

薛冬萍,薛杰,戴恒,等.和田绿洲景观破碎化特征及驱动因素[J].中国沙漠,2021,41(4):59-69.

## 和田绿洲景观破碎化特征及驱动因素

薛冬萍<sup>1,2</sup>, 薛杰<sup>1</sup>, 戴恒<sup>1,2</sup>, 孙怀卫<sup>3</sup>, 刘毅<sup>1,2</sup>, 刘云飞<sup>1,2</sup>, 桂东伟<sup>1</sup>

(1.中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室/新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.华中科技大学 水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**景观破碎化改变着区域景观结构的完整性和系统的连通性,对景观的稳定性和可持续发展具有重要影响。选取新疆和田绿洲为研究区,以1970年新疆考察数据与MSS影像,1990、2000、2013、2018年4期Landsat TM/ETM+同月相数据为主要数据源,采用景观指数法、移动窗口法、梯度分析及归因分析等方法开展绿洲景观破碎化的时空格局变化及驱动因素的研究。结果表明:近50年来,景观分裂指数(DIVISION)由0.94减少到0.89,香浓多样性指数(SHDI)从1.44减少到1.28,绿洲景观破碎化整体呈现减缓趋势。其中,城市景观破碎化程度最低,沿破碎化梯度从城市中心向外围呈现先上升后下降的趋势。此外,景观破碎化程度与农业的发展呈倒“U”型函数关系,当农业扩张在绿洲面积的40%—50%时,景观破碎化程度达到峰值。人口增长,农业扩张与社会经济发展共同影响着绿洲破碎化的时空格局。本研究不仅为干旱区绿洲景观破碎化格局的空间变化分析及驱动因素研究提供科学依据,也对绿洲生态景观的规划与可持续管理具有重要的意义。

**关键词:** 绿洲; 景观破碎化; 移动窗口法; 时空变化; 破碎化指数

**文章编号:** 1000-694X(2021)04-059-11

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00019

**中图分类号:** P901

**文献标志码:** A

## 0 引言

景观格局变化研究已成为全球环境变化研究的核心领域<sup>[1-2]</sup>。绿洲是干旱区荒漠环境变化背景下,由人工绿洲和天然植被组合而成的复杂景观载体,是干旱区能流、物流最集中的场所和生态环境最敏感的区域<sup>[3-6]</sup>。近年来,随着气候变化和人类活动的加剧,尤其是土地利用的无序变化,使得原本脆弱的绿洲景观结构更加复杂化,呈现出不同程度的“破碎化”态势<sup>[7-11]</sup>。这改变了区域景观结构的完整性和系统的连通性,进而导致区域生态环境变化,对景观的稳定性和可持续发展产生不可逆的影响<sup>[12-13]</sup>,将在一定程度上影响绿洲的产业发展与社会稳定,最终危害绿洲的可持续发展。因此,开展绿洲景观破碎化时空格局变化及其驱动因素的探讨具有重要的理论意义,

也对区域景观规划与管理具有重要的实践意义。

区域景观破碎化指景观自然分割及人类开发过程中人为“切割”的破碎化程度,即景观格局从单一、均质和连续性的整体结构向不连续的斑块镶嵌体转变<sup>[14-15]</sup>。破碎化对景观的结构、功能和生态过程会产生不同程度的影响,是景观格局演变的重要特征<sup>[16]</sup>随着科技水平的发展,景观格局的研究方法已从传统的定性描述发展为数理统计和“3S”技术相结合的方式定量评估<sup>[17-18]</sup>,许多学者认为景观破碎化分布具有一定的规律特征,并在景观破碎化与城市化过程<sup>[19]</sup>、生物多样性<sup>[20]</sup>、农业发展规划<sup>[21]</sup>等方面进行了大量的研究。但这些研究多侧重于景观指数分析,涉及干旱绿洲区景观破碎化的研究报道相对较少,尤其是具有农业、城镇及天然植被复合功能的绿洲景观破碎化时空格局及其驱

收稿日期:2020-09-21; 改回日期:2021-02-04

资助项目:中国科学院西部青年学者项目(2017-XBQNXZ-B-016);荒漠与绿洲生态国家重点实验室开放基金项目(G2018-02-08);中国科学院基础前沿科学研究计划项目(ZDBS-LY-DQC031);国家自然科学基金项目(42071259,U1603343,41601595);中国科学院青年创新促进会项目(2019430)

作者简介:薛冬萍(1996—),男,河南济源人,硕士研究生,主要从事旱区环境变化及地下水模拟研究。

E-mail: xuedongping19@mails.ucas.ac.cn

通信作者:薛杰(E-mail: xuejie11@ms.xjb.ac.cn)

动因素研究仍缺乏。

移动窗口法因其能够有效分析景观格局指数的变异状况在地理学和景观生态学受到了广泛的应用。新疆和田绿洲与干旱区其他绿洲一样,具有完备的景观结构功能。本文以新疆和田绿洲为研究区,以多时相遥感影像数据为主要基础数据,结合移动窗口法和“3S”技术,利用破碎化指标与归因分析等方法对绿洲景观破碎化的时空格局变化以及驱动因素进行深入研究,为干旱区绿洲景观生态结构优化、设计和可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况与数据来源

和田绿洲(37°00′—37°30′N, 79°30′—80°30′E)处于塔克拉玛干沙漠南缘、昆仑山北麓(图1),属于典型的干旱荒漠气候。多年平均气温 13 °C,年降水量小于 50 mm,年蒸发量 2 746.3 mm,植被覆盖率低,生态系统较为脆弱。玉龙喀什河和喀拉喀什河为绿洲形成与演变提供了地表水来源,渠系发达,形成了典型的人工农田绿洲景观。大风和沙尘暴是和田绿洲主要的灾害性天气,目前绿洲内部水资源过度使用,生态环境脆弱性不断恶化。

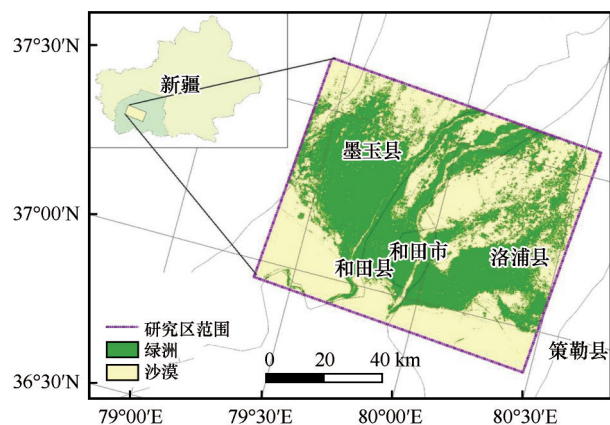


图1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

本文以1970年新疆考察数据与同时期MSS遥感影像(分辨率79 m),1990、2000、2013、2018年的同时相Landsat TM-ETM+遥感影像(分辨率30 m)为基础数据,实地考察数据与地形图相结合,利用ENVI5.2和ArcGIS10.5软件对图像进行预处理,完成几何精校正以及重采样。根据中国科学院土地利用/土地覆被分类系统,采用监督分类的方法并结

