

# 新开河流域土地利用格局变化及其生态学意义

张国坤<sup>1</sup>, 邓 伟<sup>2</sup>, 宋开山<sup>3</sup>, 刘吉平<sup>1</sup>, 张力宏<sup>4</sup>, 李 方<sup>3</sup>

(1. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 四平 136000; 2. 中国科学院水利部山地灾害与环境研究所, 成都 610041;

3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130021; 4. 吉林师范大学图书馆)

**摘要:** 基于利用不同时期的地形图和 TM 遥感数据, 运用 ARC/INFO 软件, 以马尔柯夫空间概率模型为基础, 对新开河流域的土地利用格局变化及驱动因素进行的分析, 论证新开河流域土地利用结构日趋不合理: 不仅林地占地最小, 而且土地盐碱化、沙化严重, 草地退化严重, 生态环境质量整体向恶化方向发展, 分析了生态环境恶化的原因, 探讨了土地利用格局变化的生态学意义, 提出了治理措施和方法。

**关键词:** 遥感与地理信息系统; 新开河流域; 土地利用/覆被变化; 马尔柯夫模型

文章编号: 1000-0933(2006)09-3025-10 中图分类号: P901, Q149 文献标识码: A

## On the land-use pattern shifting in Xinkai River Basin and its ecological significance

ZHANG Guo-Kun<sup>1</sup>, DENG Wei<sup>2</sup>, SONG Kai-Shan<sup>3</sup>, LIU Ji-Ping<sup>1</sup>, ZHANG Li-Hong<sup>4</sup>, LI Fang<sup>3</sup> (1. The Faculty of Tourism and Geographical Science, Jilin Normal University, Siping 136000, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 3. The Institute of Northeast Geography and Agricultural Ecology, Changchun 130021, China; 4. Library, Jilin Normal University, Siping 136000, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3025 ~ 3034.

**Abstract:** This article is based on the analysis of the land-use pattern shifting in the Xinkai River basin and its driving factors, which has been made with the support of ARC/INFO software after the Markov model of space probability, in the light of the relief maps and the TM remote-sensing data for the various periods, shows that the land-use pattern in the basin has been unreasonable, as is proved by such facts as existence of few woods, serious land saline-desertification and progressive reduction of grassland - a general degradation of the eco-environment in the area. The reason for the degradation, the ecological significance of the pattern shifting and the appropriate measures to improve the eco-environment are dealt with in this article.

**Key words:** RS and GIS; Xinkai River basin; land use/cover change; Markov model

土地利用是地球表面的社会利用状态<sup>[1]</sup>, 是人类为其生存通过较完善的生物和技术的活动, 对土地进行长期或周期性的经营所表现的景观。土地利用格局通常是指景观的空间结构特征。景观结构与生态过程相结合的格局分析是土地利用格局研究的发展方向<sup>[2]</sup>。土地利用是一个动态的过程。随着人口急剧增长, 人类活动对自然环境的影响日益显著, 土地利用的变化导致景观结构或土地利用格局(自然状态的土地覆被格局)发生变化<sup>[3]</sup>。研究空间格局能更好地理解生态过程<sup>[4]</sup>, 因此研究土地利用格局的动态变化, 有助于了解造成其变化的原因、机理及演变趋势, 同时通过调整人类的社会经济活动, 按照生态规律可有效地优化土地利用, 为进一步合理地可持续利用土地资源提供科学的依据。

随着传统方法的改进和新研究方法的出现, RS 和 GIS 的结合, 已经成为探讨土地利用格局演变、揭示其空间变化规律、建立其变化驱动力模型强有力的分析手段<sup>[2]</sup>。目前国际上采用的方法主要是, 在 GIS 或 RS 的

基金项目: 中国科学院湿地生态与环境重点实验室资助项目 (WELF-2004B-008)

收稿日期: 2006-06-15; 修订日期: 2006-08-30

作者简介: 张国坤 (1963 ~), 男, 辽宁绥中人, 博士, 副教授, 主要从事地图、遥感、地理信息系统、环境学教学与研究。E-mail: ldkyzgk@163.com

Foundation item: The project was supported by key lab of wetland ecology and environment, CAS (No. WELF-2004B-008)

Received date: 2006-06-15; Accepted date: 2006-08-30

Biography: ZHANG Guo-Kun, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in cartography, remote sensing, and GIS application in environmental sciences.

支持下,通过对不同时期遥感影像或土地利用图进行空间叠加运算,求出各时期土地利用类型的转移矩阵(Conversion Matrix)<sup>[5,6]</sup>,分析其变化,或改进土地分类体系或进行方法研究<sup>[7~11]</sup>。

流域是一条河流的集水区域,它具有完整的自然生态系统。流域生态学是运用现代生态学和相关学科的理论和方法,研究流域内各系统的结构与功能,以及系统之间的相互影响和相互作用的科学<sup>[12]</sup>。流域内土地利用格局的演变直接影响着流域内的物理、化学、生物等自然过程的发生发展,维系着流域的生态安全<sup>[4,13,14]</sup>。基于景观生态学和流域生态学的思想,以流域为研究尺度,分析流域内土地利用格局的动态变化,以便制定出合理的景观调控对策,是进行流域综合治理的关键之举<sup>[15~18]</sup>。本文利用新开河流域范围内不同时期的地形图数据和匹配纠正的 TM 遥感数据,经过土地利用类型分类及数字化处理后,在 ARC/INFO 软件支持下,利用马尔柯夫空间概率模型定量分析新开河流域土地利用格局变化趋势,为新开河流域合理土地利用提供科学的依据。

## 1 新开河流域基本概况

新开河流域位于松辽大平原上,属西辽河平原。该流域范围在北纬 43°22′~44°20′,东经 120°20′~123°32′,流域面积 8942.8 km<sup>2</sup>。该流域所辖行政区范围(图 1)在内蒙古自治区东部,包括赤峰市阿鲁科尔沁旗、兴安盟科尔沁右翼中旗、通辽市科尔沁区、扎鲁特旗、开鲁县、科尔沁左翼中旗以及吉林省西部的通榆县南部地区。该流域广泛分布以沙粒成分为主的表层沉积物和沙性土壤<sup>[19]</sup>。该流域四季分明,属温带大陆性气候,春季干旱多风,夏季炎热而雨量集中,秋季凉爽短促,冬季漫长而寒冷。年平均气温 0~6℃,1 月份平均气温 -12~-17℃,7 月份平均气温 23~24℃;极端最高气温 41.7℃,极端最低气温 -43℃,无霜期 100~150d。冬春多偏西北风或偏北风,夏季多偏南风或西南风,平均风速 3.5~4.5 m s<sup>-1</sup>,最大风速 19~31 m s<sup>-1</sup>,3~5 月份大风频率可占全年 50%~60%,4 月份最多。降水量分布不均,年平均降水量 350~450mm。新开河流域内地势平坦,微有起伏,平均海拔 100~200m。区内地面水分布受地形和气候的影响较大。新开河河流沿松辽分水岭南边缘呈弓型与西辽河汇合双辽南下,并与西南流向的东辽河在辽宁省汇流注入渤海。区内泡沼湖泊众多、星罗棋布。本区植被为半干旱气候条件下的草原植被,低湿洼地主要以芦苇、苔草、碱蓬、碱蒿等草甸植被群落为主。

