

渭干河–库车河流域及其子流域景观格局变化分析^①

姜红涛^{1,2}, 张 飞^{1,2*}, 塔西甫拉提·特依拜^{1,2}, 丁建丽^{1,2}

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 以西北干旱区渭干河–库车河流域作为研究区, 利用 ArcGIS 水文分析模块和 DEM 数据, 将研究区划分为 5 个子流域, 并选用 1998 年和 2011 年两期同时相遥感 Landsat TM 影像, 选择支持向量机(support vector machine, SVM)方法进行土地利用分类, 通过 Fragstats 软件计算全流域及其各个子流域的景观格局指数, 分析流域景观格局变化。结果表明: 在景观类型方面, 5 个子流域差别很大, 流域 A、D 中草地景观占较大比例, 流域 B 中的其他景观类型(山地、裸地等)占较大比例, 流域 C、E 中沙地占较大比例; 在全流域 Class 尺度方面, 草地及耕地的平均临接度指数(*CONTIG_MN*)减少, 林地的平均形状指数(*SHAPE_MN*)增加, 水体与建工地的平均斑块面积(*Area_MN*)一增一减, 盐碱地的斑块密度(*PD*)增加; 在子流域的 landscape 尺度方面, 子流域 B、C、E 在斑块数量(*NP*)、景观破碎度(*F*)和边缘密度(*ED*)的增长速度明显比子流域 A 和 D 快, 表明人类活动对绿洲核心地带景观格局的影响低于绿洲外围荒漠交错带。

关键词: DEM; 景观格局; 子流域

中图分类号: Q149

景观是由多个生态系统构成的异质性地域或不同土地利用方式的镶嵌体^[1]。景观格局是景观空间结构的具体体现, 是景观生态学研究的重要内容, 其包括景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置^[2]。景观指数可以定量表征景观格局演变, 建立格局与景观过程之间的联系, 是景观生态学中最常用的研究方法^[3–4]。景观格局变化分析是景观生态学研究的核心问题之一^[5], 对其研究可以揭示景观格局与生态系统之间的相互作用, 揭示其演变规律, 认识区域生态环境的变化趋势及内在因素, 对区域景观生态管理和保育政策的制定具有十分重要的意义^[6]。对于流域尺度而言, 景观空间格局及其动态演替是流域内部物理环境、动植物和人类活动 3 种因素的共同作用的结果^[7]。物理环境为流域整体景观格局形成及演替提供了背景因素; 生物学过程对小尺度上的斑块特征有重要影响; 人类活动在各个尺度上均起作用, 甚至是区域土地利用类型转换的主要驱动因子^[7–8]。

由于 3S 技术迅速发展及其带来的便捷, 逐渐成为进行景观格局变化分析的主流工具, 基于此方法, 国内

外学者对流域景观格局变化亦有较多的研究^[9–13]。多数学者对流域景观格局变化的研究主要集中在整个流域的变化, 又一个大流域可以按照水系等级分成数个小子流域, 对大流域进行划分, 研究其景观格局变化, 可以从更小的尺度分析其变化原因, 比较同一区域不同尺度的变化情况, 从不同尺度给出流域的生态环境状况。

本文以西北干旱区的渭干河–库车河流域为研究对象, 首先将研究区进行子流域的划分; 然后利用遥感技术进行土地利用类型的分类, 并计算整个流域及各个子流域的景观格局指数, 分析其景观格局变化原因, 以期通过本文的研究为该区域景观生态建设提供理论支持。

1 研究区概况

渭干河–库车河流域位于新疆塔里木盆地的中北部(图 1), 孕育产生了渭干河–库车河三角洲绿洲(渭–库绿洲), 行政区划属阿克苏地区的库车、新和、沙雅 3 县, 地理位置 39°30′~42°20′N, 81°40′~84°20′E。研究区北部是天山山脉, 是绿洲重要的水源地, 中

基金项目: 新疆自然科学基金青年科学基金项目(2012211B04)资助。

* 通讯作者(zhangfei3s@163.com)

作者简介: 姜红涛(1988—), 男, 河南沈丘人, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感与土地利用。E-mail: htjiang603@163.com

