

DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0193

甜瓜根腐病研究进展

叶云峰¹, 王红梅^{1,2}, 黄金艳¹, 解华云¹, 吴日莲¹, 李桂芬¹, 张德梅¹,
覃斯华¹, 何毅¹, 柳唐镜¹, 梁潘霞³, 洪日新¹

(1. 广西壮族自治区农业科学院园艺研究所 南宁 530007; 2. 黄河科技学院现代农业工程研究院 郑州 450006;
3. 广西农业职业技术大学农业工程学院 南宁 530007)

摘要:甜瓜是全球重要的经济作物。由多种病原菌引起的根腐病是一种土传病害,其危害逐年加重,已成为全球甜瓜生产中新兴的重要病害,在一些国家和地区对甜瓜生产造成了毁灭性损失,严重威胁甜瓜产业的可持续发展。笔者结合国内外研究进展,从甜瓜根腐病的病害症状、病原学、发生规律及防治技术等方面进行综述,并提出未来的研究方向,以期为该病害的有效防控和甜瓜产业的可持续发展提供参考。

关键词:甜瓜;根腐病;腐皮镰孢菌;坎诺单孢菌;防治

中图分类号:S652 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2026)06-001-09

Research progress on melon root rot

Ye Yunfeng¹, Wang Hongmei^{1,2}, Huang Jinyan¹, Xie Huayun¹, Wu Rilian¹, Li Guifen¹, Zhang Demei¹,
Qin Sihua¹, He Yi¹, Liu Tangjing¹, Liang Panxia³, Hong Rixin¹

(1. Horticultural Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; 2. Institute of Agricultural Engineering, Huanghe Science and Technology College, Zhengzhou 450006, Henan, China; 3. College of Agricultural Engineering, Guangxi Agricultural Vocational and Technical University, Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract: Melon is an important economic crop worldwide. Root rot, caused by various pathogens, is a soil-borne disease whose damage has been increasing year by year. It has become an emerging important disease in global melon production, causing devastating losses in some countries and regions, and seriously threatening the sustainable development of the melon industry. Based on domestic and international research progress, the authors provide a review of melon root rot from the aspects of disease symptoms, etiology, occurrence patterns, and control techniques, and propose future research directions, aiming to provide a reference for the effective control of this disease and the sustainable development of the melon industry.

Key words: Melon; Root rot; *Fusarium solani*; *Monosporascus cannonballus*; Control

甜瓜是我国乃至全球重要的瓜果类经济作物。我国是世界上最早栽培甜瓜的国家之一,也是当前栽培面积最大、总产量最高的国家^[1]。随着连作年限的增加,甜瓜土传病害发生严重,包括枯萎病^[2]、根腐病^[3]和根结线虫病^[4]等。其中,甜瓜根腐病是一种近年来发生趋势明显加重的土传病害,可由多种病原真菌引起,主要危害甜瓜根系和茎基部,

导致植株萎蔫和死亡,可造成 30%~50% 的经济损失,严重时甚至达到 100%^[5]。

甜瓜根腐病在我国最早于 20 世纪 80 年代末在新疆喀什地区巴楚、伽师、岳普湖等县开始发生,于 90 年代初迅速蔓延至喀什地区各县市,重病田发病率达 100%,造成毁灭性损失^[6]。随后,山东费县^[7]、北京^[8]、广西^[3]等地相继报道该病害的发生。至

收稿日期:2026-03-08;修回日期:2026-04-15

基金项目:国家自然科学基金(32260677);广西自然科学基金(2023GXNSFAA026437);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25);国家现代农业产业技术体系广西创新团队项目(nycytxgxtxd-2024-17-02);广西农业和乡村振兴人才培养支持专项农业科技青年人才托举工程项目(GXQNTJ242104);广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2026YT079);广西农业科学院博士后基金(桂农科博 2024058)

作者简介:叶云峰,女,研究员,主要从事西瓜、甜瓜病虫害防治研究。E-mail:yeyunfeng111@126.com

通信作者:洪日新,男,研究员,主要从事西瓜、甜瓜育种与栽培技术研究。E-mail:rxhong@gxaas.net

梁潘霞,女,副研究员,主要从事设施作物栽培技术研究。E-mail:lp831@163.com

21世纪初,该病害已成为我国西北和东部地区的重要病害之一^[8]。国外也有甜瓜根腐病的发生和报道,该病最早于1970年在美国亚利桑那州发生^[9],之后在以色列^[10]、西班牙^[11]等10多个国家亦有报道,目前已成为全球瓜类生产中新兴的重要病害。

甜瓜根腐病可由多种病原真菌引起,根据国内外报道,发生较严重的病原菌为腐皮镰孢菌(*Fusarium solani*)和坎诺单孢菌(*Monosporascus cannonballus*)^[3,5-9,11]。笔者结合国内外研究进展,从甜瓜根腐病的病害症状、病原学、发生规律及防治技术等方面进行综述,侧重于对主要病原菌*F. solani*和*M. cannonballus*引起的根腐病相关研究进行总结归纳,并提出未来的研究方向,以期为甜瓜根腐病

的综合防控提供理论依据。

1 甜瓜根腐病症状

由主要病原菌*F. solani*与*M. cannonballus*引起的甜瓜根腐病症状有相似之处,但也有区别。*F. solani*引起的根腐病可在全生育期发生。在发病初期,茎基部和主根皮层呈水渍状、浅褐色,后渐变为深褐色腐烂,最终皮层组织破碎,仅留丝状维管束。病部不缢缩,维管束变褐但不向上扩展。潮湿时,茎基部产生白色霉状物。地上部表现为幼苗猝倒,成株萎蔫或叶片黄化,果实不能正常膨大^[3,6]。该病害的田间症状和根部症状分别见图1-A~C^[3]。

*M. cannonballus*引起的症状一般被认为是黑



注:A. 田间植株症状;B-C. 根部症状。

Note: A. Field plant symptoms; B-C. Root symptoms.

