

农民日报 × DJI 大疆农业

农业无人机行业白皮书

2024/2025



农民日报社 | 大疆农业
联合编写

更多免费行业报告

并购家

www.ipopo.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费



dji 大疆农业

让农业更轻松，让生命更美好

目录

引言	02
一、2024 年大事记	03
二、全球政策法规	
(一) 中国	07
1. 民航管理	
2. 农业管理	
3. “低空经济”政策	
(二) 巴西	08
1. 民航管理	
2. 农业管理	
(三) 欧盟	09
1. 农药管理	
2. 农机管理	
3. 西班牙	
4. 德国	
(四) 北美	11
1. 美国	
2. 加拿大	
(五) 澳大利亚	12
1. 民航管理	
2. 农药管理	
(六) 南美洲	13
1. 阿根廷	
2. 智利	
(七) 国际组织活动	13
1. 经合组织	
2. 国际粮农组织	

三、环境保护试验

(一) 飘移测试	17
1. 收集装置及采样点	
2. 飘移区与偏移区	
3. 类似的测试结果	
4. 防飘移设计	
(二) 无人机飘移预测模型	23
1. 验证已有模型	
2. AI 大模型	

四、新场景应用分享

(一) 农业吊运案例	27
1. 无人机助力秭归橙子“出山”	
2. 利用“红旗”调度的无人机吊运	
3. 沙漠治沙新实践	
4. 造纸业吊运竹子	
5. 绿化工程吊运树苗	
(二) 全流程作业案例	34
1. 玉米全流程作业	
2. 苹果全流程管理	
(三) 油菜播撒	43
(四) 喷洒案例	47
1. 棉花脱叶剂	
2. 咖啡应用	

五、最佳实践

(一) 人员培训	55
(二) 产品技术发展	55
(三) 吊运作业安全规范	56

六、结语

60





引言

农业无人机行业蓬勃发展，展现出巨大的生态与经济价值。截至 2025 年 6 月，全球农业无人机保有量达 50 万架，全球无人机作业累计节水约 3.3 亿吨、减少碳排放 4258 万吨。农业无人机不仅解放了生产力，更重塑了农业行业生态。在人才结构方面，农业无人机吸引众多青年从业者回归乡村，女性飞手占比不断提升；经济价值创造方面，通过精准作业降低环境污染、提升资源利用率，为农业开辟多元增收渠道。

2024 年，农业无人机在中国的作业亩次超过 26 亿亩次，涉及作业台数 20 万台，接近 50 万人在从事飞防服务工作。按 5 元 / 亩的作业单价进行粗略估算，能够创造约 130 亿元的飞防市场规模。这一规模还未包括无人机在渔业、林业、牧业等新兴领域的潜力挖掘。

这种发展态势深度契合中国“新质生产力稳步发展”的目标，充分体现了科技创新对农业可持续发展的核心驱动作用。



一、2024 年大事记



六月

在非洲，农业无人机教员耐心指导当地农民使用新款无人机，用科技为当地农业插上翅膀。

七月

北半球作业高峰期来临，更多年轻人回归农业，共同推动农业朝着繁荣和可持续的目标发展。

八月

药效测试在日本、澳大利亚等国家开展，验证农业无人机在当地的本地化参数的本土可行性。

九月

“推动农业现代化，玉米飞防新篇章”测产交流会在内蒙古举行，使用农业无人机玉米中后期管理，每亩增产 10% 以上。

十月

联合国粮农组织“科学与创新论坛”，大疆农业向全球展示农业无人机作为新科技如何支持农业发展。

十一月

国家航空植保联盟组织多家农业无人机企业在新疆验证农业无人机喷施技术：证明农业无人机施药脱叶率超 90%。

十二月

大疆农业旗舰新品 T100 在秭归首秀，无人机吊运助力橙子“飞”出山。



二、全球政策法规



2024年,全球农业无人机应用版图持续拓展,有些国家的法规从“仅允许试验性使用”到“开放大面积喷洒作业”;有些国家从“仅允许特定作物作业”到“开放所有场景应用”。这些变化背后,是各国对农业无人机科技的认可,以及对新技术支持农业发展的肯定。随着政策环境日臻完善,农业无人机行业如沐春风,以蓬勃之势加速前行,在全球各地铺展出规范有序、欣欣向荣的发展图景。

(一) 中国

1. 民航管理

2024年1月1日,《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》正式生效,从顶层设计安排了各个部门对无人机管理的基础。作为配套管理规则,民航局发布《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》(CCAR-92部),从运行角度对无人机的登记、执照、适航管理等进行规范。

2024年7月,民航局发布《中型民用无人驾驶航空器系统适航标准及符合性指导材料(试行)》。该咨询通告依据《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》(CCAR-92)制定,为中型民用无人驾驶航空器系统提供了一套的适航标准及相应符合性指导材料。适用于中型民用无人驾驶航空器系统的型号合格证、型号合格证更改、补充型号合格证等设计批准工作。

依据新实施的法规内容,农业无人机的运行更加规范化,各个无人机厂商也积极履行义务,向主管民航地区局申请适航证书。截止2025年5月,大疆农业的所有在售机型均获得设计授权和生产许可证。

2. 农业管理

2025年1月23日,中国民用航空局综合司、农业农村部办公厅共同印发《农用无人驾驶航空器操控员培训管理规定(试行)》,详细指导厂商对农业无人机驾驶员进行规范的培训、考试和发证。根据《农用无人驾驶航空器操控员培训管理规定(试行)》,各民航地区管理局和省级农业农村部门组织对本辖区内培训有关活动进行管理,具体操作过程中可由农用无人驾驶航空器生产者直接组织培训,也可由农用无人驾驶航空器生产者委托相关机构等进行培训,培训教员资质由农用无人驾驶航空器生产者自主明确。该《规定》包含了培训大纲、基础学时、考核表和操作证样式,对培训标准和证件样式都做了统一规范化的管理。

3. “低空经济”政策

2024年3月,工业和信息化部、科学技术部、财政部、中国民用航空局联合印发《通用航空装备创新应用实施方案(2024-2030年)》,明确提出:

“到2030年,以高端化、智能化、绿色化为特征的通用航空产业发展新模式基本建立,支撑和保障“短途运输+电动垂直起降”客运网络、“干-支-末”无人机配送网络、满足工农作业需求的低空生产作业网络安全高效运行,通用航空装备全面融入人民生活各领域,成为低空经济增长的强大推动力,形成万亿级市场规模。”



2024年12月,国家发展改革委低空经济发展司正式亮相,负责拟订并组织实施低空经济发展战略、中长期发展规划,这一机构的成立,进一步强化了国家对低空经济的统筹规划和管理,为低空经济的长远发展提供了有力的组织保障。

农业作为国家的基础性产业,其现代化发展至关重要。农业无人机作为低空经济在农业领域的典型应用,凭借其高效、精准、灵活等诸多优势,正逐渐改变着传统农业的生产方式,成为推动农业现代化进程的关键力量。



（二）巴西

1. 民航管理

巴西民航局在执行无人机法规、监督注册、促进行业发展等多个方面进行了良好的布局。同样是作为农业大国的巴西，民航局为当地农户做出了很多友好的服务，如开发了用户友好的无人机注册和飞行授权系统，降低农业无人机的使用政策门槛等。

除巴西民航局外，巴西的无人机监管体系还涉及多个部门，包括空中交通管制局、国家电信局、农业部和国防部。各部门之间协作，确保无人机在各个行业和领域的管理理念和方式具备协调性和一致性。

2. 农业管理

巴西农业部作为巴西农业机械的主管单位，对农业无人机持开放和友好态度。在巴西农业部的支持下，当地农业无人机行业发展良好，有越来越多的年轻人重新回到农业。针对行业人员能力标准缺失、培训体系不完善等关键问题，巴西农业部在 2024 年做了一系列的调研，并在调研后发布相应的政策。

2024 年 10 月，巴西农业部颁布第 1187 号法令，并就《农业无人机人员培训条例》草案公开征求社会各界意见。该条例希望彻底杜绝无人机人员培训过程中的腐败与违规行为，为构建健康有序的农业无人机生态筑牢制度根基。该《条例》内容详实全面，从注册农业无人机操作员和认证教育机构的严苛要求与规范程序，到细致入微的无人机课程指南；从运营规划和信息记录的标准化要求，到农业无人机作业的严格规则，全方位规范行业监管网络。

展望未来，巴西农业部计划搭建农业无人机数字化管理平台。借助先进的数字技术，实现对农业无人机全生命周期的精准管控，推动巴西农业无人机行业驶入智能化、高效化发展的快车道。

（三）欧盟

1. 农药管理

2024 年，欧盟委员会在回答“农业无人机是否可以在欧洲使用”的问题时澄清，只要满足安全要求，无人机在农业领域是允许使用的。欧盟还强调了正在进行的相关研究项目，旨在探索无人机在农业领域的益处、未来发展方向以及数字化管理平台的建设。

在回答中¹，欧盟委员会强调：

“航空施药（包括无人机施药）是允许的，但需满足法律要求的特定条件。航空施药必须在减少对人类健康和环境的影响方面比其他的方式更具优势，或者在没有其他可行替代方案的情况下，且必须采用最佳可用技术来减少飘移。

植物保护产品必须获得可用于航空喷洒的批准，操作人员和企业需要相应豁免资质，在靠近公众的区域需要采取风险管理措施，并且不得在居民区附近进行。成员国主管部门负责审查和批准豁免申请。”

2024 年 12 月，葡萄牙率领的议会代表团正式提交了一份提议，敦促尽快通过《可持续法案》修订案²，该提案得到了保加利亚、克罗地亚、塞浦路斯、捷克、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、意大利、拉

脱维亚、立陶宛、罗马尼亚、斯洛伐克、西班牙和瑞典的支持。

“与使用专业的空中或地面设备相比，无人机有望在特定条件下实现植物保护中农药的精准施用，提高农药使用的效率和精准度，有助于减少农药的使用量，并有可能降低对人类健康和环境的风险。

鉴于近年来精准农业工具领域的技术进步，必须认识到无人机所发挥的作用，从而实现监测、数据管理、分析和决策之间的综合作用，为该行业在环境、经济和社会方面的可持续性以及农药的可持续使用做出贡献。

为了保证该技术使用的可持续性和安全性，有必要了解并考虑可能限制其使用的各种因素，因此有必要为此类飞机的使用制定适当的要求和法规。因此，我们呼吁委员会立即就无人机在植物保护产品应用方面的应用提出明确的指导意见和建议，包括风险评估和风险管理程序，并纳入某些标准，例如法规草案中已确定的标准。”



1 见：https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2024-000920-ASW_EN.html#def4

2 见：<https://www.parlament.gv.at/gegenstand/XXVIII/EU/5516>

2. 农机管理

ISO 23117-1³ 国际标准被欧盟各国正式启用，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。



国际标准组织 ISO 发布农业无人机检测标准

3. 西班牙

2024 年 5 月，西班牙民航局启动了用于无人机飞行审批的网站，在网站上设置了专用于农业无人机审批的快捷通道，帮助当地农民进行快速审批。2025 年 1 月，西班牙民航局发布了该网站上线以来的成果：

“审批平台使用后，我们已处理了 160 份农业申请，并根据新程序批准了其中 120 份”。

4. 德国

2024 年，德国民航局在其网站上发布了农业无人机运行申请指南和操作手册的模板，方便申请人填写所需的文件。这一举措为众多农业无人机用户提供了便利。

德国农业机构对 T25 进行了飘移测试，并将 T25 和 T30 进行对比，以比较这两款载荷相似的无人机的环保特性。德国农业机构还对 T25 和 T50 无人机进行了认证检查。



³ 见 <https://www.iso.org/standard/74600.html>

(四) 北美

1. 美国

美国联邦航空管理局持续不定期更新“大载重豁免机型清单”，清单中专门标明用于农业的无人机。当地已经获取运行豁免，并且在豁免授权书上标明“可使用所有被豁免机型”的用户，可直接使用清单上的机型。大疆所有农业无人机均在豁免清单。

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
AgrowDrone	UAS-e-M5	80.5 lbs.	Approved
AgrowDrone	UAS-e-M10	146.6 lbs.	Approved
AgTS	FireEye	75.8 lbs.*	
AiRanger	UAS	220 lbs.	
Amazon	MK27	88 lbs.	
Amazon	MK30	83.05 lbs.	
BFD Systems	GD40	120 lbs.	
BROUAV	U30L-6	146.6 lbs.	Approved
BROUAV	52L-8	264.55 lbs.	Approved
BROUAV	D-72L-8	324.08 lbs.	Approved
Chengdu JOUAV Drone	CW-30	75 lbs.	
DJI	Agras T16	92.6 lbs.	Approved
DJI	Agras T20P	127.86 lbs.	Approved
DJI	Agras T20	104.5 lbs.	Approved
DJI	Agras T25*	127.8 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

