



更好的增长，更好的生活



Follow us for the latest information

AGRICULTURAL DRONE INDUSTRY INSIGHT REPORT

(2023/2024)

ag.dji.com



目录

引言	02
I. 2023年事件	05

第二节 全球政策趋势	05
------------	----

1. 巴西法规支持农业无人机	09
----------------	----

1.1 ANAC修订农业无人机规定

1.2 巴西农药使用

2. 北美地区的许可证和豁免	11
----------------	----

2.1 美国

2.2 加拿大

3. 欧洲管理政策的进一步开放	12
-----------------	----

3.1 民用航空规则

3.2 国际标准建立

4. 澳大利亚	13
---------	----

4.1 CASA发布农业无人机支持政策

4.2 APVMA支持并指导农业无人机使用

中国法规支持农业无人机的发展	14
----------------	----

5.1 发布无人航空器系统规定 5.2 航空适航管理

6. 国际组织	16
---------	----

6.1 经济合作与发展组织 (OECD)

6.2 联合国粮食及农业组织亚太区域计划协调委员会 (FAO-APPPC)

III. 农业无人机测试	17
--------------	----

1. 中国的漂移测试	19
------------	----

1.1 T50漂移测试 1.2 T25漂移测试

在澳大利亚的漂移测试	27
------------	----

3. 欧洲的漂移试验	28
------------	----

第四章 航空无人机应用创新	29
---------------	----

4.1 喷雾应用	31
----------	----

4.1.1 橘子全流程管理

4.1.2 韩国松喷涂操作

4.2 应用范围拓展	39
------------	----

4.2.1 间作覆盖作物撒播

4.2.2 水稻分布

4.3 智能农业	41
----------	----

4.3.1 农业无人机推动泰国榴莲产业进入新时代

4.3.2 在玉米生产的中间和后期阶段运行的农业无人机

4.3.3 革新牧场杂草喷洒

4.4 农学与无人机应用的结合	47
-----------------	----

4.4.1 小麦种子撒播

4.4.2 驾驶员无人示范果园

4.5 架无人机喷洒融雪剂	48
---------------	----

4.6 从“移植蚕宝宝”到喷洒农药，无人机正在改变...	49
------------------------------	----

这个古老行业	49
--------	----

使用T40无人机进行龙舌兰喷雾	51
-----------------	----

V. 最佳实践	53
---------	----

5.1 员工培训	55
----------	----

5.2 技术发展	56
----------	----

5.2.1 DJI Agras T50 5.2.2 Agras T25

详细说明错误应用	59
----------	----

6.1 错误1：在不适用的区域喷洒除草剂，如顺风、近处

敏感作物等	61
-------	----

6.2 错误2：在蜜蜂和桑树附近喷洒杀虫剂

6.3 错误3：在玉米的茎和叶上喷洒除草剂

6.4 错误4：在果园作业中使用高速或粗颗粒

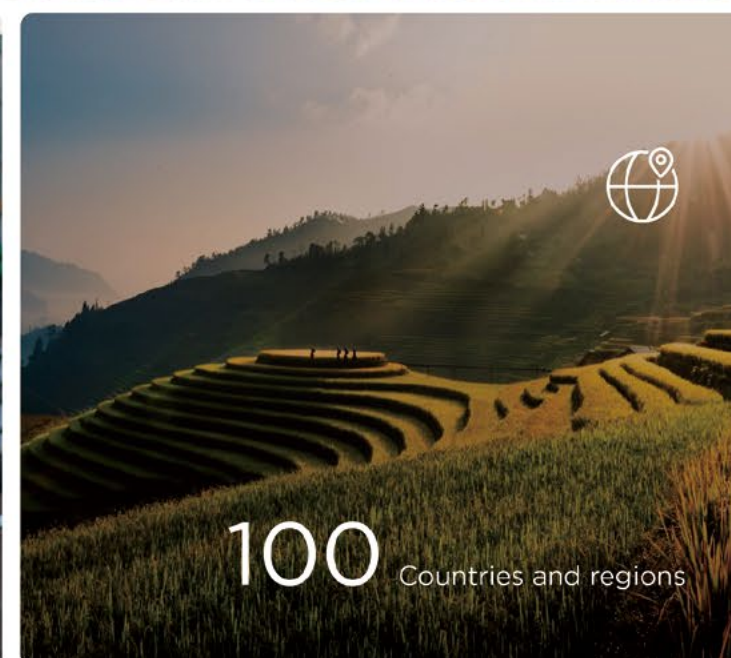
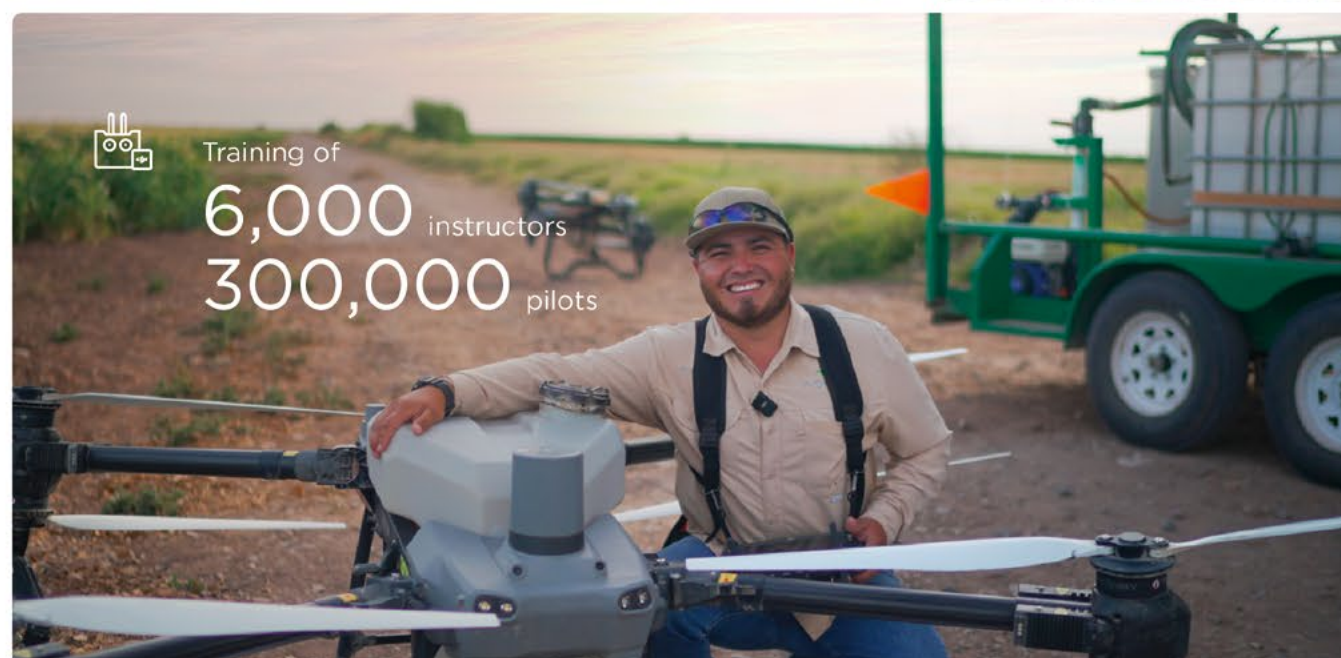
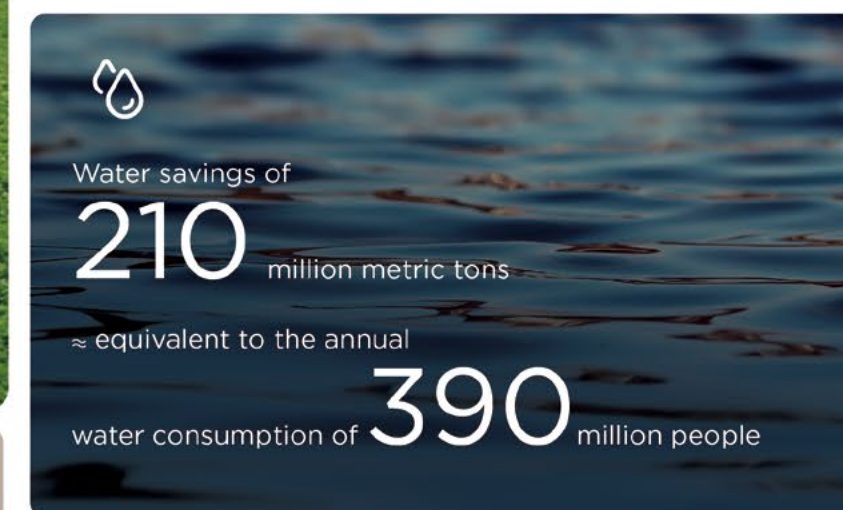
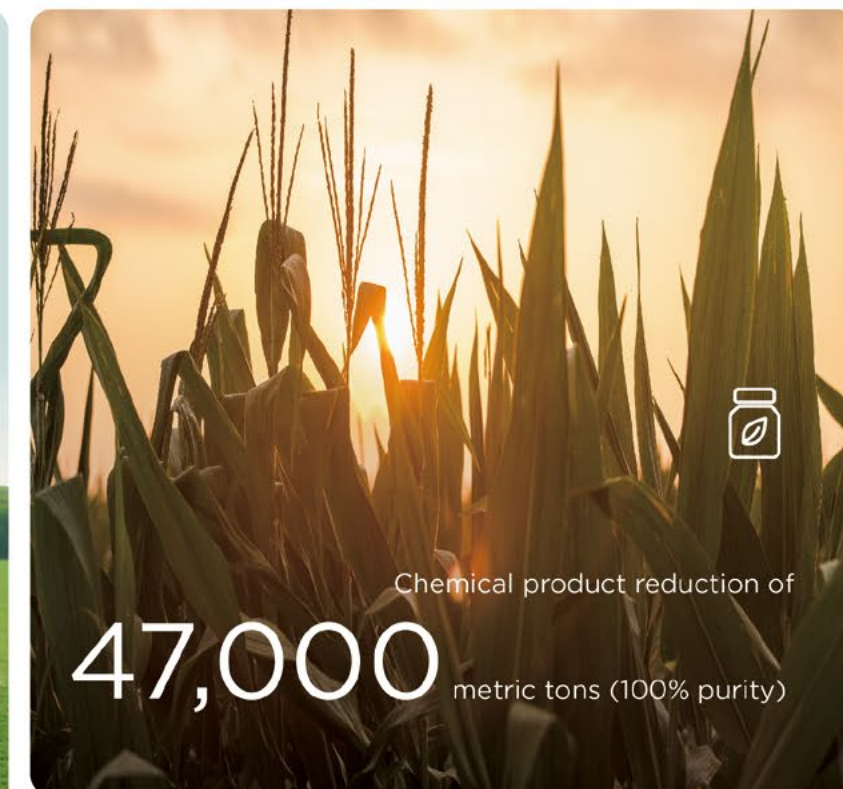
第七部分 结尾	63
---------	----



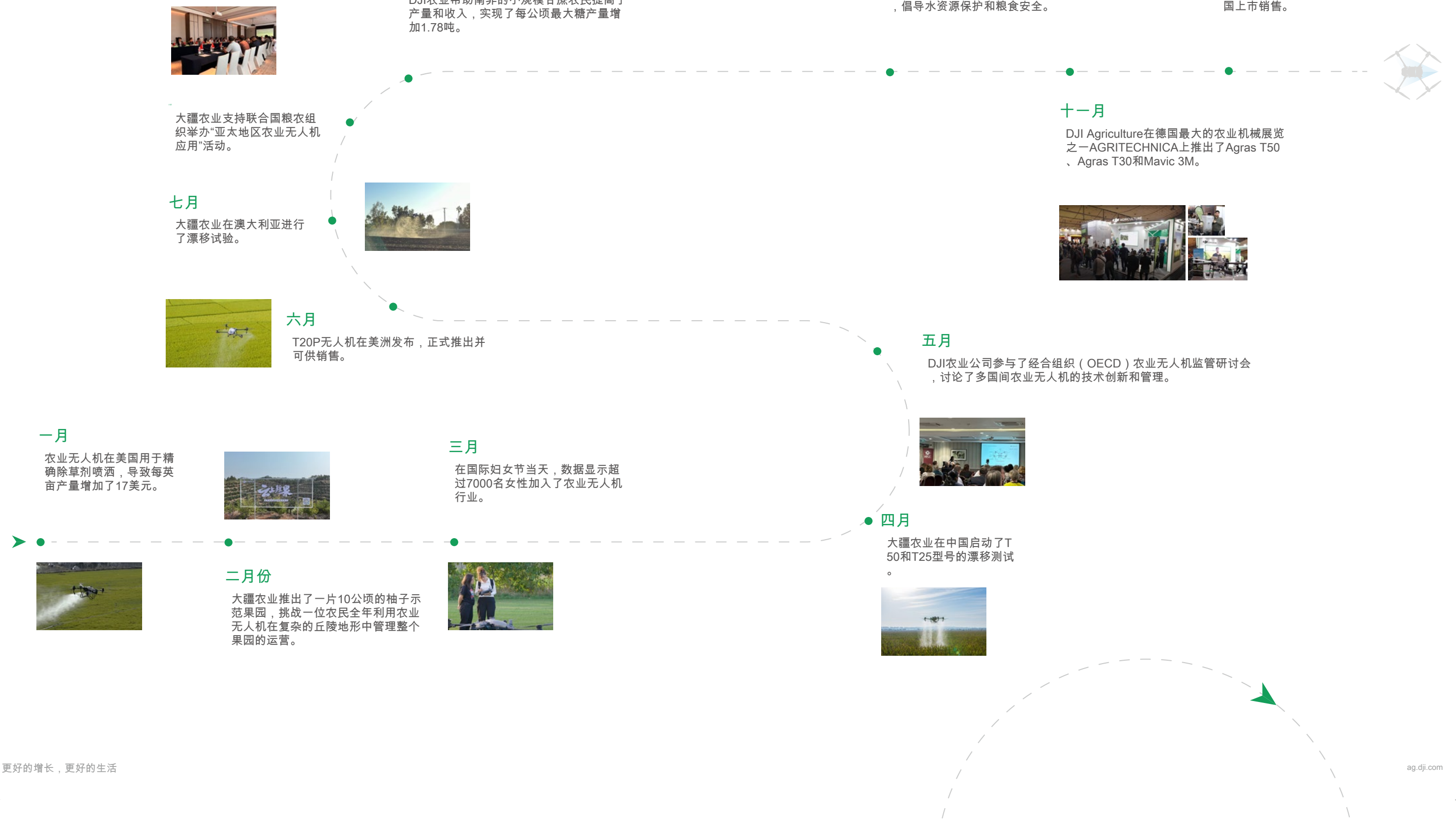
引言

我们的使命是通过技术促进可持续农业，这导致了农业无人机作为高效生产工具的兴起，为解决食品生产、土壤健康和环境保护等挑战提供了创新解决方案。截至2023年底，全球已有超过30万架农业无人机投入使用，覆盖100多个国家和地区。截至2024年6月，这些无人机已在全球范围内用于超过5亿公顷的土地，并培训了6,000名教员和30万名飞行员以操作这些无人机。

