蒙艳华, 王美美, 胡红岩, 等. 植保无人飞机对 4 种棉花喷施脱叶催熟剂的效果研究 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(3): 102-110.
MENG Yanhua, WANG Meimei, HU Hongyan, et al. Effectiveness of spraying defoliation and ripening agent on four cotton cultivars using unmanned aerial vehicle[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(3): 102-110.

植保无人飞机对 4 种棉花喷施脱叶催熟剂的效果研究

蒙艳华[1,2]，王美美[1,2]，胡红岩[3]，梁自静[2]，兰玉彬[4]
(1 安阳工学院，河南 安阳 455000； 2 农业农村部航空植保重点实验室，河南 安阳 455000； 3 中国农业科学院棉花研究所，河南 安阳 455000； 4 华南农业大学 电子工程学院/人工智能学院/国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心，广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究棉花收获前植保无人飞机喷施脱叶催熟剂的效果。【方法】使用植保无人飞机以 22.5 L·hm^{-2} 的施药液量喷施采收前 30 d 的棉花‘金棉 18#’、‘北泉 9#’、‘植金 13#’和‘合信 47#’，以人工机械喷雾(施药液量 450 L·hm^{-2}) 为对照，测试 4 种棉花冠层中的雾滴覆盖率；于药后 4、7、14 和 21 d 分别进行脱叶和吐絮效果调查，计算不同棉花品种的脱叶率和吐絮率；检测 4 种棉花的纤维品质和产量构成因子 (铃质量、衣分)。【结果】雾滴覆盖率在 4 种棉花品种中均呈现出上部冠层显著高于中下部冠层的规律，且植株越高，中下部冠层的雾滴覆盖率越低；除‘合信 47#’人工喷雾处理的吐絮率没有达到机采棉采收标准外，其余处理的脱叶率和吐絮率均达到了机采棉的采收标准；4 种棉花品种的纤维品质和产量构成因子 (铃质量、衣分) 均不受施药器械的影响。【结论】植保无人飞机可作为棉花采收前喷施脱叶催熟剂的施药器械。

关键词: 植保无人飞机；棉花品种；脱叶率；吐絮率；纤维品质；产量构成因子
中图分类号: S252.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2021)03-0102-09

Effectiveness of spraying defoliation and ripening agent on four cotton cultivars using unmanned aerial vehicle

MENG Yanhua[1,2], WANG Meimei[1,2], HU Hongyan[3], LIANG Zijing[2], LAN Yubin[4]
(1 Anyang Institute of Technology, Anyang, 455000, China; 2 Key Laboratory of Aviation Plant Protection, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Anyang 455000, China; 3 Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000, China; 4 College of Electronic Engineering/College of Artificial Intelligence, South China Agricultural University/National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticide Spraying Technology, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To evaluate the effects of spraying defoliation and ripening agent on cotton before harvest using unmanned aerial vehicle (UAV).【Method】Four cotton cultivars including ‘Jinmian 18#’, ‘Beiquan 9#’, ‘Zhijin 13#’ and ‘Hexin 47#’ were sprayed defoliation and ripening agent with the spraying volume of 22.5 L·hm^{-2} at 30 days before harvest by UAV. Aritificial spraying with an electric backpack sprayer was used as cantrol at the the spraying volume of 450 L·hm^{-2}. Droplet coverage rates in the canopies of four cotton cultivars were tested. The defoliation rates and boll opening rates were investigated at the 4th, 7th, 14th and 21st days after the application. The fiber qualities and yield components (boll weight and lint percentage) of four

收稿日期:2020–09–07 **网络首发时间:**2021–03–29 17:11:58
网络首发地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20210329.1001.004.html
作者简介:蒙艳华 (1982—)，女，博士，E-mail: 20200040@ayit.edu.cn； 通信作者： 兰玉彬 (1961—)，男，教授，博士，E-mail: ylan@scau.edu.cn
基金项目:河南省科技攻关项目 (202102110114)；国家棉花产业技术体系项目 (CARS-15-22)

cotton cultivars were detected.【Result】The droplet coverage rates of four cotton cultivars showed a rule that coverage of the upper canopy was significantly higher than that of the middle and lower parts of the canopy. The higher the plant height was, the lower the droplet coverage rate of the middle and lower canopy was. Except for the boll opening rate of artificial spraying treatment on 'Hexin 47#', the defoliation rates and boll opening rates of other treatments met the requirements of machinary harvesting. The fiber quality and yield components (boll weight and lint percentage) of four cotton cultivars were not affected by the type of sprayers.【Conclusion】The UAV can be applied to spray defoliation and ripening agent before cotton harvest.

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV); cotton cultivar; defoliation rate; boll opening rate; fiber quality; yield component

作为一种重要的经济作物，棉花在全球多个国家广泛种植[1-2]。据国家统计局公布的相关数据，2017—2019 年我国棉花种植面积为 3.229 6×10^6~3.352 3×10^6 hm^2，在新疆的种植面积约为 1.963 1×10^6~2.540 5×10^6 hm^2。棉花机械化采收前，需要喷施脱叶催熟剂，使棉花叶片脱叶、棉桃集中成熟；同时，为了减少含杂率，提高棉花的品质，机采棉采收时，要求棉花的脱叶率≥90%，吐絮率≥95%[3-4]。在棉花采收前，传统上通常采用大型地面机械来喷施棉花脱叶催熟剂[5]。在新疆地区，棉花通常高密度种植，种植密度为 13.5 ~24.0 万株·hm^{-2}[6]。在棉花生长后期，棉花叶片交叉遮挡严重，棉田非常郁闭，行间已经被枝条和叶片全部覆盖[7]。使用拖拉机喷施脱叶催熟剂时，部分棉桃和枝条被碾压或刮掉，造成产量损失[8]。

因具有操作简单、效率高、喷洒均匀、雾化效果好、环保等优点[9]，植保无人飞机在大田作物如玉米、小麦和水稻上的植保作业已经得到了广泛的应用[10-11]。植保无人飞机喷施棉花脱叶催熟剂的相关研究也有开展[12-14]。这些研究主要围绕影响植保无人飞机作业效果的因素展开，如施药液量[8, 12-13]、药剂种类及使用量[13-14]、飞行高度[15]、施药器械种类[16] 等。