2. 加拿大

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特许运行执照。T50 和 T25 用户成功获取 SFOC，在加拿大进行喷洒作业。





（五）澳大利亚

1. 民航管理

2024 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》⁴ 的指南，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，以及喷药需同时遵守当地农药法规的管理提示。

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。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. 农药管理

2024 年，澳大利亚农药监管局（APVMA）发布工作计划书⁵，支持当地应用无人机促进农业发展。在计划书中提到：

“精准农业借助技术提升农业生产力与可持续性，为农民提供作物及田地的详细信息，助力其更好地掌控作业并做出更明智的决策。在澳大利亚农业生产中，无人机与自动系统的应用也日益普遍。

为确保化学品安全使用，农药监管局需确认所用技术、使用方法及标签标注的安全控制措施，能为人类、动物、环境及贸易的健康安全提供适当保障。我们使用创新科学方法，旨在更准确、高效、人道地评估化学品的安全性和有效性……从而更有效地保护人类健康与环境。”

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

5 见：<https://www.apvma.gov.au/sites/default/files/2024-07/APVMA%20Corporate%20Plan%202024%E2%80%9325.pdf>

（六）南美洲

1. 阿根廷

2024 年 7 月，第 664/2024 号法令和第 663/2024 号法令在阿根廷官方公报上公布⁶，进一步推进当地商用航空的现代化。该法令的立法内容中提到：

“关于无人机使用的监管，主要目标是减少其在农业领域的限制。这一战略决策充分认识到无人机为农业领域带来的巨大增长潜力，包括提高土地管理效率、改进喷洒作业、优化育苗活动等。通过这些规定，简化了私营实体寻求在农业中使用无人机的授权流程。这种方法不仅促进了技术创新，而且确保了各个领域更安全、更高效的运营，符合全球现代化航空实践和可持续发展的趋势。”

2. 智利

2024 年，智利农业部进一步支持农业无人机发展，在当地开展了相应的药效测试，为无人机在车厘子种植上的应用提供了指导。

（七）国际组织活动

1. 经合组织

2024 年，经合组织发布了《经合组织 - 无人机分会对农业无人机用药的指导原则、流程和标准》，以加速推进农业无人机应用。



ENV/CBC/WRPR(2024)8/FINAL

Unclassified

English - Or. English

24 May 2024

ENVIRONMENT DIRECTORATE
CHEMICALS AND BIOTECHNOLOGY COMMITTEE

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

6 见：<https://www.argentina.gob.ar/noticias/desregulacion-aerea-se-ordena-el-uso-de-drones-y-se-optimiza-el-espacio-en-aeropuertos>

2. 国际粮农组织

2024 年，大疆创新亮相联合国粮农组织科学与创新论坛⁷，展示农业无人机解决方案，向全球农业从业者展现无人机为农业带来的变革，展现科技之美如何改变农业、改变世界。



7. Aermatica 3D 作为大疆的经销商，在论坛上进行了展示：<https://www.aermatica.com/en/drones-for-agriculture-2/>



三、环境保护试验

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



2024 年，大疆在全球开展飘移与药效测试，深入探索无人机防飘移设计及最佳实践，期间发现部分结果与 2021-2023 年测试相近。

（一）飘移测试

2021年至2024年，全球多家机构和大学开展了农业无人机飘移测试。大疆农业也与全球伙伴合作对不同型号的无人机进行了飘移测试。通过这些研究，达成了几个关键共识：

1. 无人机造成的飘移比传统载人飞机（例如直升机、小型农业固定翼飞机）造成的飘移要小。
2. 无人机造成的飘移比小型地面设备（例如手动背负式喷雾器、小型吊杆喷雾器）造成的飘移略多。
3. 与大型地面设备相比，无人机由于喷头高度和地面设备的喷头高度基本一致，因此表现出相似的飘移情况。

2022年至2024年期间，所有试验均严格遵循ISO 22866 喷雾飘移田间测试标准，通过不断探索，飘移试验的采样和分析方法不断完善。

1. 收集装置及采样点

为尽可能保证采样结果的准确性，采样点的布置根据具体情况而定。但根据数据分析的要求，采样点的布置和方法可能会有所不同。

例如，在2022年的T30试验中，在作业区下风向边缘与下风向10 m处飘移带之间每隔1 m放置一个雾滴收集装置。这些装置由聚酯薄膜作为底座，测试卡和直径9 cm的水敏纸固定在聚酯薄膜上。这种设计最大限度地减少了各个收集装置之间的交叉污染，并减少了试验过程中人员的干扰。此外，雾滴收集装置被放置在距离作业区边缘下风向12m、14m、16m、18m、20m、22m、24m、26m、28m、30m、32m、34m、36m、38m、40m、45m和50 m的位置。所有采样装置都放置在离地面1 m的高度，以避免地面对雾滴沉积的影响。喷洒后，将设备静置5至10分钟，以确保水敏纸上的所有雾滴完全干燥。然后将样品依次放入自密封袋中，存放在阴凉处，等待处理和分析。





由于该试验收集的数据将进一步用于模型训练，因此设置了大量的采样点，每个试验设置了近 300 个采样点，整个试验数据集共设置了约 10,000 个采样点。

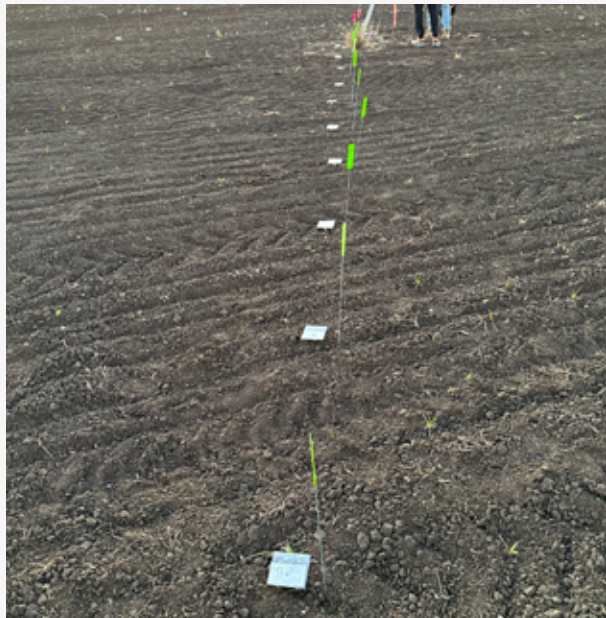


2022 年开展的 T40 试验和 2023 年开展的 T50 试验均设立了地面和空中采样点，空中采样点分布在不同的 height。具体如下：

地面雾滴沉积收集器：为收集农业无人机作业区域雾滴沉积分布情况，在无人机作业区域中心放置 PVC 卡支架，用于收集沉积的雾滴。雾滴收集带与无人机飞行方向垂直，收集宽度为 30 m（3 个喷幅），每组 13 个点，间隔 2.5 m，从上风向下风向边缘延伸，共 3 组 39 个点，过程中，PVC 卡保持与地面平行。

地面飘移收集器：为收集农业无人机在下风向地面的飘移物分布情况，在距农业无人机喷洒宽度边缘下风向 3m、5m、10m、15m、20m、30m 处分别放置 9 个直径为 15 cm 的塑料培养皿，这些培养皿被放置在 3 块金属板上，与农业无人机的飞行方向平行排列成一条直线。

空中飘移收集器：为了收集下风向飘浮的雾滴，边缘下风向 2m 处放置了 3 组空中飘移收集器。每个收集器距地面 0.5m 处开始，设置长 2m、直径 1.98mm 的聚四氟乙烯 (PTFE) 金属丝，金属丝间距 50cm。此外，在下风向 15 m 处放置了 3 组 2.0 m×2.0 m 的空中飘移收集框，PTFE 金属丝的间距也相同，为 50 cm。每个测试组包含 42 根 PTFE 金属丝。PTFE 金属丝的末端用夹子夹在垂直框架上，并保持拉紧，以确保不会弯曲。

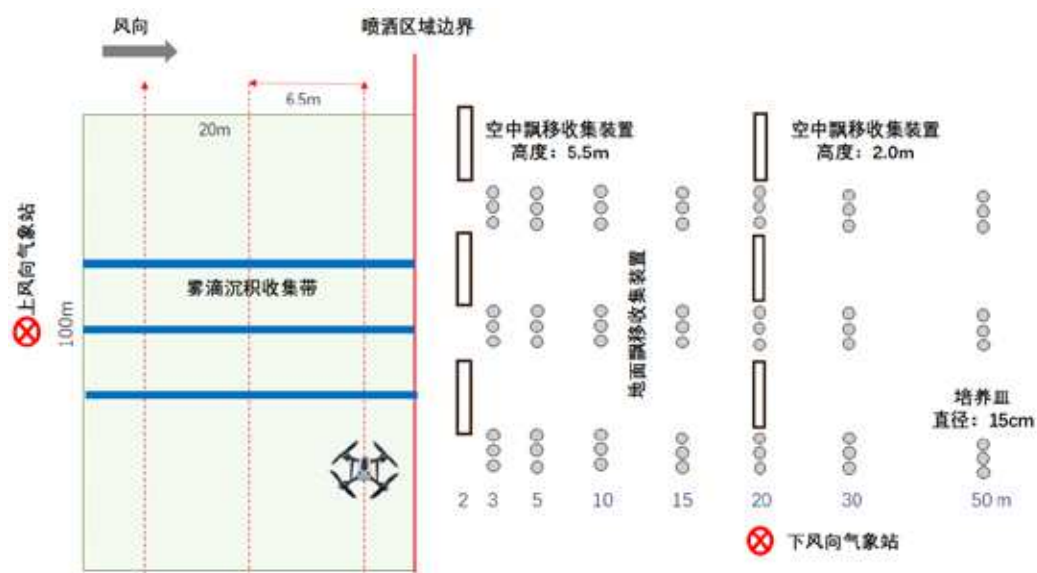




这种综合设置可以对地面和空中的飘移模式进行详细分析，为农业无人机技术的持续改进提供宝贵的数据。

2. 飘移区与偏移区

传统的飘移试验研究通常只建立沉积区和飘移区。然而，经过大量试验，受侧风影响的雾滴会出现一定程度的偏移（通常为 5-10 米），这属于正常现象。因此，近年来研究人员在数据分析时将这种现象归类为“偏移区”或“偏差区”，不将其纳入飘移值的计算。





3. 类似的测试结果

尽管测试了不同的无人机型号并选择了不同的地点，但现场测试结论是一致的，确定了以下因素会影响飘移：

1) 侧风速度：对于农业无人机来说，侧风速度是影响作业区域喷雾雾滴沉积率的首要因素，也是影响飘移区累计飘移量、90% 累计飘移距离、总飘移距离的首要因素。

当侧风速度在 1.5~3.4 m/s 之间时，多喷作业中喷雾雾滴将偏离顺风方向 0~5 m。

侧风速为 3.4~5.4 m/s 时，偏差增大至 2~10 m。侧风速越大，地面飘移区喷雾雾滴累积飘移速率越大。低风速条件下，地面飘移不明显，建议作业。

2) 飞行高度：

侧风速度为 1.5 ~ 3.4 m/s 时，随着飞行高度增加（2 m、3 m、4 m），飘移区累计飘移率及 90% 累计飘移距离增大。

当侧风速度为 3.4~5.4 米/秒时，沉积速率随高度升高而降低，作业区域内分布不均匀。海拔越高，地面和空中飘移区域的累积飘移速率就越高。当侧风速度超过 3.4 米/秒时，建议降低飞行高度，以最大程度地减少飘移。

3) 飞行速度：飞行速度与飘移距离呈正相关关系，在一定的侧风条件下，飞行速度越快，飘移距离越长。

4) 雾滴尺寸：测试雾滴尺寸范围为 80-100 μm 、250-300 μm 和 420-500 μm ，结果显示：

a. 作业区域的雾滴大小与沉积率呈正相关，即雾滴粒径越大，沉积率越高。

b. 雾滴粒径大小与累积飘移率、90% 飘移距离、总飘移距离呈负相关，即雾滴粒径越大，飘移率越低，90% 累积飘移距离越短。





4. 防飘移设计

- 1) 优化喷头设计，增加较粗雾滴的数量。
- 2) 增强无人机的气流动力学，利用下洗气流并将喷雾雾滴压到作物表面以促进沉积。

5. 尽量减少飘移的操作指南

- 1) 选择低风速条件进行作业。开始作业前，请检查田地，确保下风处没有水体或敏感作物区域。如果风速超过 3.4 米/秒，避免喷洒除草剂。
- 2) 使用适当的飞行高度和速度，避免过高或过快的参数。
- 3) 根据不同的农药和田间条件调整雾滴大小。



