植物营养与肥料学报 2006,12(5):662-666
Plant Nutrition and Fertilizer Science

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

李伶俐[1], 马宗斌[1], 张东林[2], 杜远仿[2], 房卫平[3], 谢德意[3]
(1 河南农业大学农学院,河南郑州 450002; 2 河南省开封县棉花办公室,河南开封 475100;
3 河南省农业科学院棉花油料作物研究所,河南郑州 450002)

摘要: 在大田条件下,采用随机区组设计,研究了中期(7 月 28 日)补施 75 kg/hm^2 钾肥对去叶枝常规密度群体和留叶枝稀植大棵群体后期棉花叶片光合特性和产量品质的影响。结果表明,两种不同类型棉花群体中期补施钾肥,均能延缓叶片衰老,保持生育后期有较高的叶面积,并能显著提高棉花生育后期主茎叶片叶绿素含量、光合效率、PSⅡ潜在光化学活性 Fv/Fo、实际光化学效率 $\Phi_{PSⅡ}$ 和气孔导度 Cs; 显著降低非光化学猝灭系数(NPQ),从而提高了后期群体和叶片对光能的利用; 有效地增加了总铃数和铃重,使子棉产量提高 8.9%~9.3%,纤维比强度增强。

关键词: 钾肥; 光合特性; 叶绿素荧光; 产量品质
中图分类号: S562.062.01　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2006)05-0662-05

Effects of applying potassium fertilizer at peak bolling stage on cotton photosynthetic characteristics and its yield and quality under different population

LI Ling-li[1], MA Zong-bin[1], ZHANG Dong-lin[2], DU Yuan-fang[2], FANG Wei-ping[3], XIE De-yi[3]
(*1 College of Agronomy, Henan Agric. Univ., Zhengzhou 450002, China; 2 Kaifeng County Cotton Production Office, Kaifeng 457100, China; 3 Cotton and Oil Crop Research Inst., Henan AAS, Zhengzhou 450002, China*)

Abstract: The effects of applying potassium fertilizer at peak bolling stage (28, July) on cotton photosynthetic characteristics and its yield and quality under normal density (3.75×10^4 plants/ha) removing monopodium and low density (2.25×10^4 plants/ha) retaining monopodium were studied under filed condition with random block design. The K application rate was 75 kg/ha. The results showed that applying potassium fertilizer at middle growing stage retarded leaves aging, remained higher LAI at later growing stage, significantly increased SPAD value, photosynthetic rate, PSⅡ activity (F_V/F_O), actual photochemical efficiency of PSⅡ ($\Phi_{PSⅡ}$), stomata conductance(Cs) and significantly decreased non-photochemical quenching coefficient (NPQ) in stem leaves at later growing stage for both cotton populations. As the result, light energy utilization efficiency of cotton population and leaves at later growing stage were enhanced, total bolls and boll weight were increased remarkably, cotton lint yield were increased by 8.9%~9.3%, and cotton fibers tenacity was improved.

Key words: potassium fertilizer; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence; yield; fibers quality

钾素营养可以增强作物抵御不良环境的能力,增加叶片叶绿素含量和光合能力,提高作物产量和品质[1-3]。有研究指出,我国的主要棉产区土壤缺钾问题越来越突出[1],已成为棉花早衰减产的主要原因之一。棉田施钾在早期效果最好,生产上传统的施钾方法是底施或在开花前追施[4]。另有研究表

收稿日期: 2005-08-03　　**修改稿收到日期**: 2005-11-17
基金项目: 河南省重大科技攻关(0322010800); 河南省科技攻关项目研究(0424020023)资助。
作者简介: 李伶俐(1961—),女,河北磁县人,副教授,主要从事棉花高产栽培生理与技术研究。

