

· 植物保护 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240173



主持人: 缪卫国, 吴少英

Open Access



褐背蒲桃提取物与杀菌剂复配的防病效果研究

白永霞[#], 张 羲, 符英洁, 王 帅, 李 栋, 孙然锋^{*}

(海南大学 热带农林学院/热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海南 海口 570228 中国)

摘 要: 为减少化学农药用量, 本研究结合植物提取物和化学农药的优势, 利用室内活性测定菌丝生长速率法, 筛选褐背蒲桃(*Syzygium infrarubiginosum*)甲醇提取物与乙嘧酚、吡唑醚菌酯、噁唑酰胺以及苯醚甲环唑4种化学杀菌剂复配对抗纹枯病菌的增效配比, 通过室内盆栽试验明确增效复配药剂对抗纹枯病和豇豆白粉病的防治效果。实验结果表明, 在对水稻纹枯病菌的室内活性测定中, 筛选出11种混合配比具有显著增效作用, 包括5%(w/w)褐背蒲桃甲醇提取物微乳液与5%(w/w)吡唑醚菌酯悬浮液在4:1和5:1的配比下, 其增效系数分别达到2.349和2.987; 与5%(w/w)噁唑酰胺悬浮液在1:3、1:4和1:5的配比下, 增效系数分别为2.714、2.455和2.167。室内盆栽实验结果表明, 筛选出的混剂能有效控制水稻纹枯病和豇豆白粉病的发生。

关键词: 植物源农药; 褐背蒲桃; 复配; 增效; 配方筛选

中图分类号: S482.5

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054(2025)05-0728-10

白永霞, 张羲, 符英洁, 等. 褐背蒲桃提取物与杀菌剂复配的防病效果研究 [J]. 热带生物学报, 2025, 16(5): 728-737. doi: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240173

褐背蒲桃(*Syzygium infrarubiginosum*)是桃金娘科蒲桃属的乔木, 主要分布在中国的广东和海南地区。蒲桃属植物中含有丰富的萜类、查尔酮、黄酮类、木脂素等次生代谢产物, 具有抗真菌、抗炎、抗氧化、驱虫和抗病毒活性等作用^[1]。本实验室在热带植物提取物抑菌活性筛选中发现, 褐背蒲桃甲醇提取物展现出较为突出的抑菌活性, 进一步分离其活性化合物, 得到已知化合物1: 1-(2,6-二羟基-4-甲氧基苯基)-1-己酮(1-(2,6-Dihydroxy-4-methoxyphenyl)-1-hexanone); 化合物2: (Z)-1-(2,6-二羟基-4-甲氧基苯基)-辛-5-烯-1-酮[(Z)-1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)-oct-5-en-1-one]; 化合物3: [(3E,7E)-1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)deca-3,7-dien-1-one]。3种化合物对水稻纹枯病、辣椒疫霉病、番茄灰霉病等共7种真菌菌丝生长都具有抑制作用(EC_{50} 值范围为4.89~26.26 mg·L⁻¹)。在室内盆栽实验中发现, 褐背蒲桃甲醇提取物对立枯丝核菌(*Rhizoctonia*

solani)和单囊壳白粉菌(*Podosphaera xanthii*)的抑制效果显著^[2], 这2种病原侵染作物引起的病害均对农作物生产构成严重威胁, 导致产量大幅下降, 品质降低, 严重时减产超过50%^[3-4]。

苯醚甲环唑^[5]、吡唑醚菌酯^[6]和乙嘧酚^[7]可用于防治农作物白粉病, 同时噁唑酰胺和苯醚甲环唑常用于防治水稻纹枯病^[8-9]。虽然化学杀菌剂能有效控制病害、提高作物产量^[10-11], 但长期应用可能污染环境, 加剧病原菌抗药性, 从而增加防治难度^[12]。

近年来, 植物源农药因其环境友好性而受到国内外学者的重视, 被视为化学农药的替代品^[13]。在全球推动农业可持续发展和生态保护的背景下, 植物源农药的研究和应用得到了广泛关注^[14-15]。然而, 植物源农药通常因药效发挥缓慢和防效不稳定而限制了其应用范围^[16-17]。目前, 有关植物源农药与化学农药联合复配在农作物病虫害防治上的研究很多。通过将植物提取物与化学农药复配, 探索其对植物病虫害的室内联合毒力和田间

收稿日期: 2024-11-17

修回日期: 2025-02-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(22067004); 海南省自然科学基金资助项目(321CXTD436)

[#]第一作者: 白永霞(1999—), 女, 海南大学热带农林学院2022级硕士研究生。E-mail: 1430881504@qq.com

^{*}通信作者: 孙然锋(1981—), 男, 教授。研究方向: 农药学。E-mail: srf18@hainanu.edu.cn

防治效果, 有望提高防治效果、减少化学农药使用、延缓抗药性发展, 并减轻环境影响^[18-19]。例如, 张立娇等^[20]的研究显示, 每公顷使用 750 g 0.5% 藜芦根茎提取物可溶液剂和 315 g 7.5% 氯氟·吡虫啉悬浮剂的混合物, 可减少 30% 化学农药用量, 并且防治麦蚜的效果与 7.5% 氯氟·吡虫啉悬浮剂防控相当, 15 d 后的麦蚜防效达到 97.04%。高小宽等^[21]的研究中, 43% 戊唑醇与三七(*Panax notoginseng*)提取物在 1:1 或 1:2 复配后, 防治梨黑斑病的增效系数(SR)分别为 3.15 和 4.29。2018 年以色列 STK 公司推出的 REGEV™ 杀菌剂^[22]是市场上首个生物农药与化学农药混合产品, 其活性成分包括互生叶白千层(*Melaleuca alternifolia*)提取物和苯醚甲环唑, 具有协同效应且持效期长, 适用于水稻、大豆、葡萄、香蕉和蔬菜等多种作物的病害防治。天然产物与化学农药复配是农药新产品开发的一个重要研究方向^[23-24]。

