

基于移动窗口法的库尔勒市土地利用景观格局特征分析

买迪娜·艾尼瓦尔¹, 阿里木江·卡斯木^{1,2,3*}

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆师范大学 丝绸之路经济带城镇化发展研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830054; 3. 干旱区环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要:绿洲城市是干旱区人类生产和生活的中心,作为绿洲城市,库尔勒市人地关系同样敏感。了解土地利用景观格局的时空演变对于改善该区域的人地关系与生态安全、促进高质量发展具有重要意义。运用景观生态学原理,根据各类景观参数从景观水平与类别上分析库尔勒市土地利用景观格局并用地理探测器模型来分析驱动力。结果表明,1)未利用地依旧为景观的基质。2)景观类型的转移特征在景观面积与类型间的转换上有较显著的时空变化。3)PD、NP、DIV、SHDI 和 SHEI 逐渐增加;CONTAG 减少,城郊的破碎化程度均呈持续增大趋势,人类活动影响不断增强,城市化水平提高,库尔勒市处于高速发展时期。4)影响库尔勒市土地覆被/土地利用时空变化分异的主导影响因子是归一化植被指数(NDVI),其贡献率最高;在交互因子探测结果中,NDVI 与降水量与气温共同作用时,呈现双因子增强,解释力最大。气温年平均变化与降水量在总体上处于波动上升的阶段,这对提升绿地林地面积以及进行进一步的生态修复都产生了积极的影响。景观破碎化格局的研究利于领会大城市快速成长阶段的景观格局变化规律,为城市生境保护,生态功能修复提供基础。

关键词:移动窗口法;地理探测器;景观格局;土地利用;库尔勒市

中图分类号:S731.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2024)02-0247-09

Characteristics of Landscape Pattern of Land Use in Korla City Based on Moving Window Method

MAIDINA Ainiwaer¹, ALIMUJIANG Kasimu^{1,2,3*}

(1. Institute of Geographical Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, Xinjiang, China;

2. Center of Silk Road Economic Belt Urbanization Development Study, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, Xinjiang, China;

3. Xinjiang Key Laboratory of Environment and Resources for Arid Region, Urumqi 830054, Xinjiang, China)

Abstract: The oasis city is the center of human production and life in the arid area. As an oasis city, the man-land relationship in Korla City is equally sensitive. Understanding the spatiotemporal evolution of land use landscape pattern is of great significance for improving the man-land relationship and ecological security in the region as well as promoting high-quality development. This paper used the principles of landscape ecology to analyze the land use landscape pattern of Korla City from the perspective of landscape level and category according to various landscape parameters. The geographic detector was adopted to analyze the driving forces. The results showed that 1) unused land was still the main body of the landscape. 2) The transfer characteristics of landscape types were mainly reflected in the conversion between landscape area and types, and there were significant spatiotemporal changes. 3) Patch density (PD), number of patches (NP), Shannon's division index (SHDI) and Shannon's evenness index (SHEI) gradually increased;

收稿日期:2023-01-19 修回日期:2023-05-09

基金项目:自治区创新环境(人才、基地)建设专项项目(2022D04007)。

第一作者:买迪娜·艾尼瓦尔。研究方向:城市地理与规划。E-mail:medinaanwar@stu.xjnu.edu.cn

*通信作者:阿里木江·卡斯木,教授,博士。研究方向:资源环境遥感。E-mail:alimkasim@xjnu.edu.cn

Contagion index (CONTAG) decreased, division index (DIV) increased, the degree of fragmentation between urban and suburban areas was increasing, the impact of human activities continued to increase, the level of urbanization increased, and Korla was in a period of rapid development. 4) Normalized difference vegetation index (NDVI) was the dominant factor influencing the spatiotemporal variations, manifested by its highest contribution rate. According to the interactive factor detection results, when NDVI reacted with precipitation and temperature, it had stronger explanatory power. The annual average temperature change and precipitation were generally in a fluctuating and rising stage. The study of landscape fragmentation pattern is conducive to understanding the changing law of landscape pattern in the rapid growth stage of large cities, and provides a basis for urban habitat protection and ecological function restoration.

Key words: moving window method; geographic detector; landscape pattern; land use; Korla City

在全球大部分区域,促成景观改变的主要力量源于人类活动^[1]。随着城市化进程的持续发展,城市的无序化发展成为了显著的现象,这使得景观呈现出“高度破碎化”“景观异质性”的特征^[2]。景观破碎化的产生是由于地表景观受到自然或人文因素的干扰和影响^[3],从单一转为复杂的过程。景观异质性是指景观内部的资源或特征在时间和空间上发生不同程度的变化。其主要原因是环境因素在时间和空间上的差异,自然和人为因素的影响在时间和空间上的不统一。这对于研究一个城市景观结构、自然生态过程^[4]和社会经济活动^[5]之间的关系具有社会意义。快速的城市化导致城市人口比例增加,同时引起城市景观格局、产业结构及用地规模的变化^[6]。在过去的 20 a,我国城市土地利用景观格局研究得到了快速的发展,各类技术和预测模型得到了很大程度上的利用,相关研究如下:一是景观格局演变及模拟研究,采用土地利用格局情景模拟、CA-Markov 模型等对新疆呼图壁县、白洋淀流域等区域进行研究,探讨景观格局演变及模拟预测^[7-8];二是景观格局的尺度效应,采用标准差椭圆法、通过建立梯度带等对长沙、厦门市集美区等区域的景观格局的时空演化进行研究^[9-10];三是景观格局的驱动因素,利用地理探测器等对新疆乌鲁木齐市、湖南省

