

让农业更轻松，让生命更美好

农业无人机行业白皮书 (2023)

2024 年 7 月



ag.dji.com

让农业更轻松，
让生命更美好！

目录CONTENTS

引言	02
一、2023 年大事记	05
二、全球政策法规	08
（一）中国法规助力农业无人机发展	09
1. 《无人驾驶航空器暂行条例》发布	
2. 适航管理	
（二）巴西游法规支持农业无人机	11
1. 巴西民航局取消强制性适航要求	
2. 巴西的农药使用	
（三）欧洲	12
1. 民航类法规的调整	
2. 国际标准的树立	
（四）北美地区的运行豁免	13
1. FAA 发布豁免清单	
2. 加拿大交通部认可新机型	
（五）澳大利亚	14
1. 民航局发布对农业无人机的支持政策	
2. 药监局对农业无人机的支持	
（六）国际组织活动	14
三、环境保护试验	
（一）中国田间飘移测试	16
1. T50 飘移测试	
2. T25 田间测试	
（二）海外田间飘移测试	25
1. 澳大利亚 T40、T50 飘移测试	
2. 匈牙利 T50 飘移测试	

四、新场景应用分享	28
（一）喷洒案例	29
1. 沃柑全流程作业	
2. 守护红松天然林	
3. 茶小绿叶蝉	
（二）播撒案例	37
1. 覆盖作物播撒	
2. 水稻播撒	
（三）智慧农业典型案例	41
1. 推动榴莲产业增长	
2. 农业无人机在玉米中后期作业	
3. 农业无人机助力澳洲牧场精准除草	
（四）农艺与无人机应用的结合	46
1. 小麦种子播撒	
2. “云上疆果”脐橙示范园	
（五）无人机除雪大显身手	48
1. 无人机播撒融雪剂	
2. T60 融雪肥播撒，助力冬小麦增产增收	
（六）从“移蚕”到打药，无人机正改变这个古老的行业	50
（七）大疆无人机助力墨西哥龙舌兰种植户降本增效	51
五、最佳实践	54
（一）人员培训	55
（二）产品技术发展	55
（三）农艺与技术结合：果树的飞防配药原则及技巧	57
六 应用错误详解	60
（一）错误一：在下风向、敏感作物附近等不适合的区域喷洒除草剂	61
（二）错误二：在蜜蜂、桑树附近喷洒杀虫剂	61
（三）错误三：玉米喷洒茎叶除草剂	62
（四）错误四：果树作业采用高速度或粗雾滴	62
七、结语	63

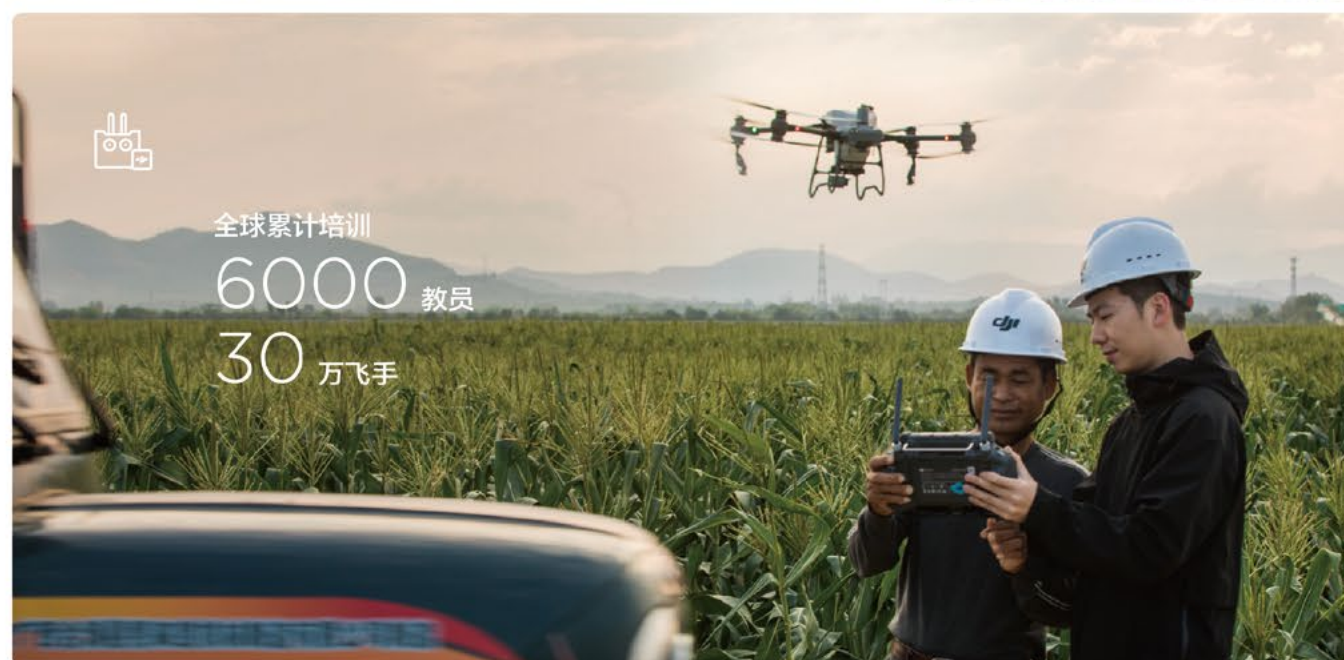
“引言

伴随着人们在农业可持续发展、高科技农业改革上的不断努力，农业无人机作为得力的生产工具，在解决诸如粮食产量、土壤健康、环境保护等多个方面的问题上都提供了新的解决方案。截至 2023 年，全球农业无人机保有量达到 30 万台以上，覆盖全球 100 多个国家和地区。截至 2024 年 6 月，农业无人机全球累计作业面积突破 75 亿亩次，覆盖中国 1/3 的农业土地面积，累计培训 6000 名教员，30 万农业无人机飞手。

农业无人机 75 亿亩次的作业，惠及数亿农业从业者。可累计节约用水 2.1 亿吨，相当于 3.9 亿居民一年的饮水量；减少 2572 万吨碳排放量，相当于 12 亿棵树一年的固碳量；减少农药（折百）使用量 4.7 万吨。

”





2023 大事记

一月

无人机在美国精准点喷除草，
每英亩增收 17 美元。



二月

大疆农业举行“云上疆果”发布会，落地
150 亩脐橙示范园，在丘陵起伏的复杂地
形下，挑战单人用农业无人机完成示范园
全年作业管理。

三月

国际妇女节，据统计，超过
7000 名女性加入植保飞防，
科技让“她”更有力量。



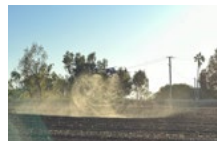
六月

T20P 登录美洲大陆，正式发布并开售。



七月

大疆农业在澳大利亚
开展飘移测试。



八月

大疆农业支持国际粮农组织举办
“亚太区无人机植保讨论会”。



九月

大疆农业助力南非甘蔗小农增产增收，
最高提升甘蔗产糖量 1.78 吨/公顷。



十月

大疆农业支持联合国粮农组织世界粮食
日公益亮灯活动，“大疆萤火虫”无人
机灯光秀，呼吁社会关注水资源保护、
关注粮食安全。



十二月

T25 在日本、韩国、中国台湾
发布并开售。



十一月

大疆农业携 T50，T30，Mavic
3M 参与德国汉诺威展会，首
次亮相世界最大农机展之一
"Agritechnica"。



五月

大疆农业参与经合组织农业无人机
法规探讨会，与多国探讨农业无人
机的技术创新与管理。



四月

大疆农业在中国启动了 T50
和 T25 的飘移测试。





全球政策法规



2023 年 -2024 年，随着全球更多农业从业者使用农业无人机，各国政府的管理者也对农业无人机有了更深度的认知，并对管理方式做了进一步开放和支持，包括将农业无人机视作低风险航空器，将其作为农业器械提供补贴，以及类比地面器械提供农业用药指导。

中国法规助力农业无人机发展

1.《无人驾驶航空器暂行条例》发布

2023 年 6 月 28 日，《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（以下称《条例》）正式发布¹，这是中国首个专门针对无人机的法规。该《条例》从顶层设计上对无人机采取了分级分类的管理原则，并在“微、轻、小、中、大”五个类别以外，将农业无人机作为单独分类。对于农业无人机，《条例》相比较 2018 年版征求意见稿采用了更加开放的管理方式。

首先，在定义农业无人机时，《条例》第六十二条第（八）项：

“农用无人驾驶航空器，是指最大飞行真高不超过 30 米，最大平飞速度不超过 50 千米 / 小时，最大飞行半径不超过 2000 米，具备空域保持能力和可靠被监视能力，专门用于植保、播种、投饵等农林牧渔作业，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器。”



使用“农用无人驾驶航空器”，扩大了原“植保无人机”的定义范围。新的定义取消了对农业无人机设计上重量的限制，这为未来农业无人机的设计提供了更多的可能性。

其次，考虑到社会生产实际中，农业无人机多为 150kg 以下，所以保留了“常规作业”的使用范围，即 150kg 以下的农业无人机在运行上拥有更多的开放度。《条例》第十一条：

“使用最大起飞重量不超过 150 千克的农用无人驾驶航空器在农林牧渔区域上方的适飞空域内从事农林牧渔作业飞行活动（以下称常规农用无人驾驶航空器作业飞行活动），无需取得运营合格证。

取得运营合格证后从事经营性通用航空飞行活动，以及从事常规农用无人驾驶航空器作业飞行活动，无需取得通用航空经营许可证和运行合格证。”

在运行方面，农业无人机可以在“微、轻、小”无人机的适飞空域内，农林牧渔用地的上方飞行，也就意味着农业无人机的使用在大多数场景下不需要进行飞行活动的申请。这一点可以保障农业无人机的飞手在农忙季节及时作业。

最后，在执照管理方面，“常规作业”的农业无人机可以由厂家进行培训和颁证，这大大降低了农业无人机从业者的入门门槛，也更方便各个厂家为飞手提供专业的操作证书培训。

《条例》第十六条：“从事常规农用无人驾驶航空器作业飞行活动的人员无需取得操控员执照，但应当由农用无人驾驶航空器系统生产者按照国务院民用航空、农业农村主管部门规定的内容进行培训和考核，合格后取得操作证书。”

这些新的管理设计，给农业无人机未来的设计开放了更多可能性，也为应用场景开放了更多的可能性，体现了国家支持新质生产力发展，对农业管理“放管服”的工作原则。



2. 适航管理

适航是保障中型、大型无人驾驶航空器系统安全运行的前提。根据 AP-21-AA-2022-71《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》²，在民航局正式颁发型号合格证（TC）前，包括型号合格证申请和受理、产品熟悉性介绍、组建审查组、设计保证系统审查、确定审定基础、制定审定计划和符合性方法、制造符合性检查、符合性验证和确认、最终全面评审十个阶段。其中，符合性验证和确认是保证型号设计符合取证项目所确定的审定基础中各项适航条款的关键环节。

2020 年，大疆农业根据中国民用航空局（后简称 CAAC）规章和程序的要求，首次建立了适航管理体系，并通过了 CAAC 航空器适航审定司的审查，获得了 CAAC 颁发的体系能力清单。

2023 年，大疆农业根据 CAAC 规章和程序的最新要求，在原有的适航管理体系基础上，升级形成设计保证体系，并通过了 CAAC 中南地区管理局的审查，再次获得了局方颁发的体系能力清单。

自 2023 年 06 月起，大疆 6 个型号的农用无人驾驶航空器系统适航取证样机先后赴惠州、南京、河南、青海、四川等地，在局方的授权与监督下，按照局方批准的审定计划，顺利开展了飞行真高测

试、速度测试、最大飞行半径测试、重量重心测试、飞控与导航测试、抗风性能测试、4500m 高海拔测试、感知避障测试、夜间飞行测试、飞行包线限制验证、耐久性飞行等二十余项符合性飞行试验，及电池测试、静电放电抗扰测试、射频电场辐射抗扰测试、温度测试、运输振动测试、IP 防护测试、交变盐雾测试、农药化肥耐腐蚀测试等十余项实验室符合性验证试验及局方审查组检查和目击。

截止 2024 年 5 月，大疆 T20P、T25、T25P、T40、T50、T60 农用无人驾驶航空器系统所有符合性验证试验试飞活动均已完成，进入符合性总结与末次审查会前的准备阶段。审查期间，符合性试飞累计超 760 架次，飞行时长累计超 3000 小时，全面验证了这 6 款农用无人驾驶航空器系统的功能、性能及安全保障特性。



高海拔测试目击



高海拔测试现场

1. 见：https://www.gov.cn/zhengce/content/202306/content_6888799.htm

2. 见：http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/202302/t20230213_217212.html

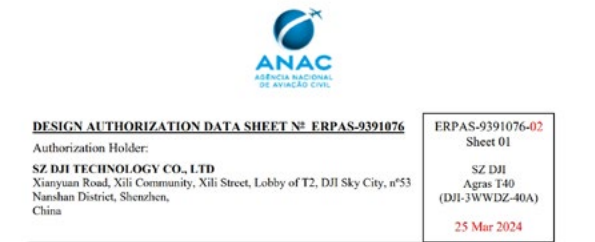
巴西法规支持农业无人机

1. 巴西取消强制性适航要求

2023 年之前，巴西的无人机法规要求 25kg 以上的无人机均进行强制性适航管理³，这一管理方式从流程开始到完成，每一个机型可能需要 2-3 年的时间。自 2022 年起，大疆就 T30、T40、T20P 三款机型向巴西民航局申请适航，2023 年 12 月，这几款机型获取适航，巴西民航局举办了线上颁证仪式。这是大疆的无人机产品在海外首次获得适航类证书，意味着大疆农业无人机型号设计与生产在巴西受到了官方的认可。⁴

Agência Nacional de Aviação Civil (Anac)					
O que você procura?					
Dr	Agras T20P	ERPAS- 9474852-03	25/03/2024	Classe 3	Operação VLOS ou EVLOS
Dr	Agras T30	ERPAS- 9429610-02	25/03/2024	Classe 3	Operação VLOS ou EVLOS
Dr	Agras T40	ERPAS- 9391076-02	25/03/2024	Classe 3	Operação VLOS ou EVLOS

T30、T40、T20P 三款机型获得巴西适航



T40 的适航证书

2023 年 4 月，ANAC 发布新的无人机管理法案，取消了对农业无人机的强制性适航要求，改为自愿性适航。当地的驾驶员仅需对农业无人机进行注册，获取执照，即可使用农业无人机。这一新规经过了当地局方充分的讨论，在立法讨论会上，管理方详细阐述了巴西农业的重要性以及多国无人机法规在农业无人机上的管理方式所带来的不同结果。这一决策最终给巴西农民带来了极大的便利，更多的农民选择无人机进行作业。

2. 巴西的农药使用

巴西作为一个航空强国，其传统航空器在农业上的应用也非常多。直升机、小型固定翼等都是当地的常用施药器械。在当地注册且标签上写明可用“航空器”施药的农药，也可适用于农业无人机。

3. 巴西民航局对无人机的分类，见：<https://www.gov.br/anac/en/topics/drones/classification-of-drones>

