杨永青,高婧,杨志刚,等.番茄疫霉根腐病病原菌鉴定及药剂敏感性分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(5):11-19.
Yang Y Q, Gao J, Yang Z G,et al.Identification of the pathogens causing Phytophthora root rot of tomato and analysis of fungicides sensitivity[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(5):11-19.
**doi**: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202402008

# 番茄疫霉根腐病病原菌鉴定及药剂敏感性分析

杨永青[1],高婧[2],杨志刚[2],谭露露[3],党媛玥[2],贾晓清[1],刘燕[2*],李正男[4*]

(1.内蒙古自治区农牧业科学院 植物保护研究所,内蒙古 呼和浩特,010031;2.内蒙古自治区农牧业科学院 蔬菜花卉研究所,内蒙古 呼和浩特,010031;3.内蒙古大学 生命科学学院,内蒙古 呼和浩特,010021;4.内蒙古农业大学 园艺与植物保护学院,内蒙古 呼和浩特,010018)

**摘　要**:[目的]番茄是内蒙古自治区重要的优势特色蔬菜,近年来因连年重茬、种植品种单一,土传病害发生率增加,制约着番茄产业的健康发展。2021年8月在内蒙古呼和浩特地区番茄苗期出现了一种茎基部变黑、溢缩,纵切维管束褐变的症状,疑似根腐病,为了明确病原菌的种类并为科学防治提供依据,开展了病原菌鉴定及7种药剂的室内敏感性试验。[方法]通过采集20株发病植株,开展了组织分离及病原菌培养、形态学观察、分子生物学鉴定、生理小种鉴定,柯赫氏法则验证以及防治药剂筛选。[结果]从20份发病植株样本中分离得到10个分离株,菌落白色短绒毛状、光照诱导条件下可产生孢子囊,利用ITS测序并构建系统发育树确定其为辣椒疫霉菌;分离株能够侵染苗期番茄植株,产生疫霉根腐病的典型症状,与田间发病症状一致,验证了柯赫氏法则,说明其为番茄疫霉根腐病的病原菌,并且病原菌中2号生理小种占70%,其余为3号生理小种。此外,室内培养条件下7种常用杀菌剂对辣椒疫霉菌的菌丝生长均有抑制作用,其中烯酰吗啉、甲霜灵和嘧菌酯的抑制效果最好。[结论]侵染内蒙古呼和浩特地区番茄植株的辣椒疫霉菌以2号生理小种为主,2号生理小种的化学防治推荐使用烯酰吗啉、甲霜灵和嘧菌酯,使用药剂防治时注意轮换用药以延缓抗药性的产生。

**关键词**:番茄疫霉根腐病; 病原菌鉴定; 生理小种; 药剂敏感性
**中图分类号**:S436.412.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)05-0011-09

番茄(*Solanum lycopersicum*)是茄属重要的蔬菜作物,营养价值丰富,果菜兼用。据统计,2022年我国番茄种植面积约为111.3万公顷,设施番茄占比近60%,种植面积和产量均位居世界第一,占全球产量的1/3以上,其中番茄出口数量为16.25万吨,已成为国际番茄贸易的主要力量[1]。番茄疫霉根腐病是由辣椒疫霉(*Phytophthora capsici* Leonian)或寄生疫霉(*P. parasitca* Dast.)引起的一种发生迅猛的土传病害,植株染病到死亡仅7~15 d,是许多国家保护地和露地番茄的重要病害之一[2]。病原菌在苗期和成株期均可侵染导致番茄发病,以苗期与花果盛期为主[3],发病初期植株茎基部产生深褐色斑,病斑逐渐向上扩散,茎基部明显溢缩,根部及维管束均变为深褐色,主根变褐,侧根腐烂、不长新根[4-5]。辣椒疫霉菌于1922年被首次鉴定和描述,是一种毁灭性的植物病原菌[6-7],寄主广泛,葫芦科和茄科作物尤为容易感病[8]。病原菌在寄主根系或土壤中可存活超过15年,条件适宜时产生孢子囊和游动孢子侵染寄主植物[9],高温高湿利于发病,遇连阴天或浇水后不及时放风导致棚内湿度过高时发病严重[5]。1940年由辣椒疫霉菌导致的辣椒疫病在我国首次报道,对各省辣椒产业危害严重[10]。国内针对不同地区的辣椒疫病开展了病原学、生理小种构成、防治药剂筛选等研

**收稿日期**:2024-02-07　　**修回日期**:2024-03-10
**基金项目**:内蒙古农牧业青年创新基金项目(2022QNJJN10);2022年度自治区本级事业单位引进高层次人才科研支持项目;内蒙古自治区“揭榜挂帅”项目(2022JBGS0028)
**作者简介**:杨永青(ORCID:0000-0001-8478-5455),副研究员,博士,研究方向:植物病原真菌与寄主互作机制
*通信作者:刘燕(ORCID:0000-0003-1127-2741),副研究员,博士,E-mail:liuyannky@163.com
李正男(ORCID:0000-0003-3268-2096),教授,博士,E-mail:lizhengnan@imau.edu.cn

