

# GIS RS支持下的石羊河流域景观利用优化研究

魏 伟<sup>1</sup>, 赵 军<sup>1</sup>, 王旭峰<sup>2</sup>

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2 中国科学院  
寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 选择干旱内陆河石羊河流域为研究区, 分析该流域过去 20 a 间在生态环境自然演替和人类活动干涉下的景观格局特征。从整体上看, 研究区各景观类型的利用向非均匀化方向发展, 说明区域内各景观类型间的比例差异进一步增加, 这种变化在一定程度上反映了人类活动对景观整体的影响。依据累积耗费距离理论, 采用最小累积阻力表面 (MARS) 和耗费表面 (MCR) 模型, 借助表面扩散技术, 研究了该流域景观结构紧密性和生态功能空间差异, 进而构建源地、生态廊道和生态节点等景观组份来加强生态网络的空间联系, 最后提出景观利用优化方案。

**关 键 词:** 地理信息系统; 遥感; 耗费阻力表面; 景观利用优化; 石羊河流域

**中图分类号:** TP79/F124.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-0690(2009)05-0750-05

景观利用优化是在综合理解景观格局、功能和生态过程相互作用的基础上, 通过调整、优化各种景观类型在空间上和数量上的分布格局, 使其产生最大景观生态效益, 实现区域可持续发展<sup>[1-6]</sup>。但由于目前的研究仍主要停留在对景观元素属性和相互关系的定性、定量分析上, 许多实际问题的解决尚缺乏可操作途径, 并且在景观尺度层面上, 现有研究成果很难量化反映格局和过程之间的对应关系以及格局对功能的影响, 使得景观格局利用优化研究一直是景观生态学的难题<sup>[7-9]</sup>。如何基于对景观格局、功能和过程的综合理解, 从生态空间构建一些能够控制生态过程的、至关重要的景观组份或组合, 从而有效提升生态功能连续性, 是当前景观生态规划和建设所面临的共同难题。针对这一问题, 研究运用 RS 和 GIS 技术分析了景观单元各方向上的相互关联, 以及由此形成的整体景观空间结构及格局优化的实现途径, 不仅有助于深入了解干旱区内陆河流域景观结构与自然、生态过程和人类社会活动之间的关系, 也有利于确定人类的各种干扰活动导致该地区景观改变的强度和方向及其有效性, 从而为本区域可持续发展提供重要的科学依据。

## 1 研究区概况

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。该研究区位于甘肃省河西走廊东部, 祁连山北麓, 介于 101°22' ~ 104°16' E, 36°29' ~ 39°27' N 之间<sup>[10, 11]</sup>。行政区划包括武威市凉州区、古浪县、民勤县、金昌市永昌县及金川区, 共 2 市 5 县 (区), 面积约 41 600 km<sup>2</sup>, 总人口约 240 81 万。根据 1986~2006 年间景观生态格局分析, 该区景观斑块数目有所增加, 平均斑块大小有所减小, 景观边缘密度基本保持不变, 多样性指数和均匀度指数均持续提高, 核心斑块表面密度持续增长, 景观斑块核心区分离度降低。上述格局状况一方面加速了物种流通速率, 减少其能量流的阻力, 另一方面破坏了原有景观的完整性, 容易造成核心区斑块持续减少, 形成景观破碎化的恶性循环。

## 2 研究资料及方法

### 2.1 数据资料

以研究区 1986、1994、2000 和 2006 年 4 期 Landsat/TM 多光谱遥感影像图为基础数据, 采用

收稿日期: 2008-11-10 修订日期: 2009-03-22

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40671067)、甘肃省自然地理学重点学科项目 (5001-048) 资助。

作者简介: 魏伟 (1982-), 男, 甘肃庄浪人, 硕士研究生, 从事 GIS 和 RS 的应用研究。E-mail: weiw@gis2006@126.com

A bers Conical Equal Area 投影, GCS\_K rasovsky 1940地理坐标系, 影像分辨率为 30 m。同时结合各时期土地利用详查数据, DEM 数据及研究区行政区划图, 1986~ 2006年研究区的气象、水文、植被、土壤及相关社会统计资料及其它辅助图件。

