应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2025, 62(5): 1417−1426. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2025.121

中国果树食心虫防控技术的发展：从化学依赖到多学科融合的绿色革命*

赵 鹏** 李 贞 刘晨曦 刘小侠***

（中国农业大学植物保护学院昆虫学系，北京 100193）

摘 要 食心虫是果树上的一类重要害虫，主要包括梨小食心虫 *Grapholita molesta*、桃小食心虫 *Carposina sasakii* 和苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 等。由于寄主范围广、繁殖力强、危害隐蔽等特点，该类害虫在全球范围造成不同程度的危害，对我国的果树产业造成了严重损失，其防控技术的演变是我国果树行业绿色发展的重要缩影。本文系统性梳理了 70 年来我国梨小食心虫防控技术的四次重大变革：化学防治主导期（1950-1975 年）：依赖有机磷及有机氯类杀虫剂，导致害虫抗药性加剧与生态失衡；综合防治兴起期（1975-2000 年）：农业调控、物理阻隔、生物防治技术与科学用药协同应用；绿色防控体系形成期（2000-2015 年）：性诱捕器、迷向技术、天敌释放等核心技术的标准化建立和广泛应用；多学科融合创新期（2015 至今）：纳米农药、肠道微生物调控、智能监测技术突破性发展。政策支持、技术创新和市场需求共同促进了果树食心虫绿色防控技术的精准化、智能化和低碳化。当前大田害虫的纳米农药减药 30%-45%，无人机飞防效率提升 10 倍，智能监测预警等多项技术已逐渐拓展应用到果树害虫，标志着我国果树食心虫治理进入了绿色可持续发展的新阶段。

关键词 果树食心虫；绿色防控；技术变革；多学科融合

Evolution of fruit borer management technologies from chemical control to multidisciplinary integration

ZHAO Peng** LI Zhen LIU Chen-Xi LIU Xiao-Xia***

(Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Fruit borers, such as *Grapholita molesta*, *Carposina sasakii* and *Cydia pomonella*, are economically important pests that significantly reduce fruit production. Characterized by their broad host range, high reproductive potential and cryptic feeding behavior, these pests cause varying degrees of damage worldwide and have inflicted substantial economic losses on China's fruit industry. The development of management strategies for these pests reflects critical milestones in the country's transition towards sustainable fruit production. This article systematically reviews four major shifts in the management of fruit borers in China over the past seven decades: (1) The chemical-dominant era (1950-1975) during which reliance on organophosphates and organochlorines led to intensified pesticide resistance and ecological disruption. (2) The emergence of integrated pest management (1975-2000) during which coordinated application of agricultural control, physical barriers, biological control, and scientific pesticide use was adopted. (3) The formation of green management systems (2000-2015), including the standardization and widespread implementation of core technologies such as sex pheromone traps, mating disruption, and natural enemy releases. (4) The Era of Multidisciplinary Innovation (2015-present) which has seen breakthrough developments in nano-pesticides, gut microbiota manipulation, and intelligent monitoring technologies. Policy support, technological innovation, and market demands have collectively driven the advancement of environmentally-friendly, “green” management technologies for fruit borers towards more precise, intelligent, and low-carbon, practices. Current

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（32172403）；财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系（CARS-28）

**第一作者 First author，E-mail：zhaopeng941103@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：liuxiaoxia611@cau.edu.cn

收稿日期 Received：2025-08-16；接受日期 Accepted：2025-09-05

advancements have led to a 30%-45% reduction in chemical pesticide usage through nano-pesticide applications, a tenfold increase in operational efficiency via UAV-based spraying, and over 90% accuracy in intelligent monitoring and early-warning systems for field crop pests. These technologies are now being extended to the management of fruit tree pests. These advances signify that the management of fruit borers in China has entered a new stage of environmentally-friendly, sustainable development.

Key words fruit borer; green pest management; technological evolution; multidisciplinary integration

果树食心虫是一类通过蛀食果实和嫩枝造成损害的害虫，严重影响果树生长和果实质量，主要包括梨小食心虫 *Grapholita molesta*、桃小食心虫 *Carposina sasakii* 和苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 等（黄可训等, 1990; 张青文和刘小侠, 2015）。因食心虫具有寄主范围广（梨、桃、杏、李等蔷薇科的多种果树）、繁殖力强和危害隐蔽等特点，在全球各国范围内均有不同程度的危害。梨小食心虫幼虫可蛀梢导致嫩梢萎蔫、枯萎甚至折断，严重削弱树势，影响来年产量（陆鹏飞等, 2010）; 梨小食心虫和桃小食心虫等可蛀果造成果实畸形、发育受阻、品质劣化，并导致大量果实脱落，受害果园蛀果率甚至高达80%-90%，导致近乎绝收，损失惨重（刘玉光等, 2013; 张利军等, 2013）。苹果蠹蛾作为入侵物种被我国列入一类农作物病虫害名录（中华人民共和国农业农村部公告, 2020）。

我国作为世界桃、梨生产大国，果树食心虫一直是果树防治中的重大难题，严重影响我国果业的健康发展（张青文, 2007）。从 20 世纪 50 年代以人工和化学防治为主，到如今绿色防控措施大面积应用，果树食心虫防治技术的演变不仅见证了我国果树行业害虫绿色防治的发展，也是我国农业绿色发展在果树行业中的缩影。随着我国经济和科技的发展，人们物质生活水平逐渐提高，对果实的品质要求也逐步提升，进而果树食心虫的防控技术也不断创新与发展，共经历了四个时期：1）化学防治主导期（1950-1975 年）; 2）综合防治兴起期（1975-2000 年）; 3）绿色防控体系形成期（2000-2015 年）; 4）多学科融合创新期（2015 至今）。果树食心虫的防治逐步构建起多方面防治、多技术协同、多学科融合的绿色治理体系。本文将系统描述果树食心虫防控技术的发展历程，为果树害虫的绿色防控提供历史借鉴与发展导向。

