

杜会石, 哈斯额尔敦, 李爽, 等. 科尔沁沙地风沙与湖泊景观演变及影响因素分析[J]. 地理科学, 2018, 38(12): 2109-2117. [Du Huishi, Hasi Eerdun, Li Shuang et al. Landscape Evolution and Influence Factors of Aeolian Sand and Lakes in Horqin Sandy Land. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(12): 2109-2117.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.12.020

# 科尔沁沙地风沙与湖泊景观演变及影响因素分析

杜会石<sup>1,2</sup>, 哈斯额尔敦<sup>2</sup>, 李爽<sup>1</sup>, 赵艺源<sup>1</sup>, 孙小旭<sup>1</sup>

(1. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000; 2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

**摘要:**以科尔沁沙地为研究区, 基于1975~2015年中等分辨率卫星影像, 采用景观格局指数计算及数理统计分析方法, 研究该区近40 a来沙地与湖泊景观格局的变化过程, 并对其影响因素进行分析。结果表明, 近40 a科尔沁沙地风沙地貌覆盖面积呈减少趋势, 年均变化率-0.31%, 而灌草丛沙丘地、抛物线形沙丘等固定半固定型沙丘面积增加, 沙地逆转化趋势明显。沙地景观蔓延度整体下降了2.13, 优势度增加了16.55, 说明科尔沁沙地斑块连通性与多样性降低。湖泊群面积净减61.24 km<sup>2</sup>, 斑块数减少了66个, 湖泊群质心朝ESE方向迁移了35.76 km, 湖泊景观分离度呈下降趋势, 而集群性有所增加、景观演变趋于稳定。气候因素和人类活动因素是科尔沁沙地演化的驱动因素, 尤其社会经济和政策因素可短时间内促进沙地景观的演变过程。

**关键词:** 沙丘格局; 景观演变; 驱动因素; 湖泊群; 科尔沁沙地

**中图分类号:** P301      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2018)12-2109-09

景观格局演变是在自然与人文驱动作用下, 地表过程呈现出结构与功能在时空尺度上的变化<sup>[1]</sup>, 是地理学与生态学的重要研究内容之一。学者多利用遥感数据源与GIS空间分析方法, 选取相应指标参数开展景观格局变化研究, 以揭示陆表演化过程与规律, 为区域可持续发展服务。而将其应用于沙漠科学中, 不但可揭示风沙地貌时空演变规律, 还能弥补现有沙漠化评价方法中的不足<sup>[2,3]</sup>。在沙地景观生态系统中, 湖泊是重要的绿洲景观类型, 绿洲化与荒漠化的竞争与平衡, 取决于水资源的分配与生态环境的协调, 影响着对沙漠地下水的补给, 沙地中脆弱的湿地生态更是依靠湖泊群来维持<sup>[4]</sup>。在现代沙地陆表演化过程中, 沙地湖泊对于维系风水交互平衡和湿地景观生态具有重要作用, 国内外学者开展的沙地湖泊研究工作, 多集中于湖泊面积动态、水文特征、气候变化对湖泊的影响等方面<sup>[5-7]</sup>, 较少关注风沙地貌与湖泊群景观演化与相互作用关系的问题<sup>[8]</sup>, 因此, 亟需开展相关研究工作, 以深入了解沙地风、水交

互侵蚀过程。

科尔沁沙地处于季风区边缘, 是中国北方典型的农牧交错区, 该区气候特征和人类活动决定了景观生态系统的脆弱性与敏感性。沙地内有流入辽河的西辽河水系, 该区湖泊广布。对于科尔沁沙地风沙景观的研究, 学者多集中于沙地面积时空变化<sup>[9]</sup>、沙漠化程度评估<sup>[10]</sup>、景观格局演变<sup>[11]</sup>、景观变化驱动力等方面<sup>[12]</sup>; 而沙地湖泊研究则多关注湖泊群动态变化<sup>[7]</sup>及其气候影响因素<sup>[21]</sup>方面。但已有研究多基于旗县行政区划界限, 开展局地研究, 使得已有成果较难在整个流域自然地理单元尺度下进行对比与综合分析, 并尚缺少从景观生态学角度, 基于长时间序列数据, 开展沙地与湖泊群景观的相互作用关系的探讨, 以期为全球环境变化背景下区域景观响应研究提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

科尔沁沙地位于中国东北平原的西部, 处于

**收稿日期:** 2017-12-03; **修订日期:** 2018-03-17

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41671002, 41871022)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41671002, 41871022).]

**作者简介:** 杜会石(1983-), 男, 吉林伊通人, 博士, 副教授, 硕导, 主要从事干旱区地貌研究。E-mail: duhs@163.com

**通讯作者:** 哈斯额尔敦, 教授。E-mail: hasi@bnu.edu.cn

大兴安岭和燕山山脉东延的相交地带。面积为 64 387.22 km<sup>2</sup> (118°31'~124°18'E, 42°31'~44°50' N)。气候具有从暖温带向温带, 半湿润区向半干旱区过渡的特点, 无霜期 140~160 d, 年均气温 5.2~6.4℃, 年降水量 343~500 mm, 全年日照时数为 2 900~3 100 h, 年均风速 3.5~4.5 m/s。地带性土壤主要有暗棕壤、栗钙土和黑垆土; 非地带性土壤主要有沙土、草甸土和盐碱土。地带性植被是典型草原到森林草原的过渡类型疏林草原。科尔沁沙地沙丘(垄)与丘(垄)间洼地、沼泡相间分布, 垄间洼地分布有东西走向的古河床、湖泊或甸子地。行政区划包括内蒙古自治区赤峰市的翁牛特旗、阿鲁科尔沁旗; 通辽市的科尔沁左翼后旗、开鲁县、通辽市区、科尔沁左翼中旗、奈曼旗、库伦旗, 共 8 个县(市、旗)。

