

# 西藏曲水—桑日地区 1988—2009 年 土地利用景观格局演变研究

赵银兵<sup>1,2</sup>, 倪忠云<sup>1,2</sup>, 陈陵康<sup>3</sup>, 南希<sup>1</sup>, 赵勇<sup>1</sup>

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059;

2. 成都理工大学 旅游与城乡规划学院, 成都 610059; 3. 江西理工大学 资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000)

**摘要:**土地利用景观格局反映环境特征及社会经济发展模式, 可为资源开发和环境保护提供参考。应用 1988 年、2000 年和 2009 年遥感数据, 通过遥感信息提取、景观格局指标和转移矩阵计算, 研究西藏曲水—桑日地区土地利用时空演变特征。结果表明: 1988—2009 年, 研究区土地利用时空演变显著, 各地类均发生转移, 转移面积约占总面积的 6%, 灌木林、滩地、沙地和草地变化较大; 耕地和沙地面积先增后降, 建筑用地和工矿用地持续增长, 高山湖泊面积总体减少; 平均斑块面积增加, 斑块密度减小, 蔓延度先增后减, 边缘密度、总边界长度和散布与并列指数先减后增; 地类破碎度增加, 有林地、建筑用地和工矿用地边缘密度增加; 耕地、滩地、沙地和有林地平均斑块面积先增后减; 滩地和湖泊散布与并列指数减小, 工矿用地增大。该结果对土地资源保护具有重要意义。

**关键词:**景观格局; 转移矩阵; 驱动力; 遥感; 地理信息系统

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)03-0180-05

## Study on Landscape Evolution in Qushui-Sangri Area of Tibet from 1988 to 2009

ZHAO Yin-bing<sup>1,2</sup>, NI Zhong-Yun<sup>1,2</sup>, CHEN Ling-kang<sup>3</sup>, NAN Xi<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection,

Chengdu 610059, China; 2. College of Tourism and Urban-Rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

**Abstract:** Land use patterns reflect the environmental characteristics and socio-economic development model, and provide a reference for resource development and environmental protection. Land use and its evolution information in study area were extracted by calculating landscape pattern metrics and transition matrix based on remote sensing data in 1988, 2000 and 2009. The results showed that each type of land use was shifted, the shifted area occupied for 6% of total area. The rate of land for bush beaches, sand and grass was greatly changed. The area changes of arable land and sand land firstly increased and then decreased; construction land and mining land increased continuously, alpine lakes generally reduced. The average area of land use patch increased, and patch density decreased, which contagion change firstly increased and then decreased, but the change trend of edge density, total boundary length and intersperse and juxtaposition index firstly decreased and then increased. Fragmentation increased, edge density of forest, building land and mining land increased; the average patch area increased first and then decreased; intersperse and juxtaposition index of beach and lake decreased, but intersperse and juxtaposition index of mining land increased. The result also showed that there was a close relationship between the landscape pattern and climate change, and human economic activities. This study result is important for government departments to protect land resources.

**Key words:** landscape; transfer matrix; driving force; remote sensing; geographic information system

土地利用景观格局是国土资源与区域生态地质环境的表观形式, 其分布及演变可反映其依托的环境

本底特征及社会经济活动的作用模式。曲水—桑日地区属于西藏政治经济文化的核心区域, 按照西藏的

收稿日期: 2011-10-13

修回日期: 2011-11-08

资助项目: 国家自然科学基金(40972225); 2010 年高等学校博士学科点专项科研基金(20105122120014); 四川省教育厅重点项目(11ZA048); 成都理工大学中青年骨干教师培养计划

作者简介: 赵银兵(1978—), 男, 四川省遂宁市人, 博士, 讲师, 主要从事生态地质环境研究。E-mail: 108578513@qq.com

生态功能区划,亦隶属于生物多样性保护、水土保持和防风固沙区域<sup>[1-3]</sup>。1988—2009年,该区经济得到了迅猛发展,土地利用格局和模式随之发生了巨大变化,与全球及区域气候和环境变化及人类活动表现出强烈的耦合性<sup>[4-6]</sup>。

