

分类_____

密级_____

西北师范大学

硕士学位论文

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

宫继萍

导师姓名职称：_____石培基 教授_____

专业名称：_____人文地理学_____ 研究方向：_____城市与区域发展研究_____

论文答辩日期：_____2012年5月_____ 学位授予日期：_____2012年6月_____

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

二零一二年五月

硕士学位论文

M.D. Thesis

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

Spatial gradients pattern of landscapes and their relations
with environmental factors in the Inland River Basin of
Arid Regions——A case on Shiyang River basin

宫继萍

GONG Jiping

西北师范大学

Northwest Normal University

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包括其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西北师范大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名：

官继萍

日期：2012.6.5

关于论文使用授权的说明

本人完全了解西北师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

签名：

官继萍

导师签名：

石培基

日期：

2012.6.5

摘要

石羊河流域是我国水资源开发程度最高的内陆河流域之一,深居欧亚大陆腹地,远离海洋,水资源形成条件差,对气候变化及人类活动干扰表现出少有的脆弱性,是干旱地区典型的水资源脆弱带,易在外界作用下由一种形态滑向另一种形态,敏感性和易变性强。近 2ka 来在气候变化和人类活动的双重影响下,生态环境逐步恶化,尤其近 50a 来,引发了水资源紧缺、水土流失、冰川萎缩、河川断流等一系列水资源环境恶化问题。特别是下游民勤县,地表植被大片枯死,天然绿洲不断缩小,荒漠化土地面积日益扩大,沙尘暴危害加重,以该地区为中心的阿拉善高原成为我国沙尘暴爆发的三大源区之一,引起了国内、国际社会的高度关注。要改变这一严酷的现实,必须首先深刻认识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,探寻其与流域物理环境及人类活动的关系,为流域景观总体规划管理提供科学依据。

基于 GIS 技术,利用移动窗口法,首先分析了 1987 年、2000 年和 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(Tr1)和垂直于河流流向梯度(Tr2)设置了两条样带,采样间隔为 1km,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,耕地、草地、未利用地三种土地类型间的相互转化是研究区最主要的土地利用变化形式;②流域景观格局指数值分布呈现明显的西南—东北向的梯度差异,③景观格局指数在 Tr1 和 Tr2 样带上均有明显变化。Tr1 样带 2010 年的景观格局指数值明显低于 1987 年,Tr2 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,Tr1 样带景观梯度格局与高程、降水、温度相关性较好,Tr2 样带景观梯度格局与温度、人口、GDP 相关性相对较强。

最后依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,构建生态源地、生态廊道和生态节点等景观组分来加强生态网络的空间联系,提出景观利用优化方案。

关键词: 景观格局; 梯度; 环境因子; 景观格局优化; 石羊河流域

Abstract

Shiyang River Basin is the one of the highest water resources development of inland river basin in China, deep in the hinterland of the Eurasian continent, away from the ocean, water resources condition is poor, the change of climate and human activity disturbances show some vulnerability, which is typical fragile of water resources in arid region, change form a morphology slide into another form by outside force easily, sensitivity and variability. In the past two thousand years, ecological environment deteriorated gradually under the dual impact of climate change and human activities, especially in the last fifty years, led to the shortage of water resources, soil erosion, shrinking glaciers, rivers flow and a series of water resources environmental problems. Especially in Minqin County, large tracts of dead vegetation, natural oasis is contractible ceaseless, desertification land area expands increasingly, sandstorm hazard increases, as the center of the Alashan plateau, it is one of the three sandstorm source areas in China, arising from the attention both at home and abroad. To change the harsh reality, first we should recognize watershed scales landscape pattern along environmental gradient evolution, to explore the relationship between basin physical environment and human activities and provide a scientific basis for landscape planning and management.

Based on GIS technology and moving window method, the characteristics of landscape pattern and its temporary, spatial differences of Shiyang River Basin in 1987, 2000 and 2010 were analyzed. According to characteristics of natural geographic gradient of basin in 2000, two transects which have been set up both along river's flow direction(Tr1) and perpendicular to river's flow direction(Tr2), sampling interval was 1km. Finally, take elevation, precipitation, temperature, population and GDP as the environmental factors and the landscape pattern indexes as the target species, redundancy analysis of constrained ordination methods (RDA) studied the pattern of landscape gradients with environmental factors. The results show that: Unused land, accounting for a half of the total landscape, compose a major part and were the matrix in Shiyang River Basin during the study period; The transform between cultivatedland, grassland and unuseland is the main landuse change in study area. The distribution of the landscape pattern index values showed significant differences from southeast to northwest gradient in 2010. Blocks dominate the landscape structures in the basin with structures in the forms of ring or banded(corridor)dispersed on it; From the space point of view, the landscape pattern

indexes in vertical and horizontal gradient were significant different. From the time point of view, landscape pattern indexes of Tr1 in 2010 was significantly lower than in 2000, while landscape pattern indexes of Tr2 were not change significantly with the time; The RDA analysis results also showed that gradient changes of landscape metrics and environmental factors were closely correlated: gradients pattern of landscapes in Tr1 transect and elevation, precipitation, temperature dependence were closely correlated, correlation of gradients pattern of landscapes in Tr2 transect and temperature, population, GDP were relatively strong.

Based on the accumulative cost distance theory, using the minimum cumulative resistance surface and the cost surface model, construct area, ecological corridor and ecological node landscape components to strengthen ecological network space, lastly, landscape optimization scheme is put forward.

Key words: landscape pattern; gradient; environmental factors; landscape pattern optimization; Shiyang River basin

目 录

独创性声明.....	I
摘 要	II
Abstract.....	III
1 前 言	1
1.1 选题背景.....	1
1.2 选题目的及意义	1
2 国内外研究综述.....	2
2.1 景观生态学研究进展.....	2
2.1.1 国外景观生态学研究进展	2
2.1.2 国内景观生态学研究进展	3
2.2 景观格局.....	4
2.3 景观优化.....	5
2.4 移动窗口	6
3 研究内容及思路	6
3.1 研究内容.....	6
3.2 研究方法.....	7
3.2.1 景观格局指数选取.....	7
3.2.2 景观格局分析方法.....	9
3.2.3 景观格局优化方法.....	9
3.3 数据及资料来源	10
3.4 技术路线.....	12
4 研究区域概况及生态问题.....	13
4.1 研究区地理位置	13
4.2 自然环境概况	13
4.2.1 地质地貌	13
4.2.2 气候特点	14
4.2.3 水文与水资源.....	15
4.3 社会经济概况	16
4.4 生态环境问题	16
4.4.1 生态状况	16

4.4.2 主要的生态问题.....	18
5 石羊河流域景观空间格局分析.....	19
5.1 景观整体格局.....	19
5.1.1 景观类型面积转移分析.....	19
5.1.2 景观要素类型的格局变化分析.....	22
5.2 景观格局时空分布特征.....	23
5.3 景观时空梯度格局.....	25
6 石羊河流域景观梯度格局与环境因子的关系.....	27
6.1 RDA 计算结果对研究目标的展示度.....	28
6.2 排序轴与环境因子的相关性.....	28
6.3 环境因子对景观格局指数的影响.....	30
7 石羊河流域景观格局优化研究.....	31
7.1 区域景观格局存在问题.....	31
7.2 景观格局优化的理论基础.....	32
7.2.1 生态源地.....	32
7.2.2 生态廊道.....	32
7.2.3 生态节点.....	32
7.3 景观优化的目标及期望.....	32
7.4 累积耗费距离模型.....	33
7.5 源景观流代价表面建立.....	33
7.6 景观格局优化组分确立.....	35
7.6.1 源地的识别与保护.....	35
7.6.2 生态廊道构建.....	36
7.6.3 生态节点构建.....	36
7.7 景观格局优化方案设计.....	37
8 结论与展望.....	38
8.1 本研究的主要结论与建议.....	38
8.2 本研究的不足与展望.....	40
参考文献.....	VII
在读期间发表的论文和参加的课题.....	XII
致 谢.....	XIII

1 前 言

1.1 选题背景

景观格局是人类活动和环境干扰促动下的结果,同时景观格局反映一定社会形态下的人类活动和经济发展的状况。景观格局的复杂程度与社会的发展阶段是紧密联系的,人口增加、社会重大变革或国家政策变化都会在景观格局上表现出来。随着人类社会文明的发展,农业发展和工业化的极大进步,人类生活环境变得越来越不适宜人类的生存,重大自然灾害,如长江洪水,沙漠化等频繁发生。环境的严重恶化给我们敲响了警钟,也为我们带来了巨大的挑战,分析这些问题的原因,我们会发现他们是与景观格局变化密切相关的。为了维持可持续发展和区域生态安全,必须对土地利用方式进行研究,进而重新调整及优化景观格局。

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^[1]。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,以期为流域景观总体规划管理提供科学依据。

1.2 选题目的及意义

目前景观格局研究内容集中于分析人类活动对景观空间格局的影响,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,由于受到水系的空间分布影响而其地表景观具有特殊的空间梯度结构和功能^[2]。景观空间格局及其动态演替是流域内部物理环境、动植物和人类活动三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。探讨流域尺度上的景观格局将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,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。

2 国内外研究综述

2.1 景观生态学研究进展

2.1.1 国外景观生态学研究进展

景观生态学起源于中欧和东欧,其发展历史可以追溯到 20 世纪 30 年代。1939 年,德国著名生物地理学家 C.Troll^[3](1939)把景观引入生态学,认为景观是人类生活环境中空间的总体和视觉所触及的一切整体,并强调景观生态学是将航空摄影测量学、地理学和生态学结合在一起的综合研究。Forman^[4](1986)认为景观生态学是研究森林、草地、湿地、村庄等生态系统的异质性组合、相互作用与变化的生态学分支,其研究重点主要包括景观要素与生态系统的空间格局、景观要素之间动植物物种、能量、物质和水分的交换与流动以及景观要素及景观格局的动态变化。研究空间格局和生态过程的相互作用是景观生态学的重要研究内容。20 世纪 80 年代,国际景观生态学会议的召开预示了现代景观生态学的真正兴起。之后,景观生态学在全球范围内得到迅速发展,被学术界认为是一个研究领域,部分成果在实际中得到应用,并在世界范围内形成了两大景观生态学派,即北美学派和欧洲学派。北美景观生态学于 20 世纪 80 年代初才开始逐渐兴起,1983 年在美国召开的景观生态学研讨会,是北美景观生态学发展过程中最重要里程碑之一。北美学派往往注重于生物、生态过程、尺度、空间格局的相互关系研究。欧洲学派主要以人类的需求为中心,比较注重大区域上的土地开发利用研究及以社会、经济为核心的景观规划,强调一般系统论和生物控制论共生论。因此景观生态学在欧洲一直与土地和景观的规划、管理、保护和恢复密切联系,以人类需求为中心,注重大区域上的土地开发利用研究。近年来,国际学术交流日益增强,这两个学派之间不断取长补短,使得其区别日趋减少。

从 1995 年国际景观生态学大会后,呈现出如下发展趋势:

(1) 生态空间理论与景观异质性研究:生态空间理论包括尺度、空间格局与镶嵌动态等方面内容,对于生态系统空间定量研究是一个富有吸引力和挑战性的问题;景观异质性一直是景观生态学的基本问题之一,异质性与抗干扰能力、恢复能力、系统稳定性和生物多样性有着密切的联系,通过景观的生物、水分、养分和物质流大多取决于景观格局,即景观异质性的具体表现;空间要素,尤其是障碍、通道和高异质性区域的组合,决定着物种、能量、物质和干扰在景观中的流动或运动。

(2) 景观模型的大量应用：景观模型可以跨越野外景观实验难以逾越的时空限制，已成为国外研究者争相采用的研究方法。很多景观模型是在生态模型的基础上引入空间特征改造而来，在研究景观动态变化和预测方面具有重要的应用价值，已有很多的研究实例，如 Heiko Balzter^[5]等(1998)用元胞自动机模型研究植被的动态变化；Turner M G^[6]等(1991)比较研究了各种马尔可夫转移矩阵模型在模拟植被演替过程的差异；Dong-Gwon Sung^[7]等(2001)用人工神经网络模拟了在过去、现在和将来的气候条件下植被分布情况。

(3) 3S 技术的不断发展，使得景观生态学研究获得了强有力的技术支撑。遥感是重要数据获取手段，而地理信息系统是数据的管理、分析以及为模型提供数据的工具软件。应用 RS 技术和 GPS 技术采集景观原始数据，再利用 GIS 的栅格化数据或矢量化数据表达景观数据，在此基础上，用 GIS 与景观研究方法进行分析，最后对分析结果进行解释与分析。

2.1.2 国内景观生态学研究进展

我国在景观生态学方面研究起步较晚，以 20 世纪 80 年代初期引入国外的景观生态学研究成果到我国最早的景观生态研究实体，中国科学院沈阳应用生态研究所的景观生态室成立和国家自然科学基金委员会批准的国内第一个景观生态研究课题(景贵和主持的“吉林省西部沙地生态建设”)为起点，我国的景观生态学发展可以分为三个阶段：

第一阶段为介绍阶段(80 年代之前)，这一时期的研究成果主要体现在景观地理综合体、景观类型、景观地球化学和景观制图等内容上，生态学方面的研究成果相对较少。如陈述彭^[8]的《自然区划和制图实践》为我国景观制图研究、方肇伦^[9]等研究了东北地区森林景观中的微量元素、黄锡畴^[10]等对长白山高山苔原的景观分析和垂直景观带的化学地理特征分析、李万^[11]的中国景观区划草案，张维信^[12]对疏勒河中游自然景观及其分类，为促进我国景观学的发展奠定了坚实的基础。

第二阶段为发展阶段(1981 ~ 1988)，经过长期探索，世界景观生态学逐渐形成以研究景观地理综合体为主的欧洲学派和以研究景观异质性为主的北美两大学派。在此基础上，20 世纪 80 年代开始，我国的学者陆续在地理和生态相关学术刊物上发表介绍国外景观生态学的概念、原理、研究方法和研究成果的文章和译文。

第三阶段为研究实践阶段(1988 ~)，这一时期国内出版了一系列景观生态

学专著并发表了大量的研究论文,取得了丰硕的研究成果。如肖笃宁^[13,14]翻译 Forman 的《景观生态学》及其主编的《景观生态学——理论、方法与应用》、夏北成^[15]编著的《城市生态景观格局及生态环境效应》、郭晋平^[16]编写的《森林景观生态研究》、邬建国^[17]主编的《景观生态学——格局、过程、尺度与等级》等等。景观生态相关的学术论文数量很多,研究方法不断提高,研究范围和领域涉及到生物多样性保护、湿地景观、土地利用/土地覆被变化、荒漠化、森林动态、城市规划等。总而言之,我国景观生态学研究正处在一个高速发展的关键阶段。

2.2 景观格局

景观生态学中的格局是指空间格局,广义上讲它包括景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置^[18]。当前景观生态研究的热点地区是国际生态环境领域最具挑战意义的地区,也是对区域乃至全球生态环境具有关键性影响作用的地区,其中热点地区有如下 5 种:

(1) 流域系统。对流域系统的景观生态学研究主要应包括:流域上游景观格局及其变化与下游的关系、流域高地与河谷关系、流域高地和河岸植被空间格局流域生态效应、流域生态安全保障和流域生态安全格局、流域管理的景观规划途径等。如赵锐锋^[19]等在 GIS 和遥感技术支持下,结合景观格局数量分析方法,对新疆塔里木河流域土地利用/覆被变化过程进行了定量分析。邹秀萍^[20]等借助景观生态学中的景观格局变化分析模型研究了流域土地覆被变化产生的生态环境效应。

(2) 湿地景观。对湿地景观生态学研究主要应包括湿地功能、湿地景观格局与湿地功能调控、湿地生物多样性保护的景观途径、湿地保护与恢复等。王宪礼等^[21]利用遥感、GIS 手段对辽河三角洲湿地景观的格局与异质性进行研究。熊鹰等^[22]对洞庭湖湿地恢复引起的湖区农户收益减少和一系列的湿地生态服务功能的恢复表现进行了价值评估并探讨了评估方法与建立补偿机制重要性。

(3) 文化景观。对文化景观或称文明景观的研究主要应包括文化多样性与景观多样性的关系、文化景观保护、土地利用方式的社会经济基础和景观生态学背景、土地多项利用等。如刘海龙^[23]对采矿废弃地景观设计的基本原则进行总结。周廷刚^[24]等将物理学中“场”的相关理论引入城市绿地景观的研究,提出绿地景观引力场的概念及评价方法。

(4) 生态交错带。对生态交错带的景观生态学研究主要应包括城市化过程中的景观保护、自然和半自然景观要素的科学配置、景观的宜人性等。陈鹏^[25]等分

析了海岸生态交错带景观生态基本特点,讨论了该区域开发建设对景观空间格局的影响。杨振林^[26]等将高山树线交错带研究中的树线景观结构和生理生态过程结合在一起,并验证在其景观格局形成过程中地理特征和人为因子的相对重要性。

(5) 重点或关键性自然景观。对重点或关键性自然景观的研究主要应包括重点和关键性自然景观的景观价值、重要物种栖息地、绿洲景观、有重要科学研究价值和教育意义的景观,对维护地方、区域乃至全球生态环境安全和健康有重要和关键作用的景观、具有重要自然美学和旅游价值的景观。王根绪^[27]等学者论述了水资源条件变化对黑河流域下游额济纳荒漠绿洲景观格局的影响。丁圣彦^[28]等采用景观指数分析了近 20 年来伊洛河流域中部典型地区的森林景观格局动态。

景观格局研究的主要内容包括:景观格局的时间变化规律、景观格局的控制要素、景观格局对干扰扩散的影响、景观格局生态功能的指标量度、景观变化的模型模拟预测、景观格局的尺度转化规律等,主要集中于两个方面,一是景观格局的空间异质性问题(包括景观指数及其空间统计特征分析);另一方面是景观格局演变即时间异质性问题。空间异质性是景观格局的静态分析,是时间异质性的反映,是景观格局演变研究的基础。

景观格局分析方法可分为格局指数方法和空间统计学方法。景观格局指数是指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。包括三个层次上的指数:单个斑块、由若干单个斑块组成的斑块类型以及包括若干斑块类型的整个景观镶嵌体。格局指数主要包括几何特征指数(斑块和景观水平)、景观异质性指数。景观格局指数用来分析空间非连续型变量,如景观类型图(如植被图、土壤图、土地利用和土地覆被图)。然而在景观中,异质性在空间上往往是连续的,即斑块与斑块之间的变化总是不能截然分明的,而同一斑块内部也并非是完全均质的。如土壤养分、温度、湿度等景观要素在空间上的分布往往表现为过渡的、连续的变化。景观格局指数对这些景观格局的分析显得无能为力,空间统计学方法(或称地统计学方法)正是在这种需求下发展起来的。

2.3 景观优化

景观优化建立在景观生态学、计算机技术和土地学的基础上的。从景观优化的发展来看,现在处于研究初期;目前对于景观优化还没有比较确切的定义和成熟的研究方法,不同的景观学者对景观优化都有着不同的理解。北美学派习惯把

景观优化称为景观管理或者区域规划；而欧洲学派习惯把景观优化称之为景观规划或者景观生态规划。景观生态学家邬建国认为景观格局优化就是土地利用格局的优化、景观规划与设计与景观管理的优化。景观格局优化主要是用生态学的理论和方法，根据生态因子对景观斑块的类型进行调整。通常景观格局的优化是建立在景观格局与景观生态过程关系深入理解的基础上，通过对自然和社会因素的分析来确定引起变化的驱动机制，从而给出最佳的优化方法。在进行景观格局优化时要遵循一定的原则，如结构优化原则、生态功能优先原则、尺度适宜安全原则等。对一定区域的景观格局进行优化不但能为区域景观管理提供最优模式而且还可以促进区域的可持续发展。

2.4 移动窗口

移动窗口法最早是由 Whittaker^[29]用于分析沿水分梯度植被的变化，后来被应用在调查城市化过程对植被分布和生态特征的影响^[30]等方面。也有人将移动窗口方法用在城市景观格局的研究上，例如 McDonnell^[31]等将其用在城乡交错带的景观格局分析上。移动窗口法是用一定大小的窗口在研究区域中分析，并形成新的可在 GIS 下运算的数据图形^[32]。在景观格局分析中，移动窗口法可将景观格局指数生成在 GIS 下可视的空间数据，实现了在区域或地区尺度上对景观指标的量化，能够更好的将景观格局与自然、社会经济过程连接起来^[33]。

目前关于移动窗口法的研究多是在研究区域内设样带，使移动窗口沿样带滑动来计算景观指数^[34]，而本研究则是在 Fragstats 软件支持下，选用适当大小的移动窗口在整个研究区内从左上角开始移动，计算窗口内每一个景观指标值，并将该值赋给该窗口中心栅格，最后形成景观指标栅格图，然后在指标栅格图中选取样带进而分析。这样就避免了由于窗口的边缘效应而对分析结果造成的误差。

3 研究内容及思路

3.1 研究内容

依据流域生态学、景观生态学，采用 GIS 技术与移动窗口法，从时空角度来探讨石羊河流域 1987 年、2000 年、2010 年的景观格局变化，在景观格局分析的基础上进行与环境影响因子的相关性研究。并依据累积耗费距离理论，构建生态源地、生态廊道和生态节点等景观组分来加强生态网络的空间联系，提出景观优化方案。

具体研究内容主要包括：

(1) 景观整体格局特征

从景观尺度和景观要素尺度上对石羊河流域 1987 年、2000 年和 2010 年的景观格局进行研究, 从而分析其 23 年来景观整体特征、组分特征、多样性变化。

(2) 景观梯度格局时空分异

根据研究期间流域本身自然地理梯度特点, 分别沿河流流向梯度和垂直于河流流向梯度设置了两条样带, 获得了景观沿两个样带方向的梯度格局特征

(3) 景观梯度格局与环境因子的关系

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。

(4) 景观格局优化研究

依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, 构建生态源地、生态廊道和生态节点等景观组分来加强生态网络的空间联系, 提出景观利用优化方案。

3.2 研究方法

3.2.1 景观格局指数选取

景观指数是可以在斑块、类型和景观三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^[25-37], 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(CONESION); 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^[25-37], 如下表所示。

表 3-1 景观指数及其描述
Tab.3-1 Landscape index and its description

景观指数		公式	描述
类型水平	景观类型面积 (CA)	$CA = a_{ij}$	CA 是景观中各类型斑块所占的面积; a_{ij} 是某类型景观的面积
	景观面积百分比 (PLANP)	$PLANP = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{A}$	PLANP 为景观中某类斑块的面积占整个景观面积的百分率; a_{ij} 为某类型景观的面积; A 为整个景观的面积
	斑块数量 (NP)	$NP = n_i$	n_i 为景观中某类型斑块的个数, 其值与景观破碎度有很好的正相关性。NP 值越大, 破碎度越高; 反之, 破碎度越低
	平均斑块面积 (MPS)	$MPS = \frac{A}{N}$	A 为某景观类型的面积, N 为该类型景观的斑块数。MPS 既可用来对比不同景观的聚集或破碎程度, 也可以指示景观各类型之间的差异
景观水平	斑块密度 (PD)	$PD = \frac{n_{ij}}{A}$	斑块密度反映了景观破碎程度, PD 值越大, 则破碎化程度越高。 n_{ij} 为斑块数目, A 为斑块面积之和
	边界密度 (ED)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A}$	斑块密度表示单位面积的斑块边界数量, 反映景观中异质性斑块之间物质、能量和物种交换的潜力及相互影响的强度, 可直接表征景观整体的复杂程度。 e_{ik} 为斑块边界数; A 为景观面积
	最大斑块指数 (LPI)	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A}$	LPI 指最大斑块面积占总景观面积的百分数, 是斑块水平上优势度的量度。 a_{ij} 为某景观类型中的最大斑块面积, A 为景观总面积
	多样性指数 (SHDI)	$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$	景观多样性指数可反映景观类型多样性大小。土地利用越丰富、破碎化程度越高, 其不定性的信息含量就越大, SHDI 值也越高。 P_i 为斑块面积百分比
类型及景观水平	形状指数 (LSI)	$LSI = \frac{e_i}{\min e_i}$	景观形状指数是对景观大小起调节作用的总边界或边界密度的标准量度, 同时也是斑块聚散程度的量度, LSI 值越大, 斑块越离散。 e_i 为斑块边界数
	蔓延度指数 (CONTAG)	$CONTAG = 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \times \left[\ln(P_i) \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right]}{2 \ln(m)}$	蔓延度指数反映景观中不同斑块类型的聚集程度。其值越小, 说明斑块离散程度越高, 反之, 斑块离散程度越低。 P_i 为斑块面积百分比; g_{ik} 为与斑块相邻的网格单元数

3.2.2 景观格局分析方法

在 Arcgis 中将三期土地利用矢量图生成 500m 的栅格图，应用 FRAGSTATS 软件，首先采用标准法^[38]，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 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 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流向的横向梯度两方面。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。由于人类活动在空间上有着多样化的表现形式，包括居民点、道路、工矿等，它们在一定区域和景观中的分布和配置具有规律性。这些景观要素在客观上构成了人类活动对生物多样性干扰的策源地。作为人类活动空间表现形式的景观要素与整个景观格局的特征就应该具有某些相关性。两条样带居民点分布密集，居民点分布图参考了李秀丽^[39]的研究成果。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 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。

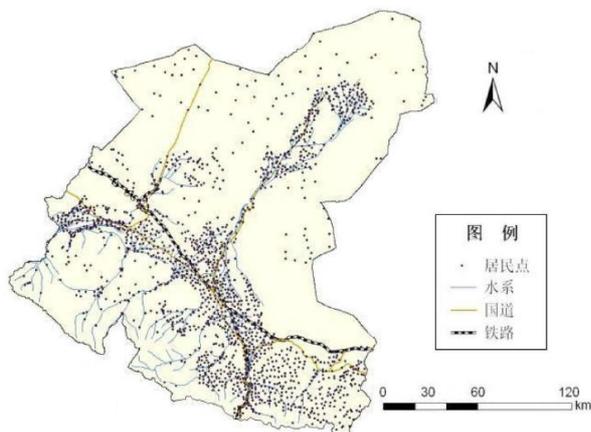


图 3-1 石羊河流域居民点分布
Fig.3-1 Residents point distribution of Shiyang River Basin

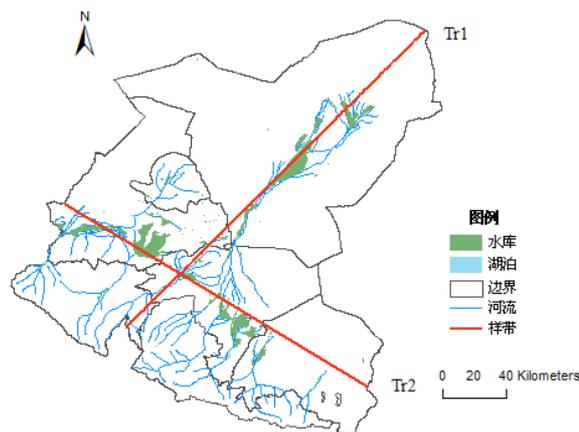


图 3-2 石羊河流域水系及样带设置
Fig.3-2 The river system of Shiyang River basin

3.2.3 景观格局优化方法

综合已有的各种景观生态规划理论与实践，采用适宜性评价和格局优化相结

合的方法,进行石羊河流域景观生态格局优化的实践探索。格局优化方法主要关注土地类型单元在水平方向的相互关联,及由此形成的整体格局,借助 GIS 的空间信息处理技术,依据 Knaapen 等人提出的累积耗费距离模型(MCR),建立阻力面,构建生态格局组分来实现。

累积耗费距离模型(MCR)考虑了景观表面介质、距离和源三方面要素,基本公式如下^[40]:

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

式中, C_j 为第 j 个单元到源地的最小累积阻力; n 为景观基本单元的总个数; m 为源地到第 i 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。该模型综合计算从源地到每一个景观单元的最小阻力值,其中从所有源到某点阻力的最小值被用来衡量该点的易达性。因此,阻力面反映了物种运动的潜在可能性及趋势,利用阻力面模型能够测定多种空间运动过程,它实质上反映了景观对物种空间运动过程的阻力。在生物保护方面,阻力值就是物种在穿越异质景观时所克服的累积阻力。可以根据阻力面构建土地功能分区和生态格局组分,优化土地资源空间格局。

其景观生态学意义在于:从格局和过程出发,将常规意义上的景观赋予一定的过程含义,通过对景观流的空间运行分析,来探讨有利于调控生态过程的途径和方法,使得生态系统健康、稳定和安全^[41]。

3.3 数据及资料来源

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。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六个地类进行图斑提取归类,再将一级分类细分为以下二级类型。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(USGS)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 km。所有数据均在 ArcGIS 9.3 平台上生成 Krasovsky_1940_Albers 投影。同时结合研究区行政区划图,研究期间气象、水文、植被、土壤及相关社会统计资料(《甘肃发展年鉴》(2011 年出版),《石羊河流域重点治理规划》)及其它辅助图件。

