

## 基于景观转移矩阵的黑龙江双河自然保护区土地覆被转移研究

冯雨林<sup>1</sup>, 杨佳佳<sup>1</sup>, 吴梦红<sup>2</sup>

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所) 辽宁 沈阳 110034 ;

2. 吉林大学 吉林 长春 130026

**摘 要** :选择 2005 与 2012 年两期遥感影像 ,基于 RS/GIS 技术和转移矩阵数学模型 ,从景观转移方面对保护区景观要素时空变化进行定量分析 ,探讨了双河自然保护区在 7 年内土地利用格局及土地转化规律. 结果表明 ,林地、灌木及草地之间转化较为突出 ,与保护区的环境因素有直接关系. 沼泽、水域、居民地及裸土地因其面积基数小 ,类间转化量较小. 旱田较活跃 ,除居民地外 ,其余 6 类景观都有面积转化为旱地. 林地和草地相互转化较为活跃 ,灌木和林地相互转化较为活跃. 研究结果可以为保护区的生态治理和可持续发展规划提供科学依据.

**关键词** :双河自然保护区 ;遥感 ;土地覆被 ;转移矩阵 ;动态变化 ;黑龙江省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.05.014

## LAND COVER TRANSITION IN THE SHUANGHE NATURAL RESERVE AREA , HEILONGJIANG PROVINCE : A Study Based on Landscape Transfer Matrix

FENG Yu-lin<sup>1</sup>, YANG Jia-jia<sup>1</sup>, WU Meng-hong<sup>2</sup>

1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources , CGS , Shenyang 110034 , China ; 2. Jilin University , Changchun 130026 , China

**Abstract** : Based on RS/GIS technology and transfer matrix data model , the RS images of the Shuanghe Nature Reserve Area in two historic periods (2005 and 2012) are selected for quantitative analysis of the land use changes and landscape transfer regularity in the area during the 7 years. The study shows that the conversion between forestland , shrub and grassland is obvious , which has a direct relation with the environmental factors in the area. Because the base areas of swamp , water , resident place and bare soil are small , the transition between them is limited. Dry farmland changed notably during this period. Except for resident place , the rest 6 types of landscape areas are all partially converted into dry land. Active mutual transition took place between forestland and grassland , as well as shrub and forestland. This result would hopefully provide a scientific basis for the ecological management and sustainable development planning of the reserve area.

**Key words** : Shuanghe Natural Reserve Area ; remote sensing ; land cover ; transfer matrix ; dynamic change ; Heilongjiang Province

### 0 前言

利用 RS/GIS 技术对保护区的土地覆被状况进行动态监测 ,可以及时有效地了解和分析保护区的土地利用时空动态变化信息 ,这对于科学有效地管理和合理规划 ,实现保护区的可持续利用有重要意义<sup>[1]</sup>. 遥感

(RS)与地理信息系统(GIS)技术 ,既可在最短时间内得到新的地面现势性数据 ,又可长期获取稳定的地表覆盖数据流 ,为土地利用基础图件的更新提供了一条新途径.

本文以黑龙江省大兴安岭地区双河国家自然保护

收稿日期 2015-06-16 修回日期 2016-04-01. 编辑 张哲.

基金项目 :中国地质调查局“东北界河地区国土资源遥感综合调查”项目(编码 12120113003000).

作者简介 :冯雨林(1980-) ,男 ,硕士 ,高级工程师 ,从事遥感地质工作 .通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号 E-mail//68051629@qq.com

区为研究对象,采用 2 个时期(2005-8 和 2012-10)的遥感数据,基于遥感和 GIS 技术将土地覆被类型分为 8 个二级类,应用景观转移矩阵分析方法对保护区内的土地覆被转移动态变化情况进行研究,揭示保护区内生态景观时空变化特征,为保护区的生态治理和可持续发展规划提供科学依据。

### 1 研究区概况

双河国家级自然保护区位于黑龙江省大兴安岭塔河县,以黑龙江为界与俄罗斯隔江相望,是我国最北的自然保护区,归属十八站林业局管辖,总面积 980.00 km<sup>2</sup>,范围在东经 124°52'48"~125°32'03",北纬 52°54'25"~53°12'08"之间(如图 1)。保护区成立于 2002 年,2008 年 3 月由国务院批准晋升为国家级自然保护区。



