

# 霍林河流域中下游土地利用变化及生态安全响应

李 闯, 刘吉平

(吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000)

**摘 要:**以 GIS 和 RS 技术为平台,选取 1970 年和 2005 年霍林河流域中下游的土地利用数据,从景观生态学角度提出了景观生态指数来反映 LUCC 变化所带来的生态效应。在此基础上,构建生态安全评价指数(ESI)研究霍林河流域景观生态安全的时空变化特征。研究表明:35 a 间土地利用变化显著,导致景观生态安全指数的时空分异性较强,生态安全程度总体呈下降趋势,由于研究区特殊的生态环境,使该区域生态安全指数分布形态及其下降幅度存在较大的差异,较高的生态安全指数( $ESI > 0.7$ )主要分布于该区域的西北部,整体呈现由西北向东南下降的趋势。该文应用景观方法研究生态安全,揭示不同景观类型间的迁移转化特征,并进一步识别区域生态环境的变化趋势及其内在因素,对区域生态建设和资源开发具有指导意义。

**关键词:**土地利用变化;生态安全;景观格局指数;时空变化;霍林河流域

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0174-05

## Land Use/Cover Change and Responses of Eco-security in the Middle—Lower Reaches of Huolin River Watershed

LI Chuang, LIU Ji-ping

(*Institute of Geography and Tourism, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China*)

**Abstract:**Based on the data of land use of the middle-lower reaches of Huolin River watershed in 1970 and 2005, supported by GIS and RS, and with the indices of fragmentation, isolation and dominance, and of vulnerability of landscape types, the temporal and spatial characteristic of landscape ecological security in Huolin River watershed was analyzed. The results showed that there were different change trends for different landscape types in this region, the transformation from one landscape type to another was very complex and that was mainly happened among farmland, woodland and grassland. It was found that the change of landscape structure could strongly influence the temporal and spatial distribution of ecological security index (ESI) under natural and human factors, which might result in the decrease of the degree of ecological security (ESI) during 35 years. The higher ESI ( $ESI > 0.7$ ) was mainly distributed at the northwest, and the lower one at the southeast. Therefore, the alteration character among different landscape types were discovered by using the method of landscape to study on the ESI and then the change tendency was identified and its inner factors of the regional eco-environment might be important for regional eco-construction and natural resource exploitation.

**Key words:**land use change; ecological security; landscape pattern index; temporal and spatial variety; Huolin River watershed

生态安全是指生态系统的健康和完整情况,是人类在生产、生活和健康等方面不受生态破坏与环境污染等影响的保障程度,包括饮用水与食物安全、空气质量与绿色环境等基本要素。国外对生态安全的研

究始于 20 世纪 70 年代末,现已取得了不少成果,主要集中在生态安全定义的扩展、环境变化与安全经验性研究、环境变化与安全的综合性研究及环境变化与安全内在关系研究等方面,除此之外,国内外部分

收稿日期:2011-08-02

修回日期:2011-09-09

资助项目:国家自然科学基金项目(41071037);吉林省科技支撑计划项目(20080207);吉林师范大学研究生创新科研计划项目(201111)

作者简介:李闯(1978—),女,吉林省四平人,硕士,实验师,主要从事资源与环境信息系统研究。E-mail:lich1978@126.com

通信作者:刘吉平(1972—),男,山东定陶人,博士,副教授,主要从事资源与环境信息系统研究。E-mail:liujpjl@163.com

学者还对生态安全的概念、特点和内涵等方面做了论述<sup>[1-4]</sup>,但是这些研究探讨的多是在全球或是国家层面上的问题,而对地方或区域层面上的生态安全研究尚显薄弱,对一些地方或区域特别的环境压力与安全的关系有所忽略<sup>[5-6]</sup>。因此,开展区域生态安全评价研究具有十分重要的科学意义和实践意义。而土地利用变化(LUCC)影响着能量交换、水分循环、土壤侵蚀与堆积、作物生产等陆地主要生态过程的结构和功能,最终造成生态系统的变化<sup>[7]</sup>。近几年来已有学者开始探讨 LUCC 的景观生态效应,对土地利用类型的变化进行量化处理<sup>[8]</sup>,但是目前的研究还不够深入,缺乏对区域土地利用变化生态安全响应的研究。

