

# 城市景观多样性的空间尺度分析

——以上海市外环线以内区域为例

岳文泽, 徐建华, 谈文琦, 赵 晶, 苏方林

(华东师范大学地理系, 地理信息科学教育部开放实验室, 上海 200062)

**摘要:**景观生态学研究的就是某一空间尺度范围内的景观格局与生态过程。因为景观格局与生态过程中存在的尺度多样性, 导致尺度成为理解景观格局和生态过程相互作用的关键, 其已经成为景观生态学的一个重要概念, 但是由于理论和方法的限制, 对景观生态学的尺度研究还不够, 特别是景观格局综合性指标在不同幅度上的变化特征和效应。在 GIS 与 RS 技术支持下, 采用基准分辨率为 5m 的 SPOT 遥感图像作为数据源, 对不同幅度下的城市景观多样性的空间分布格局进行了分析, 并进一步利用半变异函数对其空间异质性进行定量描述。结论揭示: 随着空间尺度的增加, 景观多样性程度也不断增加, 另外多样性的空间分布格局也具有显著变化, 由于受城市发展历史和目前城市扩展方向的影响, 多样性在总体上是不平衡的, 尺度越大, 不平衡越明显; 不同尺度下景观多样性空间格局的变化, 与城市景观的特点和城市景观的功能息息相关, 不过其受经济效益和社会文化效益的影响更大; 随着尺度增加由于掩盖了更小尺度上的变异, 导致块金效应增强, 空间自相关部分对系统总的变异则明显下降; 景观多样性具有尺度依赖性, 可以说景观多样性也是尺度的函数, 在不同的尺度上, 结果差异显著, 所以在景观生态学的研究中绝对不能忽略尺度对格局的影响。

**关键词:** 尺度; 多样性; 空间格局; 半变异函数

## Spatial scale analysis of the diversities of urban landscape: A case study within the external circle highway of Shanghai City

YUE Wen-Ze, XU Jian-Hua, TAN Wen-Qi, ZHAO Jing, SU Fang-Lin (Geography Department of East China Normal University, Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, Shanghai 200062, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 122~128.

**Abstract:** Landscape ecology is simply the study of relationship between spatial pattern and ecological processes over a range of spatial scales. Because of the scale multiplicity in spatial pattern and ecological processes, scale holds the key to understanding the pattern-process interactions and, indeed, becomes one of the corner-stone concepts in landscape ecology. Due to the limitation of theories and methods, in-depth studies on scales in landscape ecology have been limited, especially, for the studies on variance character and effect of the synthesis index of landscape pattern at different extents. The emergence of Geographic Information System and Remote sensing technologies provide an effective tool to characterize the spatial pattern and spatial heterogeneity at different extents. As an example, these techniques are applied to analyze the urban landscape diversity on the SPOT images at three extents. Firstly, this paper creates spatial pattern maps of landscape diversity at three extents; then it models the semivariogram of landscape diversity at different extents. The results of analysis indicate:

(1) With the increasing spatial scale, the landscape diversity increases and the spatial pattern of landscape varies dramatically. At the 0.5km extent, the maximum of diversity is in the center of the urban. The landscape diversity distributes

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(40371092)

**收稿日期:** 2003-11-24; **修订日期:** 2004-05-29

**作者简介:** 岳文泽(1977~), 男, 安徽凤台人, 博士生, 主要从事景观生态与 GIS 研究. E-mail: yuewenz@sohu.com

**通讯作者:** 徐建华 Author for correspondence. E-mail: jhxu@ecnu.edu.cn

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 40371092)

