

黄瓜抗枯萎病研究进展

隋继超, 李晓丽, 宋晓飞, 崔浩楠, 闫立英

(河北科技师范学院园艺科技学院·河北省特色园艺种质挖掘与创新利用重点实验室 河北秦皇岛 066000)

摘要: 枯萎病是黄瓜生产中的主要病害, 严重危害黄瓜的产量及品质, 了解黄瓜枯萎病抗病机制具有重要意义, 而对黄瓜抗枯萎病遗传规律及抗病基因定位相关研究有助于解析该机制。因此, 笔者综述了国内外关于黄瓜抗枯萎病的相关研究, 总结了黄瓜枯萎病的危害及发生规律、抗病基因遗传规律及定位、综合防治等方面的研究进展, 以为黄瓜抗枯萎病遗传育种提供参考。

关键词: 黄瓜; 枯萎病; 遗传规律; 抗病位点; 综合防治

中图分类号: S642.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-2871(2023)01-001-05

Advances on resistance of *Fusarium* wilt in cucumber

SUI Jichao, LI Xiaoli, SONG Xiaofei, CUI Haonan, YAN Liying

(College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology/Hebei Provincial Key Laboratory of Germplasm Mining and Innovative Utilization of Characteristic Gardening, Qinhuangdao 066000, Hebei, China)

Abstract: *Fusarium* wilt is the main disease in cucumber, which leads to heavy reduction of the yield and quality of cucumber. It is of great significance to study the resistance mechanism of cucumber *Fusarium* wilt. The genetic law of resistance to cucumber *Fusarium* wilt and the mapping of resistance genes is helpful to the analysis of the resistance mechanism. Here, we reviewed the research results of cucumber *Fusarium* wilt resistance at home and abroad, and summarized the research progress of the damage and occurrence of cucumber *Fusarium* wilt, the genetic law and location of disease resistance genes, and comprehensive control, in order to provide reference for the genetic breeding of cucumber *Fusarium* wilt resistance.

Key words: Cucumber; *Fusarium* wilt; Heredity laws; Resistance loci; Comprehensive control

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是世界十大蔬菜栽培作物之一, 是我国蔬菜供应生产中的重要组成部分, 作为我国重要的蔬菜作物, 生产规模占据世界第一^[1]。抗病性是黄瓜遗传改良的重要目标性状, 枯萎病是黄瓜生产上普遍发生的主要真菌性土传病害, 其病原菌主要侵染黄瓜的根或根颈部, 危害茎维管束组织, 黄瓜枯萎病发病率一般在 10%~30%, 严重时可达 50%, 甚至导致绝收^[2-3]。目前生产中黄瓜枯萎病防治方法主要为农业防治、生物防治及化学防治。但对于枯萎病这一土传病害, 采用化学防治和生物防治效果不佳, 虽然生产上南瓜嫁接可以解决枯萎病的危害, 但南瓜作为砧木会影响黄瓜果实的风味, 降低商品价值^[4]。因此, 选育抗病品种是最好且有效的防治枯萎病的途径^[5]。

1 黄瓜枯萎病的发生与危害

1.1 病原菌特性

黄瓜枯萎病病原菌为尖孢镰刀菌黄瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)。病原菌为白色气生菌丝且在 PDA 培养基上呈淡褐色或淡青紫色。尖孢镰刀菌黄瓜专化型在 25 °C 最适宜生长, pH 值在 7.0~9.0 时孢子最易萌发^[6]。生理小种是指病原物在形态上没有差异, 但在不同植物和品种上具有显著致病性差异的类群。在抗病性鉴定中采用含有不同抗枯萎病基因的黄瓜材料作为寄主对生理小种进行鉴定, 根据其抗感反应的差异来区分不同生理小种^[7]。目前, 引起黄瓜枯萎病的尖孢镰刀菌黄瓜专化型已分化出 4 种生理小种, 在中

收稿日期: 2022-07-08; 修回日期: 2022-09-05

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究项目青年基金项目(QN2022068); 河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队项目(HBCT2018030209)

