

施钾量和施钾时期对棉花产量及不同部位棉铃纤维品质性状的影响

李宗泰, 陈二影, 宋宪亮, 张美玲, 赵庆龙, 许晓龙, 姬红, 孙学振*

(作物生物学国家重点实验室, 山东农业大学农学院, 山东泰安 271018)

摘要: 在大田试验条件下, 以鲁棉研 28 号为材料, 设置两个施钾量 (K_2O 100 和 150 kg/hm^2), 采用一次性基施, 1/2 基施、1/2 花铃期追施, 研究施钾量和施钾时期对棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 产量及不同部位棉铃纤维品质性状的影响。结果表明, 与不施钾相比, 施钾显著提高了籽棉产量和皮棉产量; 在施钾量为 K_2O 150 kg/hm^2 的条件下, 与一次性基施相比, 分期施钾极显著提高了籽棉产量和皮棉产量; 采用分期施钾时 (1/2 基施、1/2 花铃期追施), 随施钾量增加, 籽棉产量和皮棉产量均显著增加, 单株成铃数的增加是产量提高的主要原因。结果还表明, 与不施钾相比, 施钾显著提高了中部及上部果枝内围果节的马克隆值, 分期施用 K_2O 150 kg/hm^2 显著提高了中部果枝外围果节的纤维长度、比强度以及中部果枝内围果节的纤维成熟度; 在施钾时期相同的条件下, 增加施钾量对纤维长度、比强度无显著影响, 在施钾量相同的条件下, 与一次性基施相比, 分期施钾对纤维比强度无显著影响。

关键词: 棉花; 施钾量; 施钾时期; 产量; 纤维品质

中图分类号: S562.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2012)01-0123-09

Effects of rate and time of potassium application on yield and fiber quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) at different fruit positions

LI Zong-tai, CHEN Er-ying, SONG Xian-liang, ZHANG Mei-ling, ZHAO Qing-long, XU Xiao-long, JI Hong, SUN Xue-zhen*
(Key Laboratory of Crop Biology of China/Agronomy College of Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: Recently, as modern cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties including Bt (*Bacillus thuringiensis*) transgenic cotton are adopted, premature senescence caused by potassium (K) deficiency has become an important problem in cotton production in the Yellow River Valley of China. The objectives of this research were to determine the effects of rate and time of potassium application on cotton yield and fiber quality at different fruit positions. Field studies were conducted in 2009 and 2010 using the cotton cultivar, Lumianyan No. 28. Potassium rates of K_2O 0, 100 and 150 kg/ha was applied as basal dressing and as 1/2 basal dressing and 1/2 top-dressing at the blossoming and boll forming stages. Data collected in the two years indicate that the application of potassium produces significant differences in seed cotton yield and lint yield compared with the untreated control, respectively. When the K application rate is 150 kg/ha , the split application of K produces significant higher seed cotton yield and lint yield compared with the basal application, respectively. When the fertilizer K is 1/2 basal-applied and 1/2 top-dressed at the blossoming and boll forming stages, seed cotton yield and lint yield are significant increased with increases of the K application rate, respectively, and the influence of K on the number of bolls per plant is the key reason for the increase. The results also show that the micronaire values in middle and upper fruit branches and inner nodes under the K application are significant increased compared with the untreated control. Split application of

收稿日期: 2011-08-01 接受日期: 2011-10-27

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2011BAD11B01、2011BAD11B02); 国家转基因重大专项(2009ZX08005-010b-2); 山东省农业重大应用技术创新项目(2010、2011); 山东省农业良种工程重大课题(2009LZ03、2010LZ005-01、2011LZ); 作物生物学国家重点实验室开放课题资助。

作者简介: 李宗泰(1985—), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 主要从事棉花高产优质栽培生理研究。E-mail: lizongtai2005@126.com

* 通讯作者 E-mail: sunxz@sdau.edu.cn

K₂O 150 kg/ha produces significant higher fiber lengths, fiber strength in middle fruit branches and the outer nodes and fiber maturation in middle fruit branches and inner nodes compared with the untreated control, respectively. Moreover, at the same K application time, there were no effects on fiber length and fiber strength with the increase of K application, respectively. At the same K application rate, there was no significant difference in fiber strength between basal application and split application.

Key words: cotton; potassium application rate; potassium application time; yield; fiber quality

我国钾资源贫乏,已探明的工业储量仅占世界的0.47%,目前我国本土钾肥供给远远不能满足需求。近几年我国钾肥的市场价格连续大幅度飙升,每年的价格平均增长30%左右,大大提高了施钾成本。我国农业的氮、磷、钾施用比例为1:0.4:0.2,远远低于发达国家1:0.42:0.42的平均水平,土地缺钾现象严重,缺钾面积已达153.3万hm²,并在逐年增大^[1]。棉花(*Gossypium hirsutum* L.)是需钾量较多的作物^[2-3]。近年来,随着转Bt(*Bacillus thuringiensis*)基因抗虫棉品种的大面积推广,生产上棉花因缺钾引起的早衰越来越严重,并已成为限制我国棉花产量的主要因素之一^[4],棉花早衰一般导致产量损失10%左右^[5],严重早衰的产量损失达20%以上^[6]。加强棉花的钾素营养和钾肥施用方式研究,以实现钾肥的优化管理,提高钾肥利用率,防止棉花早衰,是棉花生产中亟待解决的问题。