4. 见 <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/projetos-autorizados>

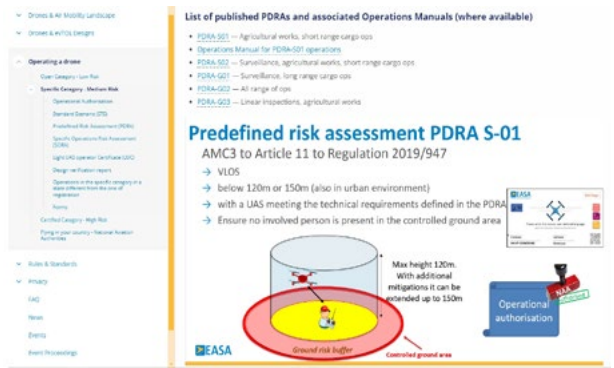
让农业更轻松，让生命更美好 | Better Growth, Better Life



欧洲

1. 民航类法规的调整

为了更好地应对不断增长的农业无人机作业申请需求，欧洲航空安全局（后简称 EASA）发布了一系列的 PDRA⁵（预定义风险评估），在 5 个 PDRA 中，有 4 个可以用于农业无人机作业的申请，用户可以通过不同的场景，选择不同模板进行申请。



EASA 发布的 4 个涉及农业的 PDRA

5. 见 <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/predefined-risk-assessment-pdra>

6. 见 <https://www.iso.org/standard/74600.html>

2. 国际标准的树立

2023 年，大疆农业参与 ISO 23117-1⁶ 国际标准的编制，该标准规范了小于 150kg 的无人机系统上的喷洒系统的设计和性能验证的要求和方法。建立该标准的目的是从设计和性能上，减少使用过程中潜在的环境污染风险。2023 年 6 月，该标准正式发布并被欧盟成员国采纳接受。2023 年 -2024 年，大疆 T50 和 T25 农业无人机相继在欧洲多国获取 ISO 23117-1 标准的检测认证。



国际标准组织 ISO 发布农业无人机检测标准

北美地区的运行豁免

1. 美国发布豁免清单

根据 FAA 的要求，如果符合 part137 的管辖范围，农业无人机喷药作业可以根据 44807 进行豁免申请。2023 年 -2024 年，美国的大疆用户陆续获取了 T30 和 T40 的运行豁免。

2024 年 2 月，FAA 发布了豁免机型清单列表。当地已经获取运行豁免，并且在其豁免授权书上标明“可使用所有被豁免机型”的用户，可直接使用清单列表上的机型。大疆农业 25kg 以上的农业无人机均在豁免清单。

List of Approved UAS under Section 44807

<p><i>Note: this list is for reference purposes only, and does not grant any Operator with authorization to operate any UAS on this list. Only Operators holding a valid grant of exemption under Section 44807 for specific UAS approved for use on their exemption may conduct operations with that UAS in compliance with the Conditions and Limitations of their Exemption.</i></p>			
Make	Model	Approved Maximum Take-Off Weight (MTOW), incl. Payload	Approved For Part 137 Agricultural Operations
DJI	Agras T16	92.6 lbs.	Approved
DJI	Agras T20P	127.86 lbs.	Approved
DJI	Agras T20	104.5 lbs.	Approved
DJI	Agras T30	171.96 lbs.	Approved
DJI	Agras T40	222.66 lbs.	Approved
DJI	Agras T50	227.07 lbs.	Approved
DJI	FlyCart 30*	209.73 lbs.	Approved

美国 FAA 豁免清单及大疆机型航

2. 加拿大交通部认可新机型

根据加拿大的法规要求，25kg 以上农业无人机的作业需要向加拿大交通部申请 SFOC 许可。2023-2024 年，加拿大有很多 T50 和 T25 用户成功获取 SFOC，在加拿大进行喷洒作业。



澳大利亚

1. 民航局发布对农业无人机的支持政策

2023 年 5 月，澳大利亚民航局在其官网发布了题为《无人机让农业飞速发展》的内容，⁷整理了农业无人机的管理方式，包括注册到资质获取、安全使用，以及喷药需要遵守当地药监局的管理提示。

澳大利亚民航局全流程的完整指导代表着对当地的农业无人机发展的认可。在该指南中，特别提及了在个人土地上使用的宽松管理，以及在按照安全指南操作的情况下，无需特别的授权：“只要您的农业运行能够按照标准操作条件进行，您就不需要局方的任何进一步批准或许可。”

同时，澳大利亚民航局给超视距运行、拓展视距运行、集群运行都开放了合规申请途径和运行指导。



2. 药监局对农业无人机的支持

澳大利亚药监局（APVMA）在 2023 年积极组织、参与了多个对农业无人机使用农药规范和飘移相关的会议，对当地用户使用农业无人机进行喷药做出了一定的指导。

国际组织活动

2023 年 5 月，OECD 在英国举办了关于农业无人机作业的研讨会，讨论了法规、无人机技术、飘移测试、最佳实践等多个方面的话题。来自 OECD 不同成员国的代表参与了会议，并分享不同国家的管理经验和未来的管理思路。

2023 年 8 月，联合国粮农组织亚太植物保护委员会（APPPC）在南京举办植保无人机施药技术培训班。APPPC 秘书处、中国农业农村部等单位的代表及授课专家，来自中国、印度尼西亚、老挝、马来西亚、尼泊尔、萨摩亚群岛、所罗门群岛、泰国、东帝汶、汤加共 10 个成员国的代表等近 40 人参加了培训班。



APPPC 培训班现场记录

7. <https://www.casa.gov.au/about-us/news-media-releases-and-speeches/drones-taking-agriculture-sky-high>



环境保护试验



2023 年，大疆在全球开展了飘移测试和药效测试，对于无人机的防飘设计和最佳实践进行进一步探索。

中国田间飘移测试

1.T50 飘移测试

1.1 材料与设备

设置三种雾滴收集装置（地面雾滴沉积收集器、地面飘移收集装置、空中飘移收集装置）用于评估雾滴在作业区域及作业下风向区域的分布情况。



地面雾滴沉积收集器: 为收集农业无人机作业区域的沉积分布，在 农业无人机的作业区域中布置 PVC 卡承托装置带收集沉积雾滴，使用 8*5cm² 的 PVC 卡片（以下简称小 PVC 卡）作为靶标区域的雾滴收集装置，沉积雾滴收集带垂直于无人机飞行方向，沉积收集区宽度 22.5m（3 个喷幅），每组从上风向到下风向边缘共 15 个点，间隔 1.5m，共 3 组，45 个点，使用过程中保证 PVC 卡平面平行于地面。

地面飘移沉积收集装置：为收集农业无人机在下风向地面飘移分布，在农业无人机喷幅边缘下风向 3、5、10、15、20、30、40、50、75、100m 处布置 10 张尺寸为 12*12cm² 的 PVC 卡片（以下简称大 PVC 卡），将卡片固定在距地高 10cm 的 u 型铝槽上。地面飘移沉积收集装置处于同一直线上并平行于无人机航线，各采样位点间隔 1m，每组测试共 100 张 PVC 卡片。

空中飘移收集装置：为收集下风向的空中飘移雾滴，在喷幅边缘下风向 5m、20m、50m、100m 处放置 3 组自行搭建的 3 m×2.0 m 的空中飘移收集框架，框架上自距离地面 0.5m 处起，每距离 50cm 布置 1 根长度为 2m 直径为 1.98 mm 的聚四氟乙烯线，直至 3m 处，每组测试共 72 根。聚四氟乙烯线两端用夹子固定至竖直框架上，并绷直以保证无弯曲。各雾滴收集器装置如图所示。

参试无人机：使用大疆 T50 农业无人机进行本次试验，主要技术参数：旋翼 8 个，外形尺寸：2800mm×3085mm×820mm（机臂展开，桨叶展开），搭载 LX8060SZ 离心喷头 2 个。

试喷杆喷雾机: 型号: 3wpz-1500, 药箱容积: 1500L; 喷杆长度: 21m; 喷头型号 × 喷头数量: ST11004×43 个,喷头间距 0.5m; 喷杆高度: 1.2m; 喷雾压力: 3-4bar; 喷头实测流量: 1.65-1.96 l/min; 行驶速度: 10km/h; 施药量: 214-241 l/ha。

气象站：采用 YG-BX 型便携式田间气象站记录室外飘移试验期间全程风速、风向、温度、湿度，频率 0.2Hz。

荧光仪：日立 F-2700 型荧光分光光度计。其余设备还包括：瓶口分液器、脱色摇床等。

参试无人机：使用大疆 T50 农业无人机进行本次试验，主要技术参数: 旋翼 8 个，外形尺寸: 2800mm×3085mm×820mm(机臂展开，桨叶展开)，搭载 LX8060SZ 离心喷头 2 个。

参试喷杆喷雾机：型号: 3wpz-1500, 药箱容积: 1500L; 喷杆长度: 21m; 喷头型号 × 喷头数量: ST11004×43 个，喷头间距: 0.5m; 喷杆高度: 1.2m; 喷雾压力: 3-4bar; 喷头实测流量: 1.65-1.96 l/min; 行驶速度: 10km/h; 施药量: 214-241 l/ha。

气象站：采用 YG-BX 型便携式田间气象站记录室外飘移试验期间全程风速、风向、温度、湿度，频率 0.2Hz。

荧光仪：日立 F-2700 型荧光分光光度计。其余设备还包括：瓶口分液器、脱色摇床等



雾滴地面飘移沉积收集器



雾滴空中飘移沉积收集器

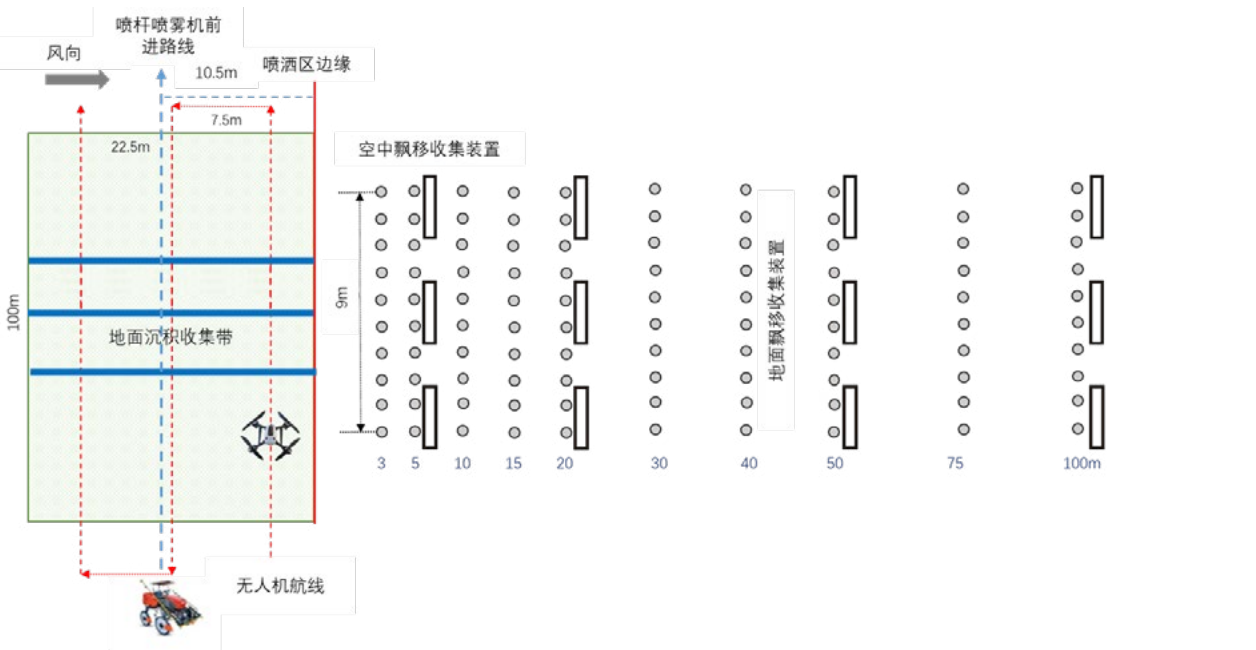


靶标区域雾滴沉积收集器

1.2 试验场地布置

试验场地布置上，飘移测试装置完全垂直于航线，测试过程中开启气象站采集风速和风向。当风速、风向达到要求并且稳定时，通知操控手进行起飞前准备，将配置浓度为 1g/L 的 ABF 荧光示踪剂与 OP-10 非离子表面活性剂浓度均为 0.1% 的模拟药液加入药液箱，在各收集装置上布置收集器。无人机共飞行三个航线，航线间隔 7.5m，使用自动飞行模式，调用已经设定好的航线进行作业，试验参数设置如表 1 所示，每个处理进行 6 次重复，确保 54 次有效测试。试验可承受自然侧风参数为：风速范围 1-5m/s，风向垂直于航线 ± 30°。试验完成后收集样品避光保存，运送至实验室进行后续检测，每组试验完成后收集不少于 10ml 母液于 50ml 离心管中用于分析沉积量。

每次试验结束后，立即将所有样品（大 PVC 卡片、小 PVC 卡片、聚四氟乙烯线、母液取样瓶）避光保存，小 PVC 卡、大 PVC 卡、聚四氟乙烯线分别收集保存在规格为 8cm×4cm，16cm×14cm，18 cm×12cm 的塑料自封袋中，全天试验结束后将当天获取的样品运输至实验室避光、阴凉处储存，随后对样品进行处理和测定。处理样品时，装有大 PVC 卡的自封袋中加入 20 mL 去离子水，于振荡器上在 200 r/min 的频率下振荡洗脱 5 min；装有小 PVC 卡的自封袋中加入 30mL 去离子水，振荡洗脱 10 min；装有聚四氟乙烯线的自封袋中加入 30 mL 去离子水，排出气泡后置于脱色摇床上震荡 10min，期间使样品翻面，保证去离子水完全浸润聚四氟乙烯线。最后将各类样品洗脱液依次使用荧光仪测量并记录荧光值。



雾滴沉积及飘移测试场地布置示意图

1.3 试验记录

试验期间环境温度位于 19-31℃之间，平均湿度 22-69%。在 54 组试验重复中，试验期间风速不符合试验标准的重复有 T2 重复 4、T3 重复 5、T4 重复 1、T7 重复 4、T8 重复 4，风向合格率低于 70% 的重复有 T6 重复 3 及重复 4、T7 重复、T9 重复 3，其余试验组均满足 ISO22866 中对于环境风速的要求。

