

中国农业绿色发展研究会团体标准 编制说明

《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》

《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》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	4
三、标准编制原则和依据	7
四、标准主要条文或技术内容及其确定依据	9
五、主要试验、验证及试行结果	24
六、采用国际标准的程度及水平说明	32
七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系 ..	33
八、重大分歧或重难点的处理经过和依据	37
九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果	37
十、其他应说明的事项	38
参考文献	39

《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》

一、团体标准制修订背景、目的和意义

1. 制订背景

土壤盐渍化是影响农业生产、生态环境和土地资源可持续利用的重要因素，也是制约我国盐碱地综合利用和耕地质量提升的重要问题。根据第三次全国国土调查及相关研究成果，我国盐碱地面积较大，广泛分布于中西部、东北及东部沿海地区，其形成和演变受气候、水文、地形、地下水及人为活动等多种因素影响。近年来，国家高度重视盐碱地综合利用和耕地质量提升工作，《全国盐碱地综合利用总体规划》对盐碱地资源调查、治理改良和综合利用作出了系统部署，2024 年印发的《关于加强耕地保护提升耕地质量完善占补平衡的意见》进一步提出全面摸清盐碱地资源状况、建立盐碱耕地质量监测体系。随着相关工作的持续推进，盐碱地调查评价、治理改良和动态监测对土壤盐分信息的准确、快速和规范获取提出了更高要求。

土壤含盐量是反映土壤中可溶性盐分积累状况的重要指标，也是开展土壤盐渍化调查、评价、治理和动态监测的重要基础数据。准确获取土壤含盐量，可为掌握土壤盐渍化状况、分析盐分变化以及评价盐碱地治理改良效果提供依据。随着盐碱地调查监测范围扩大和监测需求增加，对土壤含盐量信息获取的效率、规范性和可比性提出了更高要求。

目前，土壤含盐量主要采用实验室理化分析方法测定，测定结果可靠，但在样品数量较大、监测频次较高时，存在操作环节较多、检

测周期较长等问题。高光谱技术具有波段连续、光谱分辨率高、信息获取快速等特点,已逐步应用于土壤理化属性监测。相较于野外测量,实验室条件下光照环境、仪器状态、观测条件及样品状态相对稳定且易于控制,能够降低外界环境因素对光谱测量的影响,获得重复性较好的土壤反射光谱数据,为建立土壤光谱特征与含盐量之间的定量关系及开展土壤含盐量快速监测提供了良好的技术条件。

土壤样品制备与装填、高光谱测量、光谱数据处理、特征选择以及模型构建与验证等环节均会影响监测结果。目前,相关工作多依据不同研究团队的试验条件和技术方法开展,各环节的操作方式和技术要求存在差异,影响监测结果的一致性、可重复性和可比性。因此,有必要制定《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》,对实验室高光谱监测的关键技术环节进行规范,为土壤含盐量实验室高光谱监测提供统一的技术依据。

2. 制订目的

制订《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》,旨在构建一套科学、规范、可操作的土壤含盐量实验室高光谱监测技术体系,规范土壤样品采集与制备、土壤含盐量测定、高光谱测量、光谱数据处理、特征选择、监测模型构建与验证等关键技术环节,形成从土壤样品获取、光谱数据采集到含盐量监测模型建立与评价的完整技术流程,为土壤含盐量实验室高光谱监测提供统一的技术方法。

本标准的制订与实施,将统一不同主体开展土壤含盐量实验室高光谱监测的技术路径、操作要求和评价方法,减少因方法差异造成的

结果差异，提高监测结果的一致性、可重复性和可比性，为相关监测工作的规范实施和成果应用提供统一依据。在此基础上，充分发挥实验室高光谱技术信息获取快速、测量条件可控和适用于批量样品监测的特点，提高土壤含盐量信息获取效率，为盐碱地资源调查、土壤盐渍化状况评价、盐渍化动态监测以及盐碱地治理改良效果评价等工作提供技术支撑，促进实验室高光谱技术在土壤盐分监测中的规范应用和推广。

3. 制订意义

本标准的制定对规范土壤含盐量实验室高光谱监测技术、促进高光谱技术应用以及服务盐碱地调查监测具有重要意义。

一是有利于推进土壤含盐量实验室高光谱监测技术规范化。通过明确样品处理、高光谱测量、数据处理、模型构建和验证等关键环节的技术要求，减少不同人员、不同批次和不同技术方法造成的差异，提高监测结果的一致性、可重复性和可比性，促进土壤高光谱监测由研究性方法向规范化技术方法转化。

二是有利于促进高光谱技术在土壤含盐量监测中的应用。标准的实施可为科研院所、高等院校及相关技术单位开展实验室高光谱监测提供统一的技术依据，有利于土壤高光谱数据的规范获取和积累，为相关技术推广、数据共享及科研成果转化提供基础。

三是有利于为盐碱地调查评价和综合利用提供技术支撑。通过提高土壤含盐量信息获取的规范化和快速化水平，可为盐碱地资源调查、土壤盐渍化监测、盐碱地改良效果评价及耕地质量评价等提供数据和

技术支撑，服务盐碱地综合利用、耕地质量提升和农业绿色发展。

二、工作简况

1. 任务来源

根据中国农业绿色发展研究会《关于征集 2026 年中国农业绿色发展研究会团体标准项目的通知》，标准制定计划项目名称为《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》，本标准属于新制定标准。

2. 主要工作过程

2.1 前期研究

近年来，在中国农科院科技创新工程“盐碱地产能提升关键技术与集成示范”，国家农业重大科技项目课题“北方次生盐渍化耕地监测和智能决策治理”，国家重点研发计划项目“盐碱地智慧生态农业关键技术研发与集成应用”等项目的支持下，我们在内蒙古沿黄灌区、黄河三角洲等典型盐碱地区域持续开展土壤盐渍化监测研究。针对实验室高光谱数据，提出了基于光谱预处理、竞争性自适应重加权采样特征波段筛选及机器学习模型的土壤盐分快速监测方法，有效提高了土壤盐分监测精度；针对区域尺度盐渍化监测，构建了融合重建地面高光谱特征与 Stacked 集成学习模型的土壤盐分空间预测方法，实现了滨海盐碱地土壤盐分的高精度监测。基于上述研究基础，相关成果已发表于 *Computers and Electronics in Agriculture*、《中国农业科学》等国内外相关领域期刊。

2.2 起草阶段

2026 年 1 月，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所成立

标准起草小组，开展资料收集、技术调研、标准研究及实验验证等工作。基于前期在黄河三角洲、内蒙古沿黄灌区等典型盐碱地区开展的土壤盐渍化监测研究基础和已有实验成果，提出《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》团体标准制定方案，并向中国农业绿色发展研究会提交标准立项申请。

标准编制过程中，起草小组系统开展了土壤含盐量实验室高光谱监测相关技术的国内外调研，并对现行国家标准、行业标准、地方标准、团体标准及国内外相关研究成果进行了检索、分析和比较。结合土壤盐渍化调查监测和实验室高光谱快速监测的实际需求，对资料收集与整理、土壤样品采集与制备、土壤含盐量测定、实验室高光谱测量、光谱数据预处理、特征波段筛选、监测模型构建及模型验证与评价等关键技术内容进行了系统梳理和研究。

同时，起草小组认真学习标准化文件编制相关要求，依据 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》，对标准结构、术语定义、规范性技术要素、条款表述及附录设置等内容进行了研究和规范。在充分参考相关标准规范、国内外研究成果及编制组前期试验经验的基础上，形成了标准总体框架和主要技术内容。

标准技术指标主要依据现行国家标准、行业标准、相关技术规范、前期研究成果及实际应用需求确定。期间，起草小组围绕土壤样品采集与制备、土壤含盐量测定、实验室高光谱测量、光谱数据处理、特征波段筛选、监测模型构建及模型验证与评价等关键技术内容，多次

对标准草案进行讨论、修改和完善，于 2026 年 3 月形成《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》标准草案初稿。

2.3 立项阶段

2026 年 3 月，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所向中国农业绿色发展研究会提交了《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》团体标准立项申请及标准草案。

