福建三明地区柑橘病毒类病原种类的鉴定及检测

张 洁#, 王 新#, 马崇欢, 李丁山, 刘国坤, 丁新伦*, 吴祖建

(福建农林大学植物病毒研究所, 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002)

摘要 为了明确福建省三明地区柑橘病毒类病原(病毒和类病毒)种类,利用 RT-PCR 技术对其进行了鉴定和检测,并对其检出率进行了分析。结果表明,从 207 份柑橘叶片样品中检出柑橘衰退病毒(citrus tristeza virus, CTV)、柑橘黄化脉明病毒(citrus yellow vein clearing virus, CYVCV)、柑橘叶斑驳病毒(citrus leaf blotch virus, CLBV)和蚜虫致死麻痹病毒(aphid lethal paralysis virus, ALPV)等 4 种病毒以及柑橘曲叶类病毒(citrus bent leaf viroid, CBLVd)、啤酒花矮化类病毒(hop stunt viroid, HSVd)、柑橘矮化类病毒(citrus dwarfing viroid, CDVd)、柑橘类病毒Ⅴ(citrus viroid Ⅴ, CVd Ⅴ)和柑橘类病毒Ⅵ(citrus viroid Ⅵ, CVd Ⅵ)等 5 种类病毒。其中,CTV、CYVCV、CLBV 和 ALPV 的检出率分别是 71.01%、66.67%、0.97%和 6.28%,CBLVd、HSVd、CDVd、CVd Ⅴ和 CVd Ⅵ的检出率分别是 7.25%、28.50%、13.04%、9.18%和 6.76%。同时发现,CTV 和 CYVCV 复合侵染的检出率为 54.59%,而品种'大分 1 号'的病毒检出率相对较低。本研究首次在柑橘叶片中检测到 ALPV。

关键词 柑橘; 病毒; 类病毒; 检出率

中图分类号: S 436.661.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022129

Identification and detection of citrus viruses and viroids in Sanming area, Fujian province, China

ZHANG Jie#, WANG Xin#, MA Chonghuan, LI Dingshan, LIU Guokun, DING Xinlun*, WU Zujian

(*Institute of Plant Virology, Fujian Agriculture and Forestry University, State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Fuzhou* 350002, *China*)

Abstract Virus and viroid species were identified and detected by RT-PCR on citrus in Sanming, Fujian, and the detection rates were analyzed. The results showed that citrus tristeza virus (CTV), citrus yellow vein clearing virus (CYVCV), citrus leaf blotch virus (CLBV) and aphid lethal paralysis virus (ALPV), as well as citrus bent leaf viroid (CBLVd), hop stunt viroid (HSVd), citrus dwarfing viroid (CDVd), citrus viroid Ⅴ (CVd Ⅴ) and citrus viroid Ⅵ (CVd Ⅵ) were identified from 207 samples. Among them, the detection rates of CTV, CYVCV, CLBV and ALPV were 71.01%, 66.67%, 0.97% and 6.28%, respectively, and those of CBLVd, HSVd, CDVd, CVd Ⅴ and CVd Ⅵ were 7.25%, 28.50%, 13.04%, 9.18% and 6.76%, respectively. Moreover, the detection rate of CTV and CYVCV mixed infection was 54.59%, and the virus detection rate on 'Dafen No. 1' was relatively low. In this study, ALPV was detected on citrus for the first time.

Key words citrus; virus; viroid; detection rate

柑橘属于芸香科 Rutaceae 植物,在世界农产品生产中占有重要地位。柑橘香气怡人,味道甜美,营养丰富,深受消费者的喜爱,再加上柑橘易于栽培、产量可观、种植效益优异等诸多优点,使之成为我国栽培面积广、产量高的果树之一。然而柑橘病毒类病害不断出现[1],我国已报道的柑橘病毒主要有柑橘衰退病毒(citrus tristeza virus, CTV)[2]、温州蜜柑萎缩病毒(satsuma dwarf virus, SDV)[3]、柑橘碎叶病毒(citrus tatter leaf virus, CTLV)[4]、柑橘黄化脉明病毒(citrus yellow vein clearing vi-

