

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0555

# 番茄根腐病病原菌鉴定及防治药剂的筛选

李雅琦<sup>1</sup>, 高 苇<sup>1</sup>, 王 勇<sup>1</sup>, 杨利娟<sup>1</sup>, 柴阿丽<sup>2</sup>, 苏 繁<sup>1</sup>

(1. 天津市农业科学院·蔬菜生物育种全国重点实验室 天津 300384; 2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

**摘要:** 明确天津市番茄根腐病的病原菌种类, 并进行有效防治药剂的筛选, 为番茄根腐病的防治提供理论依据。通过组织分离获得番茄根腐病病原菌, 并验证其致病力, 进而对其进行系统发育树分析、形态学及尖孢镰孢菌番茄专化型鉴定, 采用生长速率法测定 8 种杀菌剂对番茄根腐病病原菌的室内毒力。结果表明, 天津市武清区黄花店镇番茄根腐病病原菌主要为尖孢镰孢菌番茄专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, FOL)。室内毒力测定结果表明, 95% 咪鲜胺原药对该病原菌抑制作用最强,  $EC_{50}$  为  $0.002\ 2\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; 其次为 96.8% 苯醚甲环唑、98.05% 戊唑醇 2 种原药,  $EC_{50}$  值均小于  $0.1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; 50% 多菌灵原药对病原菌的抑制效果最差,  $EC_{50}$  值高达  $263.248\ 7\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。综上, 推荐咪鲜胺、戊唑醇、苯醚甲环唑作为天津地区番茄根腐病防控的首选药剂。

**关键词:** 番茄根腐病; 病原鉴定; 尖孢镰孢菌; 室内毒力

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)04-163-06

## Identification of tomato root rot pathogen and screening of control agents

LI Yaqi<sup>1</sup>, GAO Wei<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>1</sup>, YANG Lijuan<sup>1</sup>, CHAI Ali<sup>2</sup>, SU Fan<sup>1</sup>

(1. Tianjin Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Vegetable Biobreeding, Tianjin 300384, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In this study, the pathogens of tomato root rot in Tianjin were identified, and the effective fungicides were screened to provide theoretical basis for the prevention and control of tomato root rot. The tissue isolation method was used to isolate tomato root rot samples, and the pathogenicity of the pathogen was verified by Koch's rule. The obtained pathogens were identified by multi-gene combined phylogenetic tree analysis, morphological observation and *Fusarium oxysporum* tomato-specific primers. The indoor toxicity of 8 fungicides to tomato root rot pathogen was determined by growth rate method. The results showed that the pathogen of tomato root rot in Huanghuadian town, Wuqing district, Tianjin was mainly *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL). The results of indoor toxicity test showed that 95% prochloraz had the strongest inhibitory effect on the pathogen, with an  $EC_{50}$  of  $0.002\ 2\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , followed by 96.8% difenoconazole and 98.05% tebuconazole. The  $EC_{50}$  values of the two fungicides were less than  $0.1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , and 50% carbendazim had the worst inhibitory effect on the pathogen, with an  $EC_{50}$  value of  $263.248\ 7\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . Prochloraz, tebuconazole and difenoconazole had strong inhibitory activity against the pathogen, which could be used as the first choice for the prevention and control of tomato root rot in Tianjin.

**Key words:** Tomato root rot; Pathogen identification; *Fusarium oxysporum*; Laboratory toxicity

番茄(*Solanum lycopersicum*)是茄科番茄属的一年生或多年生草本植物, 是全球广泛种植的重要蔬菜作物之一, 在农业生产中占据重要地位<sup>[1-3]</sup>。番茄的连茬种植使得病害发生加重, 番茄根腐病作为一种典型的土传病害, 发生频率高、传播速度快、防治难度大, 已成为制约番茄产业发展的重要因素之一。该病 1969 年于日本首次被发现<sup>[4]</sup>, 然后陆续在

北美、欧洲等地发生。我国于 2004 年在山东省鱼台县发现, 发病率高达 70%<sup>[5]</sup>。番茄根腐病又称“烂脖根死棵病”, 苗期和成株期均可受害, 发病时番茄植株茎基部和根部木质部呈水渍状深褐色, 变色部分不向上发展, 最后根茎腐烂, 植株枯萎死亡<sup>[6]</sup>, 从而对番茄产量和品质造成不可挽回的影响。因此, 需要快速可靠地检测和确定病原菌种类, 及时预防

