

钾肥对菜用大豆生殖生长期叶片叶绿素含量的影响

杜明^{1,2}, 李彦生^{1,3}, 张秋英¹, 谷思玉², 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; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:以2个菜用大豆为材料,在正常氮磷肥基础上,设置4个水平钾肥施用量作为种肥,并分别在大豆开花期和结荚期喷施 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ K}_2\text{SO}_4$,研究了钾肥对菜用大豆叶片叶绿素含量的影响。结果表明:钾肥作种肥能显著增加生殖生长期菜用大豆叶片叶绿素含量,2个品种叶绿素总含量均在钾肥施用量 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时最高。与不施钾肥处理相比,在盛花期、结荚期和鼓粒期,中科毛豆1号叶绿素总含量分别增加9.1%、22.7%和13.0%,品系121分别增加33.3%、17.4%和13.0%。钾肥施用量 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,结荚期叶绿素a含量明显增加,并显著提高了叶绿素a/b比值。叶面喷施 K_2SO_4 能显著提高菜用大豆叶绿素总量。相同种肥水平下,叶喷钾肥总体上明显增加开花期和结荚期的叶绿素含量,叶绿素a含量,但对鼓粒期叶绿素含量无显著影响。

关键词:菜用大豆;结荚期;叶绿素a;叶绿素b;钾肥

中图分类号:S643.7

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)06-0941-06

Effects of Potassium Fertilizer on Chlorophyll Content of Vegetable Soybean in Reproductive Stages

DU Ming^{1,2}, LI Yan-sheng^{1,3}, ZHANG Qiu-ying¹, GU Si-yu², LIU Xiao-bing¹

(1. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, Heilongjiang; 2. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The effects of four potassium fertilizer amounts ($0, 60, 120, 180\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) with additional foliar application of $30\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ potassium at flowering-podding on chlorophyll content in vegetable soybean were investigated under normal N and P fertilizers application. Though responses differ in cultivars, potassium application at seeding significantly increased the chlorophyll content during reproductive growth period. Maximum chlorophyll contents were all obtained at $120\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ K}_2\text{SO}_4$ in *cv. Zhongkemaodou* No. 1 and line No. 121. Compared with control, the chlorophyll contents of *cv. Zhongkemaodou* No. 1 at flowering, pod-setting and seed filling of $120\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ K}_2\text{SO}_4$ were increased by 9.1%, 22.7% and 13.0%; while line No. 121 were increased by 33.3%, 17.4% and 13.0%, respectively. The increase in chlorophyll content of $120\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ K}_2\text{SO}_4$ at seeding was mostly due to the increase in content of chlorophyll a, and thus an increase in chlorophyll a/b ratio. The increases in chlorophyll content by additional foliar application of potassium varied in cultivars and growth stages. The increased yield by potassium application was closely related to chlorophyll content, especially the content of chlorophyll a.

Key words: Vegetable soybean; Pod-setting; Chlorophyll a; Chlorophyll b; Potassium application

钾是作物生长的主要营养元素之一,尽管钾素营养不参与植物体内细胞的组成,但以离子态存在的钾在作物体内许多生命活动和生化过程中起到重要的作用。研究发现,供钾不足叶片的光饱和点降低,膜脂过氧化加剧,进而破坏叶绿体结构,导致早衰^[1]。而供钾充足能提高作物导管和筛管的运输速率,促进作物体内多种代谢过程^[2]。钾肥能提高棉花的叶绿素含量^[3],增施钾肥可增加玉米净光合速率和叶绿素含量以及籽粒和茎秆中钾素含量^[4-5]。大豆是喜钾作物,施钾可提高大豆对水分和其他肥料的吸收利用^[6],增加大豆植株的抗逆性和体内叶绿素的含量。

菜用大豆是一种特用大豆,俗称毛豆,是指生理处于R6(鼓粒盛期)至R7(初熟期)籽粒填充达到荚长的80%~90%时采收的大豆类型^[7]。菜用大豆富含蛋白质、糖类、游离氨基酸和多种维生素,其可溶性糖和游离氨基酸含量也高于普通大豆。相关研究表明,在正常氮磷肥施用基础上增施钾肥 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时菜用大豆鲜荚产量最高,单株增产31.5%~34.2%,叶面喷施钾肥可进一步增加菜用大豆产量^[8]。本文以菜用大豆中科毛豆1号和品系121为材料,研究了钾肥施用量和生育期内叶面喷施钾肥对菜用大豆生殖生长期叶绿素含量的影响,旨在了解钾素营养在菜用大豆生长发育过程中

