

基于 DEM 的抚仙湖流域土壤侵蚀综合分析^{*}

黄东锋, 郑祥民, 周立旻, 王娜, 王辉

(华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 利用研究区地形图制作数字高程模型(DEM), 并由 DEM 提取坡度、坡向图, 与土地利用类型、土壤侵蚀强度和抚仙湖历年水质(透明度、TN、TP 平均值)等专题信息叠置, 提取水土保持专题信息, 并对提取结果进行应用分析, 以确定抚仙湖流域不同土地利用类型和地形因子与侵蚀类型及侵蚀过程的关系。研究结果表明: 抚仙湖的水质和流域的土地利用状况相关, 抚仙湖流域土壤侵蚀方式具有明显的垂直分带性, 土壤侵蚀强度受到土壤类型和植被覆盖状况的影响。不同坡向的侵蚀强度有明显差异, 同时坡度不同是引起土壤侵蚀类型差异的主要因素。

关键词: DEM; 土壤侵蚀; 抚仙湖流域

中图分类号: S157.1; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0076-04

Comprehensive Analysis of the Soil Erosion in Fuxian Lake Basin Based on DEM

HUANG Dong-feng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min, WANG Na, WANG Hui

(Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Digital Elevation Mode (DEM) was made based on topographic map of the study area, slope and aspect were computed according to DEM. The information of special topic on soil and water conservation was collected, by overlapping the special information of the land use type, intensity of soil erosion and sea-water quality of Fuxian Lake(transparency, TN, TP, on average) in order to determine the relationship of the different types of land use, terrain factors, the soil erosion types and corrosion process. Analysis on the application of the collected data was carried out and conduct applied on. The results showed that water quality in Fuxian Lake related to the land use, and soil erosion patterns showed distinct vertical zonality in Fuxian Lake basin, soil erosion intensity was affected by the soil type and vegetation coverage condition. Different aspects of slopes made erosion intensity diverse obviously, and different ranges of slope led to diversity in the main soil erosion types.

Key words: DEM; soil erosion; Fuxian Lake basin

区域土壤侵蚀防治是我国耕地保护的重要措施,也是土地整理的重要内容之一。区域土壤侵蚀类型和过程是一项基础性的研究工作,它对于研究水土流失规律,控制水土流失,改善生态环境有重要意义。土壤侵蚀类型和过程研究中传统的方法因其野外工作繁重,无法快速、科学、准确地监测和评估大区域的土壤侵蚀状况。数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 是数字地面模型(DTM)中重要的一个研究内容,它记录了精确的空间三维定位信息并由此可以自动派生描述地表起伏形态的各种

地面特性。DEM 的数据是以离散的方式组织在一起的,其结构包括规则和不规则两种。不规则三角网(TIN)适用于采样点规则分布的情况,这种 TIN 模型能根据地形的复杂程度改变采样点的密度和位置,而且能突出山脊、山谷、地形变化区等精度要求较高的特征^[1]。利用 GIS 技术,生成数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model)。整个过程通过 GIS 技术进行处理,人工干预少,效率高。

抚仙湖流域是国家水源重点保护区,处于水土流失显著和易石漠化的西南喀斯特山区^[2],由于流

^{*} 收稿日期: 2008-09-29

基金项目: 上海市优秀学科带头人项目(07XD14010)

作者简介: 黄东锋(1983-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,研究方向为 GIS 与 RS 应用。E-mail: fengfen20@yahoo.com.cn

通信作者: 郑祥民(1959-),男,浙江温州人,教授,博士生导师,从事第四纪地质学、自然地理学、环境科学和沉积学等领域方面的研究。

E-mail: xmzheng@re.ecnu.edu.cn

域内城镇建设规模的扩大,人口的增加,特别是旅游业、工农业和磷化工的发展,抚仙湖流域的生态环境已受到一定程度的破坏,局部区域水质受到污染^[3]。在流域内,地形复杂,野外试验小区有限的情况下,通过计算机系统模拟复杂的地貌形态派生出与水土流失相关的坡度、坡向图,与土地利用类型、土壤侵蚀强度和抚仙湖历年水质(透明度、TN、TP 平均值)等专题信息叠置,提取水土保持专题信息,并对提取结果进行应用分析,以确定抚仙湖流域不同土地利用类型和地形因子与侵蚀类型及侵蚀过程的关系。

