

# 中国北方地区沙漠与河流景观格局

李小妹<sup>1,2</sup>, 严平<sup>1,2</sup>

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学 减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

**摘要:** 本文运用景观生态学原理, 借助 ArcGIS 技术, 选择中国北方 10 个流域及其 12 个沙漠/沙地, 并以西部的和田河和东部的西辽河为典型研究区, 在流域与沙区、河道与沙丘两个尺度上, 选取景观破碎度指数、景观多样性指数等指标, 探讨中国北方干旱、半干旱区沙漠/沙地景观与廊道景观(河流)的空间镶嵌格局特征。结果表明: 在流域与沙区尺度上, 内流区较外流区沙区景观类型复杂, 景观破碎度较小, 外流区沙区景观结构较为相似; 内流区沙区景观指数自西向东呈现出“景观破碎度递增、景观结构复杂性递减”的规律。在河道与沙丘尺度上, 在缓冲带范围内, 和田河较西辽河沙丘景观类型复杂, 景观破碎度较小; 景观指数随河道距离的变化呈现出“景观破碎度随距河道距离的加大而逐渐递减, 丰富度指数随距河道距离的加大而呈阶梯状递增”的规律; 从沙丘斑块类型景观指数上看, 西辽河以固定、半固定的简单型沙丘为主, 和田河以流动的综合型沙丘为主。主导的沙丘类型景观距离河道越远, 面积比例越小, 不同沙丘类型的水平景观破碎度随河道距离递减。

**关键词:** 沙漠/沙地; 河流; 景观格局指数; 中国北方地区; 和田河; 西辽河

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.09.007

中图分类号: P942

文献标识码: A

## 1 引言

风和水是干旱地区两种主要的作用营力, 其交互作用塑造了风成和水成两种地貌镶嵌分布的景观格局, 这种景观常常分布在沙漠与河流相伴生的区域。在空间形态上表现为, 流域内沙地延绵分布, 河流蜿蜒流经广袤沙漠(沙地)之中, 沙丘镶嵌于河流两岸。厘清二者之间的关系, 对于风水两相地貌的研究(史培军等, 1986; Langford et al, 1989; Harrison et al, 1998; 李森等, 1999; Bullard et al, 2000, 2003; 靳鹤龄等, 2001)以及沙漠绿洲有关科学问题(文子祥等, 1996; 杜明远等, 1999; 杨小平, 2001; 陈曦等, 2008)具有重要的意义。沙漠与河流的关系虽然引起很多学者的关注, 也取得了大量的研究成果(史培军等, 1986; Langford, 1989; Harrison et al, 1998; 李森等, 1999; Bull et al, 2000; Bullard et al, 2000, 2002, 2003; 靳鹤龄等, 2001; Muhs et al, 2003; Wang et al, 2012; 马玉凤等, 2013), 但多

为定性的描述, 缺乏定量的表达(傅伯杰等, 2001; Muhs et al, 2003; 宋阳等, 2006; 马玉凤等, 2013)。本文尝试从景观生态学角度, 通过沙漠景观中沙丘斑块、河流廊道两种要素的景观指数来量化呈现沙漠与河流镶嵌分布的景观格局特征。

景观由斑块、廊道和基质等景观要素构成, 具有系统整体性和区域分异性(邬建国, 2000; 傅伯杰等, 2001)。景观空间格局的分析方法用于研究景观结构组成特征和空间配置关系, 景观指数是能够高度浓缩景观格局信息, 反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标(邬建国, 2000; 傅伯杰等, 2001; 李秀珍等, 2004), 广泛应用于景观格局与生态过程、土地利用与动态、景观规划与设计、环境影响评价与自然保护等方面的研究(Botequilha et al, 2002; Wu et al, 2002; Fu et al, 2006; 陈利顶等, 2008)。曾有学者将土地沙漠化过程看作是一种典型的景观变化过程, 通过构建一定的数学模型进行定量描述(常学礼, 邬建国等, 1998; 常学礼, 赵

收稿日期: 2014-02; 修订日期: 2014-06。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171003); 国家重大科学研究计划项目(2013CB956001); 国家科技基础性工作专项(2008FY210300)。

作者简介: 李小妹(1979-), 女, 安徽宿州人, 博士研究生, 研究方向为干旱区地貌, Email: lixiaomei8477@sina.com。

通讯作者: 严平(1966-), 男, 安徽宁国人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤风蚀与荒漠化研究, Email: yping@bnu.edu.cn。

爱芬等, 1998; 李爱敏等, 2006; 张华等, 2007; 胡光印等, 2011; 段翰晨等, 2012)。

本文基于中国北方地区风沙地貌类型与流域水系数据, 从景观生态学角度, 借助 ArcGIS 技术, 在流域与沙区、河道与沙丘两个尺度上, 分析中国北方不同流域的沙漠/沙地和河道与沙丘的景观格局指数, 探讨中国北方干旱、半干旱区沙漠(沙地)景观与廊道景观(河流)的空间镶嵌格局特征。

2 研究区域、方法与数据

2.1 研究区概况

本文以中国北方干旱、半干旱地区流域及其内沙漠/沙地为单元, 研究流域水系与沙漠/沙地及河道与沙丘之间的关系。流域选择的前提是流域内有沙地分布, 且沙地面积在 2000 km<sup>2</sup> 以上, 排除伊犁内流区、乌裕尔河内流区和白城内流区, 研究的流域包括塔里木内流区、准格尔内流区、柴达木内流区、河西走廊—阿拉善内流区、内蒙古内流区、鄂尔多斯内流区等 6 个内流流域和额尔齐斯河流域、黄河流域、辽河流域、黑龙江流域等 4 个外流流域。沙漠/沙地包括塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库姆塔格沙漠、乌兰布和沙漠、柴达木沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、库布齐沙漠、毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地等 12 个沙漠/沙地(朱震达等, 1980)(图 1)。

根据地理位置和山脉走向分布及季风影响程度, 将中国主要沙漠(沙地)归类为西部沙区、西北部沙区、青藏高原北缘沙区、中部沙区以及东部沙区共 5 个主要沙区(吴正, 2009)。在上述沙区划分基础上, 结合流域与沙区空间组合(包含)关系, 将流域相应分为 5 大流域: 西部流域, 主要包括塔里木内流区; 青藏高原东北缘流域, 主要包括柴达木内流区; 西北部流域, 主要包括额尔齐斯河流域、准格尔内流区; 中部流域, 包括河西走廊—阿拉善内流区; 东部流域, 包括黄河流域、鄂尔多斯内流区、内蒙古内流区、辽河流域和黑龙江流域。

典型河流选取西部的和田河和东部的西辽河。和田河为塔里木河的一级支流, 河流总长度 806 km, 流域面积 4.89×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>, 自南向北穿越塔克拉玛干沙漠, 地处极端干旱区, 以流动沙丘为主。西辽河为辽河南支主流, 河流总长度 367 km, 流域面积 13.52×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>, 自西向东穿过科尔沁沙地, 地处半干旱地区, 以固定、半固定沙丘为主。