收稿日期: 2022-03-09 **修订日期:** 2022-08-05
基金项目: 福建省自然科学基金(2019J01656);福建农林大学科技创新专项(CXZX2020017A);福建省三明市横向项目(KH210264A)
致 谢: 特别感谢三明市莘口镇乡村振兴综合服务中心的邓应秋先生在采样过程中给予的支持和帮助。
* 通信作者 E-mail:dingxinlun@163.com
# 为并列第一作者

rus, CYVCV)[5]、柑橘叶斑驳病毒(citrus leaf blotch virus, CLBV)[6]、柑橘鳞皮病毒(citrus psorosis virus, CPsV)[7]、柑橘脉突病毒(citrus vein enation virus, CVEV)[8]和柑橘褪绿矮缩病毒(citrus chlorotic dwarf-associated virus, CCDaV)[9]等 8 种;已报道的类病毒主要有柑橘裂皮类病毒(citrus exocortis viroid, CEVd)、柑橘树皮裂纹类病毒(citrus bark cracking viroid, CBCVd)、柑橘曲叶类病毒(citrus bent leaf viroid, CBLVd)、啤酒花矮化类病毒(hop stunt viroid, HSVd)、柑橘矮化类病毒(citrus dwarfing viroid, CDVd)、柑橘类病毒Ⅴ(citrus viroid Ⅴ, CVd Ⅴ)和柑橘类病毒Ⅵ(citrus viroid Ⅵ, CVd Ⅵ)[10]等 7 种。其中 CYVCV 引起的柑橘黄脉病是我国一种新发病害,自从 2009 年在云南瑞丽发现以来[5],几乎遍布所有柑橘产区[11]。另外,柑橘黄化斑驳相关病毒(citrus yellow mottle-associated virus, CiYMaV) 2020 年首次在巴基斯坦的柑橘上报道[12],与 CYVCV 同属于甲型线性病毒科 *Alphaflexiviridae* 印度柑橘病毒属 *Mandarivirus*,我国柑橘上尚未发现该病毒[12]。而蚜虫致死麻痹病毒(aphid lethal paralysis virus, ALPV)首次从南非的禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 中分离,属于双顺反子病毒科 *Dicistroviridae* 蟋蟀麻痹病毒属 *Cripavirus*[13-14]。近年来,随着大规模测序技术的发展,ALPV 在多种植物中被检测到[15-16]。

福建省三明市拥有悠久的柑橘种植历史,目前该地区的柑橘种植面积和年产量均位列福建省前茅,是福建省重要的柑橘生产地区。近几年,该地区多处柑橘果园出现了黄化、树势减弱等疑似病毒病症状,对当地柑橘产业造成了严重威胁。本研究利用 RT-PCR 技术对该地区柑橘的多种病毒和类病毒进行了检测分析。

1　材料与方法

1.1　材料

柑橘叶片样品采集于福建省三明市莘口镇及其周边地区。采用随机取样法,不同地块及不同品种等共采集 207 份样品,主要为温州蜜柑的不同品种(含'大分 1 号'20 份、'大浦'28 份、'宫川'17 份、'肥之署'9 份、'市文'8 份、'宫本'6 份、'由良'4 份、'大分 4 号'3 份、'山川'3 份以及未知品种 92 份)和少量其他柑橘类品种(17 份)。样品及时放入液氮速冻并置于超低温冰箱中保存备用。

1.2　方法

1.2.1　总 RNA 的提取

参照姜娟等[17]的方法并加以改进,使用 TaKaRa® RNAiso Plus[宝日医生物技术(北京)有限公司]进行总 RNA 的提取。步骤简述如下:取 30 mg 柑橘叶片用液氮研磨;加入 1 mL RNAiso Reagent,振荡混匀后室温静置,12 000 r/min 离心 5 min,取上清液加入 200 μL 氯仿,振荡混匀后室温静置,12 000 r/min 离心 15 min;取上清液加入等体积异丙醇,−20℃静置,12 000 r/min 离心 10 min,弃上清液并保留沉淀,加入 75%乙醇洗涤沉淀,随后加入 20 μL RNase-Free ddH_2O 溶解,即得总 RNA,置于超低温冰箱中保存。

