

逐渐扩大,呈水渍状,最后扩展成圆形或近圆形病斑,湿度大时可见斑面上散生波浪形分布的黑色小点,严重时可导致植株死亡。该病严重制约红心莲等多肉植物的产量与品质,对当地的多肉植物产业造成重大的经济影响。对该病原菌的生物学特征及其高效安全杀菌剂筛选研究可为该病的防治奠定基础。【前人研究进展】姚锦爱等^[3]曾对漳州发生的红心莲多肉植物炭疽病进行了相关研究,明确该病原菌为毁灭炭疽菌(*Colletotrichum destructivum*)。毁灭炭疽菌在国内外均有相关报道,是一种世界性的植物病原菌,寄主广泛,可侵染金鱼草、苜蓿、山葵等植物,在适宜环境下发生加速,主要侵染植株的叶、茎秆及根部^[4-6]。【本研究切入点】毁灭炭疽菌是红心莲炭疽病首次报道的致病菌,有关该病原菌的生物学特征及其高效安全杀菌剂筛选等研究有待深入进行。【拟解决的关键问题】明确红心莲毁灭炭疽菌的生物学特性,筛选出具有良好防治效果的高效安全杀菌剂,为红心莲毁灭炭疽病的精准综合治理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试菌株为炭疽病菌毁灭炭疽菌(*C. destructivum*),由福建省农业科学院植物保护研究所提供。

供试药剂:98%甲基硫菌灵(Thiophanate-Methyl,苯并咪唑类,武汉江心宇生物科技有限公司)、96.5%咪鲜胺原药(Prochloraz,咪唑类,辉丰农化股份有限公司)、95%苯醚甲环唑(Difenoconazole,三唑类,温州绿佳化工有限公司)、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)、98.1%多菌灵原药(Carbendazim,苯并咪唑类,辉丰农化股份有限公司)、99.8%咯菌腈原药(Fludioxonil,吡咯类,陕西恒润化学工业有限公司)。

1.2 毁灭炭疽菌生物学特性

1.2.1 温度对毁灭炭疽菌菌丝生长的影响 取新鲜毁灭炭疽菌菌饼($\varnothing=5.0$ mm,下同)接种于PDA平板($d=9.0$ cm,下同)中央,置于恒温培养箱中培养,区间为10~40℃,每5℃为一试验组,共7个梯度,每处理3次重复,6 d后采用十字交叉法测量菌落直径^[7]。

1.2.2 pH值对毁灭炭疽菌菌丝生长的影响 取新鲜毁灭炭疽菌菌饼接种于pH为4、5、6、7、8、9、10、11的PDA平板中央,在28℃培养箱中培养,

每处理3次重复,6 d后测量菌落直径,测定方法同1.2.1。

1.2.3 光照对毁灭炭疽菌菌丝生长的影响 取新鲜毁灭炭疽菌菌饼接种于PDA平板中央,依次放置在光周期为0L/24D、12L/12D和24L/0D的28℃培养箱内培养,6 d后测量菌落直径,每处理3次重复,测定方法同1.2.1。

1.2.4 不同碳、氮源对毁灭炭疽菌的影响 以蔗糖、淀粉、麦芽糖、葡萄糖、乳糖为供试碳源,以查氏培养基(NaNO_3 3 g、 K_2HPO_4 1 g、 MgSO_4 0.5 g、 KCl 0.5 g、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g、蔗糖 30 g、琼脂粉 16 g、蒸馏水定容至1 000 mL)为基础培养基,以不加碳源培养基为空白对照,以分别加入30 g的供试碳源为处理组,测定各碳源对病原菌菌丝生长的影响,28℃培养6 d后测量菌落直径,每处理3次重复。以牛肉浸膏、酵母粉、硫酸铵、蛋白胨、硝酸钠为供试氮源,以查氏培养基为基础培养基,以不加氮源培养基为空白对照,以分别加入30 g的供试氮源为处理组,测定各氮源对病原菌菌丝生长的影响,28℃培养6 d后测量菌落直径,每处理3次重复。