通过治理5亿公顷土地，农业无人机已累计节约了2.1亿吨水资源——相当于3.9亿人的年用水量。此外，农业无人机的大量使用显著减少了47,000吨（纯度100%）化学产品的使用，并减少了2572万吨碳排放——相当于12亿棵树木的年碳汇。



2023年事件 2023





全球趋势报告

从2023年到2024年，农民和农业从业者对农业无人机的全球采用显著增加。在这一时期，各国政府对该技术的理解也进一步加深。许多国家随后放宽了监管，将农业无人机归类为低风险飞机，并在农业喷洒方面提供了类似地面设备的指导。

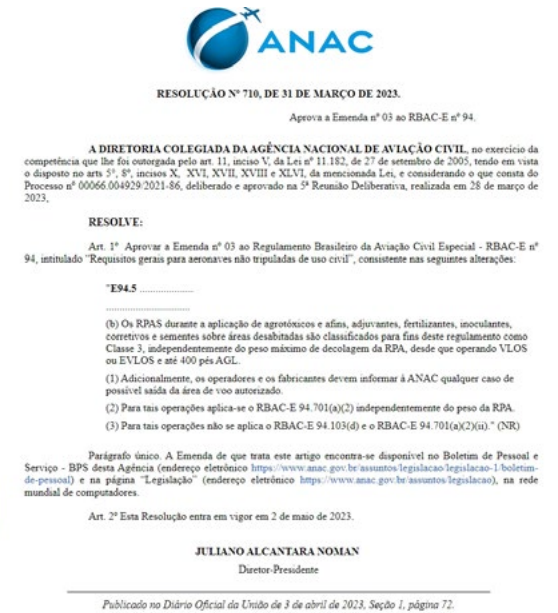


巴西法规支持农业无人机

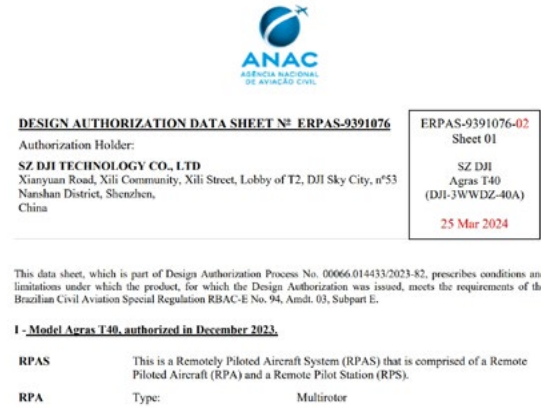
1. ANAC修订农业无人机管理规定

2023年4月，ANAC ¹ 发布了新的无人机管理修正案，取消了农业无人机强制适航性要求，并用自愿遵守的规定替代。当地运营商只需注册他们的农业无人机并获得许可证。这项新规定在当地当局经过广泛讨论。在立法讨论期间，监管机构强调了巴西农业产业的重要性以及在不同无人机管理下管理农业无人机可能带来的不同结果。这一决定最终给巴西农民带来了巨大便利，导致更多农民选择无人机运营。

在2023年之前，巴西的无人机法规要求25公斤以上的无人机必须通过适航性审核。² 这种方法可能需要每个型号从开始到过程完成2-3年的时间。自2022年以来，DJI已向ANAC申请了T30、T40和T20P三个型号的适航性认证。截至2023年12月，这些型号已获得适航性认证，巴西民用航空局举行了在线认证仪式。这是DJI无人机产品首次在国外获得适航性证书，这意味着DJI的农业无人机型号设计和生产在巴西得到了官方认可。³



适航证书适用于T30/T40/T20p



民用航空适航证书 T40

巴西的农药使用

巴西在农业中使用了许多传统飞机，例如直升机和小型固定翼飞机。在当地注册并标有“飞机”字样的化学产品也可以用于农业无人机。

在演示中，农业航空部门负责人就2021年9月发布的《条例298》及其应用挑战进行了讨论。该文件确立了用于农药及其类似产品、助剂、肥料、接种剂、矫正剂和种子的遥控飞机操作的规则。农业航空的检查由联邦农业税务审计员和Mapa的技术助理执行。

地图 ⁴ 在2024年无人机展会上展示 ⁵ 在圣保罗，于周二在北展览中心更新巴西关于农业用无人机标准的讲座，由Mapa农业航空部门负责人乌埃尔南·科尔塔托 (Uéllen Colatto) 主讲。

1. 民用航空局 (ANAC): <https://www.gov.br/anac/en>
2. 巴西的无人机类别 : <https://www.gov.br/anac/en/topics/drones/classification-of-drones>
3. 参考信息 : <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/projetos-autorizados>

4. 农业部、畜牧业和食品供应部 : https://www.abc.gov.br/training/informacoes/InstituicaoMAPA_en.aspx 5. 参见 : <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-apresenta-normas-sobre-uso-de-drones-na-agricultura-na-drone-show>

北美地区的许可证和豁免

1. 美国

根据美国联邦航空管理局（FAA）的要求，如果农业无人机用于喷洒经济性农药且属于第137部分，则可以根据第44807条申请豁免。从2023年到2024年，美国DJI用户相继获得了T30和T40的运营豁免。

2024年2月，美国联邦航空管理局（FAA）发布了一份豁免型号清单。已获得运营豁免并在其豁免授权信上注明“所有豁免型号均可使用”的本地用户可以直接使用清单上的型号。DJI的重量超过25公斤的农业无人机均列入豁免清单。

List of Approved UAS under Section 44807

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.

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

美国联邦航空管理局的批准清单及大疆机型

2. 加拿大

根据加拿大交通部的要求，操作重量超过25公斤的无人机的人员需要申请SFOC。

随着重量超过25公斤的无人机，T50和T25的用户需要向加拿大当局申请SFOC许可证。在2023-2024年间，加拿大的许多用户成功获得了SFOC并在此进行了喷洒作业。



进一步开放欧洲的管理政策

1. 民航规章

为了更好地应对对农业无人机审批需求的不断增长，欧洲航空安全局（EASA）发布了一系列PDRA。⁶（预定义风险评估）。在五个PDRA中，四个可用于农业无人机操作的申请。用户可以根据不同场景申请不同的模板。

Operating a drone

Open Category - Low Risk

Specific Category - Medium Risk

Operational Authorisation

Standard Scenario (STS)

Predefined Risk Assessment (PDRA)

Specific Operations Risk Assessment (SORA)

Light UAS operator Certificate (LUC)

Design verification report

Operations in the specific category in a state different from the one of registration

Forms

Certified Category - High Risk

Flying in your country - National Aviation Authorities

Rules & Standards

Privacy

FAQ

News

Events

Event Proceedings

List of published PDRA

List of published PDRA and associated Operations Manuals (where available)

- PDRA-S01 — Agricultural works, short range cargo ops
- Operations Manual for PDRA-S01 operations
- PDRA-S02 — Surveillance, agricultural works, short range cargo ops
- PDRA-G01 — Surveillance, long range cargo ops
- PDRA-G02 — All range of ops
- PDRA-G03 — Linear inspections, agricultural works

Predefined risk assessment PDRA S-01

AMC3 to Article 11 to Regulation 2019/947

→ VLOS

→ below 120m or 150m (also in urban environment)

→ with a UAS meeting the technical requirements defined in the PDRA

→ Ensure no involved person is present in the controlled ground area

Max height 120m. With additional mitigations it can be extended up to 150m

Ground risk buffer

Controlled ground area

Operational authorisation

NAA authorised

关于EASA农业运营的PDRA

2023年，大疆农业参与了ISO 23117-1标准的制定工作。⁷ 国际标准，规定了设计性能验证小于150公斤的无人机系统喷洒系统的要求和方法的规范。制定此标准的目的是从设计和性能的角度降低使用过程中可能的环境污染风险。

国际标准化组织发布农业无人机测试标准

2023年6月，该标准正式发布并被欧盟成员国采纳。从2023年到2024年，大疆农业无人机T50 Agras和T25在许多欧洲国家相继获得了ISO 23117-1认证。

6. 参阅：https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/predefined-risk-assessment-pdra

7. 参阅：https://www.iso.org/standard/74600.html

- 11 -

- 12 -

澳大利亚

1. CASA发布农业无人机支持政策

2023年5月，澳大利亚民航局在其官方网站上发布了一篇题为“无人机将农业推向云端”的内容，其中整理了农业无人机的管理方法，从注册到安全使用，以及遵守当地喷洒管理建议的必要性。

完整指南⁸。在整个流程中，由CASA代表了对本地农业无人机发展的认可。在指南中，特别提到了对个人土地使用管理的放宽，以及当按照安全指南操作时无需特殊授权。“在您自己的土地上操作一台无人机进行喷洒作业时，无需CASA授权。然而，您也应注意您打算进行喷洒作业的当地州或领地法律。”

同时，澳大利亚民用航空局已开放超出视觉范围运行、扩展视觉范围运行和集群运行的合规申请通道和操作指南。

我们认识到无人机在农业运营中可以带来的好处，包括提高效率



并且降低了成本。随着无人机制造业（RPAS）的快速普及和创新进步，我们持续与行业合作，根据需要审查和更新我们的法规，以确保其保持相关性，同时支持新技术和安全，来自澳大利亚民航安全局（CASA）。

2. 澳大利亚植物保护产品管理局（APVMA）支持并指导农业无人机使用。

在2023年，澳大利亚植物保护和检疫局（APVMA）积极组织并参与了多个与无人机应用中的法规和漂移风险相关的会议，并向当地用户提供了关于农业无人机喷洒使用的某些指导。

中国法规支持农业无人机的发展

1. 无人航空系统相关法规发布

2023年6月28日，正式发布了《无人飞行器系统管理暂行规定》。这是中国首个专门针对无人机的法规。基于分层分类管理，即“微型、轻型、小型、中型和大型”五类，农业无人机被单独分类，并采用了更为开放的管理方法。



新的定义取消了农业无人机设计的重量限制，这为未来农业无人机的设计提供了更多可能性。

其次，考虑到实际社会生产中农业无人机大多重量低于150公斤，“常规操作”的使用范围得以保留，即重量低于150公斤的农业无人机在操作上具有更大的开放性。

在操作方面，农业无人机可以在“微型、轻型和小型”无人机适宜的空域内飞越农业、林业、畜牧业和渔业土地，这意味着在大多数情况下，使用农业无人机不需要申请飞行活动。这可以确保农业无人机飞行员能在繁忙的农忙季节及时进行操作。

最后，在许可证管理方面，试点飞行员允许从制造商那里接受培训，这极大地降低了农业无人机操作者的入门门槛，并且使得制造商更容易为飞行员提供专业许可证培训。

这些新的管理设计为农业无人机未来的设计提供了更多可能性，也为应用场景提供了更多可能性，反映了国家对发展新型优质生产力和“放权、控权、服务”的农业管理原则的支持。

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

2. 飞行适航性管理

截至2024年5月，DJI T20P、T25、T25P、T40、T50和T50农业无人机已完成所有合规验证和验证，并开始合规总结和为最终审查会议做准备。

航空适航确保中型和大型无人机的安全运行。根据AP-21-AA-2022-71《民用无人机系统航空适航认证管理程序》，在CAAC正式颁发型号合格证（TC）之前，共有十个阶段，包括TC申请和接受、产品熟悉介绍、审查团队组建、设计保证系统审查、认证基础确定、认证计划和合规手段开发、制造一致性检查、合规性验证和确认以及最终综合审查。在这些阶段中，合规性验证和确认是关键阶段，以确保型式设计符合认证基础中定义的所有航空适航条款。

