

# 《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范》

## 编制说明

编制单位：中国水稻研究所

2024年11月10日

# 目 录

一、工作简况.....	1
二、标准制/修订原则、主要内容及其确定依据.....	11
三、试验验证报告，技术经济论证，预期经济效果.....	30
四、与国际国外同类标准的比对情况.....	37
五、引用、采用或参考国际国外标准情况.....	37
六、与现行法律法规、强制性标准、相关标准的关系.....	37
七、重大分歧意见的处理经过和依据.....	38
八、涉及专利的有关说明.....	41
本标准不涉及相关专利。.....	41
九、贯彻实施标准的建议.....	41
十、其他说明.....	42

# 《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范》 编制说明

## 一、工作简况

### （一）项目任务来源

本标准是 2023 年由中国水稻研究所提出，经农业农村部农产品质量安全监管局批准立项，归口农业农村部市场与信息化司管理的农业行业标准制定任务。

项目下达文件：《关于下达 2024 年农业国家和行业标准制修订项目计划的通知》；文件号：农办财[2024]71 号；项目编号：NYB-24008；项目名称：水稻品种群体高通量表型数据的无人机采集技术规程；项目性质：农业行业标准制定；项目计划要求的起止时间：2024 年 5 月-2024 年 12 月。

### （二）制/修订背景

#### 1. 项目目的

无人机技术在农业领域的应用已成为现代农业发展的重要趋势。在“十四五”期间，积极推进无人机技术在农业领域的应用，是提升农业生产效率和实现精准农业管理的重要举措。《国家科技创新 2030—“新一代人工智能”重大项目》提出要发展智能农业装备，并强化农业大数据的采集与应用；2022 年，农业农村部在《“十四五”全国农业农村信息化发展规划》中将“智慧种业”置于“智慧农业”领域七大攻关任务之首，明确了建设数字化育种平台和探索基因型到表型的“智能育种技术体系”的目标，并对利用无人机等现代信息技术促进农业现代化提出了具体要求和规划。

---

在智能育种建设中应用无人机技术，首要解决的是水稻群体性状的高通量采集效率和精确度问题。相对于传统的人工调查，无人机表型鉴定在效率和准确性方面展现出高效和便捷的特点。目前，基于无人机的水稻群体数据采集应用，因无人机机型、种植方式及环境条件的不同，导致采集过程中的技术标准存在差异。在水稻育种流程中，多品种群体图像信息的采集精度及其可用性，不仅受无人机飞行参数设置的影响，还与大田种植条件紧密相关。通过制定与无人机飞行和多品种种植相匹配的数据采集技术规范，可以有效提取并利用群体图像数据，以支持后续的关键性状反演、推理和预测工作。

本标准旨在制定基于无人机的水稻群体表型高通量数据采集技术规范，该规范为数智育种建设奠定了坚实的基础，对于促进该技术的大规模普及和推广具有深远的影响。

## 2. 标准化对象简要情况

本标准主要用于支撑智能育种的标准化建设。智能育种的核心在于高通量图像数据的采集。传统方法主要依赖于人工调查，这不仅耗费时间和劳动力，而且所获取的数据代表性不足，容易受到环境和主观因素的影响，因此在客观评价品种的田间表现时存在局限性。目前，利用无人机采集作物群体的高通量数据以辅助育种的应用已广泛自发实施，但由于缺乏统一的技术规范，各应用单位各自为战。制定基于无人机的水稻群体高通量数据采集技术规范，对于构建一个适用于种业公司、科研机构、涉农企业、基层推广站以及种植大户的多品种表型信息采集系统至关重要。在育种选择过程中，通过全面且高效地收集种质资源的田间群体信息，可以据此进行特定性状的反演分析，有针对性地进行品种筛选，进而加快育种流程。该标准将为农业技术推广部门、农业企业、合作社以及种粮大户利用无人机进行高效水稻

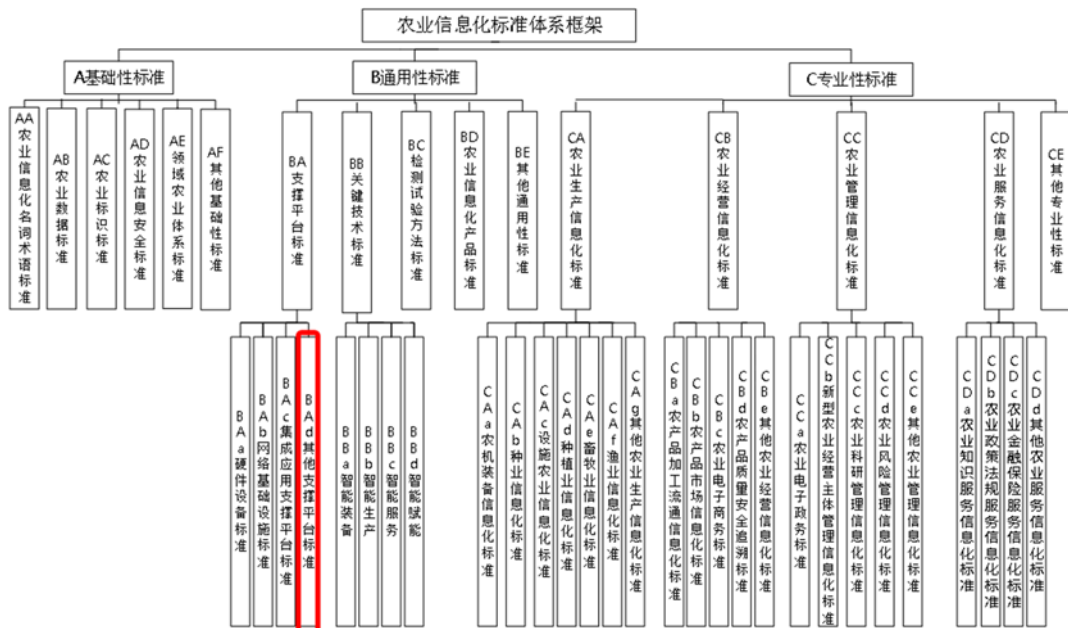
品种筛选提供必要的技术支撑和工作基础。

目前，在智能育种领域，已经制定或正在编制与无人机采集多品种信息相关的农作物品种试验规范（如，农作物品种试验规范 粮食作物）、无人机的使用规范（如，低空数字航摄与数据处理规范、无人机航摄安全作业基本要求、低空数字航空摄影规范）以及农业遥感技术术语与规范（如，摄影测量与遥感术语）等。这些规范主要是从各自专业领域的角度出发，为特定的工作开展设定了标准。然而，这些规范并未充分考虑到无人机数据采集与水稻育种中高通量图像数据采集的交叉需求。

综上，目前仍然缺乏基于无人机采集种质资源的田间种植与无人机飞行技术规范。因此，研究制定一套统一的、基于无人机的水稻群体图像数据高通量采集技术规范显得尤为必要，这对于推动智能表型信息采集、进行性状反演以及品种筛选具有至关重要的意义。

### 3. 标准在体系中的位置和作用

本标准在农业信息化标准体系框架中的位置如下：



---

本标准在农业信息化行业标准体系中属于通用性标准支撑性平台标准。标准的编制可以解决育种领域无人机信息采集的过程中关键环节的技术规范问题，通过制定无人机高通量水稻群体图像数据采集和多品种水稻大田标准化种植的技术规范，实现以低空无人机为平台的水稻群体图像信息采集的标准化和通用化。按照本标准采集的数据，经过后续开发、加工和应用，可作为品种鉴定、筛选和推荐的依据。

### （三）主要工作过程

#### 1. 预研究阶段

2021年，中国水稻研究所启动了“数智稻作”重点研发专项，旨在融合智能技术，促进稻作技术转型与发展。其中，将基于无人机的水稻群体表型数据获取作为关键研究方向，并进行了相关的研究与探索。在2022年，得益于在国家重点研发计划课题“基于表型组的量质协同品种鉴选”（2022YFD2300700）的资助，中国水稻研究所着手挖掘水稻量质协同的新表型性状，其中基于无人机的群体表型研究被确定为主要研究方向。在此过程中，迫切需要构建一套基于无人机的水稻群体表型高通量数据采集技术规范。

中国水稻研究所、浙江省农业技术推广中心联合浙农飞防科技服务有限公司和安徽嗨森智能科技有限公司，共同梳理并分析了无人机在水稻育种中的应用特点，通过调研和比较国内外相关的标准（表1），发现现有标准主要针对无人机使用、遥感数据处理、多品种数据人工调查等领域的数据采集技术进行了规范，但这些标准难以满足育种场景下无人机的采集需求。在深入调研的基础上，2023年，中国水稻研究所、浙江省农业技术推广中心、浙农飞防科技服务有限公司与安徽嗨森智能科技有限公司共同成立了标准规范编制工作组，向农业部农业信息化标准化技术委员会提交了有关行标的立项申请，并成功获批，

---

成为 2024 年的立项标准。制标团队随后制定了标准的实施方案，并推进了相关工作。2024 年 5 月，农业农村部农产品质量安全监管局与中国水稻研究所签订了《水稻品种群体高通量表型数据的无人机采集技术规程》农业行业标准制定任务委托书。

表 1 现有相关标准规范对比分析

编号	标准名称	标准状态	主要内容
GB/T 14950	摄影测量与遥感术语	现行	规定了摄影测量与遥感的术语及定义，适用于摄影测量与遥感标准的制订与编写。
GB/T 39612	低空数字航摄与数据处理规范	现行	规定了低空数字航摄与数据处理的基本要求，包含低空数字航空摄影、像片控制测量、空中三角测量和基础地理信息产品生产的技术规范。
NY/T 3923	农作物品种试验规范 粮食作物	现行	规定了品种试验的有关术语和定义、试验设置、对照及供试品种、试验地选择、试验设计、田间管理、数据调查标准、汇总与总结等内容。
NY/T 4151	农业遥感监测无人机影像预处理技术规范	现行	规定了农业行业遥感监测无人机影像预处理的基本要求、处理流程、数据获取与筛选、辐射定标、几何校正、产品生产、质量检查、报告编写等内容。
CH/Z 3001	无人机航摄安全作业基本要求	现行	规定了对无人机航摄安全作业的技术准备、实地踏勘与场地选择、飞行检查与操控、保障措施设备使用与维护等内容。
CH/Z 3005	低空数字航空摄影规范	现行	规定了低空数字航空摄影生产的航摄系统要求、航摄计划与航摄设计要求、飞行质量和影像质量要求、成果整理和验收要求。

## 2. 起草阶段

### (1) 主要起草人及其所做工作

本标准由农业农村部市场与信息化司提出，农业农村部农业信息化标准化技术委员会归口。由中国水稻研究所、浙江省农业技术推广中心、浙农飞防科技服务有限公司、安徽嗨森智能科技有限公司等单位起草。起草人及其所做的工作如下表2：