图1 *F. solani*引起的甜瓜根腐病症状

Fig. 1 Symptoms of melon root rot caused by *F. solani*

点根腐病和藤蔓衰退病,可引起甜瓜根部腐烂和藤蔓急性凋萎^[12-13]。该病原引起的根部腐烂症状与*F. solani*相似,但多在甜瓜生长中后期出现。发病后期,坏死根表皮上附着大量肉眼可见的圆形黑色小颗粒(子囊果),这是判断黑点根腐病的重要特征。在果实成熟过程中,茎蔓逐渐萎蔫直至死亡或急性凋萎^[5,12-14]。该病害的田间症状和根部症状分别见图2-A~B^[13]。

2 甜瓜根腐病的病原学研究

2.1 病原菌种类与分布

我国关于甜瓜根腐病病原菌的鉴定报道最早来自新疆,于2001年将病原菌鉴定为*F. solani*^[6,15]。随后,山东费县^[7]、北京^[8]、新疆昌吉^[16]和广西^[3]等地的主要病原菌也被鉴定为*F. solani*。河北

唐山除*F. solani*外,还鉴定出半裸镰孢菌(*F. semitectum*)和轮枝镰孢菌(*F. verticillioides*)^[17]。在2010年和2019年,甘肃报道了甜瓜根腐病的病原菌为*M. cannonballus*^[18-19],也称为黑点根腐病菌,该病原菌已于2007年被列入《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》,成为我国对外检疫对象,但还是不可避免地传入了我国。2016年和2021年,浙江也报道了甜瓜根腐病的病原菌为*M. cannonballus*^[12-13]。2021年,甘肃皋兰地区的主要病原菌被鉴定为尖孢镰孢菌甜瓜专化型(*F. oxysporum* f. sp. *melonis*)及*M. cannonballus*^[5],其中*F. oxysporum* f. sp. *melonis*通常是甜瓜枯萎病的病原菌,也会造成根部褐变腐烂症状^[20],容易被误判为根腐病。总体来看,我国甜瓜根腐病的主要病原菌是*F. solani*和*M. cannonballus*,其中*F. solani*的分布更为广泛。



注:A. 田间植株症状;B. 根部症状。

Note: A. Field plant symptoms; B. Root symptoms.

图2 *M. cannonballus* 引起的甜瓜凋萎和根腐病症状
Fig. 2 Symptoms of melon root rot caused by *M. cannonballus*

国外最早于1974年将美国亚利桑那州的病原菌鉴定为 *M. cannonballus*^[9]。随后,以色列^[10]、西班牙^[11]等10多个国家也相继报道了该病害。不同国家的病原菌种类不尽相同,目前各国已鉴定的甜瓜根腐病病原真菌有近20种,包括 *M. cannonballus*^[9, 11, 21-34]、*F. solani*^[33, 35-40]、嗜噬单顶孢(*M. eutypoides*)^[10-11]、菜豆壳球孢(*Macrophomina phaseolina*)^[35, 37-38]、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)^[38]、可可毛色二孢菌(*Lasiodiplodia brasiliensis*)^[41]、镰状镰孢菌(*F. falciforme*)、萨托镰孢菌(*F. suttonianum*)^[42]、黄瓜油壶菌(*Olpidium bornovanus*)、烈性油壶菌(*O. virulentus*)^[43]、瓜顶孢霉(*Acremonium cucurbitacearum*)、根盘菌(*Rhizopycnis vagum*)^[35, 44]、烟草织孢霉(*Plectosporium tabacinum*)^[44]、瓜果腐霉(*Pythium aphanidermatum*)^[33, 45]、大丽轮枝菌(*Verticillium dahliae*)^[35]、菌核拟茎点霉(*Phomopsis sclerotioides*)^[46]、甜瓜圆腔菌(*Plectosphaerella melonis*)、癣囊腔菌(*P. cucumerina*)^[37]、掘氏疫霉(*Phytophthora drechleri*)^[47]等(表1)。综合各国报道,*M. cannonballus* 是分布最广泛、危害最严重的病原菌,其次是 *F. solani*,二者亦是国外的主要病原菌。研究表明,不同病原菌的致病力存在差异,*F. solani* 在土壤中的竞争力和致病力强于 *M. phaseolina* 和 *R. solani*^[38]; *M. cannonballus* 的致病力强于 *A. cucurbitacearum*、*R. vagum*、*F. solani*、*M. phaseolina*、*Pythium* spp. 和 *V. dahliae*^[35]。

2.2 主要病原菌生理小种的分化

相关研究表明,侵染瓜类的 *F. solani* 属于葫芦专化型,分为2个生理小种。小种1能侵染根部、茎基部和果实,广泛分布于全球;小种2仅侵染果实,仅在少数地区有报道,重要性较低^[48]。针对生理小种1和生理小种2在形态上难以区分的问题,Abdul-hasan等^[40]开发了一种PCR检测方法用于 *F. solani* 生理小种的快速鉴定。目前,*M. cannonballus* 尚未被正式划分为不同的生理小种。

2.3 主要病原菌的形态学特征

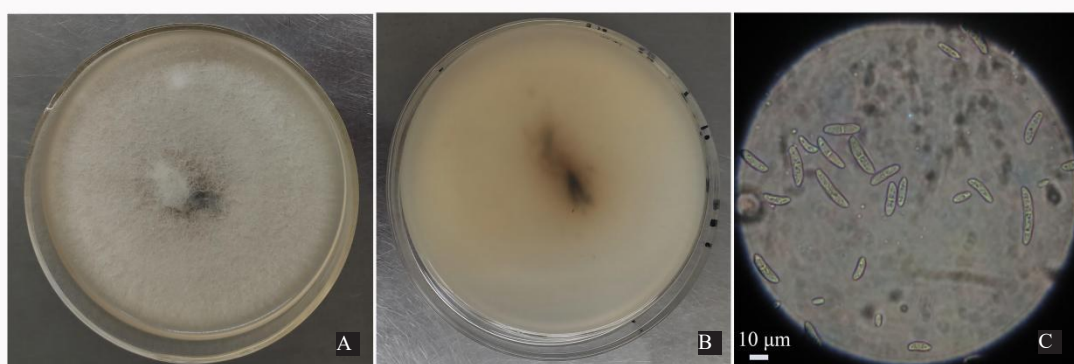
我国甜瓜根腐病菌 *F. solani* 最早由中国科学院微生物研究所于2001年鉴定,属半知菌门,丛梗孢目,镰孢菌属。在PDA培养基上,菌落圆形、平铺、白色绒毛状,背面乳白色至黄褐色。菌丝无色、分枝,具隔膜。小型分生孢子为卵圆形至椭圆形,大小为(8.5~17.3) μm \times (3~4) μm 。大型分生孢子为纺锤形至椭圆形,稍弯,多数具3~5个隔膜,大小为(23~35) μm \times (4.5~6) μm 。厚垣孢子为球形至近球形,单生或链生,直径5~12 μm ^[6, 15]。该形态学特征与之后叶云峰等^[3]、杨颖等^[8]的鉴定结果基本一致。*F. solani* 的菌落正、背面形态特征分别见图3-A~B,大、小型分生孢子形态见图3-C^[3]。