南京、河南、青海、四川等地对上述六架农业无人机进行适航认证合规性验证测试。在民航局监督和授权下，按照批准的认证计划，开展了包括飞行高度测试、速度测试、飞行半径测试、重量和重心测试、飞行控制和导航测试、抗风测试、4500米高度飞行测试、DAA测试、夜间运行测试、飞行包线极限测试、耐久飞行测试等二十多项合规性验证飞行测试，以及包括电池测试、静电放电（ESD）测试、辐射敏感性（RS）测试、高/低温测试、运输振动测试、IP防护测试、交变盐雾测试和农药化肥腐蚀性测试等十多项实验室合规性验证测试，同时由民航局审查团队进行检验和见证。

目前，所有合规验证测试已按顺序完成，包括总计超过760架次飞行，累计飞行时间超过3000小时。这些测试全面验证了DJI Agras T20P、T25、T25P、T40、T50和T50农业无人机的功能性、性能和应急安全特性。

自2023年6月以来，DJI农业已前往惠州市，



高空测试



国际组织

1. 经济合作与发展组织（Organisation for Economic Co-operation and Development）

2023年5月，经合组织在英国举办了一场关于农业无人机操作的研讨会，讨论了诸如法规、无人机技术、漂移测试和最佳实践等主题。来自不同经合组织成员国的代表参加了会议，并分享了各国在管理方面的经验和未来管理理念。



在2024年，经合组织发布了指导原则、流程 and 标准，用于指导经合组织农药工作组无人机/无人机系统（UASS）子工作组的工作，以加速推进农业无人机应用的发展。

Guiding principles, processes, and criteria for the work of the OECD Drone/UASS Subgroup of the Working Party on Pesticides

指导原则、流程和标准用于经合组织农药工作组无人机/机载自主系统（UASS）小组的工作

2. 联合国粮食及农业组织-亚太农产品加工中心（FAO-APPPC）

2023年8月，联合国粮食及农业组织亚太地区植物保护委员会（APPPC）在南京举办了一场关于农业无人机喷洒技术的培训课程。来自APPPC秘书处、中国农业农村部以及包括中国、印度尼西亚、老挝、马来西亚、尼泊尔、萨摩亚、所罗门群岛、泰国、东帝汶和汤加在内的10个成员国代表和讲师等近40人参加了此次培训课程。



APPPC 培训课程现场记录



农业无人机测试



2023年，DJI在全球范围内进行了漂移测试和效果测试，以进一步探索反漂移设计和无人机最佳实践。

在中国进行漂移测试

1. T50漂移测试

测试流程

三种类型的雾滴收集装置（地面雾滴沉降收集器、地面漂移收集装置和空中漂移收集装置）被设置以评估作业区域和作业顺风区域的雾滴分布。



地面液滴沉积收集器： 为了收集农业无人机作业区域内的沉积物分布，将PVC卡片支撑装置带布置在农业作业区域内。 无人机收集沉积的液滴。一个8×5厘米²的PVC卡片（以下简称小PVC卡片）被用作目标区域的液滴收集装置。沉积液滴收集带与无人机的飞行方向垂直。沉积收集区域的宽度为22.5米（3个喷雾宽度）。每个小组从上风边缘到下风边缘有15个点，间隔为1.5米。共有3组，总共45个点。使用时，确保PVC卡片的平面与地面平行。

固定在距离地面10厘米处的U形铝槽中。地表漂移沉积采集装置位于同一条直线上，并与无人机航线平行。每个采样站点相距1米，每组实验共有100张PVC卡片。

航空飘移收集装置： 为了在顺风方向收集空气漂移液滴，在喷雾边缘下游5米、20米、50米和100米处放置了三套自制的3×2米空气漂移收集框架。在框架上，从距地面0.5米处到3米，每隔50厘米排列一根2米长、直径1.98毫米的聚四氟乙烯线，每个测试中总共72根线。聚四氟乙烯线的两端用夹子固定在垂直框架上，并拉直以确保没有弯曲。每个液滴收集装置如图1所示。

地面流沉积收集装置： 为了收集农业无人机顺风方向的地面漂移分布，将10张尺寸为12×12 cm²的PVC卡片（以下简称大PVC卡片）分别放置在距离农业无人机喷洒边缘3、5、10、15、20、30、40、50、75和100米顺风处。这些卡片被

DJI T50农业无人机被用于此次测试。



液滴地面漂移沉积收集器



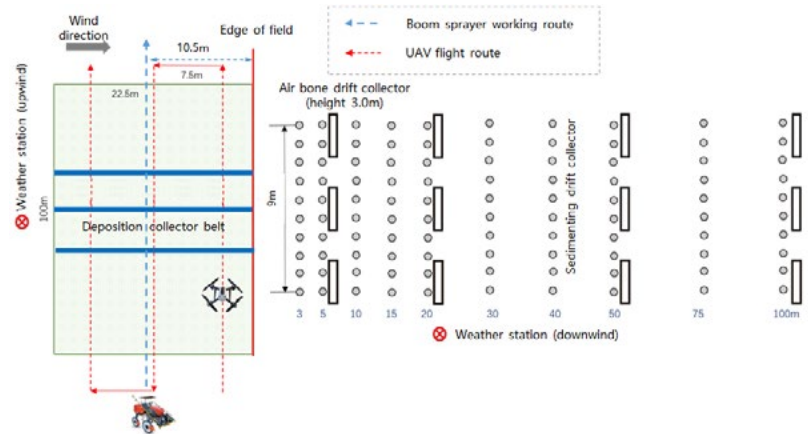
微滴空气漂移沉积收集器



目标区域液滴沉积收集器

在测试场地的布局中，漂移测试设备与航线完全垂直，测试期间开启气象站以收集风速和风向。当风速和风向满足要求并稳定时，操作员会收到起飞准备的通知。将浓度为1 g/L的ABF荧光示踪剂和0.1%的OP-10非离子表面活性剂的模拟液体加入液体罐中，并在每个收集设备上安排收集器。无人机沿三条航线飞行，航线间隔为7.5米。使用自动飞行模式调用预设航线进行操作。测试参数设置如表1所示。每种处理重复6次，以确保54次有效测试。测试可承受自然横风参数：风速范围1-5 m/s，风向与航线垂直±30°。测试完成后，收集样品并储存在暗处，然后运送到实验室进行后续测试。每组测试后，至少收集10毫升母液于50毫升离心管中进行分析沉积。

在每个测试结束后，所有样品（大PVC卡片、小PVC卡片、聚四氟乙烯线和母液采样瓶）都被立即存放在远离光线的地方。小PVC卡片、大PVC卡片和聚四氟乙烯线分别收集并存储在规格为8 × 4 cm、16 × 14 cm和18 × 12 cm的塑料自封袋中。在全天测试结束后，当天获得的样品被运送到实验室，存储在黑暗、阴凉的地方，然后对样品进行处理和测量。在处理样品时，向装有大型PVC卡片的自封袋中加入了20毫升去离子水，在振荡器上以200 r/min的频率振荡洗脱5分钟；向装有小型PVC卡片的自封袋中加入了30毫升去离子水，振荡洗脱10分钟；向装有聚四氟乙烯线的自封袋中加入了30毫升去离子水，气泡被放出并放置在脱色摇床上10分钟。在此期间，样品被翻转以确保去离子水完全渗透聚四氟乙烯线。最后，使用荧光计依次测量各种样品的洗脱液，并记录荧光值。



系统图示漂移测试

测试记录

在测试过程中，环境温度介于19-31° C之间，平均湿度为22-69%。在54次测试重复中，T2重复4、T3重复5、T4重复1、T7重复4和T8重复4期间的测试风速未达到测试标准。T6重复3和重复4、T7重复以及T9重复3的风向通过率低于70%。其余测试组均满足ISO22866对环境风速的要求。

结论

在这个测试中，在风速为1-5米/秒的条件下，选择了T50的三个不同飞行速度、三个喷嘴速度和三个飞行高度操作参数。共设置了9个测试处理组。基于上述测试结果和分析，以下为结论：

a. 该农业无人机喷洒产生的地面液滴漂移与采样距离呈指数相关，地面漂移沉积主要存在于下风方向0-30米的范围内。在下风方向0-5米范围内的空中漂移液滴的空气漂移速率随着高度的增加而降低。

b. 农业无人机地面漂移与飞行速度呈正相关。降低飞行速度可以有效减少农业无人机地面漂移的风险。如果空气漂移的风险得到有效控制，无人机的飞行速度需要控制在4米/秒或以下。

c. 农田地面侵蚀沉积水平



当飞行高度增加时，空中漂移水平也随之提高。在3米及以下的飞行高度范围内，提高飞行高度会导致地面漂移增加，而在3米以上，提高飞行高度将导致空中漂移液滴比例增加，从而产生不可预测的漂移风险。

d. 农业无人机在顺风距离0-15米处的地面漂移沉积与液滴大小呈正相关。液滴越大，近距离的地面漂移风险越高。然而，在顺风距离20米之后，地面漂移沉积与液滴大小呈负相关，而顺风距离0-100米处的空中漂移风险与液滴大小也呈负相关。在长距离下，100个细小液滴处理的漂移沉积风险和空中漂移风险均高于 μ 那些其他类型飞行参数处理的。

e. 农业无人机可以将飞行高度降至1.5米，或使用500微米的粗喷滴操作参数。 μ m Dv50用于喷洒，以有效减少液滴漂移并增加地面液滴沉积。使用低漂移风险操作参数，如4 m/s的飞行速度、1.5 m的飞行高度，500减少空气漂移的风险。液滴漂移水平 μ 喷头在较长距离喷洒所产微滴粒径相当于这些操作参数所有有效产生的微滴粒径。

2. T25 漂移测试

本试验的目的是明确T25在不同影响因素下的漂移，以便指导农业无人机安全有效地进行植物保护操作，并确保非靶标生物和环境的安全。

测试流程

测试仪器包括风速计、温度和湿度计、滤纸、标签纸、Mylar薄膜、订书机、50米卷尺、密封袋、手套、口罩、剪刀、注射器、移液管、0.22 μm水过滤膜、Varioskan Flash多功能微孔板阅读器、扫描仪、YG-BX气象站、Depositscan软件等。

模型	喷嘴	喷嘴类型	喷嘴数字	飞行速度 每秒 (米/秒)	飞行高度 (m)	体积 (每公頃升 (公升/公頃))	液滴尺寸 (公升/公頃))
T25	LX8060SZ	离心 喷头	2	3/5/7	2/3/4	30	100/250/420

这项测试在中国农业科学院植物保护研究所的辛香示范基地进行。农田平坦开阔，无阻碍。根据实际田间作业经验和前期研究结果，选择了飞行速度为3米/秒、5米/秒和7米/秒，飞行高度为2.0米、3.0米和4.0米，并将雾滴大小设置为100微米、250微米和420微米。每个参数组合用于测量在不同横风速度下的多旋翼农无人机喷雾雾滴沉积和漂移。具体测试处理方法参见表2和表3。

详细处理1.5至3.4米/秒之间的风速

试验	飞行 海拔（米）	飞行速度 每秒（米/秒）	液滴尺寸 （微米）
1	2	3	100
2			250
3			420
4		5	100
5			250
6			420
7	3	7	100
8			250
9			420
10		3	100
11			250
12			420
13	4	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	4	7	100
26			250
27			420

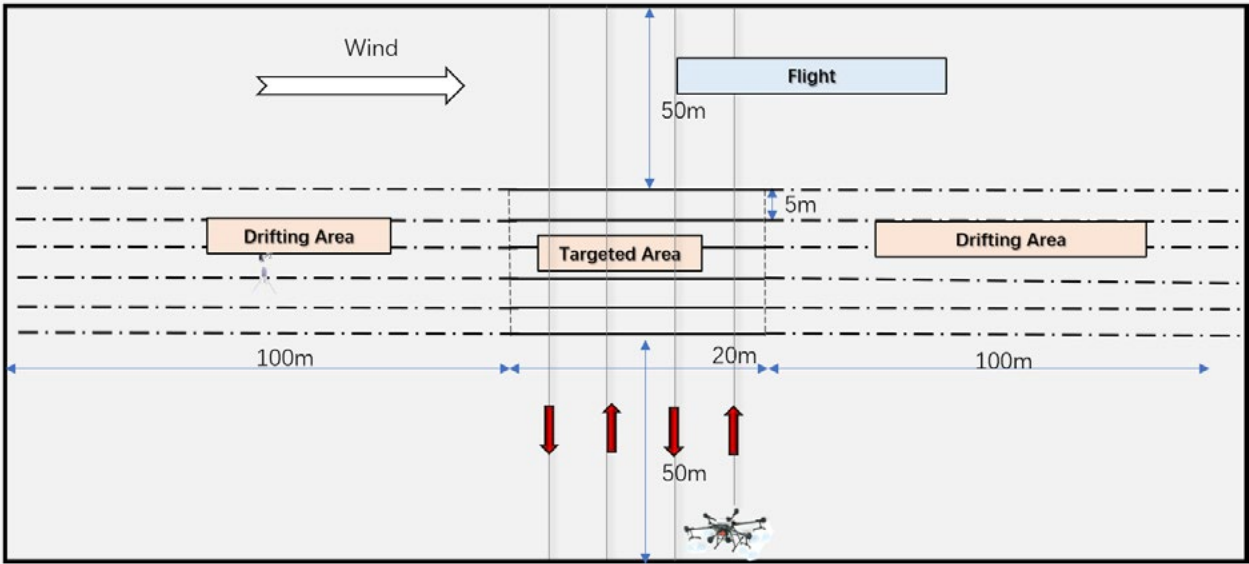
风速在3.4-5.4 m/s之间的详细处理

试验	飞行 海拔（米）	飞行速度 每秒（米/秒）	液滴尺寸 （微米）
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

