

夏播短季栽培模式下棉花产量及纤维品质 对脱叶催熟剂喷施时间的响应

谢章书¹ 荣志凌¹ 覃业玲¹ 李侃² 周仲华¹ 屠小菊¹ 汪启明³ 刘爱玉¹

(¹湖南农业大学农学院/作物生理与分子生物学教育部重点实验室, 410128, 湖南长沙;

²湖南省宜章县农业农村局, 424299, 湖南郴州; ³湖南农业大学生物科学技术学院, 410128, 湖南长沙)

摘要 为研究不同脱叶剂喷施时间对夏播短季栽培模式下棉花产量和纤维品质的影响, 探索适宜长江流域棉花栽培的脱叶催熟技术, 以早熟棉品种“湘农早1号”为材料, 设置5个脱叶剂喷施时间(10月3日、6日、9日、12日、15日), 测定纤维品质(上半部平均长度、整齐度、断裂比强度等)、产量性状(单株铃数、单铃重、籽棉产量)及后期(8月30日)开花棉铃的吐絮率与品质指标, 结合主成分分析与相关性分析综合评价筛选最优施药窗口。结果表明, 10月12日喷施脱叶剂显著提高籽棉产量(6573.28 kg/hm²), 较其他处理增产5.8%~11.6%; 单铃重(5.30 g)与衣分(37.63%)亦为最优。纤维品质方面, 10月15日喷施的上半部平均长度(31.10 mm)、马克隆值(5.16)和断裂比强度(34.83 cN/tex)表现最佳。后期开花棉铃中在花后43 d(10月12日)喷施时吐絮率最高(96.30%), 断裂比强度达29.67 cN/tex。相关性分析表明, 脱叶剂喷施时间主要通过单铃重而非单株成铃数影响棉花产量和纤维品质。结合最优产量表现和主成分分析得出, 10月12日(花后43 d)为棉花产量和纤维品质的最佳平衡点。因此, 10月12日为长江流域夏播短季棉脱叶剂最佳喷施时间, 可促进后期棉铃成熟, 并兼顾机械化采收需求与经济效益。

关键词 棉花; 夏播短季栽培; 脱叶剂; 喷施时间; 产量; 品质

湖南省地处长江流域中游, 是我国最南端的商品棉产区^[1]。21世纪以来, 针对棉花种植中出现的劳动力成本上升、肥药等生产资料价格上涨以及粮(油)棉争地等问题, 湖南省正逐步推广夏播短季栽培模式^[2]。该模式改春播为夏播、以种子直播代替传统育苗移栽方式, 使用早熟棉花品种并整合多种农艺栽培措施, 实现棉铃集中一次性吐絮、机播机收, 并通过缩短棉花的生育周期(将全生育期控制在150 d内), 降低了种植成本, 提高了植棉经济效益^[3]。其中施用脱叶催熟剂(以下简称“脱叶剂”), 促进棉铃集中吐絮是夏播短季栽培模式的核心环节之一, 也是保障机械化采收的重要前提^[4]。施用脱叶剂一方面可以有效遏制棉株过度营养生长, 促进棉叶的衰老脱落, 减少机械化收获过程中棉叶对纤维的污染, 降低纤维含杂率; 另一方面还能促进营养物质向生殖器

官转运, 提高棉铃成熟度, 从而增加籽棉产量和改善纤维品质^[5]。然而, 脱叶剂的喷施时间对其效果具有决定性影响。喷施时间过早, 棉叶提前脱落, 可能导致植株营养供应不足, 影响棉铃成熟; 喷施时间过晚, 则可能无法有效促进脱叶, 增加机械采收的难度, 并导致纤维品质下降^[6]。此外, 由于湖南省秋季气候多变, 低温和阴雨对脱叶剂药效和棉花成熟收获易造成不利影响, 合理的脱叶剂喷施时间有助于优化植株通风透光条件, 减少收获前棉株病虫害的发生^[7-8]。故确定最佳的脱叶剂施用时机对于提高湖南区域棉花生产经济效益具有重要的现实意义和推广价值。

当前普遍倾向于采用群体棉铃的吐絮程度作为主要指标, 用以判定喷施脱叶剂的最佳时机。当棉铃吐絮率达到40%时施用脱叶剂, 可以保证产量和纤维品质不受影响^[9]; 当吐絮率达到60%

作者简介: 谢章书, 主要从事棉花栽培生理研究, E-mail: 1127466943@qq.com; 荣志凌为共同第一作者, 主要从事棉花栽培生理研究, E-mail: 2639268160@qq.com

刘爱玉为通信作者, 主要从事棉花栽培生理、遗传育种研究, E-mail: lay8155@163.com; 汪启明为共同通信作者, 主要从事作物生长调控机制研究, E-mail: wqmqmx21@126.com

基金项目: 湖南省农业农村厅棉花科技创新项目(湘财建指(2024)162号); 湖南省研究生科研创新项目(CX20240638); 湖南省棉花产业技术体系栽培与良种繁育岗位专家项目(湘农发(2022)31号)

