

大载荷植保无人机施药参数优选及不同药剂对橡胶树“两病”的飞防效果研究

李博勋¹, 黄贵修^{1*}, 刘先宝¹, 蔡吉苗¹, 冯艳丽¹, 冯志军², 陈奕鹏¹, 丁莹², 时涛¹

1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海南海口 571101; 2. 深圳华亚科技有限公司, 广东深圳 518128

摘要: 本研究利用大载荷油动植保无人机 (FBH300T) 开展橡胶树白粉病和炭疽病 (简称橡胶树“两病”) 的飞防试验, 分析飞行离冠层高度 3、5、7 m 和施药量 60、90、105 L/hm² 两个参数对橡胶树上、下层叶片雾滴沉积分布的影响。发现飞行高度和施药量对雾滴密度和雾滴覆盖率均表现出极显著的影响, 筛选出飞行离冠层高度 5 m、施药量 90 L/hm²、飞行速度 5 m/s 是该机型的最优施药参数。利用兼治橡胶树多种叶部病害的新型专用药剂 19%保叶清微乳剂, 以及 60%硫磺粉悬浮剂、45%戊唑·咪酰胺水乳剂和 50%硫磺·三唑酮悬浮剂等高效药剂与大载荷植保无人机配套施用, 分析各药剂单独和两两混配施用对橡胶树“两病”的飞防效果。结果表明: 4 个单剂中对白粉病防效最好的是 50%硫磺·三唑酮悬浮剂, 其次是 19%保叶清微乳剂; 对炭疽病防效最好的是 19%保叶清微乳剂, 其次是 45%戊唑·咪酰胺水乳剂。药剂两两混配施用下, 19%保叶清微乳剂和 60%硫磺粉悬浮剂按 1:1 混配对白粉病和炭疽病的防效最好, 其次是 19%保叶清微乳剂和 50%硫磺·三唑酮悬浮剂按 1:1 混配。本研究结果可为橡胶树“两病”无人机飞防技术熟化和飞防专用药剂的选择提供参考依据。

关键词: 橡胶树; 白粉病; 炭疽病; 大载荷植保无人机; 施药参数; 化学药剂; 飞防

中图分类号: S763.7 文献标识码: A

Optimization of Application Parameters for Heavy-Load Plant Protection Unmanned Aerial Vehicle and Study on the Control Effect of Different Chemical Agents on the Powdery Mildew and Anthracnose of Rubber Trees

LI Boxun¹, HUANG Guixiu^{1*}, LIU Xianbao¹, CAI Jimiao¹, FENG Yanli¹, FENG Zhijun², CHEN Yipeng¹, DING Ying², SHI Tao¹

1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Shenzhen Huaya Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518128, China

Abstract: This article is the first to conduct prevention and control experiments on rubber tree powdery mildew and anthracnose using a heavy-load plant protection UAV (FBH300T), analyzing the effects of flight heights of 3 m, 5 m, 7 m, and application amount of 60 L/hm², 90 L/hm², 105 L/hm² on the distribution of droplet deposition on the upper and lower leaves of rubber trees. This study found that flight altitude and application amount has a very significant im-

收稿日期 2023-06-20; 修回日期 2023-10-23

基金项目 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2021XDNY153)。

作者简介 李博勋 (1986—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 橡胶树叶部病害监测与控制技术。*通信作者 (Corresponding author): 黄贵修 (HUANG Guixiu), E-mail: hgxiu@vip.163.com。

pact on droplet density and droplet coverage. It has been selected that the optimal application parameters for this aircraft model are a flight height of 5 m above the canopy, an application amount of 90 L/hm², and a flight speed of 5 m, this study utilized a new specialized agent 19% Baoyeqing ME, which can simultaneously treat various leaf diseases of rubber trees, as well as efficient agents such as 60% sulfur powder SC, 45% pentazolamide EW, and 50% sulfur triadimefon SC, which were used in conjunction with heavy-load plant protection UAV (FBH300T) to analyze the control effects of each agent on the powdery mildew and anthracnose of rubber trees. The results showed that among the four single agents, the 50% sulfur triadimefon SC had the best control effect on powdery mildew, followed by the 19% Baoyeqing ME; The best control effect on Anthracnose is 19% Baoyeqing ME, followed by 45% pentazole imidamide EW. Under the mixed application of chemical agents, the best control effect against powdery mildew and anthracnose was achieved by mixing 19% Baoyeqing ME and 60% sulfur powder SC at a ratio of 1 : 1, followed by mixture of 19% Baoyeqing ME and 50% sulfur triadimefon SC at a ratio of 1 : 1. The experimental results can provide a good reference basis for the maturation of UAV flight defense technology and the selection of special flight prevention agents for rubber tree leaf disease.

Keywords: rubber tree; powdery mildew; anthracnose; heavy-load plant protection UAV; application parameters; chemical agents; flight defense

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.12.022

天然橡胶是国际上重要的工业原料和可再生的绿色资源,橡胶树是我国重要的热带经济作物。白粉病和炭疽病是橡胶树上常发的“两病”,在我国植胶垦区普遍发生,年年暴发流行,可造成严重的产量和经济损失^[1-2]。橡胶树白粉病是由橡胶粉孢菌(*Oidium heveae* Steinmann)引起,该病暴发流行速度快、扩散面积广,常可造成橡胶树嫩叶大量脱落,植株生长缓慢甚至枯死,严重影响割胶周期,导致胶树减产。橡胶树炭疽病是由炭疽菌(*Colletotrichum* spp.)引起的又一种重要叶部病害,可为害苗圃小苗、大田幼龄树以及成龄开割胶树,主要侵染嫩叶、叶柄、嫩梢和果实等部位,引起嫩叶脱落、嫩梢回枯和果实腐烂,推迟开割时间,影响胶树产量^[3]。这 2 种叶部病害是我国橡胶主产区每年开春的重点防治对象。由于橡胶树具有较高的树干和广展的冠层结构,常规喷雾和喷粉的施药方法^[4]很难将药剂穿透树冠达到下层叶片,未能实现药剂均匀喷洒,往往存在防治效果不理想、用药量大、药剂利用率低等问题。橡胶树“两病”的暴发流行与寄主物候、气温、田间湿度、病原数量以及品种感病性密切相关^[5-6],而且病害扩展蔓延迅速。如何把握病害防治时机,并在短时间内对病情进行有效控制,是橡胶树“两病”防治的关键,也将直接影响后续病害发生的严重程度和胶树的开割时间^[7]。然而,传统的人工背负式喷粉、喷雾作业功效低、劳动强度大,不仅无法适应目前的生产模式,而且还耗费较多的人力、物力^[8]。在防治药剂方面,目前生产上一直采用硫磺粉和多菌灵进行防治,药剂单一,缺乏新型专用药剂和剂型,长期使用单

