各处理的根系形态指标变化趋势相同,均表现为: NO_3^- -N > Protein-N > Urea-N > Glycin-N > NH_4^+ -N > CK。CK 的根长、根体积、根表面积和根尖数均显著低于其它不同形态 N 处理,表明适时适量施用不同形态 N 对大豆根系生长有促进作用。各处理均以 NO_3^- -N 和 Protein-N 处理根长、根表面积、根体积及根尖数显著高于其它形态 N 处理,表明这 2 种形态的氮肥最有利于大豆根系的生长发育。 NH_4^+ -N 和 Glycin-N 处理对于(根长、根表面积、根体积、根尖数)规律相似,无显著性差异,

各生育期始终较低。其中 NH_4^+ -N 处理,根系生长受到抑制,根尖数增加明显变小,根系变短变粗,根表面呈暗棕色等症状,与 Li 等的研究结果相似^[12]。

平均直径与根长、根体积、根表面积及根尖数的变化趋势不同,在不同生育时期,不同形态氮处理的根系平均直径均较 CK 减少,即 CK 根平均直径最大,这可能是由于根系在不施 N 情况下,为了更好的适应低氮胁迫,通过增加根系平均直径,进而有利于根系从土壤中吸收大豆生长所需要的营养。

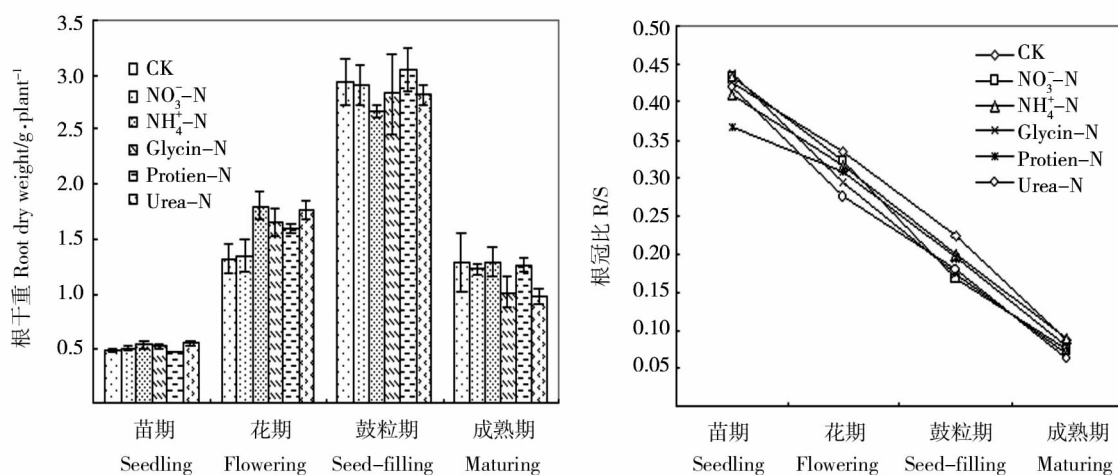


图 1 不同生育期大豆根干重及根冠比的变化

Fig. 1 The change of root dry weight and Root/Shoot rate of soybean during the growth period

