中国棉花害虫测报: 70年回顾

姜玉英¹ 刘杰¹ 曾娟¹ 夏冰¹ 陆宴辉^{2*}

(1. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 2. 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)

摘要: 棉花害虫是威胁我国棉花生产的重要有害生物类群, 文章回顾了新中国成立至今, 我国棉花害虫测报技术体系的发展历程, 即20世纪50—70年代棉花害虫测报技术的起步和发展, 80—90年代棉花害虫测报技术体系的建立与完善, 2000年以来棉花害虫测报技术手段的创新与升级, 重点总结了棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 和盲蝽等主要害虫在成虫诱集工具、田间虫量调查方法、发生期与发生程度预报和信息传输技术等方面的进步与完善, 展望了未来推进智能化监测工具、大区监测手段和大数据预报技术的研究与应用前景。

关键词: 棉花害虫; 监测; 预报; 技术体系

Monitoring and forecast of cotton pests in China: a review over the past 70 years

Jiang Yuying¹ Liu Jie¹ Zeng Juan¹ Xia Bing¹ Lu Yanhui^{2*}

(1. National Agro-Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Cotton pests have been an important pest group threatening cotton production in China. This paper reviewed the development of cotton pest monitoring and forecasting in China since the founding of the People's Republic of China. The whole period could be divided into three stages, including the beginning and development stage from 1950s to 1970s, the establishment of technique system and improvement stage from 1980s to 1990s, and the innovation and upgrading stage since 2000s. This review summarized the progresses and improvements in the aspects of adult pest trapping, field investigation, occurrence period and degree prediction, and transmission of information on the main cotton pests such as cotton bollworms, mirid bugs, etc. The future research and application of intelligent monitoring tools, large area monitoring methods and prediction technology basing on big data were also prospected.

Key words: cotton pests; monitoring; forecasting; technique system

棉花是我国重要的经济作物, 病虫害是棉花产业发展的重要限制因素, 虫害对棉花的危害尤为突出。我国棉田植食性昆虫有300多种, 主要害虫有30多种, 其中可常年为害棉花的害虫有10多种, 是威胁棉花生产最重要的有害生物类群, 棉花害虫的治理一直受到我国政府的高度重视 (Wu & Guo, 2005; 陆宴辉等, 2020)。测报是害虫科学防控和有

效治理的基础, 监测与预报工作的质量影响着害虫防控的成败 (屈西峰, 1992)。自1949年新中国成立以来, 我国棉花害虫测报技术体系逐步建立与完善, 棉花害虫监测预警手段不断创新与发展, 而预测预报在指导害虫防治中的作用也愈显突出, 为我国棉花产业的发展起到保障作用。因此, 总结我国棉花害虫测报工作的整体发展情况、核心技术的创新

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201900)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: luyanhui@caas.cn

收稿日期: 2021-07-21

应用以及测报技术体系的建立,对持续促进棉花害虫测报技术发展具有重要意义。

1 我国棉花害虫测报技术回顾

1.1 20世纪50—70年代:棉花害虫测报技术的起步和发展

新中国成立后,除解决5亿多人口的吃饭这一头等大事外,还要解决穿暖、盖暖这一生存必需,当时棉花既是生活物资,也是战略物质。20世纪50年代,我国棉花常年因病虫害减产两成以上,棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* (Saunders)、棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 和棉叶螨等害虫为害尤其严重,1956年农业部将此3大害虫列入主要农作物十大病虫害目录,制定了7年内坚决消灭的规划;1956—1957年,农业部、农垦部、农产品采购部、食品工业部、粮食部及供销总社等部门联合发出做好越冬棉红铃虫防除的通知,可见虫害的严重和防治的紧迫。

为做好棉花害虫的防治,从20世纪50年代初就开始有组织地建立以棉蚜等害虫为重点的测报体系,农业部要求在有代表性的试验站,确定专职人员开展预测预报工作,1956年全国设置农作物病虫害预测预报点(站)118个,1957年在全国26个省份建立了200个预测预报点(站),其中有14个棉花生产省份的站点开展了棉花害虫预测预报工作。

20世纪50年代后期,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)在华北棉区局部严重发生,在初步掌握棉花害虫发生规律的基础上,齐兆生和王德秀(1958)提出使用杨树枝叶、糖浆和诱蛾灯(如黑光灯)等办法诱集棉铃虫和小地老虎 *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel)等害虫。同时重视发挥预测测报在指导害虫防治中的作用,提出“根据虫情普查和预测预报,掌握主要对象发生初期,采取全面彻底突击消灭的办法”的策略,并根据棉花生育阶段提出保苗、保蕾、保铃的具体监测时间、防治对象及其技术措施。如湖北省积极推行抓虫情工作,及时掌握虫害发生规律,改定期轮回打药为按虫情打药(湖北省农业厅植保处,1965),体现了对棉花害虫为害规律和测报工作重要性的认识。

