

唐志敏, 湛龙, 张晓东, 等. 基于生态位理论与 AHP-TOPSIS 模型的福建长汀县富硒土地资源综合评价[J]. 岩矿测试, 2024, 43(4): 592–602. DOI: [10.15898/j.ykcs.202310070155](https://doi.org/10.15898/j.ykcs.202310070155).

TANG Zhimin, ZHAN Long, ZHANG Xiaodong, et al. Comprehensive Evaluation of Selenium-Enriched Land Resources in Changting County, Fujian Province Based on Niche Theory and AHP-TOPSIS Model[J]. Rock and Mineral Analysis, 2024, 43(4): 592–602. DOI: [10.15898/j.ykcs.202310070155](https://doi.org/10.15898/j.ykcs.202310070155).

基于生态位理论与 AHP-TOPSIS 模型的福建长汀县富硒土地资源综合评价

唐志敏, 湛龙*, 张晓东, 陈国光, 周墨, 田福金, 刘红樱, 张洁, 张明
(中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘要: 福建长汀县拥有丰富的富硒土地资源, 因地制宜地综合评价该县富硒土地资源对于富硒土地资源的高效有序开发意义重大。现有的评价体系缺乏成熟的理论框架, 评价结果难以有效地指导资源的开发。本文以生态位理论为基础, 综合考虑长汀县富硒土地资源开发的主导因素、区位因素和限制因素构建评价指标体系。采用层次分析法(AHP)计算指标权重, 以优劣解距离法(TOPSIS)求取加权综合指数进行综合等级划分。评价结果显示: 长汀县土壤硒平均含量为 0.46mg/kg, 富硒土壤面积达 2215.4km², 占全县总面积的 71.36%, 主要分布于长汀县东西部山区; 按 AHP-TOPSIS 模型将长汀县富硒土地资源划分为适宜区、较适宜区、一般适宜区和不适宜区, 面积分别为 271.35km²、1116.96km²、1062.07km²、654.13km², 其中适宜区、较适宜区和一般适宜区与原有规范划定的富硒区基本吻合, 反映了土壤硒含量在评价指标体系中的主导作用, 将原富硒区细化的分区结果体现了区位因素和限制因素对富硒土地资源开发的约束作用。在基于生态位理论的 AHP-TOPSIS 模型中, 以挖掘富硒土地资源开发的最适生态位为导向构建了评价指标体系, 评价方法兼顾了指标对评价结果影响的差异性以及评价区域的资源禀赋条件, 评价结果反映了长汀县富硒土地资源的开发潜力, 相比原有规范有效地提升了评价的科学性。

关键词: 层次分析法(AHP); 优劣解距离法(TOPSIS); 生态位; 长汀县; 富硒土地

要点:

- (1) 以生态位理论为指导, 开展了富硒土地资源综合评价指标体系研究, 采用层次分析法(AHP)对各指标进行了权重赋值, 优劣解距离法(TOPSIS)进行综合评价。
- (2) 基于生态位理论的 AHP-TOPSIS 模型将长汀县富硒土地资源划分为适宜区、较适宜区、一般适宜区和不适宜区, 客观反映了该县富硒土地资源的开发利用潜力。
- (3) AHP-TOPSIS 模型考虑了指标的差异性以及评价区域的资源禀赋条件, 相比原有规范提升了评价的科学性。

中图分类号: X825; S153

文献标识码: A

硒元素是维持人体健康的必需微量元素之一。食物硒是人体硒摄入的主要途径, 而食物硒的富集与其产地土壤中硒含量水平具有密切联系^[1-3], 土壤硒通过生物地球化学作用为农作物吸收^[4-6], 因此土壤中硒的环境地球化学特征对于富硒农业的开发具有重要影响。富硒土地资源是富硒农业发展

收稿日期: 2023-10-07; **修回日期:** 2024-06-07; **接受日期:** 2024-06-11

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“华东地区自然资源动态监测与风险评估”(DD20230103); 中国地质调查局地质调查项目“华东地区国土空间用途管制技术支撑与应用服务”(DD20230495); 江苏省科技计划“一带一路”创新合作项目“黑土地土壤退化诊断评价与动态监测技术合作研发”(BZ2023003)

第一作者: 唐志敏, 硕士, 工程师, 主要从事环境地球化学研究。E-mail: 894431121@qq.com。

通信作者: 湛龙, 高级工程师, 主要从事环境地球化学研究。E-mail: 512783585@qq.com。

的基本保障,中国是土壤硒较为缺乏的国家^[7],据多目标区域地球化学调查成果,中国土壤硒平均含量为0.22mg/kg^[8],全国地球化学基准网研究显示中国土壤硒平均含量为0.17mg/kg^[9],两者均显著低于世界土壤硒背景值(0.4mg/kg)^[10]。深度挖掘富硒土地资源是解决土壤硒缺乏问题的重要途径之一,开展富硒土地资源综合评价则是支撑富硒土地资源挖掘的基础性工作。

