

# 杂谷脑河流域近 30 年景观格局时空演变研究

刘铁冬

(东北林业大学 园林学院, 哈尔滨 150040)

**摘 要:**杂谷脑河流域是岷江上游典型的干旱河谷区。以 1980 年和 2006 年两期 Landsat TM 遥感影像为主要信息源,从时间序列和空间尺度上分析近 30 a 杂谷脑河流域 LUCC 过程与景观格局动态变化,揭示其景观格局的时空演变规律,探讨土地利用变化对景观格局的影响机制,以期为其脆弱生境恢复与重建提供依据。结果表明:该流域土地利用变化显著,且以林地大面积减少和灌木林地显著增加为主要特点;区域呈现以自然景观为主,人为景观处于支配地位,以云、冷杉暗针叶林为地带性植被并主导该区域森林景观的格局现状;杂谷脑河流域的景观多样性和均匀度两指数增加,优势度减小,处主导地位的森林景观类型与其它景观类型所占比例的差异在缩小,景观结构趋于均匀,森林景观对流域景观控制作用减弱。

**关键词:**杂谷脑河流域; 景观格局; 30 a 变化; 时空演变

中图分类号: S181

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)03-0098-05

## Study on Spatiotemporal Evolution of Landscape Pattern of Zagunao River Basin in Recent 30 Years

LIU Tie-dong

(College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** The Zagunao River basin is the typical arid valley of upper reaches of Minjiang River. In this paper, the landsat TM images of 1980 and 2006 were used as the main information source, the LUCC(land use and cover change) processes and landscape pattern dynamic changes on spatiotemporal of study region in recent 30 years were analyzed, which aimed to explore the spatial and temporal succession of landscape pattern, to reveal the effect mechanism from LUCC to landscape pattern, and then to provide the basis on restoration and reconstruction of the fragile habitat. The results showed that the land use of study area changed significantly with the main characteristics on area of forestland decreasing and shrub land increasing, the regional present situation was dominated by natural landscape, and the artifical landscape is obvious in ascendancy, meanwhile, the Picea and Abies coniferous forests as the zonal vegetation type controlled the pattern current situation of regional forestland landscape, the index of landscape diversity and evenness increased, while the landscape dominance index decreased, which reflected that different landscape types made up the similar proportion, at the same time, it seemed that the forestland landscape tended to be less controlling on the whole basin landscape.

**Key words:** Zagunao River basin; landscape pattern; changes in 30 years; spatiotemporal evolution

景观动态指景观在结构单元和功能方面随时间的变化,包括景观结构单元的组成成分、多样性、形状和空间格局的变化,以及由此导致的能量物质和生物在分布与运动方面的差异<sup>[1]</sup>。而景观格局是景观异质性的重要表现,是各种景观生态过程综合作用的结果<sup>[2]</sup>,对于景观格局及其变化特征的定量分析,不仅

有助于掌握景观结构功能及景观格局的时空演变规律,更有助于揭示景观演替的机制与规律、探寻人类活动与生态环境演变间的关系<sup>[3-7]</sup>,而且也是当前景观生态学科的研究核心热点问题之一<sup>[8-9]</sup>,同时,也是区域生态环境和发展趋势的一种重要评判手段<sup>[10-13]</sup>。然而对于我国人口密度小、经济相对欠发达和自然条

件相对恶劣的西部地区而言,基于景观格局时空演变的研究相对较少。

岷江上游的干旱河谷区是我国西部天然林保护工程的重点实施区域和长江上游的生态屏障,流域森林资源较为丰富,但长期以来由于人类不合理的掠夺式资源开发以及不合理的利用方式,致使该区域的原生植被绝大部分消失殆尽,植被覆盖率低且水土保持能力弱,山体滑坡和泥石流时常发生<sup>[14]</sup>,人口—资源—环境之间的矛盾日益突出,属于典型的生态脆弱区,杂谷脑河流域是岷江流域上游的一个重要支流,集中了西部山区、高原、资源丰富、环境复杂和生态脆弱等特点,属于流经典型的干旱河谷地段<sup>[14]</sup>,是我国较为典型的山地型生态脆弱区,且受自然、历史和人为干扰等诸多因素的影响,致使该区域生态环境的脆弱程度日益严重。为此,本文以杂谷脑河流域为例,基于RS和GIS技术以及景观生态学理论,从时间序列上和空间尺度上分析研究区近30a来LUCC过程与景观格局的动态变化,揭示其景观格局的时空演替规律,探讨土地利用变化对景观格局的影响机制,以期对杂谷脑河流域脆弱生境的恢复与重建提供依据,并为其生态保护和可持续发展提供理论基础和科学建议,该研究结果对区域生态安全、景观格局维持、生物多样性保护及社会经济的持续稳定发展具有重要的意义。

