

侯翔宇, 黄世勇, 姚锦爱, 等. 薏苡叶斑病病原菌生物学特性及防治药剂毒力评估 [J]. 福建农业学报, 2021, 36 (12): 1464–1470.

HOU X Y, HUANG S Y, YAO J N, et al. Biological Properties and Fungicide Toxicity on Pathogen of Coix Leaf Spot [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 36 (12): 1464–1470.

薏苡叶斑病病原菌生物学特性及防治药剂毒力评估

侯翔宇¹, 黄世勇², 姚锦爱¹, 谢世勇¹, 黄建成^{1*}

(1. 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室/福建省农业科学院植物保护研究所, 福建 福州 350013;

2. 武夷山市种子站, 福建 武夷山 354300)

摘 要:【目的】明确薏苡叶斑病病原菌生物学特性, 评估 3 类防治药剂对薏苡叶斑病病原菌的防控潜力。

【方法】测量薏苡叶斑病病原菌在不同温度、pH、光照条件及碳氮源等培养条件下的菌落直径, 测定氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈等防治药剂的毒力及评估它们二元复配剂的联合作用效果。【结果】薏苡叶斑病病原菌菌丝生长最适温度为 25 ℃, pH 为 8, 最适碳氮源分别为淀粉和蛋白胨, 光照对生长的影响不显著; 氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈等 3 种杀菌剂对薏苡叶斑病病原菌均有很好的抑制作用, 毒力指数分别为多菌灵对照的 234.83、97.84、84.97 倍, 它们二元复配剂只有氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯复配有增效作用, 配比 5:5 时共毒系数达 221.85。【结论】温度、pH、碳氮源能显著影响薏苡叶斑病病原菌生长, 氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈等防治药剂对薏苡叶斑病有较好的防控潜力, 但它们之间的混用应加以评估。

关键词: 薏苡叶斑病; 生物学特性; 防治药剂; 毒力评估

中图分类号: S 436

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2021) 12-1464-07

Biological Properties and Fungicide Toxicity on Pathogen of Coix Leaf Spot

HOU Xiangyu¹, HUANG Shiyong², YAO Jinai¹, XIE Shiyong¹, HUANG Jiancheng^{1*}

(1. *Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests/Institute of Plant Protection, Fujian*

Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; 2. Seed Station of Wuyishan City,

Wuyishan, Fujian 354300, China)

Abstract: 【Objective】Biological properties of *Curvularia coicis* Castellani, which causes coix leaf spot (CLS) on Chinese pearl barley, and the control efficacy of 3 fungicides on the disease were studied. 【Method】Effects of temperature, pH, light, and carbon and nitrogen sources on the mycelial growth of the pathogen as well as the toxicity of mefentrifluconazole, pyraclostrobin, fludioxonil, and their binary compounds toward the pathogen were determined. 【Result】The optimum conditions for the mycelial growth of *C. coicis* were found to be 25 ℃, pH 8, starch for carbon, and peptone for nitrogen with no specific preference for light exposure. All 3 tested fungicides exhibited inhibitory effects on the pathogenic growth as indicated by the toxicity indices of mefentrifluconazole at 234.83-fold, pyraclostrobin at 97.84-fold, and fludioxonil at 84.97-fold of that of carbendazim. In combination of the agents, only mefentrifluconazole and pyraclostrobin were shown synergistic in the antifungal efficacy with the best mixing ratio of 5:5 with a toxicity index of 221.85. 【Conclusion】Temperature, pH, and carbon and nitrogen sources significantly affected *C. coicis* growth. Mefentrifluconazole, pyraclostrobin, and fludioxonil were strongly antifungal against the pathogen. But application of combinations of these agents require further evaluation.

Key words: Coix leaf spot; biological characteristics; fungicides; toxicity assessment

收稿日期: 2021-10-26 初稿; 2021-12-16 修改稿

作者简介: 侯翔宇 (1992-), 男, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 植物病理学 (E-mail: 306327862@qq.com)

* 通信作者: 黄建成 (1964-), 男, 研究员, 研究方向: 作物栽培及病虫害绿色防控 (E-mail: 978432655@qq.com)

基金项目: 福建省科技计划公益类专项 (2018R1025-5); 福建省农业科学院项目 (CXTD2021016); 植物病虫害生物学国家重点实验室项目 (SKLOF202125); 福建省农业高质量发展超越“5511”创新工程项目 (XTCXGC2021011、XTCXGC2021017)

