

近 10 年来绿色防控技术在我国植物保护中的应用

陈德来¹, 刘长仲², 张挺峰³ (1. 陇东学院生命科学与技术学院, 甘肃庆阳 745000; 2. 甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃兰州 730070; 3. 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000)

摘要 自 2006 年全国植物保护工作会议提出“公共植保、绿色植保”至 2015 年, 近 10 年来我国农作物有害生物绿色防控技术应用取得了显著成效。就当前农业生产中农药、化肥污染危害、绿色防控的主要技术措施、绿色防控技术应用取得的成绩及存在的主要问题进行了概述, 并提出了具体的对策建议: 构建植保法律体系, 加强对农药化肥的管控; 安全合理使用化学农药, 预防或减轻环境污染; 强化绿色防控技术体系的集成创新。

关键词 绿色防控; 技术措施; 化学农药; 影响因素; 植物保护; 应用

中图分类号 S471 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)05-0029-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.05.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Applications of Green Prevention and Control Techniques in Plant Protection in China in Recent 10 Years

CHEN De-lai¹, LIU Chang-zhong², ZHANG Ting-feng³ (1. College of Life Science and Technology, Longdong University, Qingyang, Gansu 745000; 2. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070; 3. College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000)

Abstract Since the concept of public and green plant protection was proposed at the National Plant Protection Conference in 2006, the development and application of green prevention and control techniques have made significant achievements in China in recent 10 years. In this review, at present, because of the abuse of chemical pesticides, the problem of pesticide residues and environmental pollution was getting worse, major green pest control techniques, implementation and application effect, the current problems, factors affecting its promotion and application were reviewed, and recommendations on the application of green prevention and control techniques were put forward; establish a sound legal system about plant protection to strengthen control of using chemical pesticides and chemical fertilizer; to prevent or mitigate environmental pollution by the means of reasonable safety uses chemical pesticides; to strengthen the integrated innovation of green prevention and control techniques system.

Key words Green prevention and control; Technical measures; Chemical pesticides; Influencing factors; Plant protection; Application

随着国内农业生产中农药、化肥污染事件的频繁发生和农产品质量安全问题的日益凸显, 兼顾资源节约和环境友好的绿色防控技术应运而生, 越来越多地应用于现代植物保护。2006 年 4 月召开的全国植保工作会议上提出了“公共植保、绿色植保”的理念^[1]。2015 年农业部宣布实施《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》, 进一步强化了通过绿色防治持续控制病虫害的指导思想^[2-3]。绿色防控技术是以生态调控为基础, 通过综合使用各项绿色植保技术, 包括农业、生态、物理等非化学防控技术以及生物农药等应用技术, 达到有效、经济、安全地防控农业病虫害, 从而减少化学农药用量, 保护生态环境, 保证粮食作物无污染^[4-6]。发展“高产、优质、高效、生态、安全”农业是现阶段推进现代化农业建设, 转变农业增长方式, 提高我国农业产品国际竞争力, 促进农民收入持续增长的必然要求^[7]。近年来, 在科技部 973 计划、国家自然科学基金和农业部行业专项基金等^[4]的支持下, 我国植物保护领域对农业病虫害的基础研究不断深入, 取得了一批国际领先的研究成果^[8]。在应用技术方面也有诸多突破, 如以蛋白质农药^[9]为代表的生物农药和以太阳能诱虫灯^[4]为代表的物理防治技术等在生产中大面积应用。据赵中华等^[10]统计, 至 2016 年, 全国绿色防控覆盖率达 25.2%, 为减少化学农药和化学肥料使用量、降低农产品的

农药残留、保护生态环境做出了贡献。但是总括来说, 我国的绿色防控技术还处于示范推广阶段, 尚未全面实施, 绿色防控技术实施的推进速度与农产品质量安全和生态安全的迫切需求还有很大的差距^[11]。笔者从农作物病虫害化学防治产生的污染、绿色防控的意义、绿色防控的主要技术措施、绿色防控推广应用存在的问题及对策建议方面进行概述, 以期对相关研究提供帮助。

