

## 氮钾营养对棉花主茎功能叶衰老的生理效应研究

朱建芬<sup>1</sup>,张永江<sup>1</sup>,孙传范<sup>2</sup>,刘连涛<sup>1</sup>,孙红春<sup>1</sup>,李存东<sup>1\*</sup>

(1.河北农业大学农学院/河北省作物生长调控实验室,河北保定 071001;2.中国农村技术开发中心,北京 100045)

**摘要:**在大田试验条件下,以转基因抗虫棉鲁棉研 28 为材料,设置适氮适钾(N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)、适氮轻钾(N<sub>2</sub>K<sub>1</sub>)、轻氮适钾(N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>)、无氮钾(N<sub>0</sub>K<sub>0</sub>)4 个处理,研究氮钾营养对转基因抗虫棉主茎功能叶叶绿素含量、叶绿素荧光参数、蛋白质含量和抗氧化酶系统特征的影响。结果表明,盛铃期一天内棉花主茎功能叶荧光参数 *Fv/Fm*、*ΦPSII*、*qP* 总体呈现高、低、高的“V”字型变化趋势,以 *ΦPSII* 最为明显。不同处理间各荧光参数多以 N<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 处理值最高,N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 处理最低。盛铃期叶绿素含量 N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 分别比 N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 高 38.0%、24.0% 和 20.7%。处理间主茎功能叶蛋白质含量、SOD 活性在生育中后期均以 N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 最低,MDA、ABA 含量则以 N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 最高。说明维持一定氮钾营养水平利于保持棉花中后期主茎功能叶生理活性,从而有效延缓衰老。

**关键词:**棉花;氮钾营养;生理特征

**中图分类号:**S562 **文献标识码:**A

**文章编号:**1002-7807(2010)04-0354-06

## Physiological Effects of Nitrogen and Potassium Nutrition on the Senescence of Cotton Functional Leaves

ZHU Jian-fen<sup>1</sup>, ZHANG Yong-jiang<sup>1</sup>, SUN Chuan-fan<sup>2</sup>, LIU Lian-tao<sup>1</sup>, SUN Hong-chun<sup>1</sup>, LI Cun-dong<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy, Agricultural University of Hebei / Key Laboratory of Crop Growth Regulation of Hebei Province, Baoding, Hebei 071001, China; 2. China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China)

**Abstract:** Physiological effects of nitrogen and potassium nutrition on cotton functional leaves were studied by using the material of SCRC 28. Four treatments were conducted with N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>K<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> and N<sub>0</sub>K<sub>0</sub>. The results indicated that fluorescence parameters *Fv/Fm*, *ΦPSII* and *qP* of the functional leaves showed “V”-shaped changing trend of high-low-high in a day at boll forming stage, typically the *ΦPSII*. The value of each fluorescence parameter under N<sub>2</sub>K<sub>1</sub> treatment was generally the highest, while the lowest under N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> treatment. Chlorophyll content under N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>K<sub>1</sub> treatments increased by 38.0%, 24.0% and 20.7% than of N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> at the boll forming stage. In addition, the soluble protein content and SOD activity of functional leaves were lowest under N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> treatment at middle and later stages, while the MDA and ABA contents were the highest. It can be concluded that maintaining a certain level of nitrogen and potassium nutrition is helpful to improve physiological performance of functional leaves and delay in senescence.

**Key words:** cotton; nitrogen and potassium nutrition; physiological characteristics

棉花是世界上重要的经济作物,随着转基因棉花的大面积推广,缺钾引起的棉花早衰发生加重,已经成为制约棉花生产的重要因子<sup>[1]</sup>。同时,氮素对棉花的生长发育起到至关重要的作用,确定合理的施氮量,提高氮肥利用率,降低施用氮肥对环境产生的压力一直是国内外农学家努力的方向<sup>[2]</sup>。国内外学者分别就氮素、钾素对棉花的

生理作用进行了大量研究。认为适量的氮肥能够改善棉花叶片的光合性能,使生育后期叶片保持较高的生理活性,尤其是延缓植株中、下部叶片的衰老<sup>[3]</sup>,库源关系较为协调<sup>[4]</sup>。缺氮处理易造成棉花早衰<sup>[5]</sup>。同时,棉花也是喜钾作物,对钾营养的需求较高<sup>[6]</sup>。郭英等<sup>[7]</sup>认为,增施钾肥可显著提高苗期棉花叶片中硝酸还原酶(NR)的活性,促进

