

胡珊, 莫维弟, 周志成, 等. 马缨杜鹃炭疽病病原菌生物学特性及防治药剂筛选 [J]. 华南农业大学学报, 2023, 44(4): 570-576.
HU Shan, MO Weidi, ZHOU Zhicheng, et al. Biological characteristics of pathogenic anthracnose *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi* and screening of fungicides[J]. Journal of South China Agricultural University, 2023, 44(4): 570-576.

马缨杜鹃炭疽病病原菌生物学特性及防治药剂筛选

胡 珊¹, 莫维弟², 周志成², 丁海霞^{2,3}, 彭丽娟¹

(1 贵州大学 烟草学院/贵州省烟草品质研究重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 2 贵州大学 农学院, 贵州 贵阳 550025;
3 贵州省农业生物技术重点实验室/贵州省农业科学院, 贵州 贵阳 550006)

摘要:【目的】探明贵州百里杜鹃自然保护区马缨杜鹃 *Rhododendron delavayi* 炭疽病菌 *Colletotrichum fioriniae* 生物学特性, 并筛选出有效药剂。【方法】采用菌丝生长速率法测定马缨杜鹃炭疽病菌生物学特性; 选用二氰蒽醌、吡唑醚菌酯、溴菌腈、丙环唑、苯醚甲环唑、肟菌·戊唑醇、四霉素、乙蒜素、蛇床子素及宁南霉素对该病原菌的室内毒力进行测定; 选择作用机制不同、抑菌活性较高的 2 种药剂按不同比例复配, 测定其对马缨杜鹃炭疽病菌菌丝的联合毒力。【结果】病原菌在 5~35 ℃、pH 5~11 均能生长, 最适温度为 25 ℃, 最适生长 pH 为 8, 最适碳源为葡萄糖和可溶性淀粉, 最适氮源为蛋白胨, 最适培养基为 PSA。室内毒力测定结果表明, 所选药剂对病原菌菌丝生长均有一定抑制作用, 其中, 肟菌·戊唑醇、吡唑醚菌酯、四霉素、苯醚甲环唑和丙环唑抑制效果较好, EC₅₀ 分别为 0.102、0.118、1.107、1.202 和 2.101 mg/L; 其次为蛇床子素, EC₅₀ 为 6.803 mg/L。选用四霉素与苯醚甲环唑进行混配, 结果表明不同配比对病原菌的联合毒力较单剂均具有协同增效作用, 增效最佳配比为 7 : 3, 共毒系数 (Co-toxicity coeffecient, CTC) 达 584.56, 明显高于其他配比; 配比为 6 : 4 和 8 : 2 时, 对应 CTC 均在 500 以上, 仅次于最佳配比。【结论】马缨杜鹃炭疽病菌的生长受温度、pH、培养基成分、碳氮源影响明显。四霉素和苯醚甲环唑不同比例复配活性增效明显, 可选择 7 : 3 复配比例进行田间防治。

关键词: 马缨杜鹃; 松针炭疽菌; 生物学特性; 联合毒力测定

中图分类号: S432

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2023)04-0570-07

Biological characteristics of pathogenic anthracnose *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi* and screening of fungicides

HU Shan¹, MO Weidi², ZHOU Zhicheng², DING Haixia^{2,3}, PENG Lijuan¹

(1 College of Tobacco Science, Guizhou University/Guizhou Key Laboratory for Tobacco Quality Research, Guiyang 550025, China; 2 College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3 Guizhou Key Laboratory of Agricultural Biotechnology/Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

Abstract: 【Objective】To investigate the biological characteristics of *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi* in Baili Azalea Nature Reserve of Guizhou Province, and to screen effective fungicides for disease control. 【Method】The mycelial growth rate method was applied to explore the biological

收稿日期: 2022-06-25 网络首发时间: 2023-05-18 09:10:21

首发网址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20230517.1534.005.html>

作者简介: 胡 珊, 硕士研究生, 主要从事植物病害生物防治研究, E-mail: 3068312191@qq.com; 通信作者: 彭丽娟, 教授, 博士, 主要从事植物病原真菌学相关研究, E-mail: 296430006@qq.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201605); 中国博士后科学基金 (2020M683658XB); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目 (黔教合 KY 字 [2018]101); 贵州省林业优秀青年人才培养专项资金 (黔林科合 J[2018]08); 贵州省科技计划 (黔科合服企 [2019]4016)

