

# 基于景观破碎化的三峡库区(重庆) 土壤侵蚀评价\*

彭月<sup>1,2,3</sup> 何丙辉<sup>1,2,3†</sup> 黄世友<sup>2</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

(2 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

(3 西南大学农业资源利用博士后科研流动站, 重庆 400715)

**摘要** 以三峡库区重庆段为研究区域,以景观生态学原理为基础,将地理信息系统技术与传统的数量生态学方法(双向指标种分析与除趋势典范对应分析)相结合,对研究区的土壤侵蚀组成、强度、空间格局进行分析;对 22 个区县进行土地利用景观破碎化分类;对土壤侵蚀与土地利用景观破碎化的内在联系进行了评价。主要结果如下:(1) 三峡库区(重庆)以微度侵蚀和中度侵蚀为主;耕地上的土壤侵蚀强度最高,林地、水体和未利用地上侵蚀强度较低;研究区下游和近中游地区土壤侵蚀明显高于上游地区。(2) 根据其空间位置,22 个区县从东向西划分为农草破碎区、林地破碎区和建水破碎区 3 个土地利用景观高破碎区域,且土壤侵蚀等级从东向西依次减弱。(3) 较强的土壤侵蚀等级能够增加土地利用景观破碎化,但是其加剧土地利用景观破碎化的强度同土壤侵蚀等级呈相反趋势(如:强度侵蚀最高,极强度侵蚀其次,剧烈侵蚀低于前两者)。

**关键词** 景观;破碎化;三峡库区;土壤侵蚀

**中图分类号** F301.24 **文献标识码** A

土壤侵蚀是地区生态环境的重要组成,也是生态环境恶化的一个主要表现。土壤侵蚀已成为三峡库区生态环境建设中的一个突出问题:一方面,库区大部分区县有岩溶分布,生态环境脆弱,土壤侵蚀剧烈<sup>[1]</sup>,水土流失防治是当地生态环境建设的中心内容<sup>[2-6]</sup>;另一方面,库区地少人多,人地矛盾突出,不合理的土地利用方式近加剧了地区水土流失<sup>[7]</sup>。日益增强的人类活动加剧了区域景观破碎化,对区域生物多样性、生态安全均造成了影响<sup>[8-10]</sup>。景观破碎化是指由于自然原因或人为因素导致景观破碎的过程<sup>[9]</sup>,这一过程直接导致景观格局发生变化,区域土壤侵蚀严重、水土流失加剧,对区域生态环境造成影响<sup>[11-16]</sup>。许多学者对景观格局与土壤侵蚀的关系做过多次探讨<sup>[17]</sup>,定量描述景观格局和生态过程间的相互关系是景观生态学研究的一个难点<sup>[18-20]</sup>,目前还未寻找到一种能把景观格局与土壤侵蚀过程联系起来的分析方法。因此,

有必要从景观尺度上探索不同土壤侵蚀强度对景观格局(破碎化)的影响,将土壤侵蚀与区域景观格局联系起来也是目前景观生态研究的一个重要方向。本文以 GIS 技术为基础,尝试利用景观生态学原理与传统数量生态学研究方法相结合,对三峡库区(重庆)境内 22 个区县的土地利用景观破碎化进行分类和评价,并且讨论了景观破碎化与土壤侵蚀之间的内在联系,以期为提高三峡库区景观生态安全及区域土地资源可持续发展提供参考。

## 1 研究区概况

三峡库区(重庆)最东边到巫山县、西至江津区、南到武隆县、北至开县,位于 N28°31'~31°44'、E105°49'~110°12' 之间,共包括 22 个区、县(自治县)(图 1),面积约  $4.62 \times 10^4$  km<sup>2</sup>。三峡库区(重

\* 国家林业公益专项(201004039)、重庆市林业科学研究院基金专项(BB1002)、西南大学博士后启动基金(207178)、国家自然科学基金项目(40971166)和国家科技支撑计划项目(2009ZX0)资助

† 通讯作者:何丙辉教授,从事土壤侵蚀与水土保持、森林培育与林业生态工程等研究。E-mail: hebinghui@swu.edu.cn

作者简介:彭月(1978—),男,湖南湘西人,理学博士,博士后,高级工程师。从事景观生态学、GIS 与遥感在林学中应用等相关工作。

E-mail: colorwind110@163.com

收稿日期:2011-02-27;收到修改稿日期:2011-06-20

庆)位于四川盆地和长江中下游平原结合处,北边有大巴山、南边靠近川鄂高原,跨越鄂中山区峡谷及川东岭谷地带。大部分地区山高谷深,自然地理条件复杂多样,常见的地质灾害有地震、崩塌、滑坡、泥石流等。境内水土流失严重,面积约为10 000 km<sup>2</sup>。区内土地利用类型多样、土地结构组成复杂、垂直方向差别明显。位于中亚热带湿润地区,属亚热带季风性气候,气候特点为冬暖、夏热、春早、秋凉、多雨、霜少、湿度大、云雾多等。年平均气温约为14.9~18.5℃,年平均降雨量约为1 000~1 300 mm,水热条件丰富,在垂直方向上气候带分布明显。区内具有丰富的生物资源,在植物区系和植被类型上丰富性和多样性均较高,同时还保存着许多珍稀和我国特有的属种。

## 2 研究方法

### 2.1 基础数据处理

以三峡库区(重庆)2004年的土地利用现状数据和土壤侵蚀数据(投影 Krasovsky\_1940\_Albers)为基础,土地利用数据包含了22种二级类型,为了研究方便,本文将其合并为有林地、耕地、草地等6种类型,土壤侵蚀包括微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀等6个级别。通过 ArcGIS 9.3 生成相应的土壤侵蚀等级图(图2)。以三峡库区(重庆)境内各区县行政边界为掩膜(Mask),利用 ArcGIS 9.3 Toolbox 中的 clip 工具,进行数据切割得到各区县土地利用与土壤侵蚀数据。以区县为样方,研究区共计22个样方。

