

济南市地下水补给区水土流失研究

王立红¹, 秦艳红²

(1. 山东师范大学 人口资源与环境学院, 山东 济南 250014;

2. 北京师范大学 资源学院资源管理研究所, 北京 100875)

摘要: 在 GIS 软件的支持下, 通过对降水、土壤、地形、植被、人类活动等方面的资料进行收集和处理, 分别生成 R , K , SL , C , P 等各个因子栅格格式的分布图, 然后代入通用土壤流失方程(USLE)进行各因子间空间叠加运算, 最终得出研究区水土流失强度分布图。对水土流失现状进行评价并对产生水土流失的原因进行分析, 将研究区分为近郊地区、三川地区、南北沙河地区等 3 部分, 最后分区域提出了水土流失的治理措施。

关键词: 水土流失; 通用土壤流失方程; 南部山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)02-0087-05

中图分类号: S157

Soil and Water Loss in Groundwater Supply District of Ji'nan City

WANG Li-hong¹, QIN Yan-hong²

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

2. Institute of Resources Management, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Data on precipitation, soil, terrain, vegetation and management activities in the groundwater supply district of Ji'nan City were collected and treated in a geographical information system(GIS) to produce distribution grid maps of R , K , SL , C and P . These attribute maps were overlain and computations were undertaken using USLE. The results were used to produce a soil and water loss intensity map. From this map the present status of soil and water loss in the district was determined and the reasons for these conditions were assessed. The study area was then classed into three separate categories, namely urban area, three-valley area, Shahe area and corresponding soil and water loss management measures were determined.

Keywords: soil and water loss; universal soil loss equation; south mountains area

济南以“泉城”著称, 泉水的喷涌依赖于南部山区独特的水文地质结构, 该区域生态质量的优劣直接影响到地下水的入渗量, 对泉水的出流量造成影响。并且, 南部山区还是济南市地表水的发源地和城市供水来源之一, 各风景名胜所在地, 主要种群源所在地以及主要矿、石分布区。然而, 水土流失问题一直是该区域主要的生态问题。随着近年来泉水断流的频繁发生, 做好水土保持工作成为该区域生态环境治理的重点。

1 研究区概况

该区范围(图 1)基本选定以断层划分的济南市泉域地下水补给区, 西起马山断裂、东至东坞断裂, 南部以长城岭地表分水岭为界, 北至南外环。地理坐标: 经度 $116^{\circ}41'15''$ — $117^{\circ}18'45''$ E, 纬度 $36^{\circ}12'30''$ — $36^{\circ}42'15''$ N, 总面积 1467.42 km^2 。

该区地处暖温带大陆性季风气候区内。由于其位于泰山余脉背风坡与平原交界处, 是形成降水的相对高值区, 多年平均降水量 710 mm , 并且具有南部多于北部, 中部多于两侧分布规律。降水年际变化大, 年内分配不均。

该区是以古生代地层为主体的北倾单斜构造, 由南向北地层由老变新。区内寒武系和奥陶系可溶性石灰岩岩溶裂隙发育, 造就了济南泉域南部汇集, 中部补充, 市区排泄的地下水运动方式。该区地处鲁中山地北缘单斜山地丘陵区, 地貌类型以低山丘陵为主, 地势南高北低, 海拔高度在 $30 \sim 990 \text{ m}$ 之间, 分为 10 个流域: 南沙河流域、北沙河流域、玉符河流域、锦阳川流域、锦云川流域、锦绣川流域、泉卢河流域、韩仓河流域、兴济河流域、大辛河流域。

该区的土壤类型有棕壤与褐土。棕壤的面积较小, 分棕壤性土和棕壤 2 个亚类, 其余部分都为褐土,

收稿日期: 2004-06-28

资助项目: 山东省济南市环保局生态规划项目; 济南南部山区重要生态功能区规划项目(2001)

作者简介: 王立红(1963—), 女(汉族), 山东济南人, 副教授。主要从事景观生态学研究, 发表论文 30 余篇, 主编、参编著作 10 余部。电话 (0531)6188175, E-mail: wlh_sd1@163.com。

