

## 岷江上游景观边界网络格局分析

问青春<sup>1,2</sup>, 李秀珍<sup>1,\*</sup>, 贺红士<sup>1,3</sup>, 布仁仓<sup>1</sup>, 胡远满<sup>1</sup>, 李丽光<sup>4</sup>, 胡 涛<sup>5</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 辽宁省环境监测中心站, 沈阳 110031;

3. 美国密苏里大学, 哥伦比亚 65211; 4. 中国气象局大气环境研究所 110016; 5. 辽宁省环境保护局, 沈阳 110033)

**摘要:**格局与过程是景观生态学研究的核心内容,与基于斑块的研究相比,基于边界的研究是格局与过程研究的一个新的切入点。以岷江上游地区为例,基于 TM 影像数据,应用 RS、GIS、Fragstats 等软件,选用边界长度、边界密度、边界海拔、结点数量、网眼大小、网络连接度等指数,研究了景观边界网络格局的变化,并分析了与之相关的生态过程。结果表明,在 1974~2000 年期间,由于人为干扰强度的加剧,岷江上游景观边界网络结构变得更加复杂,在早期以边界长度增加为主,网络连接度变大,在后期以边界数量和结点数量增加为主,网络连接度变小;森林景观与低坡位景观类型间的边界减少,森林下线上移;农田与林地的边界在早期增加,1986 年后减少,而与灌木林地的边界持续增加;随着林地的蚀退,森林结构变得简单化,而农田、灌木林地、草地等景观类型的结构变得更加复杂。

**关键词:**景观;边界网络;格局分析;岷江

文章编号:1000-0933(2008)09-4334-10 中图分类号:Q149,X24 文献标识码:A

## The pattern analysis of landscape boundary network in the upper reaches of Minjiang River

WEN Qing-Chun<sup>1,2</sup>, LI Xiu-Zhen<sup>1,\*</sup>, HE Hong S.<sup>1,3</sup>, BU Ren-Cang<sup>1</sup>, HU Yuan-Man<sup>1</sup>, LI Li-Guang<sup>4</sup>, HU Tao<sup>5</sup>

1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2 Liaoning Environmental Monitoring Center, Shenyang 110031, China

3 University of Missouri-Columbia, Columbia 65211, USA

4 Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110016, China

5 Liaoning Environmental Protection Bureau, Shenyang 110033, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4334~4343.

**Abstract:** Spatial pattern and processes are two most important aspects of landscape ecological study. Compared with patch-based studies, boundary-based studies provide new perspectives in understanding landscape processes. We analyzed data from TM image, forest stand map, land use map and field investigation using GIS, RS, and Fragstats software. With an example from the upper reaches of Minjiang River, we analyzed landscape boundary network pattern change and the related ecological processes. The main results are: From 1974 to 2000, human disturbance made the structure of landscape boundary network in this area more complex than the prior period, with increased boundary length and network connectivity at the beginning, and decreased landscape network connectivity at the later stage. This is because the rates of boundary number and node number increases are faster than that of the boundary length. The boundary length between forest and

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2002CB111506)

收稿日期:2007-03-11; 修订日期:2008-04-09

作者简介:问青春(1979~),女,山东郯城人,博士,从事景观生态学研究. E-mail:wendyyouth@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:lixz@iae.ac.cn

**Foundation item:** The project was financially supported by National 973 Project of China (No. 2002CB111506)

**Received date:** 2007-03-11; **Accepted date:** 2008-04-09

**Biography:** WEN Qing-Chun, Ph. D., mainly engaged in landscape ecology. E-mail:wendyyouth@163.com

other landscape types at lower slope positions decreased, indicating that forest boundaries at lower elevations moved upwards. Before 1986, farmland-forest boundaries increased and after 1986 they decreased, whereas farmland-shrub boundaries increased during the period. The shrinkage of forest area resulted in simpler forest landscape pattern and more complex spatial patterns of shrub, grassland and farmland landscapes.

**Key Words:** landscape; boundary network; pattern analysis; Minjiang River

景观生态学中传统的格局研究基于斑块<sup>[1~3]</sup>,作为景观的组分之一,景观边界具有长度、数量、类型等多种描述参数,多条景观边界构成的边界网络具有结点、网眼、网络连接度等结构特征。由于边界类型本身反映的是不同斑块在空间上的相对位置,因此基于边界的格局指数含有传统格局指数所反映不出的格局信息,有望对基于斑块的格局分析形成有益的补充。作为景观结构特征的一方面,边界网络结构特征同样会影响景观功能,且边界动态直接反映景观变化,对景观整体格局变化具有灵敏的反应<sup>[4,5]</sup>,与基于斑块的研究相比,基于边界的研究是格局与过程研究的一个新的切入点。

近年来,基于边界特征的景观格局和动态分析逐渐受到人们的关注<sup>[6~10]</sup>,但由于传统的景观格局研究均将边界特征作为其研究的次要内容<sup>[11~14]</sup>,而对边界的研究又多集中于单条边界的功能和结构方面<sup>[15~17]</sup>,目前国内外有关景观边界格局的研究都还很少见,尽管出现了基于边界特征的景观整体格局描述<sup>[18~20]</sup>,但仍属于传统的格局研究模式,关于边界网络格局的研究尚未见报道。

Metzger 和 Muller 在研究景观边界的复杂性时第一次将两种以上土地覆被类型交接的地方即结点 (covert) 作为一种边界类型进行分析<sup>[18]</sup>,并提出结点百分比和边界多样性指数两个新指数(边界多样性指数的计算是将传统申农多样性指数中斑块面积换作边界长度)。用土地覆被类型面积百分比、边界类型面积百分比、破碎化指数、结点百分比、边界类型数、边界多样性指数对景观边界的复杂性进行描述,结果表明,量化边界复杂性对于描述景观格局很有用。

曾辉等人利用景观组分的边界特征进行景观格局研究<sup>[9,20]</sup>,将边界特征作为描述景观格局的一种指标,来反映景观中组分相对位置的变化状况;另外以边界属性作为基础来计算景观格局指数,包括多样性指数、均匀度指数和异质性指数,研究结果显示,基于边界特征的景观多样性和均匀度指数与基于面积比重的传统格局指数的变化趋势基本相同,但是基于边界特征的景观格局指数能够更好地反映景观变化过程中的边界变化情况,并可用于景观空间复杂性分析,这是传统景观格局指数难以替代的。

