



王迪,刘泰,徐慧春,等.甜瓜枯萎病研究进展及抗性机制研究现状[J].黑龙江农业科学,2023(1):112-117.

甜瓜枯萎病研究进展及抗性机制研究现状

王 迪,刘 泰,徐慧春,杜志强,车 野

(黑龙江省农业科学院 大庆分院,黑龙江 大庆 163316)

摘要:以枯萎病为首的真菌性土传病害在棚室生产过程中愈加频繁的出现对甜瓜的品质和产量造成不可逆的影响,并且极大地增加了田园规划与栽培管理的成本。通过分子育种手段及病害生物防治等方面选育具备综合优良性状的品种是绿色、生态解决甜瓜病害危机的根本方式。本文基于 VOSviewer 知识图谱可视化分析,结合 CNKI 数据库瓜类枯萎病首次报道以来的研究热点和趋势综述了甜瓜枯萎病病原菌种类及生理特征研究现状、甜瓜对枯萎病抗性机制、抗病基因及抗性遗传规律,从当前研究现状拓展新的研究方向。

关键词:甜瓜枯萎病;抗性机制;遗传规律;VOSviewer 知识图谱

甜瓜(*Cucumis melo* L.)是葫芦科(Cucurbitaceae)甜瓜属(*Cucumis*)一年生蔓性草本植物,生匍匐茎和攀缘茎。甜瓜不仅是我国内需市场和出口贸易重要经济作物,其果实和种子材料更是在世界范围内被广泛培育和贸易^[1]。甜瓜种质资源丰富多样,不同品种的甜瓜在糖度、矿物质成分含量和抗性及外在性状上存在差异。这对于满足市场个性化需求具有实际意义并广受消费者喜爱。甜瓜枯萎病是影响甜瓜生产的众多真菌性土传病害之一,在其全生长周期均可发生。不同于其他寄生性真菌,甜瓜枯萎病一经发生便可在短期内对甜瓜单株造成极高的致死率。据报道,在许多甜瓜生产重点省份,如黑龙江、山东、福建等地的棚室生产中,甜瓜枯萎病的发病率高达 60%~80%^[2]。而在中部地区和东北部地区由于秋冬季土温较低,菌株变异率低且其强致病力遗传稳定,导致了每年甜瓜生产季由枯萎病所造成的减产可达 30%~40%,严重时更是能达到 90%以上^[3]。

党的十八大以来,随着“绿水青山就是金山银山”的生态文明建设指导思想的深入人心和绿色防治观念的普及,传统化学药剂防治病害和田间管理措施已难以适应当前经济发展现状。随着植物基因工程、组织培养、细胞工程、航天育种、辐射诱变、叠氮化钠诱变等分子水平和物理、生化水平的育种技术愈加成熟,可以更为经济快捷地筛选和

培育甜瓜抗病种质资源。本文基于 VOSviewer 知识图谱可视化分析,结合 CNKI 数据库瓜类枯萎病首次报道以来的研究热点和趋势综述了甜瓜枯萎病病原菌种类及生理特征研究现状、甜瓜对枯萎病抗性机制、抗病基因及抗性遗传规律,从当前研究现状拓展新的研究方向,以期为培育兼具优良商品性状的甜瓜抗枯品种奠定基础。

1 枯萎病研究知识图谱可视化分析

利用 VOSviewer 可视化分析工具对 CNKI 数据库导出的文献从传统物理、化学防治到生防菌、根际促生物防治和抗病基因定位等主题进行关键词抽绎与频次统计,将结果进行人工干预处理以年份为坐标得出高频关键词统计情况,详见图 1。近年来,对枯萎病的研究方向多集中在从设施农业生产角度,以研究瓜类作物根系分泌物和土壤微生物为重点,开发含多种有益微生物的菌肥调节土壤微生物菌群,以生态防治的手段控制枯萎病的蔓延。

长期以来,收集具有水平抗性的甜瓜材料难度较大,由于气候条件和环境条件差异等因素的影响,各地难以形成统一的抗性鉴定体系,导致了当前国内外对于甜瓜枯萎病抗性的研究较少,并且多集中于对植物生理生化方面的研究。对于抗病基因定位及功能研究和分子标记辅助选择等,利用分子手段进行病害防治的研究仍处于初级阶段。根据关键词共现知识图谱中不同关键词区域对应的关联度曲线,由曲线密度可以看出甜瓜枯萎病的主要研究内容,以此为基础,可以更加直观地研究甜瓜枯萎病防治新领域(图 2)。

