

油茶花粉液配方初探^{*}

徐安糠¹, 陆欢欢¹, 晏巧², 胡锋¹, 李红英¹, 张欢¹, 周泽扬¹, 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:【目的】以新鲜油茶(*Camellia oleifera*)花粉为材料探究油茶液体授粉花粉液的配制方法,为实现无人机的辅助授粉提供可能。【方法】以广西广泛种植的“岑软 2 号”和“岑软 3 号”油茶新鲜花粉为材料,通过测定花粉液中花粉浓度与花粉生活力来确定最优的油茶液体授粉花粉液的配方。【结果】当花粉液中的黄原胶、蔗糖和硼酸的质量分数分别为 0.04%, 10%和 0.015%时,“岑软 2 号”和“岑软 3 号”油茶花粉的稳定性与生活力可以得到最有效地保持。【结论】最优油茶花粉液配方为油茶无人机辅助授粉提供了可能性,并可一定程度上解决因花粉资源限制而导致的油茶坐果率低下的问题。

关键词:油茶; 花粉液; 花粉浓度; 花粉生活力

中图分类号:Q949.9

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2021)06-0129-08

油茶(*Camellia oleifera*)是山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)的一种木本油料作物^[1],与椰子(*Cocos nucifera*)、油橄榄(*Olea europaea*)和油棕(*Elaeis guineensis*)并称世界四大木本油料植物^[2]。目前中国的油茶种植面积达 453.33 万公顷,主要分布在南方地区如湖南、江西、广西、浙江、福建等地^[3]。预计到 2025 年,中国的油茶产业种植面积将达到 600 万公顷^[4]。油茶在榨油^[5]、园林绿化^[6]、保护生态环境^[7]、医疗洗护^[8]等许多领域有着广泛应用。当前,中国的油茶研究主要集中在油茶优良品种选育^[9]、油茶肥水管理^[10]、病虫害防治^[11-12]等方面。油茶是典型的异花授粉植物^[13],尽管近些年来对中国的油茶传粉昆虫研究日益增多^[14-18],但由于油茶花期在秋末冬初,此时传粉昆虫相对较少,因此花粉资源限制成为了制约油茶产业发展的瓶颈之一^[16]。

人工辅助授粉技术常被人们应用于农业和林业生产中以提高目标作物的坐果率。目前常见的人工辅助授粉方式有人工点授^[19]与喷粉法^[20]。这两种授粉方式均有工序繁琐、人工成本高、花粉用量大等局限性^[21]。液体授粉技术是一种新兴的人工辅助授粉技术,它在喷粉法的基础上进行了优化。因该方法具有低成本高效率的优势,已在猕猴桃(*Actinidia chinensis*)^[22-23]、苹果(*Malus pumila*)^[24]、梨(*Pyrus* spp.)^[21,25-27]等作物的生产上被广泛应用。研究表明,梨树上使用液体授粉技术可使平均花序坐果率提升 13%左右^[21]。然而,目前有关油茶液体授粉花粉液的配制方法研究比较匮乏,且大量新鲜油茶花粉的获取难度较大,这就制约了液体授粉技术在油茶上的应用。为此,本研究就油茶液体授粉花粉液的配制方法进行了考察,探索了其中各组分的最适使用量,旨在为无人机液体喷施油茶花粉作业的开展提供可能性,并为有效促进液体授粉技术在油茶产业中的应用提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究材料品种及样地概况

本研究所用油茶品种为“岑软 2 号”和“岑软 3 号”,均采自广西壮族自治区来宾市国有维都林场雅江分场(地理坐标为北纬 23°51'43"、东经 109°19'20"),当地气候为亚热带季风气候,年平均气温为 21.4℃,年平均降水量为 1 360 mm,全年日照充足。

1.2 花药采集及储存

2020 年 11 月在样地采集实验所需花药。选择初开还未散粉的油茶花,于晴好天气下的清晨用剪刀或镊子

^{*} 收稿日期:2021-04-01 修回日期:2021-05-13 网络出版时间:2021-11-22 16:40

资助项目:国家自然科学基金(No. 31970484);“成渝地区双城经济圈建设”科技创新项目(No. KJCX2020021);重庆市科技兴林项目(渝林科研 2020-5)

第一作者简介:徐安糠,男,研究方向为经济林辅助授粉, E-mail: 948092594@qq.com;通信作者:黄敦元,男,副教授,博士, E-mail: 20170054@cqnu.edu.cn

