

# 干旱区内陆河流域景观格局及其与环境因子的关系研究<sup>①</sup> ——以石羊河流域为例

宫继萍, 石培基\*, 杨雪梅, 吴文婕

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘要:** 基于 GIS 技术, 利用移动窗口法, 首先分析了 1987 年、2000 年、2010 年石羊河流域整体景观格局及其时空分异特征; 然后根据 2000 年流域本身自然地理梯度特点, 分别沿河流流向梯度( $Tr_1$ )和垂直于河流流向梯度( $Tr_2$ )设置了两条样带, 采样间隔为 1 km, 获得了景观沿两个样带方向的梯度格局特征; 最后, 以高程、降水、气温、人口和 GDP 为环境因子, 以景观格局指数为目标物种, 利用 RDA 方法研究了景观梯度格局与环境因子的关系。结果表明: ①石羊河流域内景观基质为未利用地; ②流域景观格局指数值分布呈现明显的自南向北的梯度差异, ③景观格局指数在  $Tr_1$  和  $Tr_2$  样带上均有明显变化。 $Tr_1$  样带 2010 年的景观格局指数值明显低于 1987 年,  $Tr_2$  样带景观格局指数值时间变化不明显; ④RDA 分析表明: 景观梯度格局与环境因子关系密切,  $Tr_1$  样带景观梯度格局与高程、降水、温度相关性较好,  $Tr_2$  样带景观梯度格局与温度、人口、GDP 相关性相对较强。

**关键词:** 景观; 梯度格局; 环境因子; 移动窗口; 石羊河流域

中图分类号: Q149

景观格局分析作为景观生态学的基本研究内容, 可以数量化地分析景观组分的空间分布特征, 是进一步研究景观功能和动态的基础<sup>[1]</sup>。近年来, 结合遥感数据利用景观格局指数定量表征景观格局演变的景观指数及模型方面的研究发展迅速, 如赵成义等<sup>[2]</sup>对荒漠绿洲植被变化与景观格局的耦合关系的探讨, 余瑞林等<sup>[3]</sup>对安庆沿江湿地景观格局变化及其驱动力的研究, 邓贵平等<sup>[4]</sup>分析了旅游发展对九寨沟自然保护区景观格局变化的影响, 深刻揭示了绿洲、湿地及自然保护区的景观格局与动态演变规律, 并有众多学者探讨了快速城市化进程对区域景观格局的影响<sup>[5-9]</sup>, 研究内容集中于分析人类活动对景观空间格局的影响, 却往往忽视了自然因素如水热梯度、海拔因子等景观层次的多样性变化。研究方法以单纯采用景观格局指数进行定量分析为主, 而利用移动窗口法对景观格局指数进行梯度分析研究较少。尤其是流域尺度下景观格局随环境因子梯度的演变规律及相互关系识别的研究更不多见。

流域作为一个以河流为中心而被分水岭所包围的完整的自然地理区域, 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。其中, 物理环境如高程、气候、水文和土壤等环境要素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, 人类活动包括人口增长、经济发展以及政策方面的因素, 在各个尺度上均起作用, 与区域土地利用格局变化关系密切, 甚至可以是导致区域土地利用类型转换的主要驱动因子<sup>[10]</sup>。

石羊河流域地处黄土、青藏、蒙新三大高原的交汇过渡带, 是生态和环境变化敏感的区域之一, 是甘肃省河西走廊内陆河流域中人口最密集、水资源开发强度最大、生态环境问题最严重、水资源对社会经济发展制约性最强的地区。近年来, 由于对水土资源的不合理开发利用, 石羊河流域生态环境严重恶化, 流域内景观格局发生了较大变化。本文重点关注石羊河流域景观格局的时空梯度特征, 并试图探寻其与流域物理环境及人类活动的关系, 有助于了解流域景观格局与自然、生态过程和社会经济活动之间的关系, 并对资源的合理利用、景观生态设计、土地利用规划和控制荒漠化有重要意义。

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(40971078)资助。

\* 通讯作者(shipj@nwnu.edu.cn)

作者简介: 宫继萍(1986—), 女, 江苏南京人, 硕士研究生, 主要研究方向为城市与区域发展研究。E-mail: gongjiping78@126.com

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区概况

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部，腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠之间，是河西三大内陆河流域之一。流域南北长约 300 km，东西宽约 150 km，位于东经  $101^{\circ}41' \sim 104^{\circ}16'$ ，北纬  $36^{\circ}29' \sim 39^{\circ}27'$  间，包括武威地区的民勤县、凉州区、古浪县、天祝藏族自治县、金昌市的金川区、永昌县和张掖地区的肃南裕固族自治县。

石羊河流域深居大陆腹地，属于大陆性温带干旱气候。气候特点是太阳辐射强，日照充足，夏季短而炎热，冬季长而寒冷，温差大，降水少，蒸发强烈，空气干燥。石羊河流域可分为 2 个特点不一的气候区。上游祁连山区属于高寒湿润、亚湿润、亚干旱区，年平均气温小于  $6^{\circ}\text{C}$ ，年平均降水量  $500 \sim 700 \text{ mm}$ ，年平均蒸发量  $80 \text{ mm}$  左右。由于有大量的积雪和较丰富的降水，该区为石羊河流域的水资源补给区。石羊河中下游属于河西北部温带干旱区，年平均降水量  $150 \sim 250 \text{ mm}$ ，年蒸发量  $800 \sim 1800 \text{ mm}$ ，是石羊河流域水源径流区和排泄区。整个流域内高程、降水量、温度梯度变化明显，在中部平原区，城镇居民点密集，人类活动干扰程度大。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 数据来源及处理** 土地利用数据来源于 1987、2000 和 2010 年 TM 遥感数据解译的石羊河流域土地利用图(图 1)。在景观类型划分时，参照中国常用土地分类标准和相关文献，按耕地、林地、草地、水域、建设用地以及未利用地 6 个地类进行图斑提取归类。本研究重点关注流域物理环境和人类活动因素对景观格局的影响，选取的 DEM 来自美国地质调查局(WSGS)的 EROS 建立的 30 弧秒数据(GTOPO30)；1971 - 2000 年累年平均年降水量和累年平均气温、2000 年人口和 GDP 数据均来源于中国自然资源数据