characteristics of *C. fiorinae* on *R. delavayi*. The indoor toxicity of pathogen was determined using 10 fungicides, including trifloxystrobin·tebuconazole, pyraclostrobin, difenoconazole, propiconazole, bromothalonil, dithianon, tetramycin, ethylcin, cnidiadin and ningnanmycin. Combined toxicity of two fungicides with high antifungal activities and different toxicological mechanisms to *C. fiorinae* was assessed in different mixture ratio. 【Result】 The pathogenic fungi could grow under 5–35 °C and pH 5–11. The optimum temperature was 25 °C and the optimum pH was 8. The best carbon sources were glucose and soluble starch. Peptone was the best nitrogen source for the pathogen growth and the growth rate reached the maximum on PSA medium. The results of the indoor toxicity test indicated that all of the 10 fungicides inhibited the mycelial growth of the pathogen to some extent. Among 10 fungicides, trifloxystrobin·tebuconazole, pyraclostrobin, tetramycin, difenoconazole, and propiconazole had better inhibitory effect with EC₅₀ of 0.102, 0.118, 1.107, 1.202 and 2.101 mg/L, respectively, followed by cnidiadin with EC₅₀ of 6.803 mg/L. The combination of tetramycin and difenoconazole with different mixture ratio showed synergistic inhibiting effect on the pathogen compared with single fungicide. The optimal mixture ratio was 7 : 3 with co-toxicity coefficient (CTC) of 584.56, which was obviously higher than those of other mixture ratios. Both the mixture ratio of 6 : 4 and 8 : 2 had CTC above 500, being next to the best ratio. 【Conclusion】 The growth of *C. fiorinae* is significantly affected by temperature, pH, culture medium, carbon and nitrogen sources. The combination of tetramycin and difenoconazole in different mixture ratios has obvious synergistic toxicity, and the 7 : 3 mixture ratio can be selected for field control experiments.

Key words: *Rhododendron delavayi*; *Colletotrichum fiorinae*; Biological characteristic; Combined toxicity assessment

贵州百里杜鹃自然保护区位于贵州大方县与黔西市交界处 (E 105°45'30"~106° 04' 45", N 27° 08' 30"~27° 20' 00"), 保存有地球同纬度范围内中低海拔区面积最大的天然杜鹃林^[1]。马缨杜鹃 *Rhododendron delavayi* Franch 是该保护区的建群种和优势种, 面积约 25.16 km², 占百里杜鹃林区总面积的 20%。马缨杜鹃又名马樱花, 是杜鹃花科 Ericaceae 杜鹃属 *Rhododendron* 的一种常绿灌木或小乔木^[2]。因花大、颜色鲜艳, 且形似马头饰上的缨珞而得名。其分布广泛, 花色艳红, 观赏价值高, 是杜鹃属重要的育种亲本, 具有较高研究利用价值^[3]。但随着旅游业发展, 频繁的人为活动使杜鹃花病害发生日益严重, 不仅对观赏性产生影响, 对物种的生存也产生了威胁。因此, 开展马缨杜鹃病原菌生物学特性研究以及室内药剂的筛选, 对该病害防治具有重要意义。

杨秀梅等^[4-5] 调查发现云南省昆明市晋宁区高山杜鹃盆花种植基地炭疽病 *Colletotrichum boninense*、枯梢病 *Neofusicoccum parvum* 发生严重, 田间发病率达 20% 以上。Wang 等^[6] 对台湾地区杜鹃花调查发现春秋季节杜鹃叶肿病 *Exobasidium japonicum* 发生严重, 该病原菌导致杜鹃幼嫩组织发育受损, 对杜鹃花产业具有极大破坏

性。童俊等^[7] 对武汉周边以龟峰山景区为代表的杜鹃自然群落的主要病虫害进行了系统调查, 发现杜鹃叶肿病、黑斑病 *Cercospora rhododendri* 发生严重。刘浩凯等^[8] 调查发现浙江省景宁县上山头云锦杜鹃叶斑病 *Phomopsis asparagi* 频繁发生, 严重影响了杜鹃林的健康生长和景观效果。胡芳菲^[9] 对吉安市苗圃几种常见树木病害进行调查发现, 西洋杜鹃褐斑病 *Ce. rhododendri* 发生相对较严重, 苗期发病会造成植株整株死亡。陈明珠等^[10] 调查发现, 贵州省贵阳市凤凰山锦绣杜鹃叶肿病发生严重, 发病率高达 80%, 严重影响其观赏性。研究大多聚焦于不同种类杜鹃花病害调查和病原菌鉴定, 关于杜鹃病害的生物学特性及防治药剂筛选研究较少。任纬恒^[11] 对百里杜鹃花腐病 *Alternaria alternata* 进行了室内药剂防治筛选, 认为咪鲜胺、异菌脲、苯醚甲环唑、戊唑醇 4 种药剂是可进行花腐病防治的候选药剂。

笔者于 2021 年 7 月在贵州百里杜鹃自然保护区进行病害调查, 发现了 1 种杜鹃真菌病害, 经多基因构建系统发育树并结合形态特征, 确定该病害是由松针炭疽菌 *Colletotrichum fiorinae* 引起^[12]。为明确该真菌的生物学特性及适宜防治药剂, 采用菌丝生长速率法对松针炭疽菌生物学特性进行研究,

