

基于 GIS 的济南市土壤侵蚀敏感性评价研究

刘红艳¹, 孙希华¹, 张玉堂²

(1. 山东师范大学 人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014; 2. 济南市水利局, 山东 济南 250014)

摘要: 土壤侵蚀受多种因素的影响和制约。根据美国土壤侵蚀通用方程以及济南市独特的自然地理特征, 确定了济南市土壤侵蚀敏感性主要评价因子, 包括降水、地形起伏、土壤质地和植被。在 GIS 系统支持下, 提取单因子数据并得到单因子土壤侵蚀敏感性, 进而完成土壤侵蚀敏感性综合评价。运用 GIS 空间分析功能, 得到不同敏感性程度的面积与空间分布规律, 从而为政府制定水土保持政策提供科学依据。

关键词: 济南市; GIS; 土壤侵蚀敏感性; 评价因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0127-04

中图分类号: S157

GIS Based Sensitivity Evaluation of Soil Erosion in Ji'nan City

LIU Hongyan¹, SUN Xihua¹, ZHANG Yutang²

(1. College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan, Shandong 250014, China;

2. Water Resource Bureau of Jinan City, Ji'nan, Shandong 250014, China)

Abstract: Soil erosion is limited by various factors. Guided by the Universal Soil Loss Equation and the unique geographic features of Ji'nan City, primary evaluation factors for the sensitivity of soil erosion in Ji'nan City are determined, including precipitation, terrain undulation, soil quality, and vegetation. Every single factor is extracted and its sensitivity of soil erosion is obtained with the support of GIS technology. The comprehensive evaluation is then completed based on the work. By using the spatial analysis of GIS, it is easy to find the area and spatial distribution of different sensitivity grades. The study provides a scientific basis for governments to make policies of soil and water conservation.

Keywords: Jinan City; geographical information system; sensitivity of soil erosion; evaluation factor

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识别容易形成土壤侵蚀的区域, 评价土壤侵蚀对人类活动的敏感程度, 并根据区域土壤侵蚀的形成机制, 分析其区域规律, 明确可能发生的土壤侵蚀类型、范围和可能程度, 从而为政府制定水土保持政策和宏观决策提供科学依据, 为实现区域经济和社会的可持续发展服务。

许多学者在土壤侵蚀敏感性评价方面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, 更好地反映区域土壤侵蚀的敏感程度^[1]。

1 研究区概况与资料准备

1.1 研究区概况

济南市位于山东省的中西部, 地跨北纬 36°02'—37°31', 东经 116°11'—116°44', 地处鲁中南低山丘陵与鲁西北冲积平原的交接带上, 南依泰山, 北傍黄河, 总面积 8 059.9 km², 是全省的政治、经济、文化、交通中心。属暖带半湿润区的大陆性季风气候, 年均气温 14.3 °C, 平均降水总量 665.7 mm。市内河流分属黄河、小清河、海河 3 大水系。2006 年辖历下、市中、槐荫、天桥、历城、长清 6 区, 平阴、济阳、商河 3 县和章丘市 1 市, 总人口 642.88 万人。自然风光秀丽, 泰山山脉丰富的地下水沿石灰岩地层潜流至此, 被北郊的火成岩阻挡, 于市区喷涌而出形成众多泉水, “泉城”美称由此得来, 因此, 做好济南市土壤侵蚀敏感性评价, 对涵养水源, 保泉护泉, 保持生态平衡具有重大意义。

收稿日期: 2007-08-03

修回日期: 2007-10-23

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(40771077)

作者简介: 刘红艳(1983—), 女(汉族), 山东省新泰市人, 硕士, 研究方向为 GIS 应用及水土保持。E-mail: liuhongyanow@yahoo.com.cn。

通讯作者: 孙希华(1963—), 男(汉族), 山东省安丘县人, 硕士, 教授, 研究方向为水土保持。E-mail: sunxhsd@sina.com。

1.2 资料准备

基础专题图件资料包括济南市 2005 年 1: 10 万 TM 遥感影像图、行政区划图、降雨侵蚀力图、DEM 图、土壤图, 土壤侵蚀强度图以及土壤质地图和土壤可蚀性分级对照表。将原始数据进行几何校正及投影变换, 采用的投影系统为 Albers 等面积双纬线割圆锥投影, 统一的中央经线为 105°E , 双标准纬线分别为 25°N 和 47°N , 使用 Krasovsky 椭球体, 起算点为赤道 0° 。

