

河南鄢陵甜瓜与辣椒露地套种栽培萎蔫性病害鉴定

张林龙^{1,2}, 王方方^{1,2}, 吴会杰¹, 康保珊¹, 李杰^{1,2},
赵胜杰^{1,2}, 徐志红^{1,2}, 王平勇^{1,2}

(1. 中国农业科学院郑州果树研究所 郑州 450009; 2. 三亚中国农业科学院国家南繁研究院 海南三亚 572024)

摘要: 为了明确河南鄢陵薄皮甜瓜和辣椒露地套种栽培中植株、果实出现大面积枯萎腐烂现象的原因, 采集了产区发病典型的甜瓜和辣椒病株和烂果, 对病原菌进行了分离、接种、再分离, 通过形态学观察、致病力测定和分子生物学鉴定, 发现该病原菌菌丝、孢子囊和孢子具有疫霉菌的典型特征, 可导致甜瓜和辣椒植株产生水渍状褐色病斑, 侵染果实后可产生水渍状病斑和白色霉状物, 对病原菌 ITS 序列扩增后进行聚类分析, 证明致病菌为辣椒疫霉菌 (*Phytophthora capsici*)。通过平板对峙试验发现, 贝莱斯芽孢杆菌菌株 78-2 可明显抑制疫霉菌菌落的生长, 对疫霉菌具有拮抗作用。综上, 本研究明确了导致鄢陵地区薄皮甜瓜和辣椒大面积枯萎的是疫病, 验证了贝莱斯芽孢杆菌菌株 78-2 对疫霉菌的拮抗作用。本研究结果为甜瓜和辣椒疫病的早期诊断与防控提供了理论依据, 对甜瓜和辣椒产业的可持续发展具有重要意义。

关键词: 甜瓜; 辣椒; 套种栽培; 病原鉴定; 疫病; 拮抗菌

中图分类号: S652+S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)11-092-07

Identification of wilt disease in open-field intercropping cultivation of melon and pepper in Yanling, Henan province

ZHANG Linlong^{1,2}, WANG Fangfang^{1,2}, WU Huijie¹, KANG Baoshan¹, LI Jie^{1,2}, ZHAO Shengjie^{1,2}, XU Zhihong^{1,2}, WANG Pingyong^{1,2}

(1. Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; 2. National Nan-fan Research Institute(Sanya), Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572024, Hainan, China)

Abstract: To clarify the causes of widespread wilting and rotting of plants and fruits in the intercropping system of thin-skinned melon and pepper in Yanling, Henan province, this study collected typical diseased melon and pepper plants, as well as rotten fruits, from the affected areas. The pathogen was isolated, inoculated, and re-isolated. Through morphological observation, pathogenicity tests, and molecular identification, the pathogen was found to exhibit characteristic features of *Phytophthora* spp., including hyphae, sporangia, and sporangiospores. Inoculation experiments demonstrated that the pathogen caused water-soaked brown lesions on melon and pepper plants and led to water-soaked lesions and white mold-like growth on infected fruits. Molecular analysis of the ITS sequence confirmed the pathogen as *Phytophthora capsici*. Furthermore, a plate confrontation assay revealed that the *Bacillus velezensis* strain 78-2 significantly inhibited the growth of *P. capsici* colonies, indicating its antagonistic activity against the pathogen. This study identified *Phytophthora* blight as the cause of large-scale wilting and rotting in Yanling's melon and pepper crops and provided theoretical support for early diagnosis and control of *Phytophthora* blight in melon and pepper, offering critical insights for the sustainable development of the melon and pepper industry.

Key words: Melon; Pepper; Intercropping cultivation; Pathogen identification; *Phytophthora* blight; Antagonistic bacteria

收稿日期: 2025-05-07; 修回日期: 2025-05-27

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-ZFRI-06-202501, CAAS-ASTIP-2025-ZFRI, 2060299-2-25); 国家自然科学基金(32172573); 中国农业科学院郑州果树研究所协同创新专项(ZGS202307); 河南省科技攻关项目(242102110289); 三亚中国农业科学院国家南繁研究院南繁专项(YBXM2419); 河南省西瓜甜瓜产业技术体系(HARS-22-10-S)

作者简介: 张林龙, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为西瓜甜瓜遗传育种。E-mail: 1436890900@qq.com

