

# 软枣猕猴桃菌核病病菌生物学特性及药剂防治研究

孙东晗, 林碧蓉, 白小隆, 王晓梅\*, 白庆荣\*

(吉林农业大学农学院, 长春 130118)

**摘要:**本研究运用组织分离法从软枣猕猴桃患病根部分离获得 10 个具有致病性的菌株。通过形态学和分子生物学鉴定, 确定病原菌为 *Sclerotinia nivalis*(核盘菌)。对 *Sclerotinia nivalis* 进行生物学特性和药剂敏感性研究。研究结果显示, 病菌菌丝最适生长温度为 20 °C; PSA 为最适菌丝生长的培养基; 适宜菌丝生长的最佳碳、氮源分别为葡萄糖和蛋白胨; pH 值为 6.0 时最适菌丝生长; 全光照条件利于菌丝生长。采用生长速率法测定病菌对 8 种杀菌剂的敏感性。结果表明, 该病原菌对 25% 咪鲜胺 EC、50% 腐霉利 WP、25 g/L 咯菌腈 SC、50% 异菌脲 SC、45% 菌核净 WP 敏感性较高,  $EC_{50} < 1.0$  mg/L。本研究首次对 *Sclerotinia nivalis* 进行生物学及药剂敏感性测定, 为田间软枣猕猴桃菌核病的防治奠定基础。

**关键词:**软枣猕猴桃; *Sclerotinia nivalis*; 病原鉴定; 生物学特性; 药剂敏感性

中图分类号: S663.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)06-0064-06

## Pathogen Identification and Susceptibility to Fungicides of *Actinidia Arguta* Root Rot Caused by *Sclerotinia Nivalis*

SUN Donghan, LIN Birong, BAI Xiaolong, WANG Xiaomei\*, BAI Qingrong\*

(College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** In this study, 10 pathogenic strains were isolated from the diseased roots of *Actinidia arguta* by tissue separation. After identification by morphology and molecular biology, the pathogen was identified as *Sclerotinia nivalis*. The biological properties and drug susceptibility of *Sclerotinia nivalis* were studied. Results demonstrated that the optimal growth temperature of mycelium was 20 °C, PSA was the medium for optimal mycelial growth, the best carbon and nitrogen source for suitable mycelial growth were glucose and peptone, respectively; The suitable pH was 8. Full light conditions favor mycelial growth, and the mycelial growth rate was used to test the susceptibility of the pathogen to 8 fungicides. The results showed that the pathogenic bacteria had high susceptibility to 25% prochloraz EC, 50% procymidone WP, 25 g/L fludioxonil SC, 50% iprodione SC, 45% dimethachlon net WP, as  $EC_{50} < 1.0$  mg/L. The biological and drug susceptibility determination of *Sclerotinia nivalis* was established for the first time, which laid a foundation for the prevention and treatment of *Actinidia arguta* in the field.

**Key words:** *Actinidia arguta*; *Sclerotinia nivalis*; Pathogen identification; Biological characteristics; Fungicides susceptibility

软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta*), 又名软枣子, 果实富含大量维生素 C、各种糖类及黄酮类, 营养价值很高, 口感好<sup>[1]</sup>。在辽宁省东部林区大量分布。近年来, 由于软枣猕猴桃作为水果备受消费者欢迎, 市场需求量大, 已成为人工驯化培植的优秀野生水果品种, 实现规模化种植生产<sup>[2]</sup>。伴

随着软枣猕猴桃的产量化种植, 病害的发生也随之增多。赵淑兰介绍魁绿、丰绿等品种并着重介绍人工培育的新品种, 扩大了软枣猕猴桃的种植规模<sup>[3]</sup>。Romanazzi G 在猕猴桃果实上发现灰色霉层, 后鉴定为 *Botrytis cinerea* 引起的猕猴桃果实灰霉病<sup>[4]</sup>。Wang C 等在吉林省发现猕猴桃的基部茎发生菌核病, 经鉴定病原菌为 *Sclerotinia nivalis*<sup>[5]</sup>。Deng J C 等在吉林省白山市发现猕猴桃成熟叶片上出现炭疽症状, 经鉴定病原菌为 *Colletotrichum gloeosporioides* (胶孢炭疽菌)<sup>[6]</sup>。2017 年在吉林省靖宇县发现软枣猕猴桃发生大量烂根死亡现象。受害植株根部着生大量白色菌丝, 导致韧皮部腐

