

天津市烟粉虱隐种鉴定及其携带TYLCV、内共生菌情况和抗药性监测



胡明鑫^{1,2} 杨泽众² 李妍^{2,3} 张楠² 王芳² 白义川²
焦晓国³ 张李香^{1*} 刘佰明^{2*}

(1. 黑龙江大学现代农业与生态环境学院, 哈尔滨 150080; 2. 天津市农业科学院植物保护研究所, 天津 300384;
3. 湖北大学生命科学学院, 武汉 430062)

摘要: 为明确天津市烟粉虱 *Bemisia tabaci* 隐种的类别及其寄主适应性、传毒能力、携带内共生菌情况和抗药性, 采用 mtCOI 酶切法对从武清、西青、蓟州和宁河 4 个区的番茄、黄瓜及辣椒 3 种寄主上采集的 12 个烟粉虱种群进行隐种鉴定, 采用 PCR 检测其携带番茄黄化曲叶病毒 (tomato yellow leaf curl virus, TYLCV) 和内共生菌情况, 并采用浸叶法测定其对 4 种常用药剂的抗性。结果表明, 采集的烟粉虱种群以 MED 隐种为主, 占有检测个体的 93.33%, 有 3 个种群为 MED 和 MEAM1 隐种混合发生。所有检测个体中有 36.25% 的个体携带 TYLCV, 在 6 个种群中检测到 TYLCV, 其中 5 个种群有超过 50% 的个体携带 TYLCV。在 12 个种群中共检测到 *Hamiltonella*、立克次氏体 *Rickettsia*、*Cardinium* 和杀雄菌属 *Arsenophonus* 共 4 种内共生菌, 携带个体比例分别为 90.63%、48.96%、43.75% 和 8.33%, 进一步对内共生菌协同感染情况进行分析, 发现有 HARC、HRC、HAC、HR、HC 和 AC 共 6 个协同感染型, 感染率分别为 4.17%、28.13%、3.13%、14.58%、5.21% 和 1.04%。阿维菌素对天津市烟粉虱种群的毒力普遍较高, LC_{50} 介于 0.05~0.66 mg/L 之间, 噻虫嗪的毒力则普遍较低, LC_{50} 介于 267.63~2 998.80 mg/L 之间。4 种药剂对其中 9 个种群的毒力顺序为阿维菌素>溴氰虫酰胺>吡虫啉>噻虫嗪, 对另外 3 个种群的毒力顺序为阿维菌素>吡虫啉>溴氰虫酰胺>噻虫嗪。

关键词: 烟粉虱; 隐种; 番茄黄化曲叶病毒 (TYLCV); 内共生菌; 抗药性

Cryptic *Bemisia tabaci* species harboring tomato yellow leaf curl virus and endosymbionts and insecticide resistance monitoring in Tianjin

Hu Mingxin^{1,2} Yang Zezhong² Li Yan^{2,3} Zhang Nan² Wang Fang² Bai Yichuan²
Jiao Xiaoguo³ Zhang Lixiang^{1*} Liu Baiming^{2*}

(1. College of Modern Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080, Heilongjiang Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China;
3. School of Life Sciences, Hubei University, Wuhan 430062, Hubei Province, China)

Abstract: To define the cryptic species of tobacco whitefly *Bemisia tabaci*, as well as their host fitness, virus transmission, facultative symbiont vectoring and insecticide resistance in Tianjin, the mitochondrial cytochrome oxidase I (mtCOI) gene sequences was used to identify 12 populations of *B. tabaci* collected from three host plants (tomato, cucumber and pepper) in four districts (Wuqing, Xiqing, Jizhou and Ninghe) in Tianjin. Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) and endosymbionts were detected in

基金项目: 国家自然科学基金(31772171, 32102216), 国家重点研发计划(2019YFD1002100), 天津市“131”创新型人才团队项目(201931), 天津市农业科学院青年科研人员创新研究与实验项目(201903)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: fjszhanglx@126.com, baimingliu@126.com

收稿日期: 2021-01-16

these populations by PCR. The resistance to four insecticides was also monitored in the 12 *B. tabaci* populations. The results indicated that the Mediterranean (MED) species accounted for 93.33% among the total whitefly samples tested, and there were three mixed *B. tabaci* populations with MED and Middle East-Asia Minor 1 (MEAM1). The rate of TYLCV-carrying whiteflies was 36.25% of the total tested samples, and TYLCV was detected in six populations, five of which had a virus-carrying rate of more than 50%. The endosymbionts *Hamiltonella*, *Rickettsia*, *Cardinium* and *Arsenophonus* of *B. tabaci* were detected in 12 populations, accounting for 90.63%, 48.96%, 43.75% and 8.33%, respectively. Further analysis of the co-infection of the four endosymbionts indicated that there were six co-infection types, including HARC, HRC, HAC, HR, HC and AC, and the infection rates were 4.17%, 28.13%, 3.13%, 14.58%, 5.21% and 1.04%, respectively. Generally, *B. tabaci* in Tianjin was more sensitive to abamectin (LC_{50} : 0.05–0.66 mg/L), but more resistant to thiamethoxam (LC_{50} : 267.63–2 998.80 mg/L). The toxicity of the four insecticides to nine populations was ranked as followed: avermectin>cyantraniliprole>imidacloprid>thiamethoxam, and to the other three populations, avermectin>imidacloprid>cyantraniliprole >thiamethoxam.

Key words: *Bemisia tabaci*; putative species; tomato yellow leaf curl virus (TYLCV); endosymbiont; insecticide resistance

烟粉虱 *Bemisia tabaci* 是为害蔬菜作物最广泛和严重的害虫之一,可取食至少 600 余种寄主植物 (Iram et al., 2014),对全球许多重要农作物造成了严重的经济损失。烟粉虱除了通过吸食植物韧皮部汁液进行直接为害外,还可传播植物病毒病等造成植物叶片发生卷曲及黄化等症状,失去商品价值;此外烟粉虱还分泌蜜露,导致植物发生煤污病,影响植物的光合作用和正常的生理生化反应 (褚栋和张友军, 2018)。烟粉虱是一个至少由 44 个隐种组成的复合体,其中对经济影响最大的是中东小亚细亚 1 隐种 (Middle East-Asia Minor 1, MEAM1) 和地中海隐种 (Mediterranean, MED),也分别称为 B 型和 Q 型烟粉虱 (Mahadav et al., 2009)。不同隐种的寄主适应性、传毒能力、感染内共生菌情况及抗药性有所不同 (Brown et al., 1995; Liu et al., 2012),因此明确当地烟粉虱隐种类型是准确有效防控该害虫的前提条件 (Qiu et al., 2003)。目前,我国烟粉虱主要以 MED 隐种为主,部分地区为 MED 和 MEAM1 隐种混合发生 (Wang et al., 2010; Pan et al., 2011; Tang et al., 2020)。天津市的烟粉虱曾报道为 MED 隐种 (Teng et al., 2010),但是调查时间较久,采集样点也较少,并不能全面反应近期烟粉虱隐种分布情况,给当地的烟粉虱防治工作带来了较大困难。

