

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 19 期

2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对旱稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

王计平, 杨磊, 卫伟, 陈利顶, 黄志霖. 黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较. 生态学报, 2011, 31 (19): 5531-5541.

Wang J P, Yang L, Wei W, Chen L D, Huang Z L. Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5531-5541.

黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响 ——景观水平与多尺度比较

王计平^{1,2}, 杨磊^{1,3}, 卫伟¹, 陈利顶^{1,*}, 黄志霖²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以黄土丘陵沟壑区河口-龙门区间内 42 个水文站控制流域土地利用和径流泥沙数据为基础, 借助 GIS 和 RUSLE, 运用景观格局指数分析法, 从景观水平与多尺度上探讨景观格局对流域水土流失过程的影响。结果表明: 河龙区间流域景观格局和水土流失过程特征存在明显空间分异和相对差异。在斑块类型水平上草地的连结度 (COHESION3) 和分维数变异度 (FRAC_CV3)、耕地和居民建设用地的丛生度 (CLUMPY1、CLUMPY5)、居民建设用地边缘密度 (ED5) 是影响流域水土流失过程的重要指标, 其中草地连结度对流域水土流失过程变异的解释度最高。在景观水平上景观连结度 (COHESION)、平均斑块面积 (AREA_MN)、景观聚集度 (AI)、景观丰富度 (PR) 是影响水土流失过程的主要因子, 其中景观聚集度 (AI) 对流域水土流失过程变异的解释程度最高。斑块类型水平景观格局对水土流失过程空间变异的解释能力要高于景观水平。景观格局具有明显的嵌套特性并强烈影响着流域水土流失过程, 在嵌套水平上草地连结度 (COHESION3) 和耕地丛生度 (CLUMPY1) 是控制流域侵蚀产沙的主要格局因子, 草地分维数变异程度 (FRAC_CV3) 可以抑制流域泥沙输移过程。景观格局对水土流失过程的影响机制和景观指数与反应变量间的统计学关系随尺度不同而异。

关键词:黄土丘陵沟壑区; 土地利用格局; 过程; 侵蚀产沙; 泥沙输移; 景观指数

Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale

WANG Jiping^{1,2}, YANG Lei^{1,3}, WEI Wei¹, CHEN Liding^{1,*}, HUANG Zhilin²

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Soil erosion in Hekou-Longmen section of the middle reaches of Yellow river in the loess hilly and gully region of the Loess Plateau in China is serious. In this study, the watersheds from Hekou to Longmen (Helong section) in where 42 hydrological stations located were selected to investigate the relationship between landscape pattern and soil and water loss by using Geographic Information System (GIS) and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Specially, the landscape pattern index analysis, canonical correspondence analysis and path analysis were used to analyze the effects of landscape pattern on soil and water loss in different scales. The results showed that the spatial variation and relative differences of landscape pattern versus soil erosion/sediment delivery processes in the watersheds changed significantly with scales. At patch-class level, the cohesion (COHESION3) and the coefficient of variation of fractal dimension index (FRAC_CV3) of grassland, the chumpy of cropland (CLUMPY1), the chumpy of residential construction land

基金项目:国家自然科学基金项目 (40925003); 林业公益性行业科研专项 (201004058); 中国博士后科学基金 (20100480365)

收稿日期:2011-06-21; **修订日期:**2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liding@rcees.ac.cn

(CLUMPY5) and the edge density of residential land (ED5) were the main landscape pattern indices controlling the variation of soil and water loss processes. Furthermore, the cohesion of grassland was closely related to soil and water loss processes. At landscape level, the cohesion (COHESION), mean patch area (AREA_MN), aggregation index (AI) and patch richness of landscape (PR) were the main pattern indices effectively affecting the variation of soil and water loss processes of a watershed. Landscape metrics on patch-class level had more indicative ability than that on landscape-level. With comprehensive analysis of the impacts of land use patterns on the soil and water loss processes at the class-level and landscape-level, we found that land-use patterns show significant “landscape nesting” characteristics, in influencing the soil and water loss. At the “nested landscape” level, the cohesion of grassland (the path coefficient is -0.867) and the clumpy of cropland (the path coefficient is -0.367) were the main landscape pattern factors dominating watershed sediment yield, and the coefficient of variation of fractal dimension index (FRAC_CV3) (the path coefficient -0.49) could contribute positively to suppression of sediment delivery. Results of this study indicated that the landscape pattern has significantly influences on watershed soil erosion and sediment delivery, however, the statistical relationship between landscape indices and response variables of soil and water loss varies with landscape scale. Landscape is a mixture of natural and human-managed patches of different sizes and shapes, and the multiple-level mosaic structure of landscape is one of the important factors affecting the relationship between landscape pattern and ecological process. Selecting suitable spatial and temporal scales and analytical perspectives may improve our understanding of the interactions between pattern and process in the landscape.

Key Words: loess hilly and gully region; land use pattern; soil erosion; sediment delivery; landscape metrics

景观生态学理论中一个最基本的假设就是空间格局对过程(能流、物流、信息流)具有重要影响^[1]。格局决定着过程,同时过程也会促进格局的改变^[2]。以土壤侵蚀产沙及泥沙输移为主要特征的水土流失过程是地表复杂系统水文生态过程中重要的一部分,它与气候、土壤、地形、植被、水文等因素密切相关^[3-5],其中景观空间格局扮演着重要角色^[6-8]。在人类活动主导的景观中,土地利用/土地覆被变化是景观格局演变的直接驱动^[9],也是水土流失时空分异的重要原因^[10]。流域作为一个表征人类水土资源利用和物质迁移的自然空间综合体,是研究土地利用景观格局与水土流失关系的最佳单元。在流域尺度上,土地利用的空间镶嵌特征变化不仅会导致不同土地利用方式在降雨、地形、土壤等因子上的空间分布变化,而且能够改变水文结构和侵蚀系统,引起土地利用对土壤流失拦截能力的降低或提高,进而影响到最终流域产沙量的增加或减少^[11-12]。然而,由于缺乏流域等大尺度上土地利用格局与水沙关系的实验数据,目前在探讨土地利用格局与水土流失关系时,多是利用地块或小区尺度上的实验结果来预测大尺度上侵蚀产沙过程。但随着空间尺度的增大,水土流失机制会发生明显改变,其主导格局因子也随之发生变化。深入理解流域及更大尺度上土地利用格局与水土流失相互关系对深化格局-过程关系认识、区域土壤侵蚀防治具有积极意义。