岷江上游地区存在多种景观类型,林地、灌木林地和草地等自然植被在保持水土、涵养水源、维持地区生态平衡等方面有着至关重要的作用,农业活动是研究区人类干扰自然的主要方式之一,因此可以通过农业景观与自然景观间的边界动态来反映人类对自然植被的影响程度。本文对岷江上游景观边界网络的格局进行分析,在类型水平上主要分析农田与自然植被间的边界动态。

## 1 研究区概况

岷江上游位于东经 102°00' ~ 104°00', 北纬 30°45' ~ 33°10' 之间,地处中纬度亚热带北缘与暖温带交接地带。在地貌上属于青藏高原东缘向四川盆地过渡地带,以中高山为主。地势上为一个由西北向东南倾斜的大斜面,海拔由 730m 左右直至 5000m 以上,具有海拔高、起伏大、坡度陡的特点。在行政上隶属四川省阿坝羌族藏族自治州(图 1),面积 23000km<sup>2</sup>。大致以松潘南部的镇江关向西至黑水一线以北为高原地貌,以南为高山峡谷。高原面积约占该区总面积的 1/3,海拔 3000 ~ 4500m,为寒温带、寒带气候,年降水量 730 ~ 850mm,主要为草原牧区。高山峡谷区相对高差达 3000m 以上,生物气候垂直分异极显著,植被以寒温带暗针叶林(云、冷杉林)为主,广泛分布于海拔 3000 ~ 3800m 广大山坡或沟头地带,为岷江上游主要水源涵养林带。海拔 3000m 以下以温带针阔叶混交林、暖温带落叶阔叶林(破坏后是干旱河谷灌丛)为主,亚热带常绿阔叶林仅分布于岷江上游南段银杏乡以南河谷海拔 1000m 以下地带。河谷地带植被覆盖少,年降水量仅 500mm 左右,

是人类活动的主要范围,区内人口密度小,垦殖率低,农业主要是河谷农业,集中分布于岷江干流及其主要支流黑水河、杂谷脑河等河谷地带。

## 2 研究方法

应用遥感影像处理软件(Erdas Imagine8.7)分别对研究区 1974(MSS,分辨率为 80m×80m)、1986(TM,分辨率为 30m×30m)、1995(TM,分辨率为 30m×30m)和 2000(ETM,分辨率为 30m×30m)年共 4 期遥感影像进行景观分类,在地理信息系统软件 ArcGIS 下从景观分类图中提取边界和结点,得到研究区 4 期边界类型图和结点类型图。在空间分析模块中应用 Zonal Statistics 命令从研究区数字高程图中得到每条边界的海拔分布范围。

为了保证解译精度,分类前对 4 期影像进行预处理,包括对影像进行去霾和主成分变换以及对地物的几何变形进行校正和对不同时期的遥感影像进行空间配准;分类采用人机交互式的方法;对分类的结果进行聚类统计、去除分析等后处理,并进行野外验证和纠正。

选用边界长度、边界数量、边界密度、边界海拔、结点数量、网眼大小、网络连接度等指标用以描述景观中的边界网络格局;选用基于边界特征的景观多样性指数、均匀度指数、异质性指数、复杂性指数对景观的整体格局及类型水平上的格局进行分析。

应用 ArcGIS 中属性表的计算分析功能和景观指数计算软件 Fragstats3.3 计算统计出以上景观格局指标,并在 Excel 中进一步整理分析。

## 3 结果与分析

遥感解译将研究区共分为未利用地(包括裸岩和冰雪)、沼泽、草地、有林地(包括天然林和人工林)、灌木林地、水体(包括河流、湖泊、水库)、农田(包括农田、果园、经济林)、建设用地(包括居民点和工矿用地)8 种景观类型(图 2)。从表 1 中景观类型的面积比重变化信息可以看出,1974~2000 年间,岷江上游地区林地面积持续减少,草地、灌木林地、农田的面积在同期内持续增加。

表 1 不同景观类型在不同时期的面积百分比

Table 1 Proportions of landscape types in four periods

| 景观类型 Landscape type | 1974 (%) | 1986 (%) | 1995 (%) | 2000 (%) |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| 有林地 Forest          | 54.87    | 51.17    | 48.91    | 47.56    |
| 草地 Grassland        | 20.64    | 21.38    | 22.4     | 22.52    |
| 灌木林地 Shrub          | 16.74    | 18.96    | 19.88    | 21.02    |
| 农田 Farmland         | 2.52     | 3.26     | 3.6      | 3.65     |
| 水体 Water            | 0.81     | 0.81     | 0.81     | 0.81     |

从景观类型图中提取出 23 种边界类型,主要边界类型及其在 2000 年的累计长度见表 2。从 2000 年岷江上游的边界类型长度来看,林地、灌木林地、草地之间的边界长度占研究区所有边界长度的 60% 以上,是研究区主要边界类型,林地、灌木林地、草地、水体、农田这 5 种景观类型之间的边界占研究区所有边界类型长度的 90% 以上。

1974~2000 年间,岷江上游景观边界的类型数没有发生变化,但不同边界类型的长度、数量、海拔以及边界的网络格局特征在不同的时段表现出不同的变化特征(图 2)。

