

中国“十四五”重大病虫害防控综合技术研发实施展望

张 凯 陈彦宾 张 昭 杨礼胜*

(农业农村部科技发展中心, 北京 100122)

摘要: 病虫害防控是国家总体安全的重要组成部分,为构建区域一体化、技术绿色化的农林草业重大病虫害精准监测预警和全程防控综合技术体系,“十四五”期间,国家重点研发计划设立了“重大病虫害防控综合技术研发与示范”重点专项。此专项以保障农林生产安全、农产品质量安全和农林生态安全为根本目标,以草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、柑橘黄龙病菌 *Liberbacter asiaticum*、松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus*、东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 等农作物和森林草原重大病虫害防控科技创新为首要任务,旨在建立覆盖全国的农林草业重大病虫害精准监测预警网络,系统揭示重大病虫害区域性灾变机理,为农业绿色高质量发展提供科技支撑。该文综述了该专项的研发背景、专项定位、研究内容、任务布局、实施机制、政策保障,以期为植物保护领域相关科研人员、推广机构、政府部门、技术用户等提供参考。

关键词: 重大病虫害; 绿色防控; 国家重点研发计划

Research and development of techniques for integrated control of major diseases and insect pests during the Fourteenth Five-Year Plan in China

Zhang Kai Chen Yanbin Zhang Zhao Yang Lisheng*

(Development Center of Science and Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100122, China)

Abstract: Control of plant diseases and insect pests is an important component of national security. For constructing the regional-integrated and green-technology based systems for precise and accurate monitoring and early warning, and whole process control of the major diseases and insect pests in agriculture, forestry and grass industry, a special key project for R&D and Demonstration of Techniques for Integrated Prevention and Control of Major Diseases and Insect Pests was established in the Fourteenth Five-year Plan. With the ultimate goal to ensure the production safety of agriculture and forestry, agricultural product quality security and ecological security of agriculture and forestry, this specific funding takes innovations in technology for integrated control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the pathogen of citrus Huanglongbing *Liberbacter asiaticum*, pine nematode *Bursaphelenchus xylophilus*, oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis* and other major diseases and insect pests as the first priority. It aims to establish a nationwide network for accurate monitoring and early warning of major diseases and insect pests in agriculture, forestry and grass industry, to reveal the mechanism of regional disasters of major diseases and insect pests systematically, and to provide scientific and technological supports for the green and high-quality development of agriculture. This article summarized the background for establishment of this fund, its specific positioning, research contents, task layout, implementation mechanisms, and policy guarantee, hoping to provide a reference for researchers, extension agencies, government departments and technical users in the field of plant protection.

基金项目: 国家财政项目“专业机构管理费”(2069999)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: yanglisheng@agri.gov.cn

收稿日期: 2022-01-10

Key words: major diseases and insect pests; green prevention; National Key R&D Program of China

病虫害防控是国家总体安全的重要组成部分,对保障农林生产安全、农产品质量安全、农林生态安全具有重大战略意义。重大病虫害包括国内发生和外来入侵生物两大类群,涵盖真菌、细菌、病毒、线虫、昆虫、杂草、害鼠等生物种类,具有暴发突然、流行快速、危害严重、控制较难等特点。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标》中明确要求要“以保障国家粮食安全为底线,健全农业支持保护制度”、“健全农作物病虫害防治体系”、“加强外来物种管控”。在《生物安全法》和《农作物病虫害防治条例》中,也将植物疫情监测防控科技支撑提升到国家安全的高度,明确要加强病虫害监测与防治的科技支撑。为构建区域一体化、技术绿色化的农林草业重大病虫害精准监测预警和全程防控综合技术体系,为农业绿色高质量发展提供科技支撑,“十四五”期间国家重点研发计划设立了“重大病虫害防控综合技术研发与示范”重点专项。

本文综述了“重大病虫害防控综合技术研发与示范”专项的研发背景、专项定位、研究内容、任务布局、实施机制、政策保障,以期为植物保护领域相关科研人员、推广机构、政府部门、技术用户等提供参考,从而有效发挥“重大病虫害防控综合技术研发与示范”专项在支撑我国农林草业绿色发展中的战略作用。

1 研发背景和专项定位

1.1 战略意义

1.1.1 病虫害是国家农林生产安全的重大威胁

一是病虫害严重威胁农业生产和粮食安全。我国重大病虫害频繁暴发、连年发生,灾害持续不断,对农业造成巨大经济损失。草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 于2019年入侵我国并不断扩散,已蔓延到27个省市,为害玉米、高粱等20余种作物,严重威胁农业安全生产(姜玉英等,2019)。小麦赤霉病在我国年均发生面积已超过567万 hm^2 ,占全国小麦总面积的1/4,大流行年份重病区发病率超过50%,减产达20%以上(曾娟和姜玉英,2013)。柑橘黄龙病等检疫性病虫害不断蔓延,对果树产业构成重大威胁(Canales et al., 2016)。二是病虫害成为制约经济林生产的重大因素。林业病虫害已成为威胁森林资源安全和经济林产业持续发展的重大灾害。近

