

◆ 专论:植保无人飞机(特约稿) ◆

我国植保无人飞机机型发展概况

徐 阳, 孙 竹, 薛新宇*

(农业农村部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

摘要:植保无人飞机具有快速高效、适应性广等特征,克服了传统地面植保机械作业效率低、下地难、劳动力投入大的问题,近年来发展迅速。本文系统叙述了植保无人飞机的发展及应用现状,介绍了日本与中国植保无人飞机的机型演变,从机体平台技术、附属作业部件技术、标准化与智能化作业技术4个方面介绍了我国植保无人飞机的技术发展过程,从飞行控制、喷雾性能与药箱电池3个方面对比了我国和日本植保无人飞机的产品性能,并对我国植保无人飞机的未来发展提出建议。

关键词:植保无人飞机;机型发展;飞行控制;作业效果;标准化;智能化

中图分类号: [S 494] **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1671-5284.2023.03.002

Review on the Machine Type Development of Crop Protection UAV in China

XU Yang, SUN Zhu, XUE Xinyu*

(Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China)

Abstract: Crop protection unmanned aerial vehicle (UAV) has been developing rapidly with remarkable characteristics of high-efficiency and wide-adaptability, overcoming the issues of low efficiency and difficult operation of traditional ground agricultural tractors and large labor input. The development and application of crop protection UAV was systematically elaborated, and types of UAV evolution in Japan and China were introduced in the paper. Technique development of crop protection UAV in China was also introduced from four aspects including UAV body platform, auxiliary operation component, standardization and intelligent operation. Performance of Chinese and Japanese UAV products were compared from three aspects including flight control, spray function, pesticide box and battery. Furthermore, suggestions on future development of crop protection UAV in China were put forward.

Key words: crop protection UAV; UAV type development; flight control; operation effect; standardization; intelligentization

我国每年主要农作物病虫害发生面积巨大,近5年的年均发生面积为3.667亿 hm^2 次。目前化学防治仍是防治病虫害最主要和最有效的方式^[1-2]。近年来,伴随着我国城镇化建设进程的加快,农村劳动力短缺与农业劳动力需求的矛盾日益严峻,亟需高效作业机具服务于农业生产^[3-4]。植保无人飞机施药作业具有快速高效、适应性广等显著特征,克服了传统植保机械作业效率低、下地难、转场难和劳动力投入大的问题,已逐渐成为我国农业生产不可或缺的一部分^[5-7]。当前植保无人飞机的市场潜力巨大,是科技下乡解决三农问题的代表性成果。

1 植保无人飞机发展及应用现状

农业航空的发展已有100多年历史。美国是农业航空应用技术最成熟的国家之一^[8],所采用的农用无人驾驶飞机有20多个品种。根据机型划分,可分为固定翼飞机和直升飞机2大类:目前美国具有农业航空相关企业2 000多家,有完善的协会管理制度。日本是最早将单旋翼无人飞机应用于农业生产的国家^[9],自20世纪80年已经开始飞防作业,是植保无人飞机作业技术发展最成熟的国家之一。

我国植保无人飞机起步较晚,但是近年来在

收稿日期:2023-05-01

作者简介:徐阳(1991—),男,江苏宝应人,博士,助理研究员,主要从事植保与环境工程技术研究。E-mail: xuyang01@caas.cn

通信作者:薛新宇(1969—),女,江苏苏州人,博士,研究员,主要从事植保机械工程技术研究。E-mail: xuexynj@qq.com

政府、科研单位、高校、企业以及服务组织的探索下,植保无人飞机作业技术发展迅速^[10]。自2015年起,随着以飞控技术为核心的高科技企业极飞科技有限公司、大疆创新科技有限公司进入农业,产业规模呈现逐年翻番的高速发展状态,已形成了集研发、生产、销售、服务一条龙的完整产业链,产品的市场保有量、作业量、驾驶员人数逐年递增。截至2022年,全国的植保无人飞机保有量已达到16万台,作业面积为0.933亿hm²次,占我国病虫害防治面积的20%左右。植保无人飞机研发及组装的生产企业100多家,其中龙头企业10余家,产品覆盖单旋翼、多旋翼以及油动、电动等多个品种。行业带动了超过8 000家飞防专业社会化服务组织的发展。

