

土壤有效磷含量对大豆植株磷素含量和土壤有效 N、P、K 含量的影响

张小明¹, 曾宪楠², 孙羽²

(1. 东北农业大学 农学院 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 土壤有效磷含量影响大豆植株对 N、P、K 的吸收利用, 进而影响大豆植株的生长发育和产量形成。以吉育 89 为材料, 在大豆不同生长时期测定大豆植株磷素含量和土壤 N、P、K 含量, 研究其随土壤有效磷含量升高而发生变化的规律。结果表明: 在取样的 4 个时期里, 植株磷素含量均随土壤有效磷含量的升高呈单峰曲线变化, 在土壤磷素水平为 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 植株磷素含量达到最大; 5 个处理的土壤速效磷含量变化趋势都是先下降, 在收获期由于土壤自身的磷素补偿作用而有所升高; 在各生育时期的土壤中的硝态氮和速效钾含量最低值都出现在有效磷含量为 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理, 而土壤速效磷含量为 10 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 两个处理的硝态氮和速效钾含量一直较高, 说明低磷和高磷土壤对植株氮素吸收有抑制作用。土壤有效钾含量的变化情况与硝态氮相似, 均是随土壤有效磷含量升高而呈单峰曲线变化。说明 N、P、K 肥的合理配比均能够提高肥料的作用效果。

关键词: 有效磷; 硝态氮; 有效钾; 植株磷素含量

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.04.0691

Effect of Soil Olsen-P on P Content in Soybean Plant and Soil N, P, K Content

ZHANG Xiao-ming¹, ZENG Xian-nan², SUN Yu²

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Crop Tillage and Cultivation Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: The content of Olsen-P in soil affects nitrogen, phosphorus and potassium uptake of the soybean plant, thus affecting the formation of the growth and yield of soybean plant. This test measured the trends of plant phosphorus content and soil N, P, K content with rising soil Olsen-P content. Results showed that, in the 4 periods of sampling, the plant P content increased with increasing soil Olsen-P, showed a single peak curve, and the plant P content is maximum when Olsen-P levels in soil is $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Soil Olsen-P content in 5 treatments all declined firstly, and then increased in the harvest period, which maybe due to phosphorus compensation of soil itself. During the whole growth period, the lowest value of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and potassium content in soil both appeared in the phosphorus content of $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. In the two treatments of 10 and $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Olsen-P content, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and rapidly available potassium contents were always higher. This indicated that low and high phosphorus soil have inhibitory effect on nitrogen absorption of plant. The change of soil available K content was similar to $\text{NO}_3^- \text{-N}$, both showed a single peak curve with increasing of Olsen-P content. Results shows that the effect of the N, P, K fertilizer has mutual influence, equilibrium fertilizer (N, P and K) can improve the effect on soybean.

Keywords: Soil Olsen-P; $\text{NO}_3^- \text{-N}$; Potassium; Plant phosphorus content

磷是大豆生长发育过程中物质代谢、能量储存和传递的重要元素, 磷素也影响植株对氮素和钾素的吸收利用。随磷素营养水平的提高, 大豆植株氮素积累、根瘤固氮和产量均随磷素营养水平的提高而呈单峰曲线变化, 同时植株体内的磷素可以有效促进光合产物的转运、营养物质的再分配^[1-4]。磷素可以促进大豆共生固氮, 缺磷逆境显著影响大豆固氮酶的活性, 磷素在大豆氮素同化积累过程中起到重要作用^[5]。

近年来, 随着磷用量的不断增加, 农田土壤磷素逐渐积累^[6], 农田磷的积累量与土壤有效磷 (Olsen-P) 的增加量呈直线正相关, 土壤 Olsen-P 的增加量占农田积累磷的 17.7% ~ 28.9%^[7]。农田非点

源磷环境风险逐渐凸显^[8-9], 中国科学院对我国 131 个主要湖泊进行监测, 发现其中 67 个达到水体富营养化, 其中主要污染源来自农田土壤侵蚀、地表径流等非点源污染。氮肥、磷肥和钾肥之间既有相互促进作用也有相互制约作用, 研究表明少氮、稳磷、增钾可以显著提升大豆产量^[10]。因此适当合理施用磷肥及其它肥料对于维持良好的生态环境有重要意义。

