



# 农作物有害生物防控: 成就与展望

张礼生, 刘文德, 李方方, 陆宴辉, 周雪平\*

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

\* 联系人, E-mail: zzhou@zju.edu.cn

收稿日期: 2019-09-14; 接受日期: 2019-11-18; 网络版发表日期: 2019-12-04

**摘要** 我国农作物有害生物具有种类多、危害重、发生规律复杂、防控难度大等特点, 相关理论和技术创新、防控体系构建与应用是保障农业安全生产的迫切需求. 新中国成立70年来, 我国植物保护领域取得了一系列的科技成就, 农作物有害生物防控从单一的人为干预起步, 经历化学农药防治为主, 再到绿色防控综合治理的发展阶段, 其中较为突出的成就包括: 掌握了农作物重大病虫害流行灾变规律; 揭示了重要农业有害生物的致害机理; 研发了一批防控产品; 建立了作物病虫害监测预警及防控技术体系. 随着产业变革与科技进步, 我国植保科技领域将迎来新的挑战和发展机遇. 未来的植保理论和技术研究应围绕下列3方面展开: 新型生产模式及气候变化下的有害生物发生规律, 全球化趋势下的有害生物检测预警技术, 绿色可持续的有害生物综合治理新模式. 建立现代植保技术体系将保障我国的粮食安全、环境安全和农业可持续发展.

**关键词** 监测预警系统, 植物抗性, 化学防治, 生物防治, 可持续治理

农作物有害生物防控是保护国家农业生产安全、保障农产品质量安全、减少环境污染、维护人民群众健康、促进农业可持续发展的重要支撑, 对于保障我国农业发展具有不可替代的关键作用. 党和政府历来高度重视农作物病虫害防控工作, 新中国成立70年来, 特别是党的十八大以来, 植物保护(简称植保)学科体系发展更加合理, 植物病理学、农业昆虫学、杂草学、鼠害学、农药学、生物防治学以及入侵生物学协调发展; 植保科学研究显著进步, 植保基础理论、植保产品研发与应用核心技术、配套体系创新与推广应用都取得了一批重大成果, 自主创新能力引领产业进步, 整体处于国际先进水平; 植保策略

与时俱进, 从“预防为主, 综合防治”到“公共植保、绿色植保、科学植保”, 防治理念更加契合经济社会发展现实; 植保装备水平明显提升, 大型自走式植保机械、航空植保机械等广泛应用; 植保防治能力显著提高, 病虫害预测预报、应急防治储备保障与处理能力、病虫害防控标准化上升到历史最好阶段; 植保队伍不断壮大, 覆盖全国的专业化统防统治队伍从无到有, 人员培训满足生产需求; 植保法制建设日臻完善, 保证了植保工作的及时有效开展, 有效控制了农作物主要有害生物危害, 为促进农业增效和农民增收, 实现全面建设小康社会的宏伟目标做出了切实的贡献.

引用格式: 张礼生, 刘文德, 李方方, 等. 农作物有害生物防控: 成就与展望. 中国科学: 生命科学, 2019, 49: 1664–1678  
Zhang L S, Liu W D, Li F F, et al. Crop pest control in China: Advances and perspectives (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2019, 49: 1664–1678, doi: 10.1360/SSV-2019-0195

# 1 新中国成立70年发展取得的突出成就

## 1.1 基础性工作

我国是农业有害生物灾害频发、生态环境脆弱的农业大国。据统计, 常见农业害虫有739种、病害775种、杂草109种、鼠害42种<sup>[1]</sup>, 分布广、危害重、突发性强, 多数年份呈多发频发重发态势, 一般年份农作物病虫草鼠害发生面积60亿~70亿亩次, 防治面积70亿~80亿亩次, 如不进行防治, 每年将损失粮食15%左右、棉花20%~25%、果品蔬菜25%以上<sup>[2]</sup>。进入21世纪以来, 我国农作物有害生物防控工作所面临的形势更加严峻: (i) 原生性有害生物频繁暴发, 灾害持续不断、经济损失巨大, 如稻瘟病、水稻病毒病、稻飞虱、赤霉病、草地螟等大规模连年发生, 危害程度之重、持续时间之长均为历史罕见。(ii) 部分次要有害生物逐渐发展成为毁灭性灾害, 有些原已长期控制的有害生物死灰复燃, 变得更加猖獗, 如种植结构调整和全球气候变化导致黏虫、棉盲蝽、小麦赤霉病等生物灾害大暴发。(iii) 危险性外来生物入侵导致农业经济损失与生态环境破坏, 加重和突出了农业生物灾害问题, 造成严重的生态和经济损失, 如2019年1月草地贪夜蛾入侵云南以来, 发生危害面积逐步扩大。(iv) 化学农药的大量投放及其不合理使用导致农药残留超标、环境污染、人畜中毒等事件频发。

70年来, 我国植保学科基础研究发展经历了4个阶段: (i) 建国初期, 植保以人为简单农业措施和季节性防控农业病虫害为主, 如秋季烧毁田间残余物、清洁翻耕田园、轮作和调整种植时间等, 相关基础与应用研究均处于起步阶段。(ii) 20世纪60年代初至70年代末, 植保学科基础研究全面发展, 病虫害发生规律、防治理论等进步较快。由于生物防治等措施得到大面积推广应用, 各地建起简易的天敌昆虫繁育场点, 大规模应用赤眼蜂等天敌昆虫, 生物防治学科进步显著; 随着化工合成的进步, 化学农药的重要性日渐上升, 70年代后半段, 与国际对化学防治负面效应认识相适应, 我国研究人员也开始关注农药环境污染对生物多样性的影响, 1975年在河南新乡召开的全国植保工作会议上, 确定了植保工作方针为“预防为主、综合防治”, 倡导采取综合措施控制农业病虫害。(iii) 20世纪80年代至20世纪末, 植保基础研究快速进步, 研究深度和广度不断拓展, 重大害虫迁飞规律、病虫害预测预

报、化学防治学等突飞猛进。化学农药广泛应用, 一度控制了重大病虫害, 解决了粮食安全困扰。但随着病虫害抗性上升, 大量应用农药对环境和食品安全的影响备受关注, 我国也确立了“预防为主、综合防治”的植保工作方针, 探索协调应用农药防治、物理防治、生物防治和化学防治协调应用, 开展农业病虫害防控示范生产, 获得了一系列科技成果。(iv) 21世纪以来, 植保学科基础研究不断取得重大突破, 防控产品不断丰富, 预测预报与防治技术日渐完善。植保新理念在实践中不断优化完善, 2009年, 全国植物保护工作会议提出“公共植保、绿色植保”两大植保理念; 2012年, 全国植物保护工作会议, 增加“科学植保”, 形成现代植保的“科学植保、公共植保、绿色植保”三大理念, 更加重视生态系统平衡, 关注生态、资源、环境的可持续发展, 将人类行为、植物、有害生物、传播媒介、环境影响等统筹考虑, 逐步实现有害生物防控和农业可持续发展, 建立了一整套高效实用的工作机制, 完善了“政府主导、部门联动、属地管理、联防联控”的纵向分级负责、横向联合协作的植保防控机制。学科快速进步, 技术不断创新, 为农业生产提供了理论指导和技术保障<sup>[3-13]</sup>。

经过70年持续攻关, 几代植保工作者在国家统一组织下, 开展了全国农作物病虫害普查, 全面掌握了我国农作物病虫害种类及发生情况。根据研究和调查结果, 由中国农业科学院植物保护研究所、中国植物保护学会主编, 出版了《中国农作物病虫害》(目前为第三版), 系统地梳理了水稻、麦类、玉米、薯类、高粱及其他旱粮、棉花、大豆、油菜、花生及其他油料作物、蔬菜、果树、西瓜及甜瓜、储粮、茶树、热带作物、桑树及柞树、麻类、糖料作物、烟草、牧草等各类农作物病虫害, 以及杂食性害虫、地下害虫、农田杂草、农牧区鼠害; 详细介绍了病害的分布与危害、症状、病原、病害循环、流行规律、防治技术, 害虫的分布与危害、形态特征、生活习性、发生规律、防治技术, 农田杂草的形态特征、生物学特性、发生规律、防除技术, 农牧区鼠害的形态特征、分布与危害、生态习性、防治技术, 以及水稻、小麦、玉米、棉花、茶树、储粮等病虫害综合防治技术, 成为兼具科学性、先进性、专业性、实用性的植保领域百科巨著<sup>[1]</sup>。在丛书编撰方面, 由中国科学院动物志编辑委员会等主编出版了《中国经济昆虫志》, 已出版55