不同棉花品种的生长特性差异很大，在同一种种植模式、同一喷雾参数下，植保无人飞机对不同的棉花品种喷施相同脱叶催熟剂，对其后期的脱叶率和吐絮率会造成什么样的影响？本文针对这个问题，通过使用植保无人飞机和人工喷雾喷施相同剂量的脱叶催熟剂，研究无人飞机喷雾雾滴在 4 种棉花品种上的沉积分布，比较分析不同品种棉花的脱叶率、吐絮率、棉花纤维品质、铃质量和衣分等差异，明确植保无人飞机对不同棉花品种喷施脱叶催熟效果的影响。

1　材料与方法

1.1　棉花品种及试验地情况

试验地设在新疆维吾尔族自治区石河子市北泉镇 (44°38′N, 85°98′E)，试验棉田地势平坦，土壤一致，棉花长势均匀，土壤肥力、栽培及施肥管理水平一致，符合当地的农业实践。

供试棉花为‘金棉 18#’、‘北泉 9#’、‘植金 13#’和‘合信 47#’。供试棉花品种基本信息见表 1。4 种棉花播种均按照机采棉的采收要求进行，宽窄行行距分别为 66、10 cm。4 种棉花的种植密度均为 19.5 万株·hm^{-2}。

表 1　供试棉花品种的基本信息

Table 1　Basic information of tested cotton cultivars

棉花品种 Cultivar	播种日期 Sowing date	株高/cm Plant height	药前吐絮率/% Boll opening rate before treatment
金棉18# Jinmian 18#	2018−04−29	81	33.2
北泉9# Beiquan 9#	2018−04−29	72	35.4
植金13# Zhijin 13#	2018−05−02	70	34.7
合信47# Hexin 47#	2018−05−02	68	31.5

1.2　供试药械

供试人工喷雾施药器械为新秀 3WBS-D-16B 背负式电动喷雾器，郑州新秀农用机械有限公司生产，药箱容量为 16 L。

供试植保无人飞机为 3WQFTX-10 电动四轴植保无人飞机，由安阳全丰航空植保科技股份有限公司生产并提供。该无人飞机具有 4 个喷头，分别垂直安置在直径为 670 mm 的 4 个旋翼的正下方；喷

药时作业高度距离作物冠层 0.5~3.0 m，在该高度范围内，有效喷幅为 3~4 m；作业速度为 2~6 m·s^{-1}；药箱容量为 10 L。

1.3 供试药剂

540 g·L^{-1} “脱吐隆” 悬浮剂 (有效成分为 360 g·L^{-1} 噻苯隆+180 g·L^{-1} 敌草隆)，江苏辉丰生物农业股份有限公司生产，制剂使用量为 180 mL·hm^{-2}；280 g·L^{-1} 伴宝 (烷基乙基磺酸盐可溶液剂)，拜耳作物科学 (中国) 有限公司生产，制剂使用量为 900 mL·hm^{-2}；40%(*w*) 乙烯利水剂，河北神华药业有限公司生产，制剂使用量为 1 050 mL·hm^{-2}。

1.4 试验气象条件

试验时，采用美国 NK 手持综合气象站 Kestrel 5500 Link(美国) 进行温度、湿度、风速等气象数据的测量。棉花脱叶催熟剂喷施试验分别于 2018 年 9 月 6 日 (第 1 次施药) 和 2018 年 9 月 14 日 (第 2 次施药) 开展。第 1 次施药时温度为 (26.5 ± 1.1)℃，相对湿度为 (30.4 ± 1.5)%，风速为 (1.9 ± 0.8)m·s^{-1}；第二次施药时温度为 (22.7 ± 1.3)℃，相对湿度为 (34.6 ± 2.1)%，风速为 (1.6 ± 0.9)m·s^{-1}。

1.5 试验设计

本研究试验内容包含 3 个部分：4 种棉花不同部位冠层中雾滴覆盖率检测、脱叶及吐絮效果调查和棉花产量因子 (铃质量、衣分) 及纤维品质检测。每个棉花品种为 1 个处理，每个处理均重复 3 次，1 次重复为 1 个试验小区 (图 1)。