部是以里塔格山为主的长期被剥蚀的低山和残丘；南部冲积平原，以绿洲、戈壁和沙漠景观为主。研究区为大陆性暖温带干旱气候，年平均气温在 $10.5 \sim 14.4^{\circ}\text{C}$ ，降雨主要集中在夏季，冬季干燥少雨，春秋季节大风扬沙天气。本区地下水位高，土壤构成物颗粒细，透

水性差，造成该区土壤盐渍化现象较为普遍，天然植被主要有：胡杨(*Populus euphratica*)、红柳(*Tamarix ramosissima*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、芦苇(*Phragmites australis*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)等。

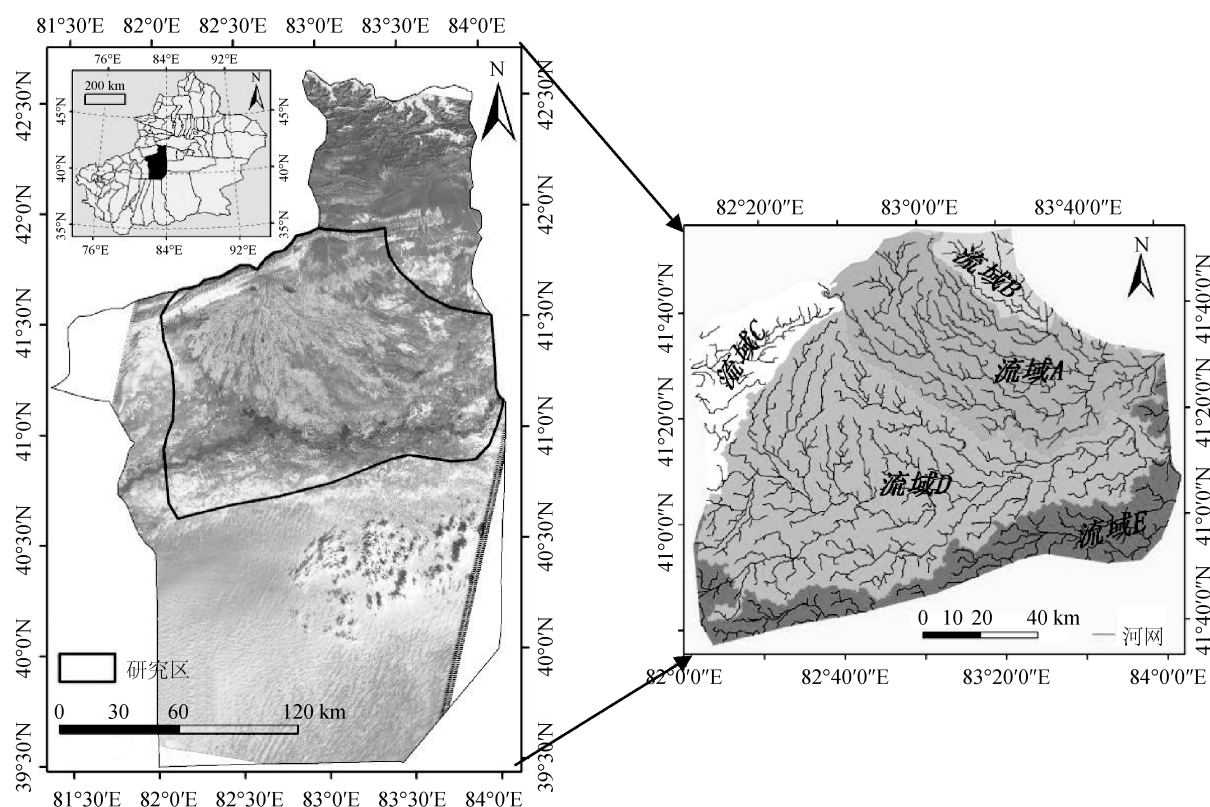


图 1 研究区示意图及子流域划分

Fig. 1 Illustration of study area and divided sub-watershed

2 数据获取及方法

2.1 数据获取

本研究选用 TM 遥感影像数据，分别为 1998 年 10 月和 2011 年 9 月，每个时段上下两景，共 4 景，从美国地质调查局网站下载；30 m 分辨率 DEM 从地理空间数据云网站下载；1998、2011 年全疆气象数据，从中国气象科学数据共享服务网下载；阿克苏统计年鉴、库车统计年鉴、新和统计年鉴和沙雅统计年鉴；研究区矢量化水系图，及 1:5 万地形图。

