我国寄生蜂研究进展与展望*

王知知** 唐 璞 叶熹骞 陈学新***

（浙江大学昆虫科学研究所，水稻生物育种全国重点实验室，农业农村部作物病虫分子生物学重点实验室，浙江省作物病虫生物学和生态调控重点实验室，作物病虫害生物防控技术浙江省工程研究中心，杭州 310058）

摘 要 近年来，我国寄生蜂研究在理论与应用层面均取得了跨越式发展。在研究层面，依托分子生物学、基因组学及生物信息学等前沿技术的深度融合，研究范畴已从传统的分类学、生物学与生态学，纵深拓展至系统发育、功能基因解析、寄生行为调控的生理与分子机制等前沿领域，初步揭示了寄生蜂与寄主互作的内在规律。在应用层面，寄生蜂的人工繁育技术与大规模工厂化生产工艺取得显著突破，应用范围持续扩大，田间增效技术与协同控害策略日益完善。研究成果系统提升了寄生蜂的控害潜能，为农业害虫绿色防控体系的构建提供了核心科技支撑。本文概述了近年来我国在寄生蜂理论与应用研究中的主要进展，剖析了该领域存在的主要问题与若干亟待加强的优先发展方向。

关键词 寄生蜂；物种多样性；寄主-寄生蜂互作；人工繁育；田间应用

Progress in, and future prospects for, parasitoid research in China

WANG Zhi-Zhi** TANG Pu YE Xi-Qian CHEN Xue-Xin***

(Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Molecular Biology of Crop Pathogens and Insect Pests, Key Laboratory of Biology and Ecological Regulation of Crop Pathogens and Insects of Zhejiang Province, Zhejiang Engineering Research Center for Biological Control of Crop Pathogens and Insects, State Key Laboratory of Rice Biology and Breeding, Institute of Insect Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract There has been remarkable progress in both theoretical and applied parasitoid research in China in recent years. Driven by the integration of cutting-edge technologies, such as molecular biology, genomics, and bioinformatics, the scope of research has moved beyond traditional taxonomy, biology, and ecology to include phylogenetics, functional gene analysis, and the physiological and molecular mechanisms regulating parasitic behavior. These advances have begun to reveal the intrinsic principles governing parasitoid-host interactions. With respect to applied research, significant breakthroughs have been made in the artificial rearing and large-scale, mass production of parasitoids. Their application continues to broaden, supported by increasingly sophisticated field techniques such as ecological regulation and integrated pest management. These developments have systematically improved the pest control potential of parasitoids, providing core scientific and technological support for environmentally friendly pest management systems. This paper reviews recent, major advances in theoretical and applied research on parasitic wasps in China, and identifies outstanding key issues and priority areas for research.

Key words parasitoid wasp; species diversity; host-parasitoid interactions; artificial rearing; field application

寄生蜂是一类重要的生物防治天敌。我国寄生蜂的研究历程，根据研究规模、研究水平及成果产出，大致可划分为三个阶段：初创阶段（1949 年以前）、探索发展阶段（1950-1978 年）和快速发展阶段（1979 年至今）。在 1933-1937 年间，祝汝佐先生发表了 12 篇寄生蜂专论，系

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2023YFD1400600）；中央高校基本科研业务费专项资金资助（226-2024-00070）

**第一作者 First author，E-mail：zzwang0730@zju.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：xxchen@zju.edu.cn

收稿日期 Received：2025-10-08；接受日期 Accepted：2025-10-28

统整理了对二化螟 *Chilo suppressalis*、稻螟蛉 *Naranga aenescens*、桑螟 *Diaphania pyloalis* 等重要害虫具有控制作用的近 60 种寄生蜂，其中 31 种为国内首次记录。祝汝佐先生在寄生蜂寄生效率、生物学特性、分类学及其利用等方面的研究，奠定了我国最早的寄生蜂科研体系基础。20 世纪 70 年代后期，我国寄生蜂研究进入空前发展阶段，学术论文数量持续增加，国际学术交流也日益频繁。在此过程中，我国培养出了一支专注于寄生蜂研究与害虫生物防治的专业人才队伍。研究内容从早期的分类学、生物学、生态学、生理学及行为学，逐步拓展并深化至系统发育、分子生物学等前沿领域。同时，寄生蜂人工繁育技术及应用研究水平显著提高，应用范围持续扩大，展现出广阔的发展前景。进入 21 世纪后，随着分子生物学、基因组学及生态学等多学科的交叉融合与快速发展，我国寄生蜂研究迈入新阶段。近年来，我国在寄生蜂研究与应用方面取得了多项重要突破与创新。在研究层面，围绕寄生蜂资源、生物学、生态学、生理学、分子生物学及系统进化等多个维度，深入探索寄生蜂的特性及其控害机制。在应用层面，寄生蜂的人工繁育技术与大规模工厂化生产工艺取得显著突破，应用范围持续扩大，田间增效技术与协同控害策略日益完善。相关研究成果与技术的不断积累，显著提升了寄生蜂的控害潜力，为我国农业绿色可持续发展提供了有力支撑。本团队前期系统梳理了我国寄生蜂研究及其在害虫生物防治中的应用进展（Wang *et al*., 2019, 2022b; 时敏等, 2020; 王知知等, 2025）。本文在此基础上，聚焦近 5 年来国内相关研究，重点对寄生蜂的分类学与多样性、生物学特性与生物防治潜能评估、生态学特性、寄主互作的遗传基础与分子机制以及其高效利用策略等方面的基础研究与应用进展进行概述和整理。

1 寄生蜂分类学与多样性研究进展

1.1 寄生蜂物种分类与系统发育

我国寄生蜂分类学研究已从传统的形态分类发展到整合分类学阶段。截至 2020 年，我国已记录的寄生蜂包括姬蜂总科、小蜂总科、细蜂总科、钩腹蜂总科、旗腹蜂总科、冠蜂总科和青蜂总科等多个总科下的 2 000 余属、10 000 余种。浙江大学昆虫科学研究所等单位通过长期系统调查，鉴定和定名我国寄生蜂种类达 3 500 余种，发现并命名新的分类单元 1 500 余个（包括新种、新属、新族），其中中国新记录 5 科 70 属 600 余种、寄主新记录 800 余种。2024 年出版的《中国松毛虫寄生蜂志》系统整理了 233 种松毛虫寄生蜂，隶属于 6 总科 15 科 87 属（何俊华和唐璞, 2024）。此外，新的寄生蜂与寄主关系不断被发现与报道。例如，何灿等（2024）发现冈田长柄茧蜂 *Streblocera okadai* 是双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* 的首个寄生性天敌，填补了该害虫生物防治资源的空白。周孝贵等（2023）明确茶树 2 种食叶性害虫茶尺蠖 *Ectropis obliqua* 和灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens* 上 2 种广义绒茧蜂 *Apanteles* spp.实为尺蠖原绒茧蜂 *Protapanteles immunis* 和单白绵副绒茧蜂 *Parapanteles hyposidrae*，确定了这 2 种绒茧蜂是茶尺蠖和灰茶尺蠖的共有寄生蜂。

近年来，区域多样性调查取得了显著进展。2022 年，在四川省金阳县不同海拔（800-1 800 m）花椒园中发现的棉花蚜虫寄生蜂包括 3 科 3 属 4 种，其中印度三叉蚜茧蜂 *Trioxys indicus* 为绝对优势种，占寄生蜂总数的 90.38%。利用多重 PCR 检测体系解析了新疆棉花蚜虫-寄生蜂食物网结构，明确了棉花上 4 种棉花蚜虫、4 种初级寄生蜂和 7 种重寄生蜂食物网关系（李金花等, 2021）。通过多年对四川地区越冬代二化螟幼虫天敌种类调查发现，该地二化螟寄生性天敌的优势种为螟黄足盘绒茧蜂 *Cotesia flavipes* 和螟蛉瘤姬蜂 *Itoplectis naranyae*，部分地区每年自然寄生率维持在较高的水平（于文娟等, 2021）。陆明星等（2022）对江苏扬州地区水稻大螟 *Sesamia inferens* 越冬幼虫体内寄生蜂种类进行了调查，发现水稻大螟越冬幼虫体内仅有 2 种寄生蜂，分别是中华茧蜂 *Amyosoma chinensis* 和螟黄足盘绒茧蜂，其中螟黄足盘绒茧蜂是该地区大螟优势寄生蜂种群，该蜂在水稻大螟越冬幼虫上的最高寄生率可达到 33.33%。此外，草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 和番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 作为全球

性入侵害虫，在传入我国后，本地的寄生蜂类群，包括卵寄生蜂、幼虫寄生蜂及幼虫-蛹寄生蜂，能够较快地适应并与之建立寄生关系，形成新的寄生蜂-寄主互作体系（唐璞等, 2019; 梁永轩等, 2023）。

随着测序技术的不断进步，线粒体基因组、核基因组、锚定杂交富集（Anchored hybrid enrichment, AHE）、超保守序列（Ultraconservative elements, UCEs）分子标记等均被应用于寄生蜂系统发育研究。例如，为了明确小蜂总科内的 Epichrysomallinae 和 Sycophaginae 的分类地位，Zhao 等（2021b）新收集 4 种无花果蜂（Fig wasp）的转录组和线粒体基因组数据，结合已发布的 13 种蜂的数据，通过最大似然法（Maximum likelihood, ML）和贝叶斯推断法（Bayesian inference, BI）重建了无花果蜂的系统发育，发现 Epichrysomallinae 和 Sycophaginae 都与榕小蜂科 Agaonidae 关系更为密切，并具有很高的统计支持。此后，Zhang 等（2022b）利用锚定杂交富集数据对小蜂总科 Chalcidoidea 进行系统发育重建，结果支持具有幼虫型的金小蜂科类群形成一个单系群。Jiang 等（2022）首次使用超保守元件重建了全球 Diplolepis 属的系统发育基因组树，基于 757 个基因得到了稳健的系统发育关系。结果支持存在 2 个主要的分支：新北界茎致瘿蜂分支和全北界叶致瘿分支，后者进一步分为 2 个古北区群体和 1 个新北区群体。该拓扑结构与之前基于线粒体 COⅠ基因的研究一致。He 等（2025）构建了涵盖 13 个亚科 131 个膜翅目物种的全基因组数据集，结果支持在细腰亚目寄生部中，姬蜂总科 Ichneumonoidea、小蜂总科 Chalcidoidea、瘿蜂总科 Cynipoidea 和广腹细蜂总科 Platygastroidea 共同构成一个单系群。当前的高通量测序技术，可以为构建物种谱系树提供前所未有的精度和广度。通过比较不同物种的基因组，能够更加精确地推测物种之间的亲缘关系，揭示物种之间的基因流动和物种分化的历史，对类群的分化历程进行更精细的重建，识别出更复杂的谱系结构。因此，利用基因组数据挖掘利用更多的分子标记，并在更广泛类群中合理应用，将极大地促进寄生蜂的系统发育研究。