本研究首次探讨了褐背蒲桃甲醇提取物与 4 种化学杀菌剂不同比例混配对水稻纹枯病和豇豆白粉病的室内联合毒力, 通过结合植物提取物和化学农药的优势, 以期提升防治效果, 减少化学杀菌剂的使用, 延缓抗药性的发展, 并减少对环境的影响。这种复配策略有助于农药行业开发出更环保、可持续的产品, 并为农民提供更多防治选择。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试菌株与植物 立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)和单囊壳白粉菌(*Podosphaera xanthii*)均由海南大学热带农林学院分离、鉴定并备份。立枯丝核菌于 PDA 斜面上保存于 4 ℃ 冰箱; 豇豆白粉菌是一种专性活体营养型寄生真菌, 保存于豇豆叶片。

植物褐背蒲桃(*S. infrarubiginosum*)采集于海南省昌江黎族自治县, 由海南大学热带农林学院鉴定并保存。

1.1.2 供试药剂 乙酸乙酯、无水乙醇、无水甲醇(分析纯, 西陇科学有限公司); 农乳 601# 以及蓖麻油聚氧乙烯醚(EL-40, 江苏省海安石油化工厂)。25%(w/w, 下同)乙嘧酚悬浮剂、40%(w/w, 下同)苯醚甲环唑悬浮剂及 30%(w/w, 下同)吡唑醚菌酯悬浮剂(江西益禾化工股份有限公司), 240

g·L⁻¹ 噻呋酰胺悬浮剂(日式化学株式会社)。

1.1.3 供试培养基 马铃薯琼脂葡萄糖培养基(PDA): 蒸馏水 1 L, 去皮马铃薯 200 g, 大火煮沸 25~30 min, 过滤, 液体定容 1 L, 调至小火, 缓慢加入葡萄糖 18 g, 琼脂 20 g, 待其完全溶解, 定容, 分装。121 ℃, 灭菌 20 min, 备用。

1.2 实验方法

1.2.1 褐背蒲桃甲醇提取物制备 取褐背蒲桃地上部分, 恒温鼓风干燥箱 50 ℃ 烘干后粉碎, 将褐背蒲桃粉末放入 90%(v/v)的甲醇(MeOH, 5 L)溶液中浸泡 48 h, 重复浸泡 3 次, 褐背蒲桃粉末与甲醇溶液的质量体积比为 1:10, 合并 3 次浸泡液, 过滤除去残渣, 50~60 ℃ 减压旋蒸浓缩至膏状, 4 ℃ 保存^[25]。

1.2.2 供试溶液配制 按照 5:10:10:5:10:60 的比例(质量比), 加入 5 g 褐背蒲桃甲醇提取物浸膏, 接着加入 10 g 乙酸乙酯、10 g 无水乙醇, 使用磁力搅拌器充分混匀, 然后加入 5 g 农乳 601#、10 g EL-40, 最后加入无菌水, 定量至 100 g, 充分搅拌混匀, 得到 5%(w/w, 下同)褐背蒲桃甲醇提取物微乳液, 4 ℃ 保存。

25% 乙嘧酚悬浮剂、40% 苯醚甲环唑悬浮剂、30% 吡唑醚菌酯悬浮剂、240 g·L⁻¹ 噻呋酰胺悬浮剂均用无菌水配制, 现配现用。

1.2.3 褐背蒲桃甲醇提取物与 4 种杀菌剂对水稻纹枯病菌的毒力测定 选择菌丝生长速率法^[26]进行室内毒力测定。根据预实验各药剂的抑制率, 设置 6 个浓度梯度, 实验步骤参照王鑫雨等^[27]的真菌培养和菌丝生长测定的方法, 将药液根据设置浓度, 加入冷却至 45~50 ℃ 的 PDA 培养基中, 充分混匀, 均匀倒入 90 mm 培养皿中, 每个处理重复 3 次。使用无菌打孔器于预培养 2 d 的立枯丝核菌菌落边缘打孔取直径 5 mm 的菌饼, 并将其接种于 PDA 平板中心, 封口。接种平板置于(27±1) ℃ 培养箱, 黑暗培养 2 d。根据下列公式计算褐背蒲桃甲醇提取物、乙嘧酚、噻呋酰胺、苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯及复配药剂对水稻纹枯病菌菌丝生长抑制率。

$$I = [(D_{ck} - D_t) / (D_{ck} - 5)] \times 100\%, \quad (1)$$

式中, I 为菌丝生长抑制率(%); D_{ck} 为对照组菌落直径(mm); D_t 为药剂处理组菌落直径(mm)。

1.2.4 褐背蒲桃甲醇提取物与 4 种杀菌剂对水稻纹枯病菌的联合毒力测定 5% 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液与 4 种单剂按照质量比 1 : 1、1 : 2、1 : 3、1 : 4、1 : 5、2 : 1、3 : 1、4 : 1、5 : 1 混合配制。用 Wadley 方法^[30-31] 评价二元复配药剂的联合毒力, 该方法可以估计任何浓度杀菌剂之间的交互, 评价的可靠性与病害的防治水平相互独立。通过比较增效系数(*SR*)来评价复配剂的联合作用, 联合作用分为拮抗作用(0 ~ 0.499)、相加作用(0.500 ~ 1.499)、增效作用(1.500 以上)。混剂理论抑制中浓度 $EC_{50}(th)$ ^[28-29] 和增效系数(*SR*)^[32] 的计算公式如下:

$$EC_{50}(th) = (a+b)/[a/EC_{50}(A)+b/EC_{50}(B)], \quad (2)$$

$$SR = EC_{50}(th)/EC_{50}(ob), \quad (3)$$

式中, A 和 B 分别为复配的试剂; *a* 和 *b* 代表复配试剂中 A 和 B 所占的体积比; $EC_{50}(A)$ 、 $EC_{50}(B)$ 分别为 A、B 的 EC_{50} 实际抑制中浓度, $mg \cdot L^{-1}$; $EC_{50}(th)$ 为复配剂的理论抑制中浓度, $mg \cdot L^{-1}$; $EC_{50}(ob)$ 为混配药剂实际抑制中浓度, $mg \cdot L^{-1}$ 。

