



徐兵强, 宋博, 熊金铭, 高冠荣, 闫晓静, 樊丁宇, 朱晓锋. 植保无人机喷雾对枣树主要害虫防治效果评价 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 245-252.

植保无人机喷雾对枣树主要害虫防治效果评价

徐兵强¹, 宋 博¹, 熊金铭², 高冠荣², 闫晓静³, 樊丁宇⁴, 朱晓锋^{1*}

(1. 新疆农业科学院植物保护研究所, 农业农村部西北荒漠作物有害生物综合治理重点实验室, 特色林果产业国家地方联合工程研究中心, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业大学, 乌鲁木齐 830091; 3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 4. 新疆农业科学院园艺作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 为了解植保无人机低空低容量喷雾对枣园主要害虫的防治效果, 在植保无人机喷施农药后, 调查了对截形叶螨、枣瘿蚊的防治效果, 结果发现: 在供试飞行条件下, 药后 5 d 25% 环丙氯啶 (用药量为 300 g/hm²)、70% 吡虫啉 (用药量为 150 g/hm²) 对枣瘿蚊的防治效果最高, 分别为 87.73% 和 89.74%, 两处理之间无显著差异, 均与 22% 噻虫·高氯氟 (用药量为 375 g/hm²) 处理有显著性差异; 药后 13 d 30% 乙唑螨腈 (用药量为 262.5 g/hm²) 和 45% 螺虫·乙螨唑 (用药量为 105 g/hm²) 对不同方位枣树截形叶螨的防治效果在 90% 以上, 平均防治效果分别为 98.64% 和 93.95%, 两处理之间无显著差异, 与 1.8% 阿维菌素+20% 双甲脒 (用药量为 345 g/hm²+525 g/hm²) 有显著性差异; 各处理雾滴覆盖密度之间均无显著性差异。因此, 在生产中用植保无人机喷施 25% 环丙氯啶、70% 吡虫啉、30% 乙唑螨腈、45% 螺虫·乙螨唑对枣园枣瘿蚊和截形叶螨能起到良好的防控效果。

关键词: 植保无人机; 枣园; 截形叶螨; 枣瘿蚊; 防治效果

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 01-0245-08

Field evaluation of unmanned aerial vehicle (UAV) as sprayer for chemical control of the main pests in jujube orchard

XU Bing-Qiang¹, SONG Bo¹, XIONG Jin-Ming², GAO Guan-Rong², YAN Xiao-Jing³, FAN Ding-Yu⁴, ZHU Xiao-Feng^{1*} (1. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Local Joint Engineering Research Center of Special Forestry and Fruit Industry, Urumqi 830091, China; 2. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830091, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to clear the control effects of unmanned aerial vehicle (UAV) spraying against the main pests in jujube orchard, the control effects were investigated. The results showed that under the condition of selected operation parameters, the control effects of 25% cycloxyprid (300 g/hm²) and 70% imidacloprid (150 g/hm²) against *Dasineura datifolia* were the highest, with an average of 87.73% and 89.74% respectively on 5 days after application, which was significantly higher than that of 22% thiamethoxam · lambda-cyhalothrin, there was no significant difference between the two treatments. The

基金项目: 中央财政林业改革发展资金 (林业科技推广示范补贴) 项目 (新 [2018] TG08); 新疆红枣产业技术体系建设专项资金; 国家重点研发计划 (2016YFD0200703)

作者简介: 徐兵强, 男, 1980 年生, 甘肃人, 副研究员, 研究方向为果树病虫害综合治理, E-mail: xbps05@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 朱晓锋, 博士, 副研究员, 研究方向为果树病虫害综合防控, E-mail: zxf5117@163.com

收稿日期 Received: 2019-12-30; **接收日期** Accepted: 2020-04-22

control effects of 30% SYP-9625 (262.2 g/hm^2) and 45% spirotetramat • etoxazole (105 g/hm^2) against *Tetranychus truncatus* were above 90% at different parts of jujube tree, with an average of 98.64% and 93.95% respectively on 13 days after application, which was significantly higher than that of 1.8% abamectin + 20% amitraz ($345 \text{ g/hm}^2 + 525 \text{ g/hm}^2$), there was no significant difference between the two treatments. There was no significant difference in the droplet density. So used UAV spraying 25% cycloxyprid, 70% imidacloprid, 30% SYP-9625 and 45% spirotetramat • etoxazole against *Contarinia datifolia* and *T. truncatus* could achieve good control effects in production.

