

不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶质体色素、碳氮代谢及钾含量的影响

刘爱忠¹,洪德成^{2*},董合林¹,宋美珍¹,张 涛¹,时增凯^{1**},李鹏程¹,郑苍松¹,孙 森¹

(1. 中国农业科学院 棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室,河南 安阳 455000;

2. 精河县农业局,新疆 精河 833000)

摘要:选择3个不同钾效率基因型棉花品种,在不同供钾水平条件下追施不同形态氮素,研究不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶质体色素、碳氮代谢及钾含量的影响,为合理追施氮肥、提高钾肥利用效率提供理论依据。结果表明,提高供钾水平可增加棉花功能叶质体色素、淀粉、蛋白质及钾含量,降低可溶性糖和游离氨基酸含量。硝态氮肥处理有利于维持吐絮期功能叶叶绿素含量,预防早衰。相比铵态氮肥,硝态氮肥有利于功能叶游离氨基酸和可溶性蛋白的积累,在不供应钾肥或不充分供应钾肥条件下,追施硝态氮肥有利于增加功能叶淀粉含量;在充分供应钾肥条件下,各品种功能叶淀粉含量受氮素形态影响较小,差异不显著。受品种遗传特性的影响,不同钾效率基因型棉花品种功能叶质体色素、可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白含量存在差异,在棉花生育后期钾高效基因型棉花品种在供钾水平较低的情况下功能叶能保持相对较高的叶绿素含量,延缓叶片衰老。综上,提高供钾水平、追施硝态氮肥有利于增加棉花功能叶质体色素含量,促进碳氮代谢。

关键词:钾水平;氮素形态;棉花;质体色素;碳氮代谢;钾含量

中图分类号:S562 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2018)04-0031-07

Effects of Potassium Level and Nitrogen Forms on Plastid Pigment, Carbon Nitrogen Metabolism and Potassium Content of Cotton Functional Leaves

LIU Aizhong¹, HONG Decheng^{2*}, DONG Helin¹, SONG Meizhen¹, ZHANG Tao¹,
SHI Zengkai^{1**}, LI Pengcheng¹, ZHENG Cangsong¹, SUN Miao¹

(1. Institute of Cotton Research of CAAS/National Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang 455000, China;

2. Agriculture Bureau of Jinghe, Jinghe 833000, China)

Abstract: The effects of different potassium level and nitrogen forms on plastid pigment and carbon nitrogen metabolism and potassium content of cotton leaves were studied by selecting three genotypes of cotton with different potassium efficiency, so as to provide theoretical basis for the reasonable use of nitrogen fertilizer and increase the efficiency of potassium. The results showed that the contents of potassium and plastid pigment, starch and protein of cotton functional leaves increased, and the contents of soluble sugar and free amino acids of cotton functional leaves reduced with the increase of potassium. The nitrate nitrogen treatment was benefit to maintain chlorophyll content in functional leaves and prevent premature senescence. Compared with ammonium nitrogen, nitrate nitrogen was conducive to the accumulation of free amino acids and soluble protein; nitrate nitrogen was conducive to the increase of starch content under the

收稿日期:2017-11-13

基金项目:国家棉花产业技术体系项目(CARS-18-17);农业部公益性行业(农业)科研专项(201503121)

作者简介:刘爱忠(1985-),男,河南范县人,助理研究员,硕士,主要从事棉花栽培与营养施肥方面的研究。

E-mail:zhongzhong1028@126.com。*同等贡献作者

**通讯作者:时增凯(1968-),男,河南邓州人,副研究员,本科,主要从事棉花栽培与育种方面研究。

E-mail:m13139932266@sina.com

condition of insufficient or no potassium supply; nitrogen forms had not effect on improving starch content under the condition of sufficient potassium. Due to the heritability of different potassium efficiency genotypes cotton varieties, the contents of plastid pigment, soluble sugar, starch, free amino acid and soluble protein in functional leaves were significantly different. At the later stage of cotton growth, potassium efficient genotypes cotton could maintain relatively high plastid pigment content and delay leaf senescence under the condition of low potassium supply. In conclusion, increasing potassium level and applying nitrate nitrogen fertilizer could increase the content of plastid pigment and promote carbon and nitrogen metabolism in cotton functional leaves.

