

生姜茎基腐病病原鉴定及室内药剂筛选

卢国彩¹, 刘世敏¹, 田洪平¹, 周陆红¹, 高金鹏¹, 郭洪参², 李付军¹

(1. 潍坊市农业科学院 山东潍坊 261071; 2. 安丘市农业技术推广中心 山东安丘 262199)

摘要:为明确山东潍坊地区生姜茎基腐病的致病菌并筛选高效的化学防治药剂,本研究以当地具有典型症状的病株为试材,通过组织分离培养和致病性测定获得致病菌株,结合形态特征和分子生物学手段对其进行分类鉴定,同时采用菌丝生长速率法分别测定了10种农药单剂对2种致病菌的室内毒力。结果表明,引发潍坊地区生姜茎基腐病的致病菌包括群结腐霉(*Pythium myriotylum*)、腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)及尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*),其中群结腐霉和腐皮镰刀菌为主要病原,分离频率分别为73.33%和25.33%。室内毒力测定结果表明,精甲霜灵对群结腐霉的抑制效果最好,EC₅₀值为1.119 mg·L⁻¹,福美双次之,EC₅₀值为8.806 mg·L⁻¹;咪鲜胺对腐皮镰刀菌抑制效果最好,EC₅₀值为0.287 mg·L⁻¹,其次是多菌灵和戊唑醇,EC₅₀值分别为1.245、3.179 mg·L⁻¹。综上,潍坊地区生姜茎基腐病呈现腐霉菌和镰刀菌复合侵染的特征,对群结腐霉、腐皮镰刀菌分别推荐精甲霜灵、咪鲜胺作为防治的首选药剂。

关键词:生姜;茎基腐病;群结腐霉;腐皮镰刀菌;病原鉴定;室内毒力测定

中图分类号:S632.5

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)07-215-07

Identification of the pathogens causing rhizome rot of ginger and indoor screening of fungicides

Lu Guocai¹, Liu Shimin¹, Tian Hongping¹, Zhou Luhong¹, Gao Jinpeng¹, Guo Hongshen², Li Fujun¹

(1. Weifang Academy of Agricultural Science, Weifang 261071, Shandong, China; 2. Anqiu Agricultural Technology Extension Center, Anqiu 262199, Shandong, China)

Abstract: To identify the pathogens responsible for rhizome rot of ginger in the Weifang area and screen out efficient chemical control agents, the diseased plants exhibiting typical symptoms were used as test materials. The pathogens were isolated through tissue separation and pathogenicity test, and their taxonomic status was clarified based on morphological and molecular biological methods. Additionally, the *in vitro* toxicity of 10 fungicides against two pathogenic strains was determined using the mycelial growth rate assay. The results indicated that the pathogens causing rhizome rot of ginger in the Weifang area included *Pythium myriotylum*, *Fusarium solani*, and *F. oxysporum*, with *P. myriotylum* and *F. solani* being the primary ones, isolated at frequencies of 73.33% and 25.33%, respectively. *In vitro* toxicity assays revealed that metalaxyl-M exhibited the best inhibition to *P. myriotylum* (EC₅₀=1.119 mg·L⁻¹), followed by thiram (EC₅₀=8.806 mg·L⁻¹). Prochloraz had the best inhibiting effect against *F. solani*, with the lowest EC₅₀ value (0.287 mg·L⁻¹), followed by carbendazim and tebuconazole, with EC₅₀ values of 1.245 and 3.179 mg·L⁻¹. In conclusion, rhizome rot of ginger in the Weifang area is characterized by a mixed infection by *Pythium* spp. and *Fusarium* spp. For the two pathogens *P. myriotylum* and *F. solani*, metalaxyl-M and prochloraz are respectively recommended as the preferred control agents.

Key words: Ginger; Rhizome rot; *Pythium myriotylum*; *Fusarium solani*; Pathogenic identification; *In vitro* toxicity test

生姜(*Zingiber officinale* Roscoe)作为一种重要的药食同源经济作物,在亚洲、非洲和南美洲等地区广泛种植,国内外市场需求旺盛^[1]。山东潍坊是国内生姜主产地之一,种植面积常年稳定在20 000 hm²左右,其中“昌邑大姜”和“安丘大姜”更是荣获国家

地理标志产品认证^[2]。然而,近年来每到7—8月出现的持续高温阴雨天气导致生姜茎基腐病频发,危害逐年加剧。该病会引发姜块腐烂以及植株成片死亡,严重打击姜农种植积极性,致使潍坊多个老姜区种植面积大幅缩减^[3]。

收稿日期:2025-11-03;修回日期:2026-03-27

基金项目:潍坊市科学技术发展计划(2021ZJ1130,2023ZJ1058)