采样点设置如下：在顺风工作区边缘5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、60、70、80、90和100米处安排滴液收集装置；滴液收集装置底部由Mylar薄片支撑，滴液测试卡和直径为9厘米的滤纸固定在Mylar薄片上，采样装置放置在地面上方1米处，如图2所示。在操作区顺风边缘10、20、30、50、75和100米处，以及地面1、2、3和4米处，放置了一个空中滴液收集装置（由一个5米长的伸缩尺和一个直径为5毫米、长5厘米的不锈钢金属杆组成，如图4所示），以收集空气中的漂移滴液；喷洒后，等待5到10分钟以确认滤纸上的所有滴液都已干燥，然后按顺序将它们放入6#自封袋中，并在黑暗和凉爽的环境中储存样本，然后处理和测量样本。农业无人机设置为多喷宽（n=4）自动操作模式，飞机航线长度为125米，以确保农业无人机在采样区域内保持均匀速度。将5g/L的罗丹明B水溶液，将准备好的罗丹明B水溶液加入化学产品箱中，以确保农业无人机农药负载为半载。在测试前，检查无人机喷嘴的运行状态并校准其流量。

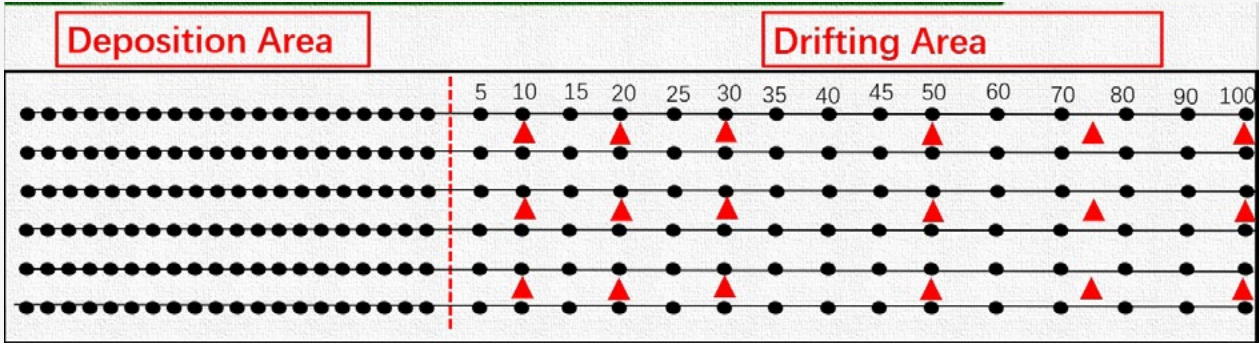
在风向达到要求并稳定后，农业无人机一键起飞进行自动喷洒，并使用飞机内置的RTK技术。

为确保路线的准确性。喷洒完成后，将从上风高度返回起飞点。每次喷洒后，使用深色离心管收集喷洒母液，以澄清实际喷洒过程中溶液浓度的变化。



Schematic Diagram of the drifting test

测试图



收货带布局

2. 创纪录

在室内条件下，使用分析天平精确称取了0.0500克（精确到0.0001克）的示踪剂罗丹明B，并用100毫升蒸馏水将其溶解并定容，以获得浓度为500 mg/L的罗丹明B标准储备溶液。采用梯度稀释法逐渐将罗丹明B标准溶液稀释至5、2、1、0.5、0.2、0.1、0.05、0.01和0.005 mg/L。然后，使用ELISA板在激发波长553 nm和发射波长578 nm处测量荧光值。最后，以罗丹明B浓度为自变量，荧光值为因变量，建立了标准曲线。为了消除多功能ELISA仪器等多重因素引起的误差，将预先制备的罗丹明B标准梯度溶液添加到每个ELISA板中，并使用ELISA板上的罗丹明标准曲线计算测试样品的浓度。

闪式多功能微孔板阅读器。仪器参数设置为：激发波长 553 nm，接收波长 576 nm。

在测试中收集的Mylar卡片逐一用扫描仪进行扫描，扫描图像通过图像处理软件Deposit Scan进行分析，以获得不同采样点的液滴密度。

数据使用Microsoft Office 2019软件进行排序和分析，DPS和SPSS Statistics 23用于差异显著性及相关性分析。Origin Pro 2022学习版用于数据分析与绘图。

获取的数据按照ISO 24253-1和ISO 22866标准进行了进一步处理。

此外，为了进一步精确了解液滴漂移的实际状况，根据漂移区域采样点测得的液滴密度和沉积结果对漂移曲线进行了拟合，并通过漂移曲线估算漂移距离X；实际的漂移距离是通过测试期间测量的沉积量确定的。

向装有采样滤纸的密封袋中添加5毫升无水乙醇，浸泡10分钟，直至荧光剂完全洗脱，然后用带有0.22微米水滤膜注射器过滤溶液。处理过的溶液用于用Varioskan测量样品洗脱液的荧光值。

3. 结论

该测试研究了多旋翼农业无人机T25的喷洒漂移。在植物保护操作场景模拟条件下，研究了不同操作参数和环境气象条件下的喷洒液滴沉积和漂移。结果显示：

1) 横风速度对液滴漂移的影响： 对于农业无人机T25，横风速度是影响作业区域喷雾液滴沉积率、漂移区的累计漂移量、90%累计漂移距离和漂移距离的最重要因素。当横风速度为1.5~3.4 m/s时，在多喷宽作业状态下，农业无人机T25的喷雾液滴将在作业区下风方向偏离0~5米；当横风速度为3.4~5.4 m/s时，在多喷宽作业状态下，农业无人机T25的喷雾液滴将在作业区下风方向偏离2~10米。横风速度越大，地面漂移区的喷雾液滴累计漂移速率越高，漂移距离越长。当横风速度为3.4~5.4 m/s时，液滴漂移量是1.5~3.4 m/s横风速度时的1.94~12.11倍。为了减少农业无人机的漂移量并确保作业区的液滴沉积率，建议农业无人机T25在横风速度小于3.4 m/s（3级风）的条件下作业。

2) 飞行高度对液滴漂移的影响： 当横风速度在1.5至3.4米/秒之间时，在漂移区，喷射液的累积漂移率及其90%的累积漂移距离随着飞行高度的升高而增加，在飞行高度为2米、3米和4米时；当横风速度在3.4至5.4米/秒之间时，工作区域的喷射液沉积率随着工作高度的升高而降低，其在工作区域的分布均匀性也降低。同时，飞行高度越高，地面及空气漂移的累积漂移率也越高。



区域。建议在横风速度高于3级风（3.4 m/s）时尽可能降低飞行高度以减少漂移。当横风速度在1.5至3.4 m/s之间时，将飞行高度从4米降至3米，累计漂移率可以减少66.88%，将飞行高度从3米降至2米，累计漂移率可以减少55.25%，如果将飞行高度从4米降至2米，累计漂移率可以减少85.18%；当横风速度在3.4至5.4 m/s之间时，将飞行高度从4米降至2米，累计漂移率可以减少58.32%。

3) 飞行速度对液滴漂移的影响： 当横风速度在1.5至3.4米/秒之间时，飞行速度为3米/秒时工作区域的液滴沉积率显著高于飞行速度为5米/秒和7米/秒时的工作区域。同时，随飞行速度增加，漂移区的液滴沉积率也增加。因此，当横风速度在1.5至3.4米/秒之间时，建议将飞行速度设置为3米/秒以减少喷洒漂移。当横风速度在3.4至5.4米/秒之间时，随着飞行速度的降低，操作区的液滴沉积率增加，漂移区的液滴累积漂移率降低，但漂移区的累积漂移率仍然超过25%。因此，不推荐在横风速度在3.4至5.4米/秒之间时使用农业无人机T25进行操作。

4) 液滴大小对漂移的影响： 测试选取了100、250和420 μm的滴液尺寸，分别对应。在这三种滴液尺寸下，当横向风速在1.5至3.4 m/s之间，以及当横向风速在3.4至5.4 m/s之间时，滴液尺寸与操作区域喷雾滴沉积率呈正相关，即滴液尺寸越大，操作区域的沉积率越高。当横向风速在1.5至3.4 m/s之间，以及当横向风速在3.4至5.4 m/s之间时，滴液尺寸与漂移区的累积漂移率、90%累积漂移距离和漂移距离呈负相关，即滴液尺寸越大，累积漂移率越低，90%累积漂移距离和漂移距离越接近。这表明，当农业无人机T25在多喷洒状态下运行时，通过增加滴液尺寸可以提高操作区域的滴液沉积率，降低漂移区的累积漂移率，并缩短漂移距离。



在澳大利亚的漂移测试

2023年7月，大疆农业与澳大利亚昆士兰大学联合对T40和T50两款机型进行了漂移测试，以验证这两款机型的喷嘴设计和抗漂移技术。

drift test 由两部分组成。第一部分是现场测试。测试方法按照 ISO22866 进行。在裸地上铺设一个液滴收集装置，分别对 T40 和 T50 进行喷雾和液滴收集。第二部分是在昆士兰大学的隧道风洞中测试 T40 和 T50 的液滴粒度。



T40澳大利亚漂移测试



地表微滴收集设备

根据测试结果，T40和T50喷嘴符合当地监管要求，设计范围内液滴尺寸能满足防漂移要求。

3. 欧洲的漂移试验

2023年10月，DJI农业在匈牙利启动了T50的漂移试验。这是T50在欧洲进行的首次漂移试验。

该试验严格遵循了国际标准ISO 22866，选择了200 x 150 m的场地，并在沉积区和漂移区放置了液滴收集装置。



地面雨滴收集装置用于匈牙利漂移试验

匈牙利对无人机使用的法规对风速有所限制。因此，与在其他地区的漂移测试不同，匈牙利每套漂移测试都需要风速低于4 m/s。在这个测试中，主要验证了300 µm和500 µm液滴直径的抗漂移性能，以及不同飞行高度和速度对漂移的影响。



匈牙利漂移测试布局



漂移测试记录

截至2024年5月，来自匈牙利的漂移测试数据仍在进一步分析中。未来，将进行更多测试。

全球范围内进行讨论，与整个行业共同探讨无人机的抗漂移设计和验证。全球范围内进行讨论，与整个行业共同探讨无人机的抗漂移设计和验证。讨论无人机抗偏航设计与验证的全行业合作。



农业无人机应用创新

农业无人机应用是探索和实践“创新驱动、绿色低碳”新质生产力的探索和实践。每年，都会出现新的应用场景。这些场景要么提高农业生产，要么解决人们生活中的困难。它们值得每位农业无人机从业者分享。



喷洒应用

1. 橘子加工的全面过程管理

柑橘⁹ 主要分布在中国的南部。从促进柑橘花芽分化、果园清理、摇花、病虫害控制和防晒，柑橘管理的整个流程现在都可以通过农业无人机来完成。

A. 花蕾分化

花卉芽分化促进管理是柑橘管理的一个重要部分。管理水平的质量直接影响次年果实的数量。由于柑橘的采收尚未结束，树上的成熟果实仍然很多。树木消耗了大量的养分。在确定操作时机时，需要丰富的管理经验来决定执行首次花卉芽分化促进操作的最佳时机。

柑橘橙每年将有2-3次花芽分化促进管理。第一次花芽分化促进时间一般始于11月中旬至下旬，低温后花芽分化促进效果更佳；第二次花芽分化促进时间在第一次花芽分化促进用药后约20天；若遇极端天气，如大雨或冻雨，将进行第三次花芽分化促进。

根据果树的生长不同，操作技术可分为以下两种不同的技术：

9. 参考：https://en.wikipedia.org/wiki/Mandarin_orange

农药用量对于快速生长的果树

农药用量			
活跃原料	剂型	体积	影响
25% Paclobutrazol	悬挂	5.250 ml/ha	预防过度增长
氨基酸	水溶液解决方案	2.25 千克/公顷	提升抵抗力 抵抗逆境
钾二氢磷酸盐	晶体	3 千克/公顷	补充营养
液态硼 + 液体锌	水溶液解决方案	2.25 千克/公顷	追踪元素

a. 对于树势强的果树，需要添加丙环唑以抑制其生长。

对于特定的参数，如表所示：

参数			
模型	T50	路线类型	区域航线
飞行速度	2 米/秒	高度	4 m
操作行距离	4 m	体积	150 升/公顷
液滴尺寸	优质		

20天后，首次促进花芽分化的效果进行了检查，最后一批秋季芽条基本成熟，且没有出现冬芽，这表明我们首次对花芽分化取得了更好的效果。这次我们只需按照常规做法，进行第二次花芽分化促进即可。

