

中国农业绿色发展研究会团体标准  
编制说明

《基于合成孔径雷达(SAR)卫星遥感影像的土壤盐渍化监测技术规范》

(征求意见稿)

《基于合成孔径雷达(SAR)卫星遥感影像的土壤盐渍化监测技术规范》编制组

二〇二六年二月



## 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 .....	6
五、主要试验、验证及试行结果 .....	13
六、采用国际标准的程度及水平说明 .....	13
七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系 .....	13
八、重大分歧或重难点的处理经过和依据 .....	14
九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果 .....	14
十、其他应说明的事项 .....	14
参考文献.....	15



# 《基于合成孔径雷达(SAR)卫星遥感影像 的土壤盐渍化监测技术规范》

## 一、团体标准制修订背景、目的和意义

### 1. 土壤盐渍化监测是土地资源保护的重要环节之一，土壤盐渍化监测是农业绿色发展的基础性保障工作与关键监管环节之一

土壤盐渍化，又称土壤盐碱化，是可溶性盐分在土壤表层或亚表层积累的过程，属于全球性的土地退化问题之一。它会导致土壤板结、肥力下降、微生物活动减弱，严重制约作物生长，甚至造成耕地荒废。据 2021 年联合国粮食及农业组织发布的全球盐渍土分布图统计，全球盐渍土面积逾 8.33 亿公顷，中国作为最大的发展中国家，盐渍土(盐碱土)的分布范围广、面积大、类型多，总面积超过 920.9 万公顷，主要分布在辽、吉、黑、冀、鲁等 19 个省区。盐渍化加重、土壤的退化影响着作物的生长从而会降低农产品的产量和质量。因此盐碱地综合治理和利用是保障我国粮食安全、推进农业绿色低碳发展的有效途径。党和国家领导人对此非常重视。2023 年，习近平总书记指示“加大盐碱地改造提升力度，加强适宜盐碱地作物品种开发推广，做好盐碱地特色农业这篇大文章”。开展土壤盐渍化监测，能够及时掌握土壤盐分动态，预警土地退化风险，为科学改良与合理利用盐渍土提供依据。

### 2. 遥感土壤盐渍化监测研究已成热点，技术助推绿色农业

土壤盐渍化作为全球性的土地退化问题，对其进行快速、大范围的监测需求日益迫切。遥感技术凭借其宏观、快速、非接触等独特优势，已成为土壤盐渍化现代监测体系中的核心手段，相关研究也从方法探索走向了业务化应用。

早在 20 世纪 70 年代，学者们就开始尝试利用遥感手段监测土壤盐渍化，早期研究受限于遥感数据分辨率和反演模型，多集中于大面积、重度盐渍区的识别与制图。应用较早的遥感数据来自于光学遥感，但它易受云雨和植被覆盖影响，存在观测盲区。为了突破这一限制，雷达遥感技术因其独特的全天时、全天候成像能力，正逐渐成为该领域的研究前沿，为穿透植被和直接感知土壤表层物理特性提供了新的解决方案。随着国内外一系列雷达遥感卫星的相继发射，数据源日益丰富，为精确捕捉土壤盐分信息提供了坚实基础。

为了防止单一模型或数据在特定区域的“水土不服”，研究者们根据不同地理区划与盐渍化主导成因，发展出适应不同气候带和地貌单元的反演模型。研究区域从干旱内陆的新疆、河套灌区，扩展到半湿润的黄淮海平原、黄河三角洲，乃至滨海围垦区，实现了对主要盐渍区类型的全覆盖。目前，机器学习与深度学习算法已成为该领域的新引擎，能够从海量遥感数据中挖掘深层特征，自动、智能地实现高精度盐渍化信息提取，呈现出“结合人工智能挖数据”的研究景象。

### 3. 标准化监测是当前发展趋势

**3.1 国家有要求。**2022 年中央一号文件明确提出，要“研究制定耕地盐碱化治理规划”，并“分类改造盐碱地”。2023 年中央一号文件进一步强调，要“加强旱涝保收、高产稳产高标准农田建设”，并“持续推动由主要治理盐碱地适应作物向更多选育耐盐碱植物适应盐碱地转变”。在 2024 年中央一号文件明确提出针对盐碱耕地治理改良的分区分类策略。快速、实时、大范围地获取土壤盐渍化信息，对土壤治理、提高农作物产量，乃至保护粮食安全具有重要意义。因此，加快建立统一、科学的土壤盐渍化监测标准体系，实现对耕地质量的精准感知和动态评估，是落实国家粮食安全战略、推进农业标准化生产、增加绿色优质农产品供给的紧迫任务和基础保障。

