

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2020.94196

棉花脱叶催熟剂对纤维品质的影响及应用时间的确定

田景山 张煦怡 王文敏 杨延龙 随龙龙 张鹏鹏 张亚黎
张旺锋* 勾玲*

石河子大学农学院 / 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832000

摘 要: 棉花脱叶催熟技术是实现棉花机械采收的重要前提, 确定脱叶催熟剂喷施时期及标准对实现良好的脱叶和催熟效果至关重要。本研究采用分期喷施脱叶催熟剂的方式, 探讨了脱叶催熟剂对纤维品质的损伤程度, 及与棉铃铃期之间的定量关系。结果表明, 脱叶催熟剂对纤维长度的影响在品种间存在差异, 46%~69%的供试品种纤维长度较对照下降或持平, 另有 31%~54%的品种纤维长度反而较对照增加, 所有品种纤维长度较对照平均仅降低 0.2%~1.2%。纤维比强度受脱叶催熟剂的影响较为明显, 其损伤量(处理与对照的差值)集中分布在 $-4\sim 0\text{ cN tex}^{-1}$ 之间。脱叶催熟剂对纤维比强度的损伤程度与喷施时间有关, 铃龄 30 d 时喷施损伤大, 铃龄 37 d 时喷施损伤减小, 且有 61%供试品种的比强度较对照平均增加了 1.1 cN/tex 。脱叶催熟剂对纤维比强度的损伤量随棉铃铃期延长而加剧, 因此可根据“脱叶催熟剂喷施时棉铃的铃龄与铃期的比值(R_{db})”这一指标确定脱叶催熟剂的喷施时间。此外, 棉铃铃期与棉铃体积、棉铃体积与纤维比强度均呈显著正相关关系。如要生产比强度 $>31\text{ cN tex}^{-1}$ 的棉花纤维, 所选品种的棉铃体积应 $>31.8\text{ cm}^3$ 、棉铃铃期应 $>60.0\text{ d}$, 且要在 $R_{db}>0.68$ (铃龄 40.9 d) 后喷施脱叶催熟剂(可控制纤维比强度损伤量小于 0.5 cN tex^{-1})。关键词: 机采棉; 纤维品质; 脱叶催熟; 铃期; 损伤量

A method of defoliant application based on fiber damage and boll growth period of machine-harvested cotton

TIAN Jing-Shan, ZHANG Xu-Yi, WANG Wen-Min, YANG Yan-Long, SUI Long-Long, ZHANG Peng-Peng, ZHANG Ya-Li, ZHANG Wang-Feng*, and GOU Ling*

College of Agronomy, Shihezi University / Key Laboratory of Oasis Eco-Agriculture, the Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832003, Xinjiang, China

Abstract: Defoliation technology is an essential prerequisite for machine-harvested cotton, and to apply defoliant to achieve better defoliation and improve fiber quality is an important method. The objective of this study was to analyze the quantitative relationship between fiber damage amount and boll growth period by defoliant. The results showed that defoliant had not significantly an effect on fiber length, which showed that all reduced by from 0.2% to 1.2% compared with the control, 46%–69% cotton varieties decreased or equal, whereas 31%–54% cotton varieties increased in fiber length compared with control. Fiber strength was affected significantly by defoliation, and the amplitude of fiber damage was concentrated between -4 cN tex^{-1} and 0 cN tex^{-1} . The amount of fiber damage by defoliant was correlated to the spraying time in cotton boll growth, and the high damage at 30 days, whereas the lowest damage at 37 days. More than 61% cotton varieties showed an increased by average 1.1 cN tex^{-1} on fiber strength compared with the control. Fiber strength damage because of defoliant increased with the increasing boll growth period. It was an indicator for determining the time of spraying defoliation based on the boll growth period and fiber damage (R_{db}) on fiber strength. Furthermore, cotton boll growth period and boll volume. Fiber strength and boll volume, boll volume and boll

本研究由国家自然科学基金项目(31560366), 引进国际先进农业科学技术计划(948计划)项目(2016-X25)和新疆维吾尔自治区研究生教育改革创新计划(XJGRI2016030)资助。

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (31560366), the Program of Introducing International Super Agricultural Science and Technology (2016-X25), and the Xinjiang Postgraduate Education Reform and Innovation Program (XJGRI2016030).

* 通信作者(Corresponding authors): 张旺锋, E-mail: zhwf_agr@shzu.edu.cn; 勾玲, E-mail: glxj8162@sina.com.cn

第一作者联系方式: E-mail: tjshan1983@sina.com

Received (收稿日期): 2019-12-13; Accepted (接受日期): 2020-04-15; Published online (网络出版日期): 2020-05-14.

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20200513.1753.002.html>

growth period, both showed significant positive correlation. If fiber strength of more than 31 cN tex^{-1} was produced in field, a cotton cultivar should be selected with boll volume of more than 31.8 cm^3 , boll growth period of more than 60.0 d and R_{db} more than 0.68. Defoliant used after 40.9 post-anthesis days could ensure fiber strength of less than 0.5 cN tex^{-1} .

Keywords: machine-harvested cotton; fiber quality; defoliation; boll growth period; fiber damage

棉花脱叶催熟技术是实现棉花机械采收的重要前提,不仅能解决棉花成熟期集中吐絮的问题,而且加快了收获前的叶片脱落,能提高机采棉的采收率和作业效率^[1],降低机采籽棉含杂率^[2]。合理喷施脱叶催熟剂,不仅会产生良好的脱叶催熟效果,而且可以降低对产量和品质的负面影响^[3-5]。棉铃吐絮率是判断脱叶催熟喷施时间较为常用的指标,一般情况下推荐在60%的棉铃吐絮后进行脱叶催熟^[3,6-7]。过早喷施脱叶催熟剂,将会增加不成熟棉铃和纤维的比例^[8-9],推迟喷施脱叶催熟剂,则会增加遭遇霜冻和恶劣天气的风险^[10],导致叶片枯而不落、增加籽棉含杂率^[2]。然而,脱叶催熟剂对环境温度比较敏感,要求平均气温 >16 和最低温度 >12 ^[11]。

在新疆棉花生育后期,一天内气温 >20 的时间逐渐减少、夜间温度急剧下降^[12]。为确保机械采收,部分棉田植株顶部棉铃尚未完全发育就喷施脱叶催熟剂,这势必严重影响成铃和纤维发育^[13-14]。因此,脱叶催熟剂喷施时间不仅要考虑气温变化,还应综合考虑棉花顶部棉铃铃期、吐絮率及喷施后的气温状况。因此,适时喷施脱叶催熟剂非常关键,但也较难确定^[3],需均衡考虑脱叶催熟效果和棉花产量、品质之间的平衡关系^[15]。

棉铃是棉花产量和纤维品质的载体,棉铃形态特征与纤维品质密切相关^[16],棉铃形态可以通过棉铃体积、棉铃长度、棉铃直径的大小来反映。棉铃体积、单铃重与纤维品质呈正相关,大铃形成显著促进了产量提高和纤维品质改善^[17]。棉铃铃期长、生长速度快,则棉铃体积大、单铃重高;棉铃长度对棉铃体积和单铃重的影响最大,栽培管理应根据棉铃形态特征,通过促进棉铃长度的增长提高铃重^[18]。因此,棉铃形态的改变影响到产量提高和纤维品质的改善^[19],机采棉品种的棉铃则应具备铃壳薄、铃大小适中等特点^[20-21]。近年来,随着机采棉的快速发展,棉花品质下降问题突出,特别是从源头上就存在品种过多导致棉铃铃期差异大、品质一致性差等问题^[22]。目前,新疆棉区推荐田间吐絮率30%~40%为脱叶催熟剂最佳喷施时间^[11],但该方法并未考虑棉花品种及棉铃形态特征。那么,什么样的棉铃形态既能适应脱叶催熟又能确