年来,林业有害生物发生面积持续保持高位,对林业造成巨大经济损失。松材线虫病年发生面积133万 hm^2 ,累计造成6亿多株松树死亡,年均造成材积损失2500万 m^3 和直接经济损失245亿元(赵洁等,2020)。三是病虫害直接导致草原生产功能急剧下降。全国草原生物灾害近年来呈现持续高发多发严峻态势,草原病虫害鼠害年均造成牧草减产超过5200万t,严重威胁饲草供给安全。

1.1.2 高效防控病虫害是保障农产品质量安全的有效途径

一是化学用药使用量大,依然威胁食品安全。我国化学农药用量虽然实现负增长,但施用总量大,如我国杀虫剂单位面积使用量是美国的10倍,再加上施药技术落后、绿色防控产品创新与供给不足和现有防控技术和产品装备科技含量低,致使在个别地区的设施蔬菜、鲜食水果和茶叶等生产中仍存在农药残留超标的现象(曹焯程等,2017)。二是病虫害直接造成农产品质量下降。农作物病虫害除造成产量损失外,还可以直接造成农产品品质下降,出现腐烂、霉变等,降低商品品质,营养、口感也会变异,甚至导致产生有毒、有害物质。如黄曲霉、镰刀菌等部分农业病原物产生的毒素严重危害人身健康和生命安全。据不完全统计,真菌毒素污染导致的农产品损失高达3100万t/年。

1.1.3 高效防控病虫害是保障农林生态安全的必然选择

一是化学农药过多使用严重影响农业生物多样性和生态系统稳定性。化学农药的大量使用,直接导致物种多样性减少、遗传多样性丧失、生态系统多样性脆弱和平衡失调等,以及农药杀伤天敌、有益生物等导致害虫再猖獗和自然控制力减弱,进而威胁安全生产(张凯等,2019)。二是病虫害暴发扩散导致森林生态功能降低。林业有害生物年均发生面积达1187万 hm^2 ,每年造成4000多万株林木死亡,直接经济损失和生态服务价值损失高达1100亿余元,已严重威胁森林、湿地、荒漠三大生态系统安全。三是病虫害持续偏重发生导致草原生态退化。蝗虫(Neha et al., 2020)、鼠害等草原生物灾害年均发生7760万 hm^2 ,加剧了草地植被的退化和恶化,给生态安全带来了极大威胁和安全隐患(郝伟丽等, 2016)。

1.2 病虫害防控现状和趋势

1.2.1 国内外现状

当前,全球病虫害防控科技创新格局分布不均

衡,欧美等基础研究和应用研究方面水平和能力都较强,非洲、南美、亚洲等一些经济相对落后国家在重大病虫害防控能力上明显不足。在美洲、欧洲、澳洲本土重大农林病虫害总体可控,成灾规律与分子机理研究进展迅速,整体超越我国的同类研究水平;在非洲本土重大农林病虫害则是快速蔓延为害,可用防控技术产品缺乏。外来有害生物入侵各国的频率增加,为害加重,美欧澳日等发达国家高度重视,均能及时立项资助,研究快速防范和持续治理的手段产品。

一是灾变规律研究越发深入。国外创新利用分子生物学、大数据及人工智能理论与技术,系统性地解析农林重大病虫害致害性及其变异与作物特异抗病虫性的机理,利用高通量蛋白-蛋白互作网络大规模鉴定和分析病原物效应因子与植物抗病相关蛋白间的互作关系;利用信息技术定量分析昆虫的种群时空特征;我国在部分重大病虫害如小麦条锈病菌 *Puccinia striiformis* (陈万权等, 2013; Cheng et al., 2015)、小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum* (刘易科等, 2016)、稻瘟病菌 *Pyricularia oryzae*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* (高明清等, 2011)等在病虫害-作物-环境互作机制的研究中取得突破。

二是灾变监测预警技术快速发展。欧美等国利用人工智能对重大病虫害进行精准诊断,中长期预测预报准确率较高;我国通过与生物学、信息学、互联网+技术融合,开展暴发性和流行性生物灾害识别诊断,实现了重大病虫害预测预报,显著提高了防御农林生物灾害的能力,整体处于并跑状态(秦虎强等, 2011)。

