

钾肥施用对菜用大豆和普通大豆开花后氮素积累的影响

田博文^{1,2}, 李彦生², 杨越^{1,2}, 李蕊^{1,2}, 涂冰洁^{1,2}, 刘长锴^{2,3}, 张秋英², 刘晓冰^{1,2}

(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; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:钾素营养充足, 可以提高作物抗逆能力和产量。随着氮、磷肥在生产中施用的增加, 钾肥已逐渐成为作物产量的最大限制因子。大豆开花后籽粒形成期是大豆氮素积累、产量提高的重要时期, 文章对钾肥施用后菜用大豆和普通大豆两者开花后氮素的积累进行了比较研究。在正常氮磷钾肥用量基础上, 设置3种施钾处理: 不施钾(K0)、种肥施钾120 kg·hm⁻²(K1)、种肥施钾120 kg·hm⁻²且在花、荚期喷施30 kg·hm⁻²叶面钾肥(K2), 探究菜用大豆、普通大豆开花后28~56 d内籽粒、叶片、茎中氮素积累动态。结果表明: 施用钾肥增进两种类型大豆植株各部位中氮素积累。同时期内, 两种类型大豆在各施肥处理下各部位的氮素积累量均为K2>K1>K0, 大豆植株各部位中相对氮素积累量均为籽粒>叶片>茎。钾肥施用对提高菜用大豆籽粒氮素含量的效应高于普通大豆, 与K0相比, K2处理下菜用大豆、普通大豆籽粒平均氮素含量分别增加了0.19%和0.1%。施用钾肥提高了菜用大豆叶片氮素转移效率, 相比K0处理, K1、K2处理分别增加了6.1%、8.2%, 而对普通大豆影响不大。钾肥施用显著增加普通大豆茎中氮素积累, 但菜用大豆品种间差异较大。

关键词:菜用大豆; 钾肥施用; 氮素积累; 生殖生长期
中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2017.02.0262

Effects of Potassium Fertilizer Application on Nitrogen Accumulation after Flowering in Vegetable Soybean and Grain Soybean

TIAN Bo-wen^{1,2}, LI Yan-sheng², YANG Yue^{1,2}, LI Rui^{1,2}, TU Bing-jie^{1,2}, LIU Chang-kai^{2,3}, ZHANG Qiu-ying², LIU Xiao-bing^{1,2}

(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; 3. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Sufficient potassium nutrition can improve crop resilience and enhance crop yields. With the increase of nitrogen and phosphate fertilizer application in crop production, potash fertilizer has been the limiting factor for the enhancement of crop yield. Seed formation after flowering is the main period of dry matter accumulation, as well as determination stage for soybean yield. However, the effect of potash fertilizer on the nitrogen accumulation after flowering to vegetable soybean and grain soybean was seldom reported. In this study, based on the rates of normal nitrogen and phosphorus fertilizer application, three potassium(K) fertilization treatments were imposed: No K application(K0), 120 kg·ha⁻¹ K₂SO₄ at seeding(K1), and 120 kg·ha⁻¹ K₂SO₄ at seedling +1% K₂SO₄ foliar application at flowering(K2). The nitrogen accumulations in grain, leaf and stem of soybean from 28–56 days after flowering between vegetable soybean and grain soybean were investigated. The results showed that potassium application increased the nitrogen accumulation in both types of soybeans. The amount of nitrogen accumulation under different fertilization treatments was in the order of K2>K1>K0, and the amount of nitrogen accumulation in each part was in the order of seed>leaf>stem. The potassium application had more prominent effect on seed nitrogen accumulation in vegetable soybean than that of grain soybean. Compared with K0, the average nitrogen content in K2 treatment was 0.19% and 0.1% for vegetable soybean and grain soybean respectively. Compared with K0 treatment, K1 and K2 treatments increased the nitrogen translocation efficiency by 6.1% and 8.2% in vegetable soybean leaves, but had no effect on grain soybean leaves. Stem nitrogen accumulation in grain soybean was significantly increased by potassium application, while the responses varied between vegetable soybean cultivars.