1.3 6种杀菌剂的室内毒力测定

采用菌丝生长速率法测定^[8]。用无菌水将6种供试药剂配置成质量浓度为 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的母液,在PDA培养基内加入各药剂母液,制成质量浓度为0.002、0.01、0.05、0.25、1.25、6.25 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的含药PDA平板。取毁灭炭疽菌菌饼接种于各药剂处理的PDA平板中央,以纯PDA平板为对照,28℃恒温培养6 d后测量菌落直径,每处理3次重复,计算抑制率。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。

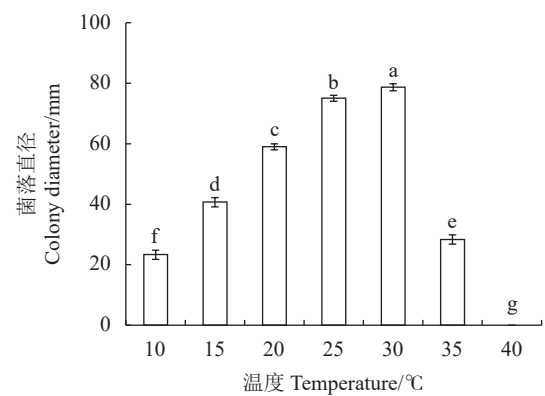
1.4 数据统计与分析

在DPS 7.05数据处理软件上,利用Duncan's新复极差法对生物学特性结果进行差异显著性分析;根据室内毒力测定抑制率计算6种杀菌剂对供试菌株的有效抑制中浓度 EC_{50} 。

2 结果与分析

2.1 病原菌生物学特性

2.1.1 温度对毁灭炭疽菌菌丝生长的影响 当培养温度在10~30℃时,毁灭炭疽菌的菌落直径随温度的升高而增加,30℃时最大,为78.67 mm,当温度在35℃以上时,菌落直径随温度的升高而减少,在40℃时未见生长。测定结果表明红心莲毁灭炭疽病菌菌丝生长最适温度为30℃,且不耐高温(图1)。



不同小写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.05$)。下同。

Data with different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). Same for below.

图 1 温度对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响

Fig.1 Mycelial growth of *C. destructivum* affected by temperature

2.1.2 pH 值对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响 当培养基 pH 在 4~8 时，毁灭炭疽菌菌落直径随 pH 的升高而增加，在 pH 为 8 时菌落直径最大，为 73.67 mm，在 pH 为 9~11 时，菌落直径随温度的升高而减少。测定结果表明红心莲毁灭炭疽病菌菌丝生长最适 pH 为 8，整体喜好偏碱性环境（图 2）。

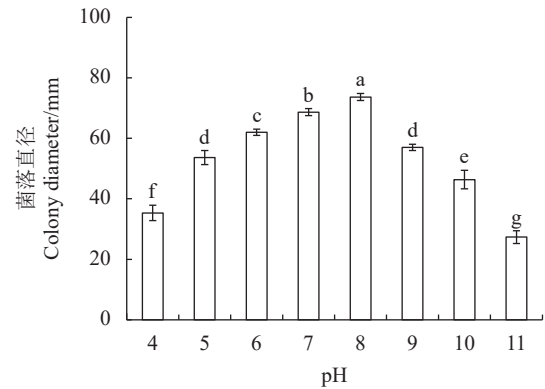


图 2 pH 对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响

Fig. 2 Mycelial growth of *C. destructivum* affected by pH

2.1.3 光周期对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响 毁灭炭疽菌在光周期为 0L/24D、12L/12D 和 24L/0D 3 种条件下，菌丝均能生长，且三者无显著性差异。测定结果表明光周期对菌丝生长影响不大（图 3）。

2.1.4 碳、氮源对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响 红心莲毁灭炭疽病菌在含不同供试碳、氮源的平板上均能生长，生长速度差异显著。碳源中淀粉、麦芽糖和葡萄糖的菌丝生长速度显著高于对照组，其中以淀粉为碳源的菌丝生长速度最快，培养 6 d 后直径为 74.67 mm（图 4）；氮源中酵母和蛋白胨的菌丝生长速度显著高于对照组，其中以酵母为氮源的菌丝生长速度最快，培养 6 d 后直径为 79.33 mm（图 5）。