2026 年 6 月，中国农业绿色发展研究会组织开展团体标准立项论证。会上，标准编制单位对标准制定背景、目的意义、前期研究基础、主要技术内容及标准草案等进行了汇报和说明。经专家质询和讨论，同意该标准立项，认为本标准的制定符合土壤盐渍化调查监测和实验室高光谱技术应用的实际需求，对规范土壤含盐量实验室高光谱监测技术流程、提高土壤盐分信息快速获取能力具有较好的必要性、可行性和应用价值。

在充分吸收专家意见和建议的基础上，标准起草组进一步对标准框架、主要技术内容、关键技术指标及文本表述进行了修改和完善，并结合前期试验验证结果对相关技术条款进行了优化，形成了《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》标准文本及编制说明征求意见稿。

3. 主要起草人及其分工

标准起草团队分为总体设计组、标准调研组、实验验证组和标准撰写组。陆苗、吴文斌、查燕组成总体设计组，主要负责标准总体框架、技术路线和主要技术内容的设计，组织协调标准调研、试验验证和文本编制等工作；钱建平、李玉义、武雪萍、王虹扬主要负责相关

国家标准、行业标准、地方标准及国内外研究资料的收集、整理和分析，为标准技术内容和相关指标的确定提供参考；宋英强、李存军主要负责实验样区选择、样点布设、土壤样品采集及测试化验等工作；李明丽、温彩运、朴艺璇、田恬、农吉静、王宇文、张建财主要负责实验室高光谱数据采集、光谱数据处理、特征筛选、土壤含盐量高光谱监测模型构建及模型精度评价等工作。标准撰写工作由陆苗、吴文斌、查燕牵头，其他成员共同参与，对标准各章节内容进行编写、修改和完善，并完成标准文本及编制说明的整理。

三、标准编制原则和依据

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》的要求进行编制。在充分调研国内外土壤含盐量高光谱监测相关研究成果、技术标准和应用现状的基础上，结合我国盐碱地调查监测需求及实验室高光谱技术的发展现状，坚持科学性、规范性、先进性和适用性相统一的原则，确保标准内容科学合理、技术成熟、规范统一，具有较强的可操作性和推广应用价值。

标准编制过程中，坚持以科研成果和实际应用为基础，充分吸收近年来实验室高光谱监测、光谱数据预处理、特征波段筛选、机器学习建模及模型评价等方面的成熟技术，重点参考国内外相关标准和技术规范，并结合编制组在黄河三角洲、内蒙古沿黄灌区等典型盐碱地区开展的实验室高光谱监测研究成果，对标准涉及的技术流程、技术要求和关键技术指标进行了充分论证和验证，确保标准技术路线科学、

先进、可靠。

本标准坚持面向应用需求，以规范实验室高光谱监测技术流程、提高土壤含盐量快速监测水平为目标，充分考虑科研院所、高等院校、农业农村部等相关单位开展土壤含盐量实验室高光谱监测工作的实际需求，力求标准内容简明、实用、易于实施，为土壤盐渍化调查监测、耕地质量评价、盐碱地综合利用及相关科研工作提供统一的技术依据。

2. 编制依据

2.1 以国家标准和管理要求为依据规范制订。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 以研究成果与实践经验为主要依据制订。起草工作组成员依据我单位开展的中国农科院科技创新工程“盐碱地产能提升关键技术与集成示范”，国家农业重大科技项目课题“北方次生盐渍化耕地监测和智能决策治理”，国家重点研发计划项目“盐碱地智慧生态农业关键技术研发与集成应用”等的相关试验数据及实验流程，并参考国家级相关标准作为编制依据，确保内容科学、准确、具体、具有可操作性。

研究团队围绕土壤含盐量实验室高光谱快速监测技术，在内蒙古

沿黄灌区、黄河三角洲等典型盐碱地区开展了大量土壤样品采集、土壤含盐量测定及实验室高光谱数据采集工作，系统研究了不同光谱预处理方法、特征波段筛选方法及机器学习模型对土壤含盐量监测精度的影响，形成了较为成熟的实验室高光谱数据采集、光谱预处理、特征提取、模型构建及模型评价技术体系。

因此，本标准在起草过程中，坚持以调查研究、实验验证和成果总结为基础，以编制组长期积累的科研成果和实践经验为主要依据，充分吸收国内外实验室高光谱监测土壤含盐量领域的最新研究成果，结合相关国家标准、行业标准及地方标准，对土壤样品采集、样品制备、高光谱数据采集、光谱数据处理、特征选择、监测模型构建及模型验证等关键技术进行了系统规范，既充分考虑了现阶段实验室高光谱监测技术的发展水平，又兼顾了技术发展的先进性、适用性和推广应用需求，确保标准具有科学性、规范性、可操作性和前瞻性。

四、标准主要条文或技术内容及其确定依据

1. 范围

根据国家标准 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》中“5.1 按内容划分”的规定，结合本标准的框架结构和内在关系，范围部分涵盖了规范性技术要素，如资料收集与整理、土壤样品采集与制备、土壤含盐量测定、样品高光谱测量、数据集建立、光谱数据处理、光谱特征选择、监测模型构建与精度验证等内容；不包括规范性一般要素，如标准名称、范围和规范性引用文件等内容。同时，规定标准适用范围为“受控实验室条件下

利用可见—近红外高光谱数据开展土壤含盐量快速监测和盐渍化监测”。

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 36199 土壤质量 土壤采样程序设计指南

GB/T 42363 土壤质量 土壤理化分析样品的预处理

NY/T 1121.1 土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮存

NY/T 1121.16 土壤检测 第 16 部分：土壤水溶性盐总量的测定

TD/T 1043.1 暗管改良盐碱地技术规程 第 1 部分：土壤调查

3. 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 高光谱反射光谱 **hyperspectral reflectance spectrum**

在一定波长范围内，由连续或近连续窄波段反射率构成，能够表征样品光谱特性随波长变化规律的数据。

3.2 土壤含盐量 **soil salt content**

土壤中水溶性盐的总量，以每千克干土中水溶性盐的克数表示，单位为克每千克(g/kg)。

[来源：TD/T 1043.1—2013]

3.3 监测模型 estimation model

利用具有土壤含盐量参考值的样品，建立高光谱反射数据与土壤含盐量之间定量关系的数学模型。

3.4 训练集 training set

用于光谱预处理方法选择、特征筛选、模型参数优化和校准模型建立的样品集合。

3.5 独立验证集 independent validation set

在模型建立和参数确定过程中保持封存，仅用于评价锁定模型预测性能的样品集合。

4. 技术流程图

根据土壤属性高光谱监测的一般技术逻辑和编制组前期试验过程，土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程的流程主要包括：

- a) 土壤样品采集；
- b) 土壤样品制备；
- c) 土壤含盐量测定；
- d) 土壤含盐量高光谱测量；
- e) 土壤含盐量高光谱监测模型；
- f) 试验报告。监测监测监测监测

5. 土壤样品采集

土壤含盐量具有明显的空间差异，其分布受土壤类型、土地利用方式、盐渍化程度、地形地貌、水文地质以及灌排条件等多种因素影响。为合理划分采样单元、提高样点布设的代表性，本标准规定采样

前应收集与研究区土壤盐分空间分布相关的基础资料，主要包括：

（1）土壤类型及其空间分布资料。能够反映研究区不同土壤类型及其空间差异，为采样单元划分和样点布设提供基础依据。

（2）土地利用现状资料。不同土地利用方式下耕作、灌溉和管理条件存在差异，收集土地利用现状资料有助于掌握研究区不同利用类型的空间分布，并为样点布设提供基础资料。

（3）盐渍化程度分布资料。盐渍化程度分布能够直接反映研究区不同区域土壤盐分水平的差异，是保证采样样品覆盖不同盐渍化等级的重要依据。

（4）地形、地貌及水文地质资料。地形、地貌及水文地质条件与区域水盐迁移和积累密切相关，相关资料可用于辅助分析研究区土壤盐分空间分布特征。

（5）区域气候、地下水埋深及灌排条件资料。降水、蒸发、地下水埋深以及灌溉、排水条件与土壤水盐运移密切相关，是分析区域土壤盐分分布的重要辅助资料。

（6）历史监测数据或相关研究成果。已有土壤盐分调查、监测数据及相关研究成果能够反映研究区既往土壤盐分状况，可作为采样单元划分和样点布设的补充依据。

因此，本标准规定综合土壤类型、土地利用方式、盐渍化程度、地形条件和灌排条件等因素划分采样单元，使采样单元能够反映研究区土壤含盐量的主要空间差异。

5.1 土壤样品采集

农业行业标准 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》对土壤样品的采集、处理和贮存作出了相

关规定。根据 GB/T 36199—2018 和 NY/T 1121.1—2006 中关于土壤采样的相关要求，本标准结合土壤含盐量监测特点和实验室高光谱测量对样品代表性的要求，对采集工具、采集设计和采集方法进行了规定。