2.2 研究方法

本文从流域与沙区、河道与沙丘两个尺度分析沙漠与河流的景观分布格局。前者以流域为单元, 计算流域内沙地景观破碎度、丰富度、景观多样性等景观指数, 反映不同流域沙区景观结构差异性; 后者采用缓冲带分析方法, 距河道两侧各每隔 2 km (共计 4 km) 划分一个缓冲带, 具体为 4、8、12、16、20、24 km 的缓冲带计 2×6 个缓冲带, 共 2×12 km

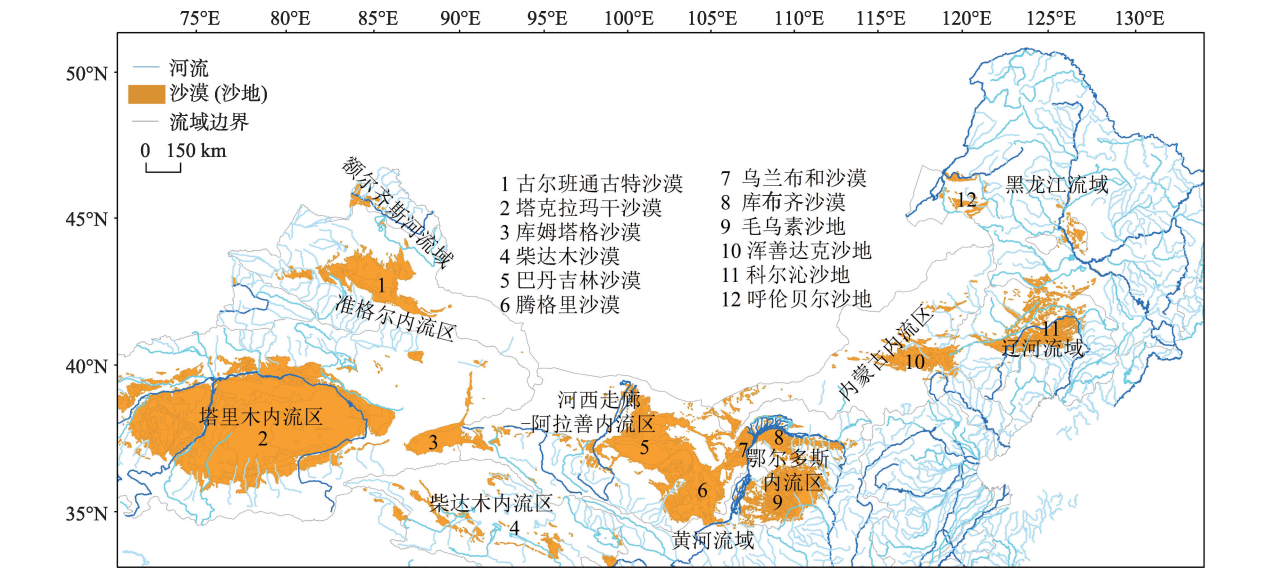


图1 中国北方沙漠/沙地与流域水系分布图

Fig.1 Distribution of deserts (sandy lands) and network structure of drainage basins in Northern China

宽。对于每个缓冲带,统计各类沙丘斑块数目、类型数目、面积及周长,计算景观指数。

沙丘斑块类型分析采用两种分类系统:一是流动性分类,按照植被的覆盖度,将沙丘划分为流动沙丘、半固定、固定沙丘3种类型(吴正, 2009)。二是复杂性分类,根据沙丘形态和组合,分为简单型沙丘、综合型沙丘、复合型沙丘和灌丛沙丘4大类(McKee, 1979)。其中,和田河的简单型沙丘主要为鱼鳞状沙丘、新月形沙丘及沙丘链和格状沙丘及沙丘链,综合型沙丘主要指链状沙山,复合型沙丘包括复合型穹状沙丘、复合型沙垄(图2a);西辽河简单型沙丘主要包括梁窝状沙丘、沙垄及树枝状沙垄,综合型沙丘主要指链状沙山(图2b)。

本文选取的景观指数包括景观破碎度、景观丰富度指数、廊道密度、景观多样性指数等(邬建国, 2000; 陈文波等, 2002; 张秋菊等, 2003; 王辉等, 2006; 何鹏等, 2009)。

(1) 景观破碎度指数( $I$ ):若某景观内斑块数目增多,单一或某些斑块的面积相对减少,则斑块形状更趋复杂化、不规则化,其表达式为:

$$I = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^m N_i \quad (1)$$

式中: $A$ 为景观面积; $N_i$ 为第*i*类景观斑块数,在斑块类型水平上,是指某类沙丘的斑块数,在景观水平上,为不同类型沙丘斑块总数; $m$ 是景观中斑块类型数,又称为景观丰富度( $R$ )。 $I$ 值越大,破碎化程度越高。

(2) 廊道密度指数( $ED$ ):廊道景观在研究区单位面积内的长度,也是一种衡量景观破碎度的指数,在本文中即为河网密度:

$$ED = \frac{L}{A} \quad (2)$$

式中: $A$ 为流域面积; $L$ 为流域内河流总长度。单位面积内廊道愈长,景观破碎化程度愈高。

(3) 景观多样性指数( $H$ ):反映不同景观类型分布的均匀性和复杂性的程度,特别对景观中各斑块类型非均衡分布状况较为敏感,表达式为:

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

式中: $P_i$ 是斑块类型*i*在景观中出现的频率; $m$ 为景观中斑块类型数。

2.3 研究数据

2.3.1 数据来源

本文数据主要包括:①中国1:1600万水系流域图,出自《中国地理图集》(王静爱等, 2010),采用的是等面积圆锥投影;中国1:400万水系数据,来自于国家地理基础信息系统的矢量数据(测绘科学数据共享服务网, 2000),采用的是阿尔伯斯等面积割圆锥投影,水系共分为5级。②中国风沙地貌分布数据,来源于中国冰川冻土沙漠研究所的1:200万沙漠分布矢量数据(中国冰川冻土沙漠研究所, 1974),采用的是阿尔伯斯等面积割圆锥投影。