1.4 结论

a. 该型号农业无人机喷雾所产生的地面雾滴飘移与采样距离成指数相关，地面飘移沉积主要存在于下风向 0-30m 范围内。而空中飘移雾滴在下风向距离 0-5m 范围内空中飘移率随高度增加而减小，下风向 20m 距离后，飘移雾滴分布与水平高度无明显相关性，飘移雾滴在垂直方向上已形成均匀的分散体系，该体系在向下风向运动的过程中有少部分雾滴沉降在地面。

b. 植保无人机地面飘移与飞行速度呈正相关关系，降低飞行速度能有效减少植保无人机地面飘移风险。若有效减少空中飘移风险，需将无人机飞行速度控制在 4m/s 及以下速度。

c. 农业无人机地面飘移沉积水平随飞行高度先增大后减小，空中飘移水平则随飞行高度升高而增大。3m 及以下飞行高度内，增加飞行高度会导致地面飘移增大，而 3m 以上高度，增加飞行高度会导致空中飘移雾滴比率升高，导致不可预测的飘移风险。



d. 农业无人机下风向距离 0-15m 地面飘移沉积与雾滴粒径成正比关系，雾滴粒径越大，近距离处的地面飘移风险越高。而下风向 20m 距离后地面飘移沉积与雾滴粒径成负相关关系，空中飘移风险则在 0-100m 下风向距离内均与雾滴粒径大小成负相关关系。100 μm 细雾滴处理在远距离的飘移沉降风险与空中飘移风险高于其余不同类型飞行参数处理。

e. 农业无人机降低飞行高度至 1.5m 或使用 Dv50 为 500 μm 的粗雾滴作业参数进行喷洒可有效减少雾滴飘移并增加地面雾滴沉积。使用高飘移风险作业参数处理：7m/s 飞行速度、4m 飞行高度、100 μm 雾滴粒径进行喷洒作业存在较高空中飘移与地面飘移风险，该参数下的平均飘移水平远高于喷杆喷雾机，而使用低飘移风险作业参数 4m/s 飞行速度、1.5m 飞行高度、500 μm 雾滴粒径可有效减少空中飘移风险，这些作业参数产生的雾滴飘移水平在远距离处与喷杆喷雾机相当。



让农业更轻松，让生命更美好 | Better Growth，Better Life

2. T25 田间测试

本次测试目的为明确不同影响因子下农业无人机 T25 喷雾飘移规律，以期指导植保无人飞机安全、高效地开展植保作业，保障非靶标生物与环境安全。

2.1 材料与方法



试验地点：
中国农业科学院植物保护研究所新乡示范基地



试验试剂及药剂为示踪剂：
罗丹明 B



洗脱剂：
95% 无水乙醇

试验仪器及材料

施药机械

植保无人飞机：T25（深圳市大疆创新科技有限公司），详细参数如下：

型号	喷头类型	喷头数量（个）	飞行速度（m/s）	飞行高度（m）	试药液量（L/m ² ）	雾滴粒径（μm）
T25	LX8060SZ	2	3/5/7	2/3/4	30	100/250/420



试验仪器有风速仪、温湿度仪、滤纸、标签纸、麦拉片、订书机、50 m 卷尺、自封袋、手套、口罩、剪刀、注射器、移液枪、0.22 μm 水系过滤膜、Varioskan Flash 多功能酶标仪(美国 Thermo 公司)、扫描仪(上海中晶科技有限公司)、YG-BX 气象站、Depositscan 软件等。

试验在中国农业科学院植物保护研究所新乡示范基地试验田中开展,农田地形平坦且四周空旷无遮挡。根据田间实际作业经验及前期研究结果,飞行速度选择 3 m/s、5 m/s 和 7 m/s,飞行高度选择 2.0 m、3.0 m 和 4.0 m,设置其雾滴粒径 100 μm 、250 μm 与 420 μm ,每种参数组合测定 2 种不同侧风速度下多旋翼植保无人机喷雾的雾滴沉积及飘移情况,具体试验处理见下表。

风速在 1.5-3.4 m/s 的详细处理

处理	飞行高度（m）	飞行速度（m/s）	雾滴粒径（μm）
1	2	3	100
2			250
3			420
4		5	100
5			250
6			420
7		7	100
8			250
9			420
10	3	3	100
11			250
12			420
13		5	100
14			250
15			420
16		7	100
17			250
18			420
19	4	3	100
20			250
21			420
22		5	100
23			250
24			420
25		7	100
26			250
27			420

风速在 1.5-5.4 m/s 的详细处理

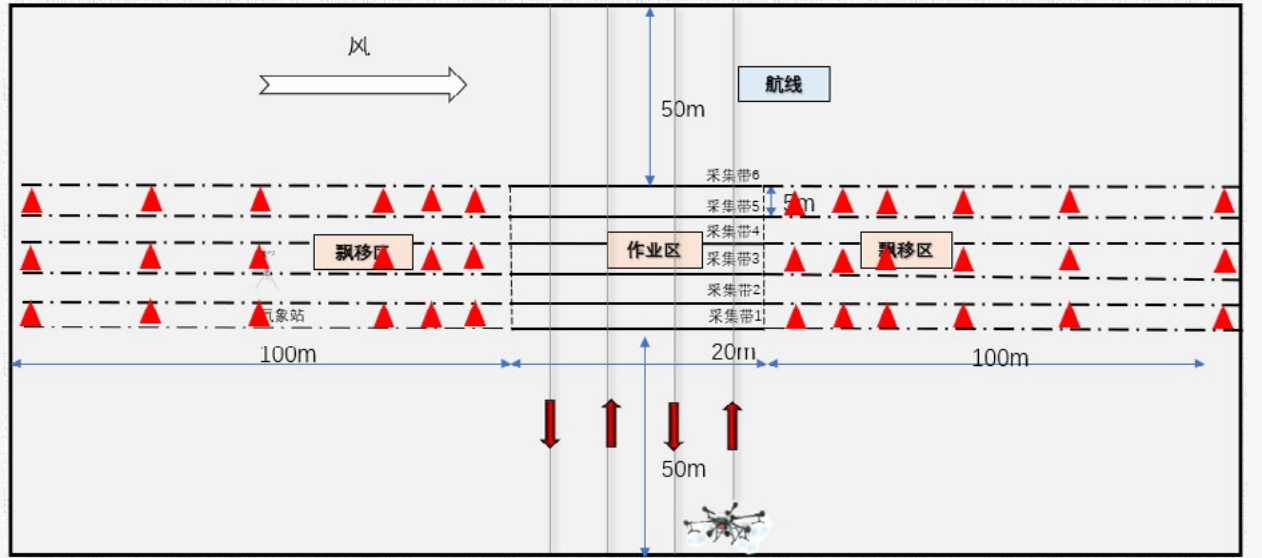
处理	飞行高度（m）	飞行速度（m/s）	雾滴粒径（μm）
28	2	3	100
29			250
30			420
31		5	100
32			250
33			420
34	4	3	100
35			250
36			420
37		5	100
38			250
39			420

为最大范围减少试验人员以及单个采集装置间的交叉污染问题, 试验在 $200\text{ m} \times 125\text{ m}$ (长 \times 宽) 的区域中开展, 采样区域共布置 6 条采样带, 每条采样带之间间隔 5 m , 第一条和最后一条采样带分别距离测试区域边缘 50 m 。采样区域包括作业区 $0\sim 20\text{ m}$ 及下风向地面飘移区 $0\sim 100\text{ m}$ 及下风向空中飘移区 $0\sim 100\text{ m}$ 。植保无人机飞机飘移规律测定作业场景与雾滴采集区如图 1 所示。参照国家标准《植物保护机械 喷雾飘移的田间测试方法 (GB/T24681-2009)》, 在尽可能保证采样结果的精确度的条件下, 采样点的设置为: 从下风向作业区边缘开始在 5 、 10 、 15 、 20 、 25 、 30 、 35 、 40 、 45 、 50 、 60 、 70 、 80 、 90 和 100 m 布置雾滴采集装置; 雾滴采集装置由麦拉片为底部支撑, 将雾滴测试卡与直径为 9 cm 滤纸固定于麦拉片上, 并将采样装置置于距地面 1 m 的位置, 如图 2 所示。

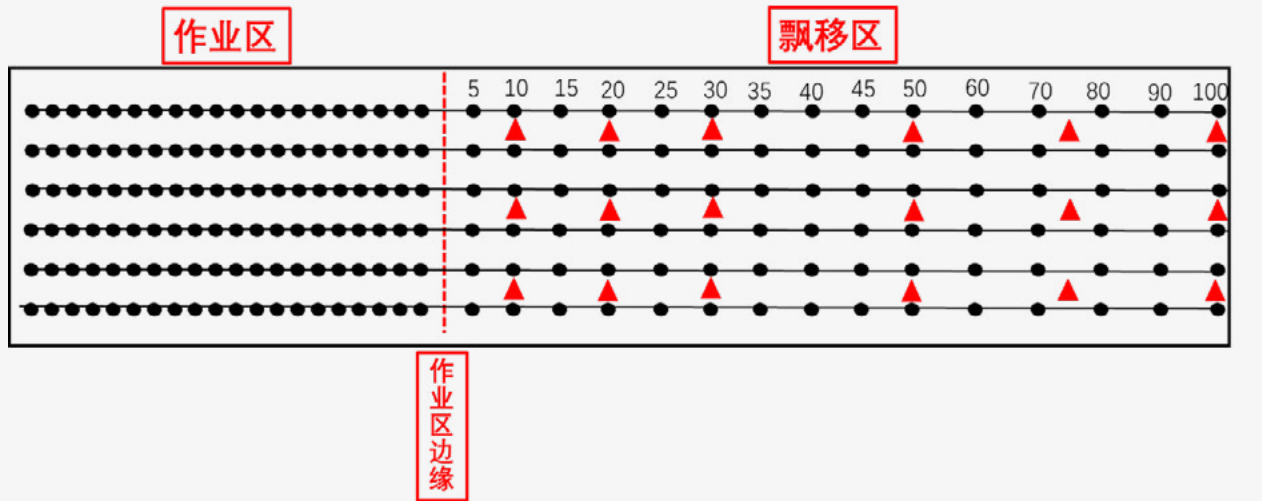
在作业区下风向边缘 10、20、30、50、75 和 100 m 处,距地面 1、2、3 和 4 m 的位置分别放置空中雾滴采集装置(由一根长 5 m 的伸缩尺子和直径 5 mm,长度 5 cm 的不锈钢金属棒构成,如图所示,以收集飘移在空气中的雾滴;喷雾结束后等待 5~10 min,确认滤纸上的雾滴全部晾干后按顺序分别装入 6# 自封袋中,并将样品在避光、阴凉条件下保存,随后对样品进行处理和测定。

植保无人机设置为多喷幅 ($n=4$) 自主作业模式, 飞机航线长 125 m, 以保证植保无人机在采样带区域保持匀速飞行。试验前配制 5 g/L 的罗丹明 B 水溶液, 将配置好的罗丹明 B 水溶液加入药箱中, 确保植保无人飞机载药量为半载状态。试验前检查无人飞机喷头作业状态并校准其流量。

待风向达到要求并稳定后,一键起飞植保无人机进行自动喷洒,利用飞机自带的 RTK 确保航线准确,喷洒结束后从上风向高空绕回起飞点,每次喷雾结束后使用深色离心管收集喷雾母液以明确实际喷雾过程中溶液浓度变化情况。



作业场景与雾滴采集区示意图



采集带布置实况（图中数字代表采样点距离作业区边缘的距离）



作业场景与雾滴采集区实景图

2.2 记录与分析

试验中使用 YG-BX 气象站监测植保无人飞机从开启喷洒到停止作业整个过程的气象参数，气象站放置在上风向 50m 处，气象信息采集时间间隔为 1 s，储存时间间隔为 1 min，每次试验记录全过程的平均风速、风向、相对湿度及温度。

室内条件下，利用分析天平准确称量示踪剂罗丹明 B 0.0500 g（精确至 0.0001 g），并用 100 mL 蒸馏水溶解、定容，即得到浓度为 500 mg/L 的罗丹明 B 标准母液，应用梯度稀释法，逐梯稀释为 5、2、1、0.5、0.2、0.1、0.05、0.01 和 0.005 mg/L 的罗丹明 B 标准溶液，然后使用酶标板于激发波长 553 nm 和发射波长 578 nm 的条件下测定荧光值，最终建立以罗丹明 B 浓度为自变量，荧光值为因变量的标准曲线。为了消除多功能酶标仪等综合因素所产生的误差，在每个酶标板上滴加提前配置好的罗丹明 B 的标准梯度溶液，并以此酶标板上所测定的罗丹明标准曲线进行测试样品浓度的计算。

向装有采样滤纸的自封袋中加入 5mL 无水乙醇，浸泡 10 min 至荧光剂洗脱完全，使用 0.22 μm 水系滤膜的注射器进行过滤处理，处理后的溶液用 Varioskan Flash 多功能酶标仪测定样品洗脱液的荧光值，仪器参数设置为：激发波长 553 nm，接收波长为 576nm。

试验采集的雾滴测试卡，用扫描仪逐一扫描，将扫描后的图像经过图像处理软件 DepositScan 进行分析，得到不同采样点的雾滴密度。

试验数据应用 Microsoft Office 2019 软件进行整理与分析，应用 DPS 和 SPSS Statistics 23 进行差异显著性与相关性分析，应用 OriginPro2022 学习版进行数据分析和作图。依据 ISO 24253-1 和 ISO 22866 标准，对所得数据进行进一步处理。

除此之外，为进一步细化雾滴飘移真实情况，根据飘移区采样点所测得的雾滴密度与沉积量结果拟合飘移曲线，通过飘移曲线推测飘移距离 X；并通过试验过程中所测的沉积量进行实际飘移距离的确定。

2.3 结论

本试验针对多旋翼农业无人飞机 T25 开展其喷雾飘移规律研究，在农业作业场景模拟条件下，研究不同作业参数、环境气象条件下喷雾雾滴沉积与飘移情况，结果表明：

1）侧风风速对雾滴飘移的影响：对于农业无人飞机 T25，侧风风速是影响喷雾雾滴在作业区的沉积率与飘移区累计飘移量与 90% 累计飘移距离以及飘移距离的最主要因素。当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 时，农业无人飞机 T25 在多喷幅作业状态下，喷雾雾滴会向作业区下风向偏移 0~5 m；当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，农业无人飞机 T25 在多喷幅作业状态下，喷雾雾滴会向作业区下风向偏移 2~10 m。侧风风速越大，喷雾雾滴在地面飘移区的累计飘移率越高，飘移距离越远，侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时的雾滴飘移量是侧风风速在 1.5~3.4 m/s 时的雾滴飘移量的 1.94 倍 ~12.11 倍。为降低农业无人飞机的飘移量并保证作业区雾滴沉积率，建议农业无人飞机 T25 在侧风风速小于 3.4 m/s（三级风）条件下进行作业。

2）飞行高度对雾滴飘移的影响：当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 时，飞行高度为 2 m、3 m 和 4 m 时，喷雾雾滴在飘移区的累计飘移率和 90% 累计飘移距离随飞行高度的增加而增加；当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，喷雾雾滴在作业区的沉积率随作业高度的增加呈降低趋势，其在作业区的分布均匀性也降低，同时飞行高度越高，地面和空中飘移区的累计飘移率越高。建议在侧风风速高于三级风（3.4 m/s）时，尽量降低飞行高度以减小喷雾飘移。当侧风风速在 1.5~3.4 m/s，飞行高度由 4 m 降低到 3 m，累计飘移率可降低 66.88%，飞行高度由 3 m 降低到 2 m，累计飘移率可降低 55.25%，若飞行高度由 4 m 降低到 2 m，累计飘移率可降低 85.18%；当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，飞行高度由 4 m 降低到 2 m 时，累计飘移率可降低 58.32%。



