

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.00907

两个不同彩色棉纤维品质性状形成特点及生长调节剂调节作用

张 祥 肖 建 栾 娜 王永慧 杨朝华 陈 源 陈德华*

扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009

摘 要: 选择天然棕色棉品种湘彩棉 2 号和绿色棉品种皖棉 39, 研究其纤维品质性状形成特点及激素调节作用。结果表明与常规白色陆地棉苏棉 9 号(对照)相比, 2 个彩色棉品种的纤维长度均较低, 尤其皖棉 39 显著低于对照, 主要是花后 10~30 d 伸长速率明显下降。两个不同彩色棉品种的纤维比强度、马克隆值和成熟度值均显著低于对照, 且主要与各个品质指标形成关键期的增长率较慢有关。两个彩色棉品种 10 DPA (days post anthesis)和 20 DPA 纤维中 IAA 含量, 30 DPA 和 40 DPA ABA 含量均显著低于各自对照。应用 20 mg L⁻¹ GA₃ 处理棉铃后, 湘彩棉 2 号、皖棉 39 20 DPA 纤维中 IAA 含量分别比各自对照提高 51.07%、64.33%; 吐絮时纤维长度分别比各自对照增加 8.13%、13.96%; 应用 20 mg L⁻¹ ABA 处理棉铃, 40 DPA 纤维中 ABA 含量分别比各自对照提高 38.96%、24.40%, 纤维比强度、马克隆值和成熟度也显著增加, 其中又以皖棉 39 增加幅度较大。说明天然彩色棉纤维内源激素 IAA 和 ABA 含量不足影响纤维品质性状的形成, 而通过植物生长调节剂应用可调节内源激素含量, 改善纤维品质, 且调节效应因植物生长调节剂和品种不同而异。

关键词: 天然彩色棉; 纤维品质; 激素

Characteristics of Fiber Quality in Cotton Development and Its Regulation by Hormone in Two Natural Colored-Cotton Cultivars

ZHANG Xiang, XIAO Jian, LUAN Na, WANG Yong-Hui, YANG Zhao-Hua, CHEN Yuan, and CHEN De-Hua*

Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

Abstract: The brown cotton cultivar Xiangcaimian 2, green cotton cultivar Wanmian 39, and white fiber control cultivar Sumian 9 were used to study the fiber developmental characteristics and the effect of hormones on fiber quality with sampling different stages after anthesis. The results showed that fiber length of the brown and green cotton cultivar was lower than that of control, and that of the green cotton always lower than that of brown cotton. Compared with the control, the fiber strength, fiber micronaire, fiber maturation of natural-colored cotton were lower. The lower fiber length for the green cultivar was due to the less increase during 10 to 30 days post anthesis (DPA), the lower fiber strength, fiber micronaire, fiber maturation of natural-colored cotton were due to the slower growing speed at the pivotal stage. The IAA content at 10 DPA, the ABA content at 30 to 40 DPA in fiber of the two natural-colored cultivars were lower than that of Sumian 9. In comparison with control, in the treatment of applying 20 mg L⁻¹ GA₃, the IAA content in the fiber of Xiangcaimian 2 and Wanmian 39 at 20 DPA increased by 51.07% and 64.33%, respectively at boll opening stage, and fiber length also enhanced by 8.13% and 13.96%, respectively at boll open stage. The ABA content in fiber in the treatment applying 20 mg L⁻¹ ABA at 40 DPA increased by 38.96% and 24.40% for Xiangcaimian 2 and Wanmian 39 respectively. The fiber strength, fiber micronaire, fiber maturation also enhanced at the boll opening stage, especially for Wanmian 39. Those results suggest that endogenous hormones affect fiber quality, application of ABA and GA₃ with suitable concentration can increase the content of hormones in the natural-colored cotton fiber and advance the fiber quality, and the effect of different hormones are different.

Keywords: Nature-colored cotton; Fiber quality; Hormone

本研究由江苏省高校自然科学基金项目(07KJB210128), 扬州大学自然科学基金项目(MK0513116), 江苏省十一五攻关项目(BE2006306), 江苏省“青蓝工程”学术带头人资金, 扬州大学新世纪学术带头人资金资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 陈德华。

Received(收稿日期): 2008-08-30; Accepted(接受日期): 2009-02-13.