景观格局分析是景观生态学研究的重要组成部分,是探讨景观格局与生态过程作用关系的基础。景观指数作为景观格局分析的常用工具,是联系景观格局与生态过程关系的桥梁。然而,多年来景观格局分析一直停留在景观格局特征的描述方面,由于未能深入反映研究的生态过程而受到质疑^[13-14]。特别对流域景观格局与水土流失关系而言,常规景观指数的桥梁作用尤为局限。许多学者为此进行了积极有益的探索。一些新的指数如景观空间负荷对比指数^[15]、等高线方向连通度和顺坡连通度^[16]、方向性渗透指数^[17]等相继被提出。这些指数给静态景观格局赋予一定过程含义,可以较好地评价景观空间格局与水土流失过程相互关系,但受景观异质性和过程复杂性及其空间变异的影响,这些新的指数在验证及应用推广中仍然面临诸多局限和挑战。因此,针对当前景观指数应用与发展现状,如何利用现有景观格局指数,通过设定尺度和分析角度来挖掘其生态学意义对景观格局与生态过程关系的进一步认识尤为重要。本文以黄河丘陵沟壑区河口镇-龙门区段为研究地区,基于景观格局指数,从景观格局不同层次特征开展土地利用空间格局对流域水土流失过程的

影响,揭示较大尺度上景观格局与水土流失过程的作用关系。为黄河中游地区流域水土保持规划和土地资源管理提供科学依据。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

河口镇-龙门区间(以下简称“河龙区间”)位于黄河中游区上段, $N35^{\circ}40'—40^{\circ}34'$, $E108^{\circ}02'—112^{\circ}44'$ 间(图1)。该区间总集水面积约为 11 万 km^2 , 占黄土高原区面积的 17.8%, 是我国乃至世界上土壤侵蚀和产沙强度最大的区域, 同时也是黄河泥沙特别是粗沙最主要的来源区。河龙区间属温带大陆性季风气候, 年平均气温在 $3.6—11.8^{\circ}\text{C}$, 平均风速在 $1.3—4.1\text{ m/s}$, 年日照平均时数在 2487—2872 h, 年平均年降水量在 300—550 mm 之间, 降雨不仅年际变化大而且季节分配很不均匀。河龙区间土壤种类多样, 以沙黄绵土、黄绵土、灰黄绵土、风沙土、粗骨土、灰褐土等土壤类型为主, 所占面积约为河龙区间总面积的 81.91%。受自然因素和人类活动共同干扰, 河龙区间植被状况相对较差, 仅有局部范围有较好自然植被分布, 大部分地区为人工种植而形成的次生植被。河龙区间处在我国地势第二阶梯的尾部, 平均海拔 1000—2000 m。区间支流纵横, 各支流下游及干流河谷海拔一般在 600—1000 m 之间。地形主要分为黄土丘陵沟壑区、沙丘沙地草滩区、基岩出露区等, 其中以黄土丘陵沟壑区为主。区间地面崎岖起伏, 支流纵横, 丘陵沟壑密度达到 $5—6\text{ km/km}^2$ 。区间水系十分发达, 流域面积超过 1000 km^2 的黄河一级主要支流有 21 条, 本文根据流域设站及其水文监测记录连续情况, 选取区间主要河流水系中 42 个水文站控制流域或子流域作为研究对象。

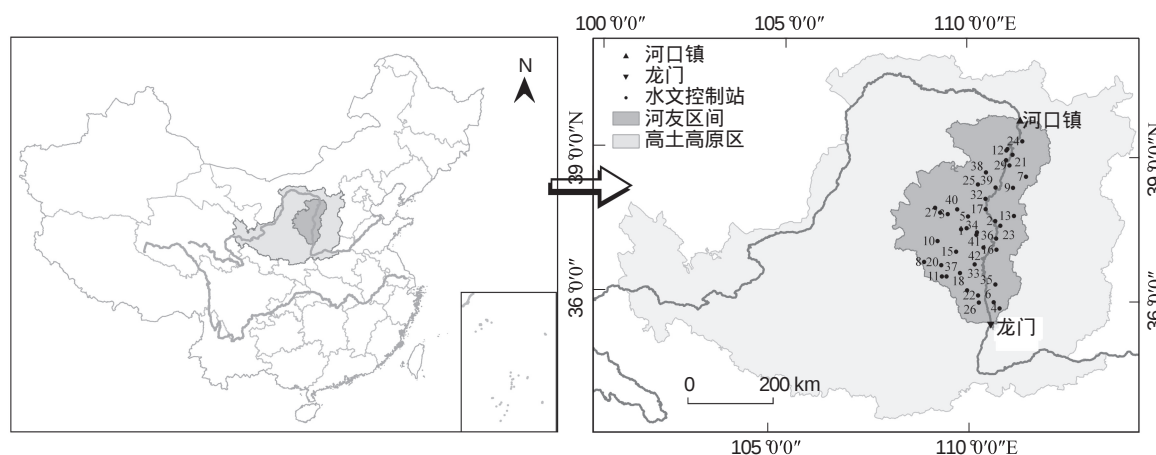


图1 河龙区间地理位置图

Fig. 1 Location of the study area

1.2 数据来源

土地利用数据来源于中国黄土高原地区资源与环境遥感系列图;土壤属性数据主要来源于中国土壤数据库和《陕西土壤》、《山西土壤》等资料;1:50 万土壤矢量化数据和各观测站次降雨数据来源于黄土高原区域数据共享运行服务中心;1:5 万矢量地形数据来源于国家基础地理信息数据库;长期水文序列资料来源于国家水利部水文局科教处和水利科学数据共享中心。其余社会、经济等辅助资料,通过查阅相关资料、上网浏览等方式获得。

