

# 济南市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析

孙希华, 闫业超

(山东师范大学人口、资源与环境学院, 山东济南 250014)

**摘要:** 在估算土壤侵蚀量、编制土层厚度图和土壤容重图的基础上, 利用地理信息系统的空间分析功能估算土壤的抗蚀年限, 从而有效地实现对济南市山丘区土壤侵蚀危险度的分级; 借助 GIS 方法, 通过分析不同坡度、不同坡向、不同地貌类型以及不同土地利用类型等背景条件下的土壤侵蚀潜在危险度状况, 探讨土壤侵蚀潜在危险度的空间分布特点。

**关键词:** 土壤侵蚀潜在危险度; 分级; GIS; 侵蚀背景; 济南

中图分类号: S 157.1; T P79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)04-0080-04

## Gradation of Soil Erosion Potential Danger and Spatial Analysis on Erosion Background

SUN Xi-hua, YAN Ye-chao

(College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, Shandong, China)

**Abstract:** Taking Jinan mountain area as an example, on basis of estimating soil erosion modulus, compiling maps of soil horizon thickness and soil density, using overlapping function of geographical information system(GIS) to estimate the years of soil loss by erosion, gradating the potential danger of soil erosion is easy to be done. By using GIS, the authors analysed the soil erosion potential danger under different erosion background such as different slope, different aspect, different geomorphology type, etc., and thus discussed the distribution characteristics of soil erosion potential danger.

**Key words:** soil erosion potential danger; gradation; GIS; erosion background; Jinan

土壤侵蚀潜在危险度是指生态系统失衡后出现的土壤侵蚀危险程度。它首先用于评估、预测在无明显侵蚀区引起侵蚀和现状侵蚀区加剧侵蚀的可能性大小; 其次表示侵蚀区以当前的侵蚀速率发展, 该土层承受的侵蚀年限(抗蚀年限), 以评估和预测侵蚀破坏土壤和土地资源的严重性<sup>[1]</sup>。因此, 土壤侵蚀潜在危险度评价对一个地区的水土保持治理规划及农业生产实践具有十分重要的指导意义。

土壤侵蚀潜在危险度的计算有两种方法, 一种是根据受蚀土壤扣除临界土层的有效土层厚度与年平均侵蚀深度的比值, 计算该土壤表层所能承受的侵蚀年限; 另一种以主要侵蚀因子权重评分法进行分级。比较而言, 前者较为简单、直观、可信, 后者考虑的因素较多, 可操作性差, 且带有很大的主观任意性。因此, 国内学者大多采用计算抗蚀年限法评价一个区域的土壤侵蚀潜在危险度, 如郭志民、陈志伟等人研

究了福建省土壤侵蚀潜在危险性<sup>[2]</sup>, 史志华等人以三峡库区的王家桥小流域为例对土壤侵蚀潜在危险度分级进行了研究<sup>[3]</sup>。该方法的研究步骤大致如下: 首先, 在 GIS 和 RS 技术支持下, 采用侵蚀预报的数学模型来估算土壤年侵蚀模数, 用土壤详查资料编制土层厚度和土壤容重图; 然后利用地理信息系统的图层叠加技术由土壤年侵蚀模数、土壤容重图得到年均侵蚀深度图; 再用土层厚度除以年均侵蚀深度即得土壤抗蚀年限, 最后参照一定的标准对土壤侵蚀潜在危险度进行分级。

### 1 研究区概况

本文以济南市山丘区为研究范围, 包括黄河以南的济南市区、历城区、章丘市、长清区和平阴县, 总面积 5 915.23 km<sup>2</sup>。研究区位于鲁中山地和鲁北平原的过渡地带, 区内山

<sup>1</sup> 收稿日期: 2003-02-20

基金项目: 山东省自然科学基金(Q99E09); 济南市水利局资助项目: 山东典型生态区生态破坏现状及保护恢复研究。

作者简介: 孙希华(1963-), 男, 副教授, 现在山东师范大学人口·资源与环境学院从事 GIS 的教学与科研, 多年从事山东省的水土保持研究、生态建设规划、项目咨询等。

地呈扇形环绕在泰岱的西北部, 长清县东南部的摩天岭, 海拔 988.8 m, 是济南市的最高峰。研究区属温带大陆性半湿润季风气候, 多年平均降雨量为 630 ~ 700 mm, 受季风气候影响, 夏季降水集中, 占全年降水的 65% 以上, 大雨、暴雨降水日数占总降水日数的 9% 左右。