2 土壤侵蚀敏感性评价研究方法

2.1 土壤侵蚀敏感性因子的确立与分级标准

区域土壤侵蚀受到自然因素和人为因素的影响, 其中自然因素包括气候、水文、地形地貌、土壤和植被

等, 人为因素包括土地利用方式和水土保持措施等农业措施。

鉴于以往对某一单个因子进行评价存在的局限性, 从影响土壤侵蚀的综合方面研究, 本着科学性、简明实用性、以定量为主的原则, 根据美国土壤侵蚀通用方程 USLE: $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ (其中 A 为土壤侵蚀量)。将土壤侵蚀敏感性评价指标定为: 降雨侵蚀力因子(R), 土壤质地因子(K), 坡长坡度因子(LS), 植被覆盖因子(C)。由于农业措施(P)主要是与人类活动密切相关的因子, 与生态系统自然的敏感性无太大关系, 故不作为评价指标^[2-3]。在参照国内专家对土壤侵蚀敏感性研究成果的基础上, 针对济南市的自然环境特征, 确定了济南市土壤侵蚀敏感性主要影响因子评价指标的等级(表 1)。

表 1 土壤侵蚀敏感性评价因子和分级标准

级 别		不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
坡 度	分级	$0 \sim 3^{\circ}$	$3^{\circ} \sim 7^{\circ}$	$7^{\circ} \sim 13^{\circ}$	$13^{\circ} \sim 22^{\circ}$	$> 22^{\circ}$
	得分	2	4	6	8	10
土壤可蚀性	分级	≤ 0.15	$0.15 \sim 0.28$	$0.28 \sim 0.40$	$0.40 \sim 0.51$	> 0.51
	得分	2	4	6	8	10
降雨侵蚀力	分级	≤ 250	$250 \sim 260$	$260 \sim 270$	$270 \sim 280$	> 280
	得分	1	3	5	8	10
植被覆盖率	分级	$> 45\%$	$30\% \sim 45\%$	$20\% \sim 30\%$	$10\% \sim 20\%$	$< 10\%$
	得分	1	3	5	8	10

注: 多年平均降雨侵蚀力单位为: $\text{m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。

(1) 降雨侵蚀力因子。该指标是反映区域土壤侵蚀性降雨宏观特征的一个指标, 是评价区域降雨引起土壤侵蚀潜在能力的重要参数。济南市位于暖温带季风气候区, 降水量较丰富, 且集中分布在夏秋两季, 季节差异显著, 容易对土壤产生侵蚀作用。

(2) 土壤可蚀性因子。土壤是被侵蚀的对象, 是土壤侵蚀的主体。土壤可蚀性可以定量地反映土壤对降雨侵蚀力分离、冲蚀和搬运等各种外营力侵蚀的敏感性程度。主要反映土壤质地对土壤侵蚀的影响。

(3) 坡度因子。地貌形态、地形起伏是影响土壤侵蚀的重要因素。在地形因子中, 坡度对土壤侵蚀的影响最大。研究表明, 一般情况下, 土壤侵蚀量与坡度大小成正相关; 坡度越大, 降雨汇流的时间越短, 径流能量就越大, 对坡面的冲刷就越强烈, 其侵蚀量就越大。

(4) 植被覆盖因子。地表植被覆盖是影响土壤侵蚀敏感性的一个重要因素。植物根系对土壤具有良好的固着作用, 因此在植被覆盖度高的地区, 发生土壤侵蚀的机会就小; 相反, 在地表裸露、植被覆盖度低的地区, 发生土壤侵蚀的机会就大。因此, 植被覆

盖因子是评价土壤侵蚀敏感性的一个重要指标^[3]。

2.2 单因子土壤侵蚀敏感性评价

单因子敏感性评价图形库和属性库是在地理信息系统软件 ArcGIS 的 Arcedit 和 Grid 模块支持下完成的。为了客观评价各因子的影响, 利用 ArcGIS 中的数学运算功能, 将选定的因子进行分级和量化处理, 并进行矢量数据向栅格数据的转换。若果转换后的数据值越大, 说明该因子对生态环境敏感性的作用就越大。

(1) 降雨侵蚀力因子。首先计算、绘制多年降雨侵蚀力因子 R 值分布图。先用 ArcGIS 中的 Arcpoint 命令将降雨侵蚀力等值线离散化, 转化成点, 然后采用 Spline 内插法得到济南市降雨侵蚀力 R 值栅格分布图, 其栅格大小为 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$, 再根据表 1 中对降雨侵蚀力因子的分级标准进行重分类。

(2) 土壤可蚀性因子。根据 20 世纪 80 年代山东省农业普查资料, 在 ArcGIS 中经数字化得到矢量的土壤图, 利用查图表法计算各土壤类型对应的土壤可蚀性值, 再利用 ArcGIS 中的 Polygrid 命令转成 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 栅格形式的土壤可蚀性图, 按照表 1 中