图 1 双河自然保护区地理位置图

Fig. 1 Geographic location of the Shuanghe Natural Reserve Area

黑龙江从研究区北部流过,其支流大西尔根气河自南西向东北穿过本区汇入黑龙江。区内分布有茂密的原始森林和大面积的湿地,植被类型多样,层次分明,有国家级珍稀濒危保护植物 5 种。特别是保存着我国较大面积的原始兴安落叶松林和樟子松林,对我国寒温带落叶针叶林区的植被类型与野生动物区系而言均具有很好的典型性与代表性。

因此,查明地物分布现状,研究土地覆被变化规律与趋势,掌握生态系统恢复状况,能够为林业治理提供非常重要的基础信息。

### 2 遥感数据处理

#### 2.1 遥感影像选取

本研究采用 SPOT5 卫星影像(时相为 2005-08-

24,融合空间分辨率 2.5 m)和 ZY-1(资源一号)02C 遥感卫星影像(时相为 2012-10,HR 空间分辨率 2.36 m)做为基础信息源。

#### 2.2 遥感影像处理

对上述高分辨率遥感影像,主要进行几何校正、图像的增强处理、图像融合以及镶嵌处理,制作研究区域的遥感影像图。

#### 2.3 波段信息统计及最佳波段组合选择

一般图像中波段之间是相关的,因此需要一些统计值来定量地表示其相关程度。其中相关系数和协方差是变量之间相关程度的指标。协方差是计算图像中两波段的像元值和其他各波段均之差的乘积的平均值,用两波段之间的协方差除以各波段的标准离差,就得到其相关系数  $R$ ,相关系数的取值范围为  $[-1, 1]$ 。| $R$ |值越大,变量之间的线性相关程度越高<sup>[2]</sup>。

SPOT5 图像各波段基础信息统计见表 1,数据各波段的标准差大小顺序为:  $B4 > B2 > B3 > B1$ 。

表 1 SPOT5 数据波段基础信息量统计

Table 1 Basic information statistics of SPOT5 band

| Basic tats | Mi | Max  | Mean       | Stdev      | Eigenvalue |
|------------|----|------|------------|------------|------------|
| Band 1     | 0  | 790  | 340.010385 | 95.489186  | 126.420664 |
| Band 2     | 0  | 1434 | 605.994205 | 195.445690 | 220.186491 |
| Band 3     | 0  | 1270 | 528.605611 | 188.530970 | 63.577791  |
| Band 4     | 0  | 1322 | 572.609042 | 209.479699 | 44.688466  |

SPOT 数据 4 个波段的相关系数差别不大,由于波段 4 的标准差最大,而且波段 4 处于近红外波段,为了增加图像的信息量,以波段 4 为基准,发现其与波段 2、波段 3 相关性最为明显,其系数达到 0.99 以上,说明两者在光谱信息上有很强的一致性。而波段 4 和波段 3 之间的协方差相对较小。同时发现波段 1 与波段 2 的相关系数偏大,而波段 1 与波段 3 相关系数相对较小,同时协方差也最小,由此可见两波段之间具有较强的独立性(表 2、3)。

表 2 SPOT5 数据波段相关性分析

Table 2 Correlation analysis for SPOT5 data band

| Correlation | Band 1   | Band 2   | Band 3   | Band 4   |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Band 1      | 1.000000 | 0.992568 | 0.983383 | 0.979783 |
| Band 2      | 0.992568 | 1.000000 | 0.996264 | 0.994309 |
| Band 3      | 0.983383 | 0.996264 | 1.000000 | 0.998158 |
| Band 4      | 0.979783 | 0.994309 | 0.998158 | 1.000000 |

表 3 SPOT5 数据波段协方差分析

Table 3 Covariance analysis for spots data band

| Correlation | Band 1   | Band 2   | Band 3   | Band 4   |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Band 1      | 9089.959 | 18474.08 | 17659.84 | 19551.36 |
| Band 2      | 18474.08 | 38109.94 | 36632.37 | 40624.97 |
| Band 3      | 17659.84 | 36632.37 | 35476.5  | 39347.67 |
| Band 4      | 19551.36 | 40624.97 | 39347.67 | 43802.74 |