增施钾肥能够防止棉花早衰,降低蕾铃脱落率^[7],增加成铃数,提高棉花单铃重、籽棉产量和皮棉产量^[8-12]。有关增施钾肥对棉花纤维品质指标影响的报道并不一致^[13-17]。研究表明,棉花植株钾素积累量在开花期至吐絮期最高^[18],钾素的吸收高峰出现在盛花期到成熟期阶段^[19],说明棉花生育中后期需钾量较多。但在黄河流域棉区,生产中均将钾肥作为基肥一次性施入,与棉花需钾规律不相吻合。与钾肥一次性基施相比,1/2基施、1/2追施有利于提高棉花花后净光合速率,提高产量,改善纤维品质^[20]。目前关于不同施钾量和施钾时期对棉花不同部位棉铃纤维品质影响报道尚少。为此,在前人研究的基础上,在黄河流域棉区开展不同施钾量和施钾时期对棉花产量及不同部位棉铃纤维品质影响的研究,旨在为棉花的高产优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2009~2010年在山东农业大学科技示

范园(东经117°15′,北纬36°17′)进行。供试土壤为沙壤土。2009试验田0—20土层土壤有机质含量11.59 g/kg、碱解氮66.22 mg/kg、速效钾79.03 mg/kg、速效磷33.34 mg/kg,前茬作物为棉花;2010年试验田0—20土层土壤有机质含量11.12 g/kg、碱解氮48.97 mg/kg、速效钾76.02 mg/kg、速效磷35.25 mg/kg,前茬作物为花生。

试验在施纯氮150 kg/hm²、P₂O₅150 kg/hm²的基础上,设置2个钾素(K₂O)供应水平^[21],100和150 kg/hm²;2个施钾时期,一次性基施和1/2基施、1/2花铃期追施。共设5个处理:CK(不施钾肥)、T1(一次性基施K₂O 100 kg/hm²)、T2(基施K₂O 50 kg/hm²,花铃期追施K₂O 50 kg/hm²)、T3(一次性基施K₂O 150 kg/hm²)、T4(基施K₂O 75 kg/hm²,花铃期追施K₂O 75 kg/hm²)。50%的氮肥和全部的磷肥基施,50%的氮肥在花铃期追施。钾肥为硫酸钾(含K₂O 50%),氮肥为尿素(含N 46%),磷肥为过磷酸钙(含P₂O₅14%)。小区面积48 m²,株距0.27 m,行距0.80 m,6行区,重复3次,随机区组排列。2009年和2010年,分别于4月28日和4月26日播种,7月15日追施花铃肥。其他管理同一般大田。供试品种为鲁棉研28号。试验期间月降水量和平均气温见表1,气象数据由泰安气象局提供。

1.2 试验方法

在开始吐絮后,于每个小区中选择中间4行,调查株数及总成铃数,计算单株成铃数。收获时,分果枝、果节收取小区中间4行并记下相应节位铃数,果枝分为1~4、5~8、9以上三个果枝部位,果节分1~2、3以外两个节位,晒干后,经室内轧花考种,计算全株平均单铃重和衣分。纤维品质按果枝、果节部位混合,将每个混合样品分成3份,作为3次重复,用HVI900纤维测定仪测定纤维品质。按小区实收籽棉产量,轧花后计算皮棉产量。

表 1 试验期间月平均气温和降水量

Table 1 Monthly mean temperature and rainfall during the experiment periods

年份 Year	项目 Item	月份 Month							
		4	5	6	7	8	9	10	11
2009	气温 Temperature (°C)	15.4	20.6	26.3	25.9	24.9	20.1	15.6	3.8
	降水 Rainfall (mm)	45.2	42.8	71.3	239.4	131.2	34.9	12.9	21.3
2010	气温 Temperature (°C)	11.7	20.8	24.5	27.6	25.9	20.9	14.0	7.4
	降水 Rainfall (mm)	20.5	42.0	45.7	94.4	226.9	121.7	3.0	0.0

1.3 数据分析

试验数据采用 DPS7.05 统计软件进行统计分析,采用 LSD 方法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 对棉花产量及产量构成因素的影响

从表 2 可以看出,各施钾处理的籽棉产量和皮棉产量均显著或极显著高于不施钾处理,增产幅度达 7%~35%。各施钾处理间比较,两年试验 T4 处

理籽棉产量和皮棉产量极显著或显著高于 T1、T2、T3 处理。2009 年籽棉产量为 T4 > T3 > T2 > T1, T4 处理分别比 T1、T2、T3 处理增产 27%、19% 和 13%,差异极显著;T3 与 T2 处理无显著差异,与 T1 处理差异极显著,T2 与 T1 处理差异显著;皮棉产量与籽棉产量趋势相同,各施钾处理间差异均达显著或极显著水平。2010 年籽棉产量与皮棉产量变化趋势一致,T4 处理极显著或显著高于 T1、T2、T3 处理,T1、T2、T3 处理间无显著差异。

表 2 施钾量和施钾时期对棉花产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effects of K application rate and time on yield and yield components of cotton