## 2 土壤侵蚀潜在危险度的计算方法

### 2.1 土壤侵蚀量的估算

土壤侵蚀量的估算采用 Wischmeier 提出的通用土壤侵蚀方程 (USLE), 该模型是目前土壤侵蚀量估算中较为常用的一种方法, 该方法建立在土壤侵蚀理论及大量实地观测数据统计分析基础上, 表达式为:

$$E = RKLSCP \quad (1)$$

式中:  $E$ ——土壤年流失量, 单位为  $(t/hm^2 \cdot a)$ ;  $R$ ——降雨侵蚀力因子  $(J/m^2)$ ;  $K$ ——土壤可蚀性因子  $(t/hm^2 \cdot a)$ ,  $L$ ——坡度因子,  $S$ ——坡长因子,  $C$ ——植被覆盖因子,  $P$ ——水土保持措施因子。

### 2.2 抗蚀年限的估算

所谓抗蚀年限, 是指大于临界值的有效土层厚度与现状年均侵蚀深度的比值。临界土层是指农、林、牧业中林、草、作物种植所需土层厚度的低限值, 这里我们按种草所需最小土层厚度 10 cm 为临界土层厚度。抗蚀年限的计算公式为:

$$Y_c = 10^4 \times (H - 10) \times D/E \quad (2)$$

式中:  $Y_c$ ——土壤抗蚀年限;  $H$ ——土层厚度 (cm);  $D$ ——土壤容重  $(t/m^3)$ ;  $E$ ——年侵蚀模数  $[t/(km^2 \cdot a)]$ ;  $10^4$  为单位换算系数。

土层厚度相对来说变化较小, 而年侵蚀模数受降雨、植被、土壤可蚀性、地形因子、土地利用、人为因素的影响, 较易产生变化, 从而影响抗蚀年限产生波动。只有做好水土保持工作, 延长土壤使用年限, 才能确保农业持续发展。

### 2.3 土壤侵蚀潜在危险度分级

根据水利部 1997 年公布的土壤侵蚀潜在危险度分级标准, 按土壤的抗蚀年限将土壤侵蚀潜在危险度分成 5 个等级 (参见表 1)。

表 1 土壤侵蚀潜在危险度分级

级别	类型	抗蚀年限/a	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
	无险型	> 2500	3139.71	53.08
	轻险型	500 ~ 2500	1707.68	28.87
	危险型	50 ~ 500	1034.93	17.50
	极险型	< 50	32.91	0.56
	毁环型	裸岩、明砂, 土层不足 5 cm 者	0	0

## 3 济南市山丘区土壤侵蚀潜在危险度分级评价

利用 ARC/INFO 软件, 对研究范围内的土壤容重图、土层厚度图分层数字化, 经编辑、赋值、拼接、投影和坐标转换后生成土壤容重和土层厚度矢量图层, 再用 GRID 模块经矢栅转换生成 30 m × 30 m 大小的格网数据。

土壤侵蚀量数据采用公式 (1) 的计算结果, 最后也转换成 30 m × 30 m 大小的网格数据。

根据公式 (2), 在 ARC/INFO GRID 模块下将上述图层进行叠加, 得到研究区土壤抗蚀年限图。按照表 1 中的土壤侵蚀潜在危险度分级标准, 将研究区土壤侵蚀潜在危险度分成 5 个等级, 各等级的面积及所占百分比如表 1 所示。

从计算结果看, 无险型所占面积最大, 为 3 139.71 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 53.08%, 主要分布于山前平原、沿黄平原以及较为宽阔的山间河谷地区, 该区域的土地利用类型复杂多样, 是工农业生产活动的主要场所, 受人类活动的影响很大, 但由于该区域土层厚度一般大于 150 cm, 坡度平缓 (一般小于 5°), 有些地区则完全是一种沉积环境, 由于土壤侵蚀量极小, 因此一般不会影响正常的工农业生产活动。

轻险型面积为 1 707.68 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 28.87%, 仅次于无险型, 主要分布于低山丘陵的中下部, 土地利用类型主要为旱地、果园、林草地。该区域地势相对较低, 坡度相对缓和, 一般不超过 15°; 土层厚度从 30 ~ 150 cm 变化不等, 土壤可蚀性强, 受人类活动影响较大, 在人类活动干扰加强的情况下, 会加剧土壤侵蚀。