Key words: Unmanned aerial vehicle (UAV); jujube orchard; *Tetranychus truncatus*; *Contarinia datifolia*; control efficacy

我国是红枣种植大国,产量占世界红枣供给的90%以上。2009–2015年我国红枣种植面积每年都有所增加,2015年的种植面积达到近300万ha(刘金爱和刘丽红,2018)。自2012年以来新疆红枣产量一直位居全国第一,2015年占全国总产量的37.8%(胡芸莎等,2016)。从新疆红枣种植的分布区域来看,南疆已成为新疆乃至全国枣生产主栽区,也是枣栽培的最适宜区之一(吴翠云等,2016)。新疆枣树上发生的虫害主要有截形叶螨 *Tetranychus truncatus* Ehara、枣瘿蚊 *Contarinia datifolia* Jiang、枣球蜡蚧 *Eulecanium gigantea* (Shinji)、桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham 等(李兰等,2010;成玲玉等,2014;朱新帅等,2014;何稳稳等,2018),其中截形叶螨和枣瘿蚊发生最为普遍。如枣瘿蚊危害一般年份产量损失20%~30%(克热曼·赛米等,2013)。目前生产上主要使用大容量、粗雾滴机动高压喷雾器喷雾防治红枣主要病虫,这种作业方式用水量大、效率低,土壤环境和生态环境易受到污染和破坏。

近年来植保无人机在农业生产上的应用备受人们关注,与传统田间人工施药作业相比,植保无人机采用超低剂量喷雾方式作业,具有作业效率高、劳动强度低、施药人员安全系数高、适用性高、作物损伤小等优点(郭永旺等,2014;蒙艳华等,2014;刘浩蓬等,2016)。作为一种新型的植保机械,植保无人机在农药喷洒及病虫害防治方面的优势逐渐凸显,已经逐步成为小麦、玉米、水稻、果树等作物及农林病虫害防治的首选施药方式(胡红岩等,2018)。目前,植保无人机喷施作业技术在水稻、小麦、玉米等作物上的应用趋于成熟,但对果园喷雾作业的研究尚浅,难以满足林果产业现代化发展的迫切需求。枣树作为新疆主栽果树之一,已是新疆第二大林果产业。本

试验利用多旋翼植保无人机在红枣园进行喷施作业,评价对红枣主要害虫的防控效果,为红枣主要害虫安全高效防控提供应用依据,以满足新疆乃至全国红枣产业的生产需求。

1 材料与方法

1.1 枣瘿蚊防治试验

试验地概况: 试验设在新疆喀什疏勒县巴合齐乡12村,2007年定植枣树,株高70~90cm,冠幅为60~80cm,品种为骏枣,株、行距配置为1m×6m,面积约10ha的枣园。在供试枣园内,选取长势一致,约0.3ha为1个小区,共选4个小区。

飞行参数: 植保无人机使用大疆T16(深圳市大疆创新科技有限公司),喷头选取Teejet11001(美国喷雾系统公司),飞行高度(距树顶高度)2m,行距4.5m,用药液量 15 L/hm^2 ,飞行速度为5.8m/s。助剂使用甲基化植物油(倍达通,河北明顺农业科技有限公司),用量为 0.075 L/hm^2 (为总药液量的0.5%,下同)。

试验设置: 农药使用量按照地面常规喷雾农民常用剂量(或推荐使用剂量)使用,以药液用量 1500 L/hm^2 为准。处理1:25%环氧虫啉可湿性粉剂(上海生农生化制品股份有限公司),用量 300 g/hm^2 ;处理2:70%吡虫啉水分散粒剂(陕西格之路生物科技有限公司),用量 150 g/hm^2 ;处理3:22%噻虫·高氯氟微囊悬浮-悬浮剂(阿立卡,噻虫啉12.6%、高效氯氟氰菊酯9.4%,先正达苏州作物保护有限公司),用量 375 g/hm^2 ;以清水为对照。

防治效果调查: 药后第1、3、5、7天,分别在每小区内随机选取3株枣树,在每株枣树不同方位随机采集被害叶,带回室内在显微镜下统计

被害叶内枣瘿蚊幼虫的死亡数及活虫数, 每株枣树统计虫量在 100 头以上, 之后计算死亡率和防治效果, 计算公式如下。

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{\text{死亡虫数}}{\text{调查总虫数}} \times 100$$

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{\text{防治区害虫死亡率} - \text{对照区害虫死亡率}}{1 - \text{对照区害虫死亡率}} \times 100$$