1.2 寄生蜂物种多样性和种群遗传结构

随着分子生物学技术的发展，逐渐将分子标记应用于寄生蜂遗传多样性的评估。基于线粒体 COⅠ基因与核糖体 ITS 序列等分子数据的分析，揭示了不同地理种群之间的遗传分化程度及基因流模式，为评估寄生蜂种群的适应潜力、筛选优良品系并制定科学繁育策略提供了理论支撑。传统分类学与分子技术（如 DNA 条形码）的结合，揭示出寄生蜂的物种多样性远高于以往认知（孙星星等, 2025）。例如，对重要入侵物种刺槐叶瘿蚊 *Obolodiplosis robiniae* 寄生蜂的研究揭示，其特异性寄生蜂刺槐叶瘿蚊广腹细蜂 *Platygaster robiniae* 具有较高的 DNA 条形码预估多样性，且表现出显著遗传分化，种群呈现相对丰富的单倍型，系统发育关系显示所有种群聚集成 2 个独立分支（Wang *et al.*, 2025d）。

据估计，全球寄生蜂物种数约为 10 万种，而热带地区的多样性仍被严重低估。寄生蜂很可能是地球上物种最丰富的动物类群之一，这也意味着宿主与寄生蜂之间的相互作用可能是自然界中最常见的种间互作形式之一。Hambäck 等（2024）尝试基于逃逸辐射假说与振荡假说，阐释寄生蜂高度多样化的进化机制，认为寄生蜂在进化过程中对动态宿主资源的利用可能是驱动其物种分化的关键因素之一。近期，我国学者通过分析树种丰富度、树木系统发育多样性、功能多样性，以及物种与系统发育组成对宿主与寄生蜂群落的物种多样性、系统发育多样性及其互作网络结构的影响，揭示了树木多样性多个维度对宿主-寄生蜂物种组成、系统发育结构及相互作用网络的共同调控机制。研究表明，宿主-寄生蜂网络结构的复杂性由树种丰富度、树木系统发育多样性及冠层覆盖度通过营养级联结共同塑造（Wang *et al.*, 2025e）。

有观点认为规模化繁殖释放对寄生蜂种群遗传多样性的影响主要表现为多样性降低、适应性下降及潜在生态风险（Laikre *et al.*, 2010）。近期我国学者通过对重大农业害虫桃蚜 *Myzus*

persicae 的优势寄生性天敌烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 的群体基因组学研究，阐明了寄生蜂的大规模扩繁和田间生物防治应用虽然会对该物种野生种群产生一定影响，但强大的自然选择作用可维持野生种群的“基因池”，一些重要的功能性位点如果发生变化，会被自然选择及时清除，从而保持野生寄生蜂种群的遗传多样性与环境适应性（Li *et al*., 2024a）。由此体现了寄生蜂大规模田间利用进行害虫防治的生态安全性。除此之外，我国目前对寄生蜂的种群关系、遗传多样性、优质寄生蜂资源遗传背景等研究相对较少。

2 寄生蜂生物学研究与生物防治潜能评估

一直以来，寄生蜂生物防治潜能评估是寄生蜂研究的一个重要内容，相关研究结果是提高寄生蜂繁殖效率及其制定生物防治策略的前提和依据。近年来除了对我国寄生蜂资源持续挖掘和利用外，重点对外来入侵害虫如草地贪夜蛾、番茄潜夜蛾、美国白蛾 *Hyphantria cunea* 和一些重要害虫如水稻螟虫、麦长管蚜 *Sitobion avenae*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、斑翅果蝇 *Drosophila suzukii*、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*、绿盲蝽 *Apolygus lucorum*、桑天牛 *Apriona germari* 等优势寄生蜂开展了基本生物学研究，结果发现多种寄生蜂展示出良好的生物防治潜力。例如赤眼蜂 *Trichogramma* sp.、夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus*、东方平腹小蜂 *Anastatus orientalis*、短翅蚜小蜂 *Aphelinus asychis*、麦蛾柔茧蜂 *Habrobracon hebetor*、台湾甲腹茧蜂 *Chelonus formosanus*、日本细毛环腹瘿蜂 *Leptopilina japonica*、红颈常室茧蜂 *Peristenus spretus*、管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani* 等对目标害虫具有高寄生率与控害能力，适合作为生物防治天敌推广应用（罗淑萍等, 2012; 王雪菲等, 2020; 谢永辉等, 2021; Li *et al*., 2022; 林丹敏等, 2023; 吴玉新等, 2024; Yu *et al*., 2024; 暴可心等, 2025; 陈晓菡等, 2025; 贾静静等, 2025）。除了关注寄生率、繁殖能力，更通过详细的行为学观察和结构生物学分析，揭示了寄生蜂在寄主选择、产卵位点偏好、搜寻策略等方面的内在机制，使得寄生蜂生物学相关研究更加科学和体系化（Wang *et al*., 2022a, 2024b; Chen *et al*., 2023; Lu *et al*., 2025; 钱胤凯等, 2025）。另一方面，生物防治潜能评估模型从单一指标到综合评估的科学化。时敏等（2020）系统梳理了国内外寄生蜂功能反应实验，指出我国大部分已报道的寄生蜂功能曲线均符合 HollingⅡ（单峰、饱和）模型，即以一种特定的猎物为食/寄主，寄生率随着寄主密度的增加而增加，但最终由于寄生蜂对寄主的处理时间而进入平台期。现在更多研究把温度、湿度、光照、寄主龄期、寄生蜂经历等因素纳入评价体系中，使寄生蜂生物防治潜能评估结果更科学、更具预测性（巨学阳等, 2021; 徐子英等, 2021; Zhao *et al*., 2021a; 唐艳龙等, 2022; 熊博等, 2022; 付开赟等, 2023; 王录超等, 2023a; 贾平凡等, 2024）。此外，我国学者也关注到了其他环境胁迫相关因素，如化学农药、重金属和 CO_2 等对寄生蜂寿命、繁殖力及子代发育的影响，涉及烟蚜茧蜂、玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*、日本平腹小蜂 *Anastatus japonicus*、茶翅蝽沟卵蜂 *Trissolcus halyomorphae*、周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* 等（Yan *et al*., 2020, 2023a; Cheng *et al*., 2021; Tai *et al*., 2022; Luo *et al*., 2025; Wang *et al*., 2025a）。

3 寄生蜂生态学研究

3.1 寄生蜂种间竞争

自然界中，寄生蜂与植食昆虫、植物之间的相互作用非常普遍，并对群落的构建有重要影响。但对其协同演化的研究相对较少。Wang 等（2023a）通过比较无花果树、造瘿蜂与寄生蜂不同营养级之间的系统发育关系，发现寄生蜂与宿主昆虫的系统发育关系更紧密，且寄生蜂之间的种间竞争（而非宿主资源的丰富度）是驱动这一三营养级系统协同演化的关键因素。类似研究也报道当两种寄生蜂同时竞争宿主时，两种蜂通过阶段性优势转换、生态位分化等策略避免种间竞争，实现共存（Zhang *et al*., 2021b; Pang *et al*., 2024; Liu *et al*., 2025）。此外，环境因素也可能影响寄生蜂种间互作结果（Aung *et al*., 2022;

Guo *et al*., 2025）。因此，寄生蜂与植物、宿主以及其他共存天敌物种的关系受多种因素影响，在选择寄生蜂进行生物防治时，应考虑具体的寄生蜂环境适应能力和种间竞争风险，以最大化防治效果。

3.2 寄生蜂化学生态学

近年来，中国学者围绕化学挥发物对寄生蜂行为与生态功能的调控开展了系统研究，特别是在植物挥发物-寄生蜂互作领域已积累了较丰富的实验证据，发现虫害诱导的植物挥发物（Herbivore - induced plant volatiles，HIPVs）以萜烯类化合物为主，明确了 HIPVs 在寄生蜂寄主定位中的关键作用，并筛选出若干活性挥发物组分。同一寄生蜂对不同植物-植食昆虫组合的挥发物反应不同（Guo and Wang 2019）。此外，环境因素，如高温使得作物释放 β-石竹烯量显著增加，对马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 雌成虫呈现驱避作用，而对螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 呈现吸引作用，从而影响作物-害虫-天敌互作（Munawar *et al*., 2022）。目前已鉴定出多种对寄生蜂有引诱活性的单一或混合成分，例如 β-紫罗兰酮对淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes*（Zhang *et al*., 2022a），水杨酸甲酯在田间表现出对多种天敌的招引效果等（Xiao *et al*., 2022; Li *et al*., 2024b）。最近一项研究发现稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 产卵可诱导水稻释放的 D-柠檬烯和 α-蒎烯等挥发物，稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* 通过产卵诱导植物挥发物（Oviposition - induced plant volatiles，OIPVs）远程评估宿主卵质量（Tian *et al*., 2025）；管氏肿腿蜂还能直接区分寄主感病状态，避免寄生在不利的宿主身上（Huang *et al*., 2025a），揭示寄生蜂精准定位适宜寄主策略。此外，最近也有研究关注寄生蜂之间信息交流，鉴定出棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae*、中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 雌蜂产生的性信息素成分，并首次在寄生蜂鉴定到性信息素特异性受体，进一步研究发现性信息素与另一种能吸引雌蜂的植物挥发物顺式茉莉酮（*Z*）-jasmone 具有协同效应，能同时影响雌雄行为，最终提高寄生率，这些研究为研究寄生蜂行为调控和实际应用提供了理论基础和直接的候选物质（Guo *et al*., 2022; Tao *et al*., 2024）。