卷, 汇总了重要经济昆虫的类别、形态特征、分布规律等, 成为又一部昆虫学领域的学术巨著。

## 1.2 基础研究

我国植保基础科学研究的发展进步, 与国家发展和社会进步密切相关。1956年, 我国制定了《农业发展纲要》; 1957年, 制定了科学远景规划; 1977年, 由国家科学技术委员会(现为科学技术部)主持制定学科规划。党的十一届三中全会制定了改革开放的基本国策, 高考制度及学位研究生制度、学会活动恢复正常, 科学考察、害虫与天敌普查不断开展, 国际交往日趋频繁, 《植物保护》《植物病理学》《昆虫天敌》(现为《环境昆虫学报》)《生物防治通报》(现为《中国生物防治学报》)《昆虫分类学报》《植物保护学报》及英文版刊物*Entomologia Sinica*, *Insect Science*, *Phytopathology Research*先后创刊。1986年《中国动物志》出版, 1994年国家科委启动“国家科技攀登计划”, 在植保领域资助粮棉作物5大病虫害灾变规律及控制技术的基础研究, 推进了我国植保基础研究的有力开展。1992年第19届国际昆虫学大会、2013年第10届国际植物病理学大会和2004年第15届国际植物保护大会先后在北京召开, 中国植保基础研究的国际合作日渐增多, 联合研究的层次更高、范围更广、水平更深入。

近十年来, 植保基础研究更是突飞猛进, 学科教育体系臻至完备, 在各个分支领域中取得了一些原创性研究成果。中国学者先后在*Cell*, *Nature*, *Science*等国际顶级期刊上发表了多篇论文, 在国际学术期刊上发表论文的数量也逐年上升; 国外学生到中国留学的人数逐年增多, 为我国21世纪植保事业的发展奠定了一定的基础。

(1) 掌握了农作物重大病虫害流行迁飞规律。从20世纪60年代开始, 我国学者相继对黏虫、褐飞虱、白背飞虱、稻纵卷叶螟、草地螟、甜菜夜蛾、小地老虎和飞蝗等具有迁飞性的害虫进行了系统深入的研究。近20年来, 分子生物学、发育遗传学、行为学等学科飞速发展, 信息技术、生物技术广泛应用于昆虫学领域, 利用昆虫雷达对迁飞性害虫的迁飞行为进行实时监测; 利用地面高光谱和低空航空遥感技术对害虫危害程度进行监测; 利用网络信息开展数字化预测预报等, 揭示了黏虫等迁飞害虫的迁飞行为规律, 阐明其迁飞行为的发生、运转及降落特征和主要环境因子, 明确

了其迁飞时间和迁飞路线; 确定了其发生危害规律、发生世代及世代危害区, 明确了越冬规律及越冬区划以及各发生区虫源性质与虫源关系, 从而实现“异地”测报与治理, 为制定预测预报技术提供科学依据。目前, 我国在黏虫、草地螟等迁飞行为及迁飞规律方面的研究已达世界领先水平。自1995年开始, 我国开展了环渤海湾地区昆虫跨海迁飞规律的研究, 并于2002年建立长岛昆虫迁飞监测站, 明确了我国北方主要迁飞害虫的种类组成、迁飞的行为、数量动态和路线, 并基于此构建了国家迁飞害虫监测预警技术体系<sup>[14,15]</sup>。

系统揭示了中国小麦条锈病大区流行体系, 查明了我国小麦条锈病菌越冬和越冬区域, 并完成了精准勘界, 将条锈病发生区划分为越冬区、越冬区和春季流行区; 发现甘肃陇南和川西北是我国条锈菌最大的越冬区和新小种产生的策源地; 明确了条锈菌变异和新毒性小种出现并成为优势小种是生产产品种抗病性“丧失”的主要原因; 首次获得了条锈菌在自然条件下存在有性繁殖的直接证据, 证实有性生殖是我国小麦条锈菌毒性变异的主要途径, 发现转主寄主小檗的广泛分布与有性生殖的常年发生是我国条锈菌新小种产生策源地形成的根本原因; 在国际上率先破译了高度杂合的条锈菌基因组, 阐明了其专性寄生、毒性变异的分子机理。建立了我国小麦条锈病准确的预测预报体系、条锈菌早期检测的分子体系, 实现了对小麦条锈病的准确预测。这些研究结果为病害流行、病菌变异、品种抗性提供了借鉴和指导, 对控制小麦条锈病发生和危害发挥了重要作用<sup>[16-18]</sup>。

(2) 探索了重要农业病原物的致病机理。系统揭示了小麦赤霉病致病机理, 明确了赤霉病菌在小麦穗部的初侵染位点、侵染方式和扩展途径。首次完整地提出了赤霉病菌在小麦穗部的侵染和扩展模式, 为赤霉病防治关键时期的确定提供了理论依据; 明确了病菌侵染过程中毒素产生与寄主病变的时空关系, 阐明了赤霉毒素在病菌致病中的作用; 证实病菌分泌产生的细胞壁降解酶导致寄主细胞壁成分的分解及细胞壁松弛从而有利于病菌的扩展; 发现抗病小麦品种可迅速通过乳突、胞壁沉积物的形成, 细胞壁的修饰及水解酶类的增长等形态结构和生化协同防卫反应抵御病菌在体内的扩展; 根据我国小麦种植区域赤霉病发生规律与杀菌剂抗性监测结果, 提出我国小麦赤霉病分区治理策略, 为小麦赤霉病的防治提供了理论指导<sup>[16-20]</sup>。

揭示了稻瘟菌致病机理和灾变规律: 探明了蛋白乙酰化、糖基化、泛素化等蛋白翻译后修饰调控稻瘟病菌营养生长及侵染水稻过程中抑制寄主免疫防卫反应的特征; 发现了侵染菌丝在第一个侵入的表皮细胞扩展, 导致水稻细胞膜的完整结构丧失; 阐明了细胞自噬介导的稻瘟病菌侵染水稻的致病机制. 研究揭示了水稻条纹叶枯病与黑条矮缩病在稻麦轮作区的流行规律和暴发成因, 揭示了病毒致病分子机制, 攻克了病害监测预警难关, 创新了病毒病绿色防控理念<sup>[17,21]</sup>.

在真菌和卵菌的效应蛋白方面, 从小麦条锈菌基因组中鉴定出大量分泌蛋白基因效应蛋白, 揭示了条锈菌效应蛋白存在高度杂合性、高频率遗传变异和局部遗传重组, 对调控病原菌对条锈菌毒性变异具有重要作用. 针对大豆疫霉菌侵入早期, 发现了逃避寄主抗性反应的新策略, 即利用效应蛋白的失活突变体PsXLP1作为诱饵干扰GmGIP1, 突破大豆抗性反应, 为研发诱导植物广谱抗病性的生物农药提供了重要的理论依据. 在细菌效应蛋白方面, 发现黄单胞杆菌效应蛋白进行尿苷单磷酸修饰掩盖位点, 阻止其磷酸化, 抑制两个受体激酶活性进而抑制植物免疫信号转导<sup>[2,22,23]</sup>.

系统开展了植物病毒学理论研究, 明确了病毒基因组序列及其遗传变异特点, 完成了南方水稻黑条矮缩病毒中国分离物全基因组序列. 研究了水稻矮缩病毒蛋白抑制RNA沉默的机制, 发现其能够抑制由正链RNA所诱导的局部和系统性的RNA沉默, 增强病毒在侵染叶片中的复制或或者其RNA稳定性, 从而使病毒进入茎尖分生组织, 加速病毒的系统性侵染. 系统开展了植物与双生病毒互作研究, 植物在感知双生病毒侵染时, 进化出多层次的防御系统来抵抗病毒的侵染, 包括DNA水平的DNA甲基化、RNA水平的转录后基因沉默、蛋白质水平的翻译后修饰以及细胞自噬介导的蛋白降解等. 然而, 为了成功侵染植物, 双生病毒也相应进化出多种不同的策略来攻击植物的抗病毒防御系统, 逃脱植物的防御反应, 实现病毒的有效侵染. 如双生病毒卫星DNA编码的 $\beta$ C1通过与甲基循环中的关键酶S-腺苷高半胱氨酸水解酶互作, 达到抑制甲基化和转录水平基因沉默的目的<sup>[17,24,25]</sup>.

在病毒-介体-寄主互作研究方面, 针对水稻矮缩病毒在其传毒介体叶蝉细胞内的侵染循环过程, 揭示了水稻矮缩病毒(rice dwarf virus, RDV)随介体叶蝉口

针、食道到达滤室腔道, 通过识别滤室上皮细胞专化性受体后以内吞作用进入细胞, 并在非结构蛋白聚集形成的病毒基质内复制、装配, 然后通过由非结构蛋白装配形成管状结构扩散到邻近细胞以及前肠、中肠、后肠等器官的过程, 阐明了RDV在介体叶蝉体内扩散的机制. 发现双生病毒穿过不同隐种烟粉虱中肠壁的能力是导致差异性传播的主要因素, 明确了烟粉虱唾液腺在决定双生病毒传播特异性中的作用, 揭示了双生病毒在烟粉虱体内运输以及经卵传播给烟粉虱后代的作用机制<sup>[26,27]</sup>.

