

植保无人机喷施不同雾滴粒径药剂对其在棉花冠层沉积、穿透及脱叶催熟效果的影响



王国宾¹ 王十周^{1,2} 陈鹏超² 韩小强³ 单常峰¹ 陈盛德² 兰玉彬^{1,2*}

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 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, 广州 510642; 3. 石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 为明确植保无人机喷施不同雾滴粒径药剂对其雾滴沉积、穿透以及棉花脱叶催熟效果, 试验设置 100、150、200 和 285 μm 共 4 个不同雾滴粒径, 用水敏纸测定雾滴在棉花冠层的沉积分布特征, 并调查对棉花脱叶率和吐絮率的影响。结果表明, 雾滴粒径对于沉积分布特征以及棉花脱叶率和吐絮率均有显著影响。当喷施雾滴粒径为 100 μm 时, 具有最大的雾滴密度; 当喷施雾滴粒径为 150 μm 和 200 μm 时, 具有最大的覆盖度及沉积量; 以下部沉积量与中部沉积量的比值为评价指标时, 在喷施 4 个雾滴粒径下植保无人机喷施雾滴的穿透率为 39.4%~63.8%, 各雾滴粒径之间差异不显著。在喷施 4 个雾滴粒径下, 2018 年和 2019 年棉花脱叶率分别为 74.7%~80.4% 和 79.3%~88.4%; 吐絮率分别为 84.9%~92.0% 和 86.4%~94.2%。表明当喷施雾滴粒径为 150 μm 或 200 μm , 具有更高的脱叶率和吐絮率, 较适宜棉田植保无人机脱叶催熟剂喷施选用。

关键词: 植保无人机; 雾滴粒径; 雾滴沉积特征; 棉花脱叶率; 吐絮率

Effect of spraying droplet size with drones on deposition, penetration, and cotton harvest-aid efficacy

Wang Guobin¹ Wang Shizhou^{1,2} Chen Pengchao² Han Xiaoqiang³ Shan Changfeng¹
Chen Shengde² Lan Yubin^{1,2*}

(1. College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong Province, China; 2. National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides Spraying Technology (NPAAC), College of Electronics Engineering (College of Artificial Intelligence), South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong Province, China; 3. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract: To clarify the effects of spray droplet size with drones on deposition, penetration, and cotton harvest-aid efficacy, four groups of droplet sizes (100, 150, 200, and 285 μm) were sprayed, and water-sensitive papers were used to measure the deposition characteristics in the cotton canopy. After application, cotton defoliation rate and boll opening rate were investigated. The results showed that droplet sizes had a significant effect on coverage, the number of droplets, and the amount of deposition, which further affected cotton harvest-aid efficacy. When 100 μm droplets were sprayed, the droplet density in the cotton canopy was the highest. When 150 μm and 200 μm droplets were sprayed, the coverage and deposition amount were largest. Droplet size had no significant effect on the penetration of droplets. The ratios of lower to middle canopy deposition amounts ranged from 39.4% to 63.8%. Under the four

基金项目: 山东省引进顶尖人才“一事一议”专项(鲁政办字[2018]27号), 棉花岗位体系专家(CARS-15-22), 淄博市重点研发计划(2019ZBXC200), 国家自然科学基金(31901411)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: ylan@sdu.edu.cn

收稿日期: 2021-02-25

droplet sizes sprayed, the cotton defoliation rates were 74.7%–80.4% and 79.3%–88.4% in 2018 and 2019, respectively. The boll opening rates were 84.9%–92.0% and 86.4%–94.2%, respectively. When 150 μm or 200 μm droplets were sprayed, they had a better defoliation and boll opening rate, which is more suitable for drone application in the cotton field.

Key words: drone; droplet size; deposition characteristic; cotton defoliation; boll opening rate

在当前我国对精准、高效、小型化施药设备迫切需求的条件下,植保无人机迅速推广应用。植保无人机的广泛使用既提高了药剂喷洒的作业效率、降低地形对喷洒作业的限制,又提高了农药利用率以及对突发性病虫害防控效果,解决了我国当前现有的植保机械落后、施药困难的现状,保障我国的粮食安全和生态安全(兰玉彬,2017;袁会珠等,2018)。植保无人机的快速发展离不开政策支持,2014年中央一号文件在“强化农业支持保护制度”中提出“加强农用航空建设”;2015年,农业农村部发布《到2020年农药使用量零增长行动方案》,提出推广包括植保无人机等在内的现代植保机械。2016年5月国家航空植保科技创新联盟成立;同年华南农业大学获批建设国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心(Lan et al.,2017)。截至2020年,我国植保无人机保有量超过了12万架,年作业面积超过了0.73万 hm^2 次,作业对象几乎覆盖了全部农作物,如水稻、玉米和小麦等粮食作物,苹果、葡萄、柑橘等果树,棉花、花生、油菜、油葵等经济作物,并且在各个作物上都取得了理想的防治效果(薛新宇等,2013;兰玉彬和王国宾,2018)。

自2016年始,植保无人机以其独特的作业优势,逐步成为了新疆维吾尔自治区(简称新疆)植棉农户喷洒脱叶催熟剂的必要选择(Yi et al.,2019)。2020年新疆参与棉花脱叶剂喷洒的植保无人机超过1.1万架,喷洒面积超过500万 hm^2 次。为更好地优化喷洒效果,提高棉花脱叶率和吐絮率,2016年国家航空植保科技创新联盟组织多家单位在新疆石河子市开展了多种植保无人机喷洒棉花脱叶催熟剂研究,作为首次国内大规模联合测试试验,试验对比了不同厂家植保无人机喷洒棉花脱叶催熟剂效果,发现在2次施药后,脱叶率高于95.0%,吐絮率高于90.0%,完全满足机采棉要求(马艳等,2016)。为进一步优化作业效果,Xin et al.(2018)研究药剂量和喷液量对作业效果的影响,结果表明药剂的沉积残留量随喷液量的增加而增加。添加喷雾助剂对于植保无人机喷洒也有较大的影响(何玲等,2017;王明等,2019),Xiao et al.(2019)发现添加喷雾助剂可使植保无人机喷洒后棉花的脱叶率提高3.12%~

