

# 浙江省马铃薯病毒病检测分析

陈莹<sup>1</sup>, 田艳珍<sup>2</sup>, 王芳<sup>3</sup>, 胡淑珍<sup>4</sup>, 陈步扬<sup>5</sup>,  
彭杰军<sup>5</sup>, 鲁宇文<sup>5\*</sup>, 燕飞<sup>5</sup>, 陈剑平<sup>5</sup>

(1. 沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002;  
3. 宁波市农业科学院生物技术研究所, 宁波 315052; 4. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095;  
5. 宁波大学植物病毒学研究所, 宁波 315211)

**摘要** 马铃薯病毒病是影响马铃薯产量和品质的主要因素之一,其症状表现为花叶、黄化和卷曲等。2019年4月—5月,在浙江省湖州、杭州、绍兴、宁波、金华、台州和丽水等7个地市的主要马铃薯产区采集了具有典型病毒病症状的马铃薯样品,采用转录组测序和RT-PCR验证的方法进行病毒检测,共筛查并验证出6种马铃薯病毒,包括马铃薯X病毒 *Potato virus X* (PVX)、马铃薯Y病毒 *Potato virus Y* (PVY)、马铃薯S病毒 *Potato virus S* (PVS)、马铃薯H病毒 *Potato virus H* (PVH)、马铃薯M病毒 *Potato virus M* (PVM)以及马铃薯奥古巴花叶病毒 *Potato aucuba mosaic virus* (PAMV)。检测结果表明,在调查的这7个地市中每个地市都具有2种以上的病毒发生,其中PVH作为一种新鉴定的麝香石竹潜隐病毒属成员在除宁波以外的各地区都有发生;此外杭州市、湖州市以及绍兴市均检测出了PAMV。对检测到的PVS、PVH、PVM和PAMV外壳蛋白(coat protein,CP)序列进行系统发育分析表明,这些病毒均存在地域差异性。本研究为浙江省马铃薯病毒的防控奠定了重要基础。

**关键词** 马铃薯; 病毒检测; 马铃薯H病毒; 马铃薯奥古巴花叶病毒; 系统发育分析

**中图分类号:** S 435.32 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019394

## Detection and analysis of potato viruses in Zhejiang province

CHEN Ying<sup>1</sup>, TIAN Yanzhen<sup>2</sup>, WANG Fang<sup>3</sup>, HU Shuzhen<sup>4</sup>, CHEN Buyang<sup>5</sup>,  
PENG Jiejun<sup>5</sup>, LU Yuwen<sup>5\*</sup>, YAN Fei<sup>5</sup>, CHEN Jianping<sup>5</sup>

(1. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Institute of Biotechnology, Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315052, China; 4. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 5. Institute of Plant Virology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract** Potato virus disease, with symptoms of mosaic, yellowing and curling, is one of the main factors affecting potato yield and quality. During April-May 2019, we collected samples with typical symptoms in the main potato-producing areas in seven cities including Huzhou, Hangzhou, Shaoxing, Ningbo, Jinhua, Taizhou and Lishui. A comprehensive and accurate detection was conducted by applying the transcriptome sequencing and the RT-PCR verification. A total of 6 potato viruses were screened out, including *Potato virus X* (PVX), *Potato virus Y* (PVY), *Potato virus S* (PVS), *Potato virus H* (PVH), *Potato virus M* (PVM), and *Potato aucuba mosaic virus* (PAMV). The results showed that multiple viruses, two or more viruses, occurred in all seven cities. PVH, as a newly identified member of the genus *Carlavirus*, occurred in all regions except Ningbo. In addition, PAMV, first reported in 2018 in China, was detected in Hangzhou, Huzhou and Shaoxing cities. Phylogenetic analysis was performed based on coat protein (CP) sequences of PVS, PVH, PVM and PAMV. This study laid an important foundation for the prevention and control of potato viruses in Zhejiang province.

**Key words** potato; viral detection; *Potato virus H*; *Potato aucuba mosaic virus*; phylogenetic analysis

收稿日期: 2019-08-02 修订日期: 2019-10-09

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200802)

\* 通信作者 E-mail: Luyuwen@nbu.edu.cn

马铃薯 *Solanum tuberosum* 属于茄科茄属的一年生草本植物,别名土豆、洋山芋、地豆子等<sup>[1]</sup>。马铃薯具有丰富的营养价值,据相关数据显示在马铃薯块茎中含有优质淀粉、蛋白质、脂肪、膳食纤维以及多种维生素,此外还包括人体内不能合成的 8 种必需氨基酸<sup>[2-5]</sup>。