甜瓜黑点根腐病菌 *M. cannonballus* 最早由Pollack等^[9]于1974年分离鉴定和命名,属于子囊菌门,炭角菌目,单孢菌属。在PDA培养基上,菌落呈白色薄绒状,背面白色,生长速度快。不产生分

表1 国外甜瓜根腐病病原菌种类及分布

Table 1 Species and distribution of pathogens causing root rot of melon abroad

国家 Country	病原菌种类 Species of pathogen	文献发表年份 Years of the reference
美国 America	<i>M. cannonballus</i> ^[9,21] , <i>F. solani</i> , <i>A. cucurbitacearum</i> , <i>R. vagum</i> , <i>M. phaseolina</i> , <i>Pythium spp.</i> , <i>V. dahliae</i> ^[35]	1974, 1991, 2000
以色列 Israel	<i>M. eutypoides</i> ^[10] , <i>M. cannonballus</i> ^[22]	1983, 2000
西班牙 Spain	<i>M. cannonballus</i> , <i>M. eutypoides</i> ^[11] , <i>F. solani</i> ^[36]	1990, 2014
日本 Japan	<i>M. cannonballus</i> ^[23] , <i>P. sclerotoides</i> ^[46]	1990, 2000
巴基斯坦 Pakistan	<i>P. drechsleri</i> ^[47]	1994
沙特阿拉伯 Saudi Arabia	<i>M. cannonballus</i> ^[24]	1997
危地马拉 Guatemala	<i>M. cannonballus</i> ^[25]	1997
洪都拉斯 Honduras	<i>M. cannonballus</i> ^[26] , <i>P. aphanidermatum</i> ^[45]	1997, 2008
韩国 Republic of Korea	<i>M. cannonballus</i> ^[27]	2001
意大利 Italy	<i>M. cannonballus</i> ^[28] , <i>A. cucurbitacearum</i> , <i>P. tabacinum</i> , <i>R. vagum</i> ^[44] , <i>O. bornovanus</i> , <i>O. virulentus</i> ^[43] , <i>P. melonis</i> , <i>P. cucumerina</i> , <i>F. solani</i> , <i>M. phaseolina</i> ^[37]	2002, 2008, 2017, 2021
巴西 Brazil	<i>M. cannonballus</i> ^[29] , <i>F. solani</i> , <i>M. phaseolina</i> , <i>R. solani</i> ^[38] , <i>F. falciforme</i> , <i>F. suttonianum</i> ^[42] , <i>L. brasiliensis</i> ^[41]	2004, 2019, 2023, 2024
突尼斯 Tunisia	<i>M. cannonballus</i> ^[30]	2007
伊朗 Iran	<i>M. cannonballus</i> ^[31] , <i>F. solani</i> species complex ^[39]	2008, 2023
墨西哥 Mexico	<i>M. cannonballus</i> ^[32]	2012
阿曼苏丹 Sultanate of Oman	<i>M. cannonballus</i> , <i>F. solani</i> , <i>P. aphanidermatum</i> ^[33]	2013
伊拉克 Iraq	<i>F. solani</i> ^[40]	2016
希腊 Greece	<i>M. cannonballus</i> ^[34]	2018



注:A. 菌落正面形态;B. 菌落背面形态;C. 大、小型分生孢子形态。

Note: A. Colony surface morphology; B. Colony reverse morphology; C. Macroconidia and microconidia morphology.

图3 *F. solani* 的形态特征Fig. 3 Morphological characteristics of *F. solani*

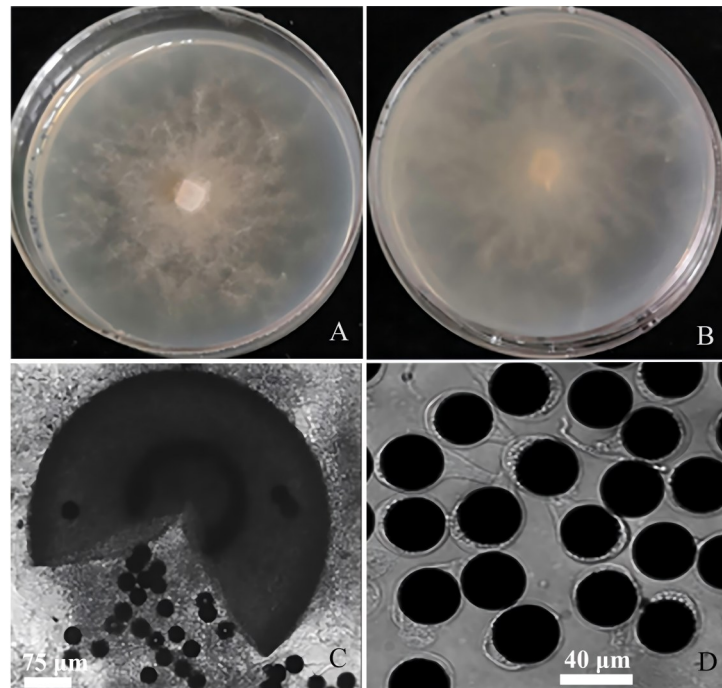
生孢子,培养 35 d 可产生子囊壳。子囊壳为球形、黑色、碳质,直径可达 500 μm 。子囊为梨形至近三角形,内含 1 个大型、圆形、黑色子囊孢子。子囊孢子多核^[5,14,49]。该菌的菌落正、背面形态特征分别见图 4-A~B,子囊壳见图 4-C,子囊和子囊孢子见图 4-D^[5]。

