

红壤区土壤侵蚀危险程度分级初探

杨亚利¹, 谢永生^{1,2}, 赵暄¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 土壤侵蚀危险性分级是研究土壤侵蚀危险程度的重要方法。为了探索更加符合实际的土壤侵蚀及其危害程度分级方法, 依据水利部土壤侵蚀分级标准和水利部科考成果, 对南方红壤科考区的土壤侵蚀强度和土壤侵蚀潜在危险性及其所处流域主要湖泊泥沙输比(SDR)进行分级。结果表明, 科考区内轻度、中度、强度和极强度侵蚀均存在。中度侵蚀和强度侵蚀为主要侵蚀类型, 占总侵蚀类型的 84%。轻度和极强度侵蚀占 16%。潜在危险性分级中, 无险型、轻险型、危险型和极险型均存在, 轻险和危险为主要类型, 占总潜在危险类型的 84%, 无险和极险类型占 16%。土壤侵蚀对异地的危害比较大, 60%的湖泊 SDR>0.5, 其上游土壤侵蚀对异地是危险甚至极险的。研究结果可为红壤全区土壤侵蚀分级和治理工作提供参考。

关键词: 红壤区; 侵蚀强度; 潜在危险性; 泥沙输移比; 分级

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0231-05

中图分类号: S157.1

Preliminary Study of Gradation of Soil Erosion Hazard Degree in Red Soil Region of Southern China

YANG Ya-li¹, XIE Yong-sheng^{1,2}, ZHAO Xuan¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The risk gradation of soil erosion is an important approach to study soil erosion hazard degree. To find a suitable approach to the gradation of soil erosion and its hazard degree in practice, soil erosion degree and its potential risk for the scientific investigation area in the red soil region of Southern China, as well as sediment delivery ratio for the main lakes within the basins in the region, were gradated according to the MWR(Ministry of Water Resources) Standards for soil erosion classification and gradation and the data from the scientific investigation by the MWR. Results showed that there were light, moderate, intense and extremely intense soil erosion degrees in the investigated area. The moderate erosion and intense erosion were the main soil erosion types and accounted for 84% of the whole area, while the light erosion and extremely intense erosion accounted for 16%. The types of no risk, light risk, risk and extreme risk were all found in the potential risk gradation. The light risk and risk were the main risk types and accounted for 84% of all the risk types, while the no risk and extreme risk accounted for 16%. Soil erosion was harmful to the places nearby. Sediment delivery ratios in 60% of the lakes were greater than 0.5, which indicates that soil erosion occurred in the upstream of the lakes is dangerous, even extremely dangerous to the places nearby. Results from the study may offer reference for soil erosion gradation and control in the whole red soil region.

Keywords: red soil region; soil erosion degree; potential risk; sediment delivery ratio; gradation

南方红壤区山地丘陵交错, 地形起伏大, 降雨多而集中, 暴雨强度大, 风化作用强, 导致植被破坏严重。同时, 该地区近年来社会经济发展迅猛, 各类开发建设项目建设多, 新的人为土壤侵蚀面积增加迅速。红

壤是我国重要的土壤资源, 在全国 30% 的耕地上提供的农业产值占全国的 1/2^[1]。该区土壤侵蚀主要发生在低山丘陵区, 这些地方多为石质山地, 土层薄, 一旦表土流失, 很容易形成石漠化, 而且恢复起来相

收稿日期: 2012-11-18

修回日期: 2012-12-21

资助项目: 水利部行业公益性专项“冀北山区生态输水小流域治理模式与关键技术”(200901051); “十二五”国家科技支撑计划重大项目“农田水土保持与持续利用关键技术研究示范”(2011BAD31B01)

作者简介: 杨亚利(1987—), 女(汉族), 陕西省宝鸡市人, 硕士研究生, 主要方向为土壤侵蚀危险程度研究。E-mail: yaliyang2010@163.com。

通信作者: 谢永生(1960—), 男(汉族), 河南省开封市人, 研究员, 博士, 主要从事土地资源环境评价研究。E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn。

