申请代码	D0113
接收部门	
收件日期	
接收编号	4257010607



国家自然科学基金

申 请 书

（2 0 2 5 版）

NSFC 2025

资助类别：面上项目

亚类说明：

附注说明：

项目名称：综合多源数据的草地贪夜蛾迁飞入侵预警方法研究

申 请 人：董莹莹　　BRID：05176.00.91891

办公电话：010-82176625

依托单位：中国科学院空天信息创新研究院

通讯地址：北京市海淀区邓庄南路9号

邮政编码：100094　　单位电话：010-82177273

电子邮箱：dongyy@aircas.ac.cn

国家自然科学基金委员会

基本信息

申请人信息	姓　　名	董莹莹	性别	女	出生年月	1984年05月	民族	汉族
	学　　位	博士	职称	副研究员				
	是否在站博士后	否		电子邮箱	dongyy@aircas.ac.cn			
	办公电话	010-82176625		国别或地区	中国			
	申请人类别	依托单位全职						
	工　作　单　位	中国科学院空天信息创新研究院/遥感与数字地球全国重点实验室						
	主 要 研 究 领 域	植被病虫害遥感						

依托单位信息	名　　称	中国科学院空天信息创新研究院		
	联　系　人	刘承府	电子邮箱	liuchengfu@aircas.ac.cn
	电　　话	010-82177273	网站地址	

合作研究单位信息	单 位 名 称
	北京市农林科学院

项目基本信息	项目名称	综合多源数据的草地贪夜蛾迁飞入侵预警方法研究		
	英文名称	Early Warning of the Migration and Invasion of Fall Armyworm with Multi-source earth observation data		
	资助类别	面上项目	亚类说明	
	附注说明			
	申请代码	D0113.遥感科学		
	研究期限	2026年01月01日 -- 2029年12月31日	研究方向：农业遥感	
	申请直接费用	54.9900万元		
	研究属性	目标导向类基础研究		
中文关键词		病虫害；高光谱遥感；多光谱遥感；可见光-近红外遥感；草地贪夜蛾		
英文关键词		Disease and Pest; Hyperspectral Remote Sensing; Multispectral Remote Sensing; Visible Near-infrared Remote Sensing; Fall Armyworm		

NSFC 2025

中文摘要	气候变化引起的农业虫害日益加剧，植保部门以地面点状调查为主的监测方式和气象预警为主的粗放预测模式，难以满足精准防控需求。本项目以重大迁飞性虫害草地贪夜蛾为研究对象，研究综合多源数据的害虫入侵预测方法。主要包括：（1）综合历史与现势数据，耦合遥感机制与虫害迁飞扩散机理，阐明虫害迁飞扩散与寄主和生境的时空关联，实现洲际草地贪夜蛾迁飞路径和扩散区域动态预警建模，（2）建立虫害入侵时空监测方法，实现复杂地学场景下的虫源、寄主、环境指标的精细提取和面状时空动态更新，构建虫害入侵我国通道的空间位置和入侵时段的高精度监测模型，（3）建立区域综合治理模式，研发多层级防控路线布设方法和防控策略制定方法，并开展模型验证和优化更新。预期研究结果将突破现有基于气象信息建立的模型无法获得虫害入侵精准信息的现状，实现虫害入侵动态预警高精度建模和入侵通道高精度监测，为虫害精准防控提供理论依据与技术支持。
英文摘要	Climate change has exacerbated agricultural pest infestations, particularly impacting migratory pests such as Spodoptera frugiperda (Fall Armyworm). Traditional monitoring approaches, predominantly reliant on ground-based point surveys, and rudimentary forecasting models driven by meteorological data, are insufficient to meet the precision required for effective pest management. This study proposes an integrated multi-source data framework to address these limitations, focusing on the following objectives. (1) Dynamic early-warning modeling of transcontinental migration pathways. By synthesizing historical and real-time datasets with remote sensing mechanisms and pest migration dynamics, this research elucidates the spatiotemporal correlations between pest dispersal, host vegetation, and habitat conditions. The resulting models aim to predict migration routes and infestation zones at a continental scale. (2) High-precision spatiotemporal monitoring of invasion channels. Advanced methodologies are developed to extract and dynamically update critical indicators-including pest sources, host availability, and environmental variables-within complex geographic contexts. These enable precise identification of invasion pathways into China and temporal forecasting of infestation risks. (3) Regional integrated management and strategy optimization. Multi-tiered pest control strategies are formulated, incorporating route planning and adaptive prevention protocols. Rigorous model validation ensures continuous refinement of these approaches to enhance accuracy and applicability. This research transcends the constraints of conventional meteorology-centric models by integrating diverse data streams, thereby achieving unprecedented precision in invasion forecasting and pathway monitoring. The prospective research findings will transcend the current limitations of meteorologically driven models in acquiring precise pest invasion intelligence, thereby facilitating high-precision spatiotemporal modeling for dynamic invasion early warnings and systematic surveillance of infestation pathways. This advancement will establish a robust theoretical framework and technical infrastructure for targeted pest management strategies.

NSFC-2025

主要参与者（注：主要参与者不包括项目申请人）

编号	姓名	出生年月	性别	职 称	学 位	工作单位	项目分工	办公电话	证件号码
1	王纪华	1958-03-05	男	研究员	博士	北京市农林科学院	害虫迁飞机理解析	010-51503488	2**********8

总人数统计（注：包括项目申请人、主要参与者及其他参与人员；勿重复计数）

总人数	高级职称	中级职称	初级职称	博士后	博士生	硕士生	本科生及其他学生	其他
6	2	0	0	0	2	2	0	0

NSFC 2025

国家自然科学基金预算制项目预算表

项目申请号：4257010607　　项目申请人：董莹莹　　金额单位：万元

序号	科目名称	金额
1	一、科学基金资助项目直接费用合计	54.9900
2	1、 设备费	4.0000
3	其中：设备购置费	0.0000
4	2、 业务费	30.5900
5	3、 劳务费	20.4000
6	二、 合作研究外拨资金	10.9980
7	三、 其他来源资金	0.0000

注：1.请按照项目研究实际需要合理填写各科目预算金额。
2.表中第1行=第2行+第4行+第5行。
3.合作研究外拨资金可包含直接费用和间接费用。如果不存在外拨资金的情形，此处请填“0”。

NSFC 2025

预算说明书

一、科学基金资助项目直接费用

请按照《国家自然科学基金项目申请书预算编制说明》等有关要求，按照政策相符性、目标相关性和经济合理性原则，实事求是编制项目预算。填报时，每个科目应结合科研任务按支出用途进行基本测算说明。

本项目申请直接费用54.99万元，各项预算如下:

1.设备费（是指在项目实施过程中购置或试制专用仪器设备，对现有仪器设备进行升级改造，以及租赁外单位仪器设备而发生的费用。计算类仪器设备和软件工具可在设备费科目列支。填报时，应对设备费支出的必要性和测算的合理性等内容进行说明。单价大于50万元（含50万元）的设备需补充说明设备的主要性能指标、主要技术参数等内容;单价小于50万元的设备仅需按照设备购置费、试制改造费和租赁使用费分类进行说明即可。）

设备费（4.00万元）

1.1 购置设备费（0.00万元）

1.2 设备租赁费（4.00万元）

本项目需建立草地贪夜蛾迁飞预警模型和入侵通道监测模型，建模过程需要租赁车载型昆虫探测雷达以获取草地贪夜蛾空间分布和丰度数据，为模型训练和验证提供依据。预计租赁车载型昆虫探测雷达1台，租赁价格为10000元/次•台，由于我国南部的海南、云南、广西、广东、贵州等地为草地贪夜蛾的周年繁殖区，按照每年监测1次计算，4年实验共计花费：10000元/次•台×1台×1次/年×4年=4.00万元。

2.业务费（是指项目实施过程中消耗的各种材料、辅助材料等低值易耗品的采购、运输、装卸、整理等费用，发生的测试化验加工、燃料动力、出版/文献/信息传播/知识产权事务、会议/差旅/国际合作交流等费用，以及其他相关支出。填报时，应按照支出大类进行基本测算说明。）

业务费（30.59万元）

2.1 材料费（5.96万元）

本项目执行过程中需要购买部分商业卫星数据为高空间分辨率的草地贪夜蛾迁飞预警与入侵通道监测提供数据支持，也需要为草地贪夜蛾地面同步调查购买野外试验材料，所需费用共计5.96万元。

（1）遥感数据购买（4.96万元）

用于购买高分辨率商业影像数据，作为高空间分辨率的草地贪夜蛾迁飞预警产品与入侵通道监测产品生产的主要数据源。本项目的国内研究区域为我国南部的海南、云南、广西、广东、贵州等地区，拟购买Planet和WorldView系列等高分辨率卫星数据，其中：Planet高分辨率卫星数据预计影像覆盖区域面积200平方公里，按照6元/平方公里计算，每年需要购买2次影像数据，购买4年，共计200平方公里×6元/平方公里×2次/年×4年=0.96万元。WorldView系列卫星影像以WorldView2为例，预计影像覆盖区域面积为50平方公里，按照200元/平方公里计算，每年需要购买1次影像数据，购买4年，共计50平方公里×200元/平方公里×1次/年×4年=4.00万元。

（2）野外试验材料（1.00万元）

购买野外试验材料用于获取草地贪夜蛾野外观测样本，进而为草地贪夜蛾迁飞预警模型和入侵通道监测模型验证提供数据，具体包括采样袋、保温箱、参考白板、野外实验通用蓄电池、记号笔、标签、实验服套装、手套等野外试验耗材，4年费用共计1.00万元。

2.2 测试化验加工费（8.00万元）

本项目执行过程中需要对草地贪夜蛾迁飞预警模型和入侵通道监测模型所需的训练及验证的样本数据进行化验分析，包括草地贪夜蛾生态生理参数、草地贪夜蛾危害叶片理化参数、植株冠层叶面积指数、土壤氮素含量、土壤湿度等。上述工作预计需要测试化验加工费共计8.00万元。

（1）草地贪夜蛾迁飞预警采样点样本测定分析费（4.00万元）

用于草地贪夜蛾迁飞预警模型构建时所采集样本的测定分析，包括土壤氮含量、土壤湿度、草地贪夜蛾生态生理参数等。本项目在海南、云南、广西、广东、贵州等重点区域共设置采样区100个，每年采集样本5次，4年共获取采样区数据100个×5×4=2000个。需要对每个样本点的数据进行测定分析，每个样本点的测定费用为20元，总计2000个×20元/个=4.00万元。

（2）草地贪夜蛾入侵监测采样点样本测定分析费（4.00万元）

用于草地贪夜蛾入侵监测模型构建时所采集样本的测定分析，包括草地贪夜蛾危害叶片理化参数、植株冠层叶面积指数、植株密度、生育期等。本项目在海南、云南等入侵重点监测区域共设置采样区100个，每年采集样本5次，4年共获取采样区数据100个×5×4=2000个。需要对每个样本点的数据进行测定分析，每个样本点的测定费用为20元，总计2000个×20元/个=4.00万元。

2.3 出版/文献/信息传播/知识产权事务费（7.40万元）

主要包括论文版面费、专利申请费、文献资料购买与检索费等，共7.40万元。

（1）论文版面费（6.40万元）

项目计划发表SCI论文8篇，每篇SCI论文版面费约为8000元，本项目所需论文版面费共8000元/篇×8篇=6.40万元。

（2）专利申请费（1.00万元）

专利申请费用约5000元/项，本项目计划申请专利2项，共计2项×5000元/项=1.00万元。

2.4 会议/差旅/国际合作交流费（9.23万元）

（1）差旅费（6.89万元）

本项目在执行过程中需在海南、云南、广西、广东、贵州等地开展草地贪夜蛾入侵通道监测实验。计划开展实验4次，每次5天，每次3人。城市间交通费按平均800元/人次计算，餐补和交通补助按180元/天•人计算，住宿标准按350元/天•人，费用合计（800元/人次×3人+180元/天•人×3人×5天+350元/天•人×3人×5天）×4次=4.14万元。

本项目需在国内参加相关学术会议，计划6人次，每次3天。会议注册费1500元/人次，城市间交通费按1500元/人次计算，餐补和交通补助按180元/天•人计算，住宿标准按350元/天•人，费用合计1500元/人次×6人次+1500元/人次×6人次+180元/天•人×6人次×3天+350元/天×6人次×3天=2.75万元。

（2）会议费（2.34万元）

项目实施过程中计划举办3次会议，包括项目启动会1次，项目执行研讨会1次，项目验收会1次。会议的相关餐饮、住宿、杂费等费用标准参照《中央和国家机关会议费管理办法》中四类会议测算，共计2.34万元，详细预算如下：召开项目启动会1次，预计参加人数为20人，会议用时1天，按照四类会议费标准450元/人•天，费用合计1天×450元/人•天×20人=0.90万元。召开执行研讨会1次，预计参加人数为12人，会议用时1天，按照四类会议费标准450元/人•天，费用合计1天×450元/人•天×12人=0.54万元。召开项目验收会1次，预计参加人数为20人，会议用时1天，按照四类会议费标准450元/人天，费用合计1天×450元/人•天×20人=0.90万元。合计2.34万元。

3.劳务费（是指在项目实施过程中支付给参与项目研究的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员等的劳务性费用，以及支付给临时聘请的咨询专家的费用等。填报时，应综合考量劳务费支出对象所承担研究任务的必要性、投入本项目的工作时长、费用标准的合理性等因素，按照人员类别进行基本测算说明。专家咨询费应按照国家有关规定执行。）

劳务费（20.40万元）

3.1 劳务性费用（18.00万元）

根据中国科学院空天信息创新研究院研究生津贴标准，博士研究生津贴每人按1500元/月发放，硕士研究生津贴每人按1000元/月发放，参与本项目的博士研究生2人，硕士研究生2人，4年每人累计工作30个月（参与工作的学生若毕业，后续工作由新生接替）。博士生津贴：2人×30月×1500元/人月=9.00万元，硕士生津贴：2人×30月×1000元/人月=6.00万元，合计15.00万元。科研助理按1500元/月发放，参与本项目的科研助理1人，累计工作20个月，合计1人×20月×1500元/人月=3.00万元。劳务费合计：15.00万元+3.00万元=18.00万元。

3.2 专家咨询费（2.40万元）

用于项目执行期间项目启动、科研交流、项目研讨、执行检查和项目验收等聘请专家所需的费用，专家咨询费共计2.40万元。详细预算如下：项目召开项目启动会1次，预计邀请专家6人，会议时间为1天，专家咨询费发放标准为1500元/人•天，小计：1天×1500元/人•天×6人=0.90万元。项目召开执行研讨会1次，预计邀请专家4人，会议时间为1天，专家咨询费发放标准为1500元/人•天，小计：1天×1500元/人•天×4人=0.60万元。项目召开验收会1次，预计邀请专家6人，会议时间为1天，专家咨询费发放标准为1500元/人•天，小计：1天×1500元/人•天×6人=0.90万元。共计2.40万元。

二、合作研究外拨资金

对合作研究单位承担研究任务及资金外拨情况等进行必要说明。如存在多个合作研究单位，请逐一说明。对于资金外拨，需说明经协商一致后确定的直接费用、间接费用转拨情况。

北京市农林科学院在草地贪夜蛾发育及迁飞机理研究方面具备显著优势，拥有专业的科研团队、先进的研究设备以及丰富的实践经验，能够为项目提供坚实的技术支撑。在本项目中，依托单位中国科学院空天信息创新研究院与合作研究单位北京市农林科学院已签署合作研究协议。根据协议内容，合作单位研究任务负责人为王纪华研究员，合作研究单位主要负责解析项目中草地贪夜蛾各个生长阶段的迁飞机制，配合项目依托单位构建草地贪夜蛾迁飞动态预警模型。项目立项后，依托单位中国科学院空天信息创新研究院将按照协议约定，向合作研究单位北京市农林科学院拨付立项经费的 20% 作为专项研究经费，以保障合作研究任务的顺利开展。

三、其他来源资金

对其他来源资金的经费来源、资金具体开支用途做简要说明。

无。

报告正文

参照以下提纲撰写，要求内容翔实、清晰，层次分明，标题突出。**请勿删除或改动下述提纲标题及括号中的文字。**

（一）立项依据与研究内容（建议 8000 字以下）：

1. 项目的立项依据（研究意义、国内外研究现状及发展动态分析，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）：

1.1 研究意义

虫害是威胁粮食安全的重要因素，随着全球气候变化，害虫生存环境扩张、生长发育进程缩短、迁飞扩散速度加快、危害等级加重的趋势日益加剧。全球每年因虫害损失的粮食产量多达 40%，由害虫入侵造成的损失约 700 亿美元。草地贪夜蛾（*Spodoptera frugiperda*）是全球重大迁飞性虫害之一，其源自美洲，2016 年传入非洲，2018 年自中南半岛扩散至我国云南，2019 年迅速扩散至我国 26 个省份/直辖市的 1524 个县，发生面积高达 1688 万亩，引起了国家的高度重视。2020 年中央一号文件首次明确指出“抓好草地贪夜蛾等重大病虫害防控，推广统防统治”，务必确保粮食安全和社会稳定，此后数年中央一号文件多次强调确保草地贪夜蛾等虫害防控责有人负、活有人干、事有人管。我国针对草地贪夜蛾采取了严格的防控措施，取得了一定的成效，但在气候变化背景下，草地贪夜蛾的繁殖环境、发育进程、寄主物候、迁飞条件等不断改变，导致其迁飞路径和扩散区域持续变化，防治任务依然十分艰巨。**如何在气候变化背景下开展草地贪夜蛾迁飞入侵预警和入侵通道监测，是目前亟需解决的重要科技问题，也是支撑科学精准防控的关键所在。**

近年来，对地观测技术作为一种大范围快速获取地表时空连续信息的手段，被广泛应用于虫害测报和作物损失评估。国内外先后发射了多颗高时空分辨率遥感卫星，包括 Landsat 系列、Sentinel 系列、GF 系列等，基于多卫星协同的对地观测系统能够实现高达米级的空间分辨率和 4-5 天的全球重访周期。同时，持续优化更新的气象站点数据和气象再分析资料，不断加密的洲际和国内植保观测站点，以及愈加精细的全球基础地理数据、土地利用/土地覆盖数据等均为草地贪夜蛾动

NSFC 2025

态迁飞预警和入侵监测提供了时空连续、类型丰富的海量数据资源。然而，与多源数据的获取能力相比，草地贪夜蛾动态监测预警技术方法和防控综合决策方法相对滞后，无法为虫害防控提供有效的信息和技术支撑。

本项目旨在突破当前草地贪夜蛾预警与防控技术的瓶颈，通过遥感与生物学机理的结合，构建高精度的草地贪夜蛾迁飞路径与区域动态预警系统，解析害虫扩散的驱动机制，为精准防控提供科学依据。通过遥感与大数据技术的深度融合，研究虫源、寄主和环境等要素的时空动态，为害虫入侵通道的精准监测提供技术支持。此外，项目还将基于综合治理模式，研发多层级的防控策略，优化防控路线布设方法，推动精准防控的智能决策应用，以便在动态变化的气候背景下有效应对草地贪夜蛾的入侵威胁。通过本项目的实施，不仅能够提升草地贪夜蛾预警的精准度和效率，还能为全球范围内的虫害防控提供可操作的解决方案，减少作物损失，保障粮食安全。尤其是在气候变化对农业生态系统产生深远影响的背景下，本项目将为农业防控提供创新的技术路径，推动智慧农业的发展，并在全球农业防灾减灾领域具有广泛的应用前景。

1.2 国内外研究现状及发展动态分析

（1）基于气象因子的害虫迁飞扩散预警方法研究

迁飞性害虫的迁飞活动对农业生态系统构成了极大威胁，准确预警其迁飞路径和扩散范围，对于提高害虫防控能力至关重要。随着气象技术和迁飞模型的深入应用，当前研究已经采取多种方法预测和模拟害虫的迁飞扩散路径。当前主要考虑气象因子对于迁飞性害虫的迁飞扩散的驱动，尤其是温度、湿度、风速等，成为了预测模型中的关键因子。通过长期的气象观测和数据分析，能够有效地评估气候条件对迁飞性害虫的影响，从而预测其潜在的扩散区域。

