

油茶液体辅助授粉技术研究及应用*

徐安糠¹, 赵凯旋¹, 魏玮¹, 刘文平¹, 晏巧², 娄利华², 黄敦元¹

(1. 重庆师范大学重庆市媒介昆虫重点实验室, 重庆 401331; 2. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

摘要:为探索液体辅助授粉技术在油茶(*Camellia oleifera*)生产中的可行性和应用条件,于2020年9月—2022年3月先后在重庆秀山、酉阳以及湖南道县、江西鄱阳选取4个样地,为探索液体辅助授粉技术在油茶(*Camellia oleifera*)生产中的可行性和应用条件分别开展油茶人工和无人机液体辅助授粉的大田试验,并测算该技术与自然授粉的坐果率差值即坐果率提升效果。研究结果显示:1)在重庆秀山、湖南道县和江西鄱阳的样地采用人工液体辅助授粉后,油茶坐果率提升效果分别为24.45%、25.65%和14.08%,2)在江西鄱阳的样地采用人工液体辅助授粉后,不同油茶品种间的坐果率提升效果无统计学意义上的差异;3)在重庆酉阳的样地采用无人机液体辅助授粉后,油茶坐果率提升效果为5.63%~27.01%,无人机液体辅助授粉作业最佳的飞行高度和花粉稀释比分别为3.5 m和0.08%。研究结果提示相较于传统自然授粉途径,液体辅助授粉技术能有效提升油茶的坐果率从而弥补前者之不足;与人工液体辅助授粉相比,无人机液体辅助授粉操作方便、简单快捷、更适合在大面积山地开展。

关键词:油茶;液体辅助授粉;无人机;坐果率

中图分类号:Q94;S565.9

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2023)06-0122-07

油茶(*Camellia oleifera*)是山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)的一种木本油料作物^[1],广泛分布于中国湖南、江西、广西等省(自治区),现有种植面积约 $4.267 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[2]。预计到2025年,中国油茶种植面积将达到 $6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[3]。油茶的主产品是食用茶油,而它的副产品在医疗、洗护、工业生产等众多领域则有广泛应用^[4]。然而,因油茶具有自交不亲和性^[5]以及油茶在花期遭遇恶劣天气或传粉昆虫不足等因素的存在而导致的油茶花粉资源限制^[6],对整个油茶产业的可持续发展造成了不利影响。

授粉是自交不亲和和经济作物种植过程中的一个重要环节,自然授粉率不足是限制异花授粉并导致结实低下的主要原因之一,因此辅助授粉技术的适当介入显得尤为重要。辅助授粉技术主要有人工点授、喷粉法、液体辅助授粉等类型。人工点授、喷粉法费时费工成本高,不宜在生产中推广^[7];液体辅助授粉技术^[8]因具有高效便捷的优点,已被广泛应用于猕猴桃(*Actinidia chinensis*)^[9-10]、苹果(*Malus pumila*)^[11]、梨(*Pyrus sp.*)^[12-13]等经济作物的生产中。随着无人机产业高速发展,无人机已经被用于辅助授粉并有逐步替代人工辅助授粉的趋势。根据授粉方式的不同,无人机辅助授粉主要分成2种类型,分别是利用无人机风场进行授粉作业和利用无人机搭载喷雾箱结合液体辅助授粉技术作业^[14]。与人工液体辅助授粉技术相比,无人机液体辅助授粉技术可以有效避免因人工操作误差导致的植株上部授粉不足、授粉不均、遗漏喷施、重复喷施等缺点;还可以借助卫星导航实施作业,灵活性更强,并且可以克服人工山地作业中的困难。王士林等人^[15]利用无人机辅助液体授粉和传统人工方式来解决梨授粉不足的问题,发现尽管无人机授粉坐果率低于传统人工授粉方式,但与后者相比更有助于推进液体辅助授粉的机械化和高效化。目前,无人机辅助授粉在玉米(*Zea mays*)^[16]、梨^[12]和山核桃(*Carya cathayensis*)^[17]等经济作物上均取得良好效果。