洞庭湖地区等区域景观格局演化特征及驱动因素进行研究^[11-12];四是景观格局的优化研究,借助边界变化指数,构建生态廊道,对贵州省思南县、涪江流域等区域进行研究^[13-14];五是景观格局与生态风险相结合,运用移动窗口法、网格法等,通过构建景观生态风险指数对沈阳周边乡村、宁江流域等区域景观生态风险进行分析并优化^[15-16]。此前关于库尔勒市的城市扩展特征,土地利用模拟等研究正在慢慢发展^[17],但是基于景观生态的研究较少。因此,本研究利用不同时期土地利用数据以及经济数据等,通过 GIS 技术与景观生态学的理论与方法,对库尔勒市的景观格局变化及其驱动力进行研究,分析变化的过程与特点,以改善库尔勒市生态安全与人地关系。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

库尔勒建市于 1979 年 9 月,是巴州首府、南北疆重要的交通枢纽和物资集散地,是古丝绸之路中道的咽喉之地和西域文化的起源地之一。位于天山南麓、西南方向是塔里木盆地,东北方向则是博斯腾湖(85°14'10"—86°34'21"E,41°10'48"—42°21'36"N)(图1),地势由北向南依次降低,山势自西向东逐渐

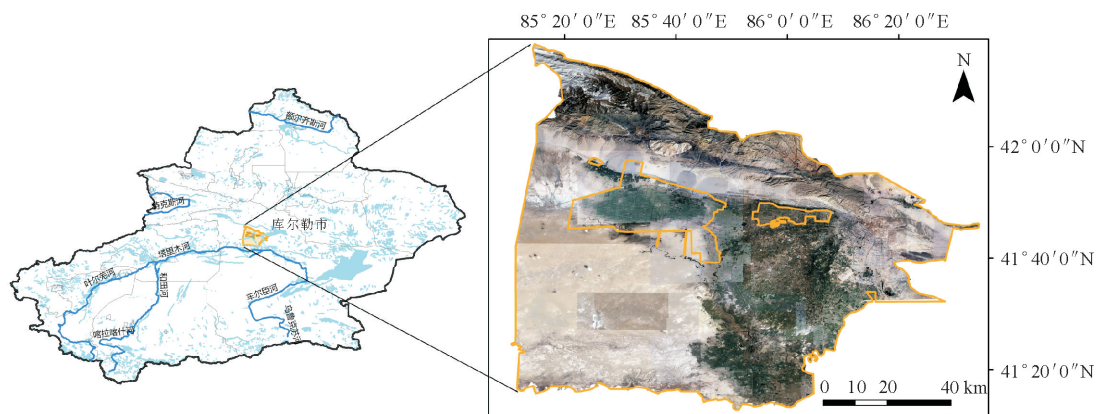


图1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

变低,扇形绿洲带便是通过对东南方向的倾斜而形成。南边沙漠公路穿过世界第二大沙漠——塔克拉玛干沙漠。属暖温带大陆性干旱气候,全年日照数约 2 990 h,年平均气温约为 11.4℃,年最低气温为一 28℃,年平均降水量约 58.6 mm,年最大蒸发为 2 788.2 mm。

1.2 数据来源与预处理

遥感数据来自地理空间数据云(<http://www.Gscloud.cn/>)。土地利用数据(2000年、2010年、2020年)及铁路、公路、行政区划等矢量数据来自中国资源与环境数据中(中心(<http://www.Resdc.com/>))。气温降水量数据来自库尔勒市统计年鉴(<https://www.tongjinianjian.com/110883.html>)。本研究将研究区土地依次分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 种类型。对数据进行栅格化处理,转为同一投影的栅格图像,空间坐标系为 Krasovsky_1940_Albers,像素单元大小为 30 m×30 m。

1.3 研究方法

(1)土地利用转移矩阵。用于描述研究初期和末期区域土地利用类型间的转化情况,从而揭示土地利用类型之间的转移方向和性质^[18],本研究选取土地利用数量变化和转移矩阵进行测度。公式如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: S 为各地类面积, n 代表土地利用类型的数量, S_{ij} 表示土地利用类型 i 转变为土地利用类型 j 的面积。

(2)土地利用动态度模型^[19]。在分析研究区域

土地利用演变最为常用的成熟方法是土地利用动态度,可以进行定量分析来计算特定土地利用类型在某一时间间隔内的面积净变化量。对土地资源变化速率有着清晰的表达,公式如下

$$D = \frac{s_2 - s_1}{s_1} \times \frac{1}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式中:动态度(D)是指研究期跨度(N)内土地利用的变化程度。初始时刻的土地利用类型面积为 S_1 ,研究结束时刻的土地利用类型面积为 S_2 。

(3)景观格局指数。在阅读大量国内外学者文章的基础上,在景观水平上选取斑块个数、景观分裂指数、香农均匀度指数、香农多样性指数、蔓延度指数;在类别水平上选取斑块密度来反映景观破碎化过程^[20],并利用 Fragstats4.2.1 景观分析软件在 Class metrics 与 Landscape metrics 模块中计算出研究区景观格局指数。本文选用的景观指数公式以及意义如表 1 所示。