马铃薯作为世界第四大粮食作物,在世界各地广泛种植,在中国有些省份已把马铃薯作为第三大粮食作物,在甘肃省等地具有悠久的栽培历史<sup>[6]</sup>。近年来,浙江省的马铃薯种植面积也是稳步增长,达 6 万~7 万  $\text{hm}^2$ ,且在生产实践中已经形成春马铃薯、秋马铃薯以及冬播设施马铃薯等种植模式,提高了马铃薯的产量和效益<sup>[7]</sup>。

病毒病是马铃薯上主要的病害之一,其主要表现为黄化伴有褪绿斑点、花叶以及卷曲等症状,引起马铃薯产量和品质下降。相关研究表明由于马铃薯病毒病所造成的产量损失达 30%~50%,病害发生严重时产量损失高达 80%,甚至绝产<sup>[8]</sup>。据报道,在田间环境条件下能侵染马铃薯的病毒种类多达 30 种以上<sup>[9-10]</sup>。目前在中国危害较严重的马铃薯病毒病主要分为以下几种:马铃薯 X 病毒 *Potato virus X* (PVX)、马铃薯 Y 病毒 *Potato virus Y* (PVY)、马铃薯卷叶病毒 *Potato leafroll virus* (PLRV)、马铃薯 A 病毒 *Potato virus A* (PVA)、马铃薯 S 病毒 *Potato virus S* (PVS)、马铃薯 M 病毒 *Potato virus M* (PVM)<sup>[11-12]</sup>。这些病毒在马铃薯上往往不是单一侵染,更多的是复合侵染,所造成产量和品质的损失更是不可估量<sup>[13-14]</sup>。

目前关于浙江省马铃薯病毒病的报道还不多,缺乏深入的调查和研究。为了明确浙江省马铃薯病毒病害的发生情况和病毒种类,在 2019 年 4 月—5 月对浙江省的 7 个地市进行了马铃薯病毒病害的调查,利用转录组测序较全面地分析了样品中的病毒种类,为了解浙江省马铃薯病毒病种类提供了数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2019 年 4 月—5 月,在浙江省杭州市、宁波市、绍兴市、湖州市、台州市、丽水市以及金华市等 7 个地市的冬种马铃薯种植区采集具有典型病毒病症状

的样品。根据病毒侵染植株后所表现出的症状(花叶、黄化和卷曲),每个种植区选择 8~10 株,采集具有典型症状的叶片,将每个城市种植区的样品放在一个采集袋中,作为该地区的样品池,按照不同地市做好标记,共分为 7 组混池样品。采集后的样品经液氮速冻后,一部分用干冰封装好送往诺禾致源公司进行转录组测序分析,一部分置于 $-80^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱保存,待进行后续试验。

### 1.2 检测方法

#### 1.2.1 RT-PCR 检测

将转录组的测序结果通过 NCBI 和 DNAMAN 进行比对,找到相应病毒的 CP 序列,并设计特异性引物进行 RT-PCR 检测。对各地市采集的病样进行 TRIzol (Ambion)法提取植物总 RNA,以脱毒马铃薯为阴性对照。将提取的 RNA 反转录成 cDNA,反转录所用试剂盒为 TaKaRa 公司产品,具体步骤参照 TaKaRa (PrimeScript™ RT reagent Kit with gDNA Erase)说明书操作。以反转录合成的 cDNA 为模板,利用 KOD 酶进行 RT-PCR 扩增检测(KOD 酶为 TOYOBO 公司产品),反应条件为:  $94^{\circ}\text{C}$  4 min;  $94^{\circ}\text{C}$  30 s,  $56^{\circ}\text{C}$  30 s,  $72^{\circ}\text{C}$  1 min, 35 个循环;  $72^{\circ}\text{C}$  10 min。PCR 产物经 1% 的琼脂糖凝胶电泳检测,所用引物见表 1。

表 1 病毒 CP 序列的扩增引物

Table 1 Primers for amplification of virus CP genes

引物名称 Primer	序列(5'-3') Sequence	扩增 长度/bp Length
PVX-CP-F	ATGTCAGCACCAGCTAGCAC	714
PVX-CP-R	TGGTGGTGGTAGAGTGACAAC	
PVY-CP-F	GGAAATGACACAATCGATGC	901
PVY-CP-R	TCAAACCTGATTATTAATTATG	
PVH-CP-F	ATGGCAGACGATAAGAAGGG	866
PVH-CP-R	TTATTTCGATTGTTGTGGTT	
PVS-CP-F	ATGCCGCCAAACCGGATCC	885
PVS-CP-R	TCATTGGTTGATCGCATTAC	
PVM-CP-F	ATGGGTGATTCAACGAAGAA	915
PVM-CP-R	TCATTTTCTATTGACTTTCC	
PAMV-CP-F	ATGGTTGATTCCAAGAAAACCT	750
PAMV-CP-R	TTAGGATGGTGGTGCCATG	

