

# 基于水土流失风险的流域景观格局识别方法研究

张桐艳<sup>1</sup>, 贺敬滢<sup>1</sup>, 李光录<sup>1</sup>, 朱首军<sup>1</sup>, 周茂玲<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 洋县水土保持工作站, 陕西 洋县 723300)

**摘要:**运用“源、汇”景观理论,利用洛伦兹曲线,考虑了植被覆盖因素,基于景观坡度指数,构建了景观空间负荷对比指数,定量分析了丹江流域 9 个子流域的景观空间格局。结果表明:丹江流域北部各子流域主要以水土流失的“源”景观为主,景观坡度指数大,空间负荷指数小,水土流失风险大;流域南部各子流域上游以“汇”景观为主,坡度指数大,中下游以“源”景观为主,景观空间分布不均衡,存在一定的水土流失风险。

**关键词:**景观格局; 水土流失风险; 景观负荷对比指数; 丹江流域

中图分类号:Q143

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0175-05

## Method of Watershed Landscape Pattern Analysis Based on the Risk of Soil and Water Loss

ZHANG Tong-yan<sup>1</sup>, HE Jing-ying<sup>1</sup>, LI Guang-lu<sup>1</sup>, ZHU Shou-jun<sup>1</sup>, ZHOU Mao-ling<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Soil and Water Conservation Working Station of Yangxian, Yangxian, Shaanxi 723300, China)

**Abstract:** Based on Source-sink principle and Lorentzian curve, this paper analyzed the landscape pattern of nine watersheds in Danjiang River Basin and constructed landscape slope index and location-weighted landscape contrast index. The results showed that the landscape in the watersheds of the northern basin was dominated by soil water loss ‘source’ landscape with bigger landscape slope index and smaller location-weighted landscape contrast index. The risk of soil water loss in those watersheds was very high. The landscape of the upper watersheds in the southern basin was dominated by ‘sink’ landscape with bigger landscape slope index, while ‘source’ landscape was dominated in the down reach. The distributions of ‘source’ and ‘sink’ landscapes were uneven in the watersheds, which made a higher risk of soil water loss.

**Key words:** landscape pattern; risk of soil and water loss; location-weighted landscape contrast index; Danjiang River watershed

景观格局与生态过程的关系是景观生态学研究的核心内容<sup>[1]</sup>。由于景观格局和生态过程涉及到不同的研究尺度,并且随尺度的变化而变化,加上生态过程涉及到空间尺度,因此定量描述景观格局和生态过程之间的相互关系是目前景观生态学研究的一个难点<sup>[2-4]</sup>。水土流失是目前人们关注的主要生态过程之一,它的产生和迁移与地表景观的空间分布格局密切相关,因此,不同类型景观中产生和输出的水土流失负荷有很大的差异<sup>[5]</sup>。异质景观内不同的土地利用格局深刻影响着流域的径流和产沙过程,如何从景观尺度上,探索不同景观格局对流域水土流失过程的

影响,将流域水土流失过程与景观格局结合起来是目前景观生态学面临的一个重要难题<sup>[6-9]</sup>。陈利顶利用“源”“汇”景观理论对景观格局与生态过程关系进行了方法探索,通过分析不同景观类型及其空间分布格局在非点源污染形成过程中的地位和作用,借用洛伦兹曲线理论,从距离、相对高度和坡度 3 个方面建立了不受尺度限制的景观格局评价模型——景观空间负荷对比指数<sup>[10]</sup>。该指数是以某一生态过程作为研究对象,将景观空间格局分析与生态过程紧密结合在一起,可以较好地评估景观空间分布格局与生态过程的关系。丹江流域是南水北调中线工程的水源区,为

收稿日期:2011-12-28

修回日期:2012-02-04

资助项目:陕西省丹治流域水源保护项目(K332020903)

