

杨峰,朱言杰,凌焕贵,等.芋头贮藏期腐烂病原菌的鉴定、生物学特性及防治药剂筛选[J].江苏农业科学,2024,52(1):117-122.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.017

芋头贮藏期腐烂病原菌的鉴定、生物学特性 及防治药剂筛选

杨峰¹,朱言杰¹,凌焕贵¹,陈莹¹,蔺冬梅¹,沈迎春³,盛桂林³,陈宸^{1,2},陈夕军^{1,2}

(1.扬州大学植物保护学院,江苏扬州 225009; 2.教育部农业与农产品安全国际合作联合实验室,江苏扬州 225009;

3.江苏省农药总站,江苏南京 210036)

摘要:贮藏期腐烂病是芋头上发生的一种病害,严重影响芋头的产量和品质,给芋头生产造成极大的损失。为明确芋头贮藏期腐烂病原菌种类,研究其病原菌的生物学特性,以及筛选适于防治芋头贮藏期腐烂病的药剂,作者从江苏省南通市采集病样,利用组织分离法获得病原菌,采用形态学及分子生物学手段鉴定其病原菌种类,对该病原菌在不同培养基、温度和 pH 值等条件下的生物学特性进行研究,并通过生长速率法测定 7 种杀菌剂对该病原菌的室内毒力。结果显示,南通市芋头贮藏期腐烂病原菌为芋疫霉(*Phytophthora colocasiae*)。生物学特性研究表明,该病原菌最适生长条件为 V8 培养基, pH 值为 5, 温度为 25~30℃。7 种杀菌剂室内毒力测定结果表明,双炔酰菌胺、甲霜灵、烯酰吗啉和氟吗啉对芋疫霉菌丝生长具有较好的抑制效果,其 EC₅₀ 值分别为 0.007 2、0.092 2、0.120 0、0.677 8 μg/mL, 其他 3 种霜脲氰、氟啶胺、丙森锌的抑菌效果较差, EC₅₀ 值分别为 6.985 0、22.347 3、52.519 3 μg/mL。本研究结果可为芋头腐烂病的防治提供参考。

关键词:病原鉴定;生物学特性;药剂筛选;芋疫霉;芋头;贮藏期腐烂病

中图分类号:S182;S632.309⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0117-06

芋(*Colocasia esculenta*)属于天南星科芋属植物,其块茎富含维生素、膳食纤维、淀粉、非淀粉多糖等功能成分,是非洲、亚洲和拉丁美洲热带地区的重要粮食作物^[1-2]。我国是芋主产国之一,总产量基本位居世界第二^[3-4]。芋在我国以珠江流域栽培最多,长江流域次之^[5]。芋在生长过程中常受到病害的侵袭,如芋疫病、炭疽病、污斑病、软腐病、细菌性斑点病等,发病田块病株率一般为 30%~50%,严重时可达 100%。这些病害的发生严重影响芋的产量,造成巨大的经济损失^[6]。芋头于每年 10—11 月采收并贮藏,以便长期满足市场需求,而芋头在贮藏过程中易造成伤口,加上贮藏环境湿度大,容易引起病原菌的感染,从而引起芋头腐烂,严

重影响芋头的品质。目前发现引起芋头贮藏期腐烂病的病原有腐霉属(*Pythium* spp.)、尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、欧文氏菌属(*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* / *E. chrysanthemi*)和果胶杆菌属细菌(*Pectobacterium aroidearum*)^[7-10],而对于该病害防治主要依靠化学药剂和抗生素,如代森铵、次氯酸盐和农用链霉素等^[11]。

2019 年,江苏南通农户在芋头贮藏过程中发现其块茎腐烂。为明确引起芋头贮藏期腐烂病的原因,利用组织分离法分离获得病原菌,结合形态学及分子生物学手段鉴定病原菌种类,对该病原菌在不同温度、pH 值和培养基等条件下的生物学特性进行研究,并测定 7 种杀菌剂对病原菌的室内毒力,以期对芋头贮藏期腐烂病的有效防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 病原菌的分离、鉴定