3）飞行速度对雾滴飘移的影响：当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 时，飞行速度为 3 m/s 时，作业区雾滴沉积率显著高于飞行速度为 5 m/s 和 7 m/s 时作业区雾滴沉积率，同时飘移区雾滴沉积率随飞行速度的增加而增加，故当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 时，建议设置飞行速度为 3 m/s 以减小喷雾飘移。当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，随飞行速度的降低，作业区雾滴沉积率增加，飘移区雾滴累计飘移率降低，但飘移区累计飘移率仍达到 25% 以上，故不建议植保无人飞机 T25 在侧风风速为 3.4~5.4 m/s 时进行作业。

4）雾滴粒径对飘移的影响：试验选择雾滴粒径分别为 100、250、420 μm，在此三种雾滴粒径下，当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 及当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，雾滴粒径与喷雾雾滴在作业区沉积率呈正相关关系，即雾滴粒径越大，在作业区的沉积率越高。当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 及当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，雾滴粒径与喷雾雾滴在飘移区的累计飘移率、90% 飘移距离和飘移距离呈负相关关系，即雾滴粒径越大，累计飘移率越低，90% 累计飘移距离和飘移距离越近，说明植保无人飞机 T25 在多喷幅作业状态下进行作业时，通过增大雾滴粒径可以增加作业区雾滴沉积率并降低飘移区累计飘移率及缩短飘移距离。

5）90% 累计飘移距离即安全距离的划定：当侧风风速在 1.5~3.4 m/s 时，植保无人飞机 T25 作业时，喷雾雾滴 90% 累计飘移距离为 10.30~26.52 m 之间；当侧风风速在 3.4~5.4 m/s 时，植保无人飞机 T25 作业时，喷雾雾滴 90% 累计飘移距离下风向 9.57~32.37 m 之间。故植保无人飞机 T25 在侧风风速为 1.5~3.4 m/s 进行作业时，应至少预留 27 m 的安全缓冲距离；在侧风风速为 3.4~5.4 m/s 进行作业时，应至少预留 35 m 的安全缓冲距离。



海外田间飘移测试

1. 澳大利亚 T40、T50 飘移测试

2023 年 7 月，大疆农业与澳大利亚昆士兰大学共同开展了 T40 和 T50 的飘移测试，对这两款机型的喷头设计和防飘技术进行验证。

此次飘移测试包括 2 个部分，第一个部分是在田间测试，测试方法根据 ISO22866 进行，在裸地上铺设雾滴采集装置，T40 和 T50 分别进行喷洒和雾滴采集。第二个部分是对 T40 和 T50 的雾滴粒径进行测试，在昆士兰大学的风洞进行。



T40 澳大利亚飘移测试

根据测试，T40、T50 的喷头均符合当地的法规要求，雾滴粒径的设计范围可以满足防飘的要求。



地面雾滴收集装置

2. 匈牙利 T50 飘移测试

2023 年 10 月，大疆农业在匈牙利开启 T50 的飘移测试，这是 T50 首次在欧洲进行飘移测试。

测试严格按照 ISO 22866 的国际标准，选取 200m*150m 的场地，在沉积区、飘移区分别放置雾滴采集装置。



匈牙利飘移测试地面雾滴采集装置

匈牙利的无人机使用在法规上有风速限制的要求，因此，不同于其他地区所做的飘移测试，匈牙利的飘移测试每一组都要求风速 4m/s 以下。在此次测试中，主要验证了雾滴粒径 300μm、500μm 的抗飘移性能，以及不同飞行高度和速度对于飘移的影响。



匈牙利飘移测试布置现场



飘移测试现场记录

截至 2024 年 5 月，匈牙利的飘移测试数据仍然在进一步分析之中。未来，DJI 将会有更多的测试在全球展开，并与整个行业共同探讨无人机的抗飘移设计和验证。



新场景应用分享



农业无人机的应用，是新质生产力“创新驱动，绿色低碳”的探索实践。每一年，都有新的应用场景涌现，这些场景或是改善农业生产，或是解决人们的生活困境，值得分享给每一位农业无人机的从业者。

喷洒案例

1. 沃柑全流程作业

沃柑作为人们喜爱的水果，在我国主要分布在南部地区。沃柑的全流程管理，从促花芽分化、清园、摇花、杀虫、涂白，已可以全部由农业无人机进行。

1.1 促花芽分化

促花芽分化管理是柑橘植保管理中非常重要的一个环节，管理的好与坏直接影响下一年的挂果量。由于此时沃柑采摘还未结束，树体上还挂着大量的成熟果，同时也是秋梢老熟、冬梢萌发之际，树体营养消耗较大，在确定作业时机时，需要丰富的管理经验才能决定在最合适的时机进行第一次促花芽分化作业。

广西沃柑每年会有 2-3 次的促花芽分化管理，第一次促花芽分化时间一般在 11 月中下旬开始，即末级秋梢自剪到老熟前，遇到低温后促花芽分化效果更佳；第二次促花芽分化时间是第一次促花芽分化用药 20 天左右，即末级秋梢将近成熟时期；如果遇到极端天气，比如雨水多或降冻雨等时，才会有第三次促花芽分化。

根据果树不同的长势，作业技巧可以分为以下 2 种不同的技巧：



长势较强果树的配药方案

配药方案			
有效成分	剂型	亩用量	作用
25% 多效唑	悬浮剂	350 毫升 / 亩	控旺
氨基酸	水剂	150 克 / 亩	提升抗逆
磷酸二氢钾	晶体	200 克 / 亩	补充营养
液硼 + 液锌	水剂	150 克 / 亩	微量元素

a. 对于树势较强的果树，为了防止抽冬梢，需要加多效唑抑制其生长

树体较弱的果树配药方案

配药方案			
有效成分	剂型	亩用量	作用
10%S- 诱抗素	可溶粉剂	8 克 / 亩	平衡代谢
氨基酸	水剂	150 克 / 亩	提升抗逆
磷酸二氢钾	晶体	200 克 / 亩	补充营养
液硼 + 液锌	水剂	150 克 / 亩	微量元素

b. 挂果比较多，树体较弱的树，促花芽分化用药不需要加多效唑。

对于具体的作业参数，如下表所示：

作业参数			
机型	T50	航线类型	区域航线
飞行速度	2 米 / 秒	作业高度	4 米
作业行距	4 米	亩用量	10 升 / 亩
雾滴粒径	细		

20 天后，检查壮旺树体的第一次促花芽分化的效果，末级秋梢基本老熟，也没有抽冬梢，说明我们第一次促花芽分化效果比较好，这次只需要按惯例进行第二次促花芽分化施药即可。



施药后 20 天秋梢老熟

第二次作业配药方案

有效成分	剂型	亩用量	作用
2% 苄氨基嘌呤	可溶粉剂	180 克 / 亩	延缓作业
海藻	水剂	100 克 / 亩	中微量肥
磷酸二氢钾	晶体	200 克 / 亩	补充营养
液硼 + 液锌	水剂	100 克 / 亩	微量元素

1.2 清园作业

广西沃柑成熟采摘后，需要对果园进行 1~2 次的清园，那什么是清园呢？通俗来讲，清园就是在果实成熟后，将残枝落叶、落果清出果园，并对果园喷施灭杀越冬虫卵和病原物的农药，是对果园物理和化学的一次彻底大扫除。



清园前的果树状况

清园的主要环节有修剪，清出残枝落叶、落果，喷施清园药剂三步，主要目的是：

- 1、修剪，将枯枝、病枝、交叉枝、重叠枝以及重复直立枝等剪掉增加果树通透性，让阳光能更多地照进果树内堂，同时也方便无人机的垂直施药；
- 2、将果园里残枝落叶落果等清除果园后集中深埋或焚烧，防止残留在上面的越冬虫卵和病原物再次侵染果树，减少来年病虫害防控压力；
- 3、喷施清园药，清除果树上越冬虫卵和病原物，同时防治修剪伤口感染。

作业环境			
果树情况		天气情况	
树高	2 米	当日天气	阴天
树冠直径	2 米	风力	2 级
生长期	成熟采果期	温度	15℃
植保管理	清园	湿度	80%
作业参数			
作业机型	T50	航线类型	区域航线
飞行速度	2 米 / 秒	作业高度	3.5-4 米
亩用量	15 升 / 亩	作业行距	4.5 米
雾滴粒径	细	流速	/

清园作业参数

第一次清园：

用药方案：45% 晶体石硫合剂（50 倍）+ 噻螨酮（150 倍）

作业参数：亩用量 15L/ 亩（流速 12L/min），2 米 / 秒，高度 4 米

气温条件：无风或微风、最佳温度 15-25℃

第二次清园：

间隔 10-15 天左右，临近花芽前 3-5 天

用药方案：矿物油（20 倍）+73% 炔螨特（200 倍）

作业参数：亩用量 15L/ 亩（流速 12L/min），2 米 / 秒，高度 4 米

气温条件：无风或微风、最佳温度 20-25℃

1.3 摇花保果作业

摇花保果的时间一般在 3 月份，从南到北温度不同、花期不同，依次呈现谢花期 - 盛花期 - 始花期。往常，沃柑在谢花达到 50% 时，需要根据天气情况需要摇花一次，但通常因为人力不足，果农会选择在谢花达到 70%-80% 时打药并预防灰霉病，如果遇到阴雨天气更是需要人工紧急摇花。但由于人工摇花耗时耗力，也不一定能及时摇干净谢花，对于后期的灰霉病的预防增加了管理成本。如果使用农业无人机，果农在谢花期会选择摇花 1 至 2 次，期间兼治蓟马、红蜘蛛，同时也可节省防治灰霉病的农药和人力成本。由于柑橘灰霉病是果实膨大后花皮果的主要原因之一，所以通过无人机前期摇花也可提高成熟期果品外观，提高收益。通过对人工摇花和无人机摇花效果的对比，无人机摇花不仅效率远高于人工，而且摇花效果与人工相当或更好，因为无人机的大风场，粘在叶片上的花瓣也能被吹落，反而人工摇花很难将粘在叶片上的花瓣摇落。



1.4 沃柑红蜘蛛防治

1) 农业无人机调试要求

为了达到更好的防治效果，使用 M3M 果园航测并重建三维图，规划果园三维航线，并验证航线稳定安全；对 T50 进行喷洒流量校准，确保精度达标、控制稳定。

红蜘蛛防治作业参数			
机型	T50 4 喷头果树套装	航线类型	果树三维航线－区域航线
飞行速度	1.5 米 / 秒	作业高度	4 米
作业行距	4 米	亩用量	20 升 / 亩
雾滴粒径	80 微米		

1.5 涂白防晒

每年盛夏来临之际，日照时间越来越长、气温也随之持续升高。另外，今年厄尔尼诺现象回归，预计各地将出现比往年更热的仲夏，除了人类自身比较难受外，我们的农作物一样将遭受世上最热的夏天。充满智慧的果农，无时无刻在想方设法为自家果园进行防晒处理，有的会搭防晒网、有的会涂一层防晒膜，在综合考虑成本之后，大部分果农将选择涂防晒膜，也就是涂白。

由于沃柑涂白的窗口期较短，一到高温来临之际，所有果园都会开始涂白作业，如果不能及时防晒，将导致太阳果增多，大大降低产量和沃柑品质，所以在当地会出现短暂的用工荒问题。

作业环境			
果树情况		天气情况	
树高	2-2.5 米	当日天气	晴天
树冠直径	2 米	风力	≤1 级
生长期	果树膨大期	温度	32℃
植保管理	涂白防晒	湿度	90%
作业参数（“井”字型航线）			
作业机型	T50（4 喷）	航线类型	区域航线
飞行速度	2 米 / 秒	作业高度	5 米
亩用量	30 升 / 亩	作业行距	4 米
雾滴粒径	320 微米	流速	/

涂白，简单来讲就是给果树喷涂一层白色防晒的药膜，不仅能防晒避免太阳果，而且还能在一定程度上降低病虫害危害，同时也对膨大期的果实转色有很好的作用，让转色更均匀、果品更好。



涂白效果（亩用量：30L/亩）

守护红松天然林

红松在东北地区是十分珍贵的木材树种、经济树种，还是水土保持重要组成部分，红松可以说浑身是个宝，首先树干是名贵家具的重要原料，它的松针可提炼松针油，松根可提炼松香等工业原料。其次红松籽仁是可食用的天然绿色食品，它含有丰富的脂肪酸、蛋白质以及多种维生素。在中国约有 3000 万公顷天然红松林，在红松籽重要产地 - 敦化市，跟随 T60 农业无人机作业过的轨迹进入这片神秘的原始森林。



红松天然林呈零星分布（带红圈标记为红松）

红松在自然生长过程中，不可避免会遭到各种病虫害的侵蚀，常见的病害有立枯病、烂皮病、斑点病，松林线虫病，其中松林线虫病更是松树的“癌症”，一旦发现就会出现大面积的死亡，只能通过大面积砍伐烧毁才能遏制传播。红松虫害有松毛虫，松褐天牛、松梢象甲，红松球蚜，松梢螟等，由于天然红松林树高达 30 米，而松塔则生长在 30 米高树冠的位置，传统人工防治是人工施放苦参碱烟剂使烟雾在林间弥漫停留对红松果虫害进行熏杀，还有使用大型固定翼飞机喷洒药液防治，但防治难度大且成本较高。



红松树被病虫害侵蚀枯萎（灰白色为枯萎红松）



T60 作业天然林红松

近年来红松塔的价格节节攀升，首先是红松籽产量低，单个红松塔约 400 克 -600 克，需要 3 个以上的红松塔才能产 500 克的红松籽，而红松塔一般又是“三年一小收，五年一大收”遇到红松塔小年价格自然就水涨船高了，其次红松塔都是生长在树冠的顶部，采摘难度非常大。而随着农业无人机的运用普及，红松天然林、人工林病虫害防治难度也在逐步降低，这也就吸引越来越多的承包户有底气去承包红松天然林。

使用 T60 农业无人机给红松林防治病虫害，用户普遍使用十字准星在遥控器上圈地，大田航线模式下开启全向避障功能，作业场景选择山地 / 果树模式，开启定高、绕行功能。由于红松属于常绿乔木树种，针叶 5 针一束，飞机在相对树冠高度 10-15 米处雾化喷洒也能很好的覆盖到树冠顶部的红松果，既能保证红松作业效果也能提升作业效率，需要注意的是红松天然林树杆较高，容易对遥控器信号遮挡，需要确保遥控器在制高点且平坦开阔地，也可选择在山与山之间的沟壑平坦开阔处起降或者使用 4G 增强图传功能作业。



大疆 T60 作业场地选择

我们以 T60 作业为例，具体的作业参数如下表所示：

作业机型	T60 农业无人机	飞行速度	6-7 米 / 秒
相对树冠高度	10-15 米	作业行距	7 米
亩用量	2 升 / 亩	雾滴粒径	150 微米

T60 红松天然林作业参数表

如今农业无人机在红松树上作业效果也已得到初步有效验证，农业无人机不仅可以帮助红松天然林防治病虫害而且配合丰果类药剂还可实现增收。据敦化市 T50 农业无人机用户反馈，在使用农业无人机对红松病虫害防治后，相比之前不防治能增收 15% 以上。以未进行防治的红松塔为例重量在 250 克左右，而使用无人机病虫害防治配合丰果类药剂后，红松塔平均重量达 400 克，这丰收数据的背后是对红松林的守护不被病虫害侵蚀，更是对农业科技腾飞的见证。

