

Spatial-temporal Evolution of Desertification and Landscape Pattern Change in Hulunbeier Sandy Land

Narisu¹, Yinshan^{1,2,*}, Yushan^{1,2}, Yuhai Bao^{1,2}, Lina¹, Baocheng Wei¹

1.College of Inner Mongolia normal university geography science,Hohhot 010020, China

2.Inner Mongolian key laboratory of remote sensing and geographic information system, Hohhot 010022, China

呼伦贝尔沙地荒漠化时空演化及景观格局变化

那日苏¹, 银山^{1,2,*}, 玉山^{1,2}, 包玉海^{1,2}, 丽娜¹, 魏宝成¹

1.内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010020, 中国

2.内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 呼和浩特 010022, 中国

Abstract

Based on the TM and ETM+ Lands at image data of 2000-2014, using the GIS spatial analysis method and visual interpretation methods, we extract the dynamic desertification information of Hulunbeier sand land. The spatial-temporal evolution characteristics of landscape pattern are analyzed on the foundation of desertification information. The results indicated that: (1) The total desertification land area decreased by 2822.59km² in Hulunbeier during 2000-2014, and different levels of desertification land area has a reverse trend after 2010, which showed that the environment has improved. (2) During 2000-2014, the center of low desertification land moved 13.58km to South, medium and severe desertification land moved 10.99km and 27.57km to East, respectively, and high desertification land 24.17 km to northward. (3)In the period of 2010-2014, the intervention effect of humanactivities on the landscape is constantly enhanced, and the composition tends to simple, while the landscape type to uneven orientation development. The Landscape patch shape tended to regulation, and the desertification distribution tends to gather after 2010.

Keywords: Hulunbeier Sandy Land; Desertification; Spatial-temporal Evolution; Landscape Pattern

摘要

利用呼伦贝尔沙地 2000-2014 年的 Landsat TM 和 ETM+ 影像数据,再将人机交互解译和 GIS 空间分析方法相结合,提取呼伦贝尔沙地荒漠化动态变化数据。在上述工作础上,分析

呼伦贝尔沙地荒漠化土地时空演化和景观格局特征。结果表明:(1)2000-2014 年中呼伦贝尔沙地荒漠化土地从 2010 年起,各程度的荒漠化土地面积都有逆转趋势,减少的总面积是 2822.59km²,因此呼伦贝尔沙地荒漠化有明显好转趋势。(2)2000-2014 年呼伦贝尔沙地轻度荒漠化土地重心向南移 13.58km,中度和极重度荒漠化土地重心均向东迁移 27.57km 和 10.99km,重度荒漠化土地重心向北迁移 24.17km。(3)2000-2014 年对荒漠化景观的干预作用不断增强的人类活动致使荒漠化景观组成趋向简单,并 2010 年后,荒漠化景观分布趋于聚集,景观斑块形状趋于规则化。

关键词: 呼伦贝尔沙地; 荒漠化;时空演化; 景观格局

1.引言

荒漠化是指由于人类活动,气候变化在内的各种影响因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化^[1,2]。随着人类活动对自然环境不断增加压力,加剧了土地荒漠化进程并且威胁人类自身的生存和发展^[2,3]。土地荒漠化作为最严峻的全球性环境问题之一,引起了世界各国的高度重视^[4,5]。中国作为世界上荒漠化最为严重的国家之一^[6],荒漠化面积较大的内蒙古呼伦贝尔沙地成为了相关学者们的研究热点之一^[7]。在生态学中对景观格局与过程之间的关系研究成为了前沿话题。通过对景观格局的动态研究,可以准确地把握景观功能及结构的变化情况^[8,9]。近年来,随着景观生态学的发展,借助景观指数分析方法,通过对景观格局的变化分析来反映沙漠化土地的变化过程,对研究沙漠化的发生机制,发展原因以及沙漠化生态系统恢复重建都具有重要的意义^[10,11]。对认识荒漠化的发生和发展机制

