

中国农业绿色发展研究会团体标准 编制说明

《杂交水稻制种无人机作业气象服务指南》

（征求意见稿）

《杂交水稻制种无人机作业气象服务指南》编制组

二〇二五年十一月

目 录

一、团体标准制修订背景、目的和意义	1
二、工作简况	4
三、标准编制原则和依据	6
四、标准主要条文或技术内容及其确定依据	7
五、主要试验、验证及试行结果	17
六、采用国际标准的程度及水平说明	17
七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系	17
八、重大分歧或重难点的处理经过和依据	18
九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果	18
十、其他应说明的事项	18

《杂交水稻制种无人机作业气象服务指南》

编制说明

一、团体标准制修订背景、目的和意义

1. 杂交水稻制种关系到粮食安全，是国家战略

党的十八大以来，习近平总书记高瞻远瞩、统揽全局，以战略眼光、宏阔视野、深厚情怀，就保障国家粮食安全提出一系列新理念新思想新战略，强调要“确保谷物基本自给、口粮绝对安全，确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中”、“坚持农业科技自立自强，用中国种子保障中国粮食安全”，深刻回答了端牢 14 亿多中国人饭碗的重大实践问题，擘画实施了国家粮食安全战略。2024、2025 年中央一号文件聚焦“三农”工作新的历史定位，继续发出重农强农信号，锚定农业强国建设目标，对推进乡村全面振兴做出部署，指出要确保国家粮食安全，强化农业科技支撑，加快种业振兴。《国务院关于印发气象高质量发展纲要（2022—2035 年）》（国发〔2022〕11 号）文件要求实施气象为农服务提质增效行动，开展种子生产气象服务。制种被称为农业“芯片”，是保障水稻安全生产核心环节，杂交水稻制种关系到粮食安全，是国家战略。

2. 无人机在农业领域应用广泛，取得很好的经济效益

无人机技术在农业领域的应用正进入一个快速发展阶段，已成为提升生产效率、优化资源配置、保障粮食品质与产量稳定的重要工具，其核心优势在于高空间分辨率观测能力、灵活作业方式、较低人力成本以及快速响应能力，使其在田间管理多环节中发挥了独特而不可替代的作用。以往依赖人工巡检和地面传感器的作业模式，往往存在覆盖面不足、时效性差、数据碎片化等短板，而无人机凭借机动性和数据采集高频次，能够在短时间内获取大面积田块全景信息与高精度局地数据，显著提升监测、预警和决策的准确性与时效性。无人机在农业领域的应用已覆盖从田间监测、环境调控到作物管理全链条环节，尤其在病虫害防控方面，无人机高效喷洒能力使得精准药剂投放成为可能，减少化学药剂使用量，提高药效利用率，同时降低环境污染和对人畜健康的潜在风险，目前已经得到广泛应用。此外，对杂交水稻制种赶花授粉辅助方面，无人机亦展现出独特的应用潜力，能够在花期对风速、气温、相对湿度等进行综合评估，帮助提升杂交水稻制种授粉成功率，推动产量和品质的稳定提升。

无人机在农业中的应用直接提升了劳动生产率，降低了人力成本，

特别是在大面积、地形复杂或时效性要求高的场景中，表现尤为突出。随着无人机设备成本下降、数据处理能力提升及服务模式创新，无人机作业单位面积的监测与管理成本显著降低，投入产出比持续改善。精准施肥及病虫害防控降低了资源浪费和环境负荷，提高了作物产量和品质的一致性，提升了市场竞争力与收益水平。对于杂交水稻制种这一高价值环节，稳定的籽粒品质对产能具有直接影响。通过无人机实现局地气象监测和环境调控，使得制种过程中的关键作业窗口更易把握，提升制种效率与整体经济效益。

无人机在农业领域的广泛应用及其带来的显著社会与经济效益，为本指南的编制提供了坚实的现实基础与应用动因。通过明确无人机观测的气象服务能力、数据获取方法、应急处置流程，以及与杂交水稻制种流程的紧密衔接，本指南将为实现精准、可追溯、可持续的制种气象服务提供系统化、标准化的技术路径与管理框架。

3. 杂交水稻制种和常规水稻的区别

杂交水稻制种是指选用两个在遗传上有一定差异、优良性状互补的水稻品种进行杂交，生产具有杂种优势的第一代杂交种，是制种核心过程。用于制种的杂交水稻（简称为制种水稻，后文同）与常规水稻在种植方式、生长周期、管理要求、气象条件需求等方面存在差异。首先是种植方式不同，制种水稻需分父本和母本种植，父本和母本杂交才能获得种子；常规水稻没有父本母本区分。其次，生育期长短不同，制种水稻生长周期较短，比常规水稻短 20 天左右。第三，制种水稻对管理要求更高，包括需辅助赶花等，常规水稻无需赶花。第四，气象需求存在异同。相同点在于无论是制种水稻还是常规水稻，其生长发育都需适宜气温、降水量等。不同点在于制种水稻对气象条件更敏感，如制种水稻授粉最适气温为 28℃~32℃，当气温低于 25℃或高于 35℃，授粉成功率显著下降。相比之下，常规水稻授粉对气温敏感性相对较低，25℃~35℃可完成授粉，气温低于 20℃或高于 37℃，授粉成功率才会显著下降。

4. 无人机作业的质量与安全与气象条件密切相关

无人机在不同气象条件下的作业安全性与数据质量高度依赖于温度、降水量、相对湿度、风速、能见度等气象要素的综合评估。以气象服务为核心的作业决策包括：最佳起降窗口期的判定、极端天气预警与应急处置预案等。这些要素不仅保障无人机作业的稳定性和数据的一致性，还直接影响制种环节的时序性和产物的一致性。气象数据与场区微气候信息的融合，是提升预测精度、降低风险的重要支撑。特别是在花期等关键节点，气温、相对湿度、风速、降水量等决定着花粉传播效率与受精成功率，因此高时效、精准的气象服务对制种质量至关重要。作业调度与气象服务的联动化，建立以天气预报、微气

候观测与田间需求为驱动的作业计划体系，开展标准化建设具有重要战略意义。

制定《杂交水稻制种无人机作业气象服务指南》不仅有助于明确无人机在制种过程中的应用边界、作业流程与安全措施，更是推动气象服务、航空安全、数据标准、设备选型与操作规程系统化的基础。通过标准化，可以实现气象信息可追溯性、数据质量可验证性、作业过程可重复性，以及不同区域、不同作业主体之间的互认与协同。这对于提高杂交水稻制种的一致性、降低试验与生产成本、提升产量与品质稳定性具有直接、长期的经济与社会效益。

5. 杂交水稻制种无人机应用多个场景，但尚无针对性标准

无人机技术因其高效、精准的作业能力，已逐渐在杂交水稻制种领域得到应用。然而，现有的气象服务标准多集中于通用无人机技术或其他作物管理，缺乏针对杂交水稻制种（包括施肥、喷药、授粉等环节）的综合适配性，杂交水稻制种所需的气象阈值（如授粉期相对湿度、播种期风速等）尚未形成统一规范，导致作业决策依赖经验，缺乏科学性和可靠性。应对突发气象灾害（如暴雨、高温）的有效机制同样缺失，加之多源气象数据未能实现有效整合，进一步限制了气象服务精准性。

杂交水稻制种作为保障全球粮食安全的核心环节，其生产的稳定性对气候变化的敏感性已得到广泛关注。气候变化下极端天气事件的频繁发生显著增加了水稻制种过程中的气象风险，尤其是在授粉和施肥等关键环节。这可能导致授粉失败、种子减产，甚至绝收，进而对全球粮食供应链的稳定构成严重威胁。鉴于此，提升水稻制种过程中气象服务的科学性与实用性显得尤为重要。欧美国家已建立农业无人机气象服务标准（如FAO农业无人机操作指南），但缺乏针对杂交水稻制种的专项规范。我国水稻制种技术处于国际前沿，但杂交水稻制种无人机作业气象服务指标分散于《大疆农业无人机作业指南》DB51/T 3074—2023《水稻无人机直播生产操作规程》等文件中，缺乏系统性。农业农村部推动的“智慧农业气象服务试点”为本标准提供了实践基础。当前杂交水稻制种领域的无人机应用仍处于多场景、跨领域的探索阶段，缺乏统一的、面向制种全流程的针对性标准。因此，建立一套面向杂交水稻制种无人机应用气象服务标准，具有重要的现实意义与紧迫性。

