

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

李书田¹, 邢素丽², 张炎³, 崔荣宗⁴

(1 国际植物营养研究所(IPNI)北京办事处/CAAS-IPNI 联合试验室, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2 河北省农林科学院农业资源与环境研究所, 河北石家庄 050051; 3 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆乌鲁木齐 830091; 4 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东济南 250100)

摘要:【目的】研究钾肥用量和施用时期对棉花产量、纤维品质、钾肥利用率和棉田钾素平衡的影响, 确定钾肥正确的用量和合适的施用时期, 可为棉花主产区科学施肥提供依据。【方法】连续 2 年在山东平原县、河北威县、新疆昌吉市进行田间试验。钾肥用量试验山东设 K_2O 0、30、60、120、180、240 kg/hm^2 , 河北设 K_2O 0、37.5、75、150、225、300 kg/hm^2 , 新疆设 K_2O 0、18.75、37.5、75、112.5、150 kg/hm^2 。钾肥施用时期试验 3 地点均设不施钾(CK)、钾肥 100% 基施、钾肥 50% 基施 + 50% 花期追施、钾肥 50% 蕾期 + 50% 铃期追施、钾肥 50% 蕾期 + 50% 吐絮期追施、钾肥 50% 花期 + 50% 吐絮期追施。【结果】山东、河北、新疆试验点上棉花开花期后累积的钾占整个生育期钾素累积量的 54%~62%、70%~73%、49%~67%。施用钾肥增加皮棉产量和收益, 钾肥用量对棉花产量的影响 2013 年比 2012 年明显, 三个地点钾肥用量对产量的影响新疆 > 山东 > 河北, 其最高产量施钾量分别为 142、240、174 kg/hm^2 , 经济最佳施钾量分别为 136、212、150 kg/hm^2 。钾肥不同用量除影响某些纤维指标外, 对品质的影响没有显著差异。秸秆不还田时, 山东和河北试验点钾肥用量 180 kg/hm^2 和 150 kg/hm^2 时可以维持棉田钾素平衡, 而在新疆所有钾肥用量下棉田钾素都是负平衡。河北和新疆 50% 钾肥蕾期 + 50% 钾肥铃期追施、山东 50% 钾肥基施 + 50% 钾肥开花期追施的皮棉产量、钾肥的农学效率和施钾经济效益高于其他施用时期。钾肥施用时期影响纤维长度、断裂比强度或纤维伸长率, 但因地点和试验年份而不同。施钾时期对纤维整齐度和马克隆值没有显著影响。【结论】钾肥用量对棉花纤维品质没有显著影响, 主要影响棉花产量和经济效益。山东试验点钾肥的适宜用量为 K_2O 180~240 kg/hm^2 , 最佳施用时期为钾肥 50% 基施 + 50% 开花期追施; 河北试验点钾肥的适宜用量为 K_2O 150~180 kg/hm^2 , 最佳施用时期为钾肥 50% 蕾期 + 50% 铃期追施; 新疆试验点钾肥的适宜用量为 K_2O 112.5~150 kg/hm^2 , 最佳施用时期为钾肥 50% 蕾期 + 50% 铃期追施。

关键词: 棉花; 钾肥用量; 施钾时期; 皮棉产量; 纤维品质

中图分类号: S147.2; S562 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2016)01-0111-11

Application rate and time of potash for high cotton yield, quality and balance of soil potassium

LI Shu-tian¹, XING Su-li², ZHANG Yan³, CUI Rong-zong⁴

(1 International Plant Nutrition Institute Beijing Office/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2 Institute of Agricultural Resources and Environment, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 3 Plant Nutrition and Water Saving Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 4 Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan 250100, China)

Abstract: 【Objectives】The study on the right rate and right time of potash (K) application is the base for scientific use of fertilizers in main cotton areas. 【Methods】Field experiments were conducted successively two years in Shandong, Hebei and Xinjiang provinces. The treatments of K_2O rate experiments were: 0, 30, 60, 120,

收稿日期: 2014-12-17 接受日期: 2015-01-12 网络出版日期: 2015-07-06

基金资助: 国际植物营养研究所(IPNI)资助。

作者简介: 李书田(1966—), 男, 河北固安人, 博士, 研究员, 主要从事植物营养与施肥研究。Tel: 010-82106209, E-mail: lishutian@caas.cn

180, 240 kg/hm² in Shandong Province, 0, 37.5, 75, 150, 225, 300 kg/hm² in Hebei Province, and 0, 18.75, 37.5, 75, 112.5, 150 kg/hm² in Xinjiang Autonomous Region. The treatments of K application time experiments in three locations all included: Control (no K), all K applied basally, 50% basally and 50% topdressing at flowering stage, topdressing 50% at bud stage and 50% at boll stage, topdressing 50% at bud stage and 50% at boll open stage, topdressing 50% at flowering stage and 50% at boll open stage. **【Results】** The K application rates had no significant effect on the fiber quality, but on the yield and economic profit of cotton production. Potassium was mainly accumulated by aboveground cotton plants after flowering stage with the percentages of 54%–62%, 70%–73% and 49%–67% of total K accumulation during the whole growth period in the trials of Shandong, Hebei and Xinjiang, respectively. Potash application produced more lint cotton yield and economic benefit than K omission plots. The effect of potash rates on lint yield was more obvious in 2013 than in 2012 and the effect of potash rates on lint yield in different locations was Xinjiang > Shandong > Hebei. The K₂O rate for maximum yield was 142, 240, 174 kg/hm² and for optimum economic yield was 136, 212, 150 kg/hm², respectively. Compared with control without K, some fiber quality indices were affected by K application, but there were no significant difference between potash rates. When no straw returning, in Shandong and Hebei, annual application of K₂O 180 and 150 kg/hm² could sustain apparent soil K balance, but in Xinjiang, all the experimented K₂O rates resulted in negative balance. The right time of potash application was topdressing 50% at bud stage and 50% at boll stage in Hebei and Xinjiang, and topdressing 50% at basal and 50% at flower stage in Shandong, which produced more lint yield, agronomic efficiency and economic benefit than other application time treatments. The length, strength and elongation of fiber were affected by the time of K application, although the effect varied in experimental years and locations, the length uniformity and macronaire value of fibre were not affected by application time. **【Conclusions】** Potash application rate has not affected the fibre quality, but the yield and profits of cotton production. The right rate and time of potash application in Shandong should be K₂O 180–240 kg/hm², with 50% basall and 50% topdressing at flowering stage; those in Hebei should be K₂O 150–180 kg/hm², topdressed 50% at bud stage and 50% at boll stage; those in Xinjiang should be K₂O 112.5–150 kg/hm², topdressed 50% at bud stage and 50% at boll stage.