作者简介:卢国彩,女,农艺师,研究方向为蔬菜病虫害绿色防控。E-mail:lluguo@163.com

通信作者:李付军,男,正高级农艺师,研究方向为作物病虫害绿色防控。E-mail:fjunli76@163.com

自2005年以来,生姜茎基腐病已发展为潍坊地区最具破坏性的生姜病害,成为继姜瘟病后亟待解决的又一农业灾变难题。目前,全球范围内已报道的生姜茎基腐病致病菌有10余种,国外相关研究多认为腐霉菌(*Pythium* spp.)为主要致病菌^[4];也有学者认为该病是由镰刀菌(*Fusarium* spp.)单独引起^[5]或与腐霉菌复合侵染所致^[6]。国内研究相对较少且集中于广州、川渝和山东等地,普遍认为腐霉菌为优势菌群,仅山东与川渝地区有镰刀菌侵染的零星报道^[7-9]。具体到山东潍坊地区,现有研究如元菊丹^[7]曾从安丘生姜茎基腐病病姜中分离出群结腐霉(*P. myriotylum*),虽检出少量镰刀菌但未做鉴定;胡鲜梅^[8]只分离出群结腐霉、刺腐霉(*P. spinosum*)、林栖腐霉(*P. sylvaticum*)3种腐霉菌。而本团队前期在安丘、昌邑等核心姜区的病样中均明确检出镰刀菌(未发表),这与潍坊地区现有文献报道^[7-8]存在差异。鉴于潍坊地区生姜茎基腐病的病原组成可能较以往认知的更为复杂,系统开展病原菌分离鉴定与种群结构研究,明确当地生姜茎基腐病的病原种类和优势菌,对开展生姜茎基腐病的精准防控具有重要的现实意义。

目前,生姜茎基腐病的防治仍主要依赖化学农药,苯基酰胺类(如精甲霜灵等)、二硫代氨基甲酸盐类(如福美双)、苯并咪唑类(如多菌灵、甲基硫菌灵)、三唑类(如戊唑醇)以及咪唑类(如咪鲜胺)等常规药剂在生产中被广泛用于土壤处理或生姜茎基腐病发病初期喷灌。在中国农药信息网(<http://www.chinapesticide.org.cn/>)约有140个登记为防治茎基腐病的农药品种,其中含有咯菌腈、精甲霜灵、啉菌酯、吡唑醚菌酯、戊唑醇、噁霉灵、福美双等有效成分的农药占比较高。然而,在姜上登记用于防治同类病害的药剂仅有精甲·啉菌酯、精甲·噁霉灵、霜霉·噁霉灵等3种,药剂选择有限、针对性不强、用药依据不足等问题突出,难以满足生姜茎基腐病防控的生产需求。基于此,本研究选取10种在茎基腐病防治中已登记或生姜生产中常用的代表性药剂开展室内毒力测定,以期在明确潍坊地区生姜茎基腐病的病原组成的基础上,筛选出对优势致病菌高效低毒的防治药剂,为后期开展靶向化学防控与科学用药提供理论依据,同时填补镰刀菌型生姜茎基腐病研究的空白。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 病样 2023年6—9月和2024年6—9月期间,从潍坊市昌邑、峡山、安丘、昌乐、奎文5个县(区)采集具有典型茎基腐病症状的生姜样本共35份。

1.1.2 培养基 马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):去皮马铃薯切成块状称取200 g,葡萄糖20 g,琼脂粉15~20 g,蒸馏水定容至1 L;玉米粉琼脂培养基(CMA):玉米粉30 g,琼脂粉15~20 g,蒸馏水定容至1 L。

1.1.3 供试药剂 选取10种在茎基腐病防治中已登记或生姜生产中常用的低毒化学农药作为供试药剂(表1)。

1.2 方法

1.2.1 病原菌的分离与纯化 病样采集后,随即在潍坊市农业科学院植物病理实验室采用组织分离法^[10]分离病原菌。病样茎基部或块茎清洗晾干后,从病健交界处切取5 mm×5 mm组织块,经75%乙醇处理30 s后,再用3%次氯酸钠消毒2 min,无菌水冲洗3次,最后用灭菌滤纸吸干表面水分。将处理后的组织块转接于含100 mg·L⁻¹硫酸链霉素的PDA培养基上,28℃黑暗条件下培养3~5 d。待菌丝长出后,用接种针挑取菌落边缘菌丝,在PDA培养基上培养,连续纯化3代。结合菌落与孢子的形态特征(形态学鉴定),对所有分离菌株进行初步分类,计算分离频率(分离到的某类菌株的数量占总菌株数的百分比)。从昌邑、峡山、安丘、昌乐、奎文5个采样地的不同类群中各选取1株为代表性菌株,进行致病性测定及鉴定。