## 1.2 数据源与预处理

遥感数据为 1975 年、1980 年的 Landsat MSS 多光谱影像(空间分辨率 80 m), 1990 年、2000 年、2010 年 Landsat TM 多光谱影像(空间分辨率为 30 m), 2015 年 Landsat OLI 多光谱影像(空间分辨率为 30 m)。对各幅多光谱单波段数据进行标准假彩色合成, 并以 RTK GPS 实测典型地物坐标为控制点, 对各数据进行几何精校正, 误差控制在 1 个像元。对同期数据进行直方图匹配(Histogram matching)和拼接处理。风沙地貌景观类型划分为 8 类, 即风蚀坑、灌丛沙丘、缓起伏沙地、梁窝状沙丘、抛物线形沙丘、平沙地、沙垄、新月形沙丘及沙丘链; 湖泊群解译类型包括天然湖泊、人工水库与坑塘等; 为评估国家政策有效性及其对景观格局演变的影响, 对各期新增人工林解译面积进行变化监测, 研究其年代际尺度变化特征。为提高分类精度, 采用面向对象分割方法, 采用随机点法进行解译验证, 精度为 91.02%。利用 Fragstats 3.3 软件计算景观指数, 因研究区范围与行政区划界限不对应, 采用面积最大占比原则, 选用占研究区总面积 70% 以上的 8 个县(市、旗)所涉及的气象数据和社会经济统计数据进行分析。

## 1.3 研究方法

本文选取蔓延度指数、优势度指数、分维数、景观分离度和质心迁移等进行度量分析。

1) 蔓延度指数(CONTAG): 描述景观中不同斑块类型团聚程度或延展趋势<sup>[14]</sup>。

$$CONTAG = \left[ 1 + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ (P_i) \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \times \left[ \ln P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) / 2 \ln m \right] \right] \quad (1)$$

式中,  $P_i$  为  $i$  类型斑块所占的面积百分比,  $g_{ik}$  为  $i$  类型斑块和  $k$  类型斑块毗邻数目,  $m$  为景观中斑块类型总数。

2) 优势度指数(Dominance): 通过计算最大可能多样性指数的离差来表达, 景观优势度指数越大, 组成景观各类型所占比例差异大, 反之, 景观各类型所占比例大致相当<sup>[14]</sup>。

$$D = \ln m + \sum_{i=1}^m [P_i \ln P_i] \quad (2)$$

式中,  $D$  表示景观优势度指数,  $P_i$  表示景观类型  $i$  所占面积比例,  $m$  表示景观类型数目。

3) 分维数(Fractal dimension, FD): 地表过程都是作用于斑块或其他景观要素而最终导致景观空间格局的变化, 分维数解释景观斑块空间形状复杂程度<sup>[14]</sup>。

$$FD = 2 \ln(P/4) / \ln A \quad (3)$$

式中,  $FD$  为斑块分维数;  $P$  为斑块周长;  $A$  为斑块面积;  $D$  值越大, 斑块形状越复杂。

4) 景观分离度(DIVISION): 指某一景观类型中不同斑块个体分布的分离程度, 反映斑块间联接程度和隔离程度, 单一景观类型联接越密切, 物质能量流通越通畅, 抗干扰能力越强, 景观类型稳定程度越大<sup>[14]</sup>。

$$F_i = D_i / S_i \quad (4)$$

$$S_i = A_i / A \quad (5)$$

$$D_i = 1/2(n/A)^{1/2} \quad (6)$$

式中,  $F_i$  为第  $i$  类景观分离度,  $D_i$  表示景观类型距离指数,  $n$  表示景观类型  $i$  中元素个数,  $A_i$  为第  $i$  类景观面积,  $A$  为总面积。

5) 湖泊群质心迁移。质心偏移模型可用湖泊分布质心变化情况来反映其空间变化趋势<sup>[15]</sup>。

$$X_t = \sum_{i=1}^N (C_{it} \times X_i) / \sum_{i=1}^N C_{it} \quad (7)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^N (C_{it} \times Y_i) / \sum_{i=1}^N C_{it} \quad (8)$$

式中,  $X_t$ 、 $Y_t$  分别表示第  $t$  年该湖泊分布质心坐标;  $C_{it}$  表示第  $t$  年第  $i$  个湖泊斑块面积;  $X_i$ 、 $Y_i$  分别表示第  $i$  个湖泊斑块坐标。

6) 灰色关联分析。关联度是对 2 个系统或 2 个因素之间关联性大小的度量, 关联度分析基于灰色系统的灰色过程, 仅需少量时间序列数据即可分析系统中各要素间的关系, 避免了相关分析基于概率论随机过程需要大量数据样本的不足<sup>[16]</sup>。本文基于 DPS 7.05 平台, 对湖泊与风沙景观格局指数进行灰色关联分析, 原始数据进行标准化变换, 分辨率系数  $\rho$  取 0.5。

## 2 结果与分析

### 2.1 科尔沁沙地风沙地貌景观演变

#### 2.1.1 风沙地貌景观面积变化

近 40 a, 该区风沙地貌面积持续减少, 净减少了 5 194.33 km<sup>2</sup>, 年变化率 -0.31% (图 1)。其中, 新月形沙丘及沙丘链面积总体呈增加趋势, 净增 165.51 km<sup>2</sup>, 1975~2000 年呈增加趋势, 年均增长率

