

包头市景观格局时空演变研究

王戈¹ 于强¹ 刘晓希² 杨澜¹ 刘建华¹ 岳德鹏¹

(1. 北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学外语学院, 北京 100083)

摘要: 以内蒙古自治区包头市为研究区,选取 2006、2010、2016 年相同月份遥感影像,结合包头市土地利用数据,将包头市景观类型划分为林地、草地、水体、耕地、建设用地、其他用地共 6 类,进行景观格局动态变化分析、转移网络分析、变化空间集聚特征分析、重心转移分析、景观格局指数变化分析和景观格局演变驱动力分析。结果表明,2006—2016 年市域景观特征发生了较大变化,其中 2006—2010 年其他用地景观类型的减少速度高达 19.48%,10 年间建设用地的增加速度从 1.3% 增至 2.76%,在 2010—2016 年有 15.19% 的耕地转化为草原景观,3.79% 的耕地转化为建设用地;10 年间景观变化呈现点状分布,主要分布在耕地密布、草地破碎的农业耕作区和不同景观交替的边缘;2006—2010 年间,其他用地中的北部裸土地经过生态治理面积减少,其重心向东南移动 73.79 km;景观分割指数、香农多样性、香农均匀性等呈减小趋势,尚未形成优势景观,景观破碎度加剧;通过景观格局驱动力分析发现,景观变化密集度与 NDVI 具有相关性。

关键词: 包头市; 景观格局; 重心转移; 景观指数; 驱动力

中图分类号: P9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)08-0192-08

Temporal and Spatial Evolution of Landscape Pattern in Baotou City

WANG Ge¹ YU Qiang¹ LIU Xiaoxi² YANG Lan¹ LIU Jianhua¹ YUE Depeng¹

(1. Beijing Key Laboratory of Precision Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. School of Foreign Languages, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Taking Baotou City of Inner Mongolia as a research area, the remote sensing images of the same month in 2006, 2010 and 2016 were selected. Combined with the land use data of Baotou City, the landscape types of Baotou City were divided into six categories, namely, forest land, grassland, water body, cultivated land, construction land and unused land. And the analysis of landscape pattern dynamics change, transfer network, landscape change spatial aggregation characteristics, center of gravity transfer, landscape pattern index change and landscape pattern evolution driving force were analyzed. The results showed that the characteristics of the urban landscape had undergone profound changes during the decade of 2006—2016. In 2006—2010, the rate of reduction of unused land was as high as 19.48%, and the growth rate of construction land for ten years was increased from 1.3% to 2.76%. In 2010—2016, totally 15.19% of the cultivated land was converted into grassland landscape, and 3.79% was converted into construction land. In the past ten years, landscape changes were distributed in Baotou City. The landscape changes were mainly distributed in the agricultural farming areas where the cultivated land was densely covered with grassland and the interlaced edges of different landscapes. In 2006—2010, in the unutilized land, the bare land in the north was ecologically treated, the area was reduced, and the center of gravity was moved 73.79 km to the southeast. The landscape segmentation index, the aroma diversity, the fragrance uniformity, etc. were decreased, and the dominant landscape was not yet formed, and the landscape fragmentation was intensified. Through the analysis of landscape pattern driving force, it was found that the intensity of landscape change was related to NDVI.

Key words: Baotou City; landscape pattern; center of gravity transfer; landscape index; driving force

收稿日期: 2019-01-20 修回日期: 2019-02-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371189)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD16B00)

作者简介: 王戈(1995—),男,博士生,主要从事 3S 技术在生态环境中的应用研究,E-mail: 18734243466@163.com

通信作者: 岳德鹏(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事景观生态学和土地评价研究,E-mail: yuedepeng@126.com

0 引言

土地利用/覆被变化 (LUCC) 是国际地圈生物圈计划 (IGBP) 和全球土地计划 (GLP) 的重点交叉学科^[1], 将土地利用/覆被变化与生态环境和自然资源系统相结合, 一直是全球变化研究的重要领域之一。随着经济建设的发展, 城市土地利用发生着结构性的变化。城市化进程不断推进, 在一定程度上加速影响区域景观格局的演化, 进而影响区域生态安全, 景观格局演化过程成为国内外研究的热点问题^[2]。

从景观格局的角度分析和研究城市土地利用演变规律是一个新的视角。国内外学者针对景观格局演化开展了大量的研究, 大致有 4 个研究领域: 景观格局空间的定量化量测、景观格局变化的驱动力、不同景观类型扩张的模拟、景观指数和元胞自动机的模拟^[3]。运用多时间序列遥感影像研究景观格局演变成为热点^[4]。黄聚聪等^[5]用景观格局指数分析厦门城市热岛景观格局随城市化进程演变的趋势。范强等^[6]基于 RS、GIS 对山东省南四湖 1982—2012 年间的湿地景观格局与变化特征进行分析。衣华鹏等^[7]分析了烟台市沿海土地利用景观格局演变特征。

