

DOI: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2022.12.004

# 库尔勒香梨无人机授粉不同喷施量 雾滴沉积分布研究\*

王雨晴<sup>1</sup>, 苏永峰<sup>1</sup>, 全绍文<sup>1</sup>, 马红喜<sup>1</sup>, 刘艳<sup>2</sup>, 位杰<sup>2</sup>, 鲁晓燕<sup>1</sup>

(1 石河子大学农学院, 特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室, 新疆 832003)

(2 新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所)

**摘要** 为了探究无人机授粉不同喷施量对疏散分层形库尔勒香梨授粉效果的影响, 优化无人机授粉作业参数。通过设置无人机授粉不同梯度喷施量, 比较各处理的雾滴效果, 并进行田间授粉验证试验, 比较库尔勒香梨不同授粉方式的坐果率、授粉成本、授粉效率。结果表明: 在飞行速度 3 m/s、风速小于 2.0 m/s 的条件下, 四旋翼无人机(极飞 XP 2020)授粉飞行高度距树顶 1 m、喷头雾化粒径 120 μm、飞行路线在树顶上方、疏散分层形库尔勒香梨无人机授粉喷施量为每 667 m<sup>2</sup> 2 L 时, 雾滴粒径、雾滴覆盖率、雾滴密度、雾滴沉积量等雾滴沉积效果较佳; 田间授粉验证试验表明, 无人机授粉与人工授粉的花序坐果率和花朵坐果率均无显著差异; 无人机授粉的成本更低, 每 667 m<sup>2</sup> 较人工授粉节约 51.76% 的成本, 授粉效率更高, 是人工授粉的 40 倍。

**关键词** 库尔勒香梨; 无人机; 授粉; 喷施量; 雾滴沉积分布; 坐果率

中图分类号: S661.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-8047(2022)12-0020-06

## Study on the deposition distribution of 'Korla fragrant pear' by UAV pollination with different spraying volume

WANG Yuqing<sup>1</sup>, SU Yongfeng<sup>1</sup>, QUAN Shaowen<sup>1</sup>, MA Hongxi<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>2</sup>, WEI Jie<sup>2</sup>, LU Xiaoyan<sup>1</sup>

(1 College of Agriculture, Shihezi University, Key Laboratory of Characteristic Fruit and Vegetable Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization of Corps, Xinjiang 832003) (2 Agricultural Science Research Institute of the Second Division of Xinjiang Construction Corps)

**Abstract** In order to explore the effect of different spraying rates on the pollination effect of the evacuation layered 'Korla fragrant pear' unmanned aerial vehicle (UAV), the parameters of the UAV pollination operation were optimized. By setting the spray volume of different gradients, comparing the droplet effect of each treatment, optimizing the UAV operation parameters and conducting field operations, the fruit set rate, cost and efficiency of different pollination methods of 'Korla fragrant pear' were compared. The results showed that at the flight speed of 3 m/s, under the condition of wind speed less than 2.0 m/s, the pollination flight height of the quadrotor UAV (XAG XP 2020) was 1 m from the top of the tree, the nozzle atomization particle size was 120 μm, and the flight route was above the top of the tree, the quadrotor UAV (XAG XP 2020) has the best comprehensive effect of droplet size, droplet coverage, droplet density and droplet deposition when the spray volume was 2 L per 667 m<sup>2</sup>; field pollination verification showed that there was no significant difference in inflorescence fruiting rate and flower fruiting rate between UAV pollination and manual pollination; the cost of UAV pollination saved 51.76% per 667 m<sup>2</sup> compared with manual pollination, and the pollination efficiency is 40 times that of manual pollination.

**Key words** 'Korla fragrant pear'; UAV; pollination; spraying volume; droplet deposition distribution; fruit set percentage

