

中国农业绿色发展研究会团体标准 编制说明

《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》

（送审稿）

《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》编
制组

二〇二六年九月

目 录

一、团体标准制修订背景、目的和意义	1
二、工作简况	3
三、标准编制原则和依据	5
四、标准主要条文或技术内容及其确定依据	7
五、主要试验、验证及试行结果	12
六、采用国际标准的程度及水平说明	15
七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系	15
八、重大分歧或重难点的处理经过和依据	17
九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果	17
十、 其他应说明的事项	18
参考文献	199

《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》

一、团体标准制修订背景、目的和意义

1. 制订背景

土壤是农业生产和生态环境的重要基础资源，准确、高效获取土壤属性信息，是耕地质量监测、土壤资源调查、数字土壤制图、精准农业和农业绿色发展的重要基础。传统土壤属性测定主要依赖采样后开展化学分析，具有准确度较高等优势，但通常存在检测周期较长、分析成本较高、样品及化学试剂消耗较大等问题，难以完全满足大批量土壤样品快速检测和数字化土壤调查的发展需求。

随着地物光谱仪、近地传感、机器学习等技术的发展，土壤可见-近红外光谱技术逐步成为土壤属性快速感知的重要手段。土壤在 350 nm~2500 nm 范围内的反射光谱包含与土壤有机质、矿物组成、含水状态、颗粒组成及部分养分属性相关的综合信息。通过规范获取土壤反射光谱，可为土壤有机质、全氮、全磷、全钾、pH 等属性的快速估测，以及数字土壤制图和耕地质量评价提供数据基础。

与田间原位光谱测量相比，室内光谱测量能够较好地控制土壤含水状态、光源、温湿度、探头位置和测量几何条件，是当前土壤光谱机理研究、光谱模型构建和标准数据获取的重要基础环节。然而，土壤光谱对样品粒径、装样状态、表面平整度、光源条件、探头视场、仪器参数和校准状态等因素较为敏感。不同实验室、不同设备和不同操作者采用不同的样品处理方法和测量流程，可能造成明显的系统差异，直接影响光谱数据的重复性、可比性及后续模型的稳定性。

目前国内已经形成土壤采样、土壤样品处理、地物可见光—短波红外反射率测量、农业遥感等相关国家标准和行业标准，为本标准的制定提供了重要基础。但已有标准主要面向一般地物、农作物或土壤采样和常规检测，针对土壤样品室内可见-近红外反射光谱测量中的样品皿、装样厚度、样品表面状态、非接触式和接触式测量、光源配置、测量几何、重复测量、反射率计算以及批次质量控制等内容仍缺少系统统一的技术规范。

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所长期开展土壤资源调查、耕地质量监测、农业遥感与数字土壤研究，依托中国农业科学院科技创新工程基础科学研究中心科学任务“复杂环境下土壤光谱响应机理”，已经完成不同土壤类型样品制备、室内可见-近红外光谱采集、主要理化性质测定、颗粒度及水分影响试验、光谱质量控制和土壤属性反演模型研究，并形成了较为系统的技术和数据基础。

在此背景下，制定《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》，统一土壤样品室内光谱测量技术流程和关键控制条件，对于提高我国土壤光谱数据质量和跨批次、跨机构可比性，促进土壤光谱快速检测技术规范应用具有重要意义。

2. 制订目的

制订《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》，旨在形成一套科学、统一、可操作、可重复的土壤可见-近红外反射光谱室内测量技术体系。

一是规范土壤样品进入光谱测量环节后的特殊处理要求，在充分引用现行土壤采样和样品处理标准的基础上，重点规定影响光谱测量的样品粒径、混匀方式、样品皿、装样厚度和样品表面整理等要求。

二是规范仪器、光源及辅助装置要求，明确光谱仪工作波段、光谱分辨率、波长稳定性、信噪比、标准参考板以及非接触式和接触式测量所使用光源的基本技术要求。

三是建立非接触式和接触式两类室内光谱测量流程，统一仪器预热、暗电流测量、标准参考板校准、光源和探头布置、测量距离、重复测量和校准复核等操作步骤。

四是统一土壤光谱反射率、重复测量平均值、标准差和相对标准偏差等结果计算方式，以及重复性、批次稳定性、异常光谱和数据完整性等质量控制要求。

通过上述内容，尽可能减少由实验室条件、人员操作和测量流程差异产生的非土壤属性光谱变异，使不同单位、不同批次获得的土壤室内光谱具有更好的重复性、可追溯性和可比性，为后续土壤属性光谱建模和相关应用提供稳定的数据基础。

3. 制订意义

首先，有利于提高土壤光谱测量数据质量。通过规范样品粒径、样品装填、样品表面状态、仪器校准、测量环境和重复测量等关键因素，可有效降低与土壤属性本身无关的测量误差，为形成稳定、可靠的光谱数据提供保障。

其次，有利于提高不同实验室和不同测量批次间数据的可比较性。当前土壤光谱研究中，样品制备方式、仪器参数和测量几何差异是影响数据共享与模型迁移的重要因素之一。采用统一的技术流程，可为跨区域、跨单位土壤光谱数据协同应用创造条件。

此外，有利于促进土壤快速检测技术应用。高质量、标准化的室内光谱是构建有机质、全氮、全磷等土壤属性光谱模型的重要前提。通过规范源头测量流程，可以提高后续模型构建、模型评价和模型迁移的数据基础质量。

