

川江流域生态地貌系统稳定性影响因素*

李立华 刘淑珍 何毓成

(中国科学院, 水利部成都山地灾害与环境研究所)

提 要 川江流域片蚀与地表物质组成、坡度和坡长关系密切, 且明显受地貌类型控制; 沟蚀与森林覆盖率呈负相关, 而和人口密度呈正相关; 重力侵蚀在盆周山区和流域西北部高山中山区危害严重; 人类消极活动在盆地丘陵区因人口稠密而活跃。这四个因素的发生发展制约着本流域生态地貌系统的稳定性。

关键词 川江流域 生态地貌系统 稳定性 影响因素

川江流域特指四川境内嘉陵江流域、沱江流域和岷江上游。整个流域面积 16 万平方公里。境内人多地少, 森林覆盖率锐减, 水土流失严重, 土地贫瘠化日趋严重, 山地灾害频发, 生态环境脆弱。为改善生态环境, 拟营造防护林体系。兹运用生态地貌学理论^[1], 分析评价流域内生态地貌系统稳定性影响因素, 这无疑对防护林体系的布局和建设具有重要意义。

生态地貌系统是由地貌系统和生态系统组成的、具有不同层次组织结构与功能的景观单元。其稳定性是指系统对外界干扰破坏的反应及系统内部的相互反馈, 应包含地貌系统与生态系统两者的稳定性总和。生态系统是生态地貌系统稳定程度的标志; 而地貌系统起着决定性的作用, 控制着生态系统的水分平衡、养分平衡及能量平衡。生态地貌系统稳定性影响因素是指地貌系统与生态系统两者共同对外界干扰破坏反应灵敏的因素。

川江流域生态地貌系统稳定性影响因素主要有四类。

一、片 蚀

它是影响生态地貌系统稳定性的重要因素之一。片蚀的规模、强度和大小, 直接反映了生态系统养分流失状况、贮水能力的变化, 以及地貌系统的演化速率, 进而影响生态地貌系统稳定程度。流域内片蚀分布广泛, 片蚀量占总侵蚀量的 84 %。片蚀的产生主要与下列诸因素有关。

(一) 地表物质组成

地表物质是植物生长发育所需的营养元素的源泉。植物对营养元素的摄取随植物的种类不同而异, 有的直接从成土母质中吸取, 而多数从土壤中吸取。本流域土壤营养元素明显受成土母质的控制。再则地表物质还影响着生态系统的水分平衡。地表物质的物理性质(如粒度、孔隙度、裂隙和节理等)决定着生态地貌系统的贮水能力。

* “七五”国家重点科技攻关课题《长江上游水源涵养林、水土保持林营造技术研究》中之《长江上游生态环境和社会经济条件研究与评价》专题的部分成果。

参加工作的还有: 王明龙、沈镇兴、王本善、李平、邝丽萍、左晓荣等。
本文收稿日期: 1992-01-14。

地表物质对外界干扰破坏的反应表现为抗侵蚀能力。抗侵蚀能力越强, 稳定程度就越高, 反之亦然。地表物质的抗侵蚀能力决定于地表物质的物理化学性质(如粒度组成、颗粒结构、胶结程度及遇水后的物理化学变化等)。川江流域盆地丘陵区广布第三系、白垩系红层, 因裂隙发育, 胶结程度低, 抗侵蚀能力弱, 尤其是遂宁组泥岩及砂质泥岩吸水性能极差, 片蚀极为强烈; 在广大的盆周山区, 砂页岩、千枚岩、板岩、白云岩和花岗岩等岩组因节理、片理发育, 易风化成碎片或碎粒, 因而抗侵蚀能力亦较差。这些岩组对本流域生态地貌系统稳定性影响极大。

(二) 坡 度

坡度大小直接影响坡面径流的侵蚀能力。若雨强和坡面渗透率一定, 坡度越陡, 坡面径流量越大, 侵蚀能力越强, 生态地貌系统稳定性就越差; 若坡面径流量一定, 坡度越陡, 损失能量越小, 侵蚀能力越强, 生态地貌系统稳定性也越差。川江流域内坡度 S 与年片蚀量 E 呈幂函数关系, 指数为 0.71—1.53 (表 1)。