棉铃虫调查方法和中短期预报办法也是在此时期提出的。1961年提出了指导大田防治的虫情调查方法,即掌握早春查幼虫密度、棉田诱蛾与查卵3个环节,确定1代麦田扫网查幼虫,棉田各代用杨树枝叶和黑光灯诱蛾来预测产卵期,当蛾量上升时结合棉田卵株率调查,做出防治适期的短期预报(齐兆生,1961)。1973年全国主要农作物病虫害预测预报座谈会修订的《棉铃虫预测预报办法》提出根据上代卵和

幼虫发生期,依历期做出下一代发生期中期预测。1979年对棉铃虫测报办法进行了完善,增加了调查天敌的内容,提出了系统测报办法和一般测报办法,系统测报办法增加了一些必要的调查项目,以便积累资料,提高数量预报和中长期预报质量;一般测报办法则作了适当的内容简化,着重于指导当地当时的棉铃虫防治。还提出根据当地不同寄主作物田的面积和单位面积棉铃虫的发生数量来计算总虫量,与历史资料进行对比,结合天气变化、作物长势等资料,预测各代棉铃虫发生量的预报方法,表明棉铃虫预测预报从查害虫到查天敌、从发生期短期预报向发生量中期预报的发展,从1980年开始,农业部正式开始向全国发布棉铃虫中期预报(屈西峰等,1996)。

1.2 20世纪80—90年代:棉花害虫测报技术体系的建立与完善

进入20世纪80年代,我国棉花产业不断发展,种植面积和产量都在飞跃提升,到1984年棉花种植面积达 6.923×10^6 hm^2 ,单产为 904.5 kg/hm^2 ;到90年代初,棉铃虫种群随棉花面积的增加快速扩大,至1992年全国棉田发生 $1\,257$ 万 hm^2 次,当年累计防治面积达 $2\,355$ 万 hm^2 次,挽回皮棉 86 万 t ,但实际损失皮棉仍高达 42 万 t (郭予元,1998;姜玉英等,2010),治理害虫仍是此阶段棉花植保工作的重点。我国于20世纪80年代初把70年代开发的新型高效杀虫剂拟除虫菊酯首先用于棉蚜的防治,但山东、河北和江苏等省棉花主产区的棉蚜种群很快产生了较高的抗药性(戴小枫和郭予元,1995)。20世纪90年代棉铃虫连年暴发成灾,对防治药剂产生了严重的抗性,重发区域已到无药可治的程度。棉蚜和棉铃虫对多种农药产生抗性,防治困难,生产中基于科学防治的需要对测报工作提出了较高要求,这推动了害虫预测预报技术的快速发展,测报方法标准化、测报网络建设和信息传递也取得明显进步。

根据生产需要和测报人力实际情况,将棉田虫量调查分为系统调查和大田普查2种类型。系统调查是为了掌握虫害的发生发展动态,指导开展大田虫害普查,要求调查具有代表性和指示性,选择虫害常年易发和早发地块、易于进行栽培和水肥管理地块,种植当地易感害虫品种,根据虫态发育历期,一般间隔3~5 d调查1次,依据害虫各虫态田间分布类型确定取样方式和调查部位。大田普查是为了掌握关键期病虫害发生情况,指导开展虫害防治,一般在系统调查害虫达到防治指标或发生高峰期时进行1~2次大田普查。普查时间上要求及时、快速,避免

错过防治适期,调查要具有广泛性,在同一种植区域内要涉及不同生育期、长势和品种等各类型田块,调查尽可能多的田块,调查田块内的数量相对少一些。普查结果除了用于指导害虫防治外,还用于掌握当地害虫种群的总体数量,为做好下一代次害虫预报提供重要依据。

20世纪90年代是我国测报历史上发生期、发生量和发生程度预报方法应用最为丰富的时期。仍以棉铃虫为例,据屈西峰(1992)统计,预报发生期的方法有期距法、历期推算法、物候法、有效积温法、单因子和多元回归法、时间序列模型等14种105个方法和数学模型,发生量和发生程度预报方法有综合分析法、相关分析法、单因子和多元回归法等17种56个方法和数学模型。预报方法的进步促进了预报质量的提高,基层测报站做出的短期预报准确率为90%~100%,河北、河南和山东等9个棉花主产省于1992—1995年发布的2~4代棉铃虫发生期预报准确率为82%,发生程度预报准确率为98.9%(屈西峰等,1996)。