收稿日期:2012-06-09

基金项目:国家自然科学基金(31140066);科技部成果转化基金(2010GB24910701);哈尔滨市创新人才基金(2012RFXXN016)。

第一作者简介:杜明(1984-),男,在读硕士,研究方向为作物营养与产量形成。E-mail:lestat7777@126.com。

通讯作者:张秋英(1962-),女,研究员,主要从事作物高产生理、菜用大豆生理育种研究。E-mail:zhangqy@neigae.hrb.ac.cn。

的作用并探讨合理的钾肥施用方式,为菜用大豆高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2011年在中国科学院东北地理与农业生态研究所试验小区内进行,选取菜用大豆中科毛豆1号和品系121为材料,种肥设4个施钾水平, K_2SO_4 施入量分别为 K_0 :对照,不施钾肥; K_1 : $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ($0.49\text{ g K}_2\text{O}\cdot\text{盆}^{-1}$); K_2 : $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ($0.98\text{ g K}_2\text{O}\cdot\text{盆}^{-1}$); K_3 : $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ($1.47\text{ g K}_2\text{O}\cdot\text{盆}^{-1}$)。同时各处理均一次性施入 $98\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ($0.7\text{ g N}\cdot\text{盆}^{-1}$) 尿素和 $70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ($1.12\text{ g P}_2\text{O}_5\cdot\text{盆}^{-1}$) 磷酸二铵。此外,各处理在大豆开花期和结荚期叶面喷施 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{K}_2\text{SO}_4$ 。

采用盆栽试验,试验盆的规格为直径 $32\text{ cm}\times$ 高 27 cm 。供试土壤为薄层黑土,土壤有机质 $29.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $2.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $160\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $18.9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $195\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $1.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $218\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{pH}6.9$ 。

每个品种(系)共有8个处理,各处理随机排列,3次重复。分别于开花后1周(开花盛期),4周(结荚期),7周(鼓粒期)取倒三节新鲜叶片,采用比色

法^[9]测定叶片中叶绿素、叶绿素a和叶绿素b含量。

1.2 数据分析

采用 Sigma Plot 2000 作图,Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 施钾对叶绿素a和叶绿素b含量的影响

2.1.1 盛花期 从图1-A,1-C可知,施钾对盛花期菜用大豆叶绿素a含量影响因品种而异。中科毛豆1号叶绿素a含量随钾肥施用量的增多而增加, K_3 水平叶绿素含量最高;与不施钾肥处理相比, K_1 、 K_2 和 K_3 分别增加4.6%、5.2%和7.1%,差异显著($P<0.05$)。品系121叶绿素a含量在 K_2 水平最高,但与 K_3 处理差异不显著。 K_2 和 K_3 水平与对照相比分别增加39.1%和37.0%,差异显著($P<0.05$)。叶面喷施钾肥后,中科毛豆1号只有 K_2 水平表现出显著差异。品系121在 K_0 和 K_1 水平与无叶喷处理相比差异显著,分别增加了10.1%和9.6% ($P<0.05$)。因此,钾肥施用量为 $0\sim 60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,品系121叶绿素a对叶喷钾肥响应更为强烈,而当钾肥施用量为 $120\sim 180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时两品种对叶喷均无明显响应。