目前植保无人飞机的作业对象几乎覆盖了全部农作物,包括水稻^[11-13]、小麦^[14-15]和玉米^[16-17]等主要粮食作物,各种经济作物棉花^[18]、油菜^[19]、果树^[20-21]和瓜果蔬菜如苹果、葡萄、柑橘、豇豆、小白菜等,并且获得了理想的防治效果和防治经验。经过几年来的发

展,在关键技术、装备及飞防药剂的不断升级推动作用下,施药作业质量有了长足进步,当前植保无人飞机的病虫害防治效果已接近地面大型喷杆喷雾机具的水平,作业类型也从植保施药延伸至授粉、播种、施肥、投料等,且实现了一机多用的功能拓展。

2 植保无人飞机机型演变

2.1 日本无人飞机发展

日本的植保无人飞机机型以油动单旋翼为主。1985年,日本雅马哈公司率先推出世界第一架农用无人飞机Yamaha-R50型,其有效载荷为5 kg,主要用于农药的喷洒(图1a)。经过10年的作业实践和改进,日本于1997年研发出了具有飞行姿态控制系统且性能大幅提升的RMAX新机型(图1b);2017年投入市场的FAZERR G2型无人直升机,载药质量为40 kg,续航里程为90 km(图1c)。2020年发布的油动单旋翼FAZER R AP,有效载荷为32 kg,增加了自动飞行功能,无需手动遥控进行自动起降。



图1 日本雅马哈公司推出3种以单旋翼为主的农用无人飞机示意图

截至2012年,日本农用无人直升机作业面积为96.3万hm²/年,占种植面积的50%~60%;截至2015年,日本植保无人直升机保有量为2 668台。雅马哈公司在日本植保无人飞机市场占有率达90%。从2015年开始,一些日本企业开始推出四旋翼、六旋翼等多旋翼植保无人飞机,如Yamaha Nile-JZ(图2a)与SkymatiX X-F1(图2b)等。



图2 日本雅马哈公司推出2种以多旋翼为主的农用无人飞机示意图

2.2 国内无人飞机发展

我国植保无人飞机科研起步自2008年,在国家“863”计划项目“水田超低空低量施药技术与装备创制”的支持下,由农业农村部南京农业机械化研究所牵头,中国农业大学、中国农业机械化研究院、南京林业大学、总参谋部第六十研究所等单位参加。与日本植保无人飞机手动操控技术路线不同,我国植保无人飞机是全新的自主飞行模式无人飞机,科研产品“N-3”油动单旋翼植保无人飞机配备基于GPS导航施药作业系统,药箱有效载荷20 kg,搭载2个超低量离心雾化喷头^[22](图3)。

2010—2015年,全国涌现了一批植保无人飞机企业,其中包括无锡汉和、安阳全丰、高科新农、珠海羽人,作业面积达66.667万hm²次。市场上主要机型包括油动与电动单旋翼、电动多旋翼(图4),但机

具以手动遥控为主,载药量在10~15 kg。



图3 N-3 油动单旋翼植保无人飞机



a. 无锡汉和植保无人飞机



b. 安阳全丰植保无人飞机



c. 高科新农植保无人飞机



d. 珠海羽人植保无人飞机

图4 2010—2015年国内部分企业研发植保无人飞机示意图

2015年,广州极飞科技有限公司开始发布电动四旋翼植保无人飞机P20,采用全自主作业模式,并在2016年将植保无人飞机加入了RTK定位技术,P20载药量达10 kg(图5a)。P系列作为广州极飞科技有限公司主流机型,当前已发展到P100,载重达50 kg。2021年,极飞又推出新系列,即电动双旋翼V系列植保无人飞机,最新的V50具备20 kg的有效载重(图5b)。除植保作业功能外,极飞的P系列与V系列还支持种子、肥料等固体颗粒的播撒作业功能,作物对象主要为大田作物与果园。



