

# 基于地貌演进背景的流域自然与人为侵蚀定量评估 ——以鲁中南山地为例

姜鲁光<sup>1, 3</sup>, 赵慧霞<sup>1, 3</sup>, 张祖陆<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 山东师范大学人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 在 GIS 软件的支持下, 计算了鲁中南山地及其各流域的高程积分并判定了其地貌侵蚀阶段, 对鲁中南山地第四纪平均侵蚀量作了初步估算。通过侵蚀指数、自然侵蚀指数、人为侵蚀指数等指标的构建, 计算了鲁中南山地各流域水土流失的自然侵蚀背景, 进而得出人为侵蚀强度的流域差异。研究表明, 鲁中南山地整体的自然侵蚀速率约为 0.17 mm/a, 大致相当于实际侵蚀的 1/4, 人为侵蚀强度较大; 自然侵蚀强烈的流域主要分布在研究区北部, 而人为侵蚀严重的流域主要分布在研究区东南部。提出了地貌演进背景下水土流失自然 (地貌) 侵蚀与人为侵蚀定量评估的技术方案, 对鲁中南山地水土保持工作的政策措施提出了建议。

**关键词:** 水土流失; 地貌发育; 自然侵蚀; 人为侵蚀; 鲁中南山地

**中图分类号:** P931, S157

**文献标识码:** A

水土流失是山地丘陵区的重要环境灾害, 其成因固然与人类对地表的不合理开发利用有关, 同时也与地貌的自然演化有着重要关联。准确衡量一个流域的水土流失状况, 区分自然侵蚀与人为侵蚀的相对比例, 是正确制定水土保持政策及工程技术方案的重要依据。

自然侵蚀与人为侵蚀的定量评估得到国内外众多学者的关注。国外学者 Osterkamp 等 (1997) 探讨了地貌发育研究在侵蚀预测中的应用<sup>[1]</sup>, Mather 等 (2002) 强调第四纪地貌演进背景是现代土壤侵蚀的基础<sup>[2]</sup>。我国学者励强 (1989) 探讨了侵蚀积分在自然与人为侵蚀区分中的应用<sup>[3]</sup>; 郑粉莉等 (1995) 对陕北子午岭地区的自然与人为侵蚀进行了实验对比<sup>[4]</sup>; 徐恩波 (1995) 对人为侵蚀的防治对策进行了探讨<sup>[5]</sup>; 赵景波<sup>[6]</sup>与马乃喜<sup>[7]</sup>等 (1996) 分析了黄土高原地貌演进与土壤侵蚀的关系; 武春龙等 (1997) 运用信息熵方法研究了小流域侵蚀地貌演化<sup>[8]</sup>; 朱忠礼<sup>[9]</sup>和李有利<sup>[10]</sup>等 (1999) 对地貌演进与自然、人为侵蚀的

关系进行了理论探讨; 李裕元等 (2001) 研究了新构造运动对黄土高原土壤侵蚀的影响<sup>[11]</sup>。但是, 众多学者的研究思路和方法不尽相同, 研究结论也有较大差异, 并且我国在该领域的实证研究主要集中在黄土高原地区, 而对基岩山丘区的研究相对薄弱。

鲁中南山地是山东省水土流失最为严重的地区<sup>[12]</sup>, 本文拟以鲁中南山地为例, 从地貌演进的角度对流域水土流失的自然背景与人为侵蚀加以区分, 并据此对该区水土保持的政策措施提出建议。

## 1 研究思路与方法

### 1.1 高程面积分析的应用

1899 年地貌学奠基人戴维斯 (W. M. Davis) 提出了地貌侵蚀循环学说, 其地貌发育阶段的概念得到地貌学家的广泛认同。20 世纪 50 年代, 斯川勒 (A. N. Strahler) 把高程分析法运用到流域地貌发育研究之中, 探索关于地貌发育阶段的定量表达

收稿日期 (Received date): 2005- 01- 21; 改回日期 (Accepted): 2005- 04- 11。

基金项目 (Foundation item): 中国环境与发展国际合作委员会流域综合管理项目 (AN9103) 与山东省自然科学基金重点资助项目 (Z2000E01)。[Integrated River Basin Management Project of China Council for International Cooperation on Environment and Development, No. AN9103; Key Project of Natural Science Foundation of Shandong Province, No. Z2000E01]

