环境昆虫学报　2025，47（5）：1637-1648
Journal of Environmental Entomology
http://hjkcxb.alljournals.net
doi：10.3969/j. issn. 1674 - 0858. 2025. 05. 28

曹伟平，丰硕，程佳旭，郝芯仪，苏亚，吴青君，宋健. 河北省蔬菜瓜果粉虱种类分布调查及携带番茄黄化曲叶病毒检测[J]. 环境昆虫学报，2025，47（5）：1637-1648. CAO Wei-Ping, FENG Shuo, CHENG Jia-Xu, HAO Xin-Yi, SU Ya, WU Qing-Jun, SONG Jian. Survey on species distribution of whiteflies in vegetables and fruits and detection of Tomato yellow leaf curl virus carriage in Hebei [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2025，47（5）：1637-1648.

河北省蔬菜瓜果粉虱种类分布调查及携带番茄黄化曲叶病毒检测

曹伟平[1*]，丰　硕[1*]，程佳旭[1]，郝芯仪[2]，苏　亚[2]，吴青君[3**]，宋　健[1**]

（1. 河北省农林科学院植物保护研究所/农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室/河北省农业有害生物综合防治技术创新中心/河北省作物有害生物综合防治国际科技联合研究中心，河北保定 071000；2. 博野县植保植检站，河北博野 071300；3. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所/蔬菜生物育种全国重点实验室，北京 100081）

摘要：本文明确了河北省粉虱种类、分布及其携带番茄黄化曲叶病毒（Tomato yellow leaf curl virus，TYLCV）情况。在河北省11市33县不同蔬菜瓜果类作物上采集了91份粉虱样本，利用mtDNA COI基因和番茄黄化曲叶病毒AC3基因，鉴定粉虱种类及其是否携带TYLCV，分析粉虱在不同寄主作物及地理区域内的分布情况。在采集的91份粉虱样本中，4份为温室白粉虱*Trialeurodes vaporariorum*均在张家口，其中张家口蔚县茄子上的温室白粉虱携带TYLCV；87份为烟粉虱*Bemisia tabaci*均属于MED隐种，分布在11个地区（邯郸、邢台、石家庄、衡水、沧州、保定、廊坊、唐山、秦皇岛、承德、张家口）29个采集地点，其中39份样本检测到TYLCV；沧州市样本携带TYLCV的烟粉虱MED隐种占比最多（87.5%），其次为唐山市、石家庄市和衡水市样本（携毒率均为55.5%），秦皇岛市样本携毒率最少（11.1%）。本研究可为河北省粉虱及番茄黄化曲叶病毒病的预报预测和科学防控提供理论依据。

关键词：粉虱；烟粉虱；番茄黄化曲叶病毒；河北；检测

中图分类号：Q968. 1； Q965.9　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-0858（2025）05-1637-12

Survey on species distribution of whiteflies in vegetables and fruits and detection of Tomato yellow leaf curl virus carriage in Hebei

CAO Wei-Ping[1*], FENG Shuo[1*], CHENG Jia-Xu[1], HAO Xin-Yi[2], SU Ya[2], WU Qing-Jun[3**], SONG Jian[1**]

(1. Plant Protection Institute, HAAFS/ Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China/ IPM Innovation Center of Hebei Province/ International Science and Technology Joint Research Center on IPM of Hebei Province, Baoding 071000, Hebei Province, China; 2. Boye County Plant Protection and Inspection Station, Boye 071300, Hebei Province, China; 3. Institute of Vegetable and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Vegetable Biobreeding, Beijing 100081, China)

Abstract: This study aimed to identity the species, distribution and Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) carriage status of whiteflies in Hebei Province. A total of 91 whitefly samples were collected from various

基金项目：国家重点研发计划（2022YFD1401200）；河北省农林科学院现代农业科技创新专项课题资助（2022KJCXZX-ZBS-6）；国家植物保护保定观测试验站（NAES087PP14）；河北省重点研发项目（21326505D）

[*]共同第一作者：曹伟平，女，硕士，研究员，研究方向为农业害虫生物防治，E-mail：cwplx751209@163.com；丰硕，男，硕士，助理研究员，研究方向为农业害虫生物防治，E-mail：fengshuo9311@163.com

[**]通讯作者 Author for correspondence：吴青君，女，博士，研究员，研究方向为为昆虫毒理学及综合治理，E-mail：wuqingjun@caas.cn；宋健，女，硕士，研究员，研究方向为农业害虫综合治理，E-mail：sj3250@163.com

收稿日期 Received：2024-04-11；修回日期 Revision received：2024-09-25；接受日期 Accepted：2024-09-28

vegetable and fruit crops across 33 counties in 11 cities in Hebei Province. The mtDNA COⅠ gene and TYLCV AC3 gene were utilized to identify whitefly species and whether they carried TYLCV, and the distribution patterns of whiteflies across different host crops and geographical regions were analyzed. Among the 91 whitefly samples collected, 4 were identified as *Trialeurodes vaporariorum*, all found in Zhangjiakou, and among them, the T. vaporariorum on eggplants in Yu County (Zhangjiakou) carried TYLCV. The remaining 87 whitefly samples were identified as *Bemisia tabaci*, all belonging to the MED cryptic species, distributed across 29 collection sites in 11 regions (Handan, Xingtai, Shijiazhuang, Hengshui, Cangzhou, Baoding, Langfang, Tangshan, Qinhuangdao, Chengde, and Zhangjiakou). Among these, 39 samples were detected with TYLCV. *B. tabaci* MED cryptic species from Cangzhou exhibited the highest TYLCV carrying proportion (87.5%), followed by the samples from Tangshan, Shijiazhuang and Hengshui (all 55.5%), while Qinghuangdao showed the lowest infection rate (11.1%). This study can provide a theoretical basis for forecasting, prediction and scientific control of whitefly and TYLCV diseases in Hebei Province.