库尔勒香梨是原产于新疆的优质特色梨品种, 入选中国国家地理标志产品、中国农业品牌目录、

中欧地理标志协定首批保护清单等, 地域优势强, 市场认可度高, 贮藏保鲜效果好, 是当地农业增效、

本文于 2022-04-18 收到, 2022-05-09 收到修改稿。

\*新疆生产建设兵团 2020 年重点研发计划重点领域科技攻关计划项目 (2021AB016)。

王雨晴电话: 15769000760, E-mail: 765189476@qq.com; 鲁晓燕为通信作者, E-mail: lxysz@126.com。

农民增收的支柱产业<sup>[1]</sup>。目前, 库尔勒香梨生产园的树形主要有自由纺锤形和疏散分层形, 以疏散分层形居多<sup>[2-3]</sup>。库尔勒香梨自花授粉结实率低, 授粉质量是决定库尔勒香梨产量与品质的关键环节<sup>[4-5]</sup>。传统授粉方式有人工授粉、液体喷雾器授粉等, 随着库尔勒香梨种植集约化, 传统授粉方式已经不能满足库尔勒香梨标准化生产模式<sup>[6-7]</sup>, 并且随着劳动力成本上涨, 人工授粉生产成本不断增加, 提高库尔勒香梨授粉效率和质量是梨农和科研工作者的所盼所急<sup>[8]</sup>。

无人机作为一种新型的飞行器在农业生产中具有巨大的潜力<sup>[9]</sup>。近 10 多年来, 由于农村劳动力短缺, 国内市场对高效机械作业的需求越来越大<sup>[10-11]</sup>。无人机突破了传统地面机械作业存在的局限性, 具有作业效率高、复杂地形适应性强、操作安全、劳动力投入成本低等独特优势, 在农林业中应用范围不断扩大, 无人机授粉技术也逐渐利用到生产中<sup>[12]</sup>。汪沛等<sup>[13]</sup>、李继宇等<sup>[14]</sup>对水稻的无人机授粉作业进行了研究, 山核桃<sup>[15]</sup>、杉木<sup>[16]</sup>、玉米<sup>[17]</sup>等作物也有采用无人机授粉的研究。梨树上已尝试了无人机授粉作业, 羊坚等<sup>[18]</sup>研究了库尔勒香梨无人机辅助液体授粉最佳花粉液参数, 王士林等<sup>[19]</sup>研究了多旋翼无人机的梨树喷雾授粉技术。由于开展授粉作业的无人机服务公司缺乏梨树农艺知识, 目前市场上运营的无人机服务公司对授粉作业的基本参数设定大多参考无人机打药设定, 技术实施存在盲目性。为了推动此项技术落实落地, 需要技术部门提出具体的技术参数为决策和技术推广作依据。因此, 本研究针对疏散分层形梨园、树形高大授粉具有局限性、劳动力不足无法满足花期授粉效率等问题, 筛选库尔勒香梨四旋翼无人机(极飞 XP 2020)授粉, 比较不同喷施量的雾滴沉积分布效果及不同授粉方式的授粉效果, 以期提高库尔勒香梨授粉质量和作业效率, 为库尔勒香梨的优质高效栽培提供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验材料为电动四旋翼无人机(极飞 XP 2020, 新疆科飞农业综合服务有限公司操作, 表 1)、水敏纸 3.5 cm × 11 cm(重庆六六山下植保科技有限公司)、SM5398 型风速风向一体传感器(上海搜博实业有限公司)、鸭梨花粉(昌盛花粉来自山东省

莱阳市顺新果业有限公司, 腾鑫花粉来自河北腾鑫梨花粉合作社)、黄原胶溶液(张绍铃团队研发, 购买于库尔勒市和顺市场)。

表 1 极飞 XP 2020 无人机主要性能指标

主要参数	数值
型号	3WWDZ-20A
整机尺寸	1 380 mm × 1 355 mm × 552 mm
电池容量	18 000 mAh
整机净重	26.6 kg
最大起飞重量	46.6 kg
药液箱额定容量	20 L
作业飞行速度	0 ~ 12 m/s
喷洒幅宽	4.5 m
雾化粒径	85 ~ 550 μm
离心雾化喷头数量	4 个
离心雾化喷头型号	SNZ-18000A

2021 年 3 月 18 日至 4 月 6 日在新疆生产建设兵团第二师农业科学研究所基地进行无人机授粉喷施量筛选试验, 4 月 6—17 日在新疆生产建设兵团第二师 28 团湖心村及 29 团园 14 连进行库尔勒香梨授粉验证试验。供试材料为库尔勒香梨, 砧木为杜梨, 树龄 20 ~ 30 年, 树形为疏散分层形, 南北行向, 行株距为 5 m × 4 m。