分级标准进行重分类。

(3) 坡度因子。坡度信息从 1: 10 万 DEM 中提取得到, 利用 Arcinfo 的 Slope 命令生成坡度图, 按照表 1 中分级标准进行重分类。

(4) 植被覆盖因子。利用卫星不同波段探测数据组合而成的, 这里主要使用 NDVI 植被指数。NDVI 是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子^[4], 是单位像元内的植被类型、覆盖形态、生长状况等的综合反映, 与植被分布密度呈线性相关。由近红外波段与可见光波段数值之差和这两个波段数值之和的比值得到。

2.3 土壤侵蚀敏感性综合评价方法

土壤侵蚀敏感性受上述多个因子综合影响, 为此对土壤侵蚀敏感性的计算采用综合评价的方法, 采用土壤侵蚀敏感性综合指数对该研究区土壤侵蚀敏感性状况进行评价, 并利用 GIS 软件 ArcView 绘制济南市土壤侵蚀敏感性分布图(图 1)。参照美国土壤侵蚀通用方程, 土壤侵蚀敏感性综合指数用降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡度和植被覆盖率 4 个因子的几何平均数来表示。

$$S_j = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 P_{ij}} \quad (1)$$

式中: S_j ——土壤侵蚀敏感性综合指数; P_{ij} ——评价因子; j ——评价单元; i ——第 i 个评价因子。

3 结果分析

为了便于分析, 按土壤侵蚀敏感性综合指数的高低, 将该研究区土壤侵蚀敏感性等级分为 5 级(详见表 2)。

利用 ArcView 中的交叉分类命令得到各县市土壤侵蚀敏感性评价结果(表 3)。利用该结果可以对不同土壤侵蚀敏感程度在各县市中的分布状况进行分析。

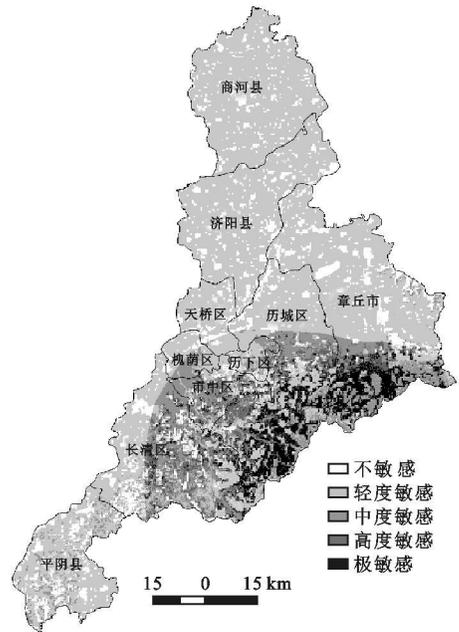


图 1 济南市土壤侵蚀敏感性综合指数分布图

表 2 土壤侵蚀敏感性综合指数分级

敏感性等级	敏感性评价	敏感性综合指数	面积/km ²	占总面积比例/%
1	不敏感	0.0~ 3.5	1 029.28	12.77
2	轻度敏感	3.5~ 4.5	5 050.38	62.66
3	中度敏感	4.5~ 5.5	1 019.92	12.65
4	高度敏感	5.5~ 6.5	5 23.12	6.49
5	极敏感	6.5~ 10.0	4 37.20	5.42

表 3 济南市分县市不同程度土壤侵蚀敏感性面积

km²

县市区	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感	轻度及以上	
						面积	比重/%
商河县	111.40	1049.89	0.00	0.00	0.00	1 049.89	90.41
济阳县	145.48	942.54	0.04	0.00	0.00	942.58	86.63
章丘市	220.16	1 062.16	217.64	90.84	163.60	1 534.24	87.45
历城区	104.60	556.96	244.00	190.40	208.08	1 199.44	91.98
天桥区	46.44	221.76	1.60	0.00	0.00	223.36	82.79
槐荫区	17.00	102.96	34.16	0.96	0.72	138.80	89.09
历下区	16.80	49.12	28.84	10.96	0.88	89.80	84.24
长清区	175.92	490.79	313.44	177.52	51.48	1 033.23	85.45
市中区	34.68	81.64	101.12	52.32	12.44	247.52	87.71
平阴县	156.80	492.56	79.08	0.12	0.00	571.76	78.48

该研究区轻度敏感以上面积占总面积的 87.23%，说明研究区存在不同程度的土壤侵蚀敏感性。其中，轻度敏感性面积最大，为 5 050.38 km²，占研究区总面积的 62.66%，中度及中度以上类型的面积为 1 980.24 km²，占研究区总面积的 24.56%。从各县市轻度及轻度以上敏感性面积占研究区轻度及轻度以上敏感性面积比重上来看，章丘市比重最高，为 21.82%，另外，商河县、济阳县、历城区、长清区等县市所占比重也较高，都大于 13.41%。

