

ICS

65.020.01

CCS

B 21

NY

中华人民共和国农业行业标准

NY/T XXXXX—2026

无人机低空遥感水稻育种表型检测 技术规范

Technical specification for crop phenotyping in rice breeding with
unmanned aerial vehicle low-altitude remote sensing

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中华人民共和国农业农村部 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 无人机低空遥感 unmanned aerial vehicle low-altitude remote sensing	1
3.2 航线规划 route planning	1
3.3 无人机多源图谱数据 unmanned aerial vehicle image and spectral data	1
3.4 分离群体 segregating population	1
3.5 稳定群体 uniform population	2
3.6 株系 breeding line	2
3.7 品系 elite line	2
4 水稻育种材料种植要求	2
4.1 分离群体	2
4.2 稳定群体	2
4.3 品比试验	2
5 无人机设备要求	2
5.1 无人机性能要求	2
5.2 表型采集环境要求	2
6 无人机遥感配套设备要求	3
6.1 通则	3
6.2 机载传感器说明	3
6.3 辅助设备要求	3
7 数据采集要求	5
7.1 航线规划基本要求	5
7.2 数据采集频率基本需求	5
7.3 无人机飞行检查要求	5
8 遥感数据预处理方法	5
8.1 试验准备	5
8.2 渐晕校正	5
8.3 几何校正	6
8.4 图像拼接	6
8.5 颜色校正	6
8.6 辐射校正	6
8.7 小区分割	6
9 表型解析方法	6
9.1 株高测量（结构表型参数）	6
9.2 生长速率解析（生理表型参数）	6
9.3 叶绿素含量解析（生化表型参数）	6

9.4 产量预测（综合性表型参数）	6
10 表型解析评价指标.....	7
10.1 概述.....	7
10.2 回归分析.....	7
10.3 图像分类/目标检测/图像分割.....	7
11 表型数据的应用建议.....	7
附录 A (资料性) 水稻表型指标说明	8
A.1 株高.....	8
A.2 叶色.....	8
A.3 整株熟相.....	8
A.4 叶面积指数.....	8
A.5 叶倾角.....	8
A.6 分蘖数.....	8
A.7 有效穗数.....	8
A.8 穗部形状.....	8
A.9 粒粒结实率.....	8
A.10 叶片叶绿素含量.....	8
A.11 叶片含水率.....	8
A.12 叶片氮含量.....	9
A.13 粒粒氮含量.....	9
A.14 生物量.....	9
A.15 产量.....	9
A.16 倒伏率.....	9
A.17 病虫害程度.....	9
附录 B (资料性) 表型解析评价指标说明	10
B.1 回归分析.....	10
附录 C (资料性) 无人机作业设备检查单	13
附录 D (资料性) 遥感数据预处理及表型解析方法说明	14
D.1 遥感数据预处理方法.....	14
D.1.1 倾变校正.....	14
D.1.2 几何校正.....	14
D.1.3 辐射校正.....	14
D.2 表型解析方法.....	14

前　　言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由农业农村部市场与信息化司提出。

本文件由农业农村部数据标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：浙江大学、嘉兴市农业科学研究院、英国国立农业植物研究所、袁隆平农业高科技术股份有限公司、南京农业大学、北京市农林科学院信息技术研究中心、浙江大华技术股份有限公司

本文件主要起草人：岑海燕、舒庆尧、周济、富昊伟、姚霞、方慧、杨贵军、谭瑗瑗、胡小淳、陆旭琦、沈煜韬、郭子越、邵逸文、杨鑫、郑恒彪、闫成功、罗斌。

无人机低空遥感水稻育种表型检测技术规范

1 范围

本文件规定了无人机低空遥感水稻育种表型检测技术规范的术语、要求、方法等。

本文件适用于无人机低空遥感水稻育种表型检测。

2 规范性引用文件

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 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 41450 无人机低空遥感监测的多传感器一致性检测技术规范

GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范

GB/T 19557.7 植物品种特异性（可区别性）、一致性和稳定性测试指南 水稻

NY/T 3526 农情监测遥感数据预处理技术规范

NY/T 4370 农业遥感术语 种植业

3 术语和定义

GB/T14950、GB/T41450、GB/T39612和GB/T19557.7界定的以及下列术语和定义适用于本文件，水稻表型指标术语说明参见附录A。

3.1 无人机低空遥感 *unmanned aerial vehicle low-altitude remote sensing*

通常使用多旋翼无人机搭载传感器于适飞空域收集目标的电磁波信息，经处理、分析后，识别目标物、揭示其几何、物理特征和相互关系及其变化规律的现代科学技术。

3.2 航线规划 *route planning*

根据任务需求和航飞区域特点，结合传感器特性及作业要求，规划无人机的飞行路线、飞行高度和飞行速度等。

3.3 无人机多源图谱数据 *unmanned aerial vehicle image and spectral data*

通过低空无人机飞行平台搭载的传感器获取的二维图像、三维光谱图像和三维点云数据。根据机载传感器可采集的波长范围（一般为350 nm～2500 nm），可分为RGB图像、多光谱图像、高光谱图像，还包括通过主动发射特定波段的激光点云数据。

3.4 分离群体 *segregating population*

通常是植株基因型和表现型均存在差异的育种低世代群体。

3.5 稳定群体 uniform population

植株间基因型和表现型均一致的群体，包括育种高世代群体以及植物新品种或杂交组合。

3.6 株系 breeding line

通常是一个单株收获的种子种植得到的分离群体或稳定群体。

3.7 品系 elite line

通常是农艺性状已相对稳定的高世代群体。

4 水稻育种材料种植要求

4.1 分离群体

通常根据育种材料的世代确定种植群体的大小，F2代群体一般种植不少于1000株；F3及其它分离世代群体按株系种植，每个株系种植数量一般不少于36株；株行距因材料特性有差异，通常株距为13 cm～26 cm，行距为13 cm～26 cm。

4.2 稳定群体

高世代基本稳定群体按株系种植时，种植面积通常为1 m²，种植数量不少于36株；小区评价时一般种植面积不小于13.3 m²，大区评价时一般种植面积不小于66.7 m²。

4.3 品比试验

一般按照随机区组排列，每品系小区进行三次重复，每个小区种植面积不小于13.3 m²。株行距通常可根据品种特性设定。

5 无人机设备要求

5.1 无人机性能要求

无人机性能应满足以下要求：

- a) 有效载荷需大于所使用机载传感器设备的重量；
- b) 续航时间≥15 min；
- c) 具有可用于挂载传感器设备且具有横滚、俯仰、偏航三轴稳定效果的云台扩展模块，倾斜角平穩度、俯仰角平穩度、偏航角平穩度的误差≤3°；
- d) 可抵御4级风力；
- e) 具备自主避障功能；
- f) 宜采用具备GNSS-RTK定位技术的无人机，水平定位精度≤3 cm，垂直定位精度≤5 cm。

5.2 表型采集环境要求

无人机遥感平台采集表型时对使用环境的要求如下：

- a) 温度：10℃～50℃；
- b) 风速：0 m/s～8.0 m/s；
- c) 相对湿度：0%～95%；
- d) 能见度：≥120 m；

- e) 光合光子通量密度: $400 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \sim 2200 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

6 无人机遥感配套设备要求

6.1 通则

无人机遥感配套设备由机载传感器设备和辅助设备组成。机载传感器设备应包括RGB成像传感器、多光谱成像传感器、高光谱成像传感器、激光雷达传感器等；辅助设备应包括光合有效辐射计、辐射定标板、颜色校正板、像控点等保证无人机遥感设备正常工作的设备和部件。

6.2 机载传感器说明

6.2.1 RGB 成像传感器

RGB成像传感器主要性能指标要求如下:

- a) 相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远；
- b) 有效成像尺寸应不低于1/2英寸；
- c) 图像分辨率应不小于1000万像素；
- d) 最高快门速度应优于1/500 s。

6.2.2 多光谱成像传感器

多光谱成像传感器主要性能指标要求如下:

- a) 相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远；
- b) 光谱波段数应大于等于3个，且至少有1个非可见光的波段；
- c) 成像帧率应不低于1张每秒；
- d) 图像地面分辨率应不低于10 cm/pixel（于作业高度）。

6.2.3 高光谱成像传感器

高光谱成像传感器主要性能指标要求如下:

- a) 相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远；
- b) 波段范围一般在可见光、近红外、短波红外的波段范围；
- c) 图像地面分辨率应不低于10 cm/pixel（于作业高度）。

6.2.4 激光雷达传感器

激光雷达传感器主要性能指标要求如下:

- a) 扫描线数一般不少于16；
- b) 测距精度不小于3 cm；
- c) 扫描频率不低于5 Hz。

6.3 辅助设备要求

6.3.1 光合有效辐射计

光合有效辐射计主要功能和性能指标要求如下:

- a) 测量400 nm~700 nm波段范围植被进行光合作用的太阳辐射光通量（一般用光合光子通量密度衡量，单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ），用于机载传感器曝光参数设定；
- b) 测量视角为180°；
- c) 响应时间小于1 ms。

6.3.2 辐射定标板

辐射定标板主要功能和性能指标要求如下:

- a) 将多光谱、高光谱机载传感器获取的原始像元亮度值（digital number, DN）定标为地物的光

谱反射率;

- b) 表面遵循朗伯定律;
- c) 至少应使用 1 块辐射定标板, 确保与地物目标相互不造成遮挡或阴影;
- d) 反射性能稳定, 在波长范围内随波长变化不超过 5%;
- e) 辐射定标板应水平放置, 与水平面夹角不超过 2°。

6.3.3 颜色校正板

颜色校正板主要功能和性能指标要求如下:

- a) 通过包含标准颜色信息的标准色卡 (如图 1 所示) 对获取的 RGB 图像进行颜色校正, 以确保图像颜色信息的准确性;
- b) 至少应使用 1 块颜色校正板, 确保与地物目标相互不造成遮挡或阴影;
- c) 颜色校正板应水平放置, 与水平面夹角不超过 2°。



图1 颜色校正板

6.3.4 像控点

像控点示例及田间布设图如图 2 所示, 其主要功能和布设要求如下:

- a) 通过测量像控点的精准 RTK 坐标, 对图像进行几何校正和地理坐标定位, 获得真实坐标信息, 保证多次图像数据集的空间一致性;
- b) 像控点一般按航线全区统一均匀布设, 选点应选择固定、平整、清晰易识别、无阴影、无遮挡区域;
- c) 像控点的布置方法和密度需根据传感器像素、飞行高度、育种田地形及面积等综合确定。对于地形平坦、形状规则的育种田, 每公顷像控点的布置密度一般不低于 5 个。

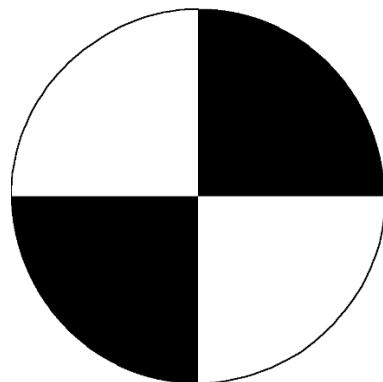
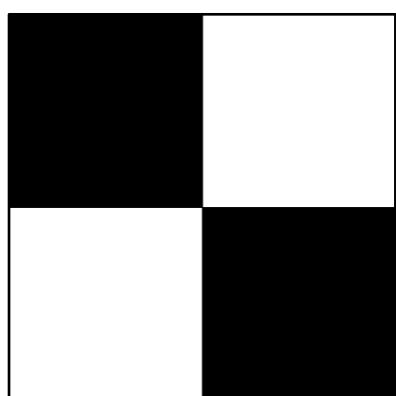




