

青海高原地区设施辣椒病害调查及病原菌分离鉴定

尹莉蒙¹, 祝瑞洁², 咸文荣³

(1. 青海大学农林科学院 西宁 810016; 2. 海东市乐都区马营乡人民政府 青海海东 810899;
3. 青海省农业有害生物综合治理重点实验室 西宁 810016)

摘要: 针对青海高原地区设施辣椒病害日益严重、防治困难的问题, 为明确辣椒病害种类, 对青海省设施辣椒主栽地进行病害调查, 对具有典型症状的真菌病害样品采用组织分离法进行分离鉴定, 并进行形态学及分子生物学鉴定。结果表明, 青海地区设施辣椒病害共有 21 种, 其中辣椒疫病、白粉病、病毒病、灰霉病在调查点内均有发生且危害严重; 辣椒立枯病、猝倒病仅在湟源县发生; 多种病害在乐都区频发; 对主要真菌病害的代表性菌株进行形态学及分子鉴定表明, 辣椒灰霉病的主要病原菌为灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)、辣椒菌核病的主要病原菌为核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、辣椒疫病的主要病原菌为辣椒疫霉菌(*Phytophthora capsici*)、枯萎病的主要病原菌为尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、白斑病的主要病原菌为番茄匍柄霉(*Stemphylium lycopersici*)、黑斑病的主要病原菌为链格孢菌(*Alternaria alternata*)。本研究为明确青海地区辣椒病害发生种类以及病害的准确识别提供了理论依据。

关键词: 辣椒; 真菌病害; 分子鉴定; 致病性

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)09-187-10

Investigation of diseases and isolation and identification of pathogens in facility pepper in Qinghai plateau region

Yin Limeng¹, Zhu Ruijie², Xian Wenrong³

(1. Academy of Agriculture and Forestry, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China; 2. Maying Township People's Government, Ledu District, Haidong City, Haidong 810899, Qinghai, China; 3. Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management of Qinghai Province, Xining 810016, Qinghai, China)

Abstract: To address the increasingly severe disease incidence and control difficulties of facility-grown pepper in the Qinghai plateau region, and to clarify the disease species occurring on pepper, a disease survey was conducted in the major facility pepper production areas of Qinghai province. Fungal disease samples with typical symptoms were isolated and identified using the tissue isolation method, followed by morphological and molecular characterization. The results showed that a total of 21 pepper diseases were recorded in Qinghai. Among them, *phytophthora* blight, powdery mildew, viral diseases, and gray mold were observed at all survey sites and caused severe damage; *Rhizoctonia* damping-off and *Pythium* damping-off of pepper occurred only in Huangyuan county; and multiple diseases occurred frequently in Ledu district. Morphological and molecular identification of representative isolates revealed that the pathogens of pepper gray mold, *Sclerotinia* rot, *Phytophthora* blight, *Fusarium* wilt, leaf spot, and black spot were *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *Stemphylium lycopersici*, and *Alternaria alternata*, respectively. This study provides a theoretical basis for determining the species of pepper diseases occurring in Qinghai region and for the accurate identification of these diseases.

Key words: Pepper; Fungal disease; Molecular identification; Pathogenicity

辣椒(*Capsicum* spp.)原产于中南美洲, 16 世纪后期传入中国, 是世界范围内主要的香料作物之一, 也是重要的蔬菜之一^[1]。作为全球重要的经济作物, 其营养丰富且用途广泛, 所含的辣椒素、辣椒

红素等成分在食品、医疗、防腐等领域具有重要的应用价值^[2]。在青海地区, 设施辣椒栽培面积已达 1.81 万 hm², 占蔬菜总面积的 35%^[3], 成为当地农业经济的重要支柱产业。然而, 病害问题严重制约辣

收稿日期: 2026-01-31; 修回日期: 2026-05-15

基金项目: 青海省重点研发与转化计划(2024-NK-107)

作者简介: 尹莉蒙, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为植物病理学。E-mail: 3588707891@qq.com

通信作者: 咸文荣, 男, 研究员, 研究方向为作物病害综合防治技术。E-mail: xianwr@sina.com

椒产业发展,对辣椒的生长与产量产生显著影响,程度因环境而异^[4-5]。目前许多学者对辣椒炭疽病^[6]、灰霉病^[7]、疫病^[8]等主要病害进行了研究,明确了相应病原菌种类、发病规律及综合防治措施^[9-10]。针对辣椒真菌病害的发生特征及防治技术也已有系统报道,对云南、甘肃等地的辣椒黑斑病、枯萎病原菌鉴定也取得了阶段性成果^[11-12],但研究多集中于低海拔产区,针对高原地区设施辣椒的系统性病害调查及病原菌多样性研究仍较薄弱。

青海地区独特的高海拔、低温、强紫外线环境导致设施辣椒病害种类与平原地区存在较大差异,而当地此前尚未开展过全面系统的病害种类调查及病原菌分子鉴定工作。本研究于2023年5月至2024年9月对青海设施辣椒主栽区进行跨年度病害调查,结合形态学与分子生物学手段明确具有代表性的真菌病害病原菌种类,以期系统厘清青海地区设施辣椒病害的种类、分布特征及危害程度,明确辣椒典型真菌病害的病原菌分类地位及分子鉴定依据,建立适用于青海高原环境的辣椒病害诊断技术体系,为制定针对性防控策略提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 病害调查

1.1.1 病害调查及样本采集 本研究于2023年5月至2024年9月辣椒生长期,对青海省5个行政区(西宁市、海东市、黄南藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州、海南藏族自治州)的14个县、市、区(城北区、湟中区、湟源县、大通县、乐都区、循化县、互助县、民和县、化隆县、平安区、尖扎县、格尔木市、都兰县、贵德县)设施辣椒病害情况进行调查及样本采集工作。选取当地主栽品种航椒8号、乐都长辣椒、循化线椒、华美系列为研究对象(种子均由农户购买于当地农资店)。每个区县选取3个大棚,采用五点取样法^[13],每点调查5株。每个大棚采集同一病株典型病症的3~5个样本(叶片、茎秆以及病果),装于采样袋中,带回实验室备用。

1.1.2 病害种类划分 参照《植物病害诊断》^[14]及《蔬菜病虫害诊断与防治彩色图谱》^[15],根据病害症状特征(病斑形状、颜色、大小、着生部位等)进行初步归类。