Key words: Whitefly; *Bemisia tabaci*; Tomato yellow leaf curl virus; Hebei; detection

粉虱属于半翅目Hemiptera粉虱科Aleyrodidae，是在全球范围广泛分布的农业重要害虫之一。在蔬菜瓜果类等农业作物上，以温室白粉虱*Trialeurodes vaporariorum*和烟粉虱*Bemisia tabaci*的危害最为严重，二者的为害方式均为刺吸寄主植物汁液、分泌蜜露引起煤污病和传播多种病毒，粉虱传播引起的番茄黄化曲叶病发生严重时可导致绝产，给农业生产造成了巨大的经济损失（韩畅等，2020；孙大平等，2021）。温室白粉虱于20世纪60年代初传入我国，70年代中期在华北地区大暴发并迅速扩展到内蒙古一带，很长一段时间中国北方温室中发生的粉虱均为温室白粉虱（张芝利，2000）。进入20世纪90年代中后期，烟粉虱在我国出现了暴发成灾的态势（罗晨和张芝利，2002），在我国东北、华北、华东和西北各省普遍发生，甚至逐渐取代温室白粉虱成为蔬菜瓜果类作物的主要粉虱类害虫（罗晨等，2000）。烟粉虱在全球范围至少有44个隐种，其中MEAM1隐种（常称为B型）和MED隐种（常称为Q型）烟粉虱的入侵性最强，危害性最大（De Barro *et al.*，2011；Kanakala & Ghanim，2019），而烟粉虱Q型相比B型具有更高的抗药性和耐热性（Pascual，2006；Bonato *et al.*，2007）。2008年前在我国造成严重危害的烟粉虱主要是B型烟粉虱（Wang *et al.*，2010），Q型烟粉虱于2003年在我国云南昆明一品红上首次被发现（褚栋等，2012），短短几年时间我国许多农区Q型烟粉虱逐渐取代B型烟粉虱（Chu *et al.*，2010；Hu *et al.*，2011），已经发展成为严重影响我国农业生产的烟粉虱优势隐种（张灿等，2015；褚栋和张友军，2018；Liu *et al.*，2021）。华北平原的气候非常适宜粉虱生存（赵健等，2019），同时华北平原农作物尤其是蔬菜瓜果类的生产产能巨大，每年由于粉虱危害造成的农业经济损失非常严重。河北省是华北平原主要的蔬菜大省，据调查，2007年河北省承德和廊坊地区的烟粉虱为B型（Teng *et al.*，2010），在之后的10余年时间，保定、雄安新区、石家庄和廊坊等地采集到的烟粉虱均为Q型（Pan *et al.*，2011；冯雪莹等，2019）。目前，河北省各地蔬菜瓜果类作物的粉虱种类及优势隐种分布情况尚不完善。

番茄黄化曲叶病毒（Tomato yellow leaf curl virus，TYLCV）属于双生病毒科Geminiviridae菜豆金色花叶病毒属*Begomovirus*，在蔬菜瓜果、豆类以及多种观赏植物等设施栽培中危害严重（Orfanidou *et al.*，2014；罗晨，2016），尤其对番茄生产更是一种毁灭性病害，成为世界许多地区番茄生产的重要限制因素（张前荣等，2017）。温室白粉虱和烟粉虱均能够携带番茄黄化曲叶病毒，在自然条件下，该病毒仅通过烟粉虱传播（Polston *et al.*，2014）。2005年首次在上海发现番茄黄化曲叶病毒病（Wu *et al.*，2006），随后在全国多个省市的不同作物上检测到了TYLCV（Pan *et al.*，2012）。2008年，河北邯郸首次发现番茄黄化曲叶病毒病（邸垫平等，2009），2009年春季在

河北南部大面积暴发流行（张爱红等，2009）。2016-2017年，张爱红等（2019）在河北省18个番茄主产区调查番茄病毒病的危害情况，对262份表现为植株矮化、叶片黄化、褪绿、卷曲等症状的番茄叶片样品进行了检测，除张家口、承德和秦皇岛外，河北省其余地区均发现了由TYLCV引起的番茄黄化曲叶病毒病，TYLCV的侵染率为68.66%，在石家庄、邯郸和唐山的感病番茄叶片中，TYLCV侵染率高达95%以上。

河北省蔬菜瓜果作物上的粉虱发生及携带病毒情况已有文献报道，但多数文献的取样地点较少。为进一步系统了解河北省各地蔬菜瓜果主产区上的粉虱种类、区域分布、烟粉虱隐种及带毒情况，本研究对河北省11市33县不同蔬菜瓜果上的寄主粉虱样本进行鉴定分析，探究粉虱种群发生危害动态及潜在病害发生的风险区域，为河北省蔬菜瓜果上的粉虱及番茄黄化曲叶病毒病综合防治提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 粉虱采集

2022年5月-10月在河北省11市33县不同蔬菜瓜果寄主植物上共采集91份样本，每个样本中至少包含30头粉虱成虫，详细信息见表1。所有样本采集后浸泡于95%乙醇中，-20°C保存，其中每样本随机采用10头供试昆虫进行物种鉴定和TYLCV检测。

1.2 物种鉴定

用试剂盒提取单头试虫总DNA作为模板，利用mtDNA COI基因通用引物LCO1490（5′-CCTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3′）和HCO2198（5′-TAACTYTCACCCICACCAAAAAATCA-3′）进行鉴定（宋鲜梅等，2020），PCR扩增产物约为700 bp，PCR反应程序：94℃预变性5 min；94℃变性45 s，55℃退火45 s，72℃延伸1 min，35个循环；72℃终延伸10 min。经1%琼脂糖凝胶电泳观察并回收纯化目标条带，将纯化样本送公司测序。

1.3 TYLCV检测

将提取的单头试虫总DNA作为模版，每一粉虱个体均利用两对TYLCV特异性引物进行PCR鉴定，引物序列分别为TYLCV-F（5′-ACGCATGCCTCTAATCCAGTGTA-3′）和TYLCV-R（5′-CCAATAAGGCGTAAGCGTGTAGAC-3′）（曹骞等，2013）、PA（5′-CCAGTCTGAGGCTGTAATGT-3′）和PB（5′-AATAAGGCGTAAGCGTGTAG-3′）（曹骞等，2013），PCR扩增产物分别为543 bp和307 bp。PCR反应程序：94℃预变性3 min；94℃变性30 s，56℃退火30 s，72℃延伸30 min，30个循环；72℃终延伸10 min。经2%琼脂糖凝胶电泳观察并回收纯化目标条带，将纯化样本送公司测序。

1.4 基因序列同源性分析

将测序结果提交至NCBI（https://www.ncbi.nlm.nih.gov）进行人工比对，验证测序结果准确性，鉴定粉虱种类、隐种和携带TYLCV情况。使用MEGA 7.0软件构建系统发育进化树，DNAMAN软件和Clustal-Omega（https://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo/）进行多序列比对及序列一致性分析。

2 结果与分析

2.1 河北省粉虱种类及隐种鉴定

经过对mtDNA COI基因的扩增，得到PCR产物大小为700 bp左右，与预计产物大小相近。对所有COⅠ基因测序结果进行BLAST序列比对，结果表明，同一样本中10个粉虱个体间序列相似性为100%，张家口市万全区番茄（1-1）、怀来县番茄和茄子（1-2、1-3）、蔚县茄子（1-4）上的粉虱为温室白粉虱，其余87份样本均为烟粉虱MED隐种，未检测到烟粉虱MEAM1隐种（表1）。