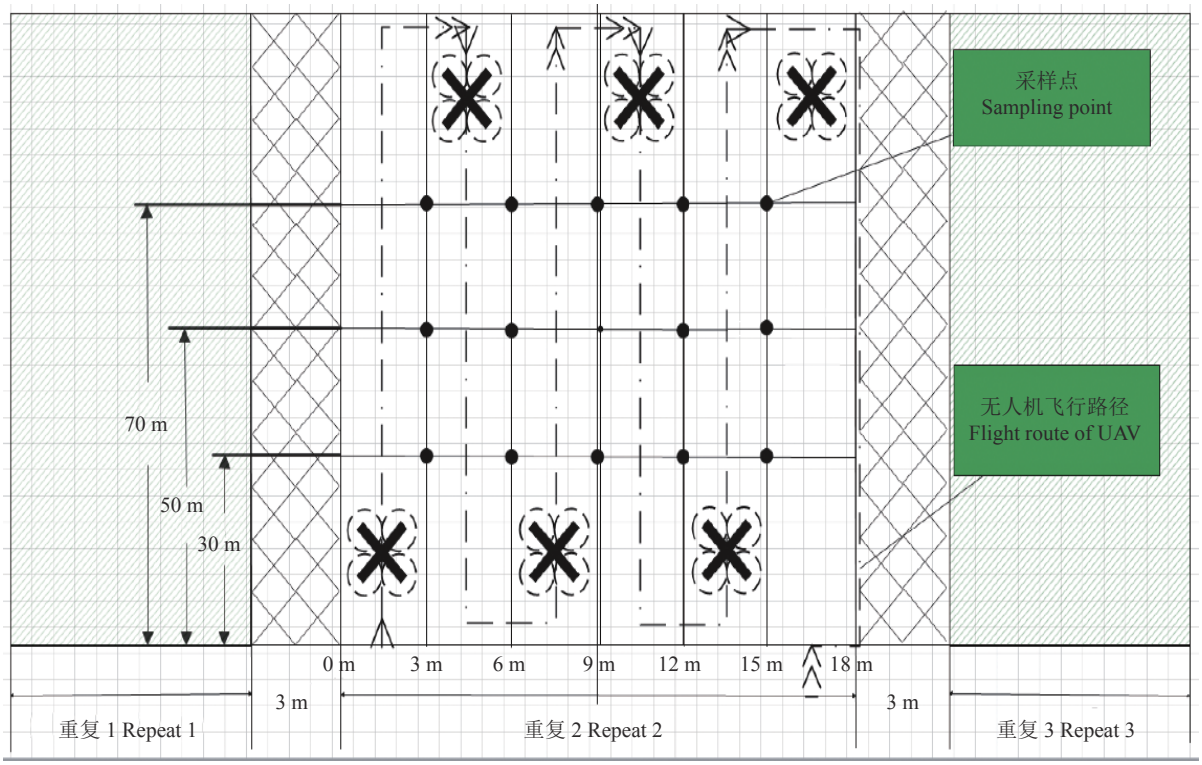


图 1 试验小区和采样点位置示意图

Fig. 1 The layout of sampling point in tested zone

试验小区长 100 m，宽 18 m (6 个植保无人飞机的喷幅，作业高度距离冠层 2 m 时，试验无人飞机的喷幅为 3 m)。植保无人飞机飞行速度 4 m·s^{-1}，施药液量为 22.5 L·hm^{-2}。每个棉花品种均设置 1 个人工喷雾处理作为对照，处理面积均为 360 m^2(宽 18 m，长 20 m)，施药液量为 450 L·hm^{-2}。

1.5.1 *雾滴沉积分布测试* 在无人飞机喷施处理中，设置 15 个雾滴采样点，采样点的位置见图 1。在每个采样点使用水敏纸 (25 mm × 75 mm) 收集雾滴。用曲别针将水敏纸别在棉花上部叶片、中部叶片和下部叶片上。由于 4 种棉花的株高有差异，冠层下部的水敏纸放置于距离地面 30 cm 的叶片上，中部冠层的水敏纸放置在距离地面 50 cm 的叶片上，上部冠层的水敏纸放置在最上层且无遮挡的叶片上，棉花冠层的水敏纸布置如图 2 所示。

1.5.2 *脱叶和吐絮效果调查* 根据农药田间药效准则[17]，第 1 次施药前，在试验区内随机选取五点进行采样调查。在每个取样点，随机选择 10 株棉花进行标记，标记好后于施药前开展叶片总数、棉桃总铃数和棉桃吐絮数的调查。在第 1 次脱叶剂喷施后 4、7、14 和 21 d 分别调查各处理的脱叶率和吐絮率。

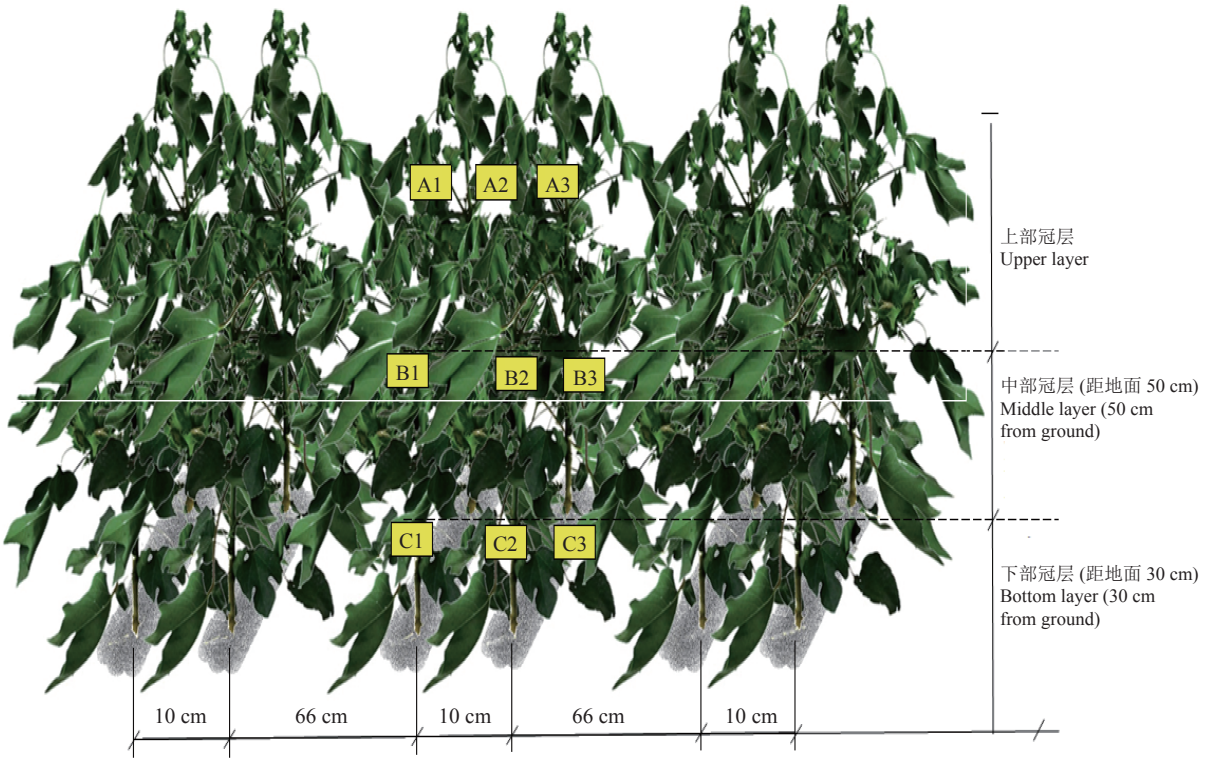


图 2　棉花冠层的水敏纸布置图

Fig. 2　The position of WSP cards in cotton canopy

脱叶率 (DR) 的计算公式如下:

$$DR = \frac{N_T - N_A}{N_T} \times 100\%,$$

式中, N_T 为药前总绿色叶片数, N_A 为药后残留绿色叶片数。

吐絮率 (BR) 的计算公式如下:

$$BR = \frac{N_{OB}}{N_{TB}} \times 100\%,$$

式中, N_{OB}和N_{TB}分别为药后吐絮铃数和总铃数。

1.5.3　*棉花产量因子和纤维品质检测*　最后一次吐絮率和脱叶率调查时, 采集吐絮棉花样品检测纤维品质和产量主要构成因子 (铃质量和衣分)。采集样品时, 对各处理区进行棉花样品采收。在每个采样点周围棉株的上、中、下部共采收 25 个吐絮棉铃, 晾干至籽棉含水率 (w) 低于 12% 时进行室内考种和轧花, 计算铃质量、衣分等产量指标。从这些样品中称取 100 g 皮棉样品送至农业农村部棉花品质监督检验测试中心 (安阳) 进行纤维品质检测。

