

# 陇东黄土高原土壤侵蚀的人文因素及经济损失分析

潘竟虎,张伟强,秦晓娟

(西北师范大学地理与环境科学学院,730070,兰州)

**摘要** 选取 13 个主要的人类活动指标因子,利用灰色系统理论与方法计算人类活动与土壤侵蚀之间的关联度指数,探讨人类活动对水土流失的干扰度,并建立驱动力定量模型;采用替代价值法、机会成本法、影子工程法、恢复费用法对陇东黄土高原项目区土壤侵蚀经济损失价值进行了估算。结果表明:坡耕地面积比重和人口密度是陇东土壤侵蚀和水土流失的主要驱动力;项目区 2004 年度的土壤侵蚀经济损失达 5734 万元。

**关键词** 土壤侵蚀;人文因素;经济损失;关联度;陇东黄土高原

Analysis on human activity driving factors and economic losses caused by soil erosion in Longdong Loess Plateau // Pan Jinghu,Zhang Weiqiang,Qin Xiaojuan

**Abstract:** This paper calculated the connection degree of human activity and soil erosion in Longzhong Loess Plateau by using the gray system theories by selecting 13 main human activity indices, and discussed the disturbance degree of human activity to soil erosion. Then, the author evaluates economic losses of soil erosion in study area based on the market valuation, opportunity cost methods, shadow engineering methods and restoration expenditure methods. The results indicated that: The proportion of sloping cultivated land and the density of population were key driving factor of soil erosion and the total economic losses caused by soil erosion adds up to about 57340 thousand yuan (RMB) in 2004.

**Key Words:** soil erosion; human dimension; economic losses; connection degree; Longdong Loess plateau

中图分类号: S157+X196

文献标识码: A

文章编号: 1000-1123(2008)12-0037-03

黄土高原土壤侵蚀的发生与发展受到多种自然因素和人类活动的综合影响,一般而言自然因素是潜在条件,但纯粹由自然因素引起的水土流失过程是非常缓慢的,且常与地表土壤的形成过程处于相对平衡状态,而在此基础上叠加的人类活动影响则逐渐积累放大,对该过程起着主导作用,也是现代黄土高原侵蚀加剧的根本原因。我国学者曾在不同区域、不同尺度规模上对土壤侵蚀的影响因素进行过不同程

度的研究,但多为数据罗列式的定性描述,而对人类活动的影响仍集中在与水土流失产生结果之间关系的分析,缺乏与水土流失发生过程间关系及其造成的经济损失的研究。本文借助 GIS 与 SPSS 软件,应用灰色关联分析、回归分析法,以及环境经济学的原理和方法,对陇东黄土高原土壤侵蚀的人文因素及经济损失进行量化估算,以期为区域水土流失治理和生态修复工作提供科学依据。

## 一、研究区概况

甘肃省黄土高原水土保持世行贷款项目区位于陇东黄土高原地区,面积 4 422.85 km<sup>2</sup>,涉及平凉、庆阳两市的 11 个县(区)79 个乡镇 620 个村。地貌类型属黄土高原第三副区,海拔 1 200~2 200 m,年平均气温 9~11℃,年平均降水量 410~640 mm,蒸发量 1 400~1 600 mm,属半干旱、半湿润的大陆性气候。土壤以黄绵土为主,天然植被稀疏。境内沟壑纵横,

收稿日期: 2007-06-01

作者简介: 潘竟虎(1974—)男,讲师,硕士,研究方向为 GIS 与空间经济分析。

基金项目: 西北师范大学青年基金项目(NWNU-QN-05-41)、西北师范大学学生学术科研资助项目(2006)。

地形破碎,水土流失严重,生态与环境脆弱。总人口 61.35 万,区域经济以大农业为主,农林牧并举。项目 1998 年开始实施,历时 6 年,总投资 62 250 万元人民币,其中申请世行贷款 4 500 万美元。

## 二、人文因素与驱动力分析

### 1. 获取与指标选取

土壤侵蚀数据来自于遥感调查,利用 2004 年秋季的 Landsat5 TM 和 SPOT 影像,获取水土流失的植被和土地利用信息,收集降雨资料、土壤数据、地形图和 DEM 等,在通用土壤流失方程的基础上建立区域土壤侵蚀模型,在 ArcView GIS 下经过地图代数运算,计算出各像元的土壤侵蚀模数,最终估算出全区土壤侵蚀量和侵蚀面积。根据指标因子选取的综合性、代表性和可操作性等原则,选用侵蚀模数来表征区域水土流失状况;利用坡耕地面积比  $x_1$ 、垦殖指数  $x_2$ 、林地覆盖率  $x_3$ 、草地覆盖率  $x_4$ 、载畜量  $x_5$ 、人口密度  $x_6$ 、人口素质  $x_7$ 、人均 GDP  $x_8$ 、经济密度  $x_9$ 、人均产粮  $x_{10}$ 、道路密度  $x_{11}$ 、人均用电  $x_{12}$ 、生产性固定资产  $x_{13}$  等 13 个指标因子来表征影响区域水土流失状况的人文因素。其中,坡耕地是指坡度大于 15° 的耕地,人口素质用每万人中具有高中以上文化程度的人数来表示,经济密度用单位国土面积上的 GDP 总量来表示(万元/km<sup>2</sup>),载畜量用单位面积上标准羊存栏数表示(只/km<sup>2</sup>),生产性固定资产指农机、农具等的价值(元)。指标原值取自甘肃省黄土高原世行项目办监测中心(下同)。由于土壤侵蚀及其人文因素指标系统中各个因子的物理意义不同,数据量纲也不尽相同,有的可能相差特别悬殊。为便于分析和保证各指标数据的等效性与同序性,需要对其进行无量纲化处理。此外,为了表示人文因素影响作用的积累效