碳、氮源筛选试验结果表明，红心莲毁灭炭疽病菌菌丝生长的最适碳、氮源分别为淀粉和酵母。

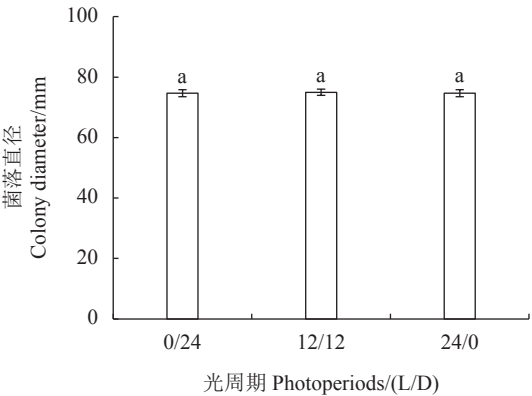


图 3 光周期对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响

Fig. 3 Mycelial growth of *C. destructivum* affected by photoperiods

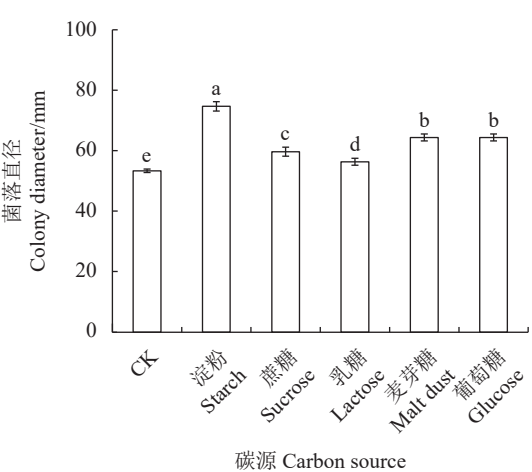


图 4 碳源对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响

Fig. 4 Mycelial growth of *C. destructivum* affected by carbon source

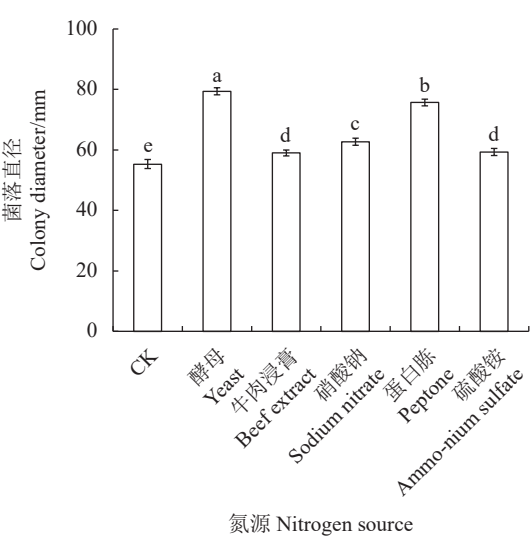


图 5 氮源对毁灭炭疽病菌菌丝生长的影响

Fig. 5 Mycelial growth of *C. destructivum* affected by nitrogen source

2.2 6 种杀菌剂室内毒力测定

室内毒力测定结果如表 1 所示，供试的 6 种不同化学结构和作用机制的杀菌剂均表现出抑制作用，其中咯菌腈的毒力最强， EC_{50} 为 $0.023\ 6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；其次为咪鲜胺和吡唑醚菌酯， EC_{50} 分别为 $0.030\ 6$ 和

$0.048\ 7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；甲基硫菌灵和苯醚甲环唑的毒力较弱， EC_{50} 分别为 $0.152\ 6$ 和 $0.195\ 5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。多菌灵的毒力最弱， EC_{50} 为 $0.219\ 9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。试验结果说明，咯菌腈对红心莲毁灭炭疽菌的毒力最强，而多菌灵对该病原菌的毒力最弱。

表 1 6 种杀菌剂对毁灭炭疽病菌的室内毒力
Table 1 Toxicities of 6 fungicides against *C. destructivum*