2.2 河北省粉虱mtDNA COI基因系统进化树及一致性分析

同一市相同隐种的粉虱mtDNA COI基因序列选取一条作为该地点的代表，进行多序列比对及序列一致性分析，并构建系统进化树（图1、图2和图3）。结果发现，张家口市温室白粉虱与Serbia（MF688658.1）一致性为99.38%；烟粉虱与温室白粉虱位于不同分支，同源性仅为71%左右；烟粉虱MEAM1隐种和MED隐种形成两个分支，同源性为91%左右；本研究中所有烟粉虱样本均为MED隐种，与Sudan（MH714535.1，LR535721.1）、BurkinaFaso（KY951447.1）、Valencia（LN614545.1）一致性为99%~100%，其中秦皇岛烟粉虱MED隐种COI基因序列与其他地区相比存在细微差异，在

表1 河北省粉虱种类、隐种及其携带TYLCV检测

Table 1 Detection of whitefly species, cryptic species and TYLCV in Hebei

采集地点 Collection location		种群代码 Population code	寄主植物 Host plant	物种 Species	TYLCV检测 Detection of TYLCV
张家口市 Zhangjiakou	万全区 Wanquan	1-1	番茄 Tomato	温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*	-
	怀来县 Huailai	1-2	番茄 Tomato	温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*	-
		1-3	茄子 Eggplant	温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*	-
	蔚县 Yu	1-4	茄子 Eggplant	温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*	+
		1-5	西葫芦 Zucchini	Q	-
		1-6	菜椒 Bell pepper	Q	-
承德市 Chengde	承德县 Chengde	2-1	茄子 Eggplant	Q	-
		2-2	南瓜 Pumpkin	Q	-
		2-3	黄瓜 Cucumber	Q	+
	滦平县 Luanping	2-4	茄子 Eggplant	Q	+
		2-5	黄瓜 Cucumber	Q	+
		2-6	番茄 Tomato	Q	+
	宽城县 Kuancheng	2-7	茄子 Eggplant	Q	-
		2-8	黄瓜 Cucumber	Q	-
		2-9	番茄 Tomato	Q	-
秦皇岛市 Qinhuangdao	卢龙县 Lulong	3-1	黄瓜 Cucumber	Q	-
		3-2	茄子 Eggplant	Q	-
		3-3	番茄 Tomato	Q	-
	昌黎县 Changli	3-4	茄子 Eggplant	Q	-
		3-5	黄瓜 Cucumber	Q	-
		3-6	南瓜 Pumpkin	Q	+
	抚宁区 Funing	3-7	茄子 Eggplant	Q	-
		3-8	豆角 Carob	Q	-
		3-9	黄瓜 Cucumber	Q	-
唐山市 Tangshan	玉田县 Yutian	4-1	南瓜 Pumpkin	Q	-
		4-2	黄瓜 Cucumber	Q	+
		4-3	番茄 Tomato	Q	+
	丰南区 Fengnan	4-4	菜椒 Bell pepper	Q	-
		4-5	茄子 Eggplant	Q	+

续表1 Continued table 1

采集地点 Collection location		种群代码 Population code	寄主植物 Host plant	物种 Species	TYLCV检测 Detection of TYLCV
唐山市 Tangshan	丰南区 Fengnan	4-6	芸豆 Kidney bean	Q	+
	乐亭县 Laoting	4-7	黄瓜 Cucumber	Q	-
		4-8	番茄 Tomato	Q	+
		4-9	茄子 Eggplant	Q	-
衡水市 Hengshui	景县 Jing	5-1	番茄 Tomato	Q	+
		5-2	黄瓜 Cucumber	Q	+
		5-3	茄子 Eggplant	Q	+
	故城县 Gucheng	5-4	番茄 Tomato	Q	-
		5-5	黄瓜 Cucumber	Q	+
		5-6	茄子 Eggplant	Q	+
	饶阳县 Raoyang	5-7	茄子 Eggplant	Q	-
		5-8	辣椒 Pepper	Q	-
		5-9	番茄 Tomato	Q	-
石家庄 Shijiazhuang	藁城区 Gaocheng	6-1	番茄 Tomato	Q	+
		6-2	茄子 Eggplant	Q	+
		6-3	黄瓜 Cucumber	Q	-
	平山县 Pingshan	6-4	辣椒 Pepper	Q	-
		6-5	番茄 Tomato	Q	+
		6-6	黄瓜 Cucumber	Q	-
	高邑县 Gaoyi	6-7	黄瓜 Cucumber	Q	+
		6-8	辣椒 Pepper	Q	+
		6-9	番茄 Tomato	Q	-
廊坊市 Langfang	香河县 Xianghe	7-1	茄子 Eggplant	Q	-
		7-2	番茄 Tomato	Q	-
		7-3	黄瓜 Cucumber	Q	+
	固安县 Guan	7-4	茄子 Eggplant	Q	-
		7-5	番茄 Tomato	Q	-
		7-6	黄瓜 Cucumber	Q	-
	永清县 Yongqing	7-7	番茄 Tomato	Q	+
		7-8	茄子 Eggplant	Q	+
		7-9	黄瓜 Cucumber	Q	+

续表1 Continued table 1

采集地点 Collection location		种群代码 Population code	寄主植物 Host plant	物种 Species	TYLCV检测 Detection of TYLCV
沧州市 Cangzhou	南皮县 Nanpi	8-1	番茄 Tomato	Q	+
		8-2	黄瓜 Cucumber	Q	+
	南大港 Nandagang	8-3	番茄 Tomato	Q	+
		8-4	茄子 Eggplant	Q	+
		8-5	黄瓜 Cucumber	Q	+
	青县 Qing	8-6	番茄 Tomato	Q	+
		8-7	甜瓜 Sweet melon	Q	+
		8-8	番茄 Tomato	Q	-
邢台市 Xingtai	临西县 Linxi	9-1	甜瓜 Sweet melon	Q	-
		9-2	茄子 Eggplant	Q	-
		9-3	黄瓜 Cucumber	Q	-
	南和县 Nanhe	9-4	番茄 Tomato	Q	+
		9-5	黄瓜 Cucumber	Q	+
		9-6	甜瓜 Sweet melon	Q	-
	隆尧县 Longyao	9-7	番茄 Tomato	Q	+
		9-8	甜瓜 Sweet melon	Q	-
保定市 Baoding	高阳县 Gaoyang	10-1	甜瓜 Sweet melon	Q	-
		10-2	番茄 Tomato	Q	-
	定兴县 Dingxing	10-3	番茄 Tomato	Q	-
		10-4	黄瓜 Cucumber	Q	-
		10-5	芸豆 Kidney bean	Q	-
	清苑区 Qingyuan	10-6	番茄 Tomato	Q	+
		10-7	茄子 Eggplant	Q	+
		10-8	豆角 Carob	Q	-
邯郸市 Handan	大名县 Daming	11-1	番茄 Tomato	Q	+
		11-2	芸豆 Kidney bean	Q	+
	馆陶县 Guantao	11-3	番茄 Tomato	Q	-
		11-4	黄瓜 Cucumber	Q	-
	永年县 Yongnian	11-5	番茄 Tomato	Q	+
		11-6	黄瓜 Cucumber	Q	-
		11-7	茄子 Eggplant	Q	-