1.47%, 2000~2015 年呈减少趋势, 年均减少 1.17%; 灌草丛沙丘面积波动增加, 变化了 331.53 km<sup>2</sup>, 尤其近 15 a 增速较快, 达 0.37%; 梁窝状沙丘持续减少, 净减 5 194.43 km<sup>2</sup>; 平沙地面积波动增加, 净增 565.50 km<sup>2</sup>, 而近 5 a 则呈快速减少趋势; 抛物线沙丘波动增加; 缓起伏沙地、沙垄均呈波动减少趋势, 分别减少了 6.35% 和 11.28%; 风蚀坑面积变化不显著。

#### 2.1.2 景观蔓延度和优势度变化

科尔沁沙地景观蔓延度总体呈波动下降趋势 (图 2), 研究期内, 由 66.14 降至 64.00, 下降了 3.24%。其中, 1975~1980 年下降速度较快, 降幅 2.40%; 1980~1990 年呈略上升趋势; 而 1990~2010 年则呈下降趋势, 年均变化率 -0.06%; 2010~2015 年呈平缓增加趋势。景观优势度与多样性呈相反变化趋势, 总体呈波动增加趋势。其中, 1975~1980 年增长率为 13.00%; 1980~1990 年呈下降趋势, 降幅 3.97%; 而 1990~2015 年则呈持续上升趋势。

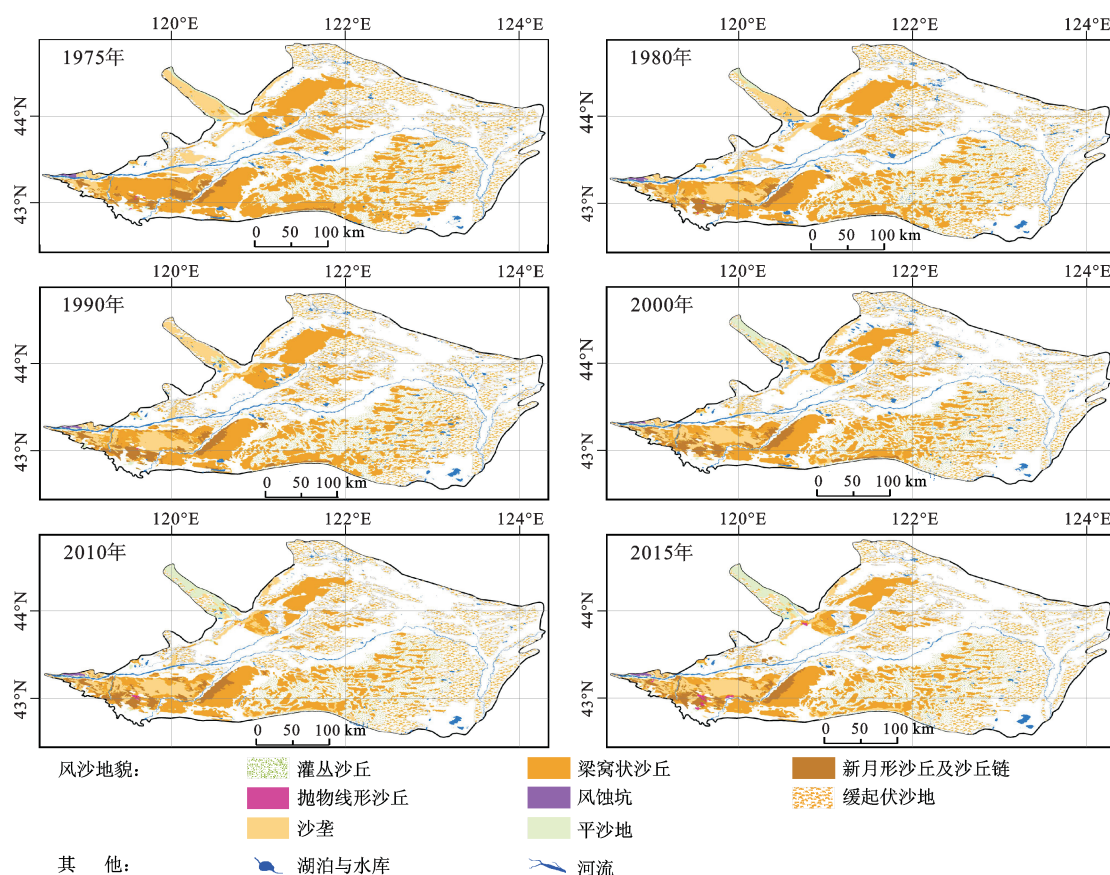


图 1 科尔沁沙地影像及解译图

Fig.1 Image and interpretation graphs of Horqin sandy land



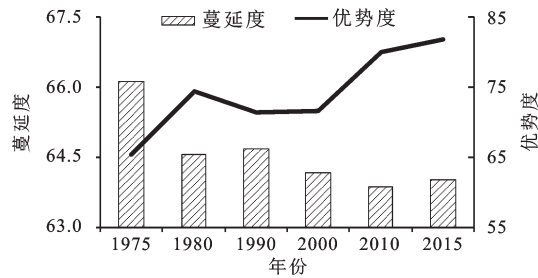


图2 科尔沁沙地景观蔓延度和优势度

Fig.2 Landscape scene and dominance of Horqin Sandy Land

### 2.1.3 分维数特征

科尔沁沙地新月形沙丘及沙丘链、缓起伏沙地、梁窝状沙丘、沙垄、平沙地在斑块类别尺度上的分维数均呈波动下降趋势(图3),其中,缓起伏沙地分维数下降最显著,由1.08减至1.06,其斑块形状趋于简单;而灌丛沙丘、抛物线沙丘、风蚀坑分维数总体呈波动增加趋势,该类沙丘形状复杂程度加大。但各类沙丘在景观尺度上的分维值总体相对变化不大,均处于1.053 2~1.074 0间,表明沙地处于相对稳定演化过程中。