0 引言

【研究意义】薏苡 (*Coix lacryma-jobi* L.)，又名薏苡仁、苡米、苡仁等，属禾本科 (Gramineae) 薏苡属 (*Coix*)，是我国传统的药食兼用的食品，具有丰富的营养价值及药用功效，在福建、贵州、云南、广西等均有种植^[1-2]。福建省薏苡种植面积约 7 000 hm²，年产量约 2.0×10^7 kg。近年来，在福建薏苡种植基地调查发现薏苡叶斑病发病严重，发病初期引起水渍状浅黄色病斑，严重时造成黄褐色病变直至死亡。经鉴定该病是由 (*Curvularia coicis* Castellani) 侵染薏苡叶片引起的薏苡叶斑病 (Coix leaf spot, CLS)，是薏苡产区重要的真菌病害，田块病株率高达 80 % 以上，造成产量下降，严重制约薏苡的生产^[3]，目前，对薏苡叶斑病主要从病原鉴定、发生情况及防治方法等方面进行研究，在多篇文献中报道使用多菌灵、百菌清等传统杀菌剂作为主要的化学防治药剂^[4-5]，但长期施用这些药剂，易使病原菌抗药性增强，防治效果不佳。因此，明确薏苡叶斑病病原菌生物学特性，评估市面上用于防治薏苡叶斑病药剂的防控潜力，对于该病害田间科学用药和高效防治具有重要意义。【前人研究进展】国内学者研究表明，氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈等三类新型药剂，对多种植物叶斑病具有不错的防治效果。潘连富等^[6]明确了氯氟醚菌唑悬浮剂对香蕉叶斑病病原菌暗双孢菌 (*Cordana musae*) 的田间防效，认为该药对香蕉叶斑病的防治效果较好；代玉立等^[7]采用菌丝生长速率法测定了闽南地区 4 个薏苡产区 72 株薏苡叶斑病菌对吡唑醚菌酯的敏感性，认为吡唑醚菌酯对薏苡叶斑病有较好的防治效果，李戌清等^[8]研究了 14 种杀菌剂对番茄叶斑病病原菌番茄匍柄霉 (*Stemphylium lycopersici*) 菌丝生长的抑制作用，结果表明咯菌腈对番茄叶斑病效果最好。【本研究切入点】关于薏苡叶斑病菌 (*C. coicis*) 的生物学特性及其防治药剂毒力评估的研究有待深入进行。【拟解决的关键问题】明确薏苡叶斑病病原菌的生物学特性，测定氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈等防治药剂的毒力指数并评估它们二元复配剂的联合作用效果。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试药剂为 97 % 氯氟醚菌唑原药 (Mefentrifluconazole, 三唑类, 巴斯夫欧洲公司)、96 % 吡唑醚菌酯原药 (Pyraclostrobin, 甲氧基丙烯酸酯类, 江苏耘农化工有限公司)、98 % 咯菌腈原药 (Fludioxonil,

吡咯类, 西安近代科技实业有限公司), 对照药剂为 98.1 % 多菌灵原药 (Carbendazim, 苯并咪唑类, 辉丰农化股份有限公司)。

供试菌株为薏苡叶斑病菌 (*Curvularia coicis*)，由福建省农业科学院植物保护研究所分离保存。

供试培养基马铃薯葡萄糖琼脂 (PDA) 培养基：新鲜去皮马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂粉 16 g、去离子水 1 000 mL。察氏 (Czapek) 培养基：硝酸钠 3 g、磷酸氢二钾 1 g、硫酸镁 0.5 g、氯化钾 0.5 g、硫酸亚铁 0.01 g、蔗糖 30 g、琼脂粉 16 g、蒸馏水 1 000 mL。

1.2 病原菌生物学特性测定

1.2.1 温度对病原菌菌丝生长的影响 用无菌的 5 mm 直径打孔器打取培养 5 d 的病原菌边缘菌饼转接于 PDA 培养基中央，分别置于 10、15、20、25、30、35、40 °C 恒温暗培养，6 d 后采用十字交叉法测量菌落直径。每处理 3 皿，重复 3 次。

1.2.2 pH 对病原菌菌丝生长的影响 取直径为 5 mm 的菌饼接种于用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 和 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 调配 pH 为 4、5、6、7、8、9、10 的 PDA 培养基上，后置于 28 °C 恒温培养，6 d 后采用十字交叉法测量菌落直径。每处理 3 皿，重复 3 次。