作者简介:张桐艳(1987—),女,新疆人,硕士生,研究方向为土地资源利用与管理。E-mail:zty\_456@126.com

通信作者:李光录(1964—),男,宁夏人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事土地利用与土壤侵蚀研究。E-mail:guangluli@nwsuaf.edu.cn

保证南水北调中线工程水源区水质安全,本文针对丹江流域水土流失造成的非点源污染,通过分析不同景观类型及其空间分布格局在水土流失过程中的地位和作用,利用洛伦兹曲线理论,提出景观坡度指数和景观空间负荷对比指数,并以陕西省境内的丹江流域为例,定量分析丹江流域 9 个子流域的景观空间格局,为丹江流域水土保持和流域土地资源管理提供科学依据。

## 1 研究区概况与方法

### 1.1 研究区概况

丹江河流域位于东经  $109^{\circ}30'$ — $112^{\circ}00'$ ,北纬  $32^{\circ}30'$ — $34^{\circ}10'$ 。河流自西北至东南,地势东低西高,海拔为 600~1 200 m,丹江在陕西省境内的流域面积为 7 510.8 km<sup>2</sup>,多年平均径流量为 18.9 亿 m<sup>3</sup>。丹江流域地势由西北向东南降低而敞开,有利于低空东南暖湿气流向该区域内侵入,所以具有亚热带气候和暖温带气候特点。年平均气温由北向南、由西向东递增。多年平均气温为 11~14℃,丹江流域降水量受气候和地形的影响,降水分布极不均匀,年降水量随地形高度增加而递增,因而山地为多雨区,河谷及附近川道为少雨区。该流域年平均降水量为 743.5 mm,多年平均径流量为 8.2 亿 m<sup>3</sup>,受季节性气候变化的影响,径流的年内分配不均,枯水期河水主要靠地下水补给。土壤主要有黄棕壤、棕壤、黄褐土和水稻土。生物资源丰富,共有 3 000 多种,各类树种 2 100 余种,地带性景观以落叶—常绿阔叶混交林,落叶阔叶—针叶混交林为主,动物近 800 种<sup>[11]</sup>,森林覆盖率高达 50%。

### 1.2 研究方法

1.2.1 “源—汇”景观的确定 在景观生态学中,“源”景观和“汇”景观的区分,应结合具体的过程进行分析,“源”景观是指在格局与过程研究中,那些能促进生态过程发展的景观类型;“汇”景观是那些能阻止和延缓生态过程发展的景观类型。然而,由于“源”、“汇”景观是针对生态过程而言,在识别时,必须和待研究的生态过程相结合。只有明确了生态过程的类型,才能确定景观类型的性质<sup>[12]</sup>。本文以水土流失过程来确定景观类型。流域内一些景观类型在降雨过程中产生大量的地面径流,土壤流失严重,在流域中起到了“源”作用,如农田、居住用地、裸地,因此可以认为是一种“源”景观类型;对于许多自然景观类型,由于树根深而交错盘结,固土能力强,可以防止土壤流失,在一定程度上具有坡面截留作用,减少地面

径流,在流域中起到了“汇”的作用,如林地、灌木林地和草地,因此,可以认为是一种“汇”景观类型。同时一些景观(比如河流水体)起到了传输的作用<sup>[9]</sup>。

地形被认为是影响流域水文过程的重要因素,尤其是坡度对流域的水、沙输移具有重要的影响<sup>[13]</sup>。本文利用坡度因子判断流域的“源”“汇”景观格局,对于研究一个流域水土流失形成的危险性具有重要意义。如果流域中“源”景观单元分布的坡度越小,“汇”景观单元分布的坡度越大,流域会产生较少的水、沙输出,发生水土流失的风险就小;反之,如果流域“源”景观单元分布的坡度越大,“汇”景观单元分布的坡度越小,并有较多的“源”集中分布,而缺乏“汇”的滞蓄作用,流域将会有较多的水、沙输出,发生水土流失的风险就大<sup>[14]</sup>。