## 2.2 湖泊景观演变

### 2.2.1 湖泊群斑块面积变化

近40 a,科尔沁沙地湖泊群面积整体波动减少。其中,1975~1990年面积增加,1990~2000年面积少,2000~2010年面积年变化率-3.8%,2010~2015年面积年变化率-2.90%。湖泊群斑块数量在1975~2000年间持续增加,共增加了314个,其中2000年达最大值(623),但与面积变化不同步,说明该时段湖泊景观破碎化程度加剧;2000~2015年,湖泊数量有所减少,年变化率-4.60%。

### 2.2.2 湖泊群景观分维数与分离度变化

湖泊群景观分离度呈波动减少趋势(图4),2000年达最高值(0.98),2015年出现最小值(0.94),表明科尔沁沙地河湖连通工程促使湖泊斑块聚集度有所增加,景观类型的联接程度增大。分形维数总体波动增加,2015年分形维数最大(1.07),说明近期人为活动对湖泊的改造力度较大,而各期分形维数变化在 $1.068\ 8(\pm 0.004\ 1)$ ,表示湖泊群演化过程趋于稳定。

### 2.2.3 湖泊群质心迁移

1975~2015年,湖泊群质心朝ESE方向迁移了35.76 km,其中,1975~1980年湖泊群质心朝ENE移动了16.24 km;1980~1990年向NNE移动了7.95 km;1990~2000年向NNW移动28.18 km,主要是20世纪90年代,大范围围田造湖、湿地农田化过程加剧了湖泊面积萎缩与破碎化程度,使湖泊群质心空间分布发生变化;2000~2010年、2010~2015年分别向SEE方向移动了39.65 km、11.19 km,说明NW向湖泊面积呈现相对减少趋势。

### 2.2.4 湖泊群与风沙景观演变的关系

湖泊的面积、分形维数、分离度皆与流动沙丘斑块面积关联度最大(表1),说明流动沙丘发育演化对湖泊景观演变的影响较大,也说明荒漠化实质即为景观中其他斑块类型向流动沙丘类型的转化,在遥感影像像元尺度上则表现为沙地景观斑块面积的增加、湖泊群斑块面积减少的复合过程。

## 2.3 科尔沁沙地景观演变影响因素

### 2.3.1 气候因素

研究期内,年均风速呈减小趋势(图5a);年均降水量总体下降,且波动性较大,通过二次滑动平

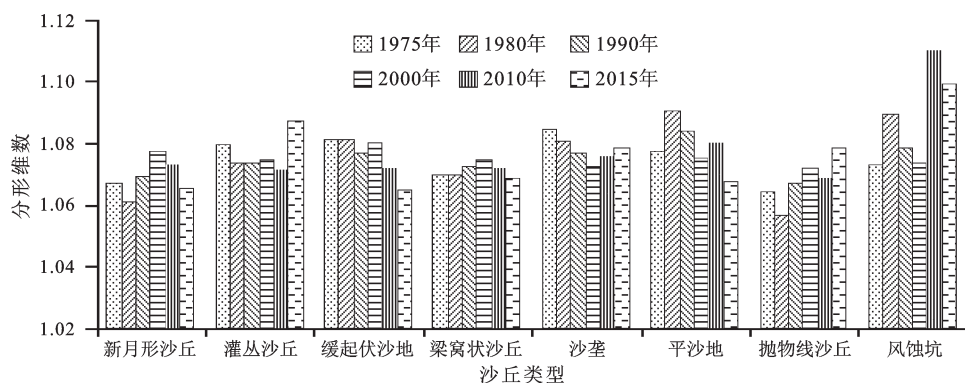


图3 1975~2015年科尔沁沙地各类沙丘分维数

Fig.3 Fractal dimension of various dunes in Horqin Sandy Land during 1975-2015

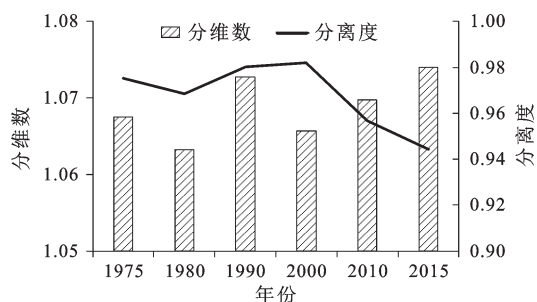


图4 1975~2015年科尔沁沙地湖泊群分维数与分离度  
Fig.4 Fractal dimension and dominance of lakes in Horqin Sandy Land during 1975-2015

表1 湖泊景观与沙地景观演变关联矩阵

Table 1 Grey correlation coefficient matrix of lake and sand dune landscape

景观格局参数	沙地总面积	流动沙丘面积	沙丘蔓延度	沙丘优势度	沙丘分维数
湖泊面积	0.7246	0.7929	0.6130	0.4895	0.7677
湖泊分维数	0.5908	0.7612	0.5916	0.6256	0.6152
湖泊分离度	0.8335	0.8717	0.6847	0.5337	0.7642

均分析可见,该区呈现干湿交替的气候变化趋势(图5b);相对湿度呈减少趋势,且年际波动较大

(图5c);气温逐渐升高,呈现暖化趋势,且年际波动较大(图5d);随着该区的普遍升温变暖,蒸发量随之升高,这在某种程度上加剧了气候的干旱化程度。

### 2.3.2 社会经济因素

研究区总人口呈快速增长趋势(图6a),增长率为19.32%,人口增加,人类活动范围和强度随之增强,在一定程度上加剧该区脆弱生态环境及有限环境容量之间的矛盾。国内生产总值和人均生产总值呈指数型增长(图6b、图6c);农牧民人均纯收入变化趋势与人均生产总值基本一致(图6d)。大牲畜头数呈指数型波动增长(图6e),造成草地承载力增加。受2000年以来退耕还林还草政策影响,耕地面积急剧减少,年均减少率3.68%(图6f)。

