



害虫管理：从“综合”到“整合”^{*}

戈 峰^{1,2**}

(1. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 生物互作卓越创新中心, 北京 100049)

摘要 害虫综合治理 (Integrated pest management, IPM) 中的“Integrated”除了综合的意思, 其实更多表述的是“整合”。在进行害虫防治时, 不能将各个措施简单地综合应用, 而应在充分了解各种措施之间相互作用的基础上, 将其整合成一个系统 (整体), 更好地服务于害虫管理。本文基于国内外害虫管理的进展与实践, 论述了近年来害虫管理发展的 4 种理念更新、4 项策略演变和 3 大技术革新, 提出了害虫管理优先方案 5 个步骤, 指出了整合过程的 5 个层次及 11 个科学问题, 强调害虫管理应本着“预防为主、生态优先、综合治理”的植保方针, 秉持“生态、有效、经济、简便”技术原则, 重点从综合走向整合, 构建我国不同区域特色的害虫管理生态工程, 开展害虫整合治理, 达到经济可行、生态可持续、社会可接受的目的。

关键词 害虫综合治理; 技术; 实施; 优先步骤; 措施间协调; 整合作用

From ‘comprehensive’ to ‘integrated’ pest management

GE Feng^{1,2**}

(1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. CAS Center for Excellence in Biotic Interactions, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Integrated pest management (IPM) is defined as a holistic ‘approach’, or ‘strategy’, of combatting plant pests with minimal applications of chemical pesticides. Rather than relying on a single control method, it involves integrating a diverse range of pest control techniques into the agroecosystem, which requires in depth understanding of the interactions between these techniques. This paper reviews recent advances in IPM both at home and abroad. Four fundamental principles of pest control, four control strategies and three technological innovations, have been developed since the 1950’s. A five step prioritization scheme for pest management with five levels associated with 11 scientific problems in the integration process have been advanced for managing pests more effectively. We emphasize that pest management should comply with the crop protection principle of “prevention first, making ecology a priority and using integrated management”, and the use of “ecologically friendly, effective, economic and simple” methods. Thus, we propose that IPM should integrate and optimize all available control elements such as ecological tactics, modern biotechnology, as well as biological, cultural, physical, and chemical tools, into the agroecosystem to achieve economic profitability, ecological sustainability and social acceptability.

Key words integrated pest management, technology, implementation, priority steps, measures coordination, integration

1 发展中的害虫管理

害虫作为影响农林生产与人类健康的主要因

子, 一直是人类防治的对象。早期受到认识与技术的限制, 主要依靠的是人工捕杀等原始防治手段。直至 20 世纪 40 年代, 随着“DDT”等化学农药的

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划重点专项 (2017YFD0200400)

**第一作者 First author, E-mail: gef@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2019-11-18; 接受日期 Accepted: 2019-12-28

发明,进入到化学防治阶段。目前,全世界每年农药的销售额大概 4 500 万美元,其中杀虫剂占 27%,除草剂为 42%,杀菌剂为 22%,其它农化产品 9%;我国是世界上使用化学农药最多的国家,大概占了世界用量的 50% (Pretty and Bharucha, 2015)。但随着化学防治滥用引起的“3 R”(抗药性 Resistance, 再增猖獗 Resurgence, 农药残留 Residue) 问题出现,逐渐发展到害虫综合防治阶段。Stern 等(1959)最早提出了害虫综合防治概念,主要致力于几种防治措施(如化学防治、生物防治)的综合和协调利用;之后的 20 世纪 60 年代昆虫学家们主要围绕着以生态学为基础的害虫综合防治进行研究;70 年代开始运用系统观念和系统分析来指导害虫管理;80 年代进行了以农户(农场)整体综合效益为主的害虫管理,发展了综合的作物或果园管理(Integrated crop management)(Damos *et al.*, 2015);90 年代之后致力于社会、经济可持续发展的综合资源管理(Integrated resource management)(Kogan, 1998),开展了以生态服务功能为特征的害虫生态调控研究(戈峰等, 2014)。

联合国粮农组织(FAO)最早于 1967 年给害虫综合管理(Integrated pest management, IPM)明确的定义,认为害虫综合管理作为一个害虫治理体系,主要根据害虫种群动态及其所处的环境,尽可能地以一种相容的方式使用所有适宜的技术和方法将害虫种群维持在经济为害水平之下(Kogan, 1998; Ehler, 2006)。显然,害虫综合管理(IPM)是防治害虫的一种策略,强调的是技术综合,目的是将害虫控制在经济允许水平之下。之后,世界各国均以此为指南,全面开展 IPM 的实践,并对害虫综合管理概念不断地拓宽,目前至少有 60 个以上有关不同的害虫综合管理(IPM)的定义(Young, 2017)。而且,Young (2017)在对与害虫综合管理(IPM)相关的 1 679 篇文献分析表明,大概 78% 的研究是有关农业病虫害的综合管理,其中 75% 研究有关害虫的综合管理(Young, 2017)。

