

从资源昆虫研究到昆虫农业模式

刘玉升*

(山东农业工程学院, 济南 250100)

摘要 本文立足昆虫资源与资源昆虫的系统辨析, 追溯其从经验利用到科学开发、从单一产品到多元产业的演进历程, 提出“昆虫农业”现代生态循环农业新模式, 旨在推动昆虫学从传统研究向产业融合与系统创新范式转型。重点阐释了授粉昆虫、天敌昆虫与环保昆虫在推动农业绿色转型、实现有机废弃物高值转化中的关键作用, 揭示其对昆虫学分支学科发展的深刻影响, 并从新质生产力高度展望昆虫农业在保障食品安全、支撑分布式家庭农场、重构农业生态循环体系方面的战略价值。

关键词 资源昆虫; 昆虫农业; 生态循环农业; 授粉昆虫; 天敌昆虫; 环保昆虫; 新质生产力

The development of insect agriculture

LIU Yu-Sheng*

(Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan 250100, China)

Abstract Based on a systematic analysis of insect resources and resource insects, this paper describes the evolution from empirical utilization to scientific development, and from single products to diversified industries. It proposes a new model of modern, circular agriculture centered on "insect agriculture", highlighting the critical roles of pollinator insects, natural enemy insects, and environmental insects, in the green transformation of agriculture and the high-value conversion of organic waste. The paper further reveals the profound impact of insect agriculture on the development of sub-disciplines of entomology, and explores its strategic value from the perspective of ensuring food security, supporting family farms, and restructuring agricultural ecological systems. This study aims to facilitate the transition of entomology from traditional research to a paradigm of industrial integration and systematic innovation.

Key words resource insects; insect agriculture; ecological circular agriculture; pollinator insects, natural enemy insects; environmental insects; new quality productive forces

1 昆虫资源与资源昆虫的概念

在资源昆虫研究领域, 昆虫资源与资源昆虫是最常使用且混淆的名词。

1.1 昆虫资源 (Insect resources)

昆虫资源是地球上所有昆虫资源库, “昆虫资源”是一个生态学和资源学概念, 指的是自然界中所有昆虫种类及其产物 (包括活体、尸体、行为及其分泌或代谢产物) 所构成的、具有能够被人类直接或间接利用潜力或实际价值的总和 (陈振耀, 2003; 喻子牛等, 2023)。

“昆虫资源”涵盖了所有自然种类及具有产业价值的昆虫, 具有“资源库”的属性。其资源价值不仅体现在昆虫活体本身 (药物、食物、宠物、观赏昆虫等)、昆虫产物 (药品、蜂蜜、蚕丝、紫胶、染料等) 等物化产品, 还包括其生态功能 (传粉、捕食、分解等) 衍生的具生态价值或经济价值的产品 (如虫蜡、虫砂), 以及以昆虫为要素发展形成的文旅、艺术产品等 (刘玉升和叶保华, 2001; 刘玉升, 2003, 2012, 2015a, 2015b, 2018, 2019, 2024; 贺伟强和沈永根, 2015, 刘玉升和李明立, 2021)。

随着各个学科领域科技水平的提高, 人类对

*第一作者和通讯作者 First author and corresponding author, E-mail: ysl8877@163.com

收稿日期 Received: 2025-08-15; 接受日期 Accepted: 2025-09-10

昆虫认知的全面、深入, 建立在传统昆虫分类学基础上的昆虫资源范围在不断扩大, 一些种类的“资源价值”被不断地发掘, 特别是传统昆虫学中视为“中性昆虫”的生态、环境价值被发掘并应用。

1.2 资源昆虫 (Resource insects)

“资源昆虫”是一个生产学和产业经济的概念, 特指那些具有人工饲养潜质或已经被人类直接利用、或定向筛选、驯化、规模化繁育并产业化发展, 能够产生经济、生态及社会效益的昆虫物种 (刘玉升, 2012)。

“资源昆虫”通常指某个具体的昆虫物种或类群, 其生产技术、利用方式和产业价值已被基本界定。如家蚕 *Bombyx mori*、意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica*、黄粉虫 *Tenebrio molitor*、白星花金龟 *Protaetia brevitarsis*、六斑异瓢虫 *Aiolocaria hexaspilota* 等。

“资源昆虫”在自然属性 (生命性和生态性) 的基础上, 还特别具备两个属性: 生产性和产业属性。“资源昆虫”生产性: 资源昆虫通常已经建立起一套成熟的人工繁育、饲养和管理技术体系, 能够像农作物和家畜一样进行“养殖”或“生产”; “资源昆虫”产业属性: 它与具体的产业链紧密相连, 如蚕丝产业、蜂产业、昆虫蛋白饲料产业、天敌昆虫产业、实验昆虫产业等 (张雅林, 2013; 刘玉升, 2000a, 2000b, 2012, 2024)。

1.3 昆虫资源与资源昆虫的关系

昆虫资源与资源昆虫存在包含关系, 昆虫资源包含了资源昆虫, 资源昆虫是昆虫资源中特指的部分种类。

“昆虫资源”是一个庞大的生物资源宝库, 而“资源昆虫”则是从这个宝库中被挑选出来并投入工业化生产或商业化饲养的种类。所有的“资源昆虫”都属于“昆虫资源”的范畴, 但并非所有的“昆虫资源”都能被称为“资源昆虫” (例如, 野生的传粉蜜蜂是重要的昆虫资源, 但只有被人工饲养用于授粉的蜂群才更精确地被称为资源昆虫)。

“昆虫资源”概念引导我们去发现、评估和

保护自然界中昆虫的巨大潜在价值, 是生物多样性保护和可持续利用的基础。“资源昆虫”概念则指导我们如何去驯化、改良和高效生产特定的昆虫, 将其潜在资源价值转化为产品和服务, 推动相关产业的发展。二者共同体现了昆虫与人类关系的密切程度, 以及人类对自然界认知和利用能力的不断深化 (陈振耀, 2003; 雷朝亮, 2015)。

2 资源昆虫研究历程与产业发展领域

2.1 资源昆虫的研究历程

资源昆虫的研究经历了一个漫长的历史过程, 我们可以将其划分为四个关键的发展阶段。

2.1.1 第一阶段: 古代经验利用与初步观察 (19 世纪以前) 这一时期的特点是“知其然, 而不知其所以然”, 主要是基于长期生产生活经验的自发利用和零散的记录 (陈文华, 1991)。