1 化学防治主导期（1950-1975 年）

在新中国成立初期，我国经济处于逐渐恢复期，此时果树种植面积为 5.73 hm^2，种植品种以传统品种为主，其中梨树占比最高，达 24.8%，在我国各省市均有不同程度分布，其次为苹果树，占比 10.7%，主要分布在辽宁和山东地区，其他品种则包括杏、桃、李、柿等（田鹏和张颖, 2020）。这一时期种植的果树品种相对单一，主要为食心虫类害虫喜食的蔷薇科果树，并且由于当时技术落后，防治以人工防治为主，辅以部分化学防治。这导致梨小食心虫发生十分严重，造成果实生产力低下。随着我国经济和工业的发展，果树种植面积逐年扩大，食心虫的危害也不断加剧，人们逐渐意识到害虫防治的重要性，于是 1958 年提出了“有虫必治，土洋结合，全面消灭，重点肃清”的植保方针（赵善欢, 1959）。化学农药凭借杀虫效率高、见效快、施用方便、成本低等优点被广大果农快速接受（赵善欢, 1962）。这一阶段的化学农药主要以有机氯和有机磷类为主。六氯环己烷（六六六）、双对氯苯基三氯乙烷（Dichlorodiphenyltrichloroethane, DDT）及对硫磷成为核心药剂，不可否认的是早期高毒广谱性杀虫剂的施用，使我国果树产业得到了快速发展（赵善欢, 1962）。但长期不科学用药造成的生态、健康等问题逐渐显露出来。1958 年河北晋州梨区试验表明，连续 3 次喷施对硫磷使蛀果率从 62%降至 8%，但导致草蛉和寄生蜂等天敌种群下降 90%以上（霍腾达, 2015），破坏了果园生态平衡。但在“以粮为纲”的农业政策下，果园管理仍以保产为首要目标。

1972 年，国务院颁布《剧毒农药安全使用注意事项》，虽规范了高毒农药施用，但仍鼓励

使用化学防治，形成“国家植保站-公社技术员-生产队”三级技术推广体系，通过集体化生产实现药剂统购统防。截至 1975 年，全国果园化学防治覆盖率达 78%，天敌数量和种类显著降低。研究显示，与不施药园区相比，施药园区天敌种类减少了 77.7%（邬祥光等, 1975）。

过度依赖化学防治导致“3R 问题”（抗性 Resistance、再猖獗 Resurgence、残留 Residue）集中暴发（张宗炳, 1963）。1973 年山东烟台苹果产区调查显示，连续喷药果园的梨小食心虫寄生蜂数量仅为未喷药区的 1/20，而次要害虫叶螨种群暴增 15 倍（张星政, 1980）。此外，果品农药残留问题同样突出，1978 年河北鸭梨出口检测中，15%样本的 DDT 残留量超过国际标准（李力争, 1986）。这些问题促使人们对农业病虫害的综合防治进行探索。

2　综合防治兴起期（1975-2000 年）

1975 年，全国植保会议确立“预防为主，综合防治”方针，标志着我国害虫防治措施开始逐渐转变。伴随着改革开放政策的实施，我国的果树行业也迅速发展。截至 1980 年，全国果树种植面积达到 1.78×10^6 hm^2，这一时期种植的果树仍主要为苹果、梨、桃等传统品种（国家统计局, https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01），但枣、李、板栗等果树种植面积不断增加。随着果树种植面积扩大，果树食心虫发生范围也越来越广，除西藏地区外，各省（直辖市、自治区）均有发生，已成为影响我国果树产业发展的一类重要害虫。

随着昆虫性信息素等生物防治技术的发展，为贯彻植保方针，防治果树食心虫，植保工作者在此时期创新性发明了两项防控食心虫的技术：1）性信息素监测技术：1978 年，中国科学院动物研究所合成梨小食心虫性诱剂（顺-8-十二碳烯乙酸酯为主成分），实现成虫发生期精准预测，预报误差从 7 d 减至 2 d（韦卫等, 2006）；2）生物防治技术：1982 年北京密云基地释放松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*，寄生率达 82.3%，虫果率降至 1.5%以下，可有效防控梨小食心虫（韦明, 1982）。两项技术的创新性应用，不仅改进了当时果树食心虫的防控技术水平，还为后续绿色防控体系的建立奠定了基础。

果树行业的发展和食心虫综合防治体系的构建离不开政策的支持，“七五”期间（1986-1990 年）我国设立“果树害虫综合防治研究”专项，在辽宁兴城、山东栖霞等苹果树和梨树主栽区建立示范基地，对梨小食心虫等主要果树害虫使用农业、物理、生物和化学等防治手段进行综合防控，其中化学防治也遵循了科学用药的方法，即减少用药量和次数，施用低毒农药、采用混配施药等措施。20 世纪 90 年代，中国苹果出口量激增，促使渤海湾产区采用“精准测报+选择性药剂”方案，在桃小食心虫成虫羽化高峰期喷施 35%桃小灵乳油（氰戊菊酯+马拉硫磷），减少施药次数 50%，虫果率稳定控制在 5%以下（赵政阳, 2015）。1994 年颁布的《中国 21 世纪议程》明确要求减少化学农药用量，并且注重生态环境保护，在河北、陕西等果区建立示范点，实施“以生物防治为核心的综合防治规程”，显著降低了蛀果率。

随着经济和科技发展，新技术出现改进了原有防控技术，果树食心虫的综合防治体系逐渐开始发展。但此时由于部分技术不完善，如成本高、操作复杂、易受环境影响等，果农们对化学农药呈高依赖性，新型技术实施在部分地区仍未完全推广。如释放赤眼蜂前后时段需避免使用化学农药，并且放蜂时间要求严格（需与害虫产卵期相遇）（李钊等, 2018）；性诱剂监测依赖频繁更换诱芯（每 30 d 更换 1 次），偏远山区推广困难（赵俊生, 2003）。由于综合防治需要多种防治手段联合使用，但部分技术之间存在协同矛盾——生物防治与化学防治存在时空冲突，广谱杀虫剂毒杀天敌，导致生物防治防效波动。这些问题的出现催生了绿色防控技术体系的构建。