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20211118.1418.008.html>

取下新鲜花药封存于塑封袋中,并在采集花药时尽量避免碰伤柱头。将保存花药的塑封袋置于内部温度为 4~10 ℃ 泡沫盒中带回实验室处理。

1.3 花粉的获取及储存

将带回实验室的新鲜花药均匀平摊于硫酸纸上,室温避光风干 24 h 至花药自然裂开,待完全散粉后用 80 目的标准筛过筛,获得大量精筛花粉,避光干燥保存于 4 ℃ 冰箱中以备后续实验开展^[28]。

1.4 稳定剂的筛选

称取 0.02 g 精筛花粉,分别加入 20 mL 含不同质量分数黄原胶的水溶液制成花粉混悬液(表 1),随后静置。随着时间推移花粉逐渐沉降底部,将混悬液中层的花粉浓度(即单位体积空气或水溶液中花粉粒数)作为花粉液稳定性的评判标准。

表 1 花粉混悬液中黄原胶的质量分数
Tab.1 The mass fraction of xanthan gum in pollen suspension

处理组	黄原胶质量分数/%	处理组	黄原胶质量分数/%	处理组	黄原胶质量分数/%
空白对照组	0.00	实验 2 组	0.02	实验 4 组	0.04
实验 1 组	0.01	实验 3 组	0.03	实验 5 组	0.05

花粉浓度测定采用直接计数法^[29]。分别于 0,60 和 120 min 时,用移液枪吸取 100 μL 中层花粉液制片进行计数。在显微镜下随机选取 5 个镜检视野统计花粉粒数,通过测量盖玻片下花粉液的展开面积及镜检的视野面积,根据以下公式即可计算花粉液的花粉浓度:

$$C=\frac{S_1N}{5S_2V}。$$

其中:C 为花粉浓度;S₁,S₂ 分别为显微镜视野面积和盖玻片下展开的花粉混悬液面积(单位均为 μm²);N 为 5 个镜检视野的总花粉粒数;V 为制片取用的花粉混悬液体积(单位为 mL)。6 个处理组花粉浓度的测定均进行 3 次生物学重复。

1.5 花粉生活力维持组分筛选

为确定黄原胶稳定剂是否对花粉生活力产生影响,在设置以含最适质量分数黄原胶的水溶液为花粉生活力维持组分的处理组(X 组)的同时,以纯水和与实验组所用花粉质量相等的花粉组成的混合液作为空白对照组;在黄原胶未对花粉生活力产生负面影响的前提下,以含最适质量分数黄原胶的水溶液作为底液,分别配制含不同质量分数的蔗糖或硼酸的溶液,并测定这些溶液对花粉生活力的影响,从而筛选出蔗糖与硼酸的最适加入量。最后进行交互实验,筛选出含最适质量分数黄原胶、蔗糖和硼酸的最佳花粉生活力维持组分。

根据表 2 配制花粉液,在静置 30 min 后取花粉液进行花粉生活力测定,花粉生活力的测定采用氯化三苯基四氮唑(TTC)染色法^[30],具体操作为:用移液枪吸取 2 mL 中层花粉液于离心管,6 000 r·min⁻¹ 离心 3 min^[31],弃上清液,加入 100 μL TTC 质量分数为 0.5% 的染色液于离心管,利用涡旋振荡器混均后移取至载玻片上,转入 35 ℃ 恒温培养箱中避光培养 20 min 后通过显微镜在 100 倍放大倍率下观察花粉染色情况^[30]。每个处理组进行 3 次生物学重复,每个载玻片随机选取 5 个镜检视野,在显微镜下呈红色或粉红色的花粉视为活花粉,记录每个视野的染色率,即其中活花粉粒数与总花粉粒数之比的百分数,并以染色率作为花粉生活力的评判标准^[32]。

表 2 花粉混悬液中花粉生活力维持组分设计
Tab.2 The design of pollen viability maintenance components in pollen suspension of different treatment

处理组	花粉生活力维持组分	处理组	花粉生活力维持组分
空白对照组	纯水	A5 组	以 X 组所用溶液为底液,蔗糖质量分数为 25%
X 组	含最适质量分数黄原胶的水溶液	B1 组	以 X 组所用溶液为底液,硼酸质量分数为 0.005%
A1 组	以 X 组所用溶液为底液,蔗糖质量分数为 5%	B2 组	以 X 组所用溶液为底液,硼酸质量分数为 0.01%
A2 组	以 X 组所用溶液为底液,蔗糖质量分数为 10%	B3 组	以 X 组所用溶液为底液,硼酸质量分数为 0.015%
A3 组	以 X 组所用溶液为底液,蔗糖质量分数为 15%	B4 组	以 X 组所用溶液为底液,硼酸质量分数为 0.02%
A4 组	以 X 组所用溶液为底液,蔗糖质量分数为 20%	B5 组	以 X 组所用溶液为底液,硼酸质量分数为 0.025%

