



杨健,关丽梅,陈俊晖,等.江西奉新、武宁猕猴桃病毒检测及侵染类型分析[J].江西农业大学学报,2026,48(1):93-107.
YANG J,GUAN L M,CHEN J H,et al.Detection of viruses infecting kiwifruit and analysis of virus infection types in Fengxin and Wuning,Jiangxi,China[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2026,48(1):93-107.

江西奉新、武宁猕猴桃病毒检测 及侵染类型分析

杨 健^{1,2},关丽梅^{1,2*},陈俊晖^{1,2},杨菲颖²,况文东^{1,2},李江怀^{1,2},
王金昌^{1,2},占智高^{1,2},宋慧云²,靳 亮^{2*}

(1.江西省科学院 生物制造研究所,江西 南昌 330096;2.江西省科学院 生物资源研究所,江西 南昌 330096)

摘要:【目的】江西省宜春市奉新县以及九江市武宁县是江西省猕猴桃的主要产区,近年来病毒病害发生严重,研究奉新县与武宁县猕猴桃病毒发生情况,可为猕猴桃病毒病的检测与防治提供参考。【方法】利用RT-PCR对奉新县与武宁县猕猴桃病毒的种类进行检测,并分析了病毒复合侵染类型。【结果】在奉新县与武宁县不同地区采集的129份猕猴桃病叶样品中共检出17种病毒,其中检出率最高的病毒分别为猕猴桃病毒B(AcVB)、猕猴桃病毒A(AcVA)、黄瓜花叶病毒(CMV)、柑橘叶斑驳病毒(CLBV)、苹果潜隐球状病毒(ALSV)、猕猴桃褪绿环斑相关病毒(AcCRaV)、猕猴桃病毒1(AcV-1),检出率依次为50.39%、45.73%、42.64%、39.53%、17.83%、17.83%、14.73%;多数猕猴桃病叶样本被2种及以上病毒复合侵染,病叶样本复合侵染率为77.52%,病叶样本中检出最多的复合侵染组合为CMV+AcVA+AcVB和CLBV+AcCRaV+AcVA+AcVB;分析‘金果’、‘金艳’、‘红阳’、‘东红’4个猕猴桃品种病叶样本的检出病毒种类,发现‘东红’检出病毒种类最少,‘红阳’检出病毒种类最多。【结论】侵染奉新县与武宁县猕猴桃的病毒种类多达17种,其中优势病毒为AcVA、AcVB、CMV和CLBV,但两地病毒种类不完全一致;奉新县与武宁县猕猴桃病毒复合侵染现象发生普遍,复合侵染类型多,复合侵染组合复杂;不同品种猕猴桃病叶样本检出的病毒种类不一致,其中‘东红’检出病毒种类较少。

关键词:猕猴桃病毒;RT-PCR;病毒检测;侵染类型;猕猴桃品种

中图分类号:S436.634.1 文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2026)01-0093-15

CSTR:32399.14.aauj.2026009



Detection of viruses infecting kiwifruit and analysis of virus infection types in Fengxin and Wuning, Jiangxi, China

YANG Jian^{1,2}, GUAN Limei^{1,2*}, CHEN Junhui^{1,2}, YANG Feiying², KUANG Wendong^{1,2},
LI Jianghuai^{1,2}, WANG Jinchang^{1,2}, ZHAN Zhigao^{1,2}, SONG Huiyun², JIN Liang^{2*}

收稿日期:2025-07-15 修回日期:2025-09-04 接受日期:2025-09-11

基金项目:国家自然科学基金项目地区基金(32360701、32260705)、江西省自然科学基金项目(20232BAB215007、20224BAB205004)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(32360701, 32260705) and Natural Science Foundation of Jiangxi Province(20232BAB215007, 20224BAB205004)

作者简介:杨健,助理研究员,博士,orcid.org/0009-0008-1890-7600,jemappelleyangjian@zju.edu.cn; *共同第一作者;
*通信作者:靳亮,研究员,博士,主要从事植物保护、生物防治以及生防微生物资源发掘研究,orcid.org/0000-0002-1967-0237,jinliang079@163.com。

©《江西农业大学学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND协议

(1. Institute of Biomanufacturing, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China; 2. Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China)

Abstract: [Objective] Kiwifruit is mainly produced in Fengxin and Wuning, two counties in Yichun City and Jiujiang City respectively. Kiwifruit virus diseases are serious in these areas. Studying the occurrence of kiwifruit viruses in Fengxin County and Wuning County can provide references for the detection and prevention of kiwifruit virus diseases. [Method] In this study, we detected the types of viruses infecting kiwifruit by RT-PCR, and analyzed the combination of mixed virus infection. [Result] The results showed that 17 viruses were detected in 129 diseased kiwifruit leaf samples, among which *Actinidia virus B* (AcVB), *Actinidia virus A* (AcVA), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Apple latent sephical virus* (ALSV), *Actinidia chlorotic ringspot-associated virus* (AcCRaV), and *Actinidia virus 1* (AcV-1) were of the highest detection rate, the detection rate was 50.39%, 45.73%, 42.64%, 39.53%, 17.83%, 17.83%, 14.73%, respectively. Most samples were found to be infected with two or more viruses, the mixed infection rate of diseased kiwifruit leaf samples was 77.52%. Among the samples with mixed virus infection, the most common types of mixed infection combination were CMV+AcVA+AcVB and CLB+AcCRaV+AcVA+AcVB. The analysis of the virus types in kiwifruit cultivars ‘Jinguo’, ‘Jinyan’, ‘Hongyang’ and ‘Donghong’ showed that fewer virus types were detected in ‘Donghong’ and the virus detection rate was lower than other cultivars. [Conclusion] There are as many as 17 types of viruses infecting kiwifruit in Fengxin and Wuning, among which AcVA, AcVB, CMV and CLB are the dominant ones, however, the virus types in both counties are not entirely identical. The phenomenon of mixed virus infection is prevalent, with various types of mixed infection combinations. The types of detected viruses of different kiwifruit cultivars vary, the virus types of ‘Donghong’ are less than those of other cultivars in the study.

Keywords: kiwifruit viruses; RT-PCR; virus detection; virus infection types; kiwifruit cultivar

【研究意义】猕猴桃发源于我国,是猕猴桃科(Actinidiaceae),猕猴桃属(*Actinidia*)的多年生藤本落叶树种。我国是世界猕猴桃的主要分布区和最大的猕猴桃生产国^[1]。大部分猕猴桃种类可食用,具有较高的营养价值^[1];猕猴桃叶片、茎干、根部均有药用价值^[2]。我国江西、湖北、四川、湖南、浙江、云南、贵州、广西、广东和福建等省野生猕猴桃资源丰富。截至2020年,江西省猕猴桃栽培面积超过1.4万hm²、产量超过18.0万t,均居全国第6位,猕猴桃产业已成为江西省内第二大果树产业^[3]。因猕猴桃常用嫁接和扦插等手段进行无性繁殖,且感染病毒病后果树终身带毒,故猕猴桃病毒病的传播速度较其他植物更快,病毒危害程度较其他植物病毒更重^[4]。猕猴桃被病毒侵染后会表现出不同的症状,如叶片斑驳、褪绿、黄化、花叶、环斑、坏死斑、畸形、脉明、果实畸形等,影响猕猴桃产量与品质。猕猴桃病毒病通常由多种病毒综合作用引发,存在较为普遍的复合侵染现象^[5-6],某一种病毒引起的特定症状难以确认,因此病毒病的诊断及防控较为困难。【前人研究进展】目前,在全世界范围内仅有中国、新西兰、意大利和韩国有猕猴桃病毒侵染的记录^[4]。已知的可侵染猕猴桃的病毒种类有28种^[3-4],其中14种是新病毒,包括猕猴桃病毒A(*Actinidia virus A*, AcVA)、凤仙花环斑坏死病毒(*Impatiens necrotic spot virus*, INSV)、猕猴桃病毒B(*Actinidia virus B*, AcVB)、猕猴桃种传潜隐性病毒(*Actinidia seed-borne latent virus*, ASbLV)、猕猴桃病毒D(*Actinidia virus D*, AcVD)、猕猴桃黄化环斑病毒(*Actinidia yellowing ringspot virus*, AYRSpV)、猕猴桃病毒C(*Actinidia virus C*, AcVC)、猕猴桃黄化病毒3(*Actinidia yellowing virus 3*, AcYV3)、猕猴桃黄化病毒1(*Actinidia yellowing virus 1*, AcYV1)、猕猴桃病毒1(*Actinidia virus 1*, AcV-1)、猕猴桃褪绿环斑相关病毒(*Actinidia chlorotic ringspot-associated virus*, AcCRaV)、猕猴桃黄化病毒2(*Actinidia yellowing virus 2*, AcYV2)、猕猴桃病毒X(*Actinidia virus X*, AVX)、猕猴桃山柰病毒2(*Actinidia emaravirus 2*, AcEV-2);还有15种猕猴桃是新宿主的病毒,包括苹果茎沟病毒(*Apple stem grooving virus*, ASGV)、苹果茎痘病毒(*Apple stem pitting virus*, ASPV)、茶树线纹病毒(*Tea plant line pattern virus*, TPLPV)、苹果潜隐球状病毒(*Apple latent spherical*

virus, ALSV)、柑橘叶斑驳病毒(*Citrus leaf blotch virus*, CLBV)、苜蓿花叶病毒(*Alfalfa mosaic virus*, AMV)、番茄坏死斑相关病毒(*Tomato necrotic spot associated virus*, TNSaV)、马铃薯 X 病毒(*Potato virus X*, PVX)、天竺葵带状斑点病毒(*Pelargonium zonate spot virus*, PZSV)、黄瓜花叶病毒(*Cucumber mosaic virus*, CMV)、樱桃卷叶病毒(*Cherry leaf roll virus*, CLRV)、长叶车前草花叶病毒(*Ribgrass mosaic virus*, RMV)、番茄斑萎病毒属病毒(*Tomato necrotic spot tospovirus*, TNSV)、黄瓜坏死病毒(*Cucumber necrosis virus*, CNV)、芜菁脉明病毒(*Turnip vein clearing virus*, TVCV)^[5,7-9],其中 AcVA、AcVB、AcVC、ASbLV、AcCRaV、AcEV-2 和 AcV-1 宿主范围较小,通常只特异性侵染猕猴桃,且常发生病毒复合侵染;而 PVX、CMV、ASGV、AMV、CLBV 和 TNSaV 等病毒宿主范围广泛,并非特异性侵染猕猴桃,猕猴桃也不是其最适宜的宿主^[5,10];PZSV 和 CLRV 具有较广的宿主范围,对猕猴桃具有高致病性,导致猕猴桃叶片坏死、枝干枯死、树皮开裂或果实变形,这 2 种病毒主要在国外发生,目前国内尚未有相关报道^[7]。

