

# 2000—2018 年皖南山区土壤侵蚀时空变化

管礼松, 郭伟玲, 李鑫, 蒋婷婷

(安徽理工大学 空间信息与测绘工程学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** [目的] 精确评估皖南山区土壤侵蚀量并分析其时空变化特征, 为区域水土流失综合治理提供科学依据。[方法] 在 GIS 技术的支持下, 利用研究区日降雨数据, 30 m 分辨率 DEM, 土壤数据和土地利用等数据, 采用中国土壤流失方程(CSLE)估算皖南山区土壤侵蚀模数, 并分析 2000, 2010 和 2018 年近 20 a 研究区土壤侵蚀时空变化特征。[结果] 2000—2010 年土壤侵蚀模数增加了 963.96 t/(km<sup>2</sup> · a), 土壤侵蚀强度面积向高强度等级转移; 2010—2018 年土壤侵蚀模数减少了 781.22 t/(km<sup>2</sup> · a), 土壤侵蚀强度面积由高向低转移, 总体上土壤侵蚀变化呈先增后减的趋势。皖南山区 3 期土壤侵蚀空间分布格局基本一致, 池州市和铜陵市东南侧以及黄山市周边区域是水土流失重点防治区域。研究区内耕地以微度和轻度侵蚀为主, 林地以中度及以下侵蚀为主, 2010—2018 年耕地和林地中度及以上侵蚀面积减小, 水土保持措施成效显著。[结论] 近年来皖南山区土壤侵蚀强度呈先增加后减少的趋势, 总体上以轻度侵蚀为主, 后续的水土流失治理仍需要加强。

**关键词:** 中国土壤流失方程(CSLE); 土壤侵蚀; 时空变化; 皖南山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)02-0114-08

中图分类号: S157.1

**文献参数:** 管礼松, 郭伟玲, 李鑫, 等. 2000—2018 年皖南山区土壤侵蚀时空变化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 114-121. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.015; Guan Lisong, Guo Weiling, Li Xin, et al. Spatio-temporal changes of soil erosion in mountainous area of Southern Anhui Province from 2000 to 2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 114-121.

## Spatio-temporal Changes of Soil Erosion in Mountainous Area of Southern Anhui Province from 2000 to 2018

Guan Lisong, Guo Weiling, Li Xin, Jiang Tingting

(School of Spatial Information and Surveying Engineering,

Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

**Abstract:** [Objective] Soil erosion in mountainous areas in Southern Anhui Province was accurately assessed and its temporal and spatial characteristics were analyzed, in order to provide a basis for comprehensive management of regional soil erosion. [Methods] With the support of GIS technology, the daily rainfall data, 30 m resolution DEM, soil data and land use data were used to estimate the soil erosion modulus in the mountainous area of Southern Anhui Province. The Chinese soil loss equation (CSLE) was employed, the temporal and spatial changes of soil erosion in the study area in 2000, 2010 and 2018 were analyzed. [Results] From 2000 to 2010, the soil erosion modulus increased by 963.96 t/(km<sup>2</sup> · a), and the area of soil erosion intensity shifted to high intensity level. In contrast, from 2010 to 2018, the soil erosion modulus decreased by 781.22 t/(km<sup>2</sup> · a), the area of soil erosion intensity shifted from high to low, and the overall soil erosion change showed a trend of first increase and then decrease. The spatial distribution pattern of soil erosion in the three periods of the mountainous area in Southern Anhui Province was basically the same. The southeast side of Chizhou City, Tongling City, and the surrounding areas of Huangshan City were key areas for soil erosion prevention and control. In the study area, the cultivated land was mainly eroded slightly and lightly, while the forest land was mainly eroded at moderate or lower levels. The area of cultivated land and

收稿日期: 2020-11-30

修回日期: 2020-12-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土丘陵沟壑区 DEM 采样间距与数据平滑对流域分布式侵蚀学坡长的影响研究”(41501294)

第一作者: 管礼松(1995—), 男(汉族), 安徽省滁州市人, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 在水土保持中的应用。Email: 1729207740@qq.com。

通讯作者: 郭伟玲(1979—), 女(汉族), 河南省安阳市人, 讲师, 博士, 主要从事 GIS 与 RS 在水土保持中的应用。Email: gw0904@163.com。

woodland eroded at moderate and higher level decreased in 2010—2018, and the effects of soil and water conservation measures were remarkable. [Conclusion] In recent years, the intensity of soil erosion in the mountainous area of Southern Anhui Province increased first and then decreased. Generally speaking, mild erosion is the main erosion type, and the subsequent soil erosion control still needs to be strengthened.

**Keywords:** Chinese soil loss equation (CSLE); soil erosion; temporal and spatial changes; mountainous area in Southern Anhui Province

