

李光博院士在迁飞性害虫监测预警中的学术贡献

——纪念李光博院士诞辰 100 周年

张云慧¹, 张智^{1,2}, 李祥瑞¹, 朱勋¹, 程登发^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 北京市植物保护站, 北京 100029)

摘要 我国重大害虫多具有迁飞性, 对其进行有效的监测预警在害虫防治中极为重要, 本文回顾了李光博院士在重大迁飞性害虫监测预警领域中做出的重要贡献, 主要包括: 20 世纪 60 年代, 在揭示黏虫远距离迁飞规律的基础上创造性地提出黏虫“异地”测报技术, 被农业农村部批准列入全国统一测报办法推广应用并传承至今, 成为迁飞性害虫预测预报的经典理论; 20 世纪 80 年代, 李光博院士又领导研究团队将人工智能技术应用到黏虫“异地”测报中, 成功研制出黏虫测报专家系统, 进一步提高了黏虫的预测预报理论和技术水平。同时也在迁飞性害虫预测预报信息化方面做出新的探索, 研发了昆虫飞行数据微机采集分析系统, 为昆虫迁飞行为和机理研究提供了有力的技术手段, 也为我国迁飞性害虫的监测和治理奠定了坚实的基础。本文还介绍了研究团队在后续研究中, 继承和发展李光博院士的学术思想, 在昆虫雷达数据采集分析系统的开发研制方面做出新的突破, 对未来迁飞性害虫监测预警研究做了展望。

关键词 李光博; 黏虫; 迁飞; 异地测报; 黏虫专家系统; 监测预警

中图分类号: S435.122 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022217

Contribution of Academician Li Guangbo in the forecasting of migratory insect pests

— To commemorate the 100th anniversary of the birth of Academician Li Guangbo

ZHANG Yunhui¹, ZHANG Zhi^{1,2}, LI Xiangrui¹, ZHU Xun¹, CHENG Dengfa^{1*}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China)

Abstract In China, most important agricultural insect pests are migratory. It is vital to forecast the occurrence trend in time for integrated pest management of migratory pests. This paper reviews the main contributions of Academician Li Guangbo in the monitoring and forecasting of migratory insect pests. Academician Li has creatively proposed the remote forecasting technology of *Mythimna separata*, which has been approved by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs to be included in the national unified forecasting methods in 1975 and has been inherited and applied so far. In the 1980s, Academician Li and his team successfully applied artificial intelligence in developing the expert system and flight data acquisition and analysis system to forecast and investigate *M. separata*, which further improved the forecasting technology and theoretical level of *M. separata*. The development of insect flight data acquisition and analysis system has promoted the improvement of insect migration mechanism and physiological and ecological research level, and also laid a solid foundation for the monitoring and management of migratory pests in China. In addition, this paper introduces some work in entomological radar in the field of monitoring and early warning of migratory pests in China by the descendant team with Academician Li's academic thought. In the end, further research on forecasting of migratory insect

收稿日期: 2022-04-21 修订日期: 2022-05-19

基金项目: 国家自然科学基金(31972260); 财政部与农业农村部: 国家现代农业(小麦)产业技术体系(CARS-03)

* 通信作者 E-mail: dfcheng@ippcaas.cn

pests in the future is prospected.

Key words Li Guangbo; *Mythimna separata* (Walker); migratory; forecast in immigration area; armyworm forecast expert system; monitoring and early warning

黏虫 *Mythimna separata* (Walker) 幼虫喜食禾本科植物, 在我国为害历史已有 2000 多年。公元前 1 世纪, 黏虫就已猖獗, 从 482 年—1360 年, 曾有 35 次暴发成灾记录, 新中国成立初期, 黏虫仍然是威胁我国水稻、小麦、玉米安全生产的最重要的农业害虫^[1-3]。在明确其具有迁飞习性以前, 由于其“来无影, 去无踪”, 素有“神虫”之称。为了破解“神虫”治理难题, 党和政府高度重视, 以李光博院士为代表的老一辈昆虫学家通过多年努力、协同攻关, 对黏虫的生物学特性、发生为害规律、预测预报和防控技术进行了一系列的研究。1962 年, 李光博院士把北京大学张宗炳先生提出的黏虫迁飞假说细化为“黏虫季节性南北往返迁飞为害假说”, 将黏虫在我国东部地区的发生为害划分为 5 个区, 并绘制了迁飞途径的理想图, 组建我国东部地区的黏虫迁飞研究协作组, 利用近 3 年的时间, 在 8 个省 17 个市(县), 标记释放黏虫 200 多万头, 回收标本 12 头。标记结果首次证实黏虫是一种迁飞害虫, 直线飞行距离为 600~1 400 km, 迁飞路线初步证实了黏虫季节性接力式南北往返迁飞为害的规律^[4]。1964 年, 李光博院士发表《黏虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验》之后, 赢得国际同行的高度赞誉, 英国、澳大利亚、美国、日本的科学家专门组织交流考察, 国际顶尖昆虫学家在编写迁飞巨著时, 都把该研究当成经典案例进行介绍。在弄清楚困扰人们几千年之久的“神虫”之谜以后, 为了真正把研究结果与预测防治实践相结合, 李光博院士创造性地设计了黏虫“异地测报”办法^[5-8], 并于 1975 年被农业部批准列入全国统一测报办法, 在其他迁飞性害虫的预测预报中也得到推广与应用。