1.1.3 病害危害程度统计 病害危害程度参照杨哲^[16]的方法进行统计分析。

+(轻微):叶部病斑面积占叶面积比例 $\leq 1/3$;枝梢受害比例 $\leq 20\%$;干、根、种实受害比例 $\leq 10\%$;++

(中等): $1/3 <$ 叶部病斑面积占叶面积比例 $\leq 2/3$; $20\% <$ 枝梢受害比例 $\leq 50\%$; $10\% <$ 干、根、种实受害比例 $\leq 20\%$;+++ (严重):叶部病斑面积占叶面积比例 $> 2/3$;枝梢受害比例 $> 50\%$;干、根、种实受害比例 $> 20\%$ 。

需要说明的是,上述分级标准主要用于病害发生现状的整体评估。在后续研究对象筛选中,以发生普遍且危害较重的真菌病害为重点,同时为全面调查辣椒病害,也将部分发生范围有限或危害程度较轻的真菌病害纳入鉴定与记录范围,进行病原菌鉴定,并验证其致病能力。

1.2 病原菌鉴定

病原菌鉴定试验于2023年5月至2024年9月在青海大学农林科学院植物保护研究所实验室进行。

1.2.1 培养基制备 马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):称取200 g去皮马铃薯切块,放入适量水中煮20~30 min,然后用纱布过滤,向滤液中加入琼脂和葡萄糖各20 g,加热完全融化后定容至1 L,用量筒量取100 mL分装至锥形瓶中,用封口膜封口,灭菌备用。

1.2.2 病原菌的分离纯化 采用组织分离法^[10]对病原菌进行分离。取典型发病的叶片、茎秆、病果样品,用清水冲洗表面杂质,用滤纸吸干表面多余水分,使用灭菌剪刀在病样病健交界处剪取0.4 cm见方的组织小块,用70%的酒精浸泡30 s,再用2%的次氯酸钠溶液消毒1 min,用超纯水或无菌水冲洗3次,放置于灭菌滤纸上,在超净工作台吹干后,接种在PDA培养基上,每皿接种4~5片组织小块,置于25℃恒温培养箱(SPX-150BIII,上海一恒科学仪器有限公司)培养3~5 d后,待长出菌丝后,放入新的PDA培养基中培养,即得到纯化菌株,连续纯化后,每个菌株保存3个平板,于4℃冰箱内保存备用。

1.2.3 病原菌形态学观察 对分离纯化获得的菌株,选取代表性菌株进行形态学观察(后续进行分子鉴定及致病力测定)。将供试菌株接种于PDA平板上,于25℃恒温培养箱中暗培养5~7 d,观察菌落颜色、形状、大小、边缘形态及菌丝生长速率等培养特征。挑取病原菌菌丝,制成临时玻片,在光学显微镜下观察菌丝、有无孢子以及孢子形态特征,根据《真菌鉴定手册》^[17]进行形态学初步鉴定。

1.2.4 病原菌分子生物学鉴定 采用CTAB(十六烷基三甲基溴化铵)法^[18]提取真菌病原菌基因组DNA。应用通用引物ITS1(TCCGTAG-

GTGAACCTGCGG) 和 ITS4 (TCCTCCGCT-TATTGATATGC)、G3PDHfor (ATTGACATC-GTCGCTGTCAACGA) 和 G3PDHrev (ACCCCACTCGTTGTCGTACCA)、RPB2for (GGGGWGAY-CAGAAGAAGGC) 和 RPB2rev (CCCATRGCCT-GYTTTTRCCCAT) 进行 PCR 扩增。引物 ITS 的 PCR 反应体系为 20 μ L, Premix Taq 酶 10 μ L, DNA 1 μ L, 引物各 1 μ L, ddH₂O 7 μ L, 扩增程序为 90 $^{\circ}$ C 预变性 5 min; 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 57.6 $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 1 min, 共 35 个循环; 72 $^{\circ}$ C 再延伸 5 min。引物 G3PDHfor/G3PDHrev 和 RPB2for/RPB2rev 的 PCR 反应体系均为 25 μ L, Premix Taq 酶 12.5 μ L, DNA 1 μ L, 引物各 1 μ L, ddH₂O 9.5 μ L, G3PDH 的扩增程序为 94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min; 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 64 $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 90 s, 共 35 个循环; 72 $^{\circ}$ C 再延伸 8 min。RPB2 的扩增程序为 94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min, 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 56 $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸, 90 s, 72 $^{\circ}$ C 再延伸 10 min, 35 个循环。采用琼脂糖凝胶电泳法^[14]检测 PCR 产物质量, 将胶回收后的 PCR 产物交由杨凌天润奥生物科技有限公司进行测序, 对测序后的结果片段在 NCBI 进行 BLAST 比对, 选择同源性高的序列用 MEGA 7.0 软件构建系统发育树。

1.2.5 病原菌致病力测定 致病力测定的辣椒品种为青海省主栽品种乐都长辣椒(青海昆仑种业集团有限公司提供), 种植于实验室温室中, 常规管理。待植株生长至 6~7 片真叶时, 选取健康离体叶片及活体植株对 1.2.3 中的代表性菌株进行致病力测定(回接)^[19]。将分离纯化的供试菌株于 PDA 平板上 25 $^{\circ}$ C 培养 7 d 后, 用灭菌打孔器在菌落边缘切取直径为 6 mm 的菌饼, 将菌饼接种于供试辣椒的叶片或植株茎基部(具体接种部位根据病害类型确定), 以接种无菌水或空白 PDA 琼脂块为对照。每个处理 3 次重复, 接种后放置到智能人工气候箱(HYR-400E-4, 陕西华屹仪器有限公司)中保湿培养, 温度 20 $^{\circ}$ C、相对湿度 70%、12 h 黑暗/12 h 光照交替培养。每日观察病斑生长情况, 3 d 后观察发病情况并拍照记录。

