

土壤速效钾含量和追施不同形态氮肥对棉花产量的影响

李鹏程^{1, 2}, 郑苍松¹, 孙 森¹, 冯卫娜¹, 邵晶晶¹, 朱海勇^{1, 2}, 董合林^{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. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆 昌吉 831100)

摘 要: 盆栽试验于 2017 ~ 2018 年进行, 研究不同土壤速效钾含量条件下, 初花期追施铵态氮肥和硝态氮肥对棉花生长发育和产量的影响。试验采用裂区设计, 主区为 6 种不同速效钾含量土壤 (71.1、79.7、86.8、95.5、122.6、154.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 副区为初花期追施 2 种相同有效含量的不同形态氮肥 (硫酸铵和硝酸钙)。结果表明, 2 个年度, 土壤速效钾含量均显著影响了棉花单株干物质质量、成铃数和籽棉产量, 但对单铃重无显著影响, 棉花单株干物质质量、成铃数和籽棉产量均随土壤速效钾含量的增加呈开口向下的二次曲线增加; 初花期追施硫酸铵和硝酸钙对棉花单株干物质质量、成铃数、单铃重和单株籽棉产量均影响不显著, 2017 和 2018 年初花期追施硝酸钙比追施硫酸铵单株籽棉产量分别高 5.6% 和 1.9%。土壤速效钾含量和初花期追施硫酸铵和硝酸钙对棉花单株干物质质量、成铃数、单铃重和单株籽棉产量的交互作用均未达到显著水平。本研究结果为不同土壤钾肥力条件下氮肥的合理施用提供了理论依据。

关键词: 土壤速效钾; 不同形态氮肥; 棉花产量

钾是棉花生长发育必需的大量元素之一, 李书田等^[1]报道, 不同棉区每生产 100 kg 皮棉地上部钾吸收量为 7.82 ~ 12.25 kg。施钾能提高棉花叶片含钾量、棉叶叶绿素含量以及二氧化碳的同化率, 钾还能提高棉叶中细胞色素氧化酶和硝酸还原酶的活性、气孔导度, 降低蒸腾速率^[2]。提高供钾水平有利于增加棉花功能叶质体色素含量, 促进碳氮代谢^[3]。维持一定氮、钾营养可维持棉花生育中后期主茎功能叶生理活性, 有效延缓衰老^[4], 增施钾肥可提高棉花氮肥利用效率、产量和纤维品质^[5-6]。棉花生育中后期, 适量供钾还可以提高棉花耐盐性^[7]。因此, 研究棉花钾肥的施用具有很重要的理论和实践意义。

不同棉区均有学者开展了基于土壤速效钾含量的推荐施钾研究, 因土壤钾肥力和棉花产量水平不同, 不同棉区棉花钾肥适宜施用量和土壤速

效钾含量丰缺指标均有差异。20 世纪 80 年代张素菲等^[8]确定了河南棉区土壤速效钾严重缺钾、缺钾、潜在缺钾、富钾的指标分别为 <80、80 ~ 110、110 ~ 125、125 ~ 140 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对应的施钾措施分别为必须施用、注意施用、酌情施用、不需施用。范希峰等^[9]报道黄淮海棉区土壤速效钾含量为 100 ~ 130 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 施用 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 氯化钾可增产。王盛桥^[10]认为湖北棉区土壤速效钾含量低于 50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 施钾增产显著, 而土壤速效钾含量高于 150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时可以不施钾肥。王晓丽^[11]以相对产量分别为 <80%、80% ~ 90%、90% ~ 95%、>95% 为标准, 将湖北棉区土壤速效钾丰缺状况分为 4 级, 从高到低对应的速效钾临界值分别为 >150、105 ~ 150、50 ~ 105、<50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 并根据施钾量与籽棉产量间的二次曲线关系提出了该区棉花推荐钾肥用量为 232.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。李俊杰等^[12]提出新疆棉区灌耕灰漠土土壤速效钾含量为 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的条件下补施钾肥有明显的增产效果, 而帕提古丽·苏来曼^[13]报道新疆沙性瘠薄土壤上施 K_2SO_4 105 ~ 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时增产效果明显。李书田等^[14]提出棉花钾肥基施和开花期追施各半较好, 其中山东 (土壤速效钾含量 82 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 钾肥 (K_2O) 适宜用量为 180 ~ 240 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 河北 (土壤速效钾含量 89 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 钾肥 (K_2O) 适宜用量为