三是病虫害防控核心技术及产品更新换代。英国、荷兰等国通过与生物学融合,改进微生物发酵技术和制剂工艺,升级天敌昆虫生产工艺,创新植物免疫诱导、RNA干扰、昆虫信息素等技术;天敌昆虫、虫生真菌、Bt制剂等产品在我国有不同程度的生产,害虫食诱剂、性诱剂等商品化也有一定成效,部分领域处于国际先进水平(杜艳丽, 2014)。

四是防控治理体系日臻完善。国外近年基于信息化、智能化、机械化等技术进步,提出病虫害大面积种群治理等新理论;基于生物防治与生态调控的学科融合,创新了有害生物生态调控策略。我国完善了“公共植保、绿色植保、科学植保”的农林病虫害防控理论,以主要粮棉油果菜茶林草为对象确定了有害生物防治指标,通过统防统治等组织形式开展

病虫害治理,一度处于领跑状态(崔美娜等, 2018)。

1.2.2 发展趋势

一是研究农林草业病虫害的发生发展趋势及其相关的各种内因和外因,长期采集积累大量数据,建立全国病虫害监测“一张网”、“一套数”,突破精准监测预警难题,成为研究热点和重点方向,同时为应用大数据分析构建发生动态模型,揭示其发生规律,并制订切实可行的防治措施。

二是强化以植物健康为目标,强调兼顾各种有害生物的综合防控,实现区域生态治理。同一生态区域上的病害、虫害、毒害杂草和鼠害之间在一定联系,如蚜虫等传播病毒病,昆虫病原寄生害虫,天敌寄生或取食害虫,毒害杂草对啮齿类有毒等,迫切需要在研究一类有害生物的同时,兼顾其他有害生物。在防治上,要求形成系统解决方案,该方案可兼顾多种病害,或兼顾多种病虫害,甚至兼顾所有病虫害鼠害,减少防治成本,实现生态系统治理。

三是突出绿色防控主基调,强化采用环境友好型防控措施,实现全程防控绿色化。要求在防治时充分利用生物、物理、农业、生态等环境友好型防治措施,根据各类有害生物的特点选择最佳措施,尽可能减少化学农药的施用次数和数量,减轻对天敌昆虫、天敌动物和土壤有益生物的杀伤,减少对生物多样性、遗传多样性和生态系统稳定性尤其是人畜健康安全的影响,确保生产安全、生态安全和生命安全。

1.3 使命定位和目标愿景

到2025年,突破并形成一批自主可控的农林重大病虫害防控核心关键技术,研发一批满足农林业高质量发展和国际竞争需要的病虫害绿色防控新产品,构筑国际一流的农林重大病虫害综合防治技术体系,确保农林生产安全、农产品质量安全和农林生态安全。

一是抢占重大病虫害防控科技制高点。加大农林病虫害防控前沿基础研究,解析重大病虫害鼠害灾变机制、重大外来生物入侵蔓延机制、病虫害抗药性形成机制、病虫害区域性演替规律等,着力攻克病虫害智能监测预警、外来病虫害快速检测鉴定等共性核心关键技术,解决生物防治、理化诱控、生态调控等绿色防控产品创制的高新技术创新能力不足问题,掌控植保核心科技主动权,使农林重大病虫害防控科技创新水平和能力位居国际前列。

二是创制战略性病虫害绿色防控新产品。创制捕食性和寄生性天敌昆虫系列产品、杀虫抗病微生

物活体制剂、害虫性诱剂食诱剂等理化诱控产品,研发智能型信息化监测预警和高效施用关键设备,增强重大病虫害绿色防控产品的有效供给能力。

三是有效控制农林重大病虫害危害。重大病虫害测报准确率超过85%,外来入侵生物防控效率超过90%、口岸监测阻截率超过90%,实现重大病虫害可防可控可治;粮食等重要农作物重点发生区病虫害造成的产量损失控制在5%以下,绿色防控覆盖率提升到60%以上;森林草原有害生物成灾率控制在3.5‰以下,绿色防控率提升到80%以上;化学农药使用量总体减少10%~20%。