表 3-2 石羊河流域土地覆被分类表
Tab.1 The land cover classification of Shiyang River basin

名称	名称	解释
耕地	—	指种植农作物的土地, 包括熟耕地、新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地; 以种植农作物为主的农果、农桑、农林用地; 耕种三年以上的滩地和滩涂
	水田	指有水源保证和灌溉设施, 在一般年景能正常灌溉, 用以种植水稻, 莲藕等水生农作物的耕地, 包括实行水稻和旱地作物轮种的耕地
	旱地	指无灌溉水源及设施, 靠天然降水生长作物的耕地; 有水源和浇灌设施, 在一般年景下能正常灌溉的旱作物耕地; 以种菜为主的耕地, 正常轮作的休闲地和轮歇地
林地	—	指生长乔木、灌木、竹类、以及沿海红树林地等林业用地
	有林地	指郁闭度>30%的天然木和人工林。包括用材林、经济林、防护林等成片林地
	灌木林	指郁闭度>40%、高度在 2 米以下的矮林地和灌丛林地
	疏林地	指疏林地(郁闭度为 10%~30%)
	其他林地	未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地(果园、桑园、茶园、热作林园地等)
草地	—	指以生长草本植物为主, 覆盖度在 5%以上的各类草地, 包括以牧为主的灌丛草地和郁闭度在 10%以下的疏林草地
	高覆盖度草地	指覆盖度在>50%的天然草地、改良草地和割草地。此类草地一般水分条件较好, 草被生长茂密
	中覆盖度草地	指覆盖度在 20%~50%的天然草地和改良草地, 此类草地一般水分不足, 草被较稀疏
	低覆盖度草地	指覆盖度在 5%~20%的天然草地。此类草地水分缺乏, 草被稀疏, 牧业利用条件差
水域	—	指天然陆地水域和水利设施用地
	河渠	指天然形成或人工开挖的河流及主干渠常年水位以下的土地, 人工渠包括堤岸
	湖泊	指天然形成的积水区常年水位以下的土地
	水库坑塘	指人工修建的蓄水区常年水位以下的土地
	永久性冰川雪地	指常年被冰川和积雪所覆盖的土地
	滩涂	指沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮侵地带
	滩地	指河、湖水域平水期水位与洪水期水位之间的土地
城乡、工矿、居民用地	—	指城乡居民点及县镇以外的工矿、交通等用地
	城镇用地	指大、中、小城市及县镇以上建成区用地
	农村居民点	指农村居民点
	其他建设用地	指独立于城镇以外的厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地、交通道路、机场及特殊用地
未利用土地	—	目前还未利用的土地、包括难利用的土地
	沙地	指地表为沙覆盖, 植被覆盖度在 5%以下的土地, 包括沙漠, 不包括水系中的沙滩
	戈壁	指地表以碎砾石为主, 植被覆盖度在 5%以下的土地
	盐碱地	指地表盐碱聚集, 植被稀少, 只能生长耐盐碱植物的土地
	沼泽地	指地势平坦低洼, 排水不畅, 长期潮湿, 季节性积水或常积水, 表层生长湿生植物的土地
	裸土地	指地表土质覆盖, 植被覆盖度在 5%以下的土地
	裸岩石砾地	指地表为岩石或石砾, 其覆盖面积>5%以下的土地
	其他	指其他未利用土地, 包括高寒荒漠, 苔原等

3.4 技术路线

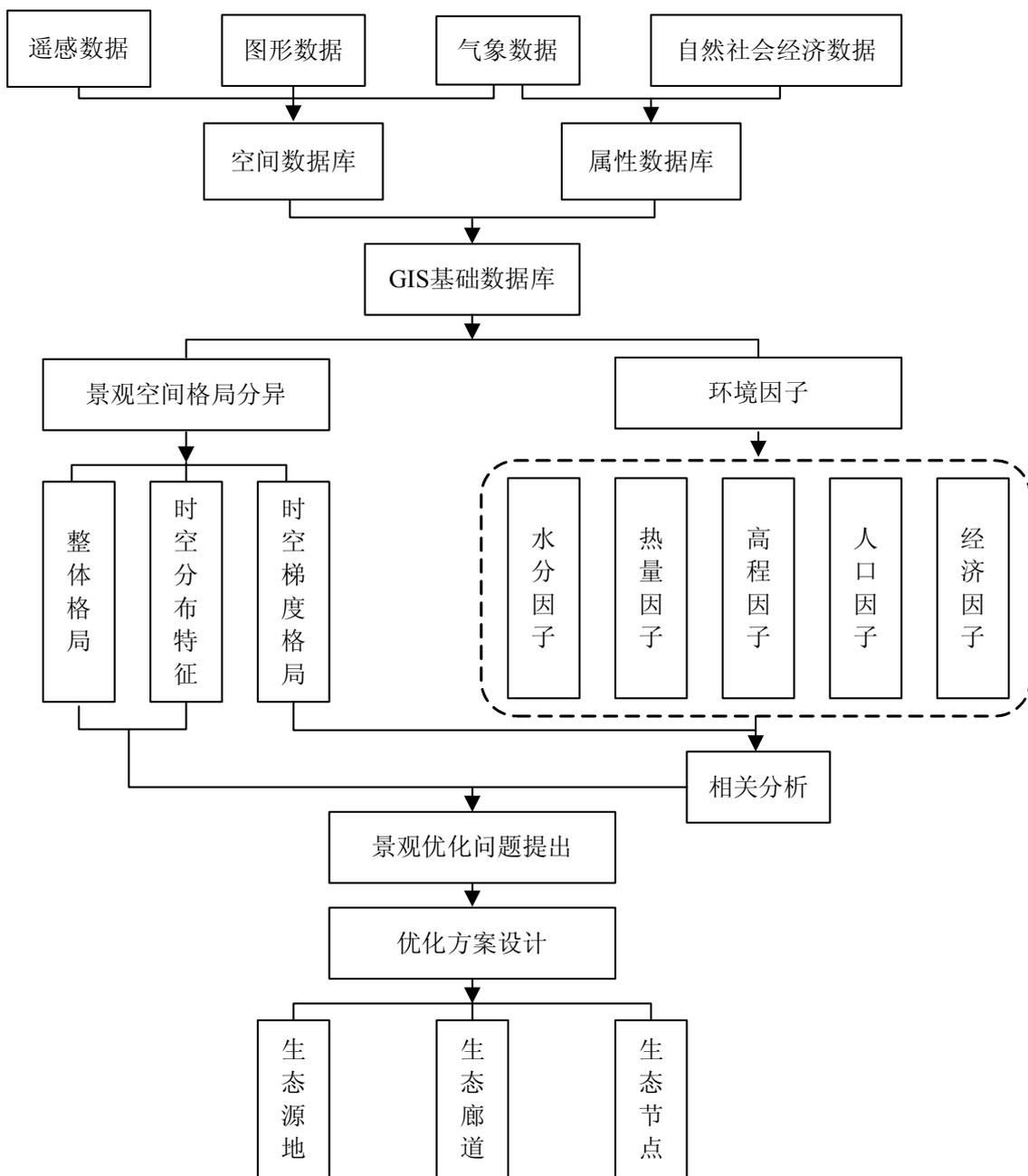


图 3-3 研究技术路线
Fig.3-3 The technological route of study

4 研究区域概况及生态问题

4.1 研究区地理位置

研究区位于甘肃省河西走廊东部，祁连山北麓，介于东经 $101^{\circ}22'$ ~ $104^{\circ}16'$ 、北纬 $36^{\circ}29'$ ~ $39^{\circ}27'$ 之间。东南与白银、兰州两市相连，西南紧靠肃南裕固族自治县和天祝藏族自治县，西与张掖市毗邻，西北与东北都和内蒙古自治区接壤，流域面积约 41600 km^2 ，流域行政区划包括武威市的凉州区、古浪县、民勤县全部及天祝县部分地区，金昌市的永昌县及金川区全部及张掖市肃南裕固族自治县、山丹县部分地区，共3市8县(区)，总人口约240.81万人。石羊河流域地理位置见图4-1。

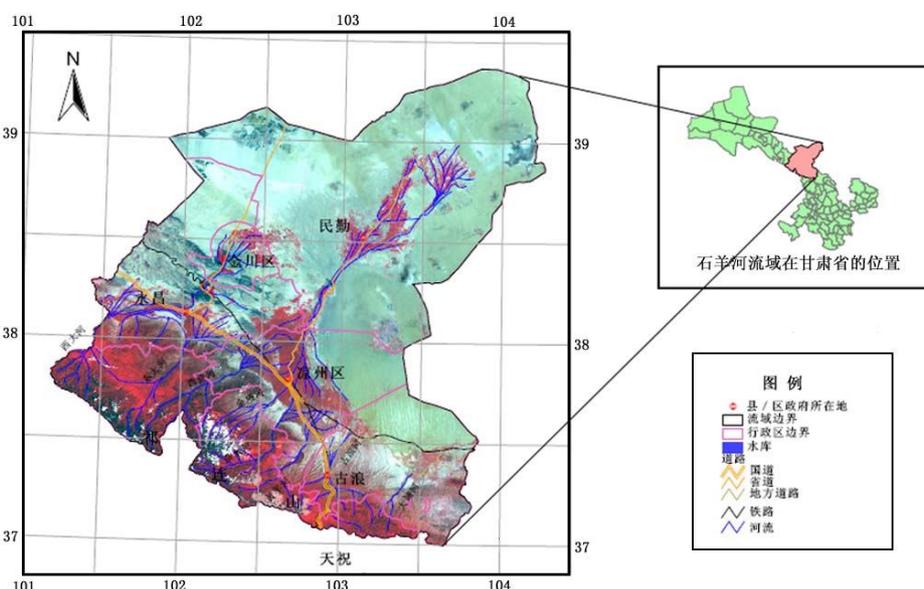


图 4-1 石羊河流域地理位置图
Fig.4-1 Location map of Shiyang River basin

4.2 自然环境概况

4.2.1 地质地貌

石羊河流域地质构造单元大致可分为南部的祁连山褶皱带、北部的阿拉善台地和北山断块、中部的走廊拗陷三部分。流域内地势南高北低，由西南向东北倾斜。其中最高为冷龙岭主峰海拔 5254 m ，常年积雪；最低为白亭海 1020 m 。从南到北大体可以分为四个地貌单元：①祁连山地，海拔在 $2000\sim 5000\text{ m}$ 之间，属青藏高原北缘；②中部走廊平原，海拔在 $2000\sim 1400\text{ m}$ ，是祁连山侵蚀堆积区，受北山断块(红崖山)隆起的影响形成南盆地，包括大靖、武威、永昌三个盆

地；③北山剥蚀丘陵山地，海拔约为 2000 m 左右，为构造隆升后经剥蚀后残留的台块，它把整个流域分平原区分割成为南盆地和北盆地；④北部阿拉善高平原，海拔在 1400 ~ 1250 m，主要分布有民勤盆地、昌宁盆地及广大的戈壁。

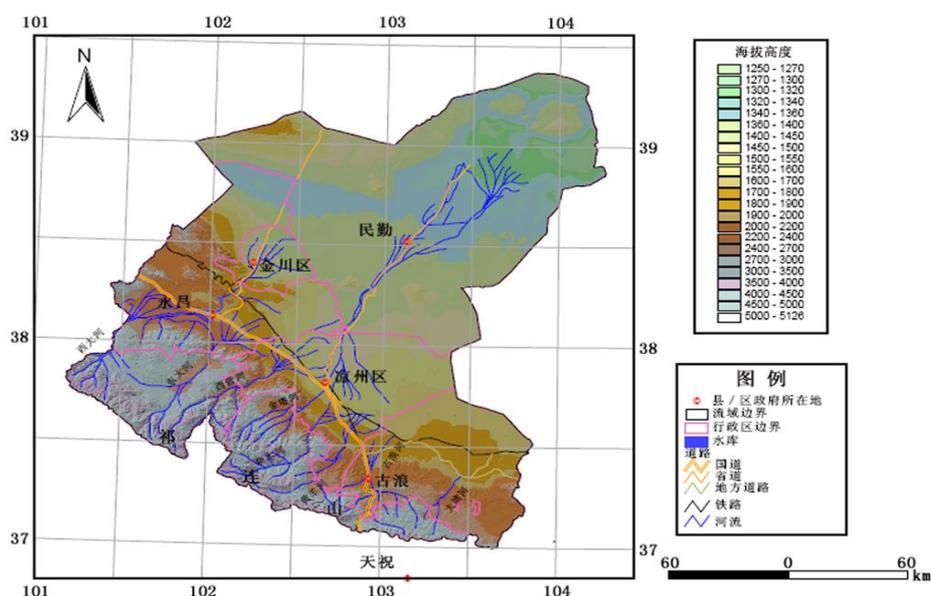


图 4-2 石羊河流域地貌图
Fig.4-2 Geomorphologic map of Shiyang River basin

4.2.2 气候特点

石羊河流域深居大陆腹地，属大陆性温带干旱气候(图 4-3，表 4-1)，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。南部祁连山区地势高寒，海拔 2600 ~ 3200 m 处的年平均气温为 2.0 ~ 1.5℃，年降水量在 200 mm 以上，最高达 800mm，相对湿度约 58%，蒸发量 700 mm，无霜期约 100 日左右， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温小于 1500℃；在海拔 1600 ~ 2300 m 的地区，气候冷凉，是山农业向牧林业过渡的地带，虽然热量不足，但气候条件适于林、草生长，是河西地区重要的牧业和林业基地。中部走廊平原地区属温带干旱荒漠、半荒漠气候，气候温冷，夏季炎热，冬季酷寒，夏短冬长。本区光热资源丰富，年较差大，年平均气温为 5 ~ 10℃，日照时间长达 3000 ~ 4000 小时，年太阳总辐射收入为 502.4 KJ/cm² 至 628 KJ/cm²。北部高平原属干旱荒漠气候，气候温冷，冬季长而严寒，夏季短而炎热。这里光热资源更加丰富，但干旱程度加剧，年降水量在 100 mm 以下，年平均气温为 8 ~ 10℃，相对湿度为 45% 左右，年蒸发量在 3000 mm 以上。

表 4-1 石羊河流域气象统计资料
Tab.4-1 Meteorological Statistics of Shiyang River basin

	上游	中游	下游
年平均气温(°C)	<6	6~8	>8
相对湿度(%)	46~58	45	30~45
年平均降水量(mm)	500~700	150~250	<150
年蒸发量(mm)	800	800~1400	1200~1800
日照时数(h)	2550~2700	2700~3000	>3000

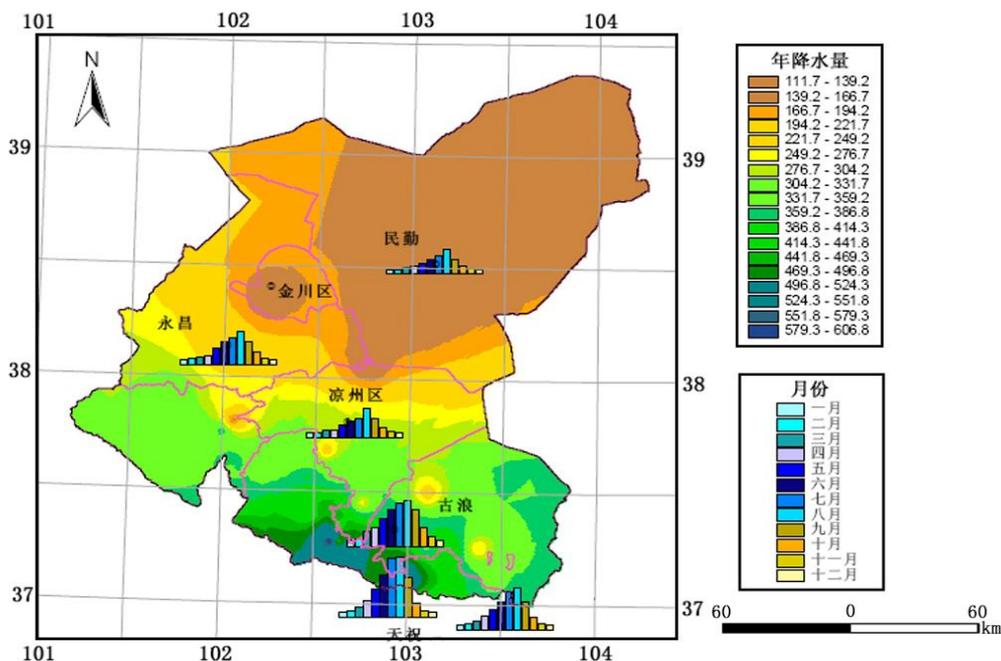


图 4-3 石羊河流域降水量图
Fig.4-3 Precipitation map of Shiyang River basin

4.2.3 水文与水资源

石羊河流域水系发源于祁连山，自西向东由西大河、东大河、西营河、金塔河、杂木河、黄羊河、古浪河、大靖河八条河流组成。这些河流出山后，由武威的东、南、西三个方向流经古浪、凉州、永昌县，穿越平原，汇聚于武威城北三岔堡以下的扇形地北流，然后过红崖山峡口进入民勤盆地，至青土湖没于沙漠之中，全长 300 余 km，整个水系呈帚状，具有典型的内陆河系特征(图 4-4)。

