

## 彩色棉主茎功能叶片生理特性比较研究

张海鹏, 周琴, 周桃华\*

(安徽农业大学农学院, 合肥 230036)

**摘要:**以棕色棉皖棉 38 号、绿色棉皖棉 39 号和白色棉皖棉 25 号为材料,研究了 2 个彩色棉品种主茎功能叶片主要生理特性的差异。结果表明,彩色棉主茎功能叶片的叶绿素、可溶性蛋白质及可溶性糖含量全生育期变化趋势与白色棉一致,均在盛花期达到极大值,但全生育期 3 个指标净值均低于白色棉,且在盛花期以后迅速降低;彩色棉品种超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性在整个生育期变化较为相似,SOD、POD 活性在盛花期达到高峰后下降。与棕色棉相比,绿色棉的 SOD、POD、CAT 的活性除初花期较高外,其余 3 个时期均低于棕色棉;初花期棕色棉的 MDA 含量较高,吐絮期绿色棉较高。由此可知,绿色棉在受到逆境伤害的时候,功能叶片会提高保护酶的活性,降低逆境对棉株的损伤。吐絮期绿色棉保护酶活性下降较快,出现早衰现象。

**关键词:**绿色棉;棕色棉;主茎叶;生理特性

**中图分类号:**S562.01 **文献标志码:**A

**文章编号:**1002-7807(2012)04-0325-06

## Comparative Studies on Physiological Characteristics of Main Stem Functional Leaves of Colored Cotton Varieties

ZHANG Hai-peng, ZHOU Qin, ZHOU Tao-hua\*

(Agricultural College, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

**Abstract:** Use varieties of Wanmian 38(brown-fiber cotton), Wanmian 39(green-fiber cotton), and the parental material Wanmian 25 (white-cotton) to analyze the difference between the brown-fiber cotton and the green-fiber cotton in physiological characteristics of main stem functional leaves within two cotton varieties. The results showed that the contents of chlorophyll, soluble protein and soluble sugar in white cotton were the same as colored ones. The dynamics tend to peak at the full flowering stage. The three indices of colored cotton varieties were lower than the white cotton's at the whole stage, and rapidly decreased after the full flowering stage. The activities of SOD, POD and CAT within the two colored cotton varieties were quite similar at the whole development stage, with the activities of SOD, POD peaking at the full flowering stage and decreasing after the opening of bolls. Compared with brown-fiber cotton, the activities of SOD, POD, CAT of green-fiber cotton were much higher at the primary flowing stage, but much lower at the rest three periods. Specifically, MDA content in brown-fiber cotton was higher than those of green-fiber cotton and white cotton in initial stage of bloom. While in the boll opening stage, the MDA content of green-fiber cotton was higher. So that, when the green-fiber cotton was damaged under stress, activities of protective enzymes will be increased by functional leaves in order to minimize the damage to the cotton plant. While at the boll stage, activities of cell defense enzymes of green-fiber cotton decreased fast and resulted in senescence of cotton.

**Key words:** green-fiber cotton; brown-fiber cotton; stem leaves; physiology characteristics

彩色棉是利用现代生物和常规育种技术相结合培育的具有天然色彩的棉花品种,其纺织品无需印染,无化学毒素残留<sup>[1-4]</sup>。近年来,育种者利用杂种优势原理,改良了一些彩色棉品种<sup>[5-6]</sup>,但

对引起彩色棉产量低和品质差的机理所知甚少。天然彩色棉品种在色素基因导入后,一些生理特性发生了变化<sup>[7-8]</sup>。詹少华等<sup>[9]</sup>发现,绿色棉整个生育期丙二醛含量较高;超氧化物歧化酶(SOD)、过

收稿日期:2012-03-06

作者简介:张海鹏(1979-),男,在读博士, [nxyzhp@163.com](mailto:nxyzhp@163.com); \* 通讯作者, [zhouth2004@163.com](mailto:zhouth2004@163.com)

基金项目:国家转基因专项子课题(2008ZX08005-004-1-07);安徽省高校优秀青年人才基金(2010SQRL064);安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2008A129)

氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等植物保护酶活性直接影响植株的光合产物和水平的高低,有研究表明彩色棉整个生育期保护酶的活性较低,影响其光合产物的形成和积累,从而降低彩色棉的产量和品质<sup>[10-12]</sup>。目前,国内外对彩色棉的研究主要集中于纤维色素、纤维品质性状提高的遗传改良<sup>[13-15]</sup>,有关彩色棉植株的功能叶片酶活方面的系统研究尚未见报道。为此,本文选择在生产上有一定种植面积的天然绿色、棕色棉品种,从彩色棉主茎功能叶片生理特性的角度探讨彩色棉产量低、品质差、易早衰的原因,为生产上提高彩色棉产量和品质提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2008—2009 年在安徽农业大学试验农业园进行,试验田土壤为黄褐土,土壤有机质含量 1.30%、全氮 0.1%、速效氮 101.5 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 8.5 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 92.4 mg·kg<sup>-1</sup>,排灌条件较好。供试 3 个棉花品种为棕色棉品种皖棉 38 号、绿色棉品种皖棉 39 号和白色棉品种皖棉 25 号,种子由淮北市棉花产业化促进中心提供,采用随机区组设计,重复 5 次。试验小区长 7 m,宽 3 m,面积为 21 m<sup>2</sup>,每小区植棉 4 行,密度 3 万株·hm<sup>-2</sup>,行距 75 cm,株距 44 cm。4 月 15 日播种育苗,5 月 17 日移栽,田间管理按照一般棉田管理。试验农业园所在地区 2008 年 6 月中旬至 7 月上旬连续降水日数≥3 达 5 次,2009 年同一时间段连续降水日数≥3 达 4 次,2 个年份棉花初花期受渍害影响严重。

### 1.2 测定项目和方法

分别于蕾期、初花期、盛花期和吐絮期上午 8:00—10:00 取功能叶 15 片用于下列项目测定,重复 3 次,取平均值。

叶绿素含量:采用改进的赵世杰的方法<sup>[16]</sup>,用 95% 酒精浸泡至叶片完全失绿,在 665 nm、649 nm 波长下比色测定。计算方法:

$$Ca=13.95A_{665}-6.88A_{649},$$

$$Cb=24.96A_{649}-7.32A_{665}$$

可溶性蛋白质含量:参照 Read 等<sup>[17]</sup>考马斯亮蓝法测定,在 595 nm 波长下比色测定。

可溶性糖含量:采用蒽酮法<sup>[18]</sup>比色测定,在 630 nm 波长下比色测定。

丙二醛(MDA)含量:参照赵世杰等<sup>[16]</sup>的方法,用双组分分光光度法分别测定反应产物在 600 nm、532 nm 和 450 nm 消光度值。按下列公式计算:MDA 浓度(μmol·L<sup>-1</sup>)=6.45(D<sub>532</sub>-D<sub>600</sub>)-0.56D<sub>450</sub>  
MDA 含量(μmol·g<sup>-1</sup>)=MDA 浓度(μmol·L<sup>-1</sup>)×提取液体积(mL)/植物组织鲜质量(g)

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定:采用氮蓝四唑(NBT)光下还原法<sup>[16]</sup>,以抑制 NBT 光化还原的 50% 为一个酶活性单位,测定吸光值波长为 560 nm。

过氧化物酶(POD)活性测定:采用愈创木酚测定<sup>[18]</sup>,以愈创木酚为底物,记录 470 nm 处 OD 增加速度。将每分钟 OD 增加 0.01 定义为 1 个活力单位。

过氧化氢酶(CAT)活性测定:用 pH 7.8、0.05 mol·L<sup>-1</sup>、磷酸缓冲液(含 2% PVP)提取,紫外光比色,测定波长 240 nm 处的 OD 降低速度。将每分钟 OD 减少 0.01 定义为 1 个活力单位<sup>[19]</sup>。

数据采用 SPSS 11.0 软件分析,2 年的数据基本一致,采用 2008 年资料。

## 2 结果与分析

### 2.1 彩色棉主茎功能叶片叶绿素含量分析

整个生育期彩色棉品种主茎功能叶片叶绿素含量变化较为相似(表 1),盛花期达到峰值,吐絮期后含量下降。整个生育期绿色棉叶绿素含量低于棕色棉和白色棉,达极显著水平,表明绿色棉光能利用能力较弱。盛花期棕色棉叶绿素含量略低于白色棉,差异不显著。盛花至吐絮期绿色棉和棕色棉的叶绿素含量下降的幅度大于白色棉,绿色棉下降最多,差异极显著。彩色棉叶片中的叶绿素在盛花期后分解迅速,可能会致使叶片衰老过快。