作者简介: 隋继超, 男, 在读硕士研究生, 主要从事黄瓜遗传育种与分子生物学研究。E-mail: 18732477343@163.com

通信作者: 崔浩楠, 男, 讲师, 主要从事黄瓜分子遗传育种工作。E-mail: chn4051@hevtc.edu.cn

闫立英, 女, 教授, 主要从事黄瓜遗传育种与分子生物学研究。E-mail: yanliying66@126.com

国引起黄瓜枯萎病的是生理小种4号^[8]。

1.2 发病典型症状

黄瓜枯萎病发病时,幼苗期病株表现为茎基部缢缩,变褐呈水渍状,随后萎蔫倒伏;成株发病初期常表现为在中午时植株根茎部叶片萎蔫下垂,早晚又恢复正常;后期则表现为叶片萎蔫卷曲,连续几天叶片不能恢复正常,从下向上直至全株萎蔫,最后植株死亡^[9]。病株主蔓茎基部表皮纵裂,内部维管束呈黄褐色至黑褐色,且一直向顶端延伸;湿度大时茎部有树脂状胶质物溢出,发病处会产生粉红色霉状物,最后全株萎蔫^[9]。黄瓜枯萎病病原菌主要侵染植株的根部或根颈部,降低植株对水分与养分的吸收能力。但也有前人研究发现,黄瓜枯萎病与其水分输送障碍之间不是因果关系^[10]。病原菌侵染时,黄瓜抗枯萎病材料与感病材料的组织结构和生理生化特性存在显著差异,黄瓜对枯萎病表现抗性的不同主要由于高抗黄瓜枯萎病的品种可抵抗病菌入侵细胞表皮,且与高感枯萎病的材料相比能够更早产生保卫反应^[11]。

1.3 病害鉴定与分级

目前有多种方法用于黄瓜枯萎病的抗性鉴定,但广泛使用的方法仍是苗期抗性鉴定^[12]。目前苗期鉴定采用较多的方法是:采用行业标准所规定的浸根接种法^[7]进行接种,并将病害分为5个等级(0级:无症状;1级:子叶黄化未萎蔫;2级:子叶萎蔫;3级:子叶和真叶萎蔫或植株矮化;4级:枯死),通过计算病情指数(DI)来判定鉴别有效性(感病对照材料的DI>50时即视为有效)。杨凡等^[13]以抗感黄瓜枯萎病品种为试验材料,对4种接种方法(菌土接种法、灌根接种法、胚根接种法、下胚轴注射接种法)的有效性进行了比较,结果发现,下胚轴注射接种法(播种于灭菌基质后,于子叶展平期向距下胚轴1cm处进行注射接种)优于其他3种接种方法,从而更能高效鉴定黄瓜枯萎病抗性。

1.4 黄瓜枯萎病致病机制

黄瓜枯萎病主要发生在黄瓜的茎部,病原菌一般会通过伤口处感染植株,最终导致整株枯萎。在致病机制研究中,存在2种不同的假说,分别是导管束阻塞假说和致病毒素假说^[9]。导管束阻塞假说认为是由于入侵的病原菌在植株内部生长发育阻碍了水分运输,所以造成植株枯萎^[14];而毒素假说认为是病原菌产生的分泌物(串珠镰刀菌素与伏马菌素等)损伤了质膜,从而引起植株枯萎死亡^[15]。

