

# 团 体 标 准

T/CAGDRS XX—2026

## 盐碱地农业综合开发利用区划技术指南

Technical Specifications for Zoning of Comprehensive

Agricultural Development in Saline-Alkali Land

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 区划原则..... 2

5 区划流程..... 2

6 数据获取与预处理..... 3

7 指标体系构建与权重计算..... 5

8 空间聚类分区..... 6

10 区划命名与开发利用方向..... 8

附 录 A （规范性） 盐碱地农业综合开发利用区划推荐指标体系..... 11

附 录 B （资料性附录） 指标权重计算方法..... 12

附 录 C （资料性附录） 空间约束聚类算法原理与步骤..... 14

参考文献..... 16

## 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：中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，中国科学院地理科学与资源研究所，盐碱地综合利用技术创新中心，自然资源部国土整治中心。

本文件主要起草人：陆苗，吴文斌，王介勇，何英彬，张轩畅，朴艺璇，李一帆，焦宜帆，常慧杰，许尔琪，鞠正山，范金梅，王娇，马蓉蓉。

# 盐碱地农业综合开发利用区划技术指南

## 1 范围

本文件确立了盐碱地农业综合开发利用区划的总体原则与要求，规定了区划流程、数据获取与预处理、指标体系构建与权重计算、空间聚类分区、分区优化与结果验证、区划命名与开发利用方向确定、成果制图及报告编写等环节的技术要求。

本文件适用于盐碱地农业综合开发利用区划工作。

## 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 18190 海洋学术语 海洋地质学

GB/T 20257（所有部分） 国家基本比例尺地图图式

GB/T 42828.13 盐碱地改良通用技术 第1部分：铁尾砂改良

GB/T 45298 土壤制图 1:25000~1:500000 土壤质地、酸碱度、盐渍化图的图式、用色及图例规范

NY/T 1121.2 土壤检测 第2部分：土壤pH的测定

NY/T 1615 石灰性土壤交换性盐基及盐基总量的测定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**盐碱地** saline-alkali land

受土壤盐化和（或）碱化影响，对植物生长或土地利用产生不利影响的土地。

[来源：GB/T 42828.1—2023，3.2，有修改]

### 3.2

**盐碱地农业综合开发利用区划** zoning for comprehensive agricultural development and utilization of saline-alkali land

以盐碱地自然属性为基础，综合考虑农业生产潜力、改良利用方向和限制因素，将特定区域划分为若干内部特征相对一致、单元间差异明显的空间单元的过程。

### 3.3

**最小生成树** Minimum Spanning Tree, MST

在加权连通图中，连接所有顶点且不形成回路，并使边权重总和最小的生成树。

### 3.4

#### 土壤 pH soil pH

表征土壤酸碱程度的指标，以土壤溶液中氢离子活度的负对数表示。测定方法按NY/T 1121.2的规定执行。

### 3.5

#### 碱化度 exchangeable sodium percentage, ESP

土壤交换性钠占阳离子交换量的百分比。交换性钠测定方法按NY/T 1615的规定执行。

### 3.6

#### 海岸线 coastline

多年大潮平均高潮位时海陆分界的痕迹线。

[来源：GB/T 18190—2017, 2.1.1]

## 4 区划原则

### 4.1 科学性与系统性相结合

4.1.1 区划遵循盐碱地形成、演化及空间分异规律，系统考虑气候、地形、水文、土壤及人类活动等因素对盐碱地形成与利用的影响。

4.1.2 在充分认识不同区域盐碱地成因、类型及空间分异特征的基础上，科学选取区划指标，构建结构合理、相互协调的区划指标体系。

### 4.2 综合性与主导因素相结合

4.2.1 区划综合考虑盐碱地形成、分异及农业利用的主要影响因素，在兼顾水热条件、成土条件、盐碱属性、水文条件等因素的基础上，突出不同尺度和区域盐碱地空间分异的主导因素。

4.2.2 根据区划尺度、区域特征和数据可获得性合理选取区划指标。

### 4.3 空间连续性与区内一致性

4.3.1 区划兼顾属性相似性与空间连续性。区划单元内部在盐碱属性、自然环境及农业利用条件等方面保持较高一致性，不同区划单元之间具有较明显差异。

4.3.2 区划单元原则上保持空间连续、边界相对完整，减少孤立、零散和过度破碎的区划单元。

### 4.4 实用性与可持续性

4.4.1 区划面向盐碱地农业综合开发利用和分类施策需求，在反映盐碱地类型、程度及区域资源环境条件的基础上，统筹考虑水土资源条件、农业利用基础和生态环境约束，明确不同区划单元的农业开发利用方向，为盐碱地保护、改良和合理利用提供依据。