收稿日期: 2019-11-29

项目基金: 国家自然科学基金项目(31500022)

作者简介: 孙东晗(1995-), 男, 在读硕士, 研究方向: 植物病理学。

通讯作者: 王晓梅, 女, 博士, 副教授, E-mail: wxm820@126.com  
白庆荣, 女, 博士, 教授, E-mail: bbbqqrrr@163.com

烂,后期病灶周围菌丝纠结产生大量黑色菌核,病害严重时导致植株死亡,对靖宇县猕猴桃产业造成较大影响。本研究旨在对该病害进行病原鉴定,并研究其生物学特性和药剂敏感性,为该病害的防治提供理论与实践依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 病害标本的采集及症状观察

2017年4月,在吉林省靖宇县种植基地内发现该病害,记录病害症状、发病程度并保存<sup>[7]</sup>。

### 1.2 病原菌的分离

#### 1.2.1 病菌的分离

用已灭菌的挑针挑取根部发病部位的白色菌丝,置于PDA培养基上,每皿放3块于25℃恒温培养<sup>[8]</sup>。

#### 1.2.2 分离物的纯化

取已灭菌的接种铲,挑取菌落边沿的单根菌丝尖端2~3 mm,置PDA平板培养基中,25℃培养。

### 1.3 柯氏验证

#### 1.3.1 致病性测定

将每一个菌株置于PDA培养基上,25℃培养箱中培育7 d备用。选用健康的软枣猕猴桃幼苗,根部用75%的酒精擦拭,将打取的直径8 mm菌饼贴敷于植株根部,用无菌水浸湿的无菌棉进行保湿,并对健康的软枣猕猴桃幼苗根部做接种空白PDA培养基为对照,保湿72 h。观察试验组与对照组发病情况并拍照记录。

#### 1.3.2 再分离

将接种后发病的植株采用组织分离法再分离,将再分离得到的菌株与所接种的菌进行对比,以确定所得菌株为致病菌。

### 1.4 病原菌的形态特征观察

观察PDA培养基上病原菌的菌落形态、色彩、质地及生长状态,做好详细的记录并拍照。查阅《中国真菌志》等相关资料进行初步鉴定<sup>[9]</sup>。

### 1.5 病原菌的分子生物学鉴定

#### 1.5.1 真菌DNA的提取

采用CTAB法进行菌株DNA的提取<sup>[10]</sup>,备用。

#### 1.5.2 PCR的扩增

以菌株RZ1基因组为模版,以ITS4与ITS5为引物(ITS4:5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'/ITS5:5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3'),对病菌ITS区域进行PCR扩增。

反应系统为25 μL:10×PCR Buffer 2.5 μL,加25 mM MgCl<sub>2</sub> 1 μL,10 mM dNTP 2.5 μL,5 μ/μL

TaqDNA酶1 μL,模板DNA 1 μL,无菌双蒸水补足。

PCR反应需求为:94℃预变5 min,94℃变性1 min,48.5℃退火50 s,72℃延伸1 min共35个循环,72℃温浴10 min,4℃保留。PCR产物用1.0%琼脂糖凝胶电泳检测,将电泳产品送至相关公司测序。

#### 1.5.3 序列的分析比对

将测得序列rDNA-ITS与GenBank核酸数据库中的相关序列进行同源性比对,并查阅相关文献,完成对病原菌的鉴定。

### 1.6 病原菌生物学特性测定

供试菌株:RZ1。

#### 1.6.1 不同培养基对病菌生长的影响

选用PDA(马铃薯葡萄糖琼脂培养基)、PSA(马铃薯蔗糖琼脂培养基)、PCA(马铃薯胡萝卜琼脂培养基)、CA(胡萝卜琼脂培养基)、CMA(玉米粉琼脂培养基)和WA(水琼脂培养基)。放置直径为8 mm菌饼到上述各已凝固培养基中,每个平板加入15 mL定量培养基,该处理重复3次,25℃恒温培育3 d,十字交叉法去测量菌落直径,下同<sup>[11]</sup>。