## 2 研究方法与步骤

通过比较不同历史时期的调查监测资料,以及航片与卫片,运用马尔柯夫模型,能够定量地描述地类斑块动态。在此基础上,对多个时段的地类转换概率进行比较,并进一步分析土地利用格局变化的生态学意义<sup>[2]</sup>。

本文运用了 ArcGIS8 软件和 ERDAS IMAGING 软件,利用 1969 年、1979 年航测的地形图,从中提取土地利用类型数据,数字化形成 1:10 万土地类型矢量图,再和从 1992 年、2001 年的遥感数据信息,所提取相应时段的

1:10 万土地类型矢量图进行叠置,再以软件 Arcview3.2 为主要分析工具,来确定土地利用格局转换矩阵,分析 3 个不同时期土地类型的转化情况,以此来探讨新开河流域土地利用格局的变化趋势及其生态学意义。

### 2.1 数据来源与多源信息匹配处理

航测的地形图,它是源于航片信息,而且与 TM 遥感图像都具有土地利用的信息。大比例尺航片分辨率比小比例尺 TM 遥感图像分辨率要高,大比例尺航片提取的空间数据可以缩小到与 TM 同比例尺,这样二者空间分辨率可以达到统一,并完全可以进行不同数据源的匹配,因此地形图数据与 TM 遥感图像数据的匹配是可行的<sup>[2]</sup>。它们不仅在空间上一致,更重要的是可以在统一投影地理坐标系统下放到一起,作综合分类分析及定

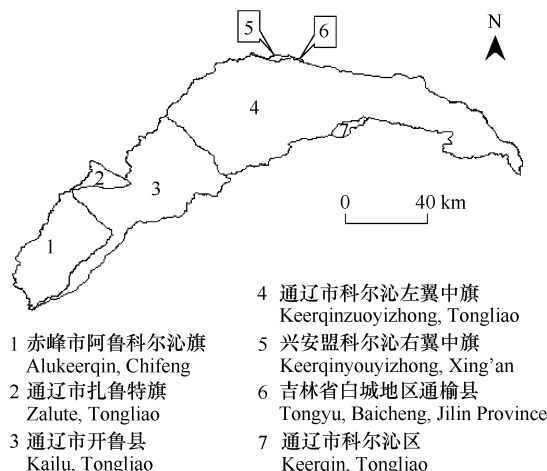


图 1 新开河流域政区图

Fig. 1 The administrative area map of the Xinkai River basin

量对比分析<sup>[20]</sup>,这对土地利用的长期生态研究具有更大的实际意义<sup>[21]</sup>。

为了实现地形图上土地利用与遥感解译的土地利用的匹配,使二者在比例尺上和投影上相同,所对应的地面位置一致,分辨率一致,就需要对地形图栅格数据及对 TM 遥感图像作预处理,再通过对地形图和 TM 遥感图像的配准来完成。上述工作可利用 ArcGIS8 软件和 ERDAS IMAGING 软件,采用几何校正方法,对具有同一比例尺和统一投影的地形图栅格数据和 TM 遥感数据进行位置的配准,从而达到匹配的目的。

## 2.2 研究区主要土地利用类型

新开河流域作为一个独立的地理单元,流域生态系统内景观类型多样。本文根据中国土地利用分类系统,将全区域的土地利用/覆盖类型共分为 11 种景观类型。一级分类为:耕地、林地、草地、水域、居民地、未利用地。二级分类为:居民地分为城镇和村屯;水域分为河流、湖泊和水库;未利用地分为沼泽地、盐碱地以及沙地。

## 2.3 土地利用类型图的制作

利用 1969 年 1:20 万地形图和 1979 年 1:10 万地形图为基础,进行数据提取。地形图上用不同的地图符号表示林地、草地、水田、旱地、沼泽地、盐碱地、沙地、居民点等专题要素。提取时把水田和旱地合并为耕地。在地形图上居民点附近,坡度较小的空白部分为耕地。在数据提取之前,先把扫描的两种比例尺的地形图栅格数据进行几何纠正,然后利用 ArcGIS8 软件和 ERDAS IMAGING 软件,把纠正的 1:20 万地形图栅格数据放大到 1:10 万。因为 1:20 万地形图是 1:10 万地形图缩编而成的,放大到 1:10 万是可行的,但提取时要考虑地图概括误差,使地类空间数据误差达到最小。然后对同一比例尺两个时期地形图栅格数据进行数据提取。数据提取步骤为:利用 ArcGIS8 软件和 ERDAS IMAGING 软件,把 1:10 万的两个时期的地形图栅格数据经过配准、拼合等处理,数字化后把高斯-克吕格投影转换为 Albers 等面积圆锥投影,经过矢量数据的拓扑、地图设计,输出土地利用类型图(图 2)。

利用 1992 年和 2001 年的 Landsat TM 数字图像进行遥感目视解译。具体步骤为:采用时相为 8~9 月份、地面分辨率为 30m、1:10 万的 Landsat TM 数字图像,通过 ERDAS IMAGING 软件对图像进行几何纠正、辐射纠正、坐标变换和图像增强,获得波段组合成为 4、3、2(RGB)假彩色合成图像。确立解译标志和解译的精度,在 ArcGIS 工作平台上进行人机交互式的目视解译,建立土地利用空间数据库和属性数据库,得到 1992 年、2001 年 2 期土地利用类型矢量图(图 2)。通过野外调绘、核实,此次遥感解译精度在 90% 左右。