明，棉株对钾的吸收和积累高峰在盛花期和成熟期，分别占一生钾吸收总量的 33% 和 55%[5-6]。但是，传统的施钾方法是否适合棉花生长发育中后期的需钾特点，而在棉花中期补施钾肥是否能更好地满足棉花后期对钾营养的需求，进而提高叶片叶绿素含量和光合能力，延缓棉花衰老，提高棉花产量和品质等方面的研究尚未见报道。为此，开展生产上两种群体类型：去叶枝常规密度群体和留叶枝稀植大棵群体在中期补施钾肥对棉花光合生理特性及产量品质的影响的研究，以期为延缓棉花后期衰老，提高产量，改善品质探索新的途径。

1　材料与方法

1.1　试验设计

田间试验于 2003 和 2004 年在河南省开封县姬坡农场进行。试验地土壤为两合土，肥力中上等，土壤有机质 10.6 g/kg、碱解氮 65.6 mg/kg、速效磷 23.7 mg/kg、速效钾 98.6 mg/kg。供试品种为杂交棉予杂 35(河南农科院棉花油料作物研究所提供)。试验为二因素随机区组设计，3 次重复。A 因素为两个密度群体：L (2.25 万株/hm^2 留 2 个叶枝)、Q (3.75 万株/hm^2 去叶枝)。B 因素为两个施钾处理：K1(苗期追施氯化钾 150 kg/hm^2)、K2(苗期追施氯化钾 150 kg/hm^2，中期补施氯化钾 75kg /hm^2)，共 4 个处理组合，即 LK1、LK2、QK1、QK2。每小区面积为 25m^2。棉花于 5 月初按密度要求移栽到麦套行，麦收后为 120cm 等行距。移栽前 1 周在麦田套种行开沟按每公顷 22500 kg 有机肥 + 750 kg 过磷酸钙 + 45 kg 尿素施基肥。其它管理同一般大田。

1.2　测定项目与方法

1.2.1　叶绿素含量　每小区定 10 株，采用 SPAD-502 叶绿素仪(日本产)，测定中后期主茎倒 4 叶和倒 10 叶不同叶龄的叶绿素含量(SPAD 值)。

1.2.2　叶片气体交换参数　选晴天上午 9：00～11：00 用 CID-301PS 便携式光合测定仪(美国产)，每小区定 5 株测定棉花主茎倒 4 叶光合速率(P_n)、气孔导度(C_s)、蒸腾强度(E)、大气 CO_2 浓度(C_n)、细胞间隙 CO_2 浓度(C_i)等。

1.2.3　叶绿素荧光参数　选晴天用 FMS－2 脉冲调制式荧光仪(英国 Hansatech 公司生产)，每小区定 5 株测定棉花主茎倒 4 叶片在光适应下最大荧光 Fm'、最小荧光 Fo' 和稳态荧光 Fs，以及叶片在暗适应夹中适应 20min 后的暗适应下的初始荧光 Fo 和最大荧光 Fm。按以下公式计算：

PSⅡ最大光化学效率 $Fv/Fm = (Fm - Fo)/Fm$；

PSⅡ实际光化学效率 $\Phi_{PSII} = (Fm' - Fs)/Fm'$；

PSⅡ潜在光化学活性 $Fv/Fo = (Fm - Fo)/Fo$；

光化学猝灭系数 $qP = (Fm' - Fs)/(Fm' - Fo')$；

非光化学猝灭系数 $NPQ = Fm/Fm' - 1$[6]。

1.2.4　叶面积指数(LAI)及产量构成因素　每小区定 10 株，于棉花开花后每 15d 用长、宽乘积法测定整株叶面积；每小区定 2 行，调查棉花四桃，收获两行絮铃并计数，测定铃重和衣分，最后小区单收计产。

1.2.5　纤维品质测定　每小区收获两行絮铃轧花后取样，按 HVICC 标准由河南省棉花质量检测中心测定。

2　结果与分析

2.1　不同处理棉田叶面积指数(LAI)动态

由表 1 可见，两群体不同施钾处理间的 LAI 在 8 月 17 日前没有明显差异，之后 LK2 比 LK1，QK2 比 QK1 均表现峰值大且持续期长，衰减慢。从田间后期生长情况看，两个不同群体的 K1 处理均表现群体中下部叶片变红黄衰老加快，脱落多，叶面积衰减快，这不利于棉花后期产量和品质形成；而两个不同群体的 K2 处理群体中下部叶片叶色较正常，脱落少。就不同群体看，Q 群体的 LAI 上升得快，峰值大且持续期长；而 L 群体的 LAI 上升得慢，且下降得快。

