

西南山地逐年土壤侵蚀模数 1-km 栅格数据集 (2000–2015)

王颖^{1,2}, 诸云强^{2,3}, 陈鹏飞^{2*}

1. 山东理工大学建筑工程学院, 淄博 255000;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

摘要: 西南山地包括四川、云南和贵州省及重庆市, 是我国的生态脆弱区。构建西南山地长时间序列土壤侵蚀模数数据集对开展长期人与自然交互下生态环境的变化分析, 并制定可持续发展政策具有重要意义。作者在汇集 2000–2015 年降水数据、土壤数据、数字高程数据、土地覆被数据和植被指数数据的基础上, 将它们经过格式转换、投影转换、空间尺度匹配等统一在同一尺度, 并采用修正的土壤流失模型 (The Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE), 计算得到西南山地 1-km 栅格逐年土壤侵蚀模数数据集 (2000–2015), 该数据集为.tif、.shp 格式, 数据量为 109 MB。

关键词: 西南山地; 土壤侵蚀模数; RUSLE 模型; 2000–2015

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.01.07>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:
<https://doi.org/10.3974/geodb.2021.04.04.V1>.

1 前言

西南地区 (四川、重庆、云南、贵州) 处于中国内陆腹地, 特殊的地形、地质条件和人们活动的影响, 该地区生态环境脆弱, 面临严重的土壤侵蚀导致的“石漠化”问题^[1–3]。目前的对于土壤侵蚀的研究主要集中在单一年份、县域尺度, 缺乏中长期尺度的, 针对空间跨度大的区域进行动态化、系统性研究, 严重影响了区域生态环境的规划^[4]。

土壤侵蚀模数是衡量土壤侵蚀状况的重要指标。Wischmeier 等最早建立了土壤侵蚀模数的估测模型 USLE (Universal Soil Loss Equation)^[5]。该模型比较简单, 只含有两个自变量, 分别为坡长和坡度。USLE 模型仅考虑单因子作用, 存在仅适应于平缓坡地且不能描述土壤侵蚀的物理过程的缺陷^[6]。随着人工降雨试验技术的研制, 人们对土壤侵蚀机理的

收稿日期: 2021-01-21; 修订日期: 2021-03-13; 出版日期: 2021-03-25

基金项目: 中国科学院 (XDA23100100)

*通讯作者: 陈鹏飞 D-7136-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所, pengfeichen@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 王颖, 诸云强, 陈鹏飞. 西南山地逐年土壤侵蚀模数 1-km 栅格数据集 (2000–2015) [J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(1): 54–61. <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.01.07>.

[2] 王颖, 诸云强, 陈鹏飞. 中国西南山地逐年土壤侵蚀模数 1 公里栅格数据集 (2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.04.04.V1>.

认识不断深入。1992 年, Rernard 等集合 USLE 及 Meyer 和 Forester 建立的侵蚀概念模型提出了改进的土壤侵蚀模数估测模型 RUSLE (The Revised Universal Soil Loss Equation)^[7]。RUSLE 模型比 USLE 具有更明确的物理意义, 且预测精度有很大提高。它是目前使用最为广泛的土壤侵蚀模数估测模型^[8,9]。

目前, 已有共享的覆盖西南山地的土壤侵蚀模数数据集仅有地理国情监测云平台提供的“全国分省土壤侵蚀数据产品”, 但该数据集只包含 2005 年的中国各省份土壤侵蚀模数数据。它无法满足人们对西南山地在生态工程建设、区域经济发展与气候变化下, 土壤侵蚀变化规律的分析。为此, 本文基于 RUSLE 模型生产了 2000–2015 年西南山地逐年土壤侵蚀模数 1-km 栅格数据集。