## 2.4 马尔柯夫模型与地类转移矩阵

空间马尔柯夫(Markovian)模型是最早和最广泛用来研究土地利用格局变化的模型。传统的马尔柯夫概率模型可表示为:

$$N_{t+\Delta t} = PN_t$$

或

$$\begin{bmatrix} n_{1,t+\Delta t} \\ \vdots \\ n_{m,t+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{1,t} \\ \vdots \\ n_{m,t} \end{bmatrix}$$

式中, $N_t$  和  $N_{t+\Delta t}$  分别是由  $m$  个状态变量组成的状态向量在  $t$  和  $t+\Delta t$  时刻的值; $P$  是由  $m$  乘  $m$  个单元组成的转化概率矩阵(或称转移概率矩阵),其中  $P_{ij}$  表示从时间  $t$  到  $t+\Delta t$  系统从状态  $j$  转变为  $i$  的概率(对于景观模

型而言,即斑块类型  $j$  变为斑块类型  $i$  的概率)<sup>[4]</sup>,  $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ,且  $\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1$ 。

转移矩阵源于转移概率矩阵的内涵,转移矩阵可以写成转移概率矩阵的转置矩阵形式,是对系统分析中系统状态与状态转移的定量描述。利用转移矩阵可全面而又具体地刻画区域土地利用变化的结构特征与各地类型变化方向。转移矩阵数学形式为:

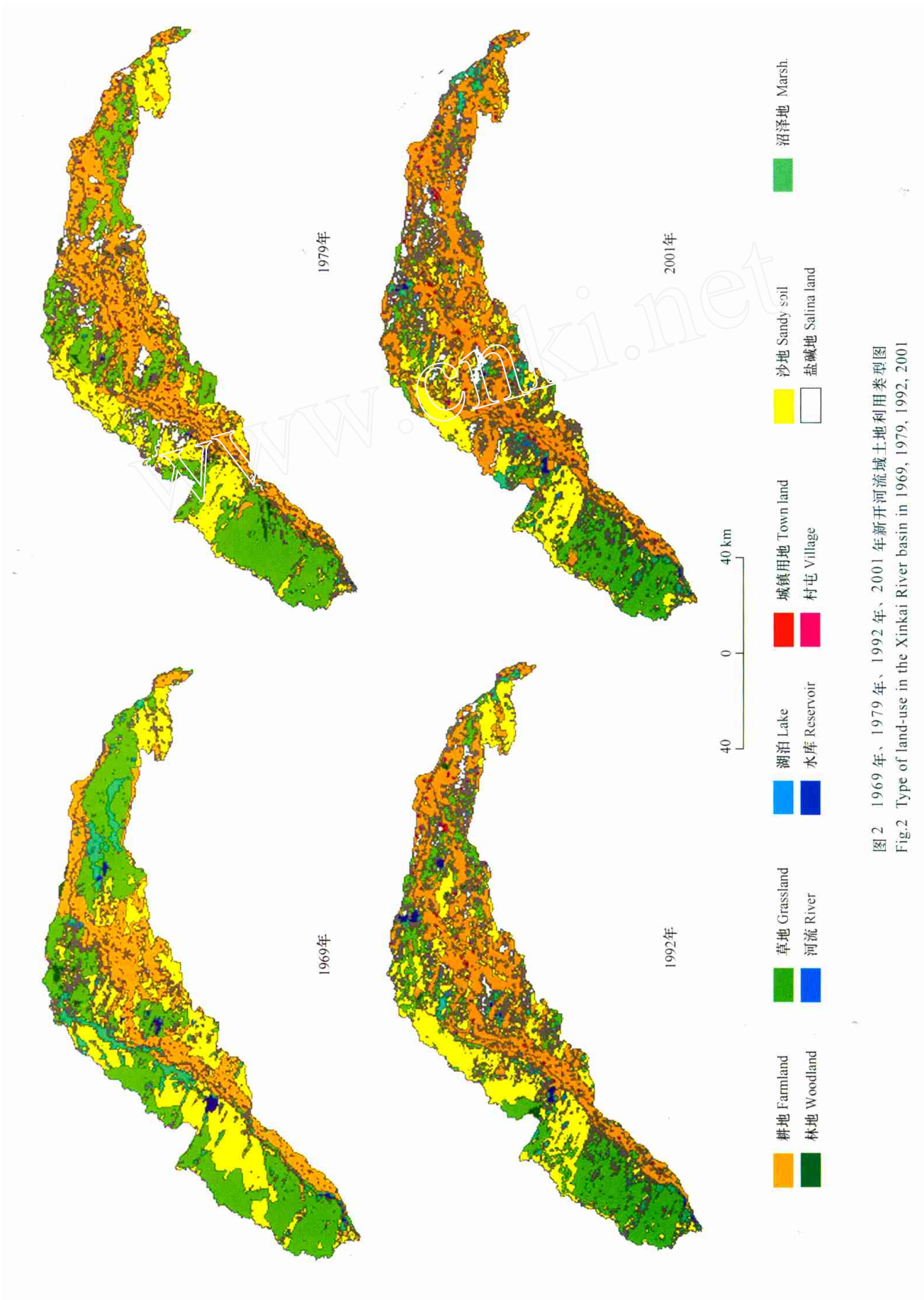


图 2 1969 年、1979 年、1992 年、2001 年新开河流域土地利用类型图  
Fig.2 Type of land-use in the Xinkai River basin in 1969, 1979, 1992, 2001

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & \dots & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

式中,  $S$  代表面积;  $n$  代表土地利用类型的数;  $i, j$  分别代表研究初期 ( $t$ ) 与研究期末 ( $t + \Delta t$ ) 的土地利用类型。矩阵中, 行表示的是初期 ( $t$ ) 的  $i$  种土地利用类型, 列表示的是末期 ( $t$ ) 的  $j$  种土地利用类型;  $S_{ij}$  表示的是初期 ( $t$ ) 的  $i$  种土地利用类型转变为末期 ( $t + \Delta t$ ) 的  $j$  种土地利用类型的面积。在具体应用时将该矩阵用表格形式来表示, 可作为结构分析与变化方向分析的基础<sup>[22, 23]</sup>。

利用新开河流域 4 个时期的土地利用类型图的矢量数据, 在 Arcview3.2 中的 Spatial analyst 分析模块支持下, 生成 1969~1979 年、1979~1992 年、1992~2001 年 3 个不同时期新开河流域土地利用类型转换矩阵 (表 1、2、3)。为了清楚地表达出土地利用的类型结构, 在矩阵表形式中添加求和统计、占有率和变化率<sup>[22, 23]</sup>。占有率表示各类型占流域面积的比率。变化率是表示  $t + \Delta t$  时期各种土地利用类型相对  $t$  时期的变化程度。

$$\text{变化率} = \left( \sum_{i=1}^{\infty} A_{ij} - \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} \right) \times 100 / \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij}$$

