

内蒙古和贵州地区粉虱发生对番茄褪绿病毒流行的影响

王帅鑫¹, 史晓斌², 张战泓³, 郑立敏², 刘勇²,
张德咏², 谭新球², 周序国^{1*}

(1. 湖南大学研究生院隆平分院, 长沙 410125; 2. 湖南省农业科学院植物保护研究所, 长沙 410125; 3. 湖南省农业科学院蔬菜研究所, 长沙 410125)

摘要 番茄褪绿病毒 *Tomato chlorosis virus* (ToCV) 对我国番茄种植业破坏极大, 而粉虱类昆虫是其主要传播介体。本研究调查了我国内蒙古自治区赤峰市和贵州省贵阳市的番茄褪绿病毒病发生情况, 发现赤峰市的发病率为 73.3%, 贵阳市的发病率为 53.3%。两个地区均存在 Q 型烟粉虱和温室白粉虱, 赤峰市的 Q 型烟粉虱和温室白粉虱分别占 75.9% 和 24.1%; 贵阳市的 Q 型烟粉虱和温室白粉虱分别占 39.8% 和 60.2%。对两个地区的两种粉虱种群在室内进行传毒特性研究, 结果发现, 经过 48 h 获毒后 Q 型烟粉虱和温室白粉虱的获毒量没有明显差异, 但无论 1 头或 10 头粉虱, Q 型烟粉虱的传毒量都高于温室白粉虱。结果说明, 近年来随着 Q 型烟粉虱发生的日益严重, 番茄褪绿病毒通过 Q 型烟粉虱的传播值得人们重视和进一步研究。

关键词 番茄褪绿病毒; Q 型烟粉虱; 温室白粉虱; 传毒特性

中图分类号: S 436.412 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019319

Effect of the whitefly occurrence in Inner Mongolia and Guizhou on the prevalence of *Tomato chlorotic virus*

WANG Shuaxin¹, SHI Xiaobin², ZHANG Zhanhong³, ZHENG Limin²,
LIU Yong², ZHANG Deyong², TAN Xinqiu², ZHOU Xuguo^{1*}

(1. Long Ping Branch, Graduate School of Hunan University, Changsha 410125, China; 2. Hunan Plant Protection Institute, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha 410125, China; 3. Hunan Vegetable Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha 410125, China)

Abstract *Tomato chlorosis virus* (ToCV) is extremely destructive to tomato planting in China, and whitefly insects are the main vectors to transmit ToCV. In this study, we investigated the occurrence of *Tomato chlorotic virus* disease in Chifeng, Inner Mongolia, and Guiyang, Guizhou province. The disease incidence in Chifeng was 73.3%, and that in Guiyang was 53.3%. *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum* were detected in both areas, and the proportions of *B. tabaci* Q and *T. vaporariorum* in Chifeng were 75.9% and 24.1%, respectively, while those in Guiyang were 39.8% and 60.2%, respectively. Then samples of whitefly from two regions were collected and the characteristics of the virus transmission were investigated in our laboratory. The results showed that there was no significant difference in the acquisition amount of *B. tabaci* Q and *T. vaporariorum* after 48 h of virus acquisition. However, regardless of 1 or 10 whiteflies, the transmission amount of *B. tabaci* Q was higher than that of *T. vaporariorum*. The results indicated that with the increasing occurrence of *B. tabaci* Q in recent years, the spread of *Tomato chlorotic virus* through *B. tabaci* Q is worthy of more attention and further study.