1.2.3 光照条件对病原菌菌丝生长的影响 取直径为 5 mm 的菌饼转接于 PDA 培养基中央，分别置于全黑暗、全光照和黑暗光照交替 (12 h/12 h) 3 种不同光照条件下，28 °C 恒温培养，6 d 后采用十字交叉法测量菌落直径。每处理 3 皿，3 个重复。

1.2.4 不同碳源、氮源对病原菌菌丝生长的影响

以察氏培养基为基础培养基，将培养基中的蔗糖分别替换成等量的淀粉、麦芽糖、乳糖、葡萄糖，制成不同碳源的培养基以不含碳源培养基作为对照；采取同样的方法将等量的蛋白胨、牛肉浸膏、酵母、硫酸铵分别替换培养基中的硝酸钠，制成不同氮源的培养基，以不含氮源培养基为对照。再将 5 mm 的活化菌饼接于不同碳源、氮源培养基中央，28 °C 恒温培养，6 d 后采用十字交叉法测量菌落直径。每处理 3 皿，重复 3 次。

1.3 室内毒力试验

1.3.1 薏苡叶斑病病原菌防治药剂的毒力测定与评估

采用菌丝生长速率法测定^[9]。将氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和多菌灵的质量浓度均设为 0.002、0.01、0.05、0.25、1.25 和 $6.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，无菌操作条件下，在 PDA 培养基内加入各药剂母液，制成系列浓度的含药 PDA 培养基平板。供试菌株在 PDA 平板上纯化培养 4~5 d 后，用 5 mm 规格打孔器打取菌落

边沿新鲜菌饼接种于含不同质量浓度药剂的 PDA 平板中央, 每处理 3 皿, 重复 3 次, 后置于 28 ℃ 恒温培养, 6 d 后用十字交叉法测量每个培养基的菌落直径。计算供试药剂每个处理浓度对菌丝生长的抑制率, 并计算其对供试菌株的有效抑制中浓度 EC_{50} 和毒力指数。菌丝生长抑制率/%=[(对照组菌落直径-药剂处理组菌落直径)/(对照组菌落直径-菌饼直径)] $\times$ 100。毒力指数 TI =(对照药剂 EC_{50} /供试药剂 EC_{50}) $\times$ 100。

1.3.2 葱蒜叶斑病原菌防治药剂联合作用测定与评估 在 1.3.1 的基础上, 将 3 种供试药剂进行复配, 设定氯氟醚菌唑与咯菌腈、氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯、吡唑醚菌酯与咯菌腈共 3 组混剂组合, 每个组合均按有效成分质量配比 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9 复配, 质量浓度均设为 0.002、0.01、0.05、0.25、1.25 和 6.25 $mg\cdot L^{-1}$; 根据 3 组混剂组合各自设定的配比和浓度, 按照 1.3.1 的方法配制成系列浓度的含药培养基平板, 以不含药的 PDA 培养基作空白对照, 每个处理 3 皿, 重复 3 次; 取菌龄一致、直径 5 mm 的菌饼分别接种于每个培养基平板中央, 后置于 28 ℃ 恒温培养, 6 d 用十字交叉法测量每个培养基的菌落直径, 计算 3 组混剂组合每个处理浓度对菌丝生长的抑制率和每组复配药剂的抑制中浓度 EC_{50} 及共毒系数 CTC 。共毒系数算法, 以单剂 EC_{50} 较低者为标准药剂计算混剂共毒系数 (CTC): 单剂毒力指数 TI =(标准药剂 EC_{50} /供试药剂 EC_{50}) $\times$ 100、复配剂实际毒力指数 ATI =(标准药剂 EC_{50} /复配剂 EC_{50}) $\times$ 100、复配剂理论毒力指数 $TTI=TI_A\times PA+TI_B\times PB$ (TI_A 和 TI_B 分别为单剂 A 和单剂 B 的毒力指数, PA 和 PB 分别为复配剂中各单剂的有效成分百分含量)和共毒系数 CTC =(复配剂的实际毒力指数 ATI /复配剂理论毒力指数 TTI) $\times$ 100。共毒系数分级: ($CTC\geq 120$ 为增效作用, $80\leq CTC<120$ 为相加作用, $CTC<80$ 为拮抗作用)。