收稿日期: 2025-03-06; **修回日期:** 2025-05-29; **网络出版日期:** 2025-07-09

时,棉花的成熟度较高,施用脱叶剂效果最佳,能显著提升产量和纤维品质^[10]。将施药时间延迟,吐絮率达 70%~80%时,可获得最大的棉花产量收益^[11];在吐絮率为 60%~80%时喷施脱叶剂,能提高 7%~15%的皮棉产量^[12]。喷施时间过早或过晚均会不同程度造成棉花产量和纤维品质的损失。胡晓丽等^[13]研究指出,9月23日,在黄河流域相同品种、生长发育状态一致的棉铃喷施脱叶剂后,其单铃重、衣分和纤维品质较清水对照组分别下降 27.9%~39.4%、5.4%~5.5%和 0.6%~6.9%。因此,探明适宜的脱叶剂喷施时间对保障棉花产量和纤维品质至关重要。

因脱叶剂药效易受种植地域和种植模式差异等因素影响,导致以群体棉铃吐絮程度为判定标准的脱叶剂喷施时间在实际应用中往往难以达到预期效果,并且湖南省气候多样,季节变化明显,常规在 10 月初施用脱叶剂的做法在生产种植中难以保证所有棉铃的正常成熟和吐絮。在夏播短季栽培模式下,脱叶剂喷施时间对棉花产量和纤维

品质的影响仍不明确,棉株无法集中成铃吐絮,大大影响棉花机械化采收效率。本研究通过大田试验,在夏播短季栽培模式下,系统分析不同脱叶剂喷施时间对棉花产量、纤维品质以及后期开花棉铃(8月30日)的影响,填补现有研究在区域适应性方面的不足。同时,本研究还结合棉铃的生长发育规律,探讨最佳喷施时间对棉花整体生产性能的优化作用,提供更加精准的农业管理指导,促进植棉机械化、轻简化。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验地位于湖南省浏阳市沿溪镇原种场(28°18' N, 113°49' E; 海拔 178 m),该地区为亚热带季风性湿润气候,年降水量 1128.5 mm,年均高温 24 °C,年均低温 14 °C,年总积温 5431 °C,2022 年棉花全生育期内气象数据如图 1。试验地土壤为沙壤土, pH 6.6,有机质、全磷、全氮和全钾含量分别为 9.20、0.71、0.89 和 5.99 g/kg。前茬

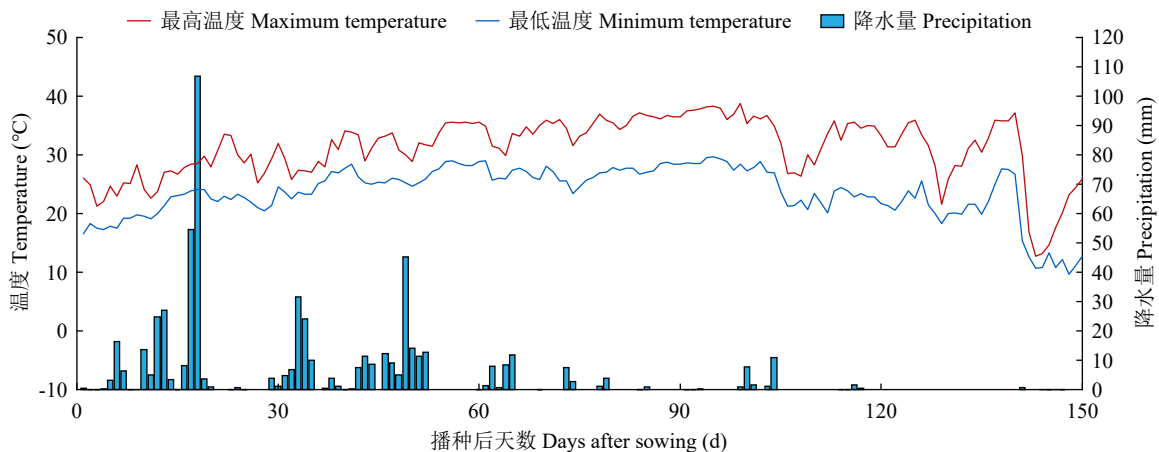


图 1 棉花全生育期内温度和降水量

Fig.1 Temperature and precipitation during the cotton growing stage

作物为棉花。

供试棉花品种为湖南农业大学棉花研究所提供的常规早熟新品种“湘农早 1 号”,播种前晒种,剔除不饱满的棉籽,并使用“高巧”牌种衣剂[购自拜耳作物科学(中国)有限公司],进行拌种处理,以提高棉籽出苗率。脱叶剂为“欣噻利(50%噻苯隆·乙稀利悬浮剂)”(购自河北国欣诺农生物技术有限公司),按照 2700 mL/hm²施用剂量,使用 3 L 高压雾状喷壶进行喷施。

1.2 试验设计

试验地播前进行机械起垄,两垄 4 行区,行距 75 cm,小区面积 20 m²(长 5 m×宽 4 m),于 2022 年 5 月 25 日进行直播(每穴 3 粒种子),2 片真叶后进行间苗,播种密度 105 000 株/hm²。其余田间管理措施参照夏播短季轻简化栽培技术^[3]和《棉花栽培技术规范》(DB43/T 286-2006)^[14]进行。