我国常见的农业害虫有 860 多种,其中 20 多种属于重大的农业害虫(陆宴辉等, 2017)。据张晴晴等(2020)对我国 1987-2016 年 30 年间粮食作物受病虫害危害损失统计显示,30 年来我国粮食作物潜在损失率为 7.51%-17.56%(平均为 12.65%);粮食作物实际损失率为 2.00%-3.71%(平均为

2.57%)。因此,病虫害综合防治对我国农业生产十分重要。马世骏(1979)曾结合我国的害虫管理实践,为综合防治下了一个比较全面的定义,即从生物与环境的整体观点出发,本着预防为主的思想和安全、有效、经济、简易的原则,因地因时制宜地合理运用农业的、化学的、生物的、物理的方法,以及其它有效的生态手段,把害虫控制在不足危害的水平,以达到保护人畜健康和增加生产的目的(马世骏, 1979)。在 1975 年全国植物保护工作会议上,我国也确定了“预防为主,综合防治”的害虫防治工作方针;2006 年 4 月,农业部进一步提出了“公共植保,绿色植保”的理念,强化了害虫无公害持续控制的指导思想,引领我国害虫防治进入了新的阶段(吴孔明等, 2010; 萧玉涛等, 2019)。

近年来,随着人们对环境的重视和生活水平的提高,有关减少化学农药风险的呼声越来越高,人们更加期望生产安全、健康的产品,以保障农业可持续发展,从而也为害虫治理理念的革新奠定了基础。而且,现代科技的发展,特别是现代基因组、生物信息、人工智能等发展,为害虫治理提供了新的技术支撑。因此,很有必要对害虫治理的理念、策略、技术与方法进行重新梳理。本文分析了害虫管理发展的历程,论述了害虫管理发展起来的策略、理论和技术发展趋势,重点强调害虫管理应从“综合”走向“整合”,开展害虫整合治理,并提出了其行动指南及其整合方案,以提高害虫管理的水平。

2 害虫管理理念的发展

害虫管理的理念,也是随着人们对病虫害的认识而不断深入和拓宽,可以总结划分为以下 4 个发展阶段。

2.1 从消灭哲学到容忍哲学

过去总认为害虫和人的关系是不可调和的矛盾,因此非常强调人的主观能动性,采取一种消灭的哲学思想,旨在于要将所有的害虫彻底消灭。事实上,昆虫在地球上的出现远比人类早。而且,由于昆虫体小、有翅、繁殖力强等特点,已成为地球上最丰富的生物种类。据报道,昆虫种类在全球生物多样性中占了 64.3%,其中 48.2%食植物(植食者),28%捕食其它昆虫(捕食者),17.3%食腐烂

生物有机体(腐食者), 2.4%寄生动物体内或体外(寄生者)(戈峰, 2008)。

昆虫的“害”和“益”是相对的。昆虫作为生态系统中的一个重要成员, 是害虫天敌的重要食料, 生态系统的分解者和传粉者, 对维持生物群落多样性起着非常重要的作用(欧阳芳等, 2013)。在害虫种群密度较低时, 不但无害, 反而有益。只有当害虫种群密度超过一定水平(通称为经济允许水平)时, 才会对人类经济利益产生危害成为害虫。据估计, 我国已知的 5 万多种昆虫中, 重要的农业害虫只有 1 000 多种, 约占总数的 2%(戈峰, 2008)。因此, 一方面要充分利用作物的耐害补偿功能, 适当地放宽害虫的防治指标, 容忍害虫; 另一方面要变害为利, 即通过人为地模拟害虫(如摘铃)的为害, 诱导作物的超补偿功能, 增加作物的产量(戈峰, 1998)。同时, 综合考虑防治的人工成本增加、生态环境的保护, 进一步发展生态经济阈值的概念。

2.2 从靶标害虫控制到作物-害虫-天敌食物链的调控

过去的害虫防治主要针对于靶标害虫, 只要发现了害虫就进行防治。实际上, 害虫的危害依赖于作物的抗性、天敌的控制作用。作物、天敌对害虫的发生与危害起着重要的调控作用。据 Pimentel 等(1993)估计, 农田生态系统中天敌对害虫的控害作用在 50%以上, 作物抗性和其它生态因素的调控作用占 40%, 由此天敌与抗性的综合控害作用超过 80%。显然, 应该充分发挥农田生态系统中作物的抗性、天敌的控制作用。

基于“作物-害虫-天敌”食物链的害虫管理, 非常强调自上而下(Top-down)源于天敌的控制作用、以及自下而上(Bottom-up)源于作物自身的抗性。要求从农田生态系统中的作物-害虫-天敌的相互作用关系出发: 一是注重作物本身的抗逆作用, 通过抗虫品种、栽培措施、水肥管理和放宽防治指标, 将作物防御、耐害、补偿和诱导抗性调整到最佳状态; 二是注重天敌的控害作用, 通过功能植物、作用布局、间套作、使用选择性农药和生物合理防治制剂, 创造天敌生存与繁殖的最适条件, 将天敌调节到充分发挥控害作用的状态; 三是注重采用环境调控措施, 直接破坏害虫栖息生境, 恶化

