

农业资源与环境学报中文核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 姚燕子, 王睿哲, 滕坤阳

引用本文:

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 等. 基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(3): 502-511.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0490

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

河北省典型样带土壤类型空间格局特征

李瑾璞, 石垚, 袁大鹏, 陈奇乐, 王树涛 农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 681-688 https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0268

新时代广州市耕地多功能评价及时空演变分析

唐春云, 臧俊梅

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 332-343 https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0648

1984—2015年黄河三角洲人工湿地的演变及主要驱动因子

任玲玲, 栗云召, 于淼, 杨继松, 战超, 周迪

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 493-502 https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0111

京津冀潮白河区域2001—2017年耕地利用变化时空特征分析

苏锐清,曹银贵,王文旭,邱敏,宋蕾

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 574-582 https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0266

城市农业发展驱动力筛选和驱动机制定量分析--以潍坊市为例

隋菲菲, 齐伟, 骆洪义, 路超, 宋伟民, 李岩

农业资源与环境学报. 2016, 33(2): 107-113 https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0247



关注微信公众号,获得更多资讯信息

胡荣明,杜嵩,李朋飞,等.基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析[J].农业资源与环境学报,2021,38 (3):502-511.



HU Rong-ming, DU Song, LI Peng-fei, et al. Analysis of landscape fragmentation and driving forces in semi-arid ecologically fragile regions based on the moving window method[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(3): 502-511.

开放科学 OSID

基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区 景观破碎化及驱动力分析

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 姚燕子, 王睿哲, 滕坤阳

(西安科技大学测绘科学与技术学院, 西安 710054)

摘 要:为探究城镇化过程中半干旱生态脆弱区景观破碎化加剧的问题,以甘肃省广河县2011—2018年2期土地利用数据为基础,运用移动窗口法、样线法、灰色关联法,分析半干旱生态脆弱区的景观破碎化动态变化及其驱动机制。结果表明,2011—2018年耕地是广河县的基质景观,景观利用类型之间结构变化特征较明显。基于样线法确定最佳研究尺度为900m,从乡镇尺度进行样带分析发现,乡镇集聚效应导致景观破碎化程度趋势表现为越靠近乡镇区域变化程度越大,而距离较远的丘陵山区则变动较小;从空间分布格局变化角度来看,景观破碎化整体上为递增趋势,其变化剧烈区集中于广通河谷与道路沿线周围乡镇,在空间上呈现带状延伸变化;广河县景观破碎化主要驱动力是政策和社会经济因素综合作用。通过灰色关联法分析发现,地区生产总值、人口数量、人均GDP总值、工业总产值和交通运输业产值等5个指标是导致景观破碎化加剧的主要驱动因子,气候因素的影响则低于社会经济因素。研究结果可为半干旱生态脆弱区生态环境保护与可持续发展提供合理依据。

关键词:半干旱生态脆弱区;移动窗口法;样线法;灰色关联分析;景观破碎化

中图分类号: X826; P901

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)03-0502-10

doi: 10.13254/j.jare.2020.0490

Analysis of landscape fragmentation and driving forces in semi-arid ecologically fragile regions based on the moving window method

HU Rong-ming, DU Song, LI Peng-fei, YAO Yan-zi, WANG Rui-zhe, TENG Kun-yang (College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to explore the problem of increased landscape fragmentation in semi-arid ecologically fragile areas during the urbanization process, based on the two periods of land use data from Guanghe County, Gansu Province from 2011 to 2018, this study integrated the moving window method, transect method, and gray correlation method to analyze the dynamic changes and driving mechanisms of landscape fragmentation in semi-arid ecologically fragile areas. The results suggested that the cultivated land was the landscape matrix of Guanghe County from 2011 to 2018, and the structural changes in landscape use types were clearer. Based on the transect method, the best research scale was determined to be 900 m, which was conducted at the township scale. The transect analysis found that the clustering effect of villages and towns led to a trend of landscape fragmentation. The closer the townships, the greater the degree of regional change, whereas the hills and mountains that were farther away had less changes. From the perspective of spatial distribution pattern changes, the overall landscape fragmentation showed an increasing trend. The sharply changing areas were concentrated in the towns and villages along the Guangtong River valley and the road, and showed a belt-like extension in space. The main driving forces for the fragmentation of the landscape in Guanghe County were the combined effects of policies and socioeconomic factors. Through the gray correlation analysis, it was found that five indicators, namely the regional gross product, population, gross per capita GDP,

收稿日期:2020-09-03 录用日期:2020-10-09

作者简介: 胡荣明(1969—), 男, 甘肃靖远人, 博士, 教授, 主要从事 3S集成与应用研究。 E-mail: rmhu2007@163.com

基金项目:国家自然科学基金项目(41977059)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (41977059)

gross industrial output value, and transportation industry, were the main driving factors leading to the deterioration of the landscape. The influence of climate factors was lower than that of social economy factors. The research results can provide a reasonable basis for ecological environmental protection and sustainable development in semi-arid ecologically fragile areas.