一药剂,会增加病原菌抗药性风险。因此,对于资源集约型的天然橡胶产业来说,发展精准、高效的无人机飞防技术体系,替代传统的人工施药方式,将有助于解决当前橡胶树叶部病害施药技术落后、人工劳动力需求量大、施药效率低、作业时间局限等问题,也将加快实现天然橡胶产业的智能化转型升级和高质量绿色发展。

植保无人机作为精准施药设备,能有效提高施药面积和药剂的利用率,具有作业效率高、地形适应能力强、作业安全等特点^[9],无人机产生的下压气流能带动药液在作物表面均匀覆盖,穿透性好^[10]。我国使用的农用植保无人机大体可以分为 2 类:一类是按动力分为电动、油动和油电混用 3 种机型;另一类按结构分为单旋翼、多旋翼和固定翼 3 种^[11]。电动植保无人机核心是电机,多为多旋翼,机型小,操作灵活,起降速度快,但载药量小,下压风场小,单次飞行时间短,电池续航时间有限^[12],在高大的橡胶树上应用存在一定的局限性。油动植保无人机的动力核心是发动机,多为单旋翼,具有载药量大,抗风能力好,下压风场大,续航时间长、单次飞行时间可达 1 h 等特点,相比于小型多旋翼无人机,其灵活性差,需要一定的起降场地和时间^[10],但在大面积连片的成龄胶园中应用具有很大优势和前景。因此,综合考虑橡胶树的栽培模式、立地环境以及生长特性等因素,大载荷油动植保无人机将更适合目前我国橡胶树“两病”防治的整体需求。近年来,大载荷油动植保无人机已经在我国橡胶主产区不同栽培模式下的胶园中进行了初步的技术示范与推广应用,也探索了一些飞防的专用药剂、剂型和

助剂,取得了阶段性的防治成效^[13-15]。然而,植保无人机飞防技术在橡胶树“两病”防治上的应用还处于初级阶段,无人机的施药参数、飞行模式以及专用药剂和助剂的选择将直接影响作业质量和病害的最终防效^[16]。为此,本研究以 FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机为施药载体,开展橡胶树“两病”无人机飞防试验,探索飞行高度和施药量 2 个参数下的雾滴在橡胶叶片上的沉积规律,分析不同飞防药剂和剂型搭配大载荷无人机施用对橡胶树“两病”的防治效果,以期建立橡胶树“两病”大载荷无人机飞防技术

体系以及农药施用技术方案,为橡胶树“两病”统防统治以及天然橡胶产业绿色、数字化转型升级提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

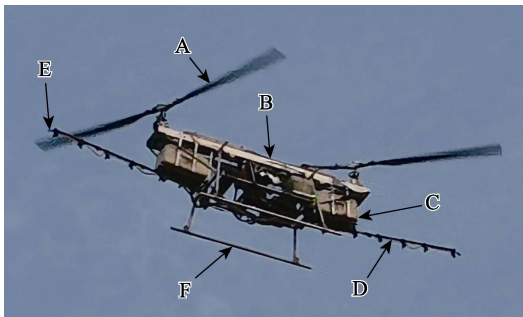
1.1 材料

1.1.1 无人机机型和性能参数 供试的 FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机由深圳华亚科技有限公司自主研发,无人机的性能参数见表 1,无人机示意图见图 1,无人机在胶园的作业场景如图 2 所示。

表 1 FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机基本信息

Tab. 1 Basic information of heavy-load plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)

无人机几何参数 UAV geometric parameters		飞行性能 Flight performance	
指标 Index	几何参数 Geometrical parameter	指标 Index	性能参数 Performance parameter
机型	FBH300T	巡航速度/(km·h ⁻¹)	20~80
前后旋翼直径/m	3.2	最大速度/(km·h ⁻¹)	100
机体高度/m	1.0	实用升限/m	2000
机身最大宽度/m	1.5	标准航时/h	1~3
起落架跨度/m	1.5	抗风性/(m·s ⁻¹)	12
机身总长/m	3.2	空机重量/kg	150
桨叶片数	2×2	任务荷载+燃油重量/kg	140
燃油	95 号汽油	最大起飞重量/kg	300
发动机功率/w	47775		



A: 桨叶; B: 机体; C: 左右 2 个药箱; D: 喷杆;
E: 喷头; F: 支撑架。

A: Paddle; B: Airframe; C: Medicine-chests; D: Spray lance;
E: Nozzle; F: Support frame.

图 1 FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机示意图

Fig. 1 FBH300T heavy-load plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)

1.1.2 试验材料和仪器 19%保叶清微乳剂是本团队自主研发,由广东大丰植保科技有限公司登记和生产;60%硫磺粉悬浮剂是经过剂型改良后,由广东大丰植保科技有限公司生产;45%戊唑·咪酰胺水乳剂,购自盐城利民农化有限公司;50%硫磺·三唑酮悬浮剂,购自江门市大光明农化新会



图 2 FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机在成龄胶园的作业场景

Fig. 2 Operation scenario of FBH300T heavy-load plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) in rubber plantations

有限公司;中保飞防助剂,购自河北中保绿农作 业科技有限公司;水敏纸雾滴测试卡,购自重庆 六六山下植保科技有限公司;Kestrel NK-3500 气 象风速仪,美国 Kestrel 公司;Canon MF443dw 扫描仪,日本佳能公司;还有其他材料如回形针、 乳胶手套、自封袋、信封等。

1.1.3 试验地概况 试验设置 2 个试验地。1 号试

验地位于广东省化州市广东农垦建设农场有限公司 23 队农场小岭山 (21.557 073°N, 110.519 54°E, 海拔 32.13 m), 地形平坦, 面积为 5.39 hm², 用于大载荷无人机施药雾滴沉积分布测试。2 号试验地位于广东省化州市广东农垦建设农场有限公司 7 队农场矮塘山(21.558 990°N, 110.524 208°E, 海拔 55.15 m), 地形平坦, 面积为 6.88 hm², 用于大载荷无人机施用 4 种化学药剂共 7 个处理的防效评价。2 个试验地种植的橡胶品种均为热研 7-33-97, 开割 5 年以上的成龄胶树, 株距 3 m, 行距 7 m, 试验时间为 2021 年 3—4 月橡胶树“两病”流行期。试验过程中胶园平均温度为(23±2)°C, 平均相对湿度为 65%±2%, 地面最大风速为 2.5 m/s。