除了开展黏虫迁飞规律与测报技术研究以外, 早在 20 世纪 80 年代, 李光博院士高瞻远瞩对计算机信息技术在植物保护领域的应用给予了高度重视, 率先将人工智能应用到黏虫预测预报工作中, 成功研制黏虫测报专家系统, 提升了我国黏虫预测预报技术和理论水平^[9-10]。另外, 李光博院士还带领团队成员围绕迁飞性害虫研究手段, 自行设计研制出昆虫模拟飞行记录仪、小型圆风洞、飞行分析系统等, 满足了昆虫迁飞机制、生理生态研究的技术需

求, 提升了研究水平^[11-13]。

在我国, 特别是东半部地区, 地处东亚迁飞场, 许多重要的农业害虫大都具有远距离迁飞习性, 如黏虫、草地螟 *Loxostege sticticalis* Linnaeus、水稻“两迁”害虫及近年迁入我国的草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 等是影响我国粮食安全的最重要的害虫种类^[14]。按照《农作物病虫害防治条例》对病虫害进行分类管理的要求, 2020 年 9 月 15 日, 农业农村部公布的《一类农作物病虫害名录》所涉及的 10 种害虫大部分属于典型的迁飞性害虫。研究害虫迁飞规律的最终目标是建立监测预警系统, 准确预报虫情信息, 以便为开展防控提供决策依据, 减少或避免作物损失。近年来, 虽然迁飞性害虫监测预警手段有了大幅度的提升, 但是迁飞性害虫的预测预报准确率仍然是整个病虫害监测预警的短板, 需要尽快补齐。迁入地害虫的发生趋势与虫源地所能提供的虫源数量最为密切, 在我国目前的农业种植模式下, 只有开展“异地”测报, 才能实现迁飞性昆虫区域联防联控, 共同提升黏虫等迁飞性害虫治理水平。为此, 我们综述了李光博院士在黏虫“异地”测报、黏虫专家系统等方面的成就, 以便更好地开展迁飞性害虫预测预报, 确保国家粮食安全。

1 李光博院士在黏虫预测预报中的重要贡献

1.1 创造黏虫“异地”测报方法, 成就迁飞性害虫预测预报的经典理论

农作物病虫害预测预报, 简称病虫害测报, 是指系统、准确监测农田病虫害草鼠发生动态, 并运用生物学、生态学、数学、系统科学、逻辑学等知识和方法, 结合实践经验和历史资料, 对病虫害草鼠未来发生危害趋势作出预测, 为农户提供准确、及时的预报服务。病虫害测报被普遍认为是植物保护乃至农业生产的基础性工作。相比本地发生的病虫害种类, 迁飞性害虫的预测预报有其独特性。1957 年在全国黏虫预测预报会上, 李光博院士曾建议各发生区的黏虫预测预报需重点关注上一世代虫口基数, 系统分析影响下一代黏虫发生的各种生态因子等内容, 提出治成虫、杀卵块、灭低龄幼虫的综合治理策略^[1]。随