2.2 子流域的划分

流域又称集水区域，是指流经其中的水流和其他物质从一个公共的出水口排出从而形成的一个排水区域。数字高程模型(DEM)，它是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型，通常有不规则三角网、格网和矢量(数字线划)3 种形式。其中

格网 DEM 在结构上易于与遥感数据匹配，计算方法简单，是最为普遍的一种形式，在水文分析中有广泛的应用；利用 DEM 生成集水流域，成为大多数地表水文分析模型的主要输入数据。在 ArcGIS 平台支持下，利用 Hydrology 模块进行研究区水系特征的提取。操作步骤依次是：洼地填补，得到洼地的填充位置和填补量；水流方向栅格的生成，得到 8 分位的流向网格分析结果；流向累积栅格的生成；设定流向累积栅格的阈值，得到最适河系提取集阈值的大致范围；河系的提取与子流域的提取。本文在进行阈值设定时，由于没有实地考察资料，利用矢量化的水系图与 DEM 提取的河系图进行对比，考虑到实际的工作量，选择 1 000，2 000，3 000，...，10 000 的等差数列模式进行阈值的设定，最终发现阈值为 6 000 时，提取的河系图与矢量化水系图最为接近，以此结果作为进行子流域划分的依据。结合 1:50 000 地形图，生成研究区 5 个子流域(图 1)。

2.3 土地利用分类

支持向量机(SVM)是 Corinna 和 Vapnik^[14]于 1995 年率先提出,它在解决小样本、非线性及高维模式识别中表现出许多特有的优势,并能够推广应用到函数拟合等其他机器学习问题中,用 VC 维来表示训练样本和学习能力的错误率^[15]。SVM 的关键在于核函数,本文选用常用的径向基核函数(RBF)。由于核函数的已知数据存在一定的误差,考虑到推广性问题,因此引入了松弛因子 G 以及惩罚因子 C 两个变量来加以校正。本文利用 Libsvm 3.2 和 Matlab 2009a 对样本进行训练,选取适当的 C 、 G 值。

在 ENVI4.8 下对 4 景影像进行几何精校正、边缘增强等处理,将同时段两景影响进行拼接处理,利用研究区矢量图裁切影像。根据影像波谱特征和 GPS 实地考察定点地物类型,选择感兴趣区进行样本训练,采用 SVM 方法对影像进行监督分类,并在 ArcGIS 平台下对分类结果进行修饰。根据实际情况将研究区划分为耕地、林地、草地、建工地、水体、

盐碱地、沙地和其他(山地、裸地等)共 8 类景观类型。1998 年和 2011 年分类后的 Kappa 系数分别为 0.949 和 0.942,分类总精度分别为 95.56% 和 94.93%,满足研究需要,为景观指数的计算与选择打下了良好数据基础。

2.4 景观指标选取

将分类结果转化成 GRID 格式,利用景观格局分析软件 Fragstats 3.3 计算各类别景观格局指数。景观格局指数分为斑块(patch)、斑块类型(class)及景观(landscape)3 种类型,本文结合野外考察和参考文献[16],从 class 和 landscape 2 种类型进行景观格局指数的选取。在 class 水平上,选取平均邻接度($CONTIG_MN$)、斑块密度(PD)、平均斑块面积($Area_MN$)、平均形状指数($SHAPE_MN$)4 类;在 landscape 水平上,选取斑块数量(NP)、景观破碎度(F)、边缘密度(ED)、香农多样性指数($SHDI$)、香农均匀度指数($SHEI$)、斑块凝聚度($COHESION$)6 类。