通信作者: 王平勇, 男, 副研究员, 研究方向为西瓜甜瓜遗传育种。E-mail: wangpingyong@caas.cn

徐志红, 女, 研究员, 研究方向为西瓜甜瓜遗传育种。E-mail: xuzhihong@caas.cn

甜瓜(*Cucumis melo* L.)在我国是一种重要的水果型园艺作物,栽培面积和产量常年位居世界首位。根据国际粮农组织(FAO)统计数据,2023年我国甜瓜播种面积为39.58万 hm^2 ,产量达到1450万t。河南省甜瓜生产历史悠久,是全国甜瓜优势产区之一。根据国家西瓜甜瓜产业技术体系统计数据,2023年河南省甜瓜栽培面积7.03万 hm^2 ,其中露地栽培面积占比14%。河南甜瓜露地栽培以薄皮甜瓜品种为主,产区主要在许昌市鄢陵县、漯河市临颍县等地^[1]。近年来,为了提高经济效益,当地采用间作套种的方式,最常见的是甜瓜与辣椒套种模式。采用该模式,甜瓜地爬栽培占据平面空间,辣椒直立生长占据立体空间,可大幅提高土地利用率,提高单位面积经济效益^[2]。然而在生产过程中,尤其在甜瓜果实成熟期,由于瓜蔓密集,空间过于郁闭,通风透光性差,土壤在高温高湿状态下容易滋生病原菌,导致病害的发生和流行^[3]。笔者在调研过程中发现,当前在这些产区已经出现辣椒和甜瓜大面积死亡的情况,主要表现为甜瓜藤蔓出现坏死,果实腐烂并长出一层白色霉状物;辣椒整株萎蔫,根部和叶片有褐色病斑、叶片干枯脱落。而当地种植户对病害的病原种类、发病规律、防治措施不了解,仅根据部分发病症状判定为枯萎病。然而,仅凭生产上的经验对病害进行判断,存在一定的盲目性,可能会影响对该病害的防治,造成严重的经济损失。目前,还未见在甜瓜和辣椒套种栽培模式下对该病害鉴定相关方面的研究。鉴于此,笔者对甜瓜和辣椒的发病组织进行取样、分离、鉴定,通过形态学观察、致病力测定和分子生物学鉴定等手段,明确造成该地区甜瓜和辣椒大面积死亡的病原菌种类,以期生产中该病害的有效防控提供借鉴和指导。

1 材料与方法

1.1 材料

样本来源:2024年8月于河南省许昌市鄢陵县发病严重的甜瓜-辣椒套种生产田中,采集枯萎的甜瓜和辣椒病株。致病力检测选用产区大面积推广的薄皮类型甜瓜品种白沙蜜和产区大面积种植的朝天椒品种,种子均由河南农业大学园艺学院李阳副教授提供。拮抗菌菌株78-2由中国农业科学院郑州果树研究所吴会杰研究员提供。

1.2 方法

1.2.1 病原菌分离纯化

试验于2024年8月在中国农业科学院郑州果树研究所实验室进行,用无菌水冲洗发病组织,放在75%乙醇中浸泡50s,无菌水清洗2次。用灭过菌的刀片在发病组织的病健交界处取下5mm×5mm的组织块,放置在灭菌滤纸上吸干表面水分,然后转移到PDA培养基平板上,28℃恒温条件下培养72h。菌落长出后,挑取边缘菌丝接种于新的PDA平板上进行纯化,重复该操作直至菌落单一无杂菌。纯化后的菌体在PDA培养基上培养3d后转接到V8汁培养基培养,定期观察菌落形态特征,并在光学显微镜下观察待测菌株的菌丝、孢子囊和孢子形态特征,对菌株进行形态学鉴定。

1.2.2 病原菌致病性测定 选取籽粒饱满的甜瓜种子,55℃温汤浸种30min后转入室温水浸泡4h,用湿毛巾包裹后在30℃培养箱催芽16h,种子露白后播种到灭菌的营养土中。培养箱温度设置为光照28℃/黑暗24℃,光周期设置为16h光照/8h黑暗。接种鉴定采用离体叶片(果实)接种和灌根接种两种方法。待叶片或幼苗发病后从带病组织再次分离培养病原菌,并与原接种菌株进行比较,以完成柯赫氏法则验证^[4]。

