龙门山地区水土流失敏感性评价及其空间分异

陈盼盼[1], 胡利利[1], 李亦秋[1,2], 邓 欧[1]

(1. 绵阳师范学院 生态安全与保护四川省重点实验室, 四川 绵阳 621000; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100100)

摘 要: [目的] 确定水土流失优先保护区和需要生态修复的区域,为龙门山的生态环境治理和社会经济发展提供重要的决策依据。[方法] 主要考虑降水、土壤侵蚀和地形起伏和植被覆盖等通用土壤流失方程中的水土流失影响因子,对龙门山地区水土流失敏感性进行辨识,并借助于 3S 技术强大的空间数据采集和分析功能,计算水土流失敏感性综合得分值,按照 ArcGIS 自然断点分类方法将水土流失敏感性分为不敏感区、较敏感区、低度敏感区、中度敏感区和极敏感区 5 个等级。[结果] 龙门山东部山前丘陵地区,人类活动频繁,水土流失敏感性最强,占总面积的 34.12%;中部中海拔山地区域,水土流失敏感性次之,占总面积的 28.30%;西部山区,水土流失敏感性最低,所占面积比重较小,为 13.65%。[结论] 龙门山地区水土流失敏感性具有明显的地域分异特点,人类活动频繁,对自然生态系统的干扰强烈,水土流失敏感性最强,人类活动是加剧龙门山地区水土流失敏感性的主要因素。

关键词: 水土流失; 敏感性; 空间分异; 龙门山

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2017)03-0237-05 **中图分类号**: S157

文献参数: 陈盼盼, 胡利利, 李亦秋, 等. 龙门山地区水土流失敏感性评价及其空间分异[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 237-241. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.040; Chen Panpan, Hu Lili, Li Yiqui, et al. Sensitivity assessment and spatial distribution of soil erosion in Longmen Mountains region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 237-241. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.040

Sensitivity Assessment and Spatial Distribution of Soil Erosion in Longmen Mountains Region

CHEN Panpan[1], HU Lili[1], LI Yiqiu[1,2], DENG Ou[1]

(1. *Ecological Security and Protection Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan* 621000, *China*; 2. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*)

Abstract: [Objective] The regional priority with regard to soil and water loss and ecological restoration was explored to provide some major decision-making bases for ecological environment management and social and economic development in Longmen Mountains area. [Methods] Based on the powerful spatial analysis function of GIS, the spatial values of soil erosive sensitivity in Longmen Mountains area were identified and calculated in consideration of all comprehensive influence factors of soil and water loss, as precipitation, soil erosion, topography relief and vegetation cover, etc. According to the classification method of natural breakpoint of ArcGIS, areas in term of sensitivity degree of soil erosion were designated as following: insensitive area, sensitive area, low sensitive area, moderate sensitive area and extreme sensitive area. [Results] The highest sensitivity areas were mainly distributed in the eastern piedmont hills and alluvial plains, accounting for 34.12% of the total area. Moderate sensitivity areas were mainly distributed in the central hilly areas, accounting for 28.30% of the total area. Low sensitivity zone were mainly distributed in the western mountains, accounting for 13.65% of the total area. The covered areas by different sensitivity degree were

收稿日期: 2016-11-15 **修回日期**: 2016-11-30

资助项目: 国家自然科学基金项目"库坝工程开发的生态极化效应发生机理及其敏感性评"(41371486); 生态安全与保护四川省重点实验室项目(ESP201304, QD2014A001); 四川省教育厅资助项目(14ZA0258); 绵阳师范学院工程硕士研究生创新实践基金资助(XYCXXM201510)

第一作者: 陈盼盼(1990—),女(汉族),河北省定州市人,硕士研究生,研究方向为 3S 技术应用。E-mail: jeno.chen@foxmail.com。

通讯作者: 李亦秋(1973—),女(汉族),四川省达县人,博士,教授。主要从事 3S 技术应用、生态遥感、自然资源开发与利用研究。E-mail: yqiu.li@163.com。

largely overlapped spatial distribution of human activity frequency. [Conclusion] The sensitivity of soil and water loss in the study area had obvious regional differentiation with regard to the erosive sensitivity. It is the frequent human activity that cause strong disturbance to natural ecosystem and cause subsequent strong sensitivity to soil erosion.