农药用量较慢生长的水果树

农药用量			
活跃原料	剂型	体积	影响
10% S-诱导的激素	可溶的粉	40克/公顷	平衡代谢
氨基酸	水溶液解决方案	2.25 千克/公顷	提升抵抗力 抵抗逆境
钾二氢磷酸盐	晶体	3 千克/公顷	补充营养
液态硼 + 液体锌	水溶液解决方案	2.25 千克/公顷	追踪元素

b. 拥有更多果实和树势较弱的树木无需使用扑草净来促进花芽分化。



20天后

第二次农药剂量			
有效成分	剂型	体积	影响
2% 苄基氨基嘌呤	可溶性液体	2.7 千克/公顷	推迟工作
海藻	水溶液	1.5千克/公顷	中等和微量 化肥
钾二氢磷酸盐	晶体	3 千克/公顷	补充营养
液态硼 + 液态锌	水溶液	1.5 千克/公顷	微量元素

清除果园

在橙子收获之后，有必要对果园进行一到两次的清理，那么什么是清理果园呢？一般来说，清理果园是指清除果园中残留的枝条、叶片和果实，同时喷洒农药对果园进行杀菌处理，以杀死过冬的昆虫蛋和病原体，这属于对果园物理和化学属性的彻底清洁。



果树在果园清理前的状况

清理的主要步骤包括修剪、清除残余的枝条、树叶和果实，以及喷洒化学产品。其主要目的如下：1. 修剪，割除枯萎的枝条、病枝、交叉枝、重叠枝和重复直立的枝条，以提高树木的透光性，使得阳光可以更多地照入果树的内膛，同时便于无人机进行垂直喷施农药。

2. 在清理果园后，残留的树枝、落叶和落果将被集中处理并掩埋或焚烧，以防止越冬卵和病原体再次感染果树，从而减轻来年病虫害防治的压力。

3. 喷洒化学产品以去除果树上的越冬卵和病原体，并预防及治疗修剪伤口感染

喷洒环境			
橙树		天气	
树木高度	2米	天气	多云
皇冠直径	2米	风速	二级
增长周期	收获周期	温度	15°C
植物保护	果园清算	湿度	80%
参数			
	T50	路线类型	区域路由
模型	T50	线路类型	区域航线
飞行速度	2 米/秒	操作高度	3.5~4 m
每使用量mu	200 升/公顷	流量速率	/
	操作行距	4.5米	
液滴大小	优质	流量速率	/

首次清算

农药施用：45%晶体石硫混合物（ 50倍 ）+ 吡唑硫磷（ 150倍 ）。

运行参数：225 L/ha，2 m/s，高度 4 m。

空气温度：无风或微风，最佳温度为15-25° C。

第二次清算

花蕾前3-5天左右，间隔约为10-15天。

农药使用：矿物油（ 20倍 ）+ 73% 乙炔螨（ 200倍 ）。

运行参数：225 L/ha，2 m/s，高度 4 m。

气温：无风或微风，最佳温度为

20-25° C.

C. 摇曳的花朵。

花朵摇动和橙子保护的时间通常在三月。通常，当花朵枯萎率达到50%时，农民需要根据天气条件摇动花朵一次，但通常由于缺乏人力，农民总是选择在花朵枯萎率达到70%-80%时使用化学产品来预防灰霉病。如果你遇到阴雨天气，你需要紧急摇动花朵。然而，由于人工摇动需要时间和精力，可能无法及时摇动花朵，因此在后期预防灰霉菌的成本会增加。

如果使用农业无人机，农民可以在花期选择摇动花朵一两次来控制蚜虫和红蜘蛛，同时节约农药和劳动力成本，预防和控制灰霉病。在无人机早期阶段摇动花朵也能提高成熟果实的外观和收入。

通过比较人工花朵摇动与无人机摇动效果，无人机摇动花朵的效果不仅远高于人工摇动，而且与人工摇动相当甚至更佳，因为叶片上粘贴的花瓣也可以在无人机强风场中被吹落。相反，人工花朵摇动很难摇落叶片上粘贴的花瓣。



D. 红蜘蛛控制

为了实现更好的控制效果，采用Mavic 3M果园航空调查和重建三维地图，规划果园三维路线，并验证路线的稳定性和安全性；校准T50的喷洒流量，确保准确率达到标准且控制稳定。

红蜘蛛防治操作参数			
模型	T50 四路线-喷水系统	路线类型	三个-维度 区域航线
飞行速度	1.5 米/秒	操作高度	4 m
操作行距离	4 m	金额每英亩	每公顷300升
液滴大小	80 微米		

E. 涂抹防晒霜

每年夏天，阳光变得越来越长，温度持续上升。此外，随着今年厄尔尼诺现象的回归，预计中夏将比往年更加炎热。除了人类的苦难外，树木也遭受着世界上最炎热的夏季。聪明的农民总是试图寻找方法来保护他们的果园免受阳光的侵袭。

在橙树上喷洒白色防晒霜不仅可以保护树体不受阳光直射，还能在一定程度上减少病害和害虫的危害，同时对果实生长扩张期颜色的转换也有良好的影响，使颜色转换更加均匀，果实品质更佳。



防晒喷雾 (450L/ha) 的影响

喷洒环境			
橙树		天气	
树木高度	2 - 2.5 米	天气	晴朗
皇冠直径	2米	风速	一级
增长周期	水果扩展周期	温度	32°C
任务	喷洒防晒霜	湿度	90%
参数			
	T50	线路类型	区域路由
	2 米/秒	操作高度	5 m
模型	T50	线路类型	区域航线
飞行速度	2 米/秒	操作高度	5 m
每亩使用量	450 升/公顷		
	行动行号间距	4 m	
液滴大小	320 μm	流量速率	/

2. 韩松树喷洒作业

朝鲜松，通常被称为韩国松，是一种极具价值的树种。它既是珍贵的木材来源，也是经济树种，对于土壤和水资源保护起着至关重要的作用。韩国松的树干被珍视用于制作高品质家具，其针叶则用于提取松针油，其根系则被用于生产如松香等工业原料。此外，韩国松的松籽被认为是一种天然绿色食品，富含脂肪酸、蛋白质和多种维生素。中国拥有大约3000万公顷的自然韩国松林，凸显了这一物种的重要性和丰富性。



天然韩国松林分布广泛 (用红色圆圈标记的是韩国松)

韩国松树在其自然生长过程中不可避免地会受到各种病害和害虫的影响。常见病害包括疫病、树皮腐烂、斑点病和松树枯萎病，其中松树枯萎病被认为是松树的“癌症”。一旦发现，它可能导致大规模死亡，需要大量砍伐和焚烧以遏制其传播。松树害虫包括松毛虫、松树棕长蠹、松树顶啮小蠹、红松球蚜和松树顶钻虫。

由于天然韩国松林高耸，可达30米，且松果位于树冠高处，传统的手动控制方法面临重大挑战。其中一种方法涉及手动释放烟熏剂来扩散和熏蒸红松子中的害虫。另一种方法是使用大型固定翼飞机喷洒液体杀虫剂，但这些方法既困难又昂贵。



红松树因病虫害枯萎 (灰白色的是枯萎的红松树)。



近年来，韩国松球果的价格持续上涨。这主要是因为韩国松籽的低产量；单个球果重约400-600克，生产500克韩国松籽需要超过三个球果。此外，韩国松树通常有“三年一小收，五年一大收”的规律，这自然会推高球果的年价格。由于球果生长在树冠顶部，采摘起来更加困难，这也进一步增加了收获的复杂性。

然而，随着农业无人机的普及，无论是在自然韩国松林还是人工林中的病虫害控制难度正在逐渐降低。这一技术进步正吸引更多承包商投资并管理自然韩国松林。

为了在 Korean pine forests 中控制疾病和害虫，使用 T 50 的用户通常会在遥控器上使用十字星图案环绕地面，在场地路线模式下激活多方向障碍物避让功能，在操作场景中选择山地/果树模式，并启用高度设置和绕行功能。由于 Pinus koraiensis 是一种每束五针的常绿树种，相对于树冠的高度在 10-15 米的雾状喷雾可以有效地覆盖顶部的松果。这种方法确保了有效的害虫控制，同时提高了操作效率。

然而，值得注意的是，天然韩国松林的高大树干可能会阻挡遥控信号。因此，请确保遥控器放置在平坦开阔区域的高处。或者，在山间平坦开阔的山沟中起飞和降落，或者使用4G增强地图传输功能。

10. 请参阅： https://en.wikipedia.org/wiki/Pinus_koraiensis

表 11 T50韩国松天然林经营管理参数

模型	T50	飞行速度	6-7 m/s
相关王冠高度	10-15 m	操作行距	7 m
体积	30 升/公顷	液滴大小	150 μm

目前，在韩国松树上使用农业无人机的效果也已初步得到验证。农业无人机不仅能帮助韩国松天然森林控制病虫害，还能通过丰富的果实农药增加收入。根据敦化市T50农业无人机用户的反馈，使用农业无人机控制韩国松病虫害后，收入可增加15%以上。以未进行控制的韩国松塔为例，其重量约为250克，在使用无人机用果实农药控制病虫害后，韩国松塔的平均重量达到400克。在这丰硕的收获数据背后，是韩国松森林免受病虫害侵蚀的保护。这同时也是农业科技起飞的见证。

叶蟬控制

茶园田间管理的关键技术是控制茶叶病害和虫害。目前，主要的茶叶病害和虫害包括炭疽病、茶小绿叶蟬、灰茶尺蠖和螨类，这些通常通过人工背负式喷雾器进行控制。然而，人工喷洒存在一些问题，如喷洒不均匀、效率低下、操作人员不安全等问题。无人机操作可以解决茶农以上担忧。



中国茶园



Empoasca

叶蟬属（Empoasca）是茶树园中常见的害虫之一。它一年可以繁殖10到14代，世代交替。成虫和若虫以花蕾和叶子的汁液为食，这对夏秋茶非常有害，对茶叶产量和质量有很大影响。因此，在晚春采茶前，有必要将害虫数量控制在最低水平。

处方			
活跃原料	表格	体积	效果
西维因，托芬吡菌素	悬挂	1350 ml/ha	红蜘蛛螨和蟬
苯氧醚扑丙唑	可乳化的	450毫升/公顷	发现叶片疾病
氯安尼尔，乙托唑	悬挂	675 毫升/公顷	红蜘蛛螨和蟬



症状由茶绿蟪造成的损害

茶叶小绿叶蟬本身是浅绿色的，隐藏在叶芽中不易被发现，它还能飞跳，而在喷洒农药时，成虫若虫容易从喷雾液中逃脱，因此控制效果不佳；但是当无人机喷洒农药时，飞行速度更快，风场范围更广，能有效压制茶叶小绿叶蟬的飞跳行为，控制效果更佳。



大疆T50茶园作业

状况			
茶树		天气状况	
树木高度	0.8~1m	今天天气	多云
树宽	1.2m	风	≤二级
增长周期	夏茶挑选	温度	13~17℃
植物保护管理	茶小绿叶蟬控制	湿度	94%
运行参数			
模型	T50	线路类型	区域航线
飞行速度	4 m/s	操作高度	3.5~4 m
每亩使用量	每公顷120升	操作行距	4.5米
液滴大小	优质	流量	/

广泛应用

1. 覆盖作物推广

随着气候变化和自然资源退化，土壤问题日益严重。确保土壤营养和保护生物多样性已成为全球的共同关注点。

土壤是我们农业系统的基础，是生物多样性的家园，“绿色水库”为我们的植物储备水分”——这是由世界粮食计划署总干事屈冬玉于2024年在全球土壤伙伴关系第12次全体会议上的讲话内容。

农业无人机在传统解决方案的基础上，进一步探索了解决土壤问题的新方法。

农业无人机进一步探索了基于传统解决方案解决土壤问题的新方法。在种植经济作物期间（如两季作物之间的闲季）在裸地上种植的覆盖作物具有两大主要作用：它们可以防止雨水侵蚀土壤并保持水土的完整性；当翻入土壤中时，它们可以增加土壤养分并作为绿肥作物。

特别是，种植豆科覆盖作物可以固定氮气并显著提高土壤肥力恢复。常见的绿肥作物包括大豆、野豌豆、芥末、苜蓿、黑麦和三叶草。

近年来，覆盖作物在全球范围内变得越来越普遍。以美国为例。在2012年至2017年间，种植面积从500万英亩翻倍至1000万英亩。

。覆盖作物的历史



混合覆盖作物种子

欧洲的种植历史长达数百年。在过去，覆盖作物种子的播种主要由地面拖拉机完成。但随着农业无人机技术的推广，越来越多的农民意识到了无人机作业的优势。

在德国，农民和服务提供商共同改变了“大型拖拉机耕作和撒播模式”。在过去，此类撒播作业只能等到经济作物收获后进行。这不仅不能及时补充土地的营养，而且翻土后的干燥还会对土地的生物多样性造成损害，并进一步损害土壤的储水能力。