1.2.2 病原菌致病性测定 根据柯赫氏法则,采用菌丝块贴接法进行回接验证^[7]。将1.2.1中分离纯化后的菌株接种于PDA培养基中活化,用已灭菌的打孔器在菌落边缘打取6 mm菌丝块备用。取健康生姜块茎,经75%乙醇表面消毒后,切成大小均匀的茎段,置于铺有湿润无菌滤纸的培养皿中。将菌丝块菌面朝下贴接到茎段剖面中央,以接种无菌PDA块的处理为对照,每处理重复3次,将培养皿封口后于28℃下培养5~10 d,每天观察块茎表面的病变情况。对发病块茎再次进行分离,若获得的菌株与接种菌株相同,即可确定该菌株为致病菌。

1.2.3 形态学鉴定 将分离纯化后获得的菌株分别于CMA、PDA培养基上培养,培养期间观察并记录病原菌菌落形态和正反面的颜色变化。待产孢后,挑取菌落表面菌丝,于光学显微镜下观察菌丝、产孢结构和孢子的形态特征。

表 1 供试药剂名称、剂型和生产厂家
Table 1 Name of test fungicides, dosage form and manufacturer

药剂 Fungicide	有效成分含量 Active ingredient content	剂型 Dosage form	生产厂家 Manufacturer
精甲霜灵 Metalaxyl-M	350 g·L ⁻¹	种子处理乳剂 ES	上海悦联生物科技有限公司 Shanghai Yuelian Biotech Co., Ltd.
噁霉灵 Hymexazol	70%	可湿性粉剂 WP	青岛海纳生物科技有限公司 Qingdao Haina Biotech Co., Ltd.
多菌灵 Carbendazim	50%	可湿性粉剂 WP	江阴福达农化股份有限公司 Jiangyin Fuda Agrochemical Co., Ltd.
咪鲜胺 Prochloraz	450 g·L ⁻¹	水乳剂 EW	山东利邦农化有限公司 Shandong Libang Agriculture Co.,Ltd.
戊唑醇 Tebuconazole	430 g·L ⁻¹	悬浮剂 SC	拜耳作物科学(中国)有限公司 Bayer Cropscience (China) Co., Ltd.
福美双 Thiram	80%	水分散粒剂 WG	比利时特胺有限公司 Taminco N. V. Belgium
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	70%	可湿性粉剂 WP	江苏蓝丰生物化工股份有限公司 Jiangsu Lanfeng Bio-chemical Co., Ltd.
咯菌腈 Fludioxonil	25 g·L ⁻¹	悬浮种衣剂 FS	先正达南通作物保护有限公司 Syngenta Nantong Crop. Protection Co., Ltd.
啉菌酯 Azoxystrobin	250 g·L ⁻¹	悬浮剂 SC	先正达南通作物保护有限公司 Syngenta Nantong Crop. Protection Co., Ltd.
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	25%	悬浮剂 SC	山东康桥生物科技有限公司 Shandong Kangqiao Biotech Co., Ltd.

1.2.4 分子生物学鉴定 用通用基因组 DNA 提取试剂盒(D2100,北京索莱宝科技有限公司)提取代表性菌株的 DNA,使用真菌 rDNA-ITS 序列通用引物 ITS1 (5'- TCCGTAGGTGAACCTGCGG- 3') 和 ITS4 (5'- TCCTCCGCTTATTGATATGC- 3') 进行 PCR 扩增。扩增产物经北京擎科生物股份有限公司测序后,所得序列通过 NCBI 数据库进行 BLAST 同源比对,使用 MEGA 11.0 软件对序列进行修剪、编辑,采用邻接法构建系统发育树,确定病原菌的分类地位。

1.2.5 室内药剂筛选 采用菌丝生长速率法^[11]测定

10 种供试药剂的室内毒力。将 1.2.2 中筛选到的强致病菌株 XS1-S1 和 CY1-T1 分别接种于 PDA 培养基上活化,备用。初步筛选对病原菌生长具有一定抑制作用的 5 个浓度(ρ ,后同)梯度,作为各药剂的供试浓度(表 2)。分别将各药剂用无菌水稀释成供试浓度后,按 1:9 的体积比将药液与 PDA 培养基混匀制成含药平板,以加入等体积无菌水为对照。取活化后菌落边缘直径 6 mm 的菌饼转接至含药平板中央,每板接 1 个菌饼,每个处理接 3 个平板,3 次重复,28 ℃恒温条件下培养。待对照组菌落长至培养皿的 1/2~2/3 时,采用十字交叉法测量