Keywords: Vegetable soybean; Potassium application; Nitrogen accumulation; Reproductive stage

钾是植物生长发育不可缺少的营养元素, 合理施钾可以显著提高玉米、小麦产量, 改善小麦品质、提高水稻抗病性^[1-4]。钾素同样是提升大豆品质、产量至关重要的营养元素^[4-5]。

大豆植株氮素积累是产量形成的基础, 大豆开花后籽粒形成期是品质与产量形成的关键时期, 此时期也是植株吸收积累营养元素的高峰期。籽粒中蛋白质的组成与含量决定着大豆的营养品质, 而决定籽粒中蛋白质积累代谢结果的是大豆生育期内的氮素积累过程^[15]。籽粒中的养分来源: 一部分

收稿日期: 2016-11-11
基金项目: 国家自然科学基金(41471241); 国家重点研发计划项目(2016YFD0100201-28)。
第一作者简介: 田博文(1990-), 男, 硕士, 主要从事作物营养与氮素积累研究。E-mail: justmytt@163.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。

来自根部固氮的直接吸收,一部分来自营养器官的养分再转移^[14]。大豆根部因其根瘤菌共生吸收的氮素一般迅速通过茎、枝向地上部分转移,而叶片作为主要同化作用营养器官,是生育前期储存氮素的主要场所。

有研究表明:籽粒中氮素主要来自于叶片中氮的转移,作物前期营养器官的累积是籽粒中大部分氮素的来源^[16-18]。而且, K^{+} 参与大豆体内酶活化过程,对大豆叶片光合作用强度、叶绿素含量和硝酸还原酶活性有明显的正效应,钾肥的科学施用可以提高作物的筛管、导管运输速率,提升植株自身的代谢过程,影响其碳水化合物代谢,促进蛋白质合成和氮素代谢进程^[4-5]。显然,钾肥的施用提高大豆产量并改善大豆品质组分与其改善大豆植株体内开花后各部位氮素积累及其有效转运密切相关,而这方面的研究鲜有报道。菜用大豆作为特用大豆,尽管形态特征方面与普通大豆相似,但菜用大豆籽粒大、含糖量高、游离氨基酸丰富^[13],而且菜用

大豆施钾肥的增产效果明显高于普通大豆,表明两种类型大豆的氮素积累对钾肥施用的响应很可能不同。正是基于以上两个假设,本研究在不同施钾处理条件下,探讨了钾素对两种类型大豆开花后植株各部位的氮素积累分配规律的影响,以其明确钾肥施用影响两种类型大豆开花后植株氮素积累的差异,为合理施用钾肥,提高两种类型大豆产量和品质提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆材料:品系 121 和中科毛豆 1 号为 2 个菜用大豆品种(系),东生 7 号为普通大豆品种,生长习性均为亚有限结荚类型(表 1)。

仪器设备:球磨仪(德国 Retsch MM400)、烘箱(北京永光明 101- 2ES)、元素分析仪 Elementar-Vario(Elementar Analysensysteme GmbH E-Ⅲ, Germany)。

表 1 供试大豆品种(系)特性

Table 1 Agronomic trait of different soybean varieties (lines)

品种(系) Variety (line)	生育期 Growth duration/d	结荚习性 Growth habit	百粒重 100-seed weight/g	蛋白质含量 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
东生 7 号 Dongsheng 7	110 ~ 120	亚有限	20	40. 6

1.2 试验设计

试验于 2015 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(N45°73′, E126°61′,海拔 128 m)进行,供试土壤为典型黑土,土壤化学性质背景值见表 2。

采用盆栽试验,一次性底肥施入尿素 98 kg·hm⁻² (0. 7 g N·盆⁻¹)和磷酸二铵 70 kg·hm⁻² (1. 12 g P₂O₅·盆⁻¹)。在此基础上,设置 3 个不同钾肥施用方式,分别是 K0(不施用钾肥);K1(施用 K₂SO₄ 120 kg·hm⁻²);K2(施用 K₂SO₄ 120 kg·hm⁻²并在花期和荚期喷施 1% K₂SO₄叶面钾肥)。两种类型大豆品种均按以上 3 个处理分别施肥,每个处理重复 15