离体叶片接种:取直径约5mm的病原菌的菌饼放在甜瓜和辣椒离体叶片背面,叶片置于垫有滤纸的培养皿中,在光照培养箱中25℃恒温培养,相对湿度设置为90%,将接种空白固体培养基设为对照,重复3次,调查叶片发病情况,设置3个生物学重复。

灌根接种:将纯化的菌体在PDA培养基平板上培养3d后转接到V8汁培养基平板上进行光照培养,待菌丝长满平板后观察孢子囊生长情况。待病原菌产生孢子囊后,向平板中加入无菌水浸湿菌体,然后放入4℃冰箱40min,转入培养箱放置40min,通过冷热交替使孢子囊破裂,收集孢子悬浮液。使用血球计数板测定孢子浓度,将浓度稀释成 1×10^5 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 用于接种。在距离甜瓜、辣椒幼苗根茎交界处1cm的基质中用1mL的移液器吸头扎一个深度为3cm的孔,向孔中注入1mL孢子悬浮液,重复接种1次,观察植株发病情况,以接种无菌水作为对照,设置3个生物学重复。

果实离体接种:取成熟无病斑的甜瓜果实,用无菌水冲洗干净后,再用75%乙醇擦拭表面后晾干。用刀片在外果皮分左右各切一个直径约1cm的圆形切口,两个切口距离5cm以上,取直径约5mm的病原菌菌饼接种到右侧切口处,左侧切口

放同样大小的固体培养基作为对照。将果实置于 25 °C 恒温培养,相对湿度设置为 90%,观察果实发病情况,设置 3 个生物学重复。

1.2.3 病原菌分子生物学鉴定 将纯化的病原菌接种到 PDA 培养基平板上,待其长出菌丝后,挑取 0.1 g 菌丝于 1.5 mL 离心管中,加液氮研磨至粉末,采用 CTAB 法提取基因组 DNA^[9]。使用根据真菌核糖体基因内转录间隔区域(internal transcribed spacer, ITS)序列设计的通用引物 ITS1 (5'-TCCG-TAGGTGAACCTGCGG-3') 和 ITS4 (5'-TCCTCC-GCTTATTGATATGC-3') 对病原菌 DNA 进行扩增^[6-7]。通过琼脂糖凝胶电泳进行条带比对,切胶纯化 DNA 片段后连接到 pTOPOII 载体测序。将测序结果提交至美国国家生物技术信息中心(National Center for Biotechnology Information, NCBI) GenBank 数据库,进行 BLAST 比对分析。利用 Mega 11.0 软件以邻位相连(neighbor-joining, NJ)算法构建系统发育树,确定菌株 ITS 序列的分类特征,进行分子生物学鉴定。

1.2.4 平板对峙验证 使用拮抗菌菌株 78-2 进行平板对峙试验,观察该菌对疫霉菌的抑制效果^[8]。该拮抗菌属于贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*),笔者前期研究发现,菌株 78-2 对甜瓜枯萎病菌的抑制效果明显。将菌株 78-2 置于不加抗生素的 LB 液体培养基中进行扩繁,在 28 °C、180 r·min⁻¹ 条件下振荡培养,待菌液 OD₆₀₀ 值达到 0.6~0.8 时接种。

取接种疫霉菌 3 d 的 PDA 培养基平板,用打孔器在菌落边缘取直径 5 mm 的菌块,置于 PDA 培养基平板(直径 8.5 cm)中心。将培养好的菌株 78-2 点接于距离菌块中心 3 cm 的 4 个角上,以点接 LB 培养基为对照,25 °C 恒温培养 3 d,每隔 24 h 观察病原菌菌落生长情况,用直尺测量试验组与对照组

菌落直径,设置 3 个生物学重复。

1.3 数据分析

采用 Excel 2021 软件对试验数据进行汇总整理及柱状图绘制,采用 IBM SPSS Statistics 27 数据分析软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 病原菌形态观察及分离纯化

在田间采集发病的植株和果实(图 1-A),发病辣椒植株根颈部缢缩,有黄褐色病斑,整株萎蔫,甜瓜果实有水渍状病斑,腐烂部位长出一层白色霉状物,经过分离纯化获得一个病原菌菌株 P-1(图 1-B)。该菌株在 PDA 培养基平板上生长旺盛,菌丝为白色,呈管状分支结构,直径约 7 μm(图 2-A),形成密集的网状结构。转接 V8 汁培养基培养,经过培养诱导,在显微镜下观察到了大量的孢子囊,孢子囊形状为长椭圆形或卵圆形,顶端具有明显的乳突,长度约 50 μm,宽度约 40 μm(图 2-B)。对孢子囊进行冷激处理后,释放出大量游动孢子,游动孢子为球形,直径约 10 μm,游动孢子游动一段时间后停止游动(图 2-C)。根据病原菌菌丝、孢子囊和游动孢子形态特征初步确定该病原菌为疫霉菌^[9-10]。