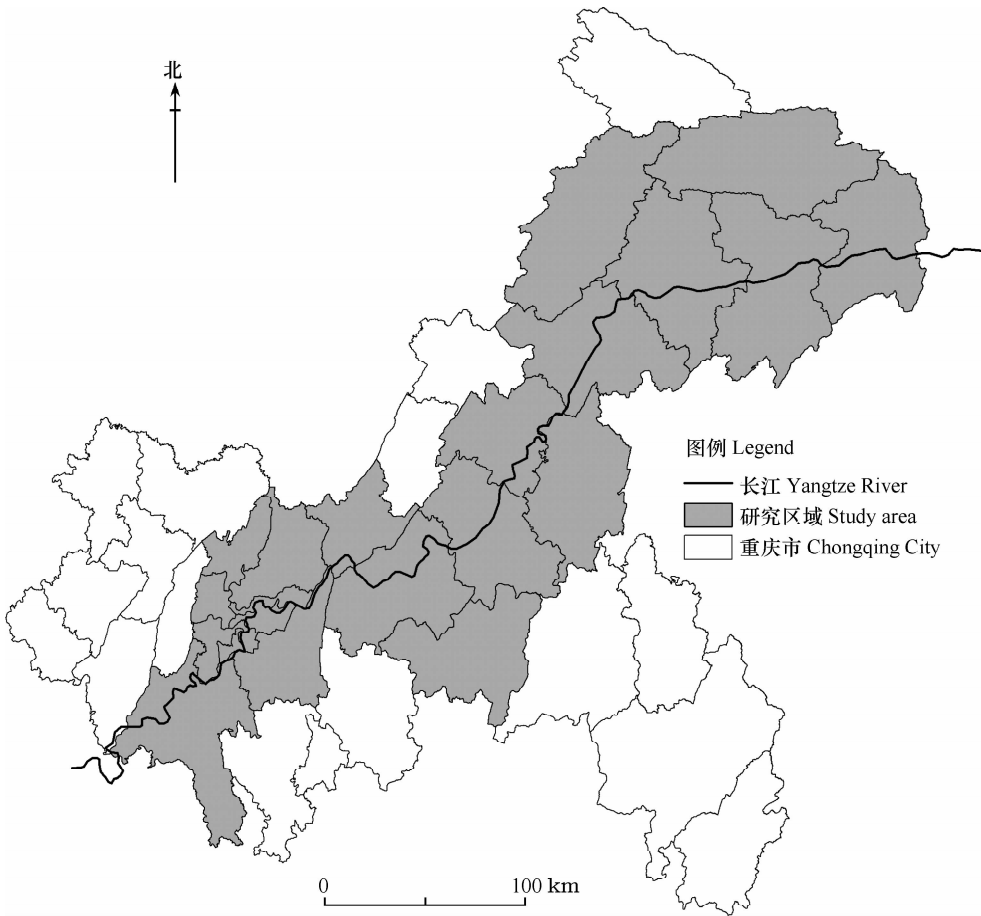


图1 三峡库区(重庆)区县分布图

Fig.1 Map of the Three Gorges Reservoir Region (Chongqing City)

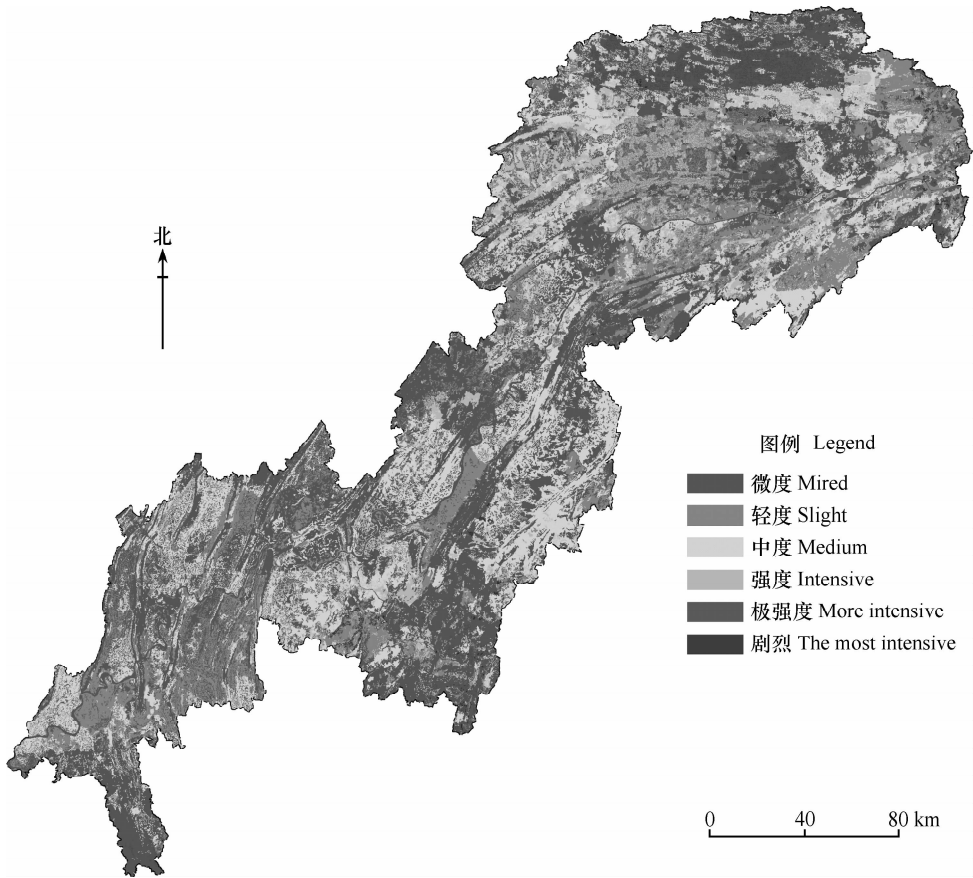


图2 2004 三峡库区(重庆)土壤侵蚀图

Fig. 2 Soil erosion map of the study area in 2004

以景观破碎化指标—斑块密度(PD)来指征各样方的景观破碎化程度。利用国际流行的景观格局指数计算软件—Fragstat 3.3 计算各样方内土地利用景观斑块密度,建立一个 $22 \times 6$ 的土地利用景观破碎化矩阵Au(表1),同理,计算每个样方内不同侵蚀等级所占样方的面积比,建立一个 $22 \times 6$ 的土壤侵蚀等级样方矩阵As(表2)。

