中国捕食性瓢虫研究进展*

彭 晶[1,2**] 叶茂林[1,2**] 陈晓胜[2,3] 王兴民[1,2***]

（1. 华南农业大学植物保护学院，广州 510642；2. 生物防治教育部工程研究中心，广州 510642；
3. 华南农业大学林业与风景园林学院，广州 510642）

摘 要 捕食性瓢虫作为农业生态系统中重要的天敌类群之一，在蚜虫、粉虱、介壳虫等多种害虫的绿色、可持续治理中发挥着关键作用。本文系统梳理了我国捕食性瓢虫在种质资源发掘与利用、生物防治应用现状、规模化繁育技术体系的构建进展以及田间控害技术集成创新等方面的进展，重点围绕其优良品系选育、饲料开发、滞育调控、多种天敌协同释放及化学生态调控等核心领域进行综述，以期为推动我国捕食性瓢虫资源的深入开发与高效应用提供理论依据和实践指导，进一步助力农业绿色防控体系的完善与可持续发展。

关键词 捕食性瓢虫；生物防治；种质资源；规模化繁育；生态调控

A comprehensive review of research on predatory ladybirds in China

PENG Jing[1,2**] YE Mao-Lin[1,2**] CHEN Xiao-Sheng[2,3] WANG Xing-Min[1,2***]

(1. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China; 3. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract Predatory ladybirds are important agents of biological control in agricultural ecosystems, playing a key role in the environmentally-friendly and sustainable management of many agricultural pests, including aphids, whiteflies and scale insects. This review systematically summarizes advances in the utilization of predatory ladybirds in China, their current status in biological control applications, the development of methods for the mass-rearing of ladybirds in captivity, and innovations in field-based, pest control techniques. It focuses particularly on the breeding of superior strains, the development of artificial diets, diapause regulation, the coordinated release of multiple biological control agents, and chemical ecology-based behavioral manipulation. The aim is to provide both theoretical and practical guidance for improving the application of predatory ladybirds for the biological control of pests in China, thereby supporting the sustainable, ecologically-friendly control of agricultural pests.

Key words predatory ladybirds; biological control; germplasm resources; mass reproduction; ecological regulation

瓢虫科 Coccinellidae 隶属于鞘翅目 Coleoptera 多食亚目 Polyphaga，世界广泛分布，捕食性瓢虫广泛捕食蚜虫、粉虱、介壳虫、螨类及多种鳞翅目害虫的卵和低龄幼虫，是重要的天敌昆虫类群，在维持农田生物多样性和害虫种群动态平衡方面发挥着重要的作用。1888 年，美国加利福尼亚州自澳大利亚引入澳洲瓢虫 *Novius cardinalis* 防治当时严重为害柑橘的吹绵蚧，取得显著的成效。这一成功案例推动了引进天敌进行害虫生物防治方法的兴起。自 20 世纪以来，我国陆续引进并成功应用多种瓢虫，如澳洲瓢虫和孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* 用于防治吹绵蚧与粉蚧类害虫，不仅取得显著防治成效，还实现了天敌的野外定殖

*资助项目 Supported projects：云南大观实验室课题（YNDG202402YY02）；广东省现代农业产业技术体系茶叶创新团队（2024CXTD11）；广东省科技成果入县达镇促进城乡区域协调发展专项项目任务（2025B0202010005）

**共同第一作者 Co-first authors，E-mail：pengjing17@scau.edu.cn；yml6014027@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wangxmcn@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2025-08-10；接受日期 Accepted：2025-09-13

与可持续控害作用（庞雄飞和毛金龙，1979a），为瓢虫在生物防治领域的应用奠定了重要基础。

近年来，随着国家对粮食安全和食品安全的重视，害虫绿色防控技术发展迅速，捕食性瓢虫相关应用研究也取得了显著成就。随着多组学技术的兴起，瓢虫物种高质量基因组的解析（Chen *et al.*，2021；Ye *et al.*，2024）为揭示其捕食适应性进化机制提供了重要的分子基础，明确了化学感应、解毒及免疫相关基因家族的扩张与适应机制（Li *et al.*，2021；Du *et al.*，2022）。同时，规模化繁育技术不断创新，通过遗传选育（Lommen *et al.*，2017）、人工饲料开发（史爱民等，2023）以及滞育调控（Zhang *et al.*，2018）等手段，显著提高了瓢虫的生产效率及其应用潜力。在应用技术方面，瓢虫的田间释放策略日益精细化，结合化学信息素（Xu *et al.*，2018）、功能植物（He *et al.*，2021）和智能释放系统（Zhan *et al.*，2021），有效增强了瓢虫的田间定殖能力和害虫控害效果。上述研究成果共同推动了瓢虫从传统生物防治因子向智能化、精准化绿色防控资源的转变。

本文基于国内外最新研究进展，系统梳理我国捕食性瓢虫在分类演化、遗传多样性、繁育技术及田间应用等方面的研究现状，以期为推动天敌资源的可持续利用与害虫综合治理提供理论支持与实践参考。

1　中国捕食性瓢虫的种质资源

1.1　物种多样性

瓢虫科昆虫广泛分布于世界各大生物地理区，目前已知种类达 6 900 余种（王兴民和陈晓胜，2022）。我国迄今共记录瓢虫 25 族 97 属 1 079 种，构成了极为丰富的物种多样性体系。其中，大部分瓢虫为捕食性种类，以蚜虫、介壳虫、粉虱、叶螨及其他小型节肢动物为食（表 1）

表 1　中国主要捕食性瓢虫的种类与取食对象

Table 1　Species of predatory ladybirds in China and their prey

捕食性瓢虫类群 Predatory coccinellid groups	属（种）数 Number of genera (species)	取食对象 Prey species
瓢虫族 Coccinellini	28（146）	蚜虫、鳞翅目幼虫、木虱、粉蚧 Aphid, lepidopteran larvae, psyllid, mealybugs
小艳瓢虫族 Sticholotini	6（70）	介壳虫 Scale insect
隐胫瓢虫族 Aspidimerini	4（47）	蚜虫 Aphid
盔唇瓢虫族 Chilocorini	9（42）	介壳虫 Scale insect
食螨瓢虫族 Stethorini	2（35）	叶螨 Spider mite
刀角瓢虫族 Serangiini	4（30）	烟粉虱 *Bemisia tabaci*
小毛瓢虫族 Scymnini	9（355）	蚜虫、介壳虫、粉虱 Aphid, scale insect, whiteflies
短角瓢虫族 Noviini	1（16）	绵蚧、粉蚧 Giant scale insects, mealybugs
长唇瓢虫族 Shirozuellini	1（14）	蚜虫、介壳虫 Aphid, scale insect
广盾瓢虫族 Platynaspini	1（14）	蚜虫 Aphid
彩瓢虫族 Plotinini	4（11）	蚜虫 Aphid
寡节瓢虫族 Telsimiini	1（10）	介壳虫 Scale insect
刻眼瓢虫族 Ortaliini	2（9）	蚜虫、介壳虫、粉虱 Aphid, scale insect, whiteflies
展唇瓢虫族 Microweiseini	1（8）	蚜虫、粉虱 Aphid, whiteflies
粒眼瓢虫族 Sumniini	1（5）	粉蚧 Mealybug
显盾瓢虫族 Hyperaspini	1（5）	蚜虫 Aphid
基瓢虫族 Diomini	1（4）	蚜虫 Aphid
小盾瓢虫族 Tytthaspini	2（3）	蚜虫 Aphid
四节瓢虫族 Tetrabrachini	1（1）	绵蚧、粉蚧 Giant scale insects, mealybugs
粗眼瓢虫族 Coccidulini	1（1）	蚜虫 Aphid

（庞雄飞和毛金龙，1979a；庞虹，2002；任顺祥等，2009）。这些捕食性瓢虫在食性上表现出一定程度的专化性：瓢虫族 Coccinellini、显盾瓢虫族 Hyperaspini 主要以蚜虫为食，常兼食其他节肢动物；盔唇瓢虫族 Chilocorini 主要捕食具有蜡粉覆盖的介壳虫；小毛瓢虫族 Scymnini、小艳瓢虫族 Sticholotini 及刻眼瓢虫族 Ortaliini 则包含捕食蚜虫、介壳虫、粉虱、叶螨的种类；食螨瓢虫族 Stethorini 专食叶螨，是叶螨的重要天敌之一。这种功能类群的多样化分布为不同害虫的生物防治提供了丰富的天敌资源基础。

我国瓢虫分类学研究经历了从基础奠定到系统完善的发展历程。早期出版的《中国经济昆虫志——鞘翅目瓢虫科》两版专著共收录 112 种瓢虫，奠定了我国瓢虫系统调查的基础（刘崇乐，1963；庞雄飞和毛金龙，1979a）。随后，《陕西省经济昆虫图志》（1985）与《云南瓢虫志》（1992）等区域性研究成果对地方物种多样性提供了重要补充。在此基础上，庞虹等（2004）整理中国瓢虫名录，共记述 725 种。近 20 年来，华南农业大学王兴民团队对中国以及周边近邻国家的瓢虫资源开展了全面系统的调查，在此基础上描述发表瓢虫科新属 4 个，中国新记录属 3 个，新种 304 个，中国新记录种 50 个，物种数量增加了 30%以上，其中华南地区新发现物种占比最大。基本明确中国的物种组成和地理分布（Huang *et al.*, 2024；Tao *et al.*, 2024；Wei *et al.*, 2024；Peng *et al.*，2025）。该团队主编的《中国瓢虫原色图鉴》（任顺祥等，2009）、与《中国瓢虫图鉴》（王兴民和陈晓胜，2022）等专著提供了高清成虫与外生殖器图像，对捕食性瓢虫的分类鉴定具有重要实用价值。该团队依托广东省天敌昆虫种质资源库收集建立了亚洲范围内最大的瓢虫资源库，为我国捕食性瓢虫的系统调查与生物防治奠定了丰富的种质基础。

