

◆ 专论:大虫大病防治(特约稿) ◆

柑橘黄龙病的发生与防治

王雪峰,雷天刚,周常勇

(国家柑桔工程技术研究中心,西南大学柑桔研究所,重庆 400712)

摘要:概述了柑橘黄龙病在我国的发生与分布和流行现状以及对其的综合防控策略,重点围绕病树治疗和柑橘木虱防控两方面综述了柑橘黄龙病化学防治技术的进展和未来的研究方向,以期科学防控黄龙病提供参考。

关键词:柑橘黄龙病;化学防治;综述

中图分类号:S 436 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2023.06.003

Occurrence and Control of Citrus Huanglongbing

WANG Xuefeng, LEI Tiangang, ZHOU Changyong

(National Citrus Engineering Research Center, Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China)

Abstract: It is mostly transmitted by the insect Asian citrus psyllid (ACP, *Diaphorina citri*) in China. This review summarized the occurrence, distribution and epidemic status of Citrus Huanglongbing in China, currently integrated management strategies, difficulty of diseased trees therapy and future research direction, and chemical control of the insect Asian citrus psyllid. It provided reference for Citrus Huanglongbing management in China.

Key words: Citrus Huanglongbing; chemical control; summarize

柑橘在中国有4 000余年的悠久栽培史。根据国家统计局和联合国粮食农业组织数据库统计,2022年,我国柑橘栽培面积4 500余万亩,产量6 000余万t,均居世界首位,是我国南方乡村振兴的重要抓手产业。柑橘黄龙病(Citrus Huanglongbing, HLB)是由韧皮部杆菌属类细菌引起的全球性的柑橘重大病害,在田间主要由柑橘木虱(*Diaphorina citri*)传播^[1]。由于该病原菌定殖在植物韧皮部组织,尚不能离体纯培养,因此,极大地制约了防控柑橘黄龙病药剂的研发。我国科学家在多年实践的基础上总结出了三项基本措施,即使用无病苗木、及时挖除病树和大面积联防联控柑橘木虱,在我国柑橘黄龙病防控中发挥了重要的作用。本文就我国柑橘黄龙病的发生与分布、综合防控策略、化学防治技术(病树治疗技术和柑橘木虱防治技术)等方面进行综述与展望,以期为我国柑橘黄龙病的绿色防控和柑橘产业高质量发展提供参考。

1 柑橘黄龙病的发生分布

1919年,广东省潮汕地区最早发现柑橘黄龙病,目前在亚洲、非洲、南美洲和北美洲的50余个国家和地区均有发生。根据柑橘黄龙病病原菌在16S rRNA序列的差异和分布地区的不同将其分为3个亚种:韧皮部杆菌亚洲种(*Candidatus Liberibacter asiaticus*, CLas)、韧皮部杆菌非洲种(*Candidatus Liberibacter africanus*, CLa)以及韧皮部杆菌美洲种(*Candidatus Liberibacter americanus*, CLam)^[1],其中,韧皮部杆菌亚洲种分布最为广泛,危害最为严重,除在亚洲外,在美洲、非洲以及中东均有发生,我国的柑橘黄龙病即由韧皮部杆菌亚洲种引起^[1]。

20世纪80年代以前,我国柑橘黄龙病只分布于广东、广西、福建、台湾四省;随着柑橘生产规模的不断扩大,在1983—1984年全国柑橘黄龙病普查中,发现云南省、浙江省、江西省、湖南省、四川省的

收稿日期:2023-11-08

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD1400800)

作者简介:王雪峰(1979—),男,浙江安吉人,博士,研究员,主要从事柑橘重大病害防控技术研究。E-mail: wangxuefeng@cric.cn

部分地区也有发生,但均属于零星分布;20世纪90年代中期又在贵州、海南等省发现柑橘黄龙病。21世纪初,柑橘黄龙病和柑橘木虱的发生已明显北扩,且黄龙病北扩的趋势与柑橘木虱的分布变化趋势一致;2010年,柑橘黄龙病已在我国浙江、福建、江西、湖南、广东、广西、海南、四川、贵州、云南等10个省(自治区)的251个县(市、区)有分布,严重影响了我国柑橘产业的健康发展^[2]。