## 1 研究区概况

杂谷脑河流域属于青藏高原向四川盆地过渡的高山峡谷区,地理坐标为北纬31°11′52″—31°55′7″,东经102°35′36″—103°6′11″,总面积为2 179 km<sup>2</sup>,位于青藏高原东缘褶皱带最外缘部分,处于岷江水系的一级支流杂谷脑河汇水区,该河流域是藏、羌、回及汉族等多个民族聚集区,85%以上的农村劳动力主要从事农牧业,且土地利用方式主要以传统的林业和牧业为主,但耕地多以坡耕地为主。气候以高原山地温带、寒温带季风气候为主,冬季受西北寒流影响,夏季受西南与东南湿热气候影响,基本上常冬无夏,春秋连季<sup>[15]</sup>,平均气温低、地区差异大、冬冷夏凉、年较差小、日较差大,年均降水量为500~600 mm,年蒸发量为1 000~1 500 mm,干湿季节交替明显,典型植被是由云杉、冷杉、松等针叶树种所组成的纯林或者混交林为主。

## 2 研究方法

### 2.1 数据处理

本研究以美国Landsat卫星1980年7月(MSS, 60 m×60 m)和2006年9月(TM, 30 m×30 m)两期

遥感影像为主要数据源,并以研究区域1:10万地形图、部分植被分布图、水文地质图、部分土地利用数据、统计年鉴、部分土壤类型图及气象数据等为辅,在ERDAS IMAGE 9.2的支持下,以地形图为地理坐标参照,利用二次多项式的方法完成遥感影像的几何校正,并保证其校正精度,在此基础上进行图像增强等一系列的处理,结合杂谷脑河流域边界,完成遥感图像的裁剪,考虑研究区域遥感影像数据光谱信息和纹理特征,参照该区域的林相图、森林二类调查数据和部分野外调查数据,并根据实际土地利用现状,建立其土地利用的训练样本,进行监督分类和人机交互解译,实现其景观分类,并随机选取300多个样点进行精度评价,经检验,准确率分别达到82.3%和85.61%,共分为7个一级和7个二级景观类型,分别为:耕地、林地(针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林)、草地、水域、居民用地、未利用地(非植被景观)和灌木林地,其中其二级土地利用主要根据植被类型来划分,在ArcGIS 9.3的支持下,完成土地利用的拓扑、编码等处理,并存储为栅格格式(gird),并与以后的景观指标计算。

### 2.2 景观格局指数

景观指数不仅高度浓缩了景观格局信息,而且能反映景观的结构组成和空间配置特征。因此,参照其它相关的研究成果,根据研究区自身的特点,本文选取景观斑块数(NP)、边界密度(ED)、斑块分维数(FD)、景观分离度(S)、景观蔓延度(CONTAG)、景观多样性指数(SHDI)、优势度指数(DI)与均匀度指数(E)等景观格局指数,定量分析研究区景观格局特征及变化,其中各指标生态学意义与计算方法可见相关文献<sup>[16-17]</sup>。

### 2.3 主要土地利用类型空间模型

土地覆盖重心迁移模型不仅可以很好地从空间上描述土地利用主要类型的时空演变过程<sup>[18-20]</sup>,而且有助于掌握研究时段内土地利用/覆盖类型的空间变化特征及变化规律,基于此,本文在ArcGIS中,通过计算Centroid其中各土地利用类型的重心坐标,揭示其时空演变的驱动机制。第 $t$ 年某种土地资源分布重心坐标(经纬度)计算方法为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ti}}$$

式中: $X_t, Y_t$ ——第 $t$ 年某种土地资源分布重心的经纬度坐标; $C_{ti}$ ——第 $i$ 个小区域该种土地资源的面积; $X_i, Y_i$ ——第 $i$ 个小区域的几何中心(或旗县)的经纬度坐标; $n$ ——研究区内小区域的总个数。