红松塔一般于 9 月初至 10 月上旬成熟，进入成熟期后便可采摘。目前采摘方式主要有人工爬树采摘、氢气球采摘。人工采摘方式是将底部带铁钉的特制工具穿绑在脚上，爬树的时候将铁钉扎入树干借力一步一步爬到树顶然后再用长杆铁钩采摘，由于人工爬树采摘基本没有防护措施，容易发生意外跌落，危险系数较高。而氢气球采摘则是在氢气球吊篮里通过长杆铁钩采摘，下面由其他人拉住绳子控制氢气球，但氢气球受天气影响较明显，大风天气氢气球容易吹走。所以红松果采摘一直是行业的难题，随着农业无人机运用日渐成熟，无人机运用已涉及到农田测绘、作物长势分析、稻麦测产分析、精准变量喷洒、播撒等等，未来无人机是否可通过图像识别出成熟松塔，协助人们进行红松塔的采摘，仍然是值得去期待实现的。

茶小绿叶蝉

湄潭县是贵州茶叶第一县，种植面积 60 余万亩，被誉为“中国名茶之乡”，贵州省最大的茶叶基地。

茶树病虫害的防治是茶园田间管理的关键技术，目前茶树上主要病虫害有炭疽病、茶小绿叶蝉、灰茶尺蠖和螨类等，通常采用人工背负式喷雾器进行防治，但人工喷雾存在喷施不均匀、作业效率低、操作人员不安全等问题，无人机作业可解决茶农的上述疑虑。

茶小绿叶蝉是茶园常见害虫之一，其一年可以繁衍 10~14 代，且世代交替，成虫、若虫以吸食芽叶汁液为食，对夏秋茶有很大的危害，对茶叶产量和品质有很大的影响，所以在春末茶采摘前需将其控制到最低虫口量。



中国茶海景区



茶小绿叶蝉

让农业更轻松，让生命更美好 | Better Growth，Better Life

为了能有效防治住湄潭 60 余万亩茶叶的夏秋茶品质不受影响，中国茶研所、湄潭落花屯合作社和大疆农业共同开展多次茶园防治工作，此次防治茶小绿叶蝉的用药方案为：

配药方案			
有效成分	剂型	亩用量	作用
虫螨腈·唑虫酰胺	悬浮剂	90 毫升 / 亩	红蜘蛛和茶小蝉
苯醚·丙环唑	乳油	30 毫升 / 亩	斑点落叶病
腈肟·乙螨唑	悬浮剂	45 毫升 / 亩	红蜘蛛和茶小蝉



茶小绿叶蝉危害症状

茶小绿叶蝉本身为呈浅绿色，藏匿于叶芽中很难发现，且能飞会跳，人工喷洒农药时成若虫轻而易举的逃离药液喷施，防治效果不佳；但在无人机喷洒农药时，飞行速度较快而且风场较大，能很好的压制茶小绿叶蝉的飞跳，防治效果更好。



大疆 T50 茶园作业

作业环境			
茶树情况		天气情况	
树高	0.8-1 米	当日天气	阴天
树宽	1.2 米	风力	≤2 级
生长期	夏茶采摘	温度	13-17 ℃
植保管理	茶小绿叶蝉防治	湿度	94%
飞防作业参数			
作业机型	T50	航线类型	区域航线
飞行速度	4 米 / 秒	作业高度	3.5-4 米
亩用量	8 升 / 亩	作业行距	4.5 米
雾滴粒径	细	流速	/

播撒案例

1. 覆盖作物播撒

随着气候变化和自然资源退化，土壤的问题日益严峻。如何继续保障土壤的营养、保护生物多样性，成了人们共同关注的问题。覆盖作物，是指在耕地不种植经济作物的时候，例如两季作物中间的农闲时候，种植在裸露土地上的作物。覆盖作物的主要目的有两个：避免土地在裸露时候，受雨水冲刷，造成土壤流失，起到保持水土的作用；覆土作物耕翻土中后，亦可增加土壤养分而为绿肥作物。特别是种植豆类覆盖作物，可以进行固氮，显著提高土壤肥力恢复。常见的绿肥作物包括豆类如蚕豆、野豌豆、芥末，苜蓿，黑麦，三叶草等。

覆盖作物近年在全球范围变得越来越常见。以美国为例，2012 到 2017 年间，种植面积翻倍，由五百万英亩上升到一千万英亩。欧洲的覆盖作物种植历史更是长达上百年。以往覆盖作物种子播撒以地面拖拉机作业为主。但随着农业无人机推广，越来越多农民意识到无人机作业的好处。

在德国，农户和植保队⁸共同改变了使用大型拖拉机“犁地翻土+播撒”模式，以往这样的播撒作业只能等到经济作物收获后，不仅不能及时补充土地的营养，翻土后的晾晒更是会造成对土地中生物多样性的破坏，进一步破坏土壤储水能力。

使用农业无人机，可以在经济作物（如小麦）收获之前的 2 周就播撒绿肥种子，包括苜蓿、黄芥末等豆科作物。这样做的好处是，不需要破坏原有的经济作物，但又提前了绿肥作物的生长窗口期。在对经济作物进行收获时，绿肥作物已经破土发芽，不再受制于突然变冷或变热的天气，导致发芽率低等问题，更不会因为大型器械进入田地翻土而导致蚯蚓等生物的伤亡。



绿肥作物的种子

使用农业无人机播撒绿肥种子的另一个优势，是可以在雨前雨后作业，作业时间更灵活，出苗率更高。即使在暴雨后，大型拖拉机无法进入泥泞的农田进行作业，无人机的作业也可以照常安排。甚至在小雨天，农业无人机的播撒也不受影响。



T50 在小雨天气播撒绿肥种子

地面拖拉机长期作业后，会造成土壤压实、板结，影响作物产量。而无人机作为一种无接触式的作业工具，完全避免了这个问题。绿肥作物长出来后，会增加土壤的养分，豆科生物可以起到固氮的作用，经过绿肥作物滋养过的土地，保水能力进一步提高，增强了土壤的缓冲性，最终使得粮食产量增加。



绿肥作物长出来后的土地 绿肥作物为土壤植入养分 在土壤中生活的蚯蚓

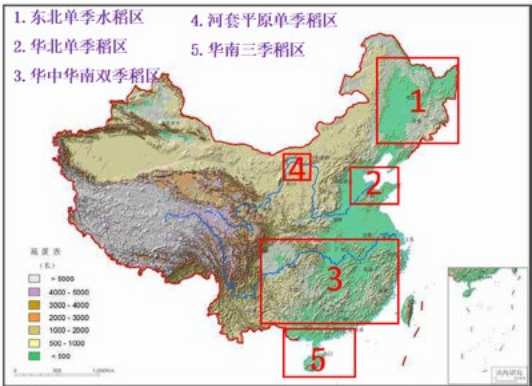
2023 年，美国采用大疆农业无人机进行覆盖作物播种的面积达到约 4.6 万公顷，德国约 6700 公顷，越来越多农民从这种新型的作业方式中获益，不仅提高了播种成功率，同时也减少了对耕地产量潜力的破坏。

8. 见 <https://www.schmidt-solutions.de/>

2. 水稻播撒

水稻广泛种植在中国华东、华南地区，东北地区还大量种植寒地水稻。以往的水稻种植过程中往往面临着育种、插秧等复杂过程，因气温低，东北的寒地水稻育种需要准备大棚，增加了整体种植成本。使用农业无人机进行水稻直播，不仅免去了扣棚、育苗、插秧等复杂工序，减少了设备投入，降低了种植成本，而且提高了种植效率，已经被越来越多的水稻种植户所接受。

在华中、华南区域，种植最多的是杂交稻品种。寒地水稻主要种植在东三省以及内蒙兴安盟部分地区，与杂交稻种植技术差异较大，所以其直播技术有其独特要求。



水稻种植全国分布

2.1 地块处理

以双季稻种植区域为例，因为同时会存在早稻 - 晚稻和仅种植中稻的情况，所以全年作业时间分布不集中。东北寒地水稻全部为单季稻，以黑龙江地区为例，种子播撒集中在 4 月 25 日—5 月 10 日之间，时间点较为集中。作业时日间最高气温应在 14℃ 以上，应避免在低温天气播撒作业，会降低种子成活率

区域	典型地区	品种差异	3	4	5	6	7	8	9	10	11
长江中下游及岭南地区	江西、湖南、湖北、浙江	早稻									
		中稻									
		晚稻									
小麦水稻轮作区	安徽、江苏、浙江	单季稻									
东北地区	黑吉辽	单季稻									

不同地区水稻的种植周期

杂交稻和寒地水稻地块处理方式差别较大，杂交稻一般要求处理完之后田间无水，而寒地水稻因为低温的关系要求田间有水。杂交稻直播田一定要整平，不能有积水。最好在水田中作畦，畦面高低相差不要超过 3-5 厘米，一般每隔 3 米左右开一条畦沟，以方便排水。若整地不平，排水不好，会导致田间积水，影响出苗。整好的地块应确认泥浆的松软度，以种子从 3 米高掉落，种子一半仍在泥面以上为佳。如种子完全陷入泥浆，应晒田 3-5 天，看泥浆的硬化情况，直到达到基本硬度要求。寒地水稻一般积水 2-5 公分，水田处理好之后需要晒田，使得种子不会陷入到泥浆中。

2.2 种子处理

建议催芽 1-3 毫米即可，芽太长容易导致下料不畅，不催芽易导致发芽率低。为避免老鼠、鸟类取食，并提高种子成活率并壮苗，建议进行拌种处理。



水稻种子芽长尽量在 1-3 毫米

在催芽后需要把稻种摊开放在阴凉通风的地面晾干。将晾晒后的种子抓一大把在手中，手中感受不到明显的水分，手中留出缝隙，种子能一粒一粒的从缝隙中掉落而不相互黏连则表示已晾干。若不晾干种子，在播撒过程中种子容易结块导致播撒不均匀流畅。



水稻种子要晾干，能从指间流畅的落下去（图中种子芽偏长）

杂交稻和寒地水稻水直播技术		
项目 / 种类	杂交稻	寒地水稻
作业时间点	全国无固定时间 2-7 月均有	主要集中在 4 月底 到 5 月上旬
地块整理	地块必须平 泥浆不可陷种子 不要积水	地块必须平 泥浆不可陷种子 积水 2-5 公分
种子处理	建议拌种处理， 催芽 1-3 毫米，防鼠防鸟	建议防寒拌种处理，低温催 芽 1-3 毫米，选择 10-11 叶 生长期短品种
种子用量	2-3 公斤 / 亩	7-10 公斤 / 亩

寒地水稻处理方式与杂交稻相同，但有一点请注意，尽量采用中低温催芽，避免高温催芽，避免稻种体弱发芽率低。寒地水稻种植在暖温带，各地应根据自身积温情况选择品种，水直播应选择 10-11 叶生长期稍短的品种，有利于保障产量稳定。

2.3 种子形状差异对作业的影响

水稻种子形状差异较大，圆粒、中长粒水稻种子既可以使用中绞龙，也可以使用大绞龙；细长粒种子仅可使用中绞龙。所以，当播撒长度大于 7 毫米的水稻种子类型时，注意选择中绞龙。



圆粒

长粒

细长粒

不同形状的水稻种子

2. 4 作业流程

1）作业之前的准备

正式开始作业之前，建议新建模板做流量校准，并做去皮校准。

2）作业参数选择因素

a. 播撒亩用量

也就是每亩地（667 平米）的播撒物料量，计量单位为千克。不同水稻种子用量差异较大，杂交稻常见是 1-3 千克，寒地水稻和非杂交稻亩用量一般为 7-10 千克 / 亩。需要注意的是，当亩用量 3 千克以下时播幅偏小，需要合理设置作业参数。

b. 飞行速度

飞行器运行的速度，一般设置为可允许的上限。播撒不强调穿透作业，只要可以保障飞行安全，可合理设置更快的飞行速度，常见选择范围为 3-7 米 / 秒。

c. 高度

常见是 3-4 米，如没有电线等障碍物，可上升至 5-6 米高度。

d. 转速

是指播撒盘旋转的速度，常见是 700-1100 转 / 分钟。飞行高度与转速共同影响物料播撒范围，转速越高、高度越高（常见高度范围内）则播幅越大，反之则更低。选择 4 米以上高度需注意是否有较低矮的电线，避免产生撞击。

e. 行距

播撒机采用离心甩盘结构，在物料覆盖的范围内物料沉积量并不是完全一致，所以需要通过有效重叠提高整体均匀度。行距设置，要充分考虑飞行高度、播撒盘转速带来的硬性。水稻种子播撒对均匀度要求较高，应合理设置参数，避免漏播，水稻种子播撒行距设置一般在 3.5-5.5 米。

3）注意事项

a. 环境风对播撒作业具有明显影响，尽量在无风和微风下作业。调整航线尽量使其与风向一致，避免侧风飞行，因为侧风会导致播幅下降。

b. 杂交稻种子播撒应尽量在 20℃以上环境温度作业，寒地水稻应在 14℃以上作业，以保障发芽率。

c. 因水稻种子形状差异较大、晾干状态各有差异，请在播撒新的水稻品种前尽量新建模板并做流量校准，以保障亩用量播撒准确。





智慧农业典型案例

1. 推动榴莲产业增长

榴莲是一种起源于马来西亚的水果，在整个东南亚都可以找到。在榴莲生长的所有地区中，泰国的榴莲产量在世界范围内居高不下。特别是金枕头榴莲是泰国著名的榴莲品种。

近年来，榴莲在中国市场上受到了极大的欢迎。这导致了泰国榴莲的种植面积和出口量大幅增加。然而，这种增长需要精心的照料来维持生产水平。有许多害虫和疾病可能会全年影响榴莲树的生长，其中蚜虫是主要的问题。其他害虫，如叶蝉、蓟马、木虱和蜘蛛螨也构成威胁。这些害虫可能会损害榴莲树的叶子，妨碍光合作用，可能导致产量低于预期，从而影响收入。

泰国的榴莲种植每年有两个重要的密集护理期。第一个期间从 7 月到 12 月，正值国内的雨季和榴莲叶子生长阶段。这段时期温暖潮湿的气候是害虫和疾病滋生的温床，而大雨可能导致显著的营养流失。

第二个关键阶段从 1 月持续到 3 月，与榴莲的开花和果实发育阶段相符。在这些护理高峰期，有必要每月施用 3 到 6 次叶面肥和杀虫剂，以确保榴莲树的健康和生产力最佳状态。

两三年前，当地农民逐渐开始尝试新的喷洒模式，使用 P4R 进行航测，DJI Terra 软件制作地图并生成自动路线，以及 T30 进行喷洒。2023 年，当地农民开始使用 Mavic 3 多光谱版本进行航测，使用 DJI Terra 软件制作地图，然后使用 T40 进行喷洒。

在榴莲果园的操作中，首先使用 Mavic 3 多光谱版本进行航测，拍摄果园数百张照片，查看地块的整体概况，了解榴莲树的生长情况，确定是否存在害虫和疾病，并为操作计划收集基本信息。