5.2 采集工具

根据土壤样品采集、定位、盛装、标识和现场信息记录的实际需要，本标准确定采样工具包括土钻或铲子、密封袋、样品标签、记号笔、全球导航卫星系统（GNSS）定位设备和野外记录本等，以满足土壤取样、样品保存、样品编号、空间位置记录和现场信息记录等基本要求。

5.3 采集设计

土壤含盐量具有明显的空间差异，合理布设采样点是保证样品代表性的基础。因此，本标准规定采样点宜采用网格法均匀布设，并兼顾研究区不同土壤类型、土地利用方式及盐渍化程度，保证采样点具有代表性和典型性。样点数量应根据研究区域面积和土壤盐分差异合理确定，并满足后续土壤含盐量高光谱监测模型构建及训练集和独立验证集划分的需要。

5.4 采集方法

根据土壤含盐量监测需要以及 NY/T 1121.1—2006 有关土壤样品采集与处理的要求，本标准对采样深度、混合采样、样品量和样品管理进行了规定。

(1) 采样深度。土壤盐分在表层具有较明显的积聚和变化特征，结合土壤盐渍化表层监测需求、相关研究方法、编制组前期试验及专家意见，本标准规定一般采集 0~10 cm 表层土壤；研究土壤盐分剖面分布时，按土层分层采集。采样时应按规定深度垂直取样；地表存在盐壳时，应明确盐壳是否纳入样品并在记录中说明。

(2) 混合采样。每个采样点宜采用多点混合采样方式，在采样点代表性范围内采集不少于 5 个子样，各子样采样深度应保持一致。采集的子样充分混合后采用四分法缩分，形成该采样点的代表性土壤样品，以减小采样点内部空间差异对样品代表性的影响。采样过程中应保持采样工具清洁，避免不同样品之间交叉污染。

(3) 样品量。混合采样时，各子样采样量应保持一致，以保证混合样品能够较好反映采样点的总体特征。考虑土壤样品需分别用于含盐量测定和高光谱测量，并留有样品处理损耗余量，规定每个土壤样品质量宜为 500 g。

(4) 样品管理。采样过程中记录采样点编号、坐标、采样日期、采样深度和土地利用类型等信息。样品装袋后及时标识，标签信息与采样记录保持一致。运输和贮存过程中避免雨淋、渗漏、交叉污染和高温暴晒。

6. 土壤样品制备

根据 GB/T 42363—《土壤质量 土壤理化分析样品的预处理》和 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》的相关要求，结合土壤含盐量实验室高光谱监测过程中理化测

定与光谱测量对样品一致性的需求，本标准对土壤样品预处理过程进行了细化规定。

土壤样品制备过程中，样品干燥条件、杂质去除、破碎过筛和分样方式均可能影响样品均匀性及其光谱响应。为保证样品处理的一致性，在确定本标准样品制备条款时，主要考虑以下技术要求：土壤样品宜采用室温风干或低温干燥方式进行处理，样品摊放厚度不宜超过 5 cm，干燥温度不宜超过 40 °C，以降低高温和干燥不均匀对土壤理化性质及光谱特征的影响；样品干燥后，应去除石块、植物残体及其他杂质，并将土壤样品破碎后通过 2 mm 筛，以提高样品均匀性，满足后续土壤含盐量测定和高光谱测量要求。

当样品量较大时，宜采用四分法等方式进行分样，以保证分析样品具有代表性。分样过程中应避免样品污染、细颗粒损失以及不同粒级样品分布不均等问题。根据检测和分析需要，可对部分样品进一步研磨处理；涉及化学提取分析时，应避免过度研磨对样品性质产生影响。

由于土壤含盐量实验室高光谱监测需要建立土壤含盐量实测值与光谱反射信息之间的一一对应关系，本标准规定将制备后的土壤样品分为两份，分别用于土壤含盐量测定和高光谱数据采集。两份样品应来源于同一样品，并采用一致的前处理条件，以减少样品处理差异对土壤含盐量实测值和光谱响应的影响，为后续光谱数据处理、特征波段筛选及监测模型构建提供可靠的数据基础。

7. 土壤含盐量测定

根据农业行业标准 NY/T 1121.16—2006 要求，结合土壤盐分含量测定需求，土壤水溶性盐总量测定应符合以下规定：

(1) 样品浸提：采用 5:1 水土比，称取通过 2 mm 筛孔的风干土壤样品 50 g（精确至 0.01 g），置于 500 mL 塑料瓶中，加入 250 mL 无二氧化碳蒸馏水，在振荡机上振荡 3 min 后立即抽滤，避免难溶盐类进入滤液产生误差；

(2) 滤液蒸干：弃去初滤液 10 mL，吸取 20 mL~50 mL 清亮滤液于已知质量的瓷蒸发皿中，在水浴上蒸干；若蒸干过程中出现黄褐色物质，可滴加过氧化氢处理至残渣呈白色；

(3) 烘干恒重：将蒸发皿置于 100 °C~105 °C 烘箱中烘干，冷却称重后继续烘干，直至前后两次称量差小于 0.0003 g，获得恒重后的烘干残渣质量。

8. 土壤含盐量高光谱测量

实验室高光谱测量过程中，仪器状态、外部光照、测量几何条件、样品装填以及重复测量方式等均会影响土壤样品的光谱测量结果。为统一测量条件，提高不同样品光谱数据的一致性，本标准对光谱仪器、仪器预热、测量环境、光源和探头、样品装填、标准白板校正及重复测量进行了规定。

(1) 光谱仪器。结合土壤含盐量实验室高光谱监测需求、编制组前期试验结果、仪器实际应用情况及专家意见，本标准对光谱仪器的测量波长范围、光谱分辨率及配套设备进行了规定。光谱仪器测量波长范围宜覆盖 350 nm~2500 nm，光谱分辨率应不大于 10 nm，并配

备视场角为 $1^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的探头、稳定人工光源、标称反射率达到 95% 及以上的标准白板、光谱采集软件和计算机等设备。

(2) 仪器预热。为保证光谱仪达到稳定工作状态，结合仪器使用说明书、前期试验情况及专家意见，规定测量前应对光谱仪和光源进行预热，在无明确规定时，预热时间不应少于 30 min。预热完成后，应检查仪器连接状态和光谱信号稳定性，确保采集光谱数据满足后续分析和建模要求。

(3) 测量环境。为降低外部光源对反射光谱测量的干扰，规定样品高光谱测量在暗室条件下进行，并控制外部杂散光、振动和气流等保持测量过程中光照条件稳定。

(4) 光源和探头。光源、探头与样品之间的相对位置会影响光谱采集过程中入射光条件、测量视场范围及光谱响应结果。因此，本标准结合高光谱仪器使用要求和前期试验情况，规定测量时宜采用仪器配套光源或稳定人工光源，并保持光源与样品之间的距离、入射角度等测量条件一致，以降低光照条件变化对光谱数据的影响。对于采用非接触式探头测量的情况，本标准规定探头应垂直于样品表面，并根据探头视场角合理设置探头与样品之间的距离，使测量视场完全位于样品有效测量区域内，避免样品容器边缘、阴影等因素对光谱信号产生干扰。同时，在同一测量批次内保持探头位置和测量高度一致，以保证不同样品光谱数据具有可比性。

(5) 样品装填。将处理后的土壤样品置于直径约 10 cm、深度约 2 cm 的容器中，装样后应轻敲样品皿，使样品自然沉实，并将样品表面刮平。确保探头视场范围小于样品表面，样品表面没有阴影，降低容器底部反射对土壤光谱测量的影响。所有样品应采用一致的装样量、装样厚度和表面处理方式。