次,各处理随机排列。

开花后 28 ~ 56 d,每 7 d 对植株的茎、叶片、籽粒分别取样。样品于 105℃烘箱内杀青 30 min,后于 60℃烘干至恒重。采用杜马斯燃烧定氮法测定氮含量。

籽粒形成过程中氮素相关计算方法^[20-21]如下:

叶片氮素相对转移量 = 开花后 28 d 氮素积累量 - 开花后 56 d 氮素积累量;

叶片氮素转移效率(%) = 叶片氮素转移量/开花后 28 d 氮素积累量 × 100;

籽粒氮素相对增长量(%) = (选定时期籽粒积累量 - 开花后 28 d 籽粒积累量) × 100。

表 2 土壤基本化学性质

Table 2 Chemical properties of the soil used(0 ~ 20 cm)

土壤类型 Soil type	全氮 Total N/ (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K/ (mg·kg ⁻¹)	有机质 TOC/ (g·kg ⁻¹)	pH
黑土 Black soil	2. 3	1. 3	19. 7	147. 5	48. 1	74. 5	29. 0	6. 6

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 13. 0 软件对数据进行统计分析,Sigma Plot 10. 0 作图。

2 结果与分析

2.1 钾肥施用对大豆籽粒中氮素积累的影响

开花后随着籽粒发育时期的增加,菜用大豆和

普通大豆籽粒中的氮素含量均逐渐增加。增施钾素可以促进大豆籽粒形成过程中氮素的积累,而这种效应在两种类型大豆品种中均有发现。在开花后 49 d(鲜荚采摘期)K0 条件下毛豆 1 号、品系 121 和东生 7 号籽粒中的氮素含量分别为 6. 5%、6. 46%、6. 45%,而 K1 相比籽粒中的氮素含量均提高了 0. 1%,K2 则分别提高了 0. 2%、0. 2%、

0.15%。增施钾肥均促进了两种类型大豆籽粒形成过程中氮素的积累,且钾肥作种肥后追施叶面肥处理效果要优于钾肥种肥处理。钾肥施用对同一品种不同时期籽粒氮素积累的影响程度为 K2 > K1 > K0,处理间差异显著 ($P < 0.05$,图1)。在 K0 处理下,开花后第56天的籽粒氮素含量最高期,菜用大豆品种中科毛豆1号、品系121籽粒中的氮素含量分别为6.50%,6.52%、普通大豆东生7号为6.51%,与K0处理相比,K1处理分别提高3个品种籽粒中的氮素含量0.18%,0.16%和0.06%;K2处理则分别提高了0.27%,0.28%和0.10%。结果表明,钾肥施用提高菜用大豆氮素含量的效应明显高于普通大豆。