基于上述背景,本研究在重庆秀山、酉阳以及湖南道县、江西鄱阳等地选取了油茶种植样地,运用人工液体辅助授粉和无人机液体辅助授粉这2种技术对盛花期的油茶进行辅助授粉操作,研究花粉液施用量、不同花粉

* 收稿日期:2022-08-28 修回日期:2022-10-07 网络出版时间:2023-06-25T17:30

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 31970484);“成渝地区双城经济圈建设”科技创新项目(No. KJXC2020021);重庆市科技兴林重大专项项目(No. ZD 2022-1);重庆市现代农业产业技术体系(No. CQMAITS202316)

第一作者简介:徐安糠,男,研究方向为农业与园艺,E-mail:948092594@qq.com;通信作者:黄敦元,男,教授,博士,E-mail:20170054@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20230625.1300.014

稀释比、无人机不同飞行高度等参数对油茶坐果率的影响,考察液体辅助授粉技术在油茶产业中的可行性与对油茶坐果率的提升效果,从而为后续液体辅助授粉技术在油茶产业中的深入应用提供科学依据和参考资料。

1 材料与方法

1.1 样地概况

于2020年9月—2022年3月油茶花期在重庆秀山、酉阳以及湖南道县、江西鄱阳等地设置4个样地分别命名为CQXS、CQYY、HNDX和JXPY,它们的基本信息如表1所示。4个样地所在地的气候条件如下:1)重庆秀山降水充沛,日照偏少,年平均气温为16℃,年平均降水量在1400mm左右,年日照时数为1213.7h;2)湖南道县温暖湿润,年平均气温为18.6℃,年平均降水量在1500mm左右,年日照时数约为1600h;3)江西鄱阳温暖湿润,年平均气温为16.9~17.7℃,年平均降水量在1550mm左右,年平均日照数达2098h;4)重庆酉阳全年雨量充沛,日照偏少,年平均气温为16.2℃,年平均降雨量为1000~1500mm,年平均日照时数为1131h。4个样地中位于江西鄱阳的样地JXPY管护措施较为精细,样地内分块种植,油茶品种区分清晰。

表1 样地基本信息

Tab. 1 The basic information of the plots

名称	所在地	经度	纬度	海拔/m	样地种植模式
CQXS	重庆市秀山县石堤镇	东经 109.23°	北纬 28.73°	526.0	粗放种植
CQYY	重庆市酉阳县五福镇	东经 109.11°	北纬 29.13°	360.0	粗放种植
HNDX	湖南省永州市道县	东经 111.57°	北纬 25.41°	198.0	粗放种植
JXPY	江西省上饶市鄱阳县	东经 116.88°	北纬 29.18°	60.0	精细种植

1.2 主要试剂及仪器设备

主要试剂有硼酸(上海麦克林生化科技股份有限公司生产)、磷酸二氢钾(重庆博艺化学试剂有限公司生产)、黄原胶(河南中辰生物科技有限公司生产)、蔗糖(安琪酵母股份有限公司生产)等,主要仪器设备有FA1004A型微量电子天平(上海精天电子仪器有限公司生产)、硫酸纸、花粉筛、实验标志牌、塑料农膜、铅笔、记号笔、电动喷雾器、极目EA-30X型植保无人机(苏州极目机器人科技有限公司生产)等,其中无人机的主要技术参数参见生产公司网站(<https://www.eav.top>),且该型号无人机为卫星定位,在划定作业范围后可自动巡航喷施,试验飞行喷洒流量为 $2000\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,飞行速度为 $2.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

1.3 试验方案

1.3.1 不同样地的人工液体辅助授粉试验

在CQXS、HNDX、JXPY等3个样地开展人工液体辅助授粉试验,将花粉稀释比为0.12%的花粉液装入人工背负式喷雾装置,然后进行人工喷施,花粉液喷量为 $225.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在每个样地内随机选择设置1个面积为 0.33 hm^2 的样方,从样方中随机标记30株盛花期油茶植株作为样树,并于每株标记油茶树两侧随机挑选2支位置相对、长势相近的花枝挂牌:一枝为试验花枝采用人工液体辅助授粉,另一枝为对照花枝采用自然授粉。

