

广西百香果茎基腐病病原菌生物学特性及抑菌药剂筛选

黄艳花¹, 覃连红¹, 崔忠吉¹, 黄远光², 欧善生¹, 蒙成¹

(1. 广西农业职业技术大学, 广西南宁 530007; 2. 广西梧州市长洲区倒水镇农业技术推广站, 广西梧州 543006)

摘要 对引起百香果茎基腐病的病原菌腐皮镰刀菌进行生物学特性研究, 并开展室内高效低毒化学药剂筛选。选取经鉴定的主要代表菌株, 采用实验室常规法研究该病原菌的生物学特性, 并用菌丝生长速率法对 14 种杀菌剂进行抑制作用测定。结果表明, 病菌生长适宜温度 24~30 ℃, 产孢适宜温度 28~32 ℃, 孢子萌发适宜温度 20~30 ℃, 菌丝生长适宜 pH 为 5~11, 产孢适宜 pH 为 3~10, 孢子萌发适宜 pH 为 5~9。连续光照对菌丝生长有明显的抑制作用, 全黑暗及半光半暗有利于菌丝生长, 光照条件对产孢量无显著影响。菌丝生长及产孢的最适碳源为葡萄糖, 其次为麦芽糖, 最适氮源为牛肉膏, 其次为酵母粉和蛋白胨; 最适培养基是 Czapek, 其次为 PDA。通过室内试验筛选出抑制效果较好的杀菌剂 6 种, 经毒力测定表明, 咪鲜胺 450 g/L 水乳剂和多菌灵 50% 可湿性粉剂对病菌抑制作用最强, EC_{50} 分别为 0.078、1.189 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 其次是 75% 脞菌戊唑醇水分散粒剂和 40% 脞菌唑悬浮剂, EC_{50} 分别为 6.887 和 13.092。该研究结果可为百香果茎基腐病防控提供理论依据。

关键词 百香果; 茎基腐病; 腐皮镰刀菌; 生物学特性; 杀菌剂; 毒力测定

中图分类号 S432.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)09-0127-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.09.032



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Biological Characteristics and Antibacterial Agents Screening of Pathogen of Passion Fruit Stem Rot

HUANG Yan-hua, QIN Lian-hong, CUI Zhong-ji et al (Guangxi Agricultural Vocational and Technical College, Nanning, Guangxi 530007)

Abstract The biological characteristics of fusarium purefaciens, which caused the stalk rot of passion fruit, were studied, and the high efficiency and low toxicity chemicals were screened in laboratory. The biological characteristics of the pathogen were studied by conventional laboratory method, and the inhibition of 14 fungicides was measured by mycelial growth rate method. The results showed that the optimum temperature for pathogen growth, sporulation and conidial germination were 24–30 ℃, 28–32 ℃, 20–30 ℃, 5–11 for growth, 3–10 for sporulation and 5–9 for conidial germination. Continuous light had a significant inhibitory effect on mycelium growth, while total darkness and semi-darkness were beneficial to mycelium growth, while light had no significant effect on sporulation. The optimal carbon source for mycelia growth and sporulation was glucose, followed by maltose, and the optimal nitrogen source was beef extract, yeast powder and peptone. Czapek was the most suitable medium, followed by PDA. Six fungicides with good inhibitory effect were screened out through laboratory experiments. The virulence test showed that the water emulsion of prometean 450 g/L and carbendazim 50% wettable powder had the strongest inhibitory effect on bacteria, with EC_{50} values of 0.078 and 1.189 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. The EC_{50} values of 75% oxime-bacterium tebuazolol and 40% nitrilazole suspension were 6.887 and 13.092, respectively. The study can provide theoretical basis for the control of passion fruit stem rot.

Key words Passion fruit; Stem rot; Fusarium rot; Biological characteristics; Fungicide; Toxicity measurement

百香果学名西番莲, 是西番莲科(Passifloraceae)西番莲属(*Passiflora* Linn)的热带多年生常绿藤本植物, 原产南美洲巴西至阿根廷一带和澳大利亚, 现广泛分布于热带和亚热带地区^[1]。百香果果实营养丰富, 富含多种维生素、矿物质和游离氨基酸, 其中 100 g 鲜果中 Vc 含量高达 34.6 mg^[2]。我国于 1913 年由菲律宾引进种植百香果, 主要栽培地区包括海南、福建、广东、广西、云南、贵州、台湾; 由于百香果种植周期短、产生效益快, 部分地区选择其作为扶贫产业进行开发; 近年来, 广西百香果各主要产区发展迅猛, 截至 2019 年全国百香果种植面积约 3 万 hm^2 , 广西种植面积超过 2 万 hm^2 ^[3-4]。随着百香果种植规模的不断扩大, 茎基腐病逐年蔓延, 该病是目前危害百香果种植的主要病害之一, 造成大面积植株快速死亡, 严重制约了百香果产业的发展^[5]。李德福等^[6]、宋晓兵等^[7]研究表明, 引起西番莲茎基腐病的病原菌腐皮镰孢菌(*Fusarium solani*), 幼苗期和成株期均可受害, 主要危害部位为离地面 5~10 cm 的植株茎基部。染病初

