

# GIS 支持下的土壤侵蚀敏感性评价研究

王春菊, 汤小华, 郑达贤, 陈文惠

(福建师范大学 地理研究所, 福建 福州 350007)

**摘要:** 区域土壤侵蚀受到多种因素的影响和制约, 在综合分析了影响福建省土壤侵蚀的主要因子: 降水、地形起伏、土壤质地、植被因子和人为活动因子的基础上, 根据国内外对土壤侵蚀敏感性评价的研究成果以及福建省的自然环境特征, 确定了影响福建省土壤侵蚀的主要因子和敏感性等级。在 GIS 软件支持下, 完成了评价指标数据的提取和集成, 并按照敏感性等级标准进行土壤侵蚀敏感性评价。

**关键词:** GIS; 土壤侵蚀敏感性; 评价因子; 福建省

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2005)01-0068-03

**中图分类号:** S157.1; P208

## A GIS-based Study on Sensitivity of Soil Erosion

WANG Chun-ju, TANG Xiao-hua, ZHENG Da-xian, CHEN Wen-hui

(Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, Fujian Province, China)

**Abstract:** Regional soil erosion is limited by a number of factors, including precipitation, relief, soil quality, vegetation and human activity. With reference to domestic and international work on the assessment of sensitivity to soil erosion and to the natural environment characteristics of Fujian Province, the primary influences on and sensitivity grades of soil erosion are determined. GIS software is utilized to index resulting data and to extrapolate soil erosion sensitivity analysis.

**Keywords:** GIS; Fujian Province; sensitivity to soil erosion; evaluation indexes

土壤侵蚀敏感性是指在自然状况下, 发生土壤侵蚀可能性的大小。土壤侵蚀敏感性评价是为了评价生态系统对人类活动的敏感程度, 识别容易形成土壤侵蚀的区域, 为人们的生产和生活提供科学依据<sup>[1]</sup>。许多学者对此做了大量的研究工作, 但大多只停留在单个因素对土壤侵蚀影响方面的研究。区域土壤侵蚀受到多种因素的影响和制约, 包括气候、水文、地形地貌、土壤和植被等自然因素, 以及土地利用、水土保持措施等人为因素。从影响土壤侵蚀的综合因素方面研究, 可以突破单个因素的局限性, 更好的反映区域土壤侵蚀的敏感程度。

福建省地处我国东南沿海, 陆地上介于东经 115° 50'—120° 43' 和北纬 23° 33'—28° 19' 之间。地貌类型以山地丘陵为主, 降水量大而时空分布不均, 原生植被稀少, 加上格子状的冲刷力强的水系、抗蚀性弱的母岩和土壤, 使得福建省极易发生土壤侵蚀<sup>[2]</sup>。土壤侵蚀敏感性评价, 对于福建省的社会和经济的发展有重要的意义。本研究根据国内外对土壤侵蚀敏感性评价的研究成果以及福建省的自然环境特征, 确定主要影响因子的评价指标和敏感性等级。在 GIS 软件支

持下, 完成了评价指标数据提取和集成, 并按照敏感性等级标准进行土壤侵蚀敏感性评价。

## 1 土壤侵蚀敏感性影响因子分析

Renard K G 等提出了土壤侵蚀方程<sup>[3]</sup>, 将影响因素与土壤侵蚀很好地结合了起来:  $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$  式中:  $A$ ——土壤侵蚀量;  $R$ ——降水侵蚀力;  $K$ ——土壤质地因子;  $LS$ ——坡度坡向因子;  $C$ ——地表覆盖因子;  $P$ ——农业措施(耕地)因子。

这些因素影响着—个区域对土壤侵蚀的敏感性。降水侵蚀力( $R$ )、土壤质地因子( $K$ )和坡度坡向因子( $LS$ )主要是受自然因素的控制, 反映了自然的作用过程。地表覆盖因子( $C$ )主要是由植被决定的, 植被的分布是自然因素和人类活动共同作用的产物。农业措施因子( $P$ )是与人类活动密切相关的因子, 与生态系统的自然敏感性关系不大, 这里就不做考虑。