注：Q为烟粉虱MED隐种。Note: Q meant MED cryptic species of *Bemisia tabaci*.

第7个碱基位置缺少一个碱基G，可能与烟粉虱MED隐种的来源及其对环境的适应等有关。

2.2 河北省粉虱携带TYLCV的分子检测结果

利用TYLCV-F、TYLCV-R和PA、PB两对特异性引物，对采集的91份样本进行TYLCV检测，张家口蔚县茄子上温室白粉虱样本和其余10市39份烟粉虱MED隐种样本中扩增出543 bp和307 bp的目的条带。沧州市样本中带毒烟粉虱占比最高，为87.5%，其次为唐山市、衡水市和石家庄市，带毒烟粉虱占比均为55.5%，承德市和廊坊市44.4%，邯郸市42.8%，邢台市37.5%，保定市25.0%，秦皇岛市带毒烟粉虱占比最少（11.1%），张家口市未检测到携带黄化曲叶病毒的烟粉虱（表1）。

2.3 TYLCV基因系统进化树及一致性分析

对2.2中40份样本的TYLCV序列进行分析，同一市选取一条基因序列作为该市代表序列，进行多序列比对及序列一致性分析，并构建系统进化树（图4、图5和图6）。发现中国番茄黄化曲叶病毒（TYLCCV）与番茄黄花曲叶病毒（TYLCV）形成不同的分支，序列一致性仅为75%左右；从11个市粉虱上检测到的TYLCV序列与Shangdong（HM627884.1）、Israel（GU434144.1）、Beijing（GU983859.1）、Zhejiang（FN256256.1）和Korea（GU126513.1）聚在同一支，序列一致性都在99%以上，最多相差3个碱基。11市粉虱携带的TYLCV序列比对一致性高达99.79%~100%，其中廊坊市和邢台市与其他地区TYLCV序列相比，均在第22个碱基位置缺少一个碱基A，可能与TYLCV来源及TYLCV为适应某一地区烟粉虱种群传毒而进化有关。

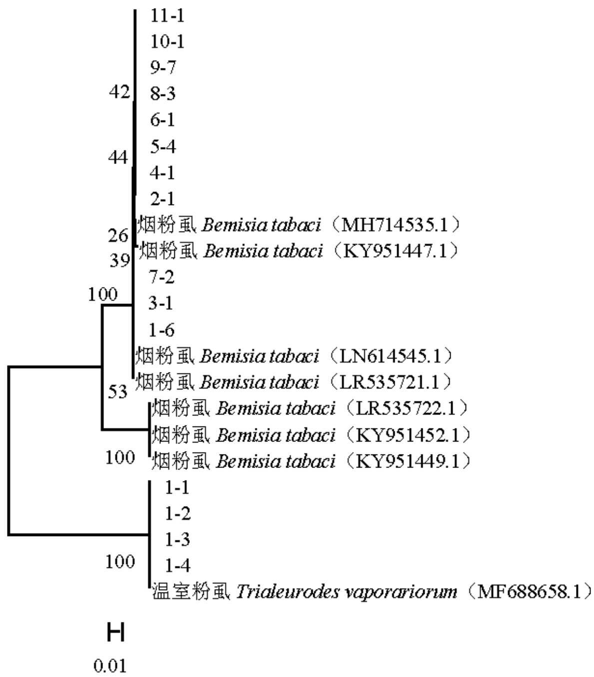

图1 河北省粉虱种群mtDNA COI基因NJ进化树

Fig. 1 Neighbor-Joining phylogenetic tree of mtDNA COI gene of whitefly populations from Hebei Province

	1-1	1-2	1-3	1-4	MF688658.1	LR535722.1	KY951452.1	KY951449.1	3-1	KY951447.1	LN614545.1	LR535721.1	11-1	10-1	9-7	8-3	7-2	6-1	5-4	4-1	1-6	2-1	MH714535.1
1-1	100																						
1-2	100	100																					
1-3	100	100	100																				
1-4	100	100	100	100																			
MF688658.1	99.38	99.38	99.38	99.38	100																		
LR535722.1	70.02	70.02	70.02	70.02	70.52	100																	
KY951452.1	70.02	70.02	70.02	70.02	70.52	100	100																
KY951449.1	70.02	70.02	70.02	70.02	70.52	100	100	100															
3-1	72.18	72.18	72.18	72.18	71.72	91.19	91.19	91.19	100														
KY951447.1	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.23	100													
LN614545.1	71.56	71.56	71.56	71.56	72.07	91.98	91.98	91.98	99.23	99.69	100												
LR535721.1	71.56	71.56	71.56	71.56	72.07	91.98	91.98	91.98	99.23	99.69	100	100											
11-1	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100										
10-1	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100									
9-7	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100								
8-3	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100							
7-2	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100	100						
6-1	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100	100	100					
5-4	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100	100	100	100				
4-1	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100	100	100	100	100			
1-6	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
2-1	71.87	71.87	71.87	71.87	72.07	91.67	91.67	91.67	99.54	99.69	99.69	99.69	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
MH714535.1	71.72	71.72	71.72	71.72	71.91	91.82	91.82	91.82	99.38	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	100

图2 河北省粉虱种群mtDNA COI基因序列一致性分析

Fig. 2 Sequence identity analysis of mtDNA COI gene of whitefly populations from Hebei Province