2 研究内容和任务布局

坚持需求导向和问题导向,以保障国家农林生产安全、农产品质量和农林生态安全为根本目标,以草地贪夜蛾(李向永等,2020)、柑橘黄龙病菌(姚廷山等,2020)、松材线虫(理永霞和张星耀,2018)、蝗虫等农作物和森林草原重大病虫害防控科技创新为首要任务,坚持“防风险、堵漏洞、强基础、补短板”的工作原则,聚焦新发突发病虫害入侵暴发风险“可防”、重大病虫害危害损失“可控”、农林系统病虫害有方“可治”和区域病虫害全程防控“绿色化”的重大需求,针对新发突发病虫害监测预警能力弱、重大病虫害难控制、防控高新技术原创能力不足和病虫害防控化学农药用量大等瓶颈问题,强化新发突发病虫害高效监控、重大病虫害可持续控制、病虫害防控高新技术自立自强和农林生产病虫害全程绿色防控的目标导向,采用“基础与应用基础研究、关键核心技术与产品研发、技术集成与示范应用”互联互通的研究思路,统筹部署包括“新发突发病虫害检测监测与应急处置技术研究”、“重大病虫害灾变机制与可持续防控技术研究”、“病虫害防控共性高新技术与产品研发”和“病虫害演替规律与全程绿色防控技术体系集成示范”四大主攻任务方向。

2.1 新发突发病虫害检测监测与应急处置技术研究

2.1.1 外来病虫害快速检测、检验检疫与除害处理技术

针对国家进出口农产品,预防可能携带的检疫性病虫害和潜在入侵物种入侵,研发外来智能快速查验技术与装备,创新病虫害一体化快速及高效精准检测技术与装备,开发安全环保快速检疫除害处理技术,建立国门安全检疫防控技术体系。

2.1.2 重大入侵生物种群扩张蔓延机制与高效防控技术

针对苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (房阳等,2018; Guo et al.,2021)、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlin-*

eata (郭文超等,2007;2011)、美国白蛾 *Hyphantria cunea* (陆秀君等,2008;刘云飞等,2012)、长林小蠹 *Hylurgus ligniperda*、梨火疫病菌 *Erwinia amylovory*、番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta*、刺萼龙葵 *Solanum rostratum* 等重要/新发外来入侵生物(尚琳琳等,2010),阐明其入侵蔓延、生态适应性进化与灾变机制,突破风险评估、检验检疫、监测预警、应急处置与生态修复等关键技术瓶颈,建立高效控制技术体系并示范应用。

2.1.3 病虫害数字化精准监测预警技术体系构建与应用

利用病虫害监测站点历史数据,构建全国性病虫害数据库。集成基于物联网和云计算的智能化采集、网络化传输、模型化预测和图型化预报技术,构建重要病虫害实时精准监测、数据传输与分析、早期预警与快速发布的一体化技术体系并推广应用。

2.2 重大病虫害灾变机制与可持续防控技术研究

2.2.1 病害灾变机制与可持续防控技术研究

针对柑橘黄龙病、小麦赤霉病、松材线虫病等重大农林病害的防控难点,阐明区域性流行灾变机制,突破监测预警与防控关键技术瓶颈,构建区域性高效综合防控技术体系并示范应用。

2.2.2 害虫灾变机制与可持续防控技术研究

针对草地贪夜蛾、稻飞虱(陈洋等,2011)、蝗虫(蔡邦华,1934)等重大农林草原害虫,解析其迁飞扩散与区域性暴发机制,研发精准监测预警和防控关键技术,构建区域性可持续控制技术体系并示范应用。

2.2.3 草害灾变机制与可持续防控技术研究

针对稗 *Echinochloa crusgalli*、马唐 *Digitaria sanguinalis* 等农田恶性杂草和狼毒 *Stellera chamaejasme*、长芒苋 *Amaranthus palmeri*、少花蒺藜草 *Cenchrus spinifex* 等草原重大草害,阐明其种群演化成灾机制,突破预测预报和防控关键技术瓶颈,构建区域性可持续控制技术体系并示范应用。

2.2.4 鼠害灾变机制与可持续防控技术研究

针对褐家鼠 *Rattus norvegicus* 和布氏田鼠 *Lasiopodomys brandtii* (郝伟丽等,2016; Jensen et al.,2019)等重要农田和草原害鼠,阐明其种群演化成灾机制,突破预测预报和绿色防控关键技术瓶颈,构建区域性可持续控制技术体系并示范应用。

2.2.5 病虫害与农作物互作机制及关键防控技术创新

明确病原微生物的致病机理及作物免疫防卫机理,研制作物病害绿色防控新技术;解析作物-害虫-天敌互作关系及机制,开发作物害虫绿色防控关键技术和产品。

2.3 病虫害防控共性高新技术、产品与装备创新

2.3.1 生物防治资源挖掘利用与产品创制

开展生物防治资源与规模化生产潜能评价工作,阐明农林草原新发展模式下生物防治资源控害机理,攻克天敌昆虫发育营养、生殖和环境适应性调控、自动化产业化生产工艺、高效释放等关键技术瓶颈,创制防控农林草原害虫的系列化天敌产品;揭示微生物生防因子作用不同靶标的宿存调控机制,突破活体生物农药环境适应性技术瓶颈,创制持续控害的新剂型、新产品。