1.2.5 水稻纹枯病菌室内防治效果测定 将水稻种子使用温水浸泡 1 h, 催芽 24 h, 萌发的种子培养在育苗盘中, 当苗高约 10 cm 时移栽至塑料盆中, 每盆 1 株, 待苗达到分蘖中期时, 挑选长势一致的水稻植株进行活性测定, 水稻培养和水稻纹枯病菌接种方法参考贺闽等^[33]。选取木片, 剪成长宽分别为 1 和 3 mm 的小木片, 灭菌烘干备用。吸取 PDA 培养基于培养皿中, 挑取小木片置于培养皿中, 待到培养基冷却凝固后于培养皿中间接种水稻纹枯病菌, 后置于 28 ℃ 恒温培养箱中培养, 待木片长满菌丝后进行室内活性测定。药剂使用 0.2%(v/v, 下同) 吐温-80 水溶液配制供试 0.2 $g \cdot L^{-1}$ 的供试药液, 各 20 mL 备用。药剂保护活性测定时, 均匀喷洒供试药液于水稻植株上, 24 h 后将带菌小木片嵌入水稻植株叶枕下; 治疗活性测定时, 接种带菌小木片 24 h 后, 喷洒供试药液, 处理后的水稻正常培养。0.2% 吐温-80 水溶液为空白对照, 每个处理重复 3 次, 7 d 之后观察并记录植株叶鞘发病情况。水稻纹枯病分级参考刘启凤等^[34](表 1), 病情指数及其防治效果计算如下。

$$DI = \left[\sum (D_N \times G_N) / (D_T \times G_T) \right] \times 100\%, \quad (4)$$

表 1 水稻纹枯病室内活性测定病情分级标准

Tab. 1 Indoor activity determination of rice sheath blight disease and its classification standard

病情分级 Disease classification	植物叶片发病情况 Infection of leaves with rice sheath blight
0级	健康无病害
1级	病斑面积为叶鞘面积的 0 ~ 25%
3级	病斑面积为叶鞘面积的 26% ~ 50%
5级	病斑面积为叶鞘面积的 51% ~ 75%
7级	病斑面积为叶鞘面积的 75%以上, 顶部叶片受到严重侵染
9级	病斑到达植株顶部, 叶片被严重侵染, 有些植株枯死

$$CE = (DI_C - DI_T) / DI_C \times 100\%, \quad (5)$$

式中, *DI* 为病情指数; D_N 为各级病株数; D_T 为调查总株数; G_N 为对应的病级; G_T 为最高病级; C_E 为防治效果; DI_C 为对照组病情指数; DI_T 为处理组病情指数。

1.2.6 豇豆白粉病菌室内防治效果测定 采用文献^[35] 的方法, 培养豇豆苗和接种豇豆白粉病原菌, 测定褐背蒲桃甲醇提取物微乳液与乙嘧酚、噻呋酰胺、苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯悬浮液和具有增效的混剂对豇豆白粉病的防治效果。用 0.2% 的吐温-80 水溶液配制 0.5 $g \cdot L^{-1}$ 的供试药液, 20 mL 备用。用灭过菌的刷子轻轻将发病豇豆叶片上的白粉菌孢子刷入含无菌水的小瓶子中, 采用血球计数法在显微镜下调整为 5 × 10⁶ CFU · mL⁻¹ 的孢子悬浮液, 现配现用。播种豇豆于塑料盆中, 15 d 后, 待豇豆苗长到 2 叶期时, 选择大小长势相似的豇豆植株进行活性测定。测定药剂保护活性, 将供试药液均匀喷洒到豇豆苗上, 直到液体均匀布满所有叶片, 24 h 后, 均匀喷洒孢子悬浮液; 测定药剂治疗活性, 在均匀喷洒孢子悬浮液 24 h 后, 均匀喷洒供试药剂, 直到液体均匀布满所有叶片。以 0.2% 吐温-80 水溶液为空白对照。每个处理设置 5 个重复。培养 14 d 后, 观察并记录豇豆叶片发病情况。

参考文献^[36] 的行业标准进行病情分级(表 2), 病情指数及其防治效果计算同 1.2.5 中公式(4)和(5)。

1.3 数据处理 数据采用 IBM SPSS Statistics 21.0 处理系统和 Excel 处理。单因素方差分析后, 显

表 2 豇豆白粉病室内活性测定病情分级标准

Tab. 2 Indoor activity determination of cowpea powdery mildew disease and its classification standard

病情分级 Disease classification	植物叶片发病情况 Infection of leaves with powdery mildew
0级	健康无病害
1级	病斑面积占整片叶片面积的5%以下
3级	病斑面积占整片叶片面积的5%~15%
5级	病斑面积占整片叶片面积的16%~25%
7级	病斑面积占整片叶片面积的26%~50%
9级	病斑面积占整片叶片面积的50%以上

著性最小差异法(LSD)进行显著性分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 单剂和复配药剂对水稻纹枯病菌的室内抑菌活性 各药剂对水稻纹枯病菌的生物活性测定结果见表 3。吡唑醚菌酯(EC_{50} 为 $0.039\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)、噻呋酰胺(EC_{50} 为 $0.043\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和苯醚甲环唑(EC_{50} 为 $0.043\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)悬浮液均对立枯丝核菌表现出较好的抑菌效果,褐背蒲桃甲醇提取物 EC_{50} 为 $110.719\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,乙嘧酚 EC_{50} 为 $246.348\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

表 3 的 36 组混剂处理中,有 11 组混剂的联

表 3 单剂和复配药剂对水稻纹枯病菌的毒力测定

Tab. 3 Determination of the virulence of single agents and mixtures against *Rhizoctonia solani*

