

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.06.002

柑橘溃疡病菌在云贵高原越冬期致病性与适存性的研究

洗嘉欣¹, 张莉², 王小柯³, 王鑫¹, 张钰晴¹,
方吉祥², 李文云³, 黄丽丽⁴, 崔紫宁¹

1. 华南农业大学 绿色农药全国重点实验室/群体微生物研究中心/

广东省微生物信号与作物病害防控重点实验室/植物保护学院, 广州 510642;

2. 云南省玉溪市农业科学院, 云南 玉溪 653100;

3. 贵州省农业科学院 果树科学研究所, 贵阳 550006;

4. 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100

摘要: 为明确柑橘溃疡病菌在云贵高原生态条件下的越冬状况和初侵染来源, 通过对不同区域生态条件下该病菌的越冬适存性的研究, 为柑橘溃疡病的防治和根除提供更多的潜在可能. 本研究采用致病性检测方法, 对柑橘溃疡病菌在云贵两省越冬期的适存性进行研究. 通过制备供检材料的水浸提液或浓缩浸提液, 利用针刺接种法将处理的浸提液接种至供检脐橙叶片中, 根据接种点发病情况判断样品越冬期的适存性. 其中, 越冬后病株叶片病斑经处理、接种, 结果显示, 两地均有 90%~100% 的病斑具有致病能力; 两地无症状叶上病菌刺接种点的发病率分别达 9%~15% 和 10%~18%; 两地越冬后的病落叶、土壤和杂草的浸提浓缩液致病能力的检测结果显示均未引起叶片发病. 结果表明: 柑橘溃疡病菌在云贵两省主要在病株的病斑内越冬; 也有少量能以潜伏侵染的方式在病株的未显症叶片内越冬, 成为翌年的初次侵染来源; 病原菌不能在田间的病落叶、土壤和杂草上越冬.

关键词: 柑橘溃疡病菌; 越冬期; 致病性;

适存性

中图分类号: S436.661.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)06-0014-09

Study on the Pathogenicity and Overwintering Viability of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* in Yungui Plateau

收稿日期: 2024-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1400200).

作者简介: 洗嘉欣, 硕士研究生, 主要从事柑橘溃疡病致病成灾机制与防控方面的研究.

通信作者: 崔紫宁, 教授, 博士生导师.

XIAN Jiabin¹, ZHANG Li², WANG Xiaoke³,
WANG Xin¹, ZHANG Yuqing¹, FANG Jixiang²,
LI Wenyun³, HUANG Lili⁴, CUI Zining¹

1. National Key Laboratory of Green Pesticides / Center for Microbial Communities Research /
Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Signaling and Crop Disease Prevention and Control /
College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China ;
2. Yuxi Academy of Agricultural Sciences, Yuxi Yunnan 653100, China ;
3. Fruit Tree Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China ;
4. College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: To clarify the overwintering status of the citrus canker pathogen under the ecological conditions of the Yunnan-Guizhou Plateau and identify the sources of primary infection, this study aimed to understand the overwintering survivability of the pathogen under different ecological conditions across various regions, and intended to provide more potential possibilities for the prevention and control of citrus canker. The research employed pathogenicity detection methods to investigate the overwintering survivability of the citrus canker pathogen in the provinces of Yunnan and Guizhou. By preparing the water extracts or concentrated extracts of the testing materials, the prepared extracts were inoculated to the leaves of navel orange plants using a needle inoculation method. The survivability of the overwintering samples was assessed based on the occurrence of disease at the inoculation sites. The results indicated that after overwintering, 90% to 100% of the lesions on the leaves of diseased plants retained their pathogenicity. The incidence rates of disease at the needle inoculation sites inoculated with the pathogens from asymptomatic leaves of two regions were 9% to 15% and 10% to 18%, respectively. The detection of pathogenicity with concentrated extracts from diseased fallen leaves, soil and weeds of both regions after overwintering did not cause leaf disease. The findings suggest that the citrus canker pathogen primarily overwinters within the lesions of diseased plants in Yunnan and Guizhou provinces. A small amount of the pathogen can also overwinter in a latent state in the asymptomatic leaves of diseased plants, serving as a source of primary infection for the following year. The pathogen is not able to overwinter in diseased fallen leaves, soil and weeds in the field.

