

# 景观空间分析的特征和主要内容

陈文波, 肖笃宁, 李秀珍

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

**摘要:**在综合前人对景观空间格局与异质性, 景观镶嵌动态, 尺度、格局、过程相关等景观生态学基本原理的基础上, 初步提出了景观空间分析的框架, 认为: 景观空间分析主要包括景观空间形态分析、空间关系分析与空间构型分析, 并对景观空间分析的特征及与一般空间分析之间的关系进行了探讨。

**关键词:**景观空间分析; 格局; 尺度; 过程

## The Characteristics and Contents of Landscape Spatial Analysis

CHEN Wen-Bo, XIAO Du-Ning, LI Xiu-Zhen (Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1135~1142.

**Abstract:** Landscape is a heterogeneous area composed of many ecosystems. The different process on landscape scale has decisive effects on the formation of landscape pattern. Correspondingly, the pattern that has already formed controls the basic processes of landscape. The relationship between scale, pattern and process has become a research focus which landscape ecology is interested in. The landscape model of patch-corridor-matrix provides landscape spatial analysis with “spatial language”; remote sensing(RS) and geological information system(GIS) provide landscape spatial analysis with “spatial means”. Those are the main reasons why the studies on the relationship between scale, pattern and process become the key word most repeated. Scale and pattern are bored with the meaning of space. Moreover, they affect and decide basic landscape processes. All the above mentioned make one thing clear: landscape spatial analysis plays an important role in landscape ecology.

Landscape spatial analysis, whose ultimate purpose is to demonstrate the relationship between landscape pattern and process, is the spatial analysis of landscape components based on their morphology and characteristics, GIS and RS being basic means and landscape ecology being basic principles. It is composed of three parts, namely, spatial conformation analysis, spatial relationship analysis and spatial morphology analysis. Although it originates from the spatial analysis in common sense, it enriches the connotation. Landscape spatial analysis should take scale into account and reflect landscape's heterogeneity with the purpose of demonstrating the relationship between pattern and process. Consequently it materializes the spatial analysis in common sense and provides landscape spatial components with ecological meanings. Landscape spatial conformation analysis is the analysis of the basic geometric characteristics of landscape components. Landscape components, such as patch, corridor and matrix can be considered as point, line or surface in geometry under the “patch-corridor-matrix” model. Because the conformation of landscape component has a strong effect on landscape function, it is an essential spatial analysis in landscape ecology. Landscape spatial relationship analysis conducts a research mainly in two fields which are also common in landscape ecology: spatial distance and spatial distribution. Compared with the above mentioned, landscape morphology analysis is seldom used. The purpose of landscape morphology analysis

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49971007)

收稿日期: 2002-05-20

作者简介: 陈文波(1974~), 男, 江西省上饶市人, 博士。主要从事景观生态学及森林经理学研究。

is to establish the analogy and correlation among different spatial patterns. It is well known that a landscape pattern with a coarse pattern has a different function compared to a landscape with a fine pattern. It is also important that we could use a established landscape pattern to extrapolate an unknown landscape pattern in order to compare their functions.

Generally speaking, landscape analysis is usually fulfilled by GIS and corresponding software. GIS integrates various sciences and technology up to date, for example, relationship database management, effective graph algorithm, interpolation, network analysis and so on, provides spatial analysis with powerful tools, which makes the complex task difficult to fulfill in the past very easy today. At present, most GIS software, such the ERSI series product, Intergraph series product and Mapinfo series product has a strong function for spatial analysis. Spatial analysis has become one of the essential functions. Furthermore, a variety of landscape indices and corresponding software created by landscape ecology such as Fragstats and APACK, has the function of spatial analysis to some extent. It is a common spatial analysis in landscape ecology to describe landscape pattern and its transformation and demonstrate the relationship between pattern and process by means of landscape indices.