图2 像控点示例及田间布设图

7 数据采集要求

7.1 航线规划基本要求

航线规划基本要求如下：

- 根据任务需求，设定合适的机载传感器参数，如传感器尺寸、像素尺寸、最小拍照间隔等；
- 合理规划航线和飞行高度，确保能覆盖完整目标田块；
- 设置航向/旁向重叠度，为保证图像拼接质量，重叠度应设置在 60%以上；
- 检查航线作业区域，避免地面高压线、无线电等设施和空中的禁飞区等干扰源，确保无人机飞行安全。

7.2 数据采集频率基本需求

对于数据采集频率基本需求如下：

- 于分蘖期、拔节期、灌浆期、成熟期时，每两周至少进行一次采集；
- 于孕穗期、始穗期、齐穗期时，每周至少进行一次采集；
- 上述数据采集频率需求主要针对有明显生育期划分的稳定群体。分离群体的数据采集频率需求需根据品种特性和具体场景综合确定。

7.3 无人机飞行检查要求

每个飞行架次上电前后均应对无人机、传感器及其他设备进行相关检查，详见附录C。

8 遥感数据预处理方法

8.1 试验准备

首先采集一组已知几何参数的标定物数据以标定机载传感器参数，然后利用标定得到的参数拟合畸变模型，最后应用畸变模型以校正原图像。一般镜头畸变可分为径向畸变和切向畸变，示例校正公式参见附录D.1.1。

8.2 渐晕校正

首先选择合适的函数来拟合图像中灰度值的变化，然后构建一种可以解释渐晕图像灰度变化的渐晕模型，最后根据这一模型来得到各像素点的校正因子以校正原图像。

8.3 几何校正

首先在图像上选择已知地理坐标的像控点，根据选定的地面像控点建立几何变换模型，最后应用几何变换模型对图像进行几何变换，生成带有精确地理坐标的图像。示例多项式校正方法参见附录D.1.2。

8.4 图像拼接

通过图像拼接软件自动检测特征点，匹配到的特征点用于计算图像之间的变换关系以实现图像配准，然后通过混合、渐变融合等方法处理图像的重叠区域以确保图像之间的过渡自然，最后融合图像，生成高精度的正射影像。

8.5 颜色校正

每拍摄一组照片之前，首先在与被拍摄物体较为一致的光照条件下使用机载传感器拍摄一张24色标准色卡，然后保持相机参数不变，拍摄物体。以此结合角点识别算法，实现标准色卡的自动识别，然后将每一个色块的平均RGB色彩值映射为色卡提供的标准颜色值在色彩空间中进行多项式拟合，得到最终的校正图像。

8.6 辐射校正

首先在图像采集区域内放置已知反射率信息的多块校正板，然后在图像中选取对应的感兴趣区域（region of interest, ROI），提取平均DN值，并使用线性校正法，建立图像之间的辐射校正因子，从而实现多光谱的辐射校正。示例校正公式参见附录D.1.3。

8.7 小区分割

采用手动选取、图像分割或深度学习等方法，将每次采集的无人机大田图像分割为单个小区图像，以便于后续进行表型参数提取与解析。

9 表型解析方法

水稻育种关键表型参数包括株高、叶面积指数、叶绿素含量、有效穗数、产量等，一般可分为结构表型参数、生理表型参数、生化表型参数和综合性表型参数4类，其表型参数解析方法示例如下。

9.1 株高测量（结构表型参数）

使用无人机图像建立数字高程模型，可以提取水稻株高，具体提取流程参见图D.1 (A)；
使用无人机机载激光雷达获取水稻点云，可以提取水稻株高，具体提取流程参见图D.1 (B)。