收稿日期: 2021-04-10; 录用日期: 2021-05-30

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金 (2019D01A101); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (1610162021024); 中国农业科学院科技创新工程; 棉花产业技术体系岗位科学家 (CARS-15-11)。

作者简介: 李鹏程 (1972-), 副研究员, 博士, 从事棉花氮肥高效利用及机理研究。E-mail: lipengchengcri@163.com。

通讯作者: 董合林, E-mail: donghl668@sina.com。

150 ~ 180 kg · hm⁻², 新疆 (土壤速效钾含量 117 mg · kg⁻¹) 钾肥 (K₂O) 适宜用量为 112.5 ~ 150 kg · hm⁻²。杨云马等^[15]提出冀南棉区 (土壤速效钾含量 103.3 mg · kg⁻¹)、冀中棉区 (土壤速效钾含量 123.0 mg · kg⁻¹) 及滨海盐渍土棉区 (土壤速效钾含量 170.0 mg · kg⁻¹) 适宜的施钾量分别为 150、120 和 90 kg · hm⁻²。施钾可显著提高棉花单株成铃数和单铃重, 对衣分无显著影响, 田晓飞等^[16]提出大蒜-棉花套作 (土壤速效钾含量 97.5 mg · kg⁻¹) 推荐棉花施钾 (K₂O) 量为 180 kg · hm⁻²。董合林等^[17]提出商丘 (土壤速效钾含量 78 mg · kg⁻¹) 和内黄试点 (土壤速效钾含量 109 mg · kg⁻¹) 麦棉两熟棉花经济最佳施钾量分别为 106.9 和 111.3 kg · hm⁻²。

不同形态氮肥在棉花上的施用研究报道较少, 水培条件下, 铵态氮和硝态氮混合施用有利于提高棉花苗期干物质质量^[18-19]; 盆栽条件下, 追施硝态氮肥可提高棉花生物量和叶片全氮含量^[20]。目前棉花氮肥管理多依据土壤硝态氮含量测定、棉花叶柄硝态氮的营养状况来推荐氮肥用量^[21], 而不同土壤钾肥力水平下施用不同形态氮肥的效果尚不明确。本试验采用盆栽试验, 设置 6 个不同土壤速效钾含量水平的土壤, 在纯氮用量相等、基施硫酸铵条件下, 比较硫酸铵、硝酸钙 2 种氮肥在初花期的追施效果, 将为不同土壤速效钾含量棉田氮肥合理选择和高效施用提供理论依据。

1 材料与方法

盆栽试验于 2017 ~ 2018 年在河南省安阳市白壁镇中国农业科学院棉花研究所试验农场 (36° 06' N, 114° 21' E) 进行, 2017 年 4 至 10 月平均气温 22.5 °C, ≥ 20 °C 积温 3782.7 °C, 日照时数 1406.4 h, 降水量 325.7 mm。2018 年 4 至 10 月平均气温 22.6 °C, ≥ 20 °C 积温 3685.2 °C, 日照时数 1519.8 h, 降水量 569.3 mm。试验为裂区设计, 主区为 6 种不同速效钾含量的土壤, 土壤为细沙和大田土壤等比例混合而成, 连续几年施用不同用量的钾肥种植棉花, 从而形成土壤速效钾含量梯度, 便于开展棉花土壤速效钾含量相关试验研究。土壤速效钾含量分别为 71.1、79.7、86.8、95.5、122.6、154.1 mg · kg⁻¹, 分别用 K1、K2、K3、K4、K5、K6 表示, 土壤肥力水平见表 1。副区为初花期追施 2 种不同氮肥, 分别为硫酸铵 (N 21%)、硝酸钙

