

团 体 标 准

T/CAGDRS XXX-2023

可控环境下的高通量植物表型平台建设
技术规范

Specifications for high throughput plant phenotyping platform
under controlled environment

(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中国农业绿色发展研究会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 建设规模与设施选择	4
5 自动化系统布设	4
6 传感器选型、性能和布设	5
7 数据采集规范	6
8 数据分析规范	8
9 安全	9
10 平台维护	9

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。

本文件由慧诺瑞德（北京）科技有限公司提出并组织实施。

本文件由中国农业绿色发展研究会归口。

本文件起草单位：慧诺瑞德（北京）科技有限公司、华智生物技术有限公司、中国农业科学院作物科学研究所、中国农业大学、东北农业大学、西北农林科技大学、浙江大学。

本文件主要起草人：韩志国、裴鹏程、张佳菲、田冰川、陈庆山、吴婷婷、岑海燕、马韞韬、肖永贵、赵前哲、赵洪兵。

可控环境下的高通量植物表型平台建设技术规范

1 范围

本文件规定了可控环境下的高通量植物表型平台建设技术规范，包括植物表型、高通量植物表型平台、植物表型性状类型及具体表型性状指标的术语和定义，自动化系统的设计和安装规范，传感器选型、性能和布设规范，数据采集和数据分析规范等内容。

本文件适用于各种日光温室、塑料大棚、人工气候室等相对可控的设施环境内的高通量植物表型平台建设。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的，凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件，凡是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。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 植物表型 Plant Phenotype

植物表型是指在特定环境状态和特定基因表达状态下，植物在细胞、组织、器官和整体水平上表现出来的生理、组分和形态结构性状的定性和定量数据。

3.2 植物表型组 Plant Phenome

植物表型组是指给定基因表达状态在所有环境下表现出来的植物表型的总和。

3.3 植物表型组学 Plant Phenomics

植物表型组学是指所有基因表达状态在所有环境下表现出来的植物表型的总和，其本质实际是植物基因图谱的时序三维表达及其地域分异特征和代际演进规律。

3.4 高通量植物表型平台 High-throughput Plant Phenotyping Platform

高通量植物表型平台是从器官、个体到群体水平上高通量、自动化获取产量、抗性、品质相关性状的多源集成技术。利用先进的成像技术和光谱技术，实现对植物肉眼可见的形态学指标和肉眼不可见的组分、生理、胁迫、病害等指标的可视化；利用先进的控制技术、通信技术和软件技术，实现表型性状测量和数据分析的自动化；利用先进的基于机器学习和深度学习的人工智能技术，实现多性状指标在不同场景中的智能化分析；利用这些可视化、自动化、智能化的技术，实现高通量的对单株或群体尺度的植物进行长期、快速的测量分析。

3.5 可见光成像 RGB Imaging

可见光成像是利用可见光相机（包括RGB和RGB-D）对植物个体或群体进行冠层尺度的拍照测量技术。通过可见光成像可以实现对植物形态结构（株型、苗数、出苗率、叶/花/果/穗数、叶/花/果/穗形等）、颜色特征（R、G、B、H、S、V等）与纹理特征（对比度、能量、熵等）的分析测量。

3.6 三维激光扫描 3D Laser Scanning

三维激光扫描是指通过高速激光扫描测量的方法，大面积高分辨率地快速获取植株的三维坐标数据，并快速构建其三维点云的技术。通过三维激光扫描可以实现对植物个体或群体的三维形态结构的量化分析，实现对植物包括株高、冠幅、数字生物量、叶片直立度、投影叶面积、叶面积指数等植物形态表型数据的计算。

3.7 激光雷达 LiDar Scanning

激光雷达是以发射激光束探测目标的位置、速度等特征量的雷达系统。传感器通过向植物个体或群体发射探测信号（激光束）以及接收到的目标回波，以获得植物三维空间的表型性状，实现对植物包括株高、冠幅、数字生物量、叶片直立度、投影叶面积、叶面积指数等植物形态表型数据的计算。

3.8 高光谱成像 Hyperspectral Imaging

高光谱成像是将成像技术与光谱技术相结合，获取丰富的窄波段影像数据的技术。该技术可以探测植物冠层反射光谱数据，用来进行特征波段的提取，实现特异性植被指数（归一化植被指数NDVI、增强植被指数EVI、植被衰减指数PSRI等）的计算及相关模型（叶绿素、氮素、花青素、类黄酮等）的构建。

3.9 光合表型成像 Photosynthetic Phenotyping

光合表型成像是利用调制与非调制叶绿素荧光成像技术或多光谱荧光成像技术，对植株生理状态进行探测的技术。该技术可以实现对植物光合生理（光合效率、非光化学淬灭、电子传递速率、光响应曲线等）的测量，用于植物胁迫/病害早期诊断、遗传育种（如抗性筛选）等。