(1)PDA:133 g新鲜去皮马铃薯,12 g葡萄糖,8 g琼脂粉,666 mL蒸馏水;(2)PSA:133 g新鲜去皮马铃薯,12 g蔗糖,9 g琼脂粉,666 mL蒸馏水;(3)PCA:13 g新鲜去皮马铃薯,8 g新鲜去皮胡萝卜,8 g琼脂粉,666 mL蒸馏水;(4)CA:66 g新鲜去皮胡萝卜,13 g琼脂粉,666 mL蒸馏水;(5)CMA:26 g新鲜现磨玉米粉,13 g琼脂粉,666 mL蒸馏水;(6)WA:10 g琼脂粉,666 mL蒸馏水。

#### 1.6.2 不同碳源对病菌生长的影响

基础培养基选用查氏培养基,称取种类不同但相等质量的碳源,分别是果糖、乳糖、淀粉、木糖醇、葡萄糖、蔗糖、甘露醇、麦芽糖代替查氏培养基中的蔗糖,每皿定量15 mL培养基,重复3次。待培养基凝固后,将直径为8 mm菌饼用接种铲放入平板中25℃恒温培养3 d,测量菌落直径。

查氏培养基:30 g蔗糖,3 g NaNO<sub>3</sub>,1 g K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>,0.5 g MgSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O,0.5 g KCl,0.01 g FeSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O,20 g琼脂粉,1 000 mL蒸馏水,pH值7.0~7.2。

#### 1.6.3 不同氮源对病菌生长的影响

基础培养基选用查氏培养基,称取不同等质量氮源,分别是硝酸铵、蛋白胨、硝酸钾、L-丙氨酸、甘氨酸、氯化铵、硝酸钠、天冬酰胺代替查氏培养基中的硝酸钠,每皿定量15 mL,重复3次。待培养基凝固将直径为8 mm菌饼放入平板中

25 °C恒温培养3 d后测量菌落直径。

#### 1.6.4 不同光照对病菌生长的影响

将直径为8 mm菌饼放置于PDA培养基平板中心,设定完全黑暗、光暗交替(半光照)和持续光照3个光照条件,并在25 °C恒温培养3 d后测量菌落直径。

#### 1.6.5 不同温度对病菌生长的影响

将平板内加入15 mL PDA培养基并将直径为8 mm菌饼移到培养基中央,将平板分别放在5、10、15、20、25、30、35 °C 6种温度条件下恒温培养,重复3次,3 d后测量菌落直径。

#### 1.6.6 不同pH值对病菌生长的影响

用浓度为1 mol/L的HCl溶液和NaOH溶液调试已灭菌PDA的pH值,分别调为10.0、9.0、8.0、7.0、6.0、5.0和4.0,将直径为8 mm的菌饼分别放置到不同pH值的PDA平板中,重复3次,25 °C恒温培育3 d后测量菌落直径。

### 1.7 室内药剂敏感性测定

#### 1.7.1 供试菌株及药剂

供试菌株为RZ1。

供试药剂的名称含量、剂型及生产单位如下:50%腐霉利WP(河北中天邦正生物科技股份有限公司),45%菌核净WP(江西禾益化工股份有限公司),80%甲基硫菌灵WDG(江苏龙灯化学有限公司),25 g/L咯菌腈SC(先正达南通作物保护有限公司),25%咪鲜胺EC(江苏辉丰农化股份有限公司),50%异菌脲SC(江门市大光明农化新会有限公司),50%福美双WP(天津市捷康化学品有限公司),25%啞菌酯SC(海利尔药业集团股份有限公司)。

#### 1.7.2 试验方法

采用生长速率法,比较菌株在不同混药平板中菌丝生长状况。首先将27 mL PDA培养基置于50 mL三角瓶中灭菌。将不同药剂配置成 $1 \times 10^3$ 、 $1 \times 10^2$ 、 $1 \times 10^1$ 、 $1 \times 10^0$ 、 $1 \times 10^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-2}$  mg/L 6个浓度。每种药剂分别取3 mL加到PDA中,充分混匀配置成混药平板,重复2次。以加入等体积无菌水的PDA平板为对照。将直径8 mm菌饼菌丝面朝下放在平板中,25 °C恒温培养3 d后,测量菌落直径<sup>[12-14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 病害症状