年份 Year	处理 Treat.	籽棉产量	皮棉产量	单铃重	单株成铃数	衣分
		Seed cotton yield (kg/hm ²)	Lint cotton yield (kg/hm ²)	Boll weight (g)	Bolls/plant (No.)	Lint percentage (%)
2009	CK	2457.69 ± 16.20 dD	992.85 ± 12.38 eD	3.90 ± 0.05 eD	13.76 ± 0.09 cB	40.40 ± 0.77 bA
	T1	2625.12 ± 1.75 cCD	1090.37 ± 3.69 dC	4.07 ± 0.01 dCD	14.06 ± 0.05 bcB	41.54 ± 0.11 abA
	T2	2802.87 ± 21.19 bBC	1164.41 ± 5.90 cBC	4.25 ± 0.01 cBC	14.39 ± 0.09 bB	41.54 ± 0.10 abA
	T3	2929.12 ± 22.76 bB	1225.32 ± 0.32 bB	4.38 ± 0.04 bB	14.61 ± 0.01 bB	41.83 ± 0.31 aA
	T4	3321.76 ± 90.66 aA	1398.17 ± 34.59 aA	4.67 ± 0.03 aA	15.52 ± 0.32 aA	42.09 ± 0.11 aA
2010	CK	2721.09 ± 80.76 cC	1132.23 ± 30.99 cC	4.43 ± 0.08 aA	13.38 ± 0.18 dC	41.62 ± 0.28 aA
	T1	3053.52 ± 83.70 bB	1250.03 ± 27.37 bB	4.66 ± 0.16 aA	14.29 ± 0.12 cB	41.02 ± 0.26 aA
	T2	3150.82 ± 82.43 bAB	1303.44 ± 34.14 bAB	4.61 ± 0.07 aA	14.89 ± 0.16 bB	41.37 ± 0.21 aA
	T3	3105.81 ± 34.87 bB	1268.33 ± 20.90 bB	4.52 ± 0.03 aA	14.99 ± 0.15 bB	40.83 ± 0.31 aA
	T4	3437.47 ± 43.29 aA	1410.57 ± 13.55 aA	4.71 ± 0.07 aA	15.93 ± 0.14 aA	41.04 ± 0.14 aA

注(Note): 数值后不同小、大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著 Values followed by different small and capital letters are significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

由表 2 还可看出,单铃重在 2009 年各施钾处理显著或极显著高于不施钾处理,施钾处理间表现为 T4 > T3 > T2 > T1,差异达显著或极显著水平;2010 年各处理间无显著差异。单株成铃数,2009 年以 T4 处理最高,与其他施钾处理和对照差异达极显著水平,

T1 处理与 CK 无显著差异,T2、T3 处理与 CK 差异达显著水平,T1、T2、T3 处理间未达显著差异水平;2010 年各施钾处理均极显著多于对照,T4 处理极显著多于其他施钾处理,T2、T3 处理显著多于 T1,T2 与 T3 处理无显著差异。衣分,2009 年 T4、T3 处理显著高

于CK,T1、T2处理与CK无显著差异,各施钾处理间未达显著差异水平;2010年各处理间未达显著差异水平。产量构成因素年间存在差异的原因可能是两年前茬作物不一致所引起的。

2.2 对不同部位棉铃纤维品质性状的影响

2.2.1 纤维长度 由表3可以看出,2009年结果显示,5~8果枝1~2果节除T4处理显著长于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;5~8果枝3以外果节各施钾处理均显著长于CK,各施钾处理间无显著差异;其他部位各处理间

均无显著差异。2010年结果显示,1~4果枝1~2果节除T1、T3处理显著长于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;1~4果枝3以外果节各施钾处理与对照差异未达显著水平,T2、T4处理显著长于T1处理,T1、T3处理间及T2、T3、T4处理间均无显著差异;5~8果枝3以外果节、9以上果枝1~2果节除T4处理显著长于CK外,两部位其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;其他部位各处理间均无显著差异。

表3 施钾量与施钾时期对不同部位棉铃纤维长度的影响

Table 3 Effects of K application rate and time on fiber length at different fruit positions (mm)

年份 Year	果枝 Fruit branch	果节 Fruit node	处理 Treatment				
			CK	T1	T2	T3	T4
2009	1~4	1~2	29.04 ± 0.29 aA	29.41 ± 0.39 aA	29.31 ± 0.21 aA	29.46 ± 0.10 aA	29.39 ± 0.18 aA
		>3	28.55 ± 0.29 aA	28.98 ± 0.14 aA	28.89 ± 0.21 aA	28.77 ± 0.03 aA	28.69 ± 0.24 aA
	5~8	1~2	28.43 ± 0.20 bA	28.79 ± 0.19 abA	28.79 ± 0.17 abA	28.79 ± 0.17 abA	29.06 ± 0.21 aA
		>3	27.34 ± 0.24 bB	27.82 ± 0.22 aA	27.84 ± 0.26 aA	27.96 ± 0.26 aA	27.96 ± 0.21 aA
	>9	1~2	28.05 ± 0.24 aA	28.19 ± 0.09 aA	28.28 ± 0.22 aA	28.33 ± 0.01 aA	28.50 ± 0.07 aA
		>3	27.24 ± 0.26 aA	27.78 ± 0.19 aA	27.88 ± 0.54 aA	27.80 ± 0.16 aA	27.95 ± 0.27 aA
2010	1~4	1~2	28.62 ± 0.12 bB	29.66 ± 0.19 aA	29.18 ± 0.24 abAB	29.29 ± 0.35 aAB	29.16 ± 0.19 abAB
		>3	28.58 ± 0.03 abA	28.20 ± 0.10 bA	28.85 ± 0.20 aA	28.78 ± 0.28 abA	28.90 ± 0.11 aA
	5~8	1~2	28.21 ± 0.17 aA	28.37 ± 0.22 aA	28.86 ± 0.22 aA	28.65 ± 0.29 aA	28.99 ± 0.53 aA
		>3	29.26 ± 0.14 bA	29.53 ± 0.03 abA	29.56 ± 0.11 abA	29.45 ± 0.19 abA	29.75 ± 0.10 aA
	>9	1~2	29.29 ± 0.05 bA	29.50 ± 0.07 abA	29.67 ± 0.17 abA	29.56 ± 0.13 abA	29.76 ± 0.26 aA
		>3	29.93 ± 0.22 aA	30.09 ± 0.43 aA	30.18 ± 0.09 aA	30.38 ± 0.30 aA	30.54 ± 0.42 aA