我国捕食性瓢虫物种在热带和亚热带地区、特别是热带森林与山地生态系统的交汇地带丰富度最高，而温带地区种类相对较少但体型普遍较大（毕孟杰等，2015）。中国捕食性瓢虫的分布整体呈现出“南多北少，西南极多”的显著格局，物种丰富度由西南部的云南高原和南部沿海向西北内陆逐级递减，这一分布格局反映了捕食性瓢虫对热量和湿度的生态需求，与我国的气候梯度分布高度吻合。

1.2 分类系统

瓢虫科的早期分类系统主要基于形态特征构建，Crotch（1874）提出的 7 个亚科划分方案主要依据食性的差异，首次将植食性和捕食性瓢虫进行了系统区分。20 世纪前期，Korschefsky（1928a；1928b；1929；1931；1933；1934a；1934b；1935）通过对大量标本的系统整理，建立了包含 3 亚科 20 族 245 属的较为完整的分类体系。在此基础上，庞雄飞和毛金龙（1979b）针对中国瓢虫区系进行了系统性研究，进一步强调了瓢虫演化与食性的密切关系，他们建立的 8 亚科分类系统中，将捕食性类群主要归入瓢虫亚科 Coccinellinae、小毛瓢虫亚科 Scymninae、小艳瓢虫亚科 Sticholotidinae、红瓢虫亚科 Coccidulinae 和盔唇瓢虫亚科 Chilocorinae，从形态和食性双重维度清晰地划分了捕食性和非捕食性瓢虫的主要类群。

随着分子系统学技术的发展，瓢虫科的分类系统经历了显著的变革。早期研究基于少数基因片段进行系统发育分析，一方面颠覆了许多传统形态分类单元，但另一方面因数据量有限和基因选择偏差，导致瓢虫科亚科间的系统发育关系并没有得到解决。例如，Giorgi 等（2009）支持的复杂多亚科体系。Seago 等（2011）提出的高度简化的两亚科系统，将几乎所有捕食性瓢虫都归入广义的瓢虫亚科中。该研究认为瓢虫祖先以真菌为食，食性转移为捕食介壳虫，再到捕食半翅目昆虫的演化路径，推动了捕食性瓢虫的适应性辐射和物种分化。最近，Che 等（2021）提出了三亚科系统，但研究指出瓢虫亚科内部各族之间的系统发育关系支持度仍然较弱。这种分类系统的不稳定性主要源于瓢虫科在白垩纪晚期经历的快速适应性辐射事件。在这一时期，随着被子植物的繁盛和蚜虫等半翅目害虫的大量分化（Misof *et al.*，2014），捕食性瓢虫快速辐射演化出多样化的捕食策略和食性专化特征。例如，主要捕食蚜虫的瓢虫族 Coccinellini、专食介壳虫

的盔唇瓢虫族 Chilocorini、以粉虱和蚧类为主要猎物的小毛瓢虫族 Scymnini 等类群在短时间内分化，导致了系统发育树上较短的内部分支和较长的末端分支。这种演化模式给分子系统学重建带来了巨大挑战。

1.3 瓢虫基因组学与遗传多样性

捕食性瓢虫在进化过程中形成了丰富的遗传多样性，并表现出复杂的基因组特征。随着高通量测序技术的广泛应用，多个瓢虫物种（如七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*、日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* 等）已完成高质量基因组测序（Chen *et al.*，2021；Ye *et al.*，2024），为解析其种群遗传结构、功能基因及适应性进化提供了重要基础。

研究表明，捕食性瓢虫在化学感应、消化、解毒和免疫等相关基因家族中表现出显著的扩张现象，这些遗传变化与其食性适应密切相关（Li *et al.*，2021）。例如，当瓢虫取食携带特定共生菌的自然猎物时，其免疫相关基因的表达显著上调；而取食非自然猎物时则普遍下调，表明其免疫响应具有高度的食物特异性（Du *et al.*，2022）。与化学感知和解毒基因相比，免疫基因的进化更倾向于通过新基因的产生和氨基酸序列的变异来适应食性转变，反映了与猎物共生菌之间互作所驱动的协同进化过程（Hanson *et al.*，2023）。

在形态特征方面，捕食性瓢虫也表现出高度的多样性，其中以异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的鞘翅色斑变异最为典型。该种的色斑表型已记录多达 200 种，可分为黄底型和黑底型，并包含多种亚型（Ando and Niimi，2019）。色斑表型的形成不仅受遗传机制调控，如“镶嵌显性遗传”理论及 *Pannier* 转录因子的作用，还同时也受到环境因子的显著影响（Tan，1946；Bezzerides *et al.*，2007）。在我国，异色瓢虫的色斑分布表现出明显的地理梯度：黄底型的比例随纬度升高而增加，而黑底型则更常见于湿度较高的南方地区更为常见。这种表型分化可能与气候适应性密切相关，例如黑底型个体在低温环境下具有更强的生存优势（徐青叶等，2014；舒晓晗等，2019）。

此外，捕食性瓢虫在与生物防治相关的性状上也存在广泛的遗传多样性，包括食性广度、飞行能力、繁殖力和抗逆性等（陈学新等，2023）。其中，食性的遗传基础尤其受到关注，因为其直接影响瓢虫作为生防因子的控害效果和生态安全性。基因组比较和转录组分析表明，在适应不同猎物的过程中，瓢虫体内涉及营养代谢、化学感知和解毒功能等通路的基因表达发生了显著变化（Li *et al.*，2021；Ali *et al.*，2023）。此外，飞行能力作为影响瓢虫定殖与扩散的关键性状，其遗传调控机制也逐步被揭示。通过人工选育已获得飞行能力减弱的品系，有助于提高其在田间释放后的滞留能力和控害持续性（Seko and Miura，2009；Nakayama *et al.*，2010；Adachi-Hagimori *et al.*，2011）。

总体而言，捕食性瓢虫在基因组和表型水平层面均展现出高度的多样性，这些变异是其与环境互作、协同进化的结果，也为其优良品种选育和生物防治应用提供了重要的遗传资源。

2 中国捕食性瓢虫的应用研究

捕食性瓢虫作为一类重要的天敌资源，在农林害虫绿色防控中发挥着持续且稳定的控害作用，其捕食范围广泛，可有效控制蚜虫、粉虱、介壳虫、螨类及部分鳞翅目与鞘翅目害虫的卵和低龄幼虫（图 1：A-T）。我国于 1955 年引入并利用多种瓢虫进行生物防治，包括在蒲蛰龙院士的主持下，通过苏联农业部成功引进澳洲瓢虫防治吹绵蚧，以及应用孟氏隐唇瓢虫控制湿地松粉蚧 *Oracella acuta* 等（庞虹等，2004）。这些瓢虫在释放后迅速建立了稳定的野外种群，表现出良好的扩散能力与环境适应性，取得了显著的生态和经济效益。源自美洲的小黑瓢虫 *Delphastus catalinae* 于 1996 年被引入我国福建应用于烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和温室粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 的生物防治，可显著抑制粉虱种群增长，但野外未见定殖。此外，日本刀角瓢虫、沙巴拟刀角瓢虫 *Pangia sababensis* 和越南斧瓢虫 *Axinoscymnus apioides* 等多种瓢虫可取食烟粉虱的卵、若虫和伪蛹等各虫态，能够有效地抑制

粉虱种群的增长，表现出良好的生物防治潜力（姚松林等，2005；王兴民等，2006；赵冬梅等，2025）。多食性瓢虫，如异色瓢虫、龟纹瓢虫 *Propylea japonica*、七星瓢虫、六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata*、多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 等，能够有效防治蚜虫、木虱、粉虱等害虫，已被广泛应用于烟草、棉花、果树及设施蔬菜作物的害虫治理体系中（闫占峰等，2012；王夸平等，2013；何万财等，2023）。

2.1 优良品种选育

捕食性瓢虫的规模化繁育是其成功应用于生物防治的关键（党英侨和王小艺，2024）。我国相关研究始于 20 世纪 60 年代，早期以人工释放异色瓢虫防治蚜虫为代表（罗希成和李井茹，1965），近年来逐步研究重点逐步由基础饲养转向对种群遗传特性的主动调控。通过定向选育繁殖力高、适应性强、飞行能力弱等具有优良经济性状的品系，为实现大规模繁育提供了稳定的种质基础（Lommen *et al.*，2019；Gopalkrishna *et al.*，2022）。例如，法国学者以地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* 卵为饲料，实现了异色瓢虫在室内环境中的多代繁育，并筛选出飞行能力缺失的品系，用于温室蚜虫的防治（Tourniaire *et al.*，2000）。我国于 2008 年从法国引入该品系，由于其成虫不具备飞行能力，能够在目标作物上长时间滞留，从而显著提高了生物防治效果。经适当驯化后，该品系在果园和温室环境中展现出良好的应用潜力。