危险型面积为 1 034.93 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 17.50%, 分布于山丘中上部岭坡地带, 土地利用类型主要为林地和草地, 土层厚度多在 30 cm 以下, 坡度变陡, 一般在 15 ~ 35° 之间, 土壤可蚀性较强, 受人类活动干扰后极易加剧土壤侵蚀。

极险型面积很小, 为 32.91 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 0.56%, 零星分布于山丘顶部的荒岭坡地, 生态环境极为脆弱, 土层厚度一般小于 15 cm, 多为粗骨性土壤, 平均坡度较危险型区稍缓一些, 由于该区域所处地势较高, 不像其它区域可以接受来自其上部的土壤沉积, 因而成为土壤净流失区, 如果不加治理, 按照当前的流失速度, 20 年内土壤将会流失殆尽, 下部基岩裸露。

## 4 土壤侵蚀潜在危险度与其背景的空间分析

为了进一步探讨土壤侵蚀危险度的空间分布规律, 揭示土壤侵蚀与其背景的空间关系, 本文利用 GIS 的图层叠加功能, 分析了不同坡度、不同坡向及不同土地利用类型等背景条件下的土壤侵蚀危险度状况。

为了比较不同侵蚀单元上的土壤侵蚀危险度, 需要对土壤侵蚀危险度指数进行定义。土壤侵蚀危险度指数 (SEPDI: the index of soil erosion potential danger) 是为了表明某一地区或某一地类土壤侵蚀潜在危险性的, 根据该地区或地类土壤侵蚀潜在危险度不同等级面积的加权法进行综合评价<sup>[3]</sup>, 可用下列公式进行计算:

$$SEPDI = (M_1 + 2M_2 + 5M_3 + 7M_4 + 9M_5)$$

$$/ (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5) \quad (3)$$

式中:  $SEPDI$ ——土壤侵蚀潜在危险度指数;  $M_1$ ——无险型面积;  $M_2$ ——轻险型面积;  $M_3$ ——危险型面积;  $M_4$ ——极险

型面积;  $M_5$ ——毁坏型面积。由于研究区范围内毁坏型面积为零, 因此理论上值应该界于 1.0~7.0 之间。

#### 4.1 不同地貌类型上的土壤侵蚀潜在危险度分析

利用 DEM 数据, 按照海拔高度将整个研究区域分成 7

表 2 不同地貌类型上的土壤侵蚀危险度

地貌类型	海拔高度 / m	地貌面积 / km <sup>2</sup>	潜在危险性不同等级分布状况							
			级		级		级		级	
			面积/ km <sup>2</sup>	占%	面积/ km <sup>2</sup>	占%	面积/ km <sup>2</sup>	占%	面积/ km <sup>2</sup>	占%
平原	0~100	2982.4	2542.5	85.3	405.5	13.6	34.3	1.2	0.1	0.0
台地	101~150	597.2	241.5	40.4	314.0	52.6	41.6	7.0	0.1	0.0
浅丘	150~250	897.4	246.4	27.5	477.0	53.2	172.6	19.2	1.3	0.1
低丘	250~350	574.0	66.7	11.6	266.0	46.3	238.3	41.5	3.1	0.5
高丘	350~500	573.0	36.8	6.4	181.5	31.7	344.6	60.1	10.1	1.8
低山	500~800	284.7	4.4	1.5	61.2	21.5	201.1	70.6	18.0	6.3
中山	>800	4.1	0.0	0.0	2.2	54.2	1.8	44.3	0.0	0.0

从表 2 可以看出, 平原地区以无险型为主, 其面积占该地貌类型的 85.3%; 台地和浅丘以轻险型为主, 其面积比例均超过 50%; 低丘地区轻险型和危险型都占有较大面积, 两者合计占该地貌类型总面积的 87.8%; 高丘和低山上都是以危险型为主, 其面积比例分别为 60.1% 和 70.6%; 海拔高于 800 m 的中山地区面积比例最大的为轻险型, 占该地貌类型总面积的 54.2%, 其次为危险型, 面积比例为 44.3%。

从土壤侵蚀潜在危险度指数来看, *SEPD* 最大值出现在低山地区, 为 4.42, 最小值出现在平原地区, 仅为 1.18; 从平原到低山, 随海拔高度增加, *SEPD* 值增大; 从低山到中山, *SEPD* 值随海拔高度增加又有变小的反常现象, 主要是因为中山主要分布于研究区与泰安交界的武家庄、垛庄、西营等乡镇, 为花岗岩山区, 与地表干旱的石灰岩山区相比, 水分条件较好, 植被相对发育, 另一方面由于该地区海拔较高、地形复杂、交通不便等原因, 人口密度较小, 每平方公里只有 230~250 人, 成为整个研究区范围内受人类活动影响最小

