

B-7451型直升机喷雾参数对枣树冠层雾滴沉积分布的影响

杨莉^{1,2}, 施英俊², 冯宏祖¹, 王兰^{1*}, 王喆¹,
吴雪海², 师建银², 董宁², 黄群³

(¹塔里木大学·农业部阿拉尔作物有害生物科学观测实验站·塔里木大学南疆农业有害生物综合治理重点实验室·新疆建设兵团南疆特色果树生产工程实验室, 新疆阿拉尔 843300; ²新疆生产建设兵团林业工作管理总站, 乌鲁木齐 830000; ³中国农业科学院棉花研究所, 河南安阳 455000)

摘要:【目的】为了阐明B-7451型直升机航空喷雾在枣树白熟期雾滴沉积分布规律及应用前景,研究了不同飞行参数下B-7451型直升机的有效喷幅,以及不同的喷雾参数下雾滴在枣树层间的沉积分布规律。【方法】该试验通过改变飞机的作业高度以海力佳(有机水溶肥料)进行喷雾试验,采用雾滴密度判定法评定B-7451型直升机的有效喷幅宽度,使用雾滴采集卡测定在枣树不同层间的雾滴沉积量,由此获得枣树冠层不同区域雾滴沉积分布的规律。【结果】当飞行高度为6、8、10 m时有效喷幅宽度分别为35、40、50 m。不同作业高度下,雾滴在枣树冠层的总沉积量为6 m>8 m>10 m,且飞行高度为6 m时枣树冠层各个部位叶片上的雾滴密度变异系数最小,雾滴分布均匀性最好。【结论】综合考虑雾滴沉积特性和喷洒效果,喷雾参数应选择飞行高度6 m,有效喷洒幅宽度35 m。

关键词: 枣树; 喷雾; 航空植保; 雾滴; 沉积量; 分布均匀性

中图分类号: S665.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2019)03-0338-09

Effect of flight parameters of B-7451 helicopter on distribution pattern of droplet deposition in jujube canopy

YANG Li^{1,2}, SHI Yingjun², FENG Hongzu¹, WANG Lan^{1*}, WANG Zhe¹, WU Xuehai², SHI Jianyin², DONG Ning², HUANG Qun³

(¹Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Alar, Ministry of Agriculture/Southern Xinjiang Key Laboratory of IPM of Tarim University/Engineering Laboratory of Featured Fruit Tree in Southern Xinjiang, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; ²Forestry Workstation of Management General Station in Xinjiang Production and Construction Crops, Urumqi 830000, Xinjiang, China; ³Institute of Cotton, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000, Henan, China)

Abstract: 【Objective】 In order to explore the distribution pattern and application prospect of B-7451 helicopter as a sprayer in jujube orchards, the effects of spraying width of the helicopter and other flight parameters on the distribution of droplet deposition were studied. 【Methods】 The experiment used a water-soluble fertilizer for spray test at different heights including 6, 8 and 10 meters. The sampling points were the upper, middle, lower, front and back parts of the jujube canopy. Droplets in the leaves were collected with droplet collection cards. After each flight spray test, the droplet collection cards were taken back to the laboratory for data processing. The effective spraying width was determined based on droplet density. The droplet deposition amount in different parts of jujube canopy was determined using droplet counting cards, and the parameters of droplet deposition distribution pattern (density of droplet deposition, droplet deposition and distribution uniformity) were calculated for different lay-

收稿日期: 2018-09-14 接受日期: 2019-01-08

基金项目: 新疆生产建设兵团科技攻关与成果转化计划项目(2016AC004); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(161016201717)

作者简介: 杨莉, 女, 初级农艺师, 硕士, 研究方向为精准施药技术。 Tel: 18160502086, E-mail: 980999523@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 18096960169, E-mail: wang-lan95@163.com

ers of the canopy.【Results】The results showed that the effective spraying width was 35 meters when the working height of the helicopter was 6 meters. The effective spraying width was 40 meters when the working height was 8 meters. It became 50 meters when the working height increased to 10 meters. The total quantity of droplet deposition at the targets was the lowest when the flight altitude was 10 meters but highest when the flight height was 6 meters. The droplet deposition and uniformity were different at the upper, middle and bottom of jujube canopies when the working height was different. The quantity of droplet deposition in upper and middle of jujube canopies was higher than at the bottom of the canopy. The reason may be that the leaves at the upper and middle canopy prevented drops from penetrating into the lower part. When the working height was 6 meters, the wind generated by the helicopter increased the penetrability of the fog droplets. Therefore, droplet deposition was found at each sampling position of the canopy, and the spraying effect was the best. At the same working height, the coefficient of variation of droplet density was smaller in the upper surface of the leaves than in the lower surface, and the deposition uniformity of the droplets in the upper surface was better. When the height was 6 meters, the variation coefficient of droplet density in the leaves was generally small, and the deposition uniformity of the droplets was the best. The variation coefficient of droplet density increased with the increase in working height of the helicopter, and thus the distribution uniformity of droplets became worse.【Conclusion】Flight height and spraying width of the B-7451 helicopter had a significant impact on the sprayed droplet deposition uniformity. Based on our results, we recommend a working height of the helicopter of 6 meters together with a spraying distance of 35 meters for spraying pesticides using B-7451 helicopter.