前人针对中国富硒土地资源评价开展了大量工作,最早见于20世纪90年代。谭见安根据土壤硒的生态效应,将中国硒含量在0.4~3mg/kg的土壤划定为高硒土壤^[11],长期以来多数研究以该阈值作为富硒土壤的划分标准^[12-15]。1999年中国地质调查局组织开展全国多目标地球化学调查以来,大量研究以土壤富硒阈值为基准,叠加土壤环境质量或土壤肥力质量开展富硒土地优选评价,取得一定成效^[16-17]。2021年中国地质调查局发布《天然富硒土地划定与标识》(DZ/T 0380—2021),该标准充分考虑了土壤重金属含量、肥力元素含量、土壤酸碱度以及灌溉水质量等指标对富硒土地开发的影响,组织开展了全国范围的天然富硒土地申报工作,标准化了富硒土地申报流程^[18]。评价指标体系的构建和评价方法的确立是开展富硒土地资源评价的核心工作。在考虑多要素的富硒土地资源评价中,已有的评价方法一般采用多因素综合评判法、层次分析法(AHP)以及生态位理论评价法。多因素综合评判法是一种多要素叠加辅以判断准则的一种评价方法,判断准则一般参照已有的评价标准,评价结果便于比较区域间的差异^[19-20]。层次分析法考虑到各要素重要性程度的差异,通过构造要素间的判断矩阵,以德尔菲法确定要素权重,采用加权求取综合指数的方法开展评价,适宜在局部范围开展评价工作^[21-23]。生态位理论广泛应用于土地整治^[24]、城市空间规划^[25]、土地开发适宜性评价^[26]等领域,生态位是指生态系统中生物生存所必需的条件总和,生态位适宜度用于表征生物对其生存环境的适宜程度,在基于生态位理论的富硒土地资源评价中,将富硒土地开发利用视作一种生物行为,评价工作目的在于寻找与利用行为相适宜的空间位置,评价过程综合考虑富硒土地资源开发利用的主导因素、区位因素以及限制因素,从资源利用生态位的角度构建评价指标体系,评价结果可有效地服务富硒土地资源开发^[27-28]。已有的富硒土地资源评价方法仍然存在两个问题:一是评价要素的选取多侧重土壤理化性

质,尚未形成成熟的基于生态位理论模型框架的评价指标体系;二是已有的评价方法过度依赖各类评价标准,简单依据要素的标准阈值区间进行区划评价,容易忽视具有潜在价值的区域。

优劣解距离法(TOPSIS)近年来在地灾风险评估^[29]、土地规划^[30]、资源环境承载能力评价^[31]等领域得到了广泛应用,其核心思想是构建目标方案的最优理想解和最劣理想解,通过求解、比较个案与两者的欧氏距离来对个案的优先程度进行排序,目标是获取靠近最优理想解、远离最劣理想解的解决方案。相比参照标准阈值的评价方法,TOPSIS法基于评价区域自身的禀赋条件,能够达到凸显优势区域的效果。为构建县域尺度的富硒土地资源评价体系,探索适于县域尺度的评价方法,本研究以福建省长汀县为例,参照生态位理论,综合考虑土壤硒含量、地球化学质量以及自然背景条件等因素,以AHP法为基础,结合长汀县自身的资源禀赋特征及背景条件,通过引入TOPSIS法针对该县富硒土地资源的开发利用适宜性开展综合评价工作,旨在甄选长汀县优质富硒土地资源,为该县富硒土地资源开发提供靶区及依据。

1 研究区概况

长汀县地处福建省龙岩市西部,与江西省赣州市接壤。长汀县位于福建省内陆低山丘陵区,地势总体呈东西部高、中部低的格局,土地利用类型以林地为主,其次为耕地,气候温暖湿润,属中亚热带湿润季风气候,年均气温18.3℃,多年平均降雨量为1700mm。由于强烈的化学风化作用,红壤广泛发育。长汀县处于华夏板块内^[32],地质历史时期经历了较为复杂的地质演化过程,形成了自震旦纪至第四纪广泛出露的沉积岩、变质岩和岩浆岩。水土流失是长汀县较为突出的生态问题,据遥感解译数据^[33],截至2019年长汀县存在水土流失的面积为230.18km²,占全县总面积的7.41%。

2 实验部分

2.1 样品采集与测试

根据评价工作的需求,主要采集长汀县内的表层土壤样品,样点部署及采集方法参照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)执行,采样平均密度为1~4个点/km²,采样深度范围为0~20cm。考虑样品的代表性,按照多点组合的方式形成单点样,采样位置避开受人为活动干扰明显的区域,采样

过程避免样品与金属器械的直接接触。采集样品阴干后过 10 目 (2mm) 尼龙筛,送至福建省地质测试研究中心测定 Se、As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn、pH 值、有机质、速效磷、有效钾等指标。分析方法及质量监控参照《生态地球化学评价样品分析技术要求 (试行)》(DD2005-03) 执行,分析数据质量符合要求 (表 1)。

表 1 分析方法质量监控

Table 1 Quality control table of analysis method.

元素	分析方法	检出限 (mg/kg)	报出率 (%)
Se	AFS	0.01	100
As	AFS	0.2	100
Cd	ICP-MS	0.02	100
Cr	XRF	5.0	100
Cu	ICP-MS	0.5	100
Hg	AFS	0.005	100
Ni	ICP-MS	0.1	100
Pb	ICP-MS	0.1	100
Zn	ICP-MS	2.0	100
pH	离子选择电极	0.01(无量纲)	100
有机质	红外碳硫仪	0.008(%)	100
速效磷	ICP-OES	0.25	100
有效钾	ICP-OES	1.25	100

2.2 评价方法

评价过程中首先依据影响长汀县富硒土地资源开发利用的主要因素构建评价指标体系,再以 AHP 法获取各指标权重,其次采用 TOPSIS 法计算加权综合评价指数,最终通过 GIS 空间插值分析得到每个土地利用地块 (即评价单元) 的综合指数,采用自然断点分级法对最终的插值结果进行等级划分,将长汀县富硒土地资源划分为适宜区、较适宜区、一般适宜区以及不适宜区 4 个等级。

2.2.1 评价指标体系的构建

评价指标体系构建参照生态位理论模型方法^[34],以服务资源开发利用为目标导向,充分考虑长汀县富硒土地资源开发的主导因素、区位因素以及限制因素。其中,土壤中硒元素含量水平决定了土壤是否富硒,是富硒土地开发的先决条件,应作为主导因素;区位因素考虑海拔、坡度以及地质背景等自然背景条件对富硒土地资源开发的支撑作用;限制因素包括土地利用类型,水土流失程度,土壤肥力 (有机质、有效磷、速效钾) 以及土壤环境质量等指标。

