

文章编号: 1008-2786-(2011)2-141-13

# 长江流域侵蚀产沙尺度效应的区域分异

闫云霞<sup>1</sup>, 许炯心<sup>1</sup>, Marwan Hasson<sup>2</sup>, 廖建华<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada. V6T 1Z2;

3. 江西师范大学, 地理与环境教育学院, 江西 南昌 330022)

**摘 要:** 以长江流域水文站点的观测数据为依据, 基于一定的分区原则, 将整个长江流域分成了 8 个区域, 对所有分区产沙模数的尺度效应进行了深入分析。研究表明, 所有分区产沙模数的尺度效应可以概括为三类: 产沙模数随流域面积的增大而减小, 或先减小后基本保持不变的, 主要包括长江中下游干流沿岸区域、岷江主体区域、洞庭湖流域和鄱阳湖流域; 产沙模数随流域面积的增大基本保持不变的, 包括嘉陵江主体区域和汉江流域; 产沙模数随流域面积增大而增大, 或先增大后基本保持不变的, 包括长江上游干流沿岸的非泥石流流域和乌江流域。不同流域尺度效应的差异主要与流域土地利用方式有关。基于各分区校正方程, 将所有站点进行了标准面积为 100 km<sup>2</sup>, 1 000 km<sup>2</sup>, 10 000 km<sup>2</sup> 的尺度校正, 结果表明, 当校正面积为 100 km<sup>2</sup>, 侵蚀最强烈的区域主要是岷江流域, 其次是鄱阳湖和洞庭湖流域, 校正面积为 1 000 km<sup>2</sup> 和 10 000 km<sup>2</sup>, 产沙模数图变化不显著, 但明显区别于校正面积为 100 km<sup>2</sup> 下的产沙模数图。侵蚀最强烈的区域主要是嘉陵江流域, 其次是长江上游干流沿岸的部分区域和汉江流域的部分区域。不同校正面积下产沙模数图的变化, 显示了不同流域侵蚀来源的差异。

**关键词:** 长江流域; 分区; 产沙模数; 尺度效应; 尺度校正

**中图分类号:** P333, S157

**文献标识码:** A

编制产沙模数图的传统方法, 是选取若干进行过长系列产沙模数观测的水文站, 确定其所代表的流域或流域区间, 然后通过插值的方法绘出产沙模数等值线。由于涉及到的流域或流域区间的面积大小不等, 传统的方法实际上隐含着一种假设, 即流域面积的不等不会对产沙模数产生影响, 或其影响可以忽略。然而, 由于编制产沙模数图涉及到的流域面积不等, 前人已发现产沙模数与流域面积之间存在某种函数关系, 故上述隐含的假设是不能成立的。有鉴于此, 在编制产沙模数图时, 必须考虑到尺度的影响, 并作出某种校正, 即按照尺度效应关系, 将各个流域或流域区间的产沙模数换算到某一标准面积之下的产沙模数, 然后再进行产沙模数的插值计算<sup>[1]</sup>。

产沙模数的尺度效应, 同时受到多种因素的影响。基于对全世界许多河流的研究, 很多学者发现产沙模数( $Y_i$ ) 和流域面积( $A$ ) 呈负相关关系, 将这种关系表示为

$$Y_i = k A^b$$

式中  $Y_i$  为产沙模数, 单位为  $t/(km^2 \cdot a)$ ;  $k$  为单位面积产沙量,  $A$  为站点控制面积, 单位为  $km^2$ ,  $b$  为尺度指数, 无量纲, 一般  $< 0$ 。

对于这种负相关关系, Chorley *et al.* 等人<sup>[2]</sup> 从以下几个方面进行了解释: 1. 小的站点相对而言地形高差大, 容易产生强度侵蚀; 2. 一场降雨很容易覆盖一个小的流域, 覆盖大流域的降雨相对少; 3. 随着流域面积的增大, 泥沙有很多机会在河道或者冲积平原淤落。

收稿日期(Received date): 2010-09-03; 改回日期(Accepted): 2010-12-20。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(40701018, 40671019) [National Natural Science Foundation of China (40701018, 40671019).]

作者简介(Biography): 闫云霞(1975-), 女, 山西浮山人, 助理研究员, 主要从事河流地貌研究工作。[Yan Yunxia(1975-), female, was born in Shanxi, assistant professor. Fluvial geomorphology & erosion and sediment yield. ] E-mail: yanyx@igsrr.ac.cn

然而流域地貌过程千差万别,不同的流域历史过程,地表覆盖物质的差异,土地利用情况的变化都会影响到泥沙的侵蚀和输移,使产沙模数的尺度效应变现出不同的形态。Church and Slaymaker<sup>[3]</sup>对加拿大 British Columbia 省河流的研究表明,产沙模数与流域面积之间呈非线性相关,产沙模数随流域面积的增大先增大,当流域面积达到 30 000 km<sup>2</sup>,产沙模数随流域面积的进一步增大而减小,认为产沙模数随流域面积的增大是由于河岸或者谷坡遭受侵蚀,导致的第四纪冰川沉积物重新被侵蚀输移造成的。许炯心等<sup>[6]</sup>对黄河流域产沙模数尺度效应的研究结果亦呈现非线性变化,产沙模数随流域面积的增大先增大,当流域面积达到 2 000 km<sup>2</sup> 达到最大,之后又随流域面积的进一步增大而减小,并从地表物质组成、河流中长期调整以及河流能量损耗随流域面积的变化方面进行了分析解释。Dedkov 等人<sup>[7-8]</sup>对全世界的 1 872 条山地河流、欧亚大陆温带处于平原地区的 352 个流域的研究认为,发现未受人类干扰或人类活动比较弱的区域,  $Y_s \sim A$  呈正相关关系,侵蚀主要发生在河道;受人类活动影响大,或开垦强烈的区域,  $Y_s \sim A$  呈负相关关系,侵蚀主要发生在坡面,而下游沉积显著。

长江流域是我国最大的流域,总面积  $180 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,2005 年,全流域人口 4.4 亿,占全国的 30% 以上,长江流域 80% 以上土地面积适宜于人类生产生活,是一个强烈受人类活动影响的流域。前人对长江上游的尺度效应进行过宏观的研究<sup>[9-10]</sup>,但缺少对区域差异的深入分析,同时缺少对整个流域尺度效应的研究。本文试图通过对长江流域尺度效应的深入研究,一方面可丰富侵蚀产沙尺度效应的理论内容,另一方面,通过标准化产沙模数图的编制,为流域的侵蚀治理提供科学依据。

## 1 研究区域、数据来源及研究方法

### 1.1 研究区域

长江发源于青藏高原唐古拉山脉主峰格拉丹东雪山南侧源头冰川末端,自西向东穿越中国注入东海,全长约 6 300 km。由河源至河口,整个地势西高东低,形成三级巨大台阶:第一级阶梯由青南、川西高原和横断山高山峡谷区组成,一般高程 3 500 ~ 5 000 m;二级阶梯为秦巴山地、四川盆地和鄂黔山地,一般高程 500 ~ 2 000 m;三级阶梯由淮阳山地、

江南丘陵和长江中下游平原组成,一般高程均在 500 m 以下。流域内的地貌类型众多,据统计,山地、高原和丘陵约占 84.7%,平原占 11.3%,河流、湖泊等水面占 4%。至 2007 年大通站多年平均径流量为  $9\,034 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,占全国河流径流总量的 36%,约为黄河的 26 倍;输沙量约  $4.14 \times 10^8$  t,约为黄河的 1/3(全国泥沙公报)。人口 4.4 亿,工业总产值占全国的 34%,农业总产值占全国 43.4%。长江流域平均年降水量 1 067 mm,由于地域辽阔,地形复杂,季风气候十分典型,年降水量和暴雨的时空分布很不均匀,自东南向西北呈减少趋势。江源地区年降水量 < 400 mm,属于干旱带;流域内大部分地区在 800 ~ 1 600 mm,属湿润带。年降水量 > 1 600 mm 的特别湿润带,主要位于四川盆地西部和东部边缘、江西和湖南、湖北部分地区。年降水量在 400 ~ 800 mm 的半湿润带,主要位于川西高原、青海、甘肃部分地区及汉江中游北部。年降水量达 2 000 mm 以上的多雨区都分布在山区,范围较小,其中四川荣经的金山站年降水量达 2 590 mm,为全流域之冠。

### 1.2 资料来源

本文使用的长江输沙量数据来自长江水利委员会刊印的长江流域水文站的观测资料。由于 1987 年后的资料不再刊印,不易获取,因而使用了 1987 年之前的数据。

### 1.3 研究方法

由于长江干流石鼓以上以及长江支流雅砻江中上游站点非常少,因为研究区域主要包括石鼓到大通间的区域,其中雅砻江主要选择了下游沿江站点,研究区面积约  $140 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,占整个长江流域的 79%。

整个长江流域地质条件复杂,遵循流域的完整性、区域延续性、下垫面及降雨条件一致性的原则(由于研究区域过大,不排除各分区存在着微地貌的差异),同时借鉴前人对长江流域分区的研究成果,进一步将研究区划分为 8 个分区(图 1)。

