

## 附件 3 中国土壤学会团体标准制修订项目

### 编制说明

#### 一、工作简况

##### 1. 任务来源

红壤是我国南方重要的耕地资源，水热条件优越，生产潜力巨大。然而，受其自身酸性强、质地黏重、易板结等特性以及长期不合理利用方式的影响，红壤生态系统正面临酸化、养分贫瘠化、土壤污染等多重退化问题，导致生物功能衰减、土地生产力下降，严重制约了红壤生态系统服务功能的发挥。土壤生物作为陆地生态系统中最活跃的组分，参与土壤中各类生物化学过程，直接或间接调控作物生长和土壤健康。在“植物根系-土壤-微生物”系统中，微生物既能改变影响根系构型的内在因子，也能调节根系生长发育，对作物的生长发育和环境适应性具有不可替代的作用；同时，土壤生物通过介导土壤呼吸、氨挥发、硝化和反硝化等过程，在养分循环和气候变化中发挥着关键功能。然而，在多种自然因素和人为活动的共同驱动下，旱地红壤的生物过程在时间和空间上呈现出显著异质性，进而深刻影响生态系统服务的供给。因此，通过长期监测土壤生物过程、揭示其关键机制，对于提升耕地生产力和生物功能、保障农田生态系统服务功能具有重要意义。

基于原位传感器、固定监测平台及可拆卸式传感器的智慧监测技术，具备多维度、长时序、实时动态的监测能力，有效克服了传

统监测方法数据获取效率低、覆盖范围有限、人工及时间成本高、时效性不足等弊端，已在土壤水分、温度、电导率等测定中展现出不可替代的优势。然而，当前红壤生态功能的研究长期受限于野外自动化观测平台条件，土壤监测多集中于耕层（0~20 cm）养分等指标的低时空精度观测，缺乏对土壤生物过程时空动态的系统监测，无法实现对红壤“植物-土壤-微生物-水-气”系统中养分转化过程的实时捕捉。此外，现有耕地质量监测方法中，土壤生物性状仅关注微生物量碳氮等少数指标，尚未纳入土壤酶活性、微生物多样性及温室气体排放等关键参数，导致土壤生物过程监测及其评价方法缺乏统一标准，评价结果的可靠性难以保证。因此，亟需建立针对红壤田间生物过程的高精度观测规范，统一业务化监测内容，以确保红壤生物过程监测的准确性、科学性和可靠性。

在农业科技重大项目的支持下，项目参与单位已建立了针对红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量评价的技术规程。该规程详细规定了监测点布设、监测指标体系，以及植物地上部长势、根系生长、土壤生物活性、土壤环境与肥力等多要素的监测方法，并配套远程数据传输与监控技术。在此基础上，联合植物生长性状、土壤生物性状和土壤理化性质等数据，参照德国 Muencheberg 土壤质量评级和欧盟农田土壤健康评价方法筛选核心指标，并结合我国耕地等级评价方法，计算耕地质量综合指数和生态功能指数，实现对农田土壤健康的综合评估。

基于以上背景，本标准根据《中国土壤学会团体标准管理办法

(试行)》，由中国科学院南京土壤研究所牵头组织编制《红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量评价方法》。根据专家评审，批准本标准立项，根据计划要求，本标准完成时限为 6 个月。

## 2. 协作单位

本标准负责起草单位：中国科学院南京土壤研究所

本标准参加起草单位：福建农林大学、江西农业大学

## 3. 主要工作过程

(1) 2021 年 12 月-2025 年 9 月，建立红壤关键生物学过程模拟和观测平台，开展试验样点布设，采用监测设备完成自动监测指标的数据获取，以及样品采集和室内分析完成人工辅助监测指标的数据获取，构建了基于土壤生态功能的多功能土壤健康数据集，提出了基于土壤生态功能的土壤生物过程智慧监测技术，并分析了不同施肥措施下土壤生态系统功能和土壤健康状况。实现了针对旱地红壤区田块尺度生物过程的智慧监测和耕地质量评价。

(2) 2025 年 10 月-2025 年 11 月，成立标准起草工作组，小组成员查阅国内外相关标准、文献和技术资料，明确标准编制原则，适用范围和主要技术框架；编制标准大纲，梳理红壤旱地生物过程智慧监测的关键技术环节，提出主要技术指标及获取方式和监测设备，建立耕地质量评价与智能应用的方法，并完成标准初稿和立项申报书；召开标准内部探讨会和专家咨询会，关于标准主要内容进行探讨。根据专家意见对标准初稿进行修改，形成标准草案。

(3) 2025 年 11 月-2026 年 7 月，根据《中国土壤学会团体标

准管理办法（试行）》，经过专家评审，本标准立项公告。标准起草小组于 2025 年 10 月上旬完成了标准草稿，同时发送给相关专家进行审阅；2025 年 11 月中旬，组织了函评对草稿中的文字表述、技术等 进行详细讨论，并于 2026 年 7 月 10 日形成了统一意见形成征求意见稿。