### 3 土地利用格局变化趋势及其驱动因素

#### 3.1 1969~1979 年期间土地利用格局变化及其驱动因素

1969~1979 年期间是建国以来内蒙古第 3 次垦荒高潮时期<sup>[19, 24]</sup>, 把 1969 年的数据看成比较初始状态的数据。表 1 显示出 1969~1979 年, 新开河流域土地利用格局变化趋势为: 林地、居民地 (城镇用地、村屯)、耕地的变化率为正值, 表明这些类型呈增加趋势, 其中林地的增加来源于退耕、退草、沙地育林等, 说明 1978 年“三北防护林”工程带来的变化; 居民地的增加来源于占耕地、开垦草地、耕地的增加来源于开垦草地、沙地、沼泽地等, 说明这些现象是人类开垦活动所造成的。另外, 一些草地、耕地和沙地的盐碱化不断增加, 表明自然环境出现恶化现象。水域、沼泽地、沙地和草地呈减少趋势, 其中水域、沼泽地减少最快, 表明该流域的气候变化有暖干化趋势 (图 3)。沙地减少来源于沙地育林、开垦沙地为耕地; 草地减少主要来源于开垦草地为耕地, 草地退化成盐碱地, 表明沙地和草地减少是受到人类活动的影响造成的。总之, 这一时期表现为耕地、林地、盐碱地、居民地 (城镇用地、村屯) 呈扩张的趋势。

#### 3.2 1979~1992 年期间土地利用格局变化及其驱动因素

1979~1992 年期间, 是改革开放、经济发展时期。中央发布了实施《关于加快农业发展的若干问题的决定 (草案)》, 特别是在发布了“调整、改革、整顿、提高”的方针和开始实行联产承包责任制后, 该流域的农业发展和耕地面积基本上趋于稳定<sup>[25]</sup>。表 2 显示出, 1979~

1992 年新开河流域土地利用格局变化趋势为: 沼泽地、

水域、居民地和沙地的变化率为正值, 表明这些类型呈增加趋势。其中沼泽地、水域的增加来源于草地、沙地、耕地和盐碱地等, 说明受气候的影响, 虽然总体上气候趋暖干化, 但这时期降水量比 1969~1979 年期间降水量有所增加 (见图 3); 居民地和沙地的增加来源于开垦的草地、耕地、毁林和盐碱地, 说明受人类活动进一步影响的结果。林地、盐碱地、草地和耕地呈减少趋势, 其中林地、盐碱地、草地减少的幅度较大, 耕地的减少幅度不大, 出现负增长, 主要原因是耕地的退耕还草和沙化的结果, 这与曹小曙, 李平等<sup>[25]</sup>和乌兰图雅<sup>[24]</sup>的研究结果是相一致的。

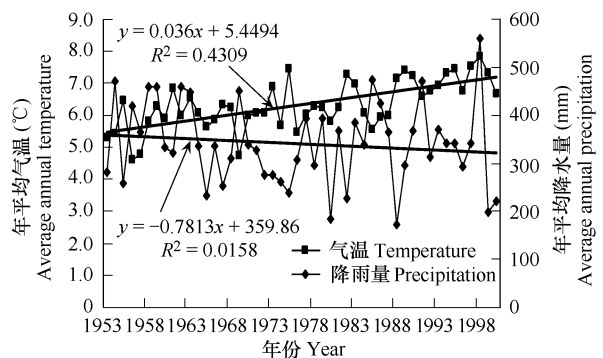


图 3 新开河流域过去 50a 气温及降水变化趋势图

Fig. 3 Temperature and precipitation changing trend in the Xinkai River basin in the past 50 years

表1 1969~1979年新开河流域土地利用格局转换矩阵(km<sup>2</sup>)

Table 1 Conversion matrix of land-use pattern between 1969~1979 in the Xinkai River basin

| 1969 | 1979   |        |         |         |         |         |        |        |         |       |         |        |       |
|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|-------|---------|--------|-------|
|      | A      | B      | C       | D       | E       | F       | G      | H      | I       | J     | K       | L      | M     |
| A    | 1627.8 | 81.7   | 122.6   | 7.6     | 4.5     | 0.0     | 11.2   | 51.4   | 120.2   | 76.7  | 9.3     | 2113.0 | 23.63 |
| B    | 16.6   | 27.3   | 26.5    | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.3    | 3.1     | 1.5   | 0.0     | 75.3   | 0.84  |
| C    | 683.4  | 98.9   | 1750.7  | 8.6     | 22.2    | 2.7     | 4.9    | 20.4   | 390.8   | 245.1 | 8.6     | 3236.1 | 36.19 |
| D    | 20.6   | 2.6    | 6.6     | 27.5    | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 7.9     | 0.0   | 0.1     | 65.3   | 0.73  |
| E    | 20.3   | 0.7    | 13.4    | 0.4     | 25.1    | 1.0     | 0.0    | 0.1    | 21.3    | 13.8  | 0.2     | 96.3   | 1.08  |
| F    | 4.6    | 8.5    | 31.3    | 0.5     | 3.4     | 16.4    | 0.0    | 0.0    | 5.7     | 1.6   | 0.0     | 72.0   | 0.80  |
| G    | 0.9    | 0.8    | 0.2     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 5.6    | 0.8    | 0.0     | 0.0   | 0.0     | 8.3    | 0.09  |
| H    | 9.5    | 0.7    | 4.1     | 0.0     | 0.1     | 0.0     | 1.5    | 29.7   | 1.4     | 0.7   | 0.1     | 47.7   | 0.53  |
| I    | 371.5  | 36.7   | 721.1   | 4.6     | 14.2    | 0.5     | 0.1    | 4.5    | 1342.3  | 74.5  | 4.1     | 2574.1 | 28.78 |
| J    | 0.0    | 0.0    | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0     | 0.0   | 0.0     | 0.0    | 0.00  |
| K    | 176.2  | 9.4    | 192.9   | 1.9     | 13.7    | 4.1     | 0.8    | 1.7    | 156.2   | 90.9  | 6.9     | 654.7  | 7.32  |
| L    | 2931.3 | 267.2  | 2869.4  | 51.0    | 83.3    | 24.7    | 23.9   | 109.0  | 2048.9  | 504.8 | 29.3    | 8942.8 |       |
| M    | 32.8   | 3.0    | 32.1    | 0.6     | 0.9     | 0.3     | 0.3    | 1.2    | 22.9    | 5.6   | 0.3     | 100    |       |
| N    | 38.73  | 254.68 | - 11.33 | - 21.84 | - 13.49 | - 65.72 | 187.36 | 128.39 | - 20.40 |       | - 95.52 |        |       |