本文以 GIS 和 RS 技术为平台,运用 FRAG-STATS 软件,采用景观生态学的空间格局分析方法,计算和分析不同土地利用类型的总体变化趋势,在此基础上分析霍林河流域中下游生态安全在时间、空间格局上的变化特征,以期对霍林河流域的生态整治、维护物种多样性及促进生态环境、经济与社会的协调发展提供重要的理论依据。

## 1 研究区概况

霍林河是松花江流域嫩江水系的一级支流,发源于内蒙古扎鲁特旗德鲁特勒罕山北麓,海拔 1 439 m,全长约 590 km,流域总面积 36 623 km<sup>2</sup>,流域西部为大兴安岭南端东麓的低山丘陵区,向东过渡为松辽平原地带。受新构造运动影响,上游山区持续抬升,中下游平原以沉降为主,形成隆状沙丘与垄间洼地交错相间排列的微地貌格局,从而发育了面积广泛的沼泽和湖泊,有科尔沁、向海和查干湖湿地,其中向海湿地为国家重要湿地。气候上属北温带大陆性季风气候,年均气温 4.6~5.6℃;年降水量一般低于 400 mm,远小于蒸发量,水资源较为缺乏,一般年份霍林河为内陆无尾河。土壤类型主要有黑钙土、淡黑钙土、风沙土、盐渍土、草甸土和沼泽土沙土。植被包括草甸植被、草原植被、沼泽植被、盐生植被、碱生植被和沙地植被。选择霍林河流域中下游沿岸地区作为研究区,地理坐标为 44°02′—45°38′N,122°02′—124°43′E,在行政区划上主要包括吉林省的通榆县、乾安县、洮南市、大安市、前郭县和长岭县,面积 23 090 km<sup>2</sup>,约占全流域面积的 63.04%。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 数据来源与处理

霍林河流域 1970 年土地利用现状是以 70 年代

出版的 1:10 万地形图为基础资料数据提取而来,首先在 ArcGIS 9.2 中对扫描地图进行校正,再对其添加投影,之后对校正好的地图进行数字化;2005 年遥感数据集 Landsat7/ETM<sup>+</sup> 由美国 USGS(<http://glovis.usgs.gov/>)提供,空间分辨率为 30 m,统一采用西安 1980 坐标系统、Albers 投影以及 2005 年霍林河流域行政区划图;气象数据来源于中国气象局气象共享中心;社会经济数据来源于 2006 年吉林省统计年鉴。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用类型划分及转移分析 土地利用/覆盖变化是人类利用土地各种活动的综合反映,其变化在很大程度上记录了人与自然相互作用的过程<sup>[9]</sup>,以霍林河流域中下游各县的 1970 年和 2005 年两期土地利用数据为基础,采用土地利用的一级与二级相结合,以耕地、林地、草地、河渠、湖泊、城镇建设用地、农村居民点、沙地、盐碱地和沼泽地 10 大类作为生态安全研究的类型。

土地利用结构的变化程度可以用转移概率来描述,利用 GIS 的空间分析方法,在 ArcGIS 9.2 的支持下,对研究区两期的土地利用图执行 tabulate area 操作<sup>[10]</sup>,获得 1970—2005 年的土地利用转移矩阵,并在此基础上建立土地利用转移概率矩阵。为避免某些时段可能与其它时段有逆转的现象,这里引入累计转换率,本文采用总土地面积,而不用各个土地利用类型面积是为了使各土地利用类型之间在数量上更有可比性<sup>[11]</sup>。其计算公式如下:

$$P_{ij} = \left( \sum_{i=1}^n S_{ij} / S_{\text{总}} \right) \times 100 \quad (1)$$

式中: $P_{ij}$ —— $i$  类土地利用覆被类型向  $j$  类土地利用覆被类型的累计转换率; $i, j$ ——研究区内土地利用覆被类型; $S_{ij}$ ——某一时段  $i$  土地利用覆被类型向  $j$  土地利用覆被类型转换的面积; $n$ ——时段; $S_{\text{总}}$ ——研究区土地总面积。