【本研究切入点】江西省宜春市奉新县以及九江市武宁县是江西省猕猴桃的主要产区,近年来病毒病害在奉新县与武宁县猕猴桃种植区均有发生,威胁江西省猕猴桃产业的健康发展。【拟解决的关键问题】本研究利用 RT-PCR 技术,检测了侵染奉新县与武宁县猕猴桃的病毒种类,分析了病毒复合侵染类型,同时分析了不同品种猕猴桃病叶样本的病毒种类,可为深入开展猕猴桃病毒病的研究和制定更有效的猕猴桃病毒病防治策略提供参考。

1 材料与方 法

1.1 样本采集

2022 年 8 月于江西省宜春市奉新县和九江市武宁县猕猴桃种植地区进行病毒病调查,采集病毒病植株叶片样本,样本信息见表 1。

表 1 奉新与武宁猕猴桃样本信息

Tab.1 Information of samples collected from Fengxin County and Wuning County

样本采集地点 Location of collected samples	经纬度 Coordinate of latitude and longitude	品种 Cultivar	样本编号 Sample ID	样本数量/份 Sample number
奉新县赤岸镇城下村 Chengxia Village, Chi'an Town, Fengxin County	28°68' N, 115°31' E	金果	FX-1	16
奉新县赤岸镇黄下垅村 Huangxialong Village, Chi'an Town, Fengxin County	28°76' N, 115°14' E	金艳	FX-2	12
奉新县会埠镇下庄村 Xiazhuang Village, Huibu Town, Fengxin County	28°70' N, 115°20' E	金果	FX-3	14
奉新县赤田镇罗家村 Luoja Village, Chitian Town, Fengxin County	28°63' N, 115°44' E	红阳	FX-4	12
奉新县赤岸镇下感埔村 Xiaganyong Village, Huibu Town, Fengxin County	28°69' N, 115°31' E	东红	FX-5	10
武宁县罗坪镇长水村 Changshui Village, Luoping Town, Wuning County	29°18' N, 115°27' E	红阳	WN-1	12
武宁县杨洲乡界牌村 Jiepai Village, Yangzhou Town, Wuning County	29°20' N, 115°40' E	红阳	WN-2	15
武宁县新宁镇凤口村 Fengkou Village, Xining Town, Wuning County	29°24' N, 115°15' E	红阳	WN-3	18
武宁县杨洲乡江桥村 Jiangqiao Village, Yangzhou Town, Wuning County	29°15' N, 115°40' E	红阳	WN-4	10
武宁县杨洲乡森峰村 Senfeng Village, Yangzhou Town, Wuning County	29°17' N, 115°39' E	红阳	WN-5	10

1.2 样本总 RNA 的提取

使用南京诺唯赞生物科技股份有限公司 FastPure Plant Total RNA Isolation Kit (Polysaccharides & Polyphenolics rich) 试剂盒提取猕猴桃病叶总 RNA。步骤如下:取 50 mg 猕猴桃病叶用液氮速冻研磨成粉末状,加入 1 mL RNA isolater,吹打至裂解液透明,4 ℃,12 000×g,离心 5 min;取上清液加入 200 μL 氯仿,剧烈震荡 15 s,4 ℃,静置 5 min,随后 4 ℃,12 000×g,离心 15 min,取上清水相液加入 600 μL 预冷异丙醇,颠倒混匀后 4 ℃,静置 10 min,然后 4 ℃,12 000×g,离心 10 min,保留沉淀,以体积分数 75% 乙醇洗涤沉淀,最后以 50 μL RNase-free ddH₂O 溶解沉淀,并检测 RNA 的纯度、浓度以及 RNA 的完整性。提取的总 RNA 置于-80 ℃冰箱保存。

1.3 RT-PCR

使用南京诺唯赞生物科技股份有限公司 HiScript III 1st Strand cDNA Synthesis Kit 进行样本总 RNA 第一链 cDNA 合成。反应体系(20 μL)如下:总 RNA 1 μg,10×RT Mix 2 μL,HiScript III Enzyme Mix 2 μL,Random hexamers 1 μL,RNase-free ddH₂O 5 μL;反应程序如下:25 ℃ 5 min,37 ℃ 45 min,85 ℃ 5 s,将产物第一链 cDNA 置于-20 ℃冷冻柜中保存。

使用南京诺唯赞生物科技股份有限公司 Phanta Max Master Mix 进行 PCR 反应。本研究 PCR 反应所使用的引物如表 2 所示。反应体系(50 μL)如下:模板 DNA 1 μL,2×Phanta Max Master Mix 25 μL,上游以及下游引物(10 μmol/L)各 2 μL,RNase-free ddH₂O 20 μL;以 RNase-free ddH₂O 作为阴性对照。反应程序如下:95 ℃ 3 min,95 ℃ 15 s,退火温度 15 s,72 ℃ 30 s,35 个循环;72 ℃ 5 min 彻底延伸。PCR 产物以 10 g/L 琼脂糖凝胶电泳检测,随后以南京诺唯赞生物科技股份有限公司 FastPure Gel DNA Extraction Mini Kit 进行回收与纯化。

表 2 用于样本病毒检测的 RT-PCR 检测引物
Tab.2 RT-PCR primers used for detecting viruses of samples

病毒名 Virus name	引物名 Primer name	引物序列(5'-3') Primer sequence	产物长度/bp Product length	参考文献 Reference
猕猴桃褪绿环斑相关病毒 AcCRaV	RaV-F	ATCCAAGAATTTCCTTAACAGCA	477	[11]
	RAV-R	TGTGCAATCATGGCTTATCAGA		
苹果茎沟病毒 ASGV	SGV-F	CCCGCTGTTGGATTTGATACACCTC	499	[12]
	SGV-R	GGAATTTTCACACGACTCCTAACCCCTCC		
猕猴桃病毒 1 AcV-1	CV1-F	TGAGCTRGRATAGATGTTGC	375	[13]
	CV1-R	TCTCTCAGGGTTMGGATGAGT		
柑橘叶斑驳病毒 CLBV	CLBV-F	AGCCATAGTTGAACCATTCCTC	453	[14]
	CLBV-R	GCATGTGGTGAATGATCTGC		
猕猴桃病毒 A AcVA	VA-F	CATCATTTCTCACGGGTAGGA	238	[15]
	VA-R	TCACACAGACACTCCACACAG		
猕猴桃病毒 B AcVB	VB-F	GTTTGCGAGGAGACGTAGGGC	342	[15]
	VB-R	AGTTAAGTGCTCTYGGRGGTGTG		
猕猴桃病毒 C AcVC	VC-F	GTACATCCCGTAAAAACAACTCA	213	本研究
	VC-R	CTAAGCACTCTCTGGCCTC		
猕猴桃病毒 D AcVD	VD-F	ATAAGAGAAGGGTTGGCGAGG	221	本研究
	VD-R	AATTCACGCAGGAGAACATCAA		
凤仙花环斑坏死病毒 INSV	INSV-F	GTCACCCTCTGATTGCCT	358	本研究
	INSV-R	ATGGATGTAAGCCCTTCTTTG		