烟粉虱至少可以携带 400 多种病毒,其中双生病毒科 *Geminiviridae* 菜豆金黄花叶病毒属 *Begomovirus* 是危害最重的病毒类型 (Seal et al., 2006)。自 2006 年以来,番茄黄化曲叶病毒 (tomato yellow leaf

curl virus, TYLCV) 入侵我国并快速扩散 (Zhang et al., 2009),我国番茄每年受害面积达到 6.67 万 hm^2 以上,经济损失达到几十亿,对我国番茄产业造成巨大的威胁 (褚栋和张友军, 2018)。Pan et al. (2012a) 调查了全国 55 个烟粉虱种群,其中有 18 个种群携带 TYLCV,并且 MED 隐种感染 TYLCV 的比例明显高于 MEAM1 隐种。近年来,由 TYLCV 引起的病毒病在天津市持续暴发 (郝永娟等, 2010),明确当前该地区烟粉虱携带 TYLCV 情况将为制定有效的病毒病防治策略提供参考依据。

烟粉虱内共生菌也常因隐种类型、所在地区、寄主种类、携带病毒种类和抗药性不同而产生差别 (Karut & Tok, 2014)。烟粉虱内共生菌包括杀雄菌属 *Arsenophonus*、*Cardinium*、*Hamiltonella*、沃尔巴克氏体 *Wolbachia*、*Fritschea*、立克次氏体 *Rickettsia* 和 *Portiera* 等 (Gottlieb et al., 2008; Tajebe et al., 2015)。Pan et al. (2012b) 通过对全国 61 个烟粉虱种群进行监测,发现所有种群都具有内共生菌 *Portiera*,而 *Cardinium*、*Hamiltonella*、立克次氏体和沃尔巴克氏体的感染率及其协同感染率均存在显著差异,而杀雄菌属和 *Fritschea* 的感染率则无显著差异。同时 Pan et al. (2013) 发现烟粉虱甘蓝种群比棉花种群携带更多 *Portiera* 和 *Hamiltonella*。另外,内共生菌的类型对烟粉虱传播病毒的能力也有影响,如 Gottlieb et al. (2010) 通过研究 GroEL 蛋白发现内共生菌 *Hamiltonella* 可以与 TYLCV 衣壳蛋白互作,而 *Portiera* 和立克次氏体则无此功能。内共生菌也会

参与烟粉虱对药剂的抗性,如陈露等(2018)发现烟粉虱抗吡虫啉种群中立克次氏体、*Candidatus Portiera*、*Candidatus Hamiltonella*、S24-7-OTU297和*Prevotella*的含量显著高于敏感种群,表明这些内共生菌可能是烟粉虱对吡虫啉产生抗性的原因之一。因此,明确内共生菌的携带情况将为烟粉虱的有效防治提供参考。

目前,化学防治仍然是防控烟粉虱最有效的手段,然而随着近年以来化学农药的大量使用,抗药性的增加已成为烟粉虱防治工作中的重要障碍之一(Basit, 2019)。当前对全国烟粉虱的抗药性监测表明,其对有机磷类、新烟碱类和拟除虫菊酯类等杀虫剂的抗性逐年上升(Luo et al., 2010; Wang et al., 2010; Rao et al., 2012), Yao et al. (2017)对福建省烟粉虱连续10年进行抗药性监测,发现其对新烟碱类的抗性表现出持续增长趋势,对阿维菌素、高效氯氟氰菊酯和毒死蜱的抗性则呈下降趋势; Wang F et al. (2020)在山东省对烟粉虱的抗药性监测也得到了相同的结论。天津市是我国重要的港口城市,国内外人员往来和货物调运十分频繁,这无疑会加剧当地烟粉虱隐种替代及传播的病毒病流行,从而对当地农业经济造成巨大的损失。基于此,阐明本地区烟粉虱隐种种类以及携带病毒和内共生菌情况及其抗药性是进一步制定防治策略的基础,本研究对天津市4个地区12个烟粉虱种群的隐种种类进行鉴定,对其携带TYLCV和内共生菌情况进行测定,并监测其对4种常用药剂的抗性,以期了解天津市烟粉虱本底情况和制订科学合理的防控策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源及植物:于2020年自天津市武清、西青、蓟州和宁河4个区的番茄、黄瓜和辣椒3种蔬菜寄主上采集烟粉虱种群,共获得12个烟粉虱种群,每个种群约有5 000头成虫。室内对照烟粉虱种群为MED隐种,从中国农业科学院蔬菜花卉研究所引进,用长和宽均为45 cm、高50 cm、孔径18.5 mm的尼龙纱网养虫笼饲养在天津市农业科学院植物保护研究所内棉花苗上,饲养条件为温度(26±2)℃、相对湿度(60±10)%、光周期16 L:8 D、光照强度3 000 lx,连续饲养已超过70代,期间不用任何化学农药,平均每18~20 d更新一代。棉花品种为保龄棉DP99B,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供,种子经温

水浸泡24 h后,种植在直径13 cm、高10 cm的营养钵中,所用基质由蛭石和草炭土以体积比1:1混合,每钵种4~5粒。放置在上述尼龙纱网养虫笼中培养,待长至4~5片真叶后用来饲养供试烟粉虱。甘蓝品种为京丰1号,自河北兴农富民种子销售有限公司购买,种子种植在上述混合基质的育苗盘中进行育苗,生长至2~3叶期移栽至日光温室中生长,待长出4~5片真叶后供试。

药剂:19%溴氰虫酰胺(cyantraniliprole)悬浮剂,美国杜邦公司;70%噻虫嗪(thiamethoxam)水分散粒剂,瑞士先正达作物保护有限公司;1.8%阿维菌素(abamectin)乳油,百斯特生物技术有限公司;70%吡虫啉(imidacloprid)水分散粒剂,德国拜耳公司。

试剂和仪器:KAPA Express Extract试剂盒,美国Kapa Biosystems公司;Ase I内切酶,New England Biolabs公司;DNA Marker II和2×Es Taq Master Mix,天根生化科技(北京)有限公司;其余试剂均为国产分析纯。Mastercycler Nexus PCR仪,德国Eppendorf公司;DYY-12型电泳仪,北京市六一仪器厂;ChemiDoc XRS+凝胶成像系统,美国Bio-Rad公司;MLR-351H光照培养箱,日本三洋公司。

