

钾肥施用增加菜用大豆生殖生长期不同部位钾素积累

刘长锴^{1,2}, 张秋英², 李彦生², 田博文^{1,2}, 涂冰洁^{1,2}, 刘晓冰²

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 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/黑土区农业生态重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081)

摘 要:利用菜用大豆品种(系)中科毛豆 1 号和品系 121,在正常氮磷种肥用量基础上,进行不施钾(K0),种肥施钾 120 kg·hm⁻²(K1),种肥施钾 120 kg·hm⁻² + 叶面喷施钾肥(K2)3 种施钾处理,探究菜用大豆开花后 28 ~ 56 d 内茎秆、叶片、叶柄、荚皮、籽粒中钾素积累动态。结果表明:相同时期不同部位钾素积累均为 K2 > K1 > K0,各部位钾的相对积累量为籽粒 > 荚皮 > 叶片 > 叶柄 > 茎。同时发现,菜用大豆茎秆、叶片、叶柄、荚皮中钾积累量均随着生育进程逐渐下降,而籽粒中钾素的积累在开花后 28 ~ 42 d 下降,42 ~ 49 d 升高,随后略有降低。施用钾肥增加了菜用大豆植株各部位的钾积累量,施钾叶面肥可进一步增加钾积累量。

关键词:菜用大豆;钾素积累;蔗糖;可溶性糖
中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2016. 01. 0091

Potassium Fertilizer Application Increased the Accumulation of Potassium During Reproductive Stages in Different Parts of Vegetable Soybean(*Glycine max* L. Merr.)

LIU Chang-kai^{1,2}, ZHANG Qiu-ying², LI Yan-sheng², TIAN Bo-wen^{1,2}, TU Bing-jie^{1,2}, LIU Xiao-bing²
(1. College of Natural Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150081, China; 2. Key Laboratory of Mollisols Agroecology/ Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: With normal rates of N and P fertilizers, we treated two vegetable soybeans Zhongkemaodou 1 and cv. 121 with no potassium fertilizer (K0), 120 kg·ha⁻¹ K (K1) at seeding, 120 kg·ha⁻¹ K with additional foliar application of 30 kg·ha⁻¹ of K₂SO₄ (K2), and investigated the dynamic of potassium accumulation in leaves, petioles, stalks, pods and seeds within 28-56 days after flowering respectively. The results showed that the potassium accumulation was characterized by K2 > K1 > K0 and seeds > pods > stalks. It was also found that the potassium accumulation declined with the reproductive processes in stems, leaves, petioles and pods, however potassium accumulation in seeds declined 28-42 days after flowering, but increased 42-49 days and then slightly declined. The potassium accumulation in various parts of vegetable soybeans could be increased by K fertilization, and could be further increased by additional foliar K application.

Keywords: Vegetable soybean; Potassium accumulation; Sucrose; Soluble sugar

菜用大豆(*Glycine max* L. Merr.)是一种特用大豆,是指在豆荚鼓粒饱满、荚色翠绿、籽粒还没有完全成熟,生理上处于鼓粒期到成熟初期采收的大豆类型^[1]。它的主要特点是粒大、色鲜、口感鲜糯、含糖量高,被誉为美味、营养的绿色保健蔬菜,深受国内外广大消费者的喜爱。因此,发挥品种遗传潜力、保持品种的品质特征对于菜用大豆优质高产至关重要^[2]。

钾素是作物生长发育所必需的营养元素,在菜用大豆产量、品质形成过程中发挥着重要的作用。由于钾离子参与植物体内碳水化合物的合成与运

输,因此,施钾素可以促进糖类代谢,增加植物组织的糖分含量^[3]。乔欣等^[4]报道称钾离子对植物叶绿体的形成影响很大,在对小麦的试验中发现,施钾升高促进了叶片中蔗糖与淀粉的积累^[5];作物果实、籽粒中的碳水化合物累积在一定范围内也随施钾量的增加而升高^[3,6]。李春杰等^[7]研究发现,施钾提高了大豆的抗病性,同时增加了大豆的有效荚数、单株粒数、单株粒重,减少产量损失,起到增产的作用。杜明等^[6]研究发现,在正常施用氮、磷种肥的基础上,施用 120 kg·hm⁻² 钾肥作种肥不仅提高菜用大豆鲜荚采食期产量,而且显著增加菜用

