

三峡地区资源环境与生态研究

# 重庆市土壤侵蚀空间格局研究\*

李阳兵<sup>1</sup>, 邵景安<sup>2</sup>, 杨华<sup>1</sup>, 陈国建<sup>1</sup>

(1. 重庆师范大学地理科学学院, 重庆 400047; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要** 基于重庆地区 1: 10 万土壤侵蚀图实地调查, 在地理信息系统软件(Arcview GIS)和景观格局分析软件 Fragstats(栅格版)支持下, 从景观总体特征、斑块面积、斑块数、斑块周长和分形维数角度进行了土壤侵蚀格局分析和破碎化评价。结果表明, 中强度土壤侵蚀分布在土壤侵蚀敏感性较高的区域, 微度侵蚀和中度侵蚀的边界密度较高, 异质性特征也较强烈, 显示出对整个地区景观有较程度的影响, 剧烈侵蚀、极强度侵蚀斑块高度破碎化。

**关键词** 土壤侵蚀; 景观格局; 重庆

中图分类号: B848.2; B844.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-6693(2007)04-0012-04

重庆市处于我国二级阶梯与三级阶梯的过渡带, 三峡库区的主要所在地, 是长江上游生态屏障的最前沿, 属于典型的敏感生态区<sup>[1]</sup>, 境内山河众多。由于自然因素和人为活动的影响, 水土流失极为严重<sup>[2]</sup>, 其水土流失状况不仅影响三峡水利枢纽工程的安全运行, 而且对整个长江流域生态安全起着举足轻重的作用。目前水土保持专业对土壤侵蚀的定量研究主要集中于小流域、坡面水土流失机理及流失量的定量计算等方面, 景观生态学中的定量方法引入水土流失领域以弥补土壤侵蚀研究对土壤侵蚀景观空间信息研究的不足<sup>[3-4]</sup>, 该量化信息对于水土保持方案、水土保持区位的确立具有指导意义。本文以重庆市土壤侵蚀遥感解译数据源为基础, 通过分析侵蚀斑块的类型、数量、面积大小和空间组合状况, 揭示出重庆市区的土壤侵蚀空间分布特征及变异规律。

## 1 研究方法

### 1.1 土壤侵蚀强度划分

重庆地区只有水力侵蚀、重力侵蚀和工程侵蚀<sup>[5-6]</sup>。其中, 水力侵蚀是最主要的侵蚀类型, 故在本研究中对重力侵蚀和工程侵蚀不做强度分级。土壤侵蚀分类依据中华人民共和国行业标准 SL 190-96《土壤侵蚀分类分级标准》的总体要求(表1)。

### 1.2 数据来源

根据1999年重庆市水土流失遥感资料(数据来

源于中国科学院地理科学与资源研究所), 并且结合实地抽样调查与水土流失观测的资料, 以 ArcView3.3 和 ARC/INFO8.3 为工作平台, 作空间数据的处理和分析, 对重庆市土壤侵蚀现状空间格局进行了评价。重庆市土壤侵蚀空间分布见附图(参见封二彩图)。

表1 土壤侵蚀强度划分标准

Table 1 Criterion of Soil Erosion

分级	平均侵蚀模数 ( $t \times km^{-2} \times a^{-1}$ )	平均流失厚度 ( $mm \times a^{-1}$ )
1 微度侵蚀	<200, 500, 1000	<0.15, 0.37, 0.74
2 轻度侵蚀	200, 500, 1000 ~ 2500	0.15, 0.37, 0.74 ~ 1.9
3 中度侵蚀	2500 ~ 5000	1.9 ~ 3.7
4 强度侵蚀	5000 ~ 8000	3.7 ~ 5.9
5 极强度侵蚀	8000 ~ 15 000	5.9 ~ 11.1
6 剧烈侵蚀	> 15 000	> 11.1