1.2.2　RT-PCR

使用 GenStar® StarScript Ⅱ First-strand cDNA Synthesis Mix(北京康润诚业生物科技有限公司)进行第一链 cDNA 的合成,反应体系为:总 RNA 1 μg,2×RT Reaction Mix(with Primer) 10 μL,StarScript Ⅱ RT Mix 1 μL,DEPC-ddH_2O 补足至 20 μL。反应程序为:42℃ 30 min,85℃ 5 min,4℃保存,得到的第一链 cDNA 置于−20℃冰箱中保存。

使用 Phanta® Max Super-Fidelity DNA 聚合酶(南京诺唯赞生物科技股份有限公司)进行 PCR 反应(引物序列见表 1),反应体系为:2×Phanta Max Buffer 25 μL,dNTP Mix (10 mmol/L) 1 μL,上、下游引物(10 μmol/L)各 2 μL,Phanta Max Super-Fidelity DNA Polymerase 1 μL,第一链 cDNA 4 μL,ddH_2O 15 μL。反应程序为:95℃ 预变性 3 min;95℃ 15 s,退火温度 15 s,72℃ 30 s/kb,30 个循环;72℃ 5 min;16℃保存。PCR 产物经 1%琼脂糖凝胶电泳后,目的条带使用 HiPure Gel Pure DNA Mini 试剂盒(广州美基生物科技有限公司)进行产物回收。

1.2.3　克隆载体连接

使用 Zero Background pTOPO-TA Simple 克隆试剂盒(北京艾德莱生物科技有限公司)进行 TA 克隆:纯化的 DNA 片段 40 ng,pTOPO-TA Simple

Vector 1 μL，10×Enhancer 1 μL，ddH_2O 补足至 10 μL，室温静置 5 min，得到的连接产物使用 TRANS® Trans1-T1 Phage Resistant 化学感受态细胞（北京全式金生物技术有限公司）进行大肠杆菌转化。PCR 筛选的阳性克隆菌株由铂尚生物技术（上海）有限公司进行测序。

表 1 本文所用到的引物

Table 1 Primers used in this study

名称 Name	序列(5′-3′) Sequence	片段大小/bp Size of fragment	退火温度/℃ Annealing temperature	病毒或类病毒 Virus or viroid	参考文献 Reference
CTV-Detect-F	ATGCGAGCTTACTTTAGT	553	48.0	CTV	[12]
CTV-Detect-R	CTACACGCAAGATGGAGA				
CYVCV-Detect-F	TACCGCAGCTATCCATTTCC	614	52.0	CYVCV	[5]
CYVCV-Detect-R	GCAGAAATCCCGAACCACTA				
CLBV-Detect-F	AGCCATAGTTGAACCATTCCTC	425	52.6	CLBV	[12]
CLBV-Detect-R	GCAGATCATTCACCACATGC				
ALPV-Detect-F	AGCCGTATTAGTTGGAGTTT	1 388	49.7	ALPV	本研究
ALPV-Detect-R	CTTCAGGGGTAGCAGTAGAT				
CBLVd-Detect-F	TCCCCTTCACCCGAGCGCTGC	233	60.0	CBLVd	[18]
CBLVd-Detect-R	TCGACGACGACCAGTCAGCT				
HSVd-Detect-F	CTGGGGAATTCTCGAGTTGCC	316	58.0	HSVd	本研究
HSVd-Detect-R	AGGGGCTCAAGAGAGGATCCG				
CDVd-Detect-F	ACTCTACCGTCTTTACTCCA	297	56.0	CDVd	[19]
CDVd-Detect-R	CTCCGCTAGTCGGAAAGACTCCGC				
CVd Ⅴ-Detect-F	CACCCCGCCCTCAGGAATAA	190	59.4	CVd Ⅴ	本研究
CVd Ⅴ-Detect-R	CCACCAACGTCCGCTCGACT				
CVd Ⅵ-Detect-F	ATGAAAAGAAAGGCAAGGAG	236	54.7	CVd Ⅵ	本研究
CVd Ⅵ-Detect-R	CGTAGAAAATAGGGCAGGAG				
CEVd-Detect-F	GGAAACCTGGAGGAAGTCGAG	371	56.0	CEVd	[20]
CEVd-Detect-R	CCGGGGATCCCTGAAGGACTT				
CiYMaV-Detect-F	TAAAGGGAAATCGGCACC	604	55.5	CiYMaV	[12]
CiYMaV-Detect-R	TTGGTTGGCTATGCGTTC				
CTLV-Detect-F	CCCTCTCAGCTAGAATTGAA	890	49.6	CTLV	[21]
CTLV-Detect-R	AGAGTGGACAAACTCTAGAC				
CPsV-Detect-F	TGCCATCTGGAGTGAGGCT	433	50.4	CPsV	[22]
CPsV-Detect-R	TCGAAGCTGTATGATGGTGA				
SDV-Detect-F	GACAACAGCCACTCCCTCAT	621	53.7	SDV	本研究
SDV-Detect-R	CCAAATCATCCCAGACAACA				
CBCVd-Detect-F	CCGGGGAAATCTCTTCAGACTC	297	56.0	CBCVd	[12]
CBCVd-Detect-R	GGATCCCTCTTCAGGTATGT				