2.2 病原菌致病性鉴定

为了鉴定病原菌 P-1 的致病性,对甜瓜离体叶片和幼苗进行接种。如图 3 所示,甜瓜离体叶片接种 3 d 后,试验组在菌块周围开始出现水渍状褐色病斑,空白对照组无任何症状。甜瓜幼苗在灌根接种 3 d 后,幼苗根茎交界处出现褐色水渍状病斑,且发病部位脱水缢缩,植株倒伏,而接种无菌水对照组无任何症状。从发病甜瓜叶片和茎基部再次分离病原菌,获得的病原菌在形态学特征上与供试菌



图 1 田间发病样本(A)和分离纯化后的病原菌菌株(B)

Fig. 1 Field-collected diseased samples(A) and purified pathogen strain(B)

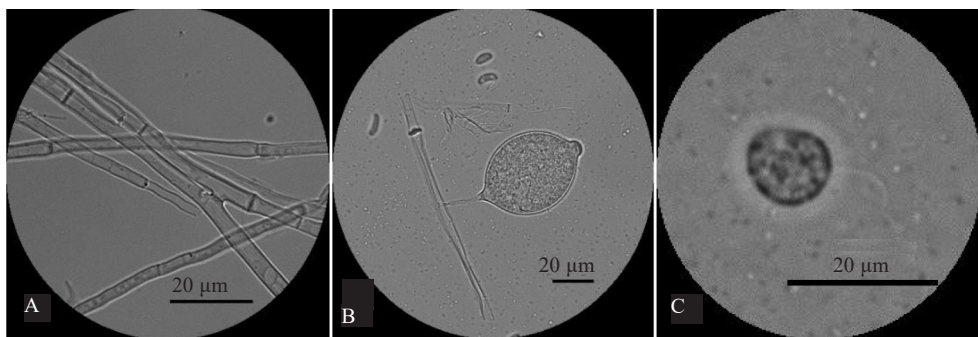
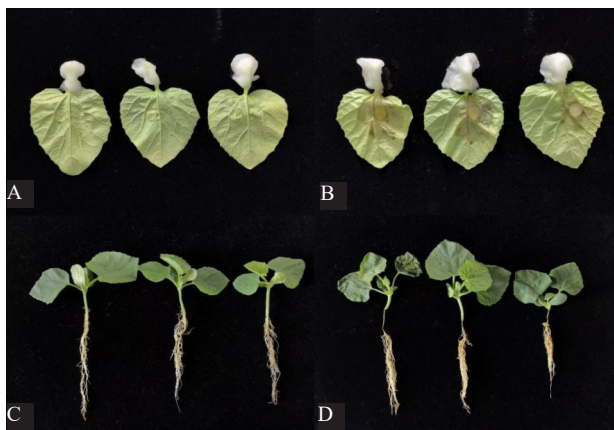


图 2 病原菌菌丝(A)、孢子囊(B)、游动孢子(C)显微结构

Fig. 2 The microstructure of pathogenic mycelium(A), sporangia(B) and motile spores(C)



注:A. 接种空白培养基的甜瓜叶片;B. 接种病原菌菌块的甜瓜叶片;C. 接种无菌水的甜瓜植株;D. 接种孢子悬浮液的甜瓜植株。

Note: A. Melon leaves inoculated with control medium; B. Melon leaves inoculated with pathogen mycelium block; C. Melon plants inoculated with sterile water; D. Melon plants inoculated with spore suspension.