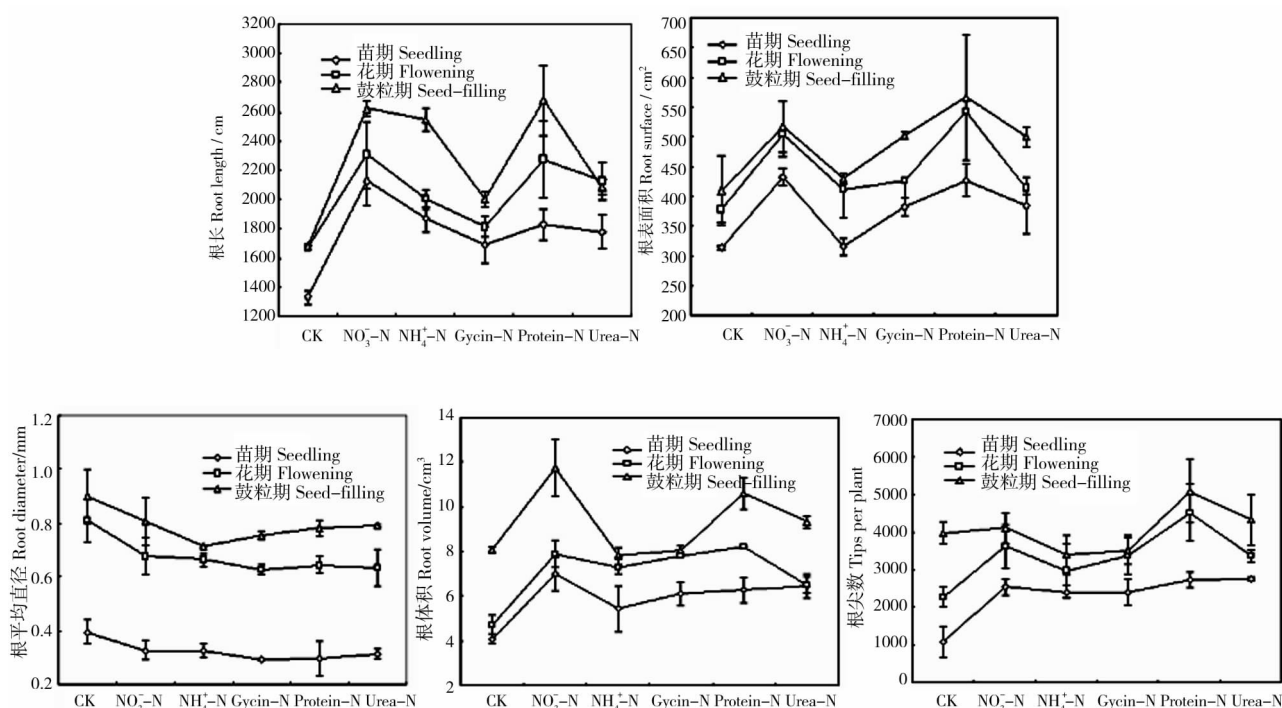


图 2 不同形态氮处理对各生育时期大豆根系形态的影响

Fig. 2 Effect of different nitrogen forms on root morphology during growth period of soybean

2.3 不同形态氮处理对磷效率的影响

由表 2 可见,各处理随着生育时期的推进,根系磷吸收效率呈先增加后下降的变化趋势,在鼓粒期时达到峰值,这与根系生物量的变化情况相似。各处理总的磷吸收效率的变化顺序表现为:Protein-N > NH₄⁺-N > NO₃⁻-N > CK > Urea-N > Glycin-N,这可能是由于 Protein-N 处理的根长、根体积、根表面积等都相对高于其它处理,即施用 Protein-N 对大豆根系的生长有促进作用,进而有利于大豆根系对磷素的吸收。其中 Glycin-N 处理根系的磷吸收效率最低,可能是由于氨基酸态氮施入土壤后,即被土壤中的微生物固持,而为大豆根系吸收利用的部分

较少,即对大豆根系生长的贡献较小,从而使得根系磷的吸收效率较低。CK 的磷吸收效率高于 Urea-N和 Glycin-N,这可能是由于大豆在没有外源供给氮肥的条件下,根系受到胁迫,根系生长较旺盛,从而对磷的吸收效率较高。

从磷利用效率来看,随着生育时期的推进,亦呈先增加后下降的变化趋势,在鼓粒期时达到最大值,各处理总的磷利用效率的变化表现为:Protein-N > NH₄⁺-N > Urea-N > Glycin-N > CK > NO₃⁻-N,其中 Protein-N 和 NH₄⁺-N 的吸收效率和利用效率均显著的高于其它各处理,这可能是由于适量适合形态的氮的施用,有利于大豆对磷素的吸收和利用。

表 2 不同形态氮对根系各生育期磷效率的影响

Table 2 Effect of different nitrogen forms on root efficiency of P during growth period of soybean