(6) 标准白板校正。为统一土壤样品光谱测量的参考条件，降低光源强度变化、仪器响应差异等因素对光谱数据的影响，本标准规定样品测量前应采集暗电流，并采用标称反射率不低于 95% 的标准白板进行参考光谱采集。标准白板测量应与土壤样品保持相同的光照条件和测量几何条件，通过参考光谱校正获得样品反射率光谱。测量过程中，光源状态和仪器响应可能发生变化，因此规定每完成 5 个样品测量后重新进行标准白板校正；当光源位置、探头高度或测量环境条件发生变化时，应重新进行暗电流和标准白板校正。

(7) 重复测量。土壤样品表面存在颗粒组成、盐分分布等不均匀性，不同测量位置和方向可能导致光谱响应存在差异。为降低样品表面不均匀性和单次测量误差对光谱结果的影响，本标准规定同一样品按照 0° 、 90° 、 180° 和 270° 四个方向进行重复测量，每个方向采集不少于 5 条有效光谱曲线，累计采集的有效光谱曲线数量不应少于 20 条。完成光谱质量检查后，对同一样品的有效光谱曲线进行算术平均，作为该样品最终的反射率光谱数据。

9. 土壤含盐量高光谱监测模型

土壤含盐量高光谱监测模型的构建涉及样本数据划分、光谱数据处理、特征选择、模型建立和精度评价等环节。为保证模型构建和评价方法的一致性，本标准对数据集建立、数据预处理、光谱特征选择、监测模型构建及模型验证与评价等内容进行了规定。

9.1 数据集建立

土壤样品含盐量具有一定的分布差异，训练集和独立验证集的划分应兼顾不同含盐量水平样品的代表性，避免随机划分造成某一含盐量区间样品过度集中于某一数据集。因此，本标准规定根据土壤样品

含盐量分布特征，采用分层随机方法划分训练集和独立验证集。

结合前期研究采用的数据集划分方法，在保证训练样本数量满足模型构建需要的同时，保留一定比例样本进行独立验证，本标准确定训练集与独立验证集比例为 7: 3。其中，训练集用于光谱特征选择和模型构建，独立验证集用于模型精度验证。

9.2 数据预处理

土壤高光谱数据包含连续波段信息，能够反映土壤样品光谱特征随波长变化规律，但原始光谱信号在采集过程中容易受到仪器噪声、光照条件变化、样品表面不均匀性等因素影响，导致部分光谱信息存在噪声干扰和不稳定现象，降低光谱特征提取和模型构建效果。因此，本标准规定在模型构建前对原始光谱反射率数据进行预处理，以提高光谱数据质量。

光谱预处理采用 Savitzky-Golay (SG) 平滑方法。SG 平滑通过局部多项式拟合对光谱曲线进行平滑处理，在降低随机噪声影响的同时保持光谱曲线变化趋势和特征信息，适用于连续光谱数据处理。同时，考虑到高光谱仪器在测量范围两端区域通常存在信噪比较低、光谱响应不稳定等问题，可能影响后续光谱特征提取和模型构建效果。结合仪器光谱响应特性、前期试验结果及土壤含盐量监测需求，本标准剔除 350 nm~399 nm 和 2401 nm~2500 nm 范围内的边缘低信噪比波段，保留 400 nm~2400 nm 范围内的有效光谱数据，以减少不稳定光谱信息对后续特征筛选和模型构建的影响。

在光谱预处理基础上，根据模型构建需求对光谱数据进行数学变

换。数学变换能够改变光谱数据表达形式，增强光谱曲线变化特征，提高光谱反射率与土壤含盐量之间的响应关系。常用数学变换方法包括一阶导数（first derivative, FD）、二阶导数（second derivative, SD）、标准正态变量变换（standard normal variate, SNV）、多元散射校正（multiplicative scatter correction, MSC）、对数变换（logarithm transformation, Log）和倒数变换（reciprocal transformation, REC）等。其中，一阶导数（FD）通过计算相邻波段光谱反射率随波长的变化率，削弱光谱基线漂移影响，并增强光谱曲线斜率及局部变化特征；二阶导数（SD）在一阶导数基础上进一步表征光谱变化率的变化趋势，可增强较弱吸收特征和相邻光谱特征之间的差异。标准正态变量变换（SNV）通过对单条光谱进行均值中心化和标准差归一化处理，减小由于样品颗粒大小、表面粗糙度等差异引起的光谱散射和整体偏移；多元散射校正（MSC）通过建立单条样本光谱与参考光谱之间的线性关系，对光谱中的加性偏移和乘性散射效应进行校正，以降低样品散射差异对光谱响应的影响。对数变换（Log）通过对光谱反射率进行对数转换，压缩较高反射率区域的数值差异，同时增强低反射率区域光谱变化的表达；倒数变换（REC）通过对光谱反射率进行倒数转换，改变不同反射率区间的数值尺度，提高部分吸收区域光谱变化的敏感性。

不同数学变换方法对光谱信息的增强方式和适用特征存在差异。经 SG 平滑、有效波段筛选及上述数学变换处理后的光谱数据，分别用于后续特征波段筛选和土壤含盐量监测模型构建，并通过模型精度

评价比较不同光谱处理方式的监测效果。

9.3 光谱特征选择

土壤高光谱数据通常包含大量连续波段，其中部分波段与土壤含盐量响应关系较弱，或包含与目标变量无关的冗余信息。直接利用全部光谱波段进行模型构建，会增加模型复杂度，降低模型稳定性和计算效率。因此，本标准规定对经过光谱预处理和数学变换后的光谱数据进行特征波段筛选，以提取与土壤含盐量相关性较高的有效光谱变量。

本标准采用竞争性自适应重加权采样（competitive adaptive reweighted sampling, CARS）方法进行特征波段筛选。CARS 是一种基于蒙特卡洛采样和变量权重评价的特征变量筛选方法，通过偏最小二乘回归模型中变量回归系数绝对值评价不同光谱变量的重要性，并结合变量筛选策略逐步剔除贡献较低的变量，保留对土壤含盐量监测贡献较大的特征波段组合。经特征波段筛选后的光谱变量作为土壤含盐量监测模型的输入数据，可减少冗余光谱信息，提高模型构建效率和监测性能。

9.4 模型构建

土壤含盐量与高光谱特征之间可能同时存在线性和非线性关系，不同模型对光谱变量特征及样本数据的适应能力存在差异。为比较不同类型模型的监测性能，本标准结合土壤高光谱数据波段数量多、变量相关性强以及光谱响应关系复杂等特点，选用偏最小二乘回归、随机森林、支持向量回归和极端随机树回归进行土壤含盐量高光谱监测

模型构建。

偏最小二乘回归（Partial Least Squares Regression, PLSR）是一种多元线性回归方法，能够通过提取潜变量降低光谱变量之间多重共线性的影响，适用于高光谱变量数量较多、相邻波段相关性较强的数据，可用于表征光谱特征与土壤含盐量之间的线性关系。随机森林（Random Forest, RF）是一种基于多棵决策树的集成学习方法，能够处理变量之间复杂的非线性关系，对高维数据具有较好的适应能力，可用于反映光谱特征与土壤含盐量之间的非线性响应关系。支持向量回归（Support Vector Regression, SVR）是一种基于统计学习理论的回归方法，可通过核函数建立输入变量与目标变量之间的非线性关系，在样本数量相对有限的条件下具有较好的泛化能力，适用于实验室高光谱土壤样品的非线性监测。极端随机树回归（Extremely Randomized Trees, ExtraTrees）是一种基于随机化决策树的集成学习方法，通过增加特征选择和节点分裂过程的随机性，提高不同决策树之间的差异，可降低模型方差，并用于处理高维光谱特征与土壤含盐量之间复杂的非线性关系。

综合考虑不同模型的建模原理和数据适应特点，本标准以筛选得到的土壤含盐量敏感光谱特征为自变量，以土壤含盐量实测值为因变量，分别建立 PLSR、RF、SVR 和 ExtraTrees 监测模型，并通过模型精度评价比较不同模型的监测性能，确定适宜的土壤含盐量高光谱监测模型。

9.5 模型验证与评价

模型建立后，利用独立验证集样本对模型监测效果进行评价。以决定系数 (R^2) 和均方根误差 (RMSE) 作为评价指标。按照公式 (1) 计算决定系数，按照公式 (2) 计算均方根误差。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

