

钾肥施用对菜用大豆生殖生长期可溶性糖含量及产量的影响

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

(1. 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; 2. 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:菜用大豆籽粒可溶性糖含量是评价其食用品质的重要指标,为探究钾素影响菜用大豆“源”、“库”端可溶性糖转化关系,在正常氮、磷种肥施用基础上,以菜用中科毛豆 1 号和品系 121 为材料,进行不施钾(K0)、种肥施钾 120 kg·hm⁻²(K1)以及种肥施钾 120 kg·hm⁻² + 花期和结荚期两次喷施钾叶面肥(K2)处理,探讨植株不同部位可溶性糖积累规律。结果表明:种肥施钾显著增加菜用大豆生殖生长期(开花后 4~8 周)叶片、荚皮、籽粒中可溶性糖含量,在此基础上于花期、荚期两次喷施叶面钾肥有利于可溶性糖在叶片、荚皮、籽粒中的进一步积累。开花后 7 周(最佳采食期)时,籽粒可溶性糖含量达到最大,此时中科毛豆 1 号 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 29.2% 和 37.5%,而品系 121 分别高 9.3% 和 24.8%。同时发现,钾肥施用显著提高了菜用大豆鲜荚采食期产量,中科毛豆 1 号 K1、K2 处理的单株鲜荚产量相比 K0 处理分别高 8.2% 和 37.1%,而品系 121 分别高 18.9% 及 31.6%。钾肥施用可能通过增强菜用大豆源端(叶片)可溶性糖的供应以及促进荚皮可溶性糖的运转量而对籽粒中可溶性糖的积累起到促进作用。

关键词:菜用大豆; 可溶性糖; 钾肥; 鲜荚产量; 叶面钾肥
中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.02.0270

Effect of Potassium Fertilizer Application on Soluble Sugar Content During Reproductive Stages and Yield in Vegetable Soybean

LIU Chang-Kai^{1,2}, LI Yan-Sheng¹, TU Bing-Jie^{1,2}, TIAN Bo-Wen^{1,2}, ZHANG Qiu-Ying¹, LIU Xiao-Bing¹
(1. Key Laboratory of Mollisols Agroecology/Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China; 2. College of Natural Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Soluble sugar content is an important indicator of the evaluation of the eating quality of vegetable soybean, this experiment was going to find out the effect of potassium fertilizer on soluble sugar content in vegetable soybean. Three potassium fertilizer treatments were treated 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) at flowering-podding. We discussed the soluble sugar content in leaf, pod shell and seed during reproductive stages and yield in two vegetable soybean genotypes ('Zhongkemaodou 1' and 'Line 121') under normal N and P fertilizers application by pot experiment. Potassium application significantly increased the soluble sugar content in each part of vegetable soybean during reproductive stages. Maximum soluble sugar contents were all obtained at K2 treatment. Compared with control, the seed soluble contents of 'Zhongkemaodou 1' at 7 weeks after flowering, were increased by 29.2% and 37.5% in K1 and K2 treatments; while 'Line 121' were increased by 9.3% and 24.8% respectively. As to fresh pod yield of vegetable soybean, compared with control, 'Zhongkemaodou 1' increased by 8.2% and 37.1% in K1 and K2 treatments; while 'Line 121' increased by 18.9% and 31.6%, respectively. Rational application of potassium fertilizer significantly increased soluble sugar content and fresh pod yield of vegetable soybean. The increased seed soluble sugar content by potassium fertilizer application was due to enhanced accumulation of soluble sugar in leaves and pod shells.

Keywords: Vegetable soybean; Soluble sugar; Potassium fertilizer; Fresh pod yield; Foliar potassium application

菜用大豆俗称毛豆,是一种于鲜荚时期即生理上处于 R6(鼓粒盛期)至 R7(初熟期)时期采收的特用大豆类型,其可溶性糖、游离氨基酸和不饱和脂肪酸含量均高于普通大豆,口感香醇、营养价值丰富,深受国内外广大消费者喜爱^[1-2]。菜用大豆食用品质的好坏是影响其市场占有率的主要因素。许多研究者认为糖是影响菜用大豆食用品质的主要因子^[3-4]。相关分析发现,可溶性糖含量与菜用大豆食用品质得分呈正相关关系^[5],东京地区是日本消费菜用大豆最多的地区,最受消费者喜爱的品