使用农业无人机播种，可以在收获小麦等经济作物前两周播种覆盖作物种子，包括豆科作物，如苜蓿和黄芥菜。这种方法具有多个优点：它消除了破坏现有经济作物的需求，同时提前了绿肥作物的生长窗口。到经济作物收获时，绿肥作物已经发芽，使其对可能导致低发芽率的突然冷暖天气更少敏感。此外，这种方法还可以防止有益生物（如蚯蚓）的损失，因为大型机械不需要进入田间进行土壤耕作。

11. 参阅： <https://www.fao.org/newsroom/detail/global-soil-partnership-assembly-discusses-how-to-meet--ambitious-and-urgent--target/en>
12. 请参阅： <https://www.schmidt-solutions.de/>

使用农业无人机撒播覆盖种子的一大优势是，它们可以在雨前或雨后使用，具有更灵活的操作时间和更高的发芽率。即使在暴雨之后，当大型拖拉机无法进入泥泞的农田进行作业时，无人机操作仍可照常进行。即使在轻微的雨天，农业无人机的撒播也不会受到影响。



T50 在轻雨中撒播种子

长期使用地面拖拉机作业后，土壤会变得紧实和硬化，影响作物产量。作为一种非接触式作业工具，无人机完全避免了这个问题。在绿肥作物生长后，它们会增加土壤中的养分。豆科植物在固氮方面发挥作用。绿肥作物滋养的土地的保水能力进一步得到提高，这增强了土壤的缓冲能力，最终增加粮食产量。

2. 大米推广

稻米是一种谷物，它是世界上超过一半人口的主食，尤其是在亚洲和非洲。稻米通常采用两种种植方法：移栽和直接播种。移栽的实践包括四个步骤：准备苗床、培育秧苗、拔出秧苗和将秧苗移植到主田。与移栽稻不同，直接播种的稻米不需要在苗床中培育秧苗，而是直接播种到主田。直接播种在一些国家如美国和澳大利亚是一种常见的做法。在美国，所有稻田都通过直接播种，其中20%是通过飞机播种。然而，在亚洲，传统的做法中移栽稻更为常见。然而，由于劳动需求显著降低，甚至在亚洲国家，移栽稻越来越多地被直接播种所取代。在马来西亚，过去10年中直接播种稻米的面积从0增加到50%。在泰国，直接播种稻米的面积百分比是34%，而在菲律宾和印度，这一比例约为30%。

DJI AGRAS无人机技术的引入提高了这些国家进行水稻直接播种的可行性。使用无人机进行水稻直接播种相比人工播种提高了作业效率和播种精度，并且消除了地面播种者常见的陷入泥泞稻田的风险。因此，它在水稻种植国家变得越来越受欢迎。

13. 参见： <https://en.wikipedia.org/wiki/Rice> 14. 参见： <https://xueba.o.scau.edu.cn/zr/html/2019/5/20190501.htm>



图1 土壤中的蚯蚓
图2 覆盖作物增加土壤养分
图3 土壤中的蚯蚓

2023年，DJI农业无人机在美国的覆盖作物喷洒面积达到约46,000公顷，在德国达到约6,700公顷。越来越多的农民从这种新型作业方法中受益，这不仅提高了喷洒的成功率，还降低了耕地产量潜力的损失。

智能农业

1. 农业无人机推动泰国榴莲产业进入新时代

榴莲，一种原产于马来西亚的水果，在东南亚地区广泛分布。在所有榴莲生长的地区中，泰国的榴莲产量高居世界首位。特别是金枕品种，是泰国著名的榴莲类型。

在最近时期，榴莲在中国市场上的受欢迎程度显著上升。这导致了从泰国出口的榴莲栽培面积和出口量的大幅增长。然而，这种增长要求精心照料以维持生产水平。一年四季都有可能影响榴莲树的多病虫害，蚜虫是主要担忧对象。其他害虫，如叶跳甲、蓟马、绵蚜和蜘蛛螨，也构成了威胁。这些害虫可能会损害榴莲树的叶子，妨碍光合作用，这可能会导致产量低于预期，从而影响收入。



空中拍摄榴莲果园的照片

泰国榴莲种植每年有两个主要的密集护理期。第一个时期从七月到十二月，与国家的雨季和榴莲叶生长阶段相符。这段时间温暖的湿润气候是害虫和疾病的温床，而大雨可能导致显著的养分耗竭。第二个关键阶段从一月到三月，与开花和果实发育阶段相吻合。在这些高峰护理期间，每月需要施加3到6次叶面肥料和杀虫剂，以确保榴莲树的最佳健康和生产力。

两三年前，当地农民开始逐渐探索新的喷洒模式，使用P4R进行空中调查，DJI地图软件制作地图并生成自动路线，以及T30进行喷洒。后来，他开始使用Mavic 3多光谱版进行空中调查，使用DJI Map软件制作地图，然后使用T40进行喷洒。

榴莲喷洒作业

在榴莲园区的运营中，Mavic 3M 首先 用于进行空中巡查，拍摄数百张园区照片，观察整个地块的整体情况，了解榴莲树的生长状况，确定是否存在害虫和疾病，并收集运营计划的基本信息。



然后，空中调查期间拍摄的照片被导入大疆 Terra 软件以开始图像重建。照片被生成成为一个三维地图，并使用人工智能识别地图中的榴莲树和障碍物。如果机器喷洒区域，例如自动等距路线，点击“生成 3D 通道”。3D 通道将出现在榴莲树上方。您可以在软件上调整喷洒操作的总体高度、宽度和角度以及路线的平滑度。在最新版的大疆 Terra 中，用户可以灵活调整地图上某个航点的海拔高度，以确保无人机喷洒操作高效且准确。



T40根据生成的路径精确喷洒。

在泰国漫长的雨季，作物喷洒的窗口期短暂，无人机通过显著减少这一关键任务所需的时间和资源，证明了其价值。例如，人工喷洒90萊榴莲果园需要大约4天时间，而无人机可以在1-2天内完成同样的任务。此外，在2023年夏季，一种新的蚜虫迅速传播到农作物上时，无人机能够在紧迫的2-3天紧急喷洒时间表内迅速做出反应，这是人工方法往往难以实现的壮举。



传统手动操作

农业无人机解决了与人工喷洒相关的诸多挑战。首先，农药施用劳动密集且充满健康风险，这使得招聘和留住工人变得困难。这对榴莲果园所有者来说是一个重大问题，尤其是在农业生产高峰期。

其次，由于缺乏精确性，人工喷洒往往会导致农药使用过量，造成浪费。相比之下，农业无人机在相同面积上可以将化学物质的使用量减少20%-30%。

最后，从覆盖范围的角度来看，无人机可以到达树冠——害虫的常见栖息地——而这一点用人工喷洒几乎无法实现。因此，无人机不仅提高了效率，还增强了害虫控制的效力。

喷洒方法	水消费 / Rai (L)	化学品集中	化学品成本 泰铢，泰国货币)
手册 喷雾	333.33	1	333.33
气爆	166.5	1.5	249.75
Agras 无人机	30	5	150

喷洒90萊榴莲园的成本是540泰铢（基于每年40次操作计算）与人工劳动相比，农业无人机可以节省659 泰铢的成本。与Airblast喷雾车相比，农业无人机可以节省359巴特的成本。*由于年度收获变化，榴莲喷洒的频率和成本会有所不同。



运行参数			
模型	T40	流量速率	12 L/min
速度	1-1.5 m/s	高度	3.5 m

尽管农业无人机对于泰国当地农民来说可能是一笔昂贵的投资，但它们的益处显著超过了成本。这些无人机不仅提高了喷洒效率，还解决了快速害虫和疾病控制的重大问题，这一问题通常因劳动力短缺而受到阻碍。它们超越了人工劳动和传统农业机械的限制。鉴于榴莲树的高大身躯和它们在山地地形中的生长，某些区域使用传统的喷洒方法难以触及。农业无人机的应用导致了作物产量的提高，最大限度地减少了害虫和疾病造成的经济损失，并提高了工人的安全。

2. 在玉米生产的中后期使用农业无人机

玉米是全球种植最广泛的粮食作物之一，同时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。



中国和美国是世界上玉米种植最重要的两个国家。中国玉米种植面积全年保持在（4000万公顷）以上。主要种植区包括中国东北、华北、西北以及华中、华南地区。中国东北地区尤其适合玉米种植和生长，在气候、土壤等环境条件方面，因此被称为“黄金玉米带”。

随着无人机技术的持续进步，其中期和后期玉米作业中的优势尤为突出。

1. 高效的作业能力。大疆农业无人机配备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，极大地提高了作业效率。

2. 农药和肥料的准确应用。DJI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在田地中均匀分布，减少药物浪费，并避免过量施用对环境 and 产量的影响。

3. 减少作物损害。由于无人机飞行操作无需接触作物，因此可以最大程度地减少对玉米植株的机械损害，尤其是在中后期。

晚期，当玉米生长旺盛时。

4. 灵活的作业时间。玉米生长需要高温和相对适宜的湿度，在中后期茎高可达2-3米，通风和光照条件较差，极易引发各种病虫害，且难以及时检测。大疆农业无人机可在各种天气条件下作业，为玉米病虫害防治提供了更大的灵活性和及时性。

4. 数据监控与分析。无人机不仅能够完成农药喷洒和施肥，还可以用于监测玉米的生长和成熟度，为精准农业提供数据支持。



上述在玉米地中应用的无人机技术

种植过程可以对玉米产生许多影响：

1. 增加产量。通过精确及时的防治病虫害，无人机技术可以帮助农民提高单位面积玉米的产量。减少作物损害和改善农药喷洒效率可以帮助玉米健康成长，从而增加产量。

2. 提升质量。准确施用农药可以有效控制病虫害，减少玉米籽粒上的病害和虫害，并提高玉米的外观和内在质量。同时，减少化学农药的使用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化学物质的使用，有助于保护土壤和水资源，并促进农业的可持续发展。

农业无人机在玉米的中后期作业中具有显著优势。它不仅提高了作业效率，还在提高玉米产量和质量方面发挥了积极作用。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领域具有巨大的市场潜力。

3. 革新牧场上杂草喷洒技术

草地是全球农业区的主流土地利用形式，在世界上牧场面积最广泛的国家的排名中，澳大利亚位居第二。这些土地主要用于牛、羊和奶牛养殖。预计澳大利亚农业的牲畜出口总值将在2023财政年度达到274.6亿澳元。

在过去这些牧场中遇到的一个重大挑战是黑莓的入侵，这是一种以难以控制而著称的物种。如果得不到治疗，黑莓可以覆盖整个草地，阻碍牲畜自由移动和觅食。这种情况可能导致重大经济损失。



野生黑莓

詹姆斯·莱昂，Lyon AG的董事兼首席飞行员¹⁵，无人机解决方案公司已经为牧场提供测绘和喷洒服务超过两年。詹姆斯最初进入农业无人机行业是为了利用人工智能检测并定点喷洒nodding thistles，这是一种通常通过传统手工方法管理的有害杂草。然而，手工清除并不能根除所有根系，而燃烧或生物控制等方法可能会对生态系统产生不利影响。通过他的测试和实践，詹姆斯发现化学控制是最可靠的方法。

詹姆斯最初进入农业无人机行业的想法是能够通过人工智能检测和识别摇头的蓼，这是一种农民通常通过传统方法进行喷洒的恶性杂草，主要

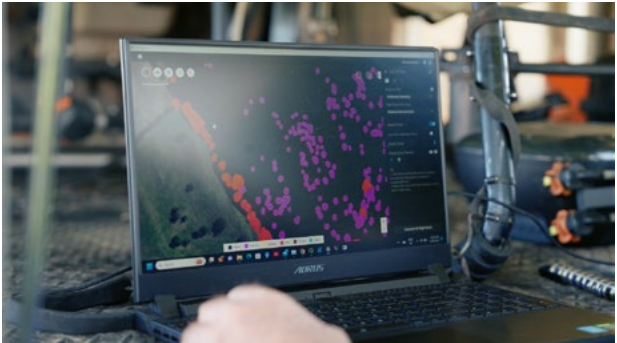
手动喷洒四轮摩托车或侧置摩托。手动清除无法去除所有根系，燃烧可能会破坏生态系统，生物控制选择有限且可能对当地生态系统带来风险。根据詹姆斯的测试和实践，化学控制是最可靠的方法。

因此，他在两年半前就进行了大量关于喷雾无人机、测绘无人机的调研，并开始提供服务。

为了实施此方法，他进行了广泛的喷洒无人机和测绘无人机的研究，并在两年半前开始提供配备T20无人机的服务。

利用Mavic 3M或其他多光谱无人机进行空中勘测

这些无人机能在30分钟内对57公顷的区域进行厘米级精度的测绘。无人机的地形跟随功能根据牧场实际地形调整飞行高度。多光谱和RGB相机有效监测牧场生长并准确识别杂草位置。



大疆精灵Terra结合算法识别杂草位置

15. 请参阅：<https://lyonag.com.au/>



运行参数			
模型	Agras T40	流量速率	50 L/ha
高度	3 – 6 米，具体取决于地形和树木的高度。	行间距	7.5 m
速度	18 千米/小时 (5 米/秒)		

提高运营安全性与降低劳动力强度：农业无人机的

重要性
使用无人机在农业中显著提高了操作安全性并降低了劳动强度。澳大利亚的牧场通常位于陡峭的山坡上，这使得传统机械和车辆难以进入。无人机技术使得操作员能够在安全距离内工作，并最小化化学物质接触。

