

# 沂蒙山区土壤侵蚀垂直景观格局的分形特征

王 瑶<sup>1,2</sup>, 刘前进<sup>1,3</sup>, 于兴修<sup>1,3\*</sup>

(1. 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 临沂 276000; 2. 临沂师范学院实验中心, 临沂 276000;  
3. 临沂师范学院化学与资源环境学院, 临沂 276000)

**摘 要:** 以北方土石山区的典型代表沂蒙山区为研究区, 以 TM 影像和地形图为源数据, 根据全国土壤侵蚀分类分级标准, 综合运用 GIS 和 RS 技术, 获取以 50 m 为带宽的土壤侵蚀强度垂直分带数据。在 Fragstats3.3 中提取周长面积分维数 ( $D$ ), 计算稳定性指数 ( $SI$ ), 旨在揭示沂蒙山区土壤侵蚀分形的垂直变化特征。结果表明, 土壤侵蚀景观在垂直维度上具有明显的分异性。在景观水平上, 土壤侵蚀景观周长面积分维数 ( $D$ ) 随高程呈先迅速增大后缓慢增大趋势, 稳定性指数 ( $SI$ ) 则呈先急剧减小后缓慢减小趋势。在缀块类型水平上, 对于研究区,  $D$  值在土壤侵蚀等级上由大到小顺序为中度 > 轻度 > 强烈 > 极强烈 > 剧烈 > 微度,  $SI$  值由小到大的顺序为轻度 < 强烈 < 中度 < 极强烈 < 剧烈 < 微度; 随着高程的增加, 微度、强烈、极强烈和在较低高程带 ( $\leq 200$  带) 上的轻度侵蚀景观,  $D$  值增大,  $SI$  值减小; 剧烈和较高高程带上的轻度侵蚀景观,  $D$  值与  $SI$  值呈减小趋势; 较高高程带 ( $> 200$  带) 上的中度侵蚀景观,  $D$  值与  $SI$  值呈增大趋势; 表明, 人类活动对较高强度 (强烈和极强烈) 侵蚀景观的格局及其稳定性相比自然因素具有较高的决定性; 在较高海拔带, 较低级别 (中度和轻度) 的侵蚀景观格局及其稳定性受自然因素影响较大。

**关键词:** 土壤, 侵蚀, 分形, 景观格局, 垂直维度, 沂蒙山区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.052

中图分类号: S157.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0304-06

王 瑶, 刘前进, 于兴修. 沂蒙山区土壤侵蚀垂直景观格局的分形特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 304—309.  
Wang Yao, Liu Qianjin, Yu Xingxiu. Fractal characteristics of vertical landscape of soil erosion in the Yimeng mountainous area[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 304—309. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

对土壤侵蚀景观格局进行分析, 可以揭示土壤侵蚀空间格局与生态过程及其驱动因素, 为有针对性地治理土壤侵蚀提供科学依据<sup>[1]</sup>。魏建兵等<sup>[2]</sup>以黑土侵蚀区双阳河流域为案例, 提取地形和土壤类型相对接近的 30 个上游子流域作为分析样本, 研究了景观指数与侵蚀模数的呼应关系。邹爱平等<sup>[3]</sup>利用 RS、GIS 和景观生态学研究方法, 对长汀县根溪河小流域侵蚀景观空间格局、景观组成结构特征进行了定量分析。姚华荣等<sup>[4]</sup>分析了澜沧江流域云南段的不同类型和强度的土壤侵蚀与地形坡度的关系。许月卿等<sup>[5-6]</sup>以贵州省猫跳河流域为研究区, 在 GIS 技术支撑下, 应用修正的土壤流失方程 (revised universal soil loss equation, RUSLE) 计算土壤侵蚀量, 分析了土壤侵蚀的空间分布格局。王库等<sup>[7-8]</sup>从景观和斑块类型水平上利用 10 多种景观格局指数分析了兴国县土壤侵蚀分布的格局及其变化规律。沈中原等<sup>[9]</sup>利用分维数和稳定性指数分析了大理河流域土壤侵蚀的空间格局及其影响因素。

上述研究注重对土壤侵蚀景观的水平格局研究, 在

垂直维度上刻画土壤侵蚀景观格局的研究较少<sup>[10]</sup>。邱杨等<sup>[11]</sup>研究表明在黄土丘陵沟壑区相对海拔对土壤侵蚀空间分布的影响比其他因子显著; 李月臣等<sup>[12]</sup>研究表明三峡库区重庆段的水土流失格局具有明显的垂直分异特征; 张明阳等<sup>[13]</sup>对广西环江县喀斯特区域 1986、1995 和 2000 年水土流失在高程分带上分异格局进行了对比研究; 沈中原等<sup>[14]</sup>研究了大理河流域土壤侵蚀面积空间分布的高程、坡度、坡向和起伏度等地貌特征, 结果表明流域土壤侵蚀空间分布的高程特征呈现峰值现象。上述研究表明, 土壤侵蚀景观格局在垂直维度上具有明显的分异性, 对研究土壤侵蚀过程具有重要意义, 但是研究并不深入。因此, 专题研究土壤侵蚀垂直景观特征, 可以协同其水平特征研究, 更全面地揭示土壤侵蚀景观空间格局。