1.2 方法

1.2.1 试验地设计 前期研究表明, 无人机飞行高度和施药量是影响雾滴沉积分布的重要因素^[17], 本试验通过对飞行高度和施药量来分析大载荷无人机的施药雾滴在橡胶树叶片上的沉积情况, 先采用清水代替化学药剂进行喷施作业来测定雾滴的沉积分布, 确定最佳的飞行高度和施药量后, 再对化学药剂进行防效评价。在试验地 1 设置无人机飞行离冠层高度 3、5、7 m; 设置施药量为 60、90、105 L/hm²。根据试验需求, 将试验胶园划分为 9 个处理组, 每个处理组为平行的 2 行橡胶树, 每行 11 株, 每个处理组设 11 个采样点, 为避免各处理组之间相互干扰, 中间空出 3 行胶树的距离约 14 m 作为隔离带(表 2, 图 3)。在试验田附近放置 Kestrel NK-3500 气象风速仪, 监测地面实时气象信息。文中的飞行高度均指飞机离冠层高度。

1.2.2 雾滴沉积分布测试 每个取样点按照橡胶

树冠层的垂直方向, 在橡胶树上层和下层分别离地面 5、3 m 的高度放置水敏纸测试卡, 每个高度放置 3 张, 分别位于树冠层垂直方向下的两侧和内侧各 1 张, 放置位置如图 3。喷雾作业结束后, 收集每个采样点的水敏纸测试卡, 并依次标记各采样点位置(-5, -4, -3..., 3, 4, 5)。作业时, 无人机按照橡胶树水平种植行设定航线方向, 飞行速度为 5 m/s, 喷头粒径为 100 μm。

表 2 1 号试验地各处理飞行参数
Tab. 2 Flight parameters for treatments at test site 1

处理 Treatment	飞行高度 Flight altitude/m	施药量 Application amount/(L·hm ⁻²)
1	3	60
2		90
3		105
4	5	60
5		90
6		105
7	7	60
8		90
9		105

1.2.3 数据采集与分析 飞防作业结束, 待水敏纸测试卡上的雾滴自然晾干后, 置于自封袋中做好标记密封保存, 带回实验室。使用 Canon MF443dw 扫描仪, 图像设置为灰度、分辨率设置 600 dpi, 扫描水敏纸测试卡, 再通过 Deposit Scan 软件分析雾滴密度(单位面积上沉积的药剂雾滴数, 个/cm²)、雾滴覆盖率、沉积等信息。使用 SPSS 20.0 软件对相关数据进行方差分析, 采用极差分析对正交试验结果进行主次因素及各因素的

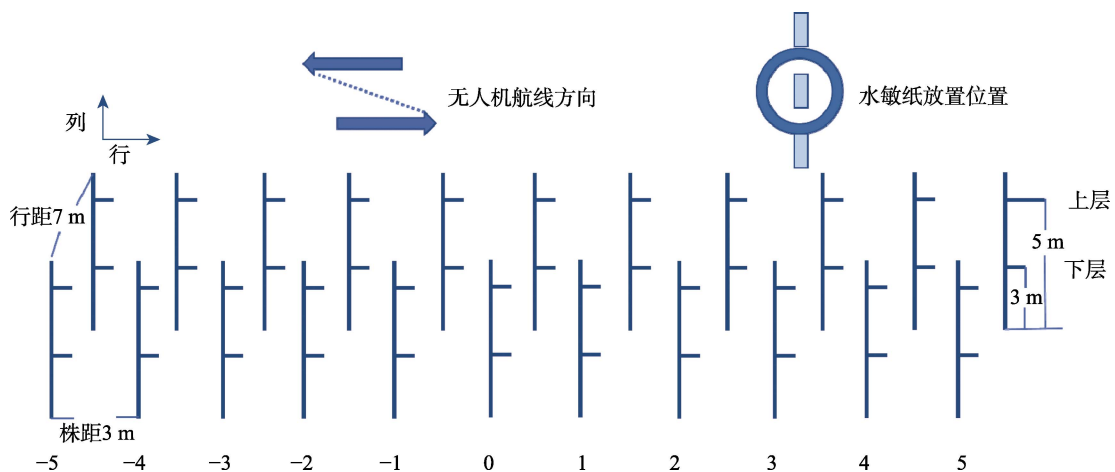


图 3 1 号试验地采样点的布置以及航线设计

Fig. 3 Layout of sampling points and route design for experiment at test site 1

最优组合分析。

1.2.4 病害防效试验设计与调查 根据上述试验获得的大载荷植保无人机最优飞行参数,在 2 号试验地进行 4 种化学药剂单独和两两混配施用的防效评价,大载荷植保无人机飞行高度为 5 m,施药量为 90 L/hm²,共设 8 个处理小区,其中,以喷施清水为对照(表 3),每个小区 0.67 hm²,设 3 个重复,共施药 2 次,施药间隔 7 d,于第二次施药后 7 d 进行防效调查。参照农业行业标准 NY/T 1089—2015《橡胶树白粉病测报技术规程》^[18]和 NY/T 3518—2019《热带作物病虫害监测技术规程 橡胶树炭疽病》^[19],采用“五点法”取样,每株胶树的东、南、西、北、中各取 5 蓬叶,每蓬叶随机选取 5 片中间的复叶进行为害等级判别,统计发病率和病情指数,计算相对防效。

表 3 2 号试验地化学药剂田间施用设计

Tab. 3 Design of field application of chemical agents at test site 2

处理 Treatment	药剂 Reagent	用量 Dosage/(g·hm ⁻²)
1	19%保叶清 ME	2250
2	60%硫磺粉 SC	2700
3	45%戊唑·咪酰胺 EW	2250
4	50%硫磺·三唑酮 SC	2250
5	19%保叶清:60%硫磺粉 1:1	1125+1125
6	19%保叶清:45%戊唑·咪酰胺 2:1	1500+750
7	19%保叶清:50%硫磺·三唑酮 1:1	1125+1125
CK	清水	