通过分析后,确定了以 4(R)+3(G)+1(B)波段组合作为 SPOT5 数据进行融合的彩色基础图像。该组合图像集结了近红外及可见光波段信息的优势,色彩反差明显,清晰度高,层次感好,具有极为丰富的地表覆盖信息,可解译程度高。

02C 数据 3 个波段的相关系数差别不大,由于全色波段为 5 m 分辨率,故只有 3 个波段可供选择,统计结果如表 4。

表 4 02C 数据波段信息量统计

Table 4 Information statistics of 02C band

| Basic tats | Min | Max    | Mean     | Stdev      | Eigenvalue |
|------------|-----|--------|----------|------------|------------|
| Band 2     | 0   | 0.9998 | 0.215621 | 98.115018  | 44.168711  |
| Band 3     | 0   | 0.9358 | 0.262259 | 65.134246  | 57.005659  |
| Band 4     | 0   | 0.7981 | 0.291483 | 124.141148 | 71.001112  |

从统计分析的结果可以看出,第 4 波段的各项统计指标均大于其他波段,说明第 4 波段所包含的信息量最大,而且第 4 波段(近红外波段)在植被类型分类中具有显著作用,且与其他波段相关性最小,所以在使其固定在绿光通道的基础上,进行波段组合尝试。根据试验对比结果,结合试验区包含地类情况,最后选择 3(R)+4(G)+2(B)波段组合。该组合所表现的地物差异性大,包含的信息量丰富,有利于进行目视判别和自动分类研究。

### 3 研究方法

#### 3.1 土地覆被面积变化

利用已解译的土地覆盖数据,统计两期土地覆盖面积,计算面积变化情况,其表达式为:

$$\Delta S = S_2 - S_1 \quad (1)$$

$\Delta S$  表示面积变化,  $S_1$  表示前期面积,  $S_2$  表示后期面积。面积变化变量能反映出某种地类面积在一个时期内的增加或减少。

#### 3.2 土地覆被时空动态变化

时间序列分析的目的是为了揭示土地在时间轴上发生的变化,分析指标包括土地覆被类型面积变化量、变化速度、变化幅度等。面积变化量用两个年份土地覆

被类型面积之差来计算,可表达出土地覆被类型总量的变化大小;变化速度是指每年土地覆被类型变化的数量,用来刻画土地覆被类型变化的快慢;土地覆被类型的变化幅度指土地覆被类型在面积方面的变化程度,反映土地覆被类型在不同年份湿地面积变化的剧烈程度。土地覆被类型变化幅度的数学表达式为:

$$K = (S_2 - S_1) / S_1 \cdot 100\% \quad (2)$$

式中  $K$  代表湿地的变化幅度,  $S_1$  表示研究初期湿地面积,  $S_2$  代表末期湿地的面积。利用 MapGIS 软件的面积量算与统计功能,得出各时相湿地的面积信息,通过对多时相土地信息统计数据运算,可以得出土地面积随时间的动态度。

#### 3.3 土地覆被动态度

土地覆被类型的变化不仅体现在土地覆被类型面积上,同时也存在于空间位置上。为了进一步探讨研究区一定时间范围内土地覆盖信息变化程度的大小,引入土地动态度概念<sup>[3-4]</sup>。通过土地利用动态分析,可得到区域土地利用变化的速率。其表达式为:

$$L_c = \frac{U_b - U_a}{U_a \cdot T} \times 100\% \quad (3)$$

$U_a$  和  $U_b$  分别代表研究初期与末期的植被面积,  $L_c$  是  $T$  年内植被的动态度。动态度不但可以描述某一地类相对于自身的变化程度,还可以较好地突显出土地覆盖变化的时间特征,是研究土地覆盖动态变化的重要模型。

#### 3.4 景观转移矩阵

土地覆被转移矩阵能全面而具体地刻画区域土地利用变化的结构特征与各用地类型变化的方向,能清楚分析研究区两期各类型土地之间的流失与转移量<sup>[3,5-6]</sup>。为了更具体地说明土地覆被类型中各种地类相互转化程度,根据两期的植被覆盖信息构建土地覆盖变化的面积转移矩阵  $P$ ,其数学表达式为:

$$P = (P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & L & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & L & P_{2n} \\ L & L & L & L \\ P_{n1} & P_{n2} & L & P_{nm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$P$  称作系统状态的转移概率矩阵,  $P_{ij}$  为状态  $i$  到状态  $j$  的转移概率。式中  $n$  表示土地覆盖的分类数,  $P_{ij}$  代表初始时间  $T_1$  到终止时间  $T_2$  的地类  $i$  变成  $j$  的面积,对角线上的  $n$  个元素(即  $i=j$ )表示未变化的地类面积。根据系统的状态的转移概率,转移概率矩阵具有下列两个性质:  $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ,  $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1$ 。转移概率矩阵  $P$  内包括着系