a. 广州极飞P20



b. 广州极飞V50

图5 广州极飞推出电动四旋翼和电动双旋翼植保无人飞机示意图

2015年底,深圳大疆创新科技有限公司发布了电动八旋翼MG-1植保无人飞机,载药量在10 kg(图6a)。至今,该公司陆续推出电动八旋翼MG-1S、

MG-1P,载药量均为10 kg,在2019年后陆续推出电动四旋翼T系列植保无人飞机T20与T25,并在2021年发布了电动八旋翼植保无人飞机T50(图6b),其采用共轴双旋翼动力系统,载药量分别为40 kg和50 kg,集航测与飞防于一体,面向大田与果园作业。



a. 深圳大疆MG-1



b. 深圳大疆T50

图6 深圳大疆推出电动八旋翼植保无人飞机示意图

2015年至今,无锡汉和、安阳全丰、深圳高科、北京韦加等公司陆续发布了电动单旋翼、油动单旋翼、电动四旋翼与电动八旋翼的植保无人飞机产品(图7a~e)。总参第六十研究所、中科院沈阳自动化研究所、北京航空航天大学等科研机构也研制出一批油动大载荷单旋翼植保无人飞机产品或者样机(图7f~h)。

国内植保无人飞机的发展不断吸引科技公司的加入,如拓攻机器人与苏州极目机器人等公司。2020年,拓攻机器人发布了电动四旋翼植保无人飞机F系列,并之后陆续推出电动六旋翼TG系列,最新的电动四旋翼丰鹏系列可配备55 kg播撒料箱或者35 L喷洒药箱(图7D)。2021年,苏州极目机器人科技有限公司开始发布电动四旋翼植保无人飞机EA2021,目前已发布了5种机型,其中EA-30XP植保无人飞机支持植保喷洒与播撒作业,具备双目视觉三维感知技术,可实时检测障碍物超低仿地飞行,进行丘陵山地全场景作业,药箱容量达到30 L(图7D)。

目前国内市场已拥有一批操作简单、稳定性高、可靠性高、作业效果较为理想的植保无人飞机产品,适合我国不同农业生产区经营模式和地貌特点。比如,适合丘陵和小规模植保与辅助授粉作业的电动单旋翼无人飞机、适合复杂地形植保与遥感作业的电动多旋翼无人飞机、适合平原大规模种植区植保作业的大载荷油动无人飞机、适合多种作物混植区植保作业的轻型油动无人飞机。

3 技术发展

3.1 机体平台技术发展

2008—2015年,植保无人飞机产品的多数机型仍然是由航模或者航拍系统改制而成,自动化程度

和技术水平不足,存在飞不稳、飞不低、飞不准、复杂农田环境适应性低等问题,导致作业质量较差,坠机问题突出,相关机具多以演示和田间示范为主,尚无法进行规模化作业。2015年开始,国内多家科研院所与企业开展了超低空自主作业飞行施药作业技术的联合攻关。

在飞控方面^[23],全面实施“航路规划、自主飞行、定点喷洒、断点续喷”自主飞行作业模式,融合GNSS-RTK(全球定位导航-载波相位差分),利用定高-增稳-防地飞行控制方法和自主避障控制策略,将植保无人飞机从“遥控”作业转变为“自主”作

业,有效降低重喷与漏喷率,提高作业效率与作业质量^[24]。植保无人飞机自主作业模式下全覆盖路径规划的研究也得到了广泛的关注^[25-27]。

在机体方面,加强了产品模块化、工业化,其中具代表性的有:①整机模块化技术,使得农业无人飞机框架强度提高30%,田间作业能够通过易损配件更换快速修复,无人飞机抗风险能力提升;②高效电池技术:提高了充电速度,水冷和散热加持延长电池使用寿命,提升电池耐用度;③防水技术:机身采用防水密隔舱设计,最高整机防水等级达IP67,实现了全身水洗。



图7 2015年至今国内部分企业和科研机构研发的植保无人飞机示意图

3.2 附属作业部件技术发展

针对植保无人飞机施药可能造成的环境污染问题,国内学者构建了植保专用风洞^[28-29]、流场专用模拟平台^[30-32],对喷雾雾滴的运动进行了定量描述,以用于植保无人飞机施药系统布局优化^[33];创制了植保无人飞机专用的窄雾滴谱的喷头^[34-36],实现了雾滴量精确可调、沉积均匀与飘移可控;探索了面向不同作物的喷施作业精量化参数^[37],解决了无人飞机施药技术与病虫害防治不匹配的难题^[38-40]。