1.4 数据统计与分析

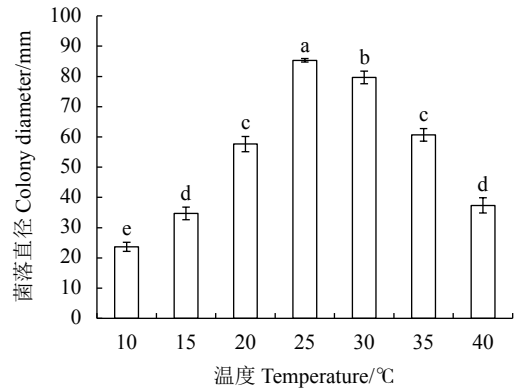
用 DPS 7.05 软件计算毒力回归方程、有效抑制中浓度 EC_{50} 及相关系数等数据, 利用 Duncan's 新复极差法对生物学特性结果进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 生物学特性

2.1.1 温度对病原菌菌丝生长的影响 病原菌在 10~40 ℃ 条件下均能生长, 10~25 ℃ 菌丝生长速度呈升高趋势, 25~40 ℃ 菌丝生长速度呈下降趋势。

菌丝适宜生长温度为 25~30 ℃, 在 25 ℃ 条件下菌丝生长最快, 培养 6 d 菌落直径为 85.33 mm (图 1)。结果表明, 该病原菌最适生长温度为 25 ℃, 对低温和高温具有一定耐性。



注: 不同小写字母表示 0.05 水平上的差异极显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same as below

图 1 不同温度对病原菌菌丝生长的影响

Fig. 1 Effect of temperature on *C. coicis* mycelial growth

2.1.2 pH 对病原菌菌丝生长的影响 病原菌在 pH 4~10 条件下均能生长, pH 4~8 菌丝生长速度呈升高趋势, pH 9~10 菌丝生长速度呈下降趋势。菌丝适宜生长 pH 为 7~9, 在 pH 8 条件下菌丝生长最快, 培养 6 d 菌落直径为 80.00 mm (图 2), 结果表明, 该病原菌喜偏碱性或中性环境, 最适生长 pH 值为 8。

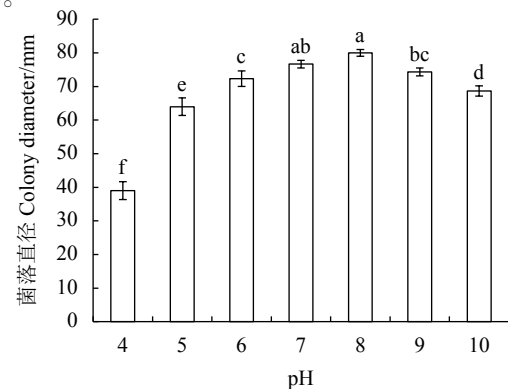


图 2 不同 pH 对病原菌菌丝生长的影响

Fig. 2 Effect of pH on *C. coicis* mycelial growth

2.1.3 光照条件对病原菌菌丝生长的影响 表 1 结果显示, 病原菌在全黑暗、黑暗光照交替和全光照处理下均能较好地生长, 培养 6 d 菌落直径分别为 80.33、79.67、80.67 mm, 相互之差异不显著, 说明光照条件对该病原菌菌丝生长影响不显著。

2.1.4 不同碳氮源对病原菌菌丝生长的影响 试验结果 (表 2) 表明, 病原菌在供试 5 种碳源中均能生长, 且生长速度差异明显。以淀粉为碳源的培养基中菌落生长速度最快, 培养 6 d 的菌落直径为 74.33 mm,

表 1 光照条件对病原菌菌丝生长的影响
Table 1 Effect of light exposure on *C. coicis* mycelial growth

光照处理 Lighting condition	菌落直径 Colony diameter/mm
全黑暗 Full dark	80.33±1.53 a
黑暗光照交替 12 h light and dark	79.67±0.58 a
全光照 Full light	80.67±0.58 a

其次是以蔗糖、葡萄糖和乳糖为碳源的培养基处理组，其菌落生长速度均显著高于缺碳源的对照，其中以麦芽糖为碳源的培养基上菌落生长速度最低。不同氮源的结果显示，病原菌在以蛋白胨为氮源的培养基中菌落生长速度最快，培养 6 d 后直径达 83.67 mm；在以酵母、牛肉浸膏和硝酸钠为氮源的培养基上，菌落生长速度明显高于缺氮源的对照组，而以硫酸铵为氮源的培养基菌落生长速度最低。因此，病原菌最佳供试碳源为淀粉、最佳供试氮源为蛋白胨。