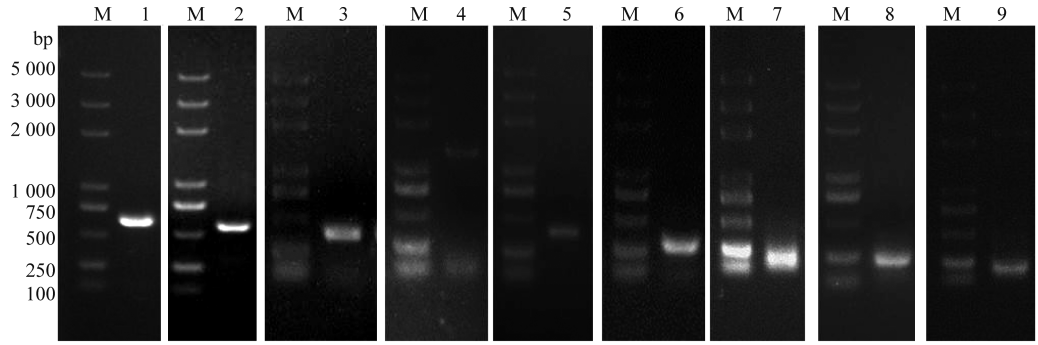
2 结果与分析

2.1 柑橘病毒类病原的检测

本研究利用特异性引物（表 1）对柑橘上常见的病毒和类病毒分别进行 RT-PCR 扩增，结果如图 1 所示，有 4 种病毒和 5 种类病毒扩增得到特异性条带，分别是 CYVCV（614 bp）、CTV（553 bp）、CLBV（425 bp）、ALPV（1 388 bp）、HSVd（316 bp）、CDVd（297 bp）、CBLVd（233 bp）、CVd Ⅵ（236 bp）和 CVd Ⅴ（190 bp），经由测序分析后确认为目的病毒或类病毒片段。而对 CiYMaV、CTLV、CPsV、SDV、CBCVd 和 CEVd 的 RT-PCR 检测均未得到特异性条带（图片未示出）。