### 1.2 试验设计与方法

#### 1.2.1 无人机授粉水敏纸采样点设计

以疏散分层形的树高以及行株距布置水敏纸, 每个处理面积为 0.33 ~ 0.40 hm<sup>2</sup>, 采用五点取样法选取 5 株树, 垂直方向距离地面 1.5 m 处设置 1 个水平面(图 1-A), 根据行株距, 每株树都在东、西、南、北 4 个方向搭建 4 个 1.8 m 的木杆, 分别在距离主干 0.45、0.9、1.35、1.8 m 的位置设置采样点(图 1-B)。采样点上用图钉固定 8 cm × 15 cm 的泡沫板, 3.5 cm × 11 cm 的水敏纸用大头针固定在泡沫板上, 水敏纸用铅笔做好标记。

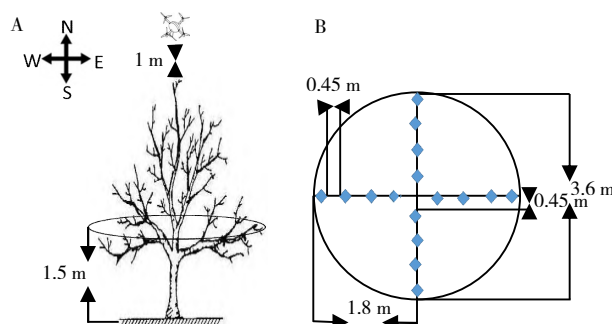


图 1 水敏纸采样点

### 1.2.2 无人机授粉喷施量试验参数设计

无人机(极飞 XP 2020)喷施量设置 3 个梯度, 分别为每 667 m<sup>2</sup> 喷施 1.0、1.5、2.0 L 花粉液, 飞行高度设置距树顶 1 m, 喷头雾化粒径设置 120 μm, 飞行路线设计为在树顶上方飞行(表 2)。花粉液的配制: 按照每 667 m<sup>2</sup> 喷施 1.0、1.5、2.0 L 水中加

入黄原胶溶液 100 g 和花粉 8 g, 搅拌均匀, 即可加入无人机中喷洒授粉。花粉需要先进行振荡溶解, 再加入到无人机机箱进行定量。从库尔勒香梨盛花始期即开花量达到 25% 时开始授粉, 至开花量达 75% 的盛花末期完成授粉, 整个花期分 2 次完成授粉。

表 2 无人机喷施量筛选试验设计

667 m <sup>2</sup> 喷施量	667 m <sup>2</sup> 花粉	667 m <sup>2</sup> 黄原	飞行高度	喷头雾化粒径	飞行路线	飞行速度	环境风速	环境温度
/L	用量/g	胶用量/g	/m	/μm		/(m/s)	/(m/s)	/°C
1.0	8	100	距树顶 1.0	120	树上	3	1.0	24.6
1.5	8	100	距树顶 1.0	120	树上	3	2.1	25.0
2.0	8	100	距树顶 1.0	120	树上	3	1.0	25.0

### 1.2.3 田间授粉验证试验参数设计

以筛选出的最优喷施量作为作业参数, 在树形为疏散分层形的库尔勒香梨园进行授粉验证试验。试验设计无人机授粉(按照每 667 m<sup>2</sup> 喷施量 2 L, 加入黄原胶溶液 100 g、花粉 8 g, 混合均匀后加入无人机中喷洒授粉, 总面积 2 hm<sup>2</sup>)、人工授粉(将花粉和淀粉以 1:6 的比例混合后, 均匀装入丝袜中, 将丝袜绑于长杆顶端, 在花枝上方抖动丝袜进行授粉, 总面积 1 hm<sup>2</sup>)、自然授粉(没有人为干预, 总面积 0.27 hm<sup>2</sup>) 3 个处理(表 3)。

表 3 田间验证试验处理与设计

授粉方式	地点	建园时间/年	试验面积/m <sup>2</sup>
无人机授粉	29 团园 14 连	2000	3 335
	29 团园 14 连	2000	3 335
	28 团湖心村	2000	6 670
	28 团湖心村	2000	6 670
人工授粉	29 团园 14 连	2000	3 335
	29 团园 14 连	2000	3 335
	28 团湖心村	2000	1 334
	28 团湖心村	2000	2 001
自然授粉	29 团园 14 连	2000	667
	29 团园 14 连	2000	667
	28 团湖心村	2000	667
	28 团湖心村	2000	667