库，数据空间分辨率均为  $1 \text{ km}$ 。所有数据均在 ArcGIS 9.3 平台上生成 Krasovsky\_1940\_Albers 投影。

**1.2.2 景观格局指数选取** 景观指数是可以在斑块、类型和景观 3 个层次上反映结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标。景观格局指数众多，但单一指数所指示的格局特征往往存在局限性，而多个景观格局指数之间又存在冗余。参照相关研究<sup>[11-13]</sup>，运用 FRAGSTATS 软件选取了 6 个类型水平和 6 个景观水平上的景观格局指数(表 1)来表征石羊河流域的景观格局。选取类型水平上的景观类型面积(CA)、景观面积百分比(PLANP)、斑块数量(NP)、平均斑块面积(MPS)、形状指数(LSI)、斑块凝聚度(COHESION)；选取景观水平上斑块密度(PD)、边界密度(ED)、最大斑块指数(LPI)、形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)、多样性指数(SHDI)进行景观格局分析。各指标计算方法及生态学意义参见文献[11-13]。

**1.2.3 景观格局分析方法** 应用 FRAGSTATS 软件，首先采用标准法<sup>[14]</sup>，在流域整体水平上计算本文所选类型水平上的 6 个景观格局指数；然后采用边长为  $5 \text{ km}$  的移动窗口，每次移动 1 个栅格，计算窗口内的景观指标值，并将该值赋给该窗口的中心栅格，最后形成景观指标栅格图。由于移动视窗法的计算结果返回窗口中心栅格，因此在上述窗口尺寸下，各指数的计算结果分别以初始流域边界为基准向内萎缩了  $2.5 \text{ km}$ 。

作为相对独立的地貌单元，流域自然地理梯度主要体现为沿河流流向的上、中、下游纵向梯度和垂直于河流的横向梯度两方面。选取西南-东北(Tr1)、西北-东南(Tr2)两条样带，其中样带 Tr1 体现流域纵向梯度，样带 Tr2 反映流域的横向梯度，分别采样提取格局指标进行格局特征的梯度分析，采样间隔为  $1 \text{ km}$ 。并基于 CANOCO 4.5 平台，利用约束性排序方法中的冗余分析(RDA)方法分析景观格局与环境因子之间的相关性。

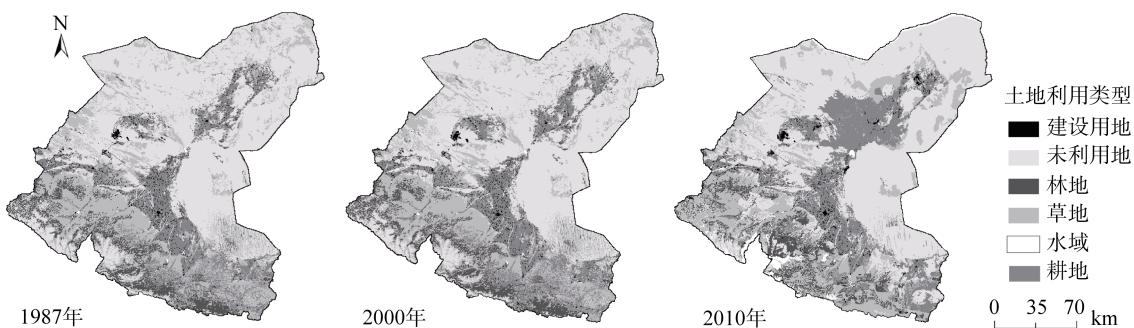


图 1 石羊河流域 1987、2000、2010 年土地利用格局图  
Fig. 1 Land use maps of Shiyang River basin in 1987, 2000 and 2010

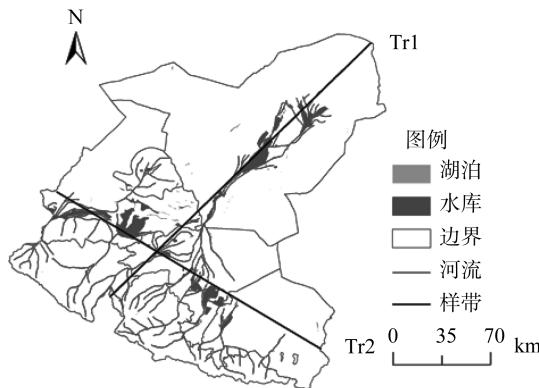


图2 石羊河流域水系及样带设置

Fig. 2 River system and belt transect of Shiyang River basin

## 2 石羊河流域景观空间格局分析

### 2.1 石羊河流域景观整体格局

层次水平上的斑块面积(CA)、斑块数量(NP)及平均斑块面积(MPS)这3个指数常被用来表征一定区域内的景观破碎化程度，体现景观组分的空间异质性。由表1可见，流域内不同景观类型的面积有较大差别，其中景观基质为未利用地，使得整个研究区保持着特有的半荒漠景观特征；水域面积最少，2010年约占1%；林地、草地景观之和约占30%，其中林地面积仅占6%，导致流域生态系统调节功能弱，水土流失严重，水源涵养能力低。水域的NP在研究期间