*通讯作者: 银山:yinshan@imnu.edu.cn

而言,荒漠化土地空间格局与过程的关系研究也是有重要意义的^[12,13]。

我国北方五大沙地之一的呼伦贝尔沙地,从地域自然条件来说是属五大沙地中的优越者。然而,近百年来,随着人口的不断增加以及草地过度垦殖、乱砍滥伐和超载过牧等过度利用,破坏了草地脆弱的生态平衡,导致呼伦贝尔沙地荒漠化呈现出逐年扩张趋势^[14, 15]。因此,分析呼伦贝尔沙地的发展过程,空间演化规律及景观格局的变化,为该研究区的荒漠化防治提供理论依据是此研究的重要意义。

2. 研究区概况

研究区位于内蒙古高原最北端的呼伦贝尔草原,介于 47°20′- 50°15′N,115°30′- 121°10′E 之间。处于呼伦贝尔草原中部的呼伦贝尔沙地东边为大兴安岭西麓丘陵漫岗,西至呼伦湖(达赉湖)和克鲁伦河,南北在蒙古国与海拉尔河北岸之间。研究区在行政区域上包含了两个市(呼伦贝尔市和满洲里市)以及四个旗(陈巴尔虎旗、新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗和鄂温克自治旗)总面积达 8.36 万 km²。呼伦贝尔沙地为沙质高原地貌,地势东高西低,南高北低,微有高低起伏^[16]。具有北方中温带干旱、半干旱气候向半湿润气候过渡特征的呼伦贝尔沙化草地区域有冬春季干旱多风,严寒而漫长,夏秋季湿润短暂的气候特点^[15]。年平均气温-2- 0℃,1 月平均气温-28℃,7 月平均气温 20℃。年平均降水量 235-380 mm,其中 70% 集中于夏秋季节(6-8 月),蒸发量是降水量的 4-6 倍,为 1100-1630 mm,干燥度 112-115,相对湿度 60%~ 70%。年平均风速为 4.5 m/s,最大风速为 20 m/s,全年 8 级以上大风日数平均 30 天以上。呼伦贝尔沙化草地土壤主要以风沙土为

主,地带性土壤有栗钙土沙质栗钙土以及隐域性的沙质草甸土、沼泽土和盐碱土等^[16]。

3. 数据来源与研究方法

利用 2000、2005、2010、2014 年植被生长期(8 月份)的 LandsatTM 和 ETM+ 影像数据,通过在遥感影像处理软件 ENVI5.1 中彩色合成,辐射校正,几何校正等影像预处理工作后将这些影像数据作为底图,在 Arcgis10.1 中进行荒漠化土地人工目视解译。解译工作之后经过拓扑检查和属性纠错等处理得到呼伦贝尔沙地 2000-2014 年荒漠化动态变化的数据。

3.1 荒漠化土地分级方法

根据《关于中国三北地区荒漠化分类分级及参考指正表的修订》,将呼伦贝尔沙地荒漠化土地分为风蚀荒漠化、水蚀荒漠化和盐渍荒漠化三类,在此基础上又按程度划分为未荒漠化、轻度、中度、重度和极重度荒漠化等五级(表 1)。

根据上述荒漠化土地分类、分级系统及参考前人研究^[17],再根据 TM 影像上不同类型、不同等级的荒漠化土地显现的特征,并结合实地调查得到不同类型荒漠化土地和荒漠化土地的不同程度解译标志(表 1)。

3.2 荒漠化重心迁移模型

利用人口地理学中的人口重心原理来研究是荒漠化土地重心的迁移过程及空间变化的主要内容^[2, 18-20]。本文运用重心迁移模型计算出呼伦贝尔沙地不同程度荒漠化土地重心的分布,并通过荒漠化重心的迁移距离计算来描述不同程度荒漠化土地的总体变化趋势和空间变化特征。计算公式为式(1)。