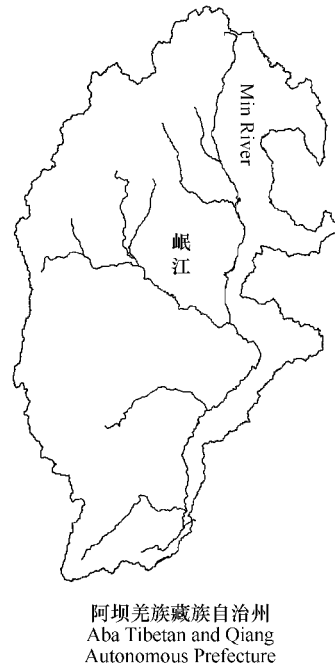


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 The map of study area

表 2 岷江上游的边界类型及长度(2000 年)

| 边界类型<br>Type of boundary         | 边界长度<br>Length of boundary(km) | 边界长度百分比<br>Length percent of boundary( % ) |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| 林灌边界 Forest-shrub boundary       | 11544.6                        | 28.14                                      |
| 林草边界 Forest-grassland boundary   | 9158.0                         | 22.31                                      |
| 灌草边界 Shrub-grassland boundary    | 5002.0                         | 12.19                                      |
| 林水边界 Forest-water boundary       | 3229.4                         | 7.87                                       |
| 灌农边界 Shrub-farmland boundary     | 2961.1                         | 7.22                                       |
| 林农边界 Forest-farmland boundary    | 2473.7                         | 6.03                                       |
| 灌水边界 Shrub-water boundary        | 1902.4                         | 4.64                                       |
| 农水边界 Farmland-water boundary     | 689.7                          | 1.68                                       |
| 草农边界 Grassland-farmland boundary | 353.4                          | 0.86                                       |
| 草水边界 Grassland-water boundary    | 272.7                          | 0.67                                       |
| 其他边界类型 Other boundary types *    | 3444.7                         | 8.39                                       |
| 合计 Total                         | 41031.7                        | 100                                        |

\* 包括:(1)裸岩(冰雪)与林地、灌木林地、草地、水体之间的边界;(2)沼泽与林地、灌木林地、草地、水体之间的边界;(3)建筑用地与林地、灌木林地、草地、水体、农田之间的边界 They are boundaries between (1) rock/snow and forest, shrub, grassland and water, (2)marsh and forest, shrub, grassland and water, (3)built-up area and forest, shrub, grassland and water

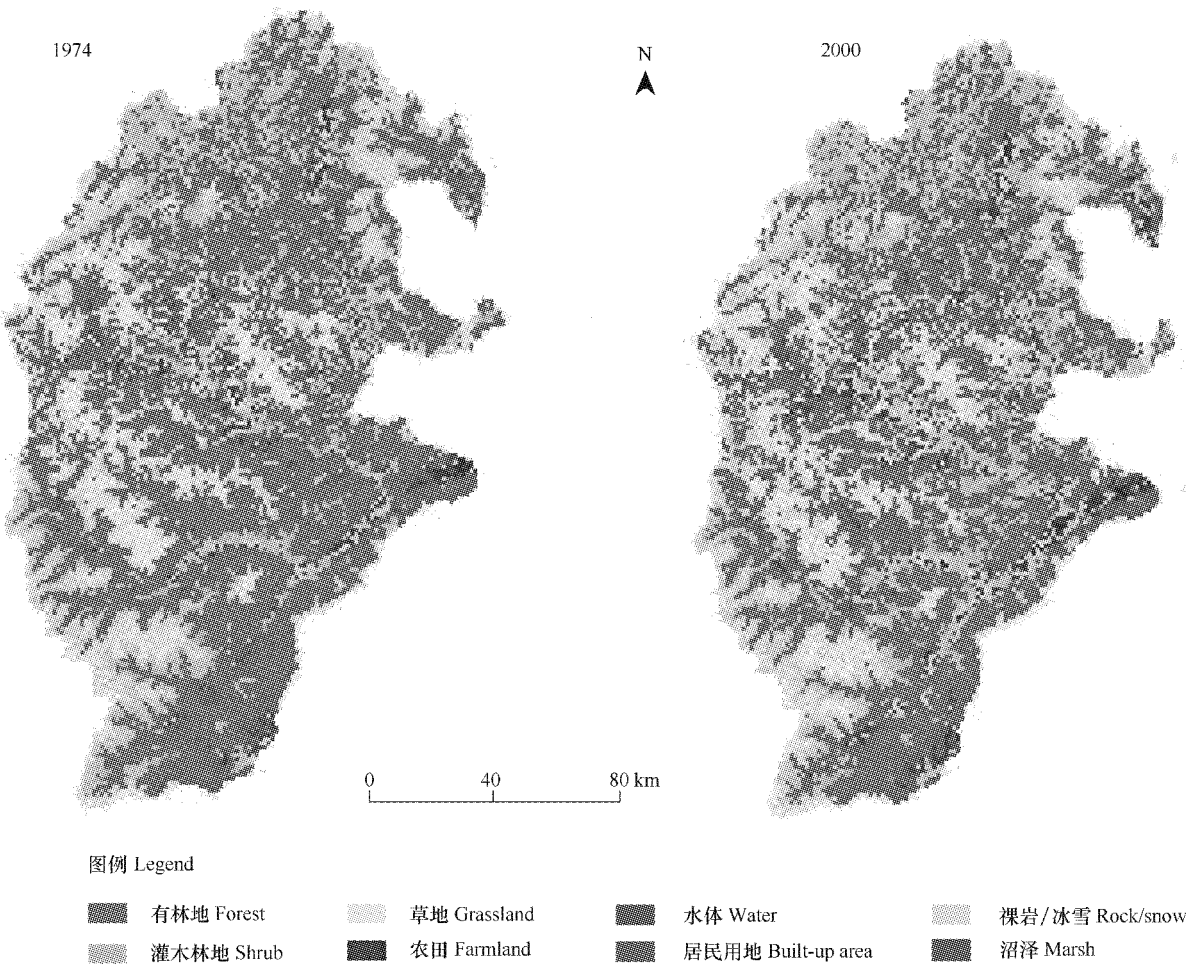


图 2 1974 ~2000 年岷江上游地区景观类型变化

Fig. 2 Landscape change in the upper Minjiang River from 1974 to 2000

### 3.1 景观水平上的边界网络格局分析

#### 3.1.1 边界网络格局的动态分析

1974~2000年间,岷江上游的边界累计长度、边界数量、结点数量都呈现出持续增长的趋势(表3),但增加速度在时间上呈现非同步性。边界累计长度在1974~1986年间增加显著,1995~2000年间增加较少;而边界数量和结点数量在1974~1995年间增加较少,显著的增加发生在1995~2000年这一时段。