该标准应明确无人机在制种各关键环节中气象要素来源；规范数据采集、存储与可追溯性等信息治理；确立杂交水稻制种无人机作业气象条件；提出针对常见制种场景的应急处置流程；并确保标准具备可操作性、可验证性和可推广性，以便在不同地区、不同企业级单位和不同规模的杂交水稻制种基地实现落地应用。通过建立该标准，将

删除[iii]: 《

推动无人机气象服务在杂交水稻制种领域的规范化、专业化发展，提升全产业链的韧性与竞争力，释放科技创新对粮食安全和区域经济的持续贡献。

6. 杂交水稻制种无人机应用是未来发展的方向

在全球粮食安全与可持续农业的背景下，杂交水稻制种的高效化、智能化已成为农业科技发展的方向之一。无人机作为农业信息化与智能化的重要载体，凭借高分辨率观测、灵活机动性和快速响应能力，在制种环节的气象服务、环境监测、花期管理、授粉优化、病虫害防控以及籽粒品质控制等方面展现出独特的技术优势。无人机技术以其高效、灵活、低成本的作业能力，正在逐步成为杂交水稻制种领域的关键赋能手段之一。杂交水稻制种涉及多阶段、分区域、大面积的田间管理与数据采集需求。传统人工巡检耗时长、覆盖范围有限、对极端天气的快速响应能力不足。无人机具备快速起降、高空俯瞰与近地表拍照的双重优势，能够在较短时间内对大面积田块进行高分辨率影像采集，实时监测杂交水稻花粉传播、病虫害防治、籽粒成熟等关键环节的时序变化，从而提升制种周期的可控性与产量预估的准确性。无人机在杂交水稻制种中的应用具备显著的产业化潜力与可持续性经济效益。以气象服务为核心的作业支撑，是实现高效、稳定、可控制种过程的关键驱动，也是未来标准化工作的重点方向。通过制定科学、系统、可操作的指南，将推动行业建立统一的作业框架、数据标准与安全规范，促使无人机制种在更多区域、更多场景实现高效落地与可持续发展。标准化建设将为行业健康发展提供制度保障。建立统一的背景、术语、观测指标、数据处理流程与评估体系，有助于推动技术规范的从试点向大规模推广的转化，促进科研创新与产业化对接，提升国家在粮食育种领域的自主可控能力，为推动制种现代化、实现高质量育种与粮食安全提供重要支撑。

二、工作简况

1. 任务来源

根据中国农业绿色发展研究会下发的《关于 2025 年第二批 13 项团体标准立项的公告》（农绿（培）〔 2025 〕7 号）文件，《杂交水稻制种无人机作业气象服务指南》团体标准获立项制定，起草单位为浙江省气候中心、中国气象科学研究院、中国水稻研究所、浙江农林大学、龙游县气象局、遂昌县气象局、双强（浙江）科创有限公司、浙江勿忘农种业有限公司遂昌分公司。

2. 主要工作过程

2.1 立项前准备

项目组按照中国农业绿色发展研究会《关于征集 2025 年中国农业绿色发展研究会团体标准项目的通知》（农绿（秘）〔2025〕2 号）要求提交了立项申请材料，2025 年 1 月提交了标准立项申请书。项目组学习了农业绿色技术标准体系，按照团体标准研制、编写规则等要求，结合本单位申报项目，进行修改完善，达到立项条件，确保项目顺利开展。2025 年 7 月，项目组进行了项目立项答辩。

2.2 项目组成立与任务分工

2024 年 8 月，标准制定任务下达后，起草单位组织相关人员组建成立标准起草工作组，并对文献收集、标准起草、意见征求、标准审定、标准报批等工作进行分工，明确各自任务和职责，以确保标准制定任务的顺利实施。

2.3 实地调研与专家咨询

为提高本标准的适用性和规范性，起草工作组加强调研，先后赴浙江、福建等杂交水稻制种省份进行调研，并与当地科研人员、技术推广人员和生产者进行座谈、交流与讨论，了解当地杂交水稻制种无人机应用的技术要点情况，赴浙江杂交水稻制种基地遂昌、海宁与无人机公司座谈，深入了解无人机作业的应用场景和气象服务需求。根据标准编制需求，开展了标准编制的书面征求意见的专家咨询。

2.4 资料收集与标准起草

起草工作组收集整理了我国现行有效的无人机农业相关标准有 74 个（附件 1），其中国家标准 14 个、行业标准 8 个、地方标准 16 个、团体标准 38 个，并进行了深入细致的研究。结合近年来起草工作组的研究成果与生产经验，起草工作组按照国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》要求，确定了本标准的初步框架，并起草形成工作组讨论稿。在此基础上，起草工作组组织中国水稻研究所、浙江农林大学、浙江勿忘农有限公司遂昌分公司、双强（浙江）科创有限公司、遂昌县气象局、龙游县气象局及起草人员召开标准起草征求意见会，集中对标准的范围、主要技术指标、最新技术采用等内容进行了讨论，最终确定了标准的主要内容，并起草形成标准文本及其编制说明的征求意见稿。

3. 主要起草人及其分工

姓名	性别	职务/职称	工作单位	主要工作
肖晶晶	男	高级工程师	浙江省气候中心	组织、协调，确定标准框架
杨建莹	女	研究员	中国气象科学研究院	技术内容和指标确定

姓名	性别	职务/职称	工作单位	主要工作
李正泉	男	正高级工程师	浙江省气候中心	技术内容和指标确定
郭芬芬	女	高级工程师	自然资源部第二海洋研究所	标准文本、编制说明等起草
姜楠	男	工程师	浙江省气候中心	技术内容和指标确定
王治海	男	高级工程师	浙江省气候中心	技术内容和指标确定
符冠富	男	副研究员	中国水稻研究所	技术内容和指标确定
钟利军	男	技术干部	双强（浙江）科创有限公司	文献收集与整理、意见征求
黄礼华	男	技术干部	浙江勿忘农种业有限公司 遂昌分公司	文献收集与整理、意见征求
梁浩	男	讲师	浙江农林大学	文献收集与整理、意见征求
黄大鹏	男	高级工程师	国家气候中心	文献收集与整理、意见征求
张育慧	女	高级工程师	浙江省气候中心	技术内容和指标确定
马尚谦	男	工程师	浙江省气候中心	文献收集与整理、意见征求
刘赞	女	工程师	浙江省气候中心	文献收集与整理、意见征求
季丹	女	工程师	遂昌县气象局	技术内容和指标确定
吴兴	男	高级工程师	龙游县气象局	技术内容和指标确定

三、标准编制原则和依据

1. 编制原则

标准编制原则遵循《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国标准化法实施条例》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国农药管理条例》《国家标准管理办法》等法律法规和政策文件及有关国家标准、行业标准的规定，以标准化、安全生产为原则，以杂交水稻制种无人机作业气象服务为切入点，充分考虑各地杂交水稻制种无人机应用实际情况，优化了标准操作流程和内容要求，确保对各相关要素都进行了全面的、充分的描述，并广泛征求和采纳同行专家的意见。同时，参考了国内已发布的同类标准和实际操作过程中的相

关场景，使标准内容和指标更加符合实际应用，确保各要素的有关规定具有可操作性、可重复性和指导性。此外，标准文本简洁明了、文字表述准确，便于农技人员和生产者使用。最终，实现先进性和实用性的统一。

2. 编制依据

2.1 以国家标准和管理要求为依据规范制定。本标准依据国家标准 GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求和规定起草制定。标准文本的编排采用中国标准编写模板 SET 2020 版进行排版，编制说明按照《中国农业绿色发展研究会团体标准暂行管理办法》的要求编写，确保标准文本和编制说明的规范性。