**Received date:** 2003-11-24; **Accepted date:** 2004-05-29

**Biography:** YUE Wen-Ze, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology and GIS. E-mail: yuewenz@sohu.com

with a ring mode wavyly from the center to the outer. With the increasing extent, the maximum of diversity moves to an urban-rural ecotone where landscape types change dramatically. At the smaller scale, the more details are to be detected. When scale increases, the local details fade out gradually while the character of whole spatial pattern stands out. Due to the development and the directions of its extending, landscape diversity is uneven as a whole. The coarser the scale is, the more obvious imbalance it shows. (2) The changes of spatial pattern of landscape diversity at different scales are closely linked to the characters and functions of urban landscape, especially to economic benefit, social benefit and cost. Due to the high spatial cost in the center of the urban, only the landscape types that have more social and economic benefits can be located. And thus, they have the characters of simplex type, high congregation and high fragmentation. While those landscape types of low economic and social benefits can only be located at the fringe or outskirt of the urban, they have the characters of simplex landscape types, larger patches and less fragmentation. However, the urban-rural ecotone has more various landscape types and complex pattern. (3) Semivariogram discloses the spatial variance character and internal mechanism of landscape diversity quantificationally. At a small scale, the spatial variance of diversity is more complicated. The spatial heterogeneity, which is caused by spatial autocorrelation, contributes a lot to the total spatial heterogeneity of terrestrial ecosystem, while the spatial heterogeneity which is caused by random factors (scale and measure error) contributes less. The increasing scale washes off the detailed variances in a fine scale. The coarse scale may results in more nugget effect and less contribution, which is caused by spatial autocorrelation. (4) Landscape diversity has the character of scale dependency, i. e. it is a function of scale. The results differ at different scales we have chosen, so influence of scales on pattern in the research of landscape ecology cannot be neglected.

**Key words:** scale; diversity; spatial pattern; semivariogram

文章编号:1000-0933(2005)01-0122-07 中图分类号:Q149 文献标识码:A

景观生态学集中关注于对生态系统空间关系的研究,它将景观视为在空间上镶嵌和紧密联系的生态系统组合<sup>[1]</sup>。格局与过程是生态学的重要范式,过程产生格局,格局作用于过程。若要正确理解格局与过程的关系就必须认识到其依赖于尺度的特点,即尺度效应。景观生态学中的尺度最具复杂性和多样性,所以多尺度问题历来就是景观生态学的核心问题。Wu 和 Qi 认为,尺度(scale)和尺度变化(scaling)是目前生态学研究中的强意词(buzzword)<sup>[2]</sup>。岳天祥,刘纪远认为,目前生态地理建模方法局限于特定的空间尺度和分类层次,妨碍了对其他空间尺度的分析,生态地理建模目前需要研究的理论核心是多尺度问题<sup>[3]</sup>。Levin 认为,因为生态系统及其格局是在多尺度上存在的,即具有等级系统结构,所以空间异质性分析必须考虑尺度问题<sup>[4]</sup>。Wu 和 Qi 对世界上最主要的 4 种生态学期刊(北美两种:Ecology, Ecological Monographs; 欧洲两种:Journal of Ecology, Journal of Animal)从 20 世纪 30 年代到 90 年代包含“尺度”、“等级结构”等相关词语的论文进行了统计,发现该类论文增长迅速,20 世纪 30 年代只有 2 篇,60 年代为 79 篇,而在 1991~1996 年,6a 内就有 417 篇,由此可见尺度问题受重视的程度<sup>[2]</sup>。

尺度是自然与社会科学都存在的一个基本概念,关于尺度的定义有许多方式<sup>[5~7]</sup>。尺度是观测、过程或过程模型在空间或时间方面的基准尺寸,它囊括过程的离散状态或过程状态间的临界点<sup>[8]</sup>。Wu 认为,在景观生态学中,尺度主要是指空间和时间上的粒度(grain)和幅度(extent)。对于空间数据或图像资料而言,空间粒度对应于最大分辨率或像元(pixel)大小。幅度是指研究对象在空间和时间上的持续范围,即研究范围决定该项研究的空间幅度,研究的持续时间确定了其时间幅度<sup>[9]</sup>。截至目前,传统对尺度的研究绝大部分都集中在粒度的变换来进行的<sup>[10]</sup>,但是在一个粒度内只有一种景观属性,对于一些综合性指数例如多样性在研究区的空间变化及其对空间范围的依赖与响应则无从计算,而幅度变换则解决了这个问题。

城市景观是一种特殊的景观,其结构、功能及其演化过程,明显地区别于其它景观<sup>[11]</sup>,在城市景观内部更强调景观系统的经济功能、文化功能,而生态功能反而得到弱化。城市景观类型的分化是由城市的地域分化而产生的。城市的景观分化是城市发展过程中一种重要的运动形式。在城市形成之初,就存在住宅、作坊、店铺等,他们是城市的基本组成单位——城市细胞,并随着城市内部的商品经济活动的丰富而进一步扩大和分化,细胞与细胞之间相互依赖,密切联系,形成城市的地域空间组织,并使城市内部逐渐出现各种功能区域,形成了各种景观类型交替出现、交错分布的城市景观镶嵌体<sup>[12]</sup>。本文选择上海市外环线以内区域作为研究区,通过对不同幅度下景观多样性的空间格局和空间异质性进行比较分析,定量揭示了城市景观多样性的空间变异规律及其尺度效应<sup>[13]</sup>。在理论上验证了景观格局研究的尺度性规律;在实践上为城市景观生态学研究提供了新的思路,另外从景观角度揭示城市用地空间结构及其空间变化的规律性和尺度效应,为上海城市规划、城市景观生态系统优化提供了理论参考。

