

## ◆ 生物科学 ◆

## 百香果茎基腐病的研究进展\*

罗超<sup>1,2</sup>, 陈艳露<sup>1</sup>, 房文霞<sup>1</sup>, 吴小刚<sup>2</sup>, 李世东<sup>3</sup>, 郭荣君<sup>3</sup>, 汪斌<sup>1\*\*</sup>

(1. 广西科学院生物科学与技术研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西大学农学院, 广西南宁 530004; 3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要:**百香果(*Passiflora edulis* Sims)隶属于西番莲科(Passifloraceae),是该科植物中最重要的种之一。百香果因其重要的食用和药用价值而倍受推崇。然而,百香果产业的发展频繁遭受到各种病虫害的影响,其中尤以百香果茎基腐病最为突出,该病害被视为最具破坏性的病害之一,严重制约着百香果产业的规模发展和效益提升。本文综述了百香果茎基腐病在发病症状、病原鉴定、病害成因以及病害治理等方面的相关研究进展,同时对当前茎基腐病研究和防控中存在的不足进行了分析和总结。基于此,本文指明了当前百香果茎基腐病亟待解决的问题及其未来的研究方向,以期为促进百香果产业的高质量发展提供参考。

**关键词:**百香果;茎基腐病;病原微生物;致病机制;综合防治

中图分类号:S436.67 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2024)04-0676-12

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20241206.007

百香果(*Passiflora edulis* Sims),又名鸡蛋果、热情果或西番莲,属于多年生常绿攀缘木质藤本植物,是西番莲属(*Passiflora*)中最为重要的物种之一。百香果原产于热带和亚热带美洲,素有热带水果“果汁之王”的美誉<sup>[1,2]</sup>。百香果营养丰富,具有食用、药用和保健等多种价值,在全球范围内得到广泛栽培<sup>[3-5]</sup>。在中国,一些高产、高经济效益且适应性广泛的品种,如紫皮百香果(*P. edulis* Sims var. *edulis*)、黄金百香果(*P. edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener)以及紫黄杂种果,已在我国云南、贵州、广东和

广西等地进行商业种植<sup>[6-8]</sup>。自乡村振兴战略实施以来,多地政府将百香果列为精准扶贫项目的重点扶持对象,其种植面积逐年扩大,经济效益显著,成为农民脱贫致富的主要经济作物之一<sup>[2,9]</sup>。

随着百香果大面积种植,枯萎病、枯梢病、褐斑病、茎基腐病、炭疽病、灰霉病和病毒病等各类百香果病害,以及蓟马、石蝇等多种虫害显现<sup>[10]</sup>,严重威胁百香果产业的发展。其中,由根、茎基腐引起的枯萎病害,因其控制成本高且难以根除,被认为是百香果毁灭性最强的病害之一<sup>[11]</sup>,该病害对包括百香果在

收稿日期:2024-05-04

修回日期:2024-07-01

\* 广西重点研发计划项目(AB21220030)和广西科学院科研启动经费(2024YWF2107)资助。

## 【第一作者简介】

罗超(1999—),男,在读硕士研究生,主要从事百香果茎基腐病病害成因研究,E-mail:1402432191@qq.com。

## 【\*\*通信作者简介】

汪斌(1976—),男,博士,研究员,主要从事微生物学与健康研究,E-mail:bwang@gxas.cn。

## 【引用本文】

罗超,陈艳露,房文霞,等.百香果茎基腐病的研究进展[J].广西科学,2024,31(4):676-687.

LUO C, CHEN Y L, FANG W X, et al. Research Progress in Stem Base Rot of Passion Fruit [J]. Guangxi Sciences, 2024, 31(4): 676-687.

内的西番莲属植物产生严重影响<sup>[12]</sup>。百香果茎基腐病于1951年首次在澳大利亚被报道<sup>[13]</sup>,随后在南非<sup>[14]</sup>、欧洲<sup>[15]</sup>、北美<sup>[16]</sup>和南美洲<sup>[17]</sup>等多个地区爆发,造成了严重的损失。该病害伴随百香果整个生育期,并在夏初雨季频发。国内一些果园的病株率和病死率曾达到40%,甚至超过50%<sup>[18-21]</sup>,给果农造成巨大的经济损失,严重阻碍百香果产业的发展<sup>[22]</sup>。巴西是西番莲属遗传育种中心,也是世界上最大的百香果生产国。在巴西,茎基腐病是导致百香果寿命缩短和产量下降的主要原因<sup>[12]</sup>,它使得种植地被迫频繁迁移或更换作物,由此可见茎基腐病与百香果生产之间联系紧密<sup>[23]</sup>。

本文对目前国内外关于百香果茎基腐病的研究进展进行了概述,涵盖了发病症状、病原鉴定、病害成因以及病害治理等方面的最新研究成果。通过对这些研究成果的综合分析,阐明了国内外在百香果茎基腐病研究中存在的不足,为后续百香果茎基腐病的深入研究提供了方向,也为茎基腐病的综合防治提供了参考依据,期望能够推动百香果产业的发展。

## 1 百香果茎基腐病的发病症状

百香果茎基腐病在果苗生育期内均可发生,主要危害根部以上2—20 cm的茎基部;对嫁接苗而言,其影响常见于砧木以上2—10 cm的母本茎基部。在病情初期,茎基部呈现褐色水渍斑,而后逐渐变软,并出现腐烂裂痕<sup>[24,25]</sup>。随着病害的加重,褐色病斑会环绕茎干扩展,形成紫褐色病变边界,茎干膨胀并产生裂缝。不久后,地上部的叶片开始萎蔫,茎干逐渐黄化,最终导致植株枯死<sup>[4,12]</sup>。在湿度较高的环境下,能够观察到如沙粒大小的橘红色子囊壳,有时还可见灰白色菌丝体<sup>[26]</sup>。此外,对于常见的发病植株,若发病部位靠近根系,拔取植株时根部和茎基部极易断裂;若发病部位高于地上部且病斑未环绕整个茎面,可观察到茎部溃疡残缺,用清水冲洗发病部位后,还可能闻到类似蘑菇腐烂的刺激性气味<sup>[27]</sup>。

## 2 百香果茎基腐病的病原鉴定和致病性测定

镰孢菌属(*Fusarium* spp.)被认为是百香果茎

基腐病的主要病原物,其中腐皮镰孢菌(*F. solani*)和尖孢镰孢菌(*F. oxysporum*)为主要代表。烟草疫霉菌(*Phytophthora nicotianae*)的报道较为少见<sup>[14]</sup>,在20世纪中期至90年代,其对百香果的危害曾被统称为枯萎病<sup>[12]</sup>。自1992年我国首次报道百香果茎基腐病以来,通过形态学鉴定明确了至少3种病原物,分别为尖孢镰孢菌<sup>[28]</sup>、腐皮镰孢菌<sup>[29]</sup>和烟草疫霉菌<sup>[30]</sup>。进入21世纪后,少数报道指出轮纹镰孢菌(*F. concentricum*)、可可毛色二孢菌(*Lasiodiplodia theobromae*)和棉链格孢霉(*Alternaria gossypina*)也能够引起百香果茎基腐病(表1)。