（二）无人机飘移预测模型

1. 验证已有模型

随着农业无人机在精准农业中的应用日益广泛，雾滴沉积与飘移的模拟已成为预测喷洒性能的重要工具，可显著降低田间试验成本和风险。通过计算无人机旋翼运动产生的下洗流场，求解离散相粒子的运动轨迹，可以预测雾滴的沉积和飘移模式。这些预测考虑了旋翼结构演变以及地面作物冠层与旋翼下洗气流相互作用的影响。通过引入蒸发、冠层效应等模型，可以进一步提高模拟精度。

目前，主要的建模方法包括大模型（如 AGDISP 和 CHARM 模

型）、有限体积法、有限差分法、格子波尔兹曼模型等。然而，现有研究大多集中于传统的固定翼和单旋翼无人机。由于多旋翼无人机产生的风场较为复杂，仿真预测的精度有限。提升多旋翼风场环境下的预测精度，对提升农用无人机喷洒作业的效率具有重要的意义。

全球监管机构目前正在开发用于模拟无人机喷洒系统，研究喷洒后农药飘移的建模框架。遗憾的是，目前尚无经过验证的雾滴飘移模型能够模拟这些系统中偏离目标的雾滴运动。为了弥补这一建模方面的不足，有些研究学者评估了 AGDISP 在无人机上的应用和验证。





2.AI 大模型

中国农业科学院植物保护研究所经过几年的田间试验和建模研究，创建了名为 YOLO-Fi 的大模型。在文章《使用 YOLO-Fi 模型精确分析目标苹果树冠，以制定无人机喷洒计划》中⁸提到：

“精准分析单株果树的冠层信息，为植保机械精准导航和喷洒作业提供依据，对智能果园管理至关重要。然而，在果园复杂的环境中，同时完成树冠的检测、定位和分割，以实现精准喷洒，极具挑战性。幸运的是，高性能无人机、传感器和深度学习算法的进步，使得从复杂背景中快速提取和分析树木信息成为可能。”

“本研究提出了一个基于无人机数据和深度学习算法的综合操作框架，以精准获取苹果树信息，从而实现变量定向喷洒。首先，采用最大相关性和最小冗余度（mRMR）算法，选取三个特征（RVI、NDVI、SAVI）进行融合图像处理，从背景环境中增强树冠，然后利用增强后的图像生成带标签的样本数据集。”

“其次，利用带标签的数据集，开发了 YOLO-Fi 模型。基于该最优模型，可以实现树冠的精准检测、定位和分割。对试验区果树进行树冠区域分割，结果显示 YOLO-Fi 模型效果最优（FPS = 370，mAP50-95(B) = 0.862，mAP50-95(M) = 0.723，MIoU = 0.749）。随后，基于果树树冠分割面积生成变量施药处方图，与直接喷洒相比，喷药量减少 47.92%。最后，采用算法设计农业无人机在试验区内飞越每棵果树的最短路径，与传统无人机飞行路径相比，飞行距离减少 2.04%。本研究可为基于无人机的果园精准管理提供涵盖树冠监测、分析、定位、导航和精准喷洒的完整方案。”

8 见：<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169924008160>



四、新场景应用分享

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



如今，每年都有全新的应用场景不断涌现——它们或是推动农业生产提质增效，或是助力破解乡村生活难题，这些珍贵的探索与突破，理应被每一位农业无人机从业者看见、借鉴与分享。

（一）农业吊运案例

1. 无人机助力秭归橙子“出山”

秭归处于长江西陵峡两岸，全县脐橙种植面积 40 万亩，是著名的脐橙之乡。然而，山岗丘陵起伏长期限制了机械化的普及，果农们不得不依靠人力将收获的脐橙从陡峭山坡背下山。平均年龄 45 至 65 岁的“背橙客”，一趟背负 120 斤的橙子，需徒步 2-3 公里走过 20 度以上的陡坡路，这一传统方式不仅效率低，还存在安全隐患。当地飞手创新使用农业无人机吊运橙子，为当地提供了新的解决方案。

2024 年 12 月 11 日，湖北省宜昌市秭归县迎来了大疆农业举办的媒体交流活动。此次活动以“飞跃十二年，低空经济下的农业革新”为主题，吸引了来自政府、业界专家、全国主流媒体等众多嘉宾，共同见证低空经济时代，农业无人机对行业及社会的价值贡献。同时在以秭归为典型的山区场景下，T100 完成了新品发布后首秀，并在活动现场展示先进智能的产品力，刷新了媒体对中国农业无人机的全新认知。

活动开场，秭归县委副书记李波对到场的来宾进行了诚挚欢迎。他表示，秭归作为“柑橘之乡”，柑橘产业已经成为当地农民群众脱贫致富的支柱产业，农业无人机作为本地农业发展的新质生产力，推动柑橘从植保飞到采收环节实现全面机械化管理。农业无人机应用不仅能够解决当地复杂地形的喷洒难题，更是有效提升柑橘运输效率与作业安全，为当地产业升级注入了新动力。

中国航空学会副理事长、中国民航局原总工程师殷时军则分享了低空经济的现状与未来，展望了低空经济的广阔前景，并提出农业无人机是促进农业革新和低空经济发展的重要力量。殷时军提到，“中国的无人驾驶航空器技术目前在世界处于相对领先的位置，同时中国又是一个农业大国，农业无人机不仅为中国的农业机械化提档升级，也是低空经济发展先行官，农业无人机是低空经济中发展成熟度最高的领域。把先进的技术应用在农业上，为传统的农业迸发出新的生命力。”

活动过程中，大疆 T100 以卓越表现赢得了现场嘉宾的赞赏。凭借强大的载重能力，大疆 T100 仅用不到两分钟便完成了载重 85 公斤橙子的吊运任务，这一速度足足是人工效率的数十倍。



2. 利用“红旗”调度的无人机吊运

云南西双版纳、普洱等地，是我国优质香蕉的主产区。香蕉林遍布于起伏的丘陵与山间，这里高温多雨，孕育出香甜软糯的香蕉，却也给香蕉运输带来极大挑战。传统运输方式受到复杂地形与香蕉易损特性的双重限制，而农业无人机吊运香蕉的创新应用，配合地面摇红旗作业，为云南香蕉产业开辟了一条高效、安全的运输新路。

1) 云南香蕉运输的“老大难”问题

云南的香蕉种植区域地形复杂，道路狭窄且崎岖，许多地方无法通行运输车辆。以往，香蕉采摘后，只能依靠人力肩挑背扛或用小型三轮车转运。香蕉串重量大，每串可达几十斤，人工搬运不仅效率低，而且劳动强度极大。在普洱的山区，工人背着香蕉在泥泞湿滑的小道上行走，稍不注意就会滑倒，导致香蕉受损，还可能危及人身安全。

此外，香蕉属于易损水果，在颠簸的运输过程中，果实极易被挤压、碰撞，造成表皮破损、腐烂。传统运输方式难以避免这种情况，每年因运输不当造成的香蕉损耗率高达 20% - 30%，严重影响种植户的收益。同时，人工运输成本逐年上升，进一步压缩了利润空间，成为制约云南香蕉产业发展的瓶颈。



2) 无人机吊运香蕉作业：红旗引导下的精准协作

在吊运作业开始前，专业团队会对香蕉种植园进行详细勘察，标注出每一片香蕉林的位置、周边障碍物分布以及适宜的起降点。由于香蕉生长周期短，成熟时间集中，为提高吊运效率，会根据香蕉成熟度划分吊运区域，优先吊运成熟度高的香蕉。

同时，根据香蕉串的平均重量，对无人机进行针对性调试。选用高强度且柔软的吊运绳索，既能保证承重，又能减少对香蕉表皮的摩擦损伤。对无人机的飞行参数进行优化，设置合适的飞行速度、高度和悬停稳定性，确保吊运过程平稳。

吊运时，地面工作人员分工明确。采摘人员将成熟的香蕉串砍下，再将吊运绳索系在香蕉串的合适位置。引导员通过红旗挥舞动作通知无人机飞手操作农业无人机靠近。

飞手根据红旗信号，精准操控无人机。当无人机飞至吊运点上方合适高度悬停后，引导员挥舞红旗画圈，地面采摘人员迅速将系好香蕉的绳索挂到无人机的吊钩上。飞手通过相机确认挂好后，无人机便平稳起吊，按照规划好的航线，将香蕉吊运至集中处理点。

在吊运途中，遇到山谷气流不稳定或树林遮挡时，飞手会结合无人机的实时影像和地面引导员通过红旗传递的周边环境信息，灵活调整飞行姿态。到达目的地后，引导员通过红旗指挥无人机精准降落，地面人员迅速解下香蕉，完成一次吊运作业。

每次吊运作业结束，技术人员都会对无人机进行全面检查和维护。清理机身的灰尘和香蕉汁液残留，检查吊运装置的磨损情况，对电池进行充放电维护。同时，收集吊运过程中的数据，如飞行时间、吊运重量、航线偏差等，分析作业中存在的问题，不断优化吊运方案和无人机参数，为后续作业提供参考。

农业无人机吊运香蕉大大提高了运输效率。以往人工运输，一天只能搬运几十串香蕉，而无人机一天可吊运数百串，运输效率提升了十倍以上。在香蕉成熟旺季，能够快速将香蕉从种植园运出，缩短运输时间，让新鲜的香蕉更快抵达市场，提升了香蕉的市场竞争力。

由于无人机吊运过程平稳，减少了香蕉之间的挤压和碰撞，将香蕉的运输损耗率降低至 5% 以下。同时，吊运速度快，能在最短时间内将香蕉运至冷链运输环节，进一步保障了香蕉的新鲜度和品质，减少了种植户的经济损失。

虽然前期购置和维护无人机需要一定投入，但从长远来看，无人机吊运减少了大量人工成本。而且降低了香蕉损耗，增加了实际收益。

以一个百亩香蕉种植园为例，采用无人机吊运后，每年可节省人工成本数十万元，增加收益近百万元，极大地提高了种植户的积极性。

农业无人机吊运为云南香蕉产业带来了革命性的变化。这一创新运输方式不仅解决了长期困扰种植户的运输难题，还为云南香蕉产业的可持续发展注入了新活力。随着技术的不断完善和推广，未来将会在更多农业领域发挥更大的作用，助力乡村振兴。

3. 沙漠治沙新实践

作为我国四大沙漠之一，腾格里沙漠常年以肆虐的风沙侵蚀周边生态环境，威胁着当地居民的生产生活。为贯彻落实国家“十四五”规划中关于加强荒漠化综合防治的重要部署，宁夏自治区中卫市大力推进治沙工程，而农业无人机吊运草方格的创新应用，成为这场治沙战役中的关键利器。

草方格沙障是中卫治沙的传统“法宝”，通过将麦草、稻草等材料扎入沙地形成方格，可有效固沙阻沙、涵养水分，为后续植被种植创造条件。然而，在广袤无垠、地形复杂的沙漠环境中，传统人工铺设草方格面临诸多困境。中卫腾格里沙漠地势起伏，沙丘流动性强，人工搬运草方格材料不仅效率极低，工人还需顶着高温、风沙在松软的沙地上艰难跋涉，体力消耗巨大。



已治理和未治理对比

国家高度重视荒漠化防治工作，《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035年）》明确提出，要推广应用先进适用技术，提高防沙治沙成效。中卫市积极响应，在治沙工程中不断探索新技术、新方法。此次引入T100农业无人机吊运草方格，正是中卫市践行国家政策，推动治沙工作向智能化、高效化转型的重要举措。

中卫市制定的《沙漠综合治理实施方案》中，将科技治沙列为重点工作内容，鼓励在治沙过程中运用新技术、新设备。农业无人机吊运草方格的应用，与方案中“提高治沙工程机械化、智能化水平，降低人工成本，提升治沙效率和质量”的要求高度契合，为中卫沙漠治理注入了强大动力。

沙漠中铺设草方格，需要多点投放稻草堆，对灵活卸货要求较高。农业无人机按照预先设定的航线和点位，将草方格材料快速、精准地投放到指定位置。使用农业无人机吊运草方格，显著降低了治沙工程的人力和物力成本。不过，现在的草堆基本是60kg和120kg两个重量，100kg的草堆暂无法用无人机吊运，这也体现了农业无人机产品需要做的“更大载重”的需求。