Key words: *Xanthomonas citri* subsp. *citri*; overwinter; pathogenicity; viability

柑橘是世界第一大水果和第五大贸易农产品,原产于中国南部,在我国已经有4 000多年的栽培历史,是我国种植面积最大、产量最高和经济地位最重要的果树^[1-8]。柑橘溃疡病(Citrus canker, CC)是由柑橘黄单胞菌亚种柑橘致病变种(*Xanthomonas citri* subsp. *citri*, *Xcc*)所引起的一种严重危害柑橘产量和品质的细菌性病害。此病全球分布甚广,与柑橘黄龙病一样,都是国内外重要的柑橘检疫性病害,国内最早发现于华南地区,随着国内各省(区、市)柑橘产区的快速壮大,受限于人力物力的局限以及疏忽检疫等,柑橘溃疡病不可避免地在全国各主要柑橘产区传播^[9-15]。当柑橘叶片感染病害时,病部呈现近圆形的米黄色凸起病斑,病情加剧时病斑木栓化^[16-21]。柑橘溃疡病在果园内发生后,若不及时加以控制,将会给柑橘果园带来严重的经济损失,且随着感染程度的加重,大量病株开始落叶落果,枝梢枯死,严重时甚至导致整个植株死亡。柑橘溃疡病导致果品产量、质量降低,影响柑橘鲜果销售。

柑橘溃疡病的发病需要一定的温度、湿度等外界条件,受不适环境条件影响较大时,病菌潜伏于叶、枝、果实病组织越冬,翌春温度和湿度适宜时,病原菌在风雨、昆虫或人为因素等作用下通过气孔、水孔、皮孔及伤口侵入到周围环境和其他健康植株。*Xcc* 初侵染具有潜伏性,在潜伏期的病菌不引起显著的病变症状,在适宜的条件下才开始繁殖并引起病害症状。如受侵染的柑橘秋梢,冬季不显症状,待到下一年的春季则显症状。正因潜伏期的病菌不引起明显症状,在预防阶段难以通过外部观察发现病害,*Xcc* 耐干旱和低温,在宿主器官可存活数月,因此,极难被清除。这给病害的早期诊断和防治带来了困难。

云贵两省是西南地区柑橘主产区之一,大面积种植脐橙、冰糖橙等感病品种,区域性的柑橘溃疡病情况较为严重,已经对柑橘产业构成了重大威胁。国内对云贵两省相关研究并不多,对病原菌越冬和初侵染源方面的问题研究报道更少。世界各地已经对该病的发病条件进行了大量研究,基本掌握其一般发病规律,但不同种植产区的气候条件不同,病害发生情况也不尽相同^[22],根据各产区的差异探索区域针对性防治方案也是发展当前柑橘产业的重要需求。为了解决这一难题,防治并根除柑橘溃疡病,对柑橘溃疡病菌在西南部分产区气候生态条件下的越冬期适存性进行了调查研究。

1 材料与方法

1.1 培养基

PPSY 细菌培养基:马铃薯(去皮) 200 g/L、蛋白胨 10 g/L、蔗糖 10 g/L、酵母提取物 5 g/L,上述配方为液体培养基。PPSY+1.5% 琼脂,用于固体培养。

1.2 试验材料

菌株:柑橘黄单胞菌亚种柑橘致病变种纯种菌株,−80 °C 保存。

柑橘:本试验柑橘品种为脐橙纽荷尔(感病品种)、脐橙华盛顿(感病品种),均为栽种 1 年以上无毒脐橙苗。

1.3 检测对象及地点

本试验于 2023—2024 年采用五点取样的方式在云南和贵州两省柑橘试验区中随机选择一定数量的取样点,检测对象包括越冬后的病株秋梢病叶、无症状叶片、病苗圃土壤、离体的病株落叶以及病苗圃上常见的杂草。

1.4 检测方法

1.4.1 样品取样及处理

采用五点取样法,分别选择云贵两地试验区同一生长周期长势相似的病株及其范围内的土壤、病落叶、杂草作为待处理及取样对象,各选择 10 株。每株选择对应叶片、土壤、病落叶、杂草各 1 份,每份样品取 3 组平行,所有取样样品均用记号笔或标签记录取样信息,所有植物样品采样回实验室后置于 4 °C 冰箱保藏。