Key words *Tomato chlorosis virus*; *Bemisia tabaci* Q; *Trialeurodes vaporariorum*; characteristics of virus transmission

收稿日期: 2019-06-27 修订日期: 2019-09-05

基金项目: 国家自然科学基金(31872932, 31672003); 湖南省科技计划(2016RS2019); 国家大宗蔬菜产业技术体系(CARS-25-B-05); 湖南省自然科学基金(2019JJ30014)

* 通信作者 E-mail: xuguozhou@uky.edu

粉虱属于昆虫纲,半翅目,粉虱亚目,是世界上最重要的农业害虫之一,在世界各地均有分布。粉虱包括很多种,生产上为害最严重的是烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*。烟粉虱的取食和扩散行为对世界各国的作物种植、生产等造成了严重的不利影响,由此带来了巨大的经济损失和各种资源的浪费^[1]。全球的烟粉虱种类已知至少有 32 个生物型^[2]。目前全球为害严重的烟粉虱主要是 Q 型(MED 隐种)和 B 型(MEAM1 隐种),B 型烟粉虱和 Q 型烟粉虱先后侵入我国,并且带来了严重的损失和危害。

番茄褪绿病毒 *Tomato chlorosis virus* (ToCV) 属于长线形病毒科 *Closteroviridae* 毛形病毒属 *Crinivirus*,是由烟粉虱和温室白粉虱传播的双分体单链 RNA 病毒^[3]。ToCV 除了感染番茄外,还可以侵染辣椒^[4]、烟草^[5]、茄子^[6]等植物。ToCV 最早在美国佛罗里达州被发现并报道^[7],随后在南美洲^[8]、非洲^[9]、欧洲^[10]相继被报道。2004 年,在中国台湾^[11]首次发现 ToCV,随后在北京^[12]、河北^[13]、湖南^[14]、云南^[15]、山东^[16]等地逐渐蔓延传播。

本研究调查了我国西南部的贵州省贵阳市花溪区和东北部的内蒙古自治区赤峰市两个地区番茄褪绿病毒病的发生情况,调查过程中发现,这两个地区均存在烟粉虱和温室白粉虱种群。因此,我们调查了两种粉虱在发病植株上的分布比例,并根据调查结果,采集了烟粉虱和温室白粉虱并在室内研究了二者对番茄褪绿病毒的获毒和传毒情况,以期为我国南北方的番茄褪绿病毒及其介体昆虫防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2018 年 3 月,在内蒙古赤峰市和贵州省贵阳市花溪区大棚内,发现有疑似感染番茄褪绿病毒的番茄植株,分别在两地的大棚内随机采集番茄叶片 30 份,带回实验室通过 RT-PCR 方法检测。同时在大棚内发现有烟粉虱和温室白粉虱,调查叶片上两种粉虱数量并记录。叶片样品采用以 ToCV HSP70 基因设计的特异性引物(表 1)进行检测。烟粉虱生物型鉴定参考王雪忠等^[14]的方法进行。

1.2 粉虱种群的建立

从贵阳市和赤峰市带回烟粉虱和温室白粉虱,分别饲喂于健康无毒棉花植株上,棉花是粉虱的寄主植物,但不会感染番茄褪绿病毒,且番茄褪绿病毒

在粉虱体内为半持久性传播,经过一段时间病毒会从粉虱体内消失,此时鉴定粉虱无毒后进行后续试验。同时在显微镜下将烟粉虱的雌性和雄性分开,每一雌一雄为一组,在养虫笼内分开饲养,每一代进行生物型鉴定,只选取鉴定后种群全部为 Q 型烟粉虱的组合进行下一代饲养。饲养 6 代后的成虫经生物型鉴定后,用于本试验。

1.3 番茄总 RNA 的提取

番茄总 RNA 采用 TRIzol 法提取。将液氮速冻过的番茄叶片用磨样机充分研磨后加入 1 mL TRIzol 振荡 15 s,将匀浆室温放置 5 min;加入 300 μ L 氯仿,涡旋振荡 30 s,室温放置 3 min;4℃ 下 12 000 r/min 离心 15 min;移取上清液 500 μ L 至 1.5 mL 的 RNase-free 离心管中,加入等体积异丙醇,轻轻颠倒混匀, -20℃ 静置 30 min;4℃ 下 12 000 r/min 离心 10 min;弃上清液,用现配无核酸酶的 75% 乙醇洗涤沉淀, 8 000 r/min 离心 3 min;重复 2 次;将离心管内剩余液体吸出,加入 50 μ L RNase-free H₂O 溶解, RNA 经检测 OD₂₆₀/OD₂₈₀ 合格后立即反转录合成 cDNA。