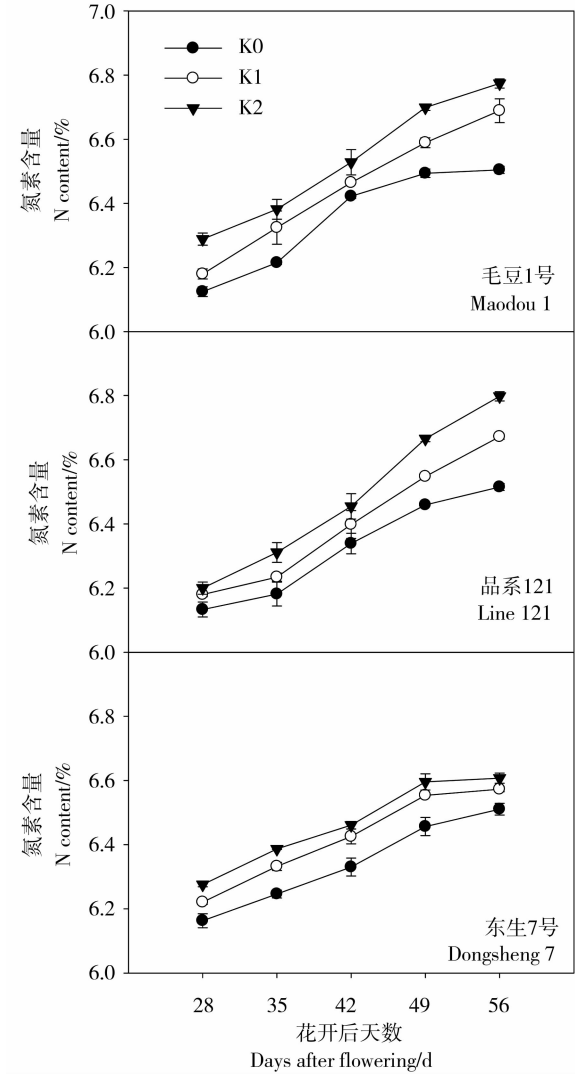


图1 不同施钾处理对大豆籽粒中氮素积累的影响

Fig. 1 The dynamic changes of seed nitrogen accumulation in different soybeans with potassium fertilization application

2.2 钾肥施用对大豆叶片中氮素积累的影响

氮素在大豆叶片中的积累规律与籽粒相反,叶片中氮素积累随生育期推进呈下降趋势,开花后第56天叶片中N素积累量降至最低(图2)。两种类

型大豆比较发现,开花35d之后普通大豆叶片氮素积累下降速率明显高于菜用大豆,直到开花后56d,普通大豆叶片氮素积累降到1.76%~1.96%,而菜用大豆只降到2.37%~2.58%,表明普通大豆叶片中的氮素更多的转运出去。在增施钾肥处理下,两种类型大豆品种叶片中氮素的积累规律处理间的变化基本相同,均为K2 > K1 > K0。在开花后56d,菜用大豆、普通大豆叶片氮素积累量在K2处理下,相比K0处理,分别提高了0.28%、0.18%。而且,施用钾肥增加了菜用大豆叶片氮素转移效率,相比K0处理,K1、K2处理分别增加了6.1%、8.2%,但对普通大豆叶片氮素转移效率影响不大,表明施用钾肥可以提高菜用大豆叶片氮素供应能力。大豆叶片作为生育期氮素积累主要的供应器官,此时期氮素积累情况越好,为大豆籽粒提供的氮素来源就得到了充足的保证。

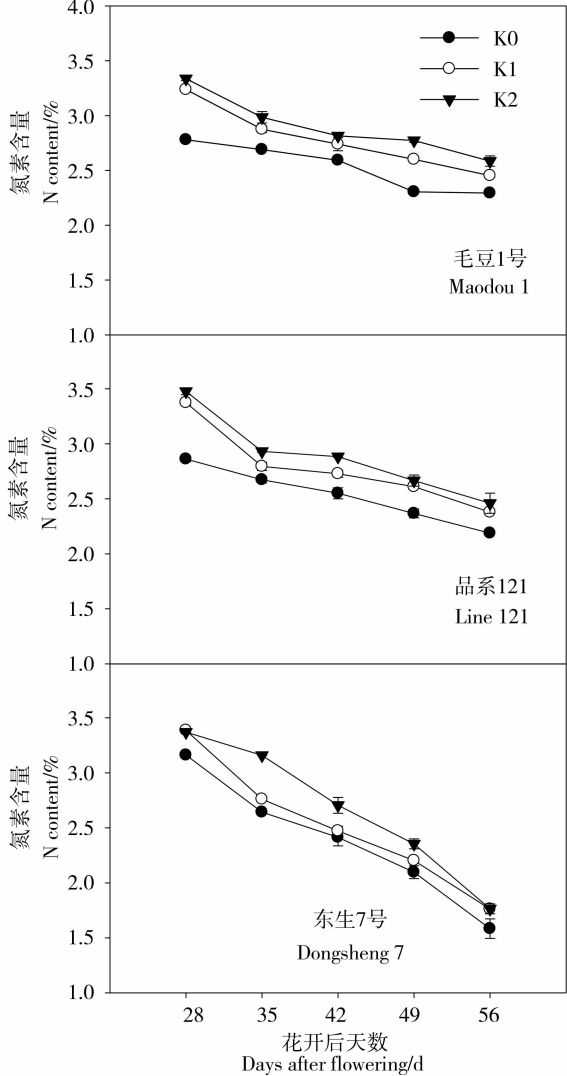


图2 不同施钾处理对大豆叶片中氮素积累的影响

Fig. 2 The dynamic changes of leaf nitrogen accumulation in different soybeans with potassium fertilization application

