

黄土高原汾河流域地表景观演变特征研究

侯志华, 马义娟

(太原师范学院 城市与旅游学院, 太原 030012)

摘 要:黄土高原是中国高度脆弱的生态系统之一,基于 2000 年和 2008 年两期 TM 遥感影像,以黄土高原脆弱区独立的流域单元——汾河流域为例,综合运用 GIS 和 RS 技术及景观生态学的基本原理与方法,分析该流域地表景观特征及其变化趋势,同时利用 DEM 数据,探讨景观演变的空间分异规律,为进一步研究流域景观演变驱动机制提供有价值的信息。结果表明:(1) 农田、森林、草地始终是该流域的主要景观构成,但绝对优势景观(农田)所占比例大幅下降;(2) 就整体景观尺度而言,形状趋于规则,连通性增强,多样性增大,蔓延度下降,整体景观格局受人为活动的干扰越来越强;(3) 流失的农田主要流向了草地、森林和聚落,成为该流域 8 a 来主要的景观演变类型;(4) 农田向聚落景观的演变主要发生在地势平坦、海拔低的中部两大盆地地区,农田向林草景观的演变则主要发生在海拔较高、坡度较大的上游、中游南部以及中下游外围的山地丘陵区。

关键词:景观演化;空间分异;遥感;景观指数;汾河流域

中图分类号:P901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0092-06

Study on the Surface Landscape Changes in Fenhe River Basin of the Loess Plateau

HOU Zhi-hua, MA Yi-juan

(College of City and Tourism, Taiyuan Normal University, Taiyuan 030012, China)

Abstract: The Loess Plateau is one of the most ecologically fragile regions in China. A case study was conducted in an independent basin unit in the eco-fragile region of the Fenhe River basin on the Loess Plateau based on Landsat-TM image respectively made in 2000 and 2008 and integrated by the means of the technology of RS and GIS as well as the theory of landscape ecology, the change tendency of landscape pattern was analyzed, and digital elevation model (DEM) was used to discuss the spatial distribution of the major landscape change types to provided valuable information for studying the driving force of the landscape changes. The results showed: (1) farmland, forest and grass were the main landscape types all along. Moreover, although the farmland element had the absolute superiority over the other two, it sharply decreased during the study period; (2) by analyzing the landscape pattern of the whole area, we found that the shape became more regular, the connectedness rose, diversity index increased and contagion decreased, which suggested the disturbance due to human activities on the landscape change were more and more strong; (3) the changes from farmland grassland, forestland and settlement was the main landscape change types and had constituted in this river basin from 2000 to 2008; (4) the landscape change from farmland to settlement usually occurred in the central basin with lower altitude and flat terrain, while but most of the landscape changes from farmland to grassland and forestland had been found in the upstream area with higher altitude and large slope, in the southern area of middle reaches and in the mountain area of the peripheral middle and lower reaches.

Key words: landscape changes; spatial distribution; remote sensing; landscape index; Fenhe River basin

收稿日期:2012-09-22

修回日期:2012-10-31

资助项目:山西省高等学校人文社会科学重点研究基地项目“汾河流域生态环境脆弱性评估及管理对策研究”(2011327);山西省科技攻关项目“山西省生态系统脆弱性评价与监测预警研究”(20100311128)

作者简介:侯志华(1981—),女,山西省阳泉市人,硕士研究生,讲师,主要从事资源环境遥感和 GIS 应用研究。E-mail:houshizhua1008@126.com