收稿日期:2009-12-15 作者简介:朱建芬(1979-),女,硕士研究生,\*通讯作者,nxylcd@hebau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(30771267);河北省自然科学基金(C2008000250);公益性行业科研专项(3-5-05)

棉株内氮素代谢,但过量施钾又不利于氮素代谢。Pettigrew<sup>[8]</sup>研究认为,缺钾导致叶片中碳水化合物积累增加,而运出用于生殖器官发育并形成产量的碳水化合物必然减少,这是缺钾导致棉花早衰、产量降低、品质变劣的主要原因之一。

前人的研究主要是围绕施氮或施钾对棉花器官建成、产量结构及棉花品质的影响,而有关棉花受氮钾调控的生理机制及其与早衰的关系研究较少。本文就不同氮钾比例配施对棉花的生理效应进行研究,旨在为合理施肥、防止棉花早衰提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

田间试验于 2008 年在河北农业大学教学实验站进行。供试土壤为粘质壤土,土壤有机质 1.856%,全氮 0.157%,碱解氮 60.68 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 39.7 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 199.25 mg·kg<sup>-1</sup>。供试品种为黄河流域大面积推广的转基因抗虫棉鲁棉研 28,设置适氮适钾(N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>,纯氮 225 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O 195 kg·hm<sup>-2</sup>)、适氮轻钾(N<sub>2</sub>K<sub>1</sub>,纯氮 225 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O 60 kg·hm<sup>-2</sup>)、轻氮适钾(N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>,纯氮 75 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O 195 kg·hm<sup>-2</sup>)、无氮钾(N<sub>0</sub>K<sub>0</sub>,纯氮 0 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O 0 kg·hm<sup>-2</sup>)4 个处理。供试氮肥为尿素,钾肥为氯化钾。采用随机区组设计,小区面积 60 m<sup>2</sup>,3 次重复。大小行种植(宽行 80 cm,窄行 70 cm),密度 4.5 万株·hm<sup>-2</sup>,常规大田管理。

### 1.2 测定项目和方法

叶绿素荧光参数:在盛铃期,选晴天采用 FMS-2 脉冲调制式荧光仪(英国 Hansatech 公司),从 8:00—18:00 每隔 2 h 分别在光、暗条件下测定主茎功能叶,获取的荧光参数包括 *Fv/Fm*、 $\Phi PS II$ 、*qP*(方法参见仪器说明书)。每个处理重复 5 次(有标记),保证每个测定轮次测定叶片和测定部位相同。

从初花期开始,每隔约 15 d 摘取代表性棉株主茎功能叶(打顶前取倒 4 叶,打顶后取倒 3 叶、倒 2 叶)进行生理指标测定。

叶绿素含量:称取 0.1 g 叶片,剪碎置于 18 mL 试管中,加入一定量 95%酒精浸泡至叶片完全失绿,在 665 nm、649 nm、470 nm 波长下比色

测定。

可溶性蛋白质含量:参照 READ<sup>[9]</sup>等考马斯亮蓝法测定,在 595 nm 波长下比色测定。

丙二醛含量(MDA):参照赵世杰<sup>[10]</sup>的方法,在 600 nm、532 nm 和 450 nm 波长下比色测定。

脱落酸含量(ABA):采用植物激素的间接酶联免疫吸附方法测定<sup>[11]</sup>。

超氧化物歧化酶活性(SOD):采用氮蓝四唑(NBT)光下还原法测定<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉花叶片叶绿素荧光参数日变化

叶绿素荧光被称为研究光合作用和光能分配的探针,荧光参数可以反映叶片的光合生理活性。其中 *Fv/Fm* 为 PS II (光系统 II) 最大光化学效率,反映了 PS II 反应中心原初光能转化效率<sup>[12]</sup>。荧光参数日变化反映了叶片对不同光强的吸收利用程度,从而在一定程度上反映叶片的光合能力。由图 1-a 可见,棉花主茎叶 *Fv/Fm* 在一天中均表现为近似“V”字型变化趋势,早晨较高,后逐渐降低,中午前后降至最低,午后逐渐恢复,至 18:00 基本恢复到早晨水平。比较不同处理,*Fv/Fm* 整体表现为 N<sub>2</sub>K<sub>1</sub>>N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>>N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>>N<sub>0</sub>K<sub>0</sub>。结果表明,强光导致叶片 PS II 发生光抑制,无氮钾处理受抑制最重,适氮轻钾处理受抑制最轻。