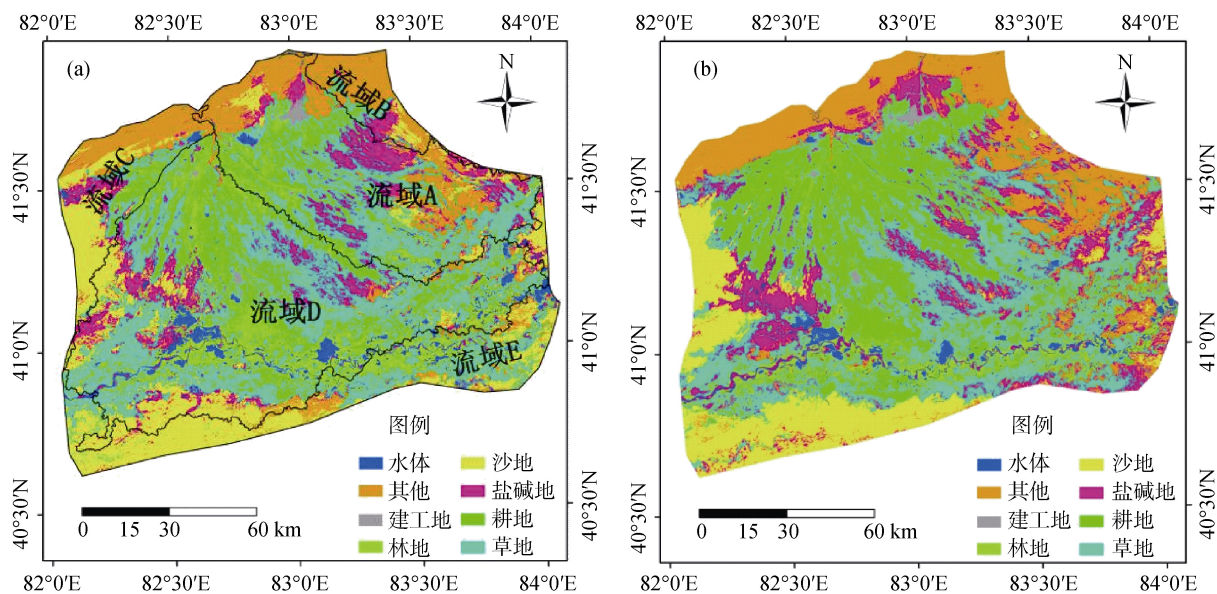


图 2 研究区景观分类图 (a: 1998, b: 2011)

Fig. 2 Landscape classification of study area

3 结果与分析

3.1 子流域土地利用类型

根据分类结果图 2,各子流域土地利用有较大的差异。流域 A 包含库车县绿洲大部,主要的景观类型为草地、其他(山地、裸地等)和盐碱地;流域 B 完全位于库车县,主要景观类型为其(山地、裸地等)、盐碱地和草地;流域 C 主要分布在新和县境内,主要景观类型为其(山地、裸地等)、草地和盐碱地;流域 D 是研究区最大的子流域,覆盖了研究区最大的

绿洲面积,主要景观类型为草地、林地和耕地;流域 E 位于研究区下部,与塔克拉玛干沙漠相接,全部属于沙雅县境内,主要景观类型为沙地、草地和盐碱地。

3.2 渭-库流域及其子流域景观格局变化分析

景观格局是景观异质性的具体体现,又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果。景观斑块的类型、形状、大小、数量和空间组合不仅是景观质量功能差异和干扰因素相互作用的结果,而且影响着区域生态过程及边界效应。本文利用景观格局指数分析方法,定量分析渭-库流域及其子流域生态景观格局变化。

根据表 1 所示：13 年间，沙地、林地和建工地的平均邻接度指数 *CONTIG_MN* 呈增长态势，而其他 5 类景观均下降；斑块密度 *PD* 表示景观斑块空间分布的均匀程度^[17]，水体、建工地和耕地的 *PD* 呈下降态势，其余 5 类景观均增加，其中林地与盐碱地增长显著；建工地的平均斑块面积 *Area_MN* 显著增长，其

余 7 类景观均下降，尤以水体与盐碱地减少最为显著，说明研究区总体斑块数量呈增长态势；平均形状指数 *SHAPE_MN* 呈四增四减态势，草地、林地、水体及盐碱地增加，其余景观减少，说明研究区沙地、其他(山地、裸地等)、建工地和耕地的景观形状结构趋于规则化和简单化。