\* 由于盐碱地的变化率分母为“0”(研究区在1969年没有盐碱地)而缺值; A:耕地 Farmland; B:林地 Woodland; C:草地 Grassland; D:河流 River; E:湖泊 Lake; F:水库 Reservoir; G:城镇用地 Town land; H: 村屯 Village; I: 沙地 Sandy soil; J:盐碱地 Salina land; K: 沼泽地 Marsh; L:合计 Total; M:占有率 Rate( % ); N:变化率 Change rate ( % );下同 the same below

表2 1979~1992年新开河流域土地利用格局转换矩阵(km<sup>2</sup>)

Table 2 Conversion matrix of land-use pattern between 1979~1992 in the Xinkai River basin

| 1979 | 1992   |         |         |       |       |        |       |       |        |         |         |        |       |
|------|--------|---------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|
|      | A      | B       | C       | D     | E     | F      | G     | H     | I      | J       | K       | L      | M     |
| A    | 1990.8 | 39.8    | 268.3   | 19.2  | 21.3  | 6.7    | 14.3  | 81.2  | 315.1  | 111.2   | 63.3    | 2931.3 | 32.78 |
| B    | 119.3  | 29.5    | 62.4    | 1.3   | 0.5   | 2.2    | 2.1   | 4.6   | 38.3   | 1.2     | 5.9     | 267.2  | 2.99  |
| C    | 466.3  | 32.1    | 1429.2  | 6.4   | 34.2  | 12.0   | 0.8   | 10.7  | 602.9  | 100.1   | 174.7   | 2869.4 | 32.09 |
| D    | 18.6   | 0.1     | 0.3     | 29.9  | 0.0   | 0.3    | 0.0   | 0.1   | 0.7    | 0.0     | 1.0     | 51.0   | 0.57  |
| E    | 9.2    | 0.0     | 6.8     | 0.5   | 26.8  | 3.9    | 0.0   | 0.2   | 12.1   | 4.3     | 19.4    | 83.3   | 0.93  |
| F    | 0.1    | 0.0     | 0.0     | 0.0   | 4.6   | 16.1   | 0.0   | 0.0   | 1.3    | 0.0     | 2.6     | 24.7   | 0.28  |
| G    | 2.5    | 0.0     | 0.2     | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 19.6  | 0.4   | 0.2    | 0.9     | 0.0     | 23.9   | 0.27  |
| H    | 13.7   | 0.4     | 1.7     | 0.0   | 0.5   | 0.0    | 0.1   | 86.0  | 3.9    | 2.0     | 0.8     | 109.0  | 1.22  |
| I    | 170.0  | 5.5     | 260.0   | 11.5  | 25.1  | 12.8   | 0.0   | 7.6   | 1439.5 | 23.7    | 93.1    | 2048.9 | 22.91 |
| J    | 80.1   | 2.8     | 90.0    | 3.6   | 22.8  | 13.4   | 1.3   | 4.9   | 158.6  | 87.6    | 39.5    | 504.8  | 5.64  |
| K    | 0.1    | 0.0     | 1.4     | 0.1   | 0.7   | 0.0    | 0.3   | 0.0   | 5.3    | 0.0     | 21.2    | 29.3   | 0.33  |
| L    | 2870.8 | 110.1   | 2120.4  | 72.4  | 136.6 | 67.4   | 38.8  | 195.8 | 2578.0 | 331.0   | 421.5   | 8942.8 |       |
| M    | 32.1   | 1.2     | 23.7    | 0.8   | 1.5   | 0.8    | 0.4   | 2.2   | 28.8   | 3.7     | 4.7     | 100    |       |
| N    | - 2.06 | - 58.78 | - 26.10 | 41.92 | 64.09 | 173.00 | 62.03 | 79.62 | 25.82  | - 34.42 | 1338.13 |        |       |

总之,这期间林地、草地面积大幅度减少,而沙地和居民地呈大规模扩展的趋势。

### 3.3 1992~2001年期间土地利用格局变化及其驱动因素

1992~2001年期间是土地资源大规模开发时期,也是建国以来内蒙古第4次垦荒高潮时期<sup>[19,24]</sup>。从表3显示出,1992~2001年新开河流域土地利用格局变化的趋势为:盐碱地、沼泽地、耕地、居民地的变化率为正值,表明这些类型呈增加趋势。其中盐碱地的增加来源于草地退化、沙地和耕地盐碱化;沼泽地的增加来源于沙地(所在河滨地、低洼地)、草地、耕地、水域;耕地的增加主要来源于沙地、草地,说明人类活动对土地影响日益加重了。林地、草地、沙地呈大幅度减少趋势,说明随人口的快速增长,由于过度垦荒、过度放牧和过度樵采等不合理的活动所导致的;水域呈减少趋势,表明受气候总体上趋暖干化的影响。总之,这期间林地、草地、沙地、水域面积减少,而盐碱地、沼泽地、耕地、居民地呈扩展的趋势。

表 3 1992 ~ 2001 年新开河流域土地利用格局转换矩阵 (km<sup>2</sup>)