收稿日期: 2025-08-04; 修回日期: 2025-11-09

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD1401200); 天津市优秀农业特派员项目(24ZYCGSN00170)

作者简介: 李雅琦, 女, 在读硕士研究生, 主要从事蔬菜病害诊断研究。E-mail: 1072636135@qq.com

通信作者: 高 苇, 女, 副研究员, 主要从事蔬菜病害综合防治研究。E-mail: gaowei5277@163.com

苏 繁, 女, 助理研究员, 主要从事病原检测技术研究。E-mail: fansu.agroscience@hotmail.com

该病害的发生。

番茄根腐病的主要致病病原菌有茄病镰刀菌(*Fusarium solani*)<sup>[7]</sup>、尖孢镰孢菌(*F. oxysporum*)<sup>[8]</sup>、寄生疫霉菌(*Phytophthora parasitica*)<sup>[9]</sup>、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)<sup>[10]</sup>等,其中,尖孢镰孢菌引起的根腐病危害尤为突出,其寄主范围十分广泛,可侵染多种作物,如棉花、瓜类等,导致植株系统性枯萎和产量锐减,对农业生产造成显著的经济损失<sup>[11]</sup>。尖孢镰孢菌种内的致病菌株往往只能侵染一种或几种植物,因此,尖孢镰孢菌可根据寄主特异性划分为不同的专化型,又根据侵染寄主品种的不同分为不同的生理小种<sup>[12-13]</sup>。为有效防治番茄根腐病,减少病害带来的损失,对病原菌进行准确鉴定和筛选有效的防治药剂显得尤为重要。对病原菌的分类鉴定通常采用形态学与分子生物学相结合的方法,形态学鉴定基于菌落形态、孢子特征等表型性状,而分子鉴定则通过基因序列分析提供更精确的分类依据。在镰孢菌属(*Fusarium* spp.)真菌分子鉴定中,常用的基因包括 *rDNA-ITS*(核糖体 DNA 内转录间隔区)、*EF-1 $\alpha$* (延伸因子 1- $\alpha$ )、*mtSSU rDNA*(粒体小亚基核糖体)以及  $\beta$ -微管蛋白( $\beta$ -tubulin)等编码蛋白基因<sup>[14]</sup>。*EF-1 $\alpha$*  基因因高度的保守性和变异性,被广泛应用于镰孢菌属的系统发育分析和物种鉴定中<sup>[15]</sup>。目前,天津地区番茄根腐病危害严重,且尚未有该地区番茄根腐病病原种类的系统研究报告,且生产中缺少番茄根腐病的有效防治药剂。鉴于此,笔者旨在通过系统的病原分离鉴定,明确天津市番茄根腐病主要致病菌种类,并在此基础上筛选出有效的防治药剂,以期为天津地区番茄根腐病的有效防控提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

番茄根腐病病样于 2024 年 4—6 月采自天津市武清区黄花店镇。供试番茄品种为斯嘉丽一号,购自天津市维吉特种业有限公司。

供试药剂:98%恶霉灵原药(潍坊华诺生物有限公司)、99.83%氟啶胺原药(湖北洪福达生物科技有限公司)、95%咪鲜胺原药(武汉多普乐生物医药有限公司)、96.8%苯醚甲环唑原药(山东潍坊润丰化工股份有限公司)、98.05%戊唑醇原药(江苏百灵农化有限公司)、93%百菌清原药(江苏百灵农化有限公司)、93%福美双原药(河北冠龙农化有限公司)、80%多菌灵原药(山东潍坊润丰化工股份有限公

司),均由天津市农业科学院植物保护研究所提供。

### 1.2 病原菌分离及致病性测定

番茄根腐病病样采用常规组织分离法进行病原菌分离<sup>[6]</sup>。将分离纯化后的病原菌于 4 °C 冰箱保存。致病性采用浸根法接种<sup>[17]</sup>,即制备病原菌孢子悬浮液(浓度为  $1 \times 10^8$  CFU·mL<sup>-1</sup>),在番茄植株幼苗 2 叶 1 心期进行致病性测定。将番茄植株拔出,根部泥土用水冲洗干净,在孢子悬浮液中浸根 30 min,处理后进行盆栽移植,清水浸根作为空白对照,每个处理 20 株,3 次重复,置于 25 °C 温室恒温培养,观察、记录植株的发病情况,试验 2 次重复。