**Key words:** landscape; spatial analysis; pattern; scale; process

文章编号:1000-0933(2002)07-1135-08 中图分类号:Q149 文献标识码:A

景观是由多个生态系统构成的异质性地域<sup>[1,2]</sup>。景观尺度上的不同过程,在形成景观结构时起着决定性的作用,相应地,已形成的结构对景观过程或流也有基本的控制作用<sup>[3]</sup>。格局、过程、尺度之间的相互关系的研究一直是景观生态学界兴趣中心和本学科研究的核心所在。尺度(Scale)一般指对某一研究对象或现象在空间上或时间上的量度,在景观生态学中,尺度往往以粒度(Grain)和幅度(Extent)来表示<sup>[3~5]</sup>;格局往往是指空间格局,即景观要素的类型、数目以及空间分布与配置等<sup>[5~7]</sup>。景观生态学常涉及到的生态过程有干扰传播、水文及小气候动态、景观演替等。格局、过程、尺度之间的关系,简而言之就是过程产生格局,格局作用于过程,两者之间的关系又依赖于不同的研究尺度<sup>[8]</sup>。“尺度”、“格局”都有强烈空间性质的概念。因此,对景观的空间研究是分析景观格局、了解景观过程、把握景观动态的基础,其意义不言而喻。

美国生态学家 Forman 和法国生态学家 Godron<sup>[2]</sup>认为,组成景观的结构单元不外乎 3 种:斑块(Patch)、廊道(Corridor)和基质(Matrix)。基于长期以来许多领域的研究成果,尤其是岛屿生物地理学和群落斑块动态研究,近年来,以斑块、廊道、基质为核心的一系列概念、理论和方法已逐渐形成了现代景观生态学的一个重要方面<sup>[4]</sup>。Forman<sup>[2]</sup>称之为景观生态学的“斑块、廊道、基质”模式。但在实际研究中,斑块与基质的界限很难划清,且划分结果随不同的研究尺度而不同。通常的做法是把基质看成是在景观中占主导地位的斑块。从空间分析的角度来看,斑块显然是赋予了生态学解释并具有景观生态学意义的“点状或面状地物”;廊道是赋予了生态学解释并具有景观生态学意义的“线状或带状地物”。斑块与斑块、斑块与廊道、廊道与廊道之间的空间关系可以抽象为一般点、线、面之间的空间关系。在分析了它们之间的空间关系后,再对与之相联系的生态过程进行景观生态分析。因此,“斑块、廊道、基质”模式为景观空间分析提供了“空间语言”,使得对景观结构、功能和动态的表达更为具体、形象。另外,遥感(RS)使大尺度或跨尺度的景观“斑块、廊道、基质”景观模式的识别成为可能并提供快捷方法;地理信息系统(GIS)为研究景观空间结构和动态,尤其是物理、生物和各种人类活动过程相互之间的复杂关系提供了一个极为有效的研究工具<sup>[3,9,10]</sup>。遥感手段能快速而准确的提取景观空间信息,利用地理信息系统快速而准确地进行景观空间信息处理,可以说遥感与地理信息系统发展及其在景观生态学中的广泛应用为景观空间分析提供了“空间手段”。

1 景观空间分析的基本特征

空间分析原本是个地理学研究领域中广泛应用的概念。自从有了地图以来,人们就始终在自觉或不自觉地进行着各种类型的空间分析。例如在地图上量测地理要素之间的距离、方位、面积或利用地图进行战

略及战术的研究等。空间分析包含两个方面涵义<sup>[8]</sup>,可以是“空间数据的分析”,也可以是“数据的空间分析”。空间数据的分析着重于空间物体和现象的非空间特性分析,这些分析、处理一般并不将数据的空间特性作为限制因子加以考虑,数据所描述的具体空间位置在分析中也不起制约作用,但对数据的分析结果的解释必须依托于地理空间进行,因此它与一般的数据分析还是有本质不同的;数据的空间分析则是直接从空间物体的空间位置、联系等方面去研究空间事物,以求对空间事物做出定量的描述,数据的空间分析需要借助于复杂的数学工具如空间统计学、图论、拓扑学等。

前已论及,“斑块、廊道、基质”的景观模式为景观空间分析提供了“空间语言”;遥感、地理信息系统在景观生态学中的应用日趋广泛为景观空间分析提供了“空间手段”;“尺度、格局、过程”之间的相互关系分析是当前景观生态学研究重复率最高的主题词;“尺度”,“格局”上深深地打着空间的烙印,影响并决定着各种基本的景观过程。这一切无一不说明景观空间分析在景观生态学界的重要地位。

景观空间分析贯穿着景观生态学发展的整部历史,它对景观生态学来说并不是一个全新问题。很多景观生态学者<sup>[5,11,12]</sup>在研究景观空间格局、研究格局与过程相互关系、研究景观异质性及生态空间理论的过程中就对景观空间分析进行过一定的探讨。但美中不足之处是以上研究对什么是景观空间分析、它与一般空间分析的关系以及景观空间分析的内容界定等方面并不一定形成统一的认识。