Key words: cotton; potash rate; time of K application; cotton yield; fiber quality

棉花需钾量高,是典型的喜钾作物,钾素营养对棉花产量和纤维品质的形成起着关键作用^[1-2]。钾能提高棉花植株的光和速率、改善碳水化合物和氮代谢,提高棉花抗黄萎病的能力^[3-4]。施钾是高肥力棉田维持棉花高产的重要措施^[5]。然而,近年来随着棉花产量提高、高产品种应用以及氮、磷化肥用量的增加,棉花对土壤钾素的移走量逐年加大,棉田土壤钾素损耗不能得到有效补充,有些地区陆续出现了土壤有效钾含量下降,甚至出现缺钾现象^[6],许多地区施钾具有显著的增产作用,甚至有些高钾地区施用钾肥也具有一定的增产效应^[7-11]。此外,棉花根系为直根系,根量相对较小,对土壤中钾的吸收能力偏低,较其它大田作物对缺钾更敏感^[12-13],因缺钾而导致早衰已成为限制我国棉花高产、稳产的主要因素之一^[14]。

然而近年来棉花不合理施肥依然突出,一方面,氮、磷肥施用过量而钾肥用量普遍不足,缺乏合适

的用量。另一方面,钾肥一次性作为基肥施用非常普遍,很少在需钾高峰期施用,施肥方法不合理。最佳的施肥措施是选择合适的钾肥品种,用最佳的用量,在最佳的时期施在正确地位置。因此,本研究通过连续2年的田间试验研究不同钾肥用量和施钾时期对棉花产量和纤维品质的影响,确定钾肥正确的用量和合适施用时期,为棉花主产区养分综合管理和科学施肥提供依据。

1 材料与方法

2012~2013年,分别在山东平原县三塘乡曲庄村、河北威县枣园乡东张庄村、新疆昌吉兵团灌溉中心试验站进行钾肥用量和钾肥施用时期的田间试验。供试土壤基础理化性状见表1。2013年试验处理和小区位置与2012年相同。

钾肥用量试验设6个处理,山东试验点设K₂O 0、30、60、120、180、240 kg/hm²;河北试验点设

0、37.5、75、150、225、300 kg/hm²;新疆试验点设 K₂O 0、18.75、37.5、75、112.5、150 kg/hm²。各处理 N 和 P₂O₅ 用量相同,山东、河北、新疆 N 和 P₂O₅ 用量分别为 210 和 90, 225 和 45, 240 和 150 kg/hm²,肥料品种分别为尿素和过磷酸钙、尿素和二铵、尿素和重过磷酸钙,钾肥均为氯化钾。

钾肥施用时期三地均设 6 个处理:对照不施钾(CK)、钾肥 100% 基施(Ba)、钾肥 50% 基施(Ba) + 50% 开花期追施(FI)、钾肥 50% 蕾期(Bu) + 50% 铃期追施(BI)、钾肥 50% 蕾期(Bu) + 50% 吐絮期追施(Bo)、钾肥 50% 开花期(FI) + 50% 吐絮期施(Bo)。各处理 N-P₂O₅-K₂O 用量相同,山东、河北、新疆分别为 210-90-120、225-45-150、240-150-75 kg/hm²。以上各处理重复 3 次,随机排列,小区面积分别为 30、57.6、50 m²。

棉花品种山东为鲁棉研 28,河北为冀优 01,新疆为新陆早 23。2012 年和 2013 年的播种日期山东 4 月 26 和 4 月 27 日、河北 4 月 27 和 4 月 29 日、新疆 4 月 26 和 4 月 30 日。山东宽窄行(80 cm × 60 cm)种植,株距 32 cm;河北宽窄行(70 cm × 45 cm)

种植,株距 30 cm;新疆膜下滴灌栽培,一膜 4 行种植,播幅内宽、窄行距配置为 50-25-50-25 cm,株距为 9 cm。试验中各地秸秆均不还田。

在苗期、蕾期、开花期、结铃期、吐絮期、收获期随机采取 5 株棉花样品,将采集的植株按不同器官(茎、叶、纤维、种子、铃壳)分开、混合、烘干、称重、粉碎,分析植株不同器官钾含量,根据各部位的钾含量和干物质质量计算地上部吸钾量。每小区选择 3 行手工收获,分两次采拾,第一次 70% 以上棉铃吐絮,第二次为第一次采收后 30 天。棉花纤维样品由植株上、中、下层棉纤维混合而成,产量以两次收获的子棉混合计产,轧花后测定皮棉产量和纤维品质土壤速效钾含量采用 1 mol/L 中性醋酸铵浸提,火焰光度法测定,植株中的钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,火焰光度法测定^[15]。纤维品质测定:河北试验样品送农业部棉花品质监督检验测试中心、新疆试验送新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所、山东试验送山东省农业科学院棉花研究中心检测,均采用大容量纤维检测仪(HVI)对棉花纤维样品检测分析。

表 1 供试土壤理化性状
Table 1 Properties of tested soils

地点 Location	土壤类型 Soil type	pH	有机质(%) OM	矿质氮(mg/kg) Min. -N	有效磷(mg/kg) Avail. -P	有效肥(mg/kg) Avail. -K
山东 Shandong	潮土 Fluvo-aquic soil	8.0	0.87	23	8	82
河北 Hebei	潮土 Fluvo-aquic soil	8.5	1.27	77	10	89
新疆 Xinjiang	灰漠土 Grey desert soil	8.3	0.88	11	11	177

2 结果与分析

2.1 钾肥用量对棉花产量、纤维品质和棉田钾素平衡的影响

2.1.1 对棉花干物质积累和钾素吸收的影响 在 3 个试验点上,不同钾肥用量下棉花干物质积累过程相似:前期缓慢,后期加快,直到吐絮期干物质一直增加(图 1)。钾素积累与干物质积累相似,后期钾素积累比例较大,山东、河北、新疆试验点上棉花开花期后吸收累积的钾占整个生育期钾素累积量的 54%~62%、70%~73%、49%~67% (图 2),因此应重视棉花后期钾肥管理。钾素累积量随钾肥用量的增加而增加,尤其在生长后期更明显。

2.1.2 对皮棉产量和经济效益的影响 三个试验点

上两年的结果表明(表 2),与不施钾肥相比,施用钾肥均增加皮棉产量,但不同地点和不同年份间具有一定差异。山东试验点 2012 年施钾增产 4.7%~13.0%,随钾肥用量增加而增加,K₂O 用量达 180 kg/hm² 以上增产才显著($P < 0.05$),而 2013 年则所有施钾处理都增产显著($P < 0.05$),增产率为 5.1%~13.9%。河北试验点 2012 年施钾增产 6.2%~8.6%,只有 K₂O 用量 300 kg/hm² 显著增产,2013 年增产 1.1%~9.3%,施钾 K₂O 150 kg/hm² 显著增产。新疆试验点 2012 年施钾增产 1.1%~13.1%,施 K₂O 37.5 kg/hm² 以上都增产显著,2013 年所有施钾处理都显著增产,增产率为 8.5%~26.7%。