2019 年 12 月,从江苏省南通市芋生产与贮藏试验点采集发病的芋块茎,在扬州大学植物病理学实验室利用组织分离法分离病原物^[12]。首先将病

收稿日期:2023-03-23

基金项目:江苏省现代农业产业技术体系建设专项[编号:JATS(2021)338];扬州大学创新培育基金(编号:135030485)。

作者简介:杨峰(1993—),男,江苏响水人,硕士研究生,从事蔬菜病害防治研究。E-mail:502634646@qq.com。

通信作者:陈宸,博士,讲师,从事植物病害致病机制及防控研究, E-mail:chenc@yzu.edu.cn;陈夕军,博士,副教授,从事植物病害致病机制及防控研究, E-mail:xjchen@yzu.edu.cn。

部冲洗干净,于超净工作台中用无菌刀片取病健交界处组织,用浓度为 10% 的次氯酸钠溶液消毒 20 ~ 30 s;消毒后的组织立即用无菌水漂洗 3 次,用无菌滤纸吸干组织表面的水分,再将组织移至含 0.3% 乳酸的马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基上,密封后置于 25 ℃ 恒温培养箱中倒置培养。待菌丝长出后,用挑针挑取菌落边缘丝转移至 V8 培养基斜面,待菌丝长满斜面后置于 10 ℃ 冰箱保存。

1.2 致病性测定

选取健康的芋头,清洗后去除接种部位绒毛,用小刀轻轻削破表皮作为接种处。菌株利用 V8 培养基培养病原菌 3 d 后,取菌落边缘直径 8 mm 的菌饼覆盖于接种处,以无菌 V8 培养基为对照,每个处理设置 3 次重复。每天观察芋头发病情况。

1.3 病原菌形态学鉴定

将菌株接种于 V8 培养基平板,25 ℃ 全黑暗条件下培养 5 d。培养期间观察并记录菌株的形态特征,对菌落形态、菌丝形态、孢子囊等特征进行肉眼与显微观察。

1.4 病原菌分子生物学鉴定和系统发育分析

将病原菌置于 25 ℃ 恒温培养箱中培养 2 d,在菌落边缘用打孔器取直径 8 mm 的菌块,接种至 PDB 培养液,于 25 ℃ 恒温摇床中以 180 r/min 培养 36 ~ 48 h。按北京索莱宝科技有限公司真菌基因组 DNA 提取试剂盒操作步骤提取菌株基因组 DNA。以菌株基因组 DNA 为模板扩增内转录间隔区基因片段(internally transcribed spacer, ITS),供试引物为 ITS4(5′-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3′),ITS5(5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3′)。扩增产物经回收、纯化后,连接至 pMD19-T 载体,转化大肠杆菌 DH5 α 菌株,阳性克隆子送生工生物工程(上海)股份有限公司测序。测序结果利用 NCBI 数据库进行比对^[13],并使用 Phylosuite 软件,采用贝叶斯法(Bayesian inference, BI)构建系统发育树。

1.5 病原菌生物学特性研究

1.5.1 不同培养基对病原菌菌丝生长的影响 培养基选用 V8 培养基、PDA 马铃薯葡萄糖琼脂培养基^[14]、PSA 马铃薯蔗糖琼脂培养基^[15]、CMA 玉米粉琼脂培养基^[16]、察氏固体培养基^[17],还有自制芋头培养基(芋头 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 15 ~ 20 g、水 1 000 mL)。在培养基平板中央接种直径 8 mm 的菌饼,25 ℃ 暗培养 5 d,每个处理 3 次重复,用十字交叉法测量菌落直径。

