

# 基于空间连续数据的小流域 景观格局破碎化研究

路云阁<sup>1</sup>, 蔡运龙<sup>2</sup>

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 北京大学资源环境地理学系, 北京 100087)

**摘要:** 基于空间连续数据, 采用局部空间关联指标(LISA)——局部 Moran 指数(Local Moran Index, LMI), 通过探测小流域内景观均质性和异质性的变化情况来反映景观格局破碎化的变化过程。作为一种空间明确的景观格局研究方法, LMI 能够发现流域景观格局变化过程中的热点地区, 并分析其与流域土地利用变化之间的联系, 明确了土地利用变化是引起小流域景观格局变化的最主要的驱动因素。研究表明, 基于空间连续数据的局部空间关联指标方法可以作为传统景观格局变化研究方法的有益补充。

**关键词:** 景观格局; 破碎化; 土地利用变化; 空间自相关

**中图分类号:** TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0060-05

## 0 引言

景观生态学缘起于地理学和生态学<sup>[1-3]</sup>, 并以其交叉学科的背景广泛应用在涉及地理学和生态学等诸多全球变化研究领域<sup>[4-9]</sup>。景观格局和生态过程以及二者之间的相互作用是景观生态学最为核心的研究内容<sup>[3,10,11]</sup>。景观格局一般是指景观组分的空间分布和组合特征, 通常认为格局变化将会改变景观内的生态过程<sup>[12,13]</sup>, 进而影响景观生态系统的功能实现<sup>[14,15]</sup>。景观组成和结构的时间动态是生物、物理和人类作用的结果, 人类的土地利用行为对于景观格局的改变作用尤为显著<sup>[16]</sup>。景观格局变化既是景观背景上的生态系统对于土地利用/覆被变化的一种具体响应, 同时也深刻影响生态系统在整体上的功能实现。因此, 一方面评价和监控景观尺度生态系统需要定量描述空间上的土地覆被格局<sup>[17]</sup>, 另一方面确定景观格局的状态和趋势能够有助于了解景观背景上的生态系统整体状况<sup>[7]</sup>。

在众多景观格局评价指数当中, 描述景观格局破碎化的指数往往具有较为明确的生态学意义。如破碎化通过“物种-面积”关系法则对生物多样性构成影响<sup>[18,19]</sup>, 通过阻止先锋物种的分布从而改变受损生态系统的恢复速率<sup>[20]</sup>。“破碎化不仅刻画了一个景观在结构方面的状态, 同时破碎化本身也可以被理解为一个生态过程, 这一过程中断了空间上

彼此分离的景观要素间的生态联系”<sup>[21]</sup>。

很多生态系统往往缺少空间上的明确边界, 尤其是陆地生态系统, 因此对其进行研究得到的结论很难进行区域上的比较。流域具有相对明确的自然边界, 同时也是一个完整的景观生态系统。以流域作为基本的研究单元, 分析其景观格局的变化过程, 可以很好地将土地利用/覆被变化过程与生态系统对土地利用/覆被变化的响应, 包括流域景观格局变化过程、生物地球化学循环变化过程、生态系统生产力变化过程等联系起来, 同时便于实现较大空间尺度上的比较分析。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

鹅项水库所在的小流域地处贵州省安顺地区丘陵盆地、谷地及洼地地貌区, 位于猫跳河流域上游, 面积 29.2 km<sup>2</sup>, 平均高程是 1 372 m。流域所在地区属亚热带季风湿润气候, 气候温和、水热同季, 适宜作物生长。

流域地处较为偏远, 交通不便, 经济发展较为落后, 土地利用方式单一, 主要以农业和林业为主。由于流域位于丘陵地区, 坡耕地分布面积较大, 水土流失现象较为严重。近年来采取了一系列的生态环境保护措施, 对于改善当地的生态环境起到了积极作用。

## 1.2 遥感数据源

研究数据以鹅项小流域的4期遥感影像为主,分别是1973年MSS影像,1989、1995、2000年的TM遥感影像,如表1所示。

表1 遥感影像数据基本情况

数据	成像日期	轨道号	分辨率/m
MSS	1973-12-31	136-42	79
TM	1989-02-15	127-42	30
TM	1994-10-27	127-42	30
TM	2000-11-04	127-42	30