(N 17%)。共 12 个处理, 每个处理设重复 5 盆, 每盆装土 30 kg, 磷、钾肥全部底施, 磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 用量均为 3 g, 重过磷酸钙 (P₂O₅ 42%) 每盆用量为 7.14 g, 硫酸钾 (K₂O 51%) 每盆用量为 5.88 g。所有处理每盆氮 (N) 肥总用量均为 3 g, 分底肥和初花期追肥等量施入, 底肥均施用硫酸铵。供试棉花品种为 ‘中棉所 100’, 由中国农业科学院棉花研究所提供。2016、2017 年均为 4 月 18 日播种; 2016 年 6 月 1 日现蕾, 2017 年 5 月 28 日现蕾; 2016 年 7 月 1 日开花, 2017 年 7 月 3 日开花; 2016 年 8 月 18 日吐絮, 2017 年 8 月 20 日吐絮。整枝、病虫害防治等常规管理参照当地棉花高产管理水平, 棉花营养枝、老叶均搜集后烘干称重, 计入棉花全株干物重。吐絮期调查单株成铃数, 每个处理挑选棉花健株 3 株, 采集棉花全株样品, 单株分根 (子叶节以下部分)、茎、叶、铃壳、籽棉 (包括未吐絮棉铃) 烘干称重。单铃重由单株籽棉产量除以成铃数计算。

表 1 不同速效钾含量下的土壤有机质及养分含量

处理	有机质 (g · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	速效钾 (mg · kg ⁻¹)
K1	3.87	0.287	71.1
K2	3.84	0.283	79.7
K3	4.52	0.287	86.8
K4	4.31	0.259	95.5
K5	4.10	0.315	122.6
K6	3.66	0.287	154.1

采用 DPS 2020 进行数据统计分析, 采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较, 采用 Excel 2007 进行作图。

2 结果与分析

由表 2 可知, 2 个年度, 土壤速效钾含量均显著影响了棉花单株干物质质量、单株成铃数和单株籽棉产量, 但对单铃重无显著影响。2 个年度, 棉花单株干物质质量、单株籽棉产量、单株成铃数均随土壤速效钾含量的增加呈开口向下的二次曲线增加 (图 1、图 2、图 3)。2017 年 K5、K6 处理棉花单株干物质质量差异不显著, 分别显著高于 K1、K2 和 K3 处理 25.5%、33.3%、14.5% 和 21.6%、17.2%、24.6%, K4、K5、K6 处理棉花单株籽棉产量差异不显著, 分别显著高于 K1 和 K2 处理 33.1%

和 10.8%、42.3% 和 18.4%、46.4% 和 21.8%，K3、K4、K5、K6 处理棉花单株成铃数差异不显著，显著高于 K1 和 K2 处理。2018 年，K5、K6 处理棉花单株干物质质量与 K2、K3、K4 差异不显著，但分别显著高于 K1 处理 22.4%、20.2%，K4、K5、K6 处理棉花单株籽棉产量差异不显著，但分别显著高于 K1 处理 29.7%、35.7%、54.9%，K6 处理棉花单株成铃数与 K3、K4、K5 处理差异不显著，但显著高于 K1、K2 处理。2017 年 K2 处理棉花单铃重最高，2018 年 K6 处理棉花单铃重最高。