表 1 川江流域坡度 S 与年片蚀量 E 之间的关系

Table 1 The relationship between the annual sheet erosion volume (E) and gradient (S) of slope in the Chuanjiang Basin

地点	坡度(°)	年片蚀量(吨/公里 ²)	坡度与片蚀量的关系	资 料 来 源
遂宁	5	2208	$E = 357.14 S^{1.1752}$ ($r = 0.995$)	1985 年遂宁玉峰水保站资料, 1963—1964 年遂宁上宁水保点资料
	10	5992		
	15	9006		
	20	11286		
	25	15360		
江津	5	1305	$E = 177.36 S^{1.1488}$ ($r = 0.977$)	1982—1983 年江津农业局土肥站资料 (25°系荣昌县资料)
	10	1920		
	15	3930		
	20	5790		
	25	7770		
岳池	5	1145	$E = 219.90 S^{0.8973}$ ($r = 0.997$)	1985—1986 年岳池县水保站资料
	10	2171		
	15	2918		
	20	4089		
南充	5	2394	$E = 700.93 S^{0.7153}$ ($r = 0.985$)	1983—1987 年南充县农业局土肥站资料
	10	3260		
	15	4629		
	20	6029		
	25	7542		
盐亭	3	487	$E = 82.75 S^{1.5263}$ ($r = 0.993$)	1987 年中国科学院成都分院土壤研究室
	4	559		
	6	1295		
	10	2825		

境内陡坡分布面积广大是最突出的特点。1:20 万坡度图 (共计 30 幅) 上统计结果表明, 坡度 $> 25^\circ$ 的陡坡面积占全流域面积的 26%, 其中岷江流域最高 (达 62%), 沱江流域最低 (占 8%)。再则陡坡集中, 成片分布。境内坡度 $> 25^\circ$ 陡坡集中分布在岷江上游、盆周山区、川东平行岭谷区及盆北低山深丘区。

(三) 坡 长

流域内年片蚀量随坡长增长而增加。由 1985 年遂宁玉峰水保站观测资料得知, 坡长

1—10 米,面积近 21 公顷,年片蚀量 42—110 吨/公顷;坡长 10—20 米,分别为 11 公顷,105—168 吨/公顷;坡长 20—25 米,分别是 5 公顷和 189—378 吨/公顷。但坡长达到一定临界值(80—100 米)时,坡面径流只输送上段来沙而不产沙,片蚀量趋于稳定。

本流域以山地、丘陵为主(占 77%),相对高度大,坡长亦较长。对一级流域平均坡长量算的结果显示(1:5 万),岷江上游高山中山区坡长多 > 300 米,盆周山区多 > 200 米,盆中丘陵区多为 100—200 米。流域内坡长较长是影响片蚀的重要因素之一。

(四) 地 貌 类 型

一级流域是片蚀发生最强烈的部位。表 2 揭示的是不同夷平面上一级流域坡度 S 、坡长 L 与相对高度 h 之间的相关关系,进而对不同地貌类型内一级流域坡度 S 、坡长 L 进行判别分析(表 3)。由表 3 可见,地貌类型对 S 值、 L 值控制明显。

从地貌类型来看,本流域生态地貌系统稳定性呈高山中山→低中山→深丘→浅丘→平坝增强之势。境内高山中山集中分布在岷江上游,涪江上游的龙门山区有少量分布,占全流域面积的 12%;低中山主要分布在龙门山区、米仓山区和大巴山区,占全流域面积的 16%;低山是流域内分布面积最广的地貌类型,占全流域面积的 24%,呈弧形分布于盆中丘陵区北、东、西三面外围;丘陵分布范围也很广,占全流域面积 22%;深丘占 9%、主要分布在盆地的中北部,浅丘占 13%、分布在盆地的中南部。