包头市地处内陆, 为典型的温带干旱、半干旱大陆性气候, 冬季寒冷干燥、夏季炎热多雨^[8], 地貌起伏, 生态环境较为脆弱, 面临较高的水土流失与土地沙漠化、荒漠化风险。近 10 年来, 经济建设与城市化进程导致包头市草地、林地、湿地等生态用地遭到占用与破坏, 生态风险有所升高^[9]。鉴于此, 本文以包头市全域为对象, 在遥感和 GIS 技术的支持下, 利用 2006、2010、2016 年相同月份的 3 期遥感影像, 提取 6 种不同用地类型景观及其空间分布数据, 运用景观格局变化动态度、景观格局转移矩阵、景观格局变化空间集聚、景观格局重心转移、景观格局指数, 分析包头市景观时空演变特征和景观格局演变驱动力。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

包头市位于内蒙古自治区西部, 东经 109°13′ ~ 111°26′, 北纬 40°13′ ~ 42°44′, 面积 27 768 km², 如图 1 所示。包头市深处内陆, 气候为典型的温带干旱、半干旱大陆性气候, 冬季寒冷干燥、夏季炎热多雨^[10], 年平均气温 2.0 ~ 7.7℃, 年均降水量 175 ~ 400 mm, 年均蒸发量为 2 100 ~ 2 700 mm。包头市可利用地表水总量为 9 × 10⁸ m³, 地下水补给量为

8.6 × 10⁹ m³。黄河流经包头境内 214 km, 水面宽 130 ~ 458 m, 最大流量 6 400 m³/s, 年平均径流量为 2.60 × 10¹¹ m³, 是包头市主要用水来源。包头市海拔 976 ~ 2 317 m, 地势中间高南北低, 北部丘陵、中部山地、南部平原分别占土地面积的 14.49%、75.51%、10%^[11]。干旱的气候条件与起伏的地貌特征使得包头市生态环境较为脆弱, 面临较高的水土流失与土地沙漠化、荒漠化风险。近年来, 包头市城市建设规模扩张迅速, 房地产开发项目、工业园区等建设项目不断涌现, 导致草地、林地、湿地等生态用地遭到占用与破坏, 生态风险有所升高。

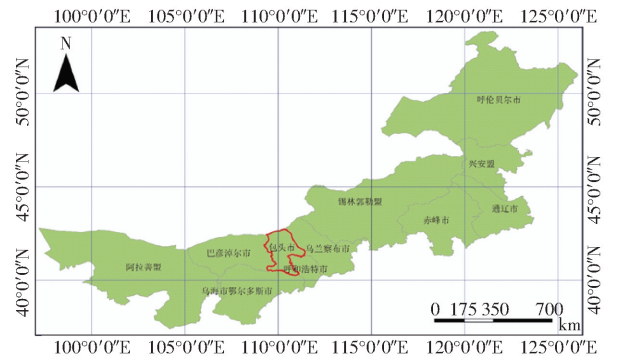


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

1.2 数据来源与处理

本文主要数据源包括包头市土地利用数据 (2006、2010、2016 年)、归一化植被指数 (Normalized difference vegetation index, NDVI)、地面数字高程 (Digital elevation model, DEM)、各区县旗人口密度及工业园区分布数据。其中土地利用数据为 Landsat-8 遥感数据解译得到, 建设用地分布数据来自《包头市土地利用总体规划》; 归一化植被指数 (NDVI)、地面高程数据 (DEM) 来自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>); 各区人口密度来自包头市统计年鉴 (<http://www.bttj.gov.cn/tjsj/ndsj/>)。根据研究需要, 从遥感影像中提取耕地、林地、草地、建设用地、水体、未利用地并通过实地验证确保其精度, 将河滩地、沙地、盐碱地、沼泽地、裸土地划分为其他用地类型。

1.3 景观格局动态度

景观格局动态度反映某个时间段内包括土地资源数量变化、景观类型的空间变化和景观类型组合方式等多个景观类型的数量变化情况^[12]。景观格局动态度是指研究区域在时间 t 内某一景观类型的变化情况, 用来评价不同景观类型在一定时期内的变化量与变化速度^[13], 公式为

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a t} \times 100\%$$

(1)

式中 K ——时间段 t 内某一类型景观动态度
 $U_a、U_b$ ——时间段 t 开始与结束时某一类型景观的面积

1.4 景观格局转移矩阵

景观类型转移矩阵用于描述不同景观类型之间的转化情况^[14]。可以反映研究初期和末期的景观类型结构,同时可以反映研究时间段内景观类型的转移情况,可以用于描述景观类型转移方向。转移矩阵中的变量为景观类型的面积,可以生成研究区景观类型概率矩阵,实现在一定情境下的景观变化模拟^[15]。其公式为

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 S ——土地面积
 n ——景观类型数量
 $i、j$ ——景观类型序号

