

重庆市土壤侵蚀敏感性评价

莫斌¹, 朱波¹, 王玉宽¹, 范建容¹, 刘德绍²

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 600041; 2. 重庆市环境保护局, 重庆 400020)

摘要: 重庆市位于长江上游生态屏障的最前沿, 其水土流失对整个长江流域生态安全和三峡水利枢纽工程的安全运行有着重要影响。依据 1999 年重庆市水土流失遥感调查结合水土流失观测资料, 评价了重庆市土壤侵蚀强度及区域分布。根据 USLE 方程中 5 大因子对土壤侵蚀敏感性影响, 建立了土壤侵蚀敏感性评价指标体系, 对重庆市土壤侵蚀敏感性进行评价。结合 GIS 技术, 分析了重庆市土壤侵蚀敏感性的空间分布, 探讨了土壤侵蚀的敏感性原因, 并提出了有关水土保持对策。

关键词: 重庆市; 土壤侵蚀; 敏感性评价

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2004)05—0045—04

中图分类号: S157.1

Sensitivity Evaluation for Soil Erosion in Chongqing City

MO Bin¹, ZHU Bo¹, WANG Yu-kuang¹, FAN Jian-rong¹, LIU De-shao²

(1. Institute of Mountain Hazards & Environment, CAS, Chengdu 610041, Sichuan Province, China;

2. Chongqing Environmental Protection Bureau, Chongqing 400015, China)

Abstract: The eco-environment of the Yangtze River and Three Gorges reservoir area is severely impacted by serious soil erosion in Chongqing City. Using 1999 remote sensing information, soil erosion characteristics have been assessed and analyzed. Indices for soil erosion sensitivity evaluation have been developed, guided by five factors in the Universal Soil Loss Equation(USLE). The indices for soil erosion sensitivity are defined as none, mild, moderate and high. Also, the spatial characteristic of soil erosion sensitivity has been defined using a geographical information system(GIS). Methods for soil erosion control are discussed to promote sustainable development in the area of the Three Gorges reservoir.

Keywords: Chongqing City; soil erosion; sensitivity evaluation

生态环境敏感性是指生态系统对人类活动反应的敏感程度, 用来反映产生生态失衡与生态环境问题的可能性大小。土壤侵蚀敏感性评价是其中一个很重要的内容。土壤侵蚀敏感性评价, 是根据区域土壤侵蚀的形成机制, 分析其区域分异规律, 明确可能发生的土壤侵蚀类型、范围与可能程度。重庆市位于长江上游, 地跨东经 105°11'—110°11', 北纬 28°10'—32°13' 之间, 东西长 470 km, 南北宽 450 km, 幅员面积 82 403 km²。2001 年末全市人口 3.10 × 10⁷, 其中农业人口占总人口的 80%, 耕地 1.33 × 10⁶ hm², 农业人均不到 0.067 hm², 人地矛盾尖锐, 耕地复种指数高。受复杂的自然因素和人为活动的影响, 全市水土流失十分严重。全市每年进入江河的泥沙总量达 1.40 × 10⁸ t, 占长江上游入江泥沙量的 26%^[1]。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

典型的生态脆弱区^[2], 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。开展重庆市土壤侵蚀敏感性评价对三峡库区的可持续发展具有重要现实意义。

1 评价方法与指标体系

1.1 土壤侵蚀现状评价

主要依据年平均侵蚀模数为判别指标, 土壤侵蚀强度的分级指标参照水利部发布的土壤侵蚀分类分级标准(SL190—96)。通过对 1999 年 TM 遥感数据判读, 并结合当地的多年观测数据, 对重庆市土壤侵蚀现状进行评价。

1.2 水土流失敏感性评价

1.2.1 评价指标和分级标准 运用水土流失通用方程(USLE)中所包含的影响土壤侵蚀的因子: 降雨侵蚀力(R)、土壤质地(K)、坡度坡长/地形地貌(LS)、

植被盖度 (C) 作为土壤侵蚀敏感性评价指标。由于农业措施 (P) 主要是与人类活动密切相关的因子, 与生

态系统自然的敏感性无太大的关系, 故不作为评价指标 (表 1)。

表 1 各因子对土壤侵蚀敏感性影响及分级赋值标准^[4]

分级	R	K	LS	C	分级赋值
不敏感	< 25	石砾、沙	0 ~ 20	水体、草本沼泽、稻田	1
轻度敏感	25 ~ 100	粗砂、细砂土、黏土	20 ~ 50	阔叶林、针叶林、草甸、灌丛、萌生矮林	3
中度敏感	100 ~ 400	面砂土、壤土	51 ~ 100	灌丛、萌生矮林、草原、稀疏灌木草原、一年二熟粮作、一年水旱两熟	5
高度敏感	400 ~ 600	砂壤土、粉黏土、壤黏土	101 ~ 300	荒漠、一年一熟粮作	7
极敏感	> 600	砂粉土、粉土	> 300	无植被	9