统状态的各种可能转移的倾向,其中  $P_{ij}$  值大的,在指定方向的转移倾向就大,反之  $P_{ij}$  值小的,在指定方向的转移倾向就小。转移矩阵变量能更好地反映出地类

之间的相互转化,比如 A 地类减少了,那么减少的部分转化为哪一种地类了;A 地类增加了,是由哪种地类转化而来。

#### 4 土地覆被遥感解译

以 2005 年 SPOT5 和 2012 年 O2C 遥感影像为数据源,参考土地分类标准,将土地覆被解译为 8 类:草地、林地、灌木、旱田、水域、沼泽地、居民地和裸土岩(图 2),并进行野外抽样验证,保证总体解译精度达 90%以上,并对解译成果建立属性数据库。

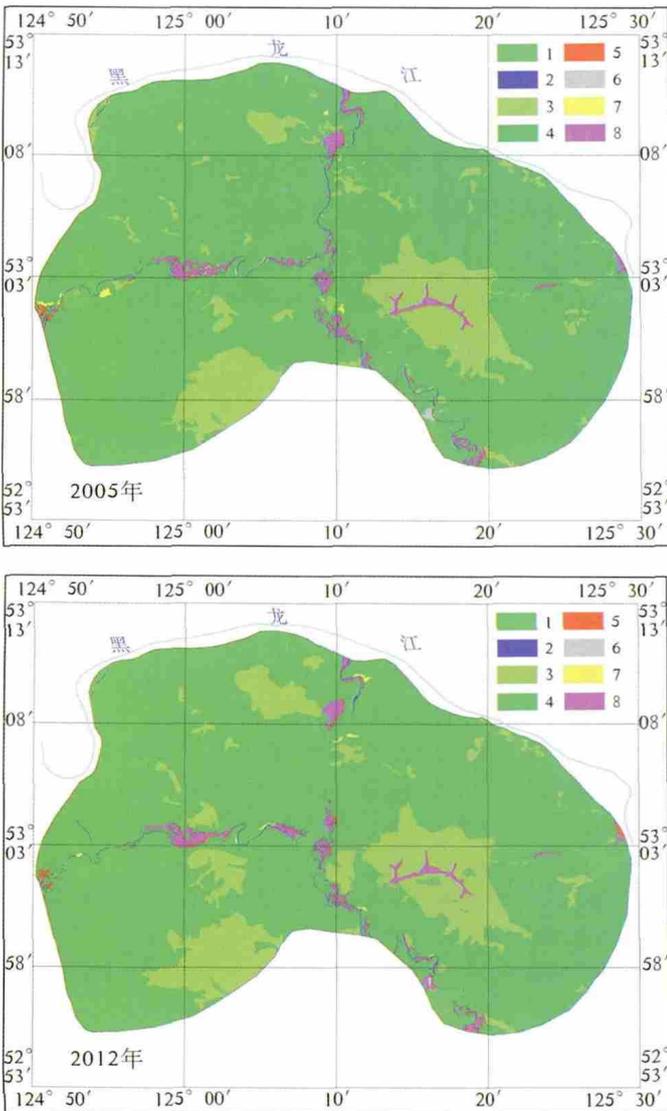


图 2 2005、2012 年双河保护区景观地类图

Fig. 2 Landscape classification of the Shuanghe Natural Reserve Area in 2005 and 2012

1—草地 (grass) 2—河流 (river) 3—灌木林 (bush) 4—林地 (forest land) 5—旱田 (dry farmland) 6—居民地 (resident place) 7—裸土岩 (bare soil/rock) 8—沼泽地 (marsh)

### 5 土地覆被信息动态变化研究

#### 5.1 土地覆盖面积变化

利用前期遥感影像解译成果,通过 MapGIS 软件的属性分析功能,分别统计出了 2005 和 2012 年研究区内各土地覆被类型面积及其变化。利用上文公式(1)(2)(3),计算得到各土地覆被类型变化幅度及动态度,如表 5 所示。