表 1 用于系统发育分析的参考菌株及其 ITS 基因的基因库登录号

物种名称	菌株编号	ITS 的基因库登录号
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	CBS144.22	AY684914.1
<i>P. parasitica</i>		AY684915.1
<i>P. cryptogea</i>		AY745749.1
<i>P. quercina</i>	ATCC MYA-4084	FJ196748.1
<i>P. primulae</i>	ATCC MYA-4221	FJ196754.1
<i>P. hydropathica</i>	ATCC MYA-4461	FJ196761.1
<i>P. thermophila</i>	IMI329666	EU301152.2
<i>Pythium catenulatum</i>	PPRI9011	FJ415899.1
<i>P. infestans</i>	12062A1340	GU258560.1
<i>P. syringae</i>	6694D1083	GU259346.1
<i>P. lateralis</i>	7424D1222	GU259350.1
<i>P. meadii</i>	7493D1329	GU259352.1
<i>P. tropicalis</i>	10379B1476	GU259391.1
<i>P. capsici</i>	1037C1472	GU259434.1
<i>P. humicola</i>	6701A244	GU259464.1
<i>P. pseudosyringae</i>	16354D1270	GU259470.1
<i>P. erythroseptica</i>	3454B568	GU259477.1
<i>P. asparagi</i>	3698B697	GU259482.1
<i>P. boehmeriae</i>	3880D649	GU259489.1
<i>P. cambivora</i>	6360A418	GU259493.1
<i>P. megasperma</i>	6820A437	GU259494.1
<i>P. gonapodyides</i>	7006B583	GU259498.1
<i>P. multivesiculata</i>	7193A265	GU259499.1
<i>P. heveae</i>	1717B821	GU259515.1
<i>P. drechsleri</i>	TDARES65	HQ717146.1
<i>P. colcasiae</i>		JN661138.1
<i>P. colcasiae</i>	CTCRI-PC 45	KY200562.2
<i>P. palmivora</i>	YLJE0112	MH778536.1
<i>P. cactorum</i>		EU044728.2
<i>P. colcasiae</i>		MZ407603.1

1.5.2 pH 值对病原菌菌丝生长的影响 用 1 mol/L HCl 溶液和 1 mol/L NaOH 溶液将 V8 培养基 pH 值分别调整至 3 ~ 10^[18]。在培养基平板中央接种直径 8 mm 的菌饼,25 ℃ 暗培养 5 d,每个处理 3 次重复,用十字交叉法测量菌落直径。

1.5.3 温度对病原菌菌丝生长的影响 将直径 8 mm 的菌饼接入 V8 培养基,分别移入 10、15、20、25、30、35 ℃ 的生化培养箱中进行培养^[19],培养 5 d,每个处理 3 次重复,十字交叉法测量菌落直径。

1.6 防治药剂室内毒力测定

供试药剂为 98% 甲霜灵原药(浙江禾本科技股份有限公司)、98% 烯酰吗啉原药(江苏辉丰生物农业股份有限公司)、96% 霜脲氰原药(美国杜邦公

司)、23.4% 双炔酰菌胺悬浮剂(先正达南通作物保护有限公司)、30% 氟吗啉悬浮剂(沈阳科创化学品有限公司)、500 g/L 氟啶胺悬浮剂(江西禾益化工股份有限公司)、70% 丙森锌可湿性粉剂(拜耳股份公司)。

配制成为不同浓度的含药 V8 培养基,以不含药剂的 V8 培养基作为对照,在培养基平板中央接种直径 8 mm 的菌饼,25 °C 暗培养 6 d,每个处理 3 次重复,十字交叉法测量菌落直径,计算抑制率,将抑制率转换成概率值,作为因变量(y),以处理药剂浓度的对数值为自变量(x),得出毒力回归方程。

$$I = \frac{D_c - D_t}{D_c - 8 \text{ mm}} \times 100\% ;$$

式中: I 表示菌落生长抑制率; D_c 表示对照菌落直径; D_t 表示处理菌落直径。

$$y = a + bx。$$

式中: y 表示抑制概率值; x 表示药剂浓度对数。

1.7 数据分析

利用 Excel 软件和 DPS 数据处理软件进行数据的统计分析,采用 Duncan's 新复极差法(DMRT)进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 芋头贮藏期腐烂病症状、病原分离及科赫法则验证

芋头贮藏期腐烂病发病块茎症状主要表现为干腐和湿腐:若位于芋堆表层,或通风条件较好的情况下,发病块茎主要表现为干腐(图 1-A);若位于芋堆下层,或通风条件不良,湿度大,则主要表现为湿腐(图 1-B)。切开病芋,可见病健交界处明显,块茎内病部大多见红褐色木质化部分(图 1-C、图 1-D)。病部无恶臭。

通过组织分离法和单孢分离法分离纯化共获

得 12 株菌株,之后取优势菌株中的 1 株,命名为 NT-1,并利用菌饼对健康的芋头进行科赫法则验证。结果表明,NT-1 菌株可侵染芋头块茎,且症状与自然发病的症状基本一致(图 1-E、图 1-F)。