2.4 主要病原菌的生物学特性研究

耿丽华等^[50]系统研究了 *F. solani* 的生物学特性,研究结果表明,*F. solani* 菌丝生长温度范围为 10~40 $^{\circ}\text{C}$,最适温度为 30 $^{\circ}\text{C}$;pH 在 5~10 范围内均

能生长;能利用多种碳源,适宜氮源为硝态氮。分生孢子萌发最适相对湿度为 100%,最适温度 30 $^{\circ}\text{C}$,致死条件为 57 $^{\circ}\text{C}$ 处理 10 min。

M. cannonballus 的生物学特性研究也有报道,浙江宁波的 *M. cannonballus* 菌株 MC8 菌丝生长和子囊壳产生的适宜培养基为 PDA 和燕麦粉琼脂等;乳糖可显著促进子囊壳产生;菌丝生长适宜 pH 为 5~7,菌丝和子囊壳生长适宜温度为 25~35 $^{\circ}\text{C}$,最适温度为 30 $^{\circ}\text{C}$ ^[51]。来自甘肃的菌株 TG-1 和 TG-2 的最适生长温度也为 30 $^{\circ}\text{C}$ ^[18],而来自突尼斯的菌株



注:A. 菌落正面形态;B. 菌落背面形态;C. 子囊壳形态;D. 子囊和子囊孢子形态。

Note: A. Colony surface morphology; B. Colony reverse morphology; C. Perithecium morphology; D. Ascus and ascospore morphology.

图4 *M. Cannonballus* 的形态特征

Fig. 4 Morphological characteristics of *M. Cannonballus*

最适生长温度为 27 °C, pH 为 7~8^[30]。这表明不同地理来源的菌株在生物学特性上存在一定差异。

2.5 主要病原菌的产毒性研究

国外研究发现, *F. solani* 具备产单端孢霉烯族毒素(如 T2 毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇 DON)的潜在能力^[40]。而 *M. cannonballus* 毒素组分中存在奥克林和角鲨烯 2 种代谢物^[52]。可见, 这 2 种病原菌虽然都能造成根部腐烂, 但产生的毒素不同, 表明致病机制也不相同。

2.6 主要病原菌的侵染与定殖

明确病原菌的侵染与定殖情况, 是研究病原菌致病机制的基础和关键环节。Michelle 等^[53]通过电镜技术研究了 *M. cannonballus* 对甜瓜根系的侵染过程, 发现菌丝穿透表皮后, 以近垂直方向向木质部生长, 侵入原生木质部细胞并在导管内大量增殖, 继而反向延伸至皮层细胞。菌丝主要局限于病斑处, 以胞内生长为主, 其侵染方式与维管束枯萎病菌相似, 不同之处在于不会通过维管系统向地上部组织扩散。关于 *F. solani* 对甜瓜根系的侵染与定殖过程尚未见相关报道。

3 甜瓜根腐病发生规律

研究甜瓜根腐病的发生规律, 是为了明确病害

在田间的流行机制, 从而为预测、预报和综合防治提供依据, 核心内容包括病害循环和发病因素等。

3.1 病害循环

F. solani 以菌丝体、厚垣孢子在土壤、病残体中越冬, 成为主要初侵染源。带菌种子和育苗基质也是重要来源。主要通过雨水、灌溉水、带菌土壤、农机具及病苗调运传播。在条件适宜时, 厚垣孢子萌发产生菌丝, 从根部伤口或根尖直接侵入导致根系腐烂。病部产生的分生孢子可进行再侵染, 但土壤中的菌源基数是病害发生的主导因素^[6, 15, 54]。

M. cannonballus 主要以子囊壳和子囊孢子在土壤中的病残体上越冬, 是主要的初侵染源。菌丝体也能在土壤有机物中腐生存活。土壤传播是主要途径。子囊孢子主要通过灌溉水、雨水、带菌土壤及农机具等进行传播。环境适宜时, 子囊孢子萌发并直接侵染甜瓜的根尖导致根系腐烂。由于病害发展后期才产生新的繁殖体, 田间再侵染作用相对较小, 因此初侵染菌源基数对病害严重度起决定性作用^[14, 55]。

3.2 发病因素

土壤温度是关键因素。 *F. solani* 侵染的适宜温度为 8~34 °C, 最适温度为 24~32 °C。 *M. cannonballus* 子囊形成和侵染的适宜温度为 25~30 °C。高

土壤湿度有利于病害的发生,干湿交替会加剧病情。连作地、土质黏重、排水不良、地下水水位高、土壤偏酸性的地块发病重。农事操作和地下害虫为害造成的伤口会加重病情。施肥不当(如未腐熟的有机肥)、植株生长衰弱也有利于发病。不同甜瓜品种的抗病性存在差异^[6,14-15]。

4 甜瓜根腐病的防治技术

甜瓜根腐病的防治一直是生产中的难点。目前,针对该病害的防治技术主要包括农业措施、生物防治、抗性诱导和化学防治等多个方面,各类方法各有优势和局限性,综合应用是可持续治理的关键。

4.1 农业措施

农业措施是甜瓜根腐病防治的基础,主要包括生态调控、抗病品种选育和抗病砧木利用等。

在生态调控方面,采用免耕制度并与菽麻、珍珠粟等作物轮作可有效降低病害发生率^[56]。与十字花科、百合科作物轮作3 a(年)以上,配合清洁田园、合理施肥、高畦栽培、科学灌溉及整枝等措施,对瓜类根腐病具有良好的防控效果^[7]。此外,用刀豆覆盖土壤可显著减轻 *F. solani* 引起的根腐病^[57]。用箭舌豌豆和光叶苕子作为绿肥翻入甜瓜连作土壤中,可显著减少土壤中 *Fusarium* 属真菌的相对丰度^[58],对甜瓜根腐病(*F. solani*)和枯萎病(*F. oxysporum*)具有一定的防治潜力。