2 数据集元数据简介

《中国西南山地逐年土壤侵蚀模数 1 公里栅格数据集（2000–2015）》^[10]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《中国西南山地逐年土壤侵蚀模数 1 公里栅格数据集（2000–2015）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国西南山地逐年土壤侵蚀模数 1 公里栅格数据集（2000–2015）
数据集短名	SoilErosionSouthWestChina_2000-2015
作者信息	王金额, 山东理工大学, wangjy766@sina.com 诸云强 L-6116-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所, zhuyq@igsnr.ac.cn 陈鹏飞 D-7136-2019, 中国科学院地理科学与资源研究所, pengfeichen@igsnr.ac.cn
地理区域	西南山地: 21°N–35°N, 97°E–111°E
数据年代	2000–2015
时间分辨率	年
空间分辨率	1 km
数据格式	.tif、.shp
数据量	109 MB （压缩后为 52.5 MB）
数据集组成	数据集由 72 个文件组成。文件名由 a+年份构成, 后四位数字为年份
基金项目	中国科学院（XDA23100100）
数据计算环境	ArcMap
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议, 获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[11]
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref

3 数据研发方法

3.1 算法原理

RULSE 模型中土壤侵蚀模数是由降水数据、土壤数据、地形地貌数据、NDVI 数据和土地覆被数据来计算^[12]，如式(1)所示：

$$A=R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

式中， A 为土壤侵蚀模数 ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)； 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 ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)； LS 为坡长坡度因子 (无量纲)； C 为地表植被覆盖与管理因子 (无量纲)； P 为水土保持措施因子 (无量纲)。

(1) 降雨侵蚀力因子的确定

降雨侵蚀力因子采用了 Wischmeier 的公式计算^[13]。该公式既考虑了年降水总量又考虑月降水强度，如式(2)所示。

$$R = \sum_{i=1}^{12} (1.735 \times 10^{(1.5 \times \lg \frac{P_i^2}{Pa} - 0.8188)}) \quad (2)$$

式中， P_i 和 P 分别为月降水量和年降水量， i 表示月份。

(2) 土壤可蚀性因子的确定

土壤可蚀性因子是土壤抵抗侵蚀力的综合体现，不同的土壤类型其值大小不同。土壤可侵蚀性因子值越大，土壤受侵蚀的可能性越大，反之越小。本研究选择 Sharply 和 Williams 等提出的 EPIC 模型公式计算土壤可蚀性因子值^[14]。此算法既考虑了土壤有机碳含量，又考虑了土壤类型，如式(3)所示：

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\} \times \left[\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right]^{0.3} \times \left\{ 1 - \frac{0.25 \text{ org } C}{[\text{org } C + \exp(3.72 - 2.95 \text{ org } C)]} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{0.7 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left\{ \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right] \right\}} \right\} \quad (3)$$

式中， m_s 、 m_{silt} 、 m_c 、 $\text{org } C$ 分别为砂粒、粉粒、黏粒和有机碳含量 (%)。

(3) 坡度因子的确定

坡度因子采用 McCool 等^[15]和刘宝元^[16]的公式计算，如式(4)所示：

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & (\theta < 5^\circ) \\ 16.8 \sin \theta - 0.05 & (5^\circ \leq \theta \leq 10^\circ) \\ 21.92 \sin \theta - 0.96 & (\theta > 10^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

式中， θ 为地面坡度。

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (5)$$

$$m = \begin{cases} 0.5 & \theta \geq 3 \\ 0.4 & 1.5 \leq \theta < 3 \\ 0.3 & 0.5 \leq \theta < 1.5 \\ 0.2 & \theta < 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

（4）植被覆盖管理因子 C 与水土保持措施因子 P 的确定

参考其他学者的相关研究成果^[17]，确定各类土地覆被类型的 C 和 P 值，如表 2 所示：
 C 因子参照刘爱霞等^[18]对地表植被覆盖因子的赋值， P 因子参照蔡崇法^[19]对水土保持措施因子的赋值。

表 2 不同土地覆被类型 C 和 P 因子赋值

土地覆被类型	C 因子赋值	P 因子赋值
林地	0.006	1
草地	0.03	0.8
旱地	0.31	0.4
水田	0.12	0.01
水体	0	0
其他用地	0	0