表 2 主要起草人员信息及任务分工

姓名	单位	职称	专业特长及分工
陈松	中国水稻研究所	研究员	项目支持
王跃星	中国水稻研究所	研究员	水稻育种 表型参数及指标
王丹英	中国水稻研究所	研究员	作物栽培 田间种植规范
朱磊	浙农飞防科技服务有限公司	工程师	无人机参数 校准与测试
秦叶波	浙江省农业技术推广中心	高级农艺师	产品应用 试验示范与验证
刘帆	安徽嗨森智能科技有限公司	高级农经师	参数校准 大田示范与验证
徐春梅	中国水稻研究所	副研究员	作物栽培 经济效益测算
冯向前	中国水稻研究所	研究实习员	大田试验 示范与验证
马横宇	中国水稻研究所	研究实习员	大田试验 示范与验证

(2) 本阶段调查研究过程及关键问题研究情况。

从 2021 年到 2023 年，中国水稻研究所无人机表型研发团队针对育种过程中应用无人机的需求，聚焦水稻群体图像数据采集的难点和共性问题，对包括中国水稻研究所、浙江大学、南京农业大学、大疆创新科技有限公司等单位的水稻育种专家和无人机工程师进行了广泛的调研。调研发现目前利用无人机采集作物遥感数据应用较多，主要应用领域以大田栽培管理辅助为主。在水稻育种领域，亦有大量引入应用，但离真正为广大育种家提供辅助决策，仍未普及。进一步调研，制标团队发现其主要问题在于无人机数据采集的尺度和精度需求差异。应用无人机采集大面积作物数据，对无人机采集的需求是采集效率高、数据具有一定代表性即可；而针对水稻多品种数据采集，以

---

及后续的表型反演，对于数据质量要求很高，常规的无人机采集方式无法满足。另一方面，常规的育种栽培种植以人工调查为主，没有考虑无人机采集数据的特点和需求。这两者的错位，使得在智能育种中应用无人机采集数据时，会出现样本丢失、数据错位、采集误差大等需要人工介入修正的现象，导致无人机高通量的数据采集技术在育种中难以大面积推广。其中，很多问题无法依靠无人机的改良和优化实现，如多品种小区分割、异质数据、多品种异步生长等问题。这需要通过调整田间种植技术，实现多品种数据的高效精准采集。经过大量调研，我们发现田块尺度、田间品种分布、品种小区设计、多图拼接、无人机航线设计、传感器参数等因素，都会影响高通量水稻群体表型性状的采集。基于无人机的水稻多品种表型数据的高通量采集，若要真正落地，必须无人机飞行参数和田间种植技术的配合。鉴此，本标准的核心内容聚焦构建无人机飞行和水稻大田种植的这两个内容，通过对数据采集流程过程中关键技术参数的标准化，实现两者的匹配，以满足智慧育种的需求。

2024年初，标准编制工作组进一步收集整理国内外相关标准规范及文献资料，研究了现有相关标准规范的适用范围，确定了无人机高通量采集水稻群体图像信息的两个主要部分，即无人机航拍参数设置与大田水稻的规范种植。

主要参考文献包括：赵增煜，常用农业科学试验法[M]，农业出版社，1986；张国平，作物栽培学[M]，浙江大学出版社，2016；余松烈，作物栽培学[M]，农业出版社，1980；曹卫星，作物生长光谱监测[M]，科学出版社，2020；李卫国，农作物遥感监测方法与应用[M]，中国农业科学技术出版社，2013；任建强，农作物单产遥感估算模型、方法与应用[M]，中国农业科学技术出版社，2020；官建军，

---

无人机遥感测绘技术及应用[M],西北工业大学出版社,2017;闫利,低空无人机遥感技术与应用[M],武汉大学出版社,2022;段连飞,无人机图像处理[M],北工业大学出版社,2017;张东辉,无人机遥感与智慧农业信息提取[M],化学工业出版社,2022;林正平,无人机农用领域监测与识别技术[M],化学工业出版社,2022。检索《摄影测量与遥感术语》(GB/T 14950)、《低空数字航摄与数据处理规范》(GB/T 39612)、《无人机航摄安全作业基本要求》(CH/Z 3001)、《低空数字航空摄影规范》(CH/Z 3005)、《农作物品种试验规范粮食作物》(NY/T 3923)、《农业遥感监测无人机影像预处理技术规范》(NY/T 4151)。

2024年1月-4月,制标团队在调研梳理过程中,形成《水稻品种群体高通量表型数据的无人机采集规程(初稿)》。

2024年5月-7月,团队整理相关数据和试验,针对小区面积、间隔比等具体参数的设定依据,补充试验予以验证,根据试验反馈,进一步对标准规范初稿进行了修改完善,形成《水稻品种群体高通量表型数据的无人机采集规程(修改稿)》。

2024年8月,制标团队邀请了相关专家召开专家,以进一步修改、完善并细化标准。在研讨过程中,专家们就标准中涉及的无人机数据采集以及水稻种植作业规程的部分内容提出了修改建议。尽管目前尚无专门针对水稻品种群体高通量采集的特定规程,但由于不同无人机数据采集规程存在差异,加之无人机技术发展迅速,现有的采集规程可能无法适应技术更新的需求。此外,由于环境、人力配置、品种数量等因素的影响,水稻多品种的大田种植技术也会有所调整,这使得规程类的标准难以满足水稻品种群体图像数据采集的通用性和适用性需求。低空无人机进行水稻多品种数据采集的核心,在于量化无人

---

机飞行与田间标准种植协调作业的具体技术参数，构建这一过程的规范更有利于标准的推广和更新。因此，制标团队参照专家建议，并查阅了相关现有标准，同时结合了团队多年在水稻品种田间标准种植和低空无人机飞行方面的经验，将标准调整为《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范》，并对影响稻田无人机数据采集的关键参数进行了更为详细的界定，主要修改包括：无人机航线规划中的飞行高度及重叠率设置、田间小区大小设置、间隔行设置等。最终形成了《水稻品种群体高通量图像数据的无人机采集技术规范（内部征求意见稿）》。

2024年9月，制标团队依据内部讨论的意见，梳理了不同试验数据中发现的问题，进一步修改、完善和细化了标准。最终形成了《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范（内部征求意见稿）》。

### 3. 征求意见阶段

2024年9月上旬，《水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范（内部征求意见稿）》在浙江省内农业农村厅下属部门、全国科研院所与高校、农业高科技企业，通过邮件往来和线下研讨会等形式，进行意见征询，制标团队根据专家意见进行了修改完善。

2024年9月-10月，邀请全国范围内的科研院所与高校、事业单位及种业公司等从事科研和推广工作的专家，通过邮件往来、电话问询等形式，进行意见征询，听取相关专家建议，不断修改完善。截止2024年10月15日，共收到25家单位的197条反馈意见，其中：科研院所7个、涉农高校15个，国家地方部门2个、科技企业1家。制标团队对收集到的共计197条反馈意见进行了分类汇总，逐条进行了认真的分析与处理。197条反馈意见中，采纳89条，占45.2%；部分采纳42条，占21.3%；不采纳66条，占33.5%。根据意见对标准的整体叙述框架进行了完善

---

和修改,形成了《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)》。

#### 4. 审查阶段

#### 5. 提交报送阶段

## 二、标准制/修订原则、主要内容及其确定依据

### (一) 编制原则

文件编制过程中,认真参照 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》进行编写,规范的结构、表述规则和编排格式等均满足国家标准的要求。在此基础上,编制遵循“科学性、先进性、统一性、经济性、适用性、协调性、一致性和规范性”的原则,同时参考国内外相关标准,结合完备的科研试验及最新成果制定了本标准,具体的原则如下:

1. 科学性。在广泛收集文献资料基础上,结合标准编制小组近4年无人机采集水稻群体图像表型数据的研究实践与经验,客观并较准确地表述基于无人机的水稻群体图像数据采集规范,体现规范的内涵与特征,突出标准制定的科学性。

2. 完整性。针对无人机对水稻群体的高通量数据采集,对田间水稻种植与低空(10 m~20 m)无人机水稻群体数据的采集方法进行了完整的表述。量化了水稻多品种小区种植、无人机航线规划、参数设置等标准,并明确了相应的栽培技术规范。

3. 实用性。相关标准参数基于现阶段国内主流商用无人机机型开展,相关参数设置通用性强、可行性高且简单易懂,确保规范的方便实施。

---

## **（二）标准主要内容及其确定依据**

### **1. 制订依据**

本标准的主要技术内容及其论据包括：

#### **（1）政策依据**

本标准是贯彻落实《“十四五”农业农村现代化规划（2020-2025）》《全国现代农作物种业发展规划（2012-2020年）》《国务院关于加快推进现代农作物种业发展的意见2020》对现代农作物种业的部署，结合高通量水稻群体图像信息获取的应用需求进行编制的。

#### **（2）实践/试点依据**

本标准的主要内容是基于多年无人机数据采集试验的基础上，结合育种工作的特点、群体图像的数据特征与无人机的飞行需求而确定的大田种植规范和无人机航行参数。

### **2. 主要技术内容的论据**

#### **2.1 范围**

制标团队参照已有及正在编制中的涉及水稻品种试验与信息化、农业遥感监测无人机影像处理、农用多旋翼无人机监测技术等相关标准规范，根据不同应用场景下基于无人机的水稻群体数据采集工作，特别是场景适应性、多品种数据提取、数据分辨率和群体数据均衡性等实际需求，经多次研讨，确定了本标准的范围：规定适宜多品种群体数据采集的无人机操作相关参数和大田标准种植规范。通过本标准，为不同水稻产业主体的水稻品种群体信息收集、表型反演、以及后续的品种筛选与鉴定提供技术规范。

#### **2.2 规范性引用情况**

下列文件中的内容通过文中规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注明日期的引用文件，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（包括所有的修订单）适用于本文件。

GB/T 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范

CH/Z 3001 无人机航摄安全作业基本要求

CH/Z 3005 低空数字航空摄影规范

NY/T 3923 农作物品种试验规范 粮食作物

NY/T 4151 农业遥感监测无人机影像预处理技术规范

### **2.3 主要技术参数的试验依据**

相关田间种植规范与无人机采集参数，在充分调研国内外无人机作物群体数据采集研究的基础上，结合编制团队已有的大田试验数据开展评估。其中主要参数评估以 11 个不同类型水稻大田群体表型试验（2021-2024 年）为基础，包括主推品种筛选、栽培处理验证、田间种植参数验证、水稻育种资源圃等，具体如表 1 和图 1 所示。

主要开展两部分参数的评估：1) 无人机数据采集参数设置，包括适宜田间多品种高通量群体信息采集的无人机参数设置包括无人机类型选择、日作业有效时间窗口、日作业覆盖面积、无人机航线规划参数设置等；2) 大田种植参数的设置，包括小区设置、小区间隔比、参考品种、特异的栽培需求等。