34.6%,吐絮率提高6.67%~29.6%。棉田冠层密度也影响脱叶效果,在高密田中(180 000~195 000株/ hm^2)植保无人机需要喷施2次才能保证较好的脱叶效果,而在较为稀疏的棉田中1次喷洒就可满足脱叶需求(Meng et al.,2019a,b)。

喷洒棉花脱叶催熟剂的催熟效果受多种因素影响,包括药剂配方与剂量、施药方法、施药时间及环境参数、喷施器械及其作业参数等。脱叶催熟剂根据作用机制可以分为促进棉花生成内源乙烯类,以及直接杀死绿色植物组织的触杀性化合物类(李林林等,2018)。在各影响因素中,植保无人机与常规地面喷洒最大的区别在于喷液量和雾滴粒径(Wang et al.,2019;2020a)。传统地面喷杆喷雾机或人工背负式喷雾器喷洒施液量普遍在150 L/ hm^2 以上(王爱玉等,2015;Dodds et al.,2018),而为提高作业效率,植保无人机往往采用低容量细雾滴施药方式。因为部分脱叶催熟药剂为触杀性药剂,采用低容量细雾滴施药方式时,雾滴在冠层内的沉积与穿透对药效的发挥具有重要作用(周婷婷等,2020)。喷施不同粒径的农药雾滴所产生的雾滴密度、覆盖度以及对作用靶标的施药效果有显著影响(袁会珠和王国宾,2015)。在一定范围内,细小雾滴有助于提高触杀性药剂对病虫草害的防治效果(Wang et al.,2019)。然而对于棉花脱叶剂是否具有类似特点,以及棉花脱叶剂喷施最佳雾滴粒径尚缺少相关的研究,尤其是在新疆特殊的高温干燥环境下,由于雾滴的蒸发和飘移(Wang et al.,2020b),采用小雾滴喷施棉花脱叶剂是否会导致过低的沉积并影响脱叶效果尚不清楚。

本研究基于当前快速发展的植保无人机施药技术,设定了4种不同的喷施雾滴粒径研究分析雾滴粒径对雾滴密度、覆盖度、沉积量以及穿透率的影响,并调查了施药后棉花脱叶率以及吐絮率,以期为植保无人机喷洒棉花脱叶剂的广泛应用提供数据支持和理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

药剂及仪器:540 g/L脱吐隆悬浮剂、280 g/L烷

基乙基磺酸盐助剂,德国拜耳作物科学公司,其中540 g/L脱吐隆悬浮剂含量为18%噻苯隆(thidiazuron)和36%敌草隆(diuron);40%乙烯利(ethrel)水剂,四川国光农化股份有限公司。极飞P20植保无人机,广州极飞科技有限公司,旋翼直径812 mm,药箱容量为10 L,长×宽×高为1 180 mm×1 180 mm×410 mm,共有4个旋翼以及4个离心转盘雾化喷头,喷头位于旋翼正下方,喷嘴间距为1 050 mm,喷洒雾滴粒径变化可以通过转盘转速调节实现。植保无人机作业参数由智能手持终端输入,采用载波相位差分技术进行飞行精准定位,试验时植保无人飞机的喷液量设置为15 L/hm²,喷幅设置为3 m,飞行速度设置为5 m/s,飞行高度设置为2 m,作业时仅开启机身后方2个喷嘴,流量为0.68 L/min。HP ScanJet Pro 2500 f1扫描仪,中国惠普有限公司;水敏纸长76 mm×宽26 mm,先正达农业有限公司;CI-110植物冠层图像分析仪,美国CID公司;Kestrel 5500 LINK气象仪,美国Kestrel LiNK公司。

1.2 方法

1.2.1 棉田药剂喷施

棉花脱叶催熟喷施试验分别于2018年和2019年开展,2018年试验位于新疆石河子市三分场二连(44°36'N,85°97'E),2019年试验位于沙湾县老沙湾镇东渠村(44°66'N,85°81'E)。2次试验地前茬均种植棉花,土壤为黏壤土,棉花品种为新陆早57号。2个试验地棉田采用宽窄行种植模式,棉花行距为(66+10) cm,株距为9.5 cm,种植密度24.8万~27.6万株/hm²。其中2018年棉花在4月16日播种,4月19日灌水出苗;2019年试验比2018年晚3 d。2个试验田皆为宽膜种植,1膜6行,每小区5膜30行。

试验用极飞P20植保无人机进行药剂喷施,根据服务队作业情况,试验共设置4个雾滴粒径处理,分别为100、150、200和285 μm,其中285 μm的参数设置是因为当雾滴粒径大于200 μm后,极飞手持控制端上的雾滴粒径大小的调节不再连续。每个雾滴粒径处理重复3次,共12个小区,每个小区面积宽22.8 m,长50 m,试验小区采用随机区组设计。为保证脱叶效果,共进行2次脱叶剂喷洒,第1次喷施药剂时间分别为2018年9月14日和2019年9月17日,第2次喷洒位于第1次喷洒的7 d后。第1次喷洒药剂为540 g/L脱吐隆悬浮剂,剂量为180 g/hm²,280 g/L烷基乙基磺酸盐助剂,剂量720 g/hm²,40%乙烯利水剂,剂量450 g/hm²;第2次喷洒在其他药剂的使用量不变的基础上,将乙烯利水剂的喷洒剂量提高到1 050 g/hm²。