Table 3 Conversion matrix of land-use pattern between 1992 ~ 2001 in the Xinkai River basin

| 1992 | 2001   |         |         |       |       |         |      |       |         |       |       |        |       |
|------|--------|---------|---------|-------|-------|---------|------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|
|      | A      | B       | C       | D     | E     | F       | G    | H     | I       | J     | K     | L      | M     |
| A    | 2397.2 | 30.0    | 119.6   | 9.7   | 3.0   | 0.1     | 1.7  | 9.4   | 205.7   | 48.2  | 46.3  | 2870.8 | 32.10 |
| B    | 64.8   | 33.9    | 6.3     | 0.0   | 0.0   | 0.0     | 0.1  | 0.2   | 4.8     | 0.1   | 0.0   | 110.2  | 1.23  |
| C    | 344.1  | 7.0     | 1225.7  | 1.4   | 13.1  | 0.0     | 0.3  | 2.3   | 287.7   | 123.4 | 115.5 | 2120.5 | 23.71 |
| D    | 4.4    | 0.2     | 1.0     | 65.5  | 0.0   | 0.0     | 0.0  | 0.0   | 0.6     | 0.0   | 0.7   | 72.3   | 0.81  |
| E    | 6.5    | 0.0     | 4.1     | 0.3   | 81.3  | 0.0     | 0.0  | 0.1   | 9.5     | 23.1  | 11.9  | 136.7  | 1.53  |
| F    | 6.2    | 0.0     | 1.0     | 1.3   | 1.8   | 33.2    | 0.0  | 0.0   | 0.3     | 8.9   | 14.6  | 67.3   | 0.75  |
| G    | 0.4    | 0.0     | 0.0     | 0.0   | 0.1   | 0.0     | 37.5 | 0.0   | 0.7     | 0.1   | 0.0   | 38.8   | 0.43  |
| H    | 5.0    | 0.1     | 0.6     | 0.0   | 0.2   | 0.0     | 0.0  | 186.3 | 1.7     | 1.4   | 0.6   | 195.8  | 2.19  |
| I    | 556.2  | 10.3    | 235.4   | 0.9   | 16.8  | 0.0     | 0.9  | 5.7   | 1523.7  | 79.8  | 148.2 | 2578.0 | 28.83 |
| J    | 27.6   | 0.2     | 40.5    | 0.0   | 3.1   | 0.0     | 0.9  | 1.2   | 26.6    | 207.9 | 22.8  | 331.0  | 3.70  |
| K    | 57.8   | 2.6     | 19.5    | 2.8   | 36.3  | 1.9     | 0.2  | 0.7   | 23.4    | 25.4  | 251.1 | 421.5  | 4.71  |
| L    | 3470.2 | 84.4    | 1653.5  | 82.0  | 155.6 | 35.2    | 41.6 | 205.8 | 2084.4  | 518.4 | 611.7 | 8942.8 |       |
| M    | 38.8   | 0.9     | 18.5    | 0.9   | 1.7   | 0.4     | 0.5  | 2.3   | 23.3    | 5.8   | 6.8   | 100    |       |
| N    | 20.88  | - 23.39 | - 22.02 | 13.43 | 13.82 | - 47.78 | 7.28 | 5.10  | - 19.14 | 56.62 | 45.13 |        |       |

总体来看,从表 1、表 2、表 3 数据占有率数据统计绘制出 1969 年、1979 年、1992 年、2001 年新开河流域地类所占比例柱状图(图 4)。图中显示出,各主要地类所占的比例及其面积的增减比例。从 1969 ~ 2001 年 30 年间,新开河流域土地利格局发生了很大变化。在主要地类中出现了耕地、居民地(城镇用地、村屯)增加,草地大幅度减少,沙地有所起伏。耕地、居民地面积占总流域面积的比例呈上升趋势,而草地占流域面积的比例呈下降趋势。耕地、沙地、草地始终是土地利用格局的主要类型,盐碱地、沼泽地、水域、居民地、林地所占流域面积的比例较小且依次减少。总体来看,土地格局结构日趋不合理,林地占地最小,土地盐碱化、沙化严重,草地退化严重,生态环境质量整体向恶化方向发展。

新开河流域土地利用格局的变化,是自然因素和人为因素协同作用的结果。该流域沙源广阔,生态系统脆弱,加之近年来气候暖干化趋势的影响,使干旱和强风加强,同时人为因素引起的植被破坏,以及大面积掠夺式的旱作种植业为主要特征的经济活动的强烈干扰,使该流域内的生态环境急剧变化,不仅导致了沙地草地农业生态系统的破坏,而且给农牧业生产带来了严重的危害,并引起流域的环境的恶化。

4 新开河流域土地利用格局变化的生态学意义

(1) 森林草原逆向进化为沙化草原 土地利用格局的变化对生态过程(物质迁移、能量交换、物种运动)有着重要影响<sup>[26]</sup>。随着生态环境的变化,植物群落逐渐演替,与之相应的景观各组分也随着演变,从一定意义上说,土地利用格局的变化反映了生态环境进化的过程。

1969 ~ 2001 年期间,分别有 12 %、21 %、14 %草地转化沙地;有 5.7 %、10.7 %、7.2 %耕地转化沙地;沙地占流域总面积 28.78 %、22.9 %、28.8 %、23.3 %。林地占流域总面积 0.84 %、3 %、1.23 %、0.9 %。这在一定程度上反映了生态退化的逆行演替过程,以及人为活动对森林草原生态系统的干扰和破坏。

(2) 导致生态环境异常脆弱 由于干旱气候及人类活动的干扰,造成了流沙的侵入,使原来连片的草场逐渐被沙丘吞蚀,形成孤岛(如图 2 所示)。1969 ~ 2001 年期间,草地面积占流域总面积分别是 36.2 %、32.1 %、23.7 %、18.5 %,草地面积呈减少趋势;沙地斑块数量分别是 114、190、262、298,总体呈增加趋势,而且新开河流

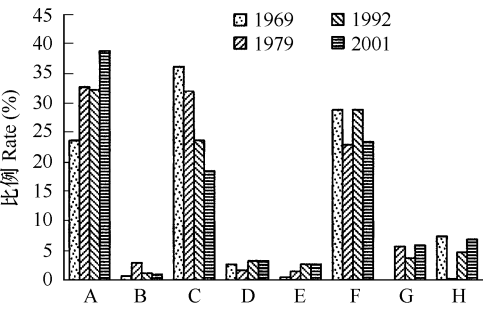


图 4 新开河流域地类所占比例

Fig. 4 The percentage of land in the Cinkai River basin

A:耕地 Farmland; B:林地 Woodland; C:草地 Grassland; D:水域 Water area; E:居民地 Settlement; F:沙地 sandy soil; G:盐碱地 Salina land; H:沼泽地 Marsh

域景观丰富度分别是 1351、2412、1809、1894,也有增大趋势。这说明新开河流域景观的连接度下降,破碎化加强,这极大地影响了原栖息地上生物的繁衍,特别是对一些稀有或濒危物种生存的影响尤为严重,生态环境异常脆弱。