空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析,其目的在于提取和传输空间信息,主要由 4 个方面内容构成,即:空间位置分析、空间分布分析、空间形态分析、空间关系分析。不少研究者曾对景观生态学的基本原理进行过总结<sup>[6]</sup>,表述虽不尽相同,但基本内容是一致的。

1.1 景观空间分析的尺度性

尺度是指观察研究对象(物体或过程)的空间分辨率或时间单位<sup>[12]</sup>,它标志着对所研究对象的了解水平。在生态学研究,空间尺度是指所研究生态系统的面积大小或最小信息单元的空间分辨率水平;而时间尺度是其动态变化的时间间隔。此外,组织尺度(Organizational Scale)的概念即在由生态学组织层次(个体、种群、群落、生态系统、景观等)组成的等级系统中的位置也广为使用<sup>[3]</sup>。景观格局和景观异质性都依时间和空间尺度变化而异。因此在景观空间分析中必须考虑到尺度的制约作用,在一种尺度上通过空间分析得到的结论不可不经研究地推到另一种尺度上去。按 O'Neill 等<sup>[13]</sup>提出的等级理论,属于某一尺度的系统过程和性质受制于该尺度,因此尺度上推(Scaling Up)和下推(Scaling Down)是很困难的<sup>[5]</sup>。

空间分析中的尺度首先是指空间尺度,即所研究对象在空间上跨度的大小,但同时也很注意时、空尺度的对应性<sup>[5]</sup>(详见图 1)。

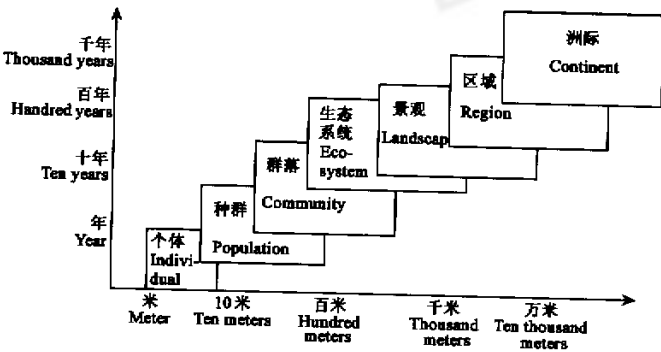


图 1 不同等级尺度上的时间与空间尺度

Fig.1 The temporal and spatial scale on different organization scale

景观空间分析的尺度,是由景观等级尺度决定的。它表明景观空间分析所对应的尺度在生态系统之上,区域尺度为几十年至几百年,空间跨度为几公里至几百公里,显然是一般空间分析尺度的一个很小部分。即使在景观等级尺度上,还存在根据不同研究目的,选择合适尺度的问题。在某些条件下,

随着研究空间尺度的增大,占优势的斑块(面积大、数量多)容易被过度重视而小的、破碎的斑块容易被忽略<sup>[14]</sup>。为了揭示这个问题,有的学者将研究区以不同的空间尺度对比研究,如将研究区景观要素分成不同的水平(Level)或划分为不同的景观等级(Province,Section)<sup>[14,15]</sup>。

1.2 观空间分析主要是对景观要素镶嵌结构的分析

空间物体或现象(分布对象)沿空间(分布区域)的分布方式有两种,即离散分布与连续分布。Clark 和 Hosking<sup>[16]</sup>将空间对象沿空间的分布分为 7 个类型(见表 1)。

镶嵌是指一个系统的组分在空间上互相拼接而构成的整体<sup>[6]</sup>。镶嵌的特征是空间对象被聚集、形成清楚的边界,即在空间上的离散性。景观镶嵌结构的概念主要源于岛屿生物地理论和古典区位论<sup>[7]</sup>。前者将生境斑块的面积和隔离度与物种多样性联系起来,把斑块的空间特征与物种数量巧妙地统一于一个公式之中;后者假设研究区是与外界隔绝的“孤立国”,区域内不存在自然条件的差异(即“均质性”),与周边的基质形成了强烈的对比。

表 1 空间物体或现象沿分布区域的分布类型

Table 1 The distribution types of spatial objects or phenomena along distribution area							
分布类型	沿线状要素 的离散点	沿线状要素 连续分布	面域上的离 散点	线状分布	离散的面状 分布	连续的面状 分布	空间连续 分布
Distribution types	Scattered points along linear element	Continuous distribution along linear element	Scattered points within a region	Linear distribution	Discontinued surface distribution	Continuous surface distribution	Spatially continuous distribution
举例	高速公路或 河流沿线	河流流速、 流量	城市分布、 火山分布	河流、交通网	草场分布、 农田分布	人口普查区 域、行政区划	地形、降水
Examples	Express way or river	Velocity of flow, runoff;	distribution of city or volcano	The River or transportation network	The distribution of farm or grassland	Regions for lustrum and administration district	Topography and precipitation

