

ICS 65.020.01

CCS B10

T/SSSC

中国土壤学会团体标准

T/SSSC 0 —2026

红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量 评价方法

Technical Specifications for Smart Monitoring of Biological Processes and
Farmland Quality Evaluation in Upland Red Soils

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国土壤学会 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	2
4 监测点设置和监测指标	5
5 红壤旱地农田生态系统植物地上部长势要素监测方法	6
6 红壤旱地农田生态系统植物根系生长要素监测方法	7
7 红壤旱地农田生态系统土壤生物活性要素观测方法	8
8 红壤旱地农田生态系统土壤环境和肥力要素观测方法	9
9 远程数据传输与监控技术	10
10 红壤区旱地农田耕地质量评价与智能应用	11
参考文献	13

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。

本文件由中国土壤学会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院南京土壤研究所、福建农林大学、江西农业大学。

本文件主要起草人：王晓玥、蒋瑀霁、栾璐、赵丽霞、樊剑波、刘晓利、滕应、叶英聪、解宪丽、刘杰、刘明、郑杰、陈玲。

红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量评价方法

1 范围

本文件描述了红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量评价方法，包括术语和定义，监测点设置和监测指标，植物地上部长势、植物根系生长、土壤生物活性、土壤环境和肥力等要素的监测方法，远程数据传输与监控技术，耕地质量评价与智能应用。

本文件适用于红壤旱地农田生态系统长期连续定位观测，也适用于其他旱地农田生态监测工作。

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 3440 物联网 智慧农业数据传输技术应用指南

GB/T 4883 数据的统计处理和解释正态样本离群值的判断和处理

GB/T 20533 生态科学数据元数据

GB/T 30989 高通量基因测序技术规程

GB/T 32740 自然生态系统土壤长期定位监测指南

GB/T 33027 森林生态系统长期定位观测方法

GB/T 33469 耕地质量等级

GB/T 39228 土壤微生物生物量的测定 熏蒸提取法

GB/T 41689 土壤质量 土壤样品直接提取 DNA 的方法

GB/T 42485 土壤质量 土壤硝态氮、亚硝态氮和铵态氮的测定 氯化钾溶液浸提手工分析法

GB/T 43858 陆地生态系统生物长期监测规范

LY/T 1232 森林土壤磷的测定

LY/T 1234 森林土壤钾的测定

NY/T 889 土壤速效钾和缓效钾含量的测定

NY/T 1119—2019 耕地质量监测技术规程

NY/T 1121.1—2006 土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮存

NY/T 1121.2—2006 土壤检测 第 2 部分：土壤 pH 的测定

NY/T 1121.6—2006 土壤检测 第 6 部分：土壤有机质的测定

NY/T 1121.7—2014 土壤检测 第 7 部分：土壤有效磷的测定

NY/T 1121.19—2008 土壤检测 第 19 部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定

NY/T 1121.24—2012 土壤检测 第 24 部分：土壤全氮的测定 自动定氮仪法

NY/T 1749 南方地区耕地土壤肥力诊断与评价

NY/T 2626 补充耕地质量评定技术规范

NY/T 3648 草地植被健康监测评价方法

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

TJ 7 工业与民用建筑地基基础设计规范

ISO 20130:2018 土壤质量 用微孔板中的比色底物测量土壤样品中的酶活性模式 (Soil quality

Measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

归一化植被指数 (NDVI) Normalized Difference Vegetation Index

是指植被叶片在近红外波段和红光波段的差异化反射特性，遥感和高光谱等领域的经典植被指数，用于评估区域植被的覆盖程度、生长状态以及监测植被的动态变化过程。

3.2

叶绿素指数 Chlorophyll Content Index

是指植物叶片在特定光谱波段（如红光、近红外、红边等）的反射率或辐射值，通过数学运算得到的数值，该数值与叶片中的叶绿素含量存在相关性，可用来反映植物叶片的叶绿素水平。