表 4 无人机不同作业参数对雾滴沉积效果的影响

Tab. 4 Effect of different operating parameters of UAV on droplet deposition

处理 Treatment	飞行高度 Flight altitude/m	施药量 Application amount (L·hm ⁻²)	雾滴密度		雾滴覆盖率	
			Droplet density/(droplets·cm ⁻²)		Droplet coverage rate/%	
			上层 Upper level	下层 Lower level	上层 Upper level	下层 Lower level
1	3	60	32.47±1.07 ^c	18.45±0.48 ^f	3.29±0.02 ^f	1.81±0.03 ^f
2		90	40.93±0.74 ^a	25.13±0.45 ^b	4.12±0.01 ^a	2.81±0.09 ^{ab}
3		105	22.70±0.40 ^f	24.40±0.30 ^c	2.24±0.07 ^e	2.51±0.02 ^e
4	5	60	27.33±1.00 ^e	17.23±0.45 ^g	2.81±0.04 ^d	1.63±0.08 ^g
5		90	39.53±0.76 ^a	31.07±0.15 ^a	4.01±0.07 ^b	2.85±0.04 ^a
6		105	34.43±1.11 ^b	21.03±0.38 ^d	3.28±0.06 ^e	2.73±0.04 ^b
7	7	60	21.47±1.06 ^f	12.40±0.44 ^h	2.29±0.07 ^e	1.46±0.05 ^h
8		90	30.03±1.68 ^d	16.73±0.40 ^g	2.84±0.07 ^d	2.03±0.09 ^e
9		105	31.40±0.72 ^{cd}	19.13±0.21 ^e	3.37±0.05 ^e	2.16±0.08 ^d

注:同列不同小写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate extremely significant difference ($P<0.01$).

2 结果与分析

2.1 大载荷植保无人机不同飞行参数对雾滴密度的影响

FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机在不同飞行高度和施药量的正交试验结果显示,在飞行高度为 3 m 的 3 个处理中,施药量为 90 L/hm²时上层的雾滴密度最大,达 40.93 个/cm²,而下层雾滴密度为 25.13 个/cm²,当施药量增加至 105 L/hm²时,雾滴密度呈下降趋势,但是下层叶片的雾滴密度(24.40 个/cm²)高于上层(22.70 个/cm²),其原因可能是离冠层 3 m 的飞行高度下,大载荷植保无人机强大的下压气流增加了风场的宽度,使橡胶树枝条和叶片大幅度摇晃,而且还会造成顶部小古铜期叶片破损或掉落,尽管一定程度上增加了药液的穿透性和下层叶片的着药量,但也使大部分药液落至地面。在飞行高度为 5 m 的 3 个处理中,大载荷无人机的下压气流也会使橡胶树枝条和叶片晃动,但幅度明显减轻,此时药液可相对均匀地喷施到橡胶树上层和下层叶片,并且正反两面均能着药,当施药量为 90 L/hm²时,上、下层的雾滴密度最大,分别为 39.53、31.07 个/cm²。在飞行高度为 7 m 的 3 个处理中,雾滴密度随施药量的增加而增加,当施药量为 105 L/hm²时,上、下层的雾滴密度最大,分别为 31.40、19.13 个/cm²(表 4)。保持飞行速度为 5 m/s 的情况下,飞行高度的上升会增加雾滴沉降时间和水平位移,在叶片上的平均沉积密度相对减少,此时可能会增加雾滴的偏移性。

正交试验方差分析结果表明，飞行高度和施药量所对应的 P 值均小于 0.01，对雾滴密度表现为极显著影响（表 5），并且橡胶树上层和下层的雾滴密度在不同因素影响下也呈显著差异。雾滴密度极差分析结果显示，影响橡胶树雾滴密度的主要

因素首先是施药量，其次是飞行高度，影响上、下层雾滴密度的因素均为施药量（表 6）。综合各参数，FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机对橡胶树的最佳作业参数为飞行离冠层高度 5 m、飞行速度 5 m/s、施药量 90 L/hm² 时雾滴密度最大。

表 5 雾滴密度方差分析
Tab. 5 Analysis of variance of droplet density

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P	显著性 Significance
施药量	319.833	2	159.917	1115.236	<0.01	**
飞行高度	278.084	2	139.042	969.659	<0.01	**
施药量+飞行高度	137.203	4	34.301	239.208	<0.01	**
误差	2.581	18	0.143			

注：**表示差异极显著（ $P<0.01$ ）。

Note: ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

表 6 雾滴密度极差分析
Tab. 6 Range analysis of droplet density

指标 Index	飞行高度 Flight altitude		施药量 Application amount	
	上层 Upper level	下层 Lower level	上层 Upper level	下层 Lower level
	K_1	96.10	67.98	81.27
K_2	101.30	69.33	110.50	72.93
K_3	82.90	48.27	88.53	64.54
K_1 均值	32.03	22.66	27.09	16.02
K_2 均值	33.77	23.11	36.83	24.31
K_3 均值	27.63	16.09	29.51	21.51
极差	6.14	7.02	9.74	8.29
较优水平	5	5	90	90

2.2 大载荷植保无人机不同飞行参数对雾滴覆盖率的影响

雾滴覆盖率是指施药时雾滴覆盖在作物表面的面积与作物总面积的百分比，它是衡量无人机施药作业质量的重要指标^[20]。FBH300T 双旋翼大载荷油动植保无人机对雾滴覆盖率的正交试验结果显示，在施药量分别为 60 L/hm² 和 90 L/hm²，相同施药量时，上、下层的雾滴覆盖率随飞行高

度的升高而降低，说明施药量相同时，随飞行高度的升高，会增加雾滴在水平方向上的覆盖率，使药液的穿透性降低，影响下层叶片的雾滴覆盖率。当施药量提高至 105 L/hm² 时，上层雾滴的覆盖率随飞行高度的升高而增加，而下层雾滴覆盖率随飞行高度的升高而呈下降趋势。当保持飞行高度不变的情况下，增加施药量上、下层雾滴覆盖率也随之增加。在飞行高度分别为 3、5 m 的处理中，施药量均为 90 L/hm² 时上、下层的雾滴覆盖率最大；而飞行高度为 7 m 的处理中，施药量为 105 L/hm² 时上、下层的雾滴覆盖率最大，说明相同的飞行高度下，施药量的增加会增加上、下层的雾滴覆盖率（表 4）。

正交试验方差分析结果表明，飞行高度和施药量所对应的 P 值均小于 0.01，对雾滴覆盖率表现为极显著影响，并且不同的飞行高度和施药量对上、下层的雾滴覆盖率的影响呈极显著差异（表 7）。雾滴覆盖率极差分析结果显示，影响橡胶树雾滴覆盖率的主要因素首先是施药量，其次是飞行高度，影响上、下层雾滴密度的因素均是施药量（表 8）。综合各参数，FBH300T 双旋翼大载荷