注(Note): 数值后不同小、大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著 Values followed by different small and capital letters are significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

2.2.2 纤维比强度 由表4可以看出,2009年结果显示,5~8果枝所有果节、9以上果枝1~2果节除T4处理显著大于CK外,三部位其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;其他部位各处理间均未达显著差异水平。2010年结果显示,1~4果枝3以外果节、5~8果枝3以外果节除T4处理显著大于CK外,两部位其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;9以上果枝1~2果节各施钾处理与对照差异达极显著水平,各施钾处理间无显著差异;其他部位各处理间均无显著差异。

2.2.3 纤维马克隆值 由表5可以看出,2009年结果显示,1~4果枝1~2果节除T4处理显著高

于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;1~4果枝3以外果节除T2、T4处理显著高于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;5~8果枝1~2果节各施钾处理显著或极显著高于CK,T4处理显著高于T1,T1、T2、T3处理间及T2、T3、T4处理间均未达显著差异水平;5~8果枝3以外果节除T4处理显著高于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;9以上果枝1~2果节各施钾处理显著或极显著高于CK,T4处理极显著高于T1、T2、T3处理,T3处理显著高于T2处理,极显著高于T1处理,T1与T2处理间无显著差异;9以上果枝3以外果节各处理间无

表 4 施钾量和施钾时期对不同部位棉铃纤维比强度的影响 (cN/tex)
Table 4 Effects of K application rate and time on fiber strength at different fruit positions

年份 Year	果枝 Fruit branch	果节 Fruit node	处理 Treatment				
			CK	T1	T2	T3	T4
2009	1~4	1~2	29.21 ± 0.41aA	29.28 ± 0.12aA	29.63 ± 0.52aA	30.27 ± 0.59aA	30.32 ± 0.86aA
		>3	28.42 ± 0.68aA	28.93 ± 1.04aA	30.63 ± 0.75aA	29.47 ± 0.73aA	31.07 ± 1.07aA
	5~8	1~2	28.84 ± 0.40bA	30.35 ± 0.64abA	30.40 ± 0.20abA	30.65 ± 0.93abA	31.08 ± 0.51aA
		>3	27.35 ± 0.26bA	28.88 ± 0.12abA	28.99 ± 1.16abA	28.91 ± 0.26abA	29.58 ± 0.36aA
	>9	1~2	28.39 ± 0.06bA	29.08 ± 0.15abA	29.52 ± 0.09abA	29.43 ± 0.79abA	29.74 ± 0.25aA
		>3	25.55 ± 0.55aA	26.18 ± 0.65aA	27.93 ± 0.32aA	27.87 ± 1.37aA	28.35 ± 1.18aA
2010	1~4	1~2	31.57 ± 1.03aA	34.20 ± 0.69aA	33.20 ± 0.64aA	34.22 ± 0.94aA	34.68 ± 1.26aA
		>3	30.15 ± 0.20bA	30.97 ± 1.25abA	31.47 ± 0.44abA	31.53 ± 0.27abA	32.63 ± 0.09aA
	5~8	1~2	33.00 ± 0.52aA	33.07 ± 2.05aA	34.77 ± 1.07aA	34.48 ± 0.22aA	35.03 ± 0.94aA
		>3	32.93 ± 0.39bA	33.04 ± 0.82abA	33.48 ± 0.44abA	33.16 ± 0.40abA	34.72 ± 0.64aA
	>9	1~2	32.44 ± 0.45bB	34.09 ± 0.40aA	34.42 ± 0.64aA	34.32 ± 0.23aA	34.59 ± 0.75aA
		>3	32.41 ± 0.29aA	34.13 ± 0.54aA	34.78 ± 1.46aA	34.65 ± 1.26aA	35.03 ± 1.82aA

注 (Note): 数值后不同小、大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著 Values followed by different small and capital letters are significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

表 5 施钾量和施钾时期对不同部位棉铃纤维马克隆值的影响
Table 5 Effects of K application rate and time on fiber micronaire at different fruit positions

年份 Year	果枝 Fruit branch	果节 Fruit node	处理 Treatment				
			CK	T1	T2	T3	T4
2009	1~4	1~2	3.28 ± 0.13 bA	3.46 ± 0.06 abA	3.55 ± 0.19 abA	3.53 ± 0.15 abA	3.68 ± 0.03 aA
		>3	2.23 ± 0.07 bA	2.55 ± 0.06 abA	2.67 ± 0.22 aA	2.54 ± 0.07 abA	2.67 ± 0.07 aA
	5~8	1~2	3.25 ± 0.05 cB	3.48 ± 0.05 bAB	3.60 ± 0.02 abA	3.63 ± 0.02 abA	3.71 ± 0.11 aA
		>3	2.69 ± 0.32 bA	3.23 ± 0.47 abA	2.88 ± 0.07 abA	3.30 ± 0.20 abA	3.33 ± 0.34 aA
	>9	1~2	3.23 ± 0.13 dD	3.45 ± 0.13 cCD	3.54 ± 0.06 cBC	3.83 ± 0.10 bB	4.21 ± 0.10 aA
		>3	3.25 ± 0.03 aA	3.30 ± 0.06 aA	3.45 ± 0.03 aA	3.07 ± 0.30 aA	3.33 ± 0.09 aA
2010	1~4	1~2	4.60 ± 0.12 aA	4.65 ± 0.03 aA	4.80 ± 0.35 aA	4.70 ± 0.17 aA	4.85 ± 0.05 aA
		>3	4.27 ± 0.07 cC	4.60 ± 0.10 bB	4.93 ± 0.04 aA	4.93 ± 0.04 aA	4.99 ± 0.01 aA
	5~8	1~2	4.53 ± 0.17 cB	4.85 ± 0.03 bAB	5.15 ± 0.08 abA	5.15 ± 0.03 abA	5.22 ± 0.07 aA
		>3	4.73 ± 0.09 aA	5.05 ± 0.03 aA	4.93 ± 0.21 aA	4.91 ± 0.09 aA	5.07 ± 0.11 aA
	>9	1~2	4.78 ± 0.08 cB	4.97 ± 0.04 bAB	5.12 ± 0.03 abA	5.04 ± 0.07 abAB	5.20 ± 0.03 aA
		>3	4.54 ± 0.03 aA	4.83 ± 0.09 aA	4.85 ± 0.23 aA	4.80 ± 0.10 aA	4.88 ± 0.07 aA