通信作者:马义娟(1965—),女,山西省太原市人,硕士研究生,教授,主要从事资源与环境变化研究。E-mail:mayijuan@163.com

地表景观的变化,不仅改变了地表的面貌和组成,而且深刻影响着整个生态系统中的物质循环和能量分配,土地利用与土地覆盖变化(LUCC)是地表景观最直接,也是最根本的一种变化方式。自1995年,国际地圈与生物圈计划(IGBP)与国际人文计划(IHDP)联合提出LUCC研究计划以来,LUCC变化迅速引起了国际各界学者的广泛关注,成为全球变化与可持续发展研究的重要组成部分和热点研究问题^[1-4]。近年来,随着全球环境的不断恶化,LUCC研究愈来愈成为地理学、生态学、土地科学等相关学科十分活跃的前沿领域,众多学者从景观格局、变化特征、驱动机制、模型预测等不同角度探研区域LUCC过程及其深刻的生态效应,并取得了一定的研究成果^[5-10],但对区域地表景观的空间变化特征研究多数停留在二维阶段。地形、地貌作为最基本的自然地理单元要素,与光照、温度、水分等生态因子共同制约着地表物质与能量的再分配,影响着土壤与植被的形成和发育过程,进而在一定程度上决定着地表的景观变化^[11-14]。本文以汾河流域为例,基于景观生态学理论,分析流域景观格局变化,并借助RS和GIS技术尝试从水平和垂直三维空间探索其空间分异特征,进一步揭示景观演变驱动机制,本研究对流域生态安全及全球环境变化具有极其重要的现实意义。

1 研究区概况

汾河,源自山西省宁武县管涔山,至万荣县荣河镇注入黄河,全长710 km,是黄河的第二大支流,也是山西省境内流域面积最大、流程最长的第一大河。汾河流域是黄土高原生态脆弱区独立的流域单元,约占山西省总面积的四分之一,流域面积4万km²,流经忻州、太原、晋中、吕梁、临汾、运城6个地级市,涉及44个县(市、区)。自发源地至太原市兰村为上游,上游河长217.6 km,流域面积7 705 km²,除局部相间有河川地,小型盆地及阶台地约共占10%以外,其余多属砂页岩、变质岩或灰岩土石山区;出兰村山口以后,进入太原盆地,直至洪洞县石滩为中游,河长266.9 km,流域面积20 509 km²,中部以河谷平原为主,两边是土石山区和黄土丘陵区;自洪洞石滩至入黄河为下游,河长210.5 km,流域面积12 276 km²,主要为临汾盆地和运城盆地,本区水资源相对富饶,土地肥沃,光热条件殊佳,享有“山西粮仓”之誉。

2 数据及研究方法

2.1 数据及处理

本研究所用的数据主要包括2000年6月30日及7月1日、2008年7月6日及9月1日两期时相较

近的TM遥感影像数据(共8景)和1:5万数字高程模型(附图11)。其中遥感影像数据进行几何校正(误差<0.5个像元)、大气校正、地形校正、图像拼接等预处理后,采用了监督分类和目视解译相结合的方式进行人机交互解译,并结合流域相关县(市、区)的2005年土地利用现状图、行政区划图,以及实地调查和社会经济相关统计资料,对解译的部分地区的土地利用类型进行了修正,最终解译精度达到96.5%。同时,在ArcGIS平台下利用DEM数据,获取流域地形图、坡度图和坡向图。为便于分析地表景观变化,土地利用类型的划分以生态系统类型为基础,并参考国内外土地利用分类系统,根据研究区土地利用现状和土地资源特点,将其划分为农田、森林、草地、聚落、湿地水体和裸地(裸土、裸岩等)6大景观类型。

2.2 研究方法

(1)景观指数的计算。基于两期土地利用类型解译图,借助景观分析软件Fragstats,从景观生态学角度,采用景观指数分析区域土地利用的景观格局特征及其演变机制。景观指数能反映其结构组成和空间配置等方面的景观格局信息,在一定程度上定量描述了景观格局及其变化,建立了景观格局和景观过程之间的联系,是景观生态学最常用的量化研究方法。但大部分景观指数之间景观格局信息重复,因此,众多学者对景观指数间的相关性和其所反映信息的冗余程度进行了研究,并通过一系列的统计学方法,筛选出了一些具有代表性的景观指数^[15-17],但在不同的景观条件下,这些指数对景观表现行为的一致性还存在一定的不确定性。本文根据本研究的目的,分别在类型尺度和景观尺度上选取了10个景观指数,即:类型尺度上有斑块类型面积(CA)、斑块所占景观面积比例(LAND)、斑块个数(NP)、最大斑块指数(LPI)、周长—面积分维数(PAFRAC)、平均最近距离(ENN_MN);景观尺度上有面积加权平均形状因子(AWMSI)、散步与并列指数(IJI)、香农多样性指数(SHPI)、蔓延度指数(CONTAG),各景观指数含义详见表1,其计算均通过Fragstats 3.3软件完成。