使用农业无人机进行杂草管理可以实现50%的成本降低和51%的化学用品使用量减少。它们覆盖了各种牧场管理需求，如肥料管理、杂草控制、病虫害控制、土壤和种子管理。这些解决方案的好处越来越在詹姆斯的服务团队所在的格洛斯特地区得到认可。

分解：

	总面积	喷洒区域	应用成本	化工成本	总成本
无人机	300 ha	153公顷	17,000 澳大利亚元 10,947 美元	38,250 澳元 24,631 美元	55,250 澳元 35,579 美元
直升机	300 ha	300 ha	37500 澳大利亚元 24,148 美元	7,500 澳元 48,297 美元	112,500 澳大利亚元 72,445 美元

推进环保型农业：迈向可持续未来

除了经济收益之外，精准喷洒减少了当地生态系统受损。传统喷洒方法，如直升机喷洒，常常导致非目标物种被杀，造成意外的植物破坏和潜在对当地生态系统的危害。



精准农业，该技术结合了多光谱和农业无人机技术，是一项革命性的技术，能够提高农业生产效率和产量。它使农民能够精确和可持续地施用化肥、杀虫剂和除草剂，从而为农业可持续未来铺平道路。

虽然农业可能被认为是效率最低的行业之一，但它也在经历着越来越多的创新。在这个季节，美国中西部的农场采用了使用大疆无人机和Agremo AI杂草检测的局部喷洒解决方案，以精确地针对杂草侵染。

杂草管理几乎成为农民生活的必选项。在正常的大豆-玉米轮作农场，研究表明，控制自生玉米可以分别防止15%和60%的产量损失，分别来自单个和成簇的自生玉米。此外，农民通过选择局部处理而非全面处理来节省了费用。通过使用无人机影像和Agremo的杂草检测功能，在这64英亩的大豆农场中发现了3.75英亩的单个自生玉米和6英亩的成簇玉米害虫。随后，农民驾驶DJI的喷洒无人机T30对这些自生玉米进行局部处理。结果，他只使用了60%的除草剂，并避免了由于轮迹损伤造成的作物损失。最终，农民通过选择局部处理而非全面处理，他的收入增加了68.39%。

这些结果验证了在农业中通过地图+AI分析+局部喷洒进行精确治疗的可行性和经济效益。

农业与无人机应用的结合

1. 小麦种子播撒

小麦的历史遗产体现在每一片面包、每一口面食和无数乡村景观中。从古代文明到现代社会，小麦在养活大众和维持经济中发挥着关键作用。小麦在全球范围内种植，凸显了其在文化和时代中的重要性。2023年，美国农业部（USDA）的数据显示，全球小麦产量达到了惊人的7.866.701百万吨。在产量方面，中国、欧盟、印度和美国领先，其中中国占全球总量的约17%，相当于1.365.900万吨。在美国，包括冬小麦、春小麦和硬质小麦在内的产量估计为18.1亿蒲式耳（4930万吨），种植面积达3730万英亩（151万公顷）。



小麦种子在湿地上通过无人机播撒

然而，面对传统小麦种植方法所面临的现代挑战，农业中无人机技术的出现为作物管理带来了复兴。农业无人机不仅可以在小麦上喷洒农药，还可以播种。通过使用农业无人机在湿润地面上均匀撒播小麦种子。

2. 无人驾驶示范果园

2023年2月，DJI农业在位于复杂丘陵地形中的一个10公顷的柑橘示范果园举行了新闻发布会。挑战是 让一个农民使用农业无人机来管理整个年度运营——从清理果园到收获。通过在线采用，成千上万的采用者见证了完全使用无人机管理果园的可行性。

在经过230天后，示范果园终于在十二月迎来了丰收。估计产量达到25万公斤，节约了24万公斤的水，并减少了15,146.92美元的成本。使用单无人机管理果园证明是完全成功的。

在本次演示中，大疆农业解决方案工程师赋能橘园业主使用大疆 Agras T50 农业无人机、Mavic 3M 空中测绘无人机、DJI Terra 等其他先进技术设备来管理一个 10 英亩的南橘橘园。测试结果显示，云上江谷南橘的蔗糖含量平均值超过了 14 度，从而赋予了它柔软、清甜的口感及丰富的果汁。

除了确保水果质量外，采用无人机进行综合管理的模式实现了成本降低、产量增加，并促进了绿色环境保护。

无人机技术在果园管理中的效率和有效性已经得到验证，这些经济和农业解决方案现在正在其他领域进行复制。

Cost estimation			
Data	2023	Last year	Savings and ROI
 Harvest (kg)	250,000	200,000	 Increase in 25%
 Water Use (kg per application)	1500	1200	 Reduction of 30,500 kg
 Chemical Cost (USD per year)	\$6,900	\$15,100	 Savings of \$8,200
 Labor Cost (USD per year)	\$0	\$6,900	 Savings of \$6,900
 Total Cost (USD)	\$15100		



10-公顷柚子展示果园



挑战整个无人机管理流程

无人机播撒融雪剂

2023年2月，中国中东部地区出现了大范围的雨、雪和冰冻天气，这对交通和工业农业生产带来了挑战。

DJI农业无人机已投入融雪、除雪、除冰作业。

无人机在极端天气条件下的应用场景正在扩展。

据理解，自4月4日早上起，湖北十堰许多工厂因大雪而倒塌。

亏损数十元甚至数百万，许多工厂主紧急提出需要除雪。

当地无人机飞行员在4日清理了两家工厂的积雪，截至5日下午2点，积雪清除作业已进行。

在同一天对五家工厂进行的调查。

除此之外，大疆农用无人机在工厂建筑之外，也用于蔬菜大棚的除雪作业。2月4日，武汉一位飞行员接到蔬菜种植者的电话，他们提出帮助除掉50个种植生菜的大棚上的积雪。在该飞行员的协助下，农用无人机在超过一个小时内完成了除雪任务。

使用工业盐除雪的效果是大约半小时内融雪，大约四到五小时内完全融化。



无人机播撒融雪剂

在湖北和河南，农业无人机也参与了道路融雪和除冰作业，这些活动由当地应急管理部门组织并实施。“在过去，农业无人机也用于除雪和融冰，但过去雪层较薄，应用较少。无人机在今年的大雪中发挥了重要作用。”当地飞行员说。

从“养蚕”到喷洒农药，无人机正在改变这个古老行业。

橡树属于壳斗科栎属。它的高度可以长到30米。由于其木质坚硬、密度高和自然香气，它可以用来制作各种珍贵的家具。在橡树上养殖柞蚕大约5年后，这些橡树通常会进行轮伐，轮伐下来的树枝被用来培养如黑木耳和香菇等各种可食用真菌。橡树可以说是丝绸农场的“摇钱树”，也是水土保持、防风固沙的重要参与者。

橡树叶含有丰富的碳水化合物、蛋白质、纤维素和其他成分，这些都是橡蚕的重要食物来源。一年中，橡蚕可以在春季和秋季繁殖。春季橡蚕的繁殖时间一般从四月末到七月初，而秋季橡蚕的繁殖时间一般从七月末到十月初。“房间里有一个大约100平方米的室内空间，里面有200多个木制方形箱子。” 每只木质方形箱子中大约有1,200至1,300只柞蚕。这样，总的柞蚕数量大约为30万。这些柞蚕需要大约4公顷的林地才能生存。

从蚕农在山上释放柞蚕开始，到收集茧的几个月期间，蚕农几乎每天都得爬上山。一方面，他们防止鸟儿吃蚕。基本上，一旦鸟儿飞过，整个柞蚕田都会被吃光。另一方面，他们手动切割和移动柞树枝，将柞蚕释放到叶子更密集的树上。这要求蚕农每天步行20至30英里山路，还不包括在柞蚕上山前撒石灰粉和喷洒液体化学品。整个柞蚕养殖过程包括室内培养、蚕苗移植、柞树修剪（柞蚕群从一个树移到另一个树）以及手工采茧。每个环节都包含了蚕农太多的汗水和努力，这也严重限制了柞蚕产业的发展。对于柞蚕农来说，如何使用更多新设备来提高这个古老产业的产量效率并扩大柞蚕养殖规模已成为首要任务。

橡树常见的害虫包括五色蛾（也称为黑头橡树毛毛虫），其幼虫以橡树叶为食。当爆发时，它们可以吃掉所有的叶子，严重影响橡树的生长和发展。此外，还有黄棕桐船蛾、黄双星船蛾、刺蛾和象鼻虫等害虫。橡树常见的疾病包括粉锈病、褐斑病和干病。

第一轮用于预防和控制栎树病害的化学产品于4月初完成。一般情况下，石灰粉可用于预防和控制，每公顷用量约为225公斤。第二轮杀虫剂主要用于针对如灰蛾和蛆等害虫。在过去，养蚕农民经常需要步行携带化学产品箱来喷洒栎树。液态化学产品的手动喷洒无法覆盖栎树树冠顶部，且容易造成中毒。使用农业无人机喷洒农药避免了人与药物的直接接触。无人机喷洒的农药液滴尺寸更小，更易附着在栎树叶的前后表面和害虫表面。在无人机螺旋桨强大的向下压力下，还能扰动栎树叶，帮助液体渗透到栎树的底部区域。



T50农业无人机用于控制橡树的疾病和害虫。用户通常使用准星在遥控器上圈定土地，并在田间路线模式下打开全向障碍物避让功能。由于蚕桑农场的橡树基本上种植在50-200米高的斜坡上，斜坡一般小于35度，因此操作场景需要选择山地/果树模式以开启设置高度和绕行的功能。

此外，当橡树之间的距离较大时，容易触发避障，固定高度应设置在约3-4米。

应注意的是，当无人机在山坡背面工作时，山体容易阻挡遥控信号，因此有必要确保遥控器位于山腰的指挥高度，且位置平坦开阔，或者使用4G增强图形传输功能。

模型	T50	飞行速度	每秒5米。
相对王冠高度	3-4 m	行距操作	7 m
体积	90-120 升/公顷	液滴大小	150-200 微米

除此之外，在撒石灰粉和喷洒液体化学产品的过程中，农业无人机还可以用于帮助桑蚕农民将桑蚕竹篓在山地上下运输。在以前，桑蚕农民需要频繁将桑蚕竹篓上下搬运。有了无人机，仅在几个小时之内就能运输超过200公斤的桑蚕，从而大大提高了养蚕家庭的效率。

农业无人机凭借其独特的优势，正在改变古老的橡树培育产业，帮助蚕农提高效率，进而扩大养殖规模、增加产量和收入。

使用T40无人机喷洒龙舌兰

龙舌兰，一种耐旱的沙漠植物，是墨西哥文化中根深蒂固的饮料龙舌兰酒的生产中心。主要在墨西哥哈利斯科州种植，尤其是特基拉地区，龙舌兰种植业面临着独特的挑战和要求。该地区的干旱气候和崎岖地形使得传统农业实践既费时又昂贵，特别是对于除草剂的应用，这对于年轻龙舌兰植物（1-3年）的正常生长至关重要。

正确的除草剂应用至关重要，但伴随着几个显著挑战：

时间限制： 除草剂需要在雨季来临之前施用，这是一个农民必须覆盖广阔田地的狭小窗口。

劳动力短缺： 人工喷洒由于昂贵的除草剂和需要大量劳动力而劳动密集且成本高昂。难以雇佣足够的劳动力，尤其是在较大的龙舌兰农场。

安全关注： 传统方法使工人暴露于有害化学物质，存在重大健康风险。

水资源短缺： 水资源有限，尤其是在种植龙舌兰的偏远地区。培育高品质的龙舌兰需要在7年的生长周期中及时进行干预，包括使用除草剂、施肥和害虫控制。传统上，这些任务是由大批劳动力或拖拉机手动完成的，耗时耗力，且易受人为错误影响。

在无人机技术出现之前，龙舌兰种植者依赖拖拉机带喷雾器和手动背负式喷雾器。这些方法存在一些缺点：

耗时： 拖拉机喷洒平均每公顷需要1小时，而手动背负式喷洒则需要10人团队每公顷1.5小时。

高耗水： 与无人机相比，传统的手动或拖拉机喷雾方法使用的水量显著更多。对于龙舌兰，单公顷需要使用200升水。

高成本： 传统方法使每公顷成本增加42%至55%。人工劳动需要大量团队，耗时较长，每公顷成本约为60美元。

安全风险： 拖拉机和人背式手动喷雾都会使操作者暴露于有害化学物质中，以及穿越崎岖的龙舌兰田地时受伤的风险。

有限的可访问性： 崎岖不平 and 地形复杂的仙人掌农场对于拖拉机作业构成挑战，通常导致作业覆盖效率低下。拖拉机作业在时间方面相较于人工喷洒更具效率，但仍然可能损害仙人掌作物，并且每公顷的成本也相同。

我们的案例研究聚焦于特基拉地区的一家龙舌兰生产商，他们在大约10-14个月前开始探索大疆农业无人机。面对传统除草剂应用方法的时限约束和高成本，他们决定在2023年雨季采用大疆的Ag ras T40无人机。由两名飞行员组成的团队已成功处理了大约300公顷的龙舌兰田地。