### 3 结果与分析

#### 3.1 研究区域土地利用变化过程

1980—2006 年杂谷脑河流域土地利用变化发生了一定的变化(表 1),主要表现为林地和未利用地面积减少,林地的面积减少最多,灌木林地、草地、耕地、居民地面积增加,灌木林地的面积增加最多,水域面积几乎没有发生变化,增加量仅为 0.01 km<sup>2</sup>。近 30 a 间,林地面积减少了 117.66 km<sup>2</sup>,面积比例由 1980 年的 47.03%减少到 2006 年的 41.63%,年均减少率为 20.76%,主要归因于建国后尤其是大跃进时期大量森林被砍伐<sup>[21]</sup>,尤其以处于群落演替后期的云杉、冷杉寒温性暗针叶林为主,森林资源锐减,林地大面积的减少,区域环境质量下降。

未利用地年平均减少 0.05 km<sup>2</sup>,随着经济作物的推广和退耕还林政策的推行,研究区域大量的荒山荒地被开发利用,造成部分未利用地的面积减少;灌木林地面积增加了 82.60 km<sup>2</sup>,年平均增加 3.18 km<sup>2</sup>,草地年平均增长为 1.36 km<sup>2</sup>。灌木林地和草地的大量增加主要归因于在高海拔地区的亚高山云杉、冷杉林,在受到强烈、频繁、大规模的人为干扰(采伐或开荒)时<sup>[22]</sup>,由于该区域山体结构破坏、坡陡山

险<sup>[14]</sup>,生态环境相对恶劣,森林更新缓慢,亚高山针叶林通常会逆向演替,退化为以林内植物为主的次生性亚高山落叶阔叶林或针阔混交林,受到过度采伐、放牧等人为干扰的影响或水分条件差的地段,就形成亚高山灌丛,加上持续过度放牧、毁灌开垦和随意砍伐取薪柴等人类干扰活动,灌木林地将退化为亚高山草甸<sup>[23]</sup>,灌木林地和草地的增加主要由林地的退化所致,表现为原始森林景观逐步向人为干扰景观演变。

#### 3.2 景观格局特征变化分析

3.2.1 景观总体特征 研究区域内各景观类型面积、斑块数量与优势度分布不均衡,区域自然景观(森林景观、草地、灌木林地和未利用地等)占绝对主导地位,面积总和均达到 90%以上,其中林地和草地景观的比例较大,二者占研究区总面积 70%以上(表 1),对区域景观格局起控制作用<sup>[24]</sup>,而半自然景观、人为景观(未利用地、耕地和居民地等)占据较小的比例,表明杂谷脑河流域以自然景观主导区域景观格局特征,人为景观则明显处于支配地位,这与研究区居住的人口数量、自然条件及经济发展程度有关,由于该地区人口总数相对较小,自然条件相对恶劣,因而人为活动形成的景观类型面积比例相对很小。

表 1 研究区域 1980—2006 年土地利用类型变化

年份	统计类型	林地	耕地	灌木林地	水域	居民用地	未利用地	草地
1980	面积/km <sup>2</sup>	1025.09	12.68	334.56	8.12	0.12	141.48	657.66
	比例/%	47.03	0.58	15.35	0.37	0.01	6.49	30.17
2006	面积/km <sup>2</sup>	907.43	13.64	417.16	8.13	0.19	140.11	693.05
	比例/%	41.63	0.63	19.14	0.37	0.01	6.43	31.79

3.2.2 主要景观类型特征变化 由图 1 分析可知,林地景观的斑块数目增加相对较少,而其边界密度,从 1980 年的 9.833 5 增加到 2006 年的 10.954 2,由于该区域的森林长期受人类经营活动的影响,特别是被大规模采伐后,致使其分布由大斑块集中向小斑块镶嵌,道路两旁尤为突出,林地景观破碎度增加的同时,以桦木林、山杨林为主的阔叶先锋树种在采伐迹

地上普遍而大量发生,在其适生范围内边界扩展侵入其他森林类型中,形成复杂的交错带,总体上边界总长度的增加,造成边界密度的增加。2006 年林地景观的分维数大于 1980 年的,源于自 1998 年实行天然林保护工程以来,人类对森林资源有组织的开发和干扰逐渐减弱,对林地的破坏有所减缓,致使林地的斑块形状趋于不规则化和复杂化,分维数增大。

