技术与方法

全国草地贪夜蛾监测预警信息化平台建设与应用*

刘 杰[1**] 姜玉英[1***] 王建强[2] 张浩文[3] 张熠场[1] 张国栋[4]

（1. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125；2. 农业农村部种植业管理司，北京 100125；
3. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193；4. 北京金禾天成科技有限公司，北京 100013）

摘 要 本研究介绍了全国草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 监测预警信息化平台建设基础设施、数据资源、应用支撑三大构架，以及数据填报、数据汇总、数据分析、GIS 展示、监测预报、填报统计、知识库等模块功能，总结了平台在虫情及时快速调度、虫情动态形象全面展示、监测防控效果客观体现中发挥的作用，建议探索接入物联网工具、实现监测数据的实时获取，探索与天气系统平台信息的有机联系，实现昆虫雷达联网、突破迁飞性害虫监测的技术瓶颈，推动迁飞性害虫监测技术从根本上升级换代。

关键词 草地贪夜蛾；监测预警；信息化平台

Construction and application of a national monitoring and early warning information platform for *Spodoptera frugiperda*

LIU Jie[1**] JIANG Yu-Ying[1***] WANG Jian-Qiang[2]
ZHANG Hao-Wen[3] ZHANG Yi-Yang[1] ZHANG Guo-Dong[4]

(1. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 2. Department of Crop Management, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100125, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Beijing Jinhe Tiancheng Technology Limited Company, Beijing 100013, China)

Abstract This paper introduces the three parts (infrastructure, data resources and application support) of a national information platform for monitoring the *Spodoptera frugiperda*, as well as data entry, collection, analysis, GIS display, monitoring and prediction, statistics and knowledge base. Three functions of the platform are to detect the occurrence of the *S. frugiperda* in a timely fashion, comprehensively display the occurrence dynamics of this pest, and provide objective modelling of monitoring and control effects. We suggest that the way to overcome current technical bottlenecks impeding the effective monitoring of migratory pests is to use intelligent monitoring equipment to automatically collect data and link this to information obtained from a weather system platform and insect radar.

Key words *Spodoptera frugiperda*; monitoring and early warning; information platform

信息化是农作物病虫害监测预警工作的重要手段，现代信息技术的发展为害虫监测预警工作提供了前所未有的支持（吴孔明，2020）。做好病虫发生信息的规范化调度、科学化处理、图示化展示是及时掌握各地病虫害发生动态、准确做出趋势预报的基础，也是各级农业农村部门工作部署和防控决策的重要依据（农业部种植业管理司和全国农业技术推广服务中心，2013；刘万

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2021YFD1400702）

**第一作者 First author，E-mail：cbliujie@agri.gov.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：jiangyuying@agri.gov.cn

收稿日期 Received：2022-09-27；接受日期 Accepted：2023-03-31

才和黄冲，2015）。针对世界性重大农业害虫草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 侵入我国并快速扩展的形势，为掌握各地草地贪夜蛾发生情况和防治工作进展，全国农业技术推广服务中心于 2019 年 6 月 17 日建成了全国草地贪夜蛾监测预警信息化平台（以下简称平台），通过国家-省-市-县四级监测网络开展田间调查和平台上报，实时调度掌握全国草地贪夜蛾发生防控情况。之后根据测报业务工作需要和相关技术研究的进步，还在平台上增加了趋势预测、轨迹分析和数值化模型及昆虫雷达联网等监测预报内容。平台采用边建设边应用、边研究边拓展的形式，达到逐步完善提高的目的。总结该平台在建设应用、功能拓展方面的成效与经验，对推动我国农作物病虫害测报数字化、信息化水平具有重要意义。

1 平台构架与功能

平台采用模块化构架结构，由基础设施层、数据资源层、应用支撑层、系统应用层 4 个层级。

基础设施层，平台本身除需要网络、服务器等基础设施外，还包括灯具、性诱捕器以及雷达等植保专用设备，以及手机、照（摄）像机等便携式采集设备，这些设施设备用于田间虫情监测和信息采用，还有专业人员的调查和普查，都为平台提供了重要基础资源。