Keywords: semi-arid ecologically fragile area; moving window method; transect method; gray relation analysis; landscape fragmentation

景观格局通常是指景观组成单元的类型、数目在空间结构和空间配置上的不均匀性及复杂程度的综合表现[1],其特征变化对生态系统的结构、功能和过程具有重要的影响[2-3]。近年来随着人口的高度聚集和城镇的快速扩张等,在自然和社会相互作用下,导致景观破碎化加剧,对生态系统造成了一系列的影响[4-5]。这一现象严重影响着景观格局的结构、功能及生态过程,不利于其持续健康发展[6]。因此,深人探究景观破碎化动态变化及其驱动因素,对分析由景观破碎化引起的生态结构和功能的变化具有重要意义。

景观破碎化是城镇化进程中景观格局演变的重 要特征[7],表现为景观格局呈现出"高度破碎化"和 "景观空间异质性显著",即景观由单一、均质和连续 的整体转为复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体图。随 着遥感和地理信息技术等数字化技术在景观生态学 中的应用,基于特征指数的景观破碎化动态变化与驱 动机制研究得以快速发展,并在不同时间和空间尺度 下针对绿洲、矿区、流域、城市、海岛等区域开展了大 量研究。如: 巩杰等門探究了绿洲与景观破碎化之间 的时空变化;梅昭容等[10]在采矿背景下研究区域景观 格局的演变模式;付扬军等凹揭示了流域景观破碎化 时空演变过程;付刚等[12]在时间序列的基础上研究了 北京市近20年景观破碎度空间分布格局和破碎化过 程;巫丽芸等[13]基于缓冲带分析了海岛内陆到海岸带 的景观破碎化梯度变化特征。综上所述,相关学者的 研究共性均是基于移动窗口法对不同研究区域进行 了景观破碎化与驱动机制分析,由此可见将移动窗口 法与特征景观指数相结合,不仅有利于直观探究景观 破碎度时空变化过程,也有利于进一步分析相关驱动 因子对景观破碎化的影响机制。目前针对半干旱生 态脆弱区的研究较少,且多以宏观分析为主[14-15],对 此本研究基于移动窗口法探究了半干旱生态脆弱区 的景观破碎化动态变化及驱动因素。

黄土高原大部分处于半干旱地带,属于生态环境脆弱地区,高强度的农业生产以及过度放牧和滥垦滥伐,加剧了土地退化^[16]。甘肃省广河县属于典型的黄

土高原半干旱生态脆弱区,以其为研究区探讨景观破碎化动态变化及驱动因素具有代表性。本研究以广河县2011—2018年2期土地利用数据为基础,结合移动窗口法、样线法和灰色关联分析方法,定性与定量探讨了经济发展背景下半干旱生态脆弱区的景观破碎化动态变化及其驱动因素。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

广河县(102°23′~103°51′E,35°25′~35°28′N)隶属于甘肃省临夏回族自治州,位于临夏回族自治州东南部,北接东乡族自治县,西连和政县,南邻康乐县,东与定西市临洮县毗邻,总面积538 km²,下辖9个乡镇。广河县地处黄土高原丘陵沟壑地带,地势自西南向东北倾斜,平均海拔1953 m,境内除中部广通河谷冲积阶地地势平坦外,其余地区丘陵密布、沟壑纵横。产业以农业为主,境内矿产资源贫乏,旱灾、雹灾等自然灾害频繁,是国家扶贫开发的重点县。

1.2 数据来源与处理

本研究基础数据为2011年、2018年土地利用数据,来源于广河县国土资源局,该数据主要依据全国第二次土地调查数据变更得到。选用土地利用数据可有效避免遥感影像分类处理可能存在地物分类不准确、地物综合过大、Kappa 系数较低等精度不高的问题,进而提高研究区景观格局破碎化分析的精度,使研究结果更加科学与精确。根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)标准,并考虑到景观廊道变化对景观破碎化的影响,将研究区域综合分为耕地、林地、水域、草地、建设用地、道路、未利用地7类土地利用类型。

广河县的社会经济数据来源于广河县统计局 2011—2018年统计年鉴和中国经济与社会发展统计 数据库,该数据主要包括总人口、地区生产总值、人均 GDP总值、居民平均消费性支出等 10类。气象数据来源于中国气象科学数据共享网(http://data.cma.cn),包含 2011—2018年研究区年降雨量和年均气温数据。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态变化分析

对土地利用类型进行动态度变化分析可有效探究土地利用变化趋势。本研究采用土地利用总变化率和年变化率两种模型定量分析研究区土地利用结构的动态变化情况^[8],公式如下:

$$P = \frac{U_{\rm b} - U_{\rm a}}{U_{\rm a}} \times 100\% \tag{1}$$

$$S = (\sqrt[t]{1 + P} - 1) \times 100\% \tag{2}$$

式中:P为研究期内某一土地类型的总变化率;S为研究期内某一土地类型的年变化率; U_a 、 U_b 分别为研究期初及研究期末某一土地类型的数量;t为研究时段。1.3.2 景观指数的选取

景观指数是高度浓缩景观格局信息且反映其空间结构和空间配置特征信息的指标[17]。选取景观指数时应依据理论与实践的重要性、易于计算、可解释和少冗余的原则[18],因此为准确衡量半干旱生态脆弱区的景观破碎化情况,参考相关研究[19-21]并根据研究区特点,选取斑块密度(Patch density, PD)、最大斑块指数(Largest patch index, LPI)、景观分离指数(DIVISION)、香农多样性指数(Shannon's diversity index, SHDI)四种景观指数表征景观破碎化的程度,具体景观格局指数计算公式及生态意义见参考文献[22]。1.3.3 移动窗口法

本文采用 Fragstats 4.2 中的移动窗口法 (Moving window method) 生成景观指数栅格图。移动窗口法实现步骤:对设定固定值的移动窗口进行窗口内选中的栅格景观指数计算,每次移动1个栅格并计算,并将该值赋栅格中心,形成包含景观指数值的连续栅格图^[10]。该方法要求选择合适的窗口半径,若设置窗口幅度较小,将导致相邻斑块间的指数值差异变大,使结果与实际不符。因此本研究分别以300、500、700、900、1100 m和1300 m为窗口半径,并在 Fragstats 4.2 中进行计算。