Key words: Jujube; Spraying; Aviation plant protection; Droplet; Deposition; Spraying uniformity

近年来,新疆红枣的栽培面积超过 51.04 万 hm^2 ,产量达 363.3 万 t,盛果期产量占到全国总产量的 50% 以上^[1],目前红枣产业已成为新疆近年来种植面积最广、发展最快和惠民成效最为显著的一项林果产业^[2-3]。南疆枣园推行矮、密、早、丰的栽培技术,达到了当年直播建园、来年嫁接成园、丰产丰收的基本目标。然而,矮化密植条件下园间密闭,通风透光弱,园间湿度大,大面积集约栽培的同时,病虫害的发生已经严重制约了红枣产业的健康发展。目前,行走式施药机械防治枣树病虫害存在着机具难以下地和紧急应对病虫害大面积爆发等难题^[4]。

红枣黑斑病是新疆南疆地区近年来发生的一种新的果实病害,发病严重的枣园病果率可达 50% 以上,果农损失惨重。治理这种突发式、爆发式的病虫害时,必须在较短时间内进行高效全覆盖式的喷雾才能达到较好的防控效果^[5-9]。由于农用直升机雾化程度好、作业效率高,并且可以解决地面行走式施药机械在密植枣园难以下地防治的问题等^[10-12],是防治突发式病虫害大面积爆发的首选作业模式。航空植保的推

广应用将改变传统的地面行走式机械施药方式,使矮化密植枣园的病虫害防治达到机械化和高效化。

随着航空植保技术的推广应用,针对其有效喷幅宽度的评定,以及在不同植物上的雾滴沉积分布效果、作业质量等方面,国内外学者均进行了一些研究^[13-20]。张海星等^[21]利用雾滴沉积密度判定法对自走式旋翼气流静电喷雾机喷幅进行评定与试验;陈盛德等^[22]利用 2 种不同的方法,在不同作业参数下对 3WQF120-12 和 P-20 型植保机的有效喷幅宽度进行了评定;陈盛德等^[23]研究了在不同作业参数下 HY-B-10L 型直升机在水稻层间的雾滴沉积分布;秦维彩等^[24]研究了在不同喷洒幅度和作业高度下 N-3 型无人直升机喷洒雾滴在玉米植株的沉积分布。本试验通过雾滴密度判定法来测定 B-7451 型直升机的有效喷幅,降低直升机喷雾作业时的漏喷率和重喷率,提高喷雾质量。同时,测定 B-7451 型直升机喷雾雾滴在枣树冠层沉积分布情况,筛选出适宜枣树喷雾的最佳喷洒参数,以提高枣树的农药有效利用率,为 B-7451 型直升机的推广和应用提供理论依据和数据支持。

1 材料和方法

1.1 仪器设备

B-7451 型涡轴式单发直升机,河南波音航空俱乐部有限公司提供,如图1所示。B-7451 型直升机技术参数:机身长 11.6 m,高 2 m,宽 2.3 m,旋翼直径

10.69 m,最大续航时间 4 h,最大速度 250 km·h⁻¹。喷杆长度 11 m,喷头类型为 TR2 号喷头,喷头数 50 个,单喷头平均流量 730 mL·min⁻¹,总流量 36 500 mL·min⁻¹,泵压力 0.25~0.30 MPa,作业速度 80 km·h⁻¹,载药量 600 kg,喷幅宽度 35~50 m,作业高度距离枣树树冠 6~10 m。



图 1 B-7451 型直升机机场起飞
Fig. 1 A taking off B-7451 helicopter

手持农业气象监测仪,郑州欧柯奇仪器制造有限公司(作业过程每 5 min 记录距离地面 2 m 处风速和距离地面 1 m 处空气温度、湿度);雾滴测试卡,瑞士先正达公司;标记牌、记号笔、曲别针、一次性手套、密封袋。