1.6 数据分析

实验获取的基础数据利用 Excel 2019 进行初步整理,计算出有关指标的平均值和标准差,再利用 SPSS 22.0 软件对实验数据进行统计分析,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 稳定剂对花粉浓度的影响

由表 3 可以看出:1) 6 个处理组在 0 min 时的花粉浓度平均值为 $135\ 677\text{ 粒}\cdot\text{mL}^{-1}$,且黄原胶的添加量对花粉浓度影响没有统计学意义。2) 在静置 60 和 120 min 后,各处理组花粉混悬液中花粉浓度表现出明显差异;静置 60 和 120 min 后,不计空白对照组数据,其余 5 个实验组花粉混悬液中花粉浓度平均值分别为 $75\ 500$ 和 $59\ 682\text{ 粒}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。3) 混悬液中黄原胶质量分数为 0.04% (实验 4 组)时花粉的稳定性最高,静置 60 和 120 min 后其中花粉浓度平均值分别为 $118\ 438$ 和 $85\ 938\text{ 粒}\cdot\text{mL}^{-1}$,标准差最小,为 $40\ 040.57\text{ 粒}\cdot\text{mL}^{-1}$;混悬液中黄原胶质量分数为 0.02% (实验 2 组)和 0.03% (实验 3 组)时对花粉的稳定性次之;而混悬液中黄原胶质量分数为 0.05% (实验 5 组)时,标准差为 $53\ 068.44\text{ 粒}\cdot\text{mL}^{-1}$,且大于空白对照组花粉浓度的标准差。

表 3 不同质量分数黄原胶对花粉稳定性的影响
Tab. 3 The effects of different stabilizing agent on the stability of pollen suspension 粒 $\cdot\text{mL}^{-1}$

处理组	不同静置时间下的花粉浓度			标准差		处理组	不同静置时间下的花粉浓度			标准差
	0 min	60 min	120 min				0 min	60 min	120 min	
空白对照组	105 313 ^a	11 563 ^a	0 ^a	51 272.15		实验 3 组	153 750 ^a	105 625 ^c	60 938 ^d	46 026.96
实验 1 组	125 625 ^a	27 500 ^a	26 563 ^b	50 874.91		实验 4 组	153 438 ^a	118 438 ^c	85 938 ^e	40 040.57
实验 2 组	137 188 ^a	46 563 ^{ab}	46 536 ^c	47 232.48		实验 5 组	138 750 ^a	79 375 ^{bc}	78 438 ^e	53 068.44

注:“标准差”列中数据是将各处理组 0~120 min 全部花粉浓度数据作为整体计算而得。不同小写字母表示同一观察时刻不同处理组数据在 $p<0.05$ 水平上有统计学意义上的差异

2.2 花粉液各组分对花粉生活力的影响

为确定稳定剂黄原胶是否对花粉生活力产生不利影响,考察只加入最适质量分数(0.04%)黄原胶的水溶液中花粉生活力,结果显示其中花粉染色率比纯水溶液中花粉染色率更高(表 4),说明花粉液中黄原胶质量分数为 0.04% 时,对油茶花粉的生活力没有不利影响,反而会产生积极作用。表 4 还显示:以 X 组所用溶液为底液只加入蔗糖的 5 个处理组中的花粉生活力随蔗糖质量分数的增加而呈现先上升后下降的趋势。其中蔗糖质量分数为 10% (A2 组)时花粉染色率最高(52.92%),即对花粉生活力的维持效果最佳,但与蔗糖质量分数为浓度为 5% (A1 组)、 15% (A3 组)时的花粉染色率无统计学意义上的差异。同时,A3 组与 X 组的花粉染色率也无统计学意义上的差异。因此,在进一步复合筛选时只考虑蔗糖质量分数为 5% 和 10% 的情况。同样地,以 X 组所用溶液为底液只加入硼酸的 5 个处理组中的花粉生活力随硼酸质量分数的增加也呈现先上升后下降的趋势,在硼酸质量分数为 0.015% (B3 组)时花粉染色率最高(51.54%),但与硼酸质量分数为 0.01% (B2 组)时花粉染色率没有统计学意义上的差异。由于 B2 组与 X 组的花粉染色率也无统计学意义上的差异,因此在复合筛选时硼酸质量分数为 0.01% 的情况也不作考虑。