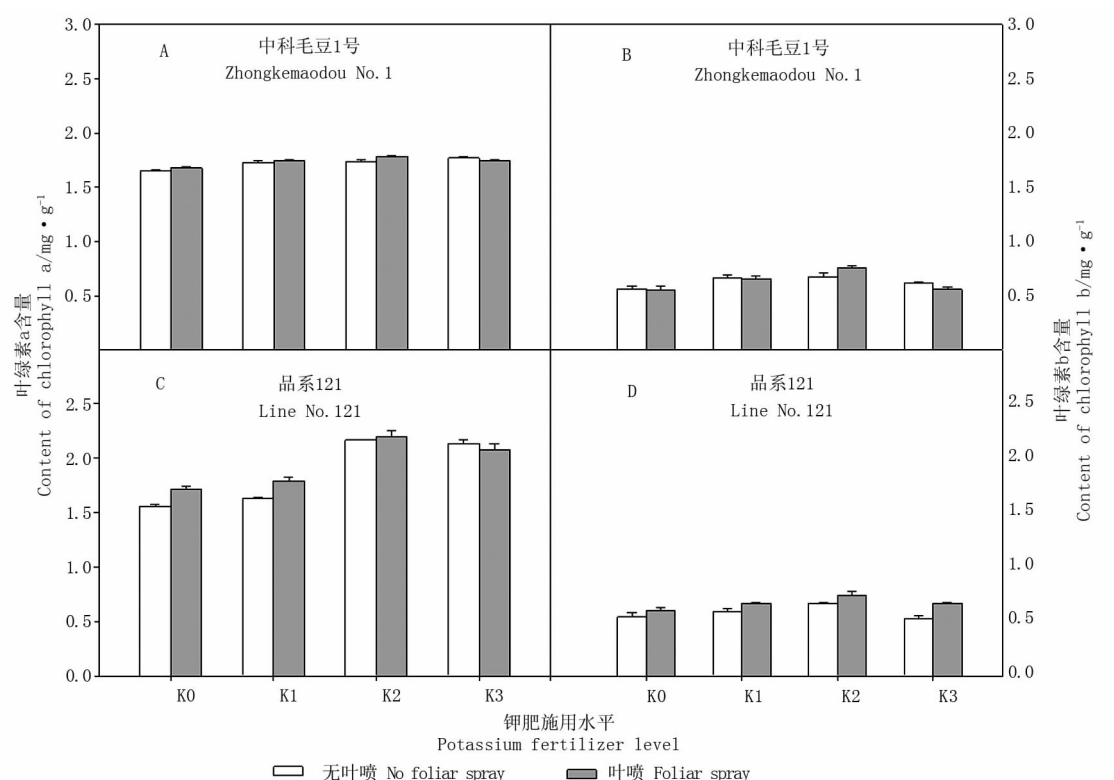


图1 施钾对菜用大豆盛花期叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of potassium fertilizer application on chlorophyll content of vegetable soybean at full bloom stage

增施钾肥能提高盛花期菜用大豆叶绿素 b 含量(图 1-B、1-D)。随钾肥施用量的增加,叶绿素 b 的含量随之增多,并在 K2 水平达最高值。与不施钾肥处理相比,中科毛豆 1 号在 K1、K2 和 K3 水平下,叶绿素 b 含量分别增加 17.8%、20.1% 和 9.5%,差异显著($P < 0.05$)。而对于品系 121 而言,K1 和 K2 水平与对照存在显著差异,增加 9.3% 和 23.5% ($P < 0.05$),K3 水平与对照无显著差异。叶喷处理增加了 K2 水平下中科毛豆 1 号叶绿素 b 含量,但差异不显著。品系 121 只有 K3 水平与无叶喷处理差异显著,增加 26.4% ($P < 0.05$)。总体讲叶喷钾肥对开花期两品种叶绿素 b 含量影响很小。

2.1.2 结荚期 施钾显著增加菜用大豆结荚期叶绿素 a 含量(图 2-A,2-C)。随钾肥施用量的增多叶

绿素 a 的含量增加,钾肥施用量为 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,叶绿素 a 含量最高,且 K1、K2 和 K3 水平与对照(K0)相比差异显著($P < 0.05$)。中科毛豆 1 号在 K1、K2 和 K3 水平与对照(K0)相比分别增加 7.1%、24.2% 和 19.6%,且 K1、K2、K3 水平之间彼此差异显著($P < 0.05$)。品系 121 在 K1、K2 和 K3 水平与对照(K0)相比分别增加了 7.3%、16.1% 和 7.0%,K1 和 K3 水平之间无显著差异,但与 K2 水平相比差异显著($P < 0.05$)。叶喷处理中科毛豆 1 号 K0、K1、K2 和 K3 水平与无叶喷对照均表现出显著差异,分别增加了 8.8%、12.6%、14.6% 和 5.0%。品系 121 只有 K0 和 K1 水平与无叶喷处理相比差异显著($P < 0.05$)。两品种叶绿素 a 含量对施钾响应强烈,且中科毛豆 1 号对叶喷处理更为敏感。