1.6　数据处理

试验结束后收集水敏纸, 采用扫描仪进行扫描, 并通过雾滴分析软件 DespositScan 对数据进行分析整理, 计算不同处理的雾滴覆盖率。

采用 SPSS16.0 软件对各处理数据进行统计分析, 采用邓肯氏新复极差法分析各处理间的差异显著性, 评价植保无人飞机和人工喷雾施药对棉花脱叶、催熟效果及棉花产量主要因子 (铃质量、衣分) 和品质指标的影响。

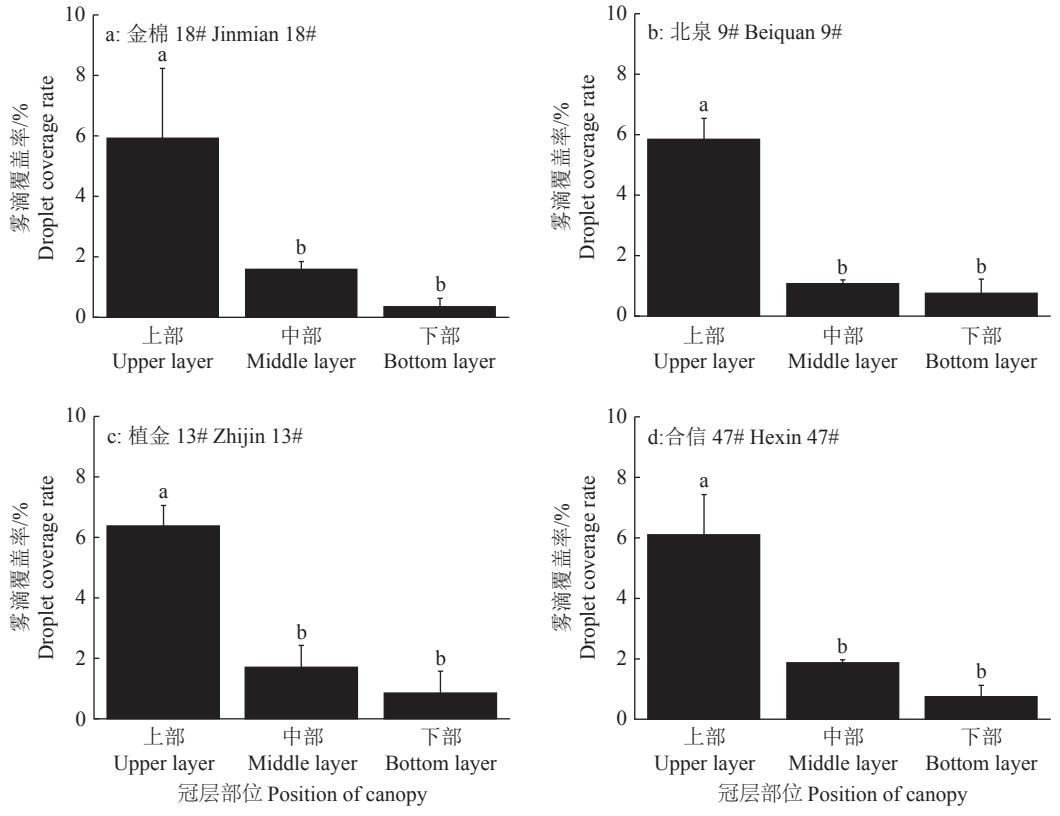
2　结果与分析

2.1　雾滴沉积分布特点

如图 3 所示, 植保无人飞机施药后雾滴在 4 种棉花上的沉积分布特点类似, 均呈现出上部雾滴覆盖率显著高于中部和下部冠层的雾滴覆盖率, 中部和下部雾滴覆盖率无显著性差异的特点。

植保无人飞机使用同一喷雾参数喷洒药剂后, 雾滴在 4 种棉花上部冠层的分布有些许不同, ‘植金 13#’的雾滴覆盖率最高, 为 6.37%, 但与 ‘合信 47#’(6.11%)、‘金棉 18#’(5.94%) 及 ‘北泉 9#’(5.85%) 在统计学上均无显著差异。

4 种棉花中, 雾滴在中部冠层和下部冠层中的沉积规律与上部冠层类似, 但雾滴在中下部冠层的覆盖率显著低于上部冠层。雾滴在中部冠层的最高雾滴覆盖率仅为 1.87%(‘合信 47#’), 在下部冠层的最高雾滴覆盖率仅为 0.84%(‘植金 13#’)。雾滴覆盖率结果表明, 药液在中下部冠层的沉积分布效果较差。由于大部分棉花脱叶催熟剂的作用机理为接触式起效模式[13], 植保无人飞机通过 1 次施药很难使棉花的脱叶率和吐絮率达到采收标准。因



各图中柱子上方不同小写字母表示差异显著 (P<0.05, Duncan's 法)

Different lowercase letters on the columns in the same figure represent significant difference (P<0.05, Duncan's test)

图 3 不同棉花冠层部位的雾滴覆盖率

Fig. 3 Droplet coverage rates of different canopy layers in four cotton cultivars

