



兰英,王泽,赵秀梅,等.西花蓟马抗药性分子机制研究进展[J].黑龙江农业科学,2024(5):109-113.

# 西花蓟马抗药性分子机制研究进展

兰英<sup>1</sup>,王泽<sup>2</sup>,赵秀梅<sup>1</sup>,刘悦<sup>1</sup>,李青超<sup>1</sup>,王立达<sup>1</sup>,刘洋<sup>1</sup>

(1.黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2.黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**西花蓟马(*Frankliniella occidentalis*)是世界范围内对蔬菜、水果和观赏作物最具破坏性的害虫之一,其通过直接取食植物并传播多种病毒对植物造成危害。由于杀虫剂的大量使用导致西花蓟马对多种杀虫剂产生了抗药性。因此,深入研究其抗药性分子机制,可为西花蓟马的综合治理和绿色防控提供重要的理论依据。本文综述了西花蓟马对多种杀虫剂的抗性分子机制研究进展,主要包括与抗药性有关的解毒酶和转运蛋白基因的功能,以及相关基因的调控路径等方面,对目前存在的问题提出了可行性的建议并展望了未来防治西花蓟马的发展方向。

**关键词:**西花蓟马;抗药性;杀虫剂;分子机制

西花蓟马(*Frankliniella occidentalis* Pergande),属于缨翅目蓟马科花蓟马属,是对园艺作物造成严重损害的杂食性害虫<sup>[1-2]</sup>。1915年在北美洲西部山区首次报道,其作为外来入侵物种在新西兰羽扇豆(*Lupinus arboreus*)上首次被发现<sup>[3]</sup>。随着园艺产品的国际贸易西花蓟马传播至世界各地,其具有分布广、繁殖力高、繁殖周期短等特点,已成为重要的入侵物种<sup>[4]</sup>。近几年,西花蓟马在我国设施栽培作物上严重发生,尤其是对设施蔬菜危害较大,被认为是全国蔬菜和花卉作物的主要害虫。该虫以锉吸式口器取食植物的茎、叶、花、果,导致叶片皱缩、花瓣褪色等直接危害,同时还可传播包括番茄斑萎病毒、玉米褪绿斑驳病毒在内等多种植物病毒<sup>[5-6]</sup>,对作物造成间接危害,造成重大经济损失。

目前,使用不同作用方式的化学杀虫剂仍是控制西花蓟马种群的主要手段,但由于西花蓟马的生命周期短、繁殖力强等有利于进化的特征,也导致了其对杀虫剂的抗药性逐渐增强<sup>[7]</sup>。鉴于西花蓟马抗杀虫剂种群的不断出现,充分了解其抗性机制对于有效控制该物种是十分必要的<sup>[8]</sup>。农药的长期大量使用导致西花蓟马出现抗药性,进而对害虫的可持续控制产生严重影响,为了加强杀虫剂的控制效果,亟需明确西花蓟马产生抗药性的机制,这包括对特定抗药基因或突变基因的鉴定和功能研究,识别这些解毒因子有助于了解

对杀虫剂的代谢抗性背后的进化过程<sup>[9]</sup>。本文基于国内外学者的研究成果对西花蓟马关于杀虫剂的抗性发展现状,以及对杀虫剂的抗性分子机制等方面进行了综述,分析了目前存在的问题并对未来发展方向进行了展望,以期今后西花蓟马综合治理和绿色防控提供参考。