目前对于磷素的研究主要集中在磷素对植株的影响上, 例如缺磷对植株根系及产量的影响^[11-12]等。在大豆植株生长的不同时期磷肥的施入影响植株对其它营养素的吸收, 在开花期之前随着磷肥的施入, 钾素吸收显著增加, 开花期后效果逐渐减

收稿日期: 2016-04-05

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303126)。

第一作者简介: 张小明(1982-) 女, 硕士, 实验师, 主要从事作物栽培与育种研究。E-mail: xiaomingzhang1982@126.com。

小^[13-14]。关于土壤有效磷的变化及其对土壤氮素和钾素含量的影响缺乏系统的研究。本试验在不同土壤磷素水平下,研究土壤中有效磷、有效钾和硝态氮含量及植株磷素含量的变化规律,为生产上合理施用磷肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2014 年种植吉育 89 栽培大豆品种。以 2 m × 4 m 为一个试验单位,共设置 15 个试验单位,每个试验单位底部铺上塑料隔板,隔板上均匀钻出小

孔,边缘用高为 1 m 的塑料板隔开,防止土壤中的元素淋失。用低磷土和高磷土混合调配出磷素含量 10、20、30、40、50 mg·kg⁻¹ 土壤,分别记为 P₁₀、P₂₀、P₃₀、P₄₀ 和 P₅₀ 处理。土壤中硝态氮含量用硫酸铵调配到 33 mg·kg⁻¹,有效钾含量用硫酸钾调配到 180 mg·kg⁻¹。各试验处理的土壤基础肥力见表 1。每个处理设置 3 次重复,种植密度为行距 55 cm,株距 18 cm。每个试验单位种植规模为 5 行,每行 9 株,除去保护行留下 21 株以备取样。

表 1 田间土壤基础肥力

Table 1 Soil fertility

处理 Treatment	全氮 Total N /%	全磷 Total P /%	全钾 Total K /%	NO ₃ ⁻ -N /mg·kg ⁻¹	有效磷 Olsen-P /mg·kg ⁻¹	有效钾 Available K /mg·kg ⁻¹	有机质 Organic matter /g·kg ⁻¹
P ₁₀	0.19	0.09	4.39	33.46	9.45	179.61	12.11
P ₂₀	0.23	0.15	5.32	35.54	18.54	180.44	11.90
P ₃₀	0.26	0.19	5.09	32.12	29.54	181.65	13.16
P ₄₀	0.29	0.20	5.42	34.21	40.31	185.03	13.45
P ₅₀	0.32	0.24	5.61	35.10	50.54	182.72	14.01

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤取样和测定方法 在播种同时取土样,之后每隔 15 d 取一次,直到收获期为止。第二次土壤取样在第 15 天,大豆处于 V3 期;第三次土壤取样在第 30 天,大豆处于 R1 期;第四次土壤取样在第 45 天,大豆处于 R2 期;第五次土壤取样在第 60 天,大豆处于 R3 期;第六次土壤取样在第 75 天,大豆处于 R5 期;第七次土壤取样在第 90 天,大豆处于 R6 期;第八次土壤取样在第 105 天,大豆处于 R7 期;第九次土壤取样在第 120 天,大豆处于 R8 期,共取样 9 次。

取土方法:用 20 cm 土钻分两次下钻,第一次下钻到 10 cm,将土壤装入封口袋,第二次下钻到 20 cm,将土壤放入同一个封口袋。每个试验单位随机选 5 点进行取土,每个土样取 1/3 装入封口袋,在实验室通风处晾干,人工磨碎过 20 目筛子封好待用。剩余 2/3 装入塑料袋中,放入 -20℃ 冰箱内,待用。

土壤有效磷含量的测定采用钼锑抗比色法^[15]。土壤有效钾含量的测定采用火焰光度法^[15]。土壤硝态氮含量的测定采用酚二磺酸比色法^[15]。

1.2.2 植株取样和测定方法 植株取样:分别在植株 V3、R2、R5、R8 期,对植株进行取样,取样后将植株分解为叶片、茎秆、荚果和根系 4 个部位,分别装入写好名称的信封中,称鲜重后,在 105℃ 下杀青 30 min 后,65℃ 烘干,称重,粉碎后待用。植株磷素含