最后，有利于支撑第三次全国土壤普查成果拓展、耕地质量监测

和数字土壤建设。我国已经形成大量土壤样品和理化属性数据，通过开展规范化光谱测量，可进一步挖掘现有土壤样品资源的价值，为土壤属性快速获取和数字化土壤调查提供新的技术手段。

二、工作简况

1. 任务来源

为贯彻党中央、国务院关于推进农业绿色发展的决策部署，落实好《国家标准化发展纲要》《关于促进团体标准规范优质发展的意见》等文件精神，进一步促进农业绿色发展标准体系建设，充分发挥团体标准在服务农业绿色发展中的示范带动作用，加速科技成果转化，推动产业高质量发展，中国农业绿色发展研究会征集团体标准。标准制订计划项目名称为《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》。本标准属于新制订标准。

2. 主要工作过程

2.1 前期研究

2024 年以来，起草组依托中国农业科学院科技创新工程基础科学研究中心科学任务“复杂环境下土壤光谱响应机理”，围绕土壤关键属性光谱响应机理、多因素干扰作用、光谱反演模型和田间验证等开展系统研究。

项目已完成黑土、红壤及典型区域土壤样品的采集、制备、理化性质测定和室内高光谱数据采集，并建立光谱质量控制与预处理流程。在研究过程中，对水分、土壤类型、利用方式、颗粒度和矿物背景等因素对光谱曲线及模型稳定性的影响开展了系列控制试验，为识别室内土壤光谱测量中的主要误差来源、明确测量过程中的关键控制环节提供了研究基础。

与此同时，基于中国农业科学院历史保存土壤剖面 and 海南省农用地土壤样品，已形成 200 余份成像光谱数据和 6800 余条反射光谱数据，并完成相应样品有机质、pH、全氮、全磷、全钾等主要土壤理化性质测定，初步形成了较系统的样品—光谱—属性数据基础。

2.2 起草阶段

在前期科研工作的基础上，起草组对国内外土壤光谱测量、地物光谱反射率测量、土壤样品采集与制备等技术和标准进行了整理分析。

标准早期研究曾从土壤光谱数据采集与光谱库建设全过程进行考虑，形成《土壤可见光-近红外光谱数据采集与光谱库建设规范》草案，内容包括野外原位测量、室内测量、数据处理和光谱库建设等。

经内部研究和技术讨论后，考虑到野外原位测量受到天气、太阳

高度角、土壤含水量、植被残体及地表粗糙度等复杂环境因素影响，而室内测量的技术条件相对可控、技术成熟度更高，是建立标准光谱数据的重要基础，因此进一步将标准范围聚焦于土壤室内光谱测量，形成《土壤可见-近红外光谱信息室内测量技术规范》草案。

起草过程中，标准编制组学习 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》，按照标准化文件编写要求，对标准框架、术语、规范性引用文件和技术条款进行了多轮修改。

2.3 立项论证及修改完善阶段

在团体标准立项论证过程中，专家对标准定位、文本逻辑和核心技术内容提出了系统意见。

专家认为，标准既然聚焦土壤室内光谱测量，不宜再大量展开土壤野外样点布设、采样设备和采样记录等通用内容，应优先引用现有国家标准和行业标准，只保留对光谱测量具有特殊影响的样品处理要求；同时应进一步增加土壤光谱实际“怎么测”的操作内容，包括样品使用何种容器、装样厚度、样品表面整理、探头视场和测量步骤等。

专家还提出，应区分接触式和非接触式光谱测量的环境条件和光源条件。非接触式测量采用室内外置人工光源，而接触式探头的光源集成于探头内部，两类方式不宜采用相同条款描述。同时，应增加光源类型及性能、测量几何和操作步骤等具体规定。基于专家组的意见，起草组同时重新调整了标准结构，系统完善了标准的内容。

3. 主要起草人及其分工

职务	姓名	专业领域及职称	所在单位	任务分工
组长	钱建平	智慧农业/研究员	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	总体设计，调研与标准编写
成员	吴文斌	智慧农业/研究员	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	调研与标准编写
成员	余强毅	智慧农业/研究员	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	调研与标准编写
成员	史舟	智慧农业/教授	浙江大学	调研与标准编写

成员	王震	智慧农业/博士研究生	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	调研与标准编写
成员	郭龙	智慧农业/副教授	华中农业大学	调研与标准编写
成员	李硕	智慧农业/副教授	华中师范大学	调研与标准编写
成员	肖鹏南	智慧农业/助理研究员	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	调研与标准编写
成员	陈家赢	智慧农业/副教授	华中农业大学	调研与标准编写
成员	吕天琦	智慧农业/博士研究生	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	调研与标准编写
成员	潘瑜春	智慧农业/研究员	北京市农林科学院信息技术研究中心	调研与标准编写
成员	贺鹏	智慧农业/副教授	山西农业大学	调研与标准编写
成员	高秉博	智慧农业/教授	中国农业大学	调研与标准编写
成员	卢闯	智慧农业/副研究员	北京市农林科学院信息技术研究中心	调研与标准编写