(2)景观类型转移矩阵。上述景观格局指数可有效地揭示各地表景观及整体景观的集合变化特征,但无法反映不同景观组分之间复杂的相互转化过程,转移矩阵可较好地反映各景观相互转移的细节信息,并为进一步探研其演变规律奠定基础。本研究在遥感影像解译基础上,运用GIS技术对两期景观类型图进行空间叠置运算,获取景观类型转移矩阵,并对流域景观类型的转移模式及动态变化进程进行初步分析。

表 1 文中引用的 10 个景观指数及其含义

景观指标	含义
斑块类型面积(CA)	某一斑块类型中斑块的面积总和。度量的是景观的组分,也是计算其它指标的基础
斑块所占景观面积比例(LAND)	某一选定斑块类型的总面积占整个景观面积的比例。度量的是景观的组分,是确定景观中模地(Matrix)或优势景观元素的依据之一;也是决定景观中的生物多样性、优势种和数量等生态系统指标的重要因素
斑块个数(NP)	类型尺度上等于景观中某一斑块类型的斑块总个数。反映景观的空间格局,其值的大小与景观的破碎度有很好的正相关性,一般 NP 大,破碎度高;NP 小,破碎度低
最大斑块指数(LPI)	某一斑块类型中的最大斑块占据整个景观面积的比例。有助于确定景观的模地或优势类型等,其值的大小决定着景观中的优势种、内部种的丰度等生态特征,其值的变化可以改变干扰的强度和频率,反映人类活动的方向和强弱
周长—面积分维数(PAFRAC)	用分维理论来测量斑块和景观的空间形状复杂性,是反映景观格局总体特征的重要指标,在一定程度上也反映了人类活动对景观格局的影响,一般来说,受人类活动干扰小的自然景观的分数维值高,而受人类活动影响大的人为景观的分数维值低
平均最近距离(ENN_MN)	斑块级别上等于从斑块 ij 到同类型的斑块的最近距离之和除以具有最近距离的斑块总数。一般来说值大,反映出同类型斑块间相隔距离远,分布较离散,相互干扰也少;反之,说明同类型斑块间相距近,呈团聚分布,相互间容易发生干扰
面积加权平均形状因子(AWMSI)	景观尺度上等于各斑块类型的平均形状因子乘以类型斑块面积占景观面积的权重之后的和。是度量景观空间格局复杂性的重要指标之一,其值增大时说明斑块形状变得更复杂,更不规则,并对许多生态过程都有影响
散步与并列指数(IJI)	描述景观空间格局最重要的指标之一,IJI 取值小时表明斑块类型 i 仅与少数几种其它类型相邻接;IJI=100 表明各斑块间比邻的边长是均等的,即各斑块间的比邻概率是均等的
香农多样性指数(SHPI)	景观级别上等于各斑块类型的面积比乘以其值的自然对数之后的和的负值。SHDI=0 表明整个景观仅由一个斑块组成;SHDI 增大,说明斑块类型增加或各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布,能反映景观异质性
蔓延度指数(CONTAG)	描述的是景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势,其值较小时表明景观中存在许多小斑块;趋于 100 时表明景观中有连通度极高的优势斑块类型存在

