

团 体 标 准

T/CAGDRS XX—2026

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

Technical specifications for soil salinization monitoring based
on Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite remote sensing
imagery

征求意见稿

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施



中国农业绿色发展研究会 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 1

4 缩略语 1

5 监测流程 2

6 数据获取 3

7 数据处理 4

8 土壤含盐量/电导率反演 4

9 盐分分级制图 5

10 土壤盐渍化监测报告编制 6

附 录 A （资料性） SAR 遥感指数计算公式 7

附 录 B （资料性） 土壤盐渍化程度划分标准..... 8

参 考 文 献 9

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。

本文件由中国农业大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所提出。

本文件由中国农业绿色发展研究会归口。

本文件起草单位：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。

本文件主要起草人：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。

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

1 范围

本文件规定了利用合成孔径雷达卫星遥感影像进行土壤盐渍化监测的监测流程数据获取、数据处理、土壤含盐量/电导率反演、盐分分级制图、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

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 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

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; SAR

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 (Horizontal- Horizontal polarization)

HV: 水平-垂直极化 (Horizontal-Vertical polarization)

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 (Vertical-Horizontal polarization)

VV: 垂直极化 (Vertical-Vertical polarization)

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。

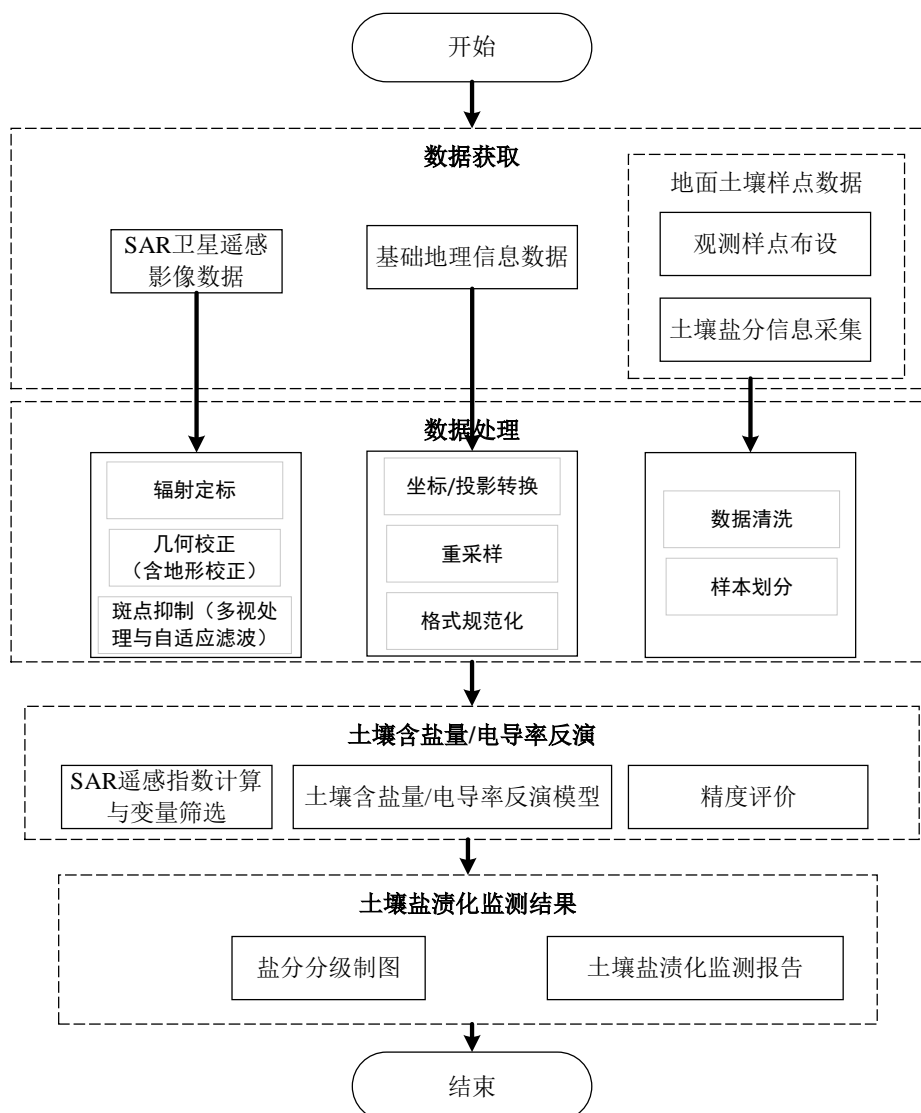


图1 监测技术流程

6 数据获取

6.1 遥感影像数据

6.1.1 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。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)确定监测区域。

