

孙星星,王 凯,李红阳,等. 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[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):29-33.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.13.006

# 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

孙星星<sup>1,2</sup>, 王 凯<sup>1</sup>, 李红阳<sup>1</sup>, 高 波<sup>1</sup>, 顾慧玲<sup>1</sup>, 张俊喜<sup>1</sup>, 马晶晶<sup>1</sup>, 王 凡<sup>1</sup>, 蒋颖洁<sup>1</sup>, 周加春<sup>1</sup>, 蔡彦虹<sup>2</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002; 2. 农业农村部科技发展中心, 北京 100122)

**摘要:**水稻是我国最重要的粮食作物之一, 病虫害问题是制约水稻产量的重要因素, 目前生产上控制稻田有害生物主要依赖于化学药剂喷洒, 但常规人工喷雾和地面机械喷雾作业效率低, 田间损苗严重, 因此, 小型植保无人机航空超低量喷洒农药服务越来越受欢迎。笔者对当前植保无人机在水稻生产上应用的文献进行归纳分析, 阐明植保无人机超低容量低空喷雾技术发展现状、存在问题, 提出该项技术未来发展方向。

**关键词:**航空植保; 水稻; 病虫害; 无人机; 航空超低量; 喷雾技术; 智慧农业

**中图分类号:**S252<sup>+</sup>.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)13-0029-05

水稻是我国三大粮食作物中种植面积最大的作物, 目前我国水稻种植面积约 3 000 万  $\text{hm}^2$ /年, 约占粮食作物播种面积的 29%<sup>[1]</sup>。水稻病虫害是影响水稻产量的重要制约因素, 杨基华等研究发现, 与进行水稻病虫害正常防治相比, 未防治区产量损失高达 45%, 其中草害对水稻产量造成的损失远超过病害与虫害<sup>[2]</sup>。在当前尚缺乏有效预警手段和其他防治方法的情况下, 化学防治仍然是控

制水稻病虫害最有效的措施<sup>[3]</sup>。水稻生长中后期发生的稻纵卷叶螟、白背飞虱、褐飞虱等属于迁飞性害虫<sup>[4]</sup>, 田间易出现突发性暴发情况, 大规模种植农场往往难以及时应对, 对水稻产量造成严重损失。

长期以来, 水稻病虫害防治主要依赖人工背负喷雾机械进行药剂喷洒, 水稻田人工作业劳动强度大、效率低, 面对突发性病虫害应对措施缓慢, 往往错过最佳防治时期。规模较大的水稻种植区域通常采用大型地面植保机械, 但在作业过程中会发生淤陷损苗等问题, 地面植保机具防治效率偏低, 对于迁飞性害虫暴发和大区域流行性病害发生, 不能实现大面积的统防统治。随着生产专业化和集约化程度的提高, 小型植保无人机航空超低量喷洒农药是新时期水稻种植的迫切要求。

航空施药相比传统施药方式有着显著的技术优势, 通常是人工施药效率的 30~60 倍, 面对大面

收稿日期: 2019-05-28

基金项目: 农业农村部沿海盐碱地农业科学观测实验站开放课题(编号: YHS201806)。

作者简介: 孙星星(1989—), 男, 江苏盐城人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业生态防控及天敌利用相关研究。E-mail: 13921865625@163.com。

通信作者: 蔡彦虹, 农艺师, 主要从事农业科技管理。E-mail: cyh0610@sina.com。

[14] Tian Y, Liu Y, Liu X, et al. Restructuring rural settlements based on subjective well-being (SWB): a case study in Hubei Province, central China[J]. Land Use Policy, 2017, 63: 255-265.

[15] 马利邦, 田亚亚, 谢作轮, 等. 微观尺度绿洲乡村聚落质量评价及其空间重构[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 227-234, 295-296.

[16] 唐承丽, 贺艳华, 周国华, 等. 基于生活质量导向的乡村聚落空间优化研究[J]. 地理学报, 2014, 69(10): 1459-1472.

[17] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304.

[18] 陈永林, 谢炳庚. 江南丘陵区乡村聚落空间演化及重构——以赣南地区为例[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 184-194

[19] 李红波, 张小林, 吴启焰, 等. 发达地区乡村聚落空间重构的特征与机理研究——以苏南为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(4): 591-603.

[20] 沈立宏, 张 超, 桑玲玲, 等. 利用网格法确定县域农田整治优先度[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 241-247, 296.