作者简介 (Biography): 姜鲁光 (1978- ), 男, 山东临沂人, 中国科学院地理科学与资源研究所博士研究生, 研究方向为流域资源环境综合管理, 已发表学术论文 16 篇。[Jiang Luguang, male, born in 1978 in Linyi, Shandong Province, PhD Candidate, His major is Integrated River Basin Management. E-mail: jianglg@igsnrr.ac.cn]

式<sup>[13]</sup>。由于现存地貌形态真实记录了以往内外营力相互作用的水平和结果, 因而高程分析法被认为是确定流域物质分配状况的相对可靠的方法。高程面积分析的结论可判断流域侵蚀发育阶段提供依据, 进而可用于判断流域水土流失的自然侵蚀背景。

设全流域面积为  $A$ , 流域内某条等高线以上的面积为  $a$ , 该等高线与流域最低点的高差为  $h$ , 流域最高点与最低点的高差为  $H$ , 记  $X = a/A$ ,  $Y = h/H$ , 显然  $X, Y$  均在  $[0, 1]$  内取值。根据一系列  $(X, Y)$  值, 以  $X$  为横坐标,  $Y$  为纵坐标绘出高程—面积曲线, 曲线左下方与坐标轴之间的相对面积即为高程面积积分值<sup>[13]</sup>。通过对比各流域对应的曲线及积分值, 得出研究结论。

## 1.2 数据来源与指标构建

各流域的年均侵蚀量根据山东省水土流失普查数据<sup>1)</sup>计算。流域面积通过 MapInfo 的面积量算功能自动计算。年均侵蚀量与流域面积之比即得流域侵蚀模数。各流域侵蚀模数的对比可以反映流域之间实际侵蚀量的差异。

高程面积积分 (简称高程积分, 用 “ $I$ ” 表示) 是反映流域地貌侵蚀阶段的指标。高程积分大的流域, 说明地貌发育尚未达到均衡状态, 流域自然侵蚀较强烈; 反之, 高程积分小的流域, 其地貌发育接近准平原状态, 流域自然侵蚀较弱。因而, 高程积分反映了流域侵蚀的自然背景。由于侵蚀模数与高程积分的量纲不统一, 原始数值没有可比性。通过标准化处理, 本文设计了 “实际侵蚀指数” ( $E$ )、 “自然侵蚀指数” ( $EN$ ) 和 “人为侵蚀指数” ( $EH$ ) 三个衡量水土流失的指标:

实际侵蚀指数:  $E_i = M_i / M_{max} (0 \leq E_i \leq 1)$

自然侵蚀指数:  $EN_i = I_i / I_{max} (0 \leq EN_i \leq 1)$

人为侵蚀指数:  $EH_i = E_i - a EN_i (-1 \leq EH_i \leq 1)$

其中  $M_i$  和  $I_i$  分别指第  $i$  流域的侵蚀模数和高程积分,  $M_{max}$  和  $I_{max}$  分别指所有流域侵蚀模数和高程积分的最大值,  $a$  为自然侵蚀指数的权重, 根据区域地貌演进特点取值。

## 1.3 自然与人为侵蚀评估的综合技术方案

基于以上分析, 设计了地貌演进背景下定量评估流域自然与人为侵蚀强度的技术方案 (图 1):

1. 根据区域地貌演进研究成果, 判定最新地文期的起始时代及其前一地文期剥夷面的高度; 进行流域地貌的高程面积分析, 并求得各流域的高程

面积积分 ( $I$ ); 对高程面积积分进行最大值标准化即得自然侵蚀指数 ( $EN$ )。

2. 根据水土流失现状调查数据, 判定流域侵蚀模数 ( $M$ ); 对侵蚀模数进行最大值标准化即得到实际侵蚀指数 ( $E$ )。

3. 根据高程面积积分判定流域自然侵蚀量, 进而通过自然侵蚀量与实际侵蚀量的对比确定自然侵蚀指数的权重 ( $a$ )。

4. 根据  $EH_i = E_i - a EN_i$ , 计算各流域人为侵蚀指数。通过对比人为侵蚀指数的流域差异, 得出对区域人为侵蚀强度空间规律的认识, 进而确定水土保持工作的重点流域。