2.2 薏苡叶斑病原菌防治药剂的毒力测定与评估

试验结果（表 3）显示，供试的 3 种杀菌剂对薏苡叶斑病原菌均具有不同程度的抑制作用，其中氯氟醚菌唑的抑菌效果最好， EC_{50} 为 $0.0055\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，毒力指数是多菌灵的 234.83 倍；其次为吡唑醚菌

表 2 不同碳氮源对病原菌菌丝生长的影响
Table 2 Effects of carbon and nitrogen sources on *C. coicis* mycelial growth

碳源 Carbon source		氮源 Nitrogen source	
处理 Treatments	菌落直径 Colony diameter/mm	处理 Treatments	菌落直径 Colony diameter/mm
CK	58.67±1.53 c	CK	51.67±1.53 e
淀粉 Starch	74.33±2.08 a	酵母 Yeast	76.00±1.73 b
蔗糖 Sucrose	66.67±1.53 b	牛肉浸膏 Beef extract	77.67±0.58 b
乳糖 Lactose	68.33±0.58 b	硝酸钠 Sodium nitrate	68.33±1.53 c
麦芽糖 Malt dust	60.00±1.73 c	蛋白胨 Peptone	83.67±1.15 a
葡萄糖 Glucose	69.33±1.15 b	硫酸铵 Ammonium sulfate	54.67±2.51 d

酯， EC_{50} 为 $0.0132\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，毒力指数是多菌灵的 97.84 倍、最后为咯菌腈， EC_{50} 为 $0.0152\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，毒力指数是多菌灵的 84.97 倍。说明这 3 种药剂对薏苡叶斑病原菌的毒力高于多菌灵，具有较好的防控潜力。

表 3 薏苡叶斑防治药剂的毒力评估
Table 3 Toxicity of fungicides on *C. coicis*

供试药剂 Fungicides	药剂类型 Reagent type	毒力回归方程 Toxicity regression equation	$EC_{50}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	毒力指数 Toxicity Index	95%置信区间 95% Confidence interval/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	相关系数 r Correlation coefficient r
氯氟醚菌唑 Mefentrifluconazole	三唑类 Triazoles	$y=5.8217+0.3642x$	0.0055	234.83	0.0016~0.0191	0.9710
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	甲氧基丙烯酸酯类 Methoxycarbamates	$y=5.5791+0.4206x$	0.0132	97.84	0.0088~0.0197	0.9931
咯菌腈 Fludioxonil	吡咯类 Azole	$y=5.5861+0.3225x$	0.0152	84.97	0.0064~0.0377	0.9649
多菌灵（对照） Carbendazim (CK)	苯并咪唑类 Benzimidazoles	$y=4.9632+0.3314x$	1.2916	—	0.5438~3.0677	0.9724

2.3 薏苡叶斑病原菌防治药剂联合作用测定与评估

2.3.1 氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯对薏苡叶斑病原菌联合作用的测定与评估 由表 4 可知，氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯混剂组合的 9 个有效成分质量配比均对薏苡叶斑病菌起到有效的抑制作用，抑制中浓度 EC_{50} 为 $0.0035\sim0.0092\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；它们的共毒系数 CTC 均大于 120，所有配比表现为增效作用。其中 5:5 配比的增效作用最明显，共毒系数 CTC 为 221.85。说明氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯合理比例复配能显著增

加防治薏苡叶斑病菌的效果，两者复配的最佳有效成分质量配比为 5:5。

2.3.2 氯氟醚菌唑与咯菌腈对薏苡叶斑病原菌联合作用的测定与评估 由表 5 可知，氯氟醚菌唑与咯菌腈混剂组合的 9 个有效成分质量配比对薏苡叶斑病菌较好的抑制作用， EC_{50} 为 $0.0095\sim0.0142\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；但所有配比均表现不具有增效作用，9:1、8:2、7:3、5:5 和 4:6 配比的共毒系数 CTC 小于 80，表现为拮抗作用，其他 4 个配比的共毒系数 CTC 大于 80 且小于 120，表现为相加作用。可见，氯氟醚菌唑与咯

表 4 氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯对薹苣叶斑病原菌的联合作用
Table 4 Toxicity of mefentrifluconazole and pyraclostrobin combination on *C. coicis*

