

番茄颈腐根腐病的发生及其防治研究进展

杜建峰¹ 吴伟¹ 张晓英² 李洋¹ 丁新华¹

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东蓬勃生物科技有限公司, 泰安 271018)

摘要: 番茄颈腐根腐病是近年来冬春大棚番茄上发病最严重的土传病害之一, 其由尖孢镰刀菌 FORL 所引起, 该病害给我国的番茄生产造成了极大的损失。尖孢镰刀菌 FORL 与番茄枯萎病菌为同种尖孢镰刀菌的不同专化型, 但其比仅侵染番茄的番茄枯萎病菌的寄主范围更广、危害性更大。综述了番茄颈腐根腐病的发生、病原菌形态学和检测方法、发病规律及其防治研究进展, 并对番茄颈腐根腐病的研究进行了展望, 以期为我国番茄颈腐根腐病防治提供有益的参考。

关键词: 番茄颈腐根腐病; 化学防治; 生物防治; 农业防治; 抗病育种

DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2020-0260

Research Progress on the Occurrence and Control of *Fusarium* Crown and Root Rot of Tomato

DU Jian-feng¹ WU Wei¹ ZHANG Xiao-ying² LI Yang¹ DING Xin-hua¹

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018; 2. Shandong Pengbo Biotechnology Co. Ltd., Taian 271018)

Abstract: *Fusarium* crown and root rot of tomato is one of the most serious soil-borne diseases in greenhouses during winter and spring in recent years. It is caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL), which caused huge losses to tomato production in China. FORL and pathogen causing *Fusarium* crown and root rot of tomato were different specializations of the same species of *Fusarium oxysporum*; however, its host was broader and it was more harmful than the tomato *Fusarium oxysporum* that only infects tomato. This article reviews the research progress on the occurrences of *Fusarium* crown and root rot of tomato, pathogen morphology and detection methods, pathogenesis and its prevention and control, and prospects on the research of *Fusarium* crown and root rot of tomato, aiming to provide useful reference for the control on *Fusarium* crown and root rot of tomato in China.

Key words: *Fusarium* crown and root rot of tomato; chemical control; biological control; agricultural control; disease-resistant breeding

番茄颈腐根腐病是由尖孢镰刀菌 FORL (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*) 造成的一种危害极大的番茄土传病害^[1-2], 给番茄生产造成严重的经济损失^[3-4]。Sato 于 1974 年在日本首次报道了番茄颈腐根腐病^[5], 之后在美国、加拿大和以色列等 30 多个国家都发现了番茄颈腐根腐病。我国发现番茄颈腐根腐病较晚, 耿丽华等^[6]于 2007

年首次在北京郊区大棚内发现番茄颈腐根腐病^[6]。番茄颈腐根腐病发病初期, 番茄幼苗主要表现为番茄根部和基部变成褐色和腐烂, 成熟叶片变为黄色, 幼叶发生萎蔫现象; 番茄大苗主要表现为番茄根部和茎基部褐色病斑出现, 叶片发生黄化现象, 茎部维管束变色通常不超过根茎交接部 25 cm。番茄颈腐根腐病发病后期, 番茄主要表现为根部发生腐烂,

收稿日期: 2020-03-12

基金项目: 山东省重点研发计划(2019JZZY020608, 2019GNC106152), 山东省自然科学基金(JQ201807), 山东省高等学校青创科技支持计划(2019KJF023)

作者简介: 杜建峰, 男, 博士研究生, 研究方向: 植物保护; E-mail: dujianfeng1555@163.com

通讯作者: 丁新华, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 病原微生物与植物互作; E-mail: xhdng@sdaa.edu.cn

茎部发生萎蔫,导致植株发生倒伏现象^[7-8]。山东省是我国重要的番茄种植区,由于连续种植番茄,导致尖孢镰刀菌 FORL 在土壤中富集,进而爆发番茄颈腐根腐病,造成严重的经济损失。据统计,山东省寿光市设施种植番茄发病率在 80%,致死率在 30% 左右^[6,9]。目前,番茄颈腐根腐病在我国山东、黑龙江、河北和北京等地均有发生,已成为危害番茄生产的主要土传病害之一,给我国番茄生产造成了严重的经济损失。目前国内对于番茄颈腐根腐病的研究主要在化学防治和作物育种领域^[10],在生物防治和农业防治研究较少。结合国内外的研究,本文综述了番茄颈腐根腐病的研究进展,以期为我国番茄颈腐根腐病防治提供有益的借鉴。