景观要素是受气候、地貌、土壤、植被、水文、生物等自然因素及人为干扰作用下形成的有机整体。斑块的大小、形状;廊道的宽窄、曲直;基质的形态、连通性等构成了丰富多彩的镶嵌,深深地影响着景观格局并决定着各种景观功能。斑块镶嵌是景观的基本特征,所谓景观空间结构实质上是指镶嵌结构<sup>[5~7]</sup>。因此景观空间分析的重点在于对空间离散现象,即镶嵌景观要素的分析。

1.3 景观空间分析的目的是研究景观的异质性,体现格局与过程之间的相互联系

景观的异质性是景观重要属性之一<sup>[17]</sup>。一个景观的结构、功能、性质与地位主要决定于它的时空异质性,景观生态学的核心是景观异质性的维持与发展,景观异质性原理也是景观生态学的核心理论之一。目前,比较一致的认为是景观异质性是景观过程和格局在空间上分布的不均匀性及其复杂性<sup>[2]</sup>。一般认为景观异质性是这样产生的<sup>[7,12]</sup>,在开放系统中,能量由一种状态转向另一种状态,伴随着新结构的建立会增加异质性。景观异质性的产生机制正是基于这种热力学原理,即从太阳能转化成的各种能量流中产生;景观异质性也来源于系统运动的不平衡性与干扰,特别是人类对景观的干扰。因此,景观异质性的产生是内在因素和外在因素共同作用的结果。

景观格局,一般是指其空间格局,它是指大小和形状各异的景观要素在空间上的排列形式。景观格局是景观异质性的具体表现,同时也是各种生态过程在不同尺度上作用的结果。景观生态学常常涉及到的生态学过程包括种群动态、种子或生物的传播、捕食者和猎物的相互作用、群落演替、干扰扩散、养分循环等。对空间格局与过程相互关系的研究,如河岸森林保持养分与有机碳能力与景观格局的关系,景观格局对物种基因多样性的影响等一直是景观生态学的主要特色与理论核心之一。景观空间分析的最终目的就是通过景观要素的异质性分析,建立空间格局与景观过程的相互映射关系以加深对景观过程的理解。

#### 1.4 景观空间分析是空间分析的具体化,赋予了空间要素的生态解释

空间分析一般将地表自然或人为要素抽象为点、线、面、曲等空间要素,并利用空间统计、计算几何等数学方法进行研究,最后,针对不同的研究目的进行不同的格局解释;而景观空间分析在分析中及对分析结果的解释中都要注意到景观要素是空间要素的具体化,是实实在在的、具有具体结构和功能的,赋予了生态学含义且与一定生态功能相联系的空间要素。如斑块是由于自然干扰、环境资源的异质性或人为干扰产生的面状要素,它的大小与形状直接影响到景观单位面积生物量、生产力和养分贮存及景观的生物多样性;线状廊道一般认为适于边缘种的生存而带状廊道具有丰富的内部种<sup>[2]</sup>等。景观生态学被认为是一门交叉学科,它在吸收其它学科的合理内核基础上,提出的关于景观结构、功能和变化的测度是对现有空间分析内容的重要补充。例如,景观生态学中为研究景观异质性,基于现代信息论而提出的空间测度方法<sup>[18]</sup>及测度指标<sup>[19]</sup>,如优势度(Dominance)、蔓延度(Contagion)及丰富度(Richness)等丰富了一般空间分析的内容。

基于以上内容,可以把景观空间分析界定为:以地理信息系统和遥感技术为基本手段,以景观生态学的基本原理为向导,基于景观要素的空间位置和形态特征,反应景观格局与过程之间相互关系为基本目的的景观要素的空间分析。它主要内容有3个部分,即:景观要素的空间形态分析、景观要素的空间关系分析和景观要素的空间构型分析。景观空间分析虽源于一般空间分析,但同时也丰富着空间分析的内容。

#### 2 景观空间分析研究的主要内容

无论是对景观空间要素的分析还是对景观要素的空间分析,其最终目的都是为了在一定的景观尺度上,通过对景观要素的分析剖析景观空间结构与空间异质性,对景观过程给予合理的解释,建立“格局、过程、尺度”之间的相互映射关系。