图 3 甜瓜离体叶片和幼苗接菌后植株表型

Fig. 3 Phenotypes of melon plants following pathogen inoculation on detached leaves and seedlings

株完全相同,完成柯赫氏法则验证,表明供试菌株对甜瓜具有致病性,是引起甜瓜植株发病的病原。

由图 4 可知,辣椒离体叶片接菌 P-1 3 d 后,试验组叶片在菌块周围开始出现水渍状褐色病斑,空白对照组无任何症状。辣椒幼苗在灌根接种 3 d 后,试验组幼苗根茎交界处出现褐色水渍状病斑,且发病部位脱水缢缩,叶片变黄部分脱落,而接种无菌水对照组无任何症状。从发病辣椒叶片和茎基部再次分离病原菌,获得的病原菌在形态学特征上与供试菌株完全相同,完成柯赫氏法则验证,表明供试菌株对辣椒具有致病性,是引起辣椒植株发病的病原。

为了鉴定病原菌 P-1 对甜瓜果实的侵染性,对甜瓜果实进行了离体接种,接种 2 d 后,菌块上菌丝



注:A. 接种空白培养基的辣椒叶片;B. 接种病原菌菌块的辣椒叶片;C. 接种无菌水的辣椒植株;D. 接种孢子悬浮液的辣椒植株。

Note: A. Pepper leaves inoculated with control medium; B. Pepper leaves inoculated with pathogen mycelium block; C. Pepper plants inoculated with sterile water; D. Pepper plants inoculated with spore suspension.

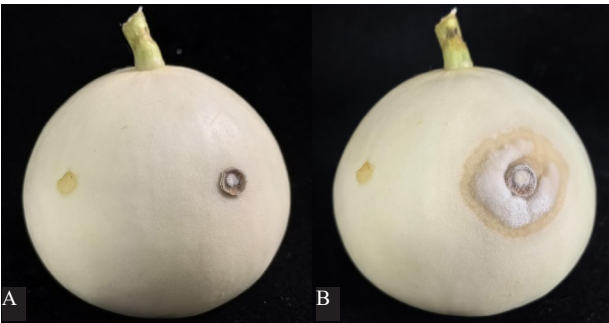
图 4 辣椒离体叶片和幼苗接菌后植株表型

Fig. 4 Phenotypes of pepper plants following pathogen inoculation on detached leaves and seedlings

出现明显向外扩展,接种 5 d 后,菌丝迅速扩展并在果实表面形成一层白色霉层菌,果皮出现水渍状腐烂,接种后发病果实与田间发病果实症状一致(图 5)。对接种发病的果实进行病原菌再分离、鉴定,结果表明,再分离的病原菌与供试病原菌相同,符合柯赫氏法则定律。

2.3 病原菌分子生物学鉴定

提取病原菌菌丝体 DNA,利用 ITS 通用引物扩增后,进行琼脂糖电泳试验,获得 800 bp 左右的目标条带(图 6)。对扩增得到的 ITS rDNA 序列进行测序,去除载体序列后获得 841 bp 病原菌 ITS 序列。将该序列在 NCBI 数据库进行 BLAST 比对分



注:A.甜瓜果实接菌 2 d 后表型; B.甜瓜果实接菌 5 d 后表型。两图中左侧接空培养基作为对照,右侧接菌块。

Note: A.Melon fruit inoculated with pathogen mycelium after 2 days; B. Melon fruit inoculated with pathogen mycelium after 5 days. In the two figures, the left side showed sterile blank medium as a control, while the right side showed medium inoculated with *P. capsici*.

图 5 甜瓜果实接菌 2 d(A)和 5 d(B)的表型
Fig. 5 Phenotypes of melon fruit following pathogen inoculation for 2 d (A) and 5 d (B)

析,结果发现,菌株 P-1 与辣椒疫霉菌菌株 TARI9222 (GenBank 登录号:GU111643.1) ITS rDNA 同源性达到 100%。利用 MEGA11.0 生物学软件,将菌株 P-1 与疫霉属其他种(掘氏疫霉 *P.*

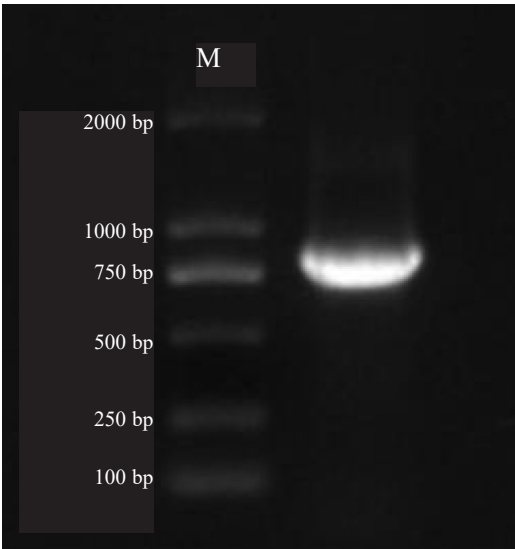


图 6 病原菌 ITS 序列扩增
Fig. 6 Amplification of the pathogen ITS sequence

drechsleri、瓜类疫霉 *P. melonis* 和烟草疫霉 *P. nicotianae*) ITS rDNA 序列进行系统进化树分析,结果表明,菌株 P-1 与辣椒疫霉菌 *P. capsici* 聚类在同一分支,进一步确定 P-1 为 *P. capsici*(图 7)。