表 7 雾滴覆盖率方差分析
Tab. 7 Analysis of variance of droplet coverage rate

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P	显著性 Significance
施药量	1.385	2	0.692	233.077	<0.01	**
飞行高度	3.755	2	1.877	632.014	<0.01	**
施药量+飞行高度	5.528	4	1.382	465.233	<0.01	**
误差	0.053	18	0.003			

注：**表示差异极显著（ $P<0.01$ ）。

Note: ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

表 8 雾滴覆盖率极差分析
Tab. 8 Range analysis of droplet coverage

指标 Index	飞行高度 Flight altitude		施药量 Application amount	
	上层 Upper level	下层 Lower level	上层 Upper level	下层 Lower level
	K_1	9.65	7.13	8.39
K_2	10.10	7.21	10.97	7.69
K_3	8.49	5.65	8.89	7.40
K_1 均值	3.22	2.37	2.79	1.63
K_2 均值	3.37	2.40	3.66	2.56
K_3 均值	2.83	1.88	2.96	2.47
极差	0.54	0.52	0.87	0.93
较优水平	5	5	90	90

油动植保无人机对橡胶树的最佳作业参数为飞行离冠层高度 5 m、飞行速度 5 m/s、施药量 90 L/hm² 时雾滴覆盖率最大。

2.3 大载荷植保无人机喷施不同药剂对橡胶树“两病”的防治效果

本研究是在橡胶树白粉病、炭疽病暴发流行期,利用大载荷植保无人机进行了 2 次飞防施药,第二次施药后 7 d 的防治结果表明,7 个药剂处理对 2 种病害均表现出一定的防效,不同处理之间病害的发病率、病情指数以及相对防效均呈极显

著差异。7 个处理中,对橡胶树白粉病防效最好的是处理 5 (19%保叶清微乳剂:60%硫磺粉悬浮剂 1:1 混配),相对防效达 82.35%,其次是处理 7 (19%保叶清微乳剂:50%硫磺·三唑酮悬浮剂 1:1 混配),相对防效达 80.05%。对橡胶树炭疽病防效最好的是处理 1 (19%保叶清微乳剂),相对防效达 82.78%,其次是处理 6 (19%保叶清微乳剂:45%戊唑·咪酰胺水乳剂 2:1 混配),相对防效达 81.41%。4 个单剂处理对白粉病的相对防效依次为:50%硫磺·三唑酮悬浮剂>19%保叶清微乳剂>60%硫磺粉悬浮剂>45%戊唑·咪酰胺水乳剂;对炭疽病的相对防效依次为:19%保叶清微乳剂>45%戊唑·咪酰胺水乳剂>50%硫磺·三唑酮悬浮剂>60%硫磺粉悬浮剂(表 9)。

综合这 7 个药剂处理分别对白粉病和炭疽病的防效来看,19%保叶清微乳剂:60%硫磺粉悬浮剂 1:1 混配,以及 19%保叶清微乳剂:50%硫磺·三唑酮悬浮剂 1:1 混配对白粉病和炭疽病的防效均较理想。在实际生产应用中,可以结合发病区域往年病害发生情况、为害程度、病原优势种群等区域性病害发生流行特点选择合适的药剂混配进行病害防治。

表 9 无人机对橡胶树白粉病、炭疽病的防治效果
Tab. 9 Control effect of UAV on rubber tree powdery mildew and anthracnose

处理 Treatment	白粉病 Powdery mildew			炭疽病 Anthracnose		
	病情指数 Disease index	发病率 Morbidity/%	相对防效 Relative prevention effect/%	病情指数 Disease index	发病率 Morbidity/%	相对防效 Relative prevention effect/%
	1	23.77±0.42 ^d	62.33±0.58 ^d	71.66±0.62 ^d	5.07±0.15 ^f	17.33±0.58 ^{ef}
2	24.77±0.35 ^{cd}	77.00±1.00 ^b	70.35±1.47 ^{de}	20.10±0.30 ^b	76.00±1.00 ^a	31.02±0.31 ^e
3	30.03±1.27 ^b	74.67±0.58 ^c	64.04±0.33 ^f	8.70±0.10 ^d	27.67±0.58 ^c	70.33±0.94 ^e
4	19.30±0.26 ^e	52.67±0.58 ^e	76.62±0.85 ^c	9.87±0.21 ^c	24.00±1.00 ^d	66.24±0.33 ^f
5	14.83±0.35 ^f	38.33±0.58 ^b	82.35±0.17 ^a	6.60±0.10 ^e	16.33±1.53 ^{fg}	77.26±0.37 ^d
6	25.23±0.06 ^c	57.67±1.15 ^c	69.41±0.76 ^c	5.37±0.12 ^f	15.00±1.00 ^e	81.41±0.54 ^b
7	16.00±0.52 ^f	54.67±0.58 ^f	80.05±0.28 ^b	6.10±0.10 ^e	18.67±0.58 ^c	79.32±0.04 ^c
CK	83.33±1.53 ^a	99.67±0.58 ^a		29.10±0.75 ^a	70.00±1.00 ^b	

注:同列不同小写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate extremely significant difference ($P<0.01$).

3 讨论

我国早在 1982 年就有利用载人直升飞机喷洒硫磺粉防治橡胶树白粉病的报道^[21],但受限于当时的通讯设备、作业场地、运输成本以及科技成熟度等问题,航空施药技术在以后的 30 多年里均未能真正应用于橡胶树“两病”防治中。近年来,随着植保无人机技术的蓬勃发展,越来

越多的植保无人机广泛应用于作物病虫害的监测与防控中,并取得了较好的应用成效。然而,植保无人机在橡胶树“两病”防治中的应用还处于初级阶段。我国橡胶树的栽培模式分为山地橡胶和平地橡胶,在这 2 种栽培模式下又根据胶树的定植年限与开割情况分为幼林胶园和开割成龄胶园,胶园里还套种有林下经济作物。面对这种多