**3.2 地方有需要。**各重点省份与地区党委、政府对辖区内耕地盐渍化问题高度重视，多次组织自然资源、农业农村等部门专家团队，深入盐渍化典型区域开展实地调研与监测，听取基层农技人员与种植户的治理需求与建议。为保障粮食安全与农业可持续发展，多地已出台专项政策，将盐渍化治理与监测纳入地方发展规划。2023 年，新疆维吾尔自治区农业农村厅、自然资源厅等多部门联合印发了《新疆耕地盐碱地综合治理规划》，明确提出要“构建天空地一体化监测网络，推广应用遥感等现代信息技术，实现盐碱地动态监测与精准治理”。内蒙古河套灌区在《巴彦淖尔市“十四五”盐碱地治理实施方案》中，将“建立遥感监测评估体系”列为重点任务，要求定期发布土壤盐分动态数据，指导农户进行科学灌溉与改良。江苏，在《江苏省国土空间规划（2021-2035 年）》中明确提出要加强海岸带综合整治与生态修复，其中对滨海盐渍化耕地的治理是重要一环；天津在《天津市耕地保护与质量提升实施方案》中，亦将盐碱地治理改良作为重点任务。很多地方明确要求利用遥感技术开展滨海盐渍化常态化调查，以标准化监测支撑精准治理，为各地扎实推进“藏粮于地、藏粮于技”战略提供了坚实的政策保障与实践指引。

### 4. 新形势下存在的问题

随着技术的进一步发展，在新形势下也面临着新的挑战。一是技

术体系尚不成熟。当前土壤盐渍化遥感监测仍以科研院所的小范围试验为主，尚未形成业务化运行能力。监测模型在不同土壤类型、植被覆盖和气候区的适用性差异显著，反演精度受地表粗糙度、土壤水分等因素干扰较大。特别是在耕作区，作物生长周期内的盐分动态监测技术尚未突破，难以满足精准农业的需求。**二是标准规范严重缺失。**经查询全国标准信息公共服务平台，现行与土壤盐渍化相关的标准共 23 项，其中国家标准 8 项、行业标准 15 项，主要集中在传统的地面调查与实验室分析领域。遥感监测方面仅有行业标准 NY/T 3527—2019《土壤盐渍化遥感监测技术规范》和 TD/T 1068—2021《国土空间生态修复监测规范》中涉及部分内容，但缺乏统一的术语定义、产品分级、精度检验等技术要求，导致不同地区、不同部门的监测结果难以对比和共享。**三是数据共享机制不健全。**我国已建立多个遥感数据共享平台，但土壤盐渍化监测涉及的多源数据（光学、雷达、高光谱等）仍分散在不同部门，数据格式、空间分辨率和访问权限不统一，形成“数据孤岛”。同时，地面实测数据与遥感数据的共享融合不足，制约了大范围、长时间序列的盐渍化动态监测与分析。

因此，制定统一的土壤盐渍化遥感监测技术标准，将明确技术流程、规范产品生产、保证数据质量，建立天空地一体化的监测体系，为耕地质量保护、盐碱地治理和农业高质量发展提供可靠的技术支撑。各相关单位合作研制的《基于合成孔径雷达(SAR)卫星遥感影像的土壤盐渍化监测技术规范》将实现技术研发与业务应用的有机结合，其推广实施可有效提升监测结果的准确性与可比性，对构建国家耕地质量监测网络、服务农业可持续发展具有重要战略意义。

## 二、工作简况

### 1. 任务来源

根据中国农业绿色发展研究会下发的《关于 2025 年第三批 4 项团体标准立项的公示》（农绿（培）〔2025〕8 号）文件，《基于合成孔径雷达（SAR）卫星遥感影像的土壤盐渍化监测技术规范》团体标准获立项制定，起草单位为中国农业大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所。