## 2.2 双向指示种分析与除趋势典范对应分析

选用 Pcord-4 对 Au 进行双向指示种分析(TWINSpan),完成22个区县样方土地利用类型景观破碎化的聚类分析;采用 Canoco 软件包对 Au、As 数据进行除趋势典范对应分析(DCCA),以 DCCA 二维排序图显示22个样方在空间排布的规律,可以更直观地给出多变量间的相互关系<sup>[21]</sup>。结合 DCCA 与 TWINSpan 方法,在 DCCA 排序图上划定各个类型边界,从而较直观地反映各类型间的关系和

检验 TWINSpan 分类的合理性,而各排序主轴所包含的生态学意义有助于进一步解释 TWINSpan 分类结果<sup>[22]</sup>。

## 2.3 土壤侵蚀强度指数

为对比不同土地利用类型上的综合土壤侵蚀强度,构建了一个综合反映区域土壤侵蚀强度的土壤侵蚀强度指数,土壤侵蚀强度指数具体计算公式定义如下<sup>[23]</sup>:

$$E_j = 100 \times \sum_{i=1}^n C_i \times A_i / S_j$$

式中, $E_j$ 为第j单元的土壤侵蚀强度指数,该指数越高,代表土壤侵蚀越强,反之,则越低; $C_i$ 为j单元第i类型土壤侵蚀强度分级值,根据土壤侵蚀由低到高分别赋值为1、2、3、4、5、6; $A_i$ 为第j单元i类型土壤侵蚀所占的面积; $S_j$ 为第j单元所占的土地面积; $n$ 为第j单元土壤侵蚀的类型总数。

表 1 土地利用景观破碎化矩阵

Table 1 Land use landscape fragmentation matrix( $\text{g m}^{-2}$ )

编号 Code	区县 Districts	耕地 Cultivated land	林地 Wood	草地 Grass land	水体 Water	建设用地 Construction land	未利用地 Virgin land
1	巴南 Ba Nan	0.030 9	0.143 5	0.004 4	0.010 0	0.013 9	0.000 5
2	北碚 Bei Bei	0.059 1	0.087 5	0.008 3	0.015 4	0.044 9	0.005 3
3	长寿 Chang Shou	0.040 2	0.029 0	0.006 2	0.007 0	0.011 4	0.000 3
4	大渡口 Da Dukou	0.108 2	0.064 1	0.012 0	0.028 0	0.068 1	0.008 0
5	丰都 Feng Du	0.109 4	0.064 3	0.046 6	0.002 0	0.005 8	0.000 9
6	奉节 Feng Jie	0.313 3	0.041 3	0.047 3	0.003 6	0.005 5	0.001 8
7	涪陵 Fu Ling	0.146 6	0.085 2	0.076 6	0.005 8	0.008 9	0.000 2
8	江北 Jiang Bei	0.067 0	0.065 4	0.000 0	0.021 8	0.035 8	0.004 7
9	九龙坡 Jiu Nongpo	0.763 0	0.129 3	0.005 2	0.036 4	0.059 8	0.000 9
10	江津 Jiang Jin	0.157 2	0.210 5	0.009 4	0.006 8	0.011 5	0.000 0
11	开县 Kai Xian	0.178 5	0.028 6	0.037 7	0.005 6	0.003 9	0.000 2
12	南岸 Nan An	0.076 7	0.104 4	0.000 0	0.038 4	0.061 1	0.000 0
13	沙坪坝 Sha Pingba	0.088 1	0.100 2	0.019 7	0.030 4	0.068 4	0.000 0
14	石柱 Shi Zhu	0.189 5	0.050 0	0.070 5	0.000 7	0.003 4	0.000 0
15	万州 Wan Zhou	0.096 6	0.098 7	0.102 7	0.006 3	0.007	0.000 0
16	武隆 Wu Nong	0.317 1	0.053 5	0.058 4	0.002 2	0.002 6	0.000 0
17	巫山 Wu Shan	0.339 5	0.059 2	0.061 2	0.004 9	0.004 1	0.002 0
18	巫溪 Wu Xi	0.257 1	0.058 2	0.056 7	0.001 9	0.003 9	0.000 3
19	渝北 Yu Bei	0.038 5	0.040 8	0.012 6	0.012 9	0.016 5	0.000 6
20	云阳 Yun Yang	0.216 6	0.037 9	0.039 7	0.002 2	0.003 2	0.000 1
21	渝中 Yu Zhong	0.089 9	0.040 9	0.000 0	0.024 5	0.049 0	0.000 0
22	忠县 Zhong Xian	0.072 6	0.246 0	0.099 2	0.002 0	0.007 3	0.001 3

表 2 土壤侵蚀等级样方矩阵

Table 2 Soil erosion grading quadrats matrix (%)