1 农作物病虫害化学防治中的污染问题

作物病虫害防治方法中, 使用化学农药防治作物病虫害在传统的综合防治中占有重要地位, 在保证农业增产增收方面起着重要作用^[12]。我国的化学农药使用量在近 30 年一直呈上升趋势, 吴孔明院士调查后统计得出, 2012—2014 年农作物病虫害防治农药使用量 31.1×10^4 t/a, 比 2009—2011 年增长 9.2%; 虽然 2016—2017 年农药用量趋于下降, 但总量依然很大, 尤其是化学杀虫剂单位面积使用量数倍于西方发达国家^[4]。由于长期大量使用化学农药, 造成大气、水体、土壤污染, 同时通过食物链的富集作用, 造成农产品及人体的农药残留, 威胁人类健康。

1.1 污染现象

1.1.1 污染环境。 无论采用何种方法使用化学农药, 都不可能使全部农药落到目标物上。据观测, 在田间喷撒农药时仅有 10%~30% 的药物附着在植物上, 其余的则降落在地面上或飘浮于空气中^[13]。附着在植物上的药物只有很少部分进入植物体内, 大部分挥发进入大气或经雨淋降落到土壤或水体。进入环境中的化学农药, 在大气、水体和土壤等环境

基金项目 国家公益性行业(农业)科研专项(201303027)。

作者简介 陈德来(1980—), 男, 甘肃靖远人, 实验师, 在读博士, 从事作物保护研究。

收稿日期 2018-08-13

要素之间进行重复交叉污染,最终将有一部分通过食物链进入到人体内,造成对人体的累积性慢性毒害。

1.1.2 污染作物,造成药害。多数情况下,农药使用是将药物喷施于作物体表,大量或高浓度使用农药,使有毒物质对作物的影响超过了作物的忍受能力就会产生作物药害^[13]。在果实上沉积药物过多,超过允许含量就会影响其品质和经济效益,影响人体健康。

1.1.3 杀伤天敌,破坏生态平衡。长期使用农药,尤其是高毒高效、广谱性农药,杀伤了大量非靶标的有益生物,造成农田生态系统生物多样性丧失,破坏生态平衡,使自然控制病虫害的力量削弱^[14]。

1.2 造成污染的原因

1.2.1 农药使用方法不当。在农作物病虫害防治过程中,往往出现无系统、单方位、无选择、多频次用药和滥用农药的现象^[1]。如防治方法单一,仅靠化学农药,不分主治兼治,任意加大浓度,不分种类见虫就打药,使用高毒农药等。

1.2.2 用药不对路,混用不合理。对病虫害识别失误而用药不准确或用药时期不对,不仅起不了作用,而且浪费了农药,造成污染。化学农药不合理混用,不仅影响药效,而且会产生药害。

1.2.3 忽视安全用药。部分施药人员对化学农药的性质、使用方法、操作规程不甚了解,不注意安全用药。在配药、清洗药械过程中安全意识淡薄,污染环境,甚至带来严重后果。

2 实施农作物有害生物绿色防控的意义和主要措施

2.1 重要意义 推广绿色农业是绿色发展理念和生态文明建设战略等国家顶层设计在农业上的具体实践,有利于推进农业供给侧结构性改革和适应居民消费质量升级的大趋势,对缓解我国农业发展面临的资源环境约束以及满足社会高品质农产品需求具有重要现实意义^[15]。而实施农作物有害生物绿色防控能够保证农产品的质量,是实现绿色农业的有力技术保障,是现代农业生产需要。农作物有害生物绿色防控,使农民获得安全农产品,可以提高产品价格,促进农民增加收入,增加出口创汇总量。农作物有害生物绿色防控可以维护生态平衡,保护生态环境不受有害物质污染^[16]。农作物有害生物绿色防控是保证人畜健康的需要。

2.2 主要模式 目前,提出绿色防控的模式主要包括以靶标有害生物为主线的绿色防控模式、以作物为主线的绿色防控模式、以基地为主线的绿色防控模式、以设施农业为主线的绿色防控模式、以投入产品为主线的绿色防控模式和以生态调控为主线的绿色防控模式^[17]。