处理 Treatments	磷吸收效率 Efficiency of P uptake/mg · plant ⁻¹					磷利用效率 Efficiency of P utilization/mg · mg ⁻¹				
	苗期	花期	鼓粒期	成熟期	总量	苗期	花期	鼓粒期	成熟期	总量
	Seedling	Flowering	Podding	Maturing	Total	Seedling	Flowering	Podding	Maturing	Total
CK	1.57	3.78	11.24	6.21	22.8	152.86	496.20	785.07	276.12	1710.3
NO ₃ ⁻ -N	1.51	3.64	10.36	7.38	22.9	171.07	501.44	827.57	205.57	1705.7
NH ₄ ⁺ -N	1.39	4.94	9.24	8.27	23.8	204.98	678.22	786.79	213.81	1883.8
Glycin-N	1.40	4.24	11.40	3.93	21.0	198.72	650.74	722.52	291.80	1863.8
Protein-N	1.35	3.72	13.10	6.16	24.3	167.85	728.03	732.98	271.43	1900.3
Urea-N	1.54	4.34	10.75	4.92	21.6	195.82	730.50	751.03	196.85	1874.2

3 讨论

氮素是植物生长必不可少的元素,且为植物吸收的形态多样。该试验条件下,施不同形态 N 对大豆根系生长有促进作用,随着生育期的推进呈先增加而后降低的变化趋势。Glycin-N, Protein-N 和 Urea-N亦能显著促进大豆根系生物量的增加,但增加的幅度较 NO₃⁻-N 和 Protein-N 低,其中 NH₄⁺-N 处理根系生物量最低,这可能是由于 NH₄⁺-N 容易扩散穿过生物膜,阻碍质子驱动势的形成,破坏膜结构,诱发氧化磷酸化和光合磷酸化与电子传递解偶联,从而抑制 CO₂ 的暗固定,降低光合作用效率,引发大豆体内营养代谢失调^[13],从而使得 NH₄⁺-N 处理生物量较低。

该试验 CK(N₂)的条件下,根长、根体积、根表面积和根尖数均显著低于不同形态 N 处理,这可能是由于适量增加氮素供应可以促进根系的生长,Granato 等^[14]在对玉米的分根试验中,亦发现供

NO₃⁻-N 部分侧根的根长和数目都增加。试验还进一步验证了根系生物量与根表面积、根长、根体积和根尖数之间存在线性相关关系,而且各根系性状与生物量之间的相关系数为根长($r = 0.866^{**}$),根表面积($r = 0.863^{**}$),根尖数($r = 0.755^{*}$),根体积($r = 0.622^{*}$),表明根系形态特征与根生物量间关系密切(结果未显示),与 Costa 等研究的结果不太一致,可能是由于试验是在框栽条件下进行,且基质为土壤和砂子的混合物,与其基质不同,根系表现出的结果也不同,但亦能体现出根形态与根生物量间关系密切。

磷素在土壤中可利用含量低、移动性很小,作物根系伸长有利于对土壤磷素的吸收。该试验设计供应相同浓度的磷肥及相同浓度的不同形态氮肥(均以基肥一次性施入),目的在于研究不同形态氮对大豆根系磷的吸收利用情况。施氮对大豆植株磷含量有显著影响,其中 Protein-N 和 NH₄⁺-N 的吸收效率和利用效率均显著的高于其它各处理,这可能是由于适量适合形态的氮有利于大豆对磷素

的吸收和利用。相关关系分析结果表明,根系生物量和 P 吸收效率之间呈显著正相关($r=0.874^{**}$),不同根系形态特征与 P 吸收效率之间均存在显著相关性(结果未显示)。苗淑杰等^[16]研究表明,在相同磷水平下,生物固氮处理磷利用效率比硝态氮处理高,与该试验的研究结果相似。Smith 等^[7-8]研究表明, NH_4^+ -N 预处理增加玉米根系对 P 的最大吸收速率,增强了对 P 的吸收。李宝珍等研究表明^[17], NH_4^+ -N 营养(单一 NH_4^+ -N 和 NH_4NO_3^- -N)预处理显著增加了植株 P 的吸收,且促进了 P 向地上部的转运,地上部的 P 含量增加量明显地高于根系,而单一的 NO_3^- -N 营养预处理后水稻吸收的 P 却主要积累在根系。也有研究认为可能是施 N 增加了 P 从共质体向木质部的转运^[18]。