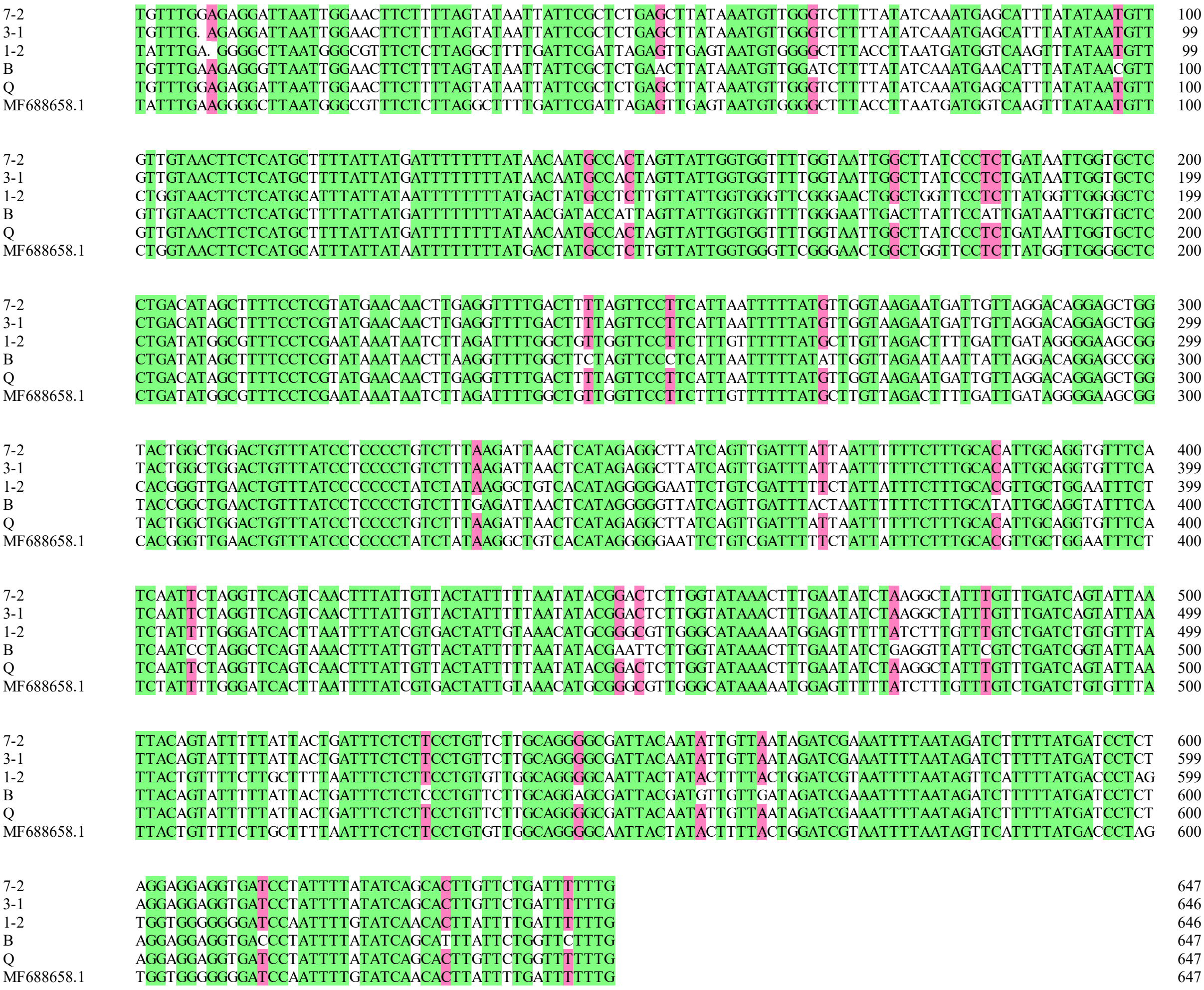

图3 河北省粉虱种群mtDNA COI基因序列比对（选取部分样本序列）

Fig. 3 Sequence alignment of mtDNA COI gene of whitefly populations from Hebei Province (partial samples shown)

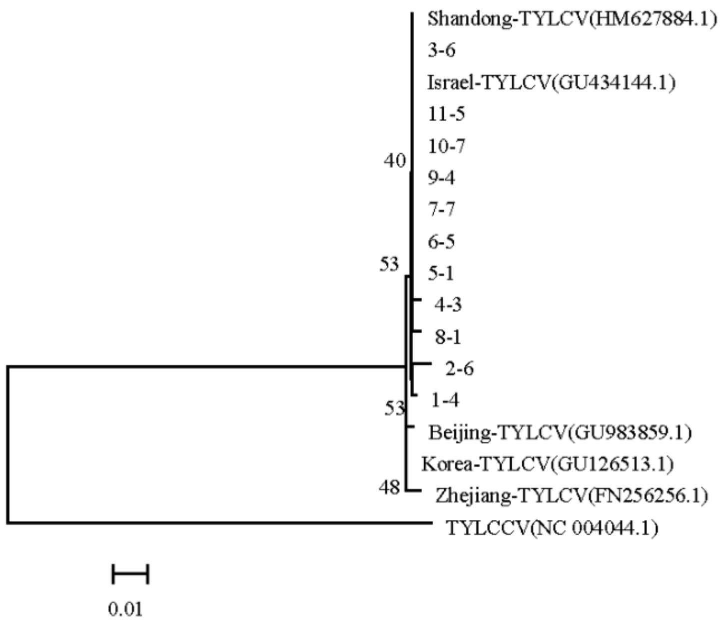

图4 河北省不同地区番茄黄化曲叶病毒AC3基因系统进化树

Fig. 4 Phylogenetic tree of Tomato yellow leaf curl virus AC3 gene in different regions of Hebei Province

	TYLCCV(NC_004044.1)	7-7	9-4	Zhejiang-TYLCV(FN256256.1)	Beijing-TYLCV(GU983859.1)	Korea-TYLCV(GU126513.1)	1-4	2-6	3-6	4-3	5-1	6-5	8-1	10-7	11-5	Israel-TYLCV(GU434144.1)	Shandong-TYLCV(HM627884.1)
TYLCCV(NC_004044.1)	100																
7-7	75.05	100															
9-4	75.05	100	100														
Zhejiang-TYLCV(FN256256.1)	75.72	98.56	98.56	100													
Beijing-TYLCV(GU983859.1)	75.72	98.56	98.56	99.18	100												
Korea-TYLCV(GU126513.1)	76.13	98.97	98.97	99.59	99.59	100											
1-4	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100										
2-6	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100									
3-6	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100								
4-3	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100	100							
5-1	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100	100	100						
6-5	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100	100	100	100					
8-1	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100	100	100	100	100				
10-7	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100	100	100	100	100	100			
11-5	75.72	99.38	99.38	99.18	99.18	99.59	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Israel-TYLCV(GU434144.1)	75.93	99.18	99.18	99.38	99.38	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	100	
Shandong-TYLCV(HM627884.1)	75.93	99.18	99.18	99.38	99.38	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	99.79	100	100