$\Phi PS II$  为实际光化学效率,是 PS II 反应中心部分关闭时的光化学效率。*qP* 为光化学淬灭,反映光合电子链的电子传递速度,即 PS II 所捕获的光量子转化成化学能的效率。由图 1-b 可见, $\Phi PS II$  变化同样呈现高、低、高的趋势,在 14:00 时出现低谷,然后迅速恢复,各处理间差异不显著,但施氮钾处理明显高于无氮钾处理。18:00 的  $\Phi PS II$  与 8:00 相比,N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 分别提高了 23.9%、20.4%、14.6% 和 46.1%。一天中 *qP* 的变化(图 1-c) 与 *Fv/Fm* 和  $\Phi PS II$  略有不同,8:00 与 12:00 相差不大,在 10:00 出现小峰,12:00 后逐渐下降,至 14:00 以后又逐渐升高。不同处理间整体表现为 N<sub>2</sub>K<sub>1</sub>>N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>>N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>>N<sub>0</sub>K<sub>0</sub>。结果表明,高光强降低了 PS II 反应中心光化学效率,适宜的氮钾营养能够提高叶片光合电子传递效率。

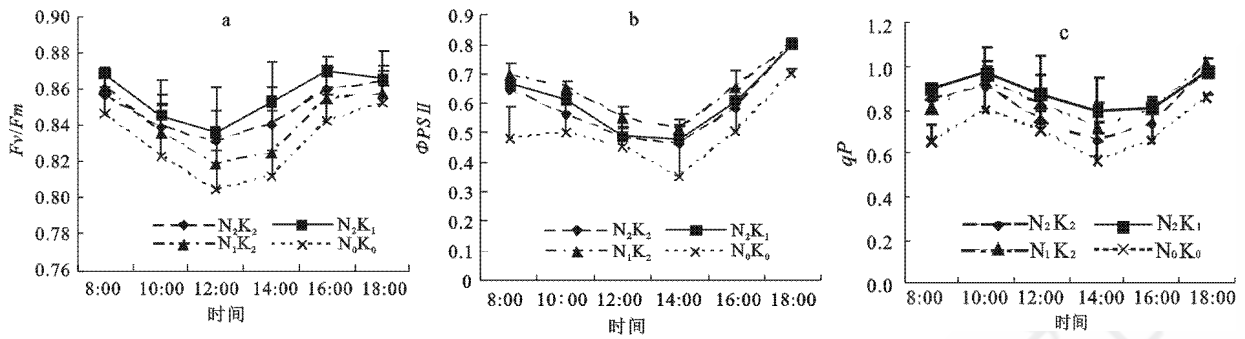


图 1 不同氮钾处理  $Fv/Fm$ (a)、 $\Phi PS II$  (b)、 $qP$ (c)日变化

Fig.1 Diurnal changes of  $Fv/Fm$  (a),  $\Phi PS II$  (b) and  $qP$  (c) under different N and K treatments

2.2 棉花叶片叶绿素含量变化

氮素是叶绿素的重要组成元素,叶绿素含量在一定程度上反映了土壤的供氮水平。氮钾供应过量或不足都会影响棉花生育时期主茎功能叶叶绿素的含量。由表 1 可见,在棉花的生长发育过程中,4 个处理叶片叶绿素含量皆呈先上升后下降的趋势,盛铃期各处理叶绿素含量达到最高值。在 8 月 27 日之前各处理间叶绿素含量差异