#### 1.2.2 系统发育分析

采用 MEGA 7.0 软件进行系统发育分析,利用 MEGA 构建进化树时,采用邻接法(neighbor-join-

ing)建树,序列比对时选择氨基酸(amino acid),由此完成建树<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 浙江省主产区马铃薯病毒病的发生情况

本研究对浙江省杭州市、宁波市、绍兴市、湖州市、台州市、丽水市以及金华市等7个地市的马铃薯主产区进行了调查分析。采集样品的发病情况如图1所示,叶片表现为花叶、皱缩以及形成褪绿斑点等。

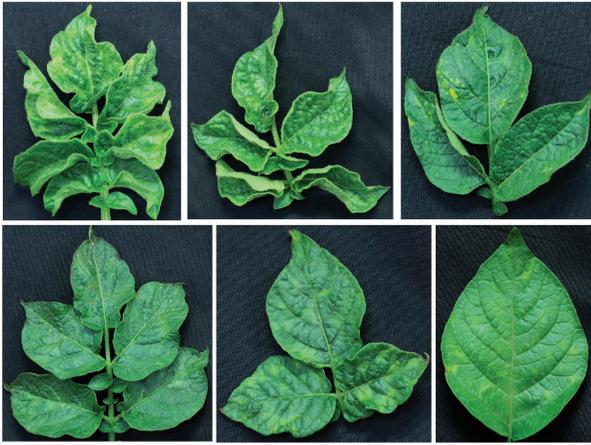


图1 浙江省马铃薯病毒病的典型症状  
Fig.1 Typical symptoms of potato viral diseases in Zhejiang province

### 2.2 浙江省主产区马铃薯病毒病的病原检测

我们将代表7个地市的混池马铃薯样品送往诺禾致源公司进行转录组测序分析,共检测到6种马铃薯病毒,分别为PVX、PVY、PVS、PVH、PVM以及PAMV。根据转录组获得的CP序列设计引物进行PCR验证,各病毒CP引物都能扩增出相应的条带(图2)。根据转录组检测结果,结合RT-PCR验证,该7个地市马铃薯种植区中发生的病毒种类情况如表2。

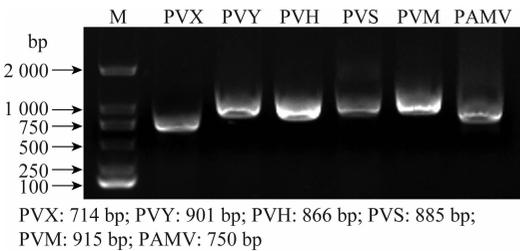


图2 6种病毒CP序列的PCR扩增产物电泳检测结果  
Fig.2 Electrophoresis results of CP PCR products of six viruses

表2 浙江省7个地市马铃薯病毒病的病原检测情况<sup>1)</sup>

Table 2 Pathogen detection of potato virus diseases in various cities of Zhejiang province

采集地 Location	PVX	PVY	PVS	PVH	PVM	PAMV
杭州 Hangzhou	—	+	+	+	+	+
宁波 Ningbo	—	+	—	—	+	—
绍兴 Shaoxing	—	—	+	+	—	+
湖州 Huzhou	+	—	—	+	—	+
金华 Jinhua	+	—	—	+	+	—
丽水 Lishui	+	—	—	+	+	—
台州 Taizhou	+	+	+	+	—	—

1) “+”表示在该地区检测到此种病毒;“—”表示在该地区未检测到此种病毒。

“+”indicates that the virus is detected in the area; “—” indicates that the virus is not detected in the area.

根据转录组的测序结果表明,从发病的范围来说,PVH的发病区域最广泛,在6个地市的马铃薯种植区均有检出,PVX、PVM次之,PVY、PVS和PAMV遍及了3个地市的马铃薯种植区,相比其他病毒发病的范围较小一些。我们发现在调查的7个地市中均存在2种及2种以上的病毒发生。杭州市检测到的病原种类最多,为PVY、PVH、PVS、PVM以及PAMV。另外,转录组对各地市马铃薯病毒病检出的平均覆盖率(average coverage)也各有差异,其数值的大小反映了病毒所占的丰度情况。具体情况如下:

杭州市:PVH (43 097.66) > PVM (26 923.07) > PAMV (18 647.06) > PVS (13 174.00) > PVY (7 479.70);

湖州市:PVX (50 901.16) > PAMV (25 530.05) > PVH (19 594.18);

绍兴市:PVS (98 947.27) > PVH (95 235.81) > PAMV (11 419.91);