天然彩色棉是采用现代生物技术和常规技术相结合培育出来的新型棉花。其纺织品无需漂染, 不含残留化学毒素, 具有环保功能而得到广泛关注^[1-3]。但与常规白色陆地棉相比, 彩色棉存在着产量低, 纤维品质较差等问题, 限制了它在生产上的推广应用^[4]。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; 以及色素形成及色素稳定性的机理。据郭玉海等^[5]研究表明, 对普通白棉喷施赤霉素可促进纤维伸长, 增加纤维细胞壁厚度, 使单根纤维重量增加; 而张文英等^[6]认为, 叶面喷施脱落酸对抗虫棉纤维品质有一定的改善作用。然而, 对如何进一步提高天然彩色棉纤维品质性状的生理调节特别是激素调节方面研究不多^[7-9]。为此, 本文选用已在生产上有一定应用的天然棕色和绿色棉品种, 调查其纤维品质性状形成特征和内源激素的变化及植物生长调节剂对其纤维品质的调节作用, 试图阐明激素对天然彩色棉纤维品质的影响, 为进一步提高天然彩色棉的纤维品质, 提供激素调节的生理基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006—2007 年在扬州大学农学院遗传生理实验室试验农场进行, 试验地土壤含有机质 1.68%、水解氮 134.7 mg kg⁻¹、速效磷 25.2 mg kg⁻¹、速效钾 80.6 mg kg⁻¹。供试品种为常规陆地棉苏棉 9 号(白棉)、湘彩棉 2 号(棕色棉)、皖棉 39(绿色棉), 分别以 SM9、XM2、WM39 表示。

2006 年以品种为处理, 单因素随机区组设计, 重复 3 次, 小区面积 41 m²。于 7 月 20 日标记内围果节(第 1~2 果节)当日花, 并于 10、20、30、40、50 DPA(开花后天数)和成熟期取标记棉铃用于测定。各处理每次取标记棉铃 5 个, 每个棉铃取其中一室不同部位带纤维的棉籽, 分别按顶部 3 个、中部 4 个和基部 3 个取样, 共用 50 个样本测定纤维品质性状。同时每次另取 5 个棉铃立即以液氮速冻, 并在 -40℃ 条件下保存, 用于纤维的内源激素含量测定。

2007 年试验品种与 2006 年相同, 于 7 月 20 日标记内围果节(第 1~2 果节)当日花, 并在开花后第 2 天分别用 0.5 mL 20 mg L⁻¹ 脱落酸(ABA)、20 mg L⁻¹ 赤霉素(GA₃)涂抹幼铃, 以涂抹清水为对照, 分别以 A、G、CK 表示, 则湘彩棉 2 号、皖棉 39 各处理分

别以代号 XMA、XMG、XCK 和 WMA、WMG、WCK 表示。每处理重复 2 次, 小区面积 32 m²。于 10、20、30 和 40 DPA, 取标记棉铃 5 个立即以液氮速冻, 并在 -40℃ 条件下保存, 用于相关激素含量测定, 并于吐絮期取样测定纤维品质。

1.2 纤维长度

于花后 10 d 将胚珠置载玻片上, 用高压水流将纤维冲直, 用直尺测量长度, 精确到毫米(mm), 花后 20 d 及以后采用 Y146-3B 棉纤维光电长度仪测定。

1.3 纤维成熟度、马克隆值

采用 Y147 型棉纤维偏光成熟度仪测定。

1.4 纤维比强度

使用 HVI 棉纤维品质快速测定仪测定

1.5 激素的提取和测定

参照何钟佩^[10]和 Bollmark 等^[11]介绍的酶联免疫法(ELISA)提取与测定纤维中生长素(IAA)、脱落酸(ABA), 每样品重复 3 次。激素酶联免疫试剂盒由中国农业大学化控研究室提供。

1.6 数据分析

用 Excel、MATLAB 等软件进行与统计分析, SigmaPlot 10.0 绘图, Richard 方程进行生长动态模拟, 方法见参考文献[12]。

2 结果与分析

2.1 彩色棉纤维品质性状形成特征

2.1.1 纤维长度 图 1 表明, 两个天然彩色棉品种与对照 SM9 纤维长度均随花后天数快速增加, 至 30 DPA 后迅速减慢。进一步分析表明, XM2 和 WM39 10~30 DPA 纤维长度增长速率分别为 0.89 mm d⁻¹、0.85 mm d⁻¹, 显著低于 SM9 的 0.98 mm d⁻¹。

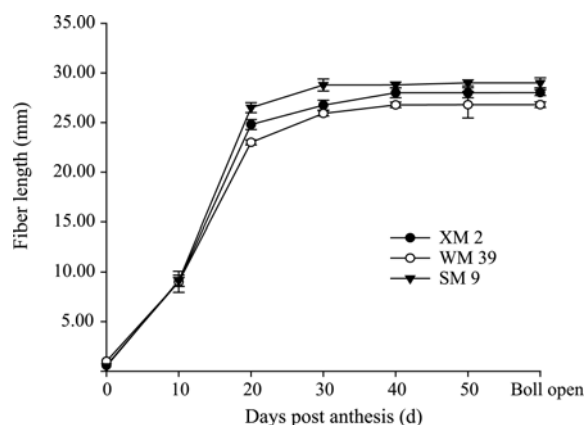


图 1 不同棉花品种纤维长度变化动态(2006)
Fig. 1 Dynamic changes of fiber length in different cotton cultivars(2006)

表 1 棉纤维长度增长过程 Richard 方程参数估值
Table 1 Parameters of Richard's equation for fiber length

品种 Cultivar	A	b	k	m	R ²	T _{poi}	V
XM2	2.75	0.05	0.23	211.99	0.9988	30.9	0.091
WM39	2.67	0.02	0.19	339.35	0.9996	30.9	0.079
SM9	2.89	6.36	0.27	335.00	0.9999	30.8	0.103

A: 终极积累量; b: 初值参数; k: 积累速率参数; m: 形状参数; R²: 拟合系数; V: 平均增长速率; T_{poi}: 增长由快转慢的日期。
A: maximum accumulation; b: beginning parameter; k: accumulative rate parameter; m: form parameter; R²: fitting coefficient; V: average accumulative rate; T_{poi}: the date from fast to slow.