数据资源层，由设施设备和人工监测调查获得的信息贮存处，按信息采集渠道不同分为灯诱、性诱和雷达采集成虫信息，专业人员调查的发生和防治信息，以及来自其他渠道的天气信息等，如嵌入与成虫迁飞相关的风场、与昆虫发育相关的气温和降水量等。按报送频率不同分为首见成虫或幼虫的日报，成虫诱集量、幼虫发生防治信息周报，以及大田普查的月报。根据信息性质不同分别进入不同类别数据库类群。

应用支撑层，包括信息资源目录和交换系统，以及应用组件群、安全组件群、信息化支撑体系、平台支持组件，这些组件（群）为平台各项功能的实现和持续安全使用提供了重要保障。

系统应用层，根据用户层级不同设计。由首页、数据填报、数据汇总、数据分析、GIS 展示、监测预报、填报统计和知识库 8 个基本模块组成（图 1）。

1.1 首页

首页以图表形式展示草地贪夜蛾最新发生和防治动态（图 2），有 3 个方面内容，地图上动态展示发生省份发生面积逐周扩展动态、全国累计发生面积和累计防治面积逐周折线图以及全国草地贪夜蛾发生防治周报表查看，这些内容是了解当前发生和防治具体数据和动态情况最便捷的渠道。

1.2 数据填报

数据填报是平台的基石，是实现平台各项功能的保障。数据填报涉及 4 类表格：首见表、周报表、月报表（表 1），表格内容按照《草地贪夜蛾测报技术规范》（NY/T 3866-2021）数据报送内容设计。其中，首见表有成虫和幼虫首次发现报送表，周报表有发生防治周报表、逐日蛾量周报表，月报表是玉米发生普查月报表，都由县级填报，省级或国家用户可代填。省级对各县填报情况进行审核、更正和补充，上报后自动形成全国发生防治情况周报表该省份的内容。以上报表内容，既可掌握草地贪夜蛾种群扩展动态、幼虫发生为害和防控总体累计情况，还能掌握各类成虫诱测工具的应用效果，从宏观和微观方面全面地了解虫情动态。

1.3 数据汇总

数据汇总除省级、全国逐级汇总周报表、月报表外，还对 4 类表格实现发生地区、时段、作物、面积、虫量等任一字段汇总，以及选定时间 1-6 个字段的筛选，并实现以上数据的导出，极大方便了信息查询，提高了数据利用效率。如筛选当周平均百株虫量大于 10 头的县数（图 3），掌握需要防治的区域和面积，筛选高空测报灯、常规测报灯、性诱捕器各类工具下诱蛾量大于 30 头等不同数量的县数（图 4），根据工具种类、高蛾量分布区域即可判断种群迁飞动态等重要信息。

图 1　草地贪夜蛾发生防治信息调度平台基本构架

Fig. 1　Basic framework of *Spodoptera frugiperda* monitoring and early warning information platform