Key words: Potassium level; Nitrogen form; Cotton; Plastid pigment; Carbon nitrogen metabolism; Potassium content

氮和钾都是棉花生长发育过程中所必需的营养元素,两者都可以促进棉花生长发育和叶片细胞中叶绿素的合成,参与糖类和蛋白质的代谢等^[1-5],研究氮、钾合理配施对棉花生产具有重要意义。研究表明,在土壤含钾量较低时,棉花较其他作物表现得更为敏感^[6-7],缺钾会引起棉花早衰,引起产量降低,品质下降^[8-10],不同棉花品种(系)对钾吸收、利用以及分配差异较大^[11-17]。合理增施氮肥可促进杂交棉对钾的吸收,在一定施氮量范围内,钾利用率随施氮量增加而增加^[18]。氮、钾配施亦可提高棉花盛铃期主茎功能叶叶绿素含量、蛋白质含量、SOD活性,降低MDA、ABA含量,保持棉花中后期主茎功能叶生理活性,有效延缓衰老^[19]。合理施用氮、钾肥可提高棉花的产量和品质^[20-21],而且氮、钾的交互作用对杂交棉皮棉产量影响大于氮、磷和磷、钾的交互作用^[22]。氮素是唯一既可以被作物以阴离子(NO_3^-)形式吸收,也可以以阳离子(NH_4^+)形式吸收的营养元素。李存东等^[23]研究表明,水培条件下保持不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例的混合态氮素营养时,与单一 NO_3^- 营养相比,能够有效地提高棉花苗期叶片中叶绿素含量,进而提高叶片净光合速率和可溶性糖含量。通过对小麦、烤烟的研究也表明,混合态氮素营养最有利于叶片中叶绿素含量的增加,单硝态氮营养次之,单铵态氮营养下叶片中叶绿素含量最低^[24-25]。适当地配施铵态氮较纯硝态氮营养液能获得更高的小白菜产量、叶绿素含量和较低的硝酸盐积累量^[26]。Steingrover 等^[27]通过对菠菜研究发现,与单一硝态氮营养相比,单一铵态氮营养使作物叶片伸展受阻,叶片变小。Raab 等^[28]对甜菜叶绿素含量的研究表明,相对于硝态氮来说,铵态氮没有改变单位叶面积内的叶绿体数,而是增大了叶绿体的体积,从而增大了单位面积中叶绿素含量及可溶性蛋白含量。合理施氮一定程度上可促进棉花对钾的吸收,而植物对不同形态氮的反应不同,Rubio 等^[29-30]研究表明,在营养液中, NH_4^+ 不利于拟南芥

对 K^+ 的积累。有关氮、钾配施对棉花生长发育的影响研究较多^[18-22],但不同供钾水平和氮素形态对棉花叶片生理反应的研究鲜有报道。因此,探索不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶质体色素、碳氮代谢及钾含量的影响,为合理追施氮肥、提高钾肥利用效率提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为钾高效基因型棉花品种辽棉 18 号、冀棉 958,钾低效基因型棉花品种新棉 99B。其中,辽棉 18 为非转基因早熟品种,生育期 120~125 d;冀棉 958 为转基因抗虫棉中熟品种,生育期 139 d;新棉 99B 为转基因抗虫棉中熟品种,生育期 130 d,均由农业科学院棉花研究所种质资源库提供。

供试肥料:尿素(N:46%)、硫酸铵(N:21%)、硝酸钙(N:11.8%)、重过磷酸钙(P_2O_5 :42%)、硫酸钾(K_2O :50%)。

供试土壤为土沙混合土(轻壤土:沙子=1:1),含有机质 5.49 g/kg、全氮 0.37 g/kg、速效磷 8.3 mg/kg、速效钾 38.0 mg/kg。

1.2 试验设计

试验选用 3 个棉花品种辽棉 18、冀棉 958、新棉 99B,采用黑色厚壁塑料大桶进行栽培试验,桶高 32 cm,桶口内径 34 cm,桶底内径 32 cm,每桶装 25 kg 土沙混合土。设 3 个供钾(K_2O)水平,0 g/桶(K0,不供应钾肥,土壤速效钾含量为 38.0 mg/kg)、1.72 g/桶(K1,不充分供应钾肥,土壤速效钾含量为 95.1 mg/kg)、3.44 g/桶(K2,充分供应钾肥,土壤速效钾含量为 152.2 mg/kg);开花期后追施 2 种氮素形态,铵态氮肥(硫酸铵)、硝态氮肥(硝酸钙),具体施肥情况见表 1。共 18 个处理,每处理重复 12 桶,随机排列。试验于 2015 年 4 月 11 月在河南省安阳市白璧镇中国农业科学院棉花研究所试验场防雨棚中进行。4 月 15 日,将基肥拌土施入,4 月 28 日播