迁飞性害虫的发生与扩散受到多种因素的驱动，其中气象因子是最为关键的预警因子之一。以气象数据为基础的害虫预测研究通常依赖多年的观测资料，通过建立农学-气象模型，分析虫情调查数据与气象因子之间的关系，并根据未来气象条件，预测害虫的发生与扩散。Meagher et al.（2005）通过对美国南佛罗里达州害虫历史发生情况的分析，发现温度下降和旱涝灾害频发与害虫爆发密切相关，全球变暖可能导致区域性害虫爆发的风险增加。Lezama-Gutiérrez et al.（2013）对美国墨西哥州害虫的发生情况进行分析，发现该地区害虫发生与降水量密切相关，温度变化的影响较小，降水和干旱程度对害虫发生具有较强的预测能力。这些研究表明，气象因子，特别是温度、降水、湿度和风速等，对迁飞性害虫的扩散具

有显著影响。F. Voss & U. Dreiser（1994）通过使用国家海洋和大气管理局高分辨率数据（NOAA AVHRR）结合实际气象数据预估和分析了研究区域蝗虫发生扩散与环境的关系。**但其不足是，气象因素主要基于地面气象站点观测获取数据，无法反映真实的局地害虫寄主和环境等特性差异对虫害发生扩散的影响。**

此外，气象因素也是分析害虫迁飞轨迹、追溯虫源地、预测降落区的有效手段。以气象因素为主的虫害预警方法在虫害测报中发挥了重要作用。昆虫的迁飞活动并非完全依靠自主飞行动力来进行的，他们会以风为媒介来实现向外迁飞，这有助于它们抵达至更远的地方，因此大气轨迹模型逐渐成为昆虫迁飞路径模拟的常用研究手段之一。王健等（2017）结合 WRF 模式气象预报与 FLEXPART 模式对白背飞虱首次入侵广西省兴安县的虫群进行了溯源分析，结果表明虫源地位于越南北部以及广西省两个地级县，低空急流提供了迁飞动力，下沉气流与降雨、低温使得白背飞虱聚集降落在兴安县。Zhang et al.（2018）通过 WRF-FLEXPART 模式分析了 2013 年北方第一代粘虫的虫源地及其后续的迁飞路径。他们认为入侵北京延庆的粘虫来自安徽、江苏和湖北三省，接下来将会继续北上入侵东北农业区。胡朝兴（2018）构建了 Flexpart-Insect 昆虫迁飞轨迹模型，分析了迁飞行为参数的敏感性，并将其应用在了褐飞虱、稻纵卷叶螟、草地螟、甜菜夜蛾以及白背飞虱这五种迁飞昆虫上，验证了该模型的有效性。Makra et al.（2018）利用 HYSPLIT 后向轨迹模式探究了入侵中欧的蓟马源生地，并评估了蓟马长距离迁飞的可能性。Huestis et al.（2019）根据多年的观测数据，借助 HYSPLIT 模型模拟了萨赫勒地区疟疾蚊子的风传长距离迁飞活动。

综上，现有的研究大多仅依靠单一的气象因素进行害虫的迁飞扩散预测，缺乏多因子交互作用的全面考虑，且预警结果往往呈现为离散的散点形式，缺乏对害虫扩散过程的时空连续性表征。这种时空连续性差的预警结果使得实际防控中难以精确定位害虫的传播路径和扩散范围，无法满足综合防控的需求。因此，如何将气象数据、遥感技术与生物学驱动的扩散模型相结合，构建时空连续的害虫迁飞预警模型，是提升害虫预测精度、提高防控效率的关键研究方向。

（2）基于遥感技术的害虫迁飞扩散预警方法研究

近年来，随着遥感技术的不断进步，尤其是在大范围、高精度的时空观测能力上取得的显著突破，遥感技术在虫害迁飞入侵预测中发挥了越来越重要的作用。通过遥感数据，研究者能够实时监测和分析虫害的扩散情况，为预测害虫的迁飞路径、入侵通道及入侵时段提供了科学依据和技术支持。在害虫迁飞扩散预警的

研究中，遥感技术不仅帮助捕捉了气候因子的动态变化，还为害虫的迁飞路径模拟和预测提供了关键数据。对于草地贪夜蛾迁飞预测的研究，遥感技术的引入为其迁飞预测带来了新的可能性。在迁飞模型的研究基础之上，遥感生境模型与迁飞模型的结合，使得害虫迁飞路径的模拟变得更加精确，进一步提升了预测的可靠性和全面性，为跨区域的虫害防控提供系统的信息支撑。

✧ 基于昆虫雷达的害虫迁飞预警

昆虫体内的含水量超过 80%，属于极佳的电磁波反射体，而且雷达在监测时不会影响昆虫自身的迁飞行为。Riley et al.（1975）等人于 1973 年在马里共和国的尼日尔冲积平原通过雷达观察了夜间飞行的昆虫迁飞情况，发现迁飞昆虫种群在飞行过程中具有共同定向现象。Wolf et al.（1986）等人利用雷达观测确认美国中部的草地贪夜蛾会进行远距离的迁飞，从德克萨斯州及里奥格兰德河出发，向北迁徙至美国高纬度地区。吉林省农科院植保所在 1984 年组建了国内第一台扫描式昆虫雷达，并实现了对草地螟的迁飞观测（张智等，2017）。从那以后，我国开展了对重大迁飞性害虫，如棉铃虫、粘虫、草地螟的长时序监测工作，并从中探究了迁飞规律（Rui-Lu C et al., 1989）。罗杰等（2016）通过谐波雷达技术对柑橘大实蝇的活动、取食以及交配等生活习性进行了观察实验，结果表明昆虫谐波雷达可以有效追踪橘园、森林中柑橘大实蝇的扩散行为。Hu et al.（2016）通过对昆虫垂直监测雷达数据进行分析，发现每年跨越英国上方的迁飞昆虫约 3.5 亿只，而且迁飞的方向随着季节的变迁发生变化。当下昆虫雷达的研究正在往全极化雷达方向发展，王锐等（2021）基于全极化雷达反演了昆虫轴方位、体重、体长等生物参数，反演精度较之传统方法有了一定的提高。**然而，昆虫雷达技术存在局限性，难以对大尺度的昆虫迁飞活动进行有效观测，无法满足大面积监测需求。**

✧ 基于卫星影像的害虫寄主和环境监测

鉴于昆虫雷达技术的局限性，基于卫星影像的害虫寄主和环境监测方法应运而生。卫星影像能够获取大面积的地表信息，多光谱和高光谱卫星影像可捕捉不同波段的反射率特征。利用高光谱影像精细的波段划分，可精准识别玉米、小麦等多种寄主类型，提前预判害虫孳生风险。在生境监测方面，卫星影像可呈现地形地貌、植被覆盖度等生境因子，生境因子通常在空间和时间上是自相关的（如温度通常同时具有纬度和季节变化特性），时空变量对物候模式发生（年度迁移、产卵行为等）而言是强有力的预警因子。基于遥感技术可以进行虫害适生区的提取，适生区是满足虫害生物学特征及生境要求的区域，对虫害潜在适生区和扩散

范围进行预测有助于早期防治工作的开展。目前主要通过已知虫害的空间分布数据和从地面气象站点或遥感反演得到的生境因子，根据物种分布模型（SDMs）模拟预测其潜在分布，常见的有 CLIMEX、MaxEnt、GARP、BIOCLIM、DOMAIN、RF 等算法。孙小旭等调查草地贪夜蛾成虫后代幼虫在鲜食玉米田的种群密度和为害情况，分析了幼虫种群的空间分布格局，表明幼虫在玉米田呈聚集分布，环境是导致聚集分布的主要因素，可通过其寄主生长特征和主要生境进行虫害预测；Ahmad et al.（2021）通过对 1997-2005 年间巴基斯坦草地贪夜蛾多年发生情况进行分析，认为虫害发生变化与适生区植被生长物候有密切的联系，并进行预测建模；Pekel et al.（2010）结合 MODIS 和 SPOT 提取 MIR、NIR 和 Red 波段反射率进行重新组合，实现绿度地图的绘制，该地图自 2010 年起被用于全球沙漠蝗监测预警。Tronin et al.（2014）使用 NOAA 和 EOS 卫星数据，选择 NDVI、干旱度及太阳黑子数量等指标为基础构建蝗灾指数，从而预警蝗灾发生风险。Piou et al.（2019）发现，利用 250m 分辨率的归一化植被指数 NDVI，结合从 NDVI 中得出的二级指标的一致性构建（如 NDVI 的时间变化）表征植被变化，发现植被覆盖度的最优值提取有利于寻找沙漠蝗，在大尺度区域，植被越多发现沙漠蝗的概率越低。Escorihuela et al.（2018）基于 SMOS 卫星数据，采用 DisPATch 方法生产 1km 分辨率的土壤湿度数据集，精度达 70%，该数据集分别纳入 National Locust Centres 和 FAO 用于沙漠蝗早期预警。**然而，尽管遥感技术提供了精细的生境数据和更高分辨率的环境变量，但生境因子与害虫发生的关系仍未被全面、系统地解析。**

✧ 草地贪夜蛾的迁飞入侵遥感预测研究

遥感技术为害虫的迁飞路径模拟、入侵通道及入侵时段预测提供了新的研究方法和技术手段。通过遥感影像数据，研究人员能够获取大范围的植被状况、气象条件以及其他环境因子，为草地贪夜蛾的迁飞轨迹和入侵通道的预测提供了有力支撑。例如，使用遥感数据与气象模型结合的研究表明，气候条件（如风速、气温、降水等）和地面植被状况是影响草地贪夜蛾迁飞路径的关键因素。近年来，一些学者采用迁飞模型与遥感数据相结合的方法，进行草地贪夜蛾迁飞路径的模拟。Westbrook et al. (2016) 利用 HYSPLIT 轨迹分析模型分别模拟了美洲不同冬季繁殖区草地贪夜蛾的迁徙飞行，确定了在佛罗里达州与德克萨斯州越冬的草地贪夜蛾回暖后迁徙的路径。还有研究人员基于 WRF 模式的轨迹计算程序先后完成了草地贪夜蛾入侵中国的路径、在中国的周年发生动态以及从中国进一步入侵韩国、日本的可能性分析等多项研究（陈辉等，2020；吴秋琳等，2022；Wu M F et al., 2022）。

这些模拟研究不仅帮助确定害虫可能的迁飞路径，还能预测其扩散范围和入侵时段。**然而，当前基于遥感数据的草地贪夜蛾入侵通道与时段预测仍面临一些挑战。尽管遥感数据能够提供广泛的空间和时间覆盖，但入侵路径和入侵时段的预测时间频度较低，难以及时捕捉短期内的变化，且空间精度存在差距，在精准定位具体入侵区域上有所欠缺。现有的研究主要集中在较大尺度的区域预测，缺乏对具体入侵时段和入侵通道的高频度、精准预警。**

在迁飞模型基础上，近年来结合生境模型和迁飞模型的动态预测系统逐渐发展起来，这为草地贪夜蛾的迁飞入侵预测提供了更为全面和系统的解决方案。这类研究不仅依赖于遥感数据提取的植被生长信息和气象条件，还进一步结合 SDMs 和生境适宜性分析，精确预测害虫的适生区及其迁飞动态。例如，结合 MaxEnt 或 CLIMEX 等物种分布模型与遥感数据，研究人员可以基于气候变化预测草地贪夜蛾的潜在适生区和迁飞路径。通过这类模型，研究者能够动态地评估寄主植物的生物物候、气候变化对虫害发生的影响，并预测迁飞的起点、路径及可能的入侵区域。例如，一些研究通过将遥感数据提取的物候变化（如 NDVI、EVI 等）与迁飞模型结合，预测草地贪夜蛾的迁飞路径和扩散趋势。Huang et al.（2022）基于遥感和气象产品对复杂地理场景的连续观测，充分考虑草地贪夜蛾的生态生理特性和外部环境条件，将数值轨迹模型 WRF 与考虑草地贪夜蛾对环境的生理响应的机理生境适宜性模型耦合，从而预测草地贪夜蛾的扩散过程。Wang et al.（2023）基于草地贪夜蛾生物学特性的先验知识及多源气象数据，构建了基于 CLIMEX 的草地贪夜蛾适生区分布预测模型，并在适生区分布的基础上，利用大气轨迹分析模型 HYSPLIT 分析了草地贪夜蛾以北非为迁飞源迁入欧洲的风险，得到了草地贪夜蛾可能的迁入通道及时段。**然而，现有的研究大多集中于局部区域的迁飞预测，模型普适性较差，不同区域间缺乏有效的模型参数联动机制，难以在大区域的复杂地表环境下实现精准高效的草地贪夜蛾迁飞预测。**

以上研究在草地贪夜蛾的迁飞预测等方面做出了具有学术价值和现实意义的探索，但在寄主作物和环境多因素协同与集成的时空定量分析方面仍存在不足，无法实现害虫热点发生区和扩散危害区的精细尺度提取，未能实现动态高精度的虫害预警与防控响应。集中于局部区域的迁飞预测也导致全球草地贪夜蛾的防控呈现出较为独立的决策体系，缺乏跨国或跨区域的综合防控策略，进一步整合不同地区的生境、气候和生态数据，并制定更为统一的防控策略，仍是当前研究面临的重要挑战。因此，**如何综合考虑地理和气候特征、寄主分布及生长状况、虫**

害监测预警主要因子和重点关注时段等多因素，引入地球大数据和 AI 等数据分析和信息挖掘技术，构建高精度虫害监测预警和防控决策模型并拓展模型的时空普适性，将为全球迁飞性虫害多国联合高效绿色防控提供理论和技术支撑。

1.3 项目研究的科学意义及应用前景

综上，当前存在的问题主要体现在以下三个方面：1）现有的草地贪夜蛾迁飞预警结果时空连续性差，无法满足虫害区域综合防控需求。目前害虫时空轨迹预警模型主要依赖于气象数据，预警结果通常以散点形式表达害虫迁飞路径和落点位置，且较少考虑虫害迁飞扩散区域的寄主分布、物候、生境等因素，导致迁飞预警结果时空连续性差、精度低。如何耦合遥感模型和昆虫生物学迁飞扩散机理，阐明害虫繁殖和迁飞的触发机制和驱动模式，构建时空连续的迁飞预警模型是虫害入侵预警的重要研究方向。2）时间频度低、空间精度差的草地贪夜蛾入侵通道监测无法支撑虫害精准防控应用。目前草地贪夜蛾的入侵通道监测主要依赖于植保人员目测手查，监测成本高，且无法实现高时频、高精度的入侵通道监测。如何将海量高分辨率遥感观测数据与植保、气象、生物等数据相结合，精细提取害虫潜在入侵区的虫源、寄主、生境等指标，实现害虫入侵通道的时空高精度遥感监测是有效防控迁飞性害虫入侵的关键所在。3）当前各国草地贪夜蛾的防控策略相对独立，无法真正实现迁飞性入侵害虫的科学高效防治。草地贪夜蛾等洲际迁飞性害虫迁飞路径长、扩散区域广，其种群的发生和发展涉及多个国家和地区。目前相关国家尚未针对害虫的迁飞和入侵过程制定区域综合防控和入侵通道精准防控策略。如何基于草地贪夜蛾的迁飞预警和入侵监测结果，研发全方位多层级的防控综合决策方法是迁飞性虫害科学防控的研究趋势。

本项目针对上述问题，旨在研究草地贪夜蛾迁飞入侵预警和通道监测机理与方法，基于遥感机理、昆虫扩散机制和时空大数据分析技术，通过开展多源时空大数据与害虫迁飞扩散机理模型的耦合，从昆虫生物学、植被物候学和害虫分布、暴发触发机制、迁飞扩散模式出发研究害虫迁飞预警和入侵监测的响应机理和时空响应机制，并研究如何将遥感与虫害多层次机理模型耦合，通过更新多模型链接模式提升虫害监测预警的时空精度，突破现有模型入侵预警滞后且无法准确捕捉入侵通道的瓶颈，实现草地贪夜蛾入侵预警和通道监测高精度建模与应用。本项目将从增强机理和创新方法的角度提升我国及洲际草地贪夜蛾迁飞入侵预警和防控的科学性、准确性和时效性，研究成果将能够有效支持虫害区域综合治理，促进科技创新，保障粮食安全。

主要参考文献

[1] Ahmad, T., Ali, H. A., Ghaffar, A., Jehan, K., Mustafa, M. U., Ali, R., Faraz, A., Ramzan, M., 2021. Biomorphic characters of fall armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in Pakistan. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology 14(2), 13–18.

[2] Baloch, M.N., Fan, J., Haseeb, M., Zhang, R., 2020. Mapping Potential Distribution of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Asia. Insects 11, 172.

[3] Barker, B.S., Coop, L., Wepprich, T., Grevstad, F., Cook, G., 2020. DDRP: Real-time phenology and climatic suitability modeling of invasive insects. PLOS ONE 15, e0244005.

[4] Briscoe, N.J., Elith, J., Salguero-Gómez, R., Lahoz-Monfort, J.J., Camac, J.S., Giljohann, K.M., Holden, M.H., Hradsky, B.A., Kearney, M.R., McMahon, S.M., Phillips, B.L., Regan, T.J., Rhodes, J.R., Vesk, P.A., Wintle, B.A., Yen, J.D.L., Guillera-Arroita, G., 2019. Forecasting species range dynamics with process-explicit models: matching methods to applications. Ecology Letters 22, 1940–1956.

[5] Chapman, J.W., Drake, V.A., Reynolds, D.R., 2011. Recent Insights from Radar Studies of Insect Flight. Annual Review of Entomology 56, 337–356. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144820

[6] Chen, H., Mingfei, W., Liu, J., Aidong, C., Jiang, Y., Hu, G., 2020. Migratory routes and occurrence divisions of the fall armyworm Spodoptera frugiperda in China. Journal of Plant Protection 47, 747–757.

[7] Chormule, A., Shejawal, N., Sharanabasappa, C. M., Asokan, R., Swamy, H. M., Studies, Z., 2019. First report of the fall Armyworm, Spodoptera frugiperda (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae) on sugarcane and other crops from Maharashtra, India. Journal of entomology and zoology studies 7(1), 114–117.

[8] Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clottey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Early, R., Godwin, J., Gomez, J., Moreno, P.G., Murphy, S.T., Oppong-Mensah, B., Phiri, N., Pratt, C., Silvestri, S., Witt, A., 2017. Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa. outlook pest man 28, 196–201.

[9] Dong, Y., Huang, W., Geng, Y., Liu, L., Guo, A., Ruan, C., 2022. Crop Pest and Disease Remote Sensing Monitoring and Forecasting. EDP sciences.

[10] DPIRD, 2021. Fall armyworm in Western Australia [WWW Document]. URL https://www.agric.wa.gov.au/fall-armyworm-western-australia (accessed 11.5.22).

[11] Dreiser, U., 1994. Mapping of desert locust habitats in Africa using landsat thematic mapper data. GeoJournal 32(1), 55–60.

[12] Du Plessis, H., Schlemmer, M.-L., Van den Berg, J., 2020. The Effect of Temperature on the Development of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). Insects 11, 228.

[13] EFSA Panel on Plant Health (PLH), Jeger, M., Bragard, C., Caffier, D., Candresse, T., Chatzivassiliou, E., Dehnen-Schmutz, K., Gilioli, G., Gregoire, J.-C., Jaques Miret, J.A., Navarro, M.N., Niere, B., Parnell, S., Potting, R., Rafoss, T., Rossi, V., Urek, G., Van Bruggen, A., Van der Werf, W., West, J., Winter, S., Gardi, C., Aukhojee, M., MacLeod, A., 2017. Pest categorisation of Spodoptera frugiperda. EFSA Journal 15, e04927.

[14] Escorihuela, M. J., Merlin, O., Stefan, V., Moyano, G., Eweys, O. A., Zribi, M., Kamara, S., Benahi, A. S., Ebbe, M. A. B., Chihrane, J., Ghaout, S., Cissé, S., Diakité, F., Lazar, M.,

NSFC 2025

Pellarin, T., Grippa, M., Cressman, K., Piou, C., 2018. SMOS based high resolution soil moisture estimates for desert locust preventive management. Remote Sensing Applications: Society and Environment 11, 140–150.