在 8 月 30 日,对当天正在开花的棉株(定义

为后期开花棉铃)全部进行挂牌标记。同时采用随机区组设计,设置 5 个不同的脱叶剂喷施时间,分别是 10 月 3 日(花后 34 d)、6 日(花后 37 d)、9 日(花后 40 d)、12 日(花后 43 d)以及 15 日(花后 46 d),各喷施时间重复 3 次,共 15 个小区。对后期开花棉铃和小区内其余正常吐絮棉铃分别进行观察和测量相应指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 棉花纤维品质 将各小区经过轧花并充分晾晒干燥的棉纤维取 30 g 样品,使用大号信封密封后送至中国农业科学院棉花研究所(农业农村部棉花品质监督检验测试中心,河南安阳)。依据 HVI 棉纤维物理性能试验方法 GB/T 20392-2023^[15]检测 HVI 5 项指标。

1.3.2 产量及其性状调查 各小区随机采收 50 个棉株中上部吐絮棉铃,并将棉铃晾晒干后称量,计算其平均重量,记为单铃重。

在棉花吐絮盛期,观察并记录各小区棉株的铃数(不计坏铃、烂铃),计算各小区的平均单株铃数。

籽棉产量(kg/hm²)=[收获密度(株/hm²)×平均单株成铃数(个/株)×单铃重(g)]/1000×90%(校正系数)。

1.3.3 后期开花棉铃吐絮率 在各施药时期处理后的第 10 天,采收各小区所有 8 月 30 日挂牌的棉铃,并记录吐絮棉铃数和棉铃总数。吐絮率(%)=吐絮棉铃数/棉铃总数×100。

1.3.4 后期开花棉铃的单铃重和衣分 从 8 月 30

日已吐絮的挂牌棉铃中随机挑选 30 株,参照 1.3.2 的方法计算单铃重。依据单铃重计算得出衣分(皮棉产量/籽棉产量)。

1.3.5 后期开花棉铃的纤维品质 同样的,将各小区 8 月 30 日挂牌棉铃的籽棉,参照 1.3.1 方法进行棉花纤维品质检测。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 Krita 4.4.3 进行试验数据整理并绘图。使用 SPSS 27.0 进行差异显著性检验和主成分分析(PCA),采用 Pearson 相关系数法进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同脱叶剂喷施时间对棉花纤维品质的影响

由表 1 可知,纤维上半部分平均长度随喷施时间推迟呈递增趋势,10 月 15 日处理达 31.10 mm,但各处理之间无显著性差异。整齐度指数随喷施时间推迟也呈现递增趋势,且 10 月 15 日最优,10 月 12 日、10 月 9 日次之,三者显著高于 10 月 3 日和 10 月 6 日。断裂比强度在 10 月 15 日处理最高(34.83 cN/tex),但存在棉铃成熟度差异导致断裂比强度波动较大(±1.15 cN/tex)的现象。马克隆值随喷施时间推迟呈逐渐升高趋势,10 月 15 日处理达 5.16,符合优质棉标准(4.30~5.00),但接近上限。表明适度推迟喷施时间可改善纤维长度与成熟度,但过晚喷施可能会有棉铃发育不均衡导致纤维强度下降的风险。伸长率以 10 月 12 日和 10 月 15 日较优(5.1%)。

表 1 脱叶剂喷施时间对纤维品质的影响

Table 1 Effects of defoliant spraying time on fiber quality

喷施日期(月-日) Application date (month-day)	上半部平均长度 Average length of upper half (mm)	整齐度指数 Uniformity index (%)	断裂比强度 Fiber strength (cN/tex)	马克隆值 Micronaire value	伸长率 Elongation rate (%)
10-03	30.40±0.36a	84.60±0.29b	33.47±0.24a	4.46±0.12b	5.0±0.1a
10-06	30.43±0.43a	84.73±0.35b	33.50±0.69a	4.60±0.09b	5.0±0.1a
10-09	30.50±0.45a	85.20±0.20a	33.90±0.24a	4.83±0.09ab	5.0±0.1a
10-12	30.76±0.55a	85.30±0.31a	34.03±0.17a	4.90±0.12ab	5.1±0.1a
10-15	31.10±0.40a	85.67±0.42a	34.83±1.15a	5.16±0.06a	5.1±0.1a

不同小写字母表示具有差异显著性(P<0.05)。下同。

Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05). The same below.

2.2 不同脱叶剂喷施时间对棉花产量及产量性状的影响

由表 2 所示,不同喷施时间对单株铃数无显

著性影响。10 月 12 日喷施处理的籽棉产量(6573.28kg/hm²)显著高于其他处理,其单铃重(5.30 g)较 10 月 3 日处理显著提高 6.85%,各处

理间的单株铃数无显著差异 (14.00~14.83)，表明喷施时间对成铃数影响较小，但可通过显著影响单铃重来调控籽棉产量。

表 2 脱叶剂喷施时间对产量及产量性状的影响
Table 2 Effects of defoliant spraying time on yield and its traits

喷施日期 (月-日) Application date (month-day)	单株铃数 Boll number per plant	单铃重 Boll weight (g)	籽棉产量 Seed cotton yield (kg/hm ²)
10-03	14.00±0.45a	4.96±0.04b	5828.87±118.36b
10-06	14.67±1.12a	5.11±0.16ab	6126.97±119.03ab
10-09	14.83±0.79a	4.98±0.12b	5976.92±117.44b
10-12	14.17±1.03a	5.30±0.04a	6573.28±225.84a
10-15	14.34±0.91a	5.03±0.22ab	6262.07±125.12ab