1.2.2 雾滴沉积特征测定

雾滴沉积特征测定分别于2018年9月14日和9月21日在新疆石河子市三分场二连进行。为采集雾滴在棉花冠层的沉积分布,试验共布置3条采样带,每条采样带布置4个采样点,每个样点间隔为1 m,采样带总长度与植保无人机喷幅相等。每个采样点布置1个竖直塑料采样杆,并在距离地面100、70和40 cm处,分别通过双头夹水平夹持1片水敏纸,用来获取雾滴在棉花冠层上的沉积情况。为更好地模拟实际作业中的雾滴沉积情况,试验采用多喷幅喷洒作业方式,其中采样条带位于中间喷幅,每次沉积试验重复3次。

试验完成后将水敏纸按照序号收集,并逐一放入相对应的密封袋中,带回实验室处理。采用扫描仪将收集的水敏纸扫描成分辨率为600 dpi灰度图像,扫描后的图像通过图像处理软件Deposit Scan进行分析,获取沉积特征包括雾滴密度、覆盖度、沉积量等参数。用棉田冠层下部沉积特征与中部沉积特征的比值来计算雾滴穿透率。

雾滴穿透与冠层大小、叶面积指数关系密切,试验时采用CI-110植物冠层图像分析仪测定棉田叶面积指数。雾滴沉积与气象参数也有密切关系,在试验时,通过气象站每隔10 s记录采集1次试验时环境温湿度以及风速。第1次喷洒沉积测定时,环境温度为(26.4±0.05)℃;湿度为(21.1±0.09)%;风速为(0.31±0.01) m/s;第2次喷洒沉积测定时,环境温度(28.7±0.05)℃;湿度(24.3±0.06)%;风速(0.72±0.02) m/s。喷施试验时,环境湿度较低,风速较小。

1.2.3 棉花脱叶率和吐絮率的测定

分别于2018年和2019年在喷洒前、第1次喷洒后第4、7、11、15天对棉花的脱叶率和吐絮率进行测定,从每个处理的小区随机选取5点,每点选代表性棉株20株进行定点定株调查。在调查前,首先在每株上用挂签标记冠层上、中、下位置,与沉积采样类似,冠层上、中、下位置分别距离地面100、70、40 cm。试验调查3个不同冠层位置棉花的叶片数、青铃数以及总棉铃数。为保证调查的准确性,在调查施药前叶片基数时,统一将各点棉株新生小叶片(叶宽在1 cm左右)全部摘除。根据试验调查数据计算棉花脱叶率和吐絮率,脱叶率=((施药前叶片数-施药后叶片数)/施药前叶片数)×100%;吐絮率=吐絮棉铃数/棉铃总数×100%。

1.3 数据分析

试验数据采用Microsoft Excel 2013软件进行整理与分析,采用SPSS 22.0软件进行方差分析,在进

行方差分析前,所有百分制数据通过反正弦进行转化;其他数据进行 $\log(x+1)$ 转化以稳定变异性并满足正态分布要求。数据转化后采用Kolmogorov-Smirnov方法检验正态性,采用Levene's检验方差齐性,采用Turkey法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 雾滴粒径对雾滴沉积及穿透率的影响

2次施药后药剂沉积特征的结果表明,不同的雾滴粒径对于覆盖度、雾滴密度、沉积量均有显著影响(图1)。对于第1次施药,当喷施雾滴粒径为150 μm 时,在冠层不同位置都具有最大的覆盖度,但与200 μm 处理差异不显著;当喷施雾滴粒径为

100 μm 时,具有最小的覆盖度;雾滴覆盖度自冠层上部至下部依次降低,且下部雾滴覆盖度仅为中部的39.5%~47.1%。沉积量的结果与覆盖度的结论基本吻合。雾滴密度则随雾滴粒径的降低而增加,其中当喷施雾滴粒径为100 μm 时,在冠层不同位置都具有最大值,上部、中部和下部的雾滴密度分别为20.6、12.3和4.8个/ cm^2 。

药剂穿透率结果显示,以下部沉积量与中部沉积量的比值为评估指标时,不同雾滴粒径的穿透率为39.4%~63.8%;雾滴粒径为200 μm 时的穿透率显著高于150 μm 。以下部覆盖度与中部覆盖度的比值和中部雾滴密度与下部雾滴密度的比值为评估指标时,不同处理之间的穿透率差异不显著(图1)。