[15] Fan, J., Wu, P., Tian, T., Ren, Q., Haseeb, M., Zhang, R., 2020. Potential Distribution and Niche Differentiation of Spodoptera frugiperda in Africa. Insects 11, 383.

[16] Ge, S., Zhang, H., Liu, D., Lv, C., Cang, X., Sun, X., Song, Y., He, W., Chu, B., Zhao, S., Wu, Q., Yang, X., Wu, K., 2022. Seasonal migratory activity of SPODOPTERA FRUGIPERDA (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) across China and Myanmar. Pest Management Science 78, 4975–4982.

[17] Gómez, D., Salvador, P., Sanz, J., Rodrigo, J. F., Gil, J., Casanova, J. L., 2021. Prediction of desert locust breeding areas using machine learning methods and SMOS (MIR_SMNRT2) Near Real Time product. Journal of Arid Environments 194, 104599.

[18] Gobeyn, S., Mouton, A.M., Cord, A.F., Kaim, A., Volk, M., Goethals, P.L.M., 2019. Evolutionary algorithms for species distribution modelling: A review in the context of machine learning. Ecological Modelling 392, 179–195.

[19] He, L., Zhao, S., Ali, A., Ge, S., Wu, K., 2021. Ambient Humidity Affects Development, Survival, and Reproduction of the Invasive Fall Armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae), in China. Journal of Economic Entomology.

[20] Hu, G., Lu, F., Lu, M.-H., Liu, W.-C., Xu, W.-G., Jiang, X.-H., Zhai, B.-P., 2013. The Influence of Typhoon Khanun on the Return Migration of Nilaparvata lugens (Stål) in Eastern China. PLOS ONE 8, e57277.

[21] Hu, G., Lim, K. S., Horvitz, N., Clark, S. J., Reynolds, D. R., Sapir, N., Chapman, J. W., 2016. Mass seasonal bioflows of high-flying insect migrants[J]. Science 354(6319): 1584-1587.

[22] Huang, Y., Dong, Y., Huang, W., Ren, B., Deng, Q., Shi, Y., Bai, J., Ren, Y., Geng, Y., Ma, H., 2020. Overwintering distribution of fall armyworm (Spodoptera frugiperda) in Yunnan, China, and influencing environmental factors[J]. Insects 11(11): 805.

[23] Kumela, T., Simiyu, J., Sisay, B., Likhayo, P., Mendesil, E., Gohole, L., Tefera, T., 2019. Farmers' knowledge, perceptions, and management practices of the new invasive pest, fall armyworm (Spodoptera frugiperda) in Ethiopia and Kenya. International Journal of Pest Management 65, 1–9.

[24] Lezama-Gutiérrez, R., Hamm, J. J., Molina-Ochoa, J., López-Edwards, M., Pescador-Rubio, A., González-Ramirez, M., Styer, E. L., 2001. Occurrence of entomopathogens of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) in the Mexican states of Michoacán, Colima, Jalisco and Tamaulipas. Florida Entomologist, 23–30.

[25] Li, X.-J., Wu, M.-F., Ma, J., Gao, B.-Y., Wu, Q.-L., Chen, A.-D., Liu, J., Jiang, Y.-Y., Zhai, B.-P., Early, R., Chapman, J.W., Hu, G., 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. Pest Management Science 76, 454–463.

[26] Luginbill, P., 1928. The Fall Army Worm. U.S. Department of Agriculture.

[27] Ma, J., Wang, Y.-P., Wu, M.-F., Gao, B.-Y., Liu, J., Lee, G.-S., Otuka, A., Hu, G., 2019. High risk of the fall armyworm invading Japan and the Korean Peninsula via overseas migration. Journal of Applied Entomology 143, 911–920.

[28] Makra, L., Bodnár, K., Fülöp, A., Orosz, S., Szénási, Á., Csépe, Z., Jenser, G., Tusnády, G., Magyar, D., 2018. The first record of subtropical insects (Thysanoptera) in central Europe:

NSFC 2025

long-distance transport of airborne thrips, applying three-dimensional backward trajectories: Long-distance transport of subtropical insects[J]. Agricultural and Forest Entomology 20(3): 301-326.

[29] Overton, K., Maino, J.L., Day, R., Umina, P.A., Bett, B., Carnovale, D., Ekesi, S., Meagher, R., Reynolds, O.L., 2021. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (Spodoptera frugiperda): A review. Crop Protection 145, 105641.

[30] Paudel Timilsena, B., Niassy, S., Kimathi, E., Abdel-Rahman, E.M., Seidl-Adams, I., Wamalwa, M., Tonnang, H.E.Z., Ekesi, S., Hughes, D.P., Rajotte, E.G., Subramanian, S., 2022. Potential distribution of fall armyworm in Africa and beyond, considering climate change and irrigation patterns. Sci Rep 12, 539.

[31] Pekel, J. F., Ceccato, P., Vancutsem, C., Cressman, K., Vanbogaert, E., Defourny, P., 2010. Development and application of multi-temporal colorimetric transformation to monitor vegetation in the desert locust habitat. IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing 4(2), 318–326.

[32] Piou, C., Gay, P. E., Benahi, A. S., Babah Ebbe, M. A. O., Chihrane, J., Ghaout, S., Cisse, S., Diakite, F., Lazar, M., Cressman, K., Merlin, O., Escorihuela, M. J., 2019. Soil moisture from remote sensing to forecast desert locust presence. Journal of Applied Ecology 56(4), 966–975.

[33] Qi, G.-J., Ma, J., Wan, J., Ren, Y.-L., McKirdy, S., Hu, G., Zhang, Z.-F., 2021. Source Regions of the First Immigration of Fall Armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) Invading Australia. Insects 12, 1104.

[34] Ramasamy, M., Das, B., Ramesh, R., 2022. Predicting climate change impacts on potential worldwide distribution of fall armyworm based on CMIP6 projections. J Pest Sci 95, 841–854.

[35] Rhodes, M.W., Bennie, J.J., Spalding, A., ffrench-Constant, R.H., Maclean, I.M.D., 2022. Recent advances in the remote sensing of insects. Biological Reviews 97, 343–360.

[36] Riley J R. Collective orientation in night-flying insects[J]. Nature, 1975, 253: 113-114.

[37] RUI-LU, C. H. E. N., XIANG-ZHE, B. A. O., Drake, V. A., Farrow, R. A., SU-YUN, W. A. N. G., YA-JIE, S. U. N., BAO-PING, Z. H. A. I., 1989. Radar observations of the spring migration into northeastern China of the oriental armyworm moth, Mythimna separata, and other insects[J]. Ecological Entomology 14(2): 149-162.

[38] Satterfield, D.A., Sillett, T.S., Chapman, J.W., Altizer, S., Marra, P.P., 2020. Seasonal insect migrations: massive, influential, and overlooked. Frontiers in Ecology and the Environment 18, 335–344.

[39] Shi, Y., Li, L.-Y., Shahid, S., Smagghe, G., Liu, T.-X., 2020. Effect of soil moisture on pupation behavior and inhabitation of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). Applied Entomology and Zoology 56.

[40] Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J.G., Duda, M.G., Barker, D.M., Huang, X.-Y., 2019. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. UCAR/NCAR.

[41] Spafford, 2021. Fall armyworm in Western Australia [WWW Document]. URL https://www.agric.wa.gov.au/fall-armyworm-western-australia?page=0%2C2 (accessed 11.5.22).

[42] Sun, R., Huang, W., Dong, Y., Zhao, L., Zhang, B., Ma, H., Geng, Y., Ruan, C., Xing, N., Chen, X., Li, X., 2022. Dynamic Forecast of Desert Locust Presence Using Machine Learning with a Multivariate Time Lag Sliding Window Technique. Remote Sensing 14, 747.

NSFC 2025

[43] Tronin, A. A., Gornyy, V. I., Kiselev, A. V., Kritsuk, S. G., Latypov, I. S., 2014. Forecasting of locust mass breeding by using satellite data. Curr. Probl. Remote Sens. Earth Space 11, 37–50.
[44] ssVoss, F., Dreiser, U., 1994. Mapping of desert locust and other migratory pests habitats using remote sensing techniques. New Strategies in Locust Control, 23–29.
[45] Wang, J., Huang, Y., Huang, L., Dong, Y., Huang, W., Ma, H., Zhang H., Zhang, X., Chen, X., Xu, Y., 2023. Migration risk of fall armyworm (Spodoptera frugiperda) from North Africa to Southern Europe[J]. Frontiers in Plant Science 14: 1141470.
[46] Wang, L., Hui, C., Sandhu, H.S., Li, Z., Zhao, Z., 2015. Population dynamics and associated factors of cereal aphids and armyworms under global change. Sci Rep 5, 1–8.
[47] Westbrook, J., Fleischer, S., Jairam, S., Meagher, R., Nagoshi, R., 2019. Multigenerational migration of fall armyworm, a pest insect. Ecosphere 10, e02919.
[48] Wolf, W. W., Sparks, A. N., Pair, S. D., Westbrook, J. K., Truesdale, F. M., 1986. Radar Observations and Collections of Insects in the Gulf of Mexico[M]//DANTHANARAYANA W. Insect Flight. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 221-234.
[49] Wu, M.-F., Qi, G.-J., Chen, H., Ma, J., Liu, J., Jiang, Y.-Y., Lee, G.-S., Otuka, A., Hu, G., 2022. Overseas immigration of fall armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae), invading Korea and Japan in 2019. Insect Science 29, 505–520.
[50] Wu, Q.-L., Jiang, Y.-Y., Liu, J., Hu, G., Wu, K.-M., 2021. Trajectory modeling revealed a southwest-northeast migration corridor for fall armyworm Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) emerging from the North China Plain. Insect Science 28, 649–661.
[51] Yang, X., Song, Y., Sun, X., Shen, X., Wu, Q., Zhang, H., Zhang, D., Zhao, S., Liang, G., Wu, K., 2021. Population occurrence of the fall armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae), in the winter season of China. Journal of Integrative Agriculture 20, 772–782.
[52] Zacarias, D.A., 2020. Global bioclimatic suitability for the fall armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae), and potential co-occurrence with major host crops under climate change scenarios. Climatic Change 161, 555–566.
[53] Zhang, L., Liu, Bo, Zheng, W., Liu, C., Zhang, D., Zhao, S., Li, Z., Xu, P., Wilson, K., Withers, A., Jones, C.M., Smith, J.A., Chipabika, G., Kachigamba, D.L., Nam, K., d'Alençon, E., Liu, Bei, Liang, X., Jin, M., Wu, C., Chakrabarty, S., Yang, X., Jiang, Y., Liu, J., Liu, X., Quan, W., Wang, G., Fan, W., Qian, W., Wu, K., Xiao, Y., 2020. Genetic structure and insecticide resistance characteristics of fall armyworm populations invading China. Molecular Ecology Resources 20, 1682–1696.
[54] Zhang, Z., Zhang, Y. H., Jian, W. A. N. G., Jie, L. I. U., Tang, Q. B., Li, X. R., Cheng, D. F., Zhu, X., 2018. Analysis on the migration of first-generation Mythimna separata (Walker) in China in 2013[J]. Journal of Integrative Agriculture 17(7): 1527-1537.
[55] 云南省农业农村厅, 2019. 草地贪夜蛾发生情况及防治建议 [WWW Document]. URL https://nync.yn.gov.cn/ (accessed 11.5.22).
[56] 胡朝兴, 2018. 昆虫迁飞轨迹模型 Flexpart-Insect 构建与应用[D]. 中国农业大学.
[57] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. 植物保护 45(02), 1–6.
[58] 吴秋琳, 姜玉英, 刘媛, 刘杰, 马景, 胡高, 杨明进, 吴孔明, 2022. 草地贪夜蛾在中国西北地区的迁飞路径. 中国农业科学 55(10), 1949–1960.
[59] 卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 马子龙, 何杏, 陈琪, 苏豪, 2019. 草地贪夜蛾的生物防治及潜在入侵风险. 热带作物学报 40(6), 1237–1244.

NSFC 2025

[60] 陈永林, 宋绍宗, 邓小山, 1963. 中国渤海及黄海海面迁飞昆虫的初步观察. 昆虫学报 12(2): 137–148.
[61] 张智, 张云慧, 姜玉英, 王健, 谢爱婷, 杨建国, 2017. 我国昆虫雷达发展现状与应用展望. 中国植保导刊 37(4), 27–32.
[62] 王锐, 李卫东, 胡程, 李沐阳, 毛华锋, 2021. 全极化昆虫雷达生物参数反演方法与外场定量试验验证. 信号处理 37(2), 199–208.
[63] 王健, 张云慧, 李祥瑞, 程登发, 2017. 基于 WRF-FLEXPART 模式的广西兴安县白背飞虱迁入过程分析. 植物保护学报 44(3), 427–435.
[64] 陈辉, 武明飞, 刘杰, 谌爱东, 姜玉英, 胡高, 2020. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划. 植物保护学报 47(4), 747–757.
[65] 全国农业技术推广服务中心, 2020. 2020 年草地贪夜蛾等迁飞性害虫呈重发态势对玉米生产威胁较大 [WWW Document]. URL https://www.natesc.org.cn/ (accessed 11.5.22).
[66] 农业农村部种植业管理司, 2022. 农业农村部关于印发《2020 年全国草地贪夜蛾防控预案》的通知 [WWW Document]. URL http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202002/t20200221_6337551.htm (accessed 11.5.22).
[67] 喜超, 姜玉英, 木霖, 郝若诗, 岳英, 李从荣, 桂富荣, 2019. 草地贪夜蛾在云南的潜在适生区分析及经济损失预测. 南方农业学报 50, 1226–1233.
[68] 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 赵慧媛, 李国平, 张浩文, 姜玉英, 杨现明, 吴孔明, 2019. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术. 植物保护 2, 13–18.
[69] 张洪亮, 李芝喜, 王人潮, 张军, 孟鸣, 2000. 基于 GIS 的贝叶斯统计推理技术在印度野牛生境概率评价中的应用. 遥感学报 66–70+83.
[70] 朱健, 姜玉英, 翟保平, 2018. 粘虫的秋季回迁: 2012-2013 年大发生年个例分析. 应用昆虫学报 55, 802–809.
[71] 杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营, 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. 植物保护 45, 1–6.
[72] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 宋琳琳, 2019. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展. 植物保护 45, 12–18.
[73] 王翔, 王利民, 2021. 草地贪夜蛾对我国农业生产潜在影响程度的分析. 中国农业资源与区划 42, 229–236.
[74] 罗举, 马健, 武明飞, 齐国君, 刘杰, 唐健, 胡高, 2020. 浙江入侵草地贪夜蛾的迁入虫源. 中国水稻科学 34, 80–87.
[75] 罗杰，桂连友，华登科, 2016. 昆虫谐波雷达在柑橘大实蝇行为学上的应用研究[J]. 环境昆虫学报, 38(3): 514-521.
[76] 芦芳, 翟保平, 胡高, 2013. 昆虫迁飞研究中的轨迹分析方法. 应用昆虫学报 50, 853–862.
[77] 葛世帅, 何莉梅, 和伟, 徐瑞斌, 孙晓婷, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾的飞行能力测定. 植物保护 45, 28–33.
[78] 郭井菲, 赵建周, 何康来, 张峰, 王振营, 2018. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国. 植物保护 44, 1–10.
[79] 齐国君, 马健, 胡高, 于永浩, 谌爱东, 高燕, 吕利华, 2019. 首次入侵广东的草地贪夜蛾迁入路径及天气背景分析. 环境昆虫学报 41, 488–496.

2. 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题（此部分为重点阐述内容）；

2.1 研究目标

本项目以全球重大迁飞性害虫草地贪夜蛾为研究对象，综合 Landsat 系列、Sentinel 系列、GF 系列等光学与 SAR 遥感数据，结合洲际虫害观测站点数据、气象数据产品等多源数据，实现以下目标：耦合遥感观测机理与害虫生物学特性，阐明害虫迁飞扩散与寄主和环境的时空关联，实现害虫迁飞路径和迁飞区域的动态预警建模；结合高分辨率遥感数据、海量虫源查见数据、昆虫雷达数据等，实现复杂地学场景下的虫源、寄主、环境指标的精细提取和面状时空动态更新，进而构建虫害时空拓扑网络，开展草地贪夜蛾入侵通道时空高精度遥感监测建模；在虫害迁飞预警和入侵监测的基础上，将洲际多源数据与草地贪夜蛾综合治理相结合，建立区域综合治理模式，并研发多层级防控路线布设方法和防控策略制定方法，支撑精准防控综合决策智能应用。

2.2 研究内容

（1）遥感机制与虫害机理耦合驱动的草地贪夜蛾迁飞动态预警方法

在全球气候变化背景下，基于时空大数据和遥感、生物、农学等机理模型，研究虫害迁飞驱动机制和动态预警模式，构建草地贪夜蛾迁飞预警方法。具体开展：①耦合遥感时空响应机制和虫害迁飞扩散机理，阐明洲际草地贪夜蛾各重点繁殖区的害虫繁殖和短距离迁飞扩散的触发机制与驱动模式，以及各迁飞扩散区随虫害寄主物候属性以及季风等气象要素变化的时空关联关系和季节性远距离迁飞机制；②通过遥感辐射传输模型、植被物候模型、生境适宜性模型、害虫迁飞扩散轨迹模型的时空链接，实现害虫重点繁殖区和迁飞扩散区的动态提取，并迭代更新耦合模型中的害虫迁飞驱动模块，实现害虫迁飞路径和迁飞区域的动态预警建模。

（2）大数据驱动的害虫入侵通道空间位置和入侵时段遥感监测方法

在研究内容 1 的基础上，综合多源数据开展：①基于害虫迁飞预警结果，结合洲际海量地面观测站点的害虫发生时空信息，以及在入侵我国潜在区域内的昆虫雷达和地面站点获取的虫的位置、密度、虫龄等信息，引入时序拟合优化和空间降尺度方法实现虫源、寄主、环境指标的面状时空动态更新；②研发虫害专用的时空拓扑网络和残差优化网络，建成害虫入侵与各指标流行态的时空范围和变化速率之间的响应范式，实现大数据驱动的害虫入侵通道的空间定位，并将其与指标流行态嵌入害虫扩散偏微分方程，实现害虫入侵通道的时空高精度遥感监测建模。

（3）智能化的草地贪夜蛾迁飞入侵预警和防控综合决策方法

在草地贪夜蛾迁飞预警和入侵监测的基础上，以虫害分区分级科学综合防控为目标，充分考虑我国及周边国家的草地贪夜蛾防控需求和能力，研发区域综合治理与防控方法。具体包括：①将洲际遥感、气象、生物、生态、植保、地理、人口、经济、交通等多元全方位数据与草地贪夜蛾区域综合治理相结合，建立多因子综合决策模型，实现气候变化背景下的区域综合治理区划和治理模式优化更新；②针对洲际害虫季节性迁飞机制研发多层级的草地贪夜蛾洲际防控路线布设方法，针对害虫入侵我国通道研发生态、生物、化学防控方式有机结合的防控策略制定方法，并通过数据模型耦合驱动实现防控综合决策应对草地贪夜蛾迁飞入侵的智能应用与模型验证。

2.3 拟解决的关键科学问题

（1）针对草地贪夜蛾迁飞预警需求，如何构建遥感机制与迁飞机理耦合的动态预警方法

现有的草地贪夜蛾迁飞预警大多采用气象模型，主要关注迁飞路径，以散点形式表达迁飞预警结果，在空间上缺乏连续性；且在害虫迁飞预警过程中仅考虑气象要素，寄主和环境信息不足，预警精度受限。如何将虫害迁飞扩散机理与遥感机制相耦合，充分发挥遥感的大范围、多波段地物信息快速获取优势，综合考虑植被物候、寄主分布、生境适宜性等害虫迁飞驱动要素，解析多要素协同的害虫迁飞机制，并将多层级机理模型与草地贪夜蛾迁飞过程模型进行时空链接，形成完整的迁飞预警链条，实现草地贪夜蛾重点繁殖区和迁飞扩散区的高精度提取，以及迁飞路径和迁飞区域的动态预警，建立遥感机制与迁飞机理耦合的虫害动态预警方法是本项目亟需解决的关键科学问题。