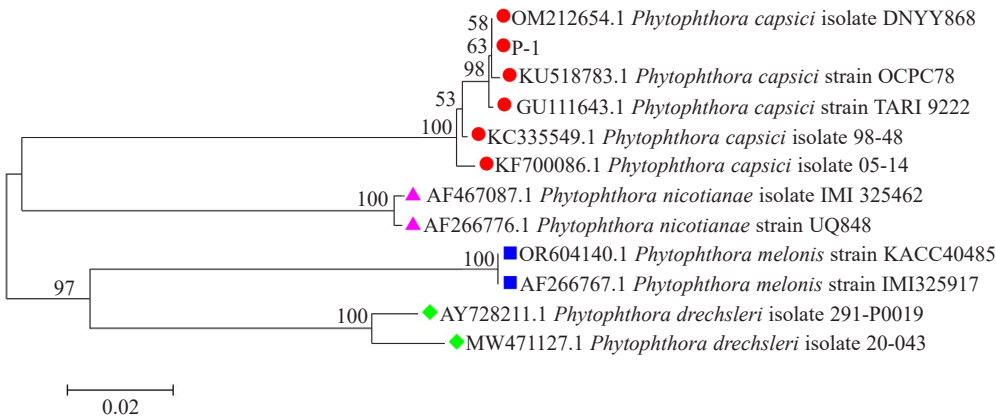


图 7 病原菌 P-1 同源序列系统进化树分析
Fig. 7 Phylogenetic tree analysis of the P-1 homologous sequences

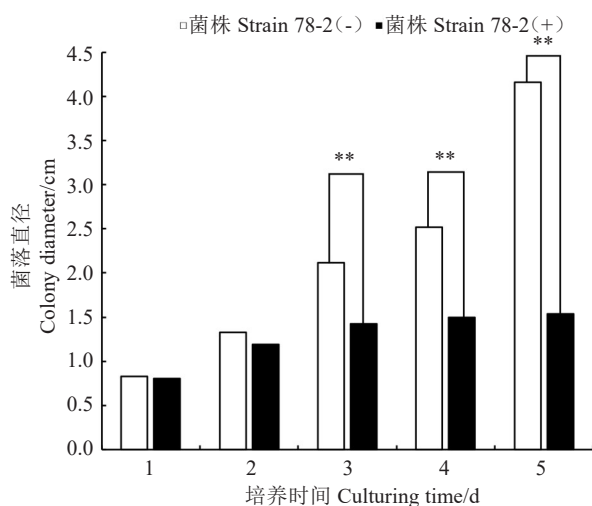
2.4 平板对峙试验验证

为了验证贝莱斯芽孢杆菌菌株 78-2 对疫霉菌 P-1 的拮抗作用,进行了平板对峙验证。在 LB 培养基中培养 5 d 后,发现试验组 78-2(+)中疫霉菌 P-1 的菌落直径显著小于对照组 78-2(-)(图 8),对照组 78-2(-)中疫霉菌 P-1 长满整个平板(图 9),说明疫霉菌 P-1 被明显抑制生长。以上结果表明,菌株 78-2 对疫霉菌 P-1 有拮抗作用。

3 讨论与结论

河南是我国甜瓜和辣椒的主产区之一,近年来

在临颍县和鄢陵县等产区,薄皮甜瓜与辣椒露地套种栽培技术得到大面积推广,成为当地农民增收致富的重要来源。然而伴随着土地连年种植,连作障碍日益严重,死苗、烂瓜现象从零星分布向大面积流行发展,有的地块甚至绝收。笔者在调研过程中走访发现,当地种植户对病害识别不准确,仅仅按照植株发病表型,将植株枯萎症状统称为“枯萎病”,导致防治缺乏针对性。为此,笔者采集了田间发病的甜瓜和辣椒病样,通过分离、纯化、鉴定,证明致病菌为辣椒疫霉菌,可为病害精准防控提供参考。