2 黄瓜对枯萎病的抗性遗传规律

2.1 抗性遗传规律

研究黄瓜对枯萎病的抗性遗传规律是开发抗病资源和挖掘抗病基因的重要部分。Vakalounakis等^[16]发现黄瓜对枯萎病的抗性由单基因控制。毛爱军等^[17]对双亲、F₁和F₃代株系进行苗期抗枯萎病和黑星病接种鉴定,并根据鉴定结果对枯萎病的抗性遗传规律的连锁关系进行分析,认为WIS2757对枯萎病和黑星病的抗性均由单显性基因控制。周红梅等^[8]研究发现,WIS2757对黄瓜枯萎病的抗性符合显性单基因的遗传模式,由单显性基因控制。而对Cu13和京育202及其F₁的接种鉴定结果推测抗枯萎病材料Cu13的抗性受到多基因调控。侯安福等^[18]利用抗感不同的黄瓜品种或品系进行杂交,分析F₁、F₂和BC₂对枯萎病抗性的表现后,发现其抗性为完全或部分显性,认为黄瓜对枯萎病的抗性受到多个基因调控,且为数量性状遗传。李新等^[19]通过研究发现,黄瓜对枯萎病的抗性表现为部分显性。由此可见,对于黄瓜枯萎病抗性遗传规律的研究结果不一,这可能是由环境的影响或抗感材料的差异以及其他误差导致,对此仍有待进一步研究。

2.2 分子标记与基因定位

随着近年来育种技术的发展,可对目标性状进行准确选择和分离,并在DNA分子水平上对育种材料进行种质资源筛选,以此来精确育种。目前,关于黄瓜枯萎病抗病分子标记研究,王亚娟^[20]以黄瓜抗感枯萎病亲本的F₂代分离群体为材料,利用AFLP技术找到了一个与黄瓜枯萎病抗性相关基因连锁的共显性标记(E25M70-170 bp/167 bp),标记与枯萎病抗性基因之间遗传距离为8.12 cM;张海英^[21]采用分离群体分组分析法(BSA)研究发现,特异DNA片段P15M5-310与黄瓜枯萎病抗性基因连锁,遗传距离为7.0 cM;Zhang等^[22]利用148份F₉重组自交系和2416对SSR引物对黄瓜枯萎病抗性进行了研究,对枯萎病抗性进行QTL分析,筛选出一个主效QTL *Foc2.1*,位于2号染色体SSR03084-SSR1 7631区域,遗传距离为2.4 cM,该SSR标记对抗性种质选择的准确率为87.88%。周红梅等^[23]利用抗感枯萎病亲本及其F₁、F₂分离群体,通过构建抗、感池对黄瓜枯萎病抗性进行SSR分析,发现抗病位点 *Foc 4* 同样位于2号染色体上,共获得9个与黄瓜枯萎病抗性基因(*Foc-4*)连锁的SSR分子标记,并将 *Foc-4* 基因定位在2号染色体

两标记 SSR17631 和 SSR00684 之间,距基因 *Foc-4* 的遗传距离分别为 1.0 cM 与 0.9 cM。Dong 等^[24]使用黄瓜 F₂ 分离群体,利用 Indel 标记在 2 号染色体上成功鉴定出一个抗枯萎病的主效 QTL *fw2.1*,并使用 5 个标记将主效 QTL 位点 *fw2.1* 精确定位到包含 80 个候选基因的 2 号染色体上的 1 248 093~1 817 308 bp 的 0.60 Mb 区间。但以上这些黄瓜枯萎病抗性 QTL 的物理位置均不相同。

2.3 黄瓜对枯萎病的抗病机制

黄瓜对枯萎病抗性的不同主要由病原菌侵染时抗、感品种的组织结构与生理反应的差异导致。当病原菌从黄瓜植株的根毛或根部伤口侵入植株后,抗病品种会立即表现为细胞壁加厚,导管内会生成大量褐色物质,导管壁也会出现覆盖物,而感病品种产生褐色物质以及导管壁的覆盖物较慢,这说明高抗黄瓜枯萎病的品种可抵抗病菌入侵细胞表皮,且与高感枯萎病的材料相比能够更早产生保卫反应^[11]。此外,在病原菌侵入后,多种酶会进行催化反应,不同的生理生化反应也是造成植株对病原菌入侵表现出抗感反应的原因。祝久香^[25]从土壤中筛选到一株高效广谱的多粘类芽孢杆菌 HX-140,能诱导黄瓜植株产生几丁质酶等抗病相关防御酶,说明菌株 HX-140 可能有诱导黄瓜植株产生抗病性的能力。Zhang 等^[26]研究发现,LRR 家族蛋白可能在黄瓜对枯萎病的防御反应中发挥重要作用。此外,乙烯信号通路在调节黄瓜对尖孢镰刀菌感染的防御反应中也发挥了积极作用^[27]。