种,三叶一心时定苗,7月15日追施含等量纯氮的铵态氮肥和硝态氮肥,果枝长至12台左右统一打顶,看墒情和虫害酌情浇水、打药,阴雨天关闭遮雨棚,防止雨水浸入。

表1 不同处理施肥配方 g/桶

处理	氮素形态	基施		追施		
		尿素	重过磷酸钙	硫酸钾	硝酸钙	硫酸铵
K0	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	3.27	5.95	0	19.07	0
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	3.27	5.95	0	0	10.72
K1	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	3.27	5.95	1.72	19.07	0
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	3.27	5.95	1.72	0	10.72
K2	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	3.27	5.95	3.44	19.07	0
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	3.27	5.95	3.44	0	10.72

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素含量 在追肥前1d(7月14日)和吐絮期(8月23日)按照处理选取倒2叶,用去离子水洗涤3遍,擦拭干净,剪去叶脉。用80%丙酮-20%乙醇密封避光浸提48 h,然后用紫外分光光度计测定663、645、475 nm波长处的吸光度值。

1.3.2 碳氮代谢 按照1.3.1所述方法采集叶片,一部分于105℃杀青30 min,然后70℃烘干至恒质量,用机器粉碎后过0.1 mm筛,封闭储存于聚乙烯自封袋中;另一部分浸入液氮中冷冻1 h,于-40℃低温冰箱中储存。用蒽酮比色法测定可溶性糖和淀粉含量,间苯二酚显色法测定蔗糖含量,茚三酮显色法测定游离氨基酸含量,考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量。

1.3.3 钾含量 按照1.3.1所述方法采集叶片,105℃杀青30 min,70℃烘干至恒质量,机器粉碎后过0.1 mm筛,烘干后封闭储存于聚乙烯自封袋中,用混合酸消煮,然后采用火焰光度法测定功能叶中钾含量。

1.4 数据分析

试验数据用Excel和DPS软件进行处理分析,采用最小显著差数(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶质体色素含量的影响

由表2可知,与不施钾肥K0处理相比,施用钾肥可显著提高辽棉18功能叶类胡萝卜素含量;与K0和K1处理相比,K2处理可显著提高新棉99B类胡萝卜素含量;不同供钾水平对冀棉958功能叶类胡萝卜素含量无显著影响。总体上,提高供钾水平对提高棉花初花期功能叶类胡萝卜素含量有积极作

用。不同供钾水平对棉花初花期功能叶叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量影响不大,处理间差异不显著。由表3可知,供钾水平对吐絮期功能叶叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素和类胡萝卜素含量有显著影响,随着供钾水平的提高功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量逐渐升高,说明提高供钾水平可延缓叶片衰老,增强棉花生育后期的光合作用。

由表2和表3可知,不同钾效率基因型棉花品种间叶绿素和类胡萝卜素含量差别较大,总体上初花期新棉99B功能叶叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素和类胡萝卜素含量最高,其次是冀棉958,辽棉18最低;吐絮期冀棉958功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量最高,其次是新棉99B,辽棉18功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量最低。吐絮期,不同钾效率基因型棉花品种在不同供钾水平下叶绿素含量表现不同,与不供钾肥处理相比,充分供钾肥条件下辽棉18和冀棉958总叶绿素含量分别增加67.8%和69.4%,而新棉99B功能叶总叶绿素含量增加97.7%。说明钾高效基因型棉花品种在供钾水平较低的情况下功能叶也能保持相对较高的叶绿素含量,以维持叶片的正常光合作用。不同钾效率基因型棉花品种受不同形态氮肥影响不同,在不供钾和不充分供钾条件下,不同形态氮肥对辽棉18功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量影响不大,无显著性差异;在充分供钾肥条件下,追施硝态氮肥处理辽棉18功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量显著高于追施铵态氮肥处理。冀棉958和新棉99B在不同供钾水平条件下追施硝态氮肥处理功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量总体上均显著高于追施铵态氮肥处理。说明与铵态氮肥相比,在棉花生长期追施硝态氮肥更有利干棉花后期保持功能叶叶绿素含量,延缓叶片衰老。