种均为糖含量高的品种^[6]。为此,可溶性糖含量的高低常是菜用大豆食用品质好坏的最主要的标志^[7]。

由于钾离子参与植物体内碳水化合物的合成与运输,因此与菜用大豆可溶性糖含量密切相关。张洪刚等^[8]研究发现,施钾量为 120 kg·hm⁻²时菜用大豆籽粒中可溶性糖的含量最高,可达到 6.3%。杜明等^[9]发现适宜的施钾量可显著提高菜用大豆籽粒可溶性糖含量,于花期、结荚期喷施钾叶面肥可进一步提高籽粒可溶性糖含量。生育期间各个

收稿日期:2015-07-27
基金项目: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:张秋英(1962-),女,研究员,主要从事作物高产生理和菜用大豆生理育种研究。E-mail:zhangqiuying@iga.ac.cn。

器官碳水化合物 的积累、转化和分配,影响到采食期籽粒中可溶性糖的最终含量。然而,有关钾肥施用对菜用大豆生育期间不同器官积累动态的研究较少。因此,探究钾肥对可溶性糖在菜用大豆植株中的积累分配,对于明确钾肥施用提高籽粒可溶性糖含量机制,进行合理施肥,改善菜用大豆食用品质意义重大。

本研究比较了种肥施钾和花期、荚期喷施钾叶面肥对菜用大豆开花后 4~8 周叶片、荚皮、籽粒中的可溶性糖积累动态,以及对菜用大豆鲜荚时期产量的影响,旨在探讨钾肥对菜用大豆可溶性糖积累、分配规律的影响,为钾肥的合理施用,改善菜用大豆食用品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为中科毛豆 1 号和品系 121;仪器设备主要有球磨仪(Retsch MM400)、烘箱(北京永光明 101-2ES)、Salvis 型恒温水浴锅、T6 紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限公司)。

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)。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,全年降水量达 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。供试土壤为典型黑土,pH6.6,有机质为 29 g·kg⁻¹,全氮为 2.3 g·kg⁻¹,全磷 1.3 g·kg⁻¹,全钾 19.7 g·kg⁻¹,碱解氮为 147.5 mg·kg⁻¹,速效磷 48.1 mg·kg⁻¹,速效钾 74.5 mg·kg⁻¹。

采用盆栽试验,所有盆栽处理在一次性施入 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钾肥施用处理,分别为 K0(对照,不施钾肥);K1(K₂SO₄,种肥 120 kg·hm⁻²);K2(K₂SO₄,种肥 120 kg·hm⁻²+1% K₂SO₄,30 kg·hm⁻²叶面钾肥,于花期和结荚期 2 次喷施)。每个品种每个处理 12 次重复,随机排列。分别于开花后 4~8 周于子叶痕处取样,将植株各部分开洗净,装入信封于烘箱 105℃杀青 30 min 后 60℃烘干至恒重,粉碎待测。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 可溶性糖含量 测定方法为蒽酮比色法,参照马春梅的方法^[11],准确称取粉碎过筛的样品 0.05 g,放入 10 mL 刻度离心管中,加 4 mL 80%乙醇,于 80℃水浴中不断搅拌 40 min,离心,收集上清液,其残渣加 4 mL 80%乙醇重复提取 1 次,合并上

清液。上清液中加入 0.01 g 活性炭,80℃水浴中脱色 30 min.,定容至 25 mL 过滤后取滤液 1 mL,稀释到 10 mL,取稀释后的糖液 1 mL,加入 5 mL 蒽酮试剂,摇匀,沸水浴煮 10 min,冷却后,用紫外分光光度计于 620 nm 波长下测定 OD 值。

1.3.2 产量 于开花后 7 周进行鲜荚时期产量测定,分别测定鲜荚时期菜用大豆单株鲜荚重、单株荚数、单株标准荚数、单株荚数、单株粒数、单株鲜粒重、株高、分枝和节数。