导致黄龙病蔓延危害的主要原因包括:产区柑橘产业快速发展,无病苗木供应不足,橘农自繁自育、乱引乱调苗木现象普遍;受自然灾害的影响,果品外调困难,价格骤降,大量果园管理粗放甚至弃管;持续暖冬,适宜柑橘木虱越冬,虫媒基数上升,加之其繁衍能力强,造成大面积传病危害^[3]。2010年以后,柑橘黄龙病和柑橘木虱再度在广东、江西、福建等优势产区快速蔓延,尤其是2013年以来,江西省赣州市因柑橘黄龙病流行,累计砍除病树超5 000万株。近年来,柑橘黄龙病和柑橘木虱北扩趋势明显,2019年柑橘木虱在长江中上游的发生前沿已抵达四川省宜宾市翠屏区、叙州区,直逼泸州市和重庆市产区,严重威胁重庆市、湖北省等非疫区的产业安全^[4]。截至2022年,柑橘黄龙病在我国南方11个省(自治区)324个县(市)有不同程度的发生,对我国柑橘产业的可持续发展构成了严重威胁。

本文针对柑橘黄龙病在我国的发生与分布和流行现状,对其防控策略和技术进行了综述。

2 柑橘黄龙病综合防控策略

根据全国农技中心2021年柑橘黄龙病阻截防控技术方案,我国柑橘黄龙病防控的总体策略是建立“政府主导、属地责任、联防联控”的防控机制,实行“分类指导、分区治理、标本兼治”的防控策略,加强监测预警、推进综合治理、推广健康种苗、强化检疫监管,持续压低柑橘木虱种群基数,有效遏制柑橘黄龙病的扩散蔓延,全力保障柑橘生产的安全。

近年来,针对柑橘黄龙病“可防可控暂不可治”的实践经验和该病在我国各柑橘产区流行的实际情况,我国植物保护科技工作者开发了柑橘木虱抗性监测和快速选药试剂盒,创制了高效绿色防控药剂,研发了配套精准化、智能化的施药装备以及精准的施药技术,并在创新防控机制的基础上推进柑橘黄龙病的分区治理。

2.1 前沿区

柑橘木虱北移、病害扩散的关键或前沿区域包

括黔东南和黔西南扩展前沿区、金沙江流域(四川省、云南省)阻截带。针对前沿区,应建立以“防控区前沿截控,缓冲区监测预警,以其他经济作物逐步替换柑橘”为核心的阻截带防控技术模式,重点保护未发生柑橘黄龙病区域的安全。

2.2 发生区

柑橘黄龙病发生区包括广东省、广西壮族自治区、福建省、江西省柑橘产区和浙南柑橘带,以及云南、海南等省局部市(县)。针对发生区,应大力推进标准化种植,持续实施综合治理,压低木虱种群基数,减少发病面积,有效遏制疫情扩散蔓延。

2.3 非疫区

柑橘黄龙病非疫区包括长江上中游(湖北省秭归以西、四川省宜宾以东,以及重庆市三峡库区)地区、鄂西—湘西柑橘带及湖北省丹江口库区北缘柑橘、四川省安岳特色产业基地等。应重点加强柑橘黄龙病非疫区的监测预警,严格检疫监管。

3 化学防治技术进展

3.1 柑橘黄龙病树治疗技术

柑橘黄龙病的治疗是植物保护科技工作者关注和研究的重要方向,但目前还没有可以根治柑橘黄龙病的特效药剂和治疗方法。20世纪60年代,林孔湘等^[5]发现用48~50℃湿热空气处理带病枝条40~60 min可杀死病原菌;骆学海等^[6]使用49℃湿热空气处理感病柑橘苗50~60 min,或用50℃湿热空气处理50 min,都可使感病植株暂时恢复健康。近年来,采用湿热法处理温室中的感病柑橘苗或使用移动温室处理田间病树,绝大部分显症状病树恢复健康,树体中的病原菌浓度也显著降低^[7-8]。但是,柑橘黄龙病为系统侵染病害,移动温室湿热疗法无法根除树干中的病原菌。