(4)移动窗口法^[21]。通过 Fragstats 4.2.1 景观分析软件中的 Moving window 模块,在一个指定大小的窗口内,选择一种或多种特征进行统计,并生成相应的景观指数的新栅格图像,从而利用城市景观格局的空间动态变化来分析土地利用变化状态。

(5)地理探测器。地理探测器^[22]具有分析探测空间特异性的优势,是分析驱动力的统计学方法,快速并高效地处理各个变量因子间的分异性。公式如下

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式中: L 为影响因子的类型数量; N_h 与 N 代表类型量 h 和研究区域的样本数; σ^2 代表影响因子的离散方差; σ_h^2 为第 h 层的样本方差; q 为一因子对土地利用类型的探测力值,越大影响越大,反之则越小。

表 1 景观指数及其生态意义

Table 1 Landscape Index and Its Ecological Significance

景观指数	生态意义
斑块个数(Number of Patches)	值越大,破碎度越高,与破碎度呈正相关;反映景观异质性
斑块密度数(Patch Density 2020)	值越大,斑块越小,破碎化程度越高
景观分裂指数(Division Index)	值越大,景观分布越分散且复杂
香农均匀度指数(Shannon's Evenness Index)	值越小,优势度越低,景观受一种或几种斑块类型值趋近 1,说明斑块分布较均匀
香农多样性指数(Shannon's Division Index)	值越大,土地利用越丰富,破碎度越高,各类斑块在分布上呈均衡化趋势
蔓延度指数(Contagion)	值越大,某种斑块连接性良好;相反,表明景观是有多种要素的密集型格局,破碎度高

2 结果与分析

2.1 库尔勒市景观类型时空变化

通过研究库尔勒市不同土地类型的景观格局变化,对各种景观类型变化规律进行分析,并反映出库

尔勒市景观格局变化的特征与规律。综合图 2、表 2 与表 3 分析可知,2000 年库尔勒市耕地面积为 742.06 km²,占总面积的 10.29%,2020 年耕地面积增加至 1 771.48 km²,占总面积的 24.56%;2000 年库尔勒市建设用地总面积约 72.5 km²,占总面积

的 1.01%,2020 年城市建设用地面积显著增加,面积约为 245.93 km²,占比增加到 3.4%;2000 年林地总面积约为 113.63 km²,占总面积的 1.58%,到 2020 年林地面积增加至 197.33 km²,占总面积的 2.74%;2000 年研究区草地总面积约 3 254.25 km²,占总面积的 45.13%,2020 年草地面积减少至 2 218.04 km²,占比相应减少至 30.76%;2000 年库

尔勒市的水域面积约为 29.44 km²,占总面积的 1.01%,2020 年的水域面积减少至 20.5 km²,占比仅为 0.28%;2020 年未利用地面积 2 758.23 km²,占总面积的 38.25%,比 2000 年减少了约 241.40 km²,大于其他土地类型的面积,由此可见未利用地依旧为景观的基质(图 3)。

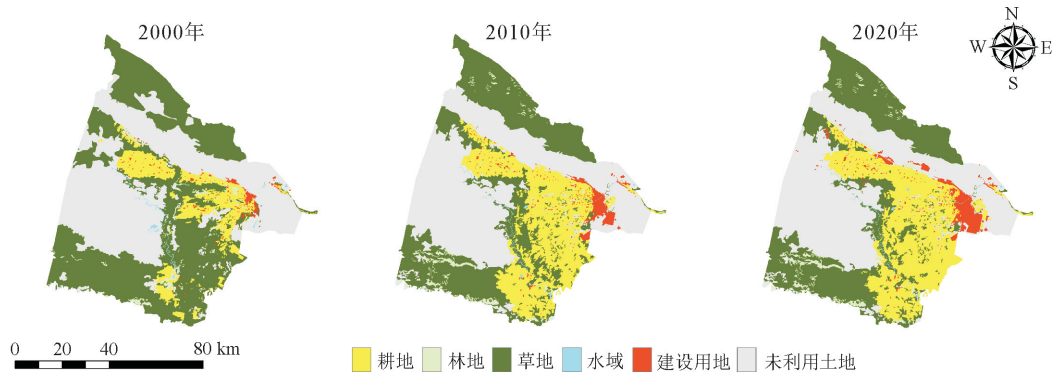


图 2 库尔勒市土地利用类型

Fig. 2 Land use types of Korla City

表 2 不同时期库尔勒市景观类型面积

Table 2 Area of landscape type of Korla in different periods

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000	742.055 8	113.631 4	3 254.247 3	29.437 1	72.495 9	2 999.632 5
2010	1 625.408 0	229.214 1	2 278.214 3	21.195 0	158.113 2	2 899.356 0
2020	1 771.476 7	197.328 3	2 218.035 3	20.500 1	245.924 7	2 758.234 9

表 3 不同时期库尔勒市土地利用类型面积占比

Table 3 The proportion of land use types in Korla City in different periods (%)

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000	10.29	1.58	41.53	0.41	1.01	41.60
2010	22.54	3.18	31.59	0.29	2.19	40.20
2020	24.56	2.74	30.76	0.28	3.41	38.25