运行工作流程 日期和时间

无人机干预于2023年6月28日在墨西哥提基拉进行。干预当天的天气情况良好，尽管未记录具体的温度、湿度和风速细节。

无人机应用

此次作业所选用的无人机为DJI Agras T40，因其更大的容量而被选中，使得每次飞行可以覆盖更多地形。同时，P4 Multispectral 无人机也被选中，因其测绘和感知能力，增强了喷洒过程的效率。

化学品信息

所使用的除草剂为Amvac Krovar，这是一种溴苯腈和二氯喹啉的干颗粒混合物，以每公顷3公斤的比例稀释于水中。该溶液以每公顷200毫升的比例施用，与传统方法相比，显著减少了所需的水量。

结果

立即结果

研究结果显示，干预措施实施一个月后进行评估。与未处理的对照组相比，使用无人机处理的龙舌兰植株在健康和生长方面显示出显著的改善，杂草竞争减少明显。与人工或拖拉机处理的区域相比，龙舌兰的健康状况看似相当，但这是在显著降低操作成本和时间的情况下实现的：

时间缩短： 从每小时每公顷1小时的拖拉机作业时间缩短到仅6分钟的无人机作业时间，操作时间减少了90-95%。

环境效益： 用水量减少88%，从传统方法的250 L/ha降至使用无人机后的30 L/ha。

成本节省：			
成本分解	无人机喷雾	拖拉机喷雾	手册喷雾
劳动力成本	\$1.43	\$14.29	\$57.14
化学品成本	\$133.71	\$133.71	\$133.71
燃油成本	\$0.00	\$44.57	\$0.00
设备维护与减值	\$1.83	\$1.83	\$0.00
其他费用	\$2.86	\$5.71	\$26.74
总成本每公顷	\$139.83	\$200.11	\$217.60

方法	区域已覆盖	数字数量人们	时间已获取
体力劳动	1公顷	10	90分钟
拖拉机	1公顷	1-2	1小时
无人机	6 公顷	3	1小时

DJI 无人机的益处

DJI Agras T40无人机提供了多重优势：

效率： 农药施用时间减少了十倍。

成本节省： 由于劳动力和化学用品使用量的减少，运营成本降低。

安全： 最小化与有害化学品的直接接触。

环境影响： 用水量从每公顷250升减少到仅30升。



证词

农民满意度

使用Agras T40无人机进行除草剂喷洒不仅是一个成本效益高的解决方案，让我们能更有效地利用资源和人员，还使我们能够在雨季开始前顺利完成除草剂喷施计划，这种技术彻底改变了我们对待农业的方式，"瓜类作物生产商表示。

结论

总之，DJI Agras T40无人机在龙舌兰种植中的应用证明了在效率、成本节约、安全性和环境可持续性方面的重要改进。这项案例研究证明了无人机技术在农业中的变革力量，为农业创新者、无人机爱好者以及可持续农业倡导者提供了有价值的见解。

未来调查将使用Agras T50进行，以确定一年内无人机能为龙舌兰生产商完成多少任务。

这个案例中出现的龙舌兰种植者总结建议道：“对于那些考虑使用DJI农业无人机的人，首先了解你们的具体需求和无人机技术如何满足这些需求。效率和成本节省具有变革性。”



农业无人机应用是人员技术、产品技术开发、农学、农业技术以及农药应用的全方位组合。这离不开整个行业的共同努力以及不断探索形成“最佳实践”的形成。

人员培训

在2023年，基于现有的培训国家，DJI学院继续在澳大利亚、欧洲、美国和南美国家进行教官培训、飞行员培训、智能农业培训和果园应用培训，以推广更多合作伙伴和用户的知识和技能。

2024年，大疆在培训中进行了团队和内容整合，为合作伙伴提供更先进的培训，结合作物解决方案，包括针对销售人员的预销售培训、针对技术人员的交付工程师培训，以便合作伙伴能够获得全面的产品和行业教育和推广，从而更好地服务行业 and 用户。



图73 土耳其DJI学院培训

技术研究与发展

1. DJI Agras T50

DJI Agras T50是一款效率和稳定的旗舰机型，它源自对大规模农业生产需求的深入理解。该机型继承了同轴双旋翼设计，并配备54英寸螺旋桨，能够在携带40kg喷雾或50kg撒播负载时达到前所未有的稳定性，从而实现每小时最高可达50英亩（21公顷）的效率喷洒。¹⁶ T50的双原子化喷洒系统，配备两个喷嘴，流量可高达每分钟16升，并可调节喷滴大小，适用于从田地到果园的各种应用。T50可轻松转换为扩散配置，可携带50公斤干颗粒，并以高达每分钟108公斤的流量进行扩散。¹⁷ 或每小时1.5吨。这种动力、精度和多功能性的结合使T50在农业无人机中脱颖而出，成为现代农业不断变化需求的首选。

T50配备了升级的四天线O3传输系统，将遥控器与无人机之间的连接距离扩展至2公里。¹⁸ 对于穿越山区和其他复杂环境的作业，用户可以部署大疆中继设备来扩展传输范围并增强稳定性，以提升操作的安全性。

双重雷达与双目视觉系统用于避障与地形跟踪

T50配备双主动相控阵雷达和双目视觉传感器。这些传感器协同工作，精确重建T50的周围环境，并检测附近障碍物，以实现智能障碍物感知和绕行，以及斜坡上的地形跟随。

T50可以配备额外的一对离心式喷洒器，提高流量至每分钟24升。这有利于果园喷洒等需要更高流量以穿透密集树冠并处理叶片正反面的任务。

T50搭载DB1560智能飞行电池，容量高达30Ah，充电周期可达1500次。¹⁹ D12000iEP多功能逆变器发电机搭配空气冷却散热器，可实现9分钟内启动。²⁰ 快速充电，允许使用一对电池进行连续运行。

2. Agras T25

Agras T25 将 T50 的高级功能集成到一个更小、更便携的设计中。它能够携带 20 公斤的喷洒或 25 公斤的撒播负荷，并包括 T50 的顶级功能，如多方向障碍物避免、地形跟随、超快电池充电、一键起飞和自动操作。这使得它在小型到中等规模的农场中单人使用完美无缺。

3. DJI SmartFarm - 农业助手Essential Agras

大疆智能农场应用程序通过增强数据可视化和报告、动态设备管理仪表盘以及便捷地访问大疆学院的销售后支持和学习资源，简化了日常无人机操作，以实现作物保护和地块管理。

16. 数据使用DJI AGRAS T50进行测量，可能会根据操作环境和参数有所不同。本次测试的飞行参数：施用量为15 L/ha，喷雾宽度为11 m，飞行速度为7 m/s，高度为3 m。17. 使用直径为4毫米的尿素进行测量。最大流量率可能因不同肥料颗粒大小、密度和表面光滑度而有所不同。18. 在2.5米飞行高度测量，无阻挡或电磁干扰。19. 电池质保至1,500次充电循环或12个月，以先到者为准。20. 从30%充电至95%。影响充电时间的因素：充电站的高度；充电线满足快速充电要求；电池的温度在15°至70° C (59°至158° F) 范围内。

农业与技术的结合：果园应用的原理与技能

1. 如何选择参数？

DJI农业果园解决方案中的三维航线包括：DJI Terra上的距离间隔、树冠中心、半自动和手动；DJI SmartFarm Web上的田间和自定义航线；以及遥控器上的标准、目标和自定义航线。

为了简化文章，本章将使用“距离区间”、“区域”和“标准”（以下简称“区域模式”）等术语。本章将使用“半自动”、“手动”、“自定义路线”和“自定义”（以下简称“条带模式”）等术语。

其次，应根据果树和果园的种植密度、类型、年龄、分布和地形选择路线模式。

在以下情况下，建议使用区域模式。

- a. 高密度种植果园（株距 ≤ 1 + 树冠直径，行距 ≤ 2 + 树冠直径，类似于封闭式行距），整齐种植，没有大的树冠高度差异和小的坡度。
- b. 水果树的特殊操作要求，如果园清理、大规模病虫害的综合防治等。

在以下场景中，建议使用条带模式。

- a. 栽植密度小（即大型株距和行距，即非封闭行列），果树的栽植趋势分布与山体轮廓等。

- b. 对于1-2年的大树，可通过采用条带式喷雾模式节省农药。

然后，根据DJI AGRAS无人机模型、路线类型和目标对象选择操作参数。

应用、天气因素（温度、湿度、风速）和工作时间。

在启用条带模式时，操作中无人机的流量和速度是主要需要考虑的因素。a. 流量：果树林作业的流量范围为4至20升/分钟。b. 速度：果树林作业的运行速度范围为1至3米/秒，但路线转弯越多，速度损失越大，经验系数为0.925。

在使用区域模式时，操作中的喷洒率和路线间距是需考虑的主要因素。a. 喷洒率：果树操作中的喷洒率范围从75-450 L/ha。b. 路线间距：果树操作中的路线间距范围从3.5-5.5米。

2. 如何计算总用水量

1) 区域模式

- a. 面积计算方法：实际作业区域通过果园中小坡度的路线间距和路线长度进行计算；在坡度较大的果园中，使用间距和路线长度的斜宽。
- b. 计算：路线的实际覆盖面积（公顷）× 体积（升/公顷）= 总用水量（升）。
- c. 面积模式中的面积 ≈ 路线的实际覆盖面积 = 田地长度 × 路线间距 × 线路数量。
- d. 在坡度较小的果园中，可以选择投影面积和表面积，总用水量大致相同。

- e. 应在坡度大的果园中选择表面积，并且总用水量相对准确。

2) 条带模式

- a. 计算：[路线长度（米）/速度（米/秒）× 0.925 / 60] × 流量（升/分钟）= 总用水量（升）。
- b. 条带路线的实际覆盖面积 = 路线长度 ×（树冠直径 + 1米）





详细说明错误应用



农业无人机应用涉及飞行安全和农药安全。为了帮助实践者更安全地使用农药，在此提供了对应用错误的详细说明。

错误1

在不适用的区域喷洒除草剂，例如下风处、靠近敏感作物等。

许多化学品具有特定的漂移特性，尤其是除草剂产品。因此，在喷洒选择性除草剂时，应注意周围是否存在敏感作物，以避免漂移造成的损害并影响周围作物的生长。

例如，在冬季，冬小麦和油菜都存在于耕地上。如果在小麦地进行除草作业，而油菜地位于作业区下风方向，除草剂可能会飘移到油菜地，导致油菜死亡。



错误2

在蜜蜂和桑树附近喷洒杀虫剂

化学杀虫剂对蜜蜂的活动有一定影响。特别是广泛使用的烟碱类杀虫剂（如吡虫啉、噻虫嗪等）对蜜蜂具有强烈的杀灭作用，应特别注意在喷洒此类农药周围是否有蜜蜂繁殖活动。其他农药也应根据产品标签要求进行配制，以确认其对蜜蜂影响程度，然后再制定应用计划和释放蜜蜂的时间窗口。

在蜜蜂养殖业存在的地区，在进行操作前，负责耕种的人员应提前确认是否在3公里范围内存在蜜蜂养殖。如果存在，则不得进行操作。或者在与蜜蜂养殖者确认后，在操作前提前转移蜜蜂。

在桑树种植在风向下的区域，严格禁止喷洒农药。



错误3

在玉米茎叶上喷洒除草剂

常见的玉米除草剂包括阿特拉津和尼索磺隆，这两种除草剂对玉米安全，但对其他作物不安全，因此玉米除草操作应特别谨慎。

drift damage to corn weeding often occurs in the following situations: a. The height is too high, and in some cases, the height even reached 5 meters; b. Droplets below 100 μm were selected, which increased the distance of droplet drift; c. There are other crops within 100 meters downwind of corn, and the environmental wind force during operation is above level 3, which increases the drift distance.

错误4


使用高速或粗雾滴进行果园操作。

果园具有高树高、茂密树冠和难以穿透的特点，因此操作参数的选择应遵循高水量、低速度和细雾滴的原则。农业无人机速度越快，雾滴穿透作物效果越差。常见的速度一般为1.5-3米/秒。一些经常在农田作业的服务提供商不了解果园作业的具体参数。他们在农田作业中使用了常见的15-30升/公顷和6-7米/秒的参数。这样的作业效果较差，不利于后续的商业推广。

同时，果树茂盛且需要更多水滴以提高作业效果，因此应选择更细的水滴。对于T20/T30等具有标准压力喷洒系统的型号，应选择标准喷嘴，不建议更换喷嘴。对于T50/T40等具有离心喷嘴的型号，可以调整水滴大小至细小。

在一些地区有许多电线，一些飞行员直接飞到十米以上的高度以实现更安全的飞行。液态化学产品喷洒后，需要几秒钟才能到达作物表面。如果环境温度高且风速快，这种操作方法会导致大量液态化学产品蒸发并随风飘散。最终，大部分化学产品无法有效到达目标。





尾声

农业无人机，作为高科技和新生产力，为农业注入了新的活力，农业已经持续了数万年。农业无人机行业的发展代表了人们对健康和美好生活的向往，也代表了人们对农业的脚踏实地承诺。在新的一年里，我们希望农业无人机行业继续携手提高生产效率，保护生态环境，使农业更轻松，生活更美好。