当困难。南方红壤区特别是低山丘陵区的土壤侵蚀所产生的危险程度远比北方土层深厚地区的严重。水利部水土保持监测中心借助 2001—2002 年卫星遥感和 GIS 技术对红壤科考区的普查结果表明,红壤区共有土壤侵蚀面积 $1.31 \times 10^5 \text{ km}^2$,占当地总面积的 15.06%,并且土壤侵蚀有面积和强度增大的趋势^[2]。

土壤侵蚀的主体是水和土,其中土壤侵蚀导致的水土资源损失是土壤侵蚀最主要的危害。目前有关土壤侵蚀危险性评价研究中,一般是根据中国在 1997 年 5 月 1 日颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—1996)(以下简称《标准》)中规定的土壤侵蚀强度分级来划分土壤侵蚀危险度^[3]。《标准》中虽然规定了南方红壤区容许土壤流失量,但是在强度分级中依然是按照全国的标准进行,其中分级的赋值跨度大、起点高。因此,区域研究中若采用国家标准,忽略不同类型区土壤条件差异,得到的危险度分级将与真实情况差距较大。

为了探索更加符合红壤区实际的土壤侵蚀以及危害程度分级方法,本文在参照《标准》规定的土壤容许流失量基础上,参考水利部水土保持监测中心 2001—2002 年对红壤区的考察数据和中国 2005—2007 年土壤侵蚀与生态安全综合科学考察结果,对红壤科考区的土壤侵蚀和侵蚀潜在危险性进行了分级,同时对科考区内的 5 大淡水湖泊上游流域土壤侵蚀对异地的影响进行了分级,以期对南方红壤区水土流失防治工作提供参考。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区概况

本研究以国家水土流失与生态安全科学考察分区及成果为基础,研究区位于北纬 $17^{\circ}00'—34^{\circ}38'$,东经 $109^{\circ}45'—122^{\circ}30'$,涉及江西、浙江、福建、湖南、广东、海南省全部,安徽省、湖北省长江以南的县(市、区),面积为 $8.72 \times 10^5 \text{ km}^2$,约占南方红壤区总面积的 74%,属热带、亚热带季风气候区,水热资源丰富。土壤类型主要有黄棕壤、黄壤、红壤和赤红壤等地带性土壤以及紫色土、石灰土和水稻土等非地带性土壤。区内主要水系包括鄱阳湖水系、洞庭湖水系和珠江水系以及东南沿海各省的诸内河水系。

1.2 研究方法

1.2.1 侵蚀强度分级 按照红壤区土壤容重 1.37 g/cm^3 计算^[4-6],参照《标准》和实测资料以及专家建议,进行土壤侵蚀级别划分。该分级方法中,微

度侵蚀的土壤侵蚀模数以容许流失量为下限,剧烈侵蚀以实测高强度侵蚀模数值为标准。

1.2.2 潜在危险性分级 潜在危险性通过土壤的抗蚀年限来反映,计算公式如下^[7]:

$$Y = \frac{(H-10) \times 10^4 \times D}{A} \quad (1)$$

式中:Y——受侵蚀土壤抗蚀年限(a);H——土层的平均厚度(cm);10——临界土层厚度;D——土壤容重(g/cm^3);A——土壤侵蚀模数($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。

1.2.3 土壤侵蚀对异地的影响程度分级 南方红壤区土壤侵蚀对异地的危害主要表现在侵蚀泥沙运移至下游导致诸多湖泊、库塘淤积等方面,通过泥沙输移比(SDR)的大小来间接反映土壤侵蚀对下游或异地的土地和水资源破坏程度。SDR 为产沙量与侵蚀量之比,产沙量为出口控制水文站所观测到的输沙量,侵蚀量为各侵蚀源产生的侵蚀量总和^[8-10]。SDR 的计算公式如下^[11]:

$$\text{SDR} = Y/S \quad (2)$$

式中:SDR——泥沙输移比(无量纲);Y——流域出口断面实测输沙量(t/km^2);S——控制断面以上流域总侵蚀量(t/km^2)。

在此基础上结合已有 SDR 的研究成果^[12-13],对 SDR 进行分级,以表示土壤侵蚀对异地的影响程度大小。

3 结果与讨论

3.1 南方红壤区土壤侵蚀强度和潜在危险程度

南方红壤区土壤容许流失量为 $500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,有效土层厚度平均 86 cm,区内粤桂低山丘陵区有效土层厚度最厚,均在 100 cm 以上;湘西丘陵区土层最薄,不足 70 cm,全区平均侵蚀模数为 $3\,419.8 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[14]。与黄土高原地区相比,侵蚀模数虽较小,但土体及其岩石风化层厚度远不及黄土高原,因此,红壤区“相对流失量”大,承载侵蚀的本底浅薄。以往研究结果^[2]表明,红壤区多数土层厚度在 10 cm 以下,如果植被遭到破坏,在 10 a 内土层很可能流失殆尽,成为无法耕作的光石山,潜在危险性很大。红壤区轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、剧烈侵蚀的平均侵蚀模数分别为 $2\,446.4, 2\,823.5, 3\,159.6$ 和 $3\,873 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。广东省作为红壤区土壤侵蚀典型区,年均土壤侵蚀模数已达 $7\,215.7 \sim 7\,335.5 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,若按照此速度,约 180 a 土层将全部流失,土壤侵蚀危险性极大,而如此大的侵蚀模数在水利部标准规定的潜在危险性分级中却处于轻险型。

可见,《标准》规定的全国土壤侵蚀强度分级与区

域研究结果有差异,后者更加符合红壤区土壤侵蚀的实际情况。南方红壤区的土壤侵蚀多呈斑点状分布,这与黄土高原面状的土壤侵蚀分布不同,这种分布不易引起关注。土壤侵蚀是一个渐变的过程,侵蚀过程具有隐蔽性,不易发觉它的危害性,一旦突变,即斑点状连成片状,则侵蚀退化土壤和生长在其上的植被恢复起来就非常困难,更何况目前花岗岩地区已经出现了大量基岩裸露。因此,若按照国家标准对南方红壤

区土壤侵蚀进行分级,在一定程度上则夸大了红壤区土壤对侵蚀的承载能力。

表 1 是按照红壤区土壤容重 1.37 g/cm^3 , 参照《标准》和实测资料以及专家建议对土壤侵蚀强度进行的分级。以四代人以上的抗蚀时间定为无险型,抗蚀年限减少 100 a 左右,即相当于减少一代人的时间,危险性就增加一个级别,由此得出相应的潜在危险性级别。

表 1 红壤区土壤侵蚀强度和潜在危险性分级

强度分级	平均侵蚀模数/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	平均侵蚀厚度/ ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	抗蚀年限/ a	潜在危险程度
微度侵蚀	<500	<0.4	>2 082	无险型
轻度侵蚀	500~2 500	0.4~1.8	416~2 082	无险型
中度侵蚀	2 500~3 000	1.8~2.2	347~416	轻险型
强度侵蚀	3 000~4 000	2.2~2.9	260~347	危险型
极强度侵蚀	4 000~7 000	2.9~5.1	149~260	极险型
剧烈侵蚀	>7 000	>5.1	<149	毁坏型

《标准》规定,根据主要侵蚀外营力,将中国划分为水力侵蚀、风力侵蚀和冻融侵蚀 3 大 I 级类型区。在 I 级类型区中,又根据地质、地貌和土壤等因素,进一步划分出 II 级区域。南方红壤区归属于水力侵蚀为主类型区中的 1 个 II 级区,代码为 I_4 。综合各种

自然和人文因素,在 I 级区和 II 级区的划分基础上,对该区进行 III 级分区,共分为 12 个 III 级区,分别表示为 $I_{4-1}, I_{4-2}, \dots, I_{4-12}$ [2]。