1 番茄颈腐根腐病病原菌和发病规律

1.1 番茄颈腐根腐病病原菌形态学鉴定与分子检测

番茄颈腐根腐病病原菌是尖孢镰刀菌 FORL,一般为白色或粉红色,最适生长温度和 pH 分别为 25℃ 和 8^[11],尖孢镰刀菌 FORL 会产生 3 种孢子(大分子孢子、小分子孢子及厚垣孢子);小分生孢子可以进行番茄颈腐根腐病的传播,其形态为长椭圆形,一般无横隔;大分子孢子形态为镰刀形,一般有 3 个隔膜;厚垣孢子一般为顶生或间生,少数为串生或对生,抗逆性强^[1]。尖孢镰刀菌 FORL 可以侵染茄子、番茄等多种作物^[6]。

尖孢镰刀菌是一类既可侵染植物又可在土壤内生存的兼性寄生真菌。尖孢镰刀菌(*F.oxysporum*)寄主范围广泛,可引起瓜类、茄科、香蕉、棉、豆科及花卉等 100 多种植物枯萎病的发生。为了实现对疾病的有效管理,利用分子标记检测技术来进行病原物种水平的识别是非常可取的^[12]。Hirano 等^[13]研究表明以致病类型的尖孢镰刀菌的基因组 DNA 为材料,利用 PCR 扩增技术和 *spr1* 引物,仅尖孢镰刀菌 FORL 能扩增出了 947 bp 片段大小的 *pgx4* 基因。利用此方法可有效鉴别尖孢镰刀菌 FORL 与其他致病型尖孢镰刀菌。

1.2 番茄颈腐根腐病发病规律

番茄颈腐根腐病病原菌主要通过土壤传播^[14],也可以通过患病植物的患病部分如根、茎接触传播,

还可以通过患病的种子或堆肥进一步传播^[14]。番茄颈腐根腐病在低温、湿度较高的条件下发病率较高,其最适发病土壤温度为 18℃^[15]。病原菌通过植株伤口或自然孔口侵入,进而危害植物根和茎,让根部发生腐烂,茎部发生萎蔫,危害植株的生长。番茄颈腐根腐病病原菌侵染周期较长,一般在番茄盛果期发病。如果植物幼苗期感染,则在开花期发病。番茄颈腐根腐病一旦发病,则难以用药剂进行防治,最好的方式是提前预防。

1.3 番茄颈腐根腐病与番茄枯萎病的区别

番茄颈腐根腐病与番茄枯萎病的病原菌均为尖孢镰刀菌,都能导致番茄植株萎蔫,但是在症状、最适宜土壤温度等方面还是有很大的不同:番茄枯萎病原菌主要危害植物维管束导致番茄植株萎蔫,最适宜发病土壤温度为 28℃^[16],只危害番茄一种作物^[17];而番茄颈腐根腐病病原菌主要造成茎基部和根部褐变腐烂,茎部维管束变色通常不超过地面 25 cm,最适宜发病土壤温度为 18℃,一般在冬春大棚低温发病,可以危害番茄、茄子等多种作物^[17-18]。

2 番茄颈腐根腐病的防治

2.1 化学防治

目前,化学防治是番茄作物土传病害防治中最主要的措施。国外防治番茄根腐茎腐病的化学类合成药剂主要有消毒剂、杀菌剂、熏蒸剂、土壤厌氧消毒剂及化学诱抗剂。其中消毒剂主要是杀死基质、载体、种子等表面病原菌,降低病害发生的化学药剂。防治番茄颈腐根腐病的消毒剂主要有过氧乙酸、过氧化氢、乙酸、二甲基烷基苄基氯化铵、聚六亚甲基双胍盐酸盐等,研究表明:过氧化氢、过氧乙酸、过氧化氢、乙酸联合使用对培养载体岩棉板消毒,可以降低植株死亡率 66.7%;二甲基烷基苄基氯化铵和聚六亚甲基双胍盐联合使用对培养载体岩棉板消毒可以降低植株死亡率为 58.3%;两种处理均增加了番茄产量^[19]。防治番茄颈腐根腐病的杀菌剂主要有苯甲基和恶唑;研究表明,用 0.11 g ai/L 剂量的苯甲基可以降低番茄颈腐根腐病发病率 50%~90%^[20],用 0.8 mg/mL 剂量的恶唑可以降低番茄颈腐根腐病发病率 45%^[21]。长期使用化学农药容易产生抗药性,在病原菌产生抗药性后,一般可