2.2.2 土地利用综合指数构建 土地利用结构及其变化是自然和人文等多种因素作用于一定区域生态环境体系的综合反映,因此,对某区域景观空间格局的研究是揭示该区域生态状况的有效手段。景观生态学注重空间异质性和空间格局的研究,提出了景观多样性指数及景观均匀度、优势度、分离度、生境破碎化指数等不同的定量指标,为景观空间格局分析奠定了基础<sup>[12]</sup>。国内一些学者在此基础上,通过构建综合性的土地利用指数,如干扰度指数、脆弱度指数、生态环境风险指数等<sup>[13-17]</sup>,本文引用该方法,利用以下

评价指数对区域土地利用变化及生态安全进行研究。

首先,计算斑块面积(CA)指数,然后,选取斑块数(NP)、斑块密度(PD)、面积加权平均分维数(FRAC—AM)和香农多样性(SHDI)等指数,研究类型和景观水平上各等级斑块的空间格局,由于文章篇幅有限,相应类型级别上的指标不予给出,所有指数的计算均在 Fragstats 3.3 下完成。

(1)干扰度指数( $E_i$ )。以破碎度、分离度和优势度为基础构建土地利用干扰度指数,其公式为:

$$E_i = aC_i + bS_i + ck_i \quad (2)$$

式中: $E_i$ ——干扰度指数; $C_i$ ——破碎度; $S_i$ ——分离度; $K_i$ ——优势度; $a, b, c$ ——它们的权重,且  $a + b +$

$c = 1$ 。以上三个指标由于量纲不同,须进行归一化处理,其计算过程见文献[12]。权重反映了各指数对景观所表征的生态环境不同的影响程度,借鉴前人的相关研究成果[12-13,17]并结合研究区的实际情况,本文对 3 个指数权重的赋值分别为 0.3, 0.2, 0.5。

(2)脆弱度指数( $F_i$ )。对研究区内各种土地利用类型的脆弱度采用专家咨询法予以确定,其结果为人居地脆弱度最低,其次是湿地,而盐碱地最为脆弱。分别对每种土地类型脆弱度进行赋值,盐碱地 10、沙地 9、耕地 8、草地 7、林地 6、河渠 5、沼泽地 4、湖泊 3、城镇用地 2、农村居民点 1,并由此进行归一化后作为这种土地类型的脆弱度指数[14],详见表 1。

表 1 土地利用/覆盖要素的脆弱性指数

类型	盐碱地	沙地	耕地	草地	林地	河渠	沼泽地	湖泊	城镇用地	农村居民点
$F_i$	0.1818	0.1636	0.1455	0.1273	0.1091	0.0909	0.0727	0.0545	0.0364	0.0182

(3)风险指数( $R_i$ )。风险指数  $R_i$  表示在遭遇干扰或自然条件改变时,各土地利用/覆盖类型所受到生态损失的差别,即其自然属性损失的程度,是某一土地利用类型的干扰度指数和脆弱度指数( $F_i$ )的综合,用下式表示。

$$R_i = E_i \times F_i \quad (3)$$

2.2.3 生态安全综合指数测算 利用所建立的土地利用综合指数,引入生态安全指数,将土地利用格局与区域生态环境状况相联系,把土地利用类型的空间结构变化转化为生态安全的空间变量。

根据研究区内景观斑块的面积情况,确定网格的面积为  $100 \text{ km}^2$ 。利用  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  的正方形栅格对景观稳定性指数进行空间化,采样方式为等间距系统采样法,共有样区 266 个。计算每一样区内各类土地利用类型的景观稳定性指数,以此作为样区中心点的生态安全水平。用于描述一个样区内生态安全的相对大小,以便通过采样方法将景观空间结构转化成空间化的生态环境变量[18],其计算公式为:

$$ESI_k = \sum_{i=1}^m \frac{AK_i}{AK} (1 - 10R_i) \quad (4)$$

式中: $ESI_k$ ——第  $k$  小区生态安全指数; $k$ ——从 1 至 266 个采样区; $m$ ——景观类型的数量; $AK_i$ ——第  $k$  个小区  $i$  类景观类型的面积; $AK$ ——第  $k$  个小区的总面积。 $ESI_k$  越大,表明该小区的生态安全程度越高,反之生态安全程度越低。

根据上述生态安全评价方法,对研究区 1970 年、2005 年各土地利用类型的生态安全状况进行评价,利用 ArcGIS 软件的地统计分析功能,选用普通克吕格插值法将研究区各样地生态安全数值分为 5 个级别,绘制土地利用生态安全空间分布图。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用结构变化分析