表 5 土地覆被类型面积及变化统计表

Table 5 Statistics of areas and changes of land cover types

| 类型     | 林地     | 居民地    | 旱田     | 水域    | 草地     | 沼泽    | 裸土岩    | 灌木林    |
|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 2005 年 | 808.87 | 0.62   | 0.42   | 2.96  | 11.35  | 16.59 | 2.15   | 119.12 |
| 2012 年 | 778.51 | 0.13   | 1.23   | 2.68  | 25.00  | 16.15 | 1.20   | 137.18 |
| 变化     | -30.36 | -0.49  | 0.81   | -0.28 | 13.65  | -0.44 | -0.95  | 18.07  |
| 变化幅度   | -3.75  | -79.12 | 194.78 | -9.47 | 120.30 | -2.66 | -44.27 | 15.17  |
| 动态度    | -0.54  | -11.30 | 27.83  | -1.35 | 17.19  | -0.38 | -6.32  | 2.17   |

面积单位 km<sup>2</sup>。

从表 5 可以看出,2005~2012 年 7 年间面积变化较大的景观地类是林地、灌木和草地,林地减少了 30.36 km<sup>2</sup>,灌木增加了 18.07 km<sup>2</sup>,草地增加了 13.65 km<sup>2</sup>;变化较小的是居民地、旱田、水域、沼泽及裸土岩,都小于 1 km<sup>2</sup>。但从变化幅度和动态度上分析,变化较大的是旱田、草地和居民地,都超出了 50%,最大达到 194.78%。

#### 5.2 土地覆被景观转移矩阵分析

土地覆被的各类间转化分析是为了反映土地覆被类型内部之间的转化。土地覆被类型数量的变化一般包括土地覆被类型本身绝对数量的增减以及不同土地覆被类型之间的转化。基于 GIS 软件平台对土地覆被类型分类数据进行空间分析,统计出 2005~2012 年间双河保护区 8 类土地覆被类型数据的转移矩阵,如表 6 所示。其中主对角线上的数据表示未改变的地类面积,其余的表示 2005 年对应的地类在 2012 年变化为其他地类的面积。

表 6 2005-2012 年土地覆盖转移矩阵

Table 6 Transfer matrix of land covers during 2005-2012

| 景观类型 | 林地     | 水域    | 旱田   | 草地    | 沼泽    | 裸土   | 居民地  | 灌木林    |
|------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|--------|
| 林地   | 761.58 | 0.29  | 0.21 | 12.93 | 2.10  | 0.70 | 0.00 | 31.04  |
| 水域   | 0.30   | 2.07  | 0.01 | 0.04  | 0.06  | 0.02 | 0.00 | 0.00   |
| 旱田   | 0.09   | 0.02  | 0.30 | 0.00  | 0.01  | 0.00 | 0.00 | 0.00   |
| 草地   | 19.10  | 17.17 | 0.08 | 9.53  | 6.69  | 0.68 | 0.00 | 0.00   |
| 沼泽   | 2.76   | 0.06  | 0.37 | 0.32  | 12.97 | 0.10 | 0.00 | 0.00   |
| 裸土   | 0.90   | 0.08  | 0.13 | 0.33  | 0.06  | 0.34 | 0.00 | 0.30   |
| 居民地  | 0.00   | 0.00  | 0.00 | 0.05  | 0.00  | 0.00 | 0.13 | 0.00   |
| 灌木林  | 8.49   | 0.01  | 0.13 | 4.31  | 0.01  | 0.34 | 0.00 | 105.84 |

面积单位 km<sup>2</sup>。

由表6可见,2005~2012年间地类景观转移较频繁,转移方向和趋势各有不同。

1) 林地:2005~2012年间林地有761.58 km<sup>2</sup>没有发生变化,有0.29 km<sup>2</sup>的林地转化为水域,0.21 km<sup>2</sup>转化为旱地,12.93 km<sup>2</sup>转化为草地,2.10 km<sup>2</sup>转化为沼泽地,0.70 km<sup>2</sup>转化为裸土地,31.04 km<sup>2</sup>转化为灌木。林地没有转化为居民地。同时,有19.1 km<sup>2</sup>草地、2.76 km<sup>2</sup>沼泽及8.49 km<sup>2</sup>灌木转化为林地。从表6中可以看出林地转化为灌木占较大的比重,因为保护区发生过一场林火,部分林地被焚毁,后又生长为次生灌木林。