1.3.2 不同油茶品种人工液体辅助授粉试验

在JXPY样地开展人工液体辅助授粉作业,从该样地内选择赣兴48、赣无83-4、赣无1等3个油茶品种,每个品种均设置面积为 0.15 hm^2 的试验样方,从样方中随机标记10株盛花期油茶植株作为样树,并于每株标记油茶树两侧随机挑选2支位置相对、长势相近的花枝挂牌:一枝为试验花枝采用人工液体辅助授粉,另一枝为对照花枝采用自然授粉。该试验的具体参数如花粉稀释比、花粉液喷量等以及作业方式与1.3.1节相同。

1.3.3 无人机液体辅助授粉参数优选

在CQYY样地开展无人机液体辅助授粉作业,花粉液喷量为 $45.0\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在每个试验组设置面积为 0.06 hm^2 的样方,并从中随机挑选6株油茶树标记挂牌作为试验样树,在每株试验样树上选定6枝长势相近的花枝,其中3枝标记为试验花枝采用无人机液体辅助授粉,另外3枝作为对照花枝仅接受自然授粉。该试验的其他参数如表2所示。

表 2 油茶无人机液体辅助授粉参数选择设计

Tab. 2 The design of parameters selection on unmanned aerial vehicle (UAV) liquid assisted pollination in *C. oleifera*

试验名称	试验组	无人机 飞行高度/m	花粉 稀释比/%	试验名称	试验组	无人机 飞行高度/m	花粉 稀释比/%
最佳飞行高度筛选	F1	2.5	0.12	最佳花粉稀释比筛选	C2	3.5	0.08
	F2	3.5	0.12		C3	3.5	0.12
	F3	4.5	0.12		C4	3.5	0.16
最佳花粉稀释比筛选	C1	3.5	0.04		C5	3.5	0.20

1.4 试验方法

1.4.1 花粉收集

在试验开始前于 CQYY 样地收集新鲜油茶花粉,置于 4 °C 冰箱冷藏备用,并准备好试验所需其他材料。

1.4.2 油茶授粉液配制

参考前期工作^[18]配制油茶授粉液,其中黄原胶、蔗糖、硼酸和磷酸二氢钾的质量分数分别为 0.04%、10%、0.015% 和 0.3%。该授粉液在授粉作业前及时配置,以确保花粉的活性。

1.4.3 授粉作业与标记调查

完成上述准备工作后,于 2021 年 10 月 25 日至 10 月 30 日开展人工和无人机液体辅助授粉作业,此时正值油茶盛花期。在授粉作业时,首先按试验方案在样地内选择油茶植株进行标记,摘除选定的试验花枝与空白对照花枝上未开放的花苞,保证每个花枝上约有 30~40 朵盛开花朵,准确记录花朵数;并在完成挂牌记录工作后将对照花枝覆盖塑料农膜使之不接受液体辅助授粉。然后,在晴朗无风天气下于 9:00—15:00 开展喷施作业。无人机液体辅助授粉时设定好作业范围及相关参数,将提前准备好的油茶花粉与授粉液充分混匀后进行喷施。在喷施作业结束后,及时去除对照花枝上覆盖的塑料农膜使之接受自然授粉。于 2022 年 3 月统计挂牌植株的初果数并计算坐果率,即标记枝条的坐果花朵数与标记枝条的花朵数之比,以百分数表示。液体辅助授粉与自然授粉的座果率差值即为坐果率提升效果。

1.5 数据分析

采用 Excel 2019 软件对实验基础数据进行初步整理,所得数据以“平均值±标准差”形式表示;再通过 SPSS 22.0 软件中的单因素方差分析对数据进行统计分析,当 $p < 0.05$ 时,统计分析结果具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同样地对人工液体辅助授粉效果的影响

表 3 显示:在 3 个样地内,与自然授粉后的油茶坐果率相比,人工液体辅助授粉后油茶坐果率均有提升,其中 CQXS 样地与 HNDX 样地的坐果率提升效果没有统计学意义上的差异,但均高于 JXPY 样地的坐果率提升效果,且与后者的差异均有统计学意义($p < 0.05$)。