2.3 脱叶剂喷施时间对后期开花棉铃的影响

2.3.1 对产量性状和吐絮率的影响 由表 3 所示，喷施时间越晚（花后天数增加），单铃重呈先升后降趋势，花后 43 d 处理单铃重达最大值（4.09 g），较花后 34 d 处理提高 10.5%。衣分随喷施时间推迟逐渐升高，并在花后 43 d 时达到峰值（37.63%）。吐絮率方面也同样在花后 43 d 处理达到峰值（96.30%），较花后 37 d 处理显著提高 19.5%，表明花后 43 d 喷施脱叶剂可以最大程度促进后期棉铃成熟吐絮，减少未开裂棉铃比例，利于机械化采收。

表 3 脱叶剂喷施时间对后期开花棉铃产量性状和吐絮率的影响
Table 3 Effects of defoliant spraying time on late flowering boll yield traits and boll opening rate

花后天数 Days post-anthesis	单铃重 Boll weight (g)	衣分 Lint percentage (%)	吐絮率 Boll opening rate (%)
34 (10-03)	3.70±0.05a	36.78±0.39a	94.85±0.68a
37 (10-06)	3.82±0.12a	36.51±0.24a	80.59±0.46b
40 (10-09)	3.90±0.08a	37.40±0.03a	90.74±0.38a
43 (10-12)	4.09±0.09a	37.63±0.12a	96.30±1.62a
46 (10-15)	3.90±0.13a	37.40±0.11a	92.60±1.28a

2.3.2 对纤维品质的影响 后期开花棉铃的纤维品质对脱叶剂喷施时间响应敏感（表 4）。纤维上半部平均长度随喷施时间推迟逐渐增加，并在花后 43 d 处理时达到峰值（31.00 mm），较花后 34 d 处理提高 3.1%。整齐度指数随喷施时间推迟呈现逐渐升高的趋势，且在花后 46 d 最优（84.15%），较花后 34 d 显著提高 0.6%。断裂比强度在花后 46 d 处理最高（30.06 cN/tex），较花后 34 d 处理（28.67 cN/tex）提升 4.8%，表明此时喷施可增强纤维力学性能。马克隆值在花后 46 d 处理最高（4.33），较花后 34 d 显著提高 19.28%，表明过晚喷施不但能提高纤维成熟度，还可以增强纤维细胞壁强度和厚度。伸长率随喷施时间推迟呈现逐渐提高的趋势，且花后 46 d 最优（5.17%）。综合来

表 4 脱叶剂喷施时间对后期开花（8 月 30 日）棉铃纤维品质的影响
Table 4 Effects of defoliant spraying time on fiber quality of cotton bolls at late flowering (August 30)

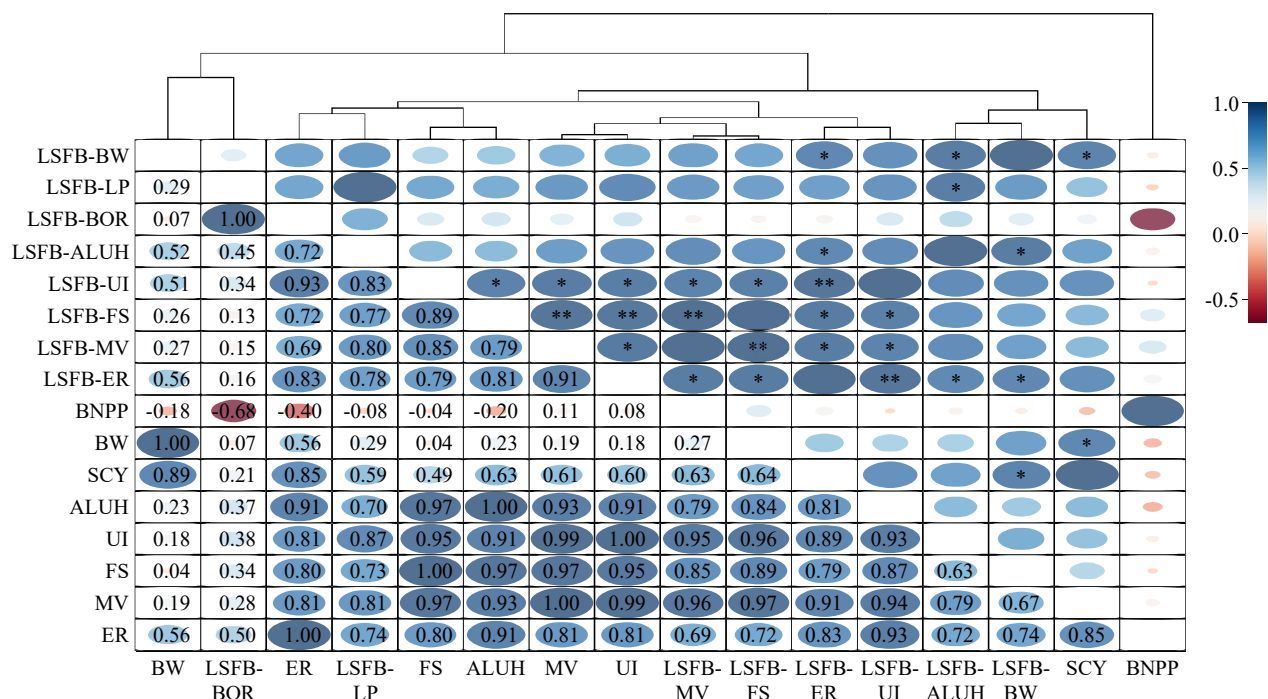
花后天数 Days post-anthesis	上半部平均长度 Average length of upper half (mm)	整齐度指数 Uniformity index (%)	断裂比强度 Fiber strength (cN/tex)	马克隆值 Micronaire value	伸长率 Elongation rate (%)
34 (10-03)	30.06±0.56a	83.63±0.32b	28.67±0.41a	3.63±0.16c	4.90±0.06a
37 (10-06)	30.20±0.15a	83.76±0.29a	29.20±0.97a	3.90±0.15bc	5.03±0.06a
40 (10-09)	30.70±0.43a	83.86±0.30a	29.63±0.88a	4.17±0.05ab	5.07±0.20a
43 (10-12)	31.00±0.45a	84.13±0.28a	29.67±0.71a	4.17±0.05ab	5.16±0.11a
46 (10-15)	30.70±0.17a	84.15±0.25a	30.06±0.20a	4.33±0.05a	5.17±0.20a