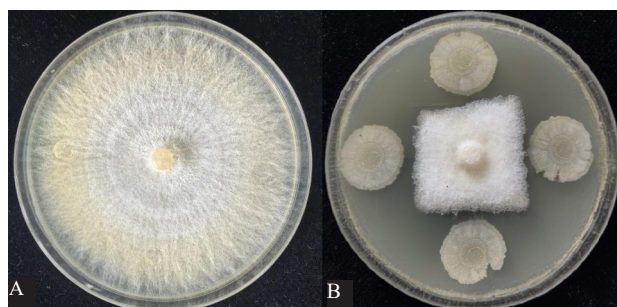


注:**表示同一时间的不同处理在 0.01 水平差异极显著。

Note: ** indicate extremely significant difference between different treatments of the same time at 0.01 level.

图 8 菌株 78-2 对 P-1 菌落直径的影响

Fig. 8 Effects of strain 78-2 on colony diameter of pathogen P-1



注:A. 对照组;B. 试验组 78-2(+).

Note: A. Control group; B. Treatment group 78-2(+).

图 9 平板对峙试验第 5 天疫霉菌 P-1 生长情况

Fig. 9 Growth status of *P. capsici* P-1 on the 5th day of plate confrontation experiment

疫霉菌属于鞭毛菌亚门(Mastigomycotina)卵菌纲(Oomycetes)霜霉目(Peronosporales)疫霉属(*Phytophthora*)。根据前人报道,能侵染瓜类作物的疫霉菌有辣椒疫霉(*Phytophthora capsici*)、掘氏疫霉(*Phytophthora drechsleri*)、瓜类疫霉(*Phytophthora melonis*)和烟草疫霉(*Phytophthora nicotianae*)^[11-12]。笔者通过形态学观察发现,病原菌的孢子囊为椭圆形带有乳突,游动孢子呈球形,这些都是辣椒疫霉菌的典型特征^[13]。通过扩增和比对病原菌的 ITS 序列,发现分离的病原菌 P-1 与辣椒疫霉菌菌株 TARI9222(GenBank 登录号:GU111643.1)的序列相似度最高,在系统进化树中与多个辣椒疫霉菌菌株处于同一分支,进一步证明该菌为辣椒疫霉菌。

辣椒疫霉菌可进行有性生殖产生卵孢子,也可

形成厚垣孢子越冬,成为翌年的初侵染源。该病原菌的危害在世界各地均有发生,其寄主范围非常广泛,对甜瓜等葫芦科作物也具有强侵染力^[14-15]。辣椒疫霉菌以侵害瓜根颈部为主,还可侵染叶、蔓和果实。根颈部发病初期产生暗绿色水渍状病斑,病斑迅速发展环绕茎基呈软腐状,全株萎蔫枯死,叶片呈青枯状,维管束不变色。有时在主根中下部发病,产生类似症状,病部软腐,地上部青枯。叶片染病时则生暗绿色水渍状斑点,扩展为近圆形或不规则大型黄褐色病斑,天气潮湿时全叶腐烂;干燥时病斑极易破裂。严重时,叶柄、瓜蔓也可受害,症状与根颈部相似,果实染病生暗绿色近圆形水渍状病斑,潮湿时病斑凹陷腐烂长出一层稀疏的白色霉状物^[16]。目前,疫病主要采用综合防控措施,传统化学防治成本高,对大面积的土壤流行性病害效果不佳。最好的防治措施是选用抗病品种,当前甜瓜多采用嫁接育苗,选择抗病砧木可以有效降低病害的发生率^[17]。另外,每年生产季结束后和翌年幼苗移栽前,要彻底清除田间病残株和杂草,每 667 m²可用 100 kg 5%石灰水均匀地喷洒于地面消毒,并深耕土壤晒土,促使病残体分解,减少病原。田间发现发病植株要及时拔除,带至指定区域深埋或烧毁,降低田间菌原数量,防止进一步蔓延,并在病株种植穴及其周围土壤撒石灰粉进行消毒^[18]。采用高垄地膜栽培和膜下滴灌的栽培方式,可避免大水漫灌造成病原菌扩散,地爬栽培的甜瓜植株和果实在膜上生长可减少与土壤的接触机会,避免接触到病原菌。与玉米、小麦轮作倒茬也可以有效降低土壤中病原菌的数量^[19]。研究表明,玉米根际中的酚酸具有较强的抗菌活性,可有效抑制疫霉菌孢子的运动和萌发^[20]。生物防治也是防治疫病的有效方法,张琦等^[21]研究表明,贝莱斯芽孢杆菌 SM2 对番茄灰霉病有较好的生防效果,笔者验证了贝莱斯芽孢杆菌菌株 78-2 对辣椒疫霉菌具有明显的拮抗作用。