三、标准编制原则和依据

1. 编制原则

标准编制原则遵循《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国标准化法实施条例》《国家标准管理办法》等法律法规和政策文件及有关国家标准、行业标准的规定，以科学性、先进性、统一性、经济性、适用性、协调性、一致性和规范性为原则，以土壤光谱形成机理、地物光谱反射率测量原理和起草组已有控制试验结果为基础，充分考虑样品水分、粒径、表面结构、仪器性能、光源和测量几何等因素对土壤光谱的影响。标准聚焦当前科研院所、高校和相关技术单位普遍采用的土壤室内光谱测量方法，不设置与实际测量无直接关系的复杂要求。针对已有国家标准或行业标准能够规定的采样及一般样品处理环节，直接引用相关标准，避免重复规定。标准在充分考虑国内实验室技术条件和仪器普及程度的基础上，吸收土壤光谱测量、近地传感和国际土壤光谱标准化的最新技术发展，兼顾现阶段可实施性和未来跨实验室数据共享、模型迁移等发展需求。

同时，广泛征求并采纳了土壤光谱领域专家的意见和建议，确保标准的科学性和权威性。此外，参考了国内已发布的同类标准，使标准内容和指标更加贴合实际应用需求，确保各要素的规定具有可操作性、可重复性和指导性。

标准文本在编写过程中注重简洁明了，文字表述准确清晰，便于从业者以及相关管理人员理解和使用。通过这一系列的编制原则，旨在实现标准的先进性与实用性的高度统一，为我国土壤光谱室内信息测量工作提供科学、规范、高效的技术支撑。

2. 编制依据

2.1 以标准化相关规定为依据。本标准依据国家标准 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》的要求和规定起草制订。标准文本的编排采用中国标准编写模板 SET 2020 版进行排版，编制说明按照《中国农业绿色发展研究会团体标准暂行管理办法》的要求编写，确保标准文本和编制说明的规范性。

2.2 以相关国家标准和行业标准为依据。土壤样品采集及常规处理主要依据 GB/T 36197《土壤质量 土壤采样技术指南》和 NY/T 1121.1《土壤检测 第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存》。

光谱反射率测量的基本技术框架、光学测量术语等参考 GB/T 33988-2017《城镇地物可见光-短波红外光谱反射率测量》、GB/T 36299-2018《光学遥感辐射传输基本术语》和 GB/T 45725—2025《农作物可见光-短波红外光谱反射率测量》等标准。

对于已有标准能够直接覆盖的内容，本标准原则上直接引用；对于土壤样品特有且现有标准不能充分覆盖的样品皿、装样厚度、样品表面状态以及接触式和非接触式测量要求，则结合研究成果和实际测

量经验进行补充规定。

2.3 以科研成果和实践经验为主要技术依据。标准编制的重要技术基础来源于“复杂环境下土壤光谱响应机理”任务及起草单位长期开展的土壤光谱实验。

前期已完成黑土、红壤、海南热带土壤等典型样品的样品制备和室内 350 nm~2500 nm 反射光谱测量,对不同粒径、水分和土壤背景下的光谱响应进行了试验分析;同时形成了较稳定的室内光谱测量、质量控制和数据整理工作流程。

通过前期研究已经明确,水分、颗粒度、矿物背景及土壤近表层结构均会改变土壤光谱反射水平和曲线形态。因此,在标准中强调样品状态、样品厚度、表面平整度、重复测量和测量条件一致性,具有明确的实验和机理依据。

四、标准主要条文或技术内容及其确定依据

1. 范围

根据 GB/T 1.1—2020 关于标准范围编写的有关规定,结合本标准的技术定位,将标准对象确定为土壤可见-近红外光谱信息的室内反射光谱测量。

标准规定了总体要求、土壤样品要求、测量仪器及辅助装置、室内测量环境、测量步骤、结果计算、质量控制、测量记录和数据保存等内容。

考虑到起草组已有仪器和数据主要覆盖 350 nm~2500 nm 范围,同时该范围能够覆盖土壤可见光、近红外及短波红外区域的主要光谱响应信息,因此将适用测量范围确定为 350 nm~2500 nm 范围内部分或全部波段的反射光谱测量。

标准同时包括非接触式和接触式两种室内测量方式。两种方法均在国内土壤光谱研究中具有实际应用,但光源、光路和测量环境不同,因此在标准中分别规定。

2. 规范性引用文件

对于已有国家标准或行业标准能够完整规定的内容,本标准直接引用,以避免标准间重复和冲突。

样品采集与常规制备直接引用 GB/T 36197 和 NY/T 1121.1;光谱反射率和相关术语参考地物光谱及光学遥感相关国家标准。

3. 术语与定义

国家标准 GB/T 33988—2017《城镇地物可见光-短波红外光谱反射率测量》中界定了“标准参考板”等与地物光谱反射率测量相关的

术语；GB/T 36299—2018《光学遥感辐射传输基本术语》规定了光学遥感辐射传输领域的基础术语，为本标准有关光谱测量术语的使用提供参考。“标准参考板”直接引用 GB/T 33988—2017 中的定义；“非接触式光谱测量”“接触式光谱测量”和“有效测量波段”根据本标准的测量方式、环境控制和质量评价需要进行界定。

通过区分非接触式光谱测量和接触式光谱测量，为后续分别规定两类测量方式的光源、测量环境和操作步骤提供基础；通过界定有效测量波段，为仪器边缘波段、探测器衔接区域及其他信号质量不足波段的质量控制和结果使用提供依据。

4. 总体要求

总体要求主要规定室内测量应保持样品状态、仪器状态和测量条件稳定，同一批次的样品制备方式、样品皿、仪器参数、光源配置、测量几何和校准方法应保持一致。

土壤反射光谱受多因素共同影响。前期研究显示，水分、颗粒度、土壤类型和利用方式等因素均会影响光谱强度、曲线形态和敏感波段。因此，同一批次保持测量条件一致，是区分真实土壤差异和人为测量差异的基本前提。