看，花后 43 d 喷施脱叶剂在保障棉花纤维品质的各项指标中可以取得最佳平衡。

2.4 各指标相关性分析

相关性分析如图 2 所示，在后期开花棉铃方面：上半部平均长度与单铃重呈显著正相关，说明纤维长度的增加伴随着单铃重的提高。马克隆值与伸长率、整齐度指数呈显著正相关，与断裂比强度呈极显著正相关，说明纤维成熟度的增加伴随着细胞壁的增厚和纤维强度的提高。

籽棉产量与单铃重呈显著正相关 ($r=0.89$)，后期开花棉铃单铃重也同样与籽棉产量呈显著正相关，表明单铃重的增加是产量提升的主要驱动力。此外，后期开花棉铃的单铃重与其伸长率和上半部平均长度呈显著正相关，说明，棉花产量和品质在一定程度上可以协同提高。而单株铃数与各产量及纤维品质指标无显著相关性，且色阶反映其呈不同程度的负相关关系，进一步验证了脱叶剂喷施时间主要通过单铃重而非成铃数影响最终棉花产



LSFB-BW: 后期开花棉铃—单铃重, LSFB-LP: 后期开花棉铃—衣分, LSFB-BOR: 后期开花棉铃—吐絮率, LSFB-ALUH: 后期开花棉铃—上半部平均长度, LSFB-UI: 后期开花棉铃—整齐度指数, LSFB-FS: 后期开花棉铃—断裂比强度, LSFB-MV: 后期开花棉铃—马克隆值, LSFB-ER: 后期开花棉铃—伸长率, BNPP: 单株铃数, BW: 单铃重, SCY: 籽棉产量, ALUH: 上半部平均长度, UI: 整齐度指数, FS: 断裂比强度, MV: 马克隆值, ER: 伸长率。“*”和“**”分别表示相关性达显著 ($P < 0.05$) 或者极显著水平 ($P < 0.01$)。LSFB-BW: late-season flowering bolls-boll weight, LSFB-LP: late-season flowering bolls-lint percentage, LSFB-BOR: late-season flowering bolls-boll opening rate, LSFB-ALUH: late-season flowering bolls-average length of upper half, LSFB-UI: late-season flowering bolls-uniformity index, LSFB-FS: late-season flowering bolls-fiber strength, LSFB-MV: late-season flowering bolls-Micronaire value, LSFB-ER: late-season flowering bolls-elongation rate, BNPP: boll number per plant, BW: boll weight, SCY: seed cotton yield, ALUH: average length of upper half, UI: uniformity index, FS: fiber strength, MV: micronaire value, ER: elongation rate. “*” and “**” indicate that the correlation reaches the significant ($P < 0.05$) or extremely significant level ($P < 0.01$), respectively.

图 2 不同脱叶剂喷施时间处理下各指标相关性分析热图

Fig.2 Heat map of correlation analysis of indicators under different defoliant spraying time treatments

量和纤维品质。

2.5 不同脱叶剂喷施时间处理主成分分析

主成分分析 (PCA) 提取前 2 个主成分 (PC1 和 PC2), 累计方差贡献率为 75.14% (PC1: 49.77%, PC2: 25.37%), 能够有效区分不同脱叶剂喷施时间对棉花产量与纤维品质的综合影响 (图 3)。PC1 方差贡献率接近 50%, 主要综合了籽棉产量和单铃重等产量相关指标, 反映脱叶剂喷施时间对棉花产量形成的调控作用。PC2 方差贡献率为 25.37%, 主要关联纤维品质指标 (如马克隆值和断裂比强度), 表征纤维成熟度与力学性能的平衡关系。10 月 3 日与 10 月 6 日处理在 PC1-PC2 空间内聚为一类, 与低产量和低纤维长度相关; 10 月 9 日、12 日和 15 日处理则分散分布, 反映喷施时间推迟对纤维品质的差异化影响。PC1 与 PC2 的交互作用 (表 5) 揭示, 10 月 12 日 (花后 43 d) 喷施脱叶剂可得到较高的主成分综合得分 (Z), $Z=2.50$, 兼顾产量提升 (PC1 正向驱动)