石羊河的径流由三部分组成：一为基本径流，是上游灌区灌溉水渗漏潜伏而出露的泉水；二为冬春余水，是非灌溉季节上中游灌区不宜利用和不能利用的各支流的径流和泉水下泄；三为洪水。前两项是组成石羊河径流的主要成分，约占总径流的 80%。径流在年内分配极不均匀，7~9 月主汛期径流占全年的 50%~64%，4~6 月灌溉临界期只占全年的 15%~20%，10~3 月占 20%~25%，给石羊河流域形成自产地表水资源量 15.75 亿 m^3 ，地下水资源 0.99 亿 m^3 。河流补给来源为

山区大气降水和高山冰雪融水，产流面积 1.1 万 km²。

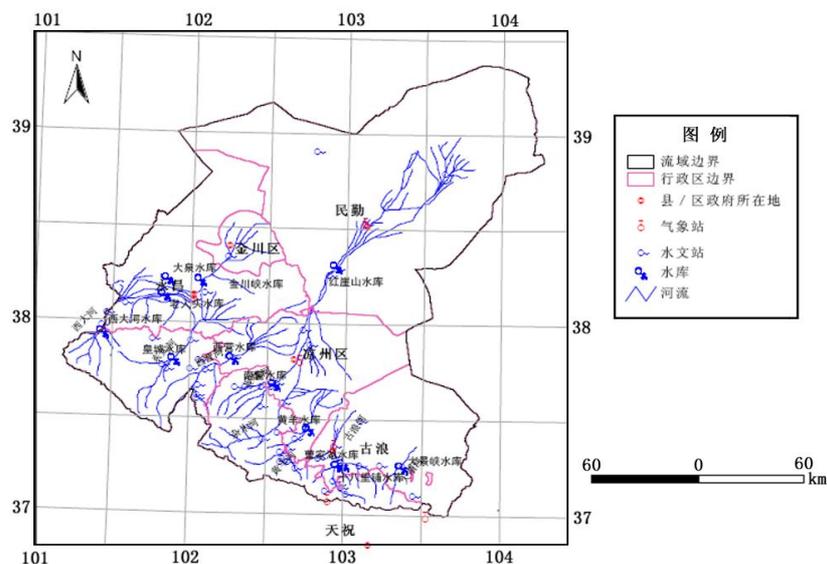


图 4-4 石羊河流域水文图
Fig.4-4 Hydrogeological map of Shiyang River basin

4.3 社会经济概况

据统计，2010 年，流域内总人口 241.31 万人。全流域国内生产总值 453.82 亿元，其中第一、第二和第三产业分别为 74.03、267.67 和 112.12 亿元，人均国内生产总值 18806.54 元，财政收入 17.76 亿元，财政支出 104.99 亿元。粮食总产量 130.16 万吨，农民人均纯收入 17512.3 元(甘肃省统计年鉴，2011)。

当前，流域内已基本形成以凉州区和金川区为中心的二元城市发展格局，城镇人口主要集中于凉州区、金川区、河西堡镇及各县城关镇等。流域人口增长速度过快，绿洲承载人口已达每平方公里 300 人以上，对于干旱内陆地区来说，人口密度已相当高。其中，从事种植业生产的人口约占总人口的 77%，第一产业负担人口所占比重较大。

武威市是以农业发展为主的地区，金昌市是我国著名的有色金属生产基地，阿拉善右旗地区矿产、风能和太阳能资源比较丰富。流域内交通方便，物产丰富，有色金属工业及农产品加工业发展迅速，是河西内陆河流域经济较繁荣的流域。流域内交通方便，兰新铁路和甘新公路横穿流域东西，公路四通八达，基本形成完善的交通运输网。

4.4 生态环境问题

4.4.1 生态状况

石羊河流域地处青藏高原东北缘与阿拉善高原过渡地带，地势南高北低，自西南向东北倾斜。兼有青藏高寒区和西北干旱区的特点，有高寒草甸、灌丛草甸、森林、灌丛、寒温带山地荒漠、温带半荒漠、荒漠及绿洲等景观。流域内气候特征、土壤、植被、水分等具有明显的垂直地带性，构成了几个不同的生态区域。根据石羊河流域的地貌和气候特征及植被土壤类型，由南到北大体可以划分为三类生态系统：

(1) 南部山地生态系统

冰雪寒冻垫状植被带：海拔 3800 m 以上的高山带，降水量大于 600 mm，年平均气温在 -1°C 以下，植被覆盖度 5~20%，本区降水多，并多以冰雪形态储存，冰川储水量为 $21.434\times 10^8\text{ m}^3$ ，年平均消融水量为 $0.5569\times 10^8\text{ m}^3$ 。

高寒草甸、灌丛草甸、森林及灌丛带：位于海拔 2600~3800 m 之间的高山带，降水量 380~560 mm，年均气温 $-1\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ ，其中 3800~3500m 为亚高山草甸植被；3500~3400 m 为亚高山灌丛草甸带，3400~2600 m 为森林灌丛带。上述各带是流域中下游荒漠区的“绿色水库”，为水源涵养区，是走廊的生命线。

山地草原带：位于祁连山浅山区的山间盆地、石质低山、剥蚀丘陵地带和山前坡地，海拔 2300~2600 m 为山地草原，2000~2300 m 为荒漠草原。年降水量 350~400 mm，平均气温 $2.6\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。

流域南部山地生态系统的基本功能是产流，是水源涵养区。

(2) 中部平原荒漠与绿洲生态系统

山前温带沙质荒漠、半荒漠区：位于海拔 1600~2000 m 的低山带、山前丘陵和洪积倾斜平原上部，平均气温 $5.5\sim 7.2^{\circ}\text{C}$ ，降水量 150~320 mm。植被以旱生灌木、草本植物为主。

中部温带绿洲区：主要分布在石羊河流域中游海拔 1600 m 以下冲积细土平原的泉水溢出带，年平均气温 $7.6\sim 8.0^{\circ}\text{C}$ ，降水量 110~170 mm，区内自身基本不产流，但有流域上游的地表径流流入和较丰富的地下水。由于人们的长期垦殖和改造，既有原生的荒漠、草甸、盐生草甸及沼泽植被，又有人工栽培植被，形成特殊的绿洲区，也是人类主要经济活动地区。

(3) 北部低山及高原生态系统

温带小半灌木荒漠区。年降水量为 80~160 mm，年平均气温 $7.8\sim 10.0^{\circ}\text{C}$ 。风大风频，干旱少雨，年风沙日多达 130 天，植被以旱生超旱生、盐生的灌木、半灌木及多年生草本植物组成，植被覆盖度 5~40%，生产量极低。

4.4.2 主要的生态问题

(1) 相对于经济发展及人口，水资源总量少

石羊河流域是我国西北内陆河流域人均水资源最少的地区，人均水资源不到 750 m^3 ，水资源承载压力巨大。由于流域的地形特点，地表水与地下水多次转化，重复利用率相对较高。2000 年水资源开发利用程度为 172%，远高于黑河(112%)、塔里木河流域(74.5%)。相对于人口规模、经济发展水平、流域内产业结构，水资源匮乏，供需矛盾突出。万元 GDP 用水量约 3014 m^3 ，万元工业产值取水定额 153 m^3 ，工业用水重复率 49%，农业灌溉净定额 $371 \text{ m}^3/\text{亩}$ ，灌溉水利用系数 0.52，社会经济的发展受到水资源总量巨大约束。

(2) 水资源区域变化明显、地下水下降、水环境恶化

随着耕地面积的急剧扩大和城市规模的扩张，水资源利用结构及区域分配发生了较大的变化。首先是上游水源涵养林区的大量开荒，耕地剧增。如皇城水库以上部分的开荒，使西大河出山径流减少。其次，中游地区绿洲扩展，用水量剧增，造成下游地区水资源量骤减。中下游水资源比从 50 年代 1:0.62 下降到 90 年代初 1:0.15，90 年代后期仅为 1:0.12。第三，普遍开采地下水，迫使地下水位下降。特别是下游地区由于来水减少被迫超采地下水，剥夺了周围地区植被的用水，造成植被的枯死。仅民勤县地下水的超采量达到 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，流域内农业用水占到总用水量的 93% 以上。第四，常规节水技术的应用使地下水补给量减少，泉水溢出带北移。以前靠泉水灌溉的耕地大多被井水灌溉代替。第五，中游地区工业的发展，排入河道的废水增加。红崖山水库中化学耗氧量等指标严重超标，鱼类生产受到影响。第六，民勤湖区由于地下水的多次重复利用，水的矿化度增大，浅层水已经不能饮用。

(3) 林草覆盖率降低，水保、防风能力下降

上游地区由于人口的增加和人类活动的影响，森林下限已经达到 2700 m。除 20 世纪 80 年代以来祁连山水源涵养林保护区内森林面积有所增加外，其他外围地区的过牧、开荒、盗伐、开矿、挖药等大大降低了林草的覆盖率，水土流失面积增加，水库淤积加快。

中下游地区人工防风林大面积枯死。地下水位的下降，使中游部分地区及民勤大面积的人工林枯死，生态防护能力下降。

绿洲与荒漠过渡带大面积开荒或人为破坏,防风固沙能力降低。绿洲与荒漠过渡带是维护绿洲稳定的重要组成部分,开荒则使绿洲失去了保护层,同时,增加了用水量,加速了地下水位的下降。沙生灌木的破坏,削弱了固沙能力。

(4) 风沙危害及其它灾害增加

在民勤北部及绿洲与荒漠过渡地带,植被覆盖度的降低,地表失去了保护层,使这一区域成为沙尘暴发生的源区,沙化面积增加,风沙危害骤增。

林草覆盖度的降低及土地利用结构的变化,诱发区域气温的变化,干旱、大风、沙尘暴、低温霜冻、毁灭性病虫害、暴雨等不确定的灾害频发。

5 石羊河流域景观空间格局分析

5.1 景观整体格局

5.1.1 景观类型面积转移分析

景观要素类型的相互转化情况可以采用生态学中的马尔科夫转移矩阵模型进行模拟。利用 ArcGIS 软件计算出了 1987 ~ 2010 年的景观要素斑块面积转移矩阵(见表 5-2)。由于人为、自然等因素的影响以及各景观类型的抗干扰能力的不同,景观的转移幅度也随着这种干扰强度的大小在或多或少的发生变化。为了便于分析,将各景观类型按表 3-2 综合为 6 大类,如图 5-1。

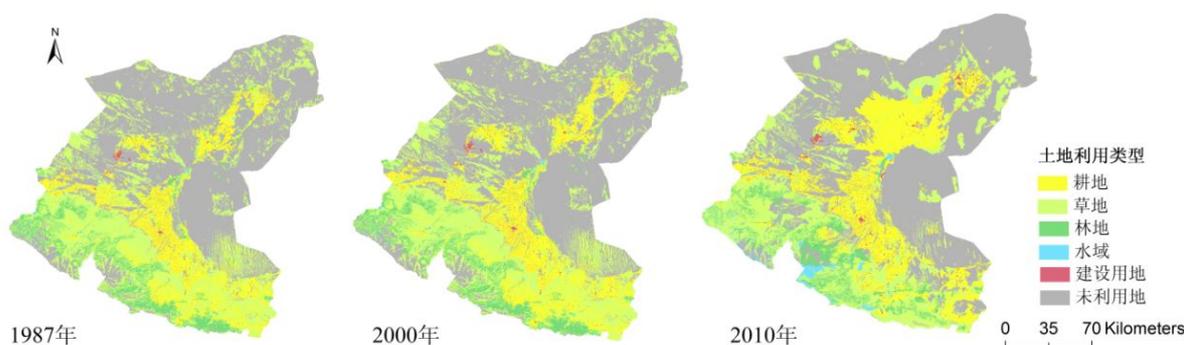


图 5-1 石羊河流域 1987、2000、2010 年土地利用格局图
Fig.5-1 The land use map of Shiyang River basin in 1987, 2000 and 2010

从石羊河流域 1987 ~ 2010 年的转移矩阵中可以看出:

(1) 研究区内各土地类型在研究期内尽管发生了十分复杂的相互转化,但居优势地位的土地类型始终是未利用地,面积比分别为 48.32%(1987 年)、48.07%(2000 年)、51.82%(2010 年)。1987 ~ 2010 年水域、建设用地和未利用地分别增加了 267.10 km²、179.03 km² 和 1422.09 km²,而耕地、林地和草地分别减

少了 222.50 km²、487.68 km² 和 1158.83 km², 6 种地类中未利用地面积净增最多, 草地净减最多。土地利用动态度从高到低的排序由建设用地>耕地>水域>草地>林地>未利用地转变为水域>建设用地>林地>耕地>草地>未利用地, 水域的利用动态度大幅提高。

(2) 耕地、草地、未利用地三种土地类型间的相互转化是研究区最主要的土地利用变化形式。尤其是在绿洲边缘耕地、草地和未利用地的交错地带, 三者之间的转换交织在一起。在石羊河流域这样一个水源极度匮乏的地区, 任何水源的增加或减少都会对植被面积产生巨大的影响。三种土地利用类型之间的转换说明研究区生态环境的脆弱性和易变性, 原有的生态系统平衡受到一定的干扰后, 生态系统自我维护机制容易受到损害, 其组分也会发生一些不利的变化, 整个生态环境将处于恶化的趋势, 区域生态风险发生的几率相对较高。

(3) 耕地面积在 1987~2000 年里显著增长, 在 2000~2010 年里大幅减少。从空间分布来看, 具有向上游朔源迁移的趋势。耕地减少的部分主要转为未利用地与草地, 集中在绿洲外围, 耕地增加的部分主要来自未利用地与草地, 集中在坝区, 并使该区的耕地连接成片, 且新耕地包围老耕地, 最终连片成带, 并被老耕地兼并而成为绿洲的外延。

(4) 研究区的植被覆盖指数(林地和草地的面积比重)由 1987 年的 34.629% 下降到 2000 年的 33.62%, 2010 年又下降到 30.56%, 这主要是由于林地面积的波动造成, 从林地面积变化情况分析, 减少的植被面积中超过一半转为耕地和未利用地。90 年代以来, 各级政府已经意识到石羊河流域生态问题的严重性, 为改善自然环境采取了一定措施, 实施了植树造林等改善生态环境的措施, 一定程度上促进了林地和草地面积的增加。但近期由于流域地下水位加速降低导致人工林和灌木林大面积衰亡, 加之人工造林强度降低, 林地面积急剧减少, 使大面积的固定、半固定沙地裸露、活化, 成为侵袭绿洲的最大流沙源。植被覆盖指数的降低破坏了研究区原有的生态平衡, 对生态安全造成一定的影响。

