

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.07.005

土壤侵蚀动态变化分析

——以四川省凉山州为例

姚 昆¹, 张存杰², 何 磊³, 李玉霞⁴, 钟旭珍⁵

1. 西昌学院 资源与环境学院, 四川 西昌 615000; 2. 国家气候中心系统运控室, 北京 100081;
3. 成都信息工程大学 软件工程学院, 成都 610103; 4. 电子科技大学 自动化工程学院, 成都 610054;
5. 内江师范学院 地理与资源科学学院, 四川 内江 641100

摘要: 为较全面了解凉山州土壤侵蚀状况, 本研究以修正通用土壤侵蚀方程为基础, 对凉山州 1990—2018 年侵蚀模数进行计算与时空变化规律分析。结果表明, 全州土壤侵蚀主要以微度和轻度为主, 约占总面积的 70%, 侵蚀整体处于轻等水平; 西部和北部整体的侵蚀状况相对良好; 土壤侵蚀与坡度关系密切, 仅剧烈侵蚀分布面积始终与坡度呈正相关变化关系, 除剧烈外的等级均以 25°为变化转折点; 整个研究期内, 微度和中度的面积占比分别减少 2.65% 和 0.56%, 其他类别的面积比例均呈现出不同程度的增加; 近 30 年内, 该地区强度等级具有较高的稳定性, 各时段约有 75% 的地区强度未发生等级变化。

关 键 词: 土壤侵蚀; 时空变化; 凉山州

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2021)07-0036-09

土壤侵蚀是一种常见的自然灾害, 区域的土壤类型、气候、地质条件等自然因素决定了其先天状况, 而后天的人类活动又对其变化产生明显的驱动作用^[1-2]。土壤侵蚀不仅会造成水体富营养化和土地生产能力严重下降等系列环境问题, 还会加剧生态环境的脆弱程度^[3]。

近年来, 随着 RS 和 GIS 技术的快速发展, 学者们在区域水力侵蚀的定量监测与评估上取得了诸多成果, 提出了通用流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)^[4-6]、修正土壤侵蚀方程(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)^[3,7-8]、水蚀预报模型(Water Erosion Prediction Project, WEPP)^[9-10]和中国土壤流失方程(China Soil Loss Equation, CSLE)^[11-13]等众多计算模型。其中, RUSLE 模型在诸多模型中最为典型。黄凤琴等^[14]利用 RUSLE 模型完成凉山地区 2000 年土壤侵蚀的空间分布特征分析; 邹雅婧等^[15]将 RUSLE 模型与地理探测器相结合, 实现了渭北矿区 2018 年土壤侵蚀状况的定量评估与驱动因素分析; 胡先培等^[16]基于 RUSLE 模型对贵州铜仁地区 1987—2015 年土壤侵蚀的时空特征进行了详细分析; 操玥等^[17]以 RUSLE 模型为基础, 完成了我国喀斯特槽谷地区 2000—2015 年土壤侵蚀时空演变及未来发展规律的探索分析。以上成果均已证明, 相比其他模型, RUSLE 具有所需参数较少、计算过程相对简单快捷、应用范围适用性广和计算结果准确度相对较高的优点, 能作为区域土壤侵蚀定量评估的一项重要技术手段。

凉山州作为四川省土壤侵蚀监测与恢复治理的重点区, 全州约有 49% 的地区存在土壤侵蚀现象^[14]。因此, 加强该地区土壤侵蚀的定量评估及变化监测具有十分重要的意义。然而, 截至目前对该地区土壤

收稿日期: 2020-03-07
基金项目: 四川省重点研发(重大)项目(2020YFG0296); 四川省科技厅重点研发项目(2018SZ0286, 2020YFS0338)。
作者简介: 姚 昆, 硕士, 主要从事地理信息系统应用研究。
通信作者: 张存杰, 博士, 研究员。

侵蚀的研究仍有两项主要不足尚需完善. 第一, 虽然该地区是全省土壤侵蚀的重点监测区, 但是查阅文献资料可知, 对其开展的研究却几乎处于空白; 第二, 已有成果均只完成该地区特定年份土壤侵蚀的定量评估, 仅侧重从空间角度分析其分布规律^[4, 14], 忽略了其时间变化规律的探索分析, 无法全面地掌握其真实变化状况.

为有效弥补以上两点不足, 更全面地掌握该地区土壤侵蚀的真实变化规律, 本研究基于 RUSLE 模型完成凉山州 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2018 年土壤侵蚀模数的计算, 并从时间与空间相结合的视角, 对其空间分布与时空变化规律进行较详细的分析, 以期为该地区土壤侵蚀治理与保护措施的制定提供科学的理论参考.