1980年,全国农作物病虫害测报总站编印的《农业部农作物主要病虫害测报办法》,将棉蚜、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus、棉叶螨、棉铃虫和棉红铃虫等棉花害虫和天敌的系统调查及一般调查方法纳入其中(农业部农作物病虫害测报总站,1980)。随后屈西峰(1992)编写了《中国棉花害虫预测预报标准、区划和方法》,依据棉花种植生态区划定了监测重点和技术方法,为棉花害虫区域监测和网络布局提供了参考。各种测报关键技术的成熟,也加速了测报标准化的进程,棉蚜、棉铃虫、棉红铃虫和棉叶螨测报调查规范列入我国首批15个“主要农作物测报调查规范国家标准”中,规定了测报系统调查和大田普查方法,还规定了各对象发生程度划分的基本原则,以及调查虫情信息传递的时间和内容,保证了测报数据的科学性、可比性和有效性,为预报水平提高奠定了基础(国家技术监督局,1996)。

20世纪80—90年代是测报信息传输技术发展的重要阶段,起着承前启后的作用。1979年全国农作物病虫害测报总站对1963年制定的《全国农业病虫害测报电码(试行本)》进行了修订,经邮电部同意,专用BCH为电文报头的“模式电报”,并于1981年重新编印了《全国农业病虫害测报电码》供县级以上各级专业病虫害测报站,或同级植保行政、科研及院校等部门间不定期相互发报使用,其中,确定了棉蚜、棉叶螨、棉盲蝽和棉铃虫等20种棉花害虫发生实况、作物生育期、预测预报、为害和防治行动等方面的内容,要求向上级业务部门进行定期或不定期的信息报送。

1989年全国农作物病虫害测报总站总结了8年多的使用情况,对内容进行了规范和简化,并编印了《农作物病虫害预测预报模式电报组建表》,其中棉花害虫及其天敌章节规定了七星瓢虫、棉蚜(早春、苗期、伏期)、棉叶螨(苗期、蕾期、花铃期)、棉铃虫(1~3代)和棉红铃虫(1~3代)等对象模式电报组建表,规定要求有复电时间、查报内容、查报结果等内容,组建表内容符合害虫发生规律、测报重点突出、简明扼要。

为了加快信息传输的速度和效率,跟上计算机技术和信息化发展的速度,全国农业技术推广服务中心于1997年开发了“病虫害测报计算机网络系统(Pest_net)”,利用电话拨号上网进行信息传递与交流,拉开了我国农作物病虫害信息化时代的序幕。

依据棉铃虫迁飞规律和监测技术研究成果(郭予元,1998;吴孔明和郭予元,2007),农业部于1980年开始在全国重点棉区构建国家棉铃虫区域性监测网络,至1992年设立的区域性测报站由之前的37个扩大至70多个,连同各省、市、县设立的一般性测报站,以及县以下设立的乡、镇、村测报点和查虫员,形成了一个覆盖全国棉区的测报网络(屈西峰等,1996)。随后,在全国推广棉铃虫预测预报标准化、数据信息传递网络化和预报发布结果图视化,构建了国家棉铃虫测报及气象资料数据库管理系统平台,集成了由多种预报方法和预报模型组成的国家棉铃虫区域性灾变预警系统,建立了覆盖我国棉铃虫发生区的国家棉铃虫区域性灾变预警技术体系并推广应用,明显提高了预报准确性,取得了显著的经济效益(姜玉英等,2018)。

1.3 2000年以来:棉花害虫监测预警手段创新与升级

自1997年种植抗虫棉以来,棉铃虫和棉红铃虫得到很好的控制(Wu et al., 2008; Wan et al., 2017),不再是棉花上的重要害虫,而盲蝽类害虫却上升为主要害虫(陆宴辉等,2020)。2001—2009年棉花害虫发生面积和防治面积占棉花病虫害总发生面积和总防治面积的80%及以上(姜玉英等,2010),2014—2018年棉花虫害造成的产量损失占棉花病虫害造成的总产量损失的70%以上(明坤和闫硕,2020),可见害虫仍然是棉花生产上的重要问题。根据害虫种群演变情况调整田间重点监测对象,推广应用先进测报工具,加快测报信息化、标准化和网络化建设是此阶段测报工作的重点。

研发并应用有效的监测工具一直是测报工作进步的关键,更是此时期测报攻克的重点。在棉花害虫监测中,随着对棉花害虫趋光性和趋化性研究的深入,开发出棉铃虫、盲蝽等害虫监测用灯具、性诱