## 1 抗药性现状

目前施用化学农药仍是防治西花蓟马的主要方法,但由于西花蓟马对常用杀虫剂逐渐产生抗药性,抗性已成为导致其爆发并传播流行性病毒的重要因素。在许多国家和地区,西花蓟马已对拟除虫菊酯、有机磷、有机氯和氨基甲酸酯等类型杀虫剂产生了不同水平的抗性<sup>[10-12]</sup>。Zhang等<sup>[13]</sup>在实验室条件下,通过对西花蓟马35代的连续选择后,其对吡虫啉产生了中等抗性。在反复使用乙酰甲胺磷和敌敌畏后,其产生了高度抗药性;西花蓟马已对第二代新烟碱类药物噻虫嗪也产生了抗药性,噻虫嗪对西花蓟马进行不连续世代选择使其抗性增加了15.1倍,这表明西花蓟马在长期选择压力下,对噻虫嗪具有一定的抗性<sup>[14]</sup>。此外,噻虫嗪还可作为多杀菌素菌株的靶位增效剂,在其他害虫防治研究中也报告了类似对新烟碱类药物的交叉抗药性<sup>[15]</sup>。

一些研究报道了西花蓟马对其他杀虫剂的交叉抗性,西花蓟马对咪唑啉的抗性提高了392.1倍,

收稿日期:2023-11-30

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2023-1-A002);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业特色产业科技创新支撑项目(CX23TS23);齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2023026)。

第一作者:兰英(1994-),女,硕士,研究实习生,从事植物保护研究。E-mail:1301622659@qq.com。

且具有明显的交叉抗性;对呋虫胺的抗性提高了 5.7 倍、啉虫脒的抗性提高了 2.9 倍和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗性提高了 2.1 倍,但对这 3 种杀虫剂交叉抗性水平较低。目前还没有关于新烟碱类药物之间这种交叉抗药性的报道,这可能是因为噻虫嗪和咪唑啉具有基于烟碱乙酰胆碱受体改变的相同或交叉分子靶点<sup>[16]</sup>。抗多杀菌素的西花蓟马种群对丙硫磷、溴虫腈和杀虫环表现出低至中度的交叉抗性<sup>[17]</sup>。

## 2 抗药性分子机制

西花蓟马有很多不同的抗药性分子机制,包括解毒酶介导,基因组学,分子靶标位点改变等。解毒酶是昆虫体内主要的防御酶,包括细胞色素 P450 单加氧化酶(P450)、谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs)<sup>[18]</sup>等;基因型-表型关系的连接可以加强对西花蓟马防御机制的理解;此外,靶标位点以及敏感度的改变,也会影响西花蓟马的抗药性<sup>[19]</sup>。

### 2.1 细胞色素 P450 酶系介导

P450 在昆虫体内能够代谢多种外源物质<sup>[20]</sup>。P450 酶系代谢能力的增强可能是西花蓟马对杀虫剂抗性增强的重要途径。研究人员报道了 P450 会导致西花蓟马对各种杀虫剂产生抗药性,包括吡虫啉、甲硫威、二嗪农、吡啶酮、溴氰菊酯、氰戊菊酯、甲酸、氯菊酯、吡虫啉和阿维菌素。而有学者发现 P450 介导的阿维菌素抗药性存在于西花蓟马种群中,在这项研究中观察到 P450 和羧酸酯酶的活性升高,这可能是其产生阿维菌素抗性的机制,4 个 Cyp450 基因(*Cyp6k1*、*Cyp6a13*、*Cyp6a2* 和 *Cyp6a14*)通常过度表达以响应 3 种不同结构的杀虫剂(氯芬那吡-吡咯、呋虫胺-新烟碱类和多杀菌素-大环内酯),CYP6 基因参与各种杀虫剂和外源性物质的代谢,因此具有相当程度抗性<sup>[21]</sup>。*Cyp450* 和 *Cyp304a1* 基因在多杀菌素处理的西花蓟马中也过表达,这一发现与先前报道的多杀菌素处理的小菜蛾研究一致,除了在多杀菌素处理的样品中过表达,*Cyp304a1* 基因对任何其他测试的杀虫剂(氯虫苯甲酰胺、氯芬吡、氯氰菊酯、呋虫胺、茚虫威)均未过表达,表明 *Cyp304a1* 对多杀菌素有一定的特异性<sup>[22]</sup>。

