

## 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维发育的影响

王友华 陈兵林 卞海云 蒋光华 张文静 胡宏标 束红梅 周治国\*

(南京农业大学/农业部作物生长调控重点开放实验室, 江苏南京 210095)

**摘要:** 通过设置播期试验, 使位于棉株不同果枝果节部位棉铃的纤维加厚发育期(铃龄 25 ~ 50 d) 处于不同温度条件下, 研究温度与棉株生理年龄对棉纤维加厚发育及纤维比强度的影响。结果表明, 温度与棉株生理年龄的影响存在互作效应, 铃龄 25 ~ 50 d 日均温 26℃ 左右时, 棉株中部(7 ~ 9 果枝) 铃纤维蔗糖合成酶活性最高,  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性最低, 纤维素的累积量和累积速率最高, 纤维超分子结构取向参数最小, 纤维比强度最大; 铃龄 25 ~ 50 d 日均温低于 20℃ 时, 温度是影响棉纤维加厚发育及纤维比强度的首要因子, 当铃龄 25 ~ 50 d 日均温低于 16.0℃ 时, 蔗糖合成酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性很快稳定到一个极值水平, 纤维素累积量和累积速率极低, 纤维超分子结构取向参数显著变大, 纤维比强度显著下降, 棉株生理年龄对纤维比强度的影响很小。

**关键词:** 温度; 棉株生理年龄; 棉纤维; 加厚发育; 纤维比强度  
**中图分类号:** S562

## Synergistic Effect of Temperature and Cotton Physiological Age on Fibre Development

WANG You-Hua, CHEN Bing-Lin, BIAN Hai-Yun, JIANG Guang-Hua, ZHANG Wen-Jing, HU Hong-Biao, SHU Hong-Mei and ZHOU Zhi-Guo\*

(Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract:** Temperature and cotton physiological age are two important factors affecting the cotton fiber development and they always work together. By setting different cotton seeding dates, fibre developing process of the bolls set on different branches could be put in different temperature conditions, and with this system, synergistic effect of temperature and cotton physiological age on fibre thickening and fibre strength development was studied in this research. Two years' data showed that during fibre thickening and fibre strength development, there exists an interaction between temperature and cotton physiological age. When the mean daily temperature from 25 d to 50 d of boll age was about 26.0℃, the sucrose synthetase activity was the highest and the  $\beta$ -1,3-glucanase activity was the lowest, cellulose content and cellulose synthesis rate were the highest, the angle indexes of the fibre molecular structure were the smallest, thus leading to the greatest fibre strength of the bolls set on the middle position of plant. When the mean daily temperature from 25 d to 50 d of boll age was below 20.0℃, cotton physiological age was not the key factor while the temperature primarily influenced the fibre thickening and fibre strength development, and the lower the temperature, the less the effect of cotton physiological age. When the mean daily temperature from 25 d to 50 d of boll age was lower than 16℃, sucrose synthetase activity and the angle indexes of the fibre molecular structure enhanced significantly while  $\beta$ -1,3-glucanase activity along with cellulose synthesis rate and cellulose accumulation rate decreased quickly, leading to the strike decrease of the fiber strength. And under this temperature condition little effect of cotton physiological age on fiber strength development could be observed.

**Key words:** Temperature; Cotton physiological age; Cotton fibre; Fibre thickening development; Fibre strength

基金项目: 国家自然科学基金(30370831, 30571095)、高等学校博士点基金(20050307028)和江苏省自然科学基金(BK2002109, BK2005091, BK2006141)资助项目。

作者简介: 王友华(1977-), 博士, 主要从事棉花生理生态研究。

\* 通讯作者(Corresponding author): 周治国, Tel: 025-84396813; E-mail: gjscott@njau.edu.cn

Received(收稿日期): 2005-11-12; Accepted(接受日期): 2006-04-05.