### 2. 主要工作过程

#### 2.1 立项前准备

项目组按照中国农业绿色发展研究会《关于征集 2025 年中国农业绿色发展研究会团体标准项目的通知》要求提交了立项申请材料。2025 年 9 月，根据中国农业绿色发展研究会的要求，项目组安排李俐、高秉博、陆苗、刘允佳、黄元仿、姚晓闯、武雪萍、刘康怡、张泽嘉、陈龙洁等人，了解农业绿色技术标准体系，掌握团体标准研制、

编写规则，熟悉团体标准制修订程序和各阶段审定要求，并结合本单位申报项目，适时进行修改完善，尽快达到立项条件，确保项目顺利编制。

## 2.2 项目组成立与任务分工

2025 年 9 月，标准制定任务下达后，起草单位组织相关人员组建成立标准起草工作组，并对文献收集、标准起草、意见征求、标准审定、标准报批等工作进行分工，明确各自任务和职责，以确保标准制定任务的顺利实施。

## 2.3 实地调研与专家咨询

为提高本标准的适用性和规范性，起草工作组赴吉林、山东等土壤盐渍化省市进行调研，并与当地科研人员和技术推广人员进行座谈、交流与讨论，了解当地土壤盐渍化现状、监测手段和技术要点等情况。

## 2.4 资料收集与标准起草

起草工作组收集整理了我国现行土壤盐渍化相关的标准共 23 项，其中国家标准 8 项、行业标准 15 项，土壤检测、农业遥感监测、地图制作等相关论文和著作 20 余篇/本，并进行了深入细致的研究。结合近年来起草工作组的研究成果与生产经验，起草工作组按照国家标准 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》要求，确定了本标准的初步框架，并起草形成工作组讨论稿。在此基础上，起草工作组组织土壤盐渍化监测与遥感监测专家及起草人员召开标准起草征求意见会，集中对标准的范围、主要技术指标、最新技术采用等内容进行了讨论，最终确定了标准的主要内容，并起草形成标准文本及其编制说明的征求意见稿。

## 3. 主要起草人及其分工

姓名	性别	职务/职称	工作单位	主要工作
李俐	女	教授	中国农业大学	组织、协调，确定标准框架
高秉博	男	教授	中国农业大学	技术内容和指标确定
陆苗	男	研究员	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	标准文本、编制说明等起草
刘允佳	男	副教授	中国农业大学	技术内容和指标确定
黄元仿	男	教授	中国农业大学	技术内容和指标确定
姚晓闯	男	副教授	中国农业大学	技术内容和指标确定



姓名	性别	职务/职称	工作单位	主要工作
武雪萍	女	研究员	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	技术内容和指标确定
刘康怡	女	研究生	中国农业大学	文献收集与整理、意见征求
张泽嘉	女	研究生	中国农业大学	文献收集与整理、意见征求
陈龙洁	女	研究生	中国农业大学	文献收集与整理、意见征求

### 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》《中华人民共和国农业法》《中华人民共和国土地管理法》以及《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、先进性与实用性为核心原则，立足技术前沿，以 SAR 卫星对土壤介电特性的物理响应机制为科学基础，确保监测模型的机理正确。同时，注重业务导向，以构建可业务化运行的天空地一体化监测流程为切入口，充分考虑我国滨海、内陆、灌区等不同盐渍化类型区的实际条件，优化数据处理与反演的技术路径。此外，强化规范统一，对从数据预处理、特征提取到盐分反演与验证的全过程进行明确规定，确保技术方法的可操作、可重复与可对比。编制过程中系统参考了已发布的 TD/T 1068—2022《国土空间生态修复监测规范》等国内相关标准，并广泛征求遥感、土壤、农业等领域同行专家的意见，确保标准内容既吸纳最新研究成果，又能有效指导生产实践。最终，标准文本力求结构清晰、表述精准、逻辑严密，便于各级技术部门和从业人员理解与应用，实现 SAR 技术在土壤盐渍化监测中先进性与实用性的统一。