所有指标均需统一为数值型变量。对于非数值

型的分类变量需要进行赋值,按照 0~1 的标度,对变量的最优类型赋值 1,最劣类型赋值 0,介于两者之间的类型依据分类数量等间距赋值。本项工作涉及的分类变量包括土地利用类型、水土流失程度、地质背景以及环境质量等级。按照地类的可耕作条件将土地利用类型分为农用地 (包括耕地和园地)、林地以及其他用地,分别赋值 1、0.5、0;水土流失程度可分为无水土流失、轻度流失、中度流失和强烈流失,分别赋值 1、0.66、0.33、0;地质背景能够为土壤硒的富集提供稳定来源,越易形成富硒土壤的地质背景赋值越高,按照变质岩>碎屑岩>花岗岩>碳酸盐岩>第四系>红层^[35-36]的优先顺序分别赋值 1、0.8、0.6、0.4、0.2、0;环境质量等级参照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB 15618—2018),综合考虑土壤 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 等重金属含量及土壤酸碱度,按照风险程度划分为优先保护区、安全利用区以及严格管控区,分别赋值 1、0.5、0。所有指标与富硒土地资源适宜性的关系均为直线型的隶属函数模型,即评价指标的数值越大 (或越小),富硒土地资源适宜性越适宜 (或越不适宜)。

2.2.2 AHP 法

首先需要构建层次分析指标体系,主导因素、区位因素以及限制因素为准则层,各准则层下属的控制因素为指标层。依据准则层因子对评价目标的影响程度以及指标层因子对准则的影响程度,采用德尔菲法确定各因子的相对重要性来构建判断矩阵,通过求解判断矩阵的特征向量以获取各因子的权重。各因子的相对重要性以 1~9 的比例标度进行量化。根据获取的因子权重进行一致性检验,要求一致性比率 (CR) 应小于 0.1,若不符合,应调整因子间的相对重要性比例标度值,直到最终 CR<0.1。

2.2.3 TOPSIS 法

在本研究中,首先构建研究区各项指标的最优理想解和最劣理想解,最优理想解即是最有利于形成富硒土地资源最适宜生态位的指标值,如土壤硒含量的最大值,反之最劣理想解即是最有利于形成富硒土地资源最不适宜生态位的指标值,如土壤硒含量的最小值。其次基于各评价单元的实测值计算评价单元与最优理想解和最劣理想解的加权欧式距离,各指标权重为 AHP 法计算获取的权重值。最终以评价单元与最优理想解和最劣理想解的加权欧式距离比值表征评价结果的优劣。TOPSIS 法具体操作步骤参照文献^[37]。

3 结果与讨论

3.1 研究区土壤元素地球化学特征

对分析测试获取的土壤地球化学数据采用“平均值 $\pm$ 3 倍标准差”进行迭代剔除异常,以异常剔除后的统计参数表征元素背景值特征。将长汀县土壤元素平均含量与全国土壤背景值^[8]进行比较,以两者比值(K 值)表征元素的富集或贫化。统计结果表明,长汀县土壤 Se 元素高度富集,其平均含量为 0.46mg/kg,为全国背景值的 2.1 倍,显示该地区具有

良好的富硒土地资源禀赋。土壤重金属元素中,As、Cd、Cr、Cu、Ni、Zn 等平均含量相对全国背景值普遍偏低, K 值均小于 1;Hg、Pb 平均含量相对全国背景值偏高,Hg、Pb 平均含量分别为全国背景值的 1.5 倍、1.29 倍。长汀县土壤总体呈强酸性-酸性,pH 平均值为 4.51,为全国背景值的 0.59 倍。长汀县土壤养分指标中,有机质平均含量为 23.6g/kg,为全国背景值的 1.28 倍,有效磷平均含量为 3.0mg/kg,速效钾平均含量为 95mg/kg(表 2)。

表 2 土壤元素地球化学参数

Table 2 Geochemical parameters of elements in soil.

指标	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值	变异系数	全国背景值 ^[8]	K 值
Se	0.46	0.43	0.20	0.05	1.06	44%	0.22	2.10
As	6.0	4.7	4.2	0.3	18.5	69%	9.1	0.66
Cd	0.058	0.052	0.029	0.022	0.144	50%	0.150	0.39
Cr	45	35	31	0.1	134	69%	63	0.71
Cu	15	10	13	0.1	53	84%	23	0.66
Hg	0.075	0.071	0.034	0.002	0.175	45%	50	1.50
Ni	15	11	11	1	48	71%	26	0.60
Pb	32	30	13	7	72	41%	25	1.29
Zn	48	46	23	6	117	48%	67	0.72
pH	4.51	4.49	0.25	3.77	5.25	6%	7.67	0.59
有机质	23.6	21.7	13.4	0.3	63.7	57%	18	1.28
有效磷	3.0	2.7	1.8	0.2	8.4	60%		
速效钾	95	93	30	28	183	32%		

注:有机质含量单位为 g/kg, pH 为无量纲,其余指标单位为 mg/kg; K 值为各指标平均值与全国背景值的比值。

3.2 评价指标分析

3.2.1 主导因素

土壤硒含量是决定长汀县富硒土地资源开发利用的主导因素。参照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),将土壤 Se 含量在 0.4 ~ 3mg/kg 的区划划定为富硒区,结果显示长汀县富硒土地资源禀赋总体优越,富硒土壤(评价等级为高的区域)面积为 2215.4km²,占全县总面积的 71.36%,主要分布于长汀县东西部丘陵低山区(图 1),受地质背景的控制,成土母岩中的硒为其所形成的土壤硒提供了稳定的物质来源,长汀县富硒区多处于前寒武纪—寒武纪变质岩以及晚古生代含煤碎屑岩分布的区域,而硒含量较低的区域(如硒适量区)则主要分布于花岗岩、侏罗纪碎屑岩以及红层出露的区域。