3 黄瓜枯萎病综合防治方法

3.1 农业防治

黄瓜枯萎病是一种普遍严重的土传病害,预防为主、防重于治,选用抗病品种可显著降低黄瓜枯萎病的发生率。对于土传病害的预防,可采用以下方法:

选用高抗黄瓜枯萎病的品种^[28],采用穴盘育苗等方式,减少病原菌侵染。生产上常通过嫁接育苗来防治黄瓜枯萎病等一系列土传病害,一般选用黑籽南瓜作为砧木进行嫁接,对黄瓜枯萎病的防治效果较好^[29]。

加强田间管理,栽培采用高畦;沟灌会加速病原菌的传播,浇水应采取小水勤浇,漫灌会加速病原菌的流动传播。提高棚室温度,使用 PO 膜等透光性好的棚膜,使棚内日温达到 32 ℃,夜温达到 15 ℃。尽量选择排水良好的沙质壤土进行种

植^[30]。同时增施腐熟后的有机肥,促进植株生长,提高抗病力^[31]。姚梦蝶^[32]研究发现,土壤酸化会加重枯萎病的发生,其中最适 pH 值为 6.5,pH 值为 5.5 时病害最严重,病菌的致病性最强。对于酸性土壤,可施用碱性的土壤改良剂减缓酸化程度,减轻土传病害的危害。可选择施用硅钙钾镁肥,抑病效果与腐植酸钾相比较为显著^[33]。

合理轮作,采用水旱轮作或非瓜类物种轮作,可以与茄科、豆科等作物进行轮作,轮作时间应较长,最好 3 年以上,2~3 年更换一次苗床地。采用不同作物或同一作物不同品系进行轮作、间作、套作等可以减少土传病害的发生,消除连作障碍。孙蓝笛^[34]研究发现,小麦与黄瓜伴生栽培能够降低枯萎病的发生率。郭晨曦等^[35]研究发现,进行土壤强还原处理能够显著提高连作生产土壤质量,降低发病率,添加生物菌肥还具有加成作用,是一种可快速缓解土壤连作障碍的有效措施。

3.2 化学防治

目前化学防治手段在黄瓜枯萎病生产上应用较为广泛。马永强^[36]通过试验得出 16% 噁霉灵·咯菌腈悬浮剂 40 mg·kg⁻¹ 与 53.3 mg·kg⁻¹ 处理对黄瓜枯萎病有较好的防治作用。任凯丽等^[37]研究发现,二烯丙基二硫(DADS)可以通过消除活性氧来提高植株对黄瓜枯萎病的抗性。郭嘉华等^[38]研究发现,西芹腐根丙酮二次层析物处理植株可激发其防御系统,可有效抑制黄瓜枯萎病的发生。王芳等^[39]采用生长速率法测定乳果糖对黄瓜枯萎病菌的抑制率,发现乳果糖会诱导黄瓜的抗性,可用于防治黄瓜枯萎病。顾泽辰^[40]研究发现,硝态氮的营养会通过黄瓜根系分泌物维持根际土壤真菌群落稳定的结构与功能、较高物种多样性从而抑制枯萎病的发生。虽然化学防治方便、见效快,但存在的缺陷仍不可忽视,不能将化学防治作为长久之计的原因不仅是对环境产生污染和危害健康,长久施用化学药剂后还可能会有其他严重的影响。崔凯^[41]研究发现,长期施用多菌灵会降低根际细菌等微生物的相对丰富度,反而会影响黄瓜枯萎病的防治效果。

3.3 生物防治

生物防治可以在控制病害蔓延的同时做到既环保又安全,发展前景广阔^[42]。枯草芽孢杆菌是目前广泛应用的有益且高效的生防细菌,具有环保健康等特点。魏滢洁^[43]研究发现,球毛壳菌与枯草芽孢杆菌复配后对黄瓜枯萎病的防效达到了 68.38%。此外,大部分木霉菌都可以抑制枯萎病发