保提质增效?基于此,本研究采用多品种试验和分阶段喷施脱叶催熟剂的方式,开展了脱叶催熟剂对棉纤维品质影响的研究,分析脱叶催熟剂喷施时期对纤维品质的损伤程度,明确棉铃形态特征与纤维品质的定量关系,探讨适宜脱叶催熟剂的使用时期和棉铃形态。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 脱叶催熟剂对纤维品质影响 于2016—2017年在石河子大学农学试验站($45^{\circ}19'N$, $86^{\circ}03'E$)和新疆乌兰乌苏农业气象试验站($44^{\circ}17'N$, $85^{\circ}49'E$)进行,供试材料选择“新陆早”系列棉花品种,随机区组设计,留苗密度为 $18\sim 23$ 万株 hm^{-2} 。待棉株开花后,对上部果枝(第7果枝及以上)第1果节的当日所开白花挂牌标记。采用分阶段喷施脱叶催熟剂的方式,分别在铃龄30、37、44 d喷施,以不喷施脱叶催熟剂为对照(CK);供试药剂为噻苯隆(80%可湿性粉剂)和乙烯利(40%水剂),用量分别为 450 g hm^{-2} 、 1350 mL hm^{-2} 。具体种植的棉花品种、播种日期和挂花日期、脱叶催熟剂喷施时间见表1。

1.1.2 适期脱叶催熟的棉铃形态 于2014—2017年在石河子大学农学试验站($45^{\circ}19'N$, $86^{\circ}03'E$)进行,供试材料选择“新陆早”系列棉花品种,随机区组设计,留苗密度为 $18\sim 23$ 万株 hm^{-2} 。待棉株开花后,对中部果枝(第5~6果枝)第1果节的当日所开白花挂牌标记。在标记棉铃吐絮期(铃龄43~53 d),取大小相同棉铃6个左右(上午8:00—9:00),用装有冰袋的保鲜桶带回室内,测定棉铃长度、直径和体积。具体种植的棉花品种、播种日期、挂花日期和取样时间见表2。

1.2 测定项目与方法

棉铃长度是以游标卡尺测量从棉铃铃尖到铃基的垂直距离,棉铃直径是以游标卡尺测量棉铃横径的最大值,棉铃体积采用排水法测定。待挂牌标记棉铃裂铃吐絮时,收取大小一致的棉铃,统一风干轧花,皮棉试样送至农业部棉花品质监督检验测试中心(新疆乌鲁木齐和河南安阳),测定棉纤维上半部平均长度(长度)和断裂比强度(比强度)。

表 1 脱叶催熟剂试验种植的棉花品种、播种日期、挂花日期和脱叶催熟剂喷施时间

Table 1 Cotton cultivars, sowing dates, tagged dates and defoliation times in the defoliation experiment

年份 Year	试验地点 Experiment plot	‘新陆早’系列品种序号 No. of ‘Xinluzao’ cotton cultivars	播种日期 Sowing dates (month/day)	挂花时期 Tagged dates (month/day)	脱叶催熟剂 喷施时间 Defoliation times (d)
2016	石河子大学农学试验站	1, 6, 7, 13, 33, 45	4/21	7/20	30, 37
	Shihezi University Experiment Station	46, 47, 58, 60, 62, 63, 64	4/21	7/20	37, 44
	新疆乌兰乌苏农业气象试验站	33	4/15	7/15	30, 37, 44
	Wulanwusu Agrometeorological Experiment Station	33	4/15	7/22	30, 37
		59	4/8, 4/15, 4/22	7/15, 7/15, 7/22	30, 37, 44
2017	石河子大学农学试验站	45, 46, 47, 60, 61, 62, 63, 64	4/22	7/12	30, 37
	Shihezi University Experiment Station	33, 59	4/22	7/12	30, 37, 44

表 2 品种试验种植的棉花品种、播种日期、挂花日期和取样时间

Table 2 Cotton cultivars, sowing dates, tagged dates and sampling dates in the variety experiment

年份 Year	‘新陆早’系列品种序号 No. of ‘Xinluzao’ cotton cultivars	播种日期 Sowing dates (month/day)	挂花时期 Tagged dates (month/day)	取样时间 Sampling dates (d)
2014	1, 2, 5, 7, 10, 13, 24, 36, 45, 52, 53	5/1	7/15	46
2015	1, 2, 5, 7, 10, 24, 36, 52, 53	4/20	7/9	53
2016	1, 6, 7, 13, 33, 45, 46, 47, 58, 60, 62, 63, 64	4/21	7/20	43
2017	45, 46, 47, 60, 61, 62, 63, 64	4/22	7/12	50

棉铃铃期是从棉花开花之日至棉铃开裂(线裂或微裂)之日的天数, 棉纤维品质损伤量是喷施脱叶催熟剂处理试样的纤维品质与对照的差值, 其中差值为负值表示喷施脱叶催熟剂处理较对照降低, 正值则表示增加。 $R_{d/b}$ 是脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄(d)与铃期(b)的比值, 其中铃期为不喷施脱叶催熟剂处理(对照)的棉铃铃期。

1.3 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2016 录入、整理和计算数据, 运用 DPS 数据处理系统进行分析, 数据间的多重比较采用 LSD 法, SigmaPlot 12.0 作图。

2 结果与分析

2.1 脱叶催熟剂对棉纤维品质的影响

由图 1 可看出, 棉纤维长度受脱叶催熟剂施药时间的影响不显著, 较对照平均值降低了 0.2%~1.2%。棉纤维比强度受脱叶催熟剂喷施时间的影响较大, 在铃龄 37 d 和 44 d 喷施与对照差异不显著, 平均降低了 0.1%~0.6%; 在铃龄 30 d 喷施则显著降低了纤维比强度, 较对照平均降低了 8.5%。

喷施脱叶催熟剂后不同品种的纤维长度较对照有增加、亦有降低, 即纤维长度的损伤量有正值、

亦有负值; 对损伤量进行统计, 并以 0.5 mm 级距将其分为 6 个等级。由图 2 可看出, 脱叶催熟剂喷施时间对纤维长度损伤量的等级分布影响较小, 各损伤等级所占的比例以铃龄 30 d 喷施脱叶催熟剂的波动较大。损伤量<0 mm 所占总品种数的比例在铃龄 30 d 和 37 d 喷施时分别为 52%和 46%, 且以损伤量-1.0~0 mm 为主, 分别占总品种数的 43%和 36%; 铃龄 44 d 喷施时的损伤量则以-1.0~0.5 mm 为主, 各占 31%。在不同铃龄喷施脱叶催熟剂, 纤维长度损伤量>0 mm 亦占很大比例, 约 31%~54%。