3.2.2 区位因素

区位因素包含海拔、坡度和地质背景。依据自然资源部发布的《资源环境承载能力和国土空间开

发适宜性评价技术指南》,海拔和坡度是影响农业生产适宜性的重要因素,海拔越高、坡度越陡的地区越不适宜开展农业生产活动。依据 ALOS 卫星数据获取的 DEM 数据,长汀县海拔范围在 157 ~ 1382m,采用 GIS 技术计算出长汀县坡度范围在 0° ~ 68°,高海拔和高坡度地区主要沿长汀县东西部低山带分布(图 2 中 a 和 b),低海拔区域位于长汀县中部地带。地质背景为土壤硒提供稳定的物质来源,决定了富硒土地资源开发利用的可持续性。按岩石建造类型对长汀县的地质背景进行细分,长汀县碎屑岩、变质岩和花岗岩分布较广,碎屑岩主要分布于长汀县中东部地区,变质岩主要分布于长汀县西部,花岗岩则主要分布于长汀县南西部,红层、碳酸盐岩和第四系分布面积相对较小,在全县呈零星分布(图 2c)。

3.2.3 限制因素

限制因素包括土地利用类型、水土流失程度、土壤肥力、环境质量等指标。长汀县农用地包括耕

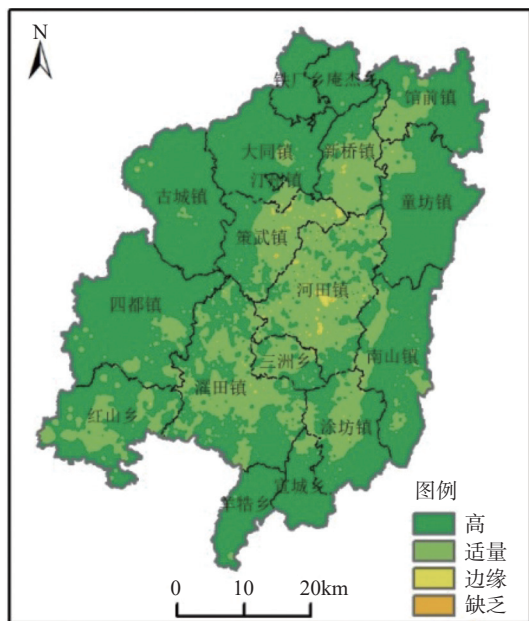


图1 长汀县土壤硒元素含量分级图

Fig. 1 Grading map of soil selenium content in Changting County.

地和园地,其面积为 327.61km², 占全县总面积的 10.55%, 主要分布于长汀县中东部盆地或沟谷区(图 3a), 林地为长汀县分布面积最广的地类, 包括乔木林地、灌木林地、竹林地以及其他林地, 其面积为 2596.14km², 占全县总面积的 83.62%; 长汀县水土流失受区内岩性、地形、构造、气候等多要素的综合影响^[33], 水土流失区主要分布于中部地区, 轻度流失、中度流失和强烈流失面积分别为 100.61km²、91.98km²、37.58km², 分别占全县总面积的比例为 3.24%、2.96%、1.21%(图 3b); 土壤肥力指标中, 植被

凋落物的输入量与土壤有机质含量具有密切联系^[38], 土壤有机质高值区主要分布于东西两部植被覆盖度较高的区域(图 3c), 土壤有效磷受农业施肥的影响, 其高值区主要分布于长汀县中部农耕区(图 3d), 土壤速效钾则受区内花岗岩分布的控制, 其高值区主要分布于长汀县西南部地区(图 3e)。长汀县土壤环境质量总体较好, 环境质量等级以优先保护区为主, 其面积为 2725.13km², 占全县总面积的 87.78%, 安全利用区与严格管控区面积分别为 366.62km²、12.76km², 分别占全县总面积的 11.81%、0.41%, 两者在全县呈零星分布(图 3f)。

3.3 评价指标权重的确定

采用 AHP 计算各指标权重, 构建指标间的两两比较判断矩阵, 重要性比例标度值采用德尔菲法征求专家组意见, 集中了地球化学、自然地理、资源环境、农学以及土地管理等领域专家的评分意见, 专家打分的平均值取整为最终重要性标度值。准则层及指标层判断矩阵见表 3、表 4 和表 5, 对各判断矩阵一致性检验结果 CR 值均小于 0.1, 符合一致性要求。

将准则层的权重矩阵与指标层的权重矩阵相乘得到评价指标的综合权重值(图 4)。从中可见, 土壤硒含量作为主导因素的权重值最高, 为 0.58, 其次为土地利用类型, 权重值为 0.12, 其余指标的权重值均 < 0.1, 其中海拔的权重值最低, 为 0.01。