混剂配比 Mixture ratio	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 <i>r</i> Correlation coefficient <i>r</i>	<i>EC</i> ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	95 % 置信区间 95 % Confidence interval/ (mg·L ⁻¹)	共毒系数 <i>CTC</i> Co-toxicity coefficient	评价 Evaluate
9:1	y=6.2568+0.513 4x	0.980 8	0.003 6	0.001 5~0.008 4	162.24	增效 Synergism
8:2	y=6.295 3+0.534 0x	0.975 0	0.003 8	0.001 4~0.010 0	163.85	增效 Synergism
7:3	y=6.234 2+0.511 6x	0.985 3	0.003 9	0.001 9~0.008 1	170.94	增效 Synergism
6:4	y=6.180 2+0.487 4x	0.978 1	0.003 8	0.001 5~0.009 4	188.79	增效 Synergism
5:5	y=6.244 8+0.505 8x	0.991 1	0.003 5	0.001 9~0.006 2	221.85	增效 Synergism
4:6	y=6.069 6+0.457 6x	0.990 1	0.004 6	0.002 6~0.008 0	183.95	增效 Synergism
3:7	y=6.209 3+0.531 3x	0.995 2	0.005 3	0.003 6~0.007 9	175.39	增效 Synergism
2:8	y=5.958 1+0.436 9x	0.998 2	0.006 4	0.005 1~0.008 1	161.13	增效 Synergism
1:9	y=5.896 2+0.440 3x	0.996 2	0.009 2	0.006 7~0.012 6	125.86	增效 Synergism

表 5 氯氟醚菌唑与咯菌腈对薹苣叶斑病原菌的联合作用
Table 5 Toxicity of mefentrifluconazole and fludioxonil combination on *C. coicis*

混剂配比 Mixture ratio	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 <i>r</i> Correlation coefficient <i>r</i>	<i>EC</i> ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	95 % 置信区间 95 % Confidence interval/ (mg·L ⁻¹)	共毒系数 <i>CTC</i> Co-toxicity coefficient	评价 Evaluate
9:1	y=5.860 2+0.4494x	0.980 4	0.009 5	0.004 6~0.019 7	61.84	拮抗 Antagonism
8:2	y=5.785 3+0.4008x	0.985 5	0.011 0	0.006 0~0.020 1	57.32	拮抗 Antagonism
7:3	y=5.796 6+0.4214x	0.975 0	0.012 9	0.005 9~0.028 1	52.73	拮抗 Antagonism
6:4	y=5.762 0+0.3662x	0.990 5	0.008 3	0.005 0~0.013 9	88.98	相加 Additive
5:5	y=5.860 2+0.4494x	0.971 0	0.012 2	0.005 2~0.028 6	66.21	拮抗 Antagonism
4:6	y=5.771 8+0.4151x	0.973 4	0.013 8	0.006 2~0.030 7	64.58	拮抗 Antagonism
3:7	y=5.760 4+0.3945x	0.987 3	0.011 8	0.006 7~0.020 7	84.24	相加 Additive
2:8	y=5.777 7+0.4132x	0.976 0	0.013 1	0.006 1~0.028 1	85.78	相加 Additive
1:9	y=5.791 3+0.4285x	0.987 7	0.014 2	0.005 7~0.035 8	90.99	相加 Additive

菌腈复配不具有增效作用，适用单剂防控薹苣叶斑病。

2.3.3 吡唑醚菌酯与咯菌腈对薹苣叶斑病原菌联合作用的测定与评估 由表 6 可知，吡唑醚菌酯与咯菌腈混剂组合的 9 个有效成分质量比对薹苣叶斑病有较好的抑制作用，*EC*₅₀ 为 0.011 8~0.020 3 mg·L⁻¹；

但所有配比均表现不具有增效作用，5:5、4:6 和 1:9 配比的共毒系数 *CTC* 小于 80，表现为拮抗作用；其他 6 个混剂配比的共毒系数 *CTC* 大于 80 且小于 120，表现为相加作用。可见，吡唑醚菌酯与咯菌腈复配不具有增效作用，适用单剂防控薹苣叶斑病。

表 6 吡唑醚菌酯与咯菌腈对薏苡叶斑病原菌的联合作用
Table 6 Toxicity of pyraclostrobin and fludioxonil combination on *C. coicis*