其取食与生存的条件, 将害虫持续控制在经济允许水平之下(戈峰, 1998)。

2.3 从单一作物对象到区域性农田景观格局

昆虫分为卵、幼虫、蛹和成虫等不同虫态, 具有在不同的生境越冬、化蛹、补充营养, 在不同的寄主上辗转发生等特性。由此, 仅在其危害的第一寄主作物上进行控制是远远不够的。而且, 在以作物-害虫-天敌相互作用、相互制约而形成的农田生态系统中, 该系统内作物种类与数量的变化、系统外的非作物生境, 也势必影响着其内的害虫、天敌种群动态, 乃至整个系统的整体结构与功能。尤其是当前通过连作、套作、间作等方式, 由过去单一的农田生态系统, 发展成为麦田、棉田、玉米田及周围非作物生境为主所组成的农田景观。一些多食性害虫在农田景观中多种作物(小麦、玉米、棉花和蔬菜)上辗转发生与为害; 而景观区域内的多种天敌又辗转于作物之间, 控制着它们的发生与危害。显然, 过去依单一作物田(如麦田)开展研究, 是难以了解当前这种由多种作物田所组成的景观区域内的害虫及其天敌发生动态。因此必须从景观生态学的角度, 从空间上注重害虫及其天敌在不同作物上的转移扩散动态, 从时间上强调各代害虫及其天敌在主要寄主作物不同发育阶段上发生的全过程, 从技术上着重发挥以生物因素为主的综合措施, 提高害虫管理的水平(戈峰, 2001)。

2.4 从害虫防治到昆虫的生态服务功能

害虫防治的目标就是保护作物、增加产量和经济效益。但不合理的防治将会对生态系统整体功能产生负的作用。近年来, 随着人们对生态系统服务功能的认识, 发现天敌昆虫、传粉昆虫和土壤分解昆虫作为农田生物多样性的重要组成部分, 在农田生态系统的生物控害、传粉和分解等过程中发挥着重要的功能(欧阳芳等, 2013)。同时, 由于产业结构调整、耕作制度变更与城镇化建设, 引起农田面积减少、作物种类单一等农田景观格局的变迁, 导致农业景观中昆虫生态服务功能受到不同程度的影响(欧阳芳和戈峰, 2011)。显然, 昆虫管理不仅仅是害虫的管理, 还应包括有益昆虫(如传粉昆虫、天敌昆虫、分解昆虫)和中性昆虫的管理, 很有必要进一步拓展害虫管理的理论与方法, 将害

虫生态调控提升到基于生态服务功能的农田景观昆虫生态调控的水平(戈峰等, 2014)。

从植物保护管理层面来看, 我国于 1975 年确定了“预防为主, 综合防治”的害虫防治工作方针; 2006 年 4 月又提出了“公共植保、绿色植保”的理念(吴孔明等, 2009); 未来更应强调“预防为主、生态优先、综合治理”的植保理念。

3 害虫管理策略的发展

害虫综合治理本身就是害虫管理的一种策略, 但基于对害虫管理理念的发展, 以及害虫防治技术的进步, 又形成了以下 4 种侧重点不同的策略。

3.1 以生物学为基础的害虫综合管理

本策略强调通过对自然天敌防治保护、增殖、释放、引入等生物防治手段开展害虫管理, 构建以生物学为基础的害虫综合防治(Bio-intensive integrated pest management, BIPM)。近年来, 又进一步基于“作物-害虫-天敌”食物网中自上而下(Top-down)源于天敌的控制作用以及自下而上(Bottom-up)源于作物自身的抗性, 提出了保护性生物防治(Conservation biological control, CBC)策略。它主要通过改变天敌昆虫的生存环境去提高天敌的存活率、繁殖率、寿命和行为等来增加它们的适合度和增强对天敌有利的因素(如生境管理)两方面开展保护性生物防治(赵紫华等, 2013)。其中, 基于保护和利用功能植物的生境管理(Habitat management)作为保护性生物防治的基石, 就是在农田景观中种植功能植物以提供对天敌昆虫有利的环境提高它们的适合度从而增强生物防治的作用(Landis *et al.*, 2000)。

3.2 以“推-拉”为基础的害虫综合管理

推拉策略是基于化学生态学的原理, 更强调在保护作物田的周围种植“推出”外围害虫入侵的植物(作物)以及“拉出”保护田内害虫的诱集植物(作物), 通过控制害虫的行为来达到消灭害虫的策略(Hassanali *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2008)。在这个害虫管理的“推-拉”系统, 植物产生挥发性化学物质, 一方面使受保护的作物对害虫没有引诱力或对害虫不适合(推)但可以吸引天敌; 另一方面, 把害虫引向吸引源(拉), 脱离被保护的作