2.3 主要技术措施 绿色防控的目标与发展安全农业的要求相一致,它强调以农业防治为基础,以生态控害为中心,广泛利用以物理、生态为重点的控制手段,禁止使用高毒高残留农药,最大限度减少常规化学农药的使用^[12]。病虫害发生前,综合动用农业、物理、生态和生物等方法,减少或避免病虫害的发生,从而减少或避免使用化学农药。病虫害发生后,及时使用低毒、低残留农药,精确施药,把握安全间隔期,尽可能减少农药对环境和农产品的污染。

2.3.1 农业防治。农业防治是通过科学的栽培管理措施来控制有害生物种群数量或减少其侵染的可能性,培育健壮植株,增强植株抗害、耐害和自身补偿能力,以达到稳产、高产、高效率、低成本的一种植物保护措施^[18]。

2.3.1.1 选用高产、优质抗(耐)病虫品种。选用抗性品种是防治作物病虫害最根本的既经济又有效的措施。要根据不同作物种类、不同的播期和针对当地主要病虫害控制对象,因地制宜选用抗性品种,减轻病虫害为害。

2.3.1.2 加强田间管理。清洁田园,营造一个良好的生长环境。在作物种植前结合整地清除病株残体,铲除田间及四周杂草,清除病虫中间寄主,恶化病虫的生存条件。在作物生长过程中及时摘去病虫危害的叶片、果实或拔除病虫株。通过合理施肥、灌溉改善田间的水、肥条件,从而提高作物的抗害和耐害能力,控制病虫害的发生。

2.3.1.3 合理轮作、间作和套种。通过合理的轮作倒茬,可均衡利用土壤养分,改善土壤理化性质,调节土壤肥力,便于作物健康生长,提高抗病虫能力。同时还可以恶化某些病虫的生活环境以及食物条件,达到抑制病虫的目的。合理的间作套种也是抑制病虫为害的措施。

2.3.1.4 太阳能土壤消毒。在夏季高温休闲季节,通过较长时间覆盖塑料膜来提高土壤温度,以杀死土壤中的害虫和病原微生物。太阳能土壤消毒技术不断发展完善,与其他措施结合,形成了各种形式的适合防治不同土传病虫害的太阳能土壤消毒技术。

2.3.2 物理机械防治技术。物理防治,利用光、热、电、声、温湿度等物理因子对害虫的影响作用,并根据害虫的反应规律进行的防治。机械防治,人工或应用器械或动力机具的相关措施进行防治。

2.3.2.1 利用害虫的趋光性诱杀。研究表明,许多昆虫对光有趋向性,尤其是对 365 nm 波长的光波趋性极强^[19],黑光灯光谱中 365 nm 的波长相当丰富,对害虫的引诱效果比日光灯好,而蓝光灯的引诱效果比红光灯好。

2.3.2.2 利用色彩诱杀或忌避防治。不同种类的昆虫对颜色的趋性不同,蚜虫对黄色、橙色有强烈的趋性,对银灰色则有忌避性,可利用诱捕黄板、黄皿进行诱杀,兼防蚜传病毒病;利用银灰色反光塑料薄膜做大棚作物覆盖、围边材料,可达到忌避蚜虫的目的。棕黄藜马对蓝色有趋性,在作物株行间悬挂蓝色诱杀带或诱集板诱杀,可达到防治目的^[20]。

2.3.2.3 利用害虫趋化性灭虫。不同种类的昆虫对化学气味的趋性不同,如蝼蛄对香甜物质,种蝇对糖醋和葱蒜叶,棉铃虫和烟夜蛾对糖蜜等有明显趋性,可利用糖、醋、蜜等进行诱杀^[13];可用树叶、杂草、菜叶等在菜田集中堆放诱集蚜虫等。