表 3 人工液体辅助授粉对油茶坐果率的影响

Tab. 3 Effects of liquid-assisted pollination on fruit setting rate of *C. oleifera*

样地名称	液体辅助授粉 坐果率/%	自然授粉 坐果率/%	坐果率 提升效果/%	样地名称	液体辅助授粉 坐果率/%	自然授粉 坐果率/%	坐果率 提升效果/%
CQXS	71.10±16.55	46.65±15.31	24.45±21.25 ^a	JXPY	69.87±17.50	55.79±15.67	14.08±17.19 ^b
HNDX	36.74±20.03	11.10±17.01	25.65±13.05 ^a				

注:不同小写字母表示坐果率提升效果的样地间(或组间)数据差异具有统计学意义($p < 0.05$),下同。

2.2 不同油茶品种对人工液体辅助授粉效果的影响

从表 4 可知:JXPY 样地中 3 个不同油茶品种在进行人工液体辅助授粉后的坐果率均高于自然授粉后的坐果率;虽然赣无 83-4 品种的坐果率提升效果最佳,但 3 个品种坐果率提升效果并无统计学意义上的差异。

表4 人工液体辅助授粉对不同品种油茶坐果率的影响

Tab. 4 Effects of liquid-assisted pollination on fruit setting rate of *C. oleifera* in different cultivars

油茶品种	液体辅助授粉 坐果率/%	自然授粉 坐果率/%	坐果率 提升效果/%	油茶品种	液体辅助授粉 坐果率/%	自然授粉 坐果率/%	坐果率 提升效果/%
赣兴 48	77.16±11.68	63.51±11.80	13.66±6.89 ^a	赣无 1	61.99±25.50	48.96±15.07	13.03±5.69 ^a
赣无 83-4	70.46±8.49	54.92±17.50	15.53±7.08 ^a				

2.3 无人机液体辅助授粉的最适飞行高度

表5显示:与自然授粉相比,无人机液体辅助授粉辅助更能提升油茶坐果率;随着无人机飞行高度的上升,液体辅助授粉对油茶坐果率的提升效果先上升后下降,即当无人机飞行高度过高或过低时均不能达到最理想的液体辅助授粉效果;在对油茶进行无人机液体辅助授粉作业时,3.5 m是最适飞行高度。

表5 不同飞行高度对无人机授粉效果的影响

Tab. 5 Effects of different flying altitude on pollination of UAV

试验组	飞行高度/m	无人机液体辅助授粉坐果率/%	自然授粉坐果率/%	坐果率提升效果/%
F1	2.5	26.51±12.69	20.88±11.78	5.63±7.80 ^b
F2	3.5	44.40±24.62	23.00±14.95	21.40±12.76 ^a
F3	4.5	25.03±10.57	8.28±7.16	16.75±5.60 ^{ab}

2.4 无人机液体辅助授粉的最适花粉稀释比

由表6可知,当花粉稀释比为0.04%时,无人机液体辅助授粉对油茶坐果率的提升效果最差。随着花粉稀释比值的上升,花粉液中花粉数量增多,无人机液体辅助授粉对油茶坐果率的提升效果也逐渐转佳,但当花粉稀释比达到0.08%以后,坐果率提升效果不再随着花粉液中花粉数量的增加而表现出统计学意义上的差异,因此无人机液体辅助授粉的最适花粉稀释比为0.08%。

表6 不同花粉稀释比对无人机授粉效果的影响

Tab. 6 Effects of different pollen dilution ratios on pollination of UAV

试验组	花粉稀释比/%	无人机液体辅助授粉坐果率/%	自然授粉坐果率/%	坐果率提升效果/%
C1	0.04	25.47±10.31	13.51±10.66	11.96±9.00 ^b
C2	0.08	42.98±18.00	27.79±15.68	15.19±13.33 ^{ab}
C3	0.12	36.99±18.41	17.28±8.17	19.71±10.09 ^{ab}
C4	0.16	44.81±16.05	23.21±17.19	21.61±11.06 ^{ab}
C5	0.20	47.57±13.32	20.56±10.81	27.01±8.43 ^a