捕器和色板等。棉铃虫、棉红铃虫、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)、甜菜夜蛾 *S. exigua* (Hübner)、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 和小地老虎等害虫对 365 nm 波长的黑光灯趋光性明显,成为生产上普遍使用的诱集工具。而半翅目的盲蝽类害虫,如中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* Jakovlev、苜蓿盲蝽 *Adelphocoris lineolatus* (Goeze)、牧草盲蝽 *Lygus pratensis* (Linnaeus) 对黑光灯表现出一定趋性,黑光灯对绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür)、三点盲蝽 *Adelphocoris taeniophorus* Reuter 的诱集效果差,因此选取了 530 nm(绿光)、620 nm(粉光)、465 nm(蓝光)、456 nm(淡粉光)、572 nm(黄绿光)等特异性波长灯具用于监测,极大地提高了诱集效果(姜玉英等,2014;2015a;2017)。自 2014 年以来,为了提高对大区域迁飞性害虫的监测效率,生产上应用了诱集范围更大的高空测报灯(姜玉英等,2016),此灯具为长波金属卤化物灯,功率为 1 000 W,在棉铃虫、斜纹夜蛾、甜菜夜蛾和小地老虎等迁飞性害虫的区域监测中呈现出较好的效果(周燕等,2020)。但由于诱集昆虫种类多,需要专业人员进行灯下识别和计数。

棉红铃虫是我国较早应用性信息素诱捕(性诱)的种类(陈元光等,1984),随后针对棉铃虫、斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、亚洲玉米螟、小地老虎和棉盲蝽等相继研发了性诱产品,并在诱芯组分、配比、纯度、载体等方面不断改进优化,解决了性诱的关键技术,为性诱监测技术的大规模推广应用奠定了基础。同时在诱捕器类型和田间应用技术方面也不断改进。1980—1990 年主要采用水盆诱捕装置,该装置需要定期加水,且易受风雨影响而翻覆,使用极为不便。2000 年以后,将开放式的水盆改为封闭的干式诱捕器,根据雄性成虫与寻觅异性交配飞行和趋向行为方式的不同,设计出适用于棉铃虫、亚洲玉米螟等害虫的钟罩倒置漏斗式诱捕器,适用于斜纹夜蛾、甜菜夜蛾和小地老虎等害虫的夜蛾类通用型诱捕器,及适用于盲蝽类的桶形诱捕器,极大地方便了田间操作。同时规定了田间诱捕器放置方式和高度,提高了田间应用技术的标准化程度(曾娟等,2015)。性诱监测具有高敏感性,适用于地块间小范围的监测。同时,鉴于性诱监测的专一性,不需要对诱捕到的害虫进行种类识别鉴定,适合基层群众进行害虫监测,也对性诱工具自动计数技术的推进奠定了基础。

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 和棉蓟马 *Thrips tabaci* Lindeman 对黄色、绿盲蝽和中黑盲蝽对绿色和黄色均表现出较好的趋性(梁兴慧,2001;周福才等,2003),因此可将相应颜色的色板用于害

虫监测。由于色板可就地取材、使用方便,已成为一种常见的监测工具。

为加快病虫害信息传递速度,2006 年全国农业技术推广服务中心开发了“中国农作物有害生物监控信息系统”(https://www.ccpmis.org.cn/),其中,“农作物重大病虫害数字化监测预警系统”(https://www.ccpmis.org.cn/login.jsp)是其重要组成部分。棉花重大病虫害子系统于 2012 年 2 月 1 日启用,包括棉铃虫、棉蚜、棉叶螨、棉盲蝽和棉红铃虫等棉花害虫及其天敌的统计表、预测表、系统调查表和模式报表等 20 个表格,黄河流域、长江流域、西北内陆和北部特早熟棉区 16 个省级单位 155 个县站承担了棉花病虫害监测任务,其中承担棉铃虫、棉蚜、棉叶螨、棉盲蝽、棉红铃虫、天敌系统调查的县站分别有 155、92、79、80、26 和 95 个。据统计,2016—2020 年省站和各区域测报站上报系统数据有 27.8 万项,保证了我国棉花害虫测报工作的有序开展。

推进测报标准化是 2000 年以来工作的重点。根据技术的发展和生产的需要,修订了棉蚜、棉铃虫、棉红铃虫和棉叶螨测报的国家标准,制定了棉盲蝽、烟粉虱、棉蓟马和小地老虎测报技术和性诱技术的农业行业标准,其中害虫测报技术标准规定了虫源调查、害虫及其天敌系统调查、大田普查、发生期和发生程度预测方法,以及发生程度分级指标、测报资料汇总和汇报等方面内容。性诱监测技术规范规定了棉铃虫、棉红铃虫、玉米螟、斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、小地老虎等害虫性信息素的主要成分和含量、诱芯的型号规格和持效性、诱捕器的结构和性能、性诱捕器的设置方式、监测调查方法、数据利用和分析方法等。还制定了“农作物病虫害测报观测场建设规范”农业行业标准,其中规定了高空测报灯使用技术,形成了棉花害虫测报技术标准体系(表 1)。盲蝽监测技术体系的建立是此阶段测报技术进步的典范。在摸清成虫迁飞和趋花行为驱动的盲蝽季节性寄主转移为害规律与机制基础上(姜玉英等,2015b),开展不同生态区多作物盲蝽种群动态监测,建立其监测预警技术体系,构建起全国盲蝽数字化监测预警系统,中、短期预报准确率分别为 93.1% 和 96.8%,为区域性多作物绿色防控技术的实施提供了重要依据。