2.2 以研究成果与实践经验为主要依据制定。团队成员来自气象学、农学、信息科学等领域，具备农业气象、水稻制种、无人机应用、项目管理等关键领域的专业背景和实践经验。通过项目研究和气象业务服务构建了制种水稻气象服务指标体系，制作水稻制种气象服务产品，发布了 DJG 331123/T 17—2025 《水稻制种气象服务规范》【查不到该标准】地方标准，并主持申请了浙江省气象局相关项目。团队成员一直从事无人机研发、生产、销售和技术服务，申请十余项实用新型专利和两项国家发明专利和国际发明专利，承担科技局无人机在林业场景应用的科研项目，承担国家林草创新园揭榜挂帅大载重无人机研发项目承担科技局无人机在林业场景应用的科研项目，承担国家林草创新园揭榜挂帅大载重无人机研发项目。

标准参与单位覆盖国省市县水稻制种气象科研服务部门、水稻制种科研单位、无人机专业公司、种业公司，其中中国气象科学研究院是国家社会公益类研究机构；中国水稻研究所是以水稻为研究对象的多学科综合性国家级研究所；浙江省气候中心、遂昌县气象局、龙游县气象局是地方气象服务机构，已经开展了多年无人机作业气象服务；浙江勿忘农种业有限公司是浙江水稻制种种业的名片公司；双强（浙江）科创有限公司先后通过了无人机生产服务一级资质认证，无人机林业病虫害防治服务一级资质认证，研制的“浙林卫士”系列无人机应用于林业病虫害防治，“浙林勇士”系列大载重无人机应用于林业吊运、森林防火、应急救援等作业场景，“森巡者”系列无人机应用于森林航测、林业病虫害监测、野生动物监测等场景。

四、标准主要条文或技术内容及其确定依据

1. 范围

根据国家标准 GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标

删除[iii]: 《
设置格式[iii]: 突出显示

准化文件的结构和起草规则》中“5.1 按内容划分”起草，结合本标准的框架结构和内在关系，范围部分涵盖了水稻制种播种、施肥、喷药、授粉等无人机作业气象服务规范性技术要素；不包括规范性一般要素，如标准名称、范围和规范性引用文件等内容。同时，规定标准适用范围为“适用于水稻制种无人机作业气象服务的组织、实施和管理”。

2. 规范性引用文件

对于标准框架结构中已有相应的国家标准或行业标准的，直接引用相应的标准。此外，根据本标准内容的规范需要，引用相应的标准。本标准所引用的标准均为国家标准和行业标准，且现行有效。同时，引用要求均符合国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定。

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 27962 气象灾害预警信号图标

NY/T 3213 植保无人驾驶航空器 质量评价技术规范

QX/T 313 气象信息服务基础术语【标准文本中没有引用该标准】

AC-91-FS-2019-31R1 轻小无人机运行规定

设置格式[iii]: 突出显示

3. 术语和定义

杂交水稻制种的术语定义为，专指杂交水稻种子的生产，通过不同遗传背景不育系（母本）与恢复系（父本）按特定比例种植，利用自然或人工授粉获得杂交一代种子。该术语为本标准的关键内容，未见相关标准，特作定义。

由于杂交水稻种植的比例并没有明确的数值，常规制种的父本与母本比例大致在 1:4~1:6（种子用量）或 1:7~1:8（行比）之间，具体数值可根据品种特性和现场条件进行微调，部分地区或特殊品种会调整比例，如粳稻类品种因花粉量较少，可能将行比调整为 2:8。因此本标准并给出具体的比例。

4. 总体原则

4.1 一般原则

水稻无人机直播指在浅水层或湿润状态下，运用无人机将催芽稻种播种于水整地田块的一种水稻播种作业方式（DB2308/T 169—2023《水稻无人机水直播技术规程》【该标准显示已被废止】）。本标准基于此，一般原则设定为：以杂交水稻制种需求和无人机安全作业为

设置格式[iii]: 突出显示

根本导向，基于气象观测、预报数据，实现无人机作业气象服务的精准支撑。

4.2 安全管理

安全是无人机作业的重要前提。中华人民共和国气象行业标准 QX/T 614—2021《多旋翼无人机机载气象探测系统技术要求》中规定作业无人机应具有一键返航、自动避障、失效保护等主动避险安全策略。本标准建立基于气象阈值的动态熔断机制，明确设定无人机飞行安全边界条件，建立 IV、III、II、I 四级预警响应机制，保障安全作业。

4.3 科学保障

湖北省地方标准 DB42/T 2074—2023《农用无人航空器水稻施肥技术规程》中规定作业田块应符合国家关于禁飞区的规定。本标准遵循杂交水稻制种生物学特性与无人机安全作业气象条件、作业时间、行驶路径，保障作业效率及效果。

4.4 协调机制

建立气象部门、无人机作业单位、制种企业与监管部门多方协同机制，通过信息互通，形成从风险识别到应急处置的无缝链条服务，避免因信息断层导致的决策失误。

4.5 规范实施

实施过程须严格遵循标准化、可追溯的质量控制体系，建立完整电子化作业档案，详见附录 A。

5. 飞行前要求

飞行前准备工作是保证杂交水稻制种无人机作业的关键环节，包含对无人机配置选定、操作人员技术、气象保障数据三方面要求。无人机配置应围绕实际服务场景需求，依据种植区域面积与边界、杂交水稻长势、作业性质与需求选定。操作人员应取得无人机飞行资质。气象保障数据应包含目标飞行区域内影响无人机飞行与作业的相关气象要素。

5.1 无人机配置要求

杂交水稻制种无人机配置涉及飞行平台硬件要求、飞行策略要求、作业设备要求等方面。本标准参考中华人民共和国农业行业标准 NY/T 3213—2023《植保无人驾驶航空器 质量评价技术规范》中有关无人机配置的规定，结合生产操作实际和专家意见，要求无人机配置还应具备自主飞行、自主避障、自主返航功能，具有亚米级高精度定

位能力，配备可间断、变速、变量、变范围的播撒系统。

5.2 人员要求

无人机操作人员是保障无人机作业效果与安全的重要因素。本标准参考中国民用航空局飞行标准 AC-91-FS-2019-31R1《轻小无人机运行规定》标准中对于操作人员的要求规定，结合生产操作实际和专家意见，要求操作人员应取得无人机驾驶合格证外，还需在作业前检验对植保无人机操控人员进行业务熟悉培训，操作辅助人员应掌握飞行操作辅助工作流程和内容。

5.3 气象数据来源

气象数据是杂交水稻制种无人机作业气象服务的核心要素，不同气象条件会对水稻农事作业、监测评估效果、无人机飞行条件造成直接影响。本标准中华人民共和国气象行业标准 QX/T 313—2016《气象信息服务基础术语》标准中对于气象信息术语及采集的规定，结合生产操作实际和专家意见，要求用于杂交水稻制种无人机作业气象服务的气象数据源来自距离作业点 1 km 以内的气象自动站；超出 1 km 采用便携式微型气象观测站，或使用自搭载温相对湿度、风速传感器的无人机设备采集的气象数据。

6. 分场景作业要求

无人机技术在水稻制种领域得到广泛应用。然而实现不同作业目标所需的气象条件与操作要求各有不同，但现有的气象服务标准多集中于通用无人机技术或其他大田作物管理，缺乏针对水稻制种播种、施肥、喷药、授粉等环节的综合适配性。因此，本标准针对杂交水稻制种无人机气象服务分场景作业要求进行了规定。

6.1 播种作业适宜气象条件

6.1.1 气象条件

气温是影响水稻种子发芽和幼苗生长的关键因素。研究表明，在水稻无人机播种过程中，若气温低于 10 °C，种子发芽率会显著下降，甚至导致种子腐烂（王丽等，2021）；若气温高于 35 °C，则可能引起种子“烧包”现象（张世辉等，2019），进而影响出苗率。同时，种子适宜发芽的日平均温度为 16 °C~21 °C，且夜间不最低气温不能低于 10 °C，此外作业时气温不能高于 35 °C，以保障作业安全（DJG 331123/T 17—2025《水稻制种气象服务规范》）。因此，本标准建议无人机水稻播种作业时气温在 16 °C~21 °C 且不高于 35 °C 的条件下进行。

