

西花蓟马种群特征及寄主定位研究进展

周春梅, 张治科

(宁夏农林科学院植物保护研究所·宁夏植物病虫害防治重点实验室 银川 750002)

摘要: 西花蓟马(*Frankliniella occidentalis*)作为一种世界性入侵害虫,自侵入我国以来,对蔬菜、水果及花卉等经济作物造成了严重危害,再加上长期大量使用化学药剂所引发的环境污染、农产品农药残留超标以及害虫抗药性增强等问题日益突出。开展西花蓟马种群特征及寄主定位相关研究,能够为精准防控、提高防效、开辟新的防控策略等奠定基础。本文系统综述了西花蓟马的生活习性、繁殖特征、空间分布、生长发育影响因素等种群特性,同时在综述西花蓟马寄主选择行为、嗅觉相关蛋白研究现状等基础上,重点针对信息化合物对西花蓟马的行为调控及其应用进行了分析,如植物挥发性物质对西花蓟马寄主选择的调控作用、昆虫信息素对西花蓟马的行为调控作用等,并提出持续深化对西花蓟马种群特征、寄主选择与嗅觉机制、信息化合物开发与应用等方面的研究,为进一步构建行为调控的西花蓟马绿色防控技术体系提供理论依据。

关键词: 西花蓟马; 种群特征; 寄主定位; 信息化合物; 昆虫行为

中图分类号: S63+Q968.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)09-010-06

Research progress on population characteristics and host location of *Frankliniella occidentalis*

Zhou Chunmei, Zhang Zhike

(Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Ningxia Key Laboratory of Plant Diseases and Pests Control, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Absrtact: *Frankliniella occidentalis* as a worldwide invasive pest, has caused significant damage to economic crops such as vegetables, fruits, and ornamental plants since its introduction into China. However, the long-term and extensive use of chemical insecticides has led to increasingly prominent issues, including environmental pollution, excessive pesticide residues in agricultural products, and enhanced pest resistance. Research on the population characteristics and host localization of *Frankliniella occidentalis* can lay the foundation for precise pest control, improved control efficacy, and the development of novel management strategies. This paper systematically reviews the population characteristics of *Frankliniella occidentalis*, including its life habits, reproductive traits, spatial distribution, and factors influencing its growth and development. In addition, based on an overview of its host selection behavior and current research on olfactory-related proteins, this review focuses on the behavioral regulation of *Frankliniella occidentalis* by semiochemicals and their applications, such as the regulatory effects of plant volatiles on host selection and the role of insect pheromones in behavioral regulation. It is expected that further indepth studies on population characteristics, host selection and olfactory mechanisms, as well as enhanced development and application of semiochemicals, which will provide a theoretical basis for the construction of a green pest management technology system for *F. occidentalis* based on behavioral regulation.

Key words: *Frankliniella occidentalis*; Population characteristics; Host location; Semiochemicals; Insect behavior

西花蓟马(*Frankliniella occidentalis*)又名苜蓿蓟马,隶属于缨翅目(Thysanoptera)蓟马科(Thripidae)花蓟马属(*Frankliniella*)。该虫原产于北美洲,利用其极强的适应能力与扩散能力,已迅速传播至全球多个国家和地区,成为当今危害农作物最为严

重的外来入侵害虫之一^[1]。在我国,西花蓟马已在山东^[2]、贵州^[3]、江苏^[4]、宁夏^[5]、内蒙古^[6]等多个省份被发现,且呈现持续扩散的态势。

西花蓟马为典型的多食性害虫,其寄主范围极为广泛,目前已知的寄主植物已超过 500 种,涵盖

收稿日期: 2026-02-19; 修回日期: 2026-05-22

基金项目: 宁夏农业科技自主创新资金专项(NKYGG-2026-20, NKYG-25-06)