吐絮时, WM39 纤维长度为 26.8 mm, 显著低于 SM9 的 29.0 mm ($F=5.68^*$)。

对花后不同天数的纤维长度应用 Richard 方程 $W = A/(1+be^{-kt})^m$ 模拟^[12-13]的各参数见表 1, 表明天然彩色棉纤维长度增长量随花后天数增加呈不对称 S 型积累曲线, 符合 Richard 方程。不同品种拟合度均在 0.998 以上, 说明拟合效果很好。两个彩色棉品种的纤维长度初值参数(b)、累积速率参数(k)、平均增长速率(V)均明显低于对照, 且绿色棉又低于棕色棉, 其中以初值参数差异最为明显。进一步说明彩色棉、尤其是绿色棉纤维长度低主要与纤维细胞伸长慢, 特别是伸长期伸长慢有关。

2.1.2 纤维强度 图 2 表明, 50 DPA 天然彩色棉和白棉品种纤维比强度都较低, 吐絮后显著提高, 说明纤维比强度主要在 50 DPA 以后形成。吐絮时, XM2、WM39 纤维比强度分别比白棉 SM9 低 11.6%、22.6%, 差异达显著和极显著水平($F = 18.50^*$ 、 $F = 20.33^{**}$), 这显然与纤维的螺旋结构形成有关^[14]。以上结果也说明彩色棉, 特别是绿色棉纤维螺旋结构形成可能不如白色棉, 因而不利于比强度提高。

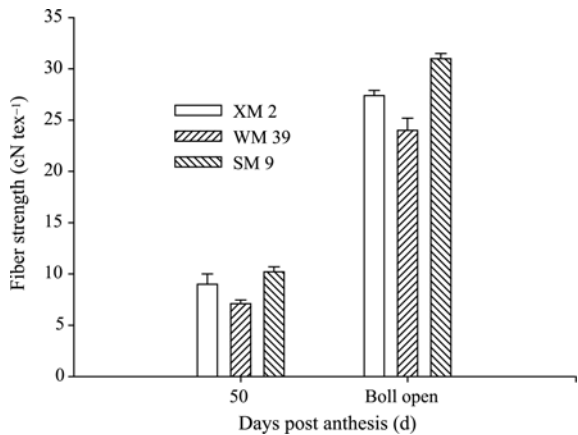


图 2 纤维比强度发育动态(2006)
Fig. 2 Dynamics of fiber strength in different cotton cultivars (2006)

2.1.3 纤维马克隆值 图 3 表明, 棕色棉 XM2 与白棉 SM9 纤维马克隆值的形成随花后天数增加, 至

30 DPA 后呈基本稳定状态, 而绿色棉 WM39 则随花后天数不断增加。天然彩色棉纤维马克隆值一直低于白棉, 尤其在花后 30 d 内相差最大。30 DPA, SM9 纤维马克隆值为 4.23, 极显著高于 XM2 和 WM39 ($F = 12.34^{**}$ 、 $F = 22.40^{**}$), 而 WM39 马克隆值为 2.61, 显著低于 XM2 3.52 ($F = 6.75^*$)。说明彩色棉, 特别是绿色棉的纤维马克隆值形成更慢。

Richard 方程模拟结果表明(表 2), 各品种拟合度均在 0.996 以上, 说明拟合效果很好。其中, XM2、WM39 纤维马克隆值的理论极限值(A)、初值参数(b)、平均增长速率(V)均明显低于苏棉 9 号, 此外 3 个处理的初值参数相差极大, 进一步说明天然彩色棉马克隆值低于白色棉、绿色棉低于棕色棉, 这可能与纤维细胞早期发育有关。

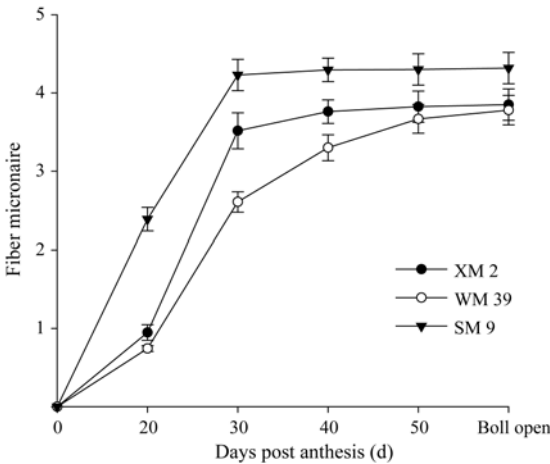


图 3 不同棉花品种纤维马克隆值变化动态(2006)
Fig. 3 Dynamics of fiber micronaire of different cotton cultivars (2006)