另有研究表明,P450 单加氧酶与二嗪磷抗性有关,表明了 P450 在西花蓟马对拟除虫菊酯、氨基甲酸酯和有机磷杀虫剂解毒中的重要作用<sup>[23]</sup>。P450 在对拟除虫菊酯的抗性机制中的作用已在

棉铃虫<sup>[24]</sup>、黑腹果蝇<sup>[25]</sup>、小菜蛾<sup>[26]</sup> 和烟粉虱<sup>[27]</sup> 中得到证实。有学者揭示了两个 P450 基因在西花蓟马幼虫中的过度表达以及成虫对拟除虫菊酯、吡啶菊酯杀虫剂的抗性<sup>[28]</sup>。以上研究表明,P450 解毒作用的增强是导致西花蓟马抗杀虫剂的重要原因。其他机制(如靶点不敏感性和酯酶)很可能导致西花蓟马对杀虫剂的抗药性,因此有必要制定有效的抗性管理战略,评估常规杀虫剂之间的交叉抗性以阐明其抗药机制。

### 2.2 谷胱甘肽-S-转移酶介导

谷胱甘肽-S-转移酶(Glutathione-S-Transferases,GST)参与代谢和保护西花蓟马免受因暴露于杀虫剂引起的氧化应激中发挥着重要作用,同时,谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs)被认为与西花蓟马对甲硫威和硫丹的抗性有关<sup>[23]</sup>。研究人员仅发现 *GSTS<sub>I</sub>* 基因在 3 种杀虫剂处理西花蓟马中过表达,当用胡椒和氯虫苯甲酰胺的杀虫提取物处理时,在黑腹果蝇和甜菜粘虫中也有类似的结果,*GSTS<sub>I</sub>* 的相对表达水平分别增加了 2.22 倍和 2.31 倍<sup>[29]</sup>,而 *GSTS<sub>I</sub>* 基因的功能及其与西花蓟马抗药性的关系和机制仍不清楚。

一些研究通过转录组分析发现,相关解毒基因,包括谷胱甘肽-S-转移酶 *S1*、3 个 UDP-葡萄糖醛酸转移酶、4 个 Cyp450 和 1 个 ABC 转运蛋白 *G20*,在所有杀虫剂处理组中均过表达。由于这些类别可能是外源性物质解毒过程中的关键组成部分,因此在杀虫剂处理的西花蓟马中的上调可能与抗药性的增加有关<sup>[30]</sup>。而对西花蓟马连续使用中致死剂量的不同杀虫剂,所有杀虫剂处理后其抗药性均显著增加,通过比较转录组并进行分析,鉴定了通常可能导致杀虫剂抗性的基因,包括 4 个 *UGT* 基因和另外 6 个解毒相关基因通常过表达<sup>[29]</sup>。另一项研究发现 CYP6 家族基因中如 *Cyp6g1*、*Cyp6p4* 和 *Cyp6p9* 等基因与不同物种的杀虫剂抗性有关,其在亚致死状态下暴露于具有不同结构的杀虫剂后通常上调,这表明 Cyp6 家族基因参与了杀虫剂和外来生物制剂的解毒过程<sup>[31]</sup>。相关研究发现总体的差异基因谱完全不同,这表明在中毒初始阶段参与耐受诱导的基因会根据昆虫的种类、发育阶段和生理状况发生很大的变化,这些基因的生理功能可能与直接或间接的解毒过程相关联<sup>[22]</sup>。此外,对具有不同结构和作用模式的杀虫剂的不同反应表明其在防御系统中具体潜在作用。因此,发现并识别这些差异