表 2 土壤速效钾含量和追施不同形态氮肥对棉花单株干物质质量和籽棉产量的影响

变量	处理	单株干物质质量 (g)		单株籽棉产量 (g)		单株成铃数 (个)		单铃重 (g)	
		2017 年	2018 年	2017 年	2018 年	2017 年	2018 年	2017 年	2018 年
土壤速效钾水平	K1	78.0c	98.2b	31.7c	38.1c	6.5b	7.8c	4.9a	4.8a
	K2	85.5c	107.6ab	38.1b	45.1bc	6.8b	8.7bc	5.6a	5.2a
	K3	83.5c	107.5ab	38.7b	47.5bc	7.7ab	9.3abc	5.3a	5.1a
	K4	88.8bc	112.4ab	42.2ab	49.4ab	8.0ab	9.0abc	5.3a	5.5a
	K5	97.9ab	120.2a	45.1ab	51.7ab	8.5a	10.0ab	5.4a	5.2a
	K6	104.0a	118.0a	46.4a	59.0a	8.5a	10.8a	5.5a	5.4a
追施氮肥	硫酸铵	87.9a	110.7a	39.3a	48.0a	7.3a	9.1a	5.4a	5.3a
	硝酸钙	91.3a	110.6a	41.5a	48.9a	8.0a	9.5a	5.2a	5.1a
变异来源		<i>P>F</i>							
土壤钾含量		0.0022	0.0405	0.0125	0.0152	0.0466	0.0068	0.7903	0.2573
追施氮肥		0.4618	0.9967	0.3485	0.7689	0.0554	0.3221	0.7121	0.3230
土壤钾含量 × 追施氮肥		0.9302	0.4290	0.4087	0.9772	0.9036	0.9773	0.6029	0.8598

注：同列数字后不同小写字母代表在 5% 水平上差异显著。下同。

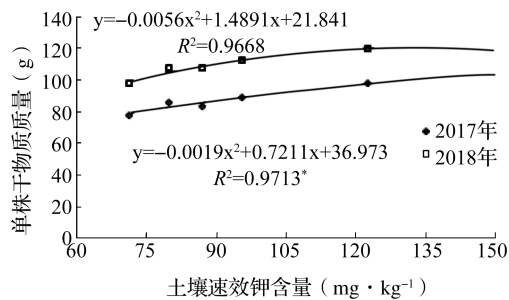


图 1 土壤速效钾含量对棉花单株干物质质量的影响

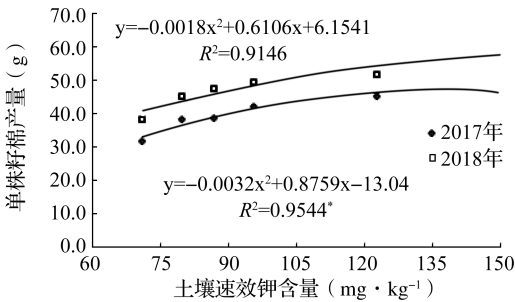


图 2 土壤速效钾含量对棉花单株籽棉产量的影响

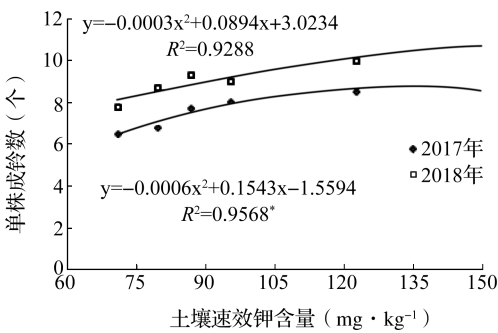


图 3 土壤速效钾含量对棉花单株成铃数的影响

由表 2 可知，初花期追施不同形态氮肥对棉花单株干物质质量、单株成铃数、单铃重和单株籽棉产量均无显著影响。2017 年初花期追施硝酸钙比追施硫酸铵单株干物质质量高 3.9%，2018 年二者基本持平，2017 和 2018 年初花期追施硝酸钙比追施硫酸铵单株籽棉产量分别高 5.6% 和 1.9%，单株成铃数分别高 9.6% 和 4.4%，但单铃重分别低 3.7% 和 3.8%。