(3) 探讨景观演变空间分异规律。景观演变的空
间分异包括水平分异和垂直分异,其中水平分异
是最为常见的一种分析方式,多数研究基于较好
确定的行政单元研究其分异规律,但流域是基
于自然地貌单元的研究区域,因此本文从上游、
中游、下游 3 个自然地理区域对汾河流域景观
演变的空间分异进行分析。此外,利用 ArcGIS
软件,将景观演变类型数据与数字高程数据集
成,通过景观演变类型数据与高程数据、坡度
数据、坡向数据进行空间叠加分析,经数理统
计分析后,揭示其景观演变的垂直空间分异规
律,

为进一步探索流域景观演变的驱动机制提供
有价值的信息。

3 结果与分析

3.1 景观类型尺度特征及其空间格局变化

由表 2 可知,森林、草地和农田三者所占面
积比例始终最大,合计达 95% 以上,是流域的
主要景观基质;从分布上看(附图 12),林草景
观主要分布在上游及中下游两边的山地丘陵地
带,农田则集中分布在流域中部的临汾盆地和
运城盆地地区。

表 2 2000 年和 2008 年汾河流域土地利用景观类型统计

景观类型	2000 年			2008 年			年均面积变化/ (hm ² · a ⁻¹)	景观变化 动态指数
	斑块个数/ 个	类型面积/ hm ²	面积百分 比/%	斑块个数/ 个	类型面积/ hm ²	面积百分 比/%		
森林	5496	1026650	25.36	6510	1090929	26.94	8034.88	0.10
草地	7931	1133012	27.98	7025	1281588	31.65	18572.00	0.20
农田	12269	1690763	41.76	9838	1453792	35.91	-29621.38	-0.22
聚落	6418	167318	4.13	6685	190706	4.71	2923.50	0.22
水体湿地	1899	30772	0.76	1900	31338	0.77	70.75	0.03
裸地	37	479	0.01	48	641	0.02	20.25	0.53

2000 年各景观类型面积比例最大的是农田,
面积达 1 690 763 hm², 占总面积的 41.76%,
表明农田

是流域占绝对优势的景观元素,但它也是研究
期间唯一面积减少的景观类型,到 2008 年减
少到 1 453 792

hm²,比例下降到 35.91%,平均每年减少 29 621.38 hm²,年变化率为-0.22;从农田景观类型指数特征(表 3)上看,最大斑块指数下降,平均最近距离增加,

面积一周长分维数下降,说明农田受人类活动的影响最大,随着城市建设、交通的发展,斑块更加破碎,分布更为分散,但其形状更为规则。

表 3 汾河流域 2000 年和 2008 年各景观类型指数特征

景观类型	2000 年			2008 年		
	最大斑块指数	周长—面积分维数	平均最近距离/m	最大斑块指数	周长—面积分维数	平均最近距离/m
森林	3.5497	1.5122	396.6394	3.8658	1.5196	368.5740
草地	4.9769	1.6028	250.1536	5.9465	1.5679	258.9577
农田	15.6060	1.5905	246.9449	14.5597	1.5817	269.1594
聚落	0.5167	1.2657	777.7997	0.5662	1.2906	745.7010
水体湿地	0.0342	1.5998	626.1457	0.0567	1.6010	613.1617
裸地	0.0044	1.4899	8185.5673	0.0024	1.5841	6893.7692

林草景观在研究期间面积明显增大,比例明显升高,尤其是草地,平均每年增加 18 572 hm²,到 2008 年所占比例达到 31.65%。就景观类型指数特征而言,森林景观最大斑块指数增加,平均最近距离下降,面积一周长分维数增加,说明森林景观分布更为集中,但形状更加不规则;草地景观最大斑块指数增加,平均最近距离增加,面积一周长分维数下降,变化较为复杂。反映了近年来人类活动频繁,人工退耕还林还草活动干扰加强,使林草景观格局更为复杂多变,充分体现了该区植树造林造草等生态建设活动的过程。

聚落景观类型也呈明显增加趋势,且其景观变化动态指数是研究期间正向变化最大的景观类型,达 0.22,说明聚落景观增加最快;从聚落景观类型指数特征上看,最大斑块指数增加,说明城乡建设用地扩张呈现大片的连续分布,但其面积一周长分维数增加,形状更为复杂,主要是因为城乡用地的扩张受交通、河流等线性地物的影响较大。