3　绿色防控体系形成期（2000-2015 年）

进入 21 世纪，我国经济和科技高速发展，截至 2000 年，全国果园总面积约为 2.49×10^6 hm^2，

相比 1980 年的 1.78×10^6 hm^2 增长了约 40%，此时苹果种植面积约 1.50×10^6 hm^2，占全国果园总面积的 60%以上，而梨树栽植面积达 9.54×10^5 hm^2，占世界梨栽培总面积的 52.3%，产量 8.62×10^9 kg，居世界第一（田鹏和张颖, 2020）。为保证果实的产量和品质，梨小食心虫等害虫防治已是果树行业的重点。国家通过政策导向，开始强调农业生产中的环境保护和农产品质量安全，鼓励减少化学农药依赖，推广病虫害综合防治和绿色防控技术。直至 2006 年《国家粮食安全中长期规划》首次提出“公共植保、绿色植保”理念，标志着果树害虫防控向绿色防控的方向发展。害虫综合防治技术推广面积不断加大，在全国多个省市设立示范点，经过不断完善和改进，直至 2015 年中华人民共和国农业农村部发布了《梨小食心虫综合防治技术规程》（NY/T 2957-2016）等 12 项行业标准，标志着梨小食心虫已形成了一套相对完整的综合防治体系，并不断向高效、绿色的方向发展。

3.1 农业防治：越冬虫源清除和寄主隔离

此阶段农业防治主要包括以下措施，刮树皮清园：“三光政策”（刮光老皮、清光落叶、剪光虫梢），可使越冬梨小食心虫蛹的基数降低 40%以上（冯建国等, 2005）；种植结构调整：避免桃梨混栽，新建果园间距超 500 m，阻断寄主转换链（沈君辉等, 2007）。

3.2 物理防治：行为干扰与机械阻隔

灯光诱杀和果实套袋成为防治果树食心虫的主流物理手段，并辅以糖醋液诱杀（刘文旭等, 2014）。江苏常州砂梨园使用“频振式杀虫灯”，杀虫灯功率 30 W，杀虫灯距地面 1.5 m，间距 100 m，每日 20:00 至次日 6:00 开启，可显著降低虫口密度（黄玉南等, 2008）；在桃园中使用糖醋液+0.5%洗衣粉诱捕梨小食心虫，平均单日诱蛾数为 23.58 头/诱捕器，可显著减少梨小食心虫交配率（康总江等, 2012）；陕西临渭区梨园常年梨果受害率为 20%-50%，实施梨果套袋后，阻断了病虫直接危害，对食心虫、吸果蛾类害虫的防治效果近 100%（张淑莲等, 2002）。

3.3 生物防治：天敌与菌剂应用及性信息素的使用

赤眼蜂的规模化生产促进了寄生蜂在田间的应用：每 667 m^2 3 万头蜂卡分 2 批悬挂（卵初盛期和高峰期），卵寄生率可达 68.4%。有效降低食心虫的蛀果率（Zang *et al*., 2021）；微生物的应用：Bt 制剂（苏云金芽孢杆菌）与 0.3%印楝素混用，梨小食心虫老熟幼虫校正死亡率提升至 89.2%（郭伟光, 2003）。性信息素的使用是绿色防控的标志性成果：2005 年北京中捷四方公司研发梨小食心虫迷向丝（含性信息素 240-290 mg/根），通过缓释胶层持续释放信息素，可干扰雄虫对雌虫的定位，进而降低交配率，并且持效期可达 180 d，悬挂 1 次覆盖整个果园生长季（李晓龙等, 2019）。2010 年陕西乾县试验表明，迷向处理区蛀果率和蛀梢率均低于 3%，可有效控制梨小食心虫（雷琼和巨亚绒, 2021）。随着食心虫性信息素成分配比和诱捕器的逐渐优化，辅以其他防治措施，利用性诱捕器既可监测种群动态，又能进行诱杀防治，使用面积逐年上升（田宝良等, 2012）。如陕西佳县枣园发现船形诱捕器对桃小食心虫诱捕效果为三角形诱捕器的 204.6%（丁磊等, 2022）。山东泰安地区利用性诱捕器对桃小食心虫种群动态进行监测，在成虫高峰后喷施昆虫病原线虫，防效可达 90.1%（李爱华等, 2012）。对于苹果蠹蛾，研究发现设置胶条迷向剂（悬挂 900 个/hm^2）的果园蛀果率仅 0.56%，显著低于透明塑管迷向剂（1.38%）处理的果园（陈汉杰等, 2015）。

3.4 生态调控

从 2012 年开始，我国逐步提出了基于生态系统服务与多尺度空间管理的害虫生态调控策略（Ecological regulation and management of pests，ERMP），该策略是害虫综合治理的延伸和发展（陆宴辉等, 2017），包括生态景观设计（如果园边界植被缓冲带建设）、作物合理布局（例如果树混栽模式调控）、功能植物的合理配置（涵

养天敌或驱避害虫的伴生植物）、“推-拉”技术、行为调控技术（如基于昆虫化学生态学的“自杀式”诱杀）、健康作物环境管理技术（土壤微生物群落调节与抗性品种应用）等措施（戈峰, 2020）。陕西白水果园推广“有机肥+生草”栽培模式，种植紫花苜蓿 *Medicago sativa* 吸引寄生蜂，使赤眼蜂种群恢复至 2.33×10^3 头/hm^2（张新瑞等, 2007）。在果园行间套种万寿菊 *Tagetes erecta*，其根系分泌的 α-三联噻吩可以驱避桃小食心虫的成虫，减少成虫在果实上产卵，降低虫口密度，提高成果率（王芝云等, 2015）；苹果树冠喷洒茉莉酸甲酯（Methyl Jasmonate, MeJA）激发植物抗性，诱导果实产生防御性次生代谢物，幼虫蛀果率降低 36.4%（Liu *et al*., 2023）。

3.5　化学防治：科学规范施药

改良施药设备：喷雾机在提高安全性和效率方面不断更新迭代，通过采用注入式混药系统、过滤系统、自清洗系统、静电喷雾、防漂移喷头和防风屏等装置，低量与微量喷雾技术可减小雾滴直径，有效提升了喷雾质量，显著降低了传统喷雾对人体的损害和环境的污染（Wang *et al*., 1999; 杨学军等, 2002; 傅泽田等, 2007）。科学精准用药：避免使用高毒、广谱性杀虫剂，转用低毒、高效药剂，并注重药剂的混配，减少施药次数。山西省地方标准（DB14/T2197-2020）规定免套袋梨园在 7 月中旬后使用阿维菌素+呋虫胺（1∶4）+矿物油助剂，可增加梨小食心虫成虫防治效果 20%。