不显著;8 月 27 日叶绿素含量  $N_2K_2$ 、 $N_1K_2$  和  $N_2K_1$  分别比  $N_0K_0$  高 38.0%、24.0%和 20.7%。由表 2 可见,叶绿素 a 的含量在盛花期达到最高值,8 月 27 日(盛铃末期)叶绿素 a 含量  $N_2K_2$ 、 $N_1K_2$ 、 $N_2K_1$  分别比  $N_0K_0$  高 52.3%、43.0%、25.6%。不同比例氮钾营养对叶绿素含量的影响在 8 月 27 日达显著性差异,钾能促进叶绿素的合成。 $N_2K_1$ 、 $N_1K_2$  处理之间没有达到显著性差异。

表 1 不同氮钾处理棉花主茎功能叶叶绿素含量

处理	日期				
	07-09	07-28	08-11	08-27	09-15
$N_2K_2$	1.86 a	1.97 a	2.28 a A	1.67 a A	1.44 a A
$N_2K_1$	1.89 a	1.92 a	2.29 ab A	1.46 ab AB	1.19 b AB
$N_1K_2$	1.77 a	1.96 a	2.23 ab A	1.5 b AB	1.31 ab AB
$N_0K_0$	1.80 a	1.72 a	2.19 b A	1.21 c B	0.99 b B

注:同列数据后小写字母为  $F_{0.05}$  差异显著水平,大写字母为  $F_{0.01}$  差异显著水平。

表 2 不同氮钾处理棉花主茎功能叶叶绿素 a 含量

处理	日期				
	07-09	07-28	08-11	08-27	09-15
$N_2K_2$	1.51 a	1.83 a	1.55 a A	1.31 a A	1.11 a A
$N_2K_1$	1.53 a	1.82 a	1.50 a A	1.08 a A	0.93 b AB
$N_1K_2$	1.44 a	1.76 a	1.53 a A	1.23 b B	1.01 b B
$N_0K_0$	1.47 a	1.76 a	1.35 b B	0.86 c C	0.77 c C

注:同列数据后小写字母为  $F_{0.05}$  差异显著水平,大写字母为  $F_{0.01}$  差异显著水平。

2.3 棉花主茎功能叶可溶性蛋白质含量和 SOD 活性变化

钾在植物体内不参与重要有机物质的组成,但它与蛋白质和碳水化合物的合成和运输有密切的关系。蛋白质含量的降低是叶片衰老的一个标志。由图 2 可知,蛋白质的含量在棉花盛花期(7 月 25 日)达到最高值,不同处理间表现为  $N_2K_2 > N_1K_2 > N_2K_1 > N_0K_0$ 。经统计分析, $N_2K_2$ 、 $N_2K_1$ 、

$N_1K_2$  与  $N_0K_0$  差异显著。盛铃期之后蛋白质含量开始下降,而后又略有升高,各时期均以  $N_0K_0$  最低。表明氮钾营养对棉花主茎功能叶蛋白质含量有一定影响,缺氮钾明显降低主茎功能叶中蛋白质的含量,加速叶片的衰老。

超氧化物歧化酶(SOD)是植物体内清除活性氧的关键酶,对细胞起到有效的保护作用,其活性的高低可反映植物体自身清除有害物质能

力的强弱,标志着叶片衰老的程度。由图 3 可知, SOD 活性在整个生育过程中表现为先上升后下降的变化趋势,在盛铃期 SOD 活性达到最大值。8 月 11 日之前各处理差异不显著,其后表现为  $N_2K_2 > N_1K_2 > N_2K_1 > N_0K_0$ 。  $N_2K_2$  与其它 3 个处理间

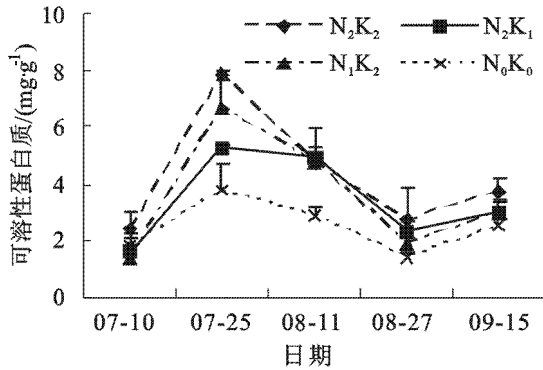


图 2 棉花主茎功能叶可溶性蛋白质变化

Fig.2 Change of soluble protein content of cotton function leaf

#### 2.4 主茎功能叶丙二醛及 ABA 含量变化

MDA 是膜脂过氧化作用的最终产物,能影响细胞膜的结构,干扰正常的生理代谢,其含量的高低是膜脂过氧化程度的重要标志。由图 4 可知,在盛铃期前 MDA 在各时期变化比较平缓,处理间没有差异。8 月 27 日之后 MDA 含量迅速上升。 $N_0K_0$  丙二醛的含量明显高于  $N_2K_2$ 、 $N_2K_1$  和  $N_1K_2$ ,但是其它 3 个处理之间差异不显著。表明氮钾营养不足会促进棉株后期 MDA 含量的积