物, 从而增加天敌的生物控制, 降低害虫的繁殖成功率。其中, 最为成功的例子当属在肯尼亚等东非国家对玉米田害虫的“推-拉”防治(Khan *et al.*, 2008)。但也有学者认为这也是保护性生物防治(CBC)策略之一(Hassanali *et al.*, 2008)。

3.3 以生态学为基础的害虫综合管理

随着可持续农业发展, 以生态学为基础的害虫综合治理(Ecologically-based pest management, EBPM)得到重视(Wilson and Daane, 2017)。其中, 害虫生态调控更强调从农田景观生态系统中作物-害虫-天敌及其周围环境相互作用关系出发, 通过调节与控制两个相辅相成的途径, 充分考虑到昆虫的生物控害功能、传粉功能和分解功能, 综合使用生态系统中生物与非生物的调节与控制因素, 发挥天敌的控害、作物的抗性, 创造不利于害虫而有利于天敌及作物生长的环境, 将害虫控制在生态阈值水平之下, 达到经济可行、生态可持续、社会可接受的目的(戈峰, 2020)。

3.4 以消灭哲学为基础的害虫综合管理

主要包括全部种群治理(Total population management, TPM)和大面积种群治理(Area-wide population management, APM)。其中全部种群治理(TPM)策略, 以消灭哲学为基础, 主张彻底消灭一种害虫。它主要通过释放不育性雄虫(SIT)技术消灭害虫, 如在美国 4 个州和墨西哥用辐射诱导雄虫不育的技术消灭了羊皮螺旋蝇 *Cochliomyia hominivorax*, 英国、日本和几个南美国家在岛屿上也消灭了地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 和柑橘小实蝇 *Dacus dorsalis* 等, 均取得了很好的效果(张宗炳, 1985)。但由于受到技术的限制、经济的高投入和害虫迁飞扩散的影响, 从目前来看, 它主要针对的是重大经济害虫(如实蝇)或者卫生害虫(如蚊子), 而且环境相对比较封闭(如岛)的效果比较好(Knipling, 1980)。

大面积种群治理(Area-wide population management, APM)也是以消灭哲学为基础, 要求在较大范围之内消灭害虫。其基本点是在一个相当大的范围内采取最优化的方法将害虫的种群数量控制在经济允许损失水平之下, 进而达到持续治理的目的(谢贤元, 1987)。显然, APM 是将 IPM 和 TPM 之间的共同点合并构成为“综合”策略。

它可将害虫治理分成 3 个阶段, 即从局部种群治理(低级阶段), 过渡到大面积种群治理(过渡阶段), 最后发展到全部种群治理(高级阶段)。APM 策略特别强调在较大区域范围内采取最优化的综合防治(IPM)措施, 对害虫进行比较彻底的治理, 因此它是 IPM 对策的发展, 并且适用于多发性、杂食性和迁飞性害虫的治理(Kogan, 1998)。

4 害虫管理技术的发展

随着科学技术的发展, 害虫防治技术取得了很大进展, 如我国已创新了一系列监测预警、生物防治、物理防治、化学生态调控、抗药性治理和抗虫(转基因)育种技术(萧玉涛等, 2019), 为害虫管理提供了技术支撑。有关各种技术的详细介绍有很多文献, 本文就不多论述。

值得关注的是, 近年来随着以生物技术、信息技术和新材料为支柱, 以现代新技术为核心的现代农业迅猛发展, 以下 3 大技术将在未来害虫管理中发挥着更大的作用, 也是未来发展的趋势。

4.1 以现代组学为基础的害虫精准控制技术

利用现代组(基因组、蛋白组、代谢组)学、基因编辑等手段, 在揭示害虫暴发内在机制基础上, 将研发害虫精准控制技术, 开展害虫的个性化治理, 如靶标害虫的基因编辑、转基因昆虫的遗传控制、RNAi 干扰技术, 昆虫不育技术、转基因抗虫作物(Bt 棉花、玉米、水稻)和昆虫性信息素技术等, 从而精准地控制害虫的危害。

4.2 以现代信息学为基础的害虫监测预警及智能化控制技术

应用现代信息技术, 关注脑科学技术、行为操纵和人工智能手段, 在明确全球变化下害虫灾变规律的基础上, 发展大范围、多尺度、长时间的害虫监测预警技术, 如昆虫的人工智能、害虫智能化精准识别与监测预警、智能化精准对靶施药、基因诊断与快速检测技术、“3S”监测昆虫技术、植保无人机、云平台、大数据分析技术, 通过互联网+, 使害虫管理工作进一步朝着量化、模型化、信息化和智能化方向发展, 为有效地开展害虫管理奠定了基础。