利用 ArcGIS 中窗口分析法可得到各县市土壤侵蚀敏感性综合指数的平均值，由此可反映土壤侵蚀

敏感性的大小。该研究区各县市土壤侵蚀敏感性综合指数平均值介于 3.51~4.83 之间，平均值为 4.12。其中历城区平均值最高，为 4.83。结合地形区位置，从地区分布看，土壤侵蚀敏感性综合指数在 5.5 以上且土壤侵蚀敏感性为高度敏感、极敏感的地区，主要分布在济南市南部地区，包括章丘市、历城区、长清区。

利用 ArcView 中的交叉分类命令将 2005 年土壤侵蚀强度图与土壤侵蚀敏感性图进行相关分析，并在此基础上对不同敏感程度发生不同强度土壤侵蚀的概率进行统计(表 4)。

表 4 不同土壤侵蚀敏感类型发生土壤侵蚀的概率

敏感类型	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	极强度及剧烈	强度及以上	中度及以上	工程侵蚀
不敏感	77.35	9.55	7.09	4.47	0.68	0.12	0.80	5.27	12.36	0.74
轻度敏感	92.18	2.14	3.09	1.76	0.27	0.05	0.31	2.08	5.16	0.52
中度敏感	65.85	6.88	11.91	10.75	1.49	0.35	1.85	12.60	24.51	2.76
高度敏感	58.24	5.21	16.06	14.64	2.01	0.28	2.29	16.93	32.99	3.56
极敏感	40.01	7.20	26.54	21.62	3.32	0.25	3.57	25.19	51.73	1.06

土壤侵蚀敏感性与 2005 年土壤侵蚀强度具有一定的一致性(表 4)。一般而言，土壤侵蚀敏感性高的地区，发生土壤侵蚀的概率大，土壤侵蚀强度也高。土壤侵蚀敏感性低的地区，发生土壤侵蚀的概率相对较小。以不同敏感程度发生中度及中度以上土壤侵蚀强度的概率为例，土壤侵蚀敏感性程度为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感、不敏感的地区发生极强度及剧烈土壤侵蚀强度的概率依次为 3.57%，2.29%，1.85%，0.31%，0.80%。

但土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状又不完全一致，土壤侵蚀敏感性反映的是一个区域土壤侵蚀发生概率的大小，表示的是土壤侵蚀发生的潜在可能性，而土壤侵蚀强度反映的是当前土壤侵蚀的现状，是该地土壤侵蚀敏感性因子和人为的不利影响超过生态环境的承载能力所表现出来的结果。由于生态环境可以通过人类的合理调节和建设而得到改良，而且其自身也具有一定的自我调节和修复能力，因此，土壤侵蚀敏感性高的地区并不一定是土壤侵蚀强度高的地区。另外，由于人类不合理利用甚至破坏自然环境，也会使原本土壤侵蚀敏感性低的地区成为土壤侵蚀强度高的地区，故土壤侵蚀敏感性低的地方也可以是土壤侵蚀强度高的地方，而土壤侵蚀强度高的地方也不全是土壤侵蚀敏感性高的地方。有些地区即使有土壤侵蚀敏感性因子和人为的不利影响同时存在，生态环境不一定是敏感的，只要土壤侵蚀敏感性因子和人为不利因素的影响程度，没有超过生态环境的承受能力，土壤侵蚀的敏感性就不会表现出来。

4 结论

(1) 济南市是一个由多种环境功能区复合而成的环境综合体，土壤侵蚀敏感性以轻度及轻度以上敏感程度为主，其中又以轻度敏感程度面积最大，其它为中度、高度和极敏感的地区主要分布在济南市南部山地丘陵区，包括章丘、历城、长清和市中区 4 市区的南部，该区地处济南市泉水补源区，水源涵养和生态屏障的生态功能极为重要，应采取有效措施保护生态环境，防治水土流失，如坡耕地退耕还林还草，限制南部山区开发建设，发展生态旅游等。

(2) 土壤侵蚀敏感性指数包含了影响土壤侵蚀的自然因素和人文因素，形成了相对完整的指标评价体系，能够准确地反映研究区土壤侵蚀敏感性特征，在 ArcGIS 的图形空间叠加和运算功能的支持下，可以客观、快速、准确地将土壤侵蚀敏感性特征定量化、空间化，为土壤侵蚀敏感性综合评价提供一种新思路。

[参 考 文 献]

- [1] 王春菊, 汤小华, 郑达贤, 等. GIS 支持下的土壤侵蚀敏感性评价研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(1): 68—74.
- [2] 莫斌, 朱波, 王玉宽, 等. 重庆市土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 45—59.
- [3] 杜军, 姚孝友, 孙希华, 等. 基于 GIS 的山东沂沭泗河流域土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 165—167.
- [4] 赵群, 刘云. 基于 NDVI 的太原盆地植被覆盖度变化初步分析[J]. 北京农学院学报, 2007, 22(1): 68—71.