1.2.2 景观格局指数的构建 陈利顶<sup>[10]</sup>提出借用洛伦兹曲线理论来确定“源”、“汇”在空间的分布格局。洛伦兹曲线最早是用来描述不同人群的财富分布的一种曲线,它实际上刻画的是某一因素在递增过程中,另一个与其相关的变量的累积过程。本文以坡度作为一个景观空间分布因素,构建不同景观类型在坡度递增过程中累积的曲线(图 1)。从图 1 看出,O(0,0)表示 0 坡度,C 点表示流域最大坡度,横坐标 OC 表示坡度的递增过程,纵坐标 OA 表示与坡度对应的景观类型的面积累积(取值范围 0~1)。OEB 表示的是绝对平均分布曲线,如果“源”、“汇”景观均匀分布在流域中,那么将会出现 OEB 的分布曲线,在这种情况下,如果“源”“汇”景观在流域中的比例相同,同时假设他们单位环境效应相同,那么这种流域景观格局的环境效应在理论上处于正负平衡状态。如果“源”“汇”景观在空间上分布不均匀,如 ODB、OFB(ODB、OFB 分别表示源、汇景观类型随坡度增加的面积累积曲线)曲线所示,在坡度上的分布情况可以用各景观类型面积曲线与直线 OC、CB 组成不规则三角形的面积来判断。如果曲线呈凸型并且接近于 A 点,表示该景观类型在空间分布上主要分布在缓坡度范围,它们对流域水沙输移过程的作用相对较小,此时该曲线与直线 OC、CB 构成的不规则多边形的面积较大;当曲线呈凹型并接近于 C 点时,则表示该类景观主要分布于坡度较陡的地带,它对水、沙输移的作用相对较大,此时该曲线与直线 OC、CB 构成的不规则多边形的面积较小。对于任何一个流域都可以得出每一种景观类型空间分布的累积曲线。以每一种景观类型的 0 坡度分布(OAB)为标准,衡量其实际坡度空间分布,可以构建出景观坡度指数:

$$LSI = S_{OABC} / S_{OFBC} \quad (1)$$

式中:LSI——某一景观类型的坡度指数; $S_{OFBC}$ ——某一景观面积累积曲线构成的不规则多边形面积; $S_{OABC}$ ——如果该景观全部分布在0坡度时的面积累积曲线构成的不规则多边形面积。LSI的值越大,表示景观类型分布的坡度越大,对水土流失的风险越大。

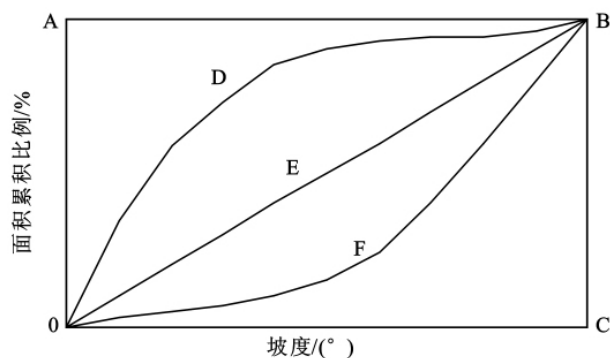


图1 “源”“汇”景观空间分布示意图

如果从不同景观类型的“源”“汇”作用来考虑,可以将各种景观类型划分为对水土流失过程起到“源”作用和起到“汇”作用两类,构成“源”“汇”景观空间对比指数,其可表示为:

$$LCI = S_{ODBC} / S_{OFBC} \quad (2)$$

式中:LCI——景观负荷对比指数; $S_{ODBC}$ ——源景观面积累积曲线构成的不规则多边形面积; $S_{OFBC}$ ——汇景观面积累积曲线构成的不规则多边形面积;对于坡度来说,LCI的值越大,表明源景观分布在坡度较小的地方,水土流失的风险较低。