金华市:PVH (51 206.73) > PVX (29 476.77) > PVM (2 600.53);

丽水市:PVX (72 254.31) > PVH (22 333.15) > PVM (17 350.34);

台州市:PVX (99 990.21) > PVH (54 204.02) > PVS (15 917.28) > PVY (10 643.35);

宁波市:PVM (108 876.46) > PVY (70 445.00)。

### 2.3 PAMV、PVH、PVS、PVM的CP序列系统发育分析

PVX和PVY是马铃薯上最为常见的病毒,对它们的研究已经比较全面。这里为了更加明确在各个地市发生的其他4种病毒(PAMV、PVH、PVS、

PVM)的分类地位以及同种病毒之间的亲缘进化关系,我们对它们的 CP 氨基酸序列进行了系统发育分析,通过构建进化树的方式来分析它们的序列差异情况,从而了解其亲缘关系。

### 2.3.1 PAMV 的系统发育分析

我们将在各地检测到的以及 NCBI 上所报道的 PAMV CP 序列的氨基酸进行进化树构建分析,结果如图 3。图 3 显示湖州市所发生的 PAMV 与孟加拉国所发生的 PAMV(MG356505.1、MG356506.1)相

似度最高,亲缘关系最近。本次杭州地区检测到的 PAMV 分离物和曾经在杭州检测的序列号为 MH379106.1 的 PAMV 亲缘关系最近,表明在杭州地区 PAMV 的发生并没有较大的差异。然而发生在绍兴的 PAMV 与已报道的 S73580.1 和 NC 003632.1 相似度最高,具有最近的亲缘关系。但是通过分支情况来看,绍兴市与湖州、杭州两市处于两个不同的分支,因此杭州市和湖州市的 PAMV 亲缘关系相对绍兴市则更近一些。

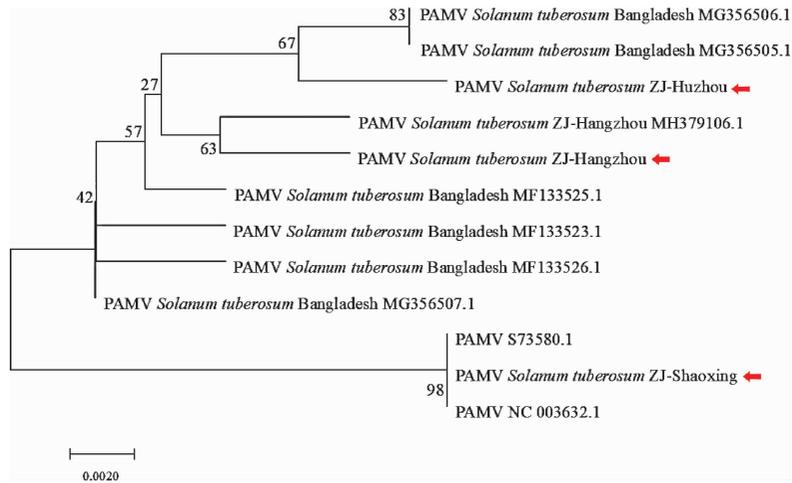


图 3 马铃薯奥古巴花叶病毒 CP 氨基酸序列系统发育树

Fig. 3 Phylogenetic tree based on the CP amino acid sequences of *Potato aucuba mosaic virus*

### 2.3.2 PVH 的系统发育分析

PVH 首次在内蒙古自治区呼和浩特市马铃薯植株上被发现,此外该报道指出 PVH 也可以感染心叶烟 *Nicotiana glutinosa* 和番茄 *Lycopersicon esculentum* 烟草受侵染后叶片表现轻微的卷曲和深绿色斑点,但在马铃薯中没有观察到,仅有轻微的叶卷曲<sup>[16]</sup>。对于 PVH 感染的植物来说,大多数表现无症状或潜伏,这也是麝香石竹潜隐病毒属的一大特征。

PVH 除宁波地区外,在其余 6 个地市均有发生,将其 CP 氨基酸序列与 NCBI 上已报道的序列构建进化树分析(图 4)。PVH 发生的地区较广泛,每个地区检测到的序列具有不同程度的差异,发生在浙江省的 PVH 都和湖州已报道的 MH379107.1 氨基酸序列相似度最高,其亲缘关系较近。但丽水、金华、湖州检测到的分离物和杭州、台州、绍兴检测到的 PVH 处于不同分支,因此说明在浙江省不同地市的 PVH 具有一定的差异性。从总体来说,我们所检测的 PVH 相比中国的其他地区如吉林、北京、云南,则亲缘关系较远一些,说明发生在浙江省的 PVH 氨基