结合表 1 的分级结果,得出这 12 个区的土壤侵蚀强度和潜在危险性分级(如表 2 所示)。

表 2 科考区土壤侵蚀强度和潜在危险性分级

代号	分区	平均侵蚀模数/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	侵蚀级别	抗蚀年限/a	潜在危险性
I_{4-1}	湘西中低山黄壤区	3 619.1	强度侵蚀	288	危险型
I_{4-2}	洞庭潘阳两湖沿江平原区	3 557.1	强度侵蚀	293	危险型
I_{4-3}	皖南浙西赣东北丘陵山区	2 782.4	中度侵蚀	374	轻险型
I_{4-4}	浙东北沿海平原区	2 128.6	轻度侵蚀	489	无险型
I_{4-5}	湘中赣中丘陵区	3 991.0	强度侵蚀	261	危险型
I_{4-6}	浙西南闽北中低山区	3 103.1	强度侵蚀	336	危险型
I_{4-7}	闽浙沿海岛屿区	2 886.6	中度侵蚀	361	轻险型
I_{4-8}	粤西北湘赣南部山区	2 846.1	中度侵蚀	366	轻险型
I_{4-9}	赣南闽西南低山区	4 252.4	极强度侵蚀	245	极险型
I_{4-10}	粤北闽南丘陵低山花岗岩区	3 392.3	强度侵蚀	307	危险型
I_{4-11}	粤闽琼沿海平原区	2 866.6	中度侵蚀	363	轻险型
I_{4-12}	海南西部丘陵低山区	2 602.6	中度侵蚀	400	轻险型

注:平均侵蚀模数来源于参考文献[15]各分区水土流失状况中的数据

由表 2 可以看出,12 个分区中,1 个区属轻度侵蚀区,5 个区属中度侵蚀区,5 个区属强度侵蚀区,1 个区属极强度侵蚀区。其中轻度、中度、强度和极强度侵蚀区占考察区侵蚀类型的比例分别为 8%,42%,42%和 8%。同时,无险型、轻险型、危险型和极险型类型区的个数分别为 1,5,5 和 1 个,分别占考察区潜在危险类型的 8%,42%,42%和 8%。侵蚀强度分级

和潜在危险性分级表现出相同的变化趋势,中、强度侵蚀区占考察区个数的 84%,轻度、极强度侵蚀区占 16%;轻险型和危险型区占考察区个数的 84%,无险型、极险型类型区占 16%。

所以,从考察范围内的红壤区侵蚀级别可以看出,轻度、中度、强度和极强度侵蚀均存在,以中度、强度侵蚀为主;潜在危险性分级中,无险型、轻险型、危

险型和极险型均存在,以轻险型、危险型类型为主。轻度、极强度侵蚀和无险、极险的类型区占比例较小。

表 2 同时表明,红壤考察区土壤侵蚀级别已达轻度以上、剧烈以下的侵蚀强度,情况不容乐观。 I_{4-4} 分区的侵蚀模数为 $2\ 128.6\ t/(km^2 \cdot a)$,属于轻度侵蚀和无险型,而 I_{4-9} 分区侵蚀模数达 $4\ 252.4\ t/(km^2 \cdot a)$,属于极强度侵蚀和极险型,其他分区均为中、强度侵蚀级别和轻险型、危险型级别。同时,强度和极强度侵蚀大多发生在深丘低山地带,中、轻度侵蚀大多发生在冲积平原区。

梁音等^[15]研究表明,南方红壤考察区的土壤侵蚀以轻、中度流失为主,本研究中得出考察区的土壤侵蚀以中度和强度为主,这与研究方法不同有关。周红艺等^[16]对长江上游典型区 SOTER 数据库支持下的土壤侵蚀危险度评价结果表明,强险型和极险型大多位于部分低山和深丘地带,轻险型和无险型主要分布在冲击平原和部分低山地带,这与本研究有相同之处。所以,本文的研究结果在一定程度上能反映红壤区土壤侵蚀强度和潜在危险性。