表 4 花粉生活力受单因素影响结果
Tab. 4 The results of pollen viability affected by single factor

处理组	花粉染色率/ $\%$	处理组	花粉染色率/ $\%$	处理组	花粉染色率/ $\%$	处理组	花粉染色率/ $\%$
空白对照组	36.97 ^{ab}	A2 组	52.92 ^c	A5 组	37.35 ^a	B3 组	51.54 ^f
X 组	42.06 ^{abde}	A3 组	47.96 ^{cd}	B1 组	42.77 ^{bc}	B4 组	40.25 ^{bc}
A1 组	49.15 ^c	A4 组	41.23 ^a	B2 组	46.23 ^{cd}	B5 组	39.36 ^b

注:不同小写字母表示不同处理组数据在 $p<0.05$ 水平上有统计学意义上的差异

采用 A1 组、A2 组与 B3 组的花粉生活力维持组分做交互实验,分别考察 A1 组和 B3 组的组合、A2 组和 B3

组的组合中花粉生活力的情况。研究结果显示,花粉液中黄原胶、蔗糖和硼酸的质量分数分别为 0.04%,10%和 0.015%(A2 组和 B3 组的组合)时花粉染色率更高,达 55.34%,而 A1 组和 B3 组的组合中花粉染色率只有 49.16%,显然前一个花粉液配方对花粉生活力的维持效果最好。

3 讨论

油茶是典型的异花授粉植物,要提高油茶坐果率、增加油茶果实产量,关键举措在于有效解决油茶的授粉问题。已有不少研究团队对油茶的虫媒授粉展开相关研究^[14-17,33-36],例如:黄敦元团队对油茶野生传粉昆虫开展了传粉效率研究^[15-17],江西林业科学院对油茶开展了熊蜂(*Bombus terrestris*)授粉效果研究^[35],何万裕等人^[36]对意大利蜜蜂(*Apis mellifera ligustica*)进行了驯化繁育,使之能应用于油茶授粉。还有研究表明,液体授粉技术也是提高油茶坐果率的一项重要措施^[37]。液体授粉技术是在喷粉法的基础上进行的改良,该技术配合无人机技术,喷施效果卓群,例如:中国农业科学院蜜蜂研究所在新疆示范基地对 2.73 公顷库尔勒香梨进行无人机液体授粉,果实增产了 25~30 吨,一级果占比达 90%以上^[38]。目前液体授粉技术尚未在油茶产业中运用,因此开展油茶液体授粉技术的研究显得尤为重要。

花粉液的液体组分是液体授粉技术成功与否的关键。为提高液体授粉成功率,需要充分考虑花粉混悬液的稳定性及其中成分对花粉生活力产生的影响。常见的花粉液液体组分主要包括稳定剂和营养剂。目前油茶花粉离体培养主要以琼脂作为稳定剂^[39-40]。然而琼脂溶解后在常温下易凝固或结块,对花粉液稳定性有较大影响,在野外作业也不便于精确配制,因而不适合作为花粉液中的稳定剂。黄原胶作为常见液体授粉技术的稳定剂,具有易获取、成本低、无毒害等优点。然而当黄原胶质量分数过低或过高时,花粉混悬液稳定性效果均不理想:黄原胶质量分数过低则达不到增稠作用,导致花粉混悬液稳定性提高效果不明显;黄原胶质量分数过高则导致黄原胶在花粉混悬液中出现黏稠结块现象,不便于喷施。因此基于本研究得到的结果,建议在实际应用过程中,可将花粉混悬液中黄原胶的质量分数设定为 0.02%~0.04%,且授粉花粉液尽量能随用随配随施。在营养剂方面,蔗糖与硼酸的加入量也须控制在合理范围内,这一点极为重要。宋艳荣^[41]在对苹果的花粉离体培养研究中发现:蔗糖质量分数为 5%~15%时可有效提高萌发率保持花粉生活力,特别是蔗糖质量分数为 10%时上述效果最好,本研究结果与这一发现一致;硼酸质量分数为 0.03%时最适宜苹果花粉萌发,这与本研究结果相去甚远。此外,芦娟等人^[42]发现促使油橄榄花粉萌发的最佳蔗糖质量浓度为 200 mg·L⁻¹,最佳硼酸质量分数为 0.02%。牛永志等人^[43]的研究结果表明,适宜烟草花粉萌发的蔗糖质量分数为 10%~15%而硼酸质量浓度为 25 mg·L⁻¹。由此可见,不同植物种类花粉萌发对蔗糖和硼酸的需求量有所不同。不仅如此,同种植物不同品种的花粉萌发对蔗糖与硼酸的需求量也有一定差异,例如张婷等人^[44]选取 16 个不同品种的苹果进行研究,结果表明促使不同苹果品种花粉萌发的最佳蔗糖加入量是不尽相同的。

