

安溪县土壤侵蚀空间格局的土地利用因素分析及防治对策研究

赵元凌, 蔡道明, 鄢博

长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年11月16日; 录用日期: 2023年12月22日; 发布日期: 2023年12月29日

摘要

土壤侵蚀问题会对区域土地利用的可持续性发展造成不良影响。通过综合应用遥感技术和地理信息系统 (GIS), 对2020年安溪县的土壤侵蚀强度进行了定量评估, 分析了不同土地利用类型对土壤侵蚀空间格局的影响, 以及相应的防治措施。结果表明, 安溪县土壤侵蚀的空间分布与土地利用类型密切相关, 茶园和建设用地是土壤侵蚀最为严重的区域。提出了通过实施差异化的土地利用管理和水土保持措施的建议, 促进安溪县土地资源的可持续利用和区域生态平衡的维护。

关键词

土壤侵蚀, 土地利用, 空间分析, 水土流失防治

Analysis of Land Use Factors in the Spatial Pattern of Soil Erosion and Countermeasure Research in Anxi County

Yuanling Zhao, Daoming Cai, Bo Yan

Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan Hubei

Received: Nov. 16th, 2023; accepted: Dec. 22nd, 2023; published: Dec. 29th, 2023

Abstract

Soil erosion poses adverse effects on the sustainable development of regional land use. This study conducts a quantitative assessment of the soil erosion intensity in Anxi County for the year 2020 by integrating remote sensing technology and Geographic Information System (GIS). It analyzes

the impact of different land use types on the spatial pattern of soil erosion and the corresponding mitigation measures. The results reveal that the spatial distribution of soil erosion in Anxi County is closely related to land use types, with tea plantations and construction lands being the most severely eroded areas. The study suggests implementing differentiated land use management and soil and water conservation measures to promote the sustainable use of land resources and maintain the ecological balance of the region.

Keywords

Soil Erosion, Land Use, Spatial Analysis, Soil and Water Loss Prevention

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当前全球环境变化的背景下，土壤侵蚀已成为威胁土地资源可持续性的重要环境问题。特别是在中国农业区，如福建省安溪县，土壤侵蚀问题引起了广泛的关注和研究。江文甲等[1]的研究显示，1999至2019年间，安溪县土地利用类型呈现显著的变化，特别是茶园和建设用地的增加，土地利用变化主要受社会经济指标和宏观政策的驱动，如社会消费品零售总额、地区生产总值和茶叶产量。吴思颖等[2]的研究基于CSLE土壤侵蚀模型，对2015年安溪县的土壤侵蚀进行了定量估算。结果表明，土壤侵蚀主要发生在中北部和南部区域，且以轻度流失为主，土壤侵蚀的分布与茶园无序开垦密切相关。安溪县快速的经济发展和土地利用变迁对土壤环境产生了显著影响，这种变化不仅体现在土壤侵蚀的空间分布上，也反映在侵蚀强度的变化趋势中。

深入理解土地利用变化对土壤侵蚀的影响机制，对于制定有效的土壤保护和土地规划策略至关重要。程馨璐等[3]利用改进的通用土壤流失方程(RUSLE)，对广州市的土壤侵蚀进行了定量研究。研究结果表明，广州市的土壤侵蚀总量和平均土壤侵蚀模数相对较低，土壤侵蚀等级总体表现为微度和轻度，为广州市区域水土保持和生态环境建设提供了理论依据和实践参考。赵娟等[4]以贵州省六盘水市水城区为例，提出了县级水土保持规划的防治模式和措施配置。研究通过划分水土保持分区和重点预防区、治理区，确定了针对不同区域的水土保持防治模式和措施配置，为有效的土壤侵蚀治理提供了参考。唐德武等[5]针对六安市金安区进行了水土流失分布特征的研究，基于当地水土流失动态监测成果，分析了全区水土流失面积和强度，并根据各分区的水土流失问题提出了具体的防治对策。欧阳玉莹等[6]的研究通过多年度的空间分析，发现自1995年以来，长乐区水土流失面积逐年下降。研究指出，人为因素和自然因子都是影响长乐区水土流失的重要原因，并建议从多个方面加强水土流失的防治工作。

这些研究为基于土地利用与土壤侵蚀空间关系的水土流失防治对策提供了理论基础和实践指导。本文将结合安溪县2020年的土壤侵蚀强度分级图和土地利用类型分布图，深入分析土壤侵蚀空间格局的土地利用因素，并提出针对性的防治措施。