1 研究区概况

凉山州(图 1)地处四川省西南部, 地理坐标为 $26^{\circ}03' - 29^{\circ}18'N$, $100^{\circ}03' - 103^{\circ}52'E$, 面积约 $6.04 \times 10^4 \text{ km}^2$, 包括西昌市、冕宁县和德昌县等 17 个市县. 其地质构造相对复杂, 地形崎岖, 地表起伏变化明显, 地势呈现西北向东南和北部向西部倾斜的变化形态, 西北和北部地区海拔均相对较高, 地形起伏变化也相对明显. 该地区平均海拔约 2 634.43m, 地貌主要为山地和高原且约占全州总面积的 90%, 也有少量的平原和丘陵. 区域年平均气温为 $10.1 \sim 19.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[14], 年降水呈现出明显的季节性变化, 年均降雨量 $1\,000 \sim 1\,100 \text{ mm}$, 降水主要集中于 5—10 月. 土地景观主要为有林地、灌木林地、高覆盖和中覆盖度草地以及耕地. 红壤、紫色土、棕壤和暗棕壤等为主的土壤类型. 受先天自然条件的影响, 该地区是滑坡、泥石流和水土流失的多发区和重点监测区.

2 研究方法

2.1 数据来源

根据修正土壤侵蚀方程(RUSLE), 完成基础数据的收集, 包括: 1990—2018 年凉山州及周边地区气象站的各月累计降雨量, 数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>); 1:100 万中国土壤数据库, 来源于中国科学院南京土壤所; 凉山州数字高程模型(DEM), 空间分辨率 30 m, 来源于地理空间数据云平台; 1990—2018 年凉山州 1:10 万土地利用类型矢量数据和《中国土种志》, 来源于中国科学院资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn>).

2.2 RUSLE 模型

修正通用土壤侵蚀方程的数学表达式为:

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

式中: A 为侵蚀模数, $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; R 为降雨侵蚀力, $(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$; L 为坡长因子; S 为坡度因子; K 为土壤可侵蚀, $(\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h})/(\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^2)$; C 和 P 则为植被与水土保持因子, 它们均无单位; 侵蚀模数乘以 100, 单位转换为 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$.

2.2.1 降雨侵蚀力

降雨是引起土壤侵蚀改变的主要外在驱动力, 本研究利用 Wischmeier 模型^[2, 3, 18]完成气象站侵蚀力计算, 并采用反距离权插值模型完成数据处理, 分辨率 30 m. 表达式为:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10 \left[1.5 \times \log \left(\frac{p_i^2}{p} \right) \right] - 0.8188 \quad (2)$$



审图号: GS(2019)3333 号.

图 1 研究区地理位置和行政区划

式中: R 为降雨侵蚀力; P_1 为月降雨量; P 为年降雨量.

2.2.2 土壤可侵蚀性

由于不同类型的土壤理化性质和质地组成均存在差异, 因此其可侵蚀性 K 在受到外在影响力作用时, 也会有呈现出不同的敏感性. 本研究采用 EPIC 模型^[3,18]完成 K 因子的计算. 表达式为:

$$K = [0.2 + 0.3e^{-0.025\ 6SAN(1-SIL/100)}] \times \left[\frac{SIL}{CLA + SIL} \right]^{0.3} \times \left[1.0 - \frac{0.25C}{C + e^{(3.72-2.95\ ^\circ\text{C})}} \right] \times 1.0 - \frac{0.7SNI}{SNI + e^{(-5.51+22.9SNI)}}$$

(3)

式中: SAN 为砂粒比例, %; SIL 为粉粒比例, %; CLA 为粘粒比例, %; C 为有机质比例, %; $SNI = 1 - SAN/100$, 美制和国际制转换系数为 0.131 7.

2.2.3 坡度坡长因子

地形变化会对地表径流、植被分布和人类活动等产生明显的影响, 会影响区域土壤侵蚀的状况. 本研究采用刘宝元等^[19]提出的模型完成该地区坡长的计算, 表达式为:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m = \begin{cases} m = 0.2 & \theta \leq 1^\circ \\ m = 0.3 & 1^\circ < \theta \leq 3^\circ \\ m = 0.4 & 3^\circ < \theta \leq 5^\circ \\ m = 0.5 & \theta > 5^\circ \end{cases}$$

(4)

式中: L 为坡长因子; λ 为单位坡长; m 为坡长指数.

坡度因子的计算研究采用刘斌涛等^[20-21]针对西南山地区进行修正的模型完成, 表达式为:

$$S = \begin{cases} 10.8\sin\theta + 0.3 & \theta \leq 5^\circ \\ 16.8\sin\theta - 0.5 & 5^\circ < \theta \leq 10^\circ \\ 20.204\sin\theta - 0.120\ 4 & 10^\circ < \theta \leq 25^\circ \\ 29.585\sin\theta - 5.607\ 9 & \theta > 25^\circ \end{cases}$$

(5)

式中: S 为坡度因子; θ 为坡度.