样化的橡胶树栽培模式,要建立起一套橡胶树“两病”无人机飞防技术还有很长的一段路要走。大量研究证明,大载荷植保无人机的作业效果与无人机机型、作业参数、飞防助剂和作物冠层特点等因素密切相关^[22-24],目前适用于橡胶树飞防的植保无人机机型较少,相关的研究工作开展的也很少。黄曦泽等^[16]利用载药量为 15 L 的 E-A2020 四旋翼小型电动无人机在幼龄橡胶树上进行飞行参数的探索,筛选出施药量 75 L/hm² 和喷雾粒径 100 μm 的最佳喷施参数。本研究前期也多次尝试利用小型多旋翼植保无人机进行橡胶树“两病”的飞防,但因其载药量小、电池续航时间短、下压风场小,雾滴的穿透性差,中下层叶片的药剂覆盖率低等问题无法在大面积成龄胶园中应用。为此,本研究尝试利用大载荷植保无人机防治橡胶树“两病”,通过开展 FBH300T 大载荷植保无人机飞行高度和施药量对橡胶叶片雾滴沉积分布的影响研究,筛选出飞行离冠层高度 5 m、施药量 90 L/hm²,飞行速度 5 m/s 的大载荷植保无人机最佳施药参数。然而大载荷无人机要真正实现大面积推广应用,保证无人机稳定、高效、安全的飞防作业,还需建立起一套标准化的飞防技术体系和作业质量评价标准。针对我国橡胶树不同栽培模式、种养模式、立地环境等特点,还需要从理论和实践中探索出包括飞行航线、飞行模式、飞行参数、喷洒系统等多方面的因素和条件,并形成配套的施药作业标准或技术规程,同时也应建立起相应的质量评价体系,对作业效果和最终防效进行评价,最终搭建起橡胶树“两病”无人机飞防技术体系。

近年来,随着橡胶树“两病”病原种群结构和优势种群的区域性变化,橡胶树病害的发生与流行呈现出新的特点。在白粉病方面,国内橡胶树白粉菌的优势种群为 *Erysiphe quercicola*^[25],其种群结构在白粉病流行的不同阶段(越冬期、流行早期、流行后期)存在丰富的遗传多样性且差异显著,在病害流行后期,白粉菌的种群多样性显著高于越冬期和流行早期,并且随着病害的流行与发展,还有来自除了橡胶树以外其他寄主上的白粉菌种群对橡胶树进行侵染,加大了病害的防治难度^[26]。在炭疽病方面,国内橡胶树炭疽菌存在胶孢炭疽(*Colletotrichum gloeosporioides* species complex)、尖孢炭疽(*C. acutatum* species com-

plex)和博宁炭疽(*C. Boninense* species complex) 3 个(类)复合种,其中胶孢复合种中的暹罗炭疽(*C. siamense*)和尖孢复合种中的华南炭疽(*C. australisinese*)为我国橡胶树炭疽病菌的优势种群^[27],这 2 个优势种群的炭疽菌在地域分布、侵染方式和为害特点上均存在显著差异^[28-29]。相关研究还发现,胶孢炭疽菌对多菌灵^[30]、苯醚甲环唑^[31]、甲基硫菌灵^[32],尖孢炭疽菌对多菌灵^[33]、吡唑醚菌酯^[34],博宁炭疽菌对多菌灵^[35]等药剂均表现出一定的耐药性,生产上常用的多菌灵和代森锰锌等药剂对炭疽病的防效并不理想。因此,针对病原菌不同优势种群的区域性发生与为害特点,选择新型、多效、安全的防治专用药剂是当前橡胶树“两病”防治中急需解决的主要问题之一。

本研究采用的新型防治药剂 19%保叶清,是中国热带农业科学院环境与植物保护研究所自主研发,由广东大丰植保科技有限公司登记和生产,该药剂有效成分为咪酰胺和三唑酮,能兼治橡胶树白粉病、炭疽病、棒孢霉落叶病等多种叶部病害,具有“一药多治”的特点,在剂型上有微乳剂和热雾剂 2 种剂型,适用于无人机和热雾机 2 种施药器械,是橡胶树“两病”防治的专用药剂^[15]。在用药量上,采用无人机施用 19%保叶清微乳剂的用药量为 1800~2250 g/hm²,而生产上采用人工喷洒硫磺粉的用药量为 9000~12 000 g/hm²,重病流行期用量为 13 500~15 000 g/hm²^[36-37],与人工施用硫磺粉相比,新型药剂 19%保叶清的用药量减少了 5 倍以上,尽管药剂的用药量减少了,但是对白粉病和炭疽病的防效仍然分别能达 71.66%和 82.78%,防效较为理想。除了选用新型药剂以外,本研究对硫磺粉的剂型也进行了改良,生产上常用于防治白粉病的硫磺粉多为粉剂,利用喷粉机在施药过程中粉尘易漂移,对人体和环境存在一定危害,本研究中,广东大丰植保科技有限公司将硫磺粉剂改良成 60%悬浮剂,不仅适用于无人机飞防,还能增加药剂在橡胶叶片上的覆盖率。与人工喷洒硫磺粉相比,采用无人机施用 60%硫磺粉悬浮剂(2700 g/hm²)的用药量比人工施药量减少了 3 倍以上,对白粉病的防效达 70.35%。此外,本研究在前期药剂筛选与防效评价^[38]的基础上,尝试将 19%保叶清与其他药剂按照一定的比例进行复配施用,发现 19%保叶清与 60%硫磺粉按 1:1 混施对白粉病和炭疽病的防效最好,其次是 19%保叶清与 50%硫磺·三唑酮按

1:1混配。通过对新型专用药剂的选择和药剂的两两混配施用,不仅能同时兼治白粉病和炭疽病,提高防效,还能减少药剂用量、降低药剂防治成本。通过对常用药剂硫磺粉剂型的改良,采用无人机代替人工喷洒,不仅显著降低用药量,同时还能提高药剂在叶片表面的覆盖率,保证防效,这些研究结果能为橡胶树“两病”无人机飞防技术的熟化与飞防专用药剂的选择提供理论支撑。