究。江西省辣椒疫病的优势病原菌为辣椒疫霉2号生理小种(97.2%),少量为3号生理小种(2.8%),暂未发现1号生理小种[11]。福建省分离的辣椒疫霉菌中生理小种3占56%,为优势小种;小种2占42%[12]。重庆、内蒙古地区分离鉴定的辣椒疫霉菌中生理小种3为优势种[13-14]。由此可见不同地区的辣椒疫霉菌的优势生理小种构成存在差异。针对番茄疫霉根腐病的研究相对较少,2006年对新疆加工番茄根腐病进行分离鉴定,确定辣椒疫霉菌(*P. capsici*)是造成加工番茄根腐的主要致病菌之一[15];2018-2019年,从江西省番茄主产区采集并鉴定的58株病原菌为辣椒疫霉菌[16]。然而对番茄疫霉根腐病病原菌的生理小种构成、防治药剂筛选的报道较少。本研究通过鉴定内蒙古地区番茄疫霉根腐病的病原菌,明确番茄疫霉根腐病的病原菌种类及生理小种构成,并对7种药剂的抑制效果进行了室内筛选,旨在为番茄疫霉根腐病的识别及防治提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

番茄种子:用于致病力测定的番茄种子,品种为918,由内蒙古自治区农牧业科学院蔬菜花卉研究所提供。

鉴别寄主:供试辣椒鉴别寄主Early Calwonder(感病品种)、PBC137(中抗品种)、PBC602(抗病品种)和PI201234(免疫品种),由亚洲蔬菜研究与发展中心王添成博士惠赠。

农药高纯试剂:98%多菌灵(carbendazim)、98%甲霜灵(Metalaxyl)、97%二硫化四甲基秋兰姆(Tetramethylthiuram disulfide)、98%吡唑醚菌酯(Pyraclostrobin)、98%烯酰吗啉(Dimethomorph)、98%嘧菌酯(Azoxystrobin)、97%代森锰锌(Mancozeb),购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司或上海麦克林生化科技股份有限公司。

生化试剂:马铃薯葡萄糖培养基(PDA)、马铃薯葡萄糖水(PDB),广东环凯微生物科技有限公司;胡萝卜培养基(CA)、10%V8混合蔬菜汁培养基(V8)、燕麦琼脂培养基(OMA)、绿豆培养基(含20 g绿豆粉)为实验室配制;真菌基因组DNA提取试剂盒、2×PCR Mix购自北京全式金生物科技有限公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 田间发病植株的采集

2021年8月在内蒙古自治区农牧业科学院蔬菜花卉研究所番茄育苗基地,出现了番茄幼苗茎基部变褐、缢缩,发病后5~7 d折倒死亡的病害,采集20份典型症状的植株,进行发病根部的观察及病原菌的分离培养。

1.2.2 病原菌的分离纯化

将采集的发病植株根部用无菌水冲洗,从病健交界处切下1~2 cm小块,无菌条件下用75%酒精表面消毒30 s,重复2次,再用无菌水清洗2次,置于PDA培养基上,同一发病植株接种6~8个组织块,25 ℃恒温培养。待组织块周围长出菌丝,从菌落边缘取少量菌丝转接于PDA培养基,连续纯化2~3次。

1.2.3 形态学观察

将纯培养的分离株分别接种于PDA、CA、10% V8、OMA、绿豆培养基上,25 ℃黑暗培养5~7 d,观察分离株在不同培养基上菌落形态。并将生长于CA培养基上的病原菌置于自然光下3 d诱导孢子囊产生,挑取少量菌丝在光学显微镜下观察各菌株的菌丝、孢子囊、游动孢子的形态特征。

1.2.4 分子生物学鉴定

将分离株接种于PDB中,25 ℃,150 r·min$^{-1}$振荡培养4~5 d,采用试剂盒提取基因组DNA。按照2×Taq PCR Master Mix 25.0 μL,DNA 2.0 μL,上下游引物(ITS1:5′-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3′,ITS4:5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3)各1.0 μL,dd$H_2O$补足至50.0 μL,进行PCR扩增。产物经1%琼脂糖凝胶电泳检测,并委托北京六合华大基因科技有限公司测序,测序结果在GenBank数据库中进行BLASTn比对分析。选择具有代表性及相似度较高的ITS序列,用MEGA 11.0构建系统发育树(方法选择Neighbor-Joining、Bootstrap=1000)。

1.2.5 分离株的致病力测定

将分离株接种CA培养基上并诱导产生孢子囊后,在培养皿中加入5 mL无菌水置于光照、4 ℃条件下诱导游动孢子释放,制成浓度为$10^4$个·mL$^{-1}$游动孢子液。供试番茄幼苗生长至4~5叶时,采用灌根法进行接种,距幼苗根茎1~2 cm处的基质

中接种3 mL游动孢子悬浮液,以接种3 mL无菌水的植株为对照。接种后将植株置于(22±2)℃人工气候室中,保湿48 h,光照/黑暗16 h/8 h,接种后7 d调查幼苗植株发病情况。