2020年起,植保无人飞机的变量喷洒系统得到广泛的应用,作业对象从传统的大田作物延伸至果

园、蔬菜及茶园等经济作物,作业类型也从植保施药延伸至授粉^[41-42]、播种^[43]、施肥、投料等。

3.3 标准化发展

植保无人飞机在国内的标准化工作曾一度滞后于技术发展速度,最早的行业标准发布于2018年,NY/T 3213—2018《植保无人飞机 质量评价技术规范》^[44]由农业农村部南京农业机械化研究所起草。该标准规定了植保无人飞机的基本要求、质量要求、检测方法和检验规则,对植保无人飞机行业的健康发展具有显著的推动作用。此后,中国农业机械化协会从基础、技术、应用、管理4个方面设计一

套植保无人飞机的标准体系,制定了9项具有影响力的团体标准,进一步保证植保无人机安全高效作业。截至2022年12月,该协会已颁布植保无人机相关的行业标准6项,团体标准32项。行业在售的绝大多数机具都通过了省/部级质量检测,机具质量和可靠性显著提升,产品坠机率和事故率大幅降低。

3.4 智能化作业技术发展

近年来,植保无人飞机的智能化水平进一步提高,部分企业在机具端开发出了4D雷达成像、自主避障^[45]、多机协同^[46-49]、夜间飞行^[50]、快速装药等技术,使机具的田间适应性增强,操控简单化。

围绕植保无人机,出现了包含高清数字农田、电子围栏、物联网大数据等周边数字基础设施,在产品上推出了智慧农业生产的操作系统,实现测绘辅助+自主作业的新型作业模式,可以自主决策和自动执行田间作业,不再需要专门的农机手,新老农人都可以通过系统来操作机具,使得植保无人

飞机的理论作业效率从平均不足6.67 hm²/h提升至16.67 hm²/h。

目前,我国的植保无人机产品的智能化水平明显提升,表1列举了中日两国植保无人机产品的性能参数对比结果。在飞行控制方面,国内植保无人机产品采用自主作业模式,具备自主避障、仿地飞行与多机协同的作业功能,而日本植保无人机产品作业采用半自主的作业模式,需要旗手配合完成作业,不具备避障、仿地飞行、多机协同作业能力。在喷头性能方面,2018年我国植保无人机产品标准规定在室内测试中喷雾均匀性变异系数小于或等于40%,2023年标准修订后,变异系数提升至小于或等于35%,而我国植保无人机产品在日本使用,认证要求比较高,喷雾均匀性变异系数小于等于30%以下。日本植保无人机产品采用快速插拔、防颠簸的药箱电池设计,国外植保无人机产品采用分体药箱设计。

表 1 中日两国植保无人机产品的性能参数对比

主要功能		国内植保无人机产品	日本植保无人机产品
主要技术指标	飞行控制	作业模式:自主作业(国内首创) 航迹精度:水平20 cm以内,高度15 cm以内 飞行方式:主动避障、仿地飞行、多机协同	作业模式:半自主,需要旗手配合作业 航迹精度:因操控者不同有差异 飞行方式:无避障、仿地飞行、多机协同作业
	喷雾性能	喷雾均匀性变异系数:室内20%以下,实际作业40%左右 离心式:流量可控,雾滴粒径可控,单喷嘴流量调节范围约 0~5 L/min 液力式:流量可控,防飘喷雾,单喷嘴流量调节范围约 0~3 L/min	喷雾均匀性变异系数:日本产品认证要求≤30% 以离心式为主,采用2个系列喷头,流量范围约 1.3~2 L/min
	药箱电池	快速插拔、防颠簸	分体药箱