续表 Continued				
病毒名 Virus name	引物名 Primer name	引物序列(5'-3') Primer sequence	产物长度/bp Product length	参考文献 Reference
猕猴桃山柰病毒 2 AcEV-2	EV2-F EV2-R	ATGCCTCCAAAAAGCAATAAC GTGCACAACACTATTTGCAATC	948	[16]
猕猴桃种传潜隐性病毒 ASbLV	bLV-F bLV-R	TGRCGGAYMGGCTGARARCKWTATTTCGG TTYGCAAAACTCCKGCAGACYTCCCTTAGC	240	[3]
苹果茎痘病毒 ASPV	SPV-F SPV-R	YCTTGCARGACAYTGTGCTGATGTTGG CCATAGAGCGGATSCGGWACATYTGAA	377	[3]
苹果潜隐球状病毒 ALSV	LSV-F LSV-R	RTAGGHCARGGKGCTTGYYTTGAGTA CCAATAGGCTGTAGTRCTGGCCATA	730	[3]
茶树线纹病毒 TPLPV	LPV-F LPV-R	GAGGCKTAYWTWAAAGCCTTATTGACC ATCATTTTGAAAGACGGTTTCTCGTCC	450	[3]
黄瓜花叶病毒 CMV	CMV-F CMV-R	CCAACCTTTGTAGGGAGTG TGCGGCATACTGATAAACC	306	本研究
长叶车前草花叶病毒 RMV	RMV-F RMV-R	ATATCTGTCAAGGAGTCAGAGACTT CGGCTTCTATCTTCACATCCT	328	本研究
黄瓜坏死病毒 CNV	CNV-F CNV-R	GAATGGAAACGGTGCTCT CGGGAACAAGAAAGGGTT	247	本研究
猕猴桃黄化病毒 1 AcYV1	YV1-F YV1-R	AGTGGAGAAGTATGCCGAACATA GTGACACCCAAGGGAAACCTG	212	本研究
猕猴桃黄化病毒 2 AcYV2	YV2-F YV2-R	ACGTTTCAGTCGGTACTTCCA CTATAACGGAGTAGGACACGCTG	243	本研究
猕猴桃黄化病毒 3 AcYV3	YV3-F YV3-R	GAACACGATGTGGGGAAG TGTAGAGTGAACACCAACCG	246	本研究
猕猴桃病毒 X AVX	ACX-F ACX-R	CTAGTAGGAACCACCCCTCA AAAGAAGTCAAAGCCAGCAAAG	207	本研究
番茄坏死斑相关病毒 TNSaV	SaV-F SaV-R	ACTGTCAGAGGTCTTACAAACCAA CCACCTATACAGGCATGAGTC	458	本研究
番茄斑萎病毒属病毒 TNSV	TNSV-F TNSV-R	CGATTCTGATGATTTGACCC TCAACTCCTGAAGCAGAAAGA	549	本研究
芜菁脉明病毒 TVCV	TVCV-F TVCV-R	GCAATCGTACCAAACACAA TGACTCCTCTTCCGTCTCTAT	205	本研究
猕猴桃黄化环斑病毒 AYRSpV	RSPV-F	TGCAGCTAGAAAGCAAGC	240	本研究
	RSPV-R	ATGATGACGAATCCTCGAAA		
苜蓿花叶病毒 AMV	AMV-F	GGATCTGATTTACAGGATGGTGT	322	本研究
	AMV-R	GAACGCCTTTCTCTCGACC		

1.4 载体连接

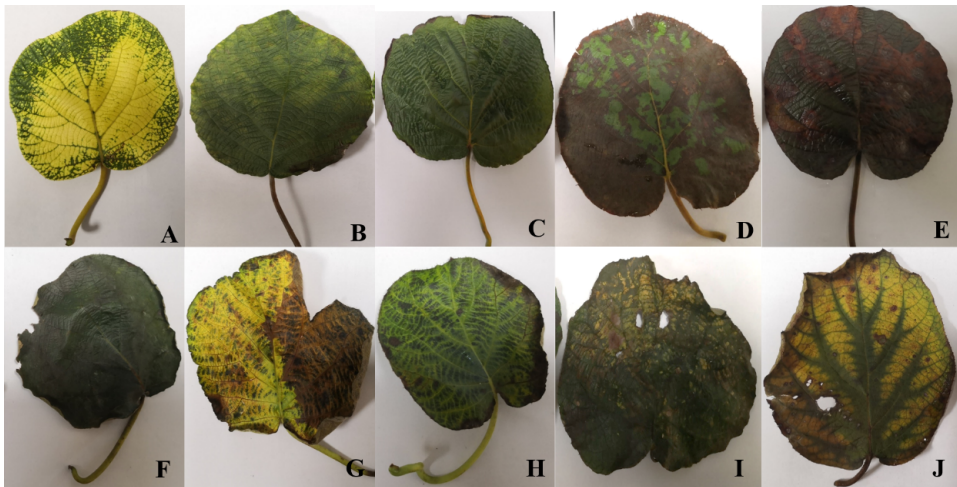
使用南京诺唯赞生物科技股份有限公司 5 min TA/Blunt-Zero Cloning Kit 进行 TA 克隆。反应体系 (5 μL) 如下: 纯化的 PCR 产物 1 μL, 5 × TA/Blunt-Zero Cloning Mix 1 μL, RNase-free ddH₂O 3 μL; 反应程序如下: 25 ℃ 5 min; 将连接产物全部转入 DH5α competent cells (南京诺唯赞生物科技股份有限公司), 以 PCR 鉴定阳性克隆菌落, 交由生工生物工程(上海)有限公司进行测序。

2 结果与分析

2.1 奉新与武宁猕猴桃病叶样本症状与病毒种类检测

采用奉新县与武宁县的 129 份疑似病毒侵染的猕猴桃叶片表现出包括脉明、褪绿、黄化、褐化、斑驳、皱缩和畸形等症状,多数病叶表现出 2 种及以上的复合症状(图 1、表 3),仅有少数叶片表现出单一症状。

对采自奉新与武宁的猕猴桃病叶样本按照具体采集地点进行分组,每组的病叶样品混合后提取样本总 RNA,通过猕猴桃病毒特异性引物进行 RT-PCR 扩增,检测每组混合病叶样本含有的病毒种类。结果表明,奉新与武宁的猕猴桃病叶样本中未能检出 AcYV1、AcYV2、AcEV-2、TVCV、RMV、INSV、CNV 和 AVX 8 种病毒的特异性条带,而其余 17 种待检测病毒均检测到有特异性条带(图 2、表 4)。将条带所含 DNA 片段连接载体、测序并与 NCBI(National Center for Biotechnology Information, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)数据库中现有序列进行比对,确认 RT-PCR 扩增所得为目的病毒片段,从而确认采自奉新与武宁的猕猴桃病叶样本中存在不同种类的病毒侵染。



A~E:奉新疑似病毒侵染的猕猴桃叶片样本(FX-1至FX-5);F~J:武宁疑似病毒侵染的猕猴桃叶片样本(WN-1至WN-5)。

A~E:Suspected virus-infected kiwifruit leaf samples of suspected Fengxin County (FX-1 to FX-5);

F~J:Suspected virus-infected kiwifruit leaf samples of Wuning County (WN-1 to WN-5).

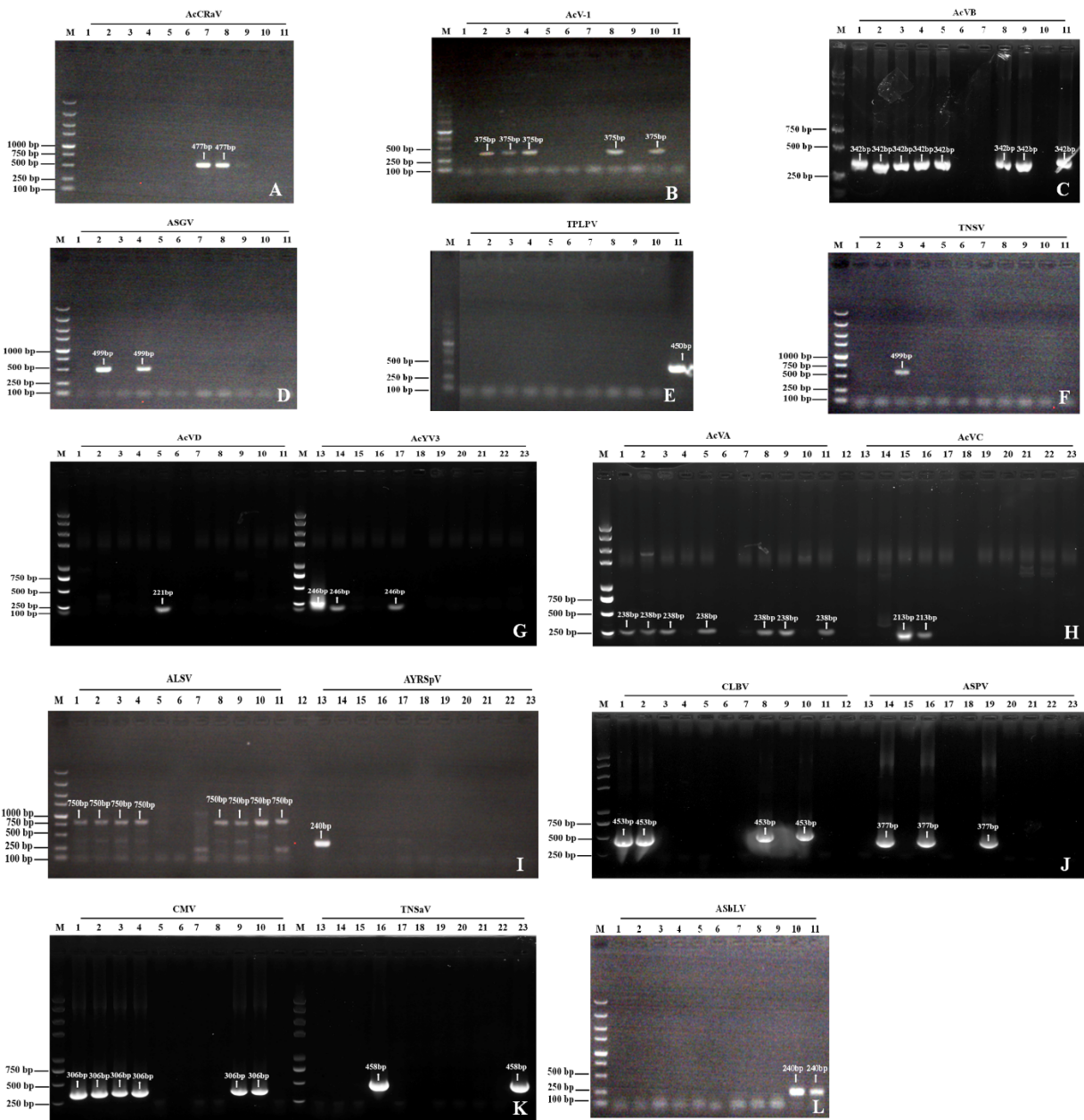
图 1 疑似病毒侵染的猕猴桃叶片样本

Fig.1 Suspected virus-infected kiwifruit leaf samples

表 3 奉新与武宁猕猴桃病毒病叶样本症状

Tab.3 Symptoms of virus-infected kiwifruit leaves in Fengxin County and Wuning County