1.5 密度分析模型

在地理空间分析中,密度分析模型可以用于计算点要素和线要素在周围邻域中的密度^[16]。核密度分析在疾病爆发区分析、区域内犯罪情况分布等研究中应用广泛^[17]。核密度分析模型构建步骤为:①对于研究区内所考虑的地理要素根据重要性设置权重,要素重要程度越高,设置的权重越大^[18]。②计算搜索半径。③进行核密度分析,以 SILVERMAN^[19]所研究的四次核函数为基础。

$$R_s = 0.9 \min \left(D_s, \sqrt{\frac{1}{\ln 2}} D_m \right) p^{-0.2} \quad (3)$$

式中 R_s ——搜索半径
 D_s ——标准距离
 D_m ——中值距离
 p ——所有要素权重相加

1.6 景观格局分布重心模型

景观格局分布重心模型在空间上可以很好地描述景观格局的分布,同时可对不同时间景观格局重心进行分析,能够有效反映研究区景观格局演变的趋势^[20]。景观格局分布重心模型构建过程^[21]为:①将一个区域分为若干小斑块,确定小斑块的重心坐标,将每个小斑块重心的横纵坐标与其面积相乘后分别累加,分别除以区域的总面积,重心坐标计算公式为

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^m C_{ti} X_i}{\sum_{i=1}^m C_{ti}} \quad (4)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^m C_{ti} Y_i}{\sum_{i=1}^m C_{ti}} \quad (5)$$

重心移动距离公式为

$$C = \sqrt{(X_{t_2} - X_{t_1})^2 + (Y_{t_2} - Y_{t_1})^2} \quad (6)$$

式中 $X_t、Y_t$ ——研究区域内某一景观类型在 t 时刻重心坐标值
 $X_{t_1}、X_{t_2}$ —— t_1 和 t_2 时刻某景观类型横坐标值
 $Y_{t_1}、Y_{t_2}$ —— t_1 和 t_2 时刻某景观类型纵坐标值
 C_{ti} ——研究区域在 t 时刻的第 i 个斑块面积
 $X_i、Y_i$ ——第 i 个研究区的坐标值
 C ——研究区该景观在时间段 $t_1 \sim t_2$ 内重心移动的距离
 m ——斑块数量

②根据研究区内不同景观在多时间序列的转移距离和方向,计算重心转移速度。

1.7 景观格局指数

为了全面揭示包头市不同时期景观格局特征变化,从斑块特征、空间邻接度、聚散性等多个方面,分别在景观水平和类型水平上选取景观指数,对包头市景观空间格局、形状特征、聚集程度等进行分析^[22]。其中景观水平上选取 6 个指数,分别为: CONTAG、IJI、DIVISION、SHDI、SHEI、AI。类型水平上选取 8 个指数,分别为 PD、LSI、IJI、COHESION、DIVISION、MESH、SPLIT、AI。采用 FRAGSTATS 4.2 软件进行计算。

2 结果与分析

2.1 景观格局动态度变化分析

基于 2006、2010、2016 年的遥感影像,提取不同年份的土地利用数据。对 3 个年份的土地利用数据分别统计 6 种类型景观的面积,并计算各类景观占同期包头市总面积的百分比。从图 2 可以看出,2006—2016 年草地、耕地是包头市主要的景观类型。2006 年草地约占景观总面积的 67%,在 2006—2010 年由于包头市北部裸地变为牧草地,导致草地景观到 2010 年增长至 73%。在 2010—2016 年,草地景观类型比例变化不明显。在 2010—2016 年耕地景观类型比例降低了 1 个百分点,建设用地占总面积比例 10 年间增长约 1 个百分点。由于对未利用地的开发与利用,其他用地占总面积比例降低 5 个百分点。

通过对不同景观的变化动态度进行计算,可以直观地反映不同类型景观变化的速度^[23],动态度越大表明景观变化越剧烈(图 3)。草地和建设用地在

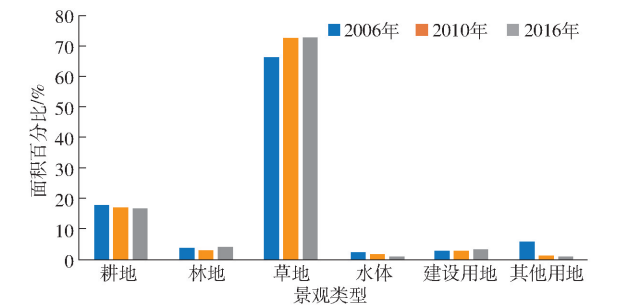


图2 包头市景观类型面积百分比

Fig. 2 Percentage of landscape type area in Baotou City

两个时间段增长趋势相同,增长速度由2006—2010年的2.5%和1.3%变化为2010—2016年的0.24%和2.76%,草地呈现增长减缓的趋势而建设用地呈现持续加速增长的趋势。耕地、水体和其他用地在两个时间段减少趋势由2006—2010年的-1.13%、-5.5%和-19.48%变化为2010—2016年的-1.13%、-12.39%、-0.87%。耕地减少速度不变,水体景观的减少速度加快。其中在2006—2010年,其他用地的减少速度较高。林地景观在两个时间段呈现不同的变化趋势,2006—2010年期间林地的减少速度为-4.23%,在2010—2016年林地景观呈现面积增长的趋势,增长速度为5.52%,景观动态变化较大。