着对黏虫发生规律的逐渐认知,根据黏虫发生规律制定的短期预测预报基本准确,但中长期预测预报还需要进一步提高,为解决这一问题,弄清黏虫大发生世代虫源及其“来龙去脉”具有非常重要的意义。李光博院士在明确黏虫迁飞为害规律的基础上,将我国东半部黏虫发生分为 5 个区,根据区域划分及各区域虫源之间的关系,创造性地提出了黏虫“异地测报”方法^[4-5,15]。“异地测报”是指通过在前一个发生区(迁出区)调查虫源基数、发育进度、性比、蛾峰时间、天敌寄生率、气候条件等指标,经过综合分析,判断下一个发生区(迁入区)相关发生趋势^[8]。依据 2 月—3 月广东、广西、福建等华南地区越冬代虫源基数及种群发育进度,可预测浙江、江苏、安徽、河南等长江中下游和黄淮南部一代黏虫发生趋势;依据 4 月—5 月一代发生区黏虫基数和发育进度,可预测东北、内蒙古等地二代发生情况;依据 6 月下旬至 7 月中旬在东北、内蒙古等地二代基数和发育进度,可预测华北、黄淮等地三代发生情况;依据 8 月中下旬至 9 月上旬山东、河北等省三代黏虫基数及发育进度,可为湖南、江西、广东、福建等省秋季 9、10 月为害世代的预测提供依据。实践证明,黏虫“异地测报”对指导蛾、卵、及幼虫的综合防治,具有非常重要的参考价值,为黏虫的中、长期测报探索出一条新的途径,黏虫治理也因此获得重要进展^[5,16]。“文革”期间,全国黏虫研究工作基本停顿,但发生动态调查与“异地”测报仍在继续,并在实践中逐步加以完善^[8]。1975 年,黏虫“异地”测报办法被原农林部批准列入全国统一测报办法推广应用。同年,在河北邢台召开了第一次全国黏虫科研协作座谈会,会议在总结交流经验的基础上,制订了研究协作计划,组建了全国黏虫异地测报协作网,由中国农业科学院植物保护研究所主持,承担单位包括全国各地的有关科研单位、地(县)级植保站甚至村级的预测预报站(点)和气象部门。参加“异地测报”网络的有关单位,根据黏虫迁飞规律和不同季节迁出地与迁入地之间的关系,利用统一的调查方法,开展系统调查,并通过“模式电报”在规定时间内将调查结果传递至主持单位,经过整理分析,每年发布中长期预测预报 4~6 次,为全国黏虫防控提供参考^[16-17]。在 70 年代期间,几次黏虫大发生都及时准确地发布了预报,为指导黏虫防治提供了重要科学依据与信息^[16]。据不完全统计,截至 1979 年,我国利用黏虫“异地测

报”办法共发布测报信息 50 余期,准确率达 85% 以上^[16,18]。1978 年,原农林部报请国务院批准,成立了全国农作物病虫预测预报总站,负责全国农作物病虫害预测预报的技术管理和技术研发业务,黏虫“异地”测报工作由中国农业科学院植物保护研究所移交该站负责进行。

李光博院士提出的由上一发生区发生情况预测下一发生区发生趋势的黏虫“异地测报”方法,丰富了病虫测报理论与方法。随后“异地测报”技术被广泛应用于草地螟、小地老虎、稻飞虱、稻纵卷叶螟、麦蚜等其他重大迁飞性害虫的预测预报,同时也被美国、英国、澳大利亚昆虫学家应用开展其他地区迁飞性害虫的综合治理。迁飞性害虫的“异地预测”方法,被国际同行誉为新经典。截至目前“异地测报”仍然是我国迁飞性害虫预测预报的主要指导思想,在近年来草地贪夜蛾、水稻“两迁”害虫等迁飞性害虫综合治理中发挥着至关重要的作用。

1.2 研发专家系统,开创国内病虫测报智能化先河

专家系统是一个智能计算机程序系统,其内部蕴含某个领域专家大量的知识与经验,在用户输入各种条件以后,计算机经过推理和判断,模拟人类专家的决策过程,对那些需要人类专家处理的复杂问题给出解决方案。20 世纪 80 年代,随着计算机的广泛应用和人工智能技术的提高,专家系统在国内得到一定关注。1982 年,美国建成第一个用于诊断大豆病害的农业专家系统^[19],在新品种选育和施肥方面国内也陆续成功研制出专家系统,但用于开展迁飞性害虫预测预报的专家系统,当时国内外还未见报道。1986 年,机电部主持“七五”国家重点科技攻关项目“人工智能及模式识别”课题,李光博院士领导的团队负责“实用专家系统”子课题,成功研制了功能齐全、人机界面友好的黏虫测报专家系统。该系统以李光博院士为专家对象,依据他 30 多年来从事黏虫远距离迁飞、异地测报、种群动态、发生为害规律和综合防治技术研究的理论和实践,包括知识库(具有 150 多条规则)、数据库(包括我国 22 个省市、39 个测报站点 20~30 年的测报资料)、推理机(正向推理)和人机交互接口(菜单选择和图形显示)等几个组成部分。当用户回答完计算机提出的有关虫源区和防治区的黏虫种群密度、发育阶段、天敌密度、性比、植物生长情况及气候条件等问题后,经过运算,系统自动给出发生等级、防治方法及防治