酸序列与中国其他地区具有较大的变异性。

### 2.3.3 PVS 的系统发育分析

本调查在绍兴、台州和杭州地区均检测到 PVS,通过系统发育树分析(图 5),绍兴 PVS 的分离物氨基酸序列和波兰分离物(LN851194.1)同源性相对较高;杭州地区的分离物检测结果与已报道的云南地区分离物(KC430335.1)亲缘关系较近;台州所检测到的 PVS 分离物氨基酸序列与匈牙利分离物(LN851190.1)相似度最高。从这 3 个地区之间的亲缘关系来看,发生在绍兴和杭州的 PVS 氨基酸同源性较高,而与台州地区相差较远。但此次在浙江省检测到的分离物氨基酸序列与国外一些地区如乌克兰、德国、巴西具有较大差别,说明其 CP 序列存在一定程度的变异。

### 2.3.4 PVM 的系统发育分析

图 6 为杭州、宁波、丽水、金华市的 PVM 分离物与 NCBI 上已报道的 PVM 序列共同构建的系统发育树,由图中可见,来自金华、杭州及丽水的 PVM 分离物 CP 的氨基酸序列最为相似,并且和来自甘肃的 JN835299.1 序列亲缘关系最近。此外,我们选

择了两组宁波市的 PVM 分离物,分别为宁波-1 和宁波-2,发现两者虽采集于同一地点,但 PVM 分离物 CP 的氨基酸序列并不是最相似的,分支也具有

较大的差异性,其中宁波-2 与其他地区分离物相比,亲缘关系最远,而与来自云南的 KY364848.1 和孟加拉国的 MG356508.1 亲缘关系更近一些。

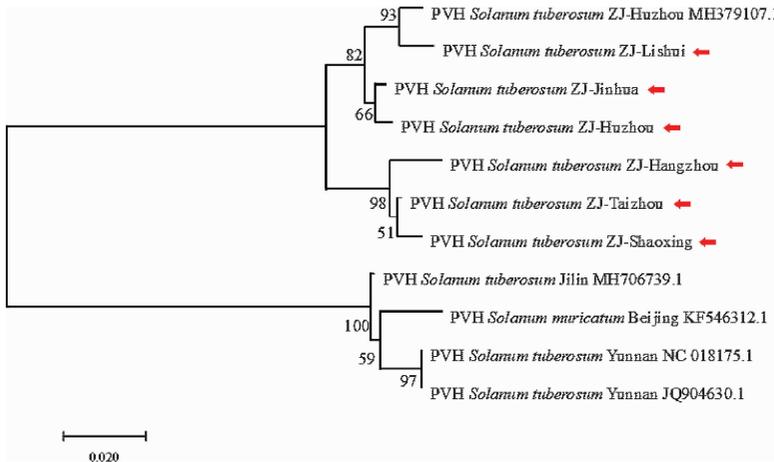


图 4 马铃薯 H 病毒 CP 氨基酸序列系统发育树

Fig. 4 Phylogenetic tree based on the CP amino acid sequences of *Potato virus H*

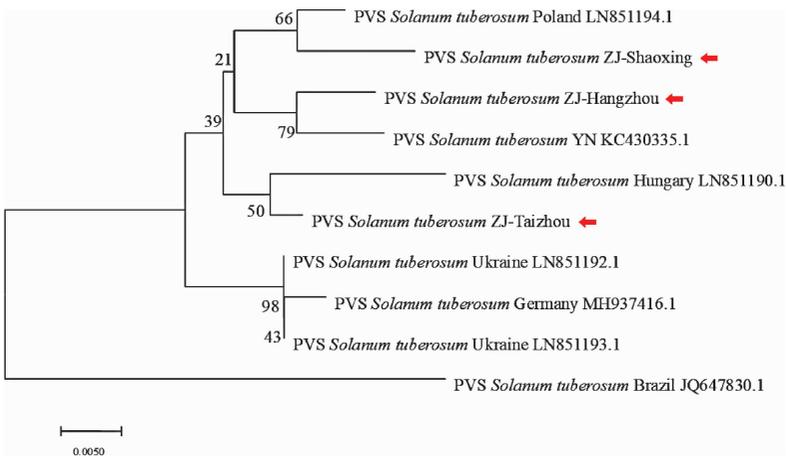


图 5 马铃薯 S 病毒 CP 氨基酸序列系统发育树

Fig. 5 Phylogenetic tree based on the CP amino acid sequences of *Potato virus S*