量的测定采用钼锑抗比色法^[15]。

2 结果与分析

2.1 植株中磷素含量变化规律

对不同生育时期的大豆植株中磷素含量的研究结果如表 2 所示:V3 期,土壤磷素含量 P₃₀ 水平以下时,大豆叶片中的磷素含量随土壤有效磷含量的升高而升高,在 P₃₀ 水平时达到最大值,之后随土壤磷素含量升高,叶片中的磷素含量基本不变,P₁₀ 处理的叶片磷素含量显著低于 P₃₀、P₄₀ 和 P₅₀ 处理。茎部和根系的磷素含量随土壤磷素变化趋势与叶片基本相同。

R2 期,叶片中的磷素含量随着土壤磷素含量的升高而升高,在 P₃₀ 水平时达到最高,之后随土壤磷素含量升高,叶片中磷素含量反而降低,P₁₀、P₂₀ 和 P₅₀ 处理的叶片磷素含量显著低于 P₃₀ 处理。茎部和根系的磷素含量情况随土壤磷素含量变化趋势基本相同。

R5 期,土壤磷素 P₃₀ 水平以下,叶片和茎部的磷素含量都随土壤磷素含量的升高而升高,土壤磷素 P₃₀ 水平时,磷素含量达到最大,之后随土壤磷素含量的升高,叶片和茎部的磷素含量反而降低。P₂₀ 处理的叶片和茎部磷素含量显著低于 P₃₀ 和 P₄₀ 处理,而 P₁₀ 处理的磷素含量显著低于 P₂₀ 处理。5 个处理的根系磷素含量都无显著差异,由于此阶段植株刚

刚开始结荚,荚果对磷素的需求还很小,即使土壤中磷素不足,植株也可通过对自身磷素的重新调配,将其它部位磷素转移给荚果,以保证其生长,所以此阶段 5 个处理的荚果磷素含量差异不大。

R8 期,植株将大量营养元素储存在籽粒当中,所以其它器官中磷素大量转移,5 个处理中的叶片、茎部和根系的磷素含量都很低,且无明显差异,而籽粒中的磷素含量差异很大, P_{30} 处理的籽粒磷素含量显著高于其它 4 个处理,而 P_{10} 处理的籽粒磷素含量最低,显著低于其它处理。

表 2 植株中磷素含量变化规律

Table 2 Variation of the P content of plants

生育时期 Growth stage	器官 Organ	P_{10}	P_{20}	P_{30}	P_{40}	P_{50}
V3(第 15 天)	叶 Leaf	0.16 ± 0.01 b	0.19 ± 0.02 ab	0.23 ± 0.02 a	0.21 ± 0.01 a	0.23 ± 0.01 a
	茎 Stem	0.08 ± 0.01 c	0.12 ± 0.01 b	0.21 ± 0.01 a	0.22 ± 0.01 a	0.20 ± 0.03 a
	根 Root	0.12 ± 0.01 b	0.15 ± 0.01 b	0.24 ± 0.01 a	0.23 ± 0.02 a	0.22 ± 0.01 a
R2(第 45 天)	叶 Leaf	0.18 ± 0.01 b	0.23 ± 0.01 b	0.39 ± 0.02 a	0.27 ± 0.02 ab	0.21 ± 0.01 b
	茎 Stem	0.14 ± 0.01 b	0.18 ± 0.01 b	0.31 ± 0.01 a	0.24 ± 0.01 a	0.21 ± 0.01 ab
	根 Root	0.18 ± 0.01 b	0.23 ± 0.01 b	0.34 ± 0.01 a	0.27 ± 0.01 ab	0.22 ± 0.02 b
R5(第 90 天)	叶 Leaf	0.24 ± 0.01 c	0.30 ± 0.01 b	0.44 ± 0.01 a	0.40 ± 0.01 a	0.35 ± 0.01 ab
	茎 Stem	0.17 ± 0.01 c	0.21 ± 0.01 bc	0.30 ± 0.01 a	0.23 ± 0.01 b	0.25 ± 0.01 ab
	根 Root	0.23 ± 0.01 a	0.24 ± 0.01 a	0.26 ± 0.01 a	0.25 ± 0.02 a	0.24 ± 0.01 a
	荚果 Pod	0.36 ± 0.01 a	0.35 ± 0.02 a	0.38 ± 0.01 a	0.38 ± 0.02 a	0.37 ± 0.03 a
R8(第 120 天)	叶 Leaf	0.15 ± 0.01 a	0.17 ± 0.01 a	0.17 ± 0.01 a	0.16 ± 0.01 a	0.14 ± 0.01 a
	茎 Stem	0.03 ± 0.01 b	0.02 ± 0.01 b	0.08 ± 0.01 a	0.07 ± 0.01 a	0.05 ± 0.01 ab
	根 Root	0.06 ± 0.01 a	0.07 ± 0.01 a	0.08 ± 0.01 a	0.07 ± 0.01 a	0.08 ± 0.01 a
	籽粒 Seed	0.31 ± 0.01 c	0.45 ± 0.01 bc	0.71 ± 0.01 a	0.64 ± 0.01 ab	0.51 ± 0.01 b

