果 树 学 报 2026,43(8):2261-2271
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250642

柑橘木虱综合防控技术研究进展

王姿涵,杨颜芳,孙雯骅,刘 桥,姚廷山*

(西南大学柑桔研究所,重庆 400712)

摘 要:柑橘黄龙病(Citrus Huanglongbing,HLB)是制约全球柑橘产业可持续发展的毁灭性病害,其流行严重依赖媒介昆虫——柑橘木虱(*Diaphorina citri*),目前尚无根治HLB的方法。因此,防控媒介昆虫成为关键策略。本文系统综述了柑橘木虱综合治理(IPM)技术的研究进展,涵盖了农业生态调控、化学防治(面临抗药性挑战)、生物防治(天敌和微生物)、物理阻隔等传统与绿色技术,并重点评述了RNA干扰、基因编辑等新兴分子防控技术的原理与应用潜力。依赖单一技术存在局限,未来防控有赖于构建以生态平衡为基础、多种技术协同的IPM体系。本文通过梳理现状、总结规律并展望未来研究方向,旨在为柑橘木虱的科学治理和柑橘产业的绿色可持续发展提供科学依据。

关键词:柑橘木虱;柑橘黄龙病;综合防控;抗药性;生物防治;RNA干扰

中图分类号:S666;S436.66 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)08-2261-11

Research progress on integrated control techniques for *Diaphorina citri*

Wang Zihan, Yang Yanfang, Sun Wenhua, Liu Qiao, Yao Tingshan*

(Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China)

Abstract: Citrus, belonging to the Rutaceae, is the most extensively cultivated and highest-yielding fruit crop in China, leading the world in both planting area and production. However, Citrus Huanglongbing (HLB), a devastating bacterial disease caused by *Candidatus* Liberibacter spp., poses a severe global threat to the citrus industry. HLB causes tree decline, stunted growth, and symptoms including leaf yellowing and mottling, as well as small, misshapen, and unevenly colored fruits. Infected young trees typically die within 2−3 years, while mature trees succumb within 5−8 years. The primary insect vector of this disease, the Asian citrus psyllid (ACP), *Diaphorina citri,* is native to Asia but has now spread to major citrus-producing regions worldwide, including the Americas and Africa. Currently, 13 provinces in China have found this pest. Influenced by factors such as warmer and more humid winter conditions, the psyllid is exhibiting a northward migration trend, with its suitable habitat continuously expanding. This significantly increases the risk of further HLB spread within China. As there is currently no effective cure for HLB, controlling its insect vector, the Asian citrus psyllid, has become the most critical strategy for disease management. This review systematically summarizes recent advances in various control strategies against the Asian citrus psyllid, focusing on four main aspects: (1) Agricultural control, centering on integrated orchard management. This involves scientific orchard planning, intercropping, and the rational use of adjuvants like mineral oils to create field environments unfavorable for psyllid establishment and dispersal; (2) Chemical control, which remains predominant challenges of insecticide resistance. Commonly used insecticides primarily belong to six major classes, including neonicotinoids and pyrethroids. However, prolonged and repetitive use of single modes of action has led to varying degrees of resistance in psyllid populations to many conventional insecticides. Therefore, imple-

收稿日期:2025-12-04 **接受日期:**2026-01-21

基金项目:国家自然科学基金项目(U24A20511);重庆市种子站项目(CQS25C02183,CQS25C02051)

作者简介:王姿涵,女,在读硕士研究生,研究方向为柑橘病虫害防控。E-mail:wang11281020@163.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:yts103@swu.edu.cn

menting science-based pesticide application practices is crucial. Key measures include targeted application, rotation of chemicals with different modes of action, rational use of adjuvants, and prioritizing highly effective, low-toxicity, and environmentally friendly agents to delay resistance development; (3) Biological control utilizing natural enemies and entomopathogens. Entomopathogenic fungi represent highly promising biocontrol agents. Researchers have found that *Lecanicillium psalliotae* ZJLP09 and *Purpureocillium lilacinum* GDIZM-2 exhibit considerable efficacy against the Asian citrus psyllid and hold potential for field application. Concurrently, the mass rearing and release of parasitoid wasps such as *Tamarixia radiata* and *Diaphorencyrtus aligarhensis* have achieved successful field control both domestically and internationally, serving as exemplary models of biological control. Predatory natural enemies, including ladybugs, lacewings, thrips, and spiders, also contribute effectively to suppressing adult psyllids and eggs; (4) Physical control methods, such as using insect-proof nets as barriers, and employing yellow sticky traps or light traps of specific wavelengths to monitor and mass-trap psyllids by exploiting their tropisms, effectively reducing pest population densities. Furthermore, the integration of unmanned aerial vehicle (UAV)-based remote sensing and sprayer technology is emerging as a new trend to enhance orchard monitoring efficiency and application precision. The article also explores the current status and potential of emerging molecular technologies like RNA interference (RNAi) and gene editing. Studies showed that the *CsTPS21* gene encodes a jasmonic acid-responsive monoterpene synthase that produces *β*-ocimene in citrus, which exhibits significant repellent effects against the psyllid. Psyllid control can be enhanced through metabolic engineering to modulate *CsTPS21* expression or via the direct application of *β*-ocimene. Additionally, developing plant-derived or synthetic high-efficacy attractants or repellents based on insect allelochemical mechanisms, integrated with a “push-pull” strategy to divert psyllids from citrus trees to trap plants for concentrated control, represents a highly promising green pest management direction. RNAi has become an important tool in insect functional genomics. Research has found that the Asian citrus psyllid is highly sensitive to double-stranded RNA (dsRNA), and effective gene silencing can be achieved through oral delivery or topical contact. However, significant challenges remain for its practical field application. Issues such as the cost of dsRNA, its stability under field conditions, and the development of efficient delivery systems currently hinder the translation of RNAi technology from laboratory research to field implementation. In conclusion, every individual control method has its inherent limitations. Future management directions must inevitably evolve towards establishing an Integrated Pest Management (IPM) system grounded in ecological regulation and involving the synergistic application of multiple technologies. This review aims to systematically consolidate existing research findings, analyze current challenges, and outline future research priorities, thereby providing a theoretical foundation for the scientific management of the Asian citrus psyllid and for promoting the sustainable development of the citrus industry.

Key words: *Diaphorina citri*; Citrus Huanglongbing (HLB); Integrated control; Drug resistance; Biological control; RNAi

柑橘黄龙病（Citrus Huanglongbing，HLB）是一种由韧皮部杆菌（*Candidatus* Liberibacter spp.）引起的毁灭性细菌病害，被誉为柑橘产业的“癌症”[1]。该病在全球主要柑橘产区，包括中国、巴西、美国等国家以及东南亚、非洲等地区广泛分布，造成果树产量锐减、果实品质下降甚至整片果园毁坏，导致巨大的经济损失[2]。HLB的传播严重依赖媒介昆虫，其中亚洲柑橘木虱（*Diaphorina citri* Kuwayama）是我国乃至亚洲和美洲地区最主要的传播媒介[3]。在取食患病植株的韧皮部汁液后，病原菌可在其体内增殖并终身携带，随后通过转株取食将病菌传播至健康柑橘树。

目前，世界上尚无商业化根治HLB的药剂或抗病品种。因此，切断传播途径，即有效控制媒介昆虫柑橘木虱的种群数量，成为当前防控HLB最为可行和核心的策略。长期以来，化学防治是控制木虱的主要手段，但过度依赖化学农药导致其产生严重的抗药性、农药残留及环境污染等问题[4]。在此背景下，大力发展生物防治、农业防治等环境友好型技术，并积极探索新兴的分子防控手段，进而构建一套高效、可持续的柑橘木虱综合防控体系，已成为产业发展的迫切需求和科学研究的热点。本文旨在梳理柑橘木虱防控技术的最新研究进展，评估其应用价值与局限性，并展望未来的研究方向，以期为提升我国柑橘木虱防控水平提供参考依据。