以使用土壤熏蒸剂来防治土传病害；防治番茄颈腐根腐病的熏蒸剂主要有 1,3-二氯丙烯、三氯硝基甲烷（氯化苦）、叠氮化钠及异硫氰酸甲酯。研究表明，1,3-二氯丙烯和三氯硝基甲烷（氯化苦）（比例为 81:17）按照 200–327 L/ha 用量可以同时有效杀灭番茄颈腐根腐病病情程度高和低的土壤中病原菌^[22]；1,3-二氯丙烯和氯化苦（比例为 63:34）按照 900–1 200 mg/L 用量采用滴灌方式施药可以有效杀灭番茄颈腐根腐病病情程度低的土壤中病原菌^[23]；氯化苦与异硫氰酸甲酯按照 935 L/ha 用量采用喷洒方式可以有效可以同时有效杀灭番茄颈腐根腐病病情程度高和低的土壤中病原菌^[9]；叠氮化钠以 112 kg ai/ha 滴灌的方式也可以有效杀灭番茄颈腐根腐病病情程度低的土壤中病原菌。土壤厌氧消毒剂是指应用包括有机物和其他不稳定的碳混施在土壤中，接着灌溉，将聚乙烯地膜覆盖在土壤表面来创造微生物驱动的厌氧土壤来抑制土壤中病原菌和害虫。日本科研工作者用 1% 乙醇作为碳源并用地膜创造厌氧环境可以防治番茄颈腐根腐病^[24]。美国科研工作者将多种作物覆盖在地面，利用地膜创造厌氧环境可以降低土壤中番茄根腐病病原菌的数量^[25]。目前利用土壤厌氧消毒剂来防治番茄颈腐根腐病的研究较少。化学诱抗剂是指可以激发植物本身潜在的防御系统的化学类合成物质，目前防治番茄颈腐根腐病的化学诱抗剂是苯并噻二唑、苯甲酰-S-甲基等。研究表明，苯并噻二唑可以作为叶面喷雾剂应用于番茄植株，并对提高对番茄颈腐根腐病抗性的潜力^[26]；根际细菌和苯甲酰-S-甲基联合使用可以降低番茄颈腐根腐病发病率 10%^[21]。

国内科研工作者在利用化学类合成药物防治番茄颈腐根腐病领域已取得一定进展。国内防治番茄根腐茎腐病的化学类合成药剂主要以杀菌剂和消毒剂为主。防治番茄根腐茎腐病的杀菌剂主要有吡唑醚菌酯、丙环唑、戊唑醇、多菌灵、氟菌唑、及咪鲜胺等。其中吡唑醚菌酯主要通过阻碍病原菌能量合成和阻碍孢子萌发来防治番茄颈腐根腐病，并且吡唑醚菌酯对番茄生长没有影响；丙环唑与戊唑醇主要通过阻碍细胞膜等重要组分的合成来防治番茄颈腐根腐病，大剂量使用可能会影响番茄生长^[27–28]，以及研究了吡唑醚菌酯不同剂型和施药方式对防治

番茄颈腐根腐病的影响^[29]；多菌灵、咪鲜胺对番茄颈腐根腐病菌菌丝的抑制作用最好，氟菌唑的田间药效较好^[17]。防治番茄根腐茎腐病的消毒剂主要有反式-2-辛烯醛、反式-2-己稀、反式-2-庚烯醛等，研究表明，利用 25mg/L 及其以上浓度的反式-2-辛烯醛、反式-2-己稀熏蒸 3 d 可以完全消除土壤中番茄颈腐根腐病病原菌^[17]。