抗病品种选育是最经济有效的防治途径。Salaria 等^[59]从18个甜瓜品种中筛选出 Nabijani、Sfidak khatdar 等8个对 *M. cannonballus* 具有中度抗性的品种,并发现抗性品种 Nabijani 的抗病性与根部总酚、总蛋白积累及过氧化物酶活性增强相关。还有一些国内外学者筛选到了部分抗病种质资源,可用于抗病育种。我国已从200多份甜瓜材料中筛选到16份薄皮甜瓜和3份厚皮甜瓜种质资源对 *F. solani* 表现高抗^[3,8]。西班牙学者发现部分非洲甜瓜野生材料对 *M. cannonballus* 和 *M. eutypoides* 表现出良好抗性^[60];野生资源 Pat 81 对 *M. cannonballus* 高抗,并揭示了茉莉酸信号响应可能参与 Pat 81 的抗病过程^[61-62]。此外,巴西也鉴定出多个对 *M. cannonballus* 表现出抗性的甜瓜材料,如 DRG 2278、Estoril 及 A26、A01 等^[63-64]。

在抗病砧木利用方面,国外已筛选到一些具有防病潜力的甜瓜和南瓜砧木资源,如甜瓜砧木 R1 和 R2,在提高植株存活率和产量的同时保持果实品

质^[65]。K134068 等4份兼具根腐病和枯萎病抗性的甜瓜材料可作为优良砧木资源^[66]。甜瓜野生近缘种刺角瓜(*Cucumis metuliferus*)对 *M. cannonballus* 高抗,具有砧木应用潜力^[60]。南瓜砧木 TZ148 嫁接可减轻根腐病危害并提高产量^[67]。

4.2 生物防治

木霉菌和芽孢杆菌是目前研究较多的生防菌。不同生防菌组合施用可有效减轻甜瓜根腐病的发生,如哈茨木霉、棘孢木霉与枯草芽孢杆菌的组合在田间可显著降低由 *P. drechsleri* 引起的甜瓜根腐病发生率^[68];绿色木霉与枯草芽孢杆菌联用能显著抑制由 *M. phaseolina* 引起的甜瓜根腐病,并诱导植株产生防御反应^[69];哈茨木霉或枯草芽孢杆菌分别与商业藻类产品混用,均可有效降低甜瓜根腐病的发生率^[70]。还有研究表明,芽孢杆菌菌株 15 对 *F. solani* 具有生防潜力^[71];枯草芽孢杆菌 BsCR、恶臭假单胞菌 PpF4、异形根抱囊霉(*Rhizophagus irregularis*)、携带 dsRNA 的 *M. cannonballus* 弱毒株等对 *M. cannonballus* 具有生防开发价值^[72-74]。

4.3 抗性诱导

诱导抗性是对环境友好的病害防控策略。国外已发现一些有潜力的抗性诱导剂,如 Bion[®]与 Compost Aid[®]组合激发子可通过激活 β -1,3-葡聚糖酶、几丁质酶和苯丙氨酸解氨酶活性,显著降低由 *Macrophomina* spp. 引起的根腐病,并提高甜瓜的产量和品质^[75];苯并噻二唑处理种子结合叶面喷施可维持较低的丙二醛水平,增强超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性,从而提升植株对 *Macrophomina* spp. 的抗病性^[76];茉莉酸甲酯浸泡种子结合叶面喷施能显著减轻 *M. cannonballus* 引起的根腐病严重程度^[77]。

4.4 化学防治

化学防治是目前应用最广泛且效果较稳定的防治手段,主要包括种子处理、土壤处理和灌根等施药方式。

种子处理方面,可用40%甲醛200倍液或50%多菌灵600倍液进行种子消毒^[6];也可用25%噻虫·咯·霜灵作为种衣剂^[78]。

土壤处理方面,用甲基碘化物和氯化苦熏蒸土壤能显著降低 *M. cannonballus* 侵染率^[79];也可在移栽前用98%噁霉灵(绿亨一号)喷施地表并混入耕层^[7];或者采用50%多菌灵或50%甲基托布津配制药土覆盖种子^[6]。

灌根防治方面,银纳米颗粒和镁纳米颗粒对 *F.*

solani 抑制率达 100%,田间灌根可促进甜瓜植株生长^[40],具有较好的防病潜力。咯菌腈和精甲霜灵混合灌根能有效防治 *M. phaseoli* 引起的根腐病并提高产量^[80]。此外,多菌灵、甲基托布津、噁霉灵、异菌脉、申嗪霉素等药剂也可用于灌根防病^[6,54]。

5 展望

尽管近年来国内外在甜瓜根腐病的病原学、发生规律及防治技术等方面取得了重要进展,但仍存在一些问题亟待探讨和研究。未来的研究方向建议围绕以下几个方面开展。

5.1 病原学研究

当前研究表明,甜瓜根腐病可由多种病原菌引起,其中 *F. solani* 和 *M. cannonballus* 是主要病原菌。然而,不同地区病原菌种类存在差异,国内还有一些省份的甜瓜根腐病主要病原菌种类尚不明确,应尽快开展病原菌的系统普查与鉴定。

此外,*F. solani* 存在生理小种分化已明确,而 *M. cannonballus* 是否存在生理小种分化尚不明确,因此,应构建一套标准化的寄主鉴别体系,结合分子标记(SSR、SNP等)和群体遗传分析方法,来确定 *M. cannonballus* 是否存在生理小种分化。

在病原菌致病机制方面,*F. solani* 和 *M. cannonballus* 在侵染过程中与寄主的互作机制、致病基因及其调控网络尚不明确。未来应开展病原菌侵染过程的细胞学与分子机制研究,明确其侵染结构、侵染方式及关键致病基因。同时,基于转录组、代谢组等多组学技术,解析病原菌与甜瓜根系的互作网络,揭示抗病与感病品种的反应差异。

5.2 发病规律与监测预警技术研究

甜瓜根腐病的发生与土壤环境、栽培制度、气候条件等因素密切相关,但目前对其流行规律和关键驱动因子的认识仍不充分,缺乏科学的监测与早期预警系统。下一步应开展病害发生严重程度与土壤理化性质、微生物群落结构、耕作制度等的关联性分析,进一步探明发病规律。同时,基于气象因子、土壤数据、病原基数等构建病害预测模型,开发田间快速检测与早期预警技术。

