

袁志辉,方 仪,何敏慧,等. 油茶皂苷和噻菌灵混配抑制稻黑孢菌的效果[J]. 江苏农业科学,2024,52(11):122–127.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2024.11.017

油茶皂苷和噻菌灵混配抑制稻黑孢菌的效果

袁志辉^{1,2},方 仪¹,何敏慧¹,王 鑫¹,盘福成¹,何福林^{1,2},曾丽亚³

(1. 湖南科技学院化学与生物工程学院,湖南永州 425199; 2. 湖南省银杏工程技术研究中心,湖南永州 425199;
3. 邵阳学院,湖南邵阳 422000)

摘要:稻黑孢菌可侵染玉米、水稻、小麦、高粱、棉花、生姜、菩提榕树等多种植物。目前,有关稻黑孢菌危害及防治的报道较少,且用常规药剂防治该菌的效果不理想。采用菌丝生长速率法、十字交叉法以及 Wadley 法,在分别测定油茶皂苷和噻菌灵对稻黑孢菌的生物活性影响的基础上,进一步研究 2 种药剂混配后的抗菌活性,为筛选防治稻黑孢菌的高效环保新药剂提供依据。结果显示,当油茶皂苷的浓度为 10.50 $\mu\text{g/L}$,噻菌灵浓度为 1.30 $\mu\text{g/L}$ 时,抑菌率均达到 80% 以上,噻菌灵对稻黑孢菌的抑菌效果更明显。毒力回归方程测定结果显示,油茶皂苷的 EC_{50} 为 6.30 $\mu\text{g/L}$,噻菌灵的 EC_{50} 为 0.87 $\mu\text{g/L}$,2 种药剂对稻黑孢菌均有良好的防治效果。采用 Wadley 法筛选药剂混配增效配方,得到油茶皂苷和噻菌灵(3:7)的毒力比(TR)为 2.84 和共毒系数(CTC)为 140,表明两者混配后有协同增效作用。研究结果可为防治稻黑孢菌提供新的药剂配方。

关键词:稻黑孢菌;油茶皂苷;噻菌灵;混配

中图分类号:S432.4⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2024)11–0122–06

稻黑孢菌(*Nigrospora oryzae*)是一种在全球范围内广泛分布的病原真菌,可侵染玉米、水稻、小麦、高粱、棉花、生姜、菩提榕树等多种植物^[1]。在

我国主要分布在黑龙江省、江苏省、四川省、湖南省、广东省等主要稻区^[2],会引发水稻穗腐病、水稻鞘枯病、木芙蓉黑斑病、鸭跖草叶斑病、水稻穗枝腐病、生姜叶斑病等病害^[3–8]。针对该菌的防治报道目前相对较少,李戊清等报道,75% 脞菌·戊唑醇水分散粒剂、325 g/L 苯甲·嘧菌酯悬浮剂、250 g/L 嘧菌酯悬浮剂对该菌的平板抑制效果较好^[9]。冯爱卿等检测了 10 种杀菌剂对该菌的抑制效果,结果显示,苯醚甲环唑、咯菌腈、咪鲜胺锰盐以及苯甲·丙环唑等药剂可作为防治稻黑孢菌的候选药剂^[10]。在生物防治方面,Sempere 等证明,草酸青霉能抑制

收稿日期:2023–07–31

基金项目:湖南省教育厅科学研究项目重点项目(编号:21A0519);湖南省自然科学基金(编号:2023JJ50070,2022JJ30272,2023JJ50039)。

作者简介:袁志辉(1981—),男,江西宜春人,博士,副教授,主要从事天然产物开发与利用研究。E-mail:zh_h_yuan@126.com。

通信作者:何福林,硕士,教授,主要从事天然产物开发与利用研究, E-mail:hefulin0012@163.com;曾丽亚,博士,讲师,主要从事植物保护研究, E-mail:liyazeng@nwsuaf.edu.cn。