根据公式(1)计算出霍林河流域中下游土地利用转换概率矩阵,由表 2 可知,各土地利用类型相互转化较复杂,研究区生态系统既有正向演替又有逆向演替,如草地→林地、耕地→林地、耕地→草地、沙地→林地、盐碱地→草地等转化为生态系统的正向演替,而林地→草地、林地→耕地、草地→盐碱地、耕地→盐碱地等转化为生态系统的逆向演替[13]。但随着研究区人口的增长和经济的发展以及过度放牧使草地大面积转化为耕地和盐碱化;同时,农村居民点和城镇用地面积持续增加,其主要来源于耕地,其次为草地和林地的转化,表明人类对研究区的自然生态系统干扰频繁。

对霍林河流域中下游 1970 年和 2005 年的土地利用类型进行统计与分析,研究区在 35 a 期间各土地利用类型的结构发生了变化。从表 3 可知,1970 年耕地是研究区的主要类型,几乎占全区的一半,其次是草地,占 24.6%,而到 2005 年,耕地仍是研究区的主要土地利用类型,但盐碱地达到 23.36%,取代了草地的面积,土地盐碱化较严重,耕地、草地、盐碱地三者之和在两个时期都达到全区的 80%以上。35 a 间,研究区各土地利用类型的面积呈现耕地、林地、湖泊、城镇用地、农村居民点、盐碱地增加,而草地、河渠、沙地、沼泽地减少的变化趋势。林地是所有土地利用类型中年变化率最快的,其次是农村居民点增加显著,主要由耕地转化而来,而草地减少了近一半,主要转化为耕地和盐碱地,使盐碱地增加了 5 个百分点,说明人类活动对生态环境具有较强的扰动。

表 2 霍林河流域中下游 1970—2005 年各时段土地利用转换概率矩阵

%

景观类型	耕地	林地	草地	河渠	湖泊	城镇用地	农村居民点	沙地	盐碱地	沼泽地
耕地	30.03	2.91	3.58	0.00	0.31	0.06	1.58	0.10	3.98	0.20
林地	1.76	1.02	0.28	0.00	0.01	0.01	0.11	0.01	0.12	0.02
草地	8.14	1.40	6.39	0.00	0.39	0.00	0.24	0.32	6.87	0.81
河渠	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
湖泊	0.12	0.03	0.11	0.00	1.89	0.00	0.01	0.00	0.64	0.25
城镇用地	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00
农村居民点	0.74	0.05	0.06	0.00	0.01	0.00	0.58	0.00	0.24	0.01
沙地	0.31	0.12	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.28	0.07	0.02
盐碱地	3.36	0.44	2.51	0.00	0.72	0.00	0.12	0.10	9.85	1.21
沼泽地	0.38	0.08	0.43	0.00	0.75	0.00	0.01	0.00	1.43	1.53

表 3 霍林河流域各年土地利用类型面积及其变化

年份	项目	耕地	林地	草地	河渠	湖泊	城镇用地	农村居民点	沙地	盐碱地	沼泽地
1970	面积/km <sup>2</sup>	9959.47	781.13	5680.09	2.51	695.84	39.13	408.87	206.19	4239.75	1074.11
	比例/%	43.13	3.38	24.60	0.01	3.01	0.17	1.77	0.89	18.36	4.65
2005	面积/km <sup>2</sup>	10358.03	1394.56	3101.63	1.99	943.00	39.87	614.54	188.90	5360.93	933.53
	比例/%	45.13	6.08	13.51	0.01	4.11	0.17	2.68	0.82	23.36	4.07
1970—2005	年变化率/%	0.13	2.62	-1.51	-0.69	1.18	0.06	1.68	-0.28	0.88	-0.44