增加了234，面积也增加了 $267.1\text{ km}^2$ ，反映石羊河流域重点治理工程取得显著成绩。就MPS而言，最大为未利用地，但其平均斑块面积增大是由原先大量零星分布在未利用地中的耕地、草地、林地斑块的消失所致，这点可以从斑块凝聚度(COHESION)值得到验证。MPS最小为建设用地，建设用地主要由城镇及农村居民点组成，说明区内城镇及农村居民点数量较少且分散。草地LSI值最大，研究期间变动不大，表明其面积及斑块形状较稳定。耕地、林地和草地的COHESION值一直保持较高的水平，但水域、建设用地和未利用地的COHESION值上升幅度大，是因为水域的分布趋于集中，面积扩大；建设用地增加的部分主要来源于周围的草地、未利用地和耕地；未利用地中的耕地、草地、林地斑块逐渐消失，所以这三者被其他景观类型割裂的程度较小，本身的连通性好、其破碎化和不规则化的程度降低。

### 2.2 景观格局时空分布特征

以斑块密度(PD)、多样性指数(SHDI)和蔓延度指数(CONTAG)为例：1987—2010年石羊河流域景观水平上的3个指数值具有明显的时空分异特征(图3)。流域地势南高北低，自西南向东北倾斜。总体可分为北部荒漠区、中部平原区和南部祁连山区3个大的地貌单元。相较于1987年，2010年的3个指数值分布呈现明显的自南向北的梯度差异，随着年份的推移，

表1 研究区各景观类型的景观指数  
Table 1 Landscape indices of landscape types in the study area

| 景观类型 | 年份   | CA ( $\text{km}^2$ ) | PLANP (%) | NP    | MPS ( $\text{km}^2$ ) | LSI   | COHESION |
|------|------|----------------------|-----------|-------|-----------------------|-------|----------|
| 耕地   | 1987 | 6 413.81             | 15.81     | 1 518 | 4.23                  | 49.63 | 98.26    |
|      | 2000 | 6 880.94             | 16.96     | 1 560 | 4.41                  | 48.83 | 98.21    |
|      | 2010 | 6 191.31             | 15.26     | 1 608 | 3.85                  | 40.05 | 98.17    |
| 林地   | 1987 | 2 676.40             | 6.60      | 1 710 | 1.57                  | 43.69 | 94.78    |
|      | 2000 | 2 606.30             | 6.42      | 1 694 | 1.54                  | 43.29 | 94.31    |
|      | 2010 | 2 188.72             | 5.39      | 1 794 | 1.22                  | 47.79 | 98.68    |
| 草地   | 1987 | 11 370.28            | 28.02     | 2 990 | 3.80                  | 73.31 | 98.67    |
|      | 2000 | 11 037.74            | 27.20     | 3 083 | 3.58                  | 73.45 | 98.71    |
|      | 2010 | 10 211.45            | 25.16     | 3 181 | 3.21                  | 73.45 | 98.71    |
| 水域   | 1987 | 147.79               | 0.36      | 72    | 2.05                  | 17.96 | 47.77    |
|      | 2000 | 155.43               | 0.38      | 74    | 2.10                  | 18.16 | 48.23    |
|      | 2010 | 414.89               | 1.02      | 306   | 1.36                  | 27.67 | 99.64    |
| 建设用地 | 1987 | 363.82               | 0.90      | 3 792 | 0.10                  | 31.43 | 36.09    |
|      | 2000 | 392.47               | 0.97      | 3 847 | 0.10                  | 37.54 | 99.69    |
|      | 2010 | 542.85               | 1.34      | 6 128 | 0.09                  | 34.58 | 96.22    |
| 未利用地 | 1987 | 19 606.87            | 48.32     | 1 825 | 10.74                 | 37.50 | 99.70    |
|      | 2000 | 19 505.29            | 48.07     | 1 844 | 10.58                 | 32.19 | 38.03    |
|      | 2010 | 21 028.96            | 51.82     | 2 056 | 10.23                 | 23.73 | 79.49    |

梯度差异越来越明显。北部荒漠区的景观类型以未利用地、草地、耕地为主，水源极度匮乏，任何水源的增加或减少都会对植被面积产生巨大的影响。由于地下水位的降低，区内零碎的草地和灌木林地消失，景观由复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体趋于单一、均质和连续的整体，生物多样性丧失，使得 PD、SHDI 值降低，而 CONTAG 值升高，尤其是在凉州与民勤相接的区域，景观基本为未利用地，出现大片的 PD、SHDI 低值带(区)和 CONTAG 高值带(区)。由于北部荒漠区人口数量少，城镇化水平很低，因此景观格局主要由海拔、降水、温度等自然条件控制。在中部平原区优势景观同样为以未利用地、草地、耕地为主，但与北部荒漠区不同的是，耕地所占的比例较大，存在西南-东北和西北-东南方向的两条带状耕地景观。高程相对较低、人口相对密集的金昌、凉州和古浪的南部及民勤绿洲等地区出现了 PD、CONTAG 高值带(区)以及 SHDI 低值带(区)。南部祁连山区的景观类型以林地、草地为主，未利用地比例低，但该地区景

观多由离散的小斑块构成，形状较不规则、破碎化程度较高，斑块多样性及异质性较强，导致 PD、SHDI 值较高，CONTAG 值较低。此外，建设用地以及水域作为离散的斑块(湖泊和水库)或连续的廊道(河流)镶嵌在整个流域景观类型中，使得各景观格局指数不同程度的呈现出圈层、带状(廊道)结构特征。

### 2.3 景观时空梯度格局

流域景观格局时空分布差异是景观异质性的具体体现，景观时空格局梯度变化是指在不同时期内某一区域内景观特征沿着某方向有规律地变化，这种变化特征反映了景观异质性的时空相关(时空梯度和趋勢度)关系<sup>[14]</sup>。总体而言，在两样带上各指数值均呈现不同幅度的上下波动时空特征(图 4、图 5)。以 PD 值为例，2010 年沿河流流向的 Tr1 样带的 PD 值明显低于 1987 年，说明 2010 年流域景观破碎化程度降低，且东北方向上的景观破碎化程度低于西南方向。西南方向上的第 1 处峰值出现在南部祁连山区的肃南裕固族自治区，峰值处景观类型以林地与草地为主；第