编号 Code	区县 Districts	微度 Mired	轻度 Slight	中度 Medium	强度 Intensive	极强度 More intensive	剧烈 The most intensive
1	巴南 Ba Nan	25.48	48.55	17.46	7.22	1.28	0.00
2	北碚 Bei Bei	48.86	9.97	35.46	5.71	0.00	0.00
3	长寿 Chang Shou	63.96	18.00	16.94	1.00	0.10	0.00
4	大渡口 Da Dukou	53.26	27.64	17.78	1.33	0.00	0.00
5	丰都 Feng Du	38.74	15.77	38.20	5.71	1.30	0.27
6	奉节 Feng Jie	21.86	32.24	21.55	13.16	10.50	0.68
7	涪陵 Fu Ling	39.22	8.62	36.03	14.30	1.78	0.05
8	江北 Jiang Bei	48.75	14.12	37.14	0.00	0.00	0.00
9	九龙坡 Jiu Nongpo	48.36	18.49	28.33	4.82	0.00	0.00
10	江津 Jiang Jin	48.96	26.27	23.92	0.71	0.13	0.00
11	开县 Kai Xian	30.91	6.75	32.53	24.53	4.97	0.31
12	南岸 Nan An	56.97	27.47	15.44	0.11	0.00	0.00
13	沙坪坝 Sha Pingba	66.66	15.62	13.61	3.98	0.13	0.00
14	石柱 Shi Zhu	40.15	4.77	48.13	5.79	1.15	0.00
15	万州 Wan Zhou	46.82	21.43	19.30	10.80	1.63	0.02
16	武隆 Wu Nong	60.19	15.58	9.72	10.36	2.89	1.26
17	巫山 Wu Shan	27.55	38.33	19.79	10.47	2.93	0.93
18	巫溪 Wu Xi	49.12	5.80	17.98	14.76	12.22	0.12
19	渝北 Yu Bei	41.89	21.66	35.27	1.19	0.00	0.00
20	云阳 Yun Yang	20.68	40.01	9.22	24.66	5.43	0.00
21	渝中 Yu Zhong	82.79	8.33	8.89	0.00	0.00	0.00
22	忠县 Zhong Xian	60.59	15.58	13.04	10.46	0.33	0.00

### 3 结果分析

#### 3.1 三峡库区(重庆)22 个区县样方的土壤侵蚀概况

从表 3 中看出,研究区内微度侵蚀面积最大( $1.88 \times 10^4 \text{ km}^2$ ),占区域 40.73%,其次为中度侵蚀,占区域 23.94%,轻度侵蚀占 20.09%,强度侵蚀占 11.30%,极强度侵蚀和剧烈侵蚀所占比例较小。不同土地利用方式上土壤侵蚀级别不同(表 4):耕地上微度侵蚀、中度侵蚀和强度侵蚀分布较多;林地和水体上,微度侵蚀较多;草地上中度侵蚀分布最多,其次是轻度侵蚀;建设用地上微度侵蚀和轻度侵蚀分布较多;未利用地上以微度侵蚀为主,纠其原因是区内未利用地以裸岩为主,裸岩上基本无土壤覆盖,其土壤可侵蚀性(“RUSLE”模型中的土壤可侵蚀性因子)非常低,土壤侵蚀强度较低。

根据土壤侵蚀强度指数定性土地利用与土壤侵蚀的耦合关系。2004 年各土地利用方式上的土

壤侵蚀强度指数分别为:耕地(255)、林地(173)、草地(243)、水体(112)、建设用地(137)、未利用地(120)。耕地上土壤侵蚀强度最高,其次是草地,水体、未利用地上的土壤侵蚀较低。土壤侵蚀空间分布差异明显(图 2);三峡库区(重庆)中游和下游地区土壤侵蚀强度较大;下游的奉节县、巫山县、巫溪县和开县等地;中游的武隆县、石柱县等地有较强的土壤侵蚀分布;上游地区的土壤侵蚀等级相对较低。

表 3 三峡库区(重庆)土壤侵蚀概况

Table 3 Soil erosion of the study area in 2004

侵蚀等级 Grading	面积 Area ( $\text{km}^2$ )	比例 Ratio (%)
微度侵蚀 Mired	$1.88 \times 10^4$	40.73
轻度侵蚀 Slight	$9.28 \times 10^3$	20.09
中度侵蚀 Medium	$1.10 \times 10^4$	23.94
强度侵蚀 Intensive	$5.23 \times 10^3$	11.30
极强度侵蚀 More intensive	$1.70 \times 10^3$	3.68
剧烈侵蚀 The most intensive	$1.18 \times 10^2$	0.26
总计 Sum	$4.62 \times 10^4$	100

表 4 三峡库区(重庆)土地利用类型上土壤侵蚀分布

Table 4 Distribution of soil erosion in different types of land use in the study area ( $\text{km}^2$ )

	微度侵蚀 Mired	轻度侵蚀 Slight	中度侵蚀 Medium	强度侵蚀 Intensive	极强度侵蚀 More intensive	剧烈侵蚀 The most intensive
耕地 Cultivated land	$6.88 \times 10^3$	$2.97 \times 10^3$	$5.34 \times 10^3$	$3.80 \times 10^3$	$1.60 \times 10^3$	$1.16 \times 10^2$
林地 Wood	$9.64 \times 10^3$	$4.60 \times 10^3$	$2.87 \times 10^3$	$8.84 \times 10^2$	38.2	1.32
草地 Grass land	$1.32 \times 10^3$	$1.61 \times 10^3$	$2.79 \times 10^3$	$5.21 \times 10^2$	58.5	0.36
水体 Water	$6.16 \times 10^2$	62.2	9.05	0.29	0.03	0.00
建设用地 Construction land	$3.35 \times 10^2$	31.2	45.7	9.96	1.11	0.00
未利用地 Virgin land	9.26	0.00	0.32	0.03	0.00	0.25

#### 3.2 对三峡库区(重庆)22 个区县样方的双向指标种分析(TWINSpan 分类)

根据土地利用景观破碎化程度对区域内 22 个区县进行分类,表 5 是最终的 TWINSpan 分类结果。表中样方号为 22 个区县的编号(见表 1 和表 2),分类结果通过 A 和 B 的不同组合方式来反映,如,第 I 类型的分组代码全为 A 和 A;第 II 类型分组代码全为 A 和 B;第 III 类型分组代码全为 B 和 A;第 IV 类型分组代码全为 B 和 B。根据土地利用景观破碎化的现实意义,选取第 2 级的分类水平,其结果可将 22 个区县分成 4 个样方群(I、II、III 和 IV)(表 5),每个样方群土地利用类型具有相似的破碎化情况。结合 4 个样方类群的空间位置,将其分为 3 个