期在百香果茎基部出现深褐色病斑, 皮层稍凹陷腐烂, 腐烂初期是硬质, 后软化为海绵状皮层组织, 最后, 皮层脱落裸露出茎和主根的木质部。当茎基部病斑横向扩展环绕茎秆时, 上部的枝蔓和叶片先出现黄化、凋萎, 当病斑向下扩展至根部时, 整株枯死。潮湿气候条件下, 腐烂部位常先产生白色的菌丝体, 然后产生红色子囊壳^[6,8-9]。目前, 在中国知网查询未见对百香果茎基腐病病原腐皮镰刀菌生物学特性及药效筛选研究。笔者在对广西百香果茎基腐病病原腐皮镰刀菌分离鉴定的基础上, 进一步开展该病原菌生物学特性及防治药剂筛选研究, 以期为该病发生规律研究及防控措施制定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株 百香果茎基腐病病原腐皮镰刀菌(*Fusarium solan*), 采集于广西上林县毛塘百香果种植基地感染茎基腐病的植株, 按常规组织分离获得纯培养, 经单孢纯化, 依据柯赫氏法则测定其致病性, 参考宋晓兵等^[7]的方法采用形态特征和分子系统学鉴定后, 保存至 PCA 斜面培养基, 选择性状优良的 75XIN5A 菌株作为供试菌株, 移入 PDA 培养基^[10]平板上培养(28 ℃)7 d 后供测试用。

1.2 供试杀菌剂 68%精甲霜·锰锌水分散粒剂(一帆生物科技集团有限公司)、3%甲霜·恶霉灵水剂(广西田园生

基金项目 广西农业科技自筹经费项目(Z202006); 国家现代农业产业技术体系广西特色水果创新团队建设(ncyctgxextd-17-03)。

作者简介 黄艳花(1974—), 女, 广西都安人, 高级实验师, 从事植物保护研究。

收稿日期 2022-08-12

物股份有限公司)、46%氢氧化铜水分散粒剂(澳大利亚纽发姆有限公司)、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂(江苏龙灯化学有限公司)、80%代森锰锌可湿性粉剂(广西田园生物股份有限公司)、75%脲菌·戊唑醇水分散粒剂(山东荣邦化工有限公司)、25%丙环唑乳油(招远三联化工厂有限公司)、50%啉菌酯水分散粒剂(先正达)、43%氟菌·脲菌酯悬浮剂(拜耳)、75%百菌清可湿性粉剂(山东大成生物化工有限公司)、50%多菌灵可湿性粉剂(四川润尔科技有限公司)、40%腈菌唑悬浮剂(一凡生物科技集团有限公司)、10%苯醚甲环唑水分散粒剂(先正达南通作物保护有限公司)、450 g/L咪鲜胺水乳剂(上海沪联生物药业(夏邑)股份有限公司)。

1.3 病原菌生物学特性

1.3.1 温度对病原菌菌丝生长、产孢及孢子萌发的影响。用打孔器在 PDA 平板上培养 7 d 的菌落边缘打取直径 5 mm 菌饼,将菌饼接种于 PDA 培养基中央,分别置于 4、8、12、16、20、24、28、30、32、36、40 °C 下的恒温培养箱中培养。7 d 后用十字交叉法测量菌落直径,10 d 后用血球计数板计算产孢量,用灭菌水制成孢子悬浮液(浓度为 5.00×10^6 个/mL),采用琼胶平板表面萌发法^[10]镜检分生孢子在上述不同温度下的萌发率(方法下同)。

1.3.2 pH 对病原菌菌丝生长、产孢及孢子萌发的影响。用盐酸及氢氧化钠将 PDA 培养基 pH 调配成 3、4、5、6、7、8、9、10、11 共 9 个梯度,置于 28 °C 培养,7 d 后采用十字交叉法测量菌落直径,10 d 后用血球计数板计算产孢量,用无菌水配制孢子悬浮液,pH 调成上述梯度,置 28 °C 恒温培养 8 h 按“1.3.1”方法分别统计萌发率。