(1) 养蚕缫丝

这是人类利用资源昆虫最伟大的早期实践之一。传说始于黄帝元妃嫘祖, 考古证据表明早在 5 000 多年前的良渚文化时期中国已开始利用蚕丝, 逐步形成了完整的栽桑、养蚕、缫丝、织绸技术体系, 并通过丝绸之路传播世界 (Gong et al., 2016)。

但此时的研究多限于技术经验的总结, 如《齐民要术》、《农桑辑要》等农书中的记载, 对昆虫本身的生物学没有系统描述。

(2) 养蜂采蜜

中国很早就采集野生蜂蜜和简陋养蜂, 至少具有 3 000 年以上的历史。对蜜蜂的社会性有初步观察, 但繁殖、遗传等机制完全未知。

(3) 药用、食用昆虫

药用昆虫 (如斑蝥 *Mylabris phalerata*、蝉蜕) 和食用昆虫在各地传统文化中均有记载 (陈晓鸣和冯颖, 1999)。

(4) 天敌昆虫

我国是生物防治历史最久的国家, 也是世界上第一个推进生物防治产业化的国家。早在公元 304 年, 晋代嵇含所著的《南方草木状》一书中

就有利用黄猢蚁 *Oecophylla smaragdina* 的记载。

(5) 原料利用

中国古代人利用白蜡虫 *Ericerus pela* 生产白蜡, 紫胶虫 *Kerria lacca* 生产紫胶, 五倍子蚜 *Schlechtendalia chinensis* 生产单宁酸(鞣料), 并用于医药、染料和工业。

这一阶段的特点是以应用驱动, 以实用技术为主, 缺乏系统的科学理论指导。

2.1.2 第二阶段: 近代科学研究的奠基(19 世纪-20 世纪中叶) 随着昆虫学从生物学、动物学中分离出来独立发展, 以及相关学科特别遗传学的建立, 资源昆虫的研究进入了科学时代。

(1) 生物学基础研究的突破

①家蚕研究: 19 世纪, 法国微生物学家巴斯德研究了家蚕的微粒体病, 并提出了选择健康蚕种防治疾病的方法, 这是昆虫病理学的开端 (Tyndall, 1870)。孟德尔遗传定律重新发现后, 家蚕成为经典的遗传学研究材料, 建立了大量的遗传品系。

②蜜蜂研究: 奥地利动物学家卡尔·冯·弗里希 (Karl von Frisch) 因解密蜜蜂的“舞蹈语言”而获得 1973 年诺贝尔奖, 这项研究始于 20 世纪 20 年代, 揭示了蜜蜂复杂的通讯行为 (von Frisch, 1974)。

(2) 驯化与品种改良

①科学家开始系统地研究家蚕、蜜蜂等昆虫的生活史、遗传规律和育种技术。通过杂交育种等手段, 培育出产丝量更高、抗病力更强的家蚕品种和产蜜量更高的蜜蜂品种 (石巍和刘先蜀, 2007; 代方银, 2008)。

②柞蚕 *Antheraea pernyi*、蓖麻蚕 *Samia cynthia ricini* 等其它产丝昆虫也得到研究和推广。

(3) 天敌昆虫研究的兴起

随着生态学观念的发展, 人们开始认识到昆虫天敌在控制害虫方面的巨大潜力。19 世纪末, 美国引进澳洲瓢虫 *Rodolia cardinalis* 成功防治吹绵蚧 *Icerya purchasi*, 成为生物防治史上的里程碑事件, 开启了天敌昆虫学研究的大门 (包建中和古德祥, 1998)。

这一阶段的特点是科学启蒙, 从经验走向实

验, 基础生物学(形态、分类、生理、遗传、行为)研究为后续发展奠定了坚实基础。

2.1.3 第三阶段: 现代技术的融合与扩展(20 世纪下半叶-21 世纪初) 分子生物学、生物化学和人工繁育技术的进步, 极大地拓展了资源昆虫研究的深度和广度。

(1) 分子生物学与基因组学技术

①家蚕基因组计划: 2004 年, 家蚕基因组框架图绘制完成, 是继果蝇 *Drosophila melanogaster* 之后第二个被破译全基因组的昆虫 (Xia *et al.*, 2004)。这使得从分子水平解析蚕丝蛋白合成、发育、抗病等性状成为可能, 推动了转基因蚕的研究 (如生产蜘蛛丝、人胶原蛋白等高价值产品) (Ma *et al.*, 2011; Isobe *et al.*, 2012; Ruiz and Almanza, 2018)。

②蜜蜂等其它资源昆虫的基因组也相继被破译 (Honeybee Genome Sequencing Consortium, 2006; Wallberg *et al.*, 2014)。

(2) 昆虫生产学技术体系的建立

①《昆虫生产学》正式出版 (刘玉升, 2012)。

②赤眼蜂 *Trichogramma* spp.、平腹小蜂 *Anastatus* spp.、草蛉 *Chrysoperla* spp. 等天敌昆虫的人工大规模繁育技术取得成功, 并实现了工厂化生产和田间应用, 推动了绿色农业的发展 (刘玉升, 2024)。

③环保昆虫 (如黄粉虫、白星花金龟、黑水虻 *Hermetia illucens*) 的工厂化养殖技术为解决蛋白饲料短缺和有机废弃物处理提供了新方案 (刘玉升, 2024)。

这一阶段的特点是技术驱动, 多学科交叉融合, 研究从“个体”深入到“分子”, 应用场景极大丰富 (赵惠燕, 2010)。

2.1.4 第四阶段: 当前热点与未来展望(21 世纪至今) 当前的研究正朝着更高效、更智能、更可持续的方向发展, 并面临新的挑战 and 机遇。

(1) 合成生物学与精准设计

利用合成生物学技术, 将家蚕、蜜蜂等改造为“活体工厂”, 使其生产高价值的药用蛋白、特种材料 (如超强韧的蜘蛛丝)、疫苗等 (马三垣, 2014; Scholz and Suppmann, 2016; 黄克,