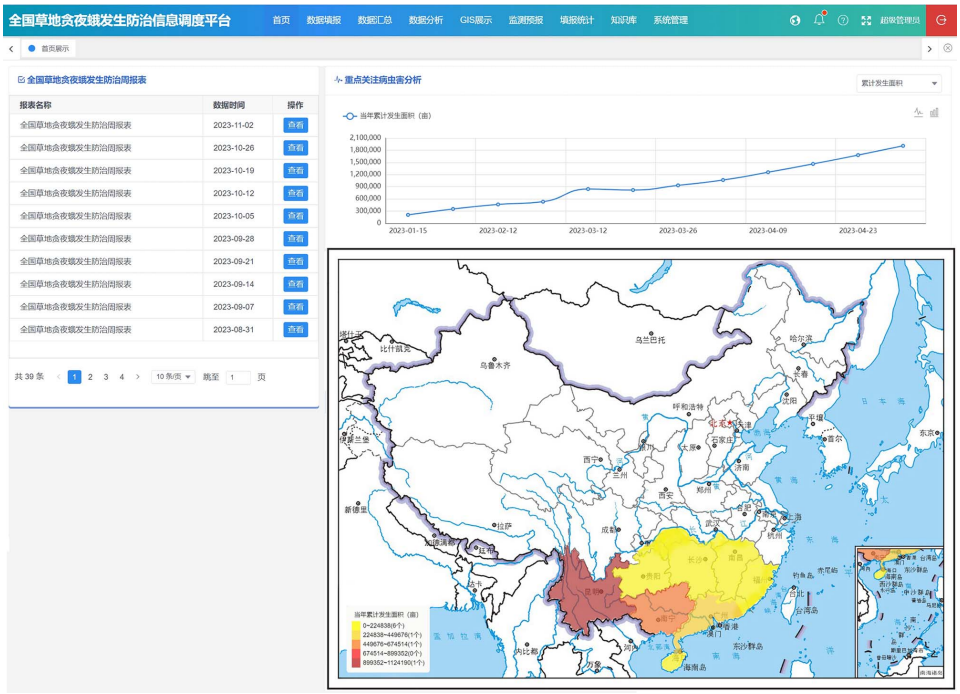

图 2　草地贪夜蛾发生防治信息调度平台首页[审图号：京审字（2023）G 第 2824 号]

Fig. 2　The home page of *Spodoptera frugiperda* monitoring and early warning information platform

表 1 草地贪夜蛾监测信息报送任务表

Table 1 Task for submission of monitoring information of *Spodoptera frugiperda*

级别 Administrative level	报表名称 Name of submission form	报送时间 Submission time	报送频次 Submission frequency
县级 County level	草地贪夜蛾成虫首次发现报送表 Report for the first discovery of adult *S. frugiperda*	见成虫当日报 Daily report of adult	1 次/年 once/year
	草地贪夜蛾逐日蛾量周报表 Weekly report on daily adult population of *S. frugiperda*	见成虫当周启动 Starting the week of the adult	1 次/周 once/week
	草地贪夜蛾幼虫首次发现报送表 Report for the first discovery of larva *S. frugiperda*	见幼虫当日报 See larval daily report	1 次/年 once/year
	草地贪夜蛾发生防治县级周报表 County level weekly report on the prevention and control of *S. frugiperda*	见幼虫当周启动 Start the larvae in the current week	1 次/周 once/week
	草地贪夜蛾发生普查月报表 Monthly census report on the occurrence of *S. frugiperda*	见幼虫当月启动 Start the larvae in the same month	1 次/月 once/month
省级 Provincial level	草地贪夜蛾发生防治省级周报表 Provincial weekly report on the prevention and control of *S. frugiperda*	周三报 Wednesday report	1 次/周 once/week
部级 Ministerial level	全国草地贪夜蛾发生防治周报表 National weekly report on the prevention and control of *S. frugiperda*	周三报 Wednesday report	1 次/周 once/week