标准还明确不同测量方式获取的数据不宜直接合并。主要考虑接触式和非接触式测量的照明方式、光路、视场和探头-样品界面存在差异，可能产生系统偏差。

5. 室内测量环境

5.1 非接触式测量环境

非接触式测量容易受到室内杂散光、墙面反射、人员阴影及外部光源干扰，因此要求在暗室或能够有效隔绝环境杂散光的空间内开展。标准规定非接触式测量宜采用两盏外置光源对称布设，并规定光源的入射几何关系、位置固定和照明覆盖要求。两侧对称布光主要用于降低土壤表面局部粗糙度产生的方向性阴影和非均匀照明。

对首次建立或调整的测量装置，增加光照均匀性检查，通过标准参考板不同位置的测量信号评价测量区域的照明一致性。

5.2 接触式测量环境

接触式探头通过遮光结构形成封闭或近封闭光路，受室内环境光影响明显小于非接触式方法，因此允许不专门设置暗室。但仍要求避免强外部光直接照射探头与样品接触区域，探头与土壤表面应充分贴合，不得存在明显漏光。

将两类测量环境分别规定，是本标准在立项论证后重点调整的内容之一。

6. 测量仪器及辅助装置

标准规定光谱仪工作波段宜覆盖350 nm-2500 nm范围内部分或全部波段的反射光谱测量,并分别规定400 nm-1000 nm、1000 nm-1900 nm和1900 nm-2500 nm不同波段的光谱分辨率要求。仪器还应具有稳定信号输出、原始数据保存和主要参数记录能力。波长漂移和信噪比作为反映光谱仪状态的重要性能指标纳入仪器性能要求,而不再全部集中在总体质量要求中。相关技术指标综合考虑了现有地物光谱仪性能、相关地物光谱反射率测量标准以及起草组长期室内光谱测量实践确定。标准编制后续阶段还将结合不同仪器开展进一步验证。

非接触式测量采用外置人工光源。土壤光谱测量要求光源在测量波段范围内具有连续、稳定的辐射输出,因此宜采用石英钨卤素灯或具有等效连续光谱输出性能的人工光源。标准对非接触式测量重点规定了光源的连续光谱输出、色温范围、供电稳定性、多光源的一致性、光强稳定性、预热时间、样品表面不得发生明显升温。光源功率受灯具结构、灯-样距离、光斑面积、探头视场、积分时间及仪器探测能力共同影响,单独规定固定功率难以适用于不同测量系统,因此标准不宜简单规定统一额定功率,而以满足有效测量波段信号强度和信噪比要求为最终判定依据。

接触式测量和非接触式测量的主要区别之一是光源配置。接触式探头通常具有集成式光源和遮光结构,其内置卤素灯与探头共同组成固定或近固定光路。因此标准明确接触式测量应采用探头配套内置人工光源,不使用室内外置卤素灯作为主要测量照明光源。相关光源的输出范围应与光谱仪有效测量波段匹配,并按照仪器制造商要求进行预热和使用。

7. 土壤样品制备

规定土壤样品宜过2 mm筛。如根据测量目的进一步研磨,则同一测量批次的样品粒径应保持一致。该要求主要依据起草组开展的颗粒度控制研究。不同粒级会改变颗粒散射和土壤表面微结构,从而影响光谱反射率和属性敏感信息。

起草组已对黑土和红壤不同粒级条件下光谱响应和全氮反演开展比较,试验包括0.15 mm、0.25 mm和2.00 mm等粒级,结果显示不同粒级之间存在明显的光谱响应和模型性能差异。因此,标准不强制所有应用采用同一精细粒径,但要求同一批次处理方式一致,并完整记录粒径条件。

样品皿属于直接影响土壤光谱测量的重要辅助装置。标准规定样品皿应洁净、干燥、材质稳定,宜使用不透明、低反射率的哑光材料或低反射表面处理材料。非接触式测量中,规定探头测量视场不得包

含样品皿边缘，并规定测量视场距样品皿内壁保留一定安全距离，其主要目的是避免样品皿本身进入视场，对土壤真实反射光谱形成混合干扰。接触式测量则要求探头测量窗口完全位于土壤区域内，避免探头边缘跨越样品皿边界。

土壤样品层厚度直接关系到测量光是否可能到达样品皿底部。样品过薄可能引入底部背景反射，造成测量误差。结合室内土壤光谱测量实际操作，本标准提出样品层厚度宜为10 mm~20 mm。考虑到不同土壤颜色、粒径、矿物组成和仪器光学结构存在差异，标准没有仅依赖固定厚度判断，而进一步提出厚度验证方法：在相同条件下增加5 mm样品厚度，如有效测量波段平均反射率相对变化 $\leq 1\%$ ，可认为原厚度已能够有效消除样品皿底部影响。该设置兼顾统一要求和不同土壤、不同仪器的适应性。

规定样品装填前充分混匀，装样应自然均匀，不宜人为压实，表面轻轻刮平并保持无明显裂隙、孔洞和颗粒团聚。该要求主要基于土壤颗粒排列、孔隙和表面粗糙度能够改变光在土壤表层的散射和逃逸行为这一基本机理。起草组开展的土壤近表层结构及辐射传输研究进一步表明，近表层孔隙结构和开放程度与光传播行为存在明显关系。因此，统一样品表面整理状态，是降低非目标结构差异对室内光谱测量影响的重要措施。