作者简介: 周春梅,女,硕士,主要从事昆虫生态与综合防治研究。E-mail: 1636780335@qq.com

通信作者: 张治科,男,研究员,主要从事昆虫生态与综合防治研究。E-mail: zhangzhike98@163.com

蔬菜、果树、花卉及粮食作物等多个类别。该虫可危害寄主的叶片、花器、果实等不同部位,并表现出明显的取食偏好性,尤其偏好植物生长阶段的幼嫩组织,如嫩芽及花心部位。此外,西花蓟马具有明显的趋花习性,在自然和栽培环境中常聚集于花期植株的花部活动与取食^[7]。随着西花蓟马持续扩散与蔓延,寄主种类仍在不断扩展;同时,受季节变化和区域环境差异的影响,西花蓟马还表现出明显的寄主转移特征^[8]。

西花蓟马体型微小,成虫与若虫常群集于寄主叶片、花瓣及果实内部隐蔽取食。西花蓟马通过特化的锉吸式口器对寄主植物的花(花瓣、雄蕊、雌蕊、花萼等)、幼嫩叶片、新生芽体(顶芽、侧芽)及果实(幼果至近成熟果)等关键器官进行机械性穿刺与挫伤,进而吸食破损处渗出的细胞汁液,导致植物出现一系列典型受害症状。西花蓟马的直接危害不仅显著降低作物产量,还严重影响产品的外观完整性与内在品质,导致商品价值下降,给农业生产带来重大经济损失。此外,西花蓟马还可作为媒介传播多种植物病毒,对寄主植物造成更为严重的间接危害^[9-10],进一步加剧对农业生产的冲击。

笔者在系统查阅大量文献的基础上,围绕西花蓟马的种群特征、寄主定位机制、行为调控策略及其嗅觉识别机制等方面的研究进展,进行了系统梳理与综述,以期对基于行为调控的西花蓟马绿色防控体系构建提供参考。

1 种群特征

1.1 繁殖与种群动态

西花蓟马属于渐变态昆虫,其个体发育过程包括卵、1~2龄若虫、预蛹、蛹及成虫^[11]。该虫繁殖力强、生命周期短,在温室环境中可实现全年连续繁殖,年发生世代数12~17代,且世代重叠现象明显。在露地栽培条件下,主要以成虫和蛹潜伏于土壤缝隙、土块下或枯枝落叶中越冬;翌年4月上中旬,越冬成虫开始恢复活动,待寄主植物进入盛花期后,随即进入产卵盛期。西花蓟马偏好温暖湿润的环境,具有避光性。晴天白天多潜伏于叶片背面取食危害,阴天则可直接危害叶片表面。此外,该虫倾向隐匿于花芽等隐蔽部位,并将卵产于紧密包裹的花芽内部或缝隙中,致使其成虫、蛹及卵态均具有较强的隐蔽性,进一步加大了监测与防控的难度^[12]。

西花蓟马具有独特的繁殖方式,既可进行两性

生殖,也可进行孤雌生殖,其中以两性生殖为主^[13]。在两性生殖模式下,雌虫与雄虫交配后产卵,所产卵包括受精卵和未受精卵,受精卵可发育为雌虫或雄虫,未受精卵则通常发育为雄虫。在孤雌生殖模式下,雌虫无需交配即可产卵,且所产卵均为未受精卵,子代均发育为雄虫。然而,在自然种群中,雌性个体占比通常高于雄性。此外,西花蓟马无明显滞育现象^[14],这使得其能够在多样化的环境条件下持续繁殖,有效维持种群数量。

1.2 空间分布

关于西花蓟马的空间分布特征,国外已有较多研究^[15]。近年来,国内学者也开展了系统研究。路虹等^[16]通过调查黄瓜与架豆上西花蓟马的种群空间分布,发现该害虫在两种寄主植物上的分布格局无显著差异,均呈聚集分布,且其空间分布型不随种群密度波动及取样时间变化而发生改变。蒋兴川等^[17]对辣椒植株上西花蓟马的空间分布进行分析,结果表明,该虫在辣椒上主要集中在花朵部位,成虫与若虫个体间存在相互吸引,形成明显的个体群,空间分布亦为聚集型,且聚集强度随种群密度升高而增强。陈安平等^[18]研究发现,西花蓟马在四季豆叶片上同样呈聚集分布,成虫偏好分布于植株上部,若虫则主要集中于下部;各时期若虫数量均多于成虫,且绿色叶片上的种群数量显著多于浅绿色叶片。