（2）面向草地贪夜蛾入侵监测目标，如何突破害虫入侵通道时空高精度的遥感监测技术

明确草地贪夜蛾入侵我国的空间位置和时间窗口对其精准防控至关重要，目前针对草地贪夜蛾的入侵监测常基于植保人员的目测手查，费时费力且时空精度低，难以支撑科学精准防控。针对我国南部草地贪夜蛾入侵监测和科学防控目标，迫切需要突破害虫入侵通道的时空高精度监测技术。如何通过无人机、昆虫雷达、遥感卫星等方式获取高分辨率多源数据，实现虫源、寄主、环境指标的精准面状提取和更新，结合迁飞预警结果和海量的地面观测站点的虫量、位置、虫龄等调

查信息，在草地贪夜蛾入侵预警区域进行害虫入侵与各指标的时空响应关系建模，实现害虫入侵通道的时空高精度遥感监测是本项目迫切需要解决的关键技术问题。

3. 拟采取的研究方案及可行性分析（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；

3.1 研究方法

（1）多学科交叉与融合的研究模式：研究内容属于遥感、农学、气象、植保、计算机等多学科交叉范畴，在研究方法上充分融合空间遥感、昆虫、生态、信息挖掘等领域的前沿理论和技术方法，通过集成多学科知识，定量提取用于草地贪夜蛾入侵预测和通道监测的寄主植被和环境等参数，并运用昆虫迁飞扩散理论和时空数据分析方法指导害虫入侵动态预测建模和通道监测建模。

（2）数学建模和实验验证相结合：利用数学建模方法和计算机模拟技术，定量分析和提取与草地贪夜蛾迁飞扩散入侵预警和入侵通道遥感监测与寄主植被和环境参数之间的响应关系和时序动态变化规律，建立虫害预测指标与迁飞扩散过程模型之间的数学链接形式，实现害虫入侵动态预测；基于实验数据对模型进行验证和精度评价，并通过对虫害预测结果和误差分析方法对模型开展持续优化。

3.2 技术路线与实验方案

项目以我国南部和周边国家的草地贪夜蛾为研究对象，综合遥感、农学、生态、植保等多源数据，实现害虫迁飞的动态预警和入侵通道的时空高精度监测建模，并研发虫害防控综合决策方法，具体目标如下：耦合遥感机制与害虫迁飞扩散机理，实现洲际草地贪夜蛾迁飞路径和扩散区域动态预警建模；建立害虫入侵时空监测方法，实现害虫入侵我国通道的空间位置和入侵时段的高精度监测建模；构建智能化的虫害迁飞入侵预警与防控综合决策方法，并开展地面验证和方法优化。项目总体技术路线如下图所示。

NSFC 2025

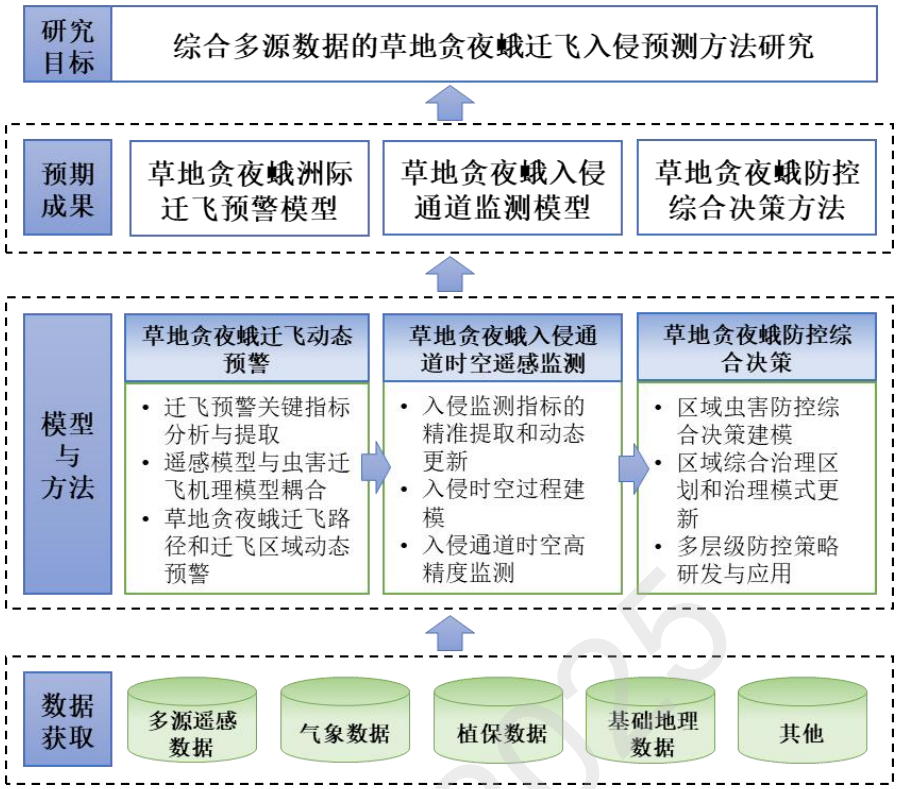


图 1 项目总体技术路线图

（1）实验方案

①研究区

拟选取我国南部的海南、云南、广西、广东、贵州等草地贪夜蛾入侵、定殖和迁飞的重要省份，以及越南、老挝、泰国、缅甸等草地贪夜蛾入侵我国的主要途径国家作为本项目的研究区。

②所需数据资料

✧卫星数据：包括高分系列（GF-1/2、GF-4 等）等国产卫星数据和 Sentinel-1/2、Landsat-8/9、MODIS、Planet、Worldview 等国外卫星数据，其中部分商业卫星数据需要购买。

✧无人机数据：包括使用 UHD-185 机载成像光谱仪、Headwall nano 推扫型成像高光谱仪等获取的高光谱成像数据，使用 AURedEdge 快照式多光谱相机获取的多光谱数据，项目组已具备部分影像数据，在项目执行过程中还需要针对性获取研究区的影像数据。

✧区域调查数据：在我国南部重点区域开展地面同步观测实验，针对虫害数据，主要记录草地贪夜蛾虫龄、虫口密度、见虫地点经纬度等信息；针对首选寄主植物玉米，主要记录其生育期、植株密度、危害叶片理化参数、植株冠层叶面积

NSFC 2025

指数等信息；我国周边国家的数据由联合国粮农组织 FAO、国际应用生物科学中心 CABI 等长期开展联合实验和研究的单位提供。

✧基础地理数据：用于分析不同指标与草地贪夜蛾发生发展的定量关系，同时参与制定草地贪夜蛾综合防控决策，主要包括 DEM 数据、土地覆盖类型数据、农业气候生态区划数据等，以及行政区划数据、交通数据、人口数据、经济数据等，主要数据项目组已具备。

✧寄主统计数据：包括研究区草地贪夜蛾主要寄主植物的种植面积、种植分布、种植时间和田间管理等信息，主要数据项目组已具备。

✧气象数据：研究区长时序的气象站点观测数据和气象空间信息产品，其中部分数据项目组已具备。

✧虫害历史统计数据：研究区草地贪夜蛾历年发生数据和具体分布、时间、面积、严重程度等信息，其中部分数据项目组已具备。

③科学实验开展

选取我国南部的海南、云南、广西、广东、贵州等地的草地贪夜蛾常年繁殖区开展星地同步观测实验，基于样点法/样线法设计虫害调查样方，根据卫星过境时间组织进行地面观测试验，实验内容包括样方内的见虫位置、虫龄、虫口密度、寄主生育期、受灾面积、受损程度等信息，并对植被理化参数（叶面积指数、叶绿素浓度等）进行测定，同时利用无人机、ASD 光谱仪、昆虫探测雷达等仪器获取多尺度观测数据。

（2） 科学数据分析与建模

① 遥感机制与虫害机理耦合驱动的草地贪夜蛾迁飞动态预警方法

以草地贪夜蛾为研究对象，综合遥感、气象、植保、生物等数据提取害虫迁飞预警关键指标，建立遥感时空响应机制与虫害迁飞扩散机理的耦合模式，解析草地贪夜蛾繁殖、短距离迁飞扩散、季节性远距离迁飞机制；并综合遥感、物候、生境适宜性、迁飞扩散轨迹等多层次机理模型，建立草地贪夜蛾重点繁殖区和迁飞扩散区动态提取，并更新迁飞驱动模块预警害虫迁飞路径及区域。结合在遥感数据分析、植被物候提取和昆虫生物学研究领域的前期基础，提取我国南部省份及周边国家草地贪夜蛾迁飞路径和迁飞区域，实现草地贪夜蛾迁飞动态预警模型构建。

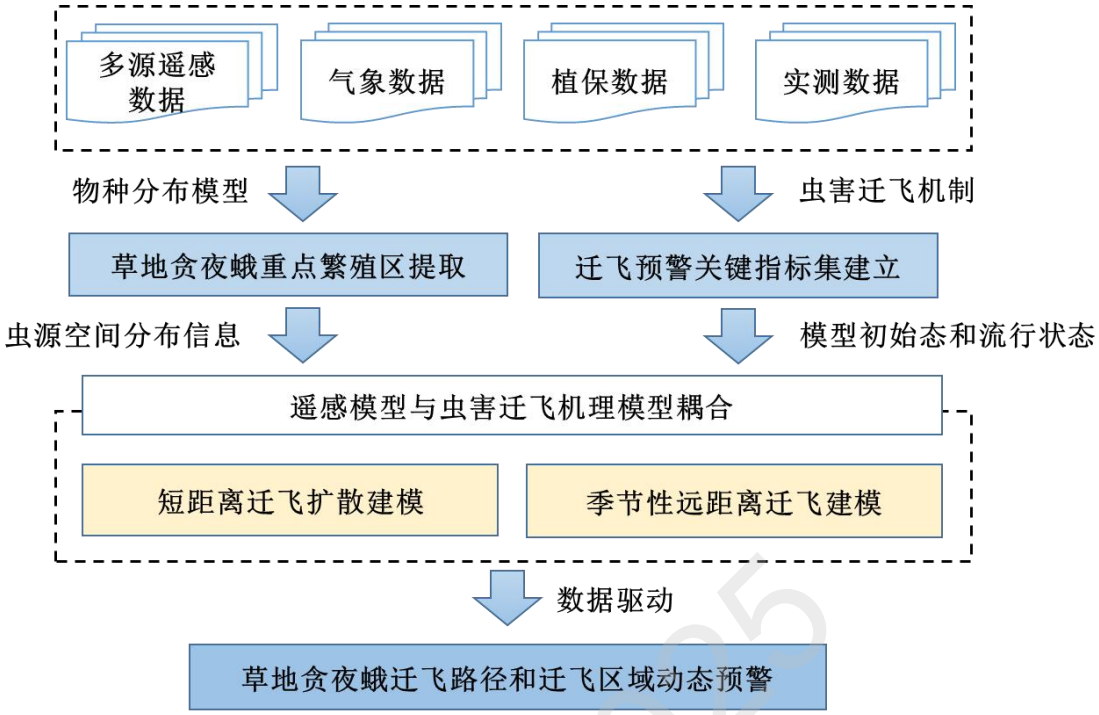


图 2 草地贪夜蛾迁飞动态预警流程

✧ 草地贪夜蛾迁飞预警关键指标分析与提取

基于草地贪夜蛾历史发生数据和星地同步观测数据，通过物种分布模型提取草地贪夜蛾重点繁殖区先验知识作为虫害迁飞的虫源区域。针对草地贪夜蛾在重点繁殖区内的短距离迁飞扩散行为，采用遥感技术实现繁殖区及周边地区的寄主分布提取、物候监测和长势监测，同时基于卫星数据和气象、植保等多源数据对土壤、降水、温度等生境指标进行分析，阐明虫源分布、寄主物候、生存环境等多要素协同对草地贪夜蛾繁殖及短距离迁飞扩散行为的触发机制与驱动模式。针对虫害季节性远距离迁飞行为，以气象数据为主对季风环流进行表达，并通过虫害迁飞扩散轨迹模型对草地贪夜蛾的迁飞路径进行模拟，在此基础上对虫害远距离迁飞区域进行寄主物候提取，分析草地贪夜蛾迁飞落点位置及空间分布，阐明害虫迁飞路径和迁飞区域随害虫寄主物候属性以及季风等气象要素变化的时空关联关系和季节性远距离迁飞机制。

✧ 遥感模型与虫害迁飞机理模型耦合

在多要素协同的草地贪夜蛾迁飞机制解析的基础上，将寄主物候遥感模型与昆虫发育有效积温模型结合提取重点繁殖区及区域内的草地贪夜蛾生长发育信息和寄主物候信息，计算从虫卵发展到各虫龄阶段的具体时间和寄主状况。基于草地贪夜蛾生物学知识对虫害生育期进行判别，在害虫具备可迁飞条件后，针对害虫的短距离迁飞扩散行为，将遥感观测信息与气象数据驱动的害虫短距离迁飞扩

散模型耦合，实现害虫短距离迁飞扩散预警；针对害虫季节性远距离迁飞行为，以气象因子为主要驱动，基于害虫迁飞扩散轨迹模型对草地贪夜蛾随季风的远距离迁飞行为进行建模，并结合植被辐射传输模型等提取害虫降落区的寄主生长特征，以及生境特征进行迁飞区域精细提取，实现遥感模型与虫害迁飞机理模型的时空链接。

✧ 草地贪夜蛾迁飞路径和迁飞区域的动态预警

在明确遥感模型与虫害短距离迁飞扩散和季节性远距离迁飞机理模型的耦合方式后，将草地贪夜蛾迁飞预警关键指标集输入遥感模型与害虫迁飞机理模型，一方面获取研究区寄主分布、物候、生境等关键信息，另一方面以害虫重点繁殖区为中心引入点源高斯扩散模式表达害虫扩散行为，在寄主和生境数据支持下提取草地贪夜蛾迁飞路径和迁飞扩散区域，实现迁飞预警结果由点到面的拓展。在此基础上，根据寄主物候变化情况和草地贪夜蛾生长发育历期，从时间维度上对草地贪夜蛾重点繁殖区和迁飞扩散区进行动态提取，从而迭代更新模型中的害虫迁飞驱动模块，并利用草地贪夜蛾迁飞习性和寄主选择特性进行模型优化，最终实现草地贪夜蛾迁飞路径和迁飞区域的动态预警。

② 大数据驱动的害虫入侵通道空间位置和入侵时段遥感监测方法

基于洲际海量地面观测站点的虫害发生地面调查数据，综合考虑草地贪夜蛾生物学特性，结合卫星、无人机、昆虫雷达获取的高时频、高精度多源数据，构建草地贪夜蛾入侵通道遥感监测指标，引入时序分析和尺度转换方法实现监测指标的动态更新；结合空间分析、地理信息系统技术构建草地贪夜蛾入侵通道及周围区域的时空拓扑网络和残差优化网络，建成害虫入侵与各指标流行态的时空范围和变化速率之间的响应范式，实现害虫入侵通道的空间定位；将其与指标流行态嵌入虫害扩散偏微分方程，精准提取我国南部省份的草地贪夜蛾入侵时段与范围，实现虫害入侵通道的空间范围和入侵时段的时空高精度遥感监测。

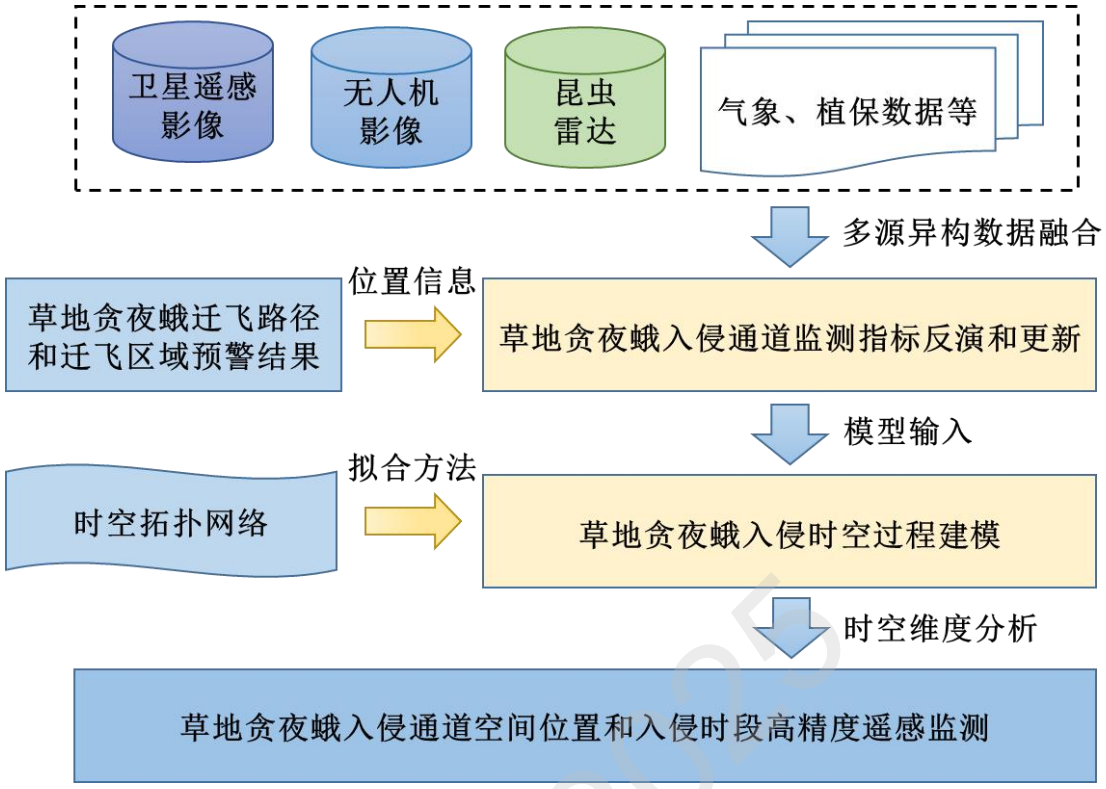


图 3 草地贪夜蛾入侵通道时空高精度遥感监测流程

✧ 草地贪夜蛾入侵监测指标的精准提取和动态更新

综合考虑草地贪夜蛾短距离迁飞扩散的生物学机制，从虫源、寄主、环境三方面出发，结合卫星、无人机、昆虫雷达等高时频、高精度多源数据，构建虫害入侵通道遥感监测指标，综合入侵区域地理及环境特征确定监测指标最优组合方式；在此基础上采用超分辨率重建、贝叶斯决策、遥感空间尺度转换等方法实现多源异构数据融合，建立虫害入侵通道高精度监测指标集；并结合草地贪夜蛾生活史过程，采用时序分析、马尔科夫链、卡尔曼滤波等方法建立监测指标更新机制，最终实现虫害入侵监测指标的精准提取和动态更新。

✧ 大数据驱动的草地贪夜蛾入侵时空过程建模

基于虫源、寄主、生境的高精度监测指标集，结合洲际海量地面观测站点的虫情数据，通过回归分析、关联规则、深度学习等数据挖掘方法，分析草地贪夜蛾种群入侵扩散的时空动态特征；采用长短期记忆网络、时空图卷积神经网络、深度置信网络等方法建立虫害入侵时空拓扑网络；通过对比中间网络层输出结果与调查数据之间的差异建立残差网络，并通过随机梯度下降法、动量法、自适应梯度算法等优化算法，实现基于时空拓扑网络的虫害入侵过程动态变化建模。

✧ 草地贪夜蛾入侵通道时空高精度遥感监测

NSFC 2025

在害虫入侵过程的时空拓扑网络构建基础上，通过网络核密度估计、网络连通性分析、DBSCAN 聚类算法等空间分析方法，构建草地贪夜蛾入侵与虫源、寄主、生境监测指标及其流行态的时空范围和变化速率之间的响应范式，从时间维和空间维精准定位草地贪夜蛾入侵通道的地理位置及动态变化情况；将指标流行态嵌入虫害入侵扩散的偏微分方程，采用多因素敏感性分析方法筛选不同时段的最优监测指标组合，建模分析入侵通道草地贪夜蛾的种群大小和环境承载量，实现时空动态的害虫入侵通道高精度遥感监测。