试验所用枣树为生育期处于白熟期的枣树植株。

1.2 试验方法

1.2.1 试验场地

试验地点位于第十四师二二四团五连 3-6D 系统,喷雾时间为 2017 年 8 月 31 日上午 11:00,枣园种植方式为:株行距 0.5 m×1.5 m,冠层高度 1~2 m,常规管理。品种为骏枣(*Zizyphus jujuba* ‘Junzao’),11 a(年)生,嫁接繁殖,砧木为酸枣,灌溉方式为滴灌。作业过程中使用手持农业气象监测仪记录空气温度、湿度及风速。为了避免由液滴漂移引起试验误差,在每个处理的边缘设置 10 m 的隔离区。收集器采用雾滴测试卡,按图 2 布样。施药当天晴天,平均温度 29.6 °C、北风平均风速 0.926 m·s⁻¹、

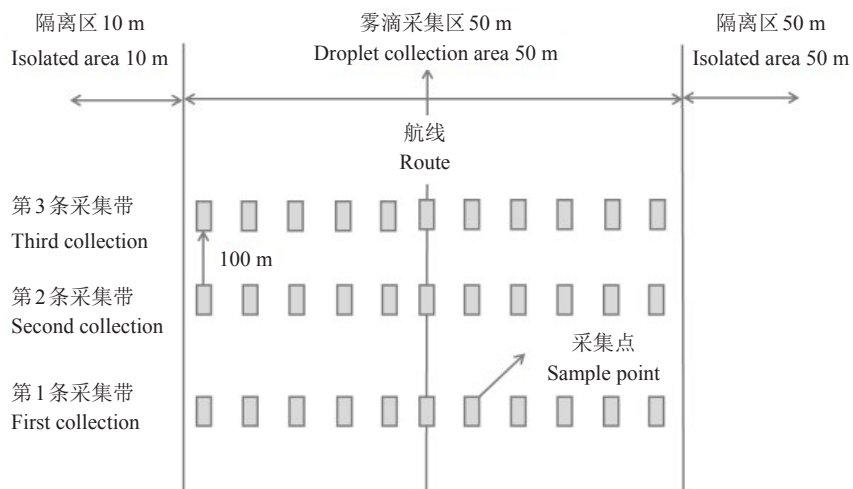


图 2 试验方案示意图
Fig. 2 Schematic diagram of test

平均相对湿度45%。

1.2.2 采样点布置 在进行田间有效喷幅测定试验时,飞机作业高度设定为6、8、10 m。如图2所示,航线以南北向S型作业,每个处理垂直于飞机飞行方向设置三条雾滴采集带,每条采集带之间间距100 m,每个采集点之间的间隔5 m。每个处理以中心航线处记录为0,并且在左侧和右侧对称的布置5个采集点,分别依次记录为-25、-20、-15、-10、-5和5、10、15、20、25 m。每个处理共有33处雾滴采集点,

在每处采集点枣树冠层上部、中部、下部和叶片正面、反面布置雾滴测试卡。

1.3 数据处理

1.3.1 有效喷幅判定方法 雾滴密度判定法:使用雾滴测试卡测定雾滴覆盖密度,按图3在每个小区枣树冠层上部的叶片正面布样,飞机飞过雾滴采集区后戴一次性手套收回测试卡,做好标记,带回实验室进行处理。计算雾滴覆盖密度,有效喷幅确定为雾滴覆盖密度达到8个·cm⁻²及以上^[22]。



图3 雾滴采集卡布置现场

Fig. 3 Placement of droplets sampling cards different positions of the canopy

1.3.2 雾滴沉积状态参数的统计方法 以雾滴沉积数量、覆盖密度和雾滴分布均匀性作为雾滴沉积状态参数的度量^[24]。将收集的雾滴采集卡逐一用雾滴计数卡(Droplet counting aid)上1 cm²的规格随机读取雾滴测试卡上5个不同位置的雾滴数取平均值,雾滴采集卡单位面积的平均雾滴数即为雾滴覆盖密度(个·cm⁻²)^[8],枣树冠层各取样位置雾滴覆盖密度的平均值可代表该位置处单位面积的沉积数量,枣树上、中、下3层叶片正反面单位面积沉积量之和代表枣树冠层的沉积总量。用变异系数V表示雾滴分

$$\text{布均匀性}, V = \frac{S}{\bar{X}}, S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}。$$

式中,S表示标准差;X_i为各雾滴测试卡单位面积的雾滴数; \bar{X} 表示雾滴测试卡单位面积的平均雾滴数;n为每层雾滴测试卡的总数。

2 结果与分析

2.1 不同飞行高度时飞机的有效喷幅

表1的结果表明:随着作业高度的增加,B-7451型直升机有效喷幅宽度也增加;通过雾滴密度判定法和雾滴密度沉积结果评定B-7451型直升机的有效喷幅,当飞行高度为6、8、10 m时,有效喷幅范围依次为-15~20、-20~20、-25~25 m。