1.2.6　病原菌生理小种鉴定

将辣椒鉴别寄主的种子播种于装有灭菌土的72孔穴盘内,待幼苗生长至6~8片真叶时进行灌根接种,具体接种方法及生理小种的判定方法参照文献[14]进行。

1.2.7　病原菌对7种杀菌剂的室内毒力测定

选择优势生理小种的病原菌进行室内毒力测定,将杀菌剂原药溶解于二甲基亚砜中,配置成一定浓度的母液,取一定体积加入已灭菌并冷却至约50 ℃的PDA培养基中,制成含有系列浓度梯度的含药培养基,药剂种类及终浓度值见表1。将已活化好的辣椒疫霉菌取直径为5 cm的菌碟,菌面向下接种于含药培养基中央,25 ℃黑暗培养至对照菌丝长满平板时,采用十字交叉法测量菌落直径(mm),每个浓度设置3个平行,以杀菌剂浓度的对数为x,抑制率%为y,根据x与y的线性关系得出其毒力回归方程y=ax+b,计算y=50%时对应的杀菌剂浓度值,即为有效抑制中浓度$EC_{50}$值(μg·mL$^{-1}$)。

**表1　室内毒力测定中7种防治药剂在PDA中的终浓度值**

**Table 1**　Concentrations of fungicides in PDA for sensitivity testing　　**单位:μg·mL$^{-1}$**

| 杀菌剂 Fungicide | 终浓度 Concentration |
|---|---|
| 98%多菌灵 | 0.0、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 |
| 98%甲霜灵 Metalaxyl | 0.0、0.125、0.25、0.50、1.0、2.0 |
| 97%二硫化四甲基秋兰姆 | 0.0、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0、32.0 |
| 98%吡唑醚菌酯 | 0.0、0.125、0.25、0.50、1.0、2.0、4.0 |
| 98%烯酰吗啉 | 0.0、0.125、0.25、0.50、1.0、2.0 |
| 98%嘧菌酯 | 0.0、0.50、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 |
| 97%代森锰锌 | 0.0、2.0、4.0、8.0、16.0、32.0 |

## 2　结果与分析

### 2.1　病害典型发病症状

发病番茄幼苗主要症状为下部叶片开始逐渐枯黄(图1A),上部叶片仍呈绿色,植株茎基部变黑,缢缩,发病植株主根、侧根褐变,不长新根(图1B、1C),且茎基部和根部纵切显示其维管束呈深褐色(图1D、1E)。




A:植株下部叶片逐渐枯黄;B-C:植株茎基部和根部变黑,缢缩;D-E:维管束呈深褐色

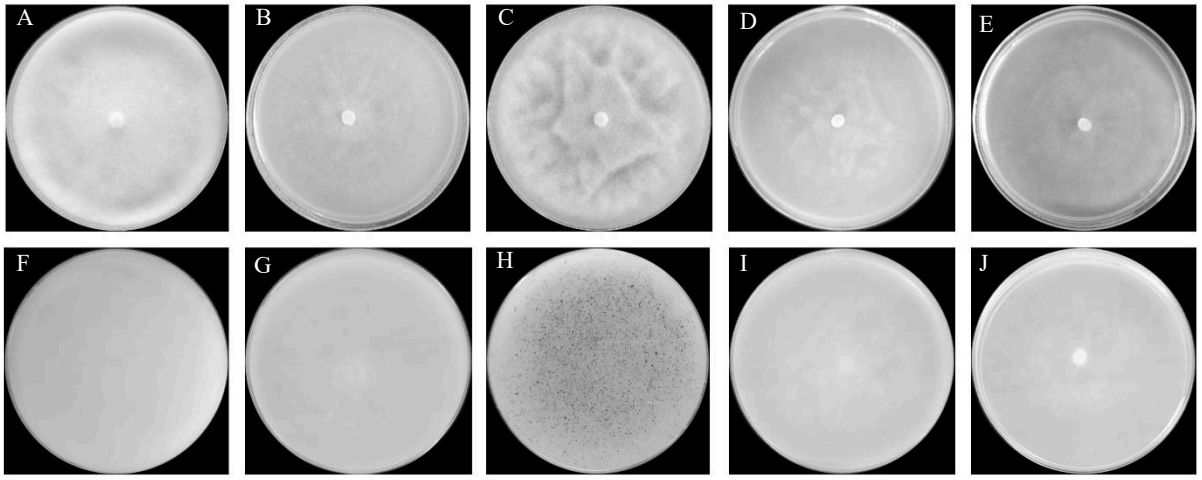
A: The lower leaves of plants gradually turned yellow; B-C: The base of the plant stem and roots of seedling turned black and constricted; D-E: The vascular bundles appeared dark brown