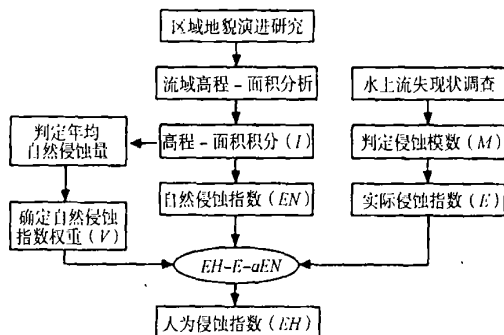


图 1 自然与人为侵蚀定量区分的技术方案

Fig. 1 Technical frame of quantitative assessment of natural and human erosion

## 2 鲁中南山地概况与地貌演进背景

鲁中南山地位于山东省中南部, 东以郯庐断裂与胶东丘陵为界, 南抵苏鲁边界, 北、西部大致以 50 m 等高线与鲁西北平原分界, 包括泰山、鲁山、沂山、蒙山、徂徕山、尼山等山脉, 总面积为 33 524 km<sup>2</sup>, 其中海拔 600 m 以下的面积占总面积的 95% 以上 (图 2)。

### 2.1 地质基础

鲁中南山地出露的地层较为丰富, 其中以太古代泰山群片麻岩、寒武奥陶系灰岩、页岩及不同时代侵入的花岗岩体为主, 共占研究区面积的 80% 以上。鲁中南山地发育了北北东、北西西向等断裂构造, 在中生代及老第三纪曾强烈活动, 以北西西向主干断裂分划的泰鲁沂山、蒙山、尼山等断块呈向北掀斜抬升。但新第三纪以来, 由于构造应力场的转变, 各断裂活动强度明显减弱甚至基本停止活动, 第四纪期间基本上以整体性抬升为构造特征。

1) 山东省国土规划领导小组办公室. 山东省国土资源数 LTU 据集 (自然资源卷), 1992

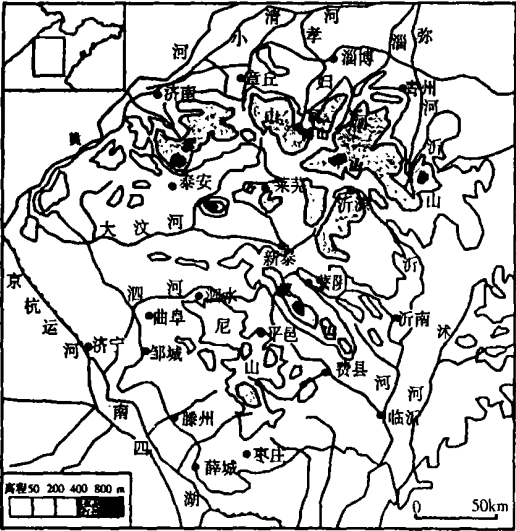


图 2 研究区位置与地形

Fig. 2 Location and topography of the research area

黄河夺大清河入海前与小清河有密切联系<sup>[14]</sup>，因而在本文中也划为小清河水系；②向西、西南流的汶泗河水系，在本文中又将大汶河的两条支流牟汶河与柴汶河（又名小汶河）分别计算；③向东、东南流的沂河水系，自南向北划分为 河、蒙河、东汶河、沂河上游四个次级流域单元分别计算（图 3）。