2.2 柑橘病毒类病原的检出率分析

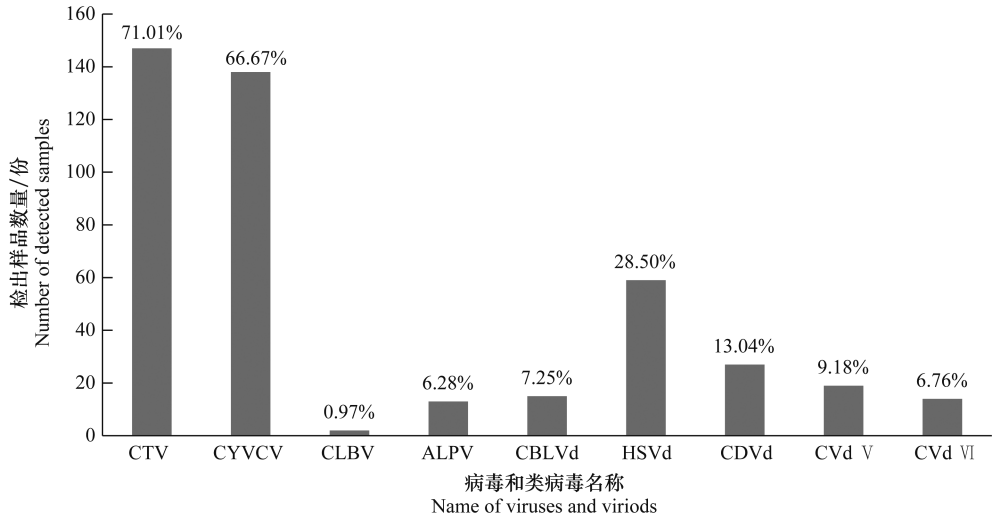
为了明确三明地区柑橘病毒和类病毒的侵染情况，对采集的 207 份样品进行 RT-PCR 扩增，并对其检出率进行计算。结果显示，CTV 和 CYVCV 两种病毒的检出率较高，分别达 71.01% 和 66.67%；HSVd 和 CDVd 两种类病毒的检出率分别为 28.50%和 13.04%；其他病原的检出率由高到低分别是 CVd Ⅴ 9.18%、CBLVd 7.25%、CVd Ⅵ 6.76%、ALPV 6.28%和 CLBV 0.97%（图 2）。



M: DL2000 Plus DNA分子量标准。1: 柑橘黄化脉明病毒; 2: 柑橘衰退病毒; 3: 柑橘叶斑驳病毒; 4: 蚜虫致死麻痹病毒; 5: 啤酒花矮化类病毒; 6: 柑橘矮化类病毒; 7: 柑橘曲叶类病毒; 8: 柑橘类病毒Ⅵ; 9: 柑橘类病毒Ⅴ。
M: DL2000 Plus DNA Marker. 1: Citrus yellow vein clearing virus (CYVCV); 2: Citrus tristeza virus (CTV); 3: Citrus leaf blotch virus (CLBV); 4: Aphid lethal paralysis virus (ALPV); 5: Hop stunt viroid (HSVd); 6: Citrus dwarfing viroid (CDVd); 7: Citrus bent leaf viroid (CBLVd); 8: Citrus viroid Ⅵ (CVd Ⅵ); 9: Citrus viroid Ⅴ (CVd Ⅴ).

图 1　柑橘病毒和类病毒的 RT-PCR 扩增

Fig. 1　RT-PCR amplification of citrus viruses and viroids



样品总量为207份,柱状图上方数值表示检出率。
The total number of samples is 207, and the value above the histogram indicates the detection rate.

图 2　柑橘病毒和类病毒的检测结果

Fig. 2　Detection results of citrus viruses and viroids

2.3　柑橘病毒类病原的复合侵染分析

为了明确病毒和类病毒复合侵染情况,对所有样品单独和复合侵染的检出率进行统计。结果显示,全部 207 份样品中,检出病毒(含所有病毒)的样品有 172 份,检出类病毒(含所有类病毒)的样品有 103 份,检出率分别为 83.09%、49.76%。而复合侵染最多的组合是 CTV+CYVCV,具有这种复合侵染组合的样品数为 46 份,检出率为 22.22%;另外 CTV+CYVCV+HSVd 复合侵染组合的样品数为 22 份,检出率为 10.63%;另有 2 份样品同时被 6 种病毒或类病毒复合侵染,分别是 CTV+CYVCV+ALPV+CLBV+HSVd+CDVd 和 CTV+CYVCV+HSVd+CDVd+CBLVd+CVd Ⅵ;所有含有 CTV 和 CYVCV 的样品数为 113 份,检出率为 54.59%(图 3)。

2.4　不同温州蜜柑品种中病毒类病原的检出特征分析

为了分析该地区主要种植的温州蜜柑品种与已检出病毒类病原检出率之间的相关性,选择样品大于 6 份的品种进行分析。结果显示,'大分 1 号'的病毒检出率最低,为 25.00%;'宫川''宫本'和'市文'的病毒检出率高达 100%;类病毒的检出率与病毒检出率之间无明显关系,但'宫本'和'肥之署'的 2 种病原检出率均较高(表 2)。