1.3 数据分析

采用 Excel 2019 整理调查数据, 采用 MEGA 7.0 软件构建系统发育树。

2 结果与分析

2.1 辣椒病害种类调查及发生程度

通过对青海地区设施辣椒主栽地进行病害情况调查, 其结果见表 1, 共发现 21 种辣椒病害, 涵盖真菌、细菌、病毒、线虫及非侵染性病害(如日灼病), 分别为疫病、炭疽病、灰霉病、白粉病、疮痂病、软腐病、病毒病、褐斑病、枯萎病、污霉病、白斑病、菌核病、叶斑病、黑斑病、日灼病、青枯病、茎基腐病、根腐病、立枯病、猝倒病、根结线虫病等。其中辣椒疫病、白粉病、病毒病、灰霉病发生普遍, 在各调查点均有发生, 且危害严重; 辣椒褐斑病、菌核病仅在乐都区发生; 辣椒枯萎病、青枯病、茎基腐病在乐都区、民和县、大通县普遍发生; 辣椒立枯病、猝倒病在湟源县发生较集中; 根结线虫病仅在平安区、循化县发生; 日灼病在光照强的乐都区、都兰县、格尔木市、互助县、大通县、湟中区发生; 炭疽病在平安区、乐都区发生; 疮痂病在乐都区、湟源县发生; 软腐病在乐都区、互助县、贵德县发生; 污霉病在湟中区、乐都区、湟源县发生; 白斑病在乐都区、民和县发生; 叶斑病在乐都区、贵德县、大通县、化隆县发生; 黑斑病在乐都区、循化县发生; 根腐病在乐都区、循化县、化隆县、湟源县、湟中区发生。在调查到的 21 种病害中, 白粉病、病毒病、疫病、灰霉病 4 种病害普遍发生且危害严重, 因白粉病为专性寄生菌, 只能寄生在活体寄主组织中。病毒病病原种类较多, 后期将针对辣椒病毒病进行系统鉴定试验, 故选择其中 2 种真菌病害(疫病、灰霉病)为此次重点研究对象; 另有 4 种真菌病害(枯萎病、菌核病、黑斑病、白斑病)虽发生范围不广或危害程度较轻, 但因具有一定代表性, 一并进行病原菌分离与鉴定。其中, 白斑病在青海辣椒上缺乏系统的病原学报道, 故也作为此次重点研究对象。

2.2 设施辣椒病害田间症状及病原鉴定

对 1.2.3 中选取的 6 种真菌病害的代表性菌株进行形态学观察、致病力测定及分子鉴定。结果表明: 辣椒灰霉病(代表菌株 HML47)的病原菌为灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*); 菌核病(代表菌株 HML2)的病原菌为核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*); 疫病(代表菌株 YB01)的病原菌为辣椒疫霉菌(*Phytophthora capsici*); 枯萎病(代表菌株 LJGF01)的病原菌为尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*); 白斑病(代表菌株 F155)的病原菌为番茄匍柄霉(*Stemphylium lycopersici*); 黑斑病(代表菌株 LGB02)的病原菌为链格孢菌(*Alternaria alternata*)。各病害具体鉴定结果如下。

2.2.1 辣椒灰霉病 发病的叶片多从叶尖形成 V

表 1 青海省设施辣椒病害种类及发生程度
Table 1 Types and occurrence severity of facility pepper diseases in Qinghai province

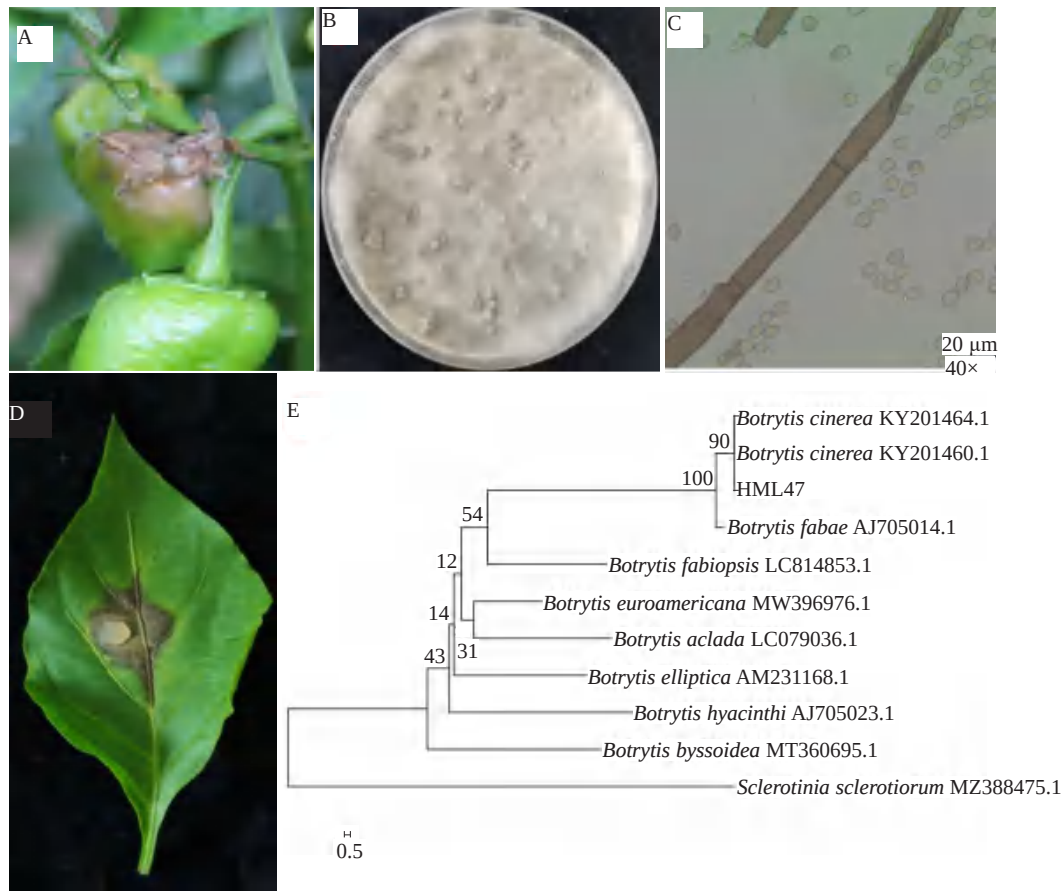
编号 No.	种类 Species	病原菌 Pathogen	危害部位 Affected part	危害程度 Disease severity	分布区域 Distribution area
1	疫病 <i>Phytophthora blight</i>	<i>Phytophthora capsici</i>	叶、茎、果 Leaf, stem, fruit	++	各调查点均发生 Occurred in all surveyed locations
2	炭疽病 Anthracnose	<i>Colletotrichum capsici</i>	叶、茎、果 Leaf, stem, fruit	+	平安区、乐都区 Ping'an district and Ledu district
3	灰霉病 Gray mold	<i>Botrytis cinerea</i>	叶、茎、花、果 Leaf, stem, flower, fruit	+++	各调查点均发生 Occurred in all surveyed locations
4	白粉病 Powdery mildew	<i>Oidiopsis taurica</i>	叶 Leaf	+++	各调查点均发生 Occurred in all surveyed locations
5	疮痂病 Scab	<i>Xanthomonas campestris</i>	叶、茎、果 Leaf, stem, fruit	+	乐都区、湟源县 Ledu district and Huangyuan county
6	软腐病 Soft rot	<i>Pectobacterium carotovora</i>	果 Fruit	+	乐都区、互助县、贵德县 Ledu district, Huzhu county, Guide county
7	病毒病 Viral diseases	Cucumber mosaic virus, tobacco mosaic virus, pepper mild mottle virus, tomato spotted wilt virus	叶、茎、果 Leaf, stem, fruit	+++	各调查点均发生 Occurred in all surveyed locations
8	褐斑病 Brown spot	<i>Cercospora capsici</i>	叶 Leaf	+	乐都区 Ledu district
9	枯萎病 <i>Fusarium wilt</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	全株 Whole plant	+	乐都区、民和县、大通县 Ledu district, Minhe county, Datong county
10	污霉病 Sooty mold	<i>Cladosporium capsici</i>	叶、果 Leaf, fruit	+	湟中区、乐都区、湟源县 Huangzhong district, Ledu district, Huangyuan county
11	白斑病 White spot	<i>Stemphylium lycopersici</i>	叶 Leaf	+	乐都区、民和县 Ledu district and Minhe county
12	菌核病 <i>Sclerotinia rot</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	茎 Stem	+	乐都区 Ledu district
13	叶斑病 Leaf spot	<i>Phaeoramularia capsicicola</i>	叶 Leaf	+	乐都区、贵德县、大通县、化隆县 Ledu district, Guide county, Datong county, Hualong county
14	黑斑病 Black spot	<i>Alternaria alternata</i>	叶、果 Leaf, fruit	+	乐都区、循化县 Ledu district and Xunhua county
15	日灼病 Sunscauld	无病原 No pathogen was detected	果 Fruit	+	乐都区、都兰县、格尔木市、互助县、大通县、湟中区 Ledu district, Dulan county, Golmud city, Huzhu county, Datong county, Huangzhong district
16	青枯病 Bacterial wilt	<i>Ralstonia solanacearum</i>	全株 Whole plant	+	乐都区、民和县、大通县 Ledu district, Minhe county, Datong county
17	茎基腐病 Stem base rot	<i>Thanatephorus cucumeris</i>	茎基 Stem base	+	乐都区、民和县、大通县 Ledu district, Minhe county, Datong county
18	根腐病 Root rot	<i>Fusarium solani</i>	根 Root	++	乐都区、循化县、化隆县、湟源县、湟中区 Ledu district, Xunhua county, Hualong county, Huangyuan county, Huangzhong district
19	立枯病 <i>Rhizoctonia damping-off</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	茎基 Stem base	+	湟源县 Huangyuan county
20	猝倒病 <i>Pythium damping-off</i>	<i>Pythium aphanidermatum</i>	茎基 Stem base	+	湟源县 Huangyuan county
21	根结线虫病 Root-knot nematode disease	<i>Meloidogyne incognita</i>	根 Root	+	平安区、循化县 Ping'an district, Xunhua county