在农田杂草群落及其演替规律方面, 研究揭示了夏熟(麦、油)作物田杂草以猪殃殃属为优势的旱作地杂草植被类型和以看麦娘属为优势的稻茬田杂草植被类型与分布. 提出了杂草群落复合体的概念和相应治理策略. 调查明确了冬小麦田优势杂草以越年生杂草和春季萌发的杂草为主, 春小麦田优势杂草则以春季萌发和夏季萌发的杂草为主, 麦田杂草群落构成和优势种不断演替变化, 研究明确了节节麦、雀麦、大穗看麦娘、多花黑麦草等杂草的生物学特性、扩散机制. 明确了细交链格孢菌酮酸的作用机理, 发现空心莲子草生防菌假隔链格孢毒素能够抑制光系统II电子传递活性和叶绿体ATPase活性. 从椰子中分离得到的除草活性化合物羊脂酸, 能够导致小飞蓬类囊体结构紊乱、叶绿体变形甚至破裂等<sup>[28,29]</sup>.

(3) 发掘了一批植物抗病虫相关基因. 我国在稻瘟病菌、白叶枯病菌、小麦赤霉病等重要病原物的基因组测序及其致病基因功能方面已有良好的研究基础, 已完成稻瘟病、麦类锈病、作物枯萎病等重要病害病原物的基因组测序工作. 选育和推广抗病品种被认为是防控稻瘟病、水稻白叶枯病等植物病害最经济有效和环保的策略. 在分离鉴定农作物重大病虫害抗性基因方面取得了快速进步, 先后分离到了一大批重要抗性基因, 为推进病虫害防控提供了新手段, 为深入研究免疫机制奠定了基础. 其中最为突出的工作包括: 水稻抗白叶枯、抗稻瘟病、抗水稻飞虱、小麦抗白粉病及赤霉病以及玉米抗病基因的分离鉴定. 包括水稻抗白叶枯基因*Xa21*, *Xa23*, *Xa25*和*Xa26*; 稻瘟病抗性基因*bsr-d1*, *Pigm*, *Pi9*, *Pi2*和*Piz-t*; 抗稻飞虱主效基因*Bph6*, *Bph3*和*Bph14*; 小麦赤霉病抗性基因*Qfhs.njau-3B*; 小麦白粉病抗性新基因*Pm60*, *CMPG1-V*和*Stpk-V*; 玉米抗性基因*ZmWAK*, *ZmABP1*和*ZmAuxRP1*; 小麦条

锈病抗性基因 $Yr36(WKSI)$ 和 $PsFUZ7$ 等<sup>[30-37]</sup>。

发掘了微生物源抗虫基因资源。苏云金芽孢杆菌产胞细胞中同时产生一个或多个杀虫晶体蛋白(Cry和Cyt), 对害虫具有特异性的杀虫活性。利用大量的分离菌株, 通过基因克隆和全基因组测序以及各种表达条件的优化, 经过多年的研究获得了一系列高活力的杀虫基因, 截至2019年4月, 已发现78大类共计812种Cry蛋白, 其中我国研究者发现了300多种, 包括对鳞翅目害虫高毒力的Cry1A, Cry1Ie, Cry9类等, 对线虫高毒的Cry5A和Cry6A, 对地下害虫高毒力的Cry8类, 以及对水稻飞虱高毒力的Cry64和Cry78等, 并获得自主知识产权。在国家科技计划和相关企业的支持下, 所获的新基因已用于转基因抗虫水稻、玉米、大豆、马铃薯、草坪草等研究。

通过基因组测序技术和基因组学研究, 深入发掘抗虫基因。世界首次公开发表基因组的鳞翅目害虫是小菜蛾, 此研究分析了小菜蛾的进化地位、化学感受基因及解毒作用相关基因, 揭示了逆转录转座子和复杂的新陈代谢系统在小菜蛾抗药性发展过程中起关键性作用。通过对斜纹夜蛾的基因组分析发现, 斜纹夜蛾的味觉受体、解毒以及抗杀虫剂相关基因家族拷贝数量显著增加, 从遗传学角度解释了斜纹夜蛾多食性、暴食性和抗药性机理。对直翅目迁飞性害虫东亚飞蝗的基因组学研究发现, 东亚飞蝗具有果蝇30倍的超大基因组, 基因组中参与脂肪酸合成、转运和代谢过程的许多基因家族发生明显扩增现象, 这些基因家族是东亚飞蝗长距离迁飞的遗传基础。调控群居型和散居型的神经可塑性、DNA甲基化以及可变剪切等基因家族为控制东亚飞蝗形成大群体提供了大量的靶标基因。此外, 针对水稻害虫褐飞虱、棉花害虫绿盲蝽及棉蚜、玉米害虫玉米螟、蔬菜害虫烟粉虱等重要农作物主要害虫的基因组学研究工作也正在进行中。

(4) 创新了生物入侵机理及预警理论。我国的生物入侵研究起步于20世纪90年代, 在21世纪初进入蓬勃发展阶段。经过近30年的研究, 在学科构建、入侵与暴发的基础理论方面取得显著进展, 创建了入侵生物学学科。明确了中国生物入侵研究以外来物种入侵的实时预警监测和有效控制为总体目标, 着重于外来物种的入侵机制与生态过程、对生态系统的影响及监控基础研究, 从个体/种群、种间关系、群落/生态系统3个层次深入研究入侵物种预防与控制所必须解决的关

键科学问题, 即种群形成与扩张机理、生态适应性与进化机制、生态系统抵御与适应机制, 进而发展入侵物种监控的新技术与新方法<sup>[2,5,22,23]</sup>。

在入侵成灾特性方面, 明确了烟粉虱、斑潜蝇、大豆疫霉、紫茎泽兰、豚草等重要入侵生物的入侵扩散路径与危害特性, 提出和解析了入侵昆虫如烟粉虱竞争替代本地物种的非对称型交配相互作用理论及竞争替代的内禀生殖行为调节机制; 明确了入侵生物如烟粉虱、斑潜蝇、紫茎泽兰等对本地近缘种或生态位等同种的竞争演替效应及竞争排斥机制, 丰富了种间竞争的理论及生态系统反馈调节理论。

在入侵生物的预警方面, 发展了入侵生物的全程风险评估理论, 丰富了最大虫口限量原理, 解决了定量风险评估要素及传入扩散阈值; 发展和挖掘了烟粉虱、斑潜蝇、苹果蠹蛾、小麦矮腥黑穗病菌、梨火疫病菌等易入侵生物和潜在入侵生物的快速分子识别的靶标基因, 以及入侵昆虫蓟马类、实蝇类、介壳虫类、粉虱类等的DNA条形码快速识别的靶标基因; 明确了苹果蠹蛾、桔小实蝇等入侵害虫的远程快速监测的靶标信息素和信息获取与传输的技术要素。

### 1.3 应用基础与应用研究

70年来, 我国植保工作者团结协作, 在农业生物灾害防控的应用基础研究方面取得了巨大成就。1950年, 我国实现“六六六”(六氯环己烷)的生产。1951年, 首次使用飞机喷洒“滴滴涕”(dichlorodiphenyltrichloroethane, DDT)灭蚊, 喷洒“六六六”治蝗。1957年, 我国成立了第一家有机磷杀虫剂生产厂天津农药厂, 开始了有机磷农药的生产。20世纪60~70年代主要发展有机氯、有机磷及氨基甲酸酯的杀虫剂品种, 全国性害虫如东亚飞蝗、小麦吸浆虫等已基本得到控制。到20世纪80年代, 通过改造飞蝗发生基地和整改治理并举的一整套措施, 困扰中华文明两千多年的蝗灾已得到根治, 这是世界虫害治理历史上罕见的伟大成就; 对于迁飞害虫黏虫、草地螟、稻飞虱、稻纵卷叶螟等, 我国学者在探明迁飞路线、迁飞条件的基础上, 每年开展中长期预报, 指导农业安全生产<sup>[3-5,38-42]</sup>。

党的十八大以来, 我国植保科技创新日新月异。农作物病虫害鼠害综合防治的基础性研究全面进步, 监测预警技术不断完善, 农药创制能力迅速提升, 农药品种结构日益合理, 生物防治产品创制能力提升, 配

套应用技术进步, 理化诱控、生态调控等单项防控技术迅速发展, 为农作物灾害防控起到关键的科技支撑作用。

(1) 植物病虫害监测预警技术及应用. 我国农作物病虫害监测预警研究和应用不断进步. 目前, 利用遥感、地理信息系统和全球定位系统技术、分子定量技术、生态环境建模分析和计算机网络信息交换技术, 结合各种地理数据如病虫害发生的历史数据和作物布局及气象变化与预测等众多相关信息, 采用空间分析、人工智能和模拟模型等手段和方法, 进行预测预报和防治决策, 将农作物病虫害的监测预警提高到一个新的高度. 在水稻“两迁”害虫监测、黏虫大发生预警、小麦病虫害危害监测等方面取得较好进展<sup>[41,43-47]</sup>.

研究开发出新型虫情测报灯、病原菌孢子捕捉仪、田间小气候观测系统、病虫害田间调查智能识别应用程序、病虫害田间发生实时监测系统专用仪器设备, 促进了我国农作物病虫害监测预报技术的科技进步. 建立了粮、棉、油、果树、蔬菜、茶叶、桑树等农作物近180多种(含病害63种、虫害99种、鼠害15种)主要有害生物的监测方法和预测预报办法及有关的生物学资料和参数. 完善了病原菌孢子的收集和分析技术, 集成了农作物病害疫情地理信息系统开发技术和计算机网络化的数据传输和管理技术、田间小气候实时监测技术和影响农作物病害的关键气象因素和预警指标的分析提取技术, 革新了中长期预测预报技术等植物病害监测预警关键技术问题的发展, 推动了我国农作物病害监测预警学科的发展并提高了高新技术在该领域的应用水平, 为明确我国主要农作物重大病害的发生动态与发展趋势奠定了坚实基础.