2.2 生物防治

经过多年的研究，国外科研工作者已经挖掘出了很多防治番茄颈腐根腐病生物资源并且研发了一系列商业的生物制剂^[30]。目前防治番茄颈腐根腐病的微生物资源主要有细菌和真菌。其中真菌主要有尖孢镰刀菌、哈茨木霉、曲霉、青霉菌等，Kavroulakis 等^[31]报道了尖孢镰刀菌（Fs-K）可以防治番茄颈腐根腐病发生较轻的情况，并且可以诱导植物产生抗性，防治番茄颈腐根腐病效果是 78%；对于哈茨木霉防治番茄颈腐根腐病的研究较多，Sivan 等首次发现哈茨木霉可以防治轻度番茄颈腐根腐病，防治效果为 30%–80%^[32]；El-mohamedy 等^[33]研究表明哈茨木霉可以通过苯酚和几丁质酶的积累来防治重度番茄颈腐根腐病，其防治效果为 24%；另外 Suleiman 等^[34]发现了哈茨木霉分离株 SP-3 和 SP-1 对尖孢镰刀菌 FORL 的抑制作用较强，可用于尖孢镰刀菌 FORL 的生物防治。Ahlem^[35]报道了具有几丁质酶、蛋白水解酶和淀粉酶活性的 *Fusarium* sp. I6 (MG835371) 能防治番茄颈腐根腐病，并且首次报道了 *Withania somnifera* 抑制番茄颈腐根腐病和促进番茄生长的潜力。防治番茄颈腐根腐病的细菌有绿假单胞菌、解淀粉芽孢杆菌、蜡样芽孢杆菌、根瘤菌等，Thomas 等^[36]报道了绿假单胞菌 PCL1391 可以产生吩嗪-1-羧酰胺来防治番茄颈腐根腐病，Datnoff 等^[37]报道了根瘤菌可以用于发番茄颈腐根腐病严重的情况，防治效果为 16%–53%，Santos 等^[38]报道了嗜酸枝芽孢杆菌作为潜在防治番茄颈腐根腐病的生物制剂。另外，植物提取物可以防治土传病害，Zhang 等^[39]报道了韭菜提取物通过影响孢子营养代谢，抑制孢子萌发。Kouassi 等^[40]报道了榄仁树种的茎皮可以作为控制镰刀菌病害的抗真菌化合物和人类医疗保健的天然抗氧化剂物质

的来源。

2.3 物理防治

防治番茄颈腐根腐病害的物理方法主要有加热消毒法、循环灌溉消毒法等。加热消毒法主要利用高温蒸汽消毒法、太阳能高温消毒法等,但是高温蒸汽消毒法防治番茄颈腐根腐病防治效果不稳定。Rowe 等^[41]利用高温蒸汽消毒法虽然能防治温室土壤里的番茄颈腐根腐病原菌,但是不能防治空气中病原菌,导致防治效果不稳定,同时 McGovern^[42]报道了利用高温蒸汽除菌法可以将聚苯乙烯泡沫塑料移植盘里的病原菌可以降低到无法检测的水平。太阳能高温消毒法主要利用薄膜和聚乙烯薄膜,如 Chellemi 等^[43]报道了使用透明的薄膜能够较好的降低番茄颈腐根腐病原菌数量,而在意大利温室进行的试验表明,使用 40 mm 厚、低密度聚乙烯薄膜可以有效防治番茄颈腐根腐病^[23],并且 Lombardo 等^[44]研究表明利用日光高温灭菌法增加产量高于利用氯化苦与 1,3-二氯丙烯熏蒸进行土壤熏蒸;日光高温灭菌法和熏蒸剂(Basamid)联合使用可以更有效地防治番茄颈腐根腐病^[45]。循环灌溉消毒法主要是利用紫外线等手段对灌溉用水和营养液消毒的一种技术。Jamart 等^[46]研究表明 150 mJ/cm⁻²剂量的紫外线消除了水中尖孢镰刀菌 FORL 的分生孢子;Park 等^[47]利用在水培条件下,利用介质阻挡放电(DBD)等离子体灭活番茄颈腐根腐病菌。

2.4 农业防治

目前防治番茄颈腐根腐病有效的农业耕作措施主要有改善土壤养分、轮作及清洁农业用具和水源。土壤养分可以影响植物营养,植物的营养状态可以影响它们对疾病的易感性。Duffy 等^[48]研究表明,番茄颈腐根腐病发病情况受铵态氮、NaH₂PO₄·H₂O、Fe-EDDHA、MnSO₄、MoO₃、ZnSO₄·7H₂O 的含量的影响,以及 Huang 等^[49]研究表明偏硅酸钠的土壤应用显著减轻番茄颈腐根腐病症状以及根系硅含量的增加。因此,避免使用氨氮肥料及将土壤 pH 值保持在 6-7 可以控制番茄颈腐根腐病的发生。轮作是防治土传病害的重要组成部分,主要通过种植不被病原菌寄生的作物来减少土壤中病原菌数量,但是尖孢镰刀菌 FORL 在没有寄主的情况下可以存活