1.4 cDNA 的合成

cDNA 的合成使用 Vazyme 生物公司 Hiscript[®] II 1st Strand cDNA Synthesis Kit (+gDNA wiper)按照产品说明书进行:在 RNase-free PCR 管中分别加入 RNase-free H₂O 10 μ L, Random hexamers 1 μ L, RNA 1 μ L;65℃ 加热 5 min 后在冰上静置 2 min,混合液中加入 4×gDNA wiper Mix 4 μ L,吹打混匀后,42℃ 2 min,混合液中加入 10×RT Mix 2 μ L, Hiscript II Enzyme Mix 2 μ L;程序如下:25℃ 5 min,50℃ 45 min,85℃ 2 min,-20℃ 保存备用。

1.5 PCR 扩增和电泳检测

PCR 体系中使用的引物为 ToCV HSP70 基因特异性引物 ToCV-1 和 ToCV-2^[17](表 1),使用 Vazyme 生物公司 Phanta[®] Max Super-Fidelity DNA Polymerase 进行 PCR 反应。体系如下:ddH₂O 17 μ L, 2×Phanta Max Buffer 25 μ L, 10 μ mol/L ToCV-1 2 μ L, 10 μ mol/L ToCV-2 2 μ L, 10 μ mol/L dNTP Mix 1 μ L, Phanta Max Super-Fidelity DNA Polymerase 1 μ L, cDNA 模板 2 μ L,共 50 μ L。以质粒作为阳性对照,体系内其余成分不变。PCR 程序为:95℃ 5 min;95℃ 30 s,60℃ 30 s,72℃ 1 min,35 个循环;72℃ 延伸 10 min。将 PCR 产物通过 2% 琼脂糖凝胶电泳进行检测,剩余产物送至北京擎科新业生物技术有限公司测序,测序结果在 NCBI 利用 BLAST 进行比对。每个地区的样品进行 30 个重复。

1.6 粉虱获取 ToCV 的特性

取刚羽化的经饲养和鉴定无毒的 Q 型烟粉虱和温室白粉虱,用微虫笼分别将其夹在感染 ToCV 的番茄上,每个处理 10 株番茄,每株番茄放 3 个微虫笼,每个微虫笼内接 20 头粉虱。分别在两个时间点 0 h 和 48 h,从饲喂 Q 型烟粉虱和温室白粉虱的 10 株带毒番茄中随机选取 3 株,每株番茄上取 20 头粉虱,保存于-80℃冰箱。最后提取两种粉虱 RNA,荧光定量 PCR 法分别测定不同时间内温室白粉虱、Q 型烟粉虱的获毒量^[18],重复 3 次,所获得的数据采用 SPSS 20.0 分析。

1.7 粉虱传播 ToCV 的特性

选取室内饲养在棉花上的无毒 Q 型烟粉虱和温室白粉虱,设置 1 头、10 头两个处理,在获毒 48 h 后,分别将 1 头和 10 头获毒后 Q 型烟粉虱和温室白粉虱转移到 3 片真叶的健康小番茄苗上,48 h 后,将烟粉虱移走,并分别将 Q 型烟粉虱和温室白粉虱接毒后的植株放入不同的干净育苗笼中进行培养,隔绝粉虱。分别在 30 d 后用荧光定量 PCR 法比较番茄叶片带毒量,明确烟粉虱传毒与烟粉虱数量的关系^[19],重复 3 次,所获得的数据采用 SPSS 20.0 分析。