水体湿地景观面积增加,平均每年增加 70.75 hm²,最大斑块指数增加,平均最近距离减少,面积一周长分维数增加,主要是由于水库的建设,导致水体湿地呈大片的集中分布,且受“千沟万壑”的地形影响,形状更加不规则。

3.2 景观整体尺度空间格局动态变化

从整体景观格局指数特征(表 4)来看:面积加权平均形状指数下降,散布与并列指数增大,说明景观形状趋于规则,整个区域景观的连通性增强,反映了人类活动对土地开发程度加剧;香农多样性指数由 1.24 上升至 1.27,表明景观多样性有所提高,具体表现为各景观要素所占比例差异缩小,土地利用更为丰富,景观类型的多样化、结构的复杂性有了一定的提高;蔓延度的微降,也表明流域景观趋于具有多种要素的密集格局。总之,对土地利用格局起控制作用的农田景观类型将逐渐丧失其优势,景观稳定性下降,抗干扰的能力降低,表明受到的人为扰动增强,从而

造成整体景观格局的异质性增大,这与研究区近年来退耕还林还草、城镇建设、旅游开发等人类活动有关。

表 4 汾河流域 2000 年和 2008 年整体景观指数特征

年份	AWMSI	IJI	SHDI	CONTAG
2000	38.3523	49.6838	1.2388	47.9896
2008	34.7442	53.6290	1.2682	47.9204

3.3 景观类型转移变化分析

从景观类型间的相互转化情况(表 5)来看,森林主要向草地和聚落转变,转移面积分别占 2000 年森林面积的 0.456%和 0.220%,而森林的增加主要来源于农田和草地;草地主要转为森林和聚落,转移概率分别为 1.137%和 0.176%,其增加则主要来源于农田,其次是森林;农田的转出率最大,仅保存了原有面积的 85.924%,主要流向草地、森林和聚落,转移概率分别为 9.422%,3.396%,1.100%;聚落没有流出,其增加主要来自于侵占大片农田,其次为森林和草地;水体湿地主要转向森林,而其来源主要为农田;裸地主要与森林之间相互转化。综上,在人为和自然因素的双重影响下,研究期间各类景观的相互转化较为复杂,每种景观类型存在着转移部分和新增部分;但研究期间景观类型的转化主要表现为农田向草地、森林、聚落的转化,表明退耕还林还草、城乡建设等人类活动的干扰是区域景观演化的主要原因;另外在自然条件的影响下,林草景观之间也有一定程度的相互转化,详见表 6。

3.4 景观演变空间分异规律分析

(1) 景观演变水平空间分异。从主要景观演变类型空间分布图上看(附图 13):农田向草地的转换主要集中分布在上游及中游的南部;农田向森林的转换主要分布在中游南部西侧和下游最南端一带;农田向聚落的转变则集中分布在中游中部和下游的中部;林草之间的相互转化主要发生在上游和中游的个别地区。

表 5 2000—2008 年汾河流域景观类型转移矩阵 hm²

景观类型		2008 年						合 计
		森林	草地	农田	聚落	水体湿地	裸地	
2000 年	森林	1019144.4	4684.9	81.4	2259.9	187.0	280.4	1026637.9
	草地	12883.1	1117420.2	695.6	1991.1	174.1	143.5	1133307.6
	农田	57420.1	159294.3	1452621.5	18596.7	2616.2	39.6	1690588.4
	聚落	0.0	0.0	0.0	167176.3	0.0	0.0	167176.3
	水体湿地	1173.3	436.2	297.3	484.4	28427.1	0.0	30818.2
	裸地	216.7	0.0	0.0	76.4	0.0	188.5	481.6
	合 计	1090837.5	1281835.6	1453695.8	190584.8	31404.4	652.0	4049010.1