赵学源等^[9]研究发现,用青霉素、四环素溶液浸泡带病枝条可以杀死病原菌。相关研究通过树干钻孔灌注四环素和土霉素等抗生素,发现该类抗生素对病树具有治疗效果^[10-11],经治疗后,有的病树全株生长结果与健康果树无明显差异,但是注射治疗停药1 a后,病状重新出现。研究发现多种抗生素均有治疗柑橘黄龙病的效果,其中盐酸四环素防治效果较好,对抑制病情有显著作用,新梢叶片症状消失,开花正常,可以维持果园一定的产量。氧四环素、金霉素和青霉素次之,氯霉素和链霉素效果不明显^[12-13]。杨川毓^[14]将渗透剂Brij35与氨苄西林的油包水型纳米乳混合,有效提高了氨苄西林渗透柑橘表皮的能力。

力,提高了抗生素对柑橘黄龙病的治疗效果。姚廷山^[15]将碳量子点纳米土霉素注入感病伏令夏橙树干,发现柑橘叶片、根和茎组织中均可以检测到特色荧光,且叶片中黄龙病菌含量减少了81.48%。由此可见,采用树干注射抗生素可有效控制柑橘黄龙病菌种群数量,但柑橘黄龙病病原菌寄生于柑橘韧皮部组织, 抗生素难以周身性转运到病原菌分布的组织,因此对其无法根除;高浓度的抗生素还可能会致疏导组织细胞壁木栓化,且存在食品安全隐患,因而在生产中难以推广^[16]。

研究表明,合成纳米银、纳米锌等新型药剂可能会对柑橘黄龙病具有一定的治疗作用。纳米银和纳米锌可进入植物韧皮部,通过释放金属离子诱导活性氧的产生,从而起到杀菌作用^[17-18];一些非抗生素类药剂如烟碱、胶体银等也对柑橘黄龙病有一定的疗效^[19-20]。Huang等^[21]从澳指檬中鉴定了一种具有杀菌和诱导免疫双重功能的抗菌肽,具有潜在的应用价值。针对甲磺酰菌唑、氟吡啶唑酮等新农药产品,进一步设计衍生合成了大量的砒类目标化合物^[22]。从抗黄龙病菌活性测试发现,部分化合物对柑橘黄龙病具有较好的治疗活性,相关研究尚在进一

步开展。

3.2 柑橘木虱的化学防治技术

柑橘木虱属半翅目木虱科,是柑橘黄龙病的传播媒介,快速、有效防治该害虫是柑橘黄龙病综合防控的关键。柑橘木虱的防治策略应在严格检疫和监测预警的前提下,以农业措施和保护利用橘园原有天敌为基础,并结合化学防治措施。叶面喷施化学农药仍是目前国内外防治柑橘木虱最主要的措施,喷药的关键时期是冬季清园和每次新梢抽发期。冬季清园可以消灭越冬成虫,显著减少春季虫口基数。其新梢抽发期应该在新芽长度为0.5~1.0 cm时开始喷药防治,随着新芽的生长,相隔5~10 d再次喷药。截至2023年10月,中国农药信息网(<http://www.chinapesticide.org.cn/>) 数据显示,我国目前登记用于防治柑橘木虱的杀虫剂有37个产品,其中单剂13个、混剂23个、生物农药1个。单剂产品中有21%噻虫嗪悬浮剂、100 g/L吡丙醚乳油、2.5%高效氟氯氰菊酯水乳剂、17%氟吡啶喃酮可溶液剂、22.4%螺虫乙酯悬浮剂、25%啉硫磷乳油、4.5%联苯菊酯水乳剂等;混剂产品有30%螺虫·噻虫嗪悬浮剂、10%高氯·吡丙醚微乳剂等(表1)。