2.3.2.4 防虫网的利用。防虫网是人工构筑的隔离屏障,把害虫拒于栽培网室之外,达到防虫除害的目的^[21]。防虫网是用添加防老化、抗紫外线等化学助剂的优质聚乙烯原料经拉丝织造而成,可控制害虫以及由害虫传播的病毒病的发生^[22],还能遮光、调节温湿度、防霜冻以及抗强风暴雨的袭

击,保护天敌昆虫等。

2.3.3 生物防治技术应用。生物防治是利用生物有机体及其代谢产物控制农作物有害生物的危害,减少遭受危害和损失的方法^[23-25],其具有对生态环境安全、不杀伤天敌、无污染残留、确保农产品安全等优点,在有害生物的安全控制体系中占据重要地位。主要包括以虫治虫、以菌治虫、以菌治菌、病毒治虫以及其他有益生物、自然的或人工合成的昆虫激素的利用等技术^[13]。

2.3.3.1 天敌的保护和利用。营造良好环境、保护天敌越冬、科学使用农药、增加食物来源、补充天敌数量和连通性保护生态环境不受污染等农业害虫天敌的保护策略^[26],加强对农业害虫天敌的保护^[27-30]。我国现已实践应用、能大量繁殖的天敌昆虫主要有:寄生性种类如赤眼蜂^[31-32]、蚜茧蜂^[33]、平腹小蜂^[34]等;捕食性种类^[35-36]如草蛉、瓢虫、捕食螨及农田蜘蛛类等。

2.3.3.2 昆虫病原微生物的利用。昆虫病原微生物是调控昆虫种群数量动态的重要因子^[37-41],已被作为绿色防控的重要手段广泛应用。病原微生物主要包括病原细菌、真菌、病毒、拮抗性细菌、益菌等种类的利用^[13]。如苏云金杆菌(Bt)^[42]、白僵菌、绿僵菌^[43]、杆状病毒和拮抗菌等,对玉米螟、稻纵卷叶螟^[44]、粘虫、菜青虫、棉铃虫等均有致病或抑制作用^[13],生产应用上取得了良好的控害效果。

2.3.3.3 昆虫信息素的应用。利用昆虫性信息素防治害虫与传统化学农药相比,具有选择性强、使用简便、防治成本低、不伤天敌等优点,尤其是对环境的友好性^[45-46]。性诱剂已成功应用于害虫测报、迷向和诱杀^[47-48]等,国内已开发出多种昆虫性诱剂。

2.3.3.4 植物及其制剂的应用。与传统的化学农药相比,植物源农药具有低毒、低残留、环境友好等特点,因此受到越来越多人的重视^[49]。主要的植物源农药包括杀虫剂、杀螨剂、杀菌剂、除草剂等^[13],相应的制剂有烟碱、鱼藤酮、印楝素、大蒜素、苦参碱制剂等,对直翅目、鞘翅目、同翅目、鳞翅目和膜翅目等 200 多种害虫有效。

2.3.3.5 生物技术防治病虫害。生物防治技术依靠对非靶标生物安全、附着效果小、残留量小、副作用小、可用资源丰富等特征^[50-51],得到了广泛的推广及应用。经过 20 多年的发展,我国已初步构建出转基因育种产业科技创新和发展体系,同时具备了抗击病虫害、抗除草剂等多种核心技术^[52],在玉米、水稻等转基因作物上取得了高水平的科研成果^[4],树立了自身的优势和特色。

2.3.3.6 生物除草剂的应用。生物除草剂是指利用自然界中的生物(包括微生物、植物和动物)或其组织、代谢物工业化生产用于除草的生物制剂^[13-14]。生物除草剂可以分为两大类:一类是直接利用完整生物体或者部分活体组织开发的制剂,称为生物除草剂。由于这些产品多数是利用微生物特别是真菌,故亦称之为微生物除草剂或真菌除草剂。另一类是利用生物的次生代谢产物开发的制剂,称为生物源除草剂或者生物化学除草剂^[53]。

2.3.3.7 稻鸭共育技术的应用。利用稻田中的杂草、昆虫、水中浮游物和底栖生物养鸭,既保证鸭子生长,起到除草、灭虫、净田的良好效果,又具有过腹还田、增加土壤肥力的作用^[54]。因此,稻鸭共育可大大减少化肥和农药用量,节省成本,并有利净化农田生态环境^[55],是开展有机水稻生产的一种有效方式。