1.4.2 致病性检测

通过对活体苗叶和离体叶进行针刺贴敷接种方式,将经越冬后正值柑橘溃疡病春梢发病期的供检样品(病株叶、无症状叶、病落叶、病圃土壤以及病圃地常见杂草)制备的水浸提液或浸提浓缩液接种至柑橘叶片,根据接种发病情况,检测出不同样品内病菌越冬期的适存性以及病落叶中病菌的存活期。

1.5 检测步骤

1.5.1 样品水浸提液制备

将收集的样品用粉碎机粉碎或用研钵充分研磨,加入无菌水,在常温 25℃下静置浸泡,滤纸过滤,将所制备浸提液置于 4℃环境下储存备用.上述浸提液以 3 000 r/min 离心 8 min,取上清液;再以 12 000 r/min 离心 10 min,弃上清保留底部 2 mL 溶液,充分吸打混匀,作为此步制备浸提浓缩液^[23].根据检测的对象不同,具体的制备操作如下:

1)2024 年 4 月,在病株上随机采集年前带病斑的秋梢叶片,选择病斑 10 个,将单一病斑分别置于已灭菌的研钵中,添加 500 μ L 的无菌水,充分研磨捣碎,静置浸泡 30 min,制成的单斑浸提液用于检测病菌在病株叶部病斑越冬期适存性.

2)2024 年 4 月,在病株上随机采集无明显发病症状叶片,选择 40 片,将叶片剪碎置于已灭菌的研钵中,添加 40 mL 的无菌水,充分研磨捣碎,静置浸泡 30 min,制成的浸提液进一步制备成浸提浓缩液,用于检测病菌在无发病症状叶片上越冬期适存性.

3)2023 年 12 月采集病株叶片,一部分放在室外地面,另一部分放在室内地面.待 2024 年 4 月,将放在室外地面越冬的叶片分成两类叶片,一类是腐烂的叶片(病斑已不明晰),一类是未腐烂叶片(病斑仍可见).分别取室外地面两类叶片以及室内地面叶片各 30 片,将 3 种叶片剪碎置于已灭菌的研钵中,加入 20 mL 的无菌水,充分研磨捣碎,静置浸泡 30 min,制成的浸提液进一步制备成浸提浓缩液,用于检测病菌在病落叶上的越冬期适存性.

4)从 2023 年 12 月 1 日至 2024 年 3 月 1 日,分批多次采集田间土表越冬病叶(每次收集 30 片),将叶片剪碎置于已灭菌的研钵中,加入 40 mL 的无菌水,充分研磨捣碎,静置浸泡 30 min,制成的浸提液进一步制备成浸提浓缩液,用于检测病菌在冬季土表病落叶中存活期.

5)2024 年 4 月,在病圃上取多个随机点位的表层土壤,使用采样铲挖取 0~10 cm 的土样,称量 500 g,经粉碎处理后置于已灭菌的容器中,加入 500 mL 的无菌水充分搅拌混匀,静置浸泡 30 min 后使用滤纸过滤,制成的土壤浸提液进一步制备成浸提浓缩液,用于检测病菌在病圃土壤中越冬期适存性.

6)2024 年 4 月,在病圃上采集狗牙根、看麦娘、小薊等杂草 300 g(包含根茎),经粉碎处理后置于已灭菌的容器中,加入 300 mL 的无菌水充分搅拌,静置浸泡 30 min 后使用滤纸过滤,制成的浸提液进一步制备成浸提浓缩液,用于检测病菌在病圃地杂草上的越冬期适存性.

1.5.2 阳性对照纯种菌悬液制备

使用 PPSY 固体培养基平板划线活化 *Xcc* 纯种菌株,在 28℃培养箱中倒置培养.使用接种环挑取平板上的单菌落至 PPSY 液体培养基中,在 28℃、200 r/min 摇床中振荡培养 16~24 h,将过夜培养的病菌用无菌水按 10 倍系列稀释至细菌浓度为 1.5×10^6 cfu/mL 的菌悬液.