合和田绿洲的特点,最终将土地利用/覆盖类型分为8类:耕地、林地、水域、城乡工矿居民用地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、沙漠。随机选取50个样本点检验分类结果的精确度,其Kappa系数为0.92,满足研究条件。此外,本研究需要的农业和社会经济数据均来源于《新疆统计年鉴》2000—2018、《和田水资源公报》2000—2018、《和田地区国民经济和社会发展统计公报》2010—2018年等。

### 1.2 景观格局指数选取

景观格局指数是量化描述景观格局特征的主要方法。由于单一指标的选取难以对大规模景观破碎化过程表现出明显的敏感性<sup>[22-23]</sup>,在参考前人研究的基础上<sup>[24-27]</sup>,本文在景观水平上,针对聚散性、密度、敏感性等特点,选取Fragstates 4.2软件中的5种景观指数来表征景观破碎化程度。

景观分裂度指数(Landscape Division Index, DIVISION)。景观分裂度指数指某一景观类型中不同斑块数个体分布的分裂程度。

$$DIVISION = \left[ 1 - \sum_{j=1}^n \left( \frac{a_j}{A} \right) \right] \quad (1)$$

式中: $a_j$ 是景观类型中某类型斑块 $j$ 的面积。其中,景观分裂度指数越大,表明景观类型的破碎化程度越严重,斑块类型的单个面积也就越小,整体景观也就越复杂。

景观斑块密度(Patch Density, PD)。景观斑块密度是指景观类型中斑块个数与其斑块面积的比值。

$$PD = \frac{\sum_{j=1}^n N_j}{A} \quad (2)$$

式中: $\sum_{j=1}^n N_j$ 表示某一类型的景观类型数量或所有景观类型的数量; $A$ 表示某一景观类型的面积或者研究区总面积。 $PD$ 值越大,破碎化程度越严重。

香浓多样性指数(Shannon's diversity index, SHDI)。香浓多样性指数是敏感性指标。

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m P_i \ln(P_i) \quad (3)$$

式中: $P_i$ 为景观斑块类型 $i$ 所占的面积; $m$ 为景观斑块类型的数量。SHDI表示斑块类型越丰富,破碎化程度越高,导致其不确定性的信息含量也越大,SHDI也就越高。

有效粒度尺寸(Effective mesh Size, MESH)。有效粒度尺寸主要量化不同景观类型面积在总区

域中的占比。

$$MESH = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{10000 \times A} \quad (4)$$

式中: $A$ 为研究区总面积; $a_{ij}$ 为类型 $i$ 的第 $j$ 类斑块面积; $n$ 为某类别斑块数量。有效粒度尺寸数值越小,景观破碎化越严重。

散布与并列指数(Interspersion and Juxtaposition Index, IJI)。散布与并列指数是描述景观空间格局最重要的指标之一,对受自然因素严重制约的生态系统分布特征反映敏感。

$$IJI = \frac{a_{ij}^2 \sum_{j=1}^m \left[ \left( \frac{e_{jk}}{\sum_{k=1}^m e_{jk}} \right) \ln \frac{e_{jk}}{\sum_{k=1}^m e_{jk}} \right]}{\ln(m-1) \times 10^{-2}} \quad (5)$$

式中: $e_{jk}$ 是某类 $i$ 和 $k$ 的边界总长度,包括了整个边界的长度和所有背景线的长度。IJI取值越小,表明某一类斑块类型与其他类型相邻接的数量就越少。

### 1.3 绿洲土地变化趋势

量化绿洲土地类型面积的变化趋势,是评价未来景观破碎化程度的重要依据。

$$K = \frac{\frac{U_b - U_a}{U_a}}{T} \times 100\% \quad (6)$$

式中: $K$ 是研究时间范围内绿洲土地演化动态度; $U_a$ 、 $U_b$ 分别为研究初期和末期的某一类型土地利用的面积; $T$ 是研究时间总长。

### 1.4 空间分析方法

景观异质性是景观格局产生梯度差异的原因<sup>[28-30]</sup>,梯度分析能够有效反映出景观格局的空间变化规律。本文采用移动窗口法计算和田绿洲景观破碎化空间分布及其内部水平差异。根据研究区范围,选取大小为1、2、3、10 km的移动窗口进行对比分析。前期研究表明,当移动窗口大小为2 km×2 km时能较好地反映出绿洲景观破碎化格局的情况<sup>[3,28]</sup>。以和田市区(37.11214°N, 79.91353°E)为中心,沿4条样带的8个方向(东-西,南-北,东南-西北,东北-西南)进行空间移动窗口分析,构建8个方向上的样带,对有代表性的指标进行等距采样,从而获得景观破碎化由市中心向绿洲外围的梯度差异(图2)。

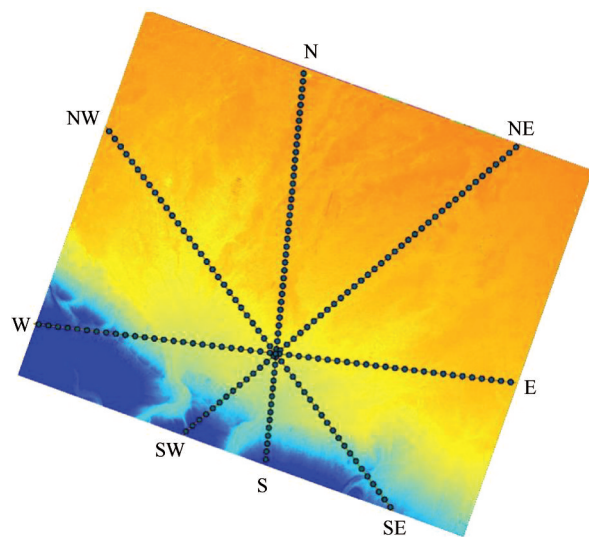


图2 梯度分析示意图

Fig.2 Schematic diagram of gradient analysis

为了探讨农业发展与景观破碎化之间的关系,将研究区划分为2 km×2 km的格网单元,以农业用地在格网中所占的百分比来表示农业化水平,并计算各单元内的不同类型景观破碎化指数,最终对农业化水平与景观破碎化指标进行相关分析,以评估其二者的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 绿洲土地利用/覆盖类型时空变化及其特征

