

给农业插上科技的翅膀： 植保无人机低容量喷雾技术助力农药减施增效

闫晓静¹ 褚世海² 杨代斌¹ 袁会珠^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 2. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

摘要: 十三五期间以植保无人机低容量施药技术为代表的现代航空植保产业发展迅速。科研协作研究与大量田间试验示范表明,采用植保无人机施药技术能够提高靶标作物上药液沉积量并减少农药流失,实现精准减量施药;同时能够解决地面机具无法作业时的病虫害防治问题。航空植保技术实现了人机分离作业,避免了农药中毒,降低了劳动强度,极大地提高了作业效率,达到减少农药使用量、提高农药利用率的目的。以水稻为对象,综述植保无人机在农药减量、水稻病虫害防效、技术简易性、农药利用率提升、水稻增产以及成本效益提升等方面发挥的作用。航空植保产业的迅速发展加快了植保无人机智能精准控制系统质量的提升和新技术的研发步伐,且植保无人机的普及性提出了飞防药剂、助剂和施药飘移风险控制技术研发的迫切需求,基于此进一步梳理总结了植保无人机低容量喷雾技术在农药减施增效中的作用和未来发展方向。

关键词: 植保无人机; 低容量喷雾技术; 农药减量; 农药利用率提升; 增效作用

Agriculture on the wings of science and technology: plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) low-volume spraying technology reduces pesticide use and boosts control efficacy

Yan Xiaojing¹ Chu Shihai² Yang Daibin¹ Yuan Huizhu^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei Province, China)

Abstract: Modern aviation industry for plant protection, represented by the low-volume pesticide application technology of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV), developed rapidly during the 13th Five-Year Plan period of China. A large number of scientific research and field trials showed that the use of plant protection UAV application technology could increase the deposition of pesticides on target crops and reduce the loss of pesticides, and thus achieve precise reduction in pesticide application, which help solve the pest control problem when ground machinery cannot be operated. Pesticide application technology of UAV is characterized by the separation of man and machine, avoiding the occurrence of pesticide poisoning, reducing labor intensity, and greatly improving work efficiency. It achieves the purpose of reducing pesticide use and improving pesticide utilization. This article takes rice as an example to summarize the role of plant protection UAV in pesticide reduction, rice disease and insect pest control, technology simplification, pesticide utilization, rice yield increase, and cost-benefit improvement. The rapid development of the aviation industry for plant protection has accelerated the quality improvement of plant protection unmanned aircraft intelligent precision control system and

the pace of new technology research and development. The popularity of plant protection UAV has drawn forward an urgent need for the research and development of pesticide, adjuvants and pesticide application drift risk control technologies. This article further summarizes the role and future development direction of plant protection UAV low-volume spray technology in reducing pesticide application and increasing efficiency.

Key words: plant protection unmanned aerial vehicle; low-volume spraying technology; reducing pesticide use; improving pesticide utilization; improving efficiency

2013年11月27日,习近平总书记在农业科技工作座谈会上作“给农业插上科技的翅膀”重要指示。2014年中央一号文件明确提出要“加强农用航空建设”,为航空植保的发展指明了方向。2015年,原农业部印发《到2020年农药使用量零增长行动方案》,明确了农药减施增效的目标。农业现代化需要现代植保技术,现代植保技术需要现代植保机械和高效施药技术。实现农药减施增效目标,需要多方力量协同努力,如高效新型农药的研制、绿色防控技术的开发和植保机械的推陈出新等。其中,新型植保机械——植保无人机的应用就是重要一环。

2016年,国家设立一批化肥农药双减重点研发计划项目,其中“地面与航空高工效施药技术及智能化装备”项目,共有43家科研、教学、推广单位和生产企业开展联合攻关,多家航空植保方面的企业参与了该项目的实施,全面推进我国航空植保技术的升级换代和创新发展。通过项目实施5年的科研协作研究与大量田间试验示范表明,采用植保无人机等航空植保技术能够提高靶标作物上药液沉积量和减少农药流失,实现精准减量施药;同时能够解决地面机具无法作业时的病虫害防治问题,实现人机分离作业,避免了农药中毒,降低了劳动强度,极大地提高了作业效率,达到减少农药使用量、提高农药利用率的目的。在项目的带动下,以植保无人机低空低容量施药技术为代表的现代航空植保产业发展迅猛。目前全国涉足植保无人机制造和植保服务的企业达200多家,2019年我国植保无人机保有量达到5万架,作业面积达0.3亿公顷次(袁会珠等,2018a,b;郭永旺等,2020)。随着精准农业、智慧农业时代的到来,以植保无人机为代表的航空植保产业将迎来高速发展,并酝酿形成一个高产值的新业态和新市场。因此,社会各界对农业航空植保技术的关注也越来越迫切(陆显斌,2021)。