在中卫的沙漠治沙战场上，农业无人机吊运草方格的创新应用，为沙漠治理提供了科技新方案。随着科技的不断进步，相信未来将有更多先进技术和设备应用于治沙工程，助力中卫在与沙漠的博弈中取得更大胜利，为建设美丽中国、筑牢北方生态安全屏障贡献中卫智慧与力量。



ag.dji.com

4. 造纸业吊运竹子

四川，地处我国西南腹地，地形复杂多样，山地、丘陵、高原占全省总面积的 91.8%。在广袤的山林间，竹子产业是不少山区农户的重要经济来源。然而，传统的竹子运输方式在四川复杂的地形条件下困难重重。如今，农业无人机吊运竹子的应用，为这片山林带来了全新的作业模式，开启了竹子运输的高效新时代。

四川的竹林多分布在陡峭的山坡和幽深的峡谷之中，道路崎岖狭窄，甚至很多区域根本没有可供车辆通行的道路。以往，竹农们依靠人力肩扛背驮，将竹子从山林中运出。在乐山、雅安等地的山区，竹农们每天需要花费大量时间和精力，在布满碎石、荆棘的山路上艰难行走，一趟下来往往只能运输少量竹子，效率极低。而且，长时间高强度的体力劳动，让竹农们的身体承受着巨大压力，腰伤、腿伤成为竹农群体的常见疾病。此外，人工运输成本不断攀升，严重压缩了竹农的利润空间，制约了竹子产业的发展。

在作业前，技术人员会使用无人机搭载的高清摄像头和测绘系统，对竹林及周边地形进行全方位勘察，绘制高精度地图。结合竹子分布情况和运输需求，规划出最优的无人机吊运航线，确保航线避开障碍物，同时尽量减少飞行距离和时间。地勤人员会提前将竹子按照重量进行整理和打包，方便无人机挂取。

吊运过程中，操作人员操控无人机平稳飞至竹子所在位置，利用吊运装置将竹子牢固捆绑。无人机沿着预先规划的航线，以稳定的速度和高度飞行，快速穿梭于山林之间。在遇到复杂地形时，无人机依靠避障系统，灵活调整飞行姿态，安全通过。到达指定运输地点后，无人机精准降落，操作人员解开吊运绳索，完成一次吊运作业。整个过程高效流畅，相比人工运输，大大节省了时间和人力成本。

每天作业结束后，技术人员会对无人机进行全面清洁和检查，及时发现并处理设备存在的问题。对吊运装置、电池等关键部件进行重点维护和保养，确保其性能稳定。同时，根据作业过程中积累的数据和经验，对无人机的飞行参数和吊运方案进行优化调整，不断提高作业效率和安全性。

在四川山区，一架农业无人机每天可吊运竹子 40-60 趟，运输量是人工的数倍甚至数十倍。以雅安某竹林为例，使用无人机吊运竹子后，原本需要一周才能完成的运输任务，现在仅需一天就能完成，极大地提高了竹子的运输效率，让竹子能够更快进入市场，抢占商机。

无人机吊运竹子减少了大量人工投入，降低了人力成本。同时，避免了因道路不通、运输困难导致的竹子积压和损耗，减少了经济损失。虽然前期购买和维护无人机需要一定成本，但从长期来看，无人机的高效作业能够显著增加竹农的收益，为竹子产业发展注入新动力。

在山区运输竹子，人工搬运面临诸多安全风险，如滑倒、滚落山坡等。农业无人机吊运竹子让作业人员远离危险的运输环境，在相对安全的区域操控设备即可完成运输任务，有效保障了作业人员的生命安全，减少了安全事故的发生。



农业无人机吊运竹子在四川的成功应用，为山区竹子产业发展提供了新的解决方案。随着技术的不断进步和推广，未来，农业无人机有望在更多领域发挥重要作用，为四川山区的经济发展和乡村振兴贡献更大力量。



5. 绿化工程吊运树苗

南北山绿化工程，以拉萨河为主线，绵延 200 公里范围，以山体两侧第一重山脊可视范围为重点，涉及拉萨市城关区、柳梧新区、堆龙德庆区、达孜区、曲水县、墨竹工卡县、林周县和山南市浪卡子县、贡嘎县 9 县（区）35 个乡镇。自 2021 年至 2030 年，用 10 年时间完成营造林 206.7 万亩。南北山绿化工程以“五年增绿山川，十年绿满拉萨”为目标。

2008 年，第一棵树上山试种成功；2011 年西藏林木科学研究院开展林木苗试种，为工程选种和造林模式提供科学指导；2012 年，高海拔试点在南山启动；2015 年，“绿色围城”工程开展；2018 年，北山绿化启动；2021 年，拉萨南北山绿化工程正式启动。21 年至 24 年底，南北山绿化工程绿化面积为 70 余万亩，进度为总目标的 34%。今年在西藏吊运树苗的大疆农业无人机数量超过了 1000 台，总飞行架次超 100 万，其中草籽飞播和喷洒作业面积近 30 万亩。根据《西藏日报》新闻报道，25 年完成绿化面积约 30 万亩，绿化效率是之前的 1.7 倍。至此，拉萨南北山绿化工程绿化总面积达 100 余万亩，绿化进度为总目标的 50% 左右，随着农业无人机吊运场景的成熟和更多的飞手加入树苗吊运，在未来 5 年内完成总绿化目标将变得非常容易。



南北山绿化项目规划中，海拔 4100 米以上区域以封山育林育草为主，即飞播草籽；海拔 3900—4100 米区域内营造灌木林为主，海拔 3900 米以下营造乔木林为主。主要植树时间为 2 月底—6 月以及 12 月进行部分补苗作业，吊运作业是时长一年累计 180 天左右。在 5—8 月期间，将会给绿化树苗做植保飞防，预防病虫害。



在没有无人机吊运之前，绿化的所有货物，如树苗、培土、肥土、水管以及蓄水池等，都需要人工或者骡子运输。拉萨南北山脚下平均海拔为 3680 米，氧气稀薄，每次运输高度落差 400 多米，使用畜力或人力往返一趟约 1 小时，且还需休息补充体力，效率极低，山上小道也有滑落风险。



大疆 T100 在拉萨的推荐载重为 72kg（海拔 1000 米以内为 85kg），一趟吊运 10-16 棵小树苗或 3 袋培土，爬升 400 米高度时间为 2.5 分钟。以单日吊运量计算，农业无人机单日平均吊运 5500kg（平均 50kg/趟），是骡子的 14 倍（一头骡子单次大概 32 棵小苗，单次运载约 130 公斤，一天 3 趟，日总运载重量约 400 公斤）。

在西藏等高海拔区域吊运树苗或飞播、喷洒作业中，分享以下作业经验：

1. 人员：氧气含量低、干燥，紫外线强，飞手或地面工作人员需缓慢、减重作业，做好防护和水分补充；
2. 安全：对地面工作人员尤其是藏族地面工作人员，做好做足安全宣导培训，必要时可邀请会将普通话的藏族人员协助做好安全宣导；
3. 飞机载重：飞机推荐载重降低，根据海拔与气压、空气密度相关计算，海拔每升高 1000 米，空气密度降低 10%。在拉萨 T100 推荐最大载重为 72kg，为了安全起见，建议每次吊运重量控制在 50kg，留足冗余；
4. 吊运系统：干燥、紫外线强，吊运绳子老化严重，需要勤检勤换；
5. 充电设备：由于氧气稀薄，严重影响燃油充电站发电功率，推荐使用新能源车充，安静且能达到快速充电，也可选择大功率柴油发电机组；
6. 空域及汽油管控：在西藏作业，要严格执行当地空域管控政策，提前报备，审批通过后方可作业；同时，各加油站对于汽油管控，尤其散打汽油（燃油充电站）管控要求高，需提前做好登记和相关证件。

（二）全流程作业案例

1. 玉米全流程作业

玉米是禾本科玉米属的一年生草本植物，通常被称为棒子、苞米、包谷等，具有食用、饲用和多种工业用途。

玉米全生育期可分为：播种期、三叶期、拔节期、小喇叭口期、大喇叭口期、抽雄期、吐丝期、灌浆成熟期。在不同阶段，玉米可能会受到不同的病虫害侵蚀，若能在不同阶段进行针对性的植保作业，将有助于提高玉米的产量与品质。

下面将以东北区域春玉米为例，提供农业无人机在玉米不同时期的植保作业建议。



玉米全生育时期图

1) 封闭性除草与苗后除草

玉米封闭性除草是指在玉米、杂草都未出土前喷施除草剂，使药剂在土壤表面形成药土层从而将杂草杀灭。由于玉米播种深度通常在3～5厘米，而杂草种子在接近地表处，这使得杂草更容易接触、吸收除草剂药液从而达到封闭效果。

玉米苗前封闭常用除草剂类型有酰胺类：乙草胺、甲草胺、丁草胺、异丙甲草胺、精异丙甲草胺等，这类主要通过杂草种子接触药膜被抑制生长，阻断核酸代谢和蛋白质合，最终抑制细胞分裂和生长，使杂草幼芽停止发育直至死亡，这类型的除草剂对于草正在发芽效果较好，如果已经发芽或者干旱草籽未发芽可能效果较差。第二类均三氮类：莠去津、阿特拉津、除草净等，这类除草剂在被施入土壤后也同样会在土壤表层形成1-2厘米的药膜，通过抑制杂草幼芽出土时对水分的吸收，叶片失去光合作用导致干枯死亡。第三类HPPD类，如异恶唑草酮，这类主要通过破坏植物体内类胡萝卜素合成途径，使杂草幼芽因缺乏类胡萝卜素而无法进行光合作用，最终因能量代谢障碍而死亡。

使用农业无人机进行苗前封闭作业需要在雨后或者滴管浇地改善土壤墒情后进行，其中浇地后推荐亩用量4-6升/亩，可确保药液能有效渗透并附着在土层表面形成药膜，此外玉米苗前封闭作业还应注意周边作物的敏感性以及作业时尽量选择无风天气进行。对于未进行浇地，土壤墒情中等区域，推荐作业参数如下：

作业机型	T70 农业无人机
相对作物冠层高度	2.5 米
亩用量	12-15 升 / 亩
飞行速度	3.5-4.5 米 / 秒
作业行距	4.5 米
雾滴粒径	300-500 微米



2) 苗后除草作业

使用农业无人机进行玉米苗后除草作业，可在玉米 3 ~ 5 叶期，杂草 2 ~ 4 叶期进行。常用组合方案如：烟嘧磺隆 + 莠去津，该组合杀草谱广，对一年生杂草如牛筋草、马唐、稗草有较好的除草效果。硝磺草酮 + 莠去津，该组合对阔叶类杂草效果较好，例如玉米田常见阔叶杂草(苋菜、藜、马齿苋)和部分禾本科杂草(狗尾草、马唐) 均有效。



大疆 T70 苗后除草作业

3) 苗后除草注意事项

玉米苗后除草应避免高温干旱时施药，还应注意玉米周边作物的敏感性，例如玉米茎叶除草使用烟嘧磺隆 + 莠去津，能有效地防治一年生、多年生阔叶杂草和禾本科杂草，但如果玉米周边有大豆、花生等敏感复合种植作物时，农业无人机雾滴发生飘移必然会对大豆、花生造成药害，因此农业无人机玉米茎叶除草应选择单一作物种植区域或距离敏感作物 2 公里以上的安全区。此外，施药时间还应选择在上午 10 点半以前或下午 4 点以后，这个时间段能让杂草吸收快，药液挥发量少。为减少雾滴飘移，农业无人机除草作业应控制在 2 级风以内。

T70 苗后除草作业参数

作业机型	T70 农业无人机
相对作物冠层高度	2.5 米
亩用量	4-6 升 / 亩
飞行速度	5-6 米 / 秒
作业行距	5-6 米
雾滴粒径	300-500 微米



大喇叭口期的玉米

4) 玉米喇叭口期控旺及病虫害防治

玉米大喇叭口期是从拔节到抽雄所经历的时期，一般把玉米 7 ~ 8 片叶时称为小喇叭口期，10 ~ 12 片叶时称为大喇叭口期，其中 8 ~ 12 片叶时期可选择矮壮素、乙烯利、缩节胺、多效唑等药剂对玉米进行控旺，合理控旺能促进玉米茎秆增粗、提高抗倒伏能力。采用农业无人机控旺应确保药剂浓度适宜，同时避免重喷、漏喷、雾滴发生飘移而导致作物长势不均等，还应选择在 2 级风以内作业。

病虫害防治

进入大喇叭口期后，田间高温高湿环境易发生病虫害，此时玉米病害包括褐斑病、锈病、顶腐病等，可选用吡唑醚菌酯、苯醚甲环唑、戊唑醇等药剂。虫害则包括玉米螟、棉铃虫、蚜虫、蓟马等，可选用氯虫苯甲酰胺、吡虫啉、甲维盐等药剂。

另外，在杀虫杀菌时适量加入磷酸二氢钾、芸苔素内酯等叶面肥或植物生长调节剂，有利于促进玉米中后期生长，提高抗逆性，增加产量。配合大疆农业无人机强劲的下压风场以及更小的雾滴粒径，玉米中下层叶片无论正反面，都能被药液均匀地覆盖