4. 起草组员及其所做的主要工作

| 序号 | 姓 名 | 职务/职称    | 工作单位         | 任务分工             |
|----|-----|----------|--------------|------------------|
| 1  | 王晓玥 | 副研究员     | 中国科学院南京土壤研究所 | 全面工作             |
| 2  | 蒋瑞霖 | 院长/教授    | 福建农林大学       | 试验样区选择、样点布设、平台构建 |
| 3  | 栾璐  | 教授       | 福建农林大学       | 标准调研、模型建立        |
| 4  | 赵丽霞 | 助理研究员    | 中国科学院南京土壤研究所 | 参与起草、平台构建        |
| 5  | 樊剑波 | 高级工程师    | 中国科学院南京土壤研究所 | 平台构建、监测数据收集      |
| 6  | 刘晓利 | 高级工程师    | 中国科学院南京土壤研究所 | 监测数据收集、室内分析      |
| 7  | 滕应  | 站长/研究员   | 中国科学院南京土壤研究所 | 样品采集、室内分析        |
| 8  | 叶英聪 | 副教授      | 江西农业大学       | 模型建立             |
| 9  | 解宪丽 | 副研究员     | 中国科学院南京土壤研究所 | 标准调研             |
| 10 | 刘杰  | 助理研究员    | 中国科学院南京土壤研究所 | 标准调研             |
| 11 | 刘明  | 副站长/副研究员 | 中国科学院南京土壤研究所 | 样品采集、室内分析        |
| 12 | 郑杰  | 助理研究员    | 中国科学院南京土壤研究所 | 参与起草             |
| 13 | 陈玲  | 中级工程师    | 中国科学院南京土壤研究所 | 标准调研             |

二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

1. 编制原则

本标准按照 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。编制工作遵循科学性、规范性、适用性、先进性的原则，并严格贯彻国家相关法律法规及强制性标准的要求。在广泛调研和深入研究的基础上，针对红壤旱地长期不合理利用、养分贫瘠化、土壤污染及生物功能衰减等突出问题，起草工作组依托多年构建的智慧监测平台，系统监测了土壤理化性质、生物性状、作物长势及根系生长等动态变化，实现了“植物-土壤-生物-水-气”系统养分转化过程的耦合观测，进而建立了基于生态功能指数的多功能土壤健康评价方法。经科学总结与系统凝练，最终形成《红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量评价方法》中国土壤学会团体标准。

## 2. 编制依据

本标准的引用文件如下：

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)

## **2. 标准主要内容及确定依据**

### **2.1 标准适用范围**

本标准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等具体内容，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。

### **2.2 术语和定义**

本部分明确了 11 个术语和定义，其中包括归一化植被指数、叶绿素指数、根系形态特征、微根管技术、土壤生物功能、土壤呼吸、氨挥发、甲烷排放、氧化亚氮排放、智慧监测和田间型高通量表型分析系统。

### **2.3 主要技术内容的确定依据**

#### **2.3.1 监测点设置和监测指标**

监测点的原则是综合考虑土壤类型、种植制度、管理措施、供电能力和通信条件等因素，监测点应设置在农业监测试验站、永久基本农田保护区等有代表性地块上，以保证监测点的稳定性、监测

数据的连续性和时效性、数据存储的安全性和数据处理、分析的及时性。监测点的设置可参考《耕地质量监测技术规程》(NY/T 1119—2019)、《耕地质量长期定位监测点布设规范》(NY/T 3701—2020)等标准执行。根据监测目的,选取了涵盖植物地上部长势、植物根系生长、土壤生物活性、土壤肥力和环境要素的监测指标,根据植物生长期和监测设备的监测频率确定了各指标的监测方法和频率,具体见表 1。植物作为生态系统的物质和能量来源,其地上部长势用来反映植物的生长状况和营养水平,参考《陆地生态系统生物长期监测规范》(GB/T 43858—2024)、《耕地质量监测技术规程》(NY/T 1119-2019)、《草地植被健康监测评价方法》(NY/T 3648—2020)、《中高分辨率卫星主要农作物长势遥感监测技术规范》(NY/T 3922-2021)等标准选取了归一化植被指数、叶绿素指数、作物覆盖度、叶冠层指数、地上部生物量和作物产量等指标。植物根系作为植物和土壤环境的关键连接纽带,其根系形态和生态功能可反映植物对养分吸收能力和对环境胁迫的适应策略,其代表性指标如根长、根直径、根体积等和地下生物量等的选取参考《陆地生态系统生物长期监测规范》(GB/T 43858—2024)、《森林生态系统长期定位观测方法》(GB/T 33027—2016)、《园林绿化生态系统监测网络样地观测与样品采集管理技术规范》(DB 11/T 2372—2024)标准。土壤生物作为土壤生态过程的重要驱动者,其数量、多样性和活性通过显著影响多种生态系统服务功能进而影响耕地质量和土壤健康状况,参考《陆地生态系统生物长期监测规范》(GB/T



43858—2024)、《森林生态系统长期定位观测方法》(GB/T 33027—2016)、《农田生态系统生物多样性监测技术规程》(DB 43/T 3224—2025)等标准选取了土壤酶活性、微生物生物量碳氮、微生物多样性和温室气体等指标。植物-土壤-微生物生态系统,土壤微生态环境和土壤肥力能够对环境变化做出快速响应,驱动土壤微生物群落和功能发生显著改变,调控养分循环过程进而影响植物生长,参考《地面气象观测规范 地温》(GB/T 35233—2017)、《耕地质量监测技术规程》(NY/T 1119-2019)、《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2025)、《高标准农田土壤肥力指标》(DB 32/T 2270—2025)等标准选取了土壤有机质、氮磷钾全量和速效养分指标等化学指标,以及土壤质地和结构、水分、温度和电导率等物理指标。

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<br>长势要素 | NDVI                | 1 次/天   | 设备监测   |
|               | 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 |
|               | 地上部生物量              | 1 次/生长季 |        |
| 植物根系<br>生长要素  | 根长                  | 1 次/周   | 设备监测   |
|               | 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 |
| 土壤生物<br>活性要素  | CO <sub>2</sub> 通量  | 10 次/h  | 设备自动监测 |
|               | CH <sub>4</sub> 通量  | 10 次/h  |        |
|               | N <sub>2</sub> O 通量 | 10 次/h  |        |
|               | NH <sub>3</sub> 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 |
|               | 土壤亮氨酸酶活性            | 3 次/生长季 |        |
|               | 土壤 N-乙酰-β-D-葡萄      | 3 次/生长季 |        |

|         |           |         |        |
|---------|-----------|---------|--------|
|         | 糖苷酶       |         |        |
|         | 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 |
|         | 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 |
|         | 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 |        |