2.2.4 植被覆盖因子与水土保持措施因子

植被覆盖因子 C 能有效地表征出植被覆盖度对土壤侵蚀削减的能力, 通常覆盖度越高土壤侵蚀现象相对越弱. 水土保持措施因子 P 则是用于衡量水土保持措施对土壤侵蚀抑制能力的客观指标. C 和 P 因子的取值均为 0~1. C 和 P 均可通过模型计算与赋值两种方式得到, 考虑到数据的可获得性, 本研究主要采用赋值法完成以上两个参数值的确定. 已有成果显示, 学者们通过野外实测得出了西南土石区部分土地类型的 C 和 P 值^[4,21], 本研究在参考这些相似地区成果的基础上^[4,14,20,21], 结合区域实际完成 C 和 P 因子的赋值(表 1).

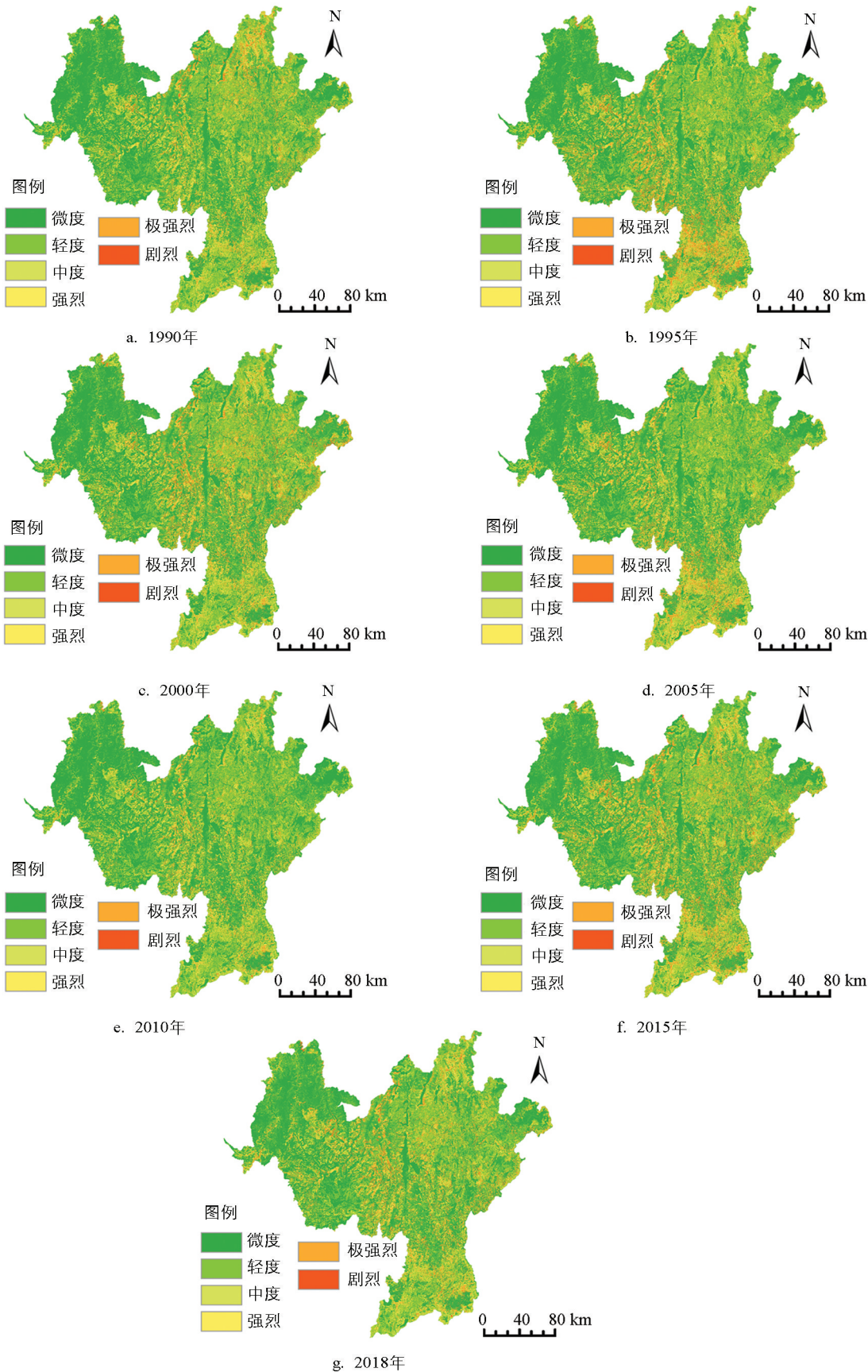
表 1 各土地类型 C 和 P 因子

地类	P 值	C 值	地类	P 值	C 值
水田	0.01	0.180	高覆盖草地	1.00	0.002
旱地	0.40	0.310	中覆盖草地	1.00	0.030
有林地	1.00	0.003	低覆盖草地	1.00	0.100
灌木林	1.00	0.010	裸土地	0.40	1.000
疏林地	1.00	0.050	其他地类	0	0
其他林地	0.60	0.050			

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀分级

本研究利用 RUSLE 模型完成研究区 1990—2018 年不同年份土壤侵蚀模数的计算, 并参照 2007 年水利部颁布的《土壤侵蚀分级标准》实现各数据的分级(图 2).