T70 控旺及病虫害防治作业参数

作业机型	T70 农业无人机	飞行速度	5-6 米 / 秒
相对作物冠层高度	3-3.5 米	作业行距	6-7 米
亩用量	2.5-3 升 / 亩	雾滴粒径	100-150 微米
使用功能	开启“低速自爬升”功能，防止地头作物倒伏		

T70 抽雄至灌浆成熟期作业参数

5) 抽雄期至灌浆成熟期病虫害防治

玉米在扬花授粉后，植株高大，不利于地面机械进入植保作业，而玉米在抽穗扬花至灌浆期是玉米生长的关键时期，如不进行相应的病虫害防治与养分供应，极易造成玉米秃尖及籽粒干瘪等情况。

此时期常见病害有大小斑病、锈病、弯孢霉叶斑病、穗腐病等，可使用啞菌酯、吡唑醚菌酯、戊唑醇、醚菌酯·氟环唑等药剂；常见的虫害则有玉米螟、棉铃虫、蚜虫、双斑萤叶甲、红蜘蛛等，可使用氯虫苯甲酰胺、甲维盐、噻虫嗪、高效氯氟氰菊酯等药剂。



玉米灌浆期应保持土壤相对含水量不低于 60%，可喷施 1%~2% 的磷酸二氢钾和尿素，配合农业无人机的下压风场以及更小雾滴粒径，玉米中下层叶片正反面药液覆盖将更加均匀，特别是保护“棒三叶”，能更好地防止叶片早衰，延长灌浆时间，增加籽粒重，最终达到增产提质的作用。

作业机型	T70 农业无人机
相对作物冠层高度	3-3.5 米
亩用量	2.5-3 升 / 亩
飞行速度	6-7 米 / 秒
作业行距	6-7 米
雾滴粒径	100-150 微米
使用功能	开启“低速自爬升”功能，防止地头作物倒伏

玉米生育中后期两次施药可分别在大喇叭口期和抽穗扬花、灌浆前完成，通过混合喷施叶面肥、生长调节剂、杀菌剂、杀虫剂等，两次作业可实现促壮苗、稳生长、促灌浆成熟、提高单产和防虫防病等多重功效。

过往，由于中后期的玉米植株较高，无论是人工还是地面机械都难以进入，植保作业难度大。而农业无人机凭借着不受地形限制的特点，不仅让玉米中后期作业成为可能，还具有效果均匀、省时高效、省水省药等优势。

如今，农业无人机在玉米各个生育阶段的运用包含：封闭性除草、茎叶除草、化学调控、喷洒叶面肥、病虫害防治等，随着农业无人机的功能完善与技术迭代，农业无人机在玉米种植中的应用前景将会更加广阔，玉米防病增产也将逐步成为飞防植保领域的新蓝海。



2. 苹果全流程管理

在现代苹果种植管理中，农业无人机正发挥着日益重要的作用，成为推动苹果产业现代化发展的关键力量。随着科技的飞速发展，传统的苹果种植管理方式逐渐暴露出效率低下、人力成本高昂以及难以实现精准作业等问题，而农业无人机的出现，为这些问题提供了创新解决方案。

从发展趋势来看，农业无人机在苹果种植管理中的应用正呈现出快速增长的态势。其作业范围不断拓展，涵盖了从果园监测、病虫害防治到施肥、授粉等苹果生长的全流程。这种全流程作业模式，对于提升苹果的产量和品质、降低生产成本以及实现绿色可持续发展具有关键意义。通过无人机搭载的先进传感器和智能分析系统，能够实时、精准地获取果园的各项信息，为科学决策提供有力依据，从而实现苹果生长的精细化管理。



ag.dji.com

1) 果园信息收集与分析

在使用农业无人机管理苹果园之前，全面且准确地收集果园信息是制定科学管理方案的基础。通过卫星遥感和无人机建模，能够快速且精确地获取果园的面积和地形数据。利用地理信息系统（GIS）对这些数据进行处理和分析，生成详细的果园地形地貌图，直观呈现果园的坡度、坡向以及地势起伏状况，为无人机飞行航线规划和作业参数调整提供重要依据。

对于果树品种和树龄分布信息的收集，实地调查与高分辨率遥感影像解译相结合是行之有效的方法。实地调查时，详细记录不同区域的果树品种、树龄以及种植密度等信息。同时，借助高分辨率遥感影像，依据果树的光谱特征和纹理信息，识别不同品种的果树，并通过树冠大小和生长形态初步判断树龄。将这些信息整合到果园数据库中，建立果树信息档案，为后续的精准管理奠定基础。

根据收集到的果园信息，深入分析不同区域的果树生长特点和需求，制定针对性的管理方案。针对树龄较小的果树，在施肥和病虫害防治方面，采用更精细的作业参数，确保药剂和肥料的精准施用，促进幼树健康成长。对于地势复杂的区域，合理规划无人机的飞行航线，避免飞行事故的发生，同时调整喷洒参数，保证作业效果的均匀性。

2) 无人机选型与调试

根据果园的实际特点和作业需求，选择合适的无人机型号至关重要。果园的面积大小直接影响无人机的续航能力和作业效率需求。对于大面积果园，应优先选择续航时间长、载重能力大的无人机型号，以减少充电和更换药剂的次数，提高作业效率。果园的地形条件也不容忽视，在地形复杂、起伏较大的果园，具备高精度地形跟随功能的无人机能够更好地适应环境，确保飞行安全和作业质量。果树的高度和冠层结构同样是选型的重要依据，对于高大且冠层茂密的苹果树，需要无人机具备较强的垂直起降能力和良好的喷雾穿透性，以实现药剂的有效喷洒。

3) 药剂与物资准备

根据苹果在不同生长阶段的病虫害防治需求和营养需求，科学合理地选择药剂和叶面肥是实现精准管理的关键。在病虫害防治方面，通过对果园病虫害的监测和预测，准确判断病虫害的种类和发生程度，选择针对性强的药剂。在苹果花期，重点防治霉心病和蚜虫，可选用多抗霉素和吡虫啉等药剂；在果实膨大期，针对食心虫和炭疽病，选择氯虫苯甲酰胺和戊唑醇等药剂进行防治。同时，要考虑药剂的安全性、有效性和环保性，避免使用高毒、高残留的药剂，减少对环境 and 果实品质的影响。

在营养需求方面，根据果树的生长阶段和土壤养分状况，选择合适的叶面肥。在苹果萌芽期，喷施含有氮、磷、钾等大量元素和微量元素的叶面肥，促进果树萌芽和新梢生长；在果实膨大期和转色期，喷施以磷、钾为主的叶面肥，如磷酸二氢钾，配合钙、镁等中微量元素肥料，有助于促进果实膨大、增糖增色和提高果实硬度。





在准备药剂时，严格按照使用说明进行稀释和混合。仔细查看药剂的稀释倍数，准确计算加水量，确保稀释浓度准确无误。采用二次稀释法，先将药剂在小容器中充分溶解，再倒入大容器中进行稀释，使药剂均匀分散。多种药剂混合使用时，注意混配顺序，一般先加入可湿性粉剂，搅拌均匀后再加入悬浮剂、水剂、乳油等，最后加入助剂，并沿着一个方向搅拌，避免出现沉淀、分层等现象，影响药效。

4) 春季清园作业

春季清园是苹果全年管理的重要开端，其核心目标在于消灭越冬病虫害，大幅减少病原菌基数，为全年的病虫害防治工作筑牢根基。在冬季，各种病虫害会在果树的枝干、树皮缝隙、落叶以及土壤中潜伏越冬，如苹果腐烂病菌、轮纹病菌、蚜虫卵和红蜘蛛等。若不及时清除，这些病虫害会在春季随着气温回升而迅速繁殖扩散，对果树的生长和果实品质造成严重威胁。通过春季清园，能够有效杀灭这些越冬病虫害，降低病虫害的发生几率，保障果树的健康生长。确定最佳作业时机至关重要，这需要综合考虑多方面因素。一般来说，当气温稳定回升至 5℃ 以上，且苹果树尚未萌芽时是较为理想的作业时机。此时，病虫害开始活动，但果树还未进入生长活跃期，对药剂的耐受性相对较强，能够在有效防治病虫害的同时，减少对果树的伤害。可以通过观察当地的气象数据和果树的生长状态来判断作业时机。密切关注天气预报，掌握气温的变化趋势，同时定期巡查果园，观察苹果树的芽眼变化。当发现芽眼开始微微膨大，但尚未突破鳞片时，即可准备进行清园作业。此外，还需注意避开阴雨天气和大风天气，选择晴朗、无风或微风的天气进行作业，以确保药剂的有效喷洒和防治效果。

在春季清园作业中，无人机的飞行高度、速度、喷洒角度和喷洒量等参数设置直接影响作业效果。飞行高度通常控制在距离果树树冠顶部 1.5 - 2.5 米之间。这个高度既能保证无人机的安全飞行，避免与果树发生碰撞，又能使喷洒的药剂借助无人机的下压气流均匀地覆盖到果树的各个部位。若飞行高度过低，容易导致无人机与树枝碰撞，损坏设备，同时药剂的覆盖范围也会受限；而飞行高度过高，则会使药剂在空气中漂移散失，无法有效作用于果树。

飞行速度一般设定在 3 - 5 米 / 秒。这样的速度既能保证作业效率，又能确保药剂的均匀喷洒。速度过快，药剂可能无法充分附着在果树上，造成漏喷和防治效果不佳；速度过慢，则会影响作业进度，增加作业成本。喷洒角度应根据果树的树形和冠层结构进行调整，确保药剂能够均匀地喷洒到果树的叶片、枝干和树皮缝隙中。对于高大的苹果树，可适当增大喷洒角度，使药剂能够覆盖到树冠的上部；对于树冠较为紧凑的果树，可减小喷洒角度，提高药剂的穿透性。

作业效果评估是检验春季清园作业是否达到预期目标的重要环节。通过实地观察，仔细查看果树枝干上是否还有病虫害的痕迹，如腐烂病斑、虫卵、虫体等，评估病虫害的杀灭情况。随机抽取一定数量的果树，检查叶片和枝干上的药剂附着情况，判断药剂的覆盖均匀度。还可以采用抽样检测的方法，采集果树上的叶片、枝干样本，在实验室进行病原菌检测，分析病虫害的残留数量和种类，准确评估清园作业的效果。



5) 花期管理作业

无人机授粉技术是利用无人机搭载特制的花粉播撒系统，在飞行过程中将花粉均匀地播撒到果树的花朵上，从而实现授粉的目的。在选择授粉花粉时，要充分考虑花粉的活力、纯度和亲和力等因素。优先选择与苹果树品种亲和力强的花粉，以提高授粉效果。在处理花粉时，首先要对采集的花粉进行筛选和干燥处理，去除杂质和水分，提高花粉的保存期限和活性。将筛选后的花粉放入干燥器中，在低温、干燥的环境下保存，可延长花粉的活性。在装载花粉时，严格按照无人机花粉播撒系统的操作要求进行，确保花粉能够准确、均匀地播撒。根据果园的面积、果树的数量和花粉的活性，精确计算花粉的装载量，避免花粉浪费或不足。在授粉作业中，飞行路径规划是关键环节。利用无人机的智能导航系统，结合果园的地形、果树分布和花期情况，规划出合理的飞行路径，确保无人机能够均匀地覆盖果园的每一个区域，避免出现漏播现象。飞行速度控制在 3 - 5 米 / 秒，飞行高度保持在距离树冠顶部 1 - 1.5 米。这样的速度和高度既能保证花粉的有效播撒，又能避免无人机对果树造成损伤。

6) 病虫害监测与预防

利用无人机搭载的高清摄像头和多光谱传感器进行花期病虫害监测，是一种高效、精准的监测方法。高清摄像头能够拍摄果树的细节图像，通过图像分析技术，可识别出花朵上是否存在病虫害的症状，如霉心病、蚜虫等。多光谱传感器则能获取果树在不同光谱波段下的反射信息，根据病虫害引起的光谱特征变化，判断病虫害的种类和发生程度。当果树感染白粉病时，在多光谱图像中会呈现出特定的光谱异常，通过与正常果树的光谱数据对比，可快速准确地检测出白粉病的发生区域和严重程度。

根据监测结果，及时采取预防措施至关重要。在病虫害发生初期，及时喷施针对性的药剂进行防治。若监测到蚜虫，可选用吡虫啉、啉虫脒等高效低毒的杀虫剂进行喷雾防治；对于霉心病，可选用多抗霉素、甲基硫菌灵等杀菌剂进行预防。同时，合理调整药剂的浓度和使用剂量，避免对果树和环境造成不良影响。除了化学防治，还可采取物理防治和生物防治等综合措施。在果园中悬挂糖醋液诱捕器，可诱杀果蝇等害虫；释放捕食性天敌昆虫，如七星瓢虫、草蛉等，以控制蚜虫、红蜘蛛等害虫的数量，减少病虫害的发生。