## 2.2 景观类型划分及实现方法

利用 ERDAS 9.0 软件将各期遥感影像进行标准假彩色波段组合, 结合实地调查建立解释标志, 在 ArcView 3.3a 中依据解释标志进行目视解译, 获得各期景观类型矢量与属性数据, 建立景观及组分数据库; 根据研究区土地资源特征和景观类型差异, 结合研究区内的地表、植被等组分特点, 将研究区划分为耕地、林地、草地等 14 类景观 (图 1)。运用 ArcGIS/Patch Analyst 模块进行各景观指数计算和景观功能分析, 利用 ArcView/spatial analyst 的 Tabulate areas 分析景观类型演变规律。

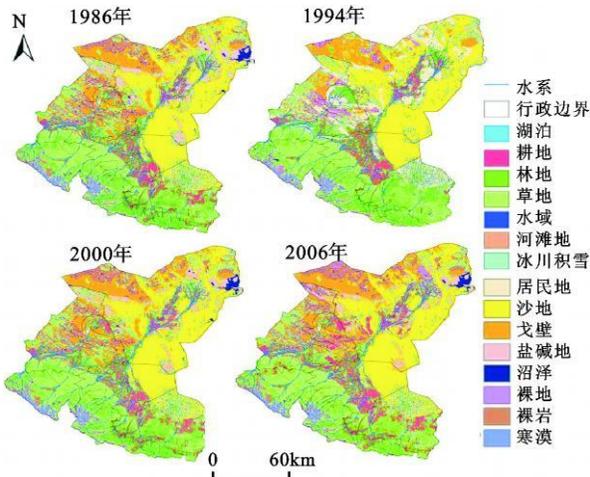


图 1 研究区 1986~ 2006 年景观类型图

Fig 1 Landscape types of study area in 1986 1994, 2000 and 2006

## 2.3 景观累积耗费距离模型

本研究利用最小阻力表面和耗费表面模型做出优化和合理利用景观的措施与途径。为反映“源地”景观运行的空间态势, 借助 GIS 中的表面扩散技术, 构建累积阻力模型来表达景观类型的空间跨越特点, 累积耗费距离反映了生态源运动的空间趋势<sup>[12]</sup>, 它不是空间两个景观单元之间的实际累积距离, 而是强调景观阻力在一定空间距离上的累积效应。根据景观单元对景观迁移的影响, 将景观单元按阻力进行分级, 并为各景观单元分配相应的阻力参数, 形成景观阻力表面。每类单元的阻力

值可通过 (1) 式求得:

$$R_j = \sum_{i=1}^n (X_i Y_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中,  $R_j$  为第  $j$  类景观单元的累积阻力;  $X_i$  为  $i$  指标的权重;  $Y_{ij}$  为第  $j$  类单元由指标  $i$  确定的相对阻力<sup>[13]</sup>。基于该阻力表面计算目标物种从源地到达每一个景观单元的最小耗费值。计算方法采用 (2) 式:

$$C_L = \min \sum_{k=1}^n (D_k R_k) \quad (i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中,  $C_L$  为第  $L$  个单元到源地的最小耗费;  $n$  为景观基本单元的总个数;  $m$  为源地到第  $L$  个单元所经过单元的个数;  $D_k$  为第  $k$  个单元与源地的距离,  $R_k$  为第  $k$  个单元的阻力值<sup>[14]</sup>。

本研究利用网格图解法分析景观空间格局的性质, 应用节点-链 (node/link) 的像元表示法来表示某一代价表面<sup>[15-19]</sup>, 基于节点-链的像元表示方法可以计算通过某一代价表面到最近源的累积耗费距离 (accumulative cost distance, 简称为  $A_i$ ), 计算公式如下:

$$A_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_i + C_{i+1}) \quad (3)$$

$$A_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \sum_{i=1}^n (C_i + C_{i+1}) \quad (4)$$

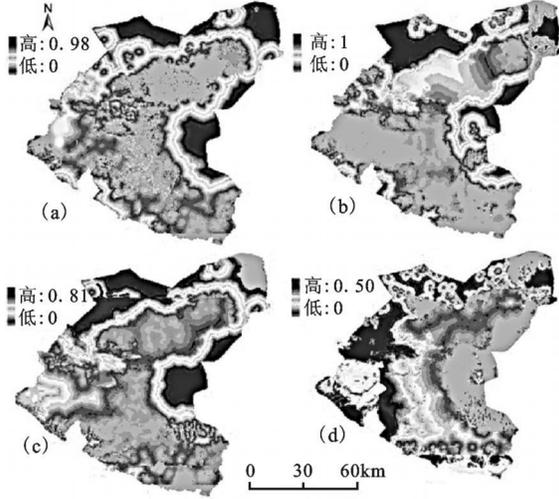
上式中,  $C_i$  表示第  $i$  个像元的耗费值;  $C_{i+1}$  指沿运动方向上第  $i+1$  个像元的耗费值;  $n$  为像元总数;  $A$  是指通过某一代价表面到源的累积耗费距离<sup>[20]</sup>。当通过某一代价表面沿像元的垂直或者水平方向运动时采用 (3) 式; 当通过某一代价表面沿像元的对角线方向运动时采用 (4) 式。