1.4 数据分析

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

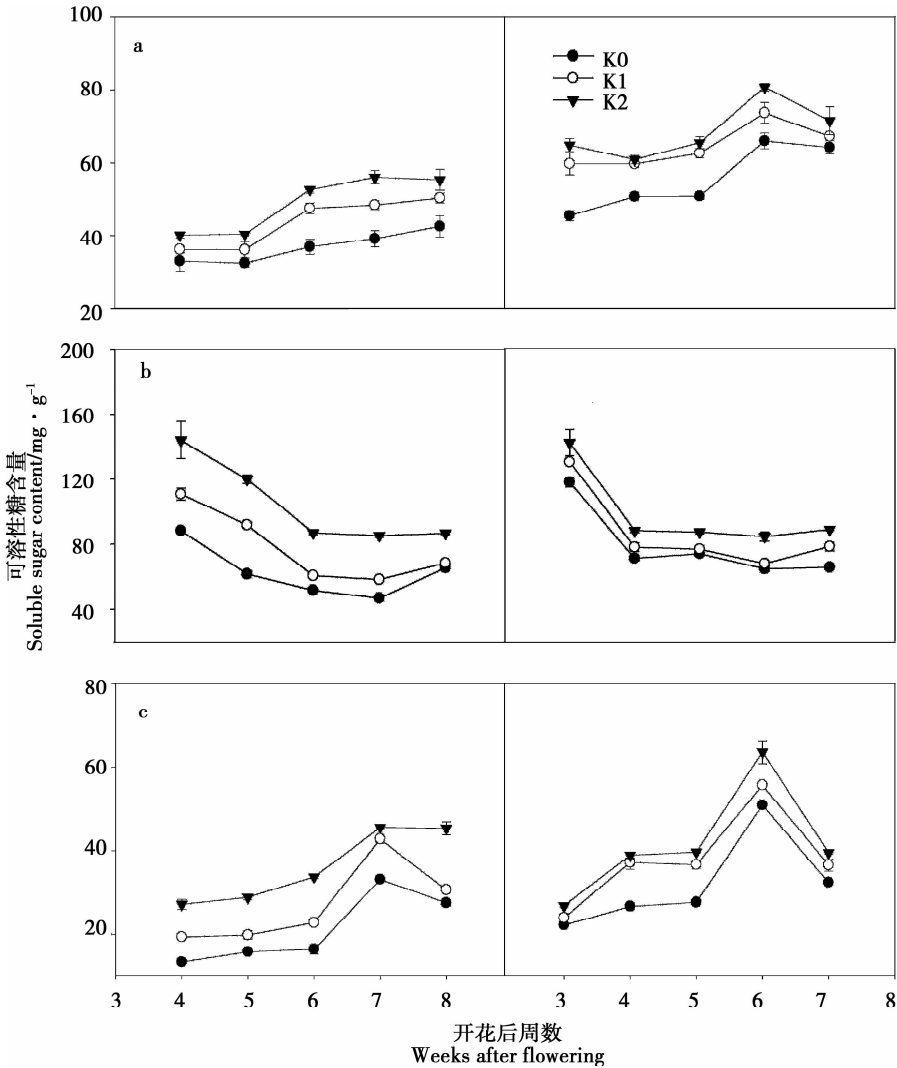
2.1 不同施钾处理对菜用大豆叶片、荚皮及籽粒中可溶性糖含量的影响

2.1.1 叶片 菜用大豆叶片可溶性糖积累量在开花后 4~8 周内整体呈上升趋势(图 1a),不同施钾处理间差异明显,表现为施钾 120 kg·hm⁻²+喷施叶面钾肥处理(K2)可溶性糖积累量最高,施钾 120 kg·hm⁻²的处理(K1)次之,不施钾处理(K0)最低。开花后 7 周左右可溶性糖含量达到最大值,此时中科毛豆 1 号 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 23.9% 和 43.5%;品系 121 的 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 11.6% 和 22.1%。两品种间比较,在开花后 4~8 周内整体变化趋势相近。其中,品系 121 叶片中可溶性糖含量相对较高。