表3 1974~2000年间结点和边界的变化

Table 3 The change of node and boundary in the landscape from 1974 to 2000

| 项目 Item                                           | 年份 Year   |           |           |
|---------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                   | 1974~1986 | 1986~1995 | 1995~2000 |
| 结点增加数量(个) Number of increased node (ind.)         | 102       | 67        | 349       |
| 结点数量增加百分比 Percent of increased node(%)            | 1.42      | 0.92      | 4.75      |
| 边界增加数量(条) Number of increased boundary(No.)       | 253       | 111       | 533       |
| 边界数量增加百分比 Percent of increased boundary(%)        | 1.90      | 0.80      | 3.90      |
| 边界增加长度 Length of increased boundary(km)           | 2126.5    | 998.0     | 682.1     |
| 边界长度增加百分比 Percent of increased boundary length(%) | 6.30      | 2.80      | 1.80      |

边界累计长度、边界数量、结点数量的增加直接导致边界网络结构的变化,随着边界长度和数量的增加,景观内的边界密度变大,平均网眼面积变小(图3a)。边界平均长度在1974~1995年间增加,1995年后变短;边界网络连接度和环度在1974~1986年间增加,1986年后持续降低(图3b)。边界密度是单位面积内边界的长度,边界网络的网眼相当于景观中的斑块,随着边界累计长度的增加边界密度自然随之增加,相应地,网眼数量增加,网眼平均面积变小。边界平均长度与边界累计长度和边界数量同时相关,1995年以前其长度增加是由于边界累计长度增加程度大于边界数量增加程度,而1995~2000年间边界平均长度变短则说明景观中较短边界数量增加了,景观的破碎化程度加剧了。网络连接度 $\gamma$ 和环度 $\alpha$ 的计算公式分别为:

$$\gamma = \frac{\text{实际连接数}}{\text{最大连续线数}} = \frac{L}{3(V-2)} (V \geq 3, V \in N),$$

$$\alpha = \frac{\text{实际环路数}}{\text{最大环路数}} = \frac{L-V+1}{2V-5} (V \geq 3, V \in N)$$

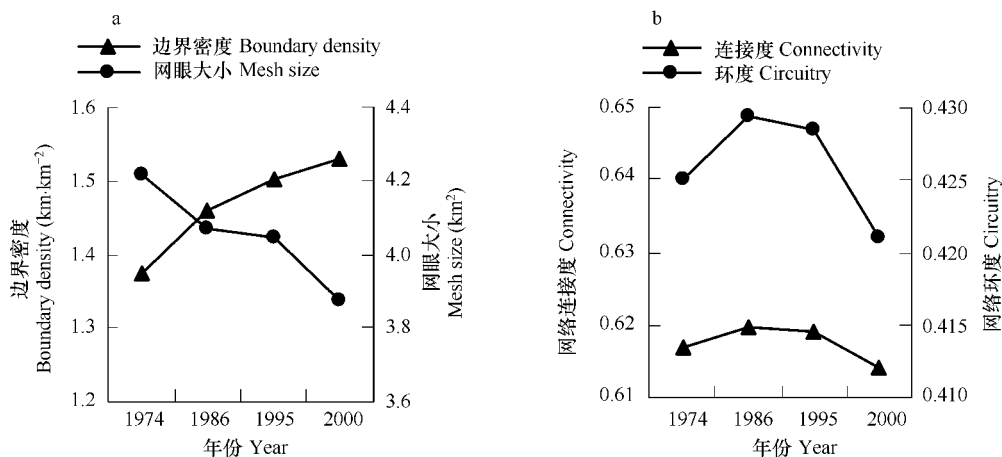


图3 边界网络连接度的变化

Fig. 3 The changes of boundary network connectivity

$L$ 为网络中实际的连接数,在本研究中即为边界的条数, $V$ 为网络中的结点个数。即网络连接度和环度与边界数量和结点数量同时相关,在本研究中网络连接度和环度在1974~1986年间增加,1986年后持续降低,直接原因在于1986年后结点数量的增加程度大于边界数量的增加程度。边界条数增加说明景观中的

生态界面增加了,而边界网络连接度没有随之增加说明新增的边界比较分散,还没有形成复杂的网络结构,但景观存在着进一步破碎的潜在威胁。

1974~1995 年期间,平均海拔降低;1995~2000 年期间边界平均长度略有降低,平均海拔略有升高(图 4)。1974~1995 年间边界长度显著增加且平均海拔降低,表明边界增加更多发生在较低海拔的位置,人类活动是引起边界格局发生变化的主要因子,1995~2000 年间边界长度增加的程度减小且平均海拔略有上升可能和研究区 1998 年实施天然林保护工程后低坡位的人为干扰减弱有关。

### 3.1.2 基于边界特征的景观整体格局分析

基于边界特征的格局指数包括多样性指数、均匀度指数、异质性指数和空间复杂性指数,其中多样性指数和均匀度指数用来表示格局的多样性和均匀性程度,其值是通过将传统的申农多样性指数和均匀度计算公式中斑块类型面积百分比替换成边界类型长度百分比得到,异质性指数用于表达将景观分成各种显著不同部分的可能性,空间复杂性指数用来度量相邻斑块的空间结合特征,反映镶嵌景观的碎裂化程度,其计算公式请参考曾辉等人的研究<sup>[10]</sup>。

从图 5 基于边界的格局指数可以看出,1974~1995 年间景观多样性指数明显增加,1995 年后降低,景观均匀度具有同样的变化趋势。根据李秀珍等人对该指标特征的研究<sup>[21]</sup>,岷江上游景观多样性的变化趋势说明