同时测定 10 种杀菌剂对该病原菌室内毒力及 2 种药剂混配对病原菌的联合毒力,了解松针炭疽菌生物学特性,筛选出有效抑制该病原菌菌丝生长的药剂,以期对贵州百里杜鹃自然保护区马缨杜鹃炭疽病的科学防治提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2021 年 7 月从贵州省百里杜鹃自然保护区采集马缨杜鹃具有典型炭疽病症状的叶片,带回实验室进行分离培养,经贵州大学烟草品质研究重点实验室分离、鉴定并保存。

供试培养基为马铃薯葡萄糖琼脂 (PDA) 培养基、马铃薯蔗糖 (PSA) 培养基、燕麦片琼脂 (OMA) 培养基、查氏 (Czapek) 培养基和高氏 1 号 (GSA) 培养基^[13]。PDA 培养基用于培养病原真菌、生物学测定及室内药剂筛选等试验。PSA、OMA、Czapek、GSA 培养基用于病原菌生物学特性测定。

供试药剂: 22.7% (w) 二氰蒽醌 SC(江西禾益化工股份有限公司)、25.0% (w) 吡唑醚菌酯 SC(江苏托球农化股份有限公司)、25.0% (w) 溴菌腈 EC(江苏托球农化股份有限公司)、50.0% (w) 丙环唑 ME(青岛格力斯药业有限公司)、10.0% (w) 苯醚甲环唑 WDG(先正达南通作物保护有限公司)、75.0% (w) 肟菌·戊唑醇 WDG(拜耳作物科学有限公司)、0.3% (w) 四霉素 AS(辽宁微科生物工程股份有限公司)、80.0% (w) 乙蒜素 EC(南阳新卧龙生物化工有限公司)、1.0% (w) 蛇床子素 ME(云南南宝生物科技有限责任公司) 及 8.0% (w) 宁南霉素 AS(德强生物股份有限公司)。

1.2 病原菌生物学特性

采用菌丝生长速率法^[13]测定不同培养基对病原菌菌丝生长的影响,将直径为 6 mm 的菌饼分别转接于 PDA、Czapek、OMA、PSA 和 GSA 培养基,置于 25 ℃ 恒温培养箱黑暗培养 7 d 后,测量各培养基上的菌落直径。每处理 4 皿,重复 3 次。

取直径为 6 mm 菌饼置于 PDA 培养基中央,分别放入 5、10、15、20、25、30、35、40 ℃ 恒温培养箱黑暗培养 7 d 后,十字交叉法测量菌落直径^[13],得到菌丝生长适宜温度,每处理 4 皿,重复 3 次。

将直径为 6 mm 菌饼分别接种到 pH 为 5、6、7、8、9、10、11 的 PDA 培养基(用 1 mol/L HCl 和 1 mol/L NaOH 进行调节),置于 25 ℃ 恒温培养箱暗培养 7 d 后,测量菌落直径,得出菌丝生长适宜 pH,每处理 4 皿,重复 3 次。

以 Czapek 培养基为基础培养基^[13],分别以等质量的果糖、葡萄糖、可溶性淀粉、乳糖、麦芽糖替代 Czapek 培养基中的蔗糖作为碳源,以等质量的硫酸铵、硝酸钠、蛋白胨、硝酸钾、磷酸二氢铵替换 Czapek 中的硝酸钠作为氮源,以不添加碳源和氮源的 Czapek 为对照,25 ℃ 恒温箱黑暗培养 7 d 后测量菌落直径,筛选最适碳、氮源。每处理 4 皿,重复 3 次。

1.3 室内药剂毒力

1.3.1 单剂毒力测定 采用菌丝生长速率法测定 10 种杀菌剂(6 种常用化学药剂和 4 种生物农药)对马缨杜鹃炭疽病菌的抑菌活性。供试药剂母液用无菌水溶解稀释,分别设置 5 个质量浓度梯度。二氰蒽醌为 1271.00、635.60、317.80、158.90、79.45 mg/mL; 吡唑醚菌酯为 0.3000、0.1500、0.0750、0.0375、0.0188 mg/mL; 溴菌腈为 500.00、250.00、125.00、62.50、31.25 mg/mL; 丙环唑为 10.000、5.000、2.500、1.250、0.625 mg/mL; 苯醚甲环唑为 4.8、2.4、1.2、0.6、0.3 mg/mL; 肟菌·戊唑醇为 1.200、0.600、0.300、0.150、0.075 mg/mL; 四霉素为 3.0000、1.5000、0.7500、0.3750、0.1875 mg/mL; 乙蒜素为 400、200、100、50、25 mg/mL; 蛇床子素为 20.00、10.00、5.00、2.50、1.25 mg/mL; 宁南霉素为 80、40、20、10、5 mg/mL。