从片蚀来看,本流域不同地貌类型内生态地貌系统对外界干扰破坏的反应,以岷江上

表 2 不同夷平面上一级流域坡度 S 、坡长 L 与相对高度 h 之间的关系

Table 2 The interrelation on the gradient(S), length(L) of slope and relative height (h) in 1-grade watershed on different planation surfaces

样数	坡度(°)	坡长(米)	相对高度(米)
1	27.8	217.1	500
2	16.9	162.1	234
3	16.2	217.1	323
4	14.1	192.3	296
5	24.5	254.4	400
6	15.6	171.9	329
7	24.3	177.1	440
8	17.2	160.3	475
9	30.0	192.3	816
10	20.0	173.3	360
11	11.0	212.8	210
12	20.1	178.6	350
13	8.7	330.5	310
14	9.4	311.0	379

回归方程 $h = 104.3597 + 4.9458 L \cdot \sin S$

(相关系数 $R = 0.6708 > r_{0.01} = 0.6226$)

表 3 川江流域各地貌类型内一级流域坡度 S 、坡长 L 的判别分析

Table 3 Judgement analysis on the gradient(S), length(L) of slope in 1-grade watershed of different landform types in the Chuanjiang Basin

项 目	高山中山 ($H=2500-5000$ 米)		低中山 ($H=1000-2500$ 米)		低 山 ($H<1000$ 米, $h>200$ 米)		深 丘 ($H<1000$ 米, $100\text{米}<h<200$ 米)		浅 丘 $H<1000$ 米, $20\text{米}<h<100$ 米)	
	坡度(°)	坡长(米)	坡度(°)	坡长(米)	坡度(°)	坡长(米)	坡度(°)	坡长(米)	坡度(°)	坡长(米)
均 值	29.43	280.35	30.90	243.10	17.60	238.10	15.80	173.60	11.10	145.60
方 差	7.99	97.77	6.33	57.76	5.11	77.26	2.82	41.56	2.29	27.62
样点数	31	31	31	31	46	46	40	40	45	45
判别函数	$y = 9.8823 \times 10^{-5}S$ $+ 1.58415 \times 10^{-4}L$		$y = 2.89396S$ $+ 20.5751L$		$y = 4.629 \times 10^{-3}S$ $+ 3.1735 \times 10^{-4}L$		$y = 9.5167 \times 10^{-3}S$ $+ 4.016 \times 10^{-4}L$			
显著性水平	0.01		0.001		0.001		0.001		0.001	
贡 献 率	$S = -1.58\%$, $L = 101.58\%$		$S = 27.3\%$, $L = 72.7\%$		$S = 27.99\%$, $L = 70.02\%$		$S = 79.88\%$, $L = 20.12\%$			

注: H 为海拔; h 为相对高度。

游高山中山区最强烈;其次是盆周山区和盆中丘陵区,盆周山区以北部的低中山区较其南部低山区为强烈,盆中丘陵区以盆北深丘区强于盆南浅丘区。

二、沟 蚀

生态地貌系统中的沟蚀与土壤侵蚀中的沟蚀不同,前者主要为溪沟或河流所具有,后者常是切沟或纹沟所拥有。

溪沟形态(深宽比)与植物根系作用、枯枝落叶作用及林冠作用有关^[2]。本流域森林覆盖率 y 、切割密度 X_1 与人口密度 X_2 统计结果显示, y 与 X_1 呈负相关,而 X_1 与 X_2 呈正相关(表4)。一般说来, X_1 越大,地表越破碎,地势相对和缓,越适宜植物生长。但也应看到,地表破碎后,林块面积就小,生态系统结构简单,抗干扰破坏能力低,稳定性差^[3];地势越和缓,越适宜人类定居生产,对生态系统的干扰破坏能力也越高。因此 X_1 值的大小反映了沟蚀的强弱,且是生态地貌系统稳定性的重要标志。

表4 川江流域 30 个县市森林覆盖率 $y(\%)$ 、切割密度 X_1 与人口密度 X_2 (人/公里²)统计资料

Table 4 Statistics of forest cover ratio(y), ravine density(X_1) and population density(X_2) of 30 counties (municipalities) in the Chuanjiang Basin