供试药剂 Fungicides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	$EC_{50}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	95% 置信区间 95% confidence interval / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	相关系数 r Correlation coefficient r
甲基硫菌灵 Thiophanate-Methyl	$y=5.556\ 4+0.681\ 6x$	0.152 6	0.122 9~0.189 6	0.996 8
咪鲜胺 Prochloraz	$y=5.772\ 6+0.510\ 1x$	0.030 6	0.024 6~0.038 0	0.997 4
吡唑醚菌酯Pyraclostrobin	$y=5.789\ 9+0.601\ 9x$	0.048 7	0.042 6~0.055 7	0.998 9
咯菌腈 Fludioxonil	$y=5.817\ 3+0.502\ 2x$	0.023 6	0.019 8~0.028 0	0.998 4
苯醚甲环唑Difenoconazole	$y=5.520\ 3+0.733\ 9x$	0.195 5	0.145 4~0.262 8	0.994 3
多菌灵 Carbendazim	$y=5.472\ 8+0.718\ 9x$	0.219 9	0.181 0~0.267 2	0.997 5

3 讨论与结论

炭疽病是一种世界性的病害，由炭疽菌属（*Colletotrichum*）真菌引起，其寄主广泛，多发生于高温高湿地区，影响寄主植物的健康^[7]。由毁灭炭疽菌（*C.destructivum*）引起的炭疽病是景天科多肉植物红心莲种植过程中的重要病害之一。该病主要为害幼嫩叶片，严重影响红心莲的产量与观赏价值^[3]。该病的发生流行是寄主、病原菌和环境互作的结果。因此，明确红心莲炭疽病病原菌毁灭炭疽菌的生物学特征和生长条件有助于制定可持续管理策略^[9]。对毁灭炭疽菌（*C .destructivum*）进行生物学特性研究，结果表明，毁灭炭疽菌丝生长受温度、pH 值、碳氮源的影响显著。病原菌菌丝生长最适温度为 30 ℃，这与王芳等^[10]在多肉植物青星美人暹罗炭疽菌（*C.siamense*）的最适温度一致；菌落生长的最适 pH 为 8，这与 Sun 等^[11]在向日葵上发现的毁灭炭疽菌最适 pH 一致；病原菌菌落生长不受光周期的影响，这与其他同属的炭疽菌存在一定差异，例如张琳等^[12]在青皮南瓜上发现的南瓜炭疽病菌（*C.brevisporum*）的菌落生长就受光周期影响；红心莲毁灭炭疽病菌菌丝生长的最适碳、氮源分别为淀粉和酵母，其中最适碳源与娄喜艳等^[13]在月季上发现的胶孢炭疽菌（*C.gloeosporioides*）一致，但最适氮源

与之不同，可能是由于不同寄主不同种的病原菌在生理特性上存在的差异。

目前，化学防治仍是炭疽菌属病原真菌主要防治手段。6 种不同化学结构和作用机制杀菌剂的室内毒力试验结果表明，咯菌腈、咪鲜胺和吡唑醚菌酯对多肉毁灭炭疽病菌具有较强毒力， EC_{50} 分别为 $0.023\ 6$ 、 $0.030\ 6$ 和 $0.048\ 7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。这些杀菌剂对同属的其他植物寄主的炭疽菌也具有较强毒力。孟珂等^[14]对 9 种薄壳山核桃炭疽病病原菌研究表明，咯菌腈和咪鲜胺对 9 种炭疽菌均有较强毒力， EC_{50} 值范围为 $0.14\sim0.15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。高鹏等^[15]对燕麦炭疽病病菌的室内毒力测定结果表明，吡唑醚菌酯抑制作用较强， EC_{50} 值为 $0.002\ 9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。本试验对红心莲毁灭炭疽菌进行室内毒力测定，但其田间防效还受寄主的生理特性、种植环境等因素影响^[16]。因此，可以对红心莲毁灭炭疽病在田间的防效进行深入研究，为红心莲毁灭炭疽病的防治提供依据。

参考文献：

[1] GRIFFITHS H, MALES J. Succulent plants[J]. *Current Biology*, 2017, 27(17): R890–R896.
[2] 中国花卉协会. 2018年12月各地盆花市场行情 [J]. 中国花卉园艺, 2019 (3): 51–52.
CHINA FLOWER ASSOCIATION. Potted flower market in