1.2 方法

1.2.1 烟粉虱隐种的鉴定

采用KAPA Express Extract试剂盒对采集的12个烟粉虱种群的所有个体进行单头总DNA提取,参考Chu et al. (2010)方法对其隐种类型进行鉴定,采用通用引物C1-J-2195 (5'-TTGATTTTTTGGTCATCCAGAAGT-3')和R-BQ-2819 (5'-CTGAATATCGRCGAGGCATTCC-3') (柳洋, 2015)进行COI基因序列的PCR扩增,所有引物均由天根生化科技(北京)有限公司合成。20 μL反应体系:PCR Mix 10 μL、稀释30倍的DNA模板1 μL、上下游引物各1 μL,加入ddH₂O补足至20 μL。反应程序:94℃预变性7 min; 94℃变性30 s, 55℃退火30 s, 72℃延伸1 min,共35个循环;72℃终延伸15 min。所得PCR产物使用Ase I内切酶进行mtCOI酶切,将上述所得产物用1.2%琼脂糖凝胶电泳分离,通过凝胶成像系统观察结果,根据酶切产物的片段大小进行烟粉虱的隐种鉴定, MED隐种的mtCOI基因片段被酶切成2个片段,而MEAM1隐种的mtCOI基因片段不能被切开。

1.2.2 烟粉虱携带TYLCV和内共生菌的检测

采用1.2.1中提取的烟粉虱DNA模板进行PCR扩增,以检测烟粉虱携带TYLCV和内共生菌情况。TYLCV检测使用特异性引物TYLCV-61 (5'-ATAC-

TTGGACACCTAATGGC-3')和TYLCV-473(5'-AG-TCACGGGCCCTTACAA-3')(Pan et al., 2012a),以检测单头烟粉虱是否携带TYLCV。反应体系同1.2.1。反应程序:95℃预变性3 min;94℃变性30 s,58℃退火1 min,72℃延伸1 min,共35个循环;72℃终延伸15 min。所得PCR产物经1.2%琼脂糖凝胶电泳检测,若扩增获得412 bp的条带,则表明该烟粉虱携带TYLCV。内共生菌检测方法和引物序列参考Karut & Tok(2014),反应体系同1.2.1,仅退火温度由于引物不同有所差异,*Hamiltonella*、杀雄菌属、立克次氏体和*Cardinium*的退火温度和预期产物大小分别为60℃/900 bp、55℃/600 bp、55℃/900 bp和58℃/400 bp;反应程序与TYLCV检测程序相同。所得PCR产物使用1.2%琼脂糖凝胶电泳检测,并通过观察是否获得相应片段大小的条带来判断携带内共生菌种类,当烟粉虱种群中感染多种内共生菌,以内共生菌拉丁文首字母为标记,例如协同感染*Hamiltonella*和*Cardinium*内共生菌,记为HC型。

1.2.3 烟粉虱抗药性测定

参考Wang R et al.(2020)浸叶法进行烟粉虱抗药性测定。按预试验结果设计各药剂的系列浓度,用蒸馏水配制4种常用药剂的系列浓度药液,阿维菌素浓度分别为0、0.02、0.04、0.2、0.4和2 mg/L,溴氰虫酰胺浓度分别为0、1.267、2.534、12.67、25.34和126.67 mg/L,噻虫嗪浓度分别为0、14、28、140、700和1 400 mg/L,吡虫啉浓度分别为0、0.7、1.4、7、14和70 mg/L。取生长至4~5叶期的甘蓝叶片,打取直径为26 mm的叶碟,分别取1片叶碟在待测系列浓度药液中单独浸泡10 s,每个浓度处理4次重复,设清

水处理为对照,取直径26 mm、高85 mm的平底玻璃管,管中放置1.2%琼脂保湿,将上述浸泡过的甘蓝叶片紧密贴合于琼脂,使其无任何空隙。每管放置烟粉虱20~25头,用棉塞塞口。将接好烟粉虱的玻璃管倒置置于温度(26±1)℃、相对湿度(70±10)%、光照周期16 L:8 D的培养箱中培养,48 h后检查玻璃管中的总虫数和死虫数,计算药剂对供试烟粉虱的LC₅₀及其95%置信区间、斜率和标准误,当95%置信区间不重叠视为2个种群的LC₅₀差异显著。以试虫不动或不能正常行动视为死亡。抗性倍数=药剂对所测田间种群的LC₅₀/药剂对室内敏感种群的LC₅₀。抗性水平按照刘凤沂等(2010)标准进行划分,抗性倍数≤3倍为敏感;3<抗性倍数≤5倍为敏感性降低;5<抗性倍数≤10倍为低水平抗性;10<抗性倍数≤40倍为中等水平抗性;40<抗性倍数≤160倍为高水平抗性;抗性倍数>160倍为极高水平抗性。

1.3 数据分析

用PoloPlus 2.0软件(Robertson et al., 1980)进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 烟粉虱隐种的鉴定

对天津市4个区12个种群共240头烟粉虱的鉴定结果表明,天津市烟粉虱以MED隐种为主,占检测个体总数的93.33%,而MEAM1隐种占检测个体总数的6.67%(表1)。在12个烟粉虱种群中,蓟州番茄种群、蓟州黄瓜种群和宁河番茄种群为MED和MEAM1混合种群,MED与MEAM1隐种的比例分别为17:3、2:3和19:1,其余9个种群均为MED隐种。

表1 2020年天津市烟粉虱隐种类别及其携带TYLCV情况
Table 1 Cryptic *Bemisia tabaci* species and TYLCV-carrying rate in Tianjin in 2020

种群 Population	鉴定数量 No. of individuals	隐种所占比例 Proportion of cryptic species/%		携带TYLCV个体百分比 Percentage of individuals carrying TYLCV/%
		MED	MEAM1	
武清番茄种群 Tomato population from Wuqing	20	100.00	0.00	60.00
武清黄瓜种群 Cucumber population from Wuqing	20	100.00	0.00	100.00
武清辣椒种群 Pepper population from Wuqing	20	100.00	0.00	0.00
西青番茄种群 Tomato population from Xiqing	20	100.00	0.00	100.00
西青黄瓜种群 Cucumber population from Xiqing	20	100.00	0.00	55.00
西青辣椒种群 Pepper population from Xiqing	20	100.00	0.00	30.00
蓟州番茄种群 Tomato population from Jizhou	20	85.00	15.00	0.00
蓟州黄瓜种群 Cucumber population from Jizhou	20	40.00	60.00	0.00
蓟州辣椒种群 Pepper population from Jizhou	20	100.00	0.00	0.00
宁河番茄种群 Tomato population from Ninghe	20	95.00	5.00	90.00
宁河黄瓜种群 Cucumber population from Ninghe	20	100.00	0.00	0.00
宁河辣椒种群 Pepper population from Ninghe	20	100.00	0.00	0.00
总计 Total	240	93.33	6.67	36.25

2.2 天津市烟粉虱携带 TYLCV 情况分析

对天津市 12 个烟粉虱种群携带 TYLCV 情况的检测结果表明,其中有 6 个种群检测到了 TYLCV,且有 5 个种群超过 50% 的个体均携带 TYLCV;总体上分析,携带 TYLCV 的个体数量占供试个体总数的 36.25%(表 1)。从来源进行分析,来自西青区的 3 个种群均携带 TYLCV,番茄种群、黄瓜种群和辣椒种群分别有 100.00%、55.00% 和 30.00% 的个体携带 TYLCV;而来自蓟州区的 3 个种群均未检测到 TYLCV;来自武清区的番茄种群和黄瓜种群分别有 60.00% 和 100.00% 的个体携带 TYLCV,辣椒种群则未检测到 TYLCV;来自宁河区的番茄种群有 90.00% 的个体携带 TYLCV,其余 2 个种群未检测到 TYLCV(表 1)。