棉花是我国重要的经济作物,农业种植结构调整使棉花多熟种植面积不断扩大。在棉花多熟栽培方式中,生长季节热量资源不足、后期气温下降和成熟期过早遇霜导致棉花晚发晚熟时常发生,产量和品质受到严重影响<sup>[12]</sup>。纤维比强度是衡量棉纤维品质的重要指标之一,与纤维取向分散角、螺旋角、取向分布角等超分子结构密切相关,其值越小,纤维比强度越大<sup>[34]</sup>,而这些超分子结构参数又直接与纤维素的累积速率相关<sup>[5]</sup>。纤维素合成的前体物质是尿苷二磷酸-D-葡萄糖(UDPG)<sup>[6-9]</sup>,UDPG不仅可以经多步催化将葡萄糖基转移到正在延长的纤维素链末端葡萄糖残基4位羟基上参与纤维素的合成,还可在低温等逆境条件下较多地参与 $\beta$ -1,3-葡聚糖即胍胍质的合成<sup>[10-11]</sup>,从而降低纤维素的累积速率。在蔗糖向UDPG催化过程和胍胍质的合成过程中蔗糖合成酶和 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶分别是2个反应的主要限速因子<sup>[12-14]</sup>,与纤维比强度的形成密切相关。

棉花具有无限开花结铃习性,温度严重影响高强纤维的形成<sup>[15-18]</sup>,前人研究认为纤维加厚发育期24.0℃左右的日均温是高强纤维形成的最佳温度,低于21.0℃即对棉纤维加厚发育相关酶活性产生明显影响,纤维比强度降低<sup>[34,19]</sup>。在实际生产中,低温和晚发往往同时制约高强纤维的形成,亦即低温与生理年龄协同影响棉纤维的加厚发育和纤维比强度的提高。低温与棉株生理年龄如何影响纤维比强度?分别在多大程度上影响纤维比强度?两者对纤维比强度的影响是否彼此独立?这些问题的解决对目前棉花生产中能否采取合适有效的调控措施解决晚熟劣质问题具有重要意义。而已有的相关研究往往都集中在温度或生理年龄等单一因子对棉纤维比强度的影响,有关低温与棉株生理年龄协同作用下的研究尚未见报道。

本研究拟通过播期试验,揭示温度与棉株生理年龄协同效应影响棉纤维加厚和纤维比强度的生理机制,为解决多熟制棉花生产中的晚熟劣质问题提供理论依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验设计

于2002—2003年在江苏省农业科学院进行池栽试验,小区面积4 m×5 m,株距80 cm,行距40 cm,供试土壤为马肝土,耕层含有机质2.18%、全氮0.08%、碱解氮91.8 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷41.5 mg·kg<sup>-1</sup>、

速效钾226.25 mg·kg<sup>-1</sup>。供试品种为美棉33B,田间管理按高产栽培要求进行。

设正常播种(CK)和晚播(LP)2个播期,2002年分别为4月20日、6月22日,2003年分别为5月1日、6月21日。棉花开花后,选取生长一致的正常播种棉株中部(7~9果枝,用CK-M表示)、上部(13~15果枝,用CK-U表示)和晚播棉株下部(1~3果枝,用L-D表示)、中部(7~9果枝,用L-M表示)、上部(10~12果枝,用L-U表示)果枝的1、2果节当日白花挂牌标记(60~80个重复)。花后25 d开始每隔5 d取生长发育一致的挂牌棉铃6~8个,将纤维与种子分开,保存于-30℃备用。挂牌铃成熟吐絮后取铃30个,风干、轧花后测定衣分和纤维比强度。

气象资料来自南京市气象局,统计2年试验不同挂花时期、不同果枝部位铃纤维加厚发育期(铃龄25~50 d)内日均温(多日平均气温)见表1。

表1 棉纤维加厚发育期日均温(2002—2003)  
Table 1 Mean daily temperature during cotton fibre thickening development period (2002-2003) (°C)

| 年份<br>Year | 播期-果枝部位<br>Planting date and Fruiting branch site |      |      |      |      |
|------------|---|------|------|------|------|
|            | CK-M  | CK-U | L-D  | L-M  | L-U  |
| 2002       | 26.0  | 22.0 | 22.0 | 19.6 | 16.4 |
| 2003       | 26.2  | 19.4 | 19.4 | 16.2 | 15.8 |

注:CK-M、CK-U分别表示正常播期的中部果枝和上部果枝,L-D、L-M、L-U分别表示晚播的下部、中部和上部果枝。

Notes: CK-M and CK-U stand for the middle and upper position fruiting branches of the control cotton respectively, and L-D, L-M and L-U stand for the lower, middle and upper position fruiting branches of the cotton seeded much later than the control, respectively.