**图1　番茄幼苗发病症状**

**Fig.1**　Symptoms of tomato seedlings

### 2.2 病原菌的分离及形态学鉴定

通过组织分离、室内纯化培养,从20份染病植株样品中纯化得分离株20株,其中10株分离株在PDA培养基上形态相似,均为白色短绒毛状菌丝;将这10株菌接种于OMA、绿豆和CA培养基上,菌落均呈白色短绒毛状,菌丝密实,菌落圆形,不产生色素,且绿豆培养基上中心菌苔凸起;在V8和PDA上菌丝呈白色但菌丝稀疏(图2)。光照条件下在CA培养基上产生孢子囊,如图3所示,孢子囊顶生于孢子梗上(图3A、3B),近圆形或长椭圆形(图3D),单孢(图3E),顶端有明显的乳头状突起(图3C),孢子囊在水中能释放出游动孢子(图3F),形态学初步确定分离株为辣椒疫霉。




A:燕麦培养基;B:10% V8培养基;C:绿豆培养基;D:胡萝卜培养基;E:马铃薯葡萄糖培养基(培养基正面);F:燕麦培养基;G:10% V8培养基;H:绿豆培养基;I:胡萝卜培养基;J:马铃薯葡萄糖培养基(培养基背面)

A:OMA medium;B:10% V8 medium; C:mung bean medium; D:CA medium; E:PDA (top view);F:OMA medium;G:10% V8 medium; H:mung bean medium; I:CA medium; J:PDA (back view)

**图2 分离株在不同培养基上的形态特征**

**Fig.2** Morphological characteristics of the isolate on the different media

### 2.3 病原菌的分子生物学鉴定

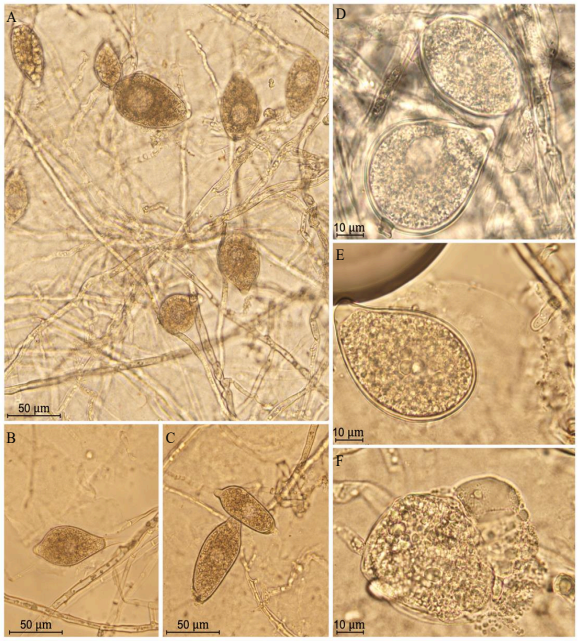
以分离株的DNA为模板,引物ITS1/ITS4扩增得约800 bp的单一目的条带(见图4),PCR产物经测序后与NCBI数据库进行比对,序列与辣椒疫霉菌的相似度为100%(HQ822261.1、AJ854286.1);选择辣椒疫霉菌、致病疫霉菌(*P. infestans*)、霜霉菌(*Peronospora sparsa*)的代表性ITS序列,构建了系统发育树,结果见图5,分离株均与辣椒疫霉菌聚为一类,亲缘关系较近。通过形态学结合分子生物学鉴定,确定10株分离株均为辣椒疫霉菌(*P. capsici*)。

### 2.4 致病性测定

将辣椒疫霉菌的游动孢子悬浮液接种番茄幼苗7 d后,发病症状如图6所示,植株全株萎蔫(图6A),根部褐变不长新根、茎部明显变黑并溢缩,严重时褐变可延伸至叶柄部位(图6B、6C),湿度大时发病茎基部可见白色霉层(图6D);植株叶片从叶尖始开始向内卷曲、萎蔫、脱落(图6E)。人工接种后发病症状与田间相似,同时从人工接种的发病植株上再次分离并鉴定出辣椒疫霉菌,验证了柯赫氏法则,证明分离株为番茄疫霉根腐病的病原菌。

### 2.5 生理小种鉴定

通过将供试的10株辣椒疫霉菌分别接种鉴别寄主,结果表明(表2)供试菌株中7株菌(T4-1、T5-3、T9-1、T10-2、T11-1、T13-1、T16-3)均能导致鉴别寄主Early calwonder和PBC137表现为感病,叶片全部脱落且整株萎蔫,湿度大时在茎基部可见白色霉层,而寄主PBC602和PI201234均表现为抗病,长势与对照差异不明显,按照鉴别标准,上述7株菌为2号生理小种,占总供试均数的70%;其余3株(T3-6、T10-4、T39-1)供试菌株能够导致Early calwonder、PBC137、PBC602发病,只有PI201234表现为抗病,鉴定为3号生理小种,占总供试菌株数的30%。

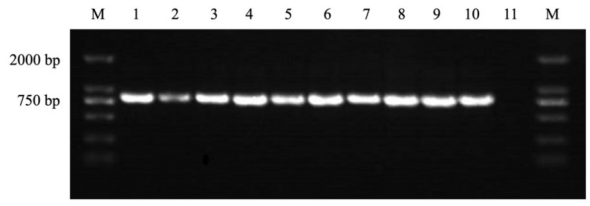



A:胡萝卜培养基有利于孢子囊产生,视野中产生多个孢子囊,形状大小各异;B:孢子囊,顶生,乳凸明显;C:游动孢子囊,长椭圆形,乳凸明显;D－E:游动孢子囊,近圆形;F:孢子囊正在释放游动孢子