式中， R^2 表示决定系数；RMSE 表示均方根误差，单位为 g/kg； n 表示验证样品数量； y_i 表示第 i 个验证样品的土壤含盐量实测值，单位为 g/kg； $\hat{y}_i$ 表示第 i 个验证样品的土壤含盐量监测值，单位为 g/kg； $\bar{y}$ 表示验证样品土壤含盐量实测值的平均值，单位为 g/kg。

模型精度应结合 R^2 和 RMSE 指标综合评价，并依据评价结果确定监测性能较优的模型。当各候选模型的预测性能均未达到预期水平时，可通过增加样品数量、优化光谱预处理方法、改进特征筛选方法、优化模型参数或调整建模算法等措施，提高模型精度。

10. 试验报告

试验报告至少应包括以下内容：

- a) 样品编号、来源、采样日期、采样深度和样品制备方法；
- b) 参考值测定方法及质量控制结果；
- c) 光谱仪型号、波长范围、测量几何、积分时间、扫描次数和校正记录；
- d) 光谱预处理方法、特征选择方法、模型算法和模型版本；

- e) 土壤含盐量监测结果、单位、精度；
- f) 异常情况、复核结果、试验人员和日期。

五、主要试验、验证及试行结果

1. 研究区

研究区为山东省东营市，东营市位于黄河尾间、渤海之滨，属于暖温带半湿润季风气候区，年平均气温为 12.8°C ，年平均降水量为 555 mm ，65%集中在夏季，春季干旱多风、蒸发强烈。盐渍化土壤质量受自然因素和人为因素的影响，不合理灌溉、过量施肥、植被破坏、过度开垦等不合理的土地利用方式引起土壤退化和生产力水平降低，区域农业发展受到影响，并且在干旱和半干旱地区灌溉用地受盐渍化威胁的面积比一般地区多 10%。全市盐碱地面积达 22.73 万 hm^2 ，盐碱耕地 13.07 万 hm^2 。

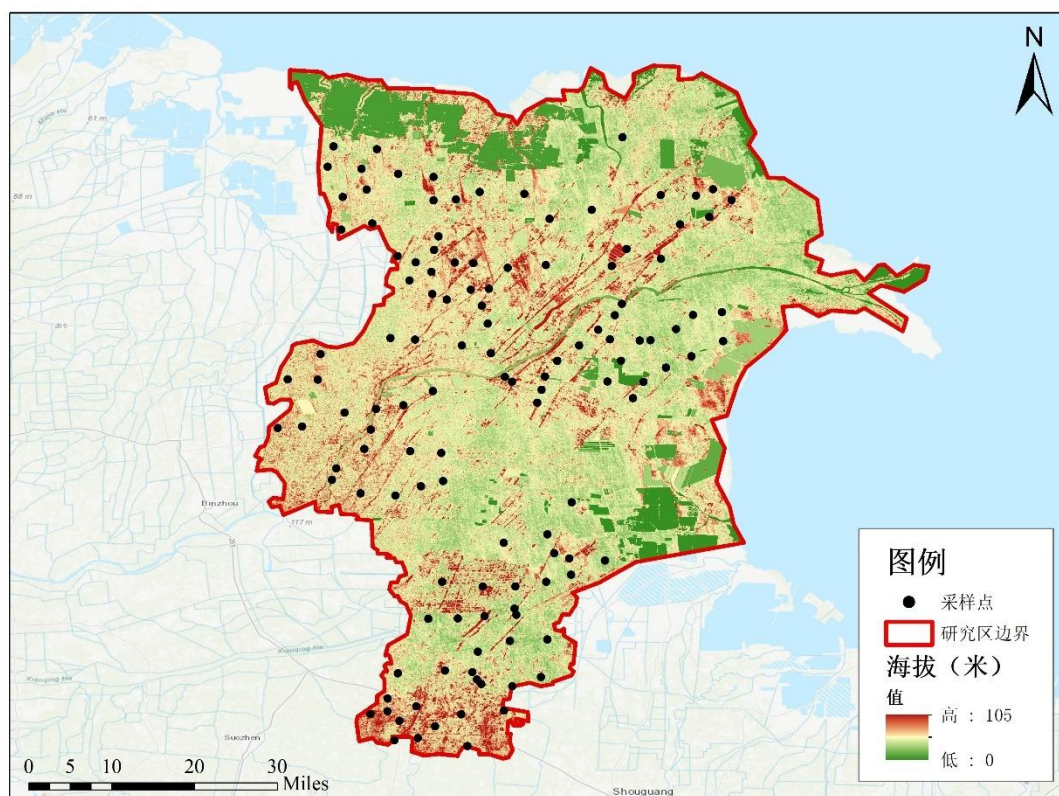


图 1 研究区概况图

2. 土壤样品采集与含盐量测定

土壤采样于 2023 年 10 月 12 日至 22 日进行,采用网格法均匀布设样点,研究区共采集 125 个样点。土壤样品被装在聚四氟乙烯密封袋中,并在采集后立即运送到实验室进行自然风干,去除根系和杂物,研磨后过 2 mm 筛。最后,按照 NY/T 1121.16—2006 规定的方法测定土壤水溶性盐总量,并将测定结果作为土壤含盐量实测值。研究区土壤含盐量的描述性统计分析见表 1。可以看出,研究区土壤含盐量范围为 0.11~11.76 g/kg,平均值为 2.82 g/kg,变异系数为 82.84%,表明样品土壤含盐量差异较大,能够覆盖不同含盐量水平,为高光谱监测模型构建与验证提供了样本基础。

表 1 土壤含盐量 (g/kg) 的描述性统计特征

最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)
0.11	11.76	2.82	2.34	82.84

3. 实验室高光谱数据采集

在暗室环境中,采用 Spectral Evolution SR-6500 地物光谱仪测量土壤样品 350 nm~2500 nm 范围内的光谱反射率,光谱数据采样间隔为 1 nm。光谱仪通过光纤与探头连接,采用外置卤素灯作为人工光源。

测量前连接光谱仪、探头及配套计算机等设备,启动光谱仪和外置卤素灯,运行配套数据采集软件,完成文件保存和测量参数设置。对光谱仪及配套卤素灯光源进行预热稳定,预热时间约 30 min,以保证光源输出稳定性及仪器响应一致性。并采用配套标准白板进行校准。

将研磨过筛后的土壤样品置于直径约 10 cm、装填深度约 2 cm 的容器中，将样品表面刮平后进行光谱测量。测量过程中调整卤素灯与土壤样品之间的距离和角度，使光线均匀覆盖测量区域；保持探头垂直于土壤样品表面，并保持各样品测量时光源、探头和样品之间的相对位置一致。

为降低土壤样品表面不均匀性对光谱测量结果的影响，每个土壤样品按照 0° 、 90° 、 180° 和 270° 四个方向进行重复测量，每个方向采集 5 条光谱曲线，共采集 20 条光谱曲线。完成光谱质量检查后，对同一样品的有效光谱曲线进行算术平均，作为该样品的代表性反射光谱。单个样品光谱测量平均用时约 20 s。实验所用光谱仪及土壤样品测量情况见图 3。

(a)光谱仪



(b)土壤样品



图 2 土壤高光谱测量

4. 光谱数据预处理

首先，对原始光谱反射率数据采用 Savitzky-Golay (SG) 平滑方法进行处理，以降低随机噪声对光谱曲线的影响，同时保持光谱曲线的主要变化特征。结合仪器光谱分辨率、噪声水平及前期试验结果，确定 SG 平滑参数为窗口长度 11、多项式阶数 2。

由于高光谱仪在光谱范围两端区域信噪比较低,采集数据稳定性较差,可能对后续模型构建产生影响。因此,根据仪器信噪比特性及实际测量情况,剔除 350~399 nm 和 2401~2500 nm 范围内的低信噪比波段,保留 400~2400 nm 范围内的有效光谱数据。经上述处理后的光谱数据进一步进行数学变换,以增强光谱特征信息,并用于后续特征波段筛选和土壤含盐量监测模型构建。