1.5.3 柑橘植株接种

接种采用针刺贴敷法,叶片接种前均需对表面进行擦拭,用无菌针头将叶片刺伤,将无菌滤纸片(直径 5 mm)分别放进实验组以及对照组处理液中,充分浸泡后贴敷在活体叶和离体叶针刺点上,每片叶片同时接种实验组以及对照组(所有浸提液处理和阳性对照处理的针刺接种点数为 100,无菌水对照处理的针刺接种点数为 50).活体叶接种后使用套袋喷雾保湿,25~30℃孵育;离体叶接种后使用吸水纸保湿,28~30℃孵育.所有接种叶片每 3 d 观察状态,适时补湿^[24].

2 结果与分析

2.1 柑橘溃疡病菌在病斑内的越冬期适存性

以病株叶片上的病斑作为研究对象,制备单斑浸提液并接种脐橙叶,观察发病情况以判断病株在病斑内的越冬期适存性.结果如表1所示,在适温、高湿的条件下,云贵两地越冬病斑中有90%~100%能正常发病,此外云南针刺接种点的发病率达80%~90%,贵州针刺接种点的发病率达73%~87%,表明越冬病斑内的病菌具有致病能力.通过比对4月10日、4月20日不同时间节点两组数据的发病情况,说明病株叶部病斑病菌不但能够在云贵两省安全越冬,并且很好地保留了致病力活性,成为翌年重要的初次侵染来源.

表1 柑橘溃疡病菌在叶部病斑内越冬后致病力检测

地区	处理方法	检测时间	检测病斑数	可致病病斑比例/%	接种点发病数	接种点发病率/%
云南	病斑水浸提液	4月10日	10	92	80	80
	CK(无菌水)		0	0	0	0
	病斑水浸提液	4月20日	10	100	90	90
	CK(无菌水)		0	0	0	0
贵州	病斑水浸提液	4月10日	10	90	73	73
	CK(无菌水)		0	0	0	0
	病斑水浸提液	4月20日	10	100	87	87
	CK(无菌水)		0	0	0	0

2.2 柑橘溃疡病菌在无症状叶上的越冬期适存性

以病株上肉眼观察无症状的叶片作为研究对象,制备叶片浸提浓缩液并接种脐橙叶,观察发病情况以判断病株无症状叶上病菌的越冬期适存性.结果如表2所示,云南无症状叶上病菌刺接种点的发病率达9%~15%,贵州无症状叶上病菌刺接种点的发病率达10%~18%,两地发病率并无太大的差异,这表明病菌在越冬前侵染正常叶片,以潜伏状态安全渡过越冬期,并且保有一定的致病性,成为第2年的初侵染源.比对不同时间节点两组数据的发病情况,不论是云南还是贵州,4月20日的发病率都明显高于4月10日,说明两个时间节点的气候差异影响无症状叶上病菌的发病.但与叶部病斑浸提液检测结果相比,云南无症状叶处理比病斑叶处理的接种点发病率低了71%~75%,而贵州无症状叶处理比病斑叶处理的接种点发病率则低了63%~69%,显然与已经发病的叶片病斑相比,潜伏在无症状叶上的病菌量要少得多.

表2 柑橘溃疡病菌在无症状叶上越冬后致病力检测

地区	处理方法	检测时间	接种点发病数	接种点发病率/%
云南	无症状叶浸提浓缩液	4月10日	9	9
	阳性对照		82	82
	无症状叶浸提浓缩液	4月20日	15	15
	阳性对照		90	90
贵州	无症状叶浸提浓缩液	4月10日	10	10
	阳性对照		75	75
	无症状叶浸提浓缩液	4月20日	18	18
	阳性对照		88	88

2.3 柑橘溃疡病菌在病落叶中的越冬期适存性

以室外和室内越冬的病落叶作为研究对象,制备浸提浓缩液并接种脐橙叶,观察发病情况以判断病落叶中病菌在不同情况下的越冬期适存性.表 3 结果显示,两地室外越冬后的两类病落叶(可见病斑和不可见病斑落叶)处理接种叶片的接种点完全不发病;而放在室内的病落叶越冬后,处理接种叶片的接种点发病率能达到 40%以上.根据数据结果,说明放在室外的病落叶无论叶片是否腐烂,病斑是否是明显完整,病菌都不能正常越冬,都失去致病活性,不能成为翌年初侵染来源;放在室内的病落叶所携带的病菌能够正常越冬,保留一定致病力活性.室内外存放越冬的两种情况所呈现结果差异,经推测是由不同环境因素导致的,室内温度高,湿度小,病叶能够保持干燥状态,室内病落叶主要受叶片本身微生物的影响,而室外病落叶病菌同时受叶片本身和田间土表微生物的影响,微生态情况更为复杂.