3.2 数据集研发技术路线

技术路线如图 1 所示，主要包括数据收集与预处理、数据模拟两大部分。

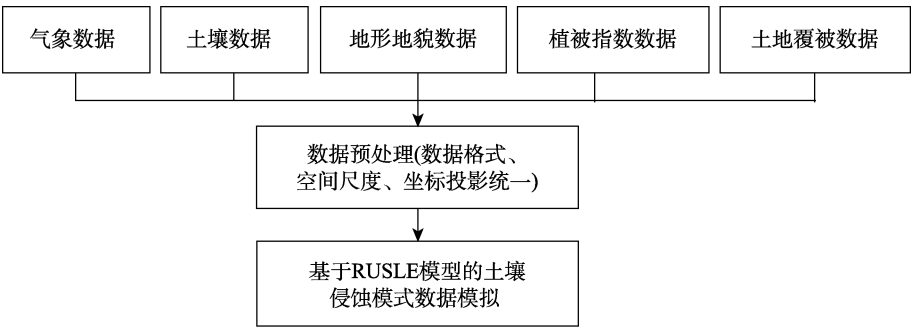


图 1 数据集研发技术路线图

3.2.1 数据汇集与数据预处理

- （1）降水数据来源于国家青藏高原科学数据中心¹的“中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集”^[20]，空间分辨率为 1 km，时间分辨率为 3 小时，本研究通过计算将其转化为 1 km 月平均降水数据。
- （2）土壤数据来自于国家青藏高原科学数据中心²的世界土壤数据库（HWSD）的中国土壤数据集（v1.1）^[21]，空间分辨率为 1 km。
- （3）DEM 数据采用 SRTM 的 30-m 分辨率数据³。
- （4）NDVI 数据来源于 MODIS 提供的 1-km 分辨率产品（MOD13A3）⁴。
- （5）2000 年土地覆被数据取自 AVHRR 土地覆被数据产品，该数据基于 1981–1994

¹ 国家青藏高原科学数据中心. <http://westdc.westgis.ac.cn/>.
² 国家青藏高原科学数据中心. <https://data.tpdc.ac.cn/>.
³ CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI). <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
⁴ <http://reverb.echo.nasa.gov/>.

年的 AVHRR 数据制作,采用的土地覆被分类方法为马里兰大学分类法⁵。2000 年以后的土地覆被数据使用 MODIS 对应的土地覆被数据产品 (MCD12Q1)⁴。使用 MODIS 数据时,也采用马里兰大学分类方法。

(6)边界数据来自于中国科学院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心⁶2015 年中国省级边界数据,由数据集中的西南四省市边界合并而成。

3.2.2 数据模拟

利用以上预处理好的数据作为输入,基于 RULSE 模型实现相关数据集的制作。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集由 2000–2015 年西南山地土壤侵蚀模数数据组成,包含 2000–2015 年 16 年间西南山地区域逐年土壤侵蚀 1-km 栅格数据。

4.2 数据结果

将各年的土壤侵蚀模数数据进行对比,西南山地土壤侵蚀模数分布大致相同,以 2010 年为例(图 2)。按照《土壤侵蚀分类分级标准》^[22]将年土壤侵蚀模数数据分为微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀 6 个等级。如图 1 所示。从图中可以看出,西南山地土壤侵蚀大部分处于微度或轻度侵蚀状态。但四川省东部,贵州省西部,云南省西北部区域侵蚀程度较为严重,基本处于强度、极强度和剧烈侵蚀状态。

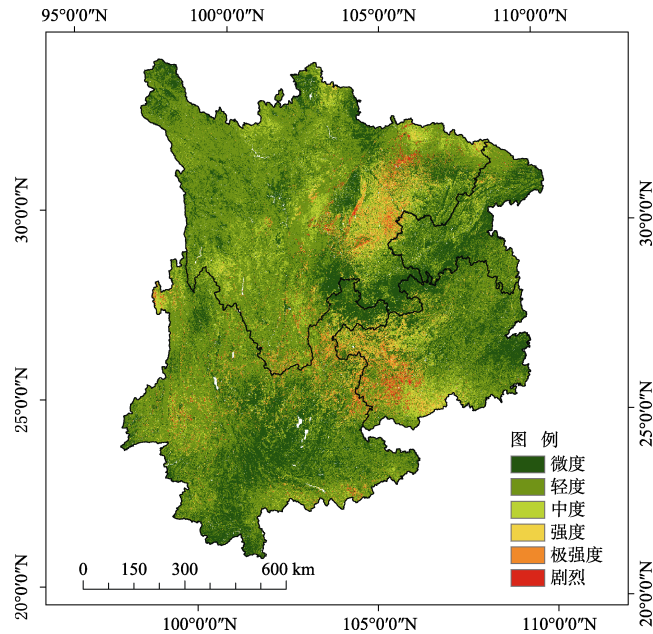


图 2 2010 年土壤侵蚀模数空间分布图

⁵ <http://glcf.umd.edu/data/landcover/>.