分形理论因其对自然界和人类社会一些不规则、不稳定和具有高度复杂结构的现象具有极强的概括能力和解释力, 已经广泛应用于自然科学和社会科学的诸多方面<sup>[15]</sup>。分形维数能够直接反应土壤侵蚀空间格局的复杂程度和人类通过调整土地利用结构和植被覆盖度等活动对土壤侵蚀干扰的强度<sup>[9,14,16]</sup>, 是深入研究土壤侵蚀空间分布规律及其驱动因素的有力工具。

沂蒙山区是北方土石山区的典型代表, 土壤表层疏松, 夹杂石砾, 土层浅薄, 土壤涵养水能力低, 人口密度大, 土壤侵蚀面积达 50%, 是中国土壤侵蚀治理的重点区, 但是该区的土壤侵蚀研究相对缺乏。运用分形理论, 研究沂蒙山区不同高程带上土壤侵蚀景观格局, 探究土壤侵蚀垂直空间分布规律, 可以弥补以往注重从水平方向上研究土壤侵蚀空间格局的不足, 为进一步研究

收稿日期: 2009-09-20 修订日期: 2010-10-08

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划 (NCET-08-0877); 山东省博士基金项目 (2007BS08025); 临沂市重大科技创新项目 (080101003)

作者简介: 王 瑶 (1967—), 女, 山东临沂人, 副教授, 主要从事水土资源利用研究。临沂 临沂师范学院实验中心, 276000。

Email: Wangyao\_67@126.com

\*通信作者: 于兴修 (1967—), 男, 山东莒县人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事资源利用与环境效应研究。临沂 临沂师范学院化学与资源环境学院, 276000。Email: xxy2000@126.com

土壤侵蚀景观格局时空变异规律及其驱动因子提供思路与方法借鉴，也可为该区乃至北方土石山区的水土保持提供科学依据。

1 研究区概况

沂蒙山区位于山东省中南部，选择其中的苍山、费县、平邑、沂南、蒙阴和沂水共 6 个县区为研究区（图 1）。研究区面积 11 336 km<sup>2</sup>，人口密度为 497 人/km<sup>2</sup>，海拔范围为 21~1 155 m，丘陵山地占 84%。土壤类型以褐土和棕壤为主；气候为暖温带季风大陆型气候，四季分明，气候温和，多年平均年降水量 824.8 mm，降雨年际变化大，主要集中在 6—9 月。

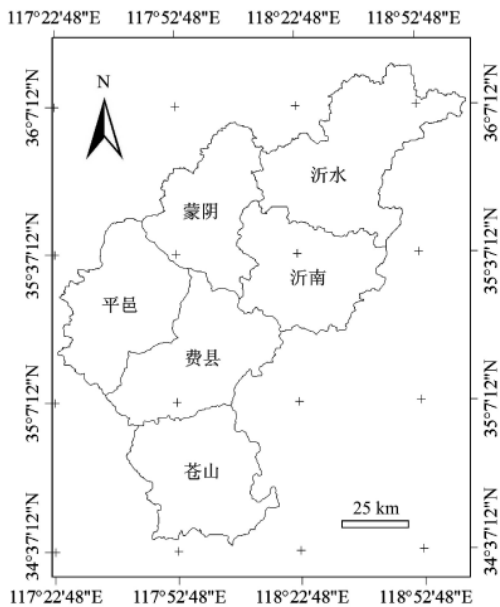


图 1 研究区位置  
Fig.1 Location of study area

2 研究方法

国内外众多学者通过建立土壤侵蚀模型和定位观测来估算土壤侵蚀，其中以美国修正的通用土壤流失方程（RUSLE）最为常用。包括通用土壤侵蚀方程在内，至今尚无一个在各种尺度和各个区域都真正“通用”的土

壤侵蚀评估模型。在实际应用中可以暂时避开利用具体模型对土壤侵蚀进行“精确预测”，转而研究土壤侵蚀相对“变化趋势”和土壤侵蚀强度空间分布，达到分类决策控制土壤侵蚀的目的。