2. 研究区域与方法

2.1. 研究区域

安溪县位于中国福建省东南部，地处北纬24°50′~25°26′，东经117°35′~118°17′之间。全县土地面积

约为 3057 km²，东西最长距离约为 74 km，南北最宽处约为 63 km。如图 1 所示，安溪县地形特征多样，西部地区以峰峦起伏的山地为主，地势较为陡峭，海拔多在 600~800 m 之间，东部则以丘陵为主，地形相对平缓，海拔大多在 500 m 以下。这样的地形地貌使得该县的土壤侵蚀问题呈现出多样性和复杂性。

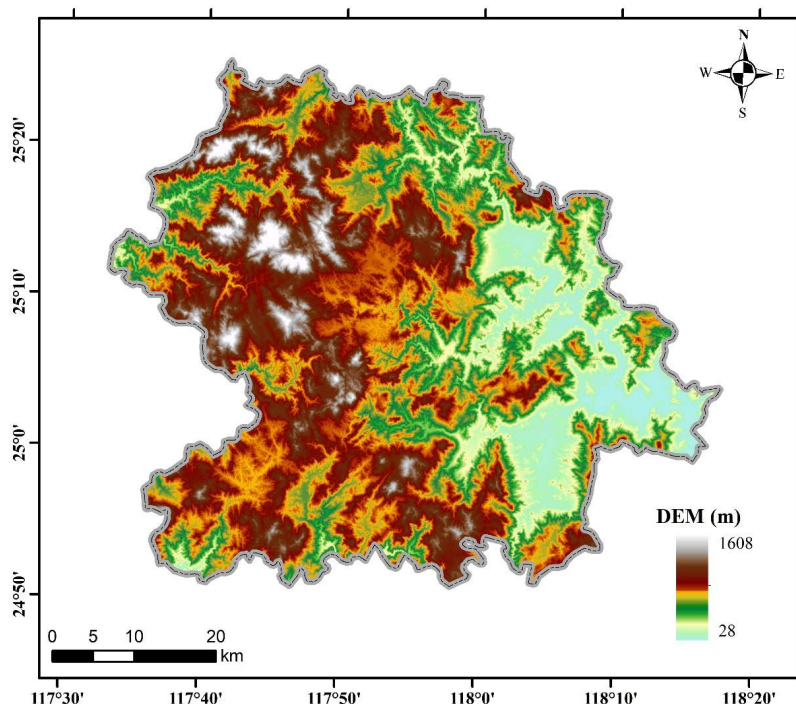


Figure 1. Topography of Anxi County

图 1. 安溪县地形

2.2. 土地利用解译

2.2.1. 数据源与预处理

本研究使用的土地利用数据基于高分一号卫星(GF-1)的影像。高分一号卫星可提供的 2 m 分辨率、多光谱影像，本文选取了 2020 年覆盖安溪县的影像数据。影像预处理包括辐射校正、几何校正以及大气校正等步骤，以减少非土地利用变化因素(如大气、季节性变化)对影像的影响，确保影像质量满足后续分析要求。辐射校正使用 GF-1 卫星传感器的定标参数，将 DN 值转换为地面反射率，以减少由于传感器差异或外界环境变化导致的误差。几何校正采用高精度的地面控制点和 DEM(数字高程模型)数据，进行严格的几何校正，以确保影像的空间精度。大气校正使用基于 6S 辐射传输模型的大气校正算法，消除大气对影像的影响，提高土地利用分类的精度。

2.2.2. 随机森林(RF)模型

随机森林(RF) [7]是一种基于决策树集成的机器学习方法，对于处理大规模遥感数据以及处理高维数据具有优势。RF 通过构建多个决策树并结合它们的预测结果来进行遥感影像分类，具有高准确率和抗过拟合的特点。随机森林的分类结果可以表示为：

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(X) \quad (1)$$

式中， Y 是分类结果， N 是决策树的数量， f_i 是第 i 个决策树的分类函数， X 是输入特征。

从 GF-1 影像中选取代表性的样本区域, 涵盖耕地、林地、建设用地等土地利用类型。利用地面调查数据、历史土地利用数据或其他辅助数据标注样本, 从 GF-1 卫星数据中提取适用于土地利用分类的特征, 如光谱特征、纹理特征等。使用标注好的训练样本来训练 RF 模型。调整 RF 模型的关键参数, 如树的数量、分割标准、最大树深等, 以达到最优的分类精度。分类精度的评估采用混淆矩阵和 Kappa 系数, 并进行了野外验证, 确保了结果的科学性和可靠性。