表 1. 呼伦贝尔荒漠化土地分类、类型特征和解译标志

1级分类	2级分类	类型特征		影像特征
		植被盖度(%)	地生产率下降率(%)	
风蚀荒漠化	轻度风蚀荒漠化	50-70	<10	有 2m 以下的低缓固定沙丘、农田、草场局部地表有风蚀粗化痕迹或积沙,植被呈浅红色,不连续分布。图斑内植被有稀疏的覆沙、风沙土,呈乳白色或黄色斑块
	中度风蚀荒漠化	10-50	10-50	固定半固定沙丘呈条状或斑块状,红白色斑相间。植被呈红色占 30% ~50%的面积,白色斑块占 50% ~70%
	重度风蚀荒漠化	10月1日	30-10	半固定半流动沙丘成花斑状,以浅黄色或黄白色为基底色,其中夹有少量红色斑点
	极重度风蚀荒漠化	<1	—	流动沙丘呈鳞片状,波纹清晰,整体显示为明亮的白色或浅黄色调,很少有红色斑点
盐渍荒漠化	轻度盐渍荒漠化	>50	<10	影像呈浅绿色或浅红色(MSS),盐碱斑块呈斑点状分布
	中度盐渍荒漠化	30-50	10-20	植被分布较少,灰色的盐碱斑块成片分布
	重度盐渍荒漠化	10月1日	20-30	灰色盐碱斑块占主体,植被少见
	极重度盐渍荒漠化	<10	>30	影像呈现亮白色,无植被或非常稀疏
水蚀荒漠化	轻度水蚀荒漠化	<10	>30	有较弱的线形纹影,植被呈浅红色,不连续分布,图斑内稀疏的覆沙、沙黄土呈乳白色或黄色斑块
	中度水蚀荒漠化	10—30	20—30	线形纹理明显,植被呈浅红色斑块,面积小于 30%
	重度水蚀荒漠化	30—50	10—20	线形纹理十分明显,植被呈浅粉色小斑块,块状分布,面积小于 20%
	极重度水蚀荒漠化	>50	<10	线形纹理充满整个图斑。植被呈浅粉色,斑点状分布,面积小于 10%

$$X_i = \sum_{i=1}^m (C_{ii} \times X_i) / \sum_{i=1}^m C_{ii} \qquad Y_i = \sum_{i=1}^m (C_{ii} \times Y_i) / \sum_{i=1}^m C_{ii} \qquad (1)$$

X_i, Y_i 分别表示第 i 年管分布的经纬度坐标, C_{ii} 表示第 i 年第 i 种景观类型的面积, X_i, Y_i 分别表示第 i 中景观类型斑块重心的经纬度坐标。

3.3 景观格局分析

近年来土地荒漠化景观格局动态研究中广泛地应用于景观格局指数^[18]。根据研究区荒漠化情况,在景观水平上选取斑块个数(NP)、多样性指数(SHDI)、景观形状指数(LSI)、斑块密度(PD)、均匀度指数(SHEI)、聚集度(AI)、平均斑块面积(AREA_MN)等7个指数。是在景观分析软件Fragstats4.2下完成景观指数计算的。

4. 结果与分析

4.1 荒漠化动态变化分析

4.1.1 荒漠化土地面积变化

根据解译得到的呼伦贝尔沙地 2000-2014 年荒漠化土地类型,利用 ArcGIS 空间叠加分

析模块对解译得到的 4 期荒漠化数据进行叠加计算,分别制出 4 期的荒漠化土地面积变化图和 3 个时段的荒漠化土地转移矩阵(图 1 和表 2)。

从图 1 和表 2 中可以看出,2000-2005 年轻度和中度荒漠化明显减少,分别减少 166.52 km²和 1600.84km²;且 1724.34 km²面积的轻度荒漠化土地逆转为非荒漠化土地,而面积为 1034.89km²的中度荒漠化土地发展为重度荒漠化土地;重度荒漠化增加 1069.95 km²,极重度荒漠化面积增加 316.65 km²。总体上来看,2000-2005 年的荒漠化减少总面积为 380.76 km²;轻度和中度荒漠化土地均呈现逆转的趋势,但极重度和重度荒漠化土地面积仍