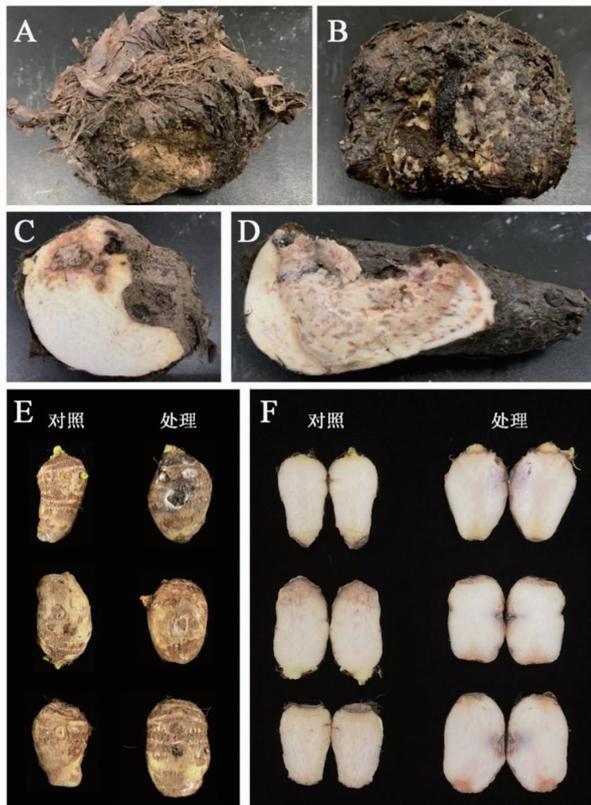


图 1 芋头贮藏期腐烂病症状及病原菌科赫法则验证结果

2.2 病原菌的形态学鉴定

NT-1 菌株在 V8 平板上菌落为白色圆形,边缘整齐,菌丝较为稀疏,气生菌丝较少,为无隔菌丝(图 2-A、图 2-B),并产生大量孢子囊。孢子囊长卵形或椭圆形,基部圆形,有明显的乳突(图 2-C)。



图 2 芋头贮藏期腐烂病病原菌菌株 NT-1 的形态学特征

图 2 芋头贮藏期腐烂病病原菌菌株 NT-1 的形态学特征

2.3 病原菌的分子生物学鉴定

通过对 NT-1 菌株 ITS 序列的扩增和测序, 获得长度为 869 bp 的序列。将序列信息上传至 NCBI 数据库, 获得 NCBI 登录号为 MZ407603. 1, 并利用该序列进行建树分析。结果表明, NT-1 菌株与芋

疫霉 (*Phytophthora colocasiae*) 的 3 个菌株聚为 1 支, 自展值为 100 (图 3)。结合形态学和分子生物学鉴定结果, 明确芋贮藏期腐烂病病原菌为芋疫霉 (*P. colocasiae*)。