表 1 引物信息

Table 1 Primers information

引物 Primer	序列(5'-3') Sequence	作用 Target
ToCV-1	AAACTGCCTGCATGAAAAGTCTC	ToCV PCR
ToCV-2	GGTTTGGATTTTGGTACTACATTTCAGT	
ToCV-q1	ATGGAGAACAGTGCCGTTGC	ToCV qPCR
ToCV-q2	TTAGCAACCAGTTATCGATGC	
TRIAL COI-1	GATGCCTCGACGTTATGTTGATT	温室白粉虱内参基因
TRIAL COI-2	CTAACAAGTCTCCCAATAGAAGAAACC	
Actin-F1	CGCTGCCTCCACCTCATT	烟粉虱内参基因
Actin-R1	ACCGCAAGATTCCATACCC	
Actin-F2	GGAAAAGCTTGCCTATGTGG	番茄内参基因
Actin-R2	CCTGCAGCTTCCATACCAAT	

2 结果与分析

2.1 内蒙古和贵州地区 ToCV 发生情况

将采集到的番茄叶片提取 RNA 之后进行 RT-PCR 检测,经电泳检测后,将有条带的 PCR 产物测

序,并在 NCBI 比对之后,发现与 KC887999.1 的同源性最高,相似度达 99.0%,确定番茄叶片带毒(图 1,图 2)。结合田间病毒病发生情况,证实了内蒙古 ToCV 的发生率高于贵州地区(表 2)。

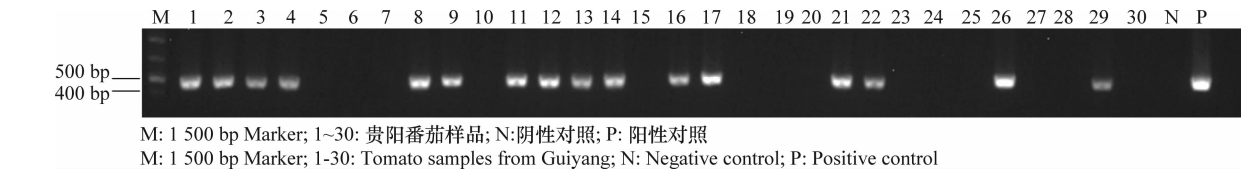


图 1 贵阳番茄样品的 RT-PCR 检测结果

Fig. 1 RT-PCR results of tomato samples from Guiyang

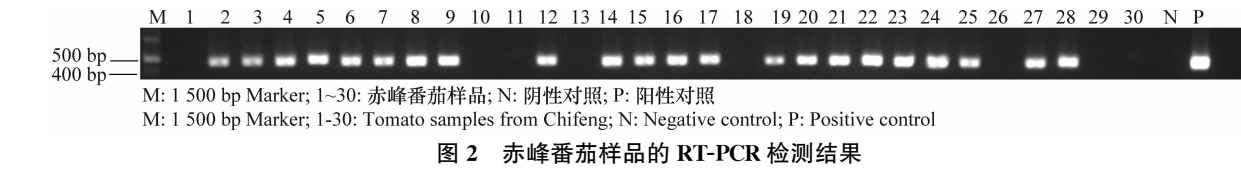


图 2 赤峰番茄样品的 RT-PCR 检测结果

Fig. 2 RT-PCR results of tomato samples from Chifeng

表 2 ToCV 在贵阳和赤峰的番茄叶片中的发生率

Table 2 Incidence of ToCV-infected tomato leaves in Guiyang and Chifeng

采样地区 Sample area	检测数量/个 Detection quantity	发病数量/个 Number of infected leaves	发病率/% Disease incidence
贵州省贵阳市花溪区 Huaxi district, Guiyang city, Guizhou province	30	16	53.3
内蒙古自治区赤峰市 Chifeng city, Inner Mongolia autonomous region	30	22	73.3