### 2.3.3 政策分析

1998年以来,内蒙古实施退耕还林生态工程,使科尔沁沙地在20世纪90年底林地面积增加了535.05 km<sup>2</sup>;2005年国务院下发了《国务院办公厅关于切实搞好“五个结合”进一步巩固退耕还林成果的通知》,该区退耕还林效果显著,到2000年新增林地面积606.55 km<sup>2</sup>;而2010年,全面施行退耕还林还草生态建设任务,近5 a林地

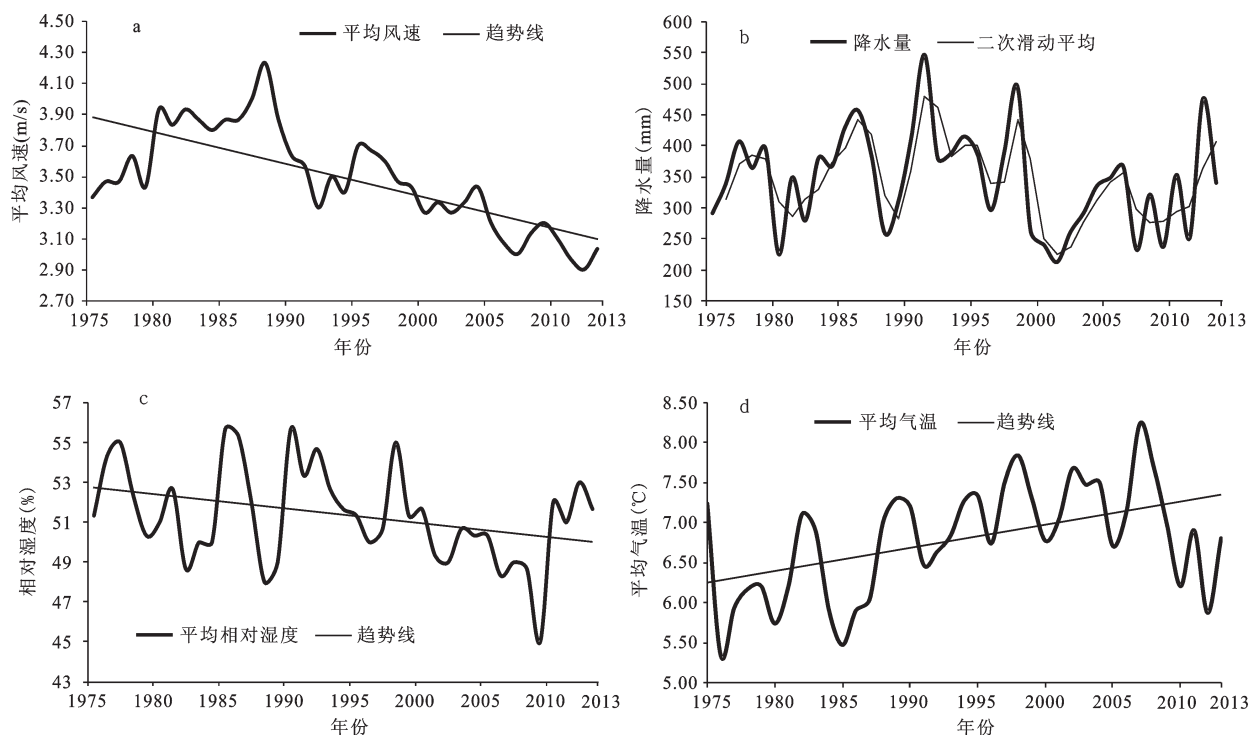


图5 研究区1975~2013年气候要素

Fig.5 Annual average meteorological data during 1975-2013

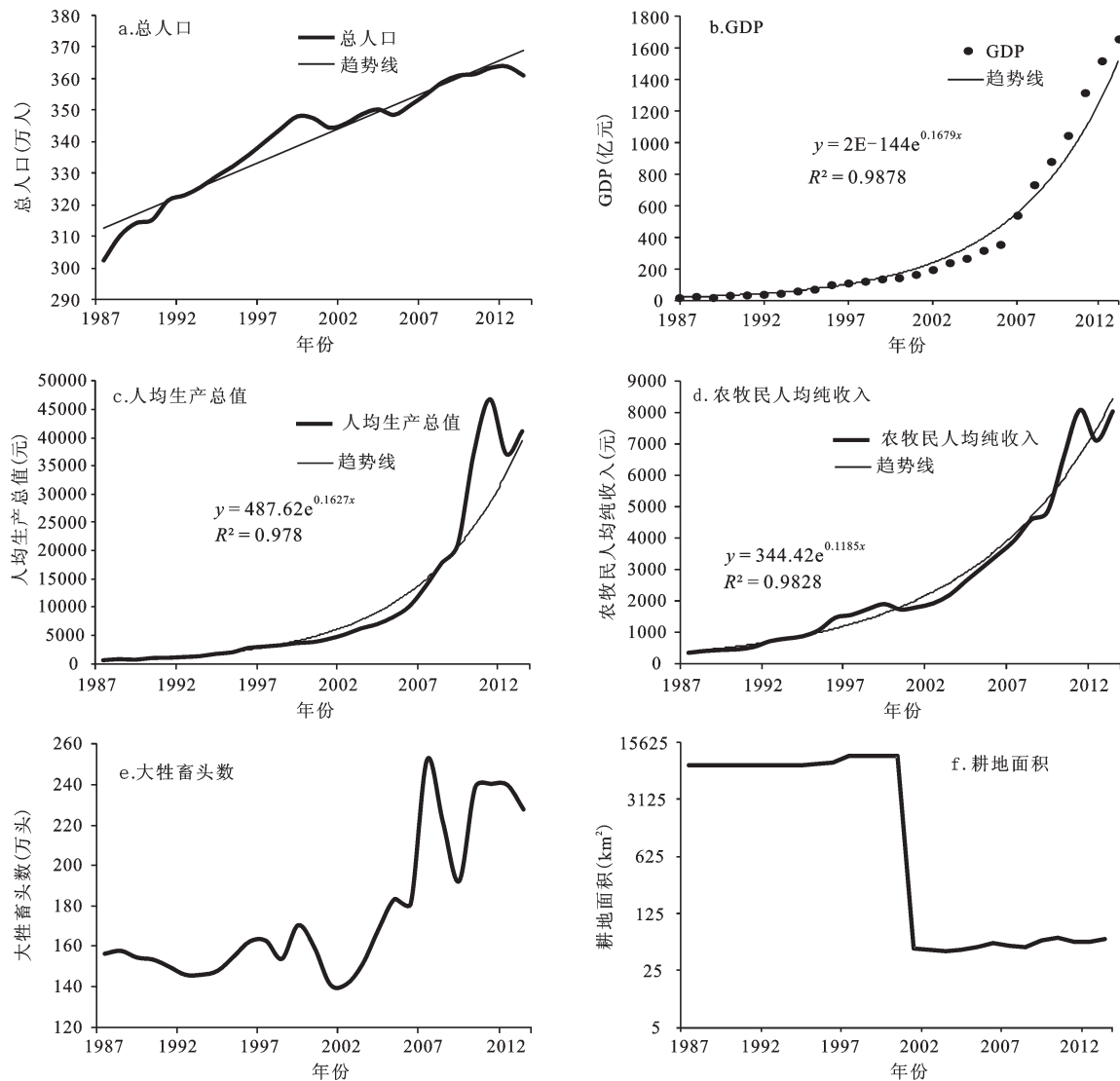


图6 研究区1997~2013年社会经济统计数据年变化

Fig.6 Yearly change of social and economic datas in study area during 1997-2013

就增加了524.74 km<sup>2</sup>。因此,退耕还林等国家政策可短期内将自然风沙地貌景观转化为林地、疏林草地等人工景观类型,是区域景观格局演变的重要影响因素。

#### 2.3.4 各影响因素定量分析

对景观动态影响因素进行定量分析表明,贡献率为64.23%的第一主成分与农牧民人均收入、GDP、人均生产总值、大牲畜头数、平均风速的载荷关系较大,均在83%以上;贡献率为17.87%的第二主成分与平均气温、降水量的载荷关系较大,并与平均气温呈现负相关(表2)。第一主成分贡献率高于第二主成分,社会经济因素是影响沙地发育的主要因素。

表2 科尔沁沙地沙漠化主成分分析

Table 2 Principal component analysis of desertification in Horqin

Sandy Land		
因子	第一主成分	第二主成分
年均风速	-0.834	0.181
降水量	-0.162	0.720
平均气温	-0.176	-0.846
总人口	0.862	-0.339
GDP	0.962	0.150
人均生产总值	0.959	0.154