混剂配比 Mixture ratio	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 <i>r</i> Correlation coefficient <i>r</i>	<i>EC</i> ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	95%置信区间 95% Confidence interval/ (mg·L ⁻¹)	共毒系数 <i>CTC</i> Co-toxicity coefficient	评价 Evaluate
9:1	y=5.554 9+0.288 1x	0.977 3	0.011 8	0.005 6~0.025 2	113.36	相加 Additive
8:2	y=5.569 7+0.303 2x	0.984 6	0.013 2	0.007 2~0.024 2	102.70	相加 Additive
7:3	y=5.508 2+0.275 6x	0.977 7	0.014 3	0.007 0~0.029 5	96.10	相加 Additive
6:4	y=5.544 3+0.244 2x	0.989 7	0.015 4	0.010 2~0.023 1	90.48	相加 Additive
5:5	y=5.538 5+0.312 1x	0.979 0	0.018 8	0.010 2~0.023 1	75.16	拮抗 Antagonism
4:6	y=5.546 1+0.273 7x	0.984 2	0.020 2	0.011 4~0.035 7	70.95	拮抗 Antagonism
3:7	y=5.516 6+0.292 8x	0.986 3	0.017 2	0.010 0~0.029 7	84.53	相加 Additive
2:8	y=5.528 8+0.304 7x	0.991 3	0.018 4	0.012 0~0.028 2	80.18	相加 Additive
1:9	y=5.508 5+0.300 3x	0.986 9	0.020 3	0.012 1~0.034 0	73.76	拮抗 Antagonism

3 讨论与结论

病原菌的生物学特性是监控病害发生的前提条件，目前国内尚未有薏苡叶斑病原菌（*Curvularia coicis*）的生物学特性研究的报道。本研究表明，该病原菌适宜在 25~30 ℃ 下生长，最适生长温度为 25 ℃，与李润根等^[10]报道百合叶斑菌（*C. pseudobranchyspora*）的生长温度相似；在 pH 为 4~10 均能生长，在 pH 为 7~9 生长较快，最适 pH 为 8，与郑肖兰等^[11]报道玉米弯孢霉叶斑病菌（*C. lunata*）的生长 pH 范围相似；该病原菌能利用供试的 5 种碳源和 5 种氮源，最佳碳源为淀粉，最佳氮源为蛋白胨；在全黑暗、黑暗光照交替和全光照 3 种培养条件下菌丝生长速度差异不显著，与徐辉等^[12]报道水稻弯孢叶斑病原（*C. lunata*）的生长光照条件研究结果相符。

薏米叶斑病的防治以化学防治为主，但长期使用传统的杀菌剂，如多菌灵、百菌清等，易导致抗药性的产生。因此，需对市面上可用于防治薏苡叶斑病的药剂进行毒力评估，以期找到具有防控潜力的药剂。同时，通过农药复配技术可以达到减药增效，延缓抗药性产生的作用^[13-14]。本研究评估了 3 种类型杀菌剂对薏苡叶斑病原菌（*C. coicis*）的毒力及其联合作用。试验结果显示，氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯和咯菌腈这 3 类防治药剂对薏苡叶斑病原菌均有很好的抑制作用，毒力指数分别为多菌灵对照的 234.83、97.84、84.97 倍；进一步评估它们之间复配联合作用，发现仅氯氟醚菌唑与吡唑醚菌

酯复配联合作用表现为增效作用，其中 5:5 配比的增效作用最显著，共毒系数 *CTC* 达 221.85；而氯氟醚菌唑与咯菌腈、吡唑醚菌酯与咯菌腈这 2 种复配联合作用均未表现出增效作用。

可见，氯氟醚菌唑、吡唑醚菌酯和咯菌腈均具有较好的防控潜力，在实际应用中可替代多菌灵使用；氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯合理比例复配对抑制薏苡叶斑病菌有明显的增效作用，有助于提高薏苡叶斑病的防治效果，降低生产成本。后续试验中，可进一步评估氯氟醚菌唑与吡唑醚菌酯复配混剂在应用时，药剂残留及对非靶标生物的影响等指标，为薏苡叶斑病防治药剂的选择、应用及延缓抗药性的产生提供参考。

参考文献：

[1] 李发耀, 石明, 秦礼康. 薏仁米产业蓝皮书: 中国薏仁米产业发展报告No. 1(2017)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017.

[2] 李祥栋, 潘虹, 陆秀娟, 等. 薏苡种质的主要营养组分特征及综合评价 [J]. 中国农业科学, 2018, 51 (5): 835-842.