土壤侵蚀对生态环境的破坏,严重影响了人类社会的可持续发展,是当今人类面临最普遍的危害,已受到国内外学者的广泛关注<sup>[1]</sup>。我国是全球水土流失最严重的国家之一,2018 年全国水土流失面积达  $2.74 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,其中水力侵蚀面积为  $1.15 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,占水土流失总面积的 42.05%<sup>[2]</sup>。定期开展区域土壤侵蚀状况调查,是对水土流失治理成效的客观反映。我国对于区域土壤侵蚀评价一度时期是根据水利部颁布的《土壤侵蚀分级分类标准(SL190-2007)》<sup>[3]</sup>,该方法简单实用,可操作性强,但也存在一些问题,如不能直接反映气候、土壤的影响,不能全面反映水土保持措施的影响<sup>[4]</sup>。2000 年,刘宝元等参考美国通用土壤流失方程(universal soil loss equation, USLE)<sup>[5]</sup>和修正通用土壤流失方程(revised universal soil loss equation, RUSLE)<sup>[6]</sup>的有关思想,提出了更符合我国土壤侵蚀实际情况的中国土壤流失方程(Chinese soil loss equation, CSLE)<sup>[7]</sup>模型。考虑到我国与国外地形差异较大,该模型对陡坡地形因子进行了改进,并且将植被管理因子与水土保持措施因子划分为生物措施因子、工程措施因子和耕作措施因子,更能真实反映我国的土壤侵蚀过程。USLE 和 RUSLE 已被广泛应用于区域土壤侵蚀评价,如程先富等<sup>[8]</sup>利用 USLE 模型对安徽省土壤侵蚀空间分布进行了定量分析以及探讨环境因子的关系;赵明松等<sup>[9]</sup>基于 GIS 和 RUSLE 定量分析了安徽省土壤侵蚀及养分流失的空间分布特征;张乃夫等<sup>[10]</sup>以 USLE 为理论依据,探讨降雨、土壤以及地形等因子对新安江流域土壤侵蚀的影响。在安徽省境内基于 CSLE 模型的土壤侵蚀研究报道较少。为此,本文尝试采用 CSLE 模型对土壤侵蚀进行定量评价<sup>[11-13]</sup>,以安徽省皖南山区为研究区,估算研究区 2000,2010,2018 年土壤侵蚀状况,分析 2000—2018 年皖南山区土壤侵蚀的时空变化特征,以期为皖南山区土壤侵蚀综合治理以及生态环境恢复提供决策支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

皖南山区位于安徽省南部,介于东经  $116^{\circ}31' - 119^{\circ}45'$  与北纬  $29^{\circ}31' - 31^{\circ}$  之间,北边与沿江平原相

连,东南与江苏、浙江交界,总面积达  $3.64 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地貌以丘陵为主,低山为次,地形起伏变化剧烈且复杂,地表切割破碎,平均坡度为  $13^{\circ}$ ,最高海拔为 1 816 m。该区域属亚热带季风气候,降雨量充沛,年降雨量达 1 100~2 500 mm,但降雨时空分布不均匀,60%集中在 5—8 月间,年平均气温为  $15.5 \sim 16^{\circ}\text{C}$ 。土壤类型有基带土壤的红壤、山地黄壤、山地黄棕壤、山地酸性棕壤和山地灌丛草甸土,土层较薄,由于丘陵山区地形起伏大,加上水蚀较严重,粗骨土分布广泛<sup>[14]</sup>。植被覆盖率达 60%以上,以马尾松林、毛竹林为主。

### 1.2 研究方法

本研究采用由刘宝元提出的中国土壤流失方程(CSLE),该模型适用于全国各地范围,在全国水利普查和水土流失动态监测项目中得到应用<sup>[15-16]</sup>。模型公式为:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中: $A$  表示年单位面积的土壤侵蚀量( $\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),  $1 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a}) = 100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ;  $R$  表示降雨侵蚀力因子( $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{h} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{a})$ );  $K$  表示土壤可蚀性因子 $[(\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h})/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})]$ ;  $L$  表示坡长因子;  $S$  表示坡度因子;  $B$  表示生物措施因子;  $E$  表示工程措施因子;  $T$  表示耕作措施因子;  $L, S, B, E, T$  因子均为无量纲。

### 1.3 数据及数据源

研究区使用的主要数据包括:安徽省 79 个气象站点,2000,2010 和 2018 年大于等于 12 mm 日降雨数据,来源于中国气象数据网。土壤数据为南京土壤所提供的 1:100 万土壤数据。数字高程模型 SRTM 30 m 分辨率高程数据,来源于地理空间数据云。土地利用类型数据为 30 m 分辨率,包括 2000,2010 和 2018 年 3 期数据。根据 DEM 分辨率大小,将上述因子重采样成 30 m,据公式(1)运算分析得到土壤侵蚀栅格图层为 30 m 分辨率。

### 1.4 CSLE 模型各因子算法

1.4.1 降雨侵蚀力因子  $R$  降雨侵蚀力因子的计算采用殷水清等<sup>[17]</sup>的基于日降雨量冷暖季估算模型(公式 2)。利用安徽省 79 个气象站点日降雨数据(2000,2010 和 2018 年),选取日降雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  的

侵蚀性降雨数据<sup>[18]</sup>,通过克里金空间插值法生成安徽省年降雨侵蚀力图层,空间分辨率为 30 m。并使用皖南山区的矢量图进行裁剪,得到研究区 2000 年、2010 年和 2018 年的年降雨侵蚀力的栅格图层(图 1)。

$$R_d = \alpha \cdot P_d^{1.7265} \quad (2)$$

式中: $R_d$  为日降雨侵蚀力 $[(MJ \cdot mm)/(h \cdot hm^2)]$ ; $P_d$  为侵蚀性日降雨量(mm)(日雨量 $\geq 12$  mm),若

没有侵蚀性降雨,则令  $P_d = 0$ ;暖季(5—9 月); $\alpha$  为 0.393 7,冷季(10—4 月) $\alpha$  为 0.310 1。每月分为上下半月,1 a 共 24 个半月。将日降雨侵蚀力累加到半月降雨侵蚀力,半月累加到年降雨侵蚀力。3 期降雨侵蚀力整体分布自西南至东北呈对角线逐渐降低,2010 年皖南山区降雨侵蚀力局部高达 9 754.74  $(MJ \cdot mm)/(h \cdot hm^2)$ ,是造成山区水土流失的驱动因素。