5.3 抗病种质资源挖掘及抗性机制研究

目前,国内外已鉴定和筛选出少量抗病种质资源,总体上抗源仍然缺乏,此外,抗性机制研究仍处于初级阶段。未来应大规模开展甜瓜种质资源尤其是野生种质资源和地方品种的抗病性鉴定,筛选充足的抗性资源。在抗性机制研究方面,开展抗病

性状的遗传解析与 QTL 定位,结合全基因组关联分析(GWAS)挖掘关键抗病基因,对抗病基因进行功能验证,并对其抗性机制进行深入研究,包括组织结构抗性、次生代谢产物、防御酶活性及其信号转导通路等机制的研究。

5.4 绿色高效综合防控技术集成与应用

目前,甜瓜根腐病的防治仍以化学防治为主,存在抗药性风险和环境污染等问题。生物防治和抗性诱导虽有一定潜力,但存在田间效果不稳定的问题,缺乏成熟的应用技术体系。未来应加强以下研究:高效生防菌株的筛选及其复合菌剂的研发,探索其与轮作植物、绿肥等的协同增效机制;抗性诱导剂的筛选与应用技术研究,明确其最佳施用时期、方式及其与化学药剂的协同防控效果;绿色高效综合防控技术的集成,包括抗病品种、抗病砧木、轮作制度、土壤改良、生物防治和化学防治等多种技术的优化组合,评估综合防控技术的经济效益与生态效益,并开展田间示范与大面积推广应用。

参考文献

- [1] 杨念,孙玉竹,吴敬学.世界西瓜甜瓜生产与贸易经济分析[J].中国瓜菜,2016,29(10):1-9.
- [2] 郝芳敏,董文杰,臧全宇,等.一株甜瓜枯萎病拮抗菌的筛选、鉴定及生防效果[J].中国瓜菜,2023,36(12):26-32.
- [3] 叶云峰,解华云,杜婵娟,等.广西厚皮甜瓜根腐病病原菌鉴定及抗病种质筛选[J].中国瓜菜,2022,35(4):27-32.
- [4] 宋展树,李金章,白欣可,等.生物药剂结合生物有机肥处理防治日光温室西瓜根结线虫病的效果研究[J].中国瓜菜,2022,35(8):92-96.
- [5] 吴会杰,严蕾艳,郭珍,等.黑点根腐病菌和镰孢菌复合侵染引起的甜瓜根腐病的鉴定[J].中国瓜菜,2021,34(10):15-19.
- [6] 杨来新,罗国亮,阿不力米提,等.新疆甜瓜根腐病发生危害及防治[J].植物保护,2004(4):86-87.
- [7] 董勤成,闵召成,孙自喜,等.瓜类根腐病的发生及防治[J].长江蔬菜,2007(11):29-30.
- [8] 杨颖,耿丽华,王建设,等.甜瓜根腐病病原分离与抗源鉴定[J].华北农学报,2010,25(4):218-220.
- [9] Pollack F G, Uecker F A. *Monosporascus cannonballus* an unusual ascomycete in cantaloupe roots[J]. Mycologia, 2018, 66(2):346-349.
- [10] Reuveni R, Krikun J, Shani U. The role of *Monosporascus eutypoides* in a collapse of melon plants in an arid area of Israel[J]. Phytopathology, 1983, 73(9):1223-1226.
- [11] Lobo-Ruano M. Colapso del melon producido por el hongo del genero *Monosporascus*[J]. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas, 1990, 16: 701-707.
- [12] Yan L Y, Zang Q Y, Huang Y P, et al. First report of root rot and vine decline of melon caused by *Monosporascus cannonballus* in eastern mainland China[J]. Plant Disease, 2016, 100(3): 651.
- [13] 严蕾艳,王迎儿,邢乃林,等.浙江多地发现坎诺单孢菌引起的