分为褐土性土、褐土、淋溶褐土、潮褐土 4 个亚类。其中,棕壤性土和褐土性土是极易产生水土流失的 2 种土壤类型。

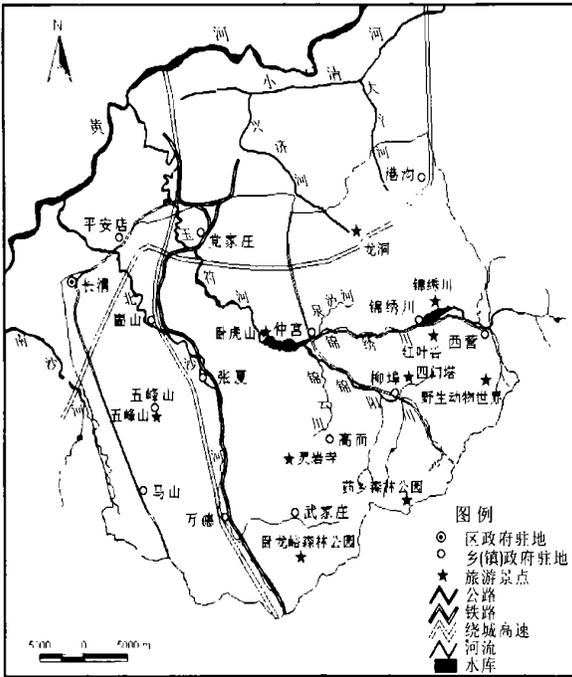


图 1 研究区概况图

本研究区的植被类型有温带针叶林、温带落叶阔叶林、灌草丛、草地和果园等。其中针叶林为主要的林地类型,它主要由松林和侧柏组成;阔叶林面积比较少,其中以刺槐居多。

2 研究方法

2.1 研究方法

水土流失的现状评价采用通用土壤流失方程 (USLE),表达式如下:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$

式中: A ——为土壤年流失量 [$t/(hm^2 \cdot a)$]; R ——为降雨侵蚀力因子 [$MJ \cdot mm/hm^2 \cdot h \cdot a$]; K ——为土壤可蚀性因子 [$t \cdot hm^2 \cdot h/hm^2 \cdot MJ \cdot mm$]; S ——为坡度因子; L ——为坡长因子; C ——为植被覆盖或作物经营管理因子; P ——为水土保持措施因子,均为无量纲单位。

2.2 数据的收集与处理

本次研究所需要的数据或资料:覆盖研究区范围

的 37 个测站的降水资料;土壤图,土壤的物理、化学性质数据;1:5 万地形图;2000 年 SPOT 卫片。本次研究主要应用 ARC/INFO, Arcview 等软件,实现数据的采集、处理、各因子图的生成,并借助它们强大的空间分析功能,最终实现对各因子进行叠加运算,取得水土流失强度分布图。

3 水土流失定量评价

3.1 降水侵蚀力因子 (R)

3.1.1 R 值的求算 降水侵蚀力是指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,它是一项客观评价由降雨所引起的土壤分离和搬运的动力指标^[1]。该指标的求算方法见以下公式^[2]:

$$R = 0.272(P \cdot I_{60}/100)^{1.205}$$

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

3.1.2 R 值图的生成 将各个站点的经纬度坐标数据记录为 .txt 格式的文件。然后利用此格式的 GPS 坐标数据,在 ARC/INFO 软件系统中,将空间点落实到地图上。在生成了各测站的空间分布图之后,对每个测站点增加一个字段 R 值,在 ARC/INFO 软件系统中用 point-interp 命令,将 R 值进行点数据的空间插值,最终可以获得 GRID 格式的 R 值的空间分布图,栅格大小取为 30 m。

3.2 土壤可蚀性因子 (K)