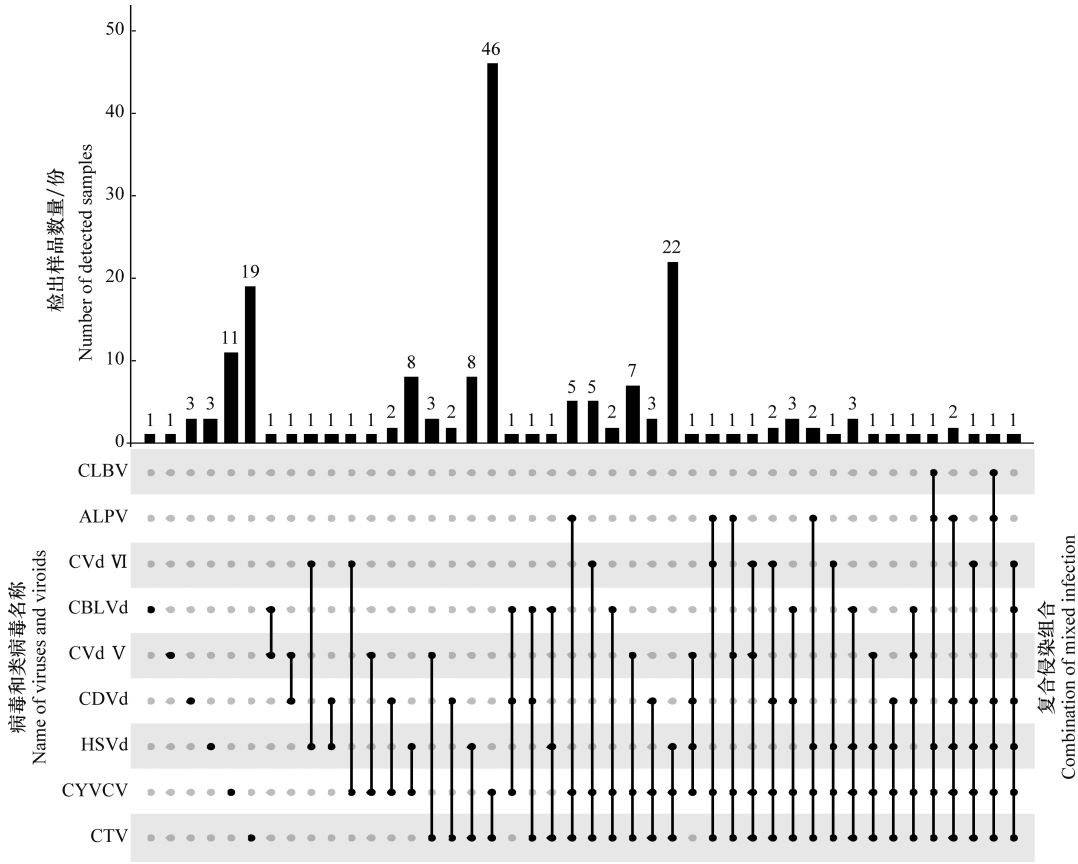


图 3　柑橘样品中病毒和类病毒复合侵染分析

Fig. 3　Analysis of virus and viroid mixed infection in citrus samples

表 2　不同温州蜜柑品种的病毒和类病毒检出率

Table 2　Detection rates of viruses and viroids in different citrus varieties

品种 Variety	样品数/份 Sample	阳性样品数/份 Positive sample		检出率/% Detection rate	
		病毒 Viruses	类病毒 Viroids	病毒 Viruses	类病毒 Viroids
大分 1 号 Dafen No. 1	20	5	10	25.00	50.00
大浦 Dapu	28	19	13	67.86	46.43
宫川 Gongchuan	17	17	5	100.00	29.41
宫本 Gongben	6	6	6	100.00	100.00
肥之署 Feizhishu	9	8	8	88.89	88.89
市文 Shiwen	8	8	2	100.00	25.00