③智能化的草地贪夜蛾迁飞入侵预警和防控综合决策方法

在草地贪夜蛾迁飞动态预警和入侵通道监测基础上，以虫害科学高效绿色防控为目标开展防控综合决策方法研究。基于我国南部及周边国家虫害重点发生区域的植保、地理、人口、经济、交通等多元全方位数据，采用多因子综合分析模型分析草地贪夜蛾发生和迁飞概率，建立区域综合治理区划并基于虫害迁飞预警结果优化更新区域治理模式，在我国南部省份和周边国家开展防控应用验证；此外，为满足虫害入侵的精准防控需求，针对洲际虫害季节性迁飞机制研发多层级的草地贪夜蛾洲际防控路线布设技术，并将生态、生物、化学防治方式有机结合制定科学防控策略，实现防控综合决策方法，支撑我国草地贪夜蛾的重点入侵通道防控应用。

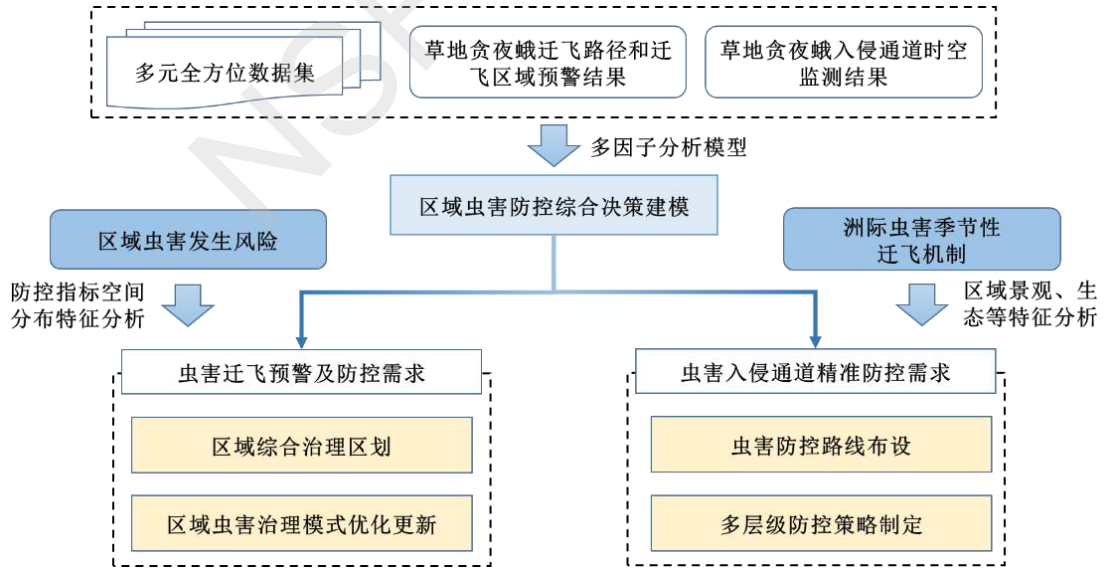


图 4 草地贪夜蛾防控综合决策方法流程

✧ 基于多元数据的区域虫害防控综合决策建模

基于我国南部及周边国家草地贪夜蛾迁飞预警结果，建立涵盖遥感、气象、生物、生态、植保、地理、人口、经济、交通等的重点繁殖区和迁飞扩散区虫害

多元全方位数据集；采用空间插值与空间映射等方法将面状遥感、生态等数据与点状植保、人口、气象数据和线状交通等数据相融合，基于多因子分析模型和专家知识库建立多元数据与防控决策之间的时空关联关系，开展重点繁殖区和迁飞扩散区虫害防控指标构建和定量分析，实现区域虫害防控综合决策建模。

✧ 草地贪夜蛾区域综合治理区划和治理模式更新

针对草地贪夜蛾迁飞路径及入侵通道相关区域，综合分析虫害发生风险和防控能力，采用 Logistic 回归等方法基于多源虫害数据计算虫害发生和迁飞概率，进而实现防治区域的设定和划分。结合草地贪夜蛾防控经验和专家知识，针对不同虫害发生和迁飞风险地区制定对应的防控和治理策略，同时结合防控指标空间分布特征，采用多维欧氏距离分析、K 均值聚类分析等方法锁定高代表性监测点空间位置并布设昆虫雷达等虫害监测装置，最终实现分区分级的区域综合治理区划和治理模式优化更新方法。

✧ 草地贪夜蛾多层级防控策略方法研究

针对草地贪夜蛾迁飞入侵等防控应用需求，结合洲际害虫季节性迁飞机制和区域综合治理区划，多元数据与虫害迁飞扩散机理耦合研发虫害防控路线布设技术；并结合防控路线途径区域景观、生态等特征，建立防控措施分级机制，研发生态、生物、化学防控方式有机结合的分级防控策略制定方法。通过虫害风险因子链接防控路线布设模型和分级防控策略模型，以多元全方位数据为驱动实现防控综合决策方法在草地贪夜蛾迁飞入侵情景下的智能构建。

3.3 项目可行性分析

（1）草地贪夜蛾迁飞入侵预警及科学防控的迫切需求

全球气候变化背景下草地贪夜蛾发生和迁飞的频率与范围明显增加，其较强的繁殖能力和破坏力严重威胁我国粮食安全。目前对于草地贪夜蛾等重大迁飞性害虫的迁飞入侵预警主要基于气象数据实现，各国对于虫害的防控策略也较为独立，急需开展洲际草地贪夜蛾区域联合科学高效防治和害虫入侵我国重点区域的精准防控。遥感技术的大面积及时动态监测优势为虫害监测预警提供了新的思路，如何将遥感时空响应机制与虫害迁飞扩散机理相结合，精准提取草地贪夜蛾重点繁殖区和迁飞扩散区，构建害虫入侵时序动态预测模型和入侵通道时空监测模型，并结合生态、经济、交通等因素分时分区分级制定虫害综合防控策略是目前草地贪夜蛾迁飞入侵预警及科学防控的迫切需求。

（2）项目技术路线和方法可行

NSFC 2025

本项目针对草地贪夜蛾迁飞预警及防控的现实需求，利用国产 GF 系列、ZY 系列、FY 系列等卫星数据，以及 Sentinel 系列、Landsat 系列、MODIS 等卫星影像数据构建研究区长时序遥感影像数据集，并进行寄主长势、物候、生境等关键指标的提取，进而耦合生物学模型与害虫轨迹分析模型进行迁飞路径和迁飞区域预警。在此基础上，利用大数据驱动的时空网络模型分析害虫发生与迁飞过程，结合国际和国内观测站点数据实现草地贪夜蛾入侵通道时空动态变化高精度监测，同时制定草地贪夜蛾区域综合治理和多层级精准防控决策方案。项目科学目标明确，研究内容具体，方案设计合理，技术路线和方法手段切实可行。

① 耦合遥感机制与虫害机理的草地贪夜蛾迁飞路径和迁飞区域预警方法

现有的草地贪夜蛾迁飞模型多以散点表达迁飞路径预警结果，且未考虑寄主分布和物候等信息，导致害虫迁飞预警结果空间连续性差、精度低。本项目充分发挥遥感技术的大面积精细地物信息获取优势，综合遥感、植保、气象等数据，以及害虫随寄主物候和季风等气象要素变化的时空关联关系，阐明草地贪夜蛾短距离迁飞扩散和季节性远距离迁飞的触发机制和驱动模式；并结合遥感辐射传输模型、植被物候模型、生境适宜性模型和害虫迁飞扩散轨迹模型，对草地贪夜蛾重点繁殖区、迁飞路径和迁飞区域进行动态预警具有先进性。

② 时空大数据驱动的草地贪夜蛾入侵通道时空动态监测技术

我国针对重大迁飞性害虫的入侵通道监测主要基于植保人员目测手查，监测成本高且精度较差。本项目综合卫星、无人机、昆虫雷达等多源数据，聚焦我国南部省份草地贪夜蛾入侵重点区域，进行虫源、寄主、生境指标的高时频、高精度提取与更新；并结合空间分析、时序分析、数据融合等前沿技术方法，建立草地贪夜蛾专用时空拓扑网络和残差网络，阐明指标动态变化与害虫入侵之间的响应关系，筛选不同时段的最优监测指标组合，对草地贪夜蛾入侵我国的通道进行高精度时空动态监测具有先进性。

③ 智能化的草地贪夜蛾迁飞入侵预警和防控综合决策方法

目前我国和周边国家在草地贪夜蛾发生和迁飞区域的防控措施相对独立，没有能够支撑高效联防联控的虫害综合防控策略，洲际虫害防控任务艰巨。本项目在草地贪夜蛾迁飞预警和入侵通道高精度监测基础上，结合遥感、气象、生物、生态、植保、地理等多元数据和多因子综合决策模型，分析不同区域草地贪夜蛾发生风险、迁飞概率和防控能力，制定和优化区域综合治理区划和治理模式；并

NSFC 2025

针对害虫迁飞和入侵防控等现实需求，研究洲际防控路线布设技术和多层级精准防控决策方法，支撑防控综合决策应用。

4. 本项目的特色与创新之处；

（1）遥感与生物学机理耦合的草地贪夜蛾迁飞路径和区域动态预警

现有的虫害洲际迁飞预警模型主要以温度、湿度、风向等气象因子为输入，预警结果多以散点表达迁飞路径与迁飞扩散区域，难以实现虫害的面状动态迁飞预警。本项目以我国南部各省及周边国家的草地贪夜蛾发生危害区域为研究区，协同虫源分布、寄主物候、生存环境等多要素对草地贪夜蛾繁殖及短距离迁飞扩散行为的触发机制与驱动模式进行解析，并结合寄主物候属性以及季风等气象要素解析害虫季节性远距离迁飞机制；研发遥感机制与虫害机理耦合驱动的草地贪夜蛾迁飞预警方法，从理论层面创新遥感辐射传输模型、植被物候模型、虫害生境适宜性模型、害虫迁飞扩散轨迹模型的时空链接和动态更新模式，实现洲际草地贪夜蛾重点繁殖区与迁飞扩散区的害虫迁飞路径和迁飞区域的时空动态预警具有理论创新性。

（2）时空大数据驱动的草地贪夜蛾入侵通道高精度时空连续监测

现有的虫害入侵监测方法主要基于植保人员对田间性激素诱捕器、虫情测报灯捕捉虫量的目测手查，时间和人工成本高，难以满足入侵通道的精准监测和高效防控需求。本项目聚焦于我国南部草地贪夜蛾入侵重点区域，研究大数据驱动的害虫入侵通道空间位置和入侵时段的遥感监测方法。基于高时频、高精度多源异构数据，通过时序分析和数据融合方法，建立害虫入侵通道监测指标集并进行实时动态更新；研发大数据驱动的害虫入侵通道遥感监测技术，基于海量多源数据和人工智能方法，建成时空拓扑网络和残差优化网络联合解析的害虫入侵与虫源、寄主、生境指标流行态的时空范围和变化速率之间的时空响应新范式，开展模型参数更新和模型结构优化，实现害虫入侵通道时空状态的高精度监测具有方法创新性。

5. 年度研究计划及预期研究结果（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）。

5.1 年度研究计划

本项目计划 4 年完成，从 2026 年 1 月至 2029 年 12 月。

（1）2026 年 1 月-2026 年 12 月

✧ 1 月-6 月：开展项目调研、文献查阅、资料收集，充分了解和消化国内外草地贪夜蛾迁飞预警和入侵监测的最新研究成果和采用的方法模型；设计并优化项目具体实施方案。实施地面调查实验，获取草地贪夜蛾生态生理参数、草地贪夜蛾危害叶片理化参数、植株冠层叶面积指数、土壤氮素含量、土壤湿度等数据，检查数据质量并及时分析和预处理各种数据；标记大量虫害样本点，及时获取及处理关键时期的遥感、气象、植保观测和调查数据。

✧ 7 月-12 月：开展数据分析工作，汇聚历史和实验观测数据，初步建立虫害专题数据库；开展草地贪夜蛾寄主作物种植区及关键信息提取，建立草地贪夜蛾重点繁殖区提取模型，构建遥感与迁飞模型时空链接的方法，初步实现草地贪夜蛾动态迁飞预警建模，提取草地贪夜蛾迁飞路径及扩散区。

✧ 本年度邀请国内外专家对项目研究方案和分析方法进行指导，参加相关研究领域的学术会议 1 次。

（2）2027 年 1 月-2027 年 12 月

✧ 1 月-6 月：对区域调查数据进行分析，开展草地贪夜蛾入侵通道遥感监测指标因子构建，实现草地贪夜蛾入侵通道监测指标因子高精度提取与动态更新，构建草地贪夜蛾时空入侵通道动态过程模型，开展草地贪夜蛾防控综合决策建模与防控区划；继续开展区域调查实验，标记大量样本点，做年度重复，通过总结上一年实验的经验对今年的实验方案进行优化调整和完善，并及时分析和规范化整理获取的数据。

✧ 7 月-12 月：更新虫害专题数据库的数据资源，完善草地贪夜蛾迁飞动态预警模型，建立草地贪夜蛾入侵我国通道监测模型，验证草地贪夜蛾迁飞预警结果；研发草地贪夜蛾防控综合决策方法，初步建立虫害综合治理区划并动态更新。

✧ 本年度参加遥感和农业领域的相关学术会议，与国际专家探讨草地贪夜蛾迁飞预警和入侵监测遥感模型与方法。

（3）2028 年 1 月-2028 年 12 月

✧ 1 月-6 月：开展草地贪夜蛾时空入侵通道模型优化和区域草地贪夜蛾防控综合决策建模，进行草地贪夜蛾重点繁殖区与迁飞扩散区防控现状定量分析，以及防治区域综合设定与划分；优化更新区域综合治理区划和治理模

式，研发草地贪夜蛾防控路线布设模式，制定草地贪夜蛾智能化多层级防控策略模型。继续开展地面实验获取数据，补充更新虫害专题数据库的年度变化数据。

- ✧ 7 月-12 月：优化草地贪夜蛾洲际迁飞预警模型与入侵通道监测模型，开展草地贪夜蛾洲际迁飞预警和入侵通道监测模型的精度检验和模型优化，建立虫害综合防控决策模型并开展验证。
- ✧ 邀请遥感、植保领域国际知名专家开展学术交流，探讨和评价项目已有研究成果，指导模型和方法的后期优化和完善。

（4）2029 年 1 月-2029 年 12 月

- ✧ 1 月-6 月：开展补充实验更新数据库，继续开展草地贪夜蛾洲际迁飞预警和草地贪夜蛾入侵我国通道监测，优化草地贪夜蛾多层级防控策略制定方法，验证草地贪夜蛾综合防控决策方法，持续优化模型。
- ✧ 7 月-12 月：系统整理项目执行期间的研究成果，将项目涉及的实验方案设计、多源科学数据获取、数据处理方法和流程、指标体系、动态预测模型、模型精度评价和验证方法等进行综合汇总和整理，形成一套清晰完整的标准化方法体系。项目数据、资料规范化整理，撰写项目工作总结报告，收集整理项目成果，准备项目验收材料等。

5.2 预期研究结果

- ✧ 全套规范化整理的多年草地贪夜蛾综合观测科学实验数据集；
- ✧ 建立草地贪夜蛾虫害专题数据库；
- ✧ 构建遥感机制与虫害机理耦合的草地贪夜蛾迁飞预警方法以及草地贪夜蛾入侵通道监测方法；
- ✧ 发表 8 篇 SCI 学术论文，申请发明专利 2 项；
- ✧ 培养博士研究生 2 名、硕士研究生 2 名；
- ✧ 项目年度报告和项目结题报告。

（二）研究基础与工作条件

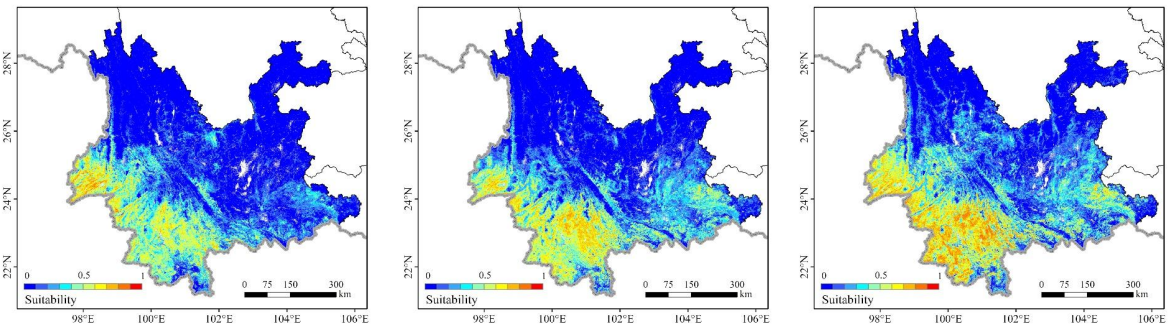
1. 研究基础（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；

申请人多年来一直致力于植被病虫害遥感监测和预测的前沿理论和科学方法研究。申请人现为中国科学院空天信息创新研究院副研究员、硕士生导师，获得

北京市科技新星计划项目和中国科学院青年创新促进会项目资助，主持国家自然科学基金青年和面上项目、国家重点研发计划项目、“一带一路”联合研究合作专项项目等国家和部委级科研项目 30 余项；第一完成人获得北京市科技进步二等奖、梁希林业科技进步二等奖、大北农科技创新奖等，作为 GEO-PDRS 团队核心骨干获得地球观测组织（GEO）全球团队影响力奖（Team Impact Award）和联合国粮农组织（FAO）突出贡献奖（Achievement honorary Award）；第一作者出版了学术著作《Crop Pest and Disease Remote Sensing Monitoring and Forecasting》、《Monitoring of Desert Locust in Africa and Asia》、《亚非沙漠蝗虫灾情遥感监测》共 3 部；以第一/通讯作者发表 JCR-Q1 区 SCI 论文 24 篇，授权国内和国际发明专利共 22 项。草地贪夜蛾监测预警等成果获中共中央政治局常委肯定性批示或圈阅 3 次，中共中央办公厅和国务院办公厅采纳 15 次，被纳入国办“全国空间信息系统”，入选科技部地球观测与导航领域的代表性成果以及中国科学院率先行动标志性进展，被纳入联合国粮农组织 FAO 和全球生物多样性信息网络 GBIF 工作计划，并得到巴基斯坦、伊拉克等国政府部门采用。申请人担任联合国粮农组织 FAO 以及“一带一路”科学组织联盟 ANSO 的顾问专家；担任我国《遥感监测绿皮书》和《地球大数据支撑可持续发展目标报告》编委；担任 JCR-Q1 区 SCI 期刊《Frontiers in Plant Science》副主编和《Remote Sensing》的专刊主编；担任中国遥感应用协会女科技工作者工作委员会、中国植保学会植保信息技术专业委员会、国际数字地球学会中国国家委员会数字农业专委会和农业大数据学报编委会委员；担任植被病虫害遥感大会组委会主席。申请人在植被病虫害遥感领域的学术贡献为国家重大决策和全球粮食安全形势研判提供了科技支撑。与本项目相关的前期研究基础如下：

（1）云南草地贪夜蛾生境适宜性遥感监测建模方法研究

通过耦合气象、植被、土壤 3 类环境因素和草地贪夜蛾实际地面调查数据，基于生态位模型 MaxEnt 构建了草地贪夜蛾热点发生区动态监测模型，实现对草地贪夜蛾热点发生区的遥感动态监测。结果表明每年都有新一代的东南亚草地贪夜蛾经云南省飞到东亚，由于云南的地理位置和环境条件非常有利于秋粘虫的定殖，其中一部分会在云南生长、发育和繁殖。2018 年底草地贪夜蛾首次在中国云南被发现，截止 2019 年底，它入侵了 26 个省份/直辖市的 1524 个县，总危害面积为 1688 万亩。云南目前是受灾最严重的地区之一，2019 年 1 月至 2019 年 9 月，云南受灾面积占中国总受灾面积的 59.31%。基于构建的草地贪夜蛾热点发生区动态监测模型，以中国云南省为例，对其 2019 年冬季热点发生区进行了动态监测。

