

苏瑞东. 无人机在现代农业中的应用综述[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 75-79.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.017

无人机在现代农业中的应用综述

苏瑞东

(山西省水利水电科学研究院, 山西太原 030000)

摘要:对无人机及其在农业应用中搭载传感器的类型进行简要说明,并对基于无人机遥感的农田土壤分析及墒情测定、作物面积测算及快速分类、作物施肥及其管理进行深入剖析,指出无人机在各研究领域的关键技术,对推动现代农业的发展具有划时代的意义。最后提出研发续航时间长、载荷能力强、稳定性高、分辨率高的农用无人机以及相配套的遥感数据后处理方法,以有力推动无人机在现代农业上的应用。

关键词:无人机;遥感;现代农业;传感器

中图分类号: S252 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0075-04

无人机(UAV)是利用无线电遥控设备和程序控制装置操纵的不载人飞行器。随着“工业5.0”时代的来临,无人机在水利、环保、电力等各行各业中被广泛应用。现代农业是在现代工业和现代科学技术基础上发展起来的,其中的一个主要特征就是把工业部门生产的大量物质和能量投入到农业生产中,以换取大量农产品,成为工业化的农业^[1]。无人机在现代农业上的应用就是一个典型特例,它主要是利用无人机代替人力畜力提高生产效率。

1 无人机简介

无人机按外形结构划分,通常包括固定翼无人机和多旋翼无人机2种(图1、图2)。固定翼无人机采用滑跑或弹射起飞,伞降或滑跑着陆,对场地有一定要求;巡航距离、载重等指标明显高于多旋翼无人机。多旋翼无人机根据螺旋桨数量,又可细分为四旋翼、六旋翼、八旋翼等。一般认为,螺旋桨数量越多,飞行越平稳,操作越容易。多旋翼无人机具有可折叠、垂直起降、可悬停、对场地要求低等优点,因此备受青睐。



图1 固定翼无人机

如表1所示,无人机具有灵活性高的特点,即无人机体积小、质量轻,拥有飞机、卫星无法具备的灵活性;成本低,组装后可直接使用,且起飞方式简单,对环境要求低。无人机机身



图2 多旋翼无人机

成本低,运行时的能量耗费也低于其他飞行器;不需考虑停放场地建设以及飞行员培训带来的额外成本;安全性高,即无人机隐蔽性强,抗干扰性能较强;无需担心驾驶人员的安全,可在恶劣的环境下执行危险任务。因此,鉴于无人机的上述优点,根据作物种植的需要,在无人机上搭载不同类型的传感器,就可以实现无人机在农业上的不同应用。

2 农用无人机搭载传感器类型

无人机遥感平台的传感器主要包括色彩模式(color mode)数码相机、3D数码相机、红外测温仪、热成像仪、荧光探针、多光谱相机、高光谱相机、激光雷达和声纳设备。为了精准反演农田土壤信息及作物在不同生育期的株高、出苗率、生物量、叶面积指数(leaf area index,简称LAI)等长势信息、氮素和水分状态及产量等信息,无人机需搭载不同类型的传感器。但受限于平台载荷,目前农用无人机普遍搭载的传感器主要为数码相机、多光谱相机、高光谱相机、激光雷达和热像仪等。

3 无人机在现代农业上的应用

3.1 基于无人机遥感的农田土壤分析及墒情测定

在农作物种植前,采用无人机对土壤进行监测分析,对农业种植的前期规划具有至关重要的作用^[2]。土壤是农作物赖以生存的环境,对土壤墒情进行测定不仅能了解农田土壤的干湿程度,同时可对农作物的生长趋势作出预测评估。传统的土壤墒情测定只能是短期的、小范围的监测,而利用无人