随着分子生物学技术的发展，遗传改良策略已从传统选育逐渐迈向精准基因调控。CRISPR/Cas9 基因编辑技术为增强瓢虫的生防性能提供了新途径。该技术可通过筛选并精确修改瓢虫基因组，调控其性状和功能，从而增强其捕食能力、繁殖力和环境适应能力（Lommen *et al.*，2017）。例如，靶向编辑异色瓢虫的 *Ebony* 基因可显著提高突变体的捕食效率（Lin *et al.*，2025）。此外，基因编辑还可用于增强瓢虫的抗药性与抗逆性，并调控其生殖特性，从而培育出更适应复杂农田环境的瓢虫品系，并有助于解析天敌-害虫-植物互作的分子机制，为开发多物种协同的生防策略提供理论依据。然而，目前基因编辑研究仍主要处于实验室阶段，尚未形成可推广至田间应用的稳定品系（Lommen *et al.*，2017）。因此，传统选育仍是当前遗传改良的主要手段，而基因编辑技术更多用于关键基因功能验证和性状机制解析。

2.2 规模化繁育

捕食性瓢虫的规模化繁育的关键在于建立高效、稳定且成本可控的饲料体系。饲料的研发不仅直接影响瓢虫的生长发育、繁殖能力及田间释放后的控害效果，也是科研与产业化应用的重点方向。目前，饲料开发主要围绕非昆虫源和昆虫源两个方向（史爱民等，2023；姜天月等，2025），旨在最大程度满足不同种类瓢虫的营养需求，同时兼顾生产可行性与经济性。

非昆虫源饲料通常以动物源性蛋白（如猪肝、蛋黄、鱼子）为基础，搭配碳水化合物（如蔗糖、蜂蜜）、脂类（如橄榄油）以及维生素、矿物质等添加剂，力求模拟天然猎物的营养组成，部分配方还引入植物次生物质（如竹黄酮、茶皂苷）以提升瓢虫抗逆性（张屾等，2015；陈江峰等，2020；史爱民等，2023）。例如，以猪肝为主要蛋白源，辅以糖类、竹黄酮、茶皂甙等成分的饲料，不仅能支持七星瓢虫的正常发育，还可增强其抗病能力和环境适应性（程英等，2025）。类似地，含有酵母粉、花粉、鸡蛋等组分的饲料也能有效维持六斑月瓢虫的正常生命活动和捕食功能。此外，通过在饲料中添加促食因子（如蜂蜜、蔗糖）、生殖调控因子（如特定脂肪酸）及抗菌物质（如山梨醇、苯甲酸钠），可有效改善瓢虫的取食响应与繁殖表现，并有效抑制微生物污染，从而提升规模化饲养的效率与稳定性。

昆虫源饲料主要指替代饲料，包括米蛾卵、地中海粉螟卵、赤眼蜂蛹、蚜虫及其他鳞翅目昆虫的卵或幼虫，营养较为全面，更符合瓢虫的自然食性，常能获得优于半人工饲料的饲养效果（Amin Jalali *et al.*，2019；孙丽娟等，2020，Ali *et al.*，2023）。然而，不同瓢虫对饲料的适应性差异显著。例如，六斑月瓢虫可取食赤眼蜂蛹并

图 1　瓢虫科代表性类群的卵、幼虫和成虫生态照

Fig. 1　Ecological photographs of eggs, larvae, and adults of representative taxa in Coccinellidae

A. 瓢虫属 *Coccinella*; B. 刀角瓢虫属 *Serangium*; C. 红瓢虫属 *Novius*; D. 隐势瓢虫属 *Cryptogonus*; E. 瓢虫属 *Coccinella*; F. 小毛瓢虫属 *Scymnus*; G. 食植瓢虫属 *Epilachna*; H. 隐势瓢虫属 *Cryptogonus*; I. 小长瓢虫属 *Macronaemia*; J. 花瓢虫属 *Amida*; K. 硕角瓢虫属 *Monocoryna*; L. 龟瓢虫属 *Epiverta*; M. 星盘瓢虫属 *Phrynocaria*; N. 裂臀瓢虫属 *Henosepilachna*; O. 盔唇瓢虫属 *Chilocorus*; P. 黄菌瓢虫属 *Halyzia*; Q. 角毛瓢虫属 *Horniolus*; R. 瓢虫属 *Coccinella*; S. 尼艳瓢虫属 *Nesolotis*; T. 花瓢虫属 *Amida*.

正常产卵（曹爱华和张良武，1994），而日本刀角瓢虫在取食米蛾卵后产卵量下降，需转食烟粉虱才能恢复繁殖能力（Ali *et al.*，2023）。因此，在实际生产中，往往采用交替饲喂或阶段性补充策略，以平衡营养供给与成本控制。

目前，我国已实现异色瓢虫、七星瓢虫和龟纹瓢虫等多种瓢虫的商品化生产，建立了涵盖研发、工艺与应用的完整产业链（姜天月等，2025）。未来仍需持续优化饲料配方，探索低成本生产工艺，并突破贮存技术瓶颈，以提升其在害虫综合治理中的市场竞争力。

2.3　储存与运输技术

捕食性瓢虫的规模化生产已逐步实现，但其储存与运输技术仍是当前应用中的关键瓶颈。开发基于昆虫发育调控的滞育诱导、冷藏等贮藏技术，对天敌的货架期管理具有重要的理论意义（Zhang *et al.*，2018；Tougeron，2019；曹惠怡

等，2023）。

滞育是昆虫在进化过程中形成的一种生理适应策略，表现为发育暂停、代谢速率下降、能量储备增加和寿命延长，其发生主要受温度和光周期等环境因子调控，并通过保幼激素等内源激素介导（Zhang *et al.*，2018；Tougeron，2019）。研究表明，低水平保幼激素是诱导异色瓢虫生殖滞育的关键因素，而外源施加保幼激素类似物可有效解除滞育状态，促进卵巢发育（韩慧等，2022；Li *et al.*，2022）。从应用角度看，通过精准控制光周期和温度可实现滞育的人工诱导。例如，七星瓢虫在 18 ℃、10L∶14D 条件下滞育率可达 95%（王伟等，2013），而异色瓢虫在 20 ℃、相同光周期下滞育率亦表现出高滞育率（张伟等，2014）。

低温贮藏可显著延长瓢虫的货架期。异色瓢虫滞育成虫在 10 ℃下冷藏 120 d 后存活率仍保持在 80%以上（刘震等，2009）。卵期贮藏则对温度控制要求更为严格：七星瓢虫和异色瓢虫的卵在 10 ℃下贮藏 7 d 后孵化率仍超过 85%，而龟纹瓢虫卵对低温较为敏感，不适合冷藏（马润国等，2025）。值得注意的是，不同虫态和种类的瓢虫对低温的耐受性存在显著差异，需制定个性化的贮藏方案。

通过滞育调控与低温贮藏技术的有机结合，有望实现捕食性瓢虫的大规模、长期保存。然而，长期冷藏仍可能导致其繁殖与捕食能力下降，滞育诱导与解除效率亦存在不稳定性（王瑞珍等，2021；曹惠怡等，2023；李贝等，2024）。研究表明，冷藏时间的长短对日本刀角瓢虫的产卵能力具有显著影响，其最适宜的冷藏条件为 16 ℃下冷藏 10-15 d（曹惠怡等，2023），难以满足瓢虫产业化发展的实际需要。近期，华南农业大学王兴民团队利用替代饲料成功将日本刀角瓢虫的货架期从低温储存条件下的 10-15 d 延长至常温储存条件下的 50 d，同时不影响瓢虫的总产卵量（作者待发表）。这一突破为瓢虫的规模化生产提供了重要的理论支撑，也成为当前平衡饲养成本与繁育效果的有效途径。

2.4 释放技术的优化

捕食性瓢虫在田间应用中的防治效果不仅取决于其自身生物学特性，更与其释放技术的科学设计及与其他防治手段的协同整合密切相关。当前的应用模式已由单一释放逐渐发展为基于害虫生态学和农田生态系统特征的精准释放与多技术协同体系。

释放方式需根据应用场景灵活选择（党英侨和王小艺，2024）。淹没式释放适用于害虫发生初期或设施农业环境，通过一次性高密度投放瓢虫，实现对害虫的快速压制（Zhan *et al.*，2021），起到“生物杀虫剂”的作用；而接种式释放则更侧重于长期的生态调控，通过少量多次释放促进瓢虫建立可持续种群，更适合果园等生态系统较为稳定的环境（胡永军等，2015）。释放前进行 24-48 h 饥饿处理，并选择傍晚或迁飞能力较弱时段释放，有助于提高瓢虫在田间的驻留性和捕食积极性（陆佳音，2023）。虫态选择也需因地制宜：低龄幼虫扩散能力弱但捕食效率高，适于害虫发生中心定点释放；成虫适于全田散布，但需注意其迁飞可能带来的种群流失风险。

多种天敌联合释放能够通过增强群落结构的稳定性与生态位的互补性，提升对害虫的持续控制能力。例如，南方小花蝽 *Orius strigicollis* 与六斑月瓢虫联合应用，可更有效抑制马铃薯田多种媒介害虫的种群增长（张晓媛等，2024）。然而，在田间环境中，捕食性天敌除捕食目标害虫外，还可能捕食其他天敌，即集团内捕食，这种现象可能削弱对害虫的整体防控效果。研究表明，集团内捕食的强度受天敌的相对体型、龄期以及集团外猎物密度等因素的调控。以孟氏隐唇瓢虫与普通草蛉 *Chrysoperla carnea* 为例，后者通常在集团内捕食关系中占据优势地位（Golsteyn *et al.*，2021）。一般来说，龄期较大、体型较大的个体攻击性更强，往往成为捕食者；而体型较小、龄期较低的个体则容易成为猎物（Zarei *et al.*，2020）。此外，苹果黄蚜 *Aphis citricola* 的密度也会影响大草蛉 *Chrysopa pallens* 与异色瓢虫之间的集团内捕食水平（王嘉蕾等，2025）。在苹果黄蚜密度较低时，建议采用单一优势天敌（如大草蛉或异色瓢虫）进行防治，以减少天敌间的相互捕食；而在其密度较高时，则可通过合理配置大草蛉与异色瓢虫的不同