1　柑橘木虱生物学特性与危害及防控启示

柑橘木虱属半翅目（Hemiptera）木虱科（Psyllidae），其分布与危害与气候条件、寄主植物及人为因素密切相关。

1.1　发生与分布

柑橘木虱原产于亚洲，现已入侵包括美国、巴西在内的美洲大部分柑橘产区，以及部分非洲国家和地区，对全球柑橘产业构成持续威胁。在我国，柑橘木虱最早分布于台湾和广东等地区，随后不断传播至周围省份。目前，该病害在浙江、福建、湖南、广西、广东、四川、云南、台湾、江西、贵州、海南、香港及澳门等13个地区均发生危害[5]。近年来，随着全球气候变暖、变湿等气候条件的改变，柑橘木虱呈现北迁趋势，适生范围不断扩大，提示柑橘黄龙病在我国扩散的风险逐渐加大[6]。

1.2　危害特点

柑橘木虱以成虫和若虫刺吸柑橘嫩芽、嫩叶和嫩梢的汁液，直接造成新梢萎缩、叶片卷曲畸形，其分泌的蜜露还会诱发煤烟病，影响光合作用。然而，最主要的危害还是传播黄龙病。即使在田间木虱种群密度较低的情况下，只要存在携带病毒的个体，就可能导致HLB的远距离传播和流行。

1.3　生活史与习性

柑橘木虱在我国南方一年可发生11~14代，世代重叠现象严重。木虱的发育繁殖与柑橘的抽梢期高度吻合，其喜好在嫩梢上产卵，因此防控的关键时期是柑橘抽发新梢期。成虫具有短距离飞行扩散能力，其活动受温度影响显著，最适发育温度为24~28 ℃，低于10 ℃或高于33 ℃时停止发育[7]。柑橘木虱的繁殖活动具有昼夜节律，其雌雄成虫交配、产卵及若虫羽化过程均集中于白天完成，单雌产卵量达数百粒[8]。

1.4　寄主植物

柑橘木虱的寄主植物主要集中在芸香科，包括柑橘属（*Citrus*）、金橘属（*Fortunella*）和枳属（*Poncirus*）、黄皮族（Clauseneae）的九里香属（*Murraya*）等。值得注意的是，园林中常见的九里香等植物也是其重要寄主，为城市周边果园的虫源控制带来了严峻挑战[9]。

1.5　小结

柑橘木虱的新梢依赖、高繁殖、强传播、世代重叠等核心特性，决定其综合防控需聚焦关键时期、严控种群密度、阻断传播途径，为柑橘木虱的综合防治提供了依据。一个完整的综合防治体系，需从农业栽培调控、物理阻隔诱杀、化学精准干预、生物生态平衡等多个层面协同治理，以应对其不同生命阶段与行为特点。

2　柑橘木虱综合防控技术的研究进展

2.1　应用基础与生态调控策略

农业防治是IPM体系的基石，可持续的害虫管理需以健康的农业生态系统为基础，而生态调控正是构建和维持这一基础的首要策略。科学规划与间作，促进生态系统多样性，维持果园内生态环境的稳定。寄生性和捕食性天敌昆虫成虫普遍存在通过取食蜜粉源植物补充营养的行为[10]，因此在果园套种蜜源植物，为天敌提供利于繁殖的生态环境；果园周围避免种植九里香等中间寄主，减少亚洲柑橘木虱的繁殖场所；尝试利用诱集植物（如烟草）或驱避植物进行生态调控[11]。

通过优化果园生态系统和栽培管理措施，创造不利于木虱发生和繁殖的环境。清洁果园，及时清除病树、弱树，减少虫源和菌源；实施末梢控梢，对成年树抹除零星抽发的夏梢和晚秋梢，可中断木虱的连续食物来源；对于幼树，采用“统一放梢”措施，缩短嫩梢暴露期，降低木虱产卵和种群建立机会。通过田间管理可减少柑橘木虱虫口密度，虽然操作简便、适配性广，但在生产实践中存在明显的局限性。例如，清园仅能清除越冬成虫，对若虫及卵的防控效

果不佳。

尽管以栽培管理为核心的农业防治能够从源头降低柑橘木虱的虫口密度，但其防效具有延迟性，仅靠田间管理难以有效防治柑橘木虱，必须转向以生态调控为基础的综合治理。

2.2 核心应急与治理技术

作为害虫综合防治体系中的主导措施，化学防治具备施用便捷、见效迅速和药剂多样等优势，相关研究多聚焦于不同药剂的田间应用效果及其作用机制。防治柑橘木虱的化学农药主要分为两类：广谱性杀虫剂和选择性杀虫剂。其中，广谱性杀虫剂防治效果显著，在实际应用中占据主导地位。目前，常用防治柑橘木虱药剂主要包括以下六类：有机磷类（如毒死蜱）、拟除虫菊酯类（如高效氯氟氰菊酯）、新烟碱类（如吡虫啉）、昆虫生长调节剂（如吡丙醚）、氨基甲酸酯类（如灭多威）、矿物油制剂以及新型药剂如氟啶虫胺腈、乙基多杀菌素等[12]。新烟碱类与拟除虫菊酯类仍是田间主流，但面临严重的抗药性问题；氟啶虫胺腈、乙基多杀菌素等新型药剂效果显著但成本高昂；矿物油作为物理性药剂和增效剂的作用日益凸显。目前，柑橘木虱已对有机磷类、拟除虫菊酯类、新烟碱类、双酰胺类等杀虫剂产生抗药性。根据中国农药信息网（http://www.chinapesticide.org.cn/）登记数据，列举了我国目前用于柑橘木虱防治的药剂。由表1可知，我国早期防治柑橘木虱的药剂以乳油型单剂为主，成分相对单一，2017年后复配药剂显著增多，旨在提高防效并延缓抗药性产生。同时，药剂剂型正趋向环保化与多样化，悬浮剂逐渐成为主流。总体而言，我国柑橘木虱防治药剂正朝着复配、高效、低毒、环保的剂型稳步发展。

表1 我国登记防治柑橘木虱的部分药剂及防效

Table 1 Insecticides registered in China against *Diaphorina citri* and their control efficacy