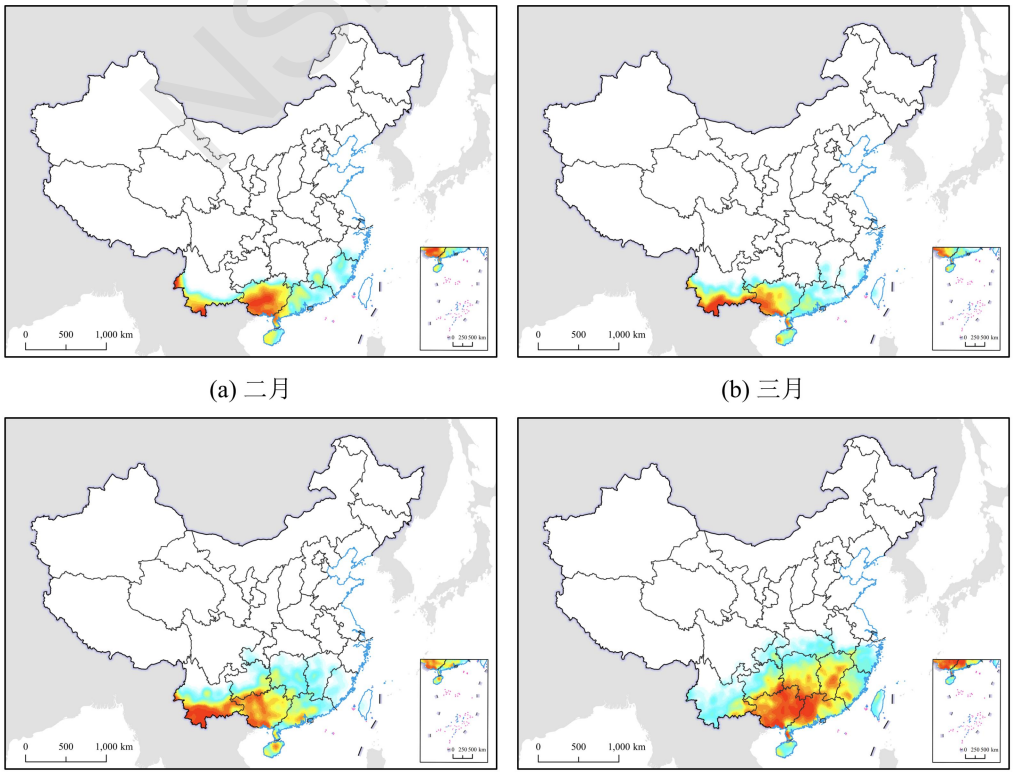


(a) 1 月 (b) 2 月 (c) 3 月

图 5 基于 MaxEnt 模型预测草地贪夜蛾 2019 年 1 月至 3 月的潜在越冬分布

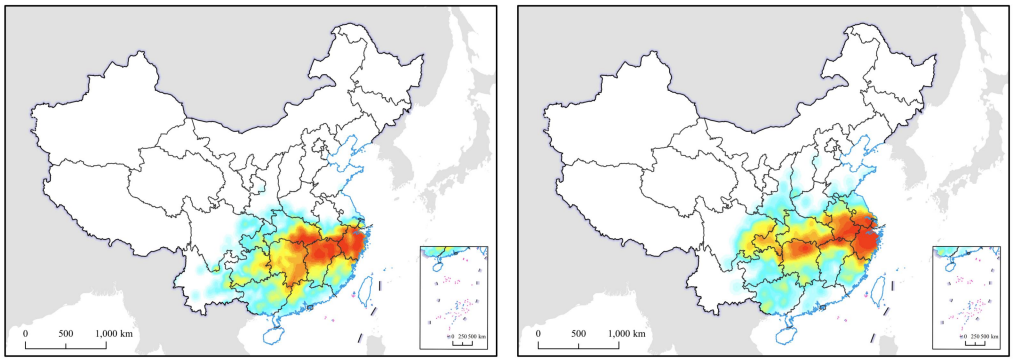
（2）全国草地贪夜蛾动态分布预测方法研究

基于遥感和气象产品对生境条件的连续观测，考虑草地贪夜蛾的风驱迁飞过程，耦合数值轨迹模型、生态生理模型及植被物候提取方法，构建了草地贪夜蛾动态分布预测模型（FAW-DDM），基于其对草地贪夜蛾在我国 2020 年 2~8 月季节性北迁过程的动态分布进行了模拟，并分析了草地贪夜蛾季节性北迁的特征和趋势。结果表明，2~8 月草地贪夜蛾从南部及西南部周年繁殖区，逐渐向东部和北部的季节性繁殖区进行迁飞扩散，根据其扩散趋势可分为三个关键时期。其中，越冬繁殖时期为 2~4 月，草地贪夜蛾主要分布在广西、云南、广东等西南丘陵玉米种植区。迁飞过渡时期为 5~6 月，草地贪夜蛾主要分布在广西、江西、湖南等西南山地丘陵玉米种植区和南方丘陵玉米种植区。重点防控时期为 7~8 月，草地贪夜蛾主要分布在安徽、江苏、浙江等黄淮平原玉米种植区。

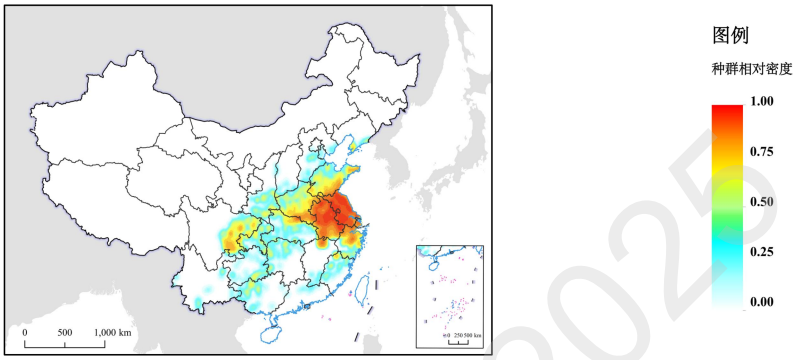


(a) 二月 (b) 三月

(c) 四月 (d) 五月



(e) 六月 (f) 七月



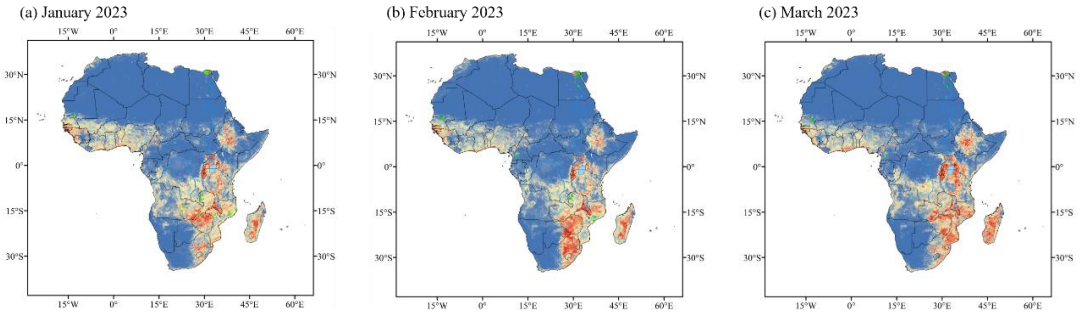
(g) 八月 (h)

注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2023)2767号标准地图制作，底图边界无修改。

图 6 2020 年 2~8 月草地贪夜蛾的动态空间分布图（a~g）；（h）图例

（3）洲际草地贪夜蛾遥感监测预警方法研究

在分析非洲草地贪夜蛾的生命周期的基础，提出了一种基于探索性因子分析的生境适宜性监测指标构建方法，并提出了基于随机森林算法的草地贪夜蛾月度生境适宜性监测模型，实现了草地贪夜蛾的动态、高精度监测。基于该模型分析了 2023 年草地贪夜蛾在非洲各月的生境适宜性分布，并分析了其在时间和空间上的变化特征，结果表明草地贪夜蛾在非洲各月生境适宜性指数均较高的地区主要分布于撒哈拉沙漠以南的非洲西部以及非洲东部；而在撒哈拉沙漠以北，尼罗河三角洲地区各月的生境适宜性指数也较高。



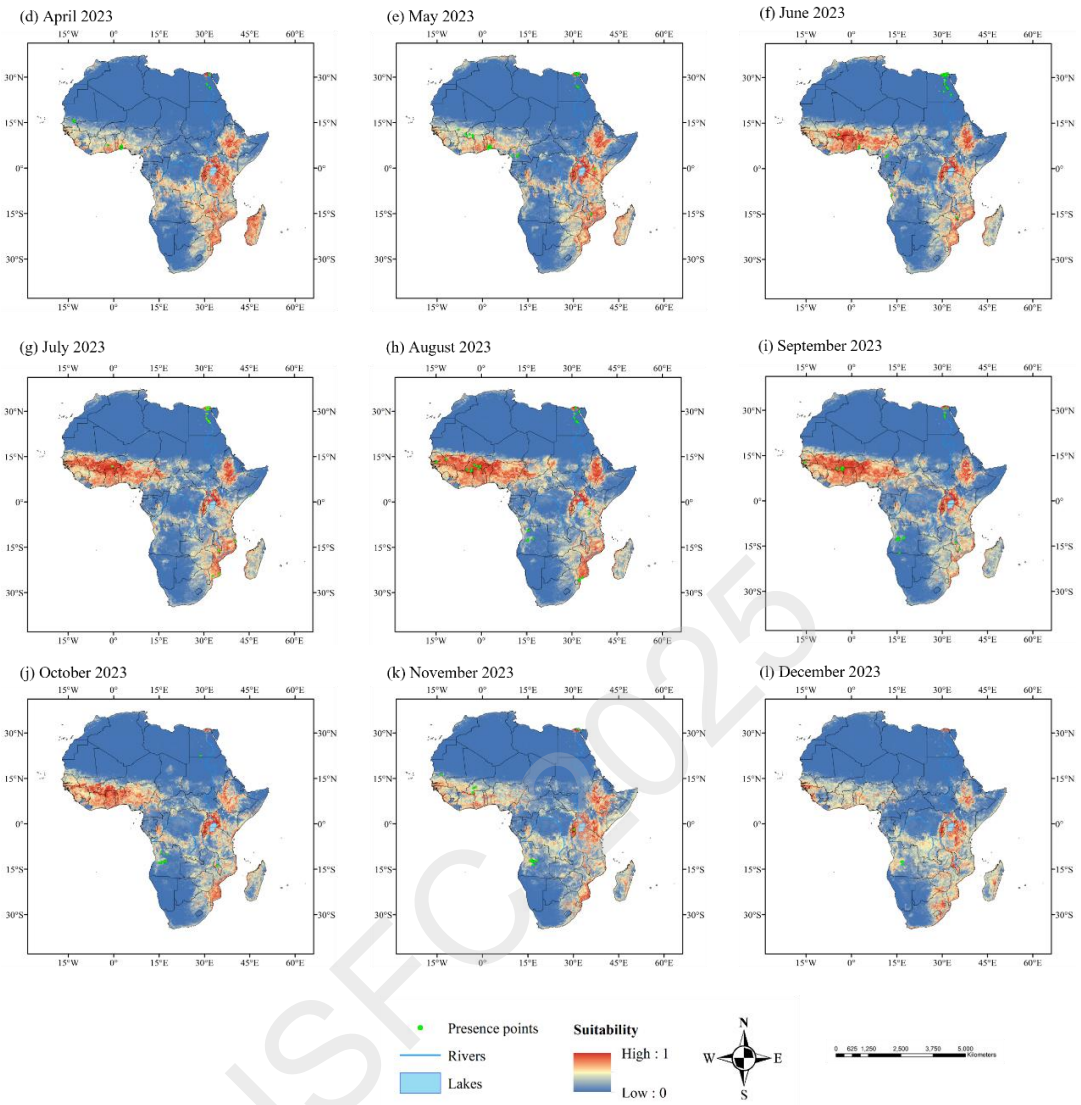
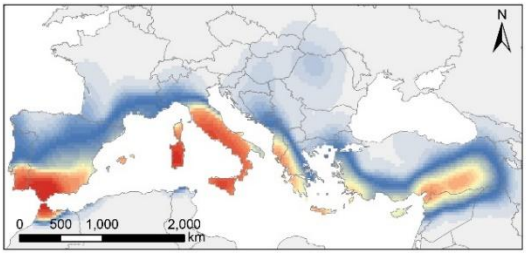
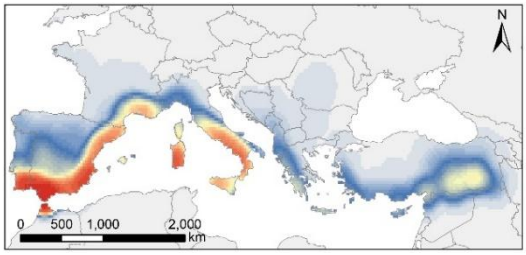


图 7 2023 年非洲草地贪夜蛾月度生境适宜性分布

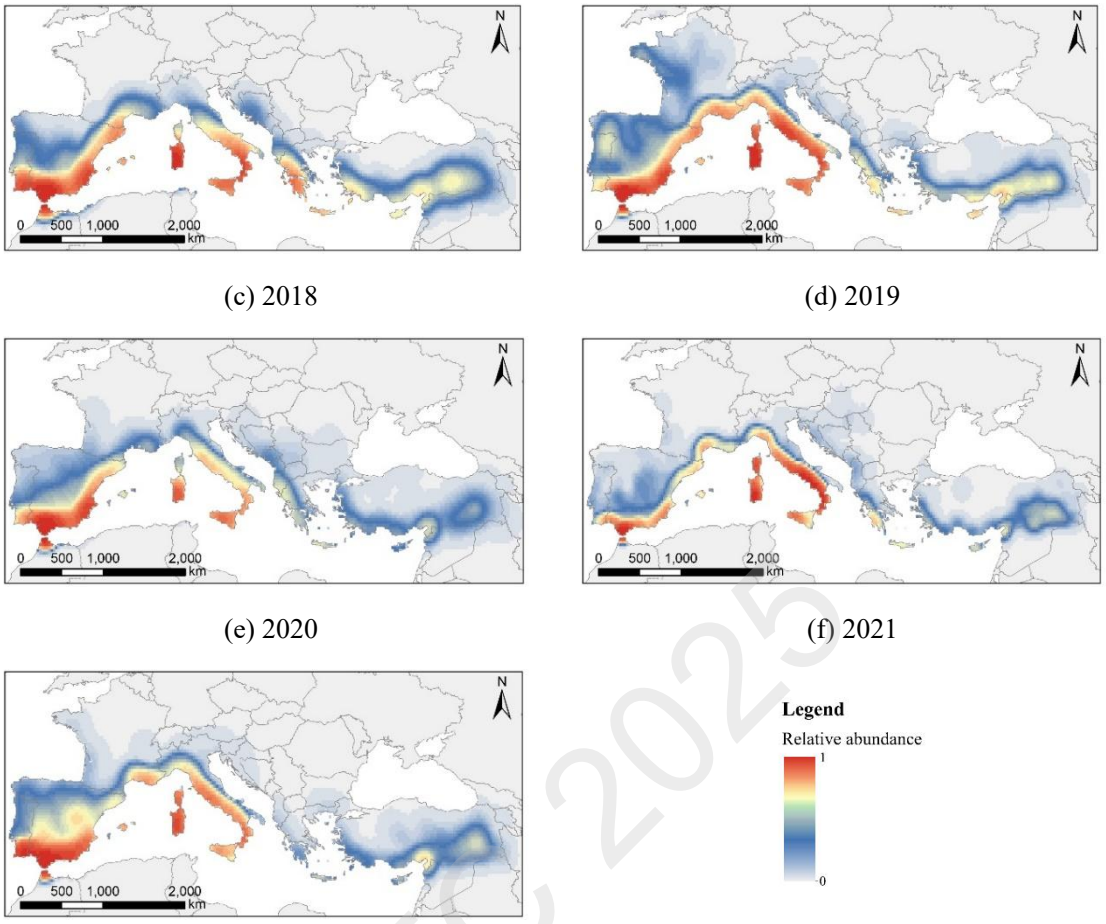
利用 HYSPLIT 模型模拟草地贪夜蛾的风驱迁飞轨迹。基于 CLIMEX 模型预测得到的草地贪夜蛾在北非的适生区分布，按照 1°×1°分辨率大小将草地贪夜蛾适生区划分成了若干个空间单元，结合 GDAS 历史气象数据，共模拟了 2016-2022 年 4-8 月共 686616 条迁飞轨迹。通过对欧洲南部的潜在落点进行核密度分析，可以得到 2016-2022 年的草地贪夜蛾入侵欧洲风险分布图，如下图所示。通过对七年的结果进行观察，可以发现沿海地区的入侵风险明显高于内陆。



(a) 2016



(b) 2017



(c) 2018 (d) 2019

(e) 2020 (f) 2021

(g) 2022 (h) Legend

图 8 草地贪夜蛾入侵南欧风险分布图

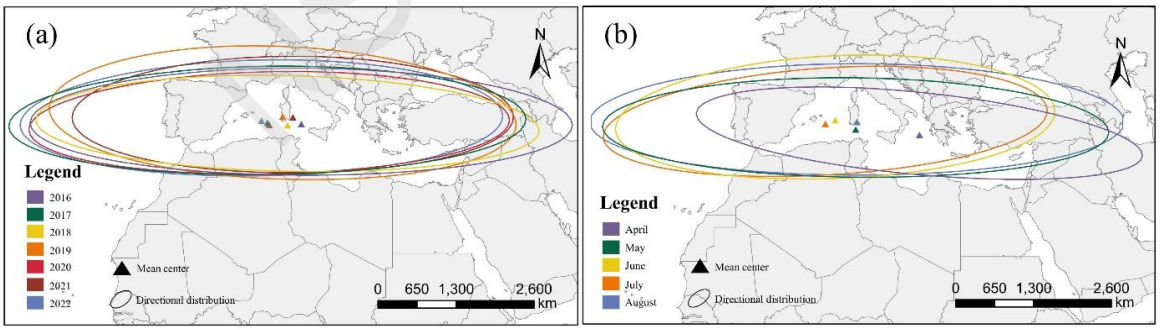


图 9 草地贪夜蛾迁飞活动影响区域；（a）年际影响区域；（b）月度影响区域

（4）亚非沙漠蝗遥感监测与损失评估

2020 年沙漠蝗席卷了非洲之角和西南亚各国，严重危害了巴基斯坦、埃塞俄比亚、索马里、肯尼亚、也门等国家的农牧业生产和粮食安全，联合国粮食及农业组织（FAO）向全球发出预警，希望全球高度戒备正在肆虐的蝗灾，采取多国联合防控措施以防害虫入侵国家出现严重的粮食危机。申请人及团队成员利用多源多尺度遥感数据和产品，结合全球气象数据和 FAO 植保调查数据，与虫害预测预报模型相结合，于 2020 年 2 月开始对沙漠蝗开展动态监测和损失评估，耦合了

长时序沙漠蝗地面观测数据、遥感数据、气象数据以及基础地理等多源对地观测数据，结合沙漠蝗发生发展规律，解析沙漠蝗发生对环境波动的滞后响应机制，提取考虑时间滞后效应的沙漠蝗发生风险预测指标，采用时空深度网络构建了耦合多元环境因子的沙漠蝗发生风险遥感预测模型。截至目前已发布了 65 期蝗虫繁殖、迁飞、危害的动态监测和损失评估空间信息产品与科学报告，所有数据和报告通过FAO手拉手平台HIH和全球生物多样性信息网络GBIF面向全球开放共享，支撑多国联合蝗灾防控。