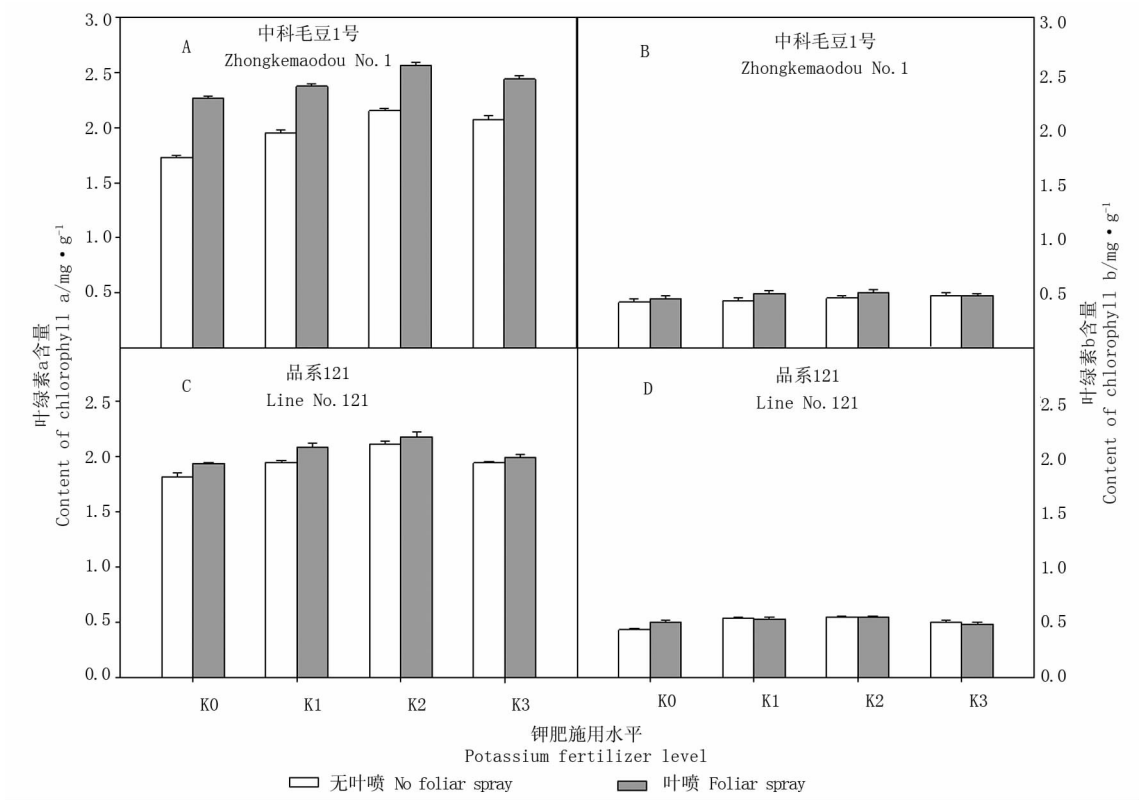


图 2 施钾对菜用大豆结荚期叶绿素含量的影响
Fig. 2 Effect of potassium fertilizer application on chlorophyll content of vegetable soybean at bearing pod stage

由图 2-B、2-D 可知,施钾对结荚期叶绿素 b 的含量影响品种间存在差异。中科毛豆 1 号叶绿素 b 含量随钾肥施用量的增加而增加,施钾量为 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时叶绿素 b 含量最高。与对照(K0)相比,K2 和 K3 水平增加 7.3% 和 12.0%,差异显著($P < 0.05$)。品系 121 在 K1、K2 和 K3 水平下,与对照(K0)相比,分别显著增加了 23.8%、26.9% 和 16.2%。叶喷处理后中科毛豆 1 号 K1 和 K2 水平较对照显著增加 12.3% 和 9.3%,而品系 121 只有

K0 水平与对照存在显著差异,增加 14.6%。可见,中科毛豆 1 号叶绿素 b 含量对叶喷处理的响应较为强烈。

2.1.3 鼓粒期 由图 3-A、3-C 可知,施钾能显著增加鼓粒期菜用大豆叶片叶绿素 a 含量。施钾量为 $0 \sim 120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,两品种(系)的叶绿素 a 含量呈上升趋势。与对照(K0)相比中科毛豆 1 号在 K1、K2 和 K3 水平均表现出显著差异,分别增加 9.8%、16.0% 和 13.3% ($P < 0.05$),其中 K1 与 K3 水平相