在无菌操作条件下,将不同质量浓度的杀菌剂溶液分别加入到灭菌的 PDA 培养基中,充分摇匀后等量倒入培养皿(直径为 85 mm)中,制成含有相应质量浓度药剂的平板,以加入等量无菌水的 PDA 培养基为对照。将供试病原菌接种于 PDA 培养基上培养 5 d 后,取直径为 6 mm 菌饼分别置于含不同质量浓度药剂平板和对照 PDA 平板中央,待对照菌丝长满平板时,采用十字交叉法测量菌落直径,计算抑菌率。

1.3.2 混剂毒力测定 根据单剂毒力测定结果,采用菌丝生长速率法,选择作用机制不同、防治效果较好且 EC₅₀ 差异较小的 2 种药剂进行混配,测定混剂对马缨杜鹃炭疽病菌的联合毒力。分别设置体积比 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8 和 1:9 共 9 种配比为母液。按照上述方法测定混剂对松针炭疽菌的抑制率,求出毒力回归方程和 EC₅₀,参考 Sun 等^[14]的毒力评判法计算复配农药的共毒系数 (Co-toxicity coefficient, CTC),评价药剂混用的增效作用。CTC 小于 80 为拮抗作用,大于 120 为增效作用,80~120 为相加作用。相关计算公式如下:

$$\text{单剂毒力指数} = \frac{\text{EC}_{50}(\text{标准药剂})}{\text{EC}_{50}(\text{供试单剂})} \times 100, \quad (1)$$
$$\text{混剂实测毒力指数(ATI)} = \frac{\text{EC}_{50}(\text{标准药剂})}{\text{EC}_{50}(\text{供试混剂})} \times 100, \quad (2)$$
$$\begin{aligned} \text{混剂理论毒力指数(TTI)} &= \text{药剂A的毒力指数} \times \\ &\quad \text{混剂中药剂A的百分含量} + \text{药剂B的毒力指数} \times \\ &\quad \text{混剂中药剂B的百分含量}, \end{aligned} \quad (3)$$
$$\text{共毒系数(CTC)} = \frac{\text{混剂实测毒力指数(ATI)}}{\text{混剂理论毒力指数(TTI)}} \times 100. \quad (4)$$

1.4 数据分析

采用Excel 2010 进行数据统计处理; 使用 SPSS 17.0 和 DPS 7.05 对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同培养基、温度、pH、氮源、碳源对菌丝生长的影响

试验结果表明, 菌丝在 5 种培养基上均能生长

(图 1A), 且 5 种培养基对菌丝的生长影响差异显著。在 PSA 培养基上生长最快, 平均菌落直径为 7.60 cm, 显著高于其他处理; 其次是 PDA 培养基, 平均菌落直径为 7.05 cm。病原菌在 OMA、Czapek、GSA 培养基上均能生长, 但生长较为缓慢且菌丝极其稀疏, 不适宜该菌的培养。

由图 1B 可知, 病原菌在 10~35 ℃ 均可生长, 在 15~25 ℃ 生长较好, 且最适生长温度为 25 ℃, 与其他温度处理有明显差异 ($P < 0.05$), 平均菌落直径为 7.05 cm。温度为 10 或 35 ℃ 时生长较缓慢, 3 d 后才开始生长, 平均菌落直径分别为 4.21 和 2.69 cm。在 5、40 ℃ 温度条件下, 病原菌菌丝未生长。

由图 1C 可知, 该菌在 pH 为 5~11 的范围内均可正常生长, 且随着 pH 的增大, 菌丝生长愈发致密。pH 7~9 长势较好, 其中最适 pH 为 8, 平均菌落直径达到 8.04 cm, 显著高于其他处理。