大疆 M3M 果园航测

然后，航测期间拍摄的照片被导入 DJI Terra 软件进行图像重建。这些照片被生成三维地图，并使用人工智能识别地图中的榴莲树和障碍物。该设置要求无人驾驶机器（如自动等距路线），点击“生成三维航线”。三维航线将出现在榴莲树上方。可以在软件上调整喷洒操作的整体高度、宽度和角度以及路线的平滑度。在最新的 DJI Terra 中，用户可以灵活地调整地图上某个航点的高度，以确保无人机的喷洒操作高效准确。



T40 可以根据生成的路线进行精确喷洒

在泰国漫长的雨季中，农作物喷洒仅有短暂窗口期，无人机通过显著减少进行关键任务所需的时间和资源，已经证明其价值。例如，对于一个 90 rai 的榴莲果园，人工喷洒需要大约 4 天的时间，而无人机可以在 1-2 天内完成相同的任务。此外，在 2023 年夏季，当一种新型蚜虫迅速蔓延到农作物时，无人机能够在紧张的 2-3 天紧急喷洒窗口期内迅速响应，这通常是人工作业难以实现的壮举。

喷洒方法	每亩的水消耗 (升)	化学品浓度	化学品成本 (泰铢, 泰国货币)
手工喷洒	333.33	1	333.33
气流喷洒	166.5	1.5	249.75
农业无人机	30	5	150
按照每年 40 次操作计算，对一个 90-rai 的榴莲果园进行喷洒的成本为 540 泰铢。与人工劳动相比，农业无人机可以节省 659 泰铢的成本。与气流喷洒卡车相比，农业无人机可以节省 359 泰铢的成本。 * 基于每年的收成变化，榴莲喷洒的频率和成本会有所不同。			

榴莲作业对比



传统的地面打药车



传统人工作业

农业无人机解决了人工作业所面临的众多挑战。首先，人工作业操作劳动密集且存在健康风险，使得招募和保留工人变得困难。这对榴莲果园的拥有者来说是一个重大问题，尤其是在种植高峰期。

其次，手工喷洒常常因缺乏精确性而导致过量使用杀虫剂，造成浪费。相比之下，农业无人机在相同面积范围内可以减少 20%-30% 的化学药剂使用量。

最后，从覆盖范围的角度看，无人机可以到达树梢——常见的害虫栖息地，而人工作业几乎无法达到。因此，无人机不仅提高了效率，还加强了害虫控制的效果。

尽管农业无人机对当地泰国农民来说可能是一项昂贵的投资，但它们的好处远远超过了成本。这些无人机不仅提高了喷洒效率，还解决了因劳动力短缺而经常受到影响的快速害虫和疾病控制的关键问题。它们超越了手工劳动和传统农业机械的局限性。考虑到榴莲树的高大身材以及它们生长在山地地形中，一些地区很难用传统的喷洒方法达到。农业无人机的采用已经提高了农作物产量，减少了因害虫和疾病而造成的经济损失，并增强了工人的安全性。

型号	T40	流速	12L/min
速度	1-1.5 m/s	高度	3.5 m

T40 作业参数

2. 农业无人机在玉米中后期作业

玉米是世界上种植最广泛的粮食作物之一，也是重要的饲料和工业原料。美国是世界上最大的玉米生产国，其次是中国、巴西、阿根廷等。



中国和美国是全球玉米种植的最重要的两个国家。中国玉米种植面积常年保持了 6 亿亩以上，主要种植区包括东北地区、华北地区、西北地区和中南地区，尤以东北地区在气候、土壤等环境条件事宜玉米的种植的生长，因此被称为“黄金玉米带”。美国玉米的平均亩产在 700-800 公斤，最大单产可以超过 2200 公斤，而中国平均亩产在 400 公斤，最大单单产在 1500 公斤左右。中国和美国在玉米种植管理和机械化水平上存在一些显著差异，在种植管理方面，美国玉米种植广泛采用转基因技术，以提高作物的产量和抗病虫害能力，同时会在玉米生长的中后期进行必要的病虫害防治措施，以确保收获时的产量和品质；在机械化水平方面，美国在农业机械化的方面处于世界领先水平，玉米种植几乎全程机械化，从播种、管理到收割，大大提高了劳动生产率，而中国近年来农业机械化水平大幅提升，但主要体现在耕、种和收方面，管理阶段的机械水平仍然偏低，且受限于玉米本身植株较高且部分地块的种植规模和丘陵地形，传统地面打药设备无法大规模应用，所以中国在玉米中后期管理方面有所缺失，这也导致了玉米产量和品质的损失。

2023 年中央一号文件宣布实施新一轮千亿斤粮食产能提升行动，其中重点强调了“实施玉米单产提升工程”。2024 年中央一号文件开篇便提到“扎实推进新一轮千亿斤粮食产能提升行动，稳定粮食播种面积，把粮食增产的重心放到大面积提高单产上，确保粮食产量保持在 1.3 万亿斤以上。实施粮食单产提升工程，集成推广良田良种良机良法。”2024 年 2 月 1 日，在国务院新闻办公室举行的新闻发布会上，提到了 2024 年将安排 24 亿元支持北方重点地区实施玉米大豆“一喷多促”作业，助力秋粮增产丰收。2024 年 4 月国务院正式印发《新一轮千亿斤粮食产能提升行动方案（2024—2030 年）》中，将产能提升重点放在玉米和大豆上，强调“玉米重在集成配套、主攻单产”，同时坚持依靠科技，集成配套，推动良田良种并举、良种良法配套、农机农艺融合。这无疑为我国玉米种植技术的跨越式发展指明了方向，基于玉米单产的提升，除了良田、良种外，最重要的就是中后期的病虫害防治及叶面营养药剂的喷施技术，即“一喷多促”。而随着中国农业科技的不断进步，无人机技术已经成为完成这一现代农业管理环节的一项重要工具。其在玉米中后期作业上的优势尤为突出。

1. 高效率的作业能力。大疆农业无人机配备了先进的飞行控制系统和喷洒设备，能够快速覆盖大面积的玉米田。与传统的人工或地面机械喷洒相比，无人机可以在更短的时间内完成作业，大幅提高作业效率。
2. 精准的施药和施肥。大疆农业无人机搭载的智能导航系统和精准喷洒技术可以确保农药和肥料均匀分布在田间，减少药物浪费，同时避免过量施用对环境和产量造成的影响。
3. 减少作物损伤。由于无人机飞行作业不需要接触作物，因此可以最大限度地减少对玉米植株的机械损伤，尤其是在玉米长势旺盛的中后期。
4. 灵活的作业时间。玉米的生长需要高温和较为合适的湿度，且中后期茎秆高度在 2 米到 3 米，通风透光条件差，极易发生各类病虫害，且难以及时发现。大疆农业无人机可以在多种天气条件下作业，这为玉米病虫害防治提供了更大的灵活性和时效性。
4. 数据监测和分析。无人机不仅可以完成打药施肥，M3M 多光谱无人飞机的研发和应用，还可以用于监测玉米生长状况和成熟情况，为精准农业提供数据支持。



以上基于无人机技术在玉米种植过程的应用，可以为玉米的带来诸多影响：

1. 提高产量。通过精准和及时防治病虫害，无人机技术可以帮助农民提高玉米的单位面积产量。减少作物损伤和提高施药效率，有助于玉米健康生长，从而提高产量。
2. 提升品质。精准的农药施用可以有效控制病虫害，减少玉米籽粒的病斑和虫害，提高玉米的外观和内在品质。同时，减少化学农药的使用量也有助于提高玉米的食品安全性。
3. 促进可持续农业。无人机技术的应用减少了化学物质的使用，有助于保护土壤和水资源，促进农业的可持续发展。



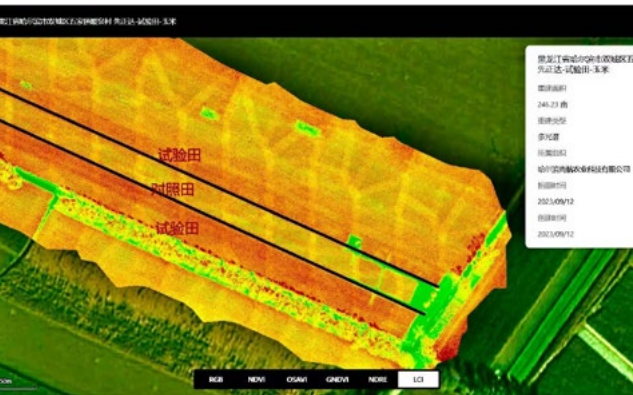
后期未用药（左）和用药（右）对比

3. 农业无人机助力澳洲牧场精准除草

黑莓可以延缓衰老，提高人体免疫力，深受消费者喜爱。但它们却让澳大利亚牧场主十分懊恼。由于野生黑莓是外来物种，一般在牧场上没有天敌，如果不进行治疗的话，会肆意蔓延，遍布整个牧场，导致牲畜无法正常活动，最终延长牲畜的出栏时间并造成巨大的经济损失。所以在澳大利亚，野生黑莓被视为和仙人掌、马蹄莲、金雀花、点头蓟一样需要重点治理的杂草。



野生黑莓



多光谱无人机监测玉米长势

农业无人飞机在玉米中后期作业上的优势显著，它不仅提高了作业效率，还对提升玉米产量和品质起到了积极作用。随着技术的不断进步和市场需求的增长，农业无人机在玉米作业上的市场潜力巨大。未来，随着更多的政策支持，农业无人机保障玉米增产体制，农业无人机助力新一轮千亿斤粮食产能提升行动，农业无人机将成为现代农业不可或缺的一部分，为全球粮食安全做出重要贡献。



无人机在玉米中后期作业

在众多防治方法中，化学防治被视为最有效的野生黑莓防治方法之一。过往，当地会通过人工喷洒或使用直升机喷洒药物进行防治，但两种方法均有明显的短板。劳动力紧缺在地广人稀的澳大利亚是最让牧场主头痛的问题，而且即便请了人，手动喷药也是一项非常艰巨的任务，因为大多数牧场面积都超过 100 公顷，虽然整体地形平坦，但仍存在一些难以进行人工作业陡峭的山坡。



传统人工打药

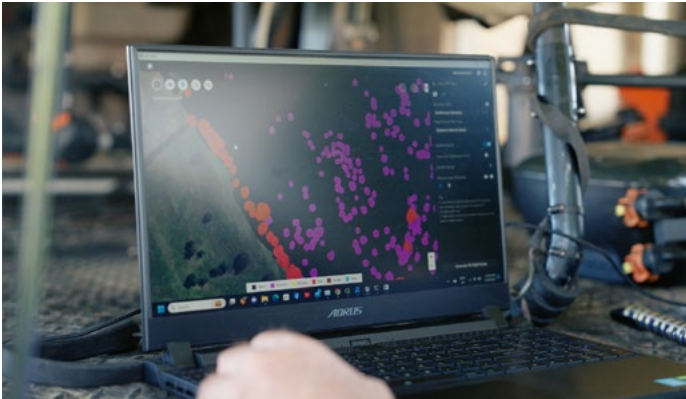
至于通过直升机喷洒，不仅成本高，而且地毯式的喷洒还会使用大量除草剂，增加对当地生态系统的威胁。詹姆斯·莱昂 (James Lyon) 是 Lyon AG Drone Solutions⁹ 的创始人兼首席飞手，从事牧场测绘和喷洒服务已有两年半的时间。精准喷洒是牧场防治野生黑莓的关键，詹姆斯首先使用 Mavic 3M 多光谱无人机进行航测，据他介绍，Mavic 3M 在 30 分钟可完成大约 57 公顷土地的厘米级精度航测任务。

“Mavic 3M 的效率非常高，仿地航测功能可以根据地形实时调整飞行高度，配合多光谱和可见光镜头让我可以轻松监测牧草的生长情况以及准确识别杂草的位置。”詹姆斯补充道。

通过 Mavic 3M 完成航测后，詹姆斯将航测结果导入大疆智图重建图像，并结合自研算法快速识别出野生黑莓的精准位置，最后生成三维航线便可配合农业无人机实现精准喷洒。



大疆 T40 农业无人机喷撒除草药



大疆智图结合自研算法识别杂草位置

机型	T40	用量	50L/ 公顷
飞行速度	5m/s	行距	7.5 米
飞行高度	3-6m（视具体地形及草场树木高度而定）		

除草所使用的作业数据

农业无人机在提高作业效率的同时，还能通过减少药物的使用，有效降低杂草治理成本。以詹姆斯此次作业任务为例，农业无人机作业约可节省 51% 的成本。

喷洒方式	牧场面积	实际喷洒面积	作业服务费用	药剂费用	总费用
农业无人机	300 公顷	153 公顷（精准喷洒）	约合 79368 元	约合 178579 元	约合 257947 元
直升机	300 公顷	300 公顷	约合 175077 元	约合 350155 元	约合 525232 元

费用对比

多光谱无人机与农业无人机的结合，使得精准喷洒成为可能，实现生产和环境保护的和谐发展：“人工喷药效率低、焚烧无法根除、直升机喷药对环境伤害大，这些都是需要从不同方面让步的治理手段。”詹姆斯表示。

9.<https://lyonag.com.au/>



澳大利亚的牧场

“而通过农业无人机，人们不再需要翻山越岭，大大节省人力物力，飞手也能远离药剂，减少中毒风险，精准喷洒则能减少用药以及降低药害发生的可能，这是效率、成本与环境保护相兼顾的最佳解决方案。”詹姆斯补充道。寻找生态友好的农业解决方案不仅是詹姆斯等新农人的目标，同样也是大疆农业的目标。大疆农业愿以先进的产品技术和解决方案赋能全球新农人，共同探索可持续发展的农业现代化道路。

农艺与无人机应用的结合

1. 小麦种子播撒

安徽省南部、江苏省南部、浙江省北部是传统的小麦、水稻轮作区，10 月份水稻收割后，会在未重新整地的情况下直接漫撒小麦种子，而非传统的条播。以往的播撒都是由人工漫撒，不仅费时费力，而且效率比较低。采用农业无人机进行小麦种子播撒，每天可作业 300-400 亩，真正降低了作业成本、提高了作业效率。

2021 年 10 月份，正是中国华北地区玉米收获季节，却遇到强降雨的异常天气，传统的收割机根本无法下地，玉米难以收获。人工收获后还难以运出地块，种植户苦不堪言。部分洪涝耕地一直到 11 月份仍是非常湿的状态，小麦种子迟迟无法播种，如果拖到 11 月下旬仍无法播种，将会造成整块洪涝地区的绝产。最后，通过采用农业无人机播撒的方式，将小麦种子均匀的播撒到湿润地面上。因为种子在土壤之上，且未做覆土处理，所以小麦最终的产量达不到常规产量，但是相对于完全无法播种而导致的绝产，已经大大降低了种植户的损失。



在湿润的地面使用无人机漫撒的小麦种子

2. “云上疆果” 脐橙示范园

2023 年 2 月，大疆农业在江西省赣州市信丰县举行了“云上疆果”发布会，落地 150 亩脐橙示范园，在丘陵起伏的复杂地形下，挑战单人用农业无人机完成果树从清园到采收期的全年作业管理。此外，通过数字化技术，首次把果树示范园搬到小程序“云上疆果”。通过线上认养的形式，与数万名认养官一同见证无人机全流程管理果树的可行性。