1.2 枣树截形叶螨防治试验

试验地概况: 试验设在新疆喀什疏附县吾库萨克乡 4 村, 2005 年定植、长势一致的枣园, 株高 5~6 m, 冠幅 3~4 m, 品种为灰枣, 株、行距配置为 1 m × 6 m, 面积约 15 ha, 每小区面积约 0.3 ha。

飞行参数: 植保无人机使用大疆 T16, 喷头选取 Teejet11001, 飞行高度 2 m, 行距 4.5 m, 飞行速度为 5.0 m/s, 用药液量 22.5 L/hm²。助剂使用甲基化植物油, 用量为 0.1125 L/hm²。

试验设置: 农药使用量按照地面常规喷雾农民常用剂量 (或推荐使用剂量) 的 70% 使用, 以药液用量 1 500 L/hm² 为准。处理 1: 30% 乙唑螨腈悬浮剂 (宝卓, 沈阳科创化学有限公司), 用

量 262.5 g/hm²; 处理 2: 45% 螺虫·乙唑啉悬浮剂 (30% 螺虫乙酯、15% 乙唑啉, 东莞市瑞德丰生物科技有限公司), 用量 105.0 g/hm²; 处理 3: 1.8% 阿维菌素乳油 (天津汉邦植物保护有限公司) + 20% 双甲脒乳油 (青岛凯源祥化工有限公司), 用量 345 g/hm² + 525 g/hm²; 以清水为对照。

防治效果调查: 药前在每个小区选择 3 株枣树, 将每株枣树树冠分为东、西、南、北 4 个方位和上、下 2 层, 共 8 个采样点。每采样点定 1 枝约 20 cm 的枝条, 调查枝条内截形叶螨的虫量。药前调查虫口基数 (700 头以上), 药后 1、3、5、7、9、13 d 再次调查每枝条内截形叶螨数量, 并统计防治效果。

$$\text{虫口减退率}(\%) = \frac{\text{防治前活虫数} - \text{防治后活虫数}}{\text{防治前活虫数}} \times 100$$

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{\text{防治区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}}{1 - \text{对照区虫口减退率}} \times 100$$

1.3 雾滴密度测定

在上述小区内分别选取 3 株枣树, 每株设 8 个采样点 (具体设置见 1.2 防治效果调查), 每采样点布置雾滴覆盖密度测试卡。喷雾结束后, 收取雾滴覆盖密度测试卡, 带回实验室利用 “DePosit scan” 软件 (美国农业部) 测定雾滴覆盖密度。

1.4 数据处理方法

数据处理利用 SPSS 25.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 对枣瘿蚊的防治效果

通过植保无人机喷施不同药剂, 统计不同处理枣瘿蚊防治效果及雾滴覆盖密度, 25% 环氧虫啉、70% 吡虫啉 2 个处理对枣瘿蚊的防治效果较好, 施药后 3 d, 防治效果均达到 85% 以上, 与处理 3 (22% 噻虫·高氯氟) 有显著性差异; 施药后

5 d, 处理 1 和 2 的防治效果达到最高, 分别为 87.73% 和 89.74%, 与处理 3 有显著性差异; 施药后 7 d, 各处理防治效果略有下降, 其中 25% 环氧虫啉防治效果最高为 83.26%, 与 22% 噻虫·高氯氟处理有显著性差异。通过分析枣树树冠雾滴覆盖密度可知, 3 个处理的平均雾滴覆盖密度分别为 25.42 个/cm²、23.71 个/cm² 和 26.25 个/cm², 三者之间无显著性差异。综上所述在红枣实际生产中可以应用 25% 环氧虫啉和 70% 吡虫啉进行植保无人机防控枣瘿蚊, 且防治效果较好, 可达 85% 以上。(表 1)

1.5 对截形叶螨的防治效果

植保无人机喷施药剂后, 枣树截形叶螨数量均有不同程度下降; 其中喷施 30% 乙唑螨腈和 45% 螺虫·乙唑啉后, 截形叶螨数量下降较大, 最高达 98.20%, 其虫口减退率与喷施 1.8% 阿维菌素 + 20% 双甲脒和清水对照有显著差异, 但 2 个处理之间的虫口减退率无显著性差异; 喷施 1.8%

阿维菌素 + 20% 双甲脒药剂后截形叶螨虫口减退率较低, 最大虫口减退率为 46.40%, 但与清水对照处理均有显著性差异; 而清水对照处理在施药

后截形叶螨数量逐渐升高, 药后 9 d, 虫口数量增加 36.56%。(表 2)