注 (Note): 数值后不同小、大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著 Values followed by different small and capital letters are significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

显著差异。2010年结果显示,1~4果枝3以外果节各施钾处理显著或极显著高于CK,T2、T3、T4处理极显著高于T1处理,T2、T3、T4处理间未达显著差异水平;5~8果枝1~2果节各施钾处理显著或极显著高于CK,T4处理显著高于T1,T1、T2、T3处理间及T2、T3、T4处理间均未达显著差异水平;9以上果枝1~2果节各施钾处理显著或极显著高于CK,T4处理显著高于T1,T1、T2、T3处理间及T2、T3、T4处理间均未达显著差异水平;其他部位各处理间均无显著差异。此外,各部位所有处理2010年纤维马克隆值均高于2009年,其原因可能是2010年8、9月份的降水量显著大于2009年所致。

2.2.4 纤维整齐度 由表6可以看出,2009年结果显示,1~4果枝1~2果节各施钾处理显著大于CK,各施钾处理间无显著差异;5~8果枝3以外果

节除T2处理与CK差异未达显著水平外,其他施钾处理与CK差异达极显著水平,各施钾处理间无显著差异;9以上果枝3以外果节除T2极显著大于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;其他部位各处理间均无显著差异。2010年结果显示,5~8果枝1~2果节除T4处理显著大于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;5~8果枝3以外果节各施钾处理与对照差异未达显著水平,T4处理显著大于T1处理,T1、T2、T3处理间及T2、T3、T4处理间均无显著差异;9以上果枝1~2果节各施钾处理显著或极显著大于CK,T1处理显著大于T2、T4处理,与T3处理无显著差异,T2与T3、T4处理无显著差异,T3处理显著大于T4处理;其他部位各处理间均无显著差异。

表6 施钾量和施钾时期对不同部位棉铃纤维整齐度的影响(%)

Table 6 Effects of K application rate and time on fiber uniformity at different fruit positions

年份 Year	果枝 Fruiting branch	果节 Fruit node	处理 Treatment				
			CK	T1	T2	T3	T4
2009	1~4	1~2	82.21 ± 0.01bA	83.47 ± 0.13aA	83.48 ± 0.85aA	83.44 ± 0.34aA	83.55 ± 0.46aA
		>3	83.47 ± 0.22aA	82.21 ± 0.47aA	82.82 ± 0.32aA	82.51 ± 0.47aA	83.21 ± 0.56aA
	5~8	1~2	83.34 ± 0.29aA	83.68 ± 0.32aA	83.63 ± 0.42aA	83.51 ± 0.36aA	83.72 ± 0.25aA
		>3	81.40 ± 0.31bB	82.82 ± 0.04aA	82.18 ± 0.17abAB	83.03 ± 0.51aA	82.89 ± 0.40aA
	>9	1~2	82.94 ± 0.39aA	83.09 ± 0.33aA	83.69 ± 0.16aA	83.36 ± 0.39aA	83.76 ± 0.40aA
		>3	80.90 ± 0.64bB	81.97 ± 0.44abAB	83.63 ± 0.54aA	82.13 ± 0.57abAB	82.47 ± 0.63abAB
2010	1~4	1~2	85.30 ± 0.12aA	85.40 ± 0.00aA	85.40 ± 0.30aA	85.45 ± 0.08aA	85.77 ± 0.58aA
		>3	84.25 ± 0.14aA	84.30 ± 0.12aA	85.23 ± 0.13aA	84.95 ± 0.81aA	85.35 ± 0.14aA
	5~8	1~2	85.38 ± 0.08bA	85.60 ± 0.61abA	85.72 ± 0.22abA	86.07 ± 0.19abA	86.20 ± 0.00aA
		>3	85.37 ± 0.16abA	85.11 ± 0.29bA	85.54 ± 0.33abA	85.28 ± 0.33abA	85.95 ± 0.09aA
	>9	1~2	84.13 ± 0.40dB	85.71 ± 0.12aA	85.04 ± 0.21bcA	85.54 ± 0.19abA	84.91 ± 0.31cAB
		>3	85.08 ± 0.49aA	85.77 ± 0.55aA	85.80 ± 0.06aA	85.80 ± 0.42aA	86.31 ± 0.09aA

注(Note): 数值后不同小、大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著 Values followed by different small and capital letters are significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