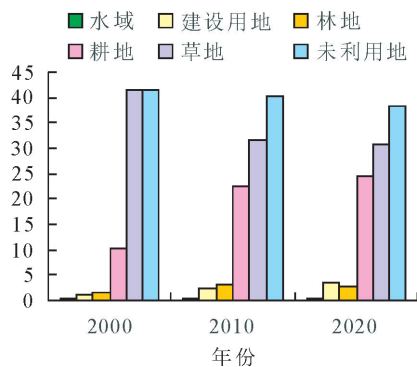


图 3 2000—2020 年库尔勒市土地利用类型占比变化

Fig. 3 Changes in the proportion of land use types in Korla City from 2000 to 2020

2.2 库尔勒市土地利用动态度

结合表 3 与表 4 可知,林地、草地、水域的面积动态度持续下降;未利用地虽减少但是动态度差别不大。建设用地在 2000—2010 年开发速度极快,综合来看 2000—2020 年趋向于高速发展;耕地、建设用地在 2000—2020 年动态度呈现持续增高趋势,林地呈现先高后低的趋势。

表 4 2000—2020 年库尔勒市各土地利用类型动态度变化

Table 4 Dynamic changes of land use types in

Korla between 2000 and 2020 (%)

土地利用类型	2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
耕地	11.9	0.9	13.9
林地	10.2	—1.4	7.4
草地	—3.0	—2.3	—3.2
水域	—2.8	—0.3	—3.0
建设用地	11.8	5.6	23.9
未利用地	—0.3	—0.5	—0.8

2.3 库尔勒市不同景观类型的转移特征

仅通过景观面积增加或减少无法直观反映各个景观之间的变化特征,本研究基于 ArcGIS 10.6 软

件,运用转移矩阵模型得到库尔勒市 2000—2020 年的景观类型转移矩阵表(表 5)。近 20 a 库尔勒市景观类型的转移特征,多发生于景观面积与类型之间的相互转换上,并且有显著的时空变化。在整个研究期间,景观类型在一定程度上都发生了转移,2000—2020 年,耕地、未利用地、草地和建设用地有着很

明显的转化,4 类景观同时发生大面积转入及转出。建设用地的增加来自未利用地和耕地的转入,58.23 km² 耕地和 102.61 km² 未利用地转入建设用地。耕地增加主要以草地和未利用地转化,分别为 893.75 km² 和 181.18 km²。未利用地总面积缩减,有 572.15 km² 的转出与 330.80 km² 的转入。

表 5 2000—2020 年库尔勒市景观类型转移矩阵

Table 5 Landscape type transition matrix of Korla from 2000 to 2020							km ²
类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计
耕地	609.649 4	38.054 1	31.238 6	1.021 7	58.232 6	3.589 3	742.055 8
林地	62.444 5	17.309 8	18.083 3	1.695 3	11.082 3	3.016 1	113.631 4
草地	893.743 9	115.483 3	1 896.584 9	7.943 8	27.782 6	312.708 9	3 254.247 3
水域	2.271 6	0	13.288 4	3.780 1	1.753 3	8.343 7	29.437 1
建设用地	22.127 0	2.152 9	0.300 1	0.312 9	44.458 9	3.143 1	72.495 0
未利用地	181.183 0	24.258 4	258.358 0	5.746 3	102.607 1	2 427.479 8	2 999.632 5
合计	1 771.476 7	197.328 3	2 218.035 3	20.500 1	245.924 7	2 758.234 9	7 211.500 0

2.4 库尔勒市景观指数变化分析

由表 6 可知,2000—2020 年库尔勒市的景观指数变化很明显。NP 从 2000 年的 530 个增至 2020 年的 772 个,斑块个数反映了整个景观的异质性,个数越多表明破碎度越高。香农多样性指数和香农均匀度指数逐渐增加,从 2000 年的 1.09 和 0.61 增高为 2020 年的 1.31 和 0.73,这表示整个研究区的景观斑块的破碎度增高,土地利用更加丰富,各景观类型处于均衡化发展状态,景观空间结构持续呈多样且匀称;斑块密度由 2000 年的 0.07 增加到 2020 的年 0.11,且蔓延度指数从 2000 年的 67.98 逐渐减少至 2020 年的 61.61;DIV 由 2000 年的 0.82 增至到 2020 年的 0.84,这表明,快速的城市化导致了建设用地的扩张,表现为对其他土地类型的侵占,如草地和耕地,这直接导致了城市景观的破碎化,使斑块更容易脱节,景观异质性地相应增加,逐渐形成了更加复杂的景观。

表 6 2000—2020 年库尔勒市景观格局指数动态变化

Table 6 Dynamic changes of landscape pattern index in Korla from 2000 to 2020						
年份	NP	SHDI	SHEI	DIV	PD	CONTAG
2000	530	1.09	0.61	0.82	0.07	67.98
2010	779	1.26	0.70	0.85	0.11	62.90
2020	772	1.31	0.73	0.84	0.11	61.61