- [17] Seo J K, Kim M K, Kwak H R, et al. Molecular dissection of distinct symptoms induced by tomato chlorosis virus and tomato yellow leaf curl virus based on comparative transcriptome analysis [J]. Virology, 2018, 516: 1–20.
- [18] Zhang Z C, He B, Sun S, et al. The phytoalexin COR induces transcriptional reprogramming of photosynthetic, hormonal and defence networks in tomato [J]. Plant Biology, 2021, 23: 69–79.
- [19] Liu R, Xu Y H, Jiang S C, et al. Light-harvesting chlorophyll a/b-binding proteins, positively involved in abscisic acid signalling, require a transcription repressor, WRKY40, to balance their function [J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(18): 5443–5456.
- [20] Staneloni R J, Rodriguez-Batiller M J, Casal J J. Abscisic acid, high-light, and oxidative stress down-regulate a photosynthetic gene via a promoter motif not involved in phytochrome-mediated

- transcriptional regulation [J]. Molecular Plant, 2008, 1(1): 75–83.
- [21] Majhi B B, Sobol G, Gachie S, et al. Brassinosteroid-signalling kinases 7 and 8 associate with the FLS2 immune receptor and are required for flg22-induced PTI responses [J]. Molecular Plant Pathology, 2021, 22(7): 786–799.
- [22] Tornero P, Gadea J, Conejero V, et al. Two PR-1 genes from tomato are differentially regulated and reveal a novel mode of expression for a pathogenesis-related gene during the hypersensitive response and development [J]. Molecular Plant (Microbe Interactions), 1997, 10(5): 624–634.
- [23] Xu P, Blancaflor E B, Roossinck M J. In spite of induced multiple defense responses, tomato plants infected with cucumber mosaic virus and D satellite RNA succumb to systemic necrosis [J]. Molecular Plant (Microbe Interactions), 2003, 16(6): 467–476.

稻黑孢霉生长,但大田还没有试验验证及推广应用^[11]。因此,尽快开发对稻黑孢菌有防治效果的新药剂显得十分必要和迫切。

油茶皂苷是一种性能优良的天然表面活性剂,有抗氧化等多种生物活性^[12]。针对这些活性,目前研发了基于油茶皂苷的洗涤剂、杀虫剂、各类工业乳化剂、啤酒发泡剂和食品工业乳化剂等^[13]。近年来,利用油茶皂苷防治植物致死型病原真菌的研究被广泛关注,黄继光等测试 12 种植物病原菌后发现,油茶皂苷对稻瘟病、柑橘青霉病、番茄小核病、荔枝霜疫霉、玉米小斑病的 5 种病原菌菌丝生长有显著抑制作用^[14]。此外,油茶皂苷可与化学农药混配,提高其杀虫活性,降低田间施用量,如与代森锰锌混配作用于辣椒炭疽病能提高其防效^[15]。油茶皂苷也可提高胜红蓟素、杀虫单、灭多威、三氟氯氰菊酯、尼索朗、哒螨灵、鱼藤酮、乐果、B. t.、苯霜灵、速克灵等农药的防治效果^[16]。董道青等测定了油茶皂苷对植物源农药雷公藤乳油防治茶尺蠖幼虫的增效作用,发现雷公藤乳油加入 2 g/L 油茶皂苷后对茶尺蠖 2 龄幼虫可增效 5.68 ~ 11.10 倍,达到相同的使用效果可减少雷公藤用量 85% 以上^[17]。由此可见,充分利用油茶皂苷的抗虫抗菌和农药增效活性,开发绿色环保抗菌剂或实行联合用药对化学农药减量和绿色除菌具有重大意义。

噻菌灵(probenazole)属苯并咪唑类杀菌剂,又名特克多,在农业生产中用于防治由子囊菌、半知菌和担子菌等引发的农作物、果树及经济作物上的多种病害,尤其能够防治麦类黑穗病、赤霉病、水稻稻瘟病、纹枯病等真菌性病害^[18]。本研究采用菌丝生长速率法、十字交叉法以及 Wadley 法,分别测定油茶皂苷和噻菌灵 2 种药剂及其混配对稻黑孢菌的抑菌活性。试验结果旨在为油茶皂苷和噻菌灵混配制备农药用于大面积防治稻黑孢菌导致的病害提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

稻黑孢菌采自湖南科技学院实验田病害稻叶,经马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)固体培养基常规分离、纯化、鉴定后,斜面保存于 4 ℃ 备用。油茶皂苷购自湖南汉清生物技术有限公司,噻菌灵购自台湾隼农实业股份有限公司,PDA 培养基购自青岛高科技工业园海博生物技术有限公司。