2.3. 土壤侵蚀强度计算

本研究采用中国土壤流失方程(CSLE) [8]来计算安溪县土壤侵蚀模数。CSLE 是一种适用于评估中国水力侵蚀地区土壤侵蚀的模型, 综合考虑了降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡长、坡度、植被覆盖、工程措施和耕作措施等因素的影响。CSLE 方程的基本形式如下:

$$A = R \times K \times L \times S \times B \times E \times T \quad (2)$$

其中, A 表示土壤侵蚀模数($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$), R 为降雨侵蚀力因子($MJ \cdot mm \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$), K 为土壤可蚀性因子($t \cdot hm^2 \cdot hm^{-2} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$), L 为坡长因子(无量纲), S 为坡度因子(无量纲), B 为植被覆盖与生物措施因子(无量纲), E 为工程措施因子(无量纲), T 为耕作措施因子(无量纲)。

降雨侵蚀力因子的计算基于多年平均年降雨侵蚀力, 土壤可蚀性因子根据安溪县不同区域的土壤类型及其物理化学特性来确定, 坡长和坡度因子利用 DEM 数据计算, 植被覆盖、工程措施和耕作措施因子基于现场调查数据、土地利用类型以及区域内实施的水土保持措施来确定。

根据南方红壤区的土壤侵蚀分类分级标准, 将侵蚀程度划分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈, 轻度及以上面积即认为存在水土流失。具体的划分标准见表 1。

Table 1. Soil erosion intensity classification standards

表 1. 土壤侵蚀强度划分标准

级别	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
平均侵蚀模数($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	<500	500~2500	2500~5000	5000~8000	8000~15,000	>15,000

经过野外调查, 比较模型计算值与实地测量值, 对 CSLE 模型的结果进行了验证和校准。根据土壤侵蚀强度划分标准, 生成了土壤侵蚀强度分布图, 反映不同侵蚀强度在安溪县的空间分布状况。

3. 结果分析

3.1. 土地利用分布

图 2 为解译得到的安溪县土地利用分布图, 图 3 为不同土地利用类型面积数据柱状图。根据土地利用解译结果, 林地是安溪县最主要的土地利用类型, 占总面积的 56.22%。这表明安溪县拥有丰富的森林资源, 是该县生态环境的重要组成部分, 对于保持生物多样性、水土保持以及调节气候等生态功能起着至关重要的作用。园地面积为 958.69 km², 主要是茶园, 占总面积的 31.36%, 反映出安溪县以茶叶生产为主的农业特色。建设用地占总面积的 6.84%, 这部分包括城镇和农村的建设用地。耕地占总面积的 3.05%, 主要为水田和旱地。耕地面积较小与安溪县山区较多、平坦可耕地较少有关。交通运输用地占总面积的 0.83%, 主要为农村道路, 用于农产品的运输和市场流通。水域占总面积的 1.22%, 包括河湖库塘等, 这些水体为安溪县提供了重要的水资源, 对于农业灌溉、生态环境维护以及居民生活用水起着重要作用。草地和其他土地面积占比较小, 分别为 0.34% 和 0.15%。