审图号: GS(2019)3333 号.

图 2 1990—2018 年凉山州土壤侵蚀空间分布

1997—2000 年全国进行了第二次土壤侵蚀遥感调查,结果显示(图 2),凉山州约有 49%的区域存在较明显的土壤侵蚀现象^[14];2000 年本研究微度侵蚀约占全州总面积的 48.04%,表明这些区域几乎不存在较明显的土壤侵蚀现象,土壤侵蚀问题可忽略不计;2000 年存在土壤侵蚀较明显区域约占全州总面积的 51.96%,与国家公布的 49%基本吻合,间接说明研究采用的方法是基本可行的.1990—2018 年整个研究时段内,微度和轻度侵蚀在整个地区的分布范围均最广,在全州的面积占比最大;然而,极强烈和剧烈侵蚀分布的范围相对较窄,在全州的面积占比也最少;而中度和强烈侵蚀则主要分布于这两大片周边,在全州面积的占比也处于居中的位置;以上分析表明,近 30 年内,全州虽然约一半地区都存在较明显的土壤侵蚀现象,但就整个地区而言,土壤侵蚀强度整体仍然处于轻等水平.以 2018 年为例,各等级占全州面积的比例分别为:微度 47.99%,轻度 25.23%,中度 10.78%,强烈 7.24%,极强烈 6.55%及剧烈 2.21%;除侵蚀现象可忽略不计的微度外,在侵蚀现象较明显的其余 5 个强度等级中,轻度和中度的比例已占该片区面积总和的 69.24%.

3.2 空间分布规律分析

结合图 2 分析可知:本研究计算得到的凉山州土壤强度空间分布特征与胡云华等^[4]和黄凤琴等^[14]的成果基本吻合;凉山州土壤侵蚀在空间分布上整体呈现出明显的梯度差异,整体上西部和中部地区土壤侵蚀的强度相对较弱,土壤侵蚀的分布面积也相对较少,相比之下,东部和南部地区土壤侵蚀的强度相对较高,侵蚀分布的面积也相对较广.

同时,结合地形、土地利用类型和其他相关资料对各强度侵蚀的空间分布状况进行进一步分析可知:凉山州西部的理塘河中下游和雅砻江中部地区,虽然区域海拔整体相对较高,地势相对陡峭,地形起伏也较明显,但有林地、灌木林地和高覆盖度草地等植被覆盖度较高的区域占据了该地区大部分,大量生长茂盛的植被有效地抑制了区域土壤侵蚀的严重程度和分布扩散,同时该地区人口密度也相对较低,人类活动不明显,这亦未能对其土壤侵蚀状况的改变产生较明显的驱动作用;研究区中部的安宁河谷平原区地势相对平缓,大量的城镇建设用地、耕地和居民点均主要集中于此,这里是凉山州社会经济的发展的重要地区,河谷平原先天的自然条件优势和有效的人工治理措施,有力地削减了土壤侵蚀的强度和范围,河谷平原两侧的大部分地区,虽然海拔相对较高,但是植被覆盖率也相对较高,也对土壤侵蚀起到一定的抑制作用;全州范围内西部和南部地区土壤侵蚀的强度相对严重且分布范围也相对较广,特别是美姑河、黑水河和金沙江干流沿岸这些区域土壤侵蚀现象更加明显.这些地区不仅山高坡陡,耕地资源相对丰富且分布广泛,人地关系相对紧张,并且植被也主要以覆盖程度相对较低的疏林地、中低覆盖度草地为主.先天的自然条件和后天的人为因素共同造成了这些地区土壤侵蚀问题相对明显.

3.3 侵蚀与坡度变化的关系

本研究根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007),将凉山州坡度分为 $\leq 5^\circ$, $(5^\circ, 8^\circ]$, $(8^\circ, 15^\circ]$, $(15^\circ, 25^\circ]$, $(25^\circ, 35^\circ]$ 和 $> 35^\circ$ 总计 6 个不同的区间,并完成各区间不同强度分布规律的分析(图 3).