2.1.2 荚皮 如图 1b 所示,与叶片中可溶性糖的积累不同,菜用大豆开花后 4~8 周内,荚皮中可溶性糖的积累呈下降趋势,不同处理间同样表现出 K2>K1>K0 的变化趋势。开花后 4 周左右荚果刚刚形成,此时荚皮中可溶性糖含量最高,中科毛豆 1 号 K1、K2 处理相比 K0 处理可溶性糖含量分别高 25.4% 和 55.9%;品系 121 的 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 12.7% 和 24.7%。开花后 7 周左右荚皮可溶性糖含量降至最低,此时中科毛豆 1 号 K1、K2 处理较 K0 处理分别高 24.2% 和 82.6%;品系 121 的 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 4.9% 和 31.4%。同时比较开花后 4 周至开花后 7 周荚皮可溶性糖降低量发现施钾处理可溶性糖降低量明显高于不施钾 K0 处理,其中,中科毛豆 1 号 K0、K1、K2 处理分别降低 41.5%、52.6%、58.9%;品系 121 K0、K1、K2 处理分别降低 53.5%、63.0%、58.1%。

2.1.3 籽粒 由图 1c 可以看出,菜用大豆籽粒中可溶性糖含量在开花后 4~8 周呈单峰曲线变化,于开花后 7 周左右达到峰值。不同施钾处理条件下籽粒中可溶性糖含量同样表现为 K2 处理最高,K1 处理次之,K0 处理最低。开花后 7 周时,中科毛豆 1

号 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 29.2% 和 37.5% ;品系 121 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 9.3% 和 24.8%。两品种间比较,在整个生殖生长期品系 121 籽粒中可溶性糖相对积累量较高。



左图为中科毛豆 1 号;右图为品系 121。
The left picture shows the change of Zhongkemaodou 1 and the right shows the change of Line 121.

图 1 不同施钾处理对菜用大豆叶片 (a)、荚皮 (b)、籽粒 (c) 中可溶性糖含量的影响
Fig. 1 Effect of potassium fertilizer application on leaf (a) , pod shell (b) and seed (c) soluble sugar in vegetable soybean

2.2 不同施钾处理对菜用大豆鲜荚时期产量的影响

从表 1 可以看出,钾肥施用不同程度增加了菜用大豆单株鲜荚产量、标准荚数、单株鲜粒重以及单株粒数,尤其是增施叶面钾肥后增产效果明显。

中科毛豆 1 号 K1、K2 处理的单株鲜荚重相比 K0 处理分别高 8.2% 和 37.1% ,品系 121 分别高 18.9% 及 31.6% ,不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

尽管菜用大豆单株标准荚数随着施钾量的升高有升高的趋势,但是不同处理间差异均未达到显著水平。

钾肥施用显著提高了菜用大豆鲜荚采食期单株鲜粒重,其中,中科毛豆 1 号 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 18.8% 和 50.4% ,而且 K1、K2 处理间

差异显著 ($P < 0.05$) ;品系 121 的 K1、K2 处理相比 K0 处理分别高 20.8% 和 30.8% ,差异显著,但 K1 与 K2 处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。

钾肥施用对菜用大豆单株粒数的影响较为明显,相比 K0 处理,K1、K2 处理均显著提高了单株粒数,其中,相比 K0 处理,中科毛豆 1 号 K1 和 K2 处理分别提高 19.7%、21.9% ;而品系 121 提高 16.6% 和 22.5%。但是两个品种 K1 与 K2 处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

钾肥施用对菜用大豆株高的影响品种间响应不同,中科毛豆 1 号表现为不施钾处理株高最高,K2 处理最低;品系 121 表现出 K2 处理最高,K0 处理最低。从表 1 中可以看出,不同施钾处理对菜用大豆分枝和节数的影响差异不显著。

2.3 不同施钾处理产量性状与增产幅度的相关性分析

通过对不同施钾处理条件下,菜用大豆产量构成要素与产量增加量相关性比较发现(表2),中科毛豆1号K1处理总荚数的增加量与产量增加量之

间呈显著正相关,K2处理标准荚数增加量与产量增加量之间呈显著负相关关系($P<0.05$),其它产量性状增加量与产量增加量间未发现显著相关性($P>0.05$)。

表1 不同施钾处理对菜用大豆鲜荚采食期产量的影响
Table 1 Effect of potassium fertilizer application on fresh pod yield in vegetable soybean