收稿日期:2015-06-09
基金项目:哈尔滨市创新人才基金(2012RFXXN016);黑龙江省重点基金(ZD201307);国家自然科学基金(41471241)。
第一作者简介:刘长锴(1990-),男,硕士,主要从事作物营养与产量形成研究。E-mail: 290176041@qq.com。
通讯作者:刘晓冰(1963-),男,博士,研究员,主要从事作物生理生态、种植制度与土壤管理研究。E-mail: liuxb@iga.ac.cn。

大豆籽粒中蔗糖含量,种肥施钾后,籽粒中蔗糖含量相比不施钾提高 41.4% ~ 47.0%,在种肥施钾 120 kg·hm⁻²基础上于花期和结荚期叶面喷施钾肥还可增加 13.1% ~ 14.4% 的蔗糖含量,钾肥能显著增加菜用大豆鲜荚采食期的产量和生理成熟期的粒数。

有报道称,生殖生长期是大豆干物质积累以及籽粒发育的重要时期,同时也是营养元素吸收积累的高峰期^[8],赵政文等^[9]发现大豆籽粒中钾积累量在鼓粒期至成熟期最高。Hanway 等^[10]研究指出菜用大豆开花后 28 ~ 56 d 正处于始粒期、鼓粒期和成熟期的重要生长时期,其开花后 28 ~ 42 d 是钾素由营养器官向籽粒中分配、转运的重要时期,而钾离子在作物体内具有较强的流动性。本研究在不同

施钾处理条件下,探究菜用大豆开花后 28 ~ 42 d 钾素在菜用大豆植株各部的积累分配规律,为进一步解释钾肥施用改善菜用大豆营养物质的积累以及分配方向提供理论依据,同时为菜用大豆钾肥的合理施用提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为 2 个亚有限结荚型菜用大豆品种(系),中科毛豆 1 号和品系 121(表 1)。供试仪器设备主要有球磨仪(德国 Retsch MM400)、烘箱(北京永光明 101-2ES)、火焰光度计(上海欣益仪器仪表有限公司)。

表 1 供试菜用大豆品种(系)特性

Table 1 Agronomic characteristics of different vegetable soybean varieties (lines)				
品种(系)	生育期	结荚习性	百粒重	蛋白质含量
Variety(line)	Growth duration/d	Growth habit	100-seed weight/g	Protein content/%
中科毛豆 1 号 Zhongkemaodou 1	125 ~ 135	亚有限	35	44.2
品系 121 Line 121	120 ~ 130	亚有限	33	42.2

1.2 试验设计

试验于 2014 年在中国科学院东北地理与农业生态研究所哈尔滨试验场内进行(N45°73',E126°61',海拔 128 m)。供试土壤为典型黑土,pH6.6,有机质 29 g·kg⁻¹,全氮 2.3 g·kg⁻¹,全磷 1.3 g·kg⁻¹,全钾 19.7 g·kg⁻¹,碱解氮 147.5 mg·kg⁻¹,速效磷 48.1 mg·kg⁻¹,速效钾 74.5 mg·kg⁻¹。该地区气候属中温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季温热多雨,全年降水量 500 ~ 600 mm,无霜期为 120 ~ 130 d,有效积温 2 400 ~ 2 500℃,全年日照时间为 2 600 ~ 2 800 h。

采用盆栽试验,试验盆的规格为直径 32 cm × 高 27 cm。在一次性施入 98 kg·hm⁻²(0.7 g N·盆⁻¹)尿素和 70 kg·hm⁻²(1.12 g P₂O₅·盆⁻¹)磷酸二铵基础上,设置 3 个 K₂SO₄钾肥施用水平,分别为 K0(对照,不施钾肥),K1(种肥 120 kg·hm⁻²),K2(种肥 120 kg·hm⁻² + 1% K₂SO₄,30 kg·hm⁻²叶面钾肥)。每个品种每个处理 12 次重复,随机排列。K2 处理在菜用大豆花期和结荚期喷施叶面肥。分别于开花后 28 ~ 56 d 于子叶痕处取样,将植株按茎秆、叶片、叶柄、荚皮、籽粒分开洗净,装入信封于烘箱 105℃杀青 30 min 后 60℃烘干至恒重。植株各部位

钾含量采用乙酸铵浸提,火焰光度计法测定。

1.3 数据分析

应用 Excel 2010 和 SPSS 13.0 对数据进行统计分析,Sigma Plot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对菜用大豆茎秆中钾素积累的影响