3.4 富硒土地资源综合评价

采用 AHP 获取评价指标的权重后, 按照 TOPSIS 法进行富硒土地资源综合评价, 以 TOPSIS 法获取的接近度作为分级依据, 采用自然断点法进行等级划

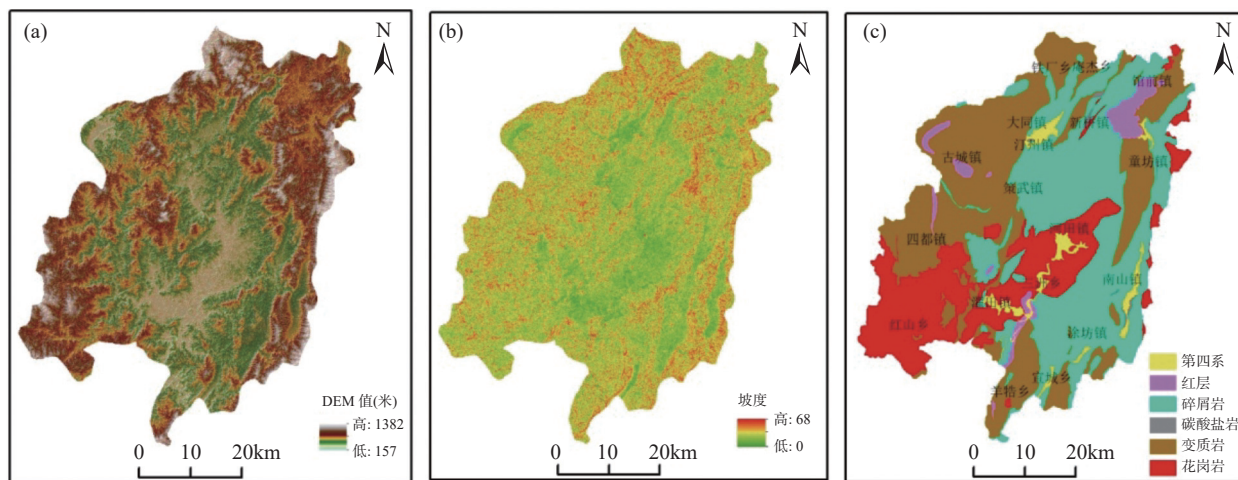


图2 区位因子空间分布

Fig. 2 Distribution maps of geographical factors.

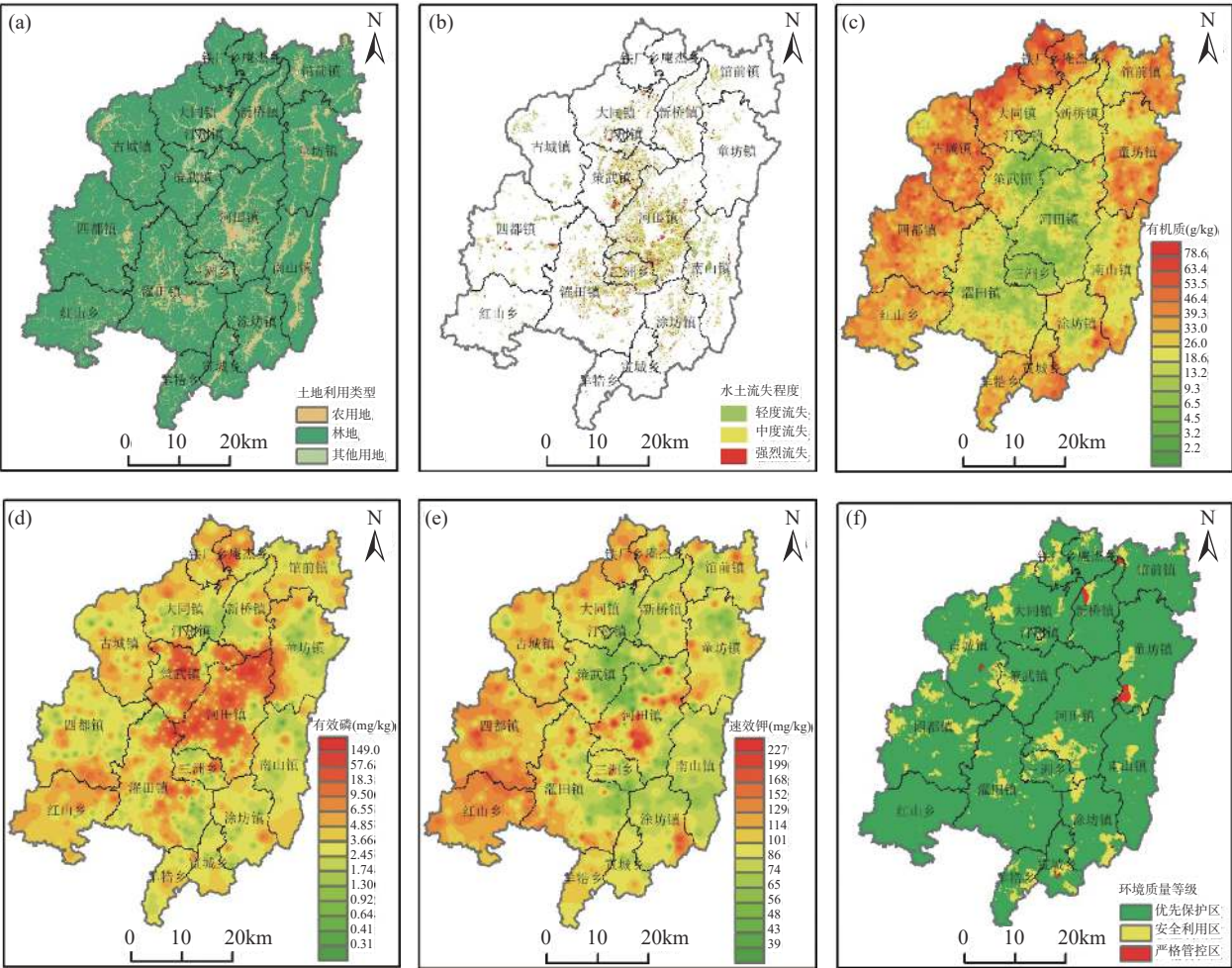


图3 限制因子空间分布
Fig. 3 Distribution maps of limiting factors.

表 3 准则层判断矩阵

Table 3 Criterion layer judgment matrix.

参数	主导因素	区位因素	限制因素	指标权重
主导因素	1	5	2	0.58
区位因素	1/5	1	1/3	0.11
限制因素	1/2	3	1	0.31

表 4 区位因素判断矩阵

Table 4 Geographical factors judgment matrix.