龄期组合，实现更为有效的协同防控。捕食性天敌与寄生性天敌的联合释放同样展现出协同控害潜力。例如，共同释放六斑月瓢虫和亮腹釉小蜂 *Tmarixia radia* 3 周后，对柑橘木虱 *Diaphorina citri* 的种群抑制率可达 93%以上，显著高于仅释放其中一种天敌的处理（熊泽恩等，2025）。此外，日本刀角瓢虫与丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 或海氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* 的联合释放也显示出对烟粉虱更好的防控能力（马丽君等，2018；田密等，2020）。值得注意的是，寄生性天敌在寄生初期可能被同时存在的捕食性天敌捕食（田密等，2020），即二者在目标害虫上存在生态位重叠，这可能会削弱综合防治效果。因此，建议在多种天敌联合防控实践中，优先释放寄生性天敌，待其建立后再适时引入捕食性天敌，以充分发挥两者之间的互补效应。

在化学农药广泛使用的背景下，瓢虫的田间释放需注重与药剂施用的协调。新烟碱类杀虫剂及部分生物农药（如印楝素）即使在亚致死剂量下，也可能显著抑制瓢虫的捕食与繁殖能力（Skouras *et al.*，2019；Qin *et al.*，2021；杨梦迪等，2025）。因此，应避开施药窗口，选择药剂降解后期或害虫发生初期进行释放，以提高定殖成功率。同时，筛选低毒、具有选择性的农药，并发展精准施药技术，是实现化学防治与生物防治协同作用的关键措施。此外，瓢虫释放还需注意与其他生防因子的兼容性。昆虫病原真菌在田间应用过程中，可能通过直接感染或通过被侵染的靶标害虫来间接影响瓢虫的生存。已有研究显示，球孢白僵菌、金龟子绿僵菌等病原真菌可导致多种瓢虫幼虫死亡率达 27.5%-97.0%，并显著降低成虫羽化率和产卵量（Simelane *et al.*，2008；Aqueel and Leather，2013；Trizelia *et al.*，2017），为减轻此类负面影响，可通过调控病原菌使用浓度与施用时间、选择适宜的释放虫态，或采用分区、分时释放策略加以缓解。

华南农业大学王兴民团队曾在湛江农垦局剑麻种植区释放约 50 万头孟氏隐唇瓢虫，用于防治新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes*（杨书美等，2024），取得了良好的防治效果。同时，该团队在昆明市禄劝县建立了粉虱专食性瓢虫的规模化生产线，并在禄劝县、宜良县等地释放超过 10 万头日本刀角瓢虫，用于烟田粉虱的生物防治（姚松林等，2005；田密等，2020），显著减少了化学农药的使用量，推动了以生物防治为核心的粉虱绿色防控技术体系的集成与示范。此外，基于无人机的智能投放系统已在赤眼蜂等天敌释放中成功应用（Zhan *et al.*，2021），实现了天敌释放的均匀性和高效性，为瓢虫的大规模田间释放提供了工程化解决方案。若将其与害虫监测预警系统相结合，将进一步推动捕食性瓢虫释放从经验化向智能化、标准化方向发展。

2.5　田间诱集与种群定殖

在利用捕食性瓢虫进行生物防治的过程中，其田间应用效果常受限于释放后的快速扩散行为，难以在目标区域内稳定定殖，从而影响对害虫的持续控制效果。为了提升瓢虫在作物系统中的滞留能力与控害效率，目前主要采用两类生态调控策略：一是利用化学信息素对其行为进行定向调控；二是通过功能植物优化田间生态环境，增强天敌种群的建立与维持能力。

2.5.1　基于化学信息素的行为调控　化学信息素在调节天敌昆虫行为方面具有重要作用，这类化合物能够模拟自然生态系统中瓢虫在寻找猎物、配偶或栖息地时所依赖的化学信号，从而实现对天敌行为的精准引导。利用化学信息素主动调控瓢虫行为，是提升其在田间定殖与控害效率的有效手段（Khan *et al.*，2008；Kaplan，2012；Xu *et al.*, 2018）。

瓢虫在自然环境中依赖多种化学信号进行定位，这些信号按其来源可分为三类：植物挥发物、害虫衍生物和瓢虫自身释放的信息化学物质。植物受蚜虫等危害后释放的特异性挥发物（如绿叶挥发物和萜类化合物）可在中长距离吸引天敌；蚜虫蜜露作为利它素，在短距离内提供直接觅食信号；此外，瓢虫聚集信息素及害虫性信息素也对其定位与聚集行为具有调节作用（Zhu *et al.*，2005；Vandermoten *et al.*，2011；Zhan *et al.*，2023）。这些化学信号为开发高效引诱剂奠定了理论基础。

实现信息素田间有效应用的关键在于缓释

技术。目前商用的诱芯、微胶囊和高分子凝胶等载体能够实现活性成分的稳定、持久释放（严力等，2019），从而匹配整个害虫发生周期。例如，水杨酸甲酯缓释管可维持有效浓度 4 周以上，在苹果园应用中显著增加了瓢虫种群数量，并改变了蚜虫的空间分布（吴长兵等，2023）。这类技术显著延长了引诱剂的持效期和环境适应性，为化学信息素行为调控技术融入害虫综合治理体系提供了物质基础。

将信息素缓释装置与瓢虫释放相结合，构建增强型生物防治系统，可有效减少成虫扩散损失，延长其在靶标作物上的停留时间，提高对害虫的遭遇率和捕食压力（Kaplan，2012；Xu *et al.*，2018）。该策略为在复杂农业环境中稳定发挥天敌控害功能提供了重要技术支撑。

2.5.2 基于功能植物的生态调控 功能植物的引入是维持天敌种群、实现可持续生物防治的重要生态调控手段。通过在作物周边或田内科学配置特定植物，可为瓢虫提供营养资源、庇护场所和迁移通道，从而增强其在农田环境中的定殖、存活与持续控害能力。

功能植物主要包括储蓄植物、诱集植物、蜜源植物和栖境植物等类型。它们通过提供花粉、花蜜或替代猎物等资源，显著延长瓢虫寿命并促进繁殖（He *et al.*，2021；Wang *et al.*， 2022；Wu *et al.*，2024）。例如，紫苏的花资源能有效维持瓢虫种群（Hatt and Osawa，2019）；蛇床草不仅为龟纹瓢虫、异色瓢虫等提供早期迁入条件（刘晓微等，2025），其挥发的对二甲苯、正庚烷等化合物还可用于开发天敌引诱剂（朱霄冰等，2025）。在空间布局上，功能植物带通常设置于田埂、果园行间或作物周边，构建“植物-天敌”协同生态位（戈峰等，2025；刘晓微等，2025）。例如在苹果园中，蛇床草、二月兰与金盏菊的间作可促进瓢虫在作物与功能植物间迁移，显著提升对蚜虫的防控效果（Cai *et al.*，2021）。研究表明，功能植物系统的有效作用距离可达 9 m，有助于天敌定殖和持续发挥控害作用（汪加佳等，2024）。功能植物系统还可增强农业景观异质性和生态系统稳定性，为瓢虫提供躲避不良环境与农药的庇护所，并创造迁移和营养补充条件。例如，麦田周边种植蛇床草可在小麦生长期涵养天敌，并在收获后继续提供栖息场所，实现天敌种群的跨季节维持（刘晓微等，2025）。

功能植物系统作为一种保护型生物防治措施，具有成本低、可持续性强和环境友好等优势，通过生态调控实现天敌种群自我维持，有助于减少对化学农药的依赖，促进农业绿色可持续发展。未来需进一步优化植物组合与管理模式，以最大化其生态控害潜力。

3 问题与展望

当前瓢虫科分类研究仍存在系统发育框架尚不完善、高阶元分类单元界定存在争议等核心问题。尽管多组学技术为解析系统发育提供了新路径（Zhu *et al.*，2023；Pu et *al.*，2024；Ye *et al.*，2024），但不同分子标记与形态特征之间的整合仍不充分，限制了人们对快速辐射进化事件和生态适应性演变机制的理解（Huang *et al.*，2025）。因此，未来需进一步融合基因组、转录组及 Hi-C 染色体图谱等数据，结合生态适应性性状（如食性转换）与生物地理建模，构建更能反映演化历史与自然关系的分类系统，明确关键分类单元的地理分布格局及形成机制。

在应用方面，捕食性瓢虫的规模化繁育与产业化应用仍面临诸多挑战。长期人工繁育导致的种群退化问题日益凸显，表现出生存力、繁殖力下降和捕食行为减弱等适应性衰退现象（Knapp and Řeřicha，2020；朱艳娟等，2022），亟需从遗传与生态两个维度解析其机制，并制定针对性保育策略。在技术研发层面，低成本人工饲料的开发、智能化饲养装备的研制、高效贮存与释放技术等关键环节仍有待突破。在推广应用层面，天敌产品存在生产成本高、货架期短、质量控制标准缺失等问题，加之农户接受度偏低和政策支持力度不足，严重制约了其产业化发展（朱丹荔等，2018）。未来研究应聚焦以下重点方向：首先，借助多组学与基因编辑技术，深入挖掘调控瓢虫抗逆性、繁殖力和捕食行为的关键基因，为

定向育种提供分子基础；其次，突破全周期人工饲料配方技术和规模化繁育工艺，开发智能化饲养与贮存装备，提升生产效率与产品质量；再者，构建“天敌-植物-技术”协同的生态调控模式，利用功能植物和化学信息素提升瓢虫田间定殖能力与控害稳定性；最后，建立健全天敌产品质量标准与生态效应评估体系，加强政策引导与产学研究协同，推动瓢虫生物防治技术的标准化、产业化和商业化进程。

参考文献 (References)

Adachi-Hagimori T, Shibao M, Tanaka H, Seko T, Miura K, 2011. Control of *Myzus persicae* and *Lipaphis erysimi* (Hemiptera: Aphididae) by adults and larvae of a flightless strain of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) on non-heading *Brassica* cultivars in the greenhouse. *BioControl*, 56(2): 207–213.