### 2.2 彩色棉功能叶可溶性蛋白质含量的比较

叶片内的可溶性蛋白质大多是具有活性的各种酶类,这些酶类参与光合、呼吸等许多重要的生理代谢过程。图 1 的结果表明,彩色棉与白色棉功能叶片的可溶性蛋白质含量在整个生育期变化较为相似,3 个品种均在盛花期达到最大

表 1 不同彩色棉品种功能叶片叶绿素含量变化动态

Table 1 Dynamics of chlorophyll contents for different color cotton cultivars in functional leaves

品种类型 Variety types	叶绿素含量 / (mg·g <sup>-1</sup> )			
	蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Full bloom stage	吐絮期 Boll opening stage
棕色棉 Brown cotton	2.2413bB	2.1538bB	3.1985aA	2.8537bB
绿色棉 Green cotton	2.0311cC	1.9542cC	2.7942bB	2.2461cC
白色棉 White cotton	2.5627aA	2.4136aA	3.2037aA	3.0752aA

注:表中数字后的大写和小写英文字母分别表示差异达 1% ( $P<0.01$ ) 和 5% ( $P<0.05$ ) 显著水平。

Note: Capital letters or lowercase letters mean significance of differences at 1% ( $P<0.01$ ) or 5% ( $P<0.05$ ), respectively.

值。绿色棉与棕色棉在 4 个时期均低于白色棉,绿色棉与棕色棉相比,初花期略高,其他时期均低于棕色棉,吐絮期绿色棉功能叶片的可溶性蛋白质含量显著低于棕色棉。

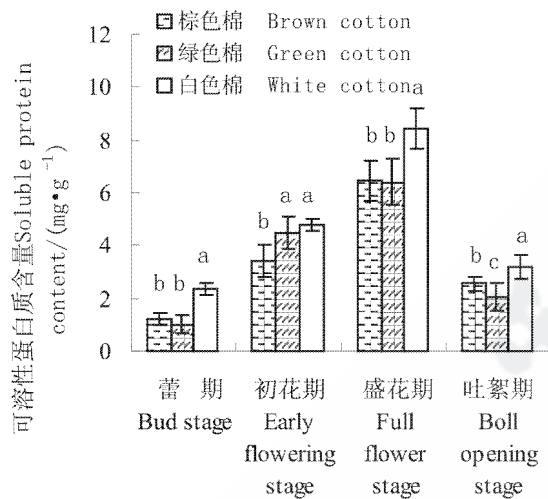


图 1 不同彩色棉品种功能叶片可溶性蛋白质含量变化动态

Fig. 1 Dynamics of the content of soluble protein for different color cotton cultivars in functional leaves

### 2.3 彩色棉功能叶可溶性糖含量的比较

整个生育期 3 个棉花品种功能叶片的可溶性糖含量与可溶性蛋白含量变化较为一致 (图 2), 蕾期至盛花期逐渐升高, 吐絮期下降。彩色棉叶片可溶性糖含量整个生育期均低于白色棉, 且差异显著。绿色棉与棕色棉叶片可溶性糖含量相比, 初花期差异不显著, 其他时期显著低于棕色棉。

### 2.4 彩色棉功能叶丙二醛(MDA)含量的比较

丙二醛(MDA)是膜质过氧化的产物,其含量的高低反映细胞过氧化程度。从图 3 可以看出,3 个棉花品种 MDA 含量变化较为相似, 均在初花期与吐絮期分别出现峰值。绿色棉 MDA 含量初花期略高于白色棉, 差异不显著; 其它时期平均值达到  $36.431 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ , 是棕色棉的 1.18 倍, 是