表 1 植保无人机喷施不同药剂对枣瘿蚊的防治效果

Table 1 Control efficiency of different pesticides sprayed with unmanned aerial vehicle (UAV) against *Contarinia datifolia*

供试药剂 Pesticides	用量 (g/hm ²) Spray volume	平均雾滴覆盖 密度 (个/cm ²) Average droplet density ± SE	校正防治效果 (%) Correction of control efficacy (%) ± SE			
			药后 1 d	药后 3 d	药后 5 d	药后 7 d
25% 环氧虫啉可湿性粉剂 25% Cycloxyprid WP	300	25.42 ± 3.55 a	53.66 ± 2.79 c	87.24 ± 3.25 a	87.73 ± 5.64 a	83.26 ± 4.48 a
70% 吡虫啉水分散粒剂 70% Imidacloprid WG	150	23.71 ± 8.15 a	83.58 ± 1.20 a	85.50 ± 6.36 a	89.74 ± 6.09 a	76.79 ± 17.53 ab
22% 噻虫·高氯氟悬浮-悬浮剂 22% Thiamethoxam · Lambda-cyhalothrin CS-SC	375	26.25 ± 3.45 a	69.25 ± 5.26 b	35.98 ± 3.00 b	43.72 ± 6.91 b	41.87 ± 3.61 b

注: 表中同列标有相同字母表示无显著性差异 (LSD, $P=0.05$), 下同。Note: Data with the same letter were no significant difference in the same column. The same below.

表 2 植保无人机施药后截形叶螨虫口变化情况

Table 2 Change of population of *Tetranychus truncatus* after spraying pesticides with UAV

供试药剂 Pesticides	平均虫口 基数 (头/株) Average initial population number	平均虫口减退率 (%) ± SE Average reducing rate (%) ± SE					
		1 d	3 d	5 d	7 d	9 d	13 d
30% 乙唑螨腈悬浮剂 30% Acetonitrile SC	895.67	27.11 ± 1.65 a	59.67 ± 2.09 a	75.87 ± 1.39 a	85.64 ± 1.42 a	89.56 ± 1.34 a	98.20 ± 0.09 a
45% 螺虫·乙螨唑悬浮剂 45% Spirotetramat · Etoazole SC	887.67	20.68 ± 7.15 a	30.20 ± 7.70 b	54.70 ± 10.42 a	66.18 ± 10.70 a	78.77 ± 7.85 a	92.13 ± 3.14 a
1.8% 阿维菌素乳油 + 20% 双甲脒乳油 1.8% Abamectin EC + 20% Amitraz EC	832.33	5.54 ± 3.55 b	4.74 ± 6.12 c	25.63 ± 6.07 b	33.55 ± 4.82 b	34.49 ± 4.52 b	46.40 ± 10.01 b
CK	758.33	-18.81 ± 2.90 c	-19.17 ± 2.68 d	-17.68 ± 8.41 c	-30.71 ± 8.81 c	-36.56 ± 3.99 c	-32.18 ± 5.78 c

随着时间推移, 各处理防治效果逐渐增加, 其中 30% 乙唑螨腈和 45% 螺虫·乙螨唑对枣树截形叶螨防治效果较好; 施药后 5 d, 30% 乙唑螨腈防治效果达 79.12%, 药后 7 d 为 88.87%, 药后 13 d 防治效果达到最高, 为 98.64%, 与 1.8% 阿维菌素 + 20% 双甲脒处理均有显著性差异, 但与

45% 螺虫·乙螨唑处理无显著性差异; 药后 9 d 45% 螺虫·乙螨唑对枣树截形叶螨的校正防治效果为 84.14%, 药后 13 d 达到最高, 为 93.95%, 与 1.8% 阿维菌素 + 20% 双甲脒处理均有显著性差异, 但与 30% 乙唑螨腈处理无显著性差异; 1.8% 阿维菌素 + 20% 双甲脒处理防治效果较差, 最高

防治效果为 58.73%；3 个处理平均雾滴覆盖密度分别为 20.03 个/cm²、13.86 个/cm²和 19.62 个/cm²，三者之间无显著性差异。(表 3)

综上所述在红枣实际生产中可以应用 30% 乙唑螨腈和 45% 螺虫·乙螨唑进行植保无人机防控枣树截形叶螨，且防治效果较好，可达 90% 以上。

表 3 植保无人机喷施不同药剂对截形叶螨的防治效果
Table 3 Control efficiency of different pesticides sprayed with UAV against *Tetranychus truncatus*