收稿日期:2022-09-21

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX10)。

第一作者:王迪(1981—),男,硕士,副研究员,从事园艺作物种质创新及分子育种栽培技术研究。E-mail:dqnykd@126.com。

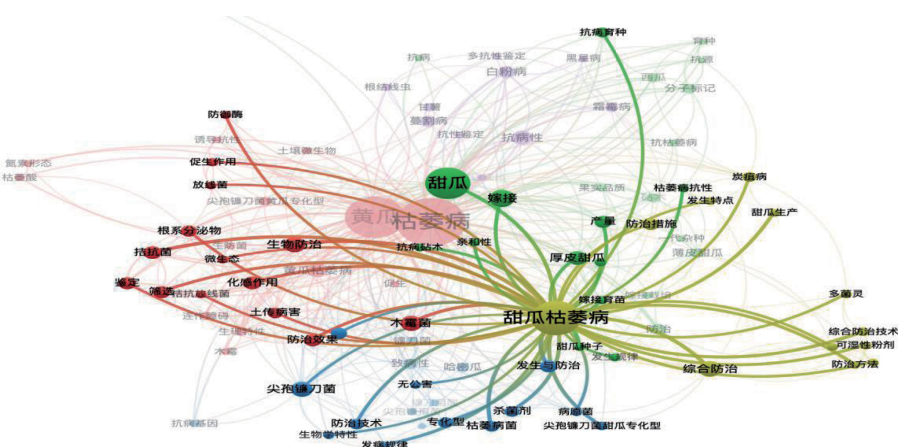
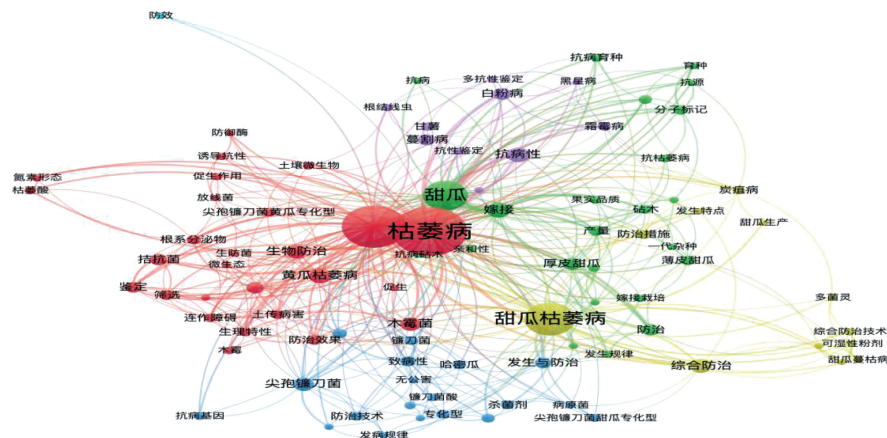


表 1 尖镰孢菌专化型及对瓜类致病状况

尖镰孢菌专化型	强侵染	侵染	不侵染
尖镰孢黄瓜专化型	黄瓜、甜瓜	西瓜	瓠瓜、南瓜、丝瓜
尖镰孢甜瓜专化型	甜瓜、菜瓜	黄瓜	西瓜、瓠瓜、南瓜、丝瓜
尖镰孢瓠瓜专化型	瓠瓜、葫芦	南瓜	黄瓜、西瓜、甜瓜
尖镰孢西瓜专化型	西瓜、冬瓜	甜瓜	瓠瓜、南瓜、黄瓜、丝瓜
尖镰孢丝瓜专化型	丝瓜	甜瓜	西瓜、黄瓜
尖镰孢葫芦专化型	葫芦	瓠瓜	未详