2.3.2 化学通讯机制与诱控新产品

研究重大病虫害种内和种间化学通讯机制,挖掘和鉴定病虫害化学感受关键基因,解析化学通讯类似物主成分,研发符合农林草业生产新模式的缓释和增效助剂,创制对农林草原害虫高效特异的性诱剂、食诱剂、产卵诱杀剂等绿色诱控新产品。

2.3.3 物理消杀机理与智能防控新产品

阐明光、温、辐射等技术对农林病虫害物理消杀机理,确定对重大害虫个性化诱集的光谱配方,研发天敌友好型灯诱、色诱产品,探索病虫害辐照杀灭及害虫辐射不育技术,研发检疫病虫害物理消杀技术及产品装备;研发农林草原重要病虫害的遥感监测、图像智能化采集、识别、传输技术,开发基于5G的智能化监测预警与防控装备。

2.3.4 致害型变异机制与植物抗性品种可持续利用技术

揭示农林植物对重大病虫害的广谱、持久抗性机理,阐明病虫害致害型变异规律,评价抗病虫主效基因和品种的时空有效性,建立抗性基因或品种可持续利用技术。

2.3.5 抗药性机制与治理技术

从分子水平、蛋白质水平上揭示病虫害抗药性的分子机制,阐明病虫害抗药性形成及多抗性机制,揭示病虫害抗药性的代偿机制,发展以精准抗药性预警检测技术、精准抗药性风险评估技术、抗药性基因为导向的治理技术。

2.3.6 病虫害生态调控机理与应用技术

从区域性农林草-昆虫-天敌食物网及其环境互作关系出发,探究景观格局、生物多样性、功能植物、生境变化和产业结构调整对农林草原病虫害的生态调控机理,深入研究生态调控新方法、新理论,构建生态调控为主的农林草原可持续发展新模式。

2.3.7 农产品农药残留和生物毒素风险评估与控制技术

研发农药残留和生物毒素的快速检测技术及产

品,解析生物毒素来源与产生机制,研制农产品中农药、生物毒素等典型污染物去除消减技术及功能产品,创建农产品中污染物的产地风险评估、分级标准和安全生产风险控制关键技术。

2.4 病虫害演替规律与全程绿色防控技术体系集成示范

2.4.1 粮食作物

针对水稻、小麦、玉米等粮食作物,研究产业结构调整 and 气候变化等因素对病虫害种群演替影响机制,构建多种病虫害全生育期一体化绿色防控技术方案,并在主产区大面积示范应用。

2.4.2 经济作物

针对棉花、大豆、油料等经济作物,研究产业结构调整 and 气候变化等因素对病虫害种群演替影响机制,构建多种病虫害全生育期一体化绿色防控技术方案,并在主产区大面积示范应用。

2.4.3 园艺作物

针对蔬菜、果树、茶树和花卉等园艺作物,研究产业结构调整 and 气候变化等因素对病虫害种群演替影响机制,构建多种病虫害全生育期一体化绿色防控技术方案,并在主产区大面积示范应用。

2.4.4 设施农业

研究设施条件下作物病虫害的流行规律和致灾机制,创新生态调控、土壤消毒和有益生物高效利用技术,构建设施农业多种病虫害全生育期一体化绿色防控技术方案,并在主产区大面积示范应用。

2.4.5 森林病虫害

针对防护林、经济林和用材林等,研究产业结构调整 and 气候变化等因素对病虫害种群演替影响的机制,集成引诱剂、天敌昆虫、病原微生物及天然活性产物等防控技术构建多种病虫害全生育期一体化绿色防控技术方案,并在典型区域和重点森林生态系统示范应用。

2.4.6 草原病虫害

针对我国主要天然草原生态区,揭示气候变化、生态修复和放牧干预导致的昆虫、杂草和害鼠演替规律,集成监测预警、生物防治、生态治理等关键技术措施构建我国不同草原类型的病虫害全程绿色防控技术体系,并大面积示范。

2.4.7 热带作物

针对我国重要的热带经济作物,研究重点病虫害防控对象的演变规律和成灾机制,集成监测预警、生物防治、生态调控等关键技术建立与生产环节一体化的病虫害全程绿色防控技术体系,并大面积示范推广。