4.4.2 区划结果与耕地保护、高标准农田建设、农业生产布局、水资源管理和生态保护等相关规划及管理要求相协调，坚持以水定地、因地制宜，统筹资源利用、农业生产和生态保护。

## 5 区划流程

盐碱地农业综合开发利用区划包括：

- a) 数据获取与预处理
- b) 区划指标体系构建与权重计算
- c) 空间聚类分区
- d) 分区优化与结果验证
- e) 区划命名与开发利用方向确定
- f) 成果制图与报告编写。

## 6 数据获取与预处理

### 6.1 数据获取

#### 6.1.1 数据内容及要求

6.1.1.1 区划所需数据主要包括土壤、地形、水文、气候、土地利用与农业利用以及基础地理数据。数据选取根据盐碱地形成与空间分异规律、区域自然环境特征及农业综合开发利用需求，重点考虑能够反映区域水热条件、成土条件、盐碱属性、水文地形特征及农业利用条件的数据。

6.1.1.2 数据源根据区划尺度和基本区划单元选择，优先采用国家或行业权威部门发布的调查监测成果和基础地理数据，也可根据实际需要采用地方调查、实地调查及其他可靠数据源进行补充。所采用数据的空间尺度、时间尺度和精度应与区划尺度及基本区划单元相匹配。

#### 6.1.2 土壤数据

6.1.2.1 土壤数据主要反映盐碱地成土条件、盐碱属性及影响农业利用的主要土壤性质，包括成土母质、电导率（EC/ECe）、pH、交换性钠百分比（ESP）、土壤质地、容重等，可根据区划尺度、区域特点和数据可获得性选取。

6.1.2.2 土壤数据主要来源于全国土壤普查、国家及地方土壤调查监测等成果，现有数据不能满足区划要求时，可采用实地调查和采样分析数据进行补充。采用实测土壤数据时，记录采样深度、采样时间和测定方法；不同来源数据联合使用时，对测定方法、时间范围和空间尺度的一致性进行检查。

#### 6.1.3 地形数据

6.1.3.1 地形数据主要包括高程、坡度、地表起伏度及其他能够反映区域地形地貌和水盐迁移条件的地形属性。相关指标可基于数字高程模型（DEM）采用数字地形分析方法获取。

6.1.3.2 地形数据源根据区划尺度和精度要求确定，可采用符合精度要求的数字高程模型、地形图和地貌类型图等数据。

#### 6.1.4 水文数据

水文数据主要包括地下水位、地下水矿化度、地表水系、灌排水系、流域分区等能够反映区域水盐迁移和水资源条件的数据，具体数据根据区划尺度、主要成盐过程和数据可获得性选取。

#### 6.1.5 气候数据

6.1.5.1 气候数据主要包括多年平均降水量、蒸发量、干旱指数、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温等能够反映区域水热条件的指标。

6.1.5.2 气候数据主要采用具有较长时间序列且空间覆盖完整的数据集。不同来源气候数据联合使用时，统一空间分辨率和时间统计范围。

#### 6.1.6 土地利用与农业利用数据

6.1.6.1 土地利用与农业利用数据可包括土地利用现状、耕地分布、灌溉与排水条件等能够反映盐碱地农业开发利用基础和利用条件的数据。相关数据可根据区划目标用于区划指标构建、区划结果解释及农业开发利用方向确定。

6.1.6.2 根据区划尺度和区域实际情况，可补充其他与农业综合开发利用相关的数据。

#### 6.1.7 基础地理数据

6.1.7.1 基础地理数据主要包括行政区划、道路、居民点、河流、湖泊等。行政区划数据采用国家规定的行政区划边界和代码，并与基本区划单元相匹配。

6.1.7.2 对于滨海盐碱地区，可根据实际需要选取距海岸线距离等能够反映海洋影响的区域特征数据；对于内陆盐碱地区，可根据主要成盐过程和区域特点选取流域分区等具有区域代表性的基础地理数据。

### 6.2 数据预处理

#### 6.2.1 数据质量检查

6.2.1.1 对收集的数据进行完整性、准确性、时效性和空间匹配性检查。不同来源的土壤、水文和气候数据，重点检查调查或监测时间、测定方法、空间分辨率及统计口径的一致性。

6.2.1.2 对于具有明显季节变化特征的土壤盐碱指标，选取相近季节或具有相同代表性时期的数据。采用多源或多时相数据时，进行时间一致性处理，并对无法统一的时间差异予以说明。

#### 6.2.2 空间基准统一

6.2.2.1 所有空间数据统一采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000），并根据区划范围选择适宜的地图投影。

