

# 迈向数智驱动与绿色引领的“智慧植保”新时代

何雄奎<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 中国农业大学理学院, 北京 100193; 2. 中国农业大学药械与施药技术研究中心, 北京 100193;  
3. 中国农业大学农业无人机系统研究院, 北京 100193)

**摘要:** 在保障国家粮食安全与推进农业绿色发展的战略指引下, 我国植物保护技术体系正经历从经验依赖型向数据驱动与智能决策型的深刻转型。该专栏以“智慧植保”为核心主题, 系统汇集了近年来该领域在理论、技术、装备及系统集成方面的前沿研究。该文作为序言, 旨在梳理专栏内容脉络, 凝练当前我国植保技术精准化内核深化、智能化路径拓展、绿色化目标贯穿的三大发展特征, 并逐一引证专栏所有文献展示研究全貌, 以期为相关领域的科研创新与工程实践提供系统参考。

**关键词:** 智慧植保; 精准施药; 绿色防控; 技术体系

## Towards a new era of smart plant protection driven by digital intelligence and green development

He Xiongkui<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Centre for Chemicals Application Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. College of Agricultural Unmanned System, China Agricultural University, Beijing 100093, China)

**Abstract:** Under the strategic imperatives of ensuring national food security and promoting green agricultural development, China's plant protection technology system is undergoing a profound transformation from experience-dependent to data-driven and intelligent decision-making paradigms. This special issue, themed around "Smart Plant Protection", systematically brings together recent frontier researches in theoretical foundations, key technologies, equipment innovation, and system integration within this field. As an introductory article, this paper aims to outline the thematic structure of the special issue, distill three major developmental characteristics of contemporary plant protection technologies in China, namely the deepening of precision-oriented technical cores, the expansion of intelligent development pathways, and the consistent integration of green objectives, and to comprehensively cite all contributions included in the issue. By presenting an integrated overview of current research progress, this article seeks to provide a systematic reference for scientific innovation and engineering practice in related areas of smart and sustainable plant protection.

**Key words:** smart plant protection; precision pesticide application; green pest management; technology system

在保障国家粮食安全、推进农业绿色发展以及实现“双碳”目标的多重战略背景下, 我国植物保护

领域正经历一场深刻的技术范式变革(别宇辉等, 2025)。植保作业的核心逻辑, 正在由以经验为主

基金项目: 国家重点研发计划项目(2025YFE0208900), 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-28), 中国农业大学 2115 人才培育发展支持计划项目(2115-89052), 国家自然科学基金项目(31761133019)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: xiongkui@cau.edu.cn

收稿日期: 2026-01-16

导、以防治效果为单一目标,逐步转向以数据驱动、精准调控与系统协同为特征的发展路径(胡军等, 2026a)。以智能感知、精准施药与智慧决策为代表的新一代植保技术体系,不仅为应对病虫害抗性增强、劳动力短缺等现实挑战提供了有效手段,也成为推动农药减量增效、降低面源污染和提升农业生产效率的关键技术支撑(李文静等, 2026)。在此背景下,本团队策划组织了本期专栏,聚焦“智慧植保”前沿,汇集该领域在理论探索、技术创新与集成应用方面共14篇具有代表性的研究成果,旨在系统呈现技术发展全貌,凝练关键科学问题与工程挑战,并为未来的研究与实践提供方向性参考。综览本专栏所收录的系列研究可以清晰看到,当前我国植保技术的发展正呈现出精准化内核不断深化、智能化路径持续拓展、绿色化目标贯穿始终的鲜明特征与融合态势。

## 1 精准施药机理与调控体系向深层次、全链条方向演进

精准施药的研究范式已超越对单一装备或作业参数的优化,日益深入到“感知-决策-执行-评价”的闭环协同与底层作用机理(张毅杰等, 2026)。例如,胡军等(2026b)通过建立风载作用下大豆叶片的双向流固耦合模型,定量揭示了风幕气流促叶片变形以提升雾滴沉积的内在机理;李卓成等(2026)采用Meta分析方法,从海量文献数据中凝练出植保无人机雾滴飘移与风速、雾滴直径等参数的普适规律,为作业窗口期的确定提供了宏观数据支撑;皇甫佳一等(2026)则通过大田试验明确了花椒蚜虫防控中无人机飞行高度、速度与流量的最优参数组合。同时,精准施药技术体系正朝向多平台协同与多策略集成拓展。从胡军等(2026a)对大田多平台变量喷药系统架构的全局分析,到李文静等(2026)对果园精准喷雾机发展路径的梳理,再到姜赛珂等(2026)系统阐述果园无人机从遥感、作业到融合平台的技术进展,均表明我国精准施药技术体系正从单点创新迈向针对不同生产体系的系统性解决方案构建。