2.3.2 数据处理

(1) 中国水系流域数据及流域面积统计  
对中国1:1600万水系流域图进行扫描,然后借

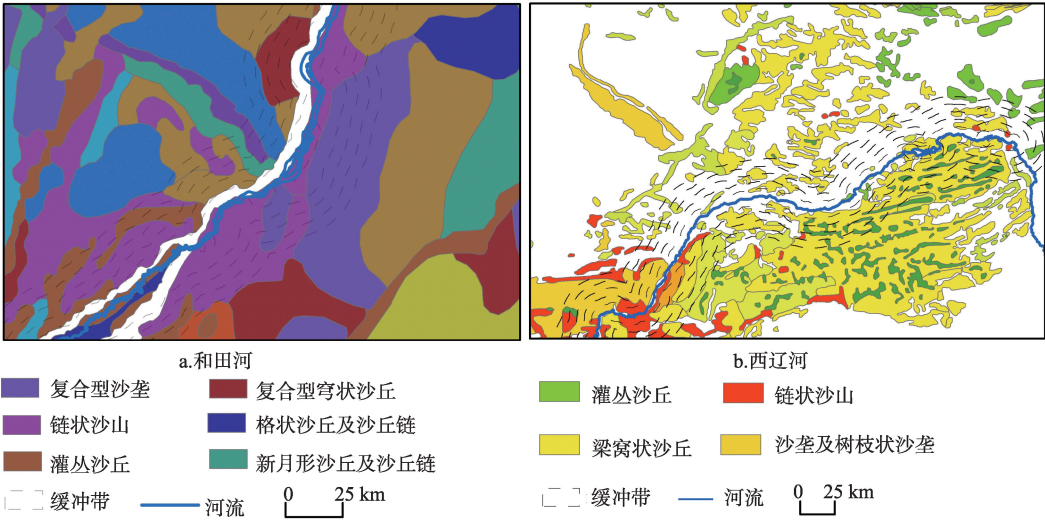


图2 沙丘类型与河流缓冲带示例图

Fig.2 Examples of complexity of sand dunes and river buffer zone



助 ArcGIS 进行矢量化,结合 1:50 万地形图进行矫正,并配准,得到了水系流域边界矢量数据。将上述 3 个矢量数据进行坐标转换,统一为 Beijing—1954 地理坐标系统和阿尔伯斯等面积割圆锥投影系统。

(2) 流域面积、沙漠(沙地)内河流长度的统计

流域面积是在水系流域矢量数据的属性表中添加字段,然后运用几何计算命令统计面积。流域内河流长度以及沙地面积统计,利用 ArcGIS 分析工具中的叠加和交集命令,以流域分别对河流、沙地进行叠加,并在其属性表中重新计算切割后的河流长度和沙地面积。

(3) 将上述数据结合景观分析及统计分析软件进行景观指数计算,得到该区域景观特征指标。

3 结果与分析

3.1 流域内沙区的景观结构特征

以流域为单元,统计了 10 个流域内河流长度、沙地景观的斑块数、类型数、斑块总面积等参数,并计算出廊道密度、景观破碎度、景观多样性等指数(表 1)。沙地主要集中分布在内流区。流域内沙区面积百分比大小依次为:西部流域>中部流域>西北部流域>东部流域>青藏高原东北缘流域。从沙地面积与景观丰富度散点图来看(图 3a),沙区景观丰富度指数与沙地面积成对数关系,尤其对于内流区沙区更为明显,反映了沙丘类型数目随沙地面积的增加呈对数增长的规律,这与景观生态学的种

一面积关系理论结果相似(邬建国, 2000; 傅伯杰等, 2001),也表明沙源是形成风沙地貌类型丰富的基础性条件。从景观破碎度与景观多样性、廊道密度散点图来看(图 3b、3c),外流区样点分布较为集中,内流区样点分布较为分散,表明外流区沙区景观结构特征较为相似,而内流区沙区景观结构差异较大;相对内流区,外流区沙区景观形态较为破碎,景观类型较为简单;6 个内流区之间,除准格尔内流区、柴达木内流区以及鄂尔多斯内流区外,其余 3 个内流区廊道密度、沙区景观结构均沿着纬线呈现地带性变化规律,即,自西向东廊道密度、景观破碎度均递减,而景观多样性则递增。

气候是控制内、外流域沙区景观结构差异的主导因素,地貌结构、水系形态、植被状况等因素也起到一定的作用。外流区气候较为湿润,地表水丰富,河网密集,植被覆盖较好,沙丘以固定、半固定沙丘占优势(占 80%左右)。因而,沙区植被盖度相对较高,抑制风沙地貌的进一步发育,破碎化程度增加,类型趋于简单(费多罗维奇, 1962)。内流区气候相对较为干旱,尤其在中、西部流域,地表水贫乏,沙源深厚,沙丘连片分布,总体上景观破碎度较低,沙丘类型相对复杂。一些内流区的景观结构呈现出自西向东的递变规律,也反映出气候、植被、地形等因素的共同作用在沙区景观结构方面的响应。如西部的塔里木内流区和中部的河西走廊—阿拉善内流区,气候干旱,处于内陆大型山间盆地,河流多发源于四周高山,形成向心式水系,河流成为沙区的输沙通道,在盆地中心堆积深厚沙源,且

表 1 流域及流域内沙漠/沙地景观指数

Tab.1 Landscape metrics of deserts (sandy lands) in different drainage basins

流域名称	流域面积/ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	沙地总面积/ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	斑块 个数	斑块 类型 数	斑块周 长/10 <sup>4</sup> km	廊道长 度/10 <sup>4</sup> km	沙地面 积比 例/%	景观破 碎度/ (个/km <sup>2</sup> )	多样性 指数	廊道密 度指数/ (1/km)
准格尔内流区	34.62	5.22	96	12	1.13	0.58	15	0.0018	1.48	0.017
塔里木内流区	99.60	37.61	362	19	5.37	1.74	38	0.0010	2.24	0.018
柴达木内流区	31.45	1.61	102	7	0.65	0.61	5	0.0063	1.45	0.019
河西走廊—阿拉善内流区	49.88	13.15	332	16	3.21	0.55	26	0.0025	2.08	0.011
内蒙古内流区	30.64	2.91	162	10	1.08	0.19	9	0.0056	1.86	0.006
鄂尔多斯内流区	4.20	3.58	316	8	1.74	0.07	85	0.0088	1.44	0.017
额尔齐斯河流域	5.72	0.28	25	5	0.13	0.21	5	0.0089	1.25	0.037
黄河流域	75.24	3.84	405	11	1.92	3.46	5	0.0105	1.52	0.046
辽河流域	22.88	3.81	332	8	1.95	0.84	17	0.0087	1.23	0.037
黑龙江流域	88.60	1.26	112	8	0.63	3.98	1	0.0089	1.66	0.045