### 2.1 镰孢菌属

#### 2.1.1 腐皮镰孢菌物种复合体(*Fusarium solani* Species Complex, FSSC)

腐皮镰孢菌被视作百香果茎基腐病的主要病原之一,其致病性表现与发病症状描述相契合。早期研究表明,不同地区的百香果茎基腐病病原主要为腐皮镰孢菌。例如,Cole等<sup>[14]</sup>在对津巴布韦百香果枯萎病研究时,发现腐皮镰孢菌为主要病原,该病菌能引起茎基部明显的褐变溃疡。李德福等<sup>[29]</sup>对福建百香果茎基腐病进行形态学鉴定后,同样确定腐皮镰孢菌为该病的病原。Pegg等<sup>[31]</sup>报道澳大利亚百香果茎基腐病的病原也为腐皮镰孢菌,并且指出茎秆受伤对病害发展影响深远,而接种尖孢镰孢菌未见相同症状。进入21世纪,Fischer等<sup>[12]</sup>和Ploetz<sup>[45]</sup>对由尖孢镰孢菌和腐皮镰孢菌引起的百香果枯萎病害进行了区分,将其划分为根腐病和环茎基腐病,为病原鉴定提供了更多依据。在国内,由于镰孢菌属真菌在各生态产区的分离频率较高,因而被视为最具代表性的病原物<sup>[4,24,46]</sup>。现代分子生物学技术,例如依赖于内转录间隔区基因(nuclear ribosomal Internal Transcribed Spacer, *its*)和转录延伸因子基因(Translation Elongation Factor 1- $\alpha$ , *tefl- $\alpha$* )等DNA条形码的鉴定方法,为病原菌鉴定提供了更可靠的技术支持<sup>[47,48]</sup>。在病原鉴定的基础上,Ortiz等<sup>[33,49]</sup>和Robledo-Buriticá等<sup>[34]</sup>对茎基腐病的致病性及致病机制进行了探讨,为尖孢镰孢菌和腐皮镰孢菌引起的枯萎病防治提供了更多技术参考。

表 1 百香果茎基腐病的病原菌株列表

Table 1 List of pathogenic strains causing stem base rot of passion fruit

物种 Species	地区 Origin	菌株号 Strain number	寄主 Host	菌株登录号 GenBank accession number						年份 Year	参考 文献 Refer- ence
				ITS	TEF	TUBE	RPB2	SIX6	SIX9		
<i>Fusarium solani</i>	Zimbabwe	F1-F3	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	1992	[14]
	China	—	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	1993	[29]
	Australia	BRIP 27741	<i>P. edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>	—	—	—	—	—	—	2002	[31]
	Brazil	IBFS07	<i>P. edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>	FJ200220	JX524768	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200222	JX524769	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200221	JX524770	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200223	JX524771	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200224	JX524772	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200226	JX524773	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200227	JX524774	—	—	—	—	2014	[32]
				FJ200228	JX524775	—	—	—	—	2014	[32]
	Colombia	A11, A23, A62 and A63	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	—	—	—	—	—	—	2016	[33]
	Colombia	MViRi01	<i>P. edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>	—	—	—	—	—	—	2017	[34]
	Brazil	FSUNEMAT 40	<i>P. edulis</i> Sims	KU097248	—	—	—	—	—	2019	[35]
	Brazil	FSUNEMAT 46	<i>P. edulis</i> Sims	KR071141	—	—	—	—	—	2019	[35]
	China	FP1-FP8	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	2021	[18]
	China	PAR-1	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MN646253	MN692915	MN692927	—	—	—	2021	[19]
	China	baiLD	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	2022	[36]
	<i>Neocosmospora solani</i>	China	NsPed1	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MN944550	MN938933	—	MW002686	—	—	2021
<i>F. oxysporum</i>	China	—	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	1992	[28]
	China	F-1	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	2017	[38]
	Korea	kacc48307	<i>P. edulis</i> Sims	MG356946	MG356947	—	—	—	—	2018	[39]
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>passiflorae</i>	North America	CDFA591	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	—	JF332039	—	—	—	—	2011	[40]
	New Zealand	06603B	<i>P. edulis</i> Sims	—	MW162623	MW328518	—	—	—	2021	[41]
		06603C	<i>P. edulis</i> Sims	—	MW162624	MW328519	—	—	—	2021	[41]
		06603D	<i>P. edulis</i> Sims	—	MW162625	MW328520	—	—	—	2021	[41]
		06603E	<i>P. edulis</i> Sims	—	MW162626	MW328521	—	MW328513	MW328515	2021	[41]
		06603F	<i>P. edulis</i> Sims	—	MW162627	MW328522	—	MW328514	MW328516	2021	[41]

续表

Continued table

物种 Species	地区 Origin	菌株号 Strain number	寄主 Host	菌株登录号 GenBank accession number						年份 Year	参考 文献 Refer- ence
				ITS	TEF	TUBE	RPB2	SIX6	SIX9		
		ICMP 21871	<i>P. edulis</i> Sims	—	MH230158	MW328517	—	MH230160	MH230159	2021	[41]
	Brazil	FOUNEMAT 22	<i>P. edulis</i> Sims	MG664775	—	—	—	—	—	2019	[35]
<i>F. nirenbergiae</i>	Italy	Di3A-Pef1	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MZ398141	MZ408114	—	MZ408109	—	—	2021	[16]
		Di3A-Pef2	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MZ398142	MZ408115	—	MZ408110	—	—	2021	[16]
		Di3A-Pef3	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MZ398143	MZ408116	—	MZ408111	—	—	2021	[16]
		Di3A-Pef4	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MZ398144	MZ408117	—	MZ408112	—	—	2021	[16]
		Di3A-Pef5	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	MZ398145	MZ408118	—	MZ408113	—	—	2021	[16]
<i>F. concentricum</i>	China	F-stem	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	2019	[42]
<i>Phytophthora nicotianae</i>	Zimbabwe	—	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	—	—	—	—	—	—	1992	[14]
	China	—	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	2003	[30]
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	China	32-WUB3	<i>P. edulis</i> Sims	—	—	—	—	—	—	2022	[43]
<i>Alternaria gossypina</i>	China	C11	<i>P. edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>	ITS; OR616614; TEF; OR633298; RPB2; OR633297; SSU; OR616608; LSU; OR616615; GAPDH; OR633295; ALT; OR633294; OPA10-2; OR633299; KOG1058; OR633296						2024	[44]

近年来,巴西<sup>[32]</sup>和哥伦比亚<sup>[34]</sup>均报道了百香果环茎腐病由腐皮镰孢菌引起。Marostega等<sup>[35]</sup>通过致病性测试,在分离物中筛选出两株致病性最强的腐皮镰孢菌。2019—2021年间,邝瑞彬等<sup>[18]</sup>、宋晓兵等<sup>[25]</sup>和Zhou等<sup>[19]</sup>基于多片段融合的分子鉴定发现,广东百香果茎基腐病的病原为腐皮镰孢菌;将该病菌接种至健康的活体植株后,植株从发病到死亡的持续时间为40—60 d。2021年,Hao等<sup>[37]</sup>运用形态学,以及*its*、*tef*和RNA聚合酶第二大亚基基因(the second largest RNA polymerase subunit, *rpb2*)进行分子鉴定,发现腐皮新赤壳(*Neocosmospora solani*)是云南紫皮百香果茎基腐病的病原。腐皮新赤壳由腐皮镰孢菌变种更名而来,当前被视作新赤壳属(*Neocosmospora*)的成员<sup>[50]</sup>。该属在传统上作为FSSC被归为镰孢菌属<sup>[51]</sup>,但其归属尚存在争议。O'donnell等<sup>[52]</sup>认为,镰孢菌属中应该包括FSSC,在已知的镰孢菌中,有近三分之一的有害种存在于FSSC中,若归为腐皮新赤壳则可能会在药剂使用方面造成严重后果。然而,最新的研究表明<sup>[53,54]</sup>,FFSC物种的基因、生态和形态特异性支持其作为一个单独的属来研究。2022年,陈圆等<sup>[36]</sup>报道称引起海