3.2 生态安全的动态变化

根据公式(2)–(4)计算霍林河流域中下游 266 个样区的 1970 年和 2005 年的土地利用变化生态安全指数,并对生态安全指数进行克吕格插值,结果表明,35 a 间,土地利用结构变化导致生态安全指数的时空变化较强,生态安全程度总体呈下降趋势,平均生态安全指数由 1970 年的 0.707 6 下降到 2005 年的 0.681 8,且破碎化严重。较高的生态安全指数(ESI > 0.7)主要分布于该区域的西北部,向西南逐渐降低,并达到最低值;由于东南地区人口密度大,人类对自然环境的开发强度大,因此较低的生态安全指数(ESI < 0.5)分布于流域的东南部。西北部 ESI 相对较高,尤其是 1970 年,其 ESI 多大于 0.8,大安市境内有的地方甚至达到了 0.9 以上,主要是因为当时该地区以草地为主,景观稳定性强;到了 2005 年,由于不合理的灌溉、超强度的开发,加上气候的影响,大面积草地转化为盐碱地;在生态安全总体下降的趋势下也存在个别地方 ESI 升高的现象,通榆县境内西北部的向海湿地自然保护区 ESI 已由 1970 年的 0.7 达到了 0.8 以上,说明一些人为的保护政策已经发挥了作用;另外南部和东部地区也有部分地方由于退耕还林、还草,其 ESI 由 0.6 达到了 0.7 以上,0.6 以下的区域也逐渐变小;但东南角 ESI 变化较小,仍是最低区域。

3.3 生态安全动态变化的驱动力分析

分析其生态环境退化的主要原因可以从自然要素和人文要素两方面进行。自然方面通过图 1 可以

看出,1970—2005 年,研究区气温升高,而降水则整体呈现下降趋势。表明 35 a 来霍林河流域中下游地区经历了一个干旱化过程(虽然仅利用气温和降水两个因子来分析区域气候的变化趋势存在一定的不确定性,但仍能在一定程度上反映区域气候变化的宏观特征),加速了土地沙化和盐碱化,从而对土地利用结构变化产生重大影响,同时 35 a 间,该地区又经历了严重的自然灾害,这些因素对区域生态环境质量在大的自然地理背景上造成了一定的压力,也就加大了生态安全退化的速度。

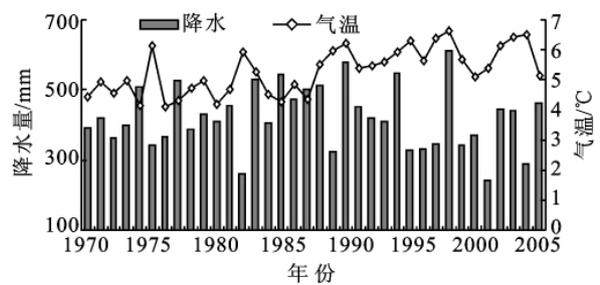


图 1 1970—2005 年研究区气温与降水的变化趋势

自然因素为生态安全的退化提供了内在原因,而人为因素则加速了这种变化,即人为影响叠加在自然因素之上,对生态环境的退化产生放大作用。一方面,干旱的气候使生态环境退化日益严重,另一方面,强烈的人为活动是影响霍林河流域中下游生态安全指数降低和空间分布变化的主要原因。图 2 是 1970—2005 年的人均收入和人口密度分布图,从图中可以看出,两者呈正向增长,由于人口的增加,相应地对土地的需求加大,促使耕地、城镇用地、农村居民

点的比例在土地利用结构中的比例不断扩大,这种不合理的土地开垦都大大的加速了土地生态安全的退化,加之改革开放之后,经济增长迅速,从而对资源的需求量也大量增加,这在一定程度上对生态环境造成了干扰;另外,霍林河流域地处吉林省西部和内蒙古沙漠边缘,其特殊的地理位置也对其生态安全退化有重要影响。因此,在自然和人为因素的综合作用下,区域生态安全表现出下降趋势。

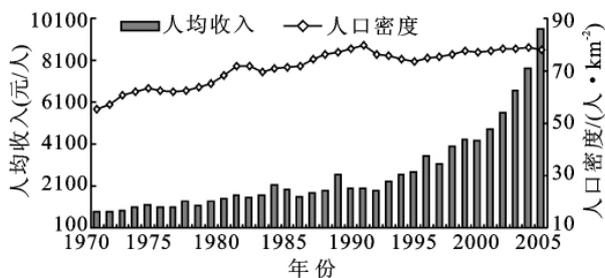


图 2 1970—2005 年研究区人均收入与人口密度的变化趋势

#### 4 结论与讨论

本文以吉林省西部的霍林河流域中下游为研究区域,基于土地利用数据和 GIS 软件的空间分析功能,以景观生态学的空间格局分析方法,通过构建干扰度指数、脆弱度指数、风险指数等一系列指数计算和分析了不同土地利用类型的总体变化趋势,结果表明,1970—2005 年期间,该流域各土地利用类型呈不同的变化趋势,研究区土地利用类型受人类活动扰动强;通过土地利用转移分析,各土地利用类型相互转化较复杂,其中耕地、林地、草地之间相互转化较频繁,表明研究区生态系统在外界因素的影响下既有正向演替又有逆向演替。