8. 测量步骤

测量步骤是本标准的核心技术内容。根据专家提出的“应重点写清土壤光谱究竟怎样测量”的意见，对该章节进行了重点扩充，按照实际实验操作过程依次规定：测量前检查、仪器与光源预热、仪器参数设置、暗电流测量、标准参考板校准、非接触式测量、接触式测量、测量结束检查。

8.1 仪器预热

光谱仪开机后，其探测器、电子元件和光源输出需要一定时间才能达到稳定状态。标准规定光谱仪预热按制造商要求执行；无明确规定时，宜不少于30 min。外置石英钨卤素光源应充分预热后使用，无明确制造商要求时，其预热时间应不少于15 min。

8.2 参数设置

积分时间应根据标准参考板及代表性土壤样品信号确定，既应避免探测器饱和，也应避免信号过低。

规定同一测量批次应保持积分时间、扫描次数和主要仪器参数一致。每次独立测量由不少于10次扫描形成平均信号，以降低短时间随机噪声。

8.3 标准参考板校准

标准参考板测量用于将样品数字信号转换为反射率。非接触式测量中,参考板应置于与土壤样品相同的测量平面,并保持探头、光源、距离和测量几何一致。接触式测量则采用与探头配套的参考板或校准附件。考虑到仪器和光源可能发生漂移,标准提出每完成一定数量样品宜进行参考板复校;发生仪器重启、积分时间改变、探头或光源位置变化等情况时,应立即重新校准。

8.4 非接触式光谱测量

非接触式测量中,标准重点规定探头垂直样品表面、探头视场完整位于土壤样品有效区域内、样品测量平面与白板校准平面一致,并保持测量距离和光源位置稳定。每个样品至少进行3次独立重复测量。重复测量时,可采用旋转样品皿、重新混匀装填或改变有效测量位置等方式,以提高最终平均光谱对样品整体状态的代表性。

8.5 接触式光谱测量

接触式测量要求探头垂直置于样品表面,测量窗口被土壤完全覆盖,探头遮光结构与样品充分贴合,不存在明显漏光。为避免人为压力造成土壤压实程度不一致,标准不提倡通过大幅加压保证接触,而宜通过规范装样和固定夹具保证接触状态的一致性。每个样品同样至少开展3次独立重复测量,并在重复测量间重新确定测量位置或整理样品。

9. 结果计算

标准规定样品反射率由样品原始数字信号、暗电流信号、标准参考板信号以及标准参考板实际校准反射率计算得到。与仅将白板假定为100%反射率相比,引入标准参考板的实际校准反射率,可更准确反映参考板在不同波长处的真实反射特性。对同一样品不少于3次的独立重复测量,计算平均反射率作为样品最终报告光谱,同时计算标准差和相对标准偏差,用于评价重复性。

10. 质量控制、记录与数据保存

10.1 重复性

土壤颗粒具有一定非均质性,不同测量位置和装填状态可能产生光谱差异,因此采用重复测量评价测量稳定性。标准规定有效测量波段内重复测量结果的相对标准偏差原则上应 $\leq 5\%$ 。该指标作为当前拟定的质量控制限值,将在后续不同土壤、不同仪器和不同实验室验证中进一步评价其适用性。

10.2 信噪比

信噪比能够反映测量系统的基本信号质量。标准提出有效测量波段系统信噪比宜 ≥ 200 。对于仪器边缘波段或探测器衔接区域,如不能满足信号质量要求,则允许根据实际质量控制结果确定有效测量波段。

10.3 批次质量控制

为识别不同日期或批次之间的仪器和系统漂移,标准提出设置稳定土壤样品作为质量控制样,并在测量批次开始、结束及较长批次中间进行插入测量。不同批次质量控制样平均反射率曲线相关系数宜 ≥ 0.95 。该措施可以将原来主要依赖标准参考板的仪器校准,进一步扩展至整个测量系统的稳定性评价。

10.4 测量记录和数据保存

记录内容包括样品粒径、样品皿、装样厚度、测量方式、仪器及探头、光源、积分时间、重复次数、探头距离、校准信息和环境温湿度等。标准明确原始数据不得被后续反射率转换、平均光谱或光谱预处理结果覆盖。平滑、导数、标准正态变量变换等后续光谱预处理属于建模或数据分析环节,不作为本标准规定的室内原始测量结果,相关数据如需保存应另行存储。

五、主要试验、验证及试行结果

1. 土壤光谱数据积累与室内测量基础

起草单位依托“复杂环境下土壤光谱响应机理”等科研任务,已经形成较好的土壤光谱实验和数据积累基础。基于中国农业科学院历史保存土壤剖面及海南省农用地土壤样品,已获取 200 余份成像光谱数据和 6800 余条反射光谱数据,数据覆盖主要土地利用类型和典型地带性土壤,并同步开展有机质、pH、全氮、全磷、全钾等主要理化性质测定。