适期等结果^[9-10]。1990年,根据越冬区黏虫基数、气象条件和一代区气象、作物长势等生态因子,应用专家系统对一代黏虫发生趋势进行预测,预测结果与当年实际发生情况完全吻合,达到了专家会商决策水平。

“黏虫测报专家系统”得到国内外同行专家的高度评价和一致赞扬,其推广与应用对指导黏虫预测预报和防治决策、确保农作物高产稳产具有重要的实践意义。1991年,“黏虫测报专家系统”获得中国农业科学院科技进步一等奖,李光博院士于1991年被评为“七五”国家科技攻关有突出贡献的科学家,项目主要完成人程登发研究员被评为国家“七五”科技攻关先进个人。同年北京科学教育电影制片厂聘请李光博院士为科学顾问,将黏虫“异地测报”技术和黏虫测报专家系统等研究成果拍成彩色科教片《黏虫与黏虫测报系统》,成功将科研成果搬上银幕,并在全国公开发行人。

1.3 重视监测工具研制,引领病虫害监测预警方向

我国重大的农业害虫黏虫、草地螟、麦蚜、水稻“两迁”害虫等都具有迁飞习性,为提高其监测预警水平,有效防控迁飞性害虫的为害,必须加强迁飞性害虫的迁飞行为参数和迁飞机制的研究。20世纪80年代初期,李光博院士就高度关注计算机信息技术在植物保护领域的应用。面对昆虫迁飞机制、生理生态研究的技术需求,借鉴国内外经验,自行设计研制出昆虫模拟飞翔测定仪、昆虫飞翔记录装置及小型圆风洞等装置^[11-13],并领导设计开发了适应于当时计算机系统的数据采集和分析程序,实现了昆虫飞行数据采集的自动化^[20]。昆虫飞行能力测试系统包括吊飞昆虫的飞行磨、飞行信息的光电信号转换装置、数据采集整理单片机、计算机数据采集及分析系统等。飞行磨采用磁悬浮结构,阻力非常小,每台信号数据采集整理单片机可同时采集16台飞行磨的吊飞数据,分别记录测试昆虫个体的飞行时间、停飞时间及次数等,利用统计分析软件可以计算累计飞行距离、飞行速度等参数。该飞行能力测定系统性能好、功能全、效率高,被国内其他同行单位广泛使用。2000年以前,国内黏虫^[21]、小地老虎^[22]、草地螟^[23]、小麦蚜虫^[24-25]等昆虫的飞行能力测定都是由该系统完成的。相关飞行参数不但为昆虫轨迹分析提供了重要参数,还为昆虫雷达目标识别提供了重要证据。此外,昆虫飞行能力测定系统

的成功研制,为阐明迁飞性昆虫起飞、降落和迁飞途中与环境条件如温度、湿度、光照和气流之间的关系,食物营养对昆虫飞行能力的影响,迁飞过程中昆虫体内物质变化,产卵对飞行能力的影响等发挥了至关重要的作用^[21-25]。1989年,“昆虫飞行数据微机采集分析系统及应用”获得农业部科技进步三等奖。同年,美国农业部南方作物研究实验室Lopez博士来所参观,对该系统给予高度评价,并聘请该项目的主要完成人程登发研究员到其实验室进行为期两年的合作研究。至今,国内外正在使用的飞行能力测定系统,其原理和当年的系统基本类似,除软件界面更为图形化以外,在多数方面仍未超越当年的水平。