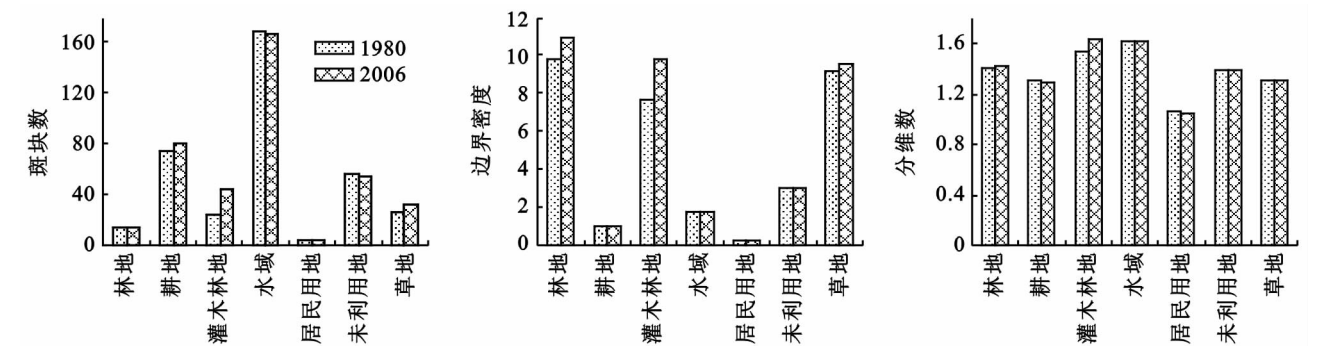


图 1 杂谷脑河流域 1980—2006 年景观特征统计

草地景观在研究区域占据较大的比例,仅次于林地景观。其斑块数目和边界密度呈现增加的趋势,而分维数呈现减少的趋势,草地景观在该区域分布较为广泛,受生态造林、农业耕作等影响,原来连续的草地景观被人类活动分割和占用,分布愈加分散,破碎度日益增加,斑块空间分布散落性增强、聚集度和连接性降低,斑块呈零散分布,大型斑块日益减少,在导致边界总长度增大的同时,致使其边界密度也增大。由于草地在人类活动的干扰下,其斑块的形状趋于规则化和简单化,并不断向荒漠化和半荒漠化演变,尤其干旱河谷区地势相对较平坦的区域,受到频繁的人类活动(耕种、放牧和刈割灌草)<sup>[14]</sup>干扰,对此地带植被破坏较大,致使其分维数降低。

灌木林地景观面积所占比例次于林地和草地。1980—2006 年,灌木林地景观的斑块数目由 24 增加到 44,表明其分布由集中趋于分散,边缘密度和分维数呈现增大,表明其破碎度有所增加,森林群落遭破坏后形成的次生植被是其面积增加的主要来源,由于森林采伐后,部分区域的生境恶劣,森林更新困难,致使采伐迹地被灌木所取代,虽然灌木种类很多,但其结构零乱且类型较复杂,优势种不明显。灌木林地不断的扩大且其大块的灌丛植被林地、疏林地被分割蚕食,形成岛状分布,造成灌木林地的边缘曲折多,形状呈现不规则化和复杂化,形成由于其边界扩展侵入其他森林类型复杂的交错带格局。

未利用地景观主要由迹地(采伐迹地和火烧迹地)、弃耕地、荒山荒地和岩石裸露地等景观类型构成,斑块数目相对变化不大,但其边缘密度增加,分维数减少。20 世纪 80 年代末以前,该景观类型的面积增加主要源于森工局对森林的大量采伐,造成采伐迹地的大量增加,1998—2006 年主要源于退耕还林工程、生态环境保护工程、天然林保护工程等一系列生态建设和环境保护政策的调整,人类加大了部分区域的撂荒地和弃耕地的改造利用,推行“退耕还林、还草”工程,致使其面积有所减少。