#### 2. 编制依据

**2.1 以国家标准和管理要求为依据规范制定。**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定。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定。**起草工作组核心成员长期致力于土壤盐渍化遥感监测领域的研究与应用，相关研究成果形成的“合成孔径雷达(SAR)卫星遥感影像的土壤盐渍化监测技术”已在吉林大安、黄河三角洲等典型盐渍区进行了应用验证，为区域盐碱

地治理和耕地退化监测提供了科学依据。

同时，起草工作组成员**研究员**陆苗、武雪萍等专家参与了第三次全国土壤普查工作，长期在**新疆、山东**等盐渍化重点区域一线从事技术推广与验证工作，积累了丰富的实地观测与模型校正经验。近年来，李俐、黄元仿、刘允佳、姚晓闯等积极参与“智慧耕地”监测与“数字黑土地”工程建设，共同探索盐渍化动态监测服务机制，为基层农业部门提供在线诊断、风险预警与治理评估等服务，累计处理与分析 SAR 影像超过 1T，推动 SAR 卫星遥感监测推广应用技术体系。

因此，在标准起草过程中，以大量实地调查、模型分析与案例总结为基础，以起草工作组成员的长期研究成果与工程实践经验为主要依据，充分结合国内外已发布的 SAR 遥感标准、学术论文、专著及技术最新进展，优化集成当前土壤盐渍化雷达监测的先进方法与技术流程，明确数据处理、特征提取、模型反演与精度验证等环节的技术指标，并充分考虑我国不同盐渍区的现实条件与业务化监测水平，兼顾当前农业遥感的应用现状，还着眼于天空地一体化与智能解译的未来发展趋势，确保了本标准的前瞻性、引导性与先进性。

#### 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，如利用合成孔径雷达卫星遥感影像进行土壤盐渍化监测的技术要求、工作程序、精度评价、报告编制等内容。本文件适用于基于合成孔径雷达(SAR)卫星遥感数据的大范围区域土壤盐渍化监测与评估的应用。

##### 2. 规范性引用文件

对于标准框架结构中已有相应的国家标准或行业标准的，直接引用相应的标准。此外，根据本标准内容的规范需要，引用相应的标准。本标准所引用的标准均为国家标准和行业标准，且现行有效。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 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 18834 土壤质量 词汇

GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第1部分：1:500 1:1 000 1:2 000 地形图图式

HJ 802 土壤 电导率的测定 电极法

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同时，引用要求均符合国家标准 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》的规定。

### 3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### 土壤盐渍化 **soil salinization**

由于自然条件和人为因素影响，引起土壤表层盐分积聚的过程。

[来源：GB/T 18834—2002, 2.42]

#### 3.2

##### 合成孔径雷达 **Synthetic Aperture Radar**

以多普勒频移理论和雷达相干为基础，综合处理雷达回波振幅和相位数据的遥感系统。

[来源：GB/T 14950—2009, 4.151]

#### 3.3

##### 土壤电导率 **soil conductivity**

指土壤传导电流的能力，通过测定土壤提取液的电导率来表示。

[来源：HJ 802—2016, 3.1]