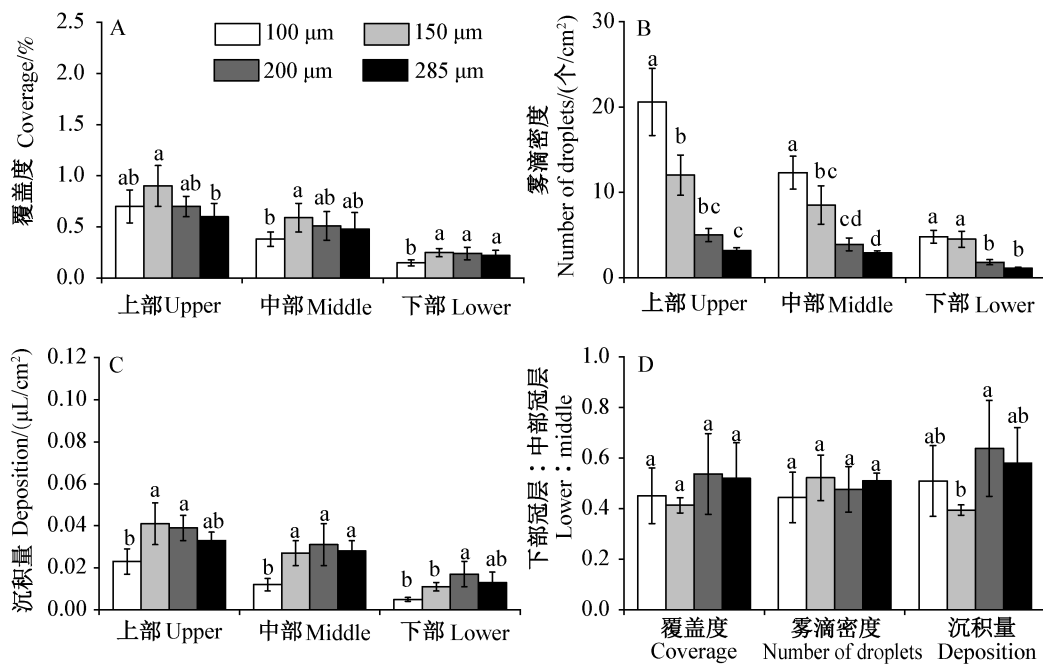


图1 第1次施药时不同雾滴粒径对雾滴沉积特征的影响

Fig. 1 Effects of different droplet sizes on deposition characteristics under the 1st drone application

图中数据平均数 $\pm$ 标准误。不同小写字母表示不同处理经Turkey法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the figure are mean $\pm$ SE. Different lowercase letters indicate significant different among different treatments at $P < 0.05$ level by Turkey test.

第2次施药沉积特征随不同冠层位置 and 不同粒径范围变化规律与第1次基本吻合(图2)。当雾滴粒径为150 μm 和200 μm 时,具有较高的雾滴覆盖度、雾滴密度及沉积量。在第2次施药时穿透率结果有所提升,以下部沉积量与中部沉积量的比值为评估指标时,不同雾滴粒径的穿透率为46.9%~82.4%。

2.2 雾滴粒径对棉花脱叶率的影响

2018年不同雾滴粒径对棉花脱叶率的结果显示,在施药后第15天,雾滴粒径为200 μm 处理时的

脱叶效果最佳,总脱叶率为80.4%,但与雾滴粒径100、150、285 μm 处理之间无显著差异,后三者的总脱叶率分别为74.7%、77.3%和76.5%。棉花不同冠层的脱叶率也具有一定差异,整体上中部冠层的脱叶率较高,在施药后第15天,4个处理的中部冠层脱叶率最高,为76.8%~83.9%;其次是上部冠层脱叶率,为71.3%~77.3%;下部冠层脱叶率最低,为68.9%~84.3%。与其他雾滴粒径处理相比,雾滴粒径为200 μm 处理时下部冠层的脱叶率最高,为84.3%(表1)。

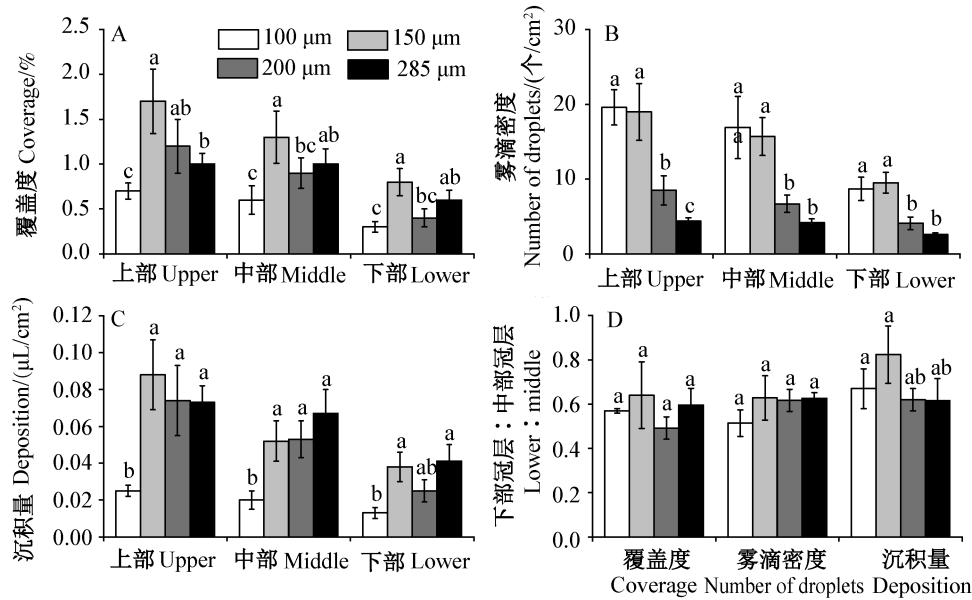


图2 第2次施药时不同雾滴粒径对雾滴沉积特征的影响

Fig. 2 Effect of droplet size on deposition characteristic under the 2nd drone application

图中数据平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理经Turkey法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant different among different treatments at $P<0.05$ level by Turkey test.