### 1.2.4 坐果率、授粉成本和授粉效率统计

授粉当天每个处理随机选取 3 株树势强健的树, 每株树选取上中下 3 层, 每层分为 4 个方向的枝条, 统计每个枝条的花序数量、花朵数量并挂牌标记。在 4 月 25 日至 5 月 1 日果实纵径 6~8 mm、横径 4~5 mm 时统计坐果花序数及花朵坐果数。授粉成本和授粉效率通过调查计算取得, 授粉效率为

每人/每台无人机每天(有效授粉时间为 7:00—12:00)的授粉面积。

$$\text{花序坐果率}(\%) = (\text{坐果花序数} / \text{总花序数}) \times 100$$

$$\text{花朵坐果率}(\%) = (\text{总果数} / \text{总花朵数}) \times 100$$

$$\text{每 667 m}^2 \text{ 授粉成本}(\text{元}) = (\text{花粉单价} \times \text{花粉用量}) + \text{人工费用}(\text{无人机服务费})$$

### 1.3 数据采集与处理

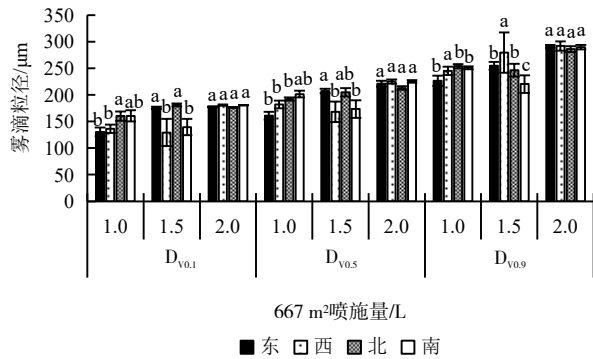
用扫描仪(HP laserjet Pro M1136 MFP)扫描收集到的水敏纸, 通过 DepositScan 软件对水敏纸上的雾滴进行分析。统计雾滴在 4 个方向接收到的雾滴粒径  $D_{v0.1}$ 、 $D_{v0.5}$ 、 $D_{v0.9}$  [其中  $D_{va}$  表示将 1 次喷雾过程中全部雾滴的体积从小到大顺序累加, 当累加值等于全部雾滴体积的  $(a \times 100)\%$  时所对应的雾滴粒径值]<sup>[20]</sup> 及雾滴覆盖率、雾滴密度、雾滴沉积量, 采用 DPS 7.05 对数据进行方差分析, 用 Tukey 法比较各处理间的差异显著性 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同花粉液喷施量对雾滴粒径的影响

由图 2 可知, 喷施量为每 667 m<sup>2</sup> 2.0 L 时, 雾滴粒径  $D_{v0.1}$  在东、西方向均显著高于每 667 m<sup>2</sup> 喷施量 1.0 L 处理, 分别高 36.17%、32.44%, 在北、南方向二者差异均不显著; 在西、南方向显著高于每 667 m<sup>2</sup> 喷施量 1.5 L 处理, 分别高 39.77%、29.59%, 在东、北方向二者差异均不显著。喷施量为每 667 m<sup>2</sup> 1.5 L 时, 雾滴粒径  $D_{v0.1}$  在东方向显著高于每 667 m<sup>2</sup> 喷施量 1 L 处理, 在西、北、南方向二者间均无显著差异。喷施量为每 667 m<sup>2</sup> 2.0 L 时, 雾滴粒径  $D_{v0.5}$  在东、西、北方向均显著高于每 667 m<sup>2</sup> 喷施量 1.0 L 处理, 分别高 37.13%、23.57%、10.72%, 在南方向

二者无显著差异;在西、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.5 \text{ L}$  处理, 分别高  $33.83\%$ 、 $30.05\%$ , 在东、北方向二者间均无显著差异。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $1.5 \text{ L}$  时, 雾滴粒径  $D_{v0.5}$  在东方向显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 在西、北、南方向二者间均无显著差异。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2.0 \text{ L}$  时, 雾滴粒径  $D_{v0.9}$  在东、北、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0$ 、 $1.5 \text{ L}$  处理, 分别高  $28.63\%$ 、 $12.68\%$ 、 $15.50\%$  和  $14.47\%$ 、 $16.20\%$ 、 $31.54\%$ , 在西方向均无显著差异。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $1.5 \text{ L}$  时, 雾滴粒径  $D_{v0.9}$  在南方向显著低于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 在东、西、北方向二者间均无显著差异。