2.2 内蒙古和贵州地区粉虱数量分布情况

通过调查内蒙古和贵州地区大棚内的粉虱种类和数量发现(表 3),内蒙古和贵州地区都是 Q 型烟粉虱和温室白粉虱复合侵染,其中内蒙古赤峰市的

Q 型烟粉虱比例为 75.9%,温室白粉虱比例为 24.1%,贵州省贵阳市 Q 型烟粉虱比例为 39.8%。温室白粉虱比例为 60.2%。

表 3 内蒙古赤峰和贵州贵阳地区 2 种粉虱数量比例

Table 3 The rate of two kind of whitefly in Chifeng, Inner Mongolia and Guiyang, Guizhou

采样地区 Sample area	粉虱总数/头 Number of whitefly	Q 型烟粉虱数量/头 Number of Bemisia tabaci Q	Q 型烟粉虱比例/% Rate of B. tabaci Q	温室白粉虱数量/头 Number of Trialeurodes vaporariorum	温室白粉虱比例/% Rate of T. vaporariorum
贵州省贵阳市花溪区 Huaxi district, Guiyang city, Guizhou province	93	37	39.8	56	60.2
内蒙古自治区赤峰市 Chifeng city, Inner Mongolia autonomous region	87	66	75.9	21	24.1

2.3 两种粉虱获取 ToCV 的对比

在感病番茄上取食 48 h 后,Q 型烟粉虱和温室白粉虱的获毒量并未表现出显著差异,但从数值上看,Q 型烟粉虱的获毒量高于温室白粉虱的获毒量(图 3)。

2.4 两种粉虱传播 ToCV 的对比

分别用 1 头、10 头 Q 型烟粉虱和温室白粉虱进行传毒研究发现,不同数量 Q 型烟粉虱和温室白粉虱的传毒能力不同。总体来说,10 头 Q 型烟粉虱和温室白粉虱的传毒量均高于 1 头的传毒量。单独对比 1 头或 10 头粉虱的传毒情况,发现 Q 型烟粉虱传播到植株上的病毒量较温室白粉虱更高,差异显著(图 4)。

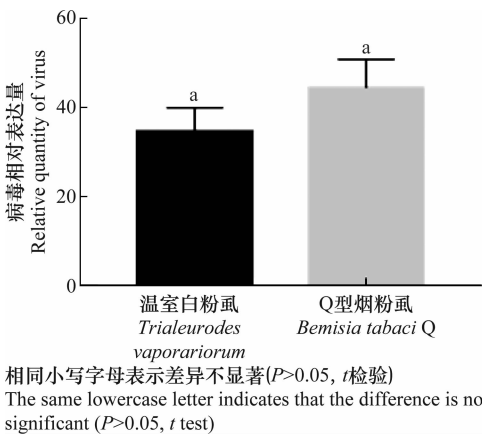
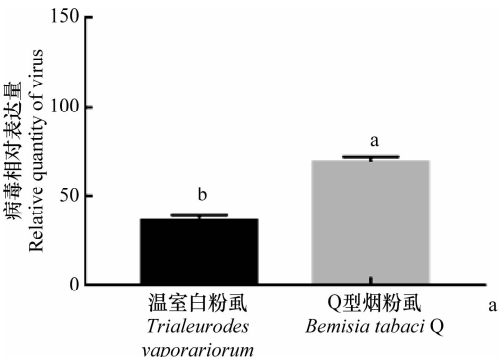


图 3 两种粉虱在感染 ToCV 的番茄上获毒量对比

Fig. 3 Comparison of acquisition amount of whiteflies on ToCV-infected tomato plants



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, t 检验)

Different lowercase letter indicates significant difference ($P<0.05$, t test)

a: 1头温室白粉虱和Q型烟粉虱传毒量对比; b: 10头温室白粉虱和Q型烟粉虱传毒量对比

a: One individual of *Trialeurodes vaporariorum* vs. one individual of *B. tabaci* Q; b: 10 individuals of *T. vaporariorum* vs. 10 individuals of *B. tabaci* Q