表 2 10 种供试药剂的浓度梯度
Table 2 The concentration gradient of 10 test fungicides

药剂 Fungicide	浓度梯度 Concentration gradient/(mg·L ⁻¹)	
	群结腐霉 <i>P. myriotylum</i> (XS1-S1)	腐皮镰刀菌 <i>F. solani</i> (CY1-T1)
精甲霜灵 Metalaxyl-M	0.5、1、2、5、10	
噁霉灵 Hymexazol	5、10、20、50、100	10、50、100、250、500
多菌灵 Carbendazim		0.1、0.5、1、5、10
咪鲜胺 Prochloraz	50、100、500、1000、5000	0.3125、0.625、1.25、2.5、5
戊唑醇 Tebuconazole		0.5、1、5、10、50
福美双 Thiram	2.5、5、10、25、50	10、100、250、500、1000
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	500、1000、2500、5000、10 000	2.5、5、10、20、40
咯菌腈 Fludioxonil		
啉菌酯 Azoxystrobin	500、1000、5000、10 000、20 000	
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	100、500、1000、2500、5000	100、1000、5000、10 000、50 000

各处理菌落直径,并计算抑菌率^[10]。

$$\text{抑菌率}/\%=(D_c-D_i)/(D_c-6)\times 100.$$

式中, D_c 为对照组菌落的直径(mm), D_i 为各药剂处理组菌落直径(mm)。

1.3 数据分析

利用 Excel 2010 和 DPS 数据处理系统处理数据。以药剂质量浓度对数为自变量 x ,以抑制率的概率值为因变量 y 作回归分析,建立毒力回归方程,计算各供试药剂对病原菌的抑制中浓度(EC_{50})、相关系数(r^2)^[12]。

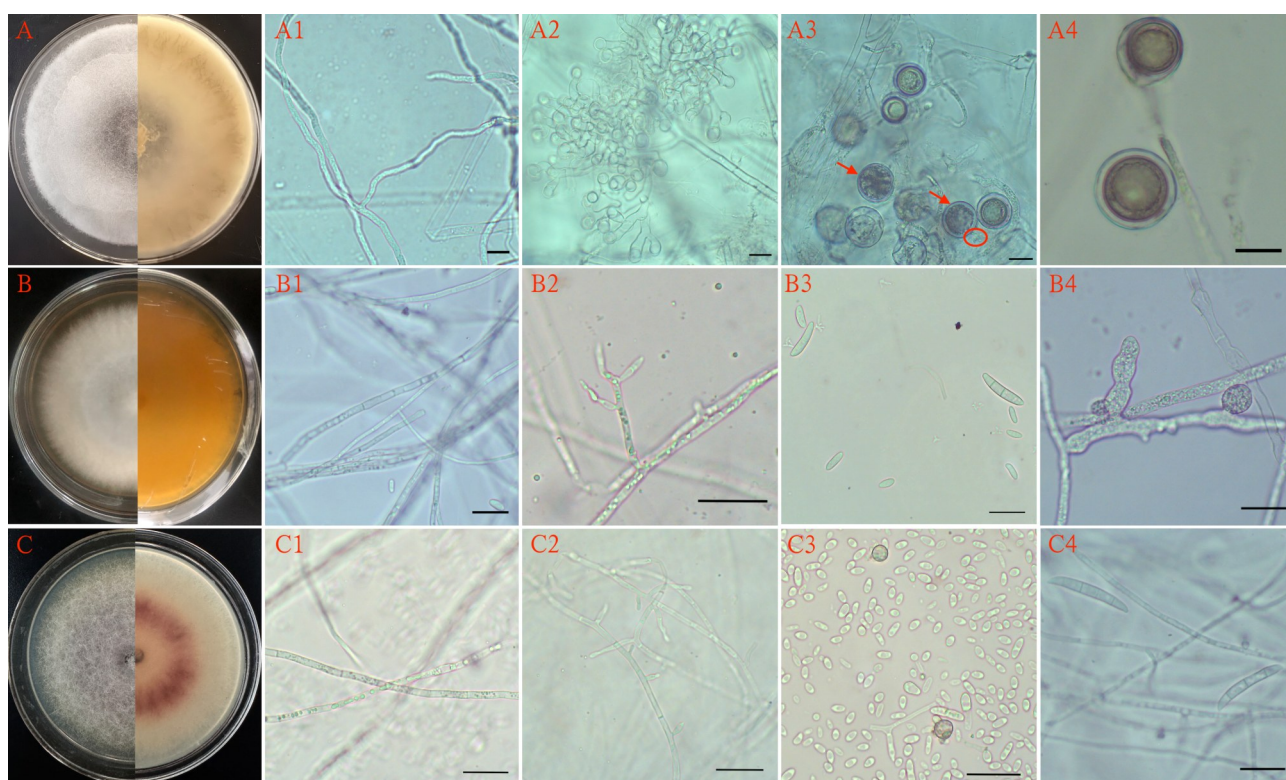
2 结果与分析

2.1 病原菌的分离与形态学鉴定

从采集的 35 份病样中,共分离获得 150 株真菌分离物,根据菌落培养性状及显微形态特征可将其初步归为 3 类:形态组 I、组 II 和组 III,其中形态组 I