(5) 1987~2010 年期间建设用地变化的总趋势是增加与减少的面积总量均很大, 分别为 548.70 km²、366.47 km²。增加的部分主要来源于原建设用地周边的草地、未利用地和耕地, 减少的部分主要转为耕地。建设用地的风险系数较高, 其面积的增加导致研究区生态风险程度上升。另外, 由于居民及工矿用地不断增加, 经济的发展也促使道路的加长、加宽, 大量的耕地、林地、其他农用地、未利用地被切割而呈现分散破碎的趋势, 这些斑块类别的破碎化指数呈增加的趋

势，景观异质性增强。

(6) 水域面积的变化主要反映在民勤县西南方向的红崖山水库上。1987年到2000年期间，水域面积变化不大，减少了 7.64 km^2 ，2000~2010年，水域面积净增 267.1 km^2 ，这是由于石羊河流域重点治理工程取得显著成绩。根据《石羊河流域重点治理规划》，2020水平年治理目标为：平水年份，使民勤蔡旗断面下泄水量由2010年的2.5亿 m^3 增加到2.9亿 m^3 以上，民勤盆地地下水开采量减少到0.86亿 m^3 ；六河中游地表供水量由2010年的8.82亿 m^3 减少到8.22亿 m^3 ，地下水开采量稳定在2010年的4.18亿 m^3 左右。实现民勤盆地地下水位持续回升，北部湖区预计将出现总面积大约70平方公里左右的地下水埋深小于3米的浅埋区，形成一定范围的旱区湿地；六河水系中游地下水位有所回升，生态系统得到有效修复。在西大河水系所属灌区实施以强化节水为核心的综合治理措施，实现西大河水系的水资源供需基本平衡，使西大河水系下游金川—昌宁盆地地下水位有所回升，生态系统有所好转。因此进行生态用水合理配置对水资源短缺的石羊河流域可持续发展具有重要的现实意义。

(7) 未利用地是研究区过渡带面积最大的景观类型，占总面积的50%左右，使得整个研究区保持着特有的半荒漠景观特征，且始终是耕地、林地和草地的主要生成源和扩展源，同时也是耕地、林地和草地消失后主要生成品，其特征变化完全受制于其他地类组分的变化，面积上呈现出此消彼长的态势。研究期内未利用地的面积大幅上升，其转入的地类大多是零散分布的耕地、林地、草地。

石羊河流域地区景观总体特征的这些变化显然是人类对景观干扰不断加强的结果，特别是景观的破碎化与斑块形状的简单化，因为在短短的近23 a间，自然条件的变化是比较微小的。景观格局特征具有尺度效应，不同研究幅度所观察到的景观格局特征不同，上述研究以石羊河流域为研究范围，既包括绿洲，也包括绿洲的背景基质—荒漠。分析其原因，在1987~2010年期间，人类活动作用于景观斑块的同时，廊道景观也发生了显著的改变，虽然本次解译未将道路、防护林网等廊道单独划出，但绿洲内部高速公路、铁路等交通设施的建设日益完备，且与河流水系、干渠廊道相交，改变了整个绿洲的物质流、能量流和信息流网络体系结构，从而改变了绿洲斑块的格局，使得景观破碎度增加、多样性增加等。在绿洲内部，斑块形状的复杂性随着农业化水平的提高而降低，使得斑块间的连通行增强，但同时绿洲不断向边缘扩张，耕地面积不断增大，使得绿洲景观的形状的复杂性和不规则性增加，斑块数增加且破碎度增加。在绿洲发育过程中，

伴随着这两种过程，景观格局也会出现相应的变化，目前绿洲以溯源迁移为主，荒漠类型所占比例增大。

表 5-1 1987~2010 年研究区土地利用动态
Tab.5-1 Land use dynamics of study area from 1987 to 2010

土地类型	1987 年		2000 年		2010 年		土地利用动态度 Dynamic K (%)	
	面积 (km ²)	比例 (%)	面积 (km ²)	比例 (%)	面积 (km ²)	比例 (%)	1987 ~ 2000 年	1987 ~ 2010 年
耕地	6413.81	15.81	6880.94	16.96	6191.31	15.26	0.56	0.15
林地	2676.40	6.60	2606.30	6.42	2188.72	5.39	0.20	0.79
草地	11370.28	28.02	11037.74	27.20	10211.45	25.16	0.22	0.44
水域	147.79	0.36	155.43	0.38	414.89	1.02	0.40	7.86
建设用地	363.82	0.90	392.47	0.97	542.85	1.34	0.61	2.14
未利用地	19606.87	48.32	19505.29	48.07	21028.96	51.82	0.04	0.32

表 5-2 1987~2010 年研究区土地利用转移矩阵
Tab.5-2 Transform matrix of land use types from 1987 to 2010 (km²)

1987 年	2010 年						
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总计
耕地	4260.77	114.52	874.52	47.57	311.93	826.34	6435.67
林地	137.22	1217.41	1176.86	33.47	5.32	131.77	2702.05
草地	1020.68	757.42	5780.46	71.35	37.12	3742.00	11409.04
水域	27.82	10.83	38.67	47.93	0.64	23.14	149.03
建设用地	178.99	3.11	20.49	1.65	136.80	25.44	366.47
未利用地	546.93	100.27	2290.73	205.41	56.88	16444.41	19644.64
总计	6172.41	2203.56	10181.74	407.38	548.70	21193.11	40706.90

5.1.2 景观要素类型的格局变化分析

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 5-3 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 km²，反应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(CONESION)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 CONESION 值一直保持较高的水平, 但水域、建设用地和未利用地的 CONESION 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, 所以这三者被其它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。

表 5-3 研究区各景观类型的景观指数
Tab.5-3 Landscape indices of landscape type in the study area

景观类型	年份	CA (km ²)	PLANP (%)	NP	MPS (km ²)	LSI	COHESION
耕地	1987	6413.81	15.81	1518	4.23	49.63	98.26
	2000	6880.94	16.96	1560	4.41	48.83	98.21
	2010	6191.31	15.26	1608	3.85	40.05	98.17
林地	1987	2676.40	6.60	1710	1.57	43.69	94.78
	2000	2606.30	6.42	1694	1.54	43.29	94.31
	2010	2188.72	5.39	1794	1.22	47.79	98.68
草地	1987	11370.28	28.02	2990	3.80	73.31	98.67
	2000	11037.74	27.20	3083	3.58	73.45	98.71
	2010	10211.45	25.16	3181	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	3792	0.10	31.43	36.09
	2000	392.47	0.97	3847	0.10	37.54	99.69
	2010	542.85	1.34	6128	0.09	34.58	96.22
未利用地	1987	19606.87	48.32	1825	10.74	37.50	99.70
	2000	19505.29	48.07	1844	10.58	32.19	38.03
	2010	21028.96	51.82	2056	10.23	23.73	79.49

5.2 景观格局时空分布特征

以斑块密度(PD)、多样性指数(SHDI)、蔓延度指数(CONTAG)为例(图 5-2): 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。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三个大的地貌单元。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, 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向于单一、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 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。

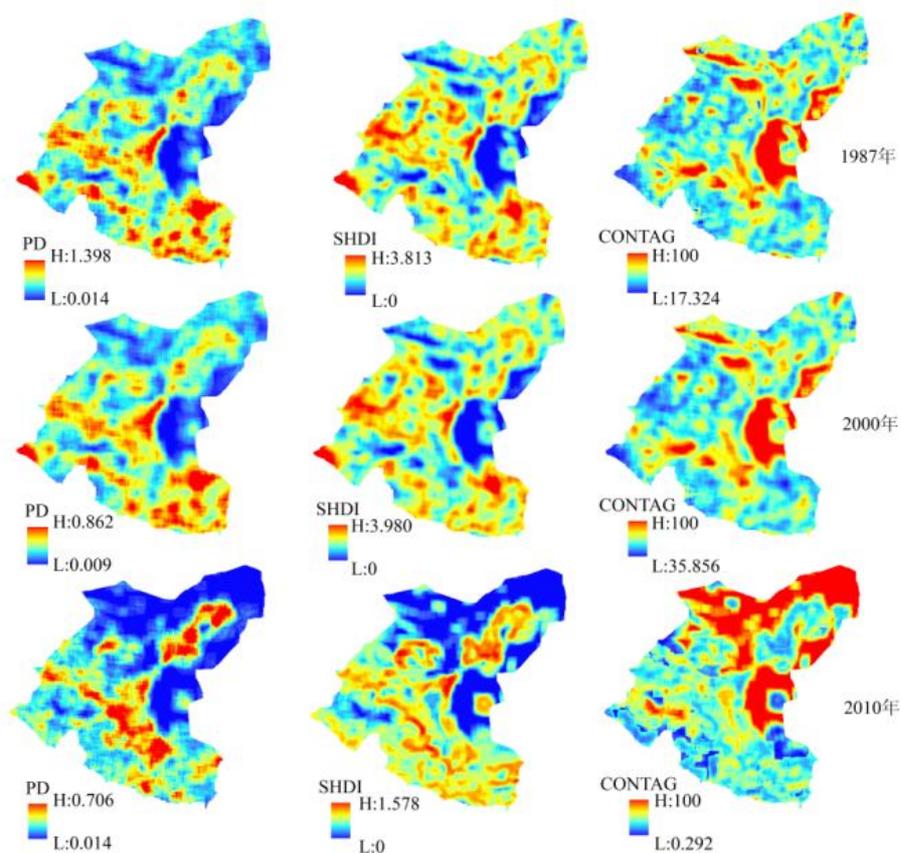


图 5-2 景观格局指数空间分布特征(H:High, L:Low)
Fig.5-2 Characteristics of spatial distribution of landscape metrics

5.3 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(时空梯度和趋势度)关系^[38]。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 5-3、5-4)。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 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 相似。

样带 Tr2 垂直于河流流向,除 LPI 外,其余指数三个年份差别较大。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。

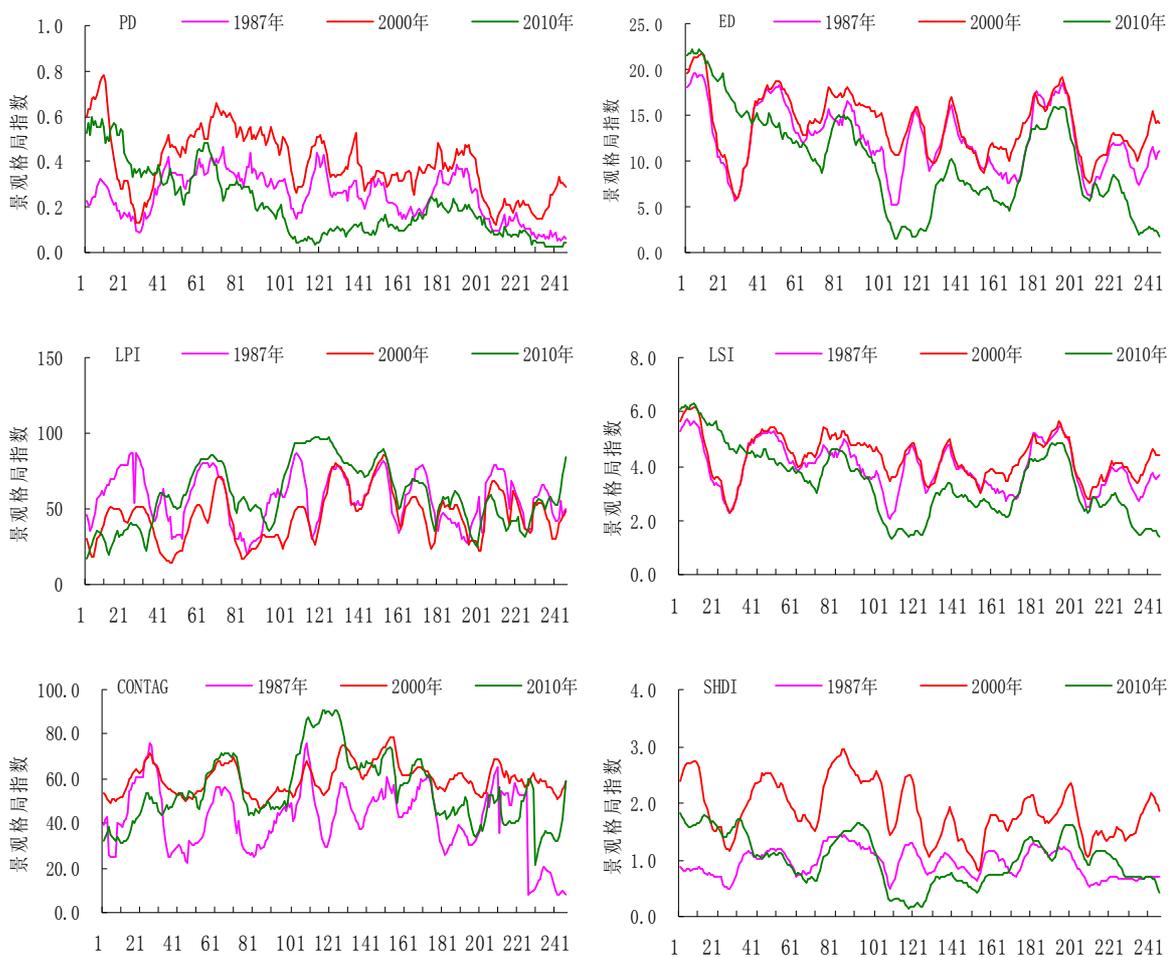


图 5-3 Tr1 样带上景观格局指数的梯度变化
Fig.5-3 Gradients variation in Landscape Metrics of transect Tr1