表 3 不同类型水稻群体表型数据试验汇总

年份	试验类型	试验参数	序号
2023	水稻高光效群体筛选试验	种植面积 1.2 m <sup>2</sup> ; 间隔比 2; 品种数 1254;	图 1A
2024	不同小区面积比筛选试验	种植面积为 0.2 m <sup>2</sup> 、0.4 m <sup>2</sup> 、0.6 m <sup>2</sup> 、0.8 m <sup>2</sup> 、1.0 m <sup>2</sup> ; 品种数 1;	图 1B
2023	氮利用效率品种筛选试验	小区面积为 1.6 m <sup>2</sup> ; 间隔比 2; 品种数 56;	图 1C
2022~2024	优质种质资源评估试验	小区面积为 2.2 m <sup>2</sup> ; 间隔比 2; 品种数 550;	图 1D
2023~2024	主推优质稻筛选试验	小区面积为 22 m <sup>2</sup> ; 间隔比 2; 品种数 32;	图 1E
2021~2022	不同氮肥运筹筛选试验,	小区面积为 15 m <sup>2</sup> 。间隔比 2; 品种数 2	图 1F
2023	种质资源筛选圃 A	小区面积为 0.6 m <sup>2</sup> , 间隔比 1.3; 品种数 2000 多;	图 1G
2024	不同间隔比筛选试验	小区面积为 1.8 m <sup>2</sup> , 间隔比 1、1.5、2.25;	图 1H
2022	种质资源筛选圃 B	小区面积为 0.6 m <sup>2</sup> , 间隔比 2.3; 品种数 4000 多;	图 1I
2024	种质资源筛选圃 C	小区面积 1.8 m <sup>2</sup> , 间隔比 1.5; 品种数 300;	图 1J
2023	种质资源筛选圃 D	小区面积 1.8 m <sup>2</sup> , 间隔比 2; 品种数 3000+;	图 1K





图 1 主要技术参数试验汇总

### (1) 水稻群体图像信息采集无人机选择

水稻育种工作中，无人机的高效信息采集至关重要。为了适应复杂多变的农田环境，无人机需要具备简便的操作性；同时，应能搭载多种传感器，如高清数码相机、多光谱等传感器，以全面获取作物表型信息。此外，无人机还需具备高通量数据获取能力，以便迅速收集大范围作物信息。四旋翼无人机因其优异的稳定性和操控性，适合低空作业，成为育种研究的首选，此外六旋翼无人机则凭借更大的载荷能力，可携带更多重型科学仪器，满足更广泛的育种需求。因此，在水稻品种群体图像的高通量信息采集方面，应当优先考虑使用四旋翼或六旋翼无人机。

相关依据来源如下：

朱红艳. 基于无人机低空遥感的油菜表型信息获取方法研究[D]. 浙江大学, 2019.

潘朝阳. 基于无人机遥感的水稻农艺性状估测及高收获指数植株模型构建[D]. 华中农业大学, 2023.

---

## (2) 无人机飞行高度

在使用多旋翼无人机采集多品种水稻的群体信息时，飞行高度是一个关键的参数，它直接影响到数据采集的质量和效果。无人机航线拍摄通常使用定焦镜头，不同的飞行高度会导致地面分辨率（ground sample distance，描述图像或数据能够区分地表最小特征的能力）的差异。不同的表型采集对像素面积密度需求存在较大差异。例如，对于作物监测，推荐的飞行高度在 10 m~20 m 之间；病虫害监测，需要更细致的图像来识别叶片上的病害或害虫，因此飞行高度通常在 5 m~10 m。产量估算需结合不同高度的图像来分析，高度在 10 m~50 m 不等。尤其是涉及具体目标的识别，需要高分辨图像（低空+高像素镜头）配合，而多光谱信息主要用于植被指数或纹理指数的开发，其行高度相对宽泛，综合多种应用场景，一般不低于 10 m。因此，基于目标识别的群体图像采集，可作为确定无人机的飞行高度的下限。

**研究目的：**在多品种水稻群体表型采集中，特定器官的识别是较为细致的群体性状需求，本标准以此为目标，基于高分辨率镜头，通过比较不同飞行高度对于穗器官识别的可靠性，明确多品种群体图像无人机飞行的适宜高度。

**试验设计：**本研究于 2023 年在浙江省杭州市富阳区中国水稻研究所试验田基地（119° 55' E，30° 04' N）开展。采用大疆经纬 M300 RTK 型号无人机进行可见光图像采集。相机为大疆禅思 P1 镜头，有效像素为 4500 万。通过在不同飞行高度下采集水稻图像（即不同的地物分辨率），并利用基于点标记的目标识别算法 P2PNet 对水稻穗进行识别（在齐穗期），以筛选出适宜的无人机图像采集高度。

**试验结果：**穗计数模型在不同飞行高度下的识别精度变化如图 2 所示。随着飞行高度从 7 m 增加到 100 m，穗计数模型的计数精度显

著下降。而  $R^2$  则从 0.993 下降到 0.236。当飞行高度从 7 m 增加到 11 m 时，计数精度保持相对稳定( $R^2 = 0.958\sim 0.989$ )。在飞行高度超过 11 m 之后识别精度开始出现大幅度下降，其中飞行高度 15 m ( $R^2 = 0.782$ ) 后，识别精度不再适宜水稻具体目标的识别。因此，本研究建议在飞行高度低于 15 m (地物分辨率低于 0.15 cm/pixel) 的条件下进行无人机图像的水稻穗计数，以确保较高的计数精度。

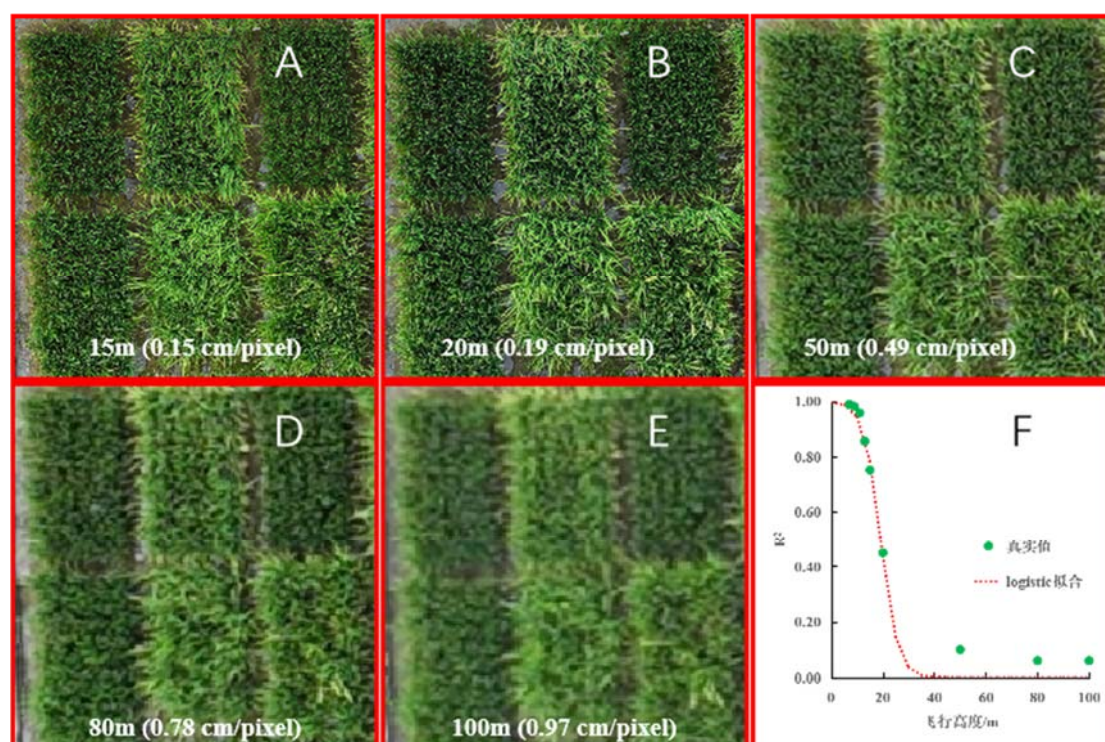


图 2 不同飞行高度（地物分辨率）下无人机成像效果与穗识别能力差异

相关依据来源如下：

- 曹英丽, 刘亚帝, 马殿荣, 李昂, 许童羽. 基于最优子集选择的水稻穗无人机图像分割方法[J]. 农业机械学报, 2020, 51(08): 171-177, 188.
- 刘涛, 张寰, 王志业, 贺超, 张全国, 焦有宙. 利用无人机多光谱估算小麦叶面积指数和叶绿素含量[J]. 农业工程学报, 2021, 37(19): 65-72.
- Jiang R, Wang P, Xu Y, Zhou Z, Luo X, Lan Y, Zhao G, Sanchez-Azofeifa A, Laakso K. Assessing the operation parameters of a low-altitude UAV for the collection of NDVI values over a paddy rice field. Remote Sensing, 2020, 12(11): 1850.

### (3) 日作业有效时间窗口

---

**研究目的：**研究一天内不同日照变化，对无人机数据采集质量的影响。确定适宜无人机数据采集的日作业有效时间窗口。

**试验设计：**本研究于 2023 年在浙江省杭州市富阳区中国水稻研究所试验田基地（119° 55' E，30° 04' N）开展，选取天气晴朗进行无人机飞行任务。采用大疆经纬 M300RTK 型号无人机进行可见光图像采集。相机为大疆禅思 P1 镜头，有效像素为 4500 万。飞行时间为早上 7:30-下午 16:30，每隔半小时拍摄一次，飞行高度为 20 m。在上述每个时间节点采集 10 例图像，校正色卡为 Color Checker Mini 24 色卡。图像颜色偏移通过定量分析图像颜色进行评价，选取 CIE LAB 色彩空间计算色差值，公式如下：

$$\Delta E = \sqrt{(L_m - L_s)^2 + (a_m - a_s)^2 + (b_m - b_s)^2}$$

将采集所得数据进行对比分析，校正前后的色差值进行平均处理。同时分别使用照度计（深达威，SW582）和光合有效辐照计（北京师范大学，FGH-1）测量光照强度和辐射度。

**试验结果：**在一天之中，不同时间段的光照条件存在明显差异。如图 1 所示，从早上 7:30 到下午 16:30，光照强度和辐射度均呈现出逐渐增加然后逐渐减小的趋势，中午 12:00 达到最高值（图 3）。这些光照变化引起了不同时间下的色差表现不同。如图 2 所示，清晨和傍晚的色差值比中午时更大。因此一天内早上 9:30-15:30 色差值相对稳定（图 4）。除了日照引起的图像色差外，还需考虑单日内云层遮挡（图 5A）和中午强日照引起的镜面反射（图 5B）对试验数据的影响。综合考虑多种因素的影响，同时确保田间无人机飞行任务的连贯性和数据质量的统一性，建议 9:00-11:00 或 13:00-15:00 为适宜飞行工作时间，且单次连续飞行进行数据采集时间应不超过 2 小时。