油茶品种“岑软 2 号”与“岑软 3 号”物候期相同、生理特征相近^[45-46]、花粉生活力相似^[47]且花粉配合力高^[48],因此在油茶的生产实践中常将两个品种混栽,且两个品种花粉的理化性质表现出一致性。本研究结果表明,对于在中国广泛种植的优良油茶品种“岑软 2 号”与“岑软 3 号”,促使它们花粉萌发的适宜蔗糖质量分数范围为 5%~10%,其中以蔗糖质量分数为 10%时效果最佳。这一结果与李春林等人^[49]得到的油茶花粉体外培养的最适蔗糖质量分数一致。本研究中,适宜两个油茶品种花粉萌发的硼酸质量分数范围为 0.01%~0.015%,其中以硼酸质量分数为 0.015%时效果最佳。本研究筛选出的油茶花粉液中蔗糖与硼酸质量分数的最佳组合结果与王湘南等人^[50]的研究结果相近。然而由于品种差异,本研究结果与黄永芳等人^[51]筛选出油茶花粉体外培养的最适条件有所不同。因此在实际应用中,对于不同油茶品种应对花粉液中的蔗糖和硼酸加入量加以调整。进一步地,还将在研究地对本研究筛选出的油茶花粉液配方开展试点实验,通过分析液体授粉技术对坐果率等指标的影响,探讨液体授粉技术在油茶实际应用中的可行性,进而为油茶的无人机液体授粉技术提供研究基础。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 唐炜,陈永忠,陈隆升,等.湖南省油茶产业发展现状与对策[J].绿色科技,2017(15):208-212.

- TANG W, CHEN Y Z, CHEN L S, et al. Current situation and countermeasures of camellia oil industry in Hunan province[J]. Journal of Green Science and Technology, 2017(15):208-212.
- [3] 赖鹏英,肖志红,李培旺,等.油茶资源利用及产业发展现状[J].生物质化学工程,2021,55(1):23-30.
- LAI P Y, XIAO Z H, LI P W, et al. Research on utilization of *Camellia oleifera* Abel. resources and industrial development status[J]. Biomass Chemical Engineering, 2021, 55(1):23-30.
- [4] 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.
- [5] 柯城.茶油主要营养物质组成和保健功能[J].现代食品,2019(13):105-108.
- KE C. Main nutrient composition and health function of tea oil[J]. Modern Food, 2019(13):105-108.
- [6] 肖亦敏,李清云,吴友根.海南油茶在园林绿化中的应用[J].现代园艺,2020,43(23):134-136.
- XIAO Y M, LI Q Y, WU Y G. The application of hainan *Camellia oleifera* in landscaping[J]. Contemporary Horticulture, 2020, 43(23):134-136.
- [7] 黄军雄,冯才丽.生态栽培对油茶生长发育及生态环境的影响分析[J].南方农业,2019,13(12):172-173.
- HUANG J X, FENG C L. Effects of ecological cultivation on growth and ecological environment of *Camellia oleifera* [J]. South China Agriculture, 2019, 13(12):172-173.
- [8] 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.
- [9] 彭邵锋,陆佳,陈永忠,等.油茶品种资源现状与良种筛选技术[J].经济林研究,2012,30(4):174-179.
- PENG S F, LU J, CHEN Y Z, et al. Current status of variety resources and selection of improved varieties in *Camellia oleifera* [J]. Non-wood Forest Research, 2012, 30(4):174-179.
- [10] 周裕新,郭晓敏,鲁顺保,等.水、肥和芸苔素内酯对油茶叶片养分、种仁出油率和开花量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):387-395.
- ZHOU Y X, GUO X M, LU S B, et al. Effect of water, nutrient and brassinolides on number of blossom, leaf nutrition and seed oil content of *Camellia oleifera* [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2013, 19(2):387-395.
- [11] 李杨,李河,周国英,等.海南省3种油茶炭疽病菌的致病力及其生物学特性研究[J].热带作物学报,2016,37(10):1956-1961.
- LI Y, LI H, ZHOU G Y, et al. Virulence and biological characteristics of three pathogens causing oil tea anthracnose in Hainan province[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(10):1956-1961.
- [12] 刘俊,周德明,周国英.油茶害虫植物源引诱剂筛选及其诱集的昆虫种群动态[J].植物保护,2017,43(5):174-179.
- LIU J, ZHOU D M, ZHOU G Y. Screening of attractants of plant origin for pests of *Camellia oleifera* and the population dynamics of the trapped pests[J]. Plant Protection, 2017, 43(5):174-179.
- [13] 常维霞,姚小华.油茶无性系自交亲和性分析[J].林业科学研究,2016,29(4):508-514.
- CHANG W X, YAO X H. Study on self-compatibility of *Camellia oleifera* clones[J]. Forest Research, 2016, 29(4):508-514.
- [14] 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.
- [15] 黄敦元,谷平,苏田娟,等.大分舌蜂主要生物学特性研究[J].环境昆虫学报,2015,37(1):133-138.
- HUANG D Y, GU P, SU T J, et al. The study on bionomics character of *Colletes gigas* (Hymenoptera, Colletidae)[J]. Journal of Environmental Entomology, 2015, 37(1):133-138.
- [16] 黄敦元,谷平,余江帆,等.大分舌蜂的栖息地环境和访花规律[J].环境昆虫学报,2014,36(3):315-321.
- HUANG D Y, GU P, YU J F, et al. The habitats and foraging behaviors of *Colletes gigas* (Hymenoptera, Colletidae)[J]. Journal of Environmental Entomology, 2014, 36(3):315-321.
- [17] 黄敦元,丁亮,张彦周,等.油茶地蜂生活史及相关生物学习性[J].昆虫学报,2008,51(7):778-783.
- HUANG D Y, DING L, ZHANG Y Z, et al. Life history and relevant biological features of *Andrena camellia* Wu (Hymenoptera: Andrenidae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2008, 51(7):778-783.
- [18] 钟义海,赵冬香,王释婕,等.海南油茶传粉昆虫及其访花行为的初步研究[J].中国蜂业,2020,71(9):63-66.
- ZHONG Y H, ZHAO D X, WANG S J, et al. An observation on pollinating insect and their flower-visiting behavior on