2 棉花害虫预测预报技术的展望

2.1 推进智能化监测工具的研发与应用

灯具是多种棉花害虫监测普遍应用的工具,目前生产上害虫诱集灯具诱虫种类多,高峰时期诱集量大,需要专业人员进行人工识别,计数工作量大,

且难以实现实时监测。自2017年我国开始实施植物保护能力提升工程项目,要求实现病虫害自动化、智能化、信息化监测,一批企业生产出智能虫情测报灯,利用人工智能技术实现灯下主要害虫自动识别与计数(Yao et al., 2020)。智能虫情测报灯的光源、远红外杀虫、光控和雨控功能与常规测报灯相同,增加了诱集昆虫定期拍摄功能,且可实现图片中种类识别、计数和信息自动传输。通过几年的实践

发现,智能虫情测报灯功能实现存在一定难度,一是昆虫本身因素,虫体大小、特征易辨程度需要靠高清工业照像机拍摄高像素图片(像素 $\geq 2\ 000$ 万)来解决;二是诱集到的昆虫虫体需保持平铺且完整,避免相互重叠,否则难以获取特征图片,虫体可识别率低;三是人工智能技术的应用程度低,在计算方法科学的前提下尚需要积累海量的图片数据库,不断进行学习 and 熟化,才能提高识别准确率。

表1 棉花害虫测报技术标准

Table 1 Standards formulated for forecast technology of cotton pests

标准名称 Standard name	标准编号 Standard number
棉蚜测报技术规范 Rules for monitoring and forecast of the cotton aphid (<i>Aphis gossypii</i> Glover)	GB/T 15799—2011 代替 GB/T 15799—1995 GB/T 15799—2011 replaces GB/T 15799—1995
棉铃虫测报调查规范 Rules for investigation and forecast of the cotton bollworm [<i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner)]	GB/T 15800—2009 代替 GB/T 15800—1995 GB/T 15800—2009 replaces GB/T 15800—1995
棉红铃虫测报技术规范 Rules for monitoring and forecast of the cotton pink bollworm [<i>Pectinophora gossypiella</i> (Saunders)]	GB/T 15801—2011 代替 GB/T 15801—1995 GB/T 15801—2011 replaces GB/T 15801—1995
棉花叶螨测报技术规范 Rules for monitoring and forecast of the cotton spider mites (complex spp.)	GB/T 15802—2011 代替 GB/T 15802—1995 GB/T 15802—2011 replaces GB/T 15802—1995
盲蝽测报技术规范 第1部分:棉花 Rules for forecast technology of mirid bug Part 1: cotton	NY/T 2163.1—2016
烟粉虱测报技术规范:棉花 Rules for forecast technology of <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius: cotton	NY/T 2950—2016
棉蓟马测报技术规范 Specification for forecast technology of cotton thrips	NY/T 3545—2020
小地老虎测报技术规范 Rules for investigation and forecast of <i>Agrotis ipsilon</i> (Hüfnagel)	NY/T 2731—2015
农作物害虫性诱监测技术规范(螟蛾类) Rules for population monitoring of crop insect pests by sex pheromone traps (for Pyraloidea and flying-behavior liked moths)	NY/T 2732—2015
农作物害虫性诱监测技术规范(夜蛾类) Rules for population monitoring of crop insect pests by sex pheromone traps (for Noctuidae and flying-behavior liked moths)	NY/T 3253—2018
农作物病虫测报观测场建设规范 Construction specification of observation field for crop diseases and insect pests	NY/T 3698—2020

性诱监测技术相对更容易实现自动计数和信息实时传输,如一种带有双红外传感器自动计数系统的新型性诱捕器于2015年被用于棉铃虫监测,该系统自动计数准确,并具有数据自动存贮和传输功能,满足智能化测报的技术要求(姜玉英等,2015c)。随着绿盲蝽、牧草盲蝽等性诱剂及其使用技术的发展与完善(Zhang et al., 2020; 2021),相伴研发出了自动计数设备,并于2021年在山东、河南和河北等省开展试点试验,有望在小型害虫性诱自动计数技术上实现突破,并实现虫情的实时监测和预警。近年来,棉铃虫等夜蛾类害虫食诱剂研发取得重要进展(蔡晓明等,2018;修春丽等,2018),食诱剂不仅能有效监测害虫雌雄成虫的消长动态,而且可以进一步监测雌成虫的卵巢发育级别(He et al., 2021),在害