3.3

根系形态特征 Root morphological characteristics

是根系类型、结构、分布以及几何参数的全面展现，主要包括根系长度、直径、表面积、体积和侧根密度等指标。根系表面积通过扫描法或者图像分析法获得，根系体积采用排水法或者 CT 扫描法等测量方法。本标准主要通过微根管法测定。

3.4

微根管技术 Minirhizotron tube technology

是田间原位监测活体根系和根系生长动态的常用方法，可通过微根管图像提取和量化根系形态（根长、根直径、根表面积、根体积等参数），具有非破坏性和连续性等优势。

3.5

土壤生物功能 Soil biological function

是指土壤动物、微生物和植物等土壤生物通过其生命活动驱动土壤地球化学循环过程、调节养分循环和生态系统服务的能力，包括土壤呼吸、氨挥发、氧化亚氮和甲烷排放等过程。本规范主要通过土壤温室气体监测系统进行测定。

3.6

土壤呼吸 soil respiration

是指土壤与外界大气之间进行气体交换过程中，未扰动土壤表面向大气中释放二氧化碳的过程。土壤呼吸作用包括土壤微生物呼吸、植物根系呼吸和土壤动物呼吸等生物学过程和含碳矿物质化学氧化作用的非生物学过程。土壤呼吸速率与微生物的数量和活性密切相关，其高低可以反映土壤养分循环的强度和效率。

3.7

氨挥发 Ammonia volatilization

是指氨自土壤表面（旱地）、田面水表面（水田）或植物表面逸散至大气中的过程，是农田氮素损失的重要途径。在农田生态系统中，氨挥发会导致土壤有效氮素减少，引起作物“氮饥饿”和“营养不良”，降低氮肥利用率。特别是在酸化红壤农田生态系统中，氨挥发过程中的相关反应可能导致土壤酸化，影响土壤肥力和作物生长。

3.8

甲烷排放 methane emissions

甲烷（CH₄）是仅次于 CO₂ 的第二大温室气体，具有持续时间短和增温效应强的特点。甲烷排放是指在农田生态系统中，经产甲烷菌等微生物作用产生的甲烷（CH₄）释放到大气中的过程。尽管旱地土壤通常被认为是甲烷的弱源甚至汇（吸收甲烷），但在特定条件下（如施肥、灌溉后），它们也会成为显著的排放源。

3.9

氧化亚氮排放 Nitrous oxide emissions

氧化亚氮（N₂O）是一种具有强温室效应的气体，旱地土壤是氧化亚氮的主要排放源。旱地农田氧化亚氮排放是指在旱地农田生态系统中，由于土壤微生物的硝化和反硝化作用等生物化学过程，以及施肥、灌溉等农事活动的影响，导致氧化亚氮从土壤释放到大气中的过程。

3.10

智慧监测 Smart monitoring

是指利用监测仪器或者传感器，通过特定的监测方法自动获取、处理和管理数据，或者通过人工辅助进行监测数据的获取、处理和管理，实现耕地障碍因子的诊断与耕地质量监测的过程。

3.11

田间型高通量表型分析系统 High-throughput field phenotyping analytical system

是利用门式起重系统而设计和组建的表型系统，以轨道式龙门架为固定监测平台，配套可升降观测机械手臂，可搭载多光谱和高光谱等传感器，短时间内快速实现作物植被指数、叶绿素含量和株高等数据采集的田间作物表型观测系统。

4 监测点设置和监测指标

4.1 设置原则

监测点应设置在农业监测试验站、永久基本农田保护区等需要且可以进行长期稳定监测且具有代表性的地块，同时应远离高大建筑物、树木等障碍物。同时综合考虑土壤类型、种植制度、管理措施等因素。观测现场附近建设数据处理中心，用于存储、处理和分析观测数据。确保观测现场具备稳定的电力供应和网络通信条件，以便实现数据的实时传输和远程监控。建设监测点时调查内容参照 NY/T1119—2019 中第 5.1。