2) 水域:2005~2012年,有2.07 km<sup>2</sup>的水域稳定不变,0.30 km<sup>2</sup>水域转化为林地,0.01 km<sup>2</sup>转化为旱田,0.04 km<sup>2</sup>转化为草地,0.06 km<sup>2</sup>转化为沼泽,0.02 km<sup>2</sup>转化为裸土岩。水域没有转化为居民地和灌木。水域整体上转化并不明显。

3) 旱田:由于地处自然保护区,旱田较少,2005~2012年间旱田转化并不明显。旱田有0.30 km<sup>2</sup>稳定不变,有少量(小于0.1 km<sup>2</sup>)转化为林地、水域及沼泽地。但由于7年间旱田是呈增多趋势,所以有少量的林地、水域、草地、沼泽、裸土岩及灌木转化为旱田。

4) 草地:草地转化比较活跃,9.53 km<sup>2</sup>稳定不变,有19.10 km<sup>2</sup>转化为林地,17.17 km<sup>2</sup>转化为水域,6.69 km<sup>2</sup>转化为沼泽,少量的草地转化为旱田和裸土地。

5) 沼泽:沼泽地比较稳定,12.97 km<sup>2</sup>稳定不变,2.76 km<sup>2</sup>转化为林地,其他地类转化不明显。

6) 裸土地:由于裸土面积较小,总体呈减少趋势,但转化不明显。有0.34 km<sup>2</sup>稳定不变,0.90 km<sup>2</sup>转化为林地,说明保护区生态趋好。

7) 居民地:由于居民地面积较少,所以转化的地类也较少,只有0.05 km<sup>2</sup>转化为草地。导致这一变化的原因主要为保护区人口外迁,村子废弃,复绿为草地。

8) 灌木林:2005~2012年间灌木林地有105.84 km<sup>2</sup>没有发生变化,有8.49 km<sup>2</sup>的灌木转化为林地,4.31 km<sup>2</sup>

转化为草地,少量转化为旱田和裸土地。同时有31.04 km<sup>2</sup>的林地转化成灌木。

综上,由转移矩阵可以得出,双河保护区景观变化的总体趋势是:形状复杂,但趋于规整化。2005~2012年间双河自然保护区的林地、灌木及草地之间转化较为突出,与保护区的环境因素有直接关系。沼泽、水域、居民地及裸土地因其面积基数小,所以其类间转化量较小。旱田较活跃,除居民地外,其余6类景观都有不同面积转化为旱地。林地和草地相互转化较为活跃,灌木和林地相互转化较为活跃。沼泽地比较稳定。

## 6 结论

本文在RS/GIS技术和地类景观转移矩阵等数学理论模型支持下,分析并总结出双河自然保护区2005~2012年间土地覆被类型及景观格局转移规律:林地和灌木转化较活跃,是因为部分林地被焚毁,后又生长为次生灌木林,而原有的灌木因生态保护生长为林地,水域、旱田、沼泽地和裸土地整体保持稳定,草地转化为林地较为活跃,居民地转移为草地的比例较大,因为保护区人口外迁,村子废弃,复绿为草地。本次的调查结果可为双河自然保护区土地覆被景观变化、生态环境综合治理及规划提供科学依据。

## 参考文献:

- [1]陈楠,杨武年,韩丽,等.四川省广安市土地利用覆盖遥感动态变化研究[J].地理空间信息,2012,12(6):96-99.
- [2]罗伟祥,白立强,宋西德,等.不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量[J].水土保持学报,1990,19(1):77-80.
- [3]秦文翠,罗维,刘运明.天津滨海新区海岸带土地利用时空格局变化[J].西南师范大学学报:自然科学版,2005(5):135-141.
- [4]孙仲益,张继权,严登华.基于GIS的安徽省旱灾风险空间演变研究[J].东北师大学报:自然科学版,2012,12(4):133-37.
- [5]岳东霞,杜军,刘俊艳,等.基于RS和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价[J].生态学报,2011,31(9):2550-2558.
- [6]李艳利,徐宗学,李艳粉.基于一级水生态分区辽河流域景观格局时空动态分析[J].地球与环境,2012,3(40):375-384.