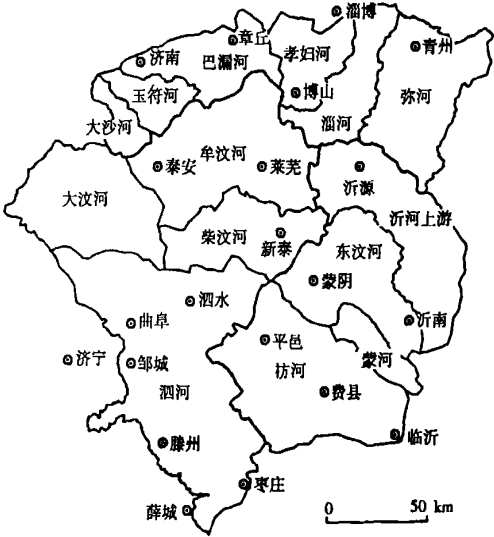
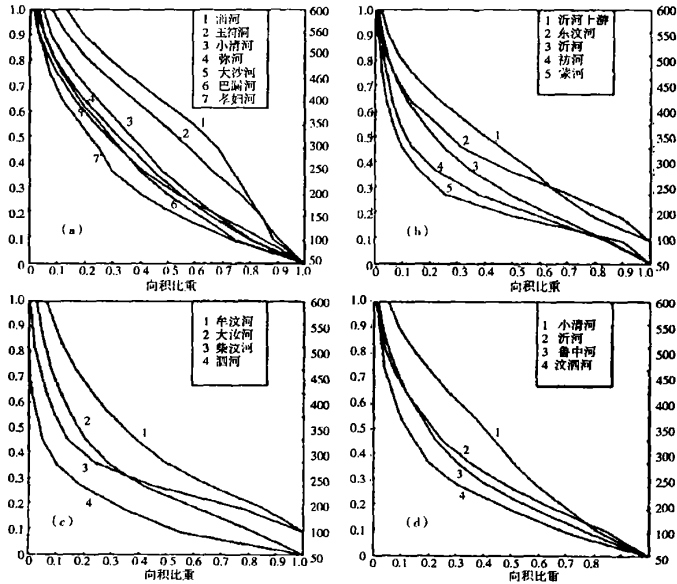


图 3 研究区流域划分

Fig. 3 Catchments in the research area

2.2 流域划分

流水作用是鲁中南山地地貌演进的主要外营力，因而本文以流域为单元对研究区水土流失的自然背景与人为因素进行分析。研究区可分为三大水系：①向北流的小清河水系，包括弥河、淄河、孝妇河、巴漏河等次级流域，由于玉符河、大沙河在



(a) 小清河流域; (b) 沂河流域; (c) 汶泗河流域; (d) 鲁中南山地及三大流域  
(a) Catchments of Xiaoqing River basin; (b) Catchments of Yihe Riverbasin; (c) Catchments of Wensu River Basin; (d) the whole area and the 3 river basins

(a) 小清河流域; (b) 沂河流域; (c) 汶泗河流域; (d) 鲁中南山地及三大流域  
(a) Catchments of Xiaoqing River basin; (b) Catchments of Yihe Riverbasin; (c) Catchments of Wensu River Basin; (d) the whole area and the 3 river basins

图 4 鲁中南山地及各流域高程—面积曲线

Fig. 4 Altitude-area curves of different catchments in the research area

### 2 3 地貌演进模式

近百年来, 众多学者对鲁中南山地的地质地貌作过较多调查, 一般将鲁中南山地晚第三纪以来的地貌演进划分为仰平期<sup>[15]</sup>与临城期<sup>[16-17]</sup>两个地貌发育旋回, 并相应发育了两期剥夷面。仰平期剥夷面分布于鲁中南山地的山顶位置, 平均海拔约 600 m, 形成于中新世至上新世。临城期剥夷面构成鲁中南山地外围的剥蚀平原及山地内部的宽浅河谷面, 海拔多在 200 m 以下, 其发育起始于上新世末期至第四纪早期 (约 2.5 Ma BP), 一直延续至今<sup>[15-17]</sup>。因此, 鲁中南山地第四纪地貌演进的过程就是仰平期剥夷面不断解体破碎, 临城期剥夷面不断溯源扩展的过程。这一地貌过程成为研究区水土流失的自然背景。

## 3 鲁中南山地自然与人为侵蚀评估

### 3 1 高程面积积分与流域侵蚀阶段

根据鲁中南山地地貌特征, 绘出各流域高程面积曲线 (图 4) 并求得高程积分。各流域高程积分介于 0.15 和 0.6 之间, 属于地貌侵蚀发育的壮年—老年期, 其流域地貌侵蚀阶段如表 1 所列。各流域高程积分的分布有如下规律: 就三大流域而言,