果,文中数据一般采用项目实施期间(1998—2004 年)的平均值。

### 2. 关联度和干扰度指数

水土流失及其人文因素影响所组成的人—地—水系统属于灰色系统的范畴,可以利用灰色关联概念来分析人类活动与水土流失各个指标因子之间的相互关系。关联度的一般表达式为:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \xi_{ij}(t) \quad (1)$$

式中  $\xi_{ij}$  称为关联系数,定义为

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\min_j + k \cdot \max_j}{|x_i(t) - x_j(t)| + k \cdot \max_j}$$

$$|x_i(t) - x_j(t)|$$

$$\max_j = \max_j \max_i |x_i(t) - x_j(t)|$$

$$\min_j = \min_j \min_i |x_i(t) - x_j(t)|$$

$t=1, 2, \dots, n$ ,  $k$  为灰数,本文取  $k$  的白化值为 0.5,用于提高关联因素之间的差异显著性;数据无量纲化处理采用均值化方式。

干扰度是人类活动干扰生态环境的强度,黄土高原生态环境退化主要表现为水土流失,研究人类活动对水土流失的干扰及干扰强度是解析生态环境退化动因的关键所在。将关联度指数作为度量相关指标因子的权重  $W_{ij}$ ,  $W_{ij}$  与对应的无量纲化指标因子级位指数  $U_{ij}$  的乘积之和定义为干扰度  $D_i$ ,即

$$D_i = \sum_{j=1}^{12} W_{ij} \cdot U_{ij} \quad j=1, 2, \dots, 11 \quad (2)$$

根据公式(1)计算得陇东黄土高原人类活动指标因子与水土流失之间的关联度指数。可以发现,影响本区水土流失面积大小的主要人文因素是坡耕地面积比例,与侵蚀模数的关联度指数达 0.882,其次是人口密度(0.749)、林地覆盖率(0.743)、载畜量(0.724)、道路密度(0.713)和人均 GDP(0.706)。显然,这些定量数据及其先后顺序为人类规范自身的各类逆向行

为提供了依据。

利用公式(2)计算出人类活动对各县分项目区水土流失的干扰度。可以发现,人类活动干扰度与土壤侵蚀模数之间有很强的相关性,这表明水土流失对人类活动的响应是相当敏感的。总体来看,平凉市辖各县干扰度高于庆阳市,这是由于平凉是甘肃传统的农业区,过度的农业活动是水土流失的主要致因。干扰度最高的华亭县,矿产资源丰富,是甘肃省的煤炭基地;庆阳市所辖各县中干扰度最高的华池县,也是长庆油田重要的采油区,采矿行为不可避免地会破坏地表植被,矿区建设也将改变地形、自然景观和植被状况,导致水土流失发生和发展。

### 3. 驱动力因素定量分析模型

采用多元线性回归模型的方法,选择侵蚀模数  $y$  作为因变量,  $x_1 \sim x_{13}$  作为自变量,在 SPSS 软件中作逐步线性回归,得到土壤侵蚀的人类活动驱动模型。结果如下:

$$y = 0.048 + 1.187x_1 - 0.235x_6 \quad (3)$$

复相关系数  $R=0.915$ ,判定系数  $R^2=0.836$ ,信度为 0.001。可以看出,坡耕地面积比重和人口密度是陇东土壤侵蚀和水土流失的主要驱动力。

## 三、损失价值评估

### 1. 估算方法

土壤侵蚀所产生的危害在陇东黄土高原地区主要表现在:导致土壤养分流失,土地生产力下降;泥沙淤积,破坏水利交通设施,冲淹农田引起弃耕;加速了生态与环境的恶化。造成的经济损失相应地分为 3 个类型:土壤资源作为生产要素价值的损失,由市场决定;土壤侵蚀对生态系统产生负面影响造成的损失,不能由市场决定或尚未直接由市场决定;被破坏生态资源的恢复费用。本文主要从土