## 2 人工智能与多源感知技术深度融合驱动智慧植保信息范式变革

智慧植保的生命力源于对前沿信息技术的快速吸收与创新应用(王惟实等, 2026)。在感知与识别层面,胡家睿等(2026)提出的轻量化YOLOv11-VCL模型实现了复杂田间环境下辣椒苗的实时高精度检

测,展现了边缘智能在精准作业执行端的潜力;岳柳羊等(2026)深入阐述了多光谱技术结合支持向量机、随机森林及深度学习模型在梨树火疫病、栗树油墨病等多种果树病害早期识别中的显著优势。在诊断与决策层面,王惟实等(2026)系统综述了大语言模型在病虫害智能诊断中的进展,揭示了检索增强生成、多模态融合与智能体架构等新技术路径。这些研究共同标志着植保信息获取正从离散、滞后的人工判断,向连续、实时、在线的智能感知与认知决策跃迁(别宇辉等, 2025)。

## 3 绿色防控目标与药械协同理念贯穿技术创新全过程

在农药减量增效与生态环境保护目标的刚性约束下,绿色化已成为植保技术创新的根本导向(张毅杰等, 2026)。一方面,王林惠等(2026)通过筛选高效复配药剂并结合无人机飞防验证,体现了“以药定械”的协同思路,为杧果蓟马的绿色防控提供了有效方案;王海荣等(2026)通过对比无人机与人工作业对板栗害虫的防效及成本,为施药技术选择提供了实证依据。另一方面,张毅杰等(2026)提出的“药剂友好型”施药机械理念,系统阐述了通过机械适应性设计、作业参数优化与药剂辅助方案实现“药械协同”的技术路径,倡导从系统层面提升农药利用率。

## 4 系统集成与测试评价成为技术落地与产业升级的关键支撑

智慧植保的最终价值在于形成可靠、可推广的解决方案(别宇辉等, 2025; 余忠义等, 2026)。别宇辉等(2025)系统梳理了“感知-通信-决策-执行”全链条智慧植保技术架构,为体系化发展描绘了蓝图。而余忠义等(2026)对智慧植保精准喷雾系统测试试验平台的全面综述,则直面从实验室研发到田间应用的核心挑战,强调了标准化测试、复杂环境模拟与多系统协同验证对于技术成熟与产业化不可或缺的桥梁作用。

总体而言,本专栏所收录的14篇论文,从变量喷药系统架构、施药过程机理、智能感知算法、绿色药剂械协同到全链条技术体系与测试平台,完整展示了我国在精准施药与智慧植保领域取得的系列重要进展。这些研究以精准高效为核心目标,以人工智能与信息技术为创新引擎,以绿色可持续发展为根本遵循,共同推动着植物保护技术向感知更智能、决策更自主、执行更精准、系统更协同的方向稳步迈

进。期望本专栏能够为植保领域的科研人员、工程技术人员及产业界同仁提供一个交流与借鉴的平台,激发更多创新思维与实践,共同为推动我国植保科技高质量发展、保障国家粮食安全与农业绿色转型贡献智慧与力量。