3.2.1 K 值的求算方法 土壤可蚀性用来反映土壤对侵蚀的敏感性及降水所产生的径流量与径流速率的大小^[3]。它是由土壤本身性质不同所引起的不同土壤类型间侵蚀量的差异^[4]。土壤侵蚀因子 (K) 与土壤机械组成 (砂粒、粉粒和黏粒的含量) 及土壤有机质的含量密切相关 (表 1)。

目前求算土壤可蚀性因子最为普遍的方法为诺模方程式^[5],为提高数据的精确性,本次研究还参照了土壤侵蚀诺模图,对依据方程求得的结果进行修正。诺模方程的表达式如下:

$$K = \left\{ 2.1M^{1.14} (10^{-4})(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3) \right\} / 100$$

式中: M ——“粉砂+极细砂”含量百分数 \times (100-黏粒含量百分数); a ——有机质含量百分数; b ——土壤结构编号; c ——土壤剖面渗透等级。

表 1 各种土壤类型的 K 值

土壤类型	普通褐土	潮褐土	淋溶褐土	褐土性土	石灰性褐土	普通棕壤	棕壤性土
K 值	0.0511	0.0476	0.0452	0.0551	0.0530	0.0474	0.0493

3.2.2 K 值图的生成 将土壤类型图进行扫描数字化,生成矢量格式的土壤类型图,对每种土壤类型赋予 K 值,转化为栅格格式的 K 值图,栅格大小为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 。

3.3 坡度坡长因子 SL

3.3.1 SL 因子的求算方法 卜兆宏等人根据我国山地丘陵区的特点,利用实测统计资料,建立了适用于我国山地地区的 S 因子算式及像元坡长因子的求算公式^[6],并在山东省应用取得了良好的效果,在此用该式求算每一像元的 S 因子的数值。

$$S = 0.743 \times 1.0595^{\theta}$$

式中: θ —— 坡度角,以度表示。

像元坡长因子的求算公式可以表示为:

$$L_i = \left[\left(\sum_1^i D_i / \cos \theta_i \right)^{1+m} - \left(\sum_1^{i-1} D_i / \cos \theta_i \right)^{1+m} \right] \cos \theta_i / (22.13^m \cdot D_i)$$

式中: L_i —— 像元坡长因子的值; D_i —— 沿径流方向每个像元坡长的水平投影距离(实际为两相邻像元中心距,随方向而异); θ_i —— 每个像元的坡度; m —— 指数,其值随坡度而定:

$$\begin{aligned} \theta \geq 5.14^\circ & m = 0.5 \\ 1.72^\circ \leq \theta < 5.14^\circ & m = 0.4 \\ 0.57^\circ \leq \theta < 1.72^\circ & m = 0.3 \\ \theta < 0.57^\circ & m = 0.2 \end{aligned}$$

3.3.2 SL 因子图的生成 将南部山区 1:5 万地形图进行扫描、纠正后,进行矢量化;将生成的矢量图在 ARC/INFO 软件系统中利用不规则三角网(TIN)进行内插然后将其转换为栅格 GRID 数据,设定栅格分辨率为 30 m ,在 ARC/INFO 的 Grid 模块下,进行坡度、像元坡向等因子的提取和计算,最终生成 SL 因子栅格图。

3.4 植被覆盖因子 C

植被覆盖因子主要与植被覆盖度有关,要获取大范围的地表覆盖状况,遥感技术是最为有效的手段^[7]。采用归一化差异植被指数(N_{DVI})的计算方法,在遥感影像上提取植被覆盖度是目前普遍使用的一种方法,这种方法快捷、简便,有较高的精确度。

$$N_{DVI} = (\text{波段 } 4 - \text{波段 } 3) / (\text{波段 } 4 + \text{波段 } 3)$$

在获取 N_{DVI} 之后,建立 N_{DVI} 与植被覆盖率之间的相关关系。最终求出每一空间点上的植被覆盖率。

植被覆盖度因子 C 值的求算方法采用卜兆宏的计算方法:

$$C = 0.450 - 0.00786c$$

式中: c —— 年平均植被覆盖度,经计算后得到空间每一栅格点的 C 值,从而生成 C 值分布图。

3.5 水土保持措施因子 P

水土保持措施因子是指采用专门措施后的土壤流失量与顺坡耕作时的土壤流失量的比值。在我国最基本的水土保持工程措施是梯田。

对于自然植被,如林地、草地等,基本上无水土保持措施,因此,其值取为 1;水浇地主要分布于山间低平地区,根据对耕地蓄水保水的普遍农业技术措施,将其水土保持措施因子赋值为 0.15 ^[3];对于旱地而言,基本上为梯田,分布于世界各地的研究表明,梯田(等高)耕作方式是最为有效的水土保持措施之一,但是,当坡度大于 13.5° 时,等高耕作对水土保持的效果就不明显^[8]。在研究区范围内坡度小于 13.5° 的旱地灌溉条件和耕作条件劣于水浇地的条件,因此其水土保持措施比水浇地差,将其赋值为 0.35 ,对于坡度大于 13.5° 的旱地,视为无水土保持措施,即 P 取值为 1.0 。

3.6 水土流失数据的生成与验证

通过以上步骤,分别获取了降水侵蚀力因子 R 空间插值栅格图、土壤可蚀性因子 K 分布图、坡度坡长因子 SL 栅格图、植被覆盖因子 C 值图、水土保持措施因子 P 值图,这各因子图都为像元大小为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的栅格格式,并且在统一坐标系和投影方式下,将各因子图参照通用土壤流失方程在 ARC/INFO 的 Grid 模块下叠加相乘,得到水土流失侵蚀模数图。然后对研究区的水土流失强度进行分级(见表 2),得到水土流失侵蚀强度分布图(图 2)。

表 2 侵蚀强度分级统计

侵蚀类型	侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	面积百分比
微度侵蚀	0~250	31.91
轻度侵蚀	250~1000	29.34
中度侵蚀	1000~2000	13.54
强度侵蚀	2000~4000	12.48
极强度侵蚀	4000~15000	9.02
剧烈侵蚀	>15000	3.71

注:该级别内还包括侵蚀模数大于 $2000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的未利用地。

4 水土流失现状分析

4.1 水土流失强度及分布

就整个研究区的水土流失情况来看,平均侵蚀模数为 $1714.31 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 31.91% 的范围内基本上无水土流失发生,轻度侵蚀面积占 29.34% ,中度侵蚀占 13.54% ,强度侵蚀占 12.48% ,极强度和剧烈侵蚀占 12.73% 。中度及其以下强度水土流失所造成的危害性较小,这部分的面积比重总计为 74.79% ,因此,研究区范围内总体来说水土流失程度较轻。

由生成的水土流失分布图(见图 2)来看,强度以上水土流失主要发生在北大沙河流域内东侧一些坡度较大山体的中上部,玉符河中游河段东侧山体中上部以及兴济河流域内的兴隆山等处。未利用地地表土层瘠薄,虽侵蚀模数较低,但此类地表几无持水能力,又基本处于坡体中上部,汛期的集中高强度降水经此汇流对其下部土层造成较大的冲刷,因此,将其归为剧烈侵蚀类型。



图 2 水土流失侵蚀强度分布

4.2 水土流失现状评价与成因分析

表 3 表明,各流域平均土壤侵蚀模数排序:锦绣川流域<南沙河流域<锦云川流域<锦阳川流域<玉符河流域<北沙河流域<泉泸河流域<大辛河流域<韩仓河流域<兴济河流域。近邻市区的几个流域侵蚀模数普遍较高,锦绣川、锦阳川、锦云川三流域虽然山高坡陡,地形起伏度最大,但侵蚀程度均较轻。由此可见,人类活动对水土流失影响关系重大。