2 研究方法

2.1 水土流失过程反应变量选取及估算

选取土壤侵蚀模数(EM)、输沙模数(SM)和泥沙输移比(SDR)作为流域单元水土流失过程(简称“过程”)的反应变量。此外,为充分反映不同流域侵蚀和产沙总量在空间差异,部分分析中将给定时段流域土壤侵蚀总量(MSE)和输沙总量(MSY)考虑在内(图2)。土壤侵蚀模数空间分布格局及相关信息运用 GIS 和 RUSLE 模型来确定,评价栅格单元大小为 $25\text{ m}\times 25\text{ m}$, 单位为 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;流域产沙模数通过水文监测站实测

资料计算确定,单位为 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$;对给定时段给定流域,其泥沙输移比等于输沙模数与侵蚀模数的比值。由于篇幅有限,各指标计算过程参见文献^[18]。需说明的是本研究利用的土地利用资料是基于国家 1985 年黄土高原土地利用普查数据,其土地利用格局信息用来反映 20 世纪 80 年代河龙区间流域土地利用空间格局与状况。鉴于水文资料可获取性和水沙响应规律,流域输沙模数利用 1979—1988 年逐日径流量、含沙量和悬移质输沙率等数据汇总计算,用于表征对应土地利用时段内流域平均产沙状况。

2.2 景观指数选取与计算

根据土地利用一级分类系统将土地利用图划分为耕地、林地、草地、水域、居民建设用地和未利用地 6 种。为全面反映流域土地利用景观的空间特征,分别从斑块类型和景观水平选取常用景观指数,其中景观层次选取 21 个,斑块类型层次选取 20 个,所有指数均基于景观结构数量化软件包 FRAGSTATS3.3 进行计算,其生态学意义和计算公式可查阅软件操作说明文件或文献^[19]。由于景观格局指数的计算是基于景观斑块的几何、数量和距离等指标,个别指数间因存在明显相关而产生统计上的多重共线问题,为此基于 CANOCO for Windows 4.5 软件环境,利用方差扩大因子法(若变量 $VIF>15$,则从排序分析中剔除)和逐步向前回归法筛选各层次上代表性景观指数(表 1,表 2)。为了便于区别和分析将耕地、林地、草地、水域、居民建设用地、其它用地类型分别用 1、2、3、4、5、6 来表示,按照“指标名称+类型代码”方式表示不同斑块类型上各景观指数。例如,耕地景观的斑块数量表示为 NP1,林地景观的平均斑块面积表示为 AREA_MN2。

表 1 斑块类型水平上的景观指数
Table 1 The landscape indices used in analysis at class level

景观指数 Landscape index	缩写 Abbreviation	景观指数 Landscape index	缩写 Abbreviation
边缘密度 Edge density	ED	丛生度 Clumpiness index	CLUMPY
景观类型面积百分比 Percentage of landscape	PLAND	平均斑块分维数 Mean patch fractal dimension	FRAC_MN
平均斑块面积 Mean patch area	AREA_MN	斑块分维数变异系数 Coefficient of variation of fractal dimension	FRAC_CV
斑块连结度 Patch cohesion index	COHESION		

表 2 景观水平上的景观指数
Table 2 The landscape indices used in analysis at landscape level

景观指数 Landscape index	缩写 Abbreviation	景观指数 Landscape index	缩写 Abbreviation
斑块密度 Patch density	PD	香农多样性指数 Shannon's diversity index	SHDI
斑块聚集度 Aggregation index	AI	斑块连结度 Patch cohesion index	COHESION
斑块数量 Number of patches	NP	平均斑块分维数 Mean patch fractal dimension	FRAC_MN
最大斑块指数 Largest patch index	LPI	斑块连接度 Connectance index	CONNECT
景观形状指数 Landscape shape index	LSI	邻接度指数 Contiguity index	CONTIG
斑块丰富度 Patch richness	PR	邻接度指数变异系数 Coefficient of variation of contiguity index	CONTIG_CV
平均斑块面积 Mean patch area	AREA_MN		

2.3 数据分析

以流域 42 个流域单元为样本,以景观指数为解释变量,以土壤侵蚀模数、输沙模数和泥沙输移比为反应

(或响应)变量,用典范对应分析法(CCA)分析景观格局与流域水土流失过程关系及其空间分异特征,CCA 分析难以给出单个景观指标对反应变量的解释度,为此本文借助通经分析进一步揭示景观格局之间相关作用及其与反应变量之间的统计学关系。其过程首先是对所有变量进行正态性检验,如有不符合者对其进行正态转换;其次基于逐步回归确定可纳入通径分析的格局变量;最后利用结构方程模型建立模型基本结构并进行通经分析。所有分析基于 Minitab 15、SPSS15+Amos 7.0 和 CANOCO for Windows 4.5 等软件包进行。

3 结果分析

3.1 基于 CCA 排序的景观格局与流域水土流失过程关系

3.1.1 流域水土流失过程和土地利用景观格局特征

根据 CCA 排序结果,可将水土流失过程特征按照流域单元划分为 4 类(图 2),分别位于 1、2、3、4 象限内。第 1 类型区流域水土流失特征为土壤侵蚀模数高,输沙模数低,泥沙输移比远远低于河龙区间流域平均水平,集中体现在杏河、枣园、安塞、子长、裴沟、后大成等设站流域;第 2 类类型区表现为土壤侵蚀和输沙模数较大,而泥沙输移比均处于区域中等水平,如延安、延川、绥德、大宁、甘谷驿等设站流域;第 3 类型区流域输沙模数较高,侵蚀模数较低,泥沙输移比相对较大,以高石崖(三)、高家堡、高家川、黄甫川等设站流域为代表;第 4 类型区位于第四象限,汇聚了河龙区间大部分流域,水土流失过程的反应变量值均小于或接近整个区间的侵蚀及输沙性能的平均水平。河龙区间各水文控制站流域水土流失过程特征变量表现出明显的空间分异。将 42 个子流域和 9 个景观指标共同表达在 CCA 的第 1、第 2 排序轴平面上(图 3),根据其分布集中性和格局相似性可流域单元划分为 5 组,不同组内流域土地利用景观格局特征差异明显。从整体来看,河龙区间各流域土地利用格局空间差异较大,表现为黄河左岸的流域景观形状较右岸流域单元复杂,景观聚合程度较高,多样性丰富,而右岸大部分流域表现出较高景观连结度,河龙区间流域土地利用格局破碎化程度严重。景观格局特征的空间差异会对流域水土流失过程产生重要影响。