1 研究区自然概况

抚仙湖流域位于云南省中部高原湖群的核心地带,昆明市东南约 60 km,北纬 $24^{\circ}21' - 24^{\circ}38'$,东经 $102^{\circ}49' - 102^{\circ}57'$ 之间,其抚仙湖是我国第二深水湖泊^[4]。抚仙湖外形似一葫芦,长轴呈南北向;北部宽敞,南部狭窄。湖泊面积 211 km^2 ,水面高程 $1\,721 \text{ m}$,主要水源补给是降雨和地下水,因澄江盆地面积小于昆明盆地,其湖区内的入湖溪流都较短,抚仙湖仅一条小的外泄河,即位于海口的清水河,流入南盘江,属于南盘江水系。湖区年降水量 $700 \sim 900 \text{ mm}$,属亚热带气候类型,年平均气温 15.5°C ,流域内东西均有中、低山围绕,湖岸陡峭,森林覆盖率低,土质疏松,处于亚热带常绿阔叶林-红壤地带,雨量充沛。

抚仙湖流域内除水稻土分布外,大多为石灰岩红壤、玄武岩红壤,以红壤面积最大,占总面积 61% ,抚仙湖流域自然土壤类型分为红壤、紫色土、棕壤 3 个土类,红壤、黄红壤、棕红壤、酸性紫色土、棕壤等 6 个亚类。土壤结构疏松,抗蚀性差,水土流失严重,属极强侵蚀类型区。流域内土地利用类型主要为牧草地、水田,另有部分灌木林、疏林、密林、旱地和难利用的石山、荒山坡地,沿湖有许多居住用地、旅游设施和基础设施用地。流域植被以草地、灌丛、针叶林等次生植被为主。构成本区现阶段分布面积最大的是云南松、华山松、针叶林,其次是禾草灌丛及石灰岩灌丛。地带性植被类型是以壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、茶科 (Theaceae)、木兰科 (Magnoliaceae) 植物为优势种的半湿润常绿阔叶林^[5]。流域内森林植被垂直分布规律明显,分为暖温性植被、温凉性植被、冷凉性植被 3 种类型。

2 数字高程模型生成

首先矢量化输入经过扫描、校正的抚仙湖流域 $1:10\,000$ 地形图等高线,并对等高线标赋高程值,产生等高线矢量数据文件;通过山脊线得到流域区

域分布,将生成的矢量图在 ArcGIS 中利用不规则三角网 (TIN) 进行内插,以使整个研究区域都含有高程值;将 TIN 数据进行采样,转换为 GRID 数据 (lat-tice 格式),对数据进行进一步检查;将生成好的 GRID 数据转成 DEM 数据 (USGS 格式)。(图 1) 是根据研究区地形图制作的数字高程模型。运用 ArcMap 的空间分析模块产生研究区域每一点的坡度和坡向。通过计算,产生出坡度图、坡向图 (附图 1、附图 2),将坡度分为 5 个等级,坡向分为 8 个朝向^[6]。



图 1 抚仙湖流域 DEM

3 地形因子

地形是引起土壤侵蚀的重要因子之一。植被、土地利用和土壤都与其有很大的相关性,与土壤侵蚀关系比较密切的地形因子有:坡度、坡向、坡长、剖面曲率、平面曲率等。在地形因子中,沟沿线、坡度转折线、沟底线等地貌特征转换线是划分侵蚀类型和反映不同侵蚀过程的基本分界线^[6]。