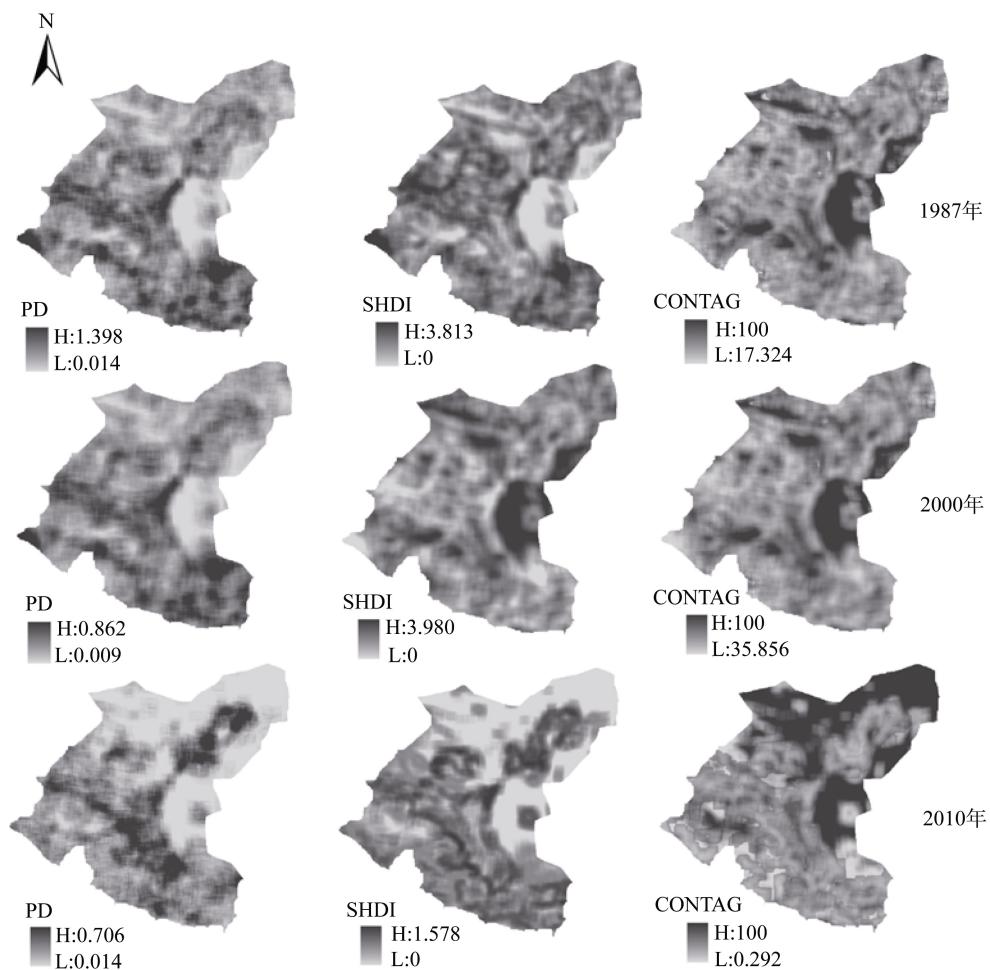


图 3 石羊河流域景观格局指数空间分布特征(H：高，L：低)  
Fig. 3 Spatial distribution of landscape pattern indices in Shiyang River basin

2处峰值出现在凉州区，耕地是该区域的优势景观，并有建设用地斑块镶嵌其中。两个峰值之间属山区向平原过渡的中游地区，景观类型由林地、草地转变为耕地和建设用地。东北方向上的PD值呈现先缓慢上升再缓慢下降的趋势，这是由于Tr1样带经过民勤绿洲，绿洲的西南、东北方向分别是成片的耕地、未利用地景观，斑块异质性小，破碎化程度低；而绿洲范围内主要是破碎的耕地、未利用地、草地等，各斑块被边界割裂的程度高，连通性差，破碎化程度高使得PD值上升。其他指数波动过程与PD值相似。

样带Tr2垂直于河流流向，除LPI外，其余指数3个年份差别较大。仍以PD为例，样带上自西北向东南依次出现了3个峰值，到达第1个峰值前，样带上景观类型以草地和未利用地为主，景观破碎程度低、平均斑块面积相对较大，在经过以耕地、草地、建设用地、未利用地错综复杂的金川区时，达到第1个峰值；第2个峰值位于张掖绿洲的北端，位于民勤、凉州、永昌的交界处。区域内景观类型多样，耕地景观面积较大；两峰值间景观类型主要为草地和未利用地。PD值较第1个峰值前高，说明景观多样性和异质性增大，破碎化程度增加；第3个峰值位于古浪县

北部的荒漠区，优势景观类型仍为草地和未利用地，由于地下水位的降低，2010年该区域内破碎的草地斑块大量减少，转化为未利用地，景观类型单一，峰值较1987年大幅降低。第2、3峰值间的景观类型主要为未利用地。

### 3 景观梯度格局与环境因子的关系

本次研究以2000年Tr1、Tr2两样带上的每个采样点对应的高程、降水、温度、人口、GDP数据作为环境因子，6个格局指数计算结果作为目标物种，利用CANOCO 4.5下的DRA方法分析两样带上景观格局梯度与环境因子的关系，该方法可以直观地把环境因子、物种、样方同时展现在排序轴的坐标平面上，是目前目标物种分析与环境因子解释的趋势性分析方法之一。

#### 3.1 DRA计算结果对研究目标的展示度

DRA分析表明：样带Tr1、Tr2景观梯度格局与环境因子对应分析(CA)特征值总和分别为0.091、0.382。其中样带Tr1前两个排序轴特征值分别为0.084、0.006，两者之和占前4轴特征值的98.9%，第1排序轴与景观格局指数相关性F检验值为