3.10 热成像 Thermal Imaging

热成像是通过非接触探测红外能量（热量），并将其转换为电信号，进而将辐射的热像转换为可见的二维图像和温度值的技术。该技术可以实现对植物冠层温度信息的获取，对植物的水分状态和气孔导度分布进行评估，从而探测植物的蒸腾作用和耐寒能力，用于胁迫检测（如干旱、高温）等。

3.11 叶绿素荧光遥测 Chlorophyll Fluorescence Remote Sensing

叶绿素荧光遥测是指通过主动光远距离照射植物冠层并激发叶绿素荧光，通过检测可见近红外区域的荧光峰值变化，来探测冠层光合活性的技术。该技术可以实现对植物光合生理（光合效率、非光化学淬灭、电子传递速率等）的测量，用于植物胁迫/病害早期诊断、遗传育种（如抗性筛选）等。

3.12 表型性状 Plant Phenotypic Traits

表型性状是指能够反映植物细胞、组织、器官、植株和群体的结构及功能特征的物理、生理和生化性质，其本质实际是植物基因图谱的时序三维表达及其地域分异特征和代际演进规律。相同基因型植物在不同可控环境条件或相同可控环境条件下表现出来的不同表型，包括形态结构、生理功能和组分含量。其中形态结构包括株高、冠幅、直径、长度、宽度等；生理功能包括光合作用、蒸腾作用等等；组分含量包括叶绿素、花青素、氮素等。

3.13 自动化系统 Automatic System

对于“plant-to-sensor”型高通量植物表型平台，是指传感器保持位置固定，植物根据自动控制系统的控制指令，通过传送带等运输平台进入到工作区，传感器对不同批次进入的植物进行高通量表型数据采集和分析。对于“sensor-to-plant”型高通量植物表型平台，是指根据自动控制系统的控制指令，周期性带动传感器匀速运动至目标植物所在位置，实现对单株或群体植物进行高通量表型数据采集和分析。

3.14 可控环境 Controlled Environment

可控环境是指通过人工调控的方式在相对封闭的空间内模拟与植物生长密切相关的各种自然界气象条件的特定小环境，如日光温室、塑料大棚、人工气候室等。这类环境下，各种环境因子，如温度、湿度、光照和CO₂浓度等，可进行自动或手动控制和调节，以满足植物生长的特定环境需求。

4 建设规模与设施选择

- 4.1 用于玻璃温室和铝合金结构的日光温室的高通量植物表型平台，选择跨度6-12m、长度12-200m的范围，结合现有温室支撑结构，部署高通量表型平台。机械结构一般采用钢制或铝合金制材料。
- 4.2 用于塑料大棚的高通量植物表型平台，选择跨度6-12m，长度12-100m的范围，新建支撑结构，部署高通量表型平台。机械结构一般采用钢制或铝合金制材料。
- 4.3 用于人工气候室的高通量植物表型平台，选择跨度2-8m，长度4-20m的范围，新建支撑结构，部署高通量表型平台。机械结构一般采用型材材料。
- 4.4 用于步入式环境模拟舱的高通量植物表型平台，选择跨度2-5m，长度2-5m的范围，新建支撑结构，部署高通量表型平台。机械结构一般采用型材材料。

5 自动化系统布设

- 5.1 自动化控制硬件的搭设：根据使用环境、植物类型、传感器特性、传动机构等，设计和选择相应的自动化控制系统元器件和部件，包括供电单元、控制单元、执行单元、检测单元，并搭建适合的数据传输网络及存储中心。

5.2 自动化控制软件的编制和调试：硬件完成部署后，根据元器件的特性并结合用户的操作使用习惯等，编制并调试高通量植物表型平台的手动运行程序、自动运行程序、故障保护程序以及人机界面程序，实现表型平台的自动、高效、安全的运行。