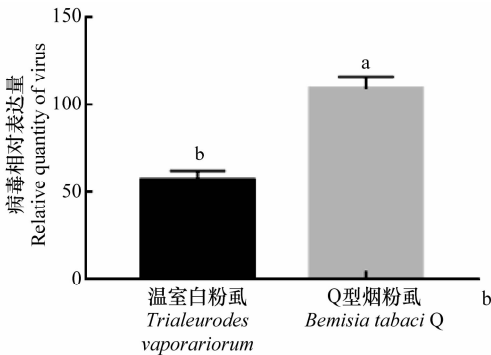


图 4 不同数量粉虱的 ToCV 传毒量对比

Fig. 4 Comparison of transmission amount of ToCV transmitted by different numbers of whiteflies

3 讨论

本研究调查了内蒙古自治区赤峰市和贵州省贵阳市番茄褪绿病毒病的发生情况,并以采集到的番茄样品为试验材料,通过 RT-PCR 的方法,分别检测了两个地区番茄植株感染番茄褪绿病毒的情况,发现赤峰市的番茄感染率比贵阳市花溪区的高。同时调查了大棚里番茄植株上 Q 型烟粉虱和温室白粉虱的数量,以及通过在室内利用 qPCR 技术比较温室白粉虱和 Q 型烟粉虱的获毒和传毒情况,证实了番茄褪绿病毒的传播主要是以 Q 型烟粉虱为主。

Q 型烟粉虱和温室白粉虱在全世界范围内都是对作物产量有严重影响的昆虫,同时也都是很重要的病毒载体^[20]。本研究通过对 Q 型烟粉虱和温室白粉虱传播番茄褪绿病毒特性的研究,发现了 Q 型烟粉虱较强的获毒和传毒能力,这与之前的研究结果一致^[19]。本研究还比较了 1 头和 10 头 Q 型烟粉虱和温室白粉虱传毒效率,发现 10 头粉虱的传毒量高于 1 头粉虱,由此可以推测,随时间的积累,通过粉虱传毒的番茄发病情况将加重。这说明田间烟粉虱数量较多的时期,ToCV 的发病率也将提高,需要提前防治烟粉虱^[21],从而减轻病毒病的发生。此外,本研究证实了在我国温室白粉虱也是番茄褪绿病毒的重要传播介体^[23],值得引起人们的重视,在田间防治的时候,尤其是有白粉虱发生的地区,不能忽视对白粉虱的防治。

目前,Q 型烟粉虱和温室白粉虱通过传播病毒给蔬菜产业造成了严重的损失^[22]。番茄褪绿病毒是近年来在我国发生日益严重的病害,已在很多地区暴发成灾,造成严重损失。本研究可为研究番茄褪绿病毒病的发生机制及有效控制病害的发生提供理论依据。

参考文献

[1] BOYKIN L. Global relationships of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) revealed using Bayesian analysis of mitochondrial COI DNA sequence [J]. *Molecular Phylogenetics & Evolution*, 2007, 44(3):1306–1319.

[2] DINSDALE A, COOK L, RIGINOS C, et al. Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2010, 103(2):196–208.

[3] WINTERMANTEL W M, WISLER G C, ANCHIETA A G, et al. The complete nucleotide sequence and genome organization of *Tomato chlorosis virus* [J]. *Archives of Virology*, 2005, 150(11):2287–2298.

[4] FORTES I M, MORIONES E, NAVAS-CASTILLO J. *Tomato chlorosis virus* in pepper: prevalence in commercial crops in southeastern Spain and symptomatology under experimental conditions [J]. *Plant Pathology*, 2012, 61(5):994–1001.

[5] FIALLOOLIVÉ E, ESPINO A I, BOTELLAGUILLÉN M, et al. Tobacco: a new natural host of *Tomato chlorosis virus* in Spain [J]. *Plant Disease*, 2014, 98(8):1162–1162.