生,木霉通过激发、诱导改善相关抗性指标,并直接抑制致病因子生长,从而抑制病害发生。张春秋^[44]研究发现,镰刀菌 10^4 CFU·g⁻¹ 与木霉菌厚垣孢子 10^5 CFU·g⁻¹ 互作时对黄瓜枯萎病的防治效果最好。赵洪姣^[45]研究发现,黄瓜抗病相关基因的表达受木霉菌的诱导,并筛选得到8个与木霉菌诱导黄瓜抗枯萎病相关的基因。王子俊^[46]分离得到的对黄瓜枯萎病有拮抗作用的2株青霉菌能诱导黄瓜植株防御酶 POD 等活性的升高,同时减少丙二醛的含量,从而增强植株抗病性,有效防治黄瓜枯萎病,对黄瓜有促生作用。季倩茹等^[47]研究发现,组合施用生防菌对黄瓜枯萎病的抑制效果优于单独施用,同时还会显著增加黄瓜植株的生物量。但由于生防菌在土壤中存活问题会影响生防微生物的效果,叶现丰^[48]研究分离出的珊瑚球菌 EGB 对多种尖孢镰刀菌以及其他植物病原菌具有高效捕食能力,在病害的生物防治方面具有良好的应用前景。除此之外,施露^[49]研究发现,经酿醋废料发酵后的醋糟基质可以有效防治黄瓜枯萎病,其中对黄瓜枯萎病产生抑制作用的为多粘类芽孢杆菌。罗文建等^[50]通过对尖孢镰刀菌拮抗菌进行分离筛选得到了黄瓜枯萎病的拮抗菌贝莱斯芽孢杆菌。李娜等^[51]筛选出1株对尖孢镰刀菌抑制较强的假单胞属菌株-弗雷德里克斯堡假单胞菌,对苗期枯萎病的防治率可达86.95%,同时促进植株生长。董玉洁^[52]研究发现,链霉菌会影响作物根际与土壤微生物群落之间的互作,对防治黄瓜枯萎病有很大价值,其拮抗细菌 GX-8 对黄瓜枯萎病防治效果最好,防效达到43.01%。

4 黄瓜抗枯萎病研究趋势与展望

目前在生产上,对于黄瓜枯萎病主要是以预防为主,防治黄瓜枯萎病的方法,主要趋向于更加绿色环保的生物防治,而生物防治存在的问题是效果不如化学防治,见效慢且不具有长效性。虽然生产上采用南瓜嫁接解决枯萎病产生的危害,但南瓜作为砧木会影响黄瓜果实的风味、降低商品价值。因此选育抗枯萎病黄瓜新品种是解决枯萎病危害的有效手段,目前对黄瓜枯萎病抗性遗传规律的研究,不同研究人员的结论并不相同。基因定位研究较少且结果均不相同,不能很好地应用于黄瓜抗枯萎病育种中。接下来应深入研究黄瓜抗枯萎病遗传规律并精细定位抗病基因,以期对黄瓜抗枯萎病遗传育种的研究提供基因资源与理论基础。