2.3 天津市烟粉虱感染内共生菌情况分析

对单一内共生菌感染情况的分析结果表明,在 12 个烟粉虱种群中共检测到 4 种内共生菌 *Hamiltonella*、立克次氏体、*Cardinium* 和杀雄菌属,未检测到沃尔巴克氏体和 *Fritschea*。所有种群均感染了 *Hamiltonella*,感染率均在 50.00% 以上,其中有 7 个种群感染率为 100.00%,平均感染率为 90.63%;所有种群均感染了立克次氏体,感染率在 12.50%~100.00% 之间,仅武清番茄种群感染率为 100.00%,

平均感染率为 48.96%;所有种群均感染了 *Cardinium*,各种群感染率在 12.50%~87.50% 之间,其中宁河黄瓜种群感染率最高,为 87.50%,平均感染率为 43.75%;12 个种群中只有 4 个种群感染了杀雄菌属内共生菌,分别为西青黄瓜种群、西青辣椒种群、宁河番茄种群和宁河黄瓜种群,感染率分别为 12.50%、12.50%、12.50% 和 62.50%,平均感染率为 8.33%(表 2)。

对 4 种内共生菌协同感染情况进行分析,其中在 4 个种群中发现有同时感染 *Hamiltonella*、杀雄菌属、立克次氏体和 *Cardinium* (HARC 型)的个体,占供试总个体数的 4.17%;12 个种群均存在同时感染 *Hamiltonella*、立克次氏体和 *Cardinium* (HRC 型)的个体,占供试总个体数的 28.13%;仅在宁河黄瓜种群中发现同时感染 *Hamiltonella*、杀雄菌属和 *Cardinium* (HAC 型)的个体,占供试总个体数的 3.13%;在 5 个种群中发现有同时感染 *Hamiltonella* 和立克次氏体 (HR 型)的个体,占供试总个体数的 14.58%;在 4 个种群中发现有同时感染 *Hamiltonella* 和 *Cardinium* (HC 型)的个体,占供试总个体数的 5.21%;仅在宁河黄瓜种群的 1 头烟粉虱中检测到同时感染杀雄菌属和 *Cardinium* 的个体 (AC 型),占供试总个体数的为 1.04%。

表 2 2020 年天津市烟粉虱种群感染内共生菌情况

Table 2 Endosymbionts harbored by *Bemisia tabaci* in Tianjin in 2020

种群 Population	数量 Number	<i>Hamiltonella</i> 占比 <i>Hamiltonella</i> percentage/%	杀雄菌属占比 <i>Arsenophonus</i> percentage/%	立克次氏体占比 <i>Rickettsia</i> percentage/%	<i>Cardinium</i> 占比 <i>Cardinium</i> percentage/%
武清番茄种群 Tomato population from Wuqing	8	75.00	0.00	100.00	37.50
武清黄瓜种群 Cucumber population from Wuqing	8	100.00	0.00	50.00	37.50
武清辣椒种群 Pepper population from Wuqing	8	87.50	0.00	62.50	75.00
西青番茄种群 Tomato population from Xiqing	8	100.00	0.00	62.50	12.50
西青黄瓜种群 Cucumber population from Xiqing	8	100.00	12.50	62.50	25.00
西青辣椒种群 Pepper population from Xiqing	8	100.00	12.50	75.00	37.50
宁河番茄种群 Tomato population from Ninghe	8	87.50	12.50	50.00	50.00
宁河黄瓜种群 Cucumber population from Ninghe	8	50.00	62.50	12.50	87.50
宁河辣椒种群 Pepper population from Ninghe	8	87.50	0.00	12.50	25.00
蓟州番茄种群 Tomato population from Jizhou	8	100.00	0.00	25.00	50.00
蓟州黄瓜种群 Cucumber population from Jizhou	8	100.00	0.00	50.00	62.50
蓟州辣椒种群 Pepper population from Jizhou	8	100.00	0.00	25.00	25.00
总计 Total	96	90.63	8.33	48.96	43.75

2.4 天津市烟粉虱的抗药性监测情况

阿维菌素对天津市 4 个区 12 个烟粉虱种群的毒力普遍较高, LC_{50} 在 0.05~0.66 mg/L 之间,其中对宁河黄瓜种群的毒力最高,对宁河番茄种群的毒力最低,两者抗性倍数分别为室内敏感种群的 1/2 和

6.60 倍;噻虫嗪对所测 12 个种群的毒力则普遍较低, LC_{50} 在 267.63~2 998.80 mg/L 之间,与室内敏感种群相比,抗性倍数在 2.26~25.37 之间;溴氰虫酰胺对上述 12 个种群的毒力居中, LC_{50} 在 7.71~54.69 mg/L 之间,其中对西青黄瓜种群的毒力最高,对蓟州辣椒种

群的毒力最低,两者抗性倍数分别为室内敏感种群的 7.34 倍和 47.68 倍;吡虫啉对所测种群的 LC_{50} 在 5.67~359.49 mg/L 之间,其中对蓟州辣椒种群和武清黄瓜种群的毒力较高,均约为室内敏感种群抗性的 1/3;对宁河番茄种群的毒力则最低,是室内敏感种群抗性的 17.48 倍(表 3)。分析 4 种药剂对不同地区和寄主烟粉虱种群的毒力发现,武清番茄种群、武

清辣椒种群、西青番茄种群、西青黄瓜种群、西青辣椒种群、宁河番茄种群、宁河黄瓜种群、蓟州番茄种群和蓟州黄瓜种群这 9 个种群对上述 4 种药剂的敏感水平相同,即为阿维菌素>溴氰虫酰胺>吡虫啉>噻虫嗪;而武清黄瓜种群、宁河辣椒种群和蓟州辣椒种这 3 个种群对 4 种药剂的敏感水平为阿维菌素>吡虫啉>溴氰虫酰胺>噻虫嗪。

表 3 天津市烟粉虱种群成虫对 4 种药剂的抗性监测

Table 3 Resistance monitoring of *Bemisia tabaci* adults to four insecticides in Tianjin in 2020