2.1.4 纤维成熟度系数 图 4 表明, 彩色棉品种和白棉 SM9 纤维成熟度系数均随花后天数逐渐增加的。XM2、WM39 成熟度系数一直低于 SM9, 且差异主要在花后 30 d 内, 特别是 20 DPA 差异最大, XM2、WM39 分别比白棉 SM9 低 36.8%、47.2%, 差异达极显著水平($F = 8.95^{**}$ 、 $F = 9.05^{**}$)。两个彩色棉品种相比, 吐絮时 WM39 成熟度系数比 XM2 低,

表 2 棉纤维马克隆值的 Richard 方程参数估值
Table 2 Parameters of Richard's equation for fiber micronaire

品种 Cultivar	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>R</i> ²	<i>T</i> _{poi}	<i>V</i>
XM2	3.81	756.54	0.26	0.46	0.9992	28.5	0.101
WM39	3.70	123.52	0.19	1.08	0.9931	28.9	0.076
SM9	4.28	3460.23	0.31	0.29	0.9993	27.8	0.139

缩写同表 1。Abbreviations as in Table 1.

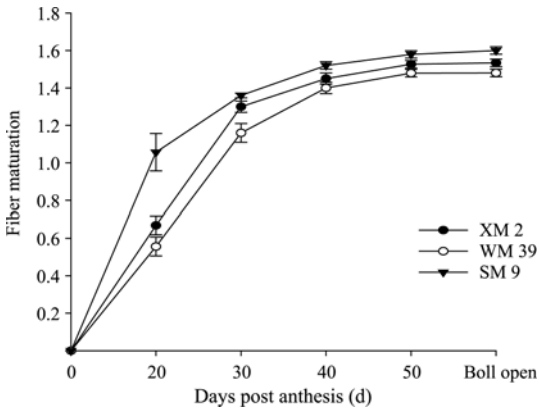


图 4 不同棉花品种棉纤维成熟度系数动态(2006)
Fig. 4 Dynamics of fiber maturation in different cotton cultivars (2006)

表 3 棉纤维成熟度系数增长过程的 Richard 方程参数估值
Table 3 Parameters of Richard's equation for fiber maturation

品种 Cultivar	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>R</i> ²	<i>T</i> _{poi}	<i>V</i>
XM2	1.51	37.39	0.15	0.76	0.9917	30.97	0.029
WM39	1.46	19.44	0.14	1.20	0.9914	30.91	0.026
SM9	1.59	132.20	0.18	0.37	0.9992	30.75	0.034

缩写同表 1。Abbreviations as in Table 1.

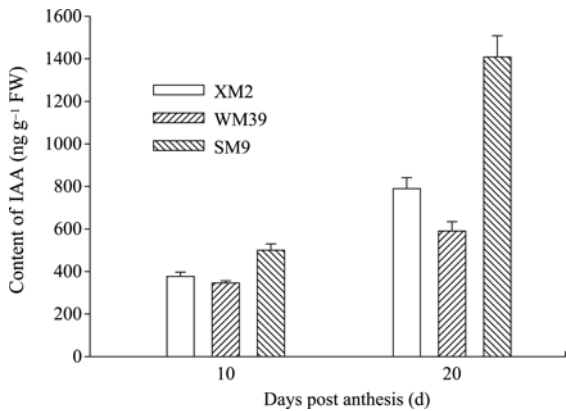


图 5 不同棉花品种纤维中 IAA 含量动态(2006)
Fig. 5 Dynamics of IAA content in fiber of different cotton cultivars (2006)

于 SM9、XM2 ($F = 375.90^{**}$ 、 $F = 65.12^{*}$)。彩色棉纤维长度比白棉短可能是纤维 IAA 含量较低造成的。

2.2.2 ABA 含量 图 6 表明, 棕色棉 XM2、绿色

且差异也达显著水平($F = 4.55^{*}$)。
Richard 方程模拟结果表明(表 3), XM2、WM39、SM9 纤维成熟度系数生长极限值(*A*)、初值参数(*b*)、累积速率参数(*k*)均为 WM39<XM2<SM9。以上结果说明纤维细胞成熟度前期形成慢影响了纤维的成熟程度。

2.2 不同彩色棉纤维细胞内源激素含量

2.2.1 IAA 含量 图 5 表明, 两个不同彩色棉品种及白棉 SM9 纤维中 IAA 含量都以 20 DPA 高于 10 DPA。XM2 20 DPA 纤维中 IAA 含量为 $789.35 \text{ ng g}^{-1} \text{ FW}$, 比 SM9 低 $618.35 \text{ ng g}^{-1} \text{ FW}$ 。WM39 20 DPA 纤维中 IAA 含量最低, 仅为 $589.87 \text{ ng g}^{-1} \text{ FW}$, 显著低