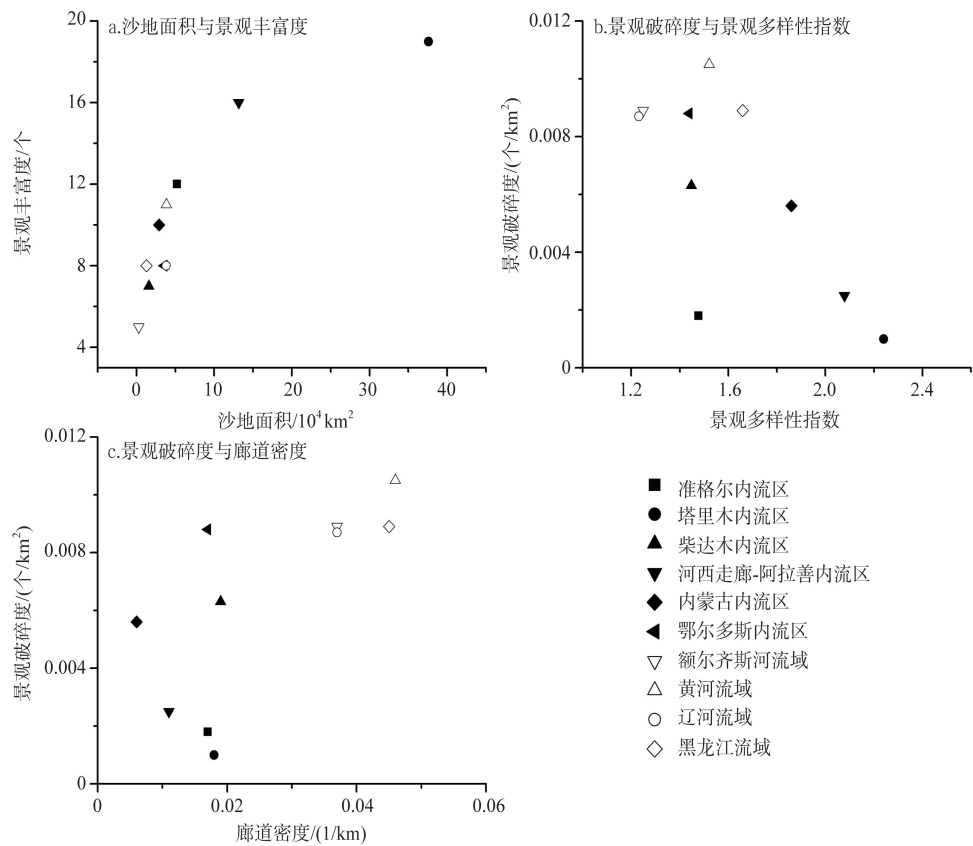


图3 流域内沙区景观指数散点图

Fig.3 Scatter plot of desert landscape metrics in different drainage basins

封闭的地形使得局部气候更为干旱,植被稀少,流沙在强盛风力下,连片分布,沙丘持续加积与叠加,形成丰富复杂的沙丘类型;东部的内蒙古内流区,气候较为湿润,尤其在沙区分布区,植被覆盖较好,半固定沙丘呈斑点状散布在固定沙丘之间(朱震达等, 1980),景观形态较为破碎,景观类型比较简单。

作为例外,准格尔内流区虽属于西部内流区,但受北大西洋西风影响,气候较为湿润,沙丘以固定、半固定沙丘为主,在盛行风力作用下,以沙垄为主(占80%);柴达木内流区处于高原内陆盆地,河流短小,流域水系呈分散式,与湖泊镶嵌分布,沙丘多沿河、湖零散分布,多为流动沙丘(占70%),以新月形沙丘及沙丘链为主;鄂尔多斯内流区镶嵌于黄河流域之内,较其他内流区而言,地下水条件较好,沙地景观呈现出流动沙丘和固定、半固定沙丘交错分布的景观,形态上较为破碎,但景观类型相对简单。

3.2 河道与沙丘尺度上的景观指数

3.2.1 河流缓冲区沙丘景观指数的水平格局

图4是和田河、西辽河景观指数随河道距离的变化图。从景观丰富度上看(图4),和田河 > 西辽

河,说明西部地区河流两岸风沙地貌类型要比东部地区丰富,且景观丰富度均随缓冲带的加宽,呈现出明显的阶梯状递增趋势,表明距河越远,风沙地貌的类型越丰富。从景观破碎度上看(图4),随距河道越远,两条河流景观破碎度均降低,且在4~8 km缓冲带内变率均最大。西辽河景观破碎度的变率总体上比和田河大,表明西辽河沙丘景观破碎度对河道距离变化较敏感,而和田河则较迟缓。前者反映了水成过程主导下的风沙地貌破碎化,而后者则显示出风成过程主导下的风沙地貌均质化。

上述现象表明,对于季节性河流,两岸风沙地貌的发育有着相似的规律,即邻近河流的缓冲区(河漫滩、低阶地),受风、水两种营力的交替作用,沙丘发育经历了半年为周期的风力加积→流水蚀平→风力再加积的发育过程。因此,靠近河流,沙丘类型较为简单,呈斑块状沿河分布,景观形态较为破碎,且在此范围内,沙丘景观破碎度的变率也最大。而距河较远的高阶地,地下水位降低,地表干燥,以风力作用为主,风力的不断加积,沙丘在下伏阶地地面上不断叠加,形成连片的高大复合型沙丘链

或沙丘垄(李森等, 1999; 靳鹤龄等, 2001), 沙丘类型变得复杂, 沙丘景观破碎化程度降低。

### 3.2.2 沙丘流动性类型景观指数的变化

流动性沙丘景观的面积比例随着河道距离的变化结果(图5)表明, 对西辽河, 随距河道距离的加大, 固定沙丘沙丘面积比例增加, 半固定面积比例变化不明显, 流动沙丘面积比例减小; 和田河则表现出相反的规律, 即半固定沙丘面积比例减小, 流动沙丘的面积比例增加。从景观分布的地带性规律分析, 西辽河处于东部地区, 降水相对较为丰富, 沙丘多以固定、半固定形式出现, 流动沙丘分布相对较少, 一般分布在河床、河漫滩。因此, 距离河道越远, 其分布面积越少。反之, 和田河位于极干旱区, 降水稀少, 两岸以流动沙丘为主要景观类型, 固定、半固定沙丘因靠近河流, 部分沙丘被植被所固定。因此, 距河道越远, 固定、半固定沙丘面积比例越低。

从景观破碎度上看(图5), 对西辽河, 距离河道越远, 固定、半固定沙丘以及流动沙丘景观破碎度均降低, 景观破碎度变率依次为: 固定沙丘 > 半固定沙丘 > 流动沙丘, 均在4~8 km缓冲带内景观破碎度变化最大, 4~8 km缓冲带之后, 景观破碎度变化相对和缓。对和田河, 半固定沙丘景观破碎度变化较流动沙丘要大, 流动沙丘破碎度随缓冲带的加宽而逐渐降低, 均在4~8 km缓冲带变化最大。半固定沙丘在8~16 km缓冲带之前, 其景观破碎度随距河道距离的加大而递增, 在8~16 km缓冲带之后, 递变规律则相反。这可能由于河流摆动, 在古河道宽度内, 地下水相对较为丰富, 植被较为密集, 沙丘固定, 呈小斑块状分布, 导致景观破碎度增加。