降水是影响水稻播种和生长的重要因素。中华人民共和国气象行业标准 QX/T 734—2024《关键农时气象服务通则》规定，08 时-20 时累积降水量（ R ，下同） 0.1 mm 以下降水量适宜水稻播种，当 $R \geq 0.1\text{ mm}$ 且 $R < 5\text{ mm}$ 时，水稻播种适宜度为较适宜；当 $R \geq 5\text{ mm}$ 时，水稻播种适宜度为不适宜，此时降水量为以后种子被雨水冲刷。水稻种子扎根一般要 72 小时，因此，本标准建议无人机水稻播种作业应选择在降水量 $< 0.1\text{ mm}$ 的无雨或少雨的天气条件下进行。

相对湿度对水稻种子发芽和幼苗生长有直接影响。研究表明，水稻播种时的空气相对湿度介于 $60\% \sim 85\%$ 时水稻种子可正常吸水和发芽（Weerakoon 等，2008）。若相对湿度过高，可能导致种子发霉，影响出苗率；若相对湿度过低，则可能影响种子的吸水能力，导致发芽率下降。因此，本标准建议无人机水稻播种作业应选择在空气相对湿度应保持在 $60\% \sim 85\%$ 之间进行，以保证种子吸水和发芽。

风速是影响无人机播种质量的重要因素之一。中国水稻研究所《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范》（征求意见稿）指出，风速超过 3 级会严重影响无人机飞行稳定性，导致播种不均匀。过大的风速会引起种子在空中飘散，容易造成播撒不均，甚至出现漏播或重播（孙振雨等，2023）。在实际操作中，若平均风速超过 4 级，应采取额外的防护措施，如调整飞行航线、增加安全距离等；弱风速超过 5 级，则禁止作业（DB51/T 3074—2023《水稻无人机直播生产技术规程》）。因此，本标准建议无人机水稻播种作业应选择在平均风速不高于 3 级（ 3.4 m/s ）的天气条件开展。

能见度是同时影响无人机作业质量与飞航安全的重要因素。中华人民共和国地质行业标准 DZ/T 0405—2022《无人机航空磁测数据采集技术要求》指出，低能见度条件下，无人机操作难度增加，易引发飞行事故。中国民用航空局标准 AC-91-FS-2019-31R1《轻小无人机运行规定》指出，农用无人机在视距内运行时，其飞行空域范围内的能见度或目视视距不得小于 5 公里。因此，本标准建议无人机水稻播种作业应选择在能见度 $\geq 5\text{ km}$ 的条件下进行，以确保无人机作业安全进行。

6.1.2 其他要求

水稻播种后短期内强降水量过程会冲刷种子，导致位移或闷坏，影响播种效果。为此，本标准建议无人机水稻播种作业应选择在播种后 72 h 内无中雨及以上降水量过程的时段开展（中雨是指 24 h 降水量小于 10 mm ，12 h 降水量小于 5 mm ，下同）。

6.2 施肥作业适宜气象条件

6.2.1 气象条件

气温是影响无人机施肥的关键因素，国内多部技术规范和实践指南给出的适宜气温基本一致，最佳气温范围是 24 °C~30 °C，此气温区间的药剂蒸发速率适中，作物对肥料的吸收效率最高，且无人机喷雾雾滴沉降效果最好（T/ZNZ 019—2020《稻田植保旋翼无人飞机施药技术规范》，T/CCPIA 020—2019《植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南》）。虽然无人机可以在 5 °C~35 °C 内飞行，但在气温低于 15 °C 时，水稻对肥料的吸收速补明显下降，实际施肥效果会受到影响，因此不建议在此气温范围内进行大面积施肥。当气温接近或超过 30 °C 时，尽量避开正午高温时段，当气温超过 35 °C 时，容易造成无人机损坏（T/GDFL 015—2025《南方水稻无人机“一喷多促”技术规范》）。高温时段时可以选择在晚上施肥。因此，本标准建议无人机施肥作业时的最佳气温范围是 24 °C~30 °C。

降水会对肥料浓度及无人机作业造成影响。无人机施肥主要方式是将肥料溶液或悬浮液喷洒于作物叶面或田间表层，降水量会冲刷叶面肥液，缩短肥料滞留时间，降低吸收与利用效率，造成浪费和环境污染。中国气象服务协会团体标准 T/CMSA 0021—2021《民用无人机作业气象条件等级 植保》规定一般化学农药应在无降水条件下进行。因此，本标准建议无人机水稻施肥作业应选择在无雨的天气条件下进行。

空气相对湿度对药液在水稻叶面上的附着效果有显著影响。王小红等（2024）提出，当空气相对湿度在 60%~80% 之间时，肥料药液附着性最佳，覆盖率较平均水平提升约 20%。空气相对湿度过低时，药液易蒸发，空气相对湿度过高时，液滴不易附着并形成流淌，影响防治效果。因此，本标准建议无人机水稻施肥作业应选择在空气相对湿度介于 60%~80% 时开展为佳。

无人机施肥播撒效果受风速直接影响，过大的风速会导致肥液漂移，影响喷洒精准度。风速大于 3 m/s 时会破坏无人机飞行稳定性，影响飞航作业安全（《南方水稻灌浆成熟期无人机叶面喷肥技术指导意见》）。因此，本标准建议无人机水稻施肥作业应选择在平均风速不超过 3.0 m/s 的天气下开展，最大风速不超过 5.4 m/s（T/GDFL 015—2025《南方水稻无人机“一喷多促”技术规范》）。高温天气下，可选择在晚上或无露水时进行无得小于 5 公里。因此，本标准建议无人机水稻施肥作业应选择在能见度 ≥ 5 km 的条件下进行，以确保作业安全。人机作业，以减少风速对喷洒效果的影响。

能见度是无人机作业的安全保障。中国气象服务协会团体标准 T/CMSA 0021—2021《民用无人机作业气象条件等级 植保》要求，

建议无人机水稻施肥作业应选择在能见度 ≥ 2 km的条件下进行，能见度 ≤ 500 米时暂停作业。中国民用航空局标准 AC-91-FS-2019-31R1《轻小无人机运行规定》指出，农用无人机在视距内运行时，其飞行空域范围内的能见度或目视视距不

6.2.2 其他要求

无降水天气施肥后，植物可以迅速吸收。以氮肥为例，尿素等氮肥喷施后 1 小时后植株吸收超 20%，24 小时后植物吸收约为 90%；雨天或降雨前后进行施肥，易导致肥料随地表径流或渗漏流失，降低肥效（Kannan 等，2010；Wittwer 等，1969）。中国气象服务协会团体标准 T/CMSA 0021—2021《民用无人机作业气象条件等级 植保》规定一般化学农药应保证 24 小时内无降水。中华人民共和国农业行业标准 NY/T 3767—2020《杂交水稻机械化制种技术规程》规定晴好天气下宜 10:00 前和 16:00 后无风或微风时喷施，喷施后遇雨则需补施肥。广东省肥料协会 T/GDFL 015—2025《南方水稻无人机“一喷多促”技术规范》规定施肥作业后 24 小时内若遇中到大雨，应及时补施。本标准建议无人机水稻施肥方面撒施作业应避开雨天，喷施作业天气应为晴天、阴天的上午或下午，避免中午高温（ ≤ 35 °C）时段。若施肥后 24 h 内遇中雨以上降水过程，需要补施。