1.2 方法

试验地点为湖南科技学院湖南省银杏工程技术研究中心实验室,试验时间为 2022 年 7 月至 2023 年 5 月。

1.2.1 稻黑孢菌的活化 将斜面固体保存的菌接种于 PDA 平板中,于 28 ℃ 恒温培养,菌落生长至充满培养皿的 2/3 即可。

1.2.2 油茶皂苷和噻菌灵抑菌活性测定

1.2.2.1 油茶皂苷浓度梯度培养基的配制 将油茶皂苷母液加水稀释制成 105.00、94.50、84.00、73.50、63.00、52.50、42.00 μg/L 浓度,向培养皿中加入 1 mL 稀释液和 9 mL PDA 培养基混匀,分别制成 10.50、9.45、8.40、7.35、6.30、5.25、4.20 μg/L 浓度的油茶皂苷 PDA 平板,空白组加 1 mL 无菌水和 9 mL 培养基,每个浓度 3 个重复,共 24 个平板。

1.2.2.2 噻菌灵浓度梯度培养基的配制 将噻菌灵母液加水稀释制成 13.00、11.00、9.00、7.00、5.00 μg/L 浓度,向培养皿中加入 1 mL 稀释液和 9 mL PDA 培养基混匀,分别制成含 1.30、1.10、0.90、0.70、0.50 μg/L 浓度的油茶皂苷 PDA 平板,空白组加 1 mL 无菌水和 9 mL 培养基,每个浓度 3 个重复,共 18 个平板。

1.2.2.3 抑菌活性测定 将 5 mm 打孔器打孔活化的稻黑孢菌菌饼接种到含药 PDA 平板中央,将带药及空白平板培养基置于 28 ℃ 恒温培养。每 24 h 观察 1 次,直至空白对照菌落直径达到培养皿的 2/3 时,每个菌落用十字交叉法测量菌落直径各 1 次,取其平均值。根据测得的结果计算菌丝生长抑制率。再由浓度、抑制率绘制毒力回归方程,计算有效中浓度(EC₅₀)。

菌落直径 = 测量的菌落直径 - 0.5 cm。

菌丝生长抑制率 = (对照菌落直径 - 处理菌落直径) / 对照菌落直径 × 100%。

1.2.3 混合药剂增效配方的筛选 采用 Wadley 法^[19]进行筛选。按油茶皂苷和噻菌灵的 EC₅₀ 以 0 : 10、1 : 9、2 : 8、3 : 7、4 : 6、5 : 5、6 : 4、7 : 3、8 : 2、9 : 1、10 : 0 进行混药配比,不加药剂为空白对照,接种后置于 28 ℃ 恒温培养。每 24 h 观察 1 次,直至空白对照菌落直径达到培养皿的 2/3 时,用十字交叉法测量菌落直径各 1 次,取其平均值,并计算抑菌率。

由混合配比的预测值和实际值,计算毒力比(TR)^[20]: $TR = EC_{50} \text{理论值} / EC_{50} \text{实际值} \times 100\%$ 。

当 $TR > 1$ 时两者的相互作用是协同的,当 $TR < 1$ 时为拮抗作用,当 $TR = 1$ 时相互作用是可加的。 TR 显著值决定最佳配比,以此配比进行稀释,制备 12 个 PDA 平板,培养菌饼,置于 28 ℃ 恒温培养箱中培养 3 d,测量菌落直径各 1 次,取其平均值。计算毒力回归方程、混剂回归方程 $y = ax + b$ 和 r 值,求 $EC_{50} (A + B)$,最后再求出共毒系数 (CTC)^[20]。

$$CTC = [(EC_{50} A / EC_{50} (A + B))] / [(EC_{50} A / EC_{50} A) \times P_a + (EC_{50} A / EC_{50} B) \times P_b] \times 100\%$$
。
式中: A 、 B 分别表示油茶皂苷与噻菌灵 2 种药剂组分; a 、 b 是油茶皂苷与噻菌灵 2 种组分在混剂中的含量比值; P_a 、 P_b 分别代表 A 、 B 在混剂中的占比。当 $CTC > 100$ 时,两者具有协同作用; $CTC < 100$ 时为拮抗作用;当 CTC 约为 100 时,相互作用是相加的^[21]。