- 甜瓜急性凋萎[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(11): 2251-2252.
- [14] Martyn R D, Miller M E. *Monosporascus* root rot and vine decline: An emerging disease of melons worldwide[J]. Plant Disease, 1996, 80(7): 716-725.
- [15] 杨来新, 罗国亮, 阿不力米提. 新疆甜瓜根腐病研究初报[J]. 新疆农业科学, 2004, 41(3): 185-189.
- [16] 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.
- [17] 张明珠. 甜瓜根腐病发病因素探究及其生防木霉菌肥的研制[D]. 河北秦皇岛: 河北科技师范学院, 2019.
- [18] 何苏琴, 白滨. 甜瓜黑点根腐病菌 *Monosporascus cannonballus* 在中国大陆的首次报道[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 116-119.
- [19] 何苏琴, 白滨, 文朝慧, 等. 甘肃酒泉发现坎诺单孢菌引起的甜瓜倒秧[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 303-306.
- [20] 王先挺, 曾立红, 王斌, 等. 大棚甜瓜枯萎病病原鉴定及其生物学特性[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(7): 42-46.
- [21] Mertely J C, Martyn R D, Miller M E, et al. Role of *Monosporascus cannonballus* and other fungi in a root rot/vine decline disease of muskmelon[J]. Plant Disease, 1991, 75(11): 1133-1137.
- [22] Cohen R, Pivonia S, Burger Y, et al. Toward integrated management of *Monosporascus* wilt of melons in Israel[J]. Plant Disease, 2000, 84(5): 496-505.
- [23] Uematsu S, Sekiyama K. Comparison of morphological characteristics and pathogenicity of *Monosporascus cannonballus*[J]. Soil Microorganisms, 1990(35): 7-12.
- [24] Karlatti R S, Abdeen F M, Al-fehaid M S. First report of *Monosporascus cannonballus* on melons in Saudi Arabia[J]. Plant Disease, 1997, 81(10): 1216.
- [25] Bruton B D, Miller M E. Occurrence of vine decline diseases of muskmelon in Guatemala[J]. Plant Disease, 1997, 81(6): 694.
- [26] Bruton B D, Miller M E. Occurrence of vine decline diseases of melons in Honduras[J]. Plant Disease, 1997, 81(6): 696.
- [27] Kwon M K, Hong J R, Kim Y H, et al. Soil-environmental factors involved in the development of root rot/vine on cucurbits caused by *Monosporascus cannonballus*[J]. The Plant Pathology Journal, 2001, 17(1): 45-51.
- [28] Infantino A, Uccelletti A, Di Stefano G, et al. First report of *Monosporascus cannonballus* on melon in Italy[J]. Journal of Plant Pathology, 2002, 84(2): 140.
- [29] Sales R, Bezerra Do Nascimento I J, De Souza Freitas L, et al. First report of *Monosporascus cannonballus* on melon in Brazil[J]. Plant Disease, 2004, 88(1): 84.
- [30] Hamza H, Belkadh M S, Triki M A, et al. Morphological and biological studies of *Monosporascus cannonballus*, the cause of root rot and vine decline of melon in Southern Tunisia[J]. Tunisian Journal of Plant Protection, 2007, 2(2): 71-77.
- [31] Sarpeleh A. The role of *Monosporascus cannonballus* in melon collapse in Iran[J]. Australasian Plant Disease Notes, 2008, 3: 162-164.
- [32] Sales R, Bezerra D N I J, De Souza F L, et al. First report of *Monosporascus cannonballus* on melon in Mexico[J]. Plant Disease, 2012, 88(1): 84.
- [33] Al-Mawaali Q S, Al-Sadi A M, Al-Said F A, et al. Etiology, development and reaction of muskmelon to vine decline under arid conditions of Oman[J]. Phytopathologia Mediterranea, 2013, 52(3): 457-465.
- [34] Markakis E A, Trantas E A, Lagogianni C S, et al. First report of root rot and vine decline of melon caused by *Monosporascus cannonballus* in Greece[J]. Plant Disease, 2018, 102(5): 1036.
- [35] Aegerter B J, Gordon T R, Davis R M. Occurrence and pathogenicity of fungi associated with melon root rot and vine decline in California[J]. Plant disease, 2000, 84(3): 224-230.
- [36] Gómez J, Serrano Y, Pérez A, et al. *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae*, affecting melon in Almería Province, Spain[J]. Australasian Plant Disease Notes, 2014, 9(1): 1-3.
- [37] Infantino A, Balmás V, Schianchi N, et al. Diversity of soil-borne fungal species associated to root rot and vine decline of melon in Sardinia (Italy) [J]. Journal of Plant Pathology, 2021, 103(2): 1-12.
- [38] Porto M, Ambrósio M, Nascimento S, et al. Interaction of *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* as root rot pathogens of *Cucumis melo*[J]. Summa Phytopathologica, 2019, 45(4): 355-360.
- [39] Sabahi F, Banihashemi Z, Mirtalebi M, et al. Molecular variability of the *Fusarium solani* species complex associated with *Fusarium* wilt of melon in Iran[J]. Journal of Fungi, 2023, 9(4): 486.
- [40] Abdul-Hasan F, Hussein Z H. Genetic diversity of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae*, the causal root and crown rot of Cucurbits (melon) by using molecular markers and control[J]. American Journal of Plant Sciences, 2016, 7(15): 2151-2172.
- [41] Da Silva R M, Ambrósio M M DE Q, Neto J A DA S, et al. First report of *Lasiodiplodia brasiliensis* causing root rot in melon plants in Northeastern Brazil[J]. Plant Disease, 2024, 108(1): 219.
- [42] Silva S G A, Costa M M, Cardoso A M S, et al. *Fusarium falciforme* and *Fusarium suttonianum* cause root rot of melon in Brazil[J]. Plant Pathology, 2023, 72(4): 721-730.
- [43] Aleandri M, Martignoni D, Reda R, et al. Involvement of *Olpidium bornovanus* and *O. virulentus* in the occurrence of melon root rot and vine decline caused by *Monosporascus cannonballus* in central Italy[J]. Journal of Plant Pathology, 2017, 99(1): 169-176.
- [44] Chilosi G, Reda R, Aleandri M, et al. Fungi associated with root rot and collapse of melon in Italy[J]. EPPO Bulletin, 2008, 38(1): 147-154.
- [45] De cara M, López V, Santos M, et al. Association of *Pythium aphanidermatum* with root and crown rot of melons in Honduras[J]. Plant disease, 2008, 92(3): 483.
- [46] Itoh K, Toyota K, Kimura M. Effects of soil solarization and fumigation on root rot of melon caused by *Phomopsis sclerotioidea* on soil microbial community[J]. Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2000, 71(2): 154-164.
- [47] Majid K, Akhtar A S, Aslam A S, et al. Root rot of muskmelon caused by *Phytophthora drechsleri* Tucker, a new record for Pakistan[J]. Pakistan Journal of Phytopathology, 1994, 6(2): 157-158.
- [48] Armengol J, Jose C M, Moya M J, et al. *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* race 1, a potential pathogen of grafted watermelon production in Spain[J]. EPPO Bulletin, 2000, 30(2): 179-183.