结合图 3 可知:① 凉山州土壤侵蚀有 3.80%分布于 $\leq 5^\circ$,4.71%分布于 $(5^\circ, 8^\circ]$,28.28%分布于 $(8^\circ, 15^\circ]$,26.31%分布于 $(15^\circ, 25^\circ]$ 和 21.49%分布于 $> 35^\circ$ 的区间;从侵蚀面积在各坡度区间的变化可知,该地区整体以 25° 坡为变化分界点;当坡度 $< 25^\circ$ 时,区域整体侵蚀面积与坡度成正相关变化关系,相反,当坡度 $> 25^\circ$ 时,区域整体侵蚀面积则随坡度值的增加而降低.② 同时,各强度等级在不同坡度区间的变化也呈现出较明显的差异性;在 $(5^\circ, 25^\circ]$ 区间内,微度的面积比例随坡度增大而升高,在 5° 向 8° 过渡的区间基本保持不变,而坡度 $> 25^\circ$ 时其分布范围随坡度增大而变窄;剧烈的分布范围与坡度一

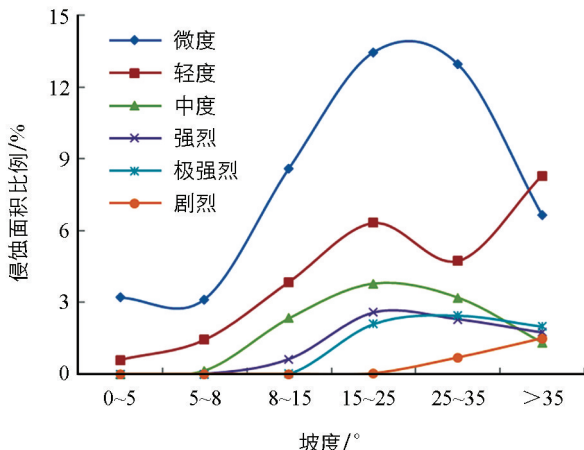


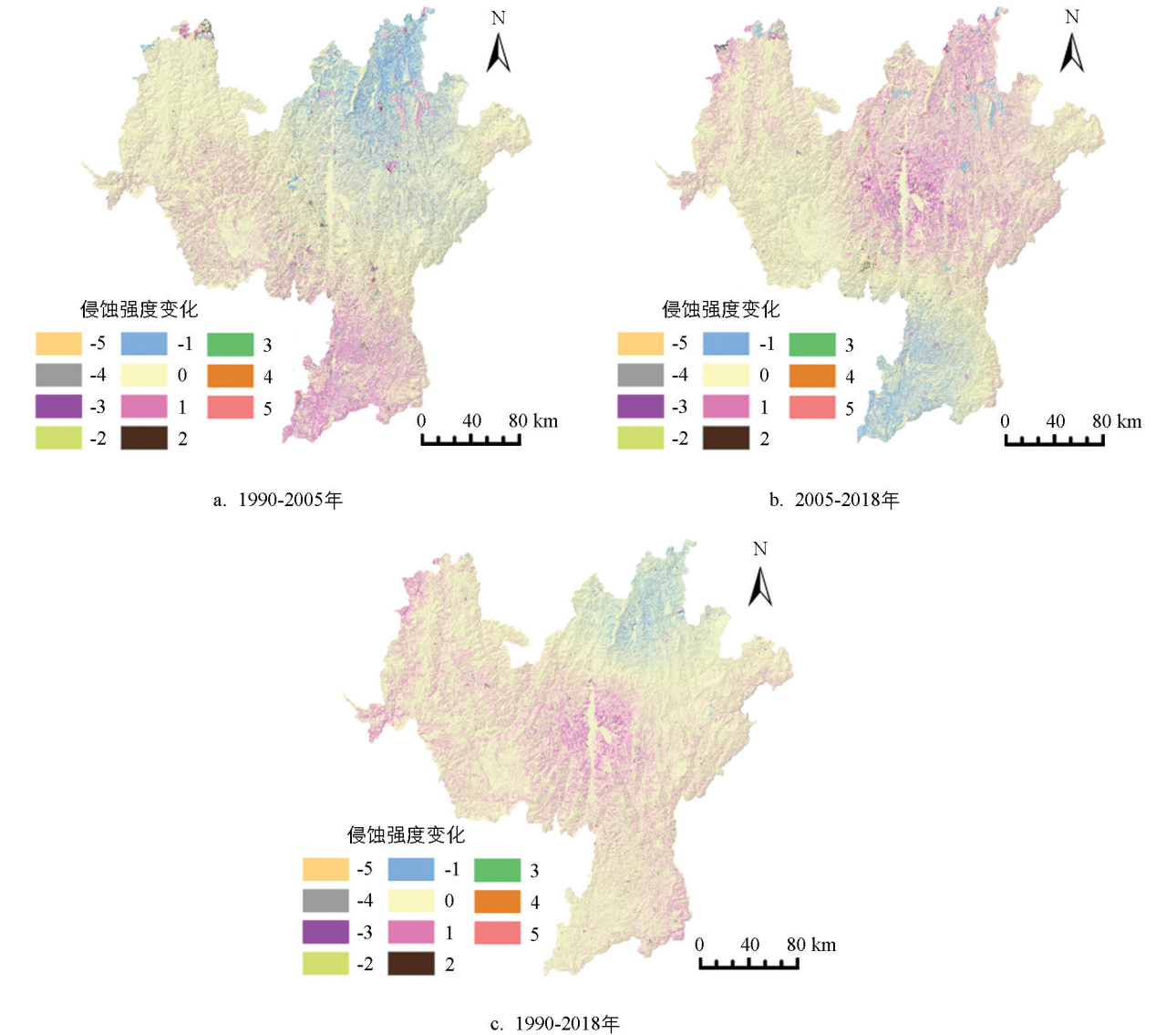
图 3 不同坡度的侵蚀变化

直呈正相关关系,且未出现转折点,坡度越大其分布范围越广;中度、强烈和极强烈的变化转折点均出现在 25°,轻度则存在 25°和 35°两个转折点. ③ 结合相关资料分析可知^[22],25°为变化转折点可能是由于当坡度处于 25°以下时,随其升高而产生的区域斜面面积逐渐减小,降雨对土壤的渗透能力也减弱,以上会促进地区土体下滑速度和水流能量的快速增加,驱动土壤侵蚀分布范围的扩大;而坡度处于 25°临界点以上时,斜面面积逐渐增大,对土壤侵蚀范围的扩大反而起到一定的抑制作用.

3.4 时空动态变化

3.4.1 空间演变分析

为了解凉山州土壤侵蚀的空间演变状况,本研究利用 ArcGIS 10.4 软件完成该地区 1990—2018 年土壤侵蚀强度空间变化的叠加分析^[23-25](图 4).



0 代表侵蚀强度等级未发生改变;正数代表强度等级升高,数值越大强度恶化的程度越突出;相反地,负数代表侵蚀强度等级下降,其绝对值越大代表强度下降的等级越明显,侵蚀状况也好转得越明显.

审图号: GS(2019)3333 号.

图 4 1990—2018 年凉山州土壤侵蚀强度等级变化

结合图 4 对该地区整个研究时段内各土壤侵蚀的空间变化规律进行分析可知: ① 1990—2005 年内,研究区有 74.35% 的区域侵蚀强度未发生等级改变,表明这些地区土壤侵蚀的强度等级无变化;分别有 9.37% 和 1.77% 的地区上升了 1 个和 2 个等级,它们主要分布于凉山州南部和西南部地区,侵蚀强度呈现加重的变化状态;该时段内有 9.61% 和 1.63% 的地区下降了 1 个和 2 个等级,侵蚀强度有好转的变化状