3 讨论与结论

液体辅助授粉在经济作物生产中的应用近些年来被广泛报道^[19],在猕猴桃^[9-10]、苹果^[11]、梨^[12-13]等作物生产中取得了良好效果。相较于传统的人工点授方法,液体辅助授粉具有可控性更强、人工成本低、适宜大面积操作等优点^[11]。液体辅助授粉可将花粉液中的花粉传输到柱头上完成授粉,同时花粉液中的蔗糖、硼酸、磷酸二氢钾等物质也可为花粉提供营养并促进花粉萌发^[20]。此外,花粉液中各种成分被喷洒到花朵上,使得附着有花粉粒的柱头获得了更好的发育条件,有助于成功坐果;而花粉液中的蔗糖与黄原胶是吸引昆虫访花的有效“报酬”,能吸引更多传粉昆虫到访花朵并达到异花授粉的效果^[21]。在本研究中,人工液体辅助授粉在重庆秀山、湖南道县、江西鄱阳等地的油茶种植样地均取得了较好的效果,与自然授粉相比,坐果率分别提升了24.45%、25.65%和14.08%;无人机液体辅助授粉在重庆酉阳的油茶种植样地也取得了较好的效果,与自然授粉相比,坐果率提升了5.63%~27.01%。由此可见,人工和无人机液体辅助授粉技术均能明显提升油茶坐果率,有助于油茶的异花授粉。

本研究在重庆秀山、湖南道县、江西鄱阳等地所选择的 3 个样地具有广泛的代表性,它们均位于油茶适生区^[22]。人工液体辅助授粉对油茶坐果率提升的效果在重庆秀山和湖南道县的样地要明显好于在江西鄱阳的样地,这与不同样地的管理水平和油茶的主栽品种有一定的关系:在江西鄱阳的样地,精细化管理使得当地油茶植株长势良好,自然授粉坐果率偏高,因而人工液体辅助授粉的坐果率提升效果相对较差;而在重庆秀山与湖南道县的样地,管理比较粗放,自然授粉坐果率较低,因而人工液体辅助授粉的坐果率提升效果相对较好。另外在本研究中,坐果率提升效果数据普遍存在方差过大的情况,其中主要原因仍与油茶品种及不同样地的管理水平存在差异有关,因此后续研究将进一步细化油茶品种并统一样地之间的管理水平。本研究还在江西鄱阳的样地选择了赣兴 48 号、赣无 83-4 号、赣无 1 号等 3 个当地油茶良种进行了坐果率的比较,结果显示人工液体辅助授粉对 3 个品种的坐果率提升效果不存在统计学意义上的差异,说明这一技术在不同受试品种间具有普适性。

近些年来,无人机辅助授粉技术在农业生产方面得到广泛应用,如应用无人机风场进行杂交水稻(*Oryza sativa*)制种^[23]以及应用无人机进行液体辅助授粉^[24]。前一种辅助授粉技术是利用无人机飞行时产生的风场将父本花粉吹向母本柱头完成授粉;后一种辅助授粉技术则是通过花粉液喷施实现目标作物的辅助授粉,并在梨^[12]、山核桃^[17]、莲雾(*Syzygium samarangense*)^[25]、荔枝(*Litchi chinensis*)^[25]、柑桔(*Citrus reticulata*)^[26]等作物生产中得到了有效应用。本研究采用极目 EA-30X 型植保无人机进行野外作业并对无人机飞行高度与授粉花粉液的花粉稀释比进行分组试验,以便进一步优化作业参数。与在水稻授粉作业中利用无人机风场吹起花粉从而实现授粉的方式^[27]不同,油茶的无人机辅助授粉是利用液体喷雾方式进行花粉传输,因而飞行高度过低会导致作业效果不佳:当作业无人机飞行高度为 2.5 m 时,花粉液喷雾受螺旋桨风力影响无法顺利落到花朵上,过强的风场也会造成油茶树体晃动并导致部分花朵结构受损,还容易导致自花花粉对柱头的覆盖和堵塞从而对油茶异花授粉造成限制;当作业无人机飞行高度达 4.5 m 时,花粉液喷雾容易受到自然风的影响而不能有效粘附到油茶花的柱头,坐果率提升效果数值开始下降;而当飞行高度在 3.5 m 时,作业无人机产生的风场对油茶林的影响较小,花粉液喷雾顺利抵达花朵,坐果率提升效果最佳,且未对油茶树体、枝条造成明显损伤。