### 1.2 测定内容与与方法

用果糖和UDPG比色法测定蔗糖合成酶活性<sup>[5]</sup>;用昆布多糖比色法测定 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性<sup>[20]</sup>,一个 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活力单位(U)定义为每秒从还原昆布多糖中释放出1 nmol葡萄糖所需的酶量,以U·g<sup>-1</sup>FW表示;用瑞典Tecator纤维系列仪测定棉花纤维素含量。

用德国BRUKER公司D8 DISCOVER with GADDS X射线衍射仪收取棉纤维002衍射峰在方位角方向的强度数据,并扣除杂散散射。用半高宽之半表征晶区在棉纤维中总取向参数( $\Psi$ )。联立方程组: $0.5 \cdot e^{-\ln 2 \cdot \left(\frac{w_1}{a}\right)^2} = \cos\left(h \cdot 2\ln 2 \cdot \left(\frac{w_1 \cdot \varphi}{a}\right)^2\right)$  ( $w_1$ 为实验曲线50%高度之半宽角度)和 $0.4 \cdot e^{-\ln 2 \cdot \left(\frac{w_2}{a}\right)^2} = \cos\left(h \cdot 2\ln 2 \cdot \left(\frac{w_2 \cdot \varphi}{a}\right)^2\right)$  ( $w_2$ 为实验曲线40%高度之半宽角度),求解出螺旋角( $\varphi$ )和

取向分散角( $\alpha$ )。

纤维样品混匀后用棉花纤维引伸器制成棉条,用国产 Y162A 型束纤维强力机测定 3.2 mm 隔距比强度,并用中国纤维检验局的标准棉样修正,取 6 次重复的平均值为试样比强度。

## 2 结果与分析

### 2.1 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维加厚发育关键酶活性的影响

**2.1.1 蔗糖合成酶** 从图 1 看出,随着铃龄的增加,蔗糖合成酶活性变化均表现为先升后降的单峰曲线,温度对棉纤维蔗糖合成酶活性影响较生理年龄更为明显,尤其在低温(日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$ ,下同)条件下,无论生理年龄的大小,蔗糖合成酶活性均显著低于 CK,且低温条件下棉株生理年龄对纤维蔗糖合成

酶活性的影响减弱。2002 年试验结果表明,棉株中部果枝铃在铃龄 25 ~ 50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$  左右的日均温条件下,纤维蔗糖合成酶活性最高,且在较长时间内维持在一个较高的酶活水平;日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时,棉纤维蔗糖合成酶活性显著降低,且活性峰值出现在花后 40 d,较前者推迟约 5 d 左右。2003 年与 2002 年日均温存在微小差异,基于生产研究,此差异可以忽略,2 年的结果均显示:在铃龄 25 ~ 50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$  左右的日均温条件下,棉株生理年龄是决定蔗糖合成酶活性的主要因子;日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时,温度是影响蔗糖合成酶活性的主要因子,棉株生理年龄的影响较小。当日均温低于  $16.0^{\circ}\text{C}$  时,生理年龄对蔗糖合成酶活性的影响很小,此温度条件下蔗糖合成酶活性总是维持在一个极低的水平。

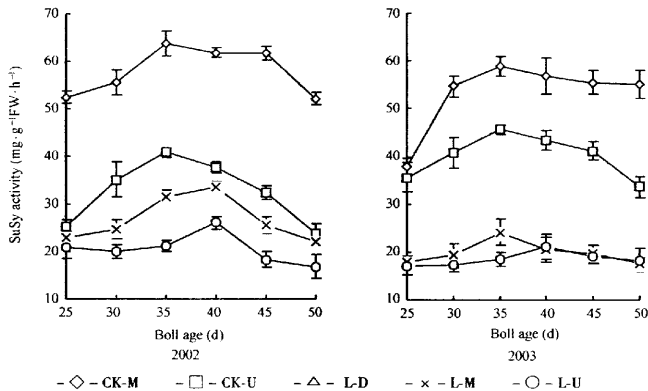


图 1 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维蔗糖合成酶活性动态变化的影响(2002—2003)

Fig. 1 Synergistic effect of temperature and cotton physiological age on the dynamic changes of sucrose synthase activity in cotton fibre (2002—2003)

**2.1.2  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶** 从图 2 看出,温度对棉纤维  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的影响更为明显,随着棉铃加厚发育期日均温的降低, $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性显著上升,日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时的酶活性显著高于铃龄 25 ~ 50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$  日均温条件下的酶活性。铃龄 25 ~ 50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$  左右的日均温条件下,棉株生理年龄对棉纤维  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性影响明显,而当日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时,棉株生理年龄对棉纤维  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性影响作用减弱。2002 年试验结果表明,棉株中部果枝铃在铃龄 25 ~ 50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$  左右的日均温条件下,棉纤维  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性最低,且酶活性随铃龄的增加快速下降;日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时上部果枝棉纤