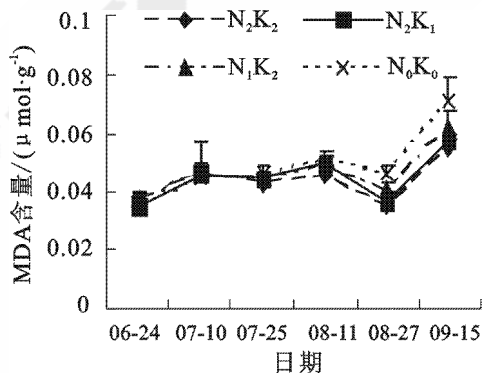


图 4 棉花叶片丙二醛含量变化

Fig.4 Change of MDA content of cotton function leaf

### 3 讨论与结论

对棉花主茎功能叶一些生理特性研究表明,充足的氮钾供应能够提高叶片光系统 II 光化学

差异显著,  $N_2K_1$ 、 $N_1K_2$  之间差异不显著。结果表明,氮钾的施用量对棉花中后期主茎功能叶片 SOD 活性的影响明显,充足的氮钾供应能够在一定程度上延缓叶片的衰老。

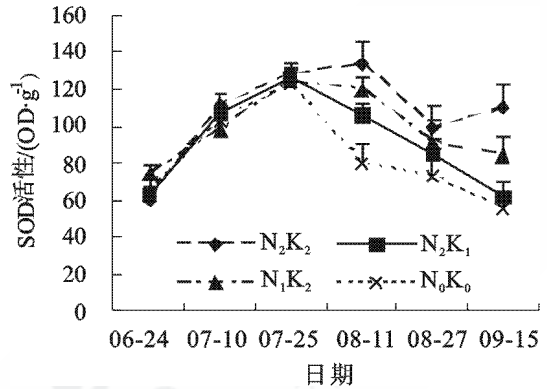


图 3 棉花主茎功能叶 SOD 活性的变化

Fig.3 Change of SOD activity content of cotton function leaf

累,加速植株的衰老。

内源激素脱落酸(ABA)具有促进植物衰老的作用。由图 5 可见,钾素水平不同引起棉花叶片中 ABA 含量的变化,整体趋势为  $N_0K_0 > N_2K_1 > N_1K_2$ 、 $N_2K_2$ 。各处理脱落酸的含量随施钾量的升高而降低。ABA 的含量在棉花盛铃期有下降的趋势。结果表明,适宜的钾营养可以降低棉花叶片中 ABA 的含量,延缓叶片的衰老,但钾肥的效应须以合理的氮肥为基础。

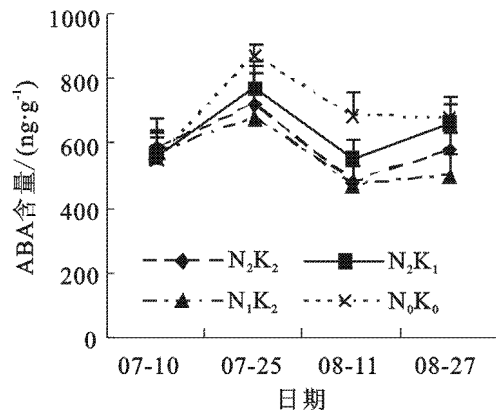


图 5 棉花叶片 ABA 含量的变化

Fig.5 Change of ABA content of cotton function leaf

效率,提高可溶性蛋白质含量和 SOD 活性,降低丙二醛和 ABA 含量,说明适量的氮钾供应能够延缓主茎功能叶的衰老,氮钾不足(如  $N_0K_0$ )可导致衰老进程加快。本试验条件下,以  $N_1K_2$ (纯氮