南省茎基腐病的病原为腐皮镰孢菌。此外,研究发现从百香果茎基腐病中得到的病原与其他植物病害中得到的腐皮镰孢菌在生物学特性上存在差异,其菌丝生长、产孢及孢子萌发的适宜温度为28—30℃,适宜pH值为5—9,最适碳、氮源为葡萄糖和牛肉膏,光照显著影响菌丝生长,但对产孢量无显著影响<sup>[55]</sup>。

### 2.1.2 尖孢镰孢菌物种复合体 (*Fusarium oxysporum* Species Complex, FOSC)

国内,郑加协等<sup>[28]</sup>确定福建百香果茎基腐病的病原为尖孢镰孢菌。陈星等<sup>[38]</sup>于2017年对广西防城港的百香果茎基腐病病株进行采样分离,检测到毛色二孢属(*Lasiodiplodia*)、镰孢菌属、拟茎点霉属(*Phomopsis*)和刺盘孢属(*Colletotrichum*)等9个属的真菌,通过特异性引物EF-1/EF-2进一步鉴定及进行致病性测定,结果显示菌株F-1为尖孢镰孢菌,该病菌对百香果幼苗具有致病性。在国外,早期研究主要集中在腐皮镰孢菌。2011年,Rooney-Latham等<sup>[40]</sup>借助*tef*基因鉴定,确定引起北美百香果枯萎病的病原为尖孢镰孢菌,该病菌能导致茎溃疡和根部褐变,并在接种4周后出现黄化和枯死症状。2018年,Joa等<sup>[39]</sup>利用*its*基因和*tef*基因鉴定,证实尖孢

镰孢菌为韩国百香果茎基腐病的主要病原。2021年, Thangavel等<sup>[41]</sup>基于 *tef* 基因、 $\beta$ -微管蛋白基因 (*beta-tubulin*) 和木质部分泌基因 (Secreted In Xylem, *six*) 多基因序列鉴定, 确定新西兰北岛的百香果茎基腐病病原为尖孢镰孢菌。此外, Aiello等<sup>[16]</sup>鉴定出引起意大利百香果茎基部维管异常和植株枯萎的病原为 FOOSC 中的 *Fusarium nirenbergiae*, 这为深入探讨百香果茎基腐病的病原提供了更多思路。

### 2.1.3 轮纹镰孢菌

随着对百香果茎基腐病研究的不断深入, 2019年中国首次报道了轮纹镰孢菌不仅会引起百香果茎基腐病, 还会导致百香果根部和果实生长异常<sup>[42]</sup>。这一发现为百香果镰孢菌病害的研究提供了新的见解。

## 2.2 烟草疫霉菌

Cole等<sup>[14]</sup>在对津巴布韦百香果茎基腐病病原进行分离鉴定时发现, 除腐皮镰孢菌能引起茎基部明显褐变外, 烟草疫霉菌同样能够导致与茎基腐病相似的症状, 并证实烟草疫霉菌的存在可促进病害的进一步蔓延。詹儒林等<sup>[30]</sup>于2003年报道引起海南百香果茎基腐病的病原为烟草疫霉菌。然而, 目前尚未有研究来支持这一发现。

## 2.3 可可毛色二孢菌

2017年, 陈星等<sup>[38]</sup>从百香果茎基腐病病株中分离出可可毛色二孢菌, 但并未见致病结果的报道。2021年, 可可毛色二孢菌首次被确定为黄金百香果采摘后果腐病的病原<sup>[43]</sup>, 对百香果的健康生长具有重要影响。2022年, 黄艳花等<sup>[56]</sup>对广西东部种植区百香果茎基腐病进行了调查, 首次报道毛色二孢菌 (*Lasiodiplotia*) 的可可毛色二孢菌为百香果茎基腐病的病原 (表1), 该病原具有较广泛的环境适应性, 其最适生长温度为 28—30℃, 不易受土壤和雨水 pH 值变化的影响。此外, 在接种至百香果植株茎基部后, 仅 1—2 周便能引起植株枯死。相较于腐皮镰孢菌和尖孢镰孢菌, 可可毛色二孢菌在发病率、发病程度、潜伏期和死亡速率等方面表现出显著差异, 并且该病菌多次被报道能引起不同植物的溃疡、叶斑和枝枯等病害<sup>[57]</sup>。

## 2.4 棉链格孢霉

链格孢霉是一类重要的植物病原真菌, 寄主范围广泛, 常引发叶部病变, 致使叶片枯萎<sup>[58]</sup>, 然而鲜见其对茎基部病害的报道。2024年, Luo等<sup>[44]</sup>在广西靖西百香果种植基地发现几株与已知病原菌菌落形

态有明显差异的菌株, 该菌株能够在短时间内引发严重的茎基腐病; 通过 9 段基因序列共建系统发育树鉴定为棉链格孢霉, 并推测其引起发病的原因可能与不当的农业管理规范直接相关<sup>[44]</sup>。研究表明, 尖孢镰孢菌与细极链格孢 (*A. tenuissima*) 两者均可引起甘薯茎部病害, 且相互促进侵入, 复合侵染引起甘薯茎枯病<sup>[59]</sup>。

当前百香果茎基腐病在全球多地引发病害并导致严重后果, 其病原主要为镰孢菌属, 其中腐皮镰孢菌的报道最为广泛, 主要分布在南美洲、澳大利亚、南非和中国南方等热带气候区; 尖孢镰孢菌更多地被发现于北美洲、韩国、意大利和新西兰等南北回归线 25—35° 的亚热带气候区。至于其他一些报道较少的病原相关微生物, 如轮纹镰孢菌、烟草疫霉菌等, 在百香果病害发展进程中可能也有着不可忽视的影响。此外, 现有报道中的部分病原菌株利用单个或少量的基因序列进行分子鉴定, 存在信息不足和鉴定结果准确性低等问题, 这对百香果茎基腐病进一步的绿色防控是不利的。

## 3 百香果茎基腐病的致病机制

百香果茎基腐病侵染机制的相关研究主要聚焦于两种常见的病原真菌, 即腐皮镰孢菌和尖孢镰孢菌, 二者皆能导致地上部萎蔫枯死。然而, Ortiz等<sup>[49]</sup>认为他们在致病机制和定植位点上存在差异, 主要体现在尖孢镰孢菌主要引起根腐病, 而腐皮镰孢菌更多地导致茎/冠腐病。具体而言, 当果苗受到这两种病原的侵染后, 初期均表现为枝叶萎蔫, 随着病害的发展, 维管束呈现褐变, 叶片枯萎脱落, 最终导致植株枯萎死亡<sup>[12]</sup>。然而, 腐皮镰孢菌通常引起根茎基部的溃烂, 茎基处 2—10 cm 形成溃疡龟裂, 高湿度条件下还可见红色点状物, 发病严重时溃疡病斑可以快速扩展导致茎基腐烂<sup>[33]</sup>; 而尖孢镰孢菌侵染后不会造成溃疡伤口, 地上部主要表现为茎秆枯萎, 并有不同程度的由棕变红, 挖开土壤可见嫩白新根, 旧根坏死, 结果期发病可见未成熟果实干枯附于藤蔓<sup>[45]</sup>。