3.3 寄生蜂与微生物互作

寄生蜂微生物组与宿主相互作用日渐受到关注。寄生蜂共生微生物的研究已从种类鉴定逐步深入到功能解析与生态效应层面。目前已知寄生蜂共生微生物的种类繁多，包括细菌、真菌和病毒等。在棉蚜茧蜂 *Lysiphlebia japonica*、稻螟赤眼蜂等多种寄生蜂体内检测到沃尔巴克氏体 *Wolbachia*、立克次体 *Rickettsia*、汉密尔顿氏菌 *Hamiltonella* 等共生细菌，其中沃尔巴克氏体在多种寄生蜂中广泛存在并可能通过水平传播在寄主-寄生蜂之间转移。这些共生微生物在促进寄生蜂食物消化、营养供给、解毒代谢、调控生殖、抵御病原菌和寄生虫、调控行为、性比、甚至物种形成中发挥着重要功能（胡娜娜等，2024）。例如，研究发现沃尔巴克氏体对寄生蜂抗药性、记忆行为、性别决定等方面都起着非常重要的作用，更甚者可引起生殖隔离，并能够阻碍物种间的基因流动，与物种的快速形成密切相关，主要涉及赤眼蜂、蝇蛹金小蜂 *Nasonia vitripennis* 等寄生蜂（Zhou *et al*., 2022a; Zhu *et al*., 2023b; Xiao *et al*., 2024）。最近有研究发现一些微生物可在害虫与其寄生蜂之间水平传播，形成“寄主-寄生蜂”微生物共享网络（Guo *et al*., 2021; Hu *et al*., 2024; Yan *et al*., 2024）。但是，这种水平传播对寄主-寄生蜂互作关系具体影响还有待进一步研究。此外，寄生蜂与 DNA 和 RNA 病毒也密切相关，目前在寄生蜂体内发现的病毒至少有 10 个科（李晶晶等，2018; Strand *et al*., 2025）。国内研究主要聚焦于寄生蜂的内共生 DNA 病毒，同时对其 RNA 病毒也有一定程度的报道，主要涉及长尾潜蝇茧蜂 *Diachasmimorpha longicaudata*、阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus*、蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius*、米象金小蜂 *Lariophagus distinguensis*、象虫金小蜂 *Anisopteromalus calandrae*、雅脊金小蜂 *Theocolax elegans*、蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoideus vindemmiae* 等寄生蜂（Wang *et al*., 2021a; Zhang *et al*.,

2021a, 2023）。

3.4 景观格局对寄生蜂种群及田间控害的影响

农田景观通过对寄生蜂的资源供给、群落构建及种间互作的调控，深刻影响其种群动态与控害功能。研究表明，非作物生境（如林地）为寄生蜂提供庇护所、花蜜和替代寄主，是维持其种群的关键。然而，这种影响并非线性，例如在南方稻田景观中，二化螟卵寄生率与 1.5 km 半径内的林地面积呈非线性关系：当林地比例低于40%时寄生率随其增加而降低，超过 40%则升高（朱玉麟等, 2021）。这表明生境效应存在“临界点”，并非简单的线性促进。寄生蜂的控害效能（如寄生率）受景观尺度（组成与配置）和局地尺度（物种多样性、营养级网络结构）因素的共同调控。野花带等人造生境通过提供连续的花期资源，可显著提升寄生蜂物种丰富度（+195.5%）与活动密度（+362.0%），并诱导功能性状变化（如偏雌性性别比），实现对害虫种群的有效抑制（Hu *et al*., 2025）。同时，一项涵盖 25 个农业景观的定量研究，构建定量的寄生蜂-重寄生蜂营养网络，揭示了景观组成（非作物生境、小宗作物覆盖）能通过改变群落结构，进而级联调控寄生率和重寄生率，最终影响对棉蚜 *Aphis gossypii* 的生物控制效果。该研究明确了在动态农业景观中，必须同时考虑农场生物多样性和营养互作来理解生态系统服务（Yang *et al*., 2021）。综上，有效的生态防控策略需打破单一尺度局限，协同规划景观尺度生境网络与农场尺度生物互作，通过提升系统多样性、优化食物网结构，最终实现生物防治服务的可持续供给。

4 寄生蜂与寄主互作遗传基础与分子机制

近年来，我国研究团队聚焦寄生蜂生物学关键问题破译数十种农林害虫寄生蜂的基因组信息，为理解寄生蜂与寄主互作遗传基础以及相关功能研究提供了基础。例如，基因组变化可能与寄生蜂的关键性状相关，如体型缩小、寄主范围转变、营养需求及性别决定机制（Ye *et al*., 2024）。同时，基因组数据为研究寄生因子，包括毒液、内源性驯化病毒（Domesticated endogenous virus, DEV, 又称多 DNA 病毒）和畸形细胞的演化与功能进化提供了有力支持。

寄生蜂调控寄主的生理、行为变化及相关分子机制是近年来国际上的研究热点，我国在这一领域也有较多研究积累，其中部分成果已达到国际先进水平（Huang *et al*., 2025b）。寄生蜂通过寄生因子操纵昆虫宿主的多种生物学特性，提高寄生蜂后代的存活率。近年来，一些研究聚焦毒液成分鉴定和毒液蛋白功能研究，涉及日本平腹小蜂、烟蚜茧蜂、家蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoideus vindemmiae*、松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 等，明确了 serpin、Rho 1、Neprilysin 和一些新基因 Lar、Warm 等编码的毒液蛋白参与调控寄主凋亡、黑化、抗菌等免疫反应，G6PDH、α-amylase 等参与调控寄主代谢功能（Wan *et al*., 2020; Wang *et al*., 2020, 2023b, 2025b; Yang *et al*., 2020, 2022; Huang *et al*., 2021; Song *et al*., 2022; Yan *et al*., 2023b; Zhou *et al*., 2023; Jiao *et al*., 2024; Yu *et al*., 2025）。对于携带内源性病毒的寄生蜂，研究主要聚焦 DEV 与寄主互作机制，包括 DEV 整合进入寄主基因组机制（Wang *et al*., 2021d, 2021f）、DEV 调控寄主免疫、代谢、发育、行为等相关分子机制，鉴定了一些 DEV 源的效应分子，如 c-type lectin、BAPs、CLP、PTP 和 BV-con 等（Wang *et al*., 2021e, 2023d; Wu *et al*., 2022, 2025; Gao *et al*., 2023a）。畸形细胞方面主要聚焦 Serpin 基因家族功能研究，发现畸形细胞分泌的 Serpin 在与寄主互作过程中适应性进化产生新功能（Gu *et al*., 2022; Wu *et al*., 2023）。随着研究的深入，幼蜂唾液及其分泌物中的相关成分，以及它们在寄生蜂与寄主互作中的作用，逐渐受到学者们的关注（Shi *et al*., 2022; Wang *et al*., 2025c）。此外，寄生蜂与寄主之间寄生关系所引发的生态效应，也开始成为研究焦点。例如，研究还揭示寄生蜂的寄生作用不仅会改变寄主微生物组，还会通过改变寄主生理状态，影响其与其他寄生蜂的竞争关系以及植物的免疫反应等，棉蚜茧蜂-棉蚜、隐尾瓢虫跳小蜂 *Homalotylus*

eytelweinii-七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*、缘腹茧蜂 *Cotesia marginiventris*-草地贪夜蛾（Wang *et al*., 2021b; 2023c; Zhou *et al*., 2022b; Gao *et al*., 2023b; Li *et al*., 2023; Pang *et al*., 2024）。综上所述，组学与功能研究显著拓宽了我们对寄生效应因子的认识并深化了对寄生蜂如何在分子层面操控宿主的认知，这些研究不仅增进了对寄生蜂生物学特性起源与演化的理解，也为利用寄生蜂进行害虫生物防治提供了坚实的科学基础。

5 寄生蜂高效利用技术研发与应用

近年来，我国在寄生蜂高效利用技术的研发与应用方面取得了显著进展，涵盖了繁育技术、田间释放、联合防控以及产业化推广等多个环节。其中，赤眼蜂作为生物防治领域最具代表性的天敌昆虫之一，其高效利用与释放技术一直是研究重点，已有较系统的综述文献对该领域进行了梳理（Zang *et al*., 2021; 王勇等, 2023），因此本文不再赘述。

在寄生蜂繁育技术方面，研究重点包括替代寄主的选择与处理（如柞蚕 *Antheraea pernyi* 卵、米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵）、繁育条件调控（温湿度和空间）及营养补充（糖源种类与浓度）对寄生蜂繁殖效率的影响 （何朋阳等, 2023; 王录超等, 2023a, 2023b; 井晓宇等, 2024; 李传瑛等, 2024; 李维薇等, 2024; 梅文浩等, 2024; 暴可心等, 2025; 徐静等, 2025）。例如，利用柞蚕的卵、幼虫或蛹作为中间寄主，成功培育了赤眼蜂、旋小蜂、姬小蜂、跳小蜂等多种寄生蜂，大幅提升了天敌昆虫的繁殖效率（徐静等, 2025）。研究表明，营养补充（如补充葡萄糖、蔗糖等糖源）可显著延长夜蛾黑卵蜂等成蜂寿命，并提高其繁殖力以及子代羽化率和性比等其他生物学特征（井晓宇等, 2024; 邓璇璇等, 2025）。

在寄生蜂规模化生产方面，针对多种重要农林害虫，我国已建立了相应的寄生蜂规模化繁殖体系。例如，利用柞蚕卵繁殖荔蝽平腹小蜂 *Anastatus japonicus*、用米蛾卵繁殖赤眼蜂等技术已相对成熟（赵灿等, 2020; Zang *et al*., 2021）。在自动化与工厂化生产方面，自动化生产设备的研发推动了寄生蜂的工厂化繁育。目前国内已发布多项针对寄生蜂类天敌的规模化繁殖与利用的技术标准和规范，涵盖繁育流程、产品质量、储存运输及田间应用等关键环节。例如《天敌昆虫室内饲养方法准则》（NY/T 2063）规定了多种天敌昆虫（包括赤眼蜂、蚜茧蜂等）的基础饲养条件，如温度、湿度、光照、寄主种类等，适用于实验室及中小规模扩繁，为后续规模化生产提供技术基础（农业农村部, 2011）；《烟蚜茧蜂防治烟蚜技术规程》（GB/T 37506-2019）明确了烟蚜茧蜂的规模化繁殖技术、系统规范了繁育设施建设、寄主植物培育、僵蚜产品储运、田间释放标准等全流程技术要求（全国烟草标准化技术委员会, 2019）；北京市地方标准《寄生蜂类天敌繁育与应用技术规范》，进一步覆盖赤眼蜂、蚜茧蜂等多种寄生蜂的工厂化生产技术，填补了寄生蜂类天敌繁育和释放标准的空白（北京市市场监督管理局, 2025）。广东省团体标准《阿里食虱跳小蜂规模化繁育及应用技术规程》规范了以柑橘木虱 *Diaphorina citri* 为中间宿主的繁殖流程，包括宿主饲养、接种、产品包装与运输等环节，这些标准的发布为寄生蜂的工厂化生产、质量控制和科学应用提供了统一技术依据，将推动以虫治虫的绿色防控技术在农业与林业中的规模化应用（华南农业大学等, 2019）。