2.2 甜瓜枯萎病发病规律

甜瓜枯萎病是一类土传病害。以甜瓜全生育期结束为起点,尖孢镰刀菌从死亡的甜瓜植株根部或随种子进入土壤以厚垣孢子、菌丝及菌核形式进入休眠抵抗低温等逆境,等待下一个生长周期^[7]。尖镰孢菌厚垣孢子抗逆性极强,在环境条件恶劣时可在土壤中休眠 6 年之久,因此枯萎病不但在棚室生产中广泛发生,而且能够在陆地环境下完成侵染循环^[8]。当春夏季气温回升至 25~30 ℃,土壤温度达到 23 ℃时,尖镰孢菌厚垣孢子受到植株根际分泌物的刺激便可在高湿偏酸性土壤环境中结束休眠,萌发并侵入植株^[9]。由于田间管理不当,尖镰孢菌厚垣孢子可随灌溉、雨水及未腐熟的畜类粪肥进行传播,进一步扩大了危害范围,对于以瓜类连作和重茬为主要经营方式的地区造成的危害尤其明显^[10]。

2.3 甜瓜枯萎病发病症状

枯萎病在甜瓜全生育期均可发生。研究发现甜瓜种子表皮就可携带枯萎病病原菌。种子发芽后,携带病原菌的种皮残留在子叶或胚轴上,大大增加了幼苗的初侵染感病几率。甜瓜枯萎病具有潜伏期,幼苗期感病症状不甚明显,一般是子叶呈现不同程度的萎蔫^[11]。但在植株开花结果期,尤其是在植株伸蔓期和营养生长转生殖生长期病症较为明显。该阶段营养物质向茎秆和幼果转移,根部养分减少,植株体内激素水平大幅变动,过氧化物酶(PO)和多酚氧化酶(PPO)等与抗性有关的酶活性变化剧烈^[12]。根际或胚轴附近土壤中的病原菌通过根毛尖端或伤口处侵入根细胞的外质体中。病原菌入侵后触发初级防御机制,植物维管束细胞会迅速合成大量胼胝质阻塞养分向根部供给,但病原菌还会通过分泌纤维素酶和果胶酶分解破坏植物细胞壁来吸取养分^[13]。由于维管束系统内充满大量胼胝质、果胶类物质,以及受大量尖镰孢菌菌丝和菌核的堵塞,极大地影响了

植株吸水造成叶片萎蔫。同时,尖孢镰刀菌会产生毒素,细胞内醌类物质累积影响植株正常代谢,最终引发植株中毒死亡。植株感病后,黄化和萎蔫症状由下部叶片向上蔓延,最终导致整株枯死^[14]。

2.4 甜瓜枯萎病抗性遗传机制研究进展

1976 年 Risser 在甜瓜品种 Doublon 和 M17-18 中发现了两个紧密连锁的甜瓜抗枯萎病显性基因 *Fom1* 和 *Fom2*^[15]。Zink 在甜瓜品种 Perlita FR 中发现一个抗枯萎病生理小种 0 号和 2 号且与 *Fom1* 为非等位关系的基因,并将其命名为 *Fom3*^[16]。目前已报道甜瓜抗枯萎病基因有 *Mc*、*Mc-2*、*Fom1*、*Fom2*、*Fom4* 和 *Fom5*,且针对 *Fom1* 和 *Fom2* 已开发出可用的标记,但有关其基因功能的研究还未见报道。甜瓜对枯萎病的抗性遗传规律较为复杂,如抗病材料(Perlita、MR-1 等)中已出现对两个生理小种具有抗性的品种,因此推测其含有多个紧密连锁的抗病基因^[17]。且不同抗病品种所携带的抗病基因不同,其遗传规律也不同,呈现遗传多样化的特点。甜瓜内部存在多种抗病和感病基因,且基因间可能存在上位性和互作效应,同时由于尖孢镰刀菌生理小种鉴定差异和抗病材料筛选标准不统一等问题的存在就导致了甜瓜抗病遗传结果不尽相同^[12],这也增加了抗病基因精细定位、转基因培育优良抗病品种和分子标记辅助选择体系建立等工作的时间和经营成本。

表 2 甜瓜抗病基因编号及名称

编号	抗病小种	遗传关系
<i>Fom1</i>	race0、race2	单显性遗传 ^[15]
<i>Fom2</i>	race0、race1	单显性遗传 ^[15]
<i>Fom3</i>	race0、race2	非等位基因 ^[16]
<i>Fom4</i>	race2	非等位隐性基因
<i>Fom5</i>	未详	非等位基因