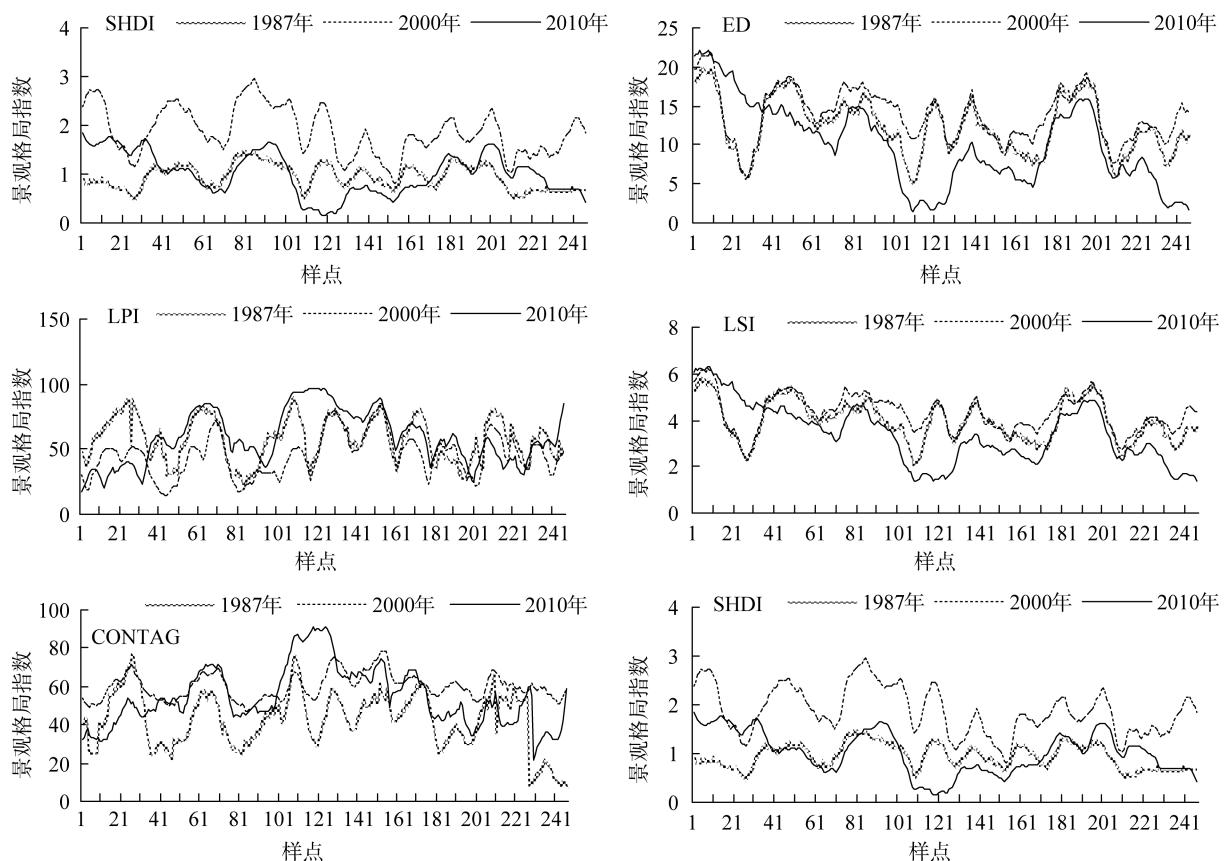


图4 石羊河流域Tr1样带上景观格局指数的梯度变化(自西南向东北)

Fig. 4 Gradient variations of landscape pattern indices of transect Tr1 in Shiyang River basin (from southwest to northeast)