1.3.3 光照对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。光照试验设 24 h 黑暗、12 h 黑暗+12 h 光照(设 1 500、2 000、3 000 lx 共 3 种不同光照强度梯度)、24 h 光照(光照强度为 3 000 lx)^[11],在 3 种不同光照方式下于 28 °C 恒温培养,7 d 后采用十字交叉法测量菌落直径,10 d 后用血球计数板计算产孢量。

1.3.4 碳源对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。用等质量葡萄糖、D-果糖、乳糖、山梨醇、甘油、麦芽糖、甘露醇、木糖醇、D-木糖、淀粉 10 种氮源分别置换 Czapek 培养基^[10]中的蔗糖,配制不同碳源培养基,设无氮碳源的培养基作为对照。将病原菌分别接种于上述培养基上,每处理 4 个重复,28 °C 恒温培养,7 d 后采用十字交叉法测量菌落直径,10 d 后观察记录菌落形态特征,用血球计数板计算产孢量。

1.3.5 氮源对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。用等质量酵母粉、精氨酸、牛肉膏、甘氨酸、赖氨酸、蛋白胨、丙氨酸、尿素 8 种碳源分别代替 Czapek 培养基^[10]中的硝酸钠,配制不同氮源培养基,设无氮源的培养基作为对照,其余同“1.3.4”。

1.3.6 培养基对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。制备 6 种培养基。WA(水琼脂培养基):琼脂 15 g,补足水至 1 000 mL;Czapek(查氏培养基):硝酸钠 3 g,磷酸氢二钾 1 g,硫酸镁 0.5 g,氯化钾 0.5 g,硫酸铁 0.01 g,蔗糖 30 g,琼脂

20 g,水 1 000 mL;汁液培养基:健康新鲜百香果枝叶 200 g,水熬煮 30 min,琼脂 20 g,水 1 000 mL;PDA(马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 20 g、水 1 000 mL);CMA(玉米粉琼脂培养基):玉米粉 30 g,琼脂 20 g,水 1 000 mL;OA(燕麦培养基):燕麦片 30 g,琼脂 20 g,水 1 000 mL。6 种培养基 pH 自然,其余同“1.3.4”。

1.4 防治药剂室内筛选

1.4.1 有效防治药剂的初步筛选。采用菌丝生长速率测定法。将各供试药剂用无菌蒸馏水配成所需浓度的 10 倍液,分别取 10 mL 加入已装有 90 mL 灭菌并降温至 50 °C 左右 PDA 培养基的三角瓶中,混匀,倒入直径 9 cm 培养皿中,每皿 15 mL,冷却凝固备用。在平板中央接种直径 5 mm 的菌饼,以不加药剂的 PDA 培养基为对照,每个处理 4 个重复,28 °C 下培养 7 d 后测量菌落直径,计算各药剂对菌丝体生长的相对抑制率^[12]。

菌落直径=测定菌落直径-菌饼直径(0.5 cm)

相对抑制率=(对照菌落直径-处理菌落直径)/对照菌落直径×100%

1.4.2 有效杀菌剂毒力测定。选用由“1.4.1”筛选出的对百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌相对抑制率达 85% 以上的杀菌剂为供试药剂,按 5 个梯度配制不同浓度,按“1.4.1”的方法进行试验及计算相对抑制率。以浓度的对应数值为自变量 x ,以菌丝体抑制百分率的概率值为因变量 y ,计算出毒力回归方程和相关系数 R ,根据回归方程计算出 EC_{50} 和 EC_{90} ^[12]。

2 结果与分析

2.1 病原菌生物学特性

2.1.1 温度对病原菌菌丝生长、产孢及孢子萌发的影响。从表 1 可以看出,病菌在 12~32 °C 都能生长,24~30 °C 适合菌丝生长,28 °C 为最适温度,菌落直径极显著高于其他温度处理,8 和 36 °C 几乎不生长,4 和 40 °C 不可生长;4 与 40 °C

表 1 温度对菌落生长、产孢量及孢子萌发的影响

Table 1 Effect of temperature on colony growth, sporulation and spore germination