### 3.2.3 沙丘复杂性类型景观指数的变化

从沙丘类型所占面积比例上看(图6), 灌丛沙丘、复杂性沙丘类型所占比例, 和田河 > 西辽河; 简单型沙丘所占比例, 西辽河 > 和田河, 表明和田河两岸以复杂性沙丘为主, 西辽河以简单型沙丘占优势。对于和田河, 灌丛沙丘、格状沙丘(在0~4 km缓冲带递增)及沙丘链、链状沙山的面积比例均随缓冲带的加宽而递减, 复合型穹状沙丘、复合型沙垄在4~8 km缓冲带之后有分布, 且随缓冲带的加宽而递增。对西辽河, 灌丛沙丘、链状沙山的面积比例随距河道距离加大而递减, 梁窝状沙丘、沙垄及树枝状沙垄面积比例则递增。

从和田河与西辽河的对比可以得出和流动性

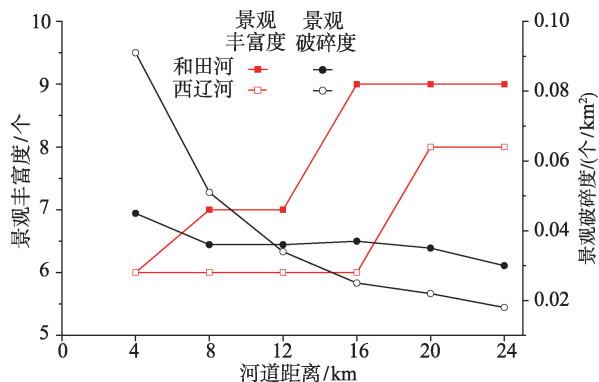


图4 景观丰富度、景观破碎度与河道距离的关系

Fig.4 The relationship between channel distance and landscape richness, fragmentation

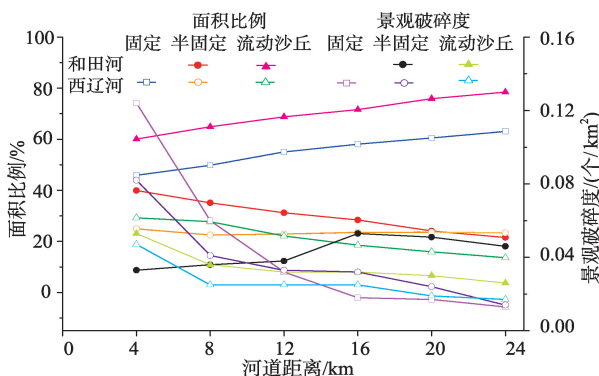


图5 不同流动性沙丘面积比例及其景观破碎度与河道距离的关系

Fig.5 Relationship between channel distance and mobile dune area percentage

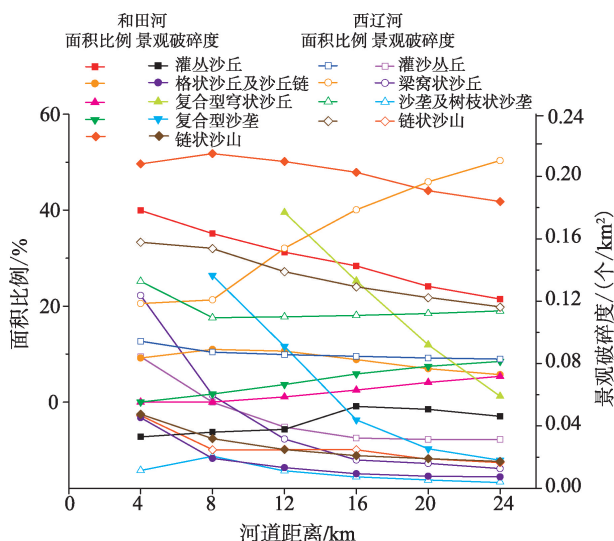


图6 沙丘复杂性面积比例、景观破碎度与河道距离的关系

Fig.6 Relationship between channel distance and area percentage of dune complexity and its landscape fragmentation



沙丘类型景观类似的规律:① 4~8 km缓冲带景观格局指数发生转折或突变。②受河流非地带性因素的影响,非主导的自然景观(如西辽河的链状沙山)距离河道越远其分布面积比例越小。反之,受地带性因素影响的自然景观(如和田河的复合型沙丘)距离河流越远,面积比例越大。

从景观破碎度上看(图6),对于和田河,除灌丛沙丘随缓冲带加宽,景观破碎度缓慢递增外,其他景观类型破碎度均减小,景观破碎度变化率以复合型沙丘类型最大,其他类型沙丘变率则较小。对于西辽河,随距河道距离的增大,各沙丘类型景观破碎度均递减,景观破碎度变化率以梁窝状沙丘最大。

和田河和西辽河复杂性沙丘类型的景观指数,在缓冲带内随距离的变化规律及原因与流动性沙丘类型相似。两条河流沙区景观指数变化规律的差异或同一条河流不同沙丘类型景观指数之间的差异,除了与沙丘形成的风、沙源、植被以及人类活动的干扰等因素有关外,河流的下伏地貌、河流的阻挡、河流的摆动等对沙丘形态和沙丘空间格局的影响也是不可忽视的原因(韩广等, 2001; Yang, 2002; 董治宝等, 2011)。

## 4 结论

在流域与沙区、河道与沙丘两个尺度上,从景观生态学的视角,对沙漠和河流两种景观在空间上的镶嵌分布格局进行分析,结论如下:

(1) 在流域与沙区尺度上,相对于内流区,外流区沙区景观较为破碎,沙区景观类型组成与分布相对简单;外流区沙区景观结构较为相似,但不同内流风沙区景观结构差异较大,一些内流区沙区景观破碎度及景观类型多样性呈现出自西向东的递变规律。

(2) 河流缓冲区沙区景观指数水平方向的变化反映出河流廊道效应影响风沙地貌分布。缓冲区沙区景观破碎度,西辽河>和田河,均随距河道距离的加大而逐渐递减;景观丰富度指数,和田河>西辽河,景观丰富度随距河道距离的加大而呈阶梯状递增。

(3) 从沙丘类型景观指数变化来看,西辽河以固定、半固定的简单型沙丘为主,和田河以流动的

复杂型沙丘为主。主导的沙丘类型景观距离河道越远,面积比例越小,不同沙丘类型的景观破碎度,随距河流距离的加大而递减。

(4) 和田河与西辽河的沙丘类型景观格局指数在缓冲带范围内,总体呈现出一定的变化规律,但在某些缓冲带交界处,景观破碎度、景观多样性指数等指数均表现出明显的突变,在4~8 km缓冲带内最为突出,这是河流廊道效应影响风沙地貌分布的敏感地带,也可以看作是绿洲生态的脆弱区或者风沙和流水交互作用的过渡带。