不同钾肥用量对棉花产量的影响也因地点和年份有所不同(表 2)。山东试验点 2012 年不同钾肥

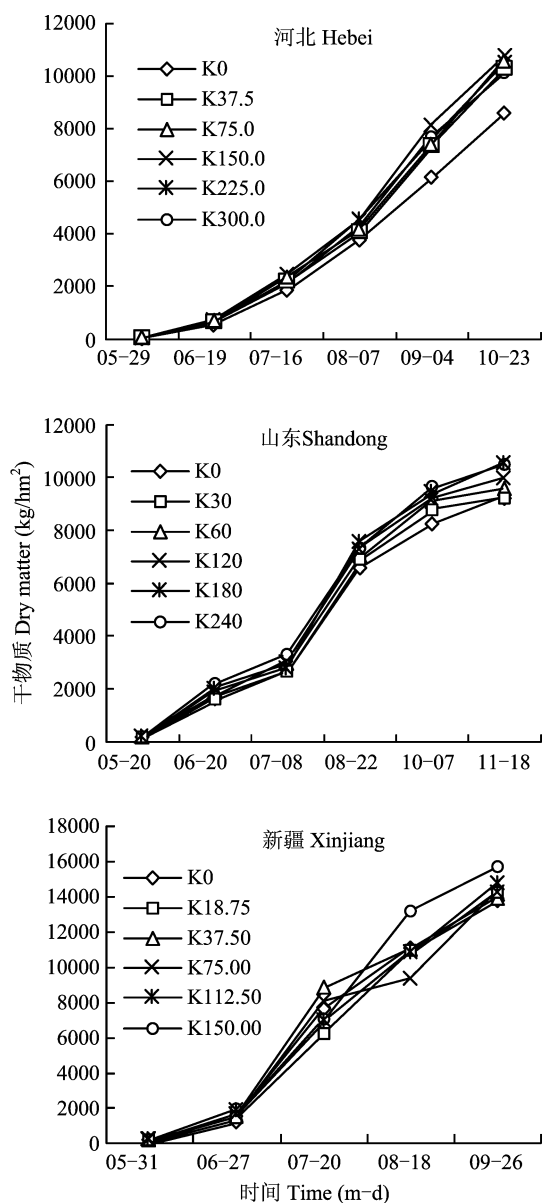


图1 不同钾肥用量下的干物质积累动态

Fig.1 Dynamic accumulation of cotton dry matter in various rate of K application

用量间对棉花产量的影响没有显著差异,而在 2013 年则用量间差异显著,随钾肥用量增加而产量增加。在河北试验点两年试验钾肥用量间没有显著差异。在新疆试验点两年试验钾肥用量间均差异显著,随钾肥用量增加而产量增加。

钾肥的农学效率指单位钾肥的增产量。山东、河北、新疆试验点钾肥的农学效率分别为 0.7 ~ 2.5、0.1 ~ 2.3、0.7 ~ 9.8 kg/kg K_2O ,并随钾肥用量的增加而降低。施用钾肥增加收益,随钾肥用量增加而增加,但用量过高则经济效益降低,甚至出现负效益(表 2)。

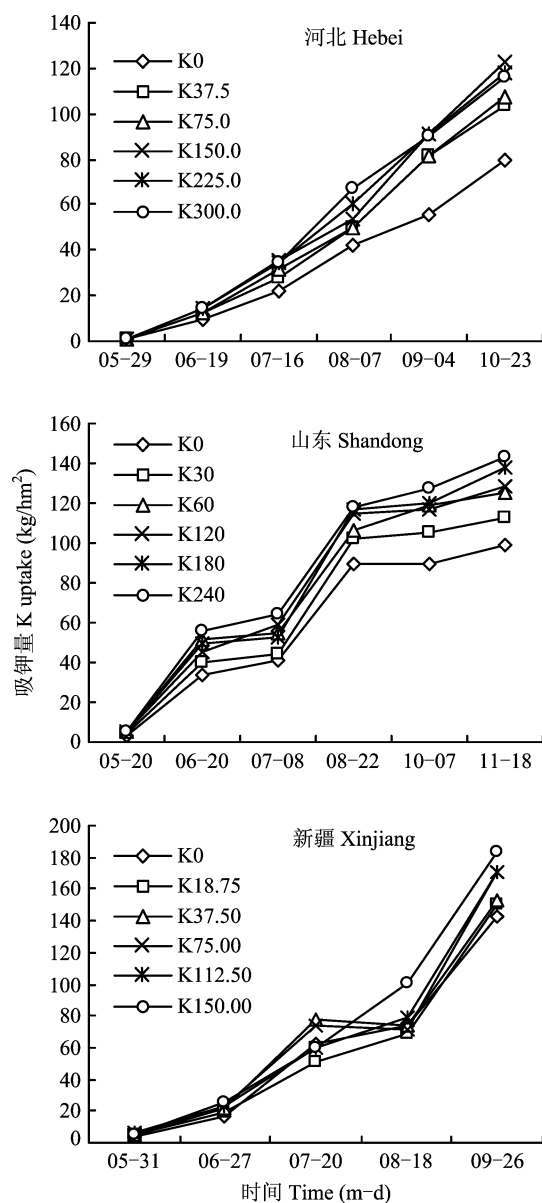


图2 不同钾肥用量下棉花地上部钾的累积动态

Fig.2 Dynamic accumulation of uptake K by aboveground plants in various rate of K application

根据两年不同处理的平均产量,通过钾肥用量与皮棉产量的相关关系(图 3)估算出山东、河北、新疆试验点最高产量施钾量分别为 K_2O 240、174、142 kg/hm²,经济最佳施钾量分别为 K_2O 212、150、136 kg/hm²。

2.1.3 对棉花品质的影响 2012 年试验表明(表 3),与不施钾相比,除山东试验随钾肥用量增加而改善马克隆值,从 B1 级(3.5 ~ 3.6)提高到 A 级(3.7 ~ 4.2)外,3 个地点施钾对棉花纤维品质没有影响,钾肥用量间差异也不显著。

2013 年的试验表明(表 3),在河北试验点,钾肥

表 2 不同钾肥用量棉花产量和经济效益
Table 2 Cotton lint yield and economic benefit under different K₂O rate

地点 Location	钾用量 K ₂ O rate (kg/hm ²)	皮棉产量 Lint yield (kg/hm ²)		增产率 Yield increase (%)		农学效率 Agronomy Efficiency (kg/kg, K ₂ O)		施钾纯收入 Income from K application (yuan/hm ²)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
山东 Shandong	0	1563 b	1245 c						
	30	1637 ab	1308 b	4.7	5.1	2.5	2.10	1968	1746
	60	1684 ab	1338 b	7.7	7.5	2.0	1.55	3156	2502
	120	1694 ab	1362 ab	8.4	9.4	1.1	0.98	3120	2934
	180	1731 a	1417 a	10.7	13.8	0.9	0.96	3858	4296
	240	1766 a	1418 a	13.0	13.9	0.8	0.72	4536	4038
河北 Hebei	0	1425 b	1481 b						
	37.5	1513 ab	1524 ab	6.2	2.9	2.3	1.15	2328	1110
	75	1530 ab	1531 ab	7.4	3.4	1.4	0.67	2616	1140
	150	1534 ab	1619 a	7.6	9.3	0.7	0.92	2322	3420
	225	1531 ab	1545 ab	7.4	4.3	0.5	0.28	1824	840
	300	1548 a	1497 ab	8.6	1.1	0.4	0.05	1902	-960
新疆 Xinjiang	0	1271 c	1526 d						
	18.75	1285 c	1710 c	1.1	12.1	0.7	9.8	300	5430
	37.5	1330 b	1655 c	4.6	8.5	1.6	3.4	1494	3690
	75	1430 a	1808 b	12.5	18.5	2.1	3.8	4170	8100
	112.5	1437 a	1871 ab	13.1	22.6	1.5	3.1	4164	9810
	150	1393 a	1933 a	9.6	26.7	0.8	2.7	2694	11490

注 (Note): 肥料和皮棉价格 Fertilizer and lint cotton price: N 4.5 yuan/kg, P₂O₅ 5.0 yuan/kg, K₂O 4.8 yuan/kg, 皮棉 lint cotton 30 yuan/kg; 同一地点同一列数字后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Values with different letters in the same column in the same location indicates significant difference ($P < 0.05$).