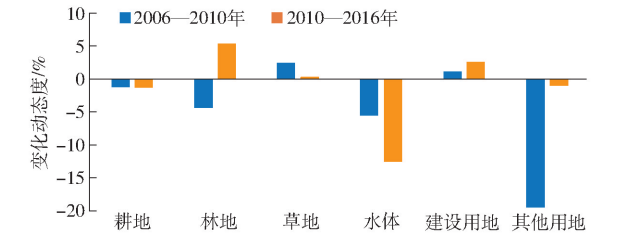
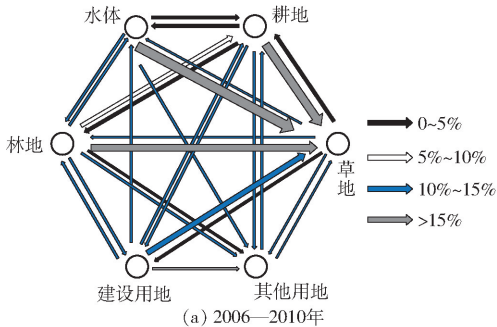


图3 包头市景观变化动态度

Fig. 3 Dynamic degree of landscape change in Baotou City

2.2 景观格局转移网络分析

基于 ArcGIS 的空间分析工具面积制表,获取两个时间段景观变化转移矩阵,为直观显示转移方向和转移量,制作景观格局转移网络图(图4)。在2006—2016年期间,包头市6种类型景观发生了明显的相互转化。



从不同的时间段来看,在2006—2010年间,其他用地转化为其他类型景观的年均变化量为368 km²,由于包头市北部大量裸土地转化为草地,导致其他用地转化为草地景观的转移率为76%。耕地转化为其他类型景观的年均变化量为269 km²,转化为草原景观最多,为15.19%,转化为建设用地为3.79%。转化为草地、水体、其他用地较少,分别为1.2%、0.9%、0.64%。草地景观转化为其他类型景观的年均变化量为262 km²,其中转化为耕地的面积最多,转移率为3.09%。林地景观转化为其他景观类型的年均变化量为134 km²,转化为耕地的百分比比较高,达到9.52%。水体景观和建设用地的年均转化量不高,分别为96 km²和74 km²。

在2010—2016年间,耕地与草地景观的年均转化量较高,分别为346 km²和396 km²。耕地转化为草地景观的转化率较高,为30.87%,转化为林地、水体、建设用地和其他用地的转移率分别为5.61%、0.84%、6.8%、1.27%。林地、水体、其他用地的年均转化量不高,分别为94、82、53 km²。其他用地在这一时期减少速度不高,转化为耕地和草地的年均量较大,为28.47%和49.86%。表明随着人口增长和生态环境的压力,对于其他用地的整理和治理成为新增草地和耕地的主要途径^[24]。

2.3 景观格局变化空间集聚特征分析

2006—2016年间,景观变化在包头市呈现点状分布,主要分布在耕地密布草地破碎的农业耕作区和不同景观交替的边缘(图5)。随着经济建设与城市化进程加速,居民聚集点的景观变化较明显。而不同类型的景观演变在时空上也有不同的特征,在2006—2010年间,景观类型转移密度最大值为15.4036,变化的区域集中在乌克忽洞乡、下湿壕乡、土默特右旗、九原区。在2010—2016年间,景观类型转移密度最大值为33.7908,与2006—2010年相比,景观变化更为明显,景观格局变化空间上更为聚集。变化的区域主要集中在五当召镇、将军尧乡、三道河乡。包头市中部与东南部景观变化密集,反