棉 WM39 纤维中 ABA 含量变化趋势与 SM9 基本一致, 以 40 DPA 高于 30 DPA。与对照 SM9 相比, 天然彩色棉品种纤维中 ABA 含量均较低, 如 40 DPA

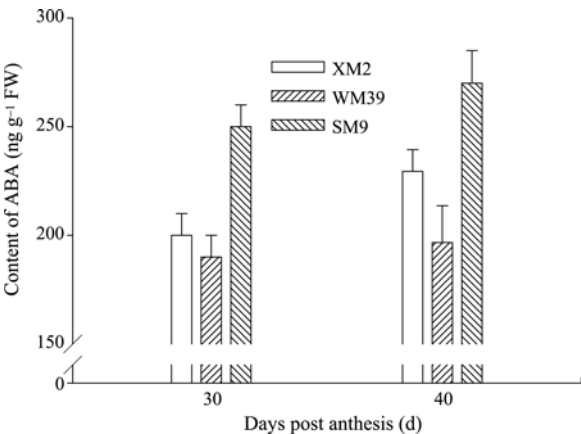


图 6 不同棉花品种纤维中 ABA 含量变化(2006)
Fig. 6 Dynamics of ABA content in fiber of different cotton cultivars (2006)

棕色棉 XM2 比 SM9 低 40.63 ng g⁻¹ FW, 绿色棉比 SM9 低 83.40 ng g⁻¹ FW, 且差异达到显著或极显著水平($F = 75.37^*$ 、 $F = 727.03^{**}$)。纤维中 ABA 含量低, 可能是天然彩色棉纤维比强度、马克隆值、成熟度较低的重要原因。

2.3 植物生长调节剂对不同彩色棉纤维品质和内源激素的影响

2.3.1 对纤维品质性状影响 由表 4 可以看出 GA₃ 和 ABA 处理都能提高吐絮期彩色棉纤维品质, 但激素种类和品种反应有差别。特别是外用 GA₃ (处理 G)使

XM2 纤维长度比对照 XCK 增加 8.13% ($F = 29.47^*$), 使 WM39 纤维长度比对照 WCK 增加 13.96% ($F = 108.31^{**}$)。外用 ABA(处理 A)使 XM2 纤维比强度、马克隆值、成熟度分别比对照 XCK 高 1.53 cN tex⁻¹、0.18、0.21 ($F = 107.25^{**}$ 、 22.70^* 、 19.77^*), 使 WM39 分别比对照 WCK 高 3.47 cN tex⁻¹、0.53、0.22 ($F = 99.56^{**}$ 、 27.41^* 、 26.01^*), 差异均达极显著或显著水平。说明外源 GA₃ 应用对提高天然彩色棉纤维长度, 外源 ABA 对纤维强度、成熟度、马克隆值均具明显的促进作用, 且两种生长调节剂均对 WM39 的纤维品质有较大的改善。

表 4 植物生长调节剂对不同天然彩色棉品种纤维品质影响(2007)
Table 4 Effect of growth regulators on the fiber quality of different natural colored-cotton cultivars (2007)

处理 Treatment	吐絮期纤维品质 Fiber quality at boll opening stage			
	纤维长度	纤维比强度	马克隆值	成熟度
	Fiber length (mm)	Fiber strength (cN tex ⁻¹)	Fiber micronaire	Fiber maturation
XMG	30.15 a	27.69 Bb	3.88 b	1.45 a
XMA	28.50 b	29.12 Aa	3.96 a	1.54 a
XCK	27.70 b	27.59 Bb	3.78 b	1.33 b
WMG	31.15 Aa	26.23 Bb	3.56 b	1.41 a
WMA	27.00 Bb	28.59 Aa	4.01 a	1.50 a
WCK	26.80 Bb	25.12 Bb	3.48 b	1.28 b

标以大小写字母的数据分别在 0.01 和 0.05 水平显著。
Data followed by different letters are significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

2.3.2 对内源激素影响 进一步分析纤维伸长期 IAA 含量(图 7-A 和 B)表明, 两个彩色棉品种处理 G(XMG、WMG)10 和 20 DPA 纤维 IAA 含量均显著增加。如 20 DPA XMG 达 1 231.13 ng g⁻¹ FW, 比对照 XCK 高 277.98 ng g⁻¹ FW ($F = 157.49^{**}$); WMG 达

846.05 ng g⁻¹ FW, 比对照 WCK 高 196.70 ng g⁻¹ FW ($F = 78.65^*$)。ABA 处理对两个彩色棉的 10 DPA 和 20 DPA 纤维中 IAA 含量也有一定的影响, 但效果不如 GA₃ 处理明显。表明生长调节剂纤维中 IAA 含量具有调节作用, 效应因生长调节剂不同而异。