由表1和图3可知,1970—2013年,和田绿洲农业化进程加快,耕地规模显著增加,草地面积不断缩小。其中,耕地面积增加了416.7 km<sup>2</sup>,增加25.9%。中覆盖度草地下降最为严重,减少了164.52 km<sup>2</sup>。林地和水域面积变化幅度不大。这是由于绿洲内部的土地类型频繁转换与绿洲边缘的外扩。2013—2018年,和田绿洲发生显著的城市化现象,城乡工矿居民用地大幅增加,耕地和草地出现不同程度的下降。其中,城乡工矿居民用地面积增加了432.3 km<sup>2</sup>,增加325%;低覆盖度草地面积减少幅度最大,减少了584.6 km<sup>2</sup>;耕地面积变化幅度较小,面积仅减少161.1 km<sup>2</sup>。进入21世纪后,随着钻探技术的提高,以及政府为缩小区域差异,出台政策鼓励开垦耕地,农民积极性提高,导致耕地面积迅速增加。此外,随着城市化进程加快,城市用地挤占大量耕地,以及退耕还林还草政策实施,加之农业种植结构的变化,造成了耕地面积的减少。



表 1 和田绿洲土地利用/覆盖面积(km<sup>2</sup>)变化  
Table 1 Changes in land cover area of Hotan Oasis landscape types (unit: km<sup>2</sup>)

年份	耕地	城乡工矿居民用地	低覆盖度草地	中覆盖度草地	高覆盖度草地	林地	水域
1970	1 606.845	89.284	1 982.421	800. 6857	255.837	105.688	235.861
1990	1 466.478	159.624	1 880.225	856.493	153.765	162.674	151.374
2000	1 247.563	229.14	1 970.462	942.577	148.401	167.743	249.887
2013	2 023.592	132.922	1 828.937	636.142	202.721	104.911	226.439
2018	1 862.493	565.248	1 244.332	194.309	49.729	165.382	134.299

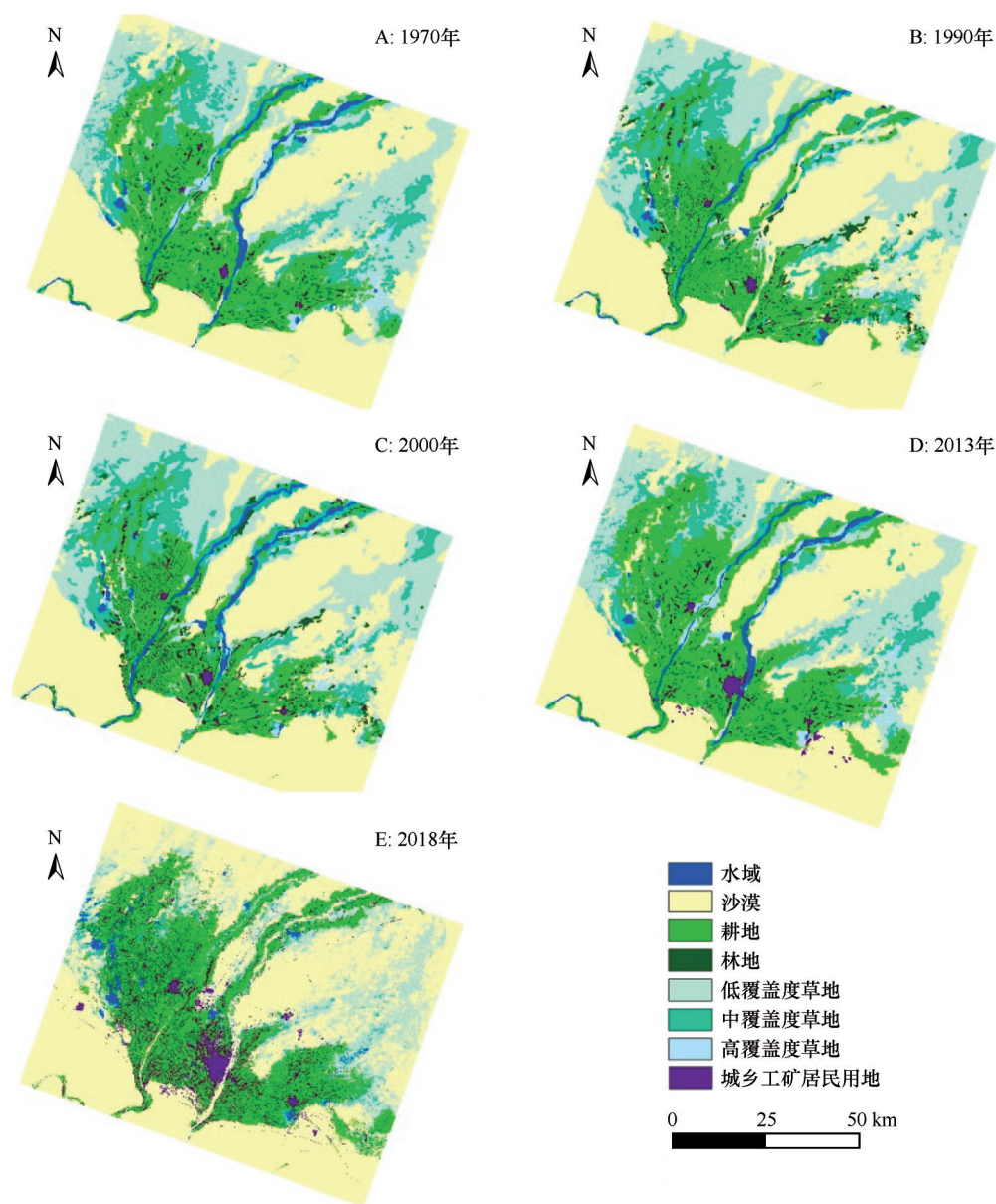


图3 1970—2018年和田绿洲土地利用/覆盖时空变化  
Fig.3 Temporal and spatial changes of land use in Hotan Oasis from 1970 to 2018