## 5 讨论

风沙地貌是包括风和水在内的多种营力长期交替作用的产物,具有时间上的继承性和空间上的叠置性,体现在不同尺度上的景观异质性。本文尝试应用景观格局分析方法,分析流域内沙区以及河流两岸沙丘景观格局指数的变化特征,揭示沙漠和河流镶嵌分布的规律。对于不同尺度,影响景观格局异质性的主导因素不同(吴健生等, 2012)。如在本文研究的沙区和流域尺度上,气候因素是影响二者景观格局关键因素,表现在内、外流域沙区分别以风力、水力为主导下的风沙地貌结构特征。在内流区之间,除气候因素外,地貌结构、水系形态等一些非地带性因素(董光荣等, 1998; 杨小平等, 2008)决定了其景观格局特征,使不同内流区沙区景观结构体现出地带性与非地带性规律共存的局面;在河道和沙丘的尺度上,局地风向、河型与流向等深刻影响河流两岸沙丘类型空间格局(Bullard et al, 2002; 宋阳等, 2006),沿着河流横断面,分别呈现出流水影响、风与水交互影响、风力影响为主的风沙地貌,并相应叠加在河流地貌之上的一种复合景观特点。可见,风沙地貌不论在不同尺度还是同一尺度上,景观格局表现各异,体现出景观空间异质性无处不在的特点。

本文在河道与沙丘尺度上进行了较为详细的分析,不同面积/宽度缓冲带景观格局指数的变化,可以反映出各景观类型河流廊道的辐射宽度,即廊道效应的强弱,以及各景观指数对反映不同景观类型廊道效应的敏感度(周华荣, 2007; 宫继萍等, 2013)。当然,对于不同级别河流,受自然因素和人为因素干扰,其辐射效应范围不同(周华荣, 2007;

赵锐锋等, 2009; 宫继萍等, 2013)。本文选取和田河与西辽河的 24 km 辐射宽度作为缓冲带, 假定此范围是廊道效应对沙丘分布影响较明显地带, 通过景观破碎度、景观多样性等指数分析, 在一定程度上, 反映了各景观类型的廊道效应特征。鉴于上述景观格局指数不具有方向性, 从风沙、流水过程来看, 风动力和水动力以及地形具有矢量特征, 体现在不同河段和河岸沙丘分布迥异, 在后续研究中应考虑引入矢量景观格局(Zhang et al, 2006; 李晓峰等, 2008)来综合分析不同河段、河岸的河流廊道效应, 揭示沙漠与河流景观格局形成的机理和驱动力。

科学认识沙区景观格局在不同尺度上的变化规律, 在干旱区沙漠化治理和绿洲生态保护方面具有一定的借鉴作用。在流域与沙区尺度上, 中、西部流域沙区景观连片分布, 景观破碎度较小, 沙区边缘效应比较显著, 防治沙漠边缘蔓延成为优先关注的重点; 对于东部流域, 沙区多为固定、半固定沙丘斑块分散分布, 在自然因素或人为干扰下, 沙区内部变异较大, 很容易出现沙丘活化, 进而可能引起沙丘斑块间流沙成片发展, 流沙治理应关注内部沙丘斑块的活化。沙漠中河流是绿洲主要分布带, 河流廊道辐射效应影响到绿洲范围, 可以根据距离河流远近不同, 沙丘分布对廊道辐射的响应不同的变化规律, 大致划分生态缓冲带或过渡区, 能通过景观指数等定量地表达河流廊道辐射效应与干扰因素之间的关系, 将有助于发挥河流廊道生态效应, 防止绿洲荒漠化。

## 参考文献(References)

- 常学礼, 鄯建国. 1998. 科尔沁沙地景观格局特征分析. 生态学报, 18(3): 225-232. [Chang X L, Wu J G. 1998. Spatial analysis of pattern of sandy landscapes in Kerqin, Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 18(3): 225-232.]
- 常学礼, 赵爱芬, 李胜功. 1998. 景观格局在沙漠化研究中的作用. 中国沙漠, 18(3): 210-214. [Chang X L, Zhao A F, Li S G. 1998. Effects of landscape in the desertification research. *Journal of Desert Research*, 18(3): 210-214.]
- 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 等. 2008. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. 生态学报, 28(11): 5521-5531. [Chen L D, Liu Y, Lu Y H, et al. 2008. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future. *Acta Ecologica Sinica*, 28(11): 5521-5531.]
- 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 2002. 景观指数分类、应用及构建

- 研究. 应用生态学报, 13(1): 121-125. [Chen W B, Xiao D N, Li X Z. 2002. Classification, application, and creation of landscape indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(1): 121-125.]
- 陈曦, 罗格平. 2008. 干旱区绿洲生态研究及其进展. 干旱区地理, 31(4): 488-495. [Chen X, Luo G P. 2008. Researches and progress of oasis ecology in arid areas. *Arid Land Geography*, 31(4): 488-495.]
- 董光荣, 靳鹤龄, 陈惠忠, 等. 1998. 中国北方半干旱和半湿润地区沙漠化的成因. 第四纪研究, 18(2): 136-144. [Dong G R, Jin H L, Chen H Z, et al. 1998. Geneses of desertification in semiarid and subhumid regions of Northern China. *Quaternary Sciences*, 18(2): 136-144.]
- 董治宝, 屈建军, 钱广强, 等. 2011. 库姆塔格沙漠风沙地貌区划. 中国沙漠, 31(4): 805-814. [Dong Z B, Qu J J, Qian G Q, et al. 2011. Aeolian geomorphological regionalization of the Kumtagh Desert. *Journal of Desert Research*, 31(4): 805-814.]
- 杜明远, 真木太一. 1999. 沙漠绿洲的开发与环境变化的相互影响. 自然资源学报, 14(4): 368-374. [Du M Y, Maki T. 1999. Mutual influence between the exploitation of desert oases and the environmental change. *Journal of Natural Resources*, 14(4): 368-374.]
- 段翰晨, 王涛, 薛炯, 等. 2012. 科尔沁沙地沙漠化时空演变及其景观格局: 以内蒙古自治区奈曼旗为例. 地理学报, 67(7): 917-928. [Duan H C, Wang T, Xue X, et al. 2012. Spatial-temporal evolution of aeolian desertification and landscape pattern in Horqin sandy land: a case study of Naiman Banner in Inner Mongolia. *Acta Geographical Sinica*, 67(7): 917-928.]
- 费多罗维奇. 1962. 现代沙漠的起源: 沙漠地貌起源及其研究方法. 陈治平, 译. 北京: 科学出版社. [Fedorovich B A, The origin of the modern desert: the origin of desert landforms and research method. Chen Z P, Trans. Beijing: Science Press.]
- 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 2001. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社: 73-106. [Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. 2001. Theory and application of landscape ecology. Beijing, China: Science Press: 73-106.]
- 宫继萍, 石培基, 杨雪梅, 等. 2013. 干旱区内陆河流域景观格局及其与环境因子的关系研究: 以石羊河流域为例. 土壤, 45(1): 143-151. [Gong J P, Shi P J, Yang X M, et al. 2013. Spatial gradient pattern of landscapes and their relations with environmental factors in the inland river basin of arid regions: a case of Shiyang River Basin. *Soils*, 45(1): 143-151.]
- 国家测绘地理信息局. 2000. 测绘科学数据共享服务网[DB/