比无显著差异,但与 K2 差异显著($P < 0.05$)。与不施钾肥处理相比,品系 121 在 K2 和 K3 水平表现出显著差异,分别增加 17.8% 和 15.7% ($P < 0.05$)。叶喷条件下,两品种(系)各施钾水平与无叶喷处理

相比均无显著差异,且在 K3 水平两品种叶绿素 a 含量均有所下降。表明此时期菜用大豆叶片叶绿素 a 含量对种肥施钾水平仍然敏感,而对叶喷处理无显著响应。

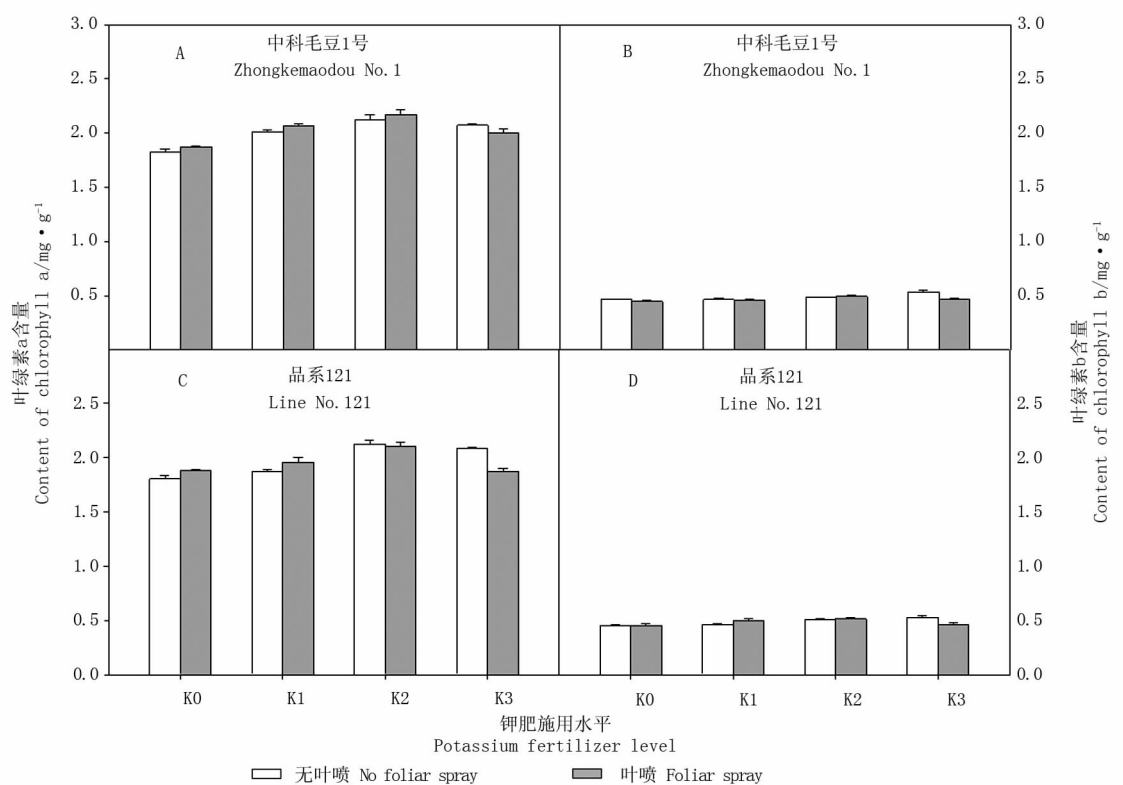


图3 施钾对菜用大豆鼓粒期叶绿素含量的影响

Fig. 3 Effect of potassium fertilizer application on chlorophyll content of vegetable soybean at seed filling stage

如图 3-B,3-D 可知,不同施钾水平叶绿素 b 含量因品种而反应不同。品系 121 在 K2 和 K3 水平较对照分别显著增加 12.6% 和 16.3%,而中科毛豆 1 号只有 K3 水平与对照存在显著差异,增加 15.1% ($P < 0.05$)。与无叶喷处理相比,叶喷对两品种叶绿素 b 含量均无显著影响。