样本编号 Sample ID	品种 Cultivar	症状 Symptoms
FX-1	金果	褪绿、黄化、斑驳
FX-2	金艳	斑驳、皱缩
FX-3	金果	皱缩、脉明
FX-4	红阳	褐化、皱缩
FX-5	东红	褐化、皱缩
WN-1	红阳	皱缩、畸形
WN-2	红阳	皱缩、畸形、黄化、褐化、斑驳
WN-3	红阳	皱缩、脉明、斑驳
WN-4	红阳	皱缩、畸形、斑驳、褐化
WN-5	红阳	皱缩、黄化



RT-PCR 检测样本中猕猴桃病毒种类。M:Trans2K[®] Plus DNA 分子量标准;泳道 1~5,泳道 13~17:从奉新县采集的 5 组病叶样品 (FX-1 至 FX-5);泳道 7~11,泳道 19~23:从武宁县采集的 5 组病叶样品 (WN-1 至 WN-5);泳道 6 与泳道 18:阴性对照;A: AcCRaV 的检测;B: AcV-1 的检测;C: AcVB 的 RT-PCR 检测;D: ASGV 的 RT-PCR 检测;E: TPLPV 的 RT-PCR 检测;F: TNSV 的 RT-PCR 检测;G: AcVD 和 AcYV3 的 RT-PCR 检测;H: AcVA 和 AcVC 的 RT-PCR 检测;I: ALSV 和 AYRSpV 的 RT-PCR 检测;J: CLBv 和 ASPV 的 RT-PCR 检测;K: CMV 和 TNSaV 的 RT-PCR 检测;L: ASbLV 的 RT-PCR 检测。

RT-PCR detection of kiwifruit viruses in each sample.M:Trans2K[®] Plus DNA marker;Lane 1-5 and lane 13-17: samples collected from Fengxin County (FX-1 to FX-5);Lane 7-11 and lane 19-23: samples collected from Wuning County (FX-1 to FX-5);A: RT-PCR detection of AcCRaV;B: RT-PCR detection of AcV-1;C: RT-PCR detection of AcVB;D: RT-PCR detection of ASGV;E: RT-PCR detection of TPLPV;F: RT-PCR detection of TNSV;G: RT-PCR detection of AcVD and AcYV3;H: RT-PCR detection of AcVA and AcVC;I: RT-PCR detection of ALSV and AYRSpV;J: RT-PCR detection of CLBv and ASPV;K: RT-PCR detection of CMV and TNSaV;L: RT-PCR detection of ASbLV.

图 2 猕猴桃病毒的 RT-PCR 检测

Fig.2 RT-PCR detection of kiwifruit viruses

2.2 奉新与武宁猕猴桃病叶样本的病毒种类以及检出率分析

对奉新与武宁两地采集的 129 份猕猴桃病叶样本进行病毒种类分析,结果显示 129 份样品中共检出 17 种病毒,病毒检出率为 85.27%,其中 AcVB、AcVA、CMV 和 CLBv 在奉新与武宁两地猕猴桃病叶样本中

检出率较高,分别达到 50.39%、45.73%、42.64% 和 39.53%(图 3A),其次为 ALSV(17.83%)、AcCRaV(17.83%)和 AcV-1(14.73%)。但两地检出的猕猴桃病毒种类不完全一致,在奉新县采集的 64 份猕猴桃病叶样本中,检出率较高的病毒为 CMV(54.69%)、AcVA(51.56%)、AcVB(51.56%)、CLBV(42.18%),AYRSpV、AcVC、AcVD、ASGV、TNSV 和 AcYV3 仅在奉新地区病叶样本中检出(图 3B);在武宁县采集的 65 份猕猴桃病叶样本中,检出率较高的病毒为 AcVB(49.23%)、AcVA(40.00%)、CLBV(36.92%)、AcCRaV(33.85%)和 CMV(30.77%),而 AcCRaV、ASbLV 和 TPLPV 仅在武宁地区病叶样本中检出(图 3C)。以上结果说明奉新与武宁猕猴桃种植区发生的猕猴桃病毒种类多,病毒侵染情况复杂。