1.3 西花蓟马生长发育的影响因素

昆虫的分布、生长发育、繁殖活动、种群动态及行为特征等均受多种生态因子的综合调控。作为典型的变温动物,昆虫的生理活动与环境温度密切相关,其中温度是影响其生长发育最为关键的生态因子之一^[19]。对西花蓟马而言,温度过高或过低均会显著影响其发育历期、发育速率、成虫产卵量及子代性别。已有研究表明,西花蓟马的最适发育温度为15~30℃^[20],在此温度范围内,其发育历期随温度升高而缩短,发育速率随温度升高而加快;成虫寿命随温度上升呈明显缩短趋势^[21],产卵量随温度升高而减少^[22],子代雌雄比则随温度升高而增大^[23]。

湿度亦是影响西花蓟马存活与发育的重要环境因子。目前普遍认为,高湿度环境诱发的真菌感染是导致西花蓟马种群消亡的重要因素之一^[15]。凉爽干燥的环境更适宜其生长与繁殖,而湿度过高则易诱发病害流行,导致种群死亡率显著上升^[24];反之,过度干旱则会阻碍卵的正常发育。降雨对西花蓟马种群动态具有明显调控作用:一方面,降雨可

直接对幼虫及成虫造成物理损伤,导致个体死亡;另一方面,降雨形成的积水会淹没土中蛹期个体,致使蛹因缺氧等因素死亡。此外,西花蓟马成虫对浸水环境较为敏感,浸水后死亡率显著升高^[15]。

生殖方式对西花蓟马的生长发育也有重要影响。该虫兼具两性生殖与孤雌生殖两种方式,其繁殖力及子代性别均受生殖方式调控,进而影响后续种群发展。此外,在不同生殖方式下,西花蓟马产卵量因寄主种类不同而存在显著差异,且两性生殖产卵量可能低于孤雌生殖^[25]。

除温度、湿度等生态因子外,西花蓟马的生长发育还受到土壤、光照等其他环境因素的显著影响。预蛹期个体通常会主动脱离寄主地上部分,从叶片背面、花瓣缝隙或果实表面爬离,随后通过自然掉落或短距离爬行进入土壤环境,因此土壤类型及含水量对其生长发育具有重要影响。此外,西花蓟马具有较强的趋光性,对蓝、紫、绿、黄等波段光线尤为敏感^[26]。

2 西花蓟马寄主选择行为及嗅觉相关蛋白研究

2.1 西花蓟马寄主选择行为

尽管西花蓟马寄主范围广泛,但其对不同寄主植物种类,乃至同一寄主不同部位叶片的选择均表现出明显的偏好差异^[27-29]。目前,围绕西花蓟马的寄主选择行为已有较为系统的研究。寄主植物的物理性状(如形态、大小、颜色、叶毛密度及叶片厚度等)及其释放的挥发性化合物在该害虫的寄主定位过程中起重要作用。研究表明,西花蓟马成虫与若虫对黄瓜、茄子等偏好寄主表现出更强的选择性,且在取食与产卵时优先选择植株上部及中部叶片^[30-31]。此外,西花蓟马对同种植物在不同处理状态(健康、机械损伤、虫伤及已虫伤)下的选择倾向存在显著差异,其中虫伤植株对其引诱活性最强。相较于健康植株,受害植株释放的挥发物种类更丰富、含量更高,这种挥发物组分的差异正是驱动植食性昆虫行为变化的关键因素^[32]。