为了使站点选择具有代表性,选取站点过程中主要遵循以下原则<sup>[5]</sup>:1. 为了保持站点数据的稳当性,站点数据要大于 5 a;2. 为避免流域过大、影响因素过多,选择流域面积在 30 000 km<sup>2</sup> 以内的站点;3. 选择的站点应尽量避免上游水利工程的影响。

基于上述原则,研究选择了覆盖整个长江流域

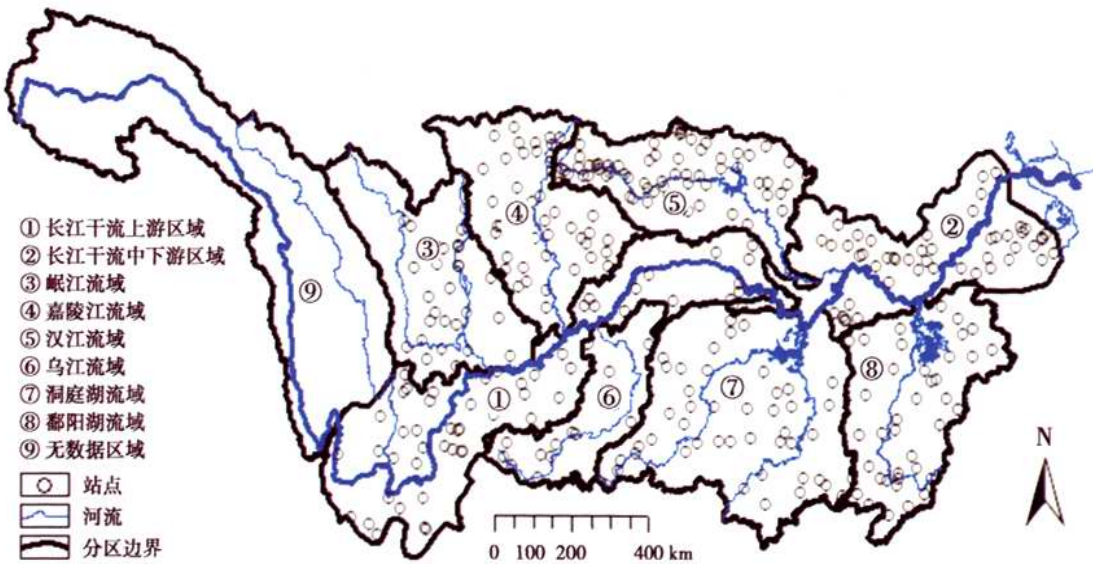


图1 研究区域分区及站点分布图

Fig. 1 Distribution of all sub-regions and all hydro-stations

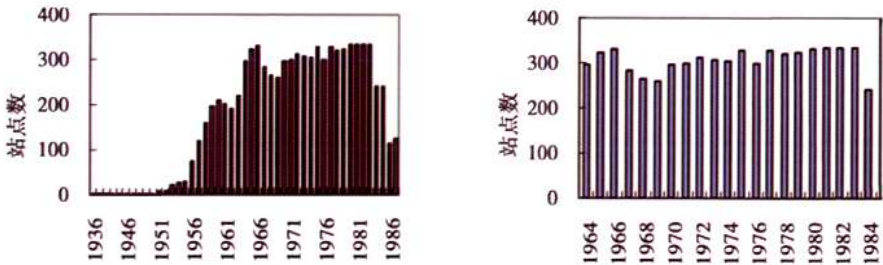


图2 不同时段站点数及研究使用时段选择

Fig. 2 Station number of every year and years been used

的326个水文站,站点分布如图1。将1936—1987年间各年份有数据的站点数量进行统计。为了减小由于站点数量过少带来的误差,本研究选取了1964—1985年间的数,各年份使用的站点数目如图2。

各分区的名称,区域面积,包括的站点数,以及累积使用的年份如表1。

传统计算产沙模数的方法为 $Y_i = L/A_d$ ,其中: $Y_i$ 为侵蚀模数, $L$ 为输沙量, $A_d$ 为站点控制面积。但随着流域面积的增加,被径流输移的泥沙存在着沉积或重新输移的现象,即侵蚀产沙的尺度效应,该效应在传统计算方法中被忽略。前人通过研究建立了 $Y_i \sim A$ 间的幂函数关系: $Y_i = K_i A_d^b$ ,其中, $K_i$ 为单位面积的产沙量; $b$ 为尺度指数。但如前所述,前人发现 $Y_i \sim A$ 在双对数坐标上不止表现为线性关系,

还有非线性相关关系存在<sup>[1,3,6]</sup>。因而本研究将基于

表1 分区及站点统计

Table 1 Information of sub-regions and stations

分区名称	区域面积/km <sup>2</sup>	站点数	累积年份	平均年份
长江干流上游沿岸	252 783	55	893	16
长江干流中下游沿岸	172 643	48	847	18
岷江流域	133 570	24	493	21
嘉陵江流域	159 812	42	775	18
汉江流域	173 621	61	1254	21
乌江流域	87 606	13	185	14
洞庭湖流域	260 506	45	1023	23
鄱阳湖流域	158 677	38	896	24
汇总	140 000	326	6 366	20

各个分区,分别建立各个年份各分区站点产沙模数和控制的流域面积间的复杂函数关系,建立用于消除尺度效应的  $Y_i \sim A$  函数关系式,基于上述关系式,对所有站点进行标准面积的转化,利用插值法制作不同标准面积小的产沙模数图。

2 研究结果

2.1 各分区多年平均尺度效应

各分区研究结果如表 2。其中各分区剔除的站点包括三类:一是位于平原区,因而侵蚀模数异常低;二是上游受水库影响,侵蚀模数异常低;三是位于流域上游,植被覆盖率高,人口少,因而侵蚀模数异常低。

2.2 各分区尺度效应分析

2.2.1 长江上游干流沿岸区域(图 3a)

该区域位于长江上游干流攀枝花到宜昌的沿岸

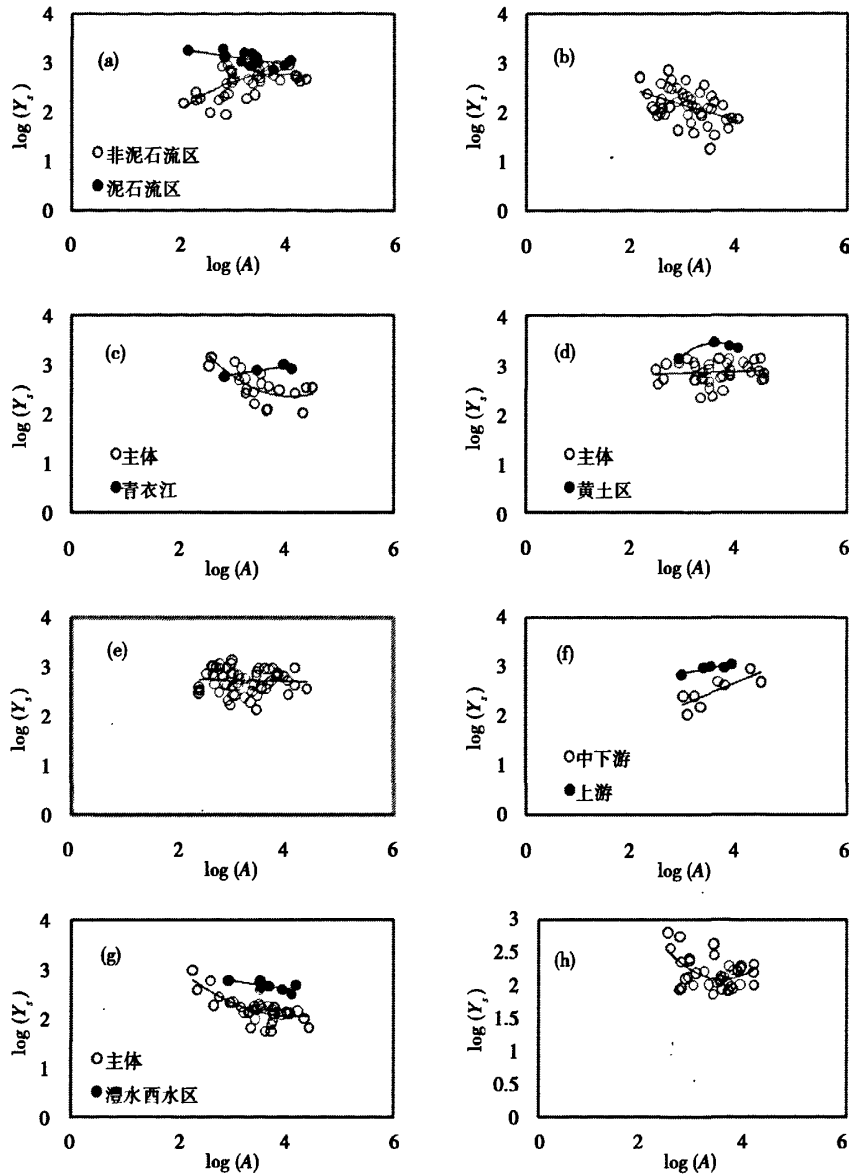
区域,区域狭长,河流大都比较短小,流域面积一般在 2 500 km<sup>2</sup> 以内,超过 10 000 km<sup>2</sup> 的有 6 条,最大的为赤水河流域,面积 18 932 km<sup>2</sup>。本区处于我国地势变化的第一、第二阶梯上及其过渡带,新构造活动是以大面积间歇性差异抬升为特征<sup>[11]</sup>,地形变化急剧,山高坡陡、谷深流急、地质构造复杂,新构造运动强烈、地层出露齐全、生态环境脆弱,动力地质作用强烈,加之近年来不合理的人类活动,使得本地区山地灾害尤其是山崩滑坡灾害频繁发生,日趋严重<sup>[12]</sup>。该区域是泥石流的重点发生区域,根据泥石流的发生与否,将站点分成两类,发生泥石流的站点和未发生泥石流的站点,将这两类站点与流域面积的关系进行点绘。从图上可以看出,发生泥石流的站点,其输沙模数随流域面积的增大而减小;未发生泥石流的站点,产沙模数先随流域面积的增大而增大,当流域面积达到 5 000 km<sup>2</sup> 左右时,侵蚀模数达到最大,之后随流域面积的增大基本保持不变。