药剂 Reagent	质量比 Mass ratio	线性回归方程 Linear regression equation	决定系数 Coefficient of determination(R^2)	$EC_{50}(\text{th})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$EC_{50}(\text{ob})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	95%置信区间/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 95% confidence interval/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SR	毒力评价 Virulence evaluation
A	—	$y=-2.86+1.40x$	0.967	—	110.719	77.862 ~ 282.943	—	—
B	—	$y=2.14+1.52x$	0.996	—	0.039	0.026 ~ 0.053	—	—
C	—	$y=-4.85+2.17x$	0.936	—	246.348	188.864 ~ 337.054	—	—
D	—	$y=0.84+0.61x$	0.996	—	0.043	0.018 ~ 0.086	—	—
E	—	$y=1.25+0.92x$	0.957	—	0.043	0.018 ~ 0.073	—	—
	1 : 1	$y=1.23+1.01x$	0.984	0.078	0.060	0.043 ~ 0.081	1.300	相加
	1 : 2	$y=1.23+1.09x$	0.911	0.058	0.054	0.005 ~ 0.162	1.074	相加
	1 : 3	$y=1.52+1.33x$	0.976	0.052	0.075	0.034 ~ 0.131	0.693	相加
	1 : 4	$y=0.60+0.54x$	0.978	0.049	0.078	0.045 ~ 0.172	0.628	相加
	1 : 5	$y=1.42+1.13x$	0.984	0.047	0.056	0.039 ~ 0.080	0.839	相加
A : B	2 : 1	$y=0.37+0.94x$	0.927	0.117	0.383	0.246 ~ 0.765	0.305	拮抗
	3 : 1	$y=0.79+0.91x$	0.964	0.156	0.135	0.039 ~ 0.428	1.560	相加
	4 : 1	$y=1.15+1.07x$	0.975	0.195	0.083	0.01 ~ 0.172	2.349	增效
	5 : 1	$y=1.16+1.06x$	0.954	0.233	0.078	0.001 ~ 0.167	2.987	增效
	1 : 1	$y=-7.75+3.57x$	0.958	152.775	147.975	130.873 ~ 184.250	1.032	相加
	1 : 2	$y=-6.10+3.03x$	0.99	174.932	103.416	85.793 ~ 112.467	1.692	增效
	1 : 3	$y=-4.08+1.87x$	0.971	188.592	150.802	139.411 ~ 164.858	1.251	相加
	1 : 4	$y=-3.70+1.78x$	0.946	197.870	135.509	117.940 ~ 151.913	1.460	相加
	1 : 5	$y=-4.40+1.99x$	0.946	204.580	163.436	140.441 ~ 220.538	1.252	相加
	2 : 1	$y=-1.83+0.97x$	0.977	135.605	76.315	66.342 ~ 82.771	1.777	增效
A : C	3 : 1	$y=-4.79+2.36x$	0.978	128.391	107.454	97.879 ~ 115.759	1.195	相加
	4 : 1	$y=-2.96+1.60x$	0.944	124.419	70.743	51.759 ~ 84.195	1.759	增效
	5 : 1	$y=-1.60+0.81x$	0.994	121.905	91.580	86.561 ~ 96.743	1.331	相加

续表 3 Tab. 3 Continued

药剂 Reagent	质量比 Mass ratio	线性回归方程 Linear regression equation	决定系数 Coefficient of determination(R^2)	$EC_{50}(th)/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$EC_{50}(ob)/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	95%置信区间/($mg \cdot L^{-1}$) 95% confidence interval/($mg \cdot L^{-1}$)	SR	毒力评价 Virulence evaluation
A : D	1 : 1	$y=0.25+0.91x$	0.960	0.086	0.532	0.159 ~ 5.326	0.162	拮抗
	1 : 2	$y=0.22+0.72x$	0.995	0.064	0.501	0.272 ~ 1.701	0.128	拮抗
	1 : 3	$y=0.23+0.85x$	0.965	0.057	0.548	0.317 ~ 1.308	0.104	拮抗
	1 : 4	$y=0.28+0.95x$	0.983	0.054	0.505	0.311 ~ 1.029	0.107	拮抗
	1 : 5	$y=0.41+0.97x$	0.965	0.052	0.375	0.247 ~ 0.691	0.139	拮抗
	2 : 1	$y=0.52+0.52x$	0.989	0.129	0.103	0.09 ~ 0.233	1.252	相加
	3 : 1	$y=0.38+0.56x$	0.990	0.172	0.211	0.076 ~ 0.553	0.815	相加
	4 : 1	$y=0.40+0.64x$	0.964	0.215	0.235	0.110 ~ 0.541	0.915	相加
	5 : 1	$y=0.44+0.61x$	0.971	0.257	0.190	0.074 ~ 0.411	1.353	相加
A : E	1 : 1	$y=1.23+1.01x$	0.992	0.086	0.048	0.020 ~ 0.074	1.792	增效
	1 : 2	$y=1.50+1.07x$	0.978	0.064	0.040	0.021 ~ 0.060	1.600	增效
	1 : 3	$y=1.39+0.82x$	0.950	0.057	0.021	0.005 ~ 0.038	2.714	增效
	1 : 4	$y=1.52+0.91x$	0.990	0.054	0.022	0.007 ~ 0.038	2.455	增效
	1 : 5	$y=1.35+0.85x$	0.960	0.052	0.024	0.007 ~ 0.042	2.167	增效
	2 : 1	$y=2.19+2.06x$	0.993	0.129	0.087	0.063 ~ 0.109	1.483	相加
	3 : 1	$y=1.75+1.79x$	0.929	0.172	0.106	0.075 ~ 0.135	1.623	增效
	4 : 1	$y=1.29+1.55x$	0.984	0.215	0.148	0.108 ~ 0.195	1.453	相加
	5 : 1	$y=1.83+2.62x$	0.993	0.257	0.200	0.169 ~ 0.240	1.285	相加

注: “-”表示无数据; A为5%(w/v)褐背蒲桃甲醇提取物微乳液; B为5%w/w吡唑醚菌酯悬浮液; C为5%(w/w)乙嘧酚悬浮液; D为5%(w/w)苯醚甲环唑悬浮液; E为5%(w/w)噻呋酰胺悬浮液。

Note: ‘-’ means no data; A: 5% (w/w)methanol extract microemulsion of *Syzygium infrarubiginosum*; B: 5%(w/w) Pyraclostrobin suspension liquid; C: 5%(w/w)Ethirimol suspension liquid; D: 5%(w/w) Difenconazole suspension liquid; E: 5%(w/w)Thifluzamide suspension liquid.