9.2 生长速率解析（生理表型参数）

使用无人机定期采集水稻的图谱数据，通过提取植被指数、覆盖度等参数并分析其在水稻生长过程中的变化，可以解析水稻的生长速率。

9.3 叶绿素含量解析（生化表型参数）

使用无人机搭载多光谱或高光谱成像传感器，通过提取光谱特征并计算植被指数等参数，可以解析水稻叶绿素含量信息。

9.4 产量预测（综合性表型参数）

使用无人机多源图谱数据计算植被指数等参数，可以预测水稻产量信息；

使用无人机多源图谱数据解析株高、有效穗、穗部形状等结构表型和叶绿素含量、氮素含量等生理生化表型，可以探索其与产量之间的联系，从而预测水稻产量信息。

10 表型解析评价指标

10.1 概述

依照不同的表型检测需求，使用多种不同的解析评价指标，一般使用回归分析与图像分类/目标检测/图像分割。

10.2 回归分析

回归分析的目标是建立一个数学模型，描述因变量如何随着自变量的变化而变化。常用的回归分析评判指标包括：均方误差、均方根误差、平均绝对误差、决定系数等。

10.3 图像分类/目标检测/图像分割

图像分类是将输入图像分配到预定义的类别或标签中；目标检测是图像处理中的一项任务，需要识别对象的类别，还需要确定对象在图像中的位置；图像分割是将图像划分成不同区域或对象的任务。一些常用的图像分类/检测/分割的评判指标包括：正确率、精准率、召回率、F1值、PR曲线、平均精度与交并比。

11 表型数据的应用建议

借助大量的水稻表型数据，使用者可以通过全基因组关联分析（genome-wide association study，GWAS）、数量性状基因座（quantitative trait loci，QTL）等方法更准确地定位控制特定性状的基因或基因组。此外，使用者可以根据表型数据监测水稻生长状态，结合气候信息以评估水稻的环境适应性。

附录 A
(资料性)
水稻表型指标说明

A. 1 株高

植株地上部分的垂直高度，通常指植株基部至冠层顶部之间的距离。水稻植株因株高不同，可分为高秆、半矮秆、矮秆等类型。

A. 2 叶色

植株叶片色泽的深浅，叶色反映植株的代谢特征。绿色可分为深绿色、绿色、浅绿色等。特殊水稻叶色有紫色、红色、黄色、白色等。

A. 3 整株熟相

狭义指成熟时植株在茎秆、叶片、稻谷等本身色相的综合表现。广义可扩至植株成熟时因本身性状及病、虫、肥等综合因素导致的植株实际田间表现。

A. 4 叶面积指数

单位土地面积上水稻叶片面积占土地面积的倍数。水稻叶面积指数是衡量水稻生长状况的重要参数，能够反映水稻的产量和生长状况。

A. 5 叶倾角

叶片腹面的法线与天顶轴的夹角。在水稻生长期问，叶子的倾角会随着生长阶段和生长环境的变化而发生变化。水稻叶倾角是评估水稻生长状态和生长环境的重要指标之一。

A. 6 分蘖数

单株植株从基部生长出的分蘖数量。一般来说，当主茎拔节时，有1~2叶的分蘖为无效分蘖而消失，具有3叶或以上分蘖会成为穗。因此分蘖数远大于有效穗数。

A. 7 有效穗数

单株有效穗数指一个植株实际成穗的数量，一般以结实籽粒达到5粒以上为成穗标准；群体有效穗数指整个群体有效穗的数量。

A. 8 穗部形状

根据单穗籽粒的数量可分为大穗型、中穗形、小穗形等。根据稻穗穗茎的弯曲程度可分为直立、半直立和弯曲型等。

A. 9 籽粒结实率

稻穗籽粒中实粒数占总粒数的百分比。总粒数是实粒数和空、秕粒之和。

A. 10 叶片叶绿素含量

叶片中的叶绿素含量是指叶片组织中叶绿素的浓度。叶片叶绿素含量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) = 提取出的叶绿素总量 (μg) / 叶片面积 (cm^2)。