根据《土壤侵蚀分类分级标准》（SL190-2007）<sup>[17]</sup>，借鉴相关学者研究成果<sup>[6,18-19]</sup>，将研究区土壤侵蚀强度划分为 6 级。为突出人为干扰，更加准确体现土地利用类型对土壤侵蚀的影响，在《土壤侵蚀分类分级标准》对土地利用类型规定类别的基础上，增加水域、居民地和未利用地 3 种土地利用类型，建立土壤侵蚀强度分级指标，见表 1。在 ENVI 平台上解译 2004 年 5 月份遥感影像，获取土地利用类型数据，利用植被指数模型提取植被覆盖度数据；在 ArcGIS9 中数字化 1：100 000 地形图建立数字高程模型，生成坡度图；将坡度图、土地利用类型图和植被覆盖度图叠加，得到土壤侵蚀强度等级分布数据，其中裸岩和沙地归为微度土壤侵蚀等级。在空间分析模块下，利用 DEM 划分高程带。为较细致地反映不同高程带上土壤侵蚀强度空间分布特征，采用高程带宽为 50 m。鉴于高程 800 m 以上各带的面积小于 10 km<sup>2</sup>，且总面积所占比例较小（0.17%），因此大于 800 m 以上区域不予分析。各带范围及其面积见表 2。

利用土壤侵蚀强度分带数据，在 Fragstats3.3 中提取周长面积分维数（*D*）。提取数据时所用的分带数据为栅格数据格式，在 Fragstats3.3 中选择导入的数据类型为 ArcGird，选择统计数据输出类型（output statistics）为景观水平格局指数（landscape matric），在统计参数中先择 Perimeter-Area Fractal Dimension，运行程序后得到周长面积分维数 *D* 值。*D* 值的大小代表了该景观要素镶嵌结构的复杂性与稳定性。对于某种景观要素而言，*D* 值越大，就表示该要素的镶嵌结构越复杂；当 *D*=1.50 时，表示该景观要素处于一种类似于布朗运动的随机状态，即最不稳定状态；*D* 值越接近 1.5，就表示该要素越不稳定<sup>[20]</sup>。根据徐建华<sup>[21]</sup>等定义的计算式（1）计算土壤侵蚀景观结构稳定性指数（*SI*）。

$$SI=|1.5-D| \tag{1}$$

式中，*SI* 的理论值为 0~0.5；*D* 为周长面积分维数。*SI* 值越大，表明 *D* 值偏离不稳定状态越远，其空间结构越稳定。

表 1 研究区土壤侵蚀强度分级指标  
Table 1 Classification indexes of soil erosion intensity in study area

植被覆盖度		坡度/(°)						
		0~3	>3~5	>5~8	>8~15	>15~25	>25~35	>35
非耕地林草 覆盖度分级	>75%	微度	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	>60%~75%	微度	微度	轻度	轻度	轻度	中度	中度
	>45%~60%	微度	微度	轻度	轻度	中度	中度	强烈
	30%~45%	微度	微度	轻度	中度	中度	强烈	极强烈
	<30%	微度	微度	中度	中度	强烈	极强烈	剧烈
耕地及其他 土地类型	坡耕地	微度	轻度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
	水面	微度	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	居民地	微度	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	未利用地	微度	微度	微度	微度	微度	微度	微度

注：不同的土地类型依据不同的侵蚀因子作为强度判别标准。对于非耕地采用植被覆盖度与坡度两个因子来判别土壤侵蚀强度等级，对于耕地则采用坡度因子直接判别土壤侵蚀强度，而对于未利用地类型（主要为裸岩）因无土壤可侵蚀，所以定为微度等级。

表 2 高程带划分及其面积  
Table 2 Elevation belts and their areas

高程带号	高程范围/m	面积/km <sup>2</sup>	面积比例/%	高程带号	高程范围/m	面积/km <sup>2</sup>	面积比例/%
50	<50	722.9	6.38	500	450~<500	181.3	1.60
100	50~<100	1077.2	9.50	550	500~<550	96.5	0.85
150	100~<150	2233.0	19.70	600	550~<600	57.0	0.50
200	150~<200	2681.2	23.65	650	600~<650	31.8	0.28
250	200~<250	1602.4	14.14	700	650~<700	22.1	0.20
300	250~<300	1223.2	10.79	750	700~<750	13.8	0.12
350	300~<350	643.2	5.67	800	750~800	11.2	0.10
400	350~<400	452.3	3.99		>800	18.9	0.17
450	400~<450	268.0	2.36	合计		11 336	100

3 结果与分析

3.1 景观水平上的土壤侵蚀垂直景观特征

从图 2 看出, 在景观水平上, 从 50~300 带,  $D$  增加幅度较大, 表明人类活动对侵蚀景观的影响程度随高程增加而迅速减小; >300~800 带增加幅度较小, 数值处较高水平, 表明人类活动的影响程度较低。 $SI$  随着高程带的升高呈减小趋势, 其中从 50~300 带, 减小幅度较大, 景观稳定性大幅降低; >300~800 带减小幅度较小, 数值处较低水平, 表明土壤侵蚀景观处于相对不稳定状态。