4.3 以现代生态学为基础的害虫生态调控技术

应用现代生态学, 在阐明植物-害虫-天敌食物网关系及其与环境相互作用的基础上, 发展害虫生态调控技术, 通过景观生态设计、功能植物种植、推拉技术、生态自杀技术、作物合理布局、健康作物环境调控技术等害虫生态调控独特的技术(戈峰, 2020), 减少化学农药的风险, 促进农业的可持续发展。

5 害虫管理优先行动的方案

害虫防治的各种方法, 如植物检疫、农业防治、理化诱控、生态调控、生物防治、化学农药和现代生物技术, 在害虫管理中各司其职, 各有优缺点。应本着“预防为主、生态优先、综合治理”的植保方针、秉持“生态、有效、经济、简便”技术原则, 因地制宜, 精准施策, 制定害虫管理的行动方案。

Barzman 等(2015)曾提出了害虫管理的 8 个行动步骤, 依次为以农事措施为主的预防、虫情预测预报、因地制宜决策、使用生物的和物理的防治方法、优先使用生物农药、轮换使用化学农药、效果评估。我们进一步以图 1 的害虫管理优先行动方案金字塔, 更形象地表述了各个害虫管理措施的重要性及其优选实施方案。

1) 基于害虫生物学、生态学特性, 在监测害虫种群动态的基础上, 进行害虫预测预报;

2) 优先考虑抗性品种、作物轮作、栖息地改造、清洁卫生等农业防治作为预防的基石;

3) 再通过生物防治和生态调控技术, 保护和利用自然天敌, 发挥生态系统自然因素的调节作用;

4) 应用理化诱控(性引诱剂、灯诱、色板诱、食诱)技术和生物制剂(Bt、病原真菌、病毒、细菌), 直接压低害虫种群密度;

5) 最后当害虫种群密度大幅度超过生态经济阈值时, 可以考虑高效低毒低残留的选择性化学农药; 以实现监测、预防、调节、抑制到控制全过程(图 1)。

显然, 预防为主, 监测为基础, 使用“生态、有效、经济、简便”技术, 农民积极参与, 政府监管, 是保障害虫管理有效实施的 5 大要素。

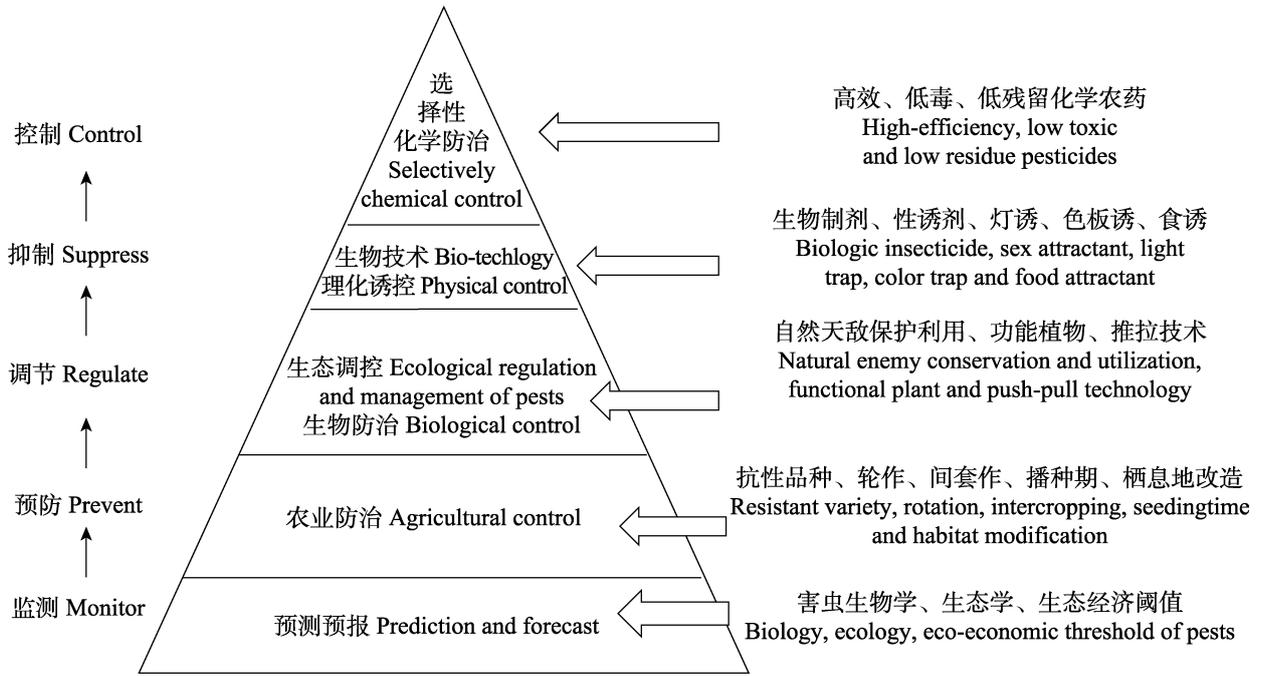


图 1 害虫管理优先行动方案金字塔

Fig. 1 Pyramid of priority actions scheme for all control elements during pest management