维  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性显著高于下部果枝和中部果枝。2003 年试验结果与 2002 年基本一致,只是在日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时,中部果枝与上部果枝铃棉纤维  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的差异较小。2 年试验结果都说明铃龄 25 ~ 50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$  左右的日均温条件下棉株的生理年龄是决定  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的主要因子,日均温  $< 20^{\circ}\text{C}$  时棉纤维加厚发育所处的日均温是决定  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的主要因子,棉株生理年龄增加酶活性上升。当日均温低于  $16.0^{\circ}\text{C}$  时,生理年龄对  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性影响很小,在纤维发育的早期  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性即稳定在一个非常不利纤维加厚发育的较高水平。

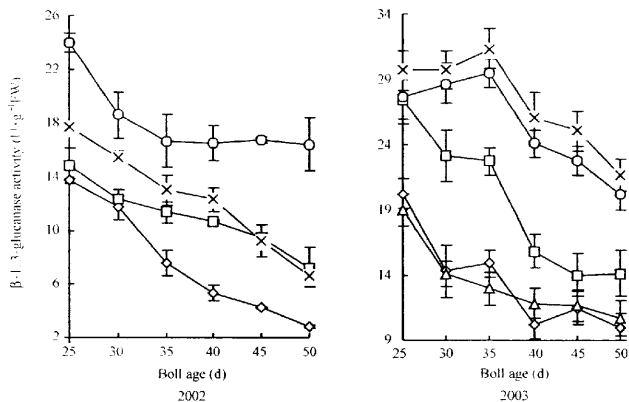


图2 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性动态变化的影响(2002—2003)  
Fig.2 Synergistic effect of temperature and cotton physiological age on the dynamic changes of  $\beta$ -1,3-glucanase activity in cotton fibre (2002-2003)

## 2.2 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维素含量的影响

棉纤维加厚发育期纤维素合成加快,此时纤维素含量的快速升高与纤维素的快速累积相关,相同的变化幅度下纤维素含量越高则意味着纤维素的累积速率越快。从图3看出,2003年试验结果与2002年基本一致,纤维素在龄龄25~30 d上升最为迅速。温度对纤维素含量影响极为明显,日均温越低

纤维素含量越低;日均温 $<20^{\circ}\text{C}$ 时,棉株生理年龄对纤维素含量的影响也极为显著,而在龄龄25~50 d  $26.0^{\circ}\text{C}$ 左右的日均温条件下,棉株生理年龄对纤维素含量影响较小,明显弱于日均温 $<20^{\circ}\text{C}$ 时。2年的结果均说明温度条件总是决定纤维素含量的重要因子,而日均温 $<20^{\circ}\text{C}$ 时棉纤维加厚发育期所处的日均温则显得更为重要。

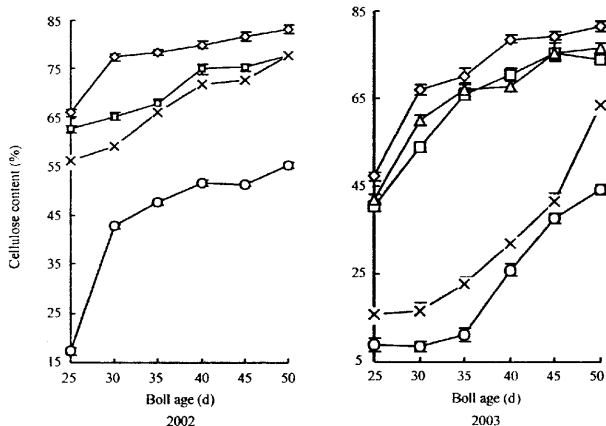


图3 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维素含量动态变化的影响(2002—2003)  
Fig.3 Synergistic effect of temperature and cotton physiological age on the dynamic changes of cellulose content in cotton fibre (2002-2003)