参考文献

- [1] 张圣平,苗晗,薄凯亮,等.“十三五”我国黄瓜遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2021(4):16-26.
- [2] 杨侃侃,刘晓虹,陈宸,等.黄瓜枯萎病研究进展[J].湖南农业科学,2019(6):121-124.
- [3] 陈胜萍,付丽军,陈志,等.黄瓜抗枯萎病育种研究进展[J].河北农业科学,2011,15(11):50-53.
- [4] 焦自高,王崇启,董玉梅,等.嫁接对黄瓜生长及品质的影响[J].山东农业科学,2000,32(1):26.
- [5] 韩金星,洪日新,周林,等.西瓜、黄瓜、甜瓜等瓜类枯萎病研究进展[J].中国瓜菜,2009,22(2):32-35.
- [6] 康萍芝,白小军,张丽荣,等.尖孢镰刀菌黄瓜专化型生物学特性研究[J].北方园艺,2018(22):65-69.
- [7] 中华人民共和国农业部.黄瓜主要病害抗病性鉴定技术规程第3部分 黄瓜抗枯萎病鉴定技术规程:NY/T 1857.3—2010[S].北京:中国农业出版社,2010.
- [8] 周红梅,毛爱军,张丽蓉,等.黄瓜枯萎病接种方法及抗性遗传的研究[J].华北农学报,2010,25(4):186-190.
- [9] 徐彦刚,贺振,李瑞,等.黄瓜枯萎病研究进展[J].中国瓜菜,2018,31(6):1-6.
- [10] SUN Y M, WANG M, LI Y R, et al. Wilted cucumber plants infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* do not suffer from water shortage[J]. Annals of Botany, 2017, 120 (3) : 427-436.
- [11] 陈珉,汪国平,吴定华,等.黄瓜枯萎病抗、感品种在病菌入侵后的病理组织学差异研究[J].华南农业大学学报(自然科学版),2003,24(4):110-112.
- [12] 李亚莉,侯栋,岳宏忠,等.黄瓜抗枯萎病研究进展[J].甘肃农业科技,2018,48(5):77-80.
- [13] 杨凡,唐艳领,牛莉莉,等.黄瓜穴盘苗期枯萎病抗性鉴定方法及枯萎病胁迫下的生理响应[J].中国瓜菜,2022,35(3):81-85
- [14] LIONETTI V, METRAUX J P. Plant cell wall in pathogenesis, parasitism and symbiosis[J]. Frontiers in Plant Science, 2014, 5: 612.
- [15] STEPIEN L, WASKIEWICZ A, URBANIAK, M. Wildly growing Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) hosts pathogenic *Fusarium* species and accumulates their mycotoxins[J]. Microbial Ecology, 2016, 71(4):927-937.
- [16] VAKALOUNAKIS D J. Inheritance and linkage of resistance in cucumber line SMR-18 to races 1 and 2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*[J]. Plant Pathology, 1995, 44: 169-172.
- [17] 毛爱军,张峰,张丽蓉,等.黄瓜品系 WIS2757 对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗性遗传与连锁分析[J].中国农业科学,2008,41(10):3382-3388.
- [18] 乐素菊,陈珉,吴定华,等.黄瓜枯萎病抗性遗传规律的研究[J].安徽农业大学学报,2014,41(2)270-272.
- [19] 李新,司龙亨.黄瓜抗枯萎病遗传特性的研究[J].农业科技与装备,2008(2):10-13.
- [20] 王亚娟.黄瓜枯萎病(*Cucumis sativus* L.)抗性相关基因的分标记研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [21] 张海英.黄瓜重要抗病基因的分标记研究及遗传图谱的构建[D].北京:中国农业科学院,2006.