态,它们则主要分布于凉山州北部地区;该时段内强度等级变化数值在 3 及以上的地区面积比例均在 1% 以下,且主要零散地分布于整个研究区. ② 2005—2018 年内,凉山州有 74.97% 的地区侵蚀强度未发生等级变化;有 5.54% 和 1.54% 的地区侵蚀等级分别上升了 1 和 2 个等级,区域侵蚀强度加剧,它们主要集中于凉山州中部和东部地区;相似地,有 13.57% 和 1.33% 的地区侵蚀等级下降了 1 个和 2 个等级,它们主要集中于凉山州西部;而其他等级的面积比例变化和分布特征与 1990—2005 年一致. ③ 就 1990—2018 年整个时间段分析,全州有 83.22% 地区侵蚀等级未发生改变;各分阶段内全州也均有 70% 以上的地区侵蚀强度未发生改变,表明研究区土壤侵蚀强度整体具有较高的稳定性;同时,本研究发现该地区侵蚀强度的空间变化与降雨侵蚀力和林草地变化均有相似性,这客观地说明降雨和土地利用类型对区域土壤侵蚀状况的改变有较明显的驱动作用;特别地,强度等级变化特征与降雨侵蚀力的变化规律吻合程度更高,一定程度上可以说明降雨对该地区土壤侵蚀变化的影响力比土地利用类型的影响力更明显.

3.4.2 结构演变分析

本研究完成 1990—2018 年各等级侵蚀面积的统计,并计算出各年份不同等级在全州的面积比例分布可掌握其结构演变化规律(图 5).

结合图 5 分析可知: ① 1990—2018 年内,微度和中度的面积比例均呈现减少的变化形态,面积比例分别减少了 2.65% 和 0.56%,而轻度、强烈、极强烈和剧烈的面积比例均呈现增加的变化状态,轻度增加了 1.32%、强烈增加了 0.04%、极强烈增加了 1.23%、剧烈则增加了 0.62%,微度在面积比例减少的类别中变化幅度最明显,而轻度是面积比例增加的等级中最突出的; ② 整个研究期内,轻度、中度和强烈这 3 个等级的面积比例变化幅度相对平缓,未出现较明显的转折点; ③ 近 30 年内,微度、极强烈和剧烈的面积比例在 2010 年出现明显的折点改变,2010 年微度的面积比例达到全期的最大值 53.45%,相反极强烈和剧烈的面积比例为全期的最小值,仅有 4.27% 和 1.00%,结合资料分析可知,研究区自 2000 年左右开始实施“天然林保护”和“退耕还林”等生态环境保护工程,林草地的大量恢复对促进区域水土流失起到了有效的抑制作用,同时 2010 年的降雨量又达到整个时期的最低值,促进了这一年研究区土壤侵蚀状况的进一步缓解.