虫成虫监测上有着独特优势。

2.2 推进大区域监测手段的创新与应用

遥感技术是近年来新兴的技术手段,利用光谱反射率的差异来区分不同地物。棉花植株被棉蚜和棉叶螨为害后,叶片卷缩、变色、出现油状蜜露等特征,利用遥感监测技术获取不同数量虫(螨)级别的特征光谱,构建高光谱指数模型,并通过卫星遥感获取大尺度影像,实现虫害微观尺度和大区域监测识别。随着高光谱遥感技术的发展,可以同时获取图像和光谱,而且其光谱分辨率可达到纳米级,害虫为害后作物的光谱特征差异可以在较窄的光谱波段进行区分。同时还可以把高光谱成像传感器搭载到小型无人机上,实现田块尺度的高光谱图像监测。目前新疆已成为我国棉花生产最重要的区域,棉花种

植面积大、生态类型多样,棉蚜和棉叶螨为害严重(姜玉英等,2015d;潘洪生等,2018),遥感监测有其更广阔的应用空间。灯具和性诱工具等都是地块尺度的监测,范围有限,因此利用遥感技术进行大范围监测尤为重要。遥感具有实时、动态、无损、高效的特点,在获得棉花害虫光谱特征的基础上,建立虫害与光谱关系模型,并将模型反演到无人机图像和卫星遥感图像上,可以实现大范围区域的虫害监测。遥感监测也可作为害虫最终致害损失评估的监测方法,探索其用于棉花害虫致害损失的技术方法和实现途径具有现实意义。下一步可以利用遥感生成的棉花害虫空间分布图,生成防治处方图,利用施药无人机精准防治,实现减药增效的目的。

2.3 推进大数据预报技术的研究与应用

随着对棉花害虫发生规律的深入研究,利用历期预测法、期距预测法和有效积温法预测虫害发生期取得了较好的效果。根据有效虫口基数预测虫害发生程度,并分析影响害虫种群增长的天气、环境条件和作物生长状况以及人为活动等因素,最终进行综合判断,以上各因素间存在较为复杂的关系,许多方面会超出测报人员个人的认知和预知能力范围,因此,研究不同生态区域、不同发育时间多因子的害虫发生动态模型是害虫预报的一项重要内容。利用棉花害虫研究基础深厚、资料积累历史悠久和专家资源雄厚的优势,积极引进物联网、人工智能、大数据等技术,实时获取气象数据和田间害虫为害数据,将其融入传统的预测模型,经过生产实践的不断修正,力求成为生产上可用的有效预报技术。目前景观生态学已应用于棉花害虫预测预报,我国种植业结构调整也增加了棉铃虫为害玉米、大豆、花生及蔬菜等多作物的风险(陆宴辉等,2018),针对我国农业种植制度的改变进行害虫种群动态规律研究与监测预报技术开发应用更为迫切。

参 考 文 献 (References)