南沙河和玉符河流域微度侵蚀面积所占比重最高,主要与这 2 个流域内部地势低缓,都存在广阔的山间谷地,农业耕作措施较好等条件有关。玉符河流域虽然总体侵蚀模数较低,但剧烈侵蚀的面积比重高于其它流域,主要集中于山体的中上部。该流域为石灰岩山地,土壤发育的条件差,山体中上部裸岩地、荒坡等广泛分布,故导致水土流失较严重。锦绣川、锦阳川、锦云川 3 个流域的水土流失主要集中于轻度侵蚀的范围,轻度侵蚀所占比重均高于 30%。市区边缘的韩仓河流域、兴济河流域、大辛河流域微度侵蚀的面积比重很低,侵蚀模数远高于其它流域,这几个流域人类活动干扰强烈,受城市扩张的影响,地表硬化度高,自然植被较少,并且也全部为石灰岩分布区,工矿企业较多,城市水土流失影响很大。泉泸河流域不受城市的直接影响,但该流域同样为石灰岩的分布区,地表裸露较多,土壤条件差,强度以上侵蚀所占的面积比重很大,侵蚀模数高于研究区的平均水平。

表 3 水土流失程度分流域统计数据

侵蚀强度	微度侵蚀/ %	轻度侵蚀/ %	中度侵蚀/ %	强度侵蚀/ %	极强度侵蚀/ %	剧烈侵蚀/ %	平均侵蚀模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)
南沙河流域	45.36	23.36	10.13	11.47	8.20	1.48	1 263.47
北沙河流域	32.48	27.94	13.09	12.57	9.76	4.15	1 878.74
玉符河流域	42.10	23.29	9.15	9.51	9.46	6.49	1 797.23
锦阳川流域	22.71	31.74	19.99	15.56	5.85	4.14	1 675.76
锦云川流域	28.21	39.25	14.67	9.64	4.45	3.78	1 314.39
锦绣川流域	22.74	40.31	18.22	13.42	4.87	0.44	1 234.56
泉泸河流域	22.55	27.21	17.15	18.78	8.09	6.23	2 027.78
韩仓河流域	11.58	28.51	18.50	17.34	17.86	6.21	2 740.45
兴济河流域	15.26	25.25	13.85	16.45	24.97	4.21	3 244.25
大辛河流域	18.01	27.14	17.31	18.77	17.29	1.48	2 318.62

由此根据水土流失分布的集中程度,结合研究区域的地形特点、区位和人为干扰情况,可以将整个研究区划分为 3 部分,即近郊地区、三川地区、南北沙河地区。近郊地区为南外环以南与城区相邻的部分,包括玉符河流域、兴济河流域、大辛河流域、韩仓河流域、泉泸河流域。该区域人为干扰强度大,植被覆盖状况除龙洞周围较好外,绝大部分植被覆盖度较低,

侵蚀模数超过研究区的平均水平,水土流失程度较为严重;三川地区位于近郊地区南部,由锦绣川流域、锦阳川流域、锦云川流域组成,此区域远离市区,地形起伏较大,大部分为砂石山地,人为干扰较弱,各流域的侵蚀模数均低于研究区的平均水平,水土流失程度较轻;南北沙河地区位于研究区的西部,包括南沙河、北沙河 2 个流域,地势低平,交通干线纵贯南北,耕地大

面积分布,人类活动的干扰强度较近郊地区稍弱,南沙河流域水土流失程度较轻,北沙河流域水土流失程度稍高于研究区的平均水平。

研究区整体平均侵蚀模数为 $1\,714.31\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,近郊地区平均侵蚀模数为 $2\,137.25\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,三川地区平均侵蚀模数为 $1\,458.01\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,南北沙河地区平均侵蚀模数为 $1\,684.05\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