(最大产量表现 6573.28 kg/hm^2) 与纤维品质稳定性 (PC2 中性偏移), 为长江流域夏播短季棉脱叶剂施用最佳窗口期。综上, 主成分分析进一步验证了 10 月 12 日 (花后 43 d) 为产量与纤维品

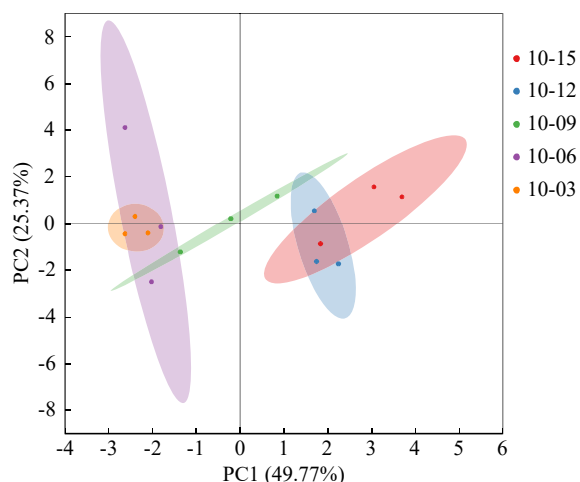


图 3 不同脱叶剂喷施时间处理主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of treatments with different defoliant spraying time

表5 主成分综合得分及排名

Table 5 Principal component composite scores and rankings

喷施日期(月-日) Application date (month-day)	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
10-03	-2.00	5
10-06	-0.50	4
10-09	1.01	3
10-12	2.50	2
10-15	3.99	1

质的平衡点,而过度推迟喷施时间(10月15日,花后46d)可能导致产量和纤维品质的失衡。

3 讨论

3.1 脱叶剂喷施时间对产量与纤维品质的影响

田景山等^[6]通过田间试验指出,适当延迟脱叶剂喷施时间可通过延长花铃期显著提高籽棉产量,其作用机制可能与光合产物向棉铃的持续分配有关。然而,朱继杰等^[7]在黄河流域棉区的研究表明,脱叶剂喷施时间对单铃重、产量和衣分的调控效应显著,并建议本区域的喷施时间在9月30日左右较优。秦宁等^[8]进一步指出,不同脱叶剂处理对纤维上半部平均长度、断裂比强度及马克隆值无显著影响,表明纤维品质受遗传因素主导^[9]。

本研究发现,脱叶剂喷施日期对棉铃纤维长度、断裂比强度及伸长率无显著影响,但对单铃重、整齐度指数、马克隆值及籽棉产量影响显著,这一结果与朱继杰等^[7]关于产量调控的结论部分一致,但拓展了脱叶剂喷施时间对纤维整齐度与马克隆值的影响。在吐絮率方面,花后37d(10月6日)喷施的后期开花棉铃(8月30日)吐絮率仅为80.59%,显著低于其他处理,结合气象数据,可能与该时期遭遇日均温14.3℃及累计降水18.5mm(图1)有关,低温和降水会显著削弱棉花脱叶剂的效果。低温条件下,棉株代谢活动减缓,激素响应减弱,叶片对药剂吸收能力降低,导致脱叶和催熟过程推迟;而降水不仅会冲刷药剂、稀释其浓度,还会增加空气湿度,使叶片不易干瘪脱落,严重时还可能诱发病害,进一步影响棉花的成熟进程和产量^[20]。

此外,对比随机取样的中部棉铃与后期开花棉铃(8月30日),纤维断裂比强度(中部:33.47~34.83 cN/tex;后期:28.67~30.06 cN/tex)

及马克隆值(中部:4.46~5.16;后期:3.63~4.33)存在显著差异。这种差异可能源于2个方面:其一,随机取样可能混入喷施前已自然吐絮的棉铃,其纤维发育周期完整,品质更优;其二,后期棉铃因生殖期缩短,纤维次生壁沉积不充分,导致马克隆值偏低。值得注意的是,尽管花后46d(10月15日)喷施的后期棉铃马克隆值(4.33)已超过优质棉标准(3.70~4.20),其断裂比强度(30.06 cN/tex)略高于花后43d(10月12日)处理(29.67 cN/tex),但籽棉产量下降(花后46d:6262.07 kg/hm²,花后43d:6573.28 kg/hm²),表明过度推迟脱叶剂喷施时间可能导致纤维过熟(细胞壁木质化)及产量收益递减。

本研究证实,脱叶剂的喷施时间对棉花产量和纤维品质确有显著影响,且具备“最优窗口期”特征。花后43d(10月12日)施药时,单铃重提高至5.30g(较花后34d增加6.85%),可能是棉铃在前期已获得充足的光合产物累积,后期光合作用趋于衰减但仍能满足关键部位棉铃的干物质沉积。该阶段施用脱叶剂既能避免过早喷施致使棉铃发育不充分(花后34d单铃重仅4.96g),又可防止过晚喷施可能引起的“纤维过度成熟”及脱叶剂药效偏弱等问题(花后46d马克隆值高达4.33,超出适宜纺纱范围3.70~4.20)。其中,养分向棉铃的定向转运在此时段或许受到脱叶剂“抑制顶端优势”的部分影响,但这一机制尚需通过进一步的生理与分子试验加以证实。上述观察与胡晓丽等^[13]提出的“吐絮率60%为施药临界点”结论总体一致,但在湖南多雨寡照的秋季气候下,将脱叶剂喷施适度延迟至吐絮率80%(花后37d)以后有助于降低未成熟棉铃的比例,提高机采适配性。