表达基因将有助于我们了解普遍和特定的代谢抗性因素,这有利于进一步解析基因介导的西花蓟马对杀虫剂抗药性的分子机制。

### 2.3 蛋白水解酶介导

蛋白水解酶(Protease, Proteinase)是催化多肽或蛋白质水解酶的统称,对昆虫体内的新陈代谢以及生物调控具有重要作用<sup>[32]</sup>。Ahmed 等<sup>[33]</sup>用亚致死剂量的杀虫剂处理西花蓟马后,共有 34 个与蛋白质降解相关的基因过表达,这可能与蛋白水解酶活性的提高有关。在其他昆虫中也有类似的报道,如 8 种糜蛋白酶基因在杀虫剂处理的蓟马中显著上调<sup>[33]</sup>;发现胰凝乳蛋白酶参与淡色库蚊(*Culex pipiens* Pallens)对溴氰菊酯的降解<sup>[34-35]</sup>。这些发现表明蛋白水解酶可能对细胞内毒素或神经毒性杀虫剂的中毒有反应,在用杀虫剂进行亚致死处理后,34 个胰蛋白酶基因中有 8 个过度表达。

## 3 基因组学

为了明晰西花蓟马线粒体(Mitochondrion)基因组中控制区和基因重排的特征,国外学者对西花蓟马的线粒体全基因组进行了测序,结果表明串联重复和缺失是控制区和基因易位进化的原因<sup>[36]</sup>。通过对番茄斑萎病毒(TSWV)感染和未感染的西花蓟马群体的不同表达基因进行 GO 和 KEGG 分析表明,番茄斑萎病毒可以调节细胞过程和免疫反应,这可能导致蓟马细胞中病毒滴度较低,因此对西花蓟马没有不利影响<sup>[37]</sup>。相关研究结果不仅丰富了西花蓟马的基因组资源,而且有利于其分子遗传学和功能基因组学的研究。

## 4 靶标位点改变或敏感度降低

乙酰胆碱受体(nicotinic acetylcholine receptors, nAChRs)是有机磷和氨基甲酸酯等杀虫剂的分子靶点,主要通过结合乙酰胆碱在昆虫中枢神经系统阳离子通道快速传递,广泛控制多种害虫,同时昆虫可以通过选择性剪接、mRNA 编辑和剪接位点变异来增加 nAChRs 的多样性<sup>[38]</sup>。研究表明 nAChRs 的靶标位点改变导致西花蓟马对这两类杀虫剂具有很高的抗性,虽然都以 nAChRs 为靶标,但这两类杀虫剂结合到非重叠位点或不同类别的 nAChRs 不同<sup>[39]</sup>。在抗多杀菌素种群中检测到更多的  $\alpha 6$  亚基截短形式,而在两个高度耐药的西花蓟马种群中几乎没有发现任何全长形式(耐药率 > 104 倍)<sup>[39]</sup>。作为多杀菌素的分子

靶点,截短的 nAChR $\alpha 6$  亚基可以作为一种诊断工具,用于检测和量化田间西花蓟马对杀虫剂的抗性。

乙酰胆碱酯酶(AChE)在昆虫神经传导中起着关键作用,该酶通过降解乙酰胆碱,干扰神经信号的传导<sup>[40]</sup>,进而使得昆虫产生抗药性。一些研究表明乙酰胆碱酯酶对昆虫适应杀虫剂压力进而增强抗药性起关键作用<sup>[41-42]</sup>。乙酰胆碱酯酶的敏感度降低或活性增强都是此分子靶标涉及的抗性机制,而乙酰胆碱酯酶敏感度降低是昆虫和螨类对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂产生抗药性的重要机制,西花蓟马对杀虫剂的抗性也在这个机制中体现。

## 5 总结与展望

西花蓟马抗药性的发展极大地阻碍了该害虫的有效综合治理,在对科学文献进行回顾后发现,很少有杀虫剂对西方花蓟马具有高效作用。说明西花蓟马的入侵种群可能对目前市面上的杀虫剂具有一定程度的抗性倾向,其种群有抗药性产生,而入侵种群在新的地区建立后可能对一系列杀虫剂产生抗药性。为了进一步了解杀虫剂抗性的遗传基础,并确定用于筛选的分子标记,需要在实验室中进行持续的筛选。对西花蓟马管理使用的每种杀虫剂的抗性,以设计分子标记进行精确的抗性监测。同时可以尝试为西花蓟马创建一个参考转录组,以促进西花蓟马对杀虫剂产生抗性机理的探明。