时间较长,导致植物轮作对于番茄颈腐根腐病的防治效果一直不理想。清洁农业用具和水源也是防治番茄颈腐根腐病比较有效的方法,清洁用具和水源主要通过对农业耕作用具和水源进行彻底消毒,杀灭尖孢镰刀菌 FORL,切断传染源,达到预防番茄颈腐根腐病目的。

2.5 作物育种

培育抗番茄颈腐根腐病的番茄品种是一种防治番茄颈腐根腐病有效的、安全的方式。Vakalounakis 等^[50]通过野生番茄挖掘出了 9 号染色体上的一个显性基因 Frl 具有抗茎腐根腐病的能力,并通过该抗性基因培育出了抗颈腐根腐病的番茄品种。Fazio 等^[51]利用 RAPD 等技术挖掘出来 3 个与 Frl 连锁的 RAPD 标记(UBC#194、116、655),为今后的抗颈腐根腐病 Frl 基因家族抗性基因挖掘工作奠定了基础,Colak-Ates 等^[52]利用已有的 FORL 和 TYLCV 分子标记,对 418 个具有高产、优质和抗非生物胁迫特性的番茄基因型进行了研究,并且已培育出 Trebus、Komeett、Merlice 等多个品种,这些品种对番茄颈腐根腐病均有一定抗性。经过多年的科学研究,我国科研工作者也选育出了“精品红美女”、“花绣球”、“元明粉玉女”、“红色樱桃”等多个优良的抗性品种^[53-55]。

3 展望

番茄颈腐根腐病是番茄最严重的土传病害之一,给番茄生产造成严重的经济损失。因此研究如何高效的防治番茄颈腐根腐病具有重要的经济、生态及社会意义。利用抗病品种是防治番茄颈腐根腐病最经济有效的措施,但我国通过抗病育种培育的抗番茄颈腐根腐病的品种较少,分子标记育种还只处于试验阶段,鉴定和克隆高效抗番茄颈腐根腐病的基因是抗病育种的关键。利用高温日光消毒法虽然无法有效消除空气中的病原菌,但对于消灭土壤病原数量具有显著作用,是一种有效的预防手段。农业防治和生物防治符合社会可持续发展的要求,但是防治重度番茄颈腐根腐病情况时效果不显著,需要加大力度进一步研究清楚病害发生和流行的原因,并结合微生物组学、宏基因组测序等方法鉴定能够抑制病原发病的功能微生物菌群。化学防治是我国

防治番茄颈腐根腐病使用较多的防治策略,但是从实践效果来看番茄颈腐根腐病一旦爆发,化学防治往往效果有限,需要在病害爆发前或初期提前进行防治。

鉴于番茄颈腐根腐病的发病特点,可使用多种手段联合使用防治病害的发生。例如,种植抗番茄颈腐根腐病的番茄品种;使用健康的土壤或者通过高温日光消毒等方法对土壤消毒,多使用生物有机肥,避免使用氮氮肥料及将土壤 pH 值保持在 6-7,及时清理番茄病株,使用能够在低温繁衍的微生物菌剂抑制病原菌种群的爆发;种植期使用植物免疫诱抗剂 ZNC、超敏蛋白和氨基寡糖等提高植株免疫力和促进根系发育,若在发病期可采取化学药剂和生物制剂联合防治番茄颈腐根腐病等。

目前国内防治番茄颈腐根腐病的产品主要是化学药剂,产品较单一。因此,研发绿色、环保的防治番茄颈腐根腐病产品符合可持续社会发展的要求,是我国现代农业生产的保障。通过研究开发微生物源和植物源杀菌剂和诱抗剂,使用纳米微囊技术提高药剂作用效果,结合作物育种、农业防治和生物防治等多种方法,达到高效、环境友好和可持续的综合治理是现代化农业的目标。