4.2 监测指标、频率及方法

指标、频率及方法详见表 1：

表 1 红壤旱地生物过程监测目的、指标、频率及方法

监测目的	监测指标	监测频率	监测方法
植物地上部 长势要素	NDVI	1 次/天	设备监测 (见 5.2.1)
	叶绿素指数	1 次/天	
	作物覆盖度	1 次/天	
	叶冠层指数	1 次/天	
	作物产量	1 次/生长季	人工辅助监测 (见 5.2.2)
	地上部生物量	1 次/生长季	
植物根系 生长要素	根长	1 次/周	设备监测 (见 6.2.1)
	根直径	1 次/周	
	根表面积	1 次/周	
	根体积	1 次/周	
	侧根密度	1 次/周	
	地下部生物量	1 次/生长季	人工辅助监测 (见 6.2.2)
土壤生物 活性要素	CO ₂ 通量	10 次/h	设备自动监测 (见 7.2.1)
	CH ₄ 通量	10 次/h	
	N ₂ O 通量	10 次/h	
	NH ₃ 通量	10 次/h	

	土壤 β 葡萄糖苷酶活性	3 次/生长季	人工辅助监测 (见 7.2.2)
	土壤亮氨酸酶活性	3 次/生长季	
	土壤 N-乙酰- β -D-葡萄糖苷酶	3 次/生长季	
	土壤磷酸酶活性	3 次/生长季	
	微生物生物量碳氮	3 次/生长季	
	土壤微生物多样性	3 次/生长季	
土壤环境和肥力	土壤水分	6 次/min	设备自动监测 (见 8.2.1)
	土壤温度	6 次/min	
	土壤电导率	6 次/min	
	土壤 pH	1 次/生长季	人工辅助监测 (见 8.2.2)
	土壤有机质	1 次/生长季	
	土壤全氮磷钾	1 次/生长季	
	土壤硝态氮和铵态氮	3 次/生长季	
	土壤有效磷	3 次/生长季	
	土壤速效钾	3 次/生长季	
	土壤团聚体	1 次/生长季	
	耕地质量	1 次/生长季	

5 红壤旱地农田生态系统植物地上部长势要素监测方法

5.1 监测设备

仪器：田间型高通量表型分析系统。

安装方法：修建地基，原则为地基整体平整硬化，具备足够的承载能力和稳定性。通常采用混凝土为原材料，参考 TJ 7 执行。将可覆盖全部观测长度的轨道安装在地基上，埋设固定装置，保证水平和垂直精度。组装龙门架，将其朝向大车纵向行走方向吊装在轨道上方，将大车行走轮安装在导轨上，在龙门架横梁顶部安装小车行走导轨、行走机构与传动组件，确保小车行程可覆盖全部观测宽度。将多级伸缩式机械臂垂直安装在横向小车上，紧固连接螺栓，在机械臂下端安装观测设备安装平台，预留传感器供电与数据接口。布设动力电缆，采用拖链防护，避免运行中拉扯磨损。同时布设控制线缆和信号线缆，连接控制器系统，设置 IP 地址等网络参数，确保通信正常和远程操控正常。最后将主动光谱传感器安装在之前预留位置，调整安装高度和水平角度，确保视场范围符合测量范围，并紧固固定螺丝，同时将传感器的出线口经 Y 型转接器通过电缆连接在数据采集终端的传感器。安装后进行校验与调试，确认无误后进行数据采集。

5.2 监测指标的获取方法

5.2.1 自动监测指标的获取方法

在作物生长期，利用田间型高通量表型分析系统对各小区内作物每周进行一次或多次高通量扫描，利用主动光谱传感器获取植被指数、叶面积指数、冠层叶绿素含量等指标，并将数值输出并存储在数据采集终端记录器。