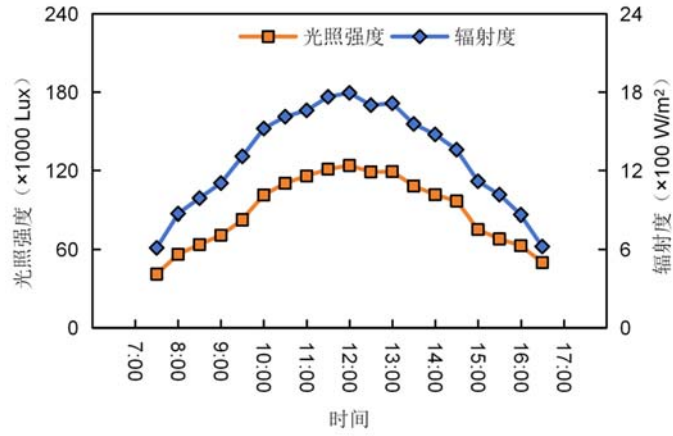


图3 不同时间光照强度和辐射度

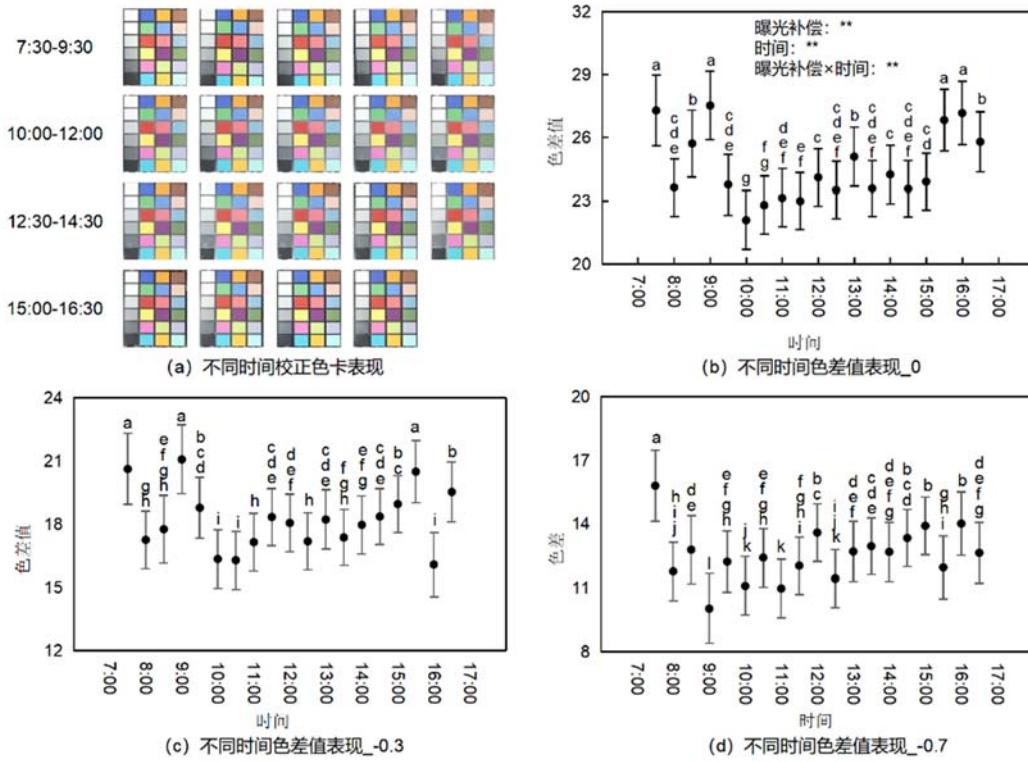


图4 不同飞行时间下图像校准板的色差表现

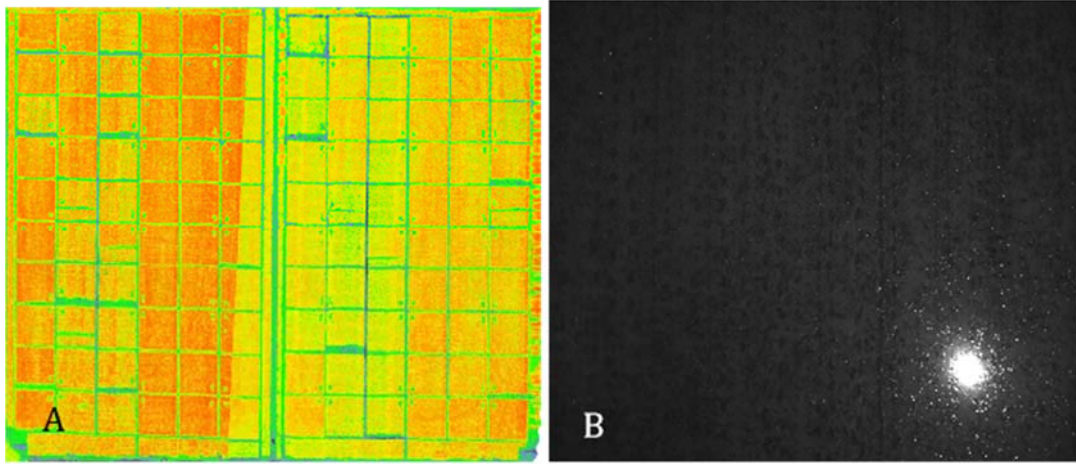


图 5 云层遮挡和镜面反射现象

相关依据来源如下：

马明洋, 许童羽, 周云成, 于丰华, 苗腾, 马航. 东北粳稻叶绿素相对含量的无人机高清影像检测方法[J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(06): 757-762.

林远杨, 王彬, 黄尧, 粟超, 何敬, 刘刚. 基于无人机影像的 N、P 对水稻生长的影响[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(04): 186-192.

Jia L, Chen X, Zhang F, Buerkert A, Römheld V. Use of Digital Camera to Assess Nitrogen Status of Winter Wheat in the Northern China Plain. *Journal of Plant Nutrition*. 2004, 27(3), 441-450.

#### (4) 日作业覆盖面积

**研究目的：**在明确适宜飞行时间的基础上，基于主流无人机机型探讨航拍高度、电池供应等综合影响下低空无人机单次数据采集的覆盖面积。

**试验设计：**采用大疆经纬 M300RTK 中型无人机进行 RGB 图像采集、采用大疆 M3M 小型无人机进行多光谱图像采集，飞行高度为 12 m 和 20 m。比较不同飞行高度和机型电池下，飞行时间、飞行面积和成像质量差异。

**试验结果：**如表 4 所示，为保证采集图像数据一致性，以单日连续作业时间 2 小时为标准，中型无人机大疆经纬 M300 可以覆盖  $2.58 \text{ hm}^2 \sim 4.3 \text{ hm}^2$ （15 m~20 m 飞行高度）；小型多光谱无人机 M3M 可以覆盖  $2.76 \text{ hm}^2 \sim 4.6 \text{ hm}^2$ ，综合考虑电池功耗误差（7~8 折计），最

大作业覆盖面积为  $2 \text{ hm}^{-2} \sim 4 \text{ hm}^{-2}$ 。此外，还需考虑到无人机单次飞行电池续航能力有限，无人机中断任务返航，更换电池等时间损耗，单日有效连续作业时间为 1.5 小时左右。因此，无人机在单日内所能达到的实际数据采集面积为  $1.5 \text{ hm}^{-2} \sim 3 \text{ hm}^{-2}$ 。

表 4 无人机作业效率与日作业最大覆盖面积测算

机型	性能	飞行高度 m	飞行时间	航/旁向覆盖率%	测区面积 $\text{m}^2$	采集照片数	像素解析度 (cm/pixel)	日作业覆盖面积 ( $\text{hm}^{-2}$ )
大疆经纬 M300	RGB, 4500w 像素, 电池 274w	15	10m7s	80%/70%	2176	575	0.15	3.63
		20	6m4s	70%/70%	2176	203	0.25	4.91
大疆多光谱 M3M	多光谱, 400w 像素, 电池 77w	15	10m7s	80%/70%	2308	283	0.55	2.86
		20	6m1s	70%/70%	2308	101	0.92	44.10

相关依据来源如下：

张昆, 崔静莹, 涂友超, 龚克, 仓玉萍, 王鹏. 植保无人机精准覆盖航迹规划算法设计与验证[J]. 农机化研究, 2022, 44(02): 15-22.

朱姜蓬. 农用多光谱低空遥感多旋翼无人机系统开发及作物长势监测应用研究[D]. 浙江大学, 2023.

Li Y, Cao GQ, Chen C, Liu D. Planning Algorithm for Route and Task Allocation of Plant Protection UAVs in Multiple Operating Areas, Mathematical Problems in Engineering, 2022.

### (5) 无人机航线规划参数设置

**研究目的：**低空飞行可获得较多的水稻纹理特征，但保证其正常成功拼接条件下，重叠率的设置是主要的问题。现有对于低空无人机

飞行的重叠率没有相关研究参考。研究低空飞行条件下，无人机航线不同重叠率对后续图像拼接的影响，明确适宜水稻群体表型高通量数据采集的航线规划参数。

**试验设计：**采用大疆经纬 M300 RTK 型号无人机进行可见光图像采集，飞行高度为 15 m，20 m 和 25 m。比较不同飞行高度和不同航/旁向重叠率下后期成像质量和飞行时长差异。田间正摄影像采用大疆 Terra 执行图像拼接。

**试验结果：**如表 5 所示当飞行高度 15 m 和 20 m 时，高重叠率可以满足拼接要求，而低重叠率则无法实现图像拼接，单小区水稻叶片边缘错配现象严重，其中 15 m 时航/旁向重叠率需大于 80%/70%，而 20 m 则需大于 70%/70%，才可以完成拼接。而当飞行高度大于 25 m，在不同重叠率条件下能正常成功拼接(图 6)。在拼接成功的前提下，重叠率越高航线任务飞行时间越长，故在保证获取丰富的纹理特征的同时，综合考虑任务时长，无人机飞行高度 15 m~20 m，航/旁向重叠率不低于 70 %/70 %，无人机飞行高度 10 m~15 m，航/旁向重叠率不低于 70 %/ 80%。

表 5 不同高度和重叠率对图像拼接的影响

高度/m	航向/%	旁向/%	结果	图例
15	65	65	失败	图 4A
15	70	70	失败	图 4B
15	80	70	成功	未展示
20	65	65	失败	图 4C
20	70	70	成功	图 4D
20	75	75	成功	图 4E
20	80	70	成功	图 4F
25	70	70	成功	图 4G
25	75	75	成功	图 4H
25	80	70	成功	未展示



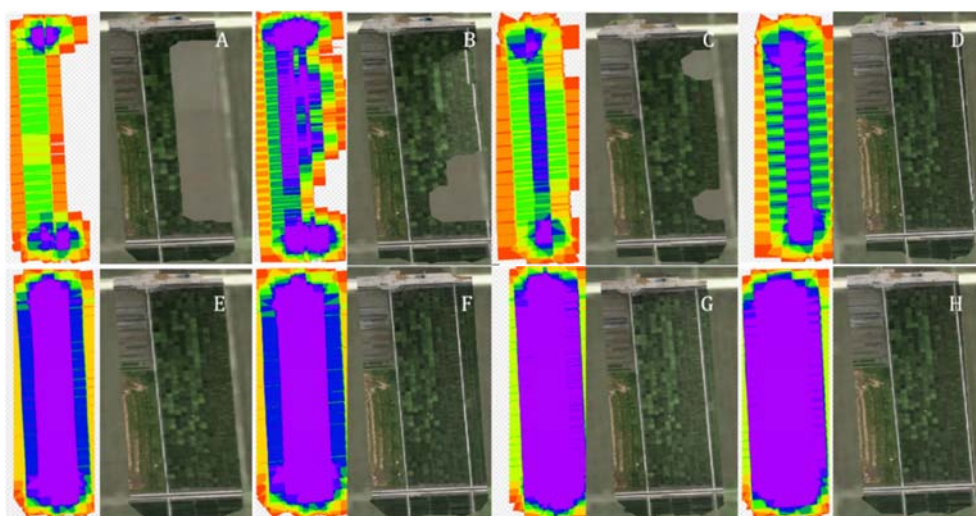


图 6 无人机飞行高度及航向旁向重叠率设置对图像拼接的影响

相关依据来源如下：

- 丁小可. 无人机航测精度提高策略与应用分析[J]. 工程建设与设计, 2024, (17):149-151.
- 赵吉庆, 蔡鹏. 无人机航测精度提升方法研究[J]. 信息记录材料, 2024, 25(02): 8-10.
- 刘一博, 裴杰, 方华军, 刘鹏宇, 刘四义, 邹耀鹏. 利用无人机影像反演水稻 SPAD 值的最优空间窗口确定[J]. 农业工程学报, 2023, 39(19): 165-174.
- 刘建春, 陈思, 文波龙, 刘宏远, 李晓峰. 基于无人机多光谱遥感的水稻株高估测方法[J]. 遥感信息, 2023, 38(03): 61-68.
- Elhadary A, Mostafa R, Essam G, Rasha M, Ahmed T. The Influence of Flight Height and Overlap on UAV Imagery over Featureless Surfaces and Constructing Formulas Predicting the Geometrical Accuracy. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*. 2022, 11 (1): 210-223.
- Zhu W, Rezaei E, Nouri H, Sun Z, Li J, Yu D. UAV flight height impacts on wheat biomass estimation via machine and deep learning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2023, 16, 7471-7485.