合毒力表现出增效作用, SR 在 1.600 ~ 2.987; 有 19 组混剂的联合毒力表现出相加作用, SR 在 0.628 ~ 1.483。有 6 组混剂的联合毒力表现出拮抗作用, SR 在 0.104 ~ 0.305。

褐背蒲桃甲醇提取物与乙嘧酚、噻呋酰胺复配效果优异, 均表现出相加作用或增效作用。褐背蒲桃甲醇提取物与乙嘧酚质量比为 1 : 2、2 : 1、3 : 1、4 : 1、5 : 1 时, 复配抑菌活性要大于褐背蒲桃甲醇提取物和乙嘧酚单独使用的活性; 与噻呋酰胺质量比为 1 : 2、1 : 3、1 : 4、1 : 5, 复配活性要大于褐背蒲桃甲醇提取物和噻呋酰胺单独使用的活性; 褐背蒲桃甲醇提取物与吡唑醚菌酯复配质量比为 2 : 1 时, 表现出拮抗作用, 其余均为相加作用或增效作用; 褐背蒲桃甲醇提取物与苯醚甲环唑复配, 当褐背蒲桃甲醇提取物多于

苯醚甲环唑时, 就表现出相加作用, 反之则表现出拮抗作用。

2.2 单剂和 6 种复配药剂对水稻纹枯病菌室内防治效果 5%(w/w) 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液与 5%(w/w) 的乙嘧酚、噻呋酰胺、吡唑醚菌酯悬浮液及增效混剂对水稻纹枯病的防治效果见图 1 和图 2 所示。4 种单剂防治效果相比较, 存在显著差异, 其中 5%(w/w) 噻呋酰胺悬浮液的保护活性 90.24% 和治疗活性 65.86% 表现最佳。

5%(w/w) 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液与 5%(w/w) 吡唑醚菌酯悬浮液混配, 其保护作用防效分别为 51.21%、60.98% 与单剂防效 65.86% 相较, 未出现增效; 治疗活性作用防效分别为 56.09%、65.86% 与单剂防效 51.21% 相较, 增效明显。与 5%(w/w) 乙嘧酚悬浮液质量比 2 : 1 混



A 为 5%(w/w) 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液; B 为 5%吡唑醚菌酯悬浮液; C 为 5%(w/w) 乙嘧酚悬浮液; E 为 5%(w/w) 噁唑酰胺悬浮液; F 为 A : B=4 : 1; G 为 A : B=5 : 1; H : A : C=2 : 1; I 为 A : C=4 : 1; J 为 A : D=1 : 3; K 为 A : D=1 : 4。下同。

A. 5%(w/w) methanol extract microemulsion of *Syzygium infrarubiginosum*; B. 5%(w/w) Pyraclostrobin suspension liquid; C. 5% Ethirimol suspension liquid; E. 5%(w/w) Difenoconazol suspension liquid; F. A : B=4 : 1; G. A : B=5 : 1; H. A : C=2 : 1; I. A : C=4 : 1; J. A : D=1 : 3; K. A : D=1 : 4. Similarly hereinafter.

图 1 0.2 g·L⁻¹ 单剂和 6 种复配药剂对水稻纹枯病的保护活性

Fig. 1 Protective activity of 0.2 g·L⁻¹ single agent and six mixtures against rice sheath blight

配的保护活性防效为 60.98%, 显著高于单剂防效 31.70%, 质量比 4 : 1 混配时, 防效 31.70% 与单剂相当, 而在保护作用中质量比 4 : 1 混配的保护活性防效为 51.21%, 显著高于单剂防效



图 2 0.2 g·L⁻¹ 单剂和 6 种复配药剂对水稻纹枯病的治疗活性

Fig. 2 Control activity of 0.2 g·L⁻¹ single agent and six mixtures against rice sheath blight

41.47%。与 5%(w/w) 噁唑酰胺悬浮液混配, 保护作用无明显增效; 在治疗作用中, 混配防效分别为 85.37%、90.24%, 显著高于其单剂防效 65.86%, 增效明显(表 4)。

2.3 单剂和 6 种复配药剂对豇豆白粉病菌室内防治效果 褐背蒲桃甲醇提取物与 3 种单剂及复配增效比例药剂对豇豆白粉病的防治效果如图 3 和图 4 所示。4 种单剂防治效果存在一定差异, 其中 5%(w/w) 乙嘧酚悬浮液和 5%(w/w) 吡唑醚菌酯悬浮液的保护活性和治疗活性表现最佳, 能够有效抑制白粉病的发生, 5%(w/w) 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液的保护活性 80.97% 优于治疗

表 4 0.2 g·L⁻¹ 单剂和 6 种复配药剂对水稻纹枯病室内防治效果

Tab. 4 Effect of 0.2 g·L⁻¹ single agent and six mixtures on indoor control of rice sheath blight

药剂 Reagent	质量比 Mass ratio	保护活性 Protective efficacy		治疗活性 Curative efficacy	
		病情指数 Disease index	防治效果/% Control effect/%	病情指数 Disease index	防治效果/% Control effect/%
CK	—	56.94±1.95 ^a	—	56.94±1.95 ^a	—
A	—	33.33±2.50 ^{bc}	41.47±4.39 ^{de}	33.33±1.09 ^b	41.47±1.92 ^d
B	—	19.44±1.10 ^c	65.86±1.94 ^b	27.78±0.48 ^{bc}	51.21±0.85 ^{cd}
C	—	38.89±0.00 ^b	31.70±0.00 ^c	33.33±1.24 ^b	41.47±2.18 ^d
E	—	5.56±3.92 ^f	90.24±6.89 ^a	19.44±1.87 ^d	65.86±3.28 ^b
A : B	4 : 1	22.22±0.75 ^{de}	60.98±1.32 ^{bc}	25.00±0.00 ^{cd}	56.09±0.00 ^{bc}
	5 : 1	27.78±2.16 ^{cd}	51.21±3.80 ^{cd}	19.44±0.06 ^d	65.86±0.10 ^b
A : C	2 : 1	22.22±1.46 ^{de}	60.98±2.56 ^{bc}	33.33±0.08 ^b	40.59±0.15 ^d
	4 : 1	38.89±1.96 ^b	31.70±3.44 ^c	27.78±3.11 ^{bc}	51.21±6.90 ^{cd}
A : E	1 : 3	16.67±3.92 ^c	70.73±6.89 ^b	8.33±3.92 ^e	85.37±6.89 ^a
	1 : 4	16.67±0.62 ^c	70.73±1.10 ^b	5.56±0.95 ^e	90.24±1.67 ^a

注: “—”表示无数据; A 为 5%(w/w) 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液; B 为 5%(w/w) 吡唑醚菌酯悬浮液; C 为 5%(w/w) 乙嘧酚悬浮液; E 为 5%(w/w) 噁唑酰胺悬浮液。表中同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Note: ‘—’ means no data; A: 5% (w/w) methanol extract microemulsion of *Syzygium infrarubiginosum*; B: 5% (w/w) Pyraclostrobin suspension liquid; C: 5% (w/w) Ethirimol suspension liquid; E: 5% (w/w) Difenoconazol suspension liquid. The different lowercase letters in the same column indicated that there was a significant difference at the $P < 0.05$ level by LSD test.