[21] 郑文升, 姜玉培, 罗 静, 等. 平原水乡乡村聚落空间分布规律与格局优化——以湖北公安县为例[J]. 经济地理, 2014, 34(11): 120-127.

[22] 周宏飞, 吴 波, 王玉刚, 等. 新疆生产建设兵团农垦生态建设的成就、问题及对策议[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(1): 55-63.

[23] 余 斌, 卢 燕, 曾菊新, 等. 乡村生活空间研究进展及展望[J]. 地理科学, 2017, 37(3): 375-385.

积暴发的有害生物能够及时地灭杀,同时航空飞行能够适应地面装备不能进入的各种地形区域,不受外界因素的影响。与常规施药方式相比,超低量喷雾在单位面积上施药量少,用药节约,对环境更加友好。无人机在植保方面的效果好一方面主要在于其旋翼产生的向下风场,另一方面在于其高度的雾化程度,可以在喷洒过程中到达植株的背面以及底部。航空超低量喷雾采用飞机飞行时强大的飞行气流带动使超低容量喷头高速旋转,药液箱中的药液在离心力和转笼纱网的切割作用下与空气撞击、雾化,借助风力和重力沉降到目标作物上<sup>[5]</sup>。低空、低量无人驾驶航空喷雾技术自动化程度高、喷洒效果良好、飞机操作者安全、可提供个性化服务、运行成本低,是针对我国水稻施药技术机械化水平严重落后、工效低、用药大、施药困难和劳动力缺乏等难题而研发的一项新技术。

通常新技术在被完全接受之前会经过一系列过程,包括发明者略为夸张的描述、市场对其高度的期望和大力宣传,令消费者对其产生兴奋再到冷静,直到技术完全成熟<sup>[6]</sup>。随着我国农业科技的大力投入、政策倾斜及低空管制的开放,航空喷洒农业技术得到迅速发展,但是植保无人机在水稻上进行航空超低量喷雾技术应用在我国发展时间较短,距离完全应用还存在一定的时间。笔者对目前植保无人机在水稻上应用的文章进行归纳分析,阐明植保无人机超低容量低空喷雾目前发展现状、存在问题及在未来的主要技术发展方向。

## 1 我国航空植保无人机发展现状

1987 年,日本已经率先推出世界上第 1 架喷洒农药的植保无人机 R50,其有效载荷为 20 kg,而我国直到 2008 年才开始研究植保无人机,2013 年以后有大量的无人机企业进入市场。无锡汉和航空技术有限公司是国内第 1 家植保无人机企业,2008 年从事研发植保无人机,2009 年研制出国内首架油动植保无人机,开启了植保无人机的商业化时代,2010 年第 1 架农业植保无人机走向市场,可以算是中国植保无人机领域的开拓者。广州极飞科技有限公司是我国植保无人机应用的实践者或是应用的大力推广者,在无人机飞防应用领域作出了巨大的贡献。深圳市大疆创新科技有限公司虽然进入植保无人机的领域较晚,但其在全球消费无人机领域中处于领先地位,占据全球 50% 以上份额<sup>[7]</sup>。

2017 年 6 月 27 日,陶氏益农农业科技(中国)有限公司与深圳市大疆创新科技有限公司在上海签订战略合作协议,在产品创新与技术研究方面开展合作,通过打造适合于双方的商务合作模式,将陶氏益农农业科技(中国)有限公司的优质产品及解决方案通过深圳市大疆创新科技有限公司无人机技术输送到更多农民手中,推进病虫草害防治的精准化、规模化和产业化,提高农业生产效率<sup>[8]</sup>。其他植保无人机企业如珠海羽人农业航空有限公司飞行器、湖南大方植保有限公司、北方天途航空技术发展(北京)有限公司、漳州金米农业科技有限公司、四川驼峰通用航空有限公司、江西新和莱特科技协同创新有限公司、广西精纳恒宇无人机科技有限公司等均推出了用于水稻使用的植保无人机型号。