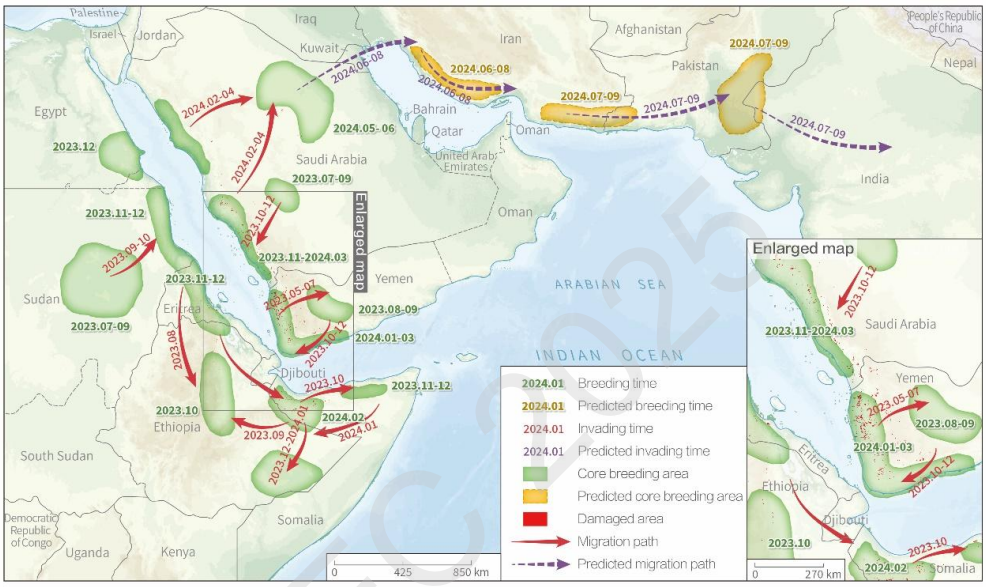


图 10 亚非沙漠蝗繁殖区、主要迁飞路径现状及预测

（5）成果推广与应用示范

申请人基于病虫害遥感监测和预测结果提出的支撑防控的分区、分级、全时段的遥感区划方法和分区更新模式，作为一项重要的技术已写入我国“草地贪夜蛾防控技术”的农业行业标准，是申请人所主持的重点研发项目的亮点成果之一，也是申请人获得北京市科技进步二等奖的重要组成部分。申请人主笔的植被病虫害遥感监测、预测和防控建议报告，得到了中共中央政治局常委肯定性批示 3 次，中办、国办采纳 15 次，以 2020 年草地贪夜蛾报告为例，根据批示申请人与农业农村部植保业务部门一起召开会商会落实批示精神，部署虫害防控路线。国家部委、国际机构、行业联盟和企业等采用 300 余次，被纳入我国农业农村部与国家林业和草原局的病虫测报与防控业务体系；在国际应用方面，联合国粮农组织 FAO 采用了申请人针对洲际植被病虫害遥感监测和预测的产品与工具用于风险预警，全球生物多样性信息网络 GBIF 采纳用其进行生物安全分析，产品得到巴基斯坦、伊拉克、索马里、厄立特里亚、埃塞俄比亚等国政府部门采纳应用，这些工作也入选了地球观测组织 GEO 代表性成果，也是获得地球观测组织（GEO）全球团队

影响力奖（Team Impact Award）和联合国粮农组织（FAO）突出贡献奖（Achievement honorary Award）的重要组成部分（https://aircas.cas.cn/dtxw/kydt/202311/t20231129_6938633.html 和 www.rscrop.com）。



图 11 申请人研发的植被病虫害遥感综合测报与决策支持成果得到了政治局常委肯定性批示，中办和国办采纳，以及巴基斯坦、伊拉克、索马里、厄立特里亚、埃塞俄比亚等国政府部门采纳

综上，本项目是申请人及研究团队在前期作物病虫害遥感监测预警研究工作基础上，申请的面向草地贪夜蛾入侵风险预警的研究项目，是前期研究成果的延续和提升。综合申请人及团队多年来在作物病虫害遥感监测预警方面的研究基础、承担项目经验以及科研成果与应用推广等，能够从理论层面和技术层面保障本项目的顺利实施。

2．工作条件（包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决的途径，包括利用国家实验室、全国重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况）：

项目依托单位中国科学院空天信息创新研究院（以下简称“空天院”）在中国科学院电子学研究所、遥感与数字地球研究所、光电研究院的基础上整合组建。这是中国科学院党组顺应党中央对科技机构改革的总要求，实施“率先行动”计划的重要举措。空天院拥有 20 余个国家级/院级重点实验室、中心，依托原有几个研究机构的核心竞争力，聚焦国家战略需求，已基本形成了空天信息领域高起点、大格局、全链条布局的研究方向。空天院拥有 UNESCO 国际自然与文化遗产空间技术中心（HIST）、国际数字地球学会（ISDE）、灾害风险综合研究计划（IRDR）国际项目办公室、CAS-TWAS 空间减灾卓越中心（SDIM）等国际科技合作平台。申请人所在的遥感与数字地球全国重点实验室是我国唯一从事遥感科学基础研究的全国重点实验室，在遥感机理和遥感定量反演方面拥有丰富的理论基础和成熟的技术方法，能够为项目的方法设计和模型构建提供有效指导。

申请人所在单位和实验室长期开展作物种植区遥感提取、作物长势遥感监测、作物病虫害监测预警及损失遥感评估、灾情时空变化特征及驱动力分析等研究。拥有中国遥感卫星地面站，可以获取覆盖东盟全区域的遥感卫星数据，承担了环境减灾卫星、高分卫星、实践卫星、中巴资源卫星等 18 颗国内国际遥感卫星的接收任务，可实现多波段、全天候、高精度实时、连续化的遥感卫星数据获取，目前存有 170 余万景对地观测数据，可为本项目研究提供中高分辨率遥感数据源。拥有航空遥感系统，具备高分辨率光学、激光雷达、微波等 5 种主被动航空遥感器，以及高效、高位置精度的航空遥感飞行控制与机上实时处理系统，为恶劣天气环境下影像的获取和寄主物候提取提供了数据支撑。拥有高光谱、多光谱无人机，能够快速部署到需要的地区执行任务并完成相关试验工作，具有对各种不同类型地物目标进行全天候、全天时和多视角的动态探测功能，实现空间分辨率达到 3 米以上，具备较好的低空航拍影像质量监控能力，可以方便、快捷、实时获

取低空对地观测数据，可用于虫害精细化监测等方面的需求。此外，拥有完备、先进的实验测量仪器与数据处理软件，与本项目相关的主要实验条件包括：用于测定地物光谱的 ASD FieldSpec FR 2500 光谱仪一套（350-2500nm）；用于测定作物群体长势的 NDVI 冠层长势监测仪、美国 CI-203 型激光叶面积仪、CI-110 型数字式冠层分析仪；用于测定田间叶绿素的 SPAD-502 叶绿素计；用于记录作物生长状况的数码摄像机；用于处理遥感影像的 ERDAS、ENVI、ArcGIS 等正版系统软件等。

项目合作研究单位北京市农林科学院成立于 1958 年，是市政府直属事业单位，主要承担农林牧渔领域科学研究、成果转化、示范推广及相关技术服务、技术培训职责。现已发展成为学科齐全、设备先进、学术水平高、创新能力强，为现代农业发展提供有力引领和支撑的综合性科研机构。全院建有 2 个全国重点实验室、7 个国家级工程中心（实验室）、13 个农业部重点实验室、5 个国家林业草原工程中心、18 个市级重点实验室（工程中心）、4 个农业部检测中心，4 个国家级种质资源保存机构，拥有 1 个具有国际种子质量检测资质认证实验室（ISTA）。先后与法国、加拿大、意大利、西班牙等 30 余国开展科技项目合作，建立国际联合实验室 11 个、国家级国际合作基地 2 个。“植物学与动物学”、“农业科学”及“环境与生态学”三门学科进入 ESI 世界前 1%。建立了第一个国家精准农业研究基地，研发了大数据云服务等关键技术。农业绿色发展领域局部领先，不断加强农业病虫害生物学机理研究和绿色发展技术研发，构建了植物重要虫害机制及防控技术等关键技术，聚焦国际科技创新中心建设，着力服务乡村振兴战略，引领农业科技创新。在本项目中能够为草地贪夜蛾田间实验设计、理化参数测定、光谱响应机制解析等提供专业技术支持。

综上所述，项目依托单位和合作研究单位具备完成本项目的良好工作条件。

3. 正在承担的与本项目相关的科研项目情况（申请人和主要参与者正在承担的与本项目相关的科研项目情况，包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目，要注明项目的资助机构、项目类别、批准号、项目名称、获资助金额、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等）：

无。

4. 完成国家自然科学基金项目情况（对申请人负责的前一个已资助期满的科学基金项目（项目名称及批准号）完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该项目的研究工作总结摘要（限 500 字）和相关成果详细目录）。

（1）前一个主持结题的国家自然科学基金面上项目信息

项目名称：区域小麦赤霉病遥感动态预测方法研究

项目编号：42071423

起止年月：2021.01-2024.12

项目主持人：董莹莹

该项目以小麦赤霉病为研究对象，通过开展小区控制实验和区域调查实验，解析了病害的发生特征和流行状态与作物生长状况的光谱响应机理及与生境条件的时空响应机制，构建了时空连续的病害遥感预测指标体系，研究了病害预测指标在病害发生发展过程模型中的输入和更新模式以及参数化方法，并与流行病学规律和机理解析相结合，实现了病害动态预测建模，融合多源数据评价了病害生境适宜性，更新精细尺度下模型在不同地域的算法逻辑和联动关系，扩展了模型的空间普适性。项目组成员目前仍在研究遥感可观测因子在传统作物病虫害监测预警方法中的介入方式，持续开展作物病虫害光谱响应机理和风险预警的理论和技术研究。现申请项目研究的是草地贪夜蛾迁飞入侵遥感预警方法，与该项目在研究内容、研究目标和关键科学问题上不同，但是该项目围绕病害发生特征、作物生长状况的光谱响应机理及其与生境因子的时空耦合关系展开研究，构建了时空连续的遥感预测指标体系，为草地贪夜蛾寄主作物的监测、环境因子建模及动态更新提供了方法参考，同时在病害预测指标的输入和更新模式研究方面积累的经验，可用于优化草地贪夜蛾迁飞路径预测及虫源、寄主、环境的高时空分辨率动态建模。此外，该项目在模型算法逻辑与联动关系的区域适应性优化方面积累了经验，可用于提升草地贪夜蛾监测预测的空间可推广性和模型泛化能力，助力跨区域、跨生态区的虫害迁飞预警模型适配。

（2）已结题项目研究工作总结摘要

项目以小麦为研究对象，聚焦小麦赤霉病遥感监测与预测，探索病害发生特征及其与作物生长和生境条件的时空响应机制，构建高精度预测指标体系，建立了赤霉病专题数据库，开发了多源数据融合的动态预测模型，并研究空间普适性。通过综合利用地面调查、星地同步观测、高光谱影像及气象数据等多源数据，系

统解析了小麦赤霉病的光谱响应特征和时空动态。在安徽省主要赤霉病高发区域进行了控制实验和区域观测，在北京小汤山实验基地开展了小麦赤霉病室内观测实验，提取了对病害严重度高度敏感的光谱参数，构建了涵盖植被指数、微分光谱和纹理特征的预测指标体系。基于无人机高光谱影像和机器学习算法，在麦穗、冠层、田块、区域尺度分别开发了病害遥感测报模型，实现了病害不同阶段的高精度量化监测与预测。此外，本项目结合病害流行机理，提出了基于遥感、气象和生物等多源信息的 SEIR 模型与神经网络融合的动态预测方法（SEIR-LSTM），显著提升了病害预测的精度与计算效率。该方法有效解决了传统机理模型参数量大、空间适应性不足的问题，为区域赤霉病的精准防控提供了可靠依据。

（3）已结题项目相关成果的详细目录

项目执行期间，取得了一系列重要成果，发表 SCI 论文 9 篇，主编专著 1 部；授权发明专利 3 项（国际 2 项，国内 1 项），实审国家发明专利 2 项；取得软件著作权 1 项；培养博士后 1 名、博士研究生 2 名、硕士研究生 2 名；获得科研奖励 3 项，包括北京市科技进步二等奖、第十二届大北农科技奖创新奖及化肥农药减量增效优秀解决方案称号，充分展示了其在推动精准农业、减轻农作物病害危害方面的重要意义。

✧ **学术论文**

项目资助发表 SCI 论文 9 篇。

表 1 已结题项目资助发表论文

编号	收录情况	作者	题目	刊物	卷期号
1	SCI	Hansu Zhang; Jinling Zhao; Linsheng Huang; Wenjiang Huang ; Yingying Dong ; Huiqin Ma; Chao Ruan	Development of new indices and use of CARS-Ridge algorithm for wheat fusarium head blight detection using in-situ hyperspectral data	Biosystems Engineering	2024,237:13-25
2	SCI	Yunli Han; Yingying Dong; Yining Zhu; Wenjiang Huang	Remote sensing inversion of vegetation parameters with IPROSAIL-Net	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	2023, 62
3	SCI	Xueling Li; Yingying Dong; Yining Zhu;	Enhanced Leaf Area Index Estimation with CROP-DualGAN Network	IEEE Transactions on Geoscience and	2023, 61:1-1

NSFC 2025

		Wenjiang Huang		Remote Sensing	
4	SCI	Yingxin Xiao; Yingying Dong; Wenjiang Huang; Linyi Liu	Regional Prediction of Fusarium Head Blight Occurrence in Wheat with Remote Sensing based Susceptible-Exposed-Infectious-Removed model	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	2022, 114
5	SCI	Hansu Zhang; Linsheng Huang; Wenjiang Huang; Yingying Dong; Shizhuang Weng; Jinling Zhao; Huiqin Ma; Linyi Liu	Detection of Wheat Fusarium Head Blight Using UAV-based Spectral and Image Feature Fusion	Frontiers in Plant Science	2022, 13
6	SCI	Lu Li; Yingying Dong; Yingxin Xiao; Linyi Liu; Xing Zhao; Wenjiang Huang	Combining Disease Mechanism and Machine Learning to Predict Wheat Fusarium Head Blight	Remote Sensing	2022, 14(12)
7	SCI	Huang Linsheng; Wu Kang; Huang Wenjiang; Dong Yingying; Ma Huiqin; Liu Yong; Liu Linyi	Detection of Fusarium Head Blight in Wheat Ears Using Continuous Wavelet Analysis and PSO-SVM	Agriculture	2021,11(10)
8	SCI	Ma Huiqin; Huang Wenjiang; Dong Yingying; Liu Linyi; Guo Anting	Using UAV-Based Hyperspectral Imagery to Detect Winter Wheat Fusarium Head Blight	Remote Sensing	2021, 13(15)
9	SCI	Xiao Yingxin; Dong Yingying; Huang Wenjiang; Liu Linyi; Ma Huiqin	Wheat Fusarium Head Blight Detection Using UAV-Based Spectral and Texture Features in Optimal Window Size	Remote Sensing	2021, 13(13)

✧ **学术专著**

Yingying Dong; Wenjiang Huang; Yun Geng; Linyi Liu; Huiqin Ma; Anting Guo; Chao Ruan; Crop Pest and Disease Remote Sensing Monitoring and Forecasting, EDP Sciences, Science Press, 2022.

✧ **发明专利**

NSFC 2025

授权发明专利 3 项（国际 2 项，国内 1 项），实审国家发明专利 2 项。

授权发明专利 3 项：

[1] 肖颖欣、董莹莹、李雪玲、刘林毅、马慧琴、黄文江. 一种小麦赤霉病的检测方法、装置及电子设备 (ZL202110728965.2).

[2] Yingying Dong; Xueling Li; Yinling Zhu; Tingguang Hu; Wenjiang Huang; Huichun Ye; Kun Wang, METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING INVERSION OF CROP LEAF AREA INDEX (GB2596886).

[3] Xiao, Yingxin; Dong, Yingying; Huang, Wenjiang; Liu Linyi; Ruan Chao; Li, Xueling; Ye, Huichun; METHOD AND DEVICE FOR DYNAMIC EARLY-WARNING OF WHEAT SCAB (GB2596887).

实审发明专利 2 项：

[1] 肖颖欣、董莹莹、黄文江、刘林毅. 一种植物病株率预测方法和装置（CN202210736132.5）.

[2] 董莹莹、李璐、肖颖欣、刘林毅、马慧琴、黄文江、赵星. 作物病害严重程度预测方法、系统、存储介质及电子设备（CN202210673612.1）.

✧ **软件著作权**

叶片参数反演软件 V1.0（登记号：2021SR2077104）

✧ **科研奖励**

[1]董莹莹(1/10);大北农科技奖创新奖：植被病虫害遥感监测和预测关键技术与应用，大北农集团，科技进步, 2022（ 董莹莹；朱景全；黄文江；李红梅；蒙艳华；农向群；王志国；任彬元；刘博；刘林毅）。

[2]董莹莹(1/10)；北京市科技进步奖二等奖：植被病虫害遥感监测预警与防控关键技术及应用，北京市人民政府，科技进步，2023（董莹莹；黄文江；朱景全；孙红；周晋峰；郭蕾；张竞成；叶回春；王豁；张弼尧）。

[3]2023-2024 年化肥农药减量增效优秀范例“优秀解决方案”称号：基于遥感技术的作物病虫害精准施药与防控方案，中国农业技术推广协会、《中国植保导刊》杂志社、《中国农技推广》杂志社，2024（ 黄文江；董莹莹；王昆；焦全军；张弼尧；刘林毅）。

✧ **人才培养**

项目执行期间，共培养博士后、博士研究生及硕士研究生共 5 人，其中博士后 1 人，为刘林毅；博士研究生 2 人，为张寒苏和张闻顺；硕士研究生 2 人，为肖颖欣和李璐。

（三）其他需要说明的情况

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况（列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息，并说明与本项目之间的区别与联系；已收到自然科学基金委不予受理或不予资助决定的，无需列出）。

无。

2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因。

无。

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

无。

4. 同年以不同专业技术职务（职称）申请或参与申请科学基金项目的情况（应详细说明原因）。

无。

5. 其他。

无。

NSFC 2025

董莹莹 （ BRID：05176.00.91891 ） 简历 2025版

中国科学院空天信息创新研究院， 遥感与数字地球全国重点实验室， 副研究员

教育经历：

（1）2009-09 至 2013-03，浙江大学，农业遥感与信息技术，博士

（2）2006-09 至 2009-07，首都师范大学，计算数学，硕士

（3）2002-09 至 2006-06，山东师范大学，信息与计算科学，学士

博士后工作经历：

（1）2013-03 至 2015-03，加拿大 University of Lethbridge

科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

（1）2024-01 至 今，中国科学院空天信息创新研究院，遥感与数字地球全国重点实验室，副研究员

（2）2020-03 至 2023-12，中国科学院空天信息创新研究院，数字地球院重点实验室，副研究员

（3）2018-07 至 2020-02，中国科学院遥感与数字地球研究所，数字地球院重点实验室，副研究员

（4）2015-03 至 2018-06，中国科学院遥感与数字地球研究所，数字地球院重点实验室，助理研究员

曾使用其他证件信息：

无

近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

（1）国家自然科学基金委员会，面上项目，42071423，区域小麦赤霉病遥感动态预测方法研究，2021-01-01 至 2024-12-31，56万元，资助期满，主持

近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

（1）科学技术部，国家重点研发计划项目子课题，2022YFD1400503-04，蝗虫适生区遥感监测技术研发与应用，2022-09 至 2025-12，60万元，在研，主持

（2）“一带一路”国际科学组织联盟，联合研究合作专项，ANSO-CR-KP-2021-06，全球流行性和迁飞性农业重大病虫害遥感监测与预测，2021-12 至 2024-12，130万元，结题，主持

（3）中国科学院空天信息创新研究院，重点部署项目，E0Z205010F，基于AI遥感的全球迁飞性害虫监测预警，2020-08 至 2022-08，150万元，结题，主持

代表性研究成果和学术奖励情况（填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名，并对本人署名情况进行标注，包括：①作者署名按姓氏排序；②唯一第一作者；③共同第一作者；④唯一通讯作者；⑤共同通讯作者；⑥其他情况）：