图5 河北省不同地区番茄黄化曲叶病毒AC3基因序列一致性分析

Fig. 5 Sequence identity analysis of Tomato yellow leaf curl virus AC3 gene in different regions of Hebei Province

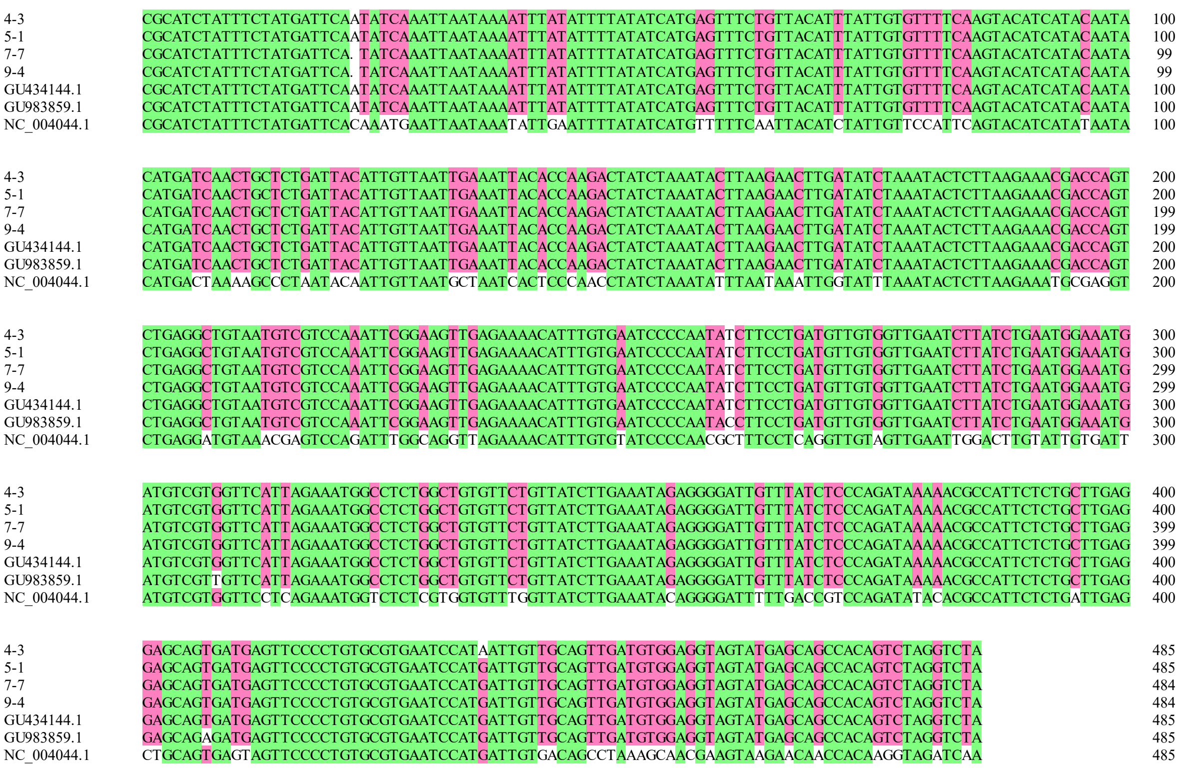

图6 河北省不同地区番茄黄化曲叶病毒AC3基因序列比对（选取部分样本序列）

Fig. 6 Sequence alignment of Tomato yellow leaf curl virus AC3 gene in different regions of Hebei Province (partial samples shown)

2.4 河北省粉虱及携带TYLCV的寄主及区域分布特征

在采集的河北省11市33县91份样本中，40份粉虱样本检测到携带TYLCV，分布在11个市29个采集地点，其中1份为张家口蔚县茄子上温室白粉虱，其余10市共检测到39份携带TYLCV的烟粉虱MED隐种。寄主植物方面，在番茄、黄瓜、茄子、芸豆、辣椒、南瓜和甜瓜等作物上均检测到携带TYLCV的粉虱，西葫芦和菜椒上的烟粉虱未检测到TYLCV。携带TYLCV的烟粉虱已分布于河北省内除张家口以外的所有地区，尤其在河北省东部、中部和南部分布最为广泛，已成为番茄黄化曲叶病毒病暴发的高风险区域。粉虱及携带TYLCV的区域分布详细信息见图7和表1。

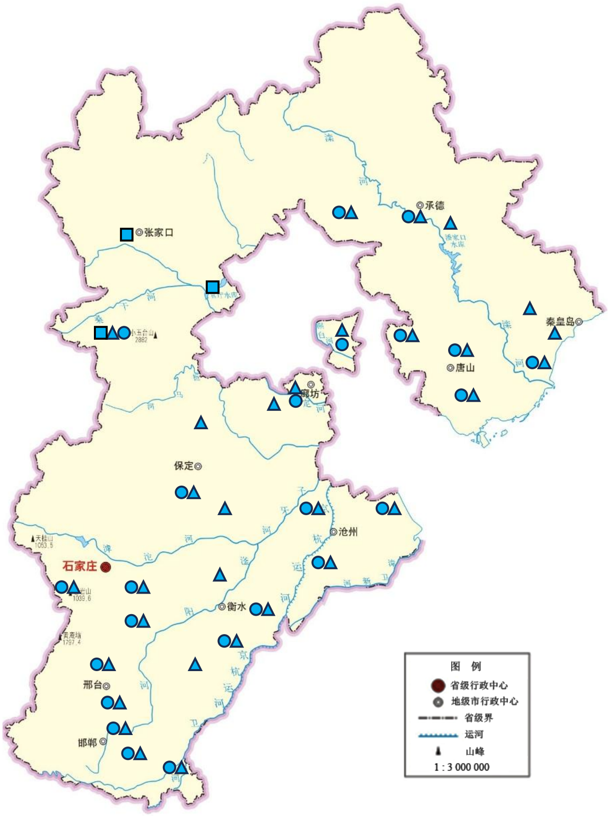

图7 河北省粉虱及其携带TYLCV的区域分布图

Fig. 7 Geographica distribution of whiteflies and their status of carrying TYLCV in Hebei

注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS（2019）3333号的标准地图制作，底图无修改。▲，温室白粉虱发生区；●，烟粉虱MED隐种发生区；■，粉虱携带番茄黄化曲叶病毒区。Note: This map was based on the standard map with the review number GS (2019) 3333 downloaded from the Standard Map Service website of the National Bureau of Surveying and Mapping Geographic Information. The base map was unmodified. ▲, Distribution area of *T. vaporariorum* in Hebei; ●, Distribution area of the MED cryptic species of *B. tabaci* Q in Hebei; ■, Distribution area of whiteflies carrying TYLCV.