## 1 研究方法与技术路线

### 1.1 城市景观类型划分

根据城市景观的特征,考虑到区域研究尺度的特点以及资料的可获得性,并结合各类不同景观类型的经济、文化与生态功能,将研究区域内景观类型划分如下:(1)居住景观,主要指城市居民的住宅小区和成片的居民点;(2)工业景观,主要指各类工矿企业、仓储及其附属设施;(3)道路景观,主要包括铁路、各级公路以及交通站场等;(4)建筑工地景观,城市开发过程中各种正在建设或待建的工地等;(5)城市绿化景观,包括各类公共绿地、公园以及各种防护林带和防护绿地等;(6)城市农业景观,主要指城市边缘区,具有强烈城市特色的菜地、耕地、园地等农业用地;(7)河流水域景观,主要指河流及各种水面;(8)商业文化景观,主要指城市中提供商业、政治、文化、教育等服务的设施等<sup>[14]</sup>。遥感解译后的城市景观类型的空间镶嵌结构如彩版 I 所示。

## 1.2 景观多样性及其空间变异的衡量

①多样性指数 多样性指数是基于信息论基础之上,对不同类型景观的丰富程度和复杂程度的反映。参考 Shannon-Wiener 指数,景观多样性可以表示为<sup>[15]</sup>:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m P_i \times \log_2 P_i \quad (1)$$

式中,SHDI 为 Shannon 多样性指数, $P_i$  是景观类型  $i$  所占的面积比例, $m$  为景观类型数目。对多样性公式深入分析发现,同一幅度内,多样性大小同时取决于两个因素:景观类型的数目和景观类型面积组合的均匀度,即在面积相同的两个幅度内,若景观类型相同,面积比率分布越均匀多样性越大,若二者均匀度相同,类型越多多样性越大,所以相同幅度内多样性指数是景观丰富程度和组合复杂程度的综合体现。

②半变异函数 尽管遥感为城市景观研究提供了海量数据来源,同时地理信息系统又提供了分析平台,但是由于城市景观镶嵌体的复杂性,其空间依赖性与异质性往往表现出既具有结构性又具有随机性的特征<sup>[16]</sup>,这就致使它无法用传统的数学方法进行处理。可见,要从海量数据中寻找和揭示城市景观格局的尺度效应规律并非一件易事,必须运用有效的模型与方法才能完成。而地统计方法正是针对这样一类问题的研究需要而发展起来的一种新的统计分析方法。在地统计学中,把具有不确定性和结构性双重属性的空间信息称为区域化变量。区域化变量首先是一个随机函数,它具有局部的、随机的、异常的性质;其次,区域化变量具有一般的或平均的结构性质,即变量在点  $x$  与偏离空间距离为  $h$  的点  $x+h$  处的数值  $Z(x)$  与  $Z(x+h)$  具有某种程度的自相关。可见,区域化变量是普通随机变量在区域内确定位置上的特定取值,它是随机变量与距离有关的函数。区域化变量考虑系统属性在所有分离距离上任意两样本间的差异,并将此差异用其方差来表示,这就是半变异函数<sup>[17]</sup>。由于景观多样性是典型的区域化变量,因此可以用半变异函数来衡量其在空间上的变化规律,即空间依赖性和空间异质性。

设区域化变量  $Z(x)$  满足二阶平稳假设和本征假设,则半变异函数  $\gamma(h)$  定义为<sup>[17]</sup>:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

式中, $h$  为两样本点的空间分隔距离, $Z(x_i)$  与  $Z(x_i + h)$  分别是区域化变量  $Z(x)$  在空间位置  $x_i$  和  $x_i + h$  上的观测值( $i=1, 2, \dots, N(h)$ ), $N(h)$  是分隔距离为  $h$  时的样本对总数。

半变异函数是地理现象分布中的空间依赖性与空间异质性的一个综合性衡量指标,它具有 4 个重要参数:块金值(nugget)、基台值(sill)、变程(range)及分维数(fractal dimension)。当间隔距离  $h=0$  时, $\gamma(h)=C_0$ ,该值称为块金值。当  $h$  增大到  $A_0$  时, $\gamma(h)$  从非零值达到一个相对稳定的常数,该常数称为基台值  $C_0+C$ , $A_0$  为变程,分维数  $D$  则表示半变异函数的曲率。空间依赖性和空间异质性水平在不同的方向上差异显著,因此半变异函数也存在着各向同性和各向异性<sup>[18]</sup>。