近年来“组学”(例如基因组学、代谢组学、蛋白质组学)已成为研究昆虫对杀虫剂抗性的重要方法,组学技术促进了基因型-表型关系的连接。因此应展开西花蓟马的“组学”研究,以加强对西花蓟马防御机制的理解,同时组学的发展有助于更好地理解西花蓟马的生物学行为和抗杀虫剂机制<sup>[43-44]</sup>。且分子水平研究的结果可能会提供新的见解和方法。代谢组学研究已经确定不同防御性化合物之间的关系和相互作用,这可能有助于选择和开发具有西花蓟马抗性的作物品种。细菌内共生体为非创伤性递送,这种方法为识别基因功能和递送破坏关键基因功能的 RNA 作为控制害虫数量提供了巨大的潜力,同时可能识别控制西花蓟马繁殖性能的效应基因。这种方法提高了实验环境条件下筛选大量基因的能力并极大地促进对西花蓟马和多种植物病毒感染的抗性基因的



鉴定<sup>[45]</sup>。蛋白质组学技术已经鉴定出在西花蓟马幼虫暴露于番茄斑萎病毒时上调或下调的基因,其具体功能还有待研究。近期的研究发现进一步证明了组学工具的潜力,可以从根本上提高对西花蓟马生物学的理解,从而显著提高可持续管理并控制虫害的能力。