关于该区及西藏各区域的土地利用方式及其效应研究不断丰富,从早期的土地利用空间分布规律描述,逐步上升至土地利用演变跟踪;近年来,重点转入评价与分析土地利用的时空分布及演变规律,研究从以耕地为主提升至各个地类,土地利用从单项效应定性分析提高为综合效应评价分析;主要借助遥感、地理信息系统和数理统计等技术方法,集成土地利用的多源信息,将之转化为景观格局,实现量化研究,探究各种地类的转出与转入关系,分析其变化的动力学机制;驱动力研究逐步成为区内景观格局研究的趋势之一,该类研究有助于实现西藏这一特殊地域背景下的土地利用模式优化以及区域生态地质环境的保护和自然灾害的防治<sup>[7-12]</sup>。

## 1 研究区概况

研究区地处西藏中南部,北邻念青唐古拉山脉,南靠喜马拉雅山脉,主体区域属冈底斯山脉东缘,为高原高山河谷地貌,大型山脉总体东西走向,小型山脉多南北展布,地势北高南低,西高东低,水系为雅鲁藏布江及其支流;区内最低海拔约 3 360 m,最高海拔约 5 960 m,平均海拔约 4 485 m<sup>[13-14]</sup>。该区辖高原温带季风半干旱气候区的拉萨小区、高原温带季风半湿润气候区的桑日—加查小区和墨竹工卡—工布江达小区<sup>[1,6]</sup>,地跨拉萨市、山南地区和林芝地区的 14 县,面积约 1.25 万 km<sup>2</sup>。川藏公路、青藏公路、中尼公路和拉泽公路等主干公路贯穿全区,形成“工”字

形道路格架。2010 年底,区内人口总数约为 65 万,主要分布在雅鲁藏布江和拉萨河的河谷地带,土地利用类型主要为有林地、灌木林、疏林地、未成林、草地、河流、湖泊、建筑用地、工矿用地、未利用地、裸岩、沙地、滩地和耕地等,经济以农业为主,工业和牧业等次之,属西藏社会经济最发达的地区。

## 2 数据选择及处理

选取 30 m 分辨率的 TM/ETM<sup>+</sup> 遥感影像为主要数据源,时相为 1988 年、2000 年和 2009 年的 11 月和 12 月。遥感数据轨道编号为 137039, 137040, 138039, 138040, 无云覆盖,影像清晰,质量较好。对遥感影像作校正、镶嵌、增强和图像裁剪等处理,基于地貌差异<sup>[6,15-16]</sup>,采用分区方法(目视解译区和计算机解译区)提取地类信息,流程为:地貌分区→明确各区信息提取模式→各区分类后处理→各区接边处理→集成信息→转移矩阵计算→景观格局统计与分析。

目视解译区,主要依据地物基本特征,参考野外调查成果、局部高分辨率遥感影像以及中国科学院环境资源数据中心的全国 1:10 万土地利用数据库(2000 年),提取各个地类边界。计算机解译区,应用种子像元法作监督分类,考虑空间距离和光谱距离等约束条件。

## 3 土地利用景观格局演变分析

### 3.1 土地利用空间分布特征

基于遥感数据和处理流程,根据全国土地利用分类体系框架的标准,参照二级分类的规则<sup>[6]</sup>,将区内土地划分为 16 类。应用地貌、土壤<sup>[17]</sup>、高程、坡度和坡向等信息,与土地利用信息叠加,分析 2009 年土地利用的空间分布特征(表 1)。

表 1 2009 年各类土地面积及百分比

编码	地类名称	面积/km <sup>2</sup>	面积比/%	编码	地类名称	面积/km <sup>2</sup>	面积比/%
21	有林地	101.05	0.81	42	湖泊	7.38	0.06
22	灌木林	1735.96	13.83	51	建筑用地	185.10	1.47
23	疏林地	868.37	6.92	54	工矿用地	4.34	0.03
24	混交林	794.86	6.33	65	未利用地	36.74	0.29
31	高覆盖度草地	546.04	4.35	80	裸岩	2714.90	21.63
32	中覆盖度草地	1464.23	11.67	82	沙地	361.17	2.88
33	低覆盖度草地	2511.15	20.01	83	滩地	329.89	2.63
41	河流	171.45	1.37	123	耕地	716.64	5.71

河流占总面积的 1.37%,雅鲁藏布江和拉萨河为辫状,支流多为树枝状。滩地占总面积的 2.63%,是沙地的主要物源之一。湖泊占总面积的 0.06%,分布在桑日和墨竹工卡等地,最大面积 1.50 km<sup>2</sup>,最