病原菌主要危害根部,根部长满白色菌丝,菌丝上附着黑色菌核,湿腐,田间大面积发生,导致苗期植株无法继续生长(图1)。



图1 软枣猕猴桃菌核病症状

### 2.2 病原菌分离结果

通过组织分离获得10个菌株,RZ1、RZ2、RZ3、RZ4、RZ5、RZ6、RZ7、RZ8、RZ9、RZ10。

### 2.3 病原菌致病性测定及分离物的再分离结果

采用菌饼接种法接种健康的软枣猕猴桃幼苗根部,接种15 d后幼苗根部表面出现白色菌丝,20 d后菌丝上附着黑色菌核,与田间症状基本一致,而对照组幼苗根部未发病。从发病部位挑取菌丝进行病菌的再分离,而后比较再分离得到的病原菌与田间发病幼苗根部上分离得到的病原菌相一致,证明组织分离得到的10个菌株具有致病力,且为该病害的致病菌。

### 2.4 病原菌的培养性状及形态观察结果

病原菌在PDA培养基20 °C条件下培养3 d直径45~55 mm。菌落近圆形,白色菌丝生长迅速,15 d后菌落逐渐变黑,并在菌落中心周围长出黑色菌核,菌核形状不规则且较硬(图2)。

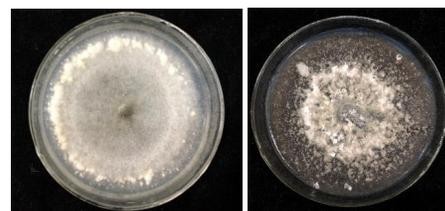


图2 病原菌在PDA上的培养特征

### 2.5 病原菌分子生物学鉴定结果

选取真菌通用性引物ITS4/ITS5对代表菌株RZ1进行PCR扩增。PCR产物经生物公司测定后,将所得序列与GenBank中已发表序列分析对比,发现该病菌的ITS序列与*Sclerotinia nivalis*(Accession No.AB516670.1)的同源性为100%。根据其形态学和ITS分析结果,参考相关文献<sup>[15-16]</sup>,鉴定软枣猕猴桃菌核病致病菌为:*Sclerotinia nivalis*(图3)。

### 2.6 病原菌生物学特性测定

#### 2.6.1 不同培养基对病菌生长的影响

*S. nivalis*在6种培养基上均能生长。在PDA和PSA上生长迅速,与其他培养基差别较大,其中在PSA上生长速率最高,在水琼脂培养基上菌丝生长最慢(图4)。

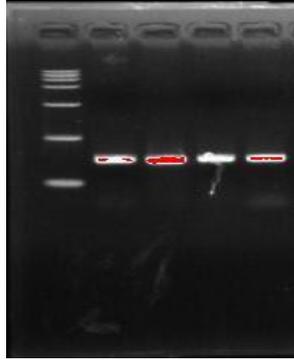


图3 真菌基因组 rDNA-ITS 序列和 EF 序列的 PCR 产物琼脂糖凝胶电泳结果

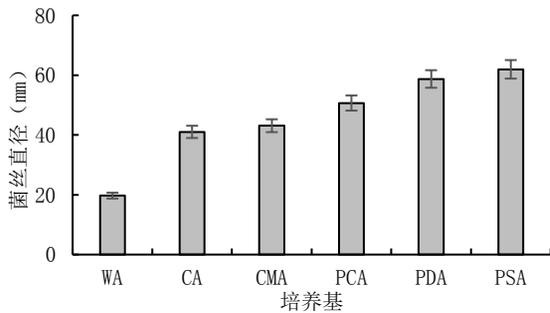
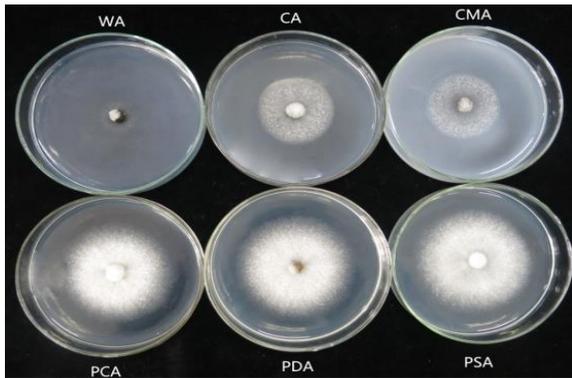


图4 不同培养基对 *S. nivalis* 生长的影响

2.6.2 不同碳源对病菌生长的影响

*S. nivalis* 在供试 8 种不同碳源条件下均能生长且差异不明显,以甘露醇、果糖、葡萄糖为碳源的培养基中生长迅速,以葡萄糖为碳源的培养基上长势最佳(图 5)。