A: CA media promoted sporangia production, with multiple sporangia of varying shapes and sizes; B: Sporangia, terminal, with prominent papilla; C: Zoosporangia, elongated oval shape, with prominent papilla; D－E: Sporangia, nearly circular; F: Sporangia was releasing zoospores

**图3　分离株的的孢子形态**

**Fig.3**　Spore morphology of the isolate




1－13泳道分别为:DNA分子量标准物;T3－6;T4－1;T5－3;T9－1;T10－2;T10－4;T11－1;T13－1;T16－3;T39－1;CK;DNA分子量标准物

Lane 1－13 indicate: Marker; T3－6; T4－1; T5－3; T9－1; T10－2; T10－4; T11－1; T13－1; T16－3; T39－1; CK; Marker

**图4　菌株ITS扩增产物电泳图**

**Fig. 4**　Electrophoresis result of ITS amplified product of isolates

### 2.6　7种杀菌剂对辣椒疫霉菌的抑制效果

通过室内毒力试验测定了7种杀菌剂对辣椒疫霉菌2号生理小种T5-3、T11-1和T13-1的$EC_{50}$值,并得出3株菌的平均$EC_{50}$值,即为7种药剂对本试验中辣椒疫霉菌的抑制效果,结果见表3,7种杀菌剂对菌丝生长均有抑制作用,其中,烯酰吗啉的$EC_{50}$值$<1.0\ \mu g\cdot mL^{-1}$,效果最好,其次是甲霜灵和嘧菌酯,$EC_{50}$均小于$10.0\ \mu g\cdot mL^{-1}$,其余杀菌剂二硫化四甲基秋兰姆(福美双有效成分)、代森锰锌、吡唑醚菌酯、多菌灵对菌株的抑制作用较低,$EC_{50}>10.0\ \mu g\cdot mL^{-1}$。

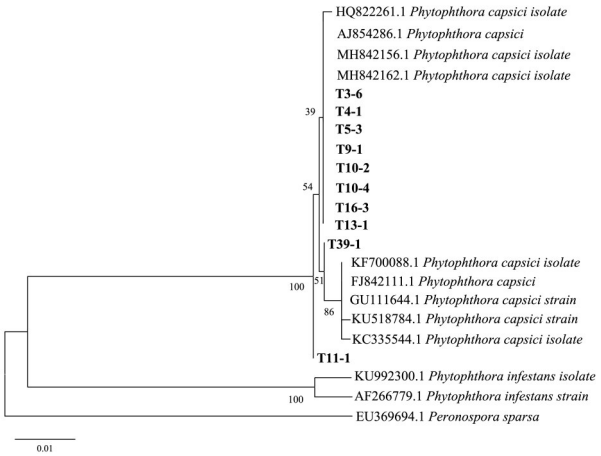



**图5　基于ITS序列的辣椒疫霉菌系统发育树**

**Fig. 5**　Phylogenetic tree of *P. capsici* isolates based on ITS sequences

## 3　讨论

近年来,设施连作栽培条件下根腐病等土传病害频发,严重影响着番茄的产量与品质。本试验中通过组织分离、室内纯化培养、形态学观察和ITS分子生物学鉴定,确认从20份茎基部褐变、溢缩、叶片枯萎的发病番茄植株上分离出番茄疫霉根腐病的病原菌辣椒疫霉菌(*P. capsici*),同时,所分离的辣椒疫霉菌的生理小种构成以2号生理小种为主。根据现有文献显示,2015年从内蒙古地区发病的辣椒植株上分离出4株辣椒疫霉菌,其生理小种均为3号生理小种[14],而在本研究中从内蒙古呼和浩特地区发病番茄植株上分离的辣椒疫霉菌同时存在2号和3号生理小种,且2号生理小种占70%,这与已报道的结论存在差异,分析原因可能与不同寄主或采样地区不同或者病原菌种群结构随时间、环境的自然变异有关;此外,基于分离株ITS基因序列的系统发育树显示菌株T11-1和T39-1与其余8株处于不同的分枝,但T11-1(race2)和T39-1(race3)属于不同的生理小种类型,下一步需要通过交配型测定或遗传多样性对这一结果进行深入分析。有研究发现同一地区分离的辣椒疫霉菌随着不同年份种植品种的差异而表现出不同的生理小种构成,栽培品种多样时,不同生理小种的占比差异不明显,随着单一品种的




A:整个植株萎蔫;B—C:植株茎基部明显缢缩变黑;D:表面产生白色霉层;E:叶片从叶尖始开始变褐、枯萎

A: The entire plants wilted; B—C: The stem base of plant showed obvious shrinkage and turned black; D: White mold layer formed on the surface; E: The leaves started browning and wilting from the tip