2.2 西花蓟马嗅觉相关蛋白的研究现状

昆虫嗅觉感受系统使昆虫能够特异性识别环境中的化学气味分子,并依据这些信号精准完成寄主定位、配偶识别、猎物捕捉及天敌规避等关键生命活动^[33-35]。目前,关于西花蓟马嗅觉感受机制的研究已取得一定进展。西花蓟马的寄主定位与气味识别等行为依赖于其高度灵敏的嗅觉系统。触

角、口器及足等器官是该害虫感知环境信号、实现化学通讯的重要嗅觉感受器,其中触角作为最主要的嗅觉器官,表面分布有大量毛形感器、锥形感器及刺形感器等感器类型^[36-37]。在分子层面,丁艳红^[38]利用分子克隆技术成功获得1个气味结合蛋白基因与1个性信息素结合蛋白基因,二者在雌雄成虫触角中稳定表达,在翅、足等组织中亦有表达信号。张治科等^[39-41]、Zhang^[42]研究发现,不同嗅觉相关蛋白基因在西花蓟马不同发育阶段及组织中的表达丰度存在显著差异。Zeng等^[43]鉴定得到1个化学感受蛋白基因与1个性信息素结合蛋白基因,并证实其表达水平与西花蓟马性别及成虫龄期密切相关。上述研究结果表明,西花蓟马的嗅觉相关蛋白在气味识别、寄主搜寻、信息素合成及性行为调控等生理行为过程中可能发挥重要功能。

3 信息化合物对西花蓟马的行为调控及其应用

3.1 植物挥发性物质对西花蓟马寄主选择的调控作用

西花蓟马作为一种典型的栖花性害虫,其寄主选择行为受植物形态、颜色及挥发物等多种因素的综合调控,其中植物挥发性物质在其寄主定位过程中起着核心导向作用。经过长期的进化适应,西花蓟马已形成以寄主植物挥发物为主要识别信号的寄主搜寻模式,尤其偏好利用花部释放的特异性挥发物作为关键定位线索^[44-51]。除花部挥发物外,植物的幼嫩组织(如顶芽、侧芽)及不同发育阶段的叶片(包括新生叶、功能叶与衰老叶)所释放的挥发性组分,同样作为植物与昆虫之间化学通讯的重要媒介,在西花蓟马精准定位寄主的过程中发挥着不可忽视的作用。此外,寄主植物周围的非寄主植物所释放的气味也可能干扰其寄主选择行为。

基于西花蓟马对植物挥发物的特异性响应机制,近年来围绕其行为调控功能开展了一系列防控应用研究。将植物挥发物与粘虫板、水盘等物理诱捕工具联合使用,已成为评价其对西花蓟马引诱或驱避活性的常用技术手段^[52]。多项研究证实,诱集植物及西花蓟马嗜食寄主植物释放的挥发性组分,对成虫及高龄若虫均具有显著的引诱作用,该活性在室内行为测定与田间试验中均得到验证^[53]。基于这一特性,诱集植物可凭借其释放的特异性挥发物,将西花蓟马从主栽作物上诱集转移,从而减轻其对主栽作物的危害,成为“推-拉”防控策略中“拉”

组分的关键技术要素。目前,植物挥发物成分的开发利用与“推-拉”策略的融合应用,已逐步发展为西花蓟马绿色防控的重要实践路径。

在具体的活性物质筛选与应用研究方面,Chermenskaya等^[54]发现月桂树与鼠尾草释放的挥发物对西花蓟马雌成虫具有显著引诱活性;Koschier等^[55]证实苯甲酸、邻茴香醛、香叶醇、橙花醇及丁香油酚等植物源挥发性成分对该虫表现出较大的引诱潜力;Matsuura等^[56]在菊花温室种植体系中,按17%~25%的比例间作马鞭草作为诱集植物,成功诱集大量西花蓟马,显著减轻了对菊花的危害;Shamshiev等^[57]研究发现,绣线菊挥发物对西花蓟马表现出引诱与驱避双重活性;乔凤霞等^[58]研究表明,不同剂型的印楝制剂对西花蓟马均具有忌避作用,其中印楝乳油的田间忌避效果优于印楝素。此外,研究还发现,西花蓟马对部分植物挥发物的行为响应具有浓度依赖性,在不同试验浓度下可能表现出截然相反的选择倾向^[59]。因此,在评价植物挥发物对西花蓟马的行为调控作用时,应设置浓度梯度以明确其有效作用范围;在制备引诱剂或驱避剂时,需选用适宜的缓释载体,确保活性成分的释放浓度稳定维持在有效区间内,以实现田间持续、稳定的防控目标。