注:NP. 斑块个数;SHDI. 香农多样性指数;SHEI. 香农均匀度指数;DIV. 景观分裂指数;PD. 斑块密度;CONTAG. 蔓延度指数。下同。

2.5 库尔勒市景观破碎化的分布特征分析

通过移动窗口法得出景观空间变化栅格图(图 4),结合表 6 综合来看,库尔勒城市景观指数具有一定的规律。在 2000 年,NP 和 PD 的高值在人类活

动影响较为明显的城市和郊区交错带出现;DIV、SHDI 和 SHEI 的高值主要出现在城市和郊区多样化的用地类型交错带,尤其是东部地区。这种趋势在城市建区中也可以观察到。到了 2010 年,NP 和 PD 的高值依然沿着城市与郊区的交错带分布。相较于 2000 年,高值分布于不同区域,2010 年的 NP 和 PD 高值分布区域缓缓外移,此过程表示建城区已向向外扩张,建设用地面积明显增加;高值的出现原因是城市东南部和北部是耕地与未利用地的主要集中区域,因此 CONTAG 指数在这些地区呈现出高值。另外,DIV、SHDI 和 SHEI 指数的高值则分布于交错带,相较于 2000 年,指数值升高,表明人类活动的影响进一步变高;NP、PD、CONTAG、DIV、SHDI 和 SHEI 指数在 2000—2010 年表现出逐步增加趋势,且高值出现于交错地带。CONTAG 值显示逐渐减少趋势,且该值出现的区域也渐渐缩小,进一步表明城市在外扩,城市边缘区域的景观异质性增大,景观破碎化程度高,人类活动的影响逐渐增强。通过分析可看出,2010 年库尔勒市城市扩张趋势明显增加,城市化水平也得到进一步提高。2020 年,NP 和 PD 高值在建城区内较为集中,表示这一区域人类活动强度增加,城区破碎度增高;CONTAG 高值仍出现在城市的东南部和北部,但范围在缩小,表明城市中未利用地和部分耕地有了进一步的开发利用,建设用地不断向外扩展。DIV、SHDI 和 SHEI 的最高价值都在城区。与 2010 年相比,幅值和数值均明显增大,景观破碎化程度和异质性继续增强。DIV、PD、NP、SHDI 和 SHEI 呈逐渐上升趋势并移向开发区,高值分布于城市内部与郊区的交错带;CONTAG 指数的范围和极端值较低,表明

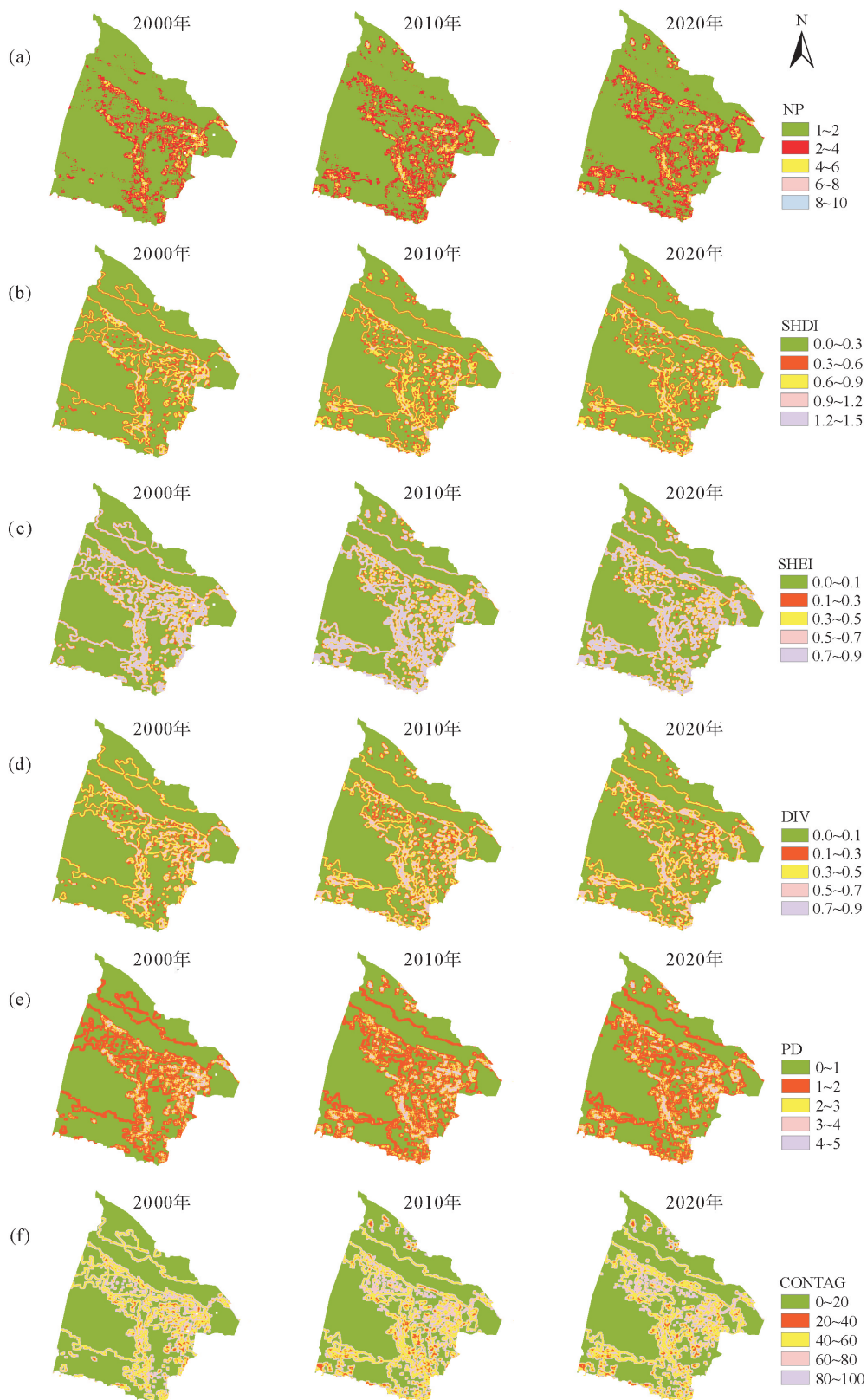


图 4 2000—2020 年库尔勒市景观指数密度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution map of landscape index density in Korla from 2000 to 2020