2.3.2 植物地上部长势要素监测方法

通过对植物地上部长势的观测，评估作物生长状况、监测生长进程，可量化作物不同生长阶段的发育速度；识别叶片黄化、枯萎或畸形等生长异常，可反映土壤养分失衡或病虫害侵袭，以优化农田管理措施。

在标准化研究方面，植被指数、叶绿素指数、植被覆盖度、叶面积指数、株高、地上部生物量和产量的获取方法主要是通过遥感提取影像数据后经过公式计算获取。此外，植被覆盖度也可以通过植被盖度仪、针刺法或样线法在田间直接测定，叶面积指数也可以通过网格法、比叶重法、系数法、AutoCAD 法以及扫描法对田间调查数据进行计算获得，株高、地上部生物量和产量通过人工田间直接测量获得。

本标准中植被指数、叶绿素指数、植被覆盖度、叶面积指数通过田间型高通量表型分析系统每周一次或者多次高通量扫描，将通

过传感器获取的数据经处理后同步输出和存储在终端数据采集器中，株高、地上部生物量和产量通过人工辅助监测获取，参考 NY/T 1119-2019 执行。田间型高通量表型分析系统的安装方法主要包括以下步骤：通常采用混凝土为原材料，参考 TJ 7 标准修建地基；将覆盖全部观测长度的轨道安装在地基上，埋设固定装置；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，并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；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、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；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，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；安装后通过校验与调试后进行数据采集。

### 2.3.3 植物根系生长要素监测方法

通过对植物根系形态的观测，有助于了解根系的形态特征，推测其对养分和水分的吸收效率及其受养分水分胁迫的可能性。

植物根系生长要素包括根系形态特征如（根长、根直径、根体积、侧根密度等）和地下部生物量（根生物量）两大类，根形态特征通常采用微根管技术获取图像数据，将图像数据导入专业软件进一步获取根系形态特征参数，地下部生物量采用挖掘法或者土钻法收集根系，通过称重法获取。目前有关植物根际形态特征的标准主

要是用于森林生态系统，尚无形成适用于农田生态系统的标准。

本标准中根系形态特征采用根系原位生态系统于作物生长季内每周采集根系图像，采用专门高通量分析软件获取根系形态参数，地下部生物量通过人工辅助监测获取。根系原位生态系统的安装方法参考《森林生态系统长期定位观测方法》（GB/T 33027—2016）标准并进行改进，主要包括以下步骤：安装前清除安装位置周边的石块和根系；采用根管专用打孔工具钻出一个孔径略大于根管直径（1-2 cm）并达到预埋深度的管洞；采用斜插安装（45°-60°）安装根管，根管插入土层深度以覆盖作物根际主要分布区为宜，间距建议为 1-2 m，可根际实际情况进行调整，管壁与土壤紧密接触，减少对土壤扰动；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。

#### **2.3.4 土壤生物活性要素监测方法**

通过对土壤呼吸、氨挥发、甲烷和氧化亚氮排放等过程的观测，旨在量化土壤生物在碳氮循环过程方面的活性，评估农田养分供给效率及养分损失风险，为减排固碳和可持续管理提供依据。

在标准化研究方面，目前农田生态系统中二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放的常见测定方法是通过静态箱收集气体样品，采用气相色谱法测定二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放通量，氨挥发的常见测定方法是通过动态箱收集气体样品，采用化学发光检测法测定氨气浓度。此外，二氧化碳排放也可以用土壤呼吸来表征，其测定方法有土壤呼吸速率自动观测仪和室内酸碱滴定法或者气相色谱法测

定。土壤酶活性采用比色法测定，微生物生物量碳氮采用氯仿熏蒸提取法测定，微生物多样性采用高通量测序测定。其中涉及土壤酶活性的标准大多集中在森林生态系统的土壤生物观测，而农田生态系统中的土壤生物指标大多仅涉及微生物生物量碳氮、微生物数量。

本标准中土壤呼吸、氨挥发、甲烷和氧化亚氮排放指标采用可同时测定这四种指标的土壤温室气体监测系统于作物生物季内每天全时段自动实时监测，土壤酶活性、微生物生物量碳氮、微生物多样性于作物生育期采集土壤样品，土壤样品采集参考 NY/T 1121.1—2006 执行，带回实验室进行人工辅助测定。土壤酶活性常采用比色法测定，参考 ISO 20130:2018 执行，土壤微生物生物量碳氮采用氯仿熏蒸提取法测定，参考 GB/T 39228 执行，微生物多样性参考 GB/T 41689 标准提取 DNA 和 GB/T 30989 标准进行高通量测序。土壤温室气体系统的安装方法主要包括以下步骤：选择地势平坦的地表作为安装点，并清除周边凋落物和杂草；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；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；使用地钉加固呼吸室，增强其在野外观测环境下的稳定性；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后可开机操作。

**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 <sub>2</sub>  | 380~5000 ppm | <300 ppb+0.05%读数 |
| CH <sub>4</sub>  | 1.5~12 ppm   | <7 ppb+0.05%读数   |
| N <sub>2</sub> O | 0.3~200 ppm  | <10 ppb+0.05%读数  |
| NH <sub>3</sub>  | 0~300 ppm    | <3 ppb+0.05%读数   |