小面积约 2 878 m<sup>2</sup>,平均面积为 55 312 m<sup>2</sup>;最小高程 3 676 m,最大高程 5 440 m,平均高程 5 157 m。

耕地占总面积的 5.71%,分布在堆龙德庆、达孜、贡嘎、墨竹工卡、扎囊和乃东等地的冲积平原,高

程 $\leq 4\ 500\text{ m}$ ,坡度 $\leq 15^\circ$ ,以全阳坡为主,土壤为棕冻钙土、黑毡土、潮土、草毡土、淋溶棕冷钙土、薄黑毡土、脱潮土、草原风沙土和冲积土等类型。

建筑用地占总面积的1.47%,主要为区内的县政府驻地、城镇及村庄,主要分布在河谷及冲洪积扇,被耕地和林地所包围,高程 $\leq 4\ 200\text{ m}$ ,坡度 $\leq 6^\circ$ 。工矿用地占总面积的0.03%,主要为曲水、墨竹工卡和桑日等地的铜矿、铬铁矿和水泥用灰岩等开发矿山,地貌为冻蚀侵蚀高山,高程 $4\ 200\sim 5\ 500\text{ m}$ ,坡度 $16^\circ\sim 35^\circ$ 。

灌木林占总面积的13.83%,分布在墨竹工卡和桑日等地的冻蚀侵蚀高山、冰蚀高山和高寒中山<sup>[18]</sup>,高程 $\leq 5\ 500\text{ m}$ ,坡度 $\leq 35^\circ$ ,土壤主要为草毡土、黑毡土和棕冻钙土。有林地占总面积的0.81%,分布在贡嘎、扎囊、乃东、墨竹工卡和达孜等地的冲积平原,高程 $\leq 3\ 800\text{ m}$ ,坡度 $\leq 15^\circ$ ,主要为平地、全阳坡和半阳坡,土壤类型为草原风沙土、冲积土和淋溶棕冷钙土等。疏林地占总面积的6.92%,分布与有林地相似。未成林地占总面积的6.33%,分布在堆龙德庆、达孜、拉萨城关区和曲水等地,高程 $3\ 800\sim 4\ 500\text{ m}$ ,坡度多 $\leq 25^\circ$ ,集中分布在半阳坡及平地,土壤主要为黑毡土、草毡土和薄黑毡土等类型。

草地分为高、中、低覆盖三类,占总面积的36.03%,主要分布在墨竹工卡、桑日和扎囊等地 $\leq 5\ 500\text{ m}$ 区域,地貌主要为冻蚀侵蚀高山、冰蚀高山、高寒低山丘陵和高寒中山,坡度 $\leq 45^\circ$ ,背阳坡分布相对较少,土壤类型主要为草毡土、黑毡土和棕冻钙土等。

沙地占总面积2.88%, $\leq 3\ 800\text{ m}$ 沙地约占沙地总面积71.57%, $3\ 800\sim 4\ 200\text{ m}$ 约占19.31%, $\geq 4\ 200\text{ m}$ 约占9.12%。沙地分布于平缓区, $\leq 25^\circ$ 沙地占71.41%, $25^\circ\sim 35^\circ$ 占19.31%, $35^\circ\sim 45^\circ$ 占7.41%, $\geq 45^\circ$ 占1.88%。太阳辐射及盛行风向制约沙地分布,平地沙化占总面积的32.22%,全阳坡为46.42%。

裸岩面积最广,主要分布在 $\geq 4\ 500\text{ m}$ 冻蚀侵蚀高山和冰蚀高山的半阳坡,坡度多 $> 15^\circ$ 。未利用土地占总面积的0.29%,分布在贡嘎和达孜等地的冲积平原,海拔多 $\leq 4\ 200\text{ m}$ ,坡向以半阳坡和阴坡为主。

### 3.2 景观格局指标选择

景观格局表征景观的空间结构特征,可用不同指标表达其多样性、变化性和动态性,基于区内土地空间分布及演变的系统性和层次性特征,结合区域土地利用的生态学过程,应用土地利用景观格局软件Fragstats 3.3,在类型水平和景观水平两个层次上进行统计分析<sup>[19]</sup>。景观水平反映土地利用的中观层次特征,遴选可靠度较高的斑块个数、斑块密度、总边界