年份 Year	杀虫剂 Insecticide	剂型 Formulation	有效成分含量 Active ingredient	有效期限 Expiry date	生产厂家 Manufacturer
2008	氯氰•毒死蜱 Cypermethrin·chlorpyrifos	乳油 EC	55%	2028-12-24	浙江新农化工股份有限公司 Zhejiang Xinnong Chemical Co., Ltd.
	联苯菊酯 Bifenthrin	乳油 EC	25 g·L^{-1}	2028-11-19	青岛中达农业科技有限公司 Qingdao Zhongda Agricultural Technology Co., Ltd.
2009	矿物油 Petroleum oil	乳油 EC	99%	2029-05-11	韩国韩油爱思开益特素有限公司 SK EnClean Co., Ltd., Korea
2011	螺虫乙酯 Spirotetramat	悬浮剂 SC	22.4 g·L^{-1}	2031-03-15	拜耳股份公司 Bayer AG
	喹硫磷 Quinalphos	乳油 EC	25%	2026-09-22	柳州市惠农化工有限公司 Liuzhou Huinong Chemical Co., Ltd.
2012	高效氟氯氰菊酯 Beta-cyfluthrin	水乳剂 EW	2.5%	2027-11-07	柳州市惠农化工有限公司 Liuzhou Huinong Chemical Co., Ltd.
	高氯•毒死蜱 Beta-cypermethrin·chlorpyrifos	乳油 EC	51.5%	2027-03-06	柳州市惠农化工有限公司 Liuzhou Huinong Chemical Co., Ltd.
2013	吡丙醚 Pyriproxyfen	乳油 EC	100 g·L^{-1}	2028-09-28	上海生农生化制品股份有限公司 Shanghai Shengnong Pesticide Co., Ltd.
2014	噻虫嗪 Thiamethoxam	悬浮剂 SC	21%	2029-07-23	柳州市惠农化工有限公司 Liuzhou Huinong Chemical Co., Ltd.
2017	香芹酚 Carvacrol	水剂 AS	5%	2027-08-20	华植河北生物科技有限公司 Huazhi Hebei Biotechnology Co., Ltd.
	啶虫•毒死蜱 Acetamiprid·chlorpyrifos	乳油 EC	34%	2027-01-07	青岛中达农业科技有限公司 Qingdao Zhongda Agricultural Technology Co., Ltd.
	金龟子绿僵菌CQMa421 Metarhizium anisopliae CQMa421	可分散油悬浮剂 OD	80亿孢子•mL^{-1}	2027-08-30	重庆聚立信生物工程有限公司 Chongqing Julixin Bioengineering Co., Ltd.
2018	氟吡呋喃酮 Flupyradifurone	可溶液剂 SL	17%	2028-08-29	拜耳股份公司 Bayer AG
	联苯•螺虫酯 Bifenthrin·bifenthrin	悬浮剂 SC	26%	2028-07-23	青岛中达农业科技有限公司 Qingdao Zhongda Agricultural Technology Co., Ltd.
	螺虫•吡丙醚 Spirotetramat·pyriproxyfen	悬浮剂 SC	30%	2028-07-23	陕西美邦药业集团股份有限公司 Shaanxi Meibang Pharmaceutical Group Co., Ltd.

注：EC. 乳油；SC. 悬浮剂；EW. 水乳剂；AS. 水剂；OD. 油悬浮剂；SL. 可溶液剂；ME. 微乳剂。

Note: EC. Emulsifiable concentrate; SC. Suspension concentrate; EW. Emulsion, Oil in Water; AS. Aqueous solution; OD. Oil dispersion; SL. Soluble concentrate; ME. Microemulsion.

表1 （续） Table 1 (Continued)

年份 Year	杀虫剂 Insecticide	剂型 Formulation	有效成分含量 Active ingredient	有效期限 Expiry date	生产厂家 Manufacturer
	阿维•螺虫酯 Abamectin·spirotetramat	悬浮剂 SC	20%	2028-02-08	陕西汤普森生物科技有限公司 Shaanxi Thompson Biotechnology Co., Ltd.
	吡丙•噻嗪酮 Pyriproxyfen·buprofezin	悬浮剂 SC	20%	2028-02-08	陕西先农生物科技有限公司 Shaanxi Xiannong Biotechnology Co., Ltd.
	螺虫•噻嗪酮 Spirotetramat·buprofezin	悬浮剂 SC	35%	2028-01-14	陕西亿田丰作物科技有限公司 Shaanxi Yitianfeng Crop Technology Co., Ltd.
2019	高氯•吡丙醚 Beta-cypermethrin·pyriproxyfen	微乳剂 ME	10%	2029-07-15	上海生农生化制品股份有限公司 Shanghai Shengnong Pesticide Co., Ltd.
2020	噻虫嗪•虱螨脲 Thiamethoxam·lufenuron	悬浮剂 SC	20%	2030-08-20	广东真格生物科技有限公司 Guangdong Zhenge Biotechnology Co., Ltd.
	螺虫•噻虫嗪 Spirotetramat·thiamethoxam	悬浮剂 SC	30%	2030-09-17	江西中迅农化有限公司 Jiangxi Zhongxun Agrochemical Co., Ltd.
2021	虱螨脲 Lufenuron	悬浮剂 SC	10%	2031-01-13	广西宾德利生物科技有限公司 Guangxi Bindeli Biotechnology Co., Ltd.
	螺虫•毒死蜱 Spirotetramat·chlorpyrifos	乳油 EC	40%	2026-09-28	陕西美邦药业集团股份有限公司 Shaanxi Meibang Pharmaceutical Group Co., Ltd.
	联苯•噻虫啉 Bifenthrin·thiacloprid	悬浮剂 SC	20%	2026-09-28	山东奥胜生物科技有限公司 Shandong Aosheng Biotechnology Co., Ltd.
	螺虫•噻虫啉 Spirotetramat·thiacloprid	悬浮剂 SC	22%	2026-06-10	安徽丰乐农化有限责任公司 Anhui Fengle Agrochemical Co., Ltd.
	高氯•啶虫脒 Beta-cypermethrin·acetamiprid	乳油 EC	10.5%	2029-08-22	河南常见生物科技有限公司 Henan Changjian Biotechnology Co., Ltd.
2025	氟氯•噻虫啉 Beta-cyfluthrin·thiacloprid	悬浮剂 SC	18%	2030-02-24	广东立威农业科技有限公司 Guangdong Liwei Agricultural Technology Co., Ltd.
	啶虫脒•苯氧威 Acetamiprid·fenoxycarb	微乳剂 ME	10%	2030-05-29	青岛中达农业科技有限公司 Qingdao Zhongda Agricultural Technology Co., Ltd.
	啶虫脒•螺虫乙酯 Acetamiprid·Spriotetramat	悬浮剂 SC	30%	2030-08-31	赣州一村生物科技有限公司 Ganzhou Yicun Biotechnology Co., Ltd.

谢秀挺等[13]在网室笼罩条件下的试验表明，烯啶虫胺、阿维菌素、氟啶虫胺腈等药剂对柑橘木虱成虫和若虫均具有较好的防治效果，但在实际生产中因木虱行为避让以及温湿度等因素常导致防治效果不佳。25%虫螨腈•唑虫酰胺对柑橘木虱成虫的防效高达97%[14]；25%联苯菊酯EW和2.5%高效氯氟氰菊酯EC在田间对柑橘木虱具有较好的防效[15]；25%噻虫嗪、20%双甲脒、25%乙基多杀菌素、4.5%联苯菊酯的速效性及持效性较好[16]。此外，矿物油能在木虱体表形成油膜，通过物理窒息致死并干扰取食与产卵。此类药剂环境相容性好且不易诱发抗药性，在黄龙病疫区常作为化学农药的增效剂使用[17]。

目前，化学防治仍是应对柑橘木虱种群暴发的首选应急措施，但其可持续性正面临严峻挑战。当前，抗药性问题日益突出，受长期单一用药影响，柑橘木虱已对多种传统药剂产生了不同程度的抗药性。例如，在广东等部分地区，木虱对吡虫啉、高效氯氟氰菊酯等已产生高水平抗性[18]，这已成为化学防控效果下降的主要原因。为了延缓抗性，必须科学用药，关键策略包括：（1）抓准时机：在柑橘新梢抽发期（长1~3 cm时）精准施药。此时是柑橘木虱成虫产卵的高峰阶段，实施精准化学防控可显著提升防治效果。此外，在新梢期间隔15 d以上进行1~2次药剂处理，能有效控制种群数量，减少全年用药频次；（2）轮换用药：交替使用不同作用机制的药剂；（3）使用增效剂：如与矿物油混用；（4）优先选用高效低毒药剂：如噻虫嗪、氟啶虫胺腈等，以保护天敌[19]。因此，其应主要用于应急防治，不宜作为常规防治手段，为生物防治等长效措施争取时间。在此背景下，以天敌利用、生物制剂、RNAi技术为核心的生物防治策略，成为破解化学防治困局、实现柑橘木虱可持续防控的重要方向。