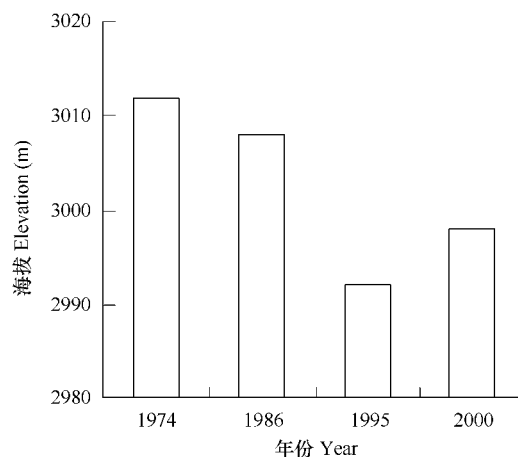


图 4 边界平均海拔的变化

Fig. 4 The changes of average elevation of boundaries

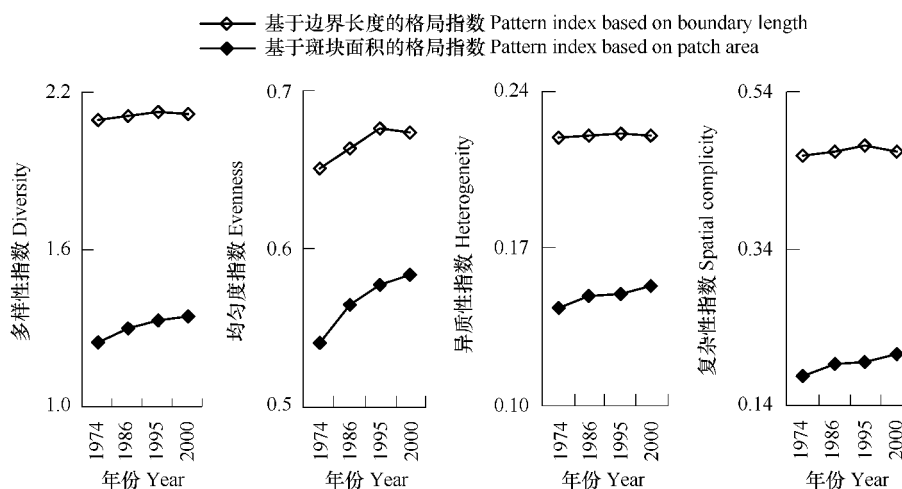


图 5 基于边界特征的景观格局指数

Fig. 5 The changes of landscape pattern indices based on boundary characteristics

在 1974~1995 年间各类型边界的长度百分比变得更加接近,1995~2000 年间边界类型的长度百分比差异变大。农业是岷江上游地区的支柱产业,农业发展是造成景观变化的主要驱动因子,研究区在遭遇了历史上的 3a 自然灾害后耕地面积一直保持着缓慢减少的趋势,直到 1980 年前后联产承包责任制激发了人们的生产热情,农业用地面积迅速增加,随着人口的激增,1980 年后农业用地持续增加,毁林开荒在增加景观类型间边界长度的同时,还削弱了原有的景观优势度,使边界间长度的差异缩小,使景观的多样性和均匀度变大,1998 年开始实施的天然林保护工程在很大程度上阻止了毁林开荒等人为干扰的进一步加剧,因此减弱了景观格局变化这一趋势,景观多样性和均匀度又趋降低。景观异质性指数和空间复杂性指数与景观多样性指数具有同样

的变化趋势,只是变化幅度较小,说明整体景观的异质性和空间复杂性变化并不是很大。

比较两种不同的格局指数变化可以看出,1974~1995年间基于斑块面积和基于边界长度的格局指数具有基本一致的变化趋势,即基于斑块特征和边界特征计算出的景观多样性、均匀度、异质性和复杂性都是增加的,不同之处在于基于斑块的指数在前一时段(1974~1986年间)增加较明显,而基于边界的4个格局指数在前阶段的变化均不如对应的基于斑块的指数变化明显,而是在后一阶段(1986~1995年)增加更明显,即基于斑块计算的格局指数与基于边界计算的格局指数在时间上的变化速度呈现非同步性。1995~2000年间基于斑块面积各指数继续增加,而基于边界长度的格局指数一改1995年以前的增加趋势呈现出下降趋势,反映出和传统格局分析不同的信息。

由于各年间斑块类型和边界类型没有发生变化,因此景观多样性指数和均匀度指数的变化趋势是各景观类型间的面积比例趋于均匀化、景观优势度降低的反映,这一变化趋势是林地面积减少和其它景观类型面积增加所引起,这和基于边界的格局分析结果基本一致,但在1995年后,基于边界的格局指数表明景观的多样性、均匀度、异质性和空间复杂性都降低了,说明在使用传统的指数进行格局分析时,有关斑块间相邻关系的格局信息没有反映出来,因此基于边界的格局分析方法作为传统格局分析方法的补充是非常有必要的。

### 3.2 类型水平上的边界网络格局分析

#### 3.2.1 林地边界的格局分析

岷江上游地区主要的森林景观边界包括林地与草地、灌木林地、水体、农田、建筑用地之间的边界,总长26406km,占研究区所有景观边界累计长度的64%,其中林草边界和林灌边界所占的比例分别为44%、35%,占森林边界的绝大部分,也是研究区所有边界类型中的2种优势边界类型;林农边界占森林景观边界总长度的9%,是研究区典型的人工植被与自然植被之间的边界,林建边界是另一种在人工景观与自然景观之间形成的边界,但在森林边界中所占比重很小。

除1995~2000年林建边界略有增加外(由于累积长度太小,图上未显示),1974~2000年林水、林建边界呈持续减少趋势,林灌边界和灌木边界持续增加(图6),由于水体是研究区坡位最低的景观类型且位置比较固定,而建筑用地亦多为低坡位景观,因此林水边界和林建边界的减少意味着林地下线的上移,而灌木边界和林灌边界的持续增加则是低坡位林地被破坏后为次生灌木林取代的结果。

林草边界在1974~1995年持续缓慢减少,1995年后略有增加,总得来看变化不显著,可能与林草边界相对海拔较高,受人为影响较少有关;灌草边界则在1974~2000年持续增加,在研究区灌木林地分为高山灌丛和森林被破坏后形成的次生灌丛,高山灌丛相对稳定,次生灌丛多为低坡位天然林被破坏后形成,随着林地的减少而增加,其本身也受到人类活动的强烈干扰,灌草边界的增加意味着草地景观所受生态威胁的增加。

在1974~1986年间林农边界明显增加,1986~1995年间略微减少,1995~2000年间明显减少,而1974~2000年间灌农边界持续增加。早期林农边界的增加是毁林开荒的结果,与农田相邻的林地继续遭到破坏撂荒后形成次生灌丛,导致1986年后林农边界减少,灌农边界增加应是农田沿着次生灌丛扩展的结果,1995~2000年间林农边界明显减少应是1998年实施退耕还林政策后陡坡农田还原为林地的结果,一种斑块面积的减少并不一定导致其边界长度的减少,但岷江上游农田斑块面积普遍较小,退耕的结果往往是整个农田斑块的消失,因此导致林农边界在1995~2000年间呈明显降低之势。