表1 2018年植保无人机喷施不同雾滴粒径对棉花脱叶率的影响

Table 1 Effects of droplet size with drone application on cotton defoliation in 2018

施药后天数 Day after treatment	雾滴粒径 Droplet size/μm	上部冠层脱叶率 Defoliation in upper canopy/%	中部冠层脱叶率 Defoliation in middle canopy/%	下部冠层脱叶率 Defoliation in lower canopy/%	总脱叶率 Total defoliation/%
4	100	27.7±5.8 Ab	29.8±7.0 Ab	33.9±6.0 Ab	28.7±3.3 b
	150	32.4±5.4 Bb	39.2±6.9 Aa	40.0±8.9 Aab	37.1±5.2 a
	200	40.9±4.4 Aa	35.9±5.3 Aab	33.8±8.2 Ab	38.7±4.8 a
	285	39.8±2.5 ABa	33.4±7.2 Bab	44.5±7.5 Aa	40.3±3.1 a
7	100	34.5±4.3 Bb	51.9±5.7 Aab	39.1±5.8 Bbc	42.5±3.4 b
	150	34.5±4.6 Bb	49.9±4.1 Aab	42.9±6.1 Bb	42.1±2.2 b
	200	43.6±4.6 ABa	46.7±6.6 Ab	36.7±6.8 Bc	44.2±4.3 b
	285	47.2±6.7 Ba	59.5±3.5 Aa	57.5±5.9 Aa	55.6±3.8 a
11	100	66.9±3.6 ABb	69.1±5.9 Ab	62.8±4.9 Ba	66.9±3.3 b
	150	69.4±3.5 Aab	72.9±4.6 Aab	56.4±4.2 Ba	65.9±2.0 ab
	200	71.0±7.9 Aab	76.2±2.8 Aa	54.6±8.1 Ba	68.8±4.0 ab
	285	72.4±3.6 Ba	77.8±2.1 Aa	61.3±5.3 Ca	72.4±1.4 a
15	100	71.3±2.8 Bb	76.8±5.9 Ab	76.2±3.3 Aab	74.7±3.2 ab
	150	77.1±4.6 Aa	78.5±4.6 Aab	76.0±7.5 Aab	77.3±2.0 a
	200	71.3±3.2 Bb	83.9±2.2 Aa	84.3±2.1 Aa	80.4±1.9 ab
	285	77.3±2.0 Aa	79.3±2.7 Aab	68.9±2.8 Bb	76.5±1.4 ab

表中数据为平均数±标准误。同行大写字母、同列不同小写字母表示不同冠层、不同雾滴粒径处理经Tukey法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different uppercase letters in the same line or different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the different canopy or among different droplet sizes treatments at $P<0.05$ level by Tukey test.

2019年棉花脱叶率随雾滴粒径变化规律与2018年基本一致,在施药第15天,总脱叶率要相对2018年较高,为79.3%~88.4%。在4个处理中,150 μm和200 μm处理的总脱叶率要显著高于其他2个处理,分别为88.4%和86.7%。不同施药时期上

部冠层和中部冠层的脱叶率较高,下部的脱叶率较低(表2)。2年试验结果表明,植保无人飞机喷洒雾滴粒径在150 μm或200 μm均可实现较好的棉花脱叶效果。

表2 2019年植保无人飞机喷施不同雾滴粒径对棉花脱叶率的影响

Table 2 Effects of droplet size with drone application on cotton defoliation in 2019

施药后天数 Day after treatment	雾滴粒径 Droplet size/ μm	上部冠层脱叶率 Defoliation in upper canopy/%	中部冠层脱叶率 Defoliation in middle canopy/%	下部冠层脱叶率 Defoliation in lower canopy/%	总脱叶率 Total defoliation/%
4	100	29.4 $\pm$ 3.2 Bb	38.6 $\pm$ 4.1 Aa	41.2 $\pm$ 4.3 Aa	38.4 $\pm$ 4.8 a
	150	41.2 $\pm$ 2.7 Aa	41.3 $\pm$ 2.5 Aa	38.2 $\pm$ 8.4 Aab	40.7 $\pm$ 4.2 a
	200	31.3 $\pm$ 4.7 Ab	30.7 $\pm$ 4.2 Ab	35.4 $\pm$ 4.1 Ab	32.5 $\pm$ 4.5 b
	285	43.2 $\pm$ 4.2 Aa	34.7 $\pm$ 5.4 Bb	35.7 $\pm$ 5.9 Bb	41.2 $\pm$ 2.7 a
7	100	36.1 $\pm$ 4.4 Bc	47.7 $\pm$ 5.3 Ab	50.3 $\pm$ 5.7 Aa	44.1 $\pm$ 3.9 c
	150	44.7 $\pm$ 3.2 Bc	48.2 $\pm$ 3.3 Ab	41.2 $\pm$ 7.7 Bb	56.3 $\pm$ 3.3 a
	200	54.3 $\pm$ 3.6 Ab	45.8 $\pm$ 3.9 Bb	41.1 $\pm$ 5.0 Bb	46.2 $\pm$ 3.1 b
	285	61.0 $\pm$ 5.7 Aa	62.7 $\pm$ 4.1 Aa	51.4 $\pm$ 4.4 Ba	60.3 $\pm$ 3.1 a
11	100	70.4 $\pm$ 3.1 Ab	70.1 $\pm$ 5.5 Ab	60.4 $\pm$ 3.9 Bb	67.8 $\pm$ 3.1 b
	150	84.2 $\pm$ 4.5 Aa	80.4 $\pm$ 4.7 Aa	78.3 $\pm$ 6.3 Aa	79.2 $\pm$ 3.9 a
	200	82.1 $\pm$ 2.5 Aa	70.4 $\pm$ 5.4 Bb	64.9 $\pm$ 4.4 Cb	78.6 $\pm$ 2.9 a
	285	72.4 $\pm$ 5.3 Ab	70.3 $\pm$ 3.3 Ab	65.4 $\pm$ 5.1 Bb	72.3 $\pm$ 2.9 b
15	100	83.2 $\pm$ 3.7 Ab	82.6 $\pm$ 5.7 Ab	76.4 $\pm$ 6.8 Aa	79.3 $\pm$ 2.7 b
	150	92.4 $\pm$ 1.5 Aa	89.3 $\pm$ 3.1 Aa	84.5 $\pm$ 4.2 Ba	88.4 $\pm$ 3.1 a
	200	90.1 $\pm$ 2.1 Aa	88.9 $\pm$ 4.3 Aa	82.8 $\pm$ 3.1 Ba	86.7 $\pm$ 2.7 a
	285	88.3 $\pm$ 4.4 Aab	86.7 $\pm$ 3.7 Aab	80.3 $\pm$ 3.3 Ba	81.4 $\pm$ 3.1 b