6.2.2.2 不同来源空间数据根据区划尺度和基本区划单元进行空间匹配。栅格数据空间分辨率不一致时，根据数据类型和区划需求采用相应的重采样方法进行统一；矢量和栅格数据用于同一分析单元时，通过空间叠加或统计汇总等方式，使各指标与基本区划单元相对应。

#### 6.2.3 异常值与缺失值处理

6.2.3.1 异常值根据指标属性、合理取值范围及空间分布特征进行识别和核查。经核实属于数据错误的，予以修正或删除。

6.2.3.2 少量缺失数据可根据数据类型和空间特征采用相应方法进行插补；缺失比例较高且无法可靠补充的指标，不纳入区划指标体系。

#### 6.2.4 数据标准化

为消除不同连续型数值指标量纲和数量级差异对区划结果的影响，在聚类分析前对参与分析的连续型数值指标进行标准化处理。

#### 6.2.5 分类变量处理

6.2.5.1 对于成土母质、流域分区、土地利用类型等分类变量，根据变量属性、基本区划单元及所采用的区划方法进行适宜的数值化处理。

6.2.5.2 采用行政区或其他空间单元作为基本区划单元时，可采用各类别在基本区划单元内的面积占比等方式进行表征；采用需要数值型输入的统计分析或聚类方法时，可根据变量属性和方法要求采用虚拟变量等方式进行转换。分类变量数值化处理不应人为赋予原类别不存在的顺序或数量关系。

## 7 指标体系构建与权重计算

### 7.1 指标体系构建

7.1.1 盐碱地农业综合开发利用区划涉及水热、成土、盐碱属性、水文地形及农业利用等多方面因素。指标体系按照科学性、代表性、主导性和可获取性原则构建，重点反映盐碱地形成环境、空间分异特征和农业利用条件。

7.1.2 考虑到不同区划尺度和区域的主要成盐过程、数据基础及农业利用特点存在差异，本标准未规定固定的指标组合，而是根据区划尺度、基本区划单元和区域实际情况选择相应指标，并保证指标的数据精度和空间尺度与区划需求相匹配。

7.1.3 同一指标在不同空间尺度下使用时，其空间分辨率、统计尺度和数据精度与基本区划单元相匹配。空间尺度明显大于基本区划单元、难以有效反映单元间差异的指标，不直接用于相应尺度的聚类分析。

7.1.4 指标筛选兼顾指标的地理意义和信息独立性，可通过相关性分析、共线性检验等方法减少信息重复。具体推荐指标见附录 A。

### 7.2 指标权重计算

#### 7.2.1 指标权重确定

区划指标权重根据指标类型、数据特征、区划尺度和区划目标确定。适用于客观赋权的数值型指标，可采用熵权法、主成分分析法等方法确定权重，也可采用组合赋权方法。分类变量完成数值化处理后，根据其数据特征和区划方法选择相应的权重处理方式。

#### 7.2.2 熵权法

7.2.2.1 对于可量化且能够反映基本区划单元间差异程度的指标，可采用熵权法客观确定其相对权重。

7.2.2.2 根据指标数据的离散程度确定权重。指标在各基本区划单元之间的差异程度越大，其提供的有效信息越多，相应权重越高。具体计算方法见附录 B。

#### 7.2.3 主成分分析法

通过线性变换将多个相关指标转换为少数互不相关的主成分，并根据主成分的方差贡献率及原始指标载荷等信息确定各指标的综合权重，以减少指标间信息重叠对权重确定的影响。具体计算方法见附录 B。

#### 7.2.4 组合赋权法

7.2.4.1 当单一赋权方法难以充分反映指标的综合信息，或不同客观赋权方法所得权重存在较大差异时，可采用组合赋权法。

7.2.4.2 可采用凸组合等方法对不同客观赋权方法获得的权重进行综合。组合系数可根据不同权重方案下区划结果的区内一致性、区间差异性、空间连续性以及与区域实际特征的符合程度确定，并结合专家咨询或典型区域验证进行校核。具体计算方法见附录 B。