- Cai XM, Li ZQ, Pan HS, Lu YH. 2018. Research and application of food-based attractants of herbivorous insect pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(1): 8–35 (in Chinese) [蔡晓明, 李兆群, 潘洪生, 陆宴辉. 2018. 植食性害虫食诱剂的研究与应用. *中国生物防治学报*, 34(1): 8–35]
- Chen YG, Ge DH, He HX, Wang GH, Zhang WL, Gao SY. 1984. Hollow fiber formulation of gossypure and its competing attraction to pink bollworm moths in the cotton field. *Acta Entomologica Sinica*, 27(2): 229–234 (in Chinese) [陈元光, 葛旦华, 何华雄, 王国衡, 张万里, 高深远. 1984. 红铃虫性诱剂开口纤维剂型及其在棉田中的竞争引诱作用. *昆虫学报*, 27(2): 229–234]
- Dai XF, Guo YY. 1995. Pesticide resistance and management of cotton bollworm. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [戴小枫, 郭予元. 1995. 棉铃虫的抗药性与治理. 北京: 中国农业出版社]
- General Station of Crop Pest Monitoring and Forecasting of Ministry of Agriculture. 1980. Methods for forecasting main crop diseases and insect pests. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [农业部农作物病虫测报总站. 1980. 农业部农作物主要病虫测报办法. 北京: 中国农业出版社]
- Guo YY. 1998. Research of cotton bollworm. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [郭予元. 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社]
- He W, Zhao XC, Ali A, Ge SS, Zhang HW, He LM, Wu KM. 2021. Population dynamics and reproductive developmental analysis of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) trapped using food attractants in the field. *Journal of Economic Entomology*, 114(4): 1533–1541
- Jiang YY, Feng XD, Xia B, Zeng J. 2010. Population dynamics and monitoring strategies of diseases and insect pests in Bt cotton fields in China. *China Plant Protection*, 30(12): 25–28 (in Chinese) [姜玉英, 冯晓东, 夏冰, 曾娟. 2010. 我国Bt棉田病虫种群演变动态和监控对策. *中国植保导刊*, 30(12): 25–28]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J. 2016. Using vertical-pointing searchlight-traps to monitor population dynamics of the armyworm *Mythimna separata* (Walker) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 191–199 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 曾娟. 2016. 高空测报灯监测粘虫区域性发生动态规律探索. *应用昆虫学报*, 53(1): 191–199]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, Lu YH, Lu Y, Xu HX, Liu D, Gao YJ. 2017. Study on light trapping effect of mirid bugs and other cotton pests in cotton area of Xinjiang. *China Plant Protection*, 37(4): 50–55, 49 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 陆宴辉, 芦屹, 徐好学, 刘鼎, 高永健. 2017. 新疆棉区盲蝽等棉田昆虫灯诱效果研究. *中国植保导刊*, 37(4): 50–55, 49]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, Yang QP, Lu YH. 2018. Investigation and forecasting techniques for the cotton bollworm. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 132–137 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨清坡, 陆宴辉. 2018. 棉铃虫种群调查及测报技术. *应用昆虫学报*, 55(1): 132–137]
- Jiang YY, Lu YH, Li J, Liu J, Zeng J, Liu J. 2015d. Evolution dynamics of cotton diseases and insect pests and its influencing factors in Xinjiang. *China Plant Protection*, 35(11): 43–48 (in Chinese) [姜玉英, 陆宴辉, 李晶, 刘建, 曾娟, 刘杰. 2015d. 新疆棉花病虫害演变动态及其影响因子分析. *中国植保导刊*, 35(11): 43–48]
- Jiang YY, Lu YH, Zeng J. 2015b. Forecast and management of mired bugs in multiple agroecosystems of China. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [姜玉英, 陆宴辉, 曾娟. 2015b. 盲蝽分区监测与治理. 北京: 中国农业出版社]
- Jiang YY, Zeng J, Gao YJ, Wang HQ. 2015c. Application of new trap and its automatic counting system in cotton bollworm monitoring. *China Plant Protection*, 35(4): 56–59 (in Chinese) [姜玉英, 曾娟, 高永健, 王惠卿. 2015c. 新型诱捕器及其自动计数系统在棉铃虫监测中的应用. *中国植保导刊*, 35(4): 56–59]
- Jiang YY, Zeng J, Liu J. 2015a. Study on light trapping effect of mirids in cotton area of Yellow River and Yangtze River Basin. *China Plant Protection*, 35(7): 47–52 (in Chinese) [姜玉英, 曾娟, 刘