在精准释放技术方面，平腹小蜂在荔枝蝽象 *Tessaratoma papillosa* 产卵始盛期分两次释放，可获得高寄生率（赵灿等, 2020）。赤眼蜂通过改进繁育技术，已在玉米、水稻等作物上大规模应用，防治螟虫等害虫（李姝等, 2020; Zang *et al*., 2021）。联合释放控害方面，通过组合不同寄生蜂（如赤眼蜂与平腹小蜂、椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* 和椰甲截脉姬小蜂 *Asecodes hispinarum*）、或寄生蜂与捕食性天敌（如东亚小花蝽 *Orius sauteri* 与丽蚜小蜂 *Encarsia formosa*）协同释放，显著提升了对椰心叶甲 *Brontispa longissima*、烟粉虱 *Bemisia tabaci* 等害虫的防控效果（窦文珺等, 2020; Zhang *et al*., 2025）。

在释放设备及储运方面，研发了多种田间释

放装置和方法，如蜂卡、蜂袋和无人机释放技术，大大提高了释放效率和防治效果。低温贮藏技术的优化也显著延长了寄生蜂的保存时间，确定了多种寄生蜂（如松褐天牛肿腿蜂 *Sclerodermus alternatusi*、烟蚜茧蜂、台湾甲腹茧蜂 *Chelonus formosanus*、印度实蝇姬小蜂 *Aceratoneuromyia indica*、夜蛾黑卵蜂等）的最佳低温贮存温度与时间，为规模化生产与运输提供了技术保障（唐艳龙等, 2022; 王录超等, 2023a; 贾平凡等, 2024; 李传瑛等, 2024）。

在自然天敌的保护和利用方面，也即生态调控方面，通过提高田间功能植物等生态多样性，为寄生蜂提供栖息、繁殖、越冬越夏、转移、庇护等场所及替代寄生等食物和蜜源等补充营养，进而提高寄生蜂存活、繁衍和防控效果。有研究表明通过设计种植，田间配置功能植物或种植蜜源等措施，能增加赤眼蜂、稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae*、二化螟盘绒茧蜂 *Cotesia chilonis*、红颈常室茧蜂等寄生蜂的的寿命和繁殖力，对寄生蜂的控害能力也有促进作用（Wang *et al*., 2022b; Xia *et al*., 2023; Zhu *et al*., 2023a; Xu *et al*., 2024）。此外，寄生蜂与微生物制剂（如白僵菌）联合应用也取得良好防治效果（Wang *et al*., 2021c, 2024a）。在此基础上，出现一种利用寄生蜂资源的新思路，不再仅仅局限于人工繁育后野外释放，而是可以直接“借用”其高效的特异性毒液蛋白，将其作为增强其他生物防治制剂（如真菌、病毒、细菌）效力的“武器库”（Zeng *et al*., 2023）。

6 总结与展望

21 世纪以来，我国寄生蜂研究在分类学、生物学、生态学、生理学、遗传学、分子生物学及生物防治应用等方面取得了显著进展。本文重点梳理了近 5 年的研究，特别是在寄生蜂调控寄主分子机制研究和田间应用技术等方面取得了突破性进展。尽管寄生蜂研究已取得显著进展，但在其深入利用与长期保护方面仍面临诸多挑战。在基础分类上，仍有大量种类尚未被发现和描述，分类系统需持续修订，且不同类群研究发展不平衡，制约了物种鉴定与系统研究的深入。在资源发掘上，仍有许多寄生蜂种类的寄主不明，许多植食昆虫或害虫的寄生性天敌不明，仍需持续调查研究。许多寄生蜂的生物学和生态学特性尚未系统掌握，在滞育调控、群体遗传结构、与寄主互作的分子机制等关键问题研究不足，限制了防治潜力的精准挖掘。尤其在滞育调控机制研究方面尚存不足，这一领域的突破对实现天敌产品长期储存和种群延续至关重要。同时，遗传改良工作滞后，包括基因编辑和品系选育在内的现代育种技术尚未广泛应用于培育抗逆性强、寄生效率高的新品系。技术方面，大量有潜力类群仍未突破人工繁殖瓶颈，田间释放后的定殖效果与持续控害能力亦有待提升。同时，生境碎片化、农药使用及气候变化等外部压力日益凸显，其对寄生蜂种群的具体影响机制与程度尚缺乏系统评估，亟需加强相关应对策略研究。

为系统推进寄生蜂的研究、保护与应用，我国正着力建立国家寄生蜂种质资源库，以全面保存各类寄生蜂的遗传资源。在分类学方面，进一步发展协调应用形态学、分子生物学与生态学证据的整合分类方法，逐步完善寄生蜂分类体系。在机制解析方面，积极利用单细胞测序、基因编辑等前沿技术，深入揭示寄生蜂的发育与进化机制。加强寄生蜂滞育生理与调控机制研究，探索通过环境因子或激素调控实现天敌产品的长期保鲜和适时复苏，突破应用瓶颈。在技术应用层面，针对重要农林害虫，持续筛选高效优势寄生蜂种类，推动寄生蜂的遗传改良与智能设计研究，利用现代分子生物学技术，定向改良寄生蜂的性状，培育适应气候变化、抗药性、寄主范围优化的新一代天敌品系。同时，不断优化其人工繁殖与田间释放技术。在生态调控维度上，发展基于景观生态学的保护利用策略，通过合理规划农业景观和科学设计种植，创制有利于寄生蜂存活和繁殖的生态环境，提升寄生蜂控害效果，并探索其与其他生物防治措施的协同模式，逐步构建智能集成的、多纬度的害虫生态防控技术体系。此外，为应对日益严峻的气候变化，亟需加强相关研究，系统评估温度升高、CO_2 浓度增加

等因子对寄生蜂生物学特性、种群动态及控害功能的影响，并着力筛选耐高温、适应气候变化的寄生蜂品系，为未来气候情况下的生物防治储备关键种质资源。

大量研究也发现农业生态系统中寄生蜂多样性正面临严重威胁，需要采取紧急保护措施。未来需要进一步加强基础研究，突破技术瓶颈，拓展应用领域，使寄生蜂在农业可持续发展中发挥更大作用。通过多学科交叉合作、技术创新和 AI 融合，我国寄生蜂研究有望在未来取得更多突破性成果，为害虫生态防控提供科技支撑，保障国家粮食安全和生态安全。

参考文献 (References)

Aung KMM, Chen HH, Segar ST, Miao BG, Peng YQ, Liu C, 2022. Changes in temperature alter competitive interactions and overall structure of fig wasp communities. *Journal of Animal Ecology*, 91(6): 1303–1315.

Bao KX, Rouzi·Maimaitijiang, Zhuang YT, Dang YQ, Wang XY, 2025. Effects of substitute host conditions and rearing space on the reproduction of *Anastatus orientalis*. *Plant Protection*, 51(4): 194–201, 209. [暴可心, 买买提江·肉孜, 庄宇彤, 党英侨, 王小艺, 2025. 替代寄主状态及饲养空间对东方平腹小蜂繁殖的影响. 植物保护, 51(4): 194–201, 209.]

Beijing Municipal Administration for Market Regulation, 2025. DB11/T 2436. Technical specification for breeding and application of parasitic wasps as natural enemies. Beijing: Beijing Municipal Administration for Market Regulation. [北京市市场监督管理局, 2025. DB11/T 2436. 寄生蜂类天敌繁育与应用技术规范. 北京: 北京市市场监督管理局.]

Chen XH, He CB, Tang LD, Cai T, Zhao HY, 2025. Parasitic behavior and functional response of *Chelonus formosanus*. *Journal of Environmental Entomology*, 47(1): 1–9. [陈晓菡, 何昌本, 唐良德, 蔡廷, 赵海燕, 2025. 台湾甲腹茧蜂寄生行为及寄生功能反应. 环境昆虫学报, 47(1): 1–9.]

Chen YS, Wang PZ, Shu XH, Wang ZZ, Chen XX, 2023. Morphology and ultrastructure of the female reproductive apparatus of an asexual strain of the endoparasitoid *Meteorus pulchricornis* (Wesmael) (Hymenoptera, Braconidae). *Biology*, 12(5): 713.

Cheng SH, Lin RH, Yu CH, Sun R, Jiang H, 2021. Toxic effects of seven pesticides to aphid parasitoid, *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae) after contact exposure. *Crop Protection*, 145: 105634.

Deng XX, Fang BH, Liu SQ, Kuang W, 2025. Effects of different sugar sources on the longevity and reproductive function of *Trichogramma japonicum*. *China Plant Protection*, 45(5): 5–9. [邓璇璇, 方宝华, 刘双清, 匡炜, 2025. 不同糖源对稻螟赤眼蜂寿命和生殖功能的影响. 中国植保导刊, 45(5): 5–9.]

Dou WJ, Yang SW, Liu Q, Chen GH, Zhang XM, 2020. Progress in the control of predatory and parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* in China. *Journal of Environmental Entomology*, 42(2): 342–354. [窦文珺, 羊绍武, 柳青, 陈国华, 张晓明, 2020. 我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展. 环境昆虫学报, 42(2): 342–354.]

Fu KY, Li AM, Ding XH, Jia ZZ, Ahmat·Tuerxun, Rouzi·Aerziguli, Feng HZ, Li XW, Guo WC, 2023. The effect of different ecological factors on *Trichogramma pintoi* (Voegelé) parasitizing eggs of tomato leafminer, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick). *Chinese Journal of Biological Control*, 39(3): 507–513. [付开赟, 李爱梅, 丁新华, 贾尊尊, 吐尔逊·阿合买提, 阿尔孜姑丽·肉孜, 冯宏祖, 李晓维, 郭文超, 2023. 不同生态因子对暗黑赤眼蜂寄生番茄潜叶蛾卵的影响. 中国生物防治学报, 39(3): 507–513.]

Gao HS, Hu RM, Wang ZH, Ye XQ, Wu XT, Huang JH, Wang ZZ, Chen XX, 2023a. A polydnavirus protein tyrosine phosphatase negatively regulates the host phenoloxidase pathway. *Viruses*, 15(1): 56.

Gao XK, Xue H, Zhu XZ, Wang L, Zhang KX, Li DY, Ji JC, Liang JG, Luo JY, Cui JJ, 2023b. Parasitism by *Lysiphlebia japonica* alters the microbiome of *Aphis gossypii* offspring. *Entomologia Generalis*, 43(5): 991–999.