水稻是我国主要的粮食作物之一,总种植面积约占粮食作物种植面积的1/3,水稻田病虫草害种类繁多,传统植保施药器械作业效率较低,而且受地理

及作物长势等因素的影响较大(张海艳等,2019),因此亟需新的施药器械和植保技术。目前,利用植保无人机低容量喷雾技术防治水稻病虫害已有较多的基础研究,涉及飞行参数(高度、宽度、速度)、施药液量(Qin et al., 2016)、雾滴大小(Chen et al., 2020a)、雾滴沉积、雾滴飘移和冠层渗透(Xue et al., 2014; Wang et al., 2018)以及这些因素对防效的影响(Chen et al., 2020b)等内容。而且,使用植保无人机防治水稻病害(张海艳等,2019;车建中等,2020;唐中兴等,2020)、虫害(荀栋等,2015;王小武等,2018;张海艳等,2019)和草害(陈豪明等,2020;马金龙和陈吟,2020)方面也开展了大量研究,并证明具有良好的效果。在水稻病虫害防治上,植保无人机的应用面积逐年增加(孙星星等,2020)。

植保无人机低容量喷雾技术除了提高作业效率这一突出的优势之外,还有其他多方面的效益,如提高农药利用率、降低化学农药用量、提高产量、降低抗性风险、降低暴露风险、提高经济效益、提高农业经营者的农药减施增效意识和生态环保意识等。本文以水稻为例,从植保无人机低容量喷雾技术的农药减施增效效益评估角度进行梳理和总结。

1 植保无人机低容量喷雾技术在水稻上的农药减施增效效益

1.1 植保无人机低容量喷雾技术的减药效果

植保无人机低容量喷雾技术在不降低防效的前提下,可以降低农药的使用量。当然,这也受一定条件的制约,如防治靶标、农药种类、农药剂型、是否使用助剂、飞行参数是否科学合理、飞手操控是否熟练以及环境条件等。目前,在植保无人机作业中大多采用与传统施药方式相当的施药量。

在水稻病虫草害的防治中,减药往往需要结合使用助剂。喷雾助剂的添加可以显著降低药液体系的表面张力,增加药液润湿面积,增加溶液黏度,提高雾滴铺展系数,减少药液流失,从而改善药液雾滴性能,提高施药效果(刘迎等,2018;伏荣桃等,2021);

陶波等, 2021)。孙梅梅等(2019)研究表明采用添加助剂结合增加施药液量的措施, 防治稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 时可达达到减药 15% 的效果, 但对于根部钻蛀型害虫二化螟 *Chilo suppressalis* 则无明显的增效作用; 郭瑞光等(2020)报道, 将 6% 阿维·氯虫苯甲酰胺悬浮剂按照常规用量减量 30%, 再添加 225 mL/hm² 激健助剂时, 对稻纵卷叶螟仍有很好的防效。

在我国水稻主产区均有采用植保无人机低容量喷雾技术减少农药用量的报道。在重庆市长寿区田间试验中, 用植保无人机防控稻纵卷叶螟、稻苞虫和纹枯病等水稻穗期病虫害 1 次, 比农户喷雾器防治同样面积可减少 51.2% 的农药用量(车建中等, 2020); 在浙江省诸暨市田间试验中, 全程应用植保无人机防控水稻病虫害, 最终可实现农药减量 42.8%(陈豪明等, 2020); 在江苏省吴江市田间试验中, 使用植保无人机防治稻纵卷叶螟和稻飞虱, 在每公顷用药量比常规用药量减少 20% 时也能有较好的防效(薛新宇等, 2013); 而在扬州市田间试验中, 使用植保无人机防治直播稻田病虫害, 在施药液量合适的情况下, 农药减量 30% 的防效与人工电动喷雾器的防效无显著差异(马金龙和陈吟, 2020); 在上海市浦东新区田间试验中, 使用植保无人机施用氰氟草酯可分散油悬浮剂防除直播稻田禾本科杂草, 与使用担架式喷雾器相比, 在防效相当的情况下可减量 20% 以上(张顾旭等, 2020)。也有个别试验结果显示利用植保无人机减量施用农药的同时防效也随之降低, 因此不建议农药减量使用(唐中兴等, 2020)。

综合各地的试验结果, 在部分水稻病虫害防治中植保无人机低容量喷雾技术减药 30% 左右的防效仍与传统地面喷雾相当。因此, 使用新型飞防药剂或添加专用助剂是降低农药施用量的重要手段。此外, 科学合理的施药参数对保证药效非常重要。

1.2 植保无人机低容量喷雾技术对水稻病虫害的防效

植保无人机施药对病虫害的防效受诸多因素影响。在各种因素控制较好的前提下, 与其他施药方式相比, 使用相同剂量的农药能否取得相当的防效, 甚至提高防效。针对这个问题, 近年来在我国多地的水稻主产区开展了一系列试验, 结果总体而言较为乐观。

首先是水稻虫害的防治。在稻飞虱防治上, 多地试验结果表明使用植保无人机低容量喷雾的防效优于担架式喷雾器(Qin et al., 2016)或电动喷雾器(薛新宇等, 2013; Wang et al., 2018); 部分研究结果

表明植保无人机的防效与背负式电动喷雾器及自走式喷杆喷雾机相当(刘慧强等, 2014; 陈豪明等, 2020; 王佐乾等, 2021); 也有研究结果表明植保无人机的防效不及自走式喷杆喷雾机(卢小平等, 2018)。在稻纵卷叶螟防治上, 除个别试验中植保无人机的防效与电动喷雾器相当(Wang et al., 2018)外, 大多数试验中植保无人机的防效优于背负式电动喷雾器(荀栋等, 2015; 车建中等, 2020; 陈豪明等, 2020)。在二化螟防治上, 不同的试验结果迥异, 植保无人机的防效或优于电动喷雾器(马金龙和陈吟, 2020; 陈豪明等, 2020), 或与电动喷雾器相当(唐中兴等, 2020), 或低于电动喷雾器、担架式喷雾器及自走式喷杆喷雾机(卢小平等, 2018)。