对农田边界(包括农田与林地和灌木林地的边界)及其网络进行分析(图7),平均长度和景观水平上的

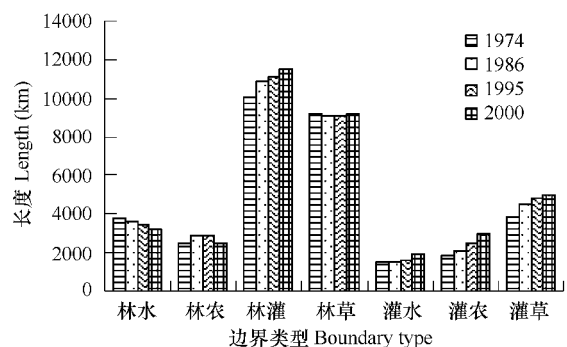


图6 不同边界类型长度的变化

Fig. 6 The changes of different boundary lengths

变化趋势一致,即 1974 ~ 1995 年间增加,1995 ~ 2000 年间略为降低,边界网络连接度的变化趋势却不同于景观水平上,1974 ~ 1995 年间,连接度降低,1995 ~ 2000 年间开始增加,可能是 1998 年退耕还林政策减少了部分较分散的农田斑块,减少农田边界的同时更大幅度地减少了农田的最大可能边界数,导致农田景观边界网络连接度的增加。

### 3.2.3 基于边界特征不同景观类型的格局分析

基于边界特征计算林地、灌木林地、草地、农田 4 种景观类型的景观格局指数(图 8),1974 ~ 2000 年期间,除林地景观的多样性、均匀度、异质性和复杂性指数呈下降趋势外,其它 3 种景观的格局指数基本呈上升趋势,其中灌木林地上升的最明显,草地和农田的景观多样性、均匀度、异质性和空间复杂性均在 1995 年后出现平稳的趋势。

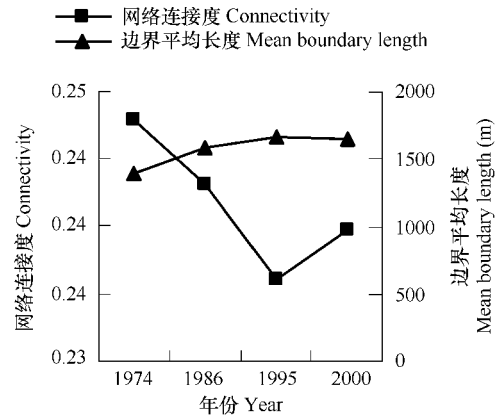


图 7 农田边界网络的变化

Fig. 7 The changes of farmland boundary networks

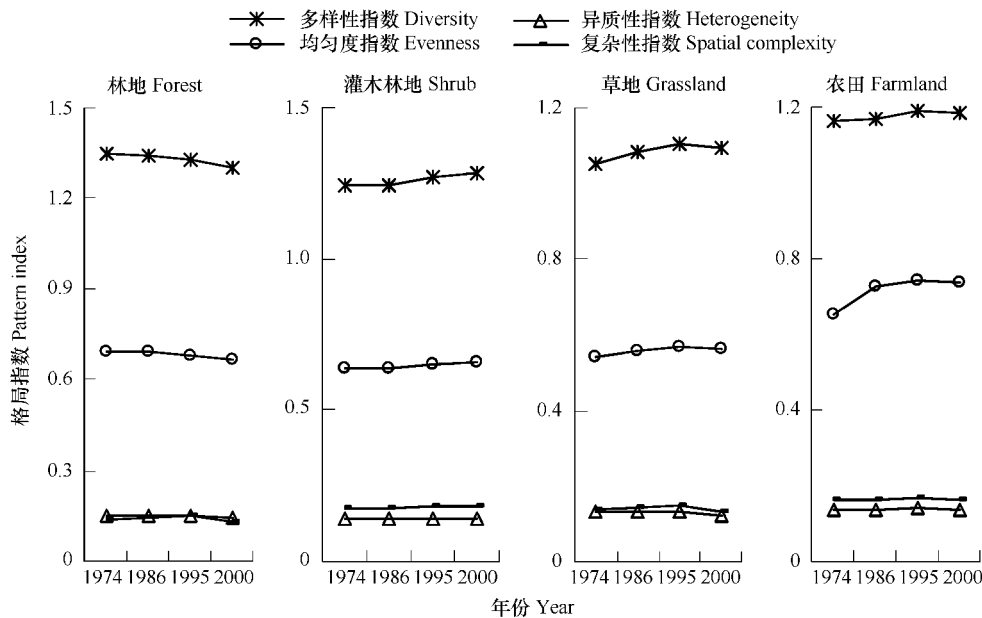


图 8 基于边界特征不同景观类型的格局变化

Fig. 8 The pattern analysis based on boundaries of different landscape types

根据对林地、灌木林地、草地、农田 4 种景观类型的景观格局指数的分析可以看出,随着林地面积的被侵蚀,林地景观的格局变得更加简单化,而其他 3 种景观类型的格局则因面积的增加而复杂化、均质化。

## 4 结论与讨论

在人类干扰下,岷江上游景观结构变得更加破碎,景观类型间的边界长度、边界数量和结点数量明显增加,后期边界数量和结点数量的增加程度较边界长度快,增加了景观进一步破碎化的可能性;基于边界特征和斑块特征的格局指数均表明岷江上游景观格局变得更加复杂(破碎化程度加剧)和均质(景观优势度下降),这一变化特征是类型水平上林地景观格局简单化和优势地位被其它景观类型削弱的结果;边界网络复杂化是人类干扰景观使其破碎化的结果,这一结果增加了景观中的干扰界面,加大了景观进一步破碎化的可能性,如果不采取适当的生态保护措施,景观进一步破碎化的趋势将加速,而林地景观的优势地位被削弱必将影响岷江上游地区作为整个岷江流域甚至长江流域水土保持、水源涵养的生态服务功能。