注：+表明病害危害程度轻微；++表明病害危害程度中等；+++表明病害危害程度严重。
Note: + indicates mild disease damage; ++ indicates moderate disease damage; +++ indicates severe disease damage.

形的病斑,病斑逐渐变褐,相互扩散连片至叶子枯死,茎、花梗以及果实上都会出现灰色或棕色病斑,空气湿度较大时长出灰色霉层(图 1-A)。以 HML47 为代表性菌株,在 PDA 上病原菌菌落初期为白色,菌丝生长较快,后期大部分变为黄褐色或浅灰色(图 1-B)。5~7 d 后部分产生菌核,形状不规则,散生或环绕在 PDA 上,分生孢子多为卵圆形,

呈灰褐色(图 1-C)。对菌株 HML47 进行回接,叶片发病症状与田间症状相似(图 1-D)。

分子鉴定结果表明(图 1-E),HML47 分离菌株与 *Botrytis cinerea* 的同源性为 98%~100%,且位于同一进化分支,将 HML47 分离菌株确定为 *Botrytis cinerea*,确定青海地区辣椒灰霉病病原菌主要为灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)。



注:A. 田间发病症状;B. PDA 上的菌落形态;C. 显微镜下的病原菌菌丝及孢子;D. 回接症状;E. 基于 G3PDH 序列构建的系统发育树。

Note: A. Field symptoms; B. Colony morphology on PDA; C. Mycelia and conidia of the pathogen under microscope; D. Symptoms after re-inoculation; E. Phylogenetic tree constructed based on G3PDH sequences.

图 1 辣椒灰霉病形态学及分子生物学鉴定

Fig. 1 Morphological and molecular biological identification of pepper gray mold

2.2.2 辣椒菌核病 主要发生在辣椒主茎或侧枝的分杈处,病斑环绕分杈处,表皮呈灰、白色,从发病分杈处向上的叶片青萎,剥开分杈处,内部往往有鼠粪状的小菌核(图 2-A)。以 HML2 为代表性菌株,在 PDA 上菌核初为白色,老熟后变黑色鼠粪状(图 2-B)。分生孢子为单胞排列,无色透明,呈椭圆形(图 2-C)。对菌株 HML2 进行回接,植株发病症状与田间症状相似(图 2-D)。

分子鉴定结果表明(图 2-E),HML2 分离菌株

与 *Sclerotinia sclerotiorum* 的同源性为 98%~100%,且位于同一进化分支,将 HML2 分离菌株确定为 *Sclerotinia sclerotiorum*,确定青海地区辣椒菌核病原菌主要为核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)。

2.2.3 辣椒疫病 辣椒疫病的田间发病症状主要表现为成株期根部染病,初呈淡褐色湿腐状斑块,后逐渐变为黑褐色,导致根及根颈部初皮部腐烂,木质部变为淡褐色,引起整株萎蔫死亡(图 3-A)。以 YB01 为代表性菌株,在 PDA 上呈放射状、絮状,



图 2 辣椒菌核病形态学及分子生物学鉴定

Fig. 2 Morphological and molecular biological identification of pepper *Sclerotinia* rot