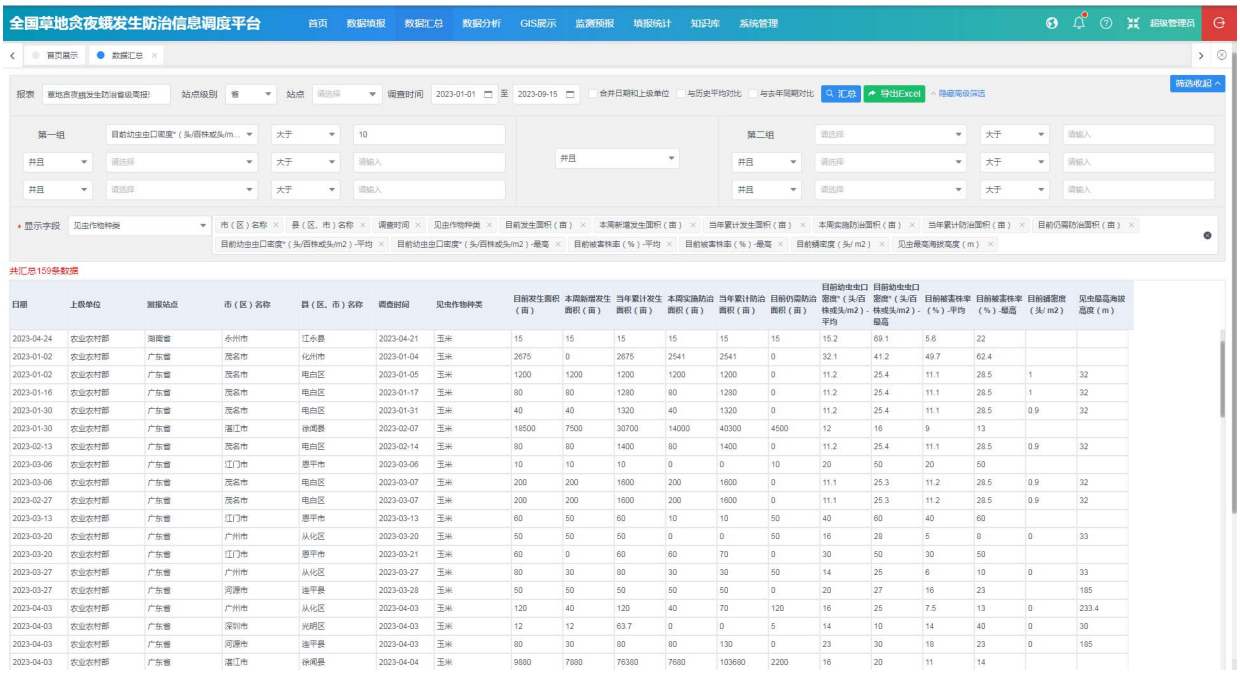

图 3 草地贪夜蛾发生防治省级周报表高级筛选

Fig. 3 Advanced filter of provincial weekly report of *Spodoptera frugiperda* occurrence and control

1.4 数据分析

数据分析是对基础数据的挖掘，分为综合分析和专业分析。综合分析有总体发生防控情况分析和首次发生时间分析 2 类，总体发生防控情况分析有全国和分省当年及前几年发生县数、累计发生面积、累计防治面积等（图 5），以柱状图和折线图形式展示。首次发生时间分析，有 2019 年以来各年度逐日新增县数柱状图、各年度逐日新增县数折线图（图 6），可直观展示虫情发生动态及其年度间的比较。专业分析主要展示被害株率、卵量、成虫量等具体指标的动态。

图 4　草地贪夜蛾逐日蛾量周报高级筛选

Fig. 4　Weekly report of *Spodoptera frugiperda* advanced filter of weekly report of daily moth

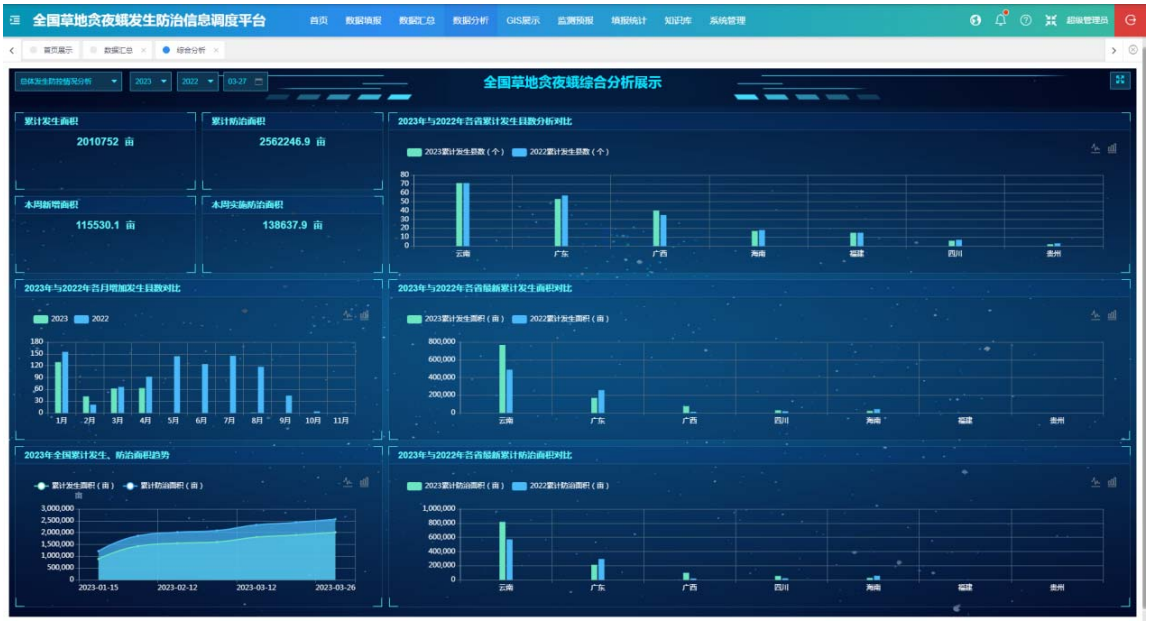

图 5　全国草地贪夜蛾综合分析展示-发生县数、发生面积和防治面积对比图

Fig. 5　A comprehensive analysis and display of the occurrence of *Spodoptera frugiperda* in China-comparison diagram of occurred counties, occurrence area and control area