##### 2.1 景观空间形态分析

在“斑块、廊道、基质”的景观生态模式下,景观要素可以抽象为一般的点或面(斑块和基质)、线(廊道)空间要素进行研究。一般认为:斑块大小对景观能量与养分、对物种的多样性等均有较大影响;而斑块的形状则影响到生物的迁移、内部种与边缘种的多少;廊道的宽度、形状也影响到多种景观功能。因此,对景观要素面积大小、周长及形状的空间研究是景观空间研究的基础与重点,有关这方面的研究也很多<sup>[20~22]</sup>。

基于分形理论的景观分维分析在景观空间分析中的广泛应用。所谓分形,是指局部与总体具有某种相似性,或者说在不同尺度上看起来基本相似的形状,即具有自相似性(Self-similarity)<sup>[23]</sup>。分形理论由美国科学家 B. B. Mandelbrot<sup>[24]</sup>于 20 世纪 70 年代中期创立,用于刻划自然界和人类社会中一些不规则、不稳定和具有高度复杂结构的现象<sup>[25]</sup>。分维是描述分形结构的一种参数,其数学定义常见的有:容量维数、信息维数、关联维数、相似维数等。在景观空间分析中,对于形形色色的研究对象常采用的具体做法主要有面积周长法和变异函数法<sup>[26]</sup>。分形分析是研究景观要素形状复杂程度的有力工具。研究发现,分维数与人类对景观的管理密切相关<sup>[27,28]</sup>。小的分维意味着人类对景观的干扰大或地理条件单一,所以通过分维大小可以判定景观要素受人类活动影响的大小。分形分析在景观空间形态的分析中十分常用<sup>[1,29~31]</sup>。

##### 2.2 景观空间关系分析

景观空间关系主要考虑两个方面,即景观要素的空间距离与分布。景观空间分布分析是从总体的、全局的角度来描述景观要素特性的空间分析。因为景观生态学研究的核心内容是景观异质性的维持和发展,各种景观要素错综复杂的组合形成各具特征的景观,因此研究景观异质性的核心也就是分析景观要素的水平分布<sup>[32]</sup>。所以,景观空间分布分析在景观空间分析中占有重要地位。

景观空间分布可以用各种景观要素(斑块、廊道等)的分布参数定量化描述,例如斑块(廊道)分布密度、斑块面积的均值、离差、极值等。有关这方面的分析在分析景观空间格局与动态及相关的趋动因子的研究中很常用<sup>[33,34]</sup>。景观空间分布也可以从确定景观要素分布类型,并与景观过程建立某种联系上加以考虑。例如研究某一景观上的农业用地的分布型,若是随机型的则说明该生态区上的农业还属于无序开发状态,对生态干扰数据,很可能阻止某些景观正常功能的发挥,因而需要进一步加强管理。但郭晋平等<sup>[35]</sup>通过对关帝山林区景观要素的空间分布型进行了研究,发现各种布型之间的拟合结果常常相互矛盾,认为



分析结果不能为景观要素的空间分布特性提供必要的信息。

近些年来,熵的研究在国内外引起了很大关注<sup>[18,32]</sup>。信息熵理论引入景观生态学以来,对景观生态学的发展起了很大的推动作用。在所研究地区的地图,航片或实际景观上设置若干条线,沿线等长分割标记,记录每一段上各景观类型的缺失,随后应用信息熵原理进行统计分析,研究景观要素的空间分布特征的常用方法。

景观空间聚类是研究景观空间分布的有效手段。景观空间聚类分析的目的是对景观要素的集群性进行分析,将其分为几个不同的子类。子类的形成可能是某个景观过程作用结果,因此根据空间分类的结果可以揭示某些生态机理<sup>[8]</sup>。例如可以把森林资源斑块的某些感兴趣的属性信息(植被种类、单位面积的蓄积量、郁闭度、森林立地状况等)的聚类分析结果与空间聚类结果联系起来,建立某种对应关系,以求得属性信息的空间解释,揭示森林生产力分布等多种生态过程与格局之间的联系,加深对森林生态过程的景观理解。在进行景观设计时,景观空间聚类也很有用武之地。例如,绿地或公园一般是根据居民区而非单个居民点设计的,因此可以利用景观空间聚类来简化问题、突出重点。目前,空间聚类在景观生态学中的应用不多,对其研究还有待于深入。