参考文献

- [1] 李景富,孙亚莉,赵婷婷,等.番茄颈腐根腐病菌分离鉴定与生物学特性研究[J].东北农业大学学报,2018,49(2):22-30.
Li J, Sun Y, Zhao T, et al. Separation identification and biological characteristics of pathogen causing *Fusarium* crown and root rot of tomato [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2018, 49(2): 22-30.
- [2] 王家哲,任平,张锋,等.温室大棚番茄颈腐根腐病原菌的分离鉴定[C].中国植物保护学会2019年学术年会论文集.中国植物保护学会:2019:81-86.
Wang J, Ren P, Zhang F, et al. Isolation and identification of the pathogen of *Fusarium* crown and root rot of tomato in greenhouse [C]. Proceedings of the 2019 annual meeting of the Chinese society of plant protection, 2019: 81-86.
- [3] Gordon T. *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome [J]. Annu Rev Phytopathol, 2017, 55: 22-39.
- [4] 刘蕾,王辉.番茄颈腐根腐病原菌及抗病育种研究进展[J].长江蔬菜,2016,6:35-37.
- [5] Liu L, Wang H. Research progress on the pathogen and disease resistance breeding of *Fusarium* crown and root rot of tomato [J]. Changjiang Vegetable, 2016, 6: 35-37.
- [6] Bollen G. Fungal recolonization of heat-treated glasshouse soils [J]. Agro-Ecosystems, 1974, 1: 139-155.
- [7] 耿丽华,李常保,迟胜起,等.番茄颈腐根腐病原鉴定及不同条件对其生长的影响[J].植物病理学报,2012,42(5):449-455.
- [8] Geng L, Li C, Chi S, et al. Identification of the pathogen causing *Fusarium* crown and root rot of tomato and its growth affecting factors [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2012, 42(5): 449-455.
- [9] Joshi R. A review of *Fusarium oxysporum* on its plant interaction and industrial use [J]. J Med Plants Stud, 2018, 6(3b): 112-115.
- [10] Mcgovern R. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum* [J]. Crop Protection, 2015, 73: 78-92.
- [11] Mcgovern RJ, Vavrina CS, Noling JW, et al. Evaluation of application methods of metam sodium for management of *Fusarium* crown and root rot in tomato in southwest Florida [J]. Plant Disease, 1998, 82(8): 919-923.
- [12] 王迪.番茄根腐病原菌的鉴定及抗病种质资源筛选[D].哈尔滨:东北农业大学,2007.
Wang D. Identification of root rot on tomato and screening of tomato germplasm sources resistance to foot rot [D]. Northeast Agricultural University, 2007.
- [13] Rattink H. Targets for pathology research in protected crops [J]. Pest Management Science, 2006, 36(4): 385-388.
- [14] Lievens B, Rep M, Thomma B. Recent developments in the molecular discrimination of formae speciales of *Fusarium oxysporum* [J]. Pest Manag Sci, 2008, 64(8): 781-788.
- [15] Hirano Y, Arie T. PCR-based differentiation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *radicis-lycopersici* and races of *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* [J]. J Gen Plant Pathol, 2006, 72(5): 273-283.
- [16] Rekah Y, Shtienberg D, Katan J. Disease development following infection of tomato and basil foliage by airborne conidia of the soilborne pathogens *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and *F. oxysporum* f. sp. *basilici* [J]. Phytopathology, 2000, 90(12): 1322.
- [17] Yamamoto I, Komada H, Kyniyasu K, et al. A new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* inducing root rot of tomato [R].