此，本试验结合雾滴沉积分布情况，在第 1 次施药后 7 d，进行了第 2 次脱叶催熟剂的喷施，以保证脱叶率和吐絮率符合机采棉采收标准。

对 4 种棉花在不同冠层的雾滴覆盖率取平均值，发现雾滴在 4 个棉花品种中总的平均覆盖率均小于 3%，‘植金 13#’的最高，为 2.97%，但与‘合信 47#’(2.90%)、‘金棉 18#’(2.62%) 和‘北泉 9#’(2.55%) 均差异不显著 (图 4)。雾滴覆盖率在 4 种棉花品种冠层中的变异系数均非常高，‘金棉 18#’的变异系数达到了 106.87%，‘北泉 9#’、‘植金 13#’和‘合信 47#’的变异系数分别为 98.82%、89.23% 和 87.93%。雾滴沉积变异系数高说明，雾滴在冠层不同部位沉积分布的差异很大。棉花是高密度种植作物，雾滴从上部往下落时，由于上部冠层的叶片互相重叠情况严重，盖住了中下部叶片，使中下部冠层雾滴的覆盖率较少。‘金棉 18#’的变异系数最高，可能是其株高比其他 3 种棉花高出将近 10 cm 造成的，在同等种植密度条件下，株高越高的棉花，其中下部冠层能接收到的雾滴沉积越少。

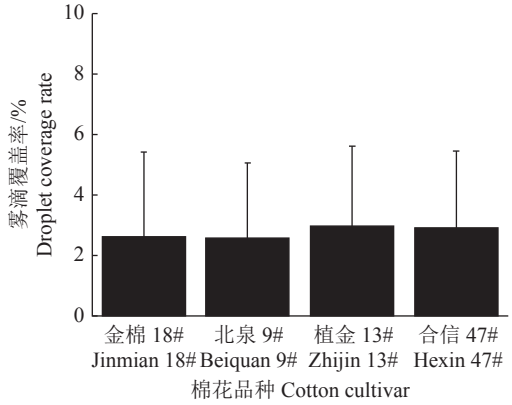


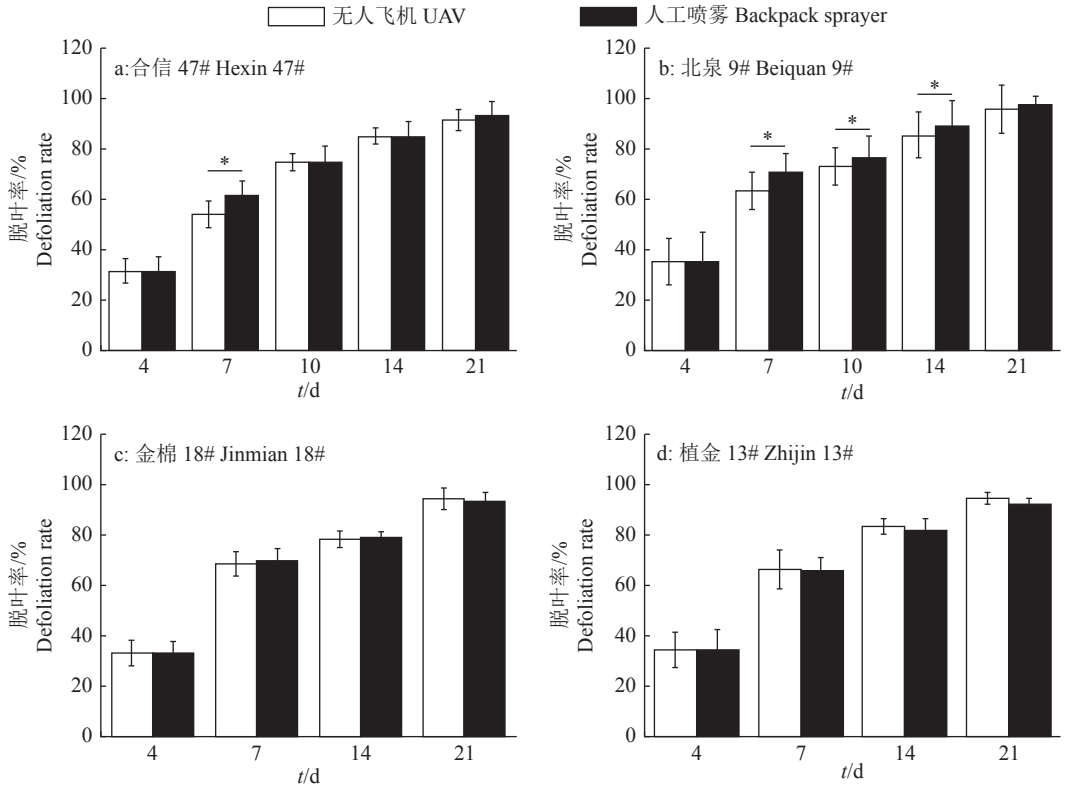
图 4 4 种棉花品种冠层雾滴总覆盖率

Fig. 4 Total droplet coverage rates for canopies of four cotton cultivars

2.2 脱叶效果

如图 5 所示，不管是使用植保无人飞机喷施，还是使用人工喷施，4 种棉花品种的脱叶率均随着时间推移而逐渐升高，且大部分调查日，植保无人飞机处理的脱叶率与人工喷雾处理的无显著性差异。

药后 4 d，在药剂的作用下，棉花叶柄基部形成离层[18-19]，约 35% 的叶片用手一碰就开始脱落，药后 7 d，棉花叶片已经进入自然脱落阶段。药后 7 d，‘合信 47#’的人工喷雾处理脱叶率为 61.71%，比植保无人飞机处理高出约 6%，差异显著；‘北泉 9#’人工喷雾处理的脱叶率为 70.73%，比植保无人



“*”表示不同处理间差异显著 (P<0.05, t 检验)

“*” represent different significance between different treatment (P<0.05, t test)

图 5　喷药后不同调查时间 4 种棉花品种的脱叶率

Fig. 5　Defoliation rates of four cotton cultivars at different investigation time after application