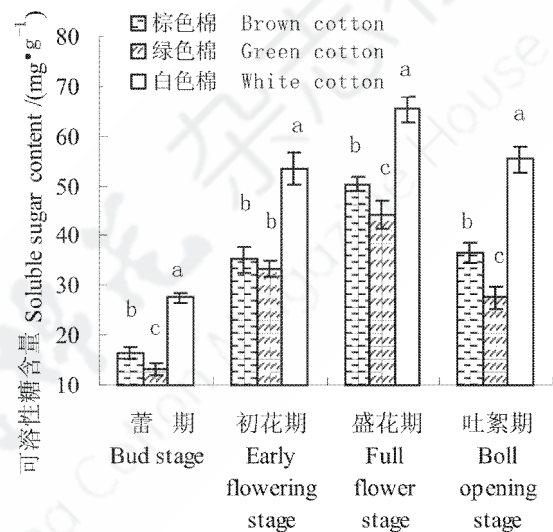


图 2 不同彩色棉品种功能叶片可溶性糖含量变化动态

Fig. 2 Dynamics of the content of soluble sugar for different color cotton cultivars in functional leaves

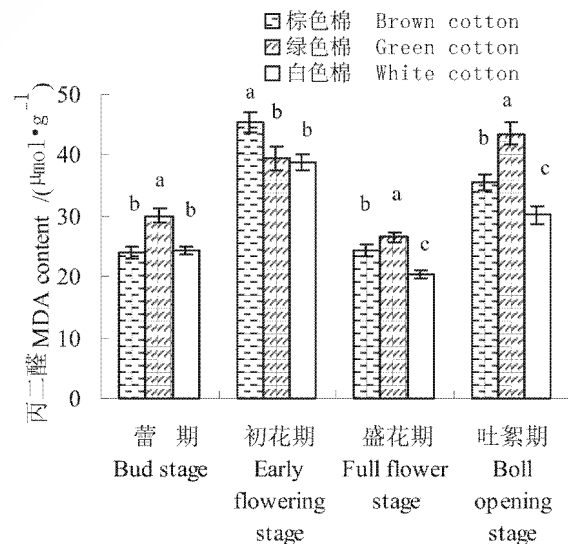


图 3 不同彩色棉品种功能叶片 MDA 含量变化动态

Fig. 3 Dynamics of MDA content for different color cotton cultivars in functional leaves

白色棉的 1.25 倍, 差异显著。棕色棉 MDA 含量蕾期与白色棉差异不显著, 其他时期显著高于白色棉, 可能是由于彩色棉导入色素基因后引起叶

片MDA含量的变化所致。由图3还可以看出,吐絮期后棕色棉、绿色棉、白色棉MDA含量分别较盛花期上升了45.8%,64.3%,47.8%;绿色棉上升幅度较大,可能与棉花功能叶片生长后期过早衰老有关。

### 2.5 彩色棉功能叶超氧化物歧化酶(SOD)活性比较

SOD活性测定结果(图4)表明,3个品种均在盛花期达到最高值,彩色棉品种SOD活性在蕾期、初花期与白色棉差异不显著,在盛花期和吐絮期显著低于白色棉。初花期至盛花期棕色棉、绿色棉、白色棉SOD活性分别提高56.4%,45.8%,66.9%;吐絮期绿色棉的SOD活性急速下降,与棕色棉和白色棉差异达显著水平。

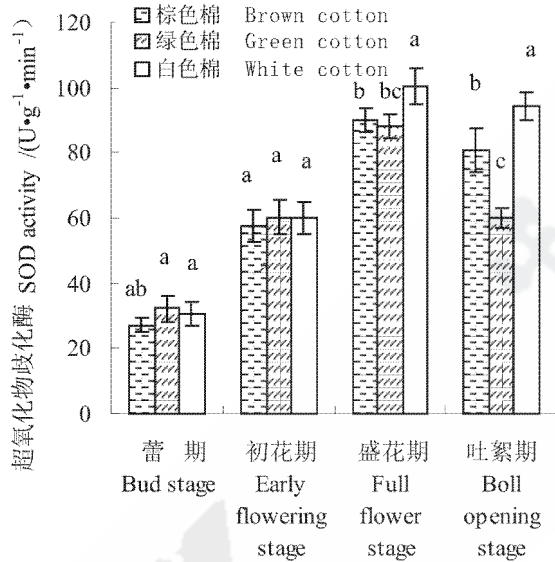


图4 不同彩色棉品种功能叶片SOD活性变化动态  
Fig. 4 Dynamics of SOD activity for different color cotton cultivars in functional leaves