1.5　GIS 展示

地理信息系统（Geographic information system，GIS）展示模块是平台的灵魂和基础信息的升华，是平台最突出的功能，力求展示要素突出、直观形象、针对性强。平台有 3 类 GIS 展示图，即首次发现时间展示、首次发现时间对比和发生县数分布，GIS 图均可选择时间并实现发生数据的导出功能。

首次发现时间展示 GIS 图，分幼虫、成虫 2 种虫态首次发现时间展示（图 7），主要为了展示虫情扩展区域和扩展速度。每月的新发县以不同颜色表示，有点位图和填充图形式，实时更新展现，鼠标点 GIS 图任意见虫县即显示各县名称、首见时间及其经纬度。还可突出显示本周新增发生县数量及其分布，反映出本周扩展的主要区域。

首次发现时间对比 GIS 图（图 8），在首次发现时间单年度展示的基础上，实现任意 2 年的

图 6　全国草地贪夜蛾综合分析展示-逐日新增县数折线图和柱状图

Fig. 6　A comprehensive analysis and display of the occurrence of *Spodoptera frugiperda* in China-line chart and bar chart of new occurred counties per day

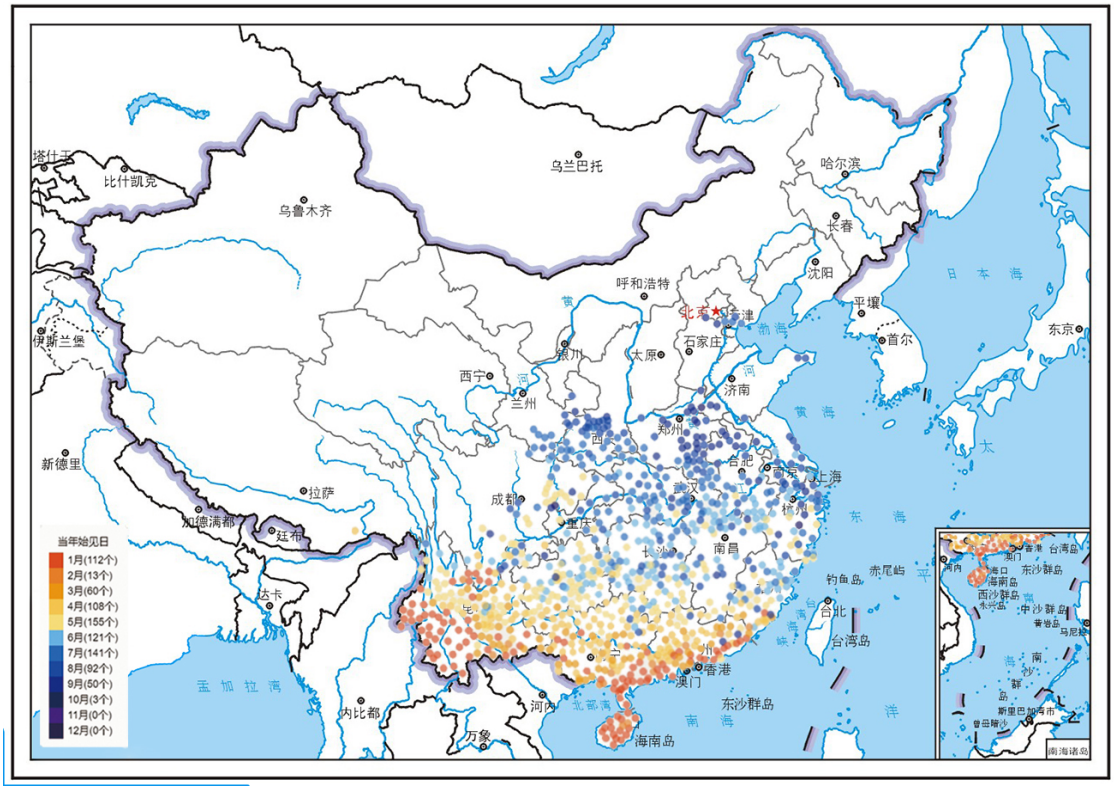

图 7　草地贪夜蛾首次发现时间展示 GIS 图[审图号：京审字（2023）G 第 2824 号]