种地貌类型, 然后将地貌类型图与土壤侵蚀潜在危险度图进行叠加, 得到不同地貌类型上的土壤侵蚀潜在危险度分布情况(表 2)。

的地区。

#### 4.2 不同坡度等级上的土壤侵蚀潜在危险度分析

利用 1:10 万 DEM 数据生成坡度图, 用 GIS 软件 ARCVIEW 中的 RECLASSFY 命令将坡度分成 0~5°、5~8°、8~15°、15~25°、25~35°、35~90 六个等级, 将生成的坡度等级图与土壤侵蚀潜在危险度图进行叠加, 得到不同坡度等级上的土壤侵蚀潜在危险度(表 3)。从表 3 可以看出, 在 <5° 坡度带上, 以无险型为主, 其面积占该坡度带面积的 74.1%; 在 5~8° 坡度带上, 以轻险型为主, 其面积比例为 54.9%; 8~15° 坡度带上, 同样以轻险型面积为主, 但危险型面积也占有较大比重; 在 >15° 的坡度带上, 以危险型面积为主, 其面积比例超过 50%。从土壤侵蚀潜在危险度指数(*SEPD*) 来看(表 3), 随着坡度增大, 各坡度带上的 *SEPD* 值逐渐增加, <5° 坡度带上的 *SEPD* 值为 1.384, >35° 坡度带上的 *SEPD* 值为 4.108, 说明土壤侵蚀潜在危险度受坡度影响明显, 与坡度成正相关关系。

表 3 不同坡度上的土壤侵蚀潜在危险度

坡度等级	< 5°		5~8°		8~15°		15~25°		25~35°		> 35°	
	km <sup>2</sup>	%										
	2874.6	74.1	85.7	25.5	95.3	15.7	64.5	9.1	15.5	5.3	2.9	3.2
	845.4	21.8	184.5	54.9	287.3	47.4	271.3	38.1	93.1	32.0	25.8	28.9
	156.3	4.0	64.8	19.3	219.3	36.2	364.0	51.2	173.9	59.8	55.8	62.6
	2.9	0.1	0.9	0.3	4.1	0.7	11.6	1.6	8.4	2.9	4.7	5.3
合计	3879.3	100.0	335.9	100.0	606.0	100.0	711.4	100.0	290.9	100.0	89.2	100.0

#### 4.3 不同坡向上的土壤侵蚀潜在危险度分析

利用 1:10 万 DEM 数据生成坡向图, 然后按方位角将坡向分成北(0~22.5°)、东北(22.5~67.5°)、东(67.5~112.5°)、东南(112.5~157.5°)、南(157.5~202.5°)、西南(202.5~247.5°)、西(247.5~292.5°)、西北(292.5~337.5°)八个坡向, 将生成的坡度等级图与土壤侵蚀潜在危险度图进行叠加, 得到不同坡度等级上的土壤侵蚀

危险度, 从表 4 可以发现, 阳坡的土壤侵蚀潜在危险度明显高于阴坡, 南坡、东南坡和西南坡的 *SEPD* 值依次为 2.807, 2.668 和 2.670, 而北坡、西北坡和东北坡的 *SEPD* 值分别为 1.952, 1.748 和 2.449。

阳坡和阴坡的土壤侵蚀潜在危险度差异的形成与地形地貌条件对热量及水分的分异作用有关, 一般来说, 济南半湿润地区山地丘陵阴坡光照不足, 蒸发量小, 土壤潮湿, 植被

也比较发育, 而阳坡光照充分, 蒸发量较大, 土壤较干燥, 水热条件明显不如阴坡, 植被稀疏, 土层浅薄, 因而其土壤侵蚀潜在危险度往往比阴坡大。

值得注意的是东北坡和西北坡同为半阴坡, 但土壤侵蚀潜在危险度指数存在较大差异, 东北坡的 *SEPDI* 指数为 2.449, 西北坡为 1.748, 利用 ARC/INFO GRID 模块中的 ZONALMEAN 命令, 计算出东北坡的平均坡度为  $9.64^{\circ}$ ; 而西北坡的平均坡度仅为  $5.13^{\circ}$ , 说明两个坡向上的土壤侵蚀危险度差异主要是由坡度因素引起的。