表 1　不同处理叶面积系数(LAI)动态

Table 1　Trends of LAI of different treatments

处理 Treat.	调查日期 (日/月) Investigating date(d/mon.)					
	1/7	17/7	1/8	17/8	1/9	17/9
LK1	1.12	1.97	3.06	3.98	3.73	2.21
LK2	1.10	1.98	3.14	4.00	3.95	2.56
QK1	1.18	2.14	3.23	4.16	3.86	2.42
QK2	1.18	2.13	3.24	4.22	4.17	2.87

2.2　不同处理主茎叶片叶绿素含量

叶绿素含量降低是叶片衰老的重要标志之一。两群体不同施钾处理主茎叶片叶绿素含量(SPAD 值)变化趋势基本一致(表 2)。主茎倒 4 叶(7 月 20 日测定时叶龄为展开后 10d)的 SPAD 值表现为随叶龄增加先上升后下降，不同钾肥处理间差异不显著，但是 8 月 17 日后均以 K2 高于 K1；主茎倒 10 叶(7

月20日测定时叶龄为展开后25d)的SPAD值表现为从测定之日起随叶龄增加而逐渐下降,但是两群体的K1比K2下降的显著要快。测定时也观察到群体下部叶片K1比K2的落黄快、脱落早,说明K1比K2叶片衰老得早,后期供钾不足。因为当植株供钾不足时,下部老叶的钾大量流向上部幼叶,从而使老叶叶绿素含量降低,衰老变黄脱落[7]。

表2 不同棉花品种主茎叶叶绿素含量(SPAD值)

Table 2 The contents of chlorophyll(SPAD value)in trunk leaves of different treatments

处理 Treatment	倒4叶 The fourth leaf from the top to bottom				倒10叶 The tenth leaf from the top to bottom			
	调查日期 28-Aug. Investigating date				调查日期 28-Aug. Investigating date			
	20-Jul.	17-Aug.	28-Aug.	17-Sep.	20-Jul.	17-Aug.	28-Aug.	17-Sep.
LK1	46.9 a	47.6 a	53.6 b	43.9 b	48.6 a	41.2 c	31.5 b	26.6 b
LK2	46.2 a	47.8 a	56.6 a	45.2 ab	48.2 a	44.7 b	38.5 a	34.8 a
QK1	46.7 a	48.8 a	55.4 ab	45.2 ab	49.5 a	43.2 b	33.5 b	27.8 b
QK2	46.9 a	48.6 a	57.2 a	46.9 a	49.6 a	47.5 a	40.6 a	36.5 a

注(Note):同列中不同字母表示差异达5%显著水平,下同。Different letters at same column mean significant at 5% level, same as follows.

2.3 不同处理对叶片光合速率(Pn)及气体交换参数的影响

叶片蒸腾速率(E)、气孔导度(Cs)增加,有利于气体交换,提高叶片光合速率(Pn)。表3看出,7月20日各测定值处理间差异不明显;而从8月23日及9月11日测定结果看,两群体K2处理的蒸腾速率(E)均显著高于K1处理的,Pn和Cs均高于或显著高于K1处理的,而胞间CO_2浓度(Ci)差异不大。Cs显著提高说明K2处理中期补施钾肥后促进了叶片气孔开放,加强了蒸腾作用,改善了叶肉细胞CO_2的供应能力,并提高了叶片叶绿素含量(表2);进而提高了叶片后期的光合速率,延缓衰老,这有利于棉花铃重的增加和纤维品质的改善。此外,从测定项目相关性看,Pn与E、Cs、叶绿素含量呈正相关。

表3 不同处理对棉花主茎叶片光合速率(Pn)及气体交换参数的影响

Table 3 The photosynthetic and gas exchange parameters in cotton trunk leaves of different treatments