建设用地规模在增加,城郊之间的分裂趋势在增加,人类活动的影响也在增加。2020 年城市快速扩展,城市化水平提高,库尔勒市处于高速发展时期。

2.6 库尔勒市景观格局动态变化驱动力分析

2.6.1 地理探测器 通过交互探测(图 5)和因子探测(表 7)结果可知,各个因子交互作用增强,说明因子间有着显著的协调与关联,其中,NDVI 与降水

量和气温共同作用时,呈现双因子增强,解释力最大,同时,随着社会经济发展,可看出地区生产总值贡献度逐渐增强。

1)气温波动因素。在过去的 20 a,研究区的温度不断的波动,总体呈增暖趋势。图 6 表明,库尔勒市近 20 a 的年平均气温为 9.14 ℃,年平均气温变化表现为波动上升状态。

表 7 库尔勒市土地利用年际因子探测结果

Table 7 Detection result of interannual factors of land use in Korla city

因子	q		
	2000 年	2010 年	2020 年
风速	0.077	0.119	0.122
湿度	0.039	0.125	0.113
气温	0.187	0.127	0.053
人口密度	0.004	0.001	0.001
地区生产总值	0.295	0.036	0.651
高程	0.115	0.091	0.102
坡度	0.039	0.041	0.046
归一化植被指数	0.737	0.759	0.815
降水量	0.150	0.106	0.318

2)降水量变化因素。研究区地处巴音郭楞蒙古自治州,自然降水的空间分布呈现不均匀状态(图 6);2000—2019 年,年平均降水量为 1 521.30 mm,库尔勒市年平均降水量呈现上升趋势;研究区的降水量在 2011 年后总体呈增加趋势,这对改善林区及进一步恢复生态有积极影响。降雨量的增加为荒山的绿化提供了有利的自然条件。

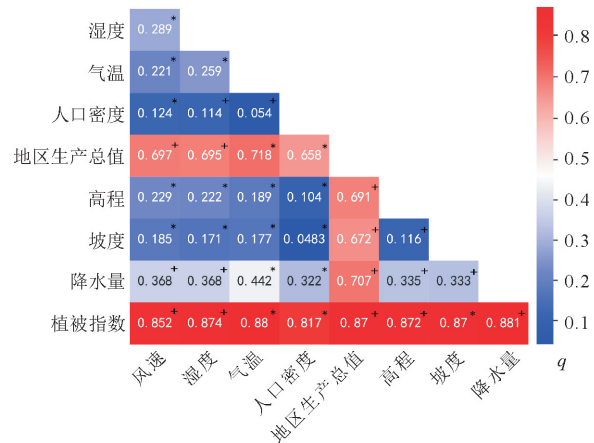


图 5 库尔勒市 2020 年交互探测结果

Fig. 5 Interactive detection results of Korla City in 2020

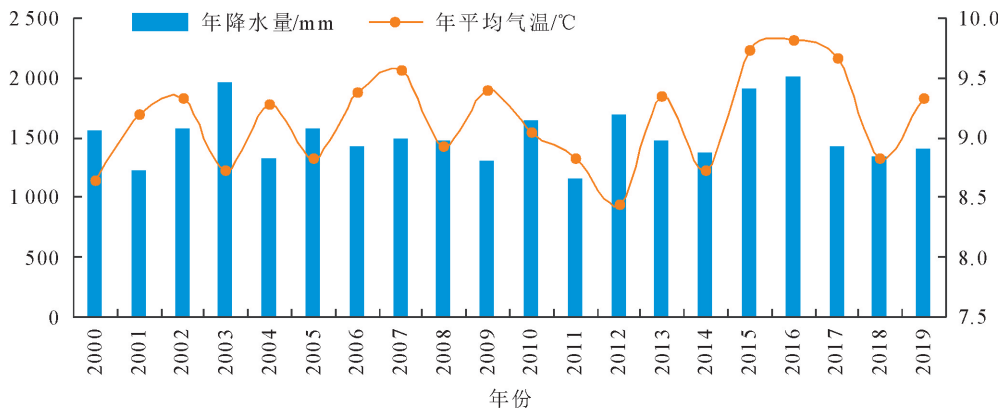


图 6 库尔勒市年降水量及年平均气温变化趋势(2000—2019)

Fig. 6 Trend map of annual precipitation and annual average temperature in Korla (2000—2019)

3 讨论

当前,国内外主要以景观指数模型与空间遥感技术相结合的方法来研究景观破碎化。在分析区域景观破碎化模式时,景观的时空变化、结构组成和空间分布都可以通过景观指数清楚地表达出来,迄今为止,景观指数类别丰富,本研究在景观水平上选取斑块个数、景观分裂指数、香农均匀度指数、香农多样性指数、蔓延度指数;在类别水平上选取斑块密度来反映景观破碎化过程与格局状况,且经过多个窗口的选取后,发现在 1 200 m 半径的移动窗口尺度下的空间连续性较好,对空间数据的分析有利。本研究主要通过选定的景观指数对城市景观格局进