药剂 Insecticide	种群 Population	LC_{50} (95% CL)/(mg/L)	χ^2	斜率±标准差 Slope±SE	抗性倍数(95% CL) Resistance ratio (95% CL)
阿维菌素 Abamectin	MED-S*	0.10(0.03–0.26)	11.08	0.182±0.168	—
	武清番茄种群 Tomato population from Wuqing	0.66(0.32–2.41)	3.52	0.133±0.144	6.60(3.20–24.10)
	武清黄瓜种群 Cucumber population from Wuqing	0.12(0.06–0.24)	4.16	0.102±0.095	1.20(0.60–2.40)
	武清辣椒种群 Pepper population from Wuqing	0.18(0.08–0.42)	9.12	0.133±0.130	1.80(0.80–4.20)
	西青番茄种群 Tomato population from Xiqing	0.22(0.15–0.34)	1.67	0.122±0.121	2.20(1.50–3.40)
	西青黄瓜种群 Cucumber population from Xiqing	0.13(0.02–0.50)	5.32	0.112±0.110	1.30(0.20–5.00)
	西青辣椒种群 Pepper population from Xiqing	0.37(0.26–0.57)	1.41	0.140±0.132	3.60(2.54–5.55)
	宁河番茄种群 Tomato population from Ninghe	0.07(0.04–0.12)	5.64	0.267±0.220	0.70(0.40–1.20)
	宁河黄瓜种群 Cucumber population from Ninghe	0.05(0.02–0.08)	0.77	0.153±0.132	0.50(0.20–0.80)
	宁河辣椒种群 Pepper population from Ninghe	0.61(0.24–4.58)	4.28	0.133±0.137	6.10(2.40–45.80)
	蓟州番茄种群 Tomato population from Jizhou	0.20(0.06–0.73)	4.44	0.154±0.151	2.00(0.60–7.30)
	蓟州黄瓜种群 Cucumber population from Jizhou	0.55(0.20–4.05)	8.54	0.133±0.148	5.50(2.00–40.50)
	蓟州辣椒种群 Pepper population from Jizhou	0.18(0.06–0.65)	13.835	0.154±0.153	1.80(0.60–6.50)
溴氰虫 酰胺 Cyantra- niliprole	MED-S*	1.05(0.65–2.49)	8.85	0.092±0.240	—
	武清番茄种群 Tomato population from Wuqing	10.14(6.54–17.49)	10.08	0.215±0.214	9.66(6.23–16.66)
	武清黄瓜种群 Cucumber population from Wuqing	14.04(9.92–24.88)	3.43	0.207±0.217	13.37(9.45–23.70)
	武清辣椒种群 Pepper population from Wuqing	12.67 (7.88–33.39)	5.83	0.269±0.283	11.05(6.87–29.11)
	西青番茄种群 Tomato population from Xiqing	11.66(9.92–14.11)	0.16	0.219±0.227	11.10(9.45–13.44)
	西青黄瓜种群 Cucumber population from Xiqing	7.71(3.73–18.81)	25.03	0.210±0.228	7.34(3.55–17.91)
	西青辣椒种群 Pepper population from Xiqing	9.09(5.06–27.31)	17.29	0.232±0.255	7.93(4.41–23.81)
	宁河番茄种群 Tomato population from Ninghe	23.74(15.13–41.99)	3.47	0.255±0.195	22.61(14.41–39.99)
	宁河黄瓜种群 Cucumber population from Ninghe	11.64(9.67–14.56)	2.37	0.229±0.239	11.09(9.21–13.87)
	宁河辣椒种群 Pepper population from Ninghe	11.49(7.57–24.19)	7.59	0.221±0.237	10.02(6.60–21.09)
	蓟州番茄种群 Tomato population from Jizhou	14.96(6.35–43.14)	4.33	0.212±0.171	14.25(6.05–41.09)
	蓟州黄瓜种群 Cucumber population from Jizhou	18.95(6.87–81.58)	11.21	0.237±0.183	18.05(6.54–77.70)
	蓟州辣椒种群 Pepper population from Jizhou	54.69(26.10–222.33)	5.19	0.216±0.155	47.68(22.76–193.84)
噻虫嗪 Thiame- thoxam	MED-S*	118.21(41.89–265.08)	9.21	0.387±0.173	—
	武清番茄种群 Tomato population from Wuqing	984.99(555.48–2 262.80)	1.47	0.345±0.128	8.33(4.70–19.14)
	武清黄瓜种群 Cucumber population from Wuqing	467.83(166.22–2 695.15)	11.4	0.313±0.123	3.96(1.41–22.80)
	武清辣椒种群 Pepper population from Wuqing	756.90(383.17–2 524.36)	2.45	0.278±0.122	6.40(3.24–21.36)
	西青番茄种群 Tomato population from Xiqing	267.63(58.32–949.00)	11.24	0.321±0.124	2.26(0.49–8.03)
	西青黄瓜种群 Cucumber population from Xiqing	2 998.80(967.15–155 220.00)	3.97	0.313±0.116	25.37(8.18–1 313.11)
	西青辣椒种群 Pepper population from Xiqing	1 391.62(917.380–2 478.24)	1.21	0.379±0.138	11.77(7.76–20.97)
	宁河番茄种群 Tomato population from Ninghe	941.28(683.99–1 400.34)	2.71	0.456±0.169	7.96(5.79–11.85)
	宁河黄瓜种群 Cucumber population from Ninghe	1 041.70(431.91–5 618.30)	2.37	0.261±0.114	8.81(3.65–47.53)
	宁河辣椒种群 Pepper population from Ninghe	371.94(242.20–630.64)	1.68	0.290±0.124	3.15(2.05–5.34)
	蓟州番茄种群 Tomato population from Jizhou	1 027.60(471.28–5 915.30)	0.74	0.586±0.284	8.69(3.99–50.04)
	蓟州黄瓜种群 Cucumber population from Jizhou	1 692.32(1 114.31–3 090.51)	1.71	0.557±0.211	14.32(9.43–26.14)
	蓟州辣椒种群 Pepper population from Jizhou	1 831.60(614.98–47 572.00)	4.94	0.366±0.148	15.50(5.20–402.44)

续表3 Continued

药剂 Insecticide	种群 Population	LC ₅₀ (95% CL)/(mg/L)	χ^2	斜率±标准差 Slope±SE	抗性倍数(95% CL) Resistance ratio (95% CL)
吡虫啉	MED-S*	20.56(9.08–104.00)	0.63	0.111±0.117	—
Imidaclo- prid	武清番茄种群 Tomato population from Wuqing	66.29(30.26–301.71)	0.81	0.133±0.129	3.22(1.47–14.67)
	武清黄瓜种群 Cucumber population from Wuqing	5.81(2.95–12.05)	6.48	0.125±0.129	0.28(0.14–0.59)
	武清辣椒种群 Pepper population from Wuqing	44.13(13.41–3 869.82)	5.43	0.120±0.105	2.15(0.65–188.21)
	西青番茄种群 Tomato population from Xiqing	17.77(6.73–88.09)	6.37	0.227±0.186	0.86(0.33–4.28)
	西青黄瓜种群 Cucumber population from Xiqing	10.15(3.63–27.91)	7.08	0.162±0.133	0.49(0.18–1.36)
	西青辣椒种群 Pepper population from Xiqing	16.29(7.92–63.04)	6.26	0.145±0.143	0.79(0.39–3.07)
	宁河番茄种群 Tomato population from Ninghe	359.49(245.47–602.64)	2.16	0.508±0.231	17.48(11.94–29.31)
	宁河黄瓜种群 Cucumber population from Ninghe	47.71(22.08–221.11)	3.38	0.192±0.158	2.32(1.07–10.75)
	宁河辣椒种群 Pepper population from Ninghe	9.91(6.11–17.18)	2.83	0.149±0.136	0.48(0.30–0.84)
	蓟州番茄种群 Tomato population from Jizhou	196.55(99.36–610.55)	8.72	0.413±0.197	9.56(4.83–29.69)
	蓟州黄瓜种群 Cucumber population from Jizhou	90.86(35.50–635.80)	1.20	0.167±0.149	4.42(1.73–30.92)
	蓟州辣椒种群 Pepper population from Jizhou	5.67(2.72–13.39)	6.71	0.133±0.144	0.28(0.13–0.65)

所示为敏感种群,在天津市农业科学院植物保护研究所室内饲养至今,未接触过任何杀虫药剂。 indicates sensitive population, maintained in Institute of Plant Protection, Tianjin Academy of Agricultural Sciences. They have never been exposed to any insecticides.