6 从综合到整合

如上所述，农业防治、理化诱控、生态调控、生物防治、化学农药和现代生物技术各有优缺点，需要综合到害虫管理系统之中。但是，害虫综合治理（Integrated pest management, IPM）中的“Integrated”的除了综合的意思，其实更多表述的是“整合”、“使一体化；使整合；使完整；使结合成为整体”（Stenberg, 2017）。因此，在构建害虫管理体系中，不能将各种措施简单地结合，而是应该在了解各个措施相互作用的基础上，将各个措施整合（Inter-grate）成为一体，实现“1+1>2”的协同作用，开展害虫整合治理。其整合的过程如图2所示，主要包括以下5个层次，需要解决11个科学问题：

第一层次：生态系统中作物-害虫-天敌食物网关系（图2中间的四方体）

1) 这是害虫管理的出发点，因为只有充分了解生态系统中作物-害虫-天敌食物网关系，知道害虫为什么会暴发成灾，才能有效开展害虫管理。

第二层次：各种措施对作物-害虫-天敌食物网关系作用（图2中的虚线）

2) 以作物抗性为基础的抗性品种是如何基于“Bottom-up”影响作物-害虫-天敌食物网关系；

3) 以增加天敌功能为基础的保护利用天敌措施是如何基于“Top-down”影响作物-害虫-天敌食物网关系；

4) 以直接诱杀害虫为基础的行为调控技术是如何基于“似然作用”影响作物-害虫-天敌食物网关系；

5) 以改变生态环境为基础的生态调控技术(轮作、间套作、功能植物)是如何基于“Bottom-up”影响作物-害虫-天敌食物网关系；

6) 以直接抑制害虫为基础的生物技术、化学防治是如何基于“灭杀”影响作物-害虫-天敌食物网关系；

第三层次：各种措施之间的作用对作物-害虫-天敌食物网关系作用（图2中的虚线）

7) 作物抗性品种种植、生态调控技术（轮作、间套作、功能植物）如何影响生物防治效果？它们之间的协同作用，是害虫管理的关键；

8) 理化诱控（行为调控）如何影响生物防治中的天敌种群数量？它们之间的协调使用，是害虫管理的重要步骤；

9) 化学防治如何影响生物制剂和生物防治的效果？它们之间错开的使用，是害虫管理成功的标志。

第四层次：整合作用（图2右边）

10) 在分析上述各种措施之间的作用及其它们

对“作物-害虫-天敌”食物网影响的基础上,因地制宜,精准施策,通过“整合”的作用和优化,构建一个实体的生态工程,开展“简单、可操作、全过程”的害虫管理,便于农民实施。

第五层次:生态、经济、社会效果的评估(图

2 右边)