2.2 施钾对叶绿素总含量的影响

由表 1 可知,施钾能提高盛花期菜用大豆叶片的叶绿素总含量,但品种间存在差异。中科毛豆 1 号在 K1、K2 和 K3 水平之间无显著差异,与不施钾肥处理相比均增加 9.1%,差异显著($P < 0.05$)。品系 121 在 K1、K2 和 K3 水平之间差异显著,且 K2 和 K3 水平与对照相比分别增加 33.3% 和 28.6%,差异显著($P < 0.05$)。叶喷处理后中科毛豆 1 号只有 K2 水平与无叶喷处理相比增加 4.2%,差异显著($P < 0.05$),而品系 121 在 K0 和 K1 水平上均表现出显著差异,分别增加 9.5% 和 13.6% ($P < 0.05$)。

不同施钾水平对结荚期菜用大豆叶片叶绿素总含量的影响品种间表现不同。中科毛豆 1 号在 K1、K2 和 K3 水平与不施钾肥处理相比均有显著差异,分别增加 13.6%、22.7% 和 18.2% ($P < 0.05$);品系 121 只有 K2 水平与不施钾肥处理相比差异显著,增加 17.4% ($P < 0.05$)。与无叶喷处理相比,中科毛豆 1 号各处理均差异显著,K0、K1、K2 和 K3 依次增加 27.3%、20.0%、18.5% 和 15.4%;而品系 121 各处理与无叶喷处理相比,均无显著差异。表明结荚期中科毛豆 1 号对施钾和叶喷的响应更为强烈。

鼓粒期,中科毛豆 1 号 K1、K2 和 K3 与不施钾肥处理相比均差异显著,分别增加 8.7%、13.0% 和 13.0% ($P < 0.05$)。品系 121 K2 和 K3 均增加 13.0%,差异显著。此时期两品种(系)对两次叶喷处理的表现一致,与无叶喷处理相比,均无显著差异。

表 1 施钾对不同时期菜用大豆叶片叶绿素总含量的影响

Table 1 Effect of potassium fertilizer on total chlorophyll content of vegetable soybean in different stages (mg·g ⁻¹)												
钾肥水平 Potassium fertilizer level	中科毛豆 1 号 Zhongkemaodou No. 1						品系 121 Line No. 121					
	盛花期 Full bloom		结荚期 Podding		鼓粒期 Seed filling		盛花期 Full bloom		结荚期 Podding		鼓粒期 Seed filling	
	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷
	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar
	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray
K0	2.2b	2.2	2.2d	2.8 *	2.3c	2.3	2.1c	2.3 *	2.3c	2.4	2.3c	2.3
K1	2.4a	2.4	2.5c	3.0 *	2.5b	2.5	2.2bc	2.5 *	2.5bc	2.6	2.3bc	2.5
K2	2.4a	2.5 *	2.7a	3.2 *	2.6ab	2.7	2.8a	2.9	2.7a	2.7	2.6a	2.6
K3	2.4a	2.3	2.6ab	3.0 *	2.6ab	2.5	2.7a	2.7	2.4bc	2.5	2.6a	2.5

同列数值后不同字母表示不同钾肥施用量处理叶绿素含量差异显著($P < 0.05$);“*”代表相同钾肥用量条件下叶喷钾肥处理叶绿素含量差异显著($P < 0.05$)。下同。

Values in a column followed by different letters indicate significant difference between potassium fertilizer amount treatment ($P < 0.05$); * indicate significant difference in the same potassium fertilizer amount with different fertilizing method ($P < 0.05$). The same bellow.

2.3 施钾对叶绿素 a/b 的影响

由表 2 可知,不同钾肥用量对菜用大豆叶绿素 a/b 有一定影响。开花期两品种的叶绿素 a/b 对钾肥用量无响应,只有品系 121 在 K3 水平与不施钾肥处理相比差异显著,增加 41.4% ($P < 0.05$),一次叶喷处理后,两品种叶绿素 a/b 与无叶喷处理相比无显著增加,且 K2 水平有所降低。结荚期两品种对钾肥用量的响应一致,只有 K2 水平与不施钾肥处理存在显著差异,中科毛豆 1 号与品系 121 分别增加 14.3% 和 8.1% ($P < 0.05$)。叶喷可增加叶绿素 a/b,与对照相比中科毛豆 1 号在 K0、K2 和 K3

水平分别显著增加 8.2%、22.9% 和 10.0% ($P < 0.05$);品系 121 在 K0、K1 和 K3 水平分别显著增加 8.1%、8.3% 和 10.5%。