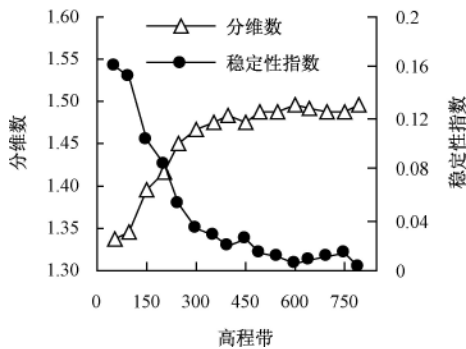


图 2 景观水平上高程带周长面积分维数和稳定性指数  
Fig.2 Perimeter-area fractal dimension and stability index in landscape level

3.2 缀块类型水平上土壤侵蚀垂直景观特征

3.2.1 土壤侵蚀景观基本特征

在缀块类型水平上提取微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈共 6 个等级土壤侵蚀景观的周长面积分维数 ( $D$ ), 并计算稳定性指数 ( $SI$ ), 绘制图 3, 可见,  $D$  值由大到小顺序为中度>轻度>强烈>极强烈>剧烈>微度,  $SI$  由小到大的顺序为轻度<强烈<中度<极强烈<剧烈<微度。除中度侵蚀景观之外,  $D$  和  $SI$  具有较好的对应性。微度侵蚀景观的  $D$  值最小,  $SI$  最大, 表明微度侵蚀景观缀块形状最为规则, 且稳定性最高。中度侵蚀景观缀块形状最复杂, 但是相比较轻度和强烈侵蚀景观, 其稳定性较差。

3.2.2 土壤侵蚀景观垂直特征

将高程带和不同强度土壤侵蚀景观的  $D$  与  $SI$  点绘如图 4。分析图 4 可知, 不同土壤侵蚀强度景观的  $D$  和  $SI$  在垂直维度上具有明显的分异性。

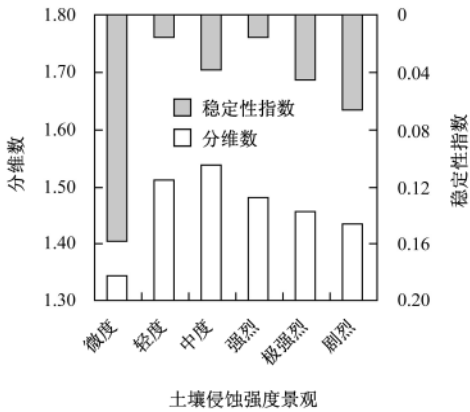


图 3 土壤侵蚀强度景观的周长面积分维数和稳定性指数  
Fig.3 Perimeter-area fractal dimension and stability index of soil erosion landscape pattern in class level

微度侵蚀景观的  $D$  值在 50~200 带随高程增加迅速增大, 在 >200~550 带相对稳定, 在 >550~800 带总体呈增大趋势, 但是波动较大。微度侵蚀景观的  $SI$  随高程变化与其  $D$  值变化具有较好的对应关系, 即从 50~200 带迅速减小, >200~550 带相对稳定, >550~800 带总体呈减小趋势, 波动也较大。

轻度侵蚀景观的  $D$  值从 50~300 带迅速增大, 在 >300~700 带总体呈减小趋势, 但是波动较大, 在 >700~800 带间数值变化幅度很小。 $SI$  从 50~250 带迅速减小; >250~650 带总体呈减小趋势, 但波动较大; 700~800 带间数值变化幅度很小。

中度侵蚀景观的  $D$  值在 50~250 带间波动幅度较大, 从 >250~800 带间随高程增大呈增大趋势。 $SI$  值在 50~250 带波动幅度较大, 但是从 >250~800 带呈增大趋势。

强烈侵蚀景观的  $D$  值在 50~200 带呈急剧下降趋势, 在 >200~800 带呈上升趋势;  $SI$  值在 50~200 带变化剧烈, 在 >200~800 带呈整体下降趋势。

从 150~650 带, 强烈侵蚀景观的  $D$  值总体呈上升趋势,  $SI$  值呈下降趋势; 在 >650~750 带  $D$  值和  $SI$  值分别呈急剧下降和上升趋势。在 50~100 带几乎无极强烈土壤侵蚀景观。

剧烈土壤侵蚀景观在 50~150 带处几乎无分布, 其  $D$  值和  $SI$  值从 200~300 带急剧下降, 在 >300~500 带变化幅度较小, 从 >500~550 带数值迅速增大, 在 >550~800 带呈减小趋势。