空间距离分析在景观空间分析中运用较为普遍,如 Skinner<sup>[23]</sup>对美国西北加利弗尼亚克拉莫斯山脉(Klamath)林间空地(Forest openings)之间空间距离的研究。Baker 和 Cai<sup>[22]</sup>在考虑斑块空间距离时,从三个方面出发(1)景观内的每一个斑块还是斑块组;(2)所有相邻斑块还是单个最邻近斑块;(3)相邻斑块组还是只考虑属于具体斑块组的斑块,结合度量空间距离时是用斑块的中心点还是用斑块的边缘,将斑块间的空间距离分成 10 种情况(见表 2)。

表 2 斑块间空间距离汇总表  
Table 2 Spatial distance between patches

空间距离内容 Contents	测度方法 Methods
平均距离	每个斑块到所有邻近斑块间的距离(CC)
Mean distance	Each patch to all adjacent neighbors CC
距离标准差	每个斑块到所有邻近斑块间的距离(CE)
Standard deviation distance	Each patch to all adjacent neighbors CE
斑块组平均距离	斑块组内每个斑块到最邻近斑块的距离(CC)
Mean distance by gp	Each patch to nearest patch of same gp CC
斑块组标准差	斑块组内每个斑块到最邻近斑块的距离(CE)
Standard deviation distance by gp	Each patch to nearest patch of same gp CE
属于每个距离段内的斑块距离数目	斑块组内每个斑块到最邻近斑块的距离(EE)
Number of distances in each distance class	Each patch to nearest patch of same gp EE
属于每个距离段内的斑块组距离数目	每个斑块到不同斑块组内最邻近斑块的距离(CC)
Number of distances in each distance class by gp	Each patch to nearest patch of different gp CC
	每个斑块到不同斑块组内最邻近斑块的距离(CE)
	Each patch to nearest patch of different gp CE
	斑块组内每个斑块到最邻近斑块组间的距离(CC)
	Patches of 1 gp to nearest of specific gp CC
	斑块组内每个斑块到最邻近斑块组间的距离(CE)
	Patches of 1 gp to nearest of specific gp CE
	斑块组内每个斑块到最邻近斑块组间的距离(EE)
	Patches of 1 gp to nearest of specific gp EE

CC 表点与点距离;CE 表点与边距离;EE 表边与边距离; gp 为特征组 CC = center-to-center distance; CE=center-to-edge distance; EE = edge-to-edge distance; gp = attribute group

美国俄勒冈州立大学开发的景观指标计算软件 Fragstats 最近所提出的 66 个景观指数中,涉及空间距离的指数有 10 个,可见空间距离分析在景观空间分析中的重要地位。

2.3 景观空间分析数据

与前两种景观空间分析相比,景观空间构型分析更注重反应由景观要素构成的景观总体特征。景观空

间构型分析的主要目的是通过研究景观构型,确立景观空间格局之间相似与相关关系。相似与相关关系具有两个方面的含义<sup>[8]</sup>:一是指空间物体在形态上的相似与相关;二是指空间物体在结构上的相似与相关。Forman<sup>[2]</sup>曾根据景观结构特征划分出 4 种景观类型,即斑块散布的景观、网络状景观、指状景观和棋盘状景观<sup>[12]</sup>,4 种景观中斑块分布构型不同,对应的基本生态过程也各异。粗粒景观与细粒景观由于在结构上的差异,其对应的景观功能也不同<sup>[36]</sup>。因此,可以通过景观相似与相关分析,与已知结构和功能的景观相比较,对未知景观的结构与功能进行推断。目前,有关这方面的研究在景观空间分析中还不常见。

### 3 问题与讨论

景观空间分析是景观生态学研究的核心内容。美国生态学家 Forman 和法国生态学家 Godron<sup>[2]</sup>提出的“斑块、廊道、基质”景观研究模式为景观空间分析提供了“空间语言”;遥感、地理信息系统及计算机技术的发展和在景观生态学中的广泛应用为大尺度或跨尺度的景观空间分析提供了“空间手段”;“尺度、格局、过程”相互关系的研究一直是景观生态学研究的核心,而“尺度”,“格局”深深地打上了空间的烙印;这一切都说明景观空间分析贯穿了景观生态学的整个发展历史,景观空间分析源于一般空间分析,是一般空间理论在景观生态学上的应用;但景观空间分析只涉及到一般空间分析理论中那些具有景观生态学意义的、其结果可以景观格局与过程相关性进行解释的方法,体现景观的空间异质性与尺度、格局、过程之间的相关性是景观空间分析研究的核心。景观在吸收其它学科为己用的同时,丰富并发展了一般空间分析的内容。