2.2 不同作业高度时雾滴在枣树冠层的整体沉积数量

图4的试验结果表明:每个雾滴采集点取1株枣树,每个处理取11株枣树。对每株枣树上、中、下3层取样位置叶片正反面的雾滴覆盖密度之和进行分析,可以看出B-7451型直升机在不同作业高度下,在枣树冠层的雾滴整体沉积数量明显不同。由图4可以看出,当飞行高度为6 m时,枣树植

表 1 雾滴沉积密度
Table 1 Density of droplet deposition

(No.·cm⁻²)

| 飞行高度 Height | 采集位置 Sampling location/m | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 6 m | 2 | 6 | 10 | 15 | 16 | 25 | 16 | 14 | 12 | 9 | 4 |
| 8 m | 4 | 9 | 10 | 11 | 13 | 16 | 13 | 12 | 10 | 9 | 7 |
| 10 m | 8 | 10 | 9 | 9 | 11 | 15 | 12 | 10 | 9 | 10 | 8 |

注:部分加粗数字表示此采集点在评定的有效喷幅内。

Note: Portions in bold indicate that collection point is in effective spraying width.

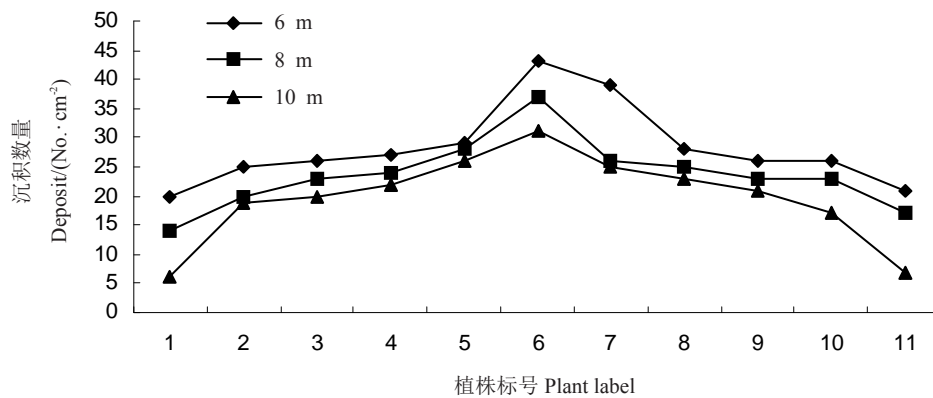


图 4 不同作业高度时雾滴在枣树冠层的分布曲线

Fig. 4 Droplets distribution within the canopy at different working heights

株上的雾滴沉积数量高于 8 m 和 10 m 时的沉积数量。

2.3 雾滴在枣树冠层的沉积分布

为了分析枣树冠层不同部位的雾滴沉积情况,枣树冠层各层雾滴测试卡单位面积雾滴数的平均值来可用于代表该高度处单位面积的沉积量。由图 5 可知,雾滴降落在叶片正面的沉积密度明显大于叶

片反面,该结果是符合逻辑的。

从喷雾雾滴在叶片正面的沉积结果来看,当飞行高度为 6 m 时,枣树冠层上、中、下部三个部位叶片正面的雾滴沉积密度分别为 13.09、7.36、7.09 个·cm⁻²,沉积密度最大,当作业高度为 8 m 时,枣树冠层上、中、下部三个部位叶片正面的雾滴沉积密度分别为 10.36、7.09、4.91 个·cm⁻²,当作业高度为 10 m 时,枣

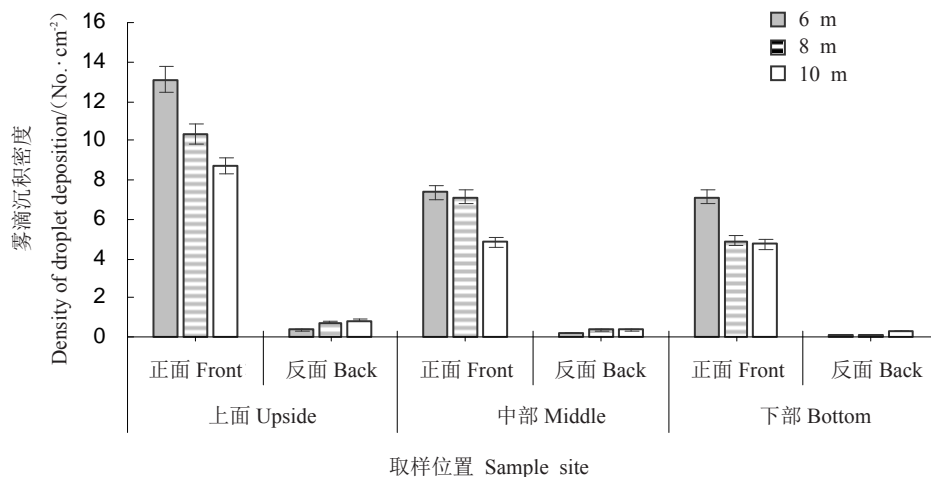


图 5 不同作业高度下枣树取样部位的雾滴分布

Fig. 5 Droplet distribution in different vertical positions of the canopy at different working heights