## 8 空间聚类分区

### 8.1 基本区划单元确定

8.1.1 根据区划尺度、数据精度和成果应用需求确定基本区划单元，并具有明确、稳定的空间边界。

8.1.2 全国及较大区域尺度可采用县级行政单元；省域、流域等区域尺度可采用县级、乡镇级行政单元或其他适宜的空间单元；较精细尺度可根据实际需要进一步细化。

8.1.3 必要时可结合流域边界、地貌界线等具有明确地理意义的边界对基本区划单元进行调整。

### 8.2 空间聚类方法选择

#### 8.2.1 方法选择

8.2.1.1 空间聚类方法根据区划指标的数据类型、空间特征和区划目标确定，用于识别基本区划单元之间的属性相似性，并满足区内相对一致、区间差异明显的区划要求。

8.2.1.2 依据基本区划单元属性相似性进行分类时，可采用非空间约束聚类方法；区划结果同时要求属性相似性和空间连续性时，采用空间约束聚类方法。

#### 8.2.2 非空间约束聚类方法

8.2.2.1 区划指标主要为连续型数值变量时，可采用 K-Means 等聚类方法；区划指标同时包含连续型变量和分类型变量时，可采用适用于混合数据类型的聚类方法。

8.2.2.2 非空间约束聚类不直接考虑基本区划单元之间的空间邻接关系。采用该类方法时，对聚类结果的空间连续性和完整性进行检查；存在明显空间离散或破碎现象时，可进行空间优化或采用空间约束聚类方法。

#### 8.2.3 空间约束聚类方法

8.2.3.1 区划要求在属性相似的基础上保持空间连续时，采用空间约束聚类方法。

8.2.3.2 空间约束聚类根据基本区划单元之间的空间邻接关系构建空间邻接结构，在属性相似性分析基础上加入空间连续性约束，使同一分区尽可能由空间相邻且属性相似的基本区划单元组成。

8.2.3.3 可采用 SKATER (Spatial 'K' luster Analysis by Tree Edge Removal) 等空间约束聚类方法。采用该类方法时，明确空间邻接关系构建方式、属性距离或相似性度量方法、指标权重、聚类数量及必要的规模约束等关键参数。SKATER 算法原理和计算步骤见附录 C。

### 8.3 聚类数量确定

8.3.1 聚类数量采用定量评价与专家判断相结合的方式综合确定。

8.3.2 定量评价可设置若干候选聚类数量，分别开展聚类分析，并采用轮廓系数 (Silhouette Coefficient)、Calinski-Harabasz 指数 (CHI)、Davies-Bouldin 指数 (DBI) 等指标评价不同聚类数量下的属性聚类效果。对于空间约束聚类结果，同时结合空间连续性、完整性及零散程度等进行评价。

8.3.3 不同评价指标所确定的适宜聚类数量一致时，可优先选取相应方案；评价结果不一致或不存在

明显最优值时，结合区内一致性、区间差异性、空间连续性、区划尺度及成果应用需求确定候选方案。

8.3.4 在定量评价基础上，结合盐碱地形成与空间分异规律、区域自然地理特征、农业利用条件及专家知识，对候选方案进行综合比较，确定聚类数量。

## 9 分区优化与结果验证

### 9.1 分区优化

#### 9.1.1 优化选择

9.1.1.1 空间聚类分区完成后，根据区划单元的属性特征、空间关系及区域实际地理条件，对区划结果进行优化。分区优化以保持区内相对一致性和区间差异性为基础，重点处理零散单元、孤立单元及与重要地理边界明显不协调的区划边界。

9.1.1.2 分区优化不应因单纯追求空间完整性而明显降低区划单元的属性一致性。

#### 9.1.2 零散单元优化

9.1.2.1 面积较小或空间零散的基本区划单元，根据其相邻分区在盐碱属性、自然环境及农业利用条件等方面的相似程度确定归属。

9.1.2.2 零散单元与相邻分区属性相近，且调整后能够提高分区空间完整性而不明显降低区内一致性时，可调整至属性相近且空间相邻的分区；具有明显不同盐碱属性、成盐环境或农业利用条件时，根据区域实际情况确定其区划归属。

#### 9.1.3 空间连续性优化

9.1.3.1 对各初步分区空间连续性和完整性进行检查。对于同一分区中空间孤立或与主体区域不连续的基本区划单元，综合分析其空间邻接关系和属性相似性。

9.1.3.2 与相邻分区属性相近的孤立单元，可按照空间邻近和属性相似原则调整区划归属；具有明确自然地理背景或特殊盐碱属性的非连续单元，不以空间连续性作为唯一依据调整其区划归属。

#### 9.1.4 区划边界优化

9.1.4.1 结合区域主要自然地理边界、盐碱地分布特征及基本区划单元边界，对空间聚类分区边界进行检查和优化。

9.1.4.2 空间聚类分区边界与山脉、流域、河流、地貌单元等具有明确地理意义的边界存在明显不协调时，可结合相关专题数据、遥感影像、实地调查资料及专家知识进行调整。边界调整具有明确依据，并与基本区划单元及成果应用尺度相协调。