3 实施机制和政策保障

3.1 实施“揭榜挂帅”和青年科学家科研团队遴选

瞄准重大战略性基础性科学问题和重点领域高新技术原创能力不足问题,柑橘黄龙病、松材线虫病等实行“揭榜挂帅”机制,自主申报和择优遴选相关领域有实力、有能力、善于攻坚和解决问题的高层次领军人才及其优势创新团队进行联合攻关。加大对青年科学家的支持力度,病虫害与农作物互作机制、绿色防控关键技术创新与新型产品创制等聚焦专项研究内容任一方向,进行探索性研究。

3.2 实施“帅才科学家负责制”和科研经费动态调整

瞄准国家重大需求和全产业链重点领域关键环节技术创新需求,鼓励不同团队采取不同技术路线进行创新攻坚,坚持“破四唯”和“放管服”,赋予项目首席科学家技术路线和项目经费动态调整的自主权利,建立实施过程绩效评价和动态调整机制,将绩效评估结果与科研经费调整挂钩,充分激发创新活力。

3.3 实施政产学研企用一体化和学科交叉融合协同创新

坚持需求导向和问题导向,将创新链配置在产业链上,突出基础研究-技术创新-产品服务-示范应用“一条龙”的创新任务部署,集聚多方资源投入公益性、基础性共性技术创新和推广服务。微生物制、天敌昆虫、物理消杀装备等重大产品与装备任务实行企业创新联合体机制。探索扩大支持非共识项目渠道,鼓励学科交叉融合创新,建立跨单位、跨学科、跨领域的协同联动机制,做好环节衔接,避免各项目、课题之间脱节、偏离、碎片,着力提升科技创新质量效益。

3.4 建立健全专业机构管理和第三方评价

委托专业机构进行全过程管理,通过统一的国家科技管理信息系统受理项目预申请和申报,加强项目评审、立项、过程管理和结题验收等节点管理。建立健全项目成果产出和项目验收的第三方评估和用户评价机制,建立科学高效的成果推广应用和结题后绩效评估机制,加强绩效评价结果的应用,提升专项执行总体效率和资金使用效率。

参 考 文 献 (References)

- Cai BH. 1934. Prediction of locust infestation in China. *Entomology & Phytopathology*, 2(23): 456 (in Chinese) [蔡邦华. 1934. 中国蝗患之预测. *昆虫与植病*, 2(23): 456]
- Canales E, Coll Y, Hernández I, Portieles R, García MR, López Y, Aranguren M, Alonso E, Delgado R, Luis M, et al. 2016. ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’, causal agent of citrus Huanglong-bing, is reduced by treatment with brassinosteroids. *PLoS ONE*, 11(1): e0146223
- Cao AC, Liu XM, Guo MX, Wang QX, Li Y, Ouyang CB, Yan DD. 2017. Incidences of soil-borne diseases and control measures. *Plant Protection*, 43(2): 6–16 (in Chinese) [曹劫程, 刘晓漫, 郭美霞, 王秋霞, 李园, 欧阳灿彬, 颜冬冬. 2017. 作物土传病害的危害及防治技术. *植物保护*, 43(2): 6–16]
- Chen WQ, Kang ZS, Ma ZH, Xu SC, Jin SL, Jiang YY. 2013. Integrated management of wheat stripe rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(20): 4254–4262 (in Chinese) [陈万权, 康振生, 马占鸿, 徐世昌, 金社林, 姜玉英. 2013. 中国小麦条锈病综合治理理论与实践. *中国农业科学*, 46(20): 4254–4262]
- Chen Y, Tian JC, Peng YF, Guo YY, Ye GY. 2011. Multi-generation effects of transgenic *cry1Ab/vip3H* rice G6H1 on development and reproduction of the non-target pest, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Chinese Journal of Biological Control*, 27(4): 490–497 (in Chinese) [陈洋, 田俊策, 彭于发, 郭予元, 叶恭银. 2011. 转 *cry1Ab/vip3H* 基因水稻对非靶标害虫褐飞虱连续多代生长发育与繁殖的影响. *中国生物防治学报*, 27(4): 490–497]
- Cheng YL, Wang XJ, Yao JN, Voegelé RT, Zhang YR, Wang WM, Huang LL, Kang ZS. 2015. Characterization of protein kinase PsSRPKL, a novel pathogenicity factor in the wheat stripe rust fungus. *Environmental Microbiology*, 17(8): 2601–2617
- Cui MN, Dai JG, Wang SH, Zhang GS, Xue JL. 2018. Research on identification method of mite infection cotton based on of UAV multi-spectral image. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 55(8): 1457–1466 (in Chinese) [崔美娜, 戴建国, 王守会, 张国顺, 薛金利. 2018. 基于无人机多光谱影像的棉叶螨识别方法. *新疆农业科学*, 55(8): 1457–1466]
- Du YL, Zhang MZ, Ma YQ, Sun SL, Wang JB, Liu JL, Qin L. 2014. Formulation screening of sex pheromones and field trapping tests for the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Plant Protection*, 41(2): 187–191 (in Chinese) [杜艳丽, 张民照, 马永强, 孙淑玲, 王金宝, 刘建玲, 秦岭. 2014. 桃蛀螟性诱剂配方筛选与田间引诱试验. *植物保护学报*, 41(2): 187–191]
- Fang Y, Cai M, Ke X, Xing JC, Yang XQ, Wang XQ. 2018. Occurrence regularity of codling moth *Cydia pomonella* on pear fruits in Zhangwu County of Liaoning Province. *Journal of Plant Protection*, 45(4): 724–730 (in Chinese) [房阳, 蔡明, 可欣, 邢峻策, 杨雪清, 王小奇. 2018. 苹果蠹蛾在辽宁省彰武县梨树上的发生规律. *植物保护学报*, 45(4): 724–730]
- Gao MQ, Hou SP, Pu DQ, Shi M, Ye GY, Peng YF, Chen XX. 2011. Effects of Bt rice on the number and hatch rate of planthopper eggs and their attack by natural enemies in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 54(4): 467–476 (in Chinese) [高明清, 侯守鹏, 蒲德强, 时敏, 叶恭银, 彭于发, 陈学新. 2011. 田间转 Bt 基因水稻上稻飞虱卵量、孵化率及天敌作用. *昆虫学报*, 54(4): 467–476]
- Guo SW, Ge XZ, Zou Y, Zhou YT, Wang T, Zong SX. 2021. Projecting the global potential distribution of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) under historical and RCP4.5 climate scenarios. *Jour-*