表2 初花期不同供钾水平对棉花功能叶

品种	处理	质体色素含量的影响				mg/g
		类胡萝卜素	叶绿素b	叶绿素a	总叶绿素	
辽棉18	K0	0.18b	0.27a	0.89a	1.16a	
	K1	0.19a	0.28a	0.99a	1.27a	
	K2	0.20a	0.30a	0.98a	1.28a	
冀棉958	K0	0.20a	0.31a	1.05a	1.36a	
	K1	0.22a	0.32a	1.07a	1.39a	
	K2	0.21a	0.32a	1.09a	1.40a	
新棉99B	K0	0.22b	0.34a	1.15a	1.49a	
	K1	0.21b	0.36a	1.16a	1.52a	
	K2	0.24a	0.35a	1.16a	1.51a	

注:同列数据后不同小写字母表示同一品种不同处理间差异达到5%显著水平,下同。

表 3 吐絮期不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶质体色素含量的影响 mg/g

品种	处理	氮素形态	类胡萝卜素	叶绿素 b	叶绿素 a	总叶绿素
辽棉 18	K0	NO ₃ ⁻ - N	0.14c	0.18d	0.56d	0.74d
		NH ₄ ⁺ - N	0.15c	0.19d	0.56d	0.75d
	K1	NO ₃ ⁻ - N	0.16bc	0.21c	0.67c	0.88c
		NH ₄ ⁺ - N	0.16bc	0.22c	0.69c	0.90c
	K2	NO ₃ ⁻ - N	0.23a	0.32a	1.06a	1.38a
		NH ₄ ⁺ - N	0.19b	0.27b	0.85b	1.12b
	K0	NO ₃ ⁻ - N	0.21cd	0.31d	0.93cd	1.24c
		NH ₄ ⁺ - N	0.20d	0.28e	0.68e	0.95d
冀棉 958	K1	NO ₃ ⁻ - N	0.24bc	0.37c	1.33b	1.70b
		NH ₄ ⁺ - N	0.22c	0.31d	0.85d	1.16c
	K2	NO ₃ ⁻ - N	0.30a	0.51a	1.48a	2.00a
		NH ₄ ⁺ - N	0.26b	0.42b	1.29b	1.71b
	K0	NO ₃ ⁻ - N	0.18d	0.26c	0.66d	0.92c
		NH ₄ ⁺ - N	0.18d	0.22d	0.60d	0.82d
	K1	NO ₃ ⁻ - N	0.25b	0.32bc	0.99b	1.32b
		NH ₄ ⁺ - N	0.23c	0.27c	0.77c	1.04c
新棉 99B	K2	NO ₃ ⁻ - N	0.32a	0.55a	1.58a	2.14a
		NH ₄ ⁺ - N	0.27b	0.34b	0.96b	1.30b

2.2 不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶碳氮代谢的影响

由表 4 和表 5 可知,供钾水平显著影响棉花初花期和吐絮期功能叶碳氮代谢水平,随着供钾水平的提高功能叶片内可溶性糖和游离氨基酸含量逐渐降低,而淀粉和可溶性蛋白含量逐渐增加,说明提高供钾水平可促进淀粉和蛋白质的合成。供钾水平对棉花初花期功能叶蔗糖含量无显著影响,对吐絮期功能叶蔗糖含量有显著影响,吐絮期功能叶蔗糖含量随供钾水平的提高而逐渐升高。通过方差分析发现,初花期不同钾效率基因型棉花品种间功能叶可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白含量存在显著差异,吐絮期品种间功能叶可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白、游离氨基酸含量均存在显著差异。氮素形态对功能叶蔗

糖含量无显著影响,对游离氨基酸和可溶性蛋白含量有极显著影响;相比铵态氮肥,总体上追施硝态氮肥有利于功能叶游离氨基酸和可溶性蛋白的积累。氮素形态对可溶性糖和淀粉含量的影响较为复杂,辽棉 18 功能叶可溶性糖含量受氮素形态影响不显著;在不供钾和不充分供钾条件下,追施硝态氮肥有利于冀棉 958 可溶性糖的积累,追施铵态氮肥有利于新棉 99B 可溶性糖的积累;在不供钾条件下,追施铵态氮肥处理辽棉 18、冀棉 958 和新棉 99B 较追施硝态氮肥处理功能叶淀粉含量分别显著降低 26.4%、24.7% 和 11.8%,在充分供钾水平条件下,各品种功能叶淀粉含量受氮素形态影响较小,差异不显著。说明在供钾不足时,追施铵态氮肥不利于功能叶可溶性糖向淀粉转化。