收稿日期:2018-10-24

基金项目:山西水利信息化规划(编号:晋水财务[2017]433)。

作者简介:苏瑞东(1988—),男,内蒙古丰镇人,硕士,主要从事无人机应用及水利信息化研究。E-mail:surd168@163.com。

表1 固定翼无人机与多旋翼无人机的对比

项目	固定翼无人机	多旋翼无人机
续航性能	高	低
操控性	固定翼飞行场地要求开阔,而直升机飞行过程中会产生通道耦合,自驾仪控制器设计困难,控制器调节也很困难	操控简单,不需要跑道便可以垂直起降,起飞后可在空中悬停。其操控原理简单,操控器上的4个遥感操作对应飞行器前后、左右、上下和偏航方向的运动。在自动驾驶仪方面,多旋翼自驾仪控制方法和控制器参数调节都很简单
可靠性	固定翼有活动的机械连接部件,在飞行过程中会产生磨损,导致可靠性下降	多旋翼没有活动部件,其可靠性基本上取决于无刷电机的可靠性,因此可靠性较高
优点	(1)飞行距离长,巡航面积大 (2)飞行速度快 (3)飞行高度高 (4)可设置航线自动飞行 (5)可设置回收点坐标自动降落	(1)体积小、质量轻、噪音小、隐蔽性好,适合多平台、多空间使用 (2)可以垂直起降,不需要弹射器、发射架进行发射,可悬停、侧飞、倒飞 (3)飞行高度低,具有很强的机动性,执行特种任务能力强 (4)结构简单,控制灵活,成本低,螺旋桨小,安全性好,拆卸方便,且易于维护
缺点	(1)不能悬停获取连续某处影像 (2)只能按照固定航线飞行,不够灵活 (3)操作难度较大,风险高 (4)成本较高	(1)飞行速度慢,对于要求高空高速度的镜头无法实现 (2)飞行距离较短

机挂载近红外光设备,可以更加全面地对土壤进行监测,通过对获取影像的对比分析,就可以了解土壤的湿度。在21世纪初,Quiquerez等利用无人机监测农田土壤表面特征对环境侵蚀的影响,并映射出5 cm空间分辨率下的土壤表面结构^[3]。因此,利用无人机遥感技术可以大面积且快速地对农田土壤进行分析及墒情测定,不仅对作物种植可以进行前期合理规划,还可以在作物生育期内实时地探测土壤墒情,以便精准灌溉。

3.2 农用植保无人机

我国作为农业大国,拥有1.2亿hm²基本农田,每年需要大量的农业植保作业,而每年农药中毒人数就达10万人,致死率约20%。农药残留和污染造成的病死人数至今尚无官方统计,想必是一个惊人数字。而农用植保无人机具有喷洒效果好、无人驾驶、喷雾效率高、适用性好、省药、省水、减少污染、操控人员安全系数高、作物损伤小等特点,因此在现代农业中被广泛应用。其中无人机喷洒技术采用喷雾喷洒方式可以帮助农户至少节约50%的农药使用量和90%的用水量,同时,无人机喷洒农药效率是人工喷洒的30倍^[4],这在很大程度上帮助农户降低了资源成本。

国外植保无人机发展较快,美国、日本更是处于世界领先水平。其中美国航空植保经历了有人驾驶直升机向无人机的过渡^[5],日本生产出了世界上第1架用于喷洒农药的无人直升机^[6],由于其体积较小、作业机动灵活、喷洒效果好的特点,在日本被广泛使用并取得良好效果^[7]。

近年来,我国在农业航空喷洒上也逐渐引入无人机,虽然仍处于起步阶段,但无人机喷洒将成为发展最快的高新技术,也是未来农业发展的方向^[8-9]。袁玉敏进行了农业植保无人机高精度定位系统研究与设计^[10]。张新星对农用无人机智能植保系统进行了设计^[11]。范庆妮设计出了2套无人机的农药雾化系统,即离心雾化系统和液力雾化系统^[12],在范庆妮的基础上,茹煜等研究出了无人机喷洒药物的旋转液力雾化喷头的最佳工作参数^[13],并针对XY8D无人机设计出了静电喷雾系统^[14]和专门用于无人机喷雾的远程控制系统^[15]。徐兴等设计出了无人机农药变量喷洒系统^[16]。史万萍等对