Fig. 7　The GIS figure of the time first discovery of *Spodoptera frugiperda*

同视窗展示，可以直观反映出年度扩展速度和区域的差异。

发生县数分布 GIS 图，可实现发生县年度发生频次的展示，如展示 2019-2021 年任意时间见虫县的分布（图 9），直观展示各年度虫情的变化情况。

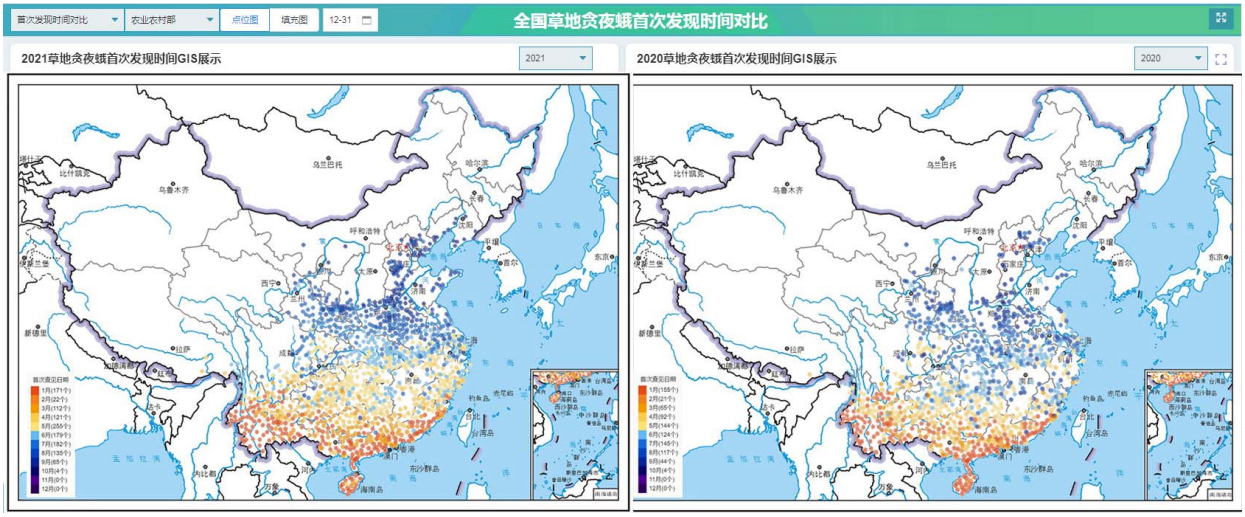

图 8　草地贪夜蛾首次发现时间对比 GIS 图[审图号：京审字（2023）G 第 2824 号]

Fig. 8　The compare GIS figure of the time first discovery of *Spodoptera frugiperda*

图 9　草地贪夜蛾发生县数分布 GIS 图[审图号：京审字（2023）G 第 2824 号]

Fig. 9　The GIS map of the number of counties discovered of *Spodoptera frugiperda*

1.6　监测预报

监测预报模块创新了平台开发的新功能，首次将吴孔明院士团队研发的图像识别、发生期和发生量预测、实时风场和迁飞轨迹预测及昆虫雷达监测等纳入病虫害数字化平台，开拓了病虫测报数字化建设的先河。

图像识别有草地贪夜蛾图像识别，可实现识

别玉米田以夜蛾科为主的 30 余种昆虫，灯下成虫图像识别可识别 120 余种常见昆虫成虫，目前已建成有 5 万张清晰度较高的图片库，平均识别准确率为 91.96%。

发生期和发生量预测，输入选定的地点（可自动定位）、寄主作物、预测时间范围以及初始虫源的虫态和数量，平台分别采用日平均积温法、生命表参数，预测关心时段各虫态发生期和发生量。其中，温度和湿度等气象数据来自国家气象信息中心，包含有 839 个气象观测站近 10 年的历史数据；生命表参数可选田间调查经验参数和实验室测定参数，后者是草地贪夜蛾在不同温度、湿度条件下取食不同寄主植物的存活率和种群增殖率，计算出各发育阶段的害虫存活率和种群的繁殖力。