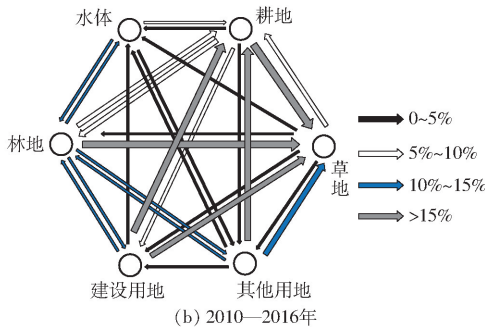


图4 包头市景观格局转移网络

Fig. 4 Landscape pattern transfer network in Baotou City

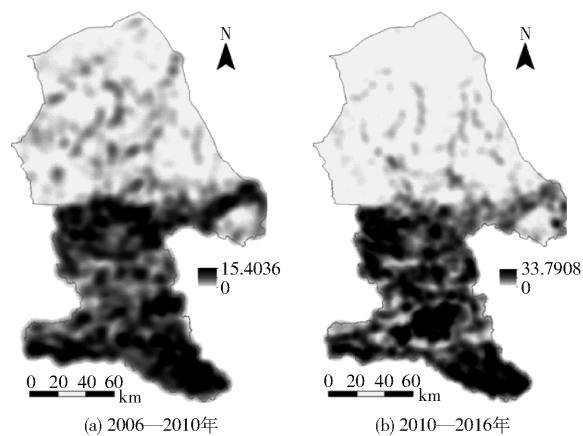


图 5 包头市景观类型转移密度示意图

Fig. 5 Schematics of landscape type transfer density in Baotou City

映了农田与建设用地的扩张对于景观格局的影响。

2.4 景观格局重心转移变化分析

基于 ArcGIS 分别计算 2006 年、2010 年和 2016

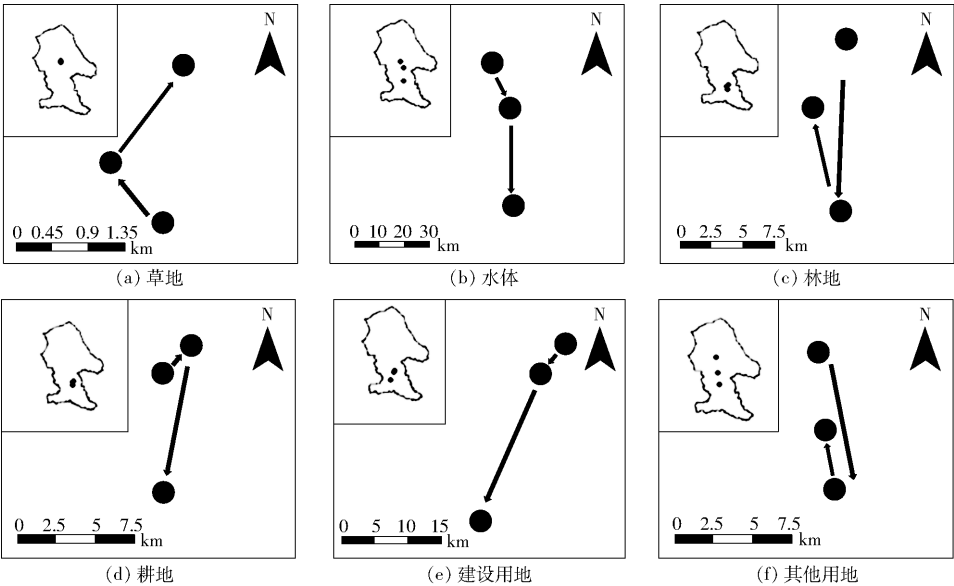


图 6 景观类型重心转移示意图

Fig. 6 Schematics of gravity shift of landscape type

南移动 73. 79 km。在 2010—2016 年间,对南部其他用地中的沙地与裸土地进行整理与治理^[25],其他用地重心向西北移动 31. 37 km。

水体景观重心在两个时期持续向南移动,表明包头市南部水土保持、引黄蓄水工程取得成效。建设用地的重心持续向西南移动,移动速度达到 4. 24 km/a,表明包头市西南部城市化进程不断推进。耕地景观类型重心在 2006—2010 年以 0. 63 km/a 的速度向东北移动,反映为在西河乡、乌兰忽洞乡、希拉穆仁镇等地耕地景观类型的扩张。林地景观类型在 2006—2010 年由于大庙乡、银号乡、下湿壕乡等地生态状况不断好转,林地景观面积扩大,导致重心以 3. 70 km/a 的速度向东南移动了

年的重心坐标并计算相邻年份重心间的距离,根据转移距离和方向得出景观类型重心转移速度与方向(表 1),各类景观类型重心转移示意图如图 6 所示。

表 1 景观类型转移方向与距离

Tab. 1 Landscape type transfer direction and distance

景观类型	2006—2010 年			2010—2016 年		
	方向	转移距离/km	速度/(km·a ⁻¹)	方向	转移距离/km	速度/(km·a ⁻¹)
草地	西北	1. 63	0. 41	东北	2. 58	0. 43
水体	东南	20. 30	5. 08	东南	42. 25	7. 04
林地	东南	14. 78	3. 70	西北	9. 17	1. 53
耕地	东北	2. 53	0. 63	西南	9. 98	1. 66
建设用地	西南	5. 86	1. 47	西南	25. 44	4. 24
其他用地	东南	73. 79	18. 45	西北	31. 37	5. 23

在 2006—2016 年间,其他用地和水体景观的迁移较为明显。在 2006—2010 年间,其他用地中的北部大面积裸土地经过生态治理,面积减少,重心向东

14. 78 km。草地景观重心在两个时间段均向北移动,分别以 0. 41、0. 43 km/a 的速度移动了 1. 63、2. 58 km。

2.5 景观格局指数变化分析

基于 fragstats 专业软件,将 2006、2010、2016 年 3 期的景观类型分布图转化为 geo Raster 格式,在景观和类型尺度上进行景观格局指数的计算,如表 2、3 所示。

2006—2010 年在景观水平上蔓延度指数增长至 72. 14%,景观散布与并列指数变化幅度较大,降低至 71. 31%,景观分割指数、香农多样性、香农均匀性均略微减小,聚集度指数略微增加。在 2010—2016 年间,在景观水平上蔓延度指数呈减小趋势,