中数据为平均数 $\pm$ 标准误。同行大写字母、同列不同小写字母表示不同冠层、不同雾滴粒径处理经 Tukey 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean $\pm$ SE. Different uppercase letters in the same line or different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the different canopy or among different droplet sizes treatments at $P<0.05$ level by Tukey test.

2.3 雾滴粒径对棉花吐絮率的影响

药剂喷洒前 2018 年和 2019 年 2 次试验田块棉花总吐絮率基本一致,为 7.1%~12.8%。在喷洒药剂后,棉花总吐絮率主要受乙烯利的影响,随着喷洒后时间的增加,棉花总吐絮率逐步增高,在喷洒药剂

15 d 后 2018 年和 2019 年各处理棉花总吐絮率基本都超过 85.0%。2018 年和 2019 年 4 个处理在施药 15 d 后的总吐絮率没有显著差异(图 3),其中 2018 年总吐絮率为 84.9%~92.0%;2019 年总吐絮率相对较高为 86.4%~94.2%。

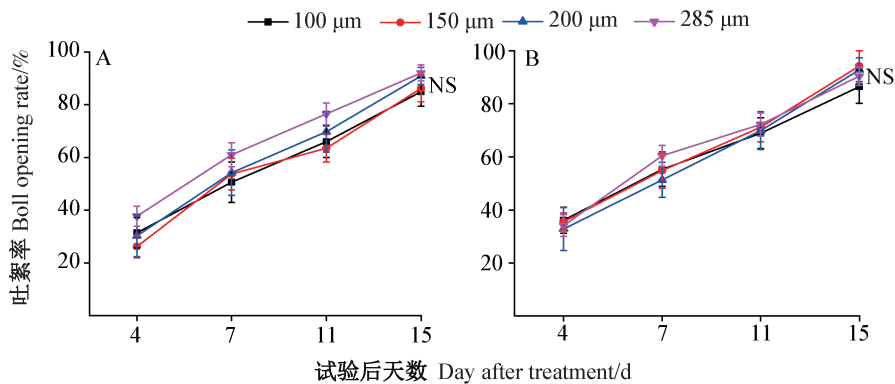


图3 2018年(A)和2019年(B)不同雾滴粒径对棉花总吐絮率的影响

Fig. 3 Effects of droplet size on total boll opening rate in 2018(A) and 2019(B)

图中数据为平均数 $\pm$ 标准误。NS表示不同处理间经 Tukey 法检验在 $P<0.05$ 水平无显著差异。Data are mean $\pm$ SE. NS indicate no significant difference among different treatments at $P<0.05$ level by Tukey test.

3 讨论

植保无人机喷施不同雾滴粒径对覆盖度、雾滴密度、沉积量均有显著影响。理论上,在剂量和浓度恒定前提下,雾滴密度与雾滴粒径的立方呈反比(Ebert et al., 1999),雾滴粒径增加 1 倍,雾滴密度应

降低至 12.5%,但在本试验中,当粒径为 200 μm 时,雾滴在冠层不同位置的密度为 100 μm 时的 24.0%~38% 倍,要远高于理论值,这可能主要是由于在实际作业中,小雾滴更容易蒸发与飘移,尤其是在高温低湿的新疆,因此这也是导致雾滴粒径为 100 μm 时沉积量要显著低于其他处理的原因。

雾滴的穿透率是提高冠层内部病虫害防治效果或脱叶效果的重要因素。然而过去关于雾滴粒径对穿透率的影响结论并不一致。部分研究结论认为小雾滴更容易穿透到冠层中下部(Knoche, 1994; Wolf & Daggupati, 2009),还有些研究认为大雾滴更容易穿透(Derksen et al., 2008; Hanna et al., 2009)。在本次试验中,不同粒径对于雾滴在冠层内的穿透率并没有显著影响,这可能也是由于植保无人机的旋翼风场扰动影响雾滴沉积有关。当以下部沉积量与中部沉积量的比值为评估指标时,植保无人机在棉田喷洒的雾滴穿透率为39.4%~63.8%,相比于喷杆喷雾机等地面机械,植保无人飞机喷洒到达作物冠层的中下部的比例相对较低(Yang et al., 2014),这将对中下部棉花脱叶效果造成了不利的影响。

本试验结果表明喷洒不同雾滴粒径药剂对其沉积特征具有显著影响,进一步影响棉花脱叶催熟效果。本试验中雾滴粒径在150 μm 和200 μm 可实现更高的棉花脱叶率,此时雾滴粒径比100 μm 具有更高的雾滴覆盖度和沉积量,比285 μm 具有更大的雾滴密度,这对棉花脱叶率产生了重要影响。在喷洒的脱叶剂中,最常用的产品为噻苯隆(刘刚, 2017),其无内吸传导作用,药液必须接触到每个棉花叶片才能保证良好的脱叶效果,而敌草隆和乙烯利具有传导性能,可以通过棉花叶片吸收后向棉铃或者下部叶片运输(周婷婷等, 2020)。因此在喷洒棉花脱叶催熟剂喷洒时,既要保证一定的雾滴密度又要保证足够的沉积量,这也是本试验中150 μm 和200 μm 能实现最佳脱叶效果的原因。当然在实际作业中不仅应当考虑沉积和脱叶效果,还应当考虑雾滴飘移。在所喷洒的药剂中,敌草隆具有较强的飘移危害风险,对鸟类、哺乳动物甚至水中无脊椎动物有显著的毒害,被欧盟列为优先有害污染物(Palma et al., 2015),因此在棉田喷洒粒径选择时还应当充分考虑飘移风险。不同雾滴粒径对棉花吐絮率无显著影响,结合沉积结果分析,可能是由于喷洒的乙烯利过量进而掩盖了粒径之间的差异。