喷施脱叶催熟剂后不同品种的纤维比强度较对照有增加、亦有降低, 即纤维比强度的损伤量有正值、亦有负值; 对损伤量进行统计, 并以 2 cN tex⁻¹ 级距将其分为 6 个等级。由图 3 可看出, 脱叶催熟剂喷施时间对纤维比强度损伤量的等级分布影响较大, 铃龄 30 d 喷施时的损伤量<0 cN tex⁻¹ 的比例高达 76%, 且以[-4 cN tex⁻¹, -2 cN tex⁻¹]所占总品种数的比例最高, 占 38%; 损伤量(-∞, -4 cN tex⁻¹)所占比例高达 20%。在铃龄 37 d 喷施脱叶催熟剂, 纤维比强度损伤量主要分布在-2~2 cN tex⁻¹, 占总品种数的 79%, 且以[0 cN tex⁻¹, 2 cN tex⁻¹]所占比例最高, 占总品种数的 54%; 另有 11%品种的损伤量在

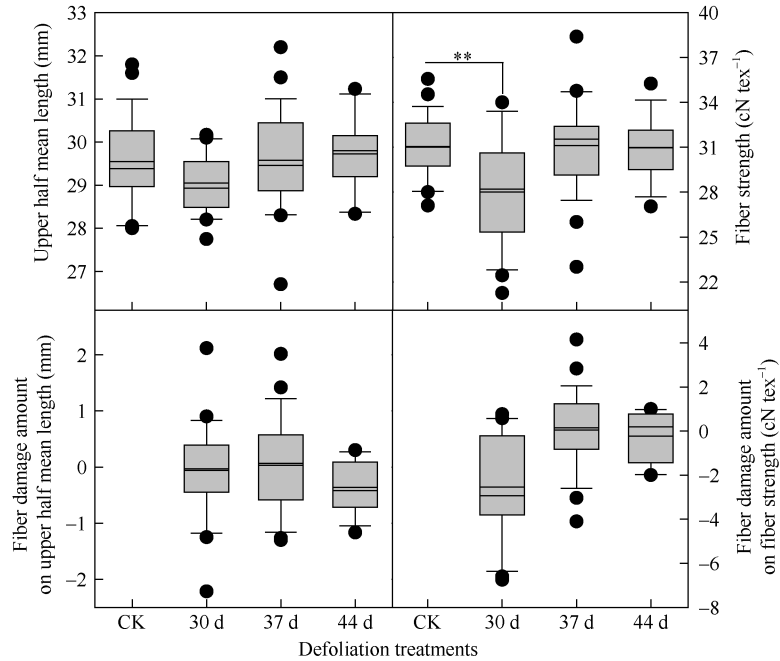


图 1 脱叶催熟剂喷施时间对棉纤维长度和比强度的影响

Fig. 1 Effects on fiber length and fiber strength of different defoliant application time

脱叶催熟剂喷施时间在铃龄 30、37、44 d 处理的样本数分别是 21、28、13。图中粗实线表示该组数据的平均值。**表示在 $P < 0.01$ 差异显著。

Samples number of defoliation times on the 30th, 37th, and 44th days post-anthesis were 21, 28, and 13, respectively. In the figure, the thick solid line represents the average value of the defoliant treatment. ** indicates statistically significant difference at $P < 0.01$.

$-4 \sim 2 \text{ cN tex}^{-1}$ 。在铃龄 44 d 喷施脱叶催熟剂对纤维比强度的损伤量分布影响较小, 主要在 $[-2 \text{ cN tex}^{-1}, 0 \text{ cN tex}^{-1}]$ 和 $[0 \text{ cN tex}^{-1}, 2 \text{ cN tex}^{-1}]$, 分别占总品种数的 46% 和 54%。

由图 4 可看出, 脱叶催熟剂对纤维长度和比强度的损伤量随棉铃铃期延长而加剧; 且脱叶催熟剂喷施时间越早、纤维品质损伤量越大, 其中纤维比强度的损伤量大于纤维长度的损伤量, 如在铃龄 30 d 喷施脱叶催熟剂, 纤维比强度和长度的损伤变幅分别为 $0.5266 \text{ cN tex}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 和 0.0868 mm d^{-1} , 在铃龄 44 d 喷施时则仅为 $0.0065 \text{ cN tex}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 和 0.0428 mm d^{-1} 。

由图 5 可看出, $R_{d/b}$ 与纤维长度损伤量呈线性关系 ($R^2=0.0016$), 未达到显著性差异水平; $R_{d/b}$ 与纤维比强度呈显著正线性关系 ($R^2=0.3434$)。

2.2 棉铃形态与铃期的定量关系

由图 6 可看出, 棉铃铃期与棉铃长度呈正线性相关 ($R^2=0.1298$), 达到显著性差异水平; 铃期则与铃直径和铃体积呈极显著线性相关 ($R^2=0.1760$ 和 $R^2=0.3410$)。

棉纤维长度和比强度与棉铃形态(直径、长度、体积)均呈显著正线性关系(图 7), $R^2 > 0.3897$ 。根据拟

合方程可计算出, 生产 $>31 \text{ mm}$ 的纤维需要棉铃体积 $>34.0 \text{ cm}^3$ 、铃长度 $>51.1 \text{ mm}$ 、铃直径 $>37.5 \text{ mm}$, 生产 $>31 \text{ cN tex}^{-1}$ 的纤维需要棉铃体积 $>31.8 \text{ cm}^3$ 、铃长度 $>49.7 \text{ mm}$ 、铃直径 $>36.6 \text{ mm}$ 。棉铃直径和铃长度与铃体积呈极显著正线性关系 ($R^2=0.6209$ 和 $R^2=0.4302$) (图 8)。

3 讨论

3.1 脱叶催熟剂喷施时间对棉花纤维品质的损伤

棉花脱叶催熟剂喷施是否得当将直接影响着棉花脱叶效果, 并对机械采收质量和原棉品质有着极其重要的影响。一般而言, 合理的脱叶催熟剂喷施时间不仅会产生良好的脱叶催熟效果, 而且可以降低对产量和品质的负面影响^[3-5]。本研究表明, 脱叶催熟剂对纤维长度的影响不显著, 在铃龄 30 d 和 37 d 时喷施脱叶催熟剂后, 纤维长度表现增加趋势的品种约占 1/2。棉纤维细胞在开花当天就开始伸长^[23], 铃龄 30 d 纤维伸长基本停止^[24]。可见, 铃龄 30 d 时纤维发育已达到该品种的固有长度, 此时喷施脱叶催熟剂对纤维长度影响较小。