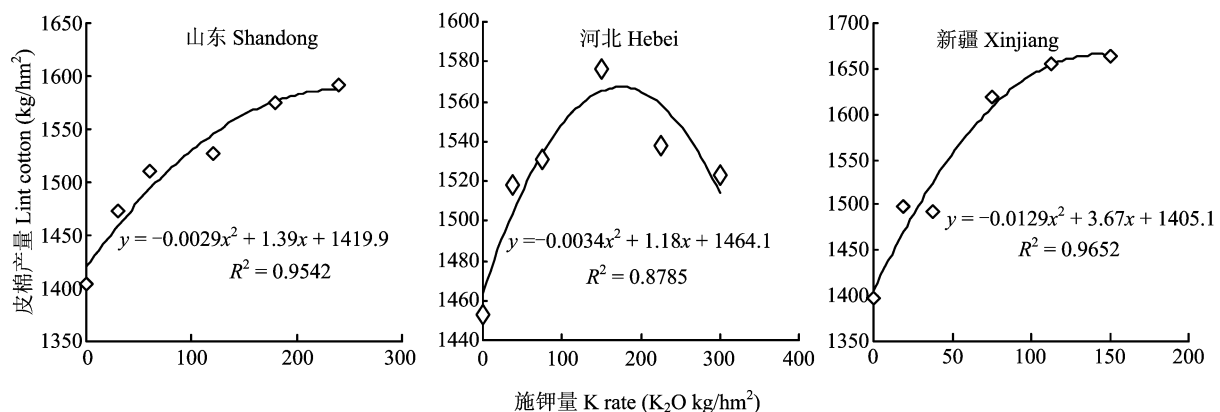


图 3 钾肥用量与皮棉产量的关系

Fig. 3 Relationship between potash rate and cotton lint yield

在一定用量下增加纤维长度、整齐度和比强度,降低马克隆值,但不影响伸长率,而在山东和新疆试验

点,钾肥不影响纤维品质,不同钾肥用量间差异也不显著。

表 3 钾肥用量对棉花纤维品质的影响
Table 3 Effect of potash rate on cotton fibre quality indices

地点 Location	钾用量 K ₂ O rate (kg/hm ²)	长度 Fibre length (mm)		整齐度 (%) Fibre length uniformity		断裂比强度 Fibre strength (cN/tex)		伸长率 Fibre elongation (%)		马克隆值 Macronaire value	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
山东 Shandong	0	28.1 a	28.0 a	84.4 a	81.8 a	26.9 a	27.2 a	6.4 a	6.1 a	3.4 d	4.0 a
	30	29.1 a	28.0 a	83.0 a	82.0 a	28.2 a	27.9 a	6.6 a	6.6 a	3.6 cd	4.1 a
	60	28.2 a	28.4 a	84.1 a	81.6 a	27.6 a	26.8 a	6.2 a	6.7 a	3.9 bc	4.3 a
	120	28.5 a	28.6 a	84.3 a	82.4 a	27.3 a	26.7 a	7.0 a	7.0 a	3.6 cd	4.2 a
	180	29.4 a	28.8 a	82.6 a	82.4 a	27.0 a	26.9 a	7.4 a	6.7 a	4.0 ab	4.2 a
	240	29.8 a	28.5 a	82.6 a	82.3 a	27.4 a	27.5 a	6.8 a	6.4 a	4.3 a	4.1 a
河北 Hebei	0	27.9 a	26.6 b	83.4 a	81.9 b	25.6 a	28.8 b	4.6 a	4.9 a	4.9 a	5.5 a
	37.5	28.3 a	26.6 b	83.4 a	82.3 ab	24.9 a	29.7 ab	4.4 a	5.0 a	4.6 a	5.5 a
	75	28.3 a	26.8 ab	84.0 a	82.8 ab	26.2 a	29.7 ab	4.8 a	4.9 a	5.0 a	5.3 ab
	150	28.9 a	28.1 a	84.6 a	83.0 ab	26.8 a	31.7 a	4.6 a	5.0 a	4.7 a	5.2 b
	225	28.5 a	27.4 ab	83.4 a	83.3 ab	24.9 a	30.6 ab	4.5 a	5.1 a	4.8 a	5.3 ab
	300	28.4 a	27.1 ab	84.3 a	83.8 a	25.7 a	29.6 ab	4.1 a	4.9 a	4.7 a	5.3 ab
新疆 Xinjiang	0	27.3 a	27.2 a	85.8 a	84.8 a	30.2 a	29.5 a	7.4 a	7.7 a	5.0 a	4.8 a
	18.75	28.1 a	27.0 a	86.4 a	83.1 a	32.0 a	28.0 a	6.4 b	8.1 a	4.8 a	5.0 a
	37.5	28.3 a	28.1 a	85.9 a	84.9 a	32.0 a	28.7 a	7.1 ab	8.0 a	4.7 a	4.7 a
	75	27.7 a	26.4 a	86.0 a	84.8 a	31.4 a	28.8 a	6.6 ab	7.4 a	4.8 a	4.9 a
	112.5	27.7 a	28.1 a	85.6 a	85.1 a	30.9 a	30.4 a	7.2 ab	6.7 a	4.9 a	5.0 a
	150	28.1 a	27.5 a	87.1 a	84.3 a	31.0 a	29.6 a	7.0 ab	7.3 a	4.8 a	4.9 a

注 (Note): 同一地点同一列数字后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Values with different letters in the same column in the same location indicates significant difference ($P < 0.05$).

2.1.4 对棉田钾素平衡的影响 通过对不同试验点 2012 ~ 2013 年的钾输入/输出及平衡进行计算表明 (表 4), 在棉秆不还田情况下, 山东试验点钾肥用量 K₂O 180/hm² 可以保持棉田钾素平衡, 小于这一用量则产生亏损。河北试验点钾肥用量为 K₂O 150 kg/hm² 时可以基本维持棉田钾素平衡, 小于这一用量则产生负平衡。新疆试验点现有的钾肥用量下棉田钾素都是负平衡, 用量越小, 土壤钾亏损越多。

2.2 钾肥施用时期对棉花产量和品质及棉田钾平衡的影响

2.2.1 对皮棉产量和效益的影响 与不施钾相比, 不同时期施钾增加皮棉产量, 但不同地点和年份有一定差异 (表 5)。在河北, 2012 年施钾没有增产, 施钾时期间差异也不显著; 2013 年 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥铃期或吐絮期施显著增加皮棉产量,

分别增产 13.6% 和 10.4%, 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥铃期施的产量最高, 显著高于 50% 钾肥开花期和 50% 钾肥吐絮期施, 而与其它钾肥施用时期差异不显著。说明所有钾肥都在开花期后施用不利于产量形成。在山东, 2012 年除钾肥全部基施和全部开花期后施用外, 其他施钾时期增产显著, 但不同施钾时期间差异不显著; 2013 年 100% 钾肥基施和 50% 钾肥基施 + 50% 钾肥开花期施显著增产, 而且 50% 钾肥基施 + 50% 钾肥开花期施的产量显著高于钾肥后期施用。在新疆, 2012 年不同施钾时期增产 8.7% ~ 19.4%, 增产显著, 50% 钾肥基施 + 50% 钾肥开花期施和 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥铃期施的产量显著高于 50% 钾肥吐絮期施; 2013 年施钾虽增加产量, 但不同钾肥施用时期期间的差异不显著。从两年的结果看, 河北和新疆两个试验点上, 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥铃期施的皮棉产量、