供试药剂 Pesticides	用药量 (g/hm ²) Spray volume	平均雾滴覆盖 密度 (个/cm ²) Average droplet density ± SE	校正防治效果 (%) ± SE Correction of control efficacy (%) ± SE					
			1 d	3 d	5 d	7 d	9 d	13 d
30% 乙唑螨腈悬浮剂 30% Acetonitrile SC	262.5	20.03 ± 2.02 a	38.64 ± 0.58 a	66.19 ± 1.27 a	79.12 ± 2.72 a	88.87 ± 1.50 a	92.30 ± 1.17 a	98.64 ± 0.09 a
45% 螺虫·乙螨唑悬浮剂 45% Spirotetramat · Etoxazole SC	105.0	13.86 ± 4.27 a	32.87 ± 7.61 ab	41.49 ± 5.85 b	60.91 ± 9.25 a	73.22 ± 9.23 a	84.14 ± 6.20 a	93.95 ± 2.46 a
1.8% 阿维菌素乳油 + 20% 双 甲脒乳油 1.8% Abamectin EC + 20% Amitraz EC	345 + 525	19.62 ± 6.09 a	20.53 ± 1.60 b	19.76 ± 6.92 c	36.81 ± 2.15 b	49.11 ± 2.14 b	51.88 ± 4.00 b	58.73 ± 9.30 b

2.3 无人机施药在枣树不同方位的雾滴覆盖均匀度及防治效果

通过植保无人机喷施药剂后，在乙唑螨腈处理中，不同方位雾滴覆盖密度间存在差异显著性，树冠南部叶片雾滴密度为 42.92 个/cm²，显著大于树冠东部、西部和北部叶片雾滴覆盖密度，药后第 5 天南部截形叶螨的防治效果最高，为 88.71%，显著大于对树冠北部叶螨的防治效果，但施药 7 d 后，各方位防治效果无显著性差异，药

后 13 d 各方位截形叶螨防治效果达到最高，在 95% 以上；在阿维菌素 + 双甲脒处理中，树冠西部叶片的雾滴覆盖密度最高，为 33.37 个/cm²，与树冠北部叶片的雾滴覆盖密度有显著性差异，药后 9 d，树冠西部截形叶螨的防治效果最高，为 75.36%，与树冠北部叶螨的防治效果仍有显著性差异；而在螺虫·乙螨唑处理中各方位的雾滴覆盖密度和防治效果均无显著性差异，药后 13 d 各方位防治效果达到最高，均在 90% 以上 (表 4)。

表 4 不同处理不同方位截形叶螨的防治效果和雾滴覆盖密度
Table 4 Droplet density and control efficiency of different pesticides at different parts of jujube tree against *Tetranychus truncatus*

供试药剂 Pesticides	方位	平均雾滴覆盖密度 (个/cm ²) Average droplet density ± SE	校正防治效果 (%) ± SE Correction of control efficacy (%) ± SE			
			5 d	7 d	9 d	13 d
30% 乙唑螨腈悬浮剂 30% Acetonitrile SC	东 E	18.23 ± 2.96 b	80.53 ± 4.15 ab	89.11 ± 5.36 a	92.36 ± 4.61 a	98.27 ± 0.62 a
	西 W	15.13 ± 6.94 b	77.62 ± 2.49 ab	92.21 ± 1.78 a	96.02 ± 0.66 a	98.69 ± 0.70 a
	南 S	42.92 ± 14.01 a	88.71 ± 5.95 a	90.45 ± 5.45 a	91.55 ± 2.91 a	99.08 ± 0.13 a
	北 N	3.85 ± 0.13 b	67.70 ± 8.32 b	82.54 ± 0.63 a	89.32 ± 2.90 a	99.12 ± 0.61 a
	上 Up	22.73 ± 6.46 ab	76.87 ± 1.10 ab	88.27 ± 1.41 a	92.58 ± 0.96 a	98.50 ± 0.26 a
	下 Down	17.33 ± 3.76 b	80.91 ± 4.74 ab	89.52 ± 1.54 a	91.97 ± 2.18 a	98.74 ± 0.11 a