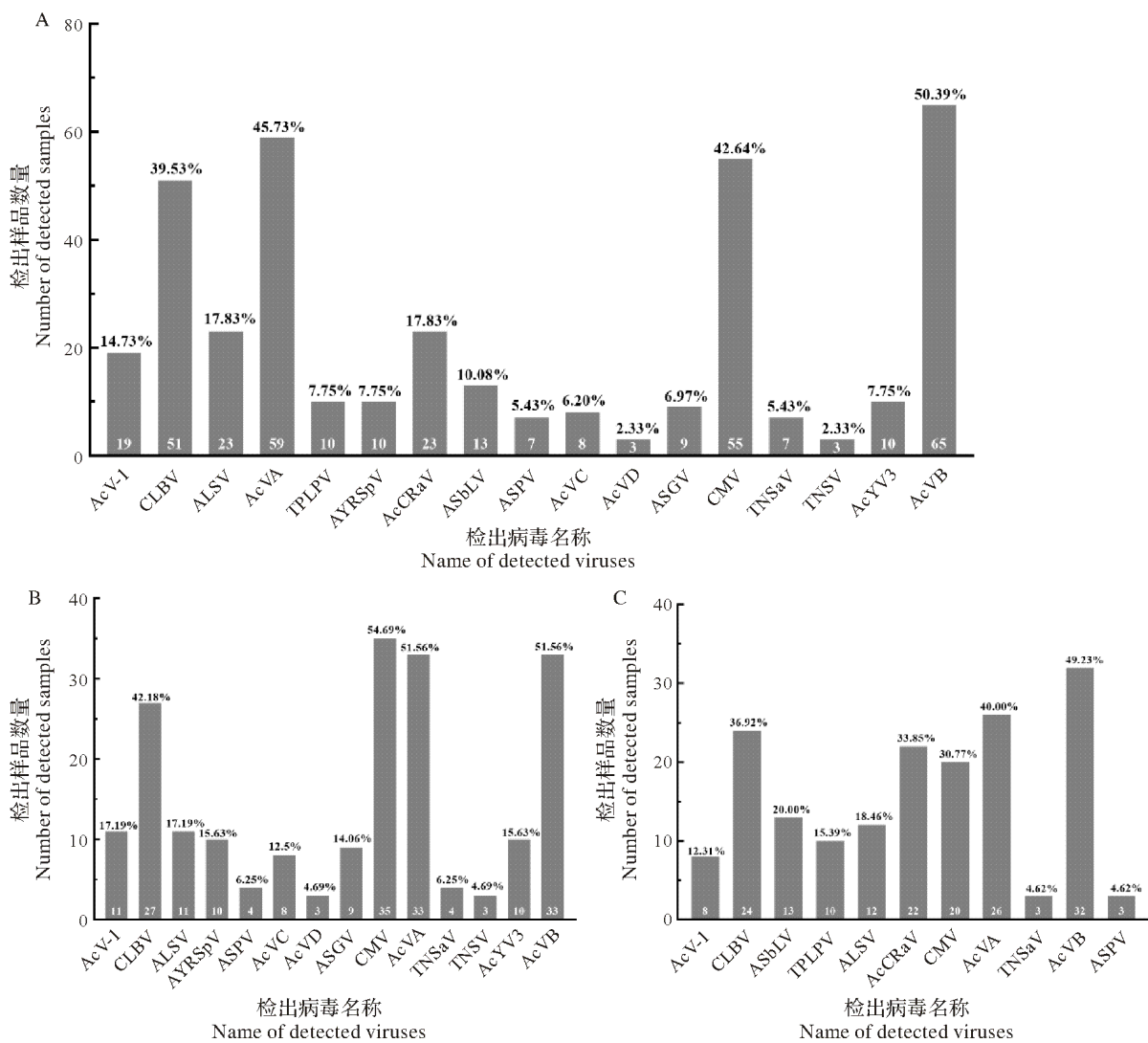
表 4 猕猴桃病叶样本病毒检出率

Tab.4 Detection rate of virus-infected kiwifruit leaf samples

病毒名称 Virus name	检出率/% Detection rate									
	FX-1	FX-2	FX-3	FX-4	FX-5	WN-1	WN-2	WN-3	WN-4	WN-5
猕猴桃病毒 1 AcV-1	0	25.00	14.29	33.33	20.00	0	33.33	0	30.00	0
柑橘叶斑驳病毒 CLBV	93.75	100.00	0	0	0	0	100.00	0	90.00	0
猕猴桃种传潜隐性病毒 ASbLV	0	0	0	0	0	0	0	0	70.00	60.00
茶树线纹病毒 TPLPV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00
猕猴桃黄化病毒 1 AcYV1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
猕猴桃黄化病毒 2 AcYV2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苹果潜隐球状病毒 ALSV	12.50	33.33	21.43	16.67	0	0	20.00	41.67	30.00	10.00
猕猴桃黄化环斑病毒 AYRSpV	62.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苹果茎痘病毒 ASPV	0	16.67	0	16.67	0	25.00	0	0	0	0
苜蓿花叶病毒 AMV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
猕猴桃褪绿环斑相关病毒 AcCRaV	0	0	0	0	0	83.33	80.00	0	0	0
猕猴桃山柰病毒 2 AcEV-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
芜菁脉明病毒 TVCV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
长叶车前草花叶病毒 RMV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
猕猴桃病毒 C AcVC	0	0	35.71	25.00	0	0	0	0	0	0
猕猴桃病毒 D AcVD	0	0	0	0	30.00	0	0	0	0	0
凤仙花环斑坏死病毒 INSV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苹果茎沟病毒 ASGV	0	41.67	0	33.33	0	0	0	0	0	0
黄瓜花叶病毒 CMV	68.75	75.00	50.00	75.00	0	0	0	66.67	80.00	0
黄瓜坏死病毒 CNV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
猕猴桃病毒 A AcVA	50.00	75.00	71.43	0	60.00	0	66.67	55.56	0	70.00
猕猴桃病毒 X AVX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
番茄坏死斑相关病毒 TNSaV	0	0	0	33.33	0	0	0	0	0	30.00
番茄斑萎病毒属病毒 TNSV	0	0	21.43	0	0	0	0	0	0	0
猕猴桃黄化病毒 3 AcYV3	37.50	16.67	0	0	20.00	0	0	0	0	0
猕猴桃病毒 B AcVB	50.00	75.00	71.43	0	70.00	0	66.67	66.67	0	80.00

2.3 奉新与武宁猕猴桃病叶样本病毒复合侵染类型分析

通过 RT-PCR 方法,对奉新与武宁猕猴桃病毒侵染的病叶样本进行逐份检测,结果表明 129 份样品中共有 100 份样本检测到病毒复合侵染,复合侵染率为 77.52%,病毒复合侵染现象在病叶样本中普遍发生。在奉新县采集的被病毒感染的猕猴桃病叶样本中,1 份样本为单一病毒 CLBV 侵染,占奉新县病毒感染样本总数的 2.27%;2 种病毒混合侵染以及 3 种病毒复合侵染的样品各有 5 份,均占 11.36%;17 份样



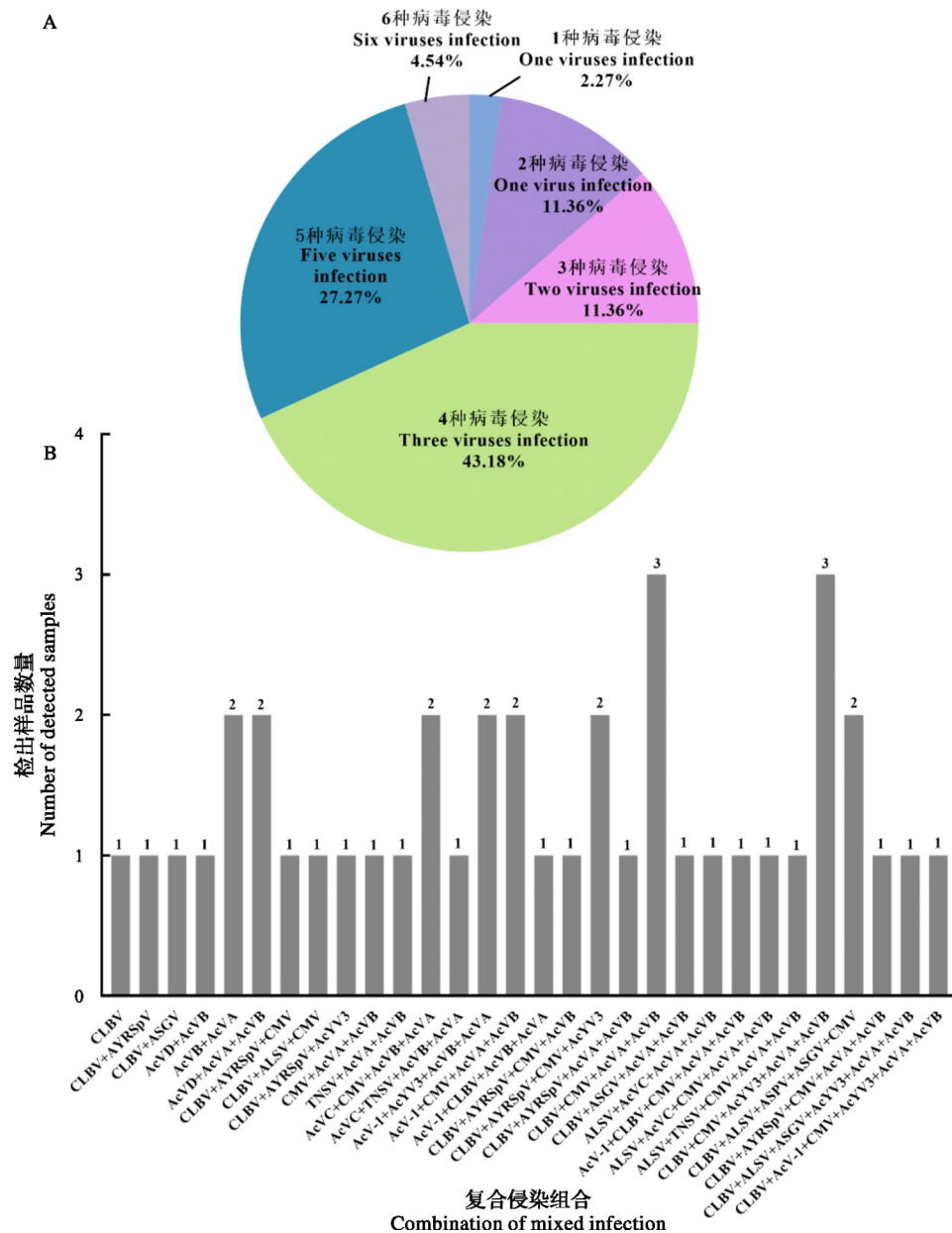
A: 奉新与武宁采集的 129 份猕猴桃病叶样本检出病毒种类及含有相应病毒的样品数量, 柱上方数值表示相应病毒检出率; B: 64 份奉新猕猴桃病叶样本检出病毒种类及含有相应病毒的样品数量, 柱上方数值表示相应病毒检出率; C: 65 份武宁猕猴桃病叶样本病毒检出种类及含有相应病毒的样品数量, 柱上方数值表示相应病毒检出率。

A: The virus types and detection rates of 129 virus-infected kiwifruit leaf samples from Fengxin County and Wuning County, the value above the column indicates the detection rates of corresponding virus; B: The virus types and detection rates of 64 virus-infected kiwifruit leaf samples from Fengxin County; the value above the column indicates the detection rates of corresponding virus; C: The virus types and detection rates of virus-infected kiwifruit leaf 65 samples from Wuning County; the value above the column indicates the detection rates of corresponding virus.

图 3 奉新与武宁猕猴桃病叶样本的病毒检出种类及病毒检出率

Fig.3 Types and detection rates of kiwifruit viruses from Fengxin County and Wuning County

本为 4 种病毒复合侵染, 占 43.18%; 12 份样本为 5 种病毒复合侵染, 占 27.27%; 2 份样本为 6 种病毒复合侵染, 占 4.54% (图 4A)。进一步分析奉新县病毒侵染的猕猴桃病叶样本的复合侵染类型, 2 种病毒的复合侵染类型共有 4 种, 其中有 2 份样本检出 AcVA+AcVB 的侵染组合 (图 4B); 3 种病毒的复合侵染类型共 6 种, 其中有 2 份样本检出 AcVA+AcVB+AcVD 的复合侵染组合 (图 4B); 4 种病毒的复合侵染类型共 11 种, 其中有 3 份样本检出 CLBV+CMV+AcVA+AcVB 的复合侵染组合 (图 4B); 5 种病毒的复合侵染类型共 6 种, 其中有 3 份样本检出 CLBV+ALSV+CMV+AcVA+AcVB 的复合侵染组合 (图 4B); 6 种病毒的复合侵染组合仅有 2 种, 各检出 1 份样品 (图 4B)。上述结果表明, 奉新县病毒侵染的猕猴桃病叶样本中病毒侵染组合种类多, 复合侵染类型复杂, 其中 CLBV+CMV+AcVA+AcVB 以及 CLBV+ALSV+CMV+AcVA+AcVB 为主要复合侵染组合。