Keywords: soil erosion; sensitivity; spatial difference; Longmen Mountains

水土流失是当今全球面临的一个严峻的环境与灾害问题,严重的水土流失已造成了生态环境的急剧恶化,受到了越来越多的关注。随着社会经济的发展,水土流失成为各类生态问题的集中反映,由此引发的全国性的生态脆弱问题,成为影响中国生态安全的头号环境问题,而生态安全问题又关系到人类的生存和国家的稳定,十八大以来,党和国家政府大力推进生态文明建设,面对水土流失发展严峻新形势,水土保持工作尤为迫切。2011 年,中国水土流失总面积占国土总面积的 30.72%,达 2.95×10^6 km^2,水土流失严重,造成了严重的经济损失[1]。水土流失敏感性是指区域生态系统水土流失生态过程发生的潜在可能性及其程度[2-3]。国内外土壤侵蚀模型的基本分为 3 类:经验统计模型[4]、物理成因模型[5-9]、分布式土壤侵蚀模型[10]。水土流失的影响因素诸多,包括降雨强度和频率、植被覆盖、地形的坡度、土壤本身的抗侵蚀性等[11-14]。水土流失敏感性评价的实质是对现状自然环境背景下的潜在水土流失问题进行明确辨识,并将其落实到具体空间区域上的过程[15],用来反映产生生态失衡与水土流失的可能性大小,也是区域生态环境质量、人口负荷、土地利用合理程度的指标之一,也是实施区域生态环境规划与管理的重要基础依据。

龙门山地区位于青藏高原和四川盆地的过渡地带,地质构造复杂,生物多样性丰富,是中国生态环境脆弱地带,加之 5·12 汶川地震的破坏,特殊的地质和地貌特征,以及长期以来不合理开发利用,森林植被破坏,水土流失十分严重,造成大面积裸露,水土流失产生的大量泥沙还毁坏农田,淤埋村庄,淤积干、支流水库和下游河床,也严重威胁着河流下游地区的防洪安全。本文拟在确立水土流失敏感性影响因子的基础上,借助 GIS 和 RS 技术,分析影响水土流失的各因子的敏感性,对水土流失敏感性进行综合评价和空间分异特征研究,实现敏感度综合分区。同时确定水土流失优先保护区和需要生态修复的区域,从而为龙门山的生态环境治理和社会经济发展提供重要的决策依据。

1 研究区概况

龙门山地区南起泸定、天全县,向北东经宝兴县、都江堰、江油、广元市进入陕西省宁强、勉县一带,全长约 500 km,宽 40～50 m,山峰起伏、河谷纵横,地势极为复杂,位于中国地貌第 1 阶梯青藏高原和第 2 阶梯四川盆地的过渡地带,整体地势西高东低,地貌主要以山前冲积平原、高山地貌和高原地貌为主[16]。龙门山断裂带由 4 条近平行的断裂组成:龙门山断裂带东南的边界断裂灌县—安县断裂,中央主断裂映秀—北川县断裂,北西侧的边界断裂汶川—茂汶断裂和青川断裂[17]。龙门山地区的水系以横向河流为主,河流流向与龙门山走向垂直,河谷深切,水土流失敏感度高[18]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文主要的数据包括龙门山地区的基础地理数据(行政边界、河流水系、道路交通等),30 m×30 m DEM 数据及遥感解译得到的土地利用数据及植被覆盖度遥感解译图,四川省及其周边省市气象站降水量观测数据资料等。

2.2 研究方法

(1) 通用土壤流失方程。对于水土流失敏感性的研究,大多数研究选择的可行方法为确定合理的土壤侵蚀模型,选取能反映区域水土流失敏感性的因子,对区域的水土流失敏感性进行综合评价。20 世纪 60 年代由 Wischmeier 等[4]提出的通用土壤流失方程,建立了水土流失量及其各影响因子的统计关系模型[19]。本研究采用土壤流失通用方程,其计算公式为:

$$A=f\cdot R\cdot K\cdot S\cdot L\cdot C\cdot P \quad (1)$$

式中:A——土壤年流失量(t/a);f——使 A 的单位(因 R,K 使用美习用单位)转换为 t/(km^2·a)的常数=224.2;R——降雨侵蚀力因子;K——土壤可蚀性因子;S——坡度因子;L——坡长因子;C——植被覆盖或作物管理因子;P——保土措施因子。