2022; Chen *et al.*, 2023), 这是当前最前沿的热点。

(2) 智慧养殖与数字化

将物联网 (IoT)、大数据、人工智能 (AI) 技术应用于资源昆虫养殖。例如, 通过传感器监测蜂群健康状况、用图像识别诊断蚕病、用算法优化养殖环境, 实现精准管理和提质增效 (Fraiwani, 2024; Fraiwani *et al.*, 2025; Wang and Shen, 2025)。

(3) 食用昆虫产业化

为应对全球粮食和蛋白危机, 蟋蟀 *Teleogryllus emma*、蝗虫 *Locusta migratoria*、蚕蛹等食用昆虫的规模化养殖、食品安全标准、加工工艺和消费者接受度研究成为热点 (刘玉升, 2012)。欧盟等地区已逐步批准多种昆虫蛋白作为食品和饲料。

(4) 饲用昆虫纳入最新饲料原料目录

农业农村部积极支持黑水虻饲料化开发利用, 将其纳入《饲料原料目录》“9.2.7 虫 (粉)”类别中, 在不影响公共健康和动物健康的前提下, 作为饲料蛋白资源在饲料生产和养殖中使用。鼓励相关主体遵循市场需求导向原则, 开展适应不同养殖基质的黑水虻优良品种培育, 在确保产品质量安全和公共卫生安全的前提下, 积极发展黑水虻科学养殖和饲料化加工利用。下一步, 农业农村部将深入实施养殖业节粮行动, 支持相关主体探索包括黑水虻在内的昆虫蛋白资源饲料化利用途径, 多元化增加饲料蛋白资源供给。

(5) 资源昆虫生态化利用

资源昆虫的研究历程是一部从被动利用到主动开发, 从表型观察到基因操控, 从单一产品到多元服务的进化史。它完美体现了人类如何将一种自然生物资源, 通过科学的力量, 不断深化认识、拓展边界, 最终服务于社会经济和生态环境可持续发展的宏大叙事。未来, 这一领域将继续与最前沿的科技结合, 为解决人类面临的健康、食物、环境等挑战提供独特的“昆虫方案”。

国家出版基金项目 (项目编号: 2022S-021) 资助的生态农业丛书 (科学出版社, 2024) 共包括 13 个分册, 涉及总论、农田、林业、中药、

茶业、草业、养殖业、菌物、昆虫利用、土壤保护、食品加工、农林废弃物利用和农业循环经济等生态农业的多个领域, 其中《资源昆虫生态利用与展望》全面梳理了资源昆虫产业创新技术发展取得的科技成果, 系统论述了资源昆虫产业化前沿技术、生态应用及未来发展趋势 (刘玉升, 2024)。

2.2 资源昆虫产业发展领域

进入 21 世纪以来, 人们对资源昆虫的生态功能和资源价值认识越来越全面和深入, 形成了许多产业领域, 其中生态利用最具代表性的功能类群为授粉昆虫、天敌昆虫和环保昆虫。在现代大农业循环经济发展的绿色化、有机化、环保化、循环化特点及低碳方式新要求, 使得昆虫资源的产业化利用领域不断扩展, 已经从简单的全虫体利用, 逐步向加工系列产品、提取资源成分、行为功能利用和多领域产业的方向发展。其产业领域可根据昆虫的核心功能价值, 划分为以下几大类别 (叶正楚和王韧, 1992; 沈佐锐, 2009; 刘玉升, 2012, 2024; 雷朝亮, 2015)。

传粉昆虫: 如蜜蜂、熊蜂 *Bombus* spp.、蝴蝶 *Papilio machaon* 等, 为农作物和野生植物传粉, 保障粮食安全和生态系统平衡, 价值巨大。

天敌昆虫: 如瓢虫、草蛉、寄生蜂等, 用于生物防治, 控制农业害虫, 减少化学农药使用。

药用昆虫: 如斑蝥、蚂蚁 *Lasius niger*、冬虫夏草 *Ophiocordyceps sinensis* (真菌与昆虫幼虫的复合体) 等, 入药或提取活性成分。

食用与饲用昆虫: 如黄粉虫、蟋蟀、蝗虫等, 富含蛋白质和脂肪, 是未来食品和饲料蛋白的重要来源。

工业原料昆虫: 如家蚕 (产丝)、白蜡虫 (产白蜡)、紫胶虫 (产紫胶)、五倍子蚜 (产单宁酸) 等。

文化娱乐昆虫: 如观赏性蝴蝶、鸣虫 (蝈蝈 *Gampsocleis gratiosa*、蟋蟀 *Teleogryllus emma*)、标本收藏等。

环保昆虫: 如蜣螂 *Catharsius molossus* (“屎壳郎”) 等粪食性昆虫分解粪便, 黑水虻等处理有机废弃物。

仿生学灵感来源：昆虫的结构、功能和行为为人类技术创新提供了无穷灵感，如蜻蜓与直升机、蜂巢结构与复合材料。

资源昆虫产业是一个多学科交叉、涵盖一、二、三产业的综合性新兴产业。它不仅在解决蛋白质短缺和环境污染等全球性问题上展现出巨大潜力，也正在催生一个规模庞大、价值多样的商业生态系统。对于投资者、科研人员和创业者来说，这是一个充满机遇的蓝海市场。

3 昆虫农业概念的形成与含义

现代农业的内涵是现代生态循环农业，农业发展全面绿色转型和全物质循环利用是发展的大趋势。资源昆虫在现代农业各个领域发挥的作用越来越显著（陈振耀，2003），本文选择了最为突出的三个方面予以阐述。

3.1 授粉昆虫在现代农业中的作用

授粉昆虫既可以为植物、作物进行授粉，又可以直接产出各类蜂产品。

3.1.1 授粉昆虫促进生物多样性演化和提升作物产量 授粉昆虫亿万年来默默地为物种的进化和人类的农业生产做出了巨大的贡献。据统计，在显花植物种类中，大约有 85% 依赖于授粉昆虫的传粉活动实现繁衍，同时授粉昆虫在传粉过程中获得生存的营养和能量物质，二者形成了密切的、互惠的、相互依赖的关系。而自花授粉和借助风、水传粉的只各占 5% 和 10%。授粉又是获得农业产品——农作物种子的关键环节。一