1.3.4 样线设置

广河县地势自西南向东北倾斜,境内中部河谷冲积区地势平坦,其余皆为沟壑纵横的丘陵地带。为准确研究景观破碎化内部差异性对变化幅度的影响,在东北-西南、西北-东南两个方向上设置样线,长度分别为40、32 km。在两条样线上分别从东北、西北向西南、东南均匀地布设100个样点,通过改变移动窗口大小提取不同尺度的样点景观指数,分析变动规律后确定最佳研究尺度^[4]。

1.3.5 灰色关联分析

灰色关联分析法的原理是根据各影响因素之间的发展趋势的相似或相异程度来衡量因素之间的关联度[^{23]}。该方法与回归分析、主成分分析等统计学方法相比,具有对数据要求较低且精度高的优点,在部分数据缺失的前提下仍可进行相应关联度处理。本研究通过灰色关联法计算社会经济因素、气候因素与景观指数间的关联系数,以量化社会经济和气候因素的驱动作用[^{24]}。采用均值化归一法对驱动因子进行无量纲化处理,基于 Matlab 软件计算灰色关联度系数,各驱动因子关联系数越高,比较序列对参考序列的影响越大;反之则比较序列对参考序列的影响越小[^{25]}。

均值化归一:

$$X_{i}'(k) = \frac{nX_{i}(k)}{\sum_{k=1}^{n} X_{i}(k)}$$
(3)

关联系数:

 $\xi_i(k) =$

$$\frac{\min_{i} \min_{k} |X_{0}(k) - X_{i}(k)| + \rho \max_{i} \max_{k} |X_{0}(k) - X_{i}(k)|}{|X_{0}(k) - X_{i}(k)| + \rho \max_{i} \max_{k} |X_{0}(k) - X_{i}(k)|}$$
(4)

式中: ρ 为分辨系数,取值为 0.5; $|X_0(k)-X_i(k)|$ 为同一时刻比较序列和参考数列的绝对差; $\min_k \min_k |X_0(k)-X_i(k)|$ 和 $\max_k \max_k |X_0(k)-X_i(k)|$ 分别为无量纲化后分析序列的两极最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 景观利用类型动态变化分析

研究分析不同景观利用类型的面积占比和变化率,对探究各景观类型的演变与景观破碎化之间的关联性具有辅助作用。由表1可知,广河县的景观利用结构变化较明显的是建设用地和林地,面积分别增加了4.803、5.409 km²,总变化率分别为12.16%、11.29%,主要是由于近年来扶贫脱贫、易地搬迁政策的实施,导致城镇化进程加快,建设用地迅速向外扩张,退耕还林政策使林地面积增大;道路的总变化率和年变化率最大,分别为42.46%、4.01%,这说明广河县道路基础设施正在不断完善;耕地的变化幅度最小,总变化率和年变化率均较低;未利用地面积由0.590 km²增加到0.802 km²,总变化率和年变化率为35.93%、3.47%,原因可能是开采矿产资源导致废地增加;草

地和水域的面积表现为不断降低,降幅最大的是草地,减少了9.01%。对景观类型进行空间分析(图1)发现,2011—2018年耕地和草地始终是广河县两种优势景观利用类型,其中耕地是广河县的基质景观;道路和水域所占面积最少,其在空间分布上呈现带状,是景观廊道,其余不连续的景观类型为景观斑块。

2.2 基于样线法的最佳研究尺度确定

考虑研究区地处黄土高原、内部沟壑纵横、地势起伏较大的地形特点,为准确研究景观破碎化内部差异性对尺度变化的影响,本研究采用样线法进行分析。以2011年土地利用数据为例,利用移动窗口法计算出不同窗口大小的景观指数,在设计的西北-东南、西南-东北两条样带上,提取布设的各样点景观指数值,绘制曲线图分析尺度变化并确定最佳研究尺度。

图 2 中横坐标表示尺度, 纵坐标表示每条样带上 均匀分布的 100 个样点的各指数平均值, 该值采用标 准误差限进行取值。从图中可以看出 PD 和 LPI 的值 随研究尺度的增加不断下降, 西北-东南样线上的景 观指数值均低于东北-西南样线方向上的值, 这说明 广河县东北-西南走向的景观破碎化较为严重且地 物复杂,优势度地物低;在500m尺度上两个方向的景观指数均出现第一转折点,下降趋势较为剧烈,说明尺度变化引起的景观破碎化较为明显,在900m尺度后指数减小趋势明显趋近缓和。DIVISION和SHDI指数则是随研究尺度的增加而不断增加,无明显拐点出现。其中DIVISION在尺度变化过程中,西北-东南样线上的值高于东北-西南样线,这说明单个景观类型的景观破碎化西北-东南方向较东北-西南方向严重;SHDI的景观指数值在方向上大小与PD、LPI一致,说明东北-西南方向上的景观类型多样,破碎化较高;尽管DIVISION、SHDI随尺度的增大无明显拐点,但缓和区域仍在900~1300m尺度。