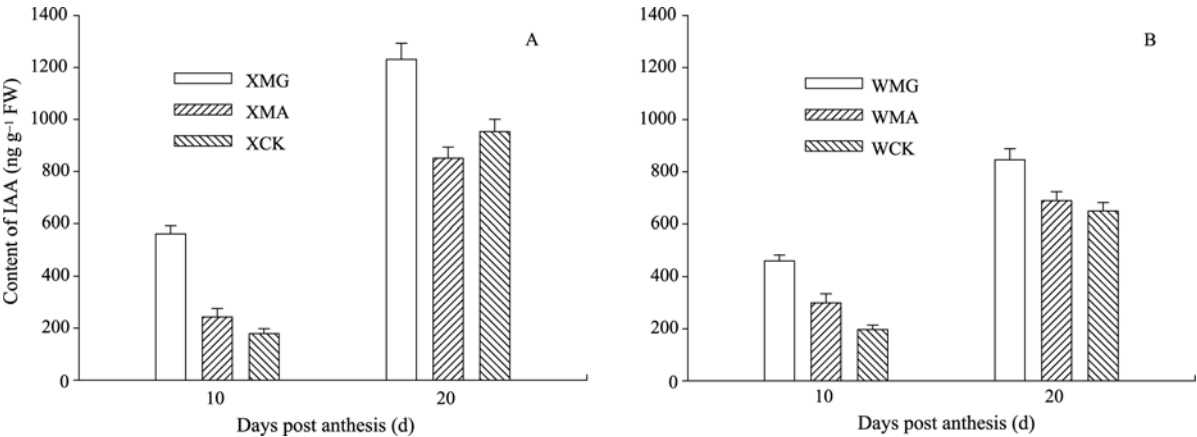


图 7 生长调节剂对不同天然彩色棉品种纤维中 IAA 含量的影响(2007)
Fig. 7 Effect of growth regulators on IAA content in fiber of different natural colored-cotton cultivars (2007)

纤维次生胞壁加厚期测定表明(图 8-A 和 B), 两个彩色棉品种棉铃应用外源 ABA 处理后, 30 DPA 和

40 DPA 纤维中 ABA 含量均显著增加, 30 DPA, XMA、WMA 分别达到 389.88 ng g⁻¹ FW、301.23 ng

g^{-1} FW, 分别比各自对照高 92.38 ng g^{-1} FW ($F = 133.52^{**}$)、 34.34 ng g^{-1} FW ($F = 19.77^{*}$)。表明外源

ABA 可调节纤维中 ABA 含量, 影响其纤维品质性状形成。

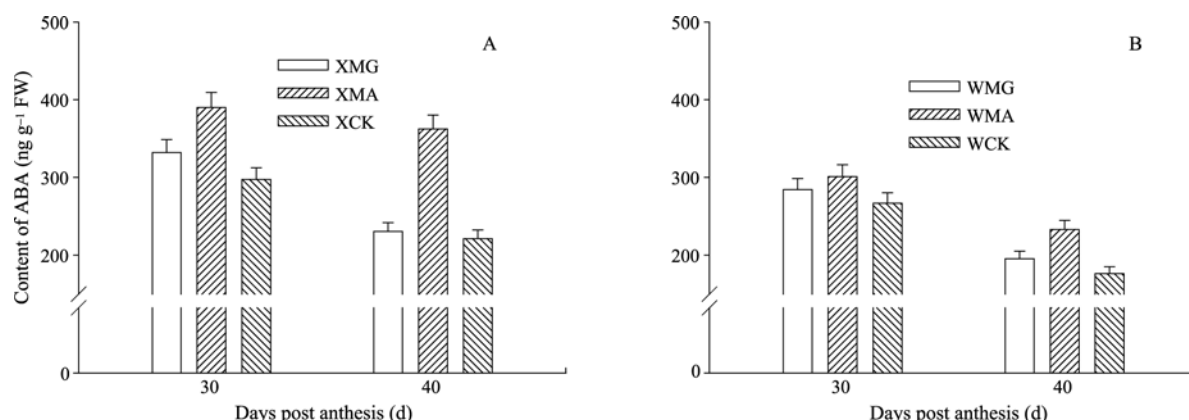


图 8 外源激素对不同天然彩色棉品种纤维中 ABA 含量的影响(2007)

Fig. 8 Effect of growth regulators on ABA content in fiber of different natural colored-cotton cultivars(2007)

3 讨论

棉花纤维产量和品质取决于纤维发育的过程, 其中长度与纤维伸长时间和伸长速率有关, 纤维成熟度、马克隆值和强度与纤维次生壁加厚密切相关。本试验两个天然彩色棉品种的纤维长度、比强度、马克隆值和成熟度均显著低于对照普通白棉, 其中尤以绿色棉品种品质更低。两个天然彩色棉品种各纤维品质指标形成关键期的增长率均较慢。