有 110 株,形态组 II 有 38 株,形态组 III 有 2 株,分离频率分别为 73.33%、25.33%和 1.33%。从不同取样的各类分离物中分别选取 1 株代表性菌株,共获得 13 株。其中形态组 I 有 7 株,分别为 XS1-S1、CY1-S1、CY2-S1、AQ1-S1、AQ2-T2、CL1-S1、KW1-S1;形态组 II 有 5 株,分别为 CY1-T1、XS1-T1、AQ1-T5、AQ2-T1、CL1-S2;形态组 III 仅有 1 个代表性菌株 AQ1-S6。

参考《中国真菌志 第六卷 霜霉目》^[13],确定形态组 I 为腐霉属。形态特征如下:菌落在 PDA 培养基上呈放射状生长,2 d 长满平板,菌丝从稀疏到致密,白色(图 1-A)。菌丝无色,无隔(图 1-A1);孢子囊呈瓣形或指形,大小不等(图 1-A2);藏卵器球形,壁平滑,顶生或间生,直径 25.5~35.3 μm ,雄器棒状,以顶端与藏卵器接触(图 1-A3);卵孢子球形、平滑,不满器,直径 24.0~29.4 μm ,壁厚 1.8~2.3 μm (图



注:A~C. 形态组 I、组 II 和组 III 在 PDA 培养基上的菌落形态;A1. 形态组 I 的菌丝;A2. 形态组 I 的孢子囊;A3. 形态组 I 的藏卵器(箭头所指)、雄器(圈中所显);A4. 形态组 I 的卵孢子;B1. 形态组 II 的菌丝;B2. 形态组 II 的分生孢子梗;B3. 形态组 II 的小型、大型分生孢子;B4. 形态组 II 的厚垣孢子;C1. 形态组 III 的菌丝;C2. 形态组 III 的分生孢子梗;C3. 形态组 III 的小型分生孢子和厚垣孢子;C4. 形态组 III 的大型分生孢子。比例尺=20 μm 。

Note: A-C. colony of group I, II and III on PDA; A1. Mycelium of group I; A2. Sporangium of group I; A3. Oogonium (indicated by the arrows) and antheridium (shown within the circles) of group I; A4. Oospore of group I; B1. Mycelium of group II; B2. Conidiophore of group II; B3. Small and large conidia of group II; B4. Chlamydospore of group II; C1. Mycelium of group III; C2. Conidiophore of group III; C3. Small conidia and chlamydospores of group III; C4. Large conidia of group III. Scale bar=20 μm .

图 1 形态组 I、组 II 和组 III 的形态学特征

Fig. 1 The morphological features of morphological groups I, II and III

1-A4)。

参考《常见镰刀菌鉴定指南》^[14]及赵志慧^[15]的相关记载,确定形态组II、组III均为镰刀菌属。形态组II,其菌落在PDA培养基上为圆形,7 d长满平板,菌丝密集且丰富,呈绒毛状,初期为白色,后渐变为淡黄色或米色(图1-B)。菌丝无色,有隔(图1-B1);小型分生孢子数量多,肾形或卵圆形,单孢,着生于单瓶梗或复瓶梗上,大小为 $(8.70\sim 10.10)\mu\text{m}\times(2.90\sim 3.30)\mu\text{m}$ (图1-B2~3);大型分生孢子数量少,马特形,两端钝圆,顶孢稍弯,多为1~3个分隔,大小为 $(17.00\sim 26.87)\mu\text{m}\times(4.40\sim 6.20)\mu\text{m}$ (图1-B3);厚垣孢子球状或指状(图1-B4)。形态组III,其菌落在PDA培养基上为圆形,6 d长满平板,菌丝密集且丰富,呈絮状,初期为白色,后期为淡粉色或淡紫色(图1-C)。菌丝无色,有隔(图1-C1);小型分生孢子数量多,单胞或双胞,形态以椭圆形或卵圆形为主,着生于单生瓶梗上,大小 $(4.80\sim 13.50)\mu\text{m}\times(2.20\sim 3.50)\mu\text{m}$ (图1-C2~3);大型分生孢子数量少,