根据第三次全国土壤普查盐渍化等级划分,将土壤样品划分为非盐渍化(0~1 g/kg)、轻度盐渍化(1~2 g/kg)、中度盐渍化(2~4 g/kg)和重度盐渍化(>4 g/kg)四个等级。不同盐渍化等级样品经 SG 平滑处理后的平均反射光谱总体变化趋势较为一致,在 400~2400 nm 范围内均表现出随波长增加总体上升并伴随局部吸收特征的变化规律,在约 1400 nm、1900 nm 及 2200 nm 附近可观察到较明显的光谱吸收特征。不同盐渍化等级之间在整体反射率水平及部分波段的光谱响应上存在一定差异,表明不同含盐量水平土壤样品具有一定的光谱响应差异。不同盐渍化等级土壤样品的平均反射光谱见图 4。

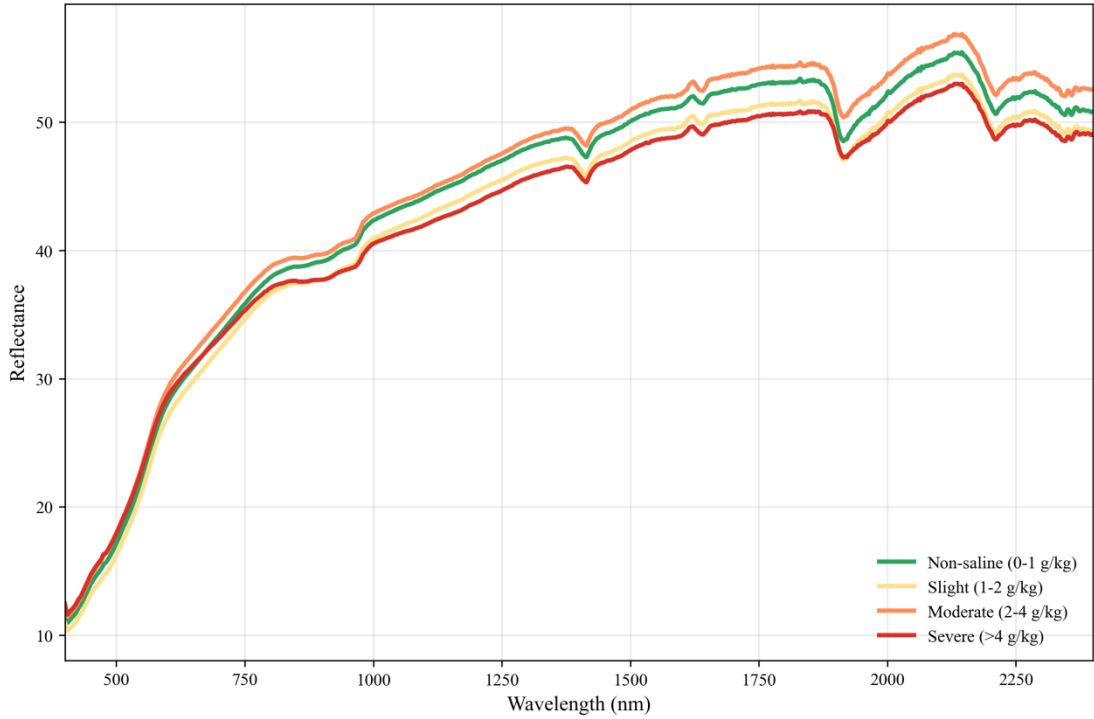


图 3 不同盐渍化等级下的原始光谱曲线图

在此基础上，分别对光谱数据进行一阶导数（First Derivative, FD）、二阶导数（Second Derivative, SD）、标准正态变量变换（Standard Normal Variate, SNV）、多元散射校正（Multiplicative Scatter Correction, MSC）、对数变换（Log）和倒数变换（Reciprocal Transformation, REC）处理。将 SG 平滑后的原始光谱以及六种数学变换后的光谱分别作为独立的光谱数据集，用于后续 CARS 特征波段筛选和土壤含盐量监测模型构建。

不同数学变换处理后的光谱曲线见图 5，其中图（a）为 SG 平滑后的原始光谱，图（b）～图（g）分别为 FD、SD、SNV、MSC、Log 和 REC 处理后的光谱。

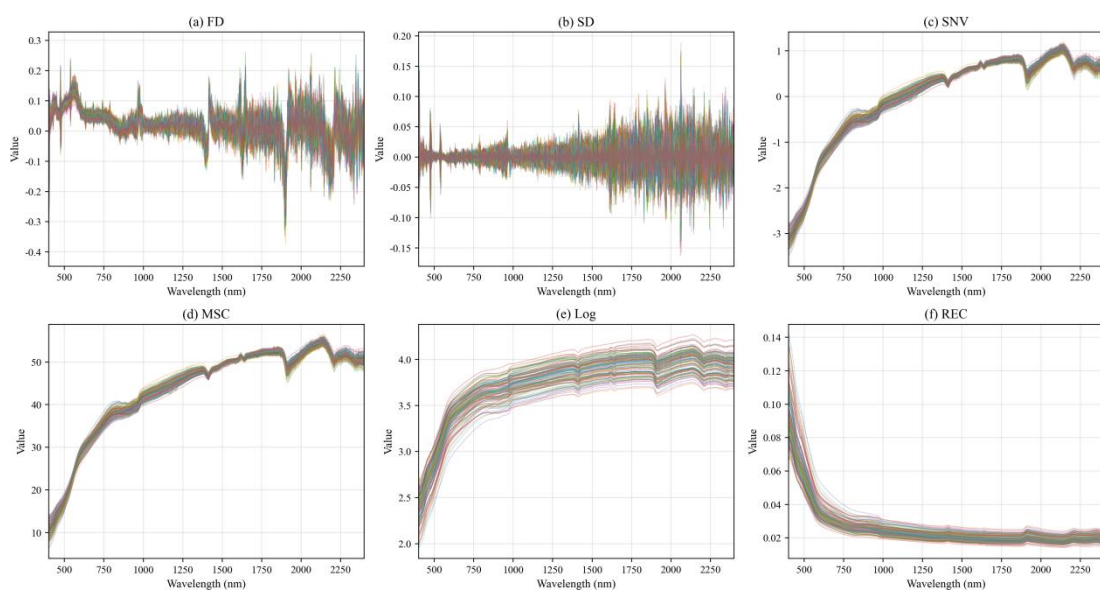


图 4 不同光谱变换后的光谱曲线图

5. 光谱特征筛选

为提高土壤含盐量高光谱监测模型的建模效率和预测性能，本标准在完成光谱预处理和数学变换后，采用竞争性自适应重加权采样（competitive adaptive reweighted sampling, CARS）方法对光谱反射率数据进行特征波段筛选。CARS 是一种基于蒙特卡洛采样和变量权重评价的特征变量筛选方法，通过计算偏最小二乘回归（PLSR）模型中各光谱变量回归系数的绝对值，评价不同波段变量对模型的贡献程度，并结合指数衰减函数和自适应重加权采样策略，逐步剔除贡献较低的变量，保留对土壤含盐量监测具有较高贡献的特征波段。

本标准采用 CARS 方法进行特征波段筛选时，设置迭代次数为 100 次，采用 5 折交叉验证评价不同变量组合模型性能，并以交叉验证均方根误差（RMSECV）最小作为最优特征波段组合的确定依据。蒙特卡洛采样比例设置为 80%，最小保留变量数设置为 2 个。经 CARS 筛选获得的特征波段作为后续土壤含盐量监测模型构建的输入变量，以减少冗余光谱信息，提高模型稳定性和预测能力。