## (6) 田间标靶的设置

在使用无人机进行水稻品种的高通量群体表型性状采集时，田间标靶设置是非常重要的步骤，标靶可以作为颜色、尺寸和位置的参考，有助于校正由光照变化、大气条件等因素引起的数据误差。利用标靶的位置信息，可以对无人机所拍摄的图像进行几何校正，以消除倾斜

---

和透视畸变。标靶的使用有助于保障数据的质量和精确度，并为后续数据分析提供了统一的参考点。

标靶应具有清晰的颜色对比度和足够的尺寸稳定性，通常选用具有十字中心特征的棋盘格、彩色条纹或特定图案。根据田间的大小和形状合理布置标靶的数量和位置。通常，在田地的四个角落和中间均匀放置标靶，标靶间距离 10 m~20 m 为宜。在保证不遮挡研究物体的基础上，标靶的尺寸应当足够大，以保证在不同高度和距离下都能被准确识别。在本标准中，综合考虑小区面积和小区间隔比，标靶的边长建议 20 cm~30 cm。此外，标靶材料应防水、防紫外线，能够在户外环境下长时间保持稳定不变形，每个标靶都应有唯一的标识符，以便在后期数据处理时能够匹配相应的位置信息。

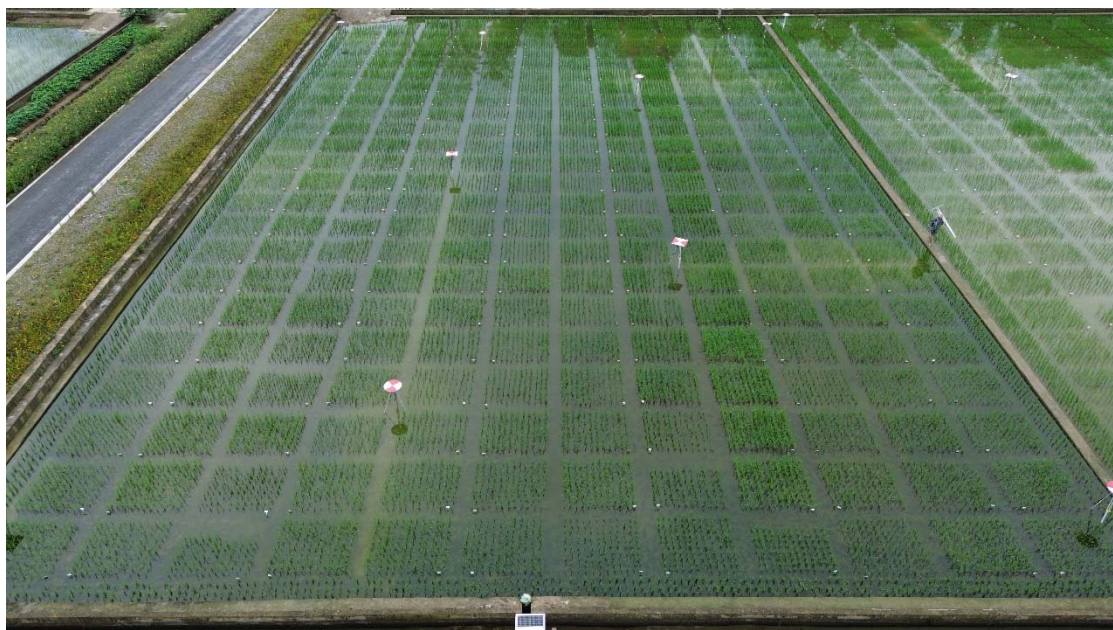


图 7 田间标靶布局

相关参数依据来源如下：

赵吉庆, 蔡鹏. 无人机航测精度提升方法研究[J]. 信息记录材料, 2024, 25(02): 8-10.

刘琦, 何天鹏. 影响无人机航测成图精度的因素分析[J]. 工程技术研究, 2019, 4(19): 100-101.

吴长悦, 赵文. 基于无人机遥感影像精度的影响因素分析[J]. 农业与技术, 2023,

---

43(14): 65-68.

Maimaitijiang M, Sagan V, Sidike P, Hartling S, Esposito F, Fritschi F. B. Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment*. 2020, 237, 111599

### (7) 传感器数据标定与校准

光谱传感器使用不少于 3 块的标准漫反射板进行校正, 使用 10%、40%、70%三个标准反射率进行标定校准 (也可使用同等反射条件的标准布), 将获取的无人机水稻冠层 DN 值转换为真实光谱反射率。辐射定标的公式参照 NY/T 4151 执行。

可见光传感器使用 24 色标准色卡板进行图像色彩校正, 考虑无人机采集的大田影像较大, 24 色卡的尺寸最好  $>1.7\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ , 色卡尺寸  $>239\text{ mm} \times 245\text{ mm}$ 。

相关参数依据来源如下:

严海军, 卓越, 李茂娜, 王云玲, 郭辉, 王晶晶, 丁峰. 基于机器学习和无人机多光谱遥感的苜蓿产量预测[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(11): 64-71.

凌琪涵, 孔发明, 宁强, 魏勇, 柳展, 代明珠, 王洁. 基于无人机多光谱影像的水稻营养监测[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(13): 160-170.

Wang Z, Li H, Wang S, Song L, Chen J. Methodology and Modeling of UAV Push-Broom Hyperspectral BRDF Observation Considering Illumination Correction. *Remote Sensing*. 2024, 16(3): 543.

Suomalainen J, Oliveira R A, Hakala T, Koivumäki N, Markelin L, Näsi R, Honkavaara E. Direct reflectance transformation methodology for drone-based hyperspectral imaging. *Remote Sensing of Environment*. 2021, 266, 112691

Kurihara J, Nagata T, Tomiyama H. Rice Yield Prediction in Different Growth Environments Using Unmanned Aerial Vehicle-Based Hyperspectral Imaging. *Remote Sensing*. 2023, 15, 2004

### (8) 水稻群体图像数据无人机采集试验田块要求

试验田周边环境需同时满足中小型无人机飞行条件、适飞区域与水稻种植要求。无人机飞行的场地安全规范按照“《无人机航摄安全作业基本要求》(CH/Z 3001)”执行; 气候条件: 当地的温湿度应在适宜的范围内, 确保无人机系统正常运作。无人机作业期间处于低风速条件, 以保证无人机稳定飞行。一般风力小于 3 级为宜。当地的

---

降水不宜太频繁，以保障足够的飞行次数。此外，温光水土环境应符合当地水稻种植的适宜条件。

试验田应选择规则田块，形状应为矩形。根据无人机的航线规划（飞行高度、航/旁向重叠率、地面分辨率、飞行速度），传感器水平视场角和日作业有效时间窗口确定试验田大小，即日作业覆盖面积。连续作业情况下，数据采集时间控制在 1.5~2.0 小时以内，以保障数据同质性。

相关参数依据来源如下：

秦占飞, 常庆瑞, 谢宝妮, 申健. 基于无人机高光谱影像的引黄灌区水稻叶片全氮含量估测[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 77-85.

魏永康, 杨天聪, 丁信尧, 高越之, 袁鑫茹, 贺利, 王永华, 段剑钊, 冯伟. 基于不同空间分辨率无人机多光谱遥感影像的小麦倒伏区域识别方法[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(02): 56-67.

### (9) 多品种小区面积与排布

**试验目的：**小区面积设置以降低试验误差为前提，在多品种高通量获取品种群体表型的过程中，应尽量降低边界行误差，确保群体数据的均一性，同时减少总面积、降低筛选成本，因此需要设定适宜小区面积。

**试验设计：**综合不同种植面积的试验（表 1 和图 1），采用大疆 M3M 型号无人机进行多光谱图像采集，飞行高度为 15 m。获取无人机遥感光谱指数信息，将其均匀裁剪若干个区域，计算多重复下水稻群体遥感数据的变异系数（CV 值），比较不同小区种植面积设置对样本光谱遥感信息变异度的影响。

**试验结果：**结果如图 8 所示，随着小区面积的增加，群体冠层光谱数据 CV 值逐渐降低，当小区种植面积大于 1.8~2.2 m<sup>2</sup>时，CV 值趋于稳定，小于 5%。因此，水稻多品种群体表型数据采集，田间标

准种植小区面积需不低于  $2\text{ m}^2$ ；小区长宽和行株距设置参考“《农作物品种试验规范 粮食作物》（NY/T 3923）”，小区内水稻秧苗采用人工手插移栽，每个小区不少于 100 穴，建议行株距  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ ，行、列数根据实际情况动态调整，以保障至少存在 2 行的边际效应；此外，为了后续拼接，品种特征相似/相近的小区避免成片相邻种植并随机安插校准品种。