**图6 室内接种植株的发病症状**

**Fig. 6** Symptoms of artificial inoculation plants

**表2 番茄疫霉根腐病病原菌的生理小种鉴定结果**

**Table 2** Identification of the physiological races of *P. capsici* isolates

| 菌株 Isolates | 与鉴别寄主的反应 Reactions with host | | | | 生理小种类型 Physiological race |
|---|---|---|---|---|---|
| | Early calwonder | PBC137 | PBC602 | PI201234 | |
| T3—6 | S | S | S | R | Race3 |
| T4—1 | S | S | R | R | Race2 |
| T5—3 | S | S | R | R | Race2 |
| T9—1 | S | S | R | R | Race2 |
| T10—2 | S | S | R | R | Race2 |
| T10—4 | S | S | S | R | Race3 |
| T11—1 | S | S | R | R | Race2 |
| T13—1 | S | S | R | R | Race2 |
| T16—3 | S | S | R | R | Race2 |
| T39—1 | S | S | S | R | Race3 |

广泛连续种植,对生理小种的构成产生反向筛选作用,使某一生理小种成为优势,而且在同一植株上同时存在同一生理小种的不同交配型,说明辣椒疫霉菌株具有进行有性生殖发生遗传重组的可能[17]。生理小种的鉴定有助于针对性地开展种质资源抗病性评价,筛选出抗病/感病材料,因此在后续的研究中需要进一步扩大采样范围,明确不同地区番茄疫霉根腐病病原菌的生理小种构成及其交配型,为该病害的科学防治提供研究基础。

烯酰吗啉自20世纪90年代进入中国市场至

表3　辣椒疫霉菌对7种药剂的$EC_{50}$值

**Table 3**　$EC_{50}$ values of *P. capsici* isolates responding to seven fungicides　　单位:μg·mL$^{-1}$

| 杀菌剂 Fungicide | 菌株T5－3 Isolate T5－3 | 菌株T11－1 Isolate T11－1 | 菌株T13－1 Isolate T13－1 | 平均$EC_{50}$值 Mean $EC_{50}$ values |
|---|---|---|---|---|
| 98%多菌灵 | 36.068 | 36.879 | 39.751 | 37.566±1.935 |
| 98%甲霜灵 | 1.927 | 2.017 | 0.633 | 1.526±0.774 |
| 97%二硫化四甲基秋兰姆 | 12.226 | 9.709 | 8.336 | 10.090±1.973 |
| 98%吡唑醚菌酯 | 20.023 | 21.003 | 15.954 | 18.993±2.677 |
| 98%烯酰吗啉 | 0.326 | 0.314 | 0.319 | 0.320±0.006 |
| 98%嘧菌酯 | 6.680 | 6.289 | 8.696 | 7.222±1.292 |
| 97%代森锰锌 | 7.789 | 17.155 | 9.159 | 11.368±5.059 |

今,广泛用于由各种卵菌引起的病害防治中,如辣椒疫病、黄瓜霜霉病、荔枝霜疫病等。本试验在室内条件下测定了7种防治药剂对2号生理小种病原菌的抑制效果,烯酰吗啉、甲霜灵和嘧菌酯对病原菌菌丝生长抑制效果较好,$EC_{50}$值均小于10.0 μg·mL$^{-1}$,而且烯酰吗啉的抑制作用最佳,$EC_{50}$值为(0.320±0.006) μg·mL$^{-1}$。有文献报道了重庆地区102株辣椒疫霉菌对烯酰吗啉的$EC_{50}$值范围为0.107 5～0.438 3 μg·mL$^{-1}$[18],江西省108株辣椒疫霉菌对烯酰吗啉的平均$EC_{50}$为0.184 5 μg·mL$^{-1}$,所有菌株均表现为敏感[11],以上研究结论与本试验的结果一致,均说明烯酰吗啉对辣椒疫霉菌的抑制效果较好,此外,林贻平[19]研究发现烯酰吗啉对辣椒疫霉菌具有较好的抑制作用,$EC_{50}$值为0.404 1 μg·mL$^{-1}$,而且烯酰吗啉与嘧霉胺以5∶1混配后,对辣椒疫霉菌的抑制作用更明显。此外,甲霜灵是另一种在设施番茄种植中广泛使用的杀菌剂,常用于幼苗定植前药剂蘸根[20],本试验得出从呼和浩特地区发病番茄植株上分离的辣椒疫霉菌对甲霜灵的$EC_{50}$值为(1.526±0.774) μg·mL$^{-1}$,抑制效果仅次于烯酰吗啉。但是近几年多次报道了甲霜灵对马铃薯晚疫病菌产生了抗药性[21-22];王伟燕[23]通过室内诱导也获得了辣椒疫霉菌对甲霜灵的抗药性突变株,$EC_{50}$值为326.7 μg·mL$^{-1}$,提示在使用甲霜灵时应注意药剂轮换使用,延缓抗药性产生,同时应及时开展辣椒疫霉菌对该药剂的敏感性监测,明确是否存在田间抗药性菌株,为防治过程中科学合理选药、用药提供参考。