3 结论与讨论

烟粉虱和温室白粉虱是生态位非常相近的两种近缘种，它们有许多共同的寄主，经常同时发生。烟粉虱通过多种生理、行为途径与温室白粉虱进行种间竞争，近年来烟粉虱在多地逐渐取代了温室白粉虱而成为主要粉虱类害虫（罗晨等，2000）。本次调查发现，河北省张家口3县（区）的6个样本中，其中4个样本为温室白粉虱，两个为烟粉虱MED隐种，这可能于张家口位于河北的西北部、气温相对较低的有关；在其余10市的蔬菜瓜果上，所有烟粉虱样本均为烟粉虱MED隐种，未检测到烟粉虱MEAM1隐种。上述结果表明，烟粉虱MED隐种已经成为河北省大部分地区蔬菜瓜果作物上粉虱优势种。

有报道表明，温室白粉虱携带TYLCV但不能传播TYLCV（付雪等，2015），一般认为烟粉虱是TYLCV传播的主要媒介。田间观察也表明，烟粉虱种群的暴发往往伴随着番茄黄化曲叶病毒病的流行，在田间的危害程度与烟粉虱密度呈正相关（Pan *et al.*，2012）。此次在河北省11市33县91份粉虱样本检测中，仅在张家口蔚县茄子上的温室白粉虱携带TYLCV，其余40份携带TYLCV的均为烟粉虱MED隐种，其中沧州市、唐山市、石家庄市和衡水市带毒烟粉虱占比较高，与当地番茄黄化曲叶病毒病发生危害情况表现基本一致。烟粉虱MED隐种依靠其寄主范围广等特性，可在多种植物上大范围传播TYLCV，TYLCV的寄主包括番茄、辣椒、甜椒、菜豆、豇豆、南瓜、黄秋葵、苋菜、刺茄、烟草等30种植物（张前荣等，2017）。此前，河北省内番茄黄化曲叶病毒的寄主植物仅有番茄的相关文献，本次调查发现，携带TYLCV的烟粉虱的寄主植物涉及茄科（番茄、茄子、辣椒）、葫芦科（黄瓜、南瓜、甜瓜）、豆科（芸豆），表明河北省农业生产中尤其是蔬菜瓜果类作物存在番茄黄化曲叶病毒病潜在高风险。鉴于此，应大力加强番茄黄化曲叶病毒病的发生监测，做好预测预报和防控监测，防止带毒粉虱进一步蔓延，避免番茄黄化曲叶病毒病大规模暴发。

近年来，番茄褪绿病毒（Tomato chlorosis virus，ToCV）成为我国番茄生产中的重要的新生病毒，在北京、山东、河北、天津等省市相继发生传播。ToCV属于长线形病毒科Closteroviridae毛形病毒属 *Crinivirus*，研究表明，番茄褪绿病毒传播主要是以烟粉虱MED隐种为主，但温室白粉虱对ToCV也具有一定的获毒和传毒能力（李娇娇等2018；王帅鑫等，2020）。在本次调查采集中，由于时间和人员限制，存在某个地区粉虱采集地点和时间相对集中、寄主植物类别较少等情况，今后，将继续针对河北省粉虱种类、烟粉虱隐种、

区域分布及其携带番茄黄化曲叶病毒情况进行长期监测，同时扩大采集地点和寄主范围，开展粉虱携带ToCV等病毒情况调查以及不同地区粉虱抗药性评价等工作，为河北省科学、合理、有效控制粉虱危害和减轻番茄黄化曲叶病毒病的发生提供理论依据与指导。

参考文献（References）

Bonato O, Lurette A, Vidal C, *et al*. Modelling temperature-dependent bionomics of *Bemisia tabaci* (Q-biotype) [J]. *Physiological Entomology*, 2007, 32 (1): 50–55.

Cao Q, Li J, Mairemuguli K, *et al*. Biotype distribution and infection status of Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Xinjiang, northwestern China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (6): 652–664. [曹骞, 李晶, 买热木古丽·克依木, 等. 新疆地区烟粉虱生物型的区域分布及其携带的番茄黄化曲叶病毒检测 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (6): 652–664]

Chu D, Pan HP, Guo D, *et al*. Ecological processes and mechanisms of invasion of the alien whitefly *Bemisia tabaci* biotype Q in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (12): 1399–1405. [褚栋, 潘慧鹏, 国栋, 等. Q型烟粉虱在中国的入侵生态过程及机制 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (12): 1399–1405]

Chu D, Wan FH, Zhang YJ, *et al.* Change in the biotype composition of *Bemisia tabaci* in Shandong Province of China from 2005 to 2008 [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39 (3): 1028–1036.

Chu D, Zhang YJ. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (5): 51–55. [褚栋, 张友军. 近10年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展 [J]. 植物保护, 2018, 44 (5): 51–55]

De Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, *et al*. *Bemisia tabaci*: A statement of species status [J]. *Annual Review of Entomology*, 2011, 56: 1–19.

Di DP, Gong HR, Zhang SM, *et al*. A new tomato disease, Tomato yellow leaf curl virus, occurred in Hebei Province. In: Cheng ZM, ed. Food Security and Innovation in Plant Protection Technology [C]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009: 207–209. [邸垫平, 攻焕然, 张书敏, 等. 河北省发生一种番茄新病害——番茄黄化曲叶病毒病. 见: 成卓敏主编. 粮食安全与植保科技创新 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009, 207–209]

Feng YY, Zhang YB, Huang YC, *et al*. Population dynamics and spatial distribution of *Bemisia tabaci* in Xiongan new area and its surrounding areas [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21 (10): 115–124. [冯雪莹, 张毅波, 黄玉翠, 等. 雄安新区及其周边地区烟粉虱的种群动态及空间分布格局 [J]. 中国农业科技导报, 2019, 21 (10): 115–124]

Fu X, Zhao KJ, Zhao N, *et al*. Effects of Tomato yellow leaf curl virus on the fitness of greenhouse whitefly [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (1): 113–123. [付雪, 赵奎军, 赵娜, 等. 番茄黄化曲叶病毒对温室白粉虱适合度的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (1): 113–123]

Han C, Zhang XW, Gao GL, *et al*. Distribution of Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) from tomatoes and *Bemisia tabaci* in Xinjiang [J]. *Journal of Shihezi University*, 2020, 38 (2): 160–165. [韩畅, 张兴旺, 高国龙, 等. 新疆番茄黄化曲叶病毒与烟粉虱隐种的区域分布检测 [J]. 石河子大学学报, 2020, 38 (2): 160–165]

Hu J, De Barro P, Zhao H, *et al.* An extensive field survey combined with a phylogenetic analysis reveals rapid and widespread invasion of two alien whiteflies in China [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (1): e16061.