### 9.2 结果验证

9.2.1.1 区划结果采用定量评价、实际符合度验证和专家验证等方式进行综合检验，重点评价区内一致性、区间差异性、空间合理性以及与区域盐碱地实际特征的符合程度。定量评价可与聚类数量确定阶段的评价结果相结合。

9.2.1.2 验证结果表明区划方案存在明显不合理时，对指标选择、指标权重、聚类数量或分区优化结果进行复核，并根据复核结果调整区划方案。

#### 9.2.2 定量评价

9.2.2.1 区划结果的区内一致性和区间差异性采用定量指标进行评价,可采用 Davies-Bouldin 指数 (DBI)、Calinski-Harabasz 指数 (CHI)、轮廓系数 (Silhouette Coefficient) 等指标,并结合聚类数量确定阶段的计算结果进行综合分析。

9.2.2.2 一般情况下, DBI 值越小,表明聚类结果的区内紧密程度和区间分离程度越好; CHI 值越大,表明聚类结构的区内紧密程度和区间分离程度越好; 轮廓系数越接近 1,表明基本区划单元与所属分区的匹配程度及不同分区之间的区分程度越高。

9.2.2.3 采用空间约束聚类的区划结果,同时评价各分区空间连续性、完整性和零散程度。不同评价指标结果不一致时,结合区划目标、空间合理性和区域实际情况进行综合判断,不以单一指标作为最终区划方案的确定依据。

### 9.2.3 实际符合度验证

9.2.3.1 结合已有盐碱地调查成果、土壤调查资料、典型区域实地调查及其他可靠资料,对区划结果与区域盐碱属性、主要成盐环境、自然地理特征及农业利用条件的符合程度进行验证。

9.2.3.2 可选取具有代表性的典型区域或典型区划单元进行重点验证。区划结果与区域实际特征存在明显差异时,分析差异产生的原因,并对区划指标、权重设置、聚类数量或区划边界等进行复核。

### 9.2.4 专家验证

9.2.4.1 组织熟悉区划区域情况的土壤、地理、水文、农业及相关领域专家,对区划结果进行综合评价。

9.2.4.2 专家验证重点评价区划边界合理性、区划单元内部一致性、不同区划单元之间的差异性、区域特征代表性以及农业综合开发利用方向的合理性。专家意见与定量评价或实际符合度验证结果存在明显差异时,分析差异原因,并对相关区划方案进行复核。

## 10 区划命名与开发利用方向

### 10.1 区划命名与编码

10.1.1 区划单元根据地域特征、盐碱属性、主要成盐环境及农业开发利用特征进行命名。区划名称应能够反映区划单元的主要地域分异和盐碱地特征,名称简明、规范,同一区划成果中的命名方式保持一致。

10.1.2 区划名称可由地域名称、主要自然环境或盐碱特征、农业利用特征等要素组合形成。具体命名内容根据区划尺度和区域特点确定,避免使用含义不明确或难以反映区划特征的名称。

10.1.3 区划单元采用统一编码。编码应具有唯一性和可识别性,并与基本区划单元及成果数据库建立对应关系。同一区划成果采用统一编码规则。

### 10.2 分区特征识别

10.2.1 根据区划指标数据,并结合相关调查监测资料和农业利用资料,对各区划单元的主要特征进行综合分析,为区划命名和农业开发利用方向确定提供依据。分区特征识别可采用未直接参与空间聚类、但能够反映区划单元资源环境和农业利用特征的相关数据。

10.2.2 分区特征识别重点包括以下内容:

- a) 盐碱属性：分析土壤盐渍化、碱化及酸碱特征，可结合电导率、交换性钠百分比、pH 等指标及相关调查资料进行表征；
- b) 成盐环境：分析区域水热、成土、地形和水文等自然环境条件及其对盐分积累和迁移的影响；
- c) 水土资源条件：分析土壤质地、土壤物理性质、水资源条件、地下水条件及灌排条件等；
- d) 农业利用条件：分析土地利用现状、耕地分布、农业生产基础及灌溉排水条件等；
- e) 生态环境约束：分析水资源承载条件、生态保护要求及其他限制农业开发利用的因素。

10.2.3 根据上述特征在不同区划单元之间的差异，识别各区划单元的主要盐碱特征、主导限制因素和农业利用条件，形成分区特征描述。

### 10.3 农业开发利用方向确定

10.3.1 农业开发利用方向以各区划单元的盐碱属性和资源环境条件为基础，综合考虑水土资源条件、农业利用基础和生态环境约束，按照因地制宜、以水定地、适度利用和保护优先的原则确定。