表 3 柑橘溃疡病菌在病落叶中越冬后致病力检测

地区	处理方法	检测时间	接种点发病数	接种点发病率/%
云南	室外落叶浸提浓缩液(可见病斑)	4 月 10 日	0	0
	室外落叶浸提浓缩液(不可见病斑)		0	0
	室内保存病叶浸提浓缩液		46	46
	阳性对照		90	90
	室外落叶浸提浓缩液(可见病斑)	4 月 20 日	0	0
	室外落叶浸提浓缩液(不可见病斑)		0	0
	室内保存病叶浸提浓缩液		58	58
	阳性对照		93	93
贵州	室外落叶浸提浓缩液(可见病斑)	4 月 10 日	0	0
	室外落叶浸提浓缩液(不可见病斑)		0	0
	室内保存病叶浸提浓缩液		40	40
	阳性对照		92	92
	室外落叶浸提浓缩液(可见病斑)	4 月 20 日	0	0
	室外落叶浸提浓缩液(不可见病斑)		0	0
	室内保存病叶浸提浓缩液		50	50
	阳性对照		96	96

2.4 柑橘溃疡病菌在冬季土表病落叶中存活期

从“2.3”的检测结果可以推断在云贵高原冬季气候条件下,室外的土表病落叶中的病菌不能安全越冬.为了更进一步验证离体后的病落叶内的病菌从具有活性到在越冬期间失去活性的过程,设计从 2023 年 12 月 1 日至 2024 年 3 月 1 日云贵两地不同时间节点冬季检测土表病落叶中的病菌接种点发病情况.从表 4 的数据表明,云贵两地冬季土表病落叶中的病菌接种点发病率随时间的增加而降低,最终降为 0.与前述“2.3”的研究结果相吻合,互相印证.此外,在同一时间节点下贵州的接种点发病率比云南更低,甚至很快降为 0,说明病菌在贵州的冬季土壤上病落叶的存活性低于云南.

表 4 柑橘溃疡病菌在冬季病落叶中存活期接种点发病率 %

地区	处理方法	2023 年 12 月 1 日	2023 年 12 月 15 日	2024 年 1 月 1 日	2024 年 1 月 15 日	2024 年 2 月 1 日	2024 年 2 月 15 日	2024 年 3 月 1 日
云南	病叶浸提浓缩液	60.2	49.4	35.2	12.1	6.6	0	0
	阳性对照	98	96	100	98	99	95	96
贵州	病叶浸提浓缩液	45.8	32.5	18.6	9.5	0	0	0
	阳性对照	100	95	95	96	98	96	97

2.5 柑橘溃疡病菌在病圃土壤中的越冬期适存性

以越冬后病圃土壤以及病株下土壤作为研究对象，制备浸提浓缩液并接种脐橙叶，观察发病情况以判断病圃土壤中病菌的越冬期适存性. 根据表 5 数据，存在于两种不同情况的土壤病菌经历越冬后呈现两种不同结果：两地病圃土壤处理液接种的发病率为 0；而病株下土壤处理液接种检测具有致病能力，其中云南病株下土壤接种点发病率在 25%~40%，而贵州病株下土壤接种点发病率在 27%~36%. 结果表明在云贵冬季气候，土壤中的病菌不能正常存活，不能成为下一年的初侵染来源，而病株下的土壤病菌具有致病力活性，原因推测是借助风雨将病株上的病原菌淋洗到土壤，且病株下土壤温度较地表温度较高，更有利于菌株存活.