2.3 辅助与阻隔技术

物理防治是通过物理手段直接阻隔或诱杀害虫的方法。其中，防虫网作为一项有效阻隔木虱侵入危害的措施，在苗木培育基地和部分高价值果园中得到应用，是预防黄龙病传播最有效的方法之一，但

成本较高。防虫网最初在国外柑橘产业中被苗木公司应用于无毒苗培育温室，之后应用于柑橘树大田中抵御柑橘木虱，如今在美国、以色列以及日本均有应用[20]。1995年，我国引入防虫网覆盖蔬菜栽培技术，随后在柑橘无病种苗培育过程中开始使用防虫网阻隔虫害。目前，生产中主要存在两种模式：一种是采用开放式的防虫网；例如广东龙门县的种植户利用5 m高的防虫网将果园环绕，可有效拦截地表扩散及低空迁移虫源，但无法阻断从高处起飞并借风力传入的个体，因而具有防控漏洞；另一种使用网棚（或称网室），即在四周围网的基础上加装顶网。在广西南宁，采用60目防虫网室对柑橘木虱的防治效果高达93%[21]。防虫网室虽然能够有效降低柑橘木虱数量，但已有多项研究表明，防虫网会影响网棚内的温度、湿度、光照等环境因素[21-22]，多数品种在防虫网棚内产量下降，仅有砂糖橘、滑皮金柑、金弹和默科特4个品种达到相对正常产量[23]。

此外，在生产上常利用柑橘木虱的趋性行为，使用黄板或特定波长（如380 nm）的LED诱虫灯等进行监测和诱杀[24]。李超峰等[25]发现，柑橘木虱对紫外光具有显著趋性，因此常用紫外光作为光源诱捕柑橘木虱。

无人机（UAV）遥感监测与喷药技术的应用，提高了大面积果园的监测效率和施药精准性，是物理与化学防治结合的新趋势。目前，国内已有多个省份应用植保无人机开展柑橘木虱的防治工作。与传统人工作业相比，无人机飞防工作效率高、成本低，防治效果可达80%~95%。尽管植保无人机优势明显，但在进行大面积飞防作业时需频繁更换电池及药液。

物理防治虽然对环境友好，但在实际应用中存在多方面的局限性，主要不足有两点：一是防效有限、易受环境影响且成本高昂，难以实现大面积应用。二是缺乏选择性，容易误伤天敌昆虫，影响生态平衡。因此，单独使用物理防治难以实现柑橘木虱的有效控制，应作为综合管理体系中的组成部分，与其他防治措施协同运用。

2.4 生物防治：可持续防控的核心

生物防治利用自然界中的天敌生物控制害虫，是建立长期生态平衡的关键，主要包括三类天敌：捕食性天敌如瓢虫（如六斑月瓢虫、龟纹瓢虫）、草蛉（如亚非草蛉）、蓟马（如细腰凶蓟马）和蜘蛛等，是柑橘木虱若虫和成虫的重要捕食者；寄生性天敌，如亮腹釉小蜂和阿里食虱跳小蜂等，为柑橘木虱的专性寄生蜂；病原微生物如昆虫病原真菌（如球孢白僵菌、绿僵菌、蜡蚧轮枝菌）和细菌（如苏云金芽孢杆菌），对木虱具有致病作用。此类微生物农药的优势在于对环境安全，但其田间效果受温湿度等环境条件影响较大。近年来，国内学者分离获得刀孢蜡蚧菌ZJLP09、淡紫拟青霉GDIZM-2等高毒力菌株，显示出较大的开发潜力。然而，微生物农药具有环境安全等优势，但其田间效果受温湿度等环境条件影响较大。

2.4.1 *昆虫病原微生物* 昆虫病原真菌作为重要的生物防治资源，在昆虫病原微生物中占比超过60%，是极具应用价值的生防材料。目前，世界上报道的柑橘木虱主要病原真菌有绿僵菌*Metarhizium anisopliae*（Metchnikoff）Sorokin、橘形被毛孢*Hirsutella citriformis* Speare、球孢白僵菌*Beauveria bassiana*（Balsamo）Vuillemin[26-28]、玫烟色棒束孢*Isaria fumosorosea*（Wize）Brown et Smith、蜡蚧轮枝菌*Lecanicillium lecanii*（Zimmermann）Vimmer[29-30]、淡紫紫孢菌（*Purpureocillium lilacinum*）、刀孢蜡蚧菌（*Lecanicillium psalliotae*）、枝状枝孢菌（*Cladosporium subuliforme*）、斐济曲霉（*Aspergillus fijiensis*）[31-33]等。Lezama-Gutierrez等[28]通过田间试验评估3种真菌对柑橘木虱的防治效果，发现绿僵菌表现出最强的杀虫活性。刀孢蜡蚧菌*Lecanicillium psalliotae* ZJLP09对柑橘木虱具有较强的致病性，相较纯孢子悬浮液，刀孢蜡蚧菌ZJLP09可湿性粉剂对柑橘木虱的致死效果显著提升，有望应用于柑橘木虱的防治[30]。闫建全等[31]从柑橘木虱成虫僵虫上分离的淡紫拟青霉*Purpureocillium lilacinum* GDIZM-2对各龄期柑橘木虱的致死率高达75%，对柑橘木虱具有良好的生物防治效果。从亚洲柑橘木虱尸体内分离鉴定出的新型菌株枝状枝孢菌（*Cladosporium subuliforme*）和斐济曲霉（*Aspergillus fijiensis*），对木虱成虫均具有显著的杀虫活性[32-33]。尽管病原微生物相较化学农药更为环保安全，但昆虫病原真菌合成次级代谢产物的途径和机制尚不明确，较难实现大规模工业化生产。目前，我国已登记用于防治柑橘木虱的生防制剂仅有金龟子绿僵菌CQMa421（PD20171744），其他菌株尚待开发。

2.4.2 *寄生性天敌昆虫* 寄生性天敌昆虫是柑橘木虱天敌昆虫中的一大重要类群。在自然界中，柑橘

木虱主要包括亮腹釉小蜂 *Tamarixia radiata*（Waterston）、阿里食虱跳小蜂 *Diaphorencyrtus aligarhensis*（Shafee，Alam and Agarwal）、柑橘木虱姬小蜂和豹纹花翅蚜小蜂（*Marietta picta*）等。其中，前两个为柑橘木虱的专性寄生蜂。亮腹釉小蜂主要寄生于柑橘木虱3~5龄若虫，其产卵行为具有特异性，选择在寄主胸腹连接处的凹槽内产下乳白色米粒状卵粒。该寄生蜂幼虫期共经历4个龄期，全程附着于木虱若虫腹部，通过直接吸食寄主体液获取营养。化蛹过程呈现明显色变，由初期的黄色逐渐转变为黑褐色，成虫羽化时，通过咬破寄主空壳背面形成特征性圆形羽化孔脱出[34]。Vankosky等[35]研究发现，阿里食虱跳小蜂对柑橘木虱不同龄期若虫表现出明显的产卵偏好性，雌蜂偏向寄生3龄和4龄柑橘木虱若虫，其次为5龄若虫，最后是2龄若虫。柑橘木虱姬小蜂雌成虫产卵寄生柑橘木虱各龄若虫，但显著偏好5龄若虫，也可取食低龄若虫。单头雌虫通过取食和寄生，可杀死超500头柑橘木虱若虫[36]。豹纹花翅蚜小蜂主要寄生柑橘木虱若虫[37]，目前该类寄生蜂在国内外的报道相对较少。亮腹釉小蜂和阿里食虱跳小蜂的人工繁育和释放已在国内外取得良好的田间防控效果，是生物防治的成功范例[35]。当前，研究重点在于解决天敌的低成本规模化繁育技术、释放时机和田间定殖能力等问题。