县市	森林覆盖率	切割密度	人口密度	县市	森林覆盖率	切割密度	人口密度	县市	森林覆盖率	切割密度	人口密度
理县	15.30	3.270	10	广元	32.36	2.106	167	仪陇	14.11	3.265	312
汶川	20.90	2.570	22	剑阁	35.72	1.691	194	大竹	20.99	3.460	458
彭县	25.19	3.993	506	苍溪	16.87	1.839	322	江北	18.92	2.670	516
什邡	30.83	3.380	462	南部	14.40	3.137	524	简阳	13.70	3.646	604
平武	71.31	2.282	30	南充	11.08	3.032	566	金堂	13.42	3.433	675
北川	80.02	2.224	53	旺苍	30.57	1.900	138	乐至	14.57	4.061	585
江油	37.06	2.558	293	南江	33.54	2.196	159	安岳	13.34	3.196	526
三台	13.46	3.369	518	万源	28.08	2.157	115	荣昌	11.16	3.660	434
盐亭	30.03	3.013	363	平昌	16.40	2.904	343	威远	17.81	3.015	533
蓬溪	8.18	3.315	595	宣汉	29.78	2.957	246	大足	10.35	3.030	596

回归方程 $\hat{y} = 51.7898 - 4.1955X_1 - 0.0421X_2$ ($R_{X_1}^{*-30} = -0.6492$, 显著)

$R_{yX_1}^{*-30} = -0.5201$, $R_{yX_2}^{*-30} = -0.6383$, $R_{X_1X_2}^{*-30} = 0.6765$, $R_{0.01}^{*-30} = 0.4487$, $R_{0.001}^{*-30} = 0.5541$

注:森林覆盖率引自各县市《农业区划报告》;人口资料引自1989年人口统计年鉴。

不同级别流域的 X_1 值大体相同^[4],故以一级流域的 X_1 值基本上可代表当地的 X_1 值。工作方法首先是以本流域 1:300 万水系图作控制,在高级(或较高级)流域的上中下三段及各段的分水岭附近、中部和底部三处分别抽取图幅;全流域共抽取图幅 1:5 万的 114 幅, 1:10 万的 2 幅;抽样图幅占全流域图幅的 30%。其次在各图幅内依地貌形态的差异,勾绘 3—6 个有代表性的一级流域,量算各一级流域的 X_1 值。然后按流域所在的县市求 X_1 值之平均值,即为各县市的平均 X_1 值。据抽取的 330 个流域计算结果,绘成境内沟谷切割密度等值线图(附图)。

由附图可见,川江流域切割密度大体从北向南递增:山地的较丘陵低,盆地低山深丘区的较西南浅丘区、平坝区低。这不仅与 y 值、 X_2 值的分布相关,而且与岩性、地貌分布

格局亦有联系,反映了生态地貌系统稳定性的现代背景条件。

三、重 力 侵 蚀

它含剥落、崩塌、滑坡与泥石流等。它们的发生不仅标志着生态地貌系统的失稳,而且也影响邻区生态地貌系统退化乃至崩溃。重力侵蚀对外界干扰破坏(如暴雨、地震及人类活动)反应极为敏感,是生态地貌系统稳定性的重要影响因素。重力侵蚀主要与下列因素有关。

(一) 物 质

如滑坡的分布与岩性密切相关^[5],且受地层影响。流域内大型滑坡多见于高山中山区、盆周山区及华蓥山区、龙泉山区,成都粘土分布区及盆中丘陵粘土岩砂岩分布区有小型滑坡。此外一些易破碎岩体、老滑坡体常为泥石流提供固体物质。