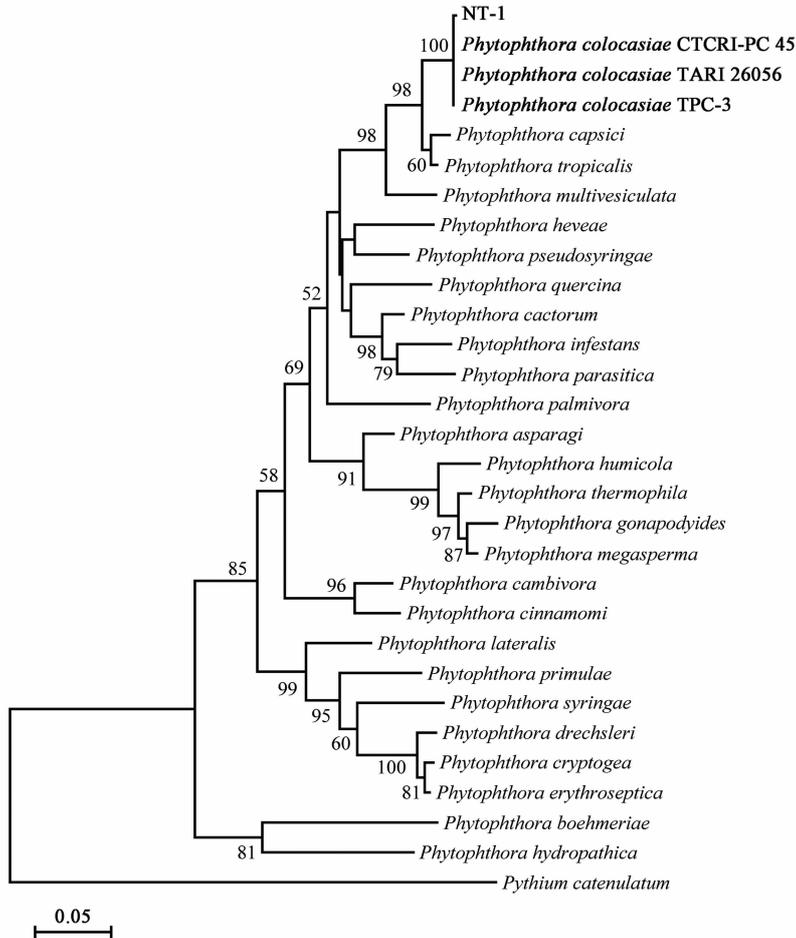
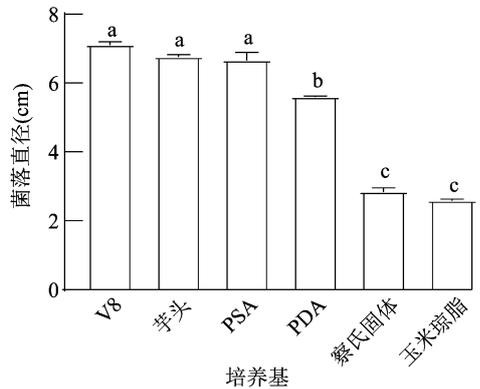


图3 基于 ITS 序列构建的疫霉属系统进化树

2.4 病原菌的生物学特性研究

2.4.1 不同培养基对芋疫霉 NT-1 菌株生长的影响 由图 4 可知, NT-1 菌株在 6 种培养基上均可生长, 其中在 V8 培养基、芋头培养基和 PSA 培养基中菌落直径最大, 其次是 PDA 培养基, 而在察氏固体培养基和玉米琼脂培养基中直径最小。因此, 芋疫霉 NT-1 菌株的最适培养基为 V8 培养基、芋头培养基和 PSA 培养基。



柱上不同小写字母表示不同培养基处理间差异显著 ($P < 0.05$)
图4 不同培养基对芋疫霉 NT-1 菌株菌丝生长的影响

2.4.2 pH 值对芋疫霉 NT-1 菌株生长的影响 由图 5 可知, 芋疫霉 NT-1 菌株在 pH 值 3 ~ 10 的条件下都能生长。当 pH 值为 3 ~ 5 时, 菌丝生长速率呈上升趋势, 而 pH 值为 6 ~ 10 时菌丝生长速率呈下降趋势。结果表明, 芋疫霉 NT-1 菌株适宜生长 pH 值范围较广, 其最适生长 pH 值为 5。

2.4.3 温度对芋疫霉 NT-1 菌株生长的影响 由图 6 可知, 芋疫霉 NT-1 菌株在 15 ~ 30 °C 之间均可生长, 菌丝生长呈上升趋势; 温度为 10、35 °C 时,