6.3 喷药作业适宜气象条件

6.3.1 气象条件

气温是影响药剂挥发、分解速率及作物吸收反应的重要环境因素。Matzrafi 等（2019）指出，药剂功效与作物吸收效率在气温介于 20 °C~30 °C 时均较高，最佳气温范围是 24 °C~30 °C，此气温区间能保证药剂雾滴的沉降，又能避免高温导致药液蒸发过快（T/ZNZ 019—2020《稻田植保旋翼无人飞机施药技术规范》，T/CCPIA 020—2019《植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南》），但当气温超过 35 °C 时，药剂蒸发加快，雾滴沉积减少，影响防治效果；气温低于 0 °C 时也可能导致药效不佳，甚至对作物产生药害（宋小沫等，2020）。在气温低于 24 °C 时仍可作业，但需注意药雾沉降速度和药效，适用于早晚低温时段，部分地区（如北方早春或高海拔地区）放宽下限至 10 °C，但仍要求不超过 30 °C，以防止药效挥发（2025 年洮南市中央农业生产防灾减灾和水利救灾资金水稻稻瘟病、水稻叶斑病等病害飞防技术方案）。因此，本标准建议无人机水稻喷药作业的最适喷药时气温为 24 °C~30 °C。

降水量是影响药剂浓度、滞留、扩散及防治效果的重要气象因素。研究表明，当叶片表面有水分残留时，药液不易附着叶片，形成流淌，

影响防治效果（王玉荣，2024）。因此，本标准建议无人机水稻喷药作业的喷药时无降水。

空气相对湿度对药剂在作物表面的滞留、渗透与蒸发过程具有显著影响。研究表明，空气相对湿度介于 50%~70%时药液附着性、作物吸收效果均较好（Vieira 等，2018）。相关标准建议，喷药作业时，相对相对湿度应不低于 60%，否则药液蒸发过快，叶面覆盖率会显著下降（T/CCPIA 020—2019《植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南》）。实际作业经验表明，当相对相对湿度在 60%~80%时，药液在稻叶表面的附着性最佳，防治效果可以提升 20%（王小红，2024）。当空气相对湿度过低时，药液易迅速蒸发，附着时间缩短，导致吸收效率下降（郭敏等，2020）。本标准建议无人机水稻喷药喷雾作业应选择在空气相对湿度应介于 60%~80%时开展。

风速是影响药无人机喷药剂漂移和喷洒效果的主要因素之一。辽宁省地方标准 DB21/T 3674—2022《多旋翼植保无人机施药作业规范》指出，风速≤3 m/s 时，药剂沉降效果较好，而风速超过 3 m/s 时，药剂漂移增加，影响精准度和安全性，规定风速超过 5.4 m/s 时，应停止作业。因此，本标准建议无人机制种水稻喷药喷雾作业应选择在风速≤3 m/s，的条件下开展。

能见度是保障无人机喷药效果与作业安全的重要因素。中国民用航空局标准 AC-91-FS-2015-31《轻小无人机运行规定》【前文都是：AC-91-FS-2019-31R1《轻小无人机运行规定》】及黑龙江省佳木斯市地方标准 DB51/T 3074—2023《水稻无人机直播生产技术规程》要求，农用无人机在视距内运行时，其飞行空域范围内的能见度或目视视距不得小于 5 公里。本标准建议无人机水稻施肥作业应选择在能见度≥5 km 的条件下进行。

设置格式[iii]: 突出显示

6.3.2 其他要求

得当的操作可保障无人机喷药作业效果与安全，喷药作业期间应实时监测风速，并选择风速较低的清晨或傍晚进行作业。作业人员应密切观察风向变化，避免药剂飘移到如家畜、桑蚕、鱼塘等敏感区域，下风向边缘应设置安全隔离区，以防止药液飘移到非作业相邻地块。DB3204/T 105—2023《水稻主要病虫害无人飞机防治技术规程》、T/ZJNJ 0015—2022《植保无人飞机水稻病虫害防治作业技术规程》均指出无人机在水稻病虫害防治中 6 h 内无降水，DB41/T 2098—2021《植保无人机田间试验技术规范》【该标准显示已被废止】也做出了相同的约束。标准制定单位实施无人机喷药实践也表明，喷药后 6 h 内无降水可以很好地保障喷药的效果。因此，本标准建议无人机喷药作业后 6 h 内无降水。

设置格式[iii]: 突出显示

6.4 授粉作业适宜气象条件

6.4.1 气象条件

授粉过程是花粉从花药转移至柱头并完成萌发与花粉管伸长的关键阶段，气温变化会显著影响授粉效果。研究表明，水稻花粉的寿命较短，仅有 4 分钟~5 分钟，且花期仅持续 1.5 小时~2 小时，授粉作业时间十分有限（Xu 等，2021）。广西壮族自治区农业农村厅《南方水稻灌浆成熟期无人机叶面喷肥技术指导意见》指出，高温天气会对水稻授粉和灌浆造成负面影响，进而导致结实率下降。研究表明，制种水稻在低于 20 °C、高于 35 °C 不利制种水稻正常开花授粉（李训贞等，2002），28 °C~33 °C 被认为是授粉的最佳气温范围，能够显著提升花粉活力和授粉成功率（王慧敏等，2012；黄琬婷，2024）。实际作业中，亦将 28 °C~33 °C 作为最理想的无人机授粉作业窗口。因此，本标准建议无人机水稻花粉授粉作业应选择在气温介于 28 °C~33 °C 时开展。

降水不仅干扰花粉释放与传播，还会冲刷柱头表面，影响花粉黏附与萌发，最终导致结实率下降。降水量同时影响无人机飞行稳定性以及作业安全性，并会加速仪器老化损坏。湖北省地方标准 DB42/T 2074—2023《农用无人航空器水稻施肥技术规程》规定，无人机作业时应避开雨天，以确保作业安全和效果。内蒙古自治区地方标准 DB15/T 2081—2021《农用植保无人机作业技术规范》规定，无人机作业期间应尽量选择晴天或阴天作业。因此，本标准建议无人机水稻花粉授粉作业应选择在无雨天气下开展。

空气相对湿度是影响花粉活力、释放与柱头受粉效率的重要环境因子。研究表明，相对湿度过低易导致花粉过度干燥、失水而失活；过高则会使花粉吸湿膨胀、黏连成团，抑制花药开裂和花粉传播。水稻开花最适宜的相对湿度范围为 70%~80%（Sridevi 等，2015），在该相对湿度区间内，授粉效果好，也符合（周建霞等，2017）。因此，本标准建议无人机水稻花粉授粉作业应选择在空气相对湿度为 70%~80%。

水稻授粉期间风速直接影响花粉粒的悬浮时间与传递距离，对花粉扩散范围和授粉均匀性具有显著影响。研究表明，风速过大会导致花粉飘散，降低附着率，影响授粉效果（胡淑芬等，2023）。花粉悬浮的参考风速为 1.1 m/s，现实有效脱粉的风速为其的 2 倍~3 倍，即 2.2 m/s~3.4 m/s。实际作业中，常把 2.5 m/s~3.5 m/s 作为目标风速区间，能够保证花粉在空间保持悬浮并向两侧扩散（姜悦等，2025）。在实际操作中，3 级风常作为农用无人机的安全风速（DB51/T 3074

—2023《水稻无人机直播生产操作规程》)。因此,本标准建议无人机水稻花粉授粉作业应选择在 ≤ 3 级(3.4 m/s)的天气下开展。

能见度是影响水稻无人机授粉安全性与作业精度的重要气象条件。当能见度较低时,无人机的视觉定位和避障系统易受干扰,飞行路径偏差增大,喷粉或振花位置不准确,降低授粉效率和均匀性(Arafat等,2023)。无人机授粉飞行精度要求高,参照中国民用航空局标准 AC-61-FS-2018-20R2《民用无人机驾驶员管理规定》中执飞驾驶员具备5公里能见度内作业能力。综上,本标准建议无人机水稻花粉授粉作业应选择在能见度 ≥ 5 km的条件下开展。

6.4.2 操作要求

水稻授粉无人机飞行路径和作业区域的规划会影响做作业效果。研究表明,无人机应沿父本行飞行,使其花粉吹向母本,平行于飞行方向(X向)和垂直于飞行方向(Y向)的风越大越好,垂直于地面(Z向)的风越小越好(Chowhan等,2017)。因此,本标准建议无人机水稻花粉授粉作业应顺风方向飞行,并要求操作人员应具备专业的操作技能,并根据实际作业情况调整飞行参数。此外,授粉作业应尽量避免雨天,选择晴天或阴天的水稻花粉的开放时段(11:00~13:00)作业。