### 1.3 病原菌鉴定

1.3.1 分子生物学鉴定 采用 MagicPure Fungi Genomic DNA kit 基因提取试剂盒(北京全式金生物技术有限公司)提取基因组。利用引物 ITS1/ITS4 和 EF1 $\alpha$ -F/EF2 $\alpha$ -R<sup>[18]</sup>对其进行 PCR 扩增。PCR 反应体系 25  $\mu$ L: 2 $\times$ T5 Direct PCR Mix 1 12.5  $\mu$ L, Primers-F 0.5  $\mu$ L, Primers-R 0.5  $\mu$ L, 模板 DNA 1  $\mu$ L, 最后用 ddH<sub>2</sub>O 补足至 25  $\mu$ L。扩增程序:95 °C 预变性 3 min; 95 °C 变性 10 s, 57 °C 退火 10 s, 72 °C 延伸 10 s, 29 个循环; 72 °C 延伸 2 min, 最后 4 °C 保存。取扩增好的 PCR 产物 2  $\mu$ L 于 1% 琼脂糖凝胶上进行电泳检测,电压设置为 120 V, 25 min。选择条带清晰且与所扩增目的基因片段长度相同的 PCR 扩增产物进行测序。测序后在 NCBI 中进行同源性比对,采用 MEGA11.0 软件中的 NJ 方法构建系统发育树,采用 Bootstrap 方法进行检验,检验次数为 1000 次<sup>[19]</sup>。

1.3.2 分离物培养特征及显微形态鉴定 挑取纯化后的病原菌边缘菌丝接种至 PDA 平板上,25 °C 下恒温培养 5 d 后观察并记录纯培养物的菌落形态、颜色,并对分离物的菌丝体和孢子形态进行观察和记录。参照《真菌鉴定手册》<sup>[20]</sup>和《镰刀菌属》<sup>[21]</sup>对分离菌株进行鉴定。

1.3.3 尖孢镰孢菌专化型鉴定 采用 MagicPure Fungi Genomic DNA kit 基因提取试剂盒(北京全式金生物技术有限公司)提取基因组。选择尖孢镰孢菌专化型鉴定引物 uni-F/uni-R、sprl-F/sprl-R<sup>[22]</sup>对病原菌进行 PCR 扩增,引物序列见表 1,PCR 反应体系及反应程序同 1.3.1。

### 1.4 室内药剂筛选

采用生长速率法测定番茄根腐病强致病菌株 FQGF003 对 8 种杀菌剂的室内敏感性。制备药剂浓度( $\rho$ , 后同)为 100、10、1、0.1、0.01、0.001 mg·L<sup>-1</sup>

表1 引物序列  
Table 1 Primer sequence

基因座 Locus	引物 Primer	序列(5'-3') Sequence(5'-3')	扩增条带大小 Amplification band size/ bp	鉴定结果 Identification result	
				FOL	FORL
pg1	uni-F	ATCATCTTGCCAACTTCAG	670~672	+	+
	uni-R	GTTTGTGATCTTTGAGTTGCCA			
pgx4	sprl-F	GATGGTGGAAACGGTATGACC	947	-	+
	sprl-R	CCATCACACAAGAACACAGGA			

PDA 培养基,将直径为 4 mm 的 FQGF003 菌饼接种到含药培养基上,以不添加药剂的 PDA 培养基为空白对照,接种后于 25 °C 霉菌培养箱中培养,每个处理 3 次重复。7 d 后,采用十字交叉法测量各个菌落的直径,计算不同浓度药剂对病原菌的抑菌率<sup>[23]</sup>。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 和 DPS 统计分析软件处理数据,获取毒力回归方程和药剂对病原菌的抑制中浓度 (EC<sub>50</sub>)。

## 2 结果与分析

### 2.1 番茄根腐病田间症状

2024 年 4—6 月在天津市武清区黄花店镇包营村及甄营村采集番茄根腐病发病样本 6 份,分离获得 4 株镰刀属真菌,分别命名为 FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004。采集的番茄根腐病发病植株田间发病症状主要表现为发病初期叶片褪绿变黄、后期叶片由下至上逐渐萎蔫干枯,随着病情的发展,茎基部至根部变成深褐色,茎基部皮层腐烂,下部叶片脱落,发病植株根系组织不发达,外侧须根呈黑褐色,剖开主根可看到内部维管束组织褐变,发病后期根基部着生白色菌丝(图 1)。