Gu QJ, Wu ZW, Zhou YN, Wang ZZ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2022. A teratocyte-specific serpin from the endoparasitoid wasp *Cotesia vestalis* inhibits the prophenoloxidase-activating system of its host *Plutella xylostella*. *Insect Molecular Biology*, 31(2): 202–215.

Guo CP, Li JY, Wu SB, Yang XY, Xu HY, 2025. Effects of short-term thermal stress on functional response and interspecific interaction of whitefly parasitoids. *Journal of Economic Entomology*, 118(3): 1195–1206.

Guo CF, Ahmed MZ, Ou D, Zhang LH, Lu ZT, Sang W, McKenzie CL, Shatters RG, Qiu BL, 2021. Parasitoid vectors a plant pathogen, potentially diminishing the benefits it confers as a biological control agent. *Communications Biology*, 4(1): 1331.

Guo H, Mo BT, Li GC, Li ZL, Huang LQ, Sun YL, Dong JF, Smith DP, Wang CZ, 2022. Sex pheromone communication in an insect parasitoid, *Campoletis chlorideae* Uchida. *Proceedings of the*

National Academy of Sciences of the United States of America, 119(49): e2215442119.

Guo H, Wang CZ, 2019. The ethological significance and olfactory detection of herbivore-induced plant volatiles in interactions of plants, herbivorous insects, and parasitoids. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(2): 161–179.

Hambäck PA, Janz N, Braga MP, 2024. Parasitoid speciation and diversification. *Current Opinion in Insect Science*, 66: 101281.

He C, Wang ZY, Zhang YJ, Zhang TT, 2024. First report of a parasitic wasp *Streblocera okadai* parasitizing *Monolepta hieroglyphica*. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(1): 229–234. [何灿, 王振营, 张永军, 张天涛, 2024. 首次发现一种双斑长跗萤叶甲寄生蜂——冈田长柄茧蜂. 中国生物防治学报, 40(1): 229–234.]

He C, Yang Y, Zhao XX, Li JJ, Cai YT, Peng LJ, Liu YY, Xiong SJ, Mei Y, Yan ZC, Wang JL, Xiao S, Teng ZW, Gao XK, Xue H, Fang Q, Ye GY, Ye XH, 2025. Large-scale genome analyses provide insights into Hymenoptera evolution. *Molecular Biology and Evolution*, 42(10): msaf221.

He JH, Tang P, 2024. Parasitic Wasps of Chinese Pine Caterpillars. Beijing: Science Press. 9. [何俊华, 唐璞, 2024. 中国松毛虫寄生蜂志. 北京: 科学出版社. 9.]

He PY, Li X, Liu TX, Zhang SZ, 2023. Effects of oviposition times and host larval instars on the biological characteristics of *Cotesia ruficrus* (Hymenoptera: Braconidae), an indigenous parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 66(8): 1095–1104. [何朋阳, 李贤, 刘同先, 张世泽, 2023. 产卵次数和寄主幼虫龄期对草地贪夜蛾寄生蜂螟蛉盘绒茧蜂生物学特性的影响. 昆虫学报, 66(8): 1095–1104.]

Hu NN, Wang ZZ, Chen XX, 2024. Advances in research on hymenopteran symbiotic microbiomes. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(6): 1143–1169. [胡娜娜, 王知知, 陈学新, 2024. 膜翅目昆虫共生微生物研究进展. 应用昆虫学报, 61(6): 1143–1169.]

Hu NN, Wang ZQ, Zhang SJ, Wang ZZ, Chen XX, 2024. Characterization of larval gut microbiota of two endoparasitoid wasps associated with their common host, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae). *Microbiology Spectrum*, 12(10): e0120824.

Hu WH, Ni K, Zhu Y, Liu SY, Shao XH, Yu ZR, Wang LY, Zhang R, Duan MC, Xu WH, 2025. Plant-driven effects of wildflower strips on natural enemy biodiversity and pest suppression in an agricultural landscape in Hangzhou, China. *Agronomy*, 15(6): 1286.

Huang GZ, Liu ZD, Zhang B, Sun JH, 2025a. Entomopathogen-associated volatiles enable parasitoid host discrimination via selective odorant receptor activation. *Entomologia Generalis*, 45(4): 1135–1145.

Huang JH, Chen JN, Fang GQ, Pang L, Zhou SC, Zhou YN, Pan ZQ, Zhang QC, Sheng YF, Lu YQ, Liu ZG, Zhang YX, Li GY, Shi M, Chen XX, Zhan S, 2021. Two novel venom proteins underlie divergent parasitic strategies between a generalist and a specialist parasite. *Nature Communications*, 12(1): 234.

Huang JH, Chen XX, Zhan S, 2025b. Molecular mechanisms underlying parasitoid-derived host manipulation strategies. *Annual Review of Entomology*, Doi: 10.1146/annurev-ento-121423-013603.

Jia JJ, Cai QJ, Huang WK, Feng Q, Lin ZF, Ji XC, 2025. Capacity of *Chelonus formosanus* to parasitize the eggs of *Spodoptera frugiperda*, and the morphology of the antennal sensilla of *C. formosanus* as revealed by scanning electron microscopy. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 62(2): 449–462. [贾静静, 蔡秋旧, 黄伟康, 冯青, 林珠凤, 吉训聪, 2025. 台湾甲腹茧蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力及其触角感器扫描电镜观察. 应用昆虫学报, 62(2): 449–462.]

Jia PF, Zhang XY, Huang XY, Lin J, Wang B, Ji QE, 2024. Effects of cold storage of parasitized host pupae on *Aceratoneuromyia indica* (Silvestri). *Chinese Journal of Biological Control*, 40(1): 12–19. [贾平凡, 张潇钰, 黄鑫越, 林嘉, 王波, 季清娥, 2024. 冷藏被寄生的寄主蛹对印度实蝇姬小蜂的影响. 中国生物防治学报, 40(1): 12–19.]

Jiang JT, Wu T, Deng J, Peng LF, 2022. A compositional heterogeneity analysis of mitochondrial phylogenomics in Chalcidoidea involving two newly sequenced mitogenomes of Eupelminae (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Genes*, 13(12): 2340.

Jiao XL, Jiang Z, Yang ZL, Jiang WN, Wang X, Lu Y, Lin H, Ruan CC, Peng Z, Zhang JJ, Hu Y, 2024. Insights into the composition and evolution of venom proteins collected from artificial host eggs in *Trichogramma dendrolimi*. *Entomologia Generalis*, 44(6): 1557–1568.

Jing XY, Zhou L, Li F, Zhang MS, Wang SN, Li YY, Zhang LS, 2024. Effects of supplementary different sugars on the longevity and fecundity of *Telenomus remus* adult. *Plant Protection*, 50(4): 143–153. [井晓宇, 周磊, 李菲, 张茂森, 王胜男, 李玉艳, 张礼生, 2024. 补充不同糖类对夜蛾黑卵蜂成蜂寿命及繁殖力的影响. 植物保护, 50(4): 143–153.]

Ju XY, Xue RR, Tong L, Liao L, Song YY, Zeng RS, Wang J, 2021. Influences of larval instars and food of *Spodoptera frugiperda* larvae on parasitism of *Microplitis palidpes*. *Chinese Journal of*

Biological Control, 37(6): 1126–1132. [巨学阳, 薛蓉蓉, 童璐, 廖露, 宋圆圆, 曾任森, 王杰, 2021. 草地贪夜蛾幼虫日龄及取食的食物对淡足侧沟茧蜂寄生效果的影响. 中国生物防治学报, 37(6): 1126–1132.]

Laikre L, Schwartz MK, Waples RS, Ryman N, Grp GW, 2010. Compromising genetic diversity in the wild: Unmonitored large-scale release of plants and animals. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(9): 520–529.

Li BY, Duan YG, Du ZY, Wang X, Liu SL, Feng ZB, Tian L, Song F, Yang HL, Cai WZ, Lin ZL, Li H, 2024a. Natural selection and genetic diversity maintenance in a parasitic wasp during continuous biological control application. *Nature Communications*, 15(1): 1379.

Li CY, Cai YJ, Su XN, Shen JM, Zhang ZF, Zhang YP, 2024. Effect of *Spodoptera litura* eggs on parasitism in *Telenomus remus* under different refrigerated conditions.*Guangdong Agricultural Sciences*, 51(8): 1–9. [李传瑛, 蔡瑜静, 苏湘宁, 申建梅, 张振飞, 章玉苹, 2024. 不同冷藏条件下斜纹夜蛾卵对夜蛾黑卵蜂寄生的影响. 广东农业科学, 51(8): 1–9.]

Li JM, An Z, Luo JY, Zhu XZ, Wang L, Zhang KX, Li DY, Ji JC, Niu L, Gao XK, Cui JJ, 2023. Parasitization of *Aphis gossypii* Glover by *Binodoxys communis* Gahan causes shifts in the ovarian bacterial microbiota. *Insects*, 14(4): 314.

Li JH, Li HQ, Yang F, Wu YK, Zhang JP, Lu YH, 2021. A molecular detection approach for assessing cotton aphid-primary parasitoid-hyperparasitoid food webs in Xinjiang, China. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 970–979. [李金花, 李海强, 杨帆, 吴月坤, 张建萍, 陆宴辉, 2021. 新疆棉花蚜虫-寄生蜂食物网结构的分子检测体系. 植物保护学报, 48(5): 970–979.]

Li JJ, Wang F, Yao HW, Ye GY, 2018. Research advances on RNA viruses in parasitoid wasps. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(6): 914–922. [李晶晶, 王飞, 姚洪渭, 叶恭银, 2018. 寄生蜂 RNA 病毒研究进展. 中国生物防治学报, 34(6): 914–922.]

Li S, Zhuang JX, Hang DL, Li ZH, Ouyang C, Wang J, Zhu XM, Zhang F, 2020. Releasing density and height on control effect of *Trichogramma japonicum* on rice borers in paddy field. *Journal of Environmental Entomology*, 42(2): 294–298. [李姝, 庄家祥, 杭德龙, 李子红, 欧阳承, 王杰, 朱晓明, 张帆, 2020. 不同释放密度和高度对稻螟赤眼蜂防控两种水稻螟虫效果的影响. 环境昆虫学报, 42(2): 294–298.]