- Camellia oleifera* Abel[J]. Apiculture of China, 2020, 71(9): 63-66.
- [19] 杨露, 高超, 韦红莉, 等. 4 个油茶良种授粉组合筛选试验研究[J]. 种子, 2020, 39(11): 66-74.
YANG L, GAO C, WEI H L, et al. Screening experiment of pollination combination of four improved *Camellia oleifera* varieties[J]. Seed, 2020, 39(11): 66-74.
- [20] 苏倩薇. 林地覆盖以及授粉技术对油茶果实产量和品质的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
SU Q W. Effects of forest coverage and pollination technology on *Camellia* yield and quality[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [21] 王兆龙, 王义菊, 姜福东, 等. 梨不同授粉措施的研究进展[J]. 烟台果树, 2019(2): 3-4.
WANG Z L, WANG Y J, JIANG F D, et al. Research progress on different pollination measures of pear[J]. Yantai Fruits, 2019(2): 3-4.
- [22] 白雪. 猕猴桃高效液体授粉技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
BAI X. Studies on efficient liquid pollination technique of Kiwifruit[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2018.
- [23] 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.
- [24] 孙彪. 苹果授粉技术及授粉对富士苹果坐果和果实质量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
SUN B. Apple pollination technology and the influence of fruit setting quality on Fuji apple by pollination[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012.
- [25] 袁振杨. 库尔勒香梨促进花芽形成和提高坐果、品质的技术研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019.
YUAN Z Y. Technical study on promoting flower bud formation and fruit setting and quality of Korla fragrant pear[D]. Alaer: Tarim University, 2019.
- [26] 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[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
WANG Y. Different Pollination technology affect pear fruit development and quality formation mechanism research[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [27] 席东. 梨树授粉及留果方式对果实品质形成的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
XI D. Study on the impact of pollination and fruit loading for the formation of fruit quality in pear[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [28] 常维霞, 姚小华, 龙伟. 普通油茶花粉的超低温保存研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 66-70.
CHANG W X, YAO X H, LONG W. The cryopreservation of *Camellia oleifera* pollen[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2018, 38(6): 66-70.
- [29] 赵先贵, 肖玲. 花粉浓度测定方法的研究[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(1): 52-58.
ZHAO X G, XIAO L. Studies on methods of determination of pollen concentration[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1995, 10(1): 52-58.
- [30] 袁德义, 谭晓风, 邹锋, 等. 油茶花粉生活力检测方法比较[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(4): 10-12.
YUAN D Y, TAN X F, ZOU F, et al. Comparative study on pollen viability detection methods for *Camelia oleifera*[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2009, 29(4): 10-12.
- [31] 刘明新, 杨培, 杨大荣, 等. 4 种榕树的授粉方式及其花粉特征[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(2): 294-302.
LIU M X, YANG P, YANG D R, et al. Pollination mode of four *Ficus* species and pollen characteristics[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2017, 32(2): 294-302.
- [32] 李红娇, 董坤, 韩明跃, 等. 油茶泌蜜规律及花粉活力和柱头可授性的变化[J]. 广西林业科学, 2012, 41(4): 327-355.
LI H J, DONG K, HAN M Y, et al. Regulation of nectar secretion and changes of pollen viability and stigma receptivity in *Camellia oleifera*[J]. Guangxi Forestry Science, 2012, 41(4): 327-355.
- [33] 邓园艺, 喻勋林, 罗毅波. 传粉昆虫对我国中南地区油茶结实和结籽的作用[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4427-4436.
DENG Y Y, YU X L, LUO Y B. The role of native bees on the reproductive success of *Camellia oleifera* in hunan province, central south China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4427-4436.
- [34] 胡景华, 刘锋, 秦加敏. 油茶有效传粉蜂种研究进展[J]. 蜜蜂杂志, 2019, 39(3): 27-30.
HU J H, LIU F, QIN J M. The recent advances in research on effective pollinators of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Bee, 2019, 39(3): 27-30.