A. 11 叶片含水率

叶片中的水分含量，通常用百分比表示。叶片含水率（%）=（鲜重-干重）/鲜重×100%。

A.12 叶片氮含量

叶片中的总的氮元素含量，通常用百分比表示。叶片含氮量（%）=氮元素含量/干重×100%。

A.13 穗粒氮含量

籽粒中的总的氮元素含量，通常用百分比表示。籽粒含氮量（%）=氮元素总量/干重×100%。

A.14 生物量

植株的根、茎、叶和穗等干物质的总体重量。生物量是影响水稻产量重要因素，通常谷草比指籽粒重量与植株地上部分生物量之比。

A.15 产量

植株成熟期收获的稻谷干燥至标准水分含量后的单位面积质量，通常以公斤/公顷或公斤/亩表示。

A.16 倒伏率

群体中倒伏的植株占全部植株的比例。是衡量群体抗倒伏特性的指标。

A.17 病虫害程度

群体中受病（主要有白叶枯病、纹枯病、稻瘟病等）和虫（主要有螟虫、稻飞虱等）危害的程度，依不同程度可分为重、中、轻、无。

附录 B
(资料性)
表型解析评价指标说明

B. 1 回归分析

回归分析是一种统计学方法，用于研究自变量（独立变量）与因变量（依赖变量）之间的关系，通过回归分析建立数学模型，以描述自变量如何影响因变量。

B. 1. 1 均方误差：MSE (mean squared error)

MSE 是评估预测模型误差的常见指标。它是观测值与预测值之差的平方的平均值。计算公式为：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \dots \dots \dots \dots \dots \quad (B. 1)$$

式中：

n ——样本数量；

Y_i ——观测值；

\hat{Y}_i ——对应的预测值；

MSE 值越小，表示模型的预测性能越好。

B. 1. 2 均方根误差：RMSE (root mean square error)

RMSE 是均方误差 (MSE) 的平方根。它与 MSE 类似，但通过对 MSE 取平方根，将误差的单位变回原始数据的单位，更容易解释。计算公式为：

$$RMSE = \sqrt{MSE} \dots \dots \dots \dots \dots \quad (B. 2)$$

B. 1. 3 平均绝对误差：MAE (mean absolute error)

MAE 是另一种衡量预测模型误差的指标。它是观测值与预测值之差的绝对值的平均值。计算公式为：

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \dots \dots \dots \dots \dots \quad (B. 3)$$

式中：

n ——样本数量；

Y_i ——观测值；

\hat{Y}_i ——对应的预测值；

MAE 对异常值不敏感，它表示平均预测误差的大小。

B. 1. 4 决定系数：R² (r-squared)

决定系数 (r-squared) 是用于衡量回归模型拟合优度的统计指标。在给定的回归模型中，决定系数表示因变量的变异有多少被模型所解释。它的取值范围在 0 到 1 之间，越接近 1 表示模型对数据的拟合越好。

具体而言，决定系数通过比较模型拟合的数据与简单平均值的拟合情况来计算。其计算方式为：

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \dots \dots \dots \dots \dots \quad (B. 4)$$

式中：

SS_{res} ——残差平方和，是模型预测值与实际观测值之间的差异的平方和；

SS_{tot} ——总平方和，是观测值与观测值平均值之间差异的平方和。

解释决定系数的时候，可以这样理解：

当 R^2 接近 1 时，说明模型可以很好地解释因变量的变异，即模型拟合效果较好。

当 R^2 接近 0 时，表示模型无法解释因变量的变异，拟合效果较差。

B. 2 图像分类/目标检测/图像分割

图像分类是指根据图像的内容将其分为不同的类别。在机器学习和深度学习中，图像分类通常是指使用训练好的模型对新的图像进行分类，将其划分到预定义的类别中。

目标检测是在图像中定位和标识物体的任务。与图像分类不同，目标检测要求模型不仅能够识别物体的类别，还要确定它们在图像中的位置。

图像分割是将图像划分成不同区域或对象的任务。图像分割的目标是识别并标记图像中不同的物体、区域或像素。这是一种像素级的任务，其中每个像素被分配一个特定的类别标签，以指示它属于图像中的哪个对象或区域。