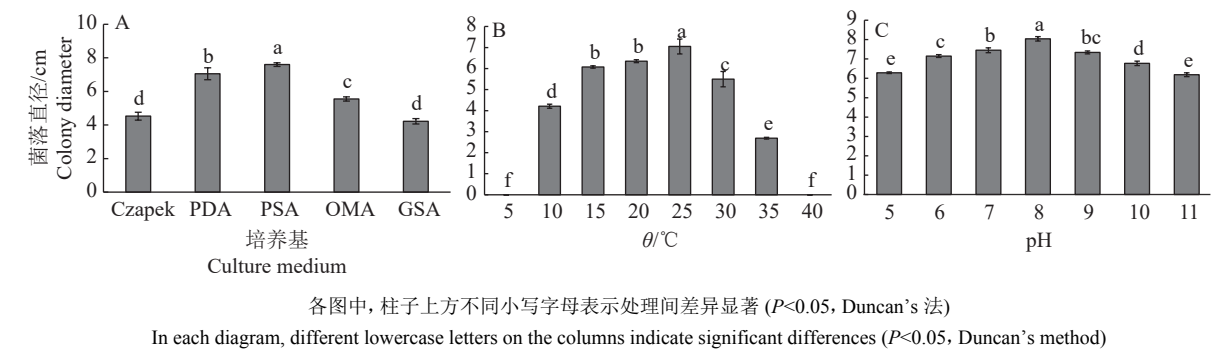


图 1 不同培养基 (A)、温度 (B) 和 pH(C) 对马缨杜鹃炭疽病菌菌丝生长的影响

Fig. 1 Effects of different culture medium, temperature and pH on mycelial growth of *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi*

如表 1 所示, 病原菌在不同的碳、氮源培养基上均可生长。在葡萄糖和可溶性淀粉为碳源的培养基上长势最好, 平均菌落直径分别为 (5.72 ± 0.15)

和 (5.59 ± 0.02) cm, 显著高于对照的 (3.49 ± 0.16) cm 以及其他 3 种不同碳源的。在乳糖为碳源的培养基上长势最差, 平均菌落直径为 (3.05 ± 0.24) cm, 显著

表 1 碳、氮源对马缨杜鹃炭疽病菌菌丝生长的影响¹⁾

Table 1 Effects of carbon and nitrogen sources on mycelial growth of *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi*

碳源 Carbon source	菌落直径/cm Diameter of colony	氮源 Nitrogen source	菌落直径/cm Diameter of colony
对照 CK	3.49±0.16c	对照 CK	3.02±0.11d
葡萄糖 Glucose	5.72±0.15a	蛋白胨 Peptone	7.63±0.12a
可溶性淀粉 Soluble starch	5.59±0.02a	硝酸钾 Potassium nitrate	6.08±0.26b
果糖 Fructose	3.99±0.18b	硝酸钠 Sodium nitrate	5.05±0.08c
麦芽糖 Maltose	3.65±0.31bc	硫酸铵 Ammonium sulfate	1.75±0.39e
乳糖 Lactose	3.05±0.24d	磷酸二氢铵 Ammonium dihydrogen phosphate	2.81±0.18d

1) 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法)

1) Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$, Duncan's method)

低于其他处理的。氮源以蛋白胨最好, 平均菌落直径为 (7.63±0.12) cm, 显著高于其他氮源培养基的, 其次是硝酸钾, 平均菌落直径为 (6.08±0.26) cm。在以硫酸铵为氮源的培养基上长势最差, 平均菌落直径为 (1.75±0.39) cm, 显著低于其他处理及对照的。由此表明, 供试的 5 种碳源和氮源中, 最适宜病原菌菌丝生长的碳源为葡萄糖和可溶性淀粉, 最适宜的氮源为蛋白胨。

2.2 杀菌剂室内毒力测定

供试的 10 种杀菌剂对病原菌菌丝生长均有不

同程度的抑制作用, EC₅₀ 如表 2 所示。化学药剂中, 肟菌·戊唑醇、吡唑醚菌酯、苯醚甲环唑和丙环唑抑制效果最好, EC₅₀ 分别为 0.102、0.118、1.202 和 2.101mg/L。二氰蒽醌和溴菌腈的抑菌活性最低, EC₅₀ 分别为 196.501 和 95.402 mg/L。生物农药中, 四霉素抑菌效果最好, EC₅₀ 为 1.107 mg/L, 其次是蛇床子素, EC₅₀ 为 6.803 mg/L。乙蒜素和宁南霉素抑菌效果相对较差, EC₅₀ 分别为 82.711 和 64.712 mg/L。

表 2 10 种杀菌剂对马缨杜鹃炭疽病菌的抑菌活性
Table 2 Antibiotic activities of 10 fungicides to *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi*

供试药剂 Trial fungicide	w(有效成分)/% Mass concentration of the active ingredients	毒力回归方程 ¹⁾ Toxicity regression equation	EC ₅₀ ²⁾ /(mg·L ⁻¹)	相关系数 Correlation coefficient
Trifloxystrobin·tebuconazole 肟菌·戊唑醇	75.0	y=0.623 2x+7.546 5	0.102±0.021a	0.980 2
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	25.0	y=0.690 6x+7.965 6	0.118±0.012a	0.964 2
苯醚甲环唑 Difenoconazole	10.0	y=0.516 3x+6.512 4	1.202±0.037ab	0.999 8
丙环唑 Propiconazole	50.0	y=0.988 0x+7.643 0	2.101±0.099a	0.989 8
溴菌腈 Bromothalonil	25.0	y=1.474 8x+6.505 3	95.402±1.718e	0.989 0
二氰蒽醌 Dithianon	22.7	y=0.852 0x+5.602 1	196.501±5.117f	0.993 1
四霉素 Tetramycin	0.3	y=0.879 4x+7.616 4	1.107±0.015a	0.997 0
乙蒜素 Ethylicin	80.0	y=1.440 9x+6.559 9	82.711±2.597d	0.985 0
蛇床子素 Cnidadiin	1.0	y=1.211 1x+7.627 9	6.803±0.147b	0.991 3
宁南霉素 Ningnanmycin	8.0	y=0.578 5x+5.687 8	64.712±1.124c	0.935 0