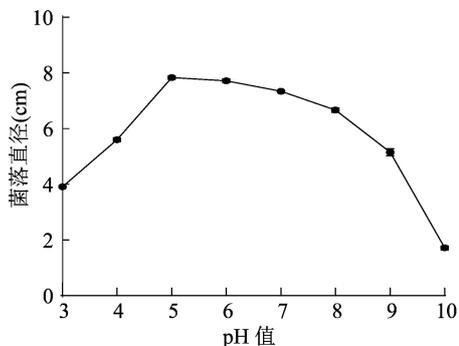


图5 pH 值对芋疫霉 NT-1 菌株菌丝生长的影响

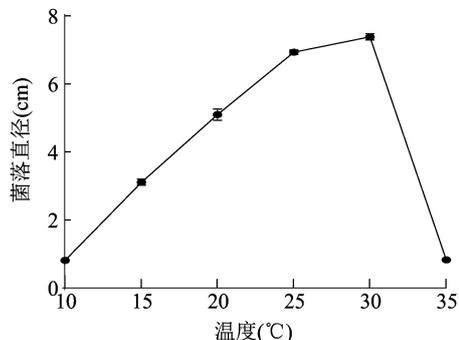


图6 温度对芋疫霉 NT-1 菌株菌丝生长的影响

菌丝的生长明显受到抑制;25、30 °C 时菌落直径相差不多,差异不显著。结果表明,芋疫霉 NT-1 菌株菌丝最适生长温度为 25~30 °C。

2.5 7 种常用药剂对芋疫霉 NT-1 菌株的室内毒力测定

供试的 7 种杀菌剂对芋疫霉 NT-1 菌株菌丝生长均有不同程度的抑制效果。其中双炔酰菌胺毒力最强,其 EC_{50} 值为 0.007 2 $\mu\text{g}/\text{mL}$;其次为甲霜灵、烯酰吗啉和氟吗啉, EC_{50} 值分别为 0.092 2、0.120 0、0.677 8 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。其他 3 种药剂对芋疫霉 NT-1 菌株菌丝生长的抑制作用为霜脲氰 > 氟啶胺 > 丙森锌,其 EC_{50} 值为 6.985 0~52.519 3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (表 2)。

表 2 7 种杀菌剂对芋疫霉 NT-1 菌株的室内毒力测定

药剂名称	毒力回归方程	r^2	EC_{50} 值 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
双炔酰菌胺	$y = 11.297 0 + 2.936 9x$	0.975 3	0.007 2
甲霜灵	$y = 6.554 0 + 1.500 8x$	0.978 4	0.092 2
烯酰吗啉	$y = 6.827 7 + 1.985 0x$	0.938 3	0.120 0
氟吗啉	$y = 5.574 2 + 3.399 5x$	0.981 3	0.677 8
霜脲氰	$y = 3.479 1 + 1.801 7x$	0.998 8	6.985 0
氟啶胺	$y = 4.207 5 + 0.587 4x$	0.956 3	22.347 3
丙森锌	$y = 2.253 4 + 1.404 7x$	0.996 7	52.519 3

3 讨论

贮藏期腐烂病发生于收获后的芋头块茎,该病害严重影响芋头的品质,造成经济损失。目前已报道的能引起芋头块茎腐烂的病原菌有腐霉属、尖孢镰刀菌、欧文氏菌属和果胶杆菌属细菌^[7-10]。本研究从江苏省南通市芋头贮藏期腐烂病病样中分离病原菌,结合形态学特征和系统发育分析结果,明确了引起该病害的病原菌为芋疫霉(*P. colocasiae*)。由芋疫霉引起的芋疫病是芋头生产中最具破坏性的病害,可危害生长过程中芋的叶片、叶柄和球茎,发生严重时造成大量叶片腐烂和植株枯死^[20-25],而由芋疫霉引起的芋头贮藏期腐烂病则是本研究首次报道并证实的。

植物病原真菌最适生长的营养条件可利用含不同碳源或氮源的培养基进行测定^[21-24],而疫霉属病原菌最适营养条件的确定需要配制不同类型的培养基。例如张世才等利用选择性燕麦培养基(OMA)分离和培养辣椒疫霉(*P. capsici*),并观察该病原菌在 PDA 培养基、胡萝卜培养基、V8 培养基和 OMA 培养基上的生长速度和产孢情况^[14];卢昕等利用 CMA 培养基培养棕榈疫霉(*P. palmivora*),并测量该病原菌在 V8 培养基、CMA 培养基和 CA 培养基等 8 种培养基上的生长速度^[25];邹芬等同样利用 V8 培养基分离和培养了芋疫霉,并观察该病原菌在 V8 培养基上的菌丝和孢子形态^[26]。本试验利用 5 种已报道的培养基和自制芋头培养基测定芋疫霉的生物学特性,其中病原菌在 V8 培养基中生长最好。

病原菌生物学特性指标也包括菌丝生长的最适温度和 pH 值^[27]。叶泉清等测定芋疫霉菌丝生长最适温度为 25 °C^[28],赵雁等测定棕榈疫霉和恶疫霉生长的最适 pH 值均为 5^[18,25],翁琳琳等测定芋疫霉在 V8 培养基上的最适产毒条件 pH 值为 6^[29]。本研究测定的芋疫霉 NT-1 菌株最适温度为 25~30 °C,最适生长 pH 值为 5,这可能是由于病原菌种类不同以及同种病原菌来源不同导致其最适生长条件存在差异。