## 1.3 技术路线

对于一个研究区域,其景观多样性与其各个子区以及各个子区之间均不相同,根据地理学第一定律,地理事物在空间上具有依赖性,那么对于一定范围、空间相近的子区进行多样性变化关系研究显然是有意义的,这是本文将研究区域划分为不同幅度研究多样性的空间变化规律的出发点。对于幅度(子区)的划分,目前还没有好的方法,本文用不同大小的正方形网格去切整个景观类型,尺度效应正是在这个网格不断增加的过程中表现出来。本文数据源为 5m 分辨率的 SPOT 全色遥感影像。对影像进行纠正后,然后结合区域环境背景,实地调查,采用目视判读,对遥感影像进行解译,得到景观类型的空间分布图。首先进行粒度变换,通过对不同研究粒度下景观格局指数的计算比较,确定适宜研究区域的粒度,然后在 GIS 支持下,分别用 0.5km、1km 和 2km 幅度的网格切割景观类型的矢量图,将各个幅度内的数据转换为栅格格式。用景观分析软件 Fragstats 计算不同幅度下的多样性指数,并将其插值为不同幅度下景观多样性的空间分布格局图,同时将计算结果导入地统计软件 GS+, 计算得到多样性指数半变异函数和理论拟合模型<sup>[19]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 景观多样性的空间异质性

不同幅度下的多样性指数的空间格局如彩版 II ~ 彩版 IV, 分别对应 0.5km、1km 和 2km 幅度。图中,轮廓线为上海市的外

环线。内部环线为上海市的内环高架。黄浦江自南向北把研究区域分为浦东和浦西两个部分。图中研究区涉及 13 个区,其中 10 个城区,3 个郊区,其中最左侧包括嘉定区的小块区域,在图上没有标注出来。景观多样性的大小采用颜色的级别表示。

## 2.2 景观多样性的空间依赖性和变异性

根据景观多样性的空间分布,采用半变异函数来定量衡量城市景观多样性的空间异质性。需要说明的是,半变异函数研究的变量是区域化变量,即存在空间自相关性,首先对 0.5km、1km、2km 幅度下 *SHDI* 计算全局 Moran *I*,发现其 Moran *I* 值分别为 0.5675、0.5386 和 0.4238,说明 3 个幅度下景观多样性都存在正的空间自相关。多样性的空间分布也基本满足本征假设和二阶平稳假设。下面假设多样性指数的变化是各向同性的,得到多尺度下的景观多样性的变异函数及拟合后的理论模型及参数(图 1~图 3)。

从图 1~图 3 可见,不同幅度下半变异函数曲线的差异十分显著,空间幅度越小,得到的空间样本就越多。随着幅度的改变,各个幅度下的半变异函数曲线的理论拟合模型差异也较大,其中 0.5km 幅度下的半变异函数理论拟合模型为指数模型,1km 幅度为球状模型,2km 幅度为高斯模型。一般认为,当  $h$  大于研究区域直径的一半时,空间自相关性可以忽略<sup>[20]</sup>,但是 0.5km 幅度上,随着  $h$  的不断增大, $\gamma(h)$  呈现出倒 U 型变化趋势,多样性的空间变异不增加反而减小。

## 2.3 讨论

**2.3.1 景观多样性对幅度变化的响应** 彩版 II~彩版 IV 可以发现不同幅度下景观多样性的空间格局差异巨大。在 0.5km 幅度下,景观多样性具有几个明显的特点,一是空间格局非常复杂,空间差异显著。二是,从内到外依次出现“高值-低值-高值-低值-高值”的环状扩展模式。最大值出现在静安、黄浦与卢湾 3 区交界的地方,也是上海市中心的人民广场及其周边地区,东面一直到陆家嘴,然后向外逐渐减小,形成第 1 个低值环,当快到内环线的时候又开始增加,并沿着内环线形成了第 2 个多样性较大的区域,然后向外开始减小,形成第 2 个低值环,几个多样性低的区域都出现在这一环带内,但是到外环线附近又形成了第 3 个高值的环带。第 3 个特点是东西不对称,浦西的景观多样性明显高于浦东,在浦东内环线以外除了金桥附近以及东北端的外高桥附近出现两个高值区外,其它地区多样性都很小。而浦西外环线外,在徐汇西南部,普陀和长宁的西部等多样性都很高。多样性最低的区域除了杨浦的北部外,其余都在浦东。