2 李光博院士对监测预警团队后续工作的影响

李光博院士晚年重病在身,仍然关注植物保护学科的发展,经常鼓励团队成员程登发研究员继续利用其在计算机信息技术方面的专长和优势,把农作物病虫害监测预警技术推向一个新的高度,早日实现植物保护的现代化。随着信息技术的发展,我国迁飞性害虫的监测预警手段有了大幅改善。1998年,中国农业科学院植物保护研究所吴孔明院士牵头组建国内第2台扫描昆虫雷达。受当时技术限制,扫描昆虫雷达数据采集还未实现数字化,扫描昆虫雷达观测仍然需要专业人员值守,数据采集还必须利用照相机或摄像机拍摄雷达显示屏幕,数据分析也依赖人工,非常费时费力。团队成员程登发研究员创新地提出“RGB”三色图法计算监测目标的飞行方向和速度,并开发了数据采集与分析软件,自动分析目标的飞行高度、方位、方向和速度等参数,实现了昆虫雷达数据采集与分析自动化,为扫描昆虫雷达的推广应用提供了强有力的技术支撑^[26-28]。目前,该分析方法和研究思路一直被国内外雷达厂商和研究同行采用和借鉴。此外,程登发研究员带领研究团队分别于2004年和2006年相继建成垂直监测昆虫雷达和毫米波昆虫雷达对北方重大迁飞性害虫黏虫、草地螟和南方水稻“两迁”害虫开展系统监测与研究,通过对迁飞性害虫持续监测,相关数据和研究在农业生产和举办重大社会活动时都起到重要的支撑作用^[29-31]。黏虫迁飞动态的及时获取和相关分析结果,为全国黏虫预测预报提供了重要依据;

草地螟在我国北方地区的迁飞为害规律的揭示在 2008 年“防草地螟、保奥运会”中起到关键的支撑作用,确保了奥运会的顺利召开^[32]。

3 李光博院士相关贡献在农业生产中的指导意义

近几年,黏虫、草地螟、水稻“两迁”害虫等迁飞性害虫在局地呈重发、频发态势。2018 年底,草地贪夜蛾从云南侵入我国,现已在我国定殖并持续发生为害^[33]。截至目前,迁飞性害虫暴发为害依然是影响我国农业安全生产的重要因素。受多种因素的影响,迁飞性害虫降落暴发成灾有很大的不确定性。1958 年,李光博院士在山东、辽宁和北京京郊调查时发现耕作粗放、杂草丛生、植被覆盖大会引起黏虫大发生^[34]。在近几年黏虫暴发时,也经常可以看到黏虫在某个杂草丛生地块发生重,而相隔一条马路但管理较好地块却很难查见黏虫。除环境条件以外,发生地下一代幼虫发生情况取决于上一代成虫迁入量,因此,开展“异地测报”可以为迁入地提供最重要的虫情信息,对迁入地相关害虫的预测预报具有重要意义。为了持续控制迁飞性害虫,压低种群基数,确保粮食安全,“异地测报”只能加强,不能削弱。但是受耕作制度的影响,我国农作物种植结构复杂,管理水平参差不齐,病虫害的发生程度差异大,要做好“异地测报”也并非易事。做好“异地测报”既要从管理层面加强设计,也要加强相关方面的研究。首先要弄清楚虫源地和迁入地之间的关系,明确迁入地受哪些异地虫源的影响,这样“异地测报”将会更加有的放矢。其次,加强虫源地和迁入地的迁飞规律研究。虫源地要结合当地发生特点,扩大调查范围,确保掌握当地真实的种群密度,并持续开展监测,明确虫源的迁出量、迁出时间和迁飞方向。迁入地,也要持续开展监测,明确虫源的迁入量、是否再起飞和本地停留虫源量等关键信息。第三,做好本地短期测报和精细化预报,体现“异地测报”价值。依靠“异地测报”和本地监测结果,按照总体偏轻发生个别地块可能大发生的原则,做好本地短期发生趋势预测。

近年来,随着信息技术的快速发展,迁飞性害虫监测工具自动化程度不断提高,预测预报手段正朝着模型化、精准化、图形化发展,重大迁飞性害虫监测预警水平也得到大幅提升^[35-36]。2017 年,

四部委联合印发的《全国动植物保护能力提升工程建设规划(2017—2025 年)》中,明确我国将建设 15 个迁飞性害虫昆虫雷达监测站,同时全国很多区域站都配备了专门探测空中种群的高空探照灯。目前,正在运转的昆虫雷达和高空探照灯已经成功投入生产应用,全国昆虫雷达网正在积极筹建之中。随着昆虫雷达网的完善与运转,在信息技术的支撑下,植保工作者会继承和发展李光博院士的学术思想,解密更多的“神虫”信息,为国家粮食安全做出新的贡献。