注: 不同小写字母表示同方向不同喷施量处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

图2 不同花粉液喷施量雾滴粒径的比较

对比不同喷施量处理的雾滴粒径效果, 各处理的喷雾系统设置参数一致, 初始雾滴粒径相同, 但是由于喷施量的不同使雾滴到水敏纸上粒径有所差异。雾滴落到同一高度后, 因为喷施量高使雾滴粒径较大, 受环境影响较小, 可以使花粉液体充分利用。

## 2.2 不同花粉液喷施量对雾滴覆盖率的影响

对于授粉而言, 雾滴覆盖率提高, 花粉接触柱头的几率也提高, 有助于提高授粉率。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2.0 \text{ L}$  时, 雾滴覆盖率在东、北、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 分别高出  $9.23$ 、 $1.32$ 、 $2.87$  倍, 在西方向二者无显著差异; 在西、北、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.5 \text{ L}$  处理, 分别高出  $2.84$ 、 $16.30$ 、 $12.31$  倍, 在东方向二者无显著差异。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $1.5 \text{ L}$  时, 雾滴覆盖率在西、南方向均显著低于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 在东、北方向二者均无显著差异 (图3)。

## 2.3 不同花粉液喷施量对雾滴密度的影响

由图4可知, 喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2.0 \text{ L}$  时, 雾滴

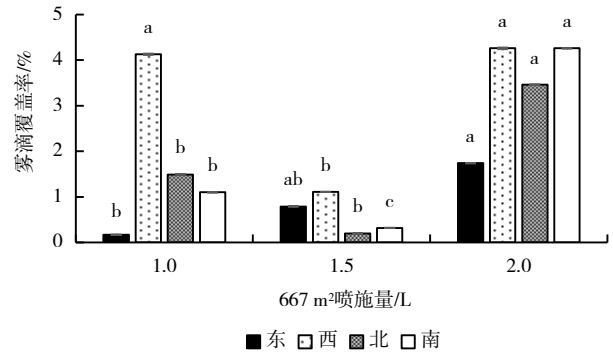


图3 不同花粉液喷施量雾滴覆盖率的比较

密度在东、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 分别高出  $2.47$ 、 $1.42$  倍, 在西、北方向二者间均无显著差异; 在北、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.5 \text{ L}$  处理, 分别高出  $11.11$ 、 $4.93$  倍, 在东、西方向二者间均无显著差异。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $1.5 \text{ L}$  时, 雾滴密度在南方向显著低于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 在东、西、北方向二者间均无显著差异。雾滴密度与雾滴覆盖率呈现相似的趋势, 雾滴密度高说明无人机喷雾单位面积下柱头数量增多, 柱头接触的雾滴数量多, 授粉质量提高, 可见喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2.0 \text{ L}$  处理效果较佳。

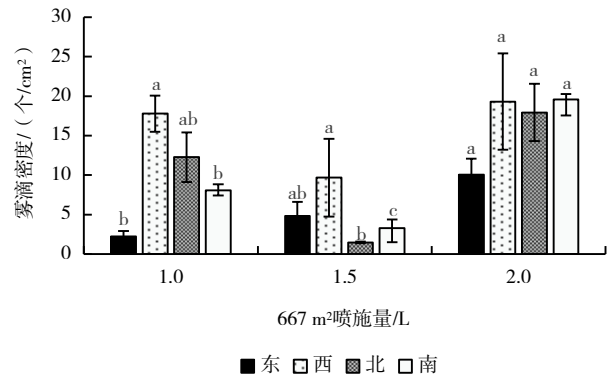


图4 不同花粉液喷施量雾滴密度的比较

## 2.4 不同花粉液喷施量对雾滴沉积量的影响

由图5可知, 喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2 \text{ L}$  时, 雾滴沉积量在东、北、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 分别高出  $11.79$ 、 $1.36$ 、 $3.15$  倍, 在西方向二者无显著差异; 在北、南方向均显著高于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.5 \text{ L}$  处理, 在东、西方向二者间均无显著差异。喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $1.5 \text{ L}$  时, 雾滴沉积量在南方向显著低于每  $667 \text{ m}^2$  喷施量  $1.0 \text{ L}$  处理, 在东、西、北方向二者间均无显著差异。雾滴沉积量反映了雾滴沉降到采集点的分布情况, 可见无人机喷雾授粉在喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2.0 \text{ L}$  时梨树冠层可以接触到的花粉溶液更多。