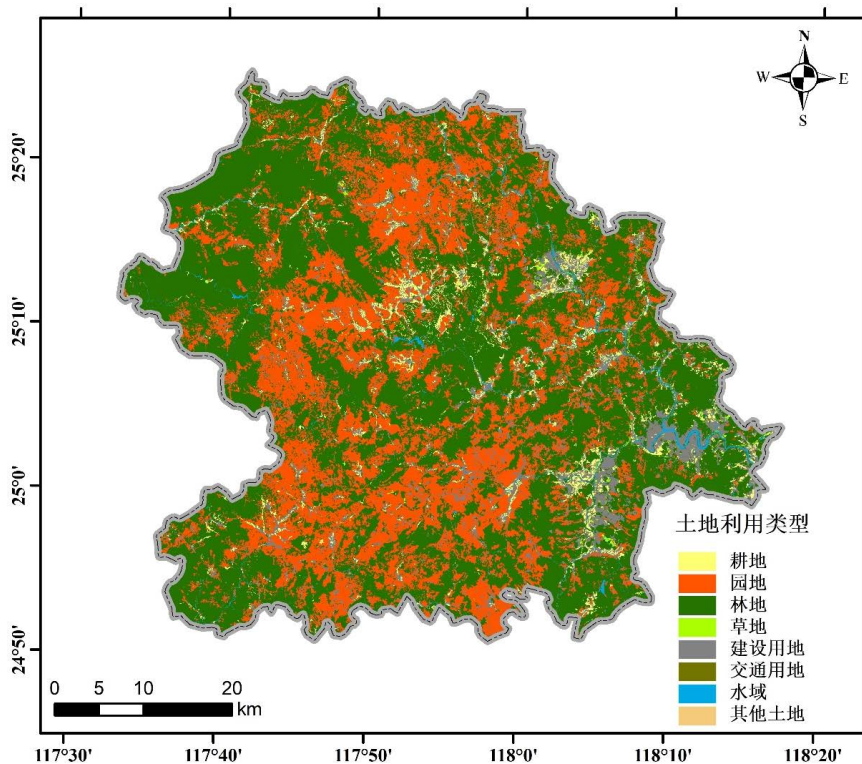


Figure 2. Land use distribution map of Anxi County
图 2. 安溪县土地利用分布图

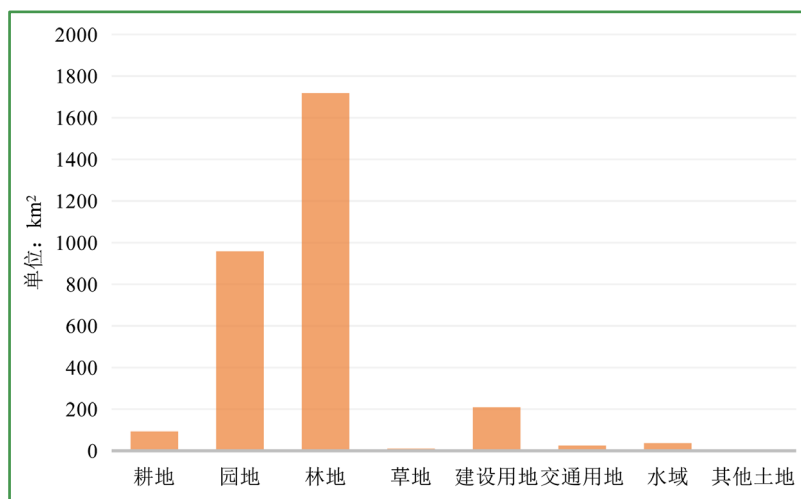


Figure 3. Area of different land use types in Anxi County
图 3. 安溪县不同土地利用类型面积

3.2. 土壤侵蚀强度

安溪县水土流失总面积为 483.57 km², 占土地总面积的 15.82%, 如图 4 和图 5 所示, 轻度侵蚀是主要的侵蚀类型, 面积达 443.48 km², 占侵蚀总面积的 91.71%。中度侵蚀面积为 16.69 km², 约占侵蚀面积的 3.45%。强烈侵蚀和极强烈侵蚀的面积相对较小, 分别为 15.1 km² (占侵蚀面积的 3.12%)和 5.75 km² (占侵蚀面积的 1.19%), 剧烈侵蚀面积为 2.55 km², 占侵蚀面积的 0.53%。