3　结论与讨论

本研究对福建三明地区柑橘病毒类病原进行了鉴定，结果表明该地区柑橘病毒病发病率较高，尤其是 CTV 和 CYVCV；病原物种类多，有 4 种病毒和 5 种类病毒，并且复合侵染严重，其中 CTV 和 CYVCV 的复合侵染较高。CYVCV 几乎遍布我国所有柑橘产区[11]。CTV 引起的柑橘衰退病对全世界的柑橘产业都造成严重损失[23]，在我国柑橘产区也均有不同程度的发生[22,24-26]。CTV 和 CYVCV 复合侵染的情况已被多次报道[27-29]，但二者复合侵染对柑橘产业的影响有待进一步研究。而与 CYVCV 同属于印度柑橘病毒属的 CiYMaV 在本地区未检测到，与前人的研究结果一致[12]。

本实验室前期通过高通量测序发现柑橘样品中可能存在 ALPV，本研究通过 RT-PCR 技术验证了 ALPV 的存在。研究表明，双顺反子病毒科的病毒，比如 ALPV 和禾谷缢管蚜病毒（rhopalosiphum padi virus，RhPV），可利用非寄主植物（不能复制）作为“载体”从而侵染新昆虫寄主（可复制），而植物与该类病毒互惠共生的关系，或可被植物用来作为天然的生物农药[30]。ALPV 已在玉米[16]、黄瓜[15]、菜

豆[31]等植物中发现,本研究首次在柑橘上检测到该病毒,而 ALPV 与柑橘的关系有待进一步研究。

本研究结果发现'大分 1 号'的病毒检出率较低,'宫本''宫川'和'肥之署'的检出率较高,这与胡启镔的结果[32]一致,与之略有差异的是本研究中'市文'的病毒检出率为 100%,或许与该样品数量较少并且检测病毒不只包括 CYVCV 有关。综上,实际生产过程中,柑橘种植户或可因地制宜合理引种'大分 1 号'。

参考文献

[1] 张艳慧,刘莹洁,金鑫,等. 我国柑橘近年新发生的病毒及类似病害研究进展[J]. 果树学报,2017,34(9):1213-1221.

[2] CHENG Xiaofei, WU Jianxiang, MA Xinying, et al. First report of citrus tristeza virus in *Citrus changshanensis* cv. Huyou in Zhejiang, China [J]. Journal of Plant Pathology, 2011, 93(4): 68.

[3] CUI P F, GU C F, ROISTACHER C N. Occurrence of satsuma dwarf virus in Zhejiang province, China [J]. Plant Disease, 1991, 75(3): 242-244.

[4] 张天淼,梁仙友. 柑桔碎叶病毒在黄岩本地早、椪柑上的发现[J]. 中国柑桔,1987(1):27.

[5] CHEN H M, LI Z A, WANG X F, et al. First report of citrus yellow vein clearing virus on lemon in Yunnan, China [J]. Plant Disease, 2014, 98(12): 1747.

[6] 刘欢,吕兆瑞,吴薇,等. 柑橘叶斑驳病毒研究进展[J]. 植物病理学报,2023,53(2):155-163.

[7] 李敏,周天宇,张松,等. 柑橘鳞皮病毒 3 个分离物全基因组序列分析[J]. 园艺学报,2018,45(10):2030-2036.

[8] CHEN G Q, YAN S X. First report of citrus vein enation disease in China [J]. Plant Disease, 1992, 76(10): 1077.

[9] 杨真. 柑橘褪绿矮缩病毒在中国的发生分布及分子特性研究[D]. 重庆:西南大学,2021.

[10] 曹孟籍. 柑橘类病毒的鉴定及其小 RNA 的深度测序分析研究[D]. 重庆:西南大学,2012.

[11] ZHOU Y, CHEN H M, CAO M J, et al. Occurrence, distribution, and molecular characterization of citrus yellow vein clearing virus in China [J]. Plant Disease, 2017, 101(1): 137-143.

[12] WU Jiaxing, ZHANG Song, ATTA S, et al. Discovery and survey of a new mandarivirus associated with leaf yellow mottle disease of citrus in Pakistan [J]. Plant Disease, 2020, 104(6): 1593-1600.

[13] WILLIAMSON C, RYBICKI E P, KASDORF G G F, et al. Characterization of a new picorna-like virus isolated from aphids [J]. Journal of General Virology, 1988, 69(4): 787-795.