降低至 71.29%。散布与并列指数降至 66.38%。景观分割指数、香农多样性、香农均匀性、聚集指数

均呈减小趋势,表明不同景观类型之间的均衡度增加,尚未形成优势景观,景观破碎度进一步加剧。

表 2 景观水平景观格局指数

Tab.2 Landscape horizontal landscape pattern index

年份	蔓延度指数 (CONTAG)/%	散布与并列指数 (IJI)/%	景观分割指数 (DIVISION)	香农多样性 (SHDI)	香农均匀性 (SHEI)	聚集指数 (AI)/%
2006	66.44	75.31	0.74	1.07	0.60	97.79
2010	72.14	71.31	0.69	0.89	0.49	98.04
2016	71.29	66.38	0.64	0.85	0.48	96.53

表 3 类型水平景观格局指数

Tab.3 Type horizontal landscape pattern index

年份	景观类型	斑块密度 (PD)/ (个·hm ⁻²)	形状指数 (LSI)/ %	散布与 并列指数 (IJI)/%	板块凝聚度指数 (COHESION)/ %	景观分割指数 (DIVISION)	有效网格面积 (MESH)/hm ²	分离度指数 (SPLIT)/ %	聚集指数 (AI)/%
2006	草地	0.06	59.68	87.88	99.96	0.74	705 670.60	3.89	98.69
	水体	0.03	56.33	71.52	98.45	1	23.45	117 084.40	93.67
	其他用地	0.03	44.41	64.18	98.69	1	82.06	33 451.49	96.81
	建设用地	0.09	65.44	65.61	95.78	1	7.08	387 471.90	93.11
	林地	0.05	58.69	51.40	98.63	1	84.73	32 399.09	94.77
	耕地	0.04	77.32	63.32	99.84	0.99	9 140.26	300.34	96.75
2010	草地	0.05	50.71	81.42	99.95	0.69	854 268.80	3.21	98.95
	水体	0.02	64.70	64.63	98.73	1	20.67	132 829	91.74
	其他用地	0.01	36.57	79.96	97.86	1	4.89	561 360	94.45
	建设用地	0.08	65.69	63.83	97.47	1	32.59	84 238.09	93.26
	林地	0.03	52.29	49.23	99.19	0.99	283.61	9 679.86	94.89
	耕地	0.04	77.62	61.13	99.78	0.99	5 823.84	471.39	96.66
2016	草地	0.53	87.35	71.90	99.96	0.64	997 145.40	2.77	98.19
	水体	0.05	51.65	74.30	96.63	1	3.07	898 856.90	87.42
	其他用地	0.16	81.92	68.03	97.02	1	5.09	541 902.80	86.71
	建设用地	0.45	120.74	64.93	99.50	0.99	888.71	3 102.78	88.52
	林地	0.25	94.78	55.23	98.78	0.99	280.23	9 840.18	91.97
	耕地	0.37	156.82	60.00	99.68	0.99	3 686.06	748.08	92.95

在类型水平上,草地的斑块密度呈先下降后增大趋势,草地景观的破碎度加剧导致其形状指数增加至 87.35%,散布与并列指数降低至 71.90%,有效网格面积增加,分离度指数减小至 2.77%。水体景观在 2006—2010 年的形状指数增加幅度明显,增长至 64.70%,由于包头市地处内陆,气候干燥,水体景观破碎导致分离度指数较高。2010—2016 年,建设用地的形状指数增加至 120.74%,散布与并列指数呈减小趋势,有效网格面积增长至 888.71%,分离度指数降低。2006—2010 年,林地斑块密度呈现降低的趋势,分离度指数减小至 9 679.86%,2010—2016 年形状指数增加。耕地的斑块密度在两个时期呈现略微增大趋势,形状指数在两个时期均增加,有效网格面积减少至 3 686.06 hm²,分离度指数增加至 748.08%。

2.6 景观格局演变驱动力分析

基于 ArcGIS 对包头市 2006—2010 年和 2010—

2016 年进行景观变化核密度分析,核密度可以直观地反映景观变化的密集程度,统计每个像元(尺寸为 1 000 m × 1 000 m)的核密度与 2006—2016 年多年平均 NDVI 值、MNDWI 值和夜间灯光数据值,基于 Matlab 进行 Pearson 相关性分析,结果如图 7 所示。

景观变化密集度与 NDVI 在 2006—2010 年的相关性为 0.38,2010—2016 年的相关性为 0.426 7,植被覆盖度高的区域多为耕地,耕地与生态景观交错的区域多为景观变化密集的区域。景观变化密集度与 MNDWI,在 2006—2010 年的相关性为 -0.30,在 2010—2016 年的相关性为 -0.326 1,水体景观所占比例最小,对于景观变化的影响较小。景观变化密集度与夜间灯光数据值的相关性较小,在 2006—2010 年的相关性为 0.11,在 2010—2016 年的相关性为 0.069 5,夜间灯光数据值高的区域多为建设用地,随着城市化进程的推进,建设用地