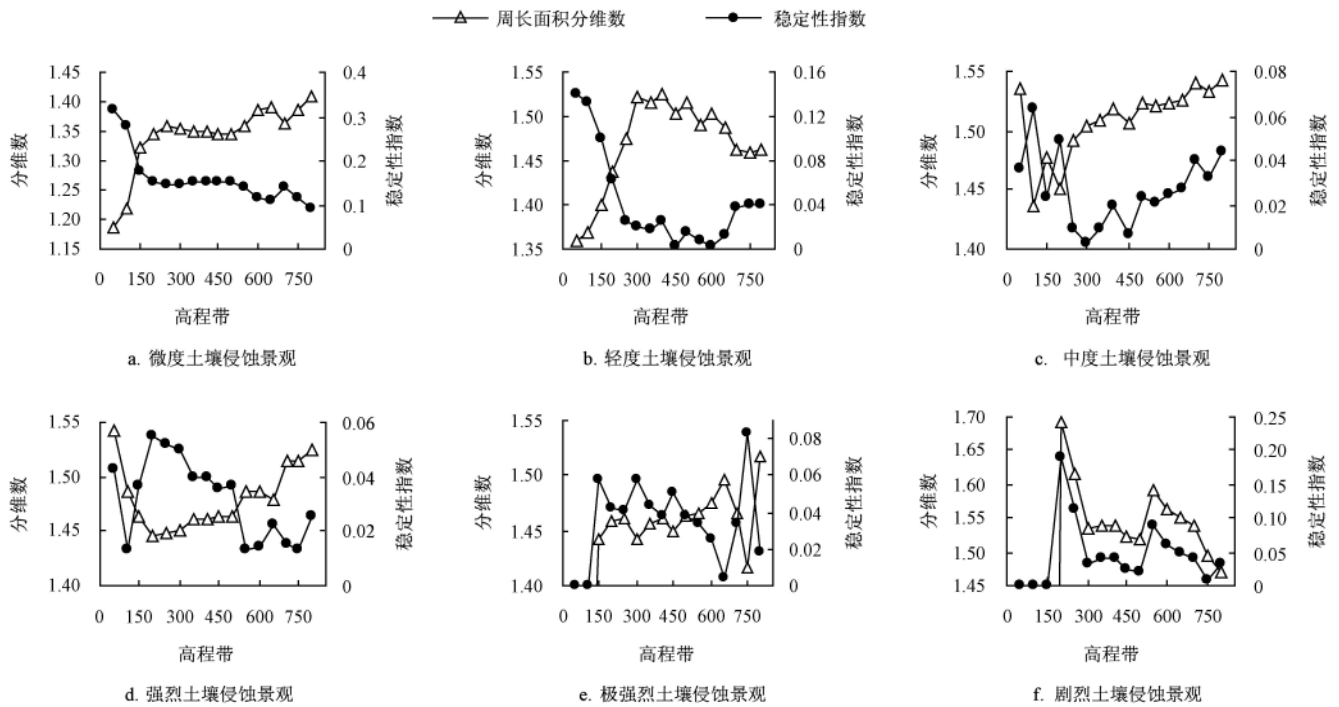


图 4 垂直维度上土壤侵蚀景观级块类型水平上的周长面积分维数和稳定性指数

Fig.4 Perimeter-area fractal dimension and stability index of vertical erosion landscape in class level

为对比分析各土壤侵蚀强度景观随高程的变化特征, 总体上可以将  $D$  和  $SI$  大致划分为在较低高程带 ( $\leq 200$  带) 和较高高程带 ( $> 200$  带) 上予以分析。

#### 1) 较低高程带

$D$  随着土壤侵蚀强度级别的增高由增大渐变为减小趋势。微度和轻度侵蚀景观的  $D$  值随高程增大呈迅速增大趋势; 中度侵蚀景观的  $D$  呈减小趋势, 但是波动较大; 强烈侵蚀景观的  $D$  迅速减小; 极强烈和剧烈侵蚀景观的  $D$  值由于斑块数小于 10 而无数值。由此表明, 在低高程带, 人类活动对较高土壤侵蚀级别的影响随着海拔的增大呈增大趋势, 即人类对低高程带较高处的较剧烈的土壤侵蚀景观干扰较大。

微度、轻度和中度侵蚀景观的  $SI$  值在较低高程带上, 随高程增大呈迅速减小趋势, 但是中度侵蚀景观的  $SI$  波动较大; 强烈侵蚀景观的  $SI$  呈增大趋势; 极强烈和剧烈侵蚀景观的  $SI$  值因无相应景观分布, 不予以分析。 $SI$  随着土壤侵蚀强度级别的增高由减小渐变为增大趋势。由此表明, 在低高程带较低海拔处, 较低级别土壤侵蚀景观具有较高的稳定性。