两个天然彩色棉品种纤维品质的形成与普通白棉具有相似的变化规律, 其棉纤维品质形成前期迅速, 而后减慢, 呈不对称 S 型增长曲线。纤维品质随开花后天数增加的 S 型曲线符合 Richard 方程, 而各品质指标拟合系数均在 0.99 以上, 说明拟合效果很好。这与人用 Logistic 方程拟合的结果^[15-16]稍有不同, 且更能反映纤维品质形成过程。Richard 方程模拟结果进一步表明, 天然绿色棉品种纤维长度、马克隆值、成熟度形成的初值参数(b)、累积速率参数(K)低于棕色棉, 且均明显低于普通白棉, 而且差异主要发生于纤维发育的前中期, 这与王学德等^[17]的研究结果相似。这可能是由于普通白色纤维发育到开花 20 d 前后, 纤维素量迅速增加, 而棕色棉和绿色棉, 这一时期的纤维素积累, 因同时伴随着色素物质的积累, 速度明显不如白色纤维快, 这可能是导致天然彩色棉纤维品质形成速度尤其是前中期慢, 最终纤维品质较差的原因。因此, 促进天然彩色棉纤维发育早中期品质性状的形成, 可能对于提高彩

色棉纤维品质具有重要意义。

一般认为, IAA 和 GA_3 可促进纤维伸长^[18-22]。在棉纤维伸长过程中, 细胞壁上离子型结合蛋白质含量、过氧化物酶与 IAA 氧化酶活性是控制棉纤维伸长的关键因子, 它们均呈单峰曲线变化, 开花后 20 d 达峰值, 峰后 4 d (即受粉后 24 d) 纤维停止伸长^[23]。细胞壁过氧化物酶可将促进植物细胞伸长的 IAA 分解(表现为 IAA 氧化酶功能), 其含量达到某一较高水平时, 便可使纤维细胞停止伸长。此前如能降低过氧化物酶与 IAA 氧化酶活性, 有可能促使纤维细胞继续伸长, 延长伸长期, 增加纤维长度^[24]。而 ABA 在纤维次生壁增厚过程中具有促进的作用^[25-26]。本研究发现, 两个天然彩色棉品种在 10 DPA 和 20 DPA 纤维中 IAA 含量低于普通白棉, 说明内源激素水平较低可能是影响天然彩色棉纤维品质性状进一步发育的重要原因。生长调节剂应用进一步表明, 外用 GA_3 和 ABA 提高了天然彩色棉品种纤维中内源 IAA、ABA 的含量, 改善了天然彩色棉纤维品质性状。对于棕色棉和绿色棉品种, 植物生长调节剂对纤维品质的调节效应存在一定的差别, 如 GA_3 处理对绿色皖棉 39 纤维长度的促进效应, ABA 处理对皖棉 39 纤维强度、马克隆值及成熟度的促进作用均比对棕色棉湘彩棉 2 号的促进作用大。因此, 从遗传上培育天然彩色棉品种提高内源 IAA、ABA 等激素含量, 从生理上通过外用赤霉素和 ABA 类的相关生长调节剂可能是提高棕色和绿色彩色棉品种纤维品质的重要途径。

4 结论

两个天然彩色棉品种纤维品质性状增长速率慢, 纤维长度、纤维比强度、成熟度值和马克隆值均显著低于常规白色陆地棉。花后不同天数纤维品质形成的不对称 S 型的特征更加明显, Richards 方程比 Logistic 方程的拟合更为合适。纤维中 IAA、ABA 含量较低可能是影响两个天然彩色棉品种纤维品质的重要因子。通过施用生长调节剂 GA₃、ABA 可提高彩色棉纤维中内源 IAA、ABA 含量, 最终改善纤维品质。