一般对于常见的二分类问题，可以根据样例和其对应的模型输出的组合，划分为真正例（true positive）、假正例（false positive）、真反例（true negative）、假反例（false negative）四类，如表格 B.1 所示。

表B.1 二分类输出情况

预测 \ 实际	真 (true)	假 (false)
真 (true)	真正例 (true positive)	假正例 (false positive)
假 (false)	真反例 (true negative)	假反例 (false negative)

B.2.1 正确率: accuracy

正确率是指模型正确预测的样本数占总样本数的比例。计算方式为：

$$\text{accuracy} = \frac{\text{true positive} + \text{true negative}}{\text{true positive} + \text{false positive} + \text{true negative} + \text{false negative}} \quad \dots \quad (\text{B.5})$$

B.2.2 精准率: precision

精准率是指模型在预测为真正例的样本中，实际为真正例的比例。计算方式为：

$$\text{precision} = \frac{\text{true positives}}{\text{true positives} + \text{false positives}} \quad \dots \quad (\text{B.6})$$

B.2.3 召回率: recall

召回率是指模型在所有实际为真正例的样本中，成功预测为真正例的比例。计算方式为：

$$\text{recall} = \frac{\text{true positives}}{\text{true positives} + \text{false negatives}} \quad \dots \quad (\text{B.7})$$

B.2.4 F1 分数: F1 score

F1 值是精准率和召回率的调和平均数，用于综合评估模型性能。计算方式为：

$$\text{F1 score} = \frac{2\text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad \dots \quad (\text{B.8})$$

B.2.5 P-R 曲线: precision recall curve

P-R 曲线是在不同置信度阈值下，绘制精准率和召回率之间的关系曲线。P-R 曲线可用于权衡精准率和召回率，选择合适的工作点。

B.2.6 平均精度: AP (average precision)

平均精度是 P-R 曲线下的面积，用于度量模型在不同类别上的整体性能。在目标检测等任务中，平均精度是一种常见的评价指标。

B. 2.7 交并比: IoU (Intersection over Union)

计算预测分割和实际分割之间的交集与并集的比率来评估性能。计算方式为:

$$IoU = \frac{A \cap B}{A \cup B} \times 100\% \quad \dots \quad (B. 9)$$

式中:

A, B ——分别为预测值集合和真实值集合。

附录 C
(资料性)
无人机作业设备检查单

无人机作业设备检查单			日期:	检查人:		
上电前检查		架次 1	架次 2		
设备	检查事项					
无人机	起落架安装牢固					
	机臂展开且安装牢固					
	云台安装稳定					
	电池电量充足					
	桨叶完好且无裂纹					
	确认遥控器操纵模式					
传感器	云台调平					
	传感器安装正确到位					
	传感器镜头盖打开					
	存储卡安装正确且空间充足					
其他	辐射校正板放置到位					
	颜色校正板放置到位					
上电后检查		架次 1	架次 2		
设备	检查事项					
无人机	遥控器正常连接飞机					
	遥控器联网且 RTK 信号正常					
	避障信号正常					
传感器	数据线连接正常					
	实时光合有效辐射值测量					
	对焦位置合适					
	光圈、ISO 及快门时间合适					
	存储路径设置正常					
	传感器触发信号正常					
其他	执行的飞行任务正确					
	起飞地面无沙尘浮土					
	飞行区域无人员进出					
	飞行区域无树木、电线等干扰					