## 2.3 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维超分子结构取向参数的影响

取向分散角( $\alpha$ )、螺旋角( $\varphi$ )、取向分布角( $\Psi$ )分

别表征棉纤维次生壁螺旋结构中纤维素大分子聚合而成的晶粒在螺旋结构中的取向,即微原纤取向和基原纤取向的夹角、基原纤螺旋排列方向与纤维纵

轴的夹角、棉纤维超分子结构总取向,是反映棉纤维比强度的重要参数,结构取向角越小纤维素大分子

有序程度愈高,纤维强度愈高<sup>[20]</sup>。

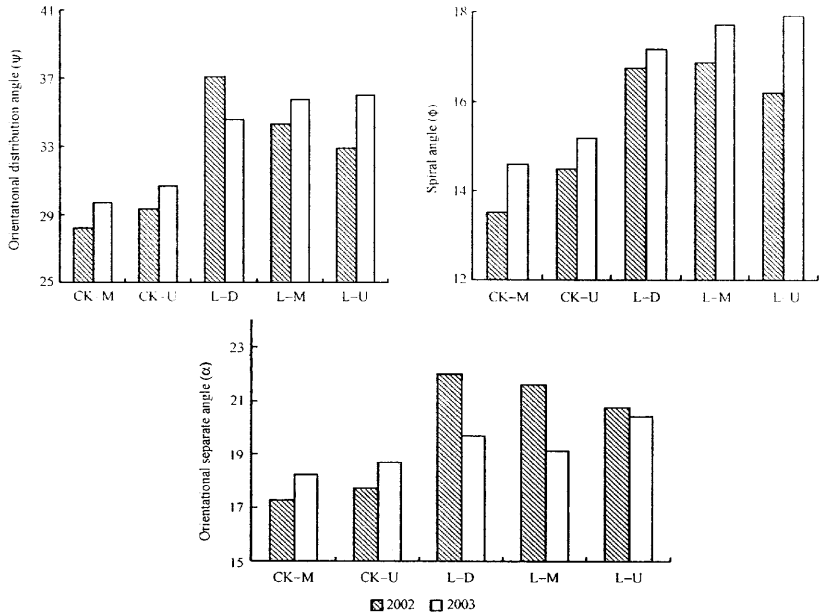


图 4 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维取向分散角、螺旋角、取向分布角的影响(2002—2003)

Fig.4 Synergistic effect of temperature and cotton physiological age on orientational separate angle, spiral angle and orientational distribution angle of cotton fibre (2002—2003)

从图 4 看出,温度和生理年龄均显著影响棉纤维的超分子结构。在铃龄 25~50 d 26.0℃左右的日均温条件下,棉株生理年龄越大取向分散角、螺旋角、取向分布角越大;当日均温 < 20℃时这 3 参数明显高于 26.0℃左右时,说明低温不利于纤维超分子结构的优化。总体趋势是生理年龄越大,参数角越大。日均温 < 20℃时,2003 年试验结果表明螺旋角和取向分布角以及中上部果枝铃纤维的取向分散角都依旧随棉株生理年龄的增加而增加,2002 年各参数角变化规律与之有所不同,取向分散角和取向分布角随生理年龄的增加而降低,中上部果枝铃纤维螺旋角则也随生理年龄的增加而下降。2003 年与 2002 年在螺旋角的变化规律上有明显的差异,这种差异可能与 2003 年后后期温度普遍较低有关(表 1),同时也说明日均温 < 20℃时,纤维超分子结构对温度变化的影响更敏感,且对于相同幅度的温度变化,不同部位果枝、相同果节棉铃的棉纤维的纤维素含

量变化幅度有较大差异。

#### 2.4 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维比强度的影响

纤维超分子结构的变化必然导致纤维比强度的变化。从图 5 可以看出,2 年的结果基本一致,低温对纤维比强度影响明显,温度降低比强度下降;铃龄 25~50 d 日均温高于 20℃时,棉株生理年龄越大,相应果枝的棉纤维比强度越小,铃龄 25~50 d 日均温 < 20℃时棉株生理年龄对纤维比强度影响下降并弱于温度对比强度的影响。2002 年试验结果表明,铃龄 25~50 d 26.0℃左右的日均温条件下纤维比强度显著高于上部果枝铃;日均温 < 20℃时,所有果枝铃纤维强度均显著低于铃龄日均温 26.0℃时的纤维比强度,并且上部果枝铃纤维强度下降极为显著,说明在铃龄 25~50 d 26.0℃左右的日均温条件下,棉株生理年龄在纤维比强度增加过程中的作用显著,而在日均温 < 20℃时棉纤维加厚发育期所处的日均