1km 幅度下,多样性空间格局趋于简单,空间变化减小。圈层结构已不明显,总体趋势尽管没有改变,但最大的区域发生了明显转移。最大值在浦东内环的东南角,大致介于陆家嘴到张江高科技园区之间(这个区域汇集了陆家嘴金融贸易区、张江工业园区,世纪公园、汤臣高尔夫球场,上海科技馆、上海新国际博览中心,浦东新区政府以及许多大型在建工地,还有一些以菜地、果园为代表的现代城市农业景观等)。正处于城市化的加速期,景观类型变化十分剧烈。所以该区景观类型十分多样,但是由于是刚开发的新区,景观斑块面积较大。1km 幅度下,另一个多样性高值区,出现在徐汇的南部,多样性低值区的范围总体上没有怎么改变。另外浦东和浦西的差异更加明显,西南部和东北部的差异也凸现出来<sup>[21]</sup>。

在 2km 幅度下,多样性空间格局更为简单。继续保持 1km 幅度的分布趋势,两个高值中心的格局进一步得到加强,浦东的

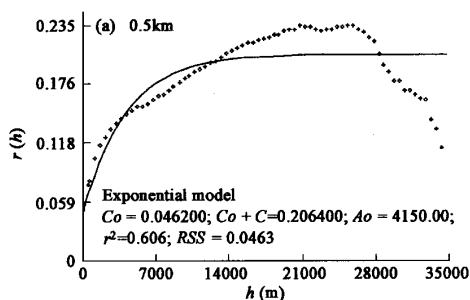


图 1 0.5km 幅度下景观多样性的半变异函数及其理论模型

Fig. 1 Semivariogram and its theoretical model of *SHDI* at the extent of 0.5km

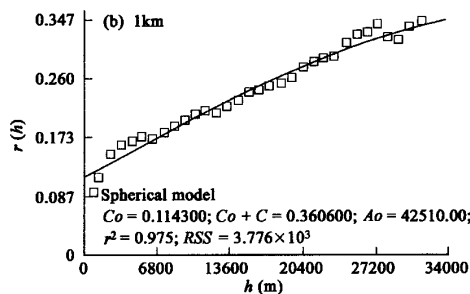


图 2 1km 幅度下景观多样性的半变异函数及其理论模型

Fig. 2 Semivariogram and its theoretical model of *SHDI* at the extent of 1km

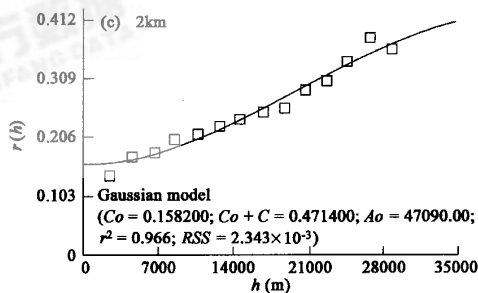


图 3 2km 幅度下景观多样性的半变异函数及其理论模型

Fig. 3 Semivariogram and its theoretical model of *SHDI* at the extent of 2km



多样性高值中心向西偏移,并沿着该高值中心的形状向外辐射,逐渐衰减。而徐汇的高值中心进一步扩展到闵行的莘庄地区。此外在外环线附近还有几个次高值区。在整体上,环带模式扩展已不是很明显。而低值区除了研究区域的最东南角,浦东的孙桥地区外,在杨浦区的东部也出现低值区,此外在闸北区的北部和宝山区的南部也形成了次低值区。浦东与浦西的差异格局依然存在,西南部和东北部的差异更为明显。

对比 3 个幅度下景观多样性的空间分布,不仅空间格局发生了巨大变化,而且在多样性指数大小方面也发生了根本的改变。0.5km 幅度下,多样性指数最大值才有 1.7479,1km 幅度最大值增加到 1.8200,2km 幅度则进一步增加到 1.8660。可见,幅度的改变不但影响到景观多样性的空间分布格局,而且也改变的多样性指数的大小。

当幅度较小时,而景观类型的斑块面积大于幅度的时候,在一个幅度内只有一种,或者两种景观类型,那么多样性必然较低。对于市中心区由于土地成本最高,只有高经济效益、高社会效益的各种单位和部门才能在这里集聚,例如商业、银行、金融、保险、政府、交通等。总体上看景观类型较少,但出于成本考虑这里每一种景观类型的面积都是尽可能缩小,加上幅度分割,小范围内景观优势度很小,所以小幅度下的多样性程度最高。而对于浦东东南及东部地区大部分是地区都是现代城市农业景观,是城市中经济效益较低的景观类型,景观类型单一,斑块面积很大,而且破碎度较小,优势度很大,这样对于小幅度,例如 0.5km,在很多幅度内只有一种景观类型,多样性很低。而在市中心和内环线之间、内环与外环之间的区域主要为一些居住、工业、仓储等用地,尽管景观类型较多,但是单个斑块面积较大,面积百分比均匀度差,小幅度下,多样性也较小。在内环和外环线附近是两个主要的过渡区和城乡交汇区类型最多,小幅度下形成了多样性较高的区域<sup>[22]</sup>。