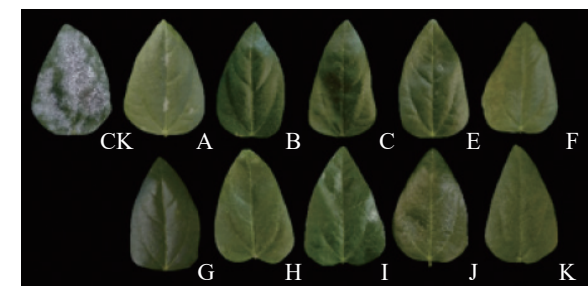


图 3 0.5 g·L⁻¹ 单剂和 6 种复配药剂对豇豆白粉病的保护作用

Fig. 3 Protection effect of 0.5 g·L⁻¹ single agent and six mixtures on cowpea powdery mildew

活性 73.81%。在保护活性测定中,混剂防效显著高于 5% 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液防效 80.97%,其保护作用防控效果与化学单剂旗鼓相当,而混配化学药剂使用浓度低于单剂浓度,有效实现化学农药减量;在治疗活性测定中,5%(w/w) 褐背蒲桃甲醇提取物微乳液与 5%(w/w) 吡唑醚菌酯悬浮液按质量比 5 : 1 混配防效 97.62% 优于 5% (w/w)

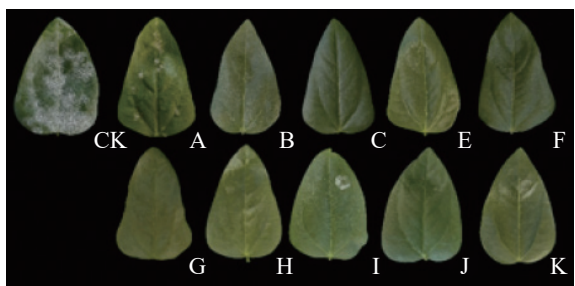


图 4 0.5 g·L⁻¹ 单剂和 6 种复配药剂对豇豆白粉病的治疗作用

Fig. 4 Control effect of 0.5 g·L⁻¹ single agent and six mixtures on cowpea powdery mildew

吡唑醚菌酯悬浮液防效 95.24%; 其与 5%(w/w) 噁唑酰胺悬浮液混配,防效均为 95.24% 高于 5% 噁唑酰胺悬浮液防效 90.47%。以上混配组合的防治效果较单剂防控相当,而混配药剂中化学药剂使用浓度低于单剂浓度,而有效实现化学农药减量的同时可作为延缓抗药性发生的选择 (表 5)。

表 5 0.5 g·L⁻¹ 单剂和 6 种复配药剂对豇豆白粉病室内防治效果

Tab. 5 Effect of 0.5 g·L⁻¹ single agent and six mixtures on indoor control of cowpea powdery mildew

药剂 Reagent	质量比 Mass ratio	保护活性 Protective efficacy		治疗活性 Curative efficacy	
		病情指数 Disease index	防治效果/% Control effect/%	病情指数 Disease index	防治效果/% Control effect/%
CK	—	77.77±7.54 ^a	—	77.77±7.54 ^a	—
A	—	14.81±1.43 ^b	80.97±1.84 ^c	20.37±1.09 ^b	73.81±1.40 ^d
B	—	0 ^c	100 ^a	3.70±0 ^c	95.24±0 ^{ab}
C	—	0 ^c	100 ^a	3.70±0.85 ^c	95.24±1.09 ^{ab}
D	—	1.85±0.07 ^c	97.62±0.09 ^a	7.41±0.44 ^c	90.47±0.57 ^c
A : B	4 : 1	0 ^c	100 ^a	5.56±0.48 ^c	92.85±0.62 ^{bc}
	5 : 1	0 ^c	100 ^a	1.85±0.41 ^c	97.62±0.52 ^a
A : C	2 : 1	0 ^c	100 ^a	5.56±0.18 ^c	92.85±0.24 ^{bc}
	4 : 1	3.70±0.42 ^c	95.24±1.46 ^b	7.41±0.14 ^c	90.47±0.18 ^c
A : D	1 : 3	0 ^c	100 ^a	3.7±0.06 ^c	95.24±0.07 ^{ab}
	1 : 4	0 ^d	100 ^a	3.7±0.16 ^c	95.24±0.20 ^{ab}

注: “—”表示无数据; A为5%(w/w)褐背蒲桃甲醇提取物微乳液; B为5%(w/w)吡唑醚菌酯悬浮液; C为5%(w/w)乙嘧酚悬浮液; D为5%(w/w)噁唑酰胺悬浮液。表中同列不同小写字母表示经LSD法检验在P<0.05水平差异显著。

Note: ‘—’ means no data. A: 5%(w/w) methanol extract microemulsion of *Syzygium infrarubiginosum*; B: 5% (w/w)Pyraclostrobin suspension liquid; C: 5% (w/w)Ethirimol suspension liquid; D: 5% (w/w)Difenconazole suspension liquid. The different lowercase letters in the same column indicated that there was a significant difference at the $P < 0.05$ level by LSD test.