温度 Temperature °C	菌落直径 Colony diameter cm	产孢量 Spore number 10 ⁶ 个/皿	孢子萌发率 Spore germination rate//%
4	0.00±0.00 ii	0.00±0.00 dC	0.00±0.00 gF
8	0.87±0.05 hH	2.06±0.24 dC	0.00±0.00 gF
12	1.90±0.08 fF	19.75±3.48 cBC	65.00±0.01 eD
16	3.24±0.23 eE	21.33±2.47 cBC	79.67±0.03 dC
20	4.71±0.05 dD	24.84±5.29 bcB	90.67±0.01 bB
24	6.63±0.05 bB	27.75±4.84 bcB	93.00±0.03 abAB
28	7.50±0.08 aA	39.62±6.44 bB	97.00±0.06 aA
30	6.65±0.05 bB	59.74±7.58 aA	91.00±0.01 bB
32	5.06±0.21 cC	39.50±6.51 bB	84.67±0.01 cC
36	1.39±0.10 gG	30.41±5.3 bcB	84.33±0.02 cC
40	0.00±0.00 ii	0.00±0.00 dC	22.33±0.01 fE

注:同列不同小写字母表示不同温度间差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different temperatures at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level.

不产孢,28~32 ℃ 较适合产孢,30 ℃ 最适产孢,产孢量极显著高于其他温度处理;低于 8 ℃ 孢子不能萌发,20~30 ℃ 适合孢子萌发,24~28 ℃ 萌发率基本上显著高于其他温度处理,36 ℃ 孢子萌发率降低。表明百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝生长、产孢、孢子萌发适宜温度为 28~30 ℃。

2.1.2 pH 对病原菌菌丝生长、产孢及孢子萌发的影响。由表 2 可知,百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝在 pH 3~11 时均能生长,pH 5~11 适宜生长,其中 pH 9 生长最好;pH 3~11 时均能产孢,pH 3~10 产孢量高,各处理间无显著差异;孢子在 pH 3~11 时均能萌发,萌发率较高的 pH 为 5~9,处理间无显著差异。表明百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝生长、产孢、孢子萌发适宜 pH 为 5~9。

表 2 pH 对菌落生长、产孢量及孢子萌发的影响

Table 2 Effect of pH on colony growth, sporulation and spore germination

pH	菌落直径 Colony diameter cm	产孢量 Spore number 10 ⁶ 个/皿	孢子萌发率 Spore germination rate//%
3	4.55±0.04 cC	23.95±4.47 abA	48.00±9.70 eC
4	7.64±0.15 bB	40.88±8.41 aA	77.00±1.07 dB
5	7.94±0.25 abAB	41.60±11.84 aA	92.00±1.05 abcA
6	8.13±0.36 aAB	39.99±5.42 aA	96.67±2.5 aA
7	8.09±0.15 aAB	31.02±5.91 abA	97.67±0.23 aA
8	8.18±0.09 aAB	27.06±4.95 abA	95.67±1.78 abA
9	8.31±0.19 aA	19.79±8.55 abA	92.00±2.24 abcA
10	8.15±0.30 aAB	24.64±6.85 abA	89.00±1.03 bcA
11	7.91±0.56 abAB	14.30±2.31 bA	87.67±2.57 cA

注:同列不同小写字母表示不同 pH 间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different pH at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level.

2.1.3 光照对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。菌丝生长对光照要求不严格,5 种光照处理均能生长。完全黑暗及半光半暗对菌丝生长有利,光照对菌丝生长有一定抑制作用,连续光照与其他处理差异显著,半光半暗不同光照强度对菌丝生长有一定的影响,但处理间无显著差异。连续光照对产

孢有一定的抑制作用,但与其他处理无显著差异(表 3)。综上所述,连续光照对百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝生长有明显的抑制作用,全黑暗及半光半暗有利菌丝生长,光照条件对产孢量无显著影响。

表 3 光照对菌落生长及产孢量的影响

Table 3 Effect of light on colony growth and sporulation

光照条件 Light condition	菌落直径 Colony diameter cm	产孢量 Spore number 10 ⁶ 个/皿
全暗	7.70±0.11 aA	36.03±4.29 aA
半光半暗(1 500 lx)	7.31±0.19 aA	33.35±5.58 aA
半光半暗(2 000 lx)	7.13±0.30 aA	35.58±9.17 aA
半光半暗(3 000 lx)	7.08±0.22 aA	44.46±6.12 aA
全光照	5.78±1.01 bB	26.05±4.07 aA

注:同列不同小写字母表示不同光照间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different light at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level.