Li WW, Wang DH, Liu ZL, Li W, Ning DK, Luo R, Zhan YG, Shi AM, Wang CY, Xie YH, 2024. Effects of domestication of factitious host *Corcyra cephalonica* eggs on related biological parameters of egg parasitoid *Telenomus remus*. *Journal of Plant Protection*, 51(3): 578–584. [李维薇, 王德海, 刘正玲, 李伟, 宁德凯, 罗嵘, 詹莜国, 史爱民, 王春娅, 谢永辉, 2024. 替代寄主米蛾卵驯化对夜蛾黑卵蜂相关生物学参数的影响. 植物保护学报, 51(3): 578–584.]

Li ZX, Ji MQ, Zhang C, Yang YB, Chen ZZ, Zhao HP, Xu YY, Kang ZW, 2022. The influence of host aphids on the performance of *Aphelinus asychis*. *Insects*, 13(9): 13090795.

Li ZX, Jing SZ, Wang D, Song ZC, An BY, Wang SG, Liu FH, Di N, Aradottir GI, Sun JH, Tan XL, Qu C, Kang ZW, 2024b. Plant volatile methyl salicylate primes wheat defense against the grain aphid by altering the synthesis of defense metabolites. *Plant Cell and Environment*, Doi: 10.1111/pce.15351.

Liang YX, Guo JY, Wang QJ, Zhang YB, Zhang GF, Yang NW, Zhou Q, Liu WX, 2023. Research progress on biological control of *Tuta absoluta*. *Journal of Tropical Biology*, 14(1): 88–104. [梁永轩, 郭建洋, 王绮静, 张毅波, 张桂芬, 杨念婉, 周琼, 刘万学, 2023. 番茄潜叶蛾生物防治研究进展. 热带生物学报, 14(1): 88–104.]

Lin DM, Wu YZ, Huang LT, Li ZY, Lu YY, Chen KW, 2023. Population growth potential of four parasitoids on *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) eggs and interspecific competition between two dominant parasitoid species. *Journal of Environmental Entomology*, 45(6): 1633–1644. [林丹敏, 吴颜洲, 黄乐婷, 李子园, 陆永跃, 陈科伟, 2023. 4 种寄生蜂在草地贪夜蛾卵上的种群增长潜能及优势蜂种间竞争. 环境昆虫学报, 45(6): 1633–1644.]

Liu TT, Zhang YS, Sun SC, Xi XQ, 2025. Competitive superiority switches between larval and adult stages reducing the fitness difference between competing parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 173(2): 166–173.

Lu JY, Luo X, Chai J, Li ZX, Shu XH, Ye XQ, Li HM, Zhang H, Zhan YG, Tang P, Chen XX, 2025. Morphology and development of immature stages of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae), an important endoparasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 118(2): 137–144.

Lu MX, Zhu CX, Zhu F, Li QY, Hang SB, Du YZ, 2022. Investigation on the species of parasitic wasps in the overwintering larvae of *Sesamia inferens* (Walker) and analysis of the overwintering dynamics of the key parasitic wasps. *Journal of Environmental Entomology*, 44(4): 808–814. [陆明星, 朱晨旭, 朱凤, 李秋雨, 杭三保, 杜予州, 2022. 水稻大螟越冬幼虫寄生蜂种类调查与主要寄生蜂越冬动态分析. 环境昆虫学报, 44(4): 808–814.]

Luo SP, Lu YH, Li HM, Zhang F, Wu KM, 2012. Control potential

of *Peristenus* against *Apolygus lucorum*. The 50th Anniversary Celebration of China Society of Plant Protection and 2012 Academic Annual Conference. Beijing: 516. [罗淑萍, 陆宴辉, 李红梅, 张峰, 吴孔明, 2012. 红颈常室茧蜂对绿盲蝽的控制潜能. 中国植物保护学会成立 50 周年庆祝大会暨 2012 年学术年会. 北京: 516.]

Luo ZY, Gao LP, Li WJ, Chen JH, Ali MY, Zhang F, Li FQ, Wang XP, Zhang JP, 2025. Assessing the lethal effects of pesticide residue exposure on beneficial parasitoids and their host, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 118(1): 242–252.

Mei WH, Li H, Fan R, Zhu WY, Wang Y, Ma RY, Zhang Y, 2024. Searching and parasitic behavior of *Trichogramma chilonis* on vacuum-packed and refrigerated rice moth egg. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(6): 1422–1429. [梅文浩, 李欢, 范睿, 朱文雅, 王怡, 马瑞燕, 张烨, 2024. 螟黄赤眼蜂对真空保鲜米蛾卵的搜寻和寄生行为研究. 中国生物防治学报, 40(6): 1422–1429.]

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2011. NY/T 2063. Guidelines for indoor rearing methods of natural enemy insects. Beijing: China Agriculture Press. [农业农村部, 2011. NY/T 2063. 天敌昆虫室内饲养方法准则. 北京: 中国农业出版社.]

Munawar A, Zhang YD, Zhong J, Ge Y, Abou El-Ela AS, Mao ZY, Ntiri ES, Mao LJ, Zhu ZR, Zhou WW 2022. Heat stress affects potato's volatile emissions that mediate agronomically important trophic interactions. *Plant Cell and Environment*, 45(10): 3036–3051.

National Tobacco Standardization Technical Committee, 2019. GB/T 37506. Technical regulations for controlling *Myzus persicae* with *Aphidius gifuensis*. Beijing: State Tobacco Monopoly Administration. [全国烟草标准化技术委员会, 2019. GB/T 37506. 烟蚜茧蜂防治烟蚜技术规程. 北京: 国家烟草专卖局.]

Pang L, Fang GQ, Liu ZG, Dong Z, Chen JN, Feng T, Zhang QC, Sheng YF, Lu YQ, Wang Y, Zhang YX, Li GY, Chen XX, Zhan S, Huang JH, 2024. Coordinated molecular and ecological adaptations underlie a highly successful parasitoid. *eLife*, 13: RP94748.

Qian YK, Zhan YY, Wang J, Zhang ST, Gao SL, Liu ZL, Zhao Y, Zhang JJ, 2025. Parasitic behavior of *Eretmocerus hayati* on *Bemisia tabaci* MED and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Environmental Entomology*, https://link.cnki.net/urlid/44.1640.Q.20250730.1119.004 [钱胤凯, 战雅亿, 王晶, 章思腾, 高树立, 刘柱良, 赵悦, 张俊杰, 2025. 海氏桨角蚜小蜂对 MED 烟粉虱与温室白粉虱的寄生行为. 环境昆虫学报, https://link.cnki.net/urlid/44.1640.Q.20250730.1119.004]

Shi JM, Jin HX, Wang F, Stanley DW, Wang H, Fang Q, Ye GY, 2022. The larval saliva of an endoparasitic wasp, *Pteromalus puparum*, suppresses host immunity. *Journal of Insect Physiology*, 141: 104425.

Shi M, Tang P, Wang ZZ, Huang JH, Chen XX, 2020. Review of research on parasitoids and their use in biological control in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 491–548. [时敏, 唐璞, 王知知, 黄健华, 陈学新, 2020. 中国寄生蜂研究及其在害虫生物防治中的应用. 应用昆虫学报, 57(3): 491–548.]

Song Y, Gu FM, Zhou WH, Li P, Wu FA, Sheng S, 2022. Parasitoid wasps can manipulate host trehalase to the benefit of their offspring. *Insects*, 13(9): 833.

South China Agricultural University, Guangzhou Helitian Biotechnology Co., Ltd., Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education, Qujiang District Tianyuan Agricultural Technology Co., Ltd., 2019. T/GDP 005. Technical regulations for mass rearing and application of *Anagyrus alitae*. Guangzhou: Guangdong Pesticide Association. [华南农业大学, 广州禾立田生物科技有限公司, 生物防治教育部工程研究中心, 韶关市曲江区田园农业科技有限公司, 2019. T/GDP 005. 阿里食虱跳小蜂规模化繁育及应用技术规程. 广州: 广东省农药协会.]

Strand MR, Coffman KA, Burke GR, 2025. Large DNA viruses that parasitoid wasps transmit to hosts. *Annual Review of Entomology*, Doi: 10.1146/annurev-ento-121423-013425.

Sun XX, Jiang YJ, Wang F, Zhang LS, 2025. Research progress and prospects of DNA barcoding in parasitic wasps. *Chinese Journal of Biological Control*, 41(2): 473–491. [孙星星, 蒋颖洁, 王凡, 张礼生, 2025. 寄生蜂 DNA 条形码研究进展与展望. 中国生物防治学报, 41(2): 473–491.]

Tai HK, Zhang F, Xiao C, Tang R, Liu Z, Bai SX, Wang ZY, 2022. Toxicity of chemical pesticides commonly used in maize to *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an egg parasitoid of Asian corn borer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241: 113802.

Tang P, Wang ZZ, Wu Q, Liu YQ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2019. The natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and their application in biological control programs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 370–381. [唐璞, 王知知, 吴琼, 刘银泉, 时敏, 黄健华, 陈学新, 2019. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用. 应用昆虫学报, 56(3): 370–381.]

Tang YL, Wang LN, Dai HL, He JM, Kang K, Zhang YL, Cao LM, 2022. Effects of low temperature storage duration on breeding of

Sclerodermus alternatusi Yang (Hymenoptera: Bethylidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 38(5): 1361–1366. [唐艳龙, 王丽娜, 戴慧玲, 何久梅, 康奎, 张彦龙, 曹亮明, 2022. 低温储存时长对松褐天牛肿腿蜂繁育效果的影响. 中国生物防治学报, 38(5): 1361–1366.]

Tao YX, Shan S, Dewer Y, Wang SN, Khashaveh A, Li RJ, Zhang YJ, 2024. N-octyl acrylate is a candidate sex pheromone component involved in courtship in parasitoid wasp*Microplitis mediator*. *Insect Science*, 31(4): 1200–1210.

Tian ZQ, Wang YY, Sun T, Hu XY, Hao WT, Zhao T, Wang YN, Zhang L, Jiang XF, Turlings TCJ, Li YH, 2025. An egg parasitoid assesses host egg quality from afar using oviposition-induced plant volatiles. *Current Biology*, 35(13): 3001–3010.

Wan B, Yang L, Zhang J, Qiu LM, Fang Q, Yao HW, Poirié M, Gatti JL, Ye GY, 2020. The venom of the ectoparasitoid wasp *Pachycrepoideus vindemiae* (Hymenoptera: Pteromalidae) induces apoptosis of *Drosophila melanogaster* hemocytes. *Insects*, 11(6): 363.

Wang AY, Peng YQ, Cook JM, Yang DR, Zhang DY, Liao WJ, 2023a. Host insect specificity and interspecific competition drive parasitoid diversification in a plant-insect community. *Ecology*, 104(7): e4062.