参考文献

- [1] 蔡志英,何海宁,吴丽霞,苏海鹏,戴利铭,熊延林. 云南山地胶园白粉病防治农药减施初探[J]. 热带农业科技, 2020, 43(2): 9-11.
CAI Z Y, HE H N, WU L X, SU H P, DAI L M, XIONG Y L. Preliminary study on pesticide reduction for powdery mildew control in mountainous rubber plantations in Yunnan[J]. Tropical Agricultural Science and Technology, 2020, 43(2): 9-11. (in Chinese)
- [2] 蔡志英,黄贵修. 巴西橡胶树炭疽病研究进展[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(1): 89-93.
CAI Z Y, HUANG G X. Research progress on rubber tree anthracnose in Brazil[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31(1): 89-93. (in Chinese)
- [3] 黄贵修,许灿光,李博勋. 中国天然橡胶病虫害识别与防治(第二版)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018: 2-25.
HUANG G X, XU C G, LI B X. Identification and control of natural rubber diseases, insects, and grass pests in China[M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2018: 2-25. (in Chinese)
- [4] 陈勇,张毅,雷建林,宋泽兴,王光明,管志斌. 6HWF-20喷雾喷粉机在橡胶树白粉病防治上的推广应用[J]. 热带农业科技, 2008, 31(4): 25-26.
CHEN Y, ZHANG Y, LEI J L, SONG Z X, WANG G M, GUAN Z B. The promotion and application of 6HWF-20 spray duster in the control of rubber tree powdery mildew[J]. Tropical Agricultural Science and Technology, 2008, 31(4): 25-26. (in Chinese)
- [5] 范会雄,谭象生. 橡胶树白粉病流行规律与防治技术[J]. 植物保护, 1997(3): 28-30.
FAN H X, TAN X S. Epidemic patterns and control techniques of rubber tree powdery mildew[J]. Plant Protection, 1997(3): 28-30. (in Chinese)
- [6] 冯淑芬,刘秀娟,王绍春,张开明,郑服丛. 橡胶树炭疽病流行规律研究[J]. 热带作物学报, 1998(4): 39-45.
FENG S F, LIU X J, WANG S C, ZHANG K M, ZHENG F C. A study on the epidemic pattern of rubber tree anthracnose[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1998(4): 39-45. (in Chinese)
- [7] 肖春云. 橡胶树白粉病综合防治试验比较[J]. 中国热带农业, 2010(6): 56-58.
XIAO C Y. Comparison of comprehensive control experiments on rubber tree powdery mildew[J]. China Tropical Agriculture, 2010(6): 56-58. (in Chinese)
- [8] 王明,王其同,黄飞,白先权,李振华,李晓莎. 浅谈植保无人机防控橡胶树病虫害的应用及亟待解决的问题[J]. 中国热带农业, 2020(5): 62-65.
WANG M, WANG Q T, HUANG F, BAI X Q, LI Z H, LI X S. Discussion on the application and urgent problems of plant protection drones in preventing and controlling rubber tree diseases and pests[J]. China Tropical Agriculture, 2020(5): 62-65. (in Chinese)
- [9] 兰玉彬,王国宾. 中国植保无人机的行业发展概况和发展前景[J]. 农业工程技术, 2018, 38(9): 17-27.
LAN Y B, WANG G B. Development overview and prospects of China's plant protection drone industry[J]. Agricultural Engineering Technology, 2018, 38(9): 17-27. (in Chinese)
- [10] 亓文哲,王菲菲,孟臻,张典利,王红艳,乔康,姬晓雪. 我国植保无人机应用现状[J]. 农药, 2018, 57(4): 247-254.
QI W Z, WANG F F, MENG Z, ZHANG D L, WANG H Y, QIAO K, JI X X. Current situation of the application of plant protection drones in China[J]. Pesticides, 2018, 57(4): 247-254. (in Chinese)
- [11] 王凤强. 农业植保无人机的选型及使用注意事项[J]. 农机科技推广, 2021(12): 33-34.
WANG F Q. Selection and precautions for use of agricultural plant protection drones[J]. Agricultural Machinery Technology Promotion, 2021(12): 33-34. (in Chinese)
- [12] 张珂欣,丁茹. 植保机械化背景下植保无人机推广应用研究[J]. 世界热带农业信息, 2022(8): 63-64.
ZHANG K X, DING R. Research on the promotion and application of plant protection drones under the background of plant protection mechanization[J]. World Tropical Agriculture Information, 2022(8): 63-64. (in Chinese)
- [13] 李博勋. 国内首次橡胶树无人机植保飞防成功[J]. 农村百事通, 2019(13): 24.
LI B X. The first successful plant protection and flight prevention of rubber tree drones in China[J]. Rural Mastercard, 2019(13): 24. (in Chinese)
- [14] 李飞,何立平,郑明辉,王伟锋. 植保无人机在勐腊县橡胶树病虫害预警监测与防治上的应用[J]. 福建农业, 2015(8): 140.
LI F, HE L P, ZHENG M H, WANG W F. The application of plant protection drones in early warning, monitoring and