般来说，虫媒花重于风媒花，只有依靠昆虫携带才能完成异花授粉进行正常繁殖。

经过蜜蜂授粉作物调查，目前全球主要种植的 100 种作物为人类提供了 90% 的食物，而这 100 种作物里至少有 70% 为虫媒植物，而且授粉主要依赖蜜蜂。通过昆虫授粉，作物不但可以提高产量，还可以改善品质。例如，利用熊蜂为温室蔬菜授粉，可使茄子、青椒产量增加 15%-40%，番茄增加 22%-40%，黄瓜增加 50%；还可以提高果实品质，并可以减少因喷洒激素造成果实的污染（苟在坪，2008；刘玉升，2024）。

3.1.2 授粉昆虫产生蜂产品产值及对农业的贡献

据有关部门报道，我国近年蜂产品总产值为 80 亿元，按美国或加拿大的蜜蜂授粉贡献率来计算，我国养蜂业为农业的贡献将是 8 000 亿-16 000 亿元（邵有全和祁海萍，2010）

3.2 天敌昆虫对农业发展全面绿色转型的科技支撑

天敌昆虫的应用作为生态植保技术体系的核心内容，成为农业发展全面绿色转型的重要科技支撑（杨忠岐，2004）。

3.2.1 天敌昆虫代表性类群（种类） 天敌昆虫在农业和生态系统中扮演着至关重要的“生物防控”功能，它们能有效控制害虫的数量，减少化学农药的使用。其代表性种类可以根据其取食和捕食策略分为以下几大类：

根据昆虫系统分类体系（刘玉升，2012，2024）将天敌昆虫主要资源列表如下（表 1）。

表 1 天敌昆虫代表性类群（种类）
Table 1 Representative groups (species) of natural enemy insects

目别 Order	科别 Family	种类 Species	成虫食性 Adult diet	幼虫（若虫）食性 Larval (nymph) diet	利用状况 Utilization status	备注 Notes
蜻蜓目	所有科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌、食用	产业化
螳螂目	所有科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌、食用	产业化
半翅目	黴蝽科	海南巨黴蝽	捕食性	捕食性	未利用	
	负子蝽科	桂花蝉属 2 种	捕食性	捕食性	食用	广东
	蝽蝽科	小蝽蝽	捕食性	捕食性	鉴赏	产业化
	猎蝽科	猎蝽 20 种	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	姬蝽科	姬蝽 10 种	捕食性	捕食性	天敌	

续表 1 (Table 1 continued)

目别 Order	科别 Family	种类 Species	成虫食性 Adult diet	幼虫(若虫)食性 Larval (nymph) diet	利用状况 Utilization status	备注 Notes
广翅目	花蝽科	小花蝽	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	蝽科	蝽蝽	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	益蝽科	益蝽类	捕食性	捕食性	天敌	
	盲蝽科	捕食性盲蝽	捕食性	捕食性	天敌	
	所有科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌、食用	产业化
蛇蛉目	所有科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	
脉翅目	草蛉科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	
	蚁蛉科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	幼虫穴居
鞘翅目	虎甲科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	
	步甲科	谷婪步甲	兼食性	兼食性	天敌	
	步甲科	黑广肩步甲	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	步甲科	绿步甲	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	龙虱科	金边龙虱	捕食性	捕食性	天敌	水生性
	水龟虫科	长须水龟虫	捕食性	捕食性	天敌	水生性
	萤科	窗胸萤	捕食性	捕食性	天敌、鉴赏	捕食蜗牛
	坚甲科	花绒寄甲	捕食性	捕食性	天敌	寄食天牛
	瓢甲科	七星瓢虫	捕食性	捕食性	天敌	产业化
		异色瓢虫	捕食性	捕食性	天敌	产业化
		龟纹瓢虫	捕食性	捕食性	天敌	产业化
		深点食螨瓢虫	捕食性	捕食性	天敌	螨类
		多异瓢虫	捕食性	捕食性	天敌	产业化
		六斑异瓢虫	捕食性	捕食性	天敌	产业化
双翅目	方头甲科	日本方头甲	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	瘿蚊科	食蚜瘿蚊	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	食虫虻科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	研究状态
	食蚜蝇科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	研究状态
膜翅目	小蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	金小蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	跳小蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	蚜小蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	姬小蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	赤眼蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	产业化
	瘿小蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	缘腹细蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	姬蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	研究状态
	茧蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	产业化

续表 1 (Table 1 continued)

目别 Order	科别 Family	种类 Species	成虫食性 Adult diet	幼虫（若虫）食性 Larval (nymph) diet	利用状况 Utilization status	备注 Notes
	蚜茧蜂科	全部种类	寻主活动	寄生性	天敌	产业化
	螯蜂科	全部种类	寄生性	寄生性	天敌	研究状态
	青蜂科	全部种类	寄生性	寄生性	天敌	研究状态
	土蜂科	全部种类	寄生性	寄生性	天敌	研究状态
	蛛蜂科	全部种类	寄生性	寄生性	天敌	寄生蜘蛛
	胡蜂科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	产业化
	蜾蠃蜂科	全部种类	捕食性	捕食性	天敌	研究状态

3.2.2 天敌昆虫应用方式 天敌昆虫资源的研究与利用发展阶段：

第一阶段：自然控制现象观察与自然资源收集。研究历史悠久，可以追溯到 1888 年美国加州引进澳洲瓢虫防治吹绵蚧，历史资料丰富。

第二阶段：个体生物学研究与实验种群建立。每一种天敌昆虫都是无限重复这个过程。

第三阶段：大规模生产繁育与商品化释放应用。现在正在进行中，但是受制于化学农药使用思维。就像一个魔咒一样，影响到社会各个阶层，难以摆脱。

第四阶段：天敌昆虫生态化“牧养系统”与“嵌入式”应用耦合系统，目前已经在山东省大面积应用，农田、果园、菜园、茶园和农业园区（刘玉升，2024）。

3.2.3 环保昆虫生态利用是生物链复杂农业发展支撑 农作物秸秆、果树枝条、蔬菜尾菜、食用菌菌糠、餐厨废弃物、有机废污水等可以通过“虫菌”复合技术实现资源化、无害化、