75 kg·hm<sup>-2</sup>, K<sub>2</sub>O 195 kg·hm<sup>-2</sup>)处理的氮钾营养配施较合理。

前人围绕棉花叶绿素荧光参数进行了一些探讨。汤照云<sup>[13]</sup>等对棉花叶片叶绿素荧光的研究表明,不同品种  $F_v/F_m$  均在 14:00 降到最低值。有研究表明,在正常灌水条件下,PS II 最大光化学效率和 PS II 量子产量随供氮水平的降低而下降,这说明低氮棉株更容易发生光合作用光抑制。且在干旱胁迫下叶绿素初始荧光( $F_0$ )明显升高,随氮素水平的提高而增大;而最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、光系统 II 量子产量  $\Phi_{PSII}$ 、光化学猝灭系数( $qP$ )均显著降低。干旱胁迫下  $F_v/F_m$ 、 $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$  均以 240 kg·hm<sup>-2</sup> 氮素水平最高<sup>[14]</sup>。在本试验条件下, $F_v/F_m$  表现为随施氮量的增加而提高,对钾肥的反应不如氮肥敏感,但无氮钾肥处理  $F_v/F_m$  最低。表明氮钾协同作用对改善 PS II 最大光化学效率具有一定作用。同样,反映实际光化学效率的  $\Phi_{PSII}$  值也表现为 N<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 显著低于其它处理,即氮钾营养胁迫下更容易发生光抑制。

蛋白质和叶绿素含量是衡量棉花生理状态和叶片衰老情况的重要指标之一。丙二醛是膜质过氧化的最终分解产物,对细胞膜具有伤害作用。SOD 是植物体中的保护酶,它可以降低或消除活性氧对膜质的攻击能力,从而保护膜结构,提高植物抗性。刘连涛等<sup>[15]</sup>的研究发现:氮素营养的缺乏会引起整株叶片的叶绿素、可溶性蛋白质含量大幅度地下降,丙二醛含量升高,加速衰老进程。叶绿素含量能有效地反映棉株的氮素含量<sup>[16]</sup>。施钾肥可有效地减缓叶片的衰老<sup>[17]</sup>。喻树迅等<sup>[18]</sup>研究棉花离体状态下叶片衰老与 MDA 变化,得出 MDA 含量随衰老的加深而上升。本试验在氮钾营养共同作用下研究棉花主茎功能叶生理生化指标和衰老的关系,棉花主茎功能叶叶绿素、可溶性蛋白质受氮钾营养影响显著,丙二醛含量随生育进程的推进而上升,在盛铃期陡然上升。而 SOD 活性和 ABA 含量自 8 月上旬出现明显差异。

综合分析棉株整个生育过程主茎功能叶生理生化特征发现,良好的氮钾供应水平,有利于改善棉花生育中后期光合作用、蛋白质代谢、清除活性氧及细胞膜保护系统等生理功能,防止或

延缓早衰<sup>[19]</sup>。对于生长期长、氮钾需求量较大的棉花而言,即便土壤肥力水平较高(如本试验基础地力水平),也须通过施肥补充适量氮钾养分,否则不能满足中后期的氮钾需求,这也是维持土壤肥力水平,实现棉花持续高产的施肥依据。