1984年, 我国首台厘米波扫描昆虫雷达在黏虫、草地螟等害虫迁飞监测上应用开始; 2004年, 组建了第一台厘米波垂直监测昆虫雷达, 用于开展黏虫、草地螟等北方迁飞性昆虫的监测工作; 2007年, 组建了第一台毫米波扫描昆虫雷达用以监测稻飞虱等水稻“两迁”害虫, 首创了雷达三色回波显示技术, 解决了雷达监测精确度和判定昆虫飞行方向的关键技术难题, 建立了迁飞昆虫的雷达实时监测技术.

目前, 组建了以170个地方测报站为基础、61个区域监测站为骨干、9个雷达监测站为核心的全国草地螟等迁飞昆虫的监测网络体系, 实现了种群动态实时

监测. 近年来, 进一步发展优化了“昆虫雷达监测技术”. 开发了新型昆虫高时空分辨多维雷达测量系统, 实现对高空过境虫群的迁飞方向、飞行速率、飞行高空、虫群密度等虫群信息探测, 并对虫群实时追踪. 应用高时空分辨多维雷达测量系统, 结合实时气象资料 and 地面种群监测数据, 探索重大迁飞性害虫迁飞动态规律和行为机制, 结合轨迹分析技术、地理信息系统技术、数值模拟技术, 研发害虫迁飞精准模拟与预警技术, 建立害虫自动化实时精准监测和早期预警体系. 创建了以当年越冬虫源基数和迁出地虫源数量预测下代幼虫“异地”发生程度的测报技术, 以成虫高峰期数量和温湿系数预测下代幼虫发生程度和发生地的等短期和中长期测报技术; 通过采用吸虫塔等植保测报设备, 建立了蚜虫监测预警网络系统; 在地理信息系统数据平台和现代统计方法的支持下, 建立了棉铃虫、草地螟、稻飞虱等重大病虫害区域性暴发成灾风险分析统计模型; 研究了重大农作物病虫害暴发成灾动态机理模型、越夏和越冬区划和早期预警模型, 为农作物病虫害预警与治理的决策提供了支持<sup>[41,43-45]</sup>.

(2) 化学农药合成创制技术与应用. 新中国成立后, 我国的农药工业从无到有获得了迅速发展, 农药种类也经历了低效高毒(无机农药)、高效高毒(有机氯、有机磷等)、高效低毒(拟除虫菊酯类农药等)、高效低毒低残留(氟虫腈、磺酰脲类除草剂等)等不同发展阶段, 目前我国农药已进入高效低风险时代<sup>[4,38-40]</sup>.

1956年我国第一家现代化学农药厂天津农药厂正式投产, 1983年我国全面停产高残留的DDT、“六六六”等有机氯农药, 引起农药工业的第一次大规模品种结构调整. “九五”期间, 我国新建了南方和北方国家农药创制中心, 其中国家南方创制中心依托上海市农药研究所、江苏省农药研究所、湖南化工研究院、浙江化工研究院建设成上海、江苏、湖南和浙江4个创制基地; 国家北方农药创制中心由沈阳化工研究院和南开大学元素有机化学研究所组成; 两个中心的建设标志着我国农药创制工作进入新阶段. 目前, 我国建立了涵盖分子设计、化学合成、生物测试、靶标发现、产业推进等环节的较完整的农药创制体系, 一批具有新颖作用机制或新颖骨架的高效低风险小分子农药引领市场新潮流. 在全球的5857项农药相关专利中, 中国的专利数达到2529项, 占全球的43.2%, 我国已经成为世界农药研究的重要国家<sup>[5,22,23,40]</sup>.

我国自主创制的农业品种在应用中取得了成效。新型的含氟氨基磷酸酯类生物源抗病毒药剂毒氟磷, 有效防控我国烟草、黄瓜、番茄等病毒病, 水稻黑条萎缩病等, 是国际首个免疫诱抗型农作物病毒病害调控剂。顺式新烟碱类杀虫剂吡虫啉、环氧虫啉对鳞翅目害虫具有很好的防治效果, 内吸传导活性强, 对蜜蜂安全且持效期长, 对吡虫啉抗性害虫具有显著活性。国际杀虫剂抗性行动委员会将环氧虫啉列为未来潜在杀虫剂。氰烯菌酯杀菌剂对小麦赤霉病防效好, 有效降低毒素、防止植物早衰、增加小麦产量, 在我国广泛应用, 有效地减少了小麦赤霉病的危害。吡氟草酮和双唑草酮有效防除抗性及多抗性的看麦娘、日本看麦娘等禾本科杂草及部分阔叶杂草, 成为谷物禾本科杂草抗性防控的重要品种<sup>[38-40,42,43]</sup>。

目前我国农药原药产量达180万吨/年, 农药生产量居世界第一位。我国农药产品结构更加合理, 提高了对农业生产需求的满足度。杀虫剂所占比重逐年下降, 杀菌剂和除草剂所占比重有所提高。高效、安全、环境友好型新品种、新制剂所占比例也有明显的提升。在杀虫剂产品结构优化方面, 一批新烟碱类、拟除虫菊酯类、杂环类等高效、安全、环境友好的杀虫剂得到进一步发展, 市场占有率超过97%。在杀菌剂产品结构更新方面, 效果更好、残留更低的杂环类、三唑类和甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂品种得到快速发展, 已经成为我国杀菌剂的骨干品种, 在杀菌剂市场中的覆盖面已经超过70%。除草剂新产品发展迅猛, 随着有机磷类、磺酰脲、磺酰胺和杂环类除草剂的发展, 其市场占有率迅速上升, 达到除草剂产量的70%以上<sup>[40]</sup>。

农药防控手段升级换代, 施药方式高效化、绿色化、安全化。农药利用率进一步提升, 使用技术日益完善, 种子包衣技术应用面积迅速增加, 显著降低农作物苗期病虫害危害; 土壤消毒技术和种苗处理技术在经济作物应用面积逐年扩大, 有效控制了毁灭性土传病虫害如根结线虫、枯萎病等, 农民增收显著; 农药缓释剂和控制释放技术得到应用, 有效延长了农药的持效期, 减少了农药施用量和投放次数; 树干注射技术的研究应用有效控制了树木病虫害, 环境相容性好; 低容量喷雾技术的研究应用, 提高了作业效率。高工效智能施药防控技术及产品发展迅速, 成功研制雾滴识别与航空喷药质量评估软件iDAS、雾滴沉积实时监测传感系统、航空植保作业监管与自动计量系

统、无人机精准喷洒与控制系统等产品, 有效提高了农药利用率, 降低了化学农药使用量。

(3) 生防产品创制技术及其应用。经过多年的持续探索和协同攻关, 我国生物防治学科取得了显著的进步。挖掘培育了一批新型生防资源, 创制了一批天敌昆虫和微生物农药产品, 研制了一批轻简化的生物防治实用技术。攻克天敌昆虫大规模、高品质、工厂化生产技术, 优化天敌昆虫与生防微生物制剂的联合增效技术, 实现了我国生物防治应用比重和应用领域的重大突破。

天敌昆虫人工繁殖使用进一步发展, 人工饲料、替代寄主、载体植物、扩繁工艺、中试生产等技术瓶颈取得突破。20世纪50年代末, 我国对赤眼蜂进行大量繁殖技术的研究取得历史性进展。20世纪80年代以来, 发明的用柞蚕卵、蓖麻蚕卵、米蛾卵、麦蛾卵等大量繁殖赤眼蜂的工厂化生产技术, 在玉米螟、甘蔗螟等的防治上发挥了重要作用。完成了自控赤眼蜂人工卵卡样机的小试及中试。此外, 平腹小蜂、瓢虫、草蛉、蠋螬和捕食螨等天敌的人工繁殖也获得了成功。通过光周期结合温度梯度, 实现了对蚜茧蜂、瓢虫、草蛉等天敌昆虫的滞育诱导、滞育维持和滞育解除, 显著提升了天敌昆虫产品货架期。当前, 赤眼蜂的年应用面积超过1.5亿亩次, 烟蚜茧蜂的年应用面积超过3千万亩次, 黄瓜新小绥螨年生产能力达8000亿只, 大面积应用于多种作物<sup>[48,49]</sup>。

微生物杀虫剂产品较多, 针对优良生物防治资源开展了系统搜集, 创新发展了虫生真菌的液固两相发酵工艺, 提升了产品效价及得率, 生物农药助剂能显著提升产品货架期和防治效果。真菌类产品包括防治蝗虫的绿僵菌制剂、防治玉米螟及其他害虫的白僵菌制剂, 病毒类产品包括防治棉铃虫、斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、茶尺蠖等的核多角体病毒, 细菌类产品包括防治鳞翅目、双翅目及鞘翅目等害虫的苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)杀虫制剂等。20世纪60年代引进的苏云金杆菌制剂, 目前中国年产量已达3万吨, 在20多个省、直辖市、自治区的粮、棉、果、蔬菜和林业作物上应用, 防治20多种害虫, 使用面积330多万公顷。2012年以来, 选育的Bt菌株对抗药性强的小菜蛾、棉铃虫也有很好的防治效果, 通过开发杀虫Bt双毒制剂、Bt高含量可湿性粉剂, 使产品进入了国际市场。此外, 昆虫信息素也进入开发阶段, 已能合成棉铃

虫、梨小食心虫等20多种昆虫的性信息素, 研制了多种高效、特效的剂型<sup>[2,22,23,29]</sup>.