产业化转化。这个过程，可以将人类不能消费利用的废弃物作为环保昆虫的食物原料，实现“消费即生产”，食物链上一级生物在消费过程中，为食物链下一级的生物生产出食物原料，形成一个“益性”的循环，每一次循环对带来一定的资源增量，这就是资源循环增量。生物量复杂农业就是典型的资源循环增量生产模式（齐乃萍等，2019；刘玉升，2003，2012，2017a，2017b，2024）。

（1）代表性种类

昆虫纲中具有自然转化有机废弃物生态功能的类群很多，如表 2 所示。

（2）应用方式

不同种类的环保昆虫因其取食习性与消化特性的差异，在处理有机废弃物方面展现出明显的专化性与互补性。为清晰展示这种对应关系，将主要种类、其适宜处理的有机物料特性、当前应用程度及具开发潜力的替代或互补种类归纳如下（表 3）。

表 2 主要环境昆虫类群（种类）
Table 2 Major environmental insect groups (species)

目别 Order	科别 Family	种类 Species	成虫食性 Adult diet	幼虫（若虫）食性 Larval (nymph) diet	利用状况 Utilization status	备注 Notes
弹尾目	所有科	全部种类	腐食性	腐食性		自然
原尾目	所有科	全部种类	腐食性	腐食性		菌根菌
双尾目	所有科	全部种类	腐食性	腐食性		生物质
蜚蠊目	地鳖蠊科	中华真地鳖（土元）	杂食性	杂食性	环保	产业化
	蜚蠊科	美洲大蠊（大蟑螂）	杂食性	杂食性	环保	产业化
直翅目	蝼蛄科	2 种华北蝼蛄、东方蝼蛄	碎屑性	碎屑性	湿垃圾	

续表 2 (Table 2 continued)						
目别 Order	科别 Family	种类 Species	成虫食性 Adult diet	幼虫 (若虫) 食性 Larval (nymph) diet	利用状况 Utilization status	备注 Notes
鞘翅目	埋葬甲科	全部种类	腐食性	杂食性		自然
	锹甲科	全部种类	腐食性	腐食性	鉴赏	产业化
	蜣螂科	神农蜣螂	粪食性	粪食性	环保	产业化
	粪蜣科	粪蜣	粪食性	粪食性		自然
	拟步甲科	黄粉虫	腐食性	腐食性	环保	产业化
		黑粉虫	腐食性	腐食性	环保	产业化
		大黑甲 (大麦虫)	腐食性	腐食性	环保	产业化
		洋虫	腐食性	腐食性	环保	产业化
双翅目	大蚊科	大多数种类	腐食性	腐食性		自然
	摇蚊科	全部种类	腐食性	腐食性		幼虫水生
	毛蠓科	大多数种类	腐食性或粪食性	腐食性或粪食性		自然
	水虻科	大多数种类	腐食性	腐食性	环保	产业化
	果蝇科	全部种类	腐食性	腐食性	科研	产业化
	蝇科	家蝇	腐食性或粪食性	腐食性或粪食性	环保	产业化
	丽蝇科	大头金蝇	腐食性或粪食性	腐食性或粪食性	环保	产业化
	麻蝇科	全部种类	腐食性	腐食性 (腐肉性)	环保	产业化
直翅目	斑翅蝗科	东亚飞蝗	草食性	草食性	生态	产业化

表 3 代表性环保昆虫与转化处理有机废弃物之间的对应关系				
Table 3 Correspondence between representative beneficial insects and organic waste conversion/processing				
种类 Species	有机物料类别 Organic waste category	有机物料性质 Waste properties	应用程度 Utilization status	相关潜力种类 Species with related potential
黄粉虫	蔬菜废弃物、瓜果残体、病落果、餐厨废弃物等	高糖、高淀粉类物质, 质地软嫩	已形成产业链	黑粉虫、大麦虫 (大黑甲)、洋虫
白星花金龟	作物秸秆、蔬菜秧蔓、杂草、牛粪、羊粪、兔粪等	纤维类物质, 坚硬	已形成产业链	花金龟科种类、赭翅臀花金龟
黑水虻	猪粪、鸡粪、鸭粪等	高脂肪、高蛋白类物质, 半湿状态	已形成产业链	与白星花金龟组合利用, 提高效率
家蝇	猪粪、鸡粪、鸭粪等	高脂肪、高蛋白类物质, 半湿状态	已形成产业链	与白星花金龟组合利用, 提高效率
麻蝇	病死动物尸体	高脂肪、高蛋白类物质, 半固态	初步探索实验、推广阶段	与黄粉虫组合利用, 提高效率

近年来, 由于气候变暖、生态破坏等自然灾害发生频繁, 在目前科技手段和农业生产条件的局限下, 台风肆虐、洪水暴发乃至夏收秋收时节突发风雨等等, 这些灾害导致农产品大量霉变和腐烂, 给传统农业造成巨大损失。环保昆虫资源产业化的崛起, 则能通过无害化、资源化和高值

化利用的方式实现“变废为宝”, 获得“农业止损”效应。

3.2.4 “昆虫农业模式”与“昆虫农场模式” “昆虫农业模式”与“昆虫农场模式”是讨论“资源昆虫利用”与“昆虫农业模式”时容易混淆但至关重要的概念。“昆虫农业模式”, 就是嵌入昆虫

元素的现代生态循环农业模式；“昆虫农场模式”，则是以资源昆虫生产养殖为基础，实现资源昆虫

产业的模式。“昆虫农业模式”和“昆虫农场模式”是整体与局部、抽象与具体的关系（表4）。

表4 “昆虫农业模式”与“昆虫农场模式”比较

Table 4 Comparison between the "insect agriculture model" and the "insect farming model"

维度 Criterion	昆虫农业模式 Insect agriculture model	昆虫农场模式 Insect farming model
性质	宏观产业概念、生产体系	微观运营概念、商业模式
关注点	原理、逻辑、产业链、环境影响	技术、成本、盈利、管理、规模
层面	战略层面（“为什么”和“做什么”）	战术/执行层面（“如何做”和“在哪做”）
举例类比	“畜牧业”（一个广泛的产业）	“规模化奶牛场”或“散养土鸡场”（具体的经营实体）
关系	一个“昆虫农业模式”可以由多种不同的“昆虫农场模式”来实现	一个“昆虫农场模式”是实践“昆虫农业模式”的一种具体方式