同行不同小写字母代表处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.2 土壤中有有效磷含量的变化规律

整个生育期间 P_{30} 、 P_{40} 、 P_{50} 处理的土壤有效磷含量变化趋势基本一致,在大豆生长的前 90 d,土壤中有有效磷含量缓慢下降,90 ~ 105 d(R7 期) 土壤中有有效磷含量迅速下降,并在第 105 天取样时,土壤中的有效磷含量达到 9 次取样中的最低值,但在第 120 天取样时,有效磷含量有所升高,可能是土壤自身有磷素补偿作用;而 P_{10} 和 P_{20} 处理的土壤有效磷含量变化趋势有所不同,这两个处理的土壤有效磷含

量最低值出现在大豆生长的第 90 天(R6 期),之后通过土壤自身调节作用,土壤有效磷含量缓慢升高,但是土壤中有有效磷含量远没有 P_{30} 、 P_{40} 、 P_{50} 处理大。根据各处理土壤有效磷含量最低值出现的时期,可以推断磷素水平较低的土壤在 R6 期有效磷的消耗量已达到最大值,而磷素含量稍高的土壤消耗量达最大值出现在 R7 时期,这说明磷素含量高的土壤对大豆有效磷的供给时间比磷素低的土壤长。

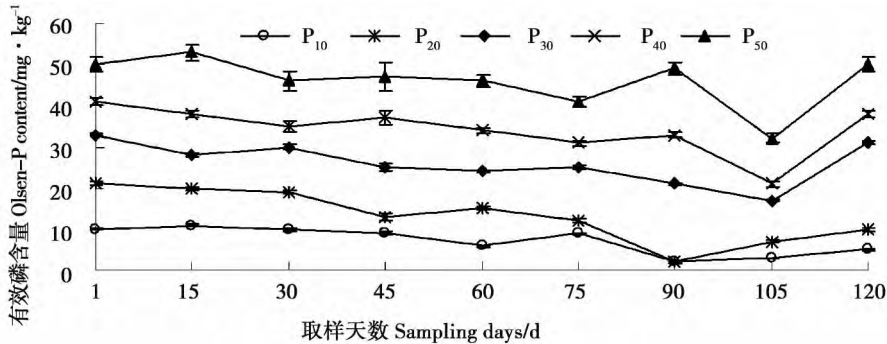


图 1 土壤有效磷含量动态变化

Fig. 1 Dynamics of the P content of soil

2.3 土壤有效钾含量的变化规律

在大豆生长发育期间,5个处理的有效钾含量变化趋势极为相似,在前60 d有效钾含量迅速下

降,之后变化缓慢。 P_{30} 处理的土壤有效钾含量一直处于最低值,而 P_{10} 处理的有效钾含量一直最高。

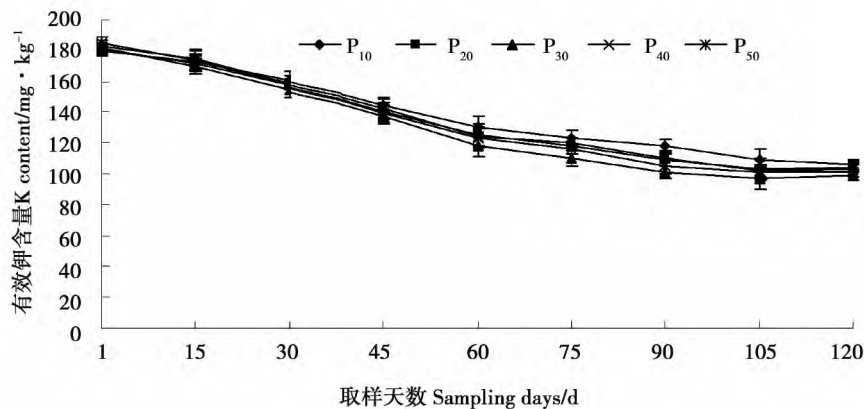


图2 土壤有效钾含量动态变化

Fig. 2 Dynamics of the K content of soil

2.4 土壤中硝态氮含量的变化规律

如图3所示,在大豆整个生育过程中5个处理的土壤硝态氮含量变化趋势基本一致,在前105 d的土壤硝态氮含量缓慢下降,而在收获期5个处理的土壤硝态氮含量迅速下降,下降速度为整个生育