参考文献

- [1] 李光博. 黏虫发生规律和防治策略[M]//中国农科院植物保护研究所. 中国植物保护科学. 北京:科学出版社,1961: 446.
- [2] 江幸福,张蕾,程云霞,等. 我国粘虫发生危害新特点及趋势分析[J]. 应用昆虫学报,2014,51(6):1444-1449.
- [3] 姜玉英,李春广,曾娟,等. 我国粘虫发生概况:60 年回顾[J]. 应用昆虫学报,2014,51(4):890-898.
- [4] 李光博,王恒祥,胡文绣. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验[J]. 植物保护学报,1964,3(2):101-109.
- [5] 中国农业科学院植物保护研究所. 粘虫迁飞规律及 1972 年发生趋势的预测[J]. 农业科技通讯,1972(5):20-22.
- [6] 中国农业科学院植物保护研究所病虫部报组. 粘虫发生规律的研究概况[J]. 植保科技,1973(1):25-35.
- [7] 李光博. 粘虫的综合防治[M]//中国科学院动物研究所. 中国主要害虫综合防治. 北京:科学出版社,1979:301-319.
- [8] 李光博. 粘虫发生规律与综合防治技术[J]. 农业科技情报,粘虫专辑,1980(3):3-37.
- [9] 程登发,郭予元,倪汉祥,等. 麦田一代粘虫测报专家系统研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:150-151.
- [10] 程登发,李光博,倪汉祥,等. 粘虫测报专家系统(AWFES)[C]//首届全国中青年植物保护科技工作者学术讨论会论文集. 1991:324-331.
- [11] 张志涛. 昆虫吊飞装置[J]. 植物保护,1982(6):30-32.
- [12] 张志涛,李光博. 粘虫飞翔生物学特性初步研究[J]. 植物保护学报,1985,12(2):93-100.
- [13] 程登发,周希明,曹雅忠,等. 昆虫飞行数据微机采集、分析系统的研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:166.
- [14] 张智,祁俊锋,张瑜,等. 迁飞性害虫监测预警技术发展概况与应用展望[J]. 应用昆虫学报,2021,58(3):530-541.
- [15] 李光博,王恒祥,胡文绣. 华北第三代粘虫防治与发生预测[J]. 植物保护,1963,1(1):14-15.
- [16] 李光博. 我国粘虫研究概况及主要成就[J]. 植保参考,1990(6):6-8.