#### 2) 较高高程带

微度、中度、强烈和极强烈侵蚀景观的  $D$  值呈增大趋势, 且越到海拔高处, 数值波动较大; 轻度和剧烈侵蚀景观的  $D$  值随海拔升高呈降低趋势。表明, 在较高海拔带, 除了轻度和剧烈侵蚀景观, 其他等级的土壤侵蚀景观随着海拔的增大其缀块形状趋向复杂化。剧烈侵蚀景观缀块形状随高程增大趋向规则, 表明较高处的剧烈侵蚀景观得到了较好地改善; 轻度侵蚀景观的  $D$  随高程呈下降趋势, 微度侵蚀景观  $D$  数值变化幅度不大且维持在较低水平, 表明人类在较高海拔处的活动并没有使较

低等级的土壤侵蚀景观缀块形状观趋向复杂化, 因此结果分析 3.1 中的  $D$  和  $SI$  在较高高程带上, 并没有随高程变化而急剧变化。

除中度侵蚀景观外,  $SI$  随高程增大呈降低趋势, 微度、强烈和极强烈侵蚀景观的  $SI$  值在海拔高处的波动较大。表明随着海拔增大, 除了中度侵蚀景观, 其他等级侵蚀景观的稳定性基本呈降低趋势, 其中微度和轻度侵蚀景观的  $SI$  值下降幅度较小。表明较高等级土壤侵蚀景观的稳定性在较高海拔处稳定性较低, 而较低等级侵蚀景观的稳定性呈升高趋势或处较稳定状态。

#### 3.2.3 缀块类型水平上垂直侵蚀景观小结

综上所述, 随着海拔的增加, 对于微度、强烈、极强烈和在较低高程带上的轻度侵蚀景观, 缀块形状趋向复杂, 景观趋向不稳定; 剧烈和较高高程带上的轻度侵蚀景观, 缀块形状趋向规则, 景观趋向不稳定; 较高高程带的中度侵蚀景观, 缀块形状趋向复杂, 景观趋向稳定。就人类对土壤侵蚀的治理活动来说, 其目的主要是促使较高级别的土壤侵蚀景观向较低级别的转化。因此可以推断, 在较低海拔处, 人类活动对较高强度 (强度和极强度) 侵蚀景观的格局及其稳定性相比自然因素具有较高的决定性; 在较高海拔带, 较低级别 (中度和轻度) 的侵蚀景观格局及其稳定性受自然因素影响较大。

通过分析土地利用/覆被变化高程分布特征可以发现土地利用/土地覆被和地貌均具有明显的垂直分异性, 在较低海拔处, 以人类活动作用较剧烈耕地、果园和居民用地为主, 坡度较缓, 生境缀块形状较规则, 随着海拔的升高, 坡耕地减少, 林草地增多, 坡度增大, 人类活动影响减小, 生境缀块形状趋向复杂。由于土壤侵蚀强度决定于土地利用、植被覆盖和坡度的综合影响, 因此

不同的土壤侵蚀强度景观在垂直维度上的分布规律具差异性。因此定量研究人类活动对土壤侵蚀垂直景观格局的影响将具有重要意义。

#### 4 结 论

1) 在景观水平上, 土壤侵蚀景观周长面积分维数( $D$ )随高程呈先迅速增大后缓慢增大趋势, 稳定性指数( $SI$ )则呈先急剧减小后缓慢减小趋势。表明海拔越高, 土壤侵蚀景观的缀块形状越复杂, 人类活动影响程度越小, 景观稳定性越差。

2) 在缀块类型水平上, 对于研究区,  $D$  值在土壤侵蚀等级上由大到小顺序为中度 > 轻度 > 强烈 > 极强烈 > 剧烈 > 微度,  $SI$  值由小到大的顺序为轻度 < 强烈 < 中度 < 极强烈 < 剧烈 < 微度, 表明微度侵蚀景观缀块形状最为规则, 稳定性最高, 中度侵蚀缀块形状最复杂, 但是相比较轻度和强烈侵蚀缀块, 其稳定性较差。在不同高程带上, 随着高程的增加, 对于微度、强烈、极强烈和在较低高程带( $\leq 200$  带)上的轻度侵蚀景观,  $D$  值减小,  $SI$  值增大; 对于剧烈和较高高程带上的轻度侵蚀景观,  $D$  值与  $SI$  值呈减小趋势; 对于较高高程带( $> 200$  带)上的中度侵蚀景观,  $D$  值与  $SI$  值呈增大趋势。

3) 在较低海拔处, 人类活动对较高强度(强烈和极强烈)侵蚀景观的格局及其稳定性相比自然因素具有较高的决定性; 在较高海拔带, 较低级别(中度和轻度)的侵蚀景观格局及其稳定性受自然因素影响较大。其原因是人类活动和自然因素具有明显的垂直分带性。