根据多样性指数的公式,多样性的大小取决于幅度内景观类型的丰富度、各类面积的均匀度。这样随着幅度的增加,在市中心区总体上景观类型较少(主要涉及居住、道路、绿化和商业文化景观),这样在较大的幅度下(1km、2km)多样性指数并不是最高的。而在浦东的世纪公园附近,这里是上海目前城市景观变化最剧烈的区域,涉及研究区内所有的景观类型,而且并没有任何一种景观类型具有特别高的优势度,这样就成为多样性最大的区域。另外在徐汇区的南部,这里也是城市的边缘地带和城乡过渡带,形成了另一个多样性较大的区域<sup>[21]</sup>。另外在浦东的外高桥保税区、嘉定的丰庄地区,闵行的莘庄地区等形成城市的外围开发组团区,景观类型增加,多样性也较高。

总体格局上,多样性存在浦东与浦西的不平衡,西南和东北部的差异与上海的城市发展历史和城市空间扩展的规划布局息息相关。浦东地区在 1990 年开发以前城市面积较低,随着十几年的发展已经成为现代化的大都市,但是毕竟发展历史较短,城市化主要集中在陆家嘴到内环线的区域,此外,在内环以外还有张江高科技园区、金桥现代科技园、外高桥保税区等几个开发组团,增加了景观类型,而其他大部分区域都仍然是城市农业景观。在浦西,东北部是上海的老城区,主要是居住和商业两种景观类型,而现在西南方向是上海城市扩展的一个主要方向,例如闵行的莘庄工业园和闵行大学城等都具有相当的规模。

**2.3.2 不同幅度下景观多样性的空间变异特征** 一般认为区域化变量  $Z$  的空间异质性  $SH(z)$  (Spatial Heterogeneity) 由两部分组成,一部分是随机误差( $SH_R$ )引起的(尺度问题、测量误差等因素造成),另外一部分则为空间自相关( $SH_A$ )引起的<sup>[17]</sup>,可表示为:

$$SH(z) = SH_R(\text{随机部分}) + SH_A(\text{空间自相关部分}) \tag{3}$$

块金值  $C_0$  表示随机部分的空间异质性,较大的块金值表明小尺度上的某种过程不可忽视。而  $C$  则表示空间自相关部分引起的空间异质性。基台值  $C_0+C$  则表示系统属性或区域化变量最大变异,基台值越大表示总的空间差异性程度越高。那么块金值与基台值之比  $C_0/C_0+C$  则反映了随机部分引起的空间异质性占总空间异质性  $SH(z)$  的比重。

对比不同幅度下景观多样性的半变异函数的特征,多样性随着尺度的变异特征具有一定程度上的相似性,表 1 给出了不同幅度下多样性变异函数理论模型及其参数。

表 1 不同幅度下景观多样性半变异函数的理论模型及参数

Table 1 Semivariogram theoretical model and its parameters of SHDI at the different extents

| 幅度 Extent(km) | 模型 Model    | $C_0$  | $C_0+C$ | $A_0$   | $C_0/(C_0+C)$ | $r^2$  | RSS    |
|---------------|-------------|--------|---------|---------|---------------|--------|--------|
| 0.5           | Exponential | 0.0462 | 0.2064  | 4.1500  | 0.2238        | 0.6060 | 0.0463 |
| 1             | Spherical   | 0.1143 | 0.3606  | 42.5100 | 0.3170        | 0.9750 | 0.0038 |
| 2             | Gaussian    | 0.1582 | 0.4714  | 47.0900 | 0.3356        | 0.9660 | 0.0023 |

从图 1 可以看出城市景观镶嵌结构的多样性指数具有明显的空间自相关性:距离较小的时候,空间变异也较小,在一定的距离范围内,多样性指数的空间变异与距离是呈正相关的,当距离增加,相似性减小,多样性指数在空间上的差异也增加,半变异函数增大。在实地,景观结构多样性大的区域,其相邻区域景观结构的多样性在一定程度上也较大。图 1 显示了 0.5km 幅度上,在变程范围内空间变异波动最大,说明小幅度上的结果体现了更多的细节,小尺度的半变异函数检测了更细微的变异。