然而，技术成本问题仍是制约绿色防控技术推广的主要瓶颈。调查表明，部分绿色防控技术的投入仍显著高于传统化学防治，尤其在迷向丝、果实套袋等主要技术应用中（张志恒等, 2003）。唯有进一步降低成本，才能使绿色防控技术进一步推广和大面积应用。

4　多学科融合创新期（2015 年至今）

随着人们物质生活水平的提升，消费者对农产品要求也逐渐严格，使得农产品的农药残留问题日益突出。因此，2015 年中华人民共和国农业农村部启动农药零增长行动，要求 2020 年主要作物病虫害绿色防控覆盖率超 40%。截至 2020 年，全国建立了 820 个绿色防控示范基地，技术推广从 2015 年 21.5%提升至 42.3%。2021 年《“十四五”全国农业绿色发展规划》将“化学农药减量化”列为约束性指标，这标志着绿色防控已成为农业生产的重要规范性要求（刘凤之等, 2021）。随着科技不断进步，果树食心虫等害虫的绿色防控技术日益丰富。这不仅更新了防治手段，也使得多学科交融成为该领域的重要趋势。

4.1　无人机飞防成效显著

随着我国农业现代化的快速发展，植保无人机技术作为一项新兴的农业病虫害防治手段，具有多种技术优势：1）作业效率高，人均作业面积可达 6 670 m^2/h；1 h 作业面积，传统防控则需 2 人用时 3 d 才能完成；2）适应复杂地形，能够应对山地果园等不易操作的传统施药环境；3）减少农药使用量，降低环境污染风险。近年来无人机飞防技术在果树害虫防治领域得到了广泛的关注和应用（詹欣坚等, 2022; 余家贤, 2023）。例如针对山地果园施药难题，植保无人机开始规模化应用，陕西佳县试点利用无人机旋翼气流使药液穿透树冠，叶片背面覆盖率提升 50%，作业效率是人工的 10 倍（5 min/667 m^2），药剂减量 20%（何雄奎, 2019）。山东省果树研究所在桃园开展了无人机防治桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 的试验。结果表明，无人机施药后对桔小实蝇的防治效果显著高于空白对照，与人工施药防效无显著差异，更重要的是，无人机施药效率达到人工施药的 74.85 倍，施药成本仅为人工施药的 34.72%，证明无人机在果园害虫防治中具有高效、经济的特点（宫庆涛等, 2023）。2019 年，中华人民共和国农业农村部出台了《植保无人机防治病虫害技术规范》，标志着无人机技术逐渐标准和规范（何雄奎, 2022）。

4.2　纳米农药：靶向递送与减药突破

近年来，纳米材料在农业害虫防治领域展现出巨大应用潜力，推动了与农业防治的多学科融合。中国农业科学院开发的绿色水基化单分子纳

米农药实现技术跨越：离子液体引导农药分子自组装，形成粒径<10 nm 的分散体，可穿透昆虫表皮蜡质层，田间效果表明纳米化甲维盐在梨树施用后，叶片滞留量增 70%，甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 幼虫中肠药浓度升 2.3 倍，药量减 30%-45%。该技术为减少化学农药的使用提供了核心技术支撑（Li *et al*., 2025）。

此外，随着 RNA 纳米递送载体与双链 RNA（Double-stranded RNA, dsRNA）高效合成技术的日益成熟，RNA 杀虫剂已实现产业化应用（王治文等, 2019; 闫硕和沈杰, 2019）。例如，基于低成本星状阳离子聚合物纳米载体（Star polycation, SPc）构建的递送系统，通过搭载靶向梨小食心虫神经肽 *NPF1a* 基因的双链 RNA，成功研发出可有效抑制幼虫蛀果取食行为的纳米-RNA 杀虫制剂（Wei *et al*., 2022）。

4.3 肠道微生物靶向干预

随着组学技术的发展，研究人员发现昆虫肠道微生物在宿主的生理、生态及进化过程中扮演着重要角色，肠道微生物组已成为昆虫生物学研究的“第二基因组”，其价值不仅在于明确宿主适应性机制，更在于害虫防控、资源昆虫利用等环节（Gu *et al*., 2024; Bai *et al*., 2025; Lü *et al*., 2025）。西北农林科技大学发现肠杆菌科细菌是梨小食心虫营养代谢关键共生菌，低剂量诺氟沙星（10 μg/g）处理使肠杆菌丰度降低 81.2%，幼虫化蛹率降低 37.4%，产卵量减少 52.6%；在果树细菌性病害初期联用抗生素，实现“病虫双控”（Lü *et al*., 2025）。

4.4 生态工程与区域治理

基于生态位调控的防控体系快速发展。1）天敌枢纽建设：“天敌枢纽”通常指通过一系列生态调控和生物防治手段，为天敌昆虫提供适宜的栖息地、替代食物源和庇护所，从而增强天敌种群对害虫的自然控制能力，形成有利于天敌繁衍和发挥作用的生态系统。研究表明，在果园行间种植功能植物组合（如特定的蜜源植物或诱集植物），能有效吸引捕食性和寄生性天敌，进而控制害虫种群（Wan *et al*., 2020）。此外，在田间设置天敌昆虫屋、越冬巢或使用选择性高的物理诱集工具（如天敌友好型粘虫板），在诱杀害虫的同时尽量减少对天敌的误伤（俞波等, 2021）。因此，在实际应用中，通常将多种绿色防控技术有机集成，形成一套完整的技术体系，从而更有效地发挥天敌枢纽的功能。如福建穆阳集成应用农业防治、生草栽培和生物防治等绿色防控技术，使示范区的果园天敌增加 53.57%，平均产量增加 5.84%、优果率提高 9.69%（与常规化学防治园区相比），取得了良好的经济、社会和生态效益（林长征, 2022）。2）跨区域联防联控：全国农业技术推广服务中心组织了跨区域的苹果蠹蛾阻截防控，在新疆、甘肃、陕西、黑龙江、吉林、辽宁、河北、天津、内蒙古、宁夏等多地，根据发生情况分为普遍发生区、零星发生区和受威胁地区，实施分类指导、分区治理（全国农业技术推广服务中心, 2021；陆宴辉等, 2023）；3）抗性品种应用：桃树：选择抗虫品种如“久保”，这些品种对梨小食心虫有较强抗性，可间接降低梨小食心虫危害。梨树：优先种植“鸭梨”等品种，这些品种对食心虫类害虫的抗性较强。苹果树：推荐“富士”等品种，其果实表面结构对梨小食心虫的蛀果行为有一定阻碍作用（冯娜, 2014）。砀山作为首批“全国绿色防控示范县”（2020 年），集成“迷向丝+粘虫板+天敌草种”模式，全县化学农药减量 35.94%，虫害损失率控制在 3%以内（陈浩等, 2020）。