2.4.3　捕食性天敌昆虫　柑橘木虱的捕食性天敌主要有瓢虫、草蛉、蓟马、蜘蛛等。捕食柑橘木虱的常见瓢虫有八斑和瓢虫 *Harmonia octomaculata*、异色瓢虫 *Harmonia octomaculata*、双带盘瓢虫 *Lemnia biplagiata*、六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata*、龟纹瓢虫 *Propylea japonica*、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*、红星盘瓢虫 *Phrynocaria congener* 等。其中，六斑月瓢虫是一种重要的捕食性昆虫，广泛分布于我国各省份，对柑橘木虱具有较强的捕食能力[38]，研究发现，六斑月瓢虫对体型越小的柑橘木虱若虫捕食量越大，且其4龄幼虫和成虫对柑橘木虱的控害效能远高于1龄幼虫，建议在实际防控中优先释放[39]。草蛉对柑橘木虱也具有较好的捕食作用，在我国主要是亚非草蛉 *Chrysopa boninensis* Okamoto和大草蛉 *Chrysopa septempunctata* Wesmael，二者均可捕食柑橘木虱的卵和若虫，前者为亚热带地区的优势种群；而在佛罗里达州常见的则是 *Ceraeochrysa lineaticornis* 和红通草蛉 *Chrysoperla rufilabris* Burmeister[40]。此外，陈玲玲[41]发现细腰凶蓟马成虫捕食能力特别强，对柑橘木虱成虫和卵具有较好的控害效果。蜘蛛在柑橘果园中也发挥了一定的控害作用，目前发现有4种蜘蛛能够捕食柑橘木虱若虫，即近管蛛科蜘蛛 *Hibana velox*（Lawrence Becker）、幽禁红螯蛛 *Chiracanthium inclusum*（Hentz）、*Oxyopes lineatus* Latreille和 *Hentzia palmarum*（Hentz）。

尽管已发现多种天敌和病原微生物，但能够实现规模化、标准化生产，且在大田环境中定殖稳定、防效可靠的商业化制剂仍然非常稀缺，制约了该技术的大范围推广与应用。

2.5　前沿探索性技术

分子生物学和生物技术的发展为柑橘木虱防控开辟了新途径，包括RNA干扰、基因编辑和行为调控等技术路径。

2.5.1　基因编辑　通过基因编辑手段防治柑橘木虱主要包括两方面：一方面是直接对柑橘木虱进行基因编辑，另一方面是对柑橘植株进行基因编辑。CRISPR/Cas9等基因编辑工具理论上可用于直接修饰木虱的关键基因（如与繁殖、传播病原相关的基因），或通过对柑橘植株进行基因编辑，使其产生驱避木虱或抗病虫的化合物。该技术目前仍处于实验室探索阶段，其生物安全性和伦理问题也需要慎重评估。

近些年来，测序技术的进步为研究多种害虫和媒介昆虫基因序列及基因特性提供了大量数据，同时各类基因组编辑技术相继问世并应用于昆虫研究领域。目前，最先进且功能强大的基因组编辑工具是CRISPR/Cas9系统，该技术已成功应用于7个目，约40种昆虫，包括鞘翅目、双翅目、半翅目、鳞翅目、革翅目、缨翅目及直翅目[42]。然而，在柑橘木虱中尚未有实现可遗传基因编辑的报道，这仍是全球多个实验室正在攻关的难题。

虽然利用基因编辑直接防治柑橘木虱的技术尚未攻克，但是通过编辑柑橘植株以抗病从而间接防治柑橘木虱已有研究。Bin等[43]在柑橘中鉴定出一个编码萜烯合酶（TPS）的基因 *CsTPS21*，过表达 *CsTPS21* 的转基因烟草产生了较高水平的*β*-罗勒烯，对柑橘木虱产生显著的趋避效应。该研究为黄龙病的防控提供了新策略，可通过代谢工程调控 *CsTPS21* 表达或利用*β*-罗勒烯加强对柑橘木虱的防治。

此外，基于昆虫化感机制，开发植物源或合成的高效引诱剂或驱避剂，并结合“推-拉”策略（Push-

Pull Strategy），将木虱从柑橘树驱赶到诱集植物上进行集中消灭，是极具潜力的绿色防控途径。

2.5.2 RNA干扰 RNA干扰（RNAi）技术通过双链RNA（dsRNA）对互补mRNA产生沉默效应，已成为昆虫学功能基因组学研究的重要工具。由于其精准靶向、对非目标生物和环境友好等特点，使其成为防治害虫的重要手段[44]，是一种极具潜力的新型绿色防控策略。该技术通过递送针对木虱必需基因的dsRNA，在昆虫体内引发特异性基因沉默，导致其发育异常或死亡。研究表明，柑橘木虱对dsRNA较为敏感，通过口服或体表接触均能产生效果[45]，目前研究瓶颈在于dsRNA的生产成本、田间稳定性及高效递送系统的开发。Taning等[46]研究发现，亚洲柑橘木虱对dsRNA具有高度敏感性，表现出强烈的RNA干扰反应，仅需在柑橘表面喷施微量的dsRNA就足以触发RNA干扰机制。由于RNAi效率高度依赖dsRNA浓度，浓度过高或过低均会影响效果。因此，针对不同的昆虫种类需要确定其最适的dsRNA浓度。Saberi等[47]通过口服递送方式对柑橘木虱进行外源dsRNA筛选，发现在200 ng·μL^{-1} dsRNA下，基因敲低效率和死亡率之间取得最佳平衡，且能避免浓度过高可能导致的效率下降或脱靶效应。Yu等[48]研究发现体外合成dsRNA经浸泡法递送时，75 ng·μL^{-1}的一个高效且经济的阈值质量浓度。研究证实，通过柑橘衰退病毒（CTV）介导的柑橘体内RNAi沉默亚洲柑橘木虱的细胞色素P450基因（*CYP450*），可有效提升对吡虫啉、甲氰菊酯、西维因、毒死蜱等4类杀虫剂的敏感性[49]。CTV介导的植物RNAi还可沉默亚洲柑橘木虱的组织蛋白酶B（DcCathB）和L基因（*DcCathL*），进而抑制卵黄蛋白原基因表达、干扰雌性木虱卵巢发育[50]。Yang等[51]通过RNAi沉默柑橘木虱的己糖激酶基因（*DcHK*），干扰几丁质合成通路中关键基因的表达，导致木虱死亡率升高、体重下降、腹部萎缩及翅畸形等异常表型。Zhang等[52]通过RNAi沉默亚洲柑橘木虱糖原合成激酶3基因（*DcGSK3*），证实其可通过调控几丁质与脂肪酸代谢通路影响柑橘木虱的生长发育。