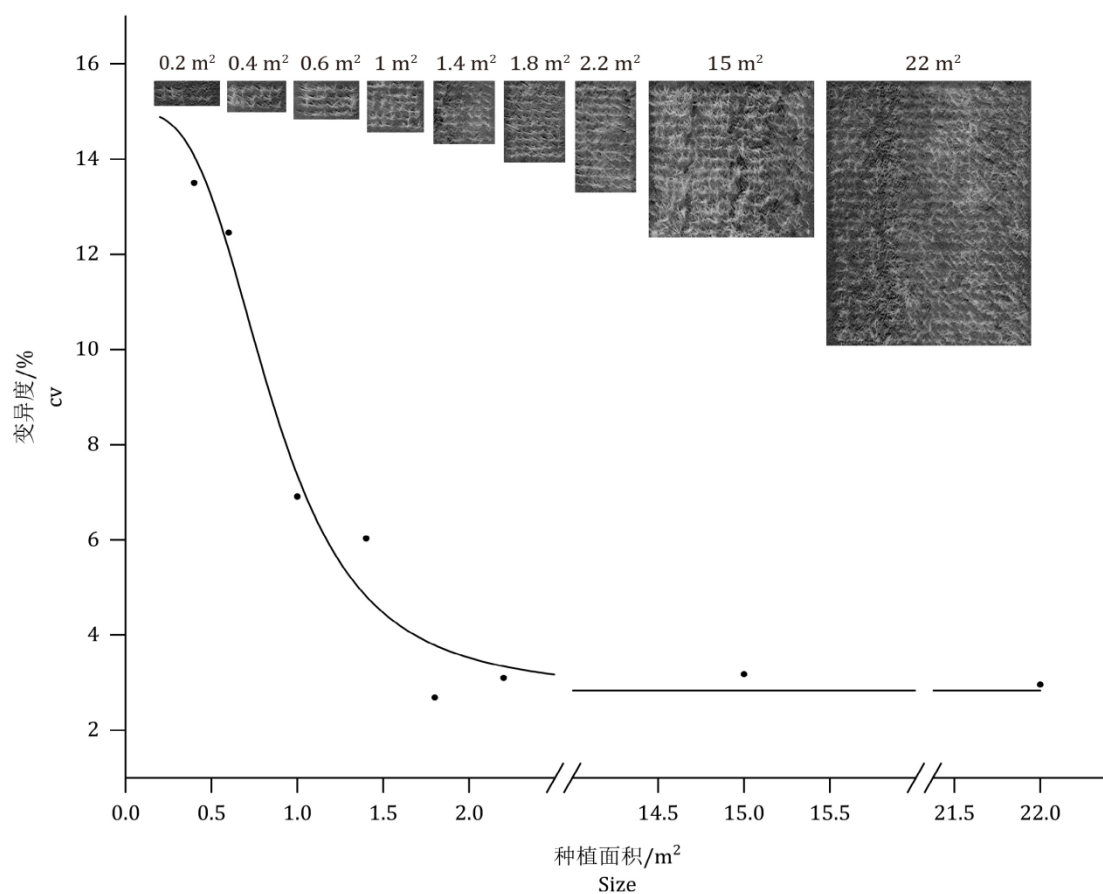


图 8 不同种植面积小区对遥感数据变异度的影响

相关参数依据来源如下：

Gomez KA. Techniques for field experiments with rice. 1972, IRRI, Philippines.

### (10) 小区间隔比的确定

**试验目的：**高通量群体数据采集中小区的识别主要以智能算法，以实现高效数据处理。需要通过小区间隔行的设置，以满足智能识别



算法对小区的高通量识别。

**试验设计：**综合不同种植面积、间隔比的试验（表 1 和图 1），采用大疆 M3M 型号无人机进行多光谱图像采集，飞行高度为 20 m。基于 YOLOv8 开发小区自动识别方法，比较不同间隔比对于多品种小区识别的影响。

**试验结果：**如图 9 所示，对于单一品种，当间隔比为 1 和 1.5 时，无法实现小区的自动识别，而间隔比 2.25 时，能够实现小区自动识别；结合图 10 不同育种筛选圃的数据，当间隔比 $\geq 2$ 的时候，均能够实现多品种小区的自动识别。因此，小区间隔比 $\geq 2$ 时，可作为实现育种多品种小区的快速识别的参数。



图 9 田间标准种植高通量小区快速获取。其中 a, b 分别为间隔比为 1 和 1.5 的近景图；c-d 为间隔比 1, 1.5 和 2.25 的识别效果图。

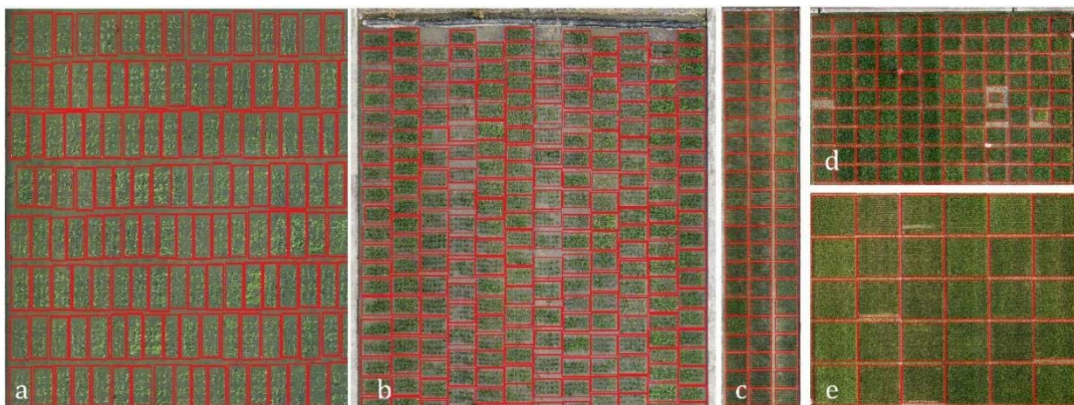


图 10 田间标准种植高通量小区快速获取。其中图 a-e 分别为间隔比为 2、2.3、2、2 和 2 的识别效果图。

---

## (11) 参考品种的设置

参考品种通常是一种已知特性的水稻品种，用于为实验中的其他未知品种提供性能比较的标准。通过对参考品种的重复测量，可以评估整个表型分析系统的稳定性和准确性。参考品种的数据可用于验证模型和算法的有效性。

在水稻品种高通量表型无人机数据采集过程中，需要选择 1 个或多个特性稳定的水稻品种作为参考品种，这些品种应具有代表性和广泛的适应性。同一批次品种表型数据采集过程中，根据供试品种的数量，设置参考品种的重复数，一般按照 1%~5% 的比例，一般 1000 个品种的筛选试验，安排 10~50 个重复；根据试验田块的区组差异参考品种需要种植在特定区组区域，在此基础上还可根据供试品种的区域相似性，穿插种植参考品种以便将相似品种区分开。需定期记录校准品种的生长数据，包括但不限于株高、叶面积、生长期等，测定方法参考“NY/T 4373 面向主粮作物农情遥感监测田间植株样品采集与测量”执行。

相关参数依据来源如下：

- 王继春, 朱峰, 李慧, 王东元, 刘文哲, 田成丽, 吴宪, 刘晓梅. 辅助基因型和表型鉴定改善品种对稻瘟病抗性[J]. 分子植物育种, 2020, 18(20): 6762-6768.
- Piepho H P, Möhring J, Melchinger A E. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 2008, 161, 209-228.
- Jensen A L. Building a web-based information system for variety selection in field crops—objectives and results. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2001, 32(3), 195-211.

## (12) 大田管理要求

无人机多品种表型高通量数据采集的常规大田管理措施（育秧移栽、肥料运筹、灌溉、杂草和病虫害等）参考“NY/T 3923 农作物品

---

种试验与信息化技术规程-水稻”执行。在此基础上，根据无人机数据采集需求做特殊规定。

封行前田间灌溉，以“沟里有水，沟面湿润”为准，缩短满灌时间，避免高光镜面反射，影响无人机数据采集；

无人机图像采集要求全生育期不可搭建覆盖式防鸟网。田间抽穗后，可采用垂直防鸟网、化学气味驱鸟、声波驱鸟、反光带等综合鸟害防治手段。

相关参数依据来源如下：

张卫建, 张俊, 张会民. 稻田土壤培肥与丰产增效耕作理论和技术. 北京: 科学出版社, 2021.

王飞, 彭少兵. 水稻绿色高产栽培技术研究进展[J]. 生命科学, 2018, 30(10): 1129-1136.

凌启鸿, 张洪程, 蔡建中, 苏祖芳, 凌励. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨[J]. 中国农业科学, 1993, (06): 1-11.

朱德峰, 林贤青, 陶龙兴, 张玉屏, 郑家国, 吕世华, 马均. 水稻强化栽培体系的形成与发展[J]. 中国稻米, 2003, (02): 17-18.

### 3 修订前后技术内容的对比

无

### 三、试验验证报告，技术经济论证，预期经济效果

根据标准功能类型不同有选择性地阐述对重要指标/重要试验步骤的试验验证分析情况，其中，产品标准、方法标准应阐述“试验验证报告”情况；基础类标准，如术语、图形符号标准，不需要试验验证。

除此之外，还需要阐述标准的技术经济论证及预期的经济效果。

#### （一）对重要指标/重要试验步骤的适用性验证分析、综述报告

对标准中重要的技术指标或试验步骤需要阐述其适用性验证分析情况；对于复杂的试验验证过程，需提供综述报告，一般以附件形



---

式表述。具体试验验证分析情况包括但不限于以下内容：

## 1. 基于无人机的水稻群体表型数据采集规范的适用性验证分析

### 1.1 试验设计

**大田种植：**2023 年在浙江富阳（550 个种质资源评估）、浙江嘉兴平湖（120 个区域适宜品种筛选）选择 1 块面积 6 亩左右的稻田。浙江富阳，种质资源评估于 5 月中下旬播种育秧，6 月中旬人工移栽，行株距 20 cm × 20 cm，单本插，小区面积 2.6 m<sup>2</sup>，间隔比 2。同年，区域适宜品种筛选在浙江嘉兴平湖开展，以高产优质的 120 个推荐品种为材料，筛选适宜苏南浙北生态区的品种。

**无人机数据采集设置：**基于大疆四旋翼 M3M 无人机开展水稻多品种群体多光谱信息和性状反演，飞行时间为早上 9：30~11：00，飞行高度为 15 m，航/旁重叠率 70%和 80%。从移栽返青期开始采集数据，全生育期采集 14 次。使用反射率为 30%，50%和 75%的反射板进行多光谱数据辐射校正。

**田间栽培管理：**田间管理在常规栽培管理的基础上，按照多品种表型无人机采集需求操作。具体如下：大田翻耕整地，匀浆摊平。于 5 月中下旬播种育秧，6 月中旬人工移栽。肥料施用按照纯氮 12kg/亩的标准，基蘖比例 5：3，不施用穗肥（多品种始穗期差异很大）。氮-磷-钾比例按照 1：0.5：0.8 的比例施用，其中磷肥全部基施，钾肥按照基蘖比 5：5 施用。水分管理按照当地高产栽培管理，略作修改，封行前田间灌溉，以“沟里有水，沟面湿润”为准，缩短满灌时间，避免高光镜面反射，影响无人机数据采集。无人机图像采集要求全生育期不可搭建覆盖式防鸟网。田间抽穗后，可采用垂直防鸟网、化学气味驱鸟、声波驱鸟、反光带等综合鸟害防治手段。其他管理措施，如病虫草害防治同当地高产管理模式。

**数据统计与分析：**基于 YOLOv8 目标监测算法并结合了 SAHI 的大图推理技术，实现了多育种小区的快速定位、匹配与识别。在单小区识别的基础上，提取 DSM、多光谱指数并计算植被指数 NDVI 等，评估小区识别效果、小区内数据变异性等。

## 1.2. 试验结果

### (1) 种质资源评估

如图 11 所示，基于 YOLOv8 目标监测算法并结合了 SAHI 的大图推理技术，可实现 550 个育种小区的快速粗识别，经过人工校验和必要的修正，即可实现育种小区快速精准的识别。种质资源评估场景下 550 个试验小区，为了评估试验小区内数据均衡性，基于随机切片原则，小区内部重复取样计算 NDVI 变异度 (CV) 值 0.83%~7.8%，均值 3.02%，其中 86.3% 以上小区的 CV 值低于 5%，这表明现有的方法在有效识别小区的基础上，能够保证群体数据质量。