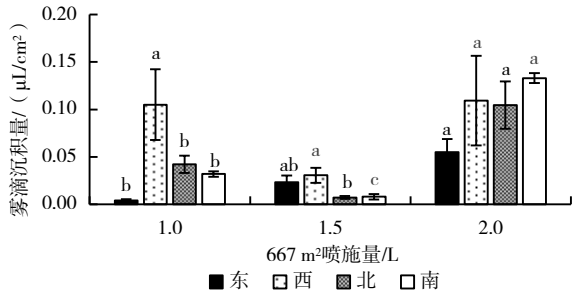
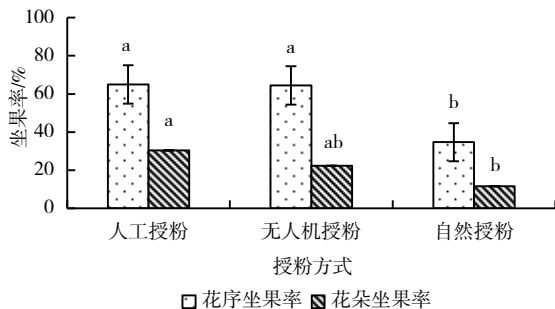


图5 不同花粉液喷施量雾滴沉积量的比较

## 2.5 不同授粉方式对坐果率及授粉成本、授粉效率的影响

如图6所示, 无人机授粉的花序坐果率为64.47%, 人工授粉的花序坐果率为64.96%, 二者之间无显著差异; 自然授粉的花序坐果率为34.73%, 显著低于人工授粉和无人机授粉。无人机授粉和人工授粉的花朵坐果率分别为22.40%、30.43%, 二者间无显著差异, 自然授粉的花朵坐果率仅为11.61%, 低于无人机授粉和人工授粉。相比于传统的人工授粉, 采用无人机授粉的花朵坐果率和花序坐果率均无显著差异, 说明四旋翼无人机授粉参数为每667 m<sup>2</sup>喷施量2.0 L适合疏散分层形库尔勒香梨授粉。



注: 不同小写字母表示不同授粉处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图6 不同授粉方式花序、花朵坐果率比较

据统计, 无人机授粉每667 m<sup>2</sup>成本为82元, 人工授粉为170元, 无人机授粉较人工授粉每667 m<sup>2</sup>节约51.76%的成本。无人机的授粉效率为13.33 hm<sup>2</sup>/d, 人工授粉为0.33 hm<sup>2</sup>/d, 无人机授粉效率是人工授粉的40倍。

## 3 讨论与结论

无人机喷施雾滴从空中向靶标作物叶片表面沉降的过程中, 无人机性能、飞行操作控制、气象条件、冠层结构等因素都会对沉积效果产生影响<sup>[21]</sup>。若是控制不当, 就会导致液体滴漏, 风速过大雾滴会漂移, 从而导致授粉效果降低<sup>[22]</sup>。本研究以四旋

翼无人机(极飞XP 2020)为授粉载体, 对库尔勒香梨开展了航空喷雾效果试验, 对比了3种喷施量下雾滴在库尔勒香梨冠层的沉积分布效果。结果表明, 喷施量为每667 m<sup>2</sup> 2.0 L时雾滴沉积效果最好, 这与郭爽等<sup>[20]</sup>在植保无人机航空施药雾滴沉积效果的研究不一致, 原因可能在于本试验对于库尔勒香梨授粉采用的是水加黄原胶配制成的营养液, 不会污染环境, 而植保无人机增加施药量不一定会增加效果, 反而使环境污染的风险加大。羊坚等<sup>[18]</sup>使用的是多旋翼无人机(大疆T20), 最佳喷施量为每667 m<sup>2</sup> 3.0 L, 说明不同机型无人机在授粉过程中作业参数不同。