目前，该技术在实际应用中仍面临诸多挑战，包括dsRNA成本、田间稳定性及高效递送系统的开发等问题，共同制约着RNAi技术从实验室研究转向田间应用。

柑橘木虱综合防治的核心在于摒弃对单一技术的依赖，聚焦于构建以生态调控为基础、多种技术有机协同的动态管理体系。生物天敌的释放可降低化学农药的使用频率，而化学农药的使用可快速压制突发高虫口密度，二者协同实现长效控害。黄板、诱虫灯等物理措施可检测柑橘木虱的种群动态，为化学防治提供精准的施药时机。例如，重庆市万州区构建了“农业防控筑基、物理诱杀监测、生物调控生态、化学精准施治、检疫阻断传播”五位一体的综合防治体系，使得该地柑橘木虱虫口减退率稳定在90%以上，越冬基数降低60%[53]。这一成功案例，为其他柑橘主产区提供了一个可借鉴的模范。

3 展 望

未来，柑橘木虱的防控研究与实践可聚焦以下方向：

（1）深化IPM技术集成与示范推广：形成“以农业调控为基础，生物控害为主体，化学防治为预备”的协同模式。加强对各类技术（如“天敌+微生物农药”“矿物油+低剂量化学农药”“诱集植物+生物农药”）的协同效应研究，建立适用于不同产区、不同果园类型的标准化IPM技术规程，并通过建立示范园、加强农户培训等方式大力推广。

（2）加强创新药剂研发：为延缓柑橘木虱抗药性，未来必须推行科学用药，交替使用不同作用机制的药剂。同时，加强对低剂量化学药剂增效复配技术的研发。

（3）突破生物防治技术瓶颈：未来需量化评估天敌昆虫的生态服务价值，建立“以效付费”的推广应用模式，并利用合成生物学技术改良病原微生物的环境适应性。

（4）加速新兴技术的实用化进程：RNAi技术的下一突破点在于开发基于酵母或纳米颗粒的可口服dsRNA低成本保护性递送系统；基因编辑的应用则需优先开展严格的环境风险与基因流评估。

（5）构建智能化监测预警体系：利用物联网、无人机遥感和大数据分析，建立柑橘木虱种群动态和黄龙病发生风险的实时监测与预警平台，实现精准防控和决策支持。

（6）强化政策引导与区域协同：政府应加大对绿色防控技术和产品的补贴力度，建立跨区域的统一防控机制，统一行动时间，减少虫源跨区域迁移，提升整体防控效果。

未来，柑橘木虱防控需进一步聚焦生态友好型技术的优化与推广，推动基因编辑、RNAi等新兴技术从实验室走向田间应用，强化农户防控能力建设与跨区域协作网络构建，通过整合多维度防控手段提升系统效能，为全球柑橘产业可持续发展提供科学支撑。

柑橘木虱的防治是一项复杂的系统工程。坚持“预防为主、综合防治”的植保方针，将各项技术有机整合，构建基于生态平衡的可持续治理体系，最终实现对柑橘木虱和黄龙病的有效管控，保障我国柑橘产业的健康与安全。

参考文献 References:

[1] Du J，Wang Q Y，Shi H W，Zhou C Y，He J，Wang X F. A prophage-encoded effector from “*Candidatus* Liberibacter asiaticus” targets ASCORBATE PEROXIDASE6 in citrus to facilitate bacterial infection[J]. Molecular Plant Pathology，2023，24(4)：302-316.

[2] 唐利华，郭堂勋，李其利，黄穗萍，莫贱友 . 柑橘黄龙病田间诊断与检测技术研究进展[J]. 中国植保导刊，2018，38(8)：81-87.
Tang Lihua，Guo Tangxun，Li Qili，Huang Suiping，Mo Jianyou. Research progress on field diagnosis and detection techniques for citrus Huanglongbing[J]. China Plant Protection，2018，38(8)：81-87.

[3] 姚廷山，周彦，周常勇 . 亚洲柑橘木虱的发生与防治研究进展[J]. 果树学报，2018，35(11)：1413-1421.
Yao Tingshan，Zhou Yan，Zhou Changyong. Advances in researches on the occurrence and control of Asia citrus psyllid[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(11)：1413-1421.

[4] Kanga L H，Eason J，Haseeb M，Qureshi J，Stansly P. Monitoring for insecticide resistance in Asian citrus psyllid (Hemiptera：Psyllidae) populations in Florida[J]. Journal of Economic Entomology，2016，109(2)：832-836.

[5] Zhou C Y. The status of citrus Huanglongbing in China[J]. Tropical Plant Pathology，2020，45(3)：279-284.

[6] 刘丹，姚俊萌，余焰文，段里成，蔡哲 . 气候变暖背景下柑橘木虱在中国的适生区变化[J]. 植物保护学报，2021，48(4)：872-881.
Liu Dan，Yao Junmeng，Yu Yanwen，Duan Licheng，Cai Zhe. Suitable distribution changes of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* in China under global warming[J]. Journal of Plant Protection，2021，48(4)：872-881.

[7] 马家钰 . 中国柑橘木虱遗传多样性及潜在适生区分布预测研究[D]. 赣州：赣南师范大学，2023.
Ma Jiayu. The study of genetic diversity and prediction potential suitable area of *Diaphorina citri* in China[D]. Ganzhou：Gannan Normal University，2023.

[8] 黎海霖，郑霞林，王小云，陆温 . 柑橘木虱成虫繁殖行为前期及活动规律研究[J]. 南方农业学报，2019，50(9)：2009-2014.
Li Hailin，Zheng Xialin，Wang Xiaoyun，Lu Wen. Prophase of reproductive behavior and activity rhythm in adults of *Diaphorina citri* (Kuwayama)[J]. Journal of Southern Agriculture，2019，50(9)：2009-2014.

[9] Yang Y P，Huang M D，C Beattie G A，Xia Y L，Ouyang G C，Xiong J J. Distribution，biology，ecology and control of the psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama，a major pest of citrus：A status report for China[J]. International Journal of Pest Management，2006，52(4)：343-352.

[10] 王建红，仇兰芬，车少臣，虞国跃，邵金丽，仲丽 . 蜜粉源植物对天敌昆虫的作用及其在生物防治中的应用[J]. 应用昆虫学报，2015，52(2)：289-299.
Wang Jianhong，Qiu Lanfen，Che Shaochen，Yu Guoyue，Shao Jinli，Zhong Li. The effects of floral resource plants on natural enemy insects and implications for biological control[J]. Chinese Journal of Applied Entomology，2015，52(2)：289-299.

[11] 夏长秀，李梦媛，陈兆星，张祖铭，彭龙，张油兵，严翔 . 烟草对柑橘木虱的诱杀效果研究[J]. 现代园艺，2022，45(21)：77-78.
Xia Changxiu，Li Mengyuan，Chen Zhaoxing，Zhang Zuming，Peng Long，Zhang Youbing，Yan Xiang. Study on the trapping effect of *Nicotiana tabacum* on *Diaphorina citri* Kuwayama[J]. Contemporary Horticulture，2022，45(21)：77-78

[12] 田发军 . 柑橘木虱抗药性检测及对吡虫啉的抗性机理研究[D]. 广州：华南农业大学，2019.
Tian Fajun. Study on resistance and mechanism of Asian citrus psyllid，*Diaphorina citri* to imidacloprid[D]. Guangzhou：South China Agricultural University，2019.

[13] 谢秀挺，魏钦钦，彭龙，严翔 . 12种药剂对柑橘木虱的防治效果及产卵的影响[J]. 中国果树，2024(3)：80-87.
Xie Xiuting，Wei Qinqin，Peng Long，Yan Xiang. Effects of twelve insecticides on control and oviposition of *Diaphorina citri*[J]. China Fruits，2024(3)：80-87.