表 2 各分区产沙模数尺度效应分析结果\*

Table 2 Regional scale relations for sediment yield

分区	次级分区名称	拟合方程	R <sup>2</sup>	控制面积/km <sup>2</sup>	站点数	F	剔除站点	Sig.
长江干流上游 沿岸区域	长江干流上游沿岸 区域(非泥石流区)	$y = -0.2213x^2 + 1.7132x - 0.5315$	0.396 6	252 783	40	12.162	2	0.000
	长江干流上游沿岸 区域(泥石流区)	$y = -0.1278x + 3.498$	0.284 4		15	5.167	0	0.041
长江干流下游 沿岸区域		$y = -0.3282x + 3.1274$	0.198 9	172 643	48	11.418	0	0.001
岷江流域	岷江流域:主体	$y = 0.3566x^2 - 2.897x + 8.2396$	0.509 1	151 000	19	8.297	1	0.003
	岷江流域:青衣江	$y = 0.1982x + 2.1647$	0.692 7	13 700	5	6.762	0	0.08
嘉陵江流域	嘉陵江:主体	$y = 0.0437x + 2.6843$	0.012 9	149 000	38	0.469	3	0.498
	嘉陵江:黄土区	$y = -0.6505x^2 + 4.6393x - 4.8284$	0.987 9	9 500	4	40.939	0	0.110
乌江流域	乌江:上游	$y = 0.1832x + 2.3427$	0.810 3	16 000	5	12.818	0	0.037
	乌江:中游	$y = 0.4481x + 0.9116$	0.639 1	70 448	8	10.626	2	0.017
汉江流域		$y = -0.0212x + 2.7983$	0.0021	143 894	61	0.126	0	0.724
洞庭湖流域	洞庭湖:湘资沅区	$y = 0.2005x^2 - 1.6816x + 5.5661$	0.541	256 160	39	20.039	0	0.000
	洞庭湖:澧水酉水区	$y = -0.2579x + 3.5879$	0.527 7		9	7.822	2	0.027
鄱阳湖流域		$y = 0.3842x^2 - 2.7613x + 7.0616$	0.244 3	161 688	37	5.658	1	0.007

\*: \*: 站点控制面积的对数值; y: 输沙模数对数值。



(a) 长江上游干流沿岸区域;(b) 长江中下游干流沿岸区域;(c) 岷江流域;(d) 嘉陵江流域;(e) 汉江流域;(f) 乌江流域;(g) 洞庭湖流域;(h) 鄱阳湖流域 (a) the upper reach area, along the main channel;(b) the middle and lower section along main channel;(c) the Minjiang sub-region;(d) the Jialingjiang sub-region;(e) the Hanjiang sub-region;(f) the Wujiang sub-region;(g) the Dongtinghu sub-region;(h) the Poyanghu sub-region

图 3 各分区产沙模数与流域面积的关系

Fig. 3 Relationships between  $Y_s$  and  $A$  for all sub-regions

对于发生泥石流的站点,由于泥石流泥沙含量非常高,随着流域面积的增大,坡降的减缓,泥沙会迅速沉积,因而随着流域面积的增大,侵蚀模数减小。

杨永生等<sup>[13]</sup>人对云南省金沙江流域水土流失

的研究表明,在各种土地利用类型中,顺坡耕地是水土流失的主要类型,占全部土地侵蚀总量的 62.55%,其中 15°~35°的顺坡耕地占耕地总侵蚀量的 78.33%,其次为林地,占总侵蚀量的 22.75%,荒山荒地,占总侵蚀量的 11.95%,林地和荒山荒地

大都处于坡度较陡( $>35^\circ$ )的山区。

对于未发生泥石流的站点,侵蚀模数随流域面积增大先增大,是因为该区域侵蚀以 $15^\circ\sim 35^\circ$ 的顺坡耕地侵蚀为主,当流域面积小时,坡地大,以林地、荒地和牧草地为主,侵蚀强度小,随着流域面积的增大,坡耕地的比例越来越大,侵蚀强度增强,因而侵蚀模数随流域面积的增大而增大。等流域面积达到 $5\,000\text{ km}^2$ 时,一般进入支流的下游或者干流,坡耕地的面积不再随流域面积的增大而增大,加之流量大,含沙量低,并且研究站点一般处于支流下游或者干流的上中游,河床比降大,泥沙可以被长距离输移,因而侵蚀模数随流域面积的增大保持不变。

#### 2.2.2 长江中下游干流沿岸区域(图 3b)

该研究区产沙模数与流域面积间呈负相关,产沙模数随流域面积的增大而减小。该区位于长江中下游干流宜昌到南京间的沿岸区域,区域狭长,支流短小。有三个流域面积超过了 $5\,000\text{ km}^2$ ,裕溪河流域面积最大,为 $12\,938\text{ km}^2$ 。该区域属于长江中下游平原,由长江及其支流冲积而成,地势低平,海拔大多 $50\text{ m}$ 左右,河网纵横交错,湖荡星罗棋布,湖泊面积相当于平原面积的 $10\%$ 。

以把口站统计该区域水系,除青弋河 $<15^\circ$ 的面积占流域面积的 $44\%$ 外,其他流域 $<15^\circ$ 的面积平均占流域面积的 $71\%$ 。即该区域的水土流失主要为在中上游山区植被破坏,失去涵养水源的功能造成的水土流失。随着流域面积的增大,坡度减缓,一方面,侵蚀减弱,另一方面,进入平原区,大量泥沙淤落,因而侵蚀模数对流域面积的增大呈减小趋势。

#### 2.2.3 岷江流域(图 3c)

由图 3c 可以看出,岷江主体,侵蚀模数先随流域面积的增大而减小,当流域面积达 $6\,000\text{ km}^2$ 左右时,侵蚀模数随流域面积的增大基本保持不变;青衣江区域的侵蚀模数随流域面积的增大而增大。

岷江流域<sup>[14]</sup>地貌类型以高原、山地和丘陵为主,约占流域总面积的 $80\%$ 。以把口站高场控制区域( $134\,501\text{ km}^2$ )计算得到 $>25^\circ$ 的坡地占流域面积的 $64\%$ , $15^\circ\sim 25^\circ$ 的坡地占 $11\%$ , $<15^\circ$ 占 $26\%$ 。一般支流都是由高原、山地流入丘陵平原区,而青衣江流域(面积 $1.37\times 10^4\text{ km}^2$ )下游为丘陵平原区,上游为山区,因而将青衣江流域单独分析,将整个研究区域分区岷江主体和青衣江区域。

岷江流域的侵蚀主要发生在上游,岷江上游以林业和畜牧业为主。在明代以前,岷江上游的森林

覆盖率一直保持较高覆盖率( $50\%$ 左右),自 19 世纪,随着技术进步、人口压力、社会需求的增加、以及政策引导下,山地河谷地带森林被大量砍伐,到 20 世纪 80 年代末,森林覆盖率下降到 $14.4\%$ 。伴随着森林砍伐的还有陡坡开荒,造成严重的水土流失。进入 1990 年代,国家开始限制森林采伐,其覆盖率又升至 $24.54\%$ <sup>[15]</sup>。

当流域面积小时,坡度大,由于上述原因造成的侵蚀强烈,随着流域面积的增大,坡度减缓,侵蚀减弱,因而侵蚀模数随流域面积的增大而减小;当流域面积达到 $6\,000\text{ km}^2$ 左右时,进入大支流的下游或者干流上游,随着流域面积的进一步增大,虽然坡降有所减缓,但一方面泥沙来源有限;另一方面,流量大,径流含沙量低,悬移质泥沙很容易被输移,因而侵蚀模数随流域面积基本保持不变。

青衣江流域的地形随流域面积的增大呈现由缓(丘陵平原区)到陡(山地)的变化趋势,由于侵蚀主要来自于山区森林的砍伐和陡坡开荒,因而侵蚀模数随流域面积的增大呈现增大的趋势。

#### 2.2.4 嘉陵江流域(图 3d)

嘉陵江流域以山地和丘陵为主。上游的西汉水流域属于黄土区,侵蚀强烈,为整个流域侵蚀强度的 $1.5\sim 3$ 倍,因而将处于黄土区的西汉水流域单独分析,将整个区域分为上游黄土区和嘉陵江主体两个分区。嘉陵江主体产沙模数随流域面积的增大基本保持不变,黄土区产沙模数随流域面积的增大先增大后减小。