2 个年度，土壤速效钾含量和追施不同形态氮

肥对棉花单株干物质质量、籽棉产量、单株成铃数、单铃重的交互作用均未达到显著水平。

由表3可知,从所有处理平均数来看,2018年棉花长势优于2017年,其中,2018年棉花单株干物质质量比2017年高23.5%,棉花单株籽棉产量比2017年高20.0%,棉花单株成铃数比2017年高20.8%,棉花单铃重比2017年高1.9%。2018年棉花单株干物质质量、单株籽棉产量、单株成铃数和单铃重的变异系数均低于2017年。

2017年K6处理初花期追施硫酸铵、2018年K6处理初花期追施硝酸钙获得最高单株干物质质量,分别比最低单株干物质质量(K1处理初花期追施硫酸铵)高41.9%、41.0%。2017年K6处理初花期追施硫酸铵获得最高单株籽棉产量,比最

低单株籽棉产量(K1处理初花期追施硫酸铵)高85.3%。2018年K6处理初花期追施硝酸钙获得最高单株籽棉产量,比最低单株籽棉产量(K1处理初花期追施硫酸铵)高63.1%。2017年K5、K6处理初花期追施硝酸钙获得最高单株成铃数,比最低单株成铃数(K1处理初花期追施硫酸铵)高45.0%,2018年K6处理初花期追施硝酸钙获得最高单株成铃数,比最低单株成铃数(K1处理初花期追施硫酸铵)高50.7%。2017年K3处理初花期追施硫酸铵获得最高单铃重,比最低单铃重(K1处理初花期追施硫酸铵)高36.4%,2018年K4处理初花期追施硝酸钙获得最高单铃重,比最低单铃重(K1处理初花期追施硝酸钙)高19.1%。

表3 不同处理棉花单株干物质质量和产量构成

处理	追施氮肥	单株干物质质量(g)		单株籽棉产量(g)		单株成铃数(个)		单铃重(g)	
		2017年	2018年	2017年	2018年	2017年	2018年	2017年	2018年
K1	硫酸铵	74.7d	93.1c	26.6d	36.9d	6.0d	7.3d	4.4a	5.0ab
	硝酸钙	81.3cd	103.2c	36.8c	39.3cd	7.0bcd	8.3cd	5.3a	4.7b
K2	硫酸铵	85.8bcd	106.9abc	35.2cd	43.7bcd	6.7cd	8.3cd	5.3a	5.2ab
	硝酸钙	85.2bcd	108.3abc	41.1abc	46.5abcd	7.0bcd	9.0bcd	6.0a	5.2ab
K3	硫酸铵	80.0cd	110.8abc	39.5abc	46.5abcd	7.0abc	9.0bcd	6.0a	5.2ab
	硝酸钙	87.0bcd	104.3c	37.8bc	48.5abcd	8.3ab	9.7abc	4.5a	5.0ab
K4	硫酸铵	83.4cd	110.9abc	42.3abc	48.5abcd	7.7abc	9.0bcd	5.6a	5.4a
	硝酸钙	94.3abc	113.9abc	42.1abc	50.3ab	8.3ab	9.0bcd	5.1a	5.6a
K5	硫酸铵	98.2abc	100.9abc	42.8abc	53.8ab	8.3ab	10.0abc	5.2a	5.4a
	硝酸钙	97.5abc	129.5ab	47.5ab	49.5abcd	8.7a	10.0abc	5.5a	5.0ab
K6	硫酸铵	105.4a	131.3a	49.3a	58.8a	8.7ab	10.7ab	5.9a	5.4a
	硝酸钙	102.7ab	104.6bc	43.5abc	59.2a	8.7a	11.0a	5.1a	5.4a
平均数		89.6	110.7	40.4	48.5	7.7	9.3	5.3	5.2
变异系数(%)		10.8	9.6	14.7	14.0	11.7	11.2	9.6	5.0