10.3.2 农业开发利用方向的确定主要考虑：

- a) 盐碱属性，包括土壤盐渍化和碱化特征及其对农业生产和土地利用的限制；
- b) 水资源及灌排条件，包括农业用水保障能力、排盐排碱条件及水资源约束；
- c) 土壤及地形条件，包括土壤物理性质和地形条件对农业利用的影响；
- d) 农业利用基础，包括现有土地利用、农业生产及相关基础设施条件；
- e) 生态环境约束，包括水资源承载能力、生态保护要求及其他限制农业开发利用的因素。

10.3.3 根据各区划单元的主要限制因素、资源环境条件和农业利用基础，综合确定农业开发利用方向。农业开发利用方向可分为改良提升、适应利用和保护保育等类型；具备进一步细化条件时，可结合区域农业生产条件提出相应的农业利用方式。

10.3.4 盐碱属性限制较弱、水土资源条件较好且具有一定农业利用基础的区域，以农业利用提升和稳定利用为主要方向，并加强次生盐碱化风险防控；盐碱属性限制较强但具备一定水土资源和改良利用条件的区域，针对主要限制因素采取水盐调控、土壤改良和适应性利用措施；水资源约束较强、生态环境敏感或不具备持续农业利用条件的区域，合理控制开发利用强度，以保护保育为主要方向。

10.3.5 农业开发利用方向应与耕地保护、高标准农田建设、农业生产布局、水资源管理和生态保护等相关规划及管理要求相协调。

## 11 成果制图与报告编写

### 11.1 成果制图

11.1.1 区划成果反映盐碱地农业综合开发利用区划的空间格局、主要特征及开发利用方向。成果图件根据区划尺度和成果应用需求确定比例尺和表达内容。

11.1.2 盐碱地农业综合开发利用区划图包括以下要素：

- a) 地理基础要素：行政界线、主要水系及其他必要的基础地理要素；
- b) 区划专题要素：区划界线、区划编码、区划名称及区划单元；
- c) 开发利用专题要素：各区划单元的主要农业开发利用方向，必要时可单独编制农业开发利用方向专题图；
- d) 整饰要素：图名、图例、比例尺、指北针、制图单位、制图时间及数据来源等。

11.1.3 区划成果包括区划总图，可根据成果应用需求编制盐碱属性、主要成盐环境、农业开发利用方向等专题图。

11.1.4 专题图的符号、颜色、注记及其他制图表达应符合 GB/T 20257、GB/T 45298 的规定。成果图件的空间精度和输出质量应与区划尺度及成果应用需求相匹配。

## 11.2 报告编写

盐碱地农业综合开发利用区划报告系统说明区划依据、数据基础、技术方法、区划结果、开发利用方向及验证情况，主要包括：

- a) 区划概况：区划背景与目的、区划范围、区域概况、区划原则及总体技术流程；
- b) 数据与方法：数据来源及质量情况、数据预处理方法、基本区划单元确定、指标体系构建与筛选、权重确定、聚类方法及参数设置、聚类数量确定、分区优化和结果验证方法等；
- c) 区划结果：各区划单元的空间分布、面积及主要特征，重点说明盐碱属性、主要成盐环境、水土资源条件、农业利用条件及区域差异；
- d) 开发利用方向：根据各区划单元的盐碱属性、水土资源条件、农业利用基础及生态环境约束，分析农业开发利用条件，明确主要开发利用方向，并提出相应的利用与管理要求；
- e) 结果验证：说明定量评价、实际符合度验证和专家验证结果，以及根据验证结果对区划方案进行调整和完善的情况；
- f) 结论：总结区划总体格局、各区划单元主要特征及农业开发利用方向；
- g) 附件：包括区划图及相关专题图、参考指标表、指标权重表、区划单元属性统计表、结果验证材料及其他必要的成果资料。

附 录 A  
(规范性)

盐碱地农业综合开发利用区划推荐指标体系

实际开展区划时，根据区划尺度、区划范围、主要成盐过程、基本区划单元、区域自然环境特征、农业利用条件及数据可获得性，从表 A 所列指标中选取适宜指标，并可根据区域实际情况进行调整和补充。不同尺度区划采用统一的指标选取原则，所选指标的数据精度和空间尺度应与基本区划单元相匹配。