菜用大豆开花后 28 ~ 56 d,植株茎中钾素积累逐渐下降,即开花后 28 d 时钾素积累量最高,开花后 49 d 时降至最低(图 1)。开花后 28 d 时,中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理,分别比 K0 处理高 13.7% 和 41.8%;同时期品系 121 的 K1 和 K2 处理,分别比 K0 处理高 18.6% 和 38.7%。开花后 49 d,中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 18.1% 和 39.2%;品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 30.7% 和 38.0%,均为显著差异(P < 0.05)。此外,品种间比较,相同时期品系 121 茎秆中钾积累量显著高于中科毛豆 1 号。

2.2 不同处理对菜用大豆叶片中钾素积累的影响

菜用大豆叶片中钾素积累量在开花后 28 ~ 56 d 呈现下降趋势(图 2)。不同施钾处理间叶片中钾素积累量差异显著,为 K2 > K1 > K0。开花后 28 d 时,中科毛豆 1 号 K1 处理和 K2 处理分别比 K0 处理高

18.6%和43.4%;同时期品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 21.8%和 37.9%。开花后 49 d, 中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 33.8%和 67.7%;品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 22.6%和 45.4%均为显著差异($P < 0.05$)。

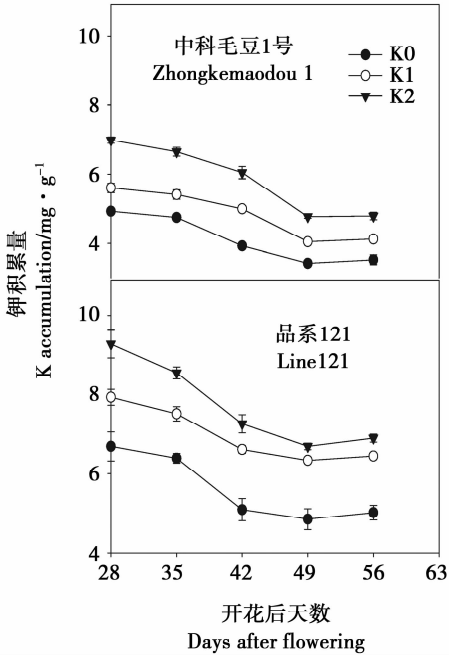


图1 不同施钾处理对菜用大豆茎秆中钾素积累的影响

Fig. 1 Effect of potassium fertilizer application on potassium accumulation of stem in vegetable soybean

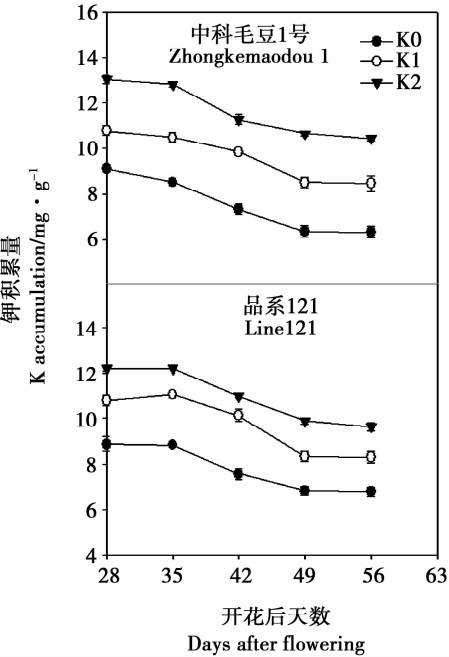


图2 不同施钾处理对菜用大豆叶片中钾素积累的影响

Fig. 2 Effect of potassium fertilizer application on potassium accumulation of leaf in vegetable soybean

2.3 不同处理对菜用大豆叶柄中钾素积累的影响

菜用大豆开花后 28 ~ 56 d 叶柄中钾素积累量同样呈下降趋势(图 3)。开花后 28 d 时叶柄中钾积累量最高,此时中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 18.9%和 33.7%;品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 20.7%和 33.6%。开花后 49 d 时钾素相对积累量减至最低,此时中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 11.9%和 24.1%;品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 高 11.5%和 20.9%,均为显著差异($P < 0.05$)。同时两个品种叶柄中各时期钾积累量均为 K2 处理高于 K1 和 K0 处理。品系 121 在开花后 28 ~ 35 d 变化较缓,35 ~ 49 d 急剧下降,49 ~ 56 d 降至最低。品种间比较,品系 121 叶柄中钾积累量较高,下降幅度较大。