LI X D, PAN H, LU X J, et al. Characteristics and comprehensive assessment of principal nutritional components in adlay landraces [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51 (5): 835-842. (in Chinese)

[3] DAI Y L, GAN L, CHEN F R, et al. Leaf blight caused by *Curvularia coicis* on Chinese pearl barley (*Coix chinensis*) in Fujian Province, China [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2019, 41 (2): 270-276.

[4] 徐春金. 薏苡主要病虫害的发生与防治 [J]. 福建农业科技, 2014 (5): 37-38.

- XU C J. Prevention and control for main pests and diseases in coix [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2014 (5): 37–38. (in Chinese)
- [5] 章霜红. 薏苡叶枯病和叶斑病调查与病原鉴定 [J]. *中国植保导刊*, 2012, 32 (6): 5–7.
- ZHANG S H. Occurrence and identification of coix leaf blotch and coix leaf spot [J]. *China Plant Protection*, 2012, 32 (6): 5–7. (in Chinese)
- [6] 潘连富, 杜婵娟, 杨迪, 等. 氯氟醚菌唑悬浮剂对香蕉叶斑病的防治效果研究 [J]. *中国南方果树*, 2021, 50 (4): 51–54.
- PAN L F, DU C J, YANG D, et al. Studies on controlling effect of Mefentrifluconazole on leaf spot of banana [J]. *South China Fruits*, 2021, 50 (4): 51–54. (in Chinese)
- [7] 代玉立, 甘林, 阮宏椿, 等. 闽南地区薏米叶斑病菌对吡唑醚菌酯的敏感性及其吡唑醚菌酯的盆栽防治效果 [J]. *农药学报*, 2019, 21 (2): 244–249.
- DAI Y L, GAN L, RUAN H C, et al. Sensitivity of *Curvularia coicis* to pyraclostrobin and its control efficacy against Coix leaf blight in South Fujian Province [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2019, 21 (2): 244–249. (in Chinese)
- [8] 李戌清, 田忠玲, 郑积荣, 等. 番茄灰叶斑病原菌生物学特性及杀菌剂筛选 [J]. *浙江农业学报*, 2015, 27 (11): 1953–1959.
- LI S Q, TIAN Z L, ZHENG J R, et al. Biological characteristics and fungicide screening of *Stemphylium lycopersici* causing tomato grey leaf spot [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27 (11): 1953–1959. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则杀菌剂第2部分: 抑制病原真菌菌丝生长试验平皿法: NY/T 1156.2—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [10] 李润根, 卢其能, 何咪, 等. 百合新病原菌假短孢霉生物学特性及其对杀菌剂的敏感性 [J]. *植物保护*, 2020, 46 (6): 41–46.
- LI R G, LU Q N, HE M, et al. The biological characteristics of *Curvularia pseudobrachyspora*, a new causal agent of lily leaf spot, and its sensitivity to fungicides [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (6): 41–46. (in Chinese)
- [11] 郑肖兰, 郑行恺, 赵爽, 等. 南繁区玉米弯孢霉叶斑病菌的鉴定及其生物学特性研究 [J]. *热带农业科学*, 2019, 39 (3): 44–50.
- ZHENG X L, ZHENG X K, ZHAO S, et al. Identification of the pathogen causing corn *Curvularia* leaf spot disease and its biological characteristics in the south of Hainan [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2019, 39 (3): 44–50. (in Chinese)
- [12] 徐辉, 侯冕, 檀根甲, 等. 水稻弯孢叶斑病原鉴定及其生物学特性 [J]. *安徽农业大学学报*, 2020, 47 (1): 129–134.
- XU H, HOU M, TAN G J, et al. Identification and characterization of causal organism of rice *Curvularia* leaf spot disease [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2020, 47 (1): 129–134. (in Chinese)
- [13] 向礼波, 石磊, 徐东, 等. 3种新型生物产品及复配杀菌剂防治小麦赤霉病的研究 [J]. *植物保护*, 2021, 47 (4): 276–281.
- XIANG L B, SHI L, XU D, et al. Control effect of three new biological products and mixture fungicides on *Fusarium* head blight [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (4): 276–281. (in Chinese)
- [14] 张寒舒, 李文凤, 单红丽, 等. 复合高效配方药剂对甘蔗褐锈病防控效果评价 [J]. *中国农学通报*, 2021, 37 (23): 101–105.
- ZHANG H S, LI W F, SHAN H L, et al. High-efficiency compound formula fungicide: control effects on sugarcane brown rust [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37 (23): 101–105. (in Chinese)

(责任编辑: 林海清)