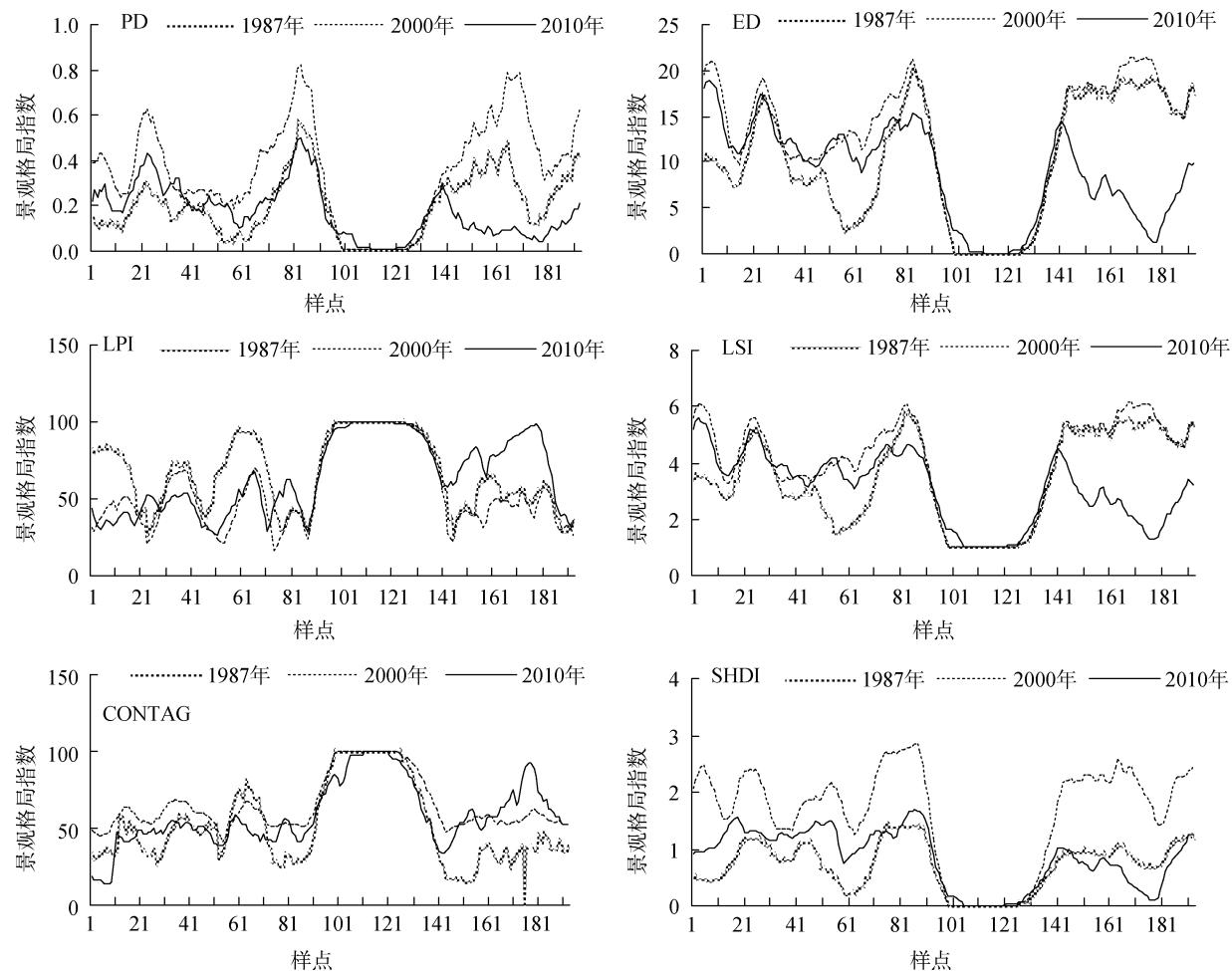


图 5 石羊河流域 Tr2 样带上景观格局指数的梯度变化(自西北向东南)

Fig. 5 Gradient variation landscape pattern indices of transect Tr2 in Shiyang River basin (from northwest to southeast)

22.198, 为极显著相关( $P = 0.002$ )。第 1 排序轴解释了景观格局指数与环境因子关系的 93%。环境因子第 1 排序轴与景观格局指数特征第 1 排序轴的相关系数为 0.564, 相关性较好。样带 Tr2 第 1 排序轴特征值为 0.378, 占前 4 轴特征值的 98.95%, 第 1 排序轴与景观格局指数相关性  $F$  检验值为 113.86, 也为极显著相关( $P = 0.002$ )。第 1 排序轴解释了景观格局指数和环境因子关系的 99%。环境因子第 1 排序轴与景观格局指数特征第 1 排序轴的相关系数为 0.626, 相关性大于样带 Tr1。两条样带上相关分析结果表明景观格局梯度与环境因子间关系较密切。

### 3.2 排序轴与环境因子的相关性

Tr1、Tr2 样带上景观格局指数(SA1 ~ SA4)与各环境因子(EA1 ~ EA4)对应相关系数分别见表 2、表 3。Tr1 样带第 1 排序轴与高程、降水、温度相关性较好, 第 2 轴与 GDP、人口相关性相对较强, Tr2 样带第 1 轴与温度、人口、GDP 相关性相对较强, 第 2 轴与高程、温度、降水相关性相对较强。第 1、2 排

序轴与环境因子的相关分析结果表明: 影响流域纵向景观梯度格局的环境因子主要为自然因素; 高程、降水与景观梯度格局呈正相关, 其余呈负相关。温度和人类活动等环境因子是流域横向景观格局及其空间分布的决定性因素。

### 3.3 环境因子对景观格局指数的影响

为进一步分析各环境因子对不同景观格局指数的影响程度, 本文基于 CANOCO 4.5 得到了景观格局指数在 RDA 排序第 1、2 轴的分布格局, 如图 6 所示。该图代表各环境因子影响下样带 Tr1 和 Tr2 上的景观梯度格局特征, 其中各环境因子箭头的长度代表其对景观格局指数的影响程度(解释量)大小, 而任意两个环境因子箭头间的夹角大小表示二者的关系程度, 任意两景观指数之间的距离表征二者空间分布的差异水平, 各景观格局指数到某一环境因子轴的投影的位置次序代表这些指数在这一环境梯度上的最适值排序。

由图 6 可见, 排序图上各景观指数之间的距离表

表2 石羊河流域Tr1样带上景观格局指数、RDA排序轴与环境因子间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of landscape pattern index axes, environmental axes and environmental factors by RDA in transect Tr1 of Shiyang River basin

|     | SA1    | SA2    | SA3    | SA4    | EA1    | EA2   | EA3    | EA4    | E      | P      | T     | POP   | GDP |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-----|
| SA1 | 1      |        |        |        |        |       |        |        |        |        |       |       |     |
| SA2 | -0.278 | 1      |        |        |        |       |        |        |        |        |       |       |     |
| SA3 | 0.078  | -0.410 | 1      |        |        |       |        |        |        |        |       |       |     |
| SA4 | 0.030  | 0.592  | -0.913 | 1      |        |       |        |        |        |        |       |       |     |
| EA1 | 0.564  | 0      | 0      | 0      | 1      |       |        |        |        |        |       |       |     |
| EA2 | 0      | 0.397  | 0      | 0      | 0      | 1     |        |        |        |        |       |       |     |
| EA3 | 0      | 0      | 0.131  | 0      | 0      | 0     | 1      |        |        |        |       |       |     |
| EA4 | 0      | 0      | 0      | 0.061  | 0      | 0     | 0      | 1      |        |        |       |       |     |
| E   | 0.253  | 0.022  | 0.080  | -0.010 | 0.694  | 0.054 | 0.609  | -0.161 | 1      |        |       |       |     |
| P   | 0.274  | 0.159  | 0.053  | -0.008 | 0.751  | 0.399 | 0.401  | -0.129 | 0.916  | 1      |       |       |     |
| T   | -0.256 | 0.026  | -0.083 | 0.009  | -0.704 | 0.067 | -0.629 | 0.141  | -0.991 | -0.864 | 1     |       |     |
| POP | -0.076 | 0.289  | 0.058  | 0.012  | -0.208 | 0.726 | 0.442  | 0.193  | -0.019 | 0.146  | 0.073 | 1     |     |
| GDP | -0.044 | 0.300  | 0.051  | 0.028  | -0.120 | 0.755 | 0.387  | 0.462  | 0.040  | 0.233  | 0.024 | 0.936 | 1   |