2.2.5 纤维成熟度 由表7可以看出,2009年结果显示,1~4果枝1~2果节除T4处理显著高于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;1~4果枝3以外果节和5~8果枝1~2果节除T3、T4处理显著高于CK外,其他施钾处理与CK及各施钾处理间均无显著差异;9以上果枝1~2果节除T4、T3处理显著或极显著高于CK外,

其他施钾处理与CK无显著差异,T4处理极显著高于T1、T2、T3处理,T1、T2、T3处理间无显著差异;其他部位各处理间均无显著差异。2010年结果显示,1~4果枝3以外果节各施钾处理与对照差异均未达显著水平,T2处理显著高于T1处理,T1、T3、T4处理间及T2、T3、T4处理间均无显著差异;5~8果枝1~2果节除T4处理显著高于CK外,其他施

表 7 施钾量和施钾时期对不同部位棉铃纤维成熟度的影响
Table 7 Effects of K application rate and time on fiber maturity at different fruit positions

年份 Year	果枝 Fruiting branch	果节 Fruit node	处理 Treatment					
			CK	T1	T2	T3	T4	
2009	1~4	1~2	0.85 ± 0.006 bA	0.87 ± 0.003 abA	0.85 ± 0.009 abA	0.86 ± 0.003 abA	0.87 ± 0.012 aA	
		>3	0.81 ± 0.015 bA	0.82 ± 0.007 abA	0.83 ± 0.004 abA	0.83 ± 0.003 aA	0.83 ± 0.003 aA	
	5~8	1~2	0.85 ± 0.004 bA	0.86 ± 0.003 abA	0.86 ± 0.012 abA	0.87 ± 0.003 aA	0.88 ± 0.003 aA	
		>3	0.84 ± 0.012 aA	0.86 ± 0.006 aA	0.85 ± 0.006 aA	0.86 ± 0.013 aA	0.86 ± 0.015 aA	
	>9	1~2	0.84 ± 0.010 cB	0.85 ± 0.007 bcB	0.86 ± 0.003 bcB	0.86 ± 0.009 bB	0.90 ± 0.009 aA	
		>3	0.83 ± 0.012 aA	0.85 ± 0.015 aA	0.86 ± 0.003 aA	0.85 ± 0.003 aA	0.86 ± 0.012 aA	
	2010	1~4	1~2	0.92 ± 0.010 aA	0.93 ± 0.006 aA	0.94 ± 0.015 aA	0.92 ± 0.012 aA	0.93 ± 0.006 aA
			>3	0.92 ± 0.007 abA	0.91 ± 0.012 bA	0.94 ± 0.003 aA	0.94 ± 0.012 abA	0.92 ± 0.015 abA
5~8		1~2	0.92 ± 0.006 bA	0.92 ± 0.003 bA	0.94 ± 0.003 abA	0.93 ± 0.017 abA	0.96 ± 0.015 aA	
		>3	0.93 ± 0.003 aA	0.94 ± 0.003 aA	0.93 ± 0.012 aA	0.94 ± 0.004 aA	0.94 ± 0.006 aA	
>9		1~2	0.93 ± 0.003 bA	0.94 ± 0.004 abA	0.95 ± 0.003 aA	0.94 ± 0.006 abA	0.94 ± 0.006 abA	
		>3	0.89 ± 0.003 bB	0.93 ± 0.003 aA	0.93 ± 0.015 aA	0.92 ± 0.007 aAB	0.93 ± 0.003 aA	

注 (Note): 数值后不同小、大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著 Values followed by different small and capital letters are significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

钾处理与 CK 未达显著差异水平, T4 处理显著高于 T1 处理, T1、T2、T3 处理间及 T2、T3、T4 处理间均无显著差异; 9 以上果枝 1~2 果节除 T2 处理显著高于 CK 外, 其他施钾处理与 CK 及各施钾处理间均无显著差异; 9 以上果枝 3 以外果节各施钾处理显著或极显著高于对照, 各施钾处理间未达显著差异水平; 其他部位各处理间均无显著差异。

3 讨论

在黄淮海棉区, 当施 K_2O 小于 120 kg/hm^2 作基肥一次性施用棉花产量最高; 施 K_2O 大于 180 kg/hm^2 时, 采用基肥: 蕾肥为 1:1 增产效果最好, 花期以后施用效果较差^[22]。不同省份研究表明, 在安徽, 施氯化钾 375 kg/hm^2 , 以基施: 追施为 6:4 的单铃成铃数最多, 棉花产量最高^[23]; 在河北, 施 K_2O 75 kg/hm^2 , 以钾肥全部底施的增产效果最好^[21]; 在河南, 施氯化钾 225 kg/hm^2 , 以基施: 追施为 1:1 的单铃成铃数和棉花产量最高^[20]。本研究结果表明, 与不施钾处理相比, 施钾显著提高了籽棉产量和皮棉产量, 增产幅度可达 7%~35%; 在施钾量为 K_2O 100 kg/hm^2 的条件下, 不同施钾时期的产量在年际间存在差异, 2009 年籽棉产量