表 4 不同钾肥用量下棉田钾素平衡
(2012 ~ 2013) (K_2O kg/hm²)

Table 4 K balance in cotton field in potash
rate experiment

地点	施钾量	输入	输出	平衡
Location	K_2O rate	Input *	Output **	Balance
山东 Shandong	0	15.4	247.4	-232
	30	75.4	271.4	-196.2
	60	135.4	293.6	-158.3
	120	255.4	298.9	-43.6
	180	375.4	321.5	53.9
河北 Hebei	240	495.4	330.8	164.6
	0	14.1	198.8	-184.7
	37.5	89.1	244.3	-155.2
	75	164.1	235.6	-71.5
	150	314.1	280.7	33.4
新疆 Xinjiang	225	464.1	262	202.1
	300	614.1	270.3	343.8
	0	44.2	432.7	-388.5
	18.75	81.7	459.2	-377.5
	37.5	119.2	470.4	-351.3
	75	194.2	514.1	-320
	112.5	269.2	514.3	-245.1
	150	344.2	524.9	-180.7

注 (Note): *—钾输入包括钾肥、降雨、灌溉水 K input includes K from potash, rainfall and irrigation; **—钾输出指棉花地上部吸钾量, 秸秆不还田 K output refers to uptake K by aboveground cotton plants, no straw return.

量、钾肥的农学效率和施钾经济效益高于其他钾肥施用时期。在山东试验点上 50% 钾肥基施 + 50% 钾肥开花期施用获得较高的皮棉产量、钾肥农学效率和施钾经济效益。可见, 钾肥适当后移有利于提高皮棉产量和效益。

2.2.2 对棉花纤维品质的影响 在山东试验点, 除 2013 年施钾肥提高纤维长度, 并以钾肥全部基施处理纤维长度显著高于 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥吐絮期施外, 不同时期施钾肥对纤维品质的影响差异不显著 (表 6)。在河北试验点, 2012 年除 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥吐絮期施的棉花纤维断裂比强度比其他施钾时期高外, 其他品质指标没有受钾肥施用时期的影响; 2013 年虽然与不施钾相比, 不同施钾时期增加棉花纤维长度、整齐度和比强度, 但施肥时期间差异不显著 (表 6)。在新疆试验点,

2012 年 50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥铃期施的纤维比强度比其他施钾时期高, 吐絮期施用 50% 钾肥比其他施钾时期的纤维伸长率高; 2013 年后期施钾增加棉花纤维长度, 对其他品质指标没有显著影响 (表 6)。因此, 钾肥施用时期影响纤维长度、断裂比强度或纤维伸长率, 但不同地点和年份影响指标和显著性不一致。施钾时期对纤维整齐度和马克隆值没有影响。

2.2.3 对棉田钾素平衡的影响 钾肥施用时期对棉田钾素平衡的影响表明 (表 7), 在河北试验点上, 不同时期施用钾肥 K_2O 150 kg/hm² 能满足棉花需求, 并增加土壤钾素。在山东试验点上, 不同时期施用钾肥 K_2O 120 kg/hm² 除 50% 钾肥开花期施 + 50% 钾肥吐絮期施有少量钾素盈余外, 其他时期施钾肥都有少量亏损。在新疆试验点上, 不同时期施用钾肥 K_2O 75 kg/hm² 只占棉花地上部吸钾量的 39% ~ 43%, 远不能满足棉花需求, 需要从土壤中吸收钾素, 因此造成土壤钾素消耗。结果还表明, 由于钾肥后移减少棉花对钾素的吸收, 而减少土壤钾素的亏损。

3 讨论与结论

从钾肥用量和施用时期对皮棉产量、纤维品质、钾肥利用率、棉田钾平衡和施钾经济效益影响进行综合分析, 山东试验点钾肥合理用量为 K_2O 180 ~ 240 kg/hm², 最佳施用时期为 50% 基施 + 50% 花期追施, 最高产量达皮棉 1586 kg/hm²; 河北试验点钾肥的合理施用量 K_2O 为 150 ~ 180 kg/hm², 最佳施用时期为 50% 蕾期 + 50% 铃期追施, 最高产量达皮棉 1566 kg/hm²; 新疆试验点钾肥的合理施用量为 K_2O 112.5 ~ 150 kg/hm², 最佳施用时期为 50% 蕾期 + 50% 铃期追施, 最高产量达皮棉 1666 kg/hm²。这些研究结果与前人研究结果有异同。有研究指出, 在山东利用高产品种 SCRC 28 研究表明, 在低肥力 (土壤有效钾 105 ~ 109 mg/kg) 和高肥力 (土壤有效钾 133 ~ 138 mg/kg) 下施用 K_2O 180 kg/hm² 都显著增产^[5]; 还有研究表明, 在山东土壤速效钾含量 79 mg/kg 时, 施 K_2O 150 kg/hm² 可使鲁棉研 28 获得理想的产量和钾肥效率^[16]。以上两个研究结果比本研究在山东的钾肥经济最佳用量高。在河北吴桥县, 当土壤速效钾含量为 100 mg/kg 时, 施氯化钾 K_2O 90 kg/hm² 做底肥可以使冀棉 668 达到理想的增产效果^[17], 比本研究结果低很多。在新疆昌吉土壤速效钾含量 207

表 5 钾肥施用时期对棉花产量和经济效益的影响

Table 5 Effect of time of potash application on cotton lint yield and economic benefit

地点 Location	钾施用时期 Application time	皮棉产量 Lint yield (kg/hm ²)		增产率 Yield increase (%)		农学效率 Agronomy efficiency (kg/kg, K ₂ O)		施钾纯收入 Income from K (yuan/hm ²)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
河北	CK	1434 a	1367 c						
Hebei	100% Ba	1519 a	1434 abc	5.9	4.9	0.57	0.45	1632	1290
	50% Ba + 50% Fl	1514 a	1445 abc	5.6	5.7	0.53	0.52	1488	1620
	50% Bu + 50% Bl	1537 a	1553 a	7.2	13.6	0.69	1.24	2148	4860
	50% Bu + 50% Bo	1540 a	1509 ab	7.4	10.4	0.71	0.95	2232	3540
	50% Fl + 50% Bo	1503 a	1402 bc	4.8	2.6	0.46	0.23	1170	330
山东	CK	1487 b	1191 c						
Shandong	100% Ba	1609 ab	1284 ab	8.2	7.8	1.01	0.78	2850	2214
	50% Ba + 50% Fl	1668 a	1337 a	12.2	12.3	1.51	1.22	4560	3804
	50% Bu + 50% Bl	1631 a	1232 bc	9.7	3.4	1.20	0.34	3504	654
	50% Bu + 50% Bo	1619 a	1224 bc	8.9	2.8	1.10	0.28	3156	414
	50% Fl + 50% Bo	1570 ab	1206 bc	5.6	1.3	0.69	0.13	1740	-126
新疆	CK	1271 c	1526 b						
Xinjiang	100% Ba	1435 ab	1808 a	12.9	18.5	2.19	3.8	4314	8100
	50% Ba + 50% Fl	1501 a	1766 a	18.1	15.7	3.07	3.2	6216	6840
	50% Bu + 50% Bl	1517 a	1913 a	19.4	25.4	3.28	5.2	6678	11250
	50% Bu + 50% Bo	1416 b	1772 a	11.4	16.1	1.93	3.3	3768	7020
	50% Fl + 50% Bo	1381 b	1789 a	8.7	17.2	1.47	3.5	2760	7530