表 5 柑橘溃疡病菌在病圃土壤中越冬后致病力检测

地区	处理	检测日期	接种点发病数	接种点发病率/%
云南	越冬后病圃土壤	4 月 10 日	0	0
	病株下土壤		25	25
	阳性对照		100	100
	越冬后病圃土壤	4 月 20 日	0	0
	病株下土壤		40	40
	阳性对照		98	98
贵州	越冬后病圃土壤	4 月 10 日	0	0
	病株下土壤		27	27
	阳性对照		99	99
	越冬后病圃土壤	4 月 20 日	0	0
	病株下土壤		36	36
	阳性对照		98	98

2.6 柑橘溃疡病菌在病圃内杂草上的越冬期适存性

以越冬后病圃杂草作为研究对象，制备浸提浓缩液并接种脐橙叶，观察发病情况以判断病圃杂草中病菌的越冬期适存性. 表 6 结果显示，云贵两地越冬后病圃杂草(看麦娘、狗牙根、小薊等)的两个时间节点处理液接种叶片的接种点完全不发病. 同一接种条件下，阳性对照能使春梢叶片正常发病，说明在病圃杂草上的病菌在冬季越冬期不能存活，不能成为下一年的初侵染来源.

表 6 柑橘溃疡病菌在病圃杂草上越冬后致病力检测

地区	处理	检测时间	接种点发病数	接种点发病率/%
云南	杂草水浸提液	4 月 10 日	0	0
	阳性对照		95	95
	杂草浸提液	4 月 20 日	0	0
	阳性对照		98	98
贵州	杂草浸提液	4 月 10 日	0	0
	阳性对照		95	95
	杂草浸提液	4 月 20 日	0	0
	阳性对照		99	99

3 结论与讨论

溃疡病菌环境竞争力不强,但是一旦染病,受感染的植株将终身带毒,条件合适必然发作.柑橘溃疡病在一年中有多个发病高峰期,即春梢发病高峰期、夏梢发病高峰期、果实发病高峰期以及秋梢发病高峰期,其中夏梢最为严重,而病菌主要在秋梢期进行越冬^[25].由于病原细菌具有很强的传染性和繁殖能力,如果防治不及时,病害循环将持续进行,导致病害的进一步扩散和加剧,所以柑橘溃疡病菌越冬期适存性的研究是柑橘溃疡病防治及根除研究的重要内容之一.

本试验于 2023 年冬季至 2024 年春季在云贵两省不同区域病圃的田间进行,虽然两省冬季和春季的气候每年不尽相同,但低温和常有风、霜、雨、雪,天气变化幅度较大是其特点,在这种气候条件下,田间湿度较大、微生物区系复杂,对溃疡病菌的越冬显然是不利的.根据本检测的结果显示,在云贵高原的生态条件下,柑橘溃疡病菌主要在病株的病斑内越冬,成为翌年柑橘发病的主要初次侵染来源.少部分病菌在病株上侵染健康叶片后以潜伏侵染状态在无症状叶片上越冬,成为次年的侵染源之一.在同样的条件下,柑橘溃疡病菌几乎不能在田间病落叶上、土壤中,以及果园常见的杂草上越冬,成为翌年的初侵染源.室内保存的越冬病落叶中的病菌可安全越冬,室外保存则不能.翌年春梢期间,浸提浓缩液人工接种仍有很高的发病率,这无疑与室内温湿度较为适宜病原菌存活,微生物区系没有田间复杂,以及没有阳光照射等因素有关.本试验研究采用供检材料的浸提液或浓缩液针刺接种感病品种脐橙叶片的致病性检测方法,试验证明,该方法具有直观可靠、简便易行的优点,适宜在基层植保、植检站应用.

参考文献:

[1] 郭文武,叶俊丽,邓秀新.新中国果树科学研究 70 年——柑橘[J].果树学报,2019,36(10):1264-1272.

[2] 伊华林,刘慧宇.我国柑橘品种分布特点及适地适栽品种选择探讨[J].中国果树,2022(1):1-7.

[3] 杨仕春,王君.江津柑橘发展现状与产业振兴对策[J].现代园艺,2023(15):73-75,78.

[4] 李冬云.柑橘产业发展调查与前景展望[J].云南农业,2022(9):19-21.

[5] 祁春节,顾雨檬,曾彦.我国柑橘产业经济研究进展[J].华中农业大学学报,2021,40(1):58-69.

[6] 刘铮,祁春节.中外柑橘产业组织比较研究[J].世界农业,2011(10):30-33.

[7] ALIS, HAMEEDA, MUHAE-UD-DING, et al. Citrus Canker: a Persistent Threat to the Worldwide Citrus Industry—An Analysis[J]. Agronomy, 2023, 13(4): 1112.