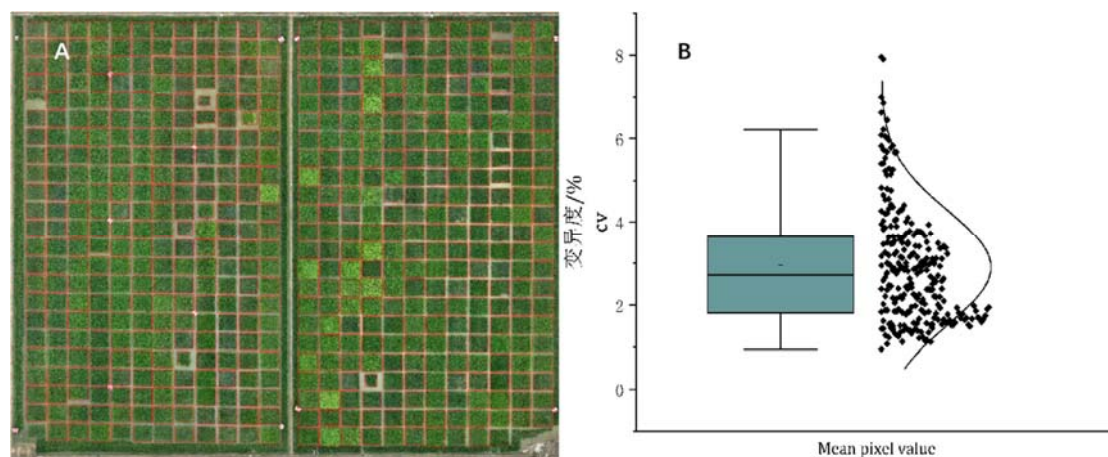


图 11 种质资源评估试验小区识别效果和小区数据变异度

基于获得 DSM、多光谱和 NDVI 数据，展示水稻基础的表型特性，如图 12 所示。通过无人机监测得到的 NDVI（归一化植被指数）在 550 个品种间表现出明显的差异（图 12a），这种差异在各个生育阶段均有所体现（图 12c）。随着水稻生育过程的推进，NDVI 逐渐上

升，反映了水稻生长的旺盛状态；达到某一阶段后，NDVI 值开始下降，显示水稻生长逐渐趋于稳定。基于 DSM 估算水稻株高(图 12b)，同一时间点，550 个品种株高差异显著。株高差异在不同时期也有显著差异(图 12d)。随着生育期的推进，株高逐渐增加，到移栽后 40~50 天后，株高增长速度逐渐放缓，最终趋于稳定，水稻在生长后期进入了成熟阶段。这些基础表型的变化规律与水稻生长发育特性相吻合。结果表明，无人机采集的田间群体表型性状能够有效监测大量品种在生育周期中的生长特征差异，为种质资源评估提供了重要参考。

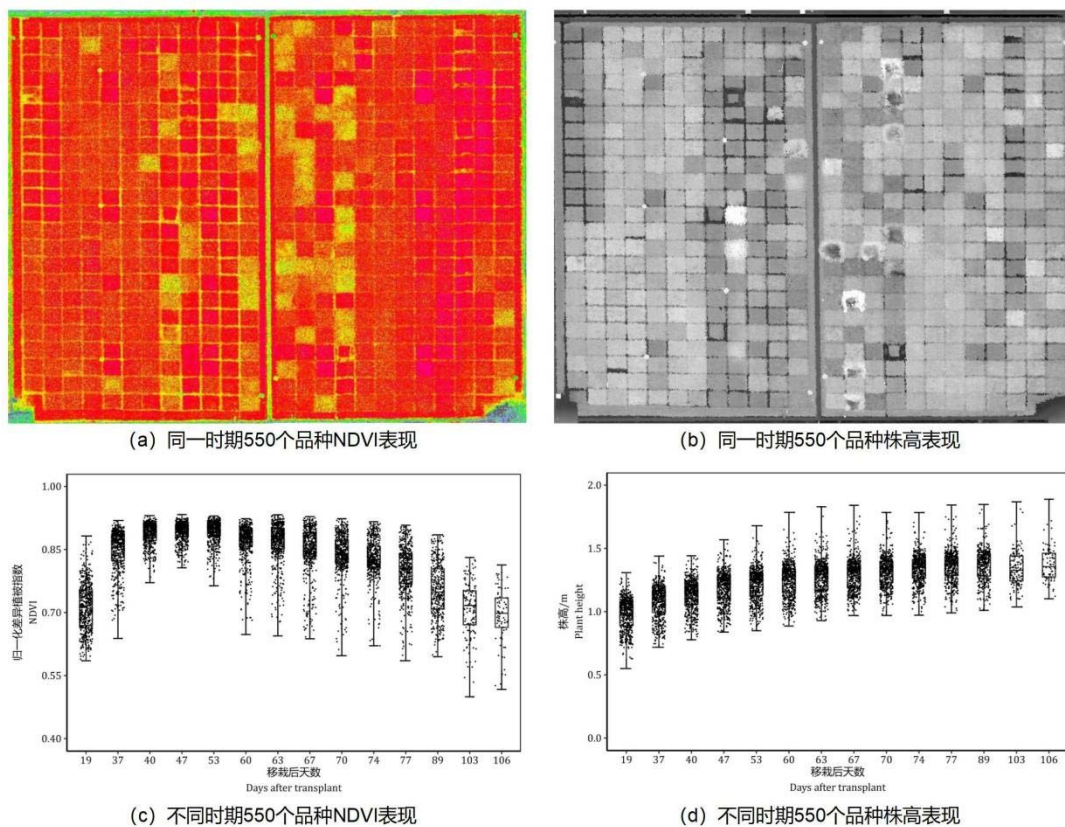


图 12 种质资源评估多品种（550 个）NDVI 和株高的表现

## (2) 区域品种筛选

同上，基于 YOLOv8 目标监测算法并结合了 SAHI 的大图推理，可实现 120 个品种筛选小区的快速识别，由于小区面积较大，小区识别精度较高，基本无需人工校验和修正，此外，由于秧苗不足导致的

不规则田块，也可以实现高效精准的识别和定位（图 13A）。由此可见，本方法在面积稍大的区域品种筛选中效果更好。此外，小区内数据变异度（CV）值在 0.76%~3.04% 内，均值 1.72%，其中所有小区的 CV 值均低于 5%，相对于种质资源评估，其群体数据更好（图 13B）。这表明现有的方法在有效识别小区的基础上，能够保证群体品种筛选的数据质量。

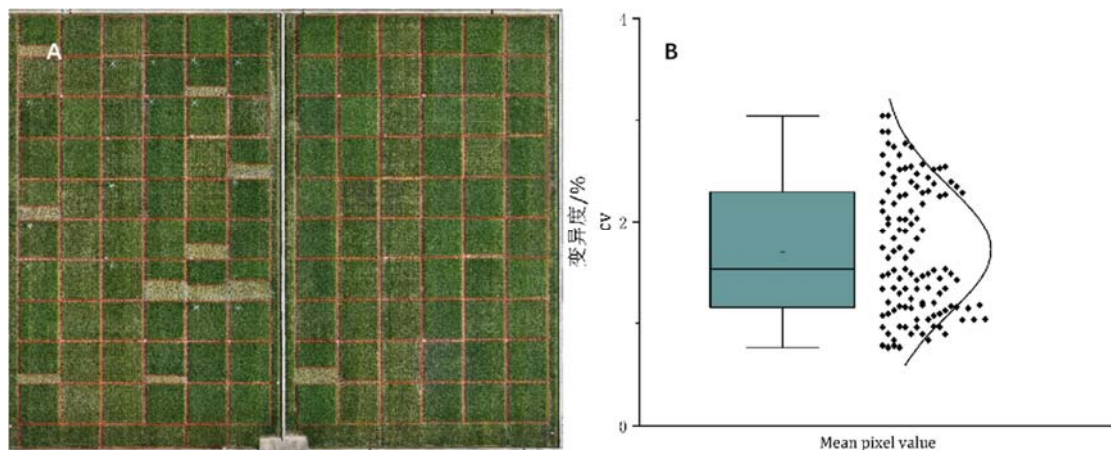


图 13 区域适应性品种筛选试验小区裁剪效果

无人机能够有效获取 120 个品种的 NDVI 和株高数据（图 14a, b），并展示了不同时期 120 个品种之间的差异。NDVI 值随着生育期的变化呈现先增后降的趋势，而株高则表现出先增加后趋于平稳的趋势（图 14c, d），这些现象都符合水稻的生长规律。这些观察结果表明，无人机在监测不同品种的生育周期特征方面具有较高的有效性，为品种筛选提供了宝贵的参考数据。



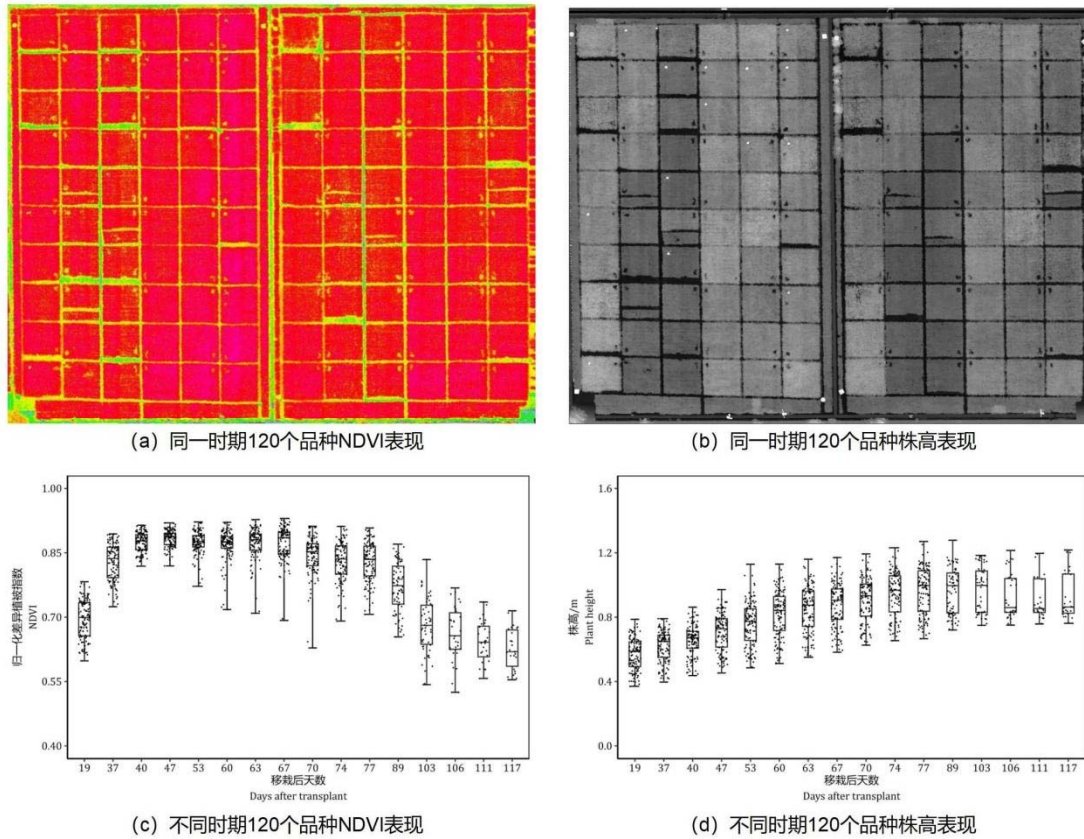


图 14 区域适应性品种（120 个）筛选 NDVI 和株高的表现

## （二）经济合理性论证和预期效果

### 1. 经济合理性论证

基于调查研究、计量统计、试验检测等进行技术经济论证，阐述经济上是否合理。

无人机表型高通量数据采集，在水稻育种和应用品种筛选领域的应用，虽然初始阶段涉及较高的投资成本，包括无人机的购置、软件配置、维护、操作人员培训以及数据的存储和处理等费用，但伴随着无人机技术的商业化进程，这些成本有望随着规模效应和技术成熟而逐步降低。该技术的核心优势在于其高效和高频的数据采集能力，能够在降低水稻育种和品种筛选过程中的人工成本的同时，大幅提升数据的精度，实现成本节约和效率提升的双重效果。通过无人机采集的