注 (Note): 河北、山东和新疆试验钾肥用量 K₂O rate in Hebei, Shandong and Xinjiang: 150, 120, 75 kg/hm²; CK—不施钾 no K; Ba—基施 basal; Fl—开花期施 Flowering stage; Bu—蕾期施 Bud stage; Bl—铃期施 Boll stage; Bo—吐絮期施 Boll opening. 肥料和皮棉价格 Price of fertilizer and lint cotton: 4.5 yuan/kg N, 5.0 yuan/kg P₂O₅, 4.8 yuan/kg K₂O, 30 yuan/kg cotton lint; 同一地点同一列数字后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Values with different letters in the same column in the same location indicates significant difference ($P < 0.05$).

mg/kg 时,新陆早 24 号最高产量施钾量为 K₂O 78 kg/hm²,产量达 1478 kg/hm²,并可改善棉纤维综合品质^[18],在新疆呼图壁县土壤有效钾含量为 127 mg/kg 时,施 K₂O 180 kg/hm² 可使新陆早 13 号获得较高皮棉产量^[19],均高于本研究结果。这些差异与棉花品种、土壤钾素状况、气候条件、氮磷肥用量和棉花产量水平等有关,但皮棉产量与种植密度和播种日期没有关系^[20]。

棉花开花期后钾素营养对棉花产量和品质的影响已成为研究人员关注的热点,棉花生长中后期缺钾严重限制棉花产量^[21],铃期后缺钾是限制棉花产量的重要因子^[17, 21-23]。本研究表明,在山东、河北、新疆试验点上,开花期后棉株累积的钾分别占整个生育期钾素累积量的 54%~62%、70%~73%、49%~67%,与其他研究结果一致^[24]。钾肥

适时后移可满足棉花生长后期对钾素的需求,促进棉花同化产物从营养器官向生殖器官的运转与分配^[25]。本研究表明,50%钾肥在开花期或铃期施用有利于棉花产量提高,这一点与其他研究相似^[11, 16, 26],50%钾肥基施和 50%钾肥初花期施比钾肥全部基施可提高鲁棉研 28 籽棉和皮棉产量以及钾肥效率。

许多研究指出,施钾可改善棉花纤维品质^[27-31]。但也有研究指出,钾肥对纤维品质指标没有影响或对不同指标的影响有差异^[1, 32-33]。研究人员在新疆的试验表明,施钾肥比不施钾棉花绒长平均增加 0.4 mm^[6]。中等施钾量(K₂O 180 kg/hm²)可显著改善棉花品质,主要增加棉纤维长度、整齐度、强度和伸长率,但对马克隆值、成熟度指数影响很小^[19]。施钾量和施钾方式对上、中、下各层棉纤维

表 6 钾肥施用时期对棉花纤维品质的影响
Table 6 Effect of application time of potash on cotton fibre quality indices

地点 Location	钾施用时期 K application time	长度 Fibre length (mm)		整齐度(%) Fibre length uniformity		断裂比强度 Fibre strength (cN/tex)		伸长率 Fibre elongation (%)		马克隆值 Macronaire value	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
山东 Shandong	CK	28.9 a	27.7 c	82.3 a	81.5 a	27.5 a	26.8 a	6.4 a	6.5 a	3.46 a	4.1 a
	100% Ba	29.5 a	29.4 a	82.9 a	82.4 a	28.2 a	27.4 a	6.6 a	7.1 a	3.74 a	4.3 a
	50% Ba + 50% Fl	28.8 a	29.2 ab	82.9 a	82.3 a	27.2 a	26.9 a	6.4 a	6.9 a	3.61 a	4.3 a
	50% Bu + 50% Bl	29.3 a	28.5 abc	82.5 a	81.8 a	27.2 a	26.8 a	6.5 a	6.9 a	3.43 a	4.0 a
	50% Bu + 50% Bo	29.4 a	28.3 bc	82.4 a	82.1 a	27.2 a	26.7 a	7.0 a	6.4 a	3.95 a	4.2 a
	50% Fl + 50% Bo	29.2 a	28.4 abc	83.2 a	81.6 a	27.1 a	27.1 a	6.5 a	6.7 a	3.72 a	4.3 a
河北 Hebei	CK	28.4 a	26.2 b	83.4 a	82.2 b	25.4 b	30.6 b	4.43 a	5.37 a	4.81 a	5.68 a
	100% Ba	28.2 a	27.1 ab	83.3 a	83.4 ab	25.0 b	33.1 a	4.70 a	5.53 a	4.72 a	5.83 a
	50% Ba + 50% Fl	28.5 a	27.4 a	83.3 a	84.0 a	26.7 ab	33.2 a	4.63 a	5.60 a	4.60 a	5.74 a
	50% Bu + 50% Bl	28.4 a	26.9 ab	82.8 a	83.6 a	25.8 b	32.5 ab	4.57 a	5.83 a	4.81 a	5.68 a
	50% Bu + 50% Bo	28.9 a	27.6 a	84.5 a	84.0 a	27.9 a	33.0 a	4.73 a	5.73 a	4.64 a	5.80 a
	50% Fl + 50% Bo	28.5 a	27.4 a	83.8 a	83.7 a	25.9 b	33.0 a	4.57 a	5.87 a	4.77 a	5.79 a
新疆 Xinjiang	CK	27.3 a	27.2 bc	85.8 a	84.8 a	30.2 b	29.5 a	7.40 ab	7.7 a	4.95 a	4.82 a
	100% Ba	27.7 a	26.4 c	86.0 a	84.8 a	31.4 ab	28.8 a	6.63 c	7.4 a	4.76 a	4.92 a
	50% Ba + 50% Fl	27.5 a	28.6 ab	85.7 a	85.9 a	30.2 b	30.3 a	7.20 ab	6.5 a	4.90 a	4.89 a
	50% Bu + 50% Bl	29.1 a	27.7 bc	87.0 a	85.2 a	33.4 a	29.8 a	6.87 bc	7.0 a	4.70 a	5.00 a
	50% Bu + 50% Bo	27.9 a	28.2 ab	85.5 a	85.4 a	30.2 b	28.9 a	7.57 a	6.8 a	4.66 a	5.10 a
	50% Fl + 50% Bo	28.0 a	29.9 a	85.5 a	86.6 a	30.6 ab	29.4 a	7.47 a	6.3 a	4.89 a	4.83 a

注(Note): 河北、山东和新疆试验钾肥用量 K_2O rate in Hebei, Shandong and Xinjiang: 150, 120, 75 $kg K_2O/hm^2$; CK—不施钾 No K; Ba—基施 Basal; Fl—开花期施 Flowering stage; Bu—蕾期施 Bud stage; Bl—铃期施 Boll stage; Bo—吐絮期施 Boll opening. 同一地点同一列数字后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Values with different letters in the same column in the same location indicates significant difference ($P < 0.05$).