棉花脱叶催熟在某种程度上影响了叶片的光合作用和叶片光合产物向棉铃的转运^[14,25], 改变了棉

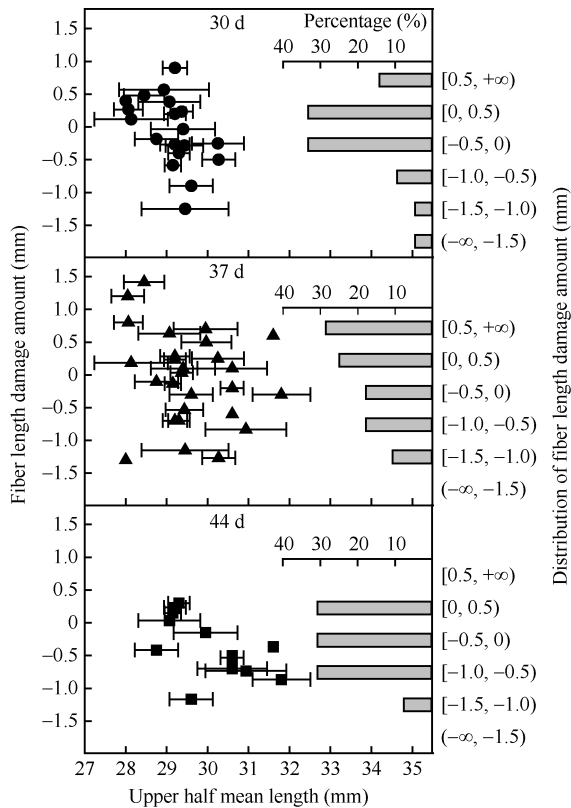


图 2 脱叶催熟剂喷施时间对棉纤维长度损伤等级的影响
Fig. 2 Effects on distribution of fiber length damage amount of different defoliant application times

柱状图是不同等级的纤维长度损伤量在试点间的比例分布, 横坐标是不同等级纤维长度的损伤量占全部试点数的百分比(%), 纵坐标是纤维长度损伤量的等级。散点图中的误差线为该组数值的标准偏差。处理同图 1。

The bar graphs represent the distribution of fiber length damage among all samples, the X-axis is the percentage of fiber length damage grades and the Y-axis is the grades of fiber length damage amount. In the scatter graphs, the values are means $\pm$ standard deviation. Treatments are the same as those given in Fig. 1.

花铃叶系统的源-库关系^[26-27]。目前, 我国批准登记棉花脱叶剂有效成分仍以噻苯隆(thidiazuron)为主^[28], 并复配乙烯利(ethephon)以获得更好、更为安全的脱叶效果和催熟效果^[29]。噻苯隆和乙烯利同时具有催熟和脱叶功能^[30], 一般情况下, 噻苯隆的脱叶效果优于催熟效果, 乙烯利的催熟效果优于脱叶效果^[31]。本研究表明, 棉纤维比强度受脱叶催熟剂的影响较为明显, 其损伤量的变化幅度更大, 较不喷施脱叶催熟剂处理的最大降幅可达 4 cN tex^{-1} 。前人研究表明, 喷施脱叶剂(噻苯隆复配乙烯利)后 7 d 内是实现良好脱叶效果的关键时间段, 脱叶率高达 55%~79%^[32], 棉花叶片中脱落酸含量显著升高、生长素含量显著下降^[33-34], 叶柄与茎枝间的断裂强度大幅降低^[35-36], 引起叶片迅速脱落, 阻断了叶片光合产物的转运^[14,37]。棉纤维比强度形成的本质就是纤维素

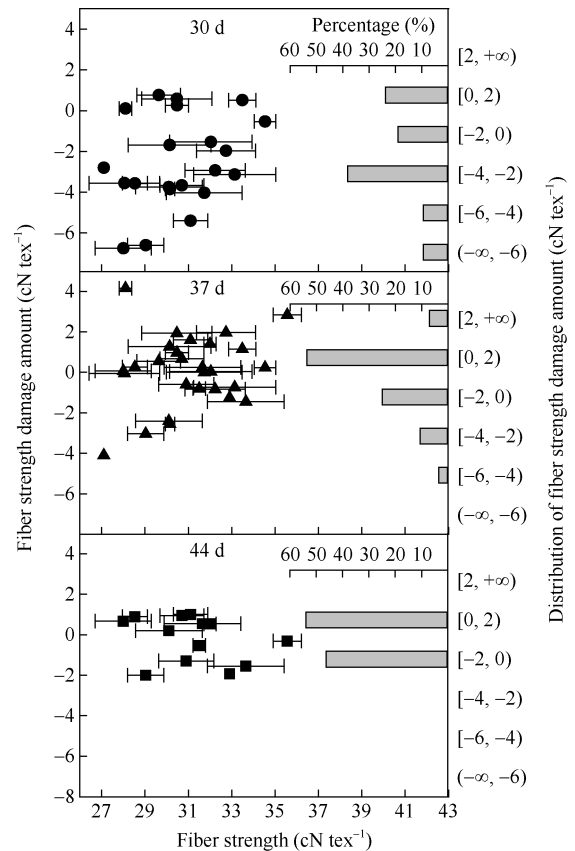


图 3 脱叶催熟剂喷施时间对棉纤维比强度损伤等级的影响
Fig. 3 Effects on distribution of fiber strength damage amount of different defoliant application times

柱状图是不同等级的纤维比强度损伤量在试点间的比例分布, 横坐标是不同等级纤维比强度的损伤量占全部试点数的百分比(%), 纵坐标是纤维比强度损伤量的等级。散点图中的误差线为该组数值的标准偏差。处理同图 1。

The bar graphs represent the distribution of fiber strength damage among all samples, the X-axis is the percentage of fiber strength damage grades and the Y-axis is the grades of fiber strength damage amount. In the scatter graphs, the values are means $\pm$ standard deviation. Treatments are the same as those given in Fig. 1.

大量沉积于次生壁内侧的过程, 铃龄 5~15 d 纤维素就已开始沉积^[38-39], 至铃龄 42 d 次生壁加厚期基本结束^[40]。可见, 脱叶催熟可能阻碍或减少了光合产物向纤维的分配与运输, 影响了纤维比强度的形成; 且脱叶催熟剂喷施时间越早, 纤维比强度的损伤变幅则会迅速扩大。

乙烯利作为催熟剂在棉花生产上广泛应用, 棉铃在开裂和明显脱水之前, 其释放的乙烯量显著提高^[41-42]。喷施乙烯利后 7 d 内, 棉花叶片光合能力变化不大, 叶片贮藏的光合产物更多的向棉铃输送, 特别是改变了棉花光合产物的运转分配比例, 使更多光合产物累积在纤维中, 运转至棉籽中的分配量有所减少^[25]。本研究表明, 铃龄 30 d 和 37 d 时喷施脱叶催熟剂后, 仍有 24%和 61%品种的纤维比强度

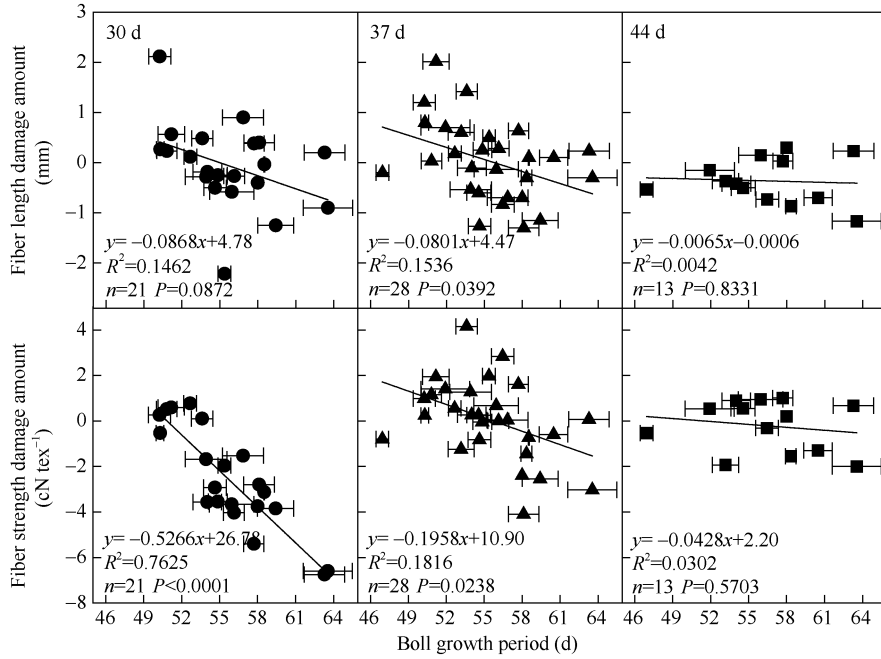


图 4 棉纤维长度和比强度的损伤量与对照处理棉铃铃期的关系

Fig. 4 Relationships between fiber length and strength damage amounts and boll growth period of the control treatments on different defoliant application time

处理同图 1。Treatments are the same as those given in Fig. 1.