表 1 我国目前登记用于防治柑橘木虱的杀虫剂产品

登记证号	杀虫剂名称	剂型	毒性	含量	有效成分信息	用量(倍液) (L/hm ²)	施用 方法
PD20171744	金龟子绿僵菌CQMa421	可分散油悬浮剂	微毒	80亿孢子/mL		1 000~2 000	喷雾
PD20131935	吡丙醚	乳油	低毒	100 g/L		1 000~1 500	喷雾
PD20121716	高效氟氯氰菊酯	水乳剂	低毒	2.5%		1 500~2 500	喷雾
PD20121714	联苯菊酯	水乳剂	低毒	4.5%		1 500~2 500	喷雾
PD20141845	噻虫嗪	悬浮剂	低毒	21%		3 360~4 200	喷雾
PD20171450	噻虫嗪	悬浮剂	低毒	30%		4 000~6 000	喷雾
PD20081835	联苯菊酯	乳油	低毒	25 g/L		800~1 200	喷雾
PD20093514	联苯菊酯	乳油	低毒	100 g/L		1 667~3 333	喷雾
PD20111007	啉硫磷	乳油	中等毒	25%		1 500~2 000	喷雾
PD20110281	螺虫乙酯	悬浮剂	低毒	22.4%		4 000~5 000	喷雾
PD20184006	氟吡啶喃酮	可溶液剂	低毒	17%		3 000~4 000	喷雾
PD20210015	虱螨脲	悬浮剂	低毒	10%		3 000~5 000	喷雾
PD20210847	螺虫乙酯	水分散粒剂	低毒	70%		8 000~12 000	喷雾
PD20211857	虱螨脲	悬浮剂	低毒	10%		3 000~5 000	喷雾
PD20230068	螺虫·噻虫嗪	悬浮剂	低毒	30%	螺虫乙酯15%,噻虫嗪15%	4 000~5 000	喷雾
PD20220192	螺虫·噻虫啉	悬浮剂	低毒	22%	螺虫乙酯11%,噻虫啉11%	3 000~5 000	喷雾
PD20211861	螺虫·毒死蜱	乳油	低毒	40%	螺虫乙酯10%,毒死蜱30%	2 000~3 000	喷雾
PD20211852	螺虫·噻虫嗪	悬浮剂	低毒	20%	螺虫乙酯10%,噻虫嗪10%	4 000~6 000	喷雾
PD20211808	吡丙·噻啉酮	悬浮剂	低毒	30%	噻啉酮27.6%,吡丙醚2.4%	2 000~3 000	喷雾
PD20211778	联苯·噻虫啉	悬浮剂	低毒	20%	联苯菊酯7.5%,噻虫啉12.5%	3 000~4 000	喷雾
PD20210531	高氯·啉虫脒	乳油	低毒	10.5%	高效氟氯氰菊酯3.5%,啉虫脒7%	2 000~3 000	喷雾

(续表 1)