3 讨 论

本研究主要探讨了褐背蒲桃甲醇提取物与 4 种化学杀菌剂(乙嘧酚、吡唑醚菌酯、噁唑酰胺、

苯醚甲环唑)混配室内联合毒力的增效配比及对水稻纹枯病和豇豆白粉病的室内防治效果。通过菌丝生长速率法测定了褐背蒲桃甲醇提取物与 4 种化学杀菌剂在不同质量配比下对水稻纹枯病

菌的联合毒力,结果显示,在36组混剂处理中,有11组表现出增效作用,其中褐背蒲桃甲醇提取物与吡唑醚菌酯在4:1、5:1混配时的SR分别为2.349、2.987,与噻呋酰胺在1:3、1:4、1:5混配时的SR分别为2.714、2.455、2.167,以上5组混配剂组合均展现出优异的增效作用。豇豆白粉病和水稻纹枯病室内盆栽活体实验结果表明,褐背蒲桃甲醇提取物与3种化学杀菌剂混配的防治效果能实现减少化学农药使用量,同时有效抑制病斑的大小。在水稻纹枯病盆栽实验中,5%(w/w)褐背蒲桃甲醇提取物微乳液的保护活性与治疗活性无明显差异,但其与化学药剂混配时,防治效果与单一药剂施用相比,其治疗活性增效的整体表现优于保护活性。室内毒力测定实验结果显示,当效果相当时,混配中化学杀菌剂使用质量浓度低于单剂质量浓度,能有效减少化学农药使用量的混配中化学药剂的使用质量浓度低于单剂质量浓度,能有效实现减量化学农药的目的并有利于延缓抗药性的发生。

植物源农药与化学农药复配后对植物致病真菌协同毒力作用,突破了以化学农药为主的防治对策的局限性^[37]。利用植物源农药与化学农药复配可显著增强对病原菌的毒力作用,达到增效作用^[38-39]。目前,对复配药剂增效机制尚不明确,推测是褐背蒲桃甲醇提取物中存在促进药剂渗透的物质,在联合作用下提高了复配药剂的防治效果,下一步工作可以聚焦在褐背蒲桃甲醇提取物活性成分分离鉴定上。

综上所述,本研究筛选出了一系列褐背蒲桃甲醇提取物与化学杀菌剂的增效配比,这些复配药剂不仅能有效防治水稻纹枯病和豇豆白粉病,还能减少化学农药的使用,延缓抗药性的发展,对环境友好,并为植物源农药的开发和应用提供了新的策略和理论依据。

参考文献:

[1] 卯升丹,许文,刘东豪,等.短药蒲桃叶子的化学成分研究[J].云南大学学报(自然科学版),2024,46(4):759-764.

[2] 侯帅.褐背蒲桃提取物农用杀菌活性研究[D].海口:海南大学,2021. doi:10.27073/d.cnki.ghadu.2021.000456

[3] ZHENG A P, LIN R M, ZHANG D H, et al. The evolution and pathogenic mechanisms of the rice sheath blight

pathogen[J]. *Nature Communications*, 2013, 4(1): 1424.

[4] PÉREZ-GARCÍA A, ROMERO D, FERNÁNDEZ-ORTUÑO D, et al. The powdery mildew fungus *Podosphaera fusca* (synonym *Podosphaera xanthii*), a constant threat to cucurbits[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2009, 10(2): 153-160.

[5] OULKAR D P, BANERJEE K, PATIL S H, et al. Degradation kinetics and safety evaluation of buprofezin residues in grape (*Vitis vinifera* L.) and three different soils of India[J]. *Pest Management Science*, 2009, 65(2): 183-188.

[6] VIELBA-FERNÁNDEZ A, POLONIO Á, RUIZ-JIMÉNEZ L, et al. Fungicide resistance in powdery mildew fungi[J]. *Microorganisms*, 2020, 8(9): 1431.

[7] 徐继根,张顺昌,吴昊,等.草莓白粉病不同防治药剂筛选试验[J].浙江农业科学,2022,63(3):558-561.

[8] MIAO J Q, MU W J, BI Y, et al. Heterokaryotic state of a point mutation (H249Y) in SDHB protein drives the evolution of thifluzamide resistance in *Rhizoctonia solani*[J]. *Pest Management Science*, 2021, 77(3): 1392-1400.

[9] GAO S G, XU L H, ZENG R, et al. Baseline sensitivity of *Rhizoctonia solani* to four DMI fungicides[J]. *Journal of Basic Microbiology*, 2022, 62(6): 701-710.

[10] YIN Y N, MIAO J Q, SHAO W Y, et al. Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management[J]. *Phytopathology*, 2023, 113(4): 707-718.

[11] VAN ZWIETEN R, BIERMAN T V, KLINKHAMER P G L, et al. Mimicking natural deterrent strategies in plants using adhesive spheres[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2024, 121(21): e2321565121.

[12] ZUBROD J P, BUNDSCHUH M, ARTS G, et al. Fungicides: an overlooked pesticide class?[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(7): 3347-3365.

[13] SINGH P, SINGH S, SILLANPÄÄ M. Pesticides in the natural environment: sources, health risks, and remediation[M]. Amsterdam: Elsevier, 2022. doi:10.1016/C2020-0-03318-9

[14] AMARAL I, ANTUNES S C, REBELO D, et al. Biopesticide spinosad: Unraveling ecotoxicological effects on zebrafish, *Danio rerio*[J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2024, 108: 104458.

[15] 熊诗洁,朱学栋,袁继荣,等.花椒精油及其主要成分对番茄链格孢菌的抑制作用[J].南方农业学报,2024,55(8):2473-2484.

[16] LENGAI G M W, MUTHOMI J W, MBEGA E R. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production[J]. *Scientific African*, 2020, 7: e00239.