精准变量喷药技术进行了研究^[17]。学者们还对低空低量航空施药技术^[18-20]以及植保无人机航空喷施作业参数对雾滴沉积分布特性的影响^[21-25]进行了研究。虽然我国近年来对农业植保无人机进行了大量的研究,其发展也较快,但整体而言,植保无人机体系尚未成熟。我国植保无人机技术和产品性能参差不齐,仅有极少数产品能够满足大面积高强度的植保喷洒要求。目前存在的主要问题是(1)成熟可靠的植保无人机少,不少厂商忽视了植保作业的特殊要求。(2)买家盲目购买,并未实地考察无人机的飞行作业情况,应对技术层面多一些了解。(3)培训及售后服务不到位(4)专用药剂知识不足,个人盲目兑药剂,容易出现农药残留过高、灭虫效果差等问题。(5)行业标准难制定,购机补贴难申请。(6)市场需求量大,准入门槛不高,专业化水平难提升。因此,鉴于上述问题,有必要加强对植保无人机的研发,以让其广泛应用于生产和实践。

3.3 基于遥感图像信息的农田作物管理

未来的灌区必将是全程机械化的,而如何大面积地获取作物生长状况信息,并作出及时有效的判断,实现现代灌区的精准管理,对灌区农业的发展至关重要。利用无人机搭载遥感系统可以对农田作物信息进行快速重复监测并获取高分辨率的遥感图像,其克服了卫星遥感易受云层遮挡且成本较高以及人工地面采集数字影像耗时耗力、效率较低的缺点,提高了植被覆盖率监测的准确性^[26-27]。

当前,国外在基于遥感图像信息的农田作物管理方面的研究发展较快。美国农业部大面积病虫害管理研究中心利用无人机搭载多光谱相机获取棉花的遥感图像,该图像经过处理分析可以反映棉花的生长状态(长势良好、生病或者死亡),有利于实现精准施肥^[28-30]。Chosa等利用无人机对水稻生长状况进行监测,可以确定高质量高产量的水稻区域^[31]。Hunt等利用无人机遥感信息平台获取冬小麦、大豆、苜蓿、玉米的高分辨率光谱图像,建立图像特征值与作物生长状况指标的模型,对作物进行精准管理^[32-33]。日本采用无人机搭载紫外线照相机获取水稻的生长信息,用于指导施肥作业^[34]。Swain等采用无人机遥感平台获取水稻田的遥感图

像,以估算水稻产量和总生物量^[35]。Lelong 等利用无人机遥感平台获取不同品种小麦的遥感图像,对不同品种小麦作物的物理参数进行定量监测评估^[36]。Sugiura 等利用无人机系统对作物进行拍摄,通过划分研究区域内的作物叶面积指数分布状况,分析作物生长信息^[37-38]。Sullivan 等采用无人机搭载热红外监测系统监测棉花生长情况,发现热红外图像对棉花冠层具有很好的敏感性,说明热红外遥感平台能够用于监测棉花生长状况^[39]。Noguchi 团队采用无人直升机遥感平台监测水稻作物营养状态,以实现水稻田的精准管理^[40]。Vega 等利用无人机搭载多光谱传感器获取向日葵的多时相影像,以计算出其归一化植被指数(normalized difference vegetation index,简称NDVI)值,监测其生长状况,以便管理^[41]。Armstrong 等利用无人机获取玉米多光谱图像,观测玉米田的杂草密度^[42],从而进行农田杂草管理^[43]。无人机高时空分辨率遥感影像还能够很好地提高农田水分胁迫的管理水平^[44-45]。

我国在无人机获取遥感信息管理方面的发展相对较晚。乔红波等采用手持式高光谱仪和低空遥感系统对不同危害程度小麦白粉病冠层光谱反射率进行了测定,分析表明,低空遥感系统可以无损、快速、大面积地对小麦白粉病进行监测^[46-47]。祝锦霞等采用扫描仪和无人机平台获取水稻叶片和冠层的数字图像,运用数字图像处理技术研究不同氮素营养水平水稻叶片和冠层的综合特征信息,从而进行水稻的氮素营养诊断^[48]。李冰等利用无人机搭载多光谱相机系统对冬小麦进行监测,提出的植被指数阈值法可对农作物的覆盖度和生长状况进行分析^[49]。高林等采用无人机挂载数码相机和多光谱传感器分别获取大豆结荚期和鼓粒期的影像,通过植被指数构建的单变量和多变量叶面积指数(leaf area index,简称LAI)反演模型能够真实反映当地大豆的实时生长情况^[50]。因此,目前基于无人机遥感图像的时空动态变化,可获取作物产量、营养状况、病虫害的发生/发展状况等信息。