[14] VAN MUNSTER M, DULLEMANS A M, VERBEEK M, et al. Sequence analysis and genomic organization of aphid lethal paralysis virus: a new member of the family *Dicistroviridae* [J]. Journal of General Virology, 2002, 83(12): 3131-3138.

[15] MAINA S, EDWARDS O R, DE ALMEIDA L, et al. Metagenomic analysis of cucumber RNA from east timor reveals an aphid lethal paralysis virus genome [J/OL]. Genome Announcements, 2017, 5(2): e01445-16. DOI: 10.1128/genomeA.01445-16.

[16] WAMONJE F O, MICHUKI G N, BRAIDWOOD L A, et al. Viral metagenomics of aphids present in bean and maize plots on mixed-use farms in Kenya reveals the presence of three dicistroviruses including a novel big sioux river virus-like dicistrovirus [J/OL]. Virology Journal, 2017, 14(1): 88. DOI: 10.1186/s12985-017-0854-x.

[17] 姜娟,薛皎亮,谢映平. 柑橘叶片总 RNA 的两种提取方法比较[J]. 热带亚热带植物学报,2009,17(2):190-193.

[18] 舒静. 来源于柑橘和葡萄的类病毒的检测与序列分析[D]. 武汉:华中农业大学,2010.

[19] 董艳娜,郑银英,徐文兴. 用草本植物番茄鉴定五种柑橘类病毒[J]. 中国农业科学,2016,49(4):784-790.

[20] WANG Xuefeng, ZHOU Changyong, TANG Kezhi, et al. Preliminary studies on species and distribution of citrus viroids in China [J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(9): 1097-1103.

[21] 宋震,刘科宏,杨方云,等. 柑橘碎叶病毒外壳蛋白基因的克隆和序列分析[J]. 中国农业科学,2009,42(10):3741-3748.

[22] 吕婵娟,周常勇,周彦,等. 一步法 RT-PCR 检测柑橘鳞皮病毒[J]. 果树学报,2007,24(1):113-114.

[23] MORENO P, AMBRÓS S, ALBIACH-MARTÍ M R, et al. Citrus tristeza virus: a pathogen that changed the course of the citrus industry [J]. Molecular Plant Pathology, 2008, 9(2): 251-268.

[24] 易龙,赖晓桦,卢占军,等. 江西柑橘主产区柑橘衰退病毒分离株组群分析[J]. 植物保护,2012,38(4):112-114.

[25] 易龙,周常勇,周彦,等. 中国野生柑橘上衰退病毒分离株分子特征分析[J]. 中国农业科学,2007(5):932-939.

[26] 钟可,易龙,周俊,等. 四川省眉山市六个柑橘品种上衰退病毒分离株的组群构成,基因型及遗传特征[J]. 植物保护学报,2021,48(4):732-741.

[27] 黄爱军,王莹,丁敏,等. 柑橘 4 种病毒多重 PCR 检测技术的建立及应用[J]. 园艺学报,2019,46(8):1616-1622.

[28] MEENA R P, BARANWAL V K. Development of multiplex polymerase chain reaction assay for simultaneous detection of clostero-, badna-and mandari-viruses along with huanglongbing bacterium in citrus trees [J]. Journal of Virological Methods, 2016, 235: 58-64.

[29] 赵恒燕,关桂静,周常勇,等. 柑橘黄化脉明病毒和衰退病毒的二重 RT-PCR 检测体系的建立与应用[J]. 园艺学报,2017,44(7):1405-1414.

[30] BONNING B C, MILLER W A. Dicistroviruses [J]. Annual Review of Entomology, 2010, 55: 129-150.

[31] WAINAINA J M, ATEKA E, MAKORI T, et al. A metagenomic study of DNA viruses from samples of local varieties of common bean in Kenya [J/OL]. PeerJ, 2019, 7: e6465. DOI: 10.7717/peerj.6465.

[32] 胡启镔. 三明地区柑橘黄化脉明病毒检测及分析[J]. 中国植保导刊,2021,41(8):62-65.

(责任编辑:田　喆)