Ali S, Peng J, Liang JF, Huang CY, Xie YH, Wang XM, 2023. Changes in life history parameters and transcriptome profile of *Serangium japonicum* associated with feeding on natural prey (*Bemisia tabaci*) and alternate host (*Corcyra cephalonica* eggs). *BMC Genomics*, 24(1): 112.

Amin Jalali M, Reitz S, Reza Mehrnejad M, Ranjbar F, Ziaaddini M, 2019. Food utilization, development, and reproductive performance of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on an aphid or *Psylla* prey species. *Journal of Economic Entomology*, 112(2): 571–576.

Ando T, Niimi T, 2019. Development and evolution of color patterns in ladybird beetles: A case study in *Harmonia axyridis*. *Development Growth & Differentiation*, 61(1): 73–84.

Aqueel MA, Leather SR, 2013. Virulence of *Verticilium lecanii* (Z.) against cereal aphids; does timing of infection affect the performance of parasitoids and predators? *Pest Management Science*, 69(4): 493–498.

Bezzerides AL, McGraw KJ, Parker RS, Husseini J, 2007. Elytra color as a signal of chemical defense in the Asian ladybird beetle *Harmonia axyridis*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61(9): 1401–1408.

Bi MJ, Shen MW, Zhou KX, Mao LF, Chen SB, Peng PH, 2015. Geographical variance of ladybird morphology and environmental correlates in China. *Biodiversity Science*, 23(6): 775–783. [毕孟杰, 沈梦伟, 周可新, 毛岭峰, 陈圣宾, 彭培好, 2015. 中国瓢虫体型的地理分异及其与环境因子的关系. 生物多样性, 23(6): 775–783.]

Cai ZP, Ouyang F, Zhang XR, Chen J, Xiao YL, Ge F, Zhang JP, 2021. Biological control of *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) using three different flowering plants in apple orchards. *Journal of Economic Entomology*, 114(3): 1128–1137.

Cao AH, Zhang LW, 1994. Preliminary experiments on rearing predatory ladybirds using *Trichogramma* pupae. *Natural Enemies of Insects*, 16(1): 1–5. [曹爱华, 张良武, 1994. 用赤眼蜂蛹饲养捕食性瓢虫初步试验. 昆虫天敌, 16(1): 1–5.]

Cao HY, Luo XL, Wei XY, Liang JF, Xie YH, Wang XM, 2023. Effects of cold-storage temperature on the survival and growth and development of *Serangium japanicum* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 66(2): 226–234. [曹惠怡, 罗小龙, 韦雪媛, 梁建锋, 谢永辉, 王兴民, 2023. 冷藏温度对日本刀角瓢虫存活及生长发育的影响. 昆虫学报, 66(2): 226–234.

Che LH, Zhang P, Deng SH, Escalona HE, Wang XM, Li Y, Pang H, Vandenberg N, Ślipiński A, Tomaszewska W, Liang D, 2021. New insights into the phylogeny and evolution of lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) by extensive sampling of genes and species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 156: 107045.

Chen JF, Zhao JW, Xiao HC, Yin L, Jin Y, Sun YX, 2020. Effect of artificial diet supplemented with different coagulants on development of *Harmonia axyridis*. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 51(1): 14–18. [陈江峰, 赵继伟, 肖慧昌, 殷磊, 金燕, 孙元星, 2020. 人工饲料添加不同凝固剂对异色瓢虫生长发育的影响. 甘肃农业科技, 51(1): 14–18.]

Chen MY, Mei Y, Chen X, Chen X, Xiao D, He K, Li Q, Wu MM, Wang S, Zhang F, Li F, 2021. A chromosome-level assembly of the harlequin ladybird *Harmonia axyridis* as a genomic resource to study beetle and invasion biology. *Molecular Ecology Resources*, 21(4): 1318–1332.

Chen XX, Du YJ, Huang JH, Li S, Jiang DH, Mo MH, Pang H, Sun XL, Wang Q, Wang S, Xia YX, Xu XN, Zang LS, Zhang J, Zhang LS, Zhang WQ, Yin H, 2023. Recent progresses in biological control of crop pathogens and insect pests in China. *Plant Protection*, 49(5): 340–370. [陈学新, 杜永均, 黄健华, 李姝, 姜道宏, 莫明和, 庞虹, 孙修炼, 王琦, 王甦, 夏玉先, 徐学农, 臧连生, 张杰, 张礼生, 张文庆, 尹恒, 2023. 我国作物病虫害生物防治研究与应用最新进展. 植物保护, 49(5): 340–370.]

Cheng Y, Zhou YH, Jin JX, Li FL, 2025. Transcriptome comparison and analysis of *Coccinella septempunctata* feeding on artificial diets and *Aphis craccivora*. *Journal of Environmental Entomology*, 47(2): 601–612. [程英, 周宇航, 金剑雪, 李凤良, 2025. 取食人工饲料和豆蚜的七星瓢虫转录组比较分析. 环境昆虫学报, 47(2): 601–612.]

Crotch GR, 1874. A Revision of the Coleopterous Family Coccinellidae. London: Sagwan Press. 311.

Dang YQ, Wang XY, 2024. The status and trends of using natural enemies in the biological control of forest insect pests. *Terrestrial Ecosystem and Conservation*, 4(1): 72–85. [党英侨, 王小艺. 林业害虫防治的天敌昆虫应用现状与发展趋势. 陆地生态系统与保护学报, 4(1): 72–85.

Du XY, Yang HY, Gong SR, Zhang PF, Chen PT, Liang YS, Huang YH, Tang XF, Chen QK, De Clercq P, Li HS, Pang H, 2022. Aphidophagous ladybird beetles adapt to an aphid symbiont. *Functional Ecology*, 36(10): 2593–2604.

Ge F, Liang XY, Zhang XR, Li Z, Ju Q, Ouyang F, Yang QF, Cai ZP, Su WW, Han GD, 2025. Ecologically based pest management mechanisms and practical applications of the functional plant *Cnidium monnieri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 62(3): 559–566. [戈峰, 梁潇以, 张兴瑞, 李卓, 鞠倩, 欧阳芳, 杨泉峰, 蔡志平, 苏文雯, 韩国栋, 2025. 功能植物蛇床草生态控害作用及其应用. 应用昆虫学报, 62(3): 559–566.]

Giorgi JA, Vandenberg NJ, McHugh JV, Forrester JA, Ślipiński SA, Miller KB, Shapiro LR, Whiting MF, 2009. The evolution of food preferences in Coccinellidae. *Biological Control*, 51(2): 215–231.

Golsteyn L, Mertens H, Audenaert J, Verhoeven R, Gobin B, De Clercq P, 2021. Intraguild interactions between the mealybug predators *Cryptolaemus montrouzieri* and *Chrysoperla carnea*. *Insects*, 12(7): 655.

Gopalkrishna HR, Chakravarthy AK, Nagendra Prasad HN, 2022. Enhancing genetic efhciency of natural enemies of crop pests// Chakravarthy AK (ed.). Genetic Methods and Tools for Managing Crop Pests. Singapore: Springer Nature Singapore. 211–249.

Han H, Feng ZY, Zhang S, He YZ, 2022. Effects of exogenous juvenile hormone on the ovarian development and transcription levels of the reprodution-related genes in *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 65(9): 1090–1097. [韩慧, 冯朝阳, 张硕, 何运转, 2022. 外源保幼激素对异色瓢虫卵巢发育及生殖相关基因转录水平的影响. 昆虫学报, 65(9): 1090–1097.]

Hanson MA, Grollmus L, Lemaitre B, 2023. Ecology-relevant bacteria drive the evolution of host antimicrobial peptides in *Drosophila*. *Science*, 381(6655): eadg5725.

Hatt S, Osawa N, 2019. The role of *Perilla frutescens* flowers on fitness traits of the ladybird beetle *Harmonia axyridis*. *BioControl*, 64(4): 381–390.

He WC, Ye QQ, Wang FF, Hu YW, Liu JH, Mao XX, Zhang RF, Wang XM, Qiu BL, Liu YT, Sang W, 2023. Predatory Responses of *Cheilomenes sexmaculata* to *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(3): 514–522. [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, 2023. 六斑月瓢虫对柑橘木虱的捕食作用. 中国生物防治学报, 39(3): 514–522.

He XQ, Kiær LP, Jensen PM, Sigsgaard L, 2021. The effect of floral resources on predator longevity and fecundity: A systematic review and meta-analysis. *Biological Control*, 153: 104476.