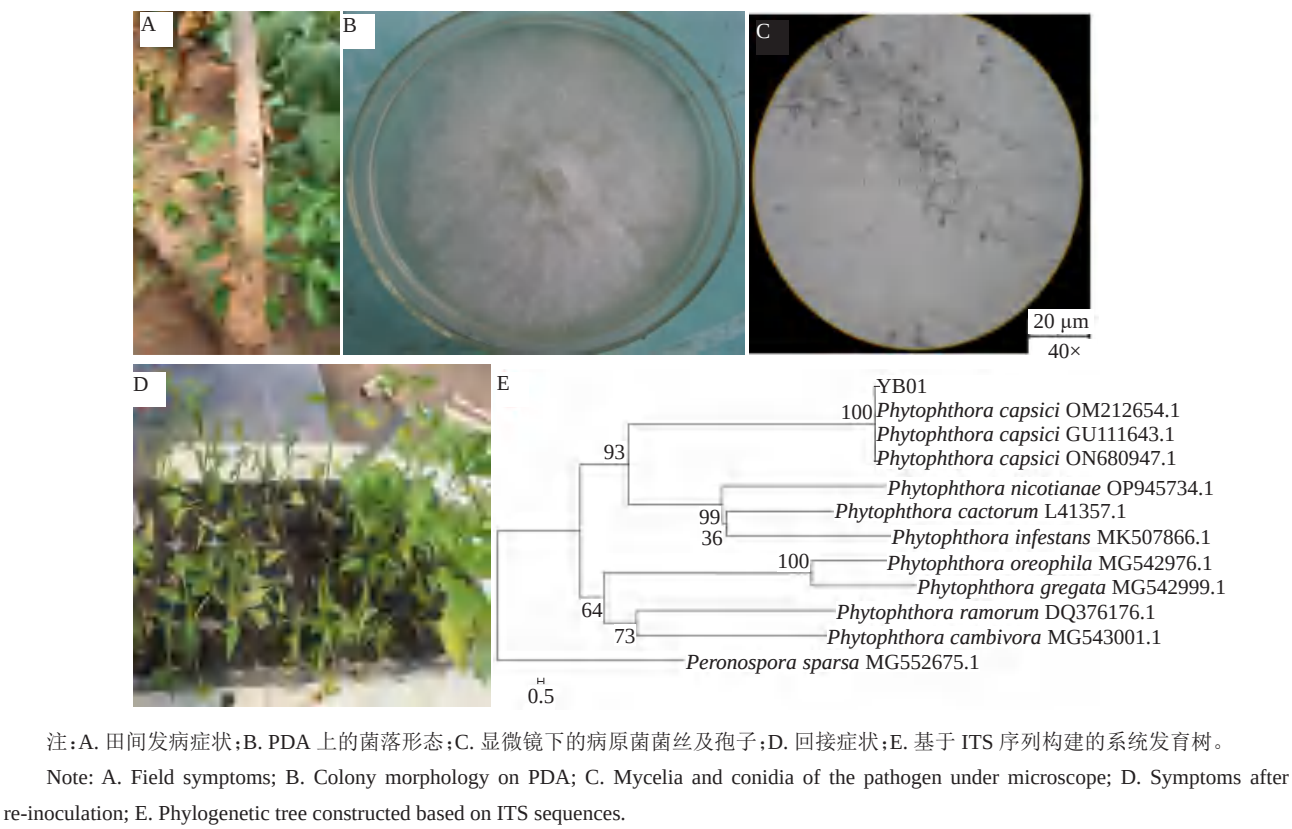


图 3 辣椒疫病形态学及分子生物学鉴定

Fig. 3 Morphological and molecular biological identification of pepper *Phytophthora* blight

气生菌丝中等到繁茂(图 3-B)。孢囊梗不规则分枝或伞形分枝,细长,粗 $1.5\sim 3.5\ \mu\text{m}$,孢子囊形态变化甚大,从近球形、卵形、肾形、梨形到长卵形、椭圆形和不规则形(图 3-C)。对菌株 YB01 进行回接,辣椒叶片发黄,植株萎蔫、倒伏(图 3-D)。

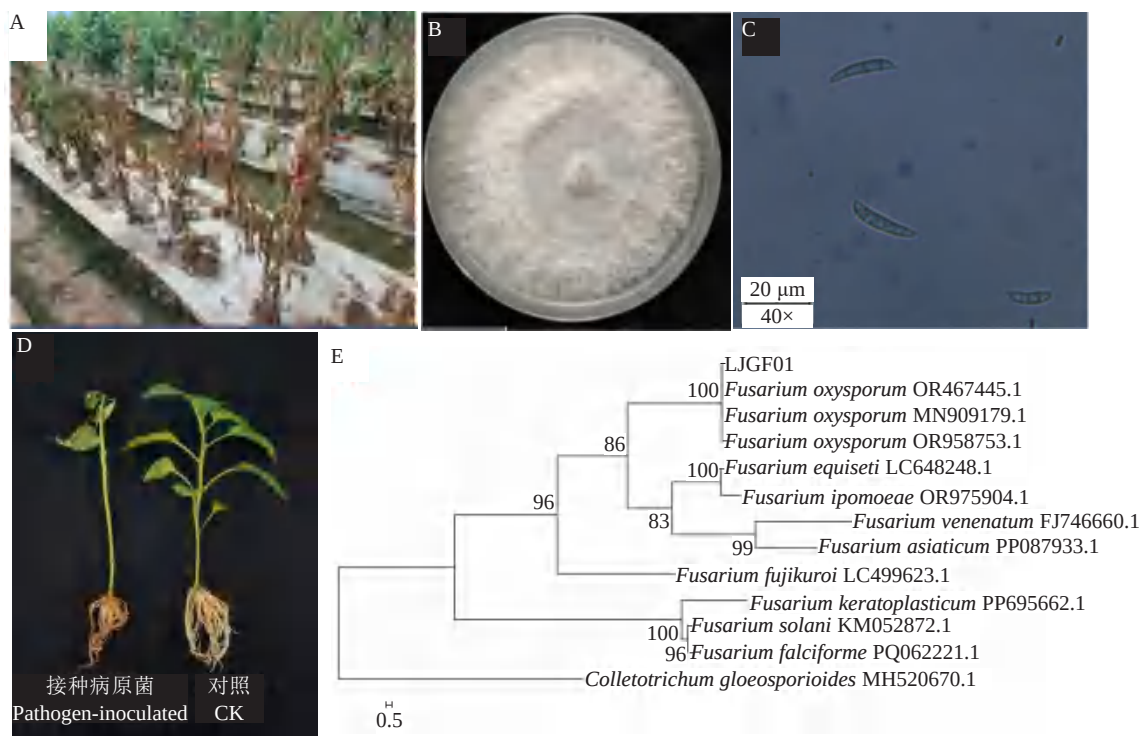
分子鉴定结果表明(图 3-E),YB01 分离菌株与 *Phytophthora capsici* 的同源性为 99%~100%,且位于同一进化分支,将 YB01 分离菌株确定为 *Phytophthora capsici*,确定青海地区辣椒疫病病原菌主要为疫霉菌(*Phytophthora capsici*)。