5 总结与展望

食心虫防控技术 70 年的演变过程，是一部从化学主导到生态优先、从经验防治到绿色防控的发展史。每一次技术变革，既是科研工作者智慧的结晶，更是国家政策与科技创新的推动。现阶段以纳米农药、微生物调控、智能监测为代表的多学科融合技术，正促使害虫防治向“精准化、智能化、低碳化”发展。尽管科技手段不断进步，但果树食心虫凭借着强大的适应性，其对果树产业的危害并未完全解除，反而随着全球气候变化和种植模式的改变，持续威胁着果园的经济效益和生态安全。

未来食心虫的防治仍存在以下主要的挑战与突破：1）降低技术成本，优化技术效果：纳米农药、高新技术前期投入高，小农户应用困难，丘陵果园迷向丝悬挂成本高，气候变化会影响信息素的效果，从而导致其稳定性下降。如在意大利艾米利亚地区果园，通过在性信息素中加入乙酸和萜基乙酸酯，提升了对雄虫的诱集效果，并增强了诱捕的专一性（Preti *et al*., 2020）；2）抗性发展加速：需开发多靶点复配制剂，并结合使用 RNA 纳米农药，实现靶标基因精准防控；3）需因地制宜制定防控措施：如华北平原与西南山地果园因地理位置和环境气候等的不同，需要根据不同地区的差异制定不同防治措施；4）生物技术深入应用：基因编辑靶向调控，阻断寄主适应性等，目前在模式昆虫黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 体内该技术已经应用十分成熟，并且已经部分应用于埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 的防控中，目前在果树食心虫等农业害虫上应用较少，对于外来入侵生物——苹果蠹蛾，目前国外相关研究较多，可加以引进利用，如 CpGV-R5 病毒株靶向苹果蠹蛾幼虫，感染中肠细胞导致死亡，且对耐药种群有效（Yang *et al*., 2024）。此外，国外果园利用释放不育昆虫防控苹果蠹蛾取得成功，国内可引用借鉴（Thistlewood and Judd, 2019）；5）构建绿色防控网络：对同一省份或地区进行联合防控，包括害虫种群的预测预报，检疫检验等工作。只有不断通过技术创新与政策推动，果树害虫治理才能实现从“被动应对”到“主动调控”的变革，保证我国果树行业的稳定、绿色、高质量发展。

参考文献 (References)

Bai S, Yao ZC, Cai ZH, Ma QK, Guo QY, Zhang P, Zhou Q, Gu J, Liu SY, Lemaitre B, Li XX, Zhang HY, 2025. Bacterial-induced Duox-ROS regulates the Imd immune pathway in the gut by modulating the peritrophic matrix. *Cell Reports*, 44(3): 115404.

Chen H, Yang SJ, Wang XF, 2020. Green pest control: practices and strategies from Dangshan, Anhui province. 2020-03-21, http://ah.people.com.cn/GB/n2/2020/0321/c358266–33894027.html [陈浩, 杨赛君, 王晓飞, 2020. 病虫害绿色防控, 看安徽砀山怎么干？2020-03-21, http://ah.people.com.cn/GB/n2/2020/0321/c358266–33894027.html]

Chen HJ, Cao CJ, Lei YS, Tang J, Pu ZX, Zhang JY, Tu HT, Li XL, 2015. Comparison of control efficiency of mating disruption by using different sex pheromone dispensers against codling moth (*Cydia pomonella*). *Journal of Biosafety*, 24(4): 315–319. [陈汉杰, 曹川建, 雷银山, 唐杰, 蒲振兴, 张金勇, 涂洪涛, 李晓龙, 2015. 不同剂型迷向剂处理对苹果蠹蛾控制效果比较. 生物安全学报, 24(4): 315–319.]

Ding L, Lu YF, Qian WJ, Liu DS, Zhen WL, 2022. Field evaluation of sex pheromone traps for control of *Carposina sasakii* in jujube orchards. *Modern Horticulture*, 45(1): 70–71. [丁磊, 鲁延芳, 钱万建, 刘东生, 甄伟玲, 2022. 性诱剂防治枣园桃小食心虫试验. 现代园艺, 45(1): 70–71.]

Feng JG, Yu Y, Zhang AS, Tao X, Zhang SC, 2005. Sustainable pest management technologies for ecological apple orchards. *China Fruits*, 2005(1): 10–12. [冯建国, 于毅, 张安盛, 陶训, 张思聪, 2005. 生态苹果园害虫可持续治理技术. 中国果树, 2005(1): 10–12.]

Feng N, 2014. The effect of host fruit on the infestation and growth development of *Grapholita molesta* Busck and the primary physic-chemical mechanism. Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [冯娜, 2014. 寄主果实对梨小食心虫为害、生长发育的影响及其理化机制初探. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]

Fu ZT, Qi LJ, Wang JH, 2007. Developmental tendency and strategies of precision pesticide application techniques. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 38(1): 189–192. [傅泽田, 祁力钧, 王俊红, 2007. 精准施药技术研究进展与对策. 农业机械学报, 38(1): 189–192.]

Ge F, 2020. The ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 10–19. [戈峰, 2020. 论害虫生态调控策略与技术. 应用昆虫学报, 57(1): 10–19.]

Gong QT, Zhang KP, Peng JH, Li GX, Gao XL, Jia HZ, Zhang XQ, Zhang AN, 2023. Evaluation of the efficacy and cost-effectiveness of UAV-based pesticide application against *Bactrocera dorsalis* in peach orchards. *South China Fruits*, 52(4): 171–174. [宫庆涛, 张坤鹏, 彭金海, 李桂祥, 高晓兰, 贾厚振, 张祥全, 张安宁, 2023. 无人机施药防治桃园桔小实蝇的效果及成本评价. 中国南方果树, 52(4): 171–174.]