注:日本植保无人机产品以日本雅马哈公司为例。

4 我国植保无人机的发展建议

植保无人机产品保有量、作业量和培训人次不断提升,为进一步促进农用植保无人机产业健康发展,提出如下建议。

在作业机具方面,当前我国植保无人飞机载药量低、续航时间短,反复起降充电换药导致作业效率、效果和经济性难以满足大规模统防统治需求。因此,市场亟需大载荷植保无人飞机产品,发挥机具在大田规模化统防统治中的效率优势。

在产品研发方面,需要持续提升植保无人飞机智能化水平,降低操控难度,进一步改善植保无人飞机安全性、高效性和作业质量,提升作业服务质量,促进行业的健康发展。

在管理方面,强化植保无人飞机管理能力,保障行业安全运行,掌握行业发展动态,提高用户运

营效率;充分发挥已有的远程监管平台,加强年度季节性植保施药数据分析,把握病虫害发生规律,精准引导植保施药;规范植保无人飞机驾驶员资质要求,制定培训流程和资质认定方法,提高植保无人飞机驾驶员整体素质与农业服务质量。

参考文献

[1] 郭永旺,袁会珠,何雄奎,等.我国农业航空植保发展概况与前景分析[J].中国植保导刊,2014,34(10):78-82.

[2] 兰玉彬.精准农业航空技术现状及未来展望[J].农业工程技术,2017,37(30):27-30.

[3] 何雄奎,JANE B,ANDREAS H,等.亚洲农用植保无人机发展与应用[J].中国农业文摘-农业工程,2017,29(6):5-12.

[4] 兰玉彬,王国宾.中国植保无人机的行业发展概况和发展前景[J].农业工程技术,2018,38(9):17-27.

[5] 周志艳,臧英,罗锡文,等.中国农业航空植保产业技术创新发展战略[J].农业技术与装备,2014,5:19-25.