7. 应急管理

7.1 气象预警

预报发生可能影响水稻播种无人机作业安全的气象灾害时,本标准建议根据作业当地气象主管机构气象灾害预警信号,分级采取应急应对措施。无人机作业区所在气象管理机构启动气象灾害I级预警(特别严重),严禁作业,人员避险;气象灾害II级预警(严重),停止作业;气象灾害III级预警(较重),限制作业;气象灾害IV级预警(一般),慎重作业。参考国家标准 GB/T 27962—2011《气象灾害预警信号图标》,在不同气象灾害预警(蓝色、黄色、橙色和红色)信息条件下无人机作业人员应采取对应措施,参见附录B。

7.2 补救措施

本标准建议,在灾害性天气预警结束后,应根据作业受影响程度及时采取补救措施。若无人机施作、监测或评估作业在预警期间未受明显影响,可在条件允许的情况下继续完成作业任务;若作业受到风、雨、低能见度等不利气象条件干扰,应在天气转好后重新选定适宜的作业时段,尽快恢复飞行作业。同时,应复核设备状态及传感器校准情况,确保补拍数据的连续性与可比性,以保障监测结果的完整性和

准确性。

五、主要试验、验证及试行结果

2024 年，双强（浙江）科创有限公司参与的《无人机在农业生产中的应用与推广》项目获得获丽水市农业丰收奖（三等奖），核心技术包括精准植保、无人机赶粉（杂交水稻制种）。该项目按照本标准的气象适宜条件开展作业，精准植保实现病虫害、杂草、病害精准喷洒，药剂使用量降低 30%以上；智能施肥结合气象适宜条件规划作业路径，避免重复作业和盲区；无人机（杂交水稻制种）授粉效率提升约 11 倍，亩均成本节约 600 元~800 元，水稻单产提升 5%~10%，直接带动农户收入增长。

2025 年 8 月 22 日，双强（浙江）科创有限公司在安徽制种试验基地利用植保无人机为制种水稻进行授粉，选择天气晴朗，且气温稳定在 28 ℃~33 ℃时开展作业，提高了水稻授粉的效率，有效保障了杂交水稻制种的结实率和产量，每亩种子的产量增加 50 斤~80 斤。

六、采用国际标准的程度及水平说明

无。

七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系

本标准以《中华人民共和国种子法》《中华人民共和国农产品质量安全法》《中华人民共和国食品安全法》《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国标准化法实施条例》《中华人民共和国农药管理条例》等法律法规为准则，以国内相关标准和文献资料为基础，结合杂交水稻制种无人机应用生产实际，按照标准编写要求进行统一规定，本标准在涉及强制性内容均采用现行强制性标准，技术方面能统一就统一，难以统一的给予指导性意见。因此，本标准与现行法律法规和强制性标准是协调一致的，其技术措施也是为了能更好的将产品质量安全、产地生态环境等控制在法律法规和强制性标准要求范围内而定。

本标准编写过程中，严格按照国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的技术要求进行编制。标准文本的编排采用中国标准编写模板 SET 2020 版进行排版，编制说明按照《中国农业绿色发展研究会团体标准暂行管理办法》的要求编写，确保标准文本和编制说明的规范性。同时，本标准起草过程中，参考了无人机农业应用相关的国家标准、行业标准和地方标准，并视情况进行规范性引用。引用的标准如下：

GB/T 27962 气象灾害预警信号图标

NY/T 3213 植保无人驾驶航空器 质量评价技术规范

QX/T 313 气象信息服务基础术语【标准文本中没有引用该标准】

设置格式[iii]: 突出显示

AC-91-FS-2019-31R1 轻小无人机运行规定

综上所述，本标准内容符合现行法律法规和强制性标准的要求，与其它各级各类标准之间是协调一致的，是相关国家标准、行业标准的补充，不存在冲突的情况。

八、重大分歧或重难点的处理经过和依据

本标准制定过程中，未出现重大分歧意见和重难点。

九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果

本标准发布实施后，建议中国农业绿色发展研究会和标准起草单位要不定期组织开展技术培训，特别是要安排气象工作者、无人机飞手、制种企业技术推广人员和大户等参加培训，提高大家对标准的理解，并达成共识，进一步提高标准的可操作性，促进标准的有效实施。同时，注意收集标准应用过程中发现的不足问题，为今后标准的修订工作提供依据。此外，拓展标准培训形式，通过线上线下相结合的方式发放（发送）标准文本、开展专家解读及现场指导，进一步规范杂交水稻制种无人机应用气象服务的标准化，提高无人机作业的效率，减少因天气原因造成的人力资源、农业原料、无人机硬件等损失，增加无人机作业成效，提升杂交水稻制种产能，促进我国杂交水稻制种的高质量发展。

十、其他应说明的事项

无。

参考文献：

- [1] 国家标准 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》
- [2] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 3213-2023 《植保无人驾驶航空器 质量评价技术规范》
- [3] 中国民航局发布的标准 AC-91-FS-2019-31R1 《轻小无人机运行规定》
- [4] 中华人民共和国气象行业标准 QX/T 313-2016 《气象信息服务基础术语》
- [5] 国家标准 GB/T 27962-2011 《气象灾害预警信号图标》
- [6] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 3767-2020 《杂交水稻机械化制种技术规程》
- [7] 黑龙江省佳木斯市地方标准 DB2308/T 169-2023 《水稻无人机水直播技术规程》
- [8] 中华人民共和国气象行业标准 QX/T 614-2021 《多旋翼无人机机载气象探测系统技术要求》
- [9] 湖北省地方标准 DB42/T 2074-2023 《农用无人航空器水稻施肥技术规程》
- [10] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 3213-2023 《植保无人驾驶航空器 质量评价技术规范》
- [11] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 4616-2025 《农业野生植物原生境保护点无人机监测技术规范》

- [12] 石家庄市地方标准 DB1301/T518-2024 《农业植保无人机安全作业规范》
- [13] 内蒙古自治区地方标准 DB15/T 2081—2021 《农用植保无人机作业技术规范》
- [14] 四川省地方标准 DB51/T 3074-2023 《水稻无人机直播生产操作规程》
- [15] 浙江省衢州市地方标准 DB3308/T 138-2023 《农用植保无人机作业操作规范》
- [16] 南通市农业新技术推广协会团体标准 T/NANTEA 0001-2021 《植保无人机操控人员培训规范》
- [17] 国家标准 GB/T 33703-2017 《自动气象站观测规范》
- [18] 中华人民共和国气象行业标准 QX/T 313-2016 《气象信息服务基础术语》
- [19] 安徽省地方标准 DB34/T 4683-2024 《气象数据服务规范》
- [20] 王丽, 路运才. 玉米抗低温灾害调控技术研究进展[J]. 农学学报, 2021, 11(5): 1.
- [21] 张世辉, 赵正洪, 李茂阳. 高档优质稻在武陵山区的种植表现及高产栽培技术探索——以湖北省宣恩县为例[J]. 中国稻米, 2014, 20(4): 102-105.
- [22] 中华人民共和国气象行业标准 QX/T 734-2024 《关键农时气象服务通则》
- [23] 中华人民共和国轻工行业标准 QB/T 5017-2016 《糖料甘蔗术语》

- [24] Weerakoon W M W, Maruyama A, Ohba K. Impact of humidity on temperature - induced grain sterility in rice (*Oryza sativa* L)[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2008, 194(2): 135-140.
- [25] 中国水稻研究所《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范》（征求意见稿）
- [26] 孙振雨.牡丹江市南拉古村水稻生产中无人机使用情况调研[J]. *农机使用与维修*,2023,(05):98-101.
- [27] 中华人民共和国地质行业标准 DZ/T 0405-2022《无人机航空磁测数据采集技术要求》
- [28] 中国气象服务协会团体标准 T/CMSA 0021-2021《民用无人机作业气象条件等级 植保》
- [29] 广东省肥料协会 T/GDFL 015-2025《南方水稻无人机“一喷多促”技术规范》
- [30] 王小红. 植保无人机防治水稻病虫害的工作要点及提升策略[J]. *农业工程技术*, 2024, 44(32): 68-69.
- [31] 广西壮族自治区农业农村厅《南方水稻灌浆成熟期无人机叶面喷肥技术指导意见》
- [32] Matzrafi M. Climate change exacerbates pest damage through reduced pesticide efficacy[J]. *Pest management science*, 2019, 75(1): 9-13.
- [33] 宋小沫, 奚溪, 薛士东, 等. 喷雾助剂对农药雾滴蒸发特性影响研究[J]. *高校化学工程学报*, 2020, 34(5): 1143-1150.