### 2.6 彩色棉功能叶过氧化氢酶(CAT)活性比较

3个棉花品种蕾期到初花期功能叶CAT活性逐渐上升(图5),盛花期后急剧下降。初花期前,彩色棉CAT活性显著低于白色棉,盛花期和吐絮期低于白色棉,但差异不显著。2个彩色棉品种初花期差异显著,其余各时期差异不显著,初花期至盛花期CAT活性急剧下降。棕色棉CAT活性下降最少,为22.5%;白色棉CAT活性下降最多,达到47.3%。盛花期至吐絮期棕色棉、绿色棉、白色棉CAT酶活性分别下降8.9%,14.4%,8.3%。

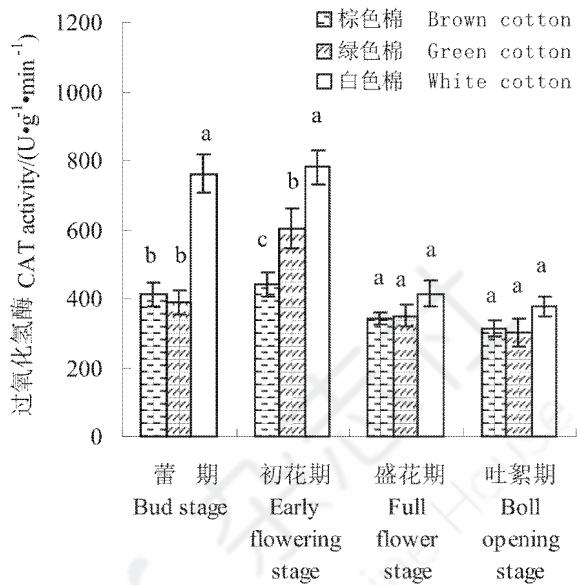


图5 不同彩色棉品种功能叶片CAT活性变化动态  
Fig. 5 Dynamics of CAT activity for different color cotton cultivars in functional leaves

### 2.7 彩色棉功能叶过氧化物酶(POD)活性比较

图6表明,3个棉花品种初花期至盛花期POD酶活性上升较快,盛花期达到峰值,吐絮期下降。彩色棉主茎功能叶片的POD活性,除棕色棉盛花期与白色棉差异不显著(但显著高于绿色棉)外,整个生育期均显著低于白色棉。吐絮期后绿色棉POD活性下降幅度最大,达到26.9%。棕色棉、白色棉POD活性分别较盛花期下降了24.7%和20.6%。绿色棉POD活性除初花期高于棕色棉,其他时期均低于棕色棉,且在盛花期和

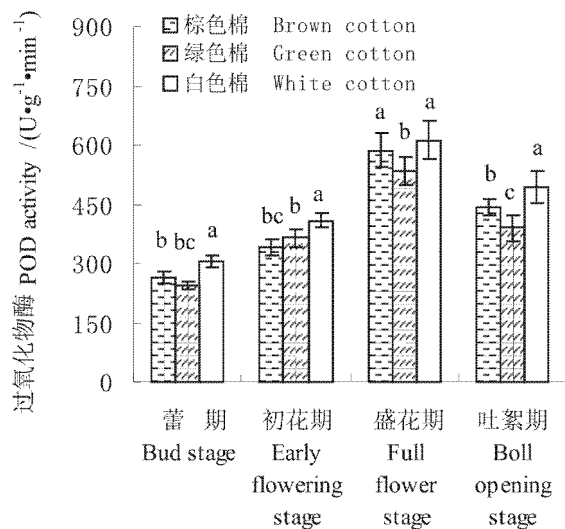


图6 不同彩色棉品种功能叶片POD活性变化动态  
Fig. 6 Dynamics of POD activity for different color cotton cultivars in functional leaves

吐絮期差异显著。POD 活性低不利于清除有害物质和延缓叶片的衰老。

### 3 讨论与结论

叶绿素含量低会降低植物的光合作用,减少光合物质的积累,而可溶性蛋白质和可溶性糖含量是形成棉花产量和提高棉花品质的物质基础。彩色棉的叶绿素、可溶性蛋白质及可溶性糖含量在整个生育期均较低,生育后期下降的速率较快,影响其产量和纤维品质的形成。