综上,空间尺度过大将导致损失较多的空间信息规律,空间尺度较小引起变化不稳定且无法体现景观内部差异性,为避免上述缺陷,最终选取900m为研究区最佳研究尺度。

2.3 最佳研究尺度下景观破碎化特征分析

2.3.1 乡镇尺度下样带景观破碎化分析

根据确定的最佳研究尺度,提取样带上样点景观指数进行乡镇尺度的景观破碎化研究,分析广河县景

Table 1 Proportion and change rate of land use types in Guanghe County
2011 2018

表1 广河县土地利用类型面积占比及变化率

景观类型 - Landscape type		2011	,	2018	2011—2018				
	面积 Area/km²	占比 Percentage/%	面积 Area/km²	占比 Percentage/%	总变化率 Total rate of change/%	年变化率 Annual rate of change/%			
建设用地	39.488	7.34	44.291	8.23	12.16	1.28			
道路	2.414	0.45	3.439	0.64	42.46	4.01			
耕地	300.015	55.77	301.485	56.04	0.48	0.05			
未利用地	0.590	0.11	0.802	0.15	35.93	3.47			
草地	140.160	26.05	127.530	23.71	-9.01	-1.04			
水域	7.376	1.37	7.087	1.32	-3.92	-0.44			
林地	47.912	8.91	53.321	9.91	11.29	1.21			

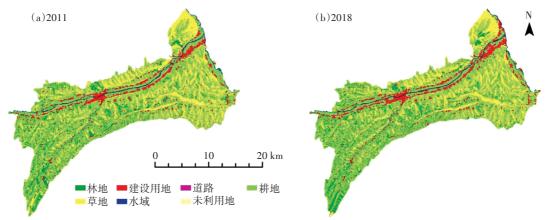


图1 广河县2011—2018年土地利用时空变化

Figure 1 Spatio-temporal changes of land use in Guanghe County from 2011 to 2018

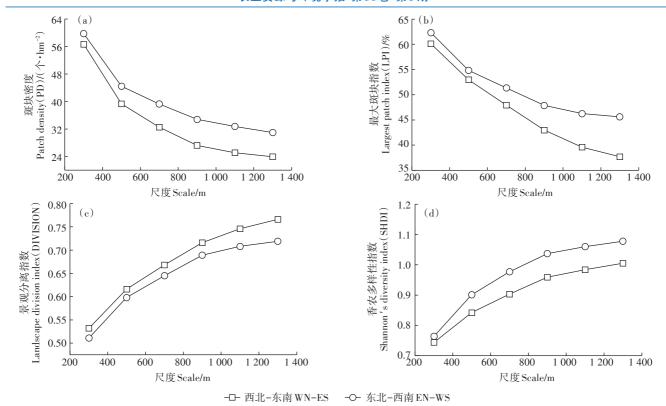


图 2 景观指数随窗口尺度大小变化曲线 Figure 2 Change curve of landscape index with window scale

观格局梯度变化。鉴于西北-东南和东北-西南走向的两条样带的景观指数幅度效应具有相似的规律性,且东北-西南走向的景观指数高于西北-东南走向,仅以东北-西南走向的样带进行说明,变化趋势如图3所示。

由图3可知,PD和LPI的变化规律呈现相似性, 均具有多个极值点:DIVISION整体上指数偏大:SHDI 分布在河谷地带的样点指数高值点较多。其中PD在 20、30、40、60、80样点附近出现低值,在此区域多为 农用地,景观类型较为单一,优势景观明显;与PD样 点低值对应的LPI呈现高值状态,说明在此区域优势 景观类型占比较大,景观破碎化程度低;DIVISION和 SHDI 均在 10、25、35、50、75、90 样点附近出现高值 点,可以看出指数波动较为剧烈,说明在以上样点附 近景观类型的离散性和多样性程度较大,且越靠近城 镇区域变化程度越大,而距离城镇较远的丘陵山区变 幅都较小且波动幅度较低。综合分析,4个指数的变 化趋势表明城镇具有集聚效应,经济发展背景下城镇 化的加剧,导致城镇及城镇周围景观破碎化程度较 高,而偏远的丘陵山区土地利用类型较为单一,景观 破碎化程度较低。

2.3.2 景观破碎化时空分布特征分析

广河县2011—2018年景观破碎化空间分布如图4所示。由图4可见,4类景观指数表现出景观破碎化空间格局具有明显的异质性和复杂性,对景观破碎化特征进行如下细化分析:

(1)2011年PD高值分布特征是西部高于东部,中部广通河谷区域高于其他区域,受水域分布的影响,在广河县内的桦林沟、南沟、大柴沟和八洋沟等流域亦是高值区域,出现此类特征的原因是这些区域处于受人类活动影响强烈的县城、乡镇中心。2018年,PD高值分布区域明显集中,尤其在买家巷镇西部、庄禾集镇的集中区变化最为明显,PD的最高值由78.6218上升到85.5590,这说明连片区的高值中心景观类型更加多样,人类经济活动更为激烈,贫困地区易地搬迁导致居民点更多地聚集到乡镇中心周围。

(2)LPI在2011年的高值中心主要集中在三个区域,分别位于三甲集镇中西部山区、官坊乡西部地区、庄禾集镇境内的南沟流域,其余的高值分布较为破碎化。高值区所处区域景观类型多以草地、林地为主,地形以高海拔山地为主,人类干扰少,使得景观整体格局较完整,破碎度低。2018年,LPI值整体下降,最

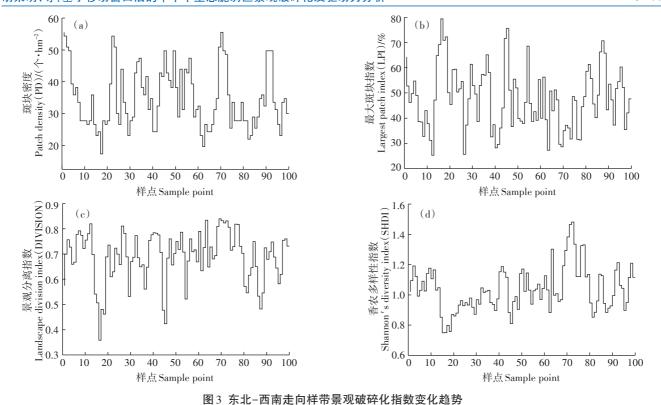


Figure 3 Trend of landscape fragmentation index in the northeast-southwest transect