人类活动对土壤侵蚀景观干扰的强度在一定程度上能通过分维数予以反应, 但是其与自然因素对土壤侵蚀景观的交互作用是非常复杂的。因此, 今后研究应该结合能够直接反应人类活动的土地利用和植被覆盖景观格局, 进一步定量分析人类活动对土壤侵蚀垂直景观格局的影响。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张素梅, 王宗明, 闫百兴, 等. 辉发河流域景观格局与土壤侵蚀的关系研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 29—35.  
Zhang Sumei, Wang Zengming, Yan Baixing, et al. Relationship between landscape pattern and soil erosion of Huifa river watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(3): 29—35. (in Chinese with English abstract)
- [2] 魏建兵, 肖笃宁, 李秀珍, 等. 东北黑土区小流域农业景观结构与土壤侵蚀的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2609—2615.  
Wei Jianbing, Xiao Duning, Li Xiuzhen, et al. Relationship between landscape pattern and soil erosion of an agricultural watershed in the Mollisols region of northeastern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2609—2615. (in Chinese with English abstract)
- [3] 邹爱平, 陈志彪. 根溪河小流域侵蚀景观格局定量分析[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2006, 22(4): 19—23.  
Zou Aiping, Chen Zhibiao. The quantitative analyses of spatial pattern of eroded landscape in the small watershed of Genxi river[J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2006, 22(4): 19—23. (in Chinese with English abstract)
- [4] 姚华荣, 杨志峰, 崔保山. GIS 支持下的澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分析[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 421—429.  
Yao Huarong, Yang Zhifeng, Cui Baoshan. Spatial analysis on soil erosion of Lancang River Watershed in Yunnan Province under the support of GIS[J]. Geographical Research, 2006, 25(3): 421—429. (in Chinese with English abstract)
- [5] 许月卿, 蔡运龙. 贵州省猫跳河流域土壤侵蚀量计算及其背景空间分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 50—54.  
Xu Yueqing, Cai Yunlong. Estimation of soil erosion and its spatial analysis in Maotiaohe watershed, Guizhou Province[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(5): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [6] Xu Y Q, Peng J, Shao X M. Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: A case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China[J]. Environment Geology, 2009, 56: 1643—1652.
- [7] 王库, 史学正, 于东升. 基于景观格局分析的兴国县土壤侵蚀演变研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 94—97.  
Wang Ku, Shi Xuezheng, Yu Dongsheng. Soil erosion dynamic based on landscape pattern in Xingguo county of Jiangxi Province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 94—97. (in Chinese with English abstract)
- [8] Wang K, Wang H J, Shi X Z, et al. Landscape analysis of dynamic soil erosion in Subtropical China: A case study in Xingguo County, Jiangxi Province[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 105: 313—321.
- [9] 沈中原, 李占斌, 李斌斌, 等. 大理河流域土壤侵蚀空间格局分形特征研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(1): 149—153.  
Shen Zhongyuan, Li Zhanbin, Li Binbin, et al. Fractal characteristics of spatial pattern of soil erosion in the Dali river valley on Loess Plateau[J]. Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(1): 149—153. (in Chinese with English abstract)
- [10] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 等. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5521—5531.  
Chen Liding, Liu Yang, Lü Yihe, et al. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5521—5531. (in Chinese with English abstract)
- [11] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤侵蚀的时空变异及其影响因子[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1872—1877.  
Qiu Yang, Fu Bojie, Wang Jun, et al. Spatiotemporal variability of the soil erosion and its relations to the influencing factors on the Loess Plateau, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(9): 1872—1877. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征[J]. 地理学报, 2008, 63(5): 502—513.  
Li Yuechen, Liu Chunxia, Zhao Chunyong, et al. Spatiotemporal features of soil and water loss in the Three Gorges reservoir area of Chongqing[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(5): 502—513. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张明阳, 王克林, 陈洪松. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特区域水土流失动态监测与分析: 以广西环江县为例[J]. 资源