- nal of Insect Science, 21(2): 15
- Guo WC, Deng CS, Li GQ, Deng JY, Jiang WH, Wu JH, Wang PL, Tan WZ, Zhang QW. 2011. Progress in biological control techniques of Colorado potato beetle in China. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 48(12): 2217-2222 (in Chinese) [郭文超, 邓春生, 李国清, 邓建宇, 姜卫华, 吴家和, 王佩玲, 谭万忠, 张青文. 2011. 我国马铃薯甲虫生物防治技术研究进展. *新疆农业科学*, 48(12): 2217-2222]
- Guo WC, Tursun·Ahmat, Zhou J, He J, Tian YC. 2007. Preliminary report on the genetic expression of Colorado potato beetle resistant to the potato transferred by *cry3A* and *vhb* genes.//Cheng ZM. Proceeding of Academic Annual Conference of Botanical China Society of Plant Protection in 2007: Plant Protection and Modern Agriculture. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 489-494 (in Chinese) [郭文超, 吐尔逊·阿合买提, 周俊, 何江, 田颖川. 2007. 转 *cry3A* 和 *vhb* 基因马铃薯对蔬菜花斑虫抗性表达研究初报.//成卓敏. 植物保护与现代农业——中国植物保护学会2007年学术年会论文集. 北京: 中国农业科技出版社, pp. 489-494]
- Hao WL, Wang DW, Ren F, Hu XF, Tian L, Li N, Liu XH. 2016. Fecal hormones imply different reproduction strategies of Brandt's voles born in different seasons. *Acta Theriologica Sinica*, 36(4): 413-421 (in Chinese) [郝伟丽, 王大伟, 任飞, 胡祥发, 田林, 李宁, 刘晓辉. 2016. 粪便激素水平反映不同出生时期雄性布氏田鼠的繁殖策略. *兽类学报*, 36(4): 413-421]
- Jensen T, Jamieson SE, Castro I, Gartrell B, Cockrem JF, Durrant B. 2019. Serum prolactin and testosterone levels in captive and wild brown kiwi (*Apteryx mantelli*) during the prebreeding, breeding, and incubation periods. *Zoo Biology*, 38(3): 316-320
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K. 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10-19 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤. 2019. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. *植物保护*, 45(6): 10-19]
- Li XY, Yin YQ, Khin TN, Khay S, Liu Y, Chen AD. 2020. Analysis on population genetic diversity of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province, China, Myanmar and Cambodia based on *mtCOI* gene sequence. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 789-796 (in Chinese) [李向永, 尹艳琼, Khin TN, Khay S, 刘莹, 谌爱东. 2020. 基于 *mtCOI* 基因序列的我国云南省和缅甸、柬埔寨草地贪夜蛾种群遗传多样性分析. *植物保护学报*, 47(4): 789-796]
- Li YX, Zhang XY. 2018. High risk of invasion and expansion of pine wood nematode in middle temperate zone of China. *Journal of Temperate Forestry Research*, 1(1): 3-6 (in Chinese) [理永霞, 张星耀. 2018. 我国中温带面临的松材线虫入侵扩张高风险. *温带林业研究*, 1(1): 3-6]
- Liu YF, Lu XJ, Liu TH, Li RJ, Zhao HL, Guo W. 2012. Synergism of β -cypermethrin and *Bacillus thuringiensis* against *Hyphantria cunea*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 14(1): 51-55 (in Chinese) [刘云飞, 陆秀君, 刘廷辉, 李瑞军, 赵焕丽, 郭巍. 2012. 苏云金杆菌与高效氯氰菊酯对美国白蛾的协同作用. *农药学报*, 14(1): 51-55]