1.2.2 评价指标确定 降雨侵蚀力 R 值参考王万忠等的方法^[5], 根据重庆的实际情况采用 4—10 月多年月均降雨量计算, 由周伏建建立的年 R 值修正方程计算:

$$R = \prod_{i=1}^{10} 0.024 \overline{P_i}^{1.5527} \quad (1)$$

式中: R——年侵蚀力 (j · cm/hm² · h); p_i——4—10 月多年月平均降雨量 (mm)。

根据收集到的重庆市辖区 121 个雨量观测点资料, 代入公式 (1) 计算, 并绘制出降雨侵蚀力分布图。

LS 因子采用地形的起伏度大小来反映其对水土流失敏感性的影响^[6]。辖区地形起伏度分布图, 根据重庆市 1:25 万数字地形图, 在 GIS 系统支持下, 以最小单元 1 km*1 km 进行地形起伏度提取而成。

土壤质地因子 K, 根据重庆市土壤分布图, 参考杨子生等在滇东北的东川、昭通等地开展的坡耕地土壤可侵蚀性因子研究资料, 进行赋值分级并绘制土壤质地对水土流失敏感性分布图。

覆盖因子 C, 根据全国 1:100 万植被分布图的较高级分类系统, 结合实地调研与用重庆市 1:10 万土地利用遥感解译数据, 进行赋值分级并绘制植被对水土流失敏感性分布图。

以上各因子对水土流失敏感性分布图均在 GIS 系统下生成。

1.2.3 敏感性分级与评价 利用 GIS 系统, 将上述各单因子敏感性影响分布图进行叠加计算:

$$SS_j = 4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 C_i} \quad (2)$$

式中: SS_j——j 空间单元土壤侵蚀敏感性指数; C_i——i 因素敏感性等级值。

将计算得到的土壤侵蚀敏感性指数, 按照敏感性分级赋值标准 (表 2), 划分为 5 个级别 (表 2), 进行统计分析, 并通过 GIS 生成土壤侵蚀敏感性分布图。

表 2 土壤侵蚀敏感性分级标准

分级	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
敏感指数	1.0 ~ 2.0	2.1 ~ 4.0	4.1 ~ 6.0	6.1 ~ 8.0	> 8.0

2 结果与讨论

2.1 重庆市的水土流失现状

2.1.1 土壤侵蚀现状评价 根据 1999 年重庆市水土流失遥感资料, 并且结合实地抽样调查与水土流失观测的资料, 对重庆市土壤侵蚀现状进行了评价, 结果详见表 3。

表 3 重庆市土壤侵蚀现状评价

侵蚀强度	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
面积/km ²	30 138.29	13 088.75	25 241.15	10 118.34	3 321.24	360.79
占幅员面积/%	36.63	15.91	30.68	12.30	4.04	0.44
占流失面积/%	0.00	25.11	48.42	19.41	6.37	0.69

结果表明, 重庆市水土流失面积约 52 130.27 km², 占全市幅员面积 63.26%; 各区县水土流失的面积占幅员面积的比例差异较大, 以万州区、荣昌县的为最多, 达 80% 以上。全市范围内存在各种强度的水

土流失, 其中以中度以上为主, 中度以上土壤侵蚀占幅员面积的 74.89%。

2.1.2 水土流失区域分布 水土流失主要发生在紫色土及紫色岩母质发育的土壤分布区域, 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。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。中度侵蚀各土壤分布区基本均有不同程度发生。

侵蚀区域主要分布在高程 300~800 m 的丘陵、低山地区,主要表现为中度—极强度侵蚀,如主要分布在川东平行岭谷背斜低山、方斗山、大巴山、七曜山、武陵山一带,一般表现坡度都较陡;高程 300 m 以下多为河谷阶地或缓丘平坝,以及 1 500 m 以上植被发育良好,这些区间多无明显侵蚀或轻度侵蚀,主要

分布在渝西丘陵区。总之,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。

2.1.3 水土流失趋势 重庆市水土流失面积有逐渐扩大的趋势,水土流失变化历史对比见表 4。1987 年遥感调查,全市水土流失面积大约为 49 055.39 km²,占国土总面积的 59.58%,而 1999 年调查结果,水土流失面积所占国土面积的比例增加至 63.37%,增加 3.8%。但流失强度有所减小,1986 年全市水土流失强度平均为 4 620 t/(km²·a),而 1999 年为 4 260 t/(km²·a),下降 3.6%。