## 2 研究方法

所谓空间连续数据是指要素(斑块)之间是连续过渡的,并不存在明确的界限,斑块内部也并非完全均质。这更符合真实景观的特征,如土壤养分、温度及湿度等因素在空间上的分布往往表现出连续性,而不是陡然变化。真实景观的空间连续特征也可以由遥感影像通过尺寸一致的栅格加以记录,并通过在光谱空间连续变化的像元灰度值进行反映,因此遥感影像数据同样可以为我们提供反映真实景观的空间连续变化数据。空间连续数据能够更加全面地反映景观背景上的空间异质性,即空间异质性也是连续变化的,了解这种连续变化的生态学意义,判断其是否具有某种趋势或者服从某种统计学规律,是理解景观格局本身及其与生态过程相互作用的重要环节<sup>[3]</sup>。

景观格局的特征之一就是存在空间自相关性,所谓空间自相关性就是指空间上越靠近的事物,其现象就越相似。景观空间异质性往往以梯度和斑块镶嵌体的形式出现,表现出不同程度的空间自相关性。空间自相关能够提供更为丰富的信息,反映景观格局更为细微的变化。遥感影像以连续变化的灰度值记录空间连续数据,因此像元之间存在着某种程度的依赖关系,这种依赖关系表现为正的或者负的空间自相关性。以遥感影像作为数据源,利用空间自相关建模方法定量化研究景观结构,是景观格局研究的一个新方向。它的另外一个优势在于空间自相关常与观测尺度有关,负的空间自相关(反映景观异质性)对于观测尺度的变化更为敏感,利用空间自相关建模方法还有助于研究景观格局变化与观测尺度之间的联系,进而深化景观格局变化的尺度推绎等理论研究工作。

Moran 指数( $I$ )和 Geary 指数( $c$ )是两个用来度量空间自相关的全局指标,使用一个单一的值来总体反映一定空间范围内景观要素的自相关特征。空

间自相关的全局指标并不是一个空间明确的景观格局评价指数,因此难以发现存在于局部区域的景观要素的空间关联特征。空间关联局部指标(Local Indicators of Spatial Association, LISA)能够探测到区域内空间依赖关系的局部变化,常用来发现一定空间内景观要素的聚类效应、探测边界及寻找变化中的热点地区,这类指标有G统计和局部空间自相关指数——局部 Moran 指数、局部 Geary 指数等。国外已有利用 LISA 进行景观格局变化方面的研究报道,如探讨土地利用变化导致的景观破碎化和研究澳大利亚北部地区均质景观当中的破碎化问题<sup>[22,23]</sup>。

本文利用局部 Moran 指数(LMI)研究鹅项小流域由于土地利用变化引起的景观格局破碎化时空变化特征,其计算公式为

$$LMI_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j \neq i}^m w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中, $x_i$ 和 $x_j$ 是变量在栅格单元 $i$ 、 $j$ 处的取值; $\bar{x}$ 是变量的全局平均值; $n$ 是空间单元总数; $w_{ij}$ 是以 $i$ 点为中心的相邻权重矩阵(可选 $3 \times 3$ 、 $5 \times 5$ 、 $7 \times 7$ 或其它规模的矩阵); $m$ 是权重矩阵单元总个数; $LMI_i$ 是第 $i$ 点的 Moran 指数,逐点计算下去就可以得到整幅影像的 LMI。

正的 LMI 表示该点位上的景观要素度量与周围点(权重矩阵覆盖到的点)具有相似的高值或者低值,根据式(1)可知包括2种情况:如果该点高于全局平均值,那么其周围点也同样高于全局平均值;如果该点低于全局平均值,那么其周围点也同样低于全局平均值。

负的 LMI 意味着该点位上的景观要素度量与周围点具有不相似的数值,景观要素存在空间异质性。如果该点高于全局平均值而周围点低于全局平均值,或者该点低于全局平均值而周围点高于全局平均值,那么该点 LMI 将为负值。大多数情况下,遥感影像像元的灰度值不会出现急剧的变化,因此 LMI 也是逐渐变化的。