Wang CX, Jin FL, De Mandal S, Zeng L, Zhang YX, Hua YY, Hong YY, Zhao C, Li JZ, Li DS, Xu XX, 2020. Insights into the venom protein components of the egg parasitoid *Anastatus japonicus* (Hymenoptera: Eupelmidae). *Pest Management Science*, 76(6): 2113–2126.

Wang F, Yuan B, Xiao S, Zhang J, Jia WX, Fang Q, Wang F, Song QS, Ye GY, 2021a. Diverse RNA viruses discovered in three parasitoid wasps of the rice weevil *Sitophilus oryzae*. *Msphere*, 6(3): e00331–e00321.

Wang J, Huang HX, Trumble JT, Wang CX, Zhu ZY, Zang LS, Desneux N, Di N, Li YX, 2025a. Ecological risks of cadmium-contaminated non-prey food on three *Trichogramma* egg parasitoids. *Journal of Pest Science*, 98(3): 1519–1527.

Wang JJ, Liu PC, Wang JG, Luan QS, Jiang X, Cao CW, 2022a. Morphology and distribution of antennal sensilla in an egg parasitoid wasp, *Anastatus disparis* (Hymenoptera: Eupelmidae). *Journal of Insect Science*, 22(6): 6.

Wang J, Mason CJ, Ju XY, Xue RR, Tong L, Peiffer M, Song YY, Zeng RS, Felton GW, 2021b. Parasitoid causes cascading effects on plant-induced defenses mediated through the gut bacteria of host caterpillars. *Frontiers in Microbiology*, 12: 708990.

Wang K, Wu GC, Ma Q, Yang L, Wu CY, Zhu JY, 2025b. Unraveling the venom constituents of the endoparasitoid *Aphidius gifuensis* with an emphasis on the discovery of a novel insecticidal peptide. *Pest Management Science*, 81(3): 1603–1614.

Wang LZ, Wang ZH, Xie S, Wang PZ, Ye XQ, Huang JH, Wang ZZ, Chen XX, 2025c. Integration of transcriptomic and proteomic data uncovers the nutritional requirement of the immature development of an endoparasitoid wasp. *Scientific Reports*, 15(1): 17744.

Wang L, Huang L, Cheng XC, Ma XH, Yang J, Huai WX, Lin RZ, Zhang HY, Yao YX, 2025d. Genetic diversity and genetic differentiation pattern of an endoparasitoid parasitizing the invasive gall midge across China.*Journal of Economic Entomology*, 118(3): 1061–1071.

Wang LC, Lin ZF, Jia JJ, Ji XC, 2023a. Effects of cold storage of the 7-day-old pupae on the biological characters of *Chelonus formosanus* (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 66(6): 797–804. [王录超, 林珠凤, 贾静静, 吉训聪, 2023a. 低温贮藏7日龄蛹对台湾甲腹茧蜂生物学特性的影响. 昆虫学报, 66(6): 797–804.]

Wang LC, Lin ZF, Jia JJ, Yu ZR, Ji XC, 2023b. Factors affecting mating in *Chelonus formosanus* Sonan. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(4): 774–781. [王录超, 林珠凤, 贾静静, 余姿蓉, 吉训聪, 2023b. 不同因子对台湾甲腹茧蜂交配的影响. 中国生物防治学报, 39(4): 774–781.]

Wang MQ, Guo SK, Guo PF, Yang JJ, Chen GA, Chesters D, Orr MC, Niu ZQ, Staab M, Chen JT, Li Y, Zhou QS, Fornoff F, Shi XY, Li S, Martini M, Klein AM, Schuldt A, Liu XJ, Ma KP, Bruelheide H, Luo AR, Zhu CD, 2025e. Multidimensionality of tree communities structure host-parasitoid networks and their phylogenetic composition. *eLife*, 13: RP100202.

Wang P, Li MJ, Bai QR, Ali A, Desneux N, Dai HJ, Zang LS, 2021c. Performance of *Trichogramma japonicum* as a vector of *Beauveria bassiana* for parasitizing eggs of rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*. *Entomologia Generalis*, 41(2): 147–155.

Wang P, Xu YF, Li HR, Lin R, Zheng GX, Zhang JJ, Monticelli LS, Ramirez-Romero R, Desneux N, Liang CY, Wang M, Li ZY, Zhang QY, Hu Y, 2024a. Performance of *Encarsia formosa* as a vector of entomopathogenic fungi for controlling *Bemisia tabaci* MED. *Entomologia Generalis*, 44(5): 1275–1282.

Wang RZ, Chen X, Tariq T, Lv RE, Chen YM, Zang LS, 2024b. Parasitic behaviour and developmental morphology of *Anastatus japonicus* reared on the factitious host *Antheraea pernyi*. *Bulletin of Entomological Research*, 114(5): 663–673.

Wang RJ, Lin Z, Zhou LZ, Chen CH, Yu XH, Zhang JJ, Zou Z, Lu ZQ, 2023b. Rho 1 participates in parasitoid wasp eggs

maturation and host cellular immunity inhibition. *Insect Science*, 30(3): 677–692.

Wang XF, Chen M, Bai JW, Liu XX, Li HP, 2020. Parasitization of the mulberry longhorn beetle *Apriona germari* by *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethylidae) in laboratory and field trials. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(3): 335–339. [王雪菲, 陈孟, 白嘉伟, 刘鑫鑫, 李会平, 2020. 管氏肿腿蜂对桑天牛幼虫的寄生行为及防治效果. 中国生物防治学报, 36(3): 335–339.]

Wang YS, Gao P, Zheng J, Li HR, Meng L, Li BP, 2023c. Effects of parasitism by a parasitoid wasp on the gut microbiota in a predaceous lady beetle host. *Pest Management Science*, 79(11): 4501–4507.

Wang Y, Li TH, Wang XY, Zang LS, 2023. Recent advances in parasitism ecology, mass production and applications of *Trichogramma* in China. *Plant Protection*, 49(5): 399–409. [王勇, 李天昊, 王汐亚, 臧连生, 2023. 中国赤眼蜂寄生生态学与工厂化繁殖应用新进展. 植物保护, 49(5): 399–409.]

Wang ZH, Ye XQ, Wu XT, Wang ZZ, Huang JH, Chen XX, 2023d. A new gene family (BAPs) of *Cotesia* bracovirus induces apoptosis of host hemocytes. *Virulence*, 14(1): 2171691.

Wang ZH, Zhou YN, Yang J, Ye XQ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2021d. Genome-wide profiling of *Diadegma semiclausum* ichnovirus integration in parasitized *Plutella xylostella* hemocytes identifies host integration motifs and insertion sites. *Frontiers in Microbiology*, 11: 608346.

Wang ZH, Zhou YN, Ye XQ, Wu XT, Yang P, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2021e. CLP gene family, a new gene family of *Cotesia vestalis* bracovirus inhibits melanization of *Plutella xylostella* hemolymph. *Insect Science*, 28(6): 1567–1581.

Wang ZH, Ye XQ, Zhou YN, Wu XT, Hu RM, Zhu JC, Chen T, Huguet E, Shi M, Drezen JM, Huang JH, Chen XX, 2021f. Bracoviruses recruit host integrases for their integration into caterpillar's genome. *PLoS Genetics*, 17(9): e1009751.

Wang ZZ, Liu YQ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2019. Parasitoid wasps as effective biological control agents. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(4): 705–715.

Wang ZZ, Tang P, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2022b. Flowering plants and entomophagous arthropods in the agricultural landscape: A practise-oriented summary of a complex relationship. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 9(1): 63–75.

Wang ZZ, Ye K, Tong ZY, Lü ZX, Zhang WQ, Zhu ZR, Chen XX, 2025. Natural enemies and their applications in the biological control of major rice pest. *Plant Protection*, 51(5): 238–256. [王知知, 叶侃, 童正语, 吕仲贤, 张文庆, 祝增荣, 陈学新, 2025. 天敌昆虫及其在水稻重大害虫控制中的应用. 植物保护, 51(5): 238–256.]

Wu YX, Yan SQ, Lyu BQ, Tang JH, Zhou XJ, Song YY, Wang CT, 2024. Evaluation on the potential of *Habrobracon hebetor* to control *Chilo suppressalis*. *China Plant Protection*, 44(6): 51–55. [吴玉新, 闫三强, 吕宝乾, 唐继洪, 周晓娟, 宋瑶瑶, 王重添, 2024. 麦蛾柔茧蜂防控二化螟潜能评估. 中国植保导刊, 44(6): 51–55.]

Wu XT, Wu ZW, Ye XQ, Pang L, Sheng YF, Wang ZH, Zhou YN, Zhu JC, Hu RM, Zhou SC, Chen JN, Wang ZZ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2022. The dual functions of a bracovirus C-type lectin in caterpillar immune response manipulation. *Frontiers in Immunology*, 13: 877027.

Wu ZW, Wu XT, Wang ZZ, Ye XQ, Pang L, Wang YP, Zhou YN, Chen T, Zhou SC, Wang ZH, Sheng YF, Zhang QC, Chen JN, Tang P, Shen XX, Huang JH, Drezen JM, Strand MR, Chen XX, 2025. A symbiotic gene stimulates aggressive behavior favoring the survival of parasitized caterpillars. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 122(18): e2422935122.

Wu ZW, Yuan RZ, Gu QJ, Wu XT, Gu LC, Ye XQ, Zhou YN, Huang JH, Wang ZZ, Chen XX, 2023. Parasitoid serpins evolve novel functions to manipulate host homeostasis. *Molecular Biology and Evolution*, 40(12): msad269.

Xia SK, Zhang T, Williams L 3rd, Yang YZ, Lu YH, 2023. Buckwheat flower volatiles attract *Peristenus spretus* and enhance its field-level parasitism of *Apolygus lucorum*. *Plants*, 12(8): 1658.

Xiao DZ, Liu JH, Liu YL, Wang YW, Zhan YD, Liu Y, 2022. Exogenous application of a plant elicitor induces volatile emission in wheat and enhances the attraction of an aphid parasitoid *Aphidius gifuensis*. *Plants-Basel*, 11(24): 3496.

Xiao ZT, Xu X, Liang QL, Zhu CY, He XY, Hu RL, He YR, Wang DS, 2024. Wolbachia titers are relate to sex determination of *Trichogramma pretiosum*. *Journal of Pest Science*, 97(4): 1879–1888.