- [22] ZHANG S P, MIAO H, YANG Y H, et al. A major quantitative trait locus conferring resistance to *Fusarium* wilt was detected in cucumber by using recombinant inbred lines[J]. *Molecular Breeding*, 2014, 34(4): 1805-1815.
- [23] 周红梅,董从娟,张海英,等. 黄瓜抗枯萎病基因连锁分析和定位[J]. *分子植物育种*, 2015, 13(9): 1980-1986.
- [24] DONG J P, XU J, XU X W, et al. Inheritance and quantitative trait locus mapping of *Fusarium* wilt resistance in cucumber[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 1425.
- [25] 祝久香. 黄瓜枯萎病拮抗细菌的筛选、发酵及生防机理研究[D]. 湖南长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [26] ZHANG D, MENG K X, HAO Y H, et al. Comparative proteomic analysis of cucumber roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Owen.[J]. *Pmpp Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2016, 96: 77-84.
- [27] DONG J P, WANG Y A, XIAN Q Q, et al. Transcriptome analysis reveals ethylene mediated defense responses to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* infection in *Cucumis sativus* L. [J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 334.
- [28] 王令俊. 日光温室黄瓜主要病虫害发生规律与防治[J]. *长江蔬菜*, 2021(13): 57-59.
- [29] 马晓凤. 黄瓜枯萎病综合防控[J]. *西北园艺(综合)*, 2019(5): 51-52.
- [30] 李玉红. 几种大棚黄瓜病害的科学辨别及防治措施[J]. *基层农技推广*, 2021, 9(9): 40-42.
- [31] 黄华彬. 黄瓜枯萎病的发生与防治[J]. *蔬菜*, 2014(12): 56-57.
- [32] 姚梦碟. 土壤 pH 值对黄瓜枯萎病发生的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [33] 李慧, 李乃荟, 崔文静, 等. 碱性土壤改良剂对盆栽黄瓜生长及枯萎病的防治效果[J]. *中国蔬菜*, 2020(6): 69-73.
- [34] 孙蓝笛. 不同小麦品种伴生对黄瓜枯萎病发生的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [35] 郭晨曦, 周桂芳, 陈碧华, 等. 强还原土壤灭菌法(RSD)对大棚连续三茬蔬菜生长、产量和病虫害的影响[J]. *河南农业科学*, 2020, 49(11): 98-109.
- [36] 马永强. 16%噁霉灵·咯菌腈悬浮剂防治黄瓜枯萎病田间防效试验[J]. *青海农林科技*, 2019(2): 79-81.
- [37] 任凯丽, 程智慧. 二烯丙基二硫对黄瓜枯萎病的抑制作用[J]. *北方园艺*, 2021(13): 10-18.
- [38] 郭嘉华, 武兆昕, 李蕾, 等. 西芹腐根二次酮层物对黄瓜枯萎病的诱导抗性及其转录组学分析[J]. *植物病理学报*, 2022, 52(3): 364-376.
- [39] 王芳, 魏婷婷, 毛志强, 等. 乳果糖对黄瓜枯萎病防效及其诱导抗性的作用[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(13): 154-159.
- [40] 顾泽辰. 氮素形态对黄瓜枯萎病及土壤真菌群落特征的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [41] 崔凯. 甲基硫菌灵及其代谢物多菌灵防控黄瓜枯萎病发生的根际微生物效应[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [42] 闫霜, 吴洪生, 周晓冬, 等. 黄瓜枯萎病生物防治研究进展[J]. *山东农业科学*, 2011, 43(1): 86-92.
- [43] 魏滢洁. 枯草芽孢杆菌的分离鉴定及其与球毛壳菌协同防治黄瓜枯萎病的研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2019.
- [44] 张春秋. 镰刀菌与木霉菌互作对黄瓜生长和枯萎病发病规律的影响[D]. 黑龙江大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [45] 赵洪蛟. 木霉防治黄瓜枯萎病的生理与分子机理[D]. 河南洛阳: 河南科技大学, 2018.
- [46] 王子俊. 防治黄瓜枯萎病的拮抗青霉菌株的分离鉴定及其功能性研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2021.
- [47] 季倩茹, 陈静, 胡远亮, 等. 3种芽孢杆菌菌剂对黄瓜枯萎病的防效及其作用机制初探[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(5): 101-107.
- [48] 叶现丰. 珊瑚球菌 EGB 防控黄瓜枯萎病的生理生态学机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [49] 施露. 源自醋糟基质的促生菌 NSY50 对黄瓜枯萎病的生防机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [50] 罗文建, 杨凡, 史宣杰, 等. 黄瓜枯萎病拮抗菌的分离鉴定及其生物防效[J]. *华中农业大学学报*, 2018, 37(3): 32-38.
- [51] 李娜, 李晶, 付麟云, 等. 1株优良生防细菌的筛选及其对甘肃温室黄瓜枯萎病的防治效果[J]. *中国瓜菜*, 2022, 35(1): 86-90.
- [52] 董玉洁. 放线菌菌株 GX-117 和 GX-8 对苦瓜和黄瓜枯萎病的生防作用初探[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2021.