飞机处理的脱叶率高出约 7%, 差异显著; ‘金棉 18#’和‘植金 13#’的人工喷雾处理和植保无人飞机处理的脱叶率相差较小。对于同一个棉花品种, 2 种施药器械处理脱叶率的差异可能是由于施药器械的喷雾特性不一样造成的。对于‘合信 47#’和‘北泉 9#’这 2 种棉花品种, 大容量喷雾(人工喷雾处理) 使叶片更充分接触到脱叶催熟剂, 因此在药后 7 d, 人工喷雾处理自然脱落的叶片数量比植保无人飞机处理的多出约 6%~7%。而‘金棉 18#’和‘植金 13#’对 2 种施药器械的施药特性的敏感程度可能比较低, 因而药后 7 d, 2 种喷雾处理脱叶率无显著差异。

由于‘合信 47#’和‘北泉 9#’药后 7 d 时 2 种施药处理的脱叶率具有明显差异, 因此在药后 10 d(第 2 次药后 3 d), 分别对这 2 个品种的脱叶率展开进一步调查。调查结果表明, 药后 10 d, ‘合信 47#’的人工喷雾和植保无人飞机处理的脱叶率分别为 74.82% 和 75.01%, 无显著性差异。而‘北泉 9#’的人工喷雾处理的脱叶率 (76.64%) 显著高于植保无人飞机处理的 (73.22%)。

药后 14 d, 除‘北泉 9#’的人工喷雾处理的脱叶率 (89.10%) 和植保无人飞机处理的 (85.54%) 有显著差异外, 其余品种 2 种施药处理的脱叶率均无显著差异。药后 21 d, 2 种施药器械对于 4 个棉花品种的脱叶率均不具有显著性影响。4 个棉花品种的脱叶率均在 95% 以上, 满足机采棉对脱叶率的要求。

不同施药器械的喷雾特点不一样, 因此雾滴在冠层中的沉积分布不一样。雾滴的沉积分布影响农药效力的发挥, 进而影响最后的效果。作物的株高和株型影响植株冠层的结构分布[20], 而植株的冠层结构分布影响雾滴在冠层中的分布[21-22]。4 种棉花品种脱叶率的差异除了和 2 种施药喷雾特点有关外, 还与棉花品种的株高株型差异有关。从本试验研究结果可分析出, 在施药器械及喷雾参数一致的情况下, 品种之间的株高和株型不同导致了脱叶率之间的差异。另外, 不同品种的成熟度之间存在差异[23], 叶片的成熟程度也可能导致脱叶率的差异。

2.3　吐絮效果

如图 6 所示, 使用植保无人飞机和人工喷雾喷施脱叶催熟剂后, 4 种棉花品种的吐絮率均随着时间的推移而升高。

药后 4 d, 4 种棉花的吐絮率为 41%~45%, ‘合信 47#’和‘金棉 18#’的人工喷雾处理的吐絮率均比植保无人飞机处理的高, 其中‘合信 47#’高约 4%, ‘金棉 18#’高约 2%; 而‘北泉 9#’和

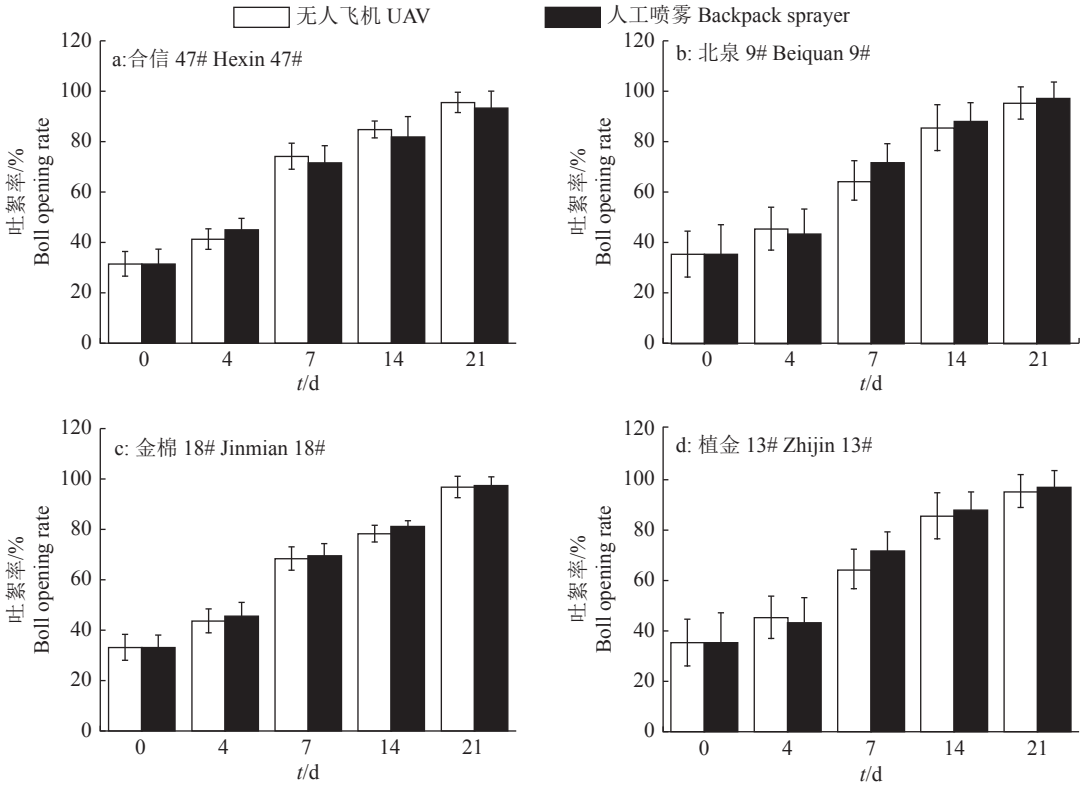


图 6 喷药后不同调查时间 4 种棉花品种的吐絮率

Fig. 6 Boll opening rate of four cotton cultivars at different investigation time after application