表 4 不同坡度、坡向及地貌类型条件下的土壤侵蚀潜在危险度指数(*SEPDI*)

地貌类型	平原	台地	浅丘	低丘	高丘	低山	中山		
	1.182	1.805	2.31	3.156	3.828	4.42	3.391		
坡度	$< 5^{\circ}$	$5 \sim 8^{\circ}$	$8 \sim 15^{\circ}$	$15 \sim 25^{\circ}$	$25 \sim 35^{\circ}$	$> 35^{\circ}$			
	1.384	2.337	2.962	3.526	3.884	4.108			
坡向	平地	北	东北	东	东南	南	西南	西	西北
	1.433	1.952	2.449	2.454	2.668	2.807	2.67	2.044	1.748

表 5 不同土地利用类型上的土壤侵蚀危险度

土地利用类型	水田	草地					
		$< 8$ 旱地	$8 \sim 15$ 旱地	$> 15$ 旱地	高覆盖草地	中覆盖草地	低覆盖草地
	1.000	1.387	2.533	3.152	3.465	3.679	3.800
土地利用类型	水域	林地			城乡、工矿、居民点用地		未利用土地
		有林地	灌木林地	疏林地			
	1.143	2.776	3.173	3.245	1.262	1.941	

从表 5 可以看出, 土壤侵蚀危险度最低的为水田, 其 *SEPDI* 值为 1.000, 说明水田的土壤侵蚀潜在危险度等级全为无险型; 土壤侵蚀危险度最高的为低覆盖度草地, *SEPDI* 值为 3.800, 反映了低覆盖度草地土层极其浅薄, 土壤流失量大的特点; 除了林草地的土壤侵蚀潜在危险度较大以外,  $> 15^{\circ}$  的旱地也不可忽视, 其 *SEPDI* 值为 3.152, 高于有林地, 说明农业生产活动对土壤侵蚀的影响较大, 今后应该加强该地区的水土保持治理, 部分地区在有条件的情况下应该退耕还林。

## 5 结 语

通过以上分析, 就地形地貌条件来说, 土壤侵蚀潜在危

## 4.4 不同土地利用类型上的土壤侵蚀潜在危险度分析

土地利用是资源的社会属性和自然属性的全面体现, 最能反映人类活动及其与自然环境要素之间的相互关系。一个地区的土地利用方式合理与否也会影响该地区的土壤侵蚀危险度大小。土地利用类型图采用 2000 年 TM 影像的解译结果, 将土地利用类型图和土壤侵蚀潜在危险度图进行叠加, 从而得到不同土地利用类型上的土壤侵蚀危险度状况(表 5)。

险度最高的地区主要分布在低山地区坡度大于  $35^{\circ}$  的南坡上; 就土地利用类型而言, 中低覆盖度草地及疏林地及大于  $15^{\circ}$  的旱地等地区的土壤侵蚀潜在危险度较大。上述地区应该成为今后水土保持工作重点考虑的地区。

总之, 基于 GIS 和遥感技术的支持, 借助 GIS 的空间分析功能和遥感快速获取数据的能力, 对济南市土壤侵蚀潜在危险度问题的研究, 可以全面综合地考虑各种影响因素, 并能够快速有效地进行计算和分析, 计算结果精确到  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的像元分布数据, 范围广, 精度高, 空间分布规律明显, 科学合理, 具有较强的现实指导意义。

## 参考文献:

- [1] 水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 14-16.
- [2] 郭志民, 陈志伟, 等. 应用 GIS 方法对土壤侵蚀潜在危险性进行评价及其时空分布特征研究[J]. 福建水土保持, 1999, 11(4): 17-22.
- [3] 史志华, 蔡崇法, 等. GIS 支持下土壤侵蚀潜在危险度的分级研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(2): 190-193.
- [4] 杨存建, 张增祥, 等. 不同植被指数下的土壤侵蚀特征分析[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 26-29.
- [5] 沈云良, 邱沛炯, 王天有, 等. 利用 TM 图像对水土流失宏观变化进行监测[J]. 遥感信息, 1994(3): 13-15.
- [6] 潘剑君, 张桃林, 赵其国. 利用遥感技术研究余江县土壤侵蚀时空演变[J]. 水土保持学报, 1999, 5(4): 81-84