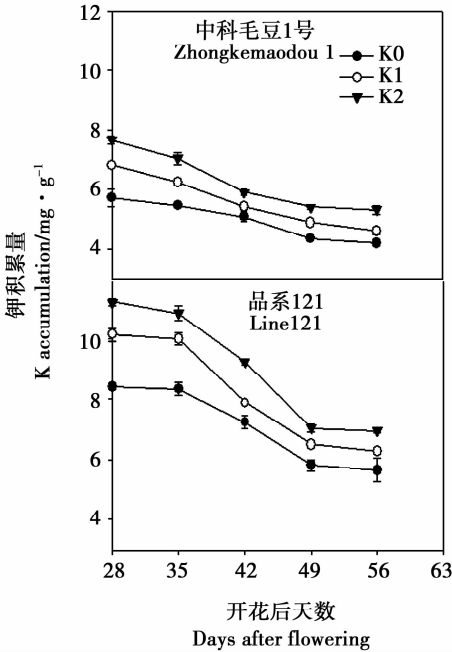


图3 不同施钾处理对菜用大豆叶柄中钾素积累的影响

Fig. 3 Effect of potassium fertilizer application on potassium accumulation of petiole in vegetable soybean

2.4 不同施钾处理对菜用大豆荚皮中钾素积累的影响

菜用大豆开花后 28 ~ 42 d 荚皮中钾素积累量下降较快,开花后 42 ~ 56 d 趋于平稳(图 4)。开花后 28 d 时为菜用大豆荚果形成初期,籽粒还未发育完全,此时期钾积累量最高,中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理比 K0 处理分别高 7.4%和 13.2%,品系 121 荚皮 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 22.2%和

27.0%。开花后 42 d 时下降趋势减缓,中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 5.8% 和 11.1%,品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 5.8% 和 11.1%,均为显著差异 ($P < 0.05$)。不同处理间差异明显,为 $K2 > K1 > K0$ 。品种间比较,发现开花后 28 ~ 35 d 品系 121 荚皮中钾素积累量下降幅度明显高于中科毛豆 1 号。

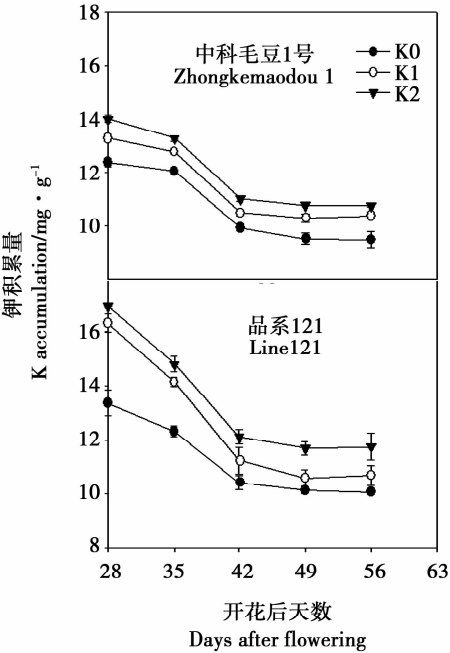


图4 不同施钾处理对菜用大豆荚皮中钾素积累的影响

Fig.4 Effect of potassium fertilizer application on potassium accumulation of pod shell in vegetable soybean

2.5 不同施钾处理对菜用大豆籽粒中钾素积累的影响

菜用大豆开花后 28 ~ 56 d 籽粒中钾素积累变化如图 5 所示,开花后 28 ~ 42 d 下降较快,开花后 42 ~ 49 d 钾素积累量明显升高,开花后 49 ~ 56 d 有所下降。两品种籽粒中钾积累量均为 $K2 > K1 > K0$,开花后 28 d 时籽粒刚刚形成,钾的相对积累量较高,此时中科毛豆 1 号的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 3.3% 和 6.6%;品系 121 的 K1 和 K2 处理分别比 K0 处理高 5.3% 和 9.1%。开花后 49 d (最佳采食期)籽粒中钾积累量达到峰值,中科毛豆 1 号 K1 比 K0 处理高 3.3%,K2 比 K0 处理高 6.6%;品系 121 的 K1 比 K0 处理高 5.3%,K2 比 K0 处理高 9.1%,均为显著差异 ($P < 0.05$)。籽粒是菜用大豆钾素积累量最高的部位,品系 121 籽粒中钾积累量在各生长期均高于中科毛豆 1 号。