2.2.4 辣椒枯萎病 发病后植株出现凋萎,横剖病茎,病部维管束变为褐色,湿度大时,茎基部表面出现白色、红色或蓝绿色的霉状物(图 4-A)。以 LJGF01 为代表性菌株,在 PDA 平板上培养,菌落

突起絮状,菌丝白色质密,菌落粉白色、浅粉色至肉色,略带有紫色,由于大量孢子生成而呈粉质(图 4-B)。小型分生孢子着生于单生瓶梗上,常在瓶梗顶端聚成球团,单胞,卵圆形;大型分生孢子镰刀形,少许弯曲,多数为 3 隔(图 4-C)。对菌株 LJGF01 进行回接,叶片自下而上逐渐黄化、枯萎并脱落;茎基部表皮变褐,须根部分大量坏死、断裂,根系减少,呈深褐色(图 4-D)。

分子鉴定结果表明(图 4-E),LJGF01 分离菌株与 *Fusarium oxysporum* 同源性为 100%,且位于同一进化分支,将 LJGF01 分离菌株确定为 *Fusarium oxysporum*,确定青海地区辣椒枯萎病的病原菌主要为尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)。

2.2.5 辣椒白斑病 主要危害叶片,也可侵染茎



注:A. 田间发病症状;B. PDA 上的菌落形态;C. 显微镜下的病原菌孢子;D. 回接症状;E. 基于 ITS 序列构建的系统发育树。

Note: A. Field symptoms; B. Colony morphology on PDA; C. Conidia of the pathogen under microscope; D. Symptoms after re-inoculation; E. Phylogenetic tree constructed based on ITS sequences.

图 4 辣椒枯萎病形态学及分子生物学鉴定

Fig. 4 Morphological and molecular biological identification of pepper *Fusarium* wilt

部。发病叶片初生 $1\sim 2\ \text{mm}$ 褐色点,后边缘呈棕褐色,中央灰白色,略凹陷,尤其在嫩叶上易发生,开始病斑扩展缓慢,后逐渐形成轮纹状,湿度大时,病斑融合成不规则形斑,致病叶黄化或脱落(图 5-A)。以 F155 为代表性菌株,菌落灰色、淡褐色,部分有小点突(图 5-B)。分生孢子单生,长圆形,两

端钝圆或椭圆形,倒棒状,褐色(图 5-C)。对菌株 F155 进行回接,叶片正反面发病症状与田间症状相似(图 5-D、E)。

分子鉴定结果表明(图 5-F),分离菌株 F155 与 *Stemphylium lycopersici* 同源性为 96%,且位于同一进化分支,将 F155 确定为 *Stemphylium lycopersici*,

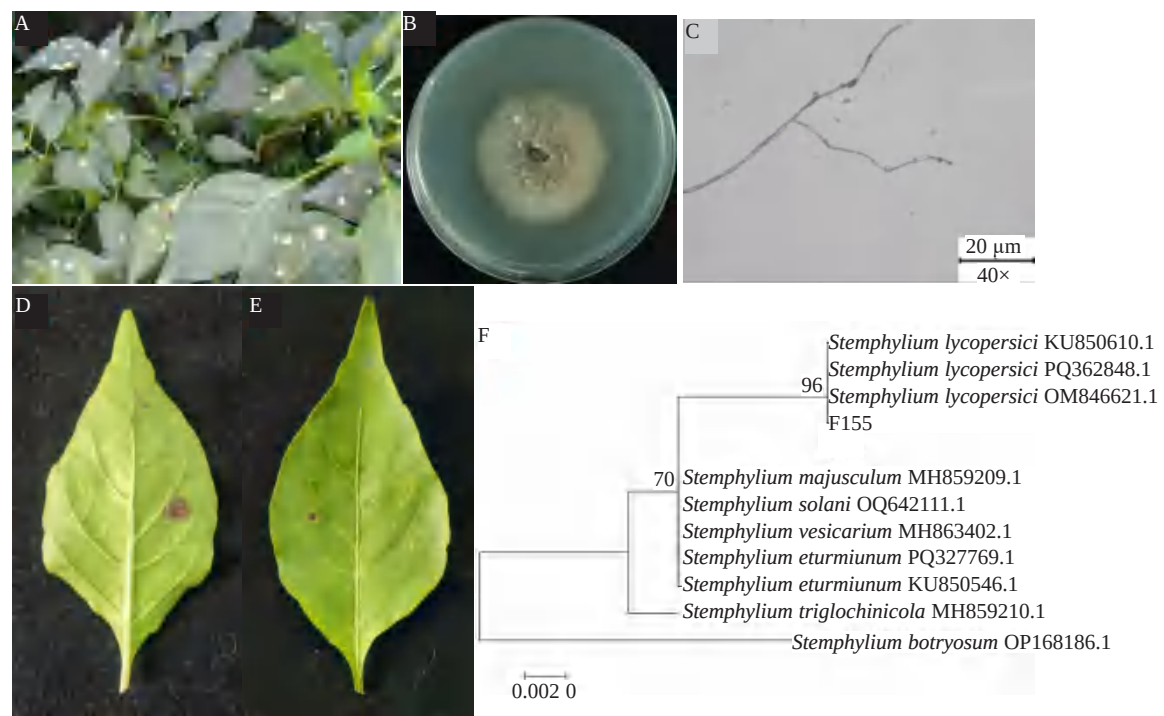


图 5 辣椒白斑病形态学及分子生物学鉴定
Fig. 5 Morphological and molecular biological identification of white spot disease in pepper

确定青海地区辣椒白斑病病原菌主要为番茄匍柄霉(*Stemphylium lycopersici*)。

2.2.6 辣椒黑斑病 以侵害果实为主，初侵染时形成褐色小斑点，随后变成淡褐色或黄褐色，形状不规则，中间稍凹陷。潮湿时病部散生密密麻麻的小黑点，严重时连片成黑色霉层。病斑在扩展过程中，常形成大坏死斑，使病果干枯(图 6-A)。以 LGB02 为代表菌株，在 PDA 上菌落呈扁平状，质地绒状或者羊毛状，初期为白色，后期为橄榄绿或者黑褐色(图 6-B、C)。分生孢子呈倒棒状、卵圆形或椭圆形，孢子颜色为橄榄褐色、青褐色或暗褐色，表面光滑(图 6-C)。对菌株 LGB02 进行回接，叶片发病症状与田间症状相似(图 6-E)。