3.2 昆虫信息素对西花蓟马的行为调控

目前,已报道的西花蓟马信息素类型主要包括报警信息素、性信息素、聚集信息素和接触信息素^[60-61]。在报警信息素的应用研究方面,Cook等^[62]发现,将报警信息素成分乙酸十二酯与氟虫腈复配时未表现出明显增效作用,而与马拉硫磷复配后则可显著提升该药剂对西花蓟马成虫及幼虫的毒杀效果。在聚集信息素方面,西花蓟马的聚集信息素活性成分已被成功分离鉴定,主要包括*R*-薰衣草乙酸酯和*S*-2-甲基丁酸酯。行为测定表明,*S*-2-甲基丁酸酯对西花蓟马雌雄个体均具有较强的引诱活性,而*R*-薰衣草乙酸酯则未表现出明显的引诱效果^[61]。Olaniran等^[63]从雄性西花蓟马表皮蜡层中分离并鉴定出接触信息素,该信息素需经个体直接接触方能引发行为响应;雄性接触后表现出同性打斗行为,雌性接触后则腹部翘起,呈现拒绝交配的姿态。

4 展 望

近年来,随着我国设施农业的快速发展,西花蓟马因具有繁殖力强、易隐蔽、易产生抗药性等特

性,危害程度逐年加重,已成为制约设施蔬菜、花卉等作物产量与品质的关键因素之一。为此,亟须多主体协同发力,重点加强西花蓟马预警体系构建、生态调控技术集成、理化诱控技术推广及生物防治应用等非化学防控新技术的研发与推广。防控实践应坚守绿色综合防控原则,在种群密度未达经济危害阈值时优先避免使用化学农药。同时,需持续开展抗药性动态监测,为科学用药提供精准指导,制定有效的抗性延缓治理方案,筑牢设施农业可持续发展屏障。

4.1 深化西花蓟马种群特征研究

明确西花蓟马在不同地域、生境及寄主上的空间分布特征,对制定精准防控策略具有重要意义。温度作为核心生态因子,超出适宜范围时会显著影响其种群数量、存活能力及雌性占比,进而抑制后代增殖。在保障作物正常生长的前提下,探索利用超高温或超低温条件研发新型控害技术,是未来绿色防控的重要方向。湿度同样具有调控作用,明确高湿或水浸环境对其发育的抑制效应,合理改善土壤湿度以干预化蛹环境,可有效控制其危害^[15]。生态因子对西花蓟马种群消长的影响机制及其应用潜力,仍需系统深入研究。

4.2 持续探究西花蓟马寄主选择与嗅觉机制

寄主选择是害虫与植物协同进化的固有特性,系统阐明其偏好机制可为诱集植物筛选及引诱剂、驱避剂研发提供科学依据。植物的化学性状(如糖类、氨基酸、生物碱、萜烯类等)对西花蓟马生长发育具有直接调控作用^[30],而物理性状(如茸毛密度、蜡质层厚度、叶片硬度等)则通过影响取食与栖息间接制约其选择行为。深入探究化学与物理性状的协同机制,可为抗虫育种提供多元路径。此外,昆虫嗅觉系统在寄主定位中发挥核心作用,基于嗅觉行为调控已成为绿色防控的重要途径。未来需重点开展气味结合蛋白、化学感受蛋白等的功能验证,系统解析其化学通讯机制,为优化防控技术筑牢理论根基。