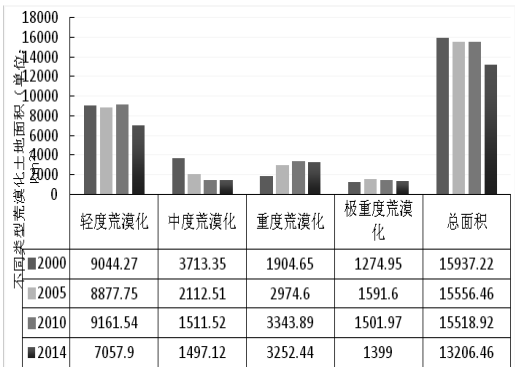


图 1. 呼伦贝尔沙地不同时期荒漠化面积

表 2. 呼伦贝尔沙地不同类型荒漠化土地转移矩阵

非荒漠化/km ²	轻度荒漠化/km ²	中度荒漠化/km ²	重度荒漠化/km ²	极重度荒漠化/km ²	总计/km ²
66030.07	793.47	301.76	215.40	351.49	67692.19
1724.34	7216.36	52.05	16.89	34.63	9044.27
288.48	727.41	1592.26	1034.89	70.31	3713.35
20.15	71.40	91.90	1692.98	28.21	1904.65
9.92	69.11	74.54	14.43	1106.95	1274.95
68072.95	8877.75	2112.51	2974.60	1591.60	83629.40
66815.98	944.10	51.72	68.13	193.02	68072.92
1127.93	7630.00	45.11	55.84	18.87	8877.75
81.19	332.36	1303.66	373.55	24.41	2112.54
38.58	186.72	33.62	2708.82	6.85	2977.23
47.16	68.35	77.42	137.54	1258.82	1591.60
68110.85	9161.54	1511.51	3343.89	1501.97	83629.40
67809.89	121.65	10.54	123.48	44.96	68110.51
2404.93	6730.14	12.08	7.46	6.94	9161.54
143.78	116.46	1232.87	4.63	11.10	1511.51
51.79	45.82	228.59	3012.48	5.20	3343.89
12.56	43.83	13.04	104.39	1330.80	1501.94
70422.94	7057.90	1497.12	3252.44	1399.00	83629.40

在扩大,说明该时段呼伦贝尔沙地荒漠化土地从总面积上看虽然有逆转的趋势,但部分地区的荒漠化现象依然很严重。

2005-2010 年呼伦贝尔沙地荒漠化土地有所减少,减少 37.54 km²;中度和极重度荒漠化面积均在减少,分别减少 600.99 km² 和 89.63 km²,中度荒漠化逆转轻度荒漠化和转向重度荒漠化,其中转化为轻度荒漠化的面积是 332.36 km²,转化为重度荒漠化的面积是 373.55 km²;极重度荒漠化土地主要向和重度荒漠化方向逆转,逆转中度荒漠化的面积为 77.42 km²,逆转重度荒漠化的面积为 137.54km²;轻度荒漠化增加 283.79 km²和重度荒漠化面积增加 369.29 km²。综合分析,该时段呼伦贝尔沙地荒漠化土地总面积在减少,但是重度荒漠化土地面积依然具有增加现象,说明部分地区的荒漠化现象依然严重,但比 2000-2005 年的荒漠化现象有一定的改善。

2010-2014 年呼伦贝尔沙地各程度荒漠化土地面积都有减少趋势,总面积自 2010 年到 2014 的年减少 2312.46km²,其中轻度、中度、重度和极重度荒漠化的减少面积分别为 2103.64km²、14.4 km²、91.45km²、102.97 km²;轻度荒漠化土地减少面积最大,其次为极重度荒漠化土地,而中度荒漠化减少面积最小;轻度和中度荒漠化面积减少的原因主要是逆转为非荒漠化土地,逆转面积分别是 2404.93

km² 和 143.78 km²;重度荒漠化土地面积减少的原因则主要逆转为中度荒漠化土地,逆转面积是 228.59 km²,然而极重度荒漠化土地主要逆转为重度荒漠化土地,逆转面积是 104.39km²。综上所述,该时段内呼伦贝尔沙地荒漠化总体上有好转,并且各程度的荒漠化土地均有不同程度的逆转趋势。

4.1.2 荒漠化土地空间动态变化

从图 2 中可以看出,呼伦贝尔沙地荒漠化土地主要分布于研究区中部和偏西的新巴尔虎左旗和右旗、陈巴尔虎旗和鄂温克旗西部地区。其中轻度和中度荒漠化土地主要分布于新巴尔虎左旗和巴尔虎右旗;重度荒漠化土地主要分布于新巴尔虎左旗和陈巴尔虎旗西部,极重度荒漠化土地主要分布于新巴尔虎左旗和右旗。

为进一步观察荒漠化土地在空间上的变动,利用重心迁移模型对不同荒漠化类型的重心坐标进行了计算,并根据各点的坐标值绘制了各重心点的空间迁移图(图 3)。从图中可以看出,不同程度荒漠化土地的重心空间分布是由西向东依次为轻度、中度、极重度和重度荒漠化土地,这与该区荒漠化土地的空间分布趋势完全一致,说明西部以轻度荒漠化为主,东部以重度荒漠化为主,说明该研究区荒漠化土地的程度由西向东(到研究区中部)呈加重的