‘植金 13#’的植保无人飞机处理的吐絮率比人工喷雾处理的吐絮率高，其中‘北泉 9#’高约 2%，‘植金 13#’高约 4%。

药后 7 d，‘合信 47#’的植保无人飞机处理的吐絮率为 74.28%，而人工喷雾处理的吐絮率比无人飞机处理的低，为 71.71%；‘北泉 9#’人工喷雾处理的吐絮率 (71.73%) 比植保无人飞机的吐絮率高出了约 7%；‘金棉 18#’人工喷雾处理的吐絮率 (69.71%) 略高于植保无人飞机处理的吐絮率 (68.54%)；‘植金 13#’的 2 种施药器械处理的吐絮率依然为植保无人飞机处理的吐絮率 (66.44%) 高于人工喷雾处理的吐絮率 (65.96%)，但是 2 种施药器械处理吐絮率的差距比药后 4 d 的小。

药后 14 d(第 2 次施药后 7 d)，4 种棉花品种的吐絮率均已经超过 80%。具体分析每个品种 2 种施药处理的吐絮率发现，2 种施药处理的吐絮率表现出与药后 7 d 一样的规律，即药后 7 d 时，植保无人飞机处理吐絮率高的，药后 14 d 该处理的吐絮率依然高，反之，则低。

药后 21 d(第 2 次施药后 14 d)，每一种棉花品种 2 种施药器械处理的吐絮率高低表现出与药后 7、14 d 类似的规律。药后 21 d，除了‘合信 47#’的人工喷雾处理的吐絮率 (93.49%) 低于 95%，其余处理 4 种棉花的吐絮率均超过 95%，达到了机采棉对吐絮率的要求。‘合信 47#’人工喷雾处理的吐絮率低于机采棉采收标准，可能是由人工处理的喷雾不均匀造成的。人工喷雾处理由人工背负喷雾，人的身高、行走速度及喷杆的喷雾速度等均有可能影响喷雾的均匀性。虽然 2 次施药的人员一样，但第 1 次施药和第 2 次施药时，棉田的行走环境已经发生改变。第 1 次施药时，棉花叶片尚未脱落，棉田郁闭，人行走比较困难。而第 2 次施药，约 60%~70% 的叶片已经脱落，人在棉田里面行走较之前容易。

从上述 4 种棉花吐絮率的结果看，植保无人飞机采用高浓度低容量喷施棉花脱叶催熟剂后，植保无人飞机处理的吐絮率与人工喷雾处理低浓度大容量喷施后的吐絮率存在差异，但差异不显著。这些差异的存在，可能是由于 2 种施药处理的喷雾特点不一样造成的，喷雾均匀性、雾滴穿透性和雾滴覆盖率等的不同，都可能导致药效发挥的不一样[24-25]。此外，不同棉花品种的棉桃成熟时间不一样，喷施催熟剂后，棉桃的吐絮率也可能会出现差异。

2.4 棉花产量因子和纤维品质

如表 2 所示，在同一棉花品种中，不管是植保无人飞机还是人工喷雾，其纤维长度、整齐度指数、断裂比强度、马克隆值和伸长率等均无显著差异。同一棉花品种中，产量构成因子单铃质量、衣分等

表 2　不同施药处理下 4 种棉花的纤维品质和产量构成因子[1)]

Table 2　The fiber quality and lint cotton yield components of four cotton cultivars under different spraying treatments

品种 Cultivar	施药处理 Spraying treatment	纤维长度/mm Fiber length	整齐度指数/% Fiber uniformity	断裂比强度/(cN·tex^{-1}) Fiber tenacity	马克隆值 Micronaire	伸长率/% Elongation	单铃质量/g Boll weight	衣分/% Lint percentage
金棉18# Jinmian 18#	无人飞机 UAV	27.93±0.64a	84.10±1.05a	27.20±0.46a	5.33±0.35a	6.77±0.06a	5.41±0.08a	47.52±0.49a
	人工喷雾 Backpack sprayer	28.27±0.90a	85.10±1.10a	27.28±0.43a	5.40±0.26a	6.78±0.03a	5.37±0.07a	48.38±1.10a
北泉9# Beiquan 9#	无人飞机 UAV	29.52±0.17a	86.14±0.50a	32.23±0.48a	4.66±0.05a	6.81±0.04a	5.88±0.49a	42.90±0.73a
	人工喷雾 Backpack sprayer	29.53±0.21a	85.63±0.78a	31.70±0.70a	4.57±0.23a	6.80±0.00a	5.88±0.11a	43.33±1.52a
植金13# Zhijin 13#	无人飞机 UAV	27.82±0.99a	85.17±0.76a	26.93±1.37a	4.74±0.13a	6.72±0.03a	5.61±0.10a	47.58±0.62a
	人工喷雾 Backpack sprayer	27.80±0.95a	85.13±0.81a	26.70±1.28a	4.70±0.10a	6.73±0.06a	5.59±0.08a	47.21±0.52a
合信47# Hexin 47#	无人飞机 UAV	28.58±0.77a	83.97±1.05a	28.38±1.46a	5.03±0.39a	6.73±0.06a	5.32±0.34a	46.80±1.33a
	人工喷雾 Backpack sprayer	28.28±0.65a	83.33±2.02a	28.52±1.26a	4.82±0.59a	6.75±0.05a	5.16±0.47a	45.77±1.24a

1)表中数据为平均值±标准差；同一品种不同施药处理不同的小写字母表示差异显著($P < 0.05$, t检验)

1)Data in the table are mean±standard deviation; Different lowercase letters of the same cultivar with different sprayer treatment indicate significant difference ($P < 0.05$, t test)

也不受施药器械的影响。结果说明植保无人飞机低容量高浓度施药不会对棉花的纤维品质和产量因子 (铃质量和衣分) 造成负面影响，因此，可应用于实际生产中。

3　结论

使用植保无人飞机和人工背负式喷雾器对 4 种棉花品种喷施脱叶催熟剂，通过研究雾滴覆盖率、脱叶率、吐絮率、棉花纤维品质和产量构成因子 (铃质量、衣分)，分析相关结果后得出以下结论：

植保无人飞机喷施后，雾滴覆盖率在 4 种棉花品种均呈现出上部冠层>中部冠层>下部冠层的现象，且上部冠层雾滴覆盖率均显著高于中部和下部冠层。雾滴在冠层中的沉积分布与植株的株型、叶面积指数等有很大关系。在种植密度一样的情况下，不同棉花品种的株高不同，其雾滴在冠层不同部位的沉积特点也不一样，株高越高，中下部的雾滴覆盖率越少。本研究中，‘金棉 18#’的株高比其他 3 个品种约高出 10 cm，其下部的雾滴覆盖率比其他 3 个品种的中下部的覆盖率低。