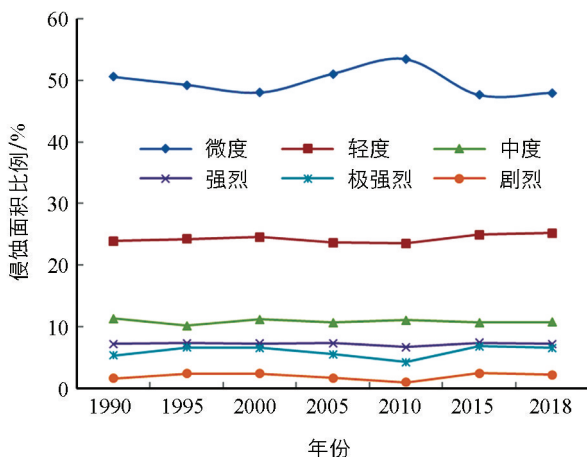


图 5 各侵蚀强度面积比例变化

4 结论与讨论

4.1 讨论

凉山州作为川西南土壤侵蚀监测的重点区域,实现其土壤侵蚀时空动态变化规律的探索分析具有重要的意义. 之前已有成果大都以该地区某一年份侵蚀状况进行评估,仅侧重于从空间角度对其变化规律展开分析;相比之下,本研究以该地区多期成果为基础,从时间与空间相结合的角度对其侵蚀变化规律进行了详细分析,能有效弥补单一角度分析不全面的不足,能更全面反应地区侵蚀状况真实的变化规律;同时,本研究进行空间分布规律变化分析时,能实现侵蚀与高程的关系探索以及从不同地貌特征对其进行进一步探讨,这在今后的研究中仍然需要进一步完善.

凉山州自 2000 年来,相继实施了“天然林保护”“退耕还林”“退牧还草”和“国土整治”等系列生态工程,它们有力地促进了州内林草地的大面积恢复,驱使了植被覆盖状况的明显好转,对气候起到了一定的调节作用,也对改善地区土壤侵蚀状况起到了较大的促进作用;然而,由于受地区幅员面积相对较广、地质构成复杂、土壤相对贫瘠和生态环境脆弱等先天因素的影响,部分地区的综合治理仍然存在一定的难度. 针对该地区土壤侵蚀综合治理,可以从如下 3 方面进行思考: 第一,研究区内有雅砻江、安宁河和金沙江等众多江河水系,水电公司和政府在进行水电资源的开发时,应该制定更加科学有效的环保策略促进环境质量的提高; 第二,州内坡耕地在农用地的占比相对较大,应加强坡耕地的科学管理,禁止过度放牧和

毁林开荒, 25°以下坡耕地可以适当转为梯田, 25°以上应继续实施“退耕还林”“退牧还草”等措施; 第三: 加强对小流域地区水土流失状况的实时监测与分析, 对潜在易发区进行科学预防, 对已存在地区结合区域实际进行综合整治。

4.2 结 论

本研究以凉山州为研究对象, 以 GIS 和 RS 技术为支撑, 基于 RUSLE 模型对该地区 1990—2018 年土壤侵蚀时空动态变化状况进行分析, 结果表明研究方法基本可行, 预期目标也基本被实现, 成果具有较高的准确性和理论参考价值, 主要结论如下:

凉山州土壤侵蚀在结构组成和空间分布特征上均呈现出明显的差异性; 侵蚀强度等级与坡度有着密切的联系; 近 30 年内, 各强度等级的面积比例均在时间尺度上呈现出不同的变化, 2010 年为明显变化的转折点; 逐步分析可知, 土地利用类型是驱动地区土壤侵蚀状况改变的主要原因, 结合地区特色更科学地实施土地利用规划将有助于改变凉山州的土壤侵蚀状况。

参考文献:

- [1] 彭双云, 杨 昆, 洪 亮, 等. 基于 USLE 模型的滇池流域土壤侵蚀时空演变分析 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 138-146, 305.
- [2] 康琳琦, 周天财, 干友民, 等. 1984—2013 年青藏高原土壤侵蚀时空变化特征 [J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(2): 245-253.
- [3] 怡 凯, 王诗阳, 王 雪, 等. 基于 RUSLE 模型的土壤侵蚀时空分异特征分析——以辽宁省朝阳市为例 [J]. 地理科学, 2015, 35(3): 365-372.
- [4] 胡云华, 刘斌涛, 宋春风, 等. 基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究 [J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 232-236.
- [5] 曹 胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 基于 GIS 和 USLE 的宁乡市土壤侵蚀定量评价 [J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(12): 149-157.
- [6] 王 娇, 程维明, 祁生林, 等. 基于 USLE 和 GIS 的水土流失敏感性空间分析——以河北太行山区为例 [J]. 地理研究, 2014, 33(4): 614-624.
- [7] 邹琴英, 师学义, 张 臻. 汾河上游土壤侵蚀时空变化及景观格局的影响 [J]. 水土保持研究, 2021, 28(4): 15-21.
- [8] 张园眼, 李天宏. 基于 GIS 和 RUSLE 模型的深圳市土壤侵蚀研究 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2018, 26(6): 1189-1202.
- [9] 郑粉莉, 杨勤科, 王占礼. 水蚀预报模型研究 [J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 13-24.
- [10] 刘宝元, 史培军. WEPP 水蚀预报流域模型 [J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 6-12.
- [11] 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.
- [12] 何维灿, 赵尚民, 王睿博, 等. 基于 GIS 和 CSLE 的山西省土壤侵蚀风险研究 [J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 58-64.
- [13] 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.
- [14] 黄凤琴, 第宝锋, 黄成敏, 等. 基于日降雨量的年均降雨侵蚀力估算模型及其应用——以四川省凉山州为例 [J]. 山地学报, 2013, 31(1): 55-64.
- [15] 邹雅婧, 闫庆武, 谭学玲, 等. 渭北矿区土壤侵蚀评估及驱动因素分析 [J]. 干旱区地理, 2019, 42(6): 1387-1394.
- [16] 胡先培, 曾 成, 钱庆欢, 等. 基于 RUSLE 模型的铜仁地区 1987—2015 年土壤侵蚀时空特征 [J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(2): 158-166.
- [17] 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.
- [18] 王 欢, 高江波, 侯文娟. 基于地理探测器的喀斯特不同地貌形态类型区土壤侵蚀定量归因 [J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1674-1686.
- [19] 刘宝元, 毕小刚, 符素华, 等. 北京土壤流失方程 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [20] 刘斌涛, 宋春风, 史 展, 等. 西南土石山区土壤流失方程坡度因子修正算法研究 [J]. 中国水土保持, 2015(8): 49-

51, 77.

[21] 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.

[22] 姜琳, 边金虎, 李爱农, 等. 岷江上游 2000—2010 年土壤侵蚀时空格局动态变化 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 18-25, 35.

[23] 查良松, 邓国徽, 谷家川. 1992—2013 年巢湖流域土壤侵蚀动态变化 [J]. 地理学报, 2015, 70(11): 1708-1719.

[24] 龚雪梅, 冯文兰, 郑杰, 等. 岷江上游土壤侵蚀敏感性评价 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(9): 68-74.

[25] 赵明伟, 王妮, 施慧慧, 等. 2001—2015 年间我国陆地植被覆盖度时空变化及驱动力分析 [J]. 干旱区地理, 2019, 42(2): 324-331.

Analysis on Dynamic Change of Soil Erosion

——Take Liangshan Prefecture of Sichuan Province as an Example

YAO Kun¹, ZHANG Cun-jie², HE Lei³,
LI Yu-xia⁴, ZHONG Xu-zhen⁵

1. College of Resource and Environment, Xichang University, Xichang Sichuan 615000, China;
2. National Climate Center, Climate Service Room, HaidianDistrict, Beijing 100081, China;
3. School of Software Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610103, China;
4. School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;
5. School of Geography and Resources Science, Neijiang Normal University, Neijiang Sichuan 641100, China

Abstract: In order to get a better understanding of the status of soil erosionin LiangshanYi Autonomous Prefecture of Sichuan Provinceand provide a theoretical reference for comprehensive management of regional ecological environment, a study was made, in which RUSLE (the revised universal soil loss equation) was used to calculate soil erosion modulein this regionfrom 1990 to 2018 and analyze its spatial and temporal changes. The main results were as follows. Soil erosion in the whole region was mainly of "moderate" and "light" grades, accounting for about 70% of the total area, and the overall erosion is at a medium level. The overall erosion conditions in the west and north were relatively good. Soil erosion was closely related to the slope, only the severe erosion area was always positively correlated with the slope. The turning point was 25° for all erosion grades with the exception of the intensive erosion grade. Throughout the study period, the proportions of the area of moderate and medium erosion land decreased by 2.65% and 0.56%, respectively, and the area proportions of other categories increased in varying degrees. In conclusion, in the past 30 years, soil erosion intensity in this region was considerably stable, and the intensity grades of soil erosionof about 75% of the land remained unchanged in different periods.

Key words: revised universal soil loss equation; spatio-temporal change; Liangshan prefecture

责任编辑 包颖