5 建议与对策

针对所研究的3个区域不同的土壤侵蚀特征和影响因素,可以采取不同的措施有针对性地进行水土流失的治理工作。

5.1 近郊地区

近郊地区全部为石灰岩分布区,普遍存在的问题是土层薄、土壤结构疏松、有机质和养分含量低,石灰岩裸岩地和采矿废弃地水土流失严重,生态恢复的难度比较大,应生物措施与工程措施并举。植被选择应遵循以下原则:(1)生长快、根系发达、适应性强、抗逆性好、落叶丰富、易于分解、易形成松软的枯枝落叶层,利于提高土壤的保水保肥能力;(2)优先选择固氮树种;(3)尽量选择当地优良的乡土树种和先锋树种,也可引进外来速生树种;(4)选择树种时不仅要考虑经济价值高,更主要是树种的多功能效益,主要包括抗旱、抗风沙、耐瘠薄、抗病虫害以及具有较高的经济价值。绿化措施应遵循山地植被的演替规律,要适山适草,适地适树,见缝插针,先草后木,草木结合,由上到下进行。济南当地石灰岩山区较适宜的乔灌树种有:侧柏、柞、朴树、小叶朴、绣线菊、刺槐、小叶锦鸡儿、胡枝子、臭椿、酸枣、荆条、枸杞等。草本植物在山区绿化中起着极其重要的不可替代的作用,白羊草、黄背草、长芒草等,都是石灰岩山地生长的先锋植物。

5.2 三川地区

该地区水土流失的程度较轻,水土流失较为严重的部位多位于大型植被源地(如自然保护区、森林公园、风景名胜区及其它一些旅游景点),由源地内部向外生态质量急剧下降,植被覆盖度低、类型单一,并且由于源地内部旅游景点的开发,生态破坏现象严重,从而加重了水土流失,在这些部位需要采取措施进行生态恢复和保护。

该区的土壤类型为棕壤,土壤条件相对较好,生态恢复较为容易,可以参照源地内部的植被类型,选择那些生命力强、耐瘠薄、根系发达的种类,通过建立缓冲区可以将源地的范围延伸,使其与周围的自然景

观相联系,以增强对源地核心区的保护,从而减轻水土流失。

另一方面,必须限制旅游项目的无限制开发,提倡并开展生态旅游。旅游景点的建设以尊重自然为前提,确定合理的旅游环境容量,做到开发设计以水脉(水系统)、绿脉(植被系统)和文脉(当地文化习俗)为先导的空间布局,减少人工景观并将其与自然景观相融合,基础设施建设要突出环保,对开发过程所造成的生态影响要进行生态恢复,对旅游者实施生态环境意识教育,让旅游者了解区域环境保护的重要性,尤其让其了解环境保护与泉水之间的联系。

5.3 南北沙河地区

该区域北部为石灰岩分布区,水土流失治理措施可以参照近郊地区进行,这部分治理面积较小,该区域水土流失治理的重点在于减少农田水土流失。主要措施为退耕还林以及建立农田防护林网。

将坡度在 15° 以上的耕地全部退耕还林,赤松、油松、黑松等针叶树,及刺槐、栎树等阔叶树种以及苹果、桃、柿子等经济林木,阔叶树和经济林木优先种植。

在村落周围、田间等处采取以用材林、经济林木与护沟、护路林带相结合的农田林网式配置,以及以村庄为中心的林农间作模式与居民点四周的庭院经济树种结合的网点式配置。用材林树种可选择毛白杨,该树种速生丰产,在美化居民点环境的同时,苗木培育和成材后还可以为当地居民带来经济效益;经济林树种可以选择苹果、核桃、花椒、山楂、板栗等。

[参 考 文 献]

- [1] 周斌. 浅谈水土流失遥感定量模型及其因子算法[J]. 地质地球化学, 2000, 28(1): 72—77.
- [2] 王万忠, 焦菊英, 等. 中国降雨侵蚀力 R 的计算与分布[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5—18.
- [3] 游松财, 李文卿. GIS 支持下带土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县灌溪乡为例[J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 62—67.
- [4] 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.
- [5] 黄河水利委员会水利科学研究所. 降雨侵蚀土壤流失预报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1983.
- [6] 卜兆宏, 唐万龙, 潘贤章. 土壤流失量遥感监测中 GIS 像元地形因子算法的研究[J]. 土壤学报, 1994, 31(3): 322—328.
- [7] 胡良军, 邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量化指标[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1): 40—43.
- [8] 倪晋仁, 李英奎. 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 611—621.