温和棉株生理年龄在纤维比强度增加过程中的作用均非常显著。这时的中下部果枝铃纤维比强度相对

较高。上部果枝铃纤维比强度较不稳定,受温度等环境因素影响较大。

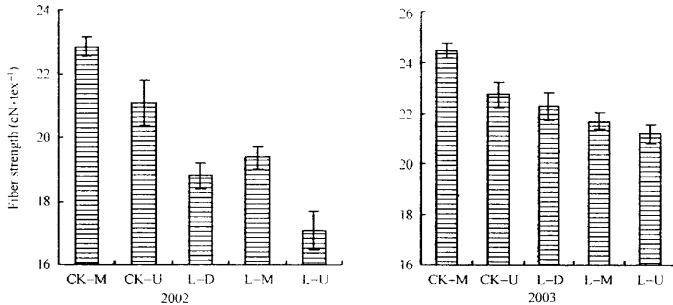


图5 温度与棉株生理年龄的协同效应对棉纤维比强度的影响(2002—2003)  
Fig.5 Synergistic effect of temperature and cotton physiological age on fibre strength (2002—2003)

### 3 讨论

温度和棉株生理年龄协同影响纤维加厚发育和比强度,同时两者的影响又存在交互效应,即不同的温度条件下,相同的棉株生理年龄变化对纤维比强度的影响有显著的差异。

研究表明,温度和棉株生理年龄通过影响棉纤维加厚发育过程中关键酶的活性影响纤维素的累积量和累积速率,纤维素的累积存在一段最适温度和最适生理年龄,在该温度范围内,纤维素含量随着棉株生理年龄增加而下降,当高于或低于某一特定温度时,纤维素含量与棉株生理年龄相关性将显著下降;取向分散角( $\alpha$ )、螺旋角( $\varphi$ )、取向分布角( $\psi$ )与纤维素的累积速度关系密切,并在很大程度上决定棉纤维的比强度。

正常播期条件下(纤维加厚期日均温可稳定在26℃左右),生理年龄变化是影响棉纤维加厚发育及纤维比强度的关键因素。高活性的蔗糖合成酶增加了纤维素合成前体物质UDPG的供给以及低的 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性减少了非纤维素合成途径中UDPG的消耗,纤维素合成及累积速率较快,造成取向分散角、螺旋角及取向分布角小于(优于)其他处理棉铃,最终表现为纤维比强度最大。

在低温条件下(纤维加厚期日均温 $< 20^{\circ}\text{C}$ ),棉纤维加厚发育期日均温是决定纤维比强度的关键因素,且温度对不同部位果枝棉铃纤维比强度的影响不一致,温度越低棉株生理年龄的影响越不明显。中部果枝棉铃和下部果枝棉铃棉纤维蔗糖合成酶活

性较高, $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性较低,纤维素的累积量和累积速率相对较高,纤维比强度虽仍明显低于正常播期,但显著高于上部果枝棉铃。同时,在16.0℃左右的日均温时,相关酶的活性基本不受棉株生理铃龄及发育天数的影响,而稳定在一个非常不利于纤维发育的极值水平,各关键酶活性均接近维持细胞代谢的下限,难以继续纤维细胞的形态建成。

本研究的结果说明,在多熟制棉花栽培体系中,中下部果枝棉铃的纤维比强度显著高于上部棉铃纤维比强度,这种差异在棉花后期温度较低的年份表现更为明显,而在后期温度较高的年份,中下部棉铃纤维的差异不显著。结合相关研究结果,生产中,多熟制栽培棉花更应早打顶、早整枝,前期促“源”抑“库”,控制成铃,促进棉花早发苗并搭好丰产架子;中期早打顶并结合化学调控手段控制生殖生长与营养生长比例,使棉花由营养生长占优势地位向生殖生长占优势地位的转变适当提前,利用此时充足温光条件在中部及中部偏下果枝集中大量成铃;后期考虑到多熟制棉花遇霜早,棉花生理年龄相对较小,遇霜时大量储藏物质未及时向营养器官转移,生产上应充分利用合理化学调控手段,使营养器官中的物质能在霜前尽量向棉铃中转移,促进棉花产量及品质的提高。

### References

- [1] Liu Y-X (刘毓湘). Contemporary World Cotton (当代世界棉业). Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese)
- [2] Huang J-Q (黄骏麒). China Cotton Farming (中国棉作学). Beijing: China Agriculture ScienTech Press, 1998 (in Chinese)