2. 水分对土壤光谱影响试验

起草单位开展了土壤水分梯度控制试验,选取海南地区土壤样品,设置干土及不同含水量梯度,采集 350 nm~2500 nm 可见-近红外反射光谱,如图 1 所示。研究结果表明,随含水量升高,土壤整体反射率明显降低,在近红外和短波红外水分吸收区域的差异尤其明显;水分不仅影响土壤光谱强度,同时能够改变目标属性与光谱变量之间的稳定关系。上述结果说明,土壤含水状态是影响可见-近红外光谱的重要因素。因此,本标准室内测量原则上强调统一样品处理状态,同一批次不得混用明显不同含水状态的样品,为获得稳定的室内光谱数据提供依据。

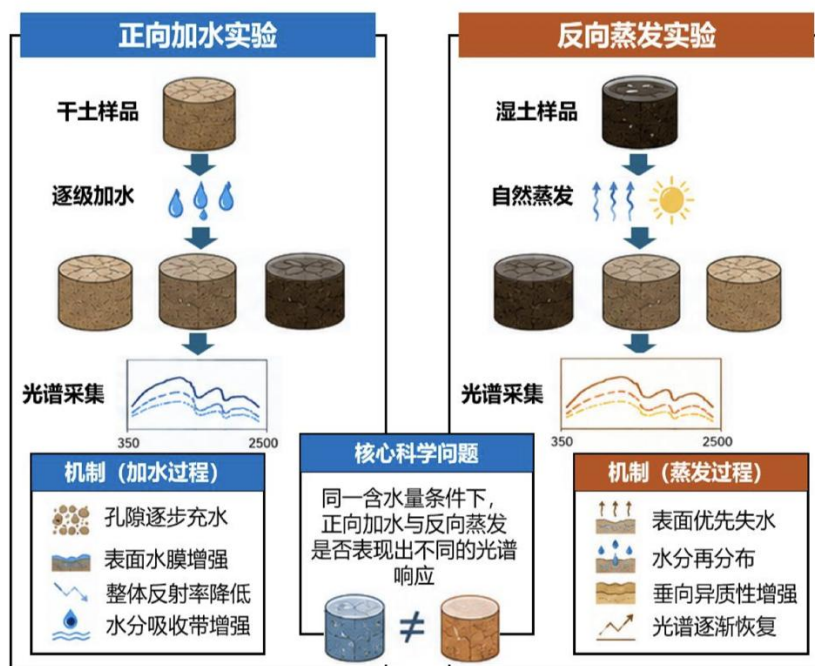


图 1 土壤水分变化路径实验设计示意图

3. 土壤颗粒度影响实验

起草单位以黑土和红壤共 376 个耕作层样品为对象, 对不同土壤粒级、光谱处理方式和模型方法开展系统比较, 如图 2、图 3 所示。研究包括 0.15 mm、0.25 mm 和 2.00 mm 等不同粒级样品。结果表明, 土壤粒径变化能够引起光谱反射率、散射特征和有效信息表达发生变化, 并进一步影响土壤全氮等属性的光谱建模效果。其中, 在相应试验条件下, 0.25 mm 粒级结合相应光谱处理及模型方法获得了较好的全氮反演结果, 黑土独立测试 R^2 达到 0.91、RMSE 为 $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 红壤 R^2 达到 0.78、RMSE 为 $0.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

该研究表明, 粒径是土壤室内光谱测量和光谱模型的重要影响因素。因此, 本标准规定同一测量批次应采用一致的筛分和研磨方式; 当进一步细化粒径时必须完整记录, 避免将不同粒级样品的光谱直接视为同一测量条件获取的数据。