其中“纤维过度成熟”并非单一指纤维细胞壁过厚,而是当纤维成熟度(通常可用马克隆值或成熟比率等指标衡量)超过适宜加工区间时,后续加工的成纱质量和品质会受到不同程度的影响,并可能导致其商品经济价值下降。一般而言,棉花纤维马克隆值在3.70~4.20能兼顾较好的可纺性和经济效益;若显著高于4.20,纤维壁增厚,纱线均匀度与下游加工质量往往难以得到进一步提升,甚至可能因纤维性质不均而影响成纱效率及成纱品质。即“纤维过熟”不仅会造成生理意

义上可能出现的细胞壁沉积过度，也涵盖商品检验和工业使用层面的“超出适宜纺织范围”，进而对实际产量和收益构成风险^[21]。

综上所述，为兼顾产量最大化与纤维品质（特别是成熟度）之间的平衡，并适应长江流域夏播棉的气候特点，本研究建议花后 37~43 d（10 月 6-12 日）为脱叶剂喷施窗口期，可在保障棉铃充分发育的同时，避免因延迟至花后 46 d 或更晚而出现的纤维过度成熟及气象不利导致的棉花品质下降风险，为湖南地区夏播棉的轻简化、机械化栽培提供技术支撑。

3.2 区域气候与栽培模式的互作效应

湖南省秋季温差大、湿度高的气候特征，显著影响脱叶剂药效稳定性。本研究中，花后 37 d（10 月 6 日）施药后遭遇连续阴雨，导致后期开花棉铃吐絮率骤降至 80.59%，印证了刘勇等^[22]关于异常天气降低脱叶效率的预警。而花后 43 d 施药时，日均温度稳定在 18~22 °C，此时脱叶剂中有效成分乙烯利加速棉铃脱水，使吐絮率突破 96%，表明在夏播短季栽培模式下，需结合区域气象预报动态调整施药时间，而非机械遵循固定吐絮率阈值。尽管本研究明确了花后 43 d 的综合优势，但未量化不同施药时间对棉株抗病性的影响。Korolev 等^[23]指出，脱叶剂可能会削弱棉株对黄萎病的抗性，后续需结合病原菌侵染动态深入研究。此外，纤维上半部平均长度和断裂比强度在不同脱叶剂喷施时间处理下均无显著相关性，说明纤维力学性能可能受遗传因素主导，这与秦宁等^[18]研究结果是一致的，未来可通过品种选育与脱叶剂协同调控进一步突破品质瓶颈。

4 结论

通过设置不同的脱叶剂喷施时间，测定后期开花棉铃（8 月 30 日）的纤维品质和产量的变化，得出长江流域夏播短季棉脱叶剂适宜喷施时间为花后 43 d（10 月 12 日），实现后期开花棉铃吐絮率 96.30%、籽棉产量 6573.28 kg/hm²、纤维长度 31.10 mm、马克隆值 4.90 的优化组合。适度延迟施药时间（10 月 15 日）可平衡棉铃养分分配，避免早衰与过熟，使单铃重、衣分及吐絮率同步提升，为机械化采收提供理想物料基础。但建议结合湖南省 10 月中旬温光资源分布，建立“以花后