通过分析可以看出,在自然与人为因素双重作用下,霍林河流域中下游地区由于土地利用结构变化而导致的生态安全指数在时空分布上差异性较强。另外,霍林河流域地处吉林省西部和内蒙古沙漠边缘,其特殊的地理位置也对其生态安全退化有重要影响,因此在这 35 a 期间,流域土地利用生态安全指数整体呈下降趋势,并由西北向东南降低,达最小值 0.5 以下。

综上所述,通过运用景观生态学的空间格局分析方法对霍林河流域中下游地区的生态安全在时空特征上进行了分析,由于侧重从自然因子进行分析,对其它地貌、地形、灾害及人文因素没有考虑,因此并不具有绝对性。但所用的分析方法和模型对分析区域土地利用变化和生态安全是可行的,许多学者已运用此方法进行了研究<sup>[13-19]</sup>。通过本文的分析,为霍林河流域的生态整治、维护物种多样性及促进生态环境、

经济与社会的协调发展提供了重要的理论依据,从而避免由决策失误而带来的重大生态、经济损失。

#### 参考文献:

- [1] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [2] Zhao Y Z, Zou X Y, Cheng H, et al. Assessing the ecological security of the Tibetan plateau: Methodology and a case study for Lhaze County[J]. Journal of Environmental Management, 2006, 80: 120-131.
- [3] Yu K I. Security patterns and surface model in landscape planning[J]. Landscape and Urban Plan, 1996, 36(5): 1-17.
- [4] Jon B. Security and climate change[J]. Global Environmental Change, 2003, 13: 7-17.
- [5] 刘吉平,吕宪国,杨青,等.三江平原东北部湿地生态安全格局设计[J].生态学报,2009,29(3):1083-1090.
- [6] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等.生态安全研究进展[J].生态学报,2005,25(4):861-868.
- [7] 王志强,张柏,于磊,等.吉林省西部土地利用/覆被变化与湿地生态安全响应[J].干旱区研究,2006,23(3):419-426.
- [8] 岳书平,张树文,闫业超,等.公主岭市土地利用变化的生态效应研究[J].资源科学,2006,28(6):161-166.
- [9] 何方,吴楠,李玲,等.淮河流域上游山丘区景观格局动态变化研究[J].水土保持研究,2009,16(1):33-38.
- [10] 卢晓宁,邓伟,张树清.近 50 a 来霍林河流域下游沿岸湿地景观格局演变[J].干旱区地理,2006,29(6):829-837.
- [11] 李晓燕,张树文.基于景观结构的吉林西部生态安全动态分析[J].干旱区研究,2005,22(1):57-620.
- [12] 李新琪,新疆艾比湖流域平原区景观生态安全研究[D].上海:华东师范大学,2008:71-75.
- [13] 王娟,崔保山,姚华荣,等.纵向岭谷区澜沧江流域景观生态安全时空分异特征[J].生态学报,2008,28(4):1681-1690.
- [14] 李月臣.中国北方 13 省市区生态安全动态变化分析[J].地理研究,2008,27(5):1150-1160.
- [15] 郭砾,薛达元,余世孝,等.泰山景观生态安全动态分析与评价[J].山地学报,2008,26(3):331-338.
- [16] 史培军,宋常青,景贵飞.加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究[J].地球科学进展,2002,17(2):161-168.
- [17] 陈鹏,潘晓玲.干旱区内陆河流域区域景观生态风险分析[J].生态学杂志,2003,22(4):116-120.
- [18] 万利,陈佑启,谭靖,等.北京郊区生态安全动态评价与分析[J].地理科学进展,2009,28(2):238-244.
- [19] 白淑英,张树文,张养贞.农牧交错区 50 a 来耕地开发过程及其驱动因素分析:以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例[J].资源科学,2005,27(2):71-76.