表 6 2000—2008 年汾河流域主要景观转变类型

景观转变类型	转化面积/ hm ²	占总转化面积 比例/%	上游区	中游区	下游区
农田转为草地	162494.24	60.33	63671.24	74384.21	24438.79
农田转为林地	57626.79	21.75	13519.35	37357.53	6749.91
农田转为聚落	18596.70	7.04	826.67	13132.70	4637.34
草地转为森林	12976.53	4.88	3079.25	8738.71	1158.57
森林转为草地	4684.86	1.77	1508.03	2973.58	203.25
合 计	256379.13	95.78	82604.54	136586.74	37187.86

(2) 景观演变垂直空间分异。基于 1∶5 万 DEM,利用 ArcGIS 获取坡度图、坡向图,将高程图、坡度图、坡向图分级,并分别与主要景观演变类型数

据进行空间叠加分析(附图 14—16),经统计得到主要景观演变类型在不同高程、坡度和坡向的分布情况,详见表 7—9。

表 7 主要景观转变类型高程分级统计 %

景观转变类型	<800 m	800~1200 m	1200~1600 m	1600~2000 m	2000~2400 m	>2400 m
农田转为草地	6.91	38.58	50.44	4.02	0.05	0.00
农田转为林地	9.89	54.00	29.24	5.32	1.55	0.00
农田转为聚落	71.33	23.03	4.63	1.01	0.00	0.00
草地转为森林	8.07	29.42	33.83	20.55	7.91	0.22
森林转为草地	0.96	7.50	47.02	26.90	17.36	0.26

表 8 主要景观转变类型坡度分级统计 %

景观转变类型	<2°	2°~6°	6°~15°	15°~25°	>25°
农田转为草地	2.85	18.93	55.71	20.06	2.45
农田转为林地	3.74	21.06	53.33	19.34	2.52
农田转为聚落	31.93	45.82	18.31	3.21	0.74
草地转为森林	3.11	10.16	39.67	34.81	12.24
森林转为草地	1.19	6.36	34.64	39.53	18.28

表 9 主要景观转变类型分坡向统计 %

景观转变类型	东	东北	北	西北	西	西南	南	东南
农田转为草地	9.41	12.30	15.35	15.31	16.48	13.53	9.80	7.82
农田转为林地	11.56	12.56	13.62	12.13	13.66	13.71	12.43	10.33
农田转为聚落	13.54	11.51	12.82	13.06	13.61	12.78	11.77	10.91
草地转为森林	11.60	13.62	14.71	15.20	14.36	11.65	9.75	9.11
森林转为草地	9.27	9.53	12.44	15.57	18.11	13.59	11.50	9.97

分析各高程带、坡度和坡向的主要景观演变类型数据发现,汾河流域景观演变具有明显的垂直变化规律,尤其与高程和坡度因子密切相关,而随坡向变化没有明显的规律性。农田向聚落景观的演变随高程和坡度的增大明显递减,90%以上发生在 1 200 m 以下,其中 70%以上发生在 800 m 以下,就坡度而言,95%以上发生在 15°以下,其中 75%以上发生在 6°以下。可见,农田向聚落景观的演变主要发生在海拔较低,坡度较小的平川缓丘地带,主要是由于近年来城乡建设,吞噬了大量农田,尤其是在经济条件较好的