3 讨论

本研究结果显示,2020年在天津市4个区采集的12个烟粉虱种群中,有9个种群为MED隐种,有3个种群为MED隐种和MEAM1隐种混合发生,MED隐种个体占所检测个体的93.33%,表明目前天津市烟粉虱以MED隐种为主,但仍有少量MEAM1隐种存在。与2009年天津市以MEAM1隐种为主(Pan et al., 2012a)相比发生了很大的变化。肖思等(2020)和张邓壮等(2020)分别于2017年和2019年对天津市烟粉虱隐种类型进行监测,均发现只有MED隐种。本研究在采集的烟粉虱蓟州种群和宁河种群中检测到MEAM1隐种,是近年来的新发现,这可能与采集样点有关。在山地丘陵地区以及沿海地区,因为气候和药剂使用情况等不同,导致部分烟粉虱种群还存在MEAM1隐种(武淑文等, 2010)。因此,今后需要尽可能在更多具有不同地理气候特点的样点采集样品,以明确天津市烟粉虱隐种分布的完整信息。

MED隐种通常比MEAM1隐种有更强的传毒能力(McGrath & Harrison, 1995)。近年来,天津市烟粉虱隐种以MED隐种为主,使得TYLCV引起的病毒病发生更严重。2009—2013年调查发现由TYLCV引起的病毒病在天津市各地均有发生(郝永娟等, 2010;王勇等, 2014)。本研究检测的12个种群中有6个种群携带TYLCV,其中5个种群超过50.00%

的个体携带有TYLCV,平均有36.25%烟粉虱个体携带TYLCV。从寄主类型来看,番茄上烟粉虱携带TYLCV的个体数最多,所检测的4个番茄种群中有3个种群携带TYLCV,携带个体比例为60.00%~100.00%,只有蓟州番茄种群未检测到TYLCV。武清黄瓜种群所有个体均携带TYLCV,武清番茄种群有60.00%的个体携带TYLCV,造成这种现象的原因可能与采集的2个寄主种群距离较近有关。从地区来看,天津市西青和武清2个区的烟粉虱种群携带TYLCV的个体比例较高,可能与这2个区烟粉虱全部是MED隐种有一定关系。天津市番茄栽培品种繁多,抗TYLCV特性参差不齐,导致番茄黄化曲叶病毒病暴发时难以有效防控(张艳玲等, 2016)。烟粉虱作为TYLCV传播的唯一昆虫介体(Kheyr-Pour et al., 1991),对其隐种类型及带毒率进行长期监测是有效防控TYLCV引起的病毒病的前提和基础。

目前,已报道的烟粉虱内共生菌至少有杀雄菌属、*Cardinium*、*Hamiltonella*、沃尔巴克氏体、*Fritschea*、立克次氏体和*Portiera*等(薛延韬等, 2017)。烟粉虱MEAM1隐种通常仅携带*Hamiltonella*和立克次氏体,MED隐种则携带*Cardinium*、*Hamiltonella*、杀雄菌属和立克次氏体(Hélène et al., 2015)。本研究系首次对天津市烟粉虱内共生菌进行系统调查,发现该地区烟粉虱携带的内共生菌包括*Hamiltonella*、立克次氏体、*Cardinium*和杀雄菌属4种,沃尔巴

克氏体和 *Fritschea* 则未检测到,其中 MED 隐种感染了 *Hamiltonella*、立克次氏体、*Cardinium* 和杀雄菌属。烟粉虱内共生菌通常因分布地点和寄主植物不同而不同,例如 Pan et al. (2012b) 通过研究中国烟粉虱内共生菌分布特点发现,来自全国 19 个省的 61 个种群都感染了 *Portiera*, 多个田间种群出现立克次氏体、*Hamiltonella* 和 *Cardinium* 单独感染或协同感染,而沃尔巴克氏体仅在 2 个棉花种群中被发现,未发现杀雄菌属和 *Fritschea*。Karut et al. (2020) 研究发现在土耳其阿达纳省的烟粉虱 MED 隐种含有沃尔巴克氏体,但是未发现 *Hamiltonella*。本研究发现天津市不同分布地区对烟粉虱内共生菌有一定的影响,其中杀雄菌属只在西青区和宁河区的烟粉虱中被检测到,其他地区都未检测到。Pan et al. (2013) 研究结果表明烟粉虱 MEAM1 隐种棉花种群的立克次氏体感染率最高,达到 100.0%,而番茄种群的立克次氏体感染率最低;甜瓜种群中未发现 *Hamiltonella*,而一品红种群的 *Hamiltonella* 感染率却达到最高,为 83.3%。本研究发现寄主对内共生菌的影响并不明显,可能是不同寄主采样地点相对较近有关。Su et al. (2013) 研究发现 *Hamiltonella*、立克次氏体、*Cardinium* 和杀雄菌属内共生菌与烟粉虱的产卵量、后代雌雄比有一定关系,感染上述内共生菌的烟粉虱在种群中更具竞争力。立克次氏体-杀雄菌属和沃尔巴克氏体-杀雄菌属对噻虫嗪、吡虫啉、吡蚜酮和螺甲螨酯的敏感程度也存在显著差异 (Ghanim & Kontsedalov, 2009)。本研究来自西青区的黄瓜种群、辣椒种群和来自宁河区的番茄种群、黄瓜种群均感染了立克次氏体。因此,了解本地烟粉虱感染内共生菌的情况将为进一步制订科学合理的防治策略提供一定参考。

烟粉虱的抗药性受到气候环境、寄主种类以及常用药剂等多种因素影响 (Wang et al., 2017)。肖思等 (2020) 曾对天津市武清区的番茄和茄子烟粉虱种群进行抗药性监测,发现该种群对阿维菌素敏感,对溴氰虫酰胺、噻虫嗪、螺虫乙酯和吡丙醚都产生一定程度的抗性。本研究扩大了监测地域和寄主范围,发现包括武清番茄种群在内的 4 个区 12 个烟粉虱种群对阿维菌素的抗性均较低。根据刘凤沂等 (2010) 标准可以判断其中 8 个种群对阿维菌素处于敏感水平,1 个种群处于敏感下降水平,3 个种群则出现低水平抗性,表明阿维菌素仍是防治天津市烟粉虱的有效药剂,但为了延缓烟粉虱对该药剂的抗性风险,建议可与其他适用药剂进行混配或混合施