3.4 基于无人机低空遥感的农作物快速分类及面积估算

目前可以利用无人机影像分析技术对作物进行分类^[51]。为了降低分类误差,李宗南等采用小型无人机获取玉米的可见光图像,研究了玉米倒伏信息的图像特征和面积提取方法^[52]。韩文霆等采用无人机获取玉米影像,通过分析影像中各类地物特征的种内变异系数和与玉米的相对差异系数,得出玉米的主要特征,从而提取出玉米的种植面积^[53]。孙佩军等利用无人机获取冬小麦高分辨率影像,进行无人机抽样调查,分别设计多层次-面积规模指标、多层次-异质性指标、面积规模指标、异质性指标计算各抽样基本单元的对应指标值,结果表明,利用多层次指标法进行分层,各层内作物均质性较好,能够提高农作物面积估算的精度;此外,异质性指标较面积规模指标更能提高分层的层内作物均质性与农作物面积估算精度^[54]。Shen 等采用无人机遥感获取中等空间分辨率影像,对农作物种植面积进行估测,得出在95%置信度下监测精度可达95%以上^[55]。田振坤等利用无人机低空飞行获取小麦的遥感影像,基于农作物波谱特征和NDVI变化阈值提出的农作物快速分类提取方法具有较高的正确率和普适性^[56]。郭鹏等利用无人机获取遥感影像,对农田作物类型进行研究,结果表明基于色彩与纹理特征提取作物类型的精度

较高,高于基于颜色指数的提取方法,是一种行之有效的无人机数据作物分类方法^[57]。以上研究表明,基于无人机低空遥感的农作物快速分类及面积估算,对相关部门快速高效地统计粮食种类和产量以及保证我国粮食安全具有重要意义。

4 主要问题和展望

4.1 主要问题

随着无人机技术的发展,其在农业上的应用越来越普遍,但还存在一系列的问题。主要包括:(1)目前农用无人机主要有电动无人机、油动无人机和油电混合无人机,但使用最多的是电动无人机。电动无人机受限于载重的影响,无法携带大量的电池,因此,其续航时间短。(2)由于电动无人机电载重小,因此无法挂载一些大质量的遥感设备。(3)受风的影响大。在风力大于4级时,电动无人机飞行姿态就难以按照规划的航线飞行。(4)受航线规划、飞行高度及挂载设备好坏的影响,无人机通过挂载的相机获取的图像质量有时难以满足作业需要,且后期图像校正、匹配、拼接的难度大。

4.2 展望

基于“4.1”节中所述的农用无人机存在的问题,目前亟需解决的问题是:(1)研发续航时间长、载重能力强的农业无人机,同时研发轻质量的挂载遥感设备,以提高农用无人机续航时间。(2)对无人机的飞控系统进行开发研究,使其在一定风力下也能按规划航线飞行,保证飞行的稳定性。(3)针对农用无人机遥感影像的特点以及相机定标参数、拍摄时的姿态数据和有关几何模型对图像进行几何和辐射校正,开发出相应的软件进行交互式处理,以保证对农田及其作物信息进行精准和高效的解析。

5 结论

本文通过对国内外农用无人机遥感技术进行综述,指明了目前农用无人机获取遥感影像过程中存在的问题及其未来发展的趋势方向,阐述了无人机在现代农业上的广泛应用及重要意义。进一步研发续航时间长、载荷能力强、稳定性高、分辨率高的农用无人机以及相配套的遥感数据后处理方法,并将其应用在农田土壤分析及墒情测定、作物面积测算及快速分类、作物施肥及其生长状况实时监测中,对快速判断及精准决策,推动现代农业的发展,具有划时代的意义。

参考文献:

- [1]何盛明. 财经大辞典[M]. 北京:中国财政经济出版社,1990.
- [2]Mulla D J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps [J]. *Biosystems Engineering*, 2013, 114(4): 358-371.
- [3]Quiquerez A, Chevigny E, Allemand P, et al. Assessing the impact of soil surface characteristics on vineyard erosion from very high spatial resolution aerial images [J]. *Catena*, 2013, 116: 163-172.
- [4]马兴. 喷洒农药的无人驾驶小飞机[J]. *新农业*, 2015(1): 25-26.
- [5]王虹. 美国通用航空发展现状[J]. *中国民用航空*, 2003(8): 45-47.
- [6]吴志洋. 单旋翼植保无人机技术浅析[J]. *中国植保导刊*, 2014(增刊1): 40-41, 18.