在定植机制上, 两种病原真菌都能以菌丝和分生孢子在木质部导管定植, 引起形成层、木质部和韧皮部导管增生肥大, 薄壁细胞中木质部纤维素和淀粉体降解, 产生凝胶, 导致水分和养分运输受阻, 进而引起果苗枯死<sup>[34, 39]</sup>。尖孢镰孢菌的侵染主要经由根表皮、根皮层直至木质部导管, 堵塞维管组织后导致地上部萎蔫<sup>[49]</sup>; 而腐皮镰孢菌能够产生角质酶等物

质<sup>[34]</sup>,从茎基部或气孔基部开始,通过角质层降解对根茎基部区域侵染,在周皮组织定植,引起增生肥大,最终在茎基部发展为溃疡裂缝<sup>[49]</sup>。在对根系侵染过程的研究中发现,腐皮镰孢菌潜伏期相较尖孢镰孢菌略长,致病严重程度也较弱<sup>[33]</sup>,但有观点认为不同的接种方式能够影响病害的严重程度和潜伏期<sup>[21]</sup>。此外,Cole等<sup>[14]</sup>和Zakaria<sup>[11]</sup>发现烟草疫霉菌的存在能使腐皮镰孢菌对维管组织的侵袭更广,多病原复合侵染可促进病害发展,加速果苗茎基腐烂。

## 4 百香果茎基腐病的发病因素和流行规律

### 4.1 百香果茎基腐病的发病因素

#### 4.1.1 自身因素

百香果植根性差,根系浮生,其向外延伸的藤蔓结构相对松软,在嫁接栽培和生长发育的过程中,根茎基部易受机械损伤,这间接为病菌侵染提供了便利<sup>[12,60]</sup>。此外,不同的百香果品种或砧木在对茎基腐病的抗性方面存在差异,主要体现在黄果种较抗病,而紫果种则易感此病<sup>[61]</sup>。

#### 4.1.2 土壤因素

在部分地区,由于百香果长期连作或单一品种种植,导致土壤中的病原菌长年积累。即使重新种植,若未对土壤进行有效消杀,一旦条件适宜,就会引发大面积茎基腐病<sup>[16]</sup>。此外,土壤的pH值对土壤真菌和细菌群落的组成有显著影响<sup>[62]</sup>,同样也是干扰百香果种植土壤中真菌和细菌群落的关键因素<sup>[63,64]</sup>。因此,尽管百香果对土壤的适应性强,但通常以pH值大于5.5的弱酸性土壤最为适宜。过酸的土壤会抑制土壤中有益微生物的生长,滋生并促进病菌扩繁,导致多种病害的发生<sup>[60]</sup>。

#### 4.1.3 栽培管理

百香果藤蔓生长旺盛,枝叶密度较大。为方便操作管理,常采用平顶式搭架方式供百香果攀附生长。然而,这种种植模式使树体荫蔽,导致荫下通风不良、透气性较差、湿度大,且棚架易倒塌<sup>[2]</sup>。因此,平顶式搭架可能造成树体受伤衰弱,给病菌侵染提供了有利条件,成为病害爆发的易感因素<sup>[33]</sup>。

#### 4.1.4 水肥措施

科学施肥是实现高产的重要举措,但施氮过量、施肥不当或缺乏肥料会导致树体营养不良,降低果苗的抗病性和抗逆性<sup>[65]</sup>。若果园的排灌设施简陋,积水严重,将使果树长期受水分胁迫,各种生理、生化和防御系统等方面也会发生变化,从而加速根茎基部

腐烂<sup>[66]</sup>。

#### 4.1.5 环境条件

温度和湿度等环境因子能直接影响茎基腐病的严重程度。其中,降雨与相对湿度直接相关,它是影响百香果生理过程的最大气候变量,并且显著影响病原菌分布;温度则影响营养阶段和生殖阶段的持续时间;高温、高湿的气候条件会促进茎基腐病的发生和蔓延<sup>[67]</sup>。高海拔缓坡地区具有天然的通风排水性能,因此百香果茎基腐病的发病率相对较低,而中低海拔的平原或低洼地块由于积水多、通风不良,为病害发生创造了有利条件,因此发病率较高<sup>[68]</sup>。

### 4.2 百香果茎基腐病的流行规律

茎基腐病的发病初期通常在每年3—4月,盛期在6—7月,多见于通透性差和排水性差的果园<sup>[27]</sup>,其病原体为好氧、喜高温高湿且潜伏期长的真菌。在没有合适的寄主植物时,它们能以厚垣孢子的形式在土壤和病残体中越冬存活,待到下一年春季种植百香果时,在适宜的温度、湿度条件下萌发<sup>[33]</sup>。在此期间,茎基腐病可由带病农具、病残体、杂草、风雨和灌溉水等途径,通过茎基部伤口侵染增加其传染性<sup>[27,31]</sup>。此外,现阶段的百香果通常用扦插苗种植,其中病原体镰孢菌可能在植株发病前就寄生于苗木<sup>[45]</sup>。因此,对于当年种植的苗木,茎基腐病的发病率较低,但产量有限;若连茬种植,虽然产量可观,但会增加栽培管理和病害预防的难度,加重果树的承载力,使其抗逆性下降,导致茎基腐病的发病率和严重程度大幅增加,同时还会伴随病毒、疫病、炭疽等多种病害的复发,使病害程度加剧。

## 5 百香果茎基腐病的综合防治措施

在实际生产中,百香果茎基腐病的防治主要以化学防治为主,这是实现百香果高产的一种相对经济的防治手段。然而,当前在百香果病害流行方面缺乏系统的研究,并且市面上缺乏能够同时满足环保、安全、低毒和高效的药剂。此外,由于热带气候多雨以及疫病、病毒病等多病害复合发生的特点,农药往往难以按预期发挥有效作用。因此,在百香果种植前采取预防措施至关重要,同时在茎基腐病发病前或初期,辅以农药和生物防治措施可对病害进行及时控制。

### 5.1 农业预防措施

#### 5.1.1 选择适宜的种植场地

百香果的种植场地对其病害防治起着重要作用。鉴于此,应根据种植场地的环境条件和气候特点,选

择适宜的搭架方式,确保搭架牢固且空气流通性良好,以减轻密植和自然灾害引起的病菌扩繁风险。在缓坡地区,可以考虑采用网格式搭架;山坡地区适宜选择“T”型搭架;陡坡地区则适合使用总格或烧烤架式的搭架模式<sup>[67]</sup>。相比之下,百香果优先选择无病史、通风排水优良的缓坡地带进行种植<sup>[69]</sup>。王翔宇等<sup>[70]</sup>认为垂帘式整形搭架利于空气流通、增加光合面积,同时可减轻病虫害的发生,或许是未来百香果搭架种植的发展趋势。

### 5.1.2 制定科学的栽培管理措施

实施合理的密植及适当的水肥管理,有助于果树的日常管理,并改善病菌扩繁的环境条件,从而实现经济最大化。在果苗栽种前,使用黄腐酸钾进行灌根预防,可降低后期发病率。在生长期,采用科学的施肥方法,合理施用氮肥,适时追肥,并结合生物菌肥等进行混合施用,以增强植株的抗逆性和抗病能力<sup>[65]</sup>。特别是在高湿条件下,要保持适宜的湿度,促进灌排水,降低根茎腐烂和多病害复合发生的风险<sup>[67]</sup>。百香果连作会导致土壤中有害真菌的丰度上升,因此采取合理的轮作或套种非寄主植物对病害控制更为有利<sup>[63]</sup>。