附录 D
(资料性)
遥感数据预处理及表型解析方法说明

D. 1 遥感数据预处理方法

D. 1. 1 畸变校正

径向畸变描述如式(D. 1)所示,切向畸变描述如式(D. 2)所示:

$$\begin{cases} x_0 = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \\ y_0 = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \end{cases} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{D. 1})$$

式中:

x_0, y_0 ——畸变点在成像仪上的原始位置,通常以像素为单位;

x, y ——校正后新的位置,通常以像素为单位;

k_1, k_2, k_3 ——泰勒级数展开式的前三项,无量纲;

r ——镜头半径,通常以像素为单位。

$$\begin{cases} x_0 = x + [2p_1y + p_2(r^2 + 2x^2)] \\ y_0 = y + [2p_2x + p_1(r^2 + 2y^2)] \end{cases} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{D. 2})$$

式中:

x_0, y_0 ——畸变点在成像仪上的原始位置,通常以像素为单位;

x, y ——校正后新的位置,通常以像素为单位;

P_1, P_2 ——畸变模型系数,无量纲;

r ——镜头半径,通常以像素为单位。

D. 1. 2 几何校正

一般使用多项式模型(D. 4)校正:

$$\begin{cases} u = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} a_{jk} x^j y^k \\ v = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{m-j} b_{jk} x^j y^k \end{cases} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{D. 3})$$

式中:

u, v ——畸变图像上的像元坐标,通常以像素为单位;

x, y ——输出图像上的像元坐标,通常以像素为单位;

m ——多项式次数,无量纲;

a_{jk}, b_{jk} ——待定系数,无量纲。

D. 1. 3 辐射校正

具体按式(D. 3)进行计算:

$$[R_{(i,k)}] = a_k \times [DN_{(i,k)}] + b_k \quad \dots \dots \dots \quad (\text{D. 4})$$

式中:

$R_{(i,k)}$ ——定标板*i*在波段*k*中的反射率值,无量纲;

a_k, b_k ——拟合的斜率和截距,无量纲;

$DN_{(i,k)}$ ——定标板*i*在波段*k*中的DN值,无量纲。

D. 2 表型解析方法

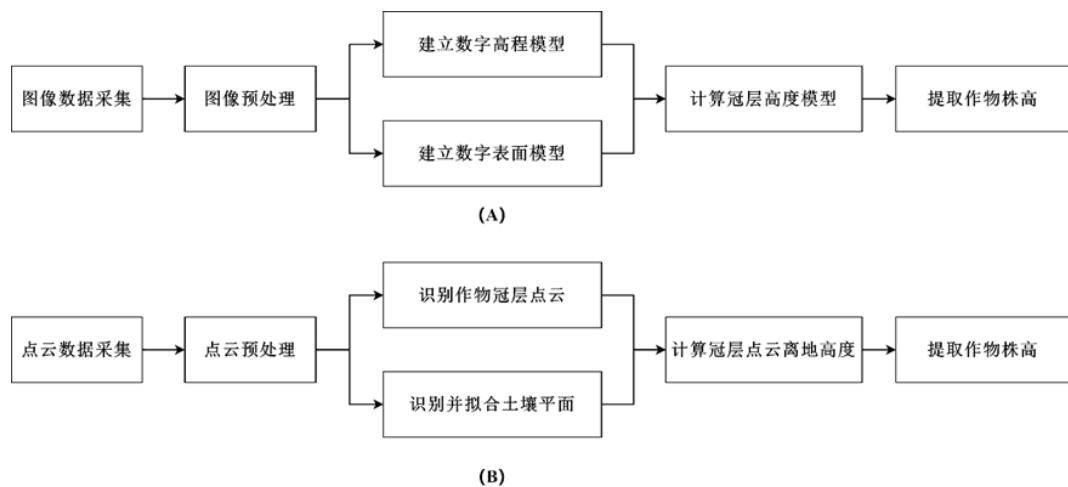


图 D.1 使用无人机图像的株高表型提取流程（A）和使用无人机机载雷达的
株高表型提取流程（B）