天数为主、吐絮率为辅”的动态决策模型，抵御秋季气象波动对脱叶催熟效果的干扰。

参考文献

- [1] 谢章书, 廖良秀, 李侃, 等. 种子球化处理、播种密度和播期对直播棉生理特性及生长发育的影响. 江苏农业学报, 2023, 39(6): 1312-1322.
- [2] 刘爱玉, 陈金湘, 李瑞莲. 论长江流域棉花短季栽培. 中国棉花, 2014, 41(2): 7-10.
- [3] 刘爱玉, 屠小菊, 周仲华, 等. 棉花夏播短季轻简化栽培技术. 湖南农业科学, 2022(2): 28-31.
- [4] 谢章书, 谢学方, 李侃, 等. 不同脱叶剂对长江流域夏播短季栽培棉花脱叶催熟效果及产量和品质的影响. 南方农业学报, 2024, 55(9): 2602-2612.
- [5] Chu C, Henneberry T J, Reynoso R Y. Effect of cotton defoliant on leaf abscission, immature bolls, and lint yields in a short-season production system. Journal of Production Agriculture, 1992, 5(2): 268-272.
- [6] Neupane J, Maja J M, Miller G, et al. Effect of controlled defoliant application on cotton fiber quality. Applied Sciences, 2023, 13(9): 5694.
- [7] Çopur O, Demirel U, Polat R, et al. Effect of different defoliant and application times on the yield and quality components of cotton in semi-arid conditions. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(14): 2095-2100.
- [8] 谢傲, 罗伯良, 邓剑波, 等. 湖南 2022/2023 年夏秋冬季持续极端干旱事件特征及成因分析. 干旱气象, 2023, 41(6): 910-922.
- [9] 韩迎春, 李亚兵, 王国平, 等. 不同时期使用催熟剂对连作棉花产量、品质的影响//中国棉花学会. 中国棉花学会 2010 年年会论文汇编. 中国农业科学院棉花研究所/农业部棉花遗传改良重点实验室, 2010: 4.
- [10] Chandrasekaran P, Ravichandran V, Senthil A, et al. Impact of chemical defoliants on chlorophyll fluorescence, biochemical parameters, yield and fiber quality of high density cotton. Indian Journal of Agricultural Research, 2023, 57(6): 748-754.
- [11] Larson J A, Gwathmey C O, Hayes R M. Cotton defoliation and harvest timing effects on yields, quality, and net revenues. Journal of Cotton Science, 2002, 6: 13-27.
- [12] 梁发瑞, 龙遗磊, 杜霄, 等. 棉花脱叶催熟剂及其应用技术研究进展. 中国棉花, 2024, 51(9): 1-7.
- [13] 胡晓丽, 姜艳丽, 宋建中, 等. 脱叶剂对夏播棉产量、品质及种子活力的影响. 中国棉花, 2015, 42(12): 10-14.
- [14] 湖南省技术质量监督局. 棉花栽培技术规范: DB43/T 286-2006. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局. HVI 棉纤维物理性能试验方法: GB/T 20392-2023. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [16] 田景山, 张煦怡, 王文敏, 等. 棉花脱叶催熟剂对纤维品质的影响及应用时间的确定. 作物学报, 2020, 46(9): 1388-1397.
- [17] 朱继杰, 赵红霞, 王士杰, 等. 脱叶催熟剂喷施时间对不同部位棉铃发育和纤维品质的影响. 棉花学报, 2023, 35(2): 117-127.
- [18] 秦宁, 李洪戈, 何良荣, 等. 陆地棉脱叶剂敏感种质的筛选. 分子植物育种. (2023-12-06)[2025-02-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230216.1203.012.html>.
- [19] 张大伟, 魏鑫, 徐海江, 等. 不同棉花品种对脱叶剂的响应. 新疆农业科学, 2019, 56(1): 146-153.
- [20] 周婷婷, 肖庆刚, 杜睿, 等. 我国棉花脱叶催熟技术研究进展.

- 棉花学报, 2020, 32(2): 170-184.
- [21] Gwathmey C O, Bange M P, Brodrick R. Cotton crop maturity: a compendium of measures and predictors. *Field Crops Research*, 2016, 191: 41-53.
- [22] 刘勇, 白书军, 张玲, 等. 北疆机采棉喷施脱叶剂适期与气象适宜指标研究. *棉花科学*, 2018, 40(6): 35-38.
- [23] Korolev N, Pérez-Artés E, Mercado-Blanco J, et al. Vegetative compatibility of cotton-defoliating *Verticillium dahliae* in Israel and its pathogenicity to various crop plants. *European Journal of Plant Pathology*, 2008, 122: 603-617.

Response of Cotton Yield and Fiber Quality to the Timing of Defoliant Spraying under Summer-Sown Short-Season Cultivation Pattern

Xie Zhangshu¹, Rong Zhiling¹, Qin Yeling¹, Li Kan²,
Zhou Zhonghua¹, Tu Xiaoju¹, Wang Qiming³, Liu Aiyu¹

(¹College of Agronomy, Hunan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology and Molecular Biology, Ministry of Education, Changsha 410128, Hunan, China; ²Yizhang County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Chenzhou 424299, Hunan, China; ³College of Biological Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract To investigate the effects of different defoliant application timings on cotton yield and fiber quality under a summer-sown short-season system, and to explore suitable defoliation-induced maturation techniques for cotton cultivation in the Yangtze River Basin, the early-maturing cotton variety “Xiangnongzao 1” was used. Five defoliant application dates (October 3, 6, 9, 12, and 15) were set. Fiber quality (upper-half mean length, uniformity, fiber strength, etc.), yield characteristics (boll number per plant, boll weight, seed cotton yield), and the boll opening rate and quality indices of later-flowering bolls (flowering recorded on August 30) were measured. The optimal defoliant application window was identified by principal component analysis and correlation analysis. The results revealed that applying defoliants on October 12 significantly increased seed cotton yield (6573.28 kg/ha), with an increase of 5.8%-11.6% compared to the other treatments. Boll weight (5.30 g) and lint percentage (37.63%) were also optimal. Regarding fiber quality, spraying on October 15 produced the best performance in upper half mean length (31.10 mm), Micronaire value (5.16), and fiber strength (34.83 cN/tex). In the later-flowering bolls, defoliant application at 43 days after flowering (October 12) resulted in the highest boll-opening rate (96.30%) and fiber strength of 29.67 cN/tex. Correlation analysis indicated that the timing of defoliant application primarily influenced cotton yield and fiber quality through boll weight rather than boll number per plant. Based on optimal yield performance and principal component analysis, October 12 (43 days after flowering) was determined to be the best balance point for cotton yield and fiber quality. Therefore, October 12 is recommended as the optimal defoliant application date for the summer-sown short-season cotton system in the Yangtze River Basin, as it promotes the maturation of later bolls while meeting the needs of mechanical harvesting and economic benefits.

Key words Cotton; Summer-sown short-season cultivation; Defoliant; Spraying time; Yield; Quality