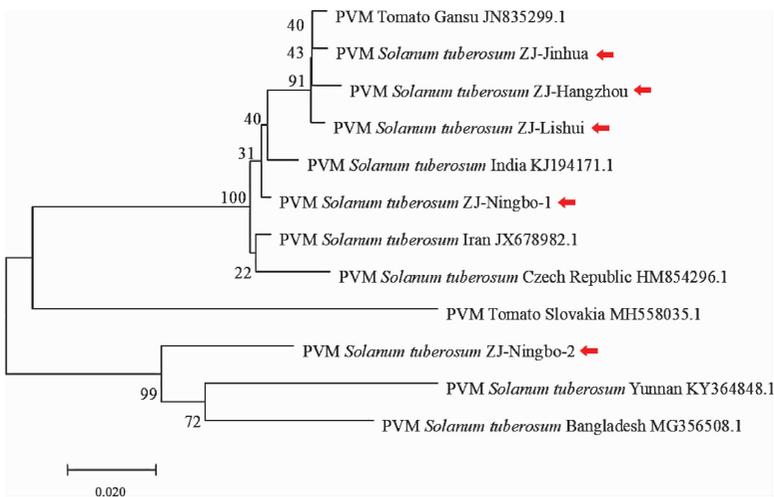


图 6 马铃薯 M 病毒 CP 氨基酸序列系统发育树

Fig. 6 Phylogenetic tree based on the CP amino acid sequences of *Potato virus M*

### 3 讨论

本研究调查了浙江省 7 个地市的马铃薯种植区的病毒病害发生情况,并通过转录组测序及后期 RT-PCR 验证的方法对侵染马铃薯的病毒进行了完整和精确的检测,共检测到 6 种马铃薯病毒,分别为 PVX、PVY、PVS、PVH、PVM 以及 PAMV。并且各地区都存在多种病毒侵染,其中杭州地区检测出病毒种类最多,达到 5 种。

我国发生较广泛且危害较严重的马铃薯病毒主要有 PVX、PVY、PVS、PVM、PVA 及 PLRV。近年来也有科研人员对甘肃省和山西省的马铃薯病毒病害进行了调查研究,2015 年—2016 年在甘肃省共检测到 PVX、PVY、PVA、PVS、PVM 及 PLRV 几种病毒,其中 PVS 检出率最高,为 47.03%,PVA 最低,仅为 0.63%,且大部分地区存在多种病毒复合侵染<sup>[6]</sup>。在 2019 年 Li 等首次报道了关于 PVS cDNA 侵染性克隆的构建与侵染鉴定<sup>[17]</sup>。此外,2013 年在山西省也同时检测到这 6 种主要的马铃薯病毒,但各类病毒的检出率却大不一致,其中 PVY 最高,为 17.85%,PVA 和 PVM 零星发生<sup>[18]</sup>。近期对于 PVM 研究也比较多,在 2017 年 Su 等首次报道了从中国云南采集的 PVM 分离株(PVM-YN)的完整基因组序列<sup>[19]</sup>。而且陆续也有相关科研人员对不同地区不同分离株系的 PVM 探究其生物学和分子特性,以确定它们的系统发生关系和遗传变异性等<sup>[20]</sup>。He 等在 2019 年对 PVM 的进化速率,时间尺度和迁移动力学的评估做了首次尝试,为该病毒的防治等提供了理论基础和策略<sup>[21-22]</sup>。在浙江省的调查,我们使用转录组的检测方法可更加全面地对马铃薯作物中的病毒进行检测,一些症状弱的潜隐病毒和发生报道较少的病毒被检出,并通过 RT-PCR 验证。例如,我们检测到的 PVH 和 PAMV,其中 PVH 作为麝香石竹潜隐病毒属 *Carlavirus* 的新加入成员,2014 年在中国报道了该病毒可以侵染马铃薯和茄子,但侵染后无症状表现<sup>[16,23]</sup>,近期,在孟加拉国首次报告了 PVH 可以感染马铃薯,这也是 PVH 在中国以外的首次报道<sup>[24]</sup>。在我们的检测中除宁波外,其余 6 个地市均有 PVH 发生,结合前人的研究表明,PVH 不仅发生较广泛而且可以侵染多个寄主,但其传播途径并未明确。另外,2018 年在浙江杭州首次在马铃薯上检测到 PAMV 的发生<sup>[25]</sup>,本研究也在杭州马铃薯上检测到了 PAMV,同时在湖州以及绍兴市的分离物中检测

到该病毒,CP 序列分析发现在绍兴检测到的 PAMV 亲缘关系和杭州、湖州相差较远,可能起源不同,或由于环境影响变异性较大。

本研究通过转录组测序结合 RT-PCR 验证的方法,对浙江省 7 个地市的马铃薯种植区的病毒病害进行全面完整的检测,该检测结果对后续浙江地区马铃薯病毒病害的预防和防治具有借鉴意义。