2 结果与分析

2.1 单剂抑菌活性测定

采用菌落生长速率法,测定 2 种杀菌剂对稻黑孢菌菌丝生长的抑制率。从表 1 可以看出,油茶皂苷和噻菌灵对稻黑孢菌均有抑制效果,而且抑制效果明显,两者均呈现出浓度依赖性。其中,噻菌灵对稻黑孢菌的抑菌效果更明显。油茶皂苷抑制效果每增加 10%,浓度增幅超过 1.0 μg/L;噻菌灵抑制效果每增加 10%,浓度增幅远远小于油茶皂苷,也从侧面说明了噻菌灵抑菌效果比油茶皂苷好。

稻黑孢菌菌丝生长状况也反映了油茶皂苷和噻菌灵的抑制效果(图 1),对照组(F 和 L)的菌丝饱满晶莹,内部结构充盈且连续,整体表现为健康的生长状态,而经过 2 种杀菌剂处理过后其他组(A ~ E、G ~ K)的菌丝发生了明显变化,菌丝出现严重褶皱、干瘪,且菌丝内部出现明显的断层现象。产生这种现象的原因可能是油茶皂苷对菌丝细胞膜的完整性造成了严重损伤,导致细胞内容物泄漏,类似于丁香酚对娄地青霉和黑曲霉的损伤作用^[22],而噻菌灵的作用机制为抑制真菌有丝分裂过程中微管蛋白的形成。这两者对稻黑孢菌的具体杀伤机制还有待于进一步研究。

2.2 单剂对稻黑孢菌的毒力测定

由表 2 可知,油茶皂苷的 EC_{50} 为 6.30 μg/L,噻菌灵的 EC_{50} 为 0.87 μg/L,对稻黑孢菌的 EC_{50} 均小于 0.10 mg/L,毒力效果较理想。而且两者 EC_{50} 都

表 1 2 种杀菌剂在不同浓度下对稻黑孢菌的抑制率

药剂	浓度 (μg/L)	平均直径 (cm)	抑制率 (%)
油茶皂苷	0	7.10	
	4.20	5.56 ± 0.23	21.69 ± 6.41
	5.25	4.02 ± 0.20	43.38 ± 5.58
	6.30	3.53 ± 0.09	50.28 ± 2.66
	7.35	2.83 ± 0.06	60.14 ± 1.76
	8.40	2.37 ± 0.05	66.62 ± 1.33
	9.45	1.88 ± 0.07	73.52 ± 1.04
	10.50	1.29 ± 0.17	81.83 ± 4.79
噻菌灵	0	6.90	
	0.50	6.17 ± 0.02	10.58 ± 0.34
	0.70	5.37 ± 0.02	22.17 ± 0.34
	0.90	3.67 ± 0.05	46.81 ± 0.76
	1.10	1.43 ± 0.05	79.28 ± 0.88
	1.30	1.12 ± 0.13	83.77 ± 3.49

注:抑菌率是平均值 ± 标准差($n = 3$)。表 3 同。

在 95% 置信限内,2 个卡方值均显著大于 0.150,在置信限度中未有任何异质性因子,说明数值可靠。就毒力大小而言, EC_{50} 值越小,其毒力越大,故油茶皂苷的毒力小于噻菌灵,后者的毒力是前者的 7 倍左右。可见,噻菌灵防治稻黑孢菌的效果远远好于油茶皂苷。