景观空间分析强调尺度性,强调对“镶嵌性”即空间相对非连续性景观现象的空间分析,但也不排除对“梯度性”即空间相对连续性景观现分析方法在景观空间分析中所起的补充作用。长期以来,地理学与生态学在自然环境的连续与非连续观念上存在冲突。如今看来,冲突的根源在于分析问题的尺度不同。空间非连续体(如斑块)只有与特定的研究尺度相联系才具有意义。两个斑块之间原本相对分离的边界,随着分辨率逐步提高,梯度会变得越来越连续<sup>[37]</sup>。因此,自然环境的“梯度性”与“镶嵌性”并不是绝对的,而是对立统一的,统一的基础是研究问题的尺度。经典的景观空间分析十分注重对“镶嵌性”的研究,而忽视了对景观“梯度性”的研究,例如景观格局指数虽多,但很少能用于反应景观的“梯度性”<sup>[38]</sup>。近年来,不少景观生态学者注意到了这一点,趋势面分析,地统计分析等梯度分析方法在景观空间分析中的应用日益广泛<sup>[11]</sup>。

一般认为,景观空间分析是依托于地理信息系统及相关软件来进行的,地理信息系统集成了多学科的最新技术,如关系数据库管理,高效图形算法,插值、区划和网络分析,为空间分析提供了强大的工具,使得过去复杂、困难的高级空间分析任务变得简单易行。目前绝大多数地理信息系统软件,如 ERSI 产品系列,Intergraph 产品系列,Mapinfo 产品系列等都具有空间分析功能,空间分析已成为地理系统的核心功能之一。此外,景观生态学所创立的各种景观指数与相应的软件包,如 Fragstas,APACK 等,也具有较强的空间分析功能,用景观指数描述景观格局及变化,建立格局与过程之间的联系是景观生态学最常用的空间分析手段。

### 参考文献

- [1] Molles M C. *Ecology: Concept and Application*. Beijing: Science Press, 2000.
- [2] Forman R T T, Godron. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [3] Li B(李博), Yang C(杨持), Lin P(林鹏). *Ecology*(in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [4] Wu J G(郭建国). Landscape Ecology: Concept and Theory. *Chin. J. Ecol.* (in Chinese)(生态学杂志), 2000, **19** (1): 42~52.
- [5] Wu Y G(伍业钢), Li H B(李哈滨). Theory Development on Landscape Ecology. In: Liu J G(刘建国) ed. *On Up-to-Date Ecology*. (in Chinese). Beijing: Science and Technology Press of China, 1992. 30~39.
- [6] Xiao D N(肖笃宁). Core concepts of landscape ecology. In: Xiao D N(肖笃宁) ed. *Development on Landscape Ecology*(in Chinese). Hunan: Hunan Science and Technology Press, 1999. 8~14.
- [7] Xiao D N(肖笃宁) The theory base and characteristics of landscape ecology. In: Xiao D N(肖笃宁) ed. *The Theory, Methodology and Application of Landscape Ecology*(in Chinese). Beijing: Forestry Press of China, 1991. 13~25.
- [8] Guo R Z(郭仁忠). *Spatial Analysis*(in Chinese). Wuhan: Wuhan Mapping Science and Technology University Press, 2000.
- [9] Ricotta C, Archa. Monitoring water stress induced variation in the remotely sensed biomass pattern of Sardinia (Italy). *Ecosystem Health*, 1999, **5**(4): 259~264.