长度、边缘密度、斑块平均大小、蔓延度、散布与并列指数、景观丰度、香农多样性指数和香农均匀度指数10个指标作为分析重点;在景观水平分析的基础上,遴选对区域演变过程反映较为灵敏的斑块密度、边缘密度、平均斑块面积和散布与并列指数4个指标进行综合分析。

### 3.3 景观要素转移分析

将三个时期矢量格式的土地利用数据转化为栅格格式,应用ERDAS的转移矩阵模块计算各地类演变情况。1988—2000年,各地类的转移面积合计约871.74 km<sup>2</sup>。滩地转出面积最大,约561.02 km<sup>2</sup>,主要转出为低覆盖草地、沙地、灌木林和有林地。河流转出面积约为102.91 km<sup>2</sup>,其中70%转化为滩地,其余转化为沙地和有林地及灌木林。灌木林转出面积约为67.77 km<sup>2</sup>,其中14.18 km<sup>2</sup>转化为有林地,15.42 km<sup>2</sup>转化为滩地,16.78 km<sup>2</sup>转化为耕地,其余则多转化为草地。低覆盖草地、沙地、滩地、灌木林地、有林地和耕地的转入面积位居前列。沙地转入面积104.02 km<sup>2</sup>,转出面积37.29 km<sup>2</sup>,增加面积66.73 km<sup>2</sup>,主要由草地、灌木林和滩地等转入。建筑用地增加22.55 km<sup>2</sup>,主要由耕地、滩地、草地及灌木林地转入。工矿用地增加约0.58 km<sup>2</sup>,主要由草地和灌木林地转入。

2000—2009年间,地类的转移面积合计约567.79 km<sup>2</sup>。滩地转出约106.97 km<sup>2</sup>,主要转化为灌木林、沙地、耕地和有林地;滩地转入105.59 km<sup>2</sup>,主要由河流和沙地转入。灌木林地转出约96.01 km<sup>2</sup>,主要转化为滩地、有林地和建筑用地;灌木林地转入71.05 km<sup>2</sup>,主要由滩地、未利用地、耕地、低覆盖草地转入。沙地转出面积约79.28 km<sup>2</sup>,主要转化为有林地、灌木林、滩地和耕地等;沙地转入面积53.32 km<sup>2</sup>,主要由滩地、低覆盖草地和灌木林转入,沙地整体面积减少25.96 km<sup>2</sup>,沙化有所遏制。耕地面积转出73.83 km<sup>2</sup>,转入25.53 km<sup>2</sup>,减少48.30 km<sup>2</sup>,主要转化为建筑用地、有林地、灌木林和草地等。建筑用地转出1.48 km<sup>2</sup>,由灌木林、滩地和沙地等地类转入59.92 km<sup>2</sup>,增加面积约为58.44 km<sup>2</sup>,增速为1988—2000年的两倍多。工矿用地由中覆盖草地转入,净增面积约1.75 km<sup>2</sup>。

### 3.4 景观层次演变分析

1988—2009年(表2)地类斑块个数(NP)持续上升,表明局部地类斑块归并和转化,形成更大地类图斑;斑块密度(PD)由1988年的3.4964个/hm<sup>2</sup>减少到2009年的3.4737个/hm<sup>2</sup>。总边界长度(TE)先减后增,表明地类边界由简化变得破碎化。边缘密度

(ED)与总边界长度呈现出一致的趋势。斑块平均大小(AREA\_MN)逐渐增大,与斑块个数变化相反。蔓延度(CONTAG)先增再减,表明地类在经历聚类扩张之后,转移为新地类,并且收缩。散布与并列指数(IJI)先减后增,地类多为条带状和块状,环状或似环状较少,1988—2000年环状或似环状的地类增加,

2000—2009年条带状、块状地类增加。景观丰度(PR)在三个年份未变,反映地类未变。香农多样性指数(SHDI)呈上升态势,区内土地利用强度增加。香农均匀度指数(SHEI)呈小幅上升,区内裸岩、低覆盖度草地、灌木林、中覆盖度草地、疏林地、未成林、滩地和耕地等的优势地位相对稳定,且微弱上升。