表 4 初花期不同供钾水平对棉花功能叶碳氮代谢的影响

mg/g

品种	处理	可溶性糖	淀粉	蔗糖	游离氨基酸	可溶性蛋白
辽棉 18	K0	49.2a	68.8c	14.3a	2.6a	0.91c
	K1	44.1b	98.5b	14.0a	2.4ab	3.20b
	K2	37.8c	115.7a	14.4a	2.3b	5.47a
冀棉 958	K0	56.9a	57.5b	14.9a	3.6a	3.48c
	K1	47.6b	85.2a	14.6a	3.1b	5.54b
	K2	40.7c	89.5a	14.8a	3.2b	10.92a
新棉 99B	K0	52.2a	65.1c	14.7a	4.0a	1.09c
	K1	45.7b	92.9b	14.3a	3.7a	2.15b
	K2	34.7c	105.9a	13.7a	2.9b	5.97a
K (df=1)		0.6 **	6.6 **	0.1	0.3 *	37.1 **
G (df=1)		5.1 **	37.9 **	0.1	0.1	74.3 **
K × G (df=1)		0.1	0.5	0.1	0.1	2.7 **

注:K 表示供钾水平, G 表示基因型; ** 和 * 分别表示显著性达到 1% 和 5% 水平,下同。

表5 吐絮期不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶碳氮代谢的影响

mg/g

品种	处理	氮素形态	可溶性糖	淀粉	蔗糖	游离氨基酸	可溶性蛋白
辽棉18	K0	NO ₃ ⁻ -N	67.2a	23.1b	76.6c	7.1a	2.3c
		NH ₄ ⁺ -N	63.7a	17.0c	77.9c	4.3bc	1.4d
	K1	NO ₃ ⁻ -N	59.9b	30.3a	95.6b	4.9b	3.3b
		NH ₄ ⁺ -N	57.0bc	22.6b	89.6b	3.8cd	2.6c
	K2	NO ₃ ⁻ -N	56.1c	33.8a	103.7a	4.4bc	4.6a
		NH ₄ ⁺ -N	54.9c	30.7a	101.9a	3.4d	3.5b
	冀棉958	NO ₃ ⁻ -N	83.1a	23.9c	85.7b	6.7a	3.5c
		NH ₄ ⁺ -N	73.8bc	18.0d	85.1b	5.4b	3.4c
		NO ₃ ⁻ -N	77.4ab	27.7b	99.0a	5.4b	4.5b
		NH ₄ ⁺ -N	69.1cd	24.2c	94.9a	4.6c	4.4b
	K0	NO ₃ ⁻ -N	63.5d	35.0a	100.9a	4.2c	6.2a
		NH ₄ ⁺ -N	66.9d	32.6a	102.4a	3.7d	5.4a
	新棉99B	NO ₃ ⁻ -N	70.4b	18.6c	82.7c	8.2a	2.0d
		NH ₄ ⁺ -N	82.1a	16.4d	78.6c	7.1b	1.4e
		NO ₃ ⁻ -N	63.4c	21.1b	96.3b	5.3c	3.3c
		NH ₄ ⁺ -N	76.3a	18.6c	94.8b	5.7c	2.9c
	K2	NO ₃ ⁻ -N	54.6d	26.0a	110.3a	5.0cd	4.8a
		NH ₄ ⁺ -N	57.4d	25.8a	109.8a	4.4d	4.0b
K(df=1)			951.4 **	559.6 **	2552.2 **	24.6 **	26.5 **
NF(df=1)			5.7	191.2	41.7	7.7 **	5.0 **
G(df=1)			713.5 **	182.5 **	105.7	7.9 **	14.5 **
K×NF(df=1)			4.5	11.5	16.0	0.3	0.3
K×G(df=1)			57.8 **	11.4	73.9 **	0.9 *	0.1
NF×G(df=1)			250.8 **	18.7 *	16.7	4.3 **	0.3
K×NF×G(df=1)			58.9 **	1.9	10.8	1.3	0.0