### 4. 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DEM：数字高程模型（Digital Elevation Model）

GF-3：高分三号（Gaofen-3）

HH：水平极化

HV：水平-垂直极化

RF：随机森林（Random Forest）

SAR：合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar）

SVM：支持向量机（Support Vector Machine）

VH：垂直-水平极化

VV：垂直极化

### 5. 监测流程

合成孔径雷达卫星遥感土壤盐渍化监测技术流程包括数据获取、数据处理、土壤含盐量/电导率反演、盐分分级制图、土壤盐渍化监测报告编制等步骤，监测技术流程可参照图 1。

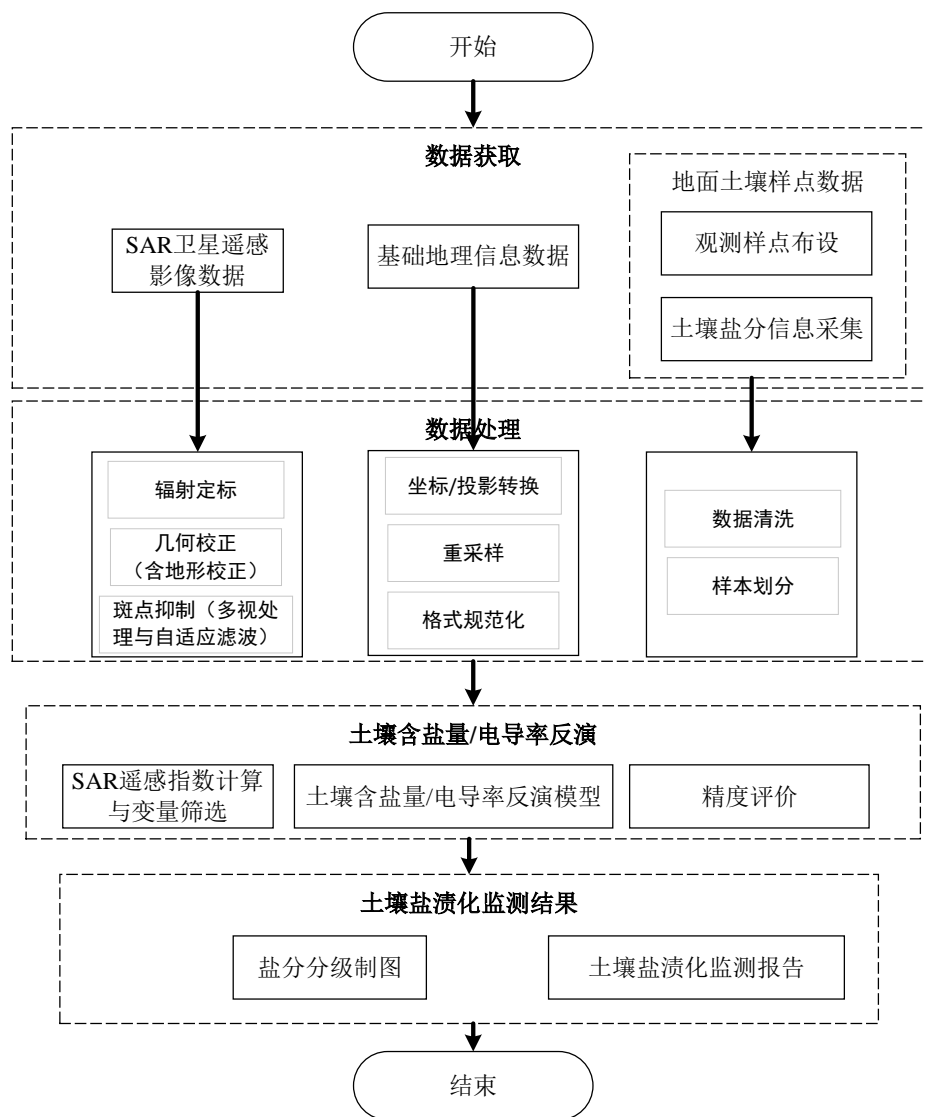


图1 监测技术流程

## 6. 数据获取

### 6.1 遥感影像数据

#### 6.1.1 确定监测区域

应根据土壤盐渍化空间分布遥感制图任务要求，确定监测区域的范围。监测范围按照行政区划可以分为国家级、省级、地市级和县级等，也可以根据土壤盐渍化分布情况或地理区域（如东北苏打盐碱地等）来确定遥感监测区域范围。

#### 6.1.2 确定监测时间

综合监测区域和监测目标等信息，确定土壤盐渍化空间分布遥感监测时间，监测时间应选择待提取盐碱地信息与其他地类的遥感影像特征差异最显著、识别效果最佳的时间节点，例如返盐较高的春/秋季。基于合成孔径雷达遥感数据主要根据土壤本身信息进行土壤盐碱

度反演，适宜选择植被覆盖较少、无积雪覆盖的春季时段。

### 6.1.3 SAR 数据获取

选择适合的合成孔径雷达卫星遥感影像数据源，如 GF-3、Sentinel-1 等，影像应覆盖监测区域。综合考虑重访周期和监测区域大小，必要时采取多源 SAR 数据协同获取，具有合适的分辨率和多极化形式（双极化 HH/HV、VV/VH 或全极化）的雷达数据。