当利用机械采收棉花时,只有当叶片全部脱落或者脱落率达到85%以上时才有较低的含杂率和更好的采收效果(Tian et al., 2017)。本试验2018年试验田块叶片的脱叶率要显著低于此值,环境因素是导致此脱叶率较低的重要原因。棉花脱叶剂如噻苯隆、敌草隆、乙烯利以及环丙酰草胺在环境温度10~27℃下才会有更好的效果(Wright et al., 2014),然而在北疆地区,棉花生长期较短,在9月份温度降低很

快,为避免低温对脱叶效果的影响,第1次喷洒往往较早,棉花吐絮率要低于要求的40%~60%(Faircloth et al., 2004),这导致后期脱叶催熟剂喷洒后,总脱叶率可能会低于85%。结合本研究中植保无人机喷洒棉花脱叶催熟剂中的问题,进一步提高雾滴在棉花冠层的穿透率以及提高棉花脱叶率及吐絮率,将是未来的研究重点。

参考文献 (References)

- Derksen RC, Zhu H, Ozkan HE, Hammond RB, Dorrance AE, Sponberg AL. 2008. Determining the influence of spray quality, nozzle type, spray volume, and air-assisted application strategies on deposition of pesticides in soybean canopy. *Transactions of the ASA-BE*, 51(5): 1529-1537
- Dodds DM, Fromme D, Sandlin T, Raper TB, Robertson B. 2018. Mid-South cotton defoliation guide. http://www.mississippi-crops.com/wp-content/uploads/2018/08/W376_2018.pdf
- Ebert TA, Taylor RAJ, Downer RA, Hall FR. 1999. Deposit structure and efficacy of pesticide application. 1: Interactions between deposit size, toxicant concentration and deposit number. *Pesticide Management Science*, 55(8): 783-792
- Faircloth JC, Edmisten KL, Wells R, Stewart AM. 2004. The influence of defoliation timing on yields and quality of two cotton cultivars. *Crop Science*, 44(1): 165-172
- Hanna HM, Robertson AE, Carlton WM, Wolf RE. 2009. Nozzle and carrier application effects on control of soybean leaf spot diseases. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(1): 5-13
- He L, Wang GB, Hu T, Meng YH, Yan XJ, Yuan HZ. 2017. Influences of spray adjuvants and spray volume on the droplet deposition distribution with unmanned aerial vehicle (UAV) spraying on rice. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 1046-1052 (in Chinese) [何玲, 王国宾, 胡韬, 蒙艳华, 闫晓静, 袁会珠. 2017. 喷雾助剂及施液量对植保无人飞机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响. *植物保护学报*, 44(6): 1046-1052]
- Knoche M. 1994. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection*, 13(3): 163-178
- Lan YB. 2017. Current status and future prospects of precision agriculture aviation technology. *Agricultural Engineering Technology*, 37(30): 27-30 (in Chinese) [兰玉彬. 2017. 精准农业航空技术现状及未来展望. *农业工程技术*, 37(30): 27-30]
- Lan YB, Chen SD, Fritz BK. 2017. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3): 1-17
- Lan YB, Wang GB. 2018. Current status and trends of plant protection UAV in China. *Agricultural Engineering Technology*, 38(9): 8 (in Chinese) [兰玉彬, 王国宾. 2018. 中国植保无人机的行业发展概况和发展前景. *农业工程技术*, 38(9): 8]
- Li LL, Bai YC, Liu NN, Li XL, Su XH, Cui DD, Wang JL, Cui GX. 2018. Chemical defoliant and ripener in crops: main application