[6] ZHOU Y, YAN J Y, QIAO G H, et al. First report of *Tomato chlorosis virus* infecting eggplant (*Solanum melongena*) in China [J]. *Plant Disease*, 2015, 99(11):1657.

[7] WISLER G C, LI R H, LIU H Y, et al. *Tomato chlorosis virus*: A new whitefly-transmitted, phloem-limited, bipartite *Closterovirus* of tomato [J]. *Phytopathology*, 1998, 88(5):402–409.

[8] BARBOSA J C, TEIXEIRA A P M, MOREIRA A G, et al. First report of *Tomato chlorosis virus* infecting tomato crops in Brazil [J]. *Plant Disease*, 2008, 92(12):1709.

[9] FIALLO-OLIVÉ E, HAMED A A, MORIONES E, et al. First report of *Tomato chlorosis virus* infecting tomato in Sudan [J]. *Plant Disease*, 2011, 95(12):1592.

[10] LOURO D, ACCOTTO G P, VAIRA A M. Occurrence and diagnosis of *Tomato chlorosis virus* in Portugal [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2000, 106(6):589–592.

[11] TSAI W S, SHIH S L, GREEN S K, et al. First report of the occurrence of *Tomato chlorosis virus* and *Tomato infectious chlorosis virus* in Taiwan [J]. *Plant Disease*, 2004, 88(3):311.

[12] 周莹, 黄金宝, 乔广行, 等. 北京地区茄子感染番茄褪绿病毒的分子鉴定[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(1):168–172.

[13] 孙国珍, 高利利, 陆文利, 等. 河北省设施番茄褪绿病毒分子检测和鉴定研究[J]. *北方园艺*, 2015(9):95–98.

[14] 王雪忠, 张战泓, 郑立敏, 等. 番茄褪绿病毒在湖南省首次发生[J]. *中国蔬菜*, 2018(8):27–31.

[15] 刘微, 史晓斌, 唐鑫, 等. 云南番茄褪绿病毒和番茄黄化曲叶病毒复合侵染的分子鉴定[J]. *园艺学报*, 2018, 45(3):552–560.

[16] 赵黎明, 李刚, 刘永杰, 等. 侵染番茄的番茄褪绿病毒山东泰安分离物的分子鉴定和序列分析[J]. *植物保护*, 2014, 40(5):34–39.

[17] TANG Xin, SHI Xiaobin, ZHANG Deyong, et al. Detection and epidemic dynamic of ToCV and CCYV with *Bemisia tabaci* and weed in Hainan of China [J]. *Virology Journal*, 2017, 14(1):169.

[18] CAVALIERI V, MANGILI A, TIBERINI A, et al. Rapid identification of *Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci* (MEAM1 and MED) and tomato-infecting criniviruses in whiteflies and in tomato leaves by real-time reverse transcription-PCR assay [J]. *Bulletin of Insectology*, 2014, 67(2):219–225.