LMI 可用于探测遥感影像上某种景观要素的聚类效应和轮廓变化情况。聚类意味着局部存在较高的 LMI,轮廓通常意味着负的 LMI。这类区域在空间上的分布和扩散代表景观格局破碎化的变化情况,也是景观格局变化中的热点地区。

本文利用鹅项小流域4期遥感影像得到相应的 NDVI 空间连续数据,并利用 ERDAS 软件提供的空

间建模语言(Spatial Modelling Language, SML)编写计算 LMI 的程序,研究鹅项小流域由于土地利用变化引起的景观格局变化特征。

### 3 结果与分析

#### 3.1 小流域土地利用状况

根据鹅项小流域 4 期遥感影像,在正射纠正的基础上,采用监督分类和目视解译得到小流域 4 期土地利用/土地覆被图。利用 ERDAS 提供的精度检验功能,结合野外记录的 GPS 点位进行验证,解

译精度在 85% 以上。

鹅项小流域 4 期土地利用/土地覆被状况作为引起流域景观格局变化的驱动因素,为景观格局破碎化分析提供了背景信息。土地利用/土地覆被图见插页彩片 17。

#### 3.2 小流域景观格局破碎化

首先以 2000 年鹅项小流域影像为基准,对其它 3 个年份的影像进行直方图匹配;而后求得对应的 4 期 NDVI 空间连续数据,以进行小流域景观格局破碎化分析。NDVI 影像图如图 1 所示。

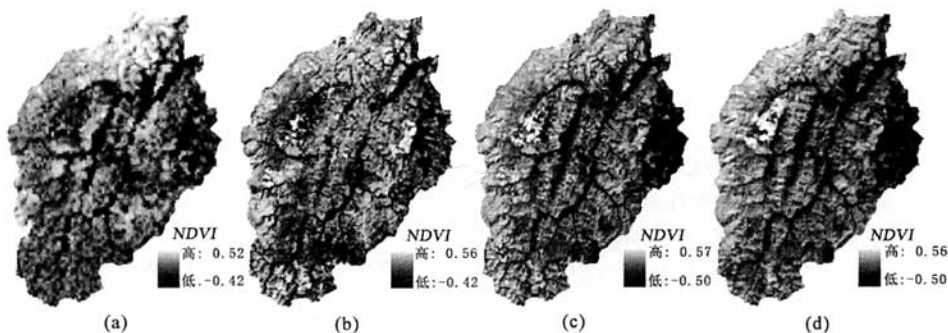


图 1 鹅项小流域 NDVI 影像: (a: 1973 年; b: 1989 年; c: 1994 年; d: 2000 年)

根据式(1)对 NDVI 影像进行计算,得到鹅项小流域 4 期 LMI 影像(图 2)。图 3 为图 2 中 LMI < 0 的点位分布,这些点代表景观内的异质性区域,其空

间分布的变化过程反映了区域内景观格局破碎化的发展变化过程。

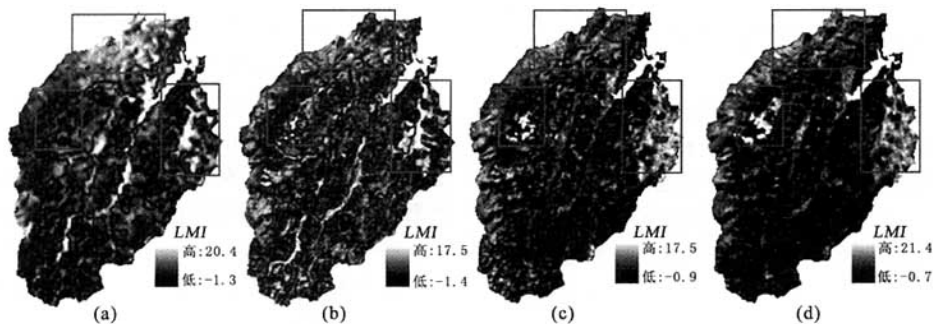


图 2 鹅项小流域 LMI 影像: (a: 1973 年; b: 1989 年; c: 1994 年; d: 2000 年)