⁶ 中国科学院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心. <http://www.resdc.cn/>.

4.3 数据结果验证

由于土壤侵蚀模数的实测数据较少，难以获取，且实测数据代表区域与基于 RUSLE 模型计算的土壤侵蚀模数代表区域有差异，仅基于实测数据验证土壤侵蚀模数的准确性较为困难。因此，本研究将已公布的实测数据与已发表文章中的模拟数据相结合，对本研究的土壤侵蚀模数数据进行验证。

本研究基于 RUSLE 模型模拟的 2000–2015 年西南山地年均土壤侵蚀模数为 13.25–24.60 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)。与已有研究相比，本研究估测的土壤侵蚀模数处于正常波动范围（表 3）。表 4 列出了已有研究中的一些模型模拟的不同土地利用类型的土壤侵蚀模数的范围，与它们相比，本研究模拟的林地年均土壤侵蚀模数为 $15.92 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，草地年均土壤侵蚀模数为 $19.84 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，耕地年均土壤侵蚀模数为 $21.97 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，居民用地年均土壤侵蚀模数为 $0.37 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，本研究数据与已有数据具有很高的吻合性，由此说明本研究产生的土壤侵蚀模数数据较为可靠。

表 3 其他有关西南地区不同区域的土壤侵蚀模数的研究结果与本数据集对比 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

研究区域	年份	研究方法	土壤侵蚀模数	参考文献	本数据集计算的土壤侵蚀模数
成都市	年平均	SCSLE	2.93	刘斌涛等 ^[23]	1.70–28.86
元阳县	2005–2015	RUSLE	6.54–17.81	陈峰、李红波 ^[24]	12.36–50.59
喀斯特槽谷区	2000–2015	CA-Markov	1.04–21.61	操玥等 ^[25]	18.49
剑川县	年平均	RUSLE	12.56	魏贤亮等 ^[26]	9.47–38.01
贵州省	年平均	RUSLE	23.50	牛丽楠等 ^[27]	23.48

表 4 本数据集各种土地覆被类型土壤侵蚀模数与其他研究模拟结果对比 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

研究方法	土地覆被类型				时期	区域
	林地	草地	耕地	居民用地		
CSLE 模型 ^[28]	4.59	5.23	35.36	3.73	1981–2010	贵州省
RUSLE 模型 ^[29]	5.99	—	43.75	0	1962–2012	三峡库区菱角塘小流域
¹³⁷ Cs 示踪法 ^[30]	–5.22–5.16	9.91–16.16	7.27–24.89	—	2018	滇南小流域
¹³⁷ Cs 示踪法 ^[31]	9.29	—	25.37	—	年平均	双龙流域
本研究	12.61	20.01	32.51	0.37	年平均	西南山地

5 讨论和总结

该数据集基于气象、土壤、地形地貌、植被指数和土壤覆被数据，利用修正的土壤流失模型，整理并计算出西南山地 1-km 分辨率逐年土壤侵蚀模数数据集。该数据集与以往数据集相比，其时间尺度上更长，区域尺度较大。该数据集可用于西南山地土壤侵蚀的时空