- [6] 周志艳, 明锐, 臧禹, 等. 中国农业航空发展现状及对策建议[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 9-21.
- [7] 兰玉彬, 陈盛德, 邓继忠, 等. 中国植保无人机发展形势及问题分析[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 225-233.
- [8] 薛新宇, 兰玉彬. 美国农业航空技术现状和发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 194-201.
- [9] 尹选春, 兰玉彬, 文晟, 等. 日本农业航空技术发展及对我国的启示[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(2): 7-14.
- [10] 邓巍, 陈立平, 张瑞瑞, 等. 无人机精准施药关键技术综述[J]. 农业工程, 2020, 10(4): 11-20.
- [11] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 40-46.
- [12] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 航空喷施与人工喷施方式对水稻施药效果比较[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(4): 103-109.
- [13] GUO S, LI J, YAO W, et al. Optimization of the factors affecting droplet deposition in rice fields by rotary unmanned aerial vehicles (UAVs)[J]. Precision Agriculture, 2021, 22(6): 1918-1935.
- [14] 高圆圆, 张玉涛, 张宁, 等. 小型无人机低空喷洒在小麦田的雾滴沉积分布及对小麦吸浆虫的防治效果初探[J]. 作物杂志, 2013 (2): 139-142.
- [15] 蒙艳华, 兰玉彬, 李继宇, 等. 单旋翼油动植保无人机防治小麦蚜虫参数优选[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(12): 66-71.
- [16] 高圆圆, 张玉涛, 赵西城, 等. 小型无人机低空喷洒在玉米田的雾滴沉积分布及对玉米螟的防治效果初探[J]. 植物保护, 2013, 39 (2): 152-157.
- [17] SHAN C, WU J, SONG C, et al. Control efficacy and deposition characteristics of an unmanned aerial spray system low-volume application on corn fall armyworm *Spodoptera frugiperda* [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 900939.
- [18] CHEN P, XU W, ZHAN Y, et al. Determining application volume of unmanned aerial spraying systems for cotton defoliation using remote sensing images[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 196: 106912.
- [19] ZHANG S, CAI C, LI J, et al. The airflow field characteristics of the unmanned agricultural aerial system on oilseed rape (*Brassica napus*) canopy for supplementary pollination[J]. Agronomy, 2021, 11(10): 2035.
- [20] WANG C, HERBST A, ZENG A, et al. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard[J]. Science of the Total Environment, 2021, 777: 146181.
- [21] GUO S, YAO W, XU T, et al. Assessing the application of spot spray in Nanguo pear orchards: effect of nozzle type, spray volume rate and adjuvant[J]. Pest Management Science, 2022, 78(8): 3564-3575.
- [22] XUE X, LAN Y, SUN Z, et al. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 128: 58-66.
- [23] 曹光乔, 李亦白, 南风等. 植保无人机飞控系统航线规划研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 8-23.
- [24] XU Y, XUE X, SUN Z, et al. Online spraying quality assessment system of plant protection unmanned aerial vehicle based on android client[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 166: 104938.
- [25] 王宇, 陈海涛, 李煜等. 基于Grid-GSA算法的植保无人机路径规划方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 29-37.
- [26] 徐博, 陈立平, 谭戡, 等. 多架次作业植保无人机最小能耗航迹规划算法研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 36-42.
- [27] 黄小毛, 唐灿, TANG L, 等. 含障碍物多田块下旋翼无人机作业返航补给规划研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(7): 82-90.
- [28] 丁素明, 薛新宇, 兰玉彬, 等. NJS-1型植保直连闭口式风洞设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 84-92.
- [29] 刘洪山, 兰玉彬, 薛新宇, 等. 农业航空喷施风洞试验技术研究进展[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(S2): 6-15.
- [30] 杨风波, 薛新宇, 蔡晨, 等. 多旋翼植保无人机悬停下洗气流对雾滴运动规律的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(2): 72-81.
- [31] 张豪, 祁力钧, 吴亚垒, 等. 基于Porous模型的多旋翼植保无人机下洗气流分布研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 119-129.
- [32] 王玲, 侯启航, 王俊鹏, 等. 机臂内倾角对多旋翼植保无人机下洗气流的影响及规律分析[J]. 农业工程技术, 2022, 42(9): 101.
- [33] GU W, XUE X, CHEN C, et al. Influence of nozzle enabling strategy on spray deposition of crop protection unmanned aerial system [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2021, 14(4): 53-61.
- [34] 周晴晴, 薛新宇, 钱生越, 等. 航空喷嘴的使用现状及研究方向[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(10): 234-237.
- [35] WANG G, HAN Y, LI X, et al. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer[J]. Science of the Total Environment, 2020, 737: 139793.
- [36] ZHANG S, GU W, QIU B, et al. Design and experiment of a hydraulic lifting wind field test platform for crop protection UAS [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2021, 14(4): 166-174.
- [37] 何勇, 吴剑坚, 方慧等. 植保无人机雾滴沉积效果研究综述[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2018, 44(4): 392-398.

- [38] 薛新宇, 秦维彩, 孙竹等. N-3型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(3): 273-278.
- [39] XUE X, TU K, QIN W, et al. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2014, 4(7): 23-28.
- [40] 张宋超, 薛新宇, 秦维彩等. N-3型农用无人直升机航空施药飘移模拟与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 87-93.
- [41] 李继宇, 周志艳, 兰玉彬, 等. 旋翼式无人机授粉作业冠层风场分布规律[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 85-94.
- [42] SUN Z, GUO X, XU Y, et al. Image recognition of male oilseed rape (*Brassica napus*) plants based on convolutional neural network for UAAS navigation applications on supplementary pollination and aerial spraying[J]. Agriculture, 2022, 12(1): 62.
- [43] 黄小毛, 张顺, 朱耀宗, 等. 气送式油菜飞播装置投种过程分析与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(17): 43-53.
- [44] 薛新宇, 顾伟, 徐阳, 等. 农用无人飞机法规与标准制定现状分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 8-17.
- [45] 兰玉彬, 王林琳, 张亚莉. 农用无人机避障技术的应用现状及展望[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 104-113.
- [46] XU Y, SUN Z, XUE X, et al. A hybrid algorithm based on MOSFLA and GA for multi-UAVs plant protection task assignment and sequencing optimization[J]. Applied Soft Computing, 2020, 96(4): 106623.
- [47] 阚平, 姜兆亮, 刘玉浩等. 多植保无人机协同路径规划[J]. 航空学报, 2020, 41(4): 260-270.
- [48] XU Y, XUE X, SUN Z, et al. Joint path planning and scheduling for vehicle-assisted multiple unmanned aerial systems plant protection operation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 200: 107221.
- [49] XU Y, HAN Y, SUN Z, et al. Path planning optimization with multiple pesticide and power loading bases using several unmanned aerial systems on segmented agricultural fields[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, 53(3): 1882-1894.
- [50] 田志伟, 薛新宇, 崔龙飞, 等. 植保无人机昼夜作业的雾滴沉积特性及棉蚜防效对比[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 77-85.