图 1~图 3 显示了多样性指数具有明显的尺度依赖性,多样性指数的半变异函数在不同的尺度上差异十分显著。根据对半变异曲线的拟合,各个尺度的理论模型和参数是有差别的。0.5km 尺度上,理论模型符合指数变化特征,其中块金值  $C_0$  为 0.0462,块金值表示随机部分的空间异质性。基台值  $C_0+C$  为 0.206,基台值则表示系统属性或区域化变量最大变异。而块金与基台值之比  $C_0/(C_0+C)$  为 0.2238,其反映了随机部分引起的空间异质性占总空间异质性  $SH(z)$  的比重。变程为 4.15km。 $r^2$  和  $RSS$ (剩余残差平方和)的值反映了该模型的拟合优度。图 1 的块金值说明了 0.5km 幅度尽管已经是一个较小的尺度了,多样性的空间变异可能仍然具有尺度或者测量误差的作用,基台值衡量的在空间自相关范围内总的空间变异程度,除去块金值,其余的空间变异则是由空间自相关贡献的。1km 和 2km 幅度的理论模型分别为球状模型和高斯模型。从图 1~图 3 和表 1 可以发现,随着幅度的不断增加,半变异函数的块金值也不断增加,即块金效应逐渐增强,表明随机部分所造成的空间异质性也不断增加。随机因素主要包括尺度影响和测量误差,本研究各个幅度测量误差是一定的,这样就说明随着尺度的增加,掩盖了该尺度内部较小尺度上的空间变异特征,尺度所产生的误差则以块金效应表现出来。从 2~0.5km,发现  $C_0/(C_0+C)$  不断减小,从 0.3356 减小到 0.2238,说明随着空间尺度的减小,随机部分引起的空间异质性占总空间异质性  $SH(z)$  的比重逐渐减小,而空间自相关部分引起的空间异质性对系统总空间异质性的贡献不断增加。图 1~图 3 还揭示了研究区内景观多样性的半变异函数对不同的尺度的敏感程度具有显著差异,经过对比发现,1km 幅度下,模型拟合优度最高,所以就本文来说,对于 600 多平方公里城市景观区域的多样新变化,1km×1km 的幅度是比较适宜的。

变程揭示了多样性空间依赖性的空间距离,在 0.5km 幅度范围,多样性的空间自相关出现在局部范围(4.15km),当超过 4.15km 后,空间自相关就不存在了。随着幅度的增加,变程也增加,说明多样性指数在更大的范围内存在着空间依赖性。0.5km 幅度下,当  $h$  达到 23km 时,尽管研究证明由于超过研究范围的一半,对半变异函数已没有意义。但是,多样性的半变异函数出现减小的变动趋势,从另外一个角度这与彩版 I 揭示的 0.5km 幅度下景观多样性的空间格局的环状圈层扩展完全吻合,当空间距离达到同一圈层的另外一面时,相似性就会增加,而异质性则会缩小,半变异函数则会下降。这种变化趋势还说明从内到外各个圈层的内部景观结构相似性的存在是合理的。

**2.3.3 景观多样性空间变异的各向异性** 由于城市景观系统是个复杂的巨系统,其影响因素和变量众多、结构复杂<sup>[11]</sup>,在不同的方向上的变化是非均匀的,具有不同的变异特征,即存在空间变异的各向异性<sup>[18]</sup>。通过上文发现上海市景观多样性的空间分布也具有各向异性,另外各向异性也是尺度的函数,不同的幅度下,各向异性的特征并不相同。这样,为更好的衡量其空间变异特征,对于不同方向上的变化必须采用不同的理论模型来拟合,而不同的尺度下,模型也是不同的。限于篇幅,关于不同尺度下景观多样性的各向异性将在另文讨论。另外上海市的城市扩展基本上是一种圈层模式,这样各向异性的差异并不是很大。

### 3 结论

通过对上海市外环线内城市景观多样性的空间格局分析及利用半变异函数对多样性空间格局的变异特征定量描述,得到如下几点结论:

(1)随着幅度增加,景观多样性程度也不断增加,另外多样性的空间分布格局也具有显著变化,在 0.5km 幅度下,多样性最大值出现在市中心,从市中心向外呈现高低起伏的环状模式扩展,随着幅度增加,多样性的高值区向景观类型变化最剧烈的城乡过渡地带和城市化前缘地带转移。小尺度下局部的细节变化显著,随着尺度的增加,局部细节变化逐渐消逝,大范围的甚至全局的空间格局更为突出。由于受城市发展历史和目前城市扩展方向的影响,多样性在总体上是不平衡的,尺度越大,不平衡越明显。