处理 Treatment	20-Jul.				23-Aug.				11-Sep.			
	Pn μmol/(m²·s)	E mmol/(m²·s)	Cs mmol/(m²·s)	Ci (μL/L)	Pn μmol/(m²·s)	E mol/(m²·s)	Cs mol/(m²·s)	Ci (μL/L)	Pn μmol/(m²·s)	E mol/(m²·s)	Cs mol/(m²·s)	Ci (μL/L)
LK1	16.2 a	5.8 a	238.4 a	302.6 a	16.3 b	6.2 b	234.4 b	296.1 a	14.3 c	6.3 b	258.8 b	249.3 b
LK2	15.9 a	5.6 a	230.5 ab	301.6 a	17.6 ab	7.5 a	243.7 ab	290.1 a	16.9 ab	7.3 a	277.6 a	245.1 b
QK1	16.9 a	5.6 a	245.6 a	308.2 a	17.5 ab	6.5 b	244.4 ab	291.5 a	14.5 c	6.4 b	255.7 b	258.5 a
QK2	16.4 a	5.7 b	234.2 a	306.2 a	18.1 a	7.7 a	250.1 a	287.3 a	17.8 a	7.3 a	278.3 a	252.4 a

2.4 不同处理对叶片Fv/Fm、Fv/Fo和Φ_{PSII}的影响

PSⅡ最大光化学效率(Fv/Fm)和PSⅡ潜在光化学活性Fv/Fo值大,说明PSⅡ反应中心的能量捕捉效率高。实际光化学效率Φ_{PSII}是PSⅡ反应中心部分关闭时的光化学效率,其值高,说明光合结构电子传递能力强、吸收的光能被用于光化学反应的份额大,有利提高叶肉细胞的光合能力[6,8]和提高植物的光合效率。从各时期测定结果看(表4),在7月20日处理间Fv/Fm、Fv/Fo和Φ_{PSII}差异不显著;8月23日,处理间的Fv/Fm和Fv/Fo也无明显差异,但是两群体K2处理的Φ_{PSII}均比K1处理的高;9月11日,处理间Fv/Fm差异不显著,但Fv/Fo差异极显著、Φ_{PSII}差异显著,均表现K2处理极显著或显著高于K1处理,它们与同期测定的Pn表现出正相关关系,相关系数分别为$r_1 = 0.9965^{**}$ $r_2 = 0.8475$。

2.5 不同处理对棉花叶片qP和NPQ的影响

光化学猝灭系数(qP)大,表明PSⅡ开放的反应

中心所占的比例大，PSⅡ的电子传递活性高；而 PP = 1 - qP 表示 PSⅡ关闭的反应中心所占比例，其值大表明 QA 的还原程度高[6]。非光化学猝灭系数(NPQ)反映 PSⅡ反应中心非辐射能量耗散大小[8]。表 5 看出，各处理 qP 均无明显差异；而 NPQ 的表现为 7 月 20 日 L 群体的显著高于 Q 群体，但不同施钾处理间没有差异；8 月 23 日和 9 月 11 日，两群体的 K1 处理均显著高于 K2 处理。这反映出不同群体和钾肥处理对棉花叶肉细胞的 PSⅡ关闭程度影响不大。NPQ 值高，则反映出 K1 处理后期叶片光合效率低，过剩光能以非辐射能形式的散失加大，光能利用率降低。

表 4　不同处理对棉花主茎叶片 Fv/Fm、Fv/Fo 和 Φ_{PSII} 的影响

Table 4　Effects of different treatments on Fv/Fm、Fv/Fo and Φ_{PSII} in cotton trunk leaves

处理 Treatment	20-Jul.			23-Aug.			11-Sep.		
	Fv/Fm	Fv/Fo	Φ_{PSII}	Fv/Fm	Fv/Fo	Φ_{PSII}	Fv/Fm	Fv/Fo	Φ_{PSII}
LK1	0.843 a	5.392 ab	0.613 a	0.863 a	6.314 a	0.754 ab	0.834 a	4.073 bB	0.407 cB
LK2	0.846 a	5.501 ab	0.601 a	0.863 a	6.385 a	0.795 a	0.836 a	5.158 aA	0.441 bAB
QK1	0.852 a	5.761 a	0.597 a	0.861 a	6.343 a	0.712 b	0.833 a	4.067 bB	0.439 bAB
QK2	0.856 a	5.972 a	0.604 a	0.863 a	6.383 a	0.746 ab	0.835 a	5.411 aA	0.488 aB