2.5 甜瓜抗病品种生理特征

瓜类对病害的抗性机制复杂多样,除抗病基因及其遗传机制和生理生化抗性机制外还有形态学抗性^[18]。其中,甜瓜对枯萎病的形态学抗性主要体现在细胞结构差异方面。抗病甜瓜品种细胞的胞腔小且细胞壁较厚,有的还具有外围加厚细胞壁,中央导管小^[19]。不仅如此,从微观角度上讲,抗病品种受到枯萎病侵入时其内部也会产生感病症状,即维管束中导管内积累侵填体及管壁不同程度的加厚,筛管内胼胝体增多及筛板加厚。抗病品种在受侵染初期便可迅速产生以上生理反应,这些特征有效阻止了枯萎病病原孢子在植株体内的生长繁殖和扩散^[20]。

如果植株形态变化和细胞结构变化是甜瓜抗病机制的第一道防线,那么从生物自由基学说诞生以来,植物细胞保护酶机制则是抗病的第二道防线。由于第一道防线有效牵制了病菌的扩散,第二道防线中的SOD、POD和CAT等酶活性的提高既从内部增强了植株抗性又刺激植株分泌杀菌物质,更大程度上抵御了病害。研究表明,抗性甜瓜品种的SOD、POD酶活性远高于感病品种,且随病害程度的加深酶活性呈递增趋势。此外,甜瓜对枯萎病的抗性还与其体内的可溶性糖、维生素C和叶绿素及有机酸等物质含量密切相关^[21]。研究表明,植株体内可溶性糖含量与抗性呈正相关。张显等^[22]研究发现,西瓜幼苗根系中的乙酸和柠檬酸含量与枯萎病抗性之间存在着显著和极显著相关,同时也可作为衡量抗性的生化指标^[23]。

3 甜瓜抗枯萎病筛选方式与分级标准

3.1 甜瓜枯萎病接种方式

目前国内外已研究出许多高效的甜瓜枯萎病接种方法,主要有菌土培养法、菌液育苗法、蘸根法和胚培养法等^[23]。鉴于不同接种方法可针对甜瓜各生长期进行,且苗期发病情况与成株期基本一致,因此在甜瓜抗枯萎病筛选试验中为节约成本广泛选择2~3叶1心期利用蘸根法接种。

3.2 甜瓜抗枯萎病分级标准

甜瓜枯萎病病情分级标准参考李瑞琴^[24]的方法对植株进行分级(表3),统计各病级植株计算发病率。

发病率与病情指数计算公式如下:

发病率(%) = $\frac{\text{发病株数}}{\text{接种总株数}} \times 100$

$DI = \frac{\sum (SiNi)}{4N \times 100}$

注:DI为病情指数,Si为发病级别,Ni为相应发病级别的株数,N为调查总株数。

表3 甜瓜枯萎病病情分级标准

病情分级	植株感病症状
0级	植株无明显黄化、枯萎等感病症状
1级	整株叶片数1/4以下黄化、枯萎,植株生长正常
2级	整株叶片数1/4~1/2枯萎、失绿
3级	整株叶片数1/2以上枯萎、失绿,生长受阻、矮化
4级	整株叶片严重萎蔫、黄化
5级	整株叶片枯死、倒伏

对不同甜瓜群体的枯萎病抗性评价参考《甜瓜种质资源描述规范和数据标准》(表4)。

表4 甜瓜枯萎病抗性水平划分标准

抗性水平	发病率/%
高抗	R<20
抗病	20≤R<40
中抗	40≤R<60
感病	60≤R<80
高感	R≥80

4 甜瓜枯萎病防治措施

4.1 物理防治

枯萎病病原菌在甜瓜种子时期即可附着在种皮上伺机萌发。种子中所携带的病原菌极大程度上为病害初侵染提供了菌源,甚至在日趋完善的田间管理中为初侵染的唯一菌源^[25]。尖孢镰刀菌适宜萌发温、湿度条件分别为15~30℃和80%~90%,因此在种子贮藏时期可维持相对低温低湿。在种子育苗时期采用55℃温汤浸种可杀灭多数病原菌。在田间生产过程中利用日光紫外线暴晒土壤或生产上俗称的“闷棚”措施,结合东北地区独特的黑土,提高土温可更大程度上杀灭土壤中绝大多数真菌和细菌性病害。还可向土壤中施入石灰或喷洒石灰水中和土壤酸度甚至进一步提高土壤pH,人工创造偏碱性土壤环境抑制病菌生长^[26]。