2.6.3 不同氮源对病菌生长的影响

*S. nivalis* 在这 8 种不同氮源条件下均能生长,在以硝酸铵、硝酸钾和蛋白胨为氮源的培养基中生长迅速,在以蛋白胨为氮源的培养基中长势最佳,含甘氨酸的培养基中菌丝生长最慢(图 6)。

2.6.4 不同光照对病菌生长的影响

*S. nivalis* 在 3 种不同光照中均能迅速生长,在全光照下生长速率最高,全黑暗下生长最迟缓(图 7)。

2.6.5 不同温度对病菌生长的影响

在不同温度条件下 *S. nivalis* 在 PDA 培养基中

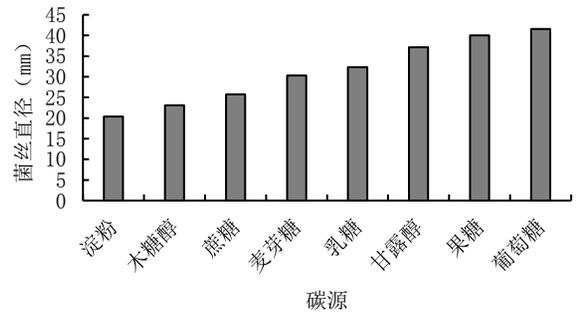
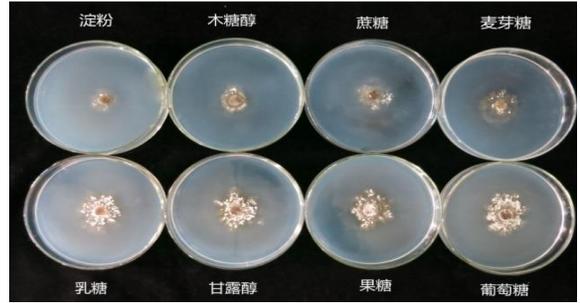


图5 不同碳源对 *S. nivalis* 生长的影响

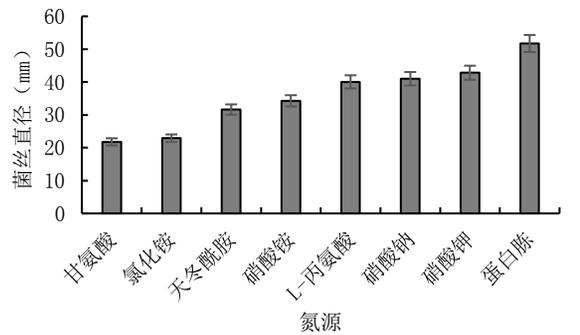
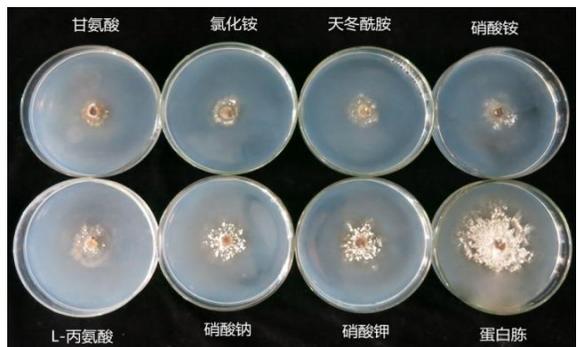