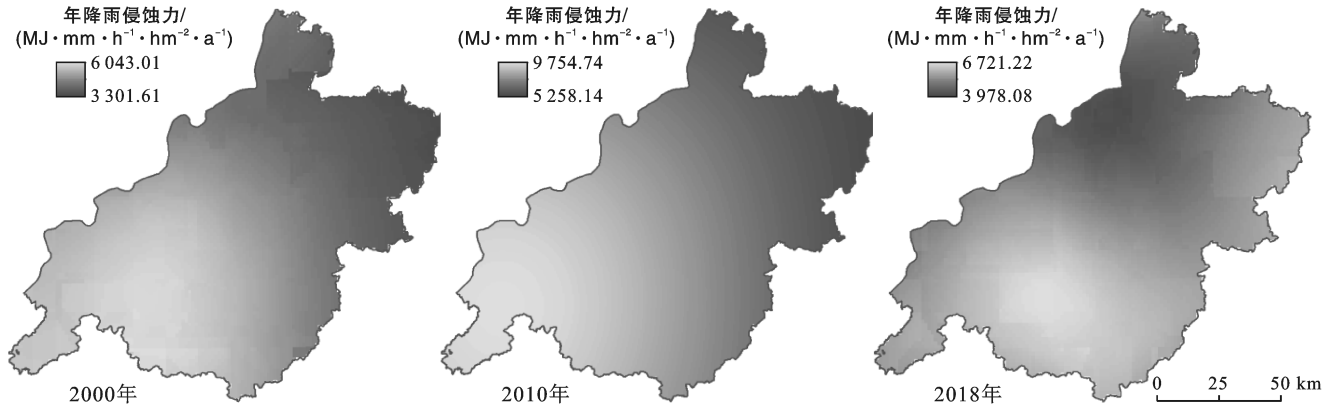


图 1 皖南山区 2000、2010 和 2018 年降雨侵蚀力分布

1.4.2 土壤可蚀性  $K$  以 1:100 万世界土壤数据库(HWSD)为基础数据,采用 Sharpley 等<sup>[19]</sup>在 EPIC

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256 S_{AN} \left( 1 - \frac{S_{IL}}{100} \right) \right] \right\} \times \left( \frac{S_{IL}}{C_{LA} + S_{IL}} \right)^{0.3} \times \left[ 1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \times \left[ 1.0 - \frac{0.7SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 22.9SN1)} \right] \quad (3)$$

式中: $S_{AN}$  为砂粒含量(%); $S_{IL}$  为粉粒含量(%); $C_{LA}$  为黏粒含量(%); $C$  为有机质含量(%);其中  $SN1 = 1 - S_{AN}/100$ 。 $K$  值为美制单位,换算成国际通用公制单位 $[t \cdot hm^2 \cdot h/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)]$ ,关系为:公制单位 = 0.131 7  $\times$  美制单位。皖南山区东北区域主要分布有水稻土,土壤可蚀性虽然高,但是由于地形条件等原因,水土流失较轻微。

模型中的  $K$  值计算方法(公式 3),获取研究区土壤可蚀性  $K$  值分布图(图 2)。 $K$  值计算公式为:

1.4.3 地形因子  $LS$  地形因子指的是坡度因子( $S$ )和坡长因子( $L$ )。坡度因子采用 McCool 等<sup>[20]</sup>缓坡公式和 Liu 等<sup>[21]</sup>陡坡公式来计算(公式 4);对于坡长因子的计算采用 Wischmeier 和 Smith 等<sup>[5]</sup>提出的经验公式:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & (\theta < 5^\circ) \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & (5^\circ \leq \theta < 10^\circ) \\ 21.9 \sin \theta - 0.96 & (\theta \geq 10^\circ) \end{cases}$$

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (4)$$

$$m = \begin{cases} 0.2 & (\theta \leq 1^\circ) \\ 0.3 & (1^\circ < \theta \leq 3^\circ) \\ 0.4 & (3^\circ < \theta \leq 5^\circ) \\ 0.5 & (\theta > 5^\circ) \end{cases}$$

式中: $\theta$  为坡度( $^\circ$ ); $\lambda$  为坡长(m); $m$  为可变的坡长指数。

基于研究区 30 m 分辨率 DEM,采用张宏鸣开发的 LS-Tool 工具计算  $LS$  因子值<sup>[22-24]</sup>,得到研究区的  $LS$  因子分布图(图 3)。其中,截断因子设置为 0.5 和 0.7,与全国第一次水利普查保持一致。