一、代表性论著（请在“申请书详情”界面，点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文）：

（1）Qi Tonghui；**Dong Yingying**；Li Xueling；Zhao Mingxian；Huang Wenjiang ；Fall Armyworm hHabitat Analysis in Africa with Multi-source Earth Observation Data，*Computers and Electronics in Agriculture*，2024，225 （**期刊论文**） （ 本人标注：唯一通讯作者 ）

（2）Han Yunli；**Dong Yingying**；Zhu Yining；Huang Wenjiang ；Remote Sensing Inversion of

Vegetation Parameters With IPROSAIL-Net, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2023, 62: 5501916 **（期刊论文）** （ 本人标注：唯一通讯作者 ）

(3) Wang Minghao; Huang Wenjiang; **Dong Yingying**; Huang Yanru; Zhang Bing; Sun Gang; Elkahky Maged; Huang Changping ; Temporal Analyses of Global Suitability Distribution for Fall Armyworm based on Multiple Factors, *Ecological Indicators*, 2025, 171: 113181 **（期刊论文）** （ 本人标注：共同通讯作者 ）

(4) Wang Jing; Huang Yanru; Huang Linsheng; **Dong Yingying**; Huang Wenjiang; Ma Huiqin; Zhang Hansu; Zhang Xueyan; Chen Xinyu; Xu Yunlei ; Migration Risk of Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda) from North Africa to Southern Europe, *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1141470 **（期刊论文）** （ 本人标注：共同通讯作者 ）

(5) Huang Yanru; **Dong Yingying**; Huang Wenjiang; Ren Binyuan; Deng Qiaoyu; Shi Yue; Bai Jie; Ren Yu; Geng Yun; Ma Huiqin ; Overwintering Distribution of Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda) in Yunnan, China, and Influencing Environmental Factors, *Insects*, 2020, 11: 805 **（期刊论文）** （ 本人标注：共同通讯作者 ）

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励：

(1) **董莹莹**(1/10)；植被病虫害遥感监测预警与防控关键技术及应用，北京市人民政府，*科技进步*，省部二等奖，2023(**董莹莹**；黄文江；朱景全；孙红；周晋峰；郭蕾；张竞成；叶回春；王豁；张弼尧) **（科研奖励）**

(2) **董莹莹**(1/10)；梁希林业科学技术奖科技进步奖二等奖：蝗虫遥感监测和预测关键技术与应用，国家林业和草原局；中国林学会，*科技进步*，其他，2021(**董莹莹**；方国飞；黄文江；李计顺；高薇；叶回春；李晓冬；孙红；赫传杰；张家胜) **（科研奖励）**

(3) **董莹莹**(1/10)；大北农科技奖创新奖：植被病虫害遥感监测和预测关键技术与应用，大北农集团，*科技进步*，其他，2022(**董莹莹**；朱景全；黄文江；李红梅；蒙艳华；农向群；王志国；任彬元；刘博；刘林毅) **（科研奖励）**

(4) **董莹莹**(2/10)；中国遥感优秀成果二等奖“植被病虫害遥感监测预警与防控关键技术及应用”，中国遥感委员会，*科技进步*，其他，2023(黄文江；**董莹莹**；朱景全；方国飞；周晋峰；王昆；张弼尧；王豁；刘林毅；李雪玲) **（科研奖励）**

(5) **Dong Yingying**; Li Xueling; Zhu Yining; Hu Tingguang; Huang Wenjiang; Ye Huichun; Wang Kun ; Method and Device for Performing Inversion of Crop Leaf Area Index, 2023-12-13, 其他国家, GB2596886 **（专利）**

(6) 齐童辉；**董莹莹**；李雪玲；赵铭现；黄文江 ；一种昆虫生境适宜性监测的方法及装置，2024-08-01，中国，CN202411052959.X **（专利）**

(7) 黄滟茹；**董莹莹**；黄文江；耿芸；马慧琴；汪靖 ；一种迁飞性昆虫空间分布预测方法和装置，2022-05-27，中国，CN202210586556.8 **（专利）**

(8) 汪靖；**董莹莹**；黄林生；黄文江；黄滟茹 ；一种昆虫迁飞预测方法和装置，2022-11-07，中国，CN202211385568.0 **（专利）**

(9) Desert Locust Monitoring and Loss Assessment, Wheat Pest and Disease Monitoring and Forecasting, Rice Pest and Disease Monitoring and Forecasting,, 作为主笔人的Desert Locust Monitoring and Loss Assessment, Wheat Pest and Disease Monitoring and Forecasting, Rice Pest and Disease Monitoring and Forecasting系列报告得到联合国粮食及农业组织 Food and Agriculture Organization of the United Nations（FAO）的持续采纳，并在多国开展推广应用，指导病虫害科学精准防控。，联合国粮食及农业组织 Food and Agriculture Organization of the United Nations **（其他重要研究成果）**

NSFC 2025

（10）植被病虫害遥感监测与预测报告 Vegetation Pest and Disease Monitoring and Forecasting Report，成果获中共中央政治局常委肯定性批示或圈阅，中共中央办公厅和国务院办公厅以及科技部、农业农村部、国家林业和草原局持续采纳，并被纳入国办“全国空间信息系统”，入选科技部地球观测与导航领域代表性成果以及中国科学院率先行动标志性进展，入选地球观测组织GEO亮点成果，被联合国粮农组织FAO和全球生物多样性信息网络GBIF持续采纳，并得到巴基斯坦、伊拉克等多国政府部门采纳，为保障粮食安全提供科技支撑，本报告由黄文江研究员、董莹莹副研究员领导的植被遥感机理与病虫害应用团队完成。 （**其他重要研究成果**）

NSFC 2025

王纪华 （ BRID: 08987.00.01759 ） 简历 2025版

北京市农林科学院， 质量标准与检测技术研究所， 研究员

教育经历：

(1) 1992-09 至 1995-07，北京农业大学，农学系，博士

(2) 1989-09 至 1992-07，北京农业大学，农学系，硕士

(3) 1978-03 至 1982-01，延边农学院，农学系，学士

博士后工作经历：

(1) 1995-12 至 1998-03，日本生态农业国际研究中心

科研与学术工作经历（博士后工作经历除外）：

(1) 2021-09 至 今，北京市农林科学院，质量标准与检测技术研究所，研究员

(2) 2012-08 至 2021-08，北京市农林科学院，北京农业质量标准与检测技术研究中心，研究员

(3) 2001-10 至 2012-08，北京市农林科学院，北京农业信息技术研究中心，研究员

(4) 1998-05 至 2001-10，北京市农林科学院，作物研究所，副研究员

(5) 1986-03 至 1989-09，中国农业科学院，特产研究所，助理研究员

曾使用其他证件信息：

无

近五年主持或参加的国家自然科学基金项目/课题：

(1) 国家自然科学基金委员会，面上项目，42071423，区域小麦赤霉病遥感动态预测方法研究，2021-01-01 至 2024-12-31，56万元，资助期满，参与

近五年主持或参加的其他科研项目/课题（国家自然科学基金项目除外）：

无

代表性研究成果和学术奖励情况（填写代表性论文时应根据其发表时的真实情况如实规范列出所有作者署名，并对本人署名情况进行标注，包括：①作者署名按姓氏排序；②唯一第一作者；③共同第一作者；④唯一通讯作者；⑤共同通讯作者；⑥其他情况）：

一、代表性论著（请在“申请书详情”界面，点开“人员信息”-“代表性成果”卡片查看对应的全文）：

(1) Zhenhai Li; Xiuliang Jin; Chunjiang Zhao; **Jihua Wang**; Xingang Xu; Guijun Yang; Cunjun Li; Jiaxiao Shen ; Estimating wheat yield and quality by coupling the DSSAT-CERES model and proximal remote sensing, *European Journal of Agronomy*, 2015, 71: 53-62 （**期刊论文**） （ 本人标注：共同通讯作者 ）

(2) **王纪华**; 王之杰; 黄文江; 马智宏; 刘良云; 赵春江 ; 冬小麦冠层氮素的垂直分布及光谱响应, *遥感学报*, 2004, (4): 309-316 （**期刊论文**） （ 本人标注：唯一第一作者 ）

(3) **王纪华**; 黄文江; 赵春江; 杨敏华; 王之杰 ; 利用光谱反射率估算叶片生化组分和籽粒品质指标研究, *遥感学报*, 2003, (4): 277-284 （**期刊论文**） （ 本人标注：唯一第一作者 ）

NSFC 2025

(4) **王纪华**；李存军；刘良云；黄文江；赵春江 ；作物品质遥感监测预报研究进展，*中国农业科学*，2008，41(9)：2633-2640 （**期刊论文**）（ 本人标注：唯一第一作者 ）

(5) **王纪华**；黄文江；劳彩莲；张录达；罗长兵；王韬；刘良云；宋晓宇；马智宏 ；运用 PLS 算法由小麦冠层反射光谱反演氮素垂直分布，*光谱学与光谱分析*，2007，27(7)：1319-1322 （**期刊论文**）（ 本人标注：唯一第一作者 ）

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励：

(1) **王纪华**(3/10)；精准农业关键技术研究与示范，国家科技部，*科技进步*，国家二等奖，2007(赵春江；汪懋华；**王纪华**；孟志军；刘刚；王秀；张兵；张漫；陈立平；刘良云） （**科研奖励**）

(2) **王纪华**；董莹莹；李存军；杨贵军；王芊；王慧芳；黄文江；陈红 ；一种农作物叶面积指数同化方法，2013-9-4，中国，ZL 2011 1 0268098.5 （**专利**）

(3) 董莹莹；黄文江；**王纪华**；杨小冬 ；一种作物理化参数的遥感定量反演方法及系统，2018-6-1，中国，ZL 2016 0077364.9 （**专利**）

(4) 杨贵军；黄文江；李存军；宋晓宇；徐新刚；**王纪华**；赵春江；顾晓鹤；杨小冬；陈红 ；一种基于PDA和3S结合的土地利用变更调查方法及系统，2010-9-22，中国，ZL 2008 1 0246853.8 （**专利**）

(5) **王纪华**；宋晓宇；赵春江；黄文江；李存军；常红；徐新刚；顾晓鹤；杨贵军；杨小冬；杨浩 ；一种作物长势均匀度的监测装置和方法，2012-4-25，中国，ZL 2009 1 0236520.1 （**专利**）

(6) 董莹莹；黄文江；**王纪华** ；一种叶面积指数空间尺度转换方法及装置，2019-6-21，中国，ZL 2016 10158240.3 （**专利**）

(7) **王纪华**；黄文江；赵春江；潘瑜春；孙刚；马智宏；刘良云；郑文刚；吴文彪；王鹏飞 ；一种便携式土壤重金属分析仪，2010-7-14，中国，ZL 2007 1 0175770.X （**专利**）

(8) 黄文江；张东彦；王之杰；王秀；**王纪华**；孙刚；杨贵军；马伟；宋晓宇；马智宏；陈红 ；观测装置及方法，2012-9-5，中国，ZL 2011 1 0178750.4 （**专利**）

(9) 董莹莹；黄文江；**王纪华**；杨小冬 ；一种作物产量遥感估算方法及系统，2020-3-31，中国，ZL 2017 1 0061522.6 （**专利**）

(10) 黄文江；**王纪华**；赵春江；孙刚；郑文刚；徐新刚；宋晓宇；杨月英；李存军；王鹏飞 ；一种病害检测仪及其检测方法，2012-3-7，中国，ZL 2008 1 0055874.1 （**专利**）

NSFC 2025

附件信息

序号	附件名称	备注	附件类型
1	近5年内发表的代表性论著	1-1近5年内发表的代表性论著-Fall armyworm habitat analysis in Africa with multi-source earth observation data	代表性论著
2	近5年内发表的代表性论著	1-2近5年内发表的代表性论著-Remote Sensing Inversion of Vegetation Parameters With IPROSAIL-Net	代表性论著
3	近5年内发表的代表性论著	1-3近5年内发表的代表性论著-Temporal analyses of global suitability distribution for fall armyworm based on Multiple factors	代表性论著
4	近5年内发表的代表性论著	1-4近5年内发表的代表性论著-Migration Risk of Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda) from North Africa to Southern Europe	代表性论著
5	近5年内发表的代表性论著	1-5近5年内发表的代表性论著-Overwintering Distribution of Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda) in Yunnan, China, and Influencing Environmental Factors	代表性论著
6	论著之外的代表性研究成果和学术奖励	2-1论著之外的代表性研究成果和学术奖励	其他
7	论著之外代表性报	2-2论著之外代表性报告-国家领导人和部委采纳证明	其他
8	论著之外代表性报告	2-3论著之外代表性报告-国际政府部门与国际组织采纳证明	其他
9	近5年主持的其他科研项目	3-近5年主持的其他科研项目	其他
10	合作研究协议书	4-合作研究协议书	其他

NSFC2025

项目名称： 综合多源数据的草地贪夜蛾迁飞入侵预警方法研究

资助类型： 面上项目

申请代码： D0113.遥感科学

国家自然科学基金项目申请人和参与者承诺书

为了维护国家自然科学基金项目评审公平、公正，共同营造风清气正的科研生态，本人在此郑重承诺：严格遵守《中华人民共和国科学技术进步法》《国家自然科学基金条例》《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》以及科技部、自然科学基金委关于科研诚信建设有关规定和要求；申请材料信息真实准确，不含任何涉密信息或敏感信息，不含任何违反法律法规或违反科研伦理规范的内容；在国家自然科学基金项目申请、评审和执行全过程中，恪守职业规范和科学道德，遵守评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

（一）抄袭、剽窃他人申请书、论文等科研成果或者伪造、篡改研究数据、研究结论；

（二）购买、代写申请书；购买、代写、代投论文，虚构同行评议专家及评议意见；违规购买实验数据；

（三）违反成果发表规范、署名规范、引用规范，擅自标注或虚假标注科技计划等资助；

（四）项目计划书中故意篡改降低项目申请书中相应指标；

（五）以任何形式探听或散布尚未公布的评审专家名单及其他评审过程中的保密信息；

（六）通过各种方式和途径联系有关专家进行请托、游说、“打招呼”，违规到评审会议驻地窥探、游说、询问等干扰评审或可能影响评审公正性的行为；

（七）向工作人员、评审专家等提供任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包，或提供宴请、旅游、娱乐健身等任何可能影响评审公正性的活动；

（八）违反财经纪律和相关管理规定的行为；

（九）危害国家安全、损害社会公共利益、危害人体健康、违背科研诚信和科技伦理的科学技术研究开发和应用活动；

（十）其他弄虚作假行为。

如违背上述承诺，本人愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于撤销科学基金资助项目，追回项目资助经费，向社会通报违规情况，取消一定期限国家自然科学基金项目申请资格，记入科研诚信严重失信行为数据库以及接受相应的党纪政务处分等。

申请人签字：

编号	主要参与者姓名 / 工作单位名称（应与加盖公章一致）/ 证件号码	签字
1	**王纪华** / 北京市农林科学院 / 2**********8	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

国家自然科学基金项目负责人、依托单位承诺书

国家自然科学基金项目负责人承诺书

本人郑重承诺：我接受国家自然科学基金的资助，严格遵守中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》《科技伦理审查办法（试行）》等规定，和国家自然科学基金委员会关于资助项目管理、项目资金管理等各项规章，在《计划书》填写及项目执行过程中：

（一）按照《批准通知》《国家自然科学基金资助项目计划书填报说明》的要求填写《计划书》，未自行降低、更改目标任务或约定要求，或缩减研究（研制）内容；

（二）树立“红线”意识，严格履行科研合同义务，按照《计划书》负责实施本项目（批准号：42571387），切实保证研究工作时间，按时报送有关材料，及时报告重大情况变动，不违规将科研任务转包、分包他人，不以项目实施周期外或不相关成果充抵交差；

（三）遵守科研诚信、科技伦理规范和学术道德，认真开展研究工作，对资助项目发表的论著和取得的研究成果按规定进行标注，不在非本项目资助的成果或其他无关成果上标注本项目批准号，反对无实质学术贡献者“挂名”，不在成果署名、知识产权归属等方面侵占他人合法权益，并如实报告本人及项目组成员发生的违背科研诚信要求的任何行为；

（四）尊重科研规律，弘扬科学家精神，严谨求实，追求卓越，反对浮夸浮躁、投机取巧，不人为夸大学术或技术价值，不传播未经科学验证的现象和观点；

（五）将项目资金全部用于与本项目研究工作相关的支出，并结合科研活动需要，科学合理安排项目资金支出进度；

（六）做好项目组成员的教育和管理，确保遵守以上相关要求。

如违背上述承诺，本人愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定。

项目负责人（签字）：

2025年 9月 3日

依托单位科研管理部门：	依托单位财务管理部门：
负责人（签章）： 2025年 9月 8日	负责人（签章）： 2025年 9月 8日

国家自然科学基金项目依托单位承诺书

我单位同意承担上述国家自然科学基金项目，将保证项目负责人及其研究队[redacted]目实施所需的条件，严格遵守中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》《科技伦理审查办法（试行）》等规定，和国家自然科学基金委员会有关资助项目管理、项目资金管理、科研诚信管理和科技伦理管理等各项规定，并督促实施。

依托单位（公章）

2025年 9月 9日

项目名称： 综合多源数据的草地贪夜蛾迁飞入侵预警方法研究

资助类型： 面上项目

申请代码： D0113.遥感科学

国家自然科学基金项目申请单位承诺书

为了维护国家自然科学基金项目评审公平、公正，共同营造风清气正的科研生态，**我单位就做好国家自然科学基金申请工作做出以下承诺。**

一、认真贯彻《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》等文件精神。

严格遵守《国家自然科学基金条例》《科技部自然科学基金委关于进一步压实国家科技计划（专项、基金等）任务承担单位科研作风学风和科研诚信主体责任的通知》要求，建立和完善科研诚信教育、管理监督制度。

二、切实贯彻《国家自然科学基金委员会关于进一步加强依托单位科学基金管理工作的若干意见》《国家自然科学基金依托单位基金工作管理办法》，认真履行管理主体责任，加强和规范科学基金项目管理。认真组织项目申请工作，注重提高项目申请质量，避免通过“全民动员”、设置硬性指标、实施与是否申请项目挂钩的奖惩措施等方式盲目追求项目申请数量。

三、严格按照《2025年度国家自然科学基金项目指南》《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》有关申请的通知通告和相关类型项目管理办法等文件要求，认真审核所有申请材料，确保本单位所有申请材料的真实性、完整性和合法性；确保在申请材料中不出现任何违反法律法规、违反科研伦理的内容；确保申请材料中没有任何涉密信息或敏感信息；确保申请人符合相应项目的申请资格；确保依托单位、合作研究单位、申请人及主要参与者不在限制申报、承担或参与财政性资金支持的科技活动的期限内。

四、在项目申请和评审活动全过程中，遵守有关评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

（一）以任何形式探听未公开的项目评审信息、评审专家信息及其他评审过程中的保密信息，干扰评审专家的评审工作；

（二）组织、协助或纵容申请人或参与者向评审工作人员、评审专家等提供任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包等；宴请评审工作人员、评审专家，或向评审工作人员、评审专家提供任何可能影响科学基金评审公正性的活动；

（三）支持申请人采取任何不正当手段获取国家自然科学基金项目申请资格；

（四）支持申请人或参与者虚假申报项目，甚至骗取国家自然科学基金项目；

（五）支持申请人或参与者采取“打招呼”“围会”等方式影响科学基金项目评审的公正性；

（六）拖延、包庇、阻碍、干扰请托案件等不端行为调查；

（七）其他违反财经纪律和相关管理规定的行为。

五、不从事危害国家安全、损害社会公共利益、危害人体健康、违背科研诚信和科技伦理的科学技术研究开发和应用活动。

如违背上述承诺，本单位愿接受自然科学基金委和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于暂停拨或核减经费、追回项目已拨经费、取消本单位一定期限国家自然科学基金项目申请资格、记入科研诚信严重失信行为数据库以及主要责任人接受相应党纪政务处分等。

依托单位公章：

日期：2025 年 9 月 17 日

合作研究单位公章：

日期： 年 月 日

合作研究单位公章：

日期： 年 月 日