### 5.1.3 清理田间病残体,减少土壤带菌传播风险

选择抗性较强的健康大苗一年一植,同时在种植前进行土壤的翻土暴晒、石灰消毒,并销毁病株残体,可以有效地消灭越冬存活的病菌,减少病菌数量,这也有助于改善土壤酸性,降低病害发病率和减轻受害程度<sup>[66]</sup>。在苗期发现病株或死亡的成株,应及时予以清除,并在挖根后进行石灰消毒等处理,以降低病害进一步蔓延的风险<sup>[24]</sup>。

### 5.1.4 选用抗性砧木繁殖

嫁接是一种成功的繁殖方法,它能够结合不同品种的优势特性,为农业生产带来更高的效益和可持续发展的可能。百香果通过嫁接繁育,在增产的同时,也可以有效减轻百香果茎基腐病的发生<sup>[3,71]</sup>。在选择砧木时,要确保其与嫁接苗兼容且易繁,同时选择对土传病菌有抗性的品种,以提升植株抗逆和抗病能力<sup>[72,73]</sup>。以黄果品种作为砧木最佳<sup>[61]</sup>,能有效控制茎基腐病。筛选具有抗茎基腐病基因型的砧木嫁接,能够增加母本对病原菌引起疾病的耐受性<sup>[74-77]</sup>。

## 5.2 化学防治

化学防治具有广谱、高效、快速和操作简便等优点。然而,对于一些土传病害病菌繁殖体,若其已产生抗性,化学防治的效果并不明显<sup>[16]</sup>。因此,使用农

药的关键在于及时用药和轮换用药,以最大程度地发挥其作用。在百香果茎基腐病发病前或病部溃疡开裂前用药,效果更为显著。在种植前,可进行耕翻暴晒,并喷施石硫合剂做杀菌处理。此外,可以将石灰和多菌灵混合涂抹在枝条上,以减轻日灼和防止虫菌危害<sup>[26]</sup>。当出现叶片萎蔫、新芽畸形分化或茎基部异常病斑时,可使用70%甲基托布津可湿性粉剂进行涂抹或淋灌根茎部<sup>[24]</sup>。其他可选的化学防治药剂包括噁霉灵、噻唑酮、多菌灵、代森锌、瑞苗清、甲基托布津和咯菌腈等,可刮除病部后涂药<sup>[25,55,78]</sup>。施药时间选择晴天且在中午前后两小时,能够更好地发挥农药杀菌效果<sup>[65]</sup>。此外,在百香果茎基腐病发生后,应及时做好病部消毒、保护和药后恢复等措施,复配多种农药涂抹伤口,能起到较好治愈效果,降低复发率<sup>[79]</sup>。

## 5.3 生物防治

生物防治是利用活体有益微生物及其代谢产物抑制病原微生物和害虫的生长,以达到调节植物生长、平衡土壤微生物群落结构等效果<sup>[80]</sup>。其防治策略主要包括使用生物农药和微生物化肥,一些微生物制剂已商品化并用于农业,具有抑菌和提高植株抵抗力等功能<sup>[81]</sup>。木霉(*Trichoderma* spp.)<sup>[17]</sup>、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)<sup>[82]</sup>和贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*)<sup>[83,84]</sup>对病菌生长和病害发展有显著抑制效果。通过筛选对茎基腐病具有抑制效果的微生物制品,能显著提高百香果对茎基腐病的抵抗能力。此外,一些中草药提取物对百香果茎基腐病原亦有良好的抑菌效果,可作为防控百香果茎基腐病的绿色制剂<sup>[85]</sup>。

研究表明,镰孢菌丰度与百香果连作之间存在正相关关系<sup>[63]</sup>。使用微生物制品可改善土壤生物群落,抑制镰孢菌<sup>[86]</sup>。百香果幼苗易受镰孢菌侵染,对于幼苗期未发病的植株,成株株龄越大,腐皮镰孢菌在茎的定植概率越低,发病率也随之下降低<sup>[12,14]</sup>,因此可在作物幼苗期适当配施复合肥、绿肥堆肥基质,叶面施用生物肥或将生物粪肥与NPK复合肥料混施,以增强植株抗逆性进而提高其生产力<sup>[86,87]</sup>。

## 5.4 抗病品种选育

抗病品种选育是一个依赖植物遗传背景的长期过程。在受控条件下选择与抗性野生品种杂交,可以获得对病虫害控制和增产有积极作用的新品种<sup>[88]</sup>。我国百香果种质资源与美国、澳大利亚和巴西等主产国存在较大差距<sup>[89]</sup>,虽然我国有“钦蜜9号”、“壮乡

蜜宝”和“金都3号”等抗茎基腐病的品种,但实际应用中受区域局限大,其资源利用程度和应用效果并不佳,导致其抗病性争议较大<sup>[90,91]</sup>。因此,引进具有抗病性的优良种质资源和先进技术是育种的先决条件。巴西学者 Marostega 等<sup>[35,92]</sup>用强致病力菌株尖孢镰孢菌 FOUNEMAT 22 以及腐皮镰孢菌 FSUNEMAT 40、FSUNEMAT46 对多个百香果杂种群体进行筛选,得到 10 个最具抗茎基腐病的基因型,并建议将 115-4 基因型用于育种或培育砧木。De Carvalho 等<sup>[23]</sup>评估发现不同地区的病原物之间存在显著遗传变异,与致病力相关,使用不同来源的病菌对百香果品种做抗性评价,发现 *P. nitida* 对腐皮镰孢菌最具抗性,*P. foetida* 对尖孢镰孢菌最具抗性,*P. mucronata* 则对两种镰孢菌兼具抗性,后者可用于百香果改良。近年,张文斌<sup>[89]</sup>针对茎基腐病选育得到抗性优良的福砧 1 号黄金百香果新品种,与母本“台农一号”和父本“福莲 3 号”相比,该品种具有耐热、长势强、根系发达且嫁接亲和力高等特性,适宜在我国云南、贵州、海南、福建、广西和广东地区种植,然而,福砧 1 号存在自交亲和性差、产量略减、不耐寒等不足,该品种对病毒病和疫病的抗性尚有提升空间。此外,吴艳艳等<sup>[93]</sup>构建了第一个百香果栽培种高密度遗传图谱,增加了新的单核苷酸多态性(SNP)标记和高密度遗传图谱,以此为基础,他们利用紫果基因预测有 10 个候选基因,并开发了 10 个候选基因的特异分子标记,为鉴定抗茎基腐病主效数量性状基因座(Quantitative Trait Locus, QTL)及与其紧密连锁的分子标记提供了支撑。然而,目前国内对于百香果茎基腐病的抗性品种选育尚处于初级阶段,未来还需联合巴西等国家的遗传多样性中心,以获取更多抗性基因型,并借助遗传变异进行有效的选育。

## 6 展望

目前关于百香果茎基腐病的研究主要聚焦于腐皮镰孢菌、尖孢镰孢菌、轮纹镰孢菌、烟草疫霉菌和可可毛色二孢菌等病原菌的分离鉴定、侵染传播和病害防治等方面。然而,在病原菌多样性及其分布规律、病害相关土壤微生物组学和土壤微生物生态学、病原-寄主-环境的相关性等方面的研究仍然欠缺。同时,在病原菌的生物学特性、分子致病机制以及与宿主的相互作用等方面展开深入系统的研究也迫在眉睫。此外,我国在百香果茎基腐病抗性品种培育方面存在明显不足。虽然目前已培育出多个百香果品种,但对抗