2.1.4 碳源对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。由表 4 可知,百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌在供试的 10 种碳源上均能生长,菌落生长大小存在一定的差异,该菌在含麦芽糖、葡萄糖的培养基上生长最好,培养 7 d 的菌落直径均达 7.5 cm 以上,菌丝生长茂密;在山梨醇、甘露醇、木糖培养基上生长较好,菌落直径均达 7.0 cm 以上,菌丝生长茂密;在含果糖、甘油、淀粉培养基上菌落直径均低于 6.9 cm,但菌丝生长茂密;在含木糖醇($\Phi=7.50$ cm)、乳糖($\Phi=6.74$ cm)和无糖($\Phi=6.80$ cm)培养基上菌落直径虽然不小,但菌丝生长稀疏。百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌在葡萄糖碳源培养基上产孢量最多,为 83.69×10^6 个/皿;其次为甘油、麦芽糖、木糖醇、木糖碳源培养基,产孢量为 $48.06 \times 10^6 \sim 51.22 \times 10^6$ 个/皿;在无碳源培养基上的产孢量最少,为 1.64×10^6 个/皿;在其余碳源培养基上的产孢量为 $9.21 \times 10^6 \sim 24.96 \times 10^6$ 个/皿。综上所述,最适合百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝生长的碳源培养基是麦芽糖、葡萄糖,最适合产孢的碳源培养基为葡萄糖。

表 4 碳源对菌落生长及产孢量的影响

Table 4 Effect of carbon source on colony growth and sporulation

序号 No.	碳源 Carbon source	菌落直径 Colony diameter cm	菌落形态 Colony morphology	产孢量 Spore number 10 ⁶ 个/皿
1	葡萄糖	7.53±0.06 aA	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面中心深草绿色圈、中间黄色圈、外围白色	83.69±19.58 aA
2	果糖	6.88±0.25 cB	菌落圆形致密、边缘整齐,正面、反面浅棕色	15.91±7.24 cdD
3	乳糖	6.74±0.14 cBC	菌落圆形疏松、边缘整齐,有同心轮纹,正面、反面浅棕色	9.21±5.49 cdD
4	山梨醇	7.48±0.16 abA	菌落圆形致密、边缘整齐,正面浅黄色,反面中心黄色圈、中间淡绿色圈、外围白色圈	11.96±1.12 cdD
5	甘油	6.73±0.25 cBC	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面中心深草绿色圈、中间黄色圈、外围白色	51.22±17.20 bB
6	麦芽糖	7.51±0.23 aA	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面白色	50.57±16.13 bB
7	淀粉	6.31±1.29 dC	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面白色	24.96±7.51 cCD
8	木糖醇	7.50±0.06 aA	菌落圆形较稀疏、薄、边缘整齐,正、反面雪白色透明状	48.06±3.48 bBC
9	甘露醇	7.28±0.16 abAB	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色中带浅草绿色,反面内圈草绿色、外圈白色	18.50±5.49 cdD
10	木糖	7.09±0.52 bcAB	菌落圆形疏松、边缘整齐,正面乳白色,反面淡黄色	48.06±3.48 bBC
11	CK	6.80±0.23 cBC	菌落圆形很稀疏、薄、边缘整齐,正、反面雪白色透明状	1.64±0.44 dD

注:同列不同小写字母表示不同碳源间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different carbon sources at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level.

2.1.5 氮源对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。由表 5 可知,百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌在供试的 8 种氮源上均能生长,菌落生长大小存在一定差异,该病菌在含牛肉膏的培养基上生长最好,培养 7 d 的菌落直径均达 7.13 cm,菌丝生长茂密;在精氨酸、蛋白胨、尿素、酵母粉培养基上生长较好,菌落直径均大于 6.0 cm,菌丝生长茂密;在含甘氨酸、赖氨酸、丙氨酸培养基上菌落直径均低于 4.8 cm,但菌丝生长茂密;在无糖培养基上菌落直径($\Phi=5.81$ cm)虽然不小,但

菌丝生长稀疏。百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌在甘氨酸氮源培养基上的产孢量最多,为 138.13×10^6 个/皿,其次为酵母粉、牛肉膏、蛋白胨氮源培养基,产孢量为 $36.35 \times 10^6 \sim 52.51 \times 10^6$ 个/皿,在无氮源培养基上的产孢量最少,为 1.27×10^6 个/皿,在其余碳源培养基上的产孢量为 $12.84 \times 10^6 \sim 28.03 \times 10^6$ 个/皿。综上所述,最适合百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝生长及产孢的氮源培养基是牛肉膏,其次为酵母粉和蛋白胨,甘氨酸利于产孢但不利于菌丝生长。