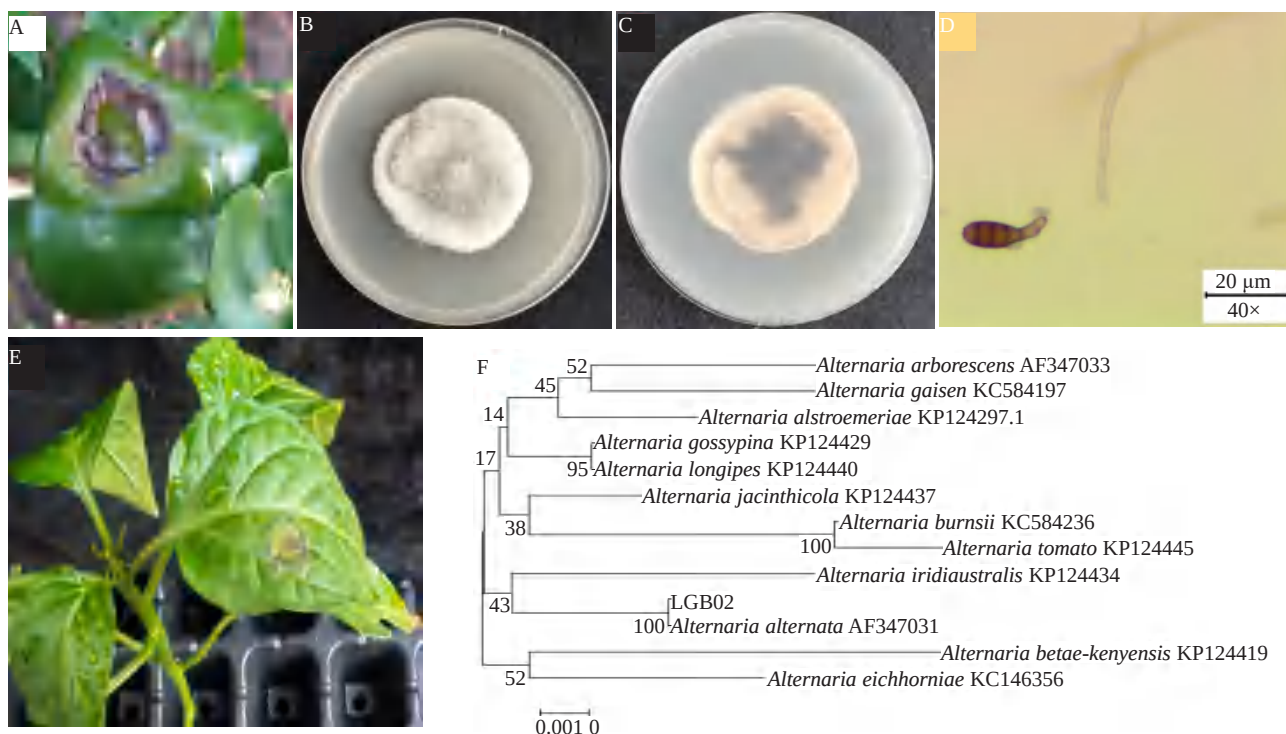
分子鉴定结果表明(图 6-F)，LGB02 分离菌株与 *Alternaria alternata* AF347031 同源性为 100%，且位于同一进化分支，将 LGB02 分离菌株确定为 *Alternaria alternata* AF347031，确定青海地区辣椒黑斑病病原菌主要为链格孢菌(*Alternaria alternata*)。

3 讨论与结论

随着青海省农业结构的调整，设施农业规模日

益扩大，设施大棚内高温高湿的微环境为多种辣椒病害的发生与流行创造了有利条件^[20]。本研究调查表明青海高原地区设施辣椒上共发生 21 种病害，较马海秀^[21]调查的病害种类有所增加，这可能与设施辣椒栽培面积持续扩大、连作障碍加剧、设施内温湿度变化以及种植密度增大等因素有关^[20]。此次调查发现疫病、白粉病、病毒病、灰霉病为青海高原地区普遍发生且危害严重的病害，表明这 4 种病害已成为制约青海设施辣椒产业可持续发展的关键因素之一。进一步分析发现，疫病和灰霉病均以土壤病残体为主要越冬来源，设施大棚内的高湿环境是驱动 2 种病害发生流行的共同关键环境因子，这一结论与蒲国年^[22]、滕亚芳^[23]关于设施蔬菜病害发生规律的研究结果一致。

通过对青海设施辣椒主栽地病害的田间调查，发现乐都区病害种类较多，多种病害在该区域内均有分布；辣椒立枯病和猝倒病在湟源县发生较为集中，可能与高海拔地区春季苗期地温偏低、设施内湿度偏高有关^[24]；日灼病主要发生在光照较强的都兰县、格尔木市等地；根结线虫病仅在平安区和循化县发现。研究结果明确了青海省不同设施辣椒



注: A. 田间发病症状; B~C. PDA 上的菌落形态; D. 显微镜下病原菌孢子; E. 回接症状; F. 基于 RBP2 序列构建的系统发育树。

Note: A. Field symptoms; B-C. Colony morphology on PDA; D. Conidia of the pathogen under microscope; E. Symptoms after re-inoculation; F. Phylogenetic tree constructed based on RBP2 sequences.