[14] 赵庆阳，袁辉，张武鸣，黄超艳，周广熊，陈斌艳，王易华 . 25%虫螨腈•唑虫酰胺悬浮剂对柑橘木虱的田间防治效果[J]. 湖北植保，2022(6)：44-46.
Zhao Qingyang，Yuan Hui，Zhang Wuming，Huang Chaoyan，Zhuo Guangxiong，Chen Binyan，Wang Yihua. Field control effect of 25% chlorfenapyr·tolfenpyrad suspension concentrate on *Diaphorina citri* Kuwayama[J]. Hubei Plant Protection，2022(6)：44-46.

[15] 赖家盛，刘暮莲，马德发，方贵阳 . 四种药剂对柑橘木虱的田间药效试验[J]. 新农业，2022(11)：7-8.
Lai Jiasheng，Liu Mulian，Ma Defa，Fang Guiyang. Field efficacy test of four insecticides against *Diaphorina citri* Kuwayama[J]. New Agriculture，2022(11)：7-8.

[16] 黄宏明，廖惠红，王茜，刘福平，陈东奎，汪妮娜，邓铁军 . 7种杀虫剂对柑橘木虱的室内毒力测定及田间防效[J]. 江苏农业科学，2021，49(16)：107-111.
Huang Hongming，Liao Huihong，Wang Qian，Liu Fuping，Chen Dongkui，Wang Nina，Deng Tiejun. Toxicity test and field effica-

cy of seven insecticides against *Diaphorina citri*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2021，49(16)：107-111.

[17] 陶通来，高晶，杨琼玉，毛润乾，吴诗宝 . 室内矿物油农药对柑桔木虱的驱避及对获取黄龙病菌的影响[J]. 中国南方果树，2023，52(3)：9-14.
Tao Tonglai，Gao Jing，Yang Qiongyu，Mao Runqian，Wu Shibao. Indoor study of the effect of mineral oil pesticides on repelling *Diaphorina citri* and acquisition of candidatus Liberibacter asiantus[J]. South China Fruits，2023，52(3)：9-14.

[18] 宋晓兵，崔一平，彭埃天，凌金锋，陈霞 . 广东肇庆柑橘木虱田间种群对常用药剂的抗药性[J]. 环境昆虫学报，2021，43(5)：1321-1324.
Song Xiaobing，Cui Yiping，Peng Aitian，Ling Jinfeng，Chen Xia. Resistance to commonly used insecticides of *Diaphorina citri* field populations in Zhaoqing city，Guangdong province[J]. Journal of Environmental Entomology，2021，43(5)：1321-1324.

[19] 刘馨，张友军，吴青君，谢文，王少丽 . 噻虫嗪对丽蚜小蜂寄生烟粉虱的影响[J]. 植物保护学报，2016，43(1)：123-128.
Liu Xin，Zhang Youjun，Wu Qingjun，Xie Wen，Wang Shaoli. Effects of thiamethoxam on the parasitism of *Encarsia formosa* Gahan against *Bemisia tabaci* Gennadius[J]. Journal of Plant Protection，2016，43(1)：123-128.

[20] 桑文，刘燕梅，邱宝利 . 柑橘木虱绿色防控技术研究进展[J]. 应用昆虫学报，2018，55(4)：557-564.
Sang Wen，Liu Yanmei，Qiu Baoli. Advances in the eco-friendly management of *Diaphorina citri*[J]. Chinese Journal of Applied Entomology，2018，55(4)：557-564.

[21] 于翔，朱果果，王兴林 . 防虫网在柑橘黄龙病防治上的应用与价值[J]. 现代园艺，2024，47(23)：86-87.
Yu Xiang，Zhu Guoguo，Wang Xinglin. Application and value of insect-proof nets in the control of citrus Huanglongbing[J]. Contemporary Horticulture，2024，47(23)：86-87.

[22] 孙喜平 . 防虫网栽培对柑橘生理变化的研究[J]. 果树资源学报，2023，4(4)：35-37.
Sun Xiping. Study on physiological changes of citrus cultured with insect-proof net[J]. Journal of Fruit Resources，2023，4(4)：35-37.

[23] 唐燕玲，梅正敏，傅翠娜，雷新南，肖远辉，甘海峰 . 防虫网棚设施栽培对广西柑橘主要品种生长、结果及品质的影响[J]. 南方园艺，2022，33(2)：1-8.
Tang Yanling，Mei Zhengmin，Fu Cuina，Lei Xinnan，Xiao Yuanhui，Gan Haifeng. Effects of insect-proof net coverage on the growth，fruit and quality of main citrus varieties in Guangxi[J]. Southern Horticulture，2022，33(2)：1-8.

[24] 袁楷，陈祯，杨婷婷，姜静，周文健 . 光谱和光强度对柑橘木虱成虫趋光行为的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学)，2020，35(5)：750-755.
Yuan Kai，Chen Zhen，Yang Tingting，Jiang Jing，Zhou Wenjian. Spectral sensitivity and response to light intensity of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera：Psyllidae)[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)，2020，35(5)：750-755.

[25] 李超峰，刘家莉，曾鑫年 . 柑橘木虱趋光行为及复眼结构分析[J]. 华南农业大学学报，2019，40(2)：53-59.
Li Chaofeng，Liu Jiali，Zeng Xinnian. Phototactic behavior and compound eye structure of *Diaphorina citri*[J]. Journal of South China Agricultural University，2019，40(2)：53-59.

[26] Gandarilla-Pacheco F L，Galán-Wong L J，López-Arroyo J I，Rodríguez-Guerra R，Quintero-Zapata I. Optimization of pathogenicity tests for selection of native isolates of entomopathogenic fungi isolated from citrusgrowing areas of México on adults of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera：Liviidae)[J]. Florida Entomologist，2013，96(1)：187-195.

[27] Casique-Valdes R，Reyes-Martinez A Y，Sanchez-Peña S R，Bidochka M J，Lopez-Arroyo J I. Pathogenicity of *Hirsutella citriformis* (Ascomycota：Cordycipitaceae) to *Diaphorina citri* (Hemiptera：Psyllidae) and *Bactericera cockerelli* (Hemiptera：Triozidae)[J]. Florida Entomologist，2011，94(3)：703-705.

[28] Lezama-Gutiérrez R，Molina-Ochoa J，Chávez-Flores O，Ángel-Sahagún C A，Skoda S R，Reyes-Martínez G，Barba-Reynoso M，Rebolledo-Domínguez O，Ruíz-Aguilar G M L，Foster J E. Use of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae*，*Cordyceps bassiana* and *Isaria fumosorosea* to control *Diaphorina citri* (Hemiptera：Psyllidae) in Persian lime under field conditions[J]. International Journal of Tropical Insect Science，2012，32(1)：39-44.

[29] Pérez-González O，Gomez-Flores R，Tamez-Guerra P. Insight into biological control potential of *Hirsutella citriformis* against Asian citrus psyllid as a vector of citrus huanglongbing disease in America[J]. Journal of Fungi，2022，8(6)：573.

[30] 鹿连明，杜丹超，苏光浪，刘顺民，吴仁超，瞿思民，安宝聚，陈国庆 . 刀孢蜡蚧菌 ZJLP09 可湿性粉剂的研制及对柑橘木虱的防效[J]. 中国生物防治学报，2025，41(4)：796-807.
Lu Lianming，Du Danchao，Su Guanglang，Liu Shunmin，Wu Renchao，Qu Simin，An Baoju，Chen Guoqing. Formulation preparation of *Lecanicillium psalliotae* ZJLP09 wettable powder and its control efficiency against *Diaphorina citri*[J]. Chinese Journal of Biological Control，2025，41(4)：796-807.