- Annual Report of the Kansai Plant Protection Society, 1974, 16 : 17-29.
- [16] Ali D, Houda B, Enrique M, et al. Distribution and genetic variability of *Fusarium oxysporum* associated with tomato diseases in algeria and a biocontrol strategy with indigenous *Trichoderma* spp [J] . Frontiers in Microbiology, 2018, 9 : 282.
- [17] 范怀峰. 山东番茄土传病害调查与化学防治技术研究 [D] . 泰安 : 山东农业大学, 2014.
- Fan Y. Invesyigation and chemical control on tomato soil-borne diseases in Shandong province [D] . Taian : Shandong Agricultural University, 2014.
- [18] Poonam B, Poonam J, Priya K, et al. Host-induced silencing of pathogenicity genes enhances resistance to *Fusarium oxysporum* wilt in tomato [J] . Mol Biotechnol, 2017, 59 (8) : 343-352.
- [19] Slusarski C. The use of disinfectants for controlling a soilborne foot and root rot disease complex on greenhouse tomatoes in the rock wool open culture system [J] . Acta Horticulturae, 2000 (532) : 217-224.
- [20] Mihutagrimm I, Erb W, Rowe R. *Fusarium* crown and root-rot of tomato in greenhouse rock wool systems-sources of inoculum and disease management with benomyl [J] . Plant Disease, 1990, 74 (12) : 996-1002.
- [21] Myresiotis C, Karaoglanidis G, Vryzas Z, et al. Evaluation of plant-growth-promoting rhizobacteria, acibenzolar-s-methyl and hymexazol for integrated control of *Fusarium* crown and root rot on tomato [J] . Pest Management Science, 2000, 68 (3) : 404-411.
- [22] McGovern R, Vavrina C. Reduction of *Fusarium* crown and root rot in tomato by 1, 3-dichloropropene plus chloropicrin in southwest Florida [C] . Florida : Soiland Crop Science Society of Florila Proceedings, 2004, 60 : 96-99.
- [23] Minuto A, Gullino M, Lamberti F, et al. Application of an emulsifiable mixture of 1, 3-dichloropropene and chloropicrin against root knot nematodes and soilborne fungi for greenhouse tomatoes in Italy [J] . Crop Protection, 2006, 25 (12) : 1244-1252.
- [24] Momma N, Momma M, Kobara Y. Biological soil disinfestation using ethanol : effect on *Fusariumoxysporum* f. sp. *lycopersici* and soil microorganisms [J] . Journal of General Plant Pathology, 2010, 76 (5) : 336-344.
- [25] Butler D, Roskopf E, Kokalis N, et al. Exploring warm-season cover crops as carbon sources for anaerobic soil disinfestation (ASD) [J] . Plant and Soil, 2012, 355 (1) : 149-165.
- [26] Benhamou N, Belanger R. Benzothiadiazole-mediated induced resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in tomato [J] . Plant Physiology, 1998, 118 (4) : 1203-1212.
- [27] 曹海潮, 李秀环, 王晓坤, 等. 吡唑醚菌酯及三唑类杀菌剂对番茄颈腐根腐病的防治效果 [J] . 中国农业科学, 2018, 51 (21) : 4065-4075.
- Cao H, Li X, Wang X, et al. Control efficacy of pyraclostrobin and triazole fungicides against tomato crown and root rot [J] . Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51 (21) : 4065-4075.
- [28] 刘刚. 吡唑醚菌酯、丙环唑及戊唑醇均可防治番茄颈腐根腐病 [J] . 农药市场信息, 2018 (29) : 45.
- Liu G. Pyrazolesyl ester, propiconazole and tebuconazole can prevent and control *Fusarium* crown and root rot [J] . Pesticide Market Information, 2018 (29) : 45.
- [29] 王晓坤. 吡唑醚菌酯水药一体化防治番茄颈腐根腐病应用技术研究 [D] . 泰安 : 山东农业大学, 2017.
- Wang X. Study on the application of pyraclostrobin integrated with water to control the root rot of tomato [D] . Taian : Shandong Agricultural University, 2017.
- [30] Brian B, McSpadden G, Deborah R. Biological control of plant pathogens : research, commercialization and application in the USA [J] . Plant Health Prog, 2002.
- [31] Kavroulakis N, Ntougias S, Zervakis G, et al. Role of ethylene in the protection of tomato plants against soil-borne fungal pathogens conferred by an endophytic *Fusarium solani* strain [J] . Journal of Experimental Botany, 2007, 58 (14) : 3853-3864.
- [32] Sivan A, Ucko O, Chet I. Biological control of *Fusarium* crown rot of tomato by *Trichoderma Harzianum* under field conditions [J] . Plant Disease, 1987, 71 (7) : 587-592.
- [33] El-mohamedy R, Abdel-kareem F, Jabnoun-khiareddine H, et al. Chitosan and *Trichoderma harzianum* as fungicide alternativesfor controlling *Fusarium* crown and root rot of tomato [J] . Tunisian Journal of Plant Protection, 2014, 3 (1) : 369-374.
- [34] Suleiman A, Gambo S, Sunusi M. An *in vitro* antagonistic effect of *Trichoderma* spp. against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* [J] . FUDMA Journal of Sciences, 2019, 3 (1) : 369-374.
- [35] Ahlem N, Rania A, Hayfa J, et al. Ability of endophytic fungi