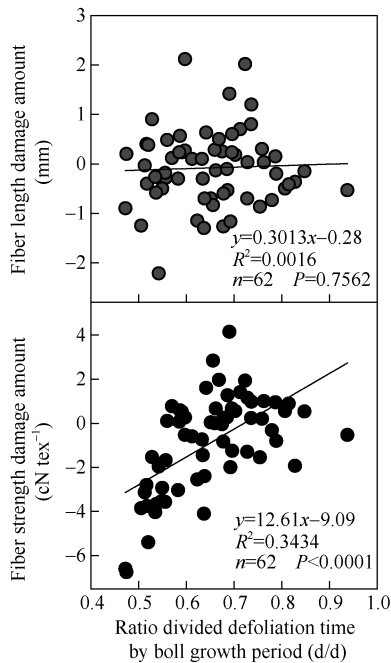


图 5 棉纤维长度和比强度的损伤量与脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比值($R_{d/b}$)间的定量关系

Fig. 5 Quantitative relationship between fiber length and strength damage amounts and the ratio of boll growth period with on defoliant application time ($R_{d/b}$)

表现增加趋势。可见,当棉铃发育基本发育完全(次生壁加厚期基本结束)时,推迟喷施脱叶催熟剂则乙烯利的催熟效果要大于脱叶剂的脱叶影响,即纤维

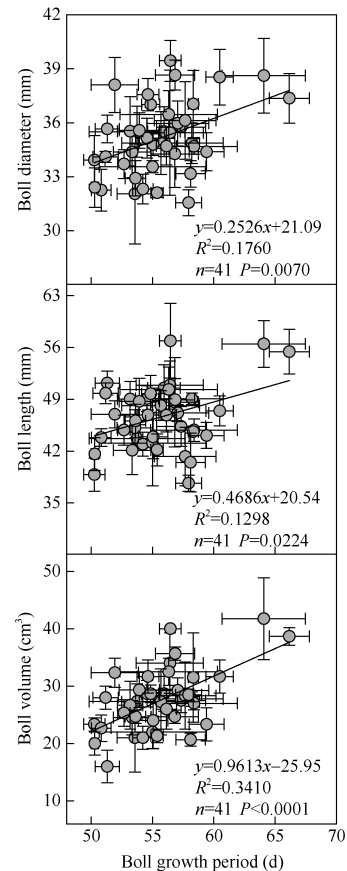


图 6 棉铃铃期与棉铃直径、长度和体积间的定量关系

Fig. 6 Quantitative relationship of boll growth period with boll characters including boll diameter, length, and volume

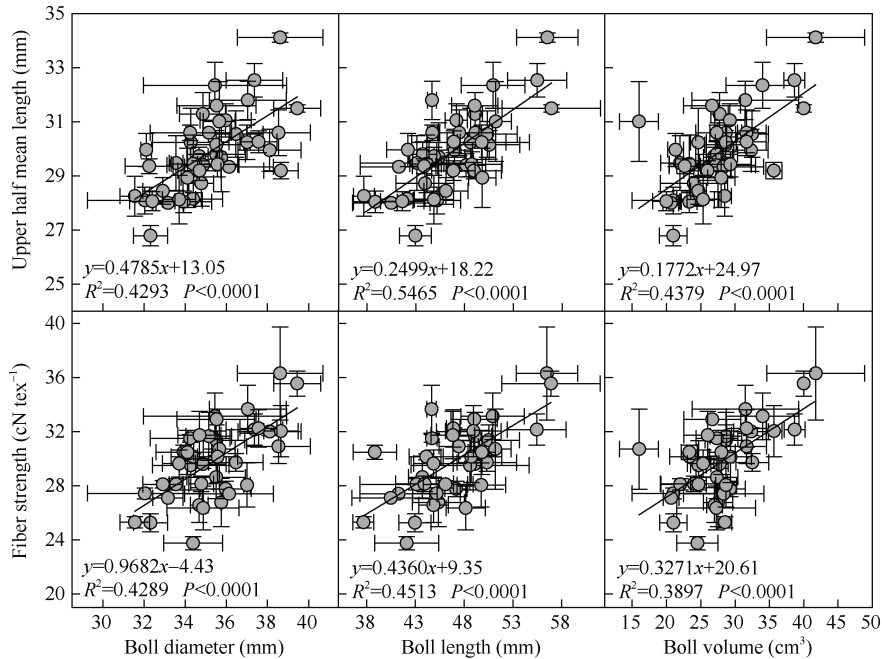


图 7 棉纤维长度和比强度与棉铃直径、长度和体积间的定量关系

Fig. 7 Quantitative relationship between boll characters (diameter, length, and volume) and fiber quality (fiber length and fiber strength)

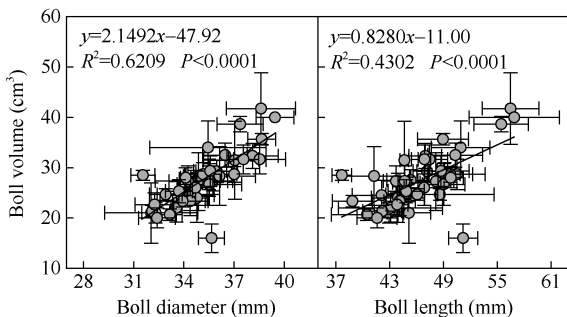


图 8 棉铃体积与棉铃直径和铃长度的定量关系

Fig. 8 Quantitative relationship between boll volume and boll diameter and length

比强度主要受催熟剂的影响。棉花生产中可根据棉花品种早熟性及棉铃特性，最早可尝试在铃龄 37 d 时喷施脱叶催熟剂，发挥催熟剂的催熟作用。脱叶剂和催熟剂虽影响了棉花叶片光合产物转运与分配，但其作用机制有所差异。那么，针对不同熟制和棉铃特征的棉花品种，在有限的资源条件下如何协调脱叶效果与催熟效果以及脱叶剂与催熟剂是否复配使用，仍需通过脱叶与催熟影响棉纤维发育的生理机制予以探讨。