注:A. 发病植株;B-C. 发病植株根部。

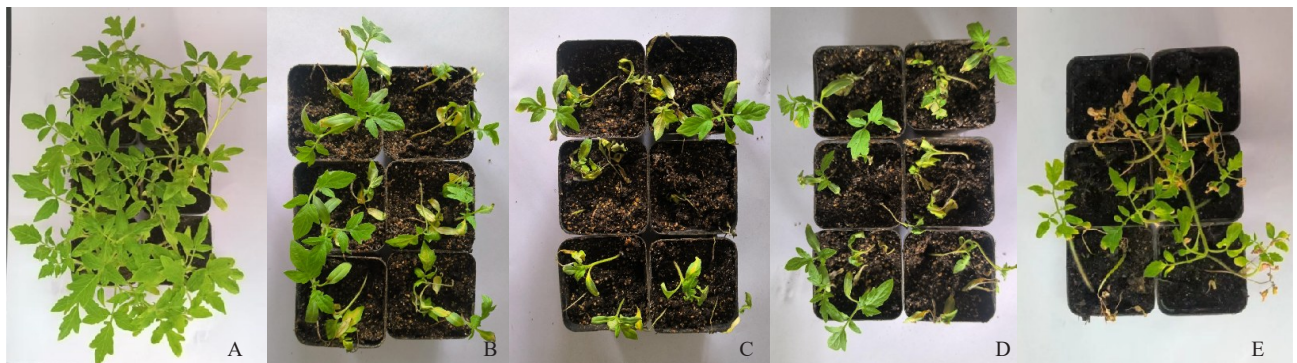
Note: A. Diseased plant; B-C. Root of diseased plant.

图 1 番茄根腐病田间症状

Fig. 1 Field symptoms of tomato root rot

### 2.2 病原菌致病性测定

活体盆栽试验表明,分离到的致病菌 FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004 接种 9 d 后均可引起番茄植株发病,而对照组番茄无发病症状。接种病原菌的番茄植株地上部分叶片变黄萎蔫,茎部干枯倒伏,随病情蔓延,地上部整体枯死(图 2)。根据柯赫氏法则,从发病组织再次分离病



注:A. 未接种对照;B-E. 接种 FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004 的处理。

Note: A. Uninoculated control; B-E. Inoculation with FQGF001, FQGF002, FQGF003, FQGF004.

图 2 番茄植株接种病原菌后的发病症状

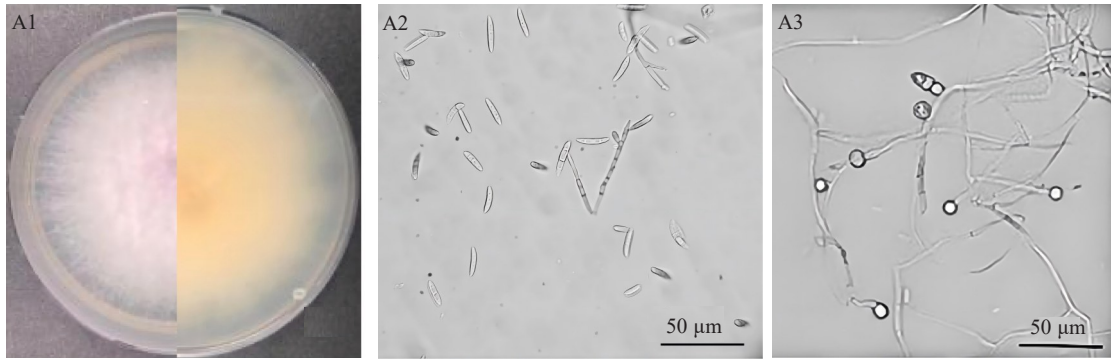
Fig. 2 Symptoms of tomato plants inoculated with pathogen

原菌,比较分离菌株与原接种菌株的菌落形态等特征,表明菌株 FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004 是番茄根腐病的致病菌。