11)在各种措施实施之后,要对防控的效果进行评价,再不断完善,形成不同区域特色的害虫管理技术体系,达到经济可行、生态可持续、社会可接受的目的。

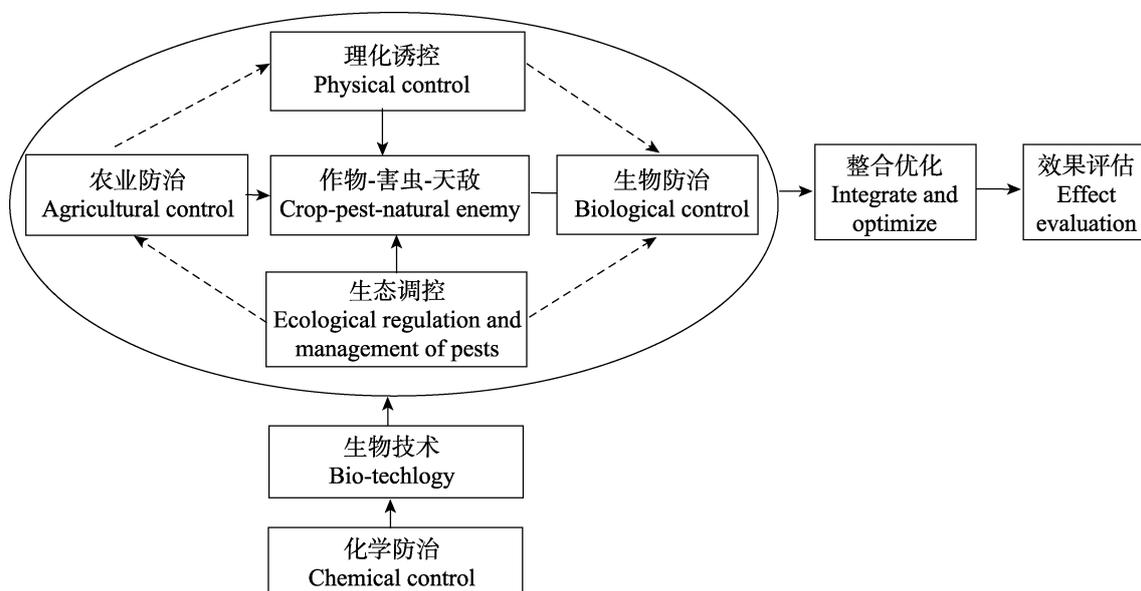


图 2 害虫管理的整合过程

Fig. 2 Integrated process of various control tactics during pest management

7 展望

纵观害虫防治的历史,已经从原始防治、化学防治到综合防治、综合治理。自 20 世纪 60 年代以来,害虫综合治理的理论、方法与实践不断完善,得到了飞速的发展。

害虫综合治理(Integrated pest management, IPM)作为害虫管理的一个主要策略,不是将各种措施简单地综合,而是在充分了解各种措施之间的相互作用及其它们对生态系统中“作物-害虫-天敌”食物网影响的基础上,应本着“预防为主、生态优先、综合治理”的植保方针,秉持“生态、有效、经济、简便”技术原则,重点将各种措施从综合走向整合,构建不同区域特色的害虫管理生态工程,开展害虫整合治理,达到经济可行、生态可持续、社会可接受的目的。要实现这个整合过程,未来还有很多科学问题需要解决。如:

1)加强对害虫的生物学和生态学研究,掌握害虫的生活史及其所处的环境,分析为什么它会成为害虫、为什么会暴发成灾?这是害虫管理的基础;

2)重视对害虫的生物技术与管理信息化研发,在大尺度科学预警的基础上,研发害虫精准控制技术,开展害虫的个性化治理,因地制宜,精准施策;

3)夯实害虫管理的生态学理论,目前的研究重点应由过去的种群、群落分析,发展到着重于探讨“作物-害虫-天敌”食物网互作关系,应用“Top-down”与“Bottom-up”理论分析食物网“上下”关系的天敌与作物对害虫的控制作用;基于食物网的“似然作用”理论明确食物网内“左右”关系通过天敌、作物对害虫的调节作用;

4)各项管理措施都有其优缺点,但不能简单地组合,而是应该了解各种措施之间的“相生、相克”,特别是作物的抗性育种、生物多样性措施与天敌保护利用之间的“协同”作用,化学农药使用与天敌保护利用之间的“协调”使用,将各个措施整合成为一体,实现“1+1>2”的效果。

5)秉持“生态、有效、经济、简便”技术原则。进行各项措施整合时,不能整合得太复杂,也不能将各种措施都使用,而是因地制宜对实施的方案进行优化,使行动方案简单、方便、适用、易操作,

便于农民有效实施；同时，还应考虑害虫管理的经济效益，不能尽用一些“高、大、上”不切实际的技术，而应让农民能用得起；此外，还必须贯彻“生态优先、绿色发展”的理念，尽到社会的责任。

6) 害虫综合治理是否实施的好，推广教育培训非常重要，应建立一些可推广、可重复、可复制的模式，使农民易学会用、直接受益。

7) 科学评估害虫管理的经济、社会和生态效果。了解各个措施是否安全、有效，是否实现预期目标，是否达到经济可行、生态可持续、社会可接受的目的，以利于进一步完善综合治理措施，更好地推广这技术体系。

8) 强调研发与应用、推广相结合，农民积极参与，政府主动监管，科学评估，精准施策，以保障害虫管理有效实施。

8 本专刊导读

针对化学农药与化肥的过度滥用引起的一系列环境问题，国家启动了重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”。其中的“活体生物农药增效及有害生物生态调控机制”项目(2017YFD0200400)，就是围绕着“发现生态调控的新技术、阐明生态调控新技术的原理与新机制、构建生态调控技术应用的新模式”等3个科学问题开展研究。本专刊分三个部分刊登“活体生物农药增效及有害生物生态调控机制”项目(2017YFD0200400)的相关研究进展。其中第一部分(7篇文章)重点论述了害虫生态调控的基本原理，第二部分(15篇文章)主要研究了不同生态调控措施对农田主要害虫、天敌的作用效果与机制，第三部分(4篇文章)介绍了害虫生态调控研究的新技术与方法。

参考文献 (References)