- December 2018 [J]. *China Flowers & Horticulture*, 2019 (3): 51–52. (in Chinese)
- [3] YAO J A, HUANG P, CHEN H X, et al. Anthracnose pathogen of the succulent plant *Echeveria* ‘Perle von Nürnberg’ [J]. *Australasian Plant Pathology*, 2020, 49 (2): 209–212.
- [4] TOMIOKA K, NISHIKAWA J, MORIWAKI J, et al. Anthracnose of snapdragon caused by *Colletotrichum destructivum* [J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2011, 77 (1): 60–63.
- [5] VASIĆ T, KRNJAJA V, JEVREMOVIĆ D, et al. Morphological and Molecular Identification of *Colletotrichum destructivum* from alfalfa[C]. 7th Congress on Plant Protection, 2014: 24–28.
- [6] MACDONALD J L, PUNJA Z K. Identification of *Colletotrichum destructivum* causing anthracnose of *Wasabia japonica* in British Columbia[C]. Canadian Phytopathological Society British Columbia Regional Meeting, 2015: 38.
- [7] 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.
- RAN F, CHEN J, MO F X, et al. Biological characteristics of the pathogen and fungicides screening in laboratory for anthracnose of *Passiflora edulia* Sims [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42 (4): 1080–1085. (in Chinese)
- [8] CROUCH J A, CROUCH J A. Anthracnose of cereals and grasses [J]. *Fungal Diversity*, 2009, 39: 19–44.
- [9] BERTETTI D, GULLINO M, GARIBALDI A. Effect of leaf wetness duration, temperature and inoculum concentration on infection of evergreen azalea by *Colletotrichum acutatum*, the causal agent of anthracnose [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2009, 91 (3): 763–766.
- [10] 王芳, 王晓立, 韩浩章, 等. 多肉植物青星美人的黑腐病原鉴定及生物学特性 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47 (5): 540–546.
- WANG F, WANG X L, HAN H Z, et al. Identification and biological characteristics of black rot pathogen on succulent plant *Pachyphytum* ‘Dr Cornelius’ [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2021, 47 (5): 540–546. (in Chinese)
- [11] SUN H, TIAN J, STEINKELLNER S, et al. Identification and characterization of *Colletotrichum destructivum* causing anthracnose on sunflower [J]. *Archives of Microbiology*, 2020, 202 (6): 1459–1467.
- [12] 张琳, 彭琳, 邵邳伟, 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.
- ZHANG L, PENG L, SHAO Z W, et al. Biological characteristics and indoor fungicide screening of *Colletotrichum brevisporum* causing pumpkin anthracnose [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (4): 59–65. (in Chinese)
- [13] 娄喜艳, 王欣阳, 裴冬丽. 河南商丘月季炭疽病的病原菌鉴定及生物学特性 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (22): 116–121.
- LOU X Y, WANG X Y, PEI D L. Identification and biological characteristics of pathogenic bacteria of rose anthracnose in Shangqiu Henan Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49 (22): 116–121. (in Chinese)
- [14] 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.
- MENG K, ZHANG Y B, CHANG J, et al. Toxicity test with 8 fungicides against 9 pathogens of pecan anthracnose (*Colletotrichum* spp.) [J]. *Forest Research*, 2021, 34 (1): 153–164. (in Chinese)
- [15] 高鹏, 刘琳, 刘昀鑫, 等. 不同作用机制杀菌剂对燕麦炭疽病病菌的室内毒力测定 [J]. 草业科学, 2021, 38 (9): 1737–1744.
- GAO P, LIU L, LIU Y X, et al. Toxicity testing of different fungicides for *Colletotrichum cereale* on oat anthracnose [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38 (9): 1737–1744. (in Chinese)
- [16] 李少卡, 何凡, 陈哲, 等. 防治荔枝炭疽病的药剂筛选及田间应用 [J]. 农药, 2019, 58 (10): 773–776.
- LI S K, HE F, CHEN Z, et al. Effective fungicides screening and field application for *Litchi* anthracnose [J]. *Agrochemicals*, 2019, 58 (10): 773–776. (in Chinese)

(责任编辑: 林海清)