丙二醛(MDA)是一种与细胞内其他成分发生强烈氧化反应的物质,易引起对酶和膜的严重损伤,导致膜结构完整性及生理功能的破坏<sup>[20]</sup>。本试验研究表明,受渍害后棕色棉 MDA 含量上升幅度较大,其抗逆性较弱,而绿色棉与白色棉差异不显著,这与詹少华等<sup>[9]</sup>研究结果不相同。吐絮期彩色棉主茎功能叶片的 MDA 含量显著高于白色棉,MDA 含量高说明细胞膜脂过氧化程度深,衰老进程加快<sup>[21-22]</sup>。彩色棉叶片叶绿素含量吐絮期下降幅度较大,光合产物积累较少,出现早衰现象,可能与此有关。增强 SOD、POD、CAT 等植物保护酶的功能,可延缓叶片衰老,延长叶片功能期,是提高产量和改善纤维品质的生理基础<sup>[23]</sup>。本试验结果表明,盛花期后,彩色棉 3 种酶活性下降迅速,说明彩色棉生育后期抗逆性差,会影响其光合产物的积累,降低棉花产量。初花期绿色棉 3 种酶活性高于棕色棉,说明绿色棉在受到逆境伤害的时候,功能叶片会提高保护酶的活性,减少丙二醛的积累,降低逆境对棉株的损伤。

综合分析彩色棉整个生育过程中主茎功能叶片的一些生理特性发现,彩色棉功能叶片生理指标均低于白色棉,特别是盛花期至吐絮期指标下降幅度较大,出现叶片早衰、抗逆性差现象,影响其产量和品质。因此,在彩色棉的生产中,首先要选用抗性强、综合农艺性状好的杂交彩色棉品种;其次针对本试验材料的特征特性,可适当迟播,提高种植密度,增加花铃肥施用量,补施盖顶肥,以利盛花后期提供充足的氮素,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,防止和延缓早衰,实现彩色棉的高产和稳产。

### 参考文献:

- [1] 邱新棉. 天然彩色棉研究现状与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(2): 171-174.  
QIU Xin-mian. Current status and prospects of research on naturally colored cotton[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4(2): 171-174.
- [2] KOHEL R J. Genetic analysis of fiber color variants in cotton[J]. Crop Science, 1985, 25: 793-799.
- [3] 邱新棉. 浙江省自然彩色棉的生产及其开发前景[J]. 浙江农业科学, 1999(1): 31-33.  
QIU Xin-mian. Production and development prospect of natural colored cotton in Zhejiang Province[J]. Journal of Agricultural Science, 1999(1): 31-33.
- [4] 邱新棉, 赵连英. 经济发达地区应当积极发展天然彩色棉[J]. 中国农学通报, 1998, 14(5): 14-16.  
QIU Xin-mian, Zhao Lian-ying. Natural colored cotton should be positive developed in economically developed areas[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1998, 14(5): 14-16.
- [5] 曹新川, 何良荣, 蔡臻伟, 等. 彩色棉与海岛棉间 F<sub>1</sub> 杂种优势分析[J]. 棉花学报, 2003, 15 (3): 191-192.  
CAO Xin-chuan, He Liang-rong, Cai Zhen-wei, et al. The analysis of interspecific heterosis of the colorful cotton (*G. hirsutum* × *G. barbadense*) [J]. Cotton Science, 2003, 15(3): 191-192.
- [6] 赵向前, 王学德. 细胞质雄性不育彩色棉的杂种优势利用和制种研究[J]. 棉花学报, 2005, 17 (1): 8-11.  
ZHAO Xiang-qian, Wang Xue-de. Studies on the heterosis and seed production of hybrid between cytoplasmic male sterile lines and restoring lines in colored cotton[J]. Cotton Science, 2005, 17 (1): 8-11.
- [7] 郑顺林. 彩色棉和高强力优质棉产量与品质形成特性的初步研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2001: 4-5.  
ZHENG Shun-lin. A study on character of yield and fiber quality development about coloured cotton and high quality cotton [M]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2001: 4-5.
- [8] 王延琴, 强爱娣, 潘士梅. 天然彩色棉密度试验研究[J]. 中国棉花, 2002, 29(3): 20-21.  
WANG Yan-qin, Qiang Ai-di, Pan Shi-mei. Study on the density of natural colored cotton[J]. China Cotton, 2002, 29(3): 20-21.
- [9] 詹少华, 林毅, 吕凯. 天然彩色棉过氧化物酶丙二醛及硝酸还原酶的测定[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(1): 17-19.  
ZHAN Shao-hua, Lin Yi, Lü Kai. Testing of peroxides, malon-dialdehyde and nitrate reductase activity in natural colored cotton[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33(1): 17-19.
- [10] BAUER P J, Frederick J R, Bradow J M, et al. Canopy photosynthesis and fiber properties of normal and late planted cotton [J]. Agronomy Journal, 2000, 92(3): 518-523.