- Barzman M, Bärberi P, Birch ANE, Boonekamp P, Silke Dachbrodt-Saaydeh, Dachbrodt-Saaydeh S, Graf B, Hommel B, Jensen JE, Kiss J, Kudsk P, Lamichhane JR, Messéan A, Moonen AC, Ratnadass A, Ricci P, Sarah JL, Sattin M, 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4): 1199–1215.
- Damos P, Colomar LAE, Ioriatti C, 2015. Integrated fruit production and pest management in Europe: the apple case study and how far we are from the original concept? *Insects*, 6(3): 626–657.
- Ehler LE, 2006. Integrated pest management (IPM): Definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science*, 62(9): 787–789.
- Ge F, 1998. The principles and methods of ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Ecology*, 17(2): 38–41. [戈峰, 1998. 害虫生态调控的理论与方法. *生态学杂志*, 17(2): 38–41.]
- Ge F, 2008. Principle and Methods of Insect Ecology. Beijing: Higher Education Press. 51–186. [戈峰, 2008. 昆虫生态学原理与方法. 北京: 高等教育出版社. 51–186.]
- Ge F, 2001. The principles, methods and practices of regional ecological regulation and management of pests. *Chinese Bulletin of Entomology*, 38(5): 337–341. [戈峰, 2001. 害虫区域性生态调控的理论、方法及实践. *昆虫知识*, 38(5): 337–341.]
- Ge F, 2020. The strategy and technology of 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.]
- Ge F, Ouyang F, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. *应用昆虫学报*, 51(3): 597–605.]
- Hassanali A, Herren H, Khan ZR, Pickett JA, Woodcock CM, 2008. Integrated pest management: the push–pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491): 611–621.
- Khan ZR, James DG, Midega CAO, Pickett JA, 2008. Chemical ecology and conservation biological control. *Biological Control*, 45(2): 210–224.
- Knipling EF, 1980. Regional management of the fall armyworm - a realistic approach? *Florida Entomologist*, 63(4): 468–480.
- Kogan M, 1998. Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 243–270.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(1): 175–201.
- 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.]
- Ma SJ, 1979. Principles and Measures of Integrated Pest Control in China. Beijing: Science Press. 1–21. [马世骏, 1979. 中国主要害虫综合防治的原理与措施. 北京: 科学出版社. 1–21.]
- Ouyang F, Ge F, 2011. Effects of agricultural landscape patterns on insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1177–1183. [欧阳芳, 戈峰, 2011. 农田景观格局变化对昆虫的生态学效应. *应用昆虫学报*, 48(5): 1177–1183.]
- Ouyang F, Zhao ZH, Ge F, 2013. Insect ecological services. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 305–310. [欧阳芳, 赵紫华, 戈峰, 2013. 昆虫的生态服务功能. *应用昆虫学报*, 50(2): 305–310.]
- Pretty J, Bharucha ZP, 2015. Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects*, 6: 152–182.
- Pimental D, Acquay H, Biltonen MM, Rice P, Silva M, Nelson J, Lipner V, Giordano S, Horowitz A, D'Amore M, 1993. Assessment of Environment and Economic Impacts of Pesticide Use. New York: Springer. 47–84.
- Stenberg JA, 2017. A Conceptual Framework for Integrated Pest Management. *Trends in Plant Science*, 22(9): 759–769.
- Stern VM, Smith RF, van den Bosch R, Hagen KS, 1959. The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept. *Hilgardia*, 29(2): 81–101.
- Wilson H, Daane KM, 2017. Review of ecologically-based pest management in California Vineyards. *Insects*, 8(4): 108.
- Wu KM, Lu YH, Wang ZY, 2009. Advance in integrated pest management of crops in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(6): 831–836. [吴孔明, 陆宴辉, 王振营, 2009. 我国农业害虫综合防治研究现状与展望. *昆虫知识*, 46(6): 831–836.]
- Xiao YT, Wu C, Wu KM, 2019. Achievements and prospects of agricultural pest control technology in the past 70 years in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1115–1124. [萧玉涛, 吴超, 吴孔明, 2019. 中国农业害虫防治科技 70 年的成就与展望. *应用昆虫学报*, 56(6): 1115–1124.]
- Xie XY, 1987. Large area population management (APM) - a new pest control strategy. *Entomological Knowledge*, 24(5): 319–320, 296. [谢贤元, 1987. 大面积种群治理(APM)——一种新的害虫治理对策. *昆虫知识*, 24(5): 319–320, 296.]
- Young SL, 2017. A systematic review of the literature reveals trends and gaps in integrated pest management studies conducted in the United States. *Pest Management Science*, 73(8): 1553–1558.
- Zhang ZB, 1985. Total population management (TPM) - a new strategy for pest control. *Entomological Knowledge*, 22(3): 137–139. [张宗炳, 1985. 全部种群治理(TPM)——一种害虫防治的新策略. *昆虫知识*, 22(3): 137–139.]
- Zhang QQ, Ouyang F, Ge F, 2020. Quantitative evaluation methods and case analysis of economic and ecological benefits of integrated pests control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 206–213. [张晴晴, 欧阳芳, 戈峰, 2020. 有害生物综合防治的生态经济学效益定量评估方法. *应用昆虫学报*, 57(1): 206–213.]
- Zhao ZH, Ouyang F, Men XY, Liu JH, He DH, Ge F, 2013. Habitat management in biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 879–889. [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 刘军和, 贺达汉, 戈峰, 2013. 生境管理——保护性生物防治的发展方向. *应用昆虫学报*, 50(4): 879–889.]