[31] 闫建全，刘豪，陈逢浩，卢慧林，欧阳革成，孟翔 . 一株淡紫拟青霉 GDIZM-2 的分离鉴定及其对柑橘木虱的毒力评价[J]. 环境昆虫学报，2023，45(6)：1718-1729.
Yan Jianquan，Liu Hao，Chen Fenghao，Lu Huilin，Ouyang Gecheng，Meng Xiang. Isolation and identification of a *Purpureocillium lilacinum* GDIZM-2 isolate and its toxicity evaluation against *Diaphorina citri*[J]. Journal of Environmental Entomology，2023，45(6)：1718-1729.

[32] Wang N，Zhang S，Li Y J，Song Y Q，Lei C Y，Peng Y Y，Wang J J，Lou B H，Jiang H B. Novel isolate of *Cladosporium subuliforme* and its potential to control Asian citrus psyllid，*Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera：Liviidae)[J]. Egyptian Journal

of Biological Pest Control，2023，33(1)：37.

[33] Yan J Q，Liu H，Idrees A，Chen F H，Lu H L，Ouyang G C，Meng X. First record of *Aspergillus fijiensis* as an entomopathogenic fungus against Asian citrus psyllid，*Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera：Liviidae)[J]. Journal of Fungi，2022，8(11)：1222.

[34] 周雅婷 . 柑橘木虱寄生天敌亮腹釉小蜂的生物学基础研究[D]. 广州：华南农业大学，2016.
Zhou Yating. Biological characteristics of *Tamarixia radiata* Parasitoid of the citrus Psyllid[D]. Guangzhou：South China Agricultural University，2016.

[35] Vankosky M A，Hoddle M S. Two parasitoids of *Diaphorina citri* (Hemiptera：Liviidae) have shared，stage-specific preference for host nymphs that does not impact pest mortality rates[J]. Florida Entomologist，2019，102(1)：49-58.

[36] Skelley L H，Hoy M A. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine[J]. Biological Control，2004，29(1)：14-23.

[37] 白津铭，黄元腾吉，廖咏梅，黄奕蔓，朱文倩，任立云 . 南宁市柑橘木虱自然天敌种类调查[J]. 南方农业学报，2022，53(7)：1944-1952.
Bai Jinming，Huang Yuantengji，Liao Yongmei，Huang Yiman，Zhu Wenqian，Ren Liyun. Investigation into natural enemy species of *Diaphorina citri* in Nanning city[J]. Journal of Southern Agriculture，2022，53(7)：1944-1952.

[38] 庞虹 . 三种瓢虫对木虱成虫的捕食量观察[J]. 昆虫天敌，1991，13(4)：186-188.
Pang Hong. Observation on the predation amount of three ladybug species on psyllid adults[J]. Natural Enemies of Insects，1991，13(4)：186-188.

[39] 何万财，叶青青，王飞凤，胡玉伟，刘金华，毛熊兴，张瑞峰，王兴民，邱宝利，刘玉涛，桑文 . 六斑月瓢虫对柑橘木虱的捕食作用[J]. 中国生物防治学报，2023，39(3)：514-522.
He Wancai，Ye Qingqing，Wang Feifeng，Hu Yuwei，Liu Jinhua，Mao Xiongxing，Zhang Ruifeng，Wang Xingmin，Qiu Baoli，Liu Yutao，Sang Wen. Predatory responses of *Cheilomenes sexmaculata* to *Diaphorina citri*[J]. Chinese Journal of Biological Control，2023，39(3)：514-522.

[40] 代晓彦，任素丽，周雅婷，任顺祥，邱宝利 . 黄龙病媒介昆虫柑橘木虱生物防治新进展[J]. 中国生物防治学报，2014，30(3)：414-419.
Dai Xiaoyan，Ren Suli，Zhou Yating，Ren Shunxiang，Qiu Baoli. Advances in biological control of citrus psyllid *Diaphorina citri*，a vector insect of citrus huanglongbing disease[J]. Chinese Journal of Biological Control，2014，30(3)：414-419.

[41] 陈玲玲 . 细腰凶蝽马防控柑橘木虱及柑橘叶片生理响应的研究[D]. 福州：福建农林大学，2022.
Chen Lingling. Study on the control of diaphprina citri by *Franklinothrips vespiformis* and the physiological response of citrus leaves[D]. Fuzhou：Fujian Agriculture and Forestry University，2022.

[42] Chen X E，Palli S R. Genome editing in pests：Basic science to applications[J]. Journal of Pest Science，2024，97(3)：1135-1152.

[43] Bin M L，Peng X X，Yi G J，Zhang X X. *CsTPS21* encodes a jasmonate-responsive monoterpene synthase producing *β*-ocimene in citrus against Asian citrus psyllid[J]. Plant Physiology and Biochemistry，2023，201：107887.

[44] Christiaens O，Swevers L，Smagghe G. DsRNA degradation in the pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*) associated with lack of response in RNAi feeding and injection assay[J]. Peptides，2014，53：307-314.

[45] 罗流河 . 柑橘木虱 RNAi 致死基因及其 dsRNA-层状双氢氧化物纳米复合物研究[D]. 武汉：华中农业大学，2023.
Luo Liuhe. RNAi lethal genes for *Diaphorina citri* and its dsRNA-layered double hydroxide nano complex[D]. Wuhan：Huazhong Agricultural University，2023.

[46] Taning C N T，Andrade E C，Hunter W B，Christiaens O，Smagghe G. Asian citrus psyllid RNAi pathway-RNAi evidence[J]. Scientific Reports，2016，6：38082.

[47] Saberi E，Mondal M，Paredes-Montero J R，Nawaz K，Brown J K，Qureshi J A. Optimal dsRNA concentration for RNA interference in Asian *Citrus* Psyllid[J]. Insects，2024，15(1)：58.

[48] Yu X D，Gowda S，Killiny N. Double-stranded RNA delivery through soaking mediates silencing of the muscle protein 20 and increases mortality to the Asian citrus psyllid，*Diaphorina citri*[J]. Pest Management Science，2017，73(9)：1846-1853.

[49] Kishk A，Stelinski L L，Gowda S，Killiny N. Citrus-mediated gene silencing of cytochrome P_{450} suppresses insecticide resistance and increases mortality in *Diaphorina citri*[J]. Pest Management Science，2024，80(10)：4980-4992.

[50] Ibanez F，Vieira Rocha S，Dawson W O，El-Mohtar C，Robertson C，Stelinski L L，Soares-Costa A. Gene silencing of cathepsins B and L using CTV-based，plant-mediated RNAi interferes with ovarial development in Asian citrus psyllid (ACP)，*Diaphorina citri*[J]. Frontiers in Plant Science，2023，14：1219319.

[51] Yang S，Zou Z W，Xin T R，Cai S Y，Wang X，Zhang H J，Zhong L，Xia B. Knockdown of hexokinase in *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera：Liviidae) by RNAi inhibits chitin synthesis and leads to abnormal phenotypes[J]. Pest Management Science，2022，78(10)：4303-4313.

[52] Zhang J B，Lu Z J，Yu H Z. Silencing of *Glycogen Synthase Kinase 3* significantly inhibits chitin and fatty acid metabolism in Asian citrus psyllid，*Diaphorina citri*[J]. International Journal of Molecular Sciences，2022，23(17)：9654.

[53] 瞿秀清，杨祥 . 万州区黄柏乡综合防治柑橘木虱策略探析[J]. 基层农技推广，2025，13(12)：130-132.
Qu Xiuqing，Yang Xiang. Analysis on the integrated control strategy of *Diaphorina citri* in Huangbai township，Wanzhou district[J]. Primary Agricultural Technology Extension，2025，13(12)：130-132.