### 2.3.5 土壤环境和肥力要素监测方法

通过对土壤水分的观测可以精准掌握土壤水分动态，评估旱涝风险，指导灌溉排水管理，提升水资源利用效率；通过监测土壤温度变化，分析其对作物生长和微生物活动的影响，监测土壤电导率和土壤养分水平动态变化，评估土壤肥力状况、环境健康及作物生长条件，为优化农艺措施和区域气候适应性管理提供科学依据。

在标准化研究方面，土壤电导率采用电导率仪测定，土壤水分大多数采用重量法测定，极少数采用土壤传感器法测定，土壤温度采用地温计法测定，目前尚缺乏两种或者三种指标同时测定的方法或者原位设备监测的标准，导致通过已有标准方法缺乏统一性和可比性。此外，在农田生态系统中，土壤氮磷钾速效养分的监测时间大多集中单一时间点，针对整个生长季或者不同生育期的动态监测较少。

本标准中土壤水分、温度和电导率指标采用土壤多参数传感器（同时测定土壤水分、温度和电导率等指标）于作物生物季内每天全时段自动实时监测；土壤氮磷钾速效养分于三个关键生育期采集表层土壤样品，分别参考 GB/T 42485、NY/T 1121.7 - 2014、NY/T 889 进行测定；土壤耕地质量和氮磷钾全量养分、土壤团聚体水稳性、土壤 pH、有机质于作物种植前和收获后采集表层土壤样品，分

别参考 GB/T 33469、NY/T 1121.24 - 2012、LY/T 1232、LY/T 1234、NY/T 1121.19 - 2008、NY/T 1121.2 - 2006、NY/T 1121.6 - 2006 进行测定。土壤多参数传感器的安装方法主要包括以下步骤：根据探头埋设深度开挖小型土壤剖面；传感器水平插入各目标深度，使探针与土壤紧密接触；安装完成后，严格按照原始土层顺序回填土壤，并轻微压实，减少对原状土壤扰动；所有传感器线缆标明深度及编号，集中捆扎并固定；进入数据采集箱内的线缆需预留“U”型滴水弯，防止雨水渗入，埋地部分的线缆加装保护套管。

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。

2.3.6 远程数据传输与监控技术

本部分介绍了数据传输和数据传输协议的类型，数据安全的加密方式，数据接收与处理、数据存储和保存及数据监控的方式。根据通信资源条件和设备功耗要求，在 4G/5G 信号覆盖良好的区域，优先选用无线蜂窝网络，适用于视频、图像等大数据量输入，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，适用于周期性、小数据量的传感器数据传输。为了确保数据的传输效率、安全性和完整性，设备与平台间的通信协议宜采用标准化协议（MQTT、HTTP/HTTPS 或 CoAP），设备在接入之前需要

进行身份认证与授权，所有敏感数据在传输过程中采用 TLS/SSL 等加密通道进行加密，网络中断时数据能够缓存在设备本地，待网路恢复后缓存数据能够自动补传。在数据接收与处理、数据存储、数据监控方面，选择具有高并发接入能力的接收平台，能够稳定接收来自大量田间设备的数据流，还能对原始数据进行有效性检验和清洗等处理，数据的统计处理和统计参考标准 GB/T 4883 执行，同时该平台还应具有以电子地图、列表等形式展示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的功能；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，建立完善的数据备份与恢复机制，数据库的构建参考标准 GB/T 20533 执行。

### 2.3.7 耕地质量评价与智能应用

耕地质量是粮食安全的基石，红壤普遍存在着“酸”“瘦”“粘”等不良性状，导致其生态系统面临肥力下降、生物多样性下降和活性下降等一系列耕地质量退化问题。因此，通过对红壤旱地开展耕地质量评价，明确各项评价指标在评价体系中的重要性，对于探明土壤障碍因子和提升耕地质量至关重要。

在标准化研究方面，目前耕地质量评价标准大多为国家或者地方性标准，适用于国家和各省份较大区域尺度的耕地质量评价工作，但对于特定土壤类型仍然缺乏有针对性的细化标准。此外，在评价指标筛选方法大多选择数据易获取的土壤物理和化学指标，尚缺乏将土壤生物性状和植物性状均纳入评价体系的标准。耕地质量评价结果的呈现形式仍以传统的图片为主，缺乏智能可视化和应用



的标准。

本标准根据德国 **Muencheberg** 土壤质量评级、欧盟农田土壤健康评价方法筛选核心指标，结合我国耕地等级评价方法，筛选了植物生长性状（株高和产量）、土壤生物性状（细菌和真菌多样性、微生物生物量碳氮、土壤呼吸）、土壤物理性状（耕地质地、侵蚀因子、土壤水分、大团聚体比例）和土壤化学指标（土壤 **pH**、有机质、全磷钾、有效磷钾）作为耕地质量评价指标。参考 **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，采用累加法计算新增耕地质量综合指数。参考 **NY/T 2626**，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。以田块为基本单元，生成用色带渲染不同质量等级的耕地质量等级分布图，同时针对红壤土壤障碍因子，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”。

此外，本标准依托智慧农业云平台，支持 **Web** 端与移动端访问，实现数据同步与操作便捷，实现了评价结果的智能可视化与决策应用。该平台不仅能够以直方图更直观地显示土壤障碍因子的时空分布变异情况，以折线图展示土壤养分等指标的历史比对，还支持多田块间相同指标的平行比对，快速识别不同管理方式的优缺点，为优化农田管理方式提供科学依据。同时，该平台能够根据设置的指标阈值，自动诊断并标识每个田块的主要障碍类型，并对已接近或超过临界值的指标向管理人员发送预警信息，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”等为农田智能管理提供实践案例。