表 4 水土流失变化历史对比

侵蚀强度 分级	1987 年			1999 年		
	面积/km ²	占幅员 面积/%	占流失 面积/%	面积 km ²	占幅员 面积/%	占流失 面积/%
轻度侵蚀	11 654.06	14.15	23.76	13 088.75	15.91	25.11
中度侵蚀	18 052.39	21.93	36.80	25 241.15	30.68	48.42
强度侵蚀	15 483.41	18.81	31.56	10 118.34	12.30	19.41
极强度侵蚀	3 608.64	4.38	7.36	3 321.24	4.04	6.37
剧烈侵蚀	256.89	0.31	0.52	360.79	0.44	0.69
合计	49 055.39	59.58	100.00	52 130.27	63.37	100.00

2.2 重庆市的水土流失敏感性评价

依据表 1 的对比结果对重庆市影响水土流失的各种影响因子 R, K, LS, C 进行敏感性评价,并通过多因子叠加计算得到重庆市土壤侵蚀敏感性评价的结果(见表 5)。结果表明,重庆市的北部、东部、东南部地区土壤侵蚀敏感性较高,重庆市的中部、西部与西南部地区土壤侵蚀敏感性低。重庆市土壤侵蚀敏感性较强,属中度敏感以上的面积为 49 119.41 km²,占全市土地总面积的 59.70%。其中,高度敏感的面积 10 933.82 km²,占全市土地总面积的 13.29%,主要分布于渝北、渝东的云阳、开县、奉节北部、万州区、忠县、武隆西部;中度敏感的面积 38 185.41 km²,占全市土地总面积的 46.42%,主要分布于渝北、渝东南地区,包括城口、巫溪、石柱、黔江、酉阳、秀山、彭水、武隆、南川、綦江、和江津的东南部。轻度敏感以下的面积 33 149.77 km²,占全市土地总面积的 40.30%,主要分布在渝中、渝西与渝西南地区。

2.3 土壤侵蚀原因与调控机制分析

2.3.1 土壤侵蚀的原因 重庆市水土流失主要受特殊的自然条件(地质地貌、土壤、植被、降雨等)和强烈的人类活动控制。自然影响是其水土流失严重的内

因,重庆市的自然条件(地质地貌、土壤、植被、降雨等)特殊,地处亚热带季风气候区,充沛的降雨(年平均降雨量 900~1 500 mm)和频繁的暴雨(为全国暴雨中心之一)以及陡峻的地形、抗风化、抗蚀性差的紫色砂岩及其发育的紫色土和极易产流的石灰岩山地,为土壤侵蚀的形成和发展提供了有利的外动力条件和物质基础。

不合理的人为活动加速了水土流失。重庆市的人口密度大(376 人/km²),植被破坏严重,陡坡种植,城镇和道路建设等强烈的人类活动,加重了水土流失^[6]。三峡库岸,大部分为剥蚀陡坡,部分为崩塌滑坡陡坡,加之移民安置,人地矛盾进一步激化,大规模的城镇、工厂、各项基础设施复建,开挖、采石、开矿以及大量废弃土石渣随意倾倒,加快了坡地侵蚀的速率^[11-12],加剧了地质灾害的发生,为重庆市的水土保持工作提出了新的严峻考验。

2.3.2 调控机制 重庆市森林覆盖率低,山高坡陡,降雨充沛,加之人地矛盾突出,不合理开发与土地垦殖加剧了土壤侵蚀^[9, 11-12]。因此重庆市土壤侵蚀控制的重点应加强植被恢复,降低坡地侵蚀,减少人类不合理的开发活动。