期最快。5个处理的初始硝态氮含量几乎相同,在各生育时期 P_{30} 处理的硝态氮含量都要低于其它4个处理,与之相反,在整个大豆生育期间 P_{50} 处理的土壤硝态氮含量一直处于最高值。

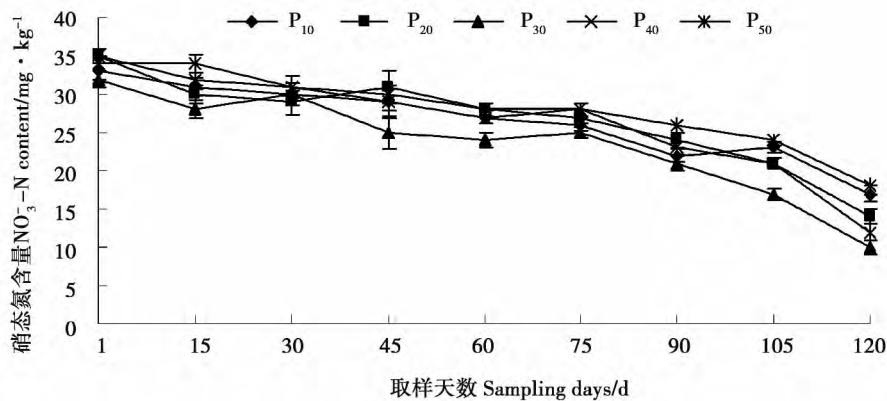


图3 土壤硝态氮含量动态变化

Fig. 3 Dynamics of the NO_3^- -N content of soil

3 结论与讨论

磷肥对大豆植株磷素含量影响较大,可以促进大豆对磷素的吸收^[16]。本试验结果显示,在一定范围内随着土壤磷素含量升高,大豆各器官中磷素都在升高,而在土壤磷素含量为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,植株中的磷素含量有所下降,说明土壤磷素含量过高可能会抑制植株对磷素的吸收,也可能是土壤磷素含量过高导致植株徒长,消耗大量营养元素所致。磷素是移动能力较强的元素,在大豆生育后期,籽粒中的磷素主要来自叶片等老器官的转移,几乎不再吸收土壤中的有效磷,在土壤自身补偿作用下,土壤有效磷含量有所升高。Tsvetkova等^[17]研究指出:

磷不足或过量都会降低大豆植株的根瘤重量、数量和功能,其可能原因是不适宜的磷素营养水平抑制光合作用和固氮过程,磷代谢的恶化损伤了光合系统和固氮过程的正常代谢。

本试验研究结果显示:土壤磷素含量为 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,土壤硝态氮含量下降最快,而10和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,土壤硝态氮含量下降都很缓慢,说明低磷和高磷土壤对植株氮素吸收有抑制作用。随土壤中磷素含量高低变化,在整个植株生长过程中土壤N、K含量变化,而在大豆整个生育过程中5个处理的土壤N、K含量变化趋势基本一致, P_{30} 处理的土壤有效钾含量一直处于最低值,而 P_{10} 处理的有效钾含量一直最高。在整个大豆生育期间 P_{50} 处理的土壤硝