图6 不同氮源对 *S. nivalis* 生长的影响

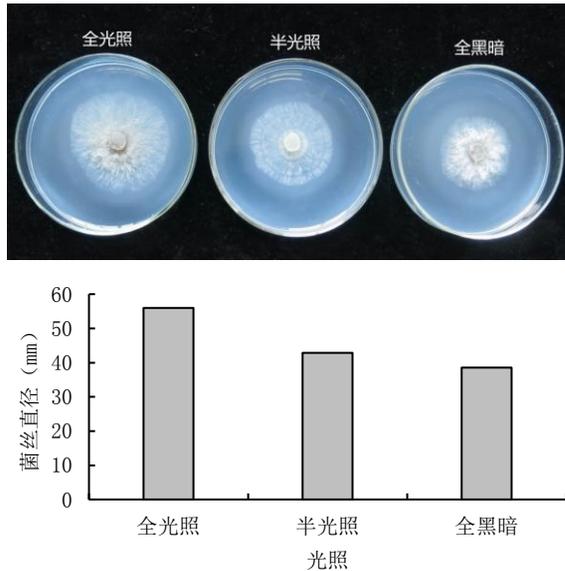
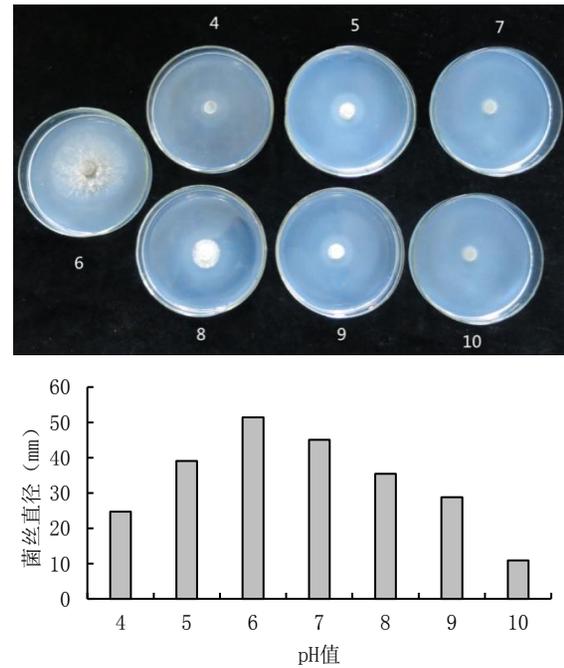
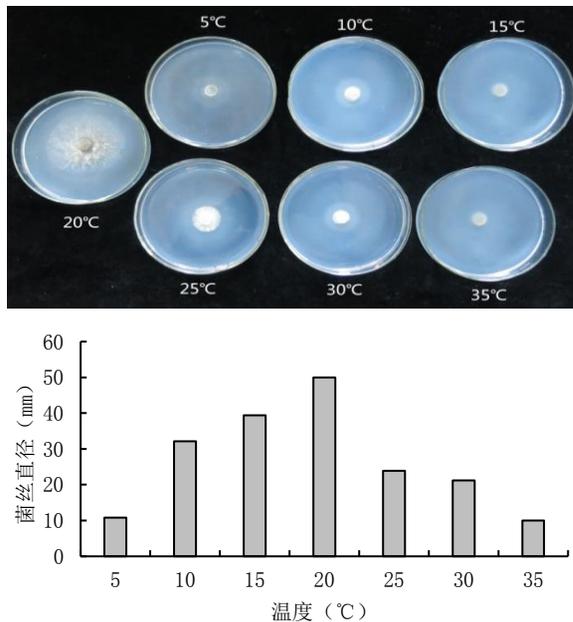
生长速度差异较大,适合最佳温度为 20 ℃(图 8)。

2.6.6 不同 pH 值对病菌生长的影响

*S. nivalis* 菌丝在 pH 4~10 的 PDA 培养基中均能生长, pH 值 5~7 适宜菌丝生长, pH=6 最适合菌丝生长,碱性环境不利于菌丝生长(图 9)<sup>[15-16]</sup>。

2.7 室内药剂敏感性测定结果

由表 1 可知,软枣猕猴桃根腐病对所选的 8 种杀菌剂均有敏感性。*S. nivalis* 对 8 种杀菌剂敏感性为:25% 咪鲜胺 EC、50% 腐霉利 WP、25 g/L 咯菌

图7 不同光照对 *S. nivalis* 生长的影响图9 不同pH值对 *S. nivalis* 生长的影响图8 不同温度对 *S. nivalis* 生长的影响

脲 SC、50% 异菌脲 SC、45% 菌核净 WP、80% 甲基硫菌灵 WDG、25% 啉菌酯 SC、50% 福美双 WP, 软枣猕猴桃根腐病菌丝生长对 8 种杀菌剂敏感性最好的是 25% 咪鲜胺 EC, 其次为 50% 腐霉利 WP、25 g/L 咯菌腈 SC<sup>[17-18]</sup>。

### 3 结论与讨论

本试验对软枣猕猴桃菌核病的症状进行描述, 对病菌进行分离纯化及致病性测定, 再分离证实所获得的分离物 RZ1、RZ2、RZ3、RZ4、RZ5、RZ6、RZ7、RZ8、RZ9、RZ10 为该病害的病原菌。结合其形态特征和分子生物学鉴定结果, 确定致病菌为 *Sclerotinia nivalis*。