区域:农草破碎区(耕地与草地高破碎化)、建水破碎区(建设用地与水体高破碎化)、林地破碎区(林地高破碎化),分别位于研究区的东部、中部和西部(图 3)。

表 5 土地利用类型破碎化 TWINSpan 分类结果

Table 5 TWINSpan classification of fragmentation of the types of land use landscapes in the study region

样方号(区县编号) Quadrats (Code)	11	11112	1 12	1	12
	4556716780		13092	493	2821
分组 Organize	AAAAAAAAAAA	AAAAA	AAA	BBB	BBBB
	AAAAAAAAAAA	BBBBB	BBB	BBBB	
类型(样方类群) Category(Quadrats groups)	I	II	III	IV	

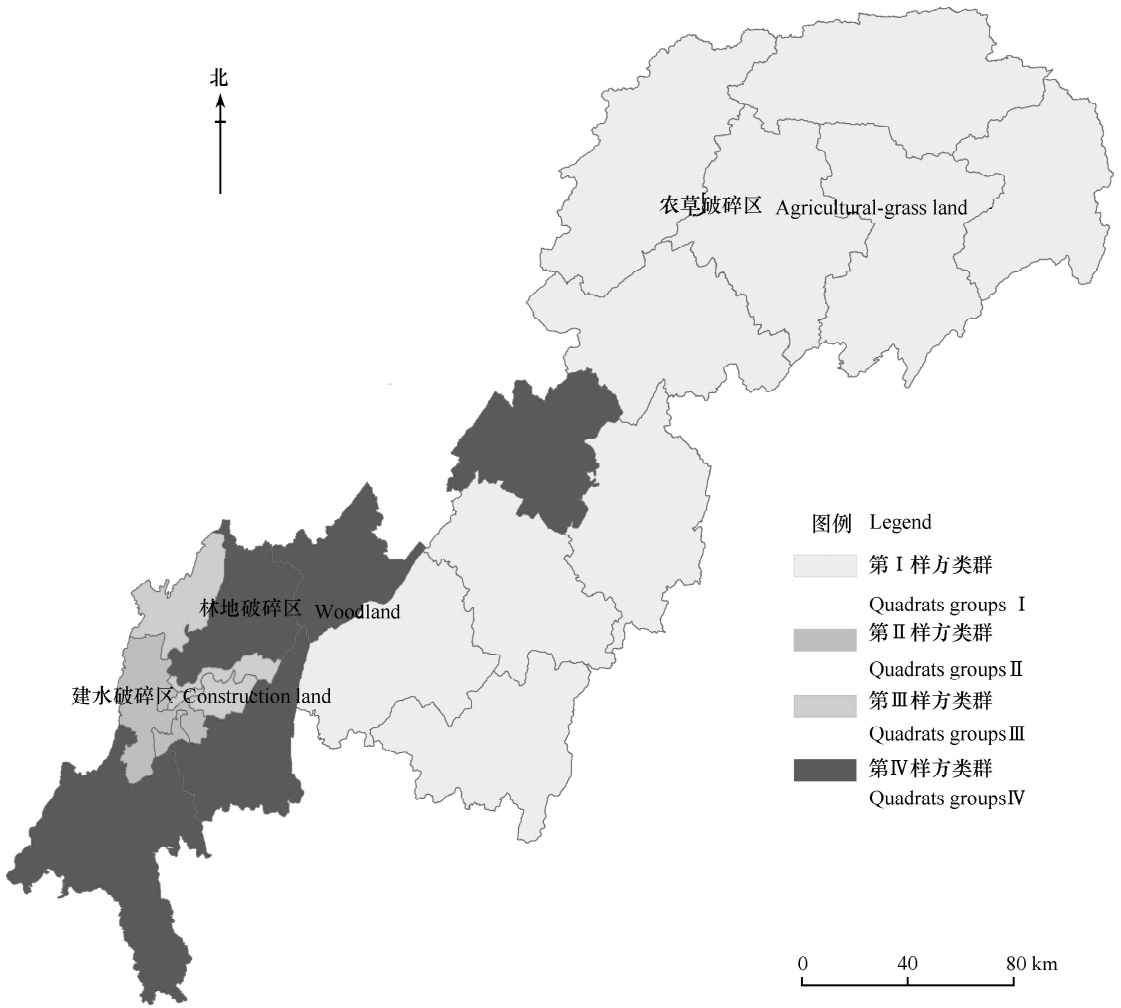


图3 22个区县样方分类结果的空间分布  
 Fig.3 Spatial distribution of TWINSpan classification of the 22 quadrats

**农草破碎区:**包括第一样方类群的丰都县、奉节县、涪陵区、开县、石柱县、万州区、武隆县、巫山县、巫溪县和云阳县共10个区县。这些区县多分布在研究区中游和下游区域,受三峡工程影响较直接,这里也是三峡移民的主要地区,同时经济相对欠发达(万州区除外),受人为活动干扰相对较低。本区域生态脆弱度较高,地势多样,地貌复杂,土地利用景观连通性较低,破碎化较高,自然地理条件是影响区域景观破碎化的主要原因。结合矩阵 Au 看出,该区域内的农业用地(耕地)和草地景观破碎程度较高,其他景观类型破碎度最低,属农草破碎区。

**建水破碎区:**包括第2样方类群和第3样方类群的大渡口区、九龙坡区、沙坪坝区、北碚区、渝中区、江北区和南岸区等6个区县。该区主要分布在重庆主城区内,这里是重庆市经济发展核心区,生

态脆弱度较低,人为干扰强烈,景观破碎化较高。结合矩阵 Au 看出,该区域内的建设用地景观和水体景观破碎程度较高,属于建设用地与水体破碎区。人为活动是影响该区景观破碎化程度的主要因素。

**林地破碎区:**位于研究区的中部,包括第4样方类群(巴南区、长寿区、渝北区、江津区和忠县)。该区的主要特点是林地破碎化程度相对较高。主要分布在重庆市都市区和“渝西经济走廊区”,地势相对较复杂。人为干扰活动和自然地势地貌的复杂程度均居于农草破碎区和建水破碎区之间,影响该区景观破碎化的因素更为多样。