鼓粒期增施钾肥叶绿素 a/b 随之增加。中科毛豆 1 号在 K1 和 K2 水平分别较对照显著增加 10.3% 和 12.8%,叶喷处理只有 K3 水平显著增加 10.3% ($P < 0.05$)。而钾肥用量和两次叶喷对品系 121 无明显影响。综合比较,施钾只对菜用大豆结荚期叶绿素 a/b 的作用较为明显,其中 K2 水平影响尤为突出。叶喷可显著增加结荚期菜用大豆的叶绿素 a/b。

表 2 施钾对菜用大豆叶片叶绿素 a/b 的影响

Table 2 Effect of potassium fertilizer application on chlorophyll a/b ratio of vegetable soybean in different stages												
钾肥水平 Potassium fertilizer level	中科毛豆 1 号 Zhongkemaodou No. 1						品系 121 Line No. 121					
	盛花期 Full bloom		结荚期 Podding		鼓粒期 Seed filling		盛花期 Full bloom		结荚期 Podding		鼓粒期 Seed filling	
	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷	无叶喷	叶喷
	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar	No foliar	Foliar
	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray	spray
K0	2.9abc	3.0	3.5c	4.3 *	3.9b	4.2	2.9bc	2.9	3.7b	4.0 *	4.0a	4.2
K1	2.6cd	2.7	3.8bc	4.1	4.3a	4.5	2.8c	2.7	3.6b	3.9 *	4.1a	3.9
K2	2.6cd	2.4	4.0a	4.4 *	4.4a	4.4	3.3b	3.0	4.0a	3.9	4.2a	4.1
K3	2.9abc	3.1	3.7bc	4.4 *	3.9b	4.3 *	4.1a	3.1 *	3.8ab	4.2 *	4.0a	4.1

3 讨 论

已有研究表明,钾离子能促进叶绿体的形成,增施钾肥能提高叶片叶绿素含量,而植株缺钾时叶绿体内的基粒数量减少,一定程度降低叶绿素含量,过多施用钾肥反而降低叶绿素的含量^[10-12]。本研究结果进一步证实,施钾可显著增加生殖生长期菜用大豆叶片叶绿素含量,但不是施钾越多,叶绿素含量越高。两品种(系)均表现为钾肥施用量 120 kg·hm⁻²时叶绿素含量最高,与此施用量鲜荚产量最高一致^[8],说明施钾增产与增加叶绿素含量紧密相关。而且发现钾肥施用量 120 kg·hm⁻²时,菜用

大豆叶片叶绿素含量增加,这是由于结荚期叶绿素 a 含量的明显提高,且导致叶绿素 a/b 显著增加。叶绿素 a/b 是衡量作物抗旱能力的重要依据,施钾能增加作物的抗旱性^[13]。郑淑琴^[14]研究表明施钾能增加三叶期、开花期和结荚期大豆叶片中叶绿素的含量,其中叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量随钾肥施用量的增加而升高,这与本研究结果基本一致。本研究发现,过多的施用钾肥,不能继续增加叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量,且叶绿素 a 含量增加的幅度低于叶绿素 b,导致叶绿素 a/b 降低。这可能与钾素施用过多影响植株体其他矿质养分的吸收而抑制叶绿素的形成有关。已有报道认为,过量施钾降低

了钾素生产效率,抑制大豆对钾素的吸收^[15]。

史宏致等^[16]研究表明,叶喷钾肥补充大豆钾素营养,增加叶绿素含量。本研究发现,叶喷钾肥能不同程度提高菜用大豆叶绿素含量。相同种肥水平下,叶喷钾肥可显著提高菜用大豆开花期和结荚期的叶绿素含量,并以叶绿素 a 含量增加明显,但对鼓粒期叶绿素含量无显著影响。因此,叶喷钾肥增加产量与菜用大豆鼓粒后期的叶绿素含量无关,这从另一个角度证明 R3 到 R5 期较高的光合速率对大豆产量更为重要的观点^[17]。

本研究还发现,施钾对菜用开花期中科毛豆 1 号的叶绿素 a/b 无明显作用,但可显著增加品系 121 高水平钾肥施用的叶绿素 a/b。品种间叶绿素含量对施钾有不同响应。

总体上,在正常氮磷肥基础上,施用 120 kg·hm⁻²K₂SO₄作种肥,可显著增加菜用大豆叶绿素总含量,尤其是增加了结荚期叶绿素 a 的含量,提高叶绿素 a/b 比值。叶喷钾肥可显著提高菜用大豆生殖生长前期的叶绿素含量,并使叶绿素 a 含量明显增加。