(3) 土地退化和水土流失日益严重 不同的土地利用结构影响土壤养分分布,而且土壤养分的空间分布反映了土壤流失状况<sup>[3]</sup>。检测结果表明,河道中泥沙沉积物中有机质含量为 30g/kg,全氮量为 2.2g/kg,全磷量 1.69g/kg;草甸地表层腐殖质含量为 14.34g/kg,全氮量为 1.27g/kg,全磷量为 0.54g/kg;草甸沙地表层腐殖质含量为 10g/kg,全氮量为 0.6g/kg,全磷量为 0.2g/kg;沙地表层腐殖质含量为 3g/kg,全氮量为 0.11g/kg,全磷量为 0.21g/kg<sup>[27]</sup>。说明新开河流域由于大面积开荒使草地锐减、草地植被破坏严重,致使土壤风蚀、沙化和水蚀面积不断扩大,土壤肥力降低,流失到河道泥沙肥力增多。可见不合理的土地利用格局将导致水分和养分循环的失调,造成土地退化和水土流失。

(4) 水文特征变化显著 自然湿地的数量和规模可以作为衡量一个地区生态环境质量的指标<sup>[28]</sup>。1969~2001 年期间,湿地占流域总面积分别为:9.93%、2.1%、7.8%、9.8%。通过湿地的变化(河流、湖泊、水库和沼泽地)可反映出该区域水量有明显减少的趋势。因为该区域植被覆盖率低、生物生产量低,而且广布沙质土壤持水能力低、透水性强,大气降水易渗透到地下补给地下水,降雨产流量非常少,导致该区域湿地明显减少。新开河为客水流入,河道常年断流干枯。

(5) 植被退化及生物多样性减少,导致群落稳定性降低。人类不合理的经济活动,滥耕、滥牧、滥樵,加之气候的暖干化趋势,使该区域的植被受到强烈的干扰,原生的森林草原或草原植被已被破坏殆尽,取而代之的是不同演替阶段的沙生植被和草甸植被。随着沙漠化的发展,群落植物种组成、种群密度、植被盖度和地上生物量急剧下降,层片结构和生活性趋于简单。如沙生植被在沙漠化过程中,随着物种数量减少,由灌木层和草本层退化为半灌木层和草本层,再退化单一的草本层直至地面完全裸露。在此过程中共有 30 个物种消失,其中多年生植物 22 种,1 年生植物 8 种,即大部分多年生植物消失<sup>[29]</sup>。

## 5 结论

利用 RS 和 GIS 的手段及流域生态学理论,结合景观生态学的格局分析和空间模型方法,定量分析了新开河流域土地利用格局变化的趋势及其驱动因素,为研究流域土地利用变化规律及其流域土地利用综合治理提供了科学的数据。

(1) 该流域整体生态环境急剧恶化 从 1969~2001 年 30 多年来新开河流域地类所占比例状况,反映出该流域近 50 年已形成沙地草地农业生态系统,原有的森林草原生态系统遭到破坏,生态系统严重失衡。另外从 3 个时期土地利用格局变化的趋势分析,得出土地格局结构日趋不合理,耕地、草地、林地所占比例严重失调,生态环境质量整体向恶化方向发展。

(2) 土地利用格局的变化,反映了生态环境进化的过程 土地利用格局的变化对生态过程(物质迁移、能量交换、物种运动)有着重要影响。不同的土地空间格局(草地、沙地、耕地、林地、水域等的不同配置)对径流、侵蚀和元素的迁移的影响也不同<sup>[26]</sup>。根据 1969~2001 年期间,新开河流域土地利用格局的变化状况,以及气候和土壤肥力等所监测的结果,反映了该研究区已由森林草原逆向演化为沙化草原,生态环境异常脆弱,湿地明显减少,植被退化及生物多样性减少。该研究区不合理的景观结构,导致了水分和养分循环的失调,使该流域内土地退化和水土流失日益严重。

(3) 对该流域生态环境应该采取生态恢复和重建的治理措施 按照自然规律恢复原有的森林草原,科学的来确定耕地、林地、草地的比例,通过调整和控制土地利用类型的比例,来实现其目标。如采取退耕还林还草、沙地种草种林、优化居民地环境并限制扩展;合理利用水资源和能源,积极推广节水节能技术,积极开发新能源如:风能、太阳能、沼气等可再生能源,代替燃烧砍伐树木及农作物秸秆、干草等不可再生能源。政府和农民要统一合理规划利用耕地,减少或不用化肥和农药,增加有机肥和沼气肥使用量,提高土壤自然肥力,提倡滴水、高效率节水技术的利用,改善种植结构等。自然环境恢复的问题,是一个社会问题,它关系到社会的发