低值由 10.822 1 降至 10.093 7,可明显看出 LPI 低值 出现的区域也逐渐缩小,说明受城镇化影响,乡镇向 外扩展致使周边区域破碎化程度增大,景观异质性受 人类活动影响而逐渐提高。

(3) DIVISION 是指某一景观类型在不同斑块个体上破碎化程度的分布情况。图中显示,2011—2018年 DIVISION的高值区域集中分布于道路与广通河贯穿的城关镇、祁家集镇、买家巷、三甲集和阿力麻土周围,8年间该指数变化较为明显,最高值由0.9381升至0.9456,表明广河县近年来对自然资源的开发和基础工程建设,导致优势景观类型之间连通性逐渐降低,各斑块类型被切割,破碎化程度明显提高。

(4)从空间上看,2011—2018年,广河县全县景观多样性SHDI呈现山地丘陵区域较小,广通河谷、南沟与交通网附近较大的特点,总体上具有明显向外扩张的趋势,指数高值由1.6617升至1.6803。三甲集、祁家集和城关镇景观多样性明显偏高,主要是因为以上三处区域地势较为平坦,交通网密集。且近年来三甲集镇依托洮河建立了新民滩、齐家坪和白马浪水电站,以及大型物流中心的建立和茶城等第二产业的发展,带动了周边乡镇经济和城镇化建设加快,因此在经济发展过程中对自然资源的开发造成了景

观利用类型多样化的特征。

2.4 景观破碎化驱动力分析

2.4.1 政策因素驱动分析

城镇发展政策往往与景观格局变化紧密相关,政 策方针实施将成为景观格局变化的重要转折点。《中 国扶贫开发纲要2011-2020》是我国为实现全面建 成小康社会奋斗目标提出的纲领性文件,对促进"十 二五"时期增加贫困地区的就业、收入,改善民生和加 快发展具有重要意义。2011年以来广河县针对扶贫 与发展实施了易地搬迁、农村公路建设、优势农业规 模化等政策措施。针对山区农牧散居的居民点进行 易地搬迁,建设用地聚集到了乡镇中心区域周围,在 河谷平坦区域建设了连片的居住地,形成了更为广泛 的建设区域,"十二五"期间实施了157个扶贫项目和 252项重点项目,这些项目的实施使6.5万贫困人口 脱贫,新建各类保障性住房3194套,改造农村危旧 房11485户,城镇化率上升到27%,贫困率由"十一 五"时期的22%下降到13.85%,截至2018年底又新增 58项总投资达31.84亿元的易地扶贫搬迁工程,脱贫 效果明显;为突破交通基础设施限制经济发展的"瓶 颈",广河县开展实施了三甲集至蒿支沟公路改建工 程、草滩至克那公路建设工程、广河县官坊乡(山庄)

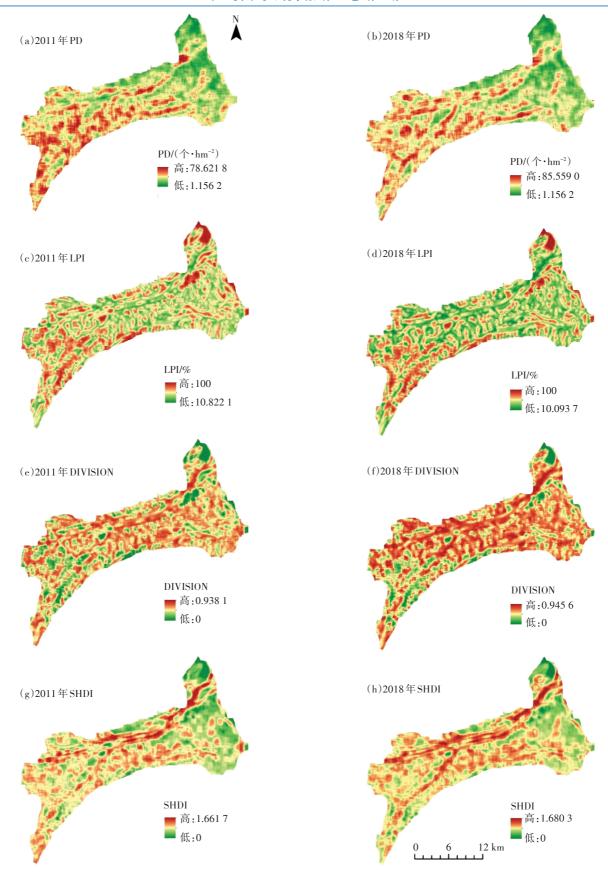


图 4 2011—2018年广河县景观破碎化时空分布

Figure 4 Temporal and spatial distribution of landscape fragmentation in Guanghe County from 2011 to 2018

至庄禾集镇(马浪)公路改建工程、赵家桥等4座桥梁 建设工程,涉及5条道路34km的农村公路安全生命 防护工程等重大项目,实现了全县9个乡镇102个建 制村100%通沥青道路,85%的自然村实现了水泥硬 化,各种道路总里程达867 km,使得交通网络更加完 善,但道路廊道的增加导致景观类型被切割成更小的 斑块,同时道路沿线的景观类型快速向城镇转化,建 设用地的增加导致景观破碎化程度加剧;农业领域的 变化主要体现在易地搬迁后的牛羊养殖基地的建设, 同时"农改饲"(由种植普通玉米转为种植饲草玉米) 种植面积达1.3万 hm²,一方面使得农民收入由2.25 万元·hm⁻²升至3.15万元·hm⁻²,另一方面使得畜牧业 发展不断扩大,截至2018年底,广河县牛存栏达 10.98万头, 羊存栏 120.30万头, 畜牧养殖已成为促进 广河县农民增收脱贫的重要产业,大大带动了广河县 经济综合实力快速提升。截至2018年,全县生产总 值完成22.14亿元,较2011年提高13.25亿元;农民人 均纯收入较2011年增长4243元,增加至6785元, 城镇居民人均可支配收入达到18459元。可见随着 政策规划、交通网络完善和产业结构优化等,景观利 用类型变得愈加多样化,导致整体景观结构呈现复杂 趋势,景观破碎化状况加剧。