### 1.1 降雨侵蚀力( $R$ )值

降水是引起土壤侵蚀的最重要的因子, 它主要是由降雨雨滴所携带的动能对土粒产生冲击而引发的土壤侵蚀。 $R$ 值是降雨能量和强度的函数, 在实际研

收稿日期: 2004-05-03

资助项目: 福建省科技厅项目(2002R028)

作者简介: 王春菊(1980—), 女(汉族), 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事资源环境、地理信息系统等方面的研究, 已在核心期刊上发表论文 2 篇。E-mail: chjwang1257@sina.com.cn。

工作中一般用来反映降雨对土壤侵蚀的影响。由于降雨特征和地理位置等因素不同,不同地区的  $R$  值最佳计算组合是有差异的。近年来,我国许多科研工作者通过对各地小区资料的统计分析,提出了各地区  $R$  值最佳计算组合并导出简便算式。周伏建<sup>[4]</sup>等经过大量的研究,提出福建省降雨侵蚀力  $R$  值的简便

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-2.6398 + 0.3046 P_i)$$

式中:  $P_i$  ——月降雨量(mm);  $R$  ——降雨侵蚀力( $J \cdot cm/m^2 \cdot h$ )。

根据上式,我们利用全省 71 个气象站的多年降雨记录资料计算出福建省各气象站的  $R$  值。福建省降水丰沛,全省年平均降水量在 1 000 ~ 2 200 mm 之间,基本上从东南沿海向西北山区递增,降水量季节分配不均,有较明显的干季和雨季,频繁的暴雨构成强大的土壤侵蚀动力。由计算可知,福建省降雨侵蚀力  $R$  值基本为 200 ~ 550,绝大部分地区为 300 ~ 500。全省  $R$  值主要集中在 3—9 月,这期间  $R$  值占全年  $R$  值的 96%,其中 5—9 月为降雨侵蚀力高峰期,占全年  $R$  值的 86%。

## 1.2 地形的起伏度

福建省地形以山地丘陵为主,约占土地面积的 82.39%; 地面坡度较大,坡度在 15° 以上的土地面积占全省总面积的 45.7%。这种地形结构,增加了自然景观的复杂性、多样性以及潜在的不稳定性。地形的起伏是导致土壤侵蚀的最直接的因素,在大比例尺(坡面尺度)研究中,坡度将是最主要的指标。而对区域的研究,由于坡度坡长因子很难计算,坡度坡长指标是不适用的<sup>[5]</sup>,通常是选用地形起伏度综合的反映区域范围内的宏观地形状况进行评价。地形起伏度是指地面一定距离范围内最大的高程差,它反映了坡度、坡长等地形因子对土壤侵蚀的综合影响,可以作为区域土壤侵蚀敏感性评价的地形指标。

## 1.3 土壤质地因子 ( $K$ )

土壤是水土流失发生的主体,是被侵蚀的对象。土壤母质对风化过程、风化产物、土壤类型及其抗侵蚀能力都有重要的影响<sup>[6]</sup>。福建省土壤侵蚀最严重的地区多为花岗岩和紫色岩地区,以及戴云山和武夷山脉之间一些盆谷丘陵地。在区域土壤侵蚀宏观评价研究中,经常运用土壤可蚀性因子  $K$  值来综合的反应地区的土壤质地。土壤可蚀性因子  $K$  值的获取,可根据土壤质地,在诺谟图中查取。

## 1.4 覆盖因子 ( $C$ )

植被是影响土壤侵蚀最敏感的因素,其防止侵蚀的作用主要包括对降雨能量的削减作用、保水作用和抗侵蚀作用。福建省地处我国东部森林区,分属南亚热带季雨林和中亚热带常绿阔叶林地带。在地带性气候条件下,植被群落一般能够演替到南亚热带季雨林和中亚热带常绿阔叶林。这 2 种地带性群落便是稳定的群落,其结构和成分的多样性使之具有巨大的生态效益。但由于人类社会活动的干扰和破坏,导致这 2 种相对稳定的地带性群落基本遭到破坏,出现逆向演替。主要有次生常绿阔叶林、马尾松林、杉木林、竹林、灌丛以及荒草坡等次生植被和人工种植的茶、果等农作物,森林质量下降导致森林生态功能减弱<sup>[7]</sup>。