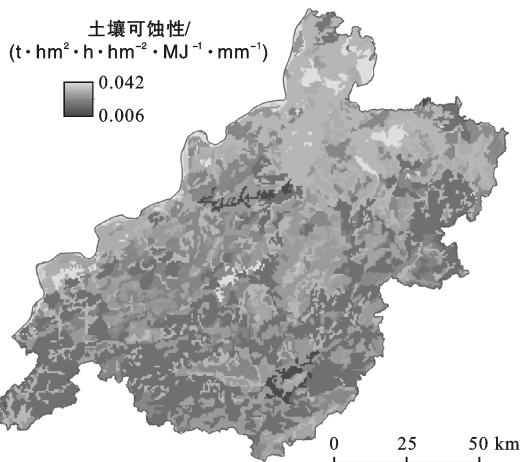


图 2 皖南山区土壤可蚀性因子分布

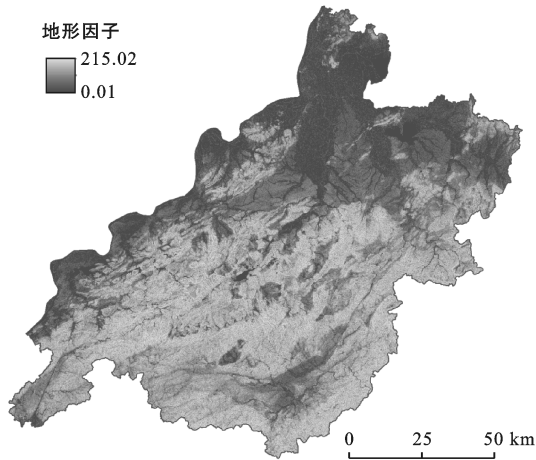
图 3 皖南山区  $LS$  因子分布

表 1 皖南山区不同土地利用类型生物措施因子

土地利用类型	水田	旱地	林地	疏林地	草地	水域	居民地	未利用地
$B$	0.18	0.31	0.006	0.017	0.06	0	0.2	0

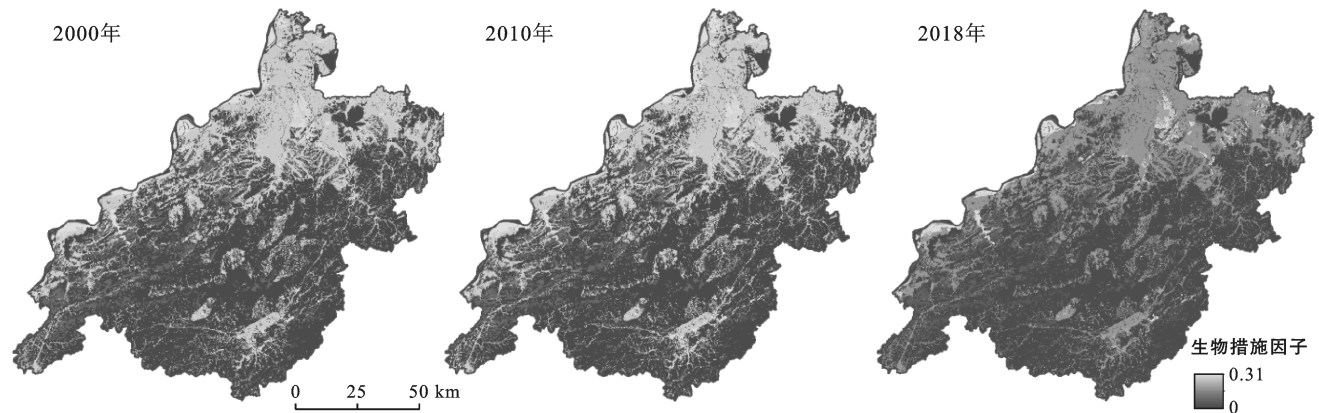


图 4 皖南山区 2000, 2010 和 2018 年生物措施因子分布

1.4.5 工程措施因子  $E$  工程措施因子是指采取一定工程措施的土地土壤侵蚀量与同等条件下清耕休闲地的土壤侵蚀量之比。由于关于安徽省皖南山区水土保持措施工程因子研究的报道还很少见,需要进一步去研究。因此,本研究工程措施因子默认赋值为 1。

1.4.6 耕作措施因子  $T$  耕作措施因子是指采取某种耕作措施的土壤流失量与同等条件下没有采取任何耕作措施土壤流失量之比。根据当地人耕作习惯并结合前人研究成果<sup>[8]</sup>,对不同土地类型进行赋值,水田和旱地赋 0.15 和 0.35,林地、草地和疏林地赋 1,水域、居民地和未利用地赋 0,得到皖南山区水土保持措施耕作措施因子图(图 5)。从图 5 看出,皖南山区 2018 年水土保持措施  $T$  值比 2000 年和 2010 年小,减小的区域主要分布在东北以及长江周边地区,

1.4.4 生物措施因子  $B$  生物措施因子指有植被覆盖条件下的土地土壤流失量与同等条件下清耕休闲地的土壤流失量之比,一般介于 0~1 之间。CSLE 将 USLE/RUSLE 中的植被管理因子  $C$  和水土保持措施因子  $P$  划分为生物措施因子  $B$ 、工程措施因子  $E$  和耕作措施因子  $T$ 。参考前人的研究成果<sup>[8]</sup>,赋予不同土地利用类型的  $B$  值(表 1)。根据  $B$  值,再结合土地利用图生成生物措施因子图(图 4)。从图 4 可以看出,3 期生物措施因子空间分布格局基本相同,但在 2018 年皖南东北地区的生物措施因子  $B$  值低于 2000 年和 2010 年,这说明植被在增多,能够有效抑制土壤侵蚀发生。

说明这些地区的水土保持措施有明显的成效。

## 2 结果与分析

将研究区各因子值的栅格图层通过 ArcGIS 地图代数计算,得到研究区 2000—2018 年土壤侵蚀等级分布图(图 6)。

### 2.1 皖南山区土壤侵蚀时间变化特征

根据国家水利部发布的《土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)》,将土壤侵蚀程度划分为微度侵蚀 0~500 t/(km<sup>2</sup>·a),轻度侵蚀 500~2 500 t/(km<sup>2</sup>·a),中度侵蚀 2 500~5 000 t/(km<sup>2</sup>·a),强烈侵蚀 5 000~8 000 t/(km<sup>2</sup>·a),极强烈侵蚀 8 000~15 000 t/(km<sup>2</sup>·a),剧烈侵蚀 >15 000 t/(km<sup>2</sup>·a),得到皖南山区 2000, 2010 和 2018 年土壤侵蚀统计量结果(表 2)。