- [34] 王玉荣. 植保无人机技术在水稻病虫害防治中的应用[J]. 农业工程技术, 2024, 44(14): 28-29, 82.
- [35] 赵亚茹,李欣航.甘肃平凉市植保无人机专业化统防统治技术集成示范和推广应用[J].农业工程技术,2022,42(11):25-26.
- [36] 张权炳,雷慧德,李鸿筠,等.柑桔病虫害化学防治不容忽视的几个问题[J].中国南方果树,2003,(02):13-15.
- [37] 符慧娟,李星月,易军,等.四川丘区旱作农药高效减量施用与绿色替代技术研究进展[J].农学学报,2023,13(4):39.
- [38] Vieira B C, Butts T R, Rodrigues A O, et al. Spray particle drift mitigation using field corn (*Zea mays* L.) as a drift barrier[J]. Pest Management Science, 2018, 74(9): 2038-2046.
- [39] 郭敏,周林军,吉贵祥,等.4种非农用农药的降解和吸附特性及多介质环境行为模拟[J].生态与农村环境学报,2020,36(7):930-937.
- [40] 辽宁省地方标准 DB21/T 3674-2022 《多旋翼植保无人机施药作业规范》
- [41] 王士林,范道全,李雪,等.果园喷雾机具对喷药人员体表污染的影响[J].生态与农村环境学报,2020,36(12):1612-1618.
- [42] Xu H. Function and degradation of two cell-cycle inhibitors for initiation of seed formation in *Oryza sativa* L[J]. 2021.
- [43] 内蒙古自治区地方标准 DB15/T 2081-2021 《农用植保无人机作业技术规范》

- [44] 周建霞, 张玉屏, 朱德峰, 等. 空气相对湿度和土壤水分对高温诱导水稻颖花不育的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(2): 24-27.
- [45] 胡淑芬, 曹昕奕, 邓勇杰, 等. 植保无人机飞行参数对油茶授粉雾滴分布及坐果率的影响[J]. 农业工程学报, 2023, 39(20): 92-100.
- [46] 汪沛, 胡炼, 周志艳, 等. 无人油动力直升机用于水稻制种辅助授粉的田间风场测量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(03): 54-61+294.
- [47] 李继宇, 周志艳, 胡炼, 等. 单旋翼电动无人直升机辅助授粉作业参数优选[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 10-17.
- [48] Arafat M Y, Alam M M, Moh S. Vision-based navigation techniques for unmanned aerial vehicles: Review and challenges[J]. Drones, 2023, 7(2): 89.
- [49] Chowhan R S, Kumari S, Karel A. E-green revolution: intentional pollination using intelligent agent based autonomous drone-pollinator-bees[J]. Int. J. Pure Appl. Biosci., 2017, 5: 1139-1142.
- [50] 魏祥进, 江玲, 徐俊锋, 等. 我国华北地区粳稻品种抽穗期遗传分析[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 595.
- [51] 杭艳红, 苏欢, 于滋洋, 等. 结合无人机光谱与纹理特征和覆盖度的水稻叶面积指数估算[J]. 农业工程学报, 2021, 37(09): 64-71.
- [52] Azevedo G B H. On the design of unmanned aerial weather measurement systems for wintry precipitation observations[D]. University of Oklahoma – Graduate College, 2024.
- [53] 王昌陵, 宋坚利, 何雄奎, 等. 植保无人机飞行参数对喷药雾滴沉积

分布特性的影响[J].农业工程学报,2017,33(23):109-116.

[54] 李瑞杰,王爱冬,吴华星,等.水稻生育期遥感监测的研究进展、瓶颈问题与技术优化路径[J].智慧农业(中英文),2025,7(03):89-107.

[55] Handcock R N, Gillespie A R, Cherkauer K A, et al. Accuracy and uncertainty of thermal-infrared remote sensing of stream temperatures at multiple spatial scales[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100(4): 427-440.

[56] Munir A, Siddiqui A J, Anwar S, et al. Impact of adverse weather and image distortions on vision-based UAV detection: A performance evaluation of deep learning models[J]. Drones, 2024, 8(11): 638.

[57] 杨新年,王阿川.风荷载下的树木动态行为参数测量方法综述[J].自然灾害学报,2024,33(02):18-28.

[58] 国家标准 GB/T 27962-2011 《气象灾害预警信号图标》

[59] 姜锐,林键沁,林宗辉,等.航时可延展水稻辅助授粉无人飞机设计与作业参数优选[J].农业机械学报, 2025,56(2):229-239.

[60] 浙江省农产品质量安全学会团体标准 T/ZNZ 019—2020《稻田植保旋翼无人飞机施药技术规范》.

[61] 中国农药工业协会团体标准 T/CCPIA 020—2019《植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南》

[62] 广东省肥料协会 T/GDFL 015—2025《南方水稻无人机“一喷多促”技术规范》

[63] 遂昌县地方技术性规范 DJG 331123/T 17—2025《水稻制种气象服

务规范》

注：上述标准文本来自国家标准信息公共服务平台
（<https://std.samr.gov.cn/>）、全国农业食品标准公共服务平台
（<https://www.sdtdata.com/fx/fmoa/tsLibIndex>）、食品伙伴网
（<http://down.foodmate.net/standard/index.html>）

附件 1 现行无人机相关标准（含国家标准、地方标准）

序号	编号	名称	备注
1	GB 42590-2023	民用无人驾驶航空器系统安全要求	国家标准
2	GB/T 38058-2019	民用多旋翼无人机系统试验方法	国家标准
3	GB/T 38905-2020	民用无人机系统型号命名	国家标准
4	GB/T 38924.10-2020	民用轻小型无人机系统环境试验方法 第 10 部分： 砂尘试验	国家标准
5	GB/T 38924.8-2020	民用轻小型无人机系统环境试验方法 第 8 部分： 盐雾试验	国家标准
6	GB/T 38996-2020	民用轻小型固定翼无人机飞行控制系统通用要求	国家标准
7	GB/T 38997-2020	轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统通用要求	国家标准
8	GB/T 41300-2022	民用无人机唯一产品识别码	国家标准
9	GB/T 41450-2022	无人机低空遥感监测的多传感器一致性检测技术规范	国家标准
10	GB/T 43071-2023	植保无人飞机	国家标准
11	GB/T 43504-2023	民用大中型固定翼无人机飞行性能飞行试验要求	国家标准
12	GB/T 45522-2025	无人机遥感测绘注册规范	国家标准
13	GB/T 45631-2025	无人机遥感测绘飞行管理信息要求	国家标准
14	GB/T 45678-2025	民用系留无人机系统通用要求	国家标准
15	NY/T 3213	植保无人飞机 质量评价技术规范	行业标准
16	NY/T 3213—2018	植保无人飞机质量评价技术规范	行业标准
17	NY/T 3682—2020	棉花脱叶催熟剂喷施作业技术规程	行业标准
18	NY/T 4258—2022	植保无人飞机作业质量	行业标准
19	NY/T 4259—2022	植保无人飞机安全施药技术规程	行业标准
20	NY/T 4615-2025	农用无人驾驶航空器操控员培训指南	行业标准
21	NY/T 4615-2025	农用无人驾驶航空器操控员培训指南	行业标准
22	N Y / T 3213—2023	植保无人驾驶航空器质量评价技术规范	行业标准
23	DB13/T 5517—2022	大田作物病虫草害防控关键期植保无	地方标准