品种(系) Varieties(line)	处理 Treatment	单株鲜荚产量 Fresh pod weight per plant/g	单株标准荚数 Standard pods per plant	单株鲜粒重 Fresh seed weight per plant/g	单株粒数 Seed number per plant	株高 Plant height /cm	分枝数 Branch number	节数 Node number
中科毛豆1号 Zhongkemaodou 1	K0	43.4±0.6 c	24.4±3.8 a	21.8±1.1 c	54.2±2.8 b	62.1±2.1 a	3.6±0.5 a	11.6±0.5 a
	K1	47.3±0.8 b	25.4±2.9 a	25.9±2.1 b	63.2±2.8 a	60.7±4.2 a	4.2±0.4 a	12.2±0.4 a
	K2	59.5±1.2 a	29.0±3.7 a	32.8±2.2 a	66.4±4.0 a	47.0±1.8 b	3.6±0.5 a	12.0±0.7 a
品系121 Line 121	K0	44.3±1.5 c	25.3±2.1 a	24.0±1.6 b	59.3±6.0 b	46.8±1.6 b	3.4±0.4 b	11.6±0.5 b
	K1	52.7±2.4 b	31.6±1.1 a	29.0±1.2 a	71.0±3.6 a	48.9±1.9 b	3.8±0.4 ab	11.8±0.4 ab
	K2	58.3±1.2 a	32.6±3.2 a	31.4±1.0 a	72.3±5.0 a	56.9±2.5 a	4.4±0.5 a	12.4±0.5 a

表中同列字母表示差异达0.05显著水平。
Different letters inthe same line indicate significant difference at 0.05 level.

表2 施钾后产量性状与产量增加幅度相关分析
Table 2 Correlations of increasing proportion of yield components with yield increase in response to elevated potassium fertilizer

品种(系) Varieties(line)	处理 Treatment		株高 Plant height	分枝数 Branch number	标准荚数 Standard pods number	总荚数 Pod number	粒数 Seed number	节数 Node number
中科毛豆1号 Zhongkemaodou 1	K1	相关系数 r Correlation efficiency	0.986	-0.459	-0.540	0.999	0.677	-0.540
		P 值 P value	0.107	0.696	0.637	0.030	0.526	0.637
	K2	相关系数 r Correlation efficiency	0.841	-0.627	-0.999	-0.972	-0.93	0.361
		P 值 P value	0.364	0.568	0.023	0.151	0.24	0.765
品系121 Line 121	K1	相关系数 r Correlation efficiency	0.716	-0.816	0.333	-0.764	-0.408	-0.408
		P 值 P value	0.492	0.221	0.602	0.446	0.733	0.733
	K2	相关系数 r Correlation efficiency	-0.291	-0.206	0.951	-0.628	-0.668	-0.744
		P 值 P value	0.812	0.868	0.201	0.568	0.534	0.466

3 结论与讨论

钾素是作物生长发育不可或缺的大量必需元素,参与呼吸作用气孔调节、光合作用及其同化产物从“源”向“库”端的运输^[12]。已有研究认为,菜用大豆籽粒中可溶性糖含量在开花后7周左右达到

最大值,适宜的钾肥施用可显著提高此时期籽粒可溶性糖含量^[9],本研究结果进一步证实了该结论。
本研究发现,菜用大豆叶片中可溶性糖含量与籽粒中可溶性糖含量变化呈平行关系,于开花后4~7周具有升高趋势,施钾对2个品种菜用大豆均可显著增加其叶片、籽粒中可溶性糖含量,说明更多

的“源”端同化物供应有利于籽粒中可溶性糖的累积。而荚皮中可溶性糖含量随着籽粒的发育而逐渐减少,但同样表现出施钾处理积累量较高,且开花后4~7周相比,施钾处理条件下荚皮中可溶性糖含量的降低量显著高于不施钾处理,表明施钾后荚皮中有更多的可溶性糖运转到籽粒中。在菜用大豆生殖生长期,叶片光合作用固定的碳水化合物经长距离运输到达贮藏组织(荚果)中积累,在荚果形成初期籽粒还未完全分化,此时可溶性糖率先在荚皮中积累,随着生殖生长的进行,籽粒快速膨大,荚皮中可溶性糖的相对含量下降加快,籽粒中可溶性糖含量逐渐累积,因此,叶片中可溶性糖含量的动态变化影响着荚果可溶性糖的含量^[13-14]。同时,有研究表明菜用大豆荚皮性状与产量具有一定的相关性^[15],也有研究认为荚皮是大豆生殖生长期代谢最为旺盛的部位^[16],因此荚皮对籽粒的发育及可溶性糖的积累也起到重要的作用。钾肥施用后菜用大豆籽粒中可溶性糖含量的升高是钾素通过促进“源”端(叶片)可溶性糖的供应以及增加荚皮中可溶性糖的卸载量共同作用的结果。