续表 4 Continued table 4

供试药剂 Pesticides	方位	平均雾滴覆盖密度 (个/cm ²) Average droplet density ± SE	校正防治效果 (%) ± SE Correction of control efficacy (%) ± SE			
			5 d	7 d	9 d	13 d
45% 螺虫·乙螨唑悬浮剂 45% Spirotetramat · Etoxazole SC	东 E	18.15 ± 6.33 a	68.42 ± 3.45 a	83.16 ± 3.32 a	84.53 ± 4.35 a	95.91 ± 0.76 a
	西 W	9.33 ± 4.93 a	58.90 ± 7.71 a	72.91 ± 6.33 a	86.97 ± 2.47 a	92.44 ± 2.80 a
	南 S	17.98 ± 7.35 a	47.54 ± 28.35 a	64.28 ± 19.22 a	77.10 ± 13.30 a	91.97 ± 6.88 a
	北 N	9.95 ± 1.18 a	67.45 ± 9.08 a	71.52 ± 10.45 a	86.80 ± 7.42 a	94.24 ± 1.35 a
	上 Up	18.35 ± 6.89 a	60.19 ± 13.10 a	70.79 ± 10.30 a	84.31 ± 6.29 a	93.31 ± 2.73 a
	下 Down	9.36 ± 1.71 a	60.13 ± 7.62 a	75.77 ± 8.28 a	83.75 ± 6.10 a	94.61 ± 2.22 a
1.8% 阿维菌素乳油 + 20% 双甲脒乳油 1.8% Abamectin EC + 20% Amitraz EC	东 E	16.00 ± 4.36 ab	25.63 ± 5.91 b	36.51 ± 9.45 b	43.78 ± 13.91 bc	53.29 ± 13.86 ab
	西 W	33.37 ± 10.16 a	57.38 ± 2.01 a	63.30 ± 2.08 a	74.21 ± 1.66 a	75.36 ± 4.29 a
	南 S	20.77 ± 11.05 ab	32.74 ± 16.80 ab	53.46 ± 13.78 ab	57.94 ± 3.04 ab	54.21 ± 7.97 ab
	北 N	8.35 ± 0.64 b	29.18 ± 5.92 b	38.80 ± 6.48 b	23.49 ± 7.46 c	40.04 ± 16.07 b
	上 Up	22.98 ± 4.57 ab	31.71 ± 3.11 b	49.35 ± 3.06 ab	56.93 ± 4.41 ab	64.73 ± 9.60 ab
	下 Down	16.27 ± 7.87 ab	40.54 ± 6.40 ab	47.92 ± 4.96 ab	44.46 ± 5.38 bc	51.12 ± 11.12 ab

注: 表中同处理同列标中有相同字母表示无显著性差异 (LSD, $P=0.05$)。Note: Data with the same letter were no significant difference in the same column and the same treatment.

3 结论与讨论

在供试飞行参数条件下, 25% 环氧虫啉 (用药量为 300 g/hm²)、70% 吡虫啉 (用药量为 150 g/hm²) 对枣瘿蚊的防治效果可达 85% 以上, 最高可达 89.74%; 30% 乙唑螨腈 (用药量为 262.5 g/hm²) 和 45% 螺虫·乙螨唑 (用药量为 105 g/hm²) 对不同方位枣树截形叶螨的防治效果可在 90% 以上, 平均防治效果最高达 98.64%。由此可知, 植保无人机使用上述药剂完全可以应用于红枣生产中对枣瘿蚊和枣树截形叶螨的防控, 并能起到良好的防治效果。而 22% 噻虫·高氯氟和 1.8% 阿维菌素 + 20% 双甲脒不宜用于植保无人机施药防治枣瘿蚊和枣树截形叶螨。

与传统地面喷雾相比, 植保无人机除作业效率高、节约人力物力外, 还可节约农药使用量和用水量, 且作业不受作物长势和地形的限制 (姜尚易等, 2017)。在本研究中植保无人机飞行参数为行距 4.5 m, 飞行速度为 5.0 ~ 5.8 m/s, 用药液量在 15.0 ~ 22.5 L/hm², 由此计算植保无人机作业效率为 22.5 ~ 26.1 m²/s; 以每天净作业时间以

4 h 为计, 每天可作业 32.40 ~ 37.58 hm²/台·天; 而地面人工高压喷枪喷雾作业效率在 2 ~ 3 hm²/台·天, 用药液量在 1 500 ~ 2 250 L/hm²。植保无人机的作业效率为地面人工喷雾的 12.56 ~ 16.20 倍, 并可节省水量 1 485 ~ 2 227.5 L/hm²。由此可知在红枣病虫害防治中植保无人机在作业效率、节省用水量方面也显现出极大的优势。据上述结果, 植保无人机喷雾对枣瘿蚊和截形叶螨也取得了良好的防治效果 (分别可达 89.74% 和 98.64%)。因此, 植保无人机在防治红枣主要害虫方面, 必将受到红枣种植者的喜爱, 其应用前景广阔。