## 4　结论

辣椒疫霉菌是卵菌门中一种重要的土传病原菌,能侵染数百种园艺作物,导致严重的蔬菜疫病。由辣椒疫霉菌导致的番茄疫霉根腐病发病周期短、传播速度快,因此生产上要加强对该病害的早期识别和防治。本研究通过番茄疫霉根腐病病原菌的分离和鉴定,图示了番茄疫霉根腐病田间和人工接种的发病症状,能够为该病害的田间识别及病原菌的鉴定提供依据;同时明确了内蒙古呼和浩特地区从发病番茄上分离的辣椒疫霉菌中2号生理小种占70%,在采用药剂防治时,2号生理小种病原菌对烯酰吗啉、甲霜灵、嘧菌酯等药剂较为敏感。另外,由于辣椒疫霉菌在土壤中存活时间长,且寄主范围广,因此在轮换倒茬时避免选择茄科和葫芦科作物,以减少病害发生;综上,本项研究为番茄疫霉根腐病的识别、科学防治及抗病育种提供了研究基础。

## 参　考　文　献


[1]郭文忠.聚焦番茄产业症结,调整生产结构布局[J].山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(5):1-2.
Guo W Z. Focus on the crux of tomato industry, rearrage the production structure [J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2023,43(5):1-2.

[2]谢学文,赵昱榕,孙雪莹,等.番茄疫霉根腐病生防菌的分离鉴定及其防治效果[J].植物病理学报,2020,50(5):610-617.
Xie X W, Zhao Y R, Sun X Y, et al. Identification and control effect of a biocontrol bacterium against Phytophthora root rot of tomato [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2020, 50 (5): 610-617.

[3]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.
Yu L C, Zhang N Q, Feng J Y. Occurrence regularity and control techniques of Phytophthora root rot of tomato[J]. Plant Protection Technology and Extension, 2001,11:25-26.

[4]祝海燕.番茄黑秆病发生原因分析及防治[J].长江蔬菜,2018,(11):54-56.
Zhu H Y. Cause analysis and control of tomato black stalk disease [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2018, (11): 54-56.

[5]默书霞,李金堂,于学祥,等.番茄疫霉根腐病的识别及防治[J].中国蔬菜,2009,(17):27,62.

Mo S X, Li J T, Yu X X, et al. Identification and control of tomato Phytophthora root rot [J]. China Vegetables, 2009, (17): 27,62.

[6]Leonian L H. Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici* sp. nov[J]. Phytopathology, 1922,(12): 401-408.

[7]Lamour K H, Stam R, Jupe J, Huitema E, et al. The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*[J]. Molecular Plant Pathology, 2012, 13(4):329-337.

[8]Parada-Rojas C H, Granke L L, Naegele R P, et al. A diagnostic guide for *Phytophthora capsici* infecting vegetable crops[J]. Plant Health Progress, 2021,22(3):404-414.

[9]Ma M X, Taylor P W J, Chen D L, et al. Major soilborne pathogens of field processing tomatoes and management strategies[J]. Microorganisms. 2023,11(2):263.

[10]席亚东,陈国华,谢丙炎,等.辣椒疫霉菌全球传播与危害及生物学特性研究进展[J].北方园艺,2016,(11):199-203.
Xi Y D, Chen G H, Xie B Y, et al. Research progress of global spread, damage and biological characteristics of *Phytophthora capsici* [J].Northern Horticulture, 2016, (11): 199-203.

[11]马辉刚,何烈干,张海良,等.江西省辣椒疫霉生理小种构成及其对烯酰吗啉的敏感性分析[J].植物保护学报,2013,40(4): 374-378.
Ma H G, He L G, Zhang H L, et al. Physiological races of *Phytophthora capsici* and their sensitivity to dimethomorph in Jiangxi Province[J]. Journal of Plant Protection, 2013,40(4): 374-378.

[12]兰成忠,刘裴清,李本金,等.福建省辣椒疫霉菌群体结构表型特征分析[J].植物保护学报,2012,39(6):513-517.
Lan C Z, Liu P Q, Li B J, et al. Phenotypic structure of *Phytophthora capsici* populationson pepper in Fujian, China [J]. Journal of Plant Protection,2012, 39(6):513-517.

[13]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.
Zhang S C, Xiong Y, Huang R Z, et al. Isolation and cultivation of *Phytophthora capsici* and identification of physiological race in Chongqing[J]. Plant Protection, 2015,41 (3):183-187.

[14]杨叔青,胡栓红,杨志刚,等.不同地区辣椒疫霉菌生理小种的鉴定和生物学特性的研究[J].华北农学报,2015,30(2): 104-109.
Yang S Q, Hu S H, Yang Z G, et al. The study on the physiological race type and biological characteristics of *Phytophthora capsici* collected from different regions [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2015, 30(2):104-109.

[15]周黎,李国英,丁建军.新疆加工番茄根腐病病原的分离和鉴定[J].新疆农业科学,2008,45(1):130-134.
Zhou L, Li G Y, Ding J J. Isolation and identification of pathogen of root-rot disease processing tomato in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008, (1):130-134.