我国农业植保无人机应用目前尚处于起步阶段,据统计,2014 年我国植保无人机保有量为 695 架,总作业面积 28.4 万  $\text{hm}^2$ ;2015 年我国植保无人机保有量为 2 324 架,总作业面积 76.85 万  $\text{hm}^2$ ,增长幅度分别为 234%、170.6%。虽然增幅明显,但整体而言,我国的植保无人机体系尚未成熟。我国植保无人机发展阶段粗略可以分为以下几个阶段:概念机阶段(2010—2012 年)、演示机阶段(2013—2015 年)、尝试应用阶段(2016—2017 年)、批量应用阶段(2018—2020 年)、广泛应用阶段(预计在 2021 年以后)。植保无人机是依靠技术为核心的行业,2017 年是国内植保无人机飞防迅速发展的元年,据不完全统计,目前植保机行业有超过 200 家的无人机厂商,植保无人机的保有量也从 2013 年的 100 架突破至 11 000 架,至 2018 年仅深圳市大疆创新科技有限公司植保无人机的保有量就超过 16 000 架,植保无人机在近 2 年得到飞速发展。当前,农用植保无人机与航拍无人机有所区别,航拍无人机市场已经成熟,而植保无人机市场仍然格局未定,各个市场参与者都在不懈努力。在这种形势下,掌握核心技术尤其是植保无人机在田间的使用技术和作业方案才能在农用无人机的行业中站稳脚跟。

世界上农业航空较为发达的国家是美国和日本<sup>[9]</sup>,目前航空植保的面积占比最高的是日本,为 60%,世界平均比例为 17% 左右,而我国只占 1.6%。日本无人机行业得到发展主要与当时农业生产劳动人口减少、人员结构老龄化以及机械化和自动化技术的发展有关<sup>[10]</sup>,我国目前农业现状与日本有一定的相似之处,尤其我国南方地区地形、地

貌以及种植结构与日本极为相似,在未来的一段时间我国植保无人机行业及其配套技术将会迎来高速增长长期。

## 2 航空超低量喷雾技术在水稻生产上应用现状

日本于 1958 年将有人驾驶直升飞机投入到稻田进行稻瘟病及相关害虫防治<sup>[9]</sup>,但有人直升飞机飞行高度达到 8 ~ 13 m,速度达到 60 ~ 80 km/h,农药漂移严重,对环境造成极大污染,人员安全也得不到保障。从 20 世纪 90 年代起,日本在水稻病虫害防治上开始应用无人直升机<sup>[3]</sup>,随着时间的推移和技术的成熟,无人驾驶的飞机低空超低量喷雾正在逐渐淘汰有人驾驶直升飞机喷雾,据统计,目前日本应用植保无人机进行病虫害防治的水稻种植面积占到 45%。目前,美国在农业航空技术方面的研究热点主要是图像实时处理系统、变量喷洒系统及多传感器数据融合技术。图像实时处理的最终目标是通过建立图像处理软件系统,快速分析在空中采集的图像数据并立即进行变量喷洒<sup>[11]</sup>。

我国于 2008 年开展无人机的航空喷雾技术研究,农业农村部南京农业机械化研究所承担了国家 863 计划“水田超低空低量施药技术研究与装备研究”,2011 年 8 月,湖南省植保无人机首次航空喷雾演示在会同县水稻上进行<sup>[12]</sup>,我国的无人机最早是在南方区域的水稻上使用,目前植保无人机在水稻上喷雾技术仍然不够完善。

### 2.1 我国航空超低容量喷雾技术研究文献地域分布

目前,我国关于无人机在水稻上植保飞防应用技术报道不多,最早于 2014 年在广东地区应用珠海羽人农业航空有限公司飞行器 YR-A10 喷施吡蚜酮防治水稻稻飞虱<sup>[13]</sup>,至 2018 年底植保无人机飞防应用技术文献报道仅 13 篇(图 1),主要集中于我国南方地区,占 84.6%,北方地区主要于陕西省和新疆维吾尔自治区,在我国大部分地区未见植保无人机在水稻生产上应用技术报道。

### 2.2 我国航空超低容量喷雾技术研究文献在不同种类病虫害上分布

航空超低量喷雾技术在水稻上飞防技术报道主要集中在纹枯病<sup>[14]</sup>、稻飞虱<sup>[15]</sup>、稻纵卷叶螟<sup>[16]</sup>、稻曲病、二化螟、稻水象甲、穗颈瘟,其中以纹枯病、稻飞虱较多(图 2),目前在水稻除草剂应用上仍未见报道。