北侧的小清河流域积分值最高, 为 0.407 1, 东侧的沂河流域积分值 (0.322 2) 高于西侧的汶泗河流域 (0.244 5)。

在小清河流域各次级流域单元中, 淄河与玉符河的积分值较高, 这是因为它们分别位于鲁山、泰山单斜北翼的核心位置, 受构造抬升影响最为明显; 弥河、大沙河、巴漏河、孝妇河流域的积分值较低, 这与流域内临城期宽谷与剥夷面较发育有关。对于汶泗河与沂河流域内的各次级流域单元而言, 北侧的积分值普遍高于南部。比如, 对于汶泗河流域, 有: 汶河> 泗河, 牟汶河> 柴汶河; 对于沂河流域, 有: 河> 东汶河> 沂河上游, 只有蒙河例外, 积分值偏小, 可能与第四纪期间蒙河上游遭受东汶河袭夺有关。上述高程积分的差异反映了流域自然侵蚀背景的差异 (表 1, 图 5)。

3.2 第四纪年均侵蚀量估算与自然侵蚀权重确定  
如果能够确定两期剥夷面的相对高度与时间间隔, 就能大致估算两期剥夷面之间的总侵蚀量与年均侵蚀量。将这一侵蚀量与目前河流的输沙量相比较, 就能判断目前水土流失量中有多大比例是由人类活动造成的。

根据本文高程积分计算结果, 可以粗略推断鲁中南山地第四纪 (临城期) 侵蚀量: 鲁中南山地的

表 1 鲁中南山地流域地貌的高程面积积分及侵蚀强度判定  
Table1 Altitude-area integral and erosion indexes of different catchments

流域名称	流域面积 (km <sup>2</sup> )	侵蚀模数 (10kt/km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	侵蚀指数 (EI)	高程面积 积分 (I)	地貌发育阶段	自然侵蚀 指数 (EN)	a·EN	人为侵蚀 指数 (EH)	人为侵蚀 强度分级
沂河流域	10 240.3	0.429 7	0.758 4	0.322 2	老年 (偏壮) 期	0.551 0	0.183 7	0.574 7	强烈
河流域	4 020.6	0.348 2	0.614 5	0.265 7	老年 (偏壮) 期	0.454 3	0.151 4	0.463 1	强烈
蒙河流域	677.1	0.295 4	0.521 4	0.235 9	老年期	0.403 4	0.134 5	0.386 9	较强
东汶河流域	2 472.2	0.566 6	1.000 0	0.398 6	壮年 (偏老) 期	0.681 6	0.227 2	0.772 8	剧烈
沂河上游	3 073.0	0.455 7	0.804 3	0.448 2	壮年 (偏老) 期	0.766 4	0.255 5	0.548 8	强烈
汶泗河流域	15 143.6	0.265 5	0.468 6	0.244 5	老年期	0.418 1	0.139 4	0.329 2	较强
泗河流域	6 602.3	0.227 2	0.401 0	0.159 7	老年期	0.273 1	0.091 0	0.310 0	较强
大汶河流域	8 541.3	0.295 0	0.520 6	0.301 9	老年 (偏壮) 期	0.516 2	0.172 1	0.348 5	较强
牟汶河流域	3 725.2	0.349 0	0.616 0	0.443 2	壮年 (偏老) 期	0.757 9	0.252 6	0.363 4	较强
柴汶河流域	1 976.3	0.414 9	0.732 3	0.303 8	老年 (偏壮) 期	0.519 5	0.173 2	0.559 1	强烈
小清河流域	8 152.3	0.184 5	0.325 6	0.407 1	壮年 (偏老) 期	0.696 1	0.232 0	0.093 6	中等
大沙河流域	468.7	0.147 2	0.259 8	0.361 1	壮年 (偏老) 期	0.617 5	0.205 8	0.054 0	中等
玉符河流域	732.6	0.129 7	0.228 9	0.525 9	壮年期	0.899 3	0.299 8	- 0.070 9	较弱
巴漏河流域	1 621.0	0.154 2	0.272 1	0.351 7	壮年 (偏老) 期	0.601 4	0.200 5	0.071 6	中等
孝妇河流域	120 6.8	0.174 0	0.307 1	0.292 5	老年 (偏壮) 期	0.500 2	0.166 7	0.140 4	中等
淄河流域	143 8.2	0.264 2	0.466 3	0.584 8	壮年期	1.000 0	0.333 3	0.133 0	中等
弥河流域	268 5.2	0.186 2	0.328 6	0.371 5	壮年 (偏老) 期	0.635 3	0.211 8	0.116 8	中等
鲁中南山地	33 523.5	0.296 0	0.522 4	0.307 8	老年 (偏壮) 期	0.526 3	0.175 4	0.347 0	较强