2.3 钾肥施用对大豆茎中氮素积累的影响

生殖生长期,两种类型大豆茎中氮素积累变化无明显差异,均呈现先快后趋于平缓的趋势,开花后第56天,大豆茎中氮素积累量降至最低,但普通大豆茎秆中氮素转运率也比菜用大豆高(图3)。由于营养生长阶段是大豆茎叶的生长,开花后,主要是大豆籽粒的生长,茎秆的氮素含量也会相应降低。尽管两种类型大豆品种茎中氮素积累量对施钾的反应一致表现为 $K_2 > K_1 > K_0$,但我们发现菜用大豆的反应品种之间存在差异,开花后第56天品系121的茎中氮素积累量对施钾的响应不敏感,处理间无差异,此期,中科毛豆1号在 K_1 和 K_2 处理下的积累量分别比 K_0 处理高0.23%和0.32%,普通大豆东生7号 K_1 和 K_2 处理分别比 K_0 处理高0.22%和0.31%,差异达到显著水平($P < 0.05$)。

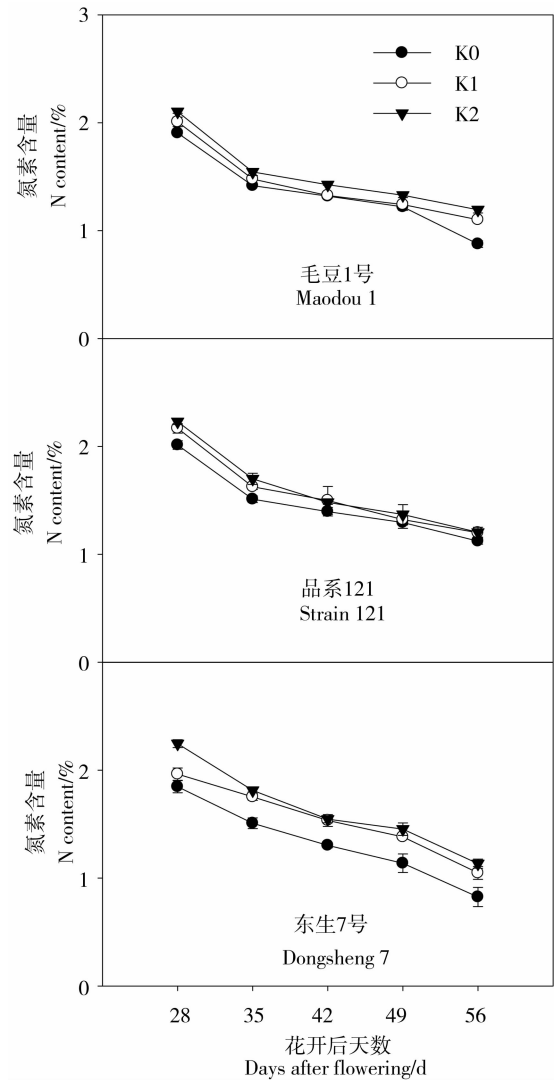


图3 不同施钾处理对大豆茎中氮素积累的影响
Fig.3 The dynamic changes of stem nitrogen accumulation in different soybeans with potassium fertilization application

3 结论与讨论

籽粒氮素积累是大豆高产的决定性因素,尽管大豆自身拥有固氮能力,但只能满足生育期的60%左右^[6-8]。因此,促进氮素积累和吸收就有利于大豆高产。本研究发现,增施钾肥均促进了两种类型大豆籽粒形成过程中氮素的积累,且钾肥做种肥后追施叶面肥处理效果要优于钾肥种肥处理。已有研究表明当施用钾肥 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,并在开花期、结荚期叶面喷钾,菜用大豆产量达到最高值^[19]。我们研究发现种肥施钾结合叶面喷钾不仅增产,还能提高籽粒中蛋白质的含量,尤其明显提高菜用大豆籽粒氮素含量。焦峰等^[15]提出随施钾量增加有降低普通大豆蛋白质含量、提高其脂肪含量的趋势。本研究钾素施用仅增加东生7号普通大豆籽粒氮素积累0.06%~0.10%,却增加菜用大豆籽粒氮素积累0.16%~0.28%,说明两种大豆对钾肥施用的响应敏感度差异较大。钾素调控菜用大豆籽粒氮素积累动态明显与普通大豆不同,这可能与菜用大豆大籽粒、高含糖等有关。