从图 4 可知,自 1970—2018 年,和田绿洲城乡工矿居民用地变化速率( $K$ )最大,而低覆盖度草地的变化量最大,但是其相对变化量却不大,尤其耕

地相对变化量较小,这表明在该时间段内绿洲的城市化进程加快,挤占了大量的草地,特别是在 2013—2018 年,城乡工矿居民用地面积增长非常迅速。

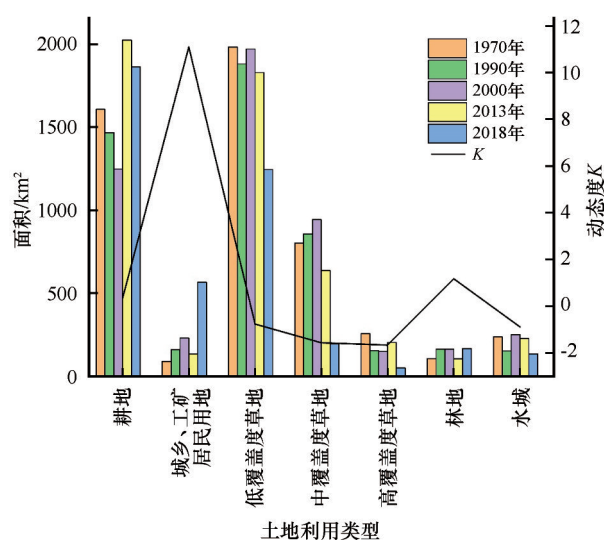


图4 和田绿洲景观构成和动态度K变化

Fig.4 Changes of landscape composition and dynamic degree K of Hotan Oasis

## 2.2 绿洲景观破碎化时空格局与梯度变化

近50年来,绿洲景观破碎化时空格局整体表现为绿洲中心人口密集区和外围景观的破碎化,显著低于绿洲其他区域(图5)。其中,绿洲西部及河流两岸地区破碎化程度较大,主要是河道两侧土地利用类型多样以及绿洲边缘地带生态脆弱性所导致。1970—1990年DIVISION高值主要在绿洲东部地区呈现出增加态势,这是绿洲内部耕地扩张的结果。在2000年,DIVISION高值与1990年相比没有太大的变化,表明绿洲景观破碎化呈现出放缓的趋势。2000—2013年DIVISION面积分布在东部绿洲区大幅减少,西部绿洲边缘区也呈减少态势。主要是由于之前存在的草地和大面积未利用地被耕地所取代,景观破碎程度降低。2013—2018年DIVISION高值面积没有明显变化,表明绿洲景观破碎化趋于稳定态势。

对3个有代表性的年份进行梯度分析表明,从城市中心到绿洲外围,DIVISION并没有表现出对称分布趋势,而是呈现出波状分布(图6),即市中心地区景观破碎化程度低,而市中心外围景观破碎化程度较高,且最高点有向外延伸的趋势。除东北—西南方向外,其余6个方向上近50年间景观破碎度均呈现出先上升后下降的趋势。东北—西南走向的景观破碎度则呈现相对上升的状态。该结果表明,人口密集区的市中心并不是破碎化最严重的地区,城乡工矿居民用地在该区域占绝大比例,边界简

单,景观连通性和整体性好。而在农业用地区,农田边界的变化深刻影响着绿洲景观的破碎度。

## 2.3 绿洲景观破碎化驱动因素

由图3、7可知,50年间和田绿洲农业用地呈现出减少—增加—减少的趋势,从1970年的1606.8 km<sup>2</sup>缓慢降至2000年的最低点,农业用地面积仅为1247.59 km<sup>2</sup>,这一时期农田景观类型上DIVISION呈持续增长状态,MESH不断下降,说明农田地块破碎化严重。而同期绿洲整体景观类型斑块IJI、MESH呈现出先上升后下降的趋势,DIVISION与SHDI先下降后上升,表明绿洲景观类型斑块的波动变化受到农田因素影响较大。2000—2013年,随着耕地面积的迅速扩张农业用地类型上DIVISION呈现下降趋势,而MESH大幅增加,表明农业的扩张加速了斑块类型的整合速度,农业斑块类型的破碎化进程已经减缓。在同期整体景观类型水平上,MESH、IJI、SHDI、DIVISION及PD变化幅度不大,说明这一时期耕地的快速扩张,并没有造成和田绿洲景观类型破碎化程度加剧。2013年后,耕地增长趋势放缓,并呈现出逐渐下降趋势,耕地类型水平DIVISION略有回升,MESH出现下降说明其他景观类型用地破坏了耕地的连通性,造成破碎化程度增加,但在整体景观类型水平上IJI、SHDI、DIVISION呈现下降趋势,MESH则呈现出上升趋势,表明景观破碎化程度减少。

不同景观破碎化指标,如DIVISION、PD与农业化水平之间具有较强的非线性关系(图8)。这说明景观破碎化程度与农业化水平有较为紧密的联系。DIVISION、PD与农业化水平之间的关系呈现倒“U”型的函数关系,说明农业化的发展并不一直加剧景观破碎化程度,而是当农业化发展到一定的程度后景观破碎度转变为下降趋势。当农业化发展到40%—50%,景观破碎化程度达到峰值。此结果与仇江啸等<sup>[28]</sup>结论基本一致。总之,在绿洲发展初期,农业化发展水平较低,大量地开垦致使不同类型的斑块数量增加,造成景观破碎化程度持续加剧。而随着农业化发展到一定水平,不同类型斑块之间会出现“粘合”的状态,即不同斑块之间的相互“蚕食”,导致面积扩大到一定的程度后,斑块之间互相整合为一个大的斑块,从而导致景观破碎化程度趋于减小。