#### 参考文献:

- [1] WRIGHT P R. Premature senescence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)-predominantly a potassium disorder caused by an imbalance of source and sink [J]. *Plant Soil*, 1999, 211(2): 231-239.
- [2] 危常州,张福锁,朱和明,等. 新疆棉花氮营养诊断及追肥推荐研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(12):1500-1505.  
WEI Chang-zhou, Zhang Fu-suo, Zhu He-ming, et al. Study on cotton nitrogen diagnosis and topdressing recommendation in north xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(12): 1500-1505.
- [3] 勾玲,闫洁,韩春丽,等. 氮肥对新疆棉花产量形成期叶片光合特性的调节效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(5): 488-493.  
GOU Ling, Yan Jie, Han Chun-li, et al. Effects of nitrogen rates on photosynthetic characteristics and yield of high-yielding cotton in Xinjiang[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5): 488-493.
- [4] 孙红春,冯立肖,谢志霞,等. 不同氮素水平对棉花不同部位——铃叶系统生理特性及铃重空间分布的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(8): 1638-1645.  
SUN Hong-chun, Feng Li-xiao, Xie Zhi-xia, et al. Physiological characteristics of boll-leaf system and boll weight space distributing of cotton under different nitrogen levels[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(8): 1638-1645.
- [5] 刘连涛,李存东,孙红春,等. 氮素营养水平对棉花衰老的影响及其生理机制[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(5): 1575-1581.  
LIU Lian-tao, Li Cun-dong, Sun Hong-chun, et al. Effects of nitrogen on cotton senescence and the corresponding physiological mechanisms[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(5): 1575-1581.
- [6] 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.  
WANG Gang-wei, Tian Xiao-li, Xie Xiang-yi, et al. Effects of potassium deficiency on the transport and partitioning of potassium in cotton plant[J]. *Cotton Science*, 2007, 19(3): 173-178.
- [7] 郭英,孙学振,宋宪亮,等. 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 363-368.  
GUO Ying, Sun Xue-zhen, Song Xian-liang, et al. Effects of potassium nutrition on growth and leaf physiological characteris-

- tics at seedling stage of cotton[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer*, 2006, 12(3): 363-368.
- [8] PETTIGREW W T. Potassium deficiency increase specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton [J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91: 962-968.
- [9] READ S M, Northcote D H. Minimization of variation in the response to different proteins of the Coomassie blue G dye-binding assay for protein [J]. *Anal Biochem*, 1981, 116(1): 53-64.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 161-162.
- ZOU Qi. Experiments of plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 161-162.
- [11] 李宗霆, 周燮. 植物激素及其免疫检测技术[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 250-284.
- LI Zong-ting, ZHOU Xie. Plant hormones and their immunoassays[M]. Nanjing: Phoenix Science Press, 1996, 250-284.
- [12] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- ZHANG Shou-ren. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448.
- [13] 汤照云, 万国强, 刘彤, 等. 北疆棉花不同品种叶绿素荧光特性的研究[J]. 棉花学报, 2004, 16(3): 166-169.
- TANG Zhao-yun, Wan Guo-qiang, Liu Tong, et al. Chlorophyll fluorescent light kinetics parameters to main cotton varieties in north Xinjiang[J]. *Cotton Science*, 2004, 16(3): 166-169.
- [14] 刘瑞显, 王友华, 陈兵林, 等. 花铃期干旱胁迫下氮素水平对棉花光合作用与叶绿素荧光特性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 657-683.
- LIU Rui-xian, Wang You-hua, Chen Bing-lin, et al. Effects of nitrogen levels on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics under drought stress in cotton flowering and boll-forming stage [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(4): 657-683.
- [15] 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 Lian-tao, Li Cun-dong, Sun Hong-chun, et al. Physiological effects of nitrogen untrition on the senescence of cotton leaves at different positions [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(5): 910-914.
- [16] 王巧兰, 吴礼树, 赵竹青, 等. 棉株氮营养状况评估方法的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 665-669.
- WANG Qiao-lan, Wu Li-shu, Zhao Zhu-qing, et al. Tradeoff study on N nutrition status assess approaches of cotton [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(5): 665-669.
- [17] 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 Ling-li, Ma Zong-bin, Zhang Dong-lin, 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 Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(5): 662-666.
- [18] 喻树迅, 黄祯茂, 姜瑞云, 等. 几个短季棉品种叶片衰老特征的研究[J]. 棉花学报, 1994, 6(增刊): 31-35.
- YU Shu-xun, Huang Zhen-mao, Jiang Rui-yun, et al. Researches on the traits of leaf aging of several short season cotton varieties [J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1994, 6(suppl): 31-35.
- [19] 董海荣, 李金才, 李存东. 硝化抑制剂对不同氮肥运筹下棉田土壤及棉株功能叶片氮素积累的影响[J]. 棉花学报, 2009, 21(1): 51-56.
- DONG Hai-rong, Li Jin-cai, Li Cun-dong. Effects of nitrogenous fertilizer strategies on the nitrogen accumulation in cotton field soil and cotton functional leaves [J]. *Cotton Science*, 2009, 21(1): 51-56. ●