### 2.3 病原菌鉴定

2.3.1 形态学特征 本研究分离获得的4株番茄根腐病病原菌具有相似的形态学特征。由图3可

知,病原菌在 PDA 培养基上生长初期菌落呈白色,菌丝较为蓬松,后期菌丝致密,产生淡紫色色素。显微观察发现,病原菌产生的小型分生孢子数量多,呈卵圆形或椭圆形,大小为(12.42~16.91) $\mu\text{m}$ ×(4.46~7.51) $\mu\text{m}$ ;大型分生孢子呈镰刀形,多无分隔,少量1~3隔,大小为(21.42~25.80) $\mu\text{m}$ ×(5.49~8.25) $\mu\text{m}$ ,



注:A1. 培养形态;A2. 显微形态;A3. 厚垣孢子。

Note: A1. Colony morphology on PDA; A2. Microscopic morphology; A3. Chlamydospores.

图3 病原菌的形态学特征

Fig. 3 Morphological characteristics of pathogen

厚垣孢子球形,单生或串生。

2.3.2 分子生物学鉴定 菌株 FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004 的 rDNA-ITS PCR 扩增结果显示,4株病原菌均为镰孢属真菌。EF1 $\alpha$ -F/EF2 $\alpha$ -R 引物扩增获得的病原菌 EF-1 $\alpha$  基因测序结果通过 NCBI 数据库比对分析,表明4株病原菌均与3株 *F. oxysporum* (登录号为 OR167561、OR167563、OR167573) 同源性大于99.0%。利用 MEGA 11.0 软件构建系统进化树(图4),结果显示,4株病原菌均与 *F. oxysporum* 聚于同一支中,结合形态学特征,明确4株番茄根腐病病原菌 FQGF001~FQGF004 均为尖孢镰孢菌(*F. oxysporum*)。

2.3.3 尖孢镰孢菌专化型鉴定 使用引物 uni-F/uni-R 和 sprl-F/sprl-R 对病原菌进行 PCR 扩增,结果显示,FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004 经引物 uni-F/uni-R 扩增后,均获得大小为 670 bp 的条带,经引物 sprl-F/sprl-R 扩增后均未出现电泳条带(图5)。因此,结合2对引物鉴定结果,确定 FQGF001、FQGF002、FQGF003、FQGF004 等4株病原菌均为尖孢镰孢菌番茄专化型(*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, FOL)。

### 2.4 杀菌剂对病原菌的毒力敏感性测定

室内药剂毒力测定结果如表2所示,95%咪鲜

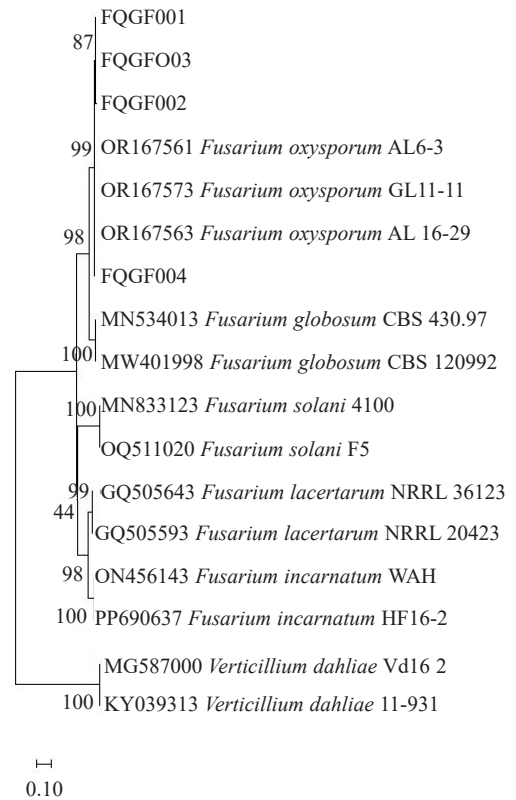
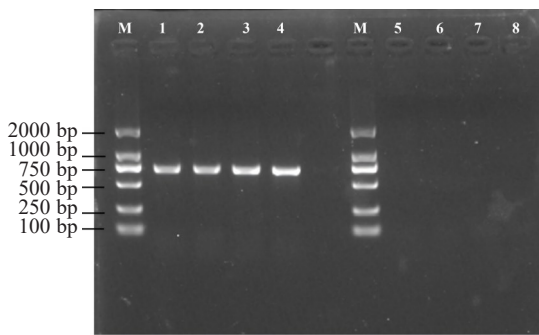