4.2 化学防治

当前在生产过程中最为有效、推广程度最高的方法仍是采用化学药剂杀菌。合适的配比及坚持科学施药原则对甜瓜种子进行拌种、浸种能够最大程度上杀灭病菌。目前已有多种药剂可有效控制枯萎病的发生和传播,如50%多菌灵、硫菌灵等浸种30min可有效控制种子中所携带的尖孢镰刀菌,抑菌率可达80%左右^[27];咪鲜胺、戊唑醇、可抑

制病原菌菌丝生长。成株期甜瓜枯萎病防治可采用药剂灌根,综合配比 50%多菌灵、70%甲基托布津和松原粉等可湿粉剂稀释至 500~1 000 倍药液,在甜瓜发病初期根据病情程度按 5~7 d 1 次的频率向根部灌药 200~300 mL,3 次即可收效^[28]。

4.3 生态防治

4.3.1 嫁接防治 生产上可利用尖孢镰刀菌具有较高的寄主专化性这一特点选择合适的砧木对甜瓜进行嫁接阻断土壤中的病原菌危害植株生长。研究表明,选择亲和性较高的南瓜砧木嫁接甜瓜不仅可以防止枯萎病大面积发生,还可以利用南瓜较强的根系提高养分吸收效率,促进甜瓜生长从而增加产量^[29]。利用常用的劈接、插接等嫁接方式可有效提高苗木成活率,同时对于砧木的选择可尝试葫芦和瓠瓜等与甜瓜高亲和力的作物进行嫁接。不过,在实际生产过程中如何选择亲和性高的品种以及嫁接苗在后期的性状表现是否稳定仍是普及嫁接抗病措施的巨大障碍^[30]。

4.3.2 植物根际促生菌与拮抗菌防治机制 植物根际促生菌(PGPR)可通过溶磷、固氮等作用增强植株根系对土壤矿质养分的吸收能力,或刺激植株分泌激素从而提高植株自身免疫力以达到抗病效果^[31]。研究发现,多种 PGPR 具有刺激植株分泌生长素(IAA)、细胞分裂素(CTK)和赤霉素(GA)等植物激素的能力。如固氮螺菌(*Azospirillum* sp.)能够分泌 IAA、GAs、CTKs、ABA 等促进寄主植物生长;假单胞菌(*Pseudomonas* sp.)、蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)等可通过产生 CTK 调节气孔开闭频率从而增强光合效率^[32]。另外一些 PGPR 通过自身产生 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)脱氨酶,刺激寄主植物分泌乙烯(Eth),增强植物体对病害等逆境的耐受性^[33]。

有些细菌和真菌类植物根际微生物可通过产生生物膜或扩大菌群数量与尖孢镰刀菌竞争生存空间或养分^[34],研究者将这类微生物命名为甜瓜枯萎病拮抗菌或生防菌。目前已报道能够抑制枯萎病的菌株种类繁多,起主效作用的有枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*)、哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)、草酸青霉(*Penicillium oxalicum*)和多粘类芽孢杆菌(GenBank 登记号:GQ849013)。放线菌 D2 菌株能够有效防治甜瓜枯萎病^[35]。利迪霉素(Lydimycin)、利迪链菌素(Streptolydigin)等由利迪链霉菌所产生的次生代谢产物,也对枯萎病病原菌的繁殖有极大抑制作用^[36]。