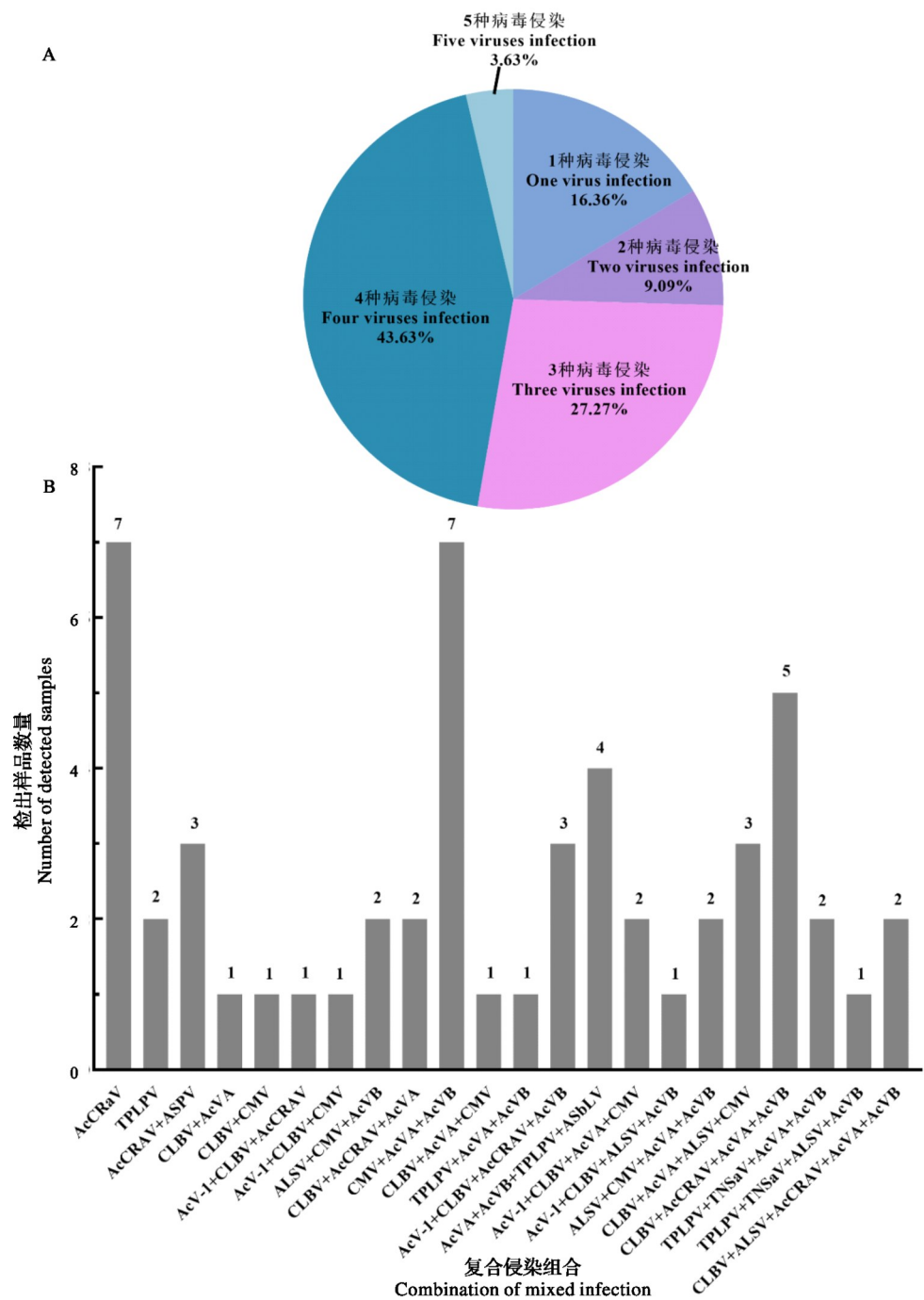
A: 奉新猕猴桃病叶病毒侵染类型; B: 奉新猕猴桃病叶病毒复合侵染组合, 柱上方数值表示病毒复合侵染组合检出数量。

A: The types of kiwifruit virus infection in Fengxin County; B: The combination of mixed kiwifruit virus infection in Fengxin County. The values above the column indicates the number of mixed kiwifruit virus combination.

图 4 奉新猕猴桃病叶病毒复合侵染分析

Fig.4 Analysis of mixed kiwifruit virus combination in Fengxin County

在武宁县采集的病毒侵染的猕猴桃病叶样本中, 9 份样本为单一病毒 (AcCRaV/TPLPV) 侵染, 占武宁县病毒侵染的猕猴桃病叶样本总数 16.36%, 其中 7 份样本检出 AcCRaV 的单独侵染; 5 份样本为 2 种病毒复合侵染, 占 9.09%; 15 份样本为 3 种病毒复合侵染, 占 27.27%; 24 份样本为 4 种病毒混合侵染, 占 43.63%; 2 份样本为 5 种病毒混合侵染, 占 3.63% (图 5A)。分析武宁县病毒侵染的猕猴桃病叶样本的复合侵染类型, 结果表明病毒侵染的猕猴桃病叶样本中, 2 种病毒的复合侵染类型共有 3 种, 其中 3 份样本检出 AcCRaV+ASPV 的复合侵染组合; 3 种病毒的复合侵染类型共 7 种, 其中 CMV+AcVA+AcVB 的复合侵染组合检出 7 份样本; 4 种病毒的复合侵染类型共 6 种, 其中 CLBV+AcCRaV+AcVA+AcVB 有 5 份样本检出 (图 5B); 5 种病毒的复合侵染类型共 1 种, 检出 2 份样本。上述结果表明, 武宁的猕猴桃病毒复合侵染类型也较为复杂, 主要复合侵染组合为 CMV+AcVA+AcVB 以及 CLBV+AcCRaV+AcVA+AcVB。但与奉新相比, 武宁病毒侵染病叶样本的复合侵染种类较少, 多个样本检出单一病毒 AcCRaV 的单独侵染。



A:武宁猕猴桃病叶病毒侵染类型;B:武宁猕猴桃病叶病毒复合侵染组合,柱上方数值表示病毒复合侵染组合检出数量。

A:The types of kiwifruit virus infection in Wuning County;B:The combination of mixed kiwifruit virus infection in Wuning County.The values above the column indicates the number of mixed kiwifruit virus combination.

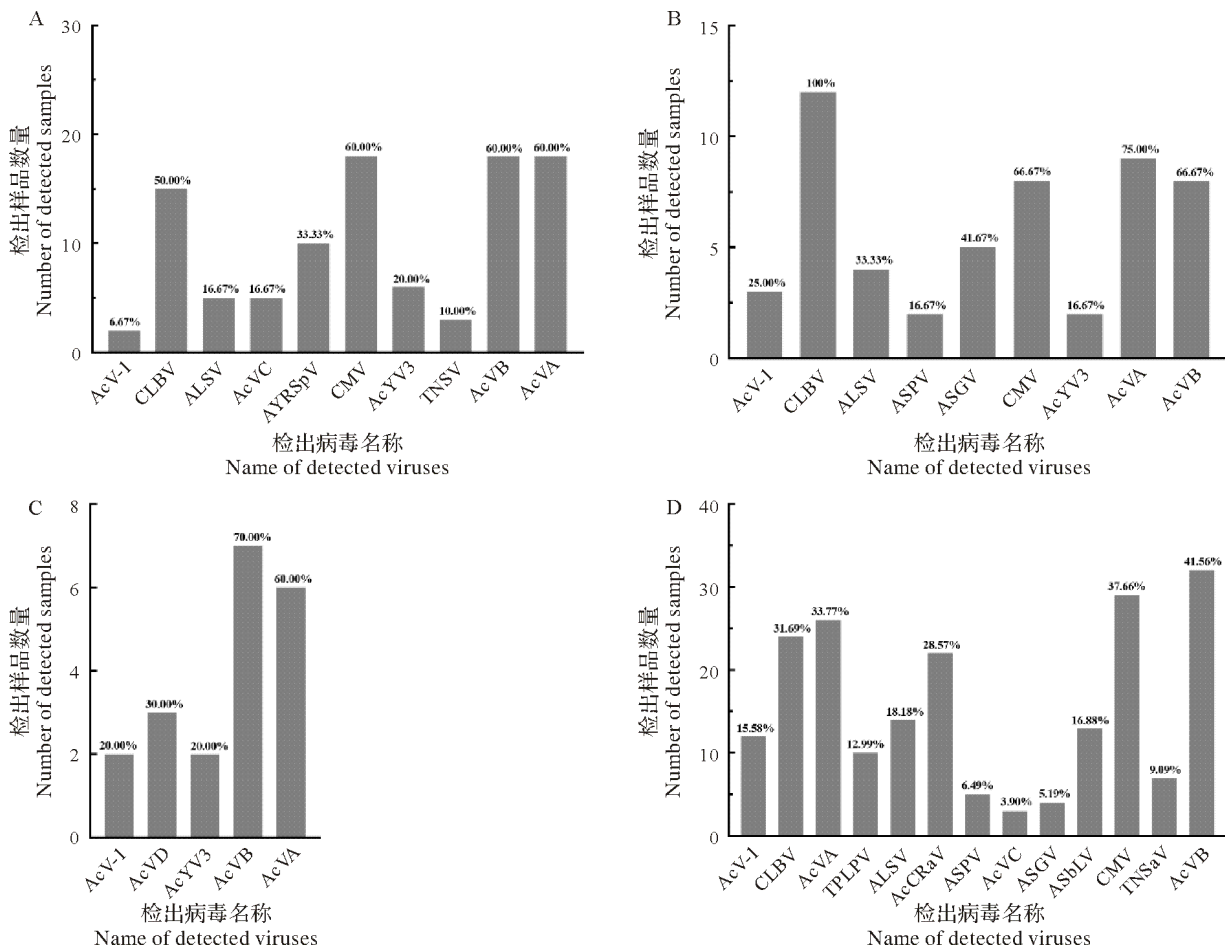
图5 武宁猕猴桃病叶病毒复合侵染分析

Fig.5 Analysis of mixed kiwifruit virus combination in Wuning County

2.4 不同品种猕猴桃病叶样本的检出病毒种类以及检出率分析

在奉新与武宁两地共采集‘金果’‘金艳’‘红阳’‘东红’4个品种的猕猴桃病叶样本。为分析检出病毒种类、病毒检出率与猕猴桃品种的关联,对不同品种猕猴桃病叶样本的病毒检出种类以及病毒检出率进行分析。‘金果’样本的病毒检出率为 83.33%,共检出 AcV-1、CLBV、ALSV、AcVC、AYRSPV、CMV、ACYV3、TNSV、AcVA 和 AcVB 10 种病毒,病毒为害较为严重。其中 CMV、AcVA、AcVB 以及 CLBV 的检出率较高,分别为 50%、60%、60% 和 60%(图 6A);‘金艳’样本的病毒检出率为 100%,共检出 AcV-1、CLBV、ALSV、ASPv、ASGV、CMV、AcYV3、AcVA 和 AcVB 9 种病毒,其中 CLBV 在‘金艳’样本中均有检