实际上坡度与水土流失的关系并不是单一的函数关系,而是存在着一个转折点,坡度越大侵蚀量越大,但如果坡度超过一定的限度,侵蚀量反而减弱,也就是说存在着临界坡度。临界坡度都是一个不确定的数值,多数研究者认为这个临界坡度为 $25^{\circ} \sim 28^{\circ}$ ^[7]。由于坡向影响土壤水分和温度,影响植被分布,进而影响土壤侵蚀方式和侵蚀量。数字高程模型能直观显示地貌特征和地貌部位。模拟地貌形态,并可派生出坡度和坡向图,是进行地形分析和研究土壤侵蚀的有力工具^[6]。

3.1 坡度

区域坡面土壤侵蚀是指降雨产流形成的薄层水流对坡面土壤的冲蚀过程, 它的原动力是坡面水流的作用力, 而它的抗冲能力则是土壤本身的稳定性^[8]。坡度是坡面土壤侵蚀中影响最大的因素^[9], 地面坡度一般定义为地表水平面和实际地形表面之间夹角的正切值。坡度分级采用水土保持工作普遍采用的临界坡度分级标准作为基本的分析方案, 分级为: 0°~ 8°、8°~ 15°、15°~ 25°、25°~ 35°、35°~ 90° 共 5 级^[10]。按照以上坡度分级方案, 对研究区坡度模型进行重分级处理, 获得分级化的栅格数字坡度模型。本区域平均坡度 10. 66°, 最大坡度达到 56. 02°, 大于 15°面积占总面积 15. 4 %。

3.2 坡向

土壤的抗冲蚀能力主要取决于土壤的性质、植被覆盖情况和坡面的坡度等因素^[8]。坡向的不同容易造成水分和温度的分布不同, 进而影响植被的种类和分布状况。坡向定义为坡面法线在水平面上的投影与正北方向的夹角。在 ArcMap 中 Aspect 表示每个栅格与它相邻的栅格之间沿坡面向下最陡的方向。在输出的坡向数据中, 坡向值规定为正北方向是 0°, 正东方向是 90°, 依此类推。

4 抚仙湖水质分析

从历年(1980– 2008)抚仙湖水质情况分析, 近二十多年来, 总体上抚仙湖水质呈下降趋势, 水体 TN、TP 浓度波动性上升(表 1), 透明度显著下降(表 2), 1990 年前, 湖泊水体主要水质指标均好于 I 类水质标准, 水体透明度达到 7 m 左右。1991– 1999 年间, 水体透明度出现快速下降, TN、TP 呈波动上升趋势, 时而达到或超过 II 类水质标准。1999 年之后, TN、TP 浓度呈现波动性的变化, 接近 II 类水平, 透明度在 2002 年已经降低到最低 4. 4 m, 表明流域的地表径流带来的泥沙增多, 流域内土壤侵蚀强度系数变大, 水土流失严重。

表 1 1980– 2008 年抚仙湖水质状况

年份	TP/ (mg • L ⁻¹)	TN/ (mg • L ⁻¹)	透明度/m
1980	0. 005	0. 07	7. 01
1984	0. 018	0. 10	7. 70
1988	0. 010	0. 15	7. 10
1992	0. 020	0. 23	6. 95
1996	0. 010	0. 40	6. 11
2000	0. 010	0. 08	5. 37
2004	0. 005	0. 15	5. 20
2008	0. 008	0. 23	7. 20

2008 年 1 月在全湖共布设 33 个水质采样点, 其中东岸 9 个点、南岸 6 个点、西岸 9 个点、北岸 9 个点。测得各方向的透明度、TN、TP 平均值(如表 2), 全湖透明度平均值为 7. 2 m, 不同湖区透明度有较明显的差异。北岸的透明度最低, 仅为 5. 9 m, 南岸、西岸和湖心水体透明度均大于 8 m, 东岸透明度为 6. 9 m。不同湖区 TN 浓度有着较明显的差异, 南岸、西岸、北岸 TN 均高于 0. 2 mg/ L, 超过 I 类水质标准; 东岸、湖心处 TN 指标尚好, 为 0. 15 mg/ L 左右, 接近 I 类水质上限。由 TP 指标可以看出, 目前抚仙湖总体上 TP 浓度较低, 均≤0. 01 mg/ L。不同水域 TP 有一定的差异: 东岸 TP 较低, 南岸、西岸和北岸 TP 接近, 均在 0. 008~ 0. 009 mg/ L 之间。