3.2.3 景观要素空间距离 由表 2 可知,CONTAG 由 1980 年的 64.931 7 减少到 2006 年的 63.471 0,1980 年以来,随着被会经济的发展,原来斑块较大的景观类型被分割为许多较小斑块,呈现出以林地大面积减少和灌木林地显著增加为主要特点,受到人类活动的干扰,部分连接性好的自然景观逐渐向连接性差的半自然景观和人为景观演变,致使斑块之间团聚程度减弱,区域景观之间的镶嵌性增加,景观空间分布均匀性有所增强,景观的空间异质性增加,其连通性降低且破碎化程度增强,景观整体完整性较差,物种

生存和繁衍的自然生境萎缩,适于生物生存的环境在减少,不利于景观中生物和资源的保护,将直接影响到物种的繁殖、扩散、迁移和保护<sup>[25]</sup>,主要归因于研究区域优势景观类型(云杉、冷杉林景观)在此期间大量减少,在采伐道路两旁的景观格局尤为突出。

表 2 研究区域各景观要素空间相互关系			
年份	AI	分离度 S	CONTAG
1980	97.5891	3.7615	64.9317
2006	97.3076	4.7726	63.4710

分离度由 1980 年的 3.761 5 增加到 2006 年的 4.772 6,近 30 a 来研究区域斑块总数由 368 个增加到 396 个,增加了 28 个,平均斑块面积由 1980 年的 5.91 km<sup>2</sup>/个减少到 2006 年的 5.50 km<sup>2</sup>/个,部分大的斑块分裂成形状略为规则的小斑块,景观格局多以形状较为简单的小斑块为主,在整体上加速景观类型的破碎化程度,景观类型斑块分布趋向离散,个别斑块呈零星、散落状,在一定程度上斑块分布更加均匀,单一的优势景观类型对整体景观的控制作用减弱了,还呈现出以云杉、冷杉暗针叶林为地带性植被并主导着区域森林景观格局,但景观整体景观的优势度在减少,不利于景观功能的整体发挥<sup>[25]</sup>,从而使自然生态环境的净化和维系能力下降<sup>[26]</sup>,对景观结构的逆向影响十分突出<sup>[27]</sup>,源于该区域的森林景观长期受到人类持续的经营活动(森林采伐)的影响。

3.2.4 景观异质性 由表 3 的计算可知,杂谷脑河流域景观多样性指数由 1980 年的 1.232 8 上升到 2006 年的 1.275 4,均匀度由 0.633 5 增加到 0.655 4,说明单一的优势景观类型对整体景观的控制作用减弱了,景观类型组成相对比较均匀,且各景观类型所占比例差异减小,区域景观呈现出以林地为基质的草地、灌木林、岩石裸露地等自然斑块交错的森林—草地荒原分布态势,其余景观类型呈补丁状散布于区域之中,景观的破碎化程度加深,景观异质性程度和复杂性加大,不利于该生态系统的稳定。该区域的景观优势度由 1980 年的 1.574 6 减小到 2006 年的 1.532 0,在一定程度上表明处于主导地位的景观类型与其它景观类型所占比例的差异在缩小,景观结构趋于均匀,致使林地景观对流域景观控制作用逐渐减弱,改变了仅由少数地带性植被景观控制该区域景观格局现状的局面。

表 3 不同时期景观类型多样性			
年份	多样性指数	均匀度	优势度
1980	1.2328	0.6335	1.5746
2006	1.2754	0.6554	1.5320

3.3 土地利用类型时空特征分析

从表 4 可看出,林地景观的重心坐标由低纬度向

高纬度地区转变,主要缘于 20 世纪 80 年代末以前森工局对森林的大量采伐,低纬和低海拔区域的云杉、冷杉林被大规模采伐,森林景观大幅度减少,对于高纬和高海拔的地区而言,受自然环境条件的影响,在一定程度上限制了部分人类的干扰活动,致使该区域的原始景观得以保存,此外,特别是在 1998 年起施行退耕还林工程、天然林保护工程和生态环境保护工程,也使得该区域保留了部分完整原始森林景观结构,故其重心向纬度较高的高海拔地段转移;对于草地而言,其重心坐标由低纬度向高纬度转变,在低纬度和低海拔的地段,草地受到过渡放牧和开荒等的人