6 传感器选型、性能和布设

6.1 根据实际测量需求和目的来做传感器选型

6.1.1 只测量二维形态指标时，选择可见光成像。

6.1.2 需要测量二维和三维形态指标时，选择可见光成像和三维激光，或者可见光成像和激光雷达。

6.1.3 需要测量冠层温度时，选择热成像。

6.1.4 需要测量冠层光谱信息时，选择高光谱成像。

6.1.5 需要测量冠层光合生理活性时，选择光合表型成像或叶绿素荧光遥测。

6.1.6 根据需要测量的表型性状种类，确定需要选择相关类型的传感器。

6.2 传感器的测量范围、分辨率和等技术性能应符合表1和表2的要求

表1 传感器技术性能要求

传感器	一般性能要求	供电要求	工作温度要求	工作湿度要求
可见光成像	相机分辨率 ≥ 2000 万像素	一般为12-48V 直流供电	-10 $^{\circ}$ C ~50 $^{\circ}$ C	5%-90%RH无冷 凝
热成像	相机分辨率 ≥ 30 万； 测温精度 $\leq \pm 2^{\circ}$ C； 热灵敏度 ≤ 50 mk	一般为12-48V 直流供电	-10 $^{\circ}$ C ~50 $^{\circ}$ C	5%-90%RH无冷 凝
光合表型成 像	相机分辨率 ≥ 100 万像素； 具备调制与（或）非调制叶绿素 荧光成像功能	一般为110- 240V交流供电	-10 $^{\circ}$ C ~50 $^{\circ}$ C	5%-90%RH无冷 凝
叶绿素荧光 遥测	能够在距离冠层50cm以上进行 叶绿素荧光测量；	一般为110- 240V交流供电	-10 $^{\circ}$ C ~50 $^{\circ}$ C	5%-90%RH无冷 凝

三维激光	符合国家有关激光安全等级标准,不会对人体产生严重伤害; 点云采集速率 ≥ 5000000 pt/s; 点云精度 ≤ 1 mm;	一般为12-48V 直流供电	-10°C ~50°C	5%-90%RH无冷 凝
高光谱成像	需符合对高光谱传感器的定义, 波段数量 ≥ 50 ; 光谱范围需至少涵盖可见光、红边、近红外等波段范围;	一般为12-48V 直流供电	-10°C ~50°C	5%-90%RH无冷 凝
激光雷达	符合国家有关激光安全等级标准,不会对人体产生严重伤害; 点云采集速率 ≥ 5000000 pt/s; 点云精度 ≤ 1 mm;	一般为12-48V 直流供电	-10°C ~50°C	5%-90%RH无冷 凝

6.3 传感器布设

- 6.3.1 对于可见光成像传感器的布设,一般采用垂直朝下或侧面平行的形式,允许多角度调节,且需布设相关补光设备,以确保传感器成像质量。
- 6.3.2 对于热成像传感器的布设,一般采用垂直朝下或侧面平行的形式,允许多角度调节,以确保传感器成像质量。
- 6.3.3 对于三维激光传感器的布设,一般采用垂直朝下的形式,允许多角度调节,以确保传感器成像质量。
- 6.3.4 对于高光谱成像传感器的布设,一般采用垂直朝下或侧面平行的形式,允许多角度调节,且需布设相关全光谱补光设备,以确保传感器成像质量。
- 6.3.5 对于光合表型成像或叶绿素荧光遥测传感器的布设,一般采用垂直朝下或侧面平行的形式,以确保传感器成像质量。
- 6.3.6 对于激光雷达传感器的布设,一般采用垂直朝下的形式,允许多角度调节,以确保传感器成像质量。

7 数据采集规范

7.1 自动化、高通量表型测量的实验设计

- 7.1.1 根据地块和系统实际尺寸，划分田块、小区、单株等多个层级进行实验布局和自动化测量设置。
- 7.1.2 实验布局的区域层级划分遵循从群体到个体、不同品种、不同处理、实验重复等的对应原则。
- 7.1.3 每个最小层级(单株或群体)应具有对应的基因型和处理方式的标识。

7.2 路径规划

- 7.2.1 可针对不同形式和规模的高通量植物表型平台进行路径规划；
- 7.2.2 可针对不同数据采集和存储原理的传感器（推扫式和框幅式），根据其不同的工作模式，制定 传感器（sensor-to-plant 模式下）或植株（plant-to-sensor 模式下）的行走路径，包括移动的速度、等待时间、采集时间、采集任务等；
- 7.2.3 可选择蛇形（S-型）、平行、交替等多种不同行列间切换模式；
- 7.2.4 可进行工作区域内以任意方向的零点为起点，向前、后、左、右任意方向为起始方向的路径规划；
- 7.2.5 可针对高通量植物表型平台所承载通量内，同时创建一个或多个实验任务，并生成相互不冲突的任务执行路径与执行时间等工作；
- 7.2.6 所有路径规划工作遵守最优路径规划原理，保证平台工作效率。

7.3 数据采集

- 7.3.1 支持同一软件平台对所有表型成像传感器（可见光、三维激光、激光雷达、高光谱、热成像、光合表型成像、叶绿素荧光遥测等）的控制、触发与数据采集，保证用户使用平台的便捷性与交互性；
- 7.3.2 支持对平台内正在进行的一个或多个实验进行单次或多次重复的数据采集任务的创建；
- 7.3.3 创建的数据采集任务，可排序后组建任务执行列表，提高客户使用平台的便捷性；
- 7.3.4 支持自动和手动两种采集模式：自动采集模式可设定数据采集工作、频次、时间间隔等；手动采集模式可在平台任意采集任务空闲期间执行手动数据采集任务；