上面仅仅讨论了“源”“汇”景观类型的流域景观格局指数,实际上不同景观类型对水土流失的贡献差异较大。为了客观准确地比较它们在水土流失过程中的作用,需要对不同景观类型进行标准化处理。对此可以选择一种标准的“源”“汇”景观类型,通过比较,可以对其他景观类型赋予一定的权重<sup>[15]</sup>。为客观的评价景观类型在水土流失过程中的作用,从影响水土流失的影响因素(坡度、植被覆盖度与土地利用类型)来作为改进景观格局指数的依据。由此公式(2)可以改进为:

$$LCI_x = \lg \left( \frac{\sum_{i=1}^m S_{iODBC} \times w_i \times PC_i}{\sum_{j=1}^n S_{jOFBC} \times w_j \times PC_j} \right) \quad (3)$$

式中: $LCI_x$ ——第 $x$ 个子流域景观负荷对比指数; $S_{iODBC}$ ,  $S_{jOFBC}$ ——第 $i$ 种“源”景观和第 $j$ 种“汇”景观在洛伦兹曲线图中面积累积曲线组成的不规则多边形面积; $w_i$ ,  $w_j$ ——第 $i$ 种“源”景观和第 $j$ 种“汇”景观的地面覆盖度; $PC_i$ ,  $PC_j$ ——第 $i$ 种“源”景观和第 $j$ 种“汇”景观在流域中所占的百分比。对计算结果取对数主要是为了控制LCI的变化范围;取对数后,

LCI的值将在0左右变化。当LCI的值为0时,表示“源”“汇”景观在流域尺度上处于均匀分布状态,这种格局在各个坡度上相平衡;当LCI的值大于0时,表明流域内“源”景观在坡度上要大于“汇”景观,该流域水土流失风险较小;当LCI的值小于0时,表明“汇”景观在坡度上要大于“源”景观,该流域水土流失风险较大。在理论上,LCI的值越大,流域水土流失风险越小,反之越大。

1.2.3 景观格局指数的计算 应用国家科学数据服务平台数据库中2007年夏季的丹江流域TM影像作为数据源,由专家通过计算机屏幕进行人工解译,形成1:5万比例尺成图标准的数字化土地利用/土地覆被专题地图<sup>[16-17]</sup>。地形数据采用中国科学院地理与资源研究所提供的1:25万地形。在地理信息系统软件ArcGIS支持下建立丹江流域数字高程模型(DEM),在此基础上生成流域坡度图,并将丹江流域划分为9个子流域<sup>[18-19]</sup>。将丹江流域土地利用数据与坡度数据叠加,统计每个子流域不同土地利用类型的坡度分布数据,并绘制每个集水区每种土地利用类型的洛伦兹曲线,采用积分计算每种土地利用类型的洛伦兹曲线多边形面积,得出每个集水区每种土地利用类型的景观坡度指数。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是根据植被反射波段的特性计算出来的反映地表植被生长情况、覆盖情况、生物量情况和植被种类情况的间接指标,被广泛应用于植被覆盖的定量研究,研究认为植被覆盖程度对水土流失有重要的影响,所以本研究NDVI值来自TM 2004—2009年夏季数据<sup>[20]</sup>(表1),从而得到景观空间负荷对比指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 景观组成结构分析

表2所示丹江流域陕西境内9个子流域土地利用类型组成结构,由表1可以看出,流域分为南、北两岸,丹江流域上游北岸板桥河子流域土地利用以中低覆盖度草地和耕地等水土流失的“源”景观所占比例较大,二者合计共占流域总面积的50%以上,其它类型所占比例较小;会峪河和老君河子流域主要以“汇”景观为主,土地利用类型以森林、果园和高覆盖度草地的“汇”景观所占面积比例较大。流域上游南岸南秦河子流域的“汇”景观类型面积大于“源”景观类型面积。处于流域中下游北岸的清油河、武关河和湘河等子流域土地利用以森林和高覆盖度草地等“汇”景观所占比例达到50%以上,说明在这些子流域中,“汇”景观面积大于“源”景观面积。流域中下游南岸