选取城镇人口比例、农机总动力、有效灌溉面



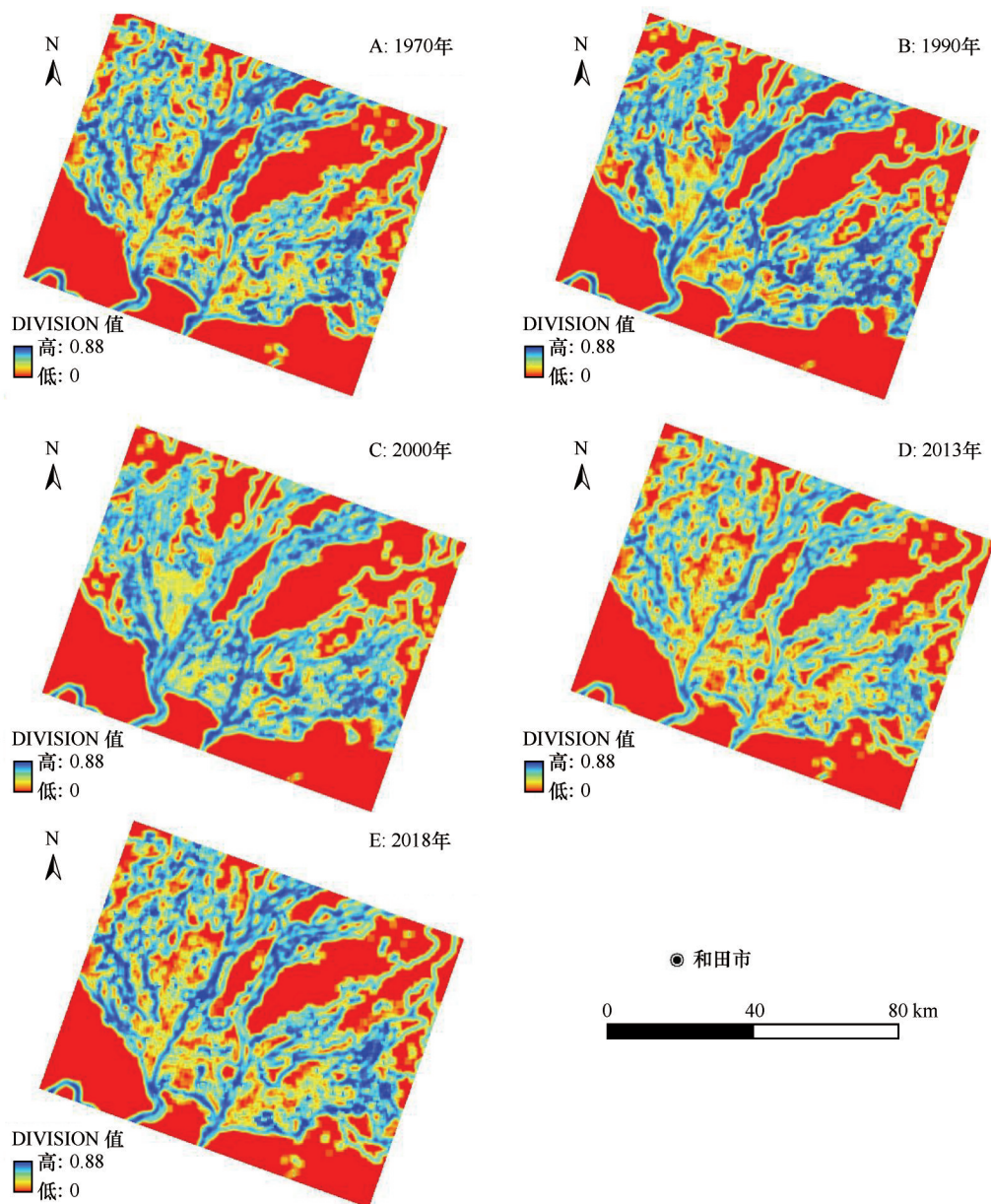


图5 景观类型破碎化时空分布

Fig.5 Spatiotemporal distribution of landscape fragmentation

积、地区生产总值、固定资产投资总额、财政支出等表征社会经济因素对绿洲景观破碎化的影响(表2)。结果表明,由于干旱区绿洲的生态环境脆弱性,相对自然因素而言,人为因素是绿洲景观破碎化的主要影响因素,产业结构和经济发展模式是导致土地利用动态变化的直接原因,也是改变绿洲景观结构和格局的重要驱动因素。而这两者与人类活动息息相关,一方面,农业生产力的发展,机械化逐步普及,促使其多余的劳动力像其他产业流动。而绿洲景观结构的改变,在某种意义上来看,也是由于人们所从事的生产活动所影响。另一方面,城市人口

的数量是影响城市规模的主要因素,而建设用地的的发展可以直接影响城市的规划布局和景观的破碎化程度。

从表中可以看出,城镇人口在近30年增长了20万,城市规模相对扩大,在一定程度上造成了绿洲景观的破碎化,但城市化率却呈下降趋势,而农村地区由于人口激增加大了对土地的需求,大量的田间道路与分散的居民区加剧了绿洲景观破碎化的程度,表明人口是导致绿洲景观破碎化加剧的主要社会驱动因素。人口的增长以及基础设施的建设深刻地影响着绿洲地区土地的利用方式,交通干线

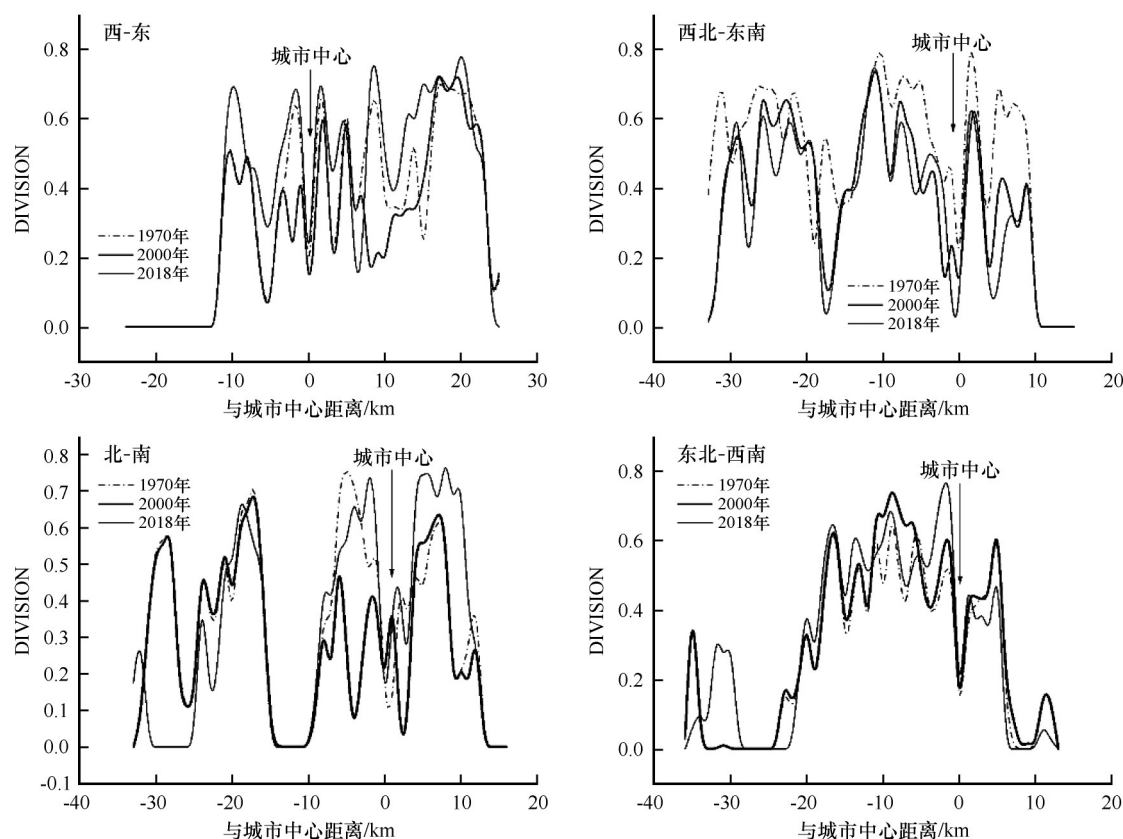


图6 景观分裂度(DIVISION)在城市8个方向上的时间梯度变化规律

Fig.6 The temporal gradient change law of landscape fragmentation in 8 directions of the city