3.1.2 景观水平景观格局与水土流失过程关系 CCA 分析总体参数

CCA 分析表明,流域单元景观格局与水土流失过程对应分析的特征值总和为 0.024,其中第一主轴的特征值为 0.008,占总特征值的 33.3%。前 2 排序轴能够累积解释水土流失过程特征的 35.5%,其中第一排序轴能够解释水土流失过程变化的 34.3%;第一排序轴累积解释流域单元景观格局与水土流失过程关系的 96.6%,表明该排序轴集中反映了全部排序轴景观格局水土流失过程关系信息的绝大部分。第一排序轴上景观格局特征与水土流失过程特征相关系数为 0.603($P < 0.001$),二者在第二排序轴的相关系数为 0.467,表明流域单元景观格局与水土流失过程关系密切(表 3)。

3.1.3 景观指数与 CCA 排序轴相关性及其对流域“过程”的解释

基于 CCA 回归分析结果表明,在景观水平上,景观指数对水土流失过程特征变化解释能力并不高,解释

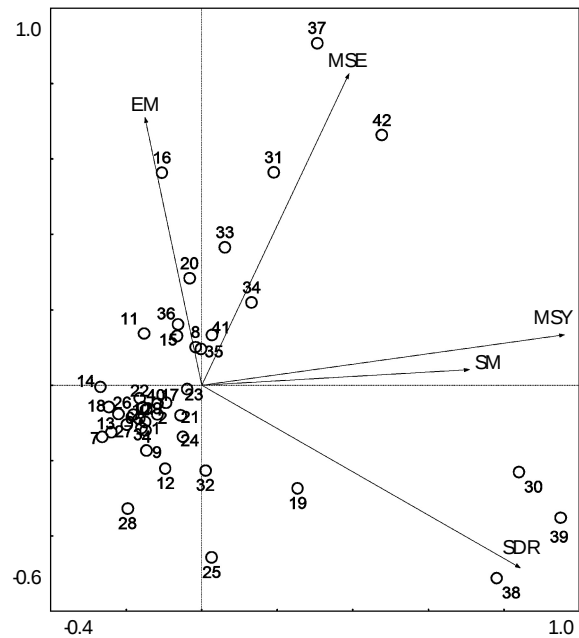


图2 “过程”变量 CCA 排序

Fig.2 CCA ordination of “processes” characteristic indexes in watershed units

1. 曹坪;2. 杨家坡(二);3. 殿市;4. 乡宁;5. 马湖峪;6. 吉县;7. 崞崮;8. 杏河;9. 兴县(二);10. 青阳岔;11. 枣园;12. 清水(二);13. 圪洞;14. 李家河;15. 子长;16. 裴沟;17. 申家湾;18. 临镇;19. 高石崖(三);20. 安塞;21. 旧县;22. 新市河;23. 林家坪;24. 偏关(三);25. 高家堡;26. 大村;27. 横山;28. 韩家岭;29. 下流碛;30. 黄甫川;31. 延安;32. 高家川;33. 延川;34. 绥德;35. 大宁;36. 后大成;37. 甘谷驿;38. 神木(二);39. 温家川(三);40. 赵石窑;41. 丁家沟;42. 白家川

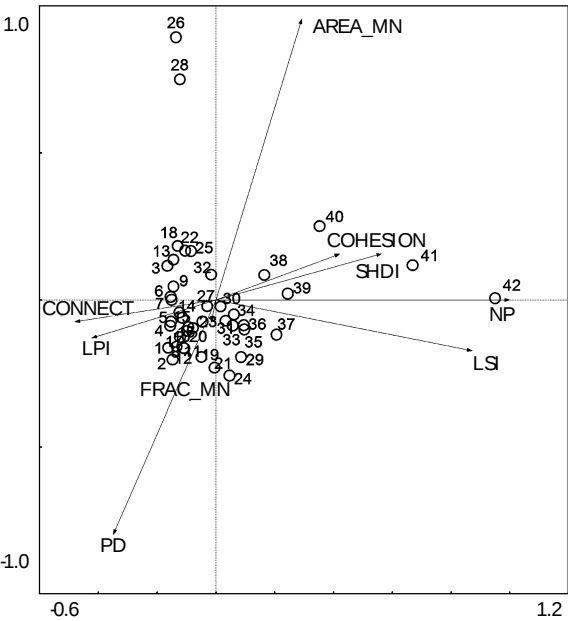


图3 景观水平景观指数 CCA 排序

Fig.3 CCA ordination of land-use pattern characteristic indexes at landscape level in watershed units

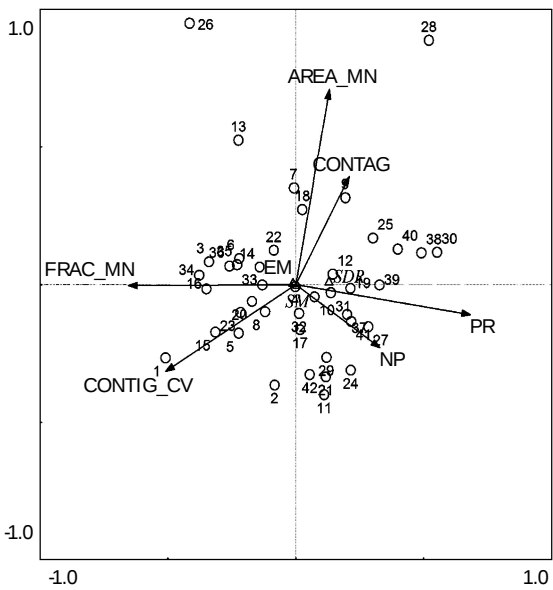


图4 “过程”变量与景观指数排序图

Fig.4 CCA ordination of “processes” characteristic indexes and land-use pattern characteristic indexes