- 杰. 2015a. 黄河流域和长江流域棉区盲蝽灯诱效果研究. 中国植保导刊, 35(7): 47-52]
- Jiang YY, Zeng J, Xu JG, Shi JH. 2014. The trapping effects of different light sources on cotton mirids in the Yellow River Valley. *Plant Protection*, 40(1): 137-141, 153 (in Chinese) [姜玉英, 曾娟, 徐建国, 史均环. 2014. 不同光源灯具对黄河流域棉区棉盲蝽的诱测效果. 植物保护, 40(1): 137-141, 153]
- Liang XH. 2001. Daily activities of two thrips and their taxis to plant volatiles. Ph. D thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [梁兴慧. 2001. 两种蓟马的日活动规律及其对植物挥发物的趋性研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Lu YH, Jiang YY, Liu J, Zeng J, Yang XM, Wu KM. 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 19-24 (in Chinese) [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨现明, 吴孔明. 2018. 种植业结构调整增加棉铃虫的灾变风险. 应用昆虫学报, 55(1): 19-24]
- Lu YH, Liang GM, Zhang YJ, Yang XM. 2020. Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 477-490 (in Chinese) [陆宴辉, 梁革梅, 张永军, 杨现明. 2020. 二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望. 应用昆虫学报, 57(3): 477-490]
- Ming K, Yan S. 2020. Analysis of the occurrence and control of cotton main diseases and pests in China in recent years. *Cotton Sciences*, 42(3): 13-19, 26 (in Chinese) [明坤, 闫硕. 2020. 近几年我国棉花主要病虫害发生及防控情况分析. 棉花科学, 42(3): 13-19, 26]
- Pan HS, Jiang YY, Wang PL, Liu J, Lu YH. 2018. Research progress in the status evolution and integrated control of cotton pests in Xinjiang. *Plant Protection*, 44(5): 42-50 (in Chinese) [潘洪生, 姜玉英, 王佩玲, 刘建, 陆宴辉. 2018. 新疆棉花害虫发生演替与综合防治研究进展. 植物保护, 44(5): 42-50]
- Plant Protection Division of Hubei Provincial Department of Agriculture. 1965. Experience of seven demonstration sites, economic, effective and safe control of cotton pests in Hubei Province. *Plant Protection*, (2): 55-56 (in Chinese) [湖北省农业厅植保处. 1965. 湖北省经济有效安全防治棉花虫害七个示范点的经验. 植物保护, (2): 55-56]
- Qi ZS. 1961. Chinese plant protection science. Beijing: Science Press, pp. 653-667 (in Chinese) [齐兆生. 1961. 中国植物保护科学. 北京: 科学出版社, pp. 653-667]
- Qi ZS, Wang DX. 1958. Technical outline and explanation of large scale and thorough control of cotton pests in northern cotton region (draft). *Scientia Agricultura Sinica*, (5): 244-245 (in Chinese) [齐兆生, 王德秀. 1958. 北部棉区大面积彻底防治棉虫技术纲要(草稿)及说明. 中国农业科学, (5): 244-245]
- Qu XF. 1992. Standards, regionalization and methods for forecasting cotton pests in China. Beijing: China Science and Technology Press (in Chinese) [屈西峰. 1992. 中国棉花害虫预测预报标准、区划和方法. 北京: 中国科学技术出版社]
- Qu XF, Shao ZR, Wang JQ. 1996. The progress of prediction and forecast of bollworm in China in the past 30 years. *Entomological Knowledge*, 33(6): 357-360, 370 (in Chinese) [屈西峰, 邵振润, 王建强. 1996. 30年来我国棉铃虫预测预报的进展. 昆虫知识, 33(6): 357-360, 370]
- State Bureau of Technical Supervision. 1996. Specification for survey and forecast of main crop diseases and insect pests: 1. Beijing: China Standard Press (in Chinese) [国家技术监督局. 1996. 主要农作物病虫测报调查规范: 一. 北京: 中国标准出版社出版]
- Wan P, Xu D, Cong SB, Jiang YY, Huang YX, Wang JT, Wu HH, Wang L, Wu KM, Carrière Y, et al. 2017. Hybridizing transgenic Bt cotton with non-Bt cotton counters resistance in pink bollworm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(21): 5413-5418
- Wu KM, Guo YY. 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annual Review of Entomology*, 50: 31-52
- Wu KM, Guo YY. 2007. Geotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China. *Plant Protection*, 33(5): 6-11 (in Chinese) [吴孔明, 郭予元. 2007. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律. 植物保护, 33(5): 6-11]
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ. 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321(5896): 1676-1678
- Xiu CL, Li AL, Lu W, Liu Z, Lu YH. 2018. The effectiveness of using food attractant to lure cotton bollworm moths into traps under field conditions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 44-48 (in Chinese) [修春丽, 栗爱丽, 路伟, 刘政, 陆宴辉. 2018. 棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果. 应用昆虫学报, 55(1): 44-48]
- Yao Q, Feng J, Tang J, Xu WG, Zhu XH, Yang BJ, Lü J, Xie YZ, Yao B, Wu SZ, et al. 2020. Development of an automatic monitoring system for rice light-trap pests based on machine vision. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(10): 2500-2513
- Zeng J, Du YJ, Jiang YY, Liu WC. 2015. Development and application of sex pheromone in population monitoring of crop insect pests in China. *Plant Protection*, 41(4): 9-15, 45 (in Chinese) [曾娟, 杜永均, 姜玉英, 刘万才. 2015. 我国农业害虫性诱监测技术的开发和应用. 植物保护, 41(4): 9-15, 45]
- Zhang T, Mei XD, Zhang XF, Lu YH, Ning J, Wu KM. 2020. Identification and field evaluation of the sex pheromone of *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) in China. *Pest Management Science*, 76(5): 1847-1855
- Zhang T, Zhang XF, Wyckhuys KAG, Yao YS, Li HQ, Lu W, Lu YH. 2021. Optimization and field demonstration of the *Lygus pratensis* (Hemiptera: Miridae) sex pheromone. *Pest Management Science*, 77(2): 817-823
- Zhou FC, Du YZ, Sun W, Yao YL, Qin JY, Ren SX. 2003. Impact of yellow trap to sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) in vegetable fields. *Entomological Journal of East China*, 12(1): 96-100 (in Chinese) [周福才, 杜予州, 孙伟, 姚燕林, 秦吉祥, 任顺祥. 2003. 黄板对菜地烟粉虱的诱集作用研究. 华东昆虫学报, 12(1): 96-100]
- Zhou Y, Zhang HW, Wu KM. 2020. Frequency of migration of agricultural pests across the Bohai Sea in northern China and a control strategy for these species. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(2): 233-243 (in Chinese) [周燕, 张浩文, 吴孔明. 2020. 农业害虫跨越渤海的迁飞规律与控制策略. 应用昆虫学报, 57(2): 233-243]