影响航空喷施效果的因素有很多, 如机型、喷嘴型号、喷雾压力、喷施角度、环境因素、作业高度、作业速度、药剂配方、药剂浓度等因素都会影响雾滴在植物表面的分布 (廖娟等, 2015)。而在截形叶螨防治试验中, 同处理不同枣树方位间的雾滴沉积密度存在显著性差异现象, 主要原因可能是树形、长势的影响, 但这一推测还有待进一步研究。

在防治枣树截形叶螨试验中, 农药使用量按照地面常规喷雾农民常用剂量 (或推荐使用剂量) 的 70% 使用, 其防治效果仍达 90% 以上, 最高可

达 98.64%, 防治效果良好。可能有以下几个原因: 一是在植保无人机喷雾时添加了飞防助剂; 二是植保无人机喷雾提高了农药利用率; 三是植保无人机喷雾高浓度农药更有利于药剂发挥对害虫的杀灭效果。这与何玲 (2017)、高赛超 (2018) 等所做的在无人机施药过程中添加助剂可以减少雾滴飘移、提高农药利用率、减少农药使用量结果是一致的。类似的研究结果还有, 在植保无人机防控棉蚜时, 加入总药液量 1.5% 的飞防助剂能增加防治效果, 并能减少 30% 的农药用量 (赵冰梅等, 2017); 在植保无人机防治玉米锈病时添加助剂后, 在减量 30% 时达到正常用药量的防治效果 (张龙等, 2018); 王明等报道植保无人机喷雾农药利用率要比传统的大容量喷雾的农药利用率高 9.7% ~ 24.5% (王明等, 2019)。但是, 高浓度农药是否更有利于对害虫的防治, 还有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Cheng LY, Adili STR, Zhang JP. A preliminary report on pest mites and their natural enemies in Xinjiang jujube orchards [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2014, 2: 144 – 152. [成玲玉, 阿地力·沙塔尔, 张建萍. 新疆枣园害螨和天敌种类调查及其发生动态研究 [J]. *新疆农业大学学报*, 2014, 2: 144 – 152]
- Gao SC, Zhou XX, Qin WC, et al. Using a wind tunnel test to evaluate the effect of spray adjuvant on droplet drift during aerial low volume insecticide spraying [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (4): 654 – 658. [高赛超, 周晓欣, 秦维彩, 等. 利用风洞评价助剂对杀虫剂航空喷雾雾滴飘移的影响 [J]. *应用昆虫学报*, 2018, 55 (4): 654 – 658]
- Guo YH, Yuan HZ, He XK, et al. Development and prospect analysis of agricultural aviation plant protection in China [J]. *China Plant Protection*, 2014, 10: 78 – 82. [郭永旺, 袁会珠, 何雄奎, 等. 我国农业航空植保发展概况与前景分析 [J]. *中国植保导刊*, 2014, 10: 78 – 82]
- He L, Wang GB, Hu T, et al. Influences of spray adjuvants and spray volume on the droplet deposition distribution with unmanned aerial vehicle (UAV) spraying on rice [J]. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44 (6): 1046 – 1052. [何玲, 王国宾, 胡韬, 等. 喷雾助剂及施药量对植保无人机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响 [J]. *植物保护学报*, 2017, 44 (6): 1046 – 1052]
- He WW, Shang BC, Rezv AL, et al. Hazard risk analysis of *Carposina sasakii* Matsumura in Xinjiang jujube orchards [J]. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 2018, 41 (4): 20 – 22. [何稳稳, 尚北晨, 热孜宛古丽·艾力, 等. 桃小食心虫在新疆枣园发生危害风险分析 [J]. *新疆农垦科技*, 2018, 41 (4): 20 – 22]
- Hu HY, Ren XL, Jiang WL, et al. Pesticide spray distribution of plant protection UAV in cotton field [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2018 (5): 59 – 64. [胡红岩, 任相亮, 姜伟丽, 等. 植保无人机棉田喷洒农药沉积分布研究 [J]. *华中农业大学学报*, 2018 (5): 59 – 64]
- Hu YS, Bai BW, Wang W. Present development situation of red jujube industry in Xinjiang and relative countermeasures and suggestion [J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2016 (6): 21 – 24. [胡芸莎, 白宝伟, 王伟. 新疆红枣产业发展现状与对策建议 [J]. *新疆农机化*, 2016 (6): 21 – 24]
- Kerm SM, Yue ZY, Nur GL, et al. Risk analysis of *Contarinia* sp. in Xinjiang [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41 (6): 107 – 109. [阚热曼·赛米, 岳朝阳, 努尔古丽, 等. 枣瘿蚊在新疆的风险分析 [J]. *江苏农业科学*, 2013, 41 (6): 107 – 109]
- Li L, Adili STR, Pan CD, et al. Study on growth and decline law and control of *Dasineura datifolia* Jiang in Aksy [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2010 (1): 36 – 39. [李兰, 阿地力·沙塔尔, 潘存德, 等. 枣叶瘿蚊在阿克苏市的消长规律及其防治研究 [J]. *新疆农业大学学报*, 2010 (1): 36 – 39]
- Liao J, Zang Y, Zhou ZY, et al. Quality evaluation method and optimization of operating parameters in crop aerial spraying technology [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (Transactions of the CSAE), 2015, 31 (Suppl. 2): 38 – 46. [廖娟, 臧英, 周志艳, 等. 作物航空喷施作业质量评价及参数优选方法 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31 (S2): 38 – 46]
- Liu HP, Long CJ, Hu B, et al. Designing an unmanned multi-rotor spray aircraft [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2016, 3: 140 – 144. [刘浩蓬, 龙长江, 胡奔, 等. 一种无人多旋翼喷雾飞行器的设计 [J]. *华中农业大学学报*, 2016, 3: 140 – 144]
- Liu JA, Liu LH. Current situation and countermeasures on jujube industry in China [J]. *Forestry Economics*, 2018, 40 (12): 57 – 59. [刘金爱, 刘丽红. 我国红枣产业发展现状与对策 [J]. *林业经济*, 2018, 40 (12): 57 – 59]
- Lou SY, Xue XY, Gu W, et al. Current status and trends of agricultural plant protection unmanned aerial vehicle [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39 (12): 1 – 6. [娄尚易, 薛新宇, 顾伟, 等. 农用植保无人机的研究现状及趋势 [J]. *农机化研究*, 2017, 39 (12): 1 – 6]
- Meng YH, Zhou GQ, Wu CB, et al. Application and primary popularization of plant protection UAV in China [J]. *China Plant Protection*, 2014 (S1): 33 – 39. [蒙艳华, 周国强, 吴春波, 等. 我国农用植保无人机的应用与推广探讨 [J]. *中国植保导刊*, 2014 (S1): 33 – 39]
- Wu CY, Chang HW, Lin MJ, et al. Current situation and problem discussion on jujube industry in Xinjiang [J]. *Northern Fruits*, 2016 (6): 41 – 44. [吴翠云, 常宏伟, 林敏娟, 等. 新疆枣产业发展现状及其问题探讨 [J]. *北方果树*, 2016 (6): 41 – 44]
- Wang M, Wang X, He L, et al. Deposition distribution of pesticide droplets over the tea canopy and control efficiency against *Empoasca flavescens* sprayed by unmanned aerial vehicle (UAV) [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (1): 62 – 68, 87. [王明, 王希, 何玲, 等. 植保无人机低空低容量喷雾在茶园的雾滴沉积分布及对茶小