试验中选出适宜病原菌生长的生物学条件如

表1 病原菌对杀菌剂的敏感性

含量、有效成分和剂型	相关系数(r)	毒力回归方程	EC <sub>50</sub> (mg/L)	EC <sub>90</sub> (mg/L)
25% 咪鲜胺 EC	0.879 28	$y=9.7043-0.2531x$	0.008 48	1.333 26
50% 腐霉利 WP	0.970 43	$y=10.3589-0.3302x$	0.089 51	4.318 82
25 g/L 咯菌腈 SC	0.984 20	$y=11.1848-0.3885x$	0.105 63	2.934 95
50% 异菌脲 SC	0.977 28	$y=11.5490-0.4398x$	0.342 00	6.277 67
45% 菌核净 WP	0.997 25	$y=11.4208-0.4607x$	0.887 13	14.271 01
80% 甲基硫菌灵 WDG	0.948 95	$y=10.0516-0.3815x$	1.775 89	50.875 39
25% 啉菌酯 SC	0.919 00	$y=9.5602-0.3482x$	2.052 99	81.059 88
50% 福美双 WP	0.875 09	$y=11.0863-0.4689x$	2.311 95	35.421 76

下: PSA 和 PDA 培养基较适合菌丝生长; 葡萄糖、果糖为较佳碳源; 氮源为硝酸钾、蛋白胨; 最佳 pH 值为 6; 培养温度为 20 °C 及全光照环境下培养菌

丝生长速率最快。

在供试的 8 种药剂中, 病菌菌丝生长对 25% 咪鲜胺 EC 敏感性较高, EC<sub>50</sub> 为 0.008 48 mg/L, 其

次为 50% 腐霉利 WP、25 g/L 咯菌腈 SC, EC<sub>50</sub> 分别为 0.089 51 mg/L、0.105 63 mg/L。

本文提出由 *Sclerotinia nivalis* 引起的软枣猕猴桃菌核病,描述病原菌在植物根部上表现出的致病症状,以便于在种植中,辨识此病害并及时进行防护;首次对病原菌生物学特性进行研究,了解到对其具有有利与不利作用的各种营养和环境条件,并在室内药剂敏感性测定中筛选出敏感性较高的药剂,可供大田实验和实际生产做用药参考。

本文对其生物学特性进行初步的研究并筛选出几种常见且有明显抑制效果的化学药剂,但田间防治效果还有待讨论和探究。

参考文献:

[ 1 ] 滕云龙. 丹东市软枣猕猴桃产业发展现状及对策[J]. 现代农业科技, 2016(2): 80-84.

[ 2 ] 王显军. 凤城市软枣猕猴桃资源现状分析与对策[J]. 农业科技与装备, 2015, 10(6): 70-71.

[ 3 ] 赵淑兰. 软枣猕猴桃品种简介[J]. 特种经济动植物, 2002, 2(2): 35-36.

[ 4 ] Romanazzi G. Gray mold infection of *Actinidia arguta* in Italy [J]. *Plant Disease*, 2009, 93(11): 1221.

[ 5 ] Wang C, Ai J, Qin H, et al. First Report of *Sclerotinia nivalis* Causing *Sclerotinia* Rot on Hardy Kiwifruit (*Actinidia arguta*) in China[J]. *Plant Disease*, 2016, 100(9): 1952-1953.

[ 6 ] Deng J C, Guan Y M, Wu L J, et al. First Report of Anthracnose Caused by *Colletotrichum gloeosporioides* on *Actinidia arguta* in China[J]. *Plant Disease*, 2017, 101(6): 110-111.

[ 7 ] 柴晓玲, 钱振官, 李 涛, 等. 桑椹菌核病发病症状及防治技术研究[J]. 上海农业学报, 2015, 21(4): 132-134.

[ 8 ] 王爱印. 桑椹菌核病病原菌的分离、鉴定及其拮抗性桑树内生菌的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.

[ 9 ] 庄文颖. 中国真菌志(第八卷)核盘菌科, 地舌菌科[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 236.

[ 10 ] 张军政. 黑龙江省大豆核盘菌生物学特性和生物防治的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.

[ 11 ] 王崇仁, 刘万仁, 杨家书, 等. 核盘菌生物学特性及其分类的研究[J]. 植物病理学报, 1987(2): 212.

[ 12 ] 吴国富. 不同药剂防治桑椹菌核病的效果及农药残留量测试[J]. 江苏蚕业, 2015, 37(1): 10-11.