无色,多胞,镰刀形或新月形,略弯曲,两端细胞稍尖,大小 $(20.80\sim 38.40)\mu\text{m}\times(2.40\sim 4.60)\mu\text{m}$ (图1-C4);厚垣孢子淡黄色,近球形,单生或串生,直径 $3.4\sim 6.7\mu\text{m}$ (图1-C3)。

2.2 致病性分析

致病性测定结果显示,分离到的13株代表性菌株接种7 d后均可使离体姜块发病,而对照组姜块无发病症状。根据柯赫氏法则,从发病组织再次分离病原菌,比较分离菌株与原接种菌株的菌落形态等特征,表明13株代表性菌株均是生姜茎基腐病的致病菌。其中XS1-S1、CY1-T1分别是形态组I、形态组II中致病力最强的菌株(图2)。菌株XS1-S1回接到离体块茎3 d后可引起表面褐变、水渍状腐烂,7 d后发展为深褐色腐烂并伴有脓状物,此为腐霉菌侵染的典型症状之一;菌株CY1-T1接种后可导致接种点褐变、软腐,但无脓状物流出。因此,选择XS1-S1与CY1-T1作为强致病菌株进行药剂筛选试验。



图2 接种菌株XS1-S1、CY1-T1后7 d离体姜块的症状

Fig. 2 Symptoms of the detached ginger pieces 7 days after inoculation with the strains XS1-S1 and CY1-T1

2.3 分子生物学鉴定

基于rDNA-ITS序列构建的系统发育树如图3所示,形态组I的7株代表性菌株与群结腐霉(*P. myriotylum*)遗传距离接近,聚集于一支;形态组II的5株代表性菌株与腐皮镰刀菌(*F. solani*)属于同一分支,序列同源性介于99%~100%;而菌株AQ1-S6(形态组III)与尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)聚集于一支,同源性为99%。结合形态学特征,最终确定引发潍坊地区生姜茎基腐病的病原菌为群结腐霉、腐皮镰刀菌和尖孢镰刀菌。

2.4 病原菌的室内毒力测定

一般而言,EC₅₀值越低,代表药剂对病原菌的毒力越强。对筛选出的XS1-S1与CY1-T1菌株进行

室内毒力测定,结果如表3所示。2种致病菌对供试药剂的敏感性存在明显差异。各供试药剂对群结腐霉XS1-S1的抑制效果依次为精甲霜灵>福美双>噁霉灵>咪鲜胺>吡唑醚菌酯>甲基硫菌灵>啞菌酯,而多菌灵、戊唑醇、咯菌腈对群结腐霉未表现出抑菌活性;对腐皮镰刀菌CY1-T1的抑制效果依次为咪鲜胺>多菌灵>戊唑醇>甲基硫菌灵>福美双>噁霉灵>吡唑醚菌酯,而精甲霜灵、咯菌腈、啞菌酯未表现出抑菌活性。综上,腐霉型生姜茎基腐病的首选防治药剂为精甲霜灵,其EC₅₀值为 $1.119\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,次选药剂为福美双,其EC₅₀值为 $8.806\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;防治镰刀菌型生姜茎基腐病首选咪鲜胺,其EC₅₀值为 $0.287\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其次是多菌灵和戊唑