壤养分流失损失、土地废弃损失、水分流失损失和泥沙淤积滞留损失等方面对土壤侵蚀的经济损失进行研究估算。

#### (1) 土壤养分流失损失估值

采用替代价格法,将施用的等量化肥的费用作为经济损失费用,计算因土壤侵蚀而丧失的N、P、K养分损失 $V_n$ ,公式为:

$$V_n = W \times Q \times C_j \times P_j \quad j = N, P, K$$

式中 $W$ 为土壤损失量, $W = \sum_{j=1}^{11} (E_j - T) A_j$ , $E_j$ 为各县分项目区2004年土壤侵蚀模数( $t/km^2$ ); $T$ 为土壤容许侵蚀量( $t/km^2$ ),西北黄土高原区 $T$ 值取 $1000t/km^2$ ;  $A_j$ 为各分项目区面积; $Q$ 为N、P、K在项目区土壤中的平均含量( $10^{-6}$ ),项目区土壤以黄绵土为主,以该区黄绵土的平均碱解氮、速效磷、速效钾含量(106.0、10.96和195.1)计算; $C_j$ 为N、P、K折算成硫酸铵、过磷酸钙和氯化钾的系数,分别取4.762、3.373和1.667; $P_j$ 为硫酸铵、过磷酸钙和氯化钾肥料的市场价格,分别取830元/t、420元/t和1550元/t。

#### (2) 土地废弃损失估值

根据项目区土壤侵蚀量和土壤耕作层平均厚度来推算耕地面积减少量,根据耕地的平均收益,运用机会成本法估算土地废弃而产生的年度损失价值 $V_p$ 。计算公式如下:

$$V_p = W \times Z / (q/d)$$

式中 $Z$ 为旱耕地年均收益,为2004年17.02万元/ $km^2$ ;为表层土壤平均容重,项目区为 $1.30t/m^3$ ;  $d$ 为土壤表土平均厚度,按0.5m计算。

#### (3) 土壤水分流失损失估值

采用影子工程法来估算,用农用水库工程作为替代物,计算出能替代被流失的土壤水分的补偿工程所需的费用 $V_w$ ,计算公式如下:

$$V_w = W \times M \times J$$

式中 $M$ 为土壤平均含水量,项目区3m土层平均含水量为6.43%; $J$ 为修建单位农用水库的投资费用,约为2.10元/ $m^3$ 。

#### (4) 泥沙滞留淤积损失估值

利用恢复费用法来计算泥沙滞留损失 $V_r$ 和淤积损失 $V_i$ ,按照我国泥沙运动规律,泥沙总量中滞留泥沙和淤积泥沙分别为33%和24%,因此,计算公式为:

$$V_r = W \times 0.57 \times P_r / \rho$$

式中 $P_r$ 为挖取泥沙的费用; $P_i$ 为拦截泥沙工程的单位投资费用,据调查,目前拦截泥沙的工程投资费用为1.5元/ $m^3$ 。

#### 2. 估算结果

通过对项目区土壤侵蚀各类经济损失的估值,得出2004年该区的土壤侵蚀经济损失(表1)。表1表明,项目区2004年土壤侵蚀造成的经济损失达到5734万元,占当年项目区国内生产总值的比例达3.45%;按单位面积土壤侵蚀经济损失情况来看,

平均每平方公里的土壤侵蚀经济损失高达1.30万元。从项目区土壤侵蚀造成的各类型经济损失构成的角度看,水土流失造成的土壤养分流失损失最为严重,占土壤侵蚀经济损失的47.09%,其次是泥沙滞留淤积损失,占土壤侵蚀经济损失的33%。

## 四、结论

本文运用灰色系统分析确定计算了人类活动与水土流失之间的关联度指数,探讨了人类活动对水土流失的干扰度,结果与实际基本相符。影响水土流失的主要指标因子是坡耕地比重、人口密度和林地覆盖率;而华亭县土壤侵蚀的干扰度最大。逐步回归分析也显示坡耕地面积比重和人口密度是陇东土壤侵蚀和水土流失的主要驱动力。

应用环境经济评价理论和方法,定量测算了土壤侵蚀的直接经济损失。但本文未考虑水土流失对生态系统的外部影响,如对下游的河道淤积、非点源污染等负效应以及自然肥力提高等正效应。

#### 参考文献:

- [1] 杨振,牛叔文,吴文恒. 陇中黄土高原水土流失的人文因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005.
- [2] 赵景波,朱显谟. 黄土高原的演变与侵蚀历史[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999(5).
- [3] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994.
- [4] 陈奇伯,齐实,孙立达. 土壤容许流失量研究的进展与趋势[J]. 水土保持通报, 2000(20).
- [5] 李蕾,刘黎明,谢花林. 退耕还林还草工程的土壤保持效益及其生态经济价值评估[J]. 水土保持学报, 2004(18).
- [6] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

责任编辑 张金慧

表1 项目区土壤侵蚀各类型经济损失

损失类型	损失值(元)	比例(%)
土壤养分流失	27002250	47.09
土地废弃	7532987	13.14
土壤水分流失	3884645	6.77
泥沙滞留淤积	18920987	33.00
合计	57340869	100