四旋翼无人机(极飞XP 2020)的负载量是20 L, 在授粉工作中我们发现20 L的容量偏小, 需要反复配制液体花粉, 影响花粉在液体中的质量, 也使库尔勒香梨授粉工作效率下降<sup>[23]</sup>。因此, 还需要进一步研究比较不同机型、不同负载量的无人机对库尔勒香梨的授粉效果和授粉效率。

本研究中库尔勒香梨自然授粉花序坐果率为34.73%、花朵坐果率为11.61%, 这高于牛岭磊等<sup>[24]</sup>在库尔勒香梨不同授粉技术对果实坐果影响中的自然坐果率。一方面原因在于本试验的库尔勒香梨树龄为20~30年, 行株距为5 m×4 m, 牛岭磊等试验中库尔勒香梨为初果期树, 行株距为4.0 m×1.5 m, 因树龄和行株距不同, 所以自然坐果率不同; 另一方面, 因为试验地点不同, 气候条件会有差异, 本试验坐果花期时间长, 无风沙、降温、下雨天气, 气温适宜, 有利于花期自然授粉, 所以自然坐果率偏高。

本研究结果表明, 无人机授粉与人工授粉的花序坐果率和花朵坐果率均无显著差异, 但是无人机授粉较人工授粉的授粉效率更高, 授粉成本更低。库尔勒香梨无人机授粉有助于解决不良天气情况下花期短来不及授粉的问题; 同时降低了劳动强度及用工成本, 有助于解决劳动力成本高、花期劳动力紧缺的问题<sup>[25]</sup>。随着库尔勒香梨无人机授粉技术日趋成熟, 无人机授粉技术将在助力提高库尔勒香梨产业省力化、机械化、智能化生产水平中发挥更大的作用。

通过比较不同喷施量的雾滴粒径、雾滴覆盖率、雾滴密度和雾滴沉积量, 表明在风速小于2.0 m/s、无人机飞行高度距树顶1 m、喷头雾化粒径120

$\mu\text{m}$ 、飞行路线在树顶上方的作业条件下, 筛选出疏散分层形库尔勒香梨喷施量为每  $667 \text{ m}^2$   $2.0 \text{ L}$  授粉效果最佳。田间作业比较不同授粉方式的授粉效果, 库尔勒香梨无人机授粉的花序坐果率和花朵坐果率分别为  $64.47\%$  和  $22.40\%$ , 与人工授粉无显著差异。无人机授粉较人工授粉每  $667 \text{ m}^2$  节约  $51.76\%$  的成本, 授粉效率是人工授粉的 40 倍。