注:NF表示氮素形态。

2.3 不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶钾含量的影响

由图1和图2可知,供钾水平对棉花初花期、吐絮期功能叶钾含量均有显著影响,功能叶钾含量随着供钾水平的提高而逐渐升高。随着棉花生长功能叶钾含量逐渐降低,与初花期相比,吐絮期不供钾和不充分供钾处理功能叶钾含量分别降低64.4%和66.3%,而充分供钾处理功能叶钾含量降低39.2%,说明在棉花生育后期功能叶片中钾元素会向其他器官转移,当供钾不足时叶片钾含量降低较为严重。追施不同形态氮肥对棉花吐絮期功能叶钾含量无显著影响。不同钾效率基因型棉花品种间功能叶钾含量无显著差异($P > 0.05$)。

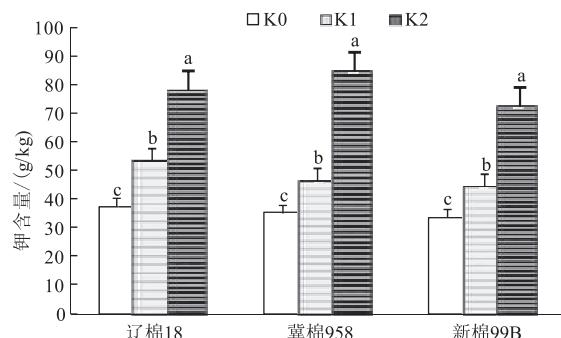
不同小写字母表示同一品种不同处理之间差异显著($P > 0.05$),下同

图1 初花期不同供钾水平对棉花功能叶钾含量的影响

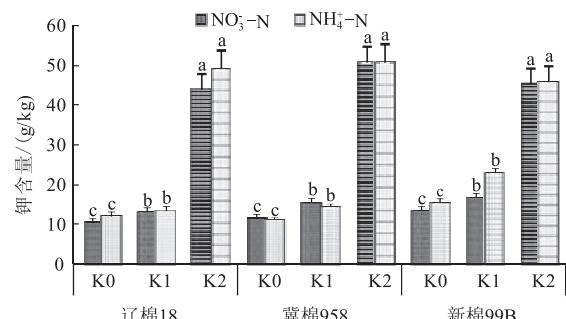


图2 吐絮期不同供钾水平和氮素形态对棉花功能叶钾含量的影响

3 结论与讨论

在初花期功能叶叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量受供钾水平影响较小,差异不显著,但在吐絮期功能叶叶绿素和类胡萝卜素受供钾水平影响显著,随着供钾水平的提高叶绿素和类胡萝卜素含量逐渐升高,这和前人研究结果一致^[31-34]。在初花期和吐絮期可溶性糖和游离氨基酸含量随供钾水平的提高而逐渐降低,淀粉和可溶性蛋白含量随供钾水平的提高而逐渐升高,吐絮期功能叶蔗糖含量随供钾水平的提高而逐渐升高,这与前人研究结果一

致^[17,35-37]。棉花初花期、吐絮期功能叶钾含量随着供钾水平的提高而逐渐升高,这与前人研究结果一致^[38]。

吐絮期,追施铵态氮肥处理功能叶叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量普遍低于追施硝态氮肥处理。在水稻和烤烟上的研究表明,单硝态氮营养较单铵态氮营养下叶片中叶绿素含量高^[24-25];而 Raab 等^[28]研究表明,铵态氮增大单位面积中甜菜叶绿素含量。氮素形态对功能叶蔗糖含量无显著作用,相比铵态氮肥,追施硝态氮肥有利于功能叶游离氨基酸和可溶性蛋白的积累。这与 Raab 等^[28]的研究结果不同,Raab 等^[28]研究表明,铵态氮可增加甜菜可溶性蛋白含量。在不供钾或不充分供钾条件下,追施硝态氮肥有利于增加功能叶淀粉含量,在充分供钾水平条件下,各品种功能叶淀粉含量受氮素形态影响较小,差异不显著。追施不同形态氮肥对棉花吐絮期功能叶钾含量无显著影响。