表 5 氮源对菌落生长及产孢量的影响

Table 5 Effects of nitrogen sources on colony growth and sporulation

序号 No.	氮源 Carbon source	菌落直径 Colony diameter cm	菌落形态 Colony morphology	产孢量 Spore number 10^6 个/皿
1	酵母粉	6.43±0.06 bB	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面白色	52.51±10.36 bB
2	精氨酸	6.60±0.26 bB	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面浅棕色	28.03±6.36 bcBC
3	牛肉膏	7.13±0.28 aA	菌落圆形致密、边缘整齐,正面浅棕色,反面白色带浅黄小圈	48.87±4.66 bB
4	甘氨酸	4.78±0.12 dD	菌落近圆形较致密、边缘一般整齐,正面白色,反面中间浅棕色、外面白色	138.13±17.57 aA
5	赖氨酸	4.51±0.18 dD	菌落近圆形较致密、边缘不整齐,正面白中带棕色,反面浅棕色	20.28±1.57 bBC
6	蛋白胨	6.60±0.12 bB	菌落圆形疏松、边缘整齐,正面淡棕色,反面白色	36.35±9.35 bBC
7	丙氨酸	4.66±0.21 dD	菌落近圆形较致密、边缘不整齐,正面白中带棕色,反面浅棕色	12.84±4.12 cdBC
8	尿素	6.45±0.24 bB	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面浅棕色	18.34±4.02 bedBC
9	CK	5.81±0.35 cC	菌落圆形很稀疏、薄、边缘整齐,正、反面雪白色透明状	1.27±0.61 dC

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level; different capital letters indicated extremely significant difference at 0.01 level.

2.1.6 培养基对病原菌菌丝生长及产孢量的影响。由表 6 可知,百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌在 6 种培养基上均能较好生长,培养 7 d 后菌落直径均在 5.9 cm 以上;其中在 PDA 和 Czapek 上生长较好,菌落直径均在 7.50 cm 以上,气生菌丝茂盛、菌落致密;其次为百香果汁液和 WA 培养基,菌落直径均达 6.58 cm,菌落圆形稀疏、薄;该菌菌丝在 OA 和

CMA 培养基上生长较差,分别为 6.08 和 5.93 cm。百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌在 Czapek 培养基上产孢量最多,为 83.69×10^6 个/皿,其次为 PDA 培养基,产孢量为 30.54×10^6 个/皿,在其余 4 种培养基上产孢量为 $2.17 \times 10^6 \sim 8.77 \times 10^6$ 个/皿。综上所述,最适合百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝生长及产孢的培养基是 Czapek,其次为 PDA。

表 6 培养基对菌落生长及产孢量的影响

Table 6 Effect of different media on colony growth and sporulation

序号 No.	培养基 Medium	菌落直径 Colony diameter cm	菌落形态 Colony morphology	产孢量 Spore number 10^6 个/皿
1	PDA	7.85±0.18 aA	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面浅棕色	30.54±9.48 bB
2	CMA	5.93±0.33 dC	菌落圆形较稀疏、薄、边缘整齐,正面淡棕色,反面白色	5.50±1.02 cC
3	OA	6.08±0.22 dC	菌落圆形稀疏、边缘整齐,正面浅棕色、反面淡黄色	6.30±3.51 cC
4	WA	6.58±0.12 cB	菌落圆形很稀疏、薄、边缘整齐,正、反面雪白色透明状	2.17±0.89 cC
5	百香果汁液	6.58±0.16 cB	菌落圆形稀疏、薄、边缘整齐,正面白色,反面棕色	8.77±2.13 cC
6	Czapek	7.53±0.06 bA	菌落圆形致密、边缘整齐,正面白色,反面中心深草绿色圈、中间黄色圈、外围白色	83.69±19.58 aA

注:同列不同小写字母表示不同培养基间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different media at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level.

2.2 防治药剂室内筛选

2.2.1 有效防治药剂的初步筛选。按“1.4.1”所述方法,测定了 14 种参试药剂对百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝体生长的抑制作用,结果见表 7。由表 7 可知,参试的 14 种杀菌剂中 450 g/L 咪鲜胺、75% 肟菌戊唑醇、50% 多菌灵、40% 腈菌唑、25% 丙环唑、70% 甲基硫菌灵 6 种对百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌菌丝体表现出较强的抑制作用,相对抑制率达 85% 以上。而 46% 氢氧化铜在所设置的浓度下,对茎基腐病原菌菌丝的抑制作用最差,相对抑制率在 10% 以下。其他杀

菌剂对百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌的生长虽表现出一定的抑制作用,但效果均低于 450 g/L 咪鲜胺等 6 种药剂。