表 A 盐碱地农业综合开发利用区划推荐指标

| 指标类别   | 参考指标                                                 | 指标说明                                             |
|--------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 水热条件   | 干旱指数、年降水量、蒸发量、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年积温 | 表征区域水分供给、干湿状况及热量条件，反映水热平衡对盐分积累、迁移及农业生产条件的影响      |
| 成土条件   | 成土母质                                                 | 表征土壤形成的物质基础及区域成土环境差异，反映母质条件对土壤盐碱属性和土壤性质的影响       |
| 盐碱属性   | 电导率（EC/ECe）、交换性钠百分比（ESP）、pH                          | 表征土壤盐渍化、碱化及酸碱特征，反映盐碱程度及其对农业利用的限制                 |
| 土壤条件   | 土壤质地、容重等                                             | 表征土壤物理性质及其对水分入渗、盐分迁移和农业利用条件的影响                   |
| 地形条件   | 高程、坡度、地表起伏度等                                         | 表征区域地形地貌差异，反映地形对径流汇集、水盐迁移及盐分空间分异的影响              |
| 水文条件   | 地下水位、地下水矿化度、地表水系、灌排水系等                               | 表征地下水及地表水条件，反映地下水参与土壤水盐迁移、盐分积累及灌排条件的影响           |
| 区域特征   | 海岸线距离、流域分区等                                          | 表征不同成盐环境下具有区域代表性的自然地理特征，用于辅助识别滨海、内陆等不同类型盐碱地的空间差异 |
| 农业利用条件 | 土地利用现状、耕地分布、灌溉条件、排水条件等                               | 表征区域农业开发利用基础、土地利用状况及灌排条件，反映盐碱地农业利用潜力和限制因素        |
| 空间约束   | 基本区划单元邻接关系或空间位置关系                                    | 表征基本区划单元之间的空间邻接和位置关系，用于空间约束聚类及区划结果空间连续性控制        |

## 附录 B

### (资料性附录)

### 指标权重计算方法

#### B.1 熵权法

熵权法适用于根据各指标在基本区划单元之间的差异程度客观确定指标权重。参与计算的指标首先进行同向化和无量纲化处理。

设有  $n$  个基本区划单元、 $m$  个区划指标，参与计算的指标首先进行同向化和无量纲化处理，并根据需要进行非负化处理。处理后的第  $i$  个基本区划单元第  $j$  个指标值为  $x_{ij}$ 。第  $j$  个指标在第  $i$  个基本区划单元中的比重按式 (B.1) 计算：

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (\text{B.1})$$

第  $j$  个指标的信息熵按式 (B.2) 计算：

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (\text{B.2})$$

式中， $k=1/\ln(n)$ 。当  $p_{ij}=0$  时，规定  $p_{ij}\ln(p_{ij})=0$ 。第  $j$  个指标的差异系数按式 (B.3) 计算：

$$g_j = 1 - e_j \quad (\text{B.3})$$

第  $j$  个指标的熵权按式 (B.4) 计算：

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (\text{B.4})$$

式中： $p_{ij}$  为第  $j$  个指标在第  $i$  个基本区划单元中的比重； $e_j$  为第  $j$  个指标的信息熵； $g_j$  为差异系数； $w_j$  为第  $j$  个指标的熵权。

#### B.2 主成分分析法

当区划指标数量较多且指标之间存在较强相关性或信息重叠时，可采用主成分分析法确定指标权重。参与分析的连续型指标应进行标准化处理。

设相关系数矩阵的第  $k$  个特征值为  $\lambda_k$ ，第  $k$  个主成分的方差贡献率按式 (B.5) 计算：

$$r_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{h=1}^m \lambda_h} \quad (\text{B.5})$$

选取累计方差贡献率达到预定要求的前  $q$  个主成分。设  $a_{jk}$  为第  $j$  个原始指标在第  $k$  个主成分上的载荷，则第  $j$  个指标的综合贡献值按式 (B.6) 计算：

$$s_j = \sum_{k=1}^q r_k a_{jk}^2 \quad (\text{B.6})$$

根据综合贡献值归一化得到第  $j$  个指标的主成分分析权重，按式 (B.7) 计算：

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^m s_j} \quad (\text{B.7})$$

式中： $m$  为参与主成分分析的指标数量； $\lambda_k$  为第  $k$  个主成分的特征值； $r_k$  为第  $k$  个主成分的方差贡献率； $q$  为保留的主成分数量； $a_{jk}$  为第  $j$  个指标在第  $k$  个主成分上的载荷； $s_j$  为第  $j$  个指标的综合贡献值； $w_j$  为第  $j$  个指标的主成分分析权重。

### B.3 组合赋权法

当采用单一赋权方法所得权重稳定性不足，或不同客观赋权方法所得结果存在较大差异时，可采用组合赋权法。分别采用熵权法和主成分分析法得到权重向量  $W^E$  和  $W^P$  后，组合权重按式 (B.8) 计算：

$$W = \alpha W^E + (1 - \alpha) W^P \quad (\text{B.8})$$

式中： $W$  为组合权重向量； $W^E$  为熵权法权重向量； $W^P$  为主成分分析法权重向量； $\alpha$  为组合系数，且  $0 \leq \alpha \leq 1$ 。