参数	海拔	坡度	地质背景	指标权重
海拔	1	1/5	1/3	0.10
坡度	5	1	3	0.64
地质背景	3	1/3	1	0.26

分。评价结果显示,长汀县富硒土地资源适宜区、较适宜区和一般适宜区主要分布于长汀县东西部边缘乡镇(图 5),该地带以高硒地球化学背景为主要特点,

广泛分布的变质岩及部分碎屑岩经风化成壤作用形成了集中连片分布的富硒土壤,其中适宜区面积为 271.35km², 占全县总面积的 8.74%, 较适宜区分布面积最广,为 1116.96km², 占全县总面积的 35.98%, 一般适宜区面积为 1062.07km², 占全县总面积的 34.21%, 三者的空间分布与原有规范评价的富硒土地面积大致吻合,客观反映了土壤硒含量这一要素对富硒土地资源开发适宜性的主导作用。受低硒地球化学背景的控制,不适宜区面积为 654.13km², 占全县总面积的 21.07%, 主要分布于长汀县中部乡镇。

3.5 AHP-TOPSIS 模型的优势解析

基于生态位理论的 AHP-TOPSIS 模型开展富硒土地资源综合评价,构建了基于生态位理论的评价指标体系,相对以往主要采用硒元素含量为参照标准的评价方法(图 1),该方法更多地从开发利用的角度考虑了富硒土地资源的可开发利用性。基于已有规范的评价方法识别出长汀县富硒土地面积

的开发适宜性开展了综合评价。评价结果表明,长汀县富硒土地资源禀赋优越,土壤硒平均含量为 0.46mg/kg ,富硒土壤面积达 2215.4km^2 ,占全县总面积的 71.36% ,AHP-TOPSIS模型将长汀县富硒土地资源划分为适宜区、较适宜区、一般适宜区和不适宜区,面积分别为 271.35km^2 、 1116.96km^2 、 1062.07km^2 、 654.13km^2 。受土壤硒含量这一要素的主导,AHP-TOPSIS模型划定的适宜区、较适宜区和一般适宜区在空间分布上与原规范划定的富硒区大致吻合,同

时该模型对原富硒区的细化也反映了区位因素和限制因素对富硒土地资源开发利用的约束作用。

在基于生态位理论的 AHP-TOPSIS 模型中,AHP法考虑了不同评价指标对评价结果影响程度的差异性,TOPSIS法以评价区域评价指标的最优理想解和最劣理想解为参照进行综合评价,凸显了优势区域,达到了因地制宜的评价效果。该方法基于已有规范,进一步提升了评价结果的科学性,适用于县域尺度的富硒土地资源综合评价工作。

Comprehensive Evaluation of Selenium-Enriched Land Resources in Changting County, Fujian Province Based on Niche Theory and AHP-TOPSIS Model

TANG Zhimin, ZHAN Long*, ZHANG Xiaodong, CHEN Guoguang, ZHOU Mo, TIAN Fujin, LIU Hongying, ZHANG Jie, ZHANG Ming

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

HIGHLIGHTS

- (1) Guided by niche theory, a comprehensive evaluation index system for selenium-enriched land resources is studied. The analytic hierarchy process (AHP) is used to assign weights to each index, and the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) method is applied for comprehensive evaluation.
- (2) The AHP-TOPSIS model based on niche theory categorizes selenium-enriched land resources in Changting County into suitable areas, relatively suitable areas, generally suitable areas, and unsuitable areas, objectively reflecting the development and utilization potential of selenium-enriched land resources in Changting County.
- (3) The AHP-TOPSIS model takes into account the differences in indicators and the resource endowment conditions of the evaluation region, effectively improving the science of the evaluation compared to previous standards.

ABSTRACT: Changting County in Fujian Province possesses abundant selenium-enriched land resources, and a comprehensive evaluation of them, based on local conditions is significant for the effective and structured utilization of these resources. Due to the absence of a well-established theoretical framework in existing evaluation systems, the evaluation results are difficult to effectively guide the development of resources. This article is based on the niche theory and comprehensively considers the dominant factors, geographical factors, and limiting factors of selenium-enriched land resource development in Changting County to formulate an evaluation index system. The analytic hierarchy process (AHP) is used to calculate the weight of indicators, and the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) method is applied to determine the weighted comprehensive index for comprehensive grading. The evaluation results show that the average selenium content in the soil of Changting County is 0.46mg/kg , and the selenium-enriched soil area reaches 2215.4km^2 , accounting for 71.36% of the total county area, which is mainly distributed in the eastern and western mountainous areas of Changting County. Applying the AHP-TOPSIS model, the selenium-enriched land resources in Changting County are classified into suitable areas, relatively suitable areas, generally suitable areas, and unsuitable areas, with areas of 271.35km^2 ,

1116.96km², 1062.07km², and 654.13km², respectively. The suitable areas, relatively suitable areas, and generally suitable areas are approximately consistent with the selenium-enriched areas designated in previous specifications, reflecting the dominant role of soil selenium content in the evaluation index system. The refined zoning results of the original selenium-enriched areas reflect the constraining effect of geographical and limiting factors on the development of selenium-enriched land resources. In the AHP-TOPSIS model based on niche theory, an evaluation index system is constructed with the aim of identifying the optimal niche for the development of selenium-enriched land resources. The evaluation method takes into account the differences in the impact of indicators on the evaluation results and the resource endowment conditions of the evaluation area. The evaluation results reflect the development potential of selenium-enriched land resources in Changting County, effectively improving the science of the evaluation compared to previous standards.