(二) 坡 度

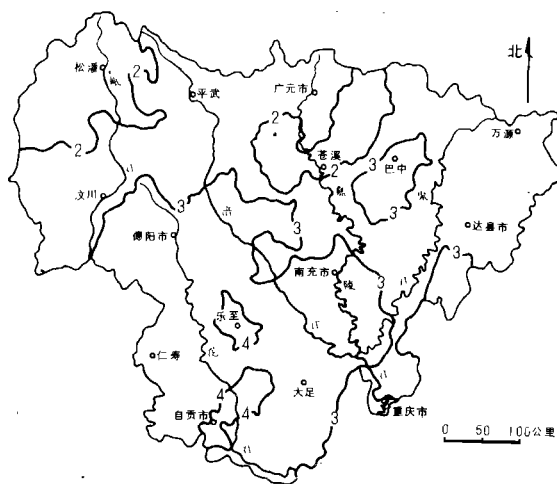
这影响坡面固体物质的自身稳定。坡面固体物质的下滑力与坡度的正弦成正比。坡度越陡,下滑力越大,重力侵蚀就易发生。境内崩塌多在坡度 $>55^\circ$ 的坡地,滑坡多于坡度 $25^\circ-55^\circ$ 的坡地¹⁾,泥石流沟沟坡坡度常为 $15^\circ-25^\circ$ 。

(三) 面积-高程积分值 S 的反应

对17个较低级流域的 S 值计算结果表明,流域内 S 值以岷江上游最高,为0.41—0.53,地貌发育呈现壮年期,地势起伏甚大,沟谷侵蚀以下切为主,崩塌、滑坡和泥石流等山地灾害频发。沱江流域和嘉陵江流域的 S 值从上游向下游递减:中上游地貌多处于壮年期,如龙门山区、米仓山区和大巴山区等, S 值为0.37—0.56;而山地与山前平原区(或盆中丘陵区)转换部位(如江油、宣汉、苍溪等地), S 值为0.30—0.34,极易发生崩塌、滑坡和泥石流等山地灾害,对下游生态环境影响大,这理当是防护林重点保护和建设区。盆中丘陵区虽 S 值较低,大多 <0.32 ,但在低山与平坝(或浅丘)接壤部位(如川东平行岭谷区、龙泉山区等)也常发生崩塌、滑坡和泥石流。

四、人 类 活 动

生态地貌系统中,人类活动是一非常复杂的因素,有时起着积极作用,能协调地貌系统和生态系统之间的平衡,如植树造林、保护耕地和保护环境等属之;有时起着消极(干扰



附图 川江流域沟谷切割密度等值线图

Figure Isogram of ravine density in the Chuankiang Basin

标有阿拉伯数码的曲线为沟谷切割密度等值线

1) 刘恒一、李水芸,1990,长江上游防护林建设区地质岩性分布规律及特征研究。

破坏)作用,加速生态地貌系统失稳,如乱砍滥伐森林、陡坡垦殖、过度放牧、随意开挖坡地、乱堆弃碴等即是。消极的人类活动属生态地貌系统的外界干扰破坏因素,只有积极的人类活动才是生态地貌系统的稳定因素。在一定范围内,人类活动和生态地貌系统是可以协调发展的,如果人类利用已有的科学技术,削弱不利于系统稳定的因素或改变其作用方向,增强利于系统稳定因素的强度,便可巩固、提高生态地貌系统稳定程度,否则会导致生态地貌系统的崩溃,反作用于人类。

川江流域是四川省人口稠密区,人口密度最高 > 800 人/平方公里,如荣昌 831 人/平方公里、广汉 872 人/平方公里。许多县市森林覆盖率 $< 10.0\%$,如遂宁 5.2%。由此可见,人类活动对生态地貌系统压力极大,加上大量陡坡垦殖,土地合理利用程度较低,因而坡耕地遭侵蚀已成为影响境内生态地貌系统稳定性的重要因素之一。由推算得知,流域内坡耕地遭侵蚀量占总侵蚀量的 63%;盆地丘陵区多数县份坡耕地遭侵蚀量占总侵蚀量的 70% 以上,而仅占全流域面积 2% 的 $> 25^\circ$ 陡坡耕地遭侵蚀量占总侵蚀量的 12%,因此陡坡地应发展生态农业,这是增强生态地貌系统稳定性、合理开发利用农业自然资源、保护生态环境的重要途径。