4 昆虫农业模式对昆虫分支学科发展的影响

昆虫农业模式的兴起，正在深刻地重塑和推动昆虫学（Entomology）这一传统学科的发展，使其从一个偏重基础研究和害虫管理的学科，向一个更加多元化、应用化和前沿交叉的领域演进。

4.1 昆虫分类学（Insect taxonomy）

按照传统的学科分支性质界定，我们一般将昆虫分类学归为基础研究内容，似乎与应用研究或产业发展没有关系。随着科技进步与积累、解决社会问题综合性、复杂性、系统性程度的提高，基础研究与应用研究的划分已经十分模糊，都应该是“问题研究”。

在从“资源昆虫”到“昆虫农业”模式演进的过程中，传统昆虫分类学研究也应该沿循“昆虫分类学-资源价值评估-产业经济”发展路径丰富内容，实现学科交叉与跨界研究，更加凸显昆虫分类学的基础研究地位。

4.2 昆虫生理学与生物化学（Insect physiology and biochemistry）

传统研究侧重于理解昆虫生命活动的基本原理，昆虫农业则提出了极其具体的应用问题，如：①如何通过饲料配比最大化昆虫的生物量增

长和营养成分（如蛋白质、脂肪、几丁质）的积累？②哪些环境因子（温度、湿度、光照周期）和激素能最有效地促进昆虫生长、缩短世代时间？③人工高密度养殖下的昆虫应激生理机制是什么？如何减轻应激以提高福利和产量？这些需求催生了更精细、更偏向应用的基础研究。

4.3 昆虫营养学（Insect nutrition）

从“昆虫食性”到“昆虫饲料”，这是一个因昆虫农业而空前繁荣的子领域，涉及的问题有：①如何利用各种有机废弃物（作物秸秆、畜禽粪污、食品加工废料残渣、餐厨垃圾等）制作环保昆虫饲料，实现农业发展增值和建立循环经济模式。②研究不同昆虫种类（如黑水虻、黄粉虫、蟋蟀）在不同生长阶段对氨基酸、脂肪酸、维生素、矿物质的最佳需求谱，形成了“精准昆虫营养学”。

4.4 昆虫遗传学与育种学（Insect genetics and breeding）

利用现代生物技术例如基因组学对资源昆虫进行遗传学与育种学的深入研究，可促进资源昆虫特殊资源价值的充分利用。这个领域的内容包括：①从“模式生物”到“经济性性状改良”，类似于作物和家畜的驯化史，昆虫农业正在加速经济昆虫的驯化进程。②遗传选育，通过人工选择培育生长更快、个头更大、饲料转化率更高、抗病性更强的品系。③基因组学：对黄粉虫、白

星花金龟(生物型)、赭翅臀花金龟 *Campsiura mirabilis*、黑水虻等重要资源昆虫进行基因组测序,定位控制重要经济性状的基因,为分子育种奠定基础。

昆虫农业模式是当前昆虫学发展的最强引擎之一。它不再是昆虫学的一个简单应用分支,而是通过提出前所未有的具体科学问题、提供丰富的资金支持和明确的市场导向,倒逼、引领、重塑和推动整个昆虫学这一传统学科的发展,使其从一个偏重基础研究和害虫管理的学科,向一个更加多元化、应用化和前沿交叉的领域演进。

5 结语

从资源昆虫研究到昆虫农业模式的形成,资源昆虫的产业动力就是农业新质生产力。资源昆虫(如传粉蜜蜂、饲料黑水虻、授粉熊蜂、食品昆虫等)本身就是一种高度集约化、技术化和可持续的农业生产资料。而农业新质生产力的核心在于通过技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级来提升农业生产的效率和质量。因此,资源昆虫产业是培育和发展农业新质生产力的一个绝佳载体和突破口。如曾经风靡一时的林下经济模式、山头经济模式,还有延续百年之久的稻田养鱼模式,目前已经渐渐衰弱,其根本原因就是消耗殆尽了长久积累物质,而没有补充投入新的蛋白饲料。如果“嵌入”环保昆虫元素,就可以内生性补充低成本、高蛋白的活体饵料,从而实现再次激活、持续发展。

昆虫农业的兴起不仅改变了研究重点,更对昆虫学人才的培养模式产生了深远而具体的影响。它正在推动人才培养从传统的“理论型、研究型”向“复合型、应用型”转变。昆虫农业对昆虫学人才培养的影响是颠覆性和建设性的。它迫使教育体系进行改革,以培养出能够推动这一新兴产业发展、解决全球可持续发展挑战的新一代昆虫学家。这不仅是知识的叠加,更是思维模式和职业能力的根本性重塑。

昆虫农业不是要取代传统农业,而是为其提供一个关键的补充和转型工具。昆虫农业,就是在现代生态循环农业的基础上,嵌入昆虫

元素,使资源昆虫的物质性和行为功能性在大农业领域展示,为进一步完善、丰富大农业结构贡献力量。

参考文献 (References)