6.1.2 监测时间

6.1.2.1 监测时间宜选择待监测区域土壤盐渍化遥感影像特征差异显著、识别效果佳的时间节点。

6.1.2.2 SAR卫星遥感影像数据适宜选择植被覆盖较少、无积雪覆盖的春季时段。

6.1.3 数据源选择

6.1.3.1 选择适合的SAR卫星遥感影像数据源,如GF-3、哨兵1号(Sentinel-1)等,影像应覆盖监测区域。

6.1.3.2 综合考虑重访周期和监测区域大小,必要时获取多源SAR卫星遥感影像数据,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

包括土地利用现状图、土壤类型图、行政区划图、DEM等,用于辅助监测和分析。

6.3 地面土壤样点数据

6.3.1 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,确保能反映监测区域土壤盐渍化状况。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。

——网格法。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 样点采集

6.3.2.1 综合考虑SAR卫星遥感数据监测深度和作物耕层位置,按垂直深度分层取样,宜采集0 cm~20 cm、20 cm~40 cm两层。

6.3.2.2 每个土壤样品用标准大小环刀(例如100立方)采集。

6.3.2.3 采集的土壤样品应密封于塑料自封样品袋中,并记录样品站位置信息,记录采样点坐标。

6.3.3 样点测试化验

6.3.3.1 地面土壤样品处理和贮存应按NY/T 1121.1的规定执行。

6.3.3.2 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。

6.3.3.3 样点土壤含盐量测定应按 NY/T 1121.16 的规定执行，单位为 g/kg。

7 数据处理

7.1 遥感影像数据

7.1.1 SAR 卫星遥感影像数据应经辐射定标、几何校正、斑点抑制等步骤处理，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（ σ^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：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 其他数据

其他数据处理包括：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 对获取气象参数数据进行筛选和空间插值；
- d) 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 地面土壤样本数据

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 依照盐渍化程度分层抽样，将已有样点集按照 4:1 的比例划分为训练样本和验证样本，其中训练样本应用于构建模型，验证样本应用于精度评价。

8 土壤含盐量/电导率反演

8.1 SAR 遥感指数计算与变量筛选

8.1.1 SAR 遥感指数计算

8.1.1.1 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。

- 8.1.1.2 基于多极化 SAR 卫星遥感影像和 DEM 数据进行计算，SAR 遥感指数计算公式见附录 A。
- 8.1.1.3 SAR 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

- 8.1.2.1 由原始后向散射系数与 SAR 遥感指数共同构成初始特征集。
- 8.1.2.2 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。
- 8.1.2.3 筛选后输入模型的变量不宜超过 10 个。

8.2 反演模型

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 精度评价

基于验证样本对反演结果进行精度评价，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。

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

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

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

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

式中：
 R^2 ——决定系数；
 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；
 σ_y ——土壤样点实测值的总体标准差；
RMSE——均方根误差。

注：决定系数应大于 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。

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，见附录 B 中表 B.1。

9.3 制图方式应按 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 报告内容应包括监测工作的基本情况、SAR 卫星遥感影像数据和样点布设情况、监测技术流程、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，统计表格包括地面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 图片应包括地面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。

附 录 A
(资料性)
SAR 遥感指数计算公式

SAR遥感指数计算公式见表A.1。

表A.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 \bar{a}	
		Anisotropy A	
地形指数	高程值	Elevation	
	坡度	Slope	
	坡向	aspect	
注：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，附录A中所列指数皆可计算。			

附 录 B

(资料性)

土壤盐渍化程度划分标准

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B.1。

表B.1 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

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
-