- [7] 吴小伟, 茹煜, 周宏平. 无人机喷洒技术的研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(7): 224 - 228.
- [8] 李林颖. 农用无人机初露头角未来可期[N]. 中国农机化导报, 2013 - 11 - 04(6).
- [9] 蒙继华, 吴炳方, 李强子, 等. 农田农情参数遥感监测进展及应用展望[J]. 遥感信息, 2010(3): 122 - 128.
- [10] 袁玉敏. 农业植保无人机高精度定位系统研究与设计——基于GPS和GPRS[J]. 农机化研究, 2016, 38(12): 227 - 231.
- [11] 张新星. 农用无人机智能植保系统设计[J]. 时代农机, 2017, 44(3): 85 - 86.
- [12] 范庆妮. 小型无人直升机农药雾化系统的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [13] 茹煜, 金兰, 周宏平, 等. 航空施药旋转液力雾化喷头性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 50 - 55.
- [14] 茹煜. 农药航空静电喷雾系统及其应用研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [15] 茹煜, 贾志成, 范庆妮, 等. 范庆妮等. 无人直升机远程喷雾控制系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 47 - 52.
- [16] 徐兴, 徐胜, 刘永鑫, 等. 小型无人机机载农药变量喷洒系统设计[J]. 广东农业科学, 2014(9): 207 - 210.
- [17] 史万萍, 王熙, 王新忠. 基于GPS和GIS的变量喷药技术研究[J]. 农机化研究, 2007(2): 19 - 21.
- [18] Xue X Y, Tu K, Qin W C, et al. Drift and deposition of ultra - low altitude and low volume application in paddy field[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2014, 7(4): 23 - 28.
- [19] Qin W C, Xue X Y, Cui L F, et al. Optimization and test for spraying parameters of cotton defoliant sprayer[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2016, 9(4): 63 - 72.
- [20] 王昌陵, 何雄奎, 王潇楠, 等. 无人植保机施药雾滴空间质量平衡测试方法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 54 - 61.
- [21] 王昌陵, 何雄奎, 王潇楠, 等. 基于空间质量平衡法的植保无人机施药雾滴沉积分布特性测试[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 89 - 97.
- [22] 王潇楠, 何雄奎, 王昌陵, 等. 油动单旋翼植保无人机雾滴飘移分布特性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 117 - 123.
- [23] 邱白晶, 王立伟, 蔡东林, 等. 无人直升机飞行高度与速度对喷雾沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 25 - 32.
- [24] 秦维彩, 薛新宇, 周立新, 等. 无人直升机喷雾参数对玉米冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 50 - 56.
- [25] 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.
- [26] 李冰, 刘裕源, 刘素红, 等. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 160 - 165.
- [27] 王玉鹏. 无人机低空遥感影像的应用研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [28] Huang Y, Lan Y, Ge Y, et al. Spatial modeling and variability analysis for modeling and prediction of soil and crop canopy coverage using multispectral imagery from an airborne remote sensing system[J]. Transactions of the ASABE, 2010, 53(4): 1321 - 1329.
- [29] Huang Y B, Thomson S J, Lan Y B, et al. Multispectral imaging systems for airborne remote sensing to support agricultural production management[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2010, 3(1): 50 - 62.
- [30] Huang Y, Lan Y, Hoffmann W C. Use of airborne multi - spectral imagery in pest management systems[J]. Agricultural Engineering International, 2008, 10: 1 - 14.
- [31] Chosa T, Miyagawa K, Tamura S, et al. Monitoring rice growth over a production region using an unmanned aerial vehicle: preliminary trial for establishing a regional rice strain[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2010, 43(26): 178 - 183.
- [32] Hunt J, Hively W D, Fujikawa S J, et al. Acquisition of NIR - green - blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring[J]. Remote Sensing, 2010, 2(1): 290 - 305.
- [33] Hunt E R, Cavigelli M, Daughtry C S T, et al. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status[J]. Precision Agriculture, 2005, 6(4): 359 - 378.
- [34] 石媛媛. 基于数字图像的水稻氮磷钾营养诊断与建模研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [35] Swain K C, Thomson S J, Jayasuriya H P W. Adoption of an unmanned helicopter for low - altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop[J]. Transactions of the ASABE, 2010, 53(1): 21 - 27.
- [36] Lelong C C D, Burger P, Jubelin G A, et al. Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots[J]. Sensors, 2008, 8(5): 3557 - 3585.
- [37] Sugiura R, Noguchi N, Ishii K. Remote - sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter[J]. Biosystems engineering, 2005, 90(4): 369 - 379.
- [38] Sugiura R, Fukagawa T, Noguchi N, et al. Field information system using an agricultural helicopter towards precision farming[C]. IEEE ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Japan, kobe, 2003.
- [39] Sullivan D G, Fulton J P, Shaw J N, et al. Evaluating the sensitivity of an unmanned thermal infrared aerial system to detect water stress in a cotton canopy[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(6): 1955 - 1962.
- [40] Noguchi N. 日本机器人耕作体系与遥感技术应用[J]. 农机科技推广, 2010(12): 16 - 17.
- [41] Vega F A, Ramfrez F C, Saiz M P, et al. Multi - temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop[J]. Biosystems Engineering, 2015, 132: 19 - 27.
- [42] Armstrong J Q, Dirks R D, Gibson K D. The use of early season multispectral images for weed detection in corn[J]. Weed Technology, 2007, 21(4): 857 - 862.
- [43] Torres - Sanchez J. Configuration and specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for early site specific weed management[J]. PLoS One, 2013, 8(3): e58210.
- [44] Zarco - Tejada P J, Gonzalez - Dugo V, Berni J A J. Fluorescence, temperature and narrow - band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro - hyperspectral imager and a thermal camera[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 117: 322 - 337.
- [45] Gago J, Douthe C, Coopman R E, et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture[J]. Agricultural Water Management, 2015, 153: 9 - 19.
- [46] 乔红波, 周益林, 白由路, 等. 地面高光谱和低空遥感监测小麦白粉病初探[J]. 植物保护学报, 2006, 33(4): 341 - 344.