体积为  $6\,191.12\text{ km}^3$ ，仰平期地面（600 m）未被侵蚀时的体积为  $20\,114.10\text{ km}^3$ ，因而第四纪侵蚀量约为  $13\,922.98\text{ km}^3$ ，侵蚀速率约为  $0.17\text{ mm/a}$ ，年均侵蚀量为  $5.57\times 10^{-3}\text{ km}^3$ ，约合  $1.4\times 10^7\text{ t}$ ，大致相当于现有河流输沙量的  $1/4$ 。

以上计算表明：对于鲁中南山地整体而言，由于地貌演化造成的自然侵蚀量只占水土流失总量的  $1/4$ ，另外  $3/4$  则是由人为因素造成。由此可见，自然侵蚀量与人为侵蚀量之比为  $1/3$ ，因而将自然侵蚀指数的权重（a）赋值为  $1/3$ 。

3.3 人为侵蚀强度估算及其流域对比

水土流失调查结果表明：位于研究区中部的东汶河、沂河上游、柴汶河、牟汶河等流域的侵蚀模数较大，其相应的实际侵蚀指数（E）亦较大；而位于研究区北侧的玉符河、大沙河、巴漏河等流域以及南侧的泗河、蒙河等流域的侵蚀模数和实际侵蚀指数（E）较小（图 5-a、b）。

由于自然侵蚀指数（EN）是对高程积分进行

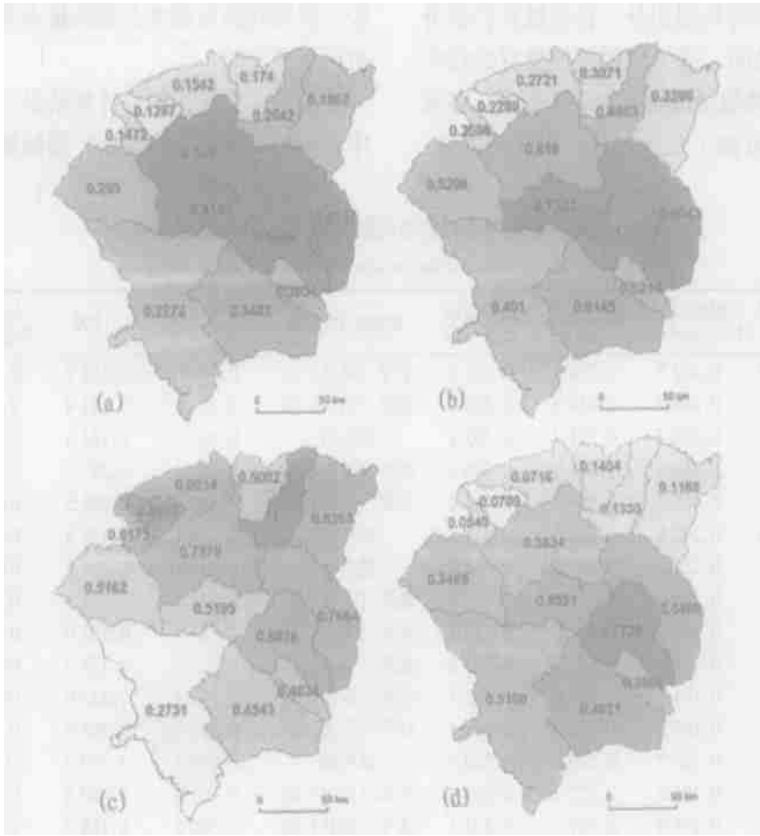
标准化处理的结果，因而研究区自然侵蚀指数的空间分布规律与高程积分的空间分布规律一致（图 5-c）。

根据  $EH_i = E_i - aEN_i$ ，得到各流域人为侵蚀指数（EH）（图 5-d）。据其数值大小可将研究区人为侵蚀强度分为剧烈（ $EH \geq 0.60$ ）、强烈（ $0.40 \leq EH < 0.60$ ）、较强（ $0.20 \leq EH < 0.40$ ）、中等（ $0 \leq EH < 0.20$ ）和较弱（ $EH < 0$ ）5 个等级（见表 1）。

计算结果表明：研究区东南部的东汶河流域人为侵蚀最为剧烈，其附近的沂河上游、柴汶河、河等流域的人为侵蚀强度亦较强烈，而研究区北侧的玉符河、大沙河、巴漏河等流域人为侵蚀较弱（图 5）。