不同钾效率基因型棉花品种间功能叶叶绿素和类胡萝卜素含量不同,这可能是因为叶片的叶绿素含量受品种遗传特性影响^[39],据现场观察,辽棉 18 叶色较冀棉 958 和新棉 99B 浅,且辽棉 18 生育期较新棉 99B 和冀棉 958 短,吐絮期取样时,辽棉 18 叶片已经开始衰老。不同钾效率基因型棉花品种在不同供钾水平下叶绿素含量表现不同,钾高效基因型棉花品种在供钾水平较低的情况下功能叶也能保持相对较高的叶绿素含量,以维持叶片的光合作用,这与王宁等的研究结果相似^[17]。不同钾效率基因型棉花品种功能叶叶绿素含量受不同形态氮肥影响不同,在棉花吐絮期,辽棉 18 受氮素形态影响较小,冀棉 958 和新棉 99B 受氮素形态影响较大。不同钾效率基因型棉花品种间功能叶可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白含量存在显著差异。辽棉 18 功能叶可溶性糖含量受氮素形态影响不显著,在不供钾和不充分供钾条件下,追施硝态氮肥冀棉 958 可溶性糖含量较高,追施铵态氮肥新棉 99B 可溶性糖含量较高。在不供钾和不充分供钾条件下,追施硝态氮肥有利于功能叶淀粉含量的增加;在充分供钾条件下,各品种功能叶淀粉含量受氮素形态影响较小,差异不显著,说明在供钾不充足时,追施铵态氮肥不利于叶片中可溶性糖向淀粉转化。不同钾效率基因型棉花品种间功能叶钾含量无显著差异。

本研究结果表明,提高供钾水平可增加棉花功能叶钾含量,提高功能叶叶绿素含量,促进光合产物向淀粉和蛋白质转化。硝态氮肥处理有利于维持吐絮期功能叶叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量,

预防早衰。在供钾不足条件下追施铵态氮肥不利于叶片中可溶性糖向淀粉转化。受品种遗传特性的影响,不同钾效率基因型棉花品种功能叶叶绿素、可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白含量存在差异,在棉花生育后期钾高效基因型棉花品种在供钾水平较低的情况下功能叶能保持相对较高的叶绿素含量,可延缓叶片衰老。

参考文献:

- [1] Amtmann A , Troufflard S , Armengaud P . The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants [J]. *Physiologia Plantarum*, 2008, 133(4) :682-691.
- [2] 李文娆,范雨龙,冯世珍,等.水氮耦合对棉花幼苗根冠生长和水分利用效率的影响[J].河南农业科学, 2017, 46(9) :18-24.
- [3] Sanjay K, Rana N S, Saini S K, et al. Effect of phosphorus and potassium application on growth, yield and quality of sugarcane [J]. *Indian Journal of Sugarcane Technology*, 2002, 17(2) :410-421.
- [4] 王旭东,于振文,王东.钾对小麦茎和叶鞘碳水化合物含量及籽粒淀粉积累的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):57-62.
- [5] 李友军,熊瑛,陈明灿,等.氮、磷、钾对豫麦 50 旗叶蔗糖和籽粒淀粉积累的影响[J].应用生态学报,2006, 17(7) :1196-1200.
- [6] Skaggs T H, Trout T J, Rothfuss Y . Drip irrigation water distribution patterns: Effects of emitter rate, pulsing, and antecedent water [J]. *Soil Physics*, 2010, 74 (6) : 1886-1896.
- [7] Stewart J M, Oosterhuis D M, Heitholt J J, et al. Physiology of Cotton Relation of growth and development to mineral nutrition[M]. New York:Springer Publishing,2010:97-105.
- [8] 孟祥松.河北威县棉花的早衰与预防[J].江西棉花, 2008, 30(3) :30-31.
- [9] 高有伟.棉花发生早衰的原因及防治对策[J].安徽农学通报,2008,14(13):88-89.
- [10] Cassman K G, Kerby T A, RobertS B A, et al. Potassium nutrition effects on lint yield and fiber quality of acala cotton [J]. *Crop Sci*, 1990, 30:672-677.
- [11] 张志勇,王清连,李召虎,等.缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制[J].作物学报,2009,35(4) : 718-723.
- [12] Wang N, Hua H B, Eneji E, et al. Genotypic variations in photosynthetic and physiological adjustment to potassium deficiency in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*,