苏群,卜朝阳,张进忠,等.我国睡莲研究现状及展望[J].江苏农业科学,2019,47(21):79-83.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.018

我国睡莲研究现状及展望

苏群¹,卜朝阳¹,张进忠¹,田敏²,毛立彦³,卢家仕¹,赵培飞²,黄昌艳¹

(1.广西农业科学院花卉研究所,广西南宁 530007; 2.云南省农业科学院花卉研究所/国家观赏园艺工程技术研究中心,云南昆明 650200;

3.广西亚热带作物研究所,广西南宁 530001)

摘要:睡莲是重要的水生花卉和世界名花,深受全世界人民的喜爱。本文概述我国近几十年在睡莲种质资源引种与多样性评价、生物学特性与栽培技术、生理代谢、功能活性及新品种选育等方面研究中取得的进展及存在的问题,以期今后睡莲基础研究和水景应用提供参考。

关键词:睡莲种质资源;生物学特性;繁殖与组培;生理生化;功能活性;新品种选育

中图分类号: S682.320.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0079-05

睡莲为睡莲科(Nymphaeaceae)睡莲属(*Nymphaea*)多年生草本宿根花卉。根据生态学特征,可分为耐寒睡莲(Hardy Waterlily)和热带睡莲(Tropical Waterlily)。全世界睡莲属植物有50余种,主要分布在热带、亚热带和温带地区^[1],我国有5种^[2],也有报道称有4种^[3]。睡莲属共有5个亚属,分别为广热带睡莲亚属(*Brachyceras*)、广温带睡莲亚属(*Nymphaea*)、古热带睡莲亚属(*Lotos*)、新热带睡莲亚属(*Hydrocallis*)、澳大利亚睡莲亚属(*Anecphyra*)^[4]。作为水生花卉中的名贵花卉,睡莲以其丰富的花色、圣洁的寓意及茎叶对水中富营养物和有害物质的强吸附能力,深受人们的喜爱。此外,睡莲花朵可泡茶,叶柄和花柄可食用,全草宜作绿肥,又可入药,具有极高的食用价值和观赏旅游、水景造景价值^[5]。本文概述近几十年我国在睡莲种质资源引种评价、生物学特