图 6 辣椒黑斑病形态学及分子生物学鉴定

Fig. 6 Morphological and molecular biological identification of black spot disease in pepper

产区的病害组成与区域分布特征,为因地制宜制定病害防控策略提供了基础依据。

在系统调查的基础上,本研究对 6 种真菌病害进行了形态学与分子生物学鉴定,明确了其病原菌种类。辣椒灰霉病、菌核病、疫病、枯萎病、白斑病、黑斑病的病原菌分别主要为灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)、核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、辣椒疫霉菌(*Phytophthora capsici*)、尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、番茄匍柄霉(*Stemphylium lycopersici*)、链格孢菌(*Alternaria alternata*)。其中,辣椒灰霉病、菌核病、疫病和枯萎病病原菌的鉴定结果与已报道的病原菌^[25-28]一致。白斑病病原菌番茄匍柄霉(*Stemphylium lycopersici*)作为青海辣椒白斑病的病原研究较少;黑斑病病原菌为链格孢菌(*Alternaria alternata*),该菌属于链格孢复合种,种内遗传分化明显^[29],后续可结合多基因系统发育分析方法对该病原菌的种内类群进行进一步界定。不同病原菌发生对环境条件的要求不同:灰葡萄孢菌和核盘菌在低温高湿(15~25℃、湿度>90%)条件下流行;辣椒疫霉菌在高温高湿条件下发病迅速、毁灭性强,在各调查点均有发生,是青海设施辣椒最具威胁的

病原菌;尖孢镰刀菌作为典型的土传病害,在连作区发病严重^[30];番茄匍柄霉和链格孢菌在部分州县发生,前者作为青海辣椒白斑病病原的形态学与分子生物学鉴定尚属首次报道,后者主要危害果实且与采收期温湿度密切相关^[31],此外,白斑病和黑斑病近年来危害发生范围扩大,需加强动态监测。

综上,通过对青海高原地区设施辣椒主栽地的系统病害调查,明确了该地区 21 种辣椒病害的种类、地理分布及发生程度,其中疫病、白粉病、病毒病、灰霉病为普遍发生且危害严重的病害,乐都区为多种病害高发区。同时,通过形态学与分子生物学鉴定明确了辣椒灰霉病、菌核病、疫病、枯萎病、白斑病、黑斑病分别是由灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)、核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、辣椒疫霉菌(*Phytophthora capsici*)、尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、番茄匍柄霉(*Stemphylium lycopersici*)、链格孢菌(*Alternaria alternata*)引起的。本研究可为当地设施辣椒病害的准确识别与科学防控提供理论依据。

参考文献

- [1] 林巧,辛竹琳,孔令博,等.我国辣椒产业发展现状及育种应对

- 措施[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(5): 82-95.
- [2] Yun S, Kim H. Insight into the phylogenetic relationships and evolutionary history of pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) through comparative analyses of plastomes[J]. Horticulturae, 2023, 9(10): 1092.
- [3] 彭月, 吴永红, 王俊莹, 等. 2021 年辣椒科学若干领域重要研究进展[J]. 辣椒杂志, 2022, 20(1): 1-11.
- [4] 侯富朋. 青海高寒地区温室大棚辣椒疫病的发生规律及综合防治措施[J]. 蔬菜, 2013(3): 40-42.
- [5] 郭赛赛, 聂智星, 傅鸿妃, 等. 设施辣椒常见病害及其综合防控技术[J]. 上海蔬菜, 2024(3): 62-65.
- [6] Riska, Budiyanti T, Jumjunidang, et al. Identification of *Colletotrichum* sp. causing anthracnose disease on chilli pepper in 50 Kota District West Sumatera Indonesia plantation[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025, 1471(1): 012058.
- [7] 白晓军, 华军, 李文德, 等. 张掖市甘州区日光温室辣椒灰霉病绿色防控技术[J]. 西北园艺, 2025(8): 44-46.
- [8] 蒋晶晶, 陶兴林, 李彩莲, 等. 辣椒品种抗病鉴定及防控辣椒疫病的中草药筛选[J]. 中国瓜菜, 2026, 39(4): 169-175.
- [9] 吴淑红. 辣椒枯萎病研究进展[J]. 蔬菜, 2022(6): 23-28.
- [10] 李小杰, 邵欣欣, 白静科, 等. 临颖县辣椒大田病害调查及主要病害的病原鉴定[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(12): 10-15.
- [11] 姜鼎煌. 大棚辣椒病害病原的鉴定与诊断[J]. 湖北植保, 2015(2): 11-15.
- [12] 赵一坤. 辣椒主要病害类型及防治技术研究[J]. 种子科技, 2022, 40(17): 105-107.
- [13] 马明. 新疆焉耆垦区加工辣椒 3 种主要病害发生规律调查及其防治药剂筛选[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2015.
- [14] 陆家云. 植物病害诊断[M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1997.
- [15] 董伟. 蔬菜病虫害诊断与防治彩色图谱[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [16] 杨哲. 九师设施蔬菜主要病害调查及防治对策研究[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2018.
- [17] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [18] 罗阿东, 陆邹红, 蔡秋, 等. 不同提取方法提取辣椒及其制品中 DNA 效果研究[J]. 现代农业科技, 2019(1): 212-213.
- [19] 沈会芳, 杨祁云, 张景欣, 等. 辣椒叶斑病原鉴定及其对杀菌剂的敏感性[J]. 植物保护, 2025, 51(2): 245-251.
- [20] 李本措, 李月梅, 塔林葛娃. 互助县设施蔬菜施肥现状调查[J]. 现代农业科技, 2019(14): 62-64.
- [21] 马海秀. 青海省循化县辣椒病虫害绿色防控技术[J]. 农业工程, 2018, 8(11): 124-126.
- [22] 蒲国年. 高寒地区温棚辣椒病害的发生与防治[J]. 现代农业科技, 2009(8): 94.
- [23] 滕亚芳. 浅谈我区辣椒主要病害发生规律及防治对策[J]. 农业开发与装备, 2015(3): 122.
- [24] 孙玲凌, 石娜, 杨铭, 等. 辣椒苗期常见真菌性病害的发生及防治[J]. 园艺与种苗, 2025, 45(5): 18-19.
- [25] 李宗珍, 徐友信, 李云玲. 设施辣椒灰霉病的发病特点及防治措施[J]. 黑龙江农业科学, 2020(2): 150-151.
- [26] 王晓宁. 浅析青海湟中县蔬菜菌核病发病规律与防治技术[J]. 农业工程技术, 2017, 37(20): 37.
- [27] 王黎明. 青海高寒地区辣椒疫病的危害与防治[J]. 西北园艺(蔬菜), 2011(1): 38.
- [28] 黄素芳, 朱育菁, 肖荣凤, 等. 辣椒枯萎病原菌分离鉴定及其在植株体内的分布[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2004, 43(增刊 1): 71-73.
- [29] 曾莹钢, 鲁海菊, 王栋, 等. 云南省蒙自市辣椒黑斑病初步研究[J]. 北方园艺, 2015(3): 109-113.
- [30] 李静, 韩之琪, 钊锦霞, 等. 辣椒枯萎病的诊断与防治[J]. 中国蔬菜, 2014(3): 71-73.
- [31] 肖晶, 陈维信, 刘爱媛, 等. 辣椒采后病害发生情况[J]. 中国蔬菜, 2008(6): 13-16.