3.2 适宜脱叶催熟剂的使用时期和棉铃形态

棉铃是棉花产量和纤维品质形成的基本单位，其发育过程包括棉铃体积的增大和内部物质的充实，其中，棉铃体积的增大主要表现为铃长度和铃直径

的增长，棉铃内部物质的充实主要体现为棉铃铃重的逐步增加。棉铃形态(铃体积、铃长度和铃直径)与纤维品质密切相关，棉铃长度和直径与棉纤维长度和比强度呈显著正相关^[43]，铃体积与纤维比强度呈显著正相关、与马克隆值呈显著负相关^[44]。为此，前人认为高品质棉促进大铃形成是棉花高产优质的关键^[17]，应以棉铃长度为重要指标进行高品质类型棉花品种选育，以棉铃体积提高为载体进行高产优质栽培调节^[18]。本研究也证实，棉纤维长度和比强度与棉铃形态(直径、长度、体积)均呈显著正线性关系，棉铃体积随铃直径和铃长度的增长而显著增大，生产纤维比强度 $>31 \text{ cN tex}^{-1}$ 的纤维就要求棉铃体积 $>31.8 \text{ cm}^3$ ，生产 $>30 \text{ cN tex}^{-1}$ 的纤维就要求棉铃体积 $>28.7 \text{ cm}^3$ (表 3)。

棉铃吐絮快且集中是新疆机采棉品种选育的一项重要指标^[45-46]，铃大小则作为选择早熟、吐絮快而集中性状的间接指标^[45]。本研究表明，脱叶催熟剂喷施时间对纤维长度的影响较小，而对纤维比强度的影响较为明显。棉铃吐絮率、有效积温法、吐絮铃以上主茎节数、刀切法和马克隆值预测法是几种判断脱叶催熟剂喷施时间的有效方法^[47]，其中，棉铃吐絮率是一种较为常用的方法，一般情况下，在 60% 的棉铃吐絮后进行脱叶催熟^[3,6-7]。前人研究指出，对于生育期较短的棉花品种，采用棉铃吐絮

率确定脱叶催熟剂喷施时间的方法就不再适用，应根据棉铃成熟度判断^[48]。本研究表明，棉纤维长度和比强度损伤随棉铃铃期延长而加剧，脱叶催熟剂喷施时间越早则要求棉铃铃期就越短；从脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比值($R_{d/b}$)与纤维长度和比强度损伤量的关系分析，比强度损伤与之显著

相关。因此，脱叶催熟剂的喷施时间在综合考虑气温和棉铃发育的基础上，也应关注 $R_{d/b}$ 这一指标，该指标的某一阈值也可作为确定脱叶催熟剂喷施时间的依据。据推算，若确保纤维比强度损伤 $<0.5\text{ cN tex}^{-1}$ 时， $R_{d/b}$ 应大于 0.68，比强度损伤 $<0\text{ cN tex}^{-1}$ ，则需 $R_{d/b}$ 大于 0.72 (表 3)。

表 3 生产 30 cN tex^{-1} 和 31 cN tex^{-1} 纤维比强度所需要的铃体积、铃直径、铃长度、铃期和脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比值($R_{d/b}$)及脱叶催熟剂的喷施时间

Table 3 Description of boll volume, boll length, boll diameter, boll growth period, the ratio divided defoliation time by boll growth period and fiber damage ($R_{d/b}$) and defoliant application times for producing >30 and 31 cN tex^{-1} fiber strength

性状 Trait	生产纤维比强度 $>31\text{ cN tex}^{-1}$		生产纤维比强度 $>30\text{ cN tex}^{-1}$	
	要求的参数		要求的参数	
	Values for producing $>30\text{ cN tex}^{-1}$		Values for producing $>30\text{ cN tex}^{-1}$	
	fiber strength		fiber strength	
铃体积 Boll volume (cm^3)	31.8		28.7	
铃长度 Boll length (mm)	49.7		47.4	
铃直径 Boll diameter (mm)	36.6		35.6	
铃期 Boll growth period (d)	60.0		56.8	
比强度损伤 脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比 Fiber strength dam- 值($R_{d/b}$) age amount $<0.5\text{ cN tex}^{-1}$	Ratio divided defoliation time by boll growth period (d/b)		Ratio divided defoliation time by boll growth period (d/b)	
	脱叶催熟剂喷施时间		脱叶催熟剂喷施时间	
	Defoliant application time (d)		Defoliant application time (d)	
比强度损伤 脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比 Fiber strength dam- 值($R_{d/b}$) age amount $<0\text{ cN tex}^{-1}$	Ratio divided defoliation time by boll growth period (d/b)		Ratio divided defoliation time by boll growth period (d/b)	
	脱叶催熟剂喷施时间		脱叶催熟剂喷施时间	
	Defoliant application time (d)		Defoliant application time (d)	

就棉花脱叶而言，喷施脱叶催熟剂后的气温变化是影响脱叶效果的重要因素^[31]，较高的温度增强了叶片对药剂的敏感性，可实现快速脱叶^[49]。由于新疆后期降温过快^[12]，棉花生长季节有限，棉花生长发育后期既要催熟又要脱叶，脱叶催熟技术需要协调棉铃发育状况和气温变化之间的关系。脱叶催熟剂喷施时间过早，虽能实现良好的脱叶效果，但将会严重损害叶片的光合能力^[14]，势必减少养料向棉铃的供应量，使棉铃和纤维发育进程受阻，增加了不成熟棉铃和纤维的比例^[6,8]，导致产量下降和品质变劣^[8-9]。在新疆棉区，棉株顶部棉铃能否基本完全发育成熟将直接影响着原棉品质。为此，棉株顶部棉铃铃期的长短至关重要，也间接决定着脱叶催熟剂的喷施时间。本研究表明，棉铃铃期与棉铃体积呈显著的正线性关系，生产要求纤维比强度 $>31\text{ cN tex}^{-1}$ 时，就需要棉铃铃期 $>60.0\text{ d}$ ，生产 $>30\text{ cN tex}^{-1}$ 的纤维则要求棉铃铃期 $>56.8\text{ d}$ 。根据脱叶催

熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比值($R_{d/b}$)可计算出，控制比强度损伤 $<0.5\text{ cN tex}^{-1}$ 应在铃龄 38.7~40.9 d 喷施脱叶催熟剂；当确保纤维比强度无损伤或增加时，脱叶催熟剂喷施时间应适当延迟至铃龄 41.0~43.3 d (表 3)。新疆棉区脱叶催熟剂的使用需综合考虑棉田吐絮率和喷施后的气温状况，正常年份情况下，北疆棉区 9 月 5 日至 10 日，南疆和东疆棉区 9 月 15 至 20 日。据此可推测出，当控制比强度损伤 $<0.5\text{ cN tex}^{-1}$ 时，棉株顶部棉铃的开花日期应在 7 月 26 日至 8 月 2 日(北疆)和 8 月 5 日至 12 日(南疆和东疆)；当确保纤维比强度无损伤或增加时，棉株顶部棉铃的开花日期应在 7 月 23 日至 31 日(北疆)和 8 月 2 日至 10 日(南疆和东疆)。

4 结论

喷施脱叶催熟剂对棉花纤维长度的影响不显著，较不喷施处理仅降低了 0.2%~1.2%；纤维比强度损

伤受脱叶催熟剂影响的变化幅度较大,主要集中在 $-4\sim 0\text{ cN tex}^{-1}$ 。铃龄30 d和37 d喷施脱叶催熟剂,约有1/2品种的纤维长度表现增加趋势,纤维比强度表现增加趋势的比例分别为总品种的24%和61%。可见,脱叶催熟剂对纤维比强度的影响更为明显,且随喷施时间提前,对比强度的损伤越大。