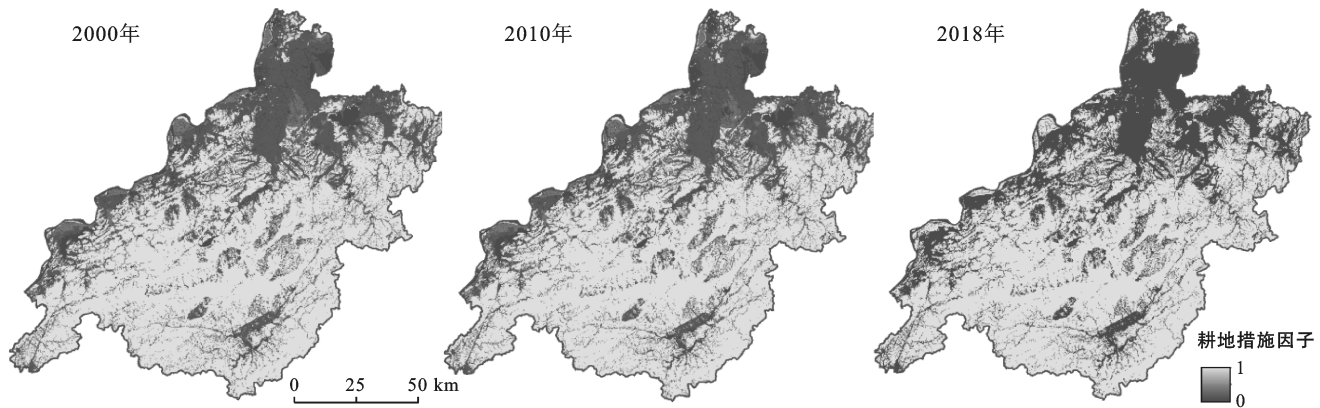


图 5 皖南山区 2000、2010 和 2018 年耕地措施因子分布

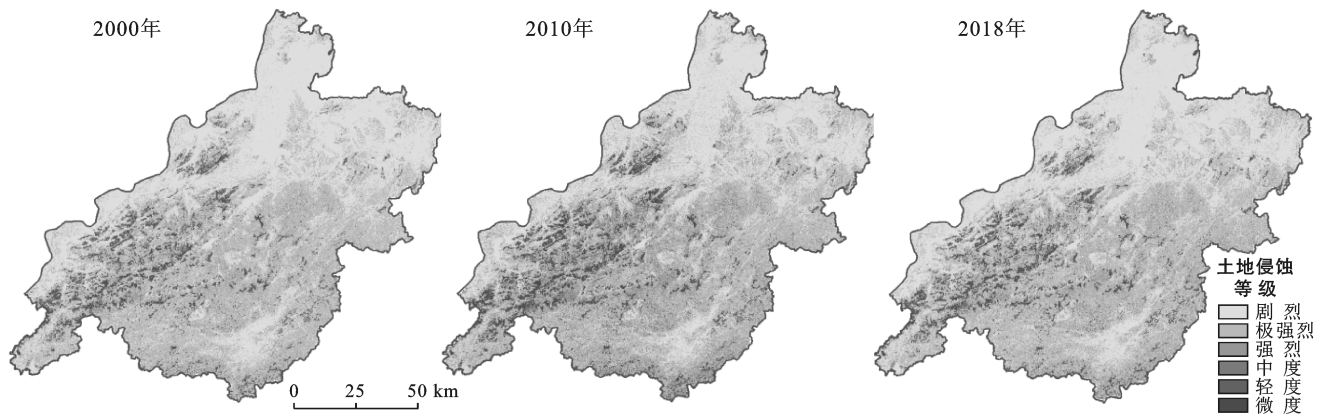


图 6 皖南山区 2000、2010 和 2018 年土壤侵蚀等级分布

表 2 皖南山区 2000、2010 和 2018 年土壤侵蚀模数和各侵蚀强度侵蚀面积

年份	不同侵蚀强度侵蚀面积/km <sup>2</sup>						侵蚀模数/ (t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	
2000	16 977.71	14 442.93	2 061.83	670.12	956.57	967.39	1 554.35
2010	13 680.72	14 155.05	4 509.73	1 069.75	860.56	17 50.81	2 518.31
2018	16 098.67	14 529.33	2 670.45	736.73	945.87	1 095.35	1 737.09

皖南山区 2000、2010 和 2018 年的年均土壤侵蚀模数分别为 1 554.35、2 518.31、1 737.09 t/(km<sup>2</sup>·a)，侵蚀强度表现出先增加后减少的趋势，土壤侵蚀状况从 2000—2018 年经历了两个阶段：第一阶段(2000—2010 年)，土壤侵蚀状况恶化，年均土壤侵蚀模数增加了 963.96 t/(km<sup>2</sup>·a)；第二阶段(2010—2018 年)，年均土壤侵蚀模数减少了 781.22 t/(km<sup>2</sup>·a)，土壤侵蚀程度减弱。2000 年皖南山区水土流失面积达 19 098.84 km<sup>2</sup>，占山区总面积的 52.94%，其中轻度土壤侵蚀面积为 14 442.93 km<sup>2</sup>，中度土壤侵蚀面积为 2 061.83 km<sup>2</sup>，强烈及以上的土壤侵蚀面积为 2 594.08 km<sup>2</sup>。2010 年土壤侵蚀状况加剧，水土流失面积达 22 345.90 km<sup>2</sup>，占总面积的 62.03%，比 2000 年增长了 17.01%，轻度土壤侵蚀面积为 14 155.05 km<sup>2</sup>，