行景观层面和类别层面的分析,旨在研究城市景观格局的粒度变化效应,并在未来进一步分析其规模效应。

土地利用变化对于生态系统的结构以及功能产生着深刻影响。因此,可通过相应的政策调控措施,可以有效调整库尔勒市的土地利用结构,减少对生态系统的破坏并提高城市的可持续发展。景观会受破碎化程度的影响,因此土地集中布局、集约化生产经营将会是一个较好的方式,以此增大生态过程的异质性,各斑块的连接度需增加,从而进一步提升系统的稳定性;人类活动可沿大斑块的边缘发生,此外,为更好地保护生物多样性,小斑块及廊道^[23]可分散在景观基质中,丰富物种生境^[24],为生物提供

逃避严重自然干扰的场所^[25]。在经济发展过程中,应重视对生态环境的保护,兼顾合理开发与对物种生境的保护^[26]、生态功能的修复能力等方面^[27],以促进库尔勒市高质量发展。

4 结论

本研究采用景观生态学的相关理论,对库尔勒市 2000 年至 2020 年的城市景观格局的分布和变化进行了研究。

探究库尔勒市土地类型的景观格局的分布和变化,探究各景观类型的演化规律和特征,得出库尔勒市城市建设用地面积增加,草地面积与水域面积减少;且 2020 年末利用地面积 2 758.234 9 km²,比 2000 年减少了约 241.40 km²,大于其他土地类型的面积,未利用地依旧为景观的基质。

近 20 a 库尔勒市景观类型的转移特征,主要表现为不同景观类型之间的相互转换,这种转换的规律与时间和空间因素密切相关,并且具有显著的时空变化。在整个研究期间,耕地、未利用地、草地和建设用有着很明显的转化,4 类景观存在大面积转入与转出。

计算出研究区景观格局指数,PD、NP、SHDI 和 SHEI 逐渐增加;CONTAG 减少,DIV 增加,结合移动窗口法分析得出建设用地面积有所增加,库尔勒市城区与郊区的破碎化程度呈不断增大趋势,人类活动影响不断增强。到 2020 年,城市扩张速率快,城市化水平显著提高。

研究时段内,影响库尔勒市土地覆被/土地利用时空变化分异的主导影响因子是归一化植被指数(NDVI),其贡献率最高;在交互因子探测结果中,NDVI 与降水量与气温共同作用时,呈现双因子增强,解释力最大。

参考文献:

- [1] SERRA P, PONS X, SAURÍ D. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors[J]. *Applied Geography*, 2008, 28(3): 189-209.
- [2] 马亚鑫,丛辉,周维博,等. 西安市土地利用景观格局动态演变及驱动力分析[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(4): 186-192.
MA Y X, CONG H, ZHOU W B, *et al.* Landscape pattern of land use dynamic development and driving forces in Xi'an[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2017, 32(4): 186-192. (in Chinese)
- [3] 张娟,黄家健,赵润江,等. 三亚市土地利用景观格局时空变化研究[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(6): 224-231.
ZHANG J, HUANG J J, ZHAO R J, *et al.* Spatiotemporal changes of land use landscape pattern in Sanya[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2022, 37(6): 224-231. (in Chinese)
- [4] 魏嘉馨,干晓宇,黄莹,等. 成都市城市绿地景观与生态系统服务的关系[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(6): 232-241.
WEI J X, GAN X Y, HUANG Y, *et al.* Relationship between urban green space landscape and ecosystem services in Chengdu[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2022, 37(6): 232-241. (in Chinese)
- [5] TURNER M G. Landscape ecology in North America: past, present, and future[J]. *Ecology*, 2005, 86(8): 1967.
- [6] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
FU B J. Principles and applications of landscape ecology[M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [7] 朱增云,阿里木江·卡斯木. 基于 CA-Markov 模型的呼图壁县土地利用景观格局预测研究[J]. *生态科学*, 2020, 39(1): 136-145.
ZHU Z Y, ALIMUJIANG K S M. Prediction of land use landscape pattern in Hutubi county based on CA-Markov model[J]. *Ecological Science*, 2020, 39(1): 136-145. (in Chinese)
- [8] FERREIRA I J M, BRAGION G D, FERREIRA J H D, *et al.* Landscape pattern changes over 25 years across a hot spot zone in Southern Brazil[J]. *Southern Forests*, 2019, 81(2)
- [9] 周冬梅,陈存友,王明佳,等. 基于最佳尺度的城市生态空间景观格局梯度和方向分异特征: 以长沙市为例[J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(5): 566-577.
ZHOU D M, CHEN C Y, WANG M J, *et al.* Gradient and directional differentiation in landscape pattern characteristics of urban ecological space based on optimal spatial scale: an case study in Changsha city, China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment* 2022, 38(5): 566-577. (in Chinese)
- [10] 梁发超,刘诗苑,起晓星,等. 近 30 年闽南沿海乡村聚落用地空间演化过程研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(22): 18-26.
LIANG F C, LIU S Y, QI X X, *et al.* Spatial evolution process of rural settlement land in coastal areas of Southern Fujian in recent 30 years[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2019, 35(22): 18-26. (in Chinese)
- [11] 赵永玉,阿里木江·卡斯木,高鹏文,等. 基于地理探测器的乌鲁木齐市城区扩展及影响因素分析[J]. *干旱区地理*, 2021, 44(6): 1729-1739.
ZHAO Y Y, ALIMUJIANG K S M, GAO P W, *et al.* Quantitative analysis of urban expansion and response factors in Urumqi city based on random forest algorithm and geographical detectors[J]. *Arid Land Geography*, 2021, 44(6): 1729-1739. (in Chinese)
- [12] 安悦,谭雪兰,李印齐,等. 洞庭湖地区耕地功能时空演变特征及影响因素研究[J]. *地理科学*, 2022, 42(7): 1272-1282.
AN Y, TAN X L, LI Y Q, *et al.* Spatial and temporal evolution of arable land function in the Dongting Lake area and its influencing factors[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(7): 1272-1282. (in Chinese)
- [13] 罗红,陈磊,姜运力,等. 自然保护区整合优化的景观格局变化分析——以贵州省思南县为例[J]. *生态学报*, 2021, 41(20): 8076-8086.
LUO H, CHEN L, JIANG Y L, *et al.* Landscape pattern changes and analysis for the integration and optimization of