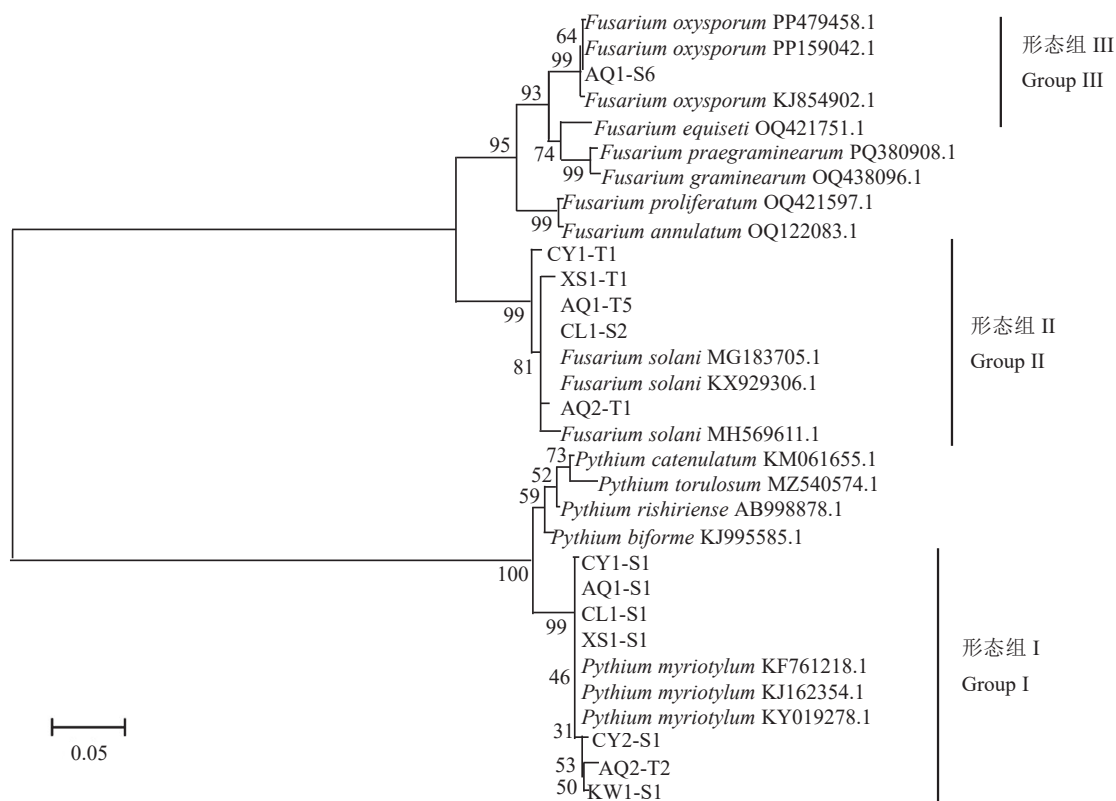


图 3 基于 rDNA-ITS 序列构建的代表性菌株的系统发育树
Fig. 3 Phylogenetic tree of representative strains constructed based on rDNA-ITS sequences

表 3 10 种供试药剂对 2 种致病菌的室内毒力测定结果
Table 3 Results of *in vitro* toxicity tests of 10 test fungicides on two pathogens

病原菌 Pathogen	药剂 Fungicide	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)
群结腐霉 <i>P. myriotylum</i> (XS1-S1)	精甲霜灵 Metalaxyl-M	$y=4.927+1.502x$	0.949	1.119
	噁霉灵 Hymexazol	$y=1.554+2.181x$	0.899	38.025
	多菌灵 Carbendazim			
	咪鲜胺 Prochloraz	$y=4.039+0.367x$	0.885	415.539
	戊唑醇 Tebuconazole			
	福美双 Thiram	$y=2.744+2.388x$	0.988	8.806
	甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	$y=-4.182+2.980x$	0.933	1 205.570
	咯菌腈 Fludioxonil			
	啶菌酯 Azoxystrobin	$y=1.473+0.901x$	0.999	8 212.475
	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	$y=3.929+0.384x$	0.947	619.401
腐皮镰刀菌 <i>F. solani</i> (CY1-T1)	精甲霜灵 Metalaxyl-M			
	噁霉灵 Hymexazol	$y=2.495+0.883x$	0.937	684.684
	多菌灵 Carbendazim	$y=4.868+1.390x$	0.935	1.245
	咪鲜胺 Prochloraz	$y=5.572+1.055x$	0.972	0.287
	戊唑醇 Tebuconazole	$y=4.592+0.812x$	0.972	3.179
	福美双 Thiram	$y=2.339+1.279x$	0.978	120.486
	甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	$y=1.785+2.250x$	0.924	26.859
	咯菌腈 Fludioxonil			
	啶菌酯 Azoxystrobin			
	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	$y=3.728+0.347x$	0.979	4 681.459

醇,EC₅₀值分别为1.245、3.179 mg·L⁻¹。

3 讨论与结论

本研究明确了潍坊地区生姜茎基腐病的病原组成:群结腐霉(*P. myriotylum*)和腐皮镰刀菌(*F. solani*)是主要病原,尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)为偶见病原,其中群结腐霉分离频率更高且致病力更强,为绝对优势致病菌。该结果与国内现有研究普遍认为的群结腐霉是优势致病菌的结论相符^[7, 16-17]。然而,对比胡鲜梅^[8]早期在安丘地区的研究结果,发现当地生姜茎基腐病病原菌种类与组成已发生明显变化:以往报道的刺腐霉(*P. spinosum*)和林栖腐霉(*P. sylvaticum*)均未分离到,而腐皮镰刀菌和尖孢镰刀菌则成为新的致病菌。这一变化极可能与当地长期的种植制度调整、气候条件变化以及杀菌剂的定向选择压力密切相关。