表 5　不同处理对棉花主茎叶片 qP 和 NPQ 的影响

Table 5　Effects of different treatments on qP and NPQ in cotton trunk leaves

处理 Treatment	20-Jul.		23-Aug.		11-Sep.	
	qP	NPQ	qP	NPQ	qP	NPQ
LK1	0.942 a	0.531 a	0.989 a	0.489 a	0.582 a	0.703 a
LK2	0.938 a	0.538 a	0.952 a	0.463 ab	0.579 a	0.549 b
QK1	0.920 a	0.488 b	0.956 a	0.418 b	0.572 a	0.568 b
QK2	0.925 a	0.478 b	0.991 a	0.366 c	0.570 a	0.421 c

2.6　不同处理对棉花产量的影响

从两群体不同施钾处理看(表 6)，K2 处理主要是提高了总铃数和铃重，从而使 LK2 比 LK1 子棉显著增产 8.9%，QK2 比 QK1 子棉显著增产 9.3%。不同处理间衣分没有差异。就霜前花率看，不同钾肥处理没有明显差异，而群体间 Q 群体的明显高于 L 群体的。

表 6　不同处理棉花产量比较

Table 6　Comparison of cotton yield under different treatments

处理 Treat.	铃数 Bolls number (No./hm²)	铃重 Boll weight (g)	衣分 Lint percent (%)	霜前花率 Rate of yield before frost (%)	棉花产量(kg/hm²) Yield of cotton	
					子棉 Unginned	皮棉 Ginned
LK1	679200	4.75	42.1	83.0	3226.5 bc	1357.5 bc
LK2	714750	4.91	42.1	82.4	3514.5 ab	1479.0 ab
QK1	696075	4.85	42.0	88.9	3376.5 b	1417.5 b
QK2	723300	5.10	42.0	88.5	3690.0 a	1549.5 a

2.7　不同处理棉花品质比较

两群体不同施钾处理棉纤维品质差异主要表现在比强度上。表 7 看出，LK2 处理的比强度比 LK1 处理的提高 3.4%，QK2 处理比 QK1 处理的提高 4.7%，其它各项处理间差异很小。

3　讨论

从本试验结果看，两群体中期补施钾肥均显著增产，纤维比强度提高，其原因主要是中期补施钾肥后有效延缓了叶片的衰老，使棉花生育后期叶片仍

表7 不同群体的棉花品质比较[1)]

Table 7 Comparison of cotton fiber quality different treatments

处理 Treatment	长度(mm) Length	比强度 Strength (cN/tex)	马克隆值 Axromire	整齐度(%) Uniformity	成熟度 Maturity	纺纱均匀性指数 SCI
LK1	29.62	29.6	4.5	83.6	0.89	154.37
LK2	29.88	30.6	4.3	84.1	0.88	154.06
QK1	29.89	29.8	4.4	85.1	0.90	160.32
QK2	30.08	31.2	4.4	85.3	0.89	164.48

注(Note):1)根据 VHICC 标准 Standard of VHICC。

保持较高的叶面积系数和叶绿素含量且衰减得慢;气孔导度、Fv/Fo 和 $\Phi_{PS\Pi}$ 大,光能利用能力强,光合速率高,为提高棉铃数和铃重、改善纤维品质奠定了物质基础。此外,从本试验测定项目的关系看,叶片光合速率与叶片叶绿素含量、气孔导度、Fv/Fo 和 $\Phi_{PS\Pi}$ 呈正相关,而与 NPQ 呈负相关,这与前人结果基本一致[6,8]。说明中期补施钾肥提高后期叶片光合速率,主要是通过提高叶片叶绿素含量,促进气孔开放,改善叶肉细胞 CO_2 的供应能力,提高 Fv/Fo 和 $\Phi_{PS\Pi}$,以及降低 NPQ 来实现的。