变化分析,也可用于西南山地生态系统服务的评价等。

作者分工: 陈鹏飞对数据集的开发做了总体设计; 王金颖采集和处理了数据并撰写了数据论文; 诸云强对数据论文进行了修改。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 黄明芝, 蓝家程, 文柳茜等. 喀斯特石漠化地区土壤质量对生态修复的响应[J]. 森林与环境学报, 2021, 41(2): 148–156.
- [2] 罗旭玲, 王世杰, 白晓永等. 西南喀斯特地区石漠化时空演变过程分析[J]. 生态学报, 2021, 41(2): 680–693.
- [3] Mohammad, A. G., Adam, M. A. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses [J]. *Catena*, 2010, 81(2) : 97–103.
- [4] 叶馨. 2000–2015 年西南山地土壤侵蚀时空格局研究[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(11): 176– 184, 196.
- [5] Wischmeier, W. H., Smith, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [J]. *Transactions of the American Geophysical Union*, 1958, 39(2): 285–291.
- [6] Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., *et al.* Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) [Z]. USDA Agriculture Handbook No 703. 1997.
- [7] Christine, A., Pasquale, B., Meusburger, K., *et al.* Using the USLE: chances, challenges and limitations of soil erosion modeling [J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2019, 7(3): 203–225
- [8] Omar, D., Mahmoud, H., Oussama, B., *et al.* Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria) [J]. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2019, 5(2): 725–743.
- [9] 黄杰, 姚志宏, 查少翔等. USLE/RUSLE 中水土保持措施因子研究进展[J]. 中国水土保持, 2020(3): 37–39, 56, 5.
- [10] 王金颖, 诸云强, 陈鹏飞. 中国西南山地逐年土壤侵蚀模数 1 公里栅格数据集(2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.04.04.V1>.
- [11] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [12] 陈红, 江旭聪, 任磊等. 基于 RUSLE 模型的淮河流域土壤侵蚀定量评价[J]. 土壤通报, 2021, 52(1): 165–176.
- [13] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨[J]. 中国水土保持, 1989(3): 24–27.
- [14] Williams, J., Renardkg, K. G., Dyke, P. T. EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1983, 38(5): 381–383.
- [15] McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., *et al.* Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. *Transactions of the ASAE*, 1987, 30(5): 1387–1396.

- [16] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J]. 自然资源学报, 1999, 21(4): 345–350.
- [17] 冉彩虹. 基于 RUSLE 模型的三峡库区腹地土壤侵蚀演变研究[J]. 三峡生态环境监测, 2021, 6(1): 1–18.
- [18] 刘爱霞, 王静, 刘正军. 三峡库区土壤侵蚀遥感定量监测——基于 GIS 和修正通用土壤流失方程的研究[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 25–30.
- [19] Cai, C. F. Study of applying USLE and geographical information system IDRISI to predict soil erosion in small watershed [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2000, 14(12): 19–24.
- [20] Feng, X., Liu, G., Chen, J. M., *et al.* Net primary productivity of China's terrestrial ecosystems from a process model driven by remote sensing [J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(3): 563–573.
- [21] Fischer, G., Nachtergaele, F., Prieler, S., *et al.* Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ 2008) [R]. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy, 2008.
- [22] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL 190—2007 [S]. 2007.
- [23] 刘斌涛, 宋春风, 陶和平. 成都市土壤侵蚀定量评价研究[J]. 长江科学院院报, 2016, 33 (9): 40–47.
- [24] 陈峰, 李红波. 基于 GIS 和 RUSLE 的滇南山区土壤侵蚀时空演变——以云南省元阳县为例[J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 629–637.
- [25] 操玥, 王世杰, 白晓永等. 喀斯特槽谷区土壤侵蚀时空演变及未来情景模拟[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 6061–6071.
- [26] 魏贤亮, 颜雄, 龙晓敏等. 基于 RUSLE 模型的剑湖流域土壤侵蚀定量评价[J]. 山东农业科学, 2017, 49(1): 103–106, 125.
- [27] 牛丽楠, 邵全琴, 刘国波等. 六盘水市土壤侵蚀时空特征及影响因素分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(11): 1755–1767.
- [28] 陈美淇, 魏欣, 张科利等. 基于 CSLE 模型的贵州省水土流失规律分析[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 16–21, 26.
- [29] 俱战省, 文安邦, 严冬春等. 基于 GIS 和 RUSLE 的三峡库区小流域土壤侵蚀量估算研究[J]. 地球与环境, 2015, 43(3): 331–337.
- [30] 王永平, 周子柯, 滕昊蔚等. 滇南小流域 3 种土地利用方式下土壤侵蚀及养分流失特征[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 11–18.
- [31] 牛晓音, 王延华, 杨浩等. 滇池双龙流域不同土地利用方式下土壤侵蚀与土壤养分分异[J]. 环境科学研究, 2014, 27(9): 1043–1050.