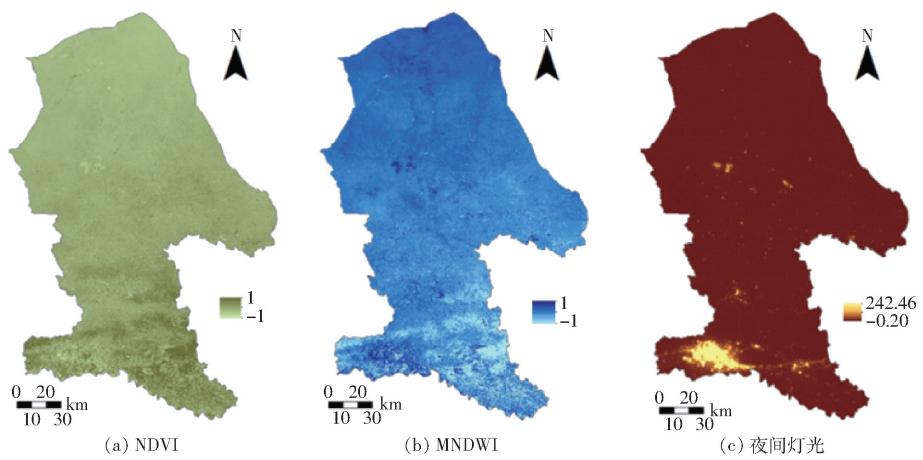


图 7 2006—2016 年包头市 NDVI、MNDWI、夜间灯光值平均分布图

Fig. 7 Distributions of NDVI, MNDWI and average of nighttime lights in Baotou City in 2006—2016

的扩张导致与其交错的区域为景观变化密集的区域。

3 结论

(1)以包头市为研究区,将景观类型分为草地、林地、耕地、水体、建设用地、其他用地共 6 种景观类型。在 2006—2016 年 10 年间市域景观特征发生了较大变化,2006—2010 年其他用地景观类型的减少速度高达 19.48%,10 年间建设用地的增加速度从 1.3% 增至 2.76%,城市化进程加速导致生态景观破碎。在 2010—2016 年有 15.19% 的耕地转化为草原景观,3.79% 的耕地转化为建设用地。

(2)10 年间景观变化在包头市呈现点状分布,主要分布在耕地密布、草地破碎的农业耕作区和不同景观交替的边缘。2006—2010 年间,其他用地中

的北部裸土地经过生态治理面积减少,其他用地重心向东南移动 73.79 km,从景观转移反映出包头市生态建设成效显著。

(3)在景观水平上,10 年间蔓延度指数增加了 4.85 个百分点,散布与并列指数、景观分割指数、香农多样性、香农均匀性、聚集指数分别减小了 8.93 个百分点、0.1、0.22、0.12 和 1.26 个百分点,尚未形成优势景观,景观破碎度加剧。在类型水平上,2006—2016 年草地景观的散布与并列指数、分离度指数分别减少了 15.98、1.12 个百分点;建设用地的形状指数增长了 55.3 个百分点、聚集指数降低了 4.59 个百分点;耕地的形状指数和分离度指数分别增加了 79.5、447.74 个百分点。结合景观格局指数分析结果并进行驱动力分析,发现景观变化密集度与 NDVI 具有相关性。

参 考 文 献

[1] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 土地利用/土地覆被变化 (LUCC) 模型研究进展[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 456–468.
TANG Huajun, WU Wenbin, YANG Peng, et al. Recent progresses of land use/land cover change (LUCC) models[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 456–468. (in Chinese)

[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[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 264–270.
ZHANG Qiuju, FU Bojie, CHEN Liding. Several problems about landscape pattern change research [J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(3): 264–270. (in Chinese)

[3] 张明. 榆林地区脆弱生态环境的景观格局与演化研究[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 30–36.
ZHANG Ming. A study on the landscape patterns and differentiation of fragile environment in Yulin prefecture [J]. Geographical Research, 2000, 19(1): 30–36. (in Chinese)

[4] 宫兆宁, 张翼然, 宫辉力, 等. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 77–88.
GONG Zhaoning, ZHANG Yiran, GONG Huili, et al. Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(1): 77–88. (in Chinese)

[5] 黄聚聪, 赵小锋, 唐立娜, 等. 城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 622–631.
HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al. Spatial and temporal characteristics of landscape pattern evolution of urban heat island in the process of urbanization: a case study of Xiamen [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 622–631. (in Chinese)

[6] 范强, 杜婷, 杨俊, 等. 1982–2012 年南四湖湿地景观格局演变分析[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 865–873.
FAN Qiang, DU Ting, YANG Jun, et al. Landscape pattern evolution analysis of Nansi Lake wetland from 1982 to 2012 [J]. Resources Science, 2014, 36(4): 865–873. (in Chinese)