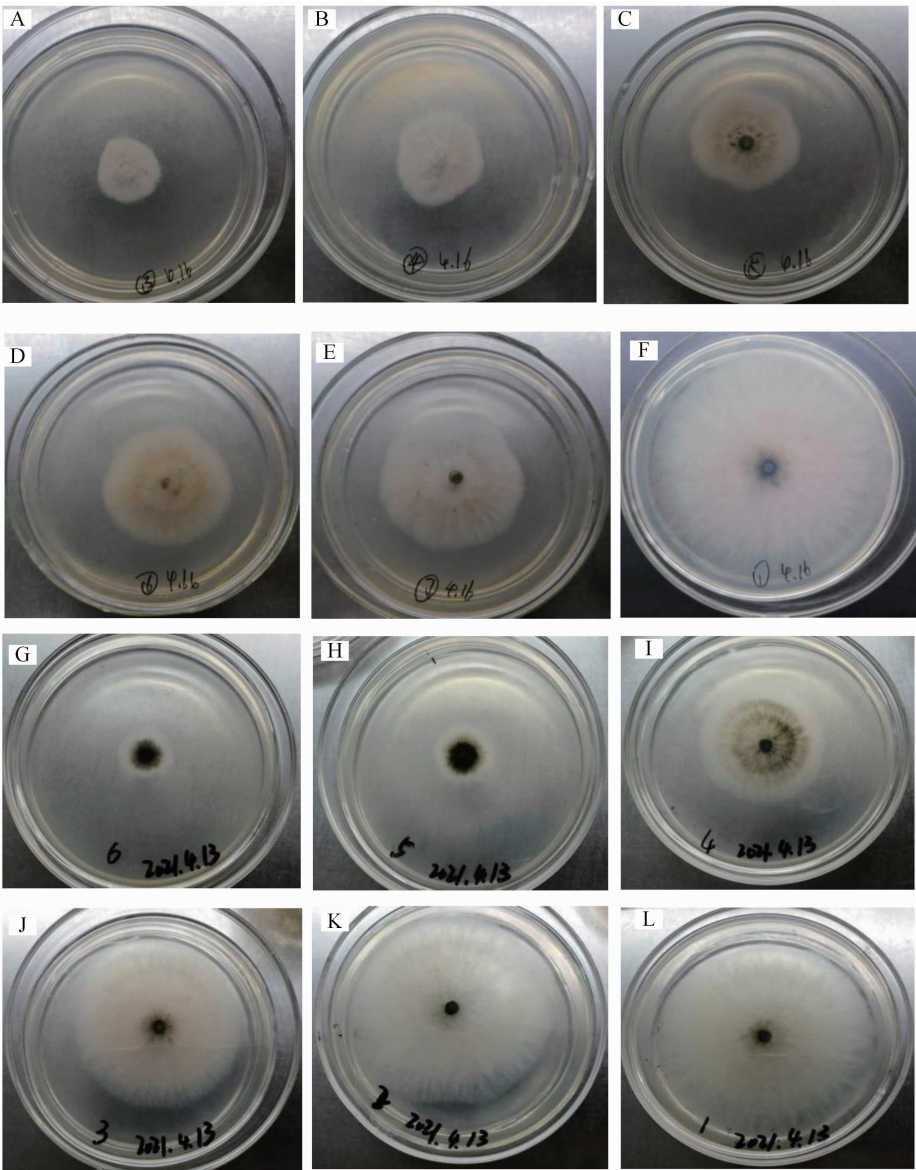
2.3 混合药剂增效配方的筛选

根据表 2 结果,以油茶皂苷和噻菌灵的 EC_{50} 为基础,进行 0 : 10、1 : 9、2 : 8、3 : 7、4 : 6、5 : 5、6 : 4、7 : 3、8 : 2、9 : 1、10 : 0 的不同体积配比,每个配比重复 3 次,再按相对应的浓度梯度顺序将 2 种单剂混合,菌落生长速率法测定抑菌效果。

由表 3 的标准差可知,油茶皂苷单剂、噻菌灵单剂以及混剂的标准差大部分小于 0.1,说明试验数据稳定性好,数据结果可靠。根据表 4 的抗真菌指数来看,除 3 : 7、10 : 0、0 : 10 比例外,其余配比预测值均高于观测值,均有不同程度的拮抗作用,毒性比率均 < 1 (除 3 : 7 比例外)。3 : 7 比例混合的实际抑制率为 88.07%,毒性比率为 2.84。因此,药剂混配的最佳配比为 EC_{50} 剂量油茶皂苷 : 噻菌灵 = 3 : 7,其毒力回归方程、相关系数、CTC 如表 5 所示。

3 讨论

油茶皂苷是美国国家环境保护局 (US EPA) 认可的具有杀虫/杀菌活性的生物农药^[23],其中含有



A~F 表示 PDA 培养基中分别添加油茶皂苷至 9.45、8.40、7.35、6.30、5.25、0 $\mu\text{g/L}$ 的处理；
G~L 为 PDA 培养基中分别添加噻菌灵至 1.30、1.10、0.90、0.70、0.50、0 $\mu\text{g/L}$ 的处理