3 讨论

不同作物开展了土壤速效钾含量丰缺指标的推荐施钾研究,宋秋来等^[22]报道,随着土壤速效钾含量的提高(135.1、160.8、215.8、269.1、312.0、389.3 mg·kg⁻¹),大豆植株及各器官的钾素积累量逐渐增加,当土壤速效钾含量达到312.0 mg·kg⁻¹时,增长趋势变缓,大豆产量达到最高值。本试验中棉花单株干物质质量、单株成铃数、单株籽棉产量均随土壤速效钾含量的增加均呈二次曲线增加,其中2018年土壤速效钾含量为154.1 mg·kg⁻¹时棉花单株干物质质量比土壤速效钾含量为122.6 mg·kg⁻¹时略有

下降,但单株籽棉产量略高,说明较高的土壤速效钾含量利于棉花干物质的积累和籽棉产量的提高,土壤速效钾含量为154.1 mg·kg⁻¹时单株籽棉产量达到最高值,但与土壤速效钾含量为95.5、122.6 mg·kg⁻¹时并无显著差异,其与王盛桥^[10]、王晓丽^[11]提出的高土壤速效钾临界值150 mg·kg⁻¹较接近,但这个含量是否为钾肥用量失去增产作用的临界值,有待开展钾肥用量试验进一步验证。

不同作物对氮肥形态的反应不一致,油菜单施铵态氮与单施硝态氮相比,更能促进地上部生物量和籽粒产量提高^[23],硝、铵态氮1:1配施与单施硝态氮籽粒产量差异不显著。铵态氮比硝态氮能更

好促进毛竹的幼苗生长^[24]。铵态氮比硝态氮、铵和硝混合氮更能促进淹水状态下水稻的根系生长,适度干旱、铵硝比 1:1 比干湿交替灌溉、湿润灌溉条件下单施一种形态氮肥更能促进根长、根直径、根体积、根碳氮代谢^[25]。水培条件下,相比铵态氮,硝态氮有利于苗期棉花生长发育和对钾素的吸收^[26-27]。在土壤全氮含量相同条件下,尿素、硫酸铵、硝酸钙处理棉花单株干物质质量和籽棉产量均无显著差异,但随土壤全氮含量增加(0.67、0.71、0.86、0.93、1.30 g·kg⁻¹),棉花干物质质量和单株籽棉产量呈上升趋势^[28]。Babaria 等^[29]报道大田条件下,尿素、硫酸铵、硝酸铵钙等量施用(纯氮用量 160 kg·hm⁻²)对棉花的生长、产量和品质无显著影响。本试验为盆栽试验,2017 年初花期追施硫酸铵棉花单株干物质质量显著高于追施硝酸钙处理,但单株成铃数、单铃重、单株籽棉产量无显著差异,2018 年初花期追施铵、硝氮肥对棉花单株干物质质量、单株成铃数、单铃重、单株籽棉产量均未产生显著影响,与 Babaria 等^[29]研究结果较一致,初花期追施铵、硝氮肥对棉花生长发育的影响有待大田试验进一步验证。

利用氮肥和钾肥的互作效应可提高小麦的氮肥农学效率和氮肥表观回收率^[30]。合适的氮钾施用比例可以提高棉花产量,Abdul 等^[31]报道长江流域棉区晚播短季棉固定施氮 210 kg·hm⁻²时,施用 K₂O 210 kg·hm⁻²较施用 K₂O 168 kg·hm⁻²籽棉产量和皮棉产量分别提高 10%~20% 和 10%~24%。Dong 等^[32]报道 2 个种植年度里有 1 个年度施氮(N 0、240 kg·hm⁻²)和施钾(K₂O 0、150 kg·hm⁻²)对皮棉产量产生了互作效应,2 个种植年度施钾皮棉产量均显著高于不施钾。本试验是在施氮量相同的条件下,2 个年度土壤速效钾含量 95.5、122.6、154.1 mg·kg⁻¹籽棉产量均显著高于土壤速效钾含量 71.1 mg·kg⁻¹,显示了土壤速效钾的增产作用,但土壤速效钾含量与氮肥形态之间未产生显著的互作效应,可能与氮肥用量较大有关。