农牧民人均纯收入	0.991	0.030
大牲畜头数	0.903	-0.001
特征值	5.141	1.427
贡献率	64.233	17.869
累计贡献率	64.233	82.102

### 3 讨论

沙地演化过程,表现为陆表景观格局的改变<sup>[17]</sup>,即可用景观指数来表征<sup>[18]</sup>。李建英等<sup>[19]</sup>认为景观破碎度和空间异质性对沙漠化过程有促进作用,Li等<sup>[17]</sup>也提出流动型沙丘斑块面积与沙漠化程度正相关。科尔沁沙地以风沙地貌景观总面积减少,而灌草丛沙丘等固定半固定型沙丘增加为特点,呈现沙漠向绿洲化方向发展,与岳喜元等<sup>[20]</sup>报道一致。沙地中的湖泊群是沙漠生态系统重要组成部分,对维持生态稳定具有重要作用<sup>[21]</sup>,但其自身稳定性差,在年际与季节尺度上,受气候与人类活动的影响<sup>[11]</sup>,其面积与数量变化较大,并体现在景观格局指数的变化上。

科尔沁沙地景观在风水交互侵蚀作用下,处于动态平衡,并维持其发育的稳定性。水分是制约植物生长和生存的第一主导因素,湖泊群周围水分条件较好,植被生长茂盛,对区域沙气流场结构与风沙输移具有重要影响<sup>[22]</sup>,进而决定湖泊群周围一定缓冲区内沙地景观演化过程<sup>[5]</sup>。但这类地区也多被围湖造田,致使由自然景观向人工景观转化,使得湖泊面积萎缩。此外,在河流上游修建水库,如老哈河上游的红山水库,教来河中下游修建的山湾子水库、干沟子水库、乌兰勿苏水库等,必然影响其下游径流量、改变河道水沙状况,若流量减少、河床干涸,宽阔的河漫滩裸露,可为河岸沙丘发育提供沙源<sup>[23]</sup>;地表水减少、地下水位下降,坨甸和沙沼地地下水位也将下降,喜湿植物减少、耐旱植物定植,植被覆盖度降低,沙丘活化,沙漠化又将扩展<sup>[24]</sup>。地表演化过程,是通过其空间分布及属性信息来表示的,而对于同样是以空间属性来描述的景观格局参数<sup>[20]</sup>,二者之间必然存在内在联系,即表现为科尔沁沙地风沙与湖泊这两种主要景观类型的相互作用与反馈<sup>[24]</sup>。