- [10] Patil G P, Myerst W L. Environmental and ecological Health assessment of landscapes and watersheds with remote sensing data. *Ecosystem Health*, 1999, **5**(4): 221~224.
- [11] Zeng H(曾辉), Guo Q H(郭庆华), Yu H(喻红). Spatial analysis of artificial landscape Transform in Fenggang town, Dongguan city. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19**(3): 298~303.
- [12] Xiao D N(肖笃宁), Bu R C(布仁仓), Li X Z(李秀珍). Spatial ecological theory and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1997, **17**(5): 453~461.
- [13] O'Veill R V, De Angelis D L, Waide J B, et al. *A hierarchical concept of ecosystem*. Princeton: Princeton University Press, 1986.
- [14] Bourgeron P S, Hope C, Humphries H C, et al. Impact of broad and fine scale patterns on regional landscape characterization using AVHRR derived land cover data. *Ecosystem Health*, 1999, **5**(4): 235~238.
- [15] Smits P C, Annoni A. Spatial analysis of land-use changes as knowledge tools in support of European spatial policies and ecosystem Health. *Ecosystem health*, 1999, **5**(4): 276~284.
- [16] Hosking C. *Statistical Methods for Geographers*. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [17] Pickett S T A, Cadanasso M L. Translated by Zhong L S(钟林生). Landscape Ecology: Spatial Heterogeneity in Ecological Systems. *Chin. J. Ecol.* (in Chinese)(生态学杂志), 1999, **18**(16): 71~74.
- [18] Zhao Y(赵羿), Li Y H(李月辉), Guo X D(郭旭东). Development and application of entropy theory on landscape ecology. In: Xiao D N(肖笃宁) ed. *Development on Landscape Ecology* (in Chinese). Hunan: Hunan Science and Technology Press, 1999. 70~78.
- [19] Zhao Y(赵羿), Wu Y M(吴彦明). The linear method of landscape heterogeneity change. In: Xiao D N(肖笃宁) ed. *Development on Landscape Ecology* (in Chinese). Hunan: Hunan Science and Technology Press, 1999. 147~154.
- [20] Wang G X(王根绪), Cheng G D(程国栋). The spatial pattern and influence caused by water resources in arid desert oases. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, **20**(3): 263~268.
- [21] Zhang M(张明). A study on the landscape pattern and differentiation of fragile environment in Yulin Prefecture. *Geological Research* (in Chinese)(地理研究), 2000, **19**(1): 30~36.
- [22] Baker W L, Cai Y-M. The role programs for multi-scale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology*, 1992, **7**(4): 291~302.
- [23] Skinner C N. Change in spatial characteristics of forest openings in the Klamath Mountains of northwestern California, USA. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(4): 219~228.
- [24] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.
- [25] Cao T B(曹天邦), Zhu X H(朱晓华), Xiao B(肖彬), et al. Fractal analysis applied to distribution of land use—A case study of Fengyu town, Yangzhong City, Jiangsu Province. *Area Research and Development*(in Chinese)(区域研究与发展), 1999, **18**(4): 9~12.
- [26] Zhang C S(张朝生), Zhang S(章申), He J B(何建邦). Spatial distribution characteristics of heavy metals in the sediments of Changjiang river system—Spatial autocorrelation and fractal methods. *Acta Geographica Sinica*(in Chinese)(地理学报), 1998, **53**(1): 88~96.
- [27] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**(3): 153~162.
- [28] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(2): 101~111.
- [29] Chang X L(常学礼), Wu J G(邬建国). Spatial analysis of pattern of sandy landscapes in Kerqin, Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1998, **18**(3): 225~231.
- [30] Turner M G, Ruscher C L. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, 1988, **1**(4): 241~251.
- [31] Xu Y M(胡远满), Wang X L(王宪礼), Bu R C(布仁仓). Fractal dimension analysis of patches. In: Xiao D N(肖笃宁) ed. *Development on Landscape Ecology*(in Chinese). Hunan: Hunan Science and Technology Press, 1999. 127~136.
- [32] Xiao D N(肖笃宁). The indicatives and research methodology of landscape spatial structure. In: Xiao D N(肖笃宁) ed. *The Theory, Methodology and Application of Landscape Ecology*(in Chinese). Forestry Press of China, 1991. 92~98.
- [33] Li X T(李通新), Zhu H J(朱鹤健). Agro-landscape changes and driving factors in coastal area of southeast Fujian—A case study of Dananban farm. *Resources Science*(in Chinese)(资源科学), 2000, **22**(1): 35~39.
- [34] Zheng H(曾辉), Jiang C M(姜传明). Landscape structure study of Longhua Area in Shenzhen City during the fast urbanization process—Structure and heterogeneity analysis of forest land. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, **20**(3): 378~383.
- [35] Guo J P(郭晋平), Yang H X(阳含熙), Zhang Y X(张云香). Studies on spatial pattern and dynamics for landscape elements in Guandishan forest region, Shanxi, China. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19**(4): 468~473.
- [36] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(3): 133~142.
- [37] Solon J. Integrating ecological and geographical(biophysical) principles in studies. In: *Issues in landscape ecology*, Wiens J A, Moss M R ed. IALE publishment, 1999, 22~27.
- [38] Yong R H. Landscape pattern: context and process. In: *Issues in landscape ecology*. Wiens J A, Moss M R ed. IALE 1999, 33~37.