Gu J, Yao ZC, Lemaitre B, Cai ZH, Zhang HY, Li XX, 2024. Intestinal commensal bacteria promote *Bactrocera dorsalis* larval development through the vitamin B6 synthesis pathway. *Microbiome*, 12(1): 227.

Guo WG, 2003. Formulation and preparation method of a composite insecticide based on *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*,

and azadirachtin. Chinese utility model patent. CN1589631A. 2005-03-09. [郭伟光, 2003. 苏云金芽孢杆菌、白僵菌及印楝素复配杀虫剂及其制备方法. 中国实用新型专利. CN1589631A. 2005-03-09.]

He XK, 2019. Research and development of crop protection machinery and chemical application technology in China. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(S1): 921–930. [何雄奎, 2019. 中国植保机械与施药技术研究进展. 农药学学报, 21(S1): 921–930.]

He XK, 2022. Research and development of efficient plant protection equipment and precision spraying technology in China: A review. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 389–397. [何雄奎, 2022. 高效植保机械与精准施药技术进展. 植物保护学报, 49(1): 389–397.]

Huang KX, Liu XQ, Huang BK, 1990. Fruit Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 1–10. [黄可训, 刘秀琼, 黄邦侃, 1990. 果树昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 1–10.]

Huang YN, Zhang SL, Wu HQ, Wu J, Wu QP, Wu XH, 2008. Analysis of the efficacy of frequency-vibration insect lamps against pear orchard pests. *China Fruits*, 2008(3): 42–44. [黄玉南, 张绍铃, 吴华清, 吴俊, 吴泉培, 吴新华, 2008. 频振式杀虫灯诱杀梨园害虫效果分析. 中国果树, 2008(3): 42–44.]

Huo TD, 2015. The effect of chemical control on arthropod community in pear orchard in Northern Mountain of Hebei Province. Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [霍腾达, 2015. 冀北山区梨园化学防治对节肢动物群落的影响. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]

Kang ZJ, Wei SJ, Zhu L, Gong YJ, Wang ZH, Shi BC, 2012. Field control efficiency of sex pheromone trapping on *Grapholita molesta* Busck. *Northern Horticulture*, 2012(10): 163–165. [康总江, 魏书军, 朱亮, 宫亚军, 王泽华, 石宝才, 2012. 性诱剂诱杀液对梨小食心虫的田间防治效果. 北方园艺, 2012(10): 163–165.]

Lei Q, Ju YR, 2021. Occurrence dynamics of *Grapholitha molesta* and control effect of sex pheromone disorientated filament in different fruit orchards. *Guizhou Agricultural Sciences*, 49(7): 51–56. [雷琼, 巨亚绒, 2021. 不同果园梨小食心虫的发生动态及性信息素迷向丝的防控效果. 贵州农业科学, 49(7): 51–56.]

Li AH, Zhang Y, Zhang H, Sun F, Zhang XP, Sun RH, 2012. Population dynamics and biological control of *Carposina sasakii* in jujube orchards. *China Fruits*, 2012(2): 53–56. [李爱华, 张勇, 张辉, 孙峰, 张学萍, 孙瑞红, 2012. 枣园桃小食心虫的发生动态及生防技术研究. 中国果树, 2012(2): 53–56.]

Li LZ, 1986. Investigation of HCH and DDT residues in wheat, rice, corn, and soil. *Environmental Monitoring in China*, 1986(3): 17–20. [李力争, 1986. 小麦、水稻、玉米、土埌中六六六、DDT 残留量调查. 中国环境监测, 1986(3): 17–20.]

Li XY, Wang XY, Sun CJ, Wang AQ, An CC, Li NJ, Shen Y, Hu JC, Liu HH, Xie J, Luo D, Wang Y, 2025. A unimolecule nanopesticide delivery system applied in field scale for enhanced pest control. *Nature Communications*. 16(1): 6809.

Li XL, Jia YH, Dou YP, Liu XL, Wang CL, Li F, 2019. Control effects of a sex pheromone wire on the oriental fruit moth in mix orchards. *Journal of Plant Protection*, 45(1): 212–215. [李晓龙, 贾永华, 窦云萍, 刘晓丽, 王春良, 李锋, 2019. 性信息素迷向丝对不同果树梨小食心虫的防控效果. 植物保护, 45(1): 212–215.]

Li Z, Zhang J, Wu YG, Qiao K, Wang KY, Jiang LL, 2018. Toxicity and safety evaluation of 23 pesticides on *Trichogramma dendrolimi*. *Journal of Environmental Entomology*, 40(1): 224–230. [李钊, 张杰, 武玉国, 乔康, 王开运, 姜莉莉, 2018. 23 种农药对松毛虫赤眼蜂的急性毒性及安全性评价. 环境昆虫学报, 40(1): 224–230.]

Lin CZ, 2022. Green prevention and control experiment and integrated techniques of oriental fruit moth in peach 'Muyangshuimitao'. *Southeast Horticulture*, 10(4): 286–291. [林长征, 2022. 穆阳水蜜桃梨小食心虫绿色防控试验与集成技术. 东南园艺, 10(4): 286–291.]

Liu FZ, Wang HB, Hu CZ, 2021. Current situation of main fruit tree industry in China and it's development countermeasure during the "14th Five-Year Plan" period. *China Fruits*, 2021(1): 1–5. [刘凤之, 王海波, 胡成志, 2021. 我国主要果树产业现状及"十四五"发展对策. 中国果树, 2021(1): 1–5.]

Liu H, Cheng YM, Wang Q, Liu XB, Fu Y, Zhang Y, Chen JL, 2023. Push-pull plants in wheat intercropping system to manage *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Pest Science*, 96(4): 1579–1593.

Liu WX, Ran HF, Lu ZY, Liu XX, Li JC, Zhang QW, Sheng CF, 2014. Evaluation of the combination of sex pheromone and sugar-vinegar solution for trapping *Grapholita molesta* in peach orchards. *China Plant Protection*, 34(10): 43–47. [刘文旭, 冉红凡, 路子云, 刘小侠, 李建成, 张青文, 盛承发, 2014. 性诱剂与糖醋液组合对桃园梨小食心虫的诱捕效果研究. 中国植保导刊, 34(10): 43–47.]