7.4 数据存储

- 7.4.1 数据存储以单次采集任务开始的时间戳（年、月、日）命名一级文件夹，以对应表型传感器命名二级文件夹，以对应数据采集并进行存储的时间戳（年、月、日、时）命名三级文件夹便于用户对采集到的表型数据进行分类管理和时间序列分析；
- 7.4.2 单个数据文件应可以对应到实际植物信息（品种、基因型、实验处理、重复等信息），方便用户对数据进行匹配对应；
- 7.4.3 不同表型传感器采集的文件均可根据需求选择存储原始数据文件、辅助文件、格式转换后文件；
- 7.4.4 数据可选择存储在本地服务器或云服务器内，服务器需具备良好的数据安全功能；
- 7.4.5 数据存储周期内数据库应具备良好的数据备份能力；

8 数据分析规范

- 8.1 对于可见光成像结果，应具备标准色彩校准功能，确保图像色彩质量；数据分析结果，应包含图像数据与表格数据；
- 8.2 对于三维激光扫描结果，应实现所有标准点云数据格式的转换，如ply、xyz、tiff等；数据分析结果，应包含图像数据与表格数据；
- 8.3 对于激光雷达扫描结果，应实现所有标准点云数据格式的转换，如ply、xyz、tiff等；数据分析结果，应包含图像数据与表格数据；
- 8.4 对于高光谱成像结果，应具备光谱校准功能，包括白板校准和暗电流校准；数据分析结果，应包含图像数据与表格数据；
- 8.5 对于光合表型成像结果，数据分析结果，应包含图像数据与表格数据；
- 8.6 对于热成像结果，应具备背景去噪功能，可对植物不同部位进行温度显示；数据分析结果，应包含图像数据与表格数据；
- 8.7 对于叶绿素荧光遥测结果，数据分析结果，应至少包含表格数据；
- 8.8 对于所有高通量植物表型平台数据分析模块，应具备数据可视化功能，支持按时间序列、试验时间、品种、基因型、各个分析参数进行多源、多维度数据可视化。支持折线、散点、热力图、箱型图、雷达图等多类型图表可视化

9 安全

9.1 安全标志

- 9.1.1 交流电源机箱门上、交流电源端子旁应具有危险警示标志，标志应与 GB47931-2007 中表 1 的符号 12 一致。
- 9.1.2 交流电源断开装置上应具有通断标志。
- 9.1.3 标志耐久性应符合 GB47931-2007 中 53 的要求。

9.2 防电击危险

- 9.2.1 可触及零部件(包括机箱门打开后的可触及零部件)对地(机壳)的直流电压应不大于 50V，交流电压应不大于 30V。
- 9.2.2 交流电源输入与地(机壳)之间应能承受 1500V 交流电压。
- 9.2.3 交流电源输入处应具有断开装置。

9.3 防机械危险

- 9.3.1 机械结构上的棱缘或拐角应做倒圆和磨光。
- 9.3.2 对于在产品寿命期内无法始终保持足够的机械强度而需要定期维护或更换的部件，应在产品说明书中醒目地注明更换周期及其危险性。

10 平台维护

项目建设完成后，定期对平台进行巡检，对设备运行状态、性能、安全性等方面进行检查，进行必要的预防性维护，以确保整个平台的安全、高效运行。

- a) 定期检查传动机构的润滑情况，需定期加注或涂抹润滑油脂，充分润滑保养，防止钢材之间的硬摩擦损坏运动啮合部件；
- b) 定期检查机械连接部件的稳定性，固定螺栓是否存在因震动或冷热交替引起的松动等情况；
- c) 定期检查运动部件的磨损情况，如导向轮的轮缘和踏面是否有磨损或崩裂，提升钢丝绳是否存在老化或断股，并及时停机进行更换处理；

- d) 定期检查供电及控制电缆的外观及连接情况，如出现电缆老化、外皮破损、连接点松动、电接点打火等问题，应及时停机处理；
- e) 检查传感器和配电柜外观及内部，特别是对于建设在大田或网室的开放式植物表型平台，要及时清理尘土、树叶、鸟粪等异物，保证传感器和控制系统的安全运行；
- f) 检查传感器和配电柜的散热系统，特别是进出风口的滤网，定期进行清洗及更换滤网，保证散热系统的正常工作；
- g) 制定年度或季度检查维护计划，特别是冬歇期前后，应对传感器、自动化系统和机械系统进行全面检查和维护，针对检查情况进行实时维护，并记入值班日志。