### 三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

#### 1. 红壤旱地植物地上部和地下部长势

不同施肥处理对植物地上部和地下部长势具有显著影响。植物地上部长势方面，与不施肥（M0）相比，低量粪肥（M1）、高量粪肥（M2）和高量粪肥+石灰（M3）处理下地上部生物量分别增加 1.89 倍、5.36 倍和 6.31 倍；产量分别提高 9.63 倍、20.51 倍和 19.54 倍。植物地下部长势方面，与 M0 处理相比，M1、M2 和 M3 处理根直径分别增加 23.77%、42.59%和 60.61%；分枝强度分别增加 3.86%、9.63%和 1.43%；比根长分别增加 9.16%、26.42%和 42.47%；根重分别增加 11.23 倍、28.36 倍和 37.00 倍；而根组织密度分别降低 3.86%、9.63%和 1.43%。综合以上各项指标结果，M3 处理对植物根直径、比根长、根重、地上部生物量和产量的提升效果最为显著，表明该处理在植物根系生长发育协同作物增产方面具有显著效果。

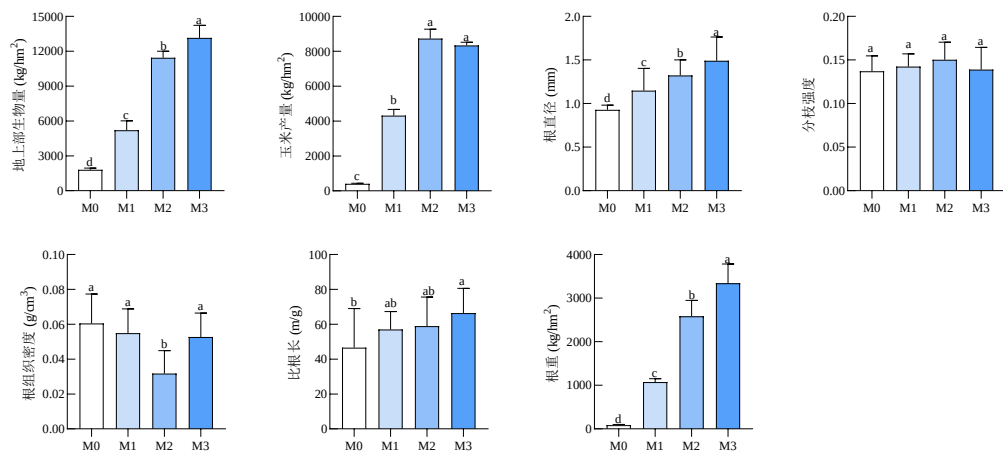


图 1 不同施肥处理下植物生物量、产量、根系性状和根重

## 2. 红壤旱地土壤微生物生物量、群落多样性、酶活性和温室气体

与 M0 对照组相比，M1、M2 和 M3 处理均显著提高了土壤微生物生物量碳和土壤微生物生物量氮含量，增幅分别为 92.14%、243.92%、124.03%和 79.70%、279.89%、170.74%，其中 M2 处理提升效果最为显著。土壤微生物多样性方面，与 M0 处理相比，M1、M2 和 M3 处理均显著提高了细菌多样性，各施肥处理间差异不显著，真菌多样性在不同处理间表现为 M0 > M1 > M3 > M2，不同施肥处理均显著降低真菌多样性，表明施肥处理显著改变土壤微生物群落结构。土壤酶活性方面，M0 处理处于较低水平，而 M1、M2 和 M3 处理均显著提高了土壤碱性磷酸酶、 $\beta$ -1,4-葡萄糖苷酶和  $\beta$ -N-乙酰氨基葡萄糖酶活性，其中 M2 处理对  $\beta$ -1,4-葡萄糖苷酶的提升效果最为显著，M2 处理对  $\beta$ -N-乙酰氨基葡萄糖酶的提升效果最为显著，M2 和 M3 处理对碱性磷酸酶的提升效果均最为显著。温室气体排放方面，与 M0 处理相比，M1、M2 和 M3 处理均显著提高了土壤呼吸速率，增幅分别为 23.14%、80.55%和 41.88%。综合以上研

究结果表明，M2 处理能够显著提高土壤微生物生物量碳氮、增加细菌多样性、提高土壤碳氮磷转化酶活性和土壤呼吸速率，有助于改善土壤微生态环境，促进养分循环，增加温室气体排放。