从上述看出,三峡库区(重庆)内的土地利用景观破碎化同自然地理条件和人为干扰活动均密切相关,东部农草破碎区中,生态脆弱度较高,多岩溶分布,土壤侵蚀严重,自然地理条件多变,一定程度

上加剧了这里的景观破碎化;而西部的建水破碎区,生态脆弱度较低,人为经济活动剧烈,景观破碎化更多受到这些人为干扰的影响。

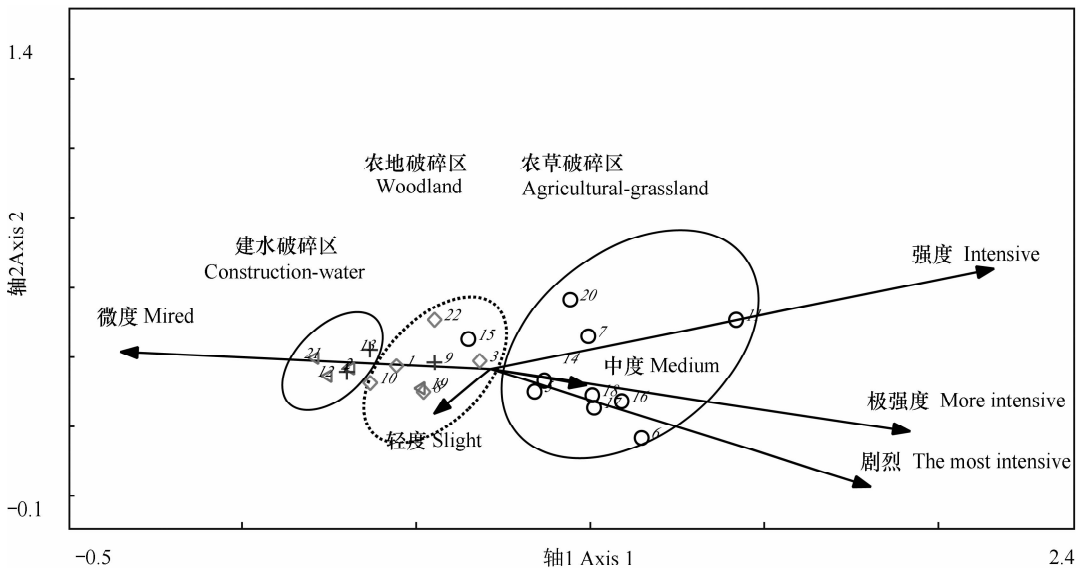
### 3.3 三峡库区(重庆)22个区县样方的除趋势典范对应分析(DCCA 排序)

图4为利用矩阵Au和矩阵As进行除趋势典范对应分析的结果:图中1-22为各区县编号,不同的符号则为TWINSPAN分类得到的不同样方群,如:蓝色的十字为第Ⅲ样方类群;红三角形为第Ⅳ样方类群。表6表明排序轴能较好地反映土地利用类型的破碎化与土壤侵蚀等级的关系。从中看出:对应分析的特征值总和为0.416,而前面4个主排序轴的特征值和为0.166,占总特征值的39.9%,其中第一排序轴的特征值为0.15,占前4个排序主轴特征值和的89.8%,第一排序主轴共解释了土地利用景观破碎化同土壤侵蚀等级关系的86.1%,能够反映大多数土地利用景观破碎化与土壤侵蚀关系。22个区县样方的排序二维图(图4),也表明了变化规律主要通过第一轴来反映。

二维排序图中的各箭头分别代表各土壤侵蚀等级,而它的长短表示与土地利用景观破碎化相关性的大小。从中看出:强度侵蚀的箭头连线最长,其次是极强度侵蚀,然后是剧烈侵蚀。因此,强度侵蚀同土地利用景观破碎化相关性最高,其次是极强度侵蚀和剧烈侵蚀。每个土壤侵蚀箭头连线与

排序轴的斜率代表了各土壤侵蚀等级与其排序轴相关性高低。从图4与表6均可明显看出强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀与第一排序轴的相关性较高,其相关系数分别为0.668 0、0.565 3和0.516 0。土壤侵蚀等级连线箭头所在的象限可反映各土壤侵蚀等级与各排序轴间的正负关系<sup>[22]</sup>,强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀均位于第一象限,与第一排序轴呈正相关。

上述结果表明了第一排序轴的生态学意义较为明显,代表了较强的土壤侵蚀等级引起的土地利用景观破碎化,从左往右土壤侵蚀等级逐渐增加。较强的土壤侵蚀会增加土地利用景观破碎化,但是当土壤侵蚀超过某个等级时,其加剧土地利用景观破碎化的作用反而有所降低,如:强度侵蚀加剧景观破碎能力最高,其次为极强度侵蚀和剧烈侵蚀。可以结合景观生态学中的干扰理论来理解,在目标尺度内,一些规划较小的干扰会导致景观破碎化,如:一个生境中发生火灾时,造成新的斑块。导致景观破碎程度增加,但是,当火灾足够强时,可能使景观均质化,而不是更大的破碎化。将土壤侵蚀看成是外界的干扰,当侵蚀逐渐增强时,景观破碎化增加,但是当侵蚀强度超过一定程度时,较大的干扰条件下,景观内现有的异质性斑块逐渐减少,较大的干扰以后,景观会成为一个较大的均质斑块<sup>[23]</sup>。这也可以解释为什么



注: 数字1-22为区县编号, 见表1和表2; +为第Ⅲ样方类群, △为第Ⅳ样方类群, ◇为第Ⅱ样方类群, ○为第Ⅰ样方类群  
 Note: No. 1—22 are the serial codes of the districts, as listed in Table 1 and Table 2; + stands for Quadrats Group III, △ for Quadrats Group IV, ◇ for Quadrats Group II and ○ for Quadrats Group I

图4 三峡库区(重庆)22个区县样方的DCCA排序二维图

Fig. 4 Two-dimensional DCCA ordination diagram of the 22 quadrats in the study area