前人研究发现,双炔酰菌胺对芋疫霉菌丝的抑制作用最强,其 EC_{50} 值为 0.006 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ^[26],在田间以 40~45 mL/667 m^2 用量施用双炔酰菌胺有较好的防效^[30-31]。甲霜灵在芋疫病上使用多年,当浓度为 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时已经出现抗性菌株^[32],现多与其他药剂组成复配剂使用。烯酰吗啉对卵菌有特效,同时因其对菌抑制作用强,且与甲霜灵等苯酰胺类杀

菌剂无交互抗性而受到重视^[12]。本研究中双炔酰菌胺对芋疫霉 NT-1 菌株 EC₅₀ 值为 0.007 2 μg/mL, 与邹芬等的研究结果^[26] 基本一致; 在前人研究中甲霜灵的复配剂如甲霜·霜脲氰和甲霜灵·锰锌在田间防治芋疫病都具有较好的效果^[30-31]。本研究测定的烯酰吗啉 EC₅₀ 值 (0.120 0 μg/mL) 与崔晓岚等研究结果中烯酰吗啉对辣椒疫霉的 EC₅₀ 值^[33] 和邹芬等测定烯酰吗啉对芋疫霉菌的 EC₅₀ 值^[26] 亦相差不大。以上研究结果可为芋头贮藏期腐烂病的防治提供参考。

4 结论

本研究明确江苏南通芋头贮藏期腐烂病病原菌为芋疫霉, 该病原菌最适生长条件为 V8 培养基, 25~30 ℃, pH 值为 5。7 种用于室内毒力测定的杀菌剂中, 双炔酰菌胺、甲霜灵、烯酰吗啉和氟吗啉抑菌效果较好。本研究结果可为芋头贮藏期腐烂病的防治提供理论依据。

参考文献:

- [1] He X L, Miyasaka S C, Fitch M M M, et al. Taro (*Colocasia esculenta*) transformed with a wheat oxalate oxidase gene for improved resistance to taro pathogen *Phytophthora colocasiae* [J]. HortScience, 2013, 48(1): 22-27.
- [2] Tomas Z, Said E S A A. Survey of taro leaf blight and identification of the causative agent in Southern Ethiopia Region [J]. Advances in Crop Science and Technology, 2020, 8(1): 1000436.
- [3] 向华, 吴曼, 胡志山, 等. 世界芋头生产布局与贸易格局分析 [J]. 世界农业, 2018(10): 144-150.
- [4] 常蕾, 汪翔. 世界芋头产业发展现状综述 [J]. 现代农业科技, 2019(2): 57-59.
- [5] Banjaw D T. Review of taro (*Colocasia esculenta*) genetics and breeding [J]. Journal of Horticulture, 2017, 4(1): 1-4.
- [6] 吴通礼. 芋头常见病害的识别及综合防治技术 [J]. 江西农业, 2012(3): 40-41.
- [7] Jackson G V H, Gollifer D E. Disease and pest problems of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) in the British Solomon Islands [J]. Pest Articles & News Summaries, 1975, 21(1): 45-53.
- [8] Nishimura N, Kudo K. *Fusarium oxysporum* f. sp. *colocasiae* n. f. sp. causing dry rot of taro (*Colocasia esculenta*) [J]. Japanese Journal of Phytopathology, 1994, 60(4): 448-453.
- [9] 赵江涛, 赵延存, 黄开红, 等. 芋头软腐病拮抗菌的筛选及生防效果研究 [J]. 食品科学, 2014, 35(7): 155-159.
- [10] 王东坤, 曹守涛, 李艺池, 等. 即墨白庙芋头软腐病病原菌鉴定 [J]. 植物病理学报, 2023, 53(4): 739-742.
- [11] 陈利锋, 徐敬友. 农业植物病理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 300-303.
- [12] 焦彬彬, 刘劼, 宋绍祚, 等. 进境美国柚子中冬生疫霉的分离鉴定 [J]. 植物病理学报, 2017, 47(4): 433-439.
- [13] 周清平, 胡汉桥, 梁钾贤, 等. 芋疫病抗病性鉴定及药剂筛选 [J]. 湖北植保, 2012(5): 27-30.
- [14] 张世才, 熊艳, 黄任中, 等. 重庆地区辣椒疫霉菌的分离培养及生理小种鉴定 [J]. 植物保护, 2015, 41(3): 183-187.
- [15] 孙璘, 海艳, 唐晓雪, 等. 新疆棉花茎腐病的病原鉴定及其生物学特性研究 [J]. 棉花学报, 2021, 33(3): 235-246.
- [16] 姜喜铃, 丁万隆, 邢晓科. 不同培养基对兰科药用植物手参原球茎共生真菌的分离效果 [J]. 菌物学报, 2022, 41(6): 952-961.
- [17] 康润泽, 钱斯日古楞, 倪巍洪, 等. 土霉素菌渣降解菌的筛选及应用条件优化 [J]. 生物学杂志, 2022, 39(3): 83-87.
- [18] 赵雁, 赵永安. 梨树恶疫霉的生物学特性研究 [J]. 中国果树, 2002(6): 8-11.
- [19] 沈会芳, 林壁润, 孙光明, 等. 海南菠萝心腐病菌烟草疫霉的生物学特性研究 [J]. 广东农业科学, 2014, 41(2): 92-94, 237.
- [20] 王荣波, 陈姝樽, 赵玉梅, 等. 芋疫霉重组聚合酶扩增结合侧流层析试纸条快速检测方法的建立及应用 [J]. 植物保护学报, 2022, 49(6): 1654-1662.
- [21] 朱祎一, 文安燕, 王琴, 等. 贵州望谟板栗冷藏期致腐真菌鉴定及其生物学特性研究 [J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 113-120.
- [22] 李玲, 孙文松, 张天静, 等. 辽细辛菌核病拮抗菌的鉴定及生物学特性研究 [J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(5): 558-563, 579.
- [23] 黎肇家, 李汶晋, 毛跃彦, 等. 栎树枝枯病病原菌鉴定及其生物学特性研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(9): 53-63.
- [24] 何宏涛, 王玉虎, 周洪友, 等. 番茄根际禾谷镰刀菌拮抗菌的鉴定及功能特性 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50(20): 143-149.
- [25] 卢昕, 李超萍, 裴月令, 等. 木薯疫霉根腐病病原初步鉴定及其生物学特性测定 [J]. 热带农业科学, 2014, 34(8): 59-62, 85.
- [26] 邹芬, 何烈干, 李湘民, 等. 江西槟榔芋疫病病原菌鉴定及室内药剂筛选 [J]. 植物保护, 2023, 49(1): 311-316.
- [27] 吴永官, 程亮, 康德贤, 等. 瓜类疫霉菌对烯酰吗啉的敏感性及其室内抗药突变体研究 [J]. 热带作物学报, 2016, 37(10): 1986-1991.
- [28] 叶泉清, 钟佳玲, 陈媚, 等. 槟榔芋疫霉菌生物学特性、致病力测定及田间防治药剂筛选 [J]. 南方农业学报, 2016, 47(4): 588-593.
- [29] 翁琳琳, 林丛发, 钟爱清, 等. 福鼎芋疫霉菌产毒培养条件的筛选 [J]. 亚热带农业研究, 2013, 9(1): 24-28.
- [30] 蒋明, 张芳, 袁红银, 等. 几种药剂对芋头疫病的防治效果研究 [J]. 农业科技通讯, 2020(5): 97-100.
- [31] 赵庆阳, 李宇慧, 张武鸣, 等. 不同药剂对槟榔芋疫病的防效研究 [J]. 现代农业科技, 2019(22): 60, 64.
- [32] Adomako J, Kwoseh C, Moses E. Metalaxyl sensitivity and aggressiveness of phytophthora colocasiae isolates associated with taro leaf blight disease [J]. Journal of Plant Pathology, 2017, 99(1): 205-210.
- [33] 崔晓岚, 孟庆晓, 毕扬, 等. 辣椒疫霉对烯酰吗啉的敏感性基线及室内抗药突变体研究 [J]. 植物病理学报, 2009, 39(6): 630-637.