2.2.2 有效杀菌剂毒力测定。将上述试验筛选出的 6 种药剂,按梯度配制制成 5 个不同浓度,测定其对百香果茎基腐病原腐皮镰刀菌的毒力,结果见表 8。由表 8 可知,6 种杀菌剂中 450 g/L 咪鲜胺水乳剂和 50% 多菌灵可湿性粉剂抑制效果最好,EC₅₀ 和 EC₉₀ 分别为 0.078、1.189 和 1.778、24.378 $\mu\text{g/mL}$;其次是 75% 肟菌戊唑醇水分散粒剂和 40% 腈菌唑悬浮剂,EC₅₀ 分别为 6.887 和 13.092 $\mu\text{g/mL}$ 、EC₉₀ 分别

为 132.130 和 264.850 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 25% 丙环唑乳油和 70% 甲基硫菌灵可湿性粉剂抑制效果最差, EC_{50} 和 EC_{90} 分别为

表 7 14 种杀菌剂对腐皮镰刀菌菌丝体生长的抑制作用

Table 7 Inhibitory effect of 14 fungicides on the mycelial growth of *Fusarium sapropetis*

序号 No.	药剂 Fungicides	有效浓度 Effective concentration $\mu\text{g}/\text{mL}$	抑制率 Inhibition rate %	序号 No.	药剂 Fungicides	有效浓度 Effective concentration $\mu\text{g}/\text{mL}$	抑制率 Inhibition rate %
1	68% 精甲霜锰锌	1 666.67	82.24	8	50% 啉菌酯	666.67	41.61
2	3% 甲霜恶霉灵	1 666.67	57.28	9	43% 氟菌肟菌酯	500.00	43.86
3	46% 氢氧化铜	1 000.00	9.07	10	75% 百菌清	2 000.00	73.21
4	70% 甲基硫菌灵	1 250.00	92.70	11	50% 多菌灵	2 000.00	100.00
5	80% 代森锰锌	1 250.00	68.03	12	40% 腈菌唑	125.00	85.20
6	75% 肟菌戊唑醇	250.00	100.00	13	10% 苯醚甲环唑	1 250.00	71.75
7	25% 丙环唑	2 000.00	85.89	14	450 g/L 咪鲜胺	1 000.00	100.00

表 8 6 种杀菌剂对腐皮镰刀菌菌丝体生长的抑制作用

Table 8 Inhibitory effect of 6 fungicides on the mycelial growth of *Fusarium sapropetis*

序号 No.	药剂 Fungicides	毒力回归方程 Virulence regression equation	R	EC_{50} $\mu\text{g}/\text{mL}$	EC_{90} $\mu\text{g}/\text{mL}$
1	70% 甲基硫菌灵	$y = 1.058x + 3.076$	0.884	65.917	1 071.519
2	75% 肟菌戊唑醇	$y = 0.999x + 4.163$	0.976	6.887	132.130
3	25% 丙环唑	$y = 0.567x + 4.083$	0.988	41.399	7 516.228
4	50% 多菌灵	$y = 0.976x + 4.927$	0.965	1.189	24.378
5	40% 腈菌唑	$y = 0.981x + 3.904$	0.997	13.092	264.850
6	450 g/L 咪鲜胺	$y = 0.945x + 6.046$	0.977	0.078	1.778

3 结论与讨论

腐皮镰刀菌 (*Fusarium solani*) 又名茄病镰刀菌。对采集于广西上林县百香果茎基腐病病原腐皮镰刀菌生物学特性研究表明, 该病菌生长适宜温度 24~30 $^{\circ}\text{C}$, 产孢适宜温度 28~32 $^{\circ}\text{C}$, 孢子萌发适宜温度 20~30 $^{\circ}\text{C}$, 菌丝生长适宜 pH 5~11, 产孢适宜 pH 3~10, 孢子萌发适宜 pH 5~9, 这与李万苍等^[13] 研究的苜蓿根腐病菌 (*Fusarium solani*) 和刘丽云等^[14] 研究的辣椒根腐病菌生物学特性的合适温度及 pH 基本一致。连续光照对菌丝生长有明显的抑制作用, 全黑暗及半光半暗有利于菌丝生长, 光照条件对产孢量无显著影响; 田凤鸣等^[15] 认为光照对 *Fusarium solani* 菌落生长无明显影响, 朱孟烽等^[16] 认为完全光照有利于腐皮镰孢 (*Fusarium solani*) 病原菌生长。最适病原菌丝生长及产孢的碳源为葡萄糖, 其次为麦芽糖, 最适氮源为牛肉膏, 其次为酵母粉和蛋白胨, 最适的培养基是 Czapek, 其次为 PDA; 罗敦文等^[17] 研究认为腐皮镰刀菌 (*Fusarium solani*) 最佳碳源为葡萄糖, 最佳氮源为硝酸铵, 最佳培养基为菠萝蜜幼果煎汁培养基; 韩凤英等^[18] 研究认为 *Fusarium solani* 适宜碳源依次为淀粉、麦芽糖, 适宜氮源依次为蛋白胨、牛肉膏、硝酸钾。光照条件、碳氮源、培养基研究结果与部分前人研究结果稍有差异, 可能是病原菌分离环境、寄主及供试材料等原因引起。