表 7 不同钾肥施用时期下的棉田钾素平衡 (2012 ~ 2013) ($K_2O kg/hm^2$)

Table 7 K balance in cotton field under different time of K application

钾施用时间 K application time	山东 Shandong			河北 Hebei			新疆 Xinjiang		
	输入	输出	平衡	输入	输出	平衡	输入	输出	平衡
	Input *	Output **	Balance	Input *	Output **	Balance	Input *	Output **	Balance
CK	15.4	208.3	-192.9	14.1	164.9	-150.8	44.2	394.5	-350.3
100% Ba	255.4	273.1	-17.7	314.1	215.1	99	194.2	468.9	-274.7
50% Ba + 50% Fl	255.4	278.1	-22.8	314.1	220.6	93.5	194.2	502.5	-308.3
50% Bu + 50% Bl	255.4	266.6	-11.2	314.1	233.2	80.9	194.2	486.8	-292.6
50% Bu + 50% Bo	255.4	255.7	-0.4	314.1	224.5	89.6	194.2	476	-281.8
50% Fl + 50% Bo	255.4	239.6	15.8	314.1	209.9	104.3	194.2	456.5	-262.3

注(Note): 河北、山东和新疆试验钾肥用量 K_2O rate in Hebei, Shandong and Xinjiang: 150, 120, 75 kg/hm^2 ; CK—不施钾 No K; Ba—基施 Basal; Fl—开花期施 Flowering stage; Bu—蕾期施 Bud stage; Bl—铃期施 Boll stage; Bo—吐絮期施 Boll opening; 钾素输入包括钾肥、降雨、灌溉水 K input includes K from potash, rainfall and irrigation; 钾的输出指棉花地上部吸钾量, 秸秆不还田 K output refers to uptake K by aboveground cotton plants, no straw return.

品质指标的影响不明显^[11]。与不施钾对照相比,一次性基施钾肥对鲁棉研 21、22、28 各部位棉铃的纤维长度、比强度、马克隆值、成熟度及整齐度均无显著影响,分次施钾与一次性基施钾肥对三品种纤维品质各相关指标影响也无显著差异^[26]。本研究表明,与不施钾相比,钾肥在一定用量下可改善某些品质指标,但因地点和年份而异,不同钾肥用量对品质的影响差异不显著。钾肥施用时期影响纤维长度、断裂比强度或纤维伸长率,但不同地点和年份影响的指标和显著性不一致,对纤维整齐度和马克隆值没有影响。造成这种不同结果的原因可能与土壤钾素肥力、棉花钾素营养的基因型差异、栽培措施以及气候因素等有关。研究表明,低浓度钾(6 mmol/L)有利于改善棉花的纤维品质如纤维长度、比强度、马克隆值,但高浓度钾(12 和 24 mmol/L)反而降低棉纤维品质^[34]。种植密度和种植日期对棉花品质指标没有显著影响^[20]。气象因子影响棉花纤维品质,日平均温度越高,>12℃有效积温和降水日数越少,花纤维越长;日均最低温度越高,纤维强度越大,日均最低温度和平均湿度越高、降水日数越多,马克隆值越大^[35]。另外,棉花对钾素吸收和利用效率存在基因型差异^[13],钾肥对棉花产量和纤维品质的影响也存在基因型差异^[4]。因此,关于钾与棉花品质的关系及影响因素还有待进一步研究与明确。

棉田钾的输入/输出及平衡分析表明,在本试验棉花秸秆不还田情况下,河北和山东试验点上一定钾肥用量(K_2O 150 和 180 kg/hm²)下可维持棉田钾素平衡,但在新疆试验点上最高钾肥用量(K_2O 150 kg/hm²)下系统钾素为负平衡,造成土壤钾素亏损。欲使棉田钾素平衡,需通过施用钾肥或秸秆还田补充移走的钾素,否则长期亏损会造成土壤有效钾含量下降,引起缺钾。假设每年亏损 K_2O 50 kg/hm²,按照每公顷 0—40 cm 土层 450 万公斤土估算,则每年亏损 K_2O 9.3 mg/kg。本研究还表明,棉花秸秆对钾素累积量远高于籽棉,在山东、河北、新疆棉花秸秆累积的钾量平均占地上部钾累积量的 74.6%、76.5% 和 77.1%,如果棉花秸秆能够全部还田,则施钾处理的能够维持钾素平衡甚至盈余。因此,在确定钾肥用量时,一定要考虑秸秆还田的数量和比例,在满足作物需求的同时,维持或提高土壤钾素肥力。

参考文献:

- [1] Pettigrew W T, Heitholt J J, Meredith Jr W R. Genotypic interactions with potassium and nitrogen in cotton of varied maturity [J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88: 89–93.
- [2] Pervez H, Ashraf M, Makhdom M I. Influence of potassium rates and sources on seed cotton yield and yield components of some elite cotton cultivars [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2005, 27 (7): 1295–1317.
- [3] 刘荣根, 陆凤鸣, 吴敬明, 等. 土壤钾素与棉花抗逆性及产量关系的调查[J]. *土壤肥料*, 1992, (3): 32–34.
- [4] Liu R G, Lu F M, Wu J M, *et al.* Investigation on relationship between soil potassium and cotton yield and stress resistance [J]. *Soil and Fertilizer*, 1992, 3: 32–34.
- [5] 张海鹏, 马健, 文俊, 等. 施钾对不同转基因棉花品种光合特性及产量和品质的影响 [J]. *棉花学报*, 2012, 24 (6): 548–553.
- [6] Zhang H P, Ma J, Wen J, *et al.* Effects of potassium application on the photosynthetic characteristics, yield, and fiber properties of different transgenic cotton varieties [J]. *Cotton Science*, 2012, 24 (6): 548–553.
- [7] Dong H Z, Kong X Q, Li W J, *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.
- [8] 刘冬梅. 新疆棉田土壤的钾素肥力与棉花的钾素营养研究 [D]. 石河子: 石河子大学硕士学位论文, 2008.
- [9] Liu D M. The characteristics of soil potassium fertility and cotton potassium nutrition status in North Xinjing [D]. Shihezi, Xinjiang: MS Thesis of Shihezi University, 2008.
- [10] 陈昆明, 曹春田, 王俊香, 等. 基施钾肥对转基因抗虫杂交棉的影响效应研究 [J]. *河南农业*, 2008, (9): 30.
- [11] Chen K M, Cao C T, Wang J X, *et al.* Effect of basal application of potash on transgen pest resistance hybrid cotton [J]. *Henan Agriculture*, 2008, (9): 30.
- [12] 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.
- [13] Xia Y, Jiang C C, Chen F, *et al.* Review on potassium nutrient and potassium fertilizer application of cotton [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*. 2010, 29 (5): 658–663.
- [14] 徐维明, 潘琴王, 亚艺, 等. 棉花“3414”肥料效应及推荐施肥量研究 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (2): 723–724, 727.
- [15] Xu W M, Pan Q W, Ya Y, *et al.* Study on the effect of “3414” fertilizer and recommended fertilization amount on cotton [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38 (2): 723–724, 727.
- [16] 张炎, 李宁, 胡伟, 等. 钾肥用量对棉花蕾铃脱落及产量品质的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2012, 49 (11): 2088–2095.
- [17] Zhang Y, Li N, Hu W, *et al.* Bud & boll falling, yield and quality of cotton affected by rates of potassium [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012, 49 (11): 2088–2095.
- [18] 付小勤, 原保忠, 刘燕, 等. 钾肥施用量和施用方式对棉花生长及产量和品质的影响 [J]. *农学学报*, 2013, 3 (2): 6–11.
- [19] Fu X Q, Yuan B Z, Liu Y, *et al.* Effects of rate and way of potassium application on biomass and yield and fiber quality of cotton [J]. *Journal of Agriculture*, 2013, 3 (2): 6–11.
- [20] 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 Science*, 1990, 30 (3): 672–677.
- [21] 展曼曼, 王宁, 田晓莉. 棉花钾营养效率的基因型差异研究进展 [J]. *棉花学报*, 2012, 24 (2): 176–182.
- [22] Zhan M M, W N, Tian X L. Review of genotypic differences and underlying mechanisms in potassium efficiency of cotton