4 结论与讨论

1. 流域自然与人为侵蚀的定量评估具有重要



(a) 侵蚀模数 (M) / (10 kt/km<sup>2</sup>)；(b) 实际侵蚀指数 (E)；(c) 自然侵蚀指数 (EN)；(d) 人为侵蚀指数 (EH)

(a) Erosion modulus (M) / (10 kt/km<sup>2</sup>)；(b) Erosion Index (M)；(c) Natural Erosion Index (EN)；(d) Human Erosion Index (EH)

图 5 鲁中南山地各流域水土流失指标的空间分布

Fig. 5. Distribution characteristics of erosion indexes of different catchments

的理论意义和应用价值。在人力、财力有限的情况下, 水土保持工作的重点应放在那些自然侵蚀所占比例较小而人为侵蚀所占比例较大的流域。

2. 本文对鲁中南山地的研究表明: 自然侵蚀背景较大的流域主要分布在研究区北部的淄河、玉符河等流域。而人为侵蚀较强的流域主要分布在研究区东南部, 尤以东汶河流域最为剧烈, 柴汶河、沂河上游与 河流域的人为侵蚀也非常强烈。因而, 位于鲁东南的东汶河、柴汶河、沂河上游与 河流域应是研究区水土保持工作的重点流域。

3. 地貌演进是流域水土流失的自然背景, 同时又是一个在大时空背景下的复杂自然过程。对流域地貌演进格局、过程与机理研究的细致程度决定着对流域自然与人为侵蚀评估的精度, 因此, 加强流域地貌基础理论研究、提高地貌演进研究的时空分辨精度势在必行。

## 参考文献 (References):

- [1] W. R. Osterkamp, T. J. Toy. Geomorphic considerations for erosion prediction [J]. *Environmental Geology*, 1997, **29** (3/4): 152~157
- [2] A. E. Mather, M. Stokes, J. S. Griffiths. Quaternary landscape evolution: a framework for understanding contemporary erosion, southeast Spain [J]. *Land Degradation & Development*, 2002, **13** (2): 89~109
- [3] Li Qiang. An approach to the theory and method on natural and accelerated erosions [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, **3** (3): 1~8, 14 [ 励强. 自然侵蚀和加速侵蚀的理论和方法的探讨 [J]. 水土保持学报, 1989, **3** (3): 1~8, 14]
- [4] Zheng Fenli, Tang Keli, Zhang Keli, et al. Relationship of eco-environmental change and natural erosion and man-made accelerated erosion [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15** (3): 251~259 [ 郑粉莉, 唐克丽, 张科利, 等. 自然侵蚀和人为加速侵蚀与环境演变 [J]. 生态学报, 1995, **15** (3): 251~259]
- [5] Xu Enbo. On water and soil losses caused by human beings and its countermeasures [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1995, **13** (2): 132~138 [ 徐恩波. 试论水土流失的人为侵蚀及其防治对策 [J]. 干旱地区农业研究, 1995, **13** (2): 132~138]
- [6] Zhao Jingbo, Zu Xianmo. Evolution and erosion history of Loess Plateau [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, **5** (2): 58~63 [ 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** (2): 58~63]
- [7] Ma Naixi. Relationship between loess geomorphic evolution and soil erosion [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, **16** (2): 6~10 [ 马乃喜. 黄土地貌演化与土壤侵蚀关系的分析 [J]. 水土保持通报, 1996, **16** (2): 6~10]
- [8] Wu Chunlong, Li Bicheng, Lei Huizhu. Quantitative analysis of eroded landform evolution in small watershed [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, **3** (4): 55~61 [ 武春龙, 李璧成, 雷会珠. 小流域侵蚀地貌演化的计量分析 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, **3** (4): 55~61]
- [9] Zhu Zhongli, Mo Duowen, Xu Haipeng. Water and soil loss and geomorphology erosion [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, **6** (4): 86~90 [ 朱忠礼, 莫多闻, 徐海鹏. 水土流失与地貌侵蚀 [J]. 水土保持研究, 1999, **6** (4): 86~90]
- [10] Li Youli, Zheng Gang, Yang Jingchun. Human activities and soil erosion [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, **6** (4): 105~110 [ 李有利, 郑纲, 杨景春. 人类活动与土壤侵蚀 [J]. 水土保持研究, 1999, **6** (4): 105~110]
- [11] Li Yuyuan, Wang Li, Shao Mingan. Impact of neotectonics on soil erosion of Loess Plateau [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, **15** (5): 76~78, 85 [ 李裕元, 王力, 邵明安. 新构造运动对黄土高原土壤侵蚀的影响 [J]. 水土保持学报, 2001, **15** (5): 76~78, 85]
- [12] Zhao Shanlun, Yin Min, Zhang Wei. An analysis on the spatial features of soil erosion in Shandong Province based on GIS [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, **22** (6): 694~699 [ 赵善伦, 尹民, 张伟. GIS 支持下的山东省土壤侵蚀空间特征分析 [J]. 地理科学, 2002, **22** (6): 694~699]
- [13] Cheng Jicheng, Jiang Meiqiu. Models for drainage geomorphology [M]. Beijing: Science Press, 136~146 [ 承继成, 江美球. 流域地貌数学模型 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. 136~146]
- [14] Zhang Zuh. A preliminary study of the Yellow River's paleochannels in North Shandong Plain [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1990, **45** (1): 457~466 [ 张祖陆. 鲁北平原黄河古河道初步研究 [J]. 地理学报, 1990, **45** (1): 457~466]
- [15] Zhao Jian. Mountain landform of Lushan, Shandong Province [J]. *Journal of Shandong Normal University (Natural Science)*, 1995, **10** (4): 406~411 [ 赵建. 山东鲁山山地地貌 [J]. 山东师大学报 (自然科学版), 1995, **10** (4): 406~411]
- [16] Chen Jiyu. Mountain Landform of Taishan [A]. In: Geography symposium of East China Normal University (Issue 1) [C]. Shanghai: East China Normal University Press, 1958. 39~61 [ 陈吉余. 泰山地区的山地地貌 [A]. 见: 华东师范大学地理集刊 (第1辑) [C]. 上海: 华东师范大学出版社, 1958. 39~61]
- [17] Yang Xuejun. Primary study on mountain landform evolution in Shandong Province [J]. *Journal of China Ocean University*, 1965, (2): 11~20 [ 杨学君. 山东低山与丘陵区地貌发育史的初步探讨 [J]. 山东海洋学院学报, 1965, (2): 11~20]