KEY WORDS: AHP; TOPSIS; niche; Changting County; selenium-enriched land

参考文献

- [1] 郝栗涛, 张湜溪, 雒昆利. 陕西省典型高硒土壤的空间分布及主要农作物硒的含量特征和主要来源研究[J]. *环境科学研究*, 2023, 36(5): 1032–1041.
Hao L T, Zhang S X, Luo K L. Study on spatial distribution of typical high-selenium soil and content characteristics and main sources of selenium in main crops in Shannxi Province[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2023, 36(5): 1032–1041.
- [2] 成晓梦, 马荣荣, 彭敏, 等. 中国大宗农作物及根系土中硒的含量特征与富硒土壤标准建议[J]. *物探与化探*, 2019, 43(6): 1367–1372.
Cheng X M, Ma R R, Peng M, et al. Characteristics of selenium in crops and roots in China and recommendations for selenium-enriched soil standards[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(6): 1367–1372.
- [3] Yang H, Yang X F, Ning Z P, et al. The beneficial and hazardous effects of selenium on the health of the soil-plant-human system: An overview[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 422: 126876.
- [4] 周诗悦, 李荣, 周晨霓, 等. 硒在“土壤—作物—食品—人体”食物链中的流动[J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 231–244.
Zhou S Y, Li M, Zhou C N, et al. Flow of selenium in the “soil—crop—food—human” chain[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 231–244.
- [5] Sun G X, Liu X, Williams P N, et al. Distribution and translocation of selenium from soil to grain and its speciation in paddy rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44(17): 6706–6711.
- [6] Chang C Y, Yin R S, Wang X, et al. Selenium translocation in the soil-rice system in the Enshi seleniferous area, Central China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 669(1): 83–90.
- [7] Dinh Q T, Cui Z W, Huang J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review[J]. *Environment International*, 2018, 112: 294–309.
- [8] 侯青叶, 杨忠芳, 余涛, 等. 中国土壤地球化学参数[M]. 北京: 地质出版社, 2020: 16–17.
Hou Q Y, Yang Z F, Yu T, et al. Soil geochemical parameters in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2020: 16–17.
- [9] 王学求, 周建, 徐善法, 等. 全国地球化学基准网建立与土壤地球化学基准值特征[J]. *中国地质*, 2016, 43(5): 1469–1480.
Wang X Q, Zhou J, Xu S F, et al. China soil geochemical baselines networks: Data characteristics[J]. *Geology in China*, 2016, 43(5): 1469–1480.
- [10] Bowen H J M. Environmental chemistry of the elements[M]. New York: Academic Press, 1979: 316.
- [11] 谭见安. 环境生命元素与克山病——生态化学地理研究[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996: 7–49.
Tan J A. Environmental life elements and Keshan disease—A study of ecological chemogeography[M]. Beijing: China Medico-Pharmaceutical Science & Technology Publishing House, 1996: 7–49.
- [12] Pan Z P, He S L, Li C J, et al. Geochemical characteristics of soil selenium and evaluation of Se-rich land resources in the central area of Guiyang City, China[J]. *Acta Geochimica*, 2017, 36: 240–249.
- [13] 刘冰权, 沙珉, 谢长瑜, 等. 江西赣县清溪地区土壤硒地球化学特征和水稻根系土硒生物有效性影响因素[J]. *岩矿测试*, 2021, 40(5): 740–750.
Liu B Q, Sha M, Xie C Y, et al. Geochemical characteristics of soil selenium and influencing factors of selenium bioavailability in rice root soils in Qingxi area, Ganxian County, Jiangxi Province[J]. *Rock and Mineral*

- Analysis, 2021, 40(5): 740–750.
- [14] 成晓梦, 孙彬彬, 贺灵, 等. 四川省沐川县西部地区土壤硒含量特征及影响因素[J]. 岩矿测试, 2021, 40(6): 808–819.
- Cheng X M, Sun B B, He L, et al. Content characteristics and influencing factors of soil selenium in Western Muchuan County, Sichuan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(6): 808–819.
- [15] 李明辉, 张笑蓉, 杜国强, 等. 安徽石台仙寓地区土壤硒地球化学特征及生物效应[J]. 华东地质, 2023, 44(2): 186–196.
- Li M H, Zhang X R, Du G Q, et al. Geochemical characteristics and biological effect of soil selenium in the Xianyu area, Shitai County of Anhui Province[J]. East China Geology, 2023, 44(2): 186–196.
- [16] 李婷婷, 贾黎黎, 朱鑫, 等. 雷州半岛富硒区土地质量地球化学评价及其利用区划研究——以城月地区为例[J]. 地球与环境, 2022, 50(4): 481–489.
- Li T T, Jia L L, Zhu X, et al. Geochemical evaluation of the land quality and classification of the selenium-enriched soils in Chengyue area, Leizhou Peninsula[J]. Earth and Environment, 2022, 50(4): 481–489.
- [17] 陈国光, 周国华, 梁晓红, 等. 土地质量地球化学调查成果应用于永久基本农田划分方法技术[J]. 地质通报, 2019, 38(2/3): 437–442.
- Chen G G, Zhou G H, Liang X H, et al. The application of land quality geochemical survey results to permanent basic farmland classification technology[J]. Geological Bulletin of China, 2019, 38(2/3): 437–442.
- [18] 王惠艳, 曾道明, 郭志娟, 等. 天然富硒土地划定的富硒阈值[J]. 环境科学, 2021, 42(1): 333–342.
- Wang H Y, Zeng D M, Guo Z J, et al. Selenium threshold for the delimitation of natural selenium-enriched land[J]. Environmental Science, 2021, 42(1): 333–342.
- [19] 杨帆, 张舜尧, 宋云涛, 等. 云南省盐津县 1:5 万土地质量地球化学评价方法研究[J]. 现代地质, 2020, 34(6): 1318–1332.
- Yang F, Zhang S Y, Song Y T, et al. Research of 1:50000 land quality geochemical assessment at Yanjin County in Yunnan Province[J]. Geoscience, 2020, 34(6): 1318–1332.
- [20] 王亮, 王德伟, 龚仓, 等. 四川成都唐昌镇表层土壤元素地球化学特征及质量评价[J]. 岩矿测试, 2022, 41(6): 1082–1094.
- Wang L, Wang D W, Gong C, et al. Elemental geochemical characteristics of topsoil in Tangchang Town, Chengdu, Sichuan Province and quality evaluation[J]. Rock and Mineral Analysis, 2022, 41(6): 1082–1094.
- [21] 周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法[J]. 岩矿测试, 2020, 39(3): 319–336.
- Zhou G H. Research progress of selenium-enriched land resources and evaluation methods[J]. Rock and Mineral Analysis, 2020, 39(3): 319–336.
- [22] Liang R Y, Song S A, Shi Y J, et al. Comprehensive assessment of regional selenium resources in soils based on the analytic hierarchy process: Assessment system construction and case demonstration[J]. Science of the Total Environment, 2017, 605–606: 618–625.
- [23] 侯现慧, 王占岐, 杨俊. 富硒区耕地质量评价及利用分区研究——以福建省三元区为例[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1367–1375.
- Hou X H, Wang Z Q, Yang J. Cultivated land quality evaluation using partition in the selenium-rich area of Sanyuan, Fujian Province[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1367–1375.
- [24] 郭笑东, 陈利根, 毕如田, 等. 基于生态位理论的黄土丘陵区耕地整治优先度及模式研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 184–190.
- Guo X F, Chen L G, Bi R T, et al. Priority and mode of cultivated land consolidation in loess hilly region based on niche-fitness model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 184–190.
- [25] 张荣群, 王大海, 艾东, 等. 基于生态位和“反规划”思想的城市土地开发适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 258–264.
- Zhang R Q, Wang D H, Ai D, et al. Suitability evaluation of urban land development based on niche and anti-planning[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 258–264.
- [26] Chen Y, Cai H S. Research on the suitability evaluation of the development and utilization of regional selenium-rich soil resources and spatial zoning based on niche theory[J]. Journal of Resources and Ecology, 2023, 14(1): 67–83.
- [27] 周亚龙, 郭志娟, 王乔林, 等. 雄安新区富硒土地资源分布特征及开发利用评价[J]. 中国环境科学, 2022, 42(8): 3913–3921.
- Zhou Y L, Guo Z J, Wang Q L, et al. Distribution characteristics and utilization evaluation of selenium-rich land resources in Xiong'an New District[J]. China Environmental Science, 2022, 42(8): 3913–3921.
- [28] 蔡海生, 陈艺, 张学玲. 基于生态位理论的富硒土地资源开发利用适宜性评价及分区方法[J]. 生态学报, 2022, 42(8): 3913–3921.