参 考 文 献

- [1] 丁锡祉,1990,城市生态地貌学,云南地理环境研究,2(2),第 42—47 页。
- [2] Swanson, F. J., Grant, G. E., 1989, Geomorphology-ecosystem interactions along mountain streams. Abstracts of Paper and Posters, 1, Geomorphology & Geoecology, Second International Conference on Geomorphology, Frankfurt/Main, 283—284.
- [3] Hill, A. R., 1987, Ecosystem stability, some recent perspectives. *Progress in Physical Geography*, 11(3), 315—333.
- [4] 承继成、江美球编著,1986,流域地貌数学模型,科学出版社,第 142 页。
- [5] 卢鑫樵,1988,浅论易滑地层,山地研究,6(2),第 119—122 页。

INFLUENCING FACTORS ON STABILITY OF GEOMORPHOLOGY-ECOSYSTEM IN THE CHUANJIANG BASIN

Li Lihua Liu Shuzheng He Yucheng

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy)

Abstract

The Chuanjiang Basin includes the Jialingjiang and Tuojiang Basins and the upper reaches of the Minjiang River, which are separately 3 tributaries on the upper reaches of the Changjiang River in Sichuan Province. The total area of Chuanjiang Basin is $16 \times 10^4 \text{ km}^2$. In the region, the stability of geomorphology-ecosystem is very weak. It is mainly caused by following factors.

1. Sheet Erosion: It is one of the most important influencing factors on the stability of geomorphology-ecosystem, and it is very widely and seriously. According to the field measured

data, sheet erosion volume is the power function of gradient, positive related with slope length and obviously controlled by lithologic fabricates and landform types.

2. Ravine Erosion: Its capability is represented by the average ravine density of each county derived from the average ravine density of 1-grade watershed on 1:50,000 topographic maps based on Haudon Law. In the region, ravine density is negative and positive related separately with the average forest cover ratio and population density of each county. Above result shows that ravine erosion is another influence factor on the stability of geomorphology-ecosystem in the Basin.

3. Gravity Erosion: Collapse, landslide and debris flow with high frequency and great scale have serious affections on the stability of geomorphology-ecosystem at the middle and upper reaches of the Chuanjiang Basin. They are usually accompanied with special lithology, sharp slope and irrational lumbering.

4. Human Activities: Its positive and negative affections on the stability of geomorphology-ecosystem are easily resulted from the wave change of forest cover ratio in past decades. Although negative human activities trend to diminish in recent years, slope fields, especially steep slope fields are still eroded violently.

Key words Chuanjiang Basin, geomorphology-ecosystem, stability, influence factor

《湖泊科学》杂志问世

《湖泊科学》是由中国科学院南京地理与湖泊研究所和中国海洋湖沼学会主办,由水利部太湖流域管理局和水利部、中国科学院水库渔业研究所协办的综合性、前沿性学术刊物。我国著名自然地理学家、中国科学院学部委员施雅风教授任本杂志主编,由高等院校、科研机构、水利部门的教授、研究员、专家组成编委会。

本刊主要反映湖泊(淡水湖、咸水湖、盐湖)水库及其流域的环境演变和资源综合利用的学术成果。例如:湖泊物理、湖水化学、水文气象、沉积地貌、水生生物、水产养殖、生态环境、工程治理和资源开发等方面的学术论文,短文,研究报道,经验介绍以及湖泊水库学科研究的新动向、新技术、新问题等。

本刊面向从事湖泊、水库研究和管理,以及涉及湖泊水库学科(如地理、地质、石油、水产、生物、环保、气象等)范围内的科技人员、管理人员及大专院校师生。

《湖泊科学》为季刊,1989年创刊,16开96页,科学出版社出版,南京市邮政局发行,全国各地邮局订购,中国国际图书贸易总公司国外发行。邮发代号:28-201,每期定价3.50元。编辑部地址:南京市北京东路73号中国科学院南京地理与湖泊研究所《湖泊科学》编辑部,邮政编码:210008。

《湖泊科学》编辑部