本研究结果显示,在进行无人机液体辅助授粉时,花粉液的花粉稀释比对坐果率提升效果有一定影响。虽然花粉液中花粉数量的增加会提高坐果率,但同时也使新鲜花粉的收集成本加大,因此实际应用中在不影响辅助授粉效果的情况下,采用相对较低花粉稀释比(0.08%)无疑是最佳的选择。在本研究中,无人机作业的花粉液喷量大大低于人工作业的花粉液喷量,这主要与无人机所携带的喷施桶容量与无人机单次飞行电量相对受限有关,但也反映出在液体辅助授粉中,无人机作业比人工作业更加节约成本。本研究还发现,尽管相同花粉稀释比条件下无人机液体辅助授粉对油茶坐果率的提升效果不及人工液体辅助授粉,但前者稳定性好且可以有效覆盖整个油茶植株,便于野外大面积操作。另外,无人机液体辅助授粉作业中喷雾雾滴粒径相对更小,雾滴沉积分布差异更大^[28],且授粉更加均匀、可控性更强。

总之,本研究结果表明人工和无人机液体辅助授粉均能有效提升油茶的坐果率,可有效弥补油茶自然授粉之不足。与人工液体辅助授粉相比,无人机液体辅助授粉操作方便、简单快捷、更适合在大面积山地开展。

参考文献:

- [1] SU R, DONG Y, DONG K, et al. The toxic honey plant *Camellia oleifera* [J]. Journal of Apicultural Research, 2012, 51(3): 277-279.
- [2] 王金凤, 谭新建, 吴喜昌, 等. 我国油茶产业发展现状与对策建议 [J]. 世界林业研究, 2020, 33(6): 80-85.
WANG J F, TAN X J, WU X C, et al. Development status and suggestions of *Camellia* industry in China [J]. World Forestry Research, 2020, 33(6): 80-85.
- [3] 迟诚, 康勇军. 扎实推动油茶产业实现高质量发展: 全国油茶产业发展工作会议在江西赣州召开 [J]. 中国林业产业, 2019(11): 10-11.
CHI C, KANG Y J. Promoting the high quality development of *Camellia* oil industry: the national conference on the development of camellia oil industry was held in Ganzhou, Jiangxi [J]. China Forestry Industry, 2019(11): 10-11.
- [4] 李志钢, 马力, 陈永忠, 等. 我国油茶籽的综合利用现状概述 [J]. 绿色科技, 2018(6): 191-194.
LI Z G, MA L, CHEN Y Z, et al. Study on the comprehensive utilization of oil-tea *Camellia* seed [J]. Journal of Green Science and Technology, 2018(6): 191-194.
- [5] LIAO T, YUAN D Y, ZOU F, et al. Self-sterility in *Camellia oleifera* may be due to the prezygotic late-acting self-