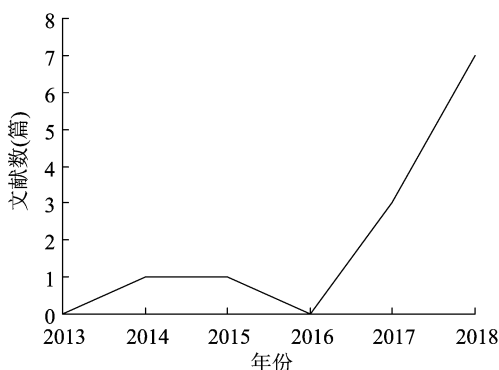


图1 植保无人机不同年份在水稻生产应用技术文献报道

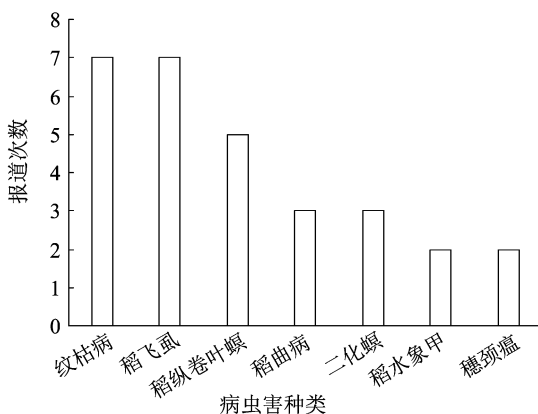


图2 植保无人机技术在水稻病虫害防治中的应用分布

据统计,应用于无人机的药剂种类变化不多,在螟虫上主要应用双酰胺类药剂,飞虱上应用吡蚜酮、吡虫啉等使用历史较长、产生抗性较为严重的药剂,对于一些新型药剂的使用仍然较少,如果大面积使用单一药剂防治水稻病虫害极易造成抗药性的迅速上升。

目前,航空超低量喷雾技术的测试工作主要是无人机生产企业,但是无人机企业做的更多的是改善无人机的功能,如稳定性、雾滴雾化的效果,现在也有一些无人机企业和一些农资企业进行结合,对这些农资企业进行测试,一般是农资企业主导,主要针对飞防药剂,针对本地作物的飞防应用方案,大多都在探索和研究之中。

## 3 航空低容量喷雾在上水稻生产应用中存在的问题

### 3.1 航空喷雾雾滴易飘移蒸发

植保无人机喷雾高度远高于地面喷雾设施高度,药液雾化程度高,喷洒出去的药液在空气中飘移和蒸发问题十分突出,同一架飞机在 5 m 飞行高度时的防治效果远低于 3 m 时的防治效果。水稻种

植密度较大,尤其在封行以后,飞机喷洒农药不能到达水稻下部,对于水稻中下部病虫害防治效果不能得到保证。

最初航空施用农药过程中大多采用粉剂或粒剂,至 20 世纪 50 年代左右已经开始使用超低容量制剂(Ultralow Volume Concentrate, ULV),但雾滴飘移和蒸发问题一直未能得到有效的解决。国外采用在农药中添加聚丙烯酸钠、硬脂酸胺、废蜜糖等作为水分蒸发抑制剂,我国则通常采用在有机磷中添加尿素(20% ~ 25%)或磷酸二氢钾(15% ~ 20%)来抑制雾滴蒸发<sup>[17]</sup>;中国农业科学院植物保护研究所筛选出波美 10°的纸浆废液、波美 36°废糖蜜和甘油等水分蒸发抑制以减少雾滴蒸发<sup>[18]</sup>,目前,在植保无人机上对于抗飘移并没有太好的专用助剂。

### 3.2 航空喷雾专用药剂较少

最初用于飞防作业的农药剂型称为超低容量液剂,属于一种油剂,通过植保无人机的喷头后能形成 60 ~ 100  $\mu\text{m}$  的雾滴,黏度低、稳定性相对较好,目前国内外针对飞防专用药剂进行了大量研究,但总体来说国内用于植保无人机的飞防药剂较少,剂型主要集中于乳油、水乳剂、微乳剂、悬浮剂等。国内从事飞防专用药剂较为成功的企业并不多,最早是广西田园生化股份有限公司于 2008 年开始从事飞防药剂研究,至 2015 年有成功的产品和专利;同时,深圳诺普信农化股份有限公司旗下的深圳雨燕智能科技服务有限公司也开始飞防药剂混配技术与专用剂型研究;2011 年,河北威远生物化工股份有限公司也成立飞防项目组从事超低容量飞防专用药剂研究;2012 年,安阳全丰航空植保科技有限公司在杀虫剂、杀菌剂、生长调节剂等方面陆续推出飞防专用药剂;2014 年,江西正邦科技股份有限公司研制出水稻病虫害专用飞防药剂。另外,南京善思生物科技有限公司在水稻、小麦、茶树以及美国白蛾方面也推出了航空植保专用纳米药剂,并开始了大量水稻病虫害田间试验。总体来说,飞防专用药剂的成功产业化仍然有很长的路要走,也需要政府和企业投入更多的研究力量。