图4 基于 EF-1 $\alpha$  序列的番茄根腐病主要致病菌系统发育树

Fig. 4 The phylogenetic tree of the main pathogenic fungi causing tomato root rot based on the EF-1 $\alpha$  sequences



注:1~4 为 uni 引物 PCR 扩增结果;5~8 为 sprl 引物 PCR 扩增结果;M 为 2000 bp marker。

Note: 1-4 represents PCR amplification results using uni-F/R; 5-8 represents PCR amplification results using sprl-F/R; M represents 2000 bp marker.

图 5 番茄根腐病菌 PCR 扩增结果  
Fig. 5 PCR amplification results of tomato root rot pathogens

胺原药对尖孢镰孢菌的菌丝生长抑制作用最强,其  $EC_{50}$  为  $0.002\ 2\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ;其次是 98.05% 戊唑醇原药、96.8% 苯醚甲环唑原药,  $EC_{50}$  分别为  $0.050\ 6$ 、 $0.070\ 7\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ;99.83% 氟啶胺、98% 恶霉灵、93% 百菌清、93% 福美双及 50% 多菌灵原药对尖孢镰孢菌抑制效果较差,  $EC_{50}$  值均大于  $0.1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,其中 50% 多菌灵原药对尖孢镰孢菌的抑制效果最差,  $EC_{50}$  达  $263.248\ 7\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

### 3 讨论与结论

根腐病是番茄种植中的常见病害之一,危害严重,一旦暴发会给番茄的产量和品质造成巨大损失。国内外报道的番茄根腐病病原菌多为镰孢菌属(*Fusarium*)<sup>[24-25]</sup>。而镰孢菌属种类多,种间形态较为相似<sup>[26]</sup>,某些性状不稳定<sup>[27]</sup>,单一使用形态学鉴定

表 2 杀菌剂对尖孢镰孢菌番茄专化型的室内毒力测定结果

Table 2 Laboratory toxicity test results of fungicides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

杀菌剂 Fungicide	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient( $R^2$ )	$EC_{50}$ / ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )
98%恶霉灵原药 98% Hymexazol	$y=0.015\ 7x+5.056\ 7$	0.985\ 7	0.809\ 1
99.83%氟啶胺原药 99.83% Fluazinam	$y=0.474\ 1x+5.346\ 6$	0.995\ 0	0.185\ 8
95%咪鲜胺原药 95% Prochloraz	$y=0.546\ 6x+6.457\ 9$	0.994\ 6	0.002\ 2
96.8%苯醚甲环唑原药 96.8% Difenoconazole	$y=0.401\ 1x+5.461\ 4$	0.987\ 4	0.070\ 7
98.05%戊唑醇原药 98.05% Tebuconazole	$y=0.377\ 1x+5.488\ 5$	0.987\ 6	0.050\ 6
93%百菌清原药 93% Chlorothalonil	$y=0.494\ 8x+5.069\ 7$	0.984\ 0	0.723\ 0
93%福美双原药 93% Thiram	$y=0.651\ 9x+5.034\ 1$	0.983\ 4	0.886\ 6
50%多菌灵原药 50% Carbendazim	$y=0.170\ 7x+4.586\ 9$	0.984\ 3	263.248\ 7

不准确,因此,需结合分子生物学鉴定。在分子生物学鉴定领域,仅依赖 ITS 内转录间隔区序列进行镰孢菌的分类鉴定,可能导致不正确的系统发育分析<sup>[28]</sup>。*TEF-1 $\alpha$*  基因在镰孢菌属中有较高的保守性,可有效鉴定镰孢菌<sup>[15]</sup>。本试验中利用 *EF-1 $\alpha$* 、*ITS* 多基因序列构建系统发育树结合形态学观察对病原菌进行鉴定,确定分离所得的 4 株病原菌均为尖孢镰孢菌(*F. oxysporum*)。也有学者报道广西番茄枯萎病病原菌也为尖孢镰孢菌,但并未鉴定到种<sup>[29]</sup>。为了将病原菌完全鉴定到种,参考 Hirano 等<sup>[22]</sup>在报道中提出的特异性引物 uni 和 sprl,用于鉴定尖孢镰孢菌专化型。最终结果表明,引起天津市黄花店地区番茄根腐病的病原菌为尖孢镰孢菌番茄专化型(*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, FOL)。