1)x: 杀菌剂浓度的对数;y: 杀菌剂对马缨杜鹃炭疽病菌的抑制率;2)同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05, Duncan's法)
1) x: Logarithm of fungicide concentration; y: Inhibition rate of fungicide against *Colletotrichum fiorinia* on *Rhododendron delavayi*; 2) Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P< 0.05, Duncan's method)

根据单剂毒力测定结果, 选择抑菌效果较好、作用机制不同且 EC₅₀ 相近的 10.0%(w) 苯醚甲环唑和 0.3%(w) 四霉素按照体积比 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8 和 1:9 进行混配后测定其 EC₅₀、CTC 及联合毒力, 结果(表 3) 表明, 9 种配比组合的 EC₅₀ 均较小, 且小于 2 种单剂的 EC₅₀, 说明以这 9 种配比组合进行混配均对马缨杜鹃炭疽病

菌菌丝生长具有较强的抑制作用; 9 种配比组合的 CTC 分别为 302.51、511.49、584.56、549.23、423.58、339.93、314.25、326.69 和 279.91, 均大于 120。其中, 配比为 8:2、7:3、6:4 时 CTC 均大于 500, 表现为显著增效作用, 且 9 种比例中 7:3 配比 EC₅₀ 最小, 为 0.193 0 mg/L, CTC 最大 (584.56), 为室内毒力测定最佳混剂配比。

表 3 四霉素与苯醚甲环唑不同配比混剂对马缨杜鹃炭疽病菌的毒力

Table 3 Bioactivities of mixtures containing different ratios of tetramycin and difenoconazole against *Colletotrichum fioriniae* on *Rhododendron delavayi*

$V(\text{四霉素}): V(\text{苯醚甲环唑})$	毒力回归方程 ¹⁾	相关系数	$EC_{50}^{2)}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	共毒系数
$V(\text{Tetramycin}): V(\text{Difenoconazole})$	Toxicity regression equation	Correlation coefficient		Co-toxicity coefficient
9:1	$y=1.0766x+5.4695$	0.9992	$0.3664\pm0.011e$	302.51
8:2	$y=1.0903x+5.7206$	0.9982	$0.2183\pm0.020b$	511.49
7:3	$y=0.8994x+5.6426$	0.9889	$0.1930\pm0.015a$	584.56
6:4	$y=0.9324x+5.6378$	0.9978	$0.2070\pm0.028ab$	549.23
5:5	$y=1.1314x+5.6421$	0.9888	$0.2707\pm0.027c$	423.58
4:6	$y=0.9365x+5.4386$	0.9984	$0.3401\pm0.019d$	339.93
3:7	$y=0.8895x+5.3829$	0.9894	$0.3711\pm0.021e$	314.25
2:8	$y=0.9220x+5.4090$	0.9956	$0.3601\pm0.014de$	326.69
1:9	$y=1.1020x+5.4110$	0.9984	$0.4237\pm0.022f$	279.91

1) x: 杀菌剂浓度的对数;y: 杀菌剂对马缨杜鹃炭疽病菌的抑制率;2)同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's法)

1) x: Logarithm of fungicide concentration; y: Inhibition rate of fungicide against *Colletotrichum fiorinia* on *Rhododendron delavayi*; 2) Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$, Duncan's method)

3 结论与讨论

明确病原菌生物学特性是了解病害发生规律的前提,本研究通过测定马缨杜鹃炭疽病菌生物学特性发现,该菌在 pH 5~11 均可生长,最适 pH 为 8;菌丝对温度适应范围较广,10~35 ℃ 均可生长,最适温度为 25 ℃。这与 Baroncelli 等^[15]报道的红花炭疽病菌 *C. chrysanthemi* 和张琳等^[16]报道的南瓜炭疽病菌 *C. brevisporum* 生物学特性研究结果相似。供试的 5 种碳源中,以葡萄糖为碳源的培养基最适宜该菌的生长,而以乳糖为碳源的培养基明显不利于该菌生长,这与黄蔚等^[17]报道的西瓜新炭疽病菌 *C. gloesporioides* 研究结果相同。供试的 5 种氮源中,菌株在以蛋白胨作氮源的培养基上的生长显著优于其他氮源,而以硫酸铵作为氮源时菌株菌丝生长速率显著低于其他氮源,说明蛋白胨为该菌生长最佳氮源,硫酸铵则不适合作为培养该菌的氮源。此研究结果与曹尚等^[18]对高粱炭疽病菌 *C. sublineola*生物学特性测定结果一致。