(2) 水土流失敏感性评价指标体系及其评估标准的确定。水土流失的敏感性是自然因素所决定的生态系统对人为影响的反映敏感程度,影响水土流失的因素同样影响着一个区域对水土流失的敏感性。在本研究中,以通用土壤流失方程(USLE)为基础,选用降雨侵蚀力因子(R)、土壤可蚀性因子(K)和地

形起伏度等自然力因素,和与潜在植被及人类活动关系密切的地表植被覆盖因子等作为水土流失敏感性评价的指标,运用 GIS 和 RS 技术评价土壤侵蚀敏感性及其空间分异。根据目前对水土流失和有关生态环境研究的资料以及《生态功能区划暂行规程》,本研究从降水、地貌、土壤质地和植被等主要因素对龙门山地区水土流失敏感性的影响规律,确定水土流失敏感性评价指标分级标准(表 1)。

表 1　龙门山水土流失敏感性评价指标分级标准

评价指标	分级标准				
	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
降水侵蚀力 R 值	＜200	200～250	250～300	300～350	＞350
土壤可蚀性 k 值	＜25	25～35	35～45	45～55	＞55
地形起伏度 LS	＜25	25～100	100～400	400～600	＞600
植被覆盖因子 C	水体、草本沼泽、稻田	阔叶林、针叶林、草甸、灌丛和萌生矮林	稀疏灌木草原、一年两熟粮作、一年水旱两熟	荒漠、一年一熟粮作	无植被
分级赋值	1	3	5	7	9

(3) 以 GIS 为平台的空间统计、空间分析方法。通过空间模型构建空间叠加分析模型,采用 GIS 空间建模运算得到敏感性综合得分值空间分布,实现水土流失敏感性分区。

3　数据处理与结果分析

3.1　敏感因子及其敏感性分级

(1) 降水侵蚀力 R 值。降水侵蚀力指有降水引起土壤侵蚀的潜在能力,它是降水的物理性质函数,也是引起土壤侵蚀产沙的主要动力因素。国内外对降水侵蚀力的计算进行了大量的研究,从综合资料的可及性及适用范围看,EI_{30} 仍是世界上应用最广的降水侵蚀力指标。本研究采用王万忠等[20]通过对全国 313 个站点年降雨资料的统计分析,得出的年降雨侵蚀力(R)值的估算公式:

$$R=0.207(P=I_{60}/100)^{1.205} \quad (2)$$

式中:I_{60}——年最大 60 min 降雨量(mm);P——年降雨总量(mm)。

本研究选取龙门山地区及周边省份降雨站点的 R 值,采用内插法,借助于 ARCGIS 10.1 空间分析和可视化表达工具,根据表 1 所示的指标分级标准,绘制龙门山地区的年降水侵蚀力(R)值分布图(图 1)。