7) 幼果期管理作业

在幼果期，苹果常见的病虫害种类繁多，对果实的生长和品质构成严重威胁。

根据幼果生长需求，通过无人机精准喷施叶面肥和生长调节剂，能够有效促进幼果健康生长。在幼果期，幼果对养分的需求较为旺盛，尤其是对钾、钙、镁等中微量元素的需求增加。叶面肥可选择含有这些元素的优质肥料，如磷酸二氢钾、糖醇钙、螯合镁等。磷酸二氢钾能够促进果实膨大、增糖增色；糖醇钙可增强果实的细胞壁强度，提高果实的抗病能力，减少裂果的发生；螯合镁有助于提高叶片的光合作用效率，为果实生长提供充足的养分。

生长调节剂方面，可选用芸苔素内酯、萘乙酸等。芸苔素内酯能够增强幼果的抗逆性，促进果实细胞分裂和伸长，提高果实品质和产量；萘乙酸在一定程度上可防止生理落果，提高坐果率。在喷施时，要严格按照产品说明控制叶面肥和生长调节剂的浓度和用量，避免浓度过高或用量过大对幼果造成伤害。选择晴朗无风的傍晚或早晨进行喷施，此时叶片气孔张开，有利于养分的吸收。喷施时要确保药剂均匀覆盖幼果和叶片，提高喷施效果。

8) 膨果期管理作业

利用无人机实现水肥一体化，其技术原理基于先进的传感器技术和智能控制系统。无人机搭载土壤湿度传感器、养分传感器以及气象监测传感器等，实时采集果园的土壤墒情、养分含量、气温、湿度、光照等数据。通过

对这些数据的分析处理，结合苹果树在膨果期的需水需肥规律，精准计算出所需的水分和养分比例及施用量。

作业流程如下：在作业前，根据果园的面积、地形和果树分布，利用专业的农业无人机规划软件，规划出合理的飞行航线。将调配好的水肥混合液装入无人机的专用储液箱中，确保混合液均匀且无沉淀。飞手操控无人机按照预设航线飞行，飞行高度一般保持在距离树冠顶部 1 - 1.5 米，飞行速度控制在 3 - 5 米 / 秒。在飞行过程中，无人机根据传感器采集的数据，通过智能控制系统自动调节水肥的喷洒量和喷洒速度，确保每棵果树都能得到精准的水肥供应。

在膨果期，苹果对水分和养分的需求呈现出特定的规律。水分方面，保持土壤相对含水量在 70% - 80% 较为适宜。若土壤水分不足，会影响果实的膨大，导致果个变小、产量降低；而水分过多，则可能引起根系缺氧，影响果树的正常生长，甚至导致裂果等问题。养分需求上，此时期苹果对钾、钙、镁等元素的需求显著增加。钾元素对于促进果实膨大、提高果实糖分积累和增强果实品质具有重要作用；钙元素能够增强果实细胞壁的强度，减少裂果和苦痘病等生理性病害的发生；镁元素则有助于提高叶片的光合作用效率，为果实生长提供充足的能量。



根据这些需求，合理调配水肥比例和施用量。在肥料选择上，优先选用高钾型水溶肥，如含有硫酸钾、硝酸钾等成分的肥料，同时搭配适量的钙镁肥和微量元素肥。一般情况下，每亩果园每次的施肥量控制在 3 – 5 千克，具体施用量可根据果树的树势、产量和土壤肥力状况进行适当调整。水分的施用量则根据土壤墒情和天气情况灵活确定，确保果树在膨果期能够获得充足且适宜的水分和养分供应。在膨果期，高温多雨的气候条件为病虫害的滋生和传播创造了有利环境，使得病虫害的发生呈现出种类多、危害重、传播快的特点。常见的病害有炭疽病、轮纹病、褐斑病等，这些病害一旦爆发，会迅速侵染果实和叶片，导致果实腐烂、脱落，叶片枯黄、早落，严重影响苹果的产量和品质。炭疽病在高温高湿环境下，病菌繁殖速度极快，潜伏期短，短时间内就能在果园内大面积传播；褐斑病在连续降雨后，病斑会迅速扩大，造成叶片大量脱落。

虫害主要有桃小食心虫、蚜虫、红蜘蛛等。桃小食心虫的幼虫会蛀入果实内部，取食果肉，形成“豆沙馅”果，使果实失去商品价值；蚜虫和红蜘蛛则聚集在叶片和嫩梢上吸食汁液，导致叶片卷曲、发黄，影响光合作用，进而影响果实的生长发育。

为加强病虫害防控，采取综合防治措施至关重要。农业防治方面，及时清理果园内的枯枝落叶、落果和杂草，减少病虫害的滋生场所。合理修剪果树，改善树冠的通风透光条件，降低果园内的湿度，抑制病虫害的发生。对果园进行深耕翻土，将土壤中的害虫和病菌暴露在空气中，使其难以存活。

利用无人机搭载高清摄像头和多光谱传感器，定期对果园进行巡查监测。通过图像识别和数据分析技术，及时发现病虫害的早期症状，如叶片上的病斑、害虫的踪迹等。一旦发现病虫害隐患，迅速采取相应的防治措施，如精准定位病虫害发生区域，利用无人机进行针对性的农药喷洒，将病虫害控制在萌芽状态，确保苹果的健康生长。

9) 成熟期管理作业

通过无人机果树的长势分析，对果实品质指标的综合分析，可以准确判断果实的成熟度和采收时机。当果实的糖分含量达到品种固有水平，色泽呈现出该品种典型的成熟颜色，硬度处于适宜的采收范围时，表明果实已达到最佳成熟状态，此时进行采收能够保证苹果的品质和口感。同时，根据不同果园、不同区域的实际情况，结合气象数据、土壤条件等因素，对果实品质监测结果进行动态分析和调整，制定个性化的采收计划，进一步提高苹果的生产效益和市场价值。



（三）油菜播撒

油菜籽，又称芸苔子，属于十字花科作物油菜的种子，其油脂含量丰富，是中国主要油料作物和蜜源作物之一。油菜作为长日照作物，适宜在冷凉或较温暖的气候条件下生长，整个生育期需在日平均气温 22℃ 以下完成。油菜种植因地域气候差异而有冬油菜和春油菜之分。

当前我国许多省份都在紧锣密鼓地加紧播种油菜，相比于人工播种和移栽，无人机飞播效率高、均匀度好，成本低，是众多农户的选择。



油菜籽

油菜籽产地分布

长江流域：长江流域是我国油菜籽生产的主要地区，也是世界上最大的油菜籽生产带。种植地区包括湖北、湖南、江西、安徽、河南、江苏、浙江、上海等地。其中，湖北和湖南的油菜籽产量最高。

西南地区：包括四川、贵州、云南等省份，常年种植面积及产量占全国的 20-30%，其中四川地区近年来成为油菜籽生产大省。

西北地区：是我国春菜籽的主要产地，包括甘肃、青海、陕西、内蒙等地，菜籽种植面积占全国的 10% 左右。

油菜籽播种时间

冬油菜一般在 9 月下旬至 10 月下旬播种，根据气候条件选择最佳播种时间。





农业无人机播撒油菜籽既高效，又经济，但作业时仍需注意以下几点才能获得最佳效果，下面将以冬油菜为例进行讲解。

第一步：种子和肥料准备

1、除草与整地：水稻收获后，立即对田块进行除草，除草后 2-3 天进行机械翻耕 20-30 厘米，翻耕后，采用旋耕机，并对低洼田块开十字沟，便于排水。

2、油菜籽亩用量确认：油菜籽综合亩用量在 250—500 克之间。水田油菜每亩播种 300—500 克，旱地油菜每亩播种 250—500 克，三熟制区播种 350—500 克。如播种期推迟，应适当增加播种量。

3、种子包衣处理：可以适当使用噻霜唑 + 克百威拌种，起到防虫、防病的效果。

4、种子拌肥处理（若使用 T60/T25P 的小绞龙，无需拌肥，支持直接播种）：由于油菜种子颗粒小，每亩使用量少，根据不同播撒机的灵敏度，可以在油菜籽中适量掺入硼肥、尿素或者复合肥等，按照土地施肥需求用量，进行配比，使得拌种后的亩用量在 1kg-2kg 以上，提升整体播撒的均匀度和亩用量精准度。可参考底肥亩用硼砂 1-2 千克，尿素亩用量 10-30 千克。



油菜籽拌尿素处理

第二步：播撒机调试校准：

1、如果使用 T60/T25P 进行播种作业，可选用小蛟龙 + 甩盘挡圈，提升播撒精度和均匀度：



2、如果使用 T50/T25 机型进行播种作业，可选用小仓口组件，提升小亩用量播撒的精准度：



3、如果使用 T40/T30/T20 机型进行播种作业，可通过手动设置仓口大小控制流量，仓口控制在 10%-15% 左右，参考播撒量进行适当调整仓口大小：

仓口开合度	播撒量（千克）
10%	0.54
20%	4.04
30%	8.4
40%	13.16
50%	18.6
60%	25.29
70%	31.8



4、播撒开始前，一定要进行播撒流量校准，可在大疆农服 - 大疆学堂搜索官方教学视频。同时，由于机型差异、设备老化情况和作业地块的差异，第一次播撒时，建议先试播一个架次，比对亩用量是否准确，根据偏差调校亩用量参数，以保证实际作业效果。



第三步：无人机播撒作业参数设置

根据不同机型和亩用量可以参考下表进行作业参数设置。

1、T60\T25P 机型 作业参数设置以及注意事项：

T60 农业无人机作业参数 油菜种子（使用小蛟龙+甩盘播撒）		
亩用量 0.25 千克	亩用量 0.5 千克	亩用量 1.25-1.5 千克
飞行速度 >7 米/秒	飞行速度 >7 米/秒	飞行速度 >7 米/秒
高度 3.5-4 米	高度 3.5-4 米	高度 3-4 米
甩盘转速 1100 转/分钟	甩盘转速 1100 转/分钟	甩盘转速 1100 转/分钟
行距 4-5 米	行距 5-6 米	行距 6-7 米
参数一：较少用量，纯油菜籽 参数二：纯油菜籽 参数三：油菜籽+肥料 添加肥料可提高油菜籽有效播幅		

2、T50\T25\T40\T30\T20 机型 作业参数设置以及注意事项：

T50/40/30/25/20 农业无人机作业参数				
参数/机型	T20	T30	T40	T50/T25
亩用量	1-2 公斤以上			
高度	3.5-4.5 米			
速度	6-7 米/秒			
转速	1000-1200 转/分钟			
行距	4.5-5.5 米			
仓口	10%-15%			选用小仓口组件
1.油菜种子类的用量少，可以参照校准的误差尽量撒肥料并拌匀使得亩用量在 1-2 公斤以上，保证播撒精度 2.油菜种子细小，避免大风天作业 3.油菜种子不易吸湿，转速选择偏上端 4.根据实际播撒调整匹配行距				

3、地块内缩和扫边设置：需要根据实际情况调整地块单边内缩距离 0.5m-1m，并开启自动扫边。如地块边界障碍物较多，可以加多内缩距离并手动扫边确保地块边缘油菜均匀覆盖。

菜籽作为我国重要农作物，目前已发展成为继水稻、小麦、玉米之后的第四大作物。同时，作为我国第一大食用植物油源，菜籽油产量占到了国产食用植物油的 40% 以上，地位举足轻重。2024 年中央一号文件明确提出要“扩大油菜面积”、“在长江流域开发冬闲田扩种油菜”，对“菜籽油”、“中国油”的稳产保供作出了明确部署。

与人工播种相比，无人机播种更省时、省力、省成本，大大提高了油菜种植效率，每天可以完成数百亩的播种作业。按照预设的路线、亩用量等指标参数来进行作业，播种密度也均匀，播种线路也无漏播无重复。同时无人机飞播不受地形限制，能够更好地适应油菜播种的不同地形和场景。

无人机播撒油菜籽不仅提高了播种效率和质量，降低了成本，同时有助于提升油菜播种机械化、高效化水平。

（四）喷洒案例

1. 棉花脱叶剂

棉花是锦葵科棉属植物的种子纤维，原产地是印度和阿拉伯，约在南北朝时期传入我国。棉花生育时期包含播种期、出苗期、现蕾期、开花期、吐絮期等五个生育时期，农业无人机的应用从棉花脱叶剂作业条件、气象条件、作业参数、药剂等方面展开，介绍棉花脱叶剂的前提条件、适当时机，以及农业无人机操作规范。