3 绿色防控技术推广应用的成绩和存在的主要问题

我国绿色防控示范推广工作经过 10 年(2006—2015 年)的发展,取得了显著成效,任彬元等^[56]调查统计得出,截至 2015 年年底,有 31 个省份实现了绿色防控技术示范应用,建立了 1 200 多个绿色防控示范区,其中,7.33×10⁶ hm² 核心示范面积,66.67×10⁶ hm² 应用示范面积,应用示范面积占作物有害生物发生面积的 28%、防治总面积的 18%,探索构建出 144 种绿色防控技术集成模式。尽管我国农作物有害生物绿色控制技术措施有了长足的发展,但在研究开发和应用等方面仍存在一些突出问题。无论控制速度还是控制效果,均不及传统的化学农药,主要表现在:①由于技术本身的缺陷或应用困难等原因^[57],很难在生产实际中较好地应用,适用性强的绿色防控关键技术还不多。②目前大面积推广应用的实用性强的绿色防控技术体系品种有限^[58],田间应用技术尚不成熟,系统性不强,集成程度不高。③推广模式不健全,应用规模不大。绿色防控技术应用示范研究与市场联系不紧密,作为应用主体的农户对运用绿色防控技术积极性不高,经济效益不明显,制约绿色防控技术大面积应用。

4 对策建议

4.1 构建植保法律体系,加强对农药化肥的管控 构建科学完善的植保法律体系,涉及土壤、肥料、农药、病虫害、农产品安全等一系列的法律法规,以立法的形式规定农业有害生物防治的责任主体,将植保事业建立在法律基础上,确保“从农田到餐桌”全程食品安全。除了进行立法外,还应制定严格细致的农药化肥生产和使用标准体系,对生产、销售、使用等各个环节进行跟踪监管,对违规行为严厉的处罚。

4.2 安全合理使用化学农药,预防或减轻环境污染 合理选择农药品种与剂型,以减少对非靶标生物的危害。采用适宜的施药方法,以达到满意防效和减少农药用量与飘移污染。合理轮换和混用农药,以减少用药次数,减缓有害生物的抗药性的产生^[1,59-60]。在农药生产中积极研制低毒、高效、低残留、对人畜安全的农药,特别是生物农药的研制与推广。

4.3 强化绿色防控技术体系的集成创新 研发大量地域适应性强的地方特色绿色防控技术,不断地探索对食物和环境影响小的绿色植保新理论、新技术和新方法。主要围绕作物、靶标、技术和农产品形成绿色防控技术集成^[61]。大力开展绿色防控技术体系集成创新,结合生产基地实际特点形成特有技术模式或规程。

参考文献

- [1] 李艳丽. 绿色防控与农药[J]. 种业导刊, 2017(10): 19-20.
- [2] 中国昆虫不育技术发展战略研究项目组. 中国农业害虫绿色防控发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [3] WU D W, QI T C, LI W X, et al. Viral effector protein manipulates host