嘉陵江流域侵蚀与岩性和土地利用方式有关。流域上游以海拔 $1\,000\sim 3\,000\text{ m}$ 的中低山为主,区域内岩石为抗风化力差、易侵蚀的千枚岩、砂板岩,在降雨和水文等外界因子的影响下,崩塌、滑坡和泥石流等水土流失现象易于发生。山体坡度陡峻,斜坡物质稳定性极差,水土流失主要表现为各种重力侵蚀和泥石流侵蚀。中下游以低山、丘陵为主,区域多为中生代紫红色砂泥岩和砂页岩,易于风化,风化层厚度大,加之岸坡很陡,耕垦过度,植被覆盖很差,地表土壤物质在植被受到破坏后,造成坡面侵蚀强烈,水土严重流失,成为流域内泥沙产生的重要来源<sup>[16]</sup>。

嘉陵江流域开发早,人口密度大,据 1988 年的资料,嘉陵江中游人口密度最高已达 $700\sim 800\text{ 人/km}^2$ ,多数区域 $300\sim 500\text{ 人/km}^2$ 。密集的人口,必然带来对土地资源需求量的极大压力。流域自解放

以来,由于政策上的失误而出现过几次森林大破坏,到1980年代初,森林比1950年代减少40%左右。毁林开荒,陡坡开垦是嘉陵江流域水土流失的重要原因。

嘉陵江中低山区域的岩性和毁林开荒以及低山、丘陵区森林砍伐、陡坡开垦和坡地耕种,是水土流失的主要原因,因而侵蚀模数随流域面积的增大基本保持不变。

黄土区站点侵蚀模数随流域面积的增大表现为先增大后减小的变化,与之前对黄河流域侵蚀模数的尺度变化规律相符<sup>[6]</sup>。当流域面积小时,坡度大,黄土大量被侵蚀输移,厚度小,因而侵蚀强度低,随着流域面积的增大,厚度逐渐增大,因而侵蚀模数增大,到了西汉水流域下游由黄土丘陵沟壑区过渡到土石质山区<sup>[17]</sup>,侵蚀强度逐渐降低,表现为侵蚀模数随流域面积的进一步增大而减小。

#### 2.2.5 汉江流域(图3e)

汉江流域产沙模数随流域面积的增大基本保持不变。流域85%以上地域为丘陵山区,中上游是水土流失最严重的区域。就地貌部位看,流域内水土流失总的分布趋势是中山轻于低山丘陵区。低山丘陵区是盆地平坝边缘与中高山接壤的过渡地带,沟谷发育,土层薄,植被差,岩石多有裸露,因人多地少,滥垦乱种现象十分普遍。这里也是重力侵蚀频繁发生区域。随着区域经济建设的发展和人口的继续增加,人类经济活动的范围进一步向山地深处发展,其中陡坡垦荒和修路采石等活动的影响相当大,致使土壤侵蚀向中山蔓延。据安康地区调查数据,低山丘陵区的侵蚀1970年代比1960年代有所减弱,如汉江沿岸低山丘陵区年输沙量就减少了16%,但子午河、坝河、岚河和蜀河等中山流域却增加了13.4%~28.0%。一些中山地区成了新的垦荒热点,这里的森林植被破坏在持续。以商洛地区为例,该地区1980—1990年期间,耕地由 $17.41 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $30.85 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,其中坡耕地由 $10.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $22.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,10 a间坡耕地面积增加了12倍,而且坡耕地的增加中有78%属 $>25^\circ$ 的陡坡耕地。

由于侵蚀主要发生在上中游,且低山丘陵区侵蚀强度高于中山区,因而随着流域面积的增大,坡度的减缓,虽然泥沙有更多机会淤落,但由于侵蚀强度增强,总体表现为侵蚀模数随流域面积的增大基本保持不变。

#### 2.2.6 乌江流域(图3f)

乌江流域上、中、下游分别为高原、山原,中山峡谷和低山丘陵<sup>[23]</sup>,乌江流域各种碳酸盐岩出露面积占流域面积的64.81%,形成多种类型的喀斯特地貌和石灰土<sup>[24]</sup>。水土流失最严重的是上游,因为上游除各种碳酸盐岩外,还有约占上游面积12.6%的紫色砂页岩,易于风化成土,抗蚀能力弱,因而易于遭受侵蚀,使上游的侵蚀强度明显高于中、下游,因而将研究区域分成了乌江上游和中下游两个区域<sup>[25]</sup>。

线性拟合的结果显示,无论是上游还是中下游,侵蚀模数都呈现随流域面积增大而增大的趋势。

从地貌条件看,山高、坡度又大又陡,植被覆盖率又低,由于政策及人口压力导致的乱砍乱伐,使乌江流域的森林覆盖率由解放初的30%以上下降到1990年代初的9.9%,水土流失面积占全流域面积的49%<sup>[26]</sup>。

喀斯特地区成土速率极低,土体的总量小,一旦侵蚀,很容易造成岩石裸露的石漠化现象。乌江流域裸露的石山、半石山面积约占流域的10%<sup>[23]</sup>。据吴秀芹对喀斯特发育典型的一个小流域石板桥流域的研究表明,荒山荒坡面积最大(57.2%),其次是耕地(21.2%)和林地(8.5%)。旱地、难利用地及草地发生侵蚀面积占侵蚀总面积90%以上。是泥沙来源的主要贡献者。 $6^\circ \sim 30^\circ$ 的坡度间较易发生侵蚀的草地、林地、农田分布的面积比例最大,侵蚀最严重,大于或小于此区间,侵蚀都减弱<sup>[27]</sup>。当流域面积小时,坡度大,可侵蚀的物质少,侵蚀强度弱,随着流域面积增大,坡度减小,侵蚀增强,因而侵蚀模数呈现随流域面积增大而增大的趋势。

#### 2.2.7 洞庭湖、鄱阳湖流域(图3g、3h)

两流域地貌同为东南西三面环山,中部丘岗起伏,盆地相同,北部湖泊、平原展布,呈朝北开口的马蹄形盆地<sup>[28]</sup>。其中水土流失主要发生在中环和外环,外环流失强度较大。位于洞庭湖流域(图3g)的澧水西水区, $>25^\circ$ 的坡度面积平均为49%,远大于其他区域(28%),因而将洞庭湖流域分为洞庭湖主体区域和澧水西水区。其中洞庭湖主体区域和鄱阳湖区域产沙模数与流域面积呈非线性相关,随流域面积的增大先减小后基本保持不变;澧水西水区产沙模数随流域面积的增大而减小。

山林的过度采伐和陡坡开荒是这两个流域水土流失的主要原因。1950—1960年代的政策失误,大



炼钢铁、以粮为纲,以及后来的林权更迭等造成山林的采伐过度;同时由于人口的快速增长,对粮食、燃料需求的不断增加,人地矛盾日益突出,导致陡坡垦植,粗放耕作,致使江西、湖南两省水土流失面积分别从1950年代的 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,猛增到1980年代的 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $4.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,分别增长3.4倍和2.6倍<sup>[28]</sup>。

当流域面积小时,坡度大,由于森林砍伐和陡坡开荒引起的水土流失严重,因而侵蚀模数大,随着流域面积的增大,坡度减缓,泥沙来源减少,侵蚀模数随着减小。当流域面积增大到 $3\,000 \text{ km}^2$ 左右时,随着流域面积的进一步增大,一方面,流域坡度构成基本保持不变;另一方面, $>3\,000 \text{ km}^2$ 左右的站点主要位于支流的下游和干流的上游,站点径流量大,坡度大,含沙量小,悬移质泥沙容易被输移,因而侵蚀模数随流域面积基本保持不变。

澧水酉水区 $>25^\circ$ 的坡度面积平均为49%,远大于其他区域(28%),因而相同面积下的产沙模数也高于其他区域。因为侵蚀主要来源于陡坡地的森林砍伐和陡坡耕种,当流域面积小时,坡度大,侵蚀强度高,随着坡度减缓,侵蚀减弱,因而侵蚀模数随流域面积呈减小趋势。删除站点说明:两个平原区小流域站点,一个站点上游有水库,侵蚀模数非常低。

2.3 各分区尺度效应分类

总体而言,长江流域的侵蚀产沙和泥沙输移的尺度效应可以分为三类:1. 侵蚀主要由森林砍伐和陡坡开荒引起,如岷江主体区、鄱阳湖、洞庭湖区域及长江中下游区域,尺度效应表现为侵蚀模数随流域面积的增大而减小,或先减小后保持不变,如图4a;2. 由于岩性及土地利用情况,侵蚀同时发生在流域的中低山区以及低山丘陵区,如嘉陵江主体区及汉江流域,尺度效应表现为侵蚀模数随流域面积的增大基本保持不变,如图4b;3. 侵蚀主要发生在坡耕地区域,如金沙江中上游的非泥石流区域及乌江流域,尺度效应表现为侵蚀模数随流域面积的增大而增大或先增大后基本保持不变,如图4c。不同尺度效应类型的分区分布如图5。校正方法:上述尺度效应主要表现为两种类型,线性和二次函数形式,针对这两种类型,分布给出校正方程<sup>[1]</sup>。