登记证号	杀虫剂名称	剂型	毒性	含量	有效成分信息	用药量(倍液) (L/hm ²)	施用 方法
PD20210376	螺虫·噻虫嗪	悬浮剂	低毒	30%	螺虫乙酯 15%, 噻虫嗪 15%	5 000~7 000	喷雾
PD20200749	螺虫·噻虫嗪	悬浮剂	低毒	30%	噻虫嗪 15%, 螺虫乙酯 15%	3 000~4 000	喷雾
PD20200607	噻虫嗪·虱螨脲	悬浮剂	低毒	20%	噻虫嗪 10%, 虱螨脲 10%	3 000~4 000	喷雾
PD20190102	高氯·吡丙醚	微乳剂	中等毒	10%	高效氯氟菊酯 5%, 吡丙醚 5%	1 500~2 500	喷雾
PD20183259	联苯·螺虫酯	悬浮剂	低毒	26%	联苯菊酯 6%, 螺虫乙酯 20%	5 000~6 000	喷雾
PD20182775	螺虫·吡丙醚	悬浮剂	低毒	30%	吡丙醚 15%, 螺虫乙酯 15%	3 000~5 000	喷雾
PD20181762	啶虫·毒死蜱	微乳剂	中等毒	40%	啶虫脒 5%, 毒死蜱 35%	2 667~3 200	喷雾
PD20181556	阿维·螺虫酯	悬浮剂	低毒	15%	阿维菌素 3%, 螺虫乙酯 12%	2 500~3 500	喷雾
PD20180740	阿维·螺虫酯	悬浮剂	低毒	28%	阿维菌素 4%, 螺虫乙酯 24%	5 000~7 000	喷雾
PD20180536	螺虫·噻嗪酮	悬浮剂	低毒	35%	螺虫乙酯 11%, 噻嗪酮 24%	2 000~3 000	喷雾
PD20180510	吡丙·噻嗪酮	悬浮剂	低毒	25%	吡丙醚 2%, 噻嗪酮 23%	1 500~2 500	喷雾
PD20180509	阿维·螺虫酯	悬浮剂	低毒	20%	螺虫乙酯 17%, 阿维菌素 3%	3 500~4 500	喷雾
PD20170137	啶虫·毒死蜱	乳油		34%	啶虫脒 4%, 毒死蜱 30%	1 500~25 000	喷雾
PD20120400	高氯·毒死蜱	乳油	中等毒	51.5%	高效氯氟菊酯 1.5%, 毒死蜱 50%	1 000~2 000	喷雾
PD20120394	氯氰·毒死蜱	乳油	中等毒	522.5 g/L	氯氰菊酯 47.5g/L, 毒死蜱 475g/L	1 000~1 500	喷雾
PD20083079	氯氰·毒死蜱	乳油	中等毒	55%	氯氰菊酯 5%, 毒死蜱 50%	1 000~1 500	喷雾

我国柑橘种植地块既有平地,更多的是丘陵和山地。平地柑橘园可以采取地面自走式或牵引式植保机械开展风送喷雾、管道喷雾、人工背负喷雾、航空植保等作业;丘陵或山地柑橘园,柑橘树也有在平地上沿坡地等高线种植,地面行走式施药器械难以进入作业,人工背负喷雾作业操作较困难,需要研发航空低容量喷雾技术、智能精准喷雾技术、缓释颗粒根部施药技术等高效精准施药技术与装备。植保无人飞机是近几年兴起和快速发展的现代农业技术之一,具有省工省水、快速高效、人药分离、作业及时、精准施药等优点。国家植保航空植保科技创新联盟、中国农业科学院植物保护研究所、西南大学柑桔研究所、华南农业大学等单位自2017年开始,组织开展了植保无人飞机在柑橘园低容量喷雾技术研究,探索了植保无人飞机喷雾在柑橘冠层的雾滴沉积分布规律和无人机植保作业参数,并开展了对柑橘木虱防治效果的研究。研究表明,同等剂量下无人机低容量喷雾对柑橘木虱成虫和若虫的防效显著高于背负式电动喷雾器常规大容量喷雾处理。如10%高氯·吡丙醚微乳剂有效成分用量为225 g/hm²时,采用无人机低容量喷雾(45 L/hm²),施药后1~7 d对柑橘木虱成虫和若虫的防效分别为65.8%~96.0%和64.7%~99.2%;而背负式电动喷雾器大容量喷雾(4 500 L/hm²),施药后1~7 d对柑橘木虱成虫和若虫的防效分别为59.9%~85.2%和53.6%~92.2%。因此,同种药剂同等剂量下