Xie YH, Wang CY, Chen YQ, Shi PL, Zhan YG, Wang ZJ, Wu ZM, Wu GX, Shi AM, 2021. A preliminary study of mass rearing *Telenomus remus* Nixon on *Spodoptera litura*. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(6): 1146–1151. [谢永辉, 王春娅, 陈雅琼, 石萍丽, 詹莜国, 王志江, 吴志美, 吴国星, 史爱民, 2021. 利用斜纹夜蛾规模化繁育夜蛾黑卵蜂的初步研究. 中国生物防治学报, 37(6): 1146–1151.]

Xiong B, Li ZJ, Tang RX, Liu XX, Mao G, Li Z, 2022. Impacts of high temperature on the development and parasitic capacity of

pine caterpillar minute egg parasite *Trichogramma dendrolimi*. *Journal of Plant Protection*, 49(2): 637–643. [熊博, 李卓峻, 唐润轩, 刘小侠, 毛刚, 李贞, 2022. 高温对松毛虫赤眼蜂发育和寄生能力的影响. 植物保护学报, 49(2): 637–643.]

Xu HY, Li YS, Fang HB, Liu XX, Zhang SD, Chen QM, Li Z, 2024. Supplementary sugars enhance the production efficiency and parasitism performance of the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Economic Entomology*, 117(5): 1729–1738.

Xu J, Zhou H, Chen YM, Zang LS, 2025. Recent advances in mass rearing and field application of parasitoid wasps with *Antheraea pernyi* as intermediate hosts. *Journal of Environmental Entomology*, 47(4): 1001–1014. [徐静, 周航, 陈永明, 臧连生, 2025. 基于柞蚕为中间寄主的寄生蜂繁育与应用新进展. 环境昆虫学报, 47(4): 1001–1014.]

Xu ZY, Lu ZY, Yang XF, Ran HF, Li JC, Li WX, 2021. Effects of temperature and photoperiod on parasitism of *Microplitis tuberculifer* on *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(6): 1133–1139. [徐子英, 路子云, 杨小凡, 冉红凡, 李建成, 李文香, 2021. 温度和光周期对管侧沟茧蜂寄生草地贪夜蛾效果的影响. 中国生物防治学报, 37(6): 1133–1139.]

Yan HY, Guo HG, Sun YC, Ge F, 2020. Plant phenolics mediated bottom-up effects of elevated CO_2 on *Acyrthosiphon pisum* and its parasitoid *Aphidius avenae*. *Insect Science*, 27(1): 170–184.

Yan SC, Wu HF, Zheng L, Tan MT, Jiang D, 2023a. Cadmium (Cd) exposure through *Hyphantria cunea* pupae reduces the parasitic fitness of *Chouioia cunea*: A potential risk to its biocontrol efficiency. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(10): 3103–3114.

Yan ZC, Qi LD, Ji HL, Wang XX, Hong XY, Li YX, 2024. Frequent intertrophic transmission of *Wolbachia* by parasitism but not predation. *eLife*, 13: RP97872.

Yan ZC, Fang Q, Song JQ, Yang L, Xiao S, Wang JL, Ye GY, 2023b. A serpin gene from a parasitoid wasp disrupts host immunity and exhibits adaptive alternative splicing. *PLoS Pathogens*, 19(9): e1011649.

Yang F, Liu B, Zhu YL, Wyckhuys KAG, van der Werf W, Lu YH, 2021. Species diversity and food web structure jointly shape natural biological control in agricultural landscapes. *Communications Biology*, 4(1): 979.

Yang L, Qiu LM, Fang Q, Wu SY, Ye GY, 2022. A venom protein of ectoparasitoid *Pachycrepoideus vindemiae*, PvG6PDH, contributes to parasitism by inhibiting host glucose-6-phosphate metabolism. *Insect Science*, 29(2): 399–410.

Yang L, Yang Y, Liu MM, Yan ZC, Qiu LM, Fang Q, Wang F, Werren JH, Ye GY, 2020. Identification and comparative analysis of venom proteins in a pupal ectoparasitoid, *Pachycrepoideus vindemmiae*. *Frontiers in Physiology*, 11: 9.

Ye XH, Yang Y, Zhao XX, Fang Q, Ye GY, 2024. The state of parasitoid wasp genomics. *Trends in Parasitology*, 40(10): 914–929.

Yu KL, Li F, Zhong HY, Zhang B, Fang Q, Xu HX, Song QS, Ye GY, Zhang JF, 2025. Neprilysin, a novel recombinant venom protein from *Habrobracon hebetor*, influenced host immunity in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 319: 145460.

Yu Q, Li S, Kong YJ, Sun ZX, Cao DD, Wei JR, 2024. Host preference and mortality caused by the parasitoid *Sclerodermus guani* on different cerambycid species. *BioControl*, 69(6): 611–621.

Yu WJ, He JC, Wan PJ, Ji HL, Fu Q, Peng YL, 2021. Species and parasitism of parasitic wasps of the overwintering rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) in Sichuan province. *Plant Protection*, 47(6): 240–247, 253. [于文娟, 何佳春, 万品俊, 姬红丽, 傅强, 彭云良, 2021. 四川省稻田越冬代二化螟寄生性天敌的研究. 植物保护, 47(6): 240–247, 253.]

Zang LS, Wang S, Zhang F, Desneux N, 2021. Biological control with *Trichogramma* in China: History, present status, and perspectives. *Annual Review of Entomology*, 66: 463–484.

Zeng SC, Lin Z, Yu XH, Zhang JJ, Zou Z, 2023. Expressing parasitoid venom protein VRF1 in an entomopathogen *Beauveria bassiana* enhances virulence toward cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(6): e0070523.

Zhang H, Wang JY, Chen YJ, Siemann E, Ji XY, Jiang JX, Wan NF, 2022a. Beta-ionone is a functional plant volatile that attracts the parasitic wasp, *Microplitis pallidipes*. *BioControl*, 67(1): 1–13.

Zhang J, Wang F, Yuan B, Yang L, Yang Y, Fang Q, Kuhn JH, Song QS, Ye GY, 2021a. A novel cripavirus of an ectoparasitoid wasp increases pupal duration and fecundity of the wasp's host. *ISME Journal*, 15(11): 3239–3257.

Zhang JX, Heraty JM, Darling C, Kresslein RL, Baker AJ, Torréns J, Rasplus JY, Lemmon A, Lemmon EM, 2022b. Anchored phylogenomics and a revised classification of the planidial larva clade of jewel wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Systematic Entomology*, 47(2): 329–353.

Zhang QK, Jiao B, Lu H, Tang JH, Zhang X, Lyu BQ, 2025. Combining two parasitoids (*Asecodes hispinarum* and *Tetrastichus brontispae*) for biological control of coconut leaf beetle.

Biological Control, 200: 105688.

Zhang S, Tao YM, Chen YZ, Liu PC, Liu JL, Hu HY, 2021b. Niche differentiation of two pupal parasitoid wasps of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae): *Pachycrepoideus vindemmiae* and *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae). *The Canadian Entomologist*, 153(5): 511–523.

Zhang W, Li R, Li S, Li SY, Niu JZ, Wang JJ, 2023. RNA virus diversity in three parasitoid wasps of tephritid flies: Insights from novel and known species. *Microbiology Spectrum*, 11(6): e0313923.

Zhao C, Guo Y, Liu ZX, Xia Y, Li YY, Song ZW, Zhang BX, Li DS, 2021a. Temperature and photoperiodic response of diapause induction in *Anastatus japonicus*, an egg parasitoid of stink bugs. *Insects*, 12(10): 872.

Zhao C, Zhang BX, Yuan X, Song ZW, Liu ZX, Li DS, 2020. Sixty years' research on biological control of pests by Guangdong academy of agricultural sciences: Achievements and prospects. *Guangdong Agricultural Sciences*, 47(11): 93–102. [赵灿, 张宝鑫, 袁曦, 宋子伟, 刘子欣, 李敦松, 2020. 广东省农业科学院害虫生物防治研究 60 年: 成就与展望. 广东农业科学, 47(11): 93–102.]

Zhao D, Xin ZZ, Hou HX, Zhou Y, Wang JX, Xiao JH, Huang DW, 2021b. Inferring the phylogenetic positions of two fig wasp subfamilies of Epichrysomallinae and Sycophaginae using transcriptomes and mitochondrial data. *Life*, 11(1): 40.

Zhou JC, Zhao X, Huo LX, Shang D, Dong H, Zhang LS, 2022a. *Wolbachia*-driven memory loss in a parasitic wasp increases superparasitism to enhance horizontal transmission. *mBio*, 13(6): e0236222.

Zhou LZ, Wang RJ, Lin Z, Shi SK, Chen CH, Jiang HB, Zou Z, Lu ZQ, 2023. Two venom serpins from the parasitoid wasp *Microplitis* mediator inhibit the host prophenoloxidase activation and antimicrobial peptide synthesis. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 152: 103895.

Zhou SC, Lu YQ, Chen JN, Pan ZQ, Pang L, Wang Y, Zhang QC, Strand MR, Chen XX, Huang JH, 2022b. Parasite reliance on its host gut microbiota for nutrition and survival. *ISME Journal*, 16(11): 2574–2586.

Zhou XG, Tang P, Wu Q, Guo HW, Xiao Q, Chen XX, 2023. Identification of two common larval parasitic wasps of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae). *Chinese Journal of Biological Control*, 39(1): 1–9. [周孝贵, 唐璞, 吴琼, 郭华伟, 肖强, 陈学新, 2023. 茶尺蠖和灰茶尺蠖幼虫两种共有寄生蜂的鉴定. 中国生物防治学报, 39(1): 1–9.]

Zhu PY, Liang R, Qin Y, Xu HX, Zou Y, Johnson AC, Zhang FC, Gurr GM, Lu ZX, 2023a. Extrafloras and floral nectar promote biocontrol services provided by parasitoid wasps to rice crops. *Entomologia Generalis*, 43(5): 971–979.

Zhu YL, Chen JH, Huang XL, Xiao HJ, 2021. Dynamics of egg parasitoids of *Chilo suppressalis* and its response to landscape structure in northern Jiangxi. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(5): 870–876. [朱玉麟, 陈俊晖, 黄孝龙, 肖海军, 2021. 赣北二化螟卵寄生蜂寄生率动态及其对景观结构的响应. 中国生物防治学报, 37(5): 870–876.]

Zhu ZY, Liu YJ, Hu HY, Wang GH, 2023b. Nasonia-microbiome associations: A model for evolutionary hologenomics research. *Trends in Parasitology*, 39(2): 101–112.