- Bao JZ, Gu DX, 1998. Biological Control in China. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press. 1–664. [包建中, 古德祥, 1998. 中国生物防治. 太原: 山西科学技术出版社. 1–664.]
- Chen K, Yu Y, Zhang ZJ, Hu B, Liu XJ, James AA, Tan AJ, 2023. Engineering a complex, multiple enzyme-mediated synthesis of natural plant pigments in the silkworm, *Bombyx mori*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(33): e2306322120.
- Chen WH, 1991. Atlas of Ancient Chinese Agricultural Technology History. Beijing: Agriculture Press. 1–151. [陈文华, 1991. 中国古代农业科技史图谱. 北京: 农业出版社. 1–151.]
- Chen XM, Feng Y, 1999. Chinese Edible Insects. Beijing: China Science and Technology Press. 1–336. [陈晓鸣, 冯颖, 1999. 中国食用昆虫. 北京: 中国科学技术出版社. 1–336.]
- Chen ZY, 2003. Insect World and Human Society. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press. 1–201. [陈振耀, 2003. 昆虫世界与人类社会. 广州: 中山大学出版社. 1–201.]
- Dai FY, 2008. Study on the heredity of mutants and near isogenic lines in silkworm, *Bombyx mori*. Doctor dissertation. Chongqing: Southwest University. [代方银, 2008. 家蚕突变基因的遗传与近等位基因系研究. 博士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Frairwan M, 2024. Efficient convolutional neural network model for the taxonomy and sex identification of three phlebotomine sandfly species (Diptera, Psychodidae, and Phlebotominae). *Animals*, 14(24): 3712.
- Frairwan M, Mukbel R, Kanaan D, 2025. Using deep learning artificial intelligence for sex identification and taxonomy of sand fly species. *PLoS ONE*, 20(4): e0320224.
- Gong YX, Li L, Gong DC, Yin H, Zhang JZ, 2016. Biomolecular evidence of silk from 8 500 years ago. *PLoS ONE*, 11(12): e0168042.
- Gou ZP, 2008. Development of agricultural circular economy in foreign countries. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 1(11): 41–44. [苟在坪, 2008. 国外农业循环经济的发展. 再生资源与循环经济, 1(11): 41–44.]
- He WQ, Shen YG, 2015. Practical Technologies for Resource Utilization of Sericulture Waste. Beijing: China Agriculture Press. 1–41. [贺伟强, 沈永根, 2015. 蚕桑生产废弃物资源化利用实用技术. 北京: 中国农业出版社. 1–41.]
- Honeybee Genome Sequencing Consortium, 2006. Insights into

- social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*. *Nature*, 443(7114): 931–949.
- Huang K, 2022. Study on the preparation of norovirus VLP vaccine using insect cells and silkworm bioreactor. Master dissertation. Nanyang: Nanyang Normal University. [黄克, 2022. 利用昆虫细胞及家蚕生物反应器制备诺如病毒 VLP 疫苗的研究. 硕士学位论文. 南阳: 南阳师范学院.]
- Isobe R, Kojima K, Matsuyama T, Quan G, Kanda T, Tamura T, Sahara K, Asano S, Bando H, Jiang L, Wang G, Cheng T, Yang Q, Jin S, Lu G, Wu F, Xiao Y, Xu H, Xia Q, 2012. Resistance to *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus via overexpression of an endogenous antiviral gene in transgenic silkworms. *Archives of Virology*, 157(7): 1323–1328.
- Kong FX, 2000. Environmental Biology. Beijing: Higher Education Press. 1–391. [孔繁翔, 2000. 环境生物学. 北京: 高等教育出版社. 1–391.]
- Lei CL, 2015. Theory and Practice of Insect Resource Science. Beijing: Science Press. 1–272. [雷朝亮, 2015. 昆虫资源学理论与实践. 北京: 科学出版社. 1–272.]
- Liu YS, 2000a. Constructing detritus ecosystem and opening new battlefield for agricultural production. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 16(1): 57–59. [刘玉升, 2000a. 构建腐屑生态系统开辟农业生产新战场. 农业系统科学与综合研究, 16(1): 57–59.]
- Liu YS, 2000b. Macro-agriculture—The main battlefield of the sixth industrial revolution. *Journal of Shandong Agricultural University (Social Science Edition)*, 2(1): 21–25. [刘玉升, 2000b. 大农业——第六次产业革命的主战场. 山东农业大学学报(社会科学版), 2(1): 21–25.]
- Liu YS, 2003. Theoretical discussion on macro-agriculture circular economy. *Research of Agricultural Modernization*, 24(Suppl.): 24–26. [刘玉升, 2003. 大农业循环经济理论探讨. 科技进步与农业产业发展论坛. 89–93.]
- Liu YS, Guo JY, Wan FH, 2011. Biological Control of Fruit Tree Pests. Beijing: Jindun Publishing House. 1–151. [刘玉升, 郭建英, 万方浩, 2011. 果树害虫生物防治. 北京: 金盾出版社. 1–151.]
- Liu YS, 2012. Insect Production Science. Beijing: Higher Education Press. 1–275. [刘玉升, 2012. 昆虫生产学. 北京: 高等教育出版社. 1–275.]
- Liu YS, 2015a. Scientific basis and technology system of macro agriculture circle economy. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 8(9): 7–12. [刘玉升, 2015. 大农业循环经济的科学基础与技术体系. 再生资源与循环经济, 8(9): 7–12.]
- Liu YS, Song HT, Fang J, 2015b. Construction and application of the city garbage classification system of three elements and two levels. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 8(6): 18–21. [刘玉升, 宋洪涛, 方洁, 2015. 城市生活垃圾三元二级分类体系的构建及应用前景. 再生资源与循环经济, 8(6): 18–21.]
- Liu YS, Wang L, Zhang GJ, Yao WT, Song HT, Pang YC, 2017a. Discussion of integration treatment of city and country garbage: A new classification system with three elements and two levels. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 10(2): 33–36. [刘玉升, 王丽, 张广杰, 姚文涛, 宋洪涛, 庞运才, 2017. 城乡生活垃圾一体化处理探讨: 三元二级分类新体系. 再生资源与循环经济, 10(2): 33–36.]
- Liu YS, 2017b. A new classification system and insects transform technology in a wet environment for rural living garbage. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 48(5): 775–778. [刘玉升, 2017. 农村生活垃圾分类新体系及湿垃圾环境的昆虫转化技术. 山东农业大学学报(自然科学版), 48(5): 775–778.]
- Liu YS, 2018. Ecological Plant Protection: Principles and Practice. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 1–454. [刘玉升, 2018. 生态植物保护学: 原理与实践. 北京: 中国农业科学技术出版社. 1–454.]
- Liu YS, 2019. Present situation and prospect of resource utilization of protected vegetable waste and protection and utilization of ecological plants. *Agricultural Engineering Technology*, 39(28): 25–27. [刘玉升, 2019. 设施蔬菜废弃物资源化与生态植物保护利用现状及前景. 农业工程技术, 39(28): 25–27.]
- Liu YS, Li ML, 2021. Theoretical Technology and Practice of Ecological Plant Protection. Beijing: Science Press. 1–454. [刘玉升, 李明立, 2021. 生态植物保护理论技术与实践. 北京: 科学出版社. 1–454.]
- Liu YS, 2024. Resource Insect Ecological Utilization and Prospects. Beijing: Science Press. 1–313. [刘玉升, 2024. 资源昆虫生态利用与展望. 北京: 科学出版社. 1–313.]
- Ma L, Xu HF, Zhu JQ, Ma SY, Liu Y, Jiang RJ, Xia QY, Li S, 2011. Ras1(CA) overexpression in the posterior silk gland improves silk yield. *Cell Research*, 21(6): 934–943.
- Ma SY, 2014. Research on genetic improvement and application of silkworm silk gland based on genome editing. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [马三垣, 2014. 基于基因组编辑的家蚕丝腺遗传改良与应用研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Qi NP, Qin ML, LI ZA, Liu YS, 2019. Study on the conversion effect of *Tenebrio molitor* L. feeding on three meats. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 50(6): 950–953. [齐乃萍, 秦铭璐, 李增安, 刘玉升, 2019. 黄粉虫对三种肉类的转化效果研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 50(6): 950–953.]