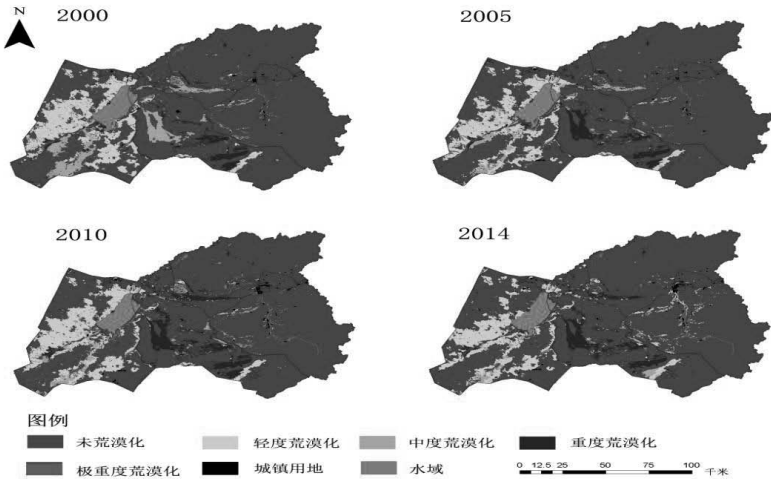


图 2. 2000-2014 年呼伦贝尔沙地荒漠化土地空间变化

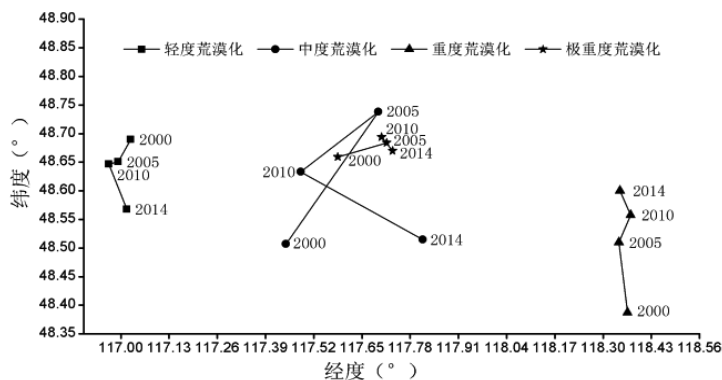


图 3. 2000-2014 年呼伦贝尔沙地荒漠化土地重心迁移

趋势。2000-2005 年轻度荒漠化重心向西北方向迁移, 迁移的距离不大。中度荒漠化则向东南方向迁移, 其迁移距离最大, 为 31.58km。重度荒漠化重心向正南迁移 13.83km。而极重度荒漠化重心向东偏南迁移 10.04km。

4.2 荒漠化景观格局变化分析

利用景观格局指数计算公式, 以荒漠化整体为一种景观, 对研究区的荒漠化土地进行景观格局指数的计算, 结果如表 3。

表 3. 2000-2014 年呼伦贝尔沙地荒漠化土地景观指数变化

年份	NP	PD	LSI	AREA_MN	SHDI	SHEI	AI
2000	1031	0.0123	13.481	8109.2144	0.6992	0.4345	91.7799
2005	1230	0.0147	14.4214	6797.2358	0.6927	0.4304	91.1197
2010	1304	0.0156	14.5155	6411.5031	0.6837	0.4248	91.0493
2014	1333	0.0159	14.3014	6272.018	0.6157	0.3826	91.1838

注: NP: 斑块个数 (单位: 个)、PD: 斑块密度 (单位: 个/km²)、AREA-MN: 平均斑块面积 (单位: km²)、LSI: 景观形状指数、SHDI: 多样性指数、SHEI: 均匀度指数、AI: 聚集度 (单位: %)