## 参考文献:

- [1] WOO K. *Thrips* as crop pests in Korea[J]. Acta Phytopathologica Entomologica Hungarica, 1988, 23: 369-372.
- [2] STUART R R, GAO Y L, LEI Z R. *Thrips*: pests of concern to China and the United States[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(6): 867-892.
- [3] MOUND L, WALKER A. K. Terebrantia (Insecta: Thysanoptera) [J]. Fauna N. Z., 1982:101-113
- [4] KIRK D J, TERRY L I. The spread of the western flower *Thrips Frankliniella occidentalis* (Pergande)[J]. Agricultural and Forest Entomology, 2003, 5(4): 301-310.
- [5] 金奕轩, 黄欣怡, 李思涵, 等. 西花蓟马对 12 种植物挥发物的选择行为[J]. 植物保护学报, 2023, 50(3): 676-683.
- [6] WEBSTER C G, REITZ S R, PERRY K L, et al. A natural M RNA reassortant arising from two species of plant-and insect-infecting bunyaviruses and comparison of its sequence and biological properties to parental species [J]. Virology, 2011, 413(2): 216-225.
- [7] BIELZA P, QUINTO V, CONTRERAS J, et al. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain[J]. Pest Management Science, 2007, 63(7): 682-687.
- [8] BRØDSGAARD H F. Insecticide resistance in European and African strains of western flower *Thrips* (Thysanoptera: Thripidae) tested in a new residue-on-glass test[J]. Journal of Economic Entomology, 1994, 87(5): 1141-1146.
- [9] IMMARAJU J A, PAINE T D, BETHKE J A, et al. Western flower *Thrips* (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouses[J]. Journal of Economic Entomology, 1992, 85(1): 9-14.
- [10] MAYMÓ A C, CERVERA A, GARCERÁ M D, et al. Relationship between esterase activity and acrinathrin and methiocarb resistance in field populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* [J]. Pest Management Science, 2006, 62(12): 1129-1137.
- [11] DLAMINI T M, ALLSOPP E, MALAN A P. Management of *Frankliniella occidentalis* (Western Flower *Thrips*), and the Potential use of Entomopathogenic Nematodes: a South African Perspective[J]. African Entomology, 2019, 27(2): 265.
- [12] GAO Y L, REITZ S R. Special issue on novel management tactics for the Western flower thrips[J]. Journal of Pest Science, 2021, 94(1): 1-3.
- [13] ZHANG S Y, KONO S, MURAI T, et al. Mechanisms of resistance to spinosad in the western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae)[J]. Insect Science, 2008, 15(2): 125-132.
- [14] GAO C F, MA S Z, SHAN C H, et al. Thiamethoxam resistance selected in the western flower *Thrips Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae): cross-resistance patterns, possible biochemical mechanisms and fitness costs analysis[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2014, 114: 90-96.
- [15] GUILLÉN J, BIELZA P. Thiamethoxam acts as a target-site synergist of spinosad in resistant strains of *Frankliniella occidentalis*[J]. Pest Management Science, 2013, 69(2): 188-194.
- [16] TAMURA K, PETERSON D, PETERSON N, et al. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods[J]. Molecular Biology and Evolution, 2011, 28(10): 2731-2739.
- [17] 王圣印, 刘永杰, 周仙红, 等. 西花蓟马对吡虫啉抗性机制的研究[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 559-565.
- [18] 唐振华, 周成理. 解毒酯酶在小菜蛾幼虫抗药性中的作用[J]. 昆虫学报, 1993, (01): 8-13.
- [19] 华乃震. 绿色环保生物杀虫剂多杀霉素和乙基多杀菌素的述评[J]. 农药, 2015, 54(1): 1-5, 13.
- [20] MCDONALD J R, BALE J S, WALTERS K A. Effects of sub-lethal cold stress on the Western Flower *Thrips, Frankliniella occidentalis*[J]. Annals of Applied Biology, 1997, 131(2): 189-195.
- [21] FEYEREISEN R. Evolution of insect P450 [J]. Biochemical Society Transactions, 2006, 34(Pt 6): 1252-1255.
- [22] GAO Y, KIM K, KWON D H, et al. Transcriptome-based identification and characterization of genes commonly responding to five different insecticides in the diamondback moth, *Plutella xylostella*[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2018, 144: 1-9.
- [23] GAO Y L, LEI Z R, REITZ S R. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies[J]. Pest Management Science, 2012, 68(8): 1111-1121.
- [24] YOUNG S J, GUNNING R V, MOORES G D. The effect of piperonyl butoxide on pyrethroid-resistance-associated esterases in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Pest Management Science, 2005, 61(4): 397-401.
- [25] ZHU Y C, SNODGRASS G L. Cytochrome P450 CYP6X1 cDNAs and mRNA expression levels in three strains of the tarnished plant bug *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae) having different susceptibilities to pyrethroid insecticide [J]. Insect Molecular Biology, 2003, 12(1): 39-49.
- [26] SONODA S. Molecular analysis of pyrethroid resistance conferred by target insensitivity and increased metabolic detoxification in *Plutella xylostella*[J]. Pest Management Science, 2010, 66(5): 572-575.
- [27] RODITAKIS E, TSAGKARAKOU A, VONTAS J. Identification