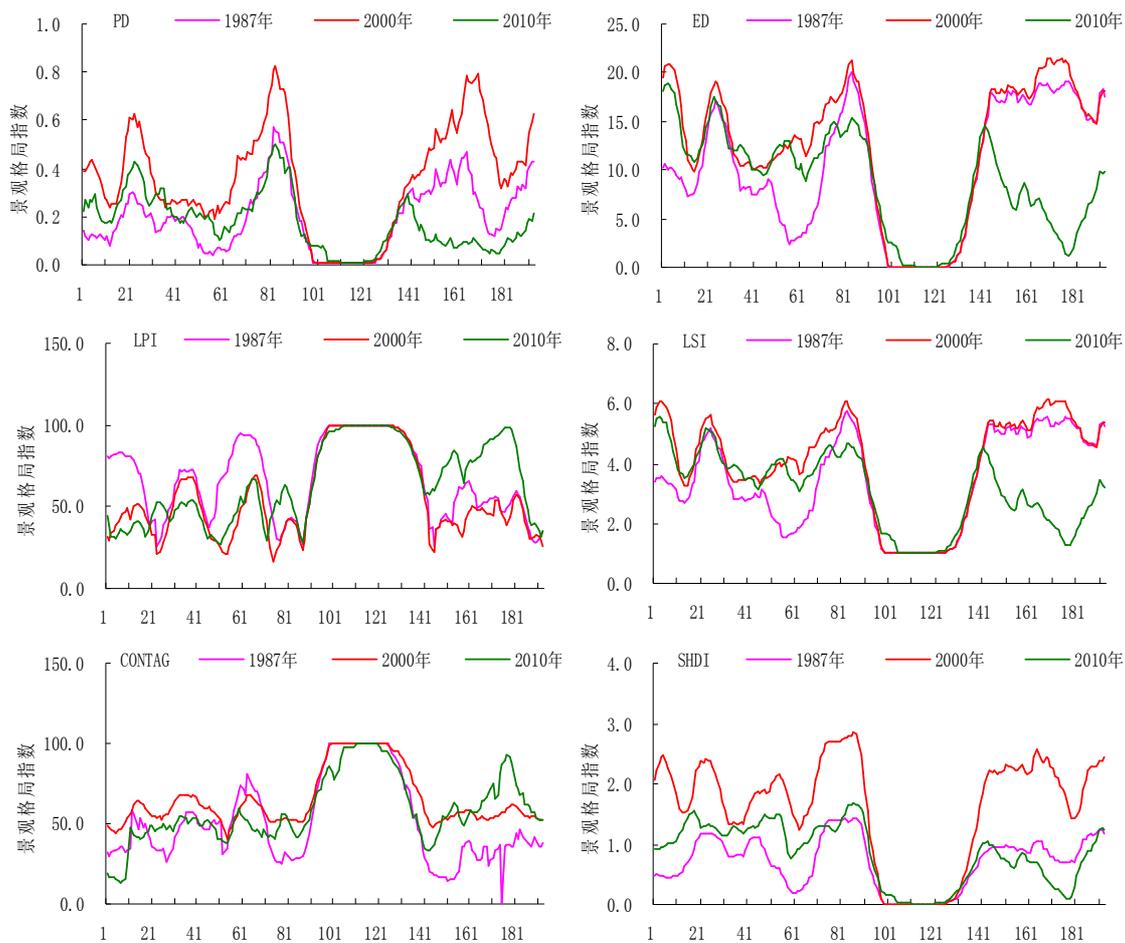


图 5-4 Tr2 样带上景观格局指数的梯度变化
Fig.5-4 Gradients variation in Landscape Metrics of transect Tr2

6 石羊河流域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 RDA 方法分析两样带上景观格局梯度与环境因子的关系，该方法可以直观的把环境因子、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。

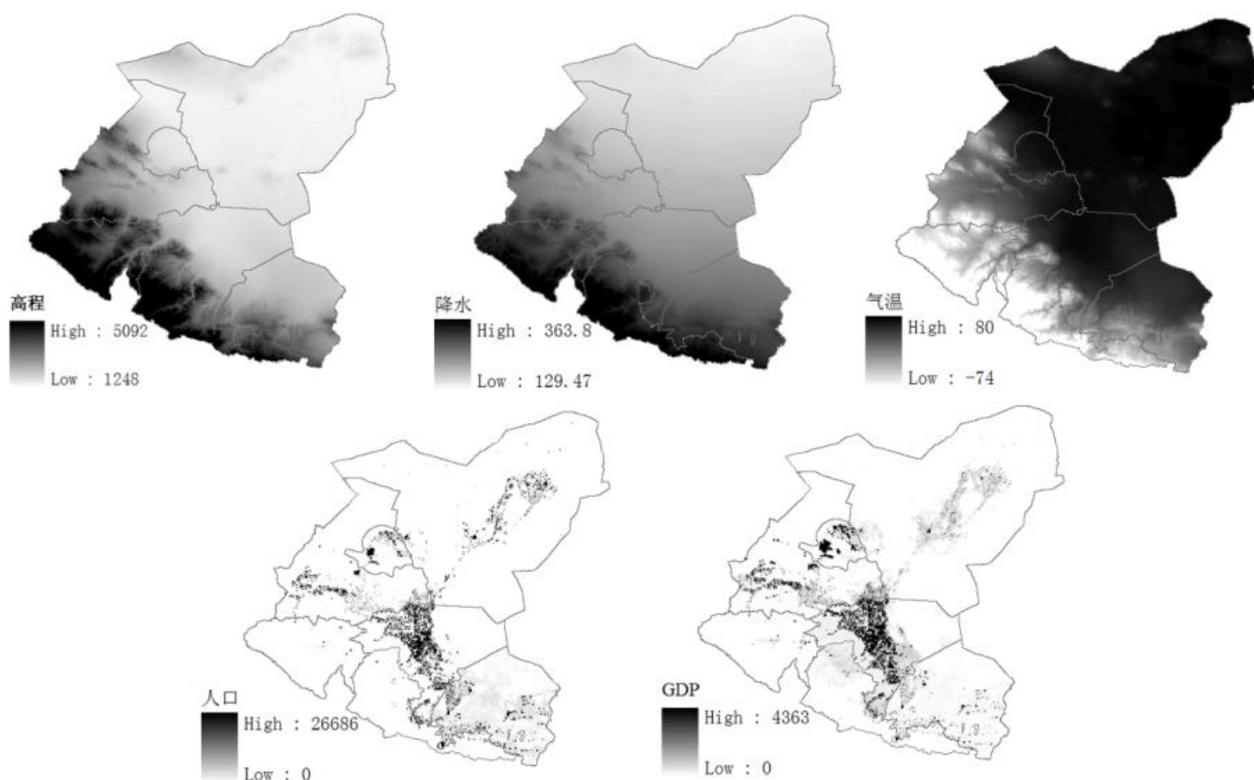


图 6-1 研究区环境因子图

Fig.6-1 Environment factors in Shiyang River basin

6.1 RDA 计算结果对研究目标的展示度

RDA 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 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。

6.2 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 6-1、表 6-2。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。

表 6-1 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
Tab.6-1 Correlation coefficients matrix of landscape metrics axes, environment axes and environment factors by RDA in transect Tr1

	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

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

表 6-2 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
Tab. 6-2 Correlation coefficients matrix of landscape metrics axes, environment axes and environment factors by RDA in transect Tr2

	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

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

6.3 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 6-2 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相关程度，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 6-2 可见，排序图上各景观指数之间的距离表明 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 $CONTAG > ED > LPI > PD > LSI > SHDI$ 。Tr2 样带在高程轴上最适值排序为 $ED > LSI > SHDI > PD > LPI > CONTAG$ ，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、斑块连通性相对较差。

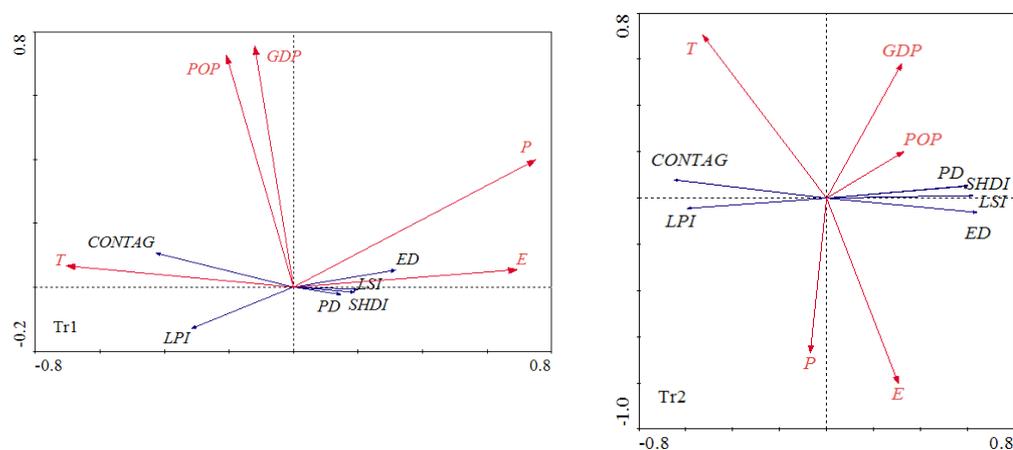


图 6-2 景观格局指数与环境因子的 RDA 排序图

Fig.6-2 RDA ordination of Landscape metrics and environment factors

7 石羊河流域景观格局优化研究

景观格局的优化是建立在生态规划和土地科学的基础上的,如今,它是景观生态学者研究的热点问题。景观格局优化就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^[42]。景观格局的优化主要是利用生态因子对景观斑块的类型进行调整,再利用景观生态学的方法去对景观管理的方法去进行优化,实现可持续发展,并能维持区域生态安全。在进行景观格局优化时要遵循一定的优化原则,主要包括综合性原则,生态功能优先原则,平衡原则,适宜性原则等。

7.1 区域景观格局存在问题

研究区内各土地类型在研究期内发生了十分复杂的相互转化,居优势地位的土地类型始终是未利用地。水域、建设用地和未利用地增加,而耕地、林地和草地面积减少。这样的景观格局变化必然会产生一系列的生态环境问题。

(1) 未利用地景观所占比例较高。未利用地占流域总面积的 50%左右,使得整个研究区保持着特有的半荒漠景观特征,主要位于流域北部绿洲外围。绿洲和荒漠边缘区林地、草地景观空间上未形成生态隔离带,荒漠地区生态廊道数量少,不利于局部生态环境的改善。

(2) 区域整体上的生态系统服务功能萎缩。研究期间土地利用类型的变化直接导致区域整体上的生态系统服务功能的变化。在流域中下游绿洲荒漠过渡带,受地下水位下降影响,植被枯死,沙化面积和草场退化面积逐年增加,天然绿洲大幅度缩减。与此同时,经济的快速发展也导致了城乡工矿居民地用地的扩张以及对耕地和其他类型土地的占用。通常城镇周边农地的减少是随着经济发展的水平而不断提高和增加的。经济的发展必然带动城镇的扩展,而城镇的扩展必定带动建设用地面积的增加,通常建设用地面积的增加主要占用耕地来实现。区域景观格局中生态用地急剧减少导致生态系统服务价值下降。

(3) 大量中小河道消失导致河流廊道密度与景观连通性下降。各类人工输水工程的建设改变了流域内水循环格局,导致下游河道断流,地下水补给量和泉水量减少^[43]。石羊河水系各河流年径流变化趋势较为明显,丰枯表现突出。如红水河则在长城五墩村开始有径流出现,流向石羊河的主河道,在红崖山水库以下已多年断流。城市化导致大量中小河道消亡,河流廊道数减少,空间结构受到破坏,物种在源斑块之间的运动受到阻碍。作为石羊河流域中下游的河岸植物群落,受

河流径流的影响，目前的植被正处在进一步退化过程中，植被面积减少，植物大面积枯梢、死亡，植物群落简单化和优势种的优势度增大。

7.2 景观格局优化的理论基础

区域景观格局优化的目的在于针对区域景观格局存在的问题，在识别大型植被斑块作为区域生态功能的源斑块的基础上，根据水平生态流运行理论构建生态廊道，同时识别生态廊道上的生态功能薄弱处作为生态节点，最终构建区域景观格局优化方案体系。

7.2.1 生态源地

基于生态空间理论，景观中存在一些能够促进景观过程发展的景观组分^[44]，如较大面积的林地核心斑块、水域等，我们称之为“源地”。这种景观组分对维持景观生态功能具有促进作用，具有一定的空间拓展性和连续性。因此，从景观生态功能角度考虑，选择水域和较大空间规模的林地核心斑块，作为生态“源地”。

7.2.2 生态廊道

景观生态学中的廊道是指不同于周围景观基质的线状或带状景观要素，用于物种的扩散及物质和能量的流动。廊道的构建可以增强景观组分之间的联系和防护功能，其连通性是衡量廊道结构的基本指标^[44]。生态廊道依据类型不同在生态功能网络中扮演着不同的角色^[45]。其中，自然河岸廊道可以保护大量的陆生及水生生物，亦可发挥其它相应功能包括地下水源涵养及汇聚地表径流等；一些敏感性物种栖息地及迁徙廊道对于保护野生动物尤为重要；另外，生态廊道亦提供社会大众游憩的空间，增加公众与自然的接触机会。根据研究区景观生态格局破碎、景观类型单一等特征，加强生态廊道的建设，增强源地之间的连通程度，是巩固和增强石羊河流域生态屏障功能的有效途径。

7.2.3 生态节点

生态节点是指在景观空间中，连接相邻生态源，并对生态流运行起关键作用的点，一般分布于生态廊道上生态功能最薄弱处。该处在空间距离上，由于跨度较大，致使物种难以扩散，能量、物质无法流通；从景观生态功能上看，该处受外界的干扰和冲击比较敏感，对景观功能稳定性影响较大。因此，生态节点的构建，有助于增加景观生态网络的连通性，对维持景观生态功能健康发展有重要的意义。

7.3 景观优化的目标及期望

基于景观生态学上的景观格局连通度与景观功能联系程度相关的假设^[46,47]，

本研究针对区域整体上的生态环境不断恶化,生态系统服务功能萎缩及河流廊道密度与景观连通性下降阻碍生态功能联系的问题,结合规划理论与景观生态学原理,在强化生态功能空间联系的目标下,制定景观格局优化目标及方法。为达到提升生物多样性、遵循生态适宜性和生物流通等原则^[42,48],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。区域景观优化的目标是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^[49],调整优化景观组分、斑块的数量和空间分布格局,使各组分之间达到和谐、有序,以改善受胁受损的生态功能,提高景观总体生产力和稳定性,实现区域可持续发展^[50]。区域景观生态优化的重点应是恢复和保护区域人文景观、自然景观的整体性,增加区域景观的多样性、舒适性及美学价值^[51,52]。

7.4 累积耗费距离模型

从景观生态学角度看,景观是高于生态系统的自然综合体,景观的物质循环和能量交换,即景观流,是控制景观功能稳定的决定因素。在景观尺度上,这种景观流的运行,必须要克服一定的阻力来实现,并表现于一定的景观空间格局中。因此,为实现景观功能与景观结构的联系,基于不同景观功能需要,考虑相关驱动与限制因子的空间分布,并结合功能随着距离衰减的空间特性进行量化,构建累积耗费距离模型。我们考虑三个因素,即景观源、距离和耗费值,来表达景观介质对源景观空间扩散的影响。具体原理和公式见上文“累积耗费距离的扩散模型”。累积耗费距离反映了源像元运动的空间趋势。其景观生态学意义在于:从格局和过程出发,将常规意义上的景观赋予一定的过程含义,通过对景观流的空间运行分析,来探讨有利于调控生态过程的途径和方法,使得生态系统健康、稳定和安全。

7.5 源景观流代价表面建立

生态流、物质流和能量流在城市景观之间的扩散是一种克服阻力的动态运动过程,阻力的大小会影响到扩散的快慢和难易程度。不同的景观类型对人和物种栖息地的影响不同,越接近自然程度的景观组分,对景观之间生态流、物质流和能量流的阻力越小,越有利于物种的交换和迁移,反之,越接近人工程度的景观,人为干扰程度越大,物种迁移所需要克服的阻力就越大。按照此原理,水域和林地作为生态核心源区,最接近自然程度,景观内部组分的迁移需要克服的阻力最小,阻力最大的景观类型是居民和工矿用地,受人为影响最大,阻力也最大;草地也比较接近自然程度,物种交换和迁移克服的阻力较小,次于水域和林地;耕