纤维比强度与棉铃体积、棉铃体积与铃期均呈显著正线性关系,若生产 $>31\text{ cN tex}^{-1}$ 的纤维就需要棉铃体积 $>31.8\text{ cm}^3$,棉铃铃期 $>60.0\text{ d}$ 。相对而言,脱叶催熟剂喷施时间越早则要求棉铃铃期就越短,可根据脱叶催熟剂喷施时的棉铃铃龄与铃期的比值($R_{d/b}$)确定脱叶催熟剂的喷施时间。当控制纤维比强度损伤量 $<0.5\text{ cN tex}^{-1}$ 时, $R_{d/b}$ 应大于0.68,在铃龄40.9 d可喷施脱叶催熟剂;新疆北疆棉区棉花顶部棉铃的终花日期应早于8月2日,南疆和东疆棉区的则在8月12日之前。

References

- [1] Brar Z R, Sekhon K S, Deol J S. Effect of defoliants on growth and yield of timely and late sown cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *J Cotton Res Dev*, 1995, 9: 227–230.
- [2] Gormus O, Kurt F, Sabagh A E L. Impact of defoliation timings and leaf pubescence on yield and fiber quality of cotton. *J Agric Sci Technol*, 2017, 19: 903–915.
- [3] Snipes C E, Baskin C C. Influence of early defoliation on cotton yield, seed quality, and fiber properties. *Field Crops Res*, 1994, 37: 137–143.
- [4] Bednarz C W, Shurley W D, Anthony W S. Losses in yield, quality, and profitability of cotton from improper harvest timing. *Agron J*, 2002, 94: 1004–1011.
- [5] Faircloth J C, Edmisten K L, Wells R, Stewart A M. The influence of defoliation timing on yields and quality of two cotton cultivars. *Crop Sci*, 2004, 44: 165–172.
- [6] Banger M P, Long R T, Constable G A, Gordon S G. Minimizing immature fiber and neps in upland cotton. *Agron J*, 2010, 102: 781–789.
- [7] Faircloth J C, Edmisten K L, Wells R, Stewart A M. Timing defoliation applications for maximum yield and optimum quality in cotton containing a fruiting gap. *Crop Sci*, 2004, 44: 158–164.
- [8] Cathey G W, Luckett K E, Rayburn Jr S T. Accelerated cotton boll dehiscence with growth regulator and desiccant chemicals. *Field Crops Res*, 1982, 5: 113–120.
- [9] Banger M P, Long R T. Optimizing timing of chemical harvest aid application in cotton by predicting its influence on fiber quality. *Agron J*, 2011, 103: 390–395.
- [10] Larson J A, Gwathmey C O, Hayes R M. Cotton defoliation and harvest timing effects on yields, quality, and net revenues. *J Cotton Sci*, 2002, 6: 13–27.
- [11] 王林, 赵冰梅, 丁志欣, 刘晨, 高海明, 张强, 张虎, 李峰, 蒋智超, 雷振华. 机采棉脱叶剂喷施技术规范. 新疆维吾尔自治区地方标准, DB65T 3980–2017, 2017.03.20.
- Wang L, Zhao B M, Ding Z X, Liu C, Gao H M, Zhang Q, Zhang H, Li F, Jiang Z C, Lei Z H. Technical specification of spraying defoliant mechanical harvesting of cotton field. Xinjiang Uygur Autonomous Region Standard, DB65T 3980–2017, 2017.3.20 (in Chinese).
- [12] 过兴先, 曾伟. 新疆棉区的气温和棉铃发育关系的研究. 作物学报, 1989, 15: 202–212.
Guo X X, Zeng W. A study on relationship between temperature and cotton boll development in Xinjiang. *Acta Agron Sin*, 1989, 15: 202–212 (in Chinese with English abstract).
- [13] Brown L C, Hyer A H. Chemical defoliation of cotton: V. Effects of premature defoliant and desiccant treatments on boll components, fiber properties, germination, and yield of cotton. *Agron J*, 1956, 48: 50–55.
- [14] Long R L, Bange M P. Consequences of immature fiber on the processing performance of upland cotton. *Field Crops Res*, 2011, 121: 401–407.
- [15] Miller D, Stephenson D, Fromme D. Cotton harvest aid guidelines for Louisiana, LA: the LSU AgCenter, 2014 [2014-09-14]. <https://www.lsuagcenter.com/topics/crops/cotton/agronomy>
- [16] 曹新川, 胡守林, 韩秀锋, 何良荣, 郭伟锋. 海岛棉棉铃阶段性发育与产量品质的关系. 作物学报, 2020, 46: 300–306
Cao X C, Hu S L, Han X F, He L R, Guo W F. Relationship of stage development of cotton bolls with yield and quality in island cotton. *Acta Agron Sin*, 2020, 46: 300–306 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈源, 王永慧, 杨朝华, 肖健, 栾娜, 张祥, 陈德华. 氮肥运筹对高品质棉铃形成及纤维品质的影响. 作物学报, 2009, 35: 2266–2272.
Chen Y, Wang Y H, Yang Z H, Xiao J, Luan N, Zhang X, Chen D H. Effect of nitrogen fertilizer application on development of boll and fiber quality in high fiber quality cotton. *Acta Agron Sin*, 2009, 35: 2266–2272 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈源, 王永慧, 肖健, 栾娜, 张祥, 陈德华. 高品质陆地棉棉铃发育特点. 作物学报, 2010, 36: 1371–1376.
Chen Y, Wang Y H, Xiao J, Luan N, Zhang X, Chen D H. Boll development characteristics for high-quality upland cotton cultivars. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1371–1376 (in Chinese with English abstract).
- [19] 由宝昌, 刘键萍, 梅拥军, 董安春, 孔向东. 海岛棉铃形与铃重纤维品质关系的研究. 西北农业学报, 1995, 2(1): 27–33.
You B C, Liu J P, Mei Y J, Dong A C, Kong X D. A study of the relations between boll form and boll weight and fibre quality of sea-island cotton. *Acta Agric Boreali-Occident Sin*, 1993, 2(1): 27–33 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李雪源. 新疆棉花生产中的几个热门项目. 中国棉花, 1995, 23(9): 38–39.
Li X Y. Several high-demand events of cotton production in Xinjiang. *China Cotton*, 1995, 23(9): 38–39 (in Chinese).
- [21] 李蒙春, 洪启华, 苏守智, 李生军. 新疆机采棉的研究及应用. 新疆农垦经济, 2001, (5): 32–33.
Li M C, Hong Q H, Su S Z, Li S J. Research and application of machine-harvested cotton in Xinjiang. *Xinjiang State Farm Econ*, 2001, (5): 32–33 (in Chinese).
- [22] 李雪源, 王俊铎, 梁亚军, 郑巨云, 龚照龙, 艾先涛, 莫明. 新疆棉花质量效益规模分析与发展适度规模下的质量效益型棉