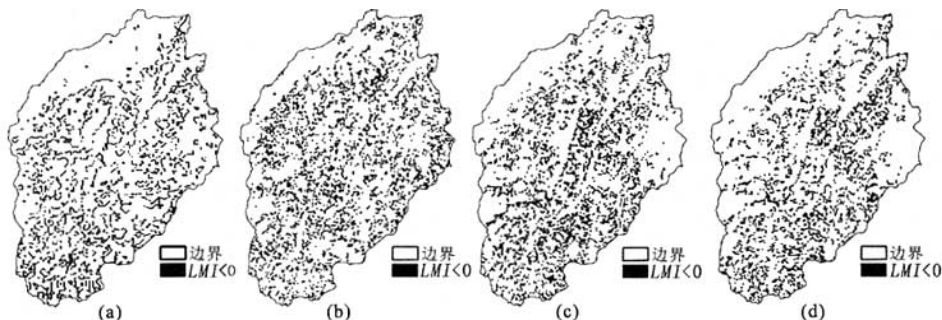


图 3 鹅项小流域 LMI < 0 的点的分布: (a: 1973 年; b: 1989 年; c: 1994 年; d: 2000 年)

图 2 中方框圈定的区域为鹅项小流域近 30 a 来景观格局变化较为显著的区域,即热点地区。对万方数据

于图2中最上方矩形框圈定的区域,结合插页彩片17可知此处为林地(在图1中具有较大的NDVI值)。1973年LMI影像上该区域较为明亮均一,说明此时林地分布具有相当程度的均质性。这种均质性在1989年即遭到明显破坏,如图2(b)所示方框内出现较大面积的深暗色区域,1994年、2000年LMI影像表明此区域又有一定程度的恢复,均质性有所增强,如图3(c)、(d)。

图2中左侧矩形框表明此处是流域另一个景观格局存在明显变化的地区。土地利用图表明此处周围有村镇分布(插页彩片17),根据野外调查知道这一地区为当地村民经营的经济林。图2和图3清楚地表明此处林地规模在30a来是逐渐变大的,其对流域景观的影响则体现在内部均质性的增强和空间分布范围的扩大上。

根据插页彩片17土地利用图,鹅项小流域林地集中分布的西部地区,其景观均质性在30a来也是逐渐加强的,这在图2和图3中得到了明显的体现,该区域成为鹅项流域林地恢复的主要区域。

图3(a)中 $LMI < 0$ 的点,其分布一定程度上呈现出轮廓线的特征,表明这一期间植被地区和非植被地区之间存在较为明确的界面,景观具有较好的均质性,这在流域下游(北部)相对平坦的地区表现得更为明显。在流域上游(南部)地区,景观异质性区域分布零散,轮廓特征不明显,斑块较下游地区破碎,这种空间分布上的差异更多地体现出地形对于景观格局的制约作用。

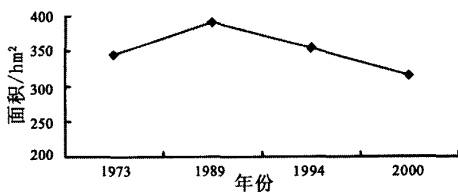


图4 鹅项流域景观异质性区域( $LMI < 0$ )面积变化情况

如图3(b)和图4所示,1989年以前, $LMI < 0$ 的区域显著增加,其空间分布上的轮廓线特征几乎消失殆尽,表明这一期间景观格局异质性、破碎化的程度都有明显增强。另外,相对于流域上游地区,景观格局破碎化在流域中游和下游等地势较为平坦的地区表现得尤为明显,这表明人类的土地利用活动开始成为流域景观格局变化的最主要的驱动因素。

1989年以后, $LMI < 0$ 的区域减少较为明显,如图3(c)和图4所示。减少的区域一是集中在小流域内较为平坦的中下游地区,如图2中右侧矩形框圈定的区域,再有就是流域中下游河漫滩等适宜从事农业生产的区域,如插页彩片17的土地利用图所

示,这些地区景观格局破碎化的减少主要是因为农业生产规模的扩大。流域景观异质性减少的另一区域集中在流域西部林地分布地区,其原因在于当地近年来开展的封山育林等生态环境保护工程。