生姜茎基腐病作为典型的土传病害,化学防治仍是当前最主要的防控手段,可现有药剂筛选几乎全部集中于优势病原菌群结腐霉上,对腐皮镰刀菌等其他致病菌的防治研究仍处于空白。本研究通过室内抑菌试验为不同致病菌提供了化学防治依据。针对群结腐霉,本研究结果表明精甲霜灵的抑菌效果最为突出,这与崔馨方^[16]的研究结果一致,进一步证实了苯基酰胺类杀菌剂对群结腐霉的高效防控价值。但噁霉灵在本研究中的抑菌效果明显弱于陈美云^[17]、元菊丹等^[18]的报道,推测可能与病原菌抗药性演化或菌株敏感性地域差异有关,因此在实际生产中,需警惕噁霉灵的长期单一施用,避免病原菌抗性进一步加剧。另外,腐皮镰刀菌虽致病力不及群结腐霉,但其在适宜环境条件下可能会发展成为主要致病菌。基于此,本研究首次筛选出咪鲜胺、多菌灵和戊唑醇3种高效防控药剂,这些药剂的作用机制各异,可有效填补当前镰刀菌型生姜茎基腐病防治手段的空白。当然本研究也存在一定局限性,药剂筛选结果主要基于室内毒力测定,而药剂的田间防效会受到土壤类型、施药方式、环境气候等多重因素影响,因此后续需进一步开展田间药效试验,验证供试药剂的实际防效,同时探索科学的复配用药与轮换用药策略。

综上,潍坊地区生姜茎基腐病由群结腐霉、腐皮镰刀菌和尖孢镰刀菌共同侵染引发,前两者为主

要致病菌。相较于早期的研究,当地病原菌种类及组成已发生明显演替,呈现腐霉菌与镰刀菌复合侵染的发病特征。室内毒力测定表明,精甲霜灵、福美双对群结腐霉抑菌效果优异,咪鲜胺、多菌灵、戊唑醇对腐皮镰刀菌抑制作用较好,推荐将精甲霜灵、咪鲜胺分别作为群结腐霉、腐皮镰刀菌的首选防治药剂,为当地生姜茎基腐病的精准化学防控提供科学依据。

参考文献

- [1] 吴曼,赵帮宏,宗义湘.世界生姜生产布局与贸易格局分析[J].北方园艺,2019(10):41-150.
- [2] 张兆静.潍坊大姜优质高效栽培和全流程管理技术的应用研究[J].种子世界,2025(3):54-56.
- [3] 石娜娜,袁成磊.潍坊生姜茎基腐病拮抗菌株筛选及鉴定[J].潍坊工程职业学院学报,2022,35(5):84-89.
- [4] 师慧娟.生姜茎基腐病病原微生物的致病机理及抗病效果研究[D].济南:济南大学,2023.
- [5] Shanmugam V, Thakur H, Kaur J, et al. Genetic diversity of *Fusarium* spp. inciting rhizome rot of ginger and its management by PGPR consortium in the western Himalayas[J]. Biological Control, 2013, 66(1):1-7.
- [6] Shanmugam V, Gupta S, Dohroo N P. Selection of a compatible biocontrol strain mixture based on co-cultivation to control rhizome rot of ginger[J]. Crop Protection, 2013(43):119-127.
- [7] 元菊丹.山东生姜茎基腐病病原鉴定及防治研究[D].山东济宁:曲阜师范大学,2011.
- [8] 胡鲜梅.生姜茎基腐病病原菌的鉴定与防治[D].山东泰安:山东农业大学,2017.
- [9] 刘成才.川渝地区生姜茎基腐病病原鉴定与种苗脱毒&快繁技术研究[D].四川绵阳:西南科技大学,2022.
- [10] 方中达.植物研究方法[M].3版.北京:中国农业出版社,1998.
- [11] 慕立义.植物化学保护研究方法[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [12] 檀根甲,祝建平.杀菌剂生物测定计算方法及应用[J].安徽农学通报,1998(1):28-29.
- [13] 余永年.中国真菌志·第六卷·霜霉目[M].北京:科学出版社,1998.
- [14] 王拱辰.常见镰刀菌鉴定指南[M].北京:中国农业科技出版社,1996.
- [15] 赵志慧.中国禾本科作物上镰孢菌属真菌分类的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2008.
- [16] 崔馨方.德里腐霉的 LAMP 检测和群结腐霉对药剂的敏感性[D].南京:南京农业大学,2021.
- [17] 陈美云.防控生姜茎基腐病的生防菌与杀菌剂协同施用研究[D].山东泰安:山东农业大学,2019.
- [18] 元菊丹,冯凯,齐军山,等.13种杀菌剂对生姜腐霉茎基腐病菌的毒力测定[J].农药,2011,50(8):617-619.