微生物杀菌剂主要有真菌杀菌剂、细菌杀菌剂、农用抗生素. 真菌杀菌剂中应用最为广泛的木霉菌用于防治蔬菜根腐病、枯萎病及等土传病害, 同时对灰霉病、霜霉病等叶部病害也有良好的防治效果. 细菌杀菌剂主要有荧光假单孢杆菌、芽孢杆菌及放射性土壤农杆菌等. 公主岭霉素、浏阳霉素、春雷霉素、中生菌素、多抗菌素、“农抗120”、武夷菌素等农用抗生素, 已成功应用于防治禾谷类作物黑穗病、果蔬作物枯萎病和炭疽病等农作物病害.

新型植物免疫诱抗剂及生物农药产品发展迅猛, 通过诱导激活植物免疫系统, 激活水杨酸、茉莉酸和乙烯等抗病通路, 促使植物中的植保素和病程相关蛋白等的变化, 促使植物本身获得系统性抗性, 从而减轻和防止病害发生. 研究开发了氨基寡糖素、“阿泰灵”、植物蛋白、香菇多糖等一批渐有影响力的生物农药品种作为作物病虫害的防治重要手段, 发展潜力更加巨大<sup>[2,22,23]</sup>.

RNAi(RNA interference)制剂的研发进展较快, 该技术对靶标害虫专一性强, 不伤害天敌及其他生物, 是绿色环保、有应用前景的新兴技术. 针对我国主要粮食、经济作物棉花、玉米、大豆及果树的重要害虫, 通过注射法、饲喂法以及转基因作物等生物学测定, 积累了大量高效的抗虫RNAi靶标基因, 为开发新型绿色环保RNAi制剂及其商品化生产奠定了基础.

(4) 理化诱控、生态调控等技术迅速进步. 选育推广作物抗病品种, 基本上控制了稻瘟病、小麦条锈病、小麦秆锈病、玉米大斑病、玉米小斑病、玉米丝黑穗病、棉花枯萎病、马铃薯晚疫病等病害的大面积流行; 研究推广综合防治措施, 不同程度地减轻了稻瘟病、稻纹枯病、稻白叶枯病、小麦赤霉病、甘薯黑斑病、苹果树腐烂病等病害的危害. 近年来, 花卉和中药材病害的防控研究也有了良好的开端.

围绕害虫行为调控, 利用昆虫或植物来源的信息化合物可以特异性地调节靶标昆虫行为的原理, 将人工合成的来源于昆虫、植物等的信息化合物用释放器缓释到田间, 干扰昆虫的交配、取食、产卵等正常行为, 减少靶标害虫的种群数量, 达到控制靶标害虫的目的. 从生产和应用上看, 该项技术在我国有巨大的发展空间和前景. 突破传统的昆虫信息化合物的研究

手段, 按照“反向化学生态学”的研究思路, 阐明害虫识别信息化合物高度特异性和灵敏性的原理, 并据此开发出一种以昆虫嗅觉识别关键基因为靶标的信息化合物的高通量筛选技术, 以此为基础大量筛选各类害虫的不同类型的信息素化合物, 创制出新的高效昆虫信息素用于害虫防治. 从而解决信息素应用过程中配比困难、稳定性差、成本高等问题, 从根本上解决信息素开发过程的瓶颈问题, 提升我国昆虫信息化合物的研究水平, 加速信息化合物产品的开发<sup>[22,23,50]</sup>.

近年来, 害虫食诱剂、性诱剂等研发与利用技术发展迅速, 研究集成了一批新型技术体系: “植物载体技术”“保育生物防治技术”“天敌推拉技术”“生态免疫技术”等新型生物防治技术. 探索有效的生物防治轻简化实用技术, 包括低碳环保型新技术与生物防治技术集成, 如高效释放技术、隔离阻断技术、诱捕诱杀技术、迷向趋避技术等, 优选试验组合、优化配套措施、科学组装单项技术, 实现多种技术手段的高效集成. 充分利用农田生态系统的自身免疫功能, 通过调整作物布局, 引入伴生植物, 调节农田昆虫及微生物种类和结构, 创造有利于有益生物类群生存繁衍和控害作用, 充分发挥生物多样性的调节效能, 提升农田环境的自我修复能力, 实现对农业病虫害的可持续治理.

(5) 转基因作物安全性评价技术日臻完善. 现代生物学技术的飞速发展和应用, 为有害生物综合防治提供了崭新的发展机遇. 转基因植物自1996年开始商业化种植以来迅猛发展, 种植转基因抗虫作物已成为部分国家害虫综合防治的重要手段. 我国自1997年开始种植转基因抗虫棉花, 目前年种植面积近300万公顷, 占全国棉花面积的90%以上. Bt棉花的种植有效控制了棉铃虫和红铃虫的危害. 同时, Bt棉花的大规模种植破坏了棉铃虫在华北地区季节性多寄主转换的食物链, 压缩了棉铃虫的生态位, 不仅有效控制了棉铃虫对棉花的危害, 而且高度抑制了棉铃虫在非转基因的玉米、大豆、花生和蔬菜等其他作物田的发生与危害. 另外, Bt棉花的应用显著降低了杀虫剂的施用量, 保护了农田生态环境, 提升了天敌昆虫的害虫防控生态服务功能, 经济和生态效益显著<sup>[50]</sup>.

在转基因生物新品种培育重大专项的支持下, 我国在转基因抗虫作物育种技术发展迅速, 培育了一大批具有产业化前景的优良抗虫转基因作物新品系. 多

例转Bt基因抗虫水稻和玉米品系表现出优良的害虫防控效果, 达到了商业化应用的技术要求. 除了传统转基因技术, RNAi和基因编辑等新型技术也已开始广泛用于抗虫作物的培育, 为推动农作物害虫绿色防控奠定了重要基础. 随着转基因技术的发展和运用, 我国已经建立了完善的抗虫水稻、玉米、大豆和棉花等转基因作物安全评价技术体系, 研制了一系列安全评价新技术新方法, 发展了转基因生物检测技术100余项, 并建立了相应数据库. 相关技术已广泛用于转基因作物新品系的安全评价工作. 同时, 建立的农田生态和自然生态风险监测技术体系已应用于我国Bt棉花的安全监测, 明确了Bt棉田节肢动物的种群动态和消长规律, 发展了非靶标害虫种群控制对策, 揭示了靶标害虫的抗性进化机理, 提出了有效的抗性治理策略.

(6) 外来入侵生物的监测与防控成效显著. 近年来, 我国成功构建了入侵生物早期预警体系. 建立了入侵生物预警数据库平台, 我国现有的农业生物信息数据库中有7个与外来入侵物种相关, 这些数据库为普及公众知识、制定防控计划、发展科学研究提供了大量的信息. 其中, “中国外来入侵生物数据库”提供了754种外来有害物种基本信息. 在发展入侵生物定性和定量传入与扩散风险评估的基础上, 建立了入侵生物全程风险评估技术体系, 完成了小麦矮腥黑穗病、香蕉穿孔线虫、红火蚁、马铃薯甲虫、葡萄根瘤蚜、桔小实蝇、加拿大一枝黄花等近百种入侵生物的适生性风险分析, 确定了其在我国的潜在分布范围; 并在风险分析的基础上, 制定了这近百种外来入侵生物的控制预案与管理措施<sup>[22,23,51-53]</sup>.

发展了入侵生物检测监测技术. 发展建立了小麦矮腥黑穗病菌、大豆疫霉病菌、黄瓜绿斑驳病毒、梨火疫病菌、香蕉穿孔线虫、烟粉虱、苹果蠹蛾等50余种农业入侵生物的种特异性高效快速分子检测识别诊断/鉴定技术, 并形成国家或行业标准的全国农业检疫性有害生物21种; 针对种类多、个体小/残体、形态难识别的蓟马、实蝇、介壳虫、粉蚧、粉虱、潜叶蝇, 建立了DNA条形码快速识别技术和平台系统; 创新研发了入侵植物的快速图像智能识别技术及APP平台系统, 可实现对210余种入侵植物的快速调查和监测; 发展了苹果蠹蛾、桔小实蝇等入侵害虫的基于信息素的野外实时监测技术, 并在此基础上, 结合诱集昆虫的图像识别和数据获取与实时传输, 研发了入侵害虫的远

程监测装备<sup>[51,52]</sup>.