表 1 1998—2011 年研究区景观结构指数
Table 1 Landscape structure indices in study area in 1998 and 2011

年份	指数(单位)	沙地	其他	草地	林地	水体	盐碱地	建工地	耕地
1998	<i>CONTIG_MN</i> (%)	0.644	0.470	0.671	0.671	0.692	0.694	0.673	0.694
	<i>PD</i> (10 ⁻² hm ²)	0.289	0.215	0.628	0.429	0.259	0.317	0.391	0.545
	<i>Area_MN</i> (10 ² hm ²)	47.585	16.270	38.107	24.325	71.938	34.631	24.536	16.957
	<i>SHAPE_MN</i>	1.468	1.296	1.475	1.501	1.424	1.503	1.488	1.501
2011	<i>CONTIG_MN</i> (%)	0.651	0.455	0.648	0.673	0.681	0.670	0.707	0.649
	<i>PD</i> (10 ⁻² hm ²)	0.413	0.222	0.674	0.874	0.176	0.750	0.234	0.439
	<i>Area_MN</i> (10 ² hm ²)	41.566	11.720	27.677	20.579	41.538	16.939	82.763	9.492
	<i>SHAPE_MN</i>	1.454	1.294	1.501	1.571	1.434	1.521	1.467	1.459

本文研究区的各子流域在景观水平的景观指数如表 2 所示。以 2011 年为例对子流域景观指数进行现状分析：流域 D 的景观斑块数量 *NP* 最多，流域 B 最少，与各子流域的面积相比较，发现各子流域的景观斑块与面积呈正比。流域 E 的景观破碎度 *F* 最大，是流域 E 处于沙漠与绿洲交错带，植被类型多样所致；流域 B 的 *F* 最小，是由于其景观类型单一，以其他(山地、裸地等)为主所致；其中流域 D 与流域 E 的 *F* 高于全流域，其余 3 个子流域均低于全流域。边缘密度 *ED* 表示异质景观要素斑块间的边缘长度^[18]。流域 A、D、E 的 *ED* 较高，流域 B、C 的 *ED* 较低且明显低于另外 3 个子流域，说明流域 B、C 的景观异质性较低，斑块之间物质、能量、物种及其他信息交换的潜力及相互影响的强度较弱^[18]。流域 B 的香农多样性指数 *SHDI* 与香农均匀度指数 *SHEI* 明显比其他 4 个子流域低，说明流域 B 的景观多样性与景观异质性明显比其他子流域低，同时全流域在景观多样性和异质性方面，高于大多数子流域；斑块凝聚度指

数 *COHESION* 是表示斑块连通性的指标之一^[19]，5 个子流域 *COHESION* 均在 99 以上，说明各子流域的斑块连通性相差不大，与全流域相比亦没有大的差别。

从全流域来看，6 种景观指数中，除了 *SHDI* 与 *SHEI* 呈减少以外，其余 4 种指数均呈增长趋势，表明流域总体的土地利用的格局朝着非均匀性发展，分析其原因，结合图 2 可知，2011 年流域东北部土地利用类型变得较为单一，其他类型土地较 1998 年相比占据较大比例，该区域为绿洲荒漠交错带，原本丰富的景观类型变得较为单一，直接导致了整体景观呈非均衡化发展，耕地及不可利用土地(沙地、裸地等)的增加。6 种景观指数中，斑块数量 *NP* 与斑块密度 *PD* 的变化比较大，为 23.15%，说明流域总体的景观破碎度增大。

13 年间，根据表 2，各个子流域的斑块数量 *NP*、景观破碎度 *F* 及边缘密度 *ED* 均呈增加趋势，*NP* 与 *F* 增长幅度依次是流域 C、E、B、D、A，*ED* 的增长

表 2 1998—2011 年研究区子流域景观指数比较
Table 2 Comparison of landscape indices in sub-watershed of study area between 1998 and 2001