- of mutations in the Para sodium channel of *Bemisia tabaci* from Crete, associated with resistance to pyrethroids[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2006, 85(3): 161-166.
- [28] CIFUENTES D, CHYNOWETH R, GUILLÉN J, et al. Novel cytochrome *P450* genes, *CYP6EB1* and *CYP6EC1*, are over-expressed in acrinathrin-resistant *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105(3): 1006-1018.
- [29] JENSEN H R, SCOTT I M, SIMS S, et al. Gene expression profiles of *Drosophila melanogaster* exposed to an insecticidal extract of *Piper nigrum* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(4): 1289-1295.
- [30] VONTAS J, BLASS C, KOUTSOS A C, et al. Gene expression in insecticide resistant and susceptible *Anopheles gambiae* strains constitutively or after insecticide exposure [J]. Insect Molecular Biology, 2005, 14(5): 509-521.
- [31] BASS C, FIELD L M. Gene amplification and insecticide resistance[J]. Pest Management Science, 2011, 67(8): 886-890.
- [32] MORSE J G, HODDLE M S. Invasion biology of thrips [J]. Annual Review of Entomology, 2006, 51: 67-89.
- [33] AHMED S, WILKINS R M, MANTLE D. Comparison of proteolytic enzyme activities in adults of insecticide resistant and susceptible strains of the housefly *M. domestica* L [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 1998, 28(9): 629-639.
- [34] ZHANG Z J, ZHANG P J, LI W D, et al. *De novo* transcriptome sequencing in *Frankliniella occidentalis* to identify genes involved in plant virus transmission and insecticide resistance [J]. Genomics, 2013, 101(5): 296-305.
- [35] LÜ Y, WANG W J, HONG S C, et al. Comparative transcriptome analyses of deltamethrin-susceptible and resistant *Culex pipiens pallens* by RNA-seq [J]. Molecular Genetics and Genomics, 2016, 291(1): 309-321.
- [36] 姜宁, 夏振远, 谢永辉, 等. 基于线粒体 CO I 基因的云南西花蓟马种群遗传多样性研究[J]. 中国烟草学报, 2023, 29(4): 66-75.
- [37] 叶倩, 卢冰心, 魏艳, 等. 番茄斑萎病毒侵染的西花蓟马酵母双杂交 cDNA 文库的构建和分析[J]. 福建农业学报, 2022, 37(9): 1203-1208.
- [38] KARLIN A. Emerging structure of the Nicotinic Acetylcholine receptors[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2002, 3: 102-114.
- [39] JONES A K, RAYMOND-DELPECH V, THANY S H, et al. The nicotinic acetylcholine receptor gene family of the honey bee, *Apis mellifera* [J]. Genome Research, 2006, 16(11): 1422-1430.
- [40] SOREQ H, SEIDMAN S. Acetylcholinesterase-new roles for an old actor[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2: 294-302.
- [41] CLAUDIANOS C, RANSON H, JOHNSON R M, et al. A deficit of detoxification enzymes: pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee [J]. Insect Molecular Biology, 2006, 15(5): 615-636.
- [42] 来守国, 高欢欢, 翟一凡, 等. 3 种杀虫剂亚致死浓度对斑翅果蝇和黑腹果蝇体内解毒酶的影响[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(3): 676-683.
- [43] LEISS K A, CHOI Y H, ABDEL-FARID I B, et al. NMR metabolomics of *Thrips (Frankliniella occidentalis)* resistance in *Senecio* hybrids[J]. Journal of Chemical Ecology, 2009, 35(2): 219-229.
- [44] LEISS K A, CRISTOFORI G, van STEENIS R, et al. An eco-metabolomic study of host plant resistance to Western flower thrips in cultivated, biofortified and wild carrots [J]. Phytochemistry, 2013, 93: 63-70.
- [45] WHITTEN M M A, FACEY P D, del SOL R, et al. Symbiont-mediated RNA interference in insects[J]. Proceedings. Biological Sciences, 2016, 283(1825): 20160042.

## Research Progress on Molecular Mechanisms of Resistance Insecticides of *Frankliniella occidentalis*

LAN Ying<sup>1</sup>, WANG Zeyin<sup>2</sup>, ZHAO Xiumei<sup>1</sup>, LIU Yue<sup>1</sup>, LI Qingchao<sup>1</sup>, WANG Lida<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>

(1. Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** The *Frankliniella occidentalis* (Pergande) is one of the most destructive pests of vegetables, fruits and ornamental crops throughout the world, harming plants by feeding directly on them and spreading a variety of viruses. Use of insecticides has been the primary strategy for controlling WFT, and insecticide resistance in WFT has been documented in a number of chemical classes. Therefore, in depth study of the molecular mechanism of resistance can provide an important theoretical basis for comprehensive management and green prevention and control of thrips WFT. This reviews introduced the progress on molecular mechanism of resistance of WFT to various insecticides, it mainly includes the functions of detoxification enzyme and transporter genes related to drug resistance, as well as the regulatory pathways of related genes, and puts forward feasible suggestions on the existing problems and looks forward to the future development direction of control of WFT.

**Keywords:** *Frankliniella occidentalis*; resistance; insecticide; molecular mechanism