- hormone signaling to attract insect vectors[J]. Cell research, 2017, 27: 402-415.
- [4] 吴孔明. 中国农作物病虫害防控科技的发展方向[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 35-38.
- [5] 夏敬源. 公共植保、绿色植保的发展与展望[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(1): 5-9.
- [6] GREATHEAD D J. Bulletin of the royal entomological [J]. Society, 1994(4): 181-199.
- [7] BONABANA-WABBI J. Assessing factors affecting adoption of agricultural technologies: The case of integrated pest management (IPM) in kumi district, eastern Uganda [D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.
- [8] 范小建. 农业部副部长在全国植物保护工作会议上的讲话[J]. 中国植保导刊, 2006, 26(6): 5-13.
- [9] 国家自然科学基金委员会生命科学部. “十三五”学科发展战略报告: 生命科学[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [10] 赵中华, 李春广, 郭荣, 等. 农作物病虫害绿色防控技术应用情况专业统计办法改进建议[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(6): 80-82.
- [11] 徐小俊, 孙继华. 国外绿色植保的经验与启示[J]. 世界农业, 2016(12): 173-178.
- [12] 赵中华, 尹哲, 杨普云. 农作物病虫害绿色防控技术应用概况[J]. 植物保护, 2011, 37(3): 29-32.
- [13] 李毅, 洪华珠, 陈振民, 等. 生物农药[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2017.
- [14] 邱德文. 生物农药研究进展与未来展望[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 81-89.
- [15] 刘子飞. 中国绿色农业发展历程、现状与预测[J]. 改革与战略, 2016, 32(12): 94-102.
- [16] 周阳, 赵中华, 杨普云. 以绿色防控促进生态文明建设[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(11): 75-78.
- [17] 夏敬源. 大力推进农作物病虫害绿色防控技术集成创新与产业化推广[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(10): 5-9.
- [18] 李正跃, 阿尔蒂尔瑞 M A, 朱有勇. 生物多样性与害虫综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [19] 杨普云, 赵树英. 佳多频振式杀虫灯使用手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 7-37.
- [20] 常晓丽, 武向文, 杜兴彬, 等. 黄色诱虫板测报和防控稻纵卷叶螟的效果评价[J]. 中国农业科学, 2013, 46(13): 2677-2684.
- [21] 杨映娟, 陈齐斌. 农业绿色防控的策略与主要技术措施[J]. 云南农业, 2017(5): 32-34.
- [22] 杨玉珍, 宋爱颖. 公共植保、绿色植保理念的病虫害防治策略探讨[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(5): 117-118.
- [23] 雷仲仁, 吴圣勇, 王海波. 我国蔬菜害虫生物防治研究进展[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 1-6.
- [24] 崔博, 王春鑫, 吕妍, 等. 两种杀虫剂复配的固体纳米分散体的增效研究[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(6): 760-766.
- [25] CUI B, FENG L, WANG C X, et al. Stability and biological activity evaluation of chlorantraniliprole solid nanodispersions prepared by high pressure homogenization[J]. PLoS One, 2016, 11(8): 1-16.
- [26] 申智慧. 农业害虫天敌的保护策略[J]. 耕作与栽培, 2017(5): 67-68.
- [27] 刘威尔, 张鑫, 张娟, 等. 农田缓冲带规划建设与天敌保护效果研究[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 172-179.
- [28] STUTTER M I, CHARDON W J, KRONVANG B. Riparian buffer strips as a multifunctional management tool in agricultural landscapes: Introduction [J]. Journal of environmental quality, 2012, 41(2): 297-303.
- [29] ZHAO L L, ZHANG X X, WEI Y A, et al. Ascariosides coordinate the dispersal of a plant-parasitic nematode with the metamorphosis of its vector beetle[J]. Nature communications, 2016, 7: 12341.
- [30] LU M, HULCR J, SUN J H. The role of symbiotic microbes in insect invasions[J]. Annual review of ecology, evolution, and systematics, 2016, 47: 487-505.
- [31] 太红坤, 白树雄, 韩永连, 等. 玉米螟赤眼蜂防治云南亚洲玉米螟的田间效果[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 313-318.