其次是水稻病害的防治。在稻瘟病防治上, 植保无人机的防效或优于电动喷雾器(缪建锟等, 2020), 或与之相当(Wang et al., 2018); 在水稻纹枯病防治上, 植保无人机的防效或优于电动喷雾器(兰波等, 2017; 张先华和汪丽, 2020), 或与之相当(李明福等, 2019; 陈豪明等, 2020; 唐中兴等, 2020), 或稍差(卢小平等, 2018); 在稻曲病防治上, 植保无人机的防效或优于电动喷雾器(陈豪明等, 2020; 缪建锟等, 2020), 或与之相当(唐中兴等, 2020)。在稻田杂草防治上, 目前植保无人机施药多用于水稻直播田除草, 多个试验结果表明植保无人机的防效与电动喷雾器相当(李福明, 2019; 马金龙和陈吟, 2020; 张顾旭等, 2020), 个别试验中使用植保无人机对禾本科杂草的防效高于电动喷雾器(马金龙和陈吟, 2020)。

添加飞防助剂可以显著提高植保无人机低容量喷雾技术的防效, 如防除直播田杂草(马金龙和陈吟, 2020), 防治稻飞虱(唐中兴等, 2020)和稻纵卷叶螟(郭瑞光等, 2020), 防治稻曲病(缪建锟等, 2020; 唐中兴等, 2020)、稻瘟病(郭永旺和周洋洋, 2020; 缪建锟等, 2020)、纹枯病及白叶枯病(刘迎等, 2018; 唐中兴等, 2020)。可见, 在水稻多数病虫害防治中添加助剂均能提高植保无人机的防效。

综上所述, 从防效来看, 植保无人机低容量喷雾技术防治水稻病虫害是可行的, 但植保无人机的防效在不同的病虫害上差异较大, 即便是同一种靶标, 在不同的试验中防效也会有较大差异, 这主要取决于植保无人机的飞防参数、助剂、飞防专用剂型和环境因素等。

1.3 植保无人机低容量喷雾技术的简易性

植保无人机低容量喷雾技术的简易性并非指技术本身简单易学, 而是指作业效率极高, 远高于当前

普遍使用的大多数植保器械,因而极大地降低了劳动强度,节省了人力。植保无人机操作自然比背负式喷雾器复杂,但当前的植保无人机施药主要依靠专业的服务组织,而非小规模农户,这也是植物保护适应农业规模化、集约化和专业化发展的必然趋势。从上述意义上来说,植保无人机低容量喷雾技术的简易性显而易见,这也是其最主要的优点之一,尤其是在水稻病虫草害防控方面体现得更明显。卢小平等(2018)研究表明,植保无人机每天可喷施 13.3 hm²,作业效率为电动喷雾器的 13.3 倍,但无人机每次需 3 人作业而电动喷雾器只需 1 人,因此人均作业效率则为电动喷雾器的 4.5 倍;王佐乾等(2021)研究结果显示,植保无人机作业效率为电动喷雾器的 15 倍;车建中等(2020)研究结果表明,植保无人机作业效率为电动喷雾器的 18 倍;吴雄杰(2021)研究发现植保无人机每天可作业 26.6 hm²,人均作业效率是自走式喷杆喷雾机的 2 倍,是担架式喷雾机的 9 倍。总之,植保无人机与其他几种施药机械相比,在作业效率上具有绝对的优势,这也是其越来越受到广大农户欢迎的主要原因之一。

1.4 植保无人机低容量喷雾技术的农药利用率

目前,我国普遍接受的农药利用率概念是指在农药喷雾技术条件下的农药沉积利用率,具体来说就是喷洒后沉积在作物上的农药量相对于施药总量的比例,国际上也称沉积回收率,是衡量农药使用水平高低的基本参数(袁会珠等,2011;2018a,b)。提高农药利用率是实现农药减施增效的主要途径之一。关于水稻田植保无人机喷雾农药利用率的研究,袁会珠等(2018a,b)在全国各地开展的 35 个水稻试验结果表明,植保无人机水稻田低容量喷雾技术的农药利用率范围为 31.3%~72.5%,不同生育期测定结果不同,平均为 49.1%,水稻田植保无人机喷雾技术的农药利用率高于地面喷雾技术。蒲小明等(2020)对背负式喷雾器农药利用率的研究结果表明,电动喷雾器在水稻抽穗期的农药利用率约 38%,而手动喷雾器的农药利用率更低,只有 30% 左右。

1.5 植保无人机低容量喷雾技术的其他效益

除以上 4 个指标之外,对植保无人机低容量喷雾技术防治水稻病虫害的效益评估还涉及其他指标,如作物产量、抗性风险、暴露风险、成本效益、提质效果、技术推广率、规模经营户采纳率和农户减施意识提高率,共计 12 个指标。这些指标对于该技术的评估也非常重要,决定着—项技术是否值得推广应用。