4.3 加强信息化合物开发与应用

信息化合物具有安全高效、环境友好、物种特异性强等优势,有助于实现害虫可持续防控^[63]。研究表明,西花蓟马信息素与植物挥发物混配后可能呈现增效或拮抗作用,田间应用需充分考虑背景植物种类及其挥发物构成。目前相关研究多处于积累阶段,单一使用仍存在短板。未来应统筹整合多元技术:①基于生态工程原理,优化田间栽培措施,

间作驱避或诱集植物,实现“推-拉”协同防控;②依托反向化学生态学,开展嗅觉相关蛋白鉴定与功能解析;③靶向筛选具有引诱与驱避活性的挥发物组分,配套建立标准化田间应用规范;④以信息化化合物为载体,构建监测预警与大量诱杀一体化技术体系。

目前,单一防控手段难以实现西花蓟马的有效管控,需通过多措并举、科学搭配,辅以化学药剂合理施用,构建完善的绿色防控技术体系,切实保障设施农业产量、品质与食品安全,助力产业绿色可持续发展。

参考文献

- [1] Kirk W 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.
- [2] 郑长英, 刘云虹, 张乃芹, 等. 山东省发现外来入侵有害生物: 西花蓟马[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2007, 24(3): 172-174.
- [3] 袁成明, 郅军锐, 郑珊珊, 等. 西花蓟马在贵阳地区发生危害调查研究[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 35(1): 142-145.
- [4] 严丹侃, 汤云霞, 贺子义, 等. 南京地区西花蓟马发生调查及其分子检测[J]. *南京农业大学学报*, 2010, 33(4): 59-63.
- [5] 张治科, 张烨, 吴圣勇. 西花蓟马在宁夏的发生及防控措施[J]. *植物检疫*, 2016, 30(4): 75-77.
- [6] 高振江, 张冬梅, 高娃, 等. 害虫西花蓟马在内蒙古中西部地区的发生与分布[J]. *北方农业学报*, 2017, 45(2): 82-85.
- [7] 范凡. 基于害虫-天敌关系的西花蓟马: 东亚小花蝽趋光性的结构基础及其行为机理[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2012.
- [8] 周丹, 郅军锐, 宋佳, 等. 不同食物对西花蓟马体内营养物质的影响[J]. *山地农业生物学报*, 2021, 40(4): 18-23.
- [9] Jones T, Scott-Dupree C, Harris R, et al. The efficacy of spinosad against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* and its impact on associated biological control agents on greenhouse cucumbers in southern Ontario[J]. *Pest Management Science*, 2025, 61(2): 179-185.
- [10] 李定银, 郅军锐, 张涛, 等. 乙基多杀菌素多代胁迫对西花蓟马解毒酶活性、发育和繁殖的影响[J]. *昆虫学报*, 2021, 64(10): 1176-1186.
- [11] 程峻峰, 万方浩, 郭建英, 等. 外来有害入侵生物: 西花蓟马[J]. *中国生物防治*, 2005, 4(2): 74-79.
- [12] 张琪静, 罗超, 戴启东, 等. 甜樱桃西花蓟马危害调查和防控技术初报[J]. *中国果树*, 2025(7): 79-81.
- [13] Wang J C, Zhang B, Li J H, et al. Effects of exposure to high temperature on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), under arrhenotoky and sexual reproduction conditions[J]. *Florida Entomologist*, 2014, 97(2): 504-510.
- [14] 张晓明, 姚茹瑜, 张宏瑞, 等. 不同花色菊花品种上西花蓟马种群密度及雌性比[J]. *植物保护学报*, 2017, 44(5): 737-745.
- [15] Brudsgaard H F. Cold hardiness and tolerance to submergence in water in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Environmental Entomology*, 1993, 22(3): 647-653.
- [16] 路虹, 宫亚军, 石宝才, 等. 西花蓟马在黄瓜和架豆上的空间分布型及理论抽样数[J]. *昆虫学报*, 2007, 50(11): 1187-1193.