### 3.3 航空植保作业规范缺失

植保无人机飞防服务属于一种新兴行业,行业标准和监管比较滞后,从目前飞防服务来说,国家层面缺少服务标准,进入飞防行业的门槛较低,服务组织也良莠不齐。2018 年,国家出台了关于植保

无人机的首个国家标准《植保无人飞机 质量技术评价规范》NY/T 3213—2018,规定了植保无人机的作业环境、喷幅要求、飞行精度、飞行轨迹等,对于植保无人机质量规范和检验方法有了指导意义。2015 年,重庆市出台了《农用航空器 电动多旋翼植保无人机》DB50/T 638—2015 的地方标准;2016 年,广西省也出台了《电动旋翼植保无人机技术条件》DB45/T 1330—2016;2017 年,吉林省出台了《植保无人机施药防治黏虫技术规程》DB22/T 2809—2017;2016、2017 年,江西省分别出台了《农业植保无人机》DB36/T 930—2016 和《农业植保无人机安全作业操作规范》DB36/T 995—2017 等 2 个标准;2018 年,河南省出台了《农用旋翼植保无人机安全及作业规程》DB41/T 1520—2018 和《农用旋翼植保无人机技术条件》DB41/T 1521—2018。但总体来说,植保无人机的地方标准仍然很少,尤其是在植保无人机对于特定病虫害的防治技术方面,2018 年 5 月 11 日,陶氏杜邦公司农业事业部与深圳市大疆创新科技有限公司共同推出法砒杀菌剂与深圳市大疆创新科技有限公司 MG 系列无人机上的推荐飞防标准。植保无人机飞防服务行业仍然须要进一步规范,以推动和保障中国植保无人机行业的健康发展。

## 4 航空低容量喷雾技术发展方向

### 4.1 航空喷雾专用助剂研究

植保无人机施药具有用水量低、雾滴粒径细的特点,在喷洒后雾滴容易蒸发、飘失以及在靶标上流失,因此常常在药剂中加入助剂来提高药液在靶标植物叶片上的润湿、附着、展布和渗透。国外对航空喷雾助剂的研究大多基于大型航空施药飞机,并且主要集中在喷雾助剂对喷雾雾滴飘移、运动以及地面沉积等方面;国内助剂种类多但功能并不清楚,目前在水稻上常用助剂主要为一些油类助剂和高分子聚合物类,有机硅类很少用。笔者认为,航空植保专用助剂在水稻上的研究应当主要集中于抗飘移、抗蒸发、促沉降、增效减量几个方面,通过添加助剂来增加雾滴粒径,减少雾滴飘失、减少蒸发和促进雾滴更好地在植物表面进行展布。另外,飞防专用助剂也须要针对稻田夏季高温的情况来进行研究,通常非离子型表面活性剂和矿物油在高温干旱的情况下效果不太理想,植物油类助剂效果相对较好,在水稻上更加推荐用植物油类助剂来提高对稻田有害生物的防控效果。

## 4.2 农用航空精准施药技术

美国是目前农业航空装备技术最先进、应用最广泛的国家,精准农业技术手段如 GPS 自动导航、施药自动控制系统、各种作业模型已步入实用阶段,作业精准、高效,对环境的污染低<sup>[11]</sup>。随着精准农业的发展,航空遥感技术、空间统计学、变量施药控制等技术也用于美国农田产量以及植物的水分情况、营养状况、病虫害的监测。美国植保无人机的精准施药技术发展对我国借鉴意义较大,要实现高效的农作物病虫草害防治必须要实现精准施药。无人机精准施药的前提是形成精确的图像实时处理系统,以弥合遥感和航空变量喷洒的差距。植保无人机不能仅作为喷洒农药的工具,而应成为一种具备农药航空遥感技术、精准导航控制技术、变量精准施药技术的综合载体。植保无人机将会具有临时计算决策功能,植保无人机根据机载地理信息系统(geographic information system, GIS)、机载遥感测量系统(remote sensing system, RSS)、精准导航系统(precision navigation system, PNS)、变量喷施系统(variable-rate spraying system, VSS)<sup>[10]</sup>获取作物的病虫草害信息,生成作物精准施药处方图,有选择性地喷洒农药,达到减少农药用量、保护环境的目的。