- nature protected areas: a case study of Sinan county of Guizhou Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(20): 8076-8086. (in Chinese)
- [14] 张雪茂,董廷旭,杜华明,廖传露,王飞. 基于景观生态风险评价的涪江流域景观格局优化[J]. *生态学报*, 2021, 41(10): 3940-3951.
ZHANG X M, DONG T X, DU H M, *et al.* Optimization of landscape pattern in Fujiang River Basin based on landscape ecological risk assessment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(10): 3940-3951. (in Chinese)
- [15] 林琳,边振兴,王淑敏. 大中城市周边乡村景观格局分析——以沈阳市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(5): 223-230.
LIN L, BIAN Z X, WANG S M. Analysis of rural landscape patterns around large and medium-sized cities—Shenyang city as an example[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, *Scientia Geographica Sinica* 2020, 41(5): 223-230. (in Chinese)
- [16] 李青圃,张正栋,万露文,等. 基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化[J]. *地理学报*, 2019, 74(7): 1420-1437.
LI Q P, ZHANG Z D, WAN L W, *et al.* Landscape pattern optimization of Ningjiang River basin based on landscape ecological risk assessment[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 74(7): 1420-1437. (in Chinese)
- [17] 阿里木江·卡斯木,唐兵,古丽克孜·吐拉克. 基于遥感和GIS的新疆绿洲城市扩展时空动态变化分析[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(4): 1056-1064.
ALIMIJIANG K S M, TANG B, GULIKEZI T L K. Analysis of the spatio-temporal dynamic changes of urban expansion in oasis of Xinjiang based on RS and GIS[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*. (in Chinese)
- [18] 徐岚,赵羿. 利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J]. *应用生态学报*, 1993, 4(3): 272-277.
XU L, ZHAO Y. Forecast of land use pattern changes in Dongling district of Shenyang: an application of Markov process[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, 4(3): 272-277. (in Chinese)
- [19] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 83-89.
WANG X L, BAO Y H. Study of the methods of land use dynamic change research[J]. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 83-89. (in Chinese)
- [20] 雷越,张学斌,罗君,等. 基于不同样带的干旱区城市景观格局时空演变特征——以张掖市为例[J]. *生态学报*, 2023, 43(5): 2034-2048.
LEI Y, ZHANG X B, LUO J, *et al.* Spatio-temporal evolution of urban landscape pattern in arid areas based on different zones: a case study of Zhangye city[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(5): 2034-2048. (in Chinese)
- [21] 王诗源,魏琪力,王倩娜,等. 基于移动窗口法的绿色基础设施时空分异研究——以四川天府新区及协调管控区为例[J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(5): 246-253.
WANG S Y, WEI Q L, WANG Q N, *et al.* Spatio-temporal differentiation of green infrastructure based on moving window method—a case study of Sichuan Tianfu new area and coordination control area[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2021, 36(5): 246-253. (in Chinese)
- [22] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
WANG J F, XU C D. Geodetectors: principles and perspectives[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. (in Chinese)
- [23] 汉瑞英,赵志平,肖能文. 生物多样性保护优先区生态网络构建与优化——以太行山片区为例[J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(2): 61-67.
HAN R Y, ZHAO Z P, XIAO N W. The eco-network construction and optimization in ecological networks in biodiversity conservation areas—a case study of the Taihang Mountain area[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2021, 36(2): 61-67. (in Chinese)
- [24] IRFAN Z B, LING V, SHAN J. Ecological health assessment of the Ousteri wetland in India through synthesizing remote sensing and inventory data[J]. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 2020, 25(1): 84-92.
- [25] CUI N, FENG C C, HAN R, *et al.* Impact of urbanization on ecosystem health: a case study in Zhuhai, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(23): 4717.
- [26] LIU X, LIANG X, LI X, *et al.* A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2017, 168: 94-116.
- [27] 杨致远,刘琪璟,秦立厚,等. 延安市退耕还林工程生态效益评价[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(1): 259-266.
YANG Z Y, LIU Q J, QIN L H, *et al.* Evaluation of the ecological benefits of the Yan'an city retreat forestry project[J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2022, 37(1): 259-266. (in Chinese)