表2 景观层次指标统计

年份	NP/个	PD(个/100 hm <sup>2</sup> )	TE/m	ED/(m·hm <sup>-2</sup> )	AREA_MN/hm <sup>2</sup>
1988	43875	3.4964	78843660	62.8300	28.6011
2000	43725	3.4844	78733830	62.7424	28.6992
2009	43590	3.4737	78754800	62.7591	28.7881
年份	CONTAG/%	IJI/%	PR	SHDI	SHEI
1988	52.0297	66.5171	16	2.1922	0.7907
2000	52.0502	66.4154	16	2.1919	0.7906
2009	51.5729	66.5846	16	2.2184	0.8001

### 3.5 类型层次演变分析

斑块密度(PD)。各地类的平均斑块密度存在较大的差异,低覆盖草地最大,中覆盖草地和裸岩次之;有林地、河流、湖泊、建筑用地、工矿用地、未利用地、沙地、滩地和耕地等斑块密度较小,这些地类占据面积较小,不具有明显的主导作用。从3个年份的斑块密度变化来看,斑块密度较小者中的有林地、建筑用地、工矿用地、沙地等持续增大,低覆盖度草地出现涨消。斑块密度表明处于绝对极大值的斑块和处于相对极小值的斑块都出现了不同程度的演变,这种变化增加了地类的破碎性,增加了地类之间的交叉作用效应。

边缘密度(ED)。与斑块密度呈现出相似的特征。低覆盖草地、裸岩、灌木林、中覆盖草地等边缘密度较大,反映这些地类具有较为复杂的地类边界,分布面积较大。有林地、湖泊、建筑用地、工矿用地、未利用地、沙地、滩地和耕地等边缘密度较小,表明这些地类分布面积较小,地类的边界相对简单。从三期边缘密度变化来看,有林地、中覆盖度草地、建筑用地、工矿用地表现出持续上升的态势,表明人类活动与这些地类之间的作用密切。

平均斑块面积(AREA\_MN)。耕地的平均斑块面积最大,滩地次之,未利用地、建筑用地和有林地等地类的斑块的面积也较大,湖泊平均斑块密度最小;总面积较大的裸岩、低覆盖度草地、中覆盖度草地和灌木林等的平均斑块面积则相对较小,表明这些地类被其它地类穿插,形成区域切割,导致图斑个数增加,平均斑块面积减小。1988—2009年的平均斑块面积变化来看,耕地、滩地、沙地、有林地等都呈现出先增后减的趋势,而未利用地等表现为先减后增的态势,灌木林、疏林地、未成林等地类则变化微小。

散布与并列指数(IJI)。滩地、工矿用地和湖泊因受场地控制,多为圆形或椭圆形态,在1988—2009年的演变过程中,滩地和湖泊变得更接近圆形或椭圆形,因此散布与并列指数持续减小。工矿用地随着规模增大,形态愈不规则,逐渐脱离原有的圆形或环状形态;其它占据较大面积的地类,多为条块状分布,在20多年内并未突破原有分布形态。

## 4 结论

(1) 1988—2000年,地类转移面积约871.74 km<sup>2</sup>,占区域总面积的6.95%;2001—2009年,转移面积约为567.79 km<sup>2</sup>,地类转移比率降为4.52%。从面积最大的裸地到面积较小的湖泊和工矿用地,所有地类均发生转移,转移强度较大的是灌木林、滩地、沙地和草地,转出和转入表现为邻接地类转化。耕地和沙地变化趋势为先增后减;建筑用地和工矿用地表现为持续增长;高山湖泊面积先增后减,综合表现为面积减少。

(2) 1988—2009年,地类未有增减,主要地类的优势地位相对稳定,且微弱上升,因土地利用强度加大和社会经济动态发展,地类在景观层次综合表现为:斑块数增加,斑块密度微弱减小,边缘密度和总边界长度先减后增,平均斑块面积增加,蔓延度先增后减,散布与并列指数先减后增。

(3) 1988—2009年,斑块密度较大和较小的地类均发生不同程度演变,驱动其他的地类转移,地类破碎性增加;与人类活动紧密相关的有林地、建筑用地、工矿用地的边缘密度持续增加;耕地、滩地、沙地和有林地等与其他地类混交较小的地类,平均斑块面积先增后减;滩地和湖泊因气候变化影响,散布与并列指数持续减小,而开发加强的工矿用地持续增大。

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.