树冠上层、中、下三个部位叶片正面的雾滴沉积密度分别为8.73、4.82、4.73个·cm⁻²,沉积密度最小。由图5可以看出,作业高度为6 m时,雾滴在枣树冠层下部叶片沉积密度明显高于8 m和10 m,可能与直升机作业时产生的下旋风力有直接关系,直升机飞行高度越低,产生的下旋气流越强,使雾滴具有较强的穿透性。从喷雾雾滴在叶片反面的沉积结果来看,当飞行高度为10 m时,叶片反面的雾滴沉积密度最大,当作业高度为8 m时,叶片反面的雾滴沉积密度次之,当作业高度为6 m时,叶片反面的雾滴沉积密度最小,说明飞行距离枣树冠层较近时产生较强的下旋气流,会对枣树枝条产生轻微幅度的摇摆,导致雾滴在叶片反面不易附着,这样就会引起叶片反面沉积量的变化,导致6 m时雾滴在叶片反面的沉积密度最小,10 m时雾滴沉积密度最大。

综上所述,当直升机作业高度不同时,枣树层间不同取样位置叶片正面的雾滴密度也不同,雾滴密度总体沉积趋势是上部>中部>下部,下部雾滴沉积最少,分析原因,可能是枣树冠层上部、中部的叶片遮挡降低了雾滴的穿透性,导致雾滴不容易穿透到下部。当飞行高度为6 m时,直升机产生的下旋气流使雾滴具有较强的穿透性,因此在枣树冠层各取样位置均有一定的沉积量,喷施效果好。作业高度8 m时的雾滴沉积密度小于作业飞行高度6 m的雾滴沉积密度,作业高度10 m的雾滴沉积密度最小。可能是雾滴受侧风影响在降落过程中发生蒸发和漂移,导致雾滴沉积密度减小;同时,由于直升机飞行高度的上升,产生的下旋风力越来越弱,降低了雾滴的穿透性,说明当作业高度继续上升时,已不适宜直升机喷雾作业。

2.4 不同作业高度对雾滴分布均匀性的影响

雾滴分布均匀性由变异系数决定,而变异系数则由标准差和均值决定。为判定试验小区的雾滴分布均匀程度,分别对方差和均值进行假设检验。结果表明,在显著水平 $\alpha = 0.05$ 条件下,不同飞行高度不同取样位置,雾滴分布的均匀性存在显著差异(表2)。

通常,变异系数用于表示植株上喷雾液滴分布的均匀性,变异系数与液滴分布均匀性呈正相关^[25]。根据表2在不同飞行高度下枣树冠层不同取样部位的雾滴密度变异系数可以看出,叶片正面的变异系数小于叶片反面,说明雾滴在叶片正面的分布均匀

表2 沉积量与雾滴分布均匀性

Table 2 Droplet deposit and distribution uniformity

| 作业高度 Working height/m | 取样位置 Sampling site | 沉积数量 Deposition/ (No.·cm ⁻²) | 雾滴分布 均匀性 Distribution uniformity |
|-----------------------------|-----------------------|--|---|
| 6 | 上部(正) Upside(Front) | 13.09±1.46 a | 0.35 |
| | 上部(反) Upside(Back) | 0.36±0.15 c | 1.32 |
| | 中部(正) Middle(Front) | 7.36±1.07 b | 0.46 |
| | 中部(反) Middle(Back) | 0.18±0.12 c | 2.12 |
| | 下部(正) Bottom(Front) | 7.09±1.06 b | 0.47 |
| | 下部(反) Bottom(Back) | 0.09±0.09 c | 3.16 |
| 8 | 上部(正) Upside(Front) | 10.36±0.97 a | 0.30 |
| | 上部(反) Upside(Back) | 0.73±0.48 c | 1.19 |
| | 中部(正) Middle(Front) | 7.09±1.06 b | 0.48 |
| | 中部(反) Middle(Back) | 0.36±0.24 c | 2.12 |
| | 下部(正) Bottom(Front) | 4.91±1.17 b | 0.75 |
| | 下部(反) Bottom(Back) | 0.09±0.09 c | 3.16 |
| 10 | 上部(正) Upside(Front) | 8.73±1.10 a | 0.40 |
| | 上部(反) Upside(Back) | 0.82±0.48 c | 1.86 |
| | 中部(正) Middle(Front) | 4.82±0.69 b | 0.45 |
| | 中部(反) Middle(Back) | 0.36±0.27 c | 2.42 |
| | 下部(正) Bottom(Front) | 4.73±1.03 b | 0.69 |
| | 下部(反) Bottom(Back) | 0.27±0.19 c | 2.26 |