的建设以及大量农村住宅的修建使得完整的耕地变得破碎,不断“侵蚀”着农田,造成农田景观连通性降低。

数据时间跨度大,数据的来源与获取受到了限制,导致在进行经济指标的分析时只能选取一些有代表性的数据。2010年以前,耕地面积的变化是绿洲破碎化的一大主因,这是农机总动力的提升造成的,2010年后,受政府政策影响,服务业进入兴盛期,第三产业增加值迅速增加,种植业不再成为和田地区的支柱产业,政府财政支出大幅增加,修建各种水利设施,致使绿洲有效灌溉面积扩大,从而绿洲景观破碎化程度下降,说明经济的快速发展是影响绿洲破碎化程度的间接因素。

对于干旱区而言,生态环境的脆弱性是这一地区的突出特征,应采取适当的措施来控制能够加剧绿洲景观破碎化程度的各种社会和经济因素,如提高城镇化率,对农田区住宅进行集中安置以缓解农村地区人口快速增加对耕地的挤占,优化水利设施布局改善种植结构,从而增加农田地区景观的连续性,这将促进绿洲的生态环境可持续发展。对于绿洲内景观破碎化最严重的农业地区和绿洲边缘破

碎带,尤其是绿洲西部和北部地区,政府在调整和优化农业种植模式时,应该采取相应的措施来遏制景观破碎化的趋势,如优化机井的分布位置,采用河道与灌渠相结合的灌溉模式等,降低该区域的景观破碎化程度,而在城市用地范围,应该增加绿地和水域的建设。虽然这样会造成一定程度的景观破碎程度上升,但是这对于绿洲地区的景观生态起到积极的作用。

目前,对于景观破碎化的研究主要采用的是“3S”技术与景观模型相结合方法,以此来进行景观破碎化时空格局演变分析<sup>[31-35]</sup>。近年来,基于高分辨率、多时相的遥感卫星与景观模型构建的研究取得了较好的进展,但是在对景观破碎的研究上并没有统一的计量方法<sup>[36-37]</sup>。前人对景观破碎的研究集中在整体景观的定量描述、空间格局的研究<sup>[38-40]</sup>,但是在涉及时空格局的演变以及驱动因子的分析还少。本文基于景观指数和移动窗口分析,结合多时相的遥感影像从斑块类型和整体景观两种类型来进行景观破碎化分析,由于数据源获取的空间分辨率不一致,不同分辨率在进行景观指数计算时,会因为不同的栅格像元产生不同的“粒径效

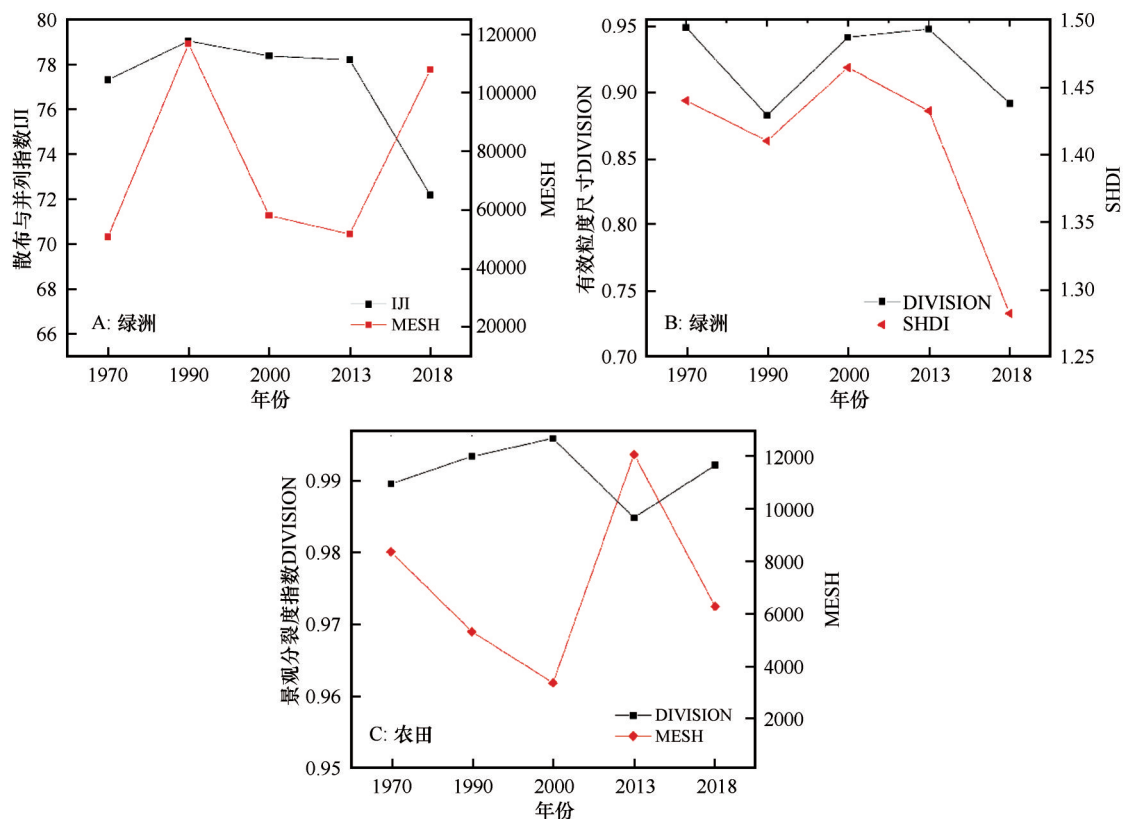


图7 农田景观类别与绿洲景观类别之间的关系

Fig.7 The relationship between farmland landscape categories and oasis landscape categories