中度侵蚀面积为 4 509.73 km<sup>2</sup>，强烈及以上土壤侵蚀面积为 3 681.12 km<sup>2</sup>。2000—2010 年土壤侵蚀的变化，主要与 2010 年的强降雨有关，导致水土流失面积的增加。截止到 2018 年，水土流失面积为 19 977.74 km<sup>2</sup>，占总面积的 55.38%，水土流失面积相比 2010 年虽有所减少，但仍然要比 2000 年多。将 ≥12 mm 的降雨量作为侵蚀性降雨，统计得到皖南山区 2000 年、2010 年和 2018 年年平均降雨量以及年降雨侵蚀力(图 7)。年降雨侵蚀力和年均降雨量明显呈现出先上升后下降的趋势，与土壤侵蚀变化一致。2010 年年均降雨量为 1 367.65 mm，比 2000 年增长了 46.85%，但在 2018 年减少了 21.4%。2000—2018 年皖南山区降雨侵蚀力最高分布在西南地区，整体上呈从西南到东北逐渐降低的趋势。

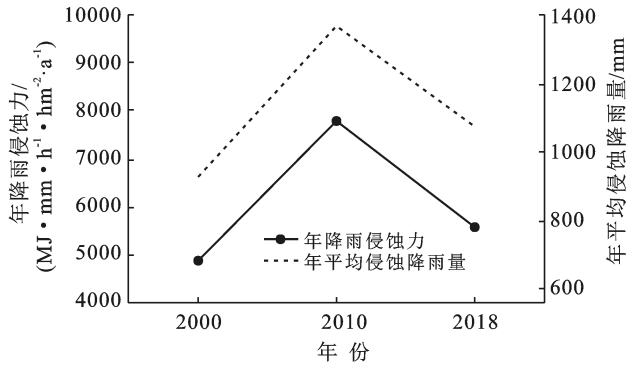


图 7 皖南山区 2000—2018 年年降雨侵蚀力和年降雨量

## 2.2 皖南山区土壤侵蚀空间变化特征

从土壤侵蚀等级分布图来看,皖南山区 2000 年、2010 年和 2018 年空间分布格局基本一致。2000 年和 2010 年土壤侵蚀分布与程先富等<sup>[8]</sup>和赵明松等<sup>[9]</sup>研究结果相比,土壤侵蚀空间分布格局也基本一致。2000—2010 年土壤侵蚀加剧,与赵明松等结论具有一致性。皖南山区地表切割破碎,地形起伏大,土壤侵蚀量也大。侵蚀区域主要分布在西南多山地区,微度侵蚀主要分布在东北区域和黄山市低山丘陵区以

及长江周边区域,轻度侵蚀均匀分布在整个皖南地区,中度至极强烈侵蚀主要分布在西南侧多山地区,剧烈侵蚀发生在池州、铜陵东南侧和黄山市周边地区,是水土流失重点防治区域。

统计不同侵蚀强度面积转移矩阵,得到 2000—2018 年土壤侵蚀强度转移矩阵(表 3—4)。2000 年向 2010 年土壤侵蚀强度转移中,微度至极强烈土壤侵蚀强度转移变化明显,其中微度侵蚀向轻度侵蚀转移 20.39%,轻度侵蚀向中度侵蚀转移 24.23%,中度侵蚀向强烈侵蚀转移 45.90%,强烈侵蚀转移不明显,而极强烈侵蚀向剧烈侵蚀转移达到 79.47%,表现为低强度等级往高强度等级转移。2010 年向 2018 年土壤侵蚀强度转移中,轻度至剧烈侵蚀向低强度等级转移变化较明显,轻度侵蚀向微度侵蚀转移 17.99%,中度侵蚀向轻度侵蚀转移 60.34%,强烈侵蚀向中度侵蚀转移 74.37%,极强烈侵蚀向强烈侵蚀转移 54.36%,剧烈侵蚀向极强烈侵蚀转移 36.00%,总体表现为高强度等级往低强度等级转移。从不同侵蚀强度面积转移矩阵来看,2000—2018 年先由低强度等级向高强度等级转移,再由高强度等级转向为低强度等级。

表 3 皖南山区 2000—2010 年土壤侵蚀强度转移矩阵

km<sup>2</sup>

年份	2010 年						总计
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	
2000 年	微度	13 366.24	3 433.64	31.91	5.16	1.76	16 839.16
	轻度	239.41	10 575.83	3 479.53	41.96	13.39	14 358.17
	中度	12.71	36.72	948.18	940.59	103.89	2 049.41
	强烈	2.33	8.65	9.87	67.37	555.13	665.75
	极强烈	1.04	5.13	4.69	5.56	178.42	949.08
	剧烈	0.22	3.03	4.99	2.02	2.61	960.14
	总计	13 621.94	14 063.00	4 479.16	1 062.66	855.20	1 739.75