注:表中沉积数量为平均数±标准误,经Duncan氏新复极差法检验在 $\alpha = 0.05$ 水平差异显著,用小写字母表示。

Note: The deposition in the form are means ± SD. The small letters are significantly different among different treatments at $\alpha = 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

均匀性优于叶片反面。当飞行高度为6 m时,枣树冠层各个取样位置的雾滴密度变异系数均最小。由图2可知,当飞行高度不同时,雾滴在枣树冠层各取样位置的密度变异系数总体趋势呈6 m<8 m<10 m。雾滴密度变异系数随着直升机飞行高度的升高而加大,雾滴分布均匀性逐渐变差。可能原因是枣树白熟期枝繁叶茂,由于叶片遮挡而降低了雾滴的穿透性,同时随着作业过程中雾滴的蒸发和漂移,以及直升机飞行高度的升高导致下旋风力减弱,使雾滴分布均匀性变差,影响直升机田间作业时的喷雾效果。

2.5 喷雾参数显著性分析

以上试验结果根据方差分析可得表3,表3为雾滴采集区内雾滴沉积方差分析结果,表示喷雾作业过程中飞行高度对雾滴采集区内采集点雾滴沉积密度和雾滴沉积分布均匀性的影响显著性,由表知,飞行高度对靶区内采集点上雾滴平均沉积量影响影响

均显著,而飞行高度对靶区内雾滴分析均匀性影响并不显著。

表3 有效喷幅区内雾滴沉积结果方差分析表

Table 3 Analysis of variance of droplet deposition in effective spray area

| 因素 Factor | 采集点上雾滴沉积密度 Deposition on each collection point | | 雾滴分布均匀性 Uniformity of droplet distribution | |
|----------------|--|---------------------|--|---------------------|
| | Sig | 显著性 Significance | Sig | 显著性 Significance |
| 飞行高度 Height | 0.018 | * | 0.354 | - |

注:表中 Sig. 表示因素对结果影响的显著性水平值,本文取显著性水平 $\alpha = 0.05$,表中“*”代表因素对试验结果有显著影响,表中“-”代表因素对试验结果无显著影响。

Note: “*” represents significant effect at $\alpha = 0.05$, “-” represents no significant effect.

3 讨 论

飞行高度和飞行速度也是影响直升机雾化系统的喷幅及雾滴沉积分布的重要因素^[26]。在本文试验条件下,当B-7451型直升机作业高度为6 m,飞行速度为 $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时(该机型建议最低作业速度),其喷幅为35 m;作业高度为8 m,飞行速度为 $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,其喷幅为40 m;作业高度为10 m,飞行速度为 $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,其喷幅为50 m。当飞行速度恒定时,飞行高度与喷幅正相关。飞行速度对直升机喷幅宽度的影响由于研究时间的限制未做详细研究,希望在今后的研究中可以多加考虑各种因素对喷幅宽度的影响。

B-7451型直升机建议飞行高度为6~10 m,本文试验设计距离枣树冠层6、8、10 m三个作业高度,结果表明,作业高度为6 m时,雾滴在枣树冠层沉积量的总体趋势大于8 m和10 m,而秦维彩等^[24]报道飞行高度为7 m时,雾滴在玉米植株上沉积总量大于5 m和9 m时的沉积量,并不是作业高度越低沉积效果越好。本试验结果与秦维彩等^[24]研究结果有差异,分析原因,可能是由于作业高度设计的影响,飞行高度过低产生强烈的下旋风力导致植株大幅度的摇摆,喷雾雾滴易滴落在地面上,导致雾滴沉积量低于其他飞行高度。而本试验设计由于安全因素的考虑,未对低于6 m的飞行高度进行试验。这方面希望今后可以进行相关的试验,为雾滴沉积分布规律的研究提供更多的理论依据。

本试验表明,不同作业高度下,枣树冠层不同部位雾滴覆盖密度总体趋势为上部>中部>下部,下

部最少,可能原因是枣树冠层上部、中部的叶片遮挡降低了雾滴的穿透性,导致雾滴不容易穿透到下部。这与高圆圆^[8]的无人直升机在禾本科作物冠层不同取样位置的雾滴沉积分布情况从上到下沉积量呈逐渐递减趋势的报道一致。而枣树冠层下部的雾滴沉积量占到上部沉积量的50%以上,说明直升机产生的下旋气流能使雾滴具有很强的穿透性。通过B-7451型直升机飞行高度对靶区内采集点上雾滴沉积分布影响的显著性分析,结果表明,飞行高度对靶区内采集点上雾滴沉积密度影响显著,而飞行高度对靶区内雾滴分析均匀性影响并不显著,这与陈盛德等^[23]研究结果一致。