2.4.2 灰色关联度驱动分析

广河县社会经济由于长期受自然环境的限制,发展较为缓慢,近年来一些重大工程的建设,如:交通网路、工业设施、产业优化促使广河县经济快速发展,但随之而来的是生态环境的破坏。为此探究社会经济和气候因素对生态环境的驱动机制是十分重要的,本研究选取2011—2018年的社会经济和气候因素共12个指标,与景观指数进行关联度分析,其中社会经济因素包括地区生产总值(X1)、总人口数量(X2)、人均GDP(X3)、居民平均消费性支出(X4)、工业总产值(X5)、住宿餐饮业产值(X6)、建筑业产值(X7)、交通运输业产值(X8)、农产品产量(X9)、人均粮食占有量(X10);气候因素包括年降水量(X11)、年均气温(X12),同时计算出所选景观指数与12个指标的平均

关联度。借助 Matlab 计算驱动因子与景观指数的灰色关联度系数,结果见表2。

(1)从表2可以看出,在广河县所选社会经济驱 动因子中,各因子均表现出正向的关联度,是影响和 改变景观类型的重要因素。其中,所选社会经济指标 相比于其他景观指数,PD的关联度相对较低,平均关 联度值为0.538,其中与PD关联度最高值是农产品产 量,表示研究区的农业集聚效应较为明显,集约化的 农业生产方式使得耕地受外部活动影响较小,景观破 碎度较低;而SHDI关联度最高,平均关联系数达到了 0.688,人口数量、工业总产值与交通运输业产值对其 影响较为显著,关联系数分别为0.736、0.743、0.739, 说明研究区人口数量的增加使工业生产所需的人力 资源得以满足,进而促进交通运输业快速发展,加速 人类对自然资源的占用,这三个指标是引起城镇景观 破碎化的重要原因;与LPI和DIVISION指数关联度 较高的驱动因子主要为地区生产总值、总人口数量、 人均GDP、居民平均消费性支出、工业总产值、住宿餐 饮业产值,表明随着生产总值的的增加,居民消费与 工业生产造成建设用地向外扩张的刚性需求提高,平 均关联度指数分别为0.605和0.607。综上,社会经济 因素中地区生产总值、人口数量、人均GDP、工业总产 值和交通运输业产值等5个指标是导致景观破碎化 加剧的重要驱动因子。

(2)气候因素对景观破碎化的驱动作用明显低于社会经济因素。年降水量与各景观指数的关联度低于年均气温,说明降水量对景观破碎化的驱动作用较低,而年均气温与SHDI关联性相对较高,说明适宜的气温对景观类型多样化产生一定影响。

3 讨论

在经济快速发展背景下,半干旱生态脆弱区在城镇化加速推进过程中的大规模开发活动,一方面促进了经济实力的提升,另一方面也带来了一系列的生态环境问题。因此有必要对半干旱生态脆弱区景观破碎化及其驱动力进行分析,来揭示该区生态环境动态

表2 景观指数与驱动因子的关联系数

Table 2 Correlation coefficient between landscape index and driving factors

景观指数 Landscape index	X1	X2	Х3	X4	X5	X6	X7	X8	Х9	X10	X11	X12	平均Mean
PD	0.529	0.532	0.550	0.522	0.547	0.514	0.523	0.503	0.587	0.566	0.522	0.563	0.538
LPI	0.628	0.613	0.633	0.637	0.636	0.602	0.624	0.587	0.615	0.610	0.529	0.555	0.605
DIVISION	0.631	0.611	0.617	0.624	0.655	0.607	0.635	0.641	0.594	0.583	0.534	0.559	0.607
SHDI	0.714	0.736	0.729	0.732	0.743	0.709	0.731	0.739	0.657	0.641	0.528	0.601	0.688

变化特征与驱动因子。

当前,景观破碎化的相关研究方法主要采用景观 指数模型与遥感技术相结合,对研究区域进行整体景 观破碎化分析[26]。本研究基于景观生态学理论和GIS 技术,运用移动窗口法、样线法和灰色关联分析方法, 定量探讨了经济发展背景下半干旱生态脆弱区的景 观破碎化动态变化及其驱动因素。研究发现,受城镇 化影响,研究区的景观破碎化程度明显加剧,受限于 社会经济与气候因素的驱动作用,在研究区的不同区 域景观破碎化程度变化亦不同,主要驱动因子也相应 发生变化。以往研究多是从宏观角度整体分析景观 破碎化特征[27-28],而本研究则是从多尺度分析景观破 碎化空间格局特征,能够进一步对空间特征进行定量 解释。但本研究在进行驱动力分析时采用的模型方 法较为传统,目前已有相关学者针对相关性分析提出 了更为精准的模型,如:地理探测器模型[29]、物元分析 法与熵权法结合[30]等,故在今后探讨驱动力分析时可 尝试应用更为精准的模型。另外,本研究在探讨景观 指数与驱动因子之间的相关性时,仅考虑了社会经济 与气候因素,未考虑地形因素,在今后研究中可加入 海拔、坡度和坡向等地形因素,更深层地进行景观破 碎化的驱动力分析。