- [17] 蒋兴川, 张勇, 桂富荣, 等. 辣椒植株上西花蓟马的种群动态和空间分布[J]. *云南农业大学学报(自然科学版)*, 2011, 26(4): 465-471.
- [18] 陈安平, 胡昌雄, 陈国华, 等. 四季豆西花蓟马种群的密度及空间分布[J]. *农学学报*, 2022, 12(5): 10-16.
- [19] Hu J R, Medison R G, Zhang S, et al. Impacts of non-lethal high-temperature stress on the development and reproductive organs of *Bradysia odoriphaga* [J]. *Insects*, 2022, 13(1): 74.
- [20] 张治科, 周银迪, 吴小梅. 温度对东亚小花蝽捕食西花蓟马效果的影响[J]. *中国瓜菜*, 2023, 36(9): 123-127.
- [21] 张治军, 张友军, 徐宝云, 等. 温度对西花蓟马生长发育、繁殖和种群增长的影响[J]. *昆虫学报*, 2012, 55(10): 1168-1177.
- [22] 盖海涛, 郅军锐, 孙猛. 温度对西花蓟马、花蓟马存活和繁殖的影响[J]. *植物保护学报*, 2011, 38(6): 521-526.
- [23] Kumm S, Moritz G. Life-cycle variation, including female production by virgin females in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 2010, 134(6): 491-497.
- [24] 王圣印, 刘永杰, 周仙红, 等. 环境因子对西花蓟马室内生物测定结果的影响[J]. *农药学报*, 2012, 14(2): 158-164.
- [25] 吴青君, 张友军, 徐宝云, 等. 入侵害虫西花蓟马的生物学、危害及防治技术[J]. *昆虫知识*, 2005(1): 11-14.
- [26] Otieno J A, Niklas S, Weller J, et al. Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure Lurem-TR for trapping of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) [J]. *Journal of Pest Science*, 2018, 91(4): 1303-1314.
- [27] 王丹阳. 绿眼蕯茧蜂的寄主选择行为机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [28] Raymond V B, Constabel C P. Tannins in plant-herbivore interactions[J]. *Phytochemistry*, 2011, 72(13): 1551-1565.
- [29] 沈登荣, 张宏瑞, 李正跃, 等. 不同食物对西花蓟马生长发育的影响[J]. *植物保护*, 2012, 38(1): 55-59.
- [30] 曹宇, 刘燕, 王春, 等. 西花蓟马对花卉寄主颜色和挥发物的选择性[J]. *应用昆虫学报*, 2015, 52(2): 446-453.
- [31] 张治科, 苗芳芳, 吴小梅. 西花蓟马对宁夏不同寄主蔬菜及其不同部位叶片的选择研究[J]. *蔬菜*, 2023(12): 32-38.
- [32] 钟锋, 何余容, 高燕, 等. 西花蓟马对3种茄科植物的选择行为[J]. *江西农业大学学报*, 2010, 32(3): 472-478.
- [33] 张坤朋. 黏虫嗅觉相关基因的表达模式及MsepOR13功能研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [34] Benton R, Vannice K S, Gomez-Diaz C, et al. Variant ionotropic glutamate receptors as chemosensory receptors in *Drosophila* [J]. *Cell*, 2009, 136(1): 149-162.
- [35] Vogt R G, Riddiford L M. Pheromone binding and inactivation by moth antennae[J]. *Nature*, 1981, 293(5828): 161-163.
- [36] 张治科, 吴圣勇, 雷仲仁. 西花蓟马气味结合蛋白的cDNA克隆、序列分析及时空表达[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(6): 1106-1116.