- [7] 衣华鹏,刘贤赵,张鹏宴.烟台市土地利用变化及其驱动力分析[J].山东农业大学学报(自然科学版),2005,36(3):407-410.
YI Huapeng, LIU Xianzhao, ZHANG Pengyan. Analysis of land use change and its driving forces in Yantai [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2005, 36(3): 407-410. (in Chinese)
- [8] 韩俊丽,段文阁,李百岁.基于SD模型的干旱区城市水资源承载力模拟与预测——以包头市为例[J].干旱区资源与环境,2005,19(4):188-191.
- [9] 薛建春,白中科.城市化进程中土地可持续利用评价指标体系研究——以包头市为例[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):10-14.
- [10] 袁国波,王建军,张凤梅.包头地区气候特征简析[J].内蒙古气象,2007(4):21-23.
YUAN Guobo, WANG Jianjun, ZHANG Fengmei. A brief analysis of climate characteristics in Baotou [J]. Meteorology in Inner Mongolia, 2007(4): 21-23. (in Chinese)
- [11] 韩轶,李吉跃,高润宏,等.包头市城市绿地现状评价[J].北京林业大学学报,2005,27(1):64-69.
HAN Yi, LI Jiyue, GAO Runhong, et al. Evaluation of urban green space in Baotou City [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(1): 64-69. (in Chinese)
- [12] KINDU M, SCHNEIDER T, DLLERER M, et al. Scenario modelling of land use/land cover changes in Munessa-Shashemene landscape of the Ethiopian highlands[J]. Science of the Total Environment, 2018, 622-623:534-546.
- [13] 蒋勇军,袁道先,况明生,等.典型岩溶流域景观格局动态变化——以云南小江流域为例[J].生态学报,2004,24(12):2927-2931.
JIANG Yongjun, YUAN Daoxian, KUANG Mingsheng, et al. Dynamic change analysis of landscape pattern in a typical Karst watershed: a case study of Xiaojiang watershed of Yunnan Province, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2927-2931. (in Chinese)
- [14] 曾辉,高凌云,夏洁.基于修正的转移概率率方法进行城市景观动态研究——以南昌市区为例[J].生态学报,2003,23(11):2201-2209.
ZENG Hui, GAO Lingyun, XIA Jie. Dynamic analysis of urban landscape using a modified conversion matrix method: a case study in Nanchang City [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2201-2209. (in Chinese)
- [15] 王祺,蒙古军,毛熙彦.基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟与景观格局变化[J].地理研究,2014,33(6):1073-1084.
WANG Qi, MENG Jijun, MAO Xiyan. Scenario simulation and landscape pattern assessment of land use change based on neighborhood canalysis and cuto-logistic model: a case study of lijiang Rever Basin [J]. Geographical Research, 2014, 33(6): 1073-1084. (in Chinese)
- [16] 吕安民,李成名,林宗坚,等.人口密度的空间连续分布模型[J].测绘学报,2003,32(4):344-348.
LÜ Anmin, LI Chengming, LIN Zongjian, et al. Spatial continuous distribution model of population density [J]. Journal of Surveying and Mapping, 2003, 32(4): 344-348. (in Chinese)
- [17] POWELL S R A. An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis[J]. Ecology, 1996, 77(7):2075-2085.
- [18] LIU Qingchun, WANG Zheng. Research on geographical elements of economic difference in China [J]. Geographical Research, 2009, 28(2):430-440.
- [19] SILVERMAN B W. Spline smoothing: the equivalent variable kernel method[J]. The Annals of Statistics, 1984, 12(3):898-916.
- [20] 张启斌,岳德鹏,于强,等.林业生态工程建设对磴口县景观格局演变及重心迁移的影响[J].浙江农业学报,2017,29(2):261-269.
ZHANG Qibin, YUE Depeng, YU Qiang, et al. The impact of forestry ecological engineering construction on landscape pattern evolution and center of gravity migration in Dengkou County [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2017, 29(2):261-269. (in Chinese)
- [21] JAKLI G, KOZAK J, KRAJNC M, et al. Barycentric coordinates for Lagrange interpolation over lattices on a simplex[J]. Numerical Algorithms, 2008, 48(1-3):93-104.
- [22] 陈文波,肖笃宁,李秀珍.景观指数分类、应用及构建研究[J].应用生态学报,2002,13(1):121-125.
CHEN Wenbo, XIAO Duning, LI Xiuzhen. Classification, application and construction of landscape index [J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1): 121-125. (in Chinese)
- [23] 蔡博峰,于嵘.景观生态学中的尺度分析方法[J].生态学报,2008,28(5):2279-2287.
CAI Bofeng, YU Rong. Comparison on spatial scale analysis methods in landscape ecology [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2279-2287. (in Chinese)
- [24] 罗明,张惠远.土地整理及其生态环境影响综述[J].资源科学,2002,24(2):60-63.
LUO Ming, ZHANG Huiyuan. Land consolidation and its ecological and environment impacts [J]. Resources Science, 2002, 24(2): 60-63. (in Chinese)
- [25] 张晓光,杜家喻.包头市矿山生态环境保护与恢复治理措施的探讨[J].内蒙古科技与经济,2006(3):20-21.
ZHANG Xiaoguang, DU Jiayu. Discussion on measures of mine ecological environment protection and restoration in Baotou City [J]. Inner Mongolia Science and Technology and Economy, 2006(3): 20-21. (in Chinese)