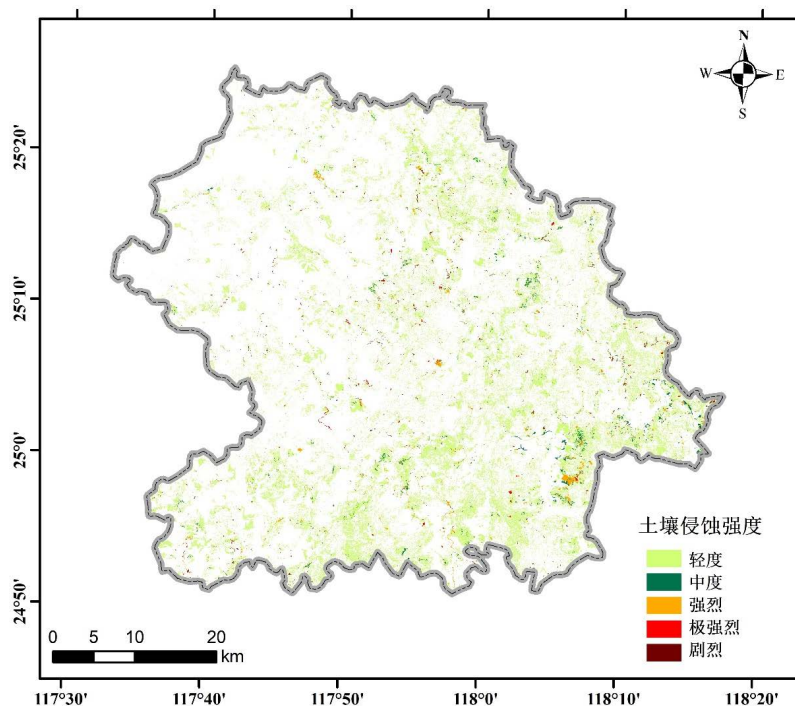


Figure 4. Soil erosion intensity distribution map of Anxi County
图 4. 安溪县土壤侵蚀强度分布图

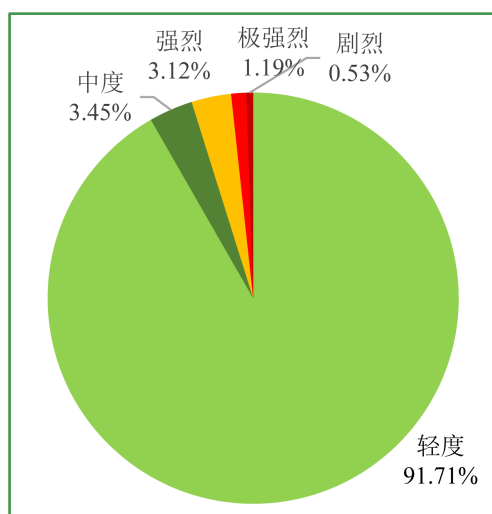


Figure 5. Proportional area of different soil erosion intensities in Anxi County
图 5. 安溪县不同土壤侵蚀强度面积占比

3.3. 不同土地利用类型土壤侵蚀面积

图 6 为不同土地利用类型土壤侵蚀面积柱状图。在耕地中，土壤侵蚀面积为 10.98 km²，其中轻度侵蚀 3.33 km²。园地，特别是茶园，是侵蚀的主要受影响区域。茶园侵蚀面积达 150.05 km²，轻度侵蚀占主导，为 144.66 km²。园地侵蚀的比例相对较高，需要加强土壤保护和侵蚀控制措施。林地侵蚀面积为 245.43 km²，几乎全部为轻度侵蚀。林地作为安溪县面积最广的土地类型，其土壤保持功能显得尤为重要。草地侵蚀面积相对较小，为 5.18 km²，集中是轻度侵蚀。建设用地中，由人为活动导致的水土流失地块

侵蚀面积为 28.36 km²，其中包括 4.86 km² 的中度侵蚀和 12.86 km² 的强烈侵蚀，需要加强管理。交通运输用地中农村道路的侵蚀面积仅为 0.13 km²，但出现了剧烈侵蚀现象，需要对道路排水措施进行优化。

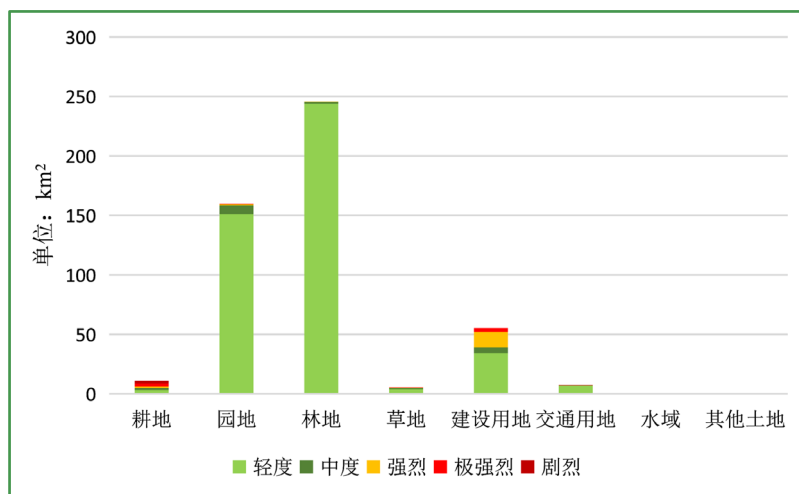


Figure 6. Soil erosion areas by land use type in Anxi County
图 6. 安溪县不同土地利用类型土壤侵蚀面积