云上疆果成本测算			
数据	2023 年	往年	降本增效
产量 (斤)	50 万	40 万	增产 25%
用水量 (亩次)	3 千	2.4 万	省 2.1 万
用药成本 (元/亩)	5 万	11 万	省 6 万
人工成本 (元/亩)	0	5 万	省 5 万
总降本 (元)		11 万	



落地 150 亩脐橙示范园



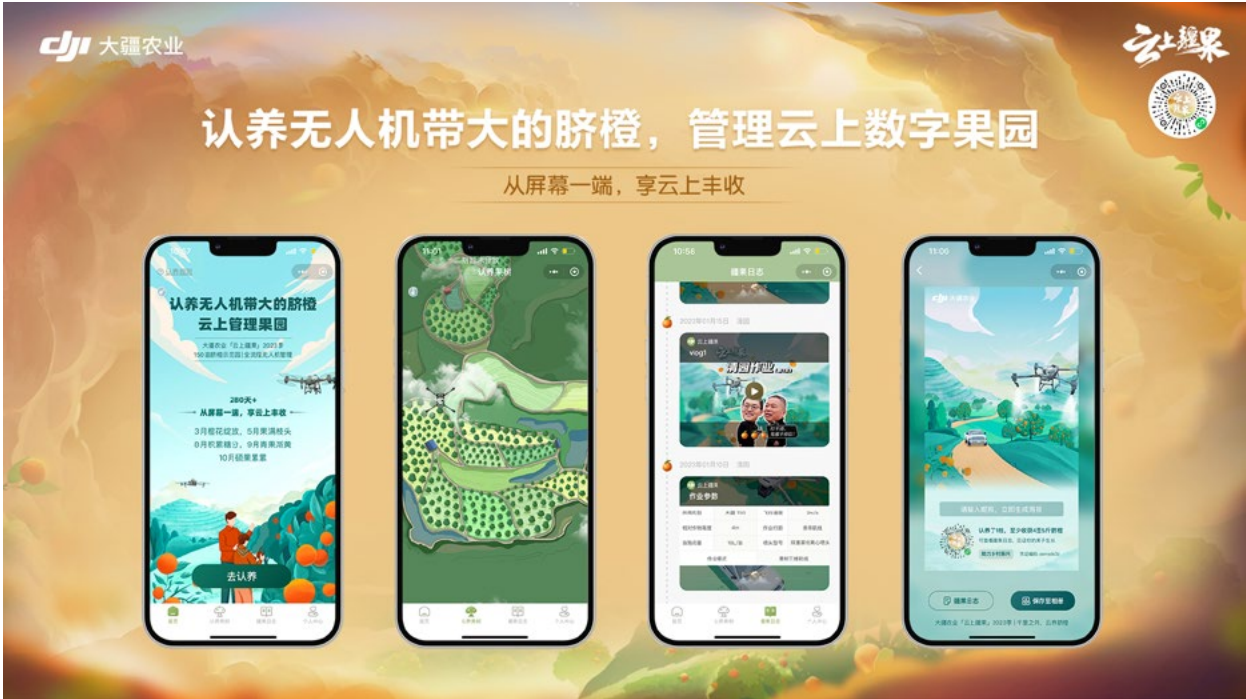
挑战全流程无人机管理

此次【云上疆果】计划，大疆农业解决方案工程师赋能果园主，运用大疆 T50 农业无人飞机、Mavic 3M 航测无人机、大疆智图等技术设备挑战一人全程管理 150 亩大坡度赣南脐橙园。在最大程度减少人工干预的情况下，攻克果树大难题，实现效率与效果兼备。

“今年使用无人机起到了很好的预防作用，避免了往年黄龙病、溃疡病等病虫害的爆发，果品质量得到了保证”。果园老板刘阳海欣喜地说道。经测验，云上疆果脐橙平均糖度达到了 14° 以上，口感柔和清甜，汁水充盈。

除了果品质量得到保证以外，无人机全流程管理的模式还实现了降本增产，绿色环保。经测算，2023 年果园相比往年（平均产量 40 万斤）增产达 25% 以上。此外，以往人工打药一次需 24000 斤水，而无人机一次只需 3000 斤水，全年 20 次的作业频率下，云上疆果的模式可实现全年省水 42 万斤。除了有效节水外，以往人工作业施药成本在 11 万元，使用无人机仅需 5 万元，节省成本 6 万元。加之雇佣人工难，以往需要雇 5 组 10 名人工打 2 天，用工成本为 250 元 / 组，全年下来需要 5 万元，而使用无人机就能免去用工成本。

从应对病虫害爆发，到“提前预防”，从“靠天吃饭”到“知天而作”。本次云上疆果使用无人机全流程管理果园的效率和效果得到了验证，而其中的经济性和果树解决方案也得以复制。帮助当地果农增产增收，助力乡村振兴。



云上疆果管理平台

无人机除雪大显身手

1. 无人机播撒融雪剂

2024 年 2 月，我国的中东部地区出现大范围雨雪、冰冻天气，为出行和工业、农业生产带来挑战。在江苏连云港、湖北荆州、湖北武汉、河南驻马店、安徽宿州、四川阿坝州等地，大疆农业无人机都纷纷投入到融雪、除雪、除冰作业中。极端天气下，无人机的应用场景正在被扩大。

据了解，湖北石首从 4 日上午起，就有许多厂房因为积雪过多而坍塌，损失几十甚至上百万元，很多工厂老板紧急提出了除雪需求。当地无人机飞手 4 日为两个工厂除雪，截至 5 日下午 2 点，当天已经为五个工厂进行除雪作业。

除了厂房，大疆的农业无人机还被用在了蔬菜大棚除雪上。2 月 4 日，武汉市新洲区的大疆飞手接到蔬菜种植户的电话，对方提出给自己种植生菜的 50 个蔬菜大棚除雪。在农业无人机的帮助下，一个多小时，飞手就完成了除雪任务。使用工业盐除雪，大概半个小时就有融雪的效果，约四五个小时完全融化。

在湖北、河南地区，农业无人机也参与到道路的撒盐除雪作业中，相关工作由当地应急管理部门组织开展。“以往农业无人机也有用于除雪除冰的案例，但以往积雪较薄，应用较少。今年的大雪，无人机发挥了较大的作用。”当地飞手说道。



无人机播撒融雪剂

2. T60 融雪肥播撒，助力冬小麦增产增收雪剂

小麦在我国已有 5000 多年的种植历史，主产区域有河南、河北、山西、山东、江苏、安徽、新疆等省份，在我国小麦种植面积和总产量仅次于水稻，位居我国粮食作物第二位，是我国最重要的粮食作物之一。

小麦是一种耐寒、耐旱，可在较为恶劣的环境中生长的农作物，而新疆地处欧亚大陆中部，这里属于温带大陆性气候，全年气候干燥，降水量少、光照充足，昼夜温差大，使得全疆都是小麦适宜种植区，如北疆的伊犁、塔城、阿勒泰等地区，南疆的和田、喀什、阿克苏等都是小麦主要种植区域。新疆北部主要是以种植冬小麦为主，这里的冬小麦一般在 9 月中旬至 10 月上旬播种，在经历低温、霜冻作用后进入休眠期，待到来年春季温度升高、融雪后将继续生长。

“瑞雪兆丰年”这句农谚一直流传至今，说的是下雪对农作物的生长和产量有着重要的影响。首先，厚厚的雪层相当于给冬小麦盖上了一层防冻的“被子”，起到了隔绝冷空气，防冻、保温的效果。其次，雪融化的时候，会从土壤中吸收大量的热量，土壤温度会骤然降低，能杀死小麦地里部分越冬虫卵和病毒，有利于减少虫体基数。而趁着融雪前给越冬期的小麦追施一定量的肥，可使肥料伴着雪水下渗到土壤中，提高肥料利用率，增强小麦开春后的抗逆性和抗病性。



T60 小麦融雪肥播撒

在冬小麦播种的时候都需要施足底肥，但小麦经过 3-4 个月的生长，底肥肥力已相当弱了，这时候需要快速的给冬小麦进行追肥。传统拖拉机会压坏滴灌带和麦苗，人工播撒又无法满足大面积作业需求，而农业无人机能够在融雪前快速的把肥料追施下去，小麦返青更快，还能节约灌溉用水。“T60 单架次能装 50-60 公斤的肥，单块电池能飞 3-4 个架次，每天可作业 1100-1200 亩，作业效率非常高”。大疆农业合作伙伴新疆奇台县天纬农业的张珩介绍道。



T60 播撒均匀出料（田块中间为小麦滴灌带）

作业机型	T60 农业无人飞机	飞行速度	8 米 / 秒
作业高度	3.5 米	作业行距	8 米
亩用量	8-10 公斤 / 亩	播撒盘转速	1100 转 / 分钟

T60 融雪肥作业参数

新疆北部区域年降雪量充沛，适当的积雪不仅有利于改良土壤墒情，还可在积雪融化前使用无人机完成小麦返青肥播撒，现如今越来越多的农户加入无人机融雪肥播撒行列，截止到 2024 年 3 月 21 号，昌吉奇台地区大疆农业无人机已为 20 万亩冬小麦播撒融雪肥。



融雪肥后的小麦长势喜人

T60 融雪肥播撒为新疆干旱地区农作物生长提供了保障，大大节约了农作物灌溉用水量。科技是农业农村第一生产力，它正以自身独特的优势帮助农户摆脱“靠天吃饭”的窘境。

从“移蚕”到打药 无人机正改变这个古老的行业

柞树属于壳斗科栎属植物，可长到 30 米高度，因其木材坚硬、木质密度高、天然清香可用制作各种名贵家具。柞树也叫耳树，顾名思义也就是生长木耳的树，在柞树上放养柞蚕 5 年左右时间周期后，一般会对柞树进行轮伐，而轮伐下来的树枝现在基本都用来培养木耳、香菇等多种食用菌。柞树可以说既是蚕农们发家致富的“摇钱树”，又是水土保持、防风固沙的重要参与者。

柞树叶内含丰富的碳水化合物、蛋白质、纤维素等成分，是柞蚕的重要食料。柞蚕一年内可放养春秋两季，春蚕的养殖时间一般在 4 月底至 7 月初，而秋蚕一般在七月底到十月初。“在室内面积约 100 平米房内布满了 200 多个木方格，每个木方格内有柞蚕约 1200-1300 条，这样算起来柞蚕总数约 30 万余条，这些柞蚕需要约 60 亩的林地中才能够养活”，吉林市永吉县养蚕户向我们介绍到。从养蚕户把柞蚕放养山上到收茧的几个月里，蚕农们几乎每天都需要上山。一方面是防备鸟类吃蚕虫，基本上鸟类一飞过来整片柞蚕就被吃完了，另一方面是手工剪移柞树枝把柞蚕投放到叶子更茂密的柞树上，这也就要求蚕农每天都要走二三十里山路，这还不包括柞蚕上山前的撒石灰粉、喷洒药液等农事活动。整个柞蚕养殖包括室内培育、移蚕、柞树剪移（柞蚕群体从一棵树移到另一棵树）和人工摘茧，每个环节都包含了蚕农们太多的汗水与心血，这也严重制约着柞蚕产业发展。对于柞蚕养殖户来说如何更多的使用新设备为这个古老的行业提升生产效率，扩大柞蚕养殖规模已成当务之急。

柞树常见的虫害有花布灯蛾（又名黑头栎毛虫），其幼虫取食柞树叶片，暴发成灾时，能将树叶片吃光，严重影响柞树生长、发育。此外还有肖黄掌舟蛾、黄二星舟蛾、刺蛾、象甲等虫害，柞树常见的病害有白粉病、褐斑病、干枯病。柞树病害的防治第一遍药在 4 月初完成，一般可播撒石灰粉防治，亩用量在 15 公斤左右。第二遍杀虫药主要针对花布灯蛾、蝇蛆等害虫。在过去，蚕农们柞树打药往往需要背着药箱徒步上山，人工喷洒药液无法将柞树冠层顶部覆盖到，而且还容易发生中毒，而使用农业无人机打药后避免了人与药物直接接触，无人机喷洒药液雾滴粒径更小，更容易附着在柞树叶片正反面和虫害的体表，配合无人机旋翼强劲的下压气流，还可以扰动柞树叶片帮助药液穿透到柞树底部区域。



T60 柞树喷洒作业

使用 T60 农业无人机给柞树防治病虫害，用户一般使用十字准星在遥控器上圈地，大田航线模式下开启全向避障功能，由于蚕场柞树基本种植在 50-200 米高度的坡面上，坡度一般在 35 度以下，所以作业场景需选择山地 / 果树模式，开启定高、绕行功能。此外，柞树间距较大易触发避障还应将定高高度设置在 3-4m 左右。需要注意的是当无人机作业坡面背部时，山体容易对遥控器信号产生遮挡，需要确保遥控器在山坡的制高点且平坦开阔地或者使用 4G 增强图传功能作业。

作业机型	T60 农业无人飞机	飞行速度	5 米 / 秒
相对树冠高度	3-4 米	作业行距	7 米
亩用量	6-8 升 / 亩	雾滴粒径	150-200 微米

T60 柞树作业参数

农业无人机在柞蚕养殖运用上除了播撒石灰粉、喷洒药液外，还可以用无人机帮助蚕农运输蚕筐上下山，以往每到放养蚕上山时，蚕农都需要背着蚕筐频繁的上下山，而用无人机在短短数小时就可以运输 200 多公斤蚕上山，大大提升了养蚕户放养效率。农业无人机正以自己独特的优势改变柞蚕养殖这个古老的行业，帮助蚕农提升作业效率，进而扩大养殖规模，实现增产增收。

大疆无人机助力墨西哥龙舌兰种植户降本增效

龙舌兰酒深受墨西哥人喜爱，同时也已深深地根植于墨西哥文化。龙舌兰是龙舌兰酒的核心原料，是一种耐干旱的沙漠植物，主要种植在墨西哥哈利斯科州。该地区气候干旱，地形复杂，传统人工植保需要大量的劳动力，同时人工成本高昂，尤其体现在幼年植株（1 ~ 3 年）时的除草剂施打。



龙舌兰

传统人工施打龙舌兰除草剂存在以下几个难题：

效率低，窗口期短：10 人团队的人工喷施平均每公顷需耗时 1.5 小时，效率低下，而除草剂需要在雨季前施打，窗口期非常短，对人力是个不小的挑战。

劳动力短缺，成本高：对于大型龙舌兰种植园来说，雇佣足够的劳动力施打药剂非常困难，同时园主还需要负担平均每公顷约 60 美元的高昂人工成本；

安全问题：人工施打药剂会使工人暴露于有毒化学品中，对健康构成重大风险，同时工人穿梭在田间也有被划伤的风险；

水资源短缺：人工施打耗水量大，每公顷需 200 升水。而该地区气候干旱，水资源难以满足人工施打所需要的水量。

拖拉机喷洒则在效率上有所提高，平均每公顷耗时 1 小时，但成本上和人工施打相差无几；同时拖拉机对作业地形要求较高，通过性差，而且还会出现轧毁植株的情况。



龙舌兰山地种植

面对上述作业难题，该案例用户从 2023 年开始尝试使用农业无人机作业。鉴于载重大，效率高，喷洒效果好等优势，该用户选择了大疆 T 系列农业无人机，到目前为止，该用户使用大疆 T40 与 T50 在龙舌兰上的作业面积已达 300 公顷。本案例记录了该用户的一次除草剂作业。在作业一个月后，与未施药的对照组进行相比，杂草显著减少，植株的生长情况明显更有优势。而与传统人工或拖拉机喷洒相比，效果相当，但无人机能大幅度提高效率以及降低成本。