### 6.2 基础地理信息数据获取

调研获取土地利用现状图、土壤类型图、行政区划图、DEM 等基础地理信息数据，用于辅助监测和分析。

### 6.3 地面土壤数据获取

样本获取主要包括样点数量与布局及获取方式等内容。

#### 6.3.1 土壤样点布设

6.3.1.1 样点布设应遵循代表性、均匀性和随机性原则，确保能够全面反映监测区域的土壤盐渍化状况。以土壤类型图作底图，叠加土地利用现状图，综合考虑地形、地貌、土壤类型、土地利用等因素的影响，合理分配样点密度。

6.3.1.2 可采用网格法、分层随机抽样法等方法进行样点布设。采用网格法初步确定样点数量：网格大小应按照影像覆盖大小确定，建议按 4 公里×4 公里规划 1 个样点。采用分层随机抽样法，根据土壤盐渍化程度、地形起伏等相关因素将监测区域划分为不同层次，在每个层次上分别随机抽样，确定位置。

#### 6.3.2 土壤样点采集

样品采集应按垂直深度分层取样，综合考虑 SAR 数据监测深度和作物耕层位置，取样深度宜选择 0 cm~20 cm、20 cm~40 cm 两层，每个土壤样品采用标准大小环刀（例如 100 立方）取样，采集的土壤样品应密封于塑料自封样品袋中，并记录样品站位信息，记录采样点坐标。

#### 6.3.3 土壤样点测试化验

土壤样品处理和贮存应按 NY/T 1121.1 的规定执行，样点土壤电导率测定应按 HJ 802 的规定执行，在标准电导池中测量土样溶液的电导值，换算得到土壤电导率，单位为 mS/m。样点土壤含盐量测定应按 NY/T 1121.16 的规定执行，单位为克 / 千克（g/kg）。

## 7. 数据预处理

### 7.1 SAR 遥感影像数据处理

7.1.1 SAR 影像数据应经过辐射定标、几何校正、斑点抑制等步骤，确保数据质量和准确性。

——辐射定标：将原始回波幅度转换为等效散射系数（ $\sigma^0$ ），保证像素值能够真实反映地表散射特性。

——几何校正：消除平台运动、地球曲率、地形起伏、斜视几何导致的畸变。

——斑点抑制：可去除干涉叠加引起的斑点噪声。通过多视处理和滤波处理进行。多视处理处理在距离向和方位向的视数选择原则上满足多视处理后两个方向上空间分辨率相；滤波处理通常采用增加型 Lee 滤波，有针对性地压制斑点噪声，同时最大限度保留影像中的真实地物细节和边缘信息，增强图像信息。

**7.1.2** 预处理后的影像按照监测区域的范围进行掩膜、镶嵌或裁切处理。

## **7.2 基础地理信息数据**

**7.2.1** 对获取的监测区域行政区划矢量数据或监测区域边界进行坐标系统一与投影转换，确保与使用的卫星影像的坐标系完全一致。

**7.2.2** 对获取的监测区域数字高程模型（DEM）进行坐标系统一与分辨率重采样。

**7.2.3** 对获取气象参数数据进行筛选和空间插值。

**7.2.4** 对监测区域作物设施栽培用地遥感监测历史成果数据进行坐标系统一与属性字段规范化。

## **7.3 土壤样本数据处理**

**7.3.1** 对样本数据进行数据清洗，确保采样结果的可靠性。

**7.3.2** 进行数据筛选，剔除异常数据；

**7.3.3** 对数据结构进行标准化、规范化处理，统一数据格式并进行规范化存储，注明数据来源和数据格式；

**7.3.4** 划分为训练样本和验证样本。已有样点集宜按照 4:1 的比例，依照盐渍化程度分层抽样，其中训练样本应用于构建预测模型，验证样本应用于检验模型的预测精度。

## **8. 土壤含盐量/电导率反演**

### **8.1 SAR 遥感指数构建与变量筛选**

#### **8.1.1 SAR 遥感指数计算**

选择和土壤盐分相关性较强的雷达指数、极化分解指数、地形指数等遥感指数基于多极化合成孔径雷达影像和 DEM 数据进行计算，指数计算公式见表 1。表格中指数计算涉及不同极化形式数据，所选用 SAR 卫星遥感影像为双极化 SAR 影像时，根据可用极化形式为 VV/VH 还是 HH/HV 来决定所计算指数，选用全极化 SAR 影像时，表 1 中所列指数皆可计算。完成遥感指数计算后，提取土壤样本所在影像像元的特征值，以便进行后续处理流程。