- OL]. 2011-10-11[2013-12-20] <http://sms.webmap.cn/default.asp> [National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation of China. 2000. Surveying and Mapping Science Data Sharing Service[DB/OL]. 2011-10-11[2013-12-20] <http://sms.webmap.cn/default.asp>]
- 韩广, 张桂芳. 2001. 河流演变在科尔沁沙地形成和演化中的作用初探: 以科尔沁沙地南部教来河中游沙地为例. 中国沙漠, 21(2): 129-134. [Han G, Zhang G F. 2001. Effects of river evolution on formation and development of Horqin sandy land. Journal of Desert Research, 21(2): 129-134.]
- 何鹏, 张会儒. 2009. 常用景观指数的因子分析和筛选方法研究. 林业科学研究, 22(4): 470-474. [He P, Zhang H R. 2009. Study on factor analysis and selection of common landscape metrics. Forest Research, 22(4): 470-474.]
- 胡光印, 董治宝, 逯军峰, 等. 2011. 黄河源区沙漠化及其景观格局的变化. 生态学报, 31(14): 3872-3881. [Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, et al. 2011. Desertification and change of landscape pattern in the source region of Yellow River. Acta Ecologica Sinica, 31(14): 3872-3881.]
- 靳鹤龄, 董光荣. 2001. 试论干旱区河流在沙漠地貌发育中的作用: 以塔克拉玛干沙漠和田河流域为例. 中国沙漠, 21(4): 367-373. [Jin H L, Dong G R. 2001. Preliminary study on the role of river wriggling in the evolution of aeolian landforms in arid region: taking Hotan River as an example. Journal of Desert Research, 21(4): 367-373.]
- 李爱敏, 韩致文, 许建, 等. 2006. 21世纪初科尔沁沙地沙漠化土地变化趋势. 地理学报, 61(9): 976-984. [Li A M, Han Z W, Xu J, et al. 2006. Transformation dynamics of desertification in Horqin sandy land at the beginning of the 21st century. Acta Geographica Sinica, 61(9): 976-984.]
- 李森, 董光荣, 申建友, 等. 1999. 雅鲁藏布江河谷风沙地貌形成机制与发育模式. 中国科学: 地球科学, 29(1): 88-96. [Li S, Dong G R, Shen J Y, et al. 1999. The mechanism and development of aeolian sand landform in the Yourlung Zangbo Valley. Science China: Earth Sciences, 29(1): 88-96.]
- 李晓峰, 张树清, 庞振平, 等. 2008. 矢量景观指数在遥感信息提取中的应用: 以乾安湖群为例. 遥感学报, 12(2): 291-296. [Li X F, Zhang S Q, Pang Z P, et al. 2008. The use of vector analysis theory on landscape pattern in remote sensing information extraction: a case study on Qian-an Group Lakes. Journal of Remote Sensing, 12(2): 291-296.]
- 李秀珍, 布仁仓, 常禹. 2004. 景观格局指标对不同景观格局的反应. 生态学报, 24(1): 123-134. [Li X Z, Bu R C, Chang Y. 2004. The response of landscape metrics against pattern scenarios. Acta Ecologica Sinica, 24(1): 123-134.]
- 马玉凤, 严平, 李双权. 2013. 内蒙古孔兑区叭尔洞沟中游河谷段的风水交互侵蚀动力过程. 中国沙漠, 33(4): 152-154. [Ma Y F, Yan P, Li S Q. 2013. Dynamic process of aeolian-fluvial interaction erosion in the middle reaches of Baerdong River in Ten-watershed, Inner Mongolia of China. Journal of Desert Research, 33(4): 152-154.]
- 史培军, 王静爱. 1986. 论风水两相作用地貌的特征及其发育过程. 内蒙古林学院学报, 8(2): 88-97. [Shi P J, Wang J A. 1986. The theory of aeolian-fluvial interaction characteristics of the landforms and its development process. Journal of Inner Mongolia Forestry College, 8(2): 88-97.]
- 宋阳, 刘连友, 严平. 2006. 风水复合侵蚀研究述评. 地理学报, 61(1): 77-88. [Song Y, Liu L Y, Yan P. 2006. A review on complex erosion by wind and water research. Acta Geographical Sinica, 61(1): 77-88.]
- 王辉, 袁宏波, 徐向宏, 等. 2006. 黄河源区沙化草地区域景观特征. 应用生态学报, 17(9): 1665-1670. [Wang H, Yuan H B, Xu X H, et al. 2006. Landscape structure of desertification grassland in source region of Yellow River. Chinese Journal of Applied Ecology, 17(9): 1665-1670.]
- 王静爱, 左伟. 2010. 中国地理图集. 北京: 中国地图出版社: 1-3. [Wang J G, Zuo W. 2010. China's geographical atlas. Beijing, China: Sinomaps Press: 1-3.]
- 文子祥, 董光荣, 屈建军. 1996. 应重视和加强我国沙漠绿洲的研究. 地球科学进展, 11(3): 270-274. [Wen Z X, Dong G R, Qu J J. 1996. Paying emphasis on the study of desert oasis in China. Advance in Earth Sciences, 11(3): 270-274.]
- 郭建国. 2000. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社: 99-109. [Wu J G. 2000. Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy. Beijing, China: Higher Education Press: 99-109.]
- 吴健生, 王政, 张理卿, 等. 2012. 景观格局变化驱动力研究进展. 地理科学进展, 31(12): 1739-1746. [Wu J S, Wang Z, Zhang L Q, et al. 2012. Research progresses on driving forces of the changes of landscape pattern. Progress in Geography, 31(12): 1739-1746.]
- 吴正. 2009. 中国沙漠及其治理. 北京: 科学出版社: 20-24. [Wu Z. 2009. Sandy deserts and its control in China. Beijing, China: Science Press: 20-24.]
- 杨小平. 2001. 绿洲演化与自然和人为因素的关系初探: 以克里雅河下游地区为例. 地学前缘, 8(1): 83-89. [Yang X P. 2001. The relationship between oases evolution and