科尔沁沙地作为独特的地理单元,近40 a气候暖干化趋势明显,赵哈林等<sup>[25]</sup>对科尔沁沙地气候变化研究也证实这一点。气温升高、蒸发量增大,会导致湖泊面积减少、水量减少、植被退化与沙漠活动加强,但近15 a降水量呈上升趋势<sup>[26]</sup>,对抑制沙漠化演化进程起到重要作用。同时应指出,短时间高强度的人类活动可加速或延缓沙丘演化地表过程,王涛等<sup>[27]</sup>对科尔沁地区调查显示,因人类调整土地利用结构,实施退耕还林还草、抑制过度

放牧等措施,该区土地沙漠化出现逆转趋势。

### 4 结论

近40 a科尔沁沙地风沙景观面积减少,沙地流动性减弱。沙地景观蔓延度指数下降、优势度指数增加,斑块破碎化程度增加。湖泊群面积和数量均呈波动减少趋势,湖泊群景观总体演化过程趋于稳定。流动沙丘斑块面积等参数对湖泊景观演化的影响较大,沙地景观与湖泊群景观处于动态演化过程中,并对科尔沁沙地陆表时空演化起重要作用。

科尔沁沙地景观演化影响因素主要包括气候、社会经济和政策因素,从统计学角度来讲,社会经济因素对沙地景观格局演化起主要作用。下一步工作,将开展风沙输移观测与流域水文研究,并确定二者间的耦合关系,以深入理解沙地与湖泊景观演化作用机理。

### 参考文献(References):

- [1] Wu Jianguo. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6): 999-1023.
- [2] 康相武, 吴绍洪, 杨勤业, 等. 区域沙漠化程度评价研究进展、问题及分析[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(3): 330-335. [Kang Xiangwu, Wu Shaohong, Yang Qinye et al. Research progresses, problems and analyses of the evaluation on regional sandy desertification. *Arid Land Geography*, 2005, 28(3): 330-335.]
- [3] Brownnett J M, Mills R S. The development and application of remote sensing to monitor sand dune habitats[J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2017, 21(5): 643-656.
- [4] Zhu L P, Xie M P, Wu Y H. Quantitative analysis of lake area variations and the influence factors from 1971 to 2004 in the Nam Co basin of the Tibetan Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(13): 1294-1303.
- [5] 白雪梅, 春喜, 斯琴毕力格, 等. 近45a内蒙古浑善达克沙地湖泊群的变化[J]. *湖泊科学*, 2016, 28(5): 1086-1094. [Bai Xuemei, Chun Xi, Siqin Bilige et al. Changes of lake group in sandy land of Inner Mongolia in recent 45a. *Journal of Lake Sciences*, 2016, 28(5): 1086-1094.]
- [6] Dong Chunyu, Wang Nai'ang, Chen Jiansheng et al. New observational and experimental evidence for the recharge mechanism of the lake group in the Alxa Desert, north-central China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2016(14): 48-61.
- [7] 常学礼, 赵学勇, 王伟, 等. 科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应[J]. *生态学报*, 2013, 33(21): 7002-7012. [Chang Xueli, Zhao Xueyong, Wang Wei et al. Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(21): 7002-7012.]