#### **8.1.2 变量筛选**

由原始后向散射系数与 SAR 遥感指数共同构成初始特征集。采

用基于树模型（如随机森林或 XGBoost）的特征重要性排序，或结合皮尔逊相关系数与互信息法进行分析，通过设置重要性/相关性阈值，并进一步运用递归特征消除等算法，在交叉验证框架下，筛选出与土壤电导率最具显著性和稳健相关性的敏感变量子集，以优化模型性能并避免过拟合。建议筛选后输入模型的变量不超过 10 个。

## 8.2 土壤含盐量/电导率反演模型建立

土壤含盐量/电导率反演模型应根据筛选后的相关变量组合和训练样本，采用机器学习（如 SVM、RF、深度学习）或数理统计方法（如多元线性回归、偏最小二乘回归、地理加权回归），优化和调整模型参数，建立敏感变量和土壤含盐量/电导率之间的映射关系。

## 8.3 反演结果精度评价

基于验证样本对反演结果进行精度评价，评估采用的量化指标包括：决定系数（ $R^2$ ）、归一化均方根误差（NRMSE）、平均绝对误差（MAE）等，按照公式（1）～公式（4）计算。按照公式（1）计算决定系数，决定系数 $R^2$ 应大于 0.65，精度验证不合格的，应更换输入变量并重新筛选敏感变量，更换或重新训练电导率反演模型，直至满足精度要求。

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

$$\text{NRMSE} = \frac{\text{RMSE}}{\sigma_y} \quad (2)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|\hat{y}_i - y_i\| \quad (3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (4)$$

式中：

$n$  ——采样点数量；

$\hat{y}_i$  ——土壤样点 $i$ 的预测值；

$y_i$  ——土壤样点 $i$ 的实测值；

$\bar{y}$  ——土壤样点实测值的平均值；

$\sigma_y$  ——土壤样点实测值的总体标准差；

RMSE——均方根误差。

## 9 盐分分级制图

9.1 利用敏感变量及训练好的反演模型对整个监测区域进行土壤含盐量/电导率的预测，并根据土壤含盐量/电导率完成盐分分级制图。

9.2 按照《土壤农化分析》相关内容进行土壤盐渍化程度划分，

见表 2。

9.3 制作方式应按 GB/T 20257.1 的规定执行，基本地图要素应包括图例、指北针、经纬度坐标、比例尺和图名等。

10 土壤盐渍化监测报告编制

10.1 土壤盐渍化监测报告内容应包括监测工作的基本情况、合成孔径雷达遥感影像数据和样点布设情况、监测技术流程、电导率反演结果和精度评价、土壤盐渍化程度等信息。

10.2 监测结果形式宜采用统计表格和图片等，统计表格包括土壤样点的统计信息、不同土壤盐渍化程度的面积等信息。

10.3 图片应包括土壤样品获取时实景、样点空间分布图片和土壤盐渍化分级图片等。

表 1 SAR遥感指数计算公式

指数类型	指数名称	计算公式	变量说明
雷达指数	极化通道比(Ratio of backscatter coefficient,Ratio)	$Ratio=VV/VH$	VV-辐射定标后的 VV极化雷达后向散射、VH-辐射定标后的VH极化雷达后向散射
	总散射功率像 (Total scattering power, SPAN)	$SPAN=\sqrt{(VV^2 + VH^2)}$	
	法向差分指数 (Normal difference index, NDI)	$NDI=VV - VH$	
	雷达植被指数 (Radar vegetation index, RVI)	$RVI=VH / (VV + VH)$	
	平方差分指数 (Square difference index, SDI)	$SDI=(VV^2 - VH^2)/(VV^2 + VH^2)$	
极化分解指数	极化盐分指数 (Polarization Salinity Index, PSI)	$PSI = \frac{HV^2 - HH^2}{HV^2 + HH^2}$	VV-辐射定标后的 VV极化雷达后向散射、VH-辐射定标后的VH极化雷达后向散射
	H/A/Alpha 分解	Entrop H	
		Alpha ā	
		Anisotropy A	
地形指数	高程值	Elevation	
	坡度	Slope	
	坡向	aspect	