2 水稻田植保无人机低容量喷雾技术的农药减施增效效益评估

根据上述植保无人机低容量喷雾技术防治水稻病虫害的 12 个效益评估指标的重要程度,赋以不同的权重,与对照(如其他施药器械)进行比较以评估—项植保技术的效益增量(表 1)。

农药减施增效技术效益增量计算模型: $P=\Delta A\times W_A+\Delta B\times W_B+\dots+\Delta L\times W_L$,式中: P 为农药减施增效技术效益增量; ΔA 、 ΔB 、 ΔC …… ΔL 分别为各单一指标的效益增量; W_A 、 W_B …… W_L 分别为各单一指标的权重系数。根据上述评估方法,针对植保无人机低容量喷雾技术在水稻病虫草害防治上的已有研究结果,即可对其效益增量进行初步评估。梳理汇总并分析已报道的植保无人机对水稻病害(苟栋等,2015;兰波等,2017;缪建锟等,2020)、虫害(薛新宇等,2013;车建中等,2020;唐中兴等,2020)和草害(李明福等,2019;邵国民等,2019;张顾旭等,2020)的防效,以及植保无人机对水稻病虫害的全程防效(陈豪明等,2020;吴雄杰,2021),不同植保机械防治水稻病虫害的差异(王佐乾等,2021),助剂在无人机防治水稻病虫害中的作用(孙梅梅等,2019),植保无人机在水稻上的农药利用率(袁会珠,2018a;蒲小明等,2020)以及利用植保无人机进行病虫害防治的效益分析(卢小平等,2018),将数据汇总并按试验个数取均值,对几个主要指标的效益增量进行了评估(表 2 和图 1),发现其中有 6 个指标的总效益增量为 18.36%,其中,效益最显著的为技术简易性,表明采用植保无人机低容量喷雾技术可以显著节省用工时间,提高作业效率;其次为农药利用率,表明植保无人机低容量喷雾技术与传统地面施药器械相比可显著提高农药利用率;此外植保无人机低容量喷雾技术在减少化学农药用量、提高防效、作物产量和成本效益方面也有一定作用。而其余 6 个指标,由于资料中可参考数据较少,本文不做量化评估。其中,植保无人机低容量喷雾技术由于机械与操作者不直接接触,在降低暴露风险方面的作用显而易见;对抗性风险的影响主要取决于所施药剂及农药的混用和轮用等因素;对作物品质的影响则与药剂防效及残留量关系较大;至于技术推广率、规模经营户采纳率以及农药减施意识提高率,则应结合农药减施增效技术在某一地区的示范推广情况来评估,根据植保无人机低容量喷雾技术的发展趋势,这些指标的迅速提升是可以预见的。

表1 农药减施增效技术效益增量评估模型的指标及权重

Table 1 Indices and proportions of the benefits increment evaluation model for pesticide-reducing and efficiency-increasing technology

模型指标 Index	指标内容及含义 Annotation	代码 Code	权重 Proportion/%
防效 Control effect	技术措施对作物病虫害的防效 Control effect on crop diseases, pests and weeds	A	15
化学农药用量 Chemical pesticide dosage	单位面积化学农药总用量(有效成分) Total amount of chemical pesticides per unit area (active ingredients)	B	20
技术简易性和 农民接受程度 Technical simplicity and acceptance by farmers	单位面积劳动力投入时间 C_1 , 权重 40% Labor input time per unit area C_1 , proportion 40% 农民接受程度 C_2 (1~3级), 权重 60% Farmer acceptance level C_2 (levels 1-3), proportion 60%	C	10
产量 Yield	单位面积作物产量 Crop yield per unit area	D	6
农药利用率 Pesticide utilization	不同喷雾方法(植保机械)农药利用率 Pesticide utilization rate of different spray methods (plant protection machinery)	E	16
抗性风险 Resistance risk	化学农药抗性风险(杀虫剂、杀菌剂、除草剂) Chemical pesticide resistance risk (insecticides, fungicides, herbicides)	F	6
暴露风险 Exposure risk	操作者暴露风险(1~5级) Operator exposure risk (levels 1-5)	G	5
成本效益 Cost-effectiveness	单位种植面积产值 H_1 Output value per unit planting area H_1 单位种植面积农药成本 H_2 Pesticide cost per unit planting area H_2 单位种植面积人工投入成本 H_3 Labor input cost per unit planting area H_3 单位种植面积机械成本 H_4 Machinery cost per unit planting area H_4 单位种植面积其余成本 H_5 The remaining cost per unit planting area H_5	H	5
提质效果 Quality improvement effect	农药残留, 权重 60% Pesticide residue, proportion 60% 品质(不同作物设定具体指标, 如稻米直链淀粉含量、粗蛋白含量等), 权重 20% Quality (set specific indicators for different crops, such as rice amylose content, crude protein content, etc.), proportion 20% 食感、口感, 权重 20% Food texture, taste, proportion 20%	I	4
技术推广率 Technology promotion rate	技术推广面积占总种植面积比例 Proportion of technology promotion area to total planting area	J	5
规模经营户采纳率 Adoption rate of scale business households	采纳技术的规模经营户(3.3 hm^2 以上)占区域内全部规模经营户比例 The proportion of large-scale business households (above 3.3 hm^2) that have adopted technology to all large-scale business households in the region	K	3
农药减施意识提高率 Increase rate of pesticide application reduction awareness	农户农药减量观念转变度(农药减量认可/接受比例) The transformation degree of farmers' pesticide reduction concept (percentage of pesticide reduction approval/acceptance)	L	5
总计 Total			100