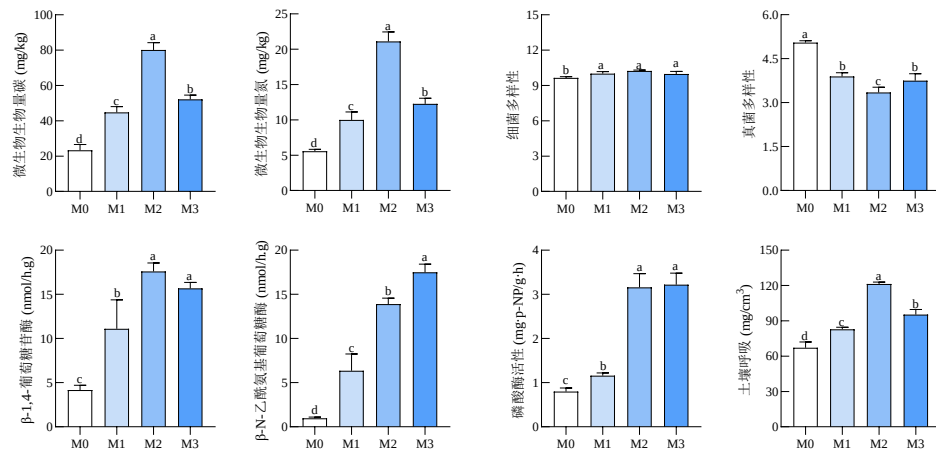


图 2 不同施肥处理下土壤微生物生物量、微生物多样性、酶活性和土壤呼吸

### 3. 红壤旱地土壤理化性质

不同施肥处理均改变了土壤理化性质。土壤物理性质方面，土壤有效含水量在 M1、M2 和 M3 处理下分别较 M0 处理显著增加 51.92%、138.21%和 135.73%；土壤大团聚体比例分别增加 11.60%、60.74%和 68.56%。土壤含水量、砂砾、粉粒和粘粒含量在各处理间差异不显著。土壤化学性质方面，土壤 pH、有机质和养分含量在不同施肥处理取得显著提升。与 M0 处理相比，M1、M2 和 M3 处理下土壤 pH 分别增加 4.97%、34.67%和 46.66%；有机质含量分别提高 67.14%、165.13%和 120.53%；全氮含量分别增加 55.99%、151.46%和 142.85%；全磷含量分别增加 200.05%、567.22%和 548.12%；碱解氮含量分别增加 64.69%、161.08%和

125.43%；有效磷含量分别增加 17.98 倍、90.33 倍和 81.48 倍；有效钾含量分别增加 6.64%、61.17%和 63.12%。土壤全钾含量在 M1、M2 和 M3 处理下分别较 M0 处理降低 2.35%、7.04%和 7.27%。综合以上各项指标，M2 和 M3 处理能够显著增加土壤有效含水量和大团聚体比例、提高土壤 pH、有机质、全量和速效养分含量，表明该处理有利于改良土壤结构，改善土壤酸化状况，促进氮磷钾养分扩容增效，进而提升土壤肥力和土壤质量。

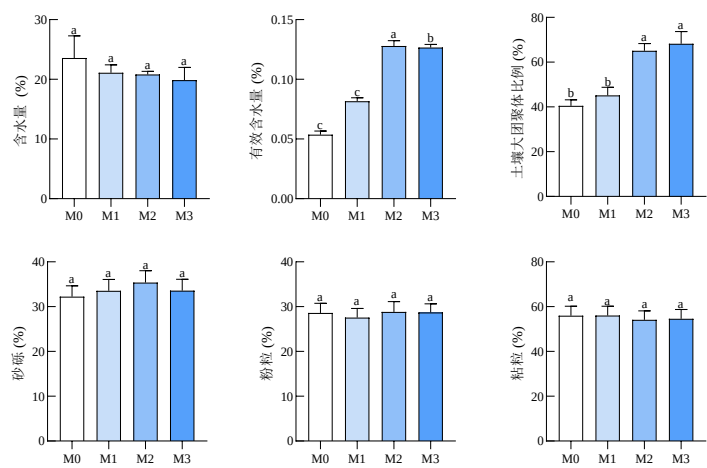


图 3 不同施肥处理下土壤物理性质

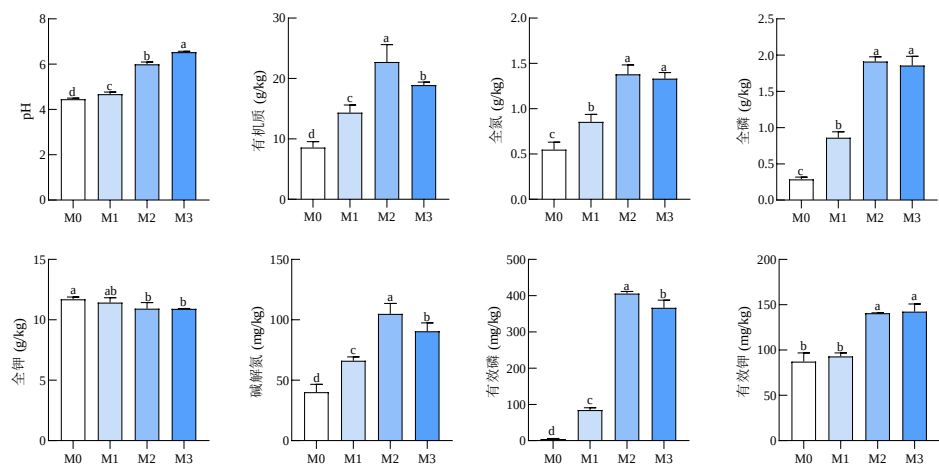


图 4 不同施肥处理下土壤化学性质

#### 4. 红壤旱地耕地质量评价

不同施肥处理对多功能土壤健康指数、土壤生态功能指数、土壤质量指数和土壤肥力具有显著影响。在多功能土壤健康指数和土壤生态功能指数方面，与 M0 处理相比，M1、M2 和 M3 处理下土壤健康指数分别提升 29.23%、191.56%和 134.76%；植物生产力指数分别增加 27.57%、199.41%和 136.26%；水分调节指数分别增加 21.14%、166.04%和 136.34%；碳封存指数分别增加 21.84%、164.18%和 103.16%；养分循环指数分别增加 31.06%、226.59%和 146.44%；生物多样性保护指数分别增加 24.81%、141.52%和 102.72%，其中 M2 处理的增加效果最为显著。采用随机森林模型计算每种指标对土壤健康的重要性，筛选出高贡献度和具有显著性的指标构建最小数据集（MDS），建立多功能土壤健康指数评价体系。其中，MDS 中的指标包括：pH、TN、AN、AP、微生物生物量、土壤呼吸、微生物多样性指数。与 M0 处理相比，M1、M2 和 M3 处理下 MDS 多功能土壤健康指数分别增加 0.26 倍、1.51 倍和 1.30 倍；MDS 植物生产力指数分别增加 0.23 倍、1.89 倍和 1.25 倍；MDS 水分调节指数分别增加 0.15 倍、1.63 倍和 1.29 倍；MDS 碳封存指数分别增加 0.36 倍、2.20 倍和 1.34 倍；MDS 养分循环指数分别增加 0.31 倍、2.24 倍和 1.42 倍；MDS 生物多样性保护指数分别增加 0.28 倍、1.49 倍和 1.11 倍。土壤肥力指数和土壤质量指数在不同施肥处理均表现为  $M2 > M3 > M1 > M0$ ，具体来看，土壤肥力指数在 M1、M2 和 M3 处理分别较 M0 处理提升 53.13%、