组合系数  $\alpha$  宜设置若干候选值，并比较不同权重方案对应的区划结果，综合考虑区内一致性、区间差异性、空间连续性以及与实际盐碱地特征的符合程度确定。必要时，可结合专家咨询和典型区域验证进行校核。

## 附录 C

### （资料性附录）

### 空间约束聚类算法原理与步骤

#### C.1 SKATER空间约束聚类方法原理

SKATER（Spatial 'K'luster Analysis by Tree Edge Removal）是一种基于图结构和最小生成树的空间约束聚类方法。该方法首先根据基本区划单元之间的空间邻接关系构建空间邻接图，并计算相邻单元之间的属性距离；在此基础上构建最小生成树，根据分区目标和空间约束条件进行迭代剪枝，形成满足预定聚类数量且空间连续的分区。

SKATER 适用于区划结果需要保持空间连续，且基本区划单元之间具有明确邻接关系的情形。采用该方法时，需明确空间邻接关系、属性距离计算方法、指标权重及聚类数量等参数。

#### C.2 算法步骤

##### C.2.1 构建空间邻接矩阵

根据基本区划单元的空间拓扑关系构建邻接矩阵。可采用 Rook 邻接等适宜的邻接方式。采用 Rook 邻接时，两个基本区划单元共享边界则判定为相邻，邻接矩阵相应元素取 1；否则取 0。邻接方式应根据基本区划单元的几何特征和区划尺度合理确定，并在区划报告中说明。

##### C.2.2 计算单元间属性距离

对于空间相邻的基本区划单元，根据参与聚类的标准化指标计算单元间属性距离。单元  $i$  与单元  $j$  的加权属性距离  $d_{ij}$  按公式（C.1）计算。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{l=1}^p w_l * (x_{il} - x_{jl})^2} \quad (C.1)$$

式中： $d_{ij}$  为相邻基本区划单元  $i$  和  $j$  之间的属性距离； $p$  为参与聚类的指标数量； $w_l$  为第  $l$  个指标的权重； $x_{il}$  和  $x_{jl}$  分别为基本区划单元  $i$  和  $j$  在第  $l$  个指标上的标准化值。

##### C.2.3 构建最小生成树

以基本区划单元为节点、空间邻接关系为边，并以相邻单元间属性距离  $d_{ij}$  作为边的权值构建加权邻接图。在空间邻接图连通的条件下，采用 Prim、Kruskal 等适宜算法构建连接全部基本区划单元且边权值总和最小的最小生成树（MST）。

##### C.2.4 树剪枝与初步分区

在最小生成树基础上，根据预定聚类数量、分区目标函数及必要的约束条件进行迭代剪枝。每次剪枝后应评价所形成子树的区内属性一致性和分区间差异性，并保证各子树所对应的基本区划单元保持空间连续。重复上述过程，直至形成预定数量的初步分区。

当设置最小单元数量、最小面积或其他规模约束时，根据区划尺度、基本区划单元数量和成果应用需求合理确定，并在区划报告中说明。

### C.2.5 结果检查

初步分区完成后，检查各分区的空间连续性、区内一致性及零散单元情况。对存在明显不合理的分区，结合正文规定的分区优化与结果验证方法进行调整，不宜仅依据单一聚类评价指标确定最终区划结果。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
  - [2] GB/T 21010—2017 土地利用现状分类
  - [3] 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
  - [4] NY/T 1749—2009 耕地地力调查与质量评价技术规程
  - [5] NY/T 3527—2019 农作物种植面积遥感监测规范
  - [6] NY/T 4065—2021 中高分辨率卫星主要农作物产量遥感监测技术规范
  - [7] 熊毅. 中国盐渍土分区[J]. 土壤学报, 1957(01): 50-60.
  - [8] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
  - [9] 李玉义, 逢焕成, 张志忠, 等. 内蒙古河套平原盐碱化土壤改良分区特点与对策[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(05): 115-121.
  - [10] 杨劲松, 姚荣江, 王相平. 中国盐渍土研究: 历程、现状与展望[J]. 土壤学报, 2022, 59(01): 10-27.
  - [11] Assunção R M, Neves M C, Câmara G, et al. Efficient regionalization techniques for socio - economic geographical units using minimum spanning trees[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2006, 20(7): 797-811.
  - [12] 唐华俊, 周清波, 姚艳敏. 农业空间信息标准与规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
  - [13] 白由路. 盐碱地改良与利用[M]. 北京: 科学出版社, 2020
-