表3 景观水平 CCA 排序的特征值及累积解释量

Table 3 Eigenvalues, cumulative variances of “processes” characteristic and “processes”-pattern relationship at landscape level				
排序轴 Axes	AX1	AX2	AX3	AX4
特征值 Eigenvalues	0.008	0	0.015	0.001
流域单元景观格局与“过程”特征相关性 Pattern-“process” correlations	0.603	0.467	0	0
流域单元“过程”特征累积解释量/% Cumulative percentage variance of “process”	34.3	35.5	96.7	100.0
流域单元景观格局-“过程”关系累积解释量/% Cumulative percentage variance of pattern-“process” relation	96.6	100.0	—	—

能力从高到低排列为:平均斑块分维数、景观邻接度变异、平均斑块面积、景观蔓延度、景观丰富度、景观斑块总量;条件解释结果显示仅有平均斑块分维数($P=0.006$)和景观邻接度变异水平($P=0.022$)的解释度有一定统计意义(表4)。

表4 景观水平上基于向前逐步回归分析获得的边缘解释量和条件解释量

Table 4 Marginal and conditional effects obtained from the summary of forward selection at landscape level						
格局变量 Variable	边缘解释量 Marginal Effects		条件解释量 Conditional Effects		P	F
	编号 Var. N	解释度 LambdaA	编号 Var. N	解释度 LambdaA		
FRAC_MN	8	0	8	0.004	0.006	6.87
CONTIG_CV	11	0.01	11	0.003	0.022	5.79
AREA_MN	6	0	6	0.001	0.248	1.45
CONTAG	13	0	13	0.001	0.13	2.34
PR	18	0	18	0.001	0.234	1.46
NP	1	0	1	0	0.81	0.11

3.1.4 流域景观格局特征与水土流失过程特征的排序分析

将表 4 中 6 项指标和 EM、SM、SDR 3 个反应变量排序图表达(图 4),可以看出,在景观分维数变异度高、景观斑块总量和丰富度较低的流域,侵蚀模数较高,输沙模数较低,泥沙输移比较低,这说明景观分维数对土壤侵蚀影响明显。同时景观斑块数量对流域输沙具有正效应,景观丰富度同泥沙输移比关系紧密;景观邻接度变异水平较低、其它景观格局特征较为平均化的流域具有较大泥沙输移比,主要体现在如无定河、秃尾河、皇甫川等水系内的流域单元。

3.2 不同尺度上景观格局对流域水土流失过程的影响

3.2.1 斑块类型水平

选取斑块类型水平上各类景观指数分别与侵蚀模数、输沙模数和泥沙输移比进行逐步回归,结果表明,耕地丛生度、林地平均斑块分维数和连结度指数对土壤侵蚀模数具有显著影响,拟合方程为 $EM = 164672 - 109453 \text{ CLUMPY1} - 187388 \text{ FRAC_MN2} + 1453 \text{ COHESION2}$ ($R^2 = 0.727$, $P = 0.00$);草地面积百分率和连结度、建设用地丛生度对流域输沙模数具有显著影响,拟合结果为 $SM = 333432 + 285 \text{ PLAND3} - 3049 \text{ COHESION3} - 41977 \text{ CLUMPY5}$ ($R^2 = 0.589$, $P = 0.00$);林地景观连结度、草地平均斑块面积、分维数变异度和建设用地边缘密度是影响泥沙输移比的主要指标,其关系 $SDR = 53.2 - 0.506 \text{ COHESION2} + 0.00170 \text{ AREA_MN3} - 0.619 \text{ FRAC_CV3} + 1.39 \text{ ED5}$ ($R^2 = 0.679$, $P = 0$)。同时也可以看出耕地、林地、草地和居民建设用地是决定流域水土流失过程特征的主要景观类型。

利用通径分析模型来展示斑块类型水平上各景观指数与侵蚀模数、输沙模数、泥沙输移比间的相互关系(图 6)。该模型具有较高的合适度($\chi^2 = 13.167$, $\text{RMSEA} = 0 < 0.005$, $\text{GFI} = 0.915 > 0.9$),解释了 70% 的泥沙输移比变化、61% 的侵蚀模数变化和 39% 的输沙模数变化。其中,耕地和居民建设用地丛生度分别对流域侵蚀和输移变量呈现出负效用,通径系数表明耕地聚合度每增加 1 个单位,流域土壤侵蚀模数会降低 0.88 个单位,耕地丛生度的作用也较为明显,居民建设用地规律类似;草地连结度,居民建设用地边缘密度对流域输沙模数具有正作用,草地斑块分维数变异度对侵蚀模数表现为一定的正作用,但不明显;土壤侵蚀模数和流域输沙模数之间彼此相互作用,土壤侵蚀模数每增加 1 个单位,则流域输沙模数会增加 0.516 个单位,说明土壤侵蚀对输沙更具主导性;景观斑块格局对流域泥沙输移比作用较为复杂,作用分析表明耕地丛生度、草地连结度和居民建设用地边缘密度对流域泥沙输移比最终表现出正作用,而草地斑块分维数变异度和居民建设用地丛生度对泥沙输移比表现出负作用。从作用大小来看,按系数的绝对值从大到小排列,依次为草地连结度、耕地丛生度、草地斑块分维数变异、居民建设用地丛生度、居民建设用地边缘密度(表 5)。

表现出正作用,而草地斑块分维数变异度和居民建设用地丛生度对泥沙输移比表现出负作用。从作用大小来看,按系数的绝对值从大到小排列,依次为草地连结度、耕地丛生度、草地斑块分维数变异、居民建设用地丛生度、居民建设用地边缘密度(表 5)。

3.2.2 景观水平

将景观水平上景观指数与流域水土流失过程变量进行逐步回归分析,其结果表明景观连结度和斑块聚集度指数显著地影响着土壤侵蚀过程,拟合方程为 $EM = -1016140 + 11782 \text{ COHESION} - 1626 \text{ AI}$ ($R^2 = 0.51$, $P = 0.001$);景观的平均斑块面积和整体斑块之间的连结度是影响流域输沙过程的格局因子,拟合方程为 $SM = -1063437 - 18.6 \text{ AREA_MN} + 10731 \text{ COHESION}$ ($R^2 = 0.25$, $P = 0.001$);而泥沙输移比则与景观丰富度有关,