综上所述,笔者通过形态学观察、致病力测定和分子生物学鉴定,明确了导致鄢陵地区薄皮甜瓜和辣椒大面积枯萎的是疫病,致病菌为辣椒疫霉菌,贝莱斯芽孢杆菌菌株 78-2 对该病原菌具有拮抗作用。研究结果为甜瓜和辣椒疫病的早期诊断与防控提供了理论依据,对甜瓜和辣椒产业的可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 佚名. 全国甜瓜主要优势产区生产现状(二)[J]. 中国蔬菜, 2011(19):14-17.

- [2] 刘爱花. 甜瓜与辣椒套种高效栽培技术[J]. 广东蚕业, 2021, 55(2): 60-61.
- [3] 张德珍, 迟文娟, 李婷婷, 等. 辣椒疫病生防菌的防病促生作用及其鉴定[J]. 山东农业科学, 2021, 53(10): 91-96.
- [4] 张子玉, 东保柱, 孟焕文, 等. 南瓜果实蔓枯病原菌鉴定[J]. 植物病理学报, 2024, 54(4): 848-851.
- [5] ZHANG Z G, LI Y Q, FAN H, et al. Molecular detection of *Phytophthora capsici* in infected plant tissues, soil and water[J]. Plant Pathology, 2006, 55(6): 770-775.
- [6] 郭鹏豪, 刘秀丽, 崔颖鹏, 等. 真菌通用引物 ITS1 和 ITS4 在丝状真菌鉴定中的价值评价[J]. 中国微生物学杂志, 2013, 25(8): 922-924.
- [7] 苏慧东. 南瓜疫病病原菌的分离鉴定及抗性种质资源筛选[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023.
- [8] 朱大恒, 刘丽, 刘雨松, 等. 芽孢杆菌 LL17 的分离鉴定及其对仓储烟叶霉变菌的抑制效果[J]. 烟草科技, 2017, 50(8): 23-29.
- [9] SOTO- CONTRERAS A, CAAMAL- CHAN M G, RAMÍREZ-MOSQUEDA M A, et al. Morphological and molecular identification of *phytophthora capsici* isolates with differential pathogenicity in *Sechium edule*[J]. Plants, 2024, 13(12): 1602.
- [10] HAUSBECK M K, LAMOUR K H. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: Research progress and management challenges[J]. Plant Disease, 2004, 88(12): 1292-1303.
- [11] 谢大森, 何晓明, 彭庆务. 瓜类疫病病原物研究进展[J]. 农业科技通讯, 2009(3): 73-75.
- [12] 李卫民, 宴卫红, 黄思良, 等. 广西黑皮冬瓜疫病的病原菌鉴定及其生物学特性[J]. 植物病理学报, 2007, 37(3): 333-336.
- [13] 许志刚. 普通植物病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 雷刚, 周坤华, 陈学军, 等. 辣椒疫病研究进展[J]. 江西农业学报, 2023, 35(6): 39-48.
- [15] 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.
- [16] 中国农业科学院郑州果树研究所, 中国园艺学会西甜瓜专业委员会, 中国园艺学会西甜瓜协会. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 李国权, 闫承璞, 张新龙, 等. 不同砧木嫁接对薄皮甜瓜抗性、品质及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(19): 33-35.
- [18] 李振杰. 露地栽培辣椒疫病综合防治技术[J]. 农村新技术, 2025(3): 30-32.
- [19] 尹丽娟, 王召委, 杨卫杰, 等. 小麦与玉米轮作种植模式对土壤肥力的影响研究[J]. 种子科技, 2025, 43(7): 11-13.
- [20] ZHANG H, YANG Y X, MEI X Y, et al. Phenolic acids released in maize rhizosphere during maize- soybean intercrop inhibit *Phytophthora* blight of soybean[J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 886.
- [21] 张琦, 刘应敏, 杨东燕, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 SM2 对番茄灰霉病的生防效果[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(2): 66-73.