主要有县河和银花河两个子流域,县河子流域中“源”主;而银花河主要以“汇”景观占主导地位,土地利用景观面积大于“汇”景观面积,“源”景观主要以耕地为类型以果园为主(表 2)。

表 1 丹江流域土地利用类型的植被指数

区域	相对位置	归一化植被指数(NDVI)										
		疏林	低覆盖 草地	灌丛	裸地	高覆盖 草地	中覆盖 草地	果园	森林	水域	耕地	居住 用地
板桥河	北岸	0.52	0.50	0.54	0.16	0.71	0.47	0.32	0.61	0.10	0.30	0.24
会峪河	北岸	0.52	0.49	0.53	0.19	0.53	0.51	0.44	0.52	0.40	0.37	0.22
老君河	北岸	0.50	0.49	0.57	0.18	0.60	0.53	0.49	0.58	0.44	0.30	0.14
南秦河	南岸	0.40	0.53	0.49	0.12	0.63	0.56	0.46	0.61	0.41	0.24	0.25
清油河	北岸	0.55	0.54	0.63	0.11	0.38	—	0.56	0.58	0.35	0.29	0.23
武关河	北岸	0.53	0.52	0.60	0.18	0.61	0.48	0.58	0.62	0.44	0.38	—
湘 河	南岸	0.51	0.43	—	0.13	0.44	0.42	0.50	0.52	0.33	0.37	—
县 河	北岸	0.36	0.41	0.57	0.15	0.53	0.33	0.53	0.58	0.34	0.26	—
银花河	南岸	0.49	0.52	0.51	0.16	0.55	0.50	0.57	0.59	0.38	0.36	0.20

表 2 丹江流域土地利用类型组成

区域	流域 面积/ km <sup>2</sup>	土地利用类型面积占各流域面积百分比/%										
		疏林	低覆盖 草地	灌丛	裸地	高覆盖 草地	中覆盖 草地	果园	森林	水域	耕地	居住 用地
板桥河	588.5	1.97	14.89	0.64	4.42	2.18	18.17	0.02	28.56	10.19	18.06	0.90
会峪河	218.9	2.13	5.99	3.06	7.42	16.14	5.36	28.76	10.61	18.95	1.55	0.04
老君河	261.3	1.32	5.66	2.92	6.30	13.90	18.01	17.03	13.79	20.61	0.81	0.10
南秦河	581.7	0.16	3.89	2.17	8.94	2.08	15.71	34.04	8.13	15.73	8.98	0.17
清油河	364.4	9.25	19.95	2.16	2.29	10.83	—	15.41	21.25	14.47	4.33	0.08
武关河	896.7	3.16	16.46	1.14	9.74	13.68	2.26	10.25	27.34	13.87	2.10	—
湘 河	223.5	2.92	13.61	—	1.79	0.37	8.73	36.42	29.32	1.45	5.38	—
县 河	276.5	3.85	6.85	0.50	6.12	4.27	3.70	17.00	17.38	20.47	20.15	—
银花河	1031.2	0.88	20.58	0.04	9.64	1.71	2.80	25.53	16.14	18.72	3.79	0.18

## 2.2 景观格局坡度分析

景观坡度指数是把景观空间分布与地形平坦状况结合起来,描述景观地形空间分布格局的一个重要指标。

表 3 所示为丹江流域各子流域不同土地利用类型的景观坡度指数,耕地和居住用地一般分布在地势平坦的河川谷道地,河谷比较开阔,河滩较多,是农田的主要分布区。森林、灌丛、疏林地、高覆盖度草地等一般分布在坡度相对陡峭的峡谷地带,一般景观坡度指数都在 3.0 以上。其中,板桥河、南秦河流域疏林地坡度指数最大,对水土流失影响较大;会峪河、老君河流域景观坡度指数在 1~3,在各个坡度上各类景观分布较为均衡;清油河流域中灌丛林地坡度指数达到最大,灌丛林地主要位于清油河河源至两岔段的峡谷地段;武关河除了河口有较大片耕地外,其它河段全部为峡谷,因此武关河流域各景观分布较为均衡;湘河流域花子潭至对窝坪段,河峡深切,谷坡陡峭,低覆盖草地主要分布在此段,景观坡度指数最大。县河流域景观坡度指数整体较低,银花河流域除了耕地和居住用地外,景观坡度指数整体较高。