此外,作者仅研究了在不同的作业高度和有效喷幅下,雾滴在枣树冠层的沉积分布规律,外界环境(包括温度、湿度及风速等)因素对雾滴沉积分布规律的影响由于研究时间的限制,在这方面还未进行详细研究,在今后的研究中,需要跟生物防效、气象条件等不同因素综合考虑才能够对实际生产给出指导意见。

4 结 论

当作业高度为6 m时,雾滴在枣树冠层的总沉积量大于作业高度为8 m和10 m时的沉积量,并且枣树冠层各取样位置的雾滴密度变异系数最小,雾滴分布均匀性最好。综合考虑雾滴沉积特性和喷洒效果,B-7451型直升机在飞防作业中,推荐喷雾作业参数为作业高度为6 m,有效喷幅宽度为35 m,此时B-7451型直升机喷雾效率高、喷洒效果好,对防控枣树病害能够起到事半功倍的作用。

参考文献 References:

- [1] 秦泳涓,陈秋婷,党联,李青. 新疆兵团红枣产业高效生产中的问题研究[J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(5):73-75.
QIN Yongluo, CHEN Qiuting, DANG Lian, LI Qing. Study on the problems of high efficiency production of jujube industry in [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2015, 38(5):73-75.
- [2] 张栋海,李克福,赵思峰. 新疆南疆矮化密植枣园三种红枣病害发生规律及其影响因素研究[J]. 北方园艺, 2015(3):105-108.
ZHANG Donghai, LI Kefu, ZHAO Sifeng. Study on law and its influence factors of three main jujube diseases in south Xinjiang under dwarf and close planting managements[J]. Northern Horticulture, 2015(3):105-108.

- [3] 赵燕,郭庆元,王洪凯,王登元,张燕南,何建,约麦尔·依萨米丁. 新疆红枣病害种类及田间发生[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(3):511-516, 589.
ZHAO Yan, GUO Qingyuan, WANG Hongkai, WANG Dengyuan, ZHANG Yannan, HE Jian, YUEMAIER·Yisamiding. Investigation of Chinese jujube diseases and their field occurrence in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2015, 52(3): 511-516, 589.
- [4] 漆联全. 新疆红枣产业的现状、要求及其发展趋势[J]. 新疆农业科学, 2014, 47(S2):8-12.
QI Lianquan. Current situation in Xinjiang jujube industry requirements and trends[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 47(S2):8-12.
- [5] 薛新宇,梁建,傅锡敏. 我国航空植保技术的发展前景[J]. 中国农机化, 2008(5):72-74.
XUE Xinyu, LIANG Jian, FU Ximin. Prospect of aviation plant protection in China[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2008(5):72-74.
- [6] 张国庆. 农业航空技术研究述评与新型农业航空技术研究[J]. 江西林业科技, 2011(1):25-31.
ZHANG Guoqing. Review of agricultural aviation technologies and research of New-type agricultural aviation technologies [J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2011(1): 25-31.
- [7] 周志燕,臧英,罗锡文,兰玉彬,薛新宇. 中国农业航空植保产业技术创新发展战略[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24):1-10.
ZHOU Zhiyan, ZANG Ying, LUO Xiwen, LAN Yubin, XU Xinyu. Technology innovation development strategy on agricultural aviation industry for plant protection in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(24): 1-10.
- [8] 高圆圆. 无人直升机(UAV)低空低容量喷洒农药雾滴在禾本科作物冠层的沉积分布及防治效果研究[D]. 沈阳:东北农业大学, 2013.
GAO Yuanyuan. Study on distribution of pesticide droplets in gramineous crop control effect sprayed by Unmanned Aerial Vehicle(UAV) [D]. Shenyang: Northeast Agricultural University, 2013.
- [9] FRITZ B K, KIRK I W, HOFFMANN W C. Aerial application methods for increasing spray deposition on wheat heads[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 22(3):357-364.
- [10] 黄向东,方志蓉. 超轻型直升飞机与固定翼飞机在森林病虫害防治应用中的比较研究[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 1999, 14(3):279-281.
HUANG Xiangdong, FANG Zhirong. Study on comparing helicopter with plane application in forest pest and disease control [J]. Journal of Changsha University of Electric Power (Natural Science), 1999, 14(3):279-281.
- [11] 茹煜,贾志成,范庆妮,车军. 无人直升机远程控制喷雾系统[J]. 农业机械学报, 2013, 43(6):47-52.
RU Yu, JIA Zhicheng, FAN Qingni, CHE Jun. Remote control spraying system based on unmanned helicopter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 43(6): 47-52.
- [12] 周宏平,茹煜,舒朝然,贾志成. 航空静电喷雾装置的改进及效果试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12):7-12.
ZHOU Hongping, RU Yu, SHU Chaoran, JIA Zhicheng. Improvement and experiment of aerial electrostatic spray device[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12):7-12.
- [13] RICHARDSON B, THISTLE H W. Measured and prediction aerial spray interception by a young pinus radiate canopy[J]. Transactions of the ASABE, 2005, 49(1):15-23.
- [14] 薛新宇,兰玉彬. 美国农业航空技术现状和发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5):194-199.
XUE Xinyu, LAN Yubin. Agricultural aviation applications in USA[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 194-199.
- [15] MING Y T, KAI E, JAYAR, MICHAELG Y, ALLAN S F, VINCENT R H, RICHARD A F. The Washington aerial spray drift study: Modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(33): 6194-6203.
- [16] PHAM PX, KOURMATZIS A, MASRI A R. Local characteristics of fragments in atomizing sprays[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2018, 95:44-51
- [17] TAMHANKAR Y, KINGB, WHITELEYJ, MCCARLEYK, CAIT, RESETARITSM, AICHELEC. Interfacial area measurements and surface area quantification for spray absorption[J]. Separation and Purification Technology, 2015, 156:311-320
- [18] 张京,何雄奎,宋坚利,曾爱军,刘亚佳,李学锋. 无人驾驶直升机航空喷雾参数对雾滴沉积的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12):94-96.
ZHANG Jing, HE Xiongkui, SONG Jianli, ZENG Aijun, LIU-Yajia, LIXuefeng. Influence of spraying parameters of unmanned aircraft on droplets deposition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2012, 43(12):94-96.
- [19] 高圆圆,张玉涛,张宁,牛亮,郑万文,袁会珠. 小型无人机低空喷洒在小麦田的雾滴沉积分布及对小麦吸浆虫的防治效果初探[J]. 作物杂志, 2013, 2:139-142.
GAO Yuanyuan, ZHANG Yutao, ZHANG Ning, NIU Liang, ZHENG Wanwen, YUAN Huizhu. The low air spraying of small unmanned aerial vehicles in small wheat fields and the prevention and control effect of wheat Suckling insects [J]. Crops, 2013, 2:139-142.
- [20] HUANG Y, THOMSON S J. Characterization of In-Swath spray deposition for CP-11TT Flat-Fan nozzles used in low-volume aerial application of crop production and protection materials[J]. Transactions of the ASABE, 2011, 54(6):1973-1979.
- [21] 张海星,茹煜. 自走式旋翼气流静电喷杆喷雾机喷雾性能测试[J]. 农机化研究, 2017, 39(7):164-168.