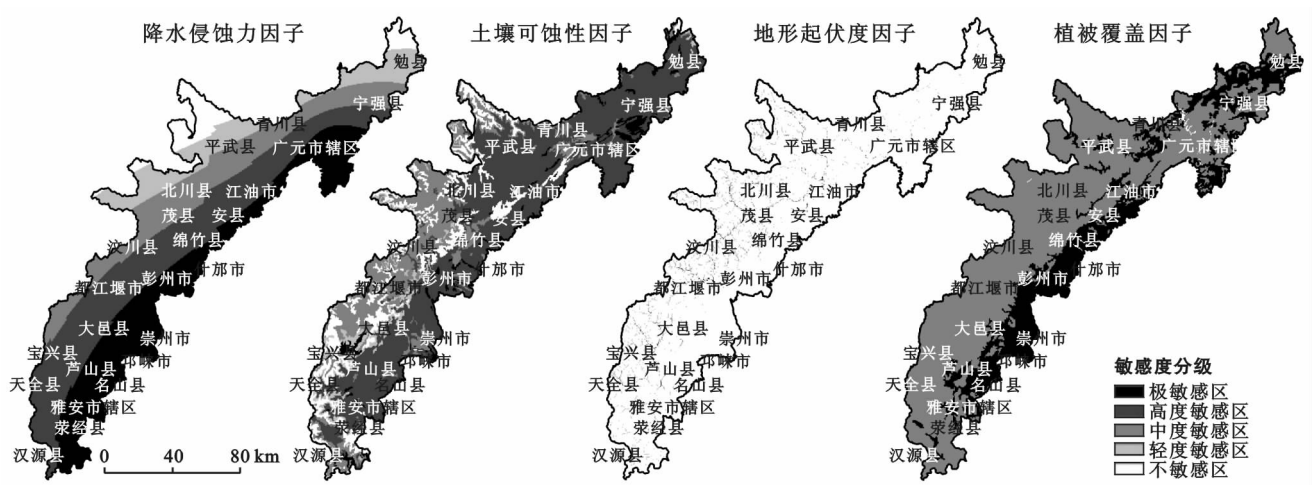


图 1　龙门山水土流失敏感性因子分级

(2) 土壤可蚀性 K 值。土壤对水土流失的影响主要与土壤质地有关,为了更准确化水土流失的敏感度,采用反映土壤本身的侵蚀抗冲能力的土壤可侵蚀 K 值这一指标来衡量。在本研究根据龙门山现有的土壤资料,并参考了卜兆宏等[21-22]的研究成果,发展了土壤可蚀性因子 K 值的算法,根据土壤质地类型和有机质含量从“USLE 中土壤可蚀性因子 K 值表”查出相应的 K 值,对龙门山地区主要土壤类型 K 值进行赋值,根据表 1 所示的指标分级标准,绘制龙门山地区水土流失对土壤质地敏感性分级图(图 1)。

(3) 地形起伏度 LS。在 USLE 中,地形起伏度的计算比较复杂,本研究中采用地形起伏大小反映地形因子对水土流失敏感性的影响。地形起伏度是指地面一定距离范围内最大高程差。本研究中龙门山断裂带

地形起伏度的计算是以龙门山断裂带地区 DEM 为基础，对其进行邻域分析，进行 7×7 窗口的地形起伏度的提取，再根据表 1 所示的指标分级标准，绘制龙门山地区水土流失对地形敏感性分级图(图 1)。

(4) 植被覆盖因子 C。本研究的 C 因子通过 2015 年 TM 遥感影像来获取。采用监督分类遥感影像解译得到植被类型图，根据表 1 所示的指标分级标准，绘制龙门山地区水土流失对植被覆盖的敏感性分级图(图 1)。

3.2 龙门山水土流失敏感性综合评价

水土流失敏感性综合得分与水土流失敏感性分区。将各水土流失敏感性评估指标统一为基于 CGCS 2000 的平面坐标系和 500 m×500 m 的栅格数据。在 ArcGIS 10.1 的 Raster Calculator 中将水土流失敏感性评估指标分级值导入空间模型，通过模型运算得到龙门山水土流失敏感性综合得分值空间分布图(图 2)。以龙门山水土流失敏感性综合得分值空间分布为基础，按照 ARCGIS 自然断点分类方法，将水土流失敏感性分为不敏感区、低度敏感区、中度敏感区、高度敏感区和极敏感区 5 个等级，实现龙门山水土流失敏感性分区，绘制龙门山水土流失敏感性分区分布图(图 3)。