- [3] Shan S-H(单世华), Sun X-Z(孙学振), Zhou Z-G(周治国), Shi P(施培). Effect of temperature on fiber quality of cotton. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 2000, 15(4):120-125 (in Chinese)
- [4] Shan S-H(单世华), Sun X-Z(孙学振), Zhou Z-G(周治国), Shi P(施培), Bian D-C(边栋材). Effect of anthesis date and fruiting branches on cotton fiber strength and super-molecular structure. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2002, 35(2):163-168 (in Chinese)
- [5] Liu J-H(刘继华), Yin C-Y(尹承俯), Yu F-Y(于凤英), Sun Q-R(孙清荣), Wang Y-M(王永民), Jia J-N(贾泉农), Bian D-C(边栋材), Chen X-L(陈学留). Formation mechanism and improvement approach of cotton fiber strength. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1994, 27(5):10-16 (in Chinese)
- [6] Delmer D P, Haigler C H. The regulation of metabolic flux to cellulose, a major sink for carbon in plants. *Metab Eng*, 2002, 4:22-28
- [7] Carnachan S M, Harris P J. Polysaccharide compositions of primary cell walls of the palms *Phoenix canariensis* and *Rhopalostylis sapida*. *Plant Physiol Biochem*, 2000, 38:699-708
- [8] Amor Y, Haigler C H, Johnson S, Wainscott M, Delmer D P. A membrane-associated form of sucrose synthase and its potential role in synthesis of cellulose and callose in plant. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1995, 92:9353-9357
- [9] Ruan Y L, Chourey P S. A fiberless seed mutation in cotton is associated with lack of fiber cell initiation in ovule epidermis and alterations in sucrose synthase expression and carbon partitioning in developing seeds. *Plant Physiol*, 1998, 118:399-406
- [10] Inouhe M, Nevins D. Regulation of cell wall glucanase activities by non-enzymic proteins in maize coleoptiles. *Int J Biol Macromol*, 1997, 21:15-20
- [11] Maltby D, Carpita N C, Montezinos D, Kulow C, Delmer D P.  $\beta$ -1,3-Glucan in developing cotton fibers. *Plant Physiol*, 1979, 63:1158-1164
- [12] Ruany L, Chourey P S. A fiberless seed mutation in cotton is associated with lack of fiber cell initiation in ovule epidermis and alteration in sucrose synthase expression and carbon partitioning in developing seeds. *Plant Physiol*, 1998, 11(8):399-406
- [13] Shimizu Y, Aotsuka S, Hasegawa O, Kawada T, Sakuno T, Sakai F, Hayashi T. Changes in levels of mRNA for cell wall-related enzymes in growing cotton fiber cells. *Plant Cell Physiol*, 1997, 38:375-378
- [14] Nakai T, Tonouchi N, Konishi T. Evidence for the critical role of sucrose synthase for anoxic tolerance of maize roots using a double mutant. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998, 96(1):14-18
- [15] Guo X-X(过兴先). The relationship between boll development and air temperature. *China Cotton* (中国棉花), 1985, (1):2-4 (in Chinese)
- [16] Xu X(许萱), Xu Y-Z(许玉璋). Effect of environmental factors on growth and development of cotton: III. Relationship between cotton procreation growth and temperature. *J Jiangxi Cotton* (江西棉花), 1989, (2):4-13 (in Chinese)
- [17] Xu Y-Z(许玉璋), Xu X(许萱). Effect of temperature on cotton fiber development. *Acta Agric Boreali-occidentalis Sin* (西北农业学报), 1993, 2(4):19-23 (in Chinese)
- [18] Institute of Shanghai Plant Physiological, CAS ed. Experiment Manual of Plant Physiological (植物生理学实验手册). Shanghai: Science and Technology Publishing House, 1985 (in Chinese)
- [19] Shan S-H(单世华), Sun X-Z(孙学振), Zhou Z-G(周治国), Shi P(施培), Bian D-C(边栋材). Effect of temperature on cotton fiber strength and super-molecular structure. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2000, 26(6):667-672 (in Chinese)
- [20] Institute of Shanghai Plant Physiological, CAS ed. Modern Laboratory Manual of Plant Physiology(现代植物生理学实验指南). Beijing: Science Press, 1999 (in Chinese)