- [32] 王超, 卢春燕, 周宇杰. 诸暨市水稻病虫害绿色防控示范工作探讨[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(6): 131-132.
- [33] 吴兴富, 赵立恒, 魏佳宁, 等. 烟田烟蚜茧蜂的活动规律及其对烟蚜的防治效果[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2000, 22(4): 327-330.
- [34] 谢钦铭, 梁广文, 曾玲. 几种生物农药对平腹小蜂的毒性[J]. 昆虫天敌, 2001, 23(2): 90-92.
- [35] 余德乙, 张艳璇, 唐建阳, 等. 捕食螨在我国农林害螨生物防治中的应用[J]. 昆虫知识, 2008, 45(4): 537-541.
- [36] 荆英, 黄建, 黄蓬英. 有益瓢虫的生防利用研究概述[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2002, 22(4): 299-303.
- [37] 石旺鹏, 李傲梅, 邢永杰, 等. 昆虫病原微生物对其寄主行为的调控作用研究进展[J]. 微生物学报, 2018, 58(6): 1049-1063.
- [38] STAUDACHER H, MENKEN S B J, GROOT A T. The effects of immune challenge on the oviposition strategy of a noctuid moth[J]. Journal of evolutionary biology, 2015, 28(8): 1568-1577.
- [39] KUMAR S, CHANDRA A, PANDEY K C. *Bacillus thuringiensis* (Bt) transgenic crop: An environment friendly insect-pest management strategy [J]. Journal of environmental biology, 2008, 29(5): 641-653.
- [40] 钱韦, 曲静, 康乐. 生物信息流操纵: 作物病虫害导向性防控的新科学[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(8): 805-813.
- [41] 束长龙, 曹蓓蓓, 袁善奎, 等. 微生物农药管理现状与展望[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 297-303.
- [42] 蒙显英, 黎起泰, 冯家勋, 等. 芽孢杆菌产生的抗菌物质的研究进展[J]. 中国植保导刊, 2004, 24(12): 13-15.
- [43] 王正浩. 绿僵菌胞外蛋白酶对东亚飞蝗中肠毒力差异分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [44] 康敏, 赵剑锋, 顾中量. 德宏州芒市运用赤眼蜂防治水稻螟虫效果初探[J]. 云南农业科技, 2015(5): 54-55.
- [45] 孙志锋. 昆虫性信息素的研究进展[J]. 广东化工, 2016, 43(20): 114-115.
- [46] MILLAR J G. Stereospecific synthesis of the sex pheromone of the passion vine mealybug, *Planococcus minor* [J]. Tetrahedron letters, 2008, 49(2): 315-317.
- [47] 赵成华. 蛾类昆虫性信息素生物合成的研究进展[J]. 昆虫学报, 2000, 43(4): 429-439.
- [48] 高宇, 王志英, 赵红盈, 等. 白蜡吉丁啮小蜂雌蜂对寄主挥发物的触角电位和行为反应[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 141-143.
- [49] 邵仁志, 刘小安, 孙兰, 等. 中国植物源农药的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(8): 1041-1045.
- [50] 王健生, 耿翔. 南京湖熟现代农业示范园区农药减量控害工作实践与思考[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(12): 224-225.
- [51] 敖己倩云, 申光茂, 王梦瑶, 等. 米砂叶螨 β -COP 和 *Sro* 基因鉴定及其沉默致死效果[J]. 中国农业科学, 2017, 50(18): 3529-3539.
- [52] 项君. 现代生物技术在作物病虫害防治中的应用[J]. 中国农业信息, 2017, 28(13): 56-57.
- [53] 阎世江, 张继宁, 刘浩. 生物除草剂的过去、现在和未来[J]. 农药市场信息, 2017, 24(2): 6-8.
- [54] 朱有勇. 农业生物多样性与作物病虫害控制[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [55] 刘某承, 张丹, 李文华. 稻田养鱼与常规稻田耕作模式的综合效益比较研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 164-169.
- [56] 任彬元, 杨普云, 朱景全. 2015年我国农作物病虫害防控成效及“十三五”时期工作着力点浅析[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(4): 26-28.
- [57] 欧高财, 郑和斌, 任凡, 等. 农作物病虫害绿色防控发展制约因素及解决对策[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(8): 59-62, 50.
- [58] 杨普云, 熊延坤, 尹哲, 等. 绿色防控技术示范工作进展与展望[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(4): 37-38.
- [59] 朱有勇, 李成云, 李正跃, 等. 农业生物多样性控制病虫害发展研究[C]//中国植物保护学会. 2012-2013 植物保护学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2014: 26.
- [60] 杜登科, 杨丽. 农业有害生物防治对农村水污染的影响及治理对策[J]. 作物研究, 2017, 31(7): 855-856.
- [61] 杨普云, 梁俊敏, 李萍, 等. 农作物病虫害绿色防控技术集成与应用[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(12): 65-68.