注: SA1-SA4 为前 4 轴的景观格局指数信息; EA1-EA4 为前 4 轴的环境因子信息 s; E: 高程; P: 降水; T: 温度; GDP: 国内生产总值; POP: 人口; 下同。

表3 石羊河流域Tr2样带上景观格局指数、RDA排序轴与环境因子间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of landscape pattern index axes, environmental axes and environmental factors by RDA in transect Tr2 of Shiyang River basin

|     | SA1    | SA2    | SA3    | SA4    | EA1    | EA2    | EA3    | EA4    | E      | P      | T     | POP   | GDP |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-----|
| SA1 | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |     |
| SA2 | 0.278  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |     |
| SA3 | 0.154  | 0.586  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |       |       |     |
| SA4 | 0.146  | -0.502 | -0.458 | 1      |        |        |        |        |        |        |       |       |     |
| EA1 | 0.626  | 0      | 0      | 0      | 1      |        |        |        |        |        |       |       |     |
| EA2 | 0      | 0.322  | 0      | 0      | 0      | 1      |        |        |        |        |       |       |     |
| EA3 | 0      | 0      | 0.427  | 0      | 0      | 0      | 1      |        |        |        |       |       |     |
| EA4 | 0      | 0      | 0      | 0.347  | 0      | 0      | 0      | 1      |        |        |       |       |     |
| E   | 0.192  | -0.259 | 0.136  | -0.125 | 0.307  | -0.803 | 0.319  | -0.359 | 1      |        |       |       |     |
| P   | -0.043 | -0.216 | 0.265  | -0.036 | -0.069 | -0.670 | 0.621  | -0.104 | 0.820  | 1      |       |       |     |
| T   | -0.330 | 0.227  | -0.066 | 0.146  | -0.527 | 0.704  | -0.156 | 0.422  | -0.955 | -0.637 | 1     |       |     |
| POP | 0.207  | 0.065  | 0.192  | 0.219  | 0.330  | 0.200  | 0.449  | 0.630  | -0.231 | -0.138 | 0.242 | 1     |     |
| GDP | 0.202  | 0.188  | 0.245  | -0.035 | 0.323  | 0.583  | 0.575  | -0.101 | -0.231 | -0.224 | 0.181 | 0.651 | 1   |

明 PD、ED、LSI 和 SHDI 的空间差异水平较小, 它们和 CONTAG 和 LPI 指数间的空间差异较大, 表明两组指数在空间分布上呈负相关关系。分别考察各指标与环境因子的关系, 可知 Tr1 样带上各指标在高程和降水轴上最适值排序为 ED>LSI>SHDI>PD>LPI>CONTAG; 在温度轴上最适值排序为 CONTAG>LPI>PD>SHDI>LSI>ED; 在人口、GDP 轴上的最适值排序为 PD>SHDI>LSI>ED>CONTAG>LPI。从流域尺度上分析, GDP、POP 具有较明显的正相关关系, 与高程则呈负相关, 表明在石羊河流域人类活动主要集中在低海拔地区。PD、ED、LSI、和 SHDI 指数均与高程呈正相关关系, 说明高海拔地区各类景观斑块破碎度高、异质性强、斑块连通性相

CONTAG, 在降水轴上最适值排序为 LPI>ED>CONTAG>LSI>SHDI>PD, 在温度轴上最适值排序为 CONTAG>LPI>PD>SHDI>LSI>ED; 在人口、GDP 轴上的最适值排序为 PD>SHDI>LSI>ED>CONTAG>LPI。从流域尺度上分析, GDP、POP 具有较明显的正相关关系, 与高程则呈负相关, 表明在石羊河流域人类活动主要集中在低海拔地区。PD、ED、LSI、和 SHDI 指数均与高程呈正相关关系, 说明高海拔地区各类景观斑块破碎度高、异质性强、斑块连通性相

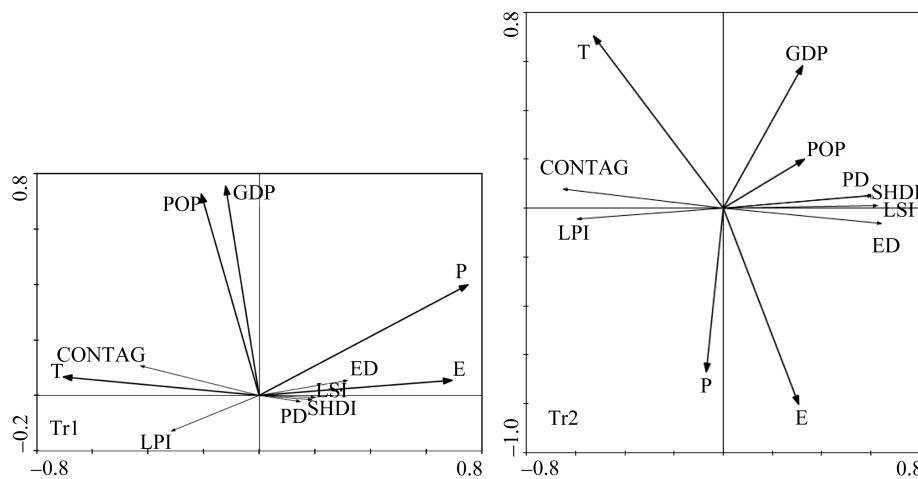


图 6 石羊河流域景观格局指数与环境因子的 RDA 排序图  
Fig. 6 RDA ordinations of landscape pattern indices and environmental factors in Shiyang River basin