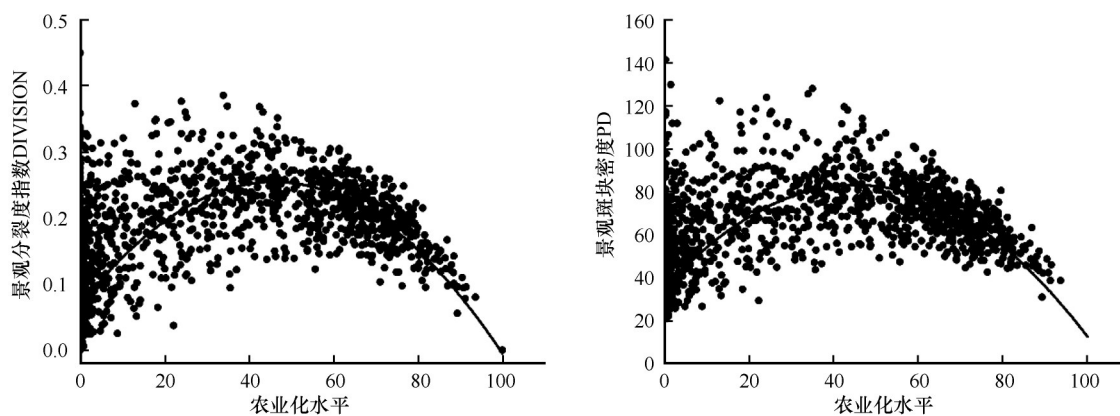


图8 景观分裂度指数、斑块密度与农业化水平之间的关系

Fig.8 The relationship between landscape fragmentation index, patch density and agriculturalization level

表2 1990—2018年和田绿洲景观破碎化主要影响因子变化

Table 2 Changes in the main factors affecting landscape fragmentation in Hotan Oasis from 1990 to 2018

年份	城镇人口 比例/%	总人口 /万人	农机总动力 /万W	地区生产 总值/万元	第一产业 /万元	第二产业 /万元	第三产业 /万元	固定资产投资 总额/万元	财政支出 /万元	有效灌溉 面积/hm <sup>2</sup>
1990	25.37	134.2	22 227	91 679	47 341	14 656	29 681	162.67	151.37	156 706
2000	25.46	166.4	33 364	271 280	149 948	37 145	84 187	162.74	249.88	160 790
2010	22.43	208.9	53 275	1 034 972	363 132	175 493	496 347	104.91	226.43	165 410
2018	21.70	252.2	109 760	3 055 700	687 532	546 970	1 821 197	165.38	134.29	365 913



应”<sup>[41-45]</sup>,虽然通过重采样来减少不同年份的空间分辨率带来的“粒径效应”,但还是存在一定的误差。因此对于不同空间分辨遥感影像进行景观破碎化分析还需要进一步研究。

### 3 结论

以1970年新疆考察数据及MSS影像相结合,1990、2000、2013、2018年4期Landsat TM/ETM+同月相数据,采用景观指数法、移动窗口法、梯度及归因等方法量化分析了绿洲地区景观破碎化时空格局变化及驱动因素。

近50年来,绿洲景观破碎化整体呈现减缓趋势。其中,城市景观破碎化程度最低,沿破碎化梯度从城市中心向外围呈现出先上升后下降的趋势。空间分布表现为交替对称结构,沿西北-东南走向,景观破碎化呈现出增加-减少-增加的双峰特征。

人口增长、农业扩张与社会经济发展共同影响着绿洲破碎化的时空格局。人口数量的增长是导致绿洲景观破碎程度变化、破碎化程度加剧的直接因素,而农业扩张与社会经济发展对破碎化的格局产生间接的影响,当农业化扩张发展程度达在绿洲面积的40%—50%时,景观破碎化程度达到最高峰值。

综上所述,在评价干旱区景观破碎化格局时,需进一步考虑破碎化对景观类型的生态意义,同样应充分考虑由人类活动而引发的生态环境变化对景观破碎化产生影响的定量评估,从而能够更加科学合理地指导绿洲农业的发展和规划。

### 参考文献:

- [1] 韩其飞,罗格平,白洁,等.基于多期数据集的中亚五国土地利用/覆盖变化分析[J].干旱区地理,2012,35(6):909-918.
- [2] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报,1996(6):553-558.
- [3] 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.
- [4] 巩杰,谢余初,高彦净,等.1963—2009年金塔绿洲变化对绿洲景观格局的影响[J].生态学报,2015,35(3):603-612.
- [5] 贾宝全,慈龙骏,韩德林,等.干旱区绿洲研究回顾与问题分析[J].地球科学进展,2000(4):381-388.
- [6] 刘传胜,张万昌,雍斌,等.绿洲景观格局动态及其梯度分析的遥感研究[J].遥感信息,2007(3):62,66,84,102.
- [7] Wang Y G, Xiao D N, Li Y. Temporal-spatial change in soil degradation and its relationship with landscape types in a desert-oasis ecotone: a case study in the Fubei region of Xinjiang Province, China [J]. Environmental Geology, 2007, 51 (6) : 1019-1028.
- [8] 付扬军,师学义,和娟,等.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.
- [9] 王道骏,陈英,贾首杰,等.基于景观格局指数的耕地细碎化研究:以甘肃省临夏北塬地区为例[J].中国农学通报,2014,30(32):184-188.
- [10] 王蓉,周宝同,甘雪坤.西南山地景观破碎化与城镇化及社会经济发展水平的关系研究:以重庆市渝北区为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(3):624-631.
- [11] 李秀梅,白涛.干旱区冷凉型绿洲景观格局变化分析[J].中国沙漠,2014,34(3):919-926.
- [12] 毋兆鹏.中国绿洲稳定性研究的审视[J].干旱区资源与环境,2008(10):42-48.
- [13] 胡艳兴,潘竟虎.基于土地利用空间格局的兰州市景观稳定性[J].中国沙漠,2016,36(2):556-563.
- [14] 傅伯杰.景观生态学原理及应用[J].应用与环境生物学报,2011,17(2):157.
- [15] 傅小锋.干旱区绿洲发展与环境协调研究[J].中国沙漠,2000,30(2):96-99.
- [16] 洪鸿加,彭晓春,陈志良.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.
- [17] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽.干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征:以新疆精河县为例[J].生态学报,2009,29(3):1251-1263.
- [18] 郭明,马明国,肖笃宁.基于遥感和GIS的干旱区绿洲景观破碎化分析:以金塔绿洲为例[J].中国沙漠,2004,34(2):89-94.
- [19] Gao J, Li S. Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression [J]. Applied Geography, 2010, 31(1):292-302.
- [20] 林世滔,谢弟炳,刘郁林,等.景观格局特征与区域生物多样性的关系研究[J].生态环境学报,2017,26(10):1681-1688.
- [21] 孙玉芳,李想,张宏斌.农业景观生物多样性功能和保护对策[J].中国生态农业学报,2017,25(7):993-1001.
- [22] Bogaert J. Forest Fragmentation: Causes, Ecological Impacts and Implications for Landscape Management [M]//Li C, Lafortezza R, Chen J. Landscape Ecology in Forest Management and Conservation: Challenges and Solutions for Global Change. 2011:273-296.
- [23] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation [J]. Landscape Ecology, 2000, 15(2):115-130.
- [24] 曹宇,肖笃宁,欧阳华,等.额济纳天然绿洲景观演化驱动因子分析[J].生态学报,2004,24(9):1895-1902.
- [25] 张秀霞,颜耀文,吕利利.敦煌绿洲近30年的景观变化研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(3):170-175.
- [26] Yang L, Pan X, Liu J, et al. Spatio-temporal variation characteristics of land surface temperature and cold island effect in Ejina oasis [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019,33(2):116-121.