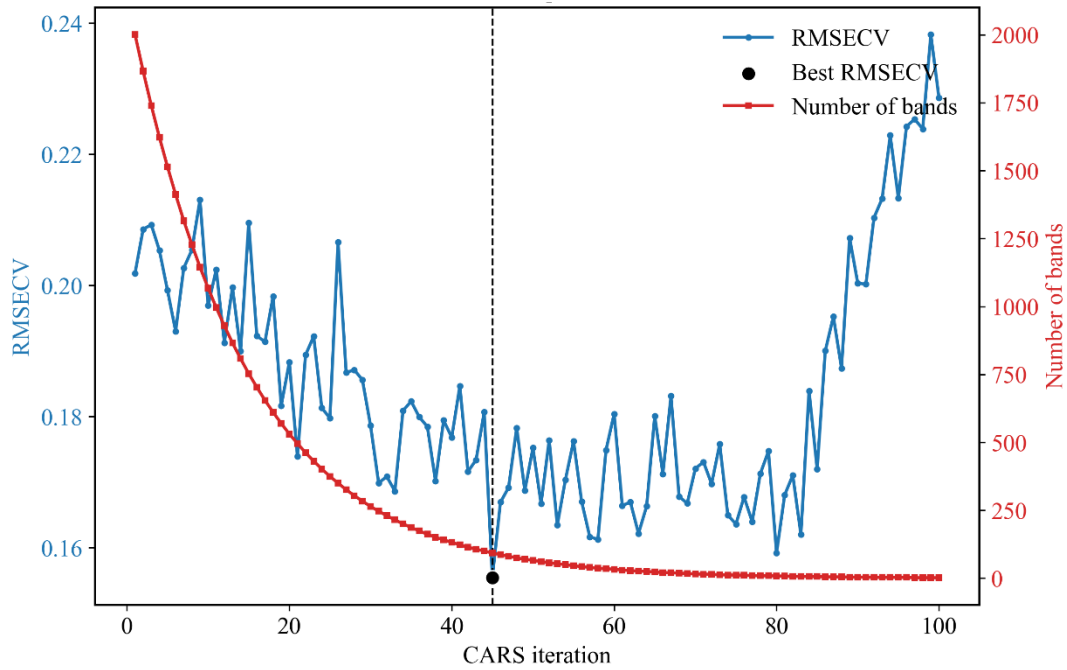


图 5 CARS 筛选过程（以原始光谱（R）为例）

6. 模型构建与验证

为建立土壤含盐量与高光谱敏感特征之间的定量关系，本研究以 CARS 筛选得到的敏感波段作为模型输入变量，以实验测定的土壤含盐量作为预测目标，分别构建偏最小二乘回归（Partial Least Squares Regression, PLSR）、支持向量回归（Support Vector Regression, SVR）、随机森林（Random Forest, RF）和极端随机树（Extremely Randomized Trees, ExtraTrees）模型。针对不同光谱变换方法对模型性能的影响，分别采用不同预处理后的光谱特征进行建模，并在训练集内部采用交叉验证比较不同光谱变换方式和模型参数组合的性能，确定各模型对应的最优光谱变换方式及参数，利用独立验证集对模型监测性能进行评价。

PLSR 通过提取能够同时解释光谱变量和土壤含盐量信息的潜在成分，降低光谱变量之间多重共线性的影响，适用于高维连续光谱变量建模。本研究对输入变量进行标准化处理，潜在成分数设置为 9。

SVR 通过核函数将光谱特征映射到高维空间，以建立光谱特征与土壤含盐量之间的非线性关系。本研究采用径向基函数（Radial Basis Function, RBF）核，并通过超参数网格调优确定模型参数，最终惩罚参数 C 设置为 362.18，核函数参数 γ 设置为 0.003，不敏感参数 ε 设置为 0.045。RF 和 ExtraTrees 均属于基于决策树集成的非线性模型，其中 RF 通过多棵决策树预测结果集成平均提高模型稳定性，模型设置树数量为 150，最大深度为 20，最大特征比例为 0.7，最大叶节点数为 40；ExtraTrees 通过随机选择特征和分裂阈值构建差异化决策树并进行集成预测，模型设置树数量为 200，最大深度为 8，最大特征比例为 1.0，最大叶节点数为 80。各模型参数均通过超参数网格调优确定。

模型构建完成后，采用决定系数（ R^2 ）和均方根误差（RMSE）对模型性能进行评价。其中， R^2 用于反映模型预测值与实测值之间的拟合程度，RMSE 用于评价预测误差大小。通过比较不同模型在验证集上的评价指标，确定适用于土壤含盐量高光谱监测的最优模型。

表 2 土壤含盐量高光谱监测模型精度对比

模型	光谱变换	训练集		验证集	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
SVR	MSC	0.77	1.09	0.71	1.27
PLSR	MSC	0.86	0.86	0.71	1.27
ExtraTrees	FD	0.94	0.58	0.63	1.43
RF	FD	0.70	1.23	0.54	1.59

由表 2 可知，不同模型对光谱变换方法的响应存在差异。SVR 和 PLSR 模型在多元散射校正(Multiplicative Scatter Correction, MSC)处理后的光谱数据下取得较优监测结果，验证集 R^2 均达到 0.71，RMSE 均为 1.27，表现出较好的稳定性。ExtraTrees 和 RF 模型在一

阶导数（First Derivative, FD）处理后的光谱数据下获得最佳结果，其中 ExtraTrees 验证集 R^2 为 0.63，RMSE 为 1.43；RF 验证集 R^2 为 0.54，RMSE 为 1.59。综合比较不同模型验证结果，PLSR 和 SVR 模型具有较高的监测精度和较好的稳定性，可作为土壤含盐量高光谱监测的优选模型。

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

经检索，目前国际标准化组织（ISO）及其他国际标准化组织尚未发布与土壤含盐量实验室高光谱监测技术相对应的国际标准。因此，本标准未直接采用国际标准，而是在参考国际相关标准和先进技术方法基础上，制定形成适用于我国土壤含盐量实验室高光谱监测工作的技术规范。

2. 国际同类标准水平对比情况

国际上关于土壤高光谱监测的研究主要集中于土壤有机质、土壤水分、土壤盐分等理化性质的光谱反演及数字土壤制图等方面，相关成果主要以科研论文、技术指南和数据库建设形式发布，尚未形成统一的国际标准。近年来，欧美、澳大利亚等国家和地区在实验室高光谱数据采集、光谱预处理、特征波段筛选及机器学习建模等方面开展了大量研究，为土壤属性快速监测提供了重要技术支撑，但不同研究采用的仪器设备、数据处理流程和模型评价方法存在一定差异，缺乏统一的技术规范。

本标准结合我国盐碱地调查监测和实验室高光谱应用需求，在充分吸收国际先进研究成果的基础上，对土壤样品采集、样品制备、土

壤含盐量测定、高光谱数据采集、光谱数据预处理、特征选择、监测模型构建及模型验证等关键技术进行了系统规范,形成了完整的技术流程和统一的技术要求。总体上,本标准技术内容与国际相关研究保持一致,在实验室高光谱监测土壤含盐量技术流程规范化方面具有一定的先进性和创新性,可为我国盐碱地调查监测及实验室高光谱技术推广应用提供技术支撑。

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

《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》在编制过程中遵循了《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国农业法》《中华人民共和国粮食安全保障法》等法律法规及相关政策要求,并充分考虑了与现行强制性国家标准以及土壤调查、样品采集与处理、土壤含盐量测定等相关标准之间的协调性。

(1)《中华人民共和国标准化法》第一章【总则】第四条规定,制定标准应当在科学技术研究成果和社会实践经验的基础上,深入调查论证,广泛征求意见,保证标准的科学性、规范性和时效性,提高标准质量;第二章【标准的制定】第二十一条规定,推荐性国家标准、行业标准、地方标准、团体标准和企业标准的技术要求不得低于强制性国家标准的相关技术要求。《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》以编制组前期土壤盐渍化监测和实验室高光谱研究成果及试验数据为基础,结合相关国家标准、行业标准和已有研究成果,通过资料收集、标准调研、试验验证和专家论证等过程确定主要技术内容,并

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》进行编制。因此，本标准的制定过程和技术内容符合《中华人民共和国标准化法》有关标准制定的基本要求。

(2) 《中华人民共和国农业法》第五十七条规定，发展农业和农村经济应当合理利用和保护土地、水等自然资源，发展生态农业，保护和改善生态环境。土壤盐渍化是影响耕地质量和农业生产的重要因素，准确、快速获取土壤含盐量是开展盐碱地调查、评价和治理的重要基础。《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》通过规范土壤样品采集与制备、含盐量测定、高光谱测量、光谱数据处理、特征选择以及监测模型构建和验证等技术环节，为土壤盐渍化调查监测和盐碱地综合利用提供技术支撑，与《中华人民共和国农业法》关于农业资源合理利用和保护的有关要求相协调。

(3) 《中华人民共和国粮食安全保障法》第七条提出加强粮食安全科技创新能力和信息化建设，支持粮食领域基础研究、关键技术研发和标准化工作；第十七条提出推动盐碱地综合利用，挖掘盐碱地开发利用潜力，分区分类开展盐碱耕地治理改良。土壤含盐量是盐碱耕地调查、评价和改良利用的重要基础指标。该标准建立实验室条件下利用高光谱技术快速监测土壤含盐量的技术流程，可提高土壤盐分信息获取效率，为盐碱地调查评价、改良利用和耕地质量监测提供技术手段，与《中华人民共和国粮食安全保障法》关于盐碱地综合利用、农业科技创新及标准化建设的有关要求相一致。