(2)不同尺度下景观多样性空间格局的变化,与城市景观的特点和城市景观的功能息息相关,不过其受经济效益和社会文化效益的影响更大,如城市中心由于空间成本高昂,决定了只有经济与社会效益较高的类型在这里分布,也决定着其类型较单一、面积组合度均匀分布特征,而那些经济与社会文化效益较低的景观类型只能分布在城市边缘区和郊区,景观类型单一,而且斑块面积较大,均匀度差;而在一些城市过渡带和城市化的前缘地带,则景观类型多样,组合程度复杂。这样就导致了同一区域不同幅度下景观多样性的格局差异。

(3)半变异函数定量揭示了景观多样性空间变异的特征和内在机制,在小尺度下,多样性的空间变异最复杂,在系统总的变异(空间异质性)中,随机部分(尺度和测量误差)贡献较小,主要是空间自相关部分贡献。随着尺度增加由于掩盖了更小尺度上的变异,导致块金效应增强,空间自相关部分引起空间异质性对系统总的空间异质性贡献则明显下降。

(4)景观多样性具有尺度依赖性,可以说景观多样性也是尺度的函数,在不同的尺度上,得到的结果差异显著,所以在景观生态学的研究中绝对不能忽略尺度对格局与过程的影响。

### References:

- [1] Xiao D N, Bu R C, Li X Z. Ecological spatial theory and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 453~461.

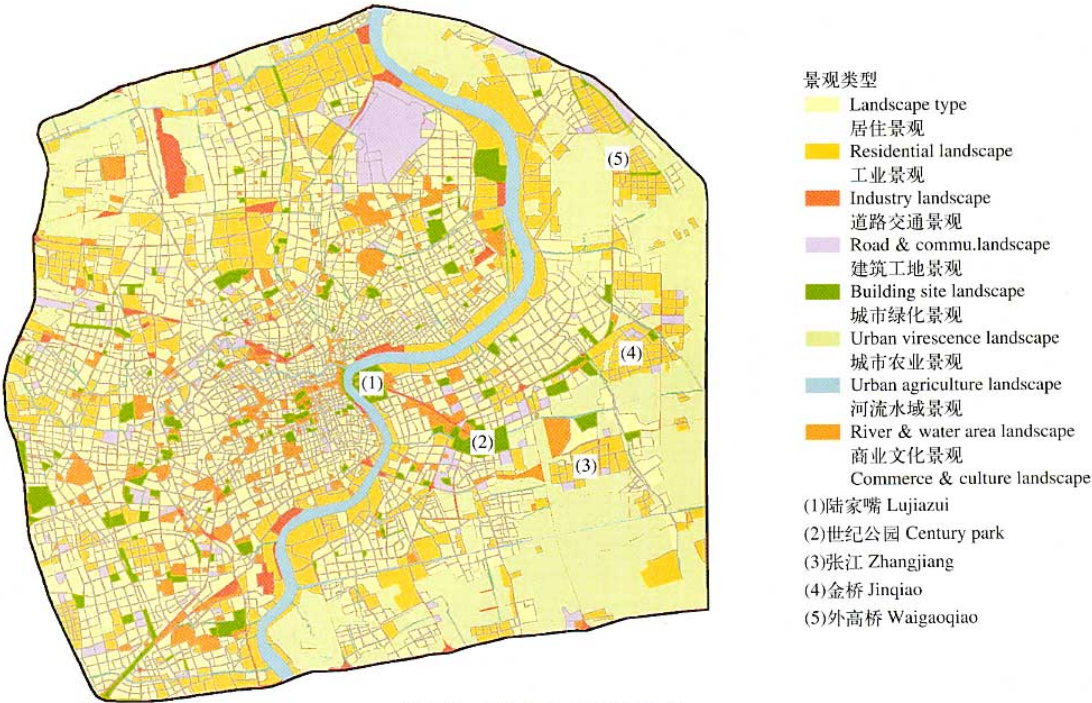
- [2] Wu J G, Qi Y. Dealing with scale in landscape analysis; an overview. *Geographic Information Sciences*, 2000, 6(1): 1~5.
- [3] Yue T X, Liu J Y. Issues on multi-scales in ecogeographical modeling. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 256~261.
- [4] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 1992, 73: 1943~1967.
- [5] Wu J