1. 线性函数的校正方法(图6)。假设拟合方程为 $Y=AX+B$ ,对某一个站点数据 $(x_1, y_1)$ ,其校正后的计算方程为 $Y'=AX'+B'$ ,则 $B'=y_1-Ax_1$ ,

站点方程转换为: $Y'=AX'+y_1-Ax_1$ ,由于 $X'=LgA_d$ ;  $Y'=LgY_i$ , 实际的产沙模数 $Y_i=10^{(ALgA_d+y_1-Ax_1)}$ 。当水文站控制的流域面积 $A_d$ 取不同的值(如1, 100,  $10\,000 \text{ km}^2$ 等),得到相应的校正后的产沙模数,如 $A_d=1 \text{ km}^2$ ,  $Y_i=10^{(y_1-Ax_1)}$ 。

2. 二次函数的校正方法(图6)。假设二次方程的拟合方程为 $Y=AX^2+BX+C$ ,需要校正的某站点的实际数据为 $(x_1, y_1)$ ,校正方程为 $Y'=AX'^2+BX'+C'$ ,则 $C'=y_1-(Ax_1^2+bx_1)$ ,校正方程转换为 $Y'=AX'^2+BX'+(y_1-Ax_1^2+bx_1)$ ,则 $Y_i=10^{(ALg^2A_d+BLgA_d+y_1-Ax_1^2-Bx_1)}$ ,当 $A_d=1 \text{ km}^2$ ,  $Y_i=10^{(y_1-Ax_1^2-Bx_1)}$ 。

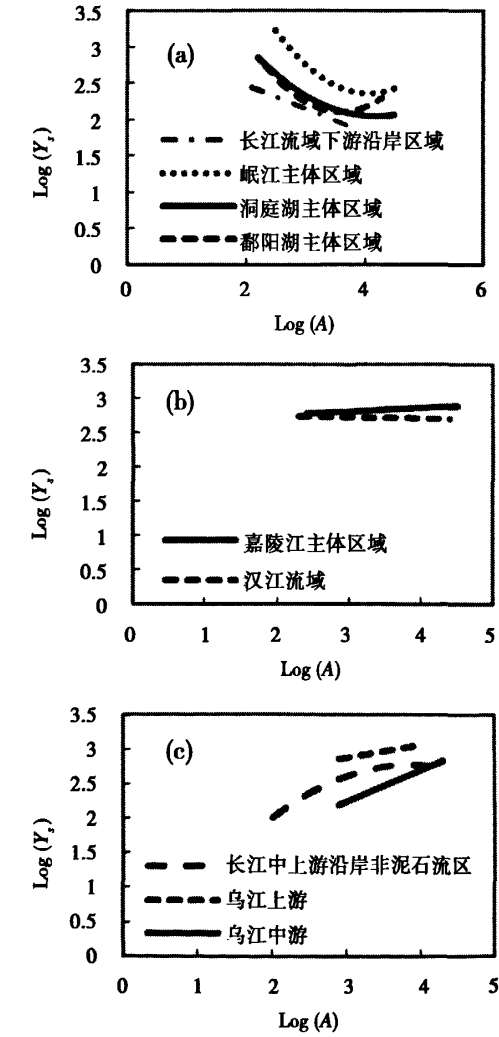


图4 产沙模数与流域面积关系分类  
Fig.4 Classification of relationships between  $Y_s$  and  $A$



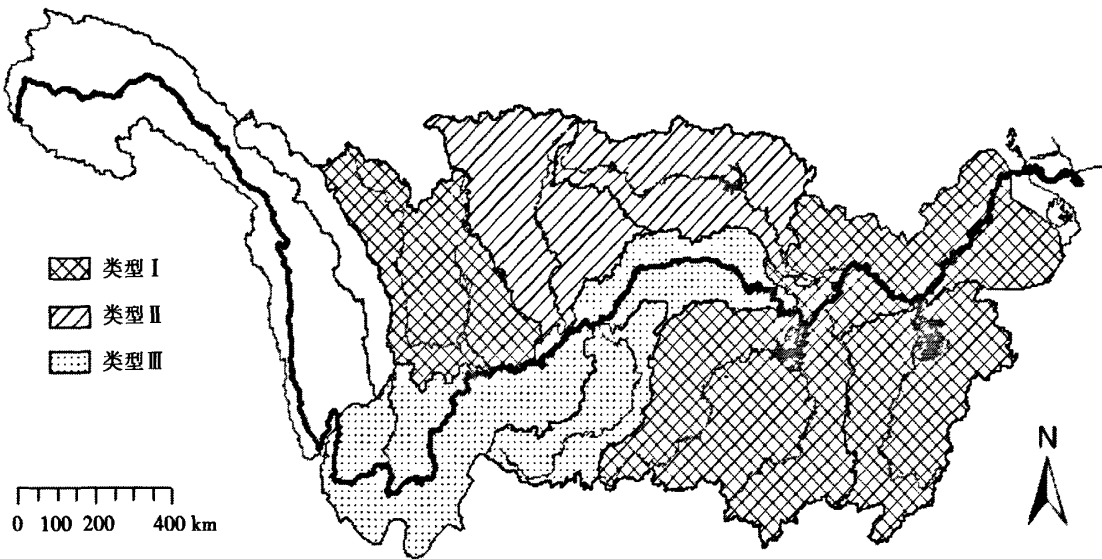


图5 产沙模数与流域面积关系不同类型区域分布  
Fig. 5 Distribution of 3 categories of scale effects of sediment yield

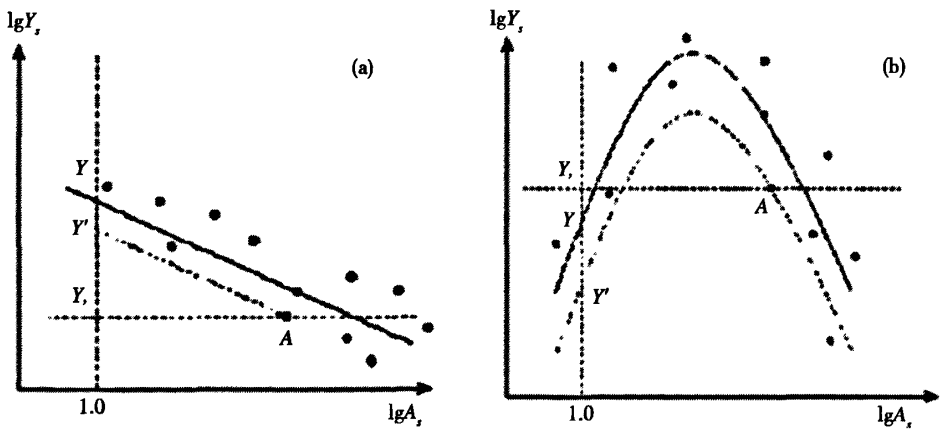


图6 尺度校正过程演示图(a)线性;(b)二次函数  
Fig. 6 Illustration of the correction process(a): Linear function; (b): Quadratic function

2.4 标准面积下产沙模数图的编制

根据上述校正方法,将各分区的产沙模数校正到标准面积下,进而使用空间插值法制作研究区域的产沙模数图。当数据在某个距离内或某个方向上相关,能够反映一定的空间变化趋势时,Kriging 空间插值法是最好的选择<sup>[33]</sup>。

由于所有分区站点的控制面积 > 100 km<sup>2</sup>,在所有 326 个站点中,处于 100 ~ 200 km<sup>2</sup> 间的站点只有 6 个,最小的控制面积为 120 km<sup>2</sup>,因而进行 100 km<sup>2</sup> 标准面积校正时,由于处于拟合区域之外,因而会增

大误差。但 100 km<sup>2</sup> 的标准面积下,可以突出不同分区侵蚀来源的差异。经过 100 km<sup>2</sup> 标准面积的校正,如图 7a,有一个显著的高侵蚀区域,侵蚀强度 > 2 500 t/(km<sup>2</sup> · a) 岷江流域,是因为岷江流域的侵蚀主要是由森林植被的破坏引起的,当控制面积为 100 km<sup>2</sup>,强调了泥沙来源区的作用。从图中可以看出,鄱阳湖和洞庭湖流域为次一级的强烈侵蚀中心,大部分区域侵蚀强度 > 1 000 t/(km<sup>2</sup> · a),出现原因与岷江流域相似,即通过尺度校正,泥沙来源区的作用被强化。