指数	流域 A		流域 B		流域 C		流域 D		流域 E		全流域	
	1998	2011	1998	2011	1998	2011	1998	2011	1998	2011	1998	2011
<i>NP</i>	15 020	16 955	965	1 293	2 411	3 373	29 286	35 660	8 310	11 587	54 235	66 795
<i>F</i> (10 ⁻² hm ²)	0.033	0.038	0.013	0.017	0.016 0	0.022	0.036	0.043	0.031	0.044	0.031	0.039
<i>ED</i> (m/hm ²)	46.580	48.963	18.724	21.980	23.382	26.492	49.438	55.862	36.047	53.800	43.208	49.903
<i>SHDI</i>	1.774	1.681	1.161	0.941	1.638	1.695	1.921	1.827	1.770	1.828	1.968	1.923
<i>SHEI</i>	0.903	0.808	0.558	0.452	0.864	0.887	0.924	0.878	0.751	0.879	0.947	0.925
<i>COHESION</i>	99.435	99.358	99.424	99.584	99.510	99.533	99.346	99.412	99.434	99.057	99.484	99.530

幅度依次是流域 E、B、C、D、A。3 个指数中,流域 D 和 A 的增长幅度均排在最后,是由于流域 D 和 A 是整个流域的绿洲核心地带,高强度的人类活动已经对绿洲的开发做了大量工作,人类活动对绿洲核心地带景观格局的影响低于绿洲外围荒漠交错带。流域 C 和 E 的香农多样性指数 *SHDI* 和香农均匀度指数 *SHEI* 在呈增加趋势,流域 E 的增长速度明显高于流域 C。流域 C 北部与西部为山地和沙地等,其景观多样性和均匀度的发展受到两地类的限制,而流域 E 位于荒漠交错带,靠近塔里木河干流,地下水位较低,受人类活动影响较大,景观多样性和均匀度发展快于流域 C。两景观指数在其余子流域呈减少趋势,减少顺序依次为流域 B、A、D;3 个流域均存在耕地景观增加草地景观减少的现象。大量草地转化为耕地,加大了 3 个流域景观格局的规则性,降低了景观多样性及均匀度;又流域的景观破碎度增大,并朝向景观非均衡化方向发展,农用地的大面积增加,可能会导致整个绿洲生态系统走上崩溃的边缘,应该合理控制控制绿洲规模。斑块凝聚度指数 *COHESION* 在 A、E 流域呈增加趋势,在其他流域呈减少趋势,流域 B 在 5 个流域中 *COHESION* 变化率最大,是因为流域 B 的主要景观类型是其他(山地、裸地)、耕地和盐碱地,其他类型面积很少,景观类型面积间的不均匀性高于其他流域。

4 结论

(1) 对渭干河-库车河流域的土地利用分析表明:5 个子流域的土地利用类型差别很大,流域 A、D 草地景观比例较高,流域 B 其他(山地、裸地等)类型具有很大优势,流域 C、E 沙地景观较多。

(2) 对渭-库流域及子流域景观格局变化分析表明:13 年间,全流域斑块密度、景观破碎度、边缘密度和凝聚度指数呈增长趋势,而香农多样性指数与香农均匀度指数呈减少走势;全流域中草地及耕地的平均临接度指数减少,林地的平均形状指数增加,水体与建工地的平均斑块面积一增一减,盐碱地的斑块密度增加;人类活动对绿洲核心地带景观格局的影响低于绿洲外围荒漠交错带,致使流域 A 和 D 的斑块数量、景观破碎度和边缘密度增长最为缓慢,流域 E 的香农多样性指数和香农均匀度指数增速最快,是由于流域 E 位于荒漠交错带,离塔里木河较近,人类活动最为敏感。

致谢:感谢国家气象信息中心资料服务室提供的气候数据。

参考文献:

- [1] 胡巍巍,王根绪,邓伟.景观格局与生态过程相互关系研究进展[J].地理科学进展,2008,27(1):18-24
- [2] 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000:19-34
- [3] 何鹏,张会儒.常用景观指数的因子分析和筛选方法研究[J].林业科学研究,2009,22(4):470-474
- [4] Stevens VM, Polus E, Wesselingh RA, Schtickzelle N, Baguette M. Quantifying functional connectivity: Experimental evidence for patch-specific resistance in the Natterjack toad (*Bufo calamita*)[J]. Landscape Ecology, 2004, 19(8): 829-842
- [5] 占车生,乔晨,徐宗学,尹剑.基于遥感的渭河关中地区生态景观格局变化研究[J].资源科学,2011,33(12):2349-2355
- [6] 刘晶,刘学录,王哲锋,祁连山东段景观格局变化及其驱动因子研究[J].草业学报,2011,20(6):26-33
- [7] 赵志轩,张彪,金鑫,翁白莎,严登华,鲍淑君.海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系[J].生态学报,2011,31(7):1925-1935
- [8] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍.生态空间理论与景观异质性[J].生态学报,1997,17(5):453-461
- [9] Paukert CP, Pitts KL, Whittier JB, Olden JD. Development and assessment of a landscape-scale ecological threat index for the Lower Colorado River Basin[J]. Ecological Indicators, 2011, 11(2): 304-310
- [10] Osipov SV. Vegetation dynamics of taiga and alpine landscapes in the upper part of the Bureya River Basin[J]. Contemporary Problems of Ecology, 2012, 5(3): 235-543
- [11] 宫继萍,石培基,杨雪梅,吴文婕.干旱区内陆河流域景观格局及其环境因子的关系研究——以石羊河流域为例[J].土壤,2013,45(1):413-451
- [12] 孙凤云,刘森,胡远满,李俊英,李春林,陈探.基于多种方法的景观格局动态变化综合分析——以辽宁省铁岭市为例[J].生态学报,2013,32(8):2163-2171
- [13] 潘竟虎,苏有才,黄永生,刘晓.疏勒河中游土地利用与景观格局动态[J].应用生态学报,2012,23(4):1090-1096
- [14] Cortes C, Vapnik V. Support vector networks[J]. Machine Learning, 1995, 20: 273-297
- [15] Vapnik VN. Estimation of Dependences Based on Empirical Data[M]. New York: Springer-Verlag, 1982
- [16] 岳德鹏,王计平,刘永兵,李海龙,谢怀慈,王冬梅. GIS 与 RS 技术支持下的北京西北地区景观格局优化[J].地理学报,2007,62(11):1223-1321
- [17] 邵怀勇,仙巍,杨武年,周万村.三峡水库建设前后 10 年库区景观空间格局动态变化研究——以重庆开县为例[J].测绘科学,2001,33(6):176-178
- [18] 张芸香,郭晋平.森林景观斑块密度及边缘密度动态研究——以关帝山林区为例[J].生态学报,2001,20(1):18-21
- [19] 周伟,钟星,袁春.1:10 000 比例尺土地利用景观指数的粒度效应分析[J].中国土地科学,2010,24(11):20-26

Landscape Pattern Changes in Weigan-Kuqa River Basin and Its Sub-basin

JIANG Hong-tao^{1,2}, ZHANG Fei^{1,2*}, Tashpolat·TIYIP^{1,2}, DING Jian-li^{1,2}

(1 *College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;*

2 Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: This paper took Weigan-Kuqa River Basin as the study area in the arid northwest China. Firstly, the basin was divided into five sub-watersheds by using the ArcGIS hydrological analysis module and DEM data. Secondly, remote sensing Landsat TM images at the same phase were selected in 1998 and 2011 as the main data and land use was classified by using support vector machine (SVM) method. Thirdly, the classification results were converted into the grid format and then Fragstats software was used to calculate landscape indices of the whole basin and its five sub-watersheds, and on this basis the landscape pattern changes were analyzed. The results showed that the areas of landscape types of five sub-watersheds were very different, grassland landscape accounted for a larger proportion in the sub-watershed A and D, while mountains and barren land in sub-watershed B, and sandy landscape in the sub-watershed C and E; in the past 13years, land use type of transformation mainly occurred among the cultivated land, forest land and grassland. The number of plaques, landscape fragmentation and edge density of sub-watershed B, C, E increased faster than sub-watershed A and D, it suggested that the impact of human activities on the landscape pattern of the core oasis is lower than on the oasis-desert Ecotone.

Key words: DEM, Landscape pattern, Sub-basin