- status. Chinese Agricultural Science Bulletin, 34(12): 132–135 (in Chinese) [李林林, 白玉超, 刘楠楠, 李雪玲, 苏小惠, 崔丹丹, 王继龙, 崔国贤. 2018. 化学脱叶剂及催熟剂在农作物上的应用现状. 中国农学通报, 34(12): 132–135]
- Liu G. 2017. Current situation of registered cotton defoliant. Pesticide Market Information, 25: 34 (in Chinese) [刘刚. 2017. 目前登记的棉花脱叶剂产品. 农药市场信息, 25: 34]
- Ma Y, Ren XL, Meng YH, Song JL, Ma DY, Liu Z, Fu W, Jiang WL, Hu HY, Wang D, et al. 2016. Review on result of spraying defoliant by unmanned aerial vehicles in cotton field of Xinjiang. China Cotton, 43(12): 16–20 (in Chinese) [马艳, 任相亮, 蒙艳华, 宋坚利, 马德英, 刘政, 付威, 姜伟丽, 胡红岩, 王丹, 等. 2016. 无人植保机在新疆棉田喷施脱叶剂测试结果评述. 中国棉花, 43(12): 16–20]
- Meng YH, Han YX, Liang ZJ, Su JY, Lan YB. 2019b. Harvest-aid application strategy in different cotton planting densities by unmanned aerial vehicle. International Journal of Precision Agricultural Aviation, 2(1): 30–40
- Meng YH, Song JL, Lan YB, Mei GY, Liang ZJ, Han Y X. 2019a. Harvest aids efficacy applied by unmanned aerial vehicles on cotton crop. Industrial Crops and Products, 140: 111645
- Palma P, Köck-schulmeyer M, Alvarenga P, Ledo L, de Alda ML, Barceló D. 2015. Occurrence and potential risk of currently used pesticides in sediments of the Alqueva reservoir (Guadiana Basin). Environmental Science & Pollution Research, 22(10): 7665–7675
- Tian JS, Zhang XY, Yang YL, Yang CX, Xu SZ, Zuo WQ, Zhang WF, Dong HY, Jiu XL, Yu YC, et al. 2017. How to reduce cotton fiber damage in the Xinjiang China. Industrial Crops and Products, 109: 803–811
- Wang AY, Gao MW, Wang ZW, Zhang XJ. 2015. Research progress on the technology of chemical defoliation and ripening in cotton. Journal of Agriculture, 5(4): 20–23 (in Chinese) [王爱玉, 高明伟, 王志伟, 张晓杰. 2015. 棉花化学脱叶催熟技术应用研究进展. 农学学报, 5(4): 20–23]
- Wang GB, Han YX, Li X, Andaloro J, Chen PC, Hoffmann, WC, Han XQ, Chen SD, Lan YB. 2020b. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. Science of the Total Environment, 737: 139793
- Wang GB, Lan YB, Qi HX, Chen PC, Hewitt A, Han YX. 2019. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. Pest Management Science, 75: 1546–1555
- Wang GB, Li X, Andaloro JT, Chen PC, Song CC, Shan CF, Chen SD, Lan YB. 2020a. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. International Journal of Precision Agricultural Aviation, 3(2): 65–72
- Wang M, Chen YX, Su XJ, Yue HF, Yan XJ, Yuan HZ. 2019. Effects of adjuvants in low volume spraying by unmanned aerial vehicle on the deposition distribution of pesticide droplets and control efficiency against *Aphis spiraeicola* in apple orchards of high-density dwarfing cultivation pattern, Journal of Plant Protection, 46(6): 1316–1323 (in Chinese) [王明, 陈奕璇, 苏小计, 岳虎锋, 闫晓静, 袁会珠. 2019. 添加助剂对植保无人机低容量喷雾在矮化密植苹果园中雾滴沉积分布及苹果黄蚜防治效果的影响. 植物保护学报, 46(6): 1316–1323]
- Wolf RE, Daggupati NP. 2009. Nozzle type effect on soybean canopy penetration. Applied Engineering in Agriculture, 25(1): 23–30
- Wright SD, Huttmacher RB, Banuelos G, Rios SI, Huttmacher KA, Munk DS, Wilson KA, Wroble JF, Keeley MP. 2014. Impact of pima defoliation timings on lint yield and quality. Journal of Cotton Science, 18: 48–58
- Xiao QG, Xin F, Lou ZX, Zhou TT, Wang GB, Han XQ, Lan YB, Fu W. 2019. Effect of aviation spray adjuvants on defoliant droplet deposition and cotton defoliation efficacy sprayed by unmanned aerial vehicles. Agronomy, 9(5): 217
- Xin F, Zhao J, Zhou YT, Wang GB, Han XQ, Fu W, Deng JZ, Lan YB. 2018. Effects of dosage and spraying volume on cotton defoliant efficacy: a case study based on application of unmanned aerial vehicles. Agronomy, 8(6): 85
- Xue XY, Qin WC, Sun Z, Zhang SC, Zhou LX, Wu P. 2013. Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis*. Journal of Plant Protection, 2013, 40(3): 273–278 (in Chinese) [薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 张宋超, 周立新, 吴萍. 2013. N-3型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响. 植物保护学报, 40(3): 273–278]
- Yang DB, Zhang LN, Yan XJ, Wang ZY, Yuan HZ. 2014. Effects of droplet distribution on insecticide toxicity to Asian corn borers (*Ostrinia furnacalis*) and spiders (*Xysticus ephippiatus*). Journal of Integrative Agriculture, 13(1): 124–133
- Yi LL, Lan YB, Kong H, Kong FX, Huang HS, Han X. 2019. Exploring the potential of UAV imagery for variable rate spraying in cotton defoliation application. International Journal of Precision Agricultural Aviation, 2(1): 42–45
- Yuan HZ, Guo YW, Xue XY, Yan XJ, Chen C, Kong X, Wang M, Zhou Y. 2018. The promotion and application of UAVs for improving the utilization rate of pesticides in China, Agricultural Engineering Technology, (3): 46–50 (in Chinese) [袁会珠, 郭永旺, 薛新宇, 闫晓静, 陈昶, 孔肖, 王明, 周洋. 2018. 植保无人飞机的推广应用对于提高我国农药利用率的作用. 农业工程技术, (3): 46–50]
- Yuan HZ, Wang GB. 2015. Effects of droplet size and deposition density on field efficacy of pesticides. Plant Protection, 41(6): 9–16 (in Chinese) [袁会珠, 王国宾. 2015. 雾滴大小和覆盖密度与农药防治效果的关系. 植物保护, 41(6): 9–16]
- Zhou TT, Xiao QG, Du R, Han XQ, Zhang GQ, Wang GB. 2020. Research advances on cotton harvest aids in China. Cotton Science, 32(2): 170–184 (in Chinese) [周婷婷, 肖庆刚, 杜睿, 韩小强, 张国强, 王国宾. 2020. 我国棉花脱叶催熟技术研究进展. 棉花学报, 32(2): 170–184]

(责任编辑:王璇)