105.49%和 95.98%；土壤质量指数分别提升 58.20%、242.83%和 180.27%，土壤肥力指数和土壤质量指数呈极显著正相关。在土壤质量、土壤肥力和土壤健康内在关系方面，土壤质量指数与多功能土壤健康 ( $r=0.91$ ,  $P < 0.0001$ ) 指数和 MDS 多功能土壤健康指数 ( $r=0.91$ ,  $P < 0.0001$ ) 呈显著极相关；土壤肥力指数与多功能土壤健康 ( $r=0.99$ ,  $P < 0.0001$ ) 指数和 MDS 多功能土壤健康指数 ( $r=0.98$ ,  $P < 0.0001$ ) 呈显著极相关。在土壤健康与玉米产量的关系方面，土壤健康指数与根重 ( $r=0.85$ ,  $P < 0.0001$ )、茎重 ( $r=0.89$ ,  $P = 0.0001$ )、籽粒重 ( $r=0.91$ ,  $P < 0.0001$ ) 和总生物量重 ( $r=0.90$ ,  $P < 0.0001$ ) 呈极显著正相关，MDS 土壤健康指数与根重 ( $r=0.84$ ,  $P < 0.0001$ )、茎重 ( $r=0.88$ ,  $P < 0.0001$ )、籽粒重 ( $r=0.90$ ,  $P < 0.0001$ ) 和总生物量重 ( $r=0.89$ ,  $P < 0.0001$ ) 呈极显著正相关。综合以上研究结果，M2 处理能够显著提升土壤生态功能指数、土壤肥力指数、土壤质量指数和土壤健康指数，表明该处理有助于改善土壤生态功能，协同提升土壤肥力和质量，进而提高土壤健康状况和作物产量。