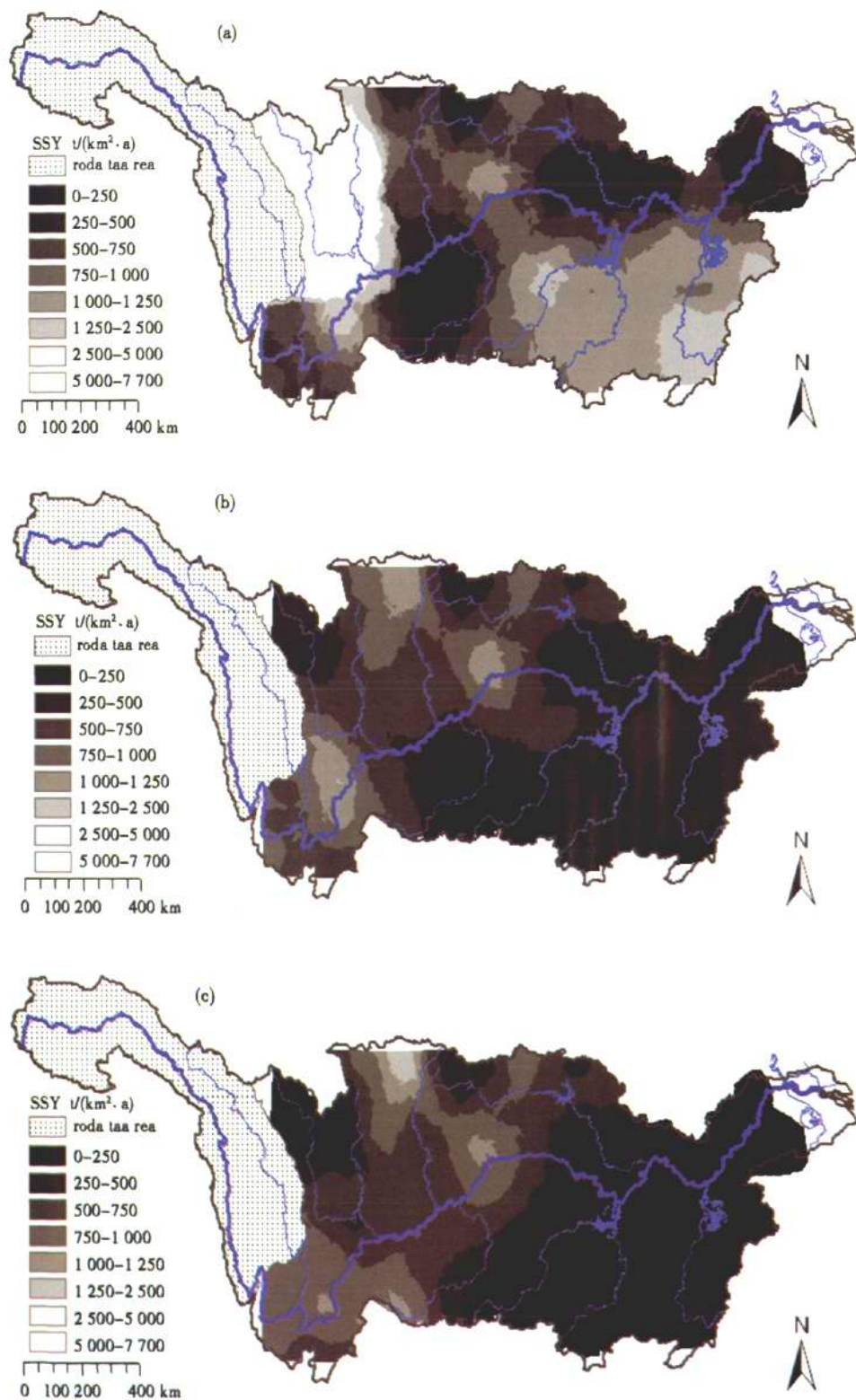


图7 不同标准面积下的产沙模数图(a)100  $km^2$  标准面积;(b)1 000  $km^2$  标准面积;(c)10 000  $km^2$  标准面积

Fig. 7 Scaled sediment yield map (a) reference area of 100  $km^2$ , (b) reference area of 1 000  $km^2$ , (c) reference area of 10 000  $km^2$

标准面积为  $1\ 000\ \text{km}^2$  (图 7b) 和  $10\ 000\ \text{km}^2$  (图 7c) 下的校正图比较,重点产沙区变化不大。但相对于标准面积  $100\ \text{km}^2$  下的校正图,重点产沙区变化显著。在  $100\ \text{km}^2$  标准面积下,重点侵蚀区主要出现在岷江、洞庭湖、鄱阳湖流域,在  $1\ 000\ \text{km}^2$  和  $10\ 000\ \text{km}^2$  标准面积下,上述区域的侵蚀强度显著降低,说明上述区域从  $100\ \text{km}^2$  到  $1\ 000\ \text{km}^2$ 、 $10\ 000\ \text{km}^2$  面积下,大量泥沙沉积。

在  $1\ 000\ \text{km}^2$  和  $10\ 000\ \text{km}^2$  的标准面积下,主要有两个侵蚀中心:嘉陵江流域和长江干流上游沿岸区域的屏山以上区域。嘉陵江流域是长江流域上游的重点侵蚀产沙区域,流域面积只占全上游的 15.5%,其径流量占全上游的 14.7%,但其来沙量占全上游的 30.5%<sup>[18]</sup>,流域的强烈侵蚀是易被侵蚀的地表物质和人类活动共同作用的结果。长江干流上游沿岸区域的屏山以上区域石鼓—屏山之间(除雅砻江以外)的金沙江下游,流域面积占宜昌站以上面积的 14.4%,其来水量只占宜昌站的 13.2%,但来沙量却占宜昌站的 39.4%,该区域的侵蚀主要是由于区域滑坡、泥石流发育,以及攀枝花钢铁基地建设引起的泥沙侵蚀有关<sup>[31]</sup>。该区域干流两岸各 15 km 范围内共有  $>100 \times 10^6\ \text{m}^3$  的滑坡 400 个,估计体积  $3.00 \times 10^8\ \text{m}^3$ ,即平均每 1.97 km 河段有一个大规模滑坡。调查区共有流域面积大于 0.2 km,堆积扇面积大于 0.01 km<sup>2</sup> 的一级支流沟谷型泥石流 438 条,二级以上的支沟泥石流 76 条,干、支流坡面泥石流 37 处。即金沙江干流平均每 1.8 km 有一条泥石流<sup>[32]</sup>。

不同标准面积下产沙模数图的变化,显示了流域侵蚀来源的差异。当侵蚀主要来源于陡坡区时,当校正面积小时,其侵蚀强度大;当侵蚀主要来源于陡坡与平原交接的缓坡和丘陵区时,在校正面积较大是,其侵蚀强度大。

### 3 结论

对长江流域各分区产沙模数尺度效应的研究表明,各分区尺度效应存在着显著差异,可以概括为三种类型:1. 产沙模数随流域面积的增大而减小的,主要包括长江中下游干流沿岸区域,岷江主体区域,洞庭湖流域和鄱阳湖流域;2. 产沙模数随流域面积的增大基本保持不变的,包括嘉陵江主体区域和汉江流域;3. 产沙模数随流域面积增大而增大的,包

括长江上游干流沿岸的非泥石流区域。不同流域尺度效应的差异主要与流域土地利用方式有关。当侵蚀主要发生在陡坡区域是,表现为第一种类型;当陡坡侵蚀和缓坡侵蚀都很强烈是时,表现为第二种类型;当侵蚀主要发生在缓坡或丘陵时,主要表现为第三种类型。

在上述分区中有些满足传统的尺度关系规律:  $Y_s = k_s A^b$ , 经过双对数转换后表现为线性相关,  $Y = AX + B$  ( $X = \lg Ad$ ,  $Y = \lg Ys$ ), 而有些分区经双对数转换后则满足二次函数关系,即  $Y = AX^2 + BX + C$ 。对上述两种尺度效应关系式,本文均给出了校正方法。

基于不同分区的校正方程,对所有站点进行了  $100\ \text{km}^2$ 、 $1\ 000\ \text{km}^2$ 、 $10\ 000\ \text{km}^2$  三种标准面积的校正。基于 Arcgis,使用 Kriging 空间插值法制作了上述三种标准面积下的产沙模数图。在  $100\ \text{km}^2$  标准面积下,侵蚀最强烈的为岷江流域,其次为洞庭湖和鄱阳湖流域;在  $1\ 000\ \text{km}^2$  和  $10\ 000\ \text{km}^2$  两种标准面积下,侵蚀最强烈为嘉陵江流域,其次是长江上游干流沿岸的部分区域和汉江流域的部分区域。不同校正面积下产沙模数图的变化,显示了不同流域侵蚀来源的差异。

### 参考文献 (References)

- [1] Yan Y X, Xu J X. A study of scale effect on specific sediment yield in the Loess plateau, China [J]. Science in China D: Earth Science, 2007, 50(1): 102–112
- [2] Chorley, R. J., Schumm, S. A., Sugden, D. E. Geomorphology [M]. Methuen, London, 1984
- [3] Church, M., Slaymaker, O. Disequilibrium of Holocene sediment yield in glaciated British Columbia [J]. Nature. 1989, 337: 452–454
- [4] Church, M., Kellerhals, R., Day, T. Regional clastic sediment yield in British Columbia [J]. Canadian Journal of Earth Sciences. 1989, 26 (1): 31–45
- [5] Church, M., Ham, D., Hassan, M. A., et al. Fluvial clastic sediment yield in Canada: scale analysis [J]. Canadian Journal of Earth Sciences. 1999, 36 (1): 1267–1280
- [6] Xu J X, Yan Y X. Scale effects on specific sediment yield in the Yellow River basin and geomorphological explanations [J]. J. Hydrol, 2005, 307(1–4): 219–232
- [7] Dedkov A. P., Moszherin V. T. Erosion and sediment yield in mountain areas of the world [J]. IAHS Publ, 1992, 209: 29–36
- [8] Dedkov A. P. The relationship between sediment yield and drainage basin area [G] // Sediment Transfer Through the Fluvial System (ed by V. Golosov, V. Belyaev & D. E. Walling) (Proc. Moscow Symp., August 2004). IAHS Publ. 288, IAHS Press, Wallingford,