- 2012,110:1-8.
- [13] 田晓莉,王刚卫,杨富强,等.棉花不同类型品种耐低钾能力的差异[J].作物学报,2008,34(10):1770-1780.
- [14] 姜存仓,高祥照,王运华,等.不同基因型棉花苗期钾效率差异及其机制的研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(9):781-786.
- [15] 陈波浪,盛建东,蒋平安,等.不同棉花品种钾素吸收利用差异的比较[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1154-1159.
- [16] 王刚卫,田晓莉,谢湘毅,等.土壤缺钾对棉花钾运转和分配的影响[J].棉花学报,2007,19(3):173-178.
- [17] Xia Y, Jiang C C, Chen F, et al. Differences in growth and potassium use efficiency of two cotton genotypes [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2011, 42(2):132-143.
- [18] 李伶俐,房卫平,谢德意,等.施氮量对杂交棉干物质积累、分配和氮磷钾吸收、分配与利用的影响[J].棉花学报,2010,22(4):347-353.
- [19] 朱建芬,张永江,孙传范,等.氮钾营养对棉花主茎功能叶衰老的生理效应研究[J].棉花学报,2010,22(4):454-459.
- [20] 邢竹,申建波,郭建华,等.高产棉花营养吸收规律及钾肥效果研究初报[J].土壤肥料,1994(4):26-28.
- [21] 赵双印.施氮对棉花养分吸收规律及产量品质影响的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2009:11-15.
- [22] 郑德明,姜益娟,王红叶,等.南疆棉区杂交棉高产栽培优化配方施肥技术研究[J].棉花学报,2011,23(4):353-358.
- [23] 李存东,董海荣,李金才.不同形态氮比例对棉花苗期光合作用及碳水化合物代谢的影响[J].棉花学报,2003,15(2):87-90.
- [24] 吴良欢,陈峰,方萍,等.水稻叶片氮素营养对光合作用的影响[J].中国农业科学,1995,28(增刊):104-107.
- [25] 郭培国,陈建军,郑燕玲.氮素形态对烤烟光合特性影响的研究[J].植物学通报,1999,16(3):262-267.
- [26] 陈巍,罗金葵,姜慧梅,等.不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响[J].土壤学报,2004,41(3):420-425.
- [27] Steingrover E, Woldendorp J, Sijtsma L. Nitrate accumulation and its relation to leaf elongation in spinach leaves [J]. Journal of Experimental Botany, 1986, 37 (181): 1093-1102.
- [28] Raab T K, Terry N. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L[J]. Plant Physiol, 1994, 105:1159-1166.
- [29] Rubio F, Nieves-Cordones M, Alemán F, et al. Relative contribution of *AtHAK5* and *AtAKT1* to K⁺ uptake in the high-affinity range of concentrations[J]. Physiol Plant, 2008, 134:598-608.
- [30] Rubio F, Alemán F, Manuel N, et al. Studies on *Arabidopsis athak5, atakt1* double mutants disclose the range of concentrations at which *AtHAK5*, *AtAKT1* and unknown systems mediate K⁺ uptake [J]. Physiol Plant, 2010, 134:598-608.
- [31] 李伶俐,房卫平,谢德意,等.钾肥对麦后直播短季棉光合特性和产量品质的影响[J].河南农业科学,2009(2):48-50.
- [32] 马宗斌,李伶俐,朱伟,等.施肥对不同基因型棉花光合特性及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1129-1134.
- [33] Lamrani Z, Belakbir A, Ruiz J M, et al. Influence of nitrogen, phosphorus, and potassium on pigment concentration in cucumber leaves[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1996, 27(5):1001-1012.
- [34] Oosterhuis D M, Bednarz C W. Physiological changes during the development of potassium deficiency in cotton [J]. Plant and Soil, 1997, 78:347-351.
- [35] Pettigrew W T. Potassium deficiency increases specific leaf weights and leaf glucose levels in field grown cotton [J]. Agron J, 1999, 91(6):962-968.
- [36] 董合忠,李维江,唐薇,等.棉花生理性早衰研究进展[J].棉花学报,2005,17(1):56-60.
- [37] 张立新,李生秀.水分胁迫下氮、钾对不同基因型夏玉米氮代谢的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):554-560.
- [38] 朱振亚,赵翔,王承华,等.棉花施钾效应研究[J].新疆农业科学,2000(1):25-27.
- [39] 张巨松,杜永猛.棉花叶片叶绿素含量消长动态的分析[J].新疆农业大学学报,2002,25(3):7-9.