- [11] 徐文修,牛新湘,边秀举. 新疆棉花光温生产潜力估算与分析[J]. 棉花学报,2007,19(6):455-460.  
XU Wen-xiu, Niu Xin-xiang, Bian Xiu-ju. The calculations and analyses on thermal production potential of cotton in Xinjiang [J]. Cotton Science, 2007, 19(6): 455-460.
- [12] 单世华,王明林,汪建民,等. 不同开花期 IAA、GA3 和 POD 对棉纤维伸长发育的影响[J]. 棉花学报,2001,13(2):100-104.  
SHAN Shi-hua, Wang Ming-lin, Wang Jian-min, et al. Research on effect of IAA, GA3 and POD on cotton fiber elongation development on different anthesis dates[J]. Cotton Science, 2001, 13(2): 100-104.
- [13] 詹少华,林毅,蔡永萍. 彩色棉棉铃生长发育动态研究简报[J]. 棉花学报,2005,17(2):127-128.  
ZHAN Shao-hua, Lin Yi, Cai Yong-ping. Study on developmental dynamics characteristics of the bolls of naturally-colored cotton[J]. Cotton Science, 2005, 17(2): 127-128.
- [14] 郭玉海,徐楚年. 棉花纤维品质形成生理学研究: I. 生长调节剂对纤维细胞次生壁增厚的效应[J]. 北京农业大学学报, 1993, 9(1):23-26.  
GUO Yu-hai, Xu Chu-nian. Study on physiology of cotton fiber quality formation: I. The effects of growth regulator on fiber elongation and secondary wall thickening[J]. Journal of Beijing Agricultural University, 1993, 9(1): 23-26.
- [15] 武耀廷,张恒木,刘进元. 棉纤维细胞发育过程中纤维素的生物合成[J]. 棉花学报,2003,15(3):174-179.  
WU Yao-ting, Zhang Heng-mu, Liu Jin-yuan. Cellulose biosynthesis in developing cotton fibers[J]. Cotton Science, 2003, 15(3): 174-179.
- [16] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 72-75, 163-165.  
ZOU Qi. Experiment guidance for plant physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 72-75, 163-165.
- [17] READ S M, Northcote D H. Minimization of variation in the response to different protein of the coomassie blue G dye binding assay for protein[J]. Analytical Biochemistry, 1981, 116: 53-64.
- [18] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学试验[M]. 北京:北京大学出版社,1990:245-248.  
ZHU Guang-lian, Zhong Hui-wen, Zhang Ai-qin. Plant physiology experiment[M]. Beijing: Beijing University Press, 1990: 245-248.
- [19] 袁朝兴,丁静. 水分胁迫对棉花叶片中 IAA 含量、IAA 氧化酶和过氧化物酶活性的影响[J]. 植物生理学报,1990,16(2):179-180.  
YUAN Chao-xing, Ding Jing. Effects of water stress on the content of IAA and the activities of IAA oxidase and peroxidases in cotton leaves[J]. Acta Physiologica Sinica, 1990, 16(2): 179-180.
- [20] REDDY A R, Chaitanya K V, Jutur P P, et al. Different antioxidant responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars[J]. Environ Exp Bot, 2004, 52: 33-42.
- [21] GE T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize[J]. Agric Sci China, 2006, 5: 291-298.
- [22] 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):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.
- [23] 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. ●