Hu YJ, Sang YZ, Yang HM, Wang MQ, 2015. The main pests biological control technology of greenhouse tomato. *Agricultural Technology & Equipment*, 2015(5): 70–72. [胡永军, 桑毅振, 杨焕明, 王明钦, 2015. 温室番茄主要害虫的生物控制技术. 农业技术与装备, 2015(5): 70–72.

Huang CY, Zeng LL, Fan WW, Lin P, Dong QJ, Su YL, Wang XM, 2024. A new species of the genus *Serangium Blackburn* (Coleoptera, Coccinellidae) from China, with description of the immature stages. *Zookeys*, 1210: 197–206.

Huang YH, Escalona HE, Sun YF, Zhang PF, Du XY, Gong SR, Tang XF, Liang YS, Yang D, Chen PT, Yang HY, Chen ML, Hüttel B, Hlinka O, Wang XM, Meusemann K, Ślipiński A, Zwick A, Waterhouse RM, Misof B, Niehuis O, Li HS, Pang H, 2025. Molecular evolution of dietary shifts in ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae): From fungivory to carnivory and herbivory. *BMC Biology*, 23(1): 67.]

Jiang TY, Ma ZZ, Wang XL, Zhao XG, Wang S, 2025. Research progress on the application of natural enemiesof tomatoes in greenhouse in China. *Vegetables*, https://link.cnki.net/urlid/11.2328.S.20250320.1506.002. [姜天月, 马中正, 汪晓丽, 赵贤国, 王甦, 2025. 我国设施番茄天敌昆虫应用研究进展. 蔬菜, https://link.cnki.net/urlid/11.2328.S.20250320.1506.002.]

Kaplan I, 2012. Attracting carnivorous arthropods with plant volatiles: The future of biocontrol or playing with fire? *Biological Control*, 60(2): 77–89.

Khan ZR, James DG, Midega CAO, Pickett JA, 2008. Chemical ecology and conservation biological control. *Biological Control*, 45(2): 210–224.

Knapp M, Řeřicha M, 2020. Effects of the winter temperature regime on survival, body mass loss and post-winter starvation resistance in laboratory-reared and field-collected ladybirds. *Scientific Reports*, 10(1): 4970.

Korschefsky R, 1928a. Bemerkungen über exotische Coccinellidae der alten Welt mit Beschreibung einer neuen Art. (1. Beitrag zur Kenntnis der Coccinelliden). *Entomologische Mitteilungen*, 17(1): 41–43.

Korschefsky R, 1928b. Bemerkungen über afrikanische Epilachninen mit Beschreibung zweier neuer Arten. (Coleopt.). (2. Beitrag zur Kenntnis der Coccinelliden). *Wiener Entomologische Zeitung*, 45(4): 122–125.

Korschefsky R, 1929. Bemerkungen über afrikanische Epilachninen mit Beschreibung einer neuen Art. (Col.). (3. Beitrag zur Kenntnis der Coccinelliden). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*,

1929(2): 141–143.

Korschefsky R, 1931. Coccinellidae I// Junk W, Schenkung S (eds.). Coleopterorum Catatogus. Part 118. Berlin: W. Junk. 224.

Korschefsky R, 1933. Synonymische und andere bemerkungen über crotch'sche coccinelliden-typen. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London*. *Series B*, 2(10): 236–237.

Korschefsky R, 1934a. Bemerkungen über Coccinelliden und Beschreibung einer neuen Neda-Art. *Arbeiten über Morphologische und Taxonomische Entomologie aus Berlin-Dahlem*, *Berlin-Dahlem*, 1(4): 267–271.

Korschefsky R, 1934b. Entomological investigations on the spike disease of sandal (16). Coccinellidae. (Col.). *Indian Forest Records*, 19(6): 1–9.

Korschefsky R, 1935. Neue Coccinelliden aus Afrika, Brasilien und Formosa.. *Arbeiten über Morphologische und Taxonomische Entomologie aus Berlin-Dahlem*, 2(4): 252–256.

Li B, Li JX, Liu W, Wang XP, 2024. Cold storage for artificial rearing of diapause adults of multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis*. *Journal of Plant Protection*, 51(1): 78–87. [李贝, 李家旭, 刘文, 王小平, 2024. 异色瓢虫人工繁育中滞育成虫的冷藏条件. 植物保护学报, 51(1): 78–87.]

Li HS, Huang YH, Chen ML, Ren Z, Qiu BY, De Clercq P, Heckel G, Pang H, 2021. Genomic insight into diet adaptation in the biological control agent *Cryptolaemus montrouzieri*. *BMC Genomics*, 22(1): 135.

Li YY, Chen JJ, Liu MY, He WW, Reynolds JA, Wang YN, Wang MQ, Zhang LS, 2022. Enhanced degradation of juvenile hormone promotes reproductive diapause in the predatory ladybeetle *Coccinella septempunctata*. *Frontiers Physiology*, 13: 877153.

Lin J, Xiao D, Wu MM, Chen X, Xu QX, Wang S, Zang LS, 2025. Pleiotropic effects of Ebony on pigmentation and development in the Asian multi-coloured ladybird beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Insect Molecular Biology*, 34(2): 263–277.

Liu CL, 1963. Economic Insects of China (Volume 5): Coccinellidae (Part 1). Beijing: Science Press. 101. [刘崇乐, 1963. 中国经济昆虫志(第五册) : 瓢虫科(一). 北京: 科学出版社. 101.]

Liu XW, Lu YH, Yang YJ, Xu HX, Lü ZX, 2025. Evaluation of the synergistic effects of functional plants *Cnidium monnieri* and *Vicia faba* on conserving predatory natural enemies in wheat fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 62(3): 594–606. [刘晓微, 鲁艳辉, 杨亚军, 徐红星, 吕仲贤, 2025. 功能植物蛇床草和蚕豆协同涵养麦田捕食性天敌的效果评价. 应用昆虫学报, 62(3): 594–606.

Liu Z, Xu HF, Kong FH, Sun ZB, Zhu BZ, 2009. Study on optimum cold storage conditions for adults of *Harmonia axyridis* Pallas. *Shandong Agricultural Sciences*, 41(6): 64–67. [刘震, 徐洪富, 孔繁华, 孙竹波, 朱彬洲, 2009. 异色瓢虫成虫最适冷藏条件的研究. 山东农业科学, 41(6): 64–67.

Lommen STE, Koops KG, Cornelder BA, de Jong PW, Brakefield PM, 2019. Genetics and selective breeding of variation in wing truncation in a flightless aphid control agent. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(7): 636–645.

Lommen STE, de Jong PW, Pannebakker BA, 2017. It is time to bridge the gap between exploring and exploiting: Prospects for utilizing intraspecific genetic variation to optimize arthropods for augmentative pest control-a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 162(2): 108–123.

Lu JY, 2023. Analysis of the promotion and application of natural enemy insects in pest control in northern China. *Fruit Grower Friend*, 2023(4): 68–69, 84. [陆佳音, 2023. 浅析天敌昆虫在北方虫害防治上的推广应用. 果农之友, 2023(4): 68–69, 84.]

Luo XC, Li JR, 1965. Research of artifcial release of lady beetle, *Harmonia axyridis* to control aphids on cucumber. *Entomoogical Knowledge*, 9(2): 99. [罗希成, 李井茹, 1965. 人工释放异色瓢虫防治黄瓜蚜虫的初步研究. 昆虫知识, 9(2): 99.]

Ma LJ, Zhang SZ, Liu TX, 2018. Influences of interspecific competition between ladybeetle *Serangium japonicum* and parasitoid *Encarsia formosa* on predation of tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1289–1295. [马丽君, 张世泽, 刘同先, 2018. 种间竞争对烟粉虱天敌日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂捕食功能反应的影响. 植物保护学报, 45(6): 1289–1295.]

Ma RG, Jin JH, Yuan F, Qiu LF, Shi JW, Zhang LY, Wang LL, 2025. Effects of storage temperature and duration on the egg hatching of *Coccinella septempunctata*, *Harmonia axyridis* and *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 68(4): 509–514. [马润国, 靳江华, 袁菲, 仇兰芬, 施俊伟, 张丽媛, 王利利, 2025. 存储温度和时间对七星瓢虫、异色瓢虫和龟纹瓢虫卵孵化的影响. 昆虫学报, 68(4): 509–514.]

Misof B, Liu SL, Meusemann K, Peters RS, Donath A, Mayer C, Frandsen PB, Ware J, Flouri T, Beutel RG, Niehuis O, Petersen M, Izquierdo-Carrasco F, Wappler T, Rust J, Aberer AJ, Aspöck U, Aspöck H, Bartel D, Blanke A, Berger S, Böhm A, Buckley TR, Calcott B, Chen JQ, Friedrich F, Fukui M, Fujita M, Greve C, Grobe P, Gu SC, Huang Y, Jermiin LS, Kawahara AY, Krogmann L, Kubiak M, Lanfear R, Letsch H, Li YY, Li ZY, Li JG, Lu HR, Machida R, Mashimo Y, Kapli P, McKenna DD, Meng GL, Nakagaki Y, Navarrete-Heredia JL, Ott M, Ou YX, Pass G, Podsiadlowski L, Pohl H, von Reumont BM, Schütte K, Sekiya K, Shimizu S, Slipinski A, Stamatakis A, Song WH, Su X, Szucsich NU, Tan MH, Tan XM, Tang M, Tang JB, Timelthaler G, Tomizuka S, Trautwein M, Tong XL, Uchifune T, Walzl MG, Wiegmann BM, Wilbrandt J, Wipfler B, Wong TKF, Wu Q, Wu

GX, Xie YL, Yang SZ, Yang Q, Yeates DK, Yoshizawa K, Zhang Q, Zhang R, Zhang WW, Zhang YH, Zhao J, Zhou CR, Zhou LL, Ziesmann T, Zou SJ, Li YR, Xu X, Zhang Y, Yang HM, Wang J, Wang J, Kjer KM, Zhou X, 2014. Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science*, 346(6210): 763–767.