### 参考文献

- [1] 徐洪海. 马铃薯繁育栽培与贮藏技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 2-10.
- [2] 左晓斌, 邹积田. 脱毒马铃薯良种繁育与栽培技术[M]. 北京: 科学普及出版社, 2012: 1-10.
- [3] 孙慧生, 仪美芹. 马铃薯生产技术百问百答[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [4] 邹奎, 金黎平. 马铃薯安全生产技术指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 35-47.
- [5] 崔杏春. 马铃薯良种繁育与高效栽培技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 1-20.
- [6] 齐恩芳, 刘石, 贾小霞, 等. 甘肃省马铃薯主要病毒病发生情况调查[J]. 植物保护, 2018, 44(4): 171-176.
- [7] 蔡仁祥. 浙江省鲜食马铃薯春秋高效栽培技术[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(6): 862-863.
- [8] 黄萍, 何庆才, 颜谦. 马铃薯不同级别脱毒种薯病毒再侵染情况及产量变化[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(4): 39-40.
- [9] GEBHARDT C, VALKONEN J P. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome [J]. Annual Review of Phytopathology, 2001, 39(1): 79-102.
- [10] WANG Biao, MA Yanli, ZHANG Zhibo, et al. Potato viruses in China [J]. Crop Protection, 2011, 30(9): 1117-1123.
- [11] 李芝芳. 中国马铃薯主要病毒图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [12] 库尔斯塔克. 植物病毒比较诊断指南[M]. 裴美云, 译. 北京: 农业出版社, 1991.
- [13] SOLOMON-BLACKBURN R M, BARKER H. Breeding virus resistant potatoes (*Solanum tuberosum*): A review of traditional and molecular approaches [J]. Heredity, 2001, 86(1): 17-35.
- [14] KERLAN C. Potato viruses [M]//VAN REGENMORTEL M H V, MAHY B W J. Desk encyclopedia of plant and fungal virology. Academic Press, 2008: 458-471.
- [15] KUMAR S, STECHER G, TAMURA K, et al. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7. 0 bigger datasets [J]. Molecular Biology and Evolution, 2016, 33(7): 1870-1874.
- [16] LI Yuanyuan, ZHANG Runan, XIANG Haiying, et al. Discovery and characterization of a novel carlavirus infecting potatoes in China [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(6): e69255. DOI: 10.1371/journal.pone.0069255.
- [17] LI Xin, HATAYA T. Construction and characterization of an infectious cDNA clone of potato virus S developed from selected populations that survived genetic bottlenecks [J/OL]. Virology Journal, 2019, 16(1): 18. DOI: 10.1186/s12985-019-1124-X.

好<sup>[20-21]</sup>。如杨小凡等<sup>[13]</sup>对梨小食心虫的研究结果表明,颜色背景对成虫产卵与对照相比均有一定的促进作用,段云等<sup>[22]</sup>研究发现,小菜蛾成虫在绿色和黄色环境下,其单雌产卵量较对照显著降低,出现了明显的抑制作用。本试验中,在7种颜色背景下,井上蛀果斑螟在红色背景下的单雌产卵量显著小于对照,绿色和蓝色背景下较对照略有减小,其余颜色背景下与对照相比均有不同程度的增加,粉色背景下单雌产卵量最多,显著高于对照。因此,在井上蛀果斑螟的室内人工饲养中,可在粉色环境下饲养成虫,提高其性成熟速度和繁殖效率,使其产能最大化。

产卵基质及颜色背景对井上蛀果斑螟产卵生物学的影响是一个复杂的过程,受多种因素的影响。本试验仅在室内进行了初步研究,而颜色背景对井上蛀果斑螟不同虫态和龄期的影响及该虫对不同颜色的产卵选择性的影响尚不明确,还需进一步深入研究。

## 参考文献

[1] 白玲玲,李正跃. 云南石榴树上的一种新害虫—井上蛀果斑螟[J]. 植物保护, 2006, 21(1): 110.

[2] 白玲玲,张祖兵,杨仕生,等. 云南石榴新记录害虫井上果斑螟的形态学及种群动态特征[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(2): 183-187.

[3] 张贺贺,陈家骅,季清娥,等. 影响昆虫产卵行为的因素及其应用研究概述[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(2): 432-440.

[4] 涂小云,陈元生,支忆. LED光源对昆虫行为学和生物学特性的影响[J]. 植物保护, 2014, 40(2): 11-15.

[5] 董易之,姚琼,陈炳旭,等. 荔枝蒂蛀虫的产卵选择性研究[J]. 果树学报, 2018, 35(2): 204-211.