5 问题与展望

枯萎病在世界范围内的甜瓜生产过程中广泛发生,其强效的致病力和易传播的特点对以种植甜瓜为主要收入来源的农户造成巨大经济损失,更严重阻碍甜瓜育种工作进展。目前已有多种针对甜瓜枯萎病的防治措施,但多是集中于应用化学药剂或传统田间管理措施。化学药剂防治虽在短期内能够取得明显成效,然而从可持续发展角度考虑,长期施用农药化肥不仅会增加土壤污染,而且会严重破坏土壤环境中的有益微生物菌群,无形之中增加了土壤改良和生态防治的成本^[37]。因此,研究经济高效安全且应用范围更广泛的防治办法仍是下一步的工作重点。

甜瓜抗性遗传背景复杂,而筛选抗病品种及研究其抗病基因的遗传方式又是培育抗病品种的关键,由于致病菌存在生理小种分化及变异率高等特性,使得培育兼备优良商品性状和抗病性的甜瓜品系更加困难。对于接下来的研究,不仅可以针对枯萎病抗性表现进行品种选育,还可结合甜瓜抗白粉病、霜霉病和炭疽病等真菌病害的研究进展,深入挖掘具有广谱抗性的基因,同时开发合理的分子标记。

从苗期即可筛选抗病品种,尽可能缩减育种的时间和管理成本。综合传统育种和当前热点育种模式,如分子标记辅助育种(MAS)、航天育种和诱变育种等育种手段,利用转基因技术将抗病基因转入优良感病品种并使其稳定遗传可作为将来可行的发展方向。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 金玉香,冯惠敏,郑金丽.甜瓜枯萎病发病原因及防治方法[J].中国果菜,2005(2):29.
- [3] 周小林,陈功友,邵元建.甜瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporum*)专化型的初步研究[J].植物保护,2008,34(6):80-84.
- [4] 蔡竹固,陈瑞祥,童伯开.台湾甜瓜蔓割病菌之生理小种[J].植保会刊,1999,41:139-143.
- [5] NOREEN S, ALI B, HASNAIN S. Growth promotion of *Vigna mungo* (L.) by *Pseudomonas* spp. exhibiting auxin production and ACC-deaminase activity[J]. Annals of Microbiology, 2012, 62(1): 411-417.
- [6] 刘连杰,李淑敏,董凤珍.吉林省早熟甜瓜枯萎病的发生及其防治[J].中国西瓜甜瓜,1995(1):28.
- [7] 冷鹏,崔爱华,宿刚爱,等.临沂市西瓜枯萎病发生规律与绿色综合防治技术[J].农业科技通讯,2018(5):305-307.
- [8] 康锋,王贤磊,李冠.新疆甜瓜枯萎病、根腐病病原菌鉴定[J].新疆农业科学,2010,47(6):1166-1171.
- [9] 刘朋义,别之龙,彭斌,等.甜瓜品种抗枯萎病的苗期鉴定[J].中国瓜菜,2011,24(2):11-13.