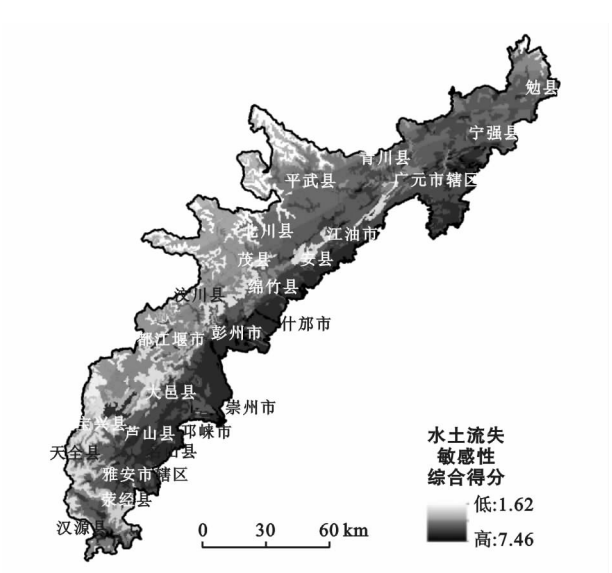


图 2 龙门山水土流失敏感性综合得分分布

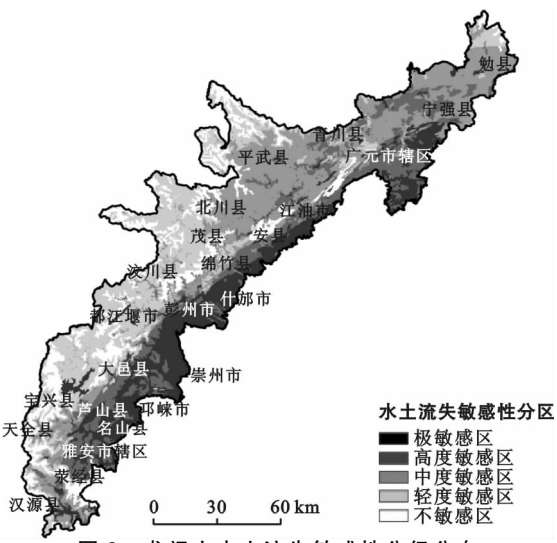


图 3 龙门山水土流失敏感性分级分布

根据龙门山水土流失敏感性分级分布图 3 的敏感性等级及其面积字段，对 5 个敏感性等级的面积进行统计，结果如表 2 所示。

表 2 龙门山水土流失敏感性综合评价数据统计

敏感性等级	水土流失敏感性综合评价		
	栅格数/个	面积/km²	所占面积百分比/%
不敏感	30 144	7 536.14	13.65
轻度敏感	52 844	13 211.24	23.93
中度敏感	62 508	15 627.28	28.30
高度敏感	38 400	9 600.17	17.39
极敏感	36 952	9 238.17	16.73

由图 3 和表 2 可知：龙门山地区水土流失敏感性主要以中度敏感为主，面积为 15 627.28 km²，占总面积的 28.30%，主要分布在龙门山断裂带的中北部地区的北川、平武、青川、广元和勉县及宁强地区的中海拔起伏山地；其次是轻度敏感，面积为 13 211.24 km²，占总面积的 23.93%，主要分布在龙门山断裂带的西部地区，呈狭长分布，主要位于青川县、平武县西北部地区的高海拔极大起伏山地、茂县、汶川、宝兴、天全县的高海拔极大起伏山地；高度敏感和极敏感所占也比重较大，面积分别为 9 600.17 和 9 238.17 km²，占总面积的 17.39%和 16.73%，主要分布在龙门山断裂带的东部地带，呈线状分布，主要位于广元市低海拔小起伏山地和中海拔中起伏山地、江油、安县、什邡、绵竹、彭州、都江堰、崇州、大邑、邛崃、名山、雅安等县市的低海拔丘陵、低海拔小起伏山地、低海拔冲积平原和中海拔中起伏山地；不敏感区域的面积为 7536.14 km²，所占面积比重较小，为 13.65%，主要分布在龙门山断裂带的西部地区的北川、平武、青川、茂县、汶川、天全、宝兴、荥经、汉源县交界处的高海拔极大起伏山地。

4 讨论与结论

(1) 从龙门山水土流失敏感性综合评价结果来看，研究区域内水土流失敏感性具有明显的地域分异特点，东部山前丘陵地区，人类活动频繁，人口和城市密集，对自然生态系统的干扰强烈，水土流失敏感性

最强,最高值达到 7.46;中部中海拔山地区域,水土流失敏感性次之;西部山区,水土流失敏感性最低。对于生态环境较好的水土流失高敏感性区域,也应该做好水土保持工作。