性与栽培技术、生理代谢、功能活性及新品种选育等方面研究中取得的进展及存在的问题,以期今后睡莲基础研究和水景应用提供参考。

1 种质资源引种及多样性评价

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,睡莲以其特有的观赏价值和对外环境的净化、美化作用越来越受到人们的重视^[5]。20世纪中期以来,随着我国园林应用需求和对外出口量的增加,我国已从欧美等国引进了大量睡莲种质,并开展了一系列的适应性、多样性评价研究。

我国早期的睡莲引种以耐寒睡莲为主。陈发棣等对引种的31个耐寒睡莲新品种的10个主要观赏性状进行观察并记录,制定了一套睡莲观赏性状评比标准,并据此将引种的耐寒睡莲划分4个等级^[6]。李淑娟等利用统计学方法对引进的56个耐寒睡莲品种在关中地区的各个观赏指标和适应性进行了评价,并从中筛选出38个优良品种^[7]。吉建斌等在京津冀地区从引进的30多个耐寒睡莲中选出18个性状相对比较稳定的品种,研究了其生物学特性、物候期、抗逆性等^[8]。相对于耐寒睡莲而言,热带睡莲在花色、叶色、气味、着花性、用途上均显著优于耐寒睡莲,但热带睡莲的正常生长、开花对温度要求较高,近年来,我国南方地区的浙江省、海南省、广西壮族自治区、云南省等地已有热带睡莲种质资源的引种。余翠薇等从泰国引进30个热带睡莲品种,对成活率、叶径等13个

收稿日期:2018-08-02

基金项目:广西科技重大专项(编号:桂科AA17204026);广西农业科学院基本科研业务专项(编号:桂农科2017YM43、2015YT90);广西农业科学院科技发展基金(编号:桂农科2018JZ08);云南省花卉育种重点实验室自主研发项目(编号:FKL-201401);云南省农业科学院农业科技创新及成果转化专项(编号:2017RA01409)。

作者简介:苏群(1990—),男,安徽明光人,硕士,主要从事水生花卉分子遗传育种研究。E-mail:suqun1990315@163.com。

通信作者:黄昌艳,硕士,主要从事花卉育种与快繁研究。E-mail:hcy23007@163.com。

[47] 乔红波. 麦蚜和白粉病遥感监测技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2007.

[48] 祝锦霞,陈祝炉,石媛媛,等. 基于无人机和地面数字影像的水稻氮素营养诊断研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2010,36(1):78-83.

[49] 李冰,刘裕源,刘素红,等. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测[J]. 农业工程学报,2012,28(13):160-165.

[50] 高林,杨贵军,王宝山,等. 基于无人机遥感影像的大豆叶面积指数反演研究[J]. 中国生态农业学报,2015,23(7):868-876.

[51] 胡勇,张孝成,马泽忠,等. 无人机遥感影像中农村房屋信息快速提取[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):96-101.

[52] 李宗南,陈仲新,王利民,等. 基于小型无人机遥感的玉米倒伏

面积提取[J]. 农业工程学报,2014,30(19):207-213.

[53] 韩文霆,李广,苑梦婵,等. 基于无人机遥感技术的玉米种植信息提取方法研究[J]. 农业机械学报,2017,48(1):139-147.

[54] 孙佩军,张锦水,潘耀忠,等. 基于无人机样方事后分层的作物面积估算[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(2):1-10.

[55] Shen K J, Li W F, Pei Z Y, et al. Crop area estimation from UAV transect and MSR image data using spatial sampling method[J]. Procedia Environmental Sciences, 2015, 26:95-100.

[56] 田振坤,傅莺莺,刘素红,等. 基于无人机低空遥感的农作物快速分类方法[J]. 农业工程学报,2013,29(7):109-116.

[57] 郭鹏,武法东,戴建国,等. 基于无人机可见光影像的农田作物分类方法比较[J]. 农业工程学报,2017,33(13):112-119.