[8] GOTTWALD T R. Citrus Canker and Citrus Huanglongbing, Two Exotic Bacterial Diseases Threatening the Citrus Industries of the Western Hemisphere[J]. Outlooks on Pest Management, 2007, 18(6): 274-279.

[9] 段娇,刘阳,冯广达,等.柑橘溃疡病及其微生物防治研究进展[J].微生物学报,2023,63(5):1944-1958.

- [10] GOTTWALD T R, GRAHAM J H, SCHUBERT T S. Citrus Canker: The Pathogen and Its Impact [J]. Plant Health Progress, 2002, 3(1): 1094-1098.
- [11] 国际植物检疫措施标准. ISPM 27. 2006; 附录 6 柑橘溃疡病菌[S]. 罗马: 国际植物保护公约, 农粮组织, 2014: DP6.
- [12] XIAO C, ZHANG H, XIE F, et al. Evolution, Gene Expression, and Protein-Protein Interaction Analyses Identify Candidate CBL-CIPK Signalling Networks Implicated in Stress Responses to Cold and Bacterial Infection in Citrus [J]. BMC Plant Biology, 2022, 22(1): 420.
- [13] AMANCIO L CS, BAIAADB, SOUZAEB, et al. First Report of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* Causing Citrus Canker on Lime in Rio Grande Do Norte, Brazil [J]. Plant Disease, 2021, 105(12): 4148.
- [14] REHMAN MSNU. First Report of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* Causing Citrus Canker on Grape Fruit (Citrus Paradisi), Washington Naval (Citrus Sinensis), Kaghzi Limon (Citrus Aurantifolia Swingle), Lemon (Citrus Lim [J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2021, 58(4): 1373-1377.
- [15] TRAORÉ Y N, NGOCLBT, VERNI? REC, et al. First Report of *Xanthomonas citri* pv. *citri* Causing Citrus Canker in Mali [J]. Plant Disease, 2008, 92(6): 977.
- [16] PUCCI N, SCALA V, TATULLI G, et al. Intra-Laboratory Evaluation of DNA Extraction Methods and Assessment of a Droplet Digital PCR for the Detection of *Xanthomonas citri* pv. *Citri* on Different Citrus Species [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(9): 4975.
- [17] GRAHAM J H, GOTTWALD T R, CUBERO J, et al. *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*: Factors Affecting Successful Eradication of Citrus Canker [J]. Molecular Plant Pathology, 2004, 5(1): 1-15.
- [18] GIRALDO-GONZÁLEZ J J, DE SOUZA CARVALHO FM, FERROJA, et al. Transcriptional Changes Involved in Kumquat (*Fortunella* Spp) Defense Response to *Xanthomonas citri* subsp. *citri* in Early Stages of Infection [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2021, 116: 101729.
- [19] BRUNINGS A M, GABRIEL D W. *Xanthomonas citri*: Breaking the Surface [J]. Molecular Plant Pathology, 2003, 4(3): 141-157.
- [20] WANG Y, FU X Z, LIU J H, et al. Differential Structure and Physiological Response to Canker Challenge between ‘Meiwa’ Kumquat and ‘Newhall’ Navel Orange with Contrasting Resistance [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 128(2): 115-123.
- [21] BANSAL K, KUMAR S, PATIL P B. Phylo-Taxonogenomics Supports Revision of Taxonomic Status of 20 *Xanthomonas* pathovars to *Xanthomonas citri* [J]. Phytopathology, 2022, 112(6): 1201-1207.
- [22] FERENCÉ M, GOCHEZ A M, BEHLAUF, et al. Recent Advances in the Understanding of *Xanthomonas citri* ssp. *citri* Pathogenesis and Citrus Canker Disease Management [J]. Molecular Plant Pathology, 2018, 19(6): 1302-1318.
- [23] 邓文红, 赵欣蕊, 张俊琦, 等. 沙蒿 (*Artemisia ordosica*) 水浸提液对 4 种伴生草本植物的化感作用 [J]. 生态学报, 2019, 39(15): 5670-5678.
- [24] 赵亚, 马先锋, 肖翠, 等. 利用激光共聚焦扫描显微镜对溃疡病菌感染柑橘叶片的实时观察 [J]. 激光生物学报, 2017, 26(2): 143-150.
- [25] 许志刚. 普通植物病理学 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.

责任编辑 王新娟