表 2 抚仙湖各沿岸水质状况

区域	透明度/ m	TN/ (mg • L ⁻¹)	TP/ (mg • L ⁻¹)
东岸(n= 9)	6. 90	0. 15	0. 005
南岸(n= 6)	8. 30	0. 29	0. 009
西岸(n= 8)	7. 61	0. 34	0. 009
北岸(n= 9)	5. 90	0. 21	0. 009

注: 表中数据为平均值。

5 空间分析

用 GIS 将 DEM 与坡度图和坡向图进行叠置(附图 1、附图 2), 与土地利用类型(附图 3)、土壤侵蚀强度(附图 4)和抚仙湖历年水质(透明度、TN、TP 平均值)等专题信息叠置, 提取水土保持专题信息, 并对提取结果进行应用分析, 以确定抚仙湖流域不同土地利用类型和地形因子与侵蚀类型及侵蚀过程的关系。

利用坡度、坡向、土地利用类型分布和土壤侵蚀强度分布图结合抚仙湖历年的水质指标及实地调查: 抚仙湖流域北、西北向坡地, 植被覆盖较好, 多乔木、灌木, 而南向坡地植被差, 且土地利用程度高, 这是由于阴坡日照时间短, 太阳辐射弱, 水分蒸发少, 土壤水分含量高于南向坡, 所以南坡较北坡地侵蚀严重。由于人类活动的加剧, 长期人为砍烧樵取, 大部分植被被破坏, 仅在交通不便的偏僻地区还残留有小片常绿阔叶林, 导致森林覆盖率下降, 水土流失加剧。

抚仙湖流域面积 66 278 hm², 其中: 林业用地 22 266. 6 hm², 占 33. 6%, 在林业用地中, 尚有宜林荒山 2 257. 9 hm², 占林业用地面积的 10%; 造林困难地 2 680. 3 hm² 需造林绿化, 占林业用地面积的 12%; 农用、居民、交通等用地 19 870. 7 hm², 占 30%; 湖面面积 21 461 hm², 占 32. 4%。

从土地利用类型分布来看, 林业用地主要分布

在流域的北部和西部, 宜林荒山和造林困难地也主要分布在这些地区, 植被以云南松林、华山松林、灌丛、灌草丛等次生植被为主, 云南松林和华山松林的面积达到了 9.74 % 和 11.53 % , 灌草丛的面积达到了 8.29%。受人为干扰破坏后生长的半湿润常绿阔叶灌丛面积达到 7.43%。土壤主要以红壤为主, 结构疏松, 抗蚀性差, 易受水土侵蚀, 从土壤侵蚀强度分布来看, 是流域内土壤侵蚀较为严重的地区。

流域的东部和南部主要分布着旱地, 也有一些林地, 还分布着农、居、交通等用地, 土壤侵蚀强度主要为轻度侵蚀。抚仙湖群山环抱, 周围湖积平原狭窄, 地形起伏大, 河长多在 20 km 以内, 河床比降达 10 %~ 100 ‰, 常以坡面漫流和细小沟溪直接汇入湖泊, 河水暴涨暴落, 枯季断流, 河川径流的调节性极差。

在流域北部靠近湖岸主要分布水田、农、居、交通用地等, 受人类活动改造, 地势平坦, 坡度为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$, 从山坡上流失下来的物质大都沉积在这个部位, 这类物质的搬运距离很短, 一般都在地形开始变得平坦, 水流流速减慢之时沉积。由于侵蚀过程中的分选作用所致, 这些沉积物的土壤质地都比原来的细些, 土壤有机质含量也较高, 邻近水体水质相对也差。从 2008 年 1 月水样分析, 抚仙湖不同湖区 TN 浓度有着较明显的差异, 北岸 TN 浓度高于 0.2 mg/L, 超过 I 类水质标准; TP 浓度总体上较低, 均 ≤ 0.01 mg/L, 北岸浓度为 0.009 mg/L。北岸受人类活动剧烈影响, 加上水土流失的双重叠加, 水质的污染开始由北向南推进。抚仙湖不同湖区透明度有较明显的差异。北岸的透明度最低, 仅为 5.9 m, 南岸、西岸和湖心水体透明度均大于 8 m, 东岸透明度为 6.9 m。