目前,化学防治仍是田间病害防治的主要手段,对化学药剂进行筛选是植物病害防治的重要内容。宋慧云等^[19]对宫粉羊蹄甲炭疽病菌 *C. gloeosporioides* 进行室内毒力测定,结果表明 98% (w) 溴菌腈和 97% (w) 吡唑醚菌酯对宫粉羊蹄甲炭疽病菌菌丝生长具有较强的抑制作用。冉飞等^[20]对百香果炭疽病菌 *C. karstii* 进行室内杀菌试验发现 75% (w) 肟菌·戊唑醇和 25% (w) 吡唑醚菌酯抑菌效

果最好, EC_{50} 分别为 0.067 和 0.463 mg/L。孟珂等^[21]对 9 种薄壳山核桃炭疽病原菌的毒力测定结果表明,戊唑醇对 *C. fioriniae*、*C. liaoningense* 和 *C. tamarilloi* 等炭疽菌生长具有较强抑制作用,平均 EC_{50} 为 0.49 mg/L。本研究也表明,75% (w) 肟菌·戊唑醇和 25.0% (w) 吡唑醚菌酯对马缨杜鹃炭疽病菌抑制效果较好, EC_{50} 分别为 0.102 和 0.118 mg/L。试验还发现 10.0% (w) 苯醚甲环唑和 50.0% (w) 丙环唑 ME 对该病原菌也具有较好抑制效果, EC_{50} 分别为 1.202 和 2.101mg/L。另外,生物农药 0.3% (w) 四霉素和 1.0% (w) 蛇床子素对该菌也有较好抑制作用, EC_{50} 分别为 1.107和 6.803 mg/L, 以上药剂均可作为田间防治马缨杜鹃炭疽病的候选药剂。

苯醚甲环唑是三唑类广谱杀菌剂,通过抑制麦角甾醇的生物合成、破坏细胞膜结构功能,从而达到杀菌效果^[22]。四霉素为不吸水链霉菌梧州亚种的发酵代谢产物,其有效成分可通过抑制菌丝体生长、诱导植物抗性并促进作物生长而达到防治病害的目的^[23]。王晓琳等^[24]测定了 0.3% (w) 四霉素与 30% 丙硫菌唑对草莓炭疽病菌 *C. gloeosporioides* 的室内毒力,结果表明四霉素与丙硫菌唑质量比为 1:15 时抑菌效果最佳, EC_{50} 仅为 0.0224 mg/L, 增效系数为 1.73。韦薇等^[25]测定 95% (w) 苯醚甲环唑和 90% (w) 代森锰锌不同比例复配对柑桔炭疽病菌 *C. gloeosporioides*的影响,结果表明前者与后者 1:7 体积配比时 CTC 达到最大 (150.25),是防治该病原菌的最佳配比。贤小勇等^[26]测定 98% (w)

吡唑醚菌酯和 96% (w) 苯醚甲环唑不同配比混剂对核桃炭疽病菌 *C. gloeosporioides* 菌丝生长的影响,发现 2 种药剂按质量比 3:2 和 1:1 进行复配时,毒力均表现增效作用。本研究前期单剂毒力测定结果表明 10.0% (w) 苯醚甲环唑和 0.3% (w) 四霉素对马缨杜鹃炭疽病菌均有较好抑制作用,为延缓病原菌抗药性、减少化学农药的使用量,故选择这 2 种不同作用机理的药剂进行复配以增强防治效果。结果表明,较单剂而言,试验所设置的 9 种复配比例均有增效作用,以 7:3 为最佳混剂体积比,EC₅₀ 最小,CTC 最大。

综合分析认为,75.0% (w) 脒菌·戊唑醇、25.0% (w) 吡唑醚菌酯、50.0% (w) 丙环唑、0.3% (w) 四霉素和 10.0% (w) 苯醚甲环唑可作为马缨杜鹃炭疽病的候选防治单剂;将 0.3% (w) 四霉素与 10.0% (w) 苯醚甲环唑进行复配能显著增效。本研究可为百里杜鹃自然保护区马缨杜鹃炭疽病田间药剂筛选及合适的施用浓度提供理论依据,为延缓该地区马缨杜鹃炭疽病菌抗药性,选择适宜复配药剂提供一定参考。

参考文献:

[1] 杨成华,李贵远,邓伦秀,等. 贵州百里杜鹃保护区的杜鹃属植物种类及其观赏特性研究[J]. 西部林业科学, 2006, 35(4): 14-18.