注: 本表流失厚度系按土壤容重  $1.35 g/cm^3$  折算, 各地可按当地土壤容重计算之。

## 2 结果分析

### 2.1 土壤侵蚀空间分布

重庆市土壤侵蚀呈现由西向东南加重的趋势, 渝西丘陵区属轻度侵蚀区, 三峡库区、平行岭谷区属中度侵蚀区, 盆周中低山区属中、强度侵蚀区, 中强度土壤侵蚀分布在土壤侵蚀敏感性较高的区域<sup>[7]</sup>。水土流失主要发生在紫色土及紫色岩母质发育的土

\* 收稿日期: 2007-08-29

资助项目: 教育部“新世纪优秀人才支持计划”资助(No. NCET-05-0819)

作者简介: 李阳兵(1968-)男, 重庆潼南人, 副教授, 博士后, 研究方向为领域土地利用与生态过程。

壤分布区域。强度侵蚀主要发生于紫色土及其成土母质区,如三峡库区、渝东北、东南的低山丘陵区;其次为黄壤、黄红壤、棕壤分布的石灰岩地区,如酉阳、彭水、黔江等区县黄壤、黄棕壤分布区强度侵蚀也十分明显。中度侵蚀各土壤分布区基本均有不同程度发生,但以三峡库区集中连片。轻度侵蚀主要发生在渝西方山丘陵区的紫色土和水稻土分布区,即土壤侵蚀敏感性较低的区域。

## 2.2 土壤侵蚀类型总体特征

将重庆地区土壤侵蚀分为6级,共有斑块6889个,各级土壤侵蚀类型的斑块面积和周长分布均极不均衡(表2)。整个侵蚀类型中微度侵蚀面积最大(3 138 265.35  $\text{hm}^2$ ),斑块数1816个;其次为中度侵

蚀(面积为2 720 316.73  $\text{hm}^2$ ,斑块数1335个)和轻度侵蚀(面积为1 299 276.64  $\text{hm}^2$ ,斑块数1229个),剧烈侵蚀面积最小(面积为13 043.85  $\text{hm}^2$ ,斑块数88个)。由于长期的人类活动破坏和一系列生态经济建设活动<sup>[8]</sup>,重庆市现以微度、轻度和中度侵蚀为主要类型。三者面积之和达7 157 858.734  $\text{hm}^2$ ,占全区的86.88%;其周长之和为230 076.30 km,占全区的78.46%。从各类型的面积和周长方差可以看出,微度侵蚀各斑块间的面积和周长方差远大于其他类型,表明微度侵蚀各斑块间的差异最大,斑块大小最不均匀,异质性特征最为强烈。其次为中度侵蚀和轻度侵蚀斑块面积和周长的差异也较高,异质性特征也较强烈。

表2 重庆市土壤侵蚀景观格局总体特征

Table 2 Characteristics of Soil Erosion Landscape in Chongqing

土壤侵蚀类型	斑块数	平均斑块面积	斑块总面积	最小斑块面积	最大斑块面积	斑块面积方差	斑块总周长	斑块平均周长	最小斑块周长	最大斑块周长	斑块周长方差
微度侵蚀	1816	1728.12	3 138 265.35	1.17	1 724 499.97	411 712 365.28	96 588.28	53.19	0.42	40 322.95	953 231.86
轻度侵蚀	1229	1057.18	1 299 276.64	0.87	253 954.05	85 046 469.65	43 701.87	35.56	0.36	3 956.93	157 272.05
中度侵蚀	1335	2037.69	2 720 316.73	1.13	313 880.63	156 202 055.61	89 786.14	67.26	0.47	12 868.46	479 689.58
强度侵蚀	1595	548.34	874 603.56	4.07	34 289.15	17 029 586.93	44 706.86	28.03	0.77	1 251.74	54 634.80
极强度侵蚀	826	234.22	193 464.22	1.85	4 725.13	3 519 355.41	16 978.31	20.55	0.61	166.12	13 711.98
剧烈侵蚀	88	148.23	13 043.85	12.58	355.12	580 212.72	1 466.49	16.66	3.00	32.95	5 004.35