出,CMV、AcVA 与 AcVB 的检出率也较高,分别为 66.67%、75% 和 66.67%(图 6B);‘东红’样本的病毒检出率为 70%,但病毒检出种类较少,共检出 AcV-1、AcVD、AcYV3、AcVA 和 AcVB 5 种病毒,其中 AcVA 与 AcVB 的检出率最高,分别为 70% 和 60%,猕猴桃病毒危害相对较轻,(图 6C);‘红阳’样本的病毒检出率为 85.71%,共检出 AcV-1、CLBV、AcVA、TPLPV、ALSV、AcCRaV、ASPV、AcVC、ASGV、ASbLV、CMV、TNSaV 和 AcVB 13 种病毒,病毒危害较为严重。其中 AcVB、CMV、AcVA 和 CLB 的检出率较高,分别为 41.56%、37.66%、33.77% 和 31.69%(图 5D)。上述结果表明,在奉新与武宁采集的 4 个品种猕猴桃病毒检出率均较高,品种间检出率差异不明显;但品种间检出病毒数目差异较大,‘东红’仅检出 4 种病毒,而‘红阳’共检出 13 种病毒。不同品种间检出病毒种类也有差异,如 AYRSpV、TNSV 仅在‘金果’中检出,AcCRaV、TPLPV、TNSaV、ASbLV 仅在‘红阳’中检出,而 AcVD 仅在‘东红’中检出。



柱状图上方数值表示病毒检出率。A:‘金果’样本病毒检出种类及检出率;B:‘金艳’样本病毒检出种类及检出率;C:‘东阳’样本病毒检出种类及检出率;D:‘红阳’样本病毒检出种类及检出率。

The values above the histogram indicates the detection rates of kiwifruit viruses.A:The virus types and detection rates of ‘Jinguo’;B:The virus types and detection rates of ‘Jinyan’;C:The virus types and detection rates of ‘Dongyang’;D:The virus types and detection rates of ‘Hongyang’.

图 6 不同品种猕猴桃病毒检出种类及检出率

Fig.6 Types and detection rates of viruses in different kiwifruit cultivars

3 讨论与结论

本研究采用 RT-PCR 方法,对采自奉新县与武宁县的猕猴桃病叶样本进行病毒种类与复合侵染类型分析,并分析了不同品种的检出病毒种类以及病毒检出率。结果表明,奉新县与武宁县猕猴桃病毒病发生普遍,侵染猕猴桃的病毒种类多,其中检出的优势病毒为 AcVA、AcVB、CMV 和 CLB,ALSV、AcCRaV 以及 AcV-1 也有较多发生。奉新与武宁两地均普遍发生病毒复合侵染,复合侵染组合复杂,主要以 CMV、CLBV、AcVB、AcVA 和 AcCRaV 的复合侵染为主。CMV 属于雀麦花叶病毒科(Bromoviridae),黄

瓜花叶病毒属(*Cucumovirus*),在世界范围内分布广泛^[17]。CMV 寄主范围超过 1 100 种植物,可通过种子以及蚜虫传播^[10]。CMV 侵染可造成猕猴桃叶片花叶与畸形^[18],在中国四川以及陕西等地发病率约为 20%^[9,18]。CLBV 属于 β 线性病毒科(*Betaflexiviridae*),柑橘病毒属(*Citivirus*),在我国与新西兰均有分布,其寄主范围较广,柑橘、猕猴桃、樱桃等果树均能被 CLBV 侵染^[10]。CLBV 在果树中主要通过嫁接传播,猕猴桃被 CLBV 侵染后叶片会出现明脉和黄化等症状,目前未发现有媒介昆虫能够传播 CLBV^[19]。CLBV 在中国安徽、湖北等地发生率为 13.3%^[20],在陕西发生率为 28.5%^[19],温少华^[3]检测了重庆、湖北和河南等地的猕猴桃叶片样品,CLBV 的发生率为 15.9%。AcVA 与 AcVB 均属于 β 线性病毒科(*Betaflexiviridae*),葡萄病毒属(*Vitivirus*),在我国、新西兰、意大利等地均有分布,2 种病毒常发生复合侵染^[21]。Zheng 等^[22]于 2014 年对我国湖北、安徽、陕西、浙江、江西和云南的猕猴桃样本进行调查,结果表明 AcVA 与 AcVB 的发生率为 15%~17%;赵磊等^[23]于 2018 年调查陕西等地猕猴桃病毒,结果表明 AcVA 和 AcVB 发生率分别为 29.3% 和 27.7%。AcCRaV 属无花果花叶病毒科(*Fimoviridae*),欧洲花楸环斑病毒属(*Emaravirus*),其寄主范围较小,猕猴桃是 AcCRaV 的天然寄主^[10]。AcCRaV 在我国安徽、湖北、浙江、山西和云南等地广泛分布^[24],猕猴桃被 AcCRaV 侵染后叶片会出现褪绿环斑,可能通过嫁接和一些螨类昆虫传播^[25]。赵磊等^[26]对陕西猕猴桃病毒的调查表明 AcCRaV 的发生率为 24.3%。王赛博等^[27]利用小 RNA 技术对江西奉新猕猴桃种植区的 23 份样本进行病毒种类调查,结果显示 2020 年奉新猕猴桃种植区猕猴桃病毒病的毒原主要有 AcVA、AcVB、AcCRaV 和 CLBV,检出率依次为 87.0%、56.5%、65.2% 和 60.9%,优势毒原为 AcVA。本研究结果表明 2022 年奉新猕猴桃种植区猕猴桃病毒病的毒原主要有 CMV、AcVA、AcVB 和 CLBV,而 AcCRaV 的单一侵染以及复合侵染在武宁猕猴桃种植区发生较多。对比 2020 年的检测结果,主要检出病毒种类略有变化,可能原因是近年来奉新县猕猴桃种植区引进苗木资源来源变化以及采样地点不同。猕猴桃主要通过嫁接繁殖,近年来奉新与武宁从外地引进猕猴桃苗木较为频繁,缺乏对苗木携带病毒的检测,而嫁接是猕猴桃病毒传播的重要途径,加之蚜虫、叶螨等媒介害虫时有发生,造成了猕猴桃病毒在两地的传播蔓延。不同地区来源的苗木本身携带的病毒种类不同以及媒介害虫对病毒的传播又造成了奉新与武宁地区病毒种类的差异,同时也加大了对奉新与武宁猕猴桃病毒来源的追溯以及关键致病因子的研究难度。对于奉新与武宁的猕猴桃病毒病的防控,需注意控制虫害发生以及苗木携带病毒的检测工作。

由于猕猴桃病毒复合侵染现象普遍发生,故而猕猴桃病毒病症状复杂多样,但对猕猴桃病毒复合侵染类型研究相对较少。现有研究鉴定的较多发生的复合侵染类型有 AcCRaV+CLBV+AcVB+AcVA^[28]、AcCRaV+AcVB+AcVA^[29]、AcV-1+CLBV^[3]、AcV-1+ASbLV^[3]、AcV-1+ALSV+ASbLV+ASGV+ASPV^[3]等。本研究表明,2022 年在奉新与武宁猕猴桃种植区病毒侵染的病叶样本中,CMV+AcVA+AcVB 以及 CLBV+AcCRaV+AcVA+AcVB 的复合侵染组合发生较多。本研究发现 AcV-1、CMV、CLBV、ALSV、AcVA、AcCRaV 与 AcVB 常与其他病毒复合侵染,但 CLBV、AcCRaV 与 TPLPV 也有单独侵染的情况发生,与温少华^[3]、王赛博^[28]和郑亚洲^[29]的鉴定结果一致。这些病毒之间的互作关系以及复合侵染机制还有待研究。

本研究分析了奉新与武宁的不同品种猕猴桃所检出的病毒种类。相较于本研究中的其他品种,‘东红’所检出的病毒种类最少,该结果与王赛博^[28]的研究结果一致。‘东红’是中国科学院武汉植物园从‘红阳’品种中选育而成的红心猕猴桃新品种,对软腐病、黑斑病有较高的抗性,耐受高湿干旱,适于长江中下游猕猴桃产区种植^[30]。在实际生产中,为有效防控猕猴桃病毒病的发生,可以在奉新与武宁两地适当扩大‘东红’的种植面积。虽然本研究结果表明‘东红’检出的病毒种类较少,但仍需注意苗木的病毒检测以及虫害防控,减少 AcVA 与 AcVB 的侵染。

致谢:江西省科学院省级财政科研项目经费包干制试点示范项目(2022YSBG22008、2022YSBG22013、2022YSBG21006)、江西省省级科学院基础研究与人才专项(2022YYB22、2024YYB05)、江西省科学院基础研究一般项目(2022YJC2007、2022YJC2008)和江西省科技对口支援项目(20250BFA99002)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

[1] 翟金良.我国猕猴桃产业存在的问题及发展对策[J].科技促进发展,2015(4):521-529.