- [10] 刘朋义. 甜瓜枯萎病苗期接种鉴定体系建立及其应用[D]. 武汉:华中农业大学, 2011.
- [11] 邱果, 刘柳, 李小梅, 等. 甜瓜抗枯萎病和白粉病育种研究进展[J]. 生物技术通报, 2017, 33(8): 14-19.
- [12] de CAL A, SZTEJNBERG A, SABUQUILLO P. Management of *Fusarium* wilt on melon and watermelon by *Penicillium oxalicum*[J]. Biological Control, 2009, 51(3): 480-486.
- [13] 李旭, 赵娟, 徐帅, 等. 甜瓜枯萎病及其综合防治研究进展[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(12): 17-21.
- [14] 王虹, 周晓静, 李金玲, 等. 甜瓜枯萎病及其综合防治[J]. 农业科技通讯, 2019(5): 313-315.
- [15] 王士伟. 基于单核苷酸多态性的甜瓜枯萎病抗性基因 FOM-2 功能性分子标记开发与利用[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [16] 李瑞琴. 甜瓜枯萎病病原学及防治技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [17] 刘金秀, 马正, 申屠旭萍, 等. 黄瓜枯萎病拮抗放线菌筛选及其生防作用鉴定[J]. 园艺学报, 2012, 39(6): 1123-1130.
- [18] KEINATH A P, HASSELL R L. Suppression of *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. niveum race 2 on grafted triploid watermelon[J]. Plant Disease, 2014, 98(10): 1326-1332.
- [19] JOOBEUR T, KING J J, NOLIN S J, et al. The *Fusarium* wilt resistance locus *Fom-2* of melon contains a single resistance gene with complex features[J]. Plant Journal, 2004, 39(3): 283-297.
- [20] TEZUKA T, WAKI K, KUZUYA M, et al. Development of new DNA markers linked to the *Fusarium* wilt resistance locus *Fom-1* in melon[J]. Plant Breeding, 2011, 130(2): 261-267.
- [21] 吴波. 不同砧木嫁接对甜瓜生理生化特性及枯萎病抗性影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006.
- [22] 张显, 王鸣. 西瓜枯萎病抗性及其与体内一些生化物质含量的关系[J]. 西北农业学报, 2001, 10(4): 34-36.
- [23] 马双武. 甜瓜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1-10.
- [24] NAZIR N, KAMILI A N, SHAH D. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth: a review[J]. International Journal of Management, Technology and Engineering, 2018, 8(7): 709-721.
- [25] 高军. 保护地瓜果类枯萎病灾变机理及防治研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006.
- [26] 李舒展. 生防菌的鉴定及其对黄瓜枯萎病的防治和对生长的促进作用[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [27] 杨长成, 庄敬华, 高增贵, 等. 恶霉灵与多菌灵对甜瓜枯萎病的防治效果[J]. 北方园艺, 2010(7): 151-153.
- [28] 周婧, 高增贵, 何秀玲, 等. 甜瓜枯萎病拮抗内生细菌筛选研究[J]. 北方园艺, 2008(2): 225-227.
- [29] 廖建杰. 砧用瓠瓜对瓠瓜枯萎病的抗性遗传分析及嫁接应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [30] 梁贤智, 肖春霞, 曾文青, 等. 15 个砧用南瓜杂交组合对厚皮甜瓜果实品质的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(7): 1373-1382.
- [31] ÖZBAHÇE A, TARI A F, YÜCEL S, et al. Chemigation for *fusarium* wilt and root rot management on melon[J]. Bahçe, 2014, 97: 113-120.
- [32] TAO C Y, LI R, XIONG W, et al. Bioorganic fertilizers stimulate indigenous soil *Pseudomonas* populations to enhance plant disease suppression [J]. Microbiome, 2020, 8(1): 137.
- [33] DONG H Z, COHEN Y. Extracts of killed *Penicillium chrysogenum* induce resistance against *Fusarium* wilt of melon[J]. Phytoparasitica, 2001, 29(5): 421-430.
- [34] 杨意伯. 防治橡胶树白粉病的 26 种杀菌剂筛选及复配[D]. 海口: 海南大学, 2010.
- [35] ZVIRIN T, HERMAN R, BROTMAN Y. Differential colonization and defence responses of resistant and susceptible melon lines infected by *Fusarium oxysporum* race 1. 2 [J]. Plant Pathology, 2010, 59(3): 576-585.
- [36] 邹小花, 张海英, 李胜, 等. 野生西瓜种质 PI296341-FR 抗枯萎病菌生理小种 2 的遗传规律[J]. 园艺学报, 2011, 38(9): 1699-1706.
- [37] 姚怀莲. 西瓜枯萎病抗性遗传及生理生化基础研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2007.

Research Progress and Resistance Mechanism of Muskmelon *Fusarium* Wilt

WANG Di, LIU Tai, XU Huichun, DU Zhiqiang, CHE Ye

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

Abstract: The more frequent occurrence of fungal soilborne diseases led by *Fusarium* wilt in the process of shed production has irreversible effects on the quality and yield of melon, and greatly increases the cost of pastoral planning and cultivation management. Breeding varieties with comprehensive good traits through molecular breeding and disease biological control is the fundamental way to solve the melon disease crisis green and ecological. Based on the visualization analysis of knowledge map of VOSviewer, combined with the research hotspots and trends of melon *Fusarium* wilt since its first report in CNKI database, this paper reviewed the current research status of pathogen species and physiological characteristics of melon *Fusarium* wilt, melon resistance mechanism, resistance genes and resistance genetic rules, and expanded new research directions from the current research status.

Keywords: muskmelon *Fusarium* wilt; resistance mechanism; law of heredity; VOSviewer knowledge graph