[6] 王争艳,鲁玉杰,毛广卿. 昆虫产卵基质选择行为影响因素的研究及应用[C]//International Industrial Electronic Center. Hong Kong: Proceedings of 2011 International Conference on Biomedicine and Engineering (ISBE 2011 V2), 2011: 451-454.

[7] 付晓伟,封洪强,邱峰,等. 不同产卵基质上中黑盲蝽落卵量的比较研究[J]. 河南农业科学, 2008, 37(12): 70-72.

[8] 李广伟,孙勇,王宇晶,等. 室内条件下以枣树为寄主的苹褐带卷蛾的生长发育、繁殖及对产卵基质的选择性[J]. 昆虫学报, 2019, 62(6): 710-719.

[9] 刘中芳,高越,史高川,等. 梨小食心虫对不同基质的产卵选择性[J]. 植物保护, 2017, 43(5): 124-127.

[10] 张恺月,王子谦,王洪平. 桃小食心虫卵收集方法的改进[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 229-233.

[11] LOBDELL C E, YONG T H, HOFFMANN M P. Host color preferences and short-range searching behavior of the egg parasitoid *Trichogramma ostriniae* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2005, 116(2): 127-134.

[12] 董子舒,张玉静,段云博,等. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的研究进展[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 837-843.

[13] 杨小凡,冯娜,刘玉峰,等. 颜色背景对梨小食心虫成虫产卵生物学的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(3): 200-204.

[14] 尹姣,薛银根,乔红波,等. 粘虫(*Mythimna separata* Walker)选择产卵场所的意义及颜色在定位中的作用[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2483-2489.

[15] 王占霞,范凡,王忠燕,等. 环境颜色对韭菜迟眼蕈蚊生物学特性的影响[J]. 昆虫学报, 2015, 58(5): 553-558.

[16] 吴兰花,陈仁琛,韩若琛,等. 柑橘木虱对不同颜色的趋性研究[J]. 果树学报, 2018, 35(12): 75-81.

[17] 邵淑霞,李春艳,杨仕生,等. 井上蛀果斑螟幼虫和蛹的形态描述及生物学特性[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(1): 22-24.

[18] 王建斌,董应超,尹文强,等. 苹果小卷叶蛾对套塑膜袋苹果的危害及其防治[J]. 中国果树, 2005(5): 45-46.

[19] 张俊杰,张雪,杜文梅,等. 不同波长LED光源对稻螟赤眼蜂发育与繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(2): 204-208.

[20] KIRKPATRICK D M, MCGHEE P S, HERMANN S L, et al. Alightment of spotted wing drosophila (Diptera: Drosophilidae) on odorless disks varying in color [J]. Environmental Entomology, 2015, 45(1): 185-191.

[21] LUNAU K. Visual ecology of flies with particular reference to colour vision and colour preferences [J]. Journal of Comparative Physiology A, 2014, 200(6): 497-512.

[22] 段云,吴仁海,武子清,等. LED光照对小菜蛾成虫生物学的影响[J]. 河南农业科学, 2010(1): 80-82.

(责任编辑:田喆)

(上接115页)

[18] 郭喜文. 山西省马铃薯病毒病区系分布及综合防治的研究[D]. 晋中:山西农业大学, 2014.

[19] SU Xiaoxia, WU Kuo, ZHANG Lizhen, et al. Complete genome sequence of a new isolate of *Potato virus M* in Yunnan, China [J]. Archives of Virology, 2017, 162(8): 2485-2488.

[20] MISHCHENKO L, DUNICH A, TARAN O, et al. Phylogenetic relationships of two Ukrainian tomato isolates of *Potato virus M* and genetic variability analysis of its population [J]. Acta Virologica, 2018, 62(2): 214-219.

[21] HE Zhen, GAN Haifeng, LIANG Xinyan. Analysis of synonymous codon usage bias in *Potato virus M* and its adaption to hosts [J/OL]. Viruses, 2019, 11(8): 752. DOI: 103390/v11080752.

[22] HE Zhen, CHEN Wen, YASAKA R, et al. Temporal analysis

and adaptive evolution of the global population of potato virus [J]. Infection, Genetics and Evolution, 2019, 73: 167-174.

[23] ABOUELNASR H, LI Yuanyuan, ZHANG Zongying, et al. First report of *Potato virus H* on *Solanum muricatum* in China [J]. Plant Disease, 2014, 98(7): 1016.

[24] RASHID M, LI Yuanyuan, WANG Ying, et al. First report of *Potato virus H* infecting potatoes in Bangladesh [J]. Plant Disease, 2019, 103(5): 1051.

[25] WU Xiaoyun, LIU Qi, CHAI Mengzhu, et al. First report of Potato aucuba mosaic virus on potato in China [J]. Plant Disease, 2018, 102(12): 2671.

(责任编辑:田喆)