[2] CAI Y F, WANG J H, LI S F, et al. Photosynthetic response of an alpine plant, *Rhododendron delavayi* Franch, to water stress and recovery: The role of mesophyll conductance[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 1089.

[3] ZHANG L, XU P W, CAI Y F, et al. The draft genome assembly of *Rhododendron delavayi* Franch. var. *delavayi*[J]. Gigascience, 2017, 6(10): gix076. doi: 10.1093/gigascience/gix076.

[4] 杨秀梅,瞿素萍,张宝琼,等. 高山杜鹃枯梢病病原菌鉴定及品种抗病性调查[J]. 园艺学报, 2019, 46(5): 923-930.

[5] 杨秀梅,唐艺榕,李进昆,等. 杜鹃炭疽病病原鉴定及其生物学特性研究[J]. 江西农业学报, 2018, 30(3): 74-77.

[6] WANG P H, TSAO C C, PAI T Y. *Exobasidium japonicum* inhabits in node strategically during summer in *Rhododendron*[J]. Sydowia-Horn, 2014, 66(2): 325-334.

[7] 童俊,毛静,周媛,等. 武汉地区杜鹃花主要病虫害调查研究[J]. 现代农业科技, 2021(5): 115-117.

[8] 刘浩凯,张辉,陈玲芳,等. 浙江景宁云锦杜鹃叶斑病病原菌鉴定及生物学特征研究[J]. 浙江林业科技, 2020, 40(2): 9-16.

[9] 胡芳菲. 吉安市苗圃几种常见树木病害及防治[J]. 园艺与种苗, 2021, 41(11): 51-52.

[10] 陈明珠,丁海霞,刘国琴,等. 锦绣杜鹃叶肿病菌鉴定及病原菌培养代谢产物的初步分析[J]. 植物病理学报,

2021, 51(6): 1005-1010.

[11] 任纬恒. 高山杜鹃病害的病原菌分离鉴定与防治基础研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2019: 33-45.

[12] HU S, PENG L J, DING H X, et al. First report of *Colletotrichum fioriniae* causing anthracnose on *Rhododendron delavayi* in China[J]. Plant Disease, 2022, 106(11): 2995.

[13] 方中达. 植病研究方法 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社. 1998: 140-141.

[14] SUN Y P, JOHNSON E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies[J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53(5): 887-892.

[15] BARONCELLI R, SARROCCO S, ZAPPARATA A, et al. Characterization and epidemiology of *Colletotrichum acutatum* sensu lato (*C. chrysanthemi*) causing *Carthamus tinctorius* anthracnose[J]. Plant Pathology, 2015, 64(2): 375-384.

[16] 张琳,彭琳,邵邵伟,等. 南瓜炭疽病菌 *Colletotrichum brevisporum* 生物学特性及药剂防治[J]. 植物保护, 2021, 47(4): 59-65.

[17] 黄蔚,崔丽红,谢王超,等. 西瓜新炭疽病病原菌分子鉴定及其生物学特性初探[J]. 中国农学通报, 2022, 38(1): 131-136.

[18] 曹尚,张欢,贺明阳,等. 高粱炭疽病菌 *Colletotrichum sublineola* 生物学特性研究[J]. 东北农业科学, 2022, 47(6): 85-88.

[19] 宋慧云,段志豪,张伟豪,等. 宫粉羊蹄甲炭疽病病原鉴定及其药剂筛选[J]. 南方农业学报, 2018, 49(10): 1975-1981.

[20] 冉飞,陈佳,莫飞旭,等. 百香果炭疽病菌生物学特性及室内药剂筛选[J]. 热带作物学报, 2021, 42(4): 1080-1085.

[21] 孟珂,张亚波,常君,等. 8 种杀菌剂对 9 种薄壳山核桃炭疽病病原菌的毒力测定[J]. 林业科学研究, 2021, 34(1): 153-164.

[22] YUN Y Z, YU F W, WANG N, et al. Sensitivity to silthiofam, tebuconazole and difenoconazole of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* isolates from China[J]. Pest Management Science, 2012, 68(8): 1156-1163.

[23] WANG Q P, ZHANG C, LONG Y H, et al. Bioactivity and control efficacy of the novel antibiotic tetramycin against various kiwifruit diseases[J]. Antibiotics (Basel), 2021, 10(3): 289.

[24] 王晓琳,邬劼,黄洁雪,等. 四霉素与丙硫菌唑复配对草莓炭疽病菌的增效作用[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(10): 91-95.

[25] 韦薇,覃义杰,和立连,等. 苯醚甲环唑和代森锰锌复配对柑桔炭疽病菌的毒力及防治效果[J]. 中国南方果树, 2021, 50(4): 22-25.

[26] 贤小勇,朱桂宁,林珊宇,等. 吡唑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.