4 结论

在施氮总量一致、氮肥基肥和初花期追肥各半条件下,土壤速效钾含量显著影响了棉花单株干物质质量、单株成铃数和单株籽棉产量,但对单铃重无显著影响,棉花单株干物质质量、单株成铃数和

单株籽棉产量均随土壤速效钾含量的增加呈开口向下的二次曲线增加,初花期追施硫酸铵和硝酸钙对棉花单株干物质质量、单株成铃数、单铃重和单株籽棉产量均无显著影响。土壤速效钾含量、初花期追施硫酸铵和硝酸钙对棉花干物质质量、单株成铃数、单铃重和单株籽棉产量的交互作用不显著。

参考文献:

- [1] 李书田,邢素丽,崔荣宗,等. 中国北方主要棉区土壤供钾能力及其与产量和品质的关系[J]. 棉花学报, 2015, 27(5): 445-453.
- [2] 孙羲,饶立华,秦遂初,等. 棉花钾素营养与土壤钾素供应水平[J]. 土壤学报, 1990, 27(2): 166-171, 233.
- [3] 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): 354-359.
- [4] 李伶俐,房卫平,马宗斌,等. 氮钾配合施用对短季棉光合特性和产量品质的影响[J]. 棉花学报, 2008, 20(5): 379-384.
- [5] 刘爱忠,洪德成,董合林,等. 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[J]. 河南农业科学, 2018, 47(4): 31-37.
- [6] 夏颖,姜存仓,陈防,等. 棉花钾营养与钾肥施用的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(5): 658-663.
- [7] 杜海岩,柳新伟,徐双,等. 钾素营养对盐碱地棉花中后期生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 114-117.
- [8] 张素菲,龚光炎,黑志平,等. 棉田钾肥肥效临界值的研究[J]. 土壤通报, 1991, 22(2): 79-81.
- [9] 范希峰,王汉霞,田晓莉,等. 钾肥对棉花产量的影响及最佳施用量研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(3): 175-179.
- [10] 王盛桥. 潮土耕地棉花钾肥施用技术的试验研究[J]. 湖北农业科学, 2002(2): 44-46.
- [11] 王晓丽. 湖北省棉花施钾效应与钾素营养诊断研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [12] 李俊杰,陈德强,艾尼瓦尔·库那洪. 博州棉田施肥效应及应用效果[J]. 农业科技通讯, 2008(12): 148-150.
- [13] 帕提古丽·苏来曼. 不同钾肥用量对棉花生长发育和产量的影响[J]. 新疆农业科技, 2000(6): 34.
- [14] 李书田,邢素丽,张炎,等. 钾肥用量和施用时期对棉花产量品质和棉田钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 111-121.
- [15] 杨云马,李廷瑞,孙彦铭,等. 河北省典型棉区土壤养分特征及养分管理技术[J]. 中国土壤与肥料, 2015(2): 38-43.
- [16] 田晓飞,李成亮,张民,等. 钾肥用量对大蒜-棉花套作体系产量和土壤钾素有效性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 277-282, 290.
- [17] 董合林,李鹏程,刘敬然,等. 钾肥用量对麦棉两熟制作