- UK, 2004;197-204
- [9] Lu, X. X., Ashmore, P. and Wang J. Sediment yield mapping in a large river basin: an example of the Upper Yangtze, China [J]. Environmental Modelling and Software, 2003, 18:339-353
- [10] Shi, C. X. Scaling effects on sediment yield in the upper Yangtze River [J]. Geographic Research, 2008, 27(4):800-810 [师长兴. 长江上游输沙尺度效应研究 [J]. 地理研究, 2008, 27(4):800-810]
- [11] Liu, X. M., Lin, L. X. Landslide hazard in mountain area along the upper reach (Yibin-Yichang) of Changjiang River [J]. Mountain research, 1993, 11(1):50-54 [刘新民, 林立相, 等. 长江上游(宜宾-宜昌)干流两岸山地城镇滑坡灾害及防治 [J]. 山地研究(现山地学报), 1993, 11(1):50-54]
- [12] Xia, J. W., Guo, H. Z. Landslide distribution and the main controlling factors in the upper Yangtze river [J]. Hydrogeology and engineering geology, 1997, 1:19-23 [夏金梧, 郭厚桢. 长江上游地区滑坡分布特征及主要控制因素探讨 [J]. 水文地质工程地质, 1997, 1:19-23]
- [13] Yang, Y. SH., Liang, L. H. Analysis on main characteristics of soil erosion in Jinsha river basin of Yunnan province [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(Suppl.):10-17 [杨永生, 梁洛辉. 云南省金沙江流域水土流失基本特征分析 [J]. 山地学报. 2002, 20(增):10-17]
- [14] Meng, ZH. X., Deng, Y. L., Liu, W. L., et al. Study on soil erosion changes and their driving factors in the Minjiang River Valley Based on Remote Sensing [J]. Geography and Geo-information science, 2008, 4:57-61 [孟鑫, 邓玉林, 刘武林, 等. 基于 RS 的岷江流域土壤侵蚀变化及其驱动力分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2008, 4:57-61]
- [15] Zhang, P. D., Shi, H. Period/stage study of exploitation history and soil erosion of upriver area of Min river [J]. Yunnan Geographic Environment research, 2006, 18(1):1-4 [张启东, 石辉. 岷江上游地区开发史与水土流失分期研究 [J]. 云南地理环境研究, 2006, 18(1):1-4]
- [16] Tang, X. P. The countermeasures of prevention and controls of soil erosion in Jialing river valley [J]. Journal of Sichuan Teachers College: Nature Science, 1999, 20(2):149-156 [唐小平. 嘉陵江流域的水土流失及防治对策 [J]. 四川师范学院学报: 自然科学版, 1999, 20(2):149-156]
- [17] Zhang, M. B., Huang, Y., Guo, H. J., et al. Research on decrease of water and sediment yield due to soil & water conservation in Jialing River Xihanshui Basin [J]. Journal of Sediment Research, 2003, 1:70-74 [张明波, 黄燕, 郭海晋, 等. 嘉陵江西汉水流域水保措施减水减沙作用分析 [J]. 泥沙研究, 2003, 1:70-74]
- [18] Xu, J. X., Su, J. Temporal variation in suspended sediment concentration of the upper Changjiang River and its tributaries [J]. Geographical Research, 2008, 27(2):332-342 [许炯心, 孙季. 长江上游干支流悬移质含沙量的变化及其原因 [J]. 地理研究, 2008, 27(2):332-342]
- [19] Xu, J. X. Runoff and sediment variations in the upper reaches of Changjiang River and its tributaries due to deforestation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 1:72-80 [许炯心. 长江上游干支流的水沙变化及其与森林破坏的关系 [J]. 水利学报, 2000, 1:72-80]
- [20] Xu, Q. X., Chen, S. S., Xiong, M., et al. Analysis on runoff and sediment characteristics and affecting factors of the Jialing River Basin [J]. Journal of sediment research, 2008, 2:1-8 [许全喜, 陈松生, 熊明, 等. 嘉陵江流域水沙变化特性及原因分析 [J]. 泥沙研究, 2008, 2:1-8]
- [21] Yin, G. K. Geomorphic structure and land resources of the Hanjiang river basin, Scientia Geographica Sinica [J]. 1993, 13(2):146-154 [尹国康. 汉江流域地貌结构与土地资源 [J]. 地理科学, 1993, 13(2):146-154]
- [22] He, S. D. Characteristics of soil erosion in Hanjiang valley and possible countermeasures [J]. Resources and Environment in the Yangtze Valley, 1997, 6(3):271-276 [贺素娣. 汉江流域水土流失特点及防治对策 [J]. 长江流域资源与环境, 1997, 6(3):271-276]
- [23] Qian, ZH. Y. Technical measures of counter-strategies of land conversion into forests and grasses in the eroded areas along the Wujiang river valley [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1991, 11(2):13-18 [钱震元. 乌江流域水土流失区退耕还林措施和对策 [J]. 水土保持通报, 1991, 11(2):13-18]
- [24] Zhu, SH. Q., He, J. X., Zhu, X. K. An evaluation and dividing area on degree of planting difficulty in kant region of Wujiang Watershed [J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 1998, 17(3):129-134 [朱守谦, 何纪星, 祝小科. 乌江流域喀斯特区造林困难程度评价及分区 [J]. 山地农业生物学报, 1998, 17(3):129-134]
- [25] Mao, Z. Z. Environment of ecological geology of Wujiang River Valley [J]. Geology of Guizhou, 1992, 9(3):224-233 [毛志中. 乌江流域的生态地质环境 [J]. 贵州地质, 1992, 9(3):224-233]
- [26] Lin, C. H., Zhu, A. G. A study on soil erosion and prevention in karst mountainous region of Guizhou [J]. Research of Soil and Water Conservation, 1999, 6(2):109-113 [林昌虎, 朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与防治 [J]. 水土保持研究, 1999, 6(2):109-113]
- [27] Wu, X. Q., Cai, Y. L., Meng, J. J., et al. Impacts of land use on soil erosion in karst mountainous area: a case study in Shibianqiao Catchment in Guanling county, Guizhou Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(4):46-49 [吴秀芹, 蔡运龙, 蒙吉军, 等. 喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究: 以贵州省关岭县石板桥流域为例 [J]. 水土保持研究, 2005, 12(4):46-49]
- [28] Xie, Y. S. The situation and its countermeasures of soil and water losses in Dongting and Poyang Lake watersheds [J]. Research of Soil and Water Conservation, 1999, 6(2):16-19 [谢永生. 洞庭湖、鄱阳湖流域水土流失现状与防治对策 [J]. 水土保持研究, 1999, 6(2):16-19]
- [29] Xie, Y. S. Soil and water conservation of the Poyang Lake catchment in view of the 1998 Flood of Yangtze River [J]. Soil and Water Conservation in China, 1999, 3:24-26 [谢永生. 从 98 洪水看洞庭湖、鄱阳湖流域水土保持问题 [J]. 中国水土保持,

- 1999,3:24-26]
- [30] Xie, Y. S. Characteristics and its countermeasures of soil and water loss in Dongting and Poyang Lakes Basin in middle reaches of Yangtze River [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(1):8-12 [谢永生. 长江中游洞庭湖、鄱阳湖流域水土流失特点与防治对策[J]. 水土侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1):8-12]
- [31] Xu, J. X., Su, J. Sediment yield in major sediment source areas of the upper Changjiang River Basin in response to human activities [J]. *Scientia geographica sinica*, 2007, 27(2):211-218 [许炯心, 孙季. 长江上游重点产沙区产沙量对人类活动的响应[J]. 地理学报, 2007, 27(2):211-218]
- [32] Wang, Z. H. Landslides and debris flows in the lower reach of the Jinshajiang river, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 54(2):142-149 [王治华. 金沙江下游的滑坡和泥石流[J]. 地理学报, 1999, 54(2):142-149]
- [33] Su, S., Lin, A. W., Liu, Q. H. Ordinary Kriging Algorithm Applied for Interpolation [J]. *Journal of southern Yangtze University: Natural edition*, 2004, 3(1):18-21 [苏姝, 林爱文, 刘庆华. 普通 Kriging 法在空间内插中的运用[J]. 江南大学学报:自然科学版, 2004, 3(1):18-21]

## Spatial Variation of Scale Effects of Sediment Yield in the Yangtze River Basin

YAN Yunxia<sup>1</sup>, XU Jiongxin<sup>1</sup>, Marwan Hasson<sup>2</sup>, LIAO Jianhua<sup>3</sup>

(1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences; Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada. V6T 1Z2;*

3. *School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)*

**Abstract:** Spatial variation of sediment yield of Yangtze river basin is studied in this paper. The basin is divided into eight homogenous subbasins. 326 stations with drainage area less than 30 000 km<sup>2</sup> were used to study the scale effect of sediment yield for the whole study area. As a river basin which suffers intensive human activities, scale effect of each sub region is heavily influenced by land use and cover. All of 8 subbasins are classified as 3 types, I, soil erosion mainly comes from deforestation and steep slope cultivation, Ys increases as a increases; II, soil erosion mainly occurs in middle-lower mountains and lower mountains and hilly areas, Ys remains unchanged as a increases; III, soil erosion mainly occurs sloping cultivated land, Ys decreases as a increases. Using correction functions, all data are adjusted to different standard areas of 100 km<sup>2</sup>, 1 000 km<sup>2</sup> and 10 000 km<sup>2</sup>. Sediment yield mapping at different contributing areas are built and compared. Proposal about soil conservation for each type is given.