参考文献

- [1] 彭海欢,翁晓燕,徐红霞,等. 缺钾胁迫对水稻光和特性及光和防御机制的影响[J]. 中国水稻科学,2006,20(6):621-625. (Peng H H, Weng X Y, Xu H X, et al. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photo-protection mechanisms in rice plants[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2006, 20(6): 621-625.)
- [2] 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. The role and method of application of potassium fertilizer[J]. Jilin Agriculture, 2007(5):32-33.)
- [3] 雷荣荣,陈波浪,盛建东,等. 钾营养对棉花生长发育与生理特性的影响[J]. 新疆农业大学学报,2008,31(3):69-72. (Lei R R, Chen B L, Sheng J D, et al. Effect of potassium on growth and development and physiological characteristics of cotton[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2008, 31(3):69-72.)
- [4] 刘淑霞,吴海燕,赵兰坡,等. 不同施钾量对玉米钾素吸收利用的影响研究[J]. 玉米科学,2008,16(4):172-175. (Liu S X, Wu H Y, Zhao L P, et al. Effects of different potassium rates on potassium absorption and utilization by maize plant[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(4):172-175.)
- [5] 王帅,杨劲峰,韩晓日,等. 不同钾肥处理对旱作春玉米光特性的影响[J]. 中国土壤肥料,2008(6):23-27. (Wang S, Yang J S, Han X R, et al. Effect of fertilizer application on photosynthetic traits of spring maize[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008(6):23-27.)
- [6] 闫春娟,宋书宏,王文斌,等. 大豆钾营养研究进展[J]. 大豆科学,2009,28(5):926-930. (Yan C J, Song S H, Wang W B, et al. Advances of potassium nutrition in soybean[J]. Soybean Science, 2009, 28(5):926-930.)
- [7] Konovsky J. Edamame; the vegetable soybean[M]//O'Rourke A D. Understanding the Japanese Food and Agrimarket: a multifaceted opportunity. Binghamton: Haworth Press, 1994:1732181.
- [8] 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,2012,1(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]. Crop and Soil, 2012, 1(2):89-93.)
- [9] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006. (Wang X K. The experiment principle and technology of plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.)
- [10] 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(4):108-116. (Qiao X, Ma X, Zhang X C, et al. Response of coronary spectrum on chlorophyll and K information of soy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008(4):108-116.)
- [11] 郑炳松,程晓建,蒋德安,等. 钾元素对植物光合速率、Rubisco 和 RCA 的影响[J]. 浙江林学院学报,2002,19(1):104-108. (Zheng B S, Cheng X J, Jiang D A, et al. Effects of potassium on Rubisco, RCA and photosynthetic rate of plant[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2002, 19(1):104-108.)
- [12] 牟忠生,吴春胜,李楠. 钾肥对大豆生理特性及其产量和品质的影响[J]. 吉林农业科学,2011,36(3):30-33. (Mu Z S, Wu C S, Li N. Effects of potassium rate on physiological characteristics yield and quality of soybean[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2011, 36(3):30-33.)
- [13] Royo C, Blanco R. Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale[J]. Field Crops Research, 1998, 59:201-212.
- [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(4):25-27. (Zheng S Q. Effect of potassium on the physiology, yield and quality of soybean[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2001(4):25-27.)
- [15] 向达兵,郭凯,杨文钰,等. 磷、钾营养对套作大豆钾素积累及利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):668-674. (Xiang D B, Guo K, Yang W Y, et al. Effects of phosphorus and potassium fertilization on potassium accumulation and utilization efficiency of relay-cropping soybean[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3):668-674.)
- [16] 史宏致,梁芳芝,汤继华. 盛花期喷施多效唑和氮磷钾肥对夏大豆的保荚增产效应[J]. 河南农业大学学报,1994,28(1):37-40. (Shi H Z, Liang F Z, Tang J H. Effects of paclobutrazol and N, P, K on yield and pod-shedding of soybean in full-bloom stage[J]. Journal of Henan Agricultural University, 1994, 28(1):37-40.)
- [17] Liu X B, Herbert S J, Jin J, et al. Response of photosynthetic rates and yield/quality of main crops to irrigation and manure application in the black soil area of Northeast China[J]. Plant and Soil, 2004, 261(1-2):55-60.