叶片作为大豆氮素主要存储和提供氮源的营养器官,其输出氮素能力的高低是决定籽粒氮积累量、改善大豆品质、提高产量的限制因素。即叶片氮素积累的越多,籽粒产量也就越高^[9,14]。本研究发现,施用钾肥增加了两种大豆叶片氮素积累量,并提高了菜用大豆叶片氮素转移效率,而对普通大豆叶片氮素转移效率影响不大,进一步说明钾肥施用对菜用大豆的重要性。可以说,钾肥施用获得高产优质的部分原因,对于菜用大豆来讲是叶片中积累量和转运两者增加的共同作用,而对普通大豆来讲,仅是增加了积累量。

钾肥施用后叶片中氮素增加可能与 K^+ 活化参与光合作用相关酶活性,促进氮代谢关键性酶反应有关。增强叶片同化作用,使叶片在生育前期积累更多的氮素,为籽粒产量形成提供了充足的氮源^[7,9];在 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的施用量下,大豆 R3 期的叶片 NR 活性远高于不施钾肥的对照处理^[15]。本研究同时发现,增施钾肥也增加两种类型大豆茎中氮素积累,但菜用大豆品系121的茎中氮素积累量对施钾的响应不敏感,说明茎中氮素积累对增产的作用具有特殊性。有关钾肥施用后对两种大豆碳氮代谢酶活性变化的影响,有必要深入探讨。

本研究揭示了钾肥施用对菜用大豆和普通大豆植株各部位氮素累积规律,钾肥做种肥条件下增施叶面钾肥对两种大豆籽粒中的氮素积累均有提高作用,叶片中积累的氮素及其运转对菜用大豆的

增产效应明显,但对钾素影响两种大豆氮素累积的过程机理缺乏深刻论述,仍需进一步研究。

参考文献

[1] 谢甫绋,谈伟,姜旭. 菜用大豆的价值与发展前景[J]. 新农业, 2010(10): 15-15. (Xie F T,Tan W,Jiang X. Value and development prospect of vegetable soybean[J]. New Agriculture, 2010 (10): 15-15.)

[2] Konovsky J. Edamame: The vegetable soybean[J]. Understanding the Japanese food and agrimarket: A multifaceted opportunity, 1994;173-181.

[3] Mozzoni L A. Quality attributes of vegetable-type soybean as a function of boiling time and condition [J]. Int. J. Food Sci. Technol, 2009(44):2089-2099.

[4] 宗大辉,徐辉,李晓翠. 钾肥的作用及施用方法[J]. 吉林农业, 2007 (5): 32-33. (Zong D H,Xu H,Li X C. Effect of potassium fertilizer and its application method[J]. Agriculture in Jilin, 2007 (5): 32-33.)

[5] 张秋英,李彦生,王国栋,等. 菜用大豆品质及其影响因素研究进展[J]. 大豆科学, 2010, 29(6): 1065-1070. (Zhang Q Y,Li Y S,Wang G D, et al. Research progress on quality of vegetable soybean and its influencing factors[J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 1065-1070.)

[6] 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. Current status,production problem and prospects of vegetable soybean in China[J]. Soybean Science,2007, 26(6): 950-954.)

[7] 王丹英. 菜用大豆品质生理研究[D]. 杭州:浙江大学,2001. (Wang D Y. Stuides on relationship between vegetable soybean eating quality and its components[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2001.)