施药,植保无人飞机施药对柑橘木虱的防效优于地面药械,而且植保无人飞机施药可以显著提高植保作业的效率,降低其综合成本^[23]。

4 结语

在柑橘黄龙病防控“三项基本措施”的具体落实中,存在砍树难、木虱联防联控组织难等现实问题,以及用抗生素、肥料矫治等方法治疗病树的误区和痛点。因此,有必要深入开展高效透皮载药系统设计合成、高活性化学药物或小分子靶向药物创制,以及精准用药技术的研发,从而推进我国柑橘黄龙病由“防”向“治”转型,保障我国柑橘产业的可持续发展。

参考文献

[1] BOVÉ J M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus[J]. Journal of Plant Pathology, 2006, 88(1): 7-37.

[2] 熊红利,林云彪,项宇,等. 柑橘黄龙病与柑橘木虱在我国发生北界调查[J]. 植物检疫, 2011, 25(4): 79-80.

[3] 杜丹超,连明,张利平,等. 柑橘木虱的防治技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(25): 178-181.

[4] 崔学进. 金沙江中下段阻截带区域柑橘黄龙病菌和木虱遗传多样性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2022.

[5] 林孔湘,骆学海. 柑桔黄梢(黄龙)病热治疗的初步研究[J]. 植物保护学报, 1965, 4(2): 169-175.

[6] 骆学海,罗志达,唐伟文. 柑橘黄龙病热治疗的研究[J]. 植物保护

(下转第 21 页)

效低毒化合物,开发适合植保无人机作业的高含量、水基化剂型,以及适合轻简化栽培、轻简化施药的剂型。

参考文献

- [1] 章士美,汪广,胡湘源,等.江西二化螟的初步考察[J].昆虫学报,1954,4(1):11-22.
- [2] 舒畅,汪笃栋.二化螟成灾规律与控制[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [3] 章士美,赵泳祥.中国农林昆虫地理分布[M].北京:中国农业出版社,1996.
- [4] 方继朝,杜正文,程遐年.水稻螟害上升态势与控害减灾对策分析[J].昆虫知识,1998,35(4):193-197.
- [5] 杜正文.中国水稻病虫害综合防治策略与技术[M].北京:农业出版社,1991.
- [6] 周圻.水稻品种和稻螟种群消长的关系[J].昆虫知识,1988,25(4):201-203.
- [7] 周圻,林德芝,姚忠生,等.我国目前稻螟优势种群区域化成因的调查研究[J].昆虫知识,1990(6):321-324.
- [8] 盛承发,王红托,盛世余,等.我国稻螟灾害的现状与损失估计[J].昆虫知识,2003,40(4):289-294.
- [9] 秦厚国,罗任华,叶正襄,等.二化螟大发生原因及控制对策[J].华东昆虫学报,2005,14(1):91-93.
- [10] 舒平平,姚英娟,朱雪晶,等.建国以来江西二化螟的发生、危害

及药剂防治回顾[J].江西农业学报,2011,23(7):129-132.

- [11] 钟玲,唐玉珍.江西稻螟的历史演变及今后的防治对策[J].江西植保,1998,21(1):1-4.
- [12] 潘战胜,乐丽红,江红梅.余干县水稻二化螟发生特点及回升原因[J].江西农业,2017,88(5):102-104.
- [13] 淦城,陈前武,盛勇,等.永修县历年二化螟发生原因分析与防治对策[J].生物灾害科学,2017,40(2):112-114.
- [14] 汤金仪,王建强.水稻螟虫灾变与治理对策[M].北京:中国农业科学技术出版社,2003.
- [15] 夏林元,李炳华,陈萍金,等.二化螟在水稻穗期的危害研究初报[J].江西植保,1984(1):14-18.
- [16] 秦厚国,胡水秀,方荣.杂交水稻二化螟防治指标的研究[J].植物保护学报,1991,18(3):193-198.
- [17] 魏凯.水稻二化螟防治指标研究Ⅱ:二化螟为害和产量损失率及经济阈值静态模型探讨[J].湖南农学院学报,1987,14(1):39-47.
- [18] 徐卫,张左生,贾绍良,等.二化螟的为害损失与防治指标研究[J].浙江农业科学,1988,26(2):75-79.
- [19] 高君川,李为民,蒋国荣.二化螟防治指标的研究[J].植物保护学报,1987,14(2):107-114.
- [20] 李顺清,李文占,周世国,等.水稻二佛审为害损失与防治指标试验研究[J].湖北农业科学,1986,25(5):18-20.
- [21] 范仰东,程鲁远,苏立同.水稻分蘖期二化螟的为害损失与防治指标研究[J].昆虫知识,1988,25(1):1-4.