- 学版), 50(6): 950–953.]
- Ruiz X, Almanza M, 2018. Implications of genetic diversity in the improvement of silkworm *Bombyx mori* L.. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(4): 569–579.
- Scholz J, Suppmann S, 2016. A re-usable wave bioreactor for protein production in insect cells. *MethodsX*, 3: 497–501.
- Shao YQ, Qi HP, 2010. Techniques for Increasing Yield through Insect Pollination of Fruits and Vegetables. Beijing: Jindun Press.
8. [邵有全, 祁海萍, 2010. 果蔬昆虫授粉增产技术. 2010. 北京: 金盾出版社. 8.]
- Shen ZR, 2009. Insect Ecology and Ecological Principles of Pest Control. Beijing: China Agricultural University Press. 1–529. [沈佐锐, 2009. 昆虫生态学及害虫防治的生态学原理. 北京: 中国农业大学出版社. 1–529.]
- Shi W, Liu XS, 2007. Conventional bee breeding I: Pure breeding. *Apiculture of China*, 58(10): 25–26. [石巍, 刘先蜀, 2007. 蜜蜂的常规育种之一——纯种选育. 中国蜂业, 58(10): 25–26.]
- Toviho OA, Bársony P, 2020. Insect base-protein: A new opportunity in animal nutrition. *Acta Agraria Debreceniensis*, 2020(1): 129–138.
- Tyndall J, 1870. Pasteur's researches on the diseases of silkworms. *Nature*, 2(36): 181–183.
- van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, 2018. Edible Insects: Perspectives for Food and Feed Safety (Liu Yusheng, Yu Ziniu, Trans.). Beijing: Science Press. 1–193. [van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, 2018. 可食用昆虫: 食品和饲料安全的展望 (刘玉升, 喻子牛, 译). 北京: 科学出版社. 1–193.]
- von Frisch K, 1974. Decoding the language of the bee. *Science*, 185(4152): 663–668.
- Wallberg A, Han F, Wellhagen G, Dahle B, Kawata M, Haddad N, Simões ZLP, Allsopp MH, Kandemir I, De la Rúa P, Pirk CW, Webster MT, 2014. A worldwide survey of genome sequence variation provides insight into the evolutionary history of the honeybee *Apis mellifera*. *Nature Genetics*, 46(10): 1081–1088.
- Wang CP, Shen J, 2025. Deep learning-driven behavioral analysis reveals adaptive responses in *Drosophila* offspring after long-term parental microplastic exposure. *Journal of Environmental Management*, 376: 124502.
- Xia QY, Zhou ZY, Lu C, Cheng DJ, Dai FY, Li B, Zhao P, Zha XF, Cheng TC, Chai CL, Pan GQ, Xu JS, Liu C, Lin Y, Qian JF, Hou Y, Wu ZL, Li GR, Pan MH, Li CF, Shen YH, Lan XQ, Yuan LW, Li T, Xu HF, Yang GW, Wan YJ, Zhu Y, Yu MD, Shen WD, Wu DY, Xiang ZH, Yu J, Wang J, Li RQ, Shi JP, Li H, Li GY, Su JN, Wang XL, Li GQ, Zhang ZJ, Wu QF, Li J, Zhang QP, Wei N, Xu JZ, Sun HB, Dong L, Liu DY, Zhao SL, Zhao XL, Meng QS, Lan FD, Huang XG, Li YZ, Fang L, Li CF, Li DW, Sun YQ, Zhang ZP, Yang Z, Huang YQ, Xi Y, Qi QH, He DD, Huang HY, Zhang XW, Wang ZQ, Li WJ, Cao YZ, Yu YP, Yu H, Li JH, Ye JH, Chen H, Zhou Y, Liu B, Wang J, Ye J, Ji H, Li ST, Ni PX, Zhang JG, Zhang Y, Zheng HK, Mao BY, Wang W, Ye C, Li SG, Wang J, Wong GK, Yang HM, Group BA, 2004. A draft sequence for the genome of the domesticated silkworm (*Bombyx mori*). *Science*, 306(5703): 1937–1940.
- Yang ZQ, 2004. Advance in bio-control researches of the important ForestInsect pests with natural enemies in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(4): 221–227. [杨忠岐, 2004. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展. 中国生物防治学报, 20(4): 221–227.]
- Ye ZC, Wang R, 1992. Progress in the biological control of agricultural insect pests in China. *Entomological Knowledge*, 29(3): 179–182. [叶正楚, 王韧, 1992. 中国农业害虫生物防治概况与进展. 昆虫知识, 29(3): 179–182.]
- Yu ZN, Liu YS, Zhang JB, Yang H, Zhang ZJ, 2023. Research and utilization of important insect resources. Zhengzhou: Zhongyuan Farmer Publishing House. 1–640. [喻子牛, 刘玉升, 张吉斌, 杨红, 张志剑, 2023. 中国重要昆虫资源研究与利用. 郑州: 中原农民出版社. 1–640.]
- Zhang YL, 2013. Resource Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 1–473. [张雅林, 2013. 资源昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 1–473.]
- Zhao HY, 2010. Insect Research Methods. Beijing: Science Press. 1–209. [赵惠燕, 2010. 昆虫研究方法. 北京: 科学出版社. 1–209.]