- [27] 祖拜代·木依布拉,夏建新,普拉提·莫合塔尔,等.克里雅河中游土地利用/覆被与景观格局变化研究[J].生态学报,2019,39(7):2322-2330.
- [28] 仇江啸,王效科,逯非.城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系:以北京城区为例[J].生态学报,2012,32(9):2659-2669.
- [29] 赵玉涛,余新晓,关文彬.景观异质性研究评述[J].应用生态学报,2002(4):495-500.
- [30] 苏显力.基于移动窗口法的下辽河平原农田景观异质性研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [31] Dramstad W E. Integrating landscape-based values-norwegian monitoring of agricultural landscapes[J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 57(3/4):257-268.
- [32] 侯碧清,钟永德.3S技术在株洲市城市绿地景观空间结构中的应用[J].中南林学院学报,2005(3):68,72,88.
- [33] 康欢欢.榆林地区景观破碎化时空动态分析[D].西安:长安大学,2013.
- [34] 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉.黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J].生态学报,2013,33(14):4436-4449.
- [35] 李义玲,乔木,杨小林.干旱区典型流域近30年土地利用/覆被变化和景观破碎化分析:以玛纳斯河流域为例[J].中国沙漠,2008,28(6):1050-1057.
- [36] 冯永玖,刘艳,周茜.景观格局破碎化的粒度特征及其变异的分形定量研究[J].生态环境学报,2013,22(3):443-450.
- [37] 付刚,肖能文,乔梦萍.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.
- [38] 由畅,周永斌,于丽芬.景观破碎化数量分析方法概述[J].中国农学通报,2006(5):146-151.
- [39] 王新源,刘世增,陈翔舜,等.河西走廊绿洲面积动态及其驱动因素[J].中国沙漠,2019,39(4):212-219.
- [40] 常学礼,李秀梅,白雪莲,等.荒漠绿洲交错区绿洲扩张与主要水文过程[J].中国沙漠,2019,39(4):204-211.
- [41] Wu J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations[J]. Landscape Ecology, 2004, 19(2):125-138.
- [42] Alhamad M N. Mediterranean drylands: the effect of grain size and domain of scale on landscape metrics[J]. Ecological Indicators, 2010, 11(2):611-621.
- [43] Šímová P K G. Landscape indices behavior: a review of scale effects[J]. Applied Geography, 2012, 34:385-394.
- [44] Parent J R, Volin J C. Validating Landsat-based landscape metrics with fine-grained land cover data[J]. Ecological Indicators, 2016, 60:668-677.
- [45] 张志军,伍维模,张宏.塔里木河中游耕地扩张及景观破碎化研究[J].地理空间信息,2018,16(8):19-23.

## Analysis of spatial and temporal pattern changes and driving factors of Hotan Oasis

Xue Dongping<sup>1,2</sup>, Xue Jie<sup>1</sup>, Dai Heng<sup>1,2</sup>, Sun Huaiwei<sup>3</sup>, Liu Yi<sup>1,2</sup>, Liu Yunfei<sup>1,2</sup>, Gui Dongwei<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology / Cele National Station of Observation and Research for Desert-Grassland Ecosystems, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Landscape fragmentation changes the integrity of the regional landscape structure and the connectivity of the system, and has an important impact on the stability and sustainable development of the landscape. This paper selects Xinjiang Hotan Oasis as the research area, uses Xinjiang survey data and MSS images in 1970, and the four phases of Landsat TM /ETM+ data in 1990, 2000, 2013, and 2018 as the main data sources. The landscape index method, moving window method, Gradient analysis and attribution analysis methods to carry out research on the temporal and spatial pattern changes and driving factors of oasis landscape fragmentation, the landscape index method, moving window method, gradient analysis and attribution analysis were adopted. Research on the temporal and spatial pattern changes and driving factors of oasis landscape fragmentation. The results show that in the past 50 years, the DIVISION index (DIVISION) has decreased from 0.94 to 0.89, and the Shannon diversity index (SHDI) has decreased from 1.44 to 1.28. The fragmentation of the oasis landscape has shown a slowing trend overall. Using landscape index method, moving window method, gradient analysis and Attribution analysis and other methods are used to study the temporal and spatial pattern changes and driving factors of oasis landscape fragmentation. The results show that in the past 50 years, the landscape fragmentation index has decreased from 0.94 to 0.89, and the Shannon diversity index has decreased from 1.44 to 1.28. The fragmentation of the oasis landscape has shown a slowing trend overall. Among them, the urban landscape has the lowest degree of fragmentation, showing a trend of first rising and then falling along the fragmentation gradient from the city center to the periphery. In addition, the degree of landscape fragmentation has an inverted U-shaped function relationship with the development of agriculture. When the agricultural expansion is 40%–50% of the oasis area, the degree of landscape fragmentation reaches its peak. Population growth, agricultural expansion, and socio-economic development jointly affect the temporal and spatial patterns of oasis fragmentation. This research not only provides a scientific basis for the analysis of the spatial change of the fragmentation pattern of the arid oasis landscape and the study of driving factors, but also has important significance for the planning and sustainable management of the oasis ecological landscape.

**Key words:** oasis; landscape fragmentation; moving window method; temporal and spatial changes; fragmentation index