对较差。

#### 4 结论与讨论

(1) 石羊河流域景观基质为未利用地，主要分布在流域北部荒漠区，占流域总面积一半左右，使得整个流域保持着特有的半荒漠景观特征；林地和草地主要分布在流域南部祁连山区，景观平均斑块面积较小，形状不规则且破碎化程度较高；水域面积增加迅速，反映石羊河流域重点治理工程取得显著成绩。建设用地斑块数量较多且破碎，大部分分散镶嵌在平原区的耕地景观中上。空间分析表明，石羊河流域景观格局整体具有明显的地域性特征，总体以块状结构为主，在建设用地、水库及其他景观等局部地区则呈圈层结构和带状(廊道)结构，不同景观之间过渡地带的景观格局梯度变化较大。

(2) 景观格局梯度变化特征表明：从空间上看，景观格局指数在 Tr1、Tr2 两样带上均有明显梯度变化。从时间上看，2010 年沿河流流向的 Tr1 样带的景观格局指数值明显低于 1987 年，说明 2010 年流域景观破碎化程度降低，Tr2 样带垂直于河流流向，景观格局指数年份间差别不大。样带上不同地区内景观类型及其分布格局的差异是导致景观指数变化的直接原因，而流域景观格局是地形地貌、气候、水文等自然条件及人口数量与分布、城市化进程以及经济发展速度等人类活动因素共同作用的结果。位于山区与平原区之河流中游地区同时也是流域山区与平原区之间的过渡地带，该过渡带两侧景观类型差异明显，景观格局波动幅度也相对较大。

(3) RDA 分析表明：影响流域纵向景观梯度格局的环境因子主要为自然因素；高程、降水与景观梯度

格局呈正相关，其余呈负相关。温度和人类活动等环境因子是流域横向景观格局及其空间分布的决定性因素。

(4) 对于流域土地利用景观而言，景观梯度格局变化主要体现在流域纵向、横向两个方面，本文在选择样带时，依据石羊河流域自身的纵向、横向梯度特征，并综合考虑了流域内高程、水分、温度、人口和 GDP 的空间梯度变化，最后选择了上述 2 个样条带，并对流域景观梯度格局特征进行了详细的分析研究，取得了比较客观的研究成果。

#### 参考文献：

- [1] 余世孝, 郭沫. 山东泰山地区景观结构变化及其分形分析[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 129-134
- [2] 赵成义, 王玉潮, 李子良, 李国振. 荒漠绿洲植被变化与景观格局耦合关系的研究——以新疆三工河流域为例 [J]. 干旱区地理, 2003, 26(4): 297-304
- [3] 余瑞林, 周葆华, 刘承. 安庆沿江湿地景观格局变化及其驱动力[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 522-527
- [4] 邓贵平, 覃建雄, 颜磊. 旅游发展对九寨沟自然保护区景观格局变化的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 578-584
- [5] 杨振山, 蔡建明, 文辉. 郑州市 2001—2007 年城市扩张过程中城市用地景观特征分析[J]. 地理科学, 2010, 30(4): 600-605
- [6] 张利权, 吴健平, 甄彧, 束炯. 基于 GIS 的上海市景观格局梯度分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 78-85
- [7] 全泉, 田光进. 基于 GIS 的北京市城乡景观格局梯度时空变化研究[J]. 生态科学, 2008, 27(4): 254-261
- [8] 王辉, 周睿, 毕晓丽, 陈宝玉, 葛建平. 泾河流域平凉市城市化影响下景观格局梯度分析[J]. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1476-1480
- [9] 朱明, 徐建刚, 李建龙, 徐盛, 宋量刚. 上海市景观格局梯度分析的空间幅度效应[J]. 生态学杂志, 2006, 25(10):

- 1 214–1 217
- [10] 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
- [11] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 闻青春, 王绪高, 徐崇刚, 李月辉, 贺红仕. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 123–134
- [12] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 生态学报, 2002, 13(1): 121–125
- [13] 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): 1 415–1 422
- [14] 黄小富, 熊华, 刘洋, 严贤春, 肇晓. 嘉陵江流域植被景观异质性的空间梯度变化[J]. 西北植物学报, 2008, 28(2): 362–369
- [15] 黄尤优, 刘守江, 胡进耀, 刘晓琴, 肇晓. 唐家河保护区主要植被类型景观格局的梯度分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 197–203

## 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

GONG Ji-ping, SHI Pei-ji\*, YANG Xue-mei, WU Wen-jie

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Based on GIS technology and moving window method, the characteristics of landscape pattern and its spatio-temporal variations of Shiyang River basin in 1987, 2000 and 2010 were analyzed. According to characteristics of natural geographic gradient of basin in 2000, two transects were set up with a sampling interval of 1 km, one was along river's flow direction (Tr1) and the other was perpendicular to river's flow direction (Tr2). The elevation, precipitation, temperature, population and GDP were taken as the environmental factors and the landscape pattern indices as the target species, the pattern of landscape gradients with environmental factors was studied by redundancy analysis of constrained ordination methods (RDA). The results showed that: 1) Unused land, accounting for a half of the total landscape, composed a major part and were the landscape matrix in Shiyang River Basin during the study period; 2) Compared to 1987, the distribution of the landscape pattern index values showed significant differences from south to north gradients in 2010, blocks dominated the landscape structures in the basin with structures in the forms of ring or banded (corridor) dispersed on it; 3) The landscape pattern indices in vertical and horizontal gradient were significant different, landscape pattern indices of Tr1 in 2010 was significantly lower than in 1987, while landscape pattern indices of Tr2 did not change significantly with the time; 4) The gradient changes of landscape pattern indices and environmental factors were closely correlated, gradient pattern of landscapes in Tr1 transect was closely correlated with elevation, precipitation and temperature, while gradient pattern of landscapes in Tr2 transect was closely correlated with temperature, population and GDP.

**Key words:** Landscape, Gradient pattern, Environmental factors, Moving window, Shiyang River basin