- 博,郭予元. 全国主要粮棉作物病虫害鼠害综合防治关键技术研究. 北京: 中国科学技术出版社,1993:1-4.
- [8] 何连生,倪汉祥,李光博,等. 麦蚜聚集与扩散行为的初步研究[J]. 生态学杂志,1992, 11(2):8-13.
- [9] 曹雅忠,郭予元,倪汉祥,等. 麦长管蚜种群结构及繁殖力的研究[C]//全国农作物病虫害综合治理应用基础学术讨论会论文集,1990:44-47.
- [10] 丁红建,倪汉祥,孙京瑞,等. 小麦品种对麦红吸浆虫抗性鉴定技术的探讨[J]. 作物品种资源,1994(4):34-36.
- [11] 倪汉祥,何连生,李裕嫦,等. 麦田害虫天敌资源调查[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编,1990:90-91.
- [12] 倪汉祥,何连生,曹雅忠. 药剂混用防治多种小麦病虫害的初步研究[J]. 中国农业科学,1989,22(2):1-6.
- [13] 何连生,李光博. 浅谈农业害虫综合防治中益、害生物的概念[J]. 植物保护,1988,14(4):37-39.
- [14] 何连生,李光博,倪汉祥. 用 Fuzzy 综合评判分析小麦耕作制对昆虫群落的影响[J]. 植物保护,1995,21(6):9-12.
- [15] 曹雅忠,倪汉祥,李光博. 小麦品种抗性对麦长管蚜种群的控制作用[M]//李光博,郭予元. 全国主要粮棉作物病虫害鼠害综合防治关键技术研究. 北京:中国科学技术出版社,1993:59-63.
- [16] 蒋樟法,何连生,倪汉祥,等. 栽培制度对麦田昆虫群落组成及结构的影响[J]. 植物保护学报,1996,23(3):203-208.
- [17] 陈巨莲. 小麦蚜虫及其防治[M]. 北京:金盾出版社,2014.
- [18] 中国农业科学院植物保护研究所,中国植物保护学会. 中国农作物病虫害 上册[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2015.
- [19] 谭晓玲,闫甲,苗进,等. 小麦间作豌豆和挥发物释放结合不同器械施药对麦田害虫和天敌的影响[J]. 生物防治学报,2021,37(5):904-913.
- [20] 周雪平. 绿色防控技术是未来植保科技创新的重要方向[J]. 农业知识,2020(9):1.
- [21] 严火其. 农业害虫危害何以越来越严重[J]. 中国农史,2021,40(3):3-13.
- [22] 吴孔明. 我国开启植物保护工作新纪元[J]. 农业知识,2020(10):56-58.
- [23] 刘杰,王福祥,曾娟,等. 贯彻《农作物病虫害防治条例》走好依法植保道路[J]. 中国植保导刊,2020,40(7):5-9.
- [24] 中华人民共和国农业农村部. 公告第 333 号一类农作物病虫害名录[EB/OL]. (2020-09-15)[2022-04-18]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202009/t20200917_6352227.htm.
- [25] 刘万才,卓富彦,李天娇,等. 十三五期间我国粮食作物植保贡献率研究报告[J]. 中国植保导刊,2021,41(4):33-36.
- (责任编辑:杨明丽)
- (上接 13 页)
- [17] 李光博. 我国粘虫研究概况及主要进展[J]. 植物保护,1993,19(4):2-4.
- [18] 李光博. 黏虫综合防治研究的设计与实践[C]. 中国植物保护学会第四届年会会刊,1985:24-30.
- [19] MICHALSKI R S, DAVIS J H, BISHT V S, et al. PLANT/ ds: an expert consulting system for the diagnosis of soybean diseases [C]. Proceedings of conference. Orsay, France; European Conference on Artificial Intelligence, 1982:133-138.
- [20] 黏虫大豆害虫研究组. 试用微型电子计算机采集计算昆虫吊飞数据成功[J]. 植物保护,1984(5):33.
- [21] 曹雅忠,黄葵,李光博. 空气相对湿度对黏虫飞翔活动的影响[J]. 植物保护学报,1995,22(2):134-138.
- [22] 贾佩华,曹雅忠. 小地老虎成虫的飞翔活动[J]. 昆虫学报,1992,35(1):59-65.
- [23] 罗礼智,李光博. 草地螟不同龄期成虫飞行能力和行为的研究[M]//青年生态学者论丛(二). 北京:中国科学技术出版社. 1992:303-308.
- [24] 程登发,田喆,孙京瑞. 禾缢管蚜在不同温度条件下的飞行能力[J]. 昆虫学报,1997,40(S1):180-185.
- [25] 程登发,田喆,李红梅,等. 温度和湿度对麦长管蚜飞行能力的影响[J]. 昆虫学报,2002,45(1):80-85.
- [26] CHENG Dengfa, WU Kongming, TIAN Zhe, et al. Acquisition and analysis of migration data from the digitized display of a scanning entomological radar [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 35:63-75.
- [27] 程登发,张云慧,陈林,等. 农作物重大生物灾害监测与预警技术[M]. 重庆:重庆出版社,2014.
- [28] 程登发,封洪强,吴孔明. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [29] 齐会会,张云慧,程登发,等. 褐飞虱 2009 年秋季回迁的雷达监测及轨迹分析[J]. 昆虫学报,2010,53(11):1256-1264.
- [30] QI Huihui, JIANG Chunxian, ZHANG Yunhui, et al. Radar observations of the seasonal migration of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in Southern China [J]. Bulletin of Entomological Research, 2014, 104(6):731-741.
- [31] 张云慧,张智,姜玉英,等. 2012 年三代黏虫大发生原因初步分析[J]. 植物保护,2012,38(5):1-8.
- [32] 张云慧,杨建国,金晓华,等. 探照灯诱虫带对迁飞草地螟的空中阻截作用[J]. 植物保护,2009,35(6):104-107.
- [33] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. 植物保护,2020,46(2):1-5.
- [34] 李光博,王鸿,赵圣菊,等. 麦田小气候对第一代粘虫发生数量影响的研究[J]. 植物保护学报,1963(1):57-62.
- [35] 张智,张云慧,姜玉英,等. 雷达昆虫学研究进展及应用前景[J]. 植物保护,2017,43(5):18-26.
- [36] 张鹿平,张智,季荣,等. 昆虫雷达建制技术的发展方向[J]. 应用昆虫学报,2018,55(2):153-159.
- (责任编辑:杨明丽)