## 4.3 专业飞行人才的培养

飞行人才的培养在日本得到高度的重视,目前在日本拿到飞行执照的操控人员的人数将近 15 000 人。国内航空超低量喷雾仍然处于一种比较原始的状态,无人机操控员(简称“飞手”)基本不懂植保专业知识,提供技术服务的大多为农药经销商,出于销售农药的目的他们所提供的技术支持与农药具体效果、对环境的污染、成本的控制之间存在天然的矛盾。专业飞行人才的培养刻不容缓,要使飞手对水稻等农作物基本病虫草害知识加深理解,做到因地制宜地搭配飞防植保方案,在适当情况下调整化学药剂在田间的使用。国家须要以农机职业技能培训鉴定机构,加大农村无人机植保培训的投入,促进无人机植保类驾驶员培训鉴定能力提升,推动“智慧农业”的实用人才队伍建设,为农机化事业全程全面发展提供人才支撑和智力保障。

笔者认为,植保无人机行业的优越和先进性在于植保无人机至少改变了农业行业老龄化严重的状况,很大一批年轻人愿意进入这个行业,甚至包括一些本身不是从事农业方面的,他们也尝试进入农业这个行业。在未来航空喷雾技术应用上可以

借鉴美国的成功经验——组建农业航空组织体系,包括国家、省级、地市级各级服务体系,以企业和职业飞行人才为主,提高进入行业门槛。

航空植保防治技术是飞防服务利润来源的基础,尤其对于专业化防治组织来说,人才则是技术的保证。尽管目前有人认为,植保无人机行业的迅速发展存在一定过度宣传和炒作,但就目前土地流转的趋势来看,植保无人机飞防领域是不可逆转的,而水稻为我国种植面积最大的农作物,在其生产上的飞防技术推广尤为重要。

## 参考文献:

- [1] 李立军. 中国耕作制度近 50 年演变规律及未来 20 年发展趋势研究[D]. 北京:中国农业大学,2004:4.
- [2] 杨基华,冯中玉. 水稻病虫草害正常防治与未防治对比研究[J]. 农业灾害研究,2017(4):19-20.
- [3] 娄尚易,薛新宇,顾伟,等. 农用植保无人机的研究现状及趋势[J]. 农机化研究,2017,39(12):1-6.
- [4] 陆自强,束文学,祝树德,等. 稻纵卷叶螟、白背飞虱同步迁飞与相关消长规律的研究[J]. 中国植保导刊,1990(2):23-32.
- [5] 曾强. 航空植保的超低容量喷雾是目前最先进的农药使用技术[J]. 时代农机,2015,42(7):161-162.
- [6] Freeman P K, Freeland R S. Agricultural UAVs in the U. S.: potential, policy, and hype[J]. Remote Sensing Applications Society & Environment, 2015(2):35-43.
- [7] 刘千里. 大疆创新 MG-1 问世,能给植保无人机行业带来什么?[J]. 营销界(农资与市场),2016(7):70-73.
- [8] 顾旭东. 陶氏益农联手大疆创新 开创中国智慧农业新时代[J]. 农药市场信息,2017(17):23.
- [9] Enderle B. Commercial applications of UAV's in Japanese agriculture [C]. 1st UAV Conference, 2002.
- [10] 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):1-8.
- [11] 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.
- [12] 刘卓君,吴声海,张龙杰,等. 植保无人机在会同县防治水稻病虫害的应用前景[J]. 农业与技术,2016,36(12):18.
- [13] 刘慧强,董雪娟,费朝品,等. 小型植保无人机施药防治稻飞虱的田间效果[J]. 中国植保导刊,2014(增刊1):45-46.
- [14] 苟栋,张兢,何可佳,等. TH80-1 植保无人机施药对水稻主要病虫害的防治效果研究[J]. 湖南农业科学,2015(8):39-42.
- [15] 吴天长. 应用植保无人机防治稻飞虱减量用药试验[J]. 福建农业科技,2017(2):1-2.
- [16] 丁绍伟,郭可婧,曾培青,等. 小型植保无人机防治稻纵卷叶螟田间试验[J]. 现代农业科技,2017(7):115,119.
- [17] 徐映明,胡祥恩,黄九根. 飞机低量喷雾防治稻虫的研究简报[J]. 湖北农业科学,1983(8):21-23.
- [18] 李范. 水质微量喷雾技术简介[J]. 植物保护,1989,15(6):36-38.