- Liu YK, Tong HW, Zhu ZW, Chen L, Zou J, Zhang YQ, Gao CB. 2016. Progress in research on mechanism of resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 49(8): 1476-1488 (in Chinese) [刘易科, 佟汉文, 朱展望, 陈冷, 邹娟, 张宇庆, 高春保. 2016. 小麦赤霉病抗性机理研究进展. *中国农业科学*, 49(8): 1476-1488]
- Lu XJ, Li RJ, Dong LX, Dong JZ, Zhao HL, Tao B. 2008. The screening of high toxicity *Beauveria* strains against *Hyphantria cunea* (Drury) and compatible with β -cypermethrin. *Journal of Plant Protection*, 35(6): 575-576 (in Chinese) [陆秀君, 李瑞军, 董立新, 董建臻, 赵焕丽, 陶晔. 2008. 美国白蛾高毒白僵菌菌株筛选及其与高效氯氰菊酯的相容性. *植物保护学报*, 35(6): 575-576]
- Neha HC, Munavalli JR, Deeksha RA, Pramod HCN, Munavalli JR. 2020. Automated real-time locust management using artificial intelligence. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(5): 133-138
- Qin HQ, Gao XN, Zuo YX, Huang LL, Han QM, Kang ZS, Si H, Wang HL, Tang JX, Wang YF. 2011. Control effect of different fungicide and agricultural measures on the rape *Sclerotinia* stem rot. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 20(4): 173-178 (in Chinese) [秦虎强, 高小宁, 左叶信, 黄丽丽, 韩青梅, 康振生, 司华, 王海丽, 唐建祥, 王延峰. 2011. 不同药剂和农业措施对油菜菌核病的防治研究. *西北农业学报*, 20(4): 173-178]
- Shang LL, Zhou GL, Qiu SH, Chen ZB, Xu DS, Yi JP. 2010. Detection of *Erwinia amylovora* in cherry fruits imported from USA by PCR. *Journal of Plant Protection*, 37(5): 441-446 (in Chinese) [尚琳琳, 周国梁, 仇书红, 陈仲兵, 徐殿胜, 易建平. 2010. 美国进境樱桃果实中梨火疫病病菌的检测. *植物保护学报*, 37(5): 441-446]
- Yao TS, Zhou Y, Achor D, Li JY, Wang N, Zhou CY. 2020. Inhibition effect of oxytetracycline on citrus Huanglongbing and its effect on citrus yield and quality. *Journal of Plant Protection*, 47(6): 1353-1361 (in Chinese) [姚廷山, 周彦, Achor D, Li JY, Wang N, 周常勇. 2020. 土霉素对柑橘黄龙病的防治效果及对柑橘产量和品质的影响. *植物保护学报*, 47(6): 1353-1361]
- Zeng J, Jiang YY. 2013. Cause analysis of wheat head blight outbreak in China in 2012 and continuous monitoring and control measures. *Chinese Plant Protection*, 33(4): 38-41 (in Chinese) [曾娟, 姜玉英. 2013. 2012年我国小麦赤霉病暴发原因分析及持续监控与治理对策. *中国植保导刊*, 33(4): 38-41]
- Zhang K, Feng TZ, Xiong C, Zhang Z. 2019. Top design and progress in research and development of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides in China. *Journal of Plant Protection*, 46(5): 943-953 (in Chinese) [张凯, 冯推紫, 熊超, 张昭. 2019. 我国化学肥料和农药减施增效综合技术研发顶层布局与实施进展. *植物保护学报*, 46(5): 943-953]
- Zhao J, Peng DL, Liu SM. 2020. Progresses in the researches on the effectors of plant parasitic nematodes. *Journal of Plant Protection*, 47(2): 245-254 (in Chinese) [赵洁, 彭德良, 刘世名. 2020. 植物寄生线虫效应子研究进展. *植物保护学报*, 47(2): 245-254]

(责任编辑:王璇)