- associated with *Withania Somnifera* L to control *Fusarium* crown and root rot and to promote growth in tomato [J] . Brazilian Journal of Microbiology, 2019, 50, 481-494.
- [36] Thomas F, Guido V, Arjan J, et al. Biocontrol by phenazine-1-carboxamide-producing *Pseudomonas chlororaphis* Pc11391 of tomato root rot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* [J] . Mol Plant-Microbe Interact, 1998, 11 (11) : 1069-1077.
- [37] Datnoff L, Nemecek S, Pernezny K. Biological control of *Fusarium* crown and root rot of tomato in Florida using *Trichoderma harzianum* and *glomus intraradices* [J] . Biological Control, 1995, 5 (3) : 427-431.
- [38] Santos M, Diáñez F, Moreno-gavira A, et al. *Cladobotryum mycophilum* as potential biocontrol agent [J] . Agronomy, 2019, 9 (12) : 891.
- [39] Zhang X, Wang H, Zhu WY, et al. Transcriptome analysis reveals the effects of chinese chive (*Allium tuberosum* R.) extract on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* spore germination [J] . Current Microbiology, 2020, 77 (5) : 855-864.
- [40] Kouassi E, Coulibaly I, Pop R, et al. *In vitro* antioxidant potency and antifungal efficiency of four local *Terminalia* species against *Fusarium* strains [J] . Journal of Experimental, 2019, 9 (1) : 1-7.
- [41] Rowe RC, Farley JD, Coplin DL. Airborne spore dispersal and recolonization of steamed soil by *Fusarium oxysporum* in tomato greenhouses [J] . Phytopathology, 1977, 67 : 1513-1517.
- [42] McGovern R, Vavrina C, Mackay L. The effect of transplant tray type and tomato cultivar on the incidence of *Fusarium* crown and root rot in tomato transplants [J] . Proc Fla State Hort Soc, 1993, 106 : 173-175.
- [43] Chellemi D, Mirusio J. Optimizing soil disinfestation procedures for fresh market tomato and pepper production. [J] . Plant Disease, 2006, 90 (5) : 668-674.
- [44] Lombardo S, Longo A, Monaco A, et al. The effect of soil solarization and fumigation on pests and yields in greenhouse tomatoes [J] . Crop Protection, 2012, 37 : 59-64.
- [45] Gamliel A, Siti M, Arbel A, et al. Soil solarization as a component of the integrated management of *Fusarium* crown and root rot in tomato [J] . Acta Horticulturae, 2009, 808 (808) : 321-326.
- [46] Jamart G, Bakonyi J, Kamoen O. Uv disinfection of recirculating nutrient solution in closed horticulture systems [J] . Meded Fac Landbouwk Toege Biol Weten Univ Gent, 1994, 59 (3a) : 1071-1078.
- [47] Park YS. Inactivation of wilt germs (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*) using dielectric barrier discharge plasma in hydroponic cultivation system [J] . Journal of Environmental Science International, 2019, 28 (5) : 495-502.
- [48] Duffy B, Défago G. Macro- and microelement fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in a soilless production system [J] . Hortscience, 1999, 34 (2) : 287-291.
- [49] Huang C, Roberts P, Datnoff L. Silicon suppresses *Fusarium* crown and root rot of tomato [J] . J Phytopathol, 2011, 159 (7) : 546-554.
- [50] Vakalounakis D, Laterrot H, Moretti A, et al. Linkage between *Frl* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* resistance) and *Tm-2* (tobacco mosaic virus resistance-2) loci in tomato (*Lycopersicon esculentum*) [J] . Annals of Applied Biology, 2008, 130 (2) : 319-323.
- [51] Fazio G, Stevens M, Scott J. Identification of rapid markers linked to *Fusarium* crown and root rot resistance (*frr*) in tomato [J] . Euphytica, 1999, 105 (3) : 205-210.
- [52] Colak-Ates A, Fidan H, Karacaoglu M, et al. The identification of the resistance levels of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and tomato yellow leaf curl viruses in different tomato genotypes with traditional and molecular methods [J] . Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 17 (2) : 2203-2218.
- [53] Ye QJ, Wang RQ, Ruan MY, et al. Genetic diversity and identification of wilt and root rot pathogens of tomato in China [J] . Plant Disease, 2020, 104 (6) : 1715-1724.
- [54] 程琳, 张生, 李艳青, 等. 番茄颈腐根腐病原菌鉴定与抗病种质材料的筛选 [J] . 园艺学报, 2016, 43 (4) : 781-788.
- Cheng L, Zhang S, Li Y, et al. Pathogen identification of *Fusarium* crown root rot and screening for resistant sources in tomato [J] . Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43 (4) : 781-788.
- [55] 李潇, 李雪萍, 漆永红, 等. 番茄颈腐根腐病原菌鉴定及其品种抗性鉴定 [J] . 甘肃农业大学学报, 2019, 54 (5) : 121-127.
- Li X, Li X, Qi Y, et al. Identification and variety resistance of the pathogen of tomato crown and root rot [J] . Journal of Gansu Agricultural University, 2019, 54 (5) : 121-127.