## 2.3 景观“源—汇”负荷对比分析

景观空间负荷对比指数反映的是“源”、“汇”在空间上分布的相对性,计算出的指数越大,意味着该流域发生水土流失的危险性越小,因此,该方法在水土流失危险性评价中具有重要参考价值。丹江流域由于受自然环境的限制及人类活动的干扰,各个子流域土地利用景观空间负荷对比指数差异很大。从表 3 和图 2 可以看出,板桥河和清油河子流域景观空间负荷对比指数大于 0,表明流域内“源”景观在坡度上要大于“汇”景观,该流域水土流失风险较小,这两个子流域虽然地处山区地带,地形陡峭,坡度较大,但流域的主要土地利用类型是地表覆盖度很好的森林和高覆盖度草地等水土流失“汇”景观,而耕地和人类活动干扰产生的低覆盖度草地等“源”景观主要分布于流域的下游坡度较小的平地,子流域内“汇”的作用大于“源”的作用,所以这两个子流域水土流失风险相对低;南秦河与银花河子流域景观空间负荷对比指数小于 0,但大于负 0.1,表明“汇”景观在坡度上要大于“源”景观,该流域水土流失风险相对较大,子流域上游一般为植被覆盖相对比较好的森林、疏林和灌丛等

“汇”景观类型,但由于人类过渡的土地开发利用,流域中、下游土地利用类型多为耕地和中、低覆盖类型草地等“源”景观,“源”、“汇”景观在流域内分布不均衡,导致这些子流域处于水土流失中风险区;会峪河、老君河、武关河、湘河、县河子流域景观空间负荷指数小于负 0.1,说明这些流域处于水土流失高度风险区,“源”景观坡度指数较大,地面覆盖程度较低,以耕地和中、低覆盖度草地等源景观类型,由于受地形影响主要分布于坡度相对陡的谷坡,所以景观空间负荷对比指数很小。

表 3 丹江流域各子流域植被景观格局数量特征

区域	景观坡度指数 LSI											景观空间 负荷对比 指数 LCI
	疏林	低覆盖 草地	灌丛	裸地	高覆盖 草地	中覆盖 草地	果园	森林	水域	耕地	居住 用地	
板桥河	5.64	3.53	4.56	4.10	4.45	—	2.48	—	3.14	1.83	1.40	0.06
会峪河	3.44	3.12	3.74	2.88	4.21	3.75	3.56	3.79	2.58	2.69	1.65	−0.58
老君河	3.37	4.21	4.62	4.46	4.43	4.38	4.61	4.47	2.78	2.29	1.91	−0.28
南秦河	5.50	4.23	4.71	4.07	5.35	4.04	3.41	4.05	2.51	3.48	1.05	−0.10
清油河	4.01	3.57	5.27	4.03	3.98	—	2.62	3.66	2.24	1.95	—	0.02
武关河	4.03	3.94	4.04	3.76	3.92	4.00	3.42	3.79	2.59	2.85	—	−0.33
湘 河	6.24	6.35	—	3.60	5.46	5.82	4.33	4.17	2.54	3.08	—	−0.29
县 河	2.28	2.68	3.17	3.64	3.97	3.86	2.27	3.63	2.16	1.84	1.09	−0.16
银花河	4.62	4.41	4.53	4.17	4.52	5.19	4.13	4.37	2.88	2.77	1.50	−0.01