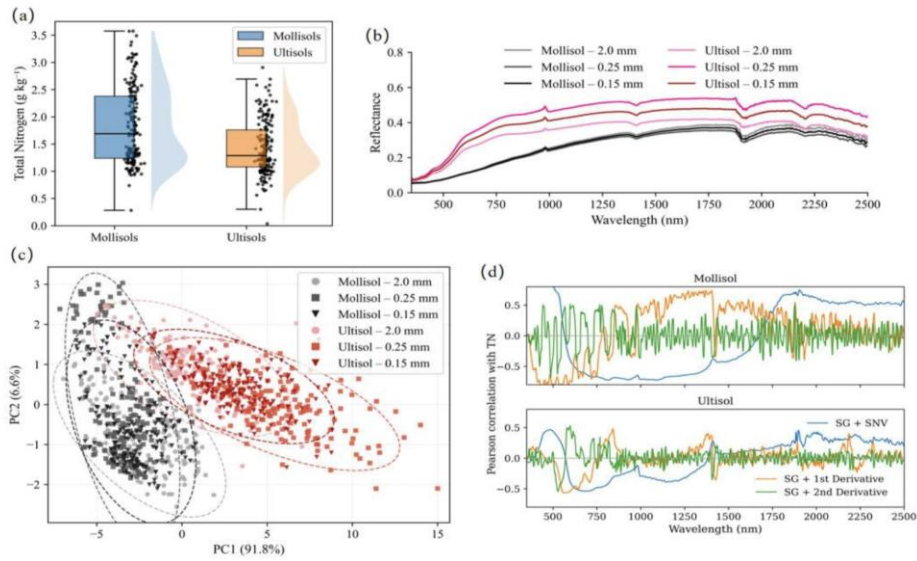


图2 黑土与红壤在 0.15 mm、0.25 mm 和 2.00 mm 粒级下全氮分布及 Vis-NIR 光谱响应差异

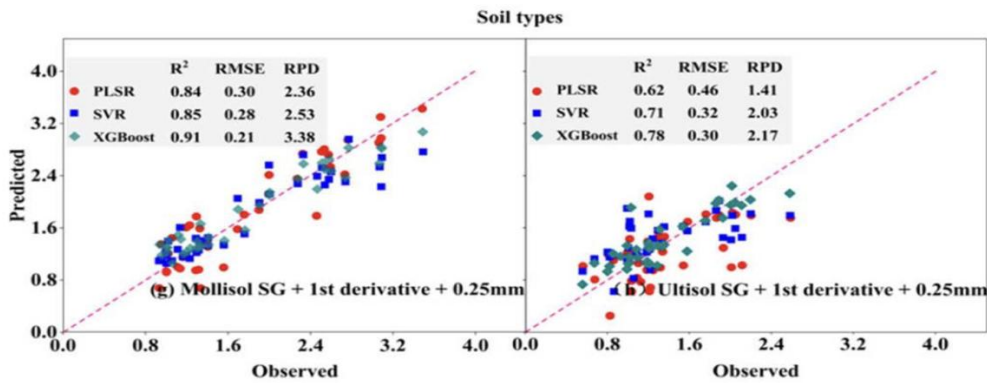


图3 黑土与红壤全氮 Vis-NIR 反演精度对比

4. 土壤属性光谱反演验证

起草组已经开展全氮、有机质、全磷、全钾等土壤属性的光谱建模研究。针对海南 608 个热带酸性土壤样本的研究发现，土壤矿物背景和其他协变量能够改变目标属性的光谱响应；在相关试验中，引入水分、电导率和活性铁等协变量后，模型 R^2 提升 59.9%，RMSE 降低 24.7%，RPIQ 提高 32.7%。上述研究进一步说明，高质量土壤光谱不仅取决于光谱仪本身，还与土壤样品状态、背景组成和测量过程密切相关。对测量条件进行标准化，是提高后续光谱建模结果稳定性和可解释性的基础。

5. 阶段性研究成果

起草依托相关任务，已经形成土壤可见-近红外光谱研究论文、发明专利和标准研究成果。目前已发表包括土壤 NPK 红外光谱估测、土壤全氮 Vis-NIR 光谱与机器学习、土壤水分与土壤类型对相关指数

影响,以及热带土壤有机质可见光-近红外反演等方面的研究论文。同时,已形成土壤剖面高光谱图像预处理、土壤养分原位检测、抗水分干扰高光谱指标构建、土壤属性光谱反演等发明专利或申请成果,为标准编制提供了较强的科研支撑。

六、采用国际标准的程度及水平说明

1. 采用国际标准的程度

本标准未直接等同采用、修改采用或非等效采用某一项现行国际标准。标准制定过程中充分关注国际土壤光谱测量标准化发展动态。中国农业科学院农业资源与农业区划研究所已受邀加入国际土壤光谱测量标准制定相关工作组 ISS P4005 WG,参与土壤光谱测量相关国际标准化工作。

本标准在测量技术体系上吸收国际土壤光谱研究中强调仪器标准化、标准参考板校准、样品状态一致、重复测量和数据质量控制等通行理念,同时结合我国土壤类型、实验室条件、地物光谱仪应用情况和已有科研数据进行具体规定。

2. 国际同类标准水平对比情况

国际土壤光谱研究已经由单点科研实验逐步向大规模光谱数据库、模型共享和跨区域应用发展。在这一过程中,不同实验室采集光谱的一致性成为制约数据联合使用的重要问题。当前国际标准化工作也越来越重视样品制备、仪器校准、测量几何、标准参考板、质量控制和测量记录等环节。

与国际研究趋势相比,本标准具有以下特点:

一是聚焦室内可控条件下的土壤反射光谱测量,技术边界清晰;
二是同时考虑非接触式和接触式两类常用测量方式,并分别规定光源和环境要求;

三是针对土壤这一颗粒介质增加样品皿、装样厚度、表面状态和重复装样测量要求;

四是设置质量控制样和批次稳定性要求,为后续跨批次和跨实验室数据应用提供技术基础。

总体上,本标准技术内容与国际土壤光谱标准化发展方向一致,同时具有针对我国实际应用条件的可操作性。

七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系

1. 与现行法律法规,强制性标准和其他有关标准的协调关系

本标准编制遵循《中华人民共和国标准化法》等现行有关法律法规和团体标准管理要求。标准内容属于土壤可见-近红外光谱室内测量的一般性技术规程，不涉及环境质量限值、食品安全限值、农产品质量安全强制指标等内容，不设置与现行强制性国家标准相冲突的技术条款。

本标准所涉及光谱仪、人工光源、电源等实验室设备，应同时遵守国家有关实验室安全和电气安全的规定。

2. 与现行相关标准的协调关系

2.1 与土壤采样和样品处理标准的关系

在 GB/T 36197《土壤质量 土壤采样技术指南》对土壤采样原则和技术进行了规定；NY/T 1121.1《土壤检测 第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存》对土壤样品采集、处理和保存进行了规定。本标准直接引用上述标准，仅对直接影响室内光谱测量的样品粒径、样品皿、装样厚度和样品表面状态等内容进行补充。因此，本标准与现有土壤采样和检测标准为衔接和补充关系。

2.2 与地物光谱反射率测量标准的关系

在 GB/T 33988—2017《城镇地物可见光-短波红外光谱反射率测量》对城镇地物可见光—短波红外反射率测量提出了有关技术要求；GB/T 45725—2025《农作物可见光-短波红外光谱反射率测量》则针对农作物对象规定相应反射率测量要求。