表 5 重庆土壤侵蚀敏感性评价结果

km²

区县名	土地总面积/km ²	不敏感		轻度敏感		中度敏感		高度敏感	
		面积/km ²	比例/%						
主城区	1 502.66	37.45	2.49	713.12	47.46	641.79	42.71	110.30	7.34
长寿县	1 411.97	119.10	8.44	848.91	60.12	359.06	25.43	84.89	6.01
巴南	2 603.05	75.89	2.92	1 488.50	57.18	807.26	31.01	231.40	8.89
綦江县	2 183.18	16.16	0.74	847.43	38.82	935.92	42.87	383.67	17.57
渝北	1 949.90	39.73	2.04	1 147.84	58.87	623.99	32.00	138.34	7.09
潼南县	1 571.75	185.79	11.82	1 117.31	71.09	226.64	14.42	42.01	2.67
铜梁县	1 347.63	193.91	14.39	897.08	66.57	235.52	17.48	21.12	1.57
大足县	1 436.41	191.83	13.35	949.13	66.08	272.73	18.99	22.72	1.58
荣昌县	1 082.07	237.40	21.94	738.53	68.25	101.34	9.37	4.80	0.44
璧山县	910.20	107.26	11.78	594.50	65.32	203.88	22.40	4.56	0.50
永川市	1 459.17	129.90	8.90	906.64	62.13	395.31	27.09	27.32	1.87
江津市	3 324.98	151.19	4.55	1 823.56	54.84	1 085.03	32.63	265.21	7.98
合川市	2 314.36	151.11	6.53	1 600.04	69.14	515.01	22.25	48.21	2.08
万州区	3 460.12	25.12	0.73	1 302.63	37.65	1 268.66	36.67	863.71	24.96
开县	3 956.49	46.73	1.18	989.61	25.01	1 815.28	45.88	1 104.87	27.93
忠县	2 168.58	39.57	1.82	852.31	39.30	797.02	36.75	479.68	22.12
梁平县	1 880.21	104.86	5.58	946.36	50.33	694.12	36.92	134.86	7.17
云阳县	3 617.63	5.88	0.16	952.93	26.34	1 351.28	37.35	1 307.55	36.14
奉节县	4 107.92	3.44	0.08	1 461.97	35.59	1 670.13	40.66	972.37	23.67
巫山县	2 963.00	3.08	0.10	1 331.79	44.95	1 239.82	41.84	388.31	13.11
巫溪县	3 994.18	6.84	0.17	640.31	16.03	2 916.43	73.02	430.59	10.78
城口县	3 265.93	0.00	0.00	313.13	9.59	2 801.45	85.78	151.35	4.63
涪陵区	2 835.69	37.89	1.34	1 550.27	54.67	894.64	31.55	352.90	12.44
垫江县	1 489.78	78.73	5.28	875.31	58.75	490.61	32.93	45.13	3.03
南川市	2 614.14	8.16	0.31	565.50	21.63	1 716.10	65.65	324.38	12.41
丰都县	2 924.59	8.64	0.30	665.32	22.75	1 427.97	48.83	822.66	28.13
武隆县	2 996.76	0.96	0.03	443.60	14.80	2 000.15	66.74	552.06	18.42
石柱县	3 009.40	7.44	0.25	646.91	21.50	1 877.17	62.38	477.88	15.88
秀山县	2 447.55	31.61	1.29	991.01	40.49	1 325.31	54.15	99.62	4.07
黔江区	2 373.49	0.72	0.03	495.61	20.88	1 673.49	70.51	203.68	8.58
酉阳县	5 168.42	4.00	0.08	1 198.77	23.19	3 564.94	68.98	400.71	7.75
彭水县	3 897.80	4.00	0.10	1 199.45	30.77	2 257.39	57.91	436.96	11.21
合计	82 403.00	2 054.40	2.50	31 095.37	37.80	38 185.41	46.42	10 933.82	13.29

实施退耕还林,推动荒山荒坡的植树造林,提高植被覆盖度是有效减少水土流失的重要途径。同时发展沼气等生态能源,解决农民对传统燃料的依赖,遏制对森林植被的破坏。加强农田水利基本建设,强化坡耕地水土保持耕作技术。横向开沟,免耕、梯地等耕作方式与植被覆盖相结合,能有效地降低水土流失。做好水保规划,严禁随意倾倒弃土和废料,采取适宜的水保工程或措施,尽可能地控制人为加速侵蚀。

3 结 论

重庆市水土流失面积约 52 130.27 km²,占全市幅员面积 63.26%。全市范围内存在各种强度的水土

流失,其中以轻度、中度为主,分别占幅员面积的 25.11%和 48.42%。从区域上,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。

重庆市的土壤侵蚀敏感性较强,属于中度敏感以上土壤侵蚀的土地面积为 49 119.41 km²,占全市土地总面积的 59.7%,它们主要分布于渝北、渝东和三峡库区;轻度敏感以下土壤侵蚀的土地面积有 33 149.77 km²,占全市土地总面积的 40.3%,主要分布在渝中、渝西与渝西南地区。

(下转第 59 页)