4 结论

- (1)2011—2018年广河县景观类型结构特征变化较明显,耕地和草地始终是广河县最主要的两类景观,其中耕地是广河县的基质景观,控制着研究区的景观格局、功能和动态变化;道路和水域是景观廊道,影响着研究区的景观异质性。
- (2)通过样线法对不同的窗口尺度进行分析,发现景观指数变化趋势表现为PD、LPI随尺度增加递减,DIVISION和SHDI随尺度增加递增,900~1 300 m尺度范围为缓和区域,900 m为研究区最佳研究尺度。
- (3)乡镇尺度下景观破碎化表现为河谷地带的样点指数高值较多,指数波动越靠近城镇区域变化程度越大,山地丘陵地带指数值则较低,相对波动较小;时空变化尺度下景观破碎化表现为2011—2018年间景观破碎化时空变化具有明显的异质性和复杂性,整体变化特征为西部高于东部,中部广通河谷区域高于其他区域,买家巷镇、三甲集镇、官坊乡、庄禾集镇以及南沟流域景观多样性较丰富,总体上具有向外扩张的趋势。
 - (4)利用灰色关联法分析广河县景观破碎化驱动

力发现,研究区景观破碎化是由政策因素和社会经济因素综合作用所致,其中政策有效落实是推动景观格局发生变化的重要转折点,而不合理的社会经济活动则是造成景观破碎化加剧的直接因素。

参考文献:

- [1] 常小燕, 李新举, 万红, 等. 采煤塌陷区景观格局尺度效应及变化特征分析[J]. 煤炭学报, 2019, 44(S1): 231-242. CHANG Xiao-yan, LI Xin-ju, WAN Hong, et al. Scale effect and change characteristics of landscape pattern in coal-mining subsided area[J]. *Journal of China Coal Society*, 2019, 44(S1): 231-242.
- [2] Strohbach M W, Haase D. Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 104(1):95-104.
- [3] Ramalho C E, Laliberté E, Poot P, et al. Complex effects of fragmentation on remnant woodland plant communities of a rapidly urbanizing biodiversity hotspot[J]. Ecology, 2016, 95(9):2466-2478.
- [4] 车通, 罗云建. 量化社会经济发展对城市景观破碎化的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(1):154-162. CHE Tong, LUO Yun-jian. Quantifying effects of socioeconomic development on urban landscape fragmentation[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2020, 44(1):154-162.
- [5] 洪鸿加, 彭晓春, 陈志良, 等. 长沙市景观破碎化时空分异特征研究 [J]. 国土资源遥感, 2011(1):133-137. HONG Hong-jia, PENG Xiao-chun, CHEN Zhi-liang, et al. The investigation of spatiotemporal patterns of landscape fragmentation during rapid urbanization in Changsha City[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011(1): 133-137.
- [6] 张金茜, 巩杰, 马学成, 等. 基于 GeoDA 的甘肃白龙江流域景观破碎 化空间关联性[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5):1476-1483. ZHANG Jin-qian, GONG Jie, MA Xue-cheng, et al. GeoDA-based spatial correlation analysis of landscape fragmentation in Bailongjiang watershed of Gansu[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(5):1476-1483.
- [7] Shrestha M K, York A M, Boone C G, et al. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan area: Analyzing the spatiotemporal patterns and drivers[J]. Applied Geography, 2012, 32(2): 522-531.
- [8] 姜坤, 戴文远, 胡秋凤, 等. 基于移动窗口法的海岛型城市景观破碎化及其驱动机制分析——以福建省平潭岛为例[J]. 生态科学, 2019, 38(4):99-110. JIANG Kun, DAI Wen-yuan, HU Qiu-feng, et al. Analysis of island-type urban landscape fragmentation and its driving mechanism based on moving window method: A case study of Pingtan Island, Fujian Province, China[J]. Ecological Science, 2019, 38 (4):99-110.
- [9] 巩杰, 孙朋, 谢余初, 等. 基于移动窗口法的肃州绿洲化与景观破碎化时空变化[J]. 生态学报, 2015, 35(19):6470-6480. GONG Jie, SUN Peng, XIE Yu-chu, et al. Spatiotemporal change and landscape fragmentation in Suzhou oasis using the moving window method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(19):6470-6480.
- [10] 梅昭容, 李云驹, 康翔, 等. 基于移动窗口分析法的矿区景观格局时空演变研究[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(4):60-68. MEI Zhaorong, LI Yun-ju, KANG Xiang, et al. Temporal and spatial evolution in landscape pattern of mining site area based on moving window method[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(4):60-