表2 植保无人机水稻田低容量喷雾农药减施增效技术的效益增量

Table 2 Pesticide reduction and efficiency increase of low-volume spray technology of plant protection UAV in the rice paddy

指标 Index	增减百分比 Increase/decrease percentage%	权重 Proportion/%	效益增量 Benefit increment/%
化学农药用量 Chemical pesticide dosage	9.27	20	1.85
防效 Chemical pesticide dosage	5.06	15	1.96
技术简易性 Technical simplicity	65.28	10	6.53
产量 Yield	1.96	6	1.96
农药利用率 Pesticide utilization	26.55	16	4.25
成本效益 Cost-effectiveness	1.81	5	1.81
总计 Total			18.36

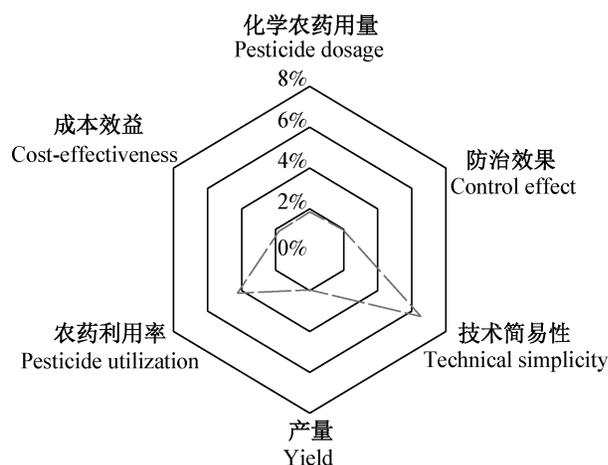


图1 植保无人机水稻田低容量喷雾农药减施增效技术的效益增量

Fig. 1 Pesticide reduction and efficiency increase of low-volume spray technology of plant protection UAV in the rice paddy

3 植保无人机低容量喷雾技术发展前景

植保无人机低容量喷雾技术具有多方面的优势,但是根据近几年的实践总结,发现也存在一些问题,如植保无人机续航能力不足,影响工作效率;先进机型价格偏高,导致成本高;雾滴飘移带来安全风险;植保无人机专用剂型缺乏,影响施药效果;植保无人机施药理论相对匮乏,施药技术有待优化;操作人员缺乏专业知识等(袁会珠等,2018b;路显斌,2021;张天鹏等,2021)。任何新兴技术发展初期都会遇到各种问题,植保无人机的发展同样如此。当前,植保无人机研制生产企业、相关农药化工、植保科研部门以及农技推广部门和植保无人机服务组织都在植保无人机及相关产品和技术的研发应用上投入了大量人力、物力和财力,使得植保无人机在硬件、软件和配套技术上飞速发展,这些问题也在逐步得到解决。有理由相信,植保无人机低容量喷雾技术具有非常好的发展前景。

3.1 植保无人机应用范围将迅速扩大

目前,植保无人机在植物病虫害防治上的应用范围正在逐步扩大,首先是应用的作物种类增加,目前在绝大多数粮食作物和经济作物上都有应用;其次是适应的地理环境越来越广,在各种复杂地形条件下的应用难题逐步得到解决;再次防治靶标的范围越来越广,更多的病虫草害实现了植保无人机防治。

3.2 植保无人机的应用面积急剧增加

由于喷施作业效率高,省时省力,植保无人机在各地的应用面积逐年增加,目前仍呈现迅速增长趋势,植保无人机将继续扩大市场,且在防治某些病虫

害上正在加速替代地面植保机械。

3.3 植保无人机的产品质量快速提升

市面上的植保无人机质量最初呈现良莠不齐的现象,随着各个品牌在市场上的竞争,一些质量低劣的植保无人机品牌被淘汰,市场被少数几个实力较强的品牌占据,这种良性的竞争,也是促使植保无人机装备水平和技术迅速提升的重要因素。植保无人机的硬件和软件水平迅速提升,特别体现在智能化水平的提升上。

3.4 相关配套产品和技术将得到迅速发展

植保无人机只是一个施药的工具和平台,要取得理想的防效,还取决于其他多种因素。其中农药就是最重要的因素之一。目前植保无人机喷施的农药大部分仍是传统的地面喷雾药剂,飞防专用药剂种类较少。植保无人机的发展将带动新型飞防药剂以及助剂的研发。同时,植保无人机要取得理想的防效,相关的施药技术也非常重要,植保无人机的快速发展也带动了飞防智能平台的研发、飞机工作参数的精准提升、农药雾滴飘移规律及飘移风险控制技术的研究等。此外,由于飞防的专业性要求较高,目前飞防的精准实施主要依赖专业的服务组织,这类服务组织或合作社也如雨后春笋般涌现,不光体现在数量上,也体现在规模和水平上,这也是作物病虫草害统防统治的发展需求。

3.5 植保无人机植保作业将更加专业化

农业规模化、集约化、专业化、生态化的发展方向不可逆转,植保无人机施药技术作为现代农业技术必然要求更加专业化,由经过高质量培训的专业人士操作和实施,这样才能带来效率的提高,防效的提升,作物、人员和环境的安全,最终实现经济效益、社会效益和生态效益的协调统一。