极强度侵蚀和剧烈侵蚀对景观破碎化影响的能 力低于强度侵蚀。

表 6 除趋势典范对应分析(DCCA 排序)统计总表

Table 6 Statistics of DCCA ordination (DCCA Detrended canonial correspondence analysis)

统计类型 Statistics class		轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2
土壤侵蚀等级与排序轴相关系数 Correlation coefficients of soil erosion grading with ordination axes	微度 Mired	-0.496 9	0.059 0
	轻度 Slight	-0.073	-0.062 3
	中度 Medium	0.129 6	-0.032 9
	强度 Intensive	0.668 0	0.109 8
	极强度 More intensive	0.565 3	-0.130 4
	剧烈 The most intensive	0.516 0	-0.210 9
土壤侵蚀等级与排序轴典范系数 Canonical coefficients of soil erosion grading ith the ordination axes	微度 Mired	-0.601 2	0.164 6
	轻度 Slight	-0.089 0	-0.173 9
	中度 Medium	0.156 8	-0.091 9
	强度 Intensive	0.808 3	0.306 4
	极强度 More intensive	0.684 1	-0.363 9
	剧烈 The most intensive	0.625 1	-0.574 2
土地利用类型与土壤侵蚀等级相关系数 Correlation coefficients of Landuse type with soil erosion grading		0.826	0.358
特征值 Eigenvalues		0.150	0.011
累积解释量 Cumulative percentage variance of Landuse-soil erosion relationship		86.1	95.7

22 个区县样方在二维排序图中分布格局同前 TWINSpan 分类结果比较一致。结合各区县样方的空间位置,从东向西将其分为 3 个区域,分别对应农草破碎区、林地破碎区和建水破碎区,从东向西,土壤侵蚀强度依次降低。从各区边界划分来看,最东边的农草破碎区中各区县样方较为集中,界线清晰,而中部和西部的林地破碎区和建水破碎区有部分区县样方有所重叠,边界划分并不太理想,这也表明其中关系更为复杂。

## 4 结 论

1) 三峡库区(重庆)土壤侵蚀以微度侵蚀、中度侵蚀和轻度侵蚀为主;不同土地利用方式上土壤侵蚀差异显著,耕地上土壤侵蚀强度最高,其次是草地、林地和建设用地,水体和未利用地上土壤侵蚀强度最低;土壤侵蚀分布空间差异明显,研究区中游和下流地区土壤侵蚀强度相对较高,上游地区土地侵蚀强度普遍偏低。

2) 对三峡库区(重庆)22 个区县的土地利用景观破碎化进行分类。22 个区县根据土地利用景观破碎程度划分为 4 个样方群,结合其空间位置,将 22 个区县划分为 3 个土地利用高破碎区,从东往西分别为农草破碎区、林地破碎区和建水破碎区,土壤侵蚀等级从东向西依次减弱。

3) 利用除趋势典范对应分析(DCCA)分析发现,研究区内较高的土壤侵蚀等级与土地利用景观破碎化有显著相关,较强的土壤侵蚀等级能够增加土地利用景观破碎化,但是其加剧土地利用景观破碎化的强度同土壤侵蚀等级呈相反趋势,强度侵蚀等级最高,极强度侵蚀其,剧烈侵蚀低于前两者。对此,结合景观生态学原理可以理解为:将土壤侵蚀视为一种外界干扰,土壤侵蚀等级越高则干扰能力越大<sup>[24]</sup>。在一定的外界干扰下,会增加景观的破碎化,但是外界干扰超过一定程度时,较大的干扰会降低景观的破碎化。