ZHAI J L.Problems and development countermeasures of kiwifruit industry in China[J].Science and technology promote development,2015(4):521-529.

- [2] 方金豹,钟彩虹.新中国果树科学研究70年:猕猴桃[J].果树学报,2019,36(10):1352-1359.
FANG J B,ZHONG C H.Fruit scientific research in new China in the past 70 years:kiwifruit[J].Journal of fruit science, 2019,36(10):1352-1359.
- [3] 温少华.猕猴桃宏病毒组学分析及三种新发生病毒的分子特性研究[D].武汉:华中农业大学,2020.
WEN S H.Metagenome sequencing of viruses infecting kiwifruit and molecular characterization of three newly identified viruses[D].Wuhan:Huazhong Agricultural University,2020.
- [4] 张阿玲.猕猴桃病毒检测、脱除技术建立及其抑制寄主生长机理研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2024.
ZHANG A L.Establishment of kiwifruit virus detection and eradication techniques and its mechanism of inhibiting host growth[D].Xianyang:Northwest A&F University,2024.
- [5] ZHANG G D,BAI B X,XU M,et al.Advances in and prospects for *Actinidia* viruses[J].Plant disease,2022,106(5):1321-1329.
- [6] LEE H J,JEONG R D.Metatranscriptomic analysis of plant viruses in imported pear and kiwifruit pollen[J].The plant pathology journal,2022,38(3):220-228.
- [7] 王然,周丹,罗静,等.猕猴桃病毒病研究进展[J].果树学报,2017,34(8):1043-1050.
WANG R,ZHOU D,LUO J,et al.Progress report on viruses of kiwifruit[J].Journal of fruit science,2017,34(8):1043-1050.
- [8] ZHAO L,WANG J K,SUJATA S,et al.Viromics reveals the viral diversity in cultivated and wild kiwifruit[J].Plant disease,2022,106(12):3120-3126.
- [9] ZHAO L,YANG W,ZHANG Y,et al.Occurrence and molecular variability of kiwifruit viruses in *Actinidia deliciosa* 'Xuxiang' in the Shaanxi Province of China[J].Plant disease,2019,103(6):1309-1318.
- [10] 刘欢,刘斐,沈雷雷.我国猕猴桃病毒病发生种类与检测技术研究进展[J].陕西农业科学,2023,69(6):98-104.
LIU H,LIU F,SHEN L L.Advance of research in viral species and detection technology of kiwifruit in China[J].Shaanxi journal of agricultural sciences,2023,69(6):98-104.
- [11] ZHENG Y Z,NAVARRO B,WANG G P,et al.*Actinidia chlorotic ringspot-associated virus*: a novel emaravirus infecting kiwifruit plants[J].Molecular plant pathology,2017,18(4):569-581.
- [12] JAMES D.A simple and reliable protocol for the detection of *Apple stem grooving virus* by RT-PCR and in a multiplex PCR assay[J].Journal of virological methods,1999,83(1):1-9.
- [13] WEN S H,ZHU C X,HONG N,et al.First report of *Actinidia* virus 1 infecting kiwifruit in China[J].Plant disease,2019,103(4):780.
- [14] HARPER S J,DAWSON T E,PEARSON M N.Complete genome sequences of two distinct and diverse *Citrus tristeza virus* isolates from New Zealand[J].Archives of virology,2009,154(9):1505-1510.
- [15] BLOUIN A G,CHAVAN R R,PEARSON M N,et al.Detection and characterisation of two novel vitiviruses infecting *Actinidia*[J].Archives of virology,2012,157(4):713-722.
- [16] WANG Y X,ZHAI L F,WEN S H,et al.Molecular characterization of a novel emaravirus infecting *Actinidia* spp. in China[J].Virus research,2020,275:1-6.
- [17] MORRONI M,THOMPSON J R,TEPFER M.Twenty years of transgenic plants resistant to *Cucumber mosaic virus*[J].Molecular plant-microbe interactions,2008,21(6):675-684.
- [18] WANG D,LIU X X,LI T T,et al.First report of *cucumber mosaic virus* infection in kiwifruit(*Actinidia chinensis*)in China[J].Plant disease,2018,102(6):1180.
- [19] 刘欢,米伟丽,刘斐,等.猕猴桃植株中柑橘叶斑驳病毒实时荧光定量PCR检测技术的建立及应用[J].植物病理学报,2019,49(2):167-173.
LIU H,MI W L,LIU F,et al.Development and evaluation of a real-time fluorescent quantitative PCR assay for detection of *Citrus leaf blotch virus* in kiwifruit plants[J].Acta phytopathologica Sinica,2019,49(2):167-173.
- [20] 朱晨熹,王国平,郑亚洲,等.来源于猕猴桃的柑橘叶斑驳病毒的RT-PCR检测及外壳蛋白基因序列分析[J].植物病理学报,2016,46(1):11-16.
ZHU C X,WANG G P,ZHENG Y Z,et al.RT-PCR detection and sequence analysis of coat protein gene of *Citrus leaf blotch virus* infecting kiwifruit trees[J].Acta phytopathologica Sinica,2016,46(1):11-16.
- [21] BLOUIN A G,PEARSON M N,CHAVAN R R,et al.Viruses of kiwifruit(*Actinidia* species)[J].Journal of plant pathology,2013,95(2):221-235.

- [22] ZHENG Y Z, WANG G P, HONG N, et al. First report of *Actinidia virus A* and *Actinidia virus B* on kiwifruit in China[J]. Plant disease, 2014, 98(11): 1590.
- [23] 赵磊, 张元乐, 黄倩茹, 等. 猕猴桃病毒 A 和 B 在陕西省的分布、分子变异与基因组研究[J]. 园艺学报, 2020, 47(7): 1383-1390.
- ZHAO L, ZHANG Y L, HUANG Q R, et al. Distribution, molecular characterization and genome sequence of *Actinidia virus A* (AcVA) and *Actinidia virus B* (AcVB) in Shaanxi[J]. Acta horticulturae Sinica, 2020, 47(7): 1383-1390.
- [24] ZHAO L, CAO M J, HUANG Q R, et al. Occurrence and molecular characterization of *Actinidia virus C* (AcVC), a novel vitivirus infecting kiwifruit (*Actinidia* spp.) in China[J]. Plant pathology, 2020, 69(4): 775-782.
- [25] MIELKE-EHRET N, THOMA J, SCHLATERMUND N, et al. Detection of European mountain ash ringspot-associated virus-specific RNA and protein P3 in the pear leaf blister mite *Phytoptus pyri* (Eriophyidae)[J]. Archives of virology, 2010, 155(6): 987-991.
- [26] 赵磊, 吴宽, 顾沛雯, 等. 猕猴桃褪绿环斑相关病毒在陕西省的分布、分子变异及其 2 个分离物的基因组序列[J]. 植物保护学报, 2020, 47(2): 365-371.
- ZHAO L, WU K, GU P W, et al. Distribution, molecular characterization of *Actinidia chlorotic ringspot-associated virus* (Ac-CRAV) from *Actinidia* in Shaanxi and complete genome sequences of two isolates[J]. Journal of plant protection, 2020, 47(2): 365-371.
- [27] 王赛博, 张凯东, 刘冰, 等. 利用小 RNA 测序鉴定江西奉新猕猴桃病毒种类[J]. 中国南方果树, 2023, 52(6): 183-186.
- WANG S B, ZHANG K D, LIU B, et al. Identification of virus species of kiwifruit in Fengxin of Jiangxi Province by small RNA sequencing[J]. South China fruits, 2023, 52(6): 183-186.
- [28] 王赛博. 奉新县猕猴桃病毒病原鉴定与检测[D]. 南昌: 江西农业大学, 2023.
- WANG S B. Identification and detection of viruses infecting kiwifruit in Fengxin county[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2023.
- [29] 郑亚洲. 猕猴桃病毒种类鉴定及分子特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- ZHENG Y Z. Identification and molecular characterization of viruses infecting kiwifruit[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [30] 钟彩虹, 韩飞, 李大卫, 等. 红心猕猴桃新品种‘东红’的选育[J]. 果树学报, 2016, 33(12): 1596-1599.
- ZHONG C H, HAN F, LI D W, et al. Breeding of red-fleshed kiwifruit cultivar ‘Donghong’[J]. Journal of fruit science, 2016, 33(12): 1596-1599.

(责任编辑: 张前锋)



第一作者简介:杨健, 助理研究员, 理学博士。现就职于江西省科学院生物制造研究所生物技术与制剂研发团队。主要从事植物保护技术研发、生物防治、昆虫病毒资源挖掘与致病机理研究。主持及参与国家自然科学基金、江西省自然科学基金、江西省科学院项目等基金项目 10 余项, 在 Journal of General Virology、Virology、Virologica Sinica、Virus Genes、Journal of Invertebrate Pathology、病毒学报、植物保护等国内外期刊上发表论文 10 余篇, 获得授权专利 6 项。



通信作者简介:靳亮, 研究员, 现任江西省科学院生物资源研究所所长, 江西省科学院生物制造研究所生物技术与制剂研发团队负责人, 理学博士。主要从事植物保护、基于生防细菌、病毒、真菌以及代谢物的生物防治、生物农药研发与产业化推广应用。主持国家自然科学基金 2 项、省级重大项目 1 项、省厅级项目 6 项; 在 Journal of General Virology、Journal of Invertebrate Pathology、BMC Plant Biology、Aquaculture、Virus Genes、Parasites & Vectors、Virology Journal、病毒学报、植物保护等国内外期刊上发表论文 30 余篇, 第一发明人获得授权专利 6 项。