展和社会的变革。可持续发展利用土地资源是人类生存和发展的百年大计,生态恢复和重建工作势在必行。

## References :

- [ 1 ] Zhao Y S. Remote sensing application analytical principles and methods. Beijing: Science Press, 2003.
- [ 2 ] Zhang Q J, Fu B J, Chen L D. Several problems about landscape pattern change research. *Geographical Science*, 2003, 23(3): 264 ~ 270.
- [ 3 ] Fu B J, Chen L D, Wang J, *et al.* Land use structure and ecological processes. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 247 ~ 255.
- [ 4 ] Wu J G. Landscape ecology: pattern, process, structure and scale. Beijing: Higher Education Press, 2000. 163 ~ 221.
- [ 5 ] Jenson J Q, Cowen D. Principles of change detection using digital remote sensor data. In: Jenson J Q ed. *Integration of GIS and remote sensing*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 1 ~ 25.
- [ 6 ] Xiao J Y, Ge J F, Shen Y J, *et al.* Research on land use/cover change in Shijazhuang using landsat TM and ETM+ data. *Geographical Science*, 2005, 25(4): 495 ~ 500.
- [ 7 ] Mulders M A. Advances in the application of remote sensing and GIS for surveying mountainous land. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 2001, 3 (1): 3 ~ 10.
- [ 8 ] Britaldo Silveira Soares-Filho. Gustavo Continuo Cerqueira and Casio Lopes Panache in Dina mica — a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modeling*, 2002, 154 (3): 217 ~ 235.
- [ 9 ] Shi P J, Gong P. The method and practice of land use/land cover change. Beijing: Science Press, 2000.
- [ 10 ] Zhang Y X, Li X B, Fu X F. Urban land use change in Lhasa. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55 (4): 395 ~ 406.
- [ 11 ] Gu C L. Study on phenomena and mechanism of land use/cover change in Beijing. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14 (4): 307 ~ 312.
- [ 12 ] Shang Z B, Gao Q. Watershed ecology—A new research area of ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3): 465 ~ 473.
- [ 13 ] Fu B J, Cheng L D, Ma K M, *et al.* Principle and application of landscape ecology. Beijing: Science Press, 2002.
- [ 14 ] Xiao D N, Li X Z. Progress and prospect of modern landscape ecology. *Geographical Science*, 1997, 17(5): 453 ~ 461.
- [ 15 ] Wan R R, Yang G S. Changes of land use landscape patten in Taihu Lake Basin. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2005, 16(3): 475 ~ 480.
- [ 16 ] Yan D H. Landscape pattern and its dynamic variation in the East Liaohe River Basin. *Resources Science*, 2004, 26(1): 31 ~ 37.
- [ 17 ] Verbrug P H, Koning G H J, *et al.* A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modeling*, 1999, 78(116): 45 ~ 61.
- [ 18 ] Robert T W, William D S. Managing land use and land-cover change: the New Jersey pinelands biosphere reserve. *Annals of the Associations of American*, 1999, 89(2): 220 ~ 237.
- [ 19 ] Cao C Y. Characteristics of natural environment and degradation causes of Keerqin sandy land. In: Jiang D B, *et al* eds. *Desertification and ecological restoration of Keerqin sandy land*. Beijing: China Environmental Science Press, 2003. 51 ~ 55.
- [ 20 ] Zhao S Y, Fang J Y, Chen A P, *et al.* Land use/cover changes in DongTing Lake area between 1955 ~ 1998. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(6): 536 ~ 542.
- [ 21 ] Fu B J, Liu S L. Problems and trends of long-term ecological research. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2002, 13(4): 476 ~ 480.
- [ 22 ] Zhu H Y, Li X B. Discussion on the index method of regional land use change. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 643 ~ 650.
- [ 23 ] Liu H Y. Wetland landscape changes and its environmental effects. Beijing: Science Press, 2004. 115 ~ 119.
- [ 24 ] Wu L T Y. Land reclamation and land-use changes during last 50 years in Keerqin. *Progress in Geography*, 2000, 19(3): 273 ~ 278.
- [ 25 ] Cao X S, Li P, Yan T Z, *et al.* The land reclamation and its influence on environment in West Liaohe Basin from 1902 to 1990. *Geographical Research*, 2005, 4(6): 889 ~ 898.
- [ 26 ] Fu B J, Chen L X. Landscape diversity types and their ecological significance. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(5): 454 ~ 462.
- [ 27 ] Wang R Y. Main soil type and their characteristics of Keerqin sandy land. In: Jiang D B, *et al* eds. *Desertification and ecological restoration of Keerqin sandy land*. Beijing: China Environmental Science Press, 2003. 176 ~ 269.
- [ 28 ] Li X W, Fang J Y, Piao S L. Landuse changes and its implication to the ecological consequences in lower Yangtze region. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 659 ~ 667.
- [ 29 ] Cao C Y, Jiang D B. Vegetation development of Keerqin sandy land. In: Jiang D B, *et al* eds. *Desertification and ecological restoration of Keerqin sandy land*. Beijing: China Environmental Science Press, 2003. 95 ~ 144.

## 参考文献:

- [ 1 ] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003.
- [ 2 ] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. *地理科学*, 2003, 23(3): 264 ~ 270.

- [3] 傅伯杰,陈利顶,王军,等. 土地利用结构与生态过程. 第四纪研究, 2003, 23(3): 247 ~ 255.
- [4] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 163 ~ 221.
- [6] 肖捷颖,葛京凤,等. 基于 TM 和 ETM + 遥感分析的石家庄市土地利用/覆被变化研究. 地理科学, 2005, 25(4): 495 ~ 500.
- [9] 史培军,宫鹏,李晓兵. 土地利用/土地覆盖变化研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 2000.
- [10] 张镒铿,李秀彬,傅小锋,等. 拉萨城市用地变化分析. 地理学报, 2000, 55(4): 395 ~ 406.
- [11] 顾朝林. 北京土地利用/覆盖变化机制研究. 自然资源学报, 1999, 14(4): 307 ~ 312.
- [12] 尚宗波,高琼. 流域生态学——生态学研究的一个新领域. 生态学报, 2001, 21(3): 465 ~ 473.
- [13] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2002.
- [14] 肖笃宁,李秀珍. 当代景观生态学的进展与展望. 地理科学, 1997, 17(5): 453 ~ 461.
- [15] 万荣荣,杨桂山. 太湖流域土地利用与景观格局演变研究. 应用生态学报, 2005, 16(3): 475 ~ 480.
- [16] 严登华. 东辽河流域景观格局及其动态变化研究. 资源科学, 2004, 26(1): 31 ~ 37.
- [19] 曹成有. 科尔沁沙地的自然环境与退化原因. 见: 将德明,等. 科尔沁沙地荒漠化过程与生态恢复. 北京: 中国环境科学出版社, 2003. 51 ~ 55.
- [20] 赵淑清,方精云,陈安平,等. 洞庭湖区 50 年土地利用/覆盖的变化研究. 长江流域资源环境, 2002, 11(6): 536 ~ 542.
- [21] 傅伯杰,刘世梁. 长期生态研究中的若干重要问题及趋势. 应用生态学报, 2002, 13(4): 476 ~ 480.
- [22] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论. 地理学报, 2003, 58(5): 643 ~ 650.
- [23] 刘红玉. 湿地景观变化与环境效应. 北京: 科学出版社, 2004. 115 ~ 119.
- [24] 乌兰图雅. 科尔沁沙地近 50 年的垦殖与土地利用变化. 地理科学进展, 2000, 19(3): 273 ~ 278.
- [25] 曹小曙,李平,颜廷真,等. 近百年来西辽河流域土地开垦及其对环境的影响. 地理研究, 2005, 4(6): 889 ~ 898.
- [26] 傅伯杰,陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义. 地理学报, 1996, 51(5): 454 ~ 462.
- [27] 王汝权. 科尔沁沙地土壤类型及其性质. 见: 将德明,等. 科尔沁沙地荒漠化过程与生态恢复. 北京: 中国环境科学出版社, 2003. 176 ~ 269.
- [28] 李晓文,方精云,朴世龙. 近 10 年来长江下游土地利用变化及其生态环境效. 地理学报, 2003, 58(5): 659 ~ 667.
- [29] 曹成有,将德明. 科尔沁沙地植被发展生态过程. 见: 将德明,等. 科尔沁沙地荒漠化过程与生态恢复. 北京: 中国环境科学出版社, 2003. 95 ~ 144.