- [49] 吴铖铖,李丽,张慧娟,等.甜瓜黑点根腐病及其研究进展[J].浙江农业学报,2012,24(2):349-354.
- [50] 耿丽华,白庆荣,王建设,等.甜瓜镰孢根腐病菌生物学特性研究[J].中国农学通报,2010,26(7):229-232.
- [51] 严蕾艳,王迎儿,邢乃林,等.甜瓜黑点根腐病菌生物学特性及其对药剂敏感性测定[J].植物病理学报,2023,53(6):1158-1166.
- [52] Al-Rawahi A Y, Al-Mahmooli I H, Al-sadi A M, et al. Toxin production by melon root rot fungus, *Monosporascus cannonballus*[J]. Australasian Plant Pathology, 2018, 47(5):543-546.
- [53] Michelle M W, Donald M F, Michael E S. Colonization of cantaloupe roots by *Monosporascus cannonballus*[J]. Mycological Research, 2005, 109(11):1297-1301.
- [54] 洪日新,叶云峰.华南西瓜甜瓜病虫害识别与防治[M].南宁:广西科学技术出版社,2016.
- [55] Stanghellini M, Kim D H, Rasmussen S L. Ascospores of *Monosporascus cannonballus*: Germination and distribution in cultivated and desert soils in Arizona[J]. Phytopathology, 1996, 86(5):509-514.
- [56] Nascimento P G M L, Ambrósio M M Q, Freitas F C L, et al. Incidence of root rot of muskmelon in different soil management practices[J]. European Journal of Plant Pathology, 2018, 152(2):433-446.
- [57] Porto M A F, Ambrósio M M Q, Freitas F C L, et al. Jack beans (*Canavalia ensiformis*) in the control of muskmelon root rot caused by pathogen association[J]. Summa Phytopathologica, 2016, 42(4):327-332.
- [58] Ye Y F, Li G F, Xie H Y, et al. Effect of leguminous green manures on alleviating continuous cropping obstacles in muskmelon cultivation[J]. Scientific Reports, 2025, 15: e44507.
- [59] Salari M, Panjehkeh N, Nasirpoor Z, et al. Reaction of melon (*Cucumis melo* L.) cultivars to *Monosporascus cannonballus* (Pollack & Uecker) and their effect on total phenol, total protein and peroxidase activities[J]. Journal of Phytopathology, 2013, 161(5):363-368.
- [60] Castro G, Perpiñá G, Esteras C, et al. Resistance in melon to *Monosporascus cannonballus* and *M. eutypoides*: Fungal pathogens associated with *Monosporascus* root rot and vine decline[J]. Annals of Applied Biology, 2020, 177(1):101-111.
- [61] Iglesias A, Picó B, Nuez F. Pathogenicity of fungi associated with melon vine decline and selection strategies for breeding resistant cultivars[J]. Annals of Applied Biology, 2000, 137(2):141-151.
- [62] Roig C, Fita A, Ríos G, et al. Root transcriptional responses of two melon genotypes with contrasting resistance to *Monosporascus cannonballus* (Pollack et Uecker) infection[J]. BMC Genomics, 2012, 13: e601.
- [63] Júnior R S, Senhor R F, Michereff S J, et al. Reaction of melon genotypes to the root's rot caused by *Monosporascus*[J]. Revista Caatinga, 2019, 32(1):288-294.
- [64] Freitas S Q De, Negreiros A M P, Nunes G H DE S, et al. Genetic diversity and response of melon accessions to *Monosporascus cannonballus*[J]. Journal of Phytopathology, 2024, 172(5): e13384.
- [65] Jang Y A, Huh Y C, Park D K, et al. Greenhouse evaluation of melon rootstock resistance to *Monosporascus* root rot and vine decline as well as of yield and fruit quality in grafted 'Inodorus' melons[J]. Korean Journal of Horticultural Science&Technology, 2014, 32(5):614-622.
- [66] Park D K, Son S H, Kim S, et al. Selection of melon genotypes with resistance to *Fusarium* wilt and *Monosporascus* root rot for rootstocks[J]. Plant Breeding and Biotechnology, 2013, 1(3):277-282.
- [67] Cohen R, Burger Y, Horev C, et al. Performance of Galia-type melons grafted on to *Cucurbita* rootstock in *Monosporascus cannonballus*-infested and non-infested soils[J]. Annals of Applied Biology, 2005, 146(3):381-387.
- [68] Anjum M Z, Ghazanfar M U, Hussain I. Bio-efficacy of *Trichoderma* isolates and *Bacillus subtilis* against root rot of muskmelon *Cucumis melo* L. caused by *Phytophthora drechsleri* under controlled and field conditions[J]. Pakistan Journal of Botany, 2019, 51(5):1877-1882.
- [69] Hashem M Z, Samir S H, Hassan A K. Detect activity of some biological factors to induce resistance in cantaloupe plant through peroxidase enzyme, phenols and chlorophyll contents[J]. Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 2017, 48(5):1239-1246.
- [70] Abdel-Kader M, El-Mougy N. Bioagents and commercial algae products as integrated biocide treatments for controlling root rot diseases of some vegetables under protected cultivation system[J]. Journal of Marine Biology, 2013: e429850.
- [71] 王丽丽,朱诗君,金树权.菌株15对甜瓜根腐病和西瓜枯萎病的防效[J].浙江农业科学,2021,62(1):116-118.
- [72] Antonelli M, Reda R, Aleandri M P, et al. Plant growth-promoting bacteria from solarized soil with the ability to protect melon against root rot and vine decline caused by *Monosporascus cannonballus*[J]. Journal of Phytopathology, 2013, 161(7/8):485-496.
- [73] Aleandri M P, Martignoni D, Reda R, et al. Effects of preconditioning through mycorrhizal inoculation on the control of melon root rot and vine decline caused by *Monosporascus cannonballus*[J]. Journal of Phytopathology, 2015, 163(11-12):898-907.
- [74] Batten J S, Scholthof K B G, Lovic B R, et al. Potential for bio-control of *Monosporascus* root rot/vine decline under greenhouse conditions using hypovirulent isolates of *Monosporascus cannonballus*[J]. European Journal of Plant Pathology, 2000, 106:639-649.
- [75] Figueiredo F R A, Freires A L A, Da Silva I V P, et al. Resistance inducers increase melon defenses against root rot[J]. Journal of Plant Pathology, 2023, 105:1065-1075.
- [76] Santos F J Q, De cássia alves R, Cavalcante A L A, et al. Analyzing the role of acibenzolar-s-methyl as a possible inducer of resistance against root rot disease and the decline in melon branches[J]. Tropical Plant Pathology, 2022, 47:776-785.
- [77] Aleandri M P, Reda R, Tagliavento V, et al. Effect of chemical resistance inducers on the control of *Monosporascus* root rot and vine decline of melon[J]. Phytopathologia Mediterranea, 2010, 49(1):18-26.
- [78] 黎昆,冯伟明,郝东川,等.种衣剂对防治雪梨瓜根腐病的药效研究[J].现代农业科技,2020(15):111-113.
- [79] Stanghellini M E, Ferrin D M, Kim D H, et al. Application of preplant fumigants via drip irrigation systems for the management of root rot of melons caused by *Monosporascus cannonballus*[J]. Plant disease, 2003, 87(10):1176-1178.
- [80] Özbahçe A, Tarl A F, Yücel S, et al. Chemigation for *Fusarium* wilt and root rot management on melon[J]. Bahçe, 2015, 43(1/2):29-39.