茎基腐病的品种缺乏系统研究,并且这些品种在不同地区、不同气候条件以及对抗不同病原时的适应性仍有待提升。本文认为,未来应从以下 4 个方面展开深入研究。

### 6.1 深入开展百香果茎基腐病的基础研究

为加快病害病原快速鉴定方法和田间诊断技术的发展,应对不同地理位置和气候条件下的病株进行广泛调查和采集,运用多基因序列与形态学分析方法鉴定病原菌并进行多样性分析,以明确百香果茎基腐病病原种类及其分布规律。在此基础上,探索病原菌的致病分子机制,深度解析百香果与病原菌间的互作关系,为百香果抗性品种选育工作以及病害的前期预防和后期治理提供理论依据。此外,鉴于百香果茎基腐病属于土传病害,因此有必要系统研究该病害病原种类、宿主和土壤环境间的关系,这对于根腐病等其他土传病害病原物的防治也具有一定指导作用。

### 6.2 开发和应用绿色防控技术

利用土壤微生物组学等方法,对具有抗病功能或相关抗性基因的目标微生物进行分析和筛选,从而为新型生防菌株的挖掘、生物药剂开发和复合生物肥料生产提供优质资源。此外,应当创新开发环境友好的绿色防控技术,持续开发有关生物制剂,推进其田间应用与推广,建立起百香果病害绿色防控体系。

### 6.3 筛选抗性砧木

目前生产上所用的砧木通常为生长能力强、适应力广泛且具有一定抗病抗逆性的野生或半野生类型。鉴于百香果种质资源的多样性,未来应对野生资源进行系统筛选,同时结合不同特性和致病力的病原菌,对现有品种资源进行鉴定与评价,挖掘野生资源,筛选出优良的百香果砧木种质资源。

### 6.4 筛选强致病力菌株和抗性育种

在了解病原菌株侵染的分子机制和遗传特异性的基础之上,需充分利用百香果种质资源的多样性,对不同地理环境下对百香果有强侵染性的菌株进行分析,筛选出百香果的抗性品种。虽然非致病性菌株不利于抗性品种筛选,但可用于生物防治,诱导寄主产生系统抗性,以增强对病原菌的抵抗能力。抗性选育的最终目的在于实现商业生产,达到高产优质,获得更大的经济效益。因此,选育抗病、优质和高产的品种是未来百香果产业的主要研究目标之一。

百香果茎基腐病作为百香果的重要病害之一,给百香果产业带来了严重威胁。然而,当前对该病害的主要病原物、病原区域性和发病机制,以及其他病理



学层面的研究仍存在欠缺。鉴于此,有必要对相关领域开展进一步的深入研究,并探索新的防控举措,以提高百香果抗逆性、抗病性和产量,解决百香果产业存在的问题,为百香果产业的可持续发展提供支持与助力。

#### 参考文献

- [1] 袁启凤,严佳文,陈楠,等.“紫香1号”百香果成熟果实的氨基酸分析与营养评价[J].中国南方果树,2019,48(2):50-54.
- [2] 邝瑞彬,杨护,孔凡利,等.广东省百香果产业现状与发展对策[J].广东农业科学,2019,46(9):165-172.
- [3] THOKCHOM R,MANDAL G. Production preference and importance of passion fruit (*Passiflora edulis*): A review [J]. Journal of Agricultural Engineering and Food Technology,2017,4(1):27-30.
- [4] 邱金忠.百香果茎基腐病的发生与防治方法[J].中国农业信息,2015,27(1):50.
- [5] HE X,LUAN F,YANG Y,et al. *Passiflora edulis*: an insight into current researches on phytochemistry and pharmacology [J]. Frontiers in Pharmacology,2020,11: 617.
- [6] 夏玲,龚家建,梁昕景,等.基于 SRAP 标记和 ITS 序列分析西番莲属种质资源遗传多样性[J].分子植物育种,2020,18(15):5157-5163.
- [7] 韦晓霞,潘少霖,吴如健,等.‘黄金’黄果西番莲在福建引种初报及栽培要点[J].东南园艺,2016,4(6):6-8.
- [8] 邢相楠,黄永才,陈格,等.广西百香果产业发展现状、存在问题及对策建议[J].南方农业学报,2020,51(5): 1240-1246.
- [9] 李兆义.百香果栽培管理技术探析[J].南方农业,2017,11(3):7-8.
- [10] AMATA R,OTIPA M,WAIGANJO M,et al. Management of dieback disease of passion fruits [J]. Acta Horticulturae,2013,1007(1007):363-368.
- [11] ZAKARIA L. Fungal and oomycete diseases of minor tropical fruit crops [J]. Horticulturae,2022,8(4):323.
- [12] FISCHER I H,REZENDE J A M. Diseases of passion flower (*Passiflora* spp.) [J]. Pest Technology,2008,2(1):1-19.
- [13] MCKNIGHT T. A wilt disease of the passion vine (*Passiflora edulis*) caused by a species of *Fusarium* [J]. Queensland Journal of Agricultural Science,1951,8(1):1-4.
- [14] COLE D L,HEDGES T R,NDOWORA T. A wilt of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) caused by *Fusarium solani* and *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* [J]. International Journal of Pest Management,1992,38(4):362-366.
- [15] GARCIA E,PAIVA D,COSTA J,et al. First report of *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* on passion fruit in Portugal [J]. Plant Disease,2019,103(10):2680.
- [16] AIELLO D,FIORENZA A,LEONARDI G R,et al. *Fusarium nirenbergiae* (*Fusarium oxysporum* species complex) causing the wilting of passion fruit in Italy [J]. Plants,2021,10(10):2011.
- [17] QUIROGA-ROJAS L F,RUIZ-QUINONES N,MUÑOZ-MOTTA G,et al. Microorganismos rizosféricos, potenciales antagonistas de *Fusarium* sp. causante de la pudrición radicular de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) [J]. Acta Agronómica,2012,61(3):265-272.
- [18] 邝瑞彬,杨护,杨敏,等.百香果茎基腐病菌分离鉴定与药剂筛选研究[J].中国农学通报,2021,37(28):108-114.
- [19] ZHOU Y,LIU Y,TANG J,et al. Stem collar rot of passion fruit caused by *Fusarium solani* in Zhanjiang, China [J]. Journal of Plant Pathology,2021,103(2): 739.
- [20] 季征.确定西番莲紫果品种“满天星”茎基腐病致病菌 [N].云南日报,2021-09-04(008).
- [21] ÁNGEL-GARCÍA C,ROBLEDO-BURITICÁ J,CAS- TAÑO-ZAPATA J. Comparación de métodos de inoculación de *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae* en plántulas de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) [J]. Revista UDCA: Actualidad & Divulgación Científica (Bogotá),2018,21(1):23-31.
- [22] 党裔育,潘文道,蓝晓阳.广西玉林百香果产业发展状况初探[J].中国热带农业,2022(1):27-31.
- [23] DE CARVALHO J A,DE JESUS J G,ARAÚJO K L, et al. Passion fruit (*Passiflora* spp.) species as sources of resistance to soil phytopathogens *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* complex [J]. Revista Brasileira de Fruticultura,2021, 43(1):e-427.
- [24] 林洒海,黄添基,傅成业.百香果茎基腐病的发生与防治方法[J].中国南方果树,2012,41(1):82.
- [25] 宋晓兵,崔一平,彭埃天,等.广东西番莲茎基腐病原的分离及鉴定[J].南方农业学报,2019,50(5):1007-1012.
- [26] 郑继华.西双版纳黄果西番莲茎基腐病调查[J].云南热作科技,2000,23(3):40.
- [27] 滕峥,杨翠凤,林有林.西番莲茎基腐病主要致病菌及其防治研究进展[J].安徽农学通报,2021,27(20):100-102.
- [28] 郑加协,黄盈,梁渭州,等.福建西番莲茎基腐病的病原菌鉴定[J].福建省农科院学报,1992,7(2):65-68.
- [29] 李德福,杨佳琪,张晓燕,等.福建省西番莲茎基腐病原鉴定[J].植物病理学报,1993,23(4):86.