棉花吐絮期

棉花脱叶剂作业是指使用植物生长调节剂加速叶片的老化脱落，从而使得机械采收更为方便，同时还能降低棉花的含杂率继而提升棉花品质。

脱叶剂作业会加速棉花的成熟进程，所以在棉花脱叶剂作业前应确保有效棉铃达到基本生理性成熟，营养生长进入停止，棉株进入自然衰老期才可进行作业。



棉花脱叶剂作业顺序

棉桃的成熟情况会直接影响脱叶剂作业效果，一般要求棉花吐絮率 40% 以上开始作业，50% 吐絮率作业效果更佳。可通过两个方法辨别棉桃是否成熟可作业：

1、观察棉桃上的红色斑点，红色斑点越多且颜色越深说明成熟度越高；



成熟度差异

观察棉桃外观辨别成熟度

2、切开棉桃，观察棉桃种皮横切面的颜色和棉籽的硬度，横切面为白色且棉籽较软说明尚未达到作业要求，横切面为棕褐色且棉籽坚硬则说明已经达到作业条件，切勿在成熟程度不足的情况下直接作业，会降低实际脱叶效果。

刀削棉桃法判断打药时间



切开棉桃辨别成熟度

棉花脱叶剂作业效果与施药时的气象条件、棉花成熟度、棉花种植密度息息相关，作业前应应对棉花种植密度、品种，作业时天气预报提早进行关注，以确保脱叶剂作业效果。

棉花种植密度与种植品种、田间管理有密切的关系。棉花品种直接影响着棉株的高低和叶片的稠密（例如陆地棉相对绒棉高一些），棉花到一定生长期后，一般都会通过喷施缩节胺类药剂实现化学防控以免棉株过高减产。所以在脱叶剂作业前一定要去实地勘察，根据植株高矮、叶片稠密等确定脱叶剂剂量与作业参数。

当温度过低时会大大降低脱叶效果，所以一般要求作业结束 3 ~ 5 天内最低气温高于 14℃（部分药剂要求更高），作业后一周平均气温高于 18℃。要注意的是，作业后 6 小时内遇大雨或者 2 天以内遇到极端的低温，则需要重新作业，以保障作业效果。

作业时风速较快会造成雾滴的穿透性下降并增加飘移，脱叶剂属于触杀性药剂，需要雾滴更好地包裹作物。风速较快会造成药液飘移较远，对下风向作物有飘移药害风险，所以建议在 2 级风以内作业。

目前最常见的脱叶剂成分包括噻苯隆与敌草隆复配剂、助剂、乙烯利，此外还有除草剂类型的脱叶剂，但除草剂会大大加速棉株死亡，故使用比例相对较少。

棉花脱叶剂第一次药剂可参考使用：540 克 / 升噻苯隆 · 敌草隆 SC 12.5 毫升 / 亩 + 专用助剂 12.5 毫升 / 亩 + 乙烯利 50-100 毫升 / 亩。

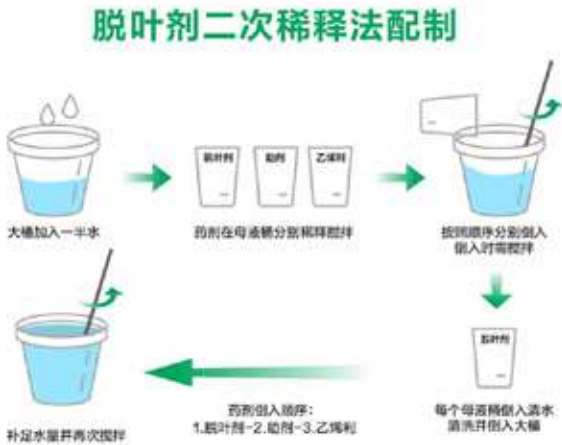
棉花脱叶剂第二次药可参考使用：540 克 / 升噻苯隆 · 敌草隆 SC 12.5 毫升 / 亩 + 专用助剂 12.5 毫升 / 亩 + 乙烯利 50-100 毫升 / 亩。

两次施药间隔通常建议在 7 天左右。由于棉花脱叶剂中通常含有除草剂成分，若高温不减量会出现焦枝挂叶现象，低温不加量脱叶效果较差，在药剂配制时应严格按照说明书或厂家推荐亩用量。

对于每亩 10000 株以上棉田，禁止通过加大药量的方式实现一次脱落作业，都应分成两次作业，因为药量过多将加速棉株老化，减少棉铃单株重量，从而造成棉花总体减产。

序号	药剂名称	药剂种类	药剂类型	作用	影响因素	副作用	李意事项
1	噻苯隆	生长调节剂	触杀型	抑制生长素合成，增加脱落酸，促进叶柄与茎之间形成离层，使得叶片在青绿状态下就会自然脱落	温度	暂无	受温度影响较大，施用后应保证温度在 12 度以上
2	敌草隆	除草剂	内吸型 + 一部分触杀型	除草剂，直接致死棉株	温度、光照、施药浓度	用量过大，或气温较低时易造成焦叶挂枝	一般与噻苯隆混配，温度过低时噻苯隆不起作用，将直接致死棉株，易造成焦叶挂枝
3	乙烯利	生长调节剂	内吸型	催熟棉花，辅助棉花脱叶	温度、光照、施药浓度	施用时间过早或者浓度过大易造成干铃、夹壳	注意施用时间和用量

在药剂配制时应严格遵守二次稀释法，即先将计算好的药剂分别用部分水进行稀释，在母液桶配制成母液。然后在配药大桶里倒入一半的水，按顺序将（脱叶剂、助剂、乙烯利）母液倒入并搅拌均匀，最后往大桶里面倒入足量清水，再次搅拌均匀。



棉花脱叶剂作业受气象条件、田间管理、作业时间节点、药剂、喷洒参数等综合影响，在施药 7 天后上层棉叶开始脱落，然后再进行第二次施药。当棉花叶冠层较大、较密或植株较高时，可适当调整作业参数以保证脱叶剂作业效果。

新疆农业无人机棉花脱叶剂作业建议

作业参数基础知识					
作业机型	喷洒亩用量 (升/亩)	高度(米)	速度 (米/秒)	行距(米)	雾滴粒径
T60	2.5-3	3-3.5	5.5-6.5	5-6	100-150 微米
T40/T50	2.5-3	3-3.5	5.5-6.5	5-6	100-150 微米
棉花长势与作业时间					
品种	株高	棉桃数量	吐絮率	作业时间	
对脱叶剂敏感	60-90 厘米	7-12 个	40%-50%	天山以北: 9 月 01 日 -9 月 05 日第一遍 天山以南: 9 月 10 日 -9 月 15 日第一遍	
脱叶剂要求					
品种	搭配	配制		用量	
正式登记的品种， 3 年以上无不良反应	搭配乙烯利并加 适量飞防助剂	严格按照二次稀释法， 现配现用，2 小时内使用完毕		根据长势和成熟度，合理选择用里早熟品种， 可适当减少用量	
气象条件					
气温		时间点	风速	降水	湿度
作业前后最低气温不低于 14℃， 平均气温不低于 18℃		避免中午高温时段作业	应在 1-2 级风速下作业	作业后 12 小时无降雨	尽量在 30% 湿度以上 湿度过低，添加飞防助剂
作业要求					
离心喷头	药箱、水泵		安全要求		
无磨损、无堵塞	无积垢，提前清洁 作业后用清水清洗 2-3 遍		地里有人不可作业 不可在马路起降	飞手、地勤 应佩戴安全帽	人员时刻保持 6 米 以上安全距离，处于上风向
注意：实际应用要考虑药剂、环境、作物、靶标等情况，此表仅作为基准参考					

作业前需提前备好身份证、农用无人机系统操作手合格证、实名认证二维码，作业人员可提前根据指引进行相关登记和申请。



农用无人机系统操作手合格证示例

另外，进入 9 月份后，西北内陆地区气候干燥，昼夜温差较大，需随身携带长袖外套，以便夜间御寒保暖。同时由于西北地区紫外线辐射强烈，作业前准备防晒霜、太阳镜、帽子保护好皮肤和眼睛。

随着农业无人机技术的日益成熟，棉花脱叶剂等传统作业形式也随之发生了改变。农业无人机不仅克服了地形的限制，还能大大提高田间管理的效率与效果。同时，我们也呼吁广大飞手，共同遵守作业规范，提高作业质量，守护行业生态，一起推进农业现代化发展。



ag.dji.com

2. 咖啡应用

巴西不仅以其丰富的文化和自然景观著称，更是全球最大的咖啡生产国，在其东南部肥沃的土地孕育出了世界上最优质的咖啡豆。咖啡出口对巴西经济至关重要，为国家带来了显著的外汇收入，也支撑起了数百万人的生计。

巴西的咖啡种植历史悠久，最早可追溯到 18 世纪，优秀的自然条件使其成为种植优质咖啡豆的理想之地。然而多年来，巴西的咖啡种植长期面临着病虫害等诸多挑战。

在咖啡生长的不同时期，常常需要面对不同的病虫害。在幼苗期，咖啡容易受到如猝倒病等真菌病的侵害。在生长期，咖啡树容易受到介壳虫、叶斑病和蚜虫的侵蚀。开花和结果阶段尤为关键，因为果蛀虫和咖啡锈病等都能严重影响最终的产量。



巴西变化多端的天气也为农户们带来不小的挑战，有时干旱的天气会给植物的生长带来影响，而有时过多的降雨会促进真菌的生长，导致病害的发生。这些难以预测的天气都为农户是否能够及时地进行植保干预提出了更高的要求。

为保证产量，农户往往需要在不同时期进行针对性的植保作业。在多种传统的植保方式中，使用拖拉机或者人工喷洒仍然是多数农户的首选。但对于人工喷洒来说，请人难、人工成本高、效率低等问题已经是不争的事实。

而如果使用拖拉机作业，虽然效率相对人工喷洒更高，但也会存在雨后容易陷车、轧苗导致减产等缺陷。

无人机飞进巴西咖啡园，革新传统作业模式

Weliton 和 Mario 是大疆农业巴西代理 Agridrones 最先将无人机应用在咖啡种植上的客户。在一支专业飞手团队的协助下，他们已经率先见证了无人机投入使用后在效率上的提升和成本上的显著下降。



Weliton 的咖啡种植园位于风景如画的圣埃斯皮里图州，占地 74.5 公顷。在过去，Weliton 的农场主要通过拖拉机作业，低效率让 Weliton 头痛不已。尤其每当雨后，陷进土地里的拖拉机不仅耽误作业，还给种植园带来额外的麻烦。

而在使用大疆农业无人机后，每次作业时长从过去的 4-6 名工人背负式喷药用时 10 到 16 天减少为 1-2 人用无人机喷洒 12 到 15 天。

Mario 的种植园则是坐落在阿尔托卡希克斯山区，是山地种植的一个典型案例。由于山地陡峭，拖拉机等地面机器无法作业，人工喷洒曾是 Mario 的唯一选择。



Mario 在三公顷的种植园里种植了超过 15000 株咖啡树，在过去如果需要对这片咖啡树进行喷洒作业的话，往往需要 6 个人带着背负式喷洒器工作一周以上，如今在使用大疆农业无人机后，则只需要一位飞手，耗时 2 个小时即可完成。

作业参数			
作业机型	大疆 T40	速度	6-8 米/秒
作业高度	4.5 米	行距	7 米
雾滴粒径	350 微米	药量	8 升/公顷

“对于我们种植园来说，购买农业无人机是一笔不小的投入，但它显然是物超所值的。农业无人机不仅让我节省了大约 70% 的人工成本，药物喷洒的均匀度也有不小的提升。最重要的是，它使我们在更为陡峭的地方开辟种植区成为可能。” Mario 评价道。



保护热爱的土地，让事业可持续发展

农业无人机在巴西咖啡上的应用，革新了 Weliton 和 Mario 种植园的作业方式，改变了这项传统的劳动密集型工作，大幅节省成本。而相比起这些商业化上的考量，在采访时两位都不约而同地提到，农业无人机投入后最大的收益是相比起传统的人工喷洒，无人机作业能够最大限度地减少人与药物接触，减少药物中毒的可能。

同时，无人机减水减药的特点，对这片滋养作物生长的土地更为友好，也让这份给当地人们提供更好生活的事业可以更健康、更长远地持续发展下去。





五、最佳实践

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



农业无人机的应用，是人员操作技术、产品研发技术与农学、农业技术、农药施用技术等多领域的深度融合。这一融合过程的实现，离不开全行业的协同努力与持续探索，唯有如此，才能逐步沉淀出适配实际需求的“最佳实践”。