创新了入侵生物的点线根除与阻截控制技术. 针对新发和局部分布的入侵生物如红火蚁、马铃薯甲虫、苹果蠹蛾、葡萄根瘤蚜、桔小实蝇、三叶草斑潜蝇、甜菜孢囊线虫、长芒苋等, 创制了诱杀剂、灭杀剂和生长调节剂等系列防控产品, 并结合物理防治、化学防治、诱杀防治、野外监测等, 建立了入侵生物应急防控和扩散阻截技术体系; 针对入侵杂草如紫茎泽兰、豚草、少花蒺藜草、刺萼龙葵等, 在明确其适生性分布、扩散路径及生态学特性的基础上, 研发了植物多维阻截技术, 在扩散前沿线建立拦截带、在草场和牧场围边建立生态隔离层, 构建了入侵杂草的生态屏障阻截带, 有效延缓了其扩散传播<sup>[22,23,53]</sup>.

发展了入侵生物区域减灾技术体系. 针对农业入侵生物如烟粉虱、白粉虱、椰心叶甲、斑潜蝇、桔小实蝇、苹果绵蚜、豚草、空心莲子草等, 引进和挖掘外来与本地高效天敌昆虫20余种, 并建立其规模化繁育技术和田间释放应用技术包括单种天敌释放和多种天敌组合释放, 以及基于天敌利用的生态调控技术; 研制了生防病原菌制剂产品10余种; 研发了烟粉虱、斑潜蝇、桔小实蝇、苹果蠹蛾、西花蓟马等的物理诱杀技术和化学诱杀技术. 集成建立了烟粉虱、苹果蠹蛾、豚草、空心莲子草等20余种农业入侵生物的区域性持续治理技术体系, 并进行了大面积的示范推广和应用, 在生长实践中发挥了很好的控制作用. 例如, 豚草和空心莲子草生物防治方面, 发明了天敌昆虫“三步法”规模化生产技术, 创建了天敌昆虫“空间生态位互补”和“时间生态位互补”增效技术, 豚草和空心莲子草呈火烧状枯死, 成功解决了我国两种恶性入侵杂草连片成灾的持续控制难题<sup>[2,51,52]</sup>.

(7) 杂草与鼠害治理技术显著进步. 近年来, 研究明确了我国部分稻区稻田稗对二氯喹啉酸、五氟磺草胺的抗药性水平, 发现稗草体内1-氨基环丙烷-1-羧酸合成酶和 $\beta$ -靛丙氨酸合成酶活性差异, 乙酰乳酸合成酶(acetolactate synthase, ALS)对药剂敏感性降低及谷胱甘肽-S-转移酶(glutathione-S-transferase, GSTs)代谢活性增强, 乙烯生物合成及抗氧化酶系的参与, 是其对二氯喹啉酸、五氟磺草胺产生抗药性的重要原因. 研究发现, 稻田鳢肠对吡啶磺隆、苄嘧磺隆、甲磺隆和苯磺隆, 啶磺草胺、五氟磺草胺, 咪唑乙烟酸、甲氧咪草烟产生广谱抗药性, 发现鳢肠ALS发生Pro197-

Ser突变导致靶标酶对上述ALS抑制剂类除草剂敏感性<sup>[2,28,29]</sup>.

围绕麦田杂草抗药性,对麦田苘草、看麦娘、日本看麦娘、耿氏硬草对精噁唑禾草灵、甲基二磺隆的抗药性,播娘蒿、芥菜、牛繁缕对苯磺隆的抗药性研究发现,抗药性种群对精噁唑灵、甲基二磺隆等9种不同类型的除草剂产生了不同程度的单抗药性、交互抗药性或多抗药性,发现不同抗药性种群发生了10多种氨基酸取代,获取332个代谢基因全序列,发现一些与杂草抗药性相关的差异蛋白和与调节相关的micro-RNA,还发现部分抗药性种群GSTs、细胞色素P450氧化酶系活性较敏感种群有所增强.

我国是最早提出鼠害生态治理理念的国家之一.在早期布氏田鼠发生规律研究基础上,我国学者提出了通过适时的禁牧措施,通过减少对草原植被的影响,从而抑制布氏田鼠的发生,该措施已经在我国典型草原区普遍实施.随着鼠害综合治理理念的发展,不育控制技术、围网-陷阱系统(trap-barrier system, TBS)技术等控制技术也逐渐被纳入了鼠害生态调控技术的范畴.利用长达30年的历史数据,我国科学家证明了厄尔尼诺-南方涛动等气候条件是布氏田鼠等重要鼠害种类暴发的重要启动因子,为鼠害监测预警及预测预报提供了重要的理论依据.与鼠害治理实践相结合,我国科学家实现了鼠害控制技术与鼠害监测预警技术的相结合.TBS的应用,在控制鼠害的同时提供了鼠害种群构成、密度变化、基础繁殖数据等多项关键数据.与传统夹捕技术相比,在获得类似的相对密度数据的同时,其种群构成、繁殖特征数据更为可靠.这些数据的进一步积累,将为逐步实现鼠害精准预测预报提供重要的数据支撑<sup>[4,5,54,55]</sup>.

在生态学理念指导下,环境友好型鼠害防控技术,如物理防治、生态调控等在未来鼠害综合防控体系中占据越来越高的比例.在鼠害集中暴发的条件下,化学防控技术仍旧是不可或缺的关键技术,近年来相继开展了不同饵料材料对不同鼠种食性差异的研究以及复合配方的研发,对于提高毒饵效率及取代原粮毒饵起到了积极的推动作用,针对不同鼠害发生环境,如农田、村屯、城市等,开发适用于不同环境及要求的毒饵站系统,在提高化学杀鼠剂安全应用、提高杀鼠剂效率和有效期、提高杀鼠剂投放的人工效率等各方面也取得了重要的进展.在草原生态系统的鼠害控制中,

针对多个关键鼠种测试了多种不育药物,以炔雌醚和左炔诺孕酮的研究最为深入,对鼠害激素、生殖器官等的影响,不育生理机制的探索,环境行为检测等方面进行了全面深入的研究,并针对黑线毛足鼠、长爪沙鼠、高原鼠兔等进行了一定规模的野外实际防治实践研究<sup>[54,55]</sup>.

70年来,植保领域国际合作快速发展,建立了中美生物防治联合实验室、MOA-CABI生物安全联合实验室、中欧植物保护合作平台等政府间国际合作平台,不断扩展平台功能,使之成为我国与全球植保前沿研究机构的合作窗口,联合开展农业昆虫、植物病理、生物防治、入侵生物防控等农业科技创新.目前,我国已与全国80多个国家和地区开展联合研究,围绕重大农作物病虫害防控的基础理论、防控技术、成果应用与培训深入合作,引进了杀虫真菌等生防制剂扩繁工艺,向亚非各国培训赤眼蜂扩繁与应用技术.通过政府间国际合作,开展飞蝗、稻飞虱、草地螟、草地贪夜蛾等的联合监测预报,深化了主要贸易国的植物检疫标准和规程的协商合作,水稻基因芯片和分子标记应用、水稻白叶枯病菌互作的功能基因组学技术、植物病毒群体多样性与进化机理研究、介体昆虫传播病毒分子机制研究、昆虫行为和神经研究、入侵昆虫遗传控制技术与应用、昆虫天敌引种及资源共享、病原菌与昆虫互作、农药作用和代谢机理研究等不断取得创新成果,丰富了植保学科基础理论,提升了植保国际合作水平.

## 2 未来农作物有害生物防控科技研究展望

农业是国家发展和稳定的支柱产业.在未来,贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想,落实创新驱动战略、乡村振兴战略和可持续发展战略,必然要构建农业绿色发展的技术体系,助力农业绿色发展和农业农村现代化的目标的实现.有效防控农作物有害生物是农业农村发展的持续要求,随着科技进步和植保技术体系的完善,深入开展农作物有害生物防控创新研究,构建国家植保保障体系,从总体上提升有害生物防控水平,满足国家粮食安全、生态安全、农产品质量安全的重大需求<sup>[56,57]</sup>.未来将围绕以下6个方面深入推进创新研究.