# 2 土壤侵蚀敏感性评价

## 2.1 土壤侵蚀敏感性影响因子分级

在参照国内专家对土壤侵蚀敏感性评价的研究成果的基础上<sup>[1]</sup>,针对福建省的自然环境特征,确定主要影响因子评价指标的敏感性等级(表 1)。根据表 1 中各因子评价指标的敏感性分级标准,应用地理信息系统绘制福建省降雨侵蚀力对土壤侵蚀敏感性分布图、地形起伏度对土壤侵蚀敏感性分布图、土壤质地对土壤侵蚀敏感性分布图、植被类型对土壤侵蚀敏感性分布图。

表 1 土壤侵蚀敏感性影响因子的分级

分级	不敏感	轻度敏感	敏感	高度敏感	极敏感
$R$ 值	< 25	25 ~ 100	100 ~ 400	400 ~ 600	> 600
地形起伏度/m	< 50	50 ~ 100	100 ~ 300	300 ~ 500	> 500
土壤质地 <sup>[8]</sup>	石砾、沙	粗砂土、细砂土、黏土	面砂土、壤土、黏壤土、砂黏壤土	砂壤土、粉黏土、壤黏土	砂粉土、粉土
植被	草本沼泽、稻田	阔叶林、针叶林、草甸等	稀疏灌木草地、果园、一年二熟旱作	荒漠、一年一熟旱作	无植被
分级赋值 ( $C$ )	1	3	5	7	9
分级标准 ( $SS$ )	1.0 ~ 2.0	2.1 ~ 4.0	4.1 ~ 6.0	6.1 ~ 8.0	> 8.0

## 2.2 土壤侵蚀敏感性单因子评价

### 2.2.1 数据源 本次研究使用的数据包括:

- (1) 福建省各气象站数据。
- (2) 1:25 万福建省地形图。
- (3) 1:25 万福建省土壤数据。
- (4) 1:25 万福建省土地利用详查数据。
- (5) 福建省森林资源分布图。
- (6) 2000 年遥感调查生成的土壤侵蚀图。

### 2.2.2 数据的处理

(1) 降雨侵蚀力 ( $R$ ) 值。我们利用全省 71 个气象站的多年降雨记录资料计算出福建省各气象站的  $R$  值,利用 JOIN 命令把  $R$  值输入系统,制作成点数据集,利用 GIS 软件中的地统计模块进行插值,转换成  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  的 GRID 数据,根据表 1 的分级标准,对其进行重新分类。得到福建省降雨侵蚀力对土壤侵蚀敏感性分布图。

(2) 地形的起伏度 ( $LS$ )。采用福建省 2000 年 1:25 万数字地形图,将等高线数据转换为在  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  的 DEM 数据,以 DEM 数据作为福建省地形起伏度的数据源,在 ARC/INFO 的 GRID 模块支持下,取  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  为窗口进行地形起伏度数据的提取,根据表 1 的分级标准进行重新分类,生成地形起伏度对土壤侵蚀敏感性分布图。

(3) 土壤质地因子 ( $K$ )。本研究直接把土壤质地作为影响土壤侵蚀敏感性的土壤因子指标,根据表 1 的分级标准对其进行分级,在 GIS 软件 GRID 模块的支持下,生成  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  福建土壤质地对土壤侵蚀敏感性分布图。

(4) 覆盖因子 ( $C$ )。根据福建省森林资源分布图,并提取 2000 年福建土地利用详查数据中的稻田、旱地和果园进行校正,根据表 1 的分级标准对其赋值,在 GIS 软件 GRID 模块的支持下,生成  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  福建植被类型对土壤侵蚀敏感性分布图。