4) 本文尝试将传统数量生态学中的分类、排序的方法同宏观尺度下景观生态学原理结合,具有一



定的生态学意义,在水土流失与土地利用的关系研究中还较少见,需要在以后工作中的更多地实证,对上述理论进行必要的补充说明。

## 参考文献

- [1] 彭建. 喀斯特生态脆弱区土地利用/覆被变化研究. 北京: 北京大学, 2006. Peng J. Land use/cover change in ecologically fragile karst areas (In Chinese). Beijing: Peking University, 2006
- [2] 周廷刚, 张其良. 长江上游水土流失成因及其治理模式研究——以重庆市城口县为例. 长江流域资源与环境, 2004, 13(1): 90—93. Zhou T G, Zhang Q L. Factors contributing to soil erosion in upper reaches of the Changjiang River—taking Chenkou country as an example (In Chinese). Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(1): 90—93
- [3] 杨林章. 西部地区农业发展面临的问题与对策. 长江流域资源与环境, 2000, 9(2): 136—137. Yang L Z. Western area agriculture develops the problem that face and countermeasure (In Chinese). Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(2): 136—137
- [4] 陈国阶. 长江上游水土流失主要成因及防治对策. 农村生态环境, 2000, 16(3): 5—8. Chen G J. Major causes of soil erosion in the upper Yangtze River valley and the control countermeasure (In Chinese). Rura Eco-Environment, 2000, 16(3): 5—8
- [5] 史立人. 加快长江上游水土保持步伐, 为西部开发奠定坚实基础. 中国水土保持, 2000, (4): 3—5. Shi L R. Accelerate the pace of soil and water conservation in upper reaches of Yangtze River, lay a solid foundation for the development of western China (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 2000, (4): 3—5
- [6] 沈泰. 加快长江流域水土保持步伐, 为西部开发创造良好的环境. 中国水土保持, 2000, (6): 10—11. Shen T. Accelerate the pace of soil and water conservation in upper reaches of Yangtze River, for western development to create a good environment (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 2000, (6): 10—11
- [7] 彭月, 王建力, 魏虹. 重庆市岩溶区县土地利用景观破碎化及土壤侵蚀影响评价. 中国岩溶, 2008, 27(3): 246—254. Peng Y, Wang J L, Wei H. Estimation on the effect of soil erosion and land-use landscape fragmentation in Chongqing karst area (In Chinese). Carsologica Sinica, 2008, 27(3): 246—254
- [8] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及其破碎化评价. 植物生态学报, 2000, 24(3): 320—326. Ma K M, Fu B J. Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan Montane region (In Chinese). Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(3): 320—326
- [9] Harris L D. The fragmented forest. Chicago: The University of Chicago Press, 1984
- [10] Turner M G, Gardner R H. Quantitative methods in landscape ecology. New York: Springer Verlage, 1991: 105—126
- [11] 王永军, 李团胜, 刘康, 等. 榆林地区景观格局分析及其破碎化评价. 资源科学, 2005, 2(25): 161—166. Wang Y J, Li T S, Liu K. et al. Landscape patterns and fragmentation in Yulin prefecture (In Chinese). Resources Science, 2005, 2(25): 161—166
- [12] 李海滨, 伍业钢. 数量方法在景观生态学中的应用. 北京: 中国科技出版社, 1992: 209—233. Li H B, Wu Y G. Quantitative methods in landscape ecology study (In Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1992: 209—233
- [13] 肖笃宁. 景观生态学理论、方法和应用. 北京: 中国林业出版社, 1991. Xiao D N. Landscape ecology theory, methods and applications (In Chinese). Beijing: China Forestry Press, 1991
- [14] 张明亮, 王海霞. 山区小流域景观格局变化及其水土流失效应. 水土保持研究, 2007, 14(3): 251—253. Zhang M L, Wang H X. Change of landscape pattern of small watershed in mountain area (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(3): 251—253
- [15] 裴建国, 李庆松. 典型岩溶峰丛山区土地利用与水土流失. 水土保持通报, 2006, 26(2): 94—99. Pei J G, Li Q S. Land use and soil and water loss in typical karst mountain area (In Chinese). Bulletin of Soil Water Conservation, 2006, 26(2): 94—99
- [16] 梁音, 张斌, 潘贤章. 南方红壤区水土流失动态演变趋势分析. 土壤, 2009, 41(4): 534—539. Liang Y, Zhang B, Pan X Z. Changes of soil and water loss in red soil region of southern China (In Chinese). Soils, 2009, 41(4): 534—539
- [17] 傅伯杰, 陈利定, 马克明. 黄土丘陵小流域土地利用变化对生态环境的影响. 地理学报, 1999, 54(3): 241—246. Fu B J, Cheng L D, Ma K M. Effect simulations of land use change on the runoff and erosion for a gully catchment of the loess plateau, China (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 1999, 54(3): 241—246
- [18] 索安宁, 洪军, 林勇. 黄土高原景观格局与水土流失关系的研究. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1 719—1 723. Suo A N, Hong J, Lin Y. Relationships between soil and water loss and landscape pattern on loess plateau (In Chinese). Chinese Journal of applied Ecology, 2005, 16(9): 1 719—1 723
- [19] 邬建国. 生态学范式变迁综论. 生态学报, 1996, 16(5): 449—460. Wu J G. Paradigm shift in ecology: An overview (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5): 449—460
- [20] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. 生态学报, 2003, 23(11): 2 406—2 413. Chen L D, Fu B J, Xu J Y. Location-weighted landscape contrast index: A scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “Source-Sink” ecological processes (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2 406—2 413
- [21] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究. 土壤学报, 2010, 47(3): 422—428. Zhao X F, Yang J S, Yao R J. Characteristics of soil salinization in mudflat of north Jiangsu province based on canonical correspondence analysis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(3): 422—428
- [22] 周睿, 胡玉吉, 熊颖. 岷江上游河岸带土地覆盖格局及其生态学解释. 植物生态学报, 2007, 31(1): 2—10. Zhou R, Hu Y

- J, Xiong Y. Interpreting ecological land cover pattern for the riparian zone of the upper Mingjiang river, China (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 2007, 31(1): 2—10
- [23] 王思远, 王光谦, 陈志祥. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系. *自然灾害学报*, 2005, 14(1): 32—37. Wang S Y, Wang G Q, Chen Z X. Relationship between land use and soil erosion in Yellow River basin (In Chinese). *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(1): 32—37
- [24] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001. Fu B J, Chen L D, Ma K M. Principle and application of landscape ecology (In Chinese). Beijing: Science Press, 2001

## ASSESSMENT OF SOIL EROSION OF THE THREE GORGES RESERVOIR REGION (CHONGQING) BASED ON LANDSCAPE FRAGMENTATION

Peng Yue<sup>1,2,3</sup> He Binghui<sup>1,2,3†</sup> Huang Shiyou<sup>2</sup>

(1 School of Resource and Environment Science, Southwest China University, Chongqing 400715, China)

(2 Chongqing Academy of Forestry Science, Chongqing 400036, China)

(3 Postdoctoral Workstation of Agricultural Resources Reasonable Utilization, Southwest China University, Chongqing 400715, China)

**Abstract** Based on the principles of landscape ecology, the Chongqing Section of the Three Gorges Reservoir Region was studied and analyzed for composition, intensity and spatial distribution of soil erosion, using the ArcGIS 9.3 software and the Two-way indicator species analysis (TWINSpan) and Detrended canonical correspondence analysis (DCCA) technique. In addition, the lands of the 22 districts and counties under Chongqing were classified according to fragmentation degrees of their landuse landscape, and the relations between the landscape fragmentation and the soil erosion were evaluated. Results show that light and moderate erosions were the main types in the study area. Farmlands were the highest in soil erosion intensity, woodlands, waterbodies and virgin lands were relatively lower, and the lower and middle reaches of the area were significantly higher than the upper reaches. Spatially, the 22 districts and counties could be ruled into three highly fragmented landuse landscape zones, i. e. agriculture-grassland zone, woodland zone and construction-land-waterbody zone, lined and decreased in soil erosion intensity from east to west. And higher grades of soil erosion intensified land-use landscape fragmentation, but when soil erosion reached its extremity, this effect of intensification showed a reverse trend, i. e. intensive soil erosion > highly intensive soil erosion > extremely intensive soil erosion.

**Key words** Landscape; Fragmentation; The Three Gorges Reservoir Region; Soil erosion