镰孢菌具有广泛的寄主适应性和致病性,可侵染多种作物及瓜果蔬菜,比如甜瓜<sup>[30]</sup>、地黄<sup>[15]</sup>等,严重威胁作物的品质和产量,因此,做好番茄根腐病

的防治工作,有利于减少土壤中镰孢菌的积累。筛选高效防治药剂用于番茄根腐病的精准防治,对提高番茄品质和产量具有重要意义。笔者测定了 8 种杀菌剂对番茄根腐病主要致病菌尖孢镰孢菌番茄专化型(FOL)的室内毒力,结果表明,8 种杀菌剂的毒力水平存在差异。其中,95%咪鲜胺原药对尖孢镰孢菌的菌丝生长抑制作用最强,  $EC_{50}$  为  $0.002\ 2\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,证明了咪鲜胺对天津地区尖孢镰孢菌(FOL)具有较强的抑制作用,这一结果与 Song 等<sup>[31]</sup>、李丙雪等<sup>[32]</sup>针对尖孢镰孢菌番茄专化型的药剂筛选结果一致。同时,还发现 98.05%戊唑醇原药、96.8%苯醚甲环唑原药对番茄尖孢镰孢菌的抑制作用也较强,  $EC_{50}$  分别为  $0.050\ 6$ 、 $0.070\ 7\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,许媛等<sup>[33]</sup>报道了戊唑醇对引起草莓根腐病的尖孢镰孢菌具有较好的防治效果,但姚晨琥等<sup>[34]</sup>研究发现,苯醚甲环唑对烟草尖孢镰孢菌抑制效果较差,说明不同寄主来源的尖孢镰孢菌对同一药剂的敏感性存

在差异。此外,笔者发现天津尖孢镰孢菌(FOL)对多菌灵产生了明显的抗性,EC<sub>50</sub>高达 263.248 7 μg·mL<sup>-1</sup>,这可能与多菌灵作为天津地区土传病害防控的主要药剂长期施用有关,说明多菌灵对天津地区番茄根腐病的防治不能起到明显的抑制作用。

综上所述,笔者明确了尖孢镰孢菌番茄专化型(*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, FOL)为天津市黄花店镇番茄根腐的主要病原菌。为有效控制该病害发生和蔓延,对该病原菌进行室内毒力测定,筛选获得咪鲜胺、戊唑醇、苯醚甲环唑对该病原菌敏感性较强,可作为天津地区番茄根腐病防治的首选药剂。但本研究仅进行了室内毒力测定,还有待进一步开展田间药效试验综合评价药剂的田间应用效果。