5.2.2 人工辅助监测指标的获取方法

在作物收获时，采用随机抽样对监测区域的作物产量、株高、地上部生物量进行测定。参照 NY/T 1119-2019 中 6.2.3。

6 红壤旱地农田生态系统植物根系生长要素监测方法

6.1 监测设备

仪器：根系原位生态观测系统

安装：由于红壤黏重等特性，为扩大观测范围和减少根管插入阻力，采用斜插安装（45°-60°）。根管底部深入土层 30-50 cm，以覆盖作物根际主要分布区为宜；间距建议为 1-2 m，根据地块大小和观测精度进行调整。安装前确定安装位置，清除周边的石块和根系，使用土钻缓慢钻孔，保持孔壁光滑，孔径略大于根管直径（1-2 cm）。安装时，将根管缓慢插入孔中，管壁与土壤紧密接触避免出现空气间隙。根管顶部用土壤或水泥固定，加盖可拆卸密封盖，安装防雨罩和防动物啃咬装置。

6.2 监测指标的获取方法

6.2.1 自动监测指标的获取方法

在作物生长期，每周一次采用微根窗技术观测根系动态和根系形态及发育，观测数据为图像，采用专门高通量分析软件获取根系形态性状（根系长度与密度、根系出现与消失、根系垂直分布、根直径分布、根尖数量与活性、根系分枝模式指标）信息。根据研究目的选择合适的软件，根据软件的说明进行操作。

6.2.2 人工辅助监测指标的获取方法

在作物收获后，随机抽样测定监测区域作物根部的生物量。根据田块大小，选取若干个 1m² 的样方，取出作物根部，用纯水清洗经烘箱干燥后称重并记录。

7 红壤旱地农田生态系统土壤生物活性要素观测方法

7.1 监测设备

仪器：土壤温室气体监测系统。

安装：安装时选择地势平坦的地表，清除凋落物和杂草，操作时以最小程度扰动土壤为宜。随后，将配套的 PVC 材质基底圈垂直、平稳地插入土壤约 5 cm，使其与土壤紧密接触且无明显缝隙。将土壤呼吸室严密扣合在已安装的基底圈上，保证接口紧密贴合，最大限度减少气体泄漏。最后，使用地钉加固呼吸室，增强其在野外观测环境下的稳定性。

完成呼吸室安装后，连接气路系统。进气管一端连接分析仪的进气口，另一端连接多路复用器的进气口；出气管一端连接气泵的排气端口，另一端连接多路复用器的出气端口。完成硬件安装后，严格按照说明书检查系统供电，确认无误后可开机操作。设备需注意防潮、防水，并避免温度过高或过低，建议将其安装于配备空调的野外操作间内。

7.2 监测指标的获取方法

7.2.1 自动监测指标的获取方法

利用土壤温室气体观测系统，在作物生长期和秸秆还田后，每天设备全自动实时观测各小区温室气体排放通量。

表 2 温室气体原位监测设备观测内容、范围及精度

观测指标	测量范围	精度
CO ₂	380~5000 ppm	<300 ppb+0.05%读数
CH ₄	1.5~12 ppm	<7 ppb+0.05%读数
N ₂ O	0.3~200 ppm	<10 ppb+0.05%读数
NH ₃	0~300 ppm	<3 ppb+0.05%读数

7.2.2 人工辅助监测指标的获取方法

在作物三个主要生育期采集表层土壤样品，具体参照 NY/T1121.1—2006。测定土壤碳氮磷转化

的酶活性，即土壤β葡萄糖苷酶、亮氨酸酶、N-乙酰-β-D-葡萄糖苷酶和磷酸酶。具体测定方法按照 ISO 20130:2018 的规定测定。

土壤微生物生物量碳氮按照 GB/T 39228 的规定测定。微生物群落组成的测定方法首先按照 GB/T 41689 的规定提取 DNA，随后参照 GB/T 30989 进行高通量测序。