地和未利用土地的阻力大于草地小于居民用地。因此，景观类型阻力从大到小依次排列为：居民和工矿用地>耕地、未利用土地>草地>水域和林地。阻力系数只是一个相对值，而不是绝对值^[53]，大部分研究常把物种生境的阻力系数设为1，而物种最难或无法穿过的景观类型设为150^[45]。结合石羊河流域的具体情况并参考前人^[54-58]在实践研究中的经验数值，综合后得出如下景观阻力类型(表7-1)，这些阻力系数数值并不代表每种景观类型对生态核心源区的阻力的绝对大小，而是表示不同类型景观间的相对阻力水平的相对大小^[59]。

景观阻力分级确定后，再结合生态核心源区的位置，运用前面讲到的累积阻力模型建立景观阻力面。首先，根据景观类型和景观类型阻力的对应关系，重新赋值，在 Arcgis 中建立景观阻力图，其次，利用生态源地图和景观阻力的栅格图，在 Arcgis 的 Grid 模块下用 cost distance()函数命令计算出最小累积阻力值。第三，对景观阻力值分类，按阻力值大小等间距排列，得到石羊河流域景观生态阻力面分布图(图7-2)。

表 7-1 研究区土地利用阻力值分析表
Tab.7-1 Resistance values assigned to land-use types

土地利用类型		阻力值	土地利用类型		阻力值
耕地		12	水域	水库坑塘	150
林地	其他林地	4		永久性冰川雪地	50
	有林地	2		河渠	100
	灌木林	3		湖泊	150
	疏林地	4		滩地	150
草地	中覆盖度草地	8	未利用地	戈壁，沙地	7
	低覆盖度草地	10		沼泽地	7
	高覆盖度草地	6		盐碱地	7
建设用地	其他建设用地	70		裸土地	7
	农村居民点	80		裸岩石砾地	7
	城镇用地	110		其他	7

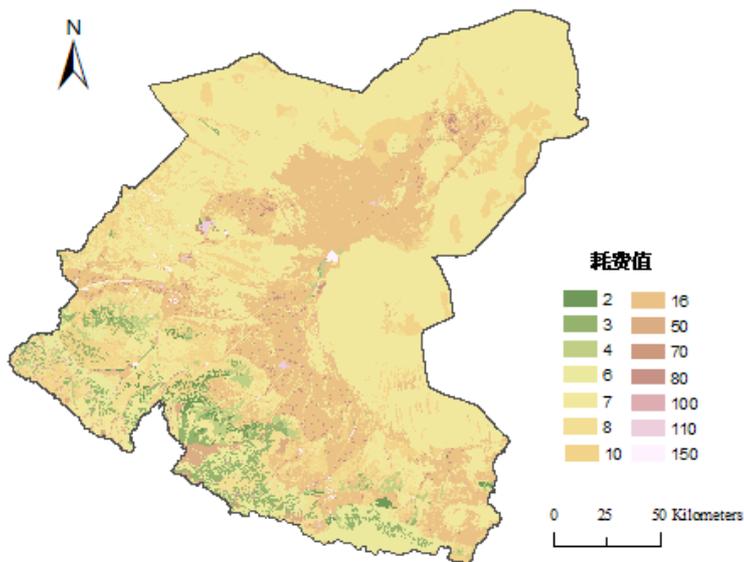


图 7-2 研究区源景观流运行代价表面
Fig.7-2 The cost surface of ecology flow

7.6 景观格局优化组分确立

7.6.1 源地的识别与保护

基于研究尺度，将面积大于 10 hm^2 的林地和水体核心斑块确定为生态源地 (图 7-3)，主要包括植被覆盖率较大的西南部祁连山区、中部温带绿洲区、水库(红崖山水库、老人头水库、西大河水库、黄羊水库、曹家湖水库、十八里铺水库等)。这些源地对控制和促进区域生态功能稳定有重要作用，应当予以生态保护，加强生态建设，增大其核心斑块面积，提高景观生态功能。

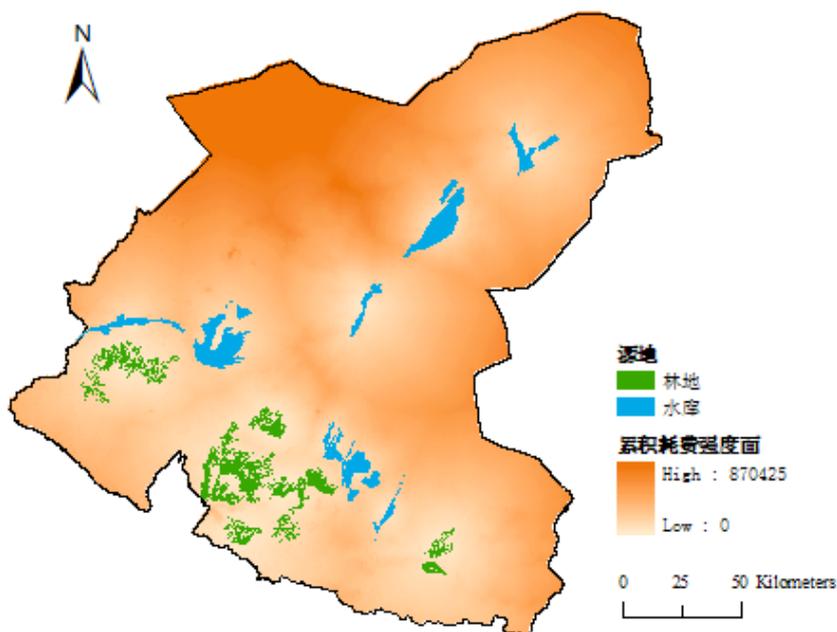


图 7-3 研究区景观生态源地空间分布
Fig.7-3 The spacial distribution of ecological source in study area

7.6.2 生态廊道构建

生态廊道为源地斑块间的链接，是物种和能量流通的主要通道。因此，本文根据研究区景观生态格局现状，应用累计代价距离模型，在各组团式绿地之间、各组团式绿地与山区源地核心斑块之间构建生态廊道，宽度一般控制在 300 m 以上，并结合交通干线等人工廊道分布和建成区的扩展特征，确定一定范围的廊道缓冲区，以增强廊道的生态效应。同时，确立道路廊道和河流廊道，加强道路两侧、河堤两岸的植被绿化，以减轻交通要道对源地景观的切割和建成区对水域生态系统的冲击。在此基础上，结合研究区景观特征，确定景观功能流运行的最小耗费路径，得到生态廊道空间位置(图 7-4)。

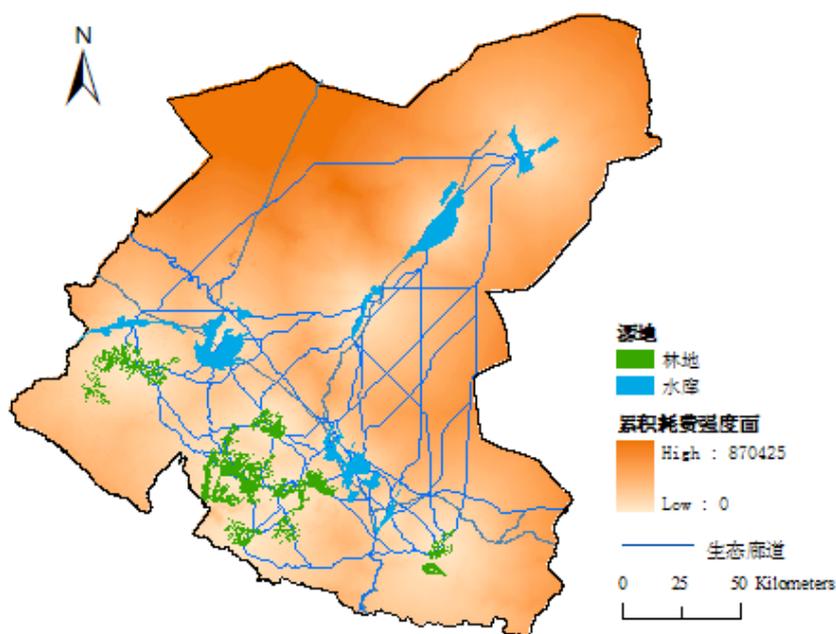


图 7-4 研究区景观生态廊道空间分布

Fig.7-4 The spatial distribution of ecological corridor in study area

7.6.3 生态节点构建

在一定景观介质表面上，生态节点为景观流运行最低耗费路径和最大耗费路径的交点。利用 ArcGIS9.3 空间分析模块和水文分析模块，借鉴水文分析原理和方法^[60]，在景观累积耗费距离表面上，对景观生态流的“脊线”和“谷线”进行提取，并进行邻域分析、阈值设置处理，从而得到生态流最大耗费路径和最小耗费路径。根据阻力面和最小耗费路径确定生态廊道，景观流运行最低耗费路径和最高耗费路径的交汇区域或最大耗费路径与最小耗费路径，不连续处为生态关键点^[61]。在研究区景观空间上确立 47 处生态节点(图 7-5)，一级节点有 23 个，为四条及以上廊道的交汇点，二级节点有 24 个，为三条廊道的交汇点。把各源地

之间的生态廊道紧密联系起来，构成点、线、面相互交织，山地生态系统和绿洲生态系统有机结合的生态网络格局，从而有力改善石羊河流域景观格局破碎、景观功能不佳的现状。

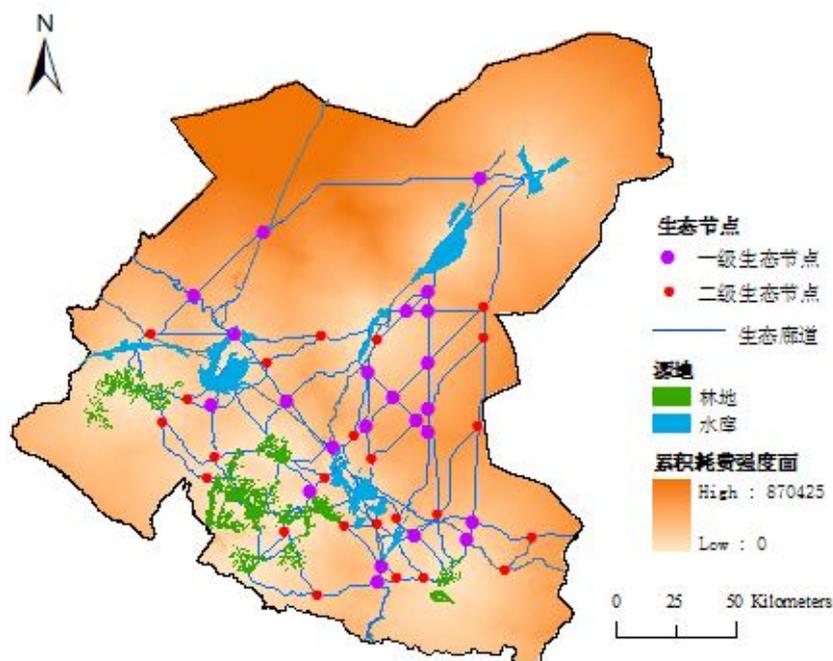


图 7-5 研究区景观格局优化方案总体布局

Fig.7-5 The overall scheme of landscape pattern optimization of study area

7.7 景观格局优化方案设计

景观格局优化旨在通过调整优化景观组分的数量和空间分布格局，使景观结构更为合理，景观功能更为稳定。综合生态适宜性与敏感性原理，我们可以从宏观和微观两个层次来探讨生态系统的内部空间结构^[62,63]。

(1) 生态功能分区。从上文研究区土地利用类型分布和各景观类型的景观指数可以看出，研究区景观生态功能空间强度分布极不平衡，民勤绿洲和凉州区东部外围分布着大面积的荒漠、戈壁、寒漠等未利用地，在一定的条件下，生态系统稳定性差；同时也是生态功能最低的地区。南部山地植被覆盖面积较大，是流域中下游荒漠区的“绿色水库”，为水源涵养区，是走廊的生命线，应作为生态控制区。这部分区域应以保持自然发展状态为主体，应严格限制城市发展空间的扩张；杜绝交通干线从生态控制区穿越和分割带来的干扰和破坏。流域中下游的一些绿洲，景观类型主要为耕地，破碎的草地，林地，建设用地景观，这些重要生态系统服务功能区可作为生态协调区。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，对于绿洲与荒漠过渡地带，尤其

是草地、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。而流域北部主要为荒漠，生态系统服务功能弱，生态系统不稳定，可以作为生态恢复区，合理配置该区域的土地利用。加强流域生态功能、促进生态的良性循环。

(2) 景观功能网络的构建，可将无形的景观功能流落实于实际的空间中，有助于在强化景观空间联系的格局优化中，同时提升景观的功能。通过景观功能网络的应用，显示研究区的城市结构明显较生态结构更有利于功能的传输，故于未来的生态景观优化上，研究区需要在功能联系出现障碍的区域，适度增加生态用地面积，以强化生态联系提升生态保护功能。石羊河流域自然廊道不发达，主要是西大河、东大河、西营河、金塔河、杂木河、黄羊河、古浪河、大靖河这八条河流，这些河流廊道在饮水、物质的运输、水汽的输送起到了不可或缺的作用。我们应加强河流廊道两岸生态环境建设，保护好两岸的山体自然景观，严格控制沿河建筑的高度和体量，构造各种抽象的体量创造的开合有致，新颖别致的空间领域。并在大型河道两侧营造 50~100 m 防护林带，可以保护河堤、稳固河床。同时这些防护林带也会成为重要的生态联系通道。将生态廊道图 7-4 与水系图 4-4 相比较可以发现，流域下游绿洲的外围生态廊道数量过少，应作为优化的重点区域。

(3) 从微观层面看，加强流域绿地生态区的保护和建设。根据景观的集中与分散格局规划，除了保留在城区内较大的自然植被外，还可以在廊道和自然植被周围设计一些小的斑块；通过绿色廊道把景观中的小斑块联系起来，形成网状的绿色结构，有利于斑块中小动物的迁移，形成流域绿地生态系统。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。

总之，在当前的生态建设和城市化建设的背景下，在进行景观格局优化时，要遵循生态适宜性和生物多样性原则，重视对林地和水体等生态源的保护，建设和完善生态廊道、生态节点等景观组分。在廊道的建设上，应根据研究区景观格局现状，结合交通干线等人工廊道分布和建成区的扩展特征，确定一定范围的廊道缓冲区，以增强廊道的景观效应；生态节点的建立，不仅要充分考虑相邻景观要素的空间作用，而且要有助于物种的扩散。

8 结论与展望

8.1 本研究的主要结论与建议

(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；其景观平均斑块面积较大，优势度高，形状规则且破碎程度较低。耕地主要分布在中部平原区，2000 ~ 2010 年面积增长迅速，增长方式是以斑块面积的扩大和斑块间的合并为主，且新耕地包围老耕地，最终连片成带。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。建设用地斑块数量较多且破碎，大部分镶嵌在平原区的耕地景观中上，分布较为分散。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) Tr1、Tr2 两样带上各个景观格局梯度变化特征表明：从空间上看，景观格局指数在沿河流流向的纵向梯度和垂直于河流流向的横向梯度上均有明显变化。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 2000 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，除 PD 与 SHDI 外，其余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：在 500 m 栅格分辨率下，流域景观梯度格局与自然环境因子及人类活动关系密切，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。