按照《土壤农化分析》有关内容，进行土壤盐渍化程度划分。



参见表2。

表2 土壤盐渍化程度划分标准

盐渍化程度	土壤含盐量 (g/kg)	EC (dS/m)	植物反应
非盐渍化土	<1.0	0-2	无盐害，多数作物正常生长
轻度盐渍化土	1.0 - 2.0	2-4	仅对盐分敏感作物有轻微影响，出苗率约70%-80%
中度盐渍化土	2.0 - 4.0	4-8	部分作物生长迟缓，叶片轻微发黄，产量略有下降
重度盐渍化土	4.0 - 6.0	8-16	多数常规作物生长受阻，出苗率降低，易出现生理干旱症状
盐土	>6.0	>16	仅耐盐植物可生长，常规作物难以存活

五、主要试验、验证及试行结果

利用 Sentinel-1 双极化 SAR 数据（VV/VH 极化）获取了 2015-2025 年间吉林大安土壤盐渍化变化情况，有效实现了土壤脆弱区域盐渍化情况监测，为农业可持续健康发展提供了有力数据支持。

六、采用国际标准的程度及水平说明

无。

七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系

本标准以《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》《中华人民共和国土地管理法》《生态环境监测条例》《中华人民共和国标准化法》《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》等法律法规及标准为准绳，以国内土壤盐渍化监测相关技术规范和研究文献为基础，结合不同区域土壤类型、盐渍化成因及卫星遥感监测技术应用实际，按照标准编写要求进行统一规定。本标准涉及的监测范围、数据质量、技术流程等强制性内容均严格遵循现行强制性法律法规和标准，技术参数能统一的予以明确规范，因区域差异难以统一的给出适配性指导意见。因此，本标准与现行生态环境、土壤保护、监测管理相关法律法规和强制性标准协调一致，其技术方法旨在精准支撑土壤盐渍化动态监管，确保土壤生态环境质量、土地利用合规性等符合法律法规和强制性标准要求。

本标准编写过程中，严格按照国家标准 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》的技术要求进行编制。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。同时，本标准起草

过程中，参考了土壤盐渍化检测、农业遥感监测相关的国家标准、行业标准和地方标准，并视情况进行规范性引用。

综上所述，本标准内容符合现行法律法规和强制性标准的要求，与其它各级各类标准之间是协调一致的，是土壤脆弱区域盐渍化情况监测相关国家标准、行业标准的补充，不存在冲突的情况。

## **八、重大分歧或重难点的处理经过和依据**

本标准制定过程中，未出现重大分歧意见和重难点。

## **九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果**

本标准发布实施后，建议中国农业绿色发展研究会和标准起草单位要不定期组织开展技术培训，提高大家对标准的理解，并达成共识，进一步提高标准的可操作性，促进标准的有效实施。同时，注意收集标准应用过程中发现的不足问题，为今后标准的修订工作提供依据。此外，拓展标准培训形式，通过线上线下相结合的方式发放（发送）标准文本、开展专家解读及现场指导，进一步规范我国土壤盐渍化卫星遥感监测的标准化、绿色化和轻简化生产，切实提升节省人工成本，促进我国农业信息化的高质量发展。

## **十、其他应说明的事项**

无。

## 参考文献

- [1] GB/T 16820 地图学术语
- [2] GB/T 18190 海洋学术语 海洋地质学
- [3] GB/T 20257 （所有部分）国家基本比例尺地图图式
- [4] CH/T 3009 1 : 50 000 地形图合成孔径雷达航天摄影测量技术规定
- [5] CH/T 3010 1 : 50 000 地形图合成孔径雷达航空摄影技术规定
- [6] CH/T 3011 1 : 50 000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定
- [7] CH/T 3015 1 : 5 000 1 : 10 000 地形图合成孔径雷达航空摄影技术规定
- [8] CH/T 3016 1 : 5 000 1 : 10 000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定
- [9] NY/T 3527 农作物种植面积遥感监测规范
- [10] TD/T 1043.1 暗管改良盐碱地技术规程 第1部分：土壤调查
- [11] TD/T 1055 第三次全国国土调查技术规程
- [12] 鲍士旦等. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 184-187