杜明等^[17]研究发现,适宜的钾肥施用可显著增加菜用大豆鲜荚时期产量,本试验结果与其一致。有报道称,钾肥施用可提高大豆株高、单株荚数、百粒重,同时还可减少空瘪率^[18],而在本试验中发现施钾显著增加了单株鲜荚重、单株粒重和单株粒数,但是只有品系121 K2处理株高显著高于K1及K0处理,中科毛豆1号并未发现显著性差异,钾肥对株高及分枝数的影响差异不显著。通过比较产量性状与产量增加量之间的相关性发现,中科毛豆1号K1处理单株总荚数的增加量与产量增加量之间呈显著正相关,中科毛豆1号K2处理标准荚数增加量与产量增加量之间呈显著负相关关系($P < 0.05$),但在品系121中并未发现相同结果,因此,钾肥施用品种间增产的原因有待深入探讨。

参考文献

[1] 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, 2008, 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(6): 950-954.)

[2] 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.)

[3] Vineet K, Anita R, Lokesh G, et al. Evaluation of vegetable-type soybean for sucrose, taste-related amino acids, and isoflavones contents[J]. International Journal of Food Properties, 2011, 14(5): 1142-1151.

[4] Young G, Mebrahtu T, Johnson J. Acceptability of green soybeans as a vegetable entity[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2000, 55(4): 323-333.

[5] 李彦生. 菜用大豆食用品质形成及调控研究[D]. 北京: 中国科学院, 2013. (Li Y S. Formation and regulation of edible quality in vegetable soybean[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2013.)

[6] Shanmugasundaram S, Yan M R. Vegetable soybean[J]. Soybean Botany Production & Uses, 2010.

[7] Sugimoto M, Goto H, Otomo K, et al. Metabolomic profiles and sensory attributes of edamame under various storage duration and temperature conditions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(14): 8418-8425.

[8] 张洪刚, 周琴, 何小红, 等. 播期、密度和肥料对菜用大豆南农9610产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(5): 662-667. (Zhang H G, Zhou Q, He X H, et al. Effects of sowing date, planting density and N, P and K fertilizer on yield and quality of vegetable soybean[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2008, 24(5): 662-667.)

[9] 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: North East Agricultural University, 2012.)

[10] 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): 154-155. (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): 154-155.)

[11] 马春梅, 郭海龙, 龚振平, 等. 不同基因型大豆糖分积累规律的研究[J]. 作物杂志, 2010(4): 65-68. (Ma C M, Guo H L, Gong Z P, et al. Accumulation regularity of sugar in different genotypes soybean[J]. Crops, 2010(4): 65-68.)

[12] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. London: Academic Press Inc., 1986.

[13] 苗以农. 大豆产量的形成和光合作用[J]. 植物生理学报, 1997(6): 468. (Miao Y N. Yield formation and photosynthesis of soybean[J]. Plant Physiology Journal, 1997(6): 468.)

[14] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012.)

[15] 范秀凤, 吕小明, 陈莉莉, 等. 菜用大豆荚皮性状与产量形成的关系[J]. 大豆科学, 2004, 23(4): 264-267. (Fan X F, Lyu X M, Chen L L, et al. The relationship of the characters of pod and yield of vegetable soybean[J]. Soybean Science, 2004, 23(4): 264-267.)

[16] 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.

[17] 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. Responses of vegetable soybean yield to the application of potassium fertilizer[J]. Soil and Crop, 2012(2): 89-93.)

[18] 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(4): 25-27. (Zheng S Q. Effect of potassium on the physiology, yield and quality of soybean[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2001(4): 25-27.)