## 3 结果分析

### 3.1 景观空间功能和总体优化方案分析

基于耗费表面分析, 主要有如下地段要给予格外重视: ① 要对耕地内部和边缘区实施严格管制措施, 以免造成土壤流失和沙化及连锁生态退化 (图 2a); ② 对于草地、林地边缘的交合地段, 要重点保护, 也就是划定交合带斑块之间的质地, 减少景观中的硬性边界频度以减少生物穿越边界的阻力 (图 2b); ③ 生态要对草地中围绕源地的耗费等值线圈层间所形成的鞍点 (图 2c) 格外重视; ④ 多

条廊道交汇处和景观缓冲带相交处要减少人为活动对核心区的干扰,提高景观物质流的利用效率和营养元素的循环效率(图 2d)。



a 耕地; b 草地; c 林地 (d): 沙地

图 2 归一化后的核心源累积耗费距离表面

Fig 2 Normalized accumulative cost distance surface of core source

利用景观累积耗费距离表面,依靠地理信息空间分析模块,将耗费值各栅格单元提取出来,对此进行空间邻域分析,结合景观组分特征,设定合适的阈值,确定景观功能空间相互制约的等级分分为:源点、核心斑块区、连通区、轻度阻力区、低度阻力区、中度阻力区、高度阻力区和极大阻力区 8类(图 3),八大生态功能控制区交错分布,相互渗透、相互作用,共同组成了完整的景观空间功能。在景观优化时,遵循生态适宜性和生物流通原则<sup>[21, 22]</sup>,重视对现有草地、林地和水体等生态源的保护,建设和完善生态廊道、生态节点。为充分考虑影响景观格局的相关因素,在研究区景观空间上确立生态节点,把各源地之间的生态廊道紧密联系起来。为了切实指导景观生态的建设,在确立和构建景观组分的基础上,本文根据景观功能相互制约的景观单元空间分布特征,运用 GIS 空间分析技术,根据相邻空间各景观单元冲突的严重程度,确立重点优化和有待优化的景观单元分布范围(图 4)。这些景观单元受道路、居民区和沙荒地等景观组分的冲击较为严重,因此,必须调整或改变这些单元的类型,避免生态服务功能较强的景观组分和低功能组分直接相邻,造成生态环境的恶性循环。