- control of rubber tree diseases and pests in Mengla county[J]. Fujian Agriculture, 2015(8): 140. (in Chinese)
- [15] 李博勋. 中国热带农业科学院环植所开展橡胶树叶部病害新型多效药剂“保叶清”应用示范[J]. 世界热带农业信息, 2018(8): 53.
- LI B X. Environmental Protection and Planting Institute of CATAS conducted a demonstration of the application of a new multi effect pesticide “Baoyeqing” for rubber leaf diseases[J]. World Tropical Agriculture Information, 2018(8): 53. (in Chinese)
- [16] 黄曦泽, 梁晓宇, 任赛豪, 田方, 张宇, 王萌. 喷施参数对四旋翼植保无人机雾滴在橡胶林中分布的影响[J]. 热带作物学报, 2022, 43(6): 1221-1230.
- HUANG X Z, LIANG X Y, REN S H, TIAN F, ZHANG Y, WANG M. The effect of spraying parameters on the distribution of fog droplets in rubber forests of four rotor plant protection drones[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(6): 1221-1230. (in Chinese)
- [17] 胡红岩, 任相亮, 姜伟丽, 马小艳, 马亚杰, 王丹, 马艳. 植保无人机棉田喷药农药沉积分布研究[J]. 华中农业大学学报, 2018, 37(5): 59-64.
- HU H Y, REN X L, JIANG W L, MA X Y, MA Y J, WANG D, MA Y. Study on the distribution of pesticide deposition in cotton fields sprayed by plant protection drones[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2018, 37(5): 59-64. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国农业农村部. 橡胶树白粉病测报技术规范 NY/T 1089—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Technical regulations for the detection and reporting of rubber tree powdery mildew: NY/T 1089—2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国农业农村部. 热带作物病虫害监测技术规范 橡胶树炭疽病: NY/T 3518—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Technical code for monitoring pests of tropical crops—Anthracnose of rubber tree: NY/T 3518—2019[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019. (in Chinese)
- [20] 边永亮, 李建平, 薛春林, 李昕昊, 王鹏飞. 单旋翼油动无人机与圆形果园风送喷雾机作业性能对比试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(12): 134-141.
- BIAN Y L, LI J P, XUE C L, LI X H, WANG P F. Comparative experimental study on operational performance of single rotor oil powered UAV and round orchard air powered spray[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(12): 134-141. (in Chinese)
- [21] 农牧渔业部农垦局生产处热作组. 飞机喷药防治橡胶树白粉病[J]. 中国农垦, 1982(8): 20.
- Tropical Crop Group, Production Department, Agricultural Reclamation Bureau, Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries. Aircraft spraying chemicals to prevent and control powdery mildew of rubber trees[J]. China Agricultural Reclamation, 1982(8): 20. (in Chinese)
- [22] 王军锋, 罗博韬, 霍元平, 王晓英, 徐文彬. 助剂影响大载荷植保无人机喷洒沉积特性的试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(12): 1044-1049.
- WANG J F, LUO B T, HUO Y P, WANG X Y, XU W B. Experimental study on the influence of additives on the spray deposition characteristics of heavy load plant protection drones[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2019, 37(12): 1044-1049. (in Chinese)
- [23] 罗博韬. 大载荷植保无人机喷洒作业雾滴沉积特性的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- LUO B T. A study on the characteristics of droplet deposition during heavy duty plant protection drone spraying operations[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018. (in Chinese)
- [24] 徐文彬, 王军锋, 闻建龙, 王晓英. 大载荷植保无人直升机近地飞行流场模拟[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 665-671.
- XU W B, WANG J F, WEN J L, WANG X Y. Flow field simulation of high load plant protection unmanned helicopter near ground flight[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2017, 38(6): 665-671. (in Chinese)
- [25] LIYANAGE K K, KHAN S, BROOKS S, MORTIMER P E, HYEDE K D. Taxonomic revision and phylogenetic analyses of rubber powdery mildew fungi[J]. Microbial Pathogenesis, 2016(105): 185-195.
- [26] CAO X R, XIAO Y, HAN Q, LUO D Q. Temporal population structure of rubber tree powdery mildew pathogen *Erysiphe quercicola* in Hainan, China[J/OL]. Plant Pathology, 2023, 72(7). [2023-09-25]. <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?field1=Title&text1=Temporal+population+structure+of+rubber+tree+powdery+mildew&field2=AllField&text2=&field3=AllField&text3=&publication%5B%5D=13653059&Ppub=#>.
- [27] LIU X B, LI B X, CAI J M, ZHENG X L, FENG Y L, HUANG G X. *Colletotrichum* species causing anthracnose of rubber trees in China[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 10435.
- [28] LIU X B, LI B X, CAI J M, SHI T, YANG Y, FENG Y L, HUANG G X. Whole genome resequencing reveal patterns of genetic variation within *Colletotrichum acutatum* species

- complex from rubber trees in China[J]. *Fungal Genetics and Biology*, 2023, 167: 103801.
- [29] 江涛. 国内橡胶主栽区炭疽病菌种群鉴定及其生物学特性分析[D]. 海口: 海南大学, 2020.
- JIANG T. Population identification and biological characteristics analysis of anthracnose pathogen in main rubber planting areas in China[D]. Haikou: Hainan University, 2020. (in Chinese)
- [30] 张新怡, 李雪, 高兆银. 热带亚热带水果胶孢炭疽菌对多菌灵的抗药性测定[J]. *热带农业科学*, 2014, 34(11): 71-74.
- ZHANG X Y, LI X, GAO Z Y. Determination of resistance to carbendazim of *Colletotrichum gloeosporioides* in tropical and subtropical fruits[J]. *Tropical Agricultural Sciences*, 2014, 34(11): 71-74. (in Chinese)
- [31] 石姐姐, 阮宏椿, 陈文乐, 陈巧红, 陈福如, 杜宜新. 大豆胶孢炭疽菌对苯醚甲环唑的抗性机制及其抗性突变体的适合度[J]. *植物保护学报*, 2022, 49(4): 1022-1031.
- SHI N N, RUAN H C, CHEN W L, CHEN Q H, CHEN F R, DU Y X. The resistance mechanism of soybean anthracnose fungus to difenoconazole and the suitability of its resistant mutants[J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49(4): 1022-1031. (in Chinese)
- [32] 林婷. 胶孢炭疽菌杀菌剂抗药性的机制、检测技术及治理研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- LIN T. Research on the mechanism, detection techniques, and management of fungicide resistance of *Colletotrichum gloeosporioides*[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2015. (in Chinese)
- [33] CAO X R, XU X M, CHE H Y, WEST J S, LUO D Q. Distribution and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species complexes from rubber tree in Hainan, China[J]. *Plant Disease*, 2017, 101(10): 1774-1780.
- [34] ABDULKADIR D I, TAE H K. Cytochrome b gene-based assay for monitoring the resistance of *Colletotrichum* spp. to pyraclostrobin[J]. *The Plant Pathology Journal*, 2022, 38(6): 616-628.
- [35] 郑肖兰, 刘先宝, 李博勋, 郑行恺, 时涛, 冯艳丽, 黄贵修. 橡胶树炭疽菌 HCKHNQZ1736 β -TUB2 基因对多菌灵的抗性相关性分析[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(8): 2334-2341. (in Chinese)
- ZHENG X L, LIU X B, LI B X, ZHENG X K, SHI T, FENG Y L, HUANG G X. Preliminary analysis on resistance mechanism of β -TUB2 of HCK HNQZ1736 of rubber tree to carbendazim[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(8): 2334-2341. (in Chinese)
- [36] 李贵林, 曾艳华. 橡胶树白粉病的发生与防治[J]. *乡村科技*, 2018(2): 72-73.
- LI G L, ZENG Y H. The occurrence and prevention of rubber tree powdery mildew[J]. *Rural Science and Technology*, 2018(2): 72-73. (in Chinese)
- [37] 王冠章. 海南橡胶树白粉病的流行规律与防治技术[J]. *特种经济动植物*, 2021, 24(5): 63-64.
- WANG G Z. Epidemic patterns and control techniques of powdery mildew on rubber trees in Hainan[J]. *Special Economic Animals and Plants*, 2021, 24(5): 63-64. (in Chinese)
- [38] 贺竞锋, 刘先宝, 李博勋, 蔡吉苗, 冯艳丽, 黄贵修. 橡胶树不同种群炭疽菌对杀菌剂的敏感性[J]. *热带生物学报*, 2022, 13(6): 582-588.
- HE J F, LIU X B, LI B X, CAI J M, FENG Y L, HUANG G X. Sensitivity of different populations of anthracnose in rubber trees to fungicides[J]. *Chinese Journal of Tropical Biology*, 2022, 13(6): 582-588. (in Chinese)