- natural as well as human factors-evidences from the lower reaches of the Keriya River, Southern Xinjiang. *Earth Science Frontiers*, 8(1): 83-89.]
- 杨小平, 师长兴, 李炳元, 等. 2008. 从地球系统科学角度浅析中国地貌若干问题研究的新进展. *第四纪研究*, 28(4): 521-534. [Yang X P, Shi C X, Li B Y, et al. 2008. Some aspects about Chinese geomorphology: recent progresses from an earth system science perspective. *Quaternary Sciences*, 28(4): 521-534.]
- 张华, 丁亮, 苗苗. 2007. 科尔沁沙地景观空间格局及其生态环境效应分析. *水土保持学报*, 21(2): 192-196. [Zhang H, Ding L, Miao M. 2007. Analysis of landscape spatial pattern and its eco-environmental effect in Horqin sandy land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 21(2): 192-196.]
- 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 2003. 关于景观格局演变研究的几个问题. *地理科学*, 23(3): 264-270. [Zhang Q J, Fu B J, Chen L D. 2003. Several problems about landscape pattern change research. *Science Geographical Sinica*, 23(3): 264-270.]
- 赵锐锋, 陈亚宁, 李卫红, 等. 2009. 塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析. *地理学报*, 64(1): 95-106. [Zhao R F, Chen Y N, Li W H, et al. 2009. Land cover change and landscape pattern in the mainstream of the Tarim River. *Acta Geographical Sinica*, 64(1): 95-106.]
- 中国冰川冻土沙漠研究所. 1974. 中国 1:200 万沙漠分布图. 上海: 上海中华印刷厂. [Institute of Glaciology Geocryology Desert, Chinese Academy of Sciences. 1974. The map of desert distribution in 1:2000000 in China. Shanghai, China: Shanghai Zhonghua Printing Co.]
- 周华荣. 2007. 干旱区河流廊道景观生态学研究: 以新疆塔里木河中下游区域为例. 北京: 科学出版社. [Zhou H R. 2007. River corridor landscape ecology in arid areas in the middle and lower reaches of Tarim River in Xinjiang area. Beijing, China: Science Press.]
- 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 1980. 中国沙漠概论. 北京: 科学出版社. [Zhu Z D, Wu Z, Liu S, et al. 1980. Deserts in China. Beijing, China: Science Press.]
- Botequilha L A, Ahern J. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59(2): 65-93.
- Bull L J, Kirkby M J. 2000. Dryland rivers characteristics and concepts//Bull L J, Kirkby M J. Dryland rivers: hydrology and geomorphology of semi-arid channels. New York, NY: John Wiley and Sons: 3-15.
- Bullard J E, Livingstone I. 2002. Interactions between aeolian and fluvial systems in dryland environments. *Area*, 34(1): 8-16.
- Bullard J E, McTainsh G H. 2003. Aeolian-fluvial interactions in dryland environments: examples, concepts and case study. *Progress in Physical Geography*, 27(4): 471-501.
- Bullard J E, Nash D J. 2000. Valley-marginal sand dunes in the South-west Kalahari: their nature, classification and possible origins. *Journal of Arid Environment*, 45(4): 369-383.
- Fu B J, Lu Y H. 2006. The progress and perspectives of landscape ecology in China. *Progress in Physical Geography*, 30(2): 232-244.
- Harrison J B J, Yair A. 1998. Late Pleistocene aeolian and fluvial interactions in the development of Nissan dune field, Negev Desert, Israel. *Sedimentology*, 45: 507-518.
- Langford R P. 1989. Fluvial-aeolian interactions: Part I, modern systems. *Sedimentology*, 36(6): 1023-1035.
- Langford R P, Chan M A. 1989. Fluvial-aeolian interactions: Part II, ancient systems. *Sedimentology*, 36(6): 1037-1051.
- McKee E D. 1979. Introduction to a study of global sand seas//McKee E D, Dinwiddie E. A study of global sand seas. Washington, WA: United States Government Printing Office: 1-19.
- Muhs D R, Reynolds R L, Been J, et al. 2003. Eolian sand transport pathways in the Southwestern United States: importance of the Colorado River and local sources. *Quaternary International*, 104(1): 3-18.
- Wang X X, Liu T X, Li F L, et al. 2012. Simulated soil erosion from a semiarid typical steppe watershed using an integrated aeolian and fluvial prediction model. *Hydrological Processes*, 28(2): 325-340.
- Wu J G, Hobbs R. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 17(4): 355-365.
- Yang X P. 2002. Changes of the aridity index in the arid regions of Northwestern China since the Late Pleistocene: an understanding based on climatic geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 126: 169-181.
- Zhang S Q, Zhang J N, Li F, et al. 2006. Vector analysis theory on landscape pattern (VATLP). *Ecological Modeling*, 193(3-4): 492-502.

# Landscape pattern characteristics of deserts and rivers in Northern China

LI Xiaomei<sup>1,2</sup>, YAN Ping<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Interaction between aeolian and fluvial systems occurs widely on the surface of the Earth and plays an important role in the development of arid landforms. The most distinctive characteristics of dryland geomorphology by this interaction is that rivers are associated with deserts. Increasingly, more researchers have focused their study on the combination of desert and river landforms in arid zone. But such research are often limited to qualitative description of local areas and there have been fewer detailed examinations at a relatively large scale. Based on the principles of landscape ecology and with the help of GIS techniques as well as using landscape diversity and isolation indices, this article analyzes the characteristics of the spatial patterns of different landscape types of deserts and rivers in 12 deserts (sandy lands) within 10 watersheds in northern China, using the Hotan River as an example for the western regions and the Xiliao River for the eastern regions. The results show that on the whole, at the scale of watershed and sandy land, the landscape structure in the interior regions is much more complicated than that in the exterior regions, while its fragmentation degree is lower. Landscape structure is similar in the exterior regions. In the interior regions, however, landscape indices vary: from the west to the east, landscape diversity decreases, while landscape fragmentation degree increases gradually. At the scale of channel and sand dune, in the buffer zone, the structure of the dune landscape is comparatively more complicated in the Hotan River than the Xiliao River, but the fragmentation degree is lower. Landscape fragmentation is inversely related to the distance from the river course, that is, fragmentation degree decreases with increasing distance from channels, while richness increases with this distance. In terms of dune types, sand dunes in the Xiliao River basin are mainly fixed and semi-fixed, while in the Hotan River Basin, complex mobile dunes dominate. The proportion of the area of the main dune type decreases as their distance from the river increases. The fragmentation degree of different landscape types decreases as their distance from the river increases, but the main type of dune landscape becomes increasingly complicated further from the river course. Aeolian landform is a product of long-term interactions of various agents including water and wind, reflecting landscape heterogeneity at different scales. At the watershed/desert scale, climate, topography, vegetation, and hydrology dominate the formation of landscape patterns, while at the channel/dune scale, the role of channel patterns and directions of wind and water are more prominent. In future study, vector index should be introduced to make possible comprehensive analysis of the river corridor effect on desert distribution and to reveal the mechanisms and driving forces of river and desert landscape pattern formation in arid environments.

**Key words:** deserts/sandy lands; rivers; landscape indices; Northern China; Hotan River; Xiliao River