3.2 红壤区土壤侵蚀对异地的影响程度

SDR 表示产沙量与侵蚀量之比,数值一般在 1 左右波动,大多数流域 $SDR < 1$,即在一次泥沙输移过程中存在泥沙沉积; > 1 的情况比较少见,即在一次泥沙输移过程中,以往泥沙输移过程中沉积滞留的泥沙被重新侵蚀搬运; 0 值,即无侵蚀发生或发生的侵蚀量等于沉积量^[13]。SDR 比值越大,表明侵蚀越剧烈,泥沙在输移过程中沉积较少,随水流失的越多。SDR 比值越小,表明侵蚀越缓慢,在输移过程中沉积较多^[17]。研究表明^[18],上部侵蚀带径流对下部侵蚀带的侵蚀有增强作用,溅蚀、片蚀带来的水沙可使细沟侵蚀带的侵蚀产沙增加 21.5% ,片蚀加细沟侵蚀带来的水沙可使浅沟侵蚀带的侵蚀产沙量增加 $16.7\% \sim 80.6\%$,造成侵蚀强度沿程增强。

土壤侵蚀对异地的影响表现在生态、经济等诸多方面,研究过程中要考虑的因素较多,笔者在研究中尝试用泥沙输移比定量衡量土壤侵蚀对异地的影响

程度,简明且可操作性强。

陈浩等^[19]对黄土高原地区 SDR 的研究表明,多年平均未治理时为 $0.75 \sim 1.38$,多年平均治理时为 $0.31 \sim 0.48$ 。景可^[20]对长江上游流域 SDR 的研究表明,长江上游超过 0.7 ,高中山区接近 1 ,丘陵宽谷区不小于 0.5 。黎昔春等^[12]对洞庭湖 1973—1990 年不同粒径泥沙的研究表明,其平均 SDR 为 0.27 。所以,SDR 因研究区域和水土保持治理程度而异,区域水土保持治理效果越好,则对异地的危险性越小,反之亦然。

从概念上来讲,土壤侵蚀不一定会产生土壤流失,在土壤侵蚀已经发生的前提下,土壤侵蚀危险程度大小仅与土壤被搬运、沉积所带来的环境风险有关,即与水资源和土地生产力是否遭到破坏与损失有关。因此,可以通过 SDR 值的大小来间接反映土壤侵蚀对下游或者异地的土地和水资源的破坏程度(如表 3 所示)。

表 3 土壤侵蚀对异地影响程度分级

SDR	对异地影响程度大小	级别
0	无	无险型
0~0.5	轻度	轻险型
0.5~1	中度	危险型
>1	强烈	极险型

表 3 中,SDR=0,表示无侵蚀发生或侵蚀土壤全部沉积;SDR 为 $0 \sim 0.5$,表示侵蚀土壤有 50% 随径流流失,经流域出口运移至异地,同时使得流域内土层变薄,土壤轻度贫瘠化,并对异域土壤产造成了异质入侵;SDR 为 $0.5 \sim 1$,表示有 50% 以上甚至全部侵蚀土壤随径流流失;SDR > 1 ,表示不仅当时侵蚀土壤被搬运,以往沉积的泥沙也被重新侵蚀搬运,更多的泥沙进入了异域并会对其环境产生一定的压力。

侵蚀模数按照红壤区侵蚀模数,计为 $3\ 419.8\ t/(km^2 \cdot a)$,计算出长江中下游 5 大淡水湖的 SDR 和上游土壤侵蚀对异地的危险程度(如表 4 所示)。

表 4 5 大淡水湖上游土壤侵蚀对异地影响程度分级

湖名	输出泥沙量/ ($10^4 t \cdot a^{-1}$)	面积/ km^2	输沙模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	SDR	危险程度	级别
洞庭湖	5 400	4 125	13 090.9	3.83	强烈	极险型
鄱阳湖	1 160	3 968	2 923.4	0.85	中度	危险型
洪泽湖	1 030	1 960	5 255.1	1.54	强烈	极险型
巢湖	44	2 250	195.6	0.06	轻度	轻险型
太湖	10	769.5	130.0	0.04	轻度	轻险型