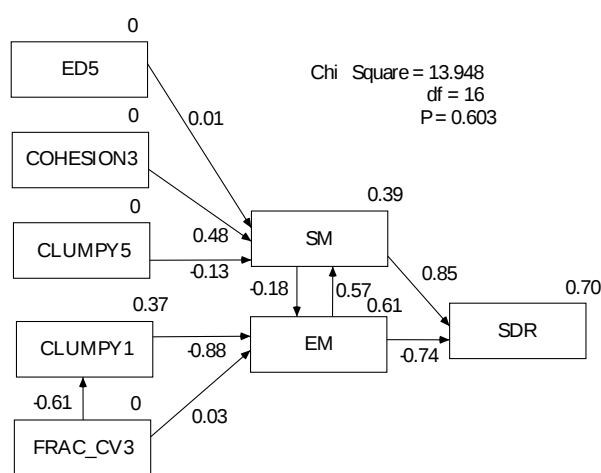


图 6 斑块类型水平上主导景观因子与泥沙输移过程特征指标间关系的通径分析($n = 42$)

Fig. 6 Path analysis on the relationship between "processes" characteristics and land-use pattern characteristics at class level ($n = 42$)

拟合方程为 $SDR = -2.86 + 0.687PR$ ($R^2 = 0.13$, $P = 0.001$)。

表 5 斑块类型水平通径分析各项指标作用分解关系

Table 5 Effects of land-use pattern indexes on “processes” at class level								
指标 Indexes	作用 Effects	分维数变异度 FRAC_CV3 *	丛生度 CLUMPY5 *	边缘密度 ED5 *	连结度 COHESION3	丛生度 CLUMPY1 *	侵蚀模数 EM	输沙模数 SM
CLUMPY1	直接	-0.611	0	0	0	0	0	0
	间接	0	0	0	0	0	0	0
	合计	-0.611	0	0	0	0	0	0
EM	直接	0.029	0	0	0	-0.879	0	-0.182
	间接	0.484	0.022	-0.002	-0.079	0.083	-0.094	0.017
	合计	0.513	0.022	-0.002	-0.079	-0.797	-0.094	-0.165
SM	直接	0	-0.134	0.010	0.477	0	0.570	0
	间接	0.292	0.013	-0.001	-0.045	-0.454	-0.054	-0.094
	合计	0.292	-0.121	0.009	0.432	-0.454	0.516	-0.094
SDR	直接	0	0	0	0	0	-0.737	0.854
	间接	-0.129	-0.120	0.009	0.427	0.200	0.510	0.041
	合计	-0.129	-0.120	0.009	0.427	0.200	-0.227	0.895

* : 1 耕地;3 草地;5 居民建设用地

表 6 景观水平通径分析各项指标作用分解说明

Table 6 Effects of land-use pattern indexes on “processes” at landscape level							
指标 Indexes	作用 Effects	聚集度 AI	连结度 COHESION	平均斑块面积 AREA_MN	输沙模数 SM	侵蚀模数 EM	景观丰富度 PR
SM	直接	0	0.221	-0.482	0	0.141	0
	间接	-0.086	0.043	-0.004	0.009	0.001	0
	合计	-0.086	0.264	-0.486	0.009	0.142	0
EM	直接	-0.606	0.289	0	0.062	0	0
	间接	-0.005	0.016	-0.030	0.001	0.009	0
	合计	-0.611	0.305	-0.030	0.063	0.009	0
SDR	直接	0	0	0	0.943	-0.851	0.061
	间接	0.439	-0.011	-0.433	-0.045	0.126	0
	合计	0.439	-0.011	-0.433	0.898	-0.724	0.061

利用通径分析图表示景观水平上各景观指数同流域“过程”变量间的统计学关系(图 7)。该结构模型具有较高的合适度($\chi^2 = 10.167$, $RMSEA = 0.056$, $GFI = 0.929$),可以解释 66% 的泥沙输移比变化、50% 的土壤侵蚀模数变化和 39% 的流域输沙模数变化。作用分解表明,景观连结度对土壤侵蚀和泥沙输移过程具有直接的正作用,即景观连结度指数每增加 1 个单位值,则土壤侵蚀模数和流域输沙模数会分别增加 0.22 和 0.29 个单位值,而景观连结度对流域泥沙输移比的作用效果为 $0.22 \times 0.94 + 0.29 \times (-0.85) = -0.011$,即景观连结度的增加最终会使流域泥沙输移比略微下降,这意味着景观水平上高的景观连通性并不利于控制流域水土流失;景观平均斑块面积对流域输沙和土壤侵蚀起到了抑制

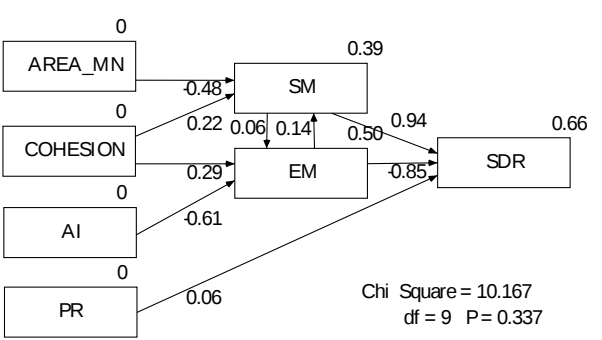


图 7 景观水平上景观格局指标与“过程”特征指标间的通径分析 (n=42)

Fig. 7 Path analysis on the relationship between “processes” characteristics and land-use pattern characteristics at landscape level (n=42)

作用,平均斑块面积的增加对防治水土流失具有积极作用;斑块连结度对侵蚀具有显著的直接影响(通径系数为 0.61, $P=0.001$),而间接作用于流域泥沙输移过程(系数为 -0.086),最终对流域泥沙输移比表现出正效用(通径系数为 0.439),意味着斑块连结度的增加会降低流域的侵蚀程度,但对流域输沙的控制不强烈;景观丰富度对流域泥沙输移过程无显著影响。流域土壤侵蚀与输沙过程互相作用,但土壤侵蚀对流域输沙作用较强。景观水平各格局指标对流域泥沙输移比的作用从大到小排列依次为:景观聚集度、平均斑块面积、景观丰富度、景观连结度(表 6)。