**Key words:** Yangtze river basin; sediment yield; scale effect

作者: [闫云霞](#), [许炯心](#), [Marwan Hasson](#), [廖建华](#), [YAN Yunxia](#), [XU Jiongxin](#), [Marwan Hasson](#), [LIAO Jianhua](#)

作者单位: [闫云霞, 许炯心, YAN Yunxia, XU Jiongxin\(中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院水循环与地表过程重点实验室, 北京, 100101\)](#), [Marwan Hasson, Marwan Hasson\(Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada. V6T 1Z2\)](#), [廖建华, LIAO Jianhua\(江西师范大学, 地理与环境教育学院, 江西, 南昌, 330022\)](#)

刊名: [山地学报](#) **ISTIC PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)

年, 卷(期): 2011, 29(2)

## 参考文献(33条)

1. [Yan Y X; Xu J X](#) A study of scale effect on specific sediment yield in the Loess plateau, China[期刊论文]-[Science China\(Earth Sciences\)](#) 2007(01)
2. [Chorley, R. J.; Schumro, S. A.; Sugden, D. E](#) [Geomorphology](#) 1984
3. [Church M Slaymaker, O.](#) Disequilibrium of Holocene sediment yield in glaciated British Columbia[外文期刊] 1989
4. [Church, M.; Kellerhals, R.; Day, T](#) Regional clastic sediment yield in British Columbia 1989(01)
5. [Church, M.; Ham, D.; Hassan, M. A](#) Fluvial clastic sediment yield in Canada: scale analysis 1999(01)
6. [Xu J X; Yan Y X](#) Scale effects on specific sediment yield in the Yellow River basin and geomorphological explanations[外文期刊] 2005(1-4)
7. [Dedkov A. P.; Moszherin V. T](#) Erosion and sediment yield in mountain areas of the world 1992
8. [Dedkov A. P](#) The relationship between sediment yield and drainage basin area 2004
9. [Lu, X. X.; Ashmore, P.; Wang J](#) Sediment yield mapping in a large river basin: an example of the Upper Yangtze, China 2003
10. [师长兴](#) 长江上游输沙尺度效应研究[期刊论文]-[地理研究](#) 2008(04)
11. [刘新民; 林立相](#) 长江上游(宜宾—宜昌)干流两岸山地城镇滑坡灾害及防治 1993(01)
12. [夏金梧; 郭厚桢](#) 长江上游地区滑坡分布特征及主要控制因素探讨 1997
13. [杨永生; 梁洛辉](#) 云南省金沙江流域水土流失基本特征分析 2002(增)
14. [孟兆鑫; 邓玉林; 刘武林](#) 基于RS的岷江流域土壤侵蚀变化及其驱动力分析[期刊论文]-[地理与地理信息科学](#) 2008(4)
15. [张启东; 石辉](#) 岷江上游地区开发史与水土流失分期研究[期刊论文]-[云南地理环境研究](#) 2006(01)
16. [唐小平](#) 嘉陵江流域的水土流失及防治对策 1999(02)
17. [张明波; 黄燕; 郭海晋](#) 嘉陵江西汉水流域水保措施减水减沙作用分析[期刊论文]-[泥沙研究](#) 2003(1)
18. [许炯心; 孙季](#) 长江上游干支流悬移质含沙量的变化及其原因[期刊论文]-[地理研究](#) 2008(02)
19. [许炯心](#) 长江上游干支流的水沙变化及其与森林破坏的关系[期刊论文]-[水利学报](#) 2000(1)
20. [许全喜; 陈松生; 熊明](#) 嘉陵江流域水沙变化特性及原因分析[期刊论文]-[泥沙研究](#) 2008(2)
21. [尹国康](#) 汉江流域地貌结构与土地资源 1993(02)
22. [贺素娣](#) 汉江流域水土流失特点及防治对策[期刊论文]-[长江流域资源与环境](#) 1997(03)
23. [钱震元](#) 乌江流域水土流失区退耕还林措施和对策 1991(02)

24. [朱守谦;何纪星;祝小科](#) [乌江流域喀斯特区造林困难程度评价及分区](#) 1998 (03)
25. [毛志中](#) [乌江流域的生态地质环境](#)[期刊论文]-[贵州地质](#) 1992 (03)
26. [林昌虎;朱安国](#) [贵州喀斯特山区土壤侵蚀与防治](#)[期刊论文]-[水土保持研究](#) 1999 (02)
27. [吴秀芹;蔡运龙;蒙古军](#) [喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究:以贵州省关岭县石板桥流域为例](#)[期刊论文]-[水土保持研究](#) 2005 (04)
28. [谢永生](#) [洞庭湖、鄱阳湖流域水土流失现状与防治对策](#) 1999 (02)
29. [谢永生](#) [从98洪水看洞庭湖、鄱阳湖流域水土保持问题](#) 1999
30. [谢永生](#) [长江中游洞庭湖、鄱阳湖流域水土流失特点与防治对策](#)[期刊论文]-[土壤侵蚀与水土保持学报](#) 1999 (01)
31. [许炯心;孙季](#) [长江上游重点产沙区产沙量对人类活动的响应](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2007 (02)
32. [王治华](#) [金沙江下游的滑坡和泥石流](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 1999 (02)
33. [苏妹;林爱文;刘庆华](#) [普通Kriging法在空间内插中的运用](#)[期刊论文]-[江南大学学报 \(自然科学版\)](#) 2004 (01)

#### 本文读者也读过(10条)

1. [宋亮](#),[刘文耀](#),[马文章](#),[赵相健](#),[周蒙](#),[杨国平](#),[SONG Liang](#),[LIU Wenyao](#),[MA Wenzhang](#),[ZHAO Xiangjian](#),[ZHOU Meng](#),[YANG Guoping](#) [云南哀牢山西麓季风常绿阔叶林及思茅松林的群落学特征](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (2)
2. [刘新圣](#),[张林](#),[孔高强](#),[罗天祥](#),[LIU Xinsheng](#),[ZHANG Lin](#),[KONG Gaoqiang](#),[LUO Tianxiang](#) [藏东南色季拉山急尖长苞冷杉林线地带地上生物量随海拔的变化特征](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (3)
3. [陈剑](#),[崔之久](#),[戴福初](#),[许冲](#),[CHEN Jian](#),[CUI Zhijiu](#),[Dai Fuchu](#),[XU Chong](#) [金沙江奔子栏-达日河段大型泥石流堆积扇的成因机制](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (3)
4. [刘云鹏](#),[黄润秋](#),[邓辉](#),[LIU Yunpeng](#),[HUANG Runqiu](#),[DENG Hui](#) [小湾水电站库区新民坝子滑坡稳定性研究](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (3)
5. [郭福生](#),[姜勇彪](#),[胡中华](#),[刘林清](#),[李虹](#),[GUO Fusheng](#),[JIANG Yongbiao](#),[HU Zhonghua](#),[LIU Linqing](#),[LI Hong](#) [龙虎山世界地质公园丹霞地貌成景系统特征及其演化](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (2)
6. [胡国彪](#),[傅扬镗](#),[胡小保](#) [基于变异函数套合的遥感图像尺度效应研究](#)[期刊论文]-[科技风](#)2011 (4)
7. [姜伏伟](#),[郭福生](#),[姜勇彪](#),[胡中华](#),[JIANG Fuwei](#),[GUO Fusheng](#),[JIANG Yongbiao](#),[HU Zhonghua](#) [龙虎山丹霞地貌危岩景观成因及保护](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29 (2)
8. [格根图雅](#) [基于RS技术支持下的农牧交错带景观尺度效应研究——以翁牛特旗为例](#)[学位论文]2010
9. [孙蓉琳](#),[梁杏](#),[靳孟贵](#),[SUN Rong-lin](#),[LIANG Xing](#),[JIN Meng-gui](#) [基于野外水力试验的玄武岩渗透性及尺度效应](#)[期刊论文]-[岩土力学](#)2006, 27 (9)
10. [申昱](#),[于沪平](#),[阮雪榆](#),[SHEN Yu](#),[YU Hu-ping](#),[RUAN Xue-yu](#) [微小尺度流动应力波动尺度效应](#)[期刊论文]-[上海交通大学学报](#)2006, 40 (6)

#### 引证文献(1条)

1. [沙玉坤](#),[程根伟](#),[李卫朋](#) [森林水文作用的流域尺度效应及其评价](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2013 (5)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201102002.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201102002.aspx)