Nakayama S, Seko T, Takatsuki JI, Miura K, Miyatake T, 2010. Walking activity of flightless *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) as a biological control agent. *Journal of Economic Entomology*, 103(5): 1564–1568.

Pang H, 2002. Analysis of species diversity in the Coccinellidae of China. *Journal of Sun Yat-sen University*, 41(2): 68–71. [庞虹, 2002. 中国瓢虫科的物种多样性分析. 中山大学学报, 41(2): 68–71.]

Pang H, Ren SX, Zeng T, Pang XF, 2004. Species Diversity and Utilization of Ladybird Beetles in China. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press. 109–113. [庞虹, 任顺祥, 曾涛, 庞雄飞, 2004. 广州: 中国瓢虫物种多样性及其利用. 广州: 广东科技出版社. 109–113.]

Pang XF, Mao JL, 1979a. Economic Insects of China (Volume 14): Coccinellidae (Part 2). Beijing: Science Press. 170. [庞雄飞, 毛金龙, 1979a. 中国经济昆虫志(第十四册) : 瓢虫科 (二). 北京: 科学出版社. 170.]

Pang XF, Mao JL, 1979b. Overview of the classification of Coccinellidae in China. *Natural Enemies of Insects*, 1(2): 13–27. [庞雄飞, 毛金龙, 1979b. 中国瓢虫科的分类概要. 昆虫天敌, 1(2): 13–27.]

Peng F, Tang MJ, Wang XM, Chen XS, 2025. *Reniscymnus* gen. nov., a new genus of *Scymnini* (Coleoptera, Coccinellidae) from the Oriental region. *Zookeys*, 1226: 87–100.

Pu DQ, Wu XL, Chen ZT, Wei SJ, Cai P, Liu HL, 2024. Chromosome-level genome assembly of the giant ladybug *Megalocaria dilatata*. *Scientific Data*, 11(1): 117.

Qin DQ, Liu BJ, Zhang PW, Zheng Q, Luo PR, Ye CY, Zhao WH, Zhang ZX, 2021. Treating green pea aphids, *Myzus persicae*, with azadirachtin affects the predatory ability and protective enzyme activity of harlequin ladybirds, *Harmonia axyridis*. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 212: 111984.

Ren SX, Wang XM, Pang H, Peng ZQ, Zeng T, 2009. Color Illustrated Guide to Lady Beetles of China. Beijing: Science Press. 24–25. [任顺祥, 王兴民, 庞虹, 彭正强, 曾涛, 2009. 中国瓢虫原色图鉴. 北京: 科学出版社. 24–25.]

Seago AE, Giorgi JA, Li JH, Slipiński A, 2011. Phylogeny, classification and evolution of ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae) based on simultaneous analysis of molecular and morphological data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 60(1): 137–151.

Seko T, Miura K, 2009. Effects of artificial selection for reduced flight ability on survival rate and fecundity of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinelidae). *Applied Entomology and Zoology*, 44(4): 587–594.

Shi AM, Wu DQ, Li RX, Kuang SQ, 2023. Research progress on artificial feed for mass reproduction of predatory ladybird. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 64(4): 24–31. [史爱民, 吴道琴, 李荣秀, 邝丝琪, 2023. 捕食性瓢虫规模化繁殖中人工饲料的研究进展. 宁夏农林科技, 64(4): 24–31.]

Shu XH, Zhao RN, Meng L, Li BP, 2019. Body size and color spot pattern in relation to the latitude in *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) from China. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 42(1): 88–93. [舒晓晗, 赵日那, 孟玲, 李保平, 2019. 我国异色瓢虫体型大小和色斑类型变异与纬度的关系. 南京农业大学学报, 42(1): 88–93.]

Simelane DO, Steinkraus DC, Kring TJ, 2008. Predation rate and development of *Coccinella septempunctata* L. influenced by *Neozygites fresenii*-infected cotton aphid prey. *Biological Control*, 44(1): 128–135.

Skouras PJ, Brokaki M, Stathas GJ, Demopoulos V, Louloudakis G, Margaritopoulos JT, 2019. Lethal and sub-lethal effects of imidacloprid on the aphidophagous coccinellid *Hippodamia variegata*. *Chemosphere*, 229: 392–400.

Sun LJ, Yu HX, Zheng CY, 2020. Effects of four aphid species on development and reproduction of *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31(10): 3554–3558. [孙丽娟, 于海霞, 郑长英, 2020. 4 种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响. 应用生态学报, 31(10): 3554–3558.]

Tan CC, 1946. Mosaic dominance in the inheritance of color patterns in the ladybird beetle, *Harmonia axyridis*. *Genetics*, 31(2): 195–210.

Tao XH, Lv LL, Lin LI, Zhou JH, Wei XY, Wang XM, 2024. Review of the genus *Novius* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) from China with description of four new species. *Zootaxa*, 5528(1): 668–691.

Tian M, Zhang SZ, Liu TX, 2020. Advances in research on the biology and ecology of *Serangium japonicum* Chapin, a predator of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(4): 800–805.[田密, 张世泽, 刘同先, 2020. 烟粉虱天敌日本刀角瓢虫生物生态学研究进展. 应用昆虫学报, 57(4): 800–805.]

Tougeron K, 2019. Diapause research in insects: Historical review and recent work perspectives. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(1): 27–36.

Tourniaire R, Ferran A, Giuge L, Piotte C, Gambier J, 2000. A natural flightless mutation in the ladybird, *Harmonia axyridis*.

Entomologia Experimentalis et Applicata, 96(1): 33–38.

Trizelia T, Busniah M, Permadi A, 2017. Pathogenicity of entomopathogenic fungus *Metarhizium* spp. against predators *Menochilus sexmaculatus* Fabricius (Coleoptera: Coccinellidae). *Asian Journal of Agriculture*, 1(1): 1–5.

Vandermoten S, Francis F, Haubruge E, Leal WS, 2011. Conserved odorant-binding proteins from aphids and eavesdropping predators. *PLoS ONE*, 6(8): e23608.

Wang J, Li S, Fang Y, Zhang F, Jin ZY, Desneux N, Wang S, 2022. Enhanced and sustainable control of *Myzus persicae* by repellent plants in organic pepper and eggplant greenhouses. *Pest Management Science*, 78(2): 428–437.

Wang JJ, Li S, Yang YJ, Wang S, Gu JJ, Yue YL, 2024. Effects of key parameters in the field application of banker plant system on population colonization and pest control of *Coccinella septempunctata*. *Journal of Environmental Entomology*, 46(6): 1271–1278. [汪加佳, 李姝, 杨亚洁, 王甦, 顾俊杰, 岳艳丽, 2024. 储蓄植物系统田间应用关键参数对七星瓢虫种群定殖及控害的影响. 环境昆虫学报, 46(6): 1271–1278.]

Wang JL, Jin SL, Sun YX, Guo JG, 2025. Determination of the intraguild predation between *Chrysopa pallens* and *Harmonia axyridis*, two natural enemies of *Aphis citricola*. *Chinese Journal of Biological Control*, 41(5): 1046–1053. [王嘉蕾, 金社林, 孙元星, 郭建国, 2025. 苹果黄蚜天敌大草蛉与异色瓢虫的集团内捕食效应测定. 中国生物防治学报, 41(5): 1046–1053.]

Wang KP, Zhan YG, Pan Y, Mao CT, Gao FH, Kong NC, 2012. Evaluation on the effects of releasing *Aphidius gifuensis* and *Leis axyridis* to control *Myzus persicae*. *Hubei Agricultural Sciences*, 52(7): 1567–1570. [王夸平, 詹莜国, 潘悦, 毛春堂, 高福宏, 孔宁川, 2013. 烟蚜茧蜂和异色瓢虫综合防治烟蚜的效果评价. 湖北农业科学, 52(7): 1567–1570.]

Wang RZ, Zhang Y, Wang XD, Song LW, Li H, Liu XR, Li XP, 2021. Research progress on cold storage tolerance of natural enemy insects. *Journal of Environmental Entomology*, 43(6): 1408–1416. [王瑞珍, 张杨, 王晓丹, 宋丽文, 李宏, 刘鑫荣, 李兴鹏, 2021. 天敌昆虫耐冷藏力研究进展. 环境昆虫学报, 43(6): 1408–1416.]

Wang W, Zhang LS, Chen HY, Wang J, Zhang J, Liu Y, 2013. Effects of temperature and light on diapause induction in lady beetle *Coccinella septempunctata* in Beijing, China. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(1): 24–30. [王伟, 张礼生, 陈红印, 王娟, 张洁, 刘遥, 2013. 北京地区七星瓢虫滞育诱导的温光效应. 中国生物防治学报, 29(1): 24–30.]

Wang XM, Chen XS, 2022. Illustrated Handbook of Ladybird Beetles in China. Fuzhou: The Straits Publishing & Distributing Group. 516. [王兴民, 陈晓胜, 2022. 中国瓢虫图鉴. 福州: 海峡出版社. 516.]