[16]何烈干,邹芬,李湘民,等.江西省番茄绵疫病菌对嘧菌酯的敏感性检测及抗性风险分析[J].农药学学报,2021,23(1): 117-123.
He L G, Zou F, Li X M, et al. Sensitivity detection and resistance risk analysis of *Phytophthora capsica* on tomato to azoxystrobin in Jiangxi Province [J]. Chinese Journal of Pesticide Science. 2021, 23(1):117-123.

[17]陈龙.贵州辣椒疫霉病菌群体遗传结构及生理小种鉴定[D].昆明:云南农业大学,2012.
Chen L. Identification of physiological race and the population genetic structure of *Phytophthora capsici* in Guizhou [D]. Kunming: Yunan Agricultural University, 2012.

[18]张世才,李怡斐,王春萍,等.重庆地区辣椒疫霉交配型分布及对烯酰吗啉的敏感性现状[J].植物保护,2022,48(2):173-176,182.
Zhang S C, Li Y F, Wang C P, et al. Distribution of mating types of *Phytophthora capsici* and its sensitivity to dimethomorph in Chongqing[J]. Plant Protection, 2022, 48 (2):173-176,182.

[19]林贻平.辣椒疫霉菌防治药剂的筛选、混配及其作用机理研究[D].长沙:湖南农业大学,2022.
Lin Y P. The study on screening, mixing and mechanism of fungicides against *Phytophthora capsici*[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022.

[20]孙永生,蒋欣陶,刘爱群,等.番茄死秧的病菌鉴定及综合防控措施[J].中国果菜,2023,43(7):42-46.
Sun Y S, Jiang X T, Liu A Q, et al. The identification and comprehensive control measures of the pathogens causing tomato dead seedling in Liaoning province[J]. China Fruit & Vegetable, 2023, 43(7):42-46.

[21]刘洋,赵秀梅,郑旭,等.马铃薯晚疫病对甲霜灵和精甲霜灵抗药性的田间药效试验[J].黑龙江农业科学,2022(6):53-56,83.
Liu Y, Zhao X M, Zheng X, et al. Field efficacy test of Potato Late Blight resistance to metalaxyl and metalaxyl-M [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2022,(6):53-56,83.

[22]郭东锋,钟林宇,周挺,等.马铃薯晚疫病菌对甲霜灵抗性的快速检测方法[J].植物保护学报,2023,50(01):214-223.
Guo D F, Zhong L Y, Zhou T, et al. Rapid detection of metalaxyl resistance in potato late blight pathogen *Phytophthora infestans*[J]. Journal of Plant Protection, 2023, 50(1):214-223.

[23]王伟燕.辣椒疫霉抗甲霜灵候选基因的克隆与功能验证[D].合肥:安徽农业大学,2019.
Wang Y W. Cloning and functional verification of Metalaxyl resistance candidate genes in *Phytophthora capsici*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.

**Identification of the pathogens causing Phytophthora root rot of tomato and analysis of fungicides sensitivity**

Yang Yongqing[1], Gao Jing[2], Yang Zhigang[2], Tan Lulu[3], Dang Yuanyue[2], Jia Xiaoqing[1], Liu Yan[2*], Li Zhengnan[4*]

(*1.Institute of Plant Protection, Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China; 2.Institute of Vegetables and Flowers, Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China; 3.School of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010020, China; 4.College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China*)

**Abstract**: [Objective] Tomato is an important vegetable in Inner Mongolia. In recent years, continuous monocropping and the lack of variety diversity have led to an increase in soil-borne diseases, which are constraining the healthy development of the tomato industry. In August 2021, a disease characterized by blackened, shrunken basal stems, and brown vascular bundles in the longitudinal section was observed in tomato seedlings in the Hohhot area of Inner Mongolia, suspected to be root rot. In order to accurately identify the pathogen and provide a scientific basis for effective control measures, pathogen identification and *in vitro* sensitivity testing of seven fungicides were conducted. [Methods] Tissue isolation, pathogen culture, morphological observation, molecular biology identification, physiological race identification, Koch′s postulates validation, and fungicide screening were performed on 20 infected tomato samples. [Results] The results showed that , ten isolates were obtained from 20 diseased plant samples. The colonies were white with short-fuzz and produced sporangia under light-inducing conditions. ITS sequencing and phylogenetic tree construction confirmed the pathogen as *Phytophthora capsici*. The isolates infected tomato seedlings, producing typical symptoms of Phytophthora root rot consistent with the field observations, validating Koch's postulates and confirming *P. capsici* as the pathogen. Physiological race 2 accounted for 70% of the isolates, with the remaining being race 3. Additionally, all seven commonly used fungicides inhibited the mycelial growth of *P. capsici* under laboratory conditions, with the best inhibitory effects observed for dimethomorph, petalaxyl, and azoxystrobin. [Conclusion] The *P. capsici* infecting tomato plants in Hohhot, Inner Mongolia, is predominantly physiological race 2. For chemical control of race 2, the recommended fungicides are dimethomorph, metalaxyl, and azoxystrobin. When using these fungicides, it is important to rotate them to delay the development of resistance.

**Keywords**: Phytophthora root rot of tomato, Pathogens identification, Physiological race, Fungicides sensitivity

(编辑:吕俊俐)