本文分析时段跨度较大,由于条件所限,无法满足 4 期影像数据类型的一致,虽然通过数据预处理和几何校正,保证了各期影像的解译精度以及 4 期影像间的几何配准精度,在格局分析中,1974 年数据分辨率与 1986、1995、2000 年数据分辨率存在的差异在一定程度上会影响 1974 ~ 1986 年间的景观变化趋势,但不会影响到本文的方法论。

为了描述边界格局特征,本文除采用边界长度、边界数量等参数外,还根据研究区的自然状况使用了边界海拔这一指标,另外增加了结点数量、网眼大小、网络连接度等描述网络格局的指标,这些指标本是景观生态学中用以描述廊道网络格局的指标,由于边界是一种内部异质性较强的廊道,因此用这些指标描述边界网络格局是适用的。网络连接度实际上是衡量网络复杂性的指标,但网络连接度高并不说明景观结构绝对复杂,将其用于景观结构分析时应与其它指数-比如结点数量和边界数量结合起来使用。

网眼大小、环度和连接度的使用对于那些沿边界迁移的物种或其它生态流具有重要意义,由于时间等条件所限,本文未能在这方面作深入的探讨,仅结合景观的破碎化过程作了分析,边界网络概念的提出为格局研究提供了一种新的思路,但这方面的研究尚需进一步完善。

基于斑块面积和边界长度的格局分析表明,在景观水平上,基于边界特征的多样性指数、均匀度指数、异质性指数和复杂性指数与对应的基于斑块特征的格局指数具有基本一致的变化趋势,但基于边界特征的指数对格局的变化更灵敏。本文的研究结果基本印证了曾辉等人的结论,同时发现在本研究区的格局分析中,基于边界特征的景观多样性和均匀度指数与异质性指数和复杂性指数一样,也反映了基于斑块面积比重的格局指数反映不出的格局信息,亦是传统格局指数难以替代的。

本文采用的基于边界的格局指数源于传统的格局指数,传统的异质性指数和多样性指数只是对景观中不同类型单元按其占总面积的比例进行统计,它们不能区分各类型面积比例一定时不同分布格局所造成的异质性<sup>[22]</sup>。基于边界特征的景观多样性指数是用边界类型长度代替了传统的申农多样性指数中的斑块类型面积得来,在一定程度上存在同样的不足,因此在描述整体景观的格局特征时将结点特征纳入是必要的。

## References:

- [ 1 ] Gardner R H, O'Neill R V, Mankin J B. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape patterns. *Landscape Ecol*, 1987, 1: 16—28.
- [ 2 ] Gillson L. Evidence of hierarchical patch dynamics in an east African savanna. *Landscape Ecol*, 2004, 19: 883—894.
- [ 3 ] Cantwell M D, Forman R T T. Landscape graphs: Ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse Landscape. *Landscape Ecol*, 1993, 8 (4): 239—251.
- [ 4 ] Cain D H, Riitters K, Orvis K. A multi-scale analysis of landscape tatistics. *Landscape Ecol*, 1997, 12(4): 199—212.
- [ 5 ] Peters D P C, Gosz J R, Pockman W T. Integrating patch and boundary dynamics to understand and predict biotic transition at multiple scales. *Landscape Ecol*, 2006, 21: 19—33.
- [ 6 ] Hargis C D, Bissonette J A, David J L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecol*, 1998, 13: 167—186.
- [ 7 ] Thinker D B, Rescia C A C, Beauvais G P, *et al.* Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in Wyoming forest. *Landscape Ecol*, 1998, 13: 149—165.
- [ 8 ] Weathers K C, Cadenasso M L, Pickett T A. Forest edge as nutrient and pollutant concentrators: potential synergisms between fragmentation, forest canopies, and the atmosphere. *Conservation Biology*, 2001, 15: 1506—1514.
- [ 9 ] Zeng H, Kong N N. Landscape pattern analysis based on boundary characteristics. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 81—86.
- [ 10 ] Mast J N, Wolf J J. Ecotonal changes and altered tree spatial patterns in lower mixed-conifer forests, Grand Canyon National Park, Arizona, USA. *Landscape Ecol*, 2004, 19: 167—180.
- [ 11 ] Bryan R C, David M E, Samuel D F, *et al.* Landscape cover type and pattern dynamics in fragmented southern Great Plains grasslands, USA. *Landscape Ecol*, 2001, 16: 677—690.
- [ 12 ] Lovett D J, Biernacki M, Page R, *et al.* Effects of land ownership and landscape level factors on rare-species richness in natural areas of southern

- Ontario, Canada. *Landscape Ecol*, 2003, 18: 621 — 633.
- [13] Hernandez S J. The role of landscape patterns of habitat types on plant species diversity of a tropical forest in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15(4): 1441 — 1457.
- [14] Bailey D, Billeter R, Aviron S, *et al.* The influence of thematic resolution on metric selection for biodiversity monitoring in agricultural landscapes. *Landscape Ecol*, 2007, 22: 461 — 473.
- [15] Camargo J L, Kapos C V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, 1995, 11: 205 — 211.
- [16] Cadenasso M L, Pickett S T A, Weathers K C, *et al.* A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience*, 2003, 53(8): 750 — 758.
- [17] Storch I, Woitke E, Krieger S. Landscape-scale edge effect in predation risk in forest-farmland mosaics of central Europe. *Landscape Ecol*, 2005, 20: 927 — 940.
- [18] Metzger J P, Muller E. Characterizing the complexity of landscape boundaries by remote sensing. *Landscape Ecol*, 1996, 11(2): 65 — 77.
- [19] Aronson J, LeFloch E. Vital landscape attributes: Missing tools for restoration ecology. *Restor Ecol*, 1996, 4(4): 377 — 387.
- [20] Zeng H, Wu X B. Utilities of edge-based metrics for studying landscape fragmentation. *Computers, environment and urban systems*, 2005, 29(2): 159 — 178.
- [21] Liu X Z, Bu R C, Chang Y, *et al.* The response of landscape metrics against. pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 24(1): 123 — 134.
- [22] Li X Z. Landscape stucture and landscape heterogeneity. In: Xiao D N eds. *Landscape ecology*. Beijing: Science Press, 2003. 55 — 56.