- [30] 詹儒林,郑服丛,HO H H. 海南西番莲茎腐病原的分离与鉴定[J]. 热带作物学报,2003,24(4):39-42.
- [31] PEGG K G,WILLINGHAM S L,OBRIEN R G,et al. Base rot of golden passionfruit caused by a homothallic strain of *Fusarium solani* [J]. Australasian Plant Pathology,2002,31(3):305-306.
- [32] BUENO C J,FISCHER I H,ROSA D D,et al. *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae*: a new *Forma specialis* causing collar rot in yellow passion fruit [J]. Plant Pathology,2014,63(2):382-389.
- [33] ORTIZ E,HOYOS-CARVAJAL L. Standard methods for inoculations of *F. oxysporum* and *F. solani* in *Passiflora* [J]. African Journal of Agricultural Research, 2016,11(17):1569-1575.
- [34] ROBLEDO-BURITICÁ J,ÁNGEL-GARCÍA C,CAS-TAÑO-ZAPATA J. Environmental scanning electron microscopy of the infection process of *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae* in seedlings of passionfruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) [J]. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,2017,41(159):213-220.
- [35] MAROSTEGA T N,LARA L P,DA S DE OLIVEIRA D,et al. Molecular and aggressiveness characterization of isolates of *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* associated to passion fruit wilting [J]. Journal of Agricultural Science,2019,11(3):407-420.
- [36] 陈圆,赵志祥,严婉荣,等. 百香果茎基腐病原鉴定及室内毒力测定[J]. 中国南方果树,2022,51(6):90-94.
- [37] HAO C H,CHAI X,WU F C,et al. First report of collar rot in purple passion fruit (*Passiflora edulis*) Caused by *Neocosmospora solani* in Yunnan province, China [J]. Plant Disease,2021,105(11):3750.
- [38] 陈星,高淑梅,李迎宾,等. 广西防城港西番莲茎基腐病发生为害调查与病原鉴定[C] //中国植物病理学会. 中国植物病理学会 2017 年学术年会论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2017:168.
- [39] JOA J H,CHOI I Y,CHOI M K,et al. *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* on passionfruit in Korea [J]. Research in Plant Disease,2018,24(1):75-80.
- [40] ROONEY-LATHAM S,BLOMQUIST C L,SCHECK H J. First report of *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* on passion fruit in North America [J]. Plant Disease,2011,95(11):1478.
- [41] THANGAVEL R,PATTEMORE J A,REBIJITH K B,et al. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* infecting passionfruit in New Zealand in a changing taxonomic landscape [J]. Australasian Plant Pathology, 2021,50(4):365-377.
- [42] 冯岩,谢梓烁,欧枝凯,等. 镰刀菌引致的百香果病害研究[J]. 仲恺农业工程学院学报,2019,32(4):13-18.
- [43] 杜婵娟,杨迪,叶云峰,等. 广西百香果采后果腐病原的鉴定[J]. 植物病理学报,2022,52(1):109-113.
- [44] LUO C,CHEN Y L,GUO R J,et al. First report of *Alternaria gossypina* causing stem base rot on *Passiflora edulis* in Guangxi,China [J]. Plant Disease,2024,108(8):2563.
- [45] PLOETZ R C. *Fusarium*-induced diseases of tropical, perennial crops [J]. Phytopathology,2006,96(6):648-652.
- [46] 林洒海,黄添基,傅成业. 西番莲茎基腐病的发生特点及防治技术[J]. 现代园艺,2015(13):128.
- [47] RAJA H A,MILLER A N,PEARCE C J,et al. Fungal identification using molecular tools: a primer for the natural products research community [J]. Journal of Natural Products,2017,80(3):756-770.
- [48] 李博勋,刘先宝,冯艳丽,等. 橡胶树多主棒孢病菌 *Cassioicolin* 基因条形码数据库构建及分子检测技术[J]. 热带作物学报,2019,40(9):1770-1782.
- [49] ORTIZ E,CRUZ M,MELGAREJO L,et al. Histopathological features of infections caused by *Fusarium oxysporum* and *F. solani* in purple passionfruit plants (*Passiflora edulis* Sims) [J]. Summa Phytopathologica,2014,40(2):134-140.
- [50] WANG M M,CROUS P W,SANDOVAL-DENIS M, et al. *Fusarium* and allied genera from China: species diversity and distribution [J]. Persoonia - Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi,2022,48(1):1-53.
- [51] SANDOVAL-DENIS M,LOMBARD L,CROUS P W. Back to the roots: a reappraisal of *Neocosmospora* [J]. Persoonia,2019,43:90-185.
- [52] O'DONNELL K,AL-HATMI A M S,AOKI T,et al. No to *Neocosmospora*: phylogenomic and practical reasons for continued inclusion of the *Fusarium solani* species complex in the genus *Fusarium* [J]. mSphere, 2020,5(5):e00810-20.
- [53] CROUS P W,LOMBARD L,SANDOVAL-DENIS M, et al. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell [J]. Studies in Mycology,2021,98(4):100116.
- [54] RANA S,SINGH S K,DUFOSSÉ L. Multigene phylogeny, beauvericin production and bioactive potential of *Fusarium* strains isolated in India [J]. Journal of Fungi,2022,8(7):662.
- [55] 黄艳花,覃连红,崔忠吉,等. 广西百香果茎基腐病原菌生物学特性及抑菌药剂筛选[J]. 安徽农业科学,2023,51(9):127-131.
- [56] 黄艳花,宁平,黄远光,等. 百香果茎基腐病原菌鉴定及其生物学特性[J]. 西南农业学报,2022,35(1):105-112.
- [57] HATTORI Y,NAKANO L,NAKASHIMA C. Taxo-