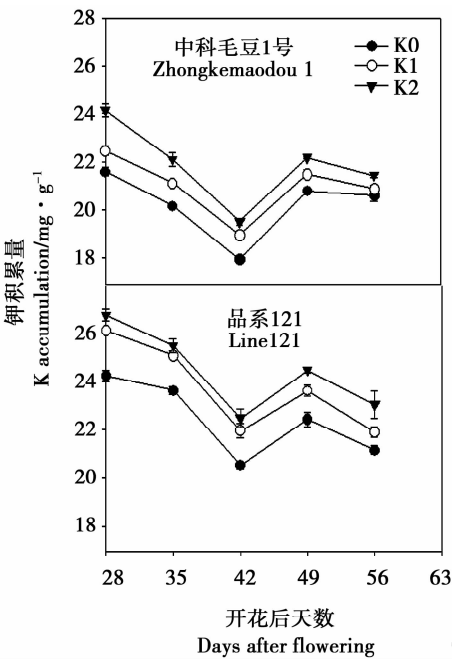


图5 不同施钾处理对菜用大豆籽粒中钾素积累的影响

Fig.5 Effect of potassium fertilizer application on potassium accumulation of seed in vegetable soybean

3 讨论

钾素是作物生长发育所需的重要营养元素,在菜用大豆产量、品质形成过程中发挥着重要的作用。适当施用钾肥能加快作物导管和筛管的运输速率,影响酶的活化,促进作物体内多种生理代谢过程,提高作物的抗性,进而影响作物的品质和产量形成^[11]。与氮、磷不同,钾在植物体中几乎不直接参与植物体的构成,它主要以离子态存在于植物液泡之中,与植物的生理代谢、抗逆性以及品质的改善密切相关^[12],因此钾素在作物不同组织、器官中的浓度对于物质合成、运输与调控意义重大。

已有研究表明,大豆对钾素的吸收具有生长前期大、后期小的特点。在大豆的整个生育期内钾素在植株中的积累主要集中在地上部^[13],植株全钾含量于三叶期后呈现下降趋势。施用钾肥后植株全钾量明显高于对照,但是过高的施钾量并没有得到更高的钾积累量,反而相比最适施钾量有所下降^[14-15]。杜明等^[6]通过对菜用大豆进行不同施钾处理试验得到了相同结果,表明施钾过高会对菜用大豆植株钾积累量产生抑制。作物果实、籽粒中的碳水化合物的累积在一定范围内也随施钾量的增加而升高^[3,6]。本研究表明种肥施钾 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 及在此基础上的 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 叶面钾肥均有利于菜用大豆植株钾素的积累,菜用大豆开花后 28 ~ 56 d

茎秆、叶片、叶柄、荚皮和籽粒中钾含量与对照相比显著提升,同时,花期、结荚期两次喷施钾叶面肥有利于钾素在植株各部的进一步积累。

菜用大豆开花后 28 ~ 56 d 各组织中钾积累量均为下降趋势,钾素的积累量为籽粒 > 荚皮 > 叶片 > 叶柄 > 茎。始粒期之后,菜用大豆植株中的钾素由营养器官向荚果中运转的趋势明显,该时期荚果是钾素分配的中心,因此荚皮中钾素的高卸载量是籽粒中钾素积累的最直接原因^[16],荚皮代谢旺盛^[17],钾的含量较高,而其下降幅度高于叶片、叶柄和茎。由于随着菜用大豆生殖生长的进行,老叶脱落,而新叶代谢旺盛,因此叶片中钾含量较高。比较不同施钾条件下各营养器官钾素积累的降低量,发现施钾后营养器官中钾的卸载量高于不施钾对照处理,尤以荚皮中差异较为明显,说明施钾后营养器官的高钾卸载和转运量是籽粒中钾素积累较高的主要原因。籽粒中的钾积累量在开花后 28 ~ 42 d 下降,42 ~ 49 d 有所升高,随后回落,并未出现预期的随生长期的进行而持续升高的趋势,可能是由于籽粒形成初期其基本形态刚形成,而钾离子由荚皮向籽粒中运转的速率大于籽粒干物质的积累速率所致。

本试验结果量化了施钾对菜用大豆植株中钾素积累的影响,证明了叶面喷施钾肥对钾素在菜用大豆植株中的积累具有积极影响。同时,系统的分析菜用大豆植株的钾素吸收积累与分配规律,对于合理施用钾肥、降低生产成本、增加菜用大豆产量提供了理论依据和技术参考。

参考文献

[1] 盖钧镒,王明军,陈长之. 中国毛豆生产的历史渊源与发展[J]. 大豆科学, 2002, 21(1):7-13. (Gai J Y, Wang M J, Chen C Z. Historical origin and development of maodou production in China[J]. Soybean Science, 2002, 21(1):7-13.)