Li JJ, Yu Y, Zhang XX, *et al*. Transmission of Tomato chlorosis virus (ToCV) by *Bemisia tabaci* biotype Q adults [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (2): 228–234. [李娇娇, 于毅, 张秀霞, 等. Q型烟粉虱成虫传播番茄褪绿病毒的能力 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (2): 228–234]

Kanakala S, Ghanim M. Global genetic diversity and geographical distribution of *Bemisia tabaci* and its bacterial endosymbionts [J]. *PloS ONE*, 2019, 14 (3): e0213946.

Liu SX, Yu H, Vlasenko VA. Overview of the occurrence and prevention of *Bemisia tabaci* invasion in China [J]. *NASS Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 3 (1): 18–20.

Luo C. *Bemisia tabaci* species complex—small insect pests cause great damage [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (1): 1–4. [罗晨. 烟粉虱复合种——小昆虫, 大危害 [J]. 植物保护学报, 2016, 43 (1): 1–4]

Luo C, Zhang JM, Shi BC, *et al*. Preliminary report on the investigation of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Beijing area [J]. *Beijing Agricultural Science*, 2000, S1: 42–47. [罗晨, 张君明, 石宝才, 等. 北京地区烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 调查初报 [J]. 北京农业科学, 2000, S1: 42–47]

Luo C, Zhang ZL. The occurrence and prevention of *Bemisia tabaci* [J]. *Plant Protection Technology and Extension*. 2002, 22 (3): 35–37, 39. [罗晨, 张芝利. 烟粉虱的发生与防治 [J]. 植保技术与推广, 2002, 22 (3): 35–37, 39]

Orfanidou CG, Dimitriou C, Papayiannis LC, *et al*. Epidemiology and genetic diversity of criniviruses associated with tomato yellows disease in Greece [J]. *Virus Research*, 2014, 186: 120–129.

Pan HP, Chu D, Ge DQ, *et al*. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2011, 104 (3): 978–985.

Pan HP, Chu D, Yan WQ, *et al*. Rapid spread of Tomato yellow leaf curl virus in China is aided differentially by two invasive whiteflies [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7 (4): e34817.

Pascual S. Mechanisms in competition, under laboratory conditions, between Spanish biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* (Gennadius) [J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2006, 4 (4): 351–354.

Polston JE, De Barro P, Boykin LMT, *et al*. Transmission specificities of plant viruses with the newly identified species of the *Bemisia tabaci* species complex [J]. *Pest Management Science*, 2014, 70 (10): 1547–1552.

Song XM, Li M, He YC, *et al*. Molecular identification of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* biotypein Ningxia based on mtDNA *COI* gene [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2020, 29 (2): 238–247. [宋鲜梅, 李敏, 何云川, 等. 基于mtDNA *COI* 基因的宁夏烟粉虱及温室白粉虱分子鉴定 [J]. 西北农业学报, 2020, 29 (2): 238–247]

Sun DP, Lu Q, Wang P, *et al*. Pathogenicity of four pathogenic fungi to *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2021, 43 (6): 664–672. [孙大平, 路茜, 王鹏, 等. 4种病原真菌对桃蚜和温室白粉虱的致病力 [J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43 (6): 664–672]

Teng X, Wan FH, Chu D, *et al*. *Bemisia tabaci* biotype Q dominates other biotypes across China [J]. *Florida Entomologist*, 2010, 93 (3): 363–368.

Wang SX, Shi XB, Zhang ZH, *et al*. Effect of the whitefly occurrence in Inner Mongolia and Guizhou on the prevalence of Tomato chlorotic virus [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (5): 42–46, 52. [王帅鑫, 史晓斌, 张战泓,等. 内蒙古和贵州地区粉虱发生对番茄褪绿病毒流行的影响 [J]. 植物保护, 2020, 46 (5): 42–46, 52]

Wang ZH, Yan HF, Yang YH, *et al*. Biotype and insecticide resistance status of the whitefly *Bemisia tabaci* from China [J]. *Pest Management Science*, 2010, 66 (12): 1360–1366.

Wu JB, Dai F, Zhou XP. First Report of Tomato yellow leaf curl virus in China [J]. *Plant Disease*, 2006, 90 (10): 1359–1359.

Zhang AH, Yang F, Pan Y, *et al*. Identification and distribution of mixed infections of Tomato yellow leaf curl virus and Tomato chlorosis virus in Hebei Province, China [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2019, 49 (2): 271–275. [张爱红, 杨菲, 潘阳, 等. 河北省番茄黄化曲叶病毒和番茄褪绿病毒复合侵染及分布 [J]. 植物病理学报, 2019, 49 (2): 271–275]

Zhang AH, Zhang SM, Liu S, *et al*. Occurrence and distribution of Tomato yellow leaf curl disease in Hebei Province [J]. *Plant Protection*, 2009, 36 (4): 127–129, 137. [张爱红, 张书敏, 刘帅, 等. 2009年河北省番茄黄化曲叶病毒病发生危害和分布 [J]. 植物保护, 2009, 36 (4): 127–129, 137]

Zhang C, Wang XM, Qiu BL, *et al*. Review of current research on *Bemisia tabaci* (Gennadius) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (1): 32–46. [张灿, 王兴民, 邱宝利, 等. 烟粉虱热点问题研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (1): 32–46]

Zhao J, Li ZP, Zhang HW, *et al*. Prediction of potential distribution of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* in China based on MaxEnt niche model and GIS [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (6): 1292–1300. [赵健, 李志鹏, 张华纬, 等. 基于MaxEnt模型和GIS技术的烟粉虱适生区预测 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (6): 1292–1300]

Zhang QR, Li DZ, Zhu HS, *et al*. Advances in research of Tomato yellow leaf curl virus [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15 (9): 3709–3716. [张前荣, 李大忠, 朱海生, 等. 番茄黄化曲叶病毒研究进展 [J]. 分子植物育种, 2017, 15 (9): 3709–3716]

Zhang ZL. Reflection on the outbreak of *Bemisia tabaci* [J]. *Beijing Agricultural Science*, 2000, SI: 1–3. [张芝利. 关于烟粉虱大发生的思考 [J]. 北京农业科学, 2000, SI: 1–3]