总体来看,鹅项小流域景观格局破碎化的变化过程以1989年为分界点,之前景观格局破碎化程度增加且集中在流域中下游,之后破碎化程度减少,也主要是集中在中下游;流域西部林地恢复导致相应地区景观均质性增强。鹅项小流域上游地区和中下游地区不同的景观格局变化特点充分说明了人类土地利用活动对于景观格局变化的决定作用。

## 4 结论

本文基于空间连续数据,采用局部空间关联指标(LISA)——局部Moran指数(LMI),通过捕捉景观均质性和异质性的变化情况来反映景观格局破碎化的变化过程以及流域景观格局变化过程中的热点地区,并对其与流域土地利用变化之间的联系进行了阐述。主要结论如下:

(1) 鹅项小流域近30a来景观格局时空变化特征是以1989年为分界点,之前流域景观格局破碎化有所增加,之后破碎化程度又有一定程度的减少。流域上游地区景观格局破碎化程度大于下游地区,表明地形对于流域景观格局具有制约作用。

(2) 鹅项小流域景观格局变化的热点地区集中在流域西侧和中下游地势平坦地区,其原因在于生态环境保护工程的实施和农业生产规模的扩大。流域中下游地势平坦地区景观格局破碎化的发展变化过程要比流域上游显著得多,这充分说明了人类土地利用活动对于流域景观格局变化的决定作用。

(3) 作为一种空间明确的景观格局研究方法,基于空间连续数据的局部Moran指数能够从“空间位置”上发现景观格局变化特征,找到变化过程当中的热点地区,对于景观格局变化的“细节”能有更好的展示。基于空间连续数据的局部空间关联指标方法可以作为景观格局变化研究方法有益补充。

(4) 由于所用的1973年遥感影像的空间分辨率较低,尚不能确定其对1973年和1989年间景观格局变化分析结论的影响程度,因此本文重点分析了鹅项小流域1989年以后的景观格局变化过程及其与土地利用变化的联系。对于局部空间关联指标用于景观格局变化研究中的尺度效应问题,应是下一阶段开展的工作。

## 参考文献

- [1] Bastian O. Landscape Ecology - towards a Unified Discipline[J].

- Landscape Ecology, 2001, 16:757 - 766.
- [2] Opdam P, Foppen R, Vos C. Bridging the Gap Between Ecology and Spatial Planning in Landscape Ecology[J]. Landscape Ecology, 2002, 16:767 - 779.
- [3] 邹建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] Björklund J, Limburg K E, Rydberg T. Impact of Production Intensity on the Ability of the Agricultural Landscape to Generate Ecosystem Services: an Example from Sweden[J]. Ecological Economics, 1999, 29: 269 - 291.
- [5] Hietala - Koivu R. Agricultural Landscape Change: a Case Study in Yläne, Southwest Finland[J]. Landscape and Urban Planning, 1999, 46:103 - 108.
- [6] Johnson G D, Patil G P. Quantitative Multiresolution Characterization of Landscape Patterns for Assessing the Status of Ecosystem Health in Watershed[J]. Ecosystem Health, 1998, 4(3):177 - 187.
- [7] O' Neill R V, Hunsaker C T, Jones K B. Monitoring Environmental Quality at the Landscape Scale[J]. Bioscience, 1997, 47(8): 513 - 519.
- [8] Oost K V, Govers G, Desmet P. Evaluating the Effects of Changes in Landscape Structure on Soil Erosion by Water and Tillage[J]. Landscape Ecology, 2000, 15:577 - 589.
- [9] Viglizzo E F, Pordomingo A J, Castro M G, et al. Scale - dependant Controls on Ecological Functions in Agroecosystems of Argentina[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 101: 39 - 51.
- [10] Cain D H, Riitters K, Orvis K. A multi - scale Analysis of Landscape Statistics[J]. Landscape Ecology, 1997, 12:199 - 212.
- [11] Turner M G. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1989, 20:171 - 197.
- [12] Lobo A, Moloney K, Chic O. Analysis of Fine - scale Spatial Pattern of a Grassland from Remotely - sensed Imagery and Field Collected Data[J]. Landscape Ecology, 1998, 13:111 - 131.
- [13] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [14] Doing H. The Landscape as an Ecosystem[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 63:221 - 225.
- [15] 王仰麟, 赵一斌, 韩荡. 景观生态系统的空间结构: 概念、指标与案例[J]. 地球科学进展, 1999, 14(3):235 - 241.
- [16] Luque S S. The Challenge to Manage the Biological Integrity of Nature Reserves: a Landscape Ecology Perspective[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(13 - 14):2613 - 2643.
- [17] Johnson G D, Myers W L, Patil G P, et al. Characterizing Watershed - delineated Landscapes in Pennsylvania Using Conditional Entropy profiles[J]. Landscape Ecology, 2001, 16:597 - 610.
- [18] Turner W, Spector S, Gardiner N, et al. Remote Sensing for Biodiversity Science and Conservation[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(6):306 - 314.
- [19] 孙儒泳, 李庆分, 牛脆娟, 等. 基础生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [20] O' Neill R V, Riitters K H, Wickham J D, et al. Landscape Pattern Metrics and Regional Assessment [J]. Ecosystem Health, 1999, 5(4):225 - 233.
- [21] Jaeger J A G. Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size: New Measures of Landscape Fragmentation[J]. Landscape Ecology, 2000, 15:115 - 130.
- [22] Southworth J, Munroe D, Nagendra H. Landcover Change and Landscape Fragmentation - comparing the Utility of Continuous and Discrete Analysis for a Western Honduras Region[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 101:185 - 205.
- [23] Pearson D M. The Application of Local Measures of Spatial Autocorrelation for Describing Pattern in north Australian Landscape [J]. Journal of Environmental Management, 2002, 64:85 - 95.