实时风场和迁飞轨迹预测，基于雷达种类识别和实时监测基础，通过将昆虫迁飞行为参数化，结合气象研究与预报模式（Weather research and forecasting model，WRF）插值的高精度气象背景场，用数值方法模拟出高分辨的风温场，构建了昆虫迁飞轨迹和起落点预测模型（InsectTrace-WRF），可预测 1 周内的迁飞轨迹和降落点（图 10）。再根据雷达观测到的有效方位的迁飞虫量及轨迹分析，可推出其迁入区和迁入量，从而做出量化的区域尺度虫情预报。单部雷达通常可以预测 200-500 km，在迁飞路径上，布设多部雷达可以连续推测多日轨迹和落点，实现大区域联合预测。目前云南江城、寻甸、澜沧等地雷达已实现联网，并在平台中显示最新监测结果。

图 10　实时风场和迁飞轨迹预测[审图号：京审字（2023）G 第 2824 号]

Fig. 10　Real-time wind field and flight trajectory prediction

1.7　填报统计

填报统计有站点统计和报表统计 2 项，是对全国、省级和县级报送情况的总结，全面反映总体工作情况，可作为任务完成考核的重要依据。

1.8　知识库

知识库中有草地贪夜蛾虫态特征图、为害状图、生物学习性、防治技术等内容，为图片、视频和文字等形式，便于用户学习这一新发害虫的相关知识。

2　作用与成效

2.1　平台是虫情调度的有效工具

通过平台，可以及时掌握草地贪夜蛾迁飞扩散区域、幼虫发生区域、发生数量和为害作物及防控工作情况，平台启动信息报送，完成了首次发现 24 h 内报告、发生防治信息一周两报任务。依据各地田间调查和平台填报数据，总结了草地贪夜蛾在我国不同区域不同时期的发生特点和发生规律，年均发布《植物病虫情报》和《种植业快报》30 余期，为指导早期防控争取了主动。

2.2　平台成为了解虫情动态的重要窗口

GIS 图形和图表展示的可视性、直观性、多样性是平台的突出特征。平台丰富的 GIS 展示和动态推演图，可按月、周、日为时序形象地反映出草地贪夜蛾在我国自南向北快速扩散特点，并可在一个视野下进行虫情年度间、省份间的图视化演示。在虫情发生关键时期，农业农村部相关部门领导查看该平台调度草地贪夜蛾发生情况；在新冠疫情严重阶段，种植业管理司领导在无法实地调研情况下，也能实时了解到虫情发生防治的有效信息，及时调整防控重点，为作出下一步防控决策部署提供了重要参考。

2.3　平台是监测防控效果体现的重要途径

平台调度信息直接反映监测技术的进步、监测工具的到位率和有效性。从见虫省份看，2020 年 27 个省份中有 22 个是首见成虫，占比为 81%，而 2019 年 26 个省份中仅有 6 个省份首见成虫，占比增加 58%；从首见幼虫县份看，2020 年有 826 个，占总发生县份 1 431 个的 58%，其中的 580 个县完成了逐日蛾量周报表，凸显各地监测工具加密布防的效果，也为“三区四带”布防提供有效工具的依据。监测的及时和到位为主动防控部署争取了时间；有效的布防，大大减轻了防控压力，因此，平台信息也是全国草地贪夜蛾防控效果体现的重要途径。

2.4　平台为规律性研究积累了基础数据

平台收集了草地贪夜蛾发生地、发生时间、虫口密度、为害作物等基本情况，2019 年累计数据 162.3 万项，2020 年 81.6 万项，2021 年 109.0 万项。依据以上资料，基本摸清了草地贪夜蛾周年繁殖区分布和面积、春-夏-秋季北迁南回为害规律、为害寄主作物种类以及气候条件影响等，也为成虫迁飞路径分析验证、监测预报提供了第一手资料。

3　建议

3.1　探索接入物联网工具，实现监测数据的实时获取

《全国动植物保护能力提升工程建设规划（2017-2025 年）》自 2017 年实施以来，已在 28 个省份投资建设农作物病虫疫情分中心（省级）田间监测点，在 462 个县建设重点监测点 469 个、一般监测点 1 734 个，配备监测设备 18 270 台（套），其中的重点监测点都针对害虫性诱和虫情测报灯等物联网监测设备，这些设备具有自动识别和计数功能。进一步开发平台的数据接口，实现虫量数据的实时获取与传输，达到“有机能替人、有物能互联”，实现测报手段升级换代。