Liu YG, Gu SD, Li LL, Zhang B, Yu Y, Zheng CY, 2013. The frequency of occurrence of *Grapholitha molesta* (Busck) in single pear, peach and mixed pear-peach orchards in Laiyang. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1538–1545. [刘玉光, 顾松东, 李丽莉, 张彬, 于毅, 郑长英, 2013. 莱阳地区梨园、桃园、混栽桃梨园梨小食心虫发生规律. 应用昆虫学报, 50(6): 1538–1545.]

Lü DB, Pan DD, Wang DH, Ye JC, Sha XF, Zhang XY, Fu YS, Yuan

XQ, Li YP, 2025. Study on the functional role and tissue localization of *GmolTrypsin* in larvae of *Grapholita molesta* feeding on different host plants. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 182: 104354.

Lu PF, Huang LQ, Wang CZ, 2010. Semiochemicals used in chemical communication in the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(12): 1390–1403. [陆鹏飞, 黄玲巧, 王琛柱, 2010. 梨小食心虫化学通信中的信息物质. 昆虫学报, 53(12): 1390–1403.]

Lu YH, Liu Y, Yang XM, Jing YP, Hu G, Luan JB, Guo ZJ, Ma G, Yan S, Liang P, Liu J, Xiao HJ, 2023. Advances in integrated management of agricultural insect pests in China: 2018-2022. *Plant Protection*, 9(5): 145–166. [陆宴辉, 刘杨, 杨现明, 荆玉谱, 胡高, 栾军波, 郭兆将, 马罡, 闫硕, 梁沛, 刘杰, 肖海军, 2023. 中国农业害虫综合防治研究进展: 2018 年-2022 年. 植物保护, 49(5): 145–166.]

Lu YH, Zhao ZH, Cai XM, Cui L, Zhang HN, Xiao HJ, Li ZY, Zhang LS, Zeng J, 2017. Progresses on integrated pest management (IPM) of agricultural insect pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 349–363. [陆宴辉, 赵紫华, 蔡晓明, 崔丽, 张浩男, 肖海军, 李振宇, 张礼生, 曾娟, 2017. 我国农业害虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 54(3): 349–363.]

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China Announcement No. 333, 2020. List of Class I Crop Pests and Diseases. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/17/content_5544165.htm. [中华人民共和国农业农村部公告第 333 号, 2020. 一类农作物病虫害名录. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/17/content_5544165.htm.]

National Agro-Tech Extension and Service Center, 2021. 2021 implementation guidelines for the containment and integrated management of *Cydia pomonella*. 2021-03-17. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1694474114707212864&wfr=spider&for=pc [全国农业技术推广服务中心, 2021. 2021 年苹果蠹蛾阻截防控技术方案. 2021-03-17. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1694474114707212864&wfr=spider&for=pc]

Preti M, Knight AL, Angeli S, 2020. Improved monitoring of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in stone fruit orchards with a pheromone-kairomone combination lure. *Insects*, 11(7): 412.

Shen JH, Nie Q, Huang DR, Liu GJ, Tao LX, 2007. Recent advances in controlling plant diseases and insect pests by mixture planting and inter-planting of crops. *Journal of Plant Protection*, 34(2): 209–216. [沈君辉, 聂勤, 黄得润, 刘光杰, 陶龙兴, 2007. 作物混植和间作控制病虫害研究的新进展. 植物保护学报, 34(2): 209–216.]

Thistlewood HMA, Judd GJR, 2019. Twenty-five years of research experience with the sterile insect technique and area-wide management of codling moth, *Cydia pomonella* (L.), in Canada. *Insects*, 10(9): 292.

Tian BL, Ma CS, Kong DC, Zhao CP, Wei GS, 2012. The fruit moth population monitoring and control technique in different orchards. *Journal of Plant Protection*, 39(1): 7–12. [田宝良, 马春森, 孔德仓, 赵存鹏, 魏国树, 2012. 不同果园中主要食心虫种群监测与防控技术. 植物保护学报, 39(1): 7–12.]

Tian P, Zhang Y, 2020. An overview of 70 years of fruit industry development in China. 2020-06-01. http://www.winechina.com/html/2020/06/202006301186.html [田鹏, 张颖, 2020. 我国果业发展 70 年概略. 2020-06-01. http://www.winechina.com/html/2020/06/202006301186.html]

Wan NF, Zheng XR, Fu LW, Kiær LP, Zhang ZJ, Chaplin-Kramer R, Dainese M, Tan JQ, Qiu SY, Hu YQ, Tian WD, Nie M, Ju RT, Deng JY, Jiang JX, Cai YM, Li B, 2020. Global synthesis of effects of plant species diversity on trophic groups and interactions. *Nature Plants*, 6(5): 503–510.

Wang D, Dowell FE, Lacey RE, 1999. Single wheat kernel color classification using natural networks. *Transactions of the ASAE*, 42(1): 233–240.

Wang ZW, Gao X, Ma DJ, Zhong S, Liu XL, Xi Z, 2019. Nucleic acid pesticides: A new plant protection products with great potential. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(Z1): 681–691. [王治文, 高翔, 马德君, 钟珊, 刘西莉, 席真, 2019. 核酸农药——极具潜力的新型植物保护产品. 农药学学报, 21(Z1): 681–691.]

Wang ZY, Hang MS, Liu XC, Wang PS, Wang ZQ, Sun JL, Zhan EJ, 2015. A repellent plant-based strategy for management of the peach fruit moth, *Carposina sasakii*, in apple orchards. Chinese utility model patent. CN104756804A. 2015-07-08. [王芝云, 韩明三, 刘学才, 王佩圣, 王珍青, 孙吉禄, 展恩军, 2015. 一种利用驱虫植物防治苹果桃小食心虫的方法. 中国实用新型专利. CN104756804A. 2015-07-08.]

Wei HS, Tan SQ, Yan S, Li Z, Shen J, Liu XX, 2022. Nanocarrier-mediated transdermal dsRNA-NPF1 delivery system contributes to pest control via inhibiting feeding behavior in *Grapholita molesta*. *Journal of Pest Science*, 95(2): 983–995.

Wei M, 1982. Proceedings of the conference on biological control of forest pests. *Natural Enemies of Insects*, 2022(4): 39. [韦明, 1982. 森林害虫生物防治论文集. 昆虫天敌, 2022(4): 39.]