## A STUDY OF LANDSCAPE PATTERN FRAGMENTATION IN WATERSHED BASED ON SPATIAL CONTINUOUS DATASETS

LU Yun - ge<sup>1</sup>, CAI Yun - long<sup>2</sup>

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 2. Department of Resources & Environment & Geography, Peking University, Beijing 100871, China)

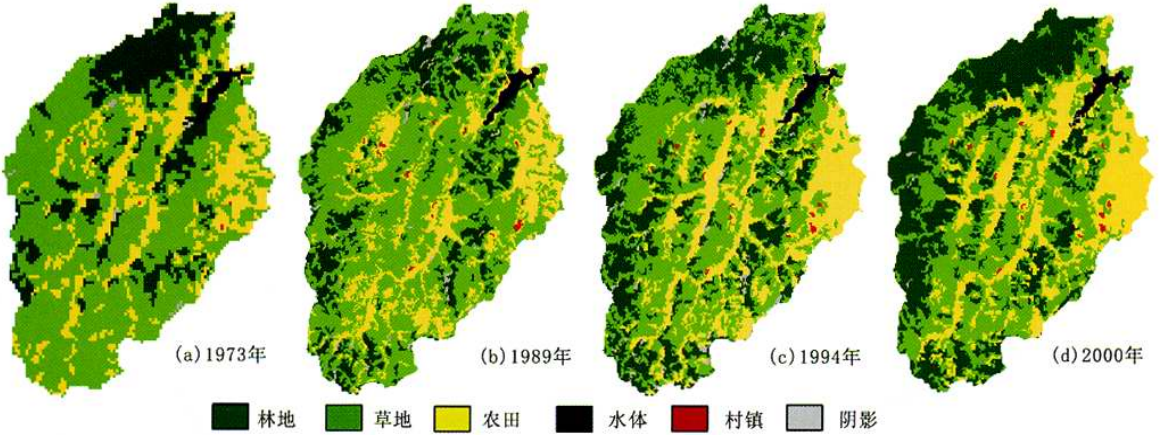
**Abstract:** Based on spatial continuous datasets (NDVI) and local indicators of spatial association (LISA)——local Moran's I (LMI), this paper deals with the process of landscape pattern fragmentation in a small watershed by detecting the change of local spatial autocorrelation of landscape features. As a spatial explicit indicator evaluating the landscape heterogeneity, LMI can detect the hot spots during the landscape fragmentation process. The relationship between the landscape pattern change and the land use / land cover change in the past 30 years is also studied, and the results show that the hot spots of landscape fragmentation are located in downstream areas where land use changes are very dramatic. The researches performed by the authors show that the land use change in the small watershed is the main driving force resulting in such changes of landscape pattern as landscape fragmentation. Studies show that the local indicators of spatial autocorrelation are helpful to the traditional analysis of landscape pattern.