- [5] SILVER K S, SODERLUND D M, Action of pyrazoline-type insecticides at neuronal target sites [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2005, 81(2): 136–143.
- [6] LAPIED B, GROLLEAU F, SATTELLE D B. Indoxacarb, an oxadiazine insecticide, blocks insect neuronal sodium channels [J]. British Journal of Pharmacology, 2001, 132(2): 587–595.
- [7] 严仪宽. 安打(茚虫威)在蔬菜害虫上的防治应用[J]. 新农药, 2005(5): 47–48.
- [8] 吴霞. 拟除虫菊酯、氟虫腈和茚虫威作用机制的最新进展[J]. 世界农药, 2002, 24(2): 29–34.
- [9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 农业部农药检定所. 中国农药信息网农药综合查询系统[DB/OL]. (2018-12-24)[2019-07-04]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/>.
- [11] 食品伙伴网. 食品数据库-日本肯定列表查询[DB/OL]. (2019-03-21)[2019-07-04]. <http://db.foodmate.net/kending/>.
- [12] 廖丹. 茚虫威在水稻中的残留及其光降解研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014.
- [13] 李畅方, 何强, 徐伟松, 等. 茚虫威在甘蓝和土壤中的残留量及消解动态研究[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(12): 8–11.
- [14] 杨淑娟, 郭建辉, 蔡恩兴, 等. 茚虫威在豇豆中残留动态及安全使用技术研究[J]. 亚热带植物科学, 2008, 37(2): 46–49.
- [15] 赵学平, 袁王伟, 胡秀卿, 等. 茚虫威和毒死蜱在小白菜中的残留及其膳食暴露评估[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(6): 784–789.
- [16] 董丰收, 郑永权, 沙宪英, 等. 茚虫威 15% 悬浮剂在棉花和土壤中的残留动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 1027–1031.
- [17] 农业部农药检定所. 农药登记残留田间试验标准操作规程[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [18] 农业农村部种植业管理司. 农作物中农药残留试验准则: NY/T 788—2018[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [19] 吴永宁, 李筱薇. 第四次中国总膳食研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 63.
- [20] 刘清浩, 刘新涛, 倪霞霞, 等. 吡虫啉在金银花及土壤中的残留动态研究[J]. 植物保护, 2011, 37(1): 90–92.
- [21] 王玉洁, 薛健, 金红宇, 等. 金银花中氟啶虫胺腈的残留规律及膳食风险评估[J]. 中成药, 2017, 39(7): 1534–1536.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 41 页)

- [5] 刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究总结报告[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 周益林, 盛宝钦, 肖悦岩. 小麦白粉病预测预报的研究[M]//赵美琦. 麦田植保系统工程的研究. 北京: 北京农业大学出版社, 1994: 52–56.
- [7] 邵振润, 刘万才, 姜瑞中, 等. 豫北麦区小麦白粉病中期测报技术研究[J]. 植物保护, 1996, 22(6): 11–14.
- [8] TE BEEST D E, PAVELEY N D, SHAW M W, et al. Disease-weather relationships for powdery mildew and yellow rust on winter wheat [J]. Phytopathology, 2008, 98(5): 609–617.
- [9] 肖悦岩. 预测预报准确度评价方法的研究[J]. 植保技术与推广, 1997, 17(4): 3–6.
- [10] 刁春友, 沈龙元. 江苏省小麦白粉病预测预报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 沈丽, 刘牛, 廖华明, 等. 四川省小麦白粉病中期预测模型初探[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 李金锁. 南阳盆地小麦白粉病中期测报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 李彤霄. 河南省小麦白粉病综合发生等级预测技术研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(9): 54–57.
- [14] 杨万海, 董礼涛, 王光宝, 等. 山东省小麦白粉病中长期预报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 46 页)

- [19] SHI Xiaobin, TANG Xin, ZHANG Xing, et al. Transmission efficiency, preference and behavior of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED under the influence of *Tomato chlorosis virus* [J/OL]. Frontiers in Plant Science, 2018, 8: 2271. DOI: 10.3389/fpls.2017.02271.
- [20] MARKHAM P G, BEDFORD I D, LIU Shusheng, et al. The transmission of geminiviruses by *Bemisia tabaci* [J]. Pest Management Science, 1994, 42(2): 123–128.
- [21] 李娇娇, 张秀霞, 周仙红, 等. 日光温室番茄褪绿病毒病的发生规律及其与 Q 型烟粉虱种群动态关系[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 746–752.
- [22] 张友军, 吴青君, 王少丽, 等. 我国蔬菜重要害虫研究现状与展望[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 38–45.
- [23] ORFANIDOU C G, DIMITRIOU C, PAPAYIANNIS L C, et al. Epidemiology and genetic diversity of criniviruses associated with tomato yellows disease in Greece [J]. Virus Research, 2014, 186: 120–129.

(责任编辑: 田 喆)