注:泥沙输出量数据来源于《中国土壤侵蚀防治与生态安全·南方红壤区卷》长江中下游 5 大淡水湖泥沙淤积;面积数据来源于百度百科对中国 5 大淡水湖的介绍。

由表4可知,考察区内5个湖中有3个湖 $SDR > 0.5$,其他2个 $SDR < 0.5$ 。其中鄱阳湖 SDR 接近1,对异地表现为中度影响,上游一旦发生土壤侵蚀,土壤侵蚀对异地是危险的;洪泽湖 $SDR > 1$,洞庭湖甚至 $SDR > 3$,对异地均表现为强烈影响,一旦发生土壤侵蚀,对异地是极险的;巢湖和太湖 $SDR < 0.1$,对异地表现为轻度影响,一旦发生土壤侵蚀,对异地表现为轻度危险。所以,南方红壤丘陵区考察范围内土壤侵蚀对异地的影响是存在的,且有60%的湖泊上游的土壤侵蚀对异地是危险甚至极险的。

4 结论

(1) 南方红壤侵蚀区内,轻度、中度、强度和极强度侵蚀均存在,其中轻度和极强度侵蚀较少,占考察区侵蚀类型的16%,中度侵蚀和强度侵蚀为主要侵蚀类型,占侵蚀类型的84%。

(2) 南方红壤侵蚀区潜在危险性分级中,无险型、轻险型、危险型和极险型均存在,其中无险和极险类型较少,占考察区潜在危险类型的16%,轻险和危险为主要类型,占潜在危险类型的84%。

(3) 南方红壤区土壤侵蚀对异地的危害比较大,60%的湖泊 $SDR > 0.5$,其上游土壤侵蚀对异地是危险甚至极险的。

[参考文献]

- [1] 程冬兵,廖纯艳,张平仓,等.南方红壤丘陵区水土流失综合治理技术体系研究[J].长江科学院院报,2010,27(11):98-101.
- [2] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国土壤侵蚀防治与生态安全:南方红壤区卷[M].北京:科学出版社,2010.
- [3] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准(SL190-96)[Z].北京:水利水电出版社,1997.
- [4] 熊顺贵.基础土壤学[M].北京:中国农业大学出版社,2001.
- [5] 熊毅,李庆逵.中国土壤[M].2版.北京:科学出版社,1987.
- [6] 熊毅,李锦.中国土壤集[M].北京:地图出版社,1986.
- [7] 韩富伟,张伯,宋开山,等.长春市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析[J].水土保持学报,2007,21(1):39-43.
- [8] 许炯心.三峡水库修建前长江宜昌—武汉段泥沙输移比及其影响因子[J].山地学报,2008,26(1):15-21.
- [9] 许炯心.水土保持措施对无定河流域沟道—河道系统泥沙收支平衡的影响[J].中国水土保持科学,2009,7(4):7-13.
- [10] 许炯心.无定河流域的人工沉积汇及其对泥沙输移比的影响[J].地理研究,2010,29(3):397-407.
- [11] 谢旺成,李天宏.流域 SDR 研究进展[J].北京大学学报:自然科学版,2012,48(4):685-694.
- [12] 黎昔春,张水云.洞庭湖的泥沙输移特性[J].泥沙研究,2003(2):73-76.
- [13] 李智广,刘秉正.我国主要江河流域土壤侵蚀量测算[J].中国水土保持科学,2006,4(2):1-6.
- [14] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国土壤侵蚀防治与生态安全:土壤侵蚀数据卷[M].北京:科学出版社,2010.
- [15] 梁音,杨轩,潘贤章,等.南方红壤丘陵区水土流失特点及防治对策[J].中国水土保持,2008(12):50-53.
- [16] 周红艺,何毓蓉,张保华,等.长江上游典型区SOTER数据库支持下的土壤侵蚀危险度评价[J].水土保持学报,2003,17(5):48-50.
- [17] 唐克丽,熊贵枢,梁季阳,等.黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化[M].北京:中国科学技术出版社,1993.
- [18] 郑粉莉,康绍忠.黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理[J].地理学报,1998,53(5):422-427.
- [19] 陈浩,蔡强国,陈金荣,等.黄土丘陵沟壑区人类活动对流域系统侵蚀、输移和沉积的影响[J].地理研究,2001,20(1):68-75.
- [20] 景可.长江上游 SDR 初探[J].泥沙研究,2002(1):53-59.