- incompatibility[J]. PLoS one,2014,9(6):e99639.
- [6] 黄敦元,何波,谷平,等.油茶传粉昆虫研究现状与方向的探讨[J].环境昆虫学报,2017,39(1):213-220.
HUANG D Y, HE B, GU P, et al. Discussion on current situation and research direction of pollination insects of *Camellia oleifera* [J]. Journal of Environmental Entomology, 2017, 39(1): 213-220.
- [7] 李乾明,李晓春,罗颖,等.油茶不同授粉方式对其经济性状的影响[J].南方林业科学,2019,47(5):28-30.
LI Q M, LI X C, LUO Y, et al. The effect of different pollination methods on the economic characters of *Camellia oleifera* [J]. South China Forestry Science, 2019, 47(5): 28-30.
- [8] 吴旭.苹果、梨树液体授粉新技术[J].四川果树科技,1987(2):57.
WU X. New technology of liquid pollination of apple and pear trees [J]. Southwest Horticulture, 1987(2): 57.
- [9] YANO T, MIYATA N, MATSUMOTO H. The use of liquid pollen extender thickened with polysaccharides for artificial pollination of kiwifruit [J]. Acta Horticulturae, 2007, 753(1): 415-423.
- [10] 陈建业,李占红,宁玉霞.猕猴桃液体授粉花粉液制备技术研究[J].中国农学通报,2015,31(7):86-90.
CHEN J Y, LI Z H, NING Y X. Study on the preparation technology of pollen suspension liquid for spray pollination of *Actinidia chinensis* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(7): 86-90.
- [11] 王久照,充攀,姜继元.荒漠绿洲交错带苹果园授粉技术研究[J].干旱区资源与环境,2021,35(2):149-155.
WANG J Z, YAN P, JIANG J Y. Study on pollination techniques of apple orchards in desert and oasis ecotone [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(2): 149-155.
- [12] 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[J].果树学报,2021,38(10):1691-1698.
YANG J, YANG H P, XIE W, et al. Parameter optimization and economic analysis of unmanned aerial vehicle(UAV) assisted liquid pollination for Kuerlexiangli pear [J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(10): 1691-1698.
- [13] 齐开杰,陶书田,吴巨友,等.梨树省力化液体授粉技术[J].中国南方果树,2017,46(3):168-169.
QI K J, TAO S T, WU J Y, et al. Pear tree labor-saving liquid pollination technology [J]. South China Fruits, 2017, 46(3): 168-169.
- [14] LIU A M, ZHANG H Q, LIAO C M, et al. Effects of supplementary pollination by single-rotor agricultural unmanned aerial vehicle in hybrid rice seed production [J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(3): 543-547.
- [15] 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[J].江苏农业科学,2020,48(23):210-214.
WANG S L, LEI X H, TANG Y X, et al. Spray pollination technology of pear tree based on multi-rotor UAV [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(23): 210-214.
- [16] 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[J].中国农技推广,2019,35(3):32-33.
KONG D S, ZHAO Y L, HUI X H, et al. Methods and exploration of plant protection drone-assisted pollination to increase corn yield [J]. China Agricultural Technology Extension, 2019, 35(3): 32-33.
- [17] 程建斌,汪继斌,王年金,等.无人机辅助授薄壳山核桃花粉对山核桃的结实效应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(4):199-202.
CHENG J B, WANG J B, WANG N J, et al. The fruit-xenia effects of *Carya illinoensis* pollination on *C. cathayensis* assisted by unmanned aerial vehicle (UAV) [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 43(4): 199-202.
- [18] 徐安糠,陆欢欢,晏巧,等.油茶花粉液配方初探[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2021,38(6):129-136.
XU A K, LU H H, YAN Q, et al. Primary exploration on pollinating solution of *Camellia oleifera* [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2021, 38(6): 129-136.
- [19] DHEHIBI B, SALAH M B, FRIJA A, et al. Predicting farmers' willingness to adopt liquid pollination and polycarbonate drying house technologies: a case study from the date palm growers in the sultanate of oman [J]. Sustainable Agriculture Research, 2018, 7(4): 18-30.
- [20] 王书贵.磷酸二氢钾对油茶保花保果作用试验[J].新农业,2021(24):64-65.
WANG S G. Effect of potassium dihydrogen phosphate on flower and fruit protection of *Camellia oleifera* [J]. Modern Agriculture, 2021(24): 64-65.
- [21] 王玉祥,李陈建,张博.喷施蔗糖和里那醇对苜蓿花部特征、结荚率和种子产量的影响[J].干旱区资源与环境,2019,33(2):189-193.
WANG Y X, LI C J, ZHANG B. Effect of spraying sucrose and linalool solution on the floral characteristics, pod rate and seed