在流域北部离湖岸较远的地方主要林地分布, 宜林荒山和造林困难地占了相对一部分, 土壤侵蚀较严重, 大部地区坡度在 15° 以上。其中 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡面主要位于坡中段, 切沟侵蚀, 规模较大, 是细沟汇水变多以后发展而来, 土壤侵蚀强烈, 是控制水土流失的重点地段。 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 坡面以冲沟侵蚀为主, 主要位于坡中下段, 是因坡地的径流量和流速显著增加而切出深沟, 或同一渠道汇集的水流长得足以形成深沟时, 即发生冲沟侵蚀。流域内由于底土土壤结构疏松, 年降水量 700~ 900 mm, 雨量充沛, 比较容易形成冲沟, 具有较强的分离和搬动土壤的能力。大于 35° 坡面多在坡上段有零星分布, 这一坡度范围重力侵蚀明显, 其类型包括崩塌、滑坡、错落、蠕动。坡度对崩塌的影响最为明显, 它的重力切向分力和垂直切向分力是随着山坡坡度大小而变化的。

6 结 论

应用 DEM 技术、土地利用类型分布和土壤侵蚀强度分布及抚仙湖历年的水质指标等专题信息叠置分析, 抚仙湖的水质和流域的土地利用状况相关, 北岸受人类活动剧烈影响, 加上水土流失的双重叠加, 水质的污染开始由北向南推进。

抚仙湖流域土壤侵蚀方式具有明显的垂直分带性, 土壤侵蚀强度受到土壤类型和植被覆盖状况的影响。不同坡向引起的侵蚀强度差异明显; 同时, 坡度不同也能引起主要土壤侵蚀类型的差异。应用 DEM 及其它数据可以对区域土壤侵蚀的强度和类型进行模拟和预测。通过利用数字高程模型对山区土壤侵蚀方式的研究, 可为今后土壤侵蚀动态监测数据库的建设提供基础。根据区域 DEM 确定的不同部位的侵蚀类型和过程, 确定合理的土地整理方案以及科学布局, 通过良好的土地利用方式, 并采用适当的耕作制度和水土保持措施, 大力植树造林, 提高森林覆盖率, 可以有效控制土壤侵蚀的发生。

致谢: 论文中所涉及的一些数据来源: 《抚仙湖流域水环境保护和水污染防治规划》, 中国环境科学学会, 特此感谢。

参考文献:

- [1] 吕建峰, 刘定生. DEM 生成算法并行化研究[J]. 中国图象图形学报, 2002 (5): 507.
- [2] 刘慧. 我国土地退化类型与特点及防治对策[J]. 资源科学, 1995(4): 26-32.
- [3] 王剑芳. 云南高原湖泊湖区资源保护与利用及经济可持续发展研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2005.
- [4] 严云志. 抚仙湖外来鱼类生活史对策的适应性进化研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.
- [5] 徐金涛, 张奇, 徐力刚. 抚仙湖集水地域地表径流入湖水量模拟[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 718-726.
- [6] 傅伯杰, 汪西林. DEM 在研究黄土丘陵沟壑土壤侵蚀类型和过程中的应用[J]. 水土保持学报, 1994(3): 17-21.
- [7] 汤国安, 陈正将, 赵牡丹, 等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 230-231.
- [8] 刘青泉, 陈力, 李家春. 坡度对坡面土壤侵蚀的影响分析[J]. 应用数学和力学, 2001, 22(5): 449-457.
- [9] Meyer L D. Erosion Processes and Sediment Properties for Agricultural Cropland A Allen and Unwin[M] // Hillslope Processes C. In Abrahams AD, 1986.
- [10] 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): 13-14.
- [11] 联合国粮食及农业组织. 土壤水蚀[M]. (2版) 联合国粮农组织, 1965: 26-28.