### 2.3 土壤侵蚀敏感性综合评价

从单因子分析得出的土壤侵蚀敏感性,只反映了某一因子的作用程度,要将土壤侵蚀敏感性的区域差异综合地反映出来,则需要计算土壤侵蚀敏感性指

$$SS_j = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 C_i}$$

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

然后根据分级标准来确定土壤侵蚀敏感性分布。根据上式,利用 GIS 软件中的空间叠加分析功能,得到土壤侵蚀敏感性综合评价图(图 1)。

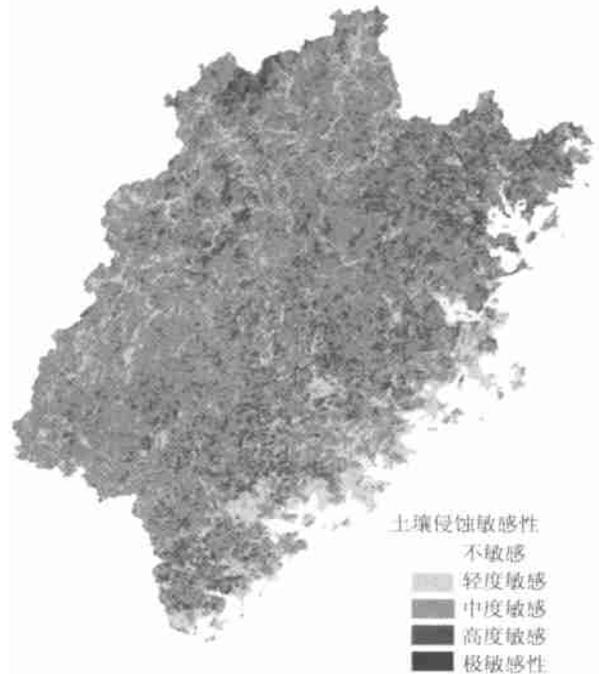


图 1 福建土壤侵蚀敏感性分布图

## 3 结论与讨论

在 GIS 软件的支持下,采用降雨侵蚀力值、地形的起伏度、土壤质地因子、覆盖因子 4 个影响因子,对福建省侵蚀敏感性进行综合评价研究。本研究可以综合的反映区域土壤侵蚀的敏感程度,体现了生态系统中各因子的相互作用。但对因子的选取仍带有一定的主观性,此外,各影响因子的强度也会有所差别,如果能科学的赋予一定的权重,将会达到更为科学的效果。这些都有待于在今后的研究中作深入的探讨。

虽然指标模型有待进一步的改善,但通过本研究仍然可以得出以下结论:

(1) 由于降水、地形、土壤和植被等自然因素的综合作用,福建省土壤侵蚀敏感性分布格局主要如下:福建省土壤侵蚀敏感性在空间上呈块状不连续分布,但侵蚀敏感性区域又相对集中,总的侵蚀敏感性强度分布趋向是内陆丘陵山地向沿海低丘递减。

(2) 土壤侵蚀极敏感类型的面积约为  $182.15\text{ km}^2$ ,占全省陆域总面积的  $0.15\%$ 、零星分布在闽中和闽西大山带。高度敏感类型的面积  $13\,816.82\text{ km}^2$ ,占全省陆域总面积的  $11.38\%$ ,广泛分布于闽中和闽西 2 大山带,武夷山市、光泽县、寿宁县、柘荣县、福鼎市、屏南县、宁德市辖区、罗源县、德化县、安溪县、尤溪县、永泰县相对较为集中。

(下转第 74 页)

表 4 研究小流域林分密度与耗水量

林分密度/ 度/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	平均 耗水量	最大 耗水量	总耗水量
0~5	2 754.2	0.310	16.677	853.802
5~15	3 507.1	6.463	115.877	22 668.140
15~25	3 196.0	11.045	226.796	35 302.057
25~35	1 300.6	16.960	355.576	22 058.826
35~45	389.6	24.853	496.153	9 683.040
>45	81.7	40.499	705.115	3 308.784