用。噻虫嗪则对天津市所有监测烟粉虱种群的毒力较低,这与柳洋 (2015) 对天津市武清区烟粉虱种群抗药性监测结果一致,可能与当地长期施用烟碱类药剂有关,因此建议对噻虫嗪等烟碱类药剂进行科学合理使用。横向比较烟粉虱对所监测 4 种药剂的抗性,发现吡虫啉对所有种群的 LC_{50} 远高于阿维菌素对所有种群的 LC_{50} ,前者是后者的 116.20~544.68 倍,但室内敏感种群对上述两者的抗性倍数趋势却与之相反,抗性倍数在 0.28~17.48 之间。这表明敏感种群在室内饲养多代,但对吡虫啉的抗性仍然较高,可能与早期普遍大量使用吡虫啉防治烟粉虱有关 (郑文龙等, 2007)。

综上所述,明确并充分考虑烟粉虱隐种分布、携带病毒及内共生菌情况和抗药性等本底情况是对烟粉虱进行绿色有效防控的基础。特别是天津市烟粉虱携带 TYLCV 情况较普遍,科学合理地施用药剂对减轻烟粉虱为害及其传播 TYLCV 引起的病毒病所致损失十分重要。

参 考 文 献 (References)

- Basit M. 2019. Status of insecticide resistance in *Bemisia tabaci*: resistance, cross-resistance, stability of resistance, genetics and fitness costs. *Phytoparasitica*, 47(2): 207–225
- Brown JK, Frohlich DR, Rosell RC. 1995. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annual Review of Entomology*, 40: 511–534
- Chen L, Gu SH, Wang XY, Li XC. 2018. Comparative analysis of bacterial community between insecticide resistant and susceptible strains of *Bemisia tabaci*. *Plant Protection*, 44(1): 59–66 (in Chinese) [陈露, 谷少华, 王雄雅, 李显春. 2018. 烟粉虱抗、感杀虫剂品系内菌群落的差异分析. *植物保护*, 44(1): 59–66]
- Chu D, Wan FH, Zhang YJ, Brown JK. 2010. Change in the biotype composition of *Bemisia tabaci* in Shandong Province of China from 2005 to 2008. *Environmental Entomology*, 39(3): 1028–1036
- Chu D, Zhang YJ. 2018. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years. *Plant Protection*, 44(5): 51–55 (in Chinese) [褚栋, 张友军. 2018. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展. *植物保护*, 44(5): 51–55]
- Hélène D, Rémy B, Nathalie B, Anne-Laure G, Traoré RS, Jean-Michel L, Bernard R. 2015. Species and endosymbiont diversity of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on vegetable crops in Senegal. *Insect Science*, 22(3): 386–398
- Ghanim M, Kontsedalov S. 2009. Susceptibility to insecticides in the Q biotype of *Bemisia tabaci* is correlated with bacterial symbiont densities. *Pest Management Science*, 65(9): 939–942
- Gottlieb Y, Ghanim M, Gueguen G, Kontsedalov S, Vavre F, Fleury F,

- Zchori-Fein E. 2008. Inherited intracellular ecosystem: symbiotic bacteria share bacteriocytes in whiteflies. *The FASEB Journal*, 22(7): 2591–2599
- Gottlieb Y, Zchori-Fein E, Mozes-Daube N, Kontsedalov S, Skaljic M, Brumin M, Sobol I, Czosnek H, Vavre F, Fleury F, et al. 2010. The transmission efficiency of *Tomato yellow leaf curl virus* by the whitefly *Bemisia tabaci* is correlated with the presence of a specific symbiotic bacterium species. *Journal of Virology*, 84(18): 9310–9317
- Hao YJ, Wang WL, Jin FM, Liu CY, Huo JF, Xu WH. 2010. Occurrence and control of *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) in Tianjin. *Tianjin Agricultural Sciences*, 16(2): 48–50 (in Chinese) [郝永娟, 王万立, 金凤媚, 刘春艳, 霍建飞, 徐维红. 2010. 天津市番茄黄化曲叶病毒病的发生与防治. *天津农业科学*, 16(2): 48–50]
- Iram A, Khan J, Aslam N, Haq EU, Javed HI, Irfan M, Rasool A, Mas-toi MI, Aslam S. 2014. Efficacy of plant derived oils and extracts against white-fly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) on sesame crop. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 27(3): 250–254
- Karut K, Tok B. 2014. Secondary endosymbionts of Turkish *Bemisia tabaci* (Gennadius) populations. *Phytoparasitica*, 42(3): 413–419
- Karut K, Castle SJ, Karut ŞT, Karaca MM. 2020. Secondary endosymbiont diversity of *Bemisia tabaci* and its parasitoids. *Infection, Genetics and Evolution*, 78: 104104
- Kheyr-Pour A, Bendahmane M, Matzeit V, Accotto GP, Crespi S, Gronenborn B. 1991. Tomato yellow leaf curl virus from Sardinia is a whitefly-transmitted monopartite geminivirus. *Nucleic Acids Research*, 19(24): 6763–6769
- Liu BM, Yan FM, Chu D, Pan HP, Jiao XG, Xie W, Wu QJ, Wang SL, Xu BY, Zhou XG, et al. 2012. Difference in feeding behaviors of two invasive whiteflies on host plants with different suitability: implication for competitive displacement. *International Journal of Biological Sciences*, 8(5): 697–706
- Liu FY, Li HL, Qiu JY, Zhang YX, Huang LC, Li H, Wang GZ, Shen JL. 2010. Monitoring of resistance to several insecticides in brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) in Huizhou. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(5): 991–993 (in Chinese) [刘凤沂, 李惠陵, 邱建友, 张燕雄, 黄丽聪, 李华, 王国忠, 沈晋良. 2010. 惠州地区褐飞虱对几种药剂的抗药性监测. *昆虫知识*, 47(5): 991–993]
- Liu Y. 2015. Biotype, the ratio of vector-borne diseases and insecticide resistance status of *Bemisia tabaci* populations in China. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [柳洋. 2015. 中国烟粉虱生物型分布、带毒率及抗药性监测. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Luo C, Jones CM, Devine G, Zhang F, Denholm I, Gorman K. 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Protection*, 29(5): 429–434
- Mahadav A, Kontsedalov S, Czosnek H, Ghanim M. 2009. Thermotolerance and gene expression following heat stress in the whitefly *Bemisia tabaci* B and Q biotypes. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 39(10): 668–676
- McGrath PF, Harrison BD. 1995. Transmission of tomato leaf curl geminiviruses by *Bemisia tabaci*: effects of virus isolate and vector biotype. *Annals of Applied Biology*, 126(2): 307–316
- Pan HP, Chu D, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Liu BM, Yang X, Yang NN, et al. 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 978–985
- Pan HP, Chu D, Yan WQ, Su Q, Liu BM, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Li RM, et al. 2012a. Rapid spread of tomato yellow leaf curl virus in China is aided differentially by two invasive whiteflies. *PLoS ONE*, 7(4): e34817
- Pan HP, Li XC, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Chu D, Liu BM, Xu BY, et al. 2012b. Factors affecting population dynamics of maternally transmitted endosymbionts in *Bemisia tabaci*. *PLoS ONE*, 7(2): e30760
- Pan HP, Su Q, Jiao XG, Zhou L, Liu BM, Xie W, Wang SL, Wu QJ, Xu BY, Zhang YJ. 2013. Relative amount of symbionts in *Bemisia tabaci* (Gennadius) Q changes with host plant and establishing the method of analyzing free amino acid in *B. tabaci*. *Communicative & Integrative Biology*, 6(2): e23397
- Qiu BL, Ren SX, Wen SY, Mandour N. 2003. Biotype identification of the populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in China using RAPD-PCR. *Acta Entomologica Sinica*, 46(5): 605–608
- Rao Q, Xu YH, Luo C, Zhang HY, Jones CM, Devine GJ, Gorman K, Denholm I. 2012. Characterisation of neonicotinoid and pymetrozine resistance in strains of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(2): 321–326
- Robertson JL, Russell RM, Savin NE. 1980. POLO: a user's guide to probit or logit analysis.//Research paper PSW-RP. Berkeley, CA: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station
- Seal SE, Jeger MJ, den Bosch FV. 2006. *Begomovirus* evolution and disease management. *Advances in Virus Research*, 67: 297–316
- Su Q, Pan H, Liu B, Chu D, Xie W, Wu Q, Wang S, Xu B, Zhang Y. 2013. Insect symbiont facilitates vector acquisition, retention and transmission of plant virus. *Scientific Reports* 3: 1367
- Tang XT, Cai L, Shen Y, Xu LL, Du YZ. 2020. Competitive displacement between *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED and evidence for multiple invasions of MED. *Insects*, 11(1): 35
- Tajebe LS, Guastella D, Cavalieri V, Kelly SE, Hunter MS, Lund OS, Legg JP, Rapisarda C. 2015. Diversity of symbiotic bacteria associated with *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cassava mosaic disease pandemic areas of Tanzania. *Annals of Applied Biology*, 166(2): 297–310
- Teng X, Wan FH, Chu D. 2010. *Bemisia tabaci* biotype Q dominates other biotypes across China. *Florida Entomologist*, 93(3): 363–368