无人机喷洒

成本项目(美元 / 公顷)	大疆农业无人机	拖拉机	人工
人力成本	1.43	14.29	57.14
药剂成本	133.71	133.71	133.71
燃料成本	0.00	44.57	0.00
设备维护及折旧费用	1.83	1.83	0.00
其他费用	2.86	5.71	26.74
总成本	139.83	200.11	217.60

通过对比可以发现，该用户使用大疆 T50 为龙舌兰喷洒除草剂在保证效果的前提下，不仅效率更高、成本有显著的下降、最小化药剂对人员健康的损害，还能大幅减少用水量，为当地的环境保护作出贡献。该用户说道：“使用大疆农业无人机后，能帮助我们在雨季前高效地完成除草剂的施打，同时这也是一个极具成本效益的方案，它彻底地改变了我们的农业。”如该用户所说，大疆农业旨在通过先进的技术和优秀的产品，为全球农业生产者提供更高效、更符合效益的农业解决方案，与全球农业生产者一起推动农业现代化发展。





最佳实践



农业无人机的使用，是人员技术、产品科技发展、农艺、农技、农药应用的多向结合。这离不开全行业的共同努力，对形成“最佳实践”不断的探索。

人员培训

2023 年，我们在已有培训国家的基础上，继续在澳洲、欧洲、美国、南美各国开展教员培训、用户培训、智慧农业培训和果树培训，对更多合作伙伴和用户进行知识和技能普及。

2024 年，DJI 在培训方面进行了团队和内容整合，结合作物解决方案，对合作伙伴进行更多进阶培训，包括针对销售人员的售前培训、针对技术人员的交付工程师培训和果树培训等，使合作伙伴获得全方位的产品和行业教育与提升，从而更好地服务行业与用户。



大疆慧飞土耳其分校培训

产品技术发展

2023 年 11 月，DJI 大疆农业发布 T60、T25P 农业无人机。在原有的技术上进一步完善果树喷洒、大田作业等多个方案。

T60 采用 56 英寸高强度桨叶以及大载重电机和大功率电调，单轴综合拉力提升 33%，低电量下也能满载播撒作业，为高强度、大载荷的作业保驾护航。澎湃动力为 T60 带来 50 公斤喷洒载重和 60 公斤播撒载重的能力。

T60 标配了 50 升水箱，双重雾化离心喷头优化喷盘流道设计，实现雾滴粒径在 50-500 微米精准可调。优化升级磁力传动叶轮泵，双喷头流量提升 12% 达到 18L/ 分钟，在旱田等需要大量水的作业场景，可以带来更好的作业效率和效果。

果树作业还可选配果树套件，增配为 4 个压力离心喷头，搭配 60L 水箱，流量提升至 28 升 / 分钟。压力离心喷头结合压力和离心 2 次雾化，实现最低 20 微米的微小雾滴，能够有效提升雾滴数量、雾滴覆盖面积。大量的对比测试显示，T60 叶背雾滴覆盖率提升 38%。

T60 播撒系统 60KG 载重 80 升播撒箱，加料口加大，一次一袋肥。190 公斤 / 分钟大流量，13.8 米 / 秒飞行速度，8 米播幅，单架次作业效率提升 35% 以上，装得多，加得快，撒得快。播撒系统 4.0 采用绞龙送料系统，流量更精准。配合高扭矩电机和全新设计的离心甩盘，播幅更大，撒的更匀。标配大中小三款绞龙，适用不同物料需求，大绞龙可以撒肥，中绞龙可用于水稻播种，小绞龙可用于油菜籽、草籽等细小物料，保障各种物料高精度播撒。物料适应性进一步增加，大田、山林、水产养殖等作业场景都可覆盖。

让农业更轻松，让生命更美好 | Better Growth, Better Life



农艺与技术结合 果树的飞防配药原则及技巧

1.1 如何选择航线类型和作业参数？

根据果树种植密度、果树种类、树龄、分布走势以及果园地形，来选择航线类型：

以下情景，选择自动等距或者面状 航线

a. 种植密度高（株距≤1+ 树冠直径、行距 ≤2+ 树冠直径，类似封行）、种植整齐、冠层无大幅度落差，坡度较小的果园；

b. 果树特殊作业需求，如清园、病虫害大面积爆发的全面防治等。

以下情景，选择手动或者条带航线

a. 种植密度小（株距、行距较大，即未封行）、果树种植走势随山体等高线分布等；

b. 1-2 年幼树，空隙较大，条带航线可节省农药。

然后，再根据机型、航线类型、防治对象、天气因素（温度、湿度、风速）、作业时间来选择作业参数。

手动或条带航线，主要定流速和速度

a. 定流速：果树作业流速范围 4-20 升 / 分钟；

b. 定速度：果树作业速度范围 1-3 米 / 秒，但航线拐弯越多速度损耗越大，经验系数 0.925；

自动等距或面状航线，主要定亩用量、行距

a. 定亩用量：果树作业亩用量范围 5-30 升 / 亩

b. 定行距：果树作业范围 3.5-5.5 米

果树种类	自动等距 / 区域航线连续喷洒		手动 / 自由航线	T50 套装
	行距（米）	亩用量 （升 / 亩）	流速 （升 / 分钟）	
柑橘类	3.5-4	8-12	10-12	4 吨果树套装
	4-5	12-15	12-15	
	4-5.5	15-25	15-20	
芒果	3.5-4	5-8	5-8	2 吨标准套装
	4-5	8-12	8-12	
	4-5.5	12-20	12-15	
荔枝	3-3.5	10-12	10-12	4 吨果树套装
	3.5-4	12-15	12-15	
	4-4.5	15-30	15-24	
	3-3.5	10-12	5-8	2 吨标准套装
	3.5-4	12-15	8-12	
	4-4.5	15-30	12-15	
落叶后的 果树	3.5-4	15-20	15-18	4 吨果树套装
	4-4.5	20-30	18-24	2 吨标准套装
	3-3.5	12-15	8-10	
	3.5-4	15-18	10-12	
	4-4.5	18-22	12-15	
注意事项： 1、T50 果树套装 50 升桶作业时，不论区域航线还是自由航线，需保证流速在 10 升 / 分钟以上； 2、常绿果树与落叶果树有极大的区别，其叶子密度和质地影响穿透力，生长环境温度、湿度、风将影响亩量粒径、亩用量和高度等参数； 3、果园管理情况不同，如种植密度、修剪情况等对作业参数影响大； 4、通常作业选择推荐亩量为中等、细网药，如晚晚无风天气、触杀型杀虫剂、控梢等特殊情形，可选择最细药； 5、不同厂家的药剂以及病虫害解决方案，也将影响作业参数； 6、果树作业情况复杂，无法穷尽，推荐参数仅供参考，实际作业时还需结合当地用药习惯、果园管理、环境以及病虫害严重程度等情况调整参数。				
大疆农业 2023 年 3 月				

大疆农业 T50 农业无人机果树作业参数建议				
机型	T50 农业无人机			
喷头型号	双重雾化离心喷头			
喷头数量	T50 标准套装 (2 喷)		T50 果树套装 (4 喷)	
粒径范围 (可调)	50-500 微米			
流量范围	0-16 升 / 分钟		0-24 升 / 分钟	
T50 喷头间距	1570 毫米		前喷头间距略小于后喷头间距	
果树作业参数建议				
果树种类	树高 (米)	树冠直径 (米)	速度 (米 / 秒)	相对高度 (米)
柑橘类	1-1.5	1-1.5	2.5-3.5	3-3.5
	1.5-2	1.5-2	2-2.5	3.5-4
	2-2.5	2-2.5	2	4-4.5
芒果	1-1.5	1-1.5	2.5-3.5	3-3.5
	1.5-2	1.5-2	2-2.5	3.5-4
	2-2.5	2-2.5	2	4-4.5
荔枝	3-5	2-3	2-2.5	3.5-4
	5-7	3-4	1.5-2	4-4.5
	7-9	4-6	1-1.5	4.5-5
	3-5	2-3	1.8-2	3.5-4
	5-7	3-4	1.5-1.8	4-4.5
落叶后的果树	7-9	4-6	1-1.5	4.5-5
	1.5-2	1-1.5	3-3.5	3-3.5
	2-2.5	1.5-2	2.5-3	3.5-4
	2.5-3	2-2.5	2	4-4.5
	1.5-2	1-1.5	3-3.5	3-3.5
	2-2.5	1.5-2	2.5-3	3.5-4
	2.5-3	2-2.5	2	4-4.5



1.2 如何计算总用水量

1) 自动等距 / 面状航线

a. 面积计算方式：平缓果园以设置行距和航线长度计算实际

作业面积，大坡度的果园以航线斜向宽度和航线长度计算

b. 计算公式：航线实际覆盖面积（亩）× 亩用量（升 / 亩）

= 总用水量（升）

c. 面状航线面积 ≈ 实际航线覆盖面积 = 地块长度 × 行距 ×

行距数量

d. 平缓果园选择投影面积和表面积作业，总用水量大致相等

e. 大坡度果园需选择表面积作业方式，总用水量相对准确

2) 手动航线 / 条带航线

a. 计 算 公 式：【 航 线 长 度（米）÷ 速度（米 / 秒）

× 0.925 ÷ 60 】× 流速（升 / 分钟）= 总用水量（升）

b. 条带航线实际覆盖面积 = 航线长度 × （树冠直径 +1 米）

1.3 如何计算总用药量以及配制药液

1) 农药标签常见使用单位为【亩用药量】或【稀释倍数】，对于以【亩

用药量】使用的农药，直接根据总航线实际覆盖面积 × 【亩用药量】

= 总用药量，然后将总用药量配制到总用水量中，搅拌均匀即可。

2) 以【稀释倍数】使用的农药，就需要有相应的换算，根据经验公式：

稀释倍数 ÷ 500 × 农药体积 = 总用水量（斤）

公式解析：实际配药中，农药稀释倍数是简单粗略的计算方式，这里

以 1500 倍用药量为例，简单来说就是将 1mL 的农药稀释 1500 倍，

也就是将 1mL 农药加到 1500mL 的水中。

按照水的质量、密度、体积换算，1500mL 的水就是 1500g 水，

500g=1 斤，1500g 也就是 3 斤水，换句话说，就是将 1mL 的农药

加入到 3 斤水中。如果农药净含量为 50mL，即需要 3 × 50=150 斤水。

另外，农药包装常见单位为【g】或【mL】，在这里使用简粗略的换

算方式，按照 1g=1mL 计算。

农药使用注意事项：农药包装使用说明所标记的用药量，是理论上的

安全有效用量，这个用药量对于没有抗性的病虫害有效果，但是实际

农业生产中的高抗性病虫害而言，效果可能不是很理想。飞防作业配

药时，最好有农技植保人员指导使用。



应用错误详解



农业无人机的应用过程中，涉及到飞行安全和用药安全。为了方便从业者更好地安全施药，在此提供一些应用错误详解。

错误一

在下风向、敏感作物附近等不适合的区域喷洒除草剂

很多药液都具有一定的飘移特性,尤其是除草剂产品。所以在喷施选择性除草剂时,应注意周边是否有敏感作物存在,避免产生飘移药害,影响周边作物生长。例如在 2-3 月份,中国湖北省、四川省耕地上同时存在冬小麦和油菜,如对小麦进行除草作业,药液飘移到油菜上,会造成油菜枯萎甚至完全枯死。



错误二

在蜜蜂、桑树附近喷洒杀虫剂

化学农药对蜜蜂活性具有一定影响。特别是应用较为广泛的新烟碱类杀虫剂（吡虫啉、噻虫嗪等），对蜜蜂具有很强的灭杀作用，应特别注意喷施该类药剂周边是否存在蜜蜂养殖活动。其他药剂也应根据产品标签要求，确认对蜜蜂影响程度后，再制定施药方案和放蜂时机的窗口。

在存在蜜蜂养殖产业的地区，作业前应提前与耕地负责人确认周围 3 千米范围内是否有蜜蜂养殖，如存在则禁止作业。或者与蜜蜂养殖人员确认，提前转移后再作业。对于下风向有桑树种植的区域，严禁喷洒杀虫剂。



错误三

玉米喷洒茎叶除草剂

玉米除草剂常见药剂莠去津、烟嘧磺隆都具有对玉米安全而对其他作物不安全的特点，所以玉米除草作业应特别谨慎。我国目前玉米种植最广泛区域在东北地区和华北平原，该玉米种植区往往周边会存在大豆、水稻、花生等其他作物，所以玉米茎叶除草应注意周边敏感作物距离和施药天气风速条件。对于玉米、大豆复合种植田块，不可使用农业无人机进行除草作业。

玉米除草飘移药害，往往是存在以下几个情况：

- （1）高度过高，部分案例里甚至出现了 5 米高度的情况；
- （2）选择了 100 μ m 以下雾滴，加剧了雾滴飘移的距离；
- （3）玉米下风向 100 米范围内有其他作物，且作业时环境风力在 3 级风以上，使得飘移的距离增加。


错误四

果树作业采用高速度或粗雾滴

果树具有株高较高、冠层较厚、较难穿透的特点，所以作业参数选择应秉承更高亩用量、低速、更细雾滴的原则。农业无人机速度越快则雾滴对作物的穿透性就越差，常见速度一般在 1.5-3 米 / 秒左右。一些大田地区的飞手往往不明确果树作业的具体要求，采用大田作业常见的 1-2L 亩用量、6-7 米 / 秒速度在果树作业，不仅效果差降低了无人机飞防的口碑，而且还造成了后续本地飞手的推广困难。于 T20/T30 等标配压力式喷洒系统的机型，应选择标配喷嘴，不建议更换 015、02 等喷嘴。对于 T50/T40 等采用离心喷嘴的机型，雾滴粒径可调节，一般建议采用 20-100 μ m 雾滴。

部分区域电线较多，部分飞手为了飞行更安全，直接飞行到十几米高度。药液在喷出后，需要几秒的时间才能到达作物表面，如果环境温度高、风速大，那这种作业方式就会带来药液大量蒸发、随风飘移等问题，最终药剂大部分并不能有效到达靶标。





结语

农业无人机，作为高科技和新质生产力，为中华大地延续了五千年的农业注入了新的活力，也为海外的农业发展输出了越来越高的影响力。农业无人机行业的发展，代表着人们对于健康、美好生活的向往，也代表着人们对于躬身于农业的脚踏实地。

新的一年，希望农业无人机行业继续同心合力，以提高生产效率，保护生态环境为己任，让农业更轻松，让生命更美好。