- onomic re-examination of Japanese isolates of the genus *Lasioidiplodia* [J]. Mycoscience, 2023, 64(2): 74-82.
- [58] WOUDEMBERG J H C, SEIDL M F, GROENEWALD J Z, et al. *Alternaria* section *Alternaria*: Species, formae speciales or pathotypes? [J]. Studies in Mycology, 2015, 82: 1-21.
- [59] 钱恒伟, 徐鹏程, 迟梦宇, 等. 尖孢镰刀菌与极细链格孢复合侵染引起甘薯茎枯病[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 867-868.
- [60] 朱寿容. 百香果茎基腐病综合防治技术[J]. 农村新技术, 2018(7): 21-22.
- [61] 叶金巧. 西番莲抗茎基腐病砧木筛选试验[J]. 热带农业科技, 2022, 45(4): 15-18, 54.
- [62] YANG J M, REN X Y, LIU M Y, et al. Suppressing soil-borne *Fusarium* pathogens of bananas by planting different cultivars of pineapples, with comparisons of the resulting bacterial and fungal communities [J]. Applied Soil Ecology, 2022, 169: 104211.
- [63] 谭仲廷, 李安定, 杨瑞, 等. 百香果连作对土壤真菌群落结构的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(4): 1373-1382.
- [64] 张毅. 改性生物炭对百香果营养代谢与生长发育的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2022.
- [65] 黎静. 百香果茎基腐病综合防治技术要点[J]. 南方农业, 2019, 13(18): 9, 11.
- [66] PIRES R A, JESUS O N, LIMA L K S, et al. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* isolates display variable virulence in *Passiflora edulis* Sims seedlings [J]. European Journal of Plant Pathology, 2021, 162(2): 465-476.
- [67] CLEVES-LEGUÍZAMO J A. Functional analysis of trellising systems and their impact on quality and productivity in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* and f. *Purplea*, Degener) cultivars in Colombia [J]. Revista Brasileira de Fruticultura, 2021, 43(5): e-886.
- [68] 邢开宏, 雷岩回, 赵秋芬, 等. 西番莲主要病虫害发生规律及防治技术[J]. 云南农业, 2021(7): 52-55.
- [69] BENNETT R S, DAVIS R M. Method for rapid production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* Chlamydospores [J]. Journal of Cotton Science, 2013, 17(1): 52-59.
- [70] 王翔宇, 安昌, 秦源, 等. 百香果遗传育种及栽培生产研究进展[J]. 亚热带植物科学, 2022, 51(6): 505-514.
- [71] 吴胜芳. 百香果不同繁育方式种植对比试验[J]. 热带农业科技, 2023, 46(4): 24-26, 30.
- [72] FALEIRO F G, JUNQUEIRA N T V, JUNGHANS T G, et al. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation [J]. Revista Brasileira de Fruticultura, 2019, 41(2): e-155.
- [73] SCHMILDT E R, OLIARI L S, ALEXANDRE R S, et al. Histological aspects of mini-grafting of *Passiflora edulis* Sims. and *Passiflora mucronata* lam [J]. Revista Brasileira de Fruticultura, 2018, 40(2): e-174.
- [74] PEREIRA P P A, LIMA L K S, SOARES T L, et al. Initial vegetative growth and survival analysis for the assessment of *Fusarium* wilt resistance in *Passiflora* spp. [J]. Crop Protection, 2019, 121: 195-203.
- [75] LIMA L K S, DOS SANTOS I S, GONÇALVES Z S, et al. Grafting height does not affect *Fusarium* wilt control or horticultural performance of *Passiflora gibertii* N. E. Br. rootstock [J]. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2018, 90(4): 3525-3539.
- [76] CAVICHIOLI J C, DE SOUZA CORRÊA L, BOLIANI A C, et al. Growth and yield of yellow passion fruit grafted on three rootstocks [J]. Revista Brasileira de Fruticultura, 2011, 33(2): 567-574.
- [77] 吴应海, 李安定, 张丽敏, 等. 不同百香果品种对茎基腐病的抗性鉴定及防御酶活性研究[J]. 农业与技术, 2022, 42(20): 1-6.
- [78] 黄志巧, 韦应贤, 李德越, 等. 4种药剂防治西番莲茎基腐病药效试验初报[J]. 广西植保, 2017, 30(3): 36-37.
- [79] 杨翠凤, 滕峥. 一种西番莲茎基腐病的防治方法: CN108353708B [P]. 2020-05-12.
- [80] 陈雪, 莫芹, 陈一帆, 等. 大豆土传病害生防菌及其应用研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(5): 1082-1094. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2022219.
- [81] THURANIRA M D, WASILWA L A, MATIRU V N. Effect of soil management and *Trichoderma asperellum* on severity of passionfruit wilt disease [J]. Acta Horticulturae, 2011(911): 243-249.
- [82] 邝端彬, 杨敏, 周陈平, 等. 7种生物药剂对百香果茎基腐病菌的抑菌效果试验[J]. 广东农业科学, 2022, 49(10): 104-111.
- [83] 滕峥, 杨翠凤, 刘正鲁, 等. 百香果茎基腐病拮抗菌筛选及其生物学特性[J/OL]. 分子植物育种, 1-8 [2024-04-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20230525.1404.006.html>.
- [84] WANG C, YE X, NG T B, et al. Study on the biocontrol potential of antifungal peptides produced by *Bacillus velezensis* against *Fusarium solani* that infects the passion fruit *Passiflora edulis* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(7): 2051-2061.
- [85] 杨翠凤, 滕峥, 刘正鲁, 等. 15种中草药提取物对百香果茎基腐病菌的抑制效果[J]. 中国农学通报, 2023, 39(13): 102-108.
- [86] GAO Y H, LU X H, GUO R J, et al. Responses of soil abiotic properties and microbial community structure to 25-year cucumber monoculture in commercial greenhouses [J]. Agriculture, 2021, 11(4): 341.

- [87] DO NASCIMENTO J A M, CAVALCANTE L F, CAVALCANTE Í H L, et al. The impacts of biofertilizer and mineral fertilization on the growth and production of yellow passion fruit irrigated with moderately saline water [J]. *Ciencia E Investigación Agraria*, 2016, 43(2):253-262.
- [88] 桑世飞, 王君怡, 周静, 等. 稻瘟病抗性基因 Pi-k<sup>h</sup> 标记开发及在抗病育种中的应用[J]. *分子植物育种*, 2022, 20(5):1588-1596.
- [89] 张文斌. 百香果新品种福建百香果 2 号的选育[J]. *中国果树*, 2022(9):62-63, 109, 64.
- [90] 张文斌, 叶金巧, 吴胜芳, 等. 抗茎基腐病百香果新品种福砧 1 号的选育[J]. *中国果树*, 2023(7):91-92, 95, 167.
- [91] 严丽红. 广东省引种黄金百香果的可行性分析及种植要点[J]. *乡村科技*, 2019, 10(3):71-72.
- [92] MAROSTEGA T N, PREISIGKE S C, CHIMELLO A M, et al. Different strategies for estimating genetic parameters for collar rot resistance characteristics in *Passiflora* spp. [J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2021, 81(3):281-290.
- [93] 吴艳艳, 田青兰, 黄伟华, 等. 栽培种西番莲高密度遗传图谱构建及茎基腐病抗性 QTL 定位(联合资助培育项目)[Z]. 广西:广西壮族自治区农业科学院, 2022-02-15.

## Research Progress in Stem Base Rot of Passion Fruit

LUO Chao<sup>1,2</sup>, CHEN Yanlu<sup>1</sup>, FANG Wenxia<sup>1</sup>, WU Xiaogang<sup>2</sup>, LI Shidong<sup>3</sup>, GUO Rongjun<sup>3</sup>, WANG Bin<sup>1\*\*</sup>

(1. Institute of Biological Science and Technology, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100193, China)

**Abstract:** Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) belongs to Passifloraceae and stands as one of the major genera of this family. Passion fruit is highly popular for its crucial edible and medicinal values. However, the development of the passion fruit industry is frequently beset by various pests and diseases. Among them, stem base rot is exceptionally severe and considered one of the most destructive diseases, severely restricting the scale development and benefit enhancement of the passion fruit industry. This study comprehensively reviews the research progress in stem base rot of passion fruit in terms of disease symptoms, pathogen identification, disease causes, and disease control. Simultaneously, it analyzes and summarizes the deficiencies existing in the current research and prevention and control of stem base rot. In view of the deficiencies, this paper identifies the urgent problems that need to be addressed and delineates the future development directions, aiming to provide a reference for promoting the high-quality development of the passion fruit industry.

**Key words:** passion fruit; stem base rot; pathogen; pathogenic mechanism; integrated control