中部盆地一带。

农田向草地景观的演变一半以上发生在 1 200~1 600 m 地区,其次是 800~1 200 m 地区,而农田向林地景观的演变一半以上发生在 800~1 200 m,其次是 1 200~1 600 m,农田向草地的转化偏高一些;就坡度而言,农田向林草地景观的演变都主要发生在 6° 以上, $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 最多,其次是 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 以下也有一定农田向林草景观演变类型的发生。其中 6° 以上农田向林草景观的转化主要是受到退耕还林还草政策的影响,为了治理和保护黄土高原脆弱的生态环境,1999 年国家正式启动了退耕还林工程,坡度在 6° 以上,水土流失严重和产量低而不稳的坡耕地、沙化耕地均属于退耕还林范围,2000—2008 年正是实施退耕还林的高潮期,导致了大量坡耕农田转为林草;坡度 6° 以下的农田向林草景观的转化主要分布在山间盆地及周围的缓丘一带,其主要原因一是加强了道路两侧、河流沿岸及城乡周围的生态环境建设,二是在经济利益的驱动下,大量农村劳动力外流,造成部分农田撂荒。林草之间的相互转化主要分布在海拔 1 200 m 以上,坡度 6° 以上的山区丘陵地带,多为自然转变,受人为活动的影响较小。

4 结论

(1) 借助 RS 和 GIS 技术,对汾河流域 2000—2008 年的地表景观演变进行了立体式剖析,结果表明:流域的景观基质始终是农田、森林和草地,整体景观格局受人为活动的干扰越来越强,绝对优势景观(农田)比例下降很大,且通过分析景观转移矩阵,发现流失的农田主要转变为林草,其次是聚落。

(2) 农田向聚落景观的演变主要驱动力为城乡建设,集中分布在流域中部海拔低、地形平坦的临汾盆地和运城盆地;农田向林草地景观的演变受退耕还林政策的影响,主要分布在海拔较高,坡度较大的汾河上游、中游南部及中下游外围的山地丘陵地带;而林草之间的相互转化主要为高海拔地区在自然生态条件下的演变。

(3) 受 DEM 精度限制,本研究可能存在沟谷处架空的陡坡栅格误判为缓坡,景观演变的垂直分异研究存在一定误差,但总体上还是较好地反映了汾河流域景观变化的空间分异特征和规律。

参考文献:

[1] 李秀彬. 全球环境变化的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6):553-

557.

- [2] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change(LUCC): Implementation Strategy // A Core Project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change[R]. IGBP Report 48. IHDP Report 10. IGBP, Stockholm, 1999.
- [3] 刘纪元,刘明亮,庄大方,等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学:D 辑,2002,32(12):1031-1040.
- [4] 冷疏影,宋长青,赵楚年,等. 关于地理学科“十五”重点项目的思考[J]. 地理学报,2000,55(6):751-754.
- [5] 何方,吴楠,李玲,等. 淮河流域上游山区景观格局动态变化研究[J]. 水土保持研究,2009,16(1):32-37.
- [6] 郭程轩,徐颂军,巫细波. 佛山市景观格局变化及其动力梯度分析[J]. 水土保持通报,2011,31(1):238-243.
- [7] 王继夏,孙虎,李俊霖,等. 秦岭中山区山地景观格局变化及驱动力分析:以宁陕县长安河流域为例[J]. 山地学报,2008,26(5):546-552.
- [8] 刘坤,刘贤超,孔伟. 胶东半岛低山丘陵区景观格局变化及其社会经济驱动力研究:以山东招远市为例[J]. 水土保持研究,2007,14(5):193-198.
- [9] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,等. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析[J]. 生态学报,2007,27(4):1257-1264.
- [10] 罗彦芳,钱翌,王秀珍,等. 淳安县土地利用景观格局特征及其生态效应研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):371-375.
- [11] 张志明,罗亲普,王文礼,等. 2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析[J]. 生态学报,2010,30(21):5886-5893.
- [12] 张春英,卓得雄,张祖柱,等. 植被景观指数随一阶地形因子分异的变化规律[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2010,30(6):536-541.
- [13] 姚晓军,孙美平,刘普幸,等. 基于 GIS 的甘肃省土地利用程度高程模型构建[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(5):94-100.
- [14] 朱乐天,焦峰,刘源鑫,等. 黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分时空变异特征[J]. 水土保持研究,2011,18(6):119-122.
- [15] 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.
- [16] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [17] 王景伟,王海泽. 景观指数在景观格局描述中的应用:以鞍山大麦科湿地自然保护区为例[J]. 水土保持研究,2006,13(2):230-233.