- [37] Zhang Z K, Lei Z R. Sensilla of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Revista Brasileira de Entomologia, 2022, 66 (2): e20220023.
- [38] 丁艳红. 西花蓟马对寄主气味的行为反应及其触角气味结合蛋白基因的克隆[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [39] 张治科. 西花蓟马嗅觉相关蛋白鉴定及功能研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [40] 张治科, 虎花, 马荣. 西花蓟马 *FoccOBP3* 的分子克隆、序列分析及表达特征[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(3): 495-507.
- [41] 张治科, 南紫瑶, 周春梅. 西花蓟马 *FoccIR01* 的鉴定及生物信息学分析[J]. 植物检疫, 2024, 38(4): 1-10.
- [42] Zhang Z K. Molecular characterization and expression profiles of an odorant-binding proteins gene (*FoccOBP9*) from *Frankliniella occidentalis*[J]. Bulletin of Entomological Research, 2025, 115(1): 74-83.
- [43] Zeng F F, Zhou S S, Ding Y H, et al. Analysis of an antennal cDNA library and the expression patterns of two olfactory genes in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2015, 50: 109-116.
- [44] 黄祖金. CO₂浓度升高对西花蓟马寄主选择行为的影响及其机理[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [45] 蒋娜娜. 调控黑肩绿盲蝽嗅觉行为反应的水稻挥发性化合物筛选及田间试验[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [46] 张治科, 虎花, 尚小霞. 黄瓜叶信息化学物质鉴定及其对西花蓟马的行为调控[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(4): 83-89.
- [47] 张治科, 虎花, 尚小霞. 四季豆叶挥发性化学物质对西花蓟马趋向行为的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2023, 54(2): 224-230.
- [48] Turlings T C, Erb M. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential[J]. Annual Review of Entomology, 2018, 63(1): 433-452.
- [49] 贾云程, 毕嘉瑞, 杨漫, 等. 斑鞘豆叶甲成虫对大豆叶片挥发物的触角电位和行为反应[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(4): 407-413.
- [50] 蒋娜娜, 茆国锋, 李婷, 等. 黑肩绿盲蝽对水稻挥发物单一组分的嗅觉行为反应[J]. 生态环境学报, 2018, 27(2): 262-267.
- [51] 张治科, 吴小梅. 西花蓟马对蔬菜不同器官的选择性研究[J]. 中国果菜, 2024, 44(6): 44-49.
- [52] 梁兴慧. 两种蓟马的日活动规律及其对植物挥发物的趋性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [53] 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.
- [54] Chermenskaya T D, Burov V N, Maniar S P, et al. Behavioural responses of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) to volatiles from three aromatic plants[J]. International Journal of Tropical Insect, 2001, 21(1): 67-72.
- [55] Koschier E H, Kogel W J D, Hans J. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) [J]. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(12): 2643-2656.
- [56] Matsuura S, Hoshino S, Koga H. Verbena as a trap crop to suppress thrips-transmitted tomato spotted wilt virus in chrysanthemums[J]. Journal of General Plant Pathology, 2006, 72: 180-185.
- [57] Shamshev I V, Selytakaya O G, Chermenskaya T D, et al. Behavioural response of *Frankliniella occidentalis* to extract from meadow-sweet: Laboratory and field bioassays[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2003, 36(2): 111-118.
- [58] 乔凤霞, 李江涛, 刘忠善, 等. 印楝制剂对西花蓟马的忌避作用[J]. 安徽农业科学, 2007(32): 10361-10363.
- [59] 韩云, 唐良德, 吴建辉. 蓟马类害虫综合治理研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(22): 163-174.
- [60] 张治科, 虎花, 尚小霞. 黄瓜花挥发性化学物质鉴定及其对西花蓟马行为反应的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 39-45.
- [61] James G C H, David R H, Kirk W D I. Identification of a male-produced aggregation pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*[J]. Journal of Chemical Ecology, 2005, 31(6): 1369-1379.
- [62] Cook D F, Dadour I R, Bailey W J. Addition of alarm pheromone to insecticides and the possible improvement of the control of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) [J]. International Journal of Pest Management, 2002, 48(4): 287-290.
- [63] Olaniran O A, Sudhakar A V S, Drifhout F P, et al. A male-predominant cuticular hydrocarbon, 7-methyltricosane, is used as a contact pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*[J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39 (4): 559-568.