为影响,草地退化和沙化现象严重,面积减少,逐步向高山和相对高纬度地带转移。灌木林地的重心坐标由高纬度区域向低纬度转变,由于低纬、低海拔的森林被采伐后,灌木林在采伐迹地迅速更新并形成一定的规模,受人造的过度干扰(采伐和放牧),特别是藏民的居住地附近,部分针叶林作为薪柴随意被砍伐,致使针叶林景观类型逐步演化为灌丛针叶林混交景观,形成灌丛景观的逆向演替发展,故重心坐标向相对低的纬度地区转移。未利用地由低纬度和低海拔区域向高纬度高海拔区域转变,源于高海拔区域存在着大量的裸崖地、火烧迹地和部分雪山。

表 4 研究区域主要土地利用重心变化统计

土地利用类型	1980 年重心坐标		2006 年重心坐标		转移量
	X(0)	Y(0)	X(0)	Y(0)	
林地	102.84985	31.57385	102.84636	31.57456	-0.00349,0.00071
灌木林地	102.81461	31.45655	102.81511	31.45352	0.0005,-0.00303
未利用地	102.80452	31.49371	102.82161	31.50282	0.01709,0.00911
草地	102.82498	31.57504	102.82588	31.57842	0.0009,0.00338

4 结 论

利用 RS 与 GIS 技术并结合景观生态学理论,完成对杂谷脑河流域近 30 a 年间土地利用过程及景观格局时空演变研究。结果表明:该流域内各土地利用类型面积和斑块数量不均衡,林地和灌木林地变化显著,呈现大面积减少和增加的变化趋势,此外草地、耕地、居民地和水域面积增加,区域景观格局呈现以自然景观(森林景观、草地、灌木林地)为主,半自然景观、人为景观(采伐迹地、耕地、居民地等)为辅的格局现状。

整个研究时段内,该流域景观多样性和均匀度两指数增加,分别由 1980 年的 1.232 8 和 0.633 5 增加到 2006 年的 0.275 4 和 0.655 4,其优势度由 1.574 6 减少到 1.532 0,该结果表明近 30 a 间各景观类型所占比例差异减小,景观类型的分布由集中趋向分散交错,均匀程度较大,景观的完整性减弱,连通性降低,景观的异质性增强。

近 30 a 期间,研究区域土地利用类型重心坐标发生了一定变化,其中林地、草地和未利用地的重心坐标由低海拔、低纬度区域向高海拔、高纬度地带转变,灌木林地的重心坐标由高纬度、高海拔区域向低纬度、低海拔地段转变。

参考文献:

[1] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[2] 何东进,林立,游巍斌,等. 闽东滨海湿地景观格局演化

及其模拟[J]. 福建林学院学报,2013,33(2):97-105.

[3] Schröder B, Seppelt R. Analysis of pattern-process interactions based on landscape models-overview, general concepts, and methodological issues [J]. Ecological Modelling,2006,199(4):505-516.

[4] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[5] Abdullah S A, Nakagoshi N. Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia[J]. Landscape and Urban Planning, 2006,77(3):263-275.

[7] 周德民,宫辉力,胡金明,等. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究:以洪河湿地自然保护区为例[J]. 自然资源学报,2007,22(1):86-95.

[8] Bürgi M, Straub A, Gimmi U, et al. The recent landscape history of Limpach valley, Switzerland: considering three empirical hypotheses on driving forces of landscape change[J]. Landscape Ecology,2010,25(2):287-297.

[9] Mari J F, Benoit M. Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture[J]. Landscape Ecology,2010,25(2):169-183.

[10] Kienast F. Analysis of historic landscape patterns with a geographical information system: a methodological outline[J]. Landscape Ecology,1993,8(2):103-118.

[11] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently[J]. Landscape Ecology,2001,16(3):235-254.

[12] 万荣荣,杨桂山. 太湖流域土地利用与景观格局演变研究[J]. 应用生态学报,2005,16(3):475-480.

(3) 以乡镇为基本空间单元对区域进行生态敏感性评价在方法上是可行的, 研究结果均质性较好, 具有较强的可操作性。此结果可为以乡镇为基本单元的限制开发区“主体功能区建设”等研究提供科学依据。

(4) 文章仅从自然因素的角度评价了区域的生态敏感性, 事实上, 区域系统是自然和人文的耦合系统, 生态敏感性是自然因素和人文因素共同作用的结果, 如何在对自然因子生态敏感性分析的基础上, 引入人文因子, 是今后研究的重点。