序号	编号	名称	备注
		人飞机作业技术规程	
24	DB1302/T 545—2021	农用植保无人机作业技术规范	地方标准
25	DB15/T 2081—2021	农用植保无人机作业技术规程	地方标准
26	DB22/T 2809—2017	植保无人机施药防治粘虫技术规程	地方标准
27	DB23/T 2949—2021	植保无人飞机水稻精准施药技术规程	地方标准
28	DB32/T 4259-2021	植保无人机 安全作业技术规范	地方标准
29	DB34/T 3648—2020	农用无人机棉花田间管理技术规范	地方标准
30	DB34/T 3663—2020	植保无人飞机农田施药作业技术规范	地方标准
31	DB36/T 1924.1-2023	无人机影像采集及应用技术规程 第 1 部分：水稻	地方标准
32	DB36/T 995—2017	农业植保无人机安全作业操作规范	地方标准
33	DB37/T 3940—2020	植保无人飞机防治小麦病虫害作业技术规范	地方标准
34	DB41/T 2098-2021	植保无人机田间试验技术规范	地方标准
35	DB41/T 2098—2021	植保无人机田间试验技术规范	地方标准
36	DB42/T 2371-2025	水稻群体长势无人机监测技术规程	地方标准
37	DB5107/T 114-2022	杂交水稻制种全程机械化技术规范	地方标准
38	DB63/T 2099—2023	植保无人机安全操作技术规范	地方标准
39	GXNGX003—2020	高工效施药技术防治水稻纹枯病操作规程	团体标准
40	GXNGX004—2020	高工效施药技术防治稻曲病操作规程	团体标准
41	GXNGX005—2020	高工效施药技术防治稻纵卷叶螟操作规程	团体标准
42	T/CCPIA019—2019	植保无人飞机安全施用农药操作规范	团体标准
43	T/CCPIA020—2019	植保无人飞机防治水稻害虫施药指南	团体标准
44	T/CCPIA021—2009	植保无人飞机防治小麦害虫施药指南	团体标准
45	T/CCPIA056—2020	植保无人飞机防治玉米病虫害施药指南	团体标准
46	T/CCPIA057—2020	植保无人飞机棉田施药技术指南	团体标准

序号	编号	名称	备注
47	T/CCPIA058—2020	植保无人飞机防治茶树病虫害施药指南	团体标准
48	T/CCPIA101—2021	植保无人飞机防治柑橘树病虫害施药技术指南	团体标准
49	T/CCPIA102—2021	植保无人飞机防治马铃薯病虫害施药技术指南	团体标准
50	T/CCPIA103—2021	植保无人飞机防治苹果树病虫害施药技术指南	团体标准
51	T/CCPIA104—2021	植保无人飞机施药专用助剂技术规范-表面活性剂类	团体标准
52	T/CCPIA105—2021	植保无人飞机施药专用助剂技术规范-高分子聚合物类	团体标准
53	T/CCPIA106—2021	植保无人飞机施药专用助剂技术规范-矿物油类	团体标准
54	T/CCPIA107—2021	植保无人飞机施药专用助剂技术规范-有机硅类	团体标准
55	T/CCPIA109—2021	植保无人机驾驶员职业技能鉴定	团体标准
56	T/CITS 474-2025	基于无人机高光谱遥感的植物监测技术要求	团体标准
57	T/CMSA 0021—2021	民用无人机作业气象条件等级 植保	团体标准
58	T/GDIOT 015—2023	网联无人机移动通信网络质量通用测试方法	团体标准
59	T/GDPPS006—2022	植保无人机防治水稻主要病虫害技术规程	团体标准
60	T/JSAMIA2—2017	农用植保无人机技术要求及测试方法	团体标准
61	T/JSAMIA2—2017	农用植保无人机技术要求及测试方法	团体标准
62	T/NANTEA0001—2019	植保无人机农药喷雾安全作业规范	团体标准
63	T/NANTEA0001—2019	植保无人机农药喷雾安全作业规范	团体标准
64	T/NANTEA0002—2019	植保无人机喷雾防治水稻病虫害作业规范	团体标准
65	T/NANTEA0013—2020	植保无人机农药喷雾安全作业规范	团体标准
66	T/QGSX 013-2025	青冈鲜食玉米叶面肥农药无人机喷施技术规程	团体标准
67	T/SZFAA07—2022	多旋翼植保无人机通用技术规范	团体标准
68	T/SZUAVIA 005—2025	无人机清洗与喷涂技术操作规程	团体标准

序号	编号	名称	备注
69	T/SZUAVIA001—2017	电池动力单轴农用植保无人机系统通用要求	团体标准
70	T/SZUAVIA002—2017	多轴农用植保无人机系统通用要求	团体标准
71	T/XHNJ 005-2024	农业无人机喷施花生病虫害防治作业技术规范	团体标准
72	T/XJBX 0048—2025	水稻病虫害防治中无人机智能作业质量规程	团体标准
73	T/ZJNJ 0015-2022	植保无人飞机水稻病虫害防治作业技术规程	团体标准
74	THBSF 025-2024	油茶无人机辅助授粉技术规程	团体标准

附 录 A

(资料性)

杂交水稻制种无人机作业记录表

杂交水稻制种无人机作业记录见表 A。

杂交水稻制种无人机作业记录表 作业日期： _____ 操作单位： _____		
字段类别	详细记录项	填写说明
杂交水稻	发育期阶段： (如：分蘖期/拔节期/抽穗扬花期) 品种名称： (如：甬优 1540)	需与当地农技部门提供的生育期标准对照表匹配
气象数据	温度(℃)： 相对湿度(%)： 平均风速(m/s)： 降雨量(mm) 气象预警等级： (如：蓝色预警/无预警)	
飞控参数	起飞点 GPS 坐标： 作业区域范围： 飞行高度(m)： 作业面积(亩)： 航线覆盖率(%)	需与 RTK 基站定位数据校准
操作人员	操盘手姓名： 资质证书编号： 辅助人员： 现场监理：	需持《民用无人机驾驶员执照》（作业类别：农业植保）

附 录 B
(规范性)

杂交水稻制种无人机作业四级预警级别及应对措施

气象灾害预警信号参考 GB/T 27962-2011 标准。无人机作业区所在气象管理机构启动大风、台风、雷电等气象灾害预警信号时停止作业，在暴雨、高温等气象灾害预警信号（蓝色、黄色、橙色和红色）下无人机作业人员应采取对应措施，参见附录 B

表B 杂交水稻制种无人机作业四级预警级别及应对措施

预警类型	应对措施
蓝色/IV级 (一般)	谨慎作业。如有紧急飞行作业，建议采取以下应对措施： 1. 持续监测：每15分钟检查气象数据，关注变化趋势。 2. 作业调整：缩短单次飞行时长，避免超视距作业。 3. 设备防护：检查电池、电机气温，必要时暂停冷却/加热。 4. 人员准备：通知飞手待命，确保随时可终止作业。
黄色/III级 (较重)	限制作业。如有紧急飞行作业，建议采取以下应对措施： 1. 限制作业：仅允许经验丰富的飞手在低负载下飞行。 2. 动态规划：避开强风/降水量区域，采用逆风航线降低风险。 3. 应急准备：降落点增设防水垫，备用电调/桨叶随时更换。 4. 提前终止：若气象持续恶化，立即回收无人机并延迟后续任务。
橙色/II级 (严重)	停止作业。如无人机在作业中，建议采取以下应对措施： 1. 紧急降落：所有无人机强制降落，关闭动力电源。 2. 设备保护：迅速转移至防水防震箱，拆卸敏感部件。 3. 启动应急程序：如无人机失控，应立即启动一键返航或降落伞应急程序。
红色/I级 (特别严重)	立即停飞，人员避险。