- (*Gossypium hirsutum*) [J]. Cotton Science, 2012, 24 (2): 176-182.
- [14] 王汉霞, 华含白, 李召虎, 等. 供钾水平对棉花产量构成及其与产量相关性的影响[J]. 棉花学报, 2011, 23(6): 581-586.
- Wang H X, Hua H B, Li Z H, *et al.* Effect of potassium fertilizer on yield components and correlations between yield components and yield in cotton (*Gossypium hirsutum*) [J]. Cotton Science, 2011, 23(6): 581-586.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- Lu R K. Analytical methods of soil agro-chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [16] 李宗泰, 陈二影, 张美玲, 等. 施钾方式对棉花叶片抗氧化酶活性、产量及钾肥利用效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(3): 487-494.
- Li Z T, Chen E Y, Zhang M L, *et al.* Effect of potassium application methods on antioxidant enzyme activities, yield and potassium use efficiency of cotton [J]. Acta Agronomica Sinica. 2012, 38(3): 487-494.
- [17] 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.
- Fan X F, Wang H X, Tian X L, *et al.* Effect of potassium on yield of cotton (*Gossypium hirsutum*) and optimal quality of potassium in Huanghuaihai Plain, China [J]. Cotton Science, 2006, 18(3): 175-179.
- [18] 巫兰. 钾素对棉花生长发育及纤维品质影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文, 2010.
- Wu L. Study on the effect of potassium growth development and fiber quality of cotton [D]. Urumqi: MS Thesis of Xinjiang Agricultural University, 2010.
- [19] 王娇, 张成, 殷志峰, 等. 钾肥对北疆陆地棉干物质积累动态、产量和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(6): 86-92.
- Wang J, Zhang C, Yin Z F, *et al.* Effects of potassium fertilizer oil dry matter accumulation dynamic, yield and quality of land cotton in North Xinjiang [J]. Acta Agricuurae Boreali-occidentalis Sinica. 2012, 21(6): 86-92.
- [20] Dong H Z, Li W J, Tang W, *et al.* Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China [J]. Field Crops Research, 2006, 98: 106-115.
- [21] Mullins G L, Burmester C H, Reeves D W. Cotton response to in-row sub-soiling and potassium fertilizer placement in Alabama [J]. Soil & tillage Research, 1997, 40: 145-154.
- [22] Adeli A, Varco J J. Potassium management effects on cotton yield, nutrition and soil potassium level [J]. Journal of plant nutrition, 2002, 25(10): 2229-2242.
- [23] 刘燕, 王进友, 张祥, 等. 钾营养对高品质棉不同部位棉铃发育及内源激素影响的研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(4): 209-212.
- Liu Y, Wang J Y, Zhang X, *et al.* Effects of potassium on boll Development of different positions and influence of endogenous hormone mechanism in high quality cotton [J]. Cotton Science, 2006, 18(4): 209-212.
- [24] 刘全喜, 马连云. 高产棉田的平衡施肥技术[J]. 河北农业科技, 2007, (3): 31.
- Liu Q X, Ma L Y. Balanced fertilization technique for high-yield cotton field [J]. Hebei Agricultural Science and Technology, 2007, (3): 31.
- [25] Makhdum M I, Pervez H, Ashraf M. Dry matter accumulation and partitioning in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as influenced by potassium fertilization [J]. Biology Fertility of Soils, 2007, 43: 295-301.
- [26] 许晓龙. 钾肥运筹对不同基因型棉花品种生长发育及产量品质的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2013.
- Xu X L. Effect of potassium application methods on growth and yield, fiber quality of different cotton varieties [D]. Tai'an, Shandong: MS Thesis of Shandong Agricultural University, 2013.
- [27] 姜存仓, 高祥照, 王运华, 等. 不同钾效率棉花基因型对低钾胁迫的反应[J]. 棉花学报, 2006, 18(2): 109-114.
- Jiang C C, Gao X Z, Wang Y H, *et al.* Response of difference potassium efficiency cotton genotypes to potassium deficiency [J]. Cotton Science, 2006, 18(2): 109-114.
- [28] Waffler U, Meier H. Enzyme activities in developing cotton fibers [J]. Plant Physiology Biochemistry, 1994, 32(5): 697-702.
- [29] Ruan Y L, Chourey P S, Delmer D P, *et al.* The differential expression of sucrose synthases in relation to diverse patterns of carbon partitioning in developing cotton seed [J]. Plant Physiology, 1997, 115: 1375-1385.
- [30] 丁祖芬, 强先超. 抗虫棉“国抗一号”施钾增产效应[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(3): 344-346.
- Ding Z F, Zhang X Q. Effect of potassium fertilizer on Guokang 1[#] anti-pest cotton [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2000, 28(3): 344-346.
- [31] 王德鹏, 杨国正, 童军, 等. 棉花钾营养特性研究进展[J]. 中国棉花, 2011, 38(10): 2-5.
- Wang D P, Yang Z G, Tong J, *et al.* Review on potassium nutrient of cotton [J]. China Cotton, 2011, 38(10): 2-5.
- [32] Minton E B, Ebelhar M W. Potassium and aldicarb-disulfoton effects on Verticillium wilt, yield and quality of cotton [J]. Crop Science, 1991, 31: 1209-1212.
- [33] Gormus O, Yucel C. Different planting date and Potassium fertility effects on cotton yield and fiber properties in the Cukurova region, Turkey [J]. Field Crops Research, 2002, 78: 141-149.
- [34] 巫兰, 陈波浪, 马德英, 等. 钾素对棉花营养吸收分配及纤维品质的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(3): 192-196.
- W L, Chen P L, Ma D Y, *et al.* Effects of potassium on absorption and distribution of nutrition and fiber quality of cotton [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2010, 33(3): 192-196.
- [35] 熊宗伟, 王雪姣, 顾生浩, 等. 中国主产棉区气象因子和纤维品质的相关性研究[J]. 棉花学报, 2014, 26(2): 95-104.
- Xiong Z W, Wang X J, Gu S H, *et al.* Correlation between meteorological factors and cotton fibre quality in major cotton-producing regions of China [J]. Cotton Science, 2014, 26(2): 95-104.