尽管目前尚有亟待解决的问题,但植保无人机低容量喷雾技术及相关产业前景非常好,相信随着与这一行业有关的部门与人员,从政策制定、软硬件研制生产,到配套技术研发的共同努力,植保无人机低容量喷雾技术必将取得长足发展,为我国的现代化农业做出巨大贡献。

本期专栏共收录11篇文章,从植保无人机智能监测平台、植保无人机在更广泛作物上的应用拓展、喷雾助剂对植保无人机沉积利用率提升方面的作用以及植保无人机施药飘移特性及对非靶标生物蜜蜂的影响研究等方面系统介绍了植保无人机施药技术的研究进展和发展方向,以期对从事航空植保方面研究的读者有所启迪,大家共同助力我国航空植保

事业健康快速发展。

参 考 文 献 (References)

- Che JZ, Che XL, Zhou SQ, Zou TN. 2020. Application effect analysis of plant protection UAV in rice disease and pest control in Changshou District. *South China Agriculture*, 14(19): 17-20 (in Chinese) [车建中, 车秀兰, 周水泉, 邹太年. 2020. 长寿区水稻病虫害防治中植保无人机应用效果分析. *南方农业*, 14(19): 17-20]
- Chen HM, Zhou YJ, Luo Q, Fang SY, He XF. 2020. Evaluation of the effect of plant protection UAV on rice diseases, insect pests and weeds. *China Rice*, 26(5): 97-101 (in Chinese) [陈豪明, 周宇杰, 骆琴, 方少阳, 何信富. 2020. 植保无人机全程解决水稻病虫害效果评价. *中国稻米*, 26(5): 97-101]
- Chen PC, Lan YB, Huang XY, Qi HX, Wang GB, Wang J, Wang LL, Xiao HX. 2020b. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle. *Agronomy*, 10(2): 303
- Chen SD, Lan YB, Zhou ZY, Ouyang F, Wang GB, Huang XY, Deng XL, Cheng SN. 2020a. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. *Agronomy*, 10(2): 195
- Fu RT, Chen C, Wang J, Chen XJ, Lu DH. 2021. Control conditions and effects of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) on diseases and insect pests of rice. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4): 103-109 (in Chinese) [伏荣桃, 陈诚, 王剑, 陈雪娟, 卢代华. 2021. 植保无人机对水稻病虫害防治条件与防效的研究. *中国农业科技导报*, 23(4): 103-109]
- Guo RG, Wang HR, Luo WH, Liu CM, Cao XF. 2020. The role of adjuvants in the control of pesticide-reducing *Cnaphalocrocis medinalis*. *Hubei Plant Protection*, (6): 47-48 (in Chinese) [郭瑞光, 王海容, 罗文辉, 刘昌敏, 曹祥福. 2020. 助剂在农药减量稻纵卷叶螟防治中的作用. *湖北植保*, (6): 47-48]
- Guo YW, Yan XJ, Lan YB, Yuan HZ. 2020. Guide for application technology of agricultural aviation in plant protection. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [郭永旺, 闫晓静, 兰玉彬, 袁会珠. 2020. 农业航空植保技术应用指南. 北京: 中国农业出版社]
- Guo YW, Zhou YY. 2020. Effects of three adjuvants on the deposition of spray droplets and the control of rice blast with UAV. *China Plant Protection*, 40(5): 72-74 (in Chinese) [郭永旺, 周洋洋. 2020. 3种助剂对无人机喷雾雾滴沉积及防治稻瘟病效果的影响. *中国植保导刊*, 40(5): 72-74]
- Lan B, Liu FY, Xu SZ, Huang SJ, Yu J, Yang YQ, Li XM. 2017. Effect evaluation of applying ultra-low-capacity spraying technology by plant-protection unmanned aerial vehicle to control rice sheath blight. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 29(11): 55-58 (in Chinese) [兰波, 刘方义, 徐善忠, 黄水金, 余建, 杨迎青, 李湘民. 2017. 植保无人机超低容量喷施技术防治水稻纹枯病的药效评价. *江西农业学报*, 29(11): 55-58]