## 2.1 适应农业生产新形势的农作物生物灾害新规律、新对策研究

当前, 中国农业生产正在进行大规模的结构调整, 按照“稳粮、优经、扩饲”的要求, 加快构建粮经饲协调发展的种植结构; 深入实施藏粮于地、藏粮于技战略, 保护优化粮食产能, 保持粮食生产总体稳定, 确保口粮绝对安全; 稳定发展“菜篮子”产品, 加强北方设施蔬菜、南菜北运基地建设; 加快农牧交错带结构调整, 打造生态农牧区。这些结构性调整将直接影响农业生态系统的结构和农作物病虫害的种群演化。在农业生态环境及农事作业方面, 全球气候变暖、温室大棚等保护地种植面积迅速增加, 导致农作物有害生物越冬区域逐年北扩, 害虫发生期提前, 危害时间延长; 免耕技术和秸秆还田等耕作制度变革, 导致田间宿存的害虫和病原物数量增加, 能迅速导致减产损失; 跨区麦类作物机械化作业, 有害生物会附着机具上远距离传播, 迅速扩大发生面积。此外, 国际农产品贸易量增加, 导致外来生物入侵的风险加重。这些新的农业生产形势和多种要素交互作用, 必然会影响中国主要农作物生物灾害发生规律, 应加强植物保护新理论、新规律的研究, 满足新形势下农作物生物灾害防控的需要。

## 2.2 适应现代科技新发展的植物保护新理论、新方法研究

随着生物技术、信息技术、新材料与先进制造技术的迅猛发展, 传统植保与新兴学科交融, 例如现代生命科学的发展, 就产生了基因编辑、RNA干扰纳米生物技术、免疫调节技术、转基因植物等新方法, 必将激发产生植物保护新理论、新方法。基于病虫防控的信息化、智能化、机械化, 研究农作物生物灾害大面积种群治理新理论; 基于生物防治与生态调控的学科融合, 创新有害生物生态调控策略、微生物农药效价提升理论、天敌产品货架期滞育调控理论等; 基于统防统治等组织形式, 完善“公共植保、绿色植保、科学植保”的中国特色农业病虫害防控新理论。在新方法方面, 基于现代生命科学和信息科学等基础学科的新理论不断融入植物有害生物的检测、监测、预警与控制各个阶段, 系统性地解析农业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子与植物抗

病相关蛋白间的互作关系等。

## 2.3 满足大区域长时效要求的农作物有害生物监测预警新技术新手段研发

随着新型昆虫雷达、高灵敏度的孢子捕捉器等仪器设备的研发应用, 对于迁飞性、流行性、暴发性农作物有害生物的监测预警技术将更加精准。对东南亚、南亚国家的草地贪夜蛾、稻飞虱、稻纵卷叶螟等迁飞性害虫入侵我国的时间、规模、降落区域等预警, 可满足提前防控的要求; 对我国境内的小麦锈病、白粉病、棉铃虫、黏虫等重大病虫害, 其越冬越夏基地、扩散蔓延程度等, 中长期预测的准确率进一步提升, 区域迁飞阻断的植物保护新手段或将成为可能。深化遥感、地理信息系统和全球定位技术、分子定量技术、计算机网络信息交换技术, 结合大数据、云计算等手段, 采用空间分析、人工智能和模拟模型等手段和方法共同进行农作物有害生物的预测预报。深入探索农作物病虫害监测预警需求的先进检测、监测及信息化、数字化技术, 提升远距离、高精度的监测预警技术, 建立检测技术、监测方法及预警水平的标准化, 研发创制新型昆虫雷达、病虫害远程诊断APP、智能化预测预报装备, 为病虫害及时阻截、快速扑灭、科学防治提供技术支持。

## 2.4 满足农产品安全需求的农作物有害生物防控新技术、新产品研发

为保障农产品质量安全, 减少传统化学农药的残留, 在未来新型农作物生物灾害防控的技术和产品必然成为创新重点。依靠科技进步, 革新病虫害持续控制技术, 研究生物防治、植物免疫、信息素防控、理化诱杀、信息迷向及生态调控的新技术。在绿色化学农药方面, 聚焦原药化合物合成, 开展不对称合成、微流控反应等制造技术创新, 发展农药分子设计技术, 使具有国际竞争力的绿色化学农药新品种和新制剂实现产业化, 降低“卡脖子”风险。在生物农药方面, 对标微生物农药效价提升和产品不稳定瓶颈, 创制高效价工程菌株, 优化微生物发酵和稳定表达技术, 优化天敌工厂化扩繁技术, 延长天敌昆虫货架期, 研制RNA干扰剂、信息素诱控剂等新产品, 建立生防微生物资源库。在未来, 对害虫诱杀新型光源与应用技术、害虫化学通讯调控物质利用技术和害虫辐照不育技术等

将有所发展,降低环境风险,提升防控效果,为农作物生物灾害绿色治理提供技术和产品保障。

## 2.5 满足自动化、智能化要求的植物保护新装备、新系统研发

随着劳动力人口结构性变化,需要研发适合中国国情的专业化大中型现代植保机械。未来将加快研制大型自走式植保机械和仿形施药机械,加力发展植保无人机,突破病虫害图像与光谱识别技术,优化超低容量喷雾技术,实现变量喷雾与自动控制,提高农药利用率。要研制装备中央处理芯片和各种各样传感器或无线通讯系统的装置,实现在动态环境下通过电子信息技术逻辑运算传导传递发出适宜指令指挥植保机械完成正确动作,从而达到病虫害准确监测、精准对靶施药等植保工作智能化的目标,解决目前局部发病全田用药的难题。研发出新型大中型及无人机等现代植保机械,精准对靶施药的人工

智能装置,基于历史数据挖掘和智能化远程控制的植物保护作业系统等,提升农作物病虫害防控的装备水平。

## 2.6 满足区域发展的农作物病虫害绿色可持续控制新模式、新体系研究

未来一段时期内,我国农业结构性调整和土地流转规模将进一步扩大,大面积机械化主粮种植区、设施蔬菜种植区、农牧交错带、生态脆弱区、边疆高原区等,都需要有效的区域性农作物病虫害绿色可持续控制模式,优化防控重大农作物病虫害的治理技术,丰富绿色防控手段,满足专业化统防统治需求,开展轻简化实用技术的组装,建立区域性监测预警与绿色治理体系,开展大区域的技术应用,保障控害丰产,促进农业兴旺,推进乡村振兴。

受篇幅所限,本文只引用部分植保领域的文献,国内很多工作未能展示,作者在此表示歉意。

## 参考文献

- 1 Institution of Plant Protection-Chinese Academy of Agricultural Science, China Society of Plant Protection. Pests and Diseases of Chinese Crops (in Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2015 [中国农业科学院植物保护研究所, 中国植物保护学会. 中国农作物病虫害. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2015]
- 2 China Association for Science and Technology, China Society of Plant Protection. 2012-2013 Report on Advances in Plant Protection (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 2014 [中国科学技术协会, 中国植物保护学会. 2012-2013植物保护学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2014]
- 3 Shen M X. The Fifty Years of China's Rural Science and Technology (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999 [申茂向. 中国农村科技辉煌50年. 北京: 中国农业出版社, 1999]
- 4 Department of Science and Education-Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 50 Years of History in Chinese Agricultural Science and Technology (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999 [农业部科技教育司. 中国农业科学技术50年. 北京: 中国农业出版社, 1999]
- 5 Chen S D, Hu B H. 50 Years of History in Chinese Plant Protection (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2003 [陈生斗, 胡伯海. 中国植物保护50年. 北京: 中国农业出版社, 2003]
- 6 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2002 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2002 [中华人民共和国农业部. 2002中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2002]
- 7 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2006 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2006 [中华人民共和国农业部. 2006中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2006]
- 8 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2011 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2011 [中华人民共和国农业部. 2011中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2011]
- 9 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2012 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2012 [中华人民共和国农业部. 2012中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2012]
- 10 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2013 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2013 [中华人民共和国农业部. 2013中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2013]