本标准参考上述标准的地物光谱反射率测量技术框架，但测量对象为经制备后的土壤颗粒样品，其样品状态、光与颗粒介质相互作用方式及接触式测量方式具有明显特殊性。

因此，本标准重点增加土壤样品装填、表面整理、厚度判定、接触式探头、重复装样和土壤质量控制样等规定，与上述标准不存在重复或冲突。

2.3 与光学术语标准的关系

在本标准涉及的反射率、波长等通用光学概念与 GB/T 36299—2018《光学遥感辐射传输基本术语》保持协调。对于已有国家标准能够满足本标准使用需求的术语原则上直接采用，不另行重复定义。

3. 与国内同类标准的对比

在 GB 国内目前已有土壤采样、实验室检测以及其他地物光谱反射率测量等标准，但尚缺少专门针对土壤颗粒样品室内 350 nm~2500 nm 可见-近红外光谱测量的完整技术规程。本标准突出以下土壤光谱特有内容：土壤颗粒度一致性、低反射样品皿和样品厚度控制、土壤表面装填与平整要求、非接触式外置光源测量、接触式内置光源探头

测量、重复装样和重复测量、土壤质量控制样与批次一致性评价。因此，本标准对现有标准体系具有补充作用。

八、重大分歧或重难点的处理经过和依据

无。

九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果

1. 贯彻该标准的要求和措施建议

1.1 开展标准宣贯和技术培训

建议标准发布后，针对科研院所、高校、农业技术推广单位、土壤检测机构以及光谱设备应用单位开展标准宣贯和技术培训。培训应重点包括：样品光谱测量前处理、样品皿选择及装样方法、非接触式布光及暗室要求、接触式探头规范操作、仪器预热和标准参考板校准、重复测量和质量控制、测量记录和原始数据保存。

1.2 建立标准操作示范流程

起草单位结合已有土壤光谱实验室建设标准操作示范环境，将形成标准操作规程、测量记录表和典型操作视频等辅助材料。通过标准样品和典型土壤样品演示，帮助使用单位理解测量距离、光源位置、装样厚度、样品表面整理等技术要求。

1.3 开展实验室间比对

建议标准发布后逐步组织不同科研单位、不同仪器平台开展土壤光谱实验室间比对。选择稳定的均质土壤样品，在不同实验室按照本标准进行测量，对光谱相关系数、反射率差异、重复性等指标进行评价，为持续改进标准和建立更高层级土壤光谱标准体系提供数据。

1.4 加强仪器日常维护和质量控制

标准使用单位应建立仪器维护、标准参考板维护和质量控制样长期保存制度。对仪器波长稳定性、信噪比、标准参考板状态和质量控制样光谱进行定期检查，避免仪器长期漂移影响数据质量。

1.5 强化测量数据全过程留痕

建议室内光谱测量形成统一记录，并保存原始数字信号、暗电流、标准参考板、各次重复测量结果及平均反射率数据。对于后续建模所采用的平滑、导数、标准正态变量等处理数据，应与原始测量数据分开保存，保证任何模型结果能够回溯至原始光谱。

2. 贯彻该标准的预期效果

本标准实施后，预期将产生以下效果。

一是规范土壤可见-近红外光谱室内测量流程，减少因样品处理、光源、仪器参数和人员操作差异引起的非目标误差。

二是提高同一样品重复测量以及不同批次测量的稳定性，为形成高质量土壤光谱数据提供技术保障。

三是提高不同科研机构 and 实验室土壤光谱数据的可比较性，为跨区域土壤光谱数据联合建模和模型迁移创造基础条件。

四是土壤有机质、全氮、全磷、全钾等属性快速估测提供更加规范可靠的数据源，提高土壤光谱快速检测技术的工程化和业务化应用能力。

五是进一步发挥第三次全国土壤普查形成的大规模样品和理化数据资源价值，促进传统实验室土壤检测与光谱快速检测、数字土壤和智慧农业技术融合。

六是推动形成我国土壤光谱测量、数据质量控制、模型评价及后续应用的标准体系，提升土壤近地传感技术的标准化水平。

十、其他应说明的事项

无。

参考文献

- [1] 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
- [2] GB/T 33988—2017 城镇地物可见光-短波红外光谱反射率测量
- [3] GB/T 36197—2018 土壤质量 土壤采样技术指南
- [4] GB/T 36299—2018 光学遥感辐射传输基本术语
- [5] GB/T 45725—2025 农作物可见光-短波红外光谱反射率测量
- [6] 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
- [7] Huai S., Zhang Q., et al., Lu C. Infrared spectroscopy for soil NPK estimation: Advances, challenges, and future directions in predictive modelling. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2025, 185: 118142.
- [8] Huai S., Zhang Q., et al., Lu C. Prediction of Soil Total Nitrogen Through Vis-NIR Spectroscopy and Machine Learning: From Model Comparison to Explainability. *Soil Systems*, 2026, 10(5): 59.
- [9] Li Z., Chen J., et al., Wang C. Sensitivity of Different Soil-Resistant Vegetation Indices to Soil Moisture and Soil Type. *Journal of Remote Sensing*, 2026, 6: 0994.
- [10] 吕天琦, 钱建平, 金秀良, 等. 考虑质地影响的热带地区土壤有机质可见光—近红外反演方法协同优化研究[J]. *中国农业信息*, 2025, 37(4): 46–63.