## 2.3 土壤侵蚀类型的格局特征

2.3.1 面积特征 一个景观类型占整个景观的面积比例,在相对意义上给出了每个景观类型对整个景观的贡献率。重庆地区各土壤侵蚀类型的平均面积为958.96  $\text{hm}^2$ 。各个类型拥有的面积极不均衡,平均面积最大差异达1889.46  $\text{hm}^2$ ,各个土壤侵蚀类型面积与总面积之比的顺序与各个侵蚀类型面积大小的顺序相同(表2)。中度侵蚀面积占全面积的33.0%,其斑块平均面积最大,说明其破碎化程度最低,充分说明重庆市土壤侵蚀比较严重。强度侵蚀、极强度侵蚀、剧烈侵蚀类型的平均斑块面积和总面积均较小,呈小面积散布于整个景观中,一定程度上反映出这些侵蚀类型的破碎化程度高。

2.3.2 周长特征 各侵蚀景观周长之间存在较大差异,其景观周长的总体趋势与面积分布接近。重庆地区每个土壤侵蚀类型平均拥有周长36.88 km(表2)。景观类型的斑块平均周长,从统计意义上揭示出一个景观类型的斑块拥有边界的长度。其中微度侵蚀类型的周长最长为96 588.28 km,斑块平均周

长53.19 km;剧烈侵蚀类型的周长最短为1466.49 km,平均斑块周长16.66 km;中度侵蚀类型的斑块总周长和斑块平均周长远高于强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀类型。说明微度侵蚀和中度侵蚀对整个景观影响的程度高于其他类型。各个景观类型周长与景观总周长的比例,对于一些特定研究,如利用景观边界的物种的分布密度很有意义。重庆地区景观中,此比例高者达32.9%(微度侵蚀)、30.6%(中度侵蚀),而低者仅0.5%(剧烈侵蚀),但这一比例在整体上与面积比例不成对应关系(表2)。

景观类型的边界密度是指景观类型周长与类型面积的比例,是一个景观类型单位面积所拥有周长的度量。单位面积上的周长值大,景观类型被边界割裂的程度高;反之,景观类型保存完好、连通性高。因此,该指标在一定程度上反映了景观类型的破碎化程度。所有土壤侵蚀类型中,边界密度最高者为剧烈侵蚀(11.243  $\text{km}/\text{km}^2$ ),最低者为微度侵蚀(3.078  $\text{km}/\text{km}^2$ ) (表3)。各个景观组分边界密度与景观组分斑块总周长的分布顺序大体相反,意味

着3种情况——面积和周长皆大者,边界密度比较小,景观破碎化程度较低,如微度侵蚀和中度侵蚀;面积相对于周长小者,边界密度也比较高,如强度侵蚀,但是面积不大,周长较大者,边界密度比较高,如极强度侵蚀、剧烈侵蚀。后两种情况的破碎化都比较严重。

各个景观类型在整个景观中的边界密度是指景观类型周长与景观总面积的比例,给出了景观单位面积上拥有多少某一类型的周长。所有景观组分中,边界密度最高者为微度侵蚀(1.172 km/km<sup>2</sup>),最低者为剧烈侵蚀(0.018 km/km<sup>2</sup>) (表3)。这个指标给出了一个类型的周长在整个景观中的平均分布比例,揭示出一个景观类型的斑块边界对整个景观的影响程度。

通过土壤侵蚀类型周长、土壤侵蚀类型周长与各土壤侵蚀类型总周长比例、土壤侵蚀类型的斑块平均周长、土壤侵蚀类型的边界密度以及各个土壤侵蚀类型在整个景观中的边界密度5个指标发现,极强度侵蚀、剧烈侵蚀周长一般小于微度侵蚀、中度侵蚀,在景观中占有较小的周长比例,并且斑块平均周长较小,破碎化程度高,对景观整体的影响较小。

表3 重庆市土壤侵蚀类型的面积、周长、斑块数、分维数特征

Table 3 Area, Perimeter, Number of Patches and Fractal Dimension of Soil Erosion Types in Chongqing