3.2.3 “嵌套”景观水平

综上可知影响流域水土流失过程变异的格局指标分析尺度变化不同而异,但从通径分析可知,这些景观指标对流域水土流失过程反应变量的作用大小和方式相差很大。根据结构方程中模型观测变量数量与样本数的关系原则(方程中若观测变量数量为 n ,则最小样本单元数量为 $n(n+1)/2$),按照景观指数对泥沙输移比作用大小,在景观水平上选取平均斑块面积和景观聚集度指数,在斑块类型水平上选取草地连结度、耕地丛生度、草地分维数变异度、居民建设用地丛生度等指数建立通径分析关系。模型经过不断修正,各项精度控制指标均达到预期效果($\chi^2 = 20.96$, $RMSEA = 0.034 < 0.05$, $GFI = 0.905 > 0.9$)(图 8),最终的拟合模型可解释泥沙输移比变化 67%,土壤侵蚀模数变化 50%,流域输沙模数变化 26%。

通过对各类指标作用进行分解发现,景观水平和斑块类型水平上各主导因子不仅相互影响,而且共同作用

于水土流失过程的反应变量(表 7)。以景观水平上景观聚集度指数为例,它不仅对景观平均斑块面积直接产生正作用,同时还对斑块类型水平上的草地分维数变异度产生负作用;从作用分解看,景观聚集度对流域土壤侵蚀模数的直接作用系数为 0.16,它通过影响土壤侵蚀和草地分维数变异度对流域输沙产生间接作用(-0.186),而最终对泥沙输移比产生间接作用(-0.23),即景观聚集度可以解释泥沙输移比变化的 5.29%。同样斑块类型水平上草地分维数变异度景观对流域土壤侵蚀模数的变化没有直接影响,但通过对景观水平上平均斑块面积的直接作用来影响流域土壤侵蚀。这意味着景观格局对水土流失过程的影响是不同等级上的斑块相互嵌套、共同作用的结果。

在不同尺度上各景观格局间存相互作用并对水土流失过程产生积极或消极影响。通径系数的平方可反映各格局指标对泥沙输移比变化的贡献,从大到小依次为:草地分维数变异度、草地连结度、耕地丛生度、居民建设用地丛生度、景观聚集度、平均斑块面积。同时可发现草地连通性对土壤侵蚀模数的作用最为明显,其系数为 -0.867,即草地连结度指数每增加 1 个单位,流域土壤侵蚀模数就会降低 0.867 个单位,而耕地的聚合度增加则会加剧流域土壤侵蚀模数(系数为 0.016)。综合对景观、斑块类型两个水平各格局指标作用关系分析发现,斑块类型水平上的一些景观格局特征对控制流域土壤侵蚀及流域泥沙输移过程更具有积极作用。

4 结论与讨论

CCA 排序分析表明,黄土丘陵区流域水土流失过程空间分异和影响因子所尺度不同而异。在景观水平上,平均斑块分维数(FRAC_MN)、景观邻接度变异系数(CONTIG_CV)等指标对反应变量整体变化的解释能力最大。

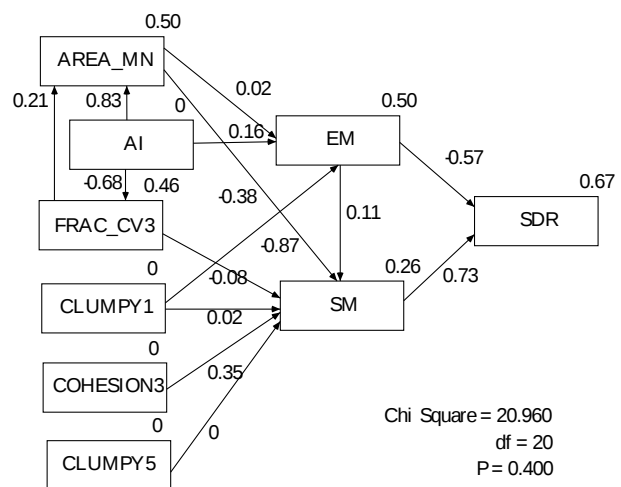


图 8 综合景观和斑块类型水平各主导格局指数与“过程”特征指标的通径分析($n=42$)

Fig. 8 Path analysis on the relationship between “processes” characteristics and land-use pattern characteristics by way of integrating landscape level and class level($n=42$)

表 7 综合景观和斑块类型水平下景观格局与过程指标作用分解关系

Table 7 Interactions among pattern indexes, effects of land-use pattern indexes on “processes” by way of integrating landscape level and class level

指标 Indexs	作用 Effects	聚集度 AI	丛生度 CLUMPY5	连结度 COHESION3	丛生度 CLUMPY1	分维数变异 FRAC_CV3	平均斑块面积 AREA_MN	输沙模数 SM	侵蚀模数 EM
FRAC_CV3	直接	-0.680	0	0	0	0	0	0	0
	间接	0	0	0	0	0	0	0	0
	合计	-0.680	0	0	0	0	0	0	0
AREA_MN	直接	0.831	0.205	0	0	0	0	0	0
	间接	-0.140	0	0	0	0	0	0	0
	合计	0.692	0.205	0	0	0	0	0	0
SM	直接	0	-0.084	0.021	-0.378	0.105	0.004	0.347	0
	间接	-0.186	-0.077	-0.091	0.002	0	0	0	0
	合计	-0.186	-0.162	-0.071	-0.376	0.105	0.004	0.347	0
EM	直接	0.156	0	-0.867	0.016	0	0	0	0
	间接	-0.230	-0.120	0.440	-0.283	0.077	0.003	0.253	0
	合计	0.167	0.003	-0.867	0.016	0	0	0	0
SDR	直接	0	0	0	0	-0.567	0	0	0.729
	间接	-0.230	-0.120	0.440	-0.283	0.077	0.003	0.253	0
	合计	-0.230	-0.120	0.440	-0.283	-0.490	0.003	0.253	0.729