表 4 皖南山区 2010—2018 年土壤侵蚀强度转移矩阵

km<sup>2</sup>

年份	2018 年						总计
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	
2010 年	微度	13 371.09	244.52	9.04	1.05	0.35	13 626.11
	轻度	2 531.01	11 454.98	69.48	8.04	3.94	14 068.64
	中度	48.72	2 703.92	1 704.10	18.22	3.91	4 481.48
	强烈	9.23	30.92	790.79	220.41	10.45	1 063.31
	极强烈	5.84	10.90	73.34	465.16	293.80	855.67
	剧烈	7.05	5.82	6.21	19.49	626.77	1 741.16
	总计	15 972.94	14 451.06	2 652.96	732.38	939.21	1 087.83

## 2.3 不同土地利用类型的土壤侵蚀分布特征

将皖南山区 2000—2018 年的土壤侵蚀图和土地利用图分别叠加分析,得到研究区不同土地利用类型和土壤侵蚀强度之间的关系(表 5)。从土壤侵蚀强度等级来看总体分为两个阶段:从 2000—2010 年,

耕地和林地中度及以上土壤侵蚀面积分别增长了 543.66 和 2 779.98 km<sup>2</sup>;草地总体呈减少趋势,剧烈侵蚀以下面积减少了 730.23 km<sup>2</sup>,但剧烈侵蚀面积从 880.70 km<sup>2</sup>增至 1 596.09 km<sup>2</sup>。从 2010—2018 年,耕地和林地中度及以上侵蚀面积分别减少了

421.5 和 2 146.52 km<sup>2</sup>, 草地剧烈以下侵蚀面积增长了 580.51 km<sup>2</sup>, 剧烈侵蚀面积从 1 596.09 km<sup>2</sup> 减少至 998.96 km<sup>2</sup>。

由此可知, 耕地以微度和轻度侵蚀为主, 林地以中度及以下侵蚀为主, 草地各种土壤侵蚀类型都有,

水域、居民地和未利用地主要以微度侵蚀为主, 且 2000—2018 年, 水域侵蚀面积变化幅度较小, 居民地和未利用地侵蚀面积逐渐增长, 分别从 2000 年的 817.1 km<sup>2</sup> 增长到 2018 年的 1 630.81 km<sup>2</sup> 和从 2000 年的 2.09 km<sup>2</sup> 增至 2018 年的 5.87 km<sup>2</sup>。

表 5 皖南山区 2000—2018 年不同土地利用类型的土壤侵蚀强度面积

km<sup>2</sup>

土地类型	年份	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
耕地	2000	8 137.69	2 369.66	540.46	204.35	113.86	82.89
	2010	6 407.49	3 191.01	759.72	333.81	242.10	149.59
	2018	7 268.12	2 392.11	585.84	242.86	139.30	95.72
林地	2000	6 456.13	11 458.00	1 182.31	81.14	12.84	3.78
	2010	4 615.48	10 544.56	3 470.10	499.74	85.08	5.13
	2018	5 614.48	11 565.93	1 759.16	138.91	14.79	0.67
草地	2000	206.91	613.17	338.84	384.53	829.81	880.70
	2010	174.05	419.48	279.91	236.20	533.39	1 596.09
	2018	180.05	571.29	325.45	354.97	791.78	998.96
水域	2000	1 357.58	0.95	0.14	0.06	0.03	0.01
	2010	1 353.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2018	1 399.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
居民地	2000	817.10	1.11	0.08	0.03	0.02	0.00
	2010	1 128.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2018	1 630.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	2000	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2010	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2018	5.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### 3 讨论与结论

(1) 皖南山区 2000, 2010 和 2018 年均土壤侵蚀模数分别为 1 554.35, 2 518.31, 1 737.09 t/(km<sup>2</sup> · a), 呈先增后减的趋势。2000—2010 年, 年均土壤侵蚀模数增加了 963.96 t/(km<sup>2</sup> · a); 2010—2018 年, 年均土壤侵蚀模数减少了 781.22 t/(km<sup>2</sup> · a), 土壤侵蚀状况得到好转。该土壤侵蚀变化趋势与皖南山区降雨量有关, 2000—2018 年降雨量先增后减, 且 2010 年降雨量最高达 1 367.65 mm。

(2) 土壤侵蚀空间分布格局与前人研究结果基本一致, 主要分布在西南山区。微度侵蚀分布在东北地区 and 黄山市低山丘陵区以及长江周边地区, 皖南地区整体呈轻度侵蚀, 中度和极强烈侵蚀主要分布在西南山区, 剧烈侵蚀分布在池州市和铜陵市东南以及黄山市周边范围。

(3) 2000—2010 年皖南山区微度至极强烈向土壤侵蚀高强度转移明显, 其中极强烈侵蚀转移到剧烈侵蚀高达 79.47%, 表现为土壤侵蚀强度向高等级转移。2010—2018 年轻度至剧烈表现为向低强度等级转移, 最明显为强烈侵蚀向中度侵蚀转移了 74.37%, 土

壤侵蚀强度向低等级转换。

(4) 研究区不同土地利用类型中, 耕地以微度和轻度侵蚀为主, 林地以中度及以下侵蚀为主, 且在 2010—2018 年耕地和林地中度及以上侵蚀面积在明显减小, 说明在水土保持综合治理方面取得了一定的成效。