(责任编辑:胡新宇)

(上接第 16 页)

- 学报,1981,8(1):47-52.
- [7] ZHANG M, YANG C, DUAN Y, et al. Efficiency of chemotherapy coupled with thermotherapy against citrus HLB[J]. Journal of Citrus Pathology, 2015, 2(1): 48.
- [8] FAN G, XIA Y, LIN X, et al. Evaluation of thermotherapy against Huanglongbing (citrus greening) in the greenhouse[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(1): 111-119.
- [9] 赵学源,邱柱石,苏维芳,等.柑桔黄龙病对青霉素和四环素的反应[J].中国南方果树,1981(4):4.
- [10] 广西柑橘黄龙病研究小组(赵学源).利用四环素、土霉素治疗柑桔黄龙病的效果(初报)[J].柑橘科技通讯,1975(1):31-34.
- [11] 广西柑橘黄龙病研究小组(赵学源).柑桔黄龙病病原及防治的初步研究[J].中国农业科学,1978(3):84-86.
- [12] ZHAO X. Citrus yellow shoot disease (Huanglongbing) in China--a review [J]. Proceedings of the International Society of Citriculture, 1981, 1: 466-469.
- [13] PUTTAMUK T, ZHANG S, DUAN Y, et al. Effect of chemical treatments on 'Candidatus Liberibacter asiaticus' infected pomelo (Citrus maxima)[J]. Crop Protection, 2014, 65: 114-121.
- [14] 杨川毓.柑橘黄龙病的化学防治以及宏基因组分析[D].福州:福建农林大学,2015.
- [15] 姚廷山.土霉素防控柑橘黄龙病的效果及其在树体中的转运机理研究[D].重庆:西南大学,2019.
- [16] 周常勇.对柑橘黄龙病防控对策的再思考[J].植物保护,2018,44

(5):30-33.

- [17] LIU S H, RAWAL T B, SOLIMAN M, et al. Antimicrobial Zn-based "TSOL" for Citrus greening management: insights from spectroscopy and molecular simulation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67: 6970-6977.
- [18] 黄俊源,姚伟,张金珠,等.柑桔黄龙病植株显症差异叶片内生细菌群落结构分析[J].中国南方果树,2020,49(5):20-27.
- [19] YANG C, POWELL C, DUAN Y, et al. Mitigating citrus Huanglongbing via effective application of antimicrobial compounds and thermotherapy[J]. Crop Protection, 2016, 84: 150-158.
- [20] YANG C, ZHONG Y, POWELL C, et al. Antimicrobial compounds effective against Candidatus Liberibacter asiaticus discovered via graft-based assay in citrus[J]. Scientific Reports, 2018, 8: 17288.
- [21] HUANG C Y, ARAUJO K, JONATAN N S, et al. A stable antimicrobial peptide with dual functions of treating and preventing citrus Huanglongbing[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2021, 118(6): e2019628118.
- [22] 陈艺方,罗鑫,王余,等.含磺酰胺结构的1,3,4-噁二唑酮类化合物的设计、合成及抗菌活性研究[J].有机化学,2023,43(1):274-284.
- [23] 崔宗胤.从控梢和治虫两方面探讨柑橘木虱的化学防治技术[D].南昌:江西农业大学,2021.

(责任编辑:高蕾)