- Wang F, Liu J, Chen P, Li HY, Ma JJ, Liu YJ, Wang K. 2020. *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) insecticide resistance in Shandong Province, China. *Journal of Economic Entomology*, 113 (2): 911–917
- Wang R, Che WN, Wang JD, Luo C. 2020. Monitoring insecticide resistance and diagnostics of resistance mechanisms in *Bemisia tabaci* Mediterranean (Q biotype) in China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 163: 117–122
- Wang SL, Zhang YJ, Yang X, Xie W, Wu QJ. 2017. Resistance monitoring for eight insecticides on the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 110(2): 660–666
- Wang Y, Gao W, Zhang CX. 2014. Occurrence and ELISA detection of tomato virus in Tianjin area. *Tianjin Agricultural Sciences*, 20 (12): 1–5 (in Chinese) [王勇, 高苇, 张春祥. 2014. 天津地区番茄病毒病发生情况调查及其毒源ELISA检测. *天津农业科学*, 20(12): 1–5]
- Wang ZY, Yan HF, Yang YH, Wu YD. 2010. Biotype and insecticide resistance status of the whitefly *Bemisia tabaci* from China. *Pest Management Science*, 66(12): 1360–1366
- Wu SW, Wang ZY, Wu YD. 2010. Competition between the B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* and its relevance to insecticide resistance. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1118–1122 (in Chinese) [武淑文, 王震宇, 吴益东. 2010. B和Q型烟粉虱种群竞争与抗药性的关系. *昆虫知识*, 47(6): 1118–1122]
- Xiao S, Zheng HX, Yang ZX, Zhang YJ. 2020. Dynamic monitoring (MED versus MEAM1) and further resistance status of field population of *Bemisia tabaci* in Tianjin and Hainan. *China Vegetables*, (3): 44–50 (in Chinese) [肖思, 郑慧新, 杨中侠, 张友军. 2020. 天津、海南烟粉虱田间种群隐种鉴定及抗药性监测. *中国蔬菜*, (3): 44–50]
- Xue YT, Zhang YB, Zhang Y, Zhang GF, Liu H, Wan FH, Ge JY. 2017. Diversity and phylogenetic affiliation of endosymbionts from *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and its dominant parasitoids. *Journal of Environmental Entomology*, 39(4): 741–751 (in Chinese) [薛延韬, 张毅波, 张焱, 张桂芬, 刘怀, 万方浩, 葛金燕. 2017. 烟粉虱及其优势寄生蜂内共生菌的种类及系统发育分析. *环境昆虫学报*, 39(4): 741–751]
- Yao FL, Zheng Y, Huang XY, Ding XL, Zhao JW, Desneux N, He YX, Weng QY. 2017. Dynamics of *Bemisia tabaci* biotypes and insecticide resistance in Fujian Province in China during 2005–2014. *Scientific Reports*, 7: 40803
- Zhang DZ, Zhang YL, Hu MX, Liu BM, Gu XS. 2020. Species identification and phylogenetic analysis of *Bemisia tabaci* in Tianjin and surrounding areas. *Tianjin Agricultural Sciences*, 26(3): 21–26 (in Chinese) [张邓壮, 张艳玲, 胡明鑫, 刘佰明, 谷希树. 2020. 天津周边地区烟粉虱隐种鉴定及其系统发育分析. *天津农业科学*, 26(3): 21–26]
- Zhang YL, Li HM, Feng DC. 2016. Comparative experiment of tomato varieties in solar greenhouse in Ninghe, Tianjin. *Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry*, (2): 29–30, 33 (in Chinese) [张艳玲, 李洪梅, 冯定超. 2016. 天津宁河日光温室番茄品种比较试验. *天津农林科技*, (2): 29–30, 33]
- Zhang H, Gong HR, Zhou XP. 2009. Molecular characterization and pathogenicity of tomato yellow leaf curl virus in China. *Virus Genes*, 39(2): 249–255
- Zheng WL, Jiang GH, Pan Y, Chang G. 2007. Studies on use situations of pesticides of fruit and vegetable in Tianjin area. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 19(5): 414–417 (in Chinese) [郑文龙, 江国虹, 潘怡, 常改. 2007. 天津地区果蔬农药施用状况的调查. *中国食品卫生杂志*, 19(5): 414–417]

(责任编辑:李美娟)