#### 参考文献:

- [9] 曾辉,孔宁宁. 基于边界特征的景观格局分析. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 81 ~ 86.
- [21] 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. *生态学报*, 2004, 24(1): 123 ~ 134.
- [22] 李秀珍. 景观空间结构与景观异质性. 见:肖笃宁主编. *景观生态学*. 北京:科学出版社, 2003. 55 ~ 56.

表 2 岷江上游的边界类型及长度(2000 年)

Table 2 The types and cumulative lengths of boundaries in the upper reaches of Minjiang River (2000)

| 边界类型<br>Type of boundary         | 边界长度<br>Length of boundary (km) | 边界长度百分比<br>Length percent of boundary (%) |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 林灌边界 Forest-shrub boundary       | 11544.6                         | 28.14                                     |
| 林草边界 Forest-grassland boundary   | 9158.0                          | 22.31                                     |
| 灌草边界 Shrub-grassland boundary    | 5002.0                          | 12.19                                     |
| 林水边界 Forest-water boundary       | 3229.4                          | 7.87                                      |
| 灌农边界 Shrub-farmland boundary     | 2961.1                          | 7.22                                      |
| 林农边界 Forest-farmland boundary    | 2473.7                          | 6.03                                      |
| 灌水边界 Shrub-water boundary        | 1902.4                          | 4.64                                      |
| 农水边界 Farmland-water boundary     | 689.7                           | 1.68                                      |
| 草农边界 Grassland-farmland boundary | 353.4                           | 0.86                                      |
| 草水边界 Grassland-water boundary    | 272.7                           | 0.67                                      |
| 其他边界类型 Other boundary types *    | 3444.7                          | 8.39                                      |
| 合计 Total                         | 41031.7                         | 100                                       |

\* 包括:(1)裸岩(冰雪)与林地、灌木林地、草地、水体之间的边界;(2)沼泽与林地、灌木林地、草地、水体之间的边界;(3)建筑用地与林地、灌木林地、草地、水体、农田之间的边界 They are boundaries between (1) rock/snow and forest, shrub, grassland and water, (2) marsh and forest, shrub, grassland and water, (3) built-up area and forest, shrub, grassland and water

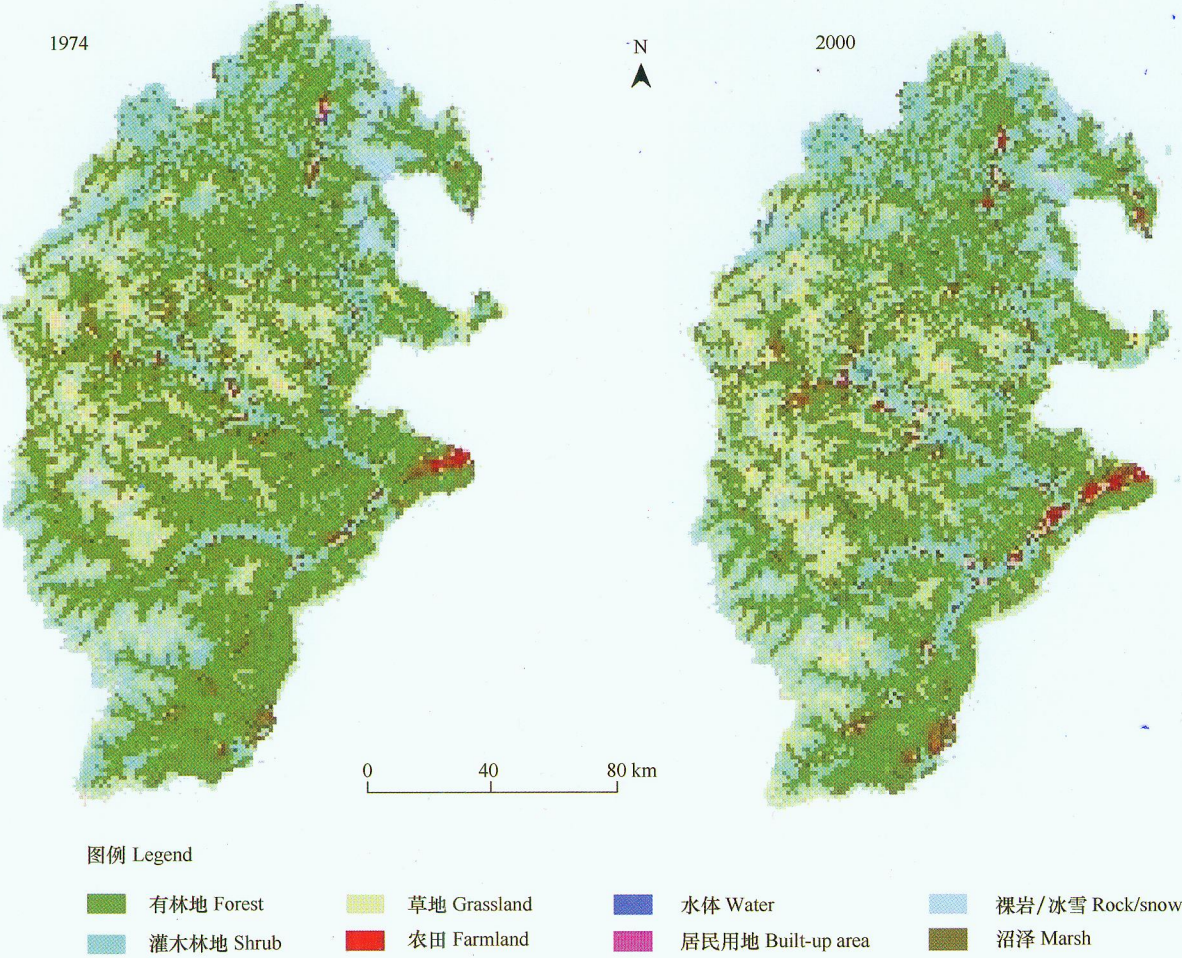


图 2 1974~2000 年岷江上游地区景观类型变化

Fig. 2 Landscape change in the upper Minjiang River from 1974 to 2000