# Quantitative Assessment on Natural and Human Erosion Based on the Study of Geomorphologic Evolution

——A Case Study of Luzhongnan Mountainous Area, Shandong Province

JIANG Luguang<sup>1,3</sup>, ZHAO Huixia<sup>1,3</sup>, ZHANG Zulu<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China;*

3. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

**Abstract:** Soil erosion is related not only to the unreasonable use of land surface, but also to the natural process of landform evolution. It is the basis for rational soil conservation policy and project to distinguish the natural erosion and man-made erosion (human erosion). The mountainous area in central and southern Shandong province (Luzhongnan mountainous area), more than 33 000 square kilometers, is the severest area of soil erosion in the province.

Taking Luzhongnan mountainous area as a typical case and based on the study of regional geomorphologic evolution, the technical method on quantitative assessment on natural and human erosion is proposed in this paper. Aided by GIS software of MapInfo and ArcView, the altitude-area integral and geomorphologic evolution stage of each catchment in Luzhongnan mountainous area are all determined. The erosion amount per year during Quaternary is also estimated. By construction of Erosion Index, Natural Erosion Index and Human Erosion Index, the spatial patterns of natural erosion background and human erosion intensity are revealed.

It is indicated that the natural erosion velocity is 0.17mm/a and the natural erosion intensity is only 1/3 of that of human erosion in the research area. The natural erosion is more intensive in the catchments northern of the research area while the human erosion is more intensive in the southeastern catchments. Under the circumstance of shortage of manpower and financial support, catchments that human erosion plays a more important role should be conserved over all other catchments. So, as Luzhongnan mountainous area is concerned, the catchments in the southeast of the research, named as East Wenhe River, Chaiwenhe River, Benghe River and the upper reaches of Yihe River should be conserved above all.

**Key words:** soil erosion; geomorphologic evolution; natural erosion; human erosion; altitude-area analysis