8 红壤旱地农田生态系统土壤环境和肥力要素观测方法

8.1 监测设备

仪器：土壤水分、温度和电导率传感器

安装：安装前根据探头埋设深度开挖小型土壤剖面。安装时将传感器水平插入各目标深度，使探针与土壤紧密接触，该操作是保证测量准确性的关键步骤。安装结束后，严格按照原始土层顺序回填土壤，并轻微压实，最大限度减少对土壤结构的扰动。为提升数据可靠性和识别潜在故障，建议在条件允许的情况下选择关键深度或代表性点位布设重复传感器，所有传感器线缆标明深度及编号，集中捆扎并可靠固定。为防止雨水渗入数据采集箱箱内，线缆需预留“U”型滴水弯。埋地部分的线缆宜加装保护套管。

表 3 土壤水温和电导率传感器布设深度及其监测目的

监测位置	建议深度	监测目的
表层土壤	5~20 cm	表层土壤水温电导率等变化状况，重点关注施肥、灌溉等农艺措施的影响
作物根区	20~60 cm	重点关注作物吸水和水分的纵向运动
深层土壤	80~100 cm 甚至更深	监测深层渗漏、地下水补给等

针对红壤旱地生物过程的监测，建议布置在 20cm、40cm 和 60cm 三个深度。

8.2 监测指标的获取方法

8.2.1 自动监测指标的获取方法

利用土壤水分、温度和电导率传感器监测系统，在作物生长期和秸秆还田后，每天设备全自动实时监测各小区水分、温度和电导率，并根据已设置的监测时间间隔将已采集的数据存储在 SD 卡中。

8.2.2 人工辅助监测指标的获取方法

在作物种植前和收获后采集表层土壤样品，分别进行耕地质量和全量养分、土壤团聚体水稳性组成指标测定。在作物的三个关键生育期采集表层土壤样品进行速效养分指标测定。土壤样品按采样时间和监测点位编号，并长期保存。具体采样、处理与保存方法参照 NY/T 1121.1—2006 执行。土壤 pH：按 NY/T 1121.2—2006 测定；土壤有机质：按 NY/T 1121.6—2006 测定；土壤全氮：按 NY/T 1121.24—2012 测定；土壤全磷：按 LY/T 1232 测定；土壤有效磷：按 NY/T 1121.7—2014 测定；土壤全钾：按 LY/T 1234 测定；土壤速效钾：按 NY/T 889 测定；土壤硝态氮和铵态氮：按 GB/T 42485 测定；土壤水稳性大团聚体组成：按 NY/T 1121.19—2008 测定；耕层质地：按 GB/T 33469 测定。

9 远程数据传输与监控技术

9.1 传输方式选择

9.1.1 无线蜂窝网络

在 4G/5G 信号覆盖良好的区域，应优先采用。具备高带宽、广覆盖的特点，适用于视频、图像等大数据量传输。

9.1.2 低功耗广域网

在通信资源受限或对设备功耗要求严苛的区域，可选用 NB-IoT 或 LoRa 等技术。具备低功耗、远距离、大连接的特性，适用于周期性、小数据量的传感器数据传输。

9.2 数据传输协议

9.2.1 设备与平台间的通信协议

设备与平台间的通信协议宜采用标准化协议，如 MQTT、HTTP/HTTPS 或 CoAP，以确保数据传输的效率和安全性。

9.2.2 数据传输应支持断点续传功能

当网络中断时，数据应能缓存在设备本地；网络恢复后，自动补传缓存数据，保证数据的完整性。

9.3 数据安全

所有敏感数据在传输过程中必须进行加密，推荐使用 TLS/SSL 等加密通道。设备接入平台前应进行身份认证与授权，防止非法设备接入。

9.4 数据接收与处理

数据接收平台应具备高并发接入能力，能够稳定接收来自大量田间设备的数据流。平台应对接收的原始数据进行有效性校验与清洗，剔除异常值和无效数据。数据的统计处理和统计按照 GB/T 4883 的规定执行。