绿叶蝉的防治效果 [J]. 植物保护, 2019, 45 (1): 62 – 68, 87]

Zhang L, Ma JL, Chen SM, *et al.* Primary influences on spray droplet distribution and control effects against the corn rust using multi – rotor UAV on corn [J]. *Applied Engineering Technology*, 2018, 9: 84 – 87. 张龙, 马金龙, 陈树茂, 等. 小型多旋翼无人机在玉米植株上雾滴沉积分布及对玉米锈病防治效果的影响初探 [J]. 农业工程技术, 2018, 9: 84 – 87]

Zhao BM, Zhang Q, Zhu YY, *et al.* Application effect in control of aphides in cotton fields on multi – rotor UAV [J]. *China Plant*

Protection, 2017, 37 (2): 61 – 63. [赵冰梅, 张强, 朱玉永, 等. 多旋翼植保无人机在棉蚜防治中的应用效果 [J]. 中国植保导刊, 2017, 37 (2): 61 – 63]

Zhu XS, Wang DY, Yu JN. Genetic variation of *Eulecanium giganteum* (Shinji) geographical populations and its cor-relations with ecological factors [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 5: 1267 – 1273. [朱新帅, 王登元, 于江南. 新疆枣球蜡蚧地理种群的遗传变异与生态因子的相关性 [J]. 生态学杂志, 2014, 5: 1267 – 1273]