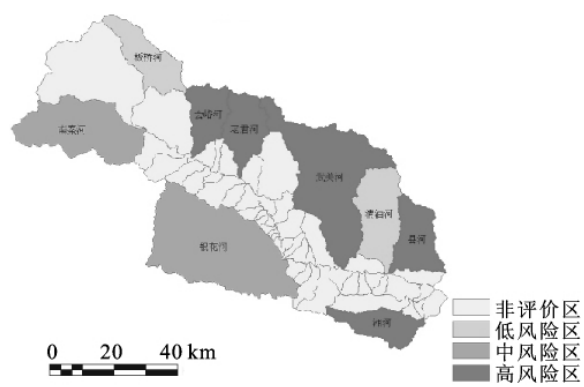


图 2 丹江流域水土流失景观风险区

3 结 论

丹江流域是南水北调中线工程的水源区,为保证京津唐地区的水质安全,应降低水源区水土流失风险,减少非点源污染。流域水土流失过程是多种因素共同作用的结果,包括气候因子、地形因子、植被因子和人类干扰作用等方面。流域上游区域除了板桥河子流域的景观空间负荷对比指数大于 0,该子流域土地利用以中低覆盖度草地和耕地等水土流失的“源”景观所占比例较大,属于水土流失低风险区;其余流域(会峪河、老君河、南秦河)的景观空间负荷对比指数都小于 0,流域内“源”景观分布的坡度较大,因此流域处于水土流失高度风险区。流域下游区域除了清油河景观空间负荷对比指数大于 0,其余流域(武关河、湘河、县河、银花河)景观空间负荷对比指数都小于 0,尤其流域北岸的武关河和湘河指数达到最小,表明流域内“汇”景观坡度指数较大,发生水土流

失的风险较高,子流域上游一般为植被覆盖相对比较好的森林、疏林和灌丛等“汇”景观类型,但由于人类过渡的土地开发利用,流域中、下游土地利用类型多为耕地和中、低覆盖类型草地等“源”景观,“源”、“汇”景观在流域内分布不均衡,导致这些子流域存在一定程度的水土流失风险。

本文通过比较研究不同景观类型在水土流失过程中的作用,借用洛伦兹曲线的理论和方法,通过比较不同“源”、“汇”景观类型对生态过程的贡献进行赋值,在此基础上,提出了“源”“汇”景观空间负荷对比指数,利用坡度因子判断流域的“源”“汇”景观格局的合理性,指数的大小可以反映景观空间格局对生态过程的影响。该模型充分考虑了格局与过程的关系,从而为研究景观格局与生态过程提供了一个新的思路。

参考文献:

[1] 傅伯杰,陈利顶,马克明. 景观生态学原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[2] 索安宁,洪军,林勇,等. 黄土高原景观格局与水土流失关系研究[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1719-1723.

[3] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,等. 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[J]. 生态学报,2003,23(11):2406-2413.

[4] 邬建国. 生态学范式变迁综论[J]. 生态学报,1996,16(5):449-460.

[5] Basnyat P, Teeter L D, Flynn K M, et al. Relationship between landscape characteristics and Non-point sources pollution inputs to coastal Estuaries[J]. Environment Manage., 1999, 23(4):539-549.

(下转第 184 页)