- 业. 中国棉麻产业经济研究, 2016, (6): 26–40.
- Li X Y, Wang J D, Liang Y J, Zheng J Y, Gong Z L, Ai X T, Mo M. Analysis of quality and benefit of cotton in Xinjiang and Quality-efficient cotton industry under moderate development. *Chin Cotton Linen Ind Econ Res J*, 2016, (6): 26–40 (in Chinese).
- [23] Stewart J M. Fiber initiation on the cotton ovule (*Gossypium hirsutum*). *Am J Bot*, 1975, 62: 723–730.
- [24] Jasdanwala R T, Sing Y D, Chinoy J J. Auxin metabolism in developing cotton hairs. *J Exp Bot*, 1977, 28: 1111–1116.
- [25] 沈岳清, 方炳初, 盛敏智. 乙烯利对棉叶光合能力和物质运输等方面的影响. 植物学报, 1980, 22: 136–140.
- Shen Y Q, Fang B C, Sheng M Z. The effect of photosynthesis and translocation in cotton leaf. *Acta Bot Sin*, 1980, 22: 136–140 (in Chinese with English abstract).
- [26] Wardlaw I F. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytol*, 1990, 116: 341–381.
- [27] 段留生, 何钟佩. 源库关系改变对棉叶内源激素的影响. 西北植物学报, 1999, 19(6): 116–121.
- Duan L S, He Z P. Effect of alteration of source-sink relationship on endogenous hormones in cotton leaves. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 1999, 19(6): 116–121 (in Chinese with English abstract).
- [28] 刘刚. 目前登记的棉花脱叶剂产品. 农药市场信息, 2017, (25): 34.
- Liu G. Cotton defoliant products registered. *Pestic Mark News*, 2017, (25): 34 (in Chinese).
- [29] Snipes C E, Cathey G W. Evaluation of defoliant mixtures in cotton. *Field Crops Res*, 1992, 28: 327–334.
- [30] 田晓莉, 段留生, 李召虎, 王保民, 何钟佩. 棉花化学催熟与脱叶的生理基础. 植物生理学通讯, 2004, 40: 758–762.
- Tian X L, Duan L S, Li Z H, Wang B M, He Z P. Physiological bases of chemical accelerated boll maturation and defoliation in cotton. *Plant Physiol J*, 2004, 40: 758–762 (in Chinese with English abstract).
- [31] Snipes C E, Wills G D. Influence of temperature and adjuvants on thidiazuron activity in cotton leaves. *Weed Sci*, 1994, 42: 13–17.
- [32] 田景山, 张照怡, 张丽娜, 徐守振, 祁炳琴, 随龙龙, 张鹏鹏, 杨延龙, 张旺锋, 勾玲. 新疆机采棉花实现叶片快速脱落需要的温度条件. 作物学报, 2019, 45: 613–620.
- Tian J S, Zhang X Y, Zhang L N, Xu S Z, Qi B Q, Sui L L, Zhang P P, Yang Y L, Zhang W F, Gou L. Temperatures of promoting rapid leaf abscission of cotton in Xinjiang region. *Acta Agron Sin*, 2019, 45: 613–620 (in Chinese with English abstract).
- [33] 高丽丽, 李淦, 康正华, 李健伟, 王蜜蜂, 马云珍, 张巨松. 脱叶剂对棉花抗氧化酶及内源激素的影响. 农药学学报, 2016, 18: 439–446.
- Gao L L, Li G, Kang Z H, Li J W, Wang M F, Ma Y Z, Zhang J S. Effect of defoliant on antioxidative enzyme activity and endogenous hormone contents of cotton. *Chin J Pestic Sci*, 2016, 18: 439–446 (in Chinese with English abstract).
- [34] Xu J, Chen L, Sun H, Wusiman N, Sun W N, Li B Q, Gao Y, Kong J, Zhang D W, Zhang X L, Xu H J, Yang X Y. Crosstalk between cytokinin and ethylene signaling pathways regulates leaf abscission in cotton in response to chemical defoliant. *J Exp Bot*, 2019, 70: 1525–1538.
- [35] Mishra A, Khare S, Trivedi P K, Nath P. Effect of ethylene, 1-MCP, ABA and IAA on break strength, cellulase and polygalacturonase activities during cotton leaf abscission. *South Afr J Bot*, 2008, 74: 282–287.
- [36] Mishra A, Khare S, Trivedi P K, Nath P. Ethylene induced cotton leaf abscission is associated with higher expression of cellulase (*GhCell*) and increased activities of ethylene biosynthesis enzymes in abscission zone. *Plant Physiol Biochem*, 2008, 46: 54–63.
- [37] 高丽丽, 李淦, 康正华, 李健伟, 王蜜蜂, 马云珍, 张巨松. 脱叶剂对棉花叶片叶绿素荧光动力学参数的影响. 棉花学报, 2016, 28: 345–352.
- Gao L L, Li G, Kang Z H, Li J W, Wang M F, Ma Y Z, Zhang J S. Effect of defoliant on chlorophyll fluorescence of cotton leaves. *Cotton Sci*, 2016, 28: 345–352 (in Chinese with English abstract).
- [38] Meinert M C, Delmer D P. Change in biochemical composition of the cell wall of the cotton fiber during development. *Plant Physiol*, 1977, 59: 1088–1097.
- [39] Tokumoto H, Wakabayashi K, Kamisaka S, Hoson T. Changes in the sugar composition and molecular mass distribution of matrix polysaccharides during cotton fiber development. *Plant Cell Physiol*, 2002, 43: 411–418.
- [40] 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.
- [41] Lipe J A, Morgan P W. Ethylene: role in fruit abscission and dehiscence processes. *Plant Physiol*, 1972, 50: 759–764.
- [42] Chen Y, Cothren J T, Chen D H, Ibrahim A M H, Lombardini L. Effect of 1-MCP on boll development and subtending leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants. *Am J Plant Sci*, 2014, 5: 3345–3353.
- [43] Tang F Y, Xiao W J. Genetic association of within boll yield components and boll morphological traits with fibre properties in upland cotton. *Plant Breed*, 2014, 133: 521–529.
- [44] 狄佳春, 肖松华, 刘剑光, 许乃银, 陈旭升. 不同铃形的陆地棉棉铃性状研究. 中国棉花, 2002, 29(5): 12–14.
- Di J C, Xiao S H, Liu J G, Xu N Y, Chen X S. Different boll shapes affected boll traits of upland cotton. *China Cotton*, 2002, 29(5): 12–14 (in Chinese).
- [45] 李雪源. 把吐絮快而集中作为新疆棉花育种的一项重要指标. 新疆农业科学, 1993, (4): 179–180.
- Li X Y. Quickness and concentration were an important indicator of cotton breeding in Xinjiang. *Xinjiang Agric Sci*, 1993, (4): 179–180 (in Chinese with English abstract).
- [46] 李雪源. 机采棉育种机采性状选择效果初报. 中国棉花, 1997, 24(9): 14–15.
- Li X Y. Preliminary report on cotton breeding of machine-harvested cotton. *China Cotton*, 1997, 24(9): 14–15 (in Chinese).
- [47] Craig C. W075—Cotton defoliation timing. TN: The University of Tennessee Agriculture Extension Service, 2010. http://trace.tennessee.edu/utk_agexcrop/88.
- [48] Wright D L, Marois J J, Sprekel R K. Production of ultra-narrow row cotton. University of Florida UF/IFAS Extension, 2000. pp 1–3.
- [49] Logan J, Gwathmey O. Effects of weather on cotton responses to harvest-aid chemicals. *J Cotton Sci*, 2002, 6: 1–12.