### 参考文献

- [1] 张峰, 蒋志琴, 陈小光, 等. 库尔勒香梨产业发展因素分析及对策建议. 中国农学通报, 2021, 37(34): 159-164.
- [2] 马建江, 王刚, 姜丰, 等. 兵团第二师库尔勒香梨主干形栽培模式生产现状及发展建议. 农业科技通讯, 2020(12): 296-297.
- [3] 丁想, 周伟权, 麦合木提·图如普, 等. 库尔勒香梨两种树形对果实品质及产量的影响. 北方园艺, 2021(8): 17-22.
- [4] 张绍铃, 贾兵, 吴俊, 等. 梨树授粉与花果管理关键技术. 中国南方果树, 2009, 38(1): 36-38.
- [5] 王宇. 梨树不同授粉技术影响果实发育、品质形成的机理研究. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [6] 杨丹丹. 不同授粉方式对黄金梨座果率的影响. 河南农业, 2012(15): 46.
- [7] 王兆龙, 王义菊, 姜福东, 等. 梨不同授粉措施的研究进展. 烟台果树, 2019(2): 3-4.
- [8] 羊坚, 刘长青, 冯宏祖, 等. 库尔勒香梨无人机液体授粉技术. 新疆农垦科技, 2021, 44(5): 29-30.
- [9] Singh V, Bagavathiannan M, Chauhan B S, et al. Evaluation of current policies on the use of unmanned aerial vehicles in Indian agriculture. Current Science, 2019, 117(1): 25-29.
- [10] He X K, Bonds J, Herbst A, et al. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(3): 18-30.
- [11] 王昌陵, 何雄奎, Bonds J, 等. 不同飞行参数下八旋翼植保无人机下洗气流场对雾滴沉积分布特性的影响. 智慧农业, 2020, 2(4): 124-136.
- [12] 陈梅香, 张瑞瑞, 陈立平, 等. 无人机农林业应用全球研究态势分析. 智慧农业, 2021, 3(3): 22-37.
- [13] 汪沛, 胡炼, 周志艳, 等. 无人油动力直升机用于水稻制种辅助授粉的田间风场测量. 农业工程学报, 2013, 29(3): 54-61, 294.
- [14] 李继宇, 周志艳, 胡炼, 等. 圆形多轴多旋翼电动无人机辅助授粉作业参数优选. 农业工程学报, 2014, 30(11): 1-9.
- [15] 汪继斌, 程建斌, 王年金, 等. 无人机辅助种间授粉对山核桃果实的直感效应. 福建林业科技, 2019, 46(3): 42-45.
- [16] 王邦富, 黄云鹏, 范繁荣, 等. 杉木种子园无人机辅助授粉效果分析. 福建林业科技, 2019, 46(2): 35-38.
- [17] 孔德生, 赵艳丽, 惠祥海, 等. 植保无人机辅助授粉提高玉米产量的方法与探索. 中国农技推广, 2019, 35(3): 32-33.
- [18] 羊坚, 杨慧鹏, 谢伟, 等. 库尔勒香梨无人机辅助液体授粉花粉液参数优选及经济效益分析. 果树学报, 2021, 38(10): 1691-1698.
- [19] 王士林, 雷晓晖, 唐玉新, 等. 基于多旋翼无人机的梨树喷雾授粉技术. 江苏农业科学, 2020, 48(23): 210-214.
- [20] 郭爽, 兰玉彬, 许童羽, 等. 寒地玉米植保无人机航空施药雾滴沉积效果研究. 沈阳农业大学学报, 2021, 52(4): 451-459.
- [21] 蒙艳华, 王美美, 姚伟祥. 植保无人飞机飞行速度对主干形果树喷雾作业效果的影响. 中国南方果树, 2021, 50(1): 96-99.
- [22] 王娟, 兰玉彬, 姚伟祥, 等. 单旋翼无人机作业高度对槟榔雾滴沉积分布与飘移影响. 农业机械学报, 2019, 50(7): 109-119.
- [23] 齐开杰, 陶书田, 吴巨友, 等. 梨树省力化液体授粉技术. 中国南方果树, 2017, 46(3): 168-169.
- [24] 牛岭磊, 张栋海, 吉光鹏, 等. 香梨不同授粉技术对果实坐果和果实品质的影响. 北方园艺, 2022(2): 40-46.
- [25] 郭梦, 张传辉. 植保无人机授粉技术在库尔勒香梨中的应用. 现代农业科技, 2021(5): 89-91.

### 欢迎订阅 2023 年《河北果树》

《河北果树》是河北省果树学会主办的果树专业技术期刊, 中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库收录期刊、河北省优秀科技期刊。主要刊登落叶果树的品种资源、栽培管理、病虫害防治、储藏加工等方面的新成果、新技术、新知识和新信息, 开设栏目有专题论述、试验研究、经验交流、百花园、工作历、广告与信息。本刊特色是通俗易懂、科学实用、技术先进、内容丰富、信息量大、可读性强、发行面广。读者对象为果树科研和推广人员、农林院校师生、各级涉农领导和广大果农。本刊国内外公开发行, 季刊, 每季首月 15 日出版, 国际标准大 16 开, 64 页, 彩色四封, 每期定价 5.00 元, 全年 4 期共 20.00 元。欢迎广大果农和果树科技工作者订阅 2023 年期刊, 同时真诚欢迎投稿和发布广告。可到当地邮局(所)订阅, 邮发代号 18-247。未能从邮局订上本刊的读者, 全年都可随时直接汇款至编辑部订阅, 免费邮寄。编辑部尚有 2004—2022 年期刊可邮购。地址: 河北省昌黎果树研究所《河北果树》编辑部, 邮编: 066600, 联系电话: 0335-2987632(兼传真), QQ: 2567147533, 电子邮箱: hbgshjb@sohu.com、2567147533@qq.com。