**Key words:** Landscape pattern; Fragmentation; Landuse change; Spatial autocorrelation

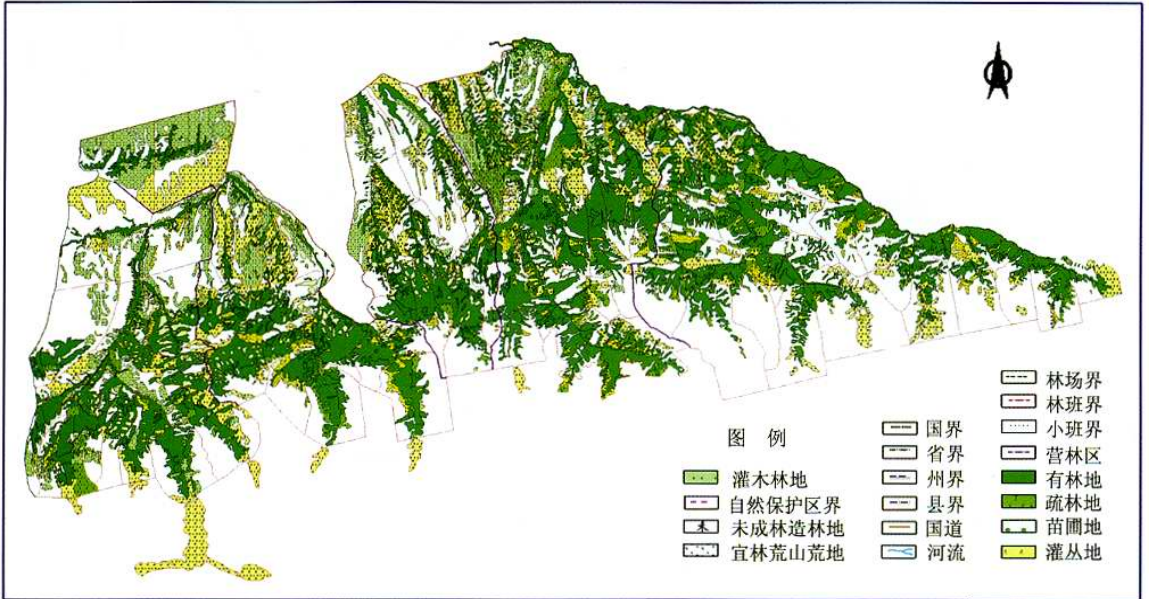
第一作者简介: 路云阁(1976 - )男, 博士, 主要研究方向为区域综合自然地理和土地利用/覆被变化。

(责任编辑: 李 瑜)

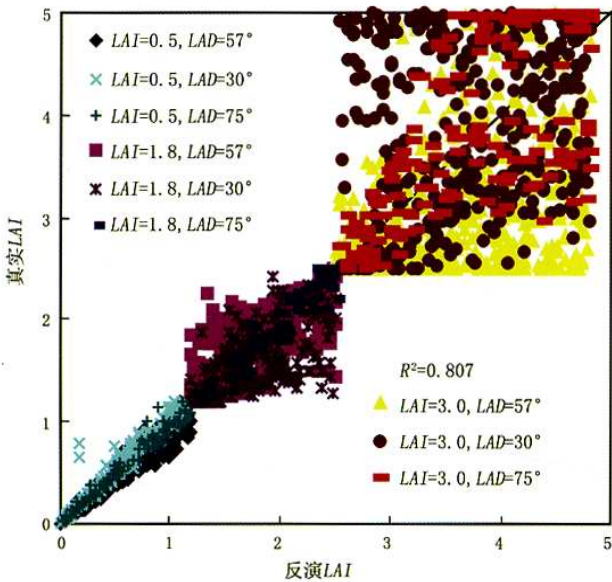




彩片17 鹅项小流域土地利用/覆被状况



彩片18 新疆天山西部森林资源分布图



彩片19 反演LAI与真实LAI的比较



彩片20 原始高光谱图像

万方数据