- 物产量和钾肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1159–1168.
- [18] 董海荣, 李存东, 李金才. 不同形态氮素比例对棉花苗期生长及物质积累的影响[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(1): 9–12.
- [19] 张淑英, 褚贵新, 梁永超. 增铍营养对低温胁迫下棉花幼苗氮代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 25(4): 983–990.
- [20] 代建龙, 董合忠, 段留生, 等. 施氮肥对盐胁迫下 *Bt* 棉生长和叶片 *Bt* 蛋白含量的影响[J]. 棉花学报, 2012, 24(4): 303–311.
- [21] 李鹏程, 郑苍松, 孙森, 等. 国内棉花氮营养诊断和推荐施氮研究进展[J]. 中国棉花, 2019, 46(6): 1–4, 15.
- [22] 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, 36(2): 106–109.
- [23] 唐伟杰, 官春云. 追施不同形态氮肥对油菜生长、生理与产量影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2020, 35(5): 878–884.
- [24] Zou N, Huang L, Chen H, et al. Nitrogen form plays an important role in the growth of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) seedlings[J]. PeerJ, 2020, 8: e9938–e9938.
- [25] Xu G, Jiang M, Lu D, et al. Nitrogen forms affect the root characteristic, photosynthesis, grain yield, and nitrogen use efficiency of rice under different irrigation regimes[J]. Crop Science, 2020, 60(5): 2594–2610.
- [26] 刘爱忠, 董合林, 裴亮只, 等. 氮素形态对不同钾效率基因型棉花钾素吸收利用及根系形态的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(6): 998–1007.
- [27] Dai J, Duan L, Dong H. Comparative effect of nitrogen forms on nitrogen uptake and cotton growth under salinity stress[J]. Journal of Plant Nutrition, 2015, 38(10): 1530–1543.
- [28] 李鹏程, 郑苍松, 孙森, 等. 土壤全氮含量和氮肥种类对棉花产量和氮素吸收的影响[J]. 中国棉花, 2019, 46(11): 14–19.
- [29] Babaria N B, Polara K B, Timbadia N K, et al. Response of cotton to different nitrogen fertilizer sources[J]. Asian Journal of Soil Science, 2010, 5(1): 182–185.
- [30] Duncan E G, O’Sullivan C A, Roper M M, et al. Influence of co-application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertiliser use, grain yield and protein content of wheat: review[J]. Field Crops Research, 2018, 226(7): 56–65.
- [31] Abdul H, Saif A, Ma X, et al. Potassium to nitrogen ratio favors photosynthesis in late-planted cotton at high planting density[J]. Industrial Crops & Products, 2018, 124: 369–381.
- [32] Dong H, Kong X, Li W, et al. Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility[J]. Field Crops Research, 2010, 119(1): 106–113.

Effects of topdressing different nitrogen forms of nitrogen fertilizer on seed cotton yield under different available potassium contents of soil

LI Peng-cheng^{1, 2}, ZHENG Cang-song¹, SUN Miao¹, FENG Wei-na¹, SHAO Jing-jing¹, ZHU Hai-yong^{1, 2}, DONG He-lin^{1*}
(1. Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang Henan 455000; 2. Western Center of Agricultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji Xinjiang 831100)

Abstract: Pot experiment was carried out in 2017 ~ 2018 to study the effects of topdressing ammonium nitrogen fertilizer and nitrate nitrogen fertilizer at initial flowering stage on growth and yield of cotton under six soils with different available potassium content (71.1, 79.7, 86.8, 95.5, 122.6, 154.1 mg · kg⁻¹). A split-plot design was used in the experiment with the main plots assigned to soil available potassium contents, and the subplots to topdressing nitrogen (N) fertilizer (ammonium sulfate and calcium nitrate) under the equal N conditions at initial flowering stage. The results showed that soil available potassium content significantly affected dry matter weight, the number of bolls and seed cotton yield of single cotton plant in two years, but had no significant effects on single boll weight. Dry matter weight, the number of bolls and seed cotton yield of single cotton plant increased in opening downward quadratic curve with the increase of soil available potassium content. The effects of topdressing ammonium sulfate and calcium nitrate at initial flowering stage on dry matter weight, the number of bolls, boll weight and seed cotton yield of single cotton plant were not significant. The seed cotton yield of single cotton plant for topdressing calcium nitrate at initial flowering stage in 2017 and 2018 was 5.6 % and 1.9 % higher than that of topdressing ammonium sulfate, respectively. There were no significant interactions between soil available potassium content and topdressing calcium nitrate and ammonium sulfate at initial flowering stage on dry matter weight, the number of boll, boll weight and seed cotton yield of single cotton plant in two years. The results provided a theoretical basis for rational application of N fertilizer of cotton under different soil potassium fertility conditions.

Key words: soil available potassium; different nitrogen forms of nitrogen fertilizer; cotton yield