- [8] 陈建, 赵霞, 盛雪芬, 等. 巴丹吉林沙漠湖泊群与沙山形成机理研究[J]. 科学通报, 2006, 51(23): 2789-2796. [Chen Jian, Zhao Xia, Sheng Xuefen et al. Study on the formation mechanism of the Jilin desert lakes and mountains of Bataan. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(23): 2789-2796.]
- [9] Li J, Xu B, Yang X et al. Historical grassland desertification changes in the Horqin Sandy Land, Northern China (1985-2013). Scientific Reports, 2017, 7(1): 3009.
- [10] Bai X L, Sharma R C, Tateishi R et al. A detailed and high-resolution land use and land cover change analysis over the past 16 years in the Horqin Sandy Land, Inner Mongolia[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2017, 2: 1-13.
- [11] 段翰晨, 王涛, 薛嫻, 等. 科尔沁沙地沙漠化时空演变及其景观格局——以内蒙古自治区奈曼旗为例[J]. 地理学报, 2012, 67(7): 917-928. [Duan Hanchen, Wang Tao, Xue Xian et al. Spatial-temporal evolution of Aeolian desertification and landscape pattern in Horqin Sandy Land: A case study of Naiman Banner in Inner Mongolia. Journal of Geographical Sciences, 2012, 67(7): 917-928.]
- [12] Duan H C, Wang T, Xue X et al. Dynamics of aeolian desertification and its driving forces in the Horqin Sandy Land, Northern China[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2014 186 (10): 6083-6096.
- [13] 贾格, 刘廷玺, 段利民, 等. 科尔沁沙地王巴哈嘎湖泊的演变与水文气象因子关联度分析[J]. 中国农村水利水电, 2014 (12): 1-4. [Jia Ge, Liu Yanxi, Duan Limin et al. Correlation analysis between evolution of Baja lake and hydrological meteorological factors in Horqin Sandy Land. Chinese rural water conservancy and hydropower, 2014(12): 1-4.]
- [14] 杜会石, 哈斯额尔敦, 李明玉. 1977-2008年延吉市城市景观格局演变[J]. 地理科学, 2011, 31(5): 608-612. [Du Huishi, Hasi Eerdun, Li Mingyu. The evolution of landscape pattern of Yanji city 1977-2008. Chinese Geographical Science, 2011, 31(5): 608-612.]
- [15] 张华, 佟文嘉, 王南, 等. 基于退耕还草背景的科尔沁沙地土地利用景观格局分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 96-101. [Zhang Hua, Tong Wenjia, Wang Nan et al. Analysis of land use and landscape pattern of grassland in the Horqin Sandy Land Based on background. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(6): 96-101.]
- [16] Deng Julong. Control problems of grey systems[J]. Systems & Control Letters, 1982, 1(5): 288-294.
- [17] 李健英, 常学礼, 蔡明玉, 等. 科尔沁沙地土地沙漠化与景观结构变化的关系分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 622-626. [Li Jianying, Chang Xueli, Cai Mingyu et al. Analysis of relationship between desertification and landscape structure changes in Horqin Sandland. Journal of Desert Research, 2008, 28(4): 622-626.]
- [18] 王牧兰, 包玉海, 阿拉腾图雅, 等. 浑善达克沙地景观格局变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 123-127. [Wang Mulan, Bao Yuhai, Altan Tuya et al. Study on changes of landscape pattern of Hunshandake Sands. Journal of Arid Land Resources and Environment. 2007, 21(5): 123-127.]
- [19] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 191-196. [Wu Bo, Ci Longjun. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland, Northern China. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(2): 191-196.]
- [20] 岳喜元, 侯孟孜, 常学礼, 等. 科尔沁城镇化过程对沙地景观的影响[J]. 干旱区研究, 2017, 34(4): 912-920. [Yue Xiyuan, Hou Mengzi, Chang Xueli et al. Influence of Horqin urbanization process on sandy landscape. Arid Zone Research, 2017, 34(4): 912-920.]
- [21] Ma X Y, Wang X C, Wang D et al. Function of a landscape lake in the reduction of biotoxicity related to trace organic chemicals from reclaimed water[J]. Journal of hazardous materials, 2016, 318: 663-670.
- [22] Smith A B, Jackson D W T, Cooper A J G. Three-dimensional airflow and sediment transport patterns over barchan dunes[J]. Geomorphology, 2017, 278(15): 28-42.
- [23] Liu Baoli, Coulthard T J. Mapping the interactions between rivers and sand dunes: Implications for fluvial and Aeolian geomorphology [J]. Geomorphology, 2015, 231: 46-57.
- [24] Telfer M W, Hesse P P, Perez-Fernandez M et al. Morphodynamics, boundary conditions and pattern evolution within a vegetated linear dune field[J]. Geomorphology, 2017, 290: 85-100.
- [25] 赵哈林, 张铜会, 崔建垣, 等. 近40a我国北方农牧交错区气候变化及其与土地沙漠化的关系——以科尔沁沙地为例[J]. 中国沙漠, 2000, V20(S1): 2-7. [Zhao Halin, Zhang Tonghui, Cui Jiangheng et al. Climate change and its relationship with land desertification in the ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China in recent 40a: A case study of Horqin Sandy Land. Journal of Desert Research, 2000, V20(S1): 2-7.]
- [26] 王永芳, 张继权, 马齐云, 等. 21世纪初科尔沁沙地沙漠化对区域气候变化的响应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(s2): 177-185. [Wang Yongfang, Zhang Jiquan, Ma Qiyun et al. Response of desertification in Horqin sandy land to regional climate change in the early twenty-first Century. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(s2): 177-185.]
- [27] 王涛, 吴薇, 薛嫻, 等. 近50年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 203-212. [Wang Tao, Wu Wei, Xue Xian et al. Temporal and spatial changes of desertification land in northern China in recent 50 years. Journal of Geographical Sciences. 2004, 59(2): 203-212.]



## Landscape Evolution and Influence Factors of Aeolian Sand and Lakes in Horqin Sandy Land

Du Huishi<sup>1,2</sup>, Hasi Eerdun<sup>2</sup>, Li Shuang<sup>1</sup>, Zhao Yiyuan<sup>1</sup>, Sun Xiaoxu<sup>1</sup>

(1. College of Tourism and Geographical Science, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin, China;

2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The Horqin sandy land is located in the ecotone between agriculture and animal husbandry in northern of China. The development of sandy land is affected by the interaction of wind and water, and the evolution of Lake Group landscape is closely related to the process of aeolian sand surface evolution. The Horqin sandy land as the study area, 1975-2015 medium resolution satellite images based on the landscape pattern index calculation and statistical analysis methods, focus on the change process of lake and sand landscape pattern, and analyze the influence factors in recent 40 years. The results showed that: in recent 40 years, Horqin desert landform coverage area showed a decreasing trend, the average annual rate of change -0.31%, while shrub dunes, parabolic dunes fixed semi fixed dune type sand area increased significantly, inverse transformation trend. The landscape spread degree of sandy land decreased by 2.13 and the dominance increased by 16.55, indicating that the connectivity and diversity of patches in Horqin sandy land decreased. Lakes area net reduction is 61.24 km<sup>2</sup>, the number of patches decreased by 66, the lake group centroid toward ESE 3 576 km<sup>2</sup> migration, the separation of lake landscape degree decreased, while the cluster of lake landscape increased, landscape evolution tends to be stable, and the sandy land and Lake landscape in the dynamic evolution process. The factors of economic and human activities are the driving factors of the evolution of Horqin sandy land, especially social economic factors and policy factors can promote or inhibit the evolution process of sandy landscape in a short time. The study provides the basis for the sustainable development of the ecological environment in Horqin sandy land.

**Key words:** sand dune pattern; landscape evolution; driving factors; lake group; Horqin sandy land