- [35] 左继林,王玉娟,周文才,等.盛果期油茶配置栽培与熊蜂授粉效应研究[J].南方林业科学,2019,47(6):31-34.
ZUO J L, WANG Y J, ZHOU W C, et al. Pollination effect of bumblebee on *Camellia oleifera* in full fruit period under configuration culture conditions[J]. South China Forestry Science, 2019, 47(6): 31-34.
- [36] 何万裕,李君华,尹鑫.油茶授粉意蜂驯化与繁育[J].湖南林业科技,2019,46(6):44-48.
HE W Y, LI J H, YIN X. Domestication and breeding of *Apis mellifera* ligustica pollinated by *Camellia oleifera* [J]. Hunan Forestry Science and Technology, 2019, 46(6): 44-48.
- [37] 杨亚,袁德义,刘东明,等.不同授粉方式对攸县油茶坐果率及果实生长的影响[J].中南林业科技大学学报,2016,36(2):61-65.
YANG Y, YUAN D Y, LIU D M, et al. Effect of different pollination method on fruit setting rate and fruit growth of *Camellia yubsienensis* Hu. [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(2): 61-65.
- [38] 中国农业科学院.无人机安全高效授粉技术成功破解库尔勒香梨生产难题[J].中国食品学报,2020,20(9):101.
Chinese Academy of Agricultural Sciences. The safe and efficient pollination technology of unmanned aerial vehicle successfully solved the problem of producing Korla fragrant pear [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(9): 101.
- [39] 何春燕,谭晓风,袁德义,等.7种油茶花粉数量及花粉萌发率的测定[J].中南林业科技大学学报,2009,29(1):74-78.
HE C Y, TAN X F, YUAN D Y, et al. Determination of the pollen number and pollen germination rate of seven *Camellia* species [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2009, 29(1): 74-78.
- [40] 廖婷,袁德义,袁军,等.4个油茶优良无性系花器特征及花粉萌发率[J].中南林业科技大学学报,2010,30(9):51-54.
LIAO T, YUAN D Y, YUAN J, et al. Flower characteristics and pollen germination rate of four *Camellia oleifera* clones [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2010, 30(9): 51-54.
- [41] 宋艳荣.不同浓度糖、硼、钙对苹果花粉萌发的影响[J].河北果树,2018(5):8-10.
SONG Y R. Effects of different concentrations of sugar, boron and calcium on the germination of apple pollen [J]. Hebei Fruits, 2018(5): 8-10.
- [42] 芦娟,苏瑾,姜成英,等.不同浓度的糖、硼、钙对油橄榄花粉萌发的影响[J].经济林研究,2017,35(1):103-107.
LU J, SU J, JIANG C Y, et al. Effects of different concentrations of sugar, boron and calcium on pollen germination in *Olea europaea* [J]. Non-wood Forest Research, 2017, 35(1): 103-107.
- [43] 牛永志,索文龙,马文广.烟草花粉离体萌发液体培养基的筛选和优化[J].种子,2017,36(5):78-81.
NIU Y Z, SUO W L, MA W G. Screening and optimization of liquid culture medium for pollen germination *in vitro* [J]. Seed, 2017, 36(5): 78-81.
- [44] 张婷,赵林,李刚波,等.苹果花粉离体萌发适宜蔗糖浓度的筛选[J].湖南农业科学,2018(8):24-26.
ZHANG T, ZHAO L, LI G B, et al. Screening of the best sucrose concentration on apples' pollen germination [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018(8): 24-26.
- [45] 董斌,韦雪芬,蓝来娇,等.干旱胁迫对4个油茶品种光合特性的影响[J].经济林研究,2018,36(4):9-15.
DONG B, WEI X F, LAN L J, et al. Effects of drought stress on photosynthetic characteristics of four *Camellia oleifera* clones [J]. Non-wood Forest Research, 2018, 36(4): 9-15.
- [46] 何应会,马锦林,梁文汇,等.六个油茶优良无性系光响应曲线分析[J].湖北农业科学,2013,52(7):1577-1580.
HE Y H, MA J L, LIANG W H, et al. Study on light response curve of photosynthesis of six superior *Camellia oleifera* Abel clones [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(7): 1577-1580.
- [47] 李开祥,张乃燕,黄开顺,等.岑软2号、3号等油茶无性系花粉生活力研究[J].广西林业科学,2009,38(1):4-7.
LI K X, ZHANG N Y, HUANG K S, et al. Pollen vitality of different clones of *Camellia oleifera* [J]. Guangxi Forestry Science, 2009, 38(1): 4-7.
- [48] 张乃燕,陈国臣,王东雪,等.岑软2号、3号等油茶无性系花粉配合力测定[J].广西林业科学,2009,38(1):1-4.
ZHANG N Y, CHEN G C, WANG D X, et al. Pollen combining ability of *Camellia oleifera* clones [J]. Guangxi Forestry Science, 2009, 38(1): 1-4.
- [49] 李春林,杨水平,姚小华,等.普通油茶无性系花粉离体萌发特性[J].林业科学研究,2011,24(2):212-217.
LI C L, YANG S P, YAO X H, et al. Characteristics of pollen germination *in vitro* of *Camellia oleifera* [J]. Forest Research, 2011, 24(2): 212-217.
- [50] 王湘南,陈永忠,王瑞,等.不同种源油茶良种花粉生活力研究[J].中南林业科技大学学报,2016,36(12):1-5.
WANG X N, CHEN Y Z, WANG R, et al. Study on pollen viability of *Camellia oleifera* improved varieties from different species [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(12): 1-5.