图1 不同浓度的油茶皂苷和噻菌灵对稻黑孢菌的抑制效果

表 2 单剂对稻黑孢菌的毒力测定

药剂	毒力回归方程	EC ₅₀ ($\mu\text{g/L}$)	EC ₅₀ 的 95% 置信限 ($\mu\text{g/L}$)	卡方值	相关系数
油茶皂苷	$y = 3.862\ 2x + 1.911\ 6$	6.30	(3.804, 8.040)	0.156	0.980 3
噻菌灵	$y = 5.804\ 9x + 5.338\ 9$	0.87	(0.696, 1.114)	0.510	0.957 9

目前已经鉴定过的皂苷成分超过 70 种^[24]。噻菌灵目前主要用来防治稻瘟病^[25],也可用于水果和蔬菜的防腐保鲜^[26]。对油茶总皂苷抑菌活性的初步研究发现,油茶总皂苷对小麦纹枯病菌(*Rhizoctonia cerealis* van der Hoven)和棉花枯萎病菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*)的抑菌活性最高,EC₅₀

分别为 0.081、0.169 $\mu\text{g/L}$ ^[27]。侯昌亮等采用菌丝生长速率法,测定了 11 种杀菌剂对小麦赤霉病菌(*Fusarium graminearum*)的抑制作用。结果发现,噻菌灵对病菌有抑制作用,EC₅₀为 0.411 0 mg/L ^[28]。以上研究结果说明,油茶皂苷单剂和噻菌灵单剂都有较好的抑菌活性。本研究采用菌落生长速率法、

表 3 混合药剂对稻黑孢菌的抑制效果

油茶皂苷：噻菌灵	抑菌圈直径 (cm)		
	油茶皂苷	噻菌灵	油茶皂苷 + 噻菌灵
10 : 0	2.57 ± 0.02	5.52	2.57 ± 0.02
9 : 1	3.35 ± 0.02	5.43 ± 0.08	3.37 ± 0.05
8 : 2	3.52 ± 0.02	5.42 ± 0.06	3.68 ± 0.06
7 : 3	3.53 ± 0.05	5.32 ± 0.02	4.70 ± 0.07
6 : 4	3.58 ± 0.06	5.23 ± 0.05	4.77 ± 0.02
5 : 5	4.13 ± 0.02	4.83 ± 0.05	4.65 ± 0.02
4 : 6	4.40 ± 0.04	4.53 ± 0.02	5.00 ± 0.00
3 : 7	5.18 ± 0.15	4.52 ± 0.02	0.65 ± 0.04
2 : 8	5.24 ± 0.12	3.72 ± 0.02	4.53 ± 0.10
1 : 9	5.42 ± 0.06	3.55 ± 0.07	3.62 ± 0.08
0 : 10	5.52	2.47 ± 0.05	2.47 ± 0.05

表 4 药剂混配对稻黑孢菌的增效作用

油茶皂 苷：噻菌灵	抗真菌指数(%)				TR
	油茶皂苷	噻菌灵	油茶皂苷 + 噻菌灵		
			预测值	观测值	
10：0	53.47	0.00	53.47	53.47	1.00
9：1	39.27	1.63	40.90	38.23	0.93
8：2	36.10	1.81	37.91	29.66	0.78
7：3	35.95	3.62	39.57	14.68	0.37
6：4	35.05	5.25	40.30	13.76	0.34
5：5	25.23	12.50	37.73	12.54	0.33
4：6	20.29	18.03	38.32	8.26	0.22
3：7	6.04	24.82	30.86	88.07	2.84
2：8	4.98	32.61	37.59	16.82	0.45
1：9	1.81	35.69	37.50	33.64	0.89
0：10	0.00	55.25	55.25	55.25	1.00

表 5 药剂混配对稻黑孢菌的毒力测定

试验对象	毒力回归方程	EC ₅₀ (μg/L)	相关 系数	CTC
菌丝生长	$y = -3.072\ 3x + 4.976\ 6$	0.98	0.988 0	140

十字交叉法测定油茶皂苷和噻菌灵的抑菌活性。油茶皂苷、噻菌灵对稻黑孢菌的抑制效果随着浓度的增大而增强,当油茶皂苷的浓度为 10.50 μg/L,噻菌灵浓度为 1.30 μg/L 时,真菌在带药培养基上培养 3 d,抑菌率均达到 80% 以上。本试验结果表明,这 2 种单剂对稻黑孢菌均有显著的抑菌活性,而且噻菌灵的抑菌活性更好。油茶皂苷对菌丝生长 EC₅₀抑制值为 6.30 μg/L,噻菌灵 EC₅₀为 0.87 μg/L,其效果和商品化药剂 75% 脞菌·戊唑醇水分散粒