3.2　探索与天气系统平台信息的有机联系

昆虫的迁飞过程受多种大气过程的影响，大气环流和大尺度天气系统为昆虫提供了远距离迁移的运载工具和物理环境，中小尺度大气运动决定了迁飞种群的空中动态和地面分布（翟保平和张孝曦，1993），因此，获取与害虫迁飞相关的重要天气信息，是提高迁飞性害虫迁入时间

和区域的重要因素。草地贪夜蛾在我国北迁南回同样受到天气气候的影响，最为典型的事件就是2020 年 8 月 10 日至 10 月 24 日，辽宁省丹东、大连等 6 个地级市的 11 个县级行政区 41 个乡镇先后确认发现雄蛾 551 头，作为草地贪夜蛾入侵我国的北界区域，通常抵达时间晚、虫量少。推测这次迁入事件是由于 2020 年第 4 号台风“黑格比”、第 8 号台风“巴威”、第 9 号台风“美莎克”和第 10 号台风“海神”先后影响东北地区，台风为草地贪夜蛾扩散至辽宁提供了必要的大气动力条件（张丹等，2021）。昆虫迁飞预测平台中嵌入天气系统信息，成为提高预测准确性的重要因素，需要加强植保与气象的深入合作，探索实现迁飞性害虫监测平台业务运行的有效途径。

3.3 实现昆虫雷达联网，突破迁飞性害虫监测的技术瓶颈

针对雷达监测区域大、信息获取能力强、解算速度快、自动化程度高的特点，实现雷达联网是突破以草地贪夜蛾为重点的迁飞性害虫监测的关键技术。目前我国自主研发的全极化 ku 和 x 波段垂直雷达，可获取昆虫个体的高度、飞行速度、朝向、体重、体宽等生物学参数，实现个体回波数据分离，从而达到种类的自动识别。截至 2022 年 6 月底，我国科研单位配备 18 台、推广部门 11 台、大学 3 台、企业 2 台雷达，目前主要部署在云南、广西、海南、四川、河南、山东等边境区域和重要迁飞通道上，利用 2-3 年时间，采用边研究边应用的方式，加快推进迁飞性害虫雷达监测应用步伐，通过雷达网的大尺度监测和高空灯、地面灯、性诱捕器的小尺度监测网的一体化运行，实现精准定位定量草地贪夜蛾的成虫迁移动态并通过网络实时发布（吴孔明，2020）的目标。

参考文献 (References)

Department of Crop Management of Ministry of Agriculture, National Agro-Tech Extension and Service Center, 2013. Digitalization and Informatization of Pest Forecasting. Beijing: China Agricultural Press. 1–20. [农业部种植业管理司, 全国农业技术推广服务中心, 2013. 病虫测报数字化与信息化. 北京: 中国农业出版社. 1–20.]

Liu WC, Huang C, 2015. Progress and suggestions on the informatization construction of crop pest forecasting in China. *China Plant Protection*, 35(3): 90–92. [刘万才, 黄冲, 2015. 我国农作物病虫测报信息化建设进展与发展建议. 中国植保导刊, 35(3): 90–92.]

Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5.]

Zhai BP, Zhang XX, 1993. Behaviour of migrating insects: Adaptation and selection to atmospheric environment. *Acta Ecologica Sinica*, 13(4): 356–363. [翟保平, 张孝曦, 1993. 迁飞过程中昆虫的行为：对风温场的适应和选择. 生态学报, 13(4): 356–363.]

Zhang D, Dong QJ, Huo LX, Ning SF, Zhao Q, Zhang WM, Qu LL, Meng W, Zhou JC, Dong H, 2021. The First report of the invasive pest, *Spodoptera frugiperda* JE Smith, in Liaoning province. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 52(3): 343–348. [张丹, 董前进, 霍梁霄, 宁素芳, 赵倩, 张万民, 屈丽莉, 孟威, 周金成, 董辉, 2021. 辽宁省发现入侵性草地贪夜蛾. 沈阳农业大学学报, 52(3): 343–48.]