[17] RIYAZ M, MATHEW P, ZUBER S M, et al. Botanical pesticides for an eco-friendly and sustainable agriculture: new challenges and prospects[M]//Sustainable Ag-

- riculture. Cham: Springer, 2021: 69–96. doi:10.1007/978-3-030-83066-3_5
- [18] CUI G F, YUAN H Q, HE W, et al. Synergistic effects of botanical curcumin-induced programmed cell death on the management of *Spodoptera litura* Fabricius with avermectin[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2022, 229: 113097.
- [19] KIM S, YOON J, TAK J H. Synergistic mechanism of insecticidal activity in basil and mandarin essential oils against the tobacco cutworm[J]. *Journal of Pest Science*, 2021, 94(4): 1119–1131.
- [20] 张立娇, 徐靖, 李贵芳, 等. 藜芦根茎提取物与化学农药混施防治麦蚜效果初探[J]. *中国植保导刊*, 2023, 43(11): 86–88.
- [21] 高小宽, 马光, 吕亚慈, 等. 不同农药对梨黑斑病的毒力测定及与三七提取物复配的研究[J]. *北方园艺*, 2020(5): 51–55.
- [22] REUVENI M. Regev™—a new potent hybrid product for the control of plant diseases: a mini review[J]. *Outlooks on Pest Management*, 2019, 30(1): 33–35.
- [23] 徐重新, 张江兆, 胡晓丹, 等. 农药联合复配在农作物病虫害防治上的研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(4): 8–15.
- [24] 高东霞, 杨素霞, 李素英. 农作物病虫害生物防治: 减少化学农药使用的创新方法[J]. *河北农机*, 2024(19): 112–114.
- [25] 孙然锋, 侯帅, 胡展, 等. 一种褐背蒲桃提取物杀菌剂及其制备方法和应用: 中国: 113367166[P]. 2021-09-10. <https://pss-system.cponline.cnipa.gov.cn/documents/detail?prevPageTit=changgui>
- [26] 姜海燕, 白娜娜, 晁开瑞, 等. 内生真菌 SDYS180 粗提物抑菌活性与机制[J]. *福建农林大学学报 (自然科学版)*, 2024, 53(3): 307–313.
- [27] 王鑫雨, 高续恒, 钱乐, 等. 叶菌唑及其复配剂对河南省假禾谷镰孢菌的抑制活性及对小麦茎基腐病的室内防效[J]. *农药学报*, 2024, 26(4): 781–789.
- [28] CANG T, LOU Y C, ZHU Y C, et al. Mixture toxicities of tetrachlorantraniliprole and tebuconazole to honey bees (*Apis mellifera* L.) and the potential mechanism[J]. *Environment International*, 2023, 172: 107764.
- [29] HUANG F L, LIU M, QIN L T, et al. Toxicity interactions of azole fungicide mixtures on *Chlorella pyrenoidosa*[J]. *Environmental Toxicology*, 2023, 38(7): 1509–1519.
- [30] 杜晓静, 梁浩, 钱玺丞. 博落回生物碱和茶皂素对 4 种蔬菜病原菌的室内联合毒力[J]. *山西农业科学*, 2024, 52(3): 109–115.
- [31] 贤小勇, 朱桂宁, 林珊宇, 等. 吡啶醚菌酯与苯醚甲环唑对核桃炭疽病菌的联合毒力及林间防治效果[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(6): 1633–1640.
- [32] 李梦雨, 高续恒, 钱乐, 等. 己唑醇及其复配剂对河南省禾谷镰孢菌的抑制活性及对小麦赤霉病的室内防效[J]. *农药学报*, 2024, 26(3): 540–548.
- [33] 贺闽, 尹俊杰, 冯志明, 等. 水稻稻瘟病和纹枯病抗性鉴定方法[J]. *植物学报*, 2020, 55(5): 577–587.
- [34] 刘启凤. 黄脉九节和中南鱼藤提取物农用生物活性研究[D]. 海口, 海南大学, 2022. doi:10.27073/d.cnki.ghadu.2022.001118.
- [35] 刘启凤, 张北京, 尹丰满, 等. 中南鱼藤枝叶提取物对植物病原真菌的抑菌活性[J]. *热带生物学报*, 2022, 13(3): 227–234.
- [36] 中华人民共和国农业部. NY/T 1156.11—2008 农药室内生物测定试验准则 杀菌剂 第 11 部分: 防治瓜类白粉病试验 盆栽法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [37] 张卜艳, 马凤伟, 安建松, 等. 大葱致病菌分离鉴定及农药复配抑菌方案筛选[J]. *农药*, 2024, 63(10): 765–770.
- [38] 汪军, 徐菁, 朱宇航, 等. 几种杀菌剂对猕猴桃多主棒孢菌的毒力及田间药效测定[J]. *果树学报*, 2024, 41(11): 2347–2357.
- [39] 戴宝生, 吕锐玲, 张华崇, 等. 四种杀菌剂及复配组合测定亚洲镰刀菌 (*Fusarium asiaticum*) 的毒力[J]. *中南农业科技*, 2024, 45(10): 4–8.

Effect of combination of *Syzygium infrarubiginosum* extract and fungicides on disease control

BAI Yongxia[#], ZHANG Xi, FU Yingjie, WANG Shuai, LI Dong, SUN Ranfeng^{*}

(School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University/ Ministry of Education Key Laboratory of Green Prevention and Control of BioDisasters in Tropical Agriculture and Forestry, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: An attempt was made to make full use of the advantages of plant extracts and chemical pesticides to reduce the dosage of chemical pesticides. *Syzygium infrarubiginosum* was extracted with methanol, and mixed with four chemical fungicides, including ethirimol, pyraclostrobin, thifluzamide and difenoconazole to screen the synergistic ratio of their mixtures against *Rhizoctonia solani*, the pathogen of rice sheath blight by indoor activity determination of mycelial growth rate of *R. solani*. The control effects of the synergistic mixtures on rice sheath blight and cowpea powdery mildew were determined by indoor pot experiment. The indoor activity determination showed that the mixtures at 11 ratios were found to have significant synergistic effects in the indoor activity determination of rice sheath blight, including the mixture of 5% (w/w) methanol extract microemulsion with 5% (w/w) pyraclostrobin suspension at the ratios of 4 : 1 and 5 : 1 ratio (the synergistic coefficient was 2.349 and 2.987, respectively), with 5% thifluzamide suspension at the respective ratios of 1 : 3, 1 : 4 and 1 : 5 (the synergistic coefficient values were 2.714, 2.455 and 2.167, respectively). The pot experiment showed that the mixtures screened could effectively control the occurrence of rice sheath blight and cowpea powdery mildew.

Keywords: botanical pesticide; *Syzygium infrarubiginosum*; compounding; additive effect; formula screening

(责任编辑: 潘学峰)