- ZHANG Haixing, RU Yu. Self-propelled rotary wing air flow electrostatic spray boom sprayer performance test[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(7):164-168.
- [22] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 徐小杰, 王志国, 彭斌. 植保无人机航空喷施作业有效喷幅的评定与试验[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(7):82-90.
- CHEN Shengde, LAN Yubin, LI Jiyu, XU Xiaojie, WANG Zhi-guo, PENG Bin. Evaluation and Test of Effective Spraying of Aviation Spraying[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(7):82-90.
- [23] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 周志艳, 金济, 刘爱民. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(17):40-46.
- CHEN Shengde, LAN Yubin, LI Jiyu, ZHOU Zhiyan, JIN Ji, LIU Aimin. Effect of spray parameters of small unmanned helicopter on the distribution of canopy droplets in hybrid rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(17):40-46.
- [24] 秦维彩, 薛新宇, 周立新, 张宋超, 孙竹, 孔伟, 王宝坤. 无人直升机喷雾参数对玉米冠层雾滴沉积分布的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(5): 50-56.
- QIN Weicai, XUE Xinyu, ZHOU Lixin, ZHANG Songchao, SUN Zhu, KONG Wei, WANG Baokun. Effects of spraying parameters of unmanned aerial vehicle on droplets deposition distribution of maize canopies[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(5): 50-56.
- [25] 安乐平. 优化农药喷施技术[J]. *四川农业科技*, 2000(2):28-29.
- AN Pingle. Optimization of pesticide spraying technology[J]. *Sichuan Agricultural Technology*, 2000(2):28-29.
- [26] 周奋启, 董红刚, 陈银凤, 耿跃, 左希, 袁林泽, 康晓霞, 徐蕾, 潘志文, 李群. 不同植保机械喷雾雾滴沉积分布对小麦病害的防治效果[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(12):2275-2279.
- ZHOU Fenqi, DONG Honggang, CHEN Yinfeng, GENG Yue, ZUO Xi, YUAN Linze, KANG Xiaoxia, XU lei, PAN Zhiwen, LI Qun. Control effect of spray droplets deposition distribution of different plant protection machinery on wheat diseases[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(12):2275-2279.