4 种棉花品种的植保无人飞机处理和人工喷雾处理的脱叶率和吐絮率均随着时间的推移而逐渐升高。在药后不同时间点调查发现，2 种施药器械处理的脱叶率和吐絮率有差异，导致这些差异的原因和施药器械的喷雾特点有关。人工喷雾处理喷雾质量的稳定性受到施药者和田间行走环境的影响，而植保无人飞机使用全自主飞行模式，其喷雾稳定性不受田间环境和操作者的影响。施药后 21 d，除了‘合信 47#’人工喷雾处理的吐絮率没有达到机采棉的要求外，其余处理的脱叶率和吐絮率均在 95% 以上，达到了机采棉的采收要求。

4 种棉花的纤维品质和主要产量构成因子 (铃质量、衣分) 不受施药器械的影响。使用植保无人飞机喷施对棉花的纤维品质和产量构成因子 (铃质量、衣分) 无不利影响。

总之，使用植保无人飞机对不同棉花品种喷施脱叶催熟剂，可以满足机采棉对脱叶率和吐絮率的要求，且不会对棉花纤维品质和产量构成因子 (铃质量、衣分) 造成不良影响。因此，植保无人飞机可作为棉花采收前喷施脱叶催熟剂的施药器械。

参考文献：

[1] ZHANG T Z, QIAN N, ZHU X F, et al. Variations and transmission of QTL alleles for yield and fiber qualities in upland cotton cultivars developed in China[J]. PLoS One, 2013, 8(2): e57220. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057220.

[2] DEGUINE J P, FERRON P, RUSSELL D. Sustainable pest management for cotton production: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2008, 28(1): 113-137.
[3] 路战远, 咸丰, 张建中, 等. 棉花机械化采收技术技术规程[J]. 现代农业科技, 2017(11): 57.
[4] 李新裕, 陈玉娟, 闫志顺. 棉花脱叶技术研究[J]. 中国棉花, 2000, 27(7): 14-15.
[5] 秦维彩, 薛新宇, 崔龙飞, 等. 棉花脱叶剂施药机喷雾参数优化与试验[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(4): 25-32.
[6] 耿涛, 戴路, 许占伟. 棉花高密度种植群体结构的研究[J]. 新疆农业科学, 2003, 40(5): 269-272.
[7] 王刚, 刘辉, 赵海, 等. 新疆兵团棉花机械采收存在的问题及对策[J]. 中国棉花, 2011, 38(9): 37-38.
[8] 蒙艳华, 兰玉彬, 梁自静, 等. 无人飞机施药液量对棉花脱叶效果的影响[J]. 中国棉花, 2019, 46(6): 10-15.
[9] 娄尚易, 薛新宇, 顾伟, 等. 农用植保无人飞机的研究现状及趋势[J]. 农机化研究, 2017, 39(12): 1-6.
[10] MENG Y H, LAN Y B, MEI G Y, et al. Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle on wheat aphids control[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(5): 46-53.
[11] QIN W C, QIU B J, XUE X Y, et al. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers[J]. Crop Protection, 2016, 85: 79-88.
[12] MENG Y H, SONG J L, LAN Y B, et al. Harvest aids efficacy applied by unmanned aerial vehicles on cotton crop[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 140. doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111645.
[13] XIN F, ZHAO J, ZHOU Y T, et al. Effects of dosage and spraying volume on cotton defoliants efficacy: A case study based on application of unmanned aerial vehicles[J]. Agronomy, 2018, 8(6). doi: https://doi.org/10.3390/agronomy8060085.
[14] MENG Y H, HAN Y X, LIANG Z J, et al. Harvest-aid application strategy in different cotton planting densities by unmanned aerial vehicle[J]. International Journal of Precision Agricultural Aviation, 2019, 2(1): 31-41.
[15] 胡红岩, 任相亮, 姜伟丽, 等. 植保无人飞机飞行高度与方向对棉田雾滴沉积分布的影响[J]. 中国棉花, 2017, 44(12): 16-19.
[16] 胡红岩, 任相亮, 马小艳, 等. 无人飞机喷施与人工喷施棉花脱叶剂效果对比[J]. 中国棉花, 2018, 45(7): 13-15.
[17] 中华人民共和国农业农村部农药鉴定所. 农药田间药效试验准则 (二) 第 134 部分: 棉花生长调节剂试验, GB/T 17980.134—2004[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
[18] DU M W, LI Y, TIAN X L, et al. The phytotoxin coronatine induces abscission-related gene expression and boll ripening during defoliation of cotton[J]. PLoS One, 9(5): e97652. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097652.
[19] DU M W, REN X M, TIAN X L, et al. Evaluation of harvest aid chemicals for the cotton-winter wheat double cropping system[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(2): 273-282.
[20] 辛明华, 李小飞, 韩迎春, 等. 新疆南疆不同棉花品种的生长特征及其品质分析[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(4): 729-739.
[21] 何勇, 吴剑坚, 方慧, 等. 植保无人飞机雾滴沉积效果研究综述[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2018, 44(4): 392-398.
[22] MENG Y H, SU J, SONG J L, et al. Experimental evaluation of UAV spraying for peach trees of different shapes: Effects of operational parameters on droplet distribution[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 170. doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105282.
[23] 张金龙, 董合林, 陈国栋, 等. 不同熟性棉花品种棉铃空间分布及产量品质形成的差异[J]. 西北农业学报, 2017, 2: 234-241.
[24] 张强, 赵冰梅, 朱玉永, 等. 不同植保施药机械喷施棉花脱叶剂效果评价[J]. 新疆农垦科技, 2020, 7: 29-32.
[25] 陈秀玲, 陈振, 张玮涛, 等. 北疆地区不同棉花品种机采性能差异研究与综合评价[J/OL]. 南京农业大学学报, http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1148.s.20200327.1600.004.html.

【责任编辑 霍 欢】