- 2020, 40(24): 9208–9219.
- Cai H S, Chen Y, Zhang X L. Suitability evaluation and zoning method research on development and utilization of selenium-rich soil resources based on niche theory[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(24): 9208–9219.
- [29] Nyimbili P H, Erden T, Karaman H. Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis[J]. *Natural Hazards*, 2018, 92(3): 1523–1546.
- [30] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(1): 314–323.
- Lei X P, Qiu G H. Empirical study about the carrying capacity evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(1): 314–323.
- [31] 杨帆, 陈梓萌, 巩世彬. 基于 AHP-熵权 TOPSIS 模型的辽宁省各城市土地承载力评价[J]. *水土保持通报*, 2022, 42(1): 144–149.
- Yang F, Chen Z M, Gong S B. Evaluation of land resource carrying capacity in Liaoning Province based on AHP-entropy weight TOPSIS model[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, 42(1): 144–149.
- [32] 张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等. 中国构造-地层大区划分新方案[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2015, 40(2): 206–233.
- Zhang K X, Pan G T, He W H, et al. New division of tectonic-strata super region in China[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2015, 40(2): 206–233.
- [33] 陈国光, 刘红樱, 陈进全, 等. 福建长汀县水土流失的地质影响因素及防治对策[J]. *水文地质工程地质*, 2020, 47(6): 26–35.
- Chen G G, Liu H Y, Chen J Q, et al. Geological influence factors of soil erosion in Changting County, Fujian Province and the countermeasures to prevent and control[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2020, 47(6): 26–35.
- [34] 李契, 朱金兆, 朱清科. 生态位理论及其测度研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(1): 100–107.
- Li J, Zhu J Z, Zhu Q K. A review on niche theory and niche metrics[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(1): 100–107.
- [35] 冯辉, 张学君, 张群, 等. 北京大清河流域生态涵养区富硒土壤资源分布特征和来源解析[J]. *岩矿测试*, 2019, 38(6): 693–704.
- Feng H, Zhang X J, Zhang Q, et al. Distribution characteristics and sources identification of selenium-rich soils in the ecological conservation area of the Daqinghe River Watershed, Beijing[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2019, 38(6): 693–704.
- [36] 唐志敏, 白晓, 湛龙, 等. 福建省长汀县重点水土流失区土壤元素地球化学特征及其指示意义[J]. *华东地质*, 2022, 43(3): 324–335.
- Tang Z M, Bai X, Zhan L, et al. Geochemical characteristics and its indicative significance of soil elements in key soil erosive areas of Changting County, Fujian Province[J]. *East China Geology*, 2022, 43(3): 324–335.
- [37] 杨志, 李才文, 任正龔, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型的宁夏土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J]. *地球科学与环境学报*, 2023, 45(4): 796–805.
- Yang Z, Li C W, Ren Z Y, et al. Evaluation of land use performance in Ningxia, China based on entropy-weight topsis model and diagnosis of its obstacle factors[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2023, 45(4): 796–805.
- [38] 陈春良, 鲍凯强, 王梦莹, 等. 植被去除对侵蚀环境土壤有机质和养分的影响[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(5): 131–136.
- Chen C L, Bao K Q, Wang M Y, et al. Effects of vegetation removal on soil organic matter and nutrients in an erosive environment[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(5): 131–136.