[2] 张秋英,杨文月,李艳华,等. 中国菜用大豆研究现状,生产中的问题及展望[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 950-954. (Zhang Q Y, Yang W Y, Li Y H, et al. Research, production and prospects for vegetable soybean in China [J]. Soybean Science, 2007, 26:950-954.)

[3] Yang X E, Liu J X, Wang W M, et al. Potassium internal use efficiency relative to growth vigor, potassium distribution, and carbohydrate allocation in rice genotypes [J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27(5):837-852.

[4] 乔欣,马旭,张小超,等. 大豆叶绿素和钾素信息的冠层光谱响应[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 108-111. (Qiao X, Ma X, Zhang X C, et al. Response of coronary spectrum on chlorophyll and K information of soybean [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 108-111.)

[5] 王旭东,于振文,王东. 钾对小麦旗叶蔗糖和籽粒淀粉积累的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 196-201. (Wang X D, Yu Z W, Wang D. Effect of potassium sucrose content of flag leaves and starch accumulation of kernels in wheat [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(2): 196-201.)

[6] 杜明. 钾肥施用对菜用大豆产量和品质的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2012. (Du M. Effects of potassium fertilizer application on yield and quality in vegetable soybean [D]. Harbin: Northeast Agriculture University, 2012.)

[7] 李春杰,王建国,许艳丽,等. 钾对大豆产量及品质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(2): 154-55. (Li C J, Wang J G, Xu Y L, et al. Effect of potassium on the yield and quality of soybean [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2005, 21(2): 154-55.)

[8] 郭庆元,李志玉,涂学文. 大豆高产优质施肥研究与应用[J]. 中国农学通报, 2003, 19(3) 89-96. (Guo Q Y, Li Z Y, Tu X W. Studing and application of fertilization techniques for high-yield and good quality in soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(3): 89-96.)

[9] 赵政文,马继凤,李小红,等. 南方春大豆不同生育期干物质积累与氮磷钾含量的变化[J]. 大豆科学, 1994, 13(1):53-60. (Zhao Z W, Ma J F, Li X H, et al. Dry mattre accumulation and absorpition and absorpition and partition of nitrogen, phosphorous and potassium on different development stages in southern spring soybean (Glycine max L.) [J]. Soybean Science, 1994, 13(1):53-60.)

[10] Hanway J J, Johnson J W. Potassium nutrition of soybeans [M]// Munson R D. Potassium in Agriculture, USA: American Society of Agronomy, 1985: 753-764.

[11] Casanova E. Phosphorus and potassium fertilization and mineral nutrition of soybean [J]. Interciencia Caracas, 2000, 25(2): 92-95.

[12] 吴明才. 大豆钾素研究[J]. 大豆科学, 1983, 2(2): 93-99. (Wu M C. Potassium soybean research [J]. Soybean Science, 1983, 2(2): 93-99.)

[13] 郭昕. 土壤钾水平对大豆钾素积累分配及产量影响的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2013. (Guo X. Study on effect of soil potassium levels on potassium accumulation, distribution and yield of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013.)

[14] 曾祥亮,宋秋来,张磊,等. 春大豆植株钾素积累与转运的研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(5):1169-1174. (Zeng X L, Song Q L, Zhang L, et al. Potassium accumulation and transportation in spring soybean [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(5):1169-1174.)

[15] 李玉影. 大豆需钾特性及钾肥效应[J]. 植物营养与肥科学报, 1998, 4(4):414-418. (Li Y Y. Characteristics of potassium requirement by soybean and the effect of potash fertilization [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(4):414-418.)

[16] 宋秋来,郭昕,龚振平,等. 土壤速效钾水平对大豆钾素积累及产量影响的研究[J]. 作物杂志, 2014(2):106-109. (Song Q L, Guo X, Gong Z P, et al. Study on the effect of soil available potassium level on potassium accumulation and yield in soybean [J]. Crop, 2014(2): 106-109.)

[17] Egli D B, Leggett J E, Duncan W G. Influence of N stress on leaf senescence and N redistribution in soybeans [J]. Agronomy Journal, 1978, 70(1):43-47.