4. 安溪县水土流失防治对策分析

安溪县的土壤侵蚀情况与土地利用类型密切相关。在未来的土地管理中，应针对不同土地类型和侵蚀特点，制定差异化的防治策略。旱地需要加强土壤保护，措施包括增加有机物覆盖，改进耕作方法，以及采取梯田等水土保持措施，以减少降雨引起的土壤流失。园地尤其是茶园由于其广泛分布和较高的侵蚀强度，以及占水土流失面积 32.91% 的较高比例，成为土壤侵蚀治理的重点。应考虑采取多样化的植被配置，以提高土壤的团聚力和抗侵蚀能力，同时，建设有效的排水系统，减少表面径流，也是减少侵蚀的关键。林地是安溪县最广泛的土地类型，其在维持生态平衡和防止土壤侵蚀方面发挥着重要作用。当前林地中的水土流失面积占总流失面积的 50.75%，但是侵蚀程度较低，表明现有的林地管理措施效果显著。未来的林业活动应继续强调生态保护和可持续发展，以保持其水土保持功能。建设用地，特别是人为水土流失地块占总水土流失面积的 11.41%，侵蚀问题较为突出。城镇规划和土地开发应结合雨水管理和土壤保护设计，比如采用透水性铺装材料，建设雨水花园等现代雨水管理设施，减少建设用地对周围环境的影响。虽然交通基础设施的土壤侵蚀面积不大，但在一些农村道路上出现的侵蚀情况仍然值得关注，建议在道路建设和维护中采用更加有效的水土保持技术。

在差异化的防治的基础上，应强化对土壤侵蚀动态的监测，评估现行防治措施的效果，并根据监测结果调整管理策略，确保土壤侵蚀控制措施的有效性。通过科学的土地管理，可以实现土壤资源的可持续利用和生态环境的长期稳定。

5. 结论

本文对安溪县 2020 年不同土地利用类型的水力侵蚀情况进行了空间分析。结果表明，安溪县土壤侵蚀的空间分布与土地利用类型密切相关，其中园地(尤其是茶园)和建设用地为土壤侵蚀的主要受影响区域，而耕地和林地则显示出较低的侵蚀强度。

通过实施差异化的土地利用管理和水土保持措施，可以显著减少安溪县的土壤侵蚀问题。未来的土地规划和环境治理策略应基于详细的侵蚀数据和土地利用类型，实现土壤资源的合理利用和生态环境的

保护。同时加强水土流失动态监测，不断优化防治措施，以应对不断变化的环境条件和社会需求，确保安溪县土壤环境的长期健康和农业生产的持续发展。

基金项目

中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(项目编号: CKSF2023324/TB)。

参考文献

- [1] 江文甲, 林满红, 翁佩莹, 等. 福建省安溪县土地利用时空演变规律及其关键驱动因素[J]. 生态学报, 2022, 42(2): 513-527.
- [2] 吴思颖, 汪小钦, 曾舒娇, 等. 基于 CSLE 的安溪县土壤侵蚀估算与分析[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(4): 112-121.
- [3] 程馨榕, 胡月明, 刘振华, 等. 基于遥感数据改进修正通用土壤流失方程的广州市土壤侵蚀定量研究[J]. 土壤通报, 2023, 54(3): 559-568.
- [4] 赵娟, 杨胜权, 刘春艳, 等. 县级水土保持规划防治模式及措施配置——以六盘水市水城区为例[J]. 中国水土保持, 2023(11): 56-59.
- [5] 唐德武, 孙庆春. 六安市金安区水土流失分布特征及防治对策研究[J]. 治淮, 2023(9): 107-108.
- [6] 欧阳玉莹, 陈沐晨, 史文妍, 等. 长乐区水土流失动态分析及防治对策探讨[J]. 亚热带水土保持, 2023, 35(2): 16-20.
- [7] Belgiu, M. and Drăguț, L. (2016) Random Forest in Remote Sensing: A Review of Applications and Future Directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **114**, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- [8] Zhang, H., Zhang, R., Qi, F., *et al.* (2018) The CSLE Model Based Soil Erosion Prediction: Comparisons of Sampling Density and Extrapolation Method at the County Level. *CATENA*, **165**, 465-472. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.007>