68

- [11] 付扬军, 师学义, 和娟. 汾河流域景观破碎化时空演变特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8):1606-1619. FU Yang-jun, SHI Xue-yi, HE Juan. The spatio-temporal evolution characteristics of land-scape fragmentation in Fenhe River basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(8):1606-1619.
- [12] 付刚, 肖能文, 乔梦萍, 等. 北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化[J]. 生态学报, 2017, 37(8):2551-2562. FU Gang, XIAO Neng-wen, QIAO Meng-ping, et al. Spatial-temporal changes of land-scape fragmentation patterns in Beijing in the last two decades[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(8):2551-2562.
- [13] 巫丽芸, 何东进, 游巍斌, 等. 东山岛海岸带景观破碎化时空梯度分析[J]. 生态学报, 2020, 40(3):1055-1064. WU Li-yun, HE Dong-jin, YOU Wei-bin, et al. A gradient analysis of coastal land-scape fragmentation change in Dongshan Island, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(3):1055-1064.
- [14] 李帅, 马文超, 顾艳文, 等. 宁夏黄河流域景观破碎化时空变化特征[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3312-3320. LI Shuai, MA Wenchao, GU Yan-wen, et al. Analysis of spatial-temporal changes in landscape fragmentation in the Ningxia Yellow River valley[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(11): 3312-3320.
- [15] 高跃鹏, 张学霞, 方宇, 等. 若尔盖县景观破碎化及湿地恢复优先性[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(12):145-158. GAO Yuepeng, ZHANG Xue-xia, FANG Yu, et al. Landscape fragmentation and wetland restoration priority in Zoige County of Sichuan Province of China[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(12): 145-158.
- [16] 赵西宁, 吴普特, 冯浩, 等. 黄土高原半干旱区集雨补灌生态农业研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(9):3187-3194. ZHAO Xining, WU Pu-te, FENG Hao, et al. Advance in research of supplemental irrigation of collected rain water for eco-agriculture in semi-arid Loess Plateau of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42 (9):3187-3194.
- [17] 齐伟, 曲衍波, 刘洪义, 等. 区域代表性景观格局指数筛选与土地利用分区[J]. 中国土地科学, 2009, 23(1):33-37. QI Wei, QU Yan-bo, LIU Hong-yi, et al. Selection of representative landscape pattern indexes and land use division[J]. *China Land Science*, 2009, 23(1):33-37.
- [18] 谢舞丹, 吴健生. 土地利用与景观格局对 PM₂₅浓度的影响——以深圳市为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2017, 53(1):160-170. XIE Wu-dan, WU Jan-sheng. Effects of land use and urban landscape pattern on PM₂₅ concentration: A Shenzhen case study[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2017, 53(1): 160-170.
- [19] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 等. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析[J]. 生态学报, 2014, 34(12):3276-3284. ZHANG Ling-ling, ZHAO Yong-hua, YIN Sha, et al. Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12):3276-3284.
- [20] 阿娜古丽·麦麦提依明, 阿里木江·卡斯木, 买尔孜亚·吾买尔. 基于移动窗口法的乌鲁木齐市建成区景观格局变化分析[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2):31-38. ANARGUL·Mamtimin, ALIMU-JIANG·Kasimu, MAIERZIYA·Wumaier. Analysis of landscape pattern change in Urumqi built-up area based on moving window method

- [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(2):31-38.
- [21] 李栋科, 丁圣彦, 梁国付, 等. 基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3414-3424. LI Dong-ke, DING Sheng-yan, LIANG Gun-fu, et al. Landscape heterogeneity of mountainous and hilly area in the western Henan Province based on moving window method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (12): 3414-3424.
- [22] Wang Z, Huang N, Luo L, et al. Shrinkage and fragmentation of marshes in the west Songnen Plain, China, from 1954 to 2008 and its possible causes[J]. *International Journal of Applied Earth Observation* and Geoinformation, 2011, 13(3):477-486.
- [23] 胡银根, 蔡国立, 徐小峰, 等. 基于灰色关联分析的武汉市建设用地扩张驱动力实证研究[J]. 水土保持通报, 2014, 34(6):214-218. HU Ying-gen, CAI Guo-li, XU Xiao-feng, et al. Empirical study on driving forces of construction land expansion in Wuhan City based on grey relational analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(6):214-218.
- [24] 温馨燃, 王建国, 王雨婷, 等. 1985—2017年环渤海地区围填海演化及驱动力分析[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2):85-91, 99. WEN Xin-ran, WANG Jian-guo, WANG Yu-ting, et al. Sea reclamation and driving forces in Bohai rim from 1985 to 2017[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(2):85-91, 99.
- [25] 王永静, 闫周府. 新疆玛纳斯河流域用水结构演变及其驱动力分析[J]. 干旱区研究, 2017, 4(2): 243-250. WANG Yong-jing, YAN Zhou-fu. Evolution and driving forces of water consumption structure in the Manas River basin in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2017, 34 (2): 243-250.
- [26] 于亚平, 尹海伟, 孔繁花, 等. 南京市绿色基础设施网络格局与连通性分析的尺度效应[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7):2119-2127. YU Ya-ping, YI Hai-wei, KONG Fan-hua, et al. Scale effect of Nanjing urban green infrastructure network pattern and connectivity analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(7):2119-2127.
- [27] 刘世梁, 安南南, 侯笑云, 等. 澜沧江下游景观破碎化时空动态及成因分析[J]. 生态环境学报, 2018, 27(7):1351-1358. LIU Shiliang, AN Nan-nan, HOU Xiao-yun, et al. Spatio-temporal dynamics of landscape fragmentation and its influencing analysis in the downstream of Lancang River basin[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(7):1351-1358.
- [28] 刘昕, 国庆喜. 基于移动窗口法的中国东北地区景观格局[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6):1415-1422. LIU Xin, GUO Qing-xi. Landscape pattern in northeast China based on moving window method[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(6):1415-1422.
- [29] 邵楠. 南阳市乡村聚落空间分布特征及驱动力分析[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(2):220-225. SHAO Nan. Analysis of spatial distribution characteristics and driving forces of rural settlement in Nanyang City[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(2):220-225.
- [30] 黄晓东, 蒲春玲, 宋建华, 等. 干旱生态脆弱区土地生态安全评价——以新疆为例[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(24):6416-6422. HUANG Xiao-dong, PU Chun-ling, SONG Jian-hua, et al. Ecological security assessment on the arid ecologically fragile zone: A case study of Xinjiang[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(24):6416-6422.