(4) 强制性国家标准 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地

土壤污染风险管控标准(试行)》规定了农用地土壤污染风险筛选值、管制值以及相应的监测、实施和监督要求,其主要目的是保护农用地土壤环境、管控土壤污染风险以及保障农产品质量安全。本标准监测对象为土壤含盐量,主要用于评价土壤盐渍化程度,与 GB 15618—2018 所规范的农用地土壤污染风险管控对象和技术目的不同。本标准不涉及污染物风险筛选值、管制值的重新规定,也不替代农用地土壤污染风险评价相关强制性标准。因此,本标准与 GB 15618—2018 不存在重复或冲突,在涉及农用地土壤污染风险管控时仍应执行现行强制性国家标准。

(5) 本标准与 GB/T 36197—2018《土壤质量 土壤采样技术指南》、GB/T 42363—2023《土壤质量 土壤理化分析样品的预处理》、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 1121.16—2006《土壤检测 第16部分:土壤水溶性盐总量的测定》等标准相衔接,保证土壤样品采集、制备及土壤含盐量实测值获取的规范性和一致性;同时与 TD/T 1043.1—2013《暗管改良盐碱地技术规程 第1部分:土壤调查》等相关行业标准保持协调。在现有标准规定的土壤调查、样品采集与制备和含盐量测定方法基础上,本标准结合实验室高光谱监测特点,对光谱仪器及配套设备、样品高光谱测量、光谱数据处理、光谱特征选择、监测模型构建与验证等技术内容进行进一步规定,形成完整的土壤含盐量实验室高光谱监测技术流程,为土壤含盐量快速监测和盐渍化监测提供统一技术方法。

2. 与国内外同类标准的对比情况

目前土壤含盐量主要采用实验室理化分析方法测定。随着可见—近红外高光谱技术的发展,利用土壤反射光谱和参比测定结果建立定量监测模型已成为土壤理化属性快速获取的重要技术途径。国内外已开展土壤理化属性光谱检测相关研究,并形成部分相关标准,但针对土壤含盐量实验室高光谱监测的系统性标准尚不完善。

国内现有土壤光谱监测相关标准中,已有部分标准对土壤理化属性的高光谱检测或遥感监测进行了规定,如重庆市地方标准 DB50/T 1449—2023《茶园土壤有机质高光谱检测技术规程》、石家庄市地方标准 DB1301/T 501—2024《耕地表层土壤有机质含量遥感监测规程》等。其中,DB50/T 1449—2023 规定了茶园土壤样品采集、样品制备、有机质含量测定、样品高光谱测量和有机质含量监测模型等内容,已经形成利用实验室高光谱技术监测土壤理化属性的技术流程,但其监测对象为茶园土壤有机质;DB1301/T 501—2024 主要针对耕地表层土壤有机质的遥感监测,数据获取方式和应用尺度与实验室高光谱监测有所不同。总体来看,国内现有相关标准主要集中于土壤有机质等指标,高光谱技术用于土壤理化属性快速检测已具有一定标准化基础,但针对土壤含盐量实验室高光谱监测的标准尚不完善。国外已开展大量基于可见—近红外光谱技术的土壤属性快速检测研究,形成了较为成熟的光谱数据采集、预处理、特征波段筛选和定量模型构建方法体系。但目前尚未发现针对土壤含盐量实验室高光谱监测技术的国际标准,国外相关研究主要集中于利用光谱信息结合化学分析结果建立土

壤属性预测模型，为土壤理化属性快速检测提供技术基础。

鉴于此，《土壤含盐量实验室高光谱监测技术规程》针对现有相关标准在土壤含盐量实验室高光谱监测方面的不足，结合我国盐碱地调查监测需求和已有研究基础，对土壤样品采集与制备、土壤含盐量测定、高光谱数据采集、光谱数据处理、特征选择、监测模型构建及模型验证等关键技术环节进行系统规定，形成一套较为完整的土壤含盐量实验室高光谱监测技术流程，为土壤含盐量快速监测和盐渍化监测提供统一的技术方法。

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

本标准发布实施后，建议由中国农业绿色发展研究会组织开展标准宣贯和技术培训，加强标准解读，提高相关科研院所、高等院校、农业农村部等单位对标准的理解和应用能力。

建议结合盐碱地调查监测、耕地质量评价及相关科研项目，在典型盐碱地区开展标准试点应用，进一步验证标准的适用性和可操作性，并及时收集实施过程中存在的问题，不断完善和优化标准内容。

同时，鼓励相关单位结合本标准开展实验室高光谱监测技术推广应用，加强数据共享、技术交流和成果转化，逐步建立统一、规范的土壤含盐量实验室高光谱监测技术体系，为后续行业标准和国家标准制定奠定基础。

2. 贯彻该标准的预期效果

本标准的发布实施,将进一步规范土壤含盐量实验室高光谱监测技术流程,统一土壤样品采集、样品制备、土壤含盐量测定、高光谱数据采集、光谱数据处理、特征选择、监测模型构建及模型验证等关键技术要求,提高实验室高光谱监测结果的准确性、一致性和可重复性。

标准的实施有助于推动实验室高光谱监测技术在盐碱地调查监测、耕地质量评价、盐碱地综合利用、农业资源调查及科学研究等领域的推广应用,提高土壤含盐量快速检测效率,降低传统化学分析的人力、时间和经济成本,为我国盐碱地资源调查、盐渍化动态监测、盐碱地综合治理及农业绿色发展提供统一的技术支撑和标准保障。

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 36199—2018 土壤质量 土壤采样程序设计指南
- [3] GB/T 42363—2023 土壤质量 土壤理化分析样品的预处理
- [4] 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
- [5] NY/T 1121.16—2006 土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定
- [6] TD/T 1043.1—2013 暗管改良盐碱地技术规程 第1部分：土壤调查
- [7] GB 15618—2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- [8] GB/T 36197—2018 土壤质量 土壤采样技术指南
- [9] DB50/T 1449—2023 茶园土壤有机质高光谱检测技术规程
- [10] DB1301/T 501—2024 耕地表层土壤有机质含量遥感监测规程
- [11] 史舟 等, 2014. 土壤地面高光谱遥感原理与方法[M]. 北京: 科学出版社.
- [12] 郭艳萍, 王雪梅, 赵枫, 李平平, 2025. 基于最优数学和小波变换的绿洲耕层土壤盐分RF高光谱反演. 农业工程学报, 41(3): 83-93.

[13] 李明丽, 温彩运, 马东豪, 李存军, 王宇文, 康璐, 陆苗, 2025. 基于土壤高光谱特征波段优选的盐分预测模型构建. 中国农业科学, 58(20): 4054-4069.

[14] 王涛, 喻彩丽, 姚娜, 张楠楠, 白铁成, 2018. MLR和PLSR的沙壤土盐分含量光谱检测对比研究. 干旱区地理, 41(6): 1295-1302.

[15] Lin N, Ma X, Sui Y, Zhu R, Liu H, Wu M, Jiang R, 2026. Soil salinity estimation based on satellite hyperspectral and synthetic aperture radar remote sensing image fusion. *Agricultural Water Management*, 323: 110076.

[16] Mahajan G R, Das B, Gaikwad B, Murgaonkar D, Desai A, Morajkar S, Patel K P, Kulkarni R M, 2021. Monitoring properties of the salt-affected soils by multivariate analysis of the visible and near-infrared hyperspectral data. *Catena*, 198: 105041.

[17] Qiu Y, Xu J, Zhu L, Chen Z, Lou F, Chen S, Tan S, 2026. Moisture interference-free estimation of soil salinity using proximal hyperspectral sensing through external parameter orthogonalization correction, feature extraction and SVM-AdaBoost modelling. *Soil Use and Management*, 42(2): e70208.

[18] Wu S, Wang C, Liu Y, Li Y, Liu J, Xu A, Pan K, Li Y, Pan X, 2018. Mapping the salt content in soil profiles using Vis-NIR hyperspectral imaging. *Soil Science Society of America Journal*, 82(5): 1259-1269.