References

- [1] Qiu X-M(邱新棉). Research progress and prospects on naturally-colored cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2004, 16(4): 249–254(in Chinese with English abstract)
- [2] Kohel R J. Genetic analysis of fiber color variants in cotton. *Crop Sci*, 1985, 25: 793–799
- [3] Waghmare V N, Koranne K D. Colored cotton: Present status, problems and future potentials. *Indian Genet Plant Breed*, 1998, 58: 1–15
- [4] Zhan S-H(詹少华), Lin Y(林毅), Cai Y-P(蔡永萍), Wen H(文汉). The pigment distribution regulation of the natural brown cotton and relations between pigment synthesis and cotton fiber development. *Cotton Sci* (棉花学报), 2006, 18(3): 170–174(in Chinese with English abstract)
- [5] Guo Y-H(郭玉海), Xu C-N(徐楚年). Study on physiology of cotton fiber quality formation: I. The effects of growth regulator on fiber elongation and secondary wall thickening. *J Beijing Agric Univ* (北京农业大学学报), 1993, 9(1): 23–26(in Chinese with English abstract)
- [6] Zhang W-Y(张文英), Li Y-Q(栗雨勤). Effect of ABA on yield and quality of Bt-cotton. *J Hebei Norm Univ Sci Technol* (河北科技师范学院学报), 2004, 18(4): 78–80(in Chinese)
- [7] Geng J-Y(耿军义), Wang G-Y(王国印), Zhai X-J(翟学军), Li Z-S(李之树), Liu C-J(刘存敬), Li Y-Z(李延增). Effects of colored fiber gene on economic properties of upland cotton and analysis of its inheritance. *Acta Gossypii Sin* (棉花学报), 1998, 10(6): 307–311(in Chinese with English abstract)
- [8] Dong H-Z(董合忠), Li W-J(李维江), Tang W(唐微), Li Z-H(李振怀). Study on agronomic characters and fiber development of two materials of naturally colored cotton. *Shandong Agric Sci* (山东农业科学), 2002, (4): 6–9(in Chinese with English abstract)
- [9] Pan Z-E(潘兆娥), Du X-M(杜雄明), Sun J-L(孙君灵), Zhou Z-L(周忠丽), Pang B-Y(庞保印). Influences of boll shading on fiber color and fiber quality of colored cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2006, 18(5): 264–268(in Chinese with English abstract)
- [10] He Z-P(何钟佩). Experimental Guide on Chemical Control in Crops (农作物化学控制试验指导). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. pp 60–68(in Chinese)
- [11] Bollmark M, Kubat B, Eliasson L. Variations in endogenous cytokine content during adventitious root formation in pea cuttings. *J Plant Physiol*, 1988, 132: 262–265
- [12] Gu S-L(顾世梁), Zhu Q-S(朱庆森), Yang J-C(杨建昌), Peng S-B(彭少兵). Analysis on grain filling characteristics for different rice types. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2001, 27(1): 6–14(in Chinese with English abstract)
- [13] Zhu Q-S(朱庆森), Cao X-Z(曹显祖), Luo Y-Q(骆亦其). Growth analysis on the process of grain filling in rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1988, 14(3): 182–193(in Chinese with English abstract)
- [14] Liu J-H(刘继华), Jia J-N(贾景农). Dynamic changes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fiber cell wall super molecular structure during the course of fiber development and correlation with its strength. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1996, 22(3): 325–330(in Chinese with English abstract)
- [15] Zhou G-S(周桂生), Feng C-N(封超年), Zhou Q(周青), Gu W-J(顾魏菊), Yang W-Y(杨万玉), Zeng Y-S(曾岳松). Characteristics of cotton fiber quality development in high quality upland cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2005, 17(6): 343–347(in Chinese with English abstract)
- [16] Liu J(刘娟), Song X-L(宋宪亮), Zhu Y-Q(朱玉庆), Li X-G(李学刚), Chen E-Y(陈二影), Sun X-Z(孙学振). Effects of key enzyme activities in sucrose metabolism on fiber quality in high quality upland cotton. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(10): 1781–1787(in Chinese with English abstract)
- [17] Wang X-D(王学德), Li Y-Y(李悦有). Study on characteristics of colored cotton fiber development. *J Zhejiang Univ* (浙江大学学报), 2002, 28(3): 237–242(in Chinese with English abstract)
- [18] Wilkins T A, Jernstedt J A. Molecular genetics of developing cotton fibers. In: Basra A S ed. Cotton Fibers: Developmental Biology, Quality Improvement, and Textile Processing. New York: Food Products Press, 1999. pp 231–270
- [19] Gokani S J, Thaker V S. Physiological and biochemical changes associated with cotton fiber development: IX. Role of IAA and PAA. *Field Crops Res*, 2002, 77: 127–136
- [20] Wang S-P(王水平), Shen C-Y(沈曾佑), Zhang Z-L(张志良). Relation between cotton fiber elongation and peroxidase and IAA oxidase activities. *Acta Photophysiol Sin* (植物生理学报), 1985, 11(4): 409–417(in Chinese with English abstract)
- [21] Liu J-H(刘继华), Yang H-B(杨洪博). Cotton fiber elongation development. *China Cotton* (中国棉花), 1995, 22(4): 38–39(in Chinese)
- [22] Kosmidou-Dimitropollou K. Hormonal influences in fiber development. In: Mauney J R, Stewart J M, eds. Cotton Physiology. Memphis, TN: The Cotton Foundation, 1986. pp 361–373
- [23] Zhang T-Z(张天真), Sun J(孙敬). External induction for non-fiber mutant upland cotton in its early development. *Cotton Sci* (棉花学报), 1992, 4(2): 84(in Chinese with English abstract)
- [24] Gipson J R J H E. Influence of night temperature on growth and development of cotton *Gossypium hirsutum* L.: III. Fiber elongation. *Crop Sci*, 1969, 6: 127–129
- [25] Yang Y-M(杨佑明), Xu C-N(徐楚年), Jia J-Z(贾君镇). A system of ovule subculture for cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fiber development. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2001, 27(6): 694–703
- [26] Yang Y-M(杨佑明). A System of Ovule Subculture for Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Fiber Development and Its Physiological Basis. PhD Dissertation of China Agricultural University, 1999. pp 79–80(in Chinese with English abstract)