棉花是需钾素较多的作物,而且80%以上的钾在中后期吸收[5,8]。棉花生产上一般在开花前土壤施钾或后期叶面喷施钾肥[9],但由于黄河流域和长江流域两大棉区在开花结铃期降雨较多,因此开花期前施入土壤的钾肥有可能在雨季随雨水向下淋溶或地表径流损失,同时还会淋洗掉叶片中一部分钾,而使棉株到盛铃期后缺钾而早衰[8];而后期叶面喷钾又因用肥量较少,其效果可能会受到一定限制。本试验采用中期土壤补施钾肥,获得明显防衰、增产效果,证明了传统的苗期施钾方法不能很好地满足棉花后期对钾的需求。有研究认为,缺钾导致叶片中碳水化合物积累增加,而运向生殖器官并形成产量的碳水化合物必然减少,这是缺钾导致棉花衰老、产量降低、品质变劣的主要原因之一[10]。还有研究认为,缺钾引起叶绿素含量降低,光合速率下降,而进行土壤施钾,能够增加叶片叶绿素含量、提高光合速率和产量[1,3]。本试验结果与前人一致,这也间接证明苗期土壤施钾不能很好地满足棉花后期对钾的需求。

据报道,棉花土壤施钾最晚是在开花期,以蕾期追施效果较好,但与底施、花期追施差异不显著[5]。另有研究认为,开花后采用叶面喷施磷酸二氢钾,可使棉花子棉产量增加2.0%~8.1%、皮棉增产5.1%~14.9%[9]。本研究只是以苗期施钾为对照,研究了中期补施钾肥对后期叶片光合特性的影响和增产效果,对上述施钾方法哪一种增产效果更好,还需要进一步的研究。此外,本试验是在常规足量施氮磷基础上进行的,如氮磷不足,单纯补施钾肥不可能有好的提高光合效率和防衰老增产效果。

参考文献:

[1] 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. Effects of potassium on yield and quality of cotton[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(2): 196-197

[2] 李玉影,金继运,刘双全,黄绍文. 钾对春小麦生理特性、产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):449-455.
Li Y Y, Jin J Y, Liu S Q, Huang S W. Effects of potassium on physiological characteristics, yield and quality of Spring wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005. 11(4): 449-455.

[3] Zhao D L, Oosterhuis D M, bednarz C W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants[J]. Photosynthetica, 2001, 39: 103-121.

[4] 张学斌,汪立刚,王继印,等. 河南省中低产棉区施用钾肥的效果研究[J]. 中国棉花,2002,29(4):7-9.
Zhang X B, Wang L G, Wang J Y *et al*. Effects of applying potassium fertilizer in middle-lower yield cotton area of Henan province[J]. Cotton of China, 2002, 29(4): 7-9.

[5] 邢竹,申建波,郭建华,刘宗衡. 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.
Xing Z, Shen J B, Guo J H, Liu Z H. A preliminary study on nutrition absorption rules and effects of applying potassium in high yield cotton[J]. Soils and Fertilizers, 1994(4): 26-28.

[6] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002.
Xiu D Q. The efficiency of photosynthesis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing Company, 2002.

[7] 郑泽荣,倪晋山,王天铎,等. 棉花生理[M]. 北京:科学出版社,1980.
Zheng Z Y, Ni J S, Wang T D *et al*. Cotton physiology[M]. Beijing: Science Press, 1980.

[8] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochim. Biophys. Acta, 1989, 990: 87-92.

[9] 孙克刚,姚健,焦有. 棉花的需肥规律与施钾研究[J]. 土壤肥料,1999(3):12-14.
Sen K G, Yao J, Jiao Y. Study on nutrition absorption rules and applying potassium in cotton[J]. Soils and Fertilizers, 1999(3): 12-14.

[10] Pettigrew W T. Potassium deficiency increase specific leaf weights and glucose levels in field grown cotton[J]. Agron. J, 1999, 91: 962-968.