2005-2010 年轻度荒漠化重心稍向西迁移, 迁移范围小。中度荒漠化重心向西北方向折回 19.23km。重度荒漠化重心向东南方向迁移, 迁移的距离较短。极重度荒漠化土地重心变化不大。2010-2014 年轻度荒漠化重心向东北方向迁移 9.47km。而中度荒漠化重心迁移距离为最大, 向东北方向迁移了 27.63km。重度荒漠化重心向南迁移, 极重度荒漠化重心又折回向东北方向迁移。2000-2014 年轻度荒漠化土地重心向南移 13.58km, 中度和极重度荒漠化土地重心向迁移方向相同, 均向东迁移 27.57km 和 10.99km, 重度荒漠化土地重心向北移 24.17km, 该时段极重度荒漠化土地的迁移最小, 中度荒漠化土地的迁移最大。

2000-2014 年该研究区的斑块个数和斑块密度均呈现增大, 而平均斑块面积明显减少, 该时段斑块个数增加了 302 个, 其中 65%的斑块个数是在 2000-2005 年内增长。斑块密度增加为 0.0036 个/km², 平均斑块面积减少 1837.1964km², 其中 1311.9786km²的荒漠化土地在 2000-2005 年之间减少的, 说明破碎化程度加强, 受人为影响较大。2000-2014 年形状指数先上升后减少的趋势, 2010 年达到最大值, 景观形状指数上升表明 2010 之前景观斑块形状不规则化增强, 容易被周围的其它景观所影响, 2010 年后荒漠化景观形状指数的下降, 能够有效说明荒漠化景观斑块形状趋于规则化, 不易受周围其它景观的影响。在

2000-2014 年荒漠化景观多样性指数和均匀度指数不断减少,表明景观的组成趋向于简单化,且景观类型向不均匀方向发展,表明起控制作用的景观类型比支配能力较差的景观类型起着更主要的作用。聚集度指数先减少后上升,2010 年达到最小值,这说明 2000-2010 年荒漠化土地分布趋于分散,2010 年后荒漠化土地分布趋于聚集。

5. 结论与讨论

采用 GIS 空间分析方法对呼伦贝尔沙地 2000-2014 年的遥感影像进行目视解译,再通过解译结果统计出呼伦贝尔荒漠化土地的时空分布特征、重心迁移规律及景观格局变化。研究结果表明:

(1) 2000-2014 年呼伦贝尔沙地荒漠化土地总面积减少 2822.59km²。其中 2000-2005 年荒漠化总面积虽然在减少,但重度和极重度荒漠化土地面积仍在扩大,到 2010 年重度荒漠化面积仍然在增加。这表明,2000-2010 年荒漠化土地总面积虽然减少,但是研究区局部地区的荒漠化仍然较严重;2010 年后荒漠化土地总面积不仅减少,而且各种程度的荒漠化土地面积也都有逆转趋势,说明荒漠化现象明显好转。

(2) 呼伦贝尔沙地荒漠化土地的空间分布图可知,该研究区的荒漠化土地分布在中部和偏西的新巴尔虎左旗和右旗、陈巴尔虎旗和鄂温克旗西部地区;重心迁移模型可知,荒漠化土地重心的空间分布自西向东依次为轻度、中度、极重度和重度荒漠化土地。2000-2014 年轻度荒漠化土地重心向南移 13.58km,中度和极重度荒漠化土地重心迁移方向相同,均向东迁移 27.57km 和 10.99km,重度荒漠化土地重心向北迁移 24.17km。

(3) 2000-2014 年呼伦贝尔沙地荒漠化景观破碎度变大,能够反映出人类活动对该地区荒漠化景观的干预不断的增强;多样性指数和均匀度指数不断减少,表明荒漠化景观的组成趋向于简单,并景观类型向不均匀方向发展;形状指数具有先上升后减少的趋势,聚集度指数具有先减少后上升的趋势,均在 2010 年达到最大值和最小值,2010 年后荒漠化景观斑

块形状趋于规则化,荒漠化土地景观分布趋于聚集。

2000-2014 年呼伦贝尔沙地荒漠化现象不断好转是该地区在 2000 年以后实行的保护环境的(春季围栏封育、草场轮牧以及“退耕还林/还草”等)一系列的荒漠化治理措施的成果^[15]。因此随着政策的不断深入,该地区荒漠化也不断的逆转。本研究结果也跟郭坚等人的研究一致。本文选取的荒漠化土地景观指数能够反映荒漠景观的斑块的聚合或分离、景观破碎和形状的变化,因此能够满足荒漠化土地景观的研究。从荒漠化景观也可以知道,对荒漠化景观的人为干扰不断增加,荒漠化景观聚集,荒漠化景观组成趋向简单化,也能说明荒漠化现象好转。景观格局与面积和空间分布结合分析更有效的说明荒漠化土地的好转与否,尤其是对呼伦贝尔沙地荒漠化研究的较少,因此对呼伦贝尔沙地的荒漠化土地的面积和空间分布与荒漠化土地景观结合研究是必要的。