参考文献

- [1] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 1255-1263.
- [2] 马新明, 王志强, 王小纯, 等. 氮素形态对不同专用型小麦根系及氮素利用率影响的研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 655-658. (Ma X M, Wang Z Q, Wang X C, et al. Effects of nitrogen forms on roots and N fertilizer efficiency of different wheat cultivars with specialized end-uses[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 655-658.)
- [3] Bhat K K S. Nutrient inflows into apple roots[J]. Plant and Soil, 1983, 71(1-3): 371-380.
- [4] 贾彦博, 杨肖娥, 刘建祥. 植物根系对养分缺乏和毒害的适应及其与养分吸收效率的关系[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 610-616. (Jia Y B, Yang X E, Liu J X. Morphological and Physiological Adaptation of Plant Root to Nutrient Deficit and Elemental Toxicity Stress[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(4): 610-616.)
- [5] Miller M H. Effects of nitrogen on phosphorous absorption by plants[M]//Carson E W. The Plant Root and Its Environment. Charlottesville, VA: University Press of Virginia, 1974: 643-668.
- [6] Smith F W, Jackson W A. Nitrogen enhancement of phosphate transport in roots of *Zea mays* L.: I. Effects of ammonium and nitrate pretreatment[J]. Plant Physiology, 1987, 84(4): 1314-1318.
- [7] Smith F W, Jackson W A. Nitrogen enhancement of phosphate transport in roots of *Zea mays* L.: II. Kinetic and inhibitor studies[J]. Plant Physiology, 1987, 84(4): 1319-1324.
- [8] Cole C V, Grunes D L, Porter L K, et al. The effects of nitrogen on short-term phosphorous absorption and translocation in corn (*Zea mays* L.) [J]. Soil Science Society of America, 1963, 27: 671-674.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 农业科技出版社, 2000. (Lu R K. Soil agricultural chemical analysis methods [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.)
- [10] 沈宏, 施卫明, 王校常, 等. 不同作物对低磷胁迫的适应机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 172-177. (Shen H, Shi W M, Wang X C, et al. Study on adaptation mechanisms of different crops to low phosphorus stress[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 2001, 7(2): 172-177.)
- [11] Lynch J. Root architecture and plant productivity [J]. Plant physiology, 1995, 109(1): 7-13.
- [12] Li B Z, Xin W J, Sun S B, et al. Physiological and molecular responses of nitrogen starved rice plants to re-supply of different nitrogen sources [J]. Plant and Soil, 2006, 287(1-2): 145-159.
- [13] 张福锁, 樊小林, 李晓林. 土壤与植物营养研究新动态[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 42-75. (Zhang F S, Fan X L, Liao X L, et al. New trends of soil and plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 42-75.)
- [14] Granato T C, Raper C D. Proliferation of maize (*Zea mays* L.) roots in response to localized supply of nitrate [J]. Journal of Experimental Botany, 1989, 40(211): 263-275.
- [15] Costa C, Dwyer L M, Hamilton R I, et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner based image analysis [J]. Agronomy Journal, 2000, 92(4): 621-627.
- [16] 苗淑杰. 缺磷胁迫对大豆结瘤固氮和根系分泌物的影响[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007: 104-105. (Miao S J. The response of nodulation nitrogen fixation and exudation to phosphorous deficiency in soybean (*Glycine max* L.) [D]. Beijing: Graduate School of Chinese academy of Science, 2007: 104-105.)
- [17] 李宝珍, 王松伟, 冯惠敏, 等. 氮素供应形态对水稻根系形态和磷吸收的影响[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(5): 665-668. (Li B Z, Wang S W, Feng H M, et al. Effects of nitrogen forms on root morphology and phosphate uptake in rice [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2008, 22(5): 665-668.)
- [18] Thien S J, Mcfee W W. Effect of nitrogen on phosphorous transport systems in *Zea mays* L. [J]. Soil Science Society of America, 1972, 36: 617-620.