Wang XM, Ren SX, Xu CX, 2006. Morphological characters and biology of *Axinoscymnus apioides* introduced from Brunei. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(6): 810–813. [王兴民, 任顺祥, 徐彩霞, 2006. 引进天敌越南斧瓢虫的形态特征和生物学特性. 昆虫知识, 43(6): 810–813.]

Wei XY, Lin LI, Chen L, Yang XJ, Wang XM, 2024. A review of the genus *Amida lewis* (Coccinellidae: Ortaliini) from China. *Zootaxa*, 5528(1): 648–667.

Wu CB, Hatt S, Xiao D, Wang S, Wang S, Guo XJ, Xu QX, 2024. Functional plants supporting predatory ladybirds in a peach orchard agroecosystem. *Arthropod-Plant Interactions*, 18(4): 713–721.

Wu CB, Xiao D, Liu FY, Sun XR, Wang J, Wang S, Guo XJ, Xu QX, 2023. Evaluation of the biocontrol capacity of slow-release methyl salicylate by mediating abundance of predatory ladybirds in orchards. *Journal of Fruit Science*, 40(8):1666–1674. [吴长兵, 肖达, 刘飞宇, 孙潇然, 王杰, 王甦, 郭晓军, 徐庆宣, 2023. 水杨酸甲酯缓释调控果园捕食性瓢虫控害效果. 果树学报, 40(8): 1666–1674.]

Xiong ZE, Liu ZK, Li ME, Dong LL, Xie YX, He WC, Sang W, 2025. The potential of *Tamarixia radiata* to control *Diaphorina citri*, including the potential for synergistic control by both *T. radiata* and *Menochilus sexmaculata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 62(4): 1037–1045. [熊泽恩, 刘兆康, 李敏儿, 董露露, 谢予希, 何万财, 桑文, 2025. 亮腹釉小蜂的控害潜能及其与六斑月瓢虫对柑橘木虱的联合控制效果研究. 应用昆虫学报, 62(4): 1037–1045.]

Xu QX, Hatt S, Lopes T, Zhang Y, Bodson B, Chen JL, Francis F, 2018. A push-pull strategy to control aphids combines intercropping with semiochemical releases. *Journal of Pest Science*, 91(1): 93–103.

Xu QY, Lin QQ, Jin S, Wu MJ, Yang GM, Wang SG, Tang B, 2014. On the elytra colored speck diversity of *Harmonia axyridis* (Pallas)and *Propylea japonica* (Thunberg) in Daming Mountain. *Journal of Hangzhou Normal University* (*Natural Science Edition*), 13(2): 159–163. [徐青叶, 林青青, 金上, 邬梦静, 杨光铭, 王世贵, 唐斌, 2014. 临安大明山异色瓢虫及龟纹瓢虫鞘翅色斑多样性分析. 杭州师范大学学报(自然科学版), 13(2): 159–163.]

Yan L, Li ZR, Han GZ, 2019. Research progress on controlled release technology for insect pheromones. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 36(10): 1099–1108. [严力, 李卓睿, 韩国志, 2019. 昆虫信息素缓释技术的研究进展. 应用化学, 36(10): 1099–1108.]

Yan ZF, Zhang C, Wang ZY, He KL, Bai SX, 2012. Predatory function response of *Propylea japonica* on *Rhopalosiphum maidis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(1): 139–142.

[闫占峰, 张聪, 王振营, 何康来, 白树雄, 2012. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜功能反应研究. 中国生物防治学报, 28(1): 139–142.]

Yang MD, Wang WQ, Li AQ, Yao YS, Su Y, 2025. Effects of flonicamid on the predation ability of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) larvae on *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) adults. *Acta Entomologica Sinica*, 68(8): 1088–1093. [杨梦迪, 王伟强, 李安琪, 姚永生, 苏悦, 2025. 氟啶虫酰胺对异色瓢虫幼虫捕食棉蚜成虫能力的影响. 昆虫学报, 68(8): 1088–1093.]

Yang SM, Wang CY, Zhang YQ, Ye ZP, Chen JY, Wang JY, Zhu JH, Zhang FP, 2024. Predation research of *Cryptolaemus montrouzieri* on four species of mealybugs. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 45(9): 1912–1918. [杨书美, 王春燕, 张月青, 叶政培, 陈俊谕, 王建赟, 朱俊洪, 张方平, 2024. 孟氏隐唇瓢虫对 4 种粉蚧的捕食作用研究. 热带作物学报, 45(9): 1912–1918.]

Yao SL, Ren SX, Huang Z, 2005. Feeding behavior of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(3): 509–513. [姚松林, 任顺祥, 黄振, 2005. 烟粉虱天敌日本刀角瓢虫的捕食行为. 应用生态学报, 16(3): 509–513.]

Ye ML, Xie YH, Jin JF, Huang CY, Ning KD, Liu ZL, Li HM, Wang XM, 2024. A chromosome-level genome assembly of *Serangium japonicum* Chapin, 1940 (Coleoptera: Coccinellidae). *Scientific Data*, 11(1): 1421.

Zarei M, Madadi H, Zamani AA, Nedvěd O, 2020. Intraguild predation between *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) and *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) at various extraguild prey densities and arena complexities. *Insects*, 11(5): 288.

Zhan YD, Wang JJ, Kong XN, Liu Y, 2023. Perception and kairomonal response of the coccinellid predator (*Harmonia axyridis*) to the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) sex pheromone. *Frontiers in Physiology*, 14: 1167174.

Zhan YL, Chen SD, Wang GB, Fu JW, Lan YB, 2021. Biological control technology and application based on agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) intelligent delivery of insect natural enemies (Trichogramma) carrier. *Pest Management Science*, 77(7): 3259–3272.

Zhang JJ, Zhang X, Zang LS, Du WM, Hou YY, Ruan CC, Desneux N, 2018. Advantages of diapause in *Trichogramma dendrolimi* mass production on eggs of the Chinese silkworm, *Antheraea pernyi*. *Pest Management Science*, 74(4): 959–965.

Zhang S, Mao JJ, Zeng FR, 2015. Effects of an artificial diet with non-insect ingredient on biological characteristics of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Chinese Journal of Biological Control*, 31(1): 35–40. [张屾, 毛建军, 曾凡荣, 2015. 非昆虫源人工饲料对异色瓢虫生物学特性的影响. 中国生物防治学报, 31(1): 35–40.]

Zhang W, Liu S, Li N, Chen J, He YZ, Qin QJ, 2014. Effects of photoperiods on adult diapause of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Journal of Plant Protection*, 41(4): 495–500. [张伟, 刘顺, 李娜, 陈洁, 何运转, 秦秋菊, 2014. 光周期对异色瓢虫生殖滞育的影响. 植物保护学报, 41(4): 495–500.]

Zhang XY, Zhao L, Wang T, Zha XR, Zhang HR, Zan QA, 2024. The effectiveness of using *Orius strigicollis* in combination with *Cheilomenes sexmaculata* as biological control agents for three insect potato disease vectors. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 815–826. [张晓媛, 赵林, 王葶, 查旭榕, 张宏瑞, 昝庆安, 2024. 南方小花蝽与六斑月瓢虫对马铃薯上三种媒介昆虫的捕食作用. 应用昆虫学报, 61(4): 815–826.]

Zhao DM, Que XY, Zeng LL, Huang CY, Wang XM, 2025. Functional response of *Pangia sababensis* to *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 62(3): 792–798. [赵冬梅, 阙心怡, 曾莉玲, 黄楚阳, 王兴民, 2025. 沙巴拟刀角瓢虫对烟粉虱的捕食功能反应. 应用昆虫学报, 62(3): 792–798.]

Zhu DL, Su XN, Deng HB, Ling B, Zhang MX, 2018. Influence of factitious prey and artificial diets on life parameters of predatory natural enemies. *Journal of Environmental Entomology*, 40(1): 92–101. [朱丹荔, 苏湘宁, 邓海滨, 凌冰, 张茂新, 2018. 替代性饲料及人工饲料对捕食性天敌昆虫生命参数影响的研究进展. 环境昆虫学报, 40(1): 92–101.]

Zhu J, Obrycki JJ, Ochieng SA, Baker TC, Pickett JA, Smiley D, 2005. Attraction of two lacewing species to volatiles produced by host plants and aphid prey. *Naturwissenschaften*, 92(6): 277–281.

Zhu WB, Chi SQ, Wang YC, Li HR, Wang ZK, Gu SD, Sun T, Xiang H, You P, Ren YD, 2023. A chromosome-level genome assembly of the *Henosepilachna vigintioctomaculata* provides insights into the evolution of ladybird beetles. *DNA Research*, 30(1): dsad001.

Zhu XB, Song ZY, Jiang X, Wei QT, Shan SL, Xiao XR, Chen FJ, 2025. Behavioral responses of *Coccinella septempunctata* to *Cnidium monnieri* and its volatiles infested by *Semiaphis heraclei*. *Chinese Journal of Ecology*, 44(6): 1761–1771. [朱霄冰, 宋泽宇, 蒋欣, 魏倩彤, 单淑莲, 肖鑫如, 陈法军, 2025. 七星瓢虫对胡萝卜微管蚜为害的蛇床及其挥发物的行为反应. 生态学杂志, 44(6): 1761–1771.]

Zhu YJ, Yin YF, Wang Z, Chen HY, Liu CX, 2022. A note of degeneration of *Arma chinensis* (Heteroptera: Pentatomidae) during the rearing process. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(1): 159–165. [朱艳娟, 殷焱芳, 王震, 陈红印, 刘晨曦, 2022. 蠋蝽在饲养中的品质退化观察. 中国生物防治学报, 38(1): 159–165.]