土壤侵蚀类型	类型面积/ 总面积/%	类型周长/ 总周长/%	类型周长/ 类型面积/ (km/km <sup>2</sup> )	类型周长/ 总面积/ (km/km <sup>2</sup> )	类型斑块数/ 总斑块数/%	类型斑块数/ 总面积/ (个/km <sup>2</sup> )	类型斑块数/ 类型总面积/ (个/km <sup>2</sup> )	分维数
微度侵蚀	38.1	32.9	3.078	1.172	26.4	0.0220	0.0579	1.4524
轻度侵蚀	15.8	14.9	3.364	0.530	17.8	0.0149	0.0946	1.4296
中度侵蚀	33.0	30.6	3.301	1.090	19.4	0.0162	0.0491	1.4766
强度侵蚀	10.6	15.2	5.112	0.542	23.2	0.0194	0.1824	1.3442
极强度侵蚀	2.3	5.8	8.776	0.206	12.0	0.0100	0.4270	1.2620
剧烈侵蚀	0.2	0.5	11.243	0.018	1.3	0.0011	0.6746	1.0504

2.3.4 分形维数 各土壤侵蚀类型的分形维数的计算公式为  $D = 2 \log(P) / \log(A)$

式中  $P$  为斑块周长,  $A$  为斑块面积,  $D$  表示分形维数,指各类景观嵌块体的总周长与各类景观嵌块体的总面积的双对数回归系数。

对二维空间的斑块来说,分维数  $> 1$  表示偏离欧几里德几何形状(如正方形和矩形),当斑块边界极为复杂时,分维数趋于2。中度侵蚀的分形维数最大为1.4766,其次为微度侵蚀1.4524,最小的为剧烈侵蚀1.0504(表3)。由此看来中度侵蚀和微度侵蚀的斑块边界褶皱程度比剧烈侵蚀、极强度侵

蚀、强度侵蚀稍高,相对较为复杂。

2.3.3 斑块数特征 各个土壤侵蚀类型拥有的斑块数的分布也很不均匀(表2),其中微度侵蚀的斑块数最多为1816,剧烈侵蚀最少为88个,差异明显。一般情况下,分布面积较大的景观组分拥有的斑块数也较多。但强度侵蚀面积较小,拥有的斑块数却较多,显示出明显的破碎化。

某一类型在景观上的斑块密度(亦称孔隙度),揭示出景观基质被类型斑块分割的程度,孔隙度高,表明某一类型在景观中分布广,影响大。最高者(微度侵蚀)为0.0220个/km<sup>2</sup>,而最低者(剧烈侵蚀)仅为0.0100个/km<sup>2</sup>。它们与整个景观的平均斑块密度(总斑块数/总面积)0.0836个/km<sup>2</sup>相差甚远。各土壤侵蚀类型的斑块密度(景观组分的斑块数/景观组分面积)更直接地反映了景观组分的破碎化程度,斑块密度越大,破碎化程度越高。斑块密度最低的中度侵蚀为0.0491个/km<sup>2</sup>,而最高者剧烈侵蚀为0.6746个/km<sup>2</sup>。因此,从斑块数特征方面也表明不同侵蚀类型破碎化程度差异明显,剧烈侵蚀、极强度侵蚀高度破碎化。

蚀、强度侵蚀稍高,相对较为复杂。

### 3 讨论

本文以TM影像数据为基础,讨论了重庆市土壤侵蚀空间分布特征,但存在以下问题需要进一步研究。

(1)土壤侵蚀强度的定量解译。尽管RS、GIS和实地考察相结合的方法对水土流失现状能够作出快速、科学、准确的调查和监测,并有着很广阔的应用前景,但在水土流失调查、遥感解译时往往仅利用坡度、植被覆盖度等比较简单的指标,参照《土壤侵

蚀分类分级标准》( SL190-1996 )划分土壤侵蚀强度,并运用《土壤侵蚀分类分级标准》提供的不同侵蚀强度分级指标的平均值计算土壤侵蚀量,其精度相对较低。因此在今后的工作中需要对土壤侵蚀遥感进行理论和技术上的深入研究。