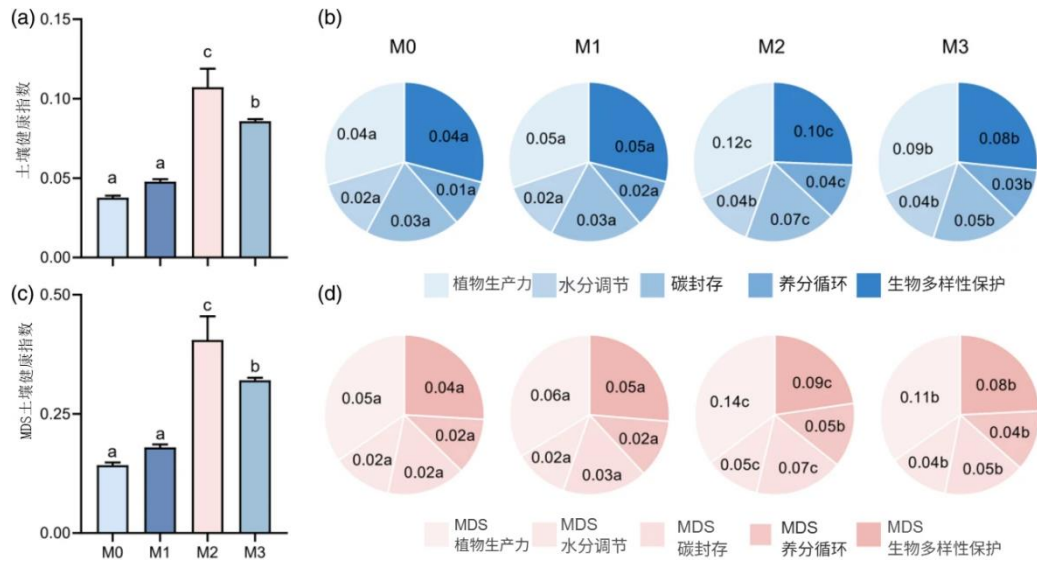


图 5 不同施肥处理下多功能土壤健康指数（土壤健康指数和五种生态功能指数）和最小数据集多功能健康指数（MDS 土壤健康指数和 MDS 五种生态功能指数）

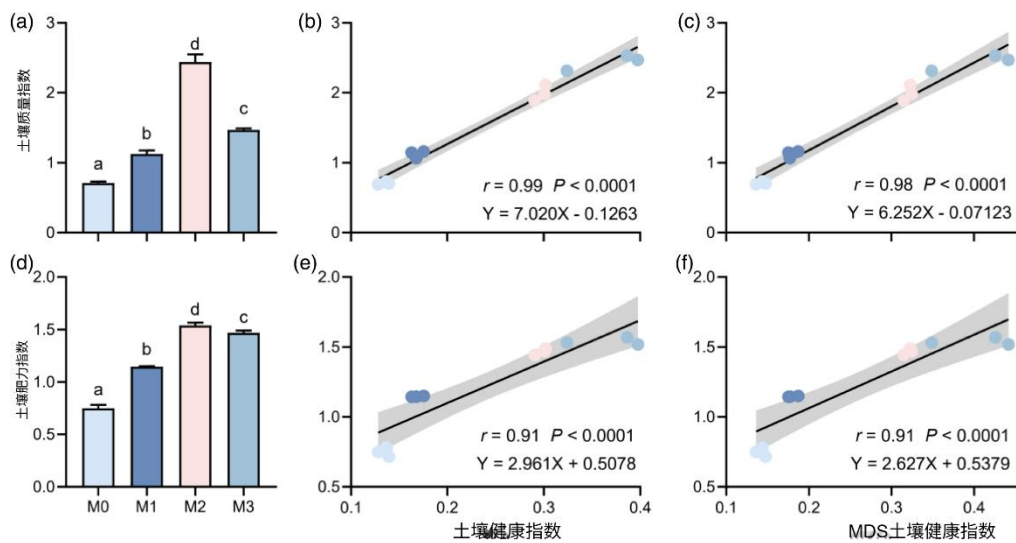


图 6 不同施肥处理下土壤质量指数、土壤肥力指数、土壤健康指数与土壤质量和土壤肥力之间的相关性分析



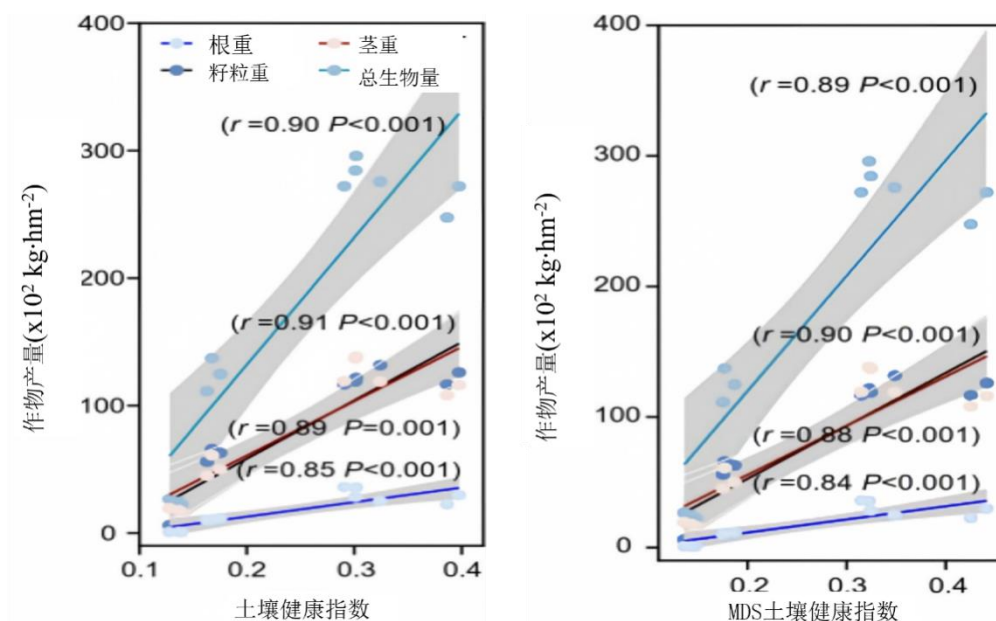


图 7 土壤健康指数与玉米产量相关性分析

#### 四、标准涉及的相关知识产权说明

本标准不涉及相关专利及其他知识产权问题。所有引用的标准和文献均已注明出处，并尊重原作者的知识产权。

#### 五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系

在区域耕地质量监测标准方面，目前已有《耕地质量监测技术规程》(NY/T 1119-2019)，但是该标准在农田气象要素、土壤参数、作物长势等监测内容采用了自动监测方式，在土壤生物性状和土壤理化性状等监测内容采用了人工辅助监测方式，适用于国家耕地质量的监测，省（自治区、直辖市）市具耕地质量的监测可参照执行，不能用于针对旱地红壤区生物过程的监测。目前还没有针对红壤旱地生物过程的智慧监测及耕地质量评价方法方面的国际和国内同行标准。

本标准符合现行的法律法规要求，与强制性标准并不冲突，相

关技术要求与现行国家标准、行业标准和地方标准相协调。

## 六、重大意见分歧的处理经过和依据

本标准起草过程中无重大分歧意见。

## 七、其他应予说明的事项

于 2025 年 11 月中旬，标准草稿的函评阶段，专家提出关于原标准名称中增加“旱地”字眼的建议。因此，于 2026 年 7 月 10 日形成了统一意见形成征求意见稿，标准名称更改为“红壤旱地生物过程智慧监测及耕地质量评价方法”。

本标准编制过程中，起草人名单根据实际贡献情况进行了合理调整，具体变动说明如下：

在标准研制初期（2025 年 11 月中旬前），起草人主要包括王晓玥、蒋瑀霁、栾璐、樊剑波、刘晓利、叶英聪、解宪丽、刘杰、师玥、赵利霞、刘明、郑洁、陈玲。

在编制工作推进过程中（2025 年 12 月至今），赵利霞承担了监测数据采集、编制说明中主要试验数据分析、综述报告撰写、技术论证及预期效果评估等核心工作，并依据函评专家意见对标准文本进行了系统修改与完善，为本标准的科学性、规范性和可操作性提供了重要支撑。鉴于其突出贡献，经编制组全体成员一致同意，将其调整为本标准第四起草人。

同期，滕应在监测规范制定及函评专家建议落实等方面提出了重要意见，为本标准的科学性和规范性的提升作出了积极贡献。经编制组全体成员一致同意，将其增列为本标准起草人。

在本标准研制过程中，郑洁因个人原因更名为郑杰，后续相关材料均以更新后姓名体现。

调整后的起草人名单及排序已征得全体编制组成员确认，符合《中国土壤学会团体标准管理办法（试行）》相关规定，特此说明。