Wei W, Zhao LL, Sun JH, 2006. Advances in sex pheromone research of moths. *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 850–858. [韦卫, 赵莉蔺, 孙江华, 2006. 蛾类性信息素研究进展. 昆虫

学报, 49(5): 850–858.]

Wu XG, Lai YS, Lin SX, 1975. Patterns and drivers of insect succession in citrus groves of Guangdong. *Acta Entomologica Sinica*, 18(2): 201–210. [邬祥光, 赖友胜, 林善祥, 1975. 广东柑橘园的昆虫演替. 昆虫学报, 18(2): 201–210.]

Yan S, Shen J, 2019. Prospects for the application of nanotechnology in green pest control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 617–624. [闫硕, 沈杰, 2019. 纳米技术在害虫绿色防控领域的应用与展望. 应用昆虫学报, 56(4): 617–624.]

Yang SL, Amberger M, Wennmann JT, Jehle JA, 2024. Transcriptome analysis of CpGV in midguts of type II resistant codling moth larvae and identification of contaminant infections by SNP mapping of RNA-Seq data. *Journal of Virology*, 98(7): e0053724.

Yang XJ, Yan HR, Xu SZ, Liu Z, 2002. Current situation and development trend of equipment for crop protection. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 33(6): 129–131, 137. [杨学军, 严荷荣, 徐赛章, 刘仲, 2002. 植保机械的研究现状及发展趋势. 农业机械学报, 33(6): 129–131, 137.]

Yu B, Shen WX, Zheng PH, 2021. Preliminary study on the control effect of a new type of sticky traps in grassing pear orchard. *China Fruits*, 2021(9): 48–51. [俞波, 沈卫新, 郑鹏华, 2021. 一种新型粘虫板对生草梨园害虫的防治效果初探. 中国果树, 2021(9): 48–51.]

Yu JX, 2023. A review of advances in UAV-based pesticide application for control of crop diseases and pests. *Agricultural Engineering Technology*, 43(26): 38–39. [余家贤, 2023. 植保无人机施药防治农作物病虫害研究进展. 农业工程技术, 43(26): 38–39.]

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.

Zhan XJ, Huang RH, Xu DY, Xiao CJ, Chen JM, Luo W, 2022. Study on the application of DJI agras T20 plant protection drone in the control of citrus pests. *China Southern Agricultural Machinery*, 53(21): 32–36. [詹欣坚, 黄锐浩, 徐淡云, 肖朝锦, 陈佳明, 罗薇, 2022. 大疆 T20 植保无人机在防治柑橘害虫中的应用研究. 南方农机, 53(21): 32–36.]

Zhang LJ, Zhao ZG, Li YY, Wang Y, Ma RY, 2013. Research on the oriental fruit moth in cultivated pear orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1532–1537. [张利军, 赵志国, 李丫丫, 王怡, 马瑞燕, 2013. 不同栽培管理梨园梨小食心虫发生程度研究. 应用昆虫学报, 50(6): 1532–1537.]

Zhang QW, Liu XX, 2015. Integrated Pest Control Technology in Pear Orchard. Beijing: China Agricultural University Press. 1–15. [张青文, 刘小侠, 2015. 梨园害虫综合防控技术. 北京: 中国农业大学出版社. 1–15.]

Zhang QW, 2007. Integrated Pest Management. Beijing: China Agricultural University Press. 1–25. [张青文, 2007. 有害生物综合治理学. 北京: 中国农业大学出版社. 1–25.]

Zhang SL, Chen ZJ, Zhang F, Lei H, 2002. Ecological efficiency of pear fruits bagged to main pests and diseases. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 10(3): 37–40. [张淑莲, 陈志杰, 张锋, 雷虹, 2002. 套袋对梨果主要病虫的生态效应. 中国生态农业学报, 10(3): 37–40.]

Zhang XR, Liu CZ, Yan L, Chen YW, Wei LX, Qian XJ, 2007. Study on the population dynamics of main arthropod groups in alfalfa fields. *Acta Agrestia Sinica*, 15(6): 556–560. [张新瑞, 刘长仲, 严林, 陈应武, 魏列新, 钱秀娟, 2007. 苜蓿田主要节肢动物种群数量研究. 草地学报, 15(6): 556–560.]

Zhang XZ, 1980. Preliminary report on the study of *Grapholita molesta* (1970-1978). *Journal of Plant Protection*, 7(4): 254–256. [张星政, 1980. 梨小食心虫研究初报(1970-1978 年). 植物保护学报, 7(4): 254–256.]

Zhang ZB, 1963. Development and prospect of insecticides. *Bulletin of Biology*, 1963(2): 6–9. [张宗炳, 1963. 杀虫剂的发展现状及其展望. 生物学通报,1963(2): 6–9.]

Zhang ZH, Chen GQ, Chen YG, Tan BL, Mao RQ, 2003. Efficacy and cost analysis of different insecticide regimens against citrus pests and diseases. *Journal of Plant Protection*, 30(1): 69–74. [张志恒, 陈国庆, 陈亦根, 谭炳林, 毛润乾, 2003. 不同药剂防治方案对某些柑桔病虫害的防治效果及成本分析. 植物保护学报, 30(1): 69–74.]

Zhao JS, 2003. Current status and future prospects of biological control development in Shanxi. 2003 Annual Conference of the China Association for Science and Technology. Taiyuan: 149–153. [赵俊生, 2003. 山西生物防治发展现状及前景展望. 中国科协二〇〇三年学术年会. 太原: 149–153.]

Zhao SH, 1959. Achievements of agricultural pest control in China in the past decade. *Entomological Knowledge*, 5(8): 241–243. [赵善欢, 1959. 十年来中国农业害虫防治的成就. 昆虫知识, 5(8): 241–243.]

Zhao SH, 1962. Present situation and future development direction of chemical control of agricultural pests. *Journal of Plant Protection*, 1(4): 351–364. [赵善欢, 1962. 农业害虫化学防治研究的现状及今后发展方向. 植物保护学报, 1(4): 351–364.]

Zhao ZY, 2015. Chinese Fruit Science and Practice: Apples. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press. 20–35. [赵政阳, 2015. 中国果树科学与实践: 苹果. 西安: 陕西科学技术出版社. 20–35.]