- [51] 黄永芳,吴雪辉,何美儿,等. 3 种油茶植物花粉贮藏及生活力的研究[J]. 福建林学院学报,2011,31(1):56-59.
HUNAG Y F, WU X H, HE M E, et al. Studies on the pollen storage and viability of 3 oil-tea species[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2011, 31(1): 56-59.

Primary Exploration on Pollinating Solution of *Camellia oleifera*

XU Ankang¹, LU Huanhuan¹, YAN Qiao², HU Feng¹, LI Hongying¹,
ZHANG Huan¹, ZHOU Zeyang¹, HUANG Dunyuan¹

(1. Chongqing Key Laboratory of Vector Insects, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;
2. Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 400036, China)

Abstract: [Purposes] Fresh *Camellia Oleifera* pollen was used as the material to explore the preparation method of *C. oleifera* pollen suspension, so as to provide the possibility for unmanned aerial vehicle (UAV) assisted pollination. [Methods] Taking fresh pollen of Cenruan No. 2 and Cenruan No. 3 as materials, the optimal formula of *C. oleifera* pollen suspension was determined by measuring the pollen concentration and pollen viability. [Findings] When the mass fraction of xanthan gum, sucrose and boric acid in pollen suspension is 0.04%, 10%, and 0.015% respectively, the stability and viability of *C. oleifera* pollen of Cenruan No. 2 and Cenruan No. 3 in pollen suspension can be maintained most effectively. [Conclusions] The optimal formulation of *C. oleifera* pollen suspension provides the possibility for UAV assisted pollination, and solves the problem of low fruit setting rate of *C. oleifera* caused by pollen resource limitation to a certain extent.

Keywords: *Camellia oleifera*; liquid pollination; stability; viability

(责任编辑 方 兴)