5 分析讨论

从以上的分析可以看出,荒漠生态系统的分布与海拔高度有比较明显的对应关系,纬度次之,与经度关系不明显。国内外对荒漠生态系统的保护和利用途径、对策和措施方面,明显地有别于此类地区内的其它生态系统类型。众所周知,空间分异性是经典地理学理论,道库恰耶夫首先阐述了这一理论的原理,奠定了自然地带学说。现代自然科学的不断研究,使这一学说有了新的发展并得到了广泛的应用。荒漠生态系统自然分布和地带性分异是对自然地带学说的应用。我国荒漠生态系统的空间分布明显地存在着规律性。荒漠位于干旱区内,包括阿拉善高原、河西走廊、准噶尔盆地、塔里木盆地和柴达木盆地,以及青藏高原的北部和西部的个别区域,以旱生和超旱生灌木、半灌木为主,覆盖度 $< 40\%$,干旱缺水,太阳辐射强烈。根据荒漠生态系统的分布规律,利用各类荒漠生态系统优势种对荒漠环境的高度适应性,可以以生物措施为主开展荒漠化防治。荒漠生态系统中的植物,特别是半乔木和灌木、半灌木类植物能有效地摄取太阳能,成为贮存能量的活材料、蕴藏着巨大的能源潜力。这些特有的天然植物是目前油料、橡胶、石油、蜡、医药及农药的重要来源之一^[13]。因此对沙漠地区的特有植物的开发,使沙漠有可能成为人类开拓新生活的空间和发展生产的最大潜在场所,新能源、新原料的新型产地。总之,随着现代科学的不断发展和对荒漠生态系统研究的深入,生物措施治理和开发利用荒

漠资源的现状和前景,必然会产生一个巨大的飞跃。

[参 考 文 献]

- [1] Tansley, A. G. The use and abuse of vegetation concepts and forms[J]. Ecology, 1935(16): 284—307.
- [2] 闻大中. 农村生态系统——农业景观观议[J]. 农村生态环境, 1992(3): 52—55.
- [3] 蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 6—12.
- [4] 毛文永. 生态环境影响评价概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社. 5—71.
- [5] 李维东, 卓丽菲亚. 新疆生态系统的主要类型及分布研究[J]. 新疆环境保护, 2002, 24(2): 5—8.
- [6] Edward Ayensu, Daniel van R. Claasen, Mark Collins, et al. International Ecosystem Assessment [J]. Science. 1999, 286: 685—686.
- [7] GEF/C. 14/4 November 1999. 13.
- [8] 周华荣, 马小明. 荒漠生态环境监测刍议[J]. 干旱环境监测, 2002, 14(2): 88—91.
- [9] 董光荣, 吴波, 慈龙骏, 等. 中国荒漠化现状、成因与防治对策[R], 中国沙漠, 1999, 19(4): 318—332.
- [10] 慈龙骏. 我国荒漠化发生机理与防治对策. 第四纪研究[J], 1998(2): 97—107.
- [11] 金以圣. 生态学基础[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988. 19—22.
- [12] 常兆丰. 我国荒漠生态系统定位研究的现状与基本思路[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(3): 53—57.
- [13] 马士威, 马玉明, 方天纵. 半荒漠景观的空间分布及景观生态总析[J]. 干旱地区农业研究, 15(4): 59—63.

(上接第48页)

重庆市的水土流失形势严峻,对长江三峡工程的危害大。应科学地制定水土保持工程规划,突出对土壤侵蚀敏感性高的重点地区水土保持工程安排,应把三峡库区坡耕地土壤侵蚀控制与高敏感性地区的退耕还林,及控制开发建设项目人为加速侵蚀作为重庆市水土流失防治的重点。

[参 考 文 献]

- [1] 叶学文. 重庆水土保持事业的发展与展望[J]. 中国水土保持, 2001(7): 11—13.
- [2] 段小梅. 重庆市的可持续发展与生态环境建设[J]. 重庆环境科学, 2002(2): 6—11.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中华人民共和国行业标准, 土地侵蚀分类分级标准(SL190-96) [R]. 1997.
- [4] 国务院西部地区开发领导小组办公室, 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程[R]. 2002. 09. 01.
- [5] 王万忠. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1—20.
- [6] 刘新华. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57—62.
- [7] 朱波, 等. 紫色页岩风化侵蚀与环境效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 3(5): 33—37.
- [8] 周万村. 三峡库区土地自然坡度和高程对经济发展的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2001(1): 15—21.
- [9] 刘照光, 等. 长江上游陡坡耕地退耕的难点与对策[J]. 长江流域资源与环境, 2002(5): 426—431.
- [10] 徐刚. 重庆市退耕还林条件的区域比较研究[J]. 水土保持学报, 2001(4): 81—83.
- [11] 钟冰. 三峡库区水土流失及防治[J]. 水土保持研究, 2001(2): 147—149.
- [12] 崇婧. 长江三峡地区坡地发育研究初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002(3): 264—268.