- 科学, 2007, 29(3): 124—131.
- Zhang Mingyang, Wang Kelin, Chen Hongsong. Dynamic monitoring and analysis of water and soil erosion in the karst region based on RS and GIS: A cases study in Huanjiang County, Guangxi Province[J]. Resources Science, 2007, 29(3): 124—131. (in Chinese with English abstract)
- [14] 沈中原, 李占斌, 杜中, 等. 大理河流域土壤侵蚀空间分布的地貌特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 79—81.
- Shen Zhongyuan, Li Zhanbin, Du Zhong, et al. Study on topographic characters of soil erosion spatial distribution in Dalihe watershed on Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5): 79—81. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李义玲, 乔木, 杨小林, 等. 干旱区典型流域近 30 年土地利用/土地覆被变化的分形特征分析: 以玛纳斯河流域为例[J]. 干旱区地理, 2008, 31(1): 75—81.
- Li Yiling, Qiao Mu, Yang Xiaolin, et al. Fractal characteristics of land use and land cover change in a watershed of arid zone in last 30 years: A case of the Manas River Watershed[J]. Arid Land Geography, 2008, 31(1): 75—81. (in Chinese with English abstract)
- [16] 沈中源, 李占斌, 武金慧, 等. 基于 GIS 的流域土地利用/土地覆被分形分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 63—67.
- Shen Zhongyuan, Li Zhanbin, Wu Jinhui, et al. Fractal characteristics of regional land use/land cover based on GIS technique[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 63—67. (in Chinese with English abstract)
- [17] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准 (SL190-2007)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 9.
- [18] 岳彩英, 田昆, 徐天蜀. 利用卫星遥感和 GIS 技术进行昭通地区土壤侵蚀调查研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 36—39.
- Yue Caiying, Tian Kun, Xu Tianshu. A study on soil erosion investigation by using remote sensing and GIS in Zhaotong prefecture[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2003, 23(2): 36—39. (in Chinese with English abstract)
- [19] 谭炳香, 李增元, 王彦辉, 等. 基于遥感数据的流域土壤侵蚀强度快速估测方法[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(2): 215—220.
- Tan Bingxiang, Li Zengyuan, Wang Yanhui, et al. Estimation of vegetation coverage and analysis of soil erosion using remote sensing data for Guishuihe drainage basin[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2005, 20(2): 215—220. (in Chinese with English abstract)
- [20] 赵永平, 王一谋. 图形分形理论在沙漠化定量研究中的应用. 中国沙漠, 1995, 15(2): 175—180.
- Zhao Yingping, Wang Yimou. Graphic fraction and its application based on quantitative research of desertification [J]. Journal of Desert Research, 1995, 15(2): 175—180. (in Chinese with English abstract)
- [21] 徐建华, 艾南山, 金炯, 等. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究: 以黑河流域为例[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 36—39.
- Xu Jianhua, Ai Nanshan, Jin Jiong, et al. A fractal study on the mosaic structure of the landscape of Northwest China-taking the drainage area of Heihe river as an example[J]. Arid Zone Research, 2001, 18(1): 36—39. (in Chinese with English abstract)

## Fractal characteristics of vertical landscape of soil erosion in the Yimeng mountainous area

Wang Yao<sup>1,2</sup>, Liu Qianjin<sup>1,3</sup>, Yu Xingxiu<sup>1,3\*</sup>

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation and Environmental Protection, Linyi 276000, China;

2. Linyi Normal University Experimental Center, Linyi 276000, China;

3. School of Chemistry and Resources Environmentn, Linyi Normal University, Linyi 276000, China)

**Abstract:** Taking the Yimeng mountainous area, one of the most representative area of the Rocky Area of Northern China, as a case study, according to the Standards for Classification and Gradation of Soil Erosion (SL190-2007), supported by the technology of GIS and RS and the data of Landsat TM image and relief map, this study aimed to explore the fractal characteristics of the vertical landscape of soil erosion in the Rocky Area of Northern China. The vertical landscape of soil erosion was divided to 16 belts with the elevation range of 50 m. The perimeter-area fractal dimension ( $D$ ) was calculated by the software of Fragstats ver 3.3, and the landscape stability index ( $SI$ ) was obtained form  $D$ . The results showed that there was obvious variability of the soil erosion landscape in vertical dimension. In the landscape level,  $D$  increased dramatically at first and then slightly, while  $SI$  decreased quickly at first and then slowly. In the class level, as to the whole study area, the sequence of  $D$  values of the soil erosion intensity types from large to small was that of moderate, slight, intense, very intense, sever and minimal. And the sequence of  $SI$  was that of minimal, sever, very intense, moderate, intense and slight. With elevation rising, the  $D$  value of the soil erosion intensity type of minimal, intense, very intense and the slight in higher elevation tended to increase and the  $SI$  vice versa. As to the  $D$  and  $SI$  of the slight and sever type, the values inclined to reduced, while to the moderate type on the higher elevation,  $D$  and  $SI$  tended to increase. These indicated that in the lower elevation areas, the human activities disturbed landscape pattern and stability further than natural factors on the higher (intense and very intense) soil erosion intensity landscape types. While in the higher areas, the pattern and stability of the lower (moderate and slight) soil erosion intensity landscapes were impacted greater by natural factors.

**Key words:** soils, erosion, fractal, landscape pattern, vertical dimension, Yimeng mountainous area