---

高精度表型数据，育种家能够迅速识别和筛选具有理想性状的品种，从而缩短育种周期，加快新品种的选育和推广。此外，减少对人工的依赖也意味着降低了因主观判断导致的数据误差，提高了研究的客观性和可靠性。因此，尽管初期投资较大，但从经济合理性的角度来看，无人机表型高通量数据采集，无疑是一项具有前瞻性和高性价比的投资。

## 2. 预期达到的经济效果

在当前的水稻育种及品种推广行业中，传统方法所面临的局限性愈发明显，主要体现在高成本、低效率和漫长的育种周期等方面。本标准旨在通过引入无人机表型高通量数据采集技术，对产业流程进行优化，从而提升效率、降低成本，并促进产业化的进程。

### （1）产业化情况：

本标准的实施能够显著降低水稻品种选育和推广的成本，如，无人机操作的人工成本计算为每周 2 次，全生育期 4~5 个月，0.5 工/次，200 元/工，全季成本在 3000~4000 元，与传统方法相比，人工成本大幅降低。此外，标准化的无人机数据采集流程优化了数据收集方式，提高了作业效率，使得在较短时间内能够覆盖更广泛的区域，并实现全生育周期内的高频次数据采集，无需像传统方法那样频繁投入人力资源。标准化确保了数据采集的一致性和准确性，降低了因人为因素导致的误差。这增强了育种决策的科学性，以此为基础，育种专家和推广人员能够更快地获取和分析数据，从而加速品种筛选和决策过程，增加了育种成功率，从而提升了产品质量和市场竞争力。这不仅缩短了育种周期，也加速了资金的回笼周期，提高了资金的使用效率。标准的制定有助于技术的接口、互换和兼容，为水稻育种和品种推广构建了统一的技术平台。这促进了不同技术间的集成，推动了

---

产业化的进程。

## （2）推广应用论证：

本标准对利用无人机技术进行高通量数据采集的过程进行了规范化，显著减少了人工劳动和时间成本，从而提高了育种效率。本标准的实施将进一步优化操作流程，减少因操作不当导致的额外成本，并确保无人机采集的数据在不同设备和条件下的一致性和可比性，从而提高数据分析的准确性。同时，标准化的无人机操作减少了能源和材料的浪费，优化了资源配置，进而提高了资源利用效率。

本标准为新技术的应用提供了清晰的指导和预期效果，鼓励企业和研究机构投入研发，推动了技术创新和行业进步。统一的标准促进了行业内的信息共享和技术交流，加强了育种企业、科研机构和政府部门之间的合作。以此为基础，标准化流程加快了新品种的选育和推广速度，育种企业能够更快地推出新品种，满足市场需求，增强了产品的市场竞争力和企业的盈利能力，农民能够更快地采用高产、优质的水稻品种，提高了农业生产的整体效益。

## **四、与国际国外同类标准的比对情况**

本标准紧密结合我国农业信息化理论与实践，未开展与国际、国外同类标准的技术对比。

## **五、引用、采用或参考国际国外标准情况**

本标准为自主研发，不涉及采用国际或国外标准的情况，且不涉及引用、参考国际国外标准情况。

## **六、与现行法律法规、强制性标准、相关标准的关系**

### （一）与现行法律法规的协调性

本标准不存在与有关现行法律法规的冲突或矛盾。

### （二）与强制性标准的协调性

---

本标准不存在与强制性国家标准的冲突或矛盾。

### **(三) 与相关标准的协调性**

本标准在编制过程中参考或引用过《摄影测量与遥感术语》(GB/T 14950)、《低空数字航摄与数据处理规范》(GB/T 39612)、《无人机航摄安全作业基本要求》(CH/Z 3001)、《低空数字航空摄影规范》(CH/Z 3005)、《农作物品种试验规范 粮食作物》(NY/T 3923)、《农业遥感监测无人机影像预处理技术规范》(NY/T 4151),并结合水稻群体表型信息采集的实际情况以及栽培管理应用需求进行编制,在编制过程中充分考虑了与现行相关标准之间在技术指标方面的一致性或协调性。在术语定义方面,尽可能的引用已有信息分类的表述。在具体的要求和规范方面,对于已有相关标准规定的内容,均规定按已有的相关标准执行。

## **七、重大分歧意见的处理经过和依据**

在标准项目的立项阶段,原定题目为“水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规程”。预期目的是基于无人机高通量采集水稻多品种的图像数据,核心内容是通过标准化无人机飞行和大田水稻种植,真正意义上实现水稻育种的无人机表型采集。因此,在标准初期调查和立项时,采用了“规程”的标准功能类型。然而,在经过深入调研、广泛的专家意见征询后,为了提高本标准的科学性、合理性和可操作性,使其更符合实际应用需求,将标准初稿形成时题目调整为“水稻群体高通量图像数据的无人机采集技术规范”。

### **主要变更原因和依据:**

随着无人机技术的迅速发展和水稻育种对高通量表型数据的迫切需求,无人机采集水稻品种群体高通量表型数据已成为重要的技术



---

手段。在标准研究和编制的过程中，编制团队发现，从标准的通用性、适用性、可操作性，后续标准的市场化需求，以及标准本身的发展趋势等方面，以规程的形式标准化无人机采集和大田种植操作步骤，难以实现育种领域利用无人机高通量采集水稻品种群体图像数据的需求，其主要问题：（1）应用推广难度增加：无人机技术发展迅速，操作流程不断更新换代。同时，品种更新换代快，现有的种植技术可能无法满足新品种种植需求，在此条件下，规程可能需要频繁更新，以适应技术变革。（2）结构过于繁琐：原有规程标准结构复杂，虽操作步骤详尽，但缺乏对技术指标和规范的要求，难以适应不同用户的需求。（3）内容不够全面：原有规程标准主要关注操作流程，对关键环节的质量控制、田间规范种植、无人机选择等方面缺乏明确规定，难以满足精准度和可操作性的规范，特别是在多品种高通量图像数据采集场景。

将水稻品种群体高通量表型数据无人机采集标准功能类型由“规程”变更为“技术规范”则能：（1）确保标准的稳定性。技术规范能够为无人机数据采集提供持续的指导，即便在技术更新迭代时，也能维持其核心内容和基本要求。而规程则需随无人机技术发展而频繁修订，这会增加标准执行的复杂性。（2）精简标准内容，减少冗余信息，便于标准的更新与维护，增强用户的操作性。例如，新标准不再详述操作步骤如播种量、施肥方案等，而是聚焦于技术指标和规范，如无人机飞行高度、航向和旁向重叠率的具体标准，这些均基于实验数据和实践经验，确保数据采集的高效性与准确性。（3）提升标准的通用性与适用性，满足不同用户需求，扩展应用范围，适应水稻育种行业的多样化需求。例如，标准将涵盖无人机机型、机载传感器要求、日作业有效时间窗口等关键指标。操作流程可根据具体情况灵活

---

调整，适用于不同地区、品种和规模的水稻种植。精简后的标准不仅适用于水稻，也可推广至其他作物的种植规范。（4）提升数据采集的精确度与质量，推动标准向数字化转型，有效适应市场化产品的需求。（5）顺应标准发展趋势，从“如何操作”转向“达到何种标准”，与国际标准接轨，提升标准的国际层次。将规程转变为技术规范，有助于加强国际交流与合作。

### **主要变更内容：**

（1）文件结构和内容的完善：规范的标准文本结构更加完整，对无人机飞行前检查、育种品种大田常规管理、遥感数据处理检查评估等内容进行了简化，使重点内容更加突出；同时，增加了主要技术流程，全面覆盖无人机高通量数据采集的各个关键环节，增强了标准的指导性和实用性。

（2）技术要求的细化：技术要求更为具体，更贴近实际操作需求。例如，标准中明确了无人机航线规划参数、日作业面积和作业时间窗口等要求，确保无人机能够稳定飞行并采集高质量数据。

（3）田间规划措施的调整：试验设计规划措施更加细化，充分考虑环境因素和作物特性，以确保数据采集的准确性和可靠性。例如，标准中对小区的面积、形状、排列方式等提出了具体要求，以提高数据采集的效率和准确性。

（4）数据采集和质量控制的增强：增强了数据采集流程、传感器校准和图像质量控制的具体要求，以保障数据质量和可靠性。例如，标准中详细规定了标准反射板和标准色卡板的参数，确保数据的准确性。

---

(5) 规范性引用文件的更新：更新了引用的标准，确保标准的时效性和相关性。例如，引用 GB/T 39612、GB/T 14950、CH/Z 3001 等最新标准，确保标准的先进性和适用性。

(6) 附录和图表的增加：提供了直观的指导，帮助用户更好地理解 and 执行标准。例如，增加了小区间隔比示意图、田间辅助设备的要求等图表和附录，直观展示了无人机数据采集的操作流程和注意事项。

## **八、涉及专利的有关说明**

本标准不涉及相关专利。

## **九、贯彻实施标准的建议**

本标准的推广对象主要以种业公司、科研单位、农技推广部门、农业企业/合作社、大型农户等有品种筛选需求的单位和个人。其需求定位是全面高效地了解水稻田间长势，加速品种筛选效率，提高育种效率和品种推介的针对性。

在标准实施过程中，建议 1) 制定详细的操作手册和最佳实践指南，确保相关操作流程和数据采集技术简单易学；2) 开展专项培训与教育，开展无人机大田种植规范、数据采集方法的培训，提升相关人员的专业技能；3) 建立技术问题快速反馈通道，使技术人员能够及时报告在操作过程中遇到的问题；3) 成立科研与推广的协作组，制定实施与推广计划，并建立热线或在线咨询服务，由专业技术人员解答操作和数据处理中的技术问题；4) 与商业公司合作，开展专用无人机研发，确保操作规范和数据采集的准确性；5) 建立技术文档和案例库，定期对技术措施进行评估，根据反馈和技术发展进行必要的修订和更新。

---

鉴于无人机采集水稻群体图像数据已有大量应用，但缺乏统一的标准，建议发布即实施。

## **十、其他说明**

无