### 参考文献 (References)

- Bie YH, Chen X, Xu GW, Li YL, Zhang XL, Cao JJ, Chaoqiaoqier, Mo R, Wang YJ. 2025. A review of smart plant protection technologies and their current applications. *Journal of Plant Protection*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2025.2025803> (in Chinese) [别宇辉, 陈鑫, 徐国威, 李云龙, 张小利, 曹金娟, 朝格敖其尔, 莫仁, 王耀君. 2025. 智慧植保技术体系与应用现状综述. *植物保护学报*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2025.2025803>]
- Hu J, Bao DR, Shi H, Liu CX, Li YF, Fu XM. 2026a. Current status and prospect of precision variable spraying technology. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 54–66 (in Chinese) [胡军, 鲍德瑞, 石航, 刘昶希, 李宇飞, 付晓明. 2026a. 精准变量喷药技术发展现状与展望. *植物保护学报*, 53(1): 54–66]
- Hu J, Yang WH, Liu CX, Shi H, Sun H. 2026b. Numerical simulation of soybean leaf deformation based on bidirectional fluid structure coupling model. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 145–153 (in Chinese) [胡军, 杨薇卉, 刘昶希, 石航, 孙昊. 2026b. 基于双向流固耦合模型的大豆叶片变形响应机理. *植物保护学报*, 53(1): 145–153]
- Hu JR, Lu AP, Chen M, Shi H, Han CJ. 2026. A real-time detection approach for pepper seedlings in farmland utilizing YOLOv11-VCL model. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 154–163 (in Chinese) [胡家睿, 陆傲鹏, 陈蒙, 石航, 韩长杰. 2026. 基于YOLOv11-VCL模型的田间辣椒苗实时检测方法. *植物保护学报*, 53(1): 154–163]
- Huangfu JY, Guo LL, Li P, Gao DM, Kuang M, Guo X. 2026. Effects of UAV spray parameters on pesticide deposition on *Zanthoxylum bungeanum* leaves and aphid control efficacy. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 111–119 (in Chinese) [皇甫佳一, 郭璐璐, 李平, 高冬梅, 况觅, 郭萧. 2026. 植保无人机喷雾参数对药液在花椒叶面沉积及防治蚜虫效果的影响. *植物保护学报*, 53(1): 111–119]
- Jiang SK, Zhu SY, Liu YJ, Song JL, Wang CL, He XK. 2026. Research progress and challenges of UAVs in precision orchard operations. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 20–33 (in Chinese) [姜赛珂, 朱诗嫣, 刘亚佳, 宋坚利, 王昌陵, 何雄奎. 2026. 无人机在果园精准作业中的研究进展与挑战分析. *植物保护学报*, 53(1): 20–33]
- Li WJ, Wang BB, Chen H, He XK. 2026. Current status and development trends of researches on precision sprayers for orchards. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 44–53 (in Chinese) [李文静, 王彬彬, 陈恒, 何雄奎. 2026. 果园精准喷雾机研究现状与发展趋势. *植物保护学报*, 53(1): 44–53]
- Li ZC, Yang BF, Liu YJ, He XK, Li HJ. 2026. Meta analysis of influencing factors on droplet drift rate of plant protection unmanned aerial vehicle. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 129–138 (in Chinese) [李卓成, 杨碧菲, 刘亚佳, 何雄奎, 李红军. 2026. 植保无人机雾滴飘移率影响因素的Meta分析. *植物保护学报*, 53(1): 129–138]
- Wang HR, Tian SL, Sun XL, Sun RH, Li YF, Ye TT, Wang JP, Shen GN. 2026. Comparative analysis of control efficacy and cost-effectiveness between plant protection unmanned aerial vehicle spraying and manual application for major pests in chestnut orchards. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 139–144 (in Chinese) [王海荣, 田寿乐, 孙晓莉, 孙瑞红, 李颖芳, 叶甜甜, 王金平, 沈广宁. 2026. 植保无人机与人工作业施药对板栗上主要害虫的防效及成本效益比较. *植物保护学报*, 53(1): 139–144]
- Wang LH, Tan YH, Liu ZZ, Yang Y, Tang ZH, Zeng WD, Pan HJ, He XK. 2026. Green and precision control of mango thrips using plant protection drones and compound pesticide formulations. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 120–128 (in Chinese) [王林惠, 谭永宏, 刘志壮, 杨钰, 唐志好, 曾文定, 潘海军, 何雄奎. 2026. 基于植保无人机与复配药剂的芒果蓟马绿色精准防控技术. *植物保护学报*, 53(1): 120–128]
- Wang WS, Zhang HY, Zhu SY, He XK. 2026. Research advances in the application of large language models for intelligent diagnosis of plant diseases and insect pests. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 67–79 (in Chinese) [王惟实, 张慧源, 朱诗嫣, 何雄奎. 2026. 大语言模型在植物病虫害智能诊断中应用的研究进展. *植物保护学报*, 53(1): 67–79]
- Yu ZY, He XK, Li SJ, Gao H, Zhou KK, Wang XR, Chen QX, Wan YQ, Gu SY. 2026. Development and application of test-beds for precision spraying systems in smart plant protection: a review. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 34–43 (in Chinese) [余忠义, 何雄奎, 李尚军, 高杭, 周克坤, 王蕊蕊, 陈启新, 万永祺, 古松源. 2026. 智慧植保精准喷雾系统测试试验平台发展应用综述. *植物保护学报*, 53(1): 34–43]
- Yue LY, He XK, Su LY, Chen H, Wang WS, Liu YJ. 2026. Application and prospects of multispectral technology in fruit tree disease detection. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 95–110 (in Chinese) [岳柳羊, 何雄奎, 苏立阳, 陈恒, 王惟实, 刘亚佳. 2026. 多光谱技术在果树病害检测中的应用与展望. *植物保护学报*, 53(1): 95–110]
- Zhang YJ, Zhang ZT, Zhao YM, Song ZQ, Ren W, Mo YL, Yang ZJ, Zou H. 2026. Research progress and future prospects of pesticide-friendly application machinery. *Journal of Plant Protection*, 53(1): 4–19 (in Chinese) [张毅杰, 张志涛, 赵永梅, 宋泽祺, 任雯, 莫玉兰, 杨振杰, 邹欢. 2026. 药剂友好型施药机械的研究进展与未来展望. *植物保护学报*, 53(1): 4–19]

(责任编辑:李美娟)