Acknowledgements

This study was supported by National “Twelfth Five-Year” Plan Project for Science and Technology Support (No.2013BAK05B01) and Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region (No.2013ZD08), and Inner Mongolia Normal University major project to cultivate special project (No.2013ZDPY04) and Inner Mongolia normal university graduate student scientific research innovation fund item (cxjjs15100)

致谢

本研究得到了资助项目:“十二五”科技支撑计划项目资助(2013BAK05B01)和内蒙古自治区自然基金(2013ZD08)和内蒙古师范大学重大项目培育专项项目(2013ZDPY04)和内蒙古师范大学研究生科研创新基金项目(cxjjs15100)。

参考文献

[1] 朱震达.中国土地荒漠化的概念、成因与防治.第四纪研究,1998,18(2):145-155.
[2] 钱大文,巩杰,高彦净等.近 35 年黑河中游临泽县荒漠化时空分异及景观格局变化.干旱区资源与环境,2015,29(4):85-90.
[3] 那音太,乌兰图雅,秦福莹等.基于 3S 技术的科尔沁沙地土地荒漠化动态监测.干旱区资源与环境,2010,24(10):50-54.

- [4] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247(4946): 1043-1048.
- [5] Dodd J L. Desertification and degradation in sub-Saharan Africa. *BioScience*, 1994, 44:28-34.
- [6] 张道俊.山东玲珑金矿地质特征及深部找矿潜力分析.地质找矿论丛,2006,21(增刊): 39-43.
- [7] 徐驰,姜琦刚,李远华 等.呼伦贝尔地区土地荒漠化动态变化.世界地质,2010,29(1):160-167.
- [8] 阿如早,杨特.内蒙古多伦县土地沙漠化景观格局变化特征.应用生态学报, 2007, 18(11): 2520-2525.
- [9] 郭红,龚文峰,董隽 等.基于 RS 和 GIS 的嫩江下游土地沙漠化景观格局变化特征分析.生态与农村环境学报, 2009, 25(3):99-103.
- [10] 郭丽红,沙占江,马燕飞 等.环青海湖区 20 年来沙漠化土地景观格局空间变化分析.中国人口·资源与环境, 2010, 20(3):119-123.
- [11] 常学礼,于云江,曹艳英 等.科尔沁沙地景观结构特征对沙漠化过程的生态影响.应用生态学报, 2005, 16(1): 59-64.
- [12] 杨光.基于 3S 的盐池县景观格局及荒漠化动态研究.北京:北京林业大学,2008.20-25.
- [13] 吴波,慈龙骏.毛乌素沙地景观格局变化研究.生态学报,2001,21(2):191-196.
- [14] 聂浩刚,岳乐平,杨文 等.呼伦贝尔草原沙漠化现状、发展态势与成因分析.中国沙漠,2005,25(5):635-639.
- [15] 郭坚,薛娴,王涛 等.呼伦贝尔草原沙漠化土地动态变化过程研究.中国沙漠,2009,29(3):397-403.
- [16] 玩勤琴.呼伦贝尔沙地沙漠化成因及植被演替规律的研究.北京林业大学,2008:10-13.
- [17] 银山.内蒙古浑善达克沙地荒漠化动态研究.呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [18] 段翰晨,王涛,薛娴 等.科尔沁沙地沙漠化时空演变及其景观格局.地理学报,2012,67(7):917-928.
- [19] 包玉海,乌兰图雅,香宝,等.内蒙古耕地重心移动及其驱动因子分析.地理科学进展,1998, 17(4): 47-54.
- [20] 贾科利,常庆瑞.陕北农牧交错带土地沙漠化景观格局动态变化.应用生态学报,2007, 18(9): 2045-2049.
- [21] Y. He. Assessment research of Bijie drought risk based on cloud model. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2013, 3(4):192-200