该研究测定了 14 种参试药剂对百香果茎基腐病病原腐皮镰刀菌菌丝体生长的抑制作用, 筛选出了抑制率达 85% 以上的杀菌剂 6 种, 并将筛选出的 6 种药剂进行毒力测定, 结果表明, 咪鲜胺 450 g/L 水乳剂和多菌灵 50% 可湿性粉剂对

病菌抑制作用最强, EC_{50} 和 EC_{90} 分别为 0.078、1.189 和 1.778、24.378 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 其次是 75% 肟菌戊唑醇水分散粒剂和 40% 腈菌唑悬浮剂, EC_{50} 分别为 6.887 和 13.092 $\mu\text{g}/\text{mL}$, EC_{90} 分别为 132.130 和 264.850 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 25% 丙环唑乳油和 70% 甲基硫菌灵可湿性粉剂抑制效果最差, EC_{50} 和 EC_{90} 分别为 41.399、65.917 和 7 516.228、1 071.519 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。该研究结果对百香果茎基腐病病原腐皮镰刀菌 (*Fusarium solani*) 抑制效果最好的药剂为咪鲜胺、多菌灵, 其次是肟菌戊唑醇和腈菌唑。该研究结果为今后百香果茎基腐病防控提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] 潘葳, 刘文静, 韦航, 等. 不同品种百香果果汁营养与香气成分的比较[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 277-286.
- [2] 陈海栋, 郎君. 百香果高效栽培管理要点[J]. 特种经济动植物, 2020, 23(12): 62, 64.
- [3] 田青兰, 黄伟华, 林家炎, 等. 广西百香果高产栽培技术[J]. 现代农业科技, 2020(11): 86, 88.
- [4] 邢相楠, 黄永才, 陈格, 等. 广西百香果产业发展现状、存在问题及对策建议[J]. 南方农业学报, 2020, 51(5): 1240-1246.
- [5] 赖英权. 百香果种植技术管理措施[J]. 南方农机, 2020, 51(12): 51.
- [6] 李德福, 杨佳琪, 张晓燕, 等. 福建省西番莲茎基腐病原菌鉴定[J]. 植物病理学报, 1993, 23(4): 372.
- [7] 宋晓兵, 崔一平, 彭埃天, 等. 广东西番莲茎基腐病原菌的分离及鉴定[J]. 南方农业学报, 2019, 50(5): 1007-1012.
- [8] 林四海, 黄添基, 傅成业. 西番莲茎基腐病的发生特点及防治技术[J]. 现代园艺, 2015(13): 128.
- [9] 黎静. 百香果茎基腐病综合防治技术要点[J]. 南方农业, 2019, 13(18): 9, 11.
- [10] 方中达. 植物研究方法[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [11] 蒙成, 黄艳花, 梁庆平, 等. 玉米大斑病抗病鉴定谷物粒培养基产孢因素探讨[J]. 西南农业学报, 2018, 31(11): 2320-2325.
- [12] 刘振伟, 史秀娟, 李立国, 等. 生姜茎腐病防治药剂筛选研究[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 162-165.
- [13] 李万苍, 李文明, 孟有儒. 苜蓿根腐病菌 (*Fusarium solani*) 生物学特性研究[J]. 草业学报, 2005, 14(4): 106-110.
- [14] 刘丽云, 刘晓林, 刘志恒, 等. 辣椒根腐病菌生物学特性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(1): 54-58.
- [15] 田凤鸣, 陈强, 王瀚, 等. 陇南花椒根腐病原菌的分离鉴定及生物学特性的研究[J]. 东北农业科学, 2022, 47(1): 95-99, 107.
- [16] 朱孟烽, 吴伟怀, 贺春萍, 等. 咖啡腐皮镰孢黑果病原菌鉴定及其生物学特性测定[J]. 热带作物学报, 2021, 42(3): 822-829.
- [17] 罗敦文, 何舒, 郭利军, 等. 海南省菠萝蜜根腐病原菌鉴定及生物学特性分析[J]. 分子植物育种, 2016, 14(8): 2205-2212.
- [18] 韩凤英, 高婧, 王勇, 等. 胡萝卜茄病镰刀菌生物学特性及药剂敏感性研究[J]. 北方农业学报, 2020, 48(3): 117-122.