和皮棉产量分期施钾均显著高于一次性施钾, 2010 年均未达显著差异水平; 在施钾量为 K_2O 150 kg/hm^2 的条件下, 分期施钾籽棉产量和皮棉产量极显著高于一次性施钾。采用分期施钾时 (1/2 基施、1/2 花铃期追施), 随施钾量增加, 籽棉产量和皮棉产量均显著增加, 单株成铃数的增加是产量提高的主要原因。产量及产量构成因素在年际间存在差异, 其原因可能是两年试验前茬作物不同造成土壤理化性质差异、棉花生长期降水量分布不同 (2009 年降水集中在 7、8 月份, 2010 年降水集中在 8、9 月份) 所致。施钾增产的原因在于, 施钾协调了氮、磷、钾的供需比例, 提高了光合能力, 降低了蕾铃脱落, 增加了单株成铃数^[11, 23-24]; 分期施钾进一步提高产量的原因在于, 分期施钾可提高后期叶片叶绿素含量、促进气孔开放、改善叶肉细胞 CO_2 的供应能力, 使得棉花后期叶片光合速率保持较高水平^[10]。本试验研究了两个施钾水平 (K_2O 100 和 150 kg/hm^2) 的增产效应, 关于更低或更高施钾水平下的增产效应还需进一步研究。综合分析表明, 将目前黄河流域棉区生产中的一次基施钾肥改为基施与追施相结合, 使土壤中速效钾供应与棉花的钾素需求同步, 以满足抗虫棉中后期对钾素的需要, 防止棉花早

衰,提高棉花产量,提高钾肥的生产效率。

棉纤维品质主要受遗传、环境两因素的制约,环境因素对品质的贡献为1/3,品种为2/3。有关施钾对棉花纤维品质性状影响的研究结论不尽一致。Minton和Ebelhar^[13]报道,一次性基施K₂O 112 kg/hm²对纤维长度和马克隆值无影响,对纤维强度影响显著;Pettigrew等^[14-15]研究指出,一次性基施K₂O 112 kg/hm²能提高纤维整齐度、马克隆值和伸长率,对纤维长度和强度无影响;Gormus和Yucel^[16]研究表明,分期施用K₂O 150 kg/hm²使纤维长度和强度增加,纤维整齐度和马克隆值降低;郭英等^[17]研究认为,在基施条件下,施钾提高了上、下部棉铃的纤维长度、马克隆值、比强度,基施K₂O 300 kg/hm²,可显著增加上、下部位棉铃纤维的最终成熟度。本研究结果表明,与不施钾相比,施钾显著提高了中部及上部果枝内围果节的马克隆值,分期施用K₂O 150 kg/hm²显著提高了中部果枝外围果节的纤维长度、比强度以及中部果枝内围果节的纤维成熟度;在施钾时期相同的条件下,增加施钾量对纤维长度、比强度无显著影响;在施钾量相同的条件下,与一次性基施相比,分期施钾对纤维比强度无显著影响。施钾对纤维品质有一定的改善作用,其原因可能是施钾有助于纤维的伸长,增加纤维的长度^[25-26],增加棉纤维次生壁厚度^[27],提高纤维强度有关。此外,纤维的长度、马克隆值、纤维强度以及整齐度与纤维中钾的浓度呈直线回归关系,而与叶片中、土壤中钾的浓度呈二次抛物线关系^[28]。本研究中各处理在2009年的马克隆值均低于2010年,这可能与两年降水分布不同造成棉铃发育期间光、温不同有关。基于钾素对纤维品质影响的研究,在现有棉花品种自身特性的基础上,建立合理的钾肥管理措施,可改善棉铃纤维品质。

本试验是在0—20 cm土层土壤速效钾含量为76.02 mg/kg和79.03 mg/kg的条件下,以鲁棉研28品种为材料进行的研究,我国黄河流域棉区不同地区间的土壤理化性质及速效钾含量存在差异,且不同基因型品种对施钾的反映也不一致。因此,施钾量和施钾时期对不同土壤肥力条件下不同基因型棉花品种产量和品质的影响,有待进一步研究。

参考文献:

[1] 武际,叶舒娅,王文军,朱宏斌.施用硫酸钾镁肥对玉米的

产量效应[J].安徽农业科学,2006,34(18):4706-4707.

- Wu J, Ye S Y, Wang W J, Zhu H B. Effect of application of sulphate-potassium magnesium on maize yield [J]. *J. Anhui Agric. Sci.*, 2006, 34(18): 4706-4707.
- [2] 陈伦寿.棉花吸收主要矿质营养动态的研究[J].作物学报,1963,2(1):55-68.
- Cheng L S. Absorption dynamics of main mineral elements of cotton [J]. *Acta Agron. Sin.*, 1963, 2(1): 55-68.
- [3] 贾仁清,叶德柱,石吟梅.高产棉花的干物质积累和氮磷钾养分的吸收分配规律探讨[J].中国棉花,1981,(5):27-30.
- Jia R Q, Ye D Z, Shi Y M. The discussion on dry matter accumulation and distribution rule of N, P and K nutrient assimilated for high yield cotton [J]. *China Cott.*, 1981, (5): 27-30.
- [4] 董合忠,李维江,唐薇,张冬梅.棉花生理性早衰研究进展[J].棉花学报,2005,17(1):56-60.
- Dong H Z, Li W J, Tang W, Zhang D M. Research progress in physiological premature senescence in cotton [J]. *Cott. Sci.*, 2005, 17(1): 56-60.
- [5] 刘连涛,李存东,孙红春,等.氮素营养水平对棉花不同部位叶片衰老的生理效应[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):910-914.
- Liu L T, Li C D, Sun H C *et al.* Physiological effects of nitrogen nutrition on the senescence of cotton leaves at different positions [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(5): 910-914.
- [6] Cassman K G, Kerby T A, Roberts B A *et al.* Differential response of two cotton cultivars to fertilizer and soil potassium [J]. *Agron. J.*, 1989, 81(6): 870-876.
- [7] 邱任谋.钾肥对棉花的作用及施用技术[J].河南农业科学,1986,(6):8-10.
- Qiu R M. The role of potassium on cotton and the application technique [J]. *J. Henan Agric. Sci.*, 1986, (6): 8-10.
- [8] 房英.钾肥对棉花产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):196-197.
- Fang Y. Effect of potassium fertilization on yield and quality of cotton [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1998, 4(2): 196-197.
- [9] 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):109-144.
- Jiang C C, Gao X Z, Wang Y H *et al.* Response of difference potassium efficiency cotton genotypes to potassium deficiency [J]. *Cott. Sci.*, 2006, 18(2): 109-144.
- [10] 李伶俐,马宗斌,张东林,等.盛铃期补施钾肥对不同群体棉花光合特性和产量品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):662-666.
- Li L L, Ma Z B, Zhang D L *et al.* Effects of applying potassium fertilizer at peak bolling stage on cotton photosynthetic characteristics and its yield and quality under different population [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2006, 12(5): 662-666.
- [11] 马宗斌,李伶俐,朱伟,等.施钾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.
- Ma Z B, Li L L, Zhu W *et al.* Effects of potassium application