[ 13 ] 邓真华, 彭晓虹, 杜贤明, 等. 不同药剂防治桑椹菌核病效果研究[J]. 中国蚕业, 2014, 35(3): 33-35.

[ 14 ] 冯希杰. 防治油菜菌核病的药剂筛选及复配剂的增效机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

[ 15 ] 周如军, 徐海娇, 傅俊范, 等. 苍术菌核病病原鉴定及其生物学特性[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(3): 284-288.

[ 16 ] Haijiao Xu, Rujun Zhou, Junfan Fu, et al. Characterization of *Sclerotinia nivalis* causing *Sclerotinia* rot of *Pulsatilla koreana* in China[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2015, 143(1): 1-9.

[ 17 ] 宁荣彬, 孙海峰. 贝母类中药材病害防治研究进展[J]. 东北农业科学, 2018, 43(5): 34-37.

[ 18 ] 孟玲敏, 贾 娇, 张 伟, 等. 防治玉米丝黑穗病药剂的筛选[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6): 25-27.

(责任编辑:王 昱)

(上接第 16 页)

[ 14 ] 贺 奇, 杨 锋, 王 昕, 等. NaCl 胁迫对水稻宁梗 48 种子萌发特征的影响[J]. 宁夏农林科技, 2017, 58(3): 4-6.

[ 15 ] 贺 奇, 张建英, 韩似玉, 等. 基于淀粉的动态积累筛选耐盐碱水稻品种研究[J]. 宁夏农林科技, 2017, 58(5): 4-6, 63.

[ 16 ] 左静红. 苏打盐碱胁迫对北方梗稻灌浆特性及穗部性状的影响[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2013.

[ 17 ] 李景鹏, 周继全, 王晓丽. 苏打盐碱胁迫下梗稻子粒灌浆动态研究[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(2): 126-129.

[ 18 ] 任 海, 付立东, 王 宇, 等. 不同硅肥施入模式对水稻产量及品质的影响[J]. 东北农业科学, 2019, 44(4): 13-18, 58.

[ 19 ] 梁正伟, 杨 福, 王志春, 等. 盐碱胁迫对水稻主要生育性状的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 43-46.

[ 20 ] 马 巍, 侯立刚, 齐春艳, 等. 播期对不同生育类型水稻生长发育进程及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(6): 5-10.

[ 21 ] 谢光辉, 杨建昌, 王志琴, 等. 水稻籽粒灌浆特性及其与籽粒生理活性的关系[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 557-565.

[ 22 ] 姜文洙, 吴 涛, 唐曹甲子, 等. 高产梗稻品种源库特征及评价体系的研究[J]. 东北农业科学, 2019, 44(5): 1-4, 37.

[ 23 ] 徐正进, 陈温福, 张文忠, 等. 水稻的产量潜力与株型演变

[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(6): 534-536.

[ 24 ] 侯文平, 王成媛, 张文香, 等. 栽培方式对有机栽培水稻产量与品质的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(1): 1-7.

[ 25 ] 吕艳东, 徐令旗, 李 猛, 等. 黑龙江省水稻株型演变及与品质相关性分析[J]. 东北农业科学, 2020, 45(2): 1-5, 15.

[ 26 ] 徐正进, 邵国军, 韩 勇, 等. 东北三省水稻产量和品质及其与穗部性状关系的初步研究[J]. 作物学报, 2006, 32(12): 1878-1883.

[ 27 ] 徐正进, 陈温福, 曹洪任, 等. 水稻穗颈维管束数与穗部性状关系的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(1): 47-54.

[ 28 ] 杨 福, 梁正伟, 王志春. 苏打盐碱胁迫对水稻品种长白 9 号穗部性状及产量构成的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(S2): 59-61.

[ 29 ] 左静红, 李景鹏, 杨 福. 不同土壤类型对北方梗稻穗部性状及产量构成的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 59-63.

[ 30 ] 李红宇, 潘世驹, 钱永德, 等. 混合盐碱胁迫对寒地水稻产量和品质的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(12): 2100-2105.

[ 31 ] 荆培培, 任红茹, 杨洪建, 等. 盐胁迫对 2 个不同盐敏感性水稻品种(系)叶片光合特性与产量的影响[J]. 作物杂志, 2020(1): 67-75.

(责任编辑:王 昱)