### 3 结 论

由于在一些小流域水源涵养林木耗水量实验观察单木耗水过程中受许多客观条件限制,如资金不足、技术力量相对薄弱等,没有能力购买高性能的设备、计算机软、硬件及高分辨率的遥感影像。通过常规测绘仪器获取数据,开发独立的系统软件,可以降低成本。水源涵养林木耗水量是林分类型、温度、光照、土壤及降雨等因子综合作用的结果。利用 3S 技术,结合现有的水源涵养林单木耗水量基础,在科学、规范的评价方法指导下,可以实现区域水源涵养林木

(上接第 70 页)

敏感类型的面积最大,达 82 515.67 km<sup>2</sup>,占全省陆域总面积的 67.97%,集中分布于闽西大山带、闽中大山带西麓和东麓的丘陵低山地区。轻度敏感类型占全省陆域总面积的 20.13%,集中分布于福州以南的沿海平原台地地区,山区的河谷、盆地也有分布。不敏感类型主要是各类水体,包括河流、湖泊、水库、沿海围垦水面等水域,面积最小,仅 452.56 km<sup>2</sup>,主要分布于福州、莆田、泉州等设区市的沿海县市。

(3) 如果将福建省土壤侵蚀敏感性分布图与 2000 年遥感调查生成的土壤侵蚀图进行比较,可以看出土壤侵蚀敏感性高的地区,基本上是目前土壤侵蚀严重(强度、极强度)的地区。这表明区域土壤侵蚀受自然因素的影响很大。但在沿海地区属于轻度敏感类型的地区,由于人为活动,如坡地开垦、城镇和开发区建设、交通设施建设等,使局部地区植被破坏导致土壤侵蚀;相反,在闽北的武夷山、光泽、邵武、建阳等县市以及福州市辖的尤溪县,虽然属于土壤侵蚀敏感性高(高度敏感和极敏感)的地区,但由于植被保护较好、森林覆盖率高,目前土壤侵蚀并不严重。

耗水量的快速调查和定量评价。要将此方法普及到任意流域,还存在一些问题有待解决。如分析模型的适用性及模型本身的一些缺陷。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 余新晓,于志民,等. 水源保护林培育经营管理评价[M]. 北京:中国林业出版社,2001.10—165.
- [2] Liewellyn D W, Shaffer G P. A decision support system for prioritizing restoration sites on the Mississippi river alluvial plain[J]. Conservation Biology,1996,10(5):1446—1455.
- [3] Reynolds K M, Jensen M, Jensen M. Knowledge-based assessment of watershed condition[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2000,27:315—333.
- [4] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.125—158.
- [5] Burrough P A. Dynamic Modeling and Geo-computation in environmental modeling[M]. Faculty of Geographical Sciences, 1998.
- [6] 戴吾蛟,邹峥嵘. 基于体素的三维 GIS 数据模型的研究[J]. 矿山测量,2001.3.

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王效科,欧阳志云,肖寒,等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报,2001,21(1):14—19.
- [2] 黄炎和,林敬兰,蔡志发,等. 影响福建省水土流失主导因子的研究[J]. 水土保持学报,2000(14):36—40.
- [3] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RULSE), Agricultural Handbook No. 537, United States Department of Agriculture, Washington:1997.
- [4] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13—18.
- [5] 刘新华,杨勤科,汤国安. 中国地形起伏度的提取及在土壤侵蚀评价中的应用[J]. 水土保持通报,2001,21(1):57—62.
- [6] 马晓微,杨勤科. 基于 GIS 的中国潜在土壤侵蚀评价指标研究[J]. 水土保持通报,2001,21(2):41—44.
- [7] 曾从盛,汤小华,等. 福建省生态环境现状调查报告[M]. 北京:中国环境科学出版社,2003.
- [8] 福建省土壤普查办公室. 福建省土壤[M]. 福建科学技术出版社,1991.