#### 参考文献:

- [1] Rodriguez E, Vila L. Ecological sensitivity atlas of the Argentine continental shelf[J]. International Hydrographic Review Monaco, 1992, 69(2): 47-53.
- [2] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rainforests to selective logging[J]. Australian Journal of Ecology, 1991, 16(1): 119-129.
- [3] 徐广才, 康慕谊, 赵从举, 等. 阜康市生态敏感性评价研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 88-92.
- [4] 朱志玲, 吴咏梅, 张敏. 基于 GIS 的宁夏生态环境敏感性综合评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 101-105.
- [5] 吴金华, 李纪伟, 朱鸿儒. 基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1180-1188.
- [6] 万洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 248-254.
- [7] 李丁, 王生霞, 苗涛. 生态脆弱地区生态农业模式的参与式发展研究与实践: 以民勤县绿洲边缘区为例[J]. 干旱区地理, 2011, 34(2): 337-343.
- [8] 刘康, 欧阳志云, 王效科, 等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2711-2718.
- [9] 刘焱序, 李春越, 任志远, 等. 基于 LUCC 的生态型城市土地生态敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 125-130.
- [10] 颜磊, 许学工, 谢正磊, 等. 北京市域生态敏感性综合评价[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3117-3129.
- [11] 潘峰, 田长彦, 邵峰, 等. 新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1497-1507.
- [12] 贾科利, 张俊华. 宁夏中部干旱带土地利用变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 62-66.
- [13] 国家环境保护总局. 生态功能区划技术暂行规程[J]. 北京: 环境出版社, 2002.
- [14] 韩贵锋, 赵珂. 袁兴中, 等. 基于空间分析的山地生态敏感性评价: 以四川省万源市为例[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 531-537.
- [15] 卢远. 基于 GIS 的广西土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 98-100.
- [16] 王小丹, 钟祥浩, 范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 183-188.
- [17] 曹建军, 刘永娟. GIS 支持下上海城市生态敏感性分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1805-1812.
- [18] 孙晓一, 汤青, 徐勇, 等. 宁南山区特色农业发展模式探讨[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 181-185.
- [19] Rodriguez E, Vila L. Ecological sensitivity atlas of the Argentine continental shelf[J]. International Hydrographic Review Monaco, 1992, 69(2): 47-53.
- [20] 王良健, 包浩生. 基于遥感和 GIS 的区域土地利用变化的动态监测研究[J]. 经济地理, 2000, 20(2): 47-50.
- [21] 李虎杰. 岷江上游生态环境建设与经济可持续发展[J]. 四川环境, 2001, 20(4): 51-56.
- [22] 刘洋. 岷江源头区植被景观与流域土壤侵蚀的动态相关性[D]. 成都: 中国科学院成都生物研究所, 2007.
- [23] 刘庆. 亚高山针叶林生态学研究[M]. 成都: 四川大学出版社, 2002.
- [24] 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 近 50 a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响: 以新疆玛纳斯河流域为例[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [25] 徐达. 中山陵景区 SPOT5 融合及分类技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [26] 史培军, 潘耀忠, 陈晋, 等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 293-299.
- [27] 陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 46-51.
- [28] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rainforests to selective logging[J]. Australian Journal of Ecology, 1991, 16(1): 119-129.
- [29] 徐广才, 康慕谊, 赵从举, 等. 阜康市生态敏感性评价研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 88-92.
- [30] 朱志玲, 吴咏梅, 张敏. 基于 GIS 的宁夏生态环境敏感性综合评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 101-105.
- [31] 吴金华, 李纪伟, 朱鸿儒. 基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1180-1188.
- [32] 万洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 248-254.
- [33] 杨桂山, 翁立达, 李剑锋. 长江保护与发展报告[M]. 武汉: 长江出版社, 2007.
- [34] 潘攀, 慕长龙, 牟菊英, 等. 杂谷脑河流域河谷区植被及其生物多样性[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(5): 55-58.
- [35] 刘世荣, 孙鹏森, 罗佳文. 岷江上游生态水文研究图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 2008.
- [36] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 113-119.
- [37] 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): 317-323.
- [38] Buheasier, Liu Jiyan. Using Remotely Sensed Study on Land Cover Change in China Based on Seasonal and Longitudinal Characteristics Data[M]. Asahikaw: IGU-LUCC Press, 1997.
- [39] 谢高地. 人口增长胁迫下的全球土地利用变化研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 233-241.

(上接第 102 页)