通径分析表明,在斑块类型水平上,耕地、林地、草地、居民建设用地等是影响流域水土流失过程的主要类型;草地的连结度(COHESION3)和分维数(FRAC_CV3)、耕地和居民建设用地的丛生度(CLUMPY1; CLUMPY5)、居民建设用地边缘密度(ED5)是影响流域水土流失过程的主要景观格局因子,其中草地连结度对流域泥沙输移过程变异的解释度最高;在景观水平上,景观连结度(COHESION)、平均斑块面积(AREA_MN)、景观聚集度(AI)、景观丰富度(PR)等指标主要影响着流域水土流失过程特征的变异,其中景观聚集度(AI)对流域泥沙输移过程变异的解释程度最高,其次为平均斑块面积(AREA_MN)。斑块类型水平上景观格局对“过程”变化的解释量要高于景观水平上景观格局对“过程”变化的解释量;综合两个水平来看,各层次上景观指数间存在明显的直接或间接作用,它们对流域水土流失过程特征变化的解释度介于两个单一景水平之间,这在一定程度上表明景观格局存在空间嵌套特性并影响着流域水土流失过程。在不同水平上,流域土壤侵蚀强度均对输沙强度具有正效用。在“嵌套”景观水平上,草地连结度(COHESION3)对流域土壤侵蚀具有重要影响(通径系数为-0.867),耕地丛生度(CLUMPY1)对流域输沙具有重要影响(通径系数为-0.367),草地分维数变异程度对流域泥沙输移性能影响最大(通径系数为-0.49),其次为COHESION3(通径系数为0.44)。

综合来看,土地利用景观格局对流域水土流失过程具有重要影响,其影响机制和景观指数与过程反应变量间统计学关系随尺度不同而异。应用景观指数进行传统的格局分析时,过分地强调景观层次上格局对生态过程的影响,而忽略了单一景观要素或某一景观格局特征变化对指示一些过程特征变异更有生态学意义。此外,将景观和斑块类型水平上的格局特征割裂开来分析格局与过程相互联系可能会丢失一些重要信息。景观作为一种由不同景观类型斑块空间镶嵌而成的自然与人类共同作用的混合体,其景观要素的嵌套行为与空间变异是景观格局与生态过程关系复杂性的重要因素之一,如何确定合适的时空尺度和分析角度来探讨景观格局嵌套特征及其对生态过程的影响可能会有助于更好地理解格局与过程间的相互作用机制与联系。

References:

- [1] Wu J G, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4): 355-365.

- [2] Chen L D, Lü Y H, Fu B J, Wei W. A framework on landscape pattern analysis and scale change by using pattern recognition approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 663-670.
- [3] Zhen M G, Cai Q G, Chen H. Effect of vegetation on runoff-sediment relationship at different spatial scale levels in Gullied-hilly Area of the Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3572-3581.
- [4] Ludwig J A, Wilcox B P, Breshears D D, Tongway D J, Imeson A C. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology*, 2005, 86(2): 288-297.
- [5] Chen L D, Huang Z L, Gong J, Fu B J, Huang Y L. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena*, 2007, 70(2): 200-208.
- [6] Wei W, Chen L D, Fu B J, Huang Z L, Wu D P, Gui L D. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*, 2007, 335(3/4): 247-258.
- [7] Bakker M M, Govers G, van Doorn A, Quetier F, Chouvardase D, Rounsevell M. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: the importance of landscape pattern. *Geomorphology*, 2008, 98(3/4): 213-226.
- [8] Suo A N, Li J C, Wang T M, Ge J P. Effects of land use changes on river basin soil and water loss in loess plateau. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(7): 767-772.
- [9] Wang J P, Chen L D, Wang Y F. Research on landscape pattern change in Loess Plateau: current status, issues and trends. *Progress in Geography*, 2010, 29(5): 535-542.
- [10] Qiu Y, Fu B J. Spatial variation and scale variation in soil and water loss in heterogeneous landscape: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 330-337.
- [11] Slattery M C, Burt T P. Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1997, 22(8): 705-719.
- [12] Takken I, Beuselinck L, Nachtergaele J, Govers G, Poesen J, Degraer G. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). *Catena*, 1999, 37(3/4): 431-447.
- [13] Chen L D, Liu Y, Lü Y H, Feng X M, Fu B J. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [14] Liu Y, Lü Y H, Fu B J. Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 267-275.
- [15] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, Gong J. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [16] You Z, Li Z B. The effect of landscape pattern on soil erosion in Loess Plateau catchment-take Huangjia Ercha catchment as an example. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2005, 22(4): 447-453.
- [17] Ludwig J A, Bastin G N, Chewings V H, Eager R W, Liedloff A C. Leakiness: a new index for monitoring the health of arid and semiarid landscapes using remotely sensed vegetation cover and elevation data. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 442-454.
- [18] Wang J P. Effects of Landscape Patterns on Watershed Soil Erosion and Sediment Delivery[D]. Beijing: Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [19] Wu J G. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.

参考文献:

- [2] 陈利顶, 吕一河, 傅伯杰, 卫伟. 基于模式识别的景观格局分析与尺度转换研究框架. *生态学报*, 2006, 26(3): 663-670.
- [3] 郑明国, 蔡强国, 陈浩. 黄土丘陵沟壑区植被对不同空间尺度水沙关系的影响. *生态学报*, 2007, 27(9): 3572-3581.
- [8] 索安宁, 李金朝, 王天明, 葛剑平. 黄土高原流域土地利用变化的水土流失效应. *水利学报*, 2008, 39(7): 767-772.
- [9] 王计平, 陈利顶, 汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述. *地理科学进展*, 2010, 29(5): 535-542.
- [10] 邱扬, 傅伯杰. 异质景观中水土流失的空间变异与尺度变异. *生态学报*, 2004, 24(2): 330-337.
- [13] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明, 傅伯杰. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. *生态学报*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [14] 刘宇, 吕一河, 傅伯杰. 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性. *生态学报*, 2011, 31(1): 267-275.
- [15] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [16] 游珍, 李占斌. 黄土高原小流域景观格局对土壤侵蚀的影响——以黄家二岔流域为例. *中国科学院研究生院学报*, 2005, 22(4): 447-453.
- [18] 王计平. 景观格局对流域侵蚀产沙及泥沙输移过程影响研究[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2010.
- [19] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongnan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platyclus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow and in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元