- Li MF, Jiang ML, Hu DW. 2019. Effects and prospects of drone flight control for main diseases, insect pests and weeds of mid-season rice. *Hubei Plant Protection*, (1): 39-40 (in Chinese) [李明福, 蒋明兰, 胡大为. 2019. 中稻主要病虫害草害无人机飞防效果与展望. *湖北植保*, (1): 39-40]
- Liu HQ, Dong XJ, Fei CP, Cheng YL. 2014. Field effect of small-scale plant protection drones on the control of rice planthoppers. *China Plant Protection*, 34(S1): 45-46 (in Chinese) [刘慧强, 董雪娟, 费朝品, 成月龙. 2014. 小型植保无人机施药防治稻飞虱的田间效果. *中国植保导刊*, 34(S1): 45-46]
- Liu Y, Pan B, Jiang L, Wang BJ, Lin Y. 2018. Influence of adding adjuvants for aviation plant protection on control efficacy of rice diseases using unmanned aerial vehicle. *Agrochemicals*, 57(4): 299-301 (in Chinese) [刘迎, 潘波, 姜蕾, 王冰洁, 林勇. 2018. 添加飞防助剂对无人机防治水稻病害的影响. *农药*, 57(4): 299-301]
- Lu XB. 2021. Analysis of characteristics and existing problems of the application of plant protection UAV. *Agricultural Machinery Using & Maintenance*, (2): 25-26 (in Chinese) [陆显斌. 2021. 植保无人机飞防作业应用特点与存在问题分析. *农机使用与维修*, (2): 25-26]
- Lu XP, Xiao DY, Gan JG, Zheng JQ, Lan QN, Lan B, Huang SJ, Li XM. 2018. Control effect comparison and economic benefit analysis of using four kinds of spray equipments to control rice stem-base diseases and insect pests. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 30(5): 61-64 (in Chinese) [卢小平, 肖冬芽, 甘贱根, 郑金球, 兰欠牛, 兰波, 黄水金, 李湘民. 2018. 4种施药器械对水稻基部病虫害的防效比较及经济效益分析. *江西农业学报*, 30(5): 61-64]
- Ma JL, Chen Y. 2020. Crop protection with unmanned aerial vehicle (UAV) in rice field. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 36(27): 135-141 (in Chinese) [马金龙, 陈吟. 2020. 直播稻田无人机全程防治病虫害初探. *中国农学通报*, 36(27): 135-141]
- Miao JK, Qi F, Yang H, Yan H, Xu H, Chu J, Bai YJ, Dong H. 2020. Effect evaluation plant protection unmanned aerial vehicle apply trifloxystrobin-tebuconazole 30% SC to control rice blast and false smut rice. *Agrochemicals*, 59(9): 680-683 (in Chinese) [缪建锟, 齐枫, 杨皓, 闫晗, 徐晗, 褚晋, 白元俊, 董海. 2020. 植保无人机喷施30% 呋菌·戊唑醇悬浮剂防治稻瘟病、稻曲病效果评价. *农药*, 59(9): 680-683]
- Pu XM, Chen RM, Zhou SD, Huang AL, Lu Z, Zhang JX, Shen HF, Lin BR. 2020. Comparison of utilization rates and droplets distribution of pesticides sprayed by electric and manual sprayers in rice fields. *Guangdong Agricultural Sciences*, 47(1): 105-114 (in Chinese) [蒲小明, 陈锐明, 周松丁, 黄爱玲, 路征, 张景欣, 沈会芳, 林璧润. 2020. 电动和手动喷雾器水稻田喷雾农药利用率及雾滴分布比较. *广东农业科学*, 47(1): 105-114]
- Qin WC, Qiu BJ, Xue XY, Chen C, Xu ZF, Zhou QQ. 2016. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. *Crop Protection*, 85: 79-88
- Sun MM, Chen JH, Ren SP. 2019. Evaluation of control effect of UAV spray on rice pests by adding adjuvant. *Hunan Agricultural Sciences*, (9): 55-57 (in Chinese) [孙梅梅, 湛江华, 任少鹏. 2019. 添加助剂对无人机喷雾技术防治水稻害虫的效果评价. *湖南农业科学*, (9): 55-57]
- Shao GM, Luo Q, He XF, Zhou YJ. 2019. Evaluation on weeds control