9.5 数据存储与管理

应采用时序数据库或关系型数据库对历史数据进行分类存储，并建立完善的数据备份与恢复机制。数据库建立按照 GB/T 20533 的规定执行。

9.6 数据监控

平台应能以电子地图、列表等形式，实时展示所有监测点的设备在线状态、地理位置及最新数据。

10 红壤区旱地农田耕地质量评价与智能应用

10.1 耕地质量评价指标

选取耕层质地、侵蚀因子、土壤水分、大团聚体比例、pH、有机质、有效磷、速效钾、全磷、全钾、细菌生物多样性指数、真菌多样性指数、微生物量碳、微生物量氮、土壤呼吸、作物产量、株高，共 17 个因子作为评价指标。其中，侵蚀因子是指土壤侵蚀因子，将耕地质地各组成含量和有机质含量代入 Williams EPIC 模型的公式进行计算。

10.2 确定评价指标权重、隶属函数

参照 GB/T 33469，确定各指标权重及隶属函数，继而将指标实测值代入，计算其隶属度。

10.3 计算耕地质量综合指数

采用累加法计算新增耕地质量综合指数的计算公式（1）。

$$IFI=\Sigma (Fi\times Ci) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

IFI——耕地质量综合指数；

Fi——第 i 个评价指标的隶属度；

Ci——第 i 个评价指标的组合权重。

10.4 划分耕地质量等级

参考 NY/T 2626 补充耕地质量评定技术规范，根据耕地质量综合指数值，结合本地耕地质量等级划分标准，确定耕地的质量等级。

10.5 结果可视化与智能应用

10.5.1 结果可视化

以农业生产条件符合性和耕地质量评价结果为依据，以田块为基本单元，采用色带渲染不同质量等级，生成田块尺度的耕地质量等级分布图。针对红壤典型障碍因素，单独生成“土壤 pH 分布图”、“有机质含量分布图”、“障碍因素类型分布图”等，直观展示限制因子的空间变异情况。对同一田块不同年份的核心指标进行历史对比，以折线图展示变化趋势。支持多田块间指标的平行对比，快速识别不同农田管理方式的优劣。

10.5.2 智能应用

智能诊断：系统依据指标阈值（如红壤 pH<5.5 判定为强酸性障碍），自动诊断并标识每个田块的主要障碍类型（如酸性障碍、瘠薄障碍、排水障碍等）。

风险预警：对已接近或超过临界值的指标（如有机质持续下降、耕地等级在 6 等及以下）向管理人员发送预警信息。

精准分区：依据质量等级和障碍因素，自动将田块划分为“保育区”、“改良区”、“提升区”等。

10.5.3 平台与运维

所有可视化与决策功能应集成于统一的智慧农业云平台，支持 Web 端与移动端访问，确保数据

同步与操作便捷。建立评价结果与数据的定期更新机制，建议每年至少进行一次全面评价更新，田间实时检测指标可根据传感器数据实现季度或实时更新，确保决策支持的时效性与准确性。

参考文献

- [1] DB22/T 2283—2015 耕地土壤肥力监测技术规程
- [2] 陈洋, 李蕴峰, 李涛涛, 王 岑, 李超腾. 基于 RUSLE 模型的东北平原黑土区土壤侵蚀趋势及因子相关性分析[J]. 地质与资源, 2026, 35(2): 193-202.
- [3] Shi, Y., Luan, L., Wang, X., Zhu, G., Ye, Y., Fan, J., Zhou, S., Jiang, Y. Multifunctional soil health assessment of long-term manure application to ferric Acrisol[J]. European Journal of Soil Science. 2024, 75(6), e70022.
- [4] Muller, L., Schindler, U., Berendt, A., Smolentseva, E., Smolentsev, B., Eulenstein, F.. The Müncheberg Soil Quality Rating (SQR). Field manual for detecting and assessing properties and limitations of soils for cropping and grazing[M]. Muenchenberg, Germany: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), 2007