剂、325 g/L 苯甲·嘧菌酯悬浮剂、250 g/L 嘧菌酯悬浮剂的杀菌效果^[9]相当,显示出了极好的应用潜力。

目前,国内外关于油茶皂苷和噻菌灵混配对病菌防治效果的研究报道较少,因此对油茶皂苷和噻菌灵混配的抑菌具体浓度和使用价值还需要进一步的深入研究。前人研究显示,油茶皂苷与其他药剂混配对病菌具有增效抑制作用。例如,郝卫宁等研究了茶皂素与甲霜灵混配对黄瓜疫病菌的增效作用,发现茶皂素与甲霜灵有效成分质量比为 4 : 6 和 3 : 7 时对病菌菌丝具有较强的抑制作用,增效比 (SR)分别为 2.53 和 1.76,为显著增效作用^[29]。

本研究采用 Wadley 法对有增效作用的配比进行筛选,结果显示,油茶皂苷与噻菌灵混配对稻黑孢菌具有增效抑制作用,能显著提高另一种农药的抗真菌活性,这些结果可为防治稻黑孢菌病害提供新的药剂配方。油茶皂苷单独作用于微生物的杀菌机制已经有一些报道,如其可通过抑制生物膜的形成而抑制无乳链球菌 (*Streptococcus agalactiae*) 的生长^[30],但对于油茶皂苷以及噻菌灵的作用方式、作用机制均有待进一步研究。

综上所述,油茶皂苷和噻菌灵单剂对稻黑孢菌有较为显著的抑制效果,与目前已经上市的一些商品化农药的效果相当,因此这两者均具有防治稻黑孢菌引起的植物病害的潜力。其中,噻菌灵因已有较为成熟系统的使用经验,且其抑制效果比油茶皂苷更好,具有更快更好的应用前景。而油茶皂苷作为一种植物提取物,则在环境友好性方面更具有优

势。如将两者混配,在某种程度上可以兼顾两者的优势。故此,本研究采用科学方法筛选出了油茶皂苷和噻菌灵有增效作用的配比,既提高了杀菌效果,又提升了环境友好性,为稻黑孢菌的防控提供了新的药剂配方。当然,后续还需进一步研究这 2 种单剂或混配在具体田间的病害防控效果、剂型选择、使用方法、防控措施等,对其作用方式和作用机制也需深入研究。

参考文献:

- [1] Wang Y F, Yao J N, Li Z Q, et al. Genome sequence resource for *Nigrospora oryzae*, an important pathogenic fungus threatening crop production[J]. *Molecular Plant – Microbe Interactions*, 2021, 34 (7):835 – 838.
- [2] 卢文洁,王艳青,孙道旺,等. 云南省荞麦褐斑病病原鉴定及其生物学特性分析[J]. *西南农业学报*,2022,35(1):98 – 104.
- [3] 胡颂平,余建,魏开发,等. 江西水稻穗腐病病原菌鉴定及生物学特性研究[J]. *江西农业大学学报*,2019,41(2):234 – 242.
- [4] 孙宇,白庆荣. 吉林省水稻鞘枯病病原菌生物学特性及药剂敏感性[J]. *农药*,2018,57(10):757 – 761,767.
- [5] Han S, Yu S T, Zhu T H, et al. *Nigrospora oryzae* causing black leaf spot disease of *Hibiscus mutabilis* in China[J]. *Plant Disease*,2021, 105(8):2255.
- [6] Qiu C D, Zhu W H, Niu T T, et al. *Nigrospora oryzae* causing leaf spot on Asiatic dayflower in Chongqing, China[J]. *Plant Disease*, 2022,106(2):763.
- [7] Liu L M, Zhao K H, Zhao Y, et al. *Nigrospora oryzae* causing panicle branch rot disease on *Oryza sativa* (rice)[J]. *Plant Disease*. 2021, 105(9):2724.
- [8] Liu Z L, Zhou S Y, Qi L L, et al. First report of *Nigrospora oryzae* causing leaf spot on ginger in China[J]. *Plant Disease*,2022,106 (1):316.
- [9] 李戌清,傅鸿妃,李红斌. 稻黑孢菌生物学特性及杀菌剂筛选[J]. *长江蔬菜*,2016(6):80 – 84.
- [10] 冯爱卿,陈深,朱小源,等. 10 种杀菌剂对水稻稻叶褐条斑病菌的室内毒力[J]. *植物保护*,2014,40(4):193 – 197.
- [11] Sempere F, Santamarina M P. Suppression of *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) patch by an aggressive mycoparasite and competitor, *Penicillium oxalicum* Currie & Thom[J]. *International Journal of Food Microbiology*,2008,122(1/2):35 – 43.
- [12] 张军锋,吴友根,胡新文. 油茶化学成分及对肿瘤细胞抑制活性研究进展[J]. *天然产物研究与开发*,2018,30(4):708 – 716.
- [13] 徐依,唐思琪,黄浩,等. 油茶三萜类成分及其药理活性的研究进展[J]. *中草药*,2022,53(4):1210 – 1219.
- [14] 黄继光,陈秀贤,徐汉虹,等. 茶皂素对 12 种植物病原菌的抑菌活性[J]. *华中农业大学学报*,2013,32(2):50 – 53.
- [15] 杜金婷,李雁,张雁,等. 茶皂素提取纯化技术及生物活性研究进展[J]. *广东农业科学*,2021,48(3):167 – 176.
- [16] 郝卫宁,曾勇,胡美英,等. 茶皂素在农药领域的应用研究进展[J]. *农药*,2010,49(2):90 – 93,96.
- [17] 董道青,陈建明,俞晓平,等. 茶皂素对雷公藤乳油防治茶尺蠖幼虫的增效作用[J]. *茶叶科学*,2008,28(3):228 – 233.
- [18] Nakashita H, Yoshioka K, Yasuda M, et al. Probenazole induces systemic acquired resistance in tobacco through salicylic acid accumulation[J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2002,61(4):197 – 203.
- [19] 韩庆莉,肖小阳,尹晓丹,等. 吡唑醚菌酯与氟烯菌酯混配效果评价及方法学研究[J]. *农药*,2021,60(12):921 – 924.
- [20] Wang X P, Peng F, Cheng C H, et al. Synergistic antifungal activity of graphene oxide and fungicides against *Fusarium* head blight *in vitro* and *in vivo*[J]. *Nanomaterials*,2021,11(9):2393.
- [21] Wei Q Y. A method for evaluating the toxicity interaction of binary mixtures[J]. *MethodsX*,2020,7:101029.
- [22] 鞠健. 丁香酚和柠檬醛对萎地青霉和黑曲霉的协同抑菌机理探究[D]. 无锡:江南大学,2021.
- [23] Jiang X G, Hansen H C B, Strobel B W, et al. What is the aquatic toxicity of saponin – rich plant extracts used as biopesticides[J]. *Environmental Pollution*,2018,236:416 – 424.
- [24] Guo N, Tong T T, Ren N, et al. Saponins from seeds of genus *Camellia*: phytochemistry and bioactivity [J]. *Phytochemistry*, 2018,149:42 – 55.
- [25] Wu Z C, Wang G Z, Zhang B R, et al. Metabolic mechanism of plant defense against rice blast induced by probenazole [J]. *Metabolites*,2021,11(4):246.
- [26] 王晓彬,吴瑞梅,刘木华,等. 叶菜中噻菌灵农药的 SERS 快速检测研究[J]. *核农学报*,2014,28(10):1874 – 1879.
- [27] 王承瑞,刘思思,易有金,等. 油茶籽饼粕中活性成分对果蔬保鲜作用的研究进展[J]. *中国油脂*,2021,46(10):121 – 126.
- [28] 侯昌亮,胡寒哲,艾爽,等. 11 种杀菌剂对小麦赤霉病菌的抑制作用[J]. *湖北农业科学*,2014,53(17):4066 – 4068.
- [29] 郝卫宁,曾勇,胡美英,等. 茶皂素与甲霜灵混配对黄瓜疫病菌的增效作用[J]. *农药*,2010,49(10):765 – 767.
- [30] Shang F, Wang H, Xue T. Anti – biofilm effect of tea saponin on a *Streptococcus agalactiae* strain isolated from bovine mastitis [J]. *Animals*,2020,10(9):1713.