- yield of alfalfa[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(2):189-193.
- [22] 崔相艳, 王文娟, 杨小强, 等. 基于生态位模型预测野生油茶潜在分布[J]. *生物多样性*, 2016, 24(10):1117-1128.
CUI X Y, WANG W J, YANG X Q, et al. Potential distribution of wild *Camellia oleifera* based on ecological niche modeling [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(10):1117-1128.
- [23] 王湘南, 陈永忠, 王瑞, 等. 油茶主栽品种的开花授粉习性[J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(12):1-6.
WANG X N, CHEN Y Z, WANG R, et al. Flowering and pollinating specifications of *Camellia oleifera* cultivars[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2013, 33(12):1-6.
- [24] 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[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11):1-9.
LI J Y, ZHOU Z Y, HU L, et al. Optimization of operation parameters for supplementary pollination in hybrid rice breeding using round multi-axis multi-rotor electric unmanned helicopter [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(11):1-9.
- [25] 姚伟祥, 兰玉彬, 王娟, 等. 单旋翼电动无人机对莲雾及荔枝喷雾效果的试验[J]. *中国南方果树*, 2019, 48(6):64-71.
YAO W X, LAN Y B, WANG J, et al. Investigation of effect of spray with single-rotor electric UAV on wax apple and litchi trees[J]. *South China Fruits*, 2019, 48(6):64-71.
- [26] 黄俊源, 陆成确, 黄运鹏, 等. 柑桔园六旋翼油动无人机喷雾作业效果[J]. *中国南方果树*, 2021, 50(6):32-36.
HUANG J Y, LU C Q, HUNAG Y P, et al. Spray effect of six-rotor oil-powered UAV in citrus orchard[J]. *South China Fruits*, 2021, 50(6):32-36.
- [27] 李继宇, 周志艳, 兰玉彬, 等. 旋翼式无人机授粉作业冠层风场分布规律[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(03):77-86.
LI J Y, ZHOU Z Y, LAN Y B, et al. Distribution of canopy wind field produced by rotor unmanned aerial vehicle pollination operation[J]. *Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(3):77-86.
- [28] WANG S L, SONG J L, HE X K, et al. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China[J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2017, 10(4):22-31.

Study and Application of Liquid Pollination Technology of *Camellia oleifera*

XU Ankang¹, ZHAO Kaixuan¹, WEI Wei¹, LIU Wenping¹,
YAN Qiao², LOU Lihua², HUANG Dunyuan¹

(1. Chongqing Key Laboratory of Vector Insects, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 400036, China)

Abstract: In order to explore the application of liquid assisted pollination technology in the production of *Camellia oleifera*, four sample plots were selected successively in Xiushan County and Youyang County in Chongqing, Daoxian County in Hunan and Poyang County in Jiangxi from September 2020 to March 2022, liquid pollination had been carried out successively. Field experiments of artificial liquid pollination and unmanned aerial vehicle(UAV) liquid pollination of *C. oleifera* were carried out in *C. oleifera* production, and the difference in fruit setting rate between this technology and natural pollination were calculated, which is the effect of improving fruit setting rate. The results showed that: 1) in Xiushan, Chongqing, Daoxian, Hunan and Poyang, Jiangxi, artificial liquid assisted pollination increased the fruit setting rate of *C. oleifera* by 24.45%, 25.65% and 14.08%, respectively; 2) after artificial liquid-assisted pollination in Poyang, Jiangxi, there was no statistically significant difference in the fruiting rate improvement effects between different oil tea varieties; 3) UAV liquid assisted pollination could increase the fruit setting rate of *C. oleifera* by 5.63%~27.01% in Youyang, Chongqing, and the optimal flight height of liquid pollination of UAV was 3.5 m, and the optimal pollen dilution ratio was 0.08%. The results suggest that compared with the traditional natural pollination approaches, liquid assisted pollination can effectively improve the fruit setting rate of *Camellia oleifera* to make up for the shortcomings of the former; compared with artificial liquid-assisted pollination, UAV liquid-assisted pollination is convenient, simple and fast, and is more suitable for carrying out in large areas of mountainous areas.

Keywords: *Camellia oleifera*; liquid assisted pollination; unmanned aerial vehicle; fruit setting rate

(责任编辑 方 兴)