- 11 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2014 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2014 [中华人民共和国农业部. 2014中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2014]
- 12 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2015 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2015 [中华人民共和国农业部. 2015中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2015]
- 13 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2016 China Agricultural Development Report (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2016 [中华人民共和国农业部. 2016中国农业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2016]
- 14 Yuan F. Agricultural Entomology, Editing (in Chinese). 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2011 [袁锋. 农业昆虫学. 第4版. 北京: 中国农业出版社, 2011]
- 15 Wu K M. Technology Innovation of Plant Protection and Professionalization of Control of Disease and Pest (in Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2011 [吴孔明. 植保科技创新与病虫防控专业化. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011]
- 16 Chen L F, Xu J Y. Agricultural Phytopathology (in Chinese). 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (In Chinese) [陈利锋, 徐敬友. 农业植物病理学. 第4版. 北京: 中国农业出版社, 2015]
- 17 Dong J G, Kang Z S, Zhou X P. Phytopathology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2016 [董金皋, 康振生, 周雪平. 植物病理学. 北京: 科学出版社, 2016]
- 18 Cao A, Xing L, Wang X, et al. Serine/threonine kinase gene *Stpk-V*, a key member of powdery mildew resistance gene *Pm21*, confers powdery mildew resistance in wheat. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2011, 108: 7727–7732
- 19 Fu D, Uauy C, Distelfeld A, et al. A kinase-START gene confers temperature-dependent resistance to wheat stripe rust. *Science*, 2009, 323: 1357–1360
- 20 Kang Z S. Ultrastructure of Plant Pathogenic Fungi (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1997 [康振生. 植物病原真菌超微形态. 北京: 中国农业出版社, 1997]
- 21 Zhou B, Qu S, Liu G, et al. The eight amino-acid differences within three leucine-rich repeats between Pi2 and Piz-t resistance proteins determine the resistance specificity to *Magnaporthe grisea*. *Mol Plant Microbe Interact*, 2006, 19: 1216–1228
- 22 China Association for Science and Technology, China Society of Plant Protection. 2007-2008 Report on Advances in Plant Protection (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 2018 [中国科学技术协会, 中国植物保护学会. 2007-2008植物保护学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2018]
- 23 China Society of Plant Protection. 2010-2011 Report on Advances in Plant Protection (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 2011 [中国植物保护学会. 2010-2011植物保护学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2011]
- 24 Chen J P. Plant Viruses Transmitted by Fungi (in Chinese). Beijing: Science Press, 2005 [陈剑平. 真菌传播的植物病毒. 北京: 科学出版社, 2005]
- 25 Yang X, Guo W, Li F, et al. Geminivirus-associated betasatellites: Exploiting chinks in the antiviral arsenal of plants. *Trends Plant Sci*, 2019, 24: 519–529
- 26 Wei T, Li Y. Rice reoviruses in insect vectors. *Annu Rev Phytopathol*, 2016, 54: 99–120
- 27 Wei J, He Y Z, Guo Q, et al. Vector development and vitellogenin determine the transovarial transmission of begomoviruses. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2017, 12: 6746–6751
- 28 Li Y H. Chinese Weeds (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998 [李扬汉. 中国杂草志. 北京: 中国农业出版社, 1998]
- 29 Deng X, Wan N F, Zhu Y F, et al. Current situation and assessment of biological control of weeds (in Chinese). *Weed Sci*, 2006, 1: 15–17 [邓欣, 万年峰, 朱亚芳, 等. 杂草生物防治现状与评估. 杂草科学, 2006, 1: 15–17]
- 30 Du B, Zhang W, Liu B, et al. Identification and characterization of *Bph14*, a gene conferring resistance to brown planthopper in rice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 22163–22168
- 31 Deng Y, Zhai K, Xie Z, et al. Epigenetic regulation of antagonistic receptors confers rice blast resistance with yield balance. *Science*, 2017, 355: 962–965
- 32 Guo J, Xu C, Wu D, et al. *Bph6* encodes an exocyst-localized protein and confers broad resistance to planthoppers in rice. *Nat Genet*, 2018, 50: 297–306
- 33 Li G, Zhou J, Jia H, et al. Mutation of a histidine-rich calcium-binding-protein gene in wheat confers resistance to *Fusarium* head blight. *Nat Genet*, 2019, 51: 1106–1112
- 34 Li W, Zhu Z, Chern M, et al. A natural allele of a transcription factor in rice confers broad-spectrum blast resistance. *Cell*, 2017, 170: 114–126.

e15

- 35 Liu Y, Wu H, Chen H, et al. A gene cluster encoding lectin receptor kinases confers broad-spectrum and durable insect resistance in rice. *Nat Biotechnol*, 2015, 33: 301–305
- 36 Song W Y, Wang G L, Chen L L, et al. A receptor kinase-like protein encoded by the rice disease resistance gene, *Xa21*. *Science*, 1995, 270: 1804–1806
- 37 Zuo W, Chao Q, Zhang N, et al. A maize wall-associated kinase confers quantitative resistance to head smut. *Nat Genet*, 2015, 47: 151–157
- 38 Xu H H. Chemical Protection of Plant (in Chinese). 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2007 [徐汉虹. 植物化学保护学. 第4版. 北京: 中国农业出版社, 2007]
- 39 Li Q X, Qian X C. Plant Protection (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2002 [李清西, 钱学聪. 植物保护. 北京: 中国农业出版社, 2002]
- 40 Song B A, Wu J. Pesticide Synthesis (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2017 [宋宝安, 吴剑. 农药合成. 北京: 中国农业出版社, 2017]
- 41 Guo Y Y. Research of Cotton Bollworm (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998 [郭予元. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社, 1998]
- 42 Niu D. 1978-2003 National Awards for Agricultural Scientific and Technological Achievements (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2004 [牛盾. 1978-2003年国家奖励农业科技成果汇编. 北京: 中国农业出版社, 2004]
- 43 Department of Science and Education-Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Institute of Agricultural information-Chinese Academy of Agricultural Sciences. National Awards for Agricultural Scientific and Technological Achievements in 2000-2010 (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2012 [农业部科技教育司, 中国农业科学院农业信息研究所. 2000-2010年国家奖励农业科技成果汇编. 北京: 中国农业出版社, 2012]
- 44 Wu K M. Plant Protection Technology Innovation and Pest Control Specialization (in Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2011 [吴孔明. 植保科技创新与病虫害防控专业化. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011]
- 45 Yuan H M, Xu S W. National Award for Agricultural Science and Technology Achievements in 2011-2015 (in Chinese). Beijing: Intellectual Property Press, 2016 [袁惠民, 许世卫. 2011-2015年国家奖励农业科技成果汇编. 北京: 知识产权出版社, 2016]
- 46 Yuan X. Analysis on the Information of Awards for Agricultural Science and Technology Awards in China in 2008-2015 (in Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016 [袁雪. 2008-2015年中国农业科技奖励获奖成果信息分析. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016]
- 47 Cai W Z, Pang X F. General Entomology (in Chinese). 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2011 [彩万志, 庞雄飞. 普通昆虫学. 第2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2011]
- 48 Zhang L S, Chen H Y, Li B P. Mass-rearing and Utilization of Insect Natural Enemies (in Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2014 [张礼生, 陈红印, 李保平. 天敌昆虫扩繁与应用. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014]
- 49 Li Z Y, Zhu Y Y. Biodiversity and Integrated Pest Management (in Chinese). Beijing: Science Press, 2009 [李正跃, 朱有勇. 生物多样性与害虫综合治理. 北京: 科学出版社, 2009]
- 50 Lu Y H, Wu K M. Cotton Fleahopper and Their Prevention (in Chinese). Beijing: Golden Shield Press, 2008 [陆宴辉, 吴孔明. 棉花盲椿象及其防治. 北京: 金盾出版社, 2008]
- 51 Wan F H, Hou Y M, Jiang M X. Invasive Biology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2014 [万方浩, 侯有明, 蒋明星. 入侵生物学. 北京: 科学出版社, 2014]
- 52 Wan F H, Xie B Y, Yang G Q. Invasive Biology (in Chinese). Beijing: Science Press, 2011 [万方浩, 谢丙炎, 杨国庆. 入侵生物学. 北京: 科学出版社, 2011]
- 53 Wan F H, Li B P, Guo J Y. Biological Invasion: Biological Control (in Chinese). Beijing: Science Press, 2008 [万方浩, 李保平, 郭建英. 生物入侵: 生物防治篇. 北京: 科学出版社, 2008]
- 54 Guo Y W, Wang D, Shi D Z. Rodent damages and the management of agricultural rodent pests in China (in Chinese). *Plant Protect*, 2013, 39: 62–69 [郭永旺, 王登, 施大钊. 我国农业鼠害发生状况及防控技术进展. 植物保护, 2013, 39: 62–69]
- 55 Shi D Z, Guo Y W. Review of agricultural rodent control in the 30 years of Reform and Opening Up (in Chinese). In: Proceedings of the 2009 Annual Conference of the Chinese Society for Plant Protection. China Plant Protection Society 2009 Academic Annual Conference. Wuhan. 2009 [施大钊, 郭永旺. 改革开放30年农业鼠害治理的回顾. 见: 中国植物保护学会2009年学术年会论文集. 中国植物保护学会2009年学术年会.

武汉. 2009]

- 56 Li J Y. Agricultural Science and Technology Discipline Development Strategy to 2030 (in Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016 [李家洋. 跨越2030农业科技学科发展战略. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016]
- 57 Tang K. China Agriculture Outlook (2018-2027) (in Chinese). In: China Agriculture Outlook Conference. Beijing, 2018 [唐珂. 中国农业展望报告(2018-2027). 见: 中国农业展望大会. 北京. 2018]

## **Crop pest control in China: Advances and perspectives**

ZHANG LiSheng, LIU WenDe, LI FangFang, Lu YanHui & ZHOU XuePing

*State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China*

There are many different kinds of crop pests widely distributed in China, which are very complex in occurrence and difficult in prevention and control. They may outbreak suddenly, causing serious damages to crops, and thereby have a significant impact on food security and safety. In the past 70 years, the development of basic research in plant protection in China has made great progress and profound changes, starting from simple agricultural intervention measures to current integrated, biologically-based and environment-friendly protection measures to effectively prevent and control crop pests. These measures are mainly dependent on the progress of innovation in the following fields: better understanding of the epidemic and migration patterns of major crop pests and diseases, elucidation on mechanisms for causing damages to crop by pests, discovery of novel technology and products for control of crop diseases and pests, and establishment of surveillance, early warning and control systems for management of crop pests. With the improvement of the scientific and technological progress in plant protection, the innovation of the future plant protection research will focus on discovery of new epidemic pattern for crop pests; establishment of effective pest detection, monitoring and early warning system; development of green and effective pesticides, biological control products. Thus, sustainable management of crop pests and disease could be reached at local, regional and global levels. In conclusion, development of a full-scale national plant protection technical support system would meet the requirements of the food security and safety and natural environment and contribute to the global Sustainable Development Goals.

**surveillance, plant resistance, chemical control, biological control, sustainable management**

**doi:** [10.1360/SSV-2019-0195](https://doi.org/10.1360/SSV-2019-0195)