（一）人员培训

2024 年，大疆对培训体系进行了团队与内容的深度整合，依托作物解决方案为合作伙伴打造更具针对性的高阶培训体系。其中既包含面向销售人员的售前能力培训，也涵盖针对技术人员的交付工程师专项培养，通过系统化的产品知识与行业认知赋能，助力合作伙伴实现全方位能力提升，进而更精准高效地服务行业与用户。

在巴西，大疆农业无人机培训呈现出一派蓬勃且专业的景象，众多培训机构如雨后春笋般涌现。大疆建立的 DJI ACADEMY 培训品牌在巴西落地生根，与当地众多专业农业培训机构、农业院校以及相关企业紧密合作，共同搭建起完善的培训体系。

在培训内容上，极为注重专业性与全面性。理论课程细致入微，不仅涵盖大疆农业无人机的发展历程、独特的设计构造、精准的飞行原理，还深入剖析各类机型在不同农业场景下的性能优势与适用范围。同时，将巴西本土复杂的农业法律法规、严格的飞行许可申请流程以及飞行安全注意事项等内容融入其中，让学员从一开始就树立起合法合规飞行的意识。



（二）产品技术发展

近年来农业无人机朝着更大载重、更多功能、搭载 AR 功能的技术方向发展。例如 T100 最大起飞重量达 149.9 公斤，展现出强大的负载能力。其喷洒容量为 75 升，播撒容量高达 150 升，吊运能力可达 85 公斤，能够出色地满足多样化的农业作业需求。

新增的 AR 安全辅助功能，在起降时可检测周围人、车，及时提醒飞手；作业过程中生成 AR 飞行轨迹，帮助飞手预判飞行方向；返航时的安全降落投影功能，确保了降落的平稳性与安全性。

在农药喷洒作业双喷头最大流量提升至 30 升每分钟，雾滴粒径在 50 到 500 微米之间可调，无需额外配置即可满足大流量作业场景。针对果树厚冠层作业需求，可选配的四个水冷弥雾喷头，流量高达每分钟 40 升，采用双电机水冷结构，经久耐用，能确保药液均匀细密地覆盖果树叶片，实现出色的作业效果。

在播撒方面，T100 的播撒系统容量为 150 升。搭配新一代螺旋蛟龙，流量翻倍至每分钟 400 公斤，蛟龙电机扭矩翻倍，支持高速播撒，综合作业效率提升 70%，并且可更换四种蛟龙，适配多种颗粒，实现精准播撒。

电量方面，T100 采用全新智能飞行电池，电量充足且重量更轻。创新性的三风道设计，有效解决了电池散热难题，实现边飞边散热，保障能源安全稳定。搭配 D14000iE 全能变频充电站，仅需 9 分钟即可完成极速快充，显著降低油耗，节约作业成本。此外，全新车载充电器的应用，实现了静音补能，更加绿色环保。

通过吊运场景我们发现，农业无人机 30 米的法规限制已经不能满足日益发展的科技需求，我们也希望法律能够跟上科技发展的脚步，保障未来更多的科技创新和应用场景。

（三）吊运作业安全规范

近年来，农业无人机已成熟应用于农业生产耕、种、管环节，在作物管理中大幅提升机械化率。而随着低空经济政策的落地以及农用无人机在吊运作业上的应用，农业无人机也在最后“收”的环节大显身手。吊运作业成为继喷洒、播撒后的新兴潜力市场，其核心价值在于替代山地丘陵地区的人工与畜力运输，提升效率并降低风险。



随着农林牧渔类吊运作业场景的快速发展，部分用户会通过私自改装农业无人机或直接使用农业无人机吊运非农林牧渔类物料，如光伏板、建筑材料、水管、电网设备、通讯材料以及家电等，但此类应用均不符合规定。

首先，根据政府 2023 年颁发的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》的要求和规定，农业无人机仅可在农林牧渔适飞区域进行农业生产活动；

其次，私自改装农业无人机或将农业无人机用于非农林牧渔类吊运作业导致的自身、第三方人员伤亡和财产损失均不在大疆农业官方三者险的覆盖范围内，如造成严重后果，还须承担法律责任。

根据国家相关政策，农业无人机吊运应该应用于农业相关的吊运作业场景，具体范畴总结为同时满足：

- 1、作业场地是在农林牧渔等生产区域；
- 2、物资符合农林牧渔等属性；
- 3、物资用途满足农林牧渔业的生产，包括在田间果蔬、秧苗、肥料以及微小型农机具等。



“蓝色”区域代表符合农林牧渔类吊运

我国是个多地形国家，除了 7 亿亩的山地丘陵农田和 1.5 亿亩的果园，还有 1.13 亿亩的竹林和其他大面积的林业资源，农用无人驾驶航空器吊运凭借其不受地形限制、可直线飞行、能快速到达目的地等优势，成为解决山区农产品、林业以及其他农林牧渔类物资运输难题的重要手段。

以川渝和贵州遵义等地区的竹子吊运为例，仅四川竹林种植面积就超 1800 万亩，但是普遍存在竹材下山难，传统人工、畜力、索道运输时效性差等问题。而因竹材不能及时运输下山，导致竹子失水、发霉、品质下降，每年都给种植户造成了巨大的损失。

相比传统人工搬运，T100 农业无人机最大起飞重量 149.9 公斤，可快速更换吊运平台以及搭载了全新的旗舰级安全系统，能够全方位感知并精确识别周围障碍物。同时依托大疆出色的软硬件结合，T100 具有智能消摆和自动往返装卸点等实用功能，显著降低了对飞手的操作要求，吊运优势显而易见。

农林牧渔吊运场景	代表区域	传统作业痛点
竹子	四川、重庆、贵州等	生长区域地势陡峭，无机动车道，人工运输效率低且成本高昂，且工效差。
水果	云南、湖北（秭归）、重庆等	山地丘陵区域，主要是人工和轨道车，但轨道车前期建设成本高，且有覆盖不到的区域。
粮食	湖南、黑龙江等	分散式种植，田块分散，车辆运输不方便且易造成压坏田埂，下雨天人工运输存在安全隐患。
苗木、林木	陕西、陕西、甘肃、青海、西藏等	人工搬运，成本高，效率低，没有固定的机动车道。
蔬菜	河北、山东、广东等	蔬菜保鲜要求高，但人工搬运下山，易造成蔬菜受损及腐烂。
微小型农机具	重庆、云南、湖北（秭归）等	微小型农机具上山下山及维修，所需人工数量较多，无机动车道，且存在一定安全隐患。

结合农林牧渔类物料吊运作业场景，飞手需提前确认吊运货物形状（规则或不规则，规则货物如水果筐、箱子等；不规则货物如竹子、木材等），且务必遵循以下吊运作业安全规范。

1) 作业前准备

选择适宜的作业天气，以下气象条件禁止吊运作业：

降雨天、能见度低于100米的雾天、强对流/雷电等极端天气、4级风以上、环境温度低于0℃或高于40℃。



准备足够的对讲机，满足装/卸货点各至少一个对讲机能与飞手信息畅通。

飞手位置应靠近货物集/散且在遥控器信号无遮挡地方。如橙子、竹子类货物吊运作业，飞手则在卸货点附近；如树苗、秧苗等货物吊运作业，飞手则在装货点附近。

2) 装/卸货点选择及要求

首先，需要确定装货点的数量，如橙子吊运作业有可能存在多个装货点；其次，选择相对安全的地点作为装卸点，如无电线、高大树木、轻质塑料袋等的点；最后，避开人流量大、公路等。

3) 地勤安全宣导

- 全程佩戴安全帽、反光衣；
- 对讲机使用培训和指令用语、手势等；
- 捆绑技巧(尤其竹子等，务必牢固，防止掉落)、上货步骤(切勿拉拽绳索)、注意事项等；
- 防止货物吊起后磕碰自己或套/挂周边杂物、树木等；
- 紧急避险动作等；
- 禁止吊运作业中更换地勤。

4) 农业无人机及其他设备检查

- 安装好4G增强图传、(无网环境使用O4图传中继)；
- 展开桨叶、扣紧桨叶以及检查绳子是否磨损等；
- 调整好合适绳长，如果更换第三方自动脱钩器，则需要选择适当重量的挂钩，避免过轻卷入桨叶。

5) 吊运作业航线规划

- 空机往返装卸货点，避开公路、人群、建筑物、电线等；
- 在遥控器地图上留下安全航线轨迹，同时在装卸货点上方通过飞行器打点标记“装”和“卸”等AR投影；
- 对于同一区域多机作业的情况，要协调好航线，避免交叉航线。



6) 吊运作业

装货点操作：飞手根据遥控器“装”AR 投影点，将飞机飞到到装货区域后，根据地勤人员的指引调整到合适的位置，并排除风险点。将 FPV 摄像头朝下，确认挂钩安全触底后，平移飞机使其避开装货点位置（竹林、松林等高落差装货点不适合此操作，这类场景需提前让砍伐工人将“天窗”开的更大，防止飞机在装货时桨叶打到树梢而出现安全事故）。地勤人员开始上货，并在得到上货完毕的指令后，再将飞机飞至装货点正上方开始上升。期间保持与地勤人员的信息沟通，并确保 FPV 摄像头朝下，以确保货物吊运的安全。

航线作业：对于平缓区域或没有大幅度起伏的吊运航线，可以使用自动航线作业，并开启智能消摆，一键飞往卸货点，便捷高效更安全；复杂区域使用手动作业，全程开启智能消摆，过程中打杆避免猛推或急停，否则导致货物摆动角度过大；匀速飞向卸货点，在飞行过程中需要时刻关注遥控器提示和相关参数，如电池电量、电池温度、货物距地高度、摆动角度等，实时关注 FPV 摄像头和四目视觉画面，时刻保证飞行安全。

卸货点操作：如果使用自动脱钩器，在快到达卸货点时，通过遥控器卸货点 AR 投影，提前减速，并留足智能消摆所需惯性距离，避免货物摆动角度过大导致安全事故；飞机缓慢下降，货物触地后自动脱钩。如果使用主动挂钩，操作飞机缓慢下降，货物触地后，让出安全距离；飞手对讲机告知地勤卸货指令，地勤进入卸货区卸货；过程中飞手不断通过 FPV 实时关注地勤及卸货情况，避免地勤拉拽扯绳子。

7) 空载返航

- 得到卸货完成指令后，调整飞机到挂钩正上方，期间实时关注地勤动向；
- 缓慢上升至安全高度，实时关注挂钩、绳子等情况，防止挂、绊、

钩到其他物料和地勤人员；

- 飞向装货点时，时刻关注风向以及挂钩 / 绳子飘动情况，避免“风筝”效应，挂钩卷入桨叶；
- 不断观察遥控器数据，注意电池电量，且大致估算往返的耗电量，评估吊运次数和吊运重量，切勿低电量“贪飞”。

8) 其他注意事项

- 由于吊运作业载重量大，运输货物频繁，推荐选择攀岩绳。攀岩绳通常由高强度的尼龙或其他合成纤维制成，能够承受巨大的拉力和冲击力，安全性高；此外，攀岩绳建议使用直径大于 6 毫米及重量在 500 克以上的圆形吊绳，攀岩绳具有良好的柔软性，便于打结和操作；
- 按照推荐的 10-15 米范围选择吊绳长度。绳长过短会导致摆动幅度过大，可能发生货物打到桨叶的情况；绳长过长则可能导致货物触地或在吊挂过程中缠绕地面树木、电线，从而发生安全事故；
- 使用支持吊运的机型进行作业，目前大疆农业适用吊运作业的机型为 T70、T70P 以及 T100。

随着农业无人机产品的不断优化和市场容量的不断增加，以及低空经济政策在全国范围内的推广，农业无人机在农林牧渔业的应用场景将越来越多。据国家发改委估算，无人机操作手的缺口达 100 万。

农业无人机在农林牧渔业中的应用是低空经济中目前使用时间最长、数量最多、应用相对较成熟的领域。推动农业无人机行业持续稳定发展，则需要每一位飞手熟练掌握农业无人机相关法律法规、设备结构及操作规范等专业知识，具备农业无人机的熟练操作技能，并通过考核，达到农用无人机操作证考试合格标准。







七、结语

从全球范围看，2024 年是农业无人机行业高速发展的一年，在中国，除了喷洒和播撒两种传统应用，农业吊运这个新场景创造了新的工作机会，为整个行业发展萌生新的生命力；在全球，农业无人机助力全球的农业生产，帮助更多农业生产者抵抗因地形、极端天气和环境变化带来的生产压力，稳定农业产量。农业无人机的价值超越工具本身——它是中国努力从传统农业大国迈向农业强国的缩影。农业无人机行业的发展，是“科技自立自强”在田间地头的鲜活实践，更是以创新驱动乡村振兴、助力共同富裕的时代答卷。



让农业更轻松，让生命更美好