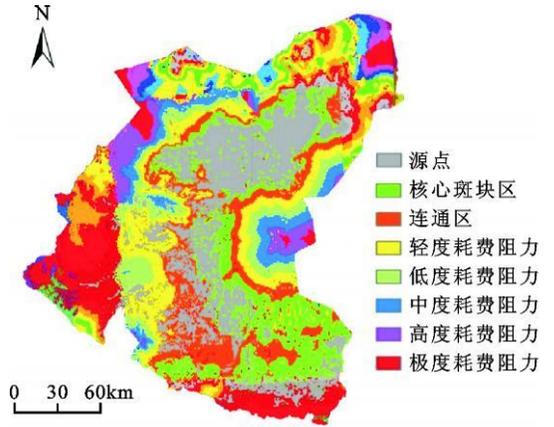


图 3 景观功能阻力分级

Fig 3 Classification of landscape functional resistance

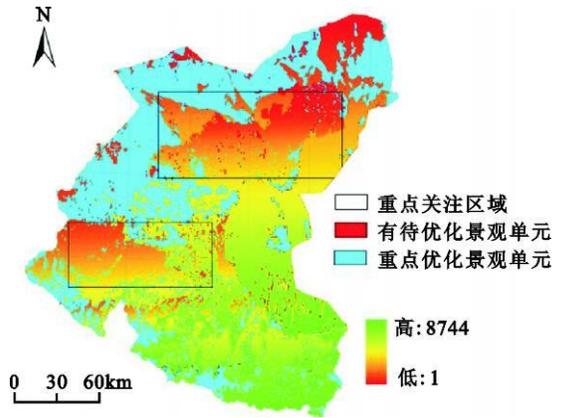


图 4 景观格局优化单元分布范围

Fig 4 Optimized landscape units range

### 3.2 景观优化前后效果比较

在整个流域水平上,优化后斑块数比优化前多 597个,平均斑块大小也增大 2.32 km<sup>2</sup>,其中斑块数增加最多的是林地,增加 1 589个,减少最多的是居民地,减少 1848个。这是因为优化时考虑到居民地的搬迁和集中效应,加大了植树造林和种草的力度,使得沙地、盐碱地、裸地等有了一定减少。平均斑块大小增加的景观类型是耕地、林地、草地、水域和居民地等,分别增加了 0.34 km<sup>2</sup>、0.13 km<sup>2</sup>、1.54 km<sup>2</sup>、0.09 km<sup>2</sup>和 0.78 km<sup>2</sup>(表 1),说明促进生态良性运行的林地、草地等斑块的整体性增强,提高了抵御风沙和绿洲退化的能力。景观核心面优化前后相比而言耕地增加最多,为 2.57 km<sup>2</sup>,其次为沼泽,增加了 0.67 km<sup>2</sup>,其它增加的景观类型依次为:居民地、林地、草地、冰川与永久性积雪和河滩地,其增加核心面大小分别为 0.48 km<sup>2</sup>、0.28

km<sup>2</sup>、0.04 km<sup>2</sup>、0.03 km<sup>2</sup>和 0.002 km<sup>2</sup>。优化前后景观核心面变化说明改善生态环境后的景观要素其核心面普遍增加,如林地、草地等,而对景观能量

流通和扩散起阻碍作用的景观要素有所减小,如沙地、裸地和戈壁等。

表 1 研究区景观格局优化前后指数对比

Table 1 Comparison of landscape pattern indexes before and after optimizing

Class	格局优化前													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NumP	1639	1395	3085	71	136	1	3869	631	181	288	50	387	394	31
MPS	4.81	1.63	3.23	0.6	0.76	0.64	0.11	15.13	23.84	6.14	5.26	1.61	6.73	23.27
MCA	1.09	0.41	0.77	0.27	0.09	0.07	0.08	5.59	4.34	2.24	2.39	0.61	2.13	2.95
TCAI	68.98	56.75	66.14	30.67	21.41	31.25	23.69	88.02	83.42	78.18	81.9	64.66	75.77	76.98
Class	格局优化后													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NumP	2004	2984	3689	337	361	3	2021	313	254	139	39	236	263	72
MPS	5.16	0.76	4.78	0.19	0.44	0.86	0.89	17.4	14.08	9.7	8.43	1.64	18.57	9.77
MCA	3.66	0.69	0.81	0.1	0.09	0.1	0.56	4.7	3.55	2.13	3.06	0.57	1.75	2.44
TCAI	84.28	49.32	84.46	16.93	16.51	49.96	63.18	94.23	83.34	84.63	85.28	60.26	87.1	77

说明: NumP. 斑块数目; MPS. 平均斑块大小; MCA. 平均核心斑块面大小; TCAI. 整体核心面积指数; 1. 耕地; 2. 林地; 3. 草地; 4. 水域; 5. 河滩地; 6. 冰川积雪; 7. 居民地; 8. 沙地; 9. 隔壁; 10. 盐碱地; 11. 沼泽地; 12. 裸地; 13. 裸岩; 14. 寒漠

## 4 结论与讨论

依据景观生态学功能空间理论和 GIS 空间分析技术, 根据累积耗费距离理论, 采用最小累积阻力表面和耗费表面模型, 借助表面扩散技术, 通过识别生态源地, 从具体的景观空间上, 构建生态廊道和生态节点等景观组分来加强石羊河流域生态网络的紧密性和通达性, 解决由该区绿洲萎缩、沙漠扩张、耕地增加所造成的斑块破碎化提高、景观连通性降低及生态承载力下降等问题。这种模式提高了物种和生态能流效率, 减少了各景观要素间穿越的累积阻力, 也减小了对草地、林地等生态效益型景观的冲击, 从而保证了该流域的生态恢复和可持续发展。但由于景观格局优化尚处在研究初期, 没有认同的结论和成熟方法, 关于优化的理论和方法尚处于探索阶段, 加之累积耗费距离模型的使用需要加大对下垫面景观元素指标的细化、筛选和量化。因此, 这方面的研究还有待进一步深入和完善。但是通过构建累积耗费距离模型, 来寻求和设计较为安全的景观生态组分与最小耗费路径, 给生态规划者和建设者提供一条新的思路, 这也是本研究的意义所在。