态氮含量一直处于最高值。说明在大豆生产中 N、P、K 肥的作用效果相互影响,合理配比既可以减少肥料的施入,又可以提高肥料的作用效果。

参考文献

- [1] 姚玉波,吴冬婷,龚振平,等. 磷素水平对大豆氮素积累及产量的影响[J]. 核农学报,2012,26(6): 947-951. (Yao Y B, Wu D T, Gong Z P, et al. Effect of phosphorus level on nitrogen accumulation and yield in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(6): 947-951.)
- [2] Israel D W. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic di-nitrogen fixation[J]. Plant Physiology, 1987, 84: 835-840.
- [3] 刘志明,王培秋,简自强,等. 大豆推荐施肥技术[J]. 吉林农业,2011,4: 140-149. (Liu Z M, Wang P Q, Jian Z Q, et al. Soybean recommended fertilization technology [J]. Jilin Agricultural, 2011, 4: 140-149.)
- [4] Hanway J J, Weber C R. Accumulation of N, P and K by soybean [*Glycine max*(L.) Merrill] Plants[J]. Agronomy Journal, 1971, 63: 406-408.
- [5] 吴明才,肖昌珍,郑普英. 大豆磷素营养研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(3): 59-65. (Wu M C, Xiao C Z, Zheng P Y. Soybean phosphorus nutrition research [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(3): 59-65.)
- [6] 刘建玲,张福锁,杨奋翮. 北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(2): 179-186. (Liu J L, Zhang F S, Yang F H. Fractions of phosphorus in cultivated and vegetable soils in northern China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(2): 179-186.)
- [7] 张凤华,贾可,刘建玲,等. 土壤磷的动态积累及土壤有效磷的产量效应[J]. 华北农学报,2008,23(1): 168-172. (Zhang F H, Jia K, Liu J L, et al. Phosphorus dynamic accumulation and yield response in vegetable fields [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(1): 168-172.)
- [8] Sharpley A N, Tunney H. Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of 21st century [J]. Journal of Environmental Qualit, 2000, 29: 176-181.
- [9] 孙世超. 不同复合肥料对大豆产量和经济效益的影响[J]. 黑龙江农业科学,2002(6): 16-18. (Sun S C. Effects of different compound fertilizers on yield and economic benefit [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2002(6): 16-18.)
- [10] 梁泉,尹元萍,严小龙等. 不同磷水平下大豆根系性状的遗传特性分析[J]. 分子植物育种,2009,7(2): 321-329. (Liang Q, Yin Y P, Yan X L, et al. Genetic analysis of root characters in soybean using a recombinant inbred line population at two phosphorus levels [J]. Molecular Plant Breeding, 2009, 7(2): 321-329.)
- [11] 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 absorption in soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(1): 16-20.)
- [12] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学,2004,37(7): 1008-1017. (Zhang W L, Wu S X, Yi H J, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleciating strategies i. e estimation of agricultural non-source pollution in China in early 21 century [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1008-1017.)
- [13] 蔡柏岩,葛背萍,金惠玉,等. 磷素水平对不同大豆品种钾素吸收效率的影响[J]. 大豆科学,2006,25(1): 42-47. (Cai B Y, Ge B P, Jin H Y, et al. The effect on phosphorus amount to potassium absorb efficiency of different soybean cultivars [J]. Soybean Science, 2006, 25(1): 42-47.)
- [14] 蔡柏岩,葛背萍,祖伟. 磷素水平对不同大豆品种氮素营养的影响[J]. 中国油料作物学报,2006,28(2): 156-161. (Cai B Y, Ge B P, Zu W. The effect of phosphorus level on nitrogen uptake of different soybean varieties [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2006, 28(2): 156-161.)
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社,2000. (Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.)
- [16] 蔡柏岩,葛背萍,祖伟. 不同磷肥水平对大豆磷营养状况和产量品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(3): 404-410. (Cai B Y, Ge J P, Zu W. Effect of phosphorus levels on soybean phosphorus nutrition, yield and quality [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2007, 13(3): 404-410.)
- [17] Tsvetkova G E, Georgiev G I. Effect of phosphorus nutrition on the nodulation, nitrogen fixation and nutrient use efficiency of *bradyrhizobium japonicum* soybean(*Glycine max* L. Merr.) symbiosis [J]. Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue, 2003: 331-335.