(责任编辑:徐娟)

2023年江苏省稻田杂草绿色防控之化学防控技术

坚持“农业措施为基础、土壤封闭为重点、茎叶处理为补充”的杂草综合防控策略,根据种植方式、田间草相和发生特点,开展分类指导,提高稻田杂草综合防控效果。

稻田杂草化除要根据种植方式、生态区域,合理选择药剂品种和防控方式。近年来,江苏省通过试验示范,形成“一封一杀、封杀结合”的化学除草模式,成效显著。

1. 水稻苗床期。在水稻1.5~2.5叶期,根据苗床草相选择药剂开展防治,防治禾本科杂草可选用氟氯草酯等药剂,防治阔叶类杂草及莎草科杂草可选用灭草松等药剂。

2. 机插秧田。在上水整地平田时,可选用丙草胺(或苯噻酰草胺)+苄嘧磺隆,加水均匀喷施,自然落干后栽插;或在栽插后5~7 d选用丙草胺(或噻草酮)+苄嘧磺隆(氯吡嘧磺隆)、噻草酮等药剂,拌细湿土或拌肥料均匀撒施;水稻移栽后20 d左右(一年生禾本科杂草3叶期左右),根据田间残留草相,合理选择茎叶处理除草剂进行叶面喷雾,防除禾本科杂草可选用噻唑酰草胺、氟氯磺草胺、氯氟吡啶酯、氟氯草酯等药剂,防除阔叶类杂草及莎草科杂草可选用灭草松、2甲4氯、氯氟吡啶酯等药剂。

3. 水直播稻田。在催芽稻种播后2~3 d,用丙草胺(含安全剂)+苄嘧磺隆,加水均匀喷雾进行土壤封闭;水稻播种后20 d(一年生禾本科杂草3叶期左右),根据田间草相选择对路药剂,防除禾本科杂草可选用噻唑酰草胺、氯氟吡啶酯等药剂,防除阔叶类杂草及莎草科杂草可选用氯氟吡啶酯、灭草松、2甲4氯、氯吡嘧磺隆等药剂。上年草害严重的田块,可在播种后20 d左右茎叶处理时,选择“丙草胺(含安全剂)+茎叶处理剂”封杀结合,控制杂草危害。

4. 旱直播稻田。在播种并窖水落干后,可选用丁·噁或二甲戊灵+苄嘧磺隆等,加水均匀喷雾,进行土壤封闭处理;播种20 d后,根据田间草相选择对路药剂,防除禾本科杂草可选用噻唑酰草胺、氯氟吡啶酯、氟氯草酯等药剂,防除阔叶类杂草及莎草科杂草可选用氯氟吡啶酯、灭草松、2甲4氯、氯吡嘧磺隆等药剂。上年草害严重的田块,可在播种后20 d左右茎叶处理时,选择“丙草胺(含安全剂)+茎叶处理剂”封杀结合,控制杂草危害。

5. 人工移栽及抛秧田。在水稻移栽后5~7 d,可选用苯噻酰草胺+苄嘧磺隆(或吡嘧磺隆)、噻草酮、双唑草腈等药剂,拌潮细土或拌肥料均匀撒施,药后保水3~5 d。水稻移栽后25 d左右,根据田间草相,选择对路药剂进行茎叶喷雾处理,防除禾本科杂草可选用噻唑酰草胺、氯氟吡啶酯、氟氯磺草胺等药剂,防除阔叶类杂草及莎草科杂草可选用灭草松、2甲4氯、氯氟吡啶酯等药剂。

(来源:江苏省植物保护植物检疫站)