本研究在评价过程中土壤可蚀性  $K$  因子的计算采用的是 1 : 100 万土壤数据来计算, 因子精度有待进一步提高。另外, 在后续的研究中, 将进一步探索皖南山区施行的工程措施, 以期为研究区的水土流失综合治理提供技术支撑。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] WANG, Zhi-Jie, et al. The efficiency of large-scale afforestation with fish-scale pits for revegetation and soil erosion control in the steppe zone on the hill-gully Loess Plateau [J]. *Catena*, 2014, 115: 159-167.
- [2] 水利部发布 2018 年全国水土流失动态监测成果[J]. *中国水土保持*. 2019(7):7.
- [3] 中华人民共和国水利部. SL190-2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [4] 程琳, 杨勤科, 谢红霞, 等. 基于 GIS 和 CSLE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. *水土保持学报*, 2009, 23

- (5):61-66.
- [5] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Eosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: A Guide for Soil and Water Conservation Planning [M]// Usda: Agricultral Handbook. 1978.
- [6] Renard K G, Foster, G R, Weesies G A, et al. Predicting Rainfall Eosion by Water: A Guide to Conservation PLanning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [M]// Usda: Agricultral Handbook. 1997.
- [7] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun, An Empirical Soil loss Equation, in Proc of 12th ISCO [M]. Beijing: Tsinghua Press, 2002.
- [8] 程先富,余芬.安徽省土壤侵蚀空间分布及其与环境因子的关系[J].地理研究,2010,29(8):1461-1470.
- [9] 赵明松,李德成,张甘霖,等.基于 RUSLE 模型的安徽省土壤侵蚀及其养分流失评估[J].土壤学报,2016,53(1):28-38.
- [10] 张乃夫,刘霞,朱继鹏,等.安徽新安江流域土壤侵蚀敏感性评价及空间分异特征[J].中国水土保持科学,2014,12(6):8-15.
- [11] 王略,屈创,赵国栋.基于中国土壤流失方程模型的区域土壤侵蚀定量评价[J].水土保持通报,2018,38(1):122-125.
- [12] 孙禹,哈斯额尔敦,杜会石.基于 GIS 的东北黑土区土壤侵蚀模数计算[J].中国水土保持科学,2015,13(1):1-7.
- [13] 王凯,夏燕秋,马金辉,等.基于 CSLE 和高分辨率航空影像的孤山川流域土壤侵蚀定量评价[J].水土保持研究,2015,22(1):26-32.
- [14] 顾也萍,王长荣.新构造运动对安徽土壤分布的影响[J].长江流域资源与环境,1998(1):3-5.
- [15] 刘宝元,郭索彦,李智广,等.中国水力侵蚀抽样调查[J].中国水土保持,2013(10):26-34.
- [16] Liu Baoyuan, Xie Yun, Li Zhiguang, et al. The assessment of soil loss by water erosion in China [J]. International Soil and Water Conservation Research, 2020,8(2):430-439.
- [17] 殷水清,章文波,谢云,等.基于高密度站网的中国降雨侵蚀力空间分布[J].中国水土保持,2013(10):45-51.
- [18] 谢云,刘宝元,章文波.侵蚀性降雨标准研究[J].水土保持学报,2000,14(4):6-11.
- [19] Sharpley A N, Williams J R. Epic-erosion/productivity Impact Calculator (1.1): Model Determination [M]. US: United States Department of Agriculture, 1989.
- [20] 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.
- [21] Liu Baoyuan. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes [J]. Transactions of the Asae, 1994,37(6):1835-1840.
- [22] 张宏鸣,王猛,杨勤科,等.坡度截断对分布式土壤侵蚀学坡长提取的影响[J].武汉大学学报(信息科学版),2018,43(11):1753-1760.
- [23] 张宏鸣,杨勤科,王猛,等.沟道截断对分布式土壤侵蚀学坡长提取的影响[J].水利学报,2017,48(5):568-575.
- [24] 张宏鸣,杨勤科,刘晴蕊,等.基于 GIS 的区域坡度坡长因子提取算法[J].计算机工程,2010,36(9):246-248.

(上接第 83 页)

- [31] 潘颜霞,王新平,苏延桂,等.荒漠人工固沙植被区土壤水分的时空变异性[J].生态学报,2009,29(2):993-1000.
- [32] 刘元波,陈荷生,高前兆,等.沙地降雨入渗水分动态[J].中国沙漠,1995,15(2):143-150.
- [33] 何志斌,赵文智.半干旱区流动沙地土壤湿度变异及其对降雨的依赖[J].中国沙漠,2002,22(4):359-362.
- [34] 阿拉木萨,蒋德明,裴铁璠.科尔沁沙地人工小叶锦鸡儿植被水分入渗动态研究[J].生态学杂志,2004,23(1):56-59.
- [35] 李东方,刘廷玺,王冠丽,等.科尔沁沙地沙丘、草甸区土壤水、地下水对降雨的响应[J].干旱区资源与环境,2013,27(4):123-128.
- [36] 王博,段玉玺,王伟峰,等.油蒿灌丛群落浅层土壤水分对不同降雨格局的响应[J].应用生态学报,2020,31(5):149-156.
- [37] 王新平,康尔泗,李新荣,等.荒漠地区土壤初始状况对水平入渗的影响[J].地球科学进展,2003,18(4):592-596.
- [38] 李新乐,吴波,张建平,等.白刺沙包浅层土壤水分动态及其对不同降雨量的响应[J].生态学报,2019,39(15):5701-5708.
- [39] Sala O E, Lauenroth W K, Parton W J. Long-term soil water dynamics in the shortgrass steppe [J]. Ecology, 1992,73(4):1175-1181.
- [40] Wilson D J, Western A W, Grayson R B. Identifying and quantifying sources of variability in temporal and spatial soil moisture observations [J]. Water Resources Research, 2004,40(2):191-201.