(2) 龙门山地区水土流失敏感性主要以中度敏感为主,面积为 15 627.28 km^2,占总面积的28.30%,分布在研究区的中北部地区的中海拔起伏山地等地区;其次是轻度敏感,面积为 13 211.24 km^2,占总面积的 23.93%,分布在研究区的高海拔极大起伏山地等地区;高度敏感和极敏感所占也比重较大,面积分别为 9 600.17 和 9 238.17 km^2,占总面积的 17.39% 和 16.73%,分布在研究区东部地带的低海拔丘陵、低海拔小起伏山地、低海拔冲积平原和中海拔中起伏山地等地区;不敏感区域的面积为 7 536.14 km^2,所占面积比重较小,为 13.65%,分布在研究区的西部地区的高海拔极大起伏山地等区域。

综上所述,龙门山地区水土流失敏感性具有明显的地域分异特点,东部山前丘陵地区,人类活动频繁,对自然生态系统的干扰强烈,水土流失敏感性最强,人类活动是加剧龙门山地区水土流失敏感性的主要因素。立足于水土流失敏感性分区现状,确定水土流失优先保护区和生态修复区,加强相应区域的生态环境建设,对于促进地方经济及社会发展,保障人民生命财产安全具有重要意义。

[参 考 文 献]

[1] 赵乾坤.山西省水土保持功能分区及生态脆弱性评价[D].山东 泰安:山东农业大学,2014:5-7.

[2] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J].生态学报,2000,20(1):9-12.

[3] 刘康,康艳,曹明明,等.基于 GIS 的陕西省水土流失敏感性评价[J].水土保持学报,2004,18(5):168-170.

[4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[Z]. United States Department of Agriculture: Agricultural Handbook, 1978:537.

[5] Laflen J M, Lane L J, Foster G R. WEPP: A new generation of erosion prediction technology[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991,46(1):34-38.

[6] Morgan R P C, Quinton J N, Smith R E, et al. The European soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1998(23):527-544.

[7] 蔡强国,刘纪根,刘前进.岔巴沟流域次暴雨产沙统计模型[J].地理研究,2004,23(4):433-439.

[8] 蔡强国,袁再健,程琴娟,等.分布式侵蚀产沙模型研究进展[J].地理科学进展,2006,25(3):48-54.

[9] 崔普伟.基于单元流域的黄土丘陵沟壑区岔巴沟流域次暴雨产沙经验模型研究[D].武汉:华中农业大学,2010:20-26.

[10] Baffalt C, Nearing M A, Nicks A D. Impact of GLIGEN parameters on WEPP predicted average soil loss[J]. Transactions of the ASAE, 1996,39(2):1001-1020.

[11] 朱强,黄丽玲,俞孔坚.景观规划的环境学途径[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.

[12] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003,100(14):8074-8079.

[13] Forbes V E, Calow P. Applying weight-of-evidence in retrospective ecological risk assessment when quantitative data are limited[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2002,8(7):1625-1639.

[14] 凡非得,王克林,熊鹰,等.西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2011,31(21):6353-6362.

[15] 徐广才,康慕谊,赵从举,等.阜康市生态敏感性评价研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(1):88-92.

[16] 陈立春,冉勇康,王虎,等.芦山地震与龙门山断裂带南段活动性[J].科学通报,2013,58(20):1925-1932.

[17] 李艳菊.龙门山中北段区域地学景观及传统聚落适宜性研究[D].成都:成都理工大学,2013:29-33.

[18] 李嘉.四川稻城地区地质景观研究[D].成都:成都理工大学,2011:25-28.

[19] 谢云,林燕,张岩.通用土壤流失方程的发展与应用[J].地理科学进展,2003,22(3):279-287.

[20] 王万忠,焦菊英.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.

[21] 卜兆宏,卜宇行,陈炳贵,等.用定量遥感方法监测 UNDP 试区小流域水土流失研究[J].水科学进展,1999,10(1):31-36.

[22] 卜兆宏,杨林丈,卜宇行,等.太湖流域苏皖汇流区土壤可蚀性 K 值及其应用研究[J].土壤学报,2002,39(3):296-300.