[8] 杜明,李彦生,张秋英等. 钾肥对菜用大豆生殖生长期叶片叶绿素含量的影响[J]. 大豆科学, 2009,31(6):941-946. (Du M, Li Y S, Zhang Q Y, et al. Effects of potassium fertilizer on chlorophyll of vegetable soybean in reproductive stages [J]. Soybean Science, 2012, 31(6): 941-946.)

[9] 王小纯,程振云,何建国,等. 不同形态氮素对专用型小麦花后氮代谢关键酶活性及籽粒蛋白质含量的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(25):802-807. (Wang X C, Cheng Z Y, He J G, et al. Effects of differentnitrogen forms on key enzyme activity involved in nitrogen metabolism and grain protein content in speciality wheat cultivars [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (25): 802-807.)

[10] 于惠琳,张惠君,王海英,等. 施肥处理对菜用大豆和普通大豆品质形成的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(3): 475-479. (Yu H L, Zhang H J, Wang H Y, et al. Effect of different fertilizer levels on quality of vegetable-type and grain-type soybeans [J]. Soybean Science, 2008, 27(3): 475-479.)

[11] Yang X E,Liu J X,Wang W M,et al. Potassium internal use efficiency relative to growth vigor,potassium distribution,and carbohy-

drate allocation in rice genotypes[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004,27(5): 837-852.

[12] 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 on sucrose content of flag leaves and starch accumulation of kernels in wheat[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(2): 196-201.)

[13] 杜明,李彦生,张秋英,等. 菜用大豆钾素营养研究进展[J]. 大豆科学, 2012,31(3): 487-491. (Du M, Li Y S, Zhang Q Y, et al. Advance of potassium nutrition in vegetable soybean[J]. Soybean Science, 2012, 31(3): 487-491.)

[14] 郑淑琴. 钾对大豆生理效应及产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2001, 25(4): 25-27. (Zheng S Q. Effect of potassium on the physiology, yield and quality of soybean [J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2001, 25(4): 25-27.)

[15] 焦峰,王鹏,翟瑞常. 钾肥对大豆硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性及产量和品质的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2009, 21(4): 12-15. (Jiao F, Wang P, Zhai R C. Effects of potassium application rates on activity of nitrate reductase and glutamine synthetase, yield and quality of soybean[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2009, 21 (4): 12-15.)

[16] 汪自强,陶秀明. 不同供钾水平下春大豆的氮积累和利用[J]. 中国农业科学, 1997, 30(5): 20-25. (Wang Z Q, Tao X M. Nitrogen accumulation and utilization of spring soybean under different potassium supply levels[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1997, 30(5): 20-25.)

[17] 焦光纯. 大豆植株干物质积累与氮素动态变化研究[D]. 东北农业大学, 2003. (Jiao G C. Studies on the dry matter accumulation and the dynamic change of nitrogen in soybean [D]. Northeast Agricultural University, 2003.)

[18] 沈中泉. 有机肥料对改善农产品品质的作用及机理[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 54-60. (Shen Z Q. Effect and mechanism of organic fertilizers on improving the quality of agricultural products[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 1995, 1(2): 54-60.)

[19] 杜明,李彦生,张秋英,等. 菜用大豆产量对钾肥施用的响应研究[J]. 土壤与作物, 2012(2): 89-93. (Du M, Li Y S, Zhang Q Y, et al. Responses of vegetable soybean yield to the application of potassium fertilizer[J]. Soil and Crop, 2012(2): 89-93.)

[20] 田昌玉,林治安,左余宝,等. 氮肥利用率计算方法评述[J]. 土壤通报, 2011, 42 (6): 1530-1536. (Tian C Y,Lin Z A,Zuo Y B, et al. Review on several concepts on fertilizer nitrogen recovery rate and its calculation[J]. Chinese Journal of Soil Sience, 2011, 42 (6): 1530-1536.)

[21] 郭明明,赵广才,郭文善,等. 追氮时期和施钾量对小麦氮素吸收运转的调控[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (3): 590-597. (Guo M M, Zhao G C, Guo W S, et al. Regulation of nitrogen topdressing stage and potassium fertilizer rate on absorption and translocation of nitrogen by wheat[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(3): 590-597.)