- effects of UAV in direct seeding rice fields. *China Rice*, 25(6): 89–92 (in Chinese) [邵国民, 骆琴, 何信富, 周宇杰. 2019. 植保无人机防除水稻直播田杂草效果评价. *中国稻米*, 25(6): 89–92]
- Sun XX, Wang K, Li HY, Gao B, Gu HL, Zhang JX, Ma JJ, Wang F, Jiang YJ, Zhou JC, et al. 2020. Application status, existing problems and development trends of aviation ultra-low volume spray technology in rice production. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 48(13): 29–33 (in Chinese) [孙星星, 王凯, 李红阳, 高波, 顾慧玲, 张俊喜, 马晶晶, 王凡, 蒋颖洁, 周加春, 等. 2020. 航空超低量喷雾技术在水稻生产上应用现状、存在问题及发展趋势. *江苏农业科学*, 48(13): 29–33]
- Tang ZX, Li T, Yong QA, Zhang YF, Li ZF, Chi YK. 2020. Control effects of plant protection UAV on rice diseases and insect pests. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 48(10): 123–125 (in Chinese) [唐中兴, 李婷, 雍其安, 张远芳, 李志芬, 迟元凯, 赵伟. 2020. 植保无人机对水稻病虫害的防治效果. *安徽农业科学*, 48(10): 123–125]
- Tao B, Zhang YH, Tian LJ, Zheng CY, Li SY, Kong LW. 2021. Effects of adjuvants on spray droplet distribution of herbicides sprayed by plant protection UAV. *Plant Protection*, 47(1): 108–116 (in Chinese) [陶波, 张宇航, 田丽娟, 郑彩月, 李松宇, 孔令伟. 2021. 飞防助剂对植保无人机喷施除草剂雾滴分布的影响. *植物保护*, 47(1): 108–116]
- Wang GB, Li X, Andaloro J, Chen PC, Song CC, Shan CF, Chen SD, Lan YB. 2018. Deposition and biological efficacy of UAV-based low-volume application in rice fields. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 1(1): 65–72
- Wang XW, Ding XH, Fu KY, Tursun-Ahmat, Huang HM, Mulati-Talimubieke, He J, Guo WC. 2018. Prevention and control of the rice water weevil *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae) by ultra-low volume spray of plant protection UAV. *Journal of Biosafety*, 27(3): 216–223 (in Chinese) [王小武, 丁新华, 付开赞, 吐尔逊·阿合买提, 黄红梅, 木拉提·塔里木别克, 何江, 郭文超. 2018. 小型植保无人机超低量喷雾防治稻水象甲. *生物安全学报*, 27(3): 216–223]
- Wang ZQ, Wu JL, Wu T, Zhang S, Yuan JF, Zhang RY, Yang XL, Xia XG. 2021. Efficiency appraisal of automatic plant protection machinery controlling diseases and insect pests in Hubei paddy field. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 50(2): 89–95 (in Chinese) [王佐乾, 吴婧莲, 吴涛, 张舒, 袁家富, 张瑞洋, 杨小林, 夏贤格. 2021. 不同植保机械在湖北稻田病虫害防治中的效能评价. *河南农业科学*, 50(2): 89–95]
- Wu XJ. 2021. Study on rice pests control by UAV in Shanghai. *Agricultural Development & Equipments*, (3): 132–133 (in Chinese) [吴雄杰. 2021. 上海水稻全程飞防植保的试验研究. *农业开发与装备*, (3): 132–133]
- Xue XY, Kang T, Weicai WC, Lan YB, Zhang HH. 2014. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(4): 23–28
- Xue XY, Qin WC, Sun Z, Zhang SC, Zhou LX, Wu P. 2013. Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis*. *Journal of Plant Protection*, 40(3): 273–278 (in Chinese) [薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 张宋超, 周立新, 吴萍. 2013. 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. *植物保护学报*, 40(3): 273–278]
- Xun D, Zhang J, He KJ, Yang HN, Liu Y, Cao J, Zhou Q. 2015. Control efficacies of TH80-1 plant protection UAV spraying method on main diseases and insect pests of rice. *Hunan Agricultural Sciences*, (8): 39–42 (in Chinese) [荀栋, 张兢, 何可佳, 杨浩娜, 刘洋, 曹佳, 周庆. 2015. TH80-1 植保无人机施药对水稻主要病虫害的防治效果研究. *湖南农业科学*, (8): 39–42]
- Yuan HZ, Guo YW, Xue XY, Yan XJ, Chen C, Kong X, Wang M, Zhou Y. 2018a. Pesticide efficiency and the way to optimize the spray application plant protection. *Agricultural Engineering Technology*, 38(9): 46–50 (in Chinese) [袁会珠, 郭永旺, 薛新宇, 闫晓静, 陈昶, 孔肖, 王明, 周洋. 2018a. 植保无人飞机的推广应用对于提高我国农药利用率的作用. *农业工程技术*, 38(9): 46–50]
- Yuan HZ, Xue XY, Yan XJ, Qin WC, Kong X, Zhou YY, Wang M, Gao SC. 2018b. Application and prospects in the unmanned aerial system for low-altitude and low-volume spray in crop protection. *Plant Protection*, 44(5): 152–158 (in Chinese) [袁会珠, 薛新宇, 闫晓静, 秦维彩, 孔肖, 周洋洋, 王明, 高赛超. 2018b. 植保无人飞机低空低容量喷雾技术应用与展望. *植物保护*, 44(5): 152–158]
- Yuan HZ, Yang DB, Yan XJ, Zhang LN. 2011. Pesticide efficiency and the way to optimize the spray application. *Plant Protection*, 37(5): 14–20 (in Chinese) [袁会珠, 杨代斌, 闫晓静, 张琳娜. 2011. 农药有效利用率与喷雾技术优化. *植物保护*, 37(5): 14–20]
- Zhang HY, Lan YB, Wen S, Yin XC, Liang B, Tian WK. 2019. Operational effects of unmanned helicopters for pesticide spraying in rice field. *Journal of South China Agricultural University*, 40(1): 116–124 (in Chinese) [张海艳, 兰玉彬, 文晟, 尹选春, 梁冰, 田维逵. 2019. 植保无人机水稻田间农药喷施的作业效果. *华南农业大学学报*, 40(1): 116–124]
- Zhang GX, Chen SJ, Xue JL. 2020. Brief report on the comparative test of the control effect of plant protection drone application and conventional medicine application on gramineous weeds in direct seeding rice fields. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, (6): 157–158 (in Chinese) [张顾旭, 陈时健, 薛金龙. 2020. 植保无人机施药与常规药械施药对直播水稻田禾本科杂草防除效果对比试验简报. *上海农业科技*, (6): 157–158]
- Zhang TP, Zhou ZQ, Huang JX, Chen ZP. 2021. Analysis on the status and development trend of aviation plant protection technology of UAV in China. *South Agricultural Machinery*, 52(1): 42–45 (in Chinese) [张天鹏, 周志强, 黄金鑫, 陈志鹏. 2021. 我国农业无人飞机航空植保技术现状与发展趋势分析. *南方农机*, 52(1): 42–45]
- Zhang XH, Wang L. 2020. The effect on rice sheath blight control using UAV application pesticides. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, (6): 157–159 (in Chinese) [张先华, 汪丽. 2020. 不同药剂使用植保无人机防治水稻纹枯病效果试验. *农业科技通讯*, (6): 157–159]

(责任编辑:李美娟)