### 参考文献

- [1] QUINET M, ANGOSTO T, YUSTE-LISBONA F J, et al. Tomato fruit development and metabolism[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019(10): 1554.
- [2] MOJAMED A M A. 番茄节间长度的 QTL 定位[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [3] 唐晓. 基于“钻石体系”模型的中国新疆番茄产业竞争力影响因素研究[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2011.
- [4] MUSLIM A, HORINOUCI H, HYAKUMACHI M. Control of *Fusarium* crown and root rot of tomato with hypovirulent *Binucleate rhizoctonia* in soil and rock wool systems[J]. *Plant Disease*, 2003, 87(6): 739-747.
- [5] 罗云生, 刘永, 张晓霞, 等. 保护地早春番茄茎基腐病的发生与综合防治[J]. *吉林蔬菜*, 2005(1): 29.
- [6] 于凌春, 张乃琴, 冯建英. 番茄疫霉根腐病的发生规律及防治技术[J]. *植保技术与推广*, 2001(11): 25-26.
- [7] 尉菊萍, 王洪梅, 刘磊, 等. 番茄茎基腐病原菌分离及其防治药剂筛选[J]. *山东农业科学*, 2020, 52(5): 105-109.
- [8] ZENE S A. 番茄根腐病生防菌的筛选及防治效果研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.
- [9] 王迪. 番茄根腐病原菌的鉴定及抗病种质资源筛选[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- [10] 咸俊男, 宋艰难, 吴晓云, 等. 北京房山区草莓根腐病原菌分离鉴定及室内毒力测定[J]. *北京农学院学报*, 2017, 32(4): 65-69.
- [11] MICHELSE C B, REP M. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2009, 10(3): 311-324.
- [12] CORRELL J C. The relationship between formae speciales, races and vegetative compatibility groups in *Fusarium oxysporum*[J]. *Phytopathology*, 1991, 81(9): 1061-1064.
- [13] LIEVENS B, GRAUWET T J M A, CAMMUE B P A, et al. Recent developments in diagnostics of plant pathogens: A review[J]. *Recent Research Developments in Microbiology*, 2005(9): 57-79.
- [14] 柳凤. 枹果畸形病原遗传多样性及其与枹果互作机制研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [15] 聂蓓蓓, 梁嘉俊, 包立军, 等. 桑椹果腐病的病原菌鉴定[J]. *蚕业科学*, 2020, 46(1): 26-30.
- [16] 黄艳花, 崔忠吉, 欧善生, 等. 西番莲顶枯病原菌的分离与鉴定[J]. *西南农业学报*, 2022, 35(8): 1826-1832.
- [17] 付莉媛. 北京地区草莓根腐病致病菌的分离鉴定及拮抗菌筛选[D]. 河北秦皇岛: 河北科技师范学院, 2021.
- [18] 祁鹤兴, 李红芳, 邹海涛, 等. 青贮玉米来源镰刀菌的分离鉴定及其致病性分析[J/OL]. *分子植物育种*, 1-18[2023-10-17]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231016.1120.012>.
- [19] KUMAR S, STECHER G, TAMURA K. MEGA 7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets[J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2016, 33(7): 1870-1874.
- [20] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [21] BOOTH C. 镰刀菌属[M]. 陈其焱, 译. 北京: 农业出版社, 1988.
- [22] HIRANO Y, ARIE T. PCR-based differentiation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *radicis-lycopersici* and races of *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*[J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2006(72): 273-283.
- [23] 陈潇航, 张小秋, 黄海荣, 等. 广西甘蔗褐条病原菌鉴定与杀菌剂敏感度测定[J]. *西南农业学报*, 2024, 37(4): 816-823.
- [24] 程琳, 李珊珊, 武玉芬, 等. 寿光设施番茄死棵病原真菌的分离及鉴定[J]. *中国瓜菜*, 2023, 36(9): 7-15.
- [25] ARORA H, SHARMA A, POCZAI P, et al. Plant-derived protectants in combating soil-borne fungal infections in tomato and chilli[J]. *Journal of Fungi*, 2022, 8(2): 213.
- [26] 范腕腕, 李绍建, 桑素玲, 等. 河南省花生果腐病原菌的分离及鉴定[J]. *中国油料作物学报*, 2024, 46(2): 377-384.
- [27] 王伟伟, 王卿惠, 李小鹏, 等. 镰刀菌分子鉴定与重要应用的研究进展[J]. *微生物学通报*, 2018, 45(4): 907-919.
- [28] DUGGAL A, DUMAS M T, JENG R S, et al. Ribosomal variation in six species of shape *Fusarium*[J]. *Mycopathologia*, 1997, 140: 35-49.
- [29] 崔萍, 安慧, 张楠, 等. 番茄枯萎病原菌鉴定与拮抗菌筛选[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(3): 1038-1043.
- [30] 管力慧, 牛新湘, 刘萍, 等. 新疆甜瓜采后致腐菌及拮抗菌的分离、筛选与鉴定[J]. *西南农业学报*, 2024, 37(4): 796-804.
- [31] SONG W T, ZHOU L G, YANG C Z, et al. Tomato *Fusarium* wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system[J]. *Crop Protection*, 2004, 23(3): 243-247.
- [32] 李丙雪, SIHOMCHANH B, 禡子琪, 等. 番茄枯萎病防治药剂的筛选[J]. *中国瓜菜*, 2021, 34(2): 61-64.
- [33] 许媛, 成玮, 颜伟中, 等. 上海地区草莓枯萎病原菌的鉴定及对4类杀菌剂的敏感性[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(4): 115-121.
- [34] 姚晨斌, 刘畅, 李小杰, 等. 烟草镰刀菌根腐病防治药剂的筛选[J]. *河南农业科学*, 2022, 51(4): 87-94.