致谢:衷心感谢西藏区调队生态地质研究所、成都理工大学青年科学基金和成都工大学大学教改项目(XJG1111)对本文的大力支持。

#### 参考文献:

- [1] 杜军,胡军,张勇. 西藏农业气候资源区划[M]. 北京:气象出版社,2007:197-201.
- [2] 廖晓勇,陈治谏,王海明,等. 西藏土地利用综合分区[J]. 山地学报,2009,27(1):96-100.
- [3] 廖晓勇,陈治谏,王海明,等. 西藏自治区土地利用功能分区研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(7):2847-2849.
- [4] 西藏统计年鉴 2010[M]. 北京:中国统计出版社,2010:15-30.
- [5] 西藏统计年鉴 2011[M]. 北京:中国统计出版社,2011:16-26.
- [6] 倪忠云. 西藏曲水—桑日地区生态地质环境承载力研究[D]. 成都:成都理工大学,2011.
- [7] 曾加芹,欧阳华,牛树奎,等. 1985—2000 年西藏地区景观格局变化及影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(1):137-143.
- [8] 师旭颖,郝芳华,林隆,等. 黄河水电开发区域土地利用与景观格局分析[J]. 水土保持研究,2009,16(4):174-179.
- [9] 吴菊,郑林,陈建军,等. 鄱阳湖区土地利用与景观格局变化研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):103-106.
- [10] 孙凤英. 浅谈西藏自治区土地可持续利用[J]. 中国国土资源经济,2008,21(6):13-15.
- [11] 袁力,赵雨森,龚文峰,等. 基于 RS 和 GIS 扎龙湿地土地利用景观格局演变的研究[J]. 水土保持研究,2008,15(3):49-52.
- [12] 王娟,崔保山,姚华荣. 云南澜沧江流域景观格局时空动态研究[J]. 水土保持学报,2007,21(4):85-97.
- [13] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏地貌[M]. 北京:科学出版社,1983:1-3.
- [14] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊[M]. 北京:科学出版社,1984:1-5.
- [15] 倪忠云,何政伟,赵银兵,等. 汶川地震前后都江堰植被盖度变化的遥感研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):45-48.
- [16] 倪忠云,何政伟,赵银兵,等. 都江堰震后土地利用/覆被变化信息提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2010(1):73-76.
- [17] 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区土壤资源[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [18] 朱雪林,黄清麟,张超,等. 西藏灌木林景观格局特征[J]. 山地学报,2010,28(5):586-592.
- [19] 李秀珍,布仁仓,常禹,等. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 生态学报,2004,24(1):123-134.

(上接第 179 页)

- [6] Bergkam P G. A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography in semiarid shrub lands[J]. Catena,1998,33(3/4):201-220.
- [7] Pennock D J, de John E. Spatial pattern of soil redistribution in Boroll landscape, Southern Saskatchewan, Canada[J]. Soil Science,1990,150(6):867-873.
- [8] Martz L W, de John E. Using cesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian prairie landscape[J]. Catena,1987,14(5):439-451.
- [9] 索安宁,王天明,王辉,等. 基于格局—过程理论的非点源污染实证研究:以黄土丘陵沟壑区水土流失为例[J]. 环境科学,2006,27(12):2415-2420.
- [10] Pinder J E, Kroh G C, White J D, et al. The relationships between vegetation types and topography in Lassen Volcanic National Park[J]. Plant Ecol.,1997,131(1):17-29.
- [11] 沈泽昊,张全发,岳超,等. 南水北调中线水源区土地利用/土地覆被的空间格局[J]. 地理学报,2006,61(6):633-644.
- [12] 陈利顶,傅伯杰,赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义[J]. 生态学报,2006,26(5):1444-1449.
- [13] Moore J D, Burch G J. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation[J]. Soil Science Society of America Journal,1986,50(5):1294-1298.
- [14] 卢爱刚,张镭,索安宁. 基于水土流失的景观格局分析方法[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1599-1604.
- [15] 王宪礼,肖笃宁,布仁仓,等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. 生态学报,1997,17(3):318-323.
- [16] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究,2003,22(1):1-12.
- [17] 刘明亮,唐先明,刘纪远,等. 基于 1 km 格网的空间数据尺度效应研究[J]. 遥感学报,2001,5(3):183-190.
- [18] Ziverts A. Mathematical model of hydrological process METQ98 and its application[J]. Nordic Hydrology,1999,30(2):109-128.
- [19] Srinivas A. Recharge process and aquifer models of a small watershed[J]. Hydrological Science,1999,44(5):681-692.
- [20] 索安宁,于波,王天明,等. 泾河流域植被景观格局对流域径流的调节作用[J]. 水土保持学报,2005,19(4):40-43.