- on the photosynthetic characteristics, yield and fiber properties of different genotypic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(6): 1129-1134.
- [12] 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.* Effects of potassium on yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and optimal quantity of potassium in Huanghuaihai Plain, China [J]. *Cott. Sci.*, 2006, 18(3): 175-179.
- [13] Minton E B, Ebelhar M W. Potassium and aldicarb-disulfoton effects on verticillium wilt, yield, and quality of cotton [J]. *Crop Sci.*, 1991, 31(1): 209-212.
- [14] Pettigrew W T, Heitholt J J, Meredith W R. Genotypic interactions with potassium and nitrogen in cotton of varied maturity [J]. *Agron. J.*, 1996, 88(1): 89-93.
- [15] Pettigrew W T, Meredith Jr W R, Young L D. Potassium fertilization effects on cotton lint yield, yield components, and reniform nematode populations [J]. *Agron. J.*, 2005, 97(4): 1245-1251.
- [16] 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 Res.*, 2002, 78(2-3): 141-149.
- [17] 郭英, 宋宪亮, 孙学振. 钾素营养对不同部位棉铃纤维品质性状的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 1407-1412. Guo Y, Song X L, Sun X Z. Effects of potassium nutrition on the fiber quality among different located sites cotton bolls [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2009, 15(6): 1407-1412.
- [18] 李俊义, 刘荣荣, 王润珍, 等. 棉花需肥规律研究[J]. *中国棉花*, 1990, (4): 23-24. Li J Y, Liu R R, Wang R Z *et al.* Study on the rule of nutrients requirement of cotton [J]. *China Cott.*, 1990, (4): 23-24.
- [19] 孙克刚, 姚健, 焦有, 等. 棉花的需肥规律与施钾研究[J]. *土壤肥料*, 1999, (3): 12-14. Sun K G, Yao J, Jiao Y *et al.* Study on the rule of nutrients requirement of cotton and potash application [J]. *Soils Fert.*, 1999, (3): 12-14.
- [20] 马宗斌, 贾文华, 房卫平, 谢德意. 施钾方式对抗虫杂交棉光合特性和产量品质的影响[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(3): 577-582. Ma Z B, Jia W H, Fan W P, Xie D Y. Photosynthesis characteristic, yield and fiber quality of insect-resistant hybrid cotton with different potassium application types [J]. *Acta Bot. Bor-Occid. Sin.*, 2007, 27(3): 577-582.
- [21] 梁金香, 王玉朵, 韩梅, 张立臣. 棉花施钾的增产效果及其技术研究[J]. *土壤肥料*, 2003, (3): 17-19. Liang J X, Wang Y D, Han M, Zhang L C. Study on the effect and technique for potassium application in the cotton [J]. *Soils Fert.*, 2003, (3): 17-19.
- [22] 宋美珍, 杨惠元, 蒋国柱. 黄淮海棉区钾肥效应研究[J]. *棉花学报*, 1993, 5(1): 73-78. Song M Z, Yang H Y, Jiang G Z. Studies on the effect of potassium fertilizer in the Huang huai hai cotton growing district of China [J]. *Cott. Sci.*, 1993, 5(1): 73-78.
- [23] 周桃华, 张海鹏, 刘玲. 转 Bt 基因抗虫棉施钾效应研究初报[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(8): 292-296. Zhou T H, Zhang H P, Liu L. Studies on effect of potassium fertilize applied on yield of Bt cotton [J]. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 2006, 22(8): 292-296.
- [24] 杨粉翠, 吴霞, 张林水, 等. 棉花施用钾肥的增产效应研究[J]. *中国棉花*, 2003, 30(4): 32-33. Yang F C, Wu X, Zhang L S *et al.* Effect of potassium fertilization application on cotton yield [J]. *China Cott.*, 2003, 30(4): 32-33.
- [25] Leffier H R, Tubertini B S. Development of cotton fruit II. Accumulation and distribution of mineral nutrients [J]. *Agron. J.*, 1976, 68: 858-861.
- [26] 胡尚钦, 杨晓, 毛知耘, 周则芳. 钾对四川紫色土棉花产量品质及生长效应的研究[J]. *土壤通报*, 1997, 28(5): 229-231. Hu S Q, Yang X, Mao Z Y, Zhou Z F. Effects of potassium application on cotton yield, quality and growth in Sichuan purple soil [J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 1997, 28(5): 229-231.
- [27] Cassman K Q, 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.