(2)特殊岩石类型区土壤侵蚀强度的分级标准。重庆地区侏罗系遂宁组岩层发育的紫色土,在同样的坡度、植被及人为管理条件下,遂宁组紫色土比其它类型土壤侵蚀量要大好几倍,而石灰岩地区绝对侵蚀量小,土壤允许流失量低,土壤侵蚀易诱发石漠化。因此对三峡库区土壤侵蚀分级分类标准值得探讨<sup>[9]</sup>。

(3)格局的分区讨论。本文只是对重庆市不同等级土壤侵蚀类型的格局特征作了总体研究,而重庆市地质地貌空间变化大,人类活动差异明显。因此,有必要按照不同的分区探讨土壤侵蚀景观的格局特征与成因差异。土壤侵蚀在小尺度上的研究可以摸清其机制,而在大尺度的研究中才可以找出治理的对策,水土流失不能仅从单因子方面入手,而应该从景观水平上综合考虑,从中找出主要的生态因子,讨论影响水土流失的众多因素。景观格局可以成为评判区域水土保持的重要因素。

## 4 结论

(1)重庆市土壤微度侵蚀面积最大,其次为中度侵蚀和轻度侵蚀。这三者基本上控制了整个景观。微度侵蚀各斑块间的差异最大,斑块大小最不均匀,异质性特征最为强烈。其次为中度侵蚀和轻

度侵蚀斑块面积和周长的差异也较高,异质性特征也较强烈。

(2)极强度侵蚀、剧烈侵蚀周长一般小于微度侵蚀、中度侵蚀,在景观中占有较小的周长比例,并且斑块平均周长较小,破碎化程度高,对景观整体的影响较小。微度侵蚀和中度侵蚀的边界密度较高,显示出对整个地区景观有较高级别的影响。

## 参考文献:

- [1] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 1-6.
- [2] 张忠启, 文安邦. 土壤侵蚀遥感调查--以重庆市忠县为例[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 295-297.
- [3] 张志, 华学理. GIS支持下的土壤侵蚀强度景观空间结构研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 6-8.
- [4] 张艳军, 郭跃, 赵纯勇. GIS和RS在水土保持规划中的应用[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2005, 22(2): 61-63.
- [5] 杨存建, 刘纪远, 张增祥. 重庆市土壤侵蚀与其背景的空间分析[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 84-87.
- [6] 魏兴萍, 赵纯勇, 杨华. 基于GIS的小流域土壤侵蚀评价研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2005, 22(4): 62-65.
- [7] 莫斌, 朱波, 王玉宽, 等. 重庆市土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 45-48.
- [8] 高群. 三峡库区景观格局变化及其影响因素--以重庆市云阳县为例[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2499-2506.
- [9] 何丙辉. 重庆市三峡库区土壤侵蚀分级分类标准的探讨[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 63-65.

## Spatial Patterns of Soil Erosion in Chongqing Area

LI Yang-bing<sup>1</sup>, SHAO Jing-an<sup>2</sup>, YANG Hua<sup>1</sup>, CHEN Guo-jian<sup>1</sup>

(1. College of Geographic Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047;

2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract** Based on soil erosion map of Chongqing in 1999 (scale 1: 100 000) and by using the geographic information system program Arcview, Arc/Info and landscape analysis program Fragstats 3.3, the spatial pattern of soil erosion in Chongqing is analyzed and the degree of fragmentation is evaluated. We use the overall landscape properties, the area properties, the perimeter properties, the numbers of patches of landscape elements and the double-logged fractal dimension to draw the conclusions which are: the middle and intensive soil erosion grades distributing in the area with high soil erosion sensitivity. The patch density of weak and mild erosion grades are higher than other grades, indicating a higher degree of heterogeneity and strong influence on the overall landscape. The patches of intensive and strongest grades are a higher degree of fragmentation inversely.

**Key words** Soil erosion; Landscape pattern; Chongqing