(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，由于所处地区的地形地貌、气象水文等条件往往存在较大差异，使得不同流域间的横向、纵向景观梯度格局特征差异非常显著，本研究在选择样带时，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地分析研究,取得了比较客观的研究成果。

(5) 应用景观格局指数将景观格局变化和时间过程充分结合,可以为景观格局优化工作提供科学有力的理论依据。但从具体空间,景观格局指数难以较好地将格局和过程相结合,来定量化解决景观要素空间布局不合理的难题。为此,本研究基于 GIS 技术,应用景观流运行理论和累积耗费距离模型,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北京西北地区生态网络的紧密性和联系性,优化区域景观格局,进而解决由城市扩展所造成的生态绿地破碎化、景观连通性降低及景观类型单一等问题。其方法和结论可以更为合理有效地指导景观生态建设和城市生态规划,将生态工程落实到具体的景观单元。

8.2 本研究的不足与展望

8.2.1 尺度的选择

本文在应用移动窗口法时尝试了不同的窗口大小,结果表明,以 5 km 为边长的窗口既能保留梯度特征又不至于使景观指数出现较大波动,能通过景观指标的变动特征真实反映空间格局的变化。窗口大小的选择可看作是尺度变化对景观指标影响的一个范例,因此在应用移动窗口对景观类型图进行梯度分析时,如何选择窗口大小以及尺度如何影响景观指标等还有待深入研究。

8.2.2 样带的典型性和代表性

梯度分析结果能够反映景观空间格局的演变规律,有助于揭示景观演变过程的驱动力^[64],梯度分析是将景观格局与生态过程联系起来的基础^[65],而所选梯度带的典型性和代表性是实现上述目的的前提,选择样带时需综合考虑研究目标、关注的主要景观类型以及景观所处地区的地形特征等因素。目前,不同样条带选择方案及其所反映的景观梯度格局计算结果的差异方面尚缺乏系统地研究,前人在研究城市景观时多选择通过城市中心区的水平和(或)垂直样带^[66,67],而在研究植被景观时,除这两个方向外,往往还根据植被所处区域的自然地理梯度特征,选择相应条带^[68,69]。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,纵向梯度具有从第 1 级河流到高级河口区域地理位置变化而表现出的景观类型梯。

8.3.2 阻力因子选择与赋值的主观性

最小累积阻力模型能付诸实践的前提条件是存在过程源,该过程围绕源处于不断的发展当中。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。本文阻力因子的赋值主要参考前人的研究成果。由于这种赋值方式较为主观和牵强,直接影响了评价结果的客观性,因此,在今后的研究过程中还需逐步克服非此即彼的主观线性思路,适当考虑引入模糊数学及非线性数学的方法对改进阻力赋值方式。因此,这方面的研究还有待于深入和完善。

参考文献:

- [1] 康绍忠, 粟晓玲, 杨秀英, 等. 石羊河流域水资源合理配置及节水生态农业理论与技术集成研究的总体框架[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(1): 1 – 9.
- [2] 刘红玉, 李兆富. 流域湿地景观空间梯度格局及其影响因素分析[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 213 – 220.
- [3] Troll, C. Luftbildplan und Ökologische Bodenforschung. Z.Ges. Erdkunde. 1939. 241 – 298.
- [4] Forman R T T. Godron M Landscape ecology[M], New York: John Wiley and Sons, 1986. 1 – 57.
- [5] Heiko Balzter, Paul W. Braun, Wolfgang Köhler, Cellular automata models for vegetation dynamics[J]. Ecological Modelling, 1998, 113 – 125
- [6] Turner M G. Gardne R H. Quantitative methods in landscape ecology[M]. London: Spring-Verlag. 1991. 59 – 63
- [7] Dong-Gwon Sung, Seoung-Hyeon Lim, Je-Woong Ko, etal. scenic evaluation of landscape for urban design purposes using GIS and ANN [J]. Landscape and Urban Planning. 2001. 75 – 85
- [8] 陈述彭. 自然区划方法与制图实践[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [9] 方肇伦. 东北地区某些森林景观中的微量元素[M]. 沈阳: 中国科学院林业土壤研究所, 1964.
- [10] 黄锡畴, 刘德生, 李 祯. 长白山北侧的自然景观带[J]. 地理学报, 1959, 25(6), 435 – 446.
- [11] 李 万. 论中国陆地地理带划分的原则及其特征(纲要) [J]. 河北大学学报(哲学社会科学版), 1960, 125 – 135.
- [12] 张维信. 疏勒河中游自然景观[J]. 兰州大学学报, 1962, (2): 77 – 88.
- [13] 肖笃宁. 景观生态学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [14] 肖笃宁. 景观生态学的理论方法及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [15] 夏北成. 城市生态景观格局及生态环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [17] 郭晋平. 森林景观生态研究[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [18] 刘昕. 基移动窗口法的中国东北地区景观格局研究[D]. 东北林业大学, 2009
- [19] 赵锐锋, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析[J]. 地理学报, 2009, 64(1): 95 – 106.
- [20] 邹秀萍, 齐清文, 徐增让, 等. 怒江流域土地利用/覆被变化及其景观生态效应分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 147 – 151.

- [21] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 317 – 323.
- [22] 熊 鹰, 王克林, 蓝万炼, 等. 洞庭湖区湿地恢复的生态补偿效应评估[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 772 – 780.
- [23] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 321 – 329.
- [24] 周廷刚, 郭达志. 基于 GIS 的城市绿地景观引力场研究——以宁波市为例[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1157 – 1163.
- [25] 陈鹏, 高建华, 朱大奎, 等. 海岸生态交错带景观空间格局及其受开发建设的影响分析——以海南万泉河口博鳌地区为例[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 509 – 514.
- [26] 杨振林, 石培礼. 高山树线交错带的景观格局与生态过程[J]. 地理科学进展, 2007, 26(1): 44 – 55.
- [27] 王根绪, 程国栋. 干旱荒漠绿洲景观空间格局及其受水资源条件的影响分析[J]. 生态学报, 2000, 20(3) : 363 – 368.
- [28] 丁圣彦, 钱乐祥, 曹新向, 等. 伊洛河流域典型地区森林景观格局动态[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 354 – 362.
- [29] Whittaker R H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California[J]. Ecological Society of America, 1960, 30 – 49
- [30] Whittaker R H. Communities and Ecosystems. MacMillan, 1975
- [31] McDonnell M J, Pickett S T A. Ecosystem structure and function along urban—rural gradients: An unexpected opportunity for ecology[J]. Ecology, 1990, 71: 1231 – 1237
- [32] William L B, Yun ming cai. The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system[J]. Landscape Ecology, 2004, 7: 291 – 302
- [33] 孔繁花, 尹海伟. 济南市城市绿地时空梯度分析. 生态学报, 2005, 15(3): 254 – 261
- [34] 张 军, 葛剑平, 国庆喜. 中国东北地区主要植被类型 NDVI 变化与气候因子的关系. 生态学报, 2001, 21(4): 523 – 529
- [35] 李秀珍, 布仁仓, 常 禹, 等. 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.
- [6] 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.
- [37] 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): 1415 – 1422.
- [38] 黄小富, 熊 华, 刘 洋, 等. 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.
- [39] 李秀丽. 干旱区内陆河流域居民地空间格局研究——以石羊河流域为例[D]. 西北师范大学, 2009
- [40] 李 绥, 石铁矛, 付士磊, 等. 南充城市扩展中的景观生态安全格局[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 734 - 740.
- [41] Chardon J P, Adriaensen F, Matthysen E. Incorporating landscape elements into a connectivity measure: A case study for the Speckled wood butterfly (*Pararge aegeria* L.) [J]. *Landscape Ecology*, 2003, 18: 561 - 573
- [42] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. 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.
- [43] 韩凤君, 张 波. 石羊河流域水资源及生态环境变化特征分析[J]. 环境与安全学报, 2007, 7(6): 80 - 83
- [44] 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.
- [45] 张小飞, 王仰麟, 李正国. 两岸典型城市生态功能网络的组成与结构[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 399 - 405.
- [46] Wiens J A. Metapopulation dynamics and landscape ecology. In: Hanski, I.A., Gilpin, M.E. Eds. *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution*. London: Academic Press, 1997. 512 - 521.
- [47] Wiens J A, Schooley R L, Weeks Jr R D. Patchy landscapes and animal movements: do beetles percolate *Oikos*, 1997, 78, 257 - 264.
- [48] 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.
- [49] 魏 伟, 赵 军, 王旭峰. GIS、RS 支持下的石羊河流域景观利用优化研究[J]. 地理科学, 2009, 29(5): 750 - 754.
- [50] 韩文权, 常 禹, 胡远满, 等. 景观格局优化进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1487 - 1492.
- [51] 肖笃宁, 高峻, 石铁矛. 景观生态学在城市规划管理中的应用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 813 - 820.
- [52] 张小飞, 王仰麟, 李国正. 基于景观功能网络概念的景观格局优化——以台湾地区乌溪流域典型区为例[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1707 - 1713.
- [53] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程. GIS、基于最小费用模型的景观连接度评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 2042 - 2048.
- [54] 官紫玲. 福州市景观生态安全研究[D]. 福建师范大学, 2008.

- [55] 王 瑶, 宫辉力, 李小娟. 基于最小累计阻力模型的景观通达性分析[J]. 地理空间信息, 2007, 5(4): 45 - 47.
- [56] 赵筱青, 王海波, 杨树华, 等. 基于 GIS 支持下的土地资源空间格局生态优化[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4892 - 4901.
- [57] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用——以厦门为例[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 0421 - 0428.
- [58] 郭纪光. 生态网络规划方法及实证研究——以崇明岛为例[D]. 华东师范大学, 2009.
- [59] 王亚平. 青岛城市景观健康评价与空间结构优化[D]. 山东师范大学, 2011.
- [60] 汤国安, 杨 昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 446 - 449.
- [61] 孙贤斌, 刘红玉. 土地利用变化对湿地景观连通性的影响及连通性优化效应——以江苏盐城海滨湿地为例[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 892 - 903.
- [62] 邬建国. 景观生态学中的十大研究论题. 生态学报[J], 2004, 24(9): 2074 - 2077.
- [63] 李卫峰, 王仰麟, 蒋依依, 等. 城市地域生态调控的空间途径——以深圳市为例[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1823 - 1831.
- [64] Kong F H, Nakagoshi N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 78(3): 147 - 164.
- [65] Luck M, Wu J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA[J]. Landscape Ecology. 2002. 17(4): 327 - 339.
- [66] Zhu M, Xu J, Jang N. Impacts of road corridors on urban landscape pattern: a gradient analysis with changing grain size in Shanghai, China[J]. Landscape Ecology. 2006. 21(5): 723 - 734.
- [67] Yu X J, Ng C N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban - rural transects: A case study of Guangzhou, China. [J] Landscape and Urban Planning, 2006, 79(3): 96 - 109.
- [68] 黄尤优, 刘守江, 胡进耀, 等. 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.
- [69] 黄小富, 熊 华, 刘 洋, 等. 嘉陵江流域植被景观异质性的空间梯度变化. 西北植物学报, 2008, 28(2): 362 - 369.

在读期间发表的论文和参加的课题

一、发表及录用的学术论文

- 1、宫继萍, 潘竟虎, 石培基. 基于生态足迹和灰色关联度的甘肃省可持续发展研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 198 – 201. (已发)
- 2、宫继萍, 石培基, 潘竟虎. 基于 DEA 方法的兰州市城市土地利用经济效益分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(5): 163 – 166. (已发)
- 3、宫继萍, 石培基, 魏 伟. 基于 BP 神经网络的区域生态安全预警研究——以甘肃省为例[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 211– 216, 223. (已发)
- 4、Urban Land Intensified Utilization Assessment Based on Artificial Neural Networks: A Case of Lanzhou City (EI, 已发)
- 5、基于土地利用变化的石羊河流域民勤县土地生态风险研究[J]. 土壤通报(已录)
- 6、黑河中游土地生态价值及生态风险动态研究——以甘肃省民乐县为例[J]. 土壤(已录)
- 7、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[J]. 土壤(已录)
- 8、甘肃省县域城市化水平差异的人工神经网络测定[J]. 地域研究与开发(已录)

二、参加的科研项目

1、张掖市民乐县土地利用总体规划修编(2009-2020年): 负责耕地和基本农田保护研究规划文本的编写, 相关图件的绘制等。后负责民乐县六坝镇的土地利用总体规划文本及说明的撰写, 相关图件的绘制。

2、参加国家自然科学基金“内陆河流域城镇体系与流域空间结构相互作用的生态经济效应研究——以石羊河流域为例”: 负责流域生态系统服务价值的测算, 生态风险的评价及预警, 为流域可持续发展提供重要的科学依据。

致 谢

在即将完成硕士论文之际，也是即将离开师大校园之时，回想在师大的点点滴滴，不舍之情溢于言表。

三年硕士生活转瞬即逝，即将毕业之际，我要感谢所有帮助过我的老师和同学。首先，要特别感谢我的导师石培基教授，导师深厚的学术造诣、严谨的治学风范、一丝不苟的工作作风、淡泊坦然的人生态度，都将成为我终身学习的榜样。三年来，导师毫无保留的知识传授，不求回报的教诲将一直鞭策着我，令我终生受益。在此，谨祝导师身体健康，万事如意！

感谢地环学院为我们提供良好的实验室学习环境及学习氛围，这里要特别感谢张志斌老师、张勃老师、王录仓老师、赵雪雁老师、潘竟虎老师、马忠老师、雒占福老师、赵锐锋老师、魏伟老师、周俊菊老师、白燕老师等各位老师在我学业及生活上的指导。

感谢胡科师兄对我的帮助，感谢吕立刚师兄、李菲师兄、张学斌师兄、杨银峰师兄、张惠师姐、吴燕芳师姐、刘英英师姐等对我学习生活的帮助照顾。感谢同级好友曹立国、颜丙金、高小琛、吴文婕、李丽娜、董翰蓉、刘润、杨玉婷、刘灵、张宁、周堂、刘润、杨雪梅、崔心才、尹秀等，大家一起学习生活，互相帮助，共同进步；感谢王培震、金淑婷、李博、王文静、王红、唐嘉琪等师弟师妹对我的帮助。感谢地环院的所有同学，是大家共同营造了一个和谐进步的学习环境，使我轻松、愉快的度过三年研究生生活。

感谢好友任伊扬，康真真，欧书海等，每当我最无助、最需要帮助的时候，一直陪着我身边，促使我不断成长、前进。

感谢我的家人，你们无私的爱与支持，让我可以全身心投入到学习中，给我默默的关心与支持，是我前进的动力和精神支柱。

本文在写作过程中也参阅了大量的文献及资料，借鉴了其中的某些观点，在此向这些文献资料的作者表示衷心的感谢！最后，感谢对论文提出宝贵意见的所有老师和同学，感谢所有参与论文评审、答辩的各位老师及专家！

宫继萍

2012年5月于西北师大