## 参考文献:

[1] Ehrlich P R, Wheye D. Non-adaptive hilltopping behavior in male checkerspot butterflies (*Euphydryas editha*) [J]. *Am. Nat.*, 1986, **127**(2): 477-483

[2] Harris L D. The Fragmented Forest: Island biogeography theory and the preservation of biotic diversity[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1984: 5-40

[3] Xiao Duning. The development and perspective of contemporary landscape ecology. In: Xiao D N ed. *Progress in Landscape Ecology*[M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1999: 1-7

[4] 刘多森. 资源环境科学和生态学的建模研究进展 [J]. *地理科学*, 2004, **24**(4): 512-513

[5] 丁圣彦. 整合景观生态学的理论基础 [J]. *地理科学*, 2005, **25**(1): 36-42

[6] 郭晋平. 景观生态学的学科整合与中国景观生态学展望 [J]. *地理科学*, 2003, **23**(3): 277-281

[7] 肖笃宁, 解伏菊, 魏建兵. 景观价值与景观保护评价. [J]. *地理科学*, 2006, **26**(4): 506-512

[8] Forman R T T. *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 8-23.

[9] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1989, **20**(3): 171-197

[10] 常兆丰, 韩福贵. 石羊河下游沙漠化的自然因素和人为因素及其位移 [J]. *干旱区地理*, 2005, **28**(2): 150-156

[11] 刘明春. 石羊河流域气候干湿状况分析及评价 [J]. *生态学杂志*, 2006, **25**(8): 880-884.

[12] Lewis P H. Quality corridors for Wisconsin [J]. *Landscape Architecture*, 1964, **54**(2): 100-107

[13] Mcharg I L. Human ecological planning at Pennsylvania [J]. *Landscape Planning*, 1981, **19**(8): 109-120

[14] Riitters K H, R O'Neill C T, Hunsaker et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics [J]. *Landscape Ecology*

- gy, 1995, **10**(1): 23~ 29.
- [ 15] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题 [ J]. 地理学报, 2003, **23**( 3): 264~ 270
- [ 16] 陈利顶, 傅伯杰. “源” “汇”景观理论及其生态学意义 [ J]. 生态学报, 2006, **26**( 5): 1444~ 1449
- [ 17] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例 [ J]. 生态学报, 1999, **19**( 2): 145~ 150.
- [ 18] 方忠权, 丁四保. 主体功能区划与中国区域规划创新 [ J]. 地理科学, 2008, **28**( 4): 483~ 487
- [ 19] 于伯华, 吕昌河. 城市边缘区耕地面积变化时空特征及其驱动机制——以北京市顺义区为例 [ J]. 地理科学, 2008, **28**( 3): 348~ 353.
- [ 20] 付 瑶, 汤 洁, 梁喜波. 长春高新技术产业开发区绿地景观生态规划 [ J]. 地理科学, 2008, **28**( 2): 200~ 204
- [ 21] 欧维新, 杨桂山, 李恒鹏, 等. 苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析 [ J]. 地理科学, 2004, **24**( 5): 610~ 615.
- [ 22] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵. 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~ 1231

## Landscape Optimal Utilization of Shiyang River Basin Based on RS and GIS

WEI Wei<sup>1</sup>, ZHAO Jun<sup>1</sup>, WANG Xu-feng<sup>2</sup>

(1 College of Geographical and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070; 2 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

**Abstract** Taking an arid interior district of the Shiyang River basin as study area, this paper analyzed the natural succession of ecological environment and the landscape pattern characteristics under the human activity interference in the past 20 years. The results showed that the landscape utilization developed to the heterogeneous direction, indicating the proportional difference between various landscape types was increasing. This kind of change has reflected the human activity's influence to the whole landscape on a certain extent. According to the principle that the movements of energy and material in a landscape are related to some factors such as distance, time, impedance, etc., this study adopts the minimum accumulative resistance surface, the minimum cost resistance model, and uses the surface diffusion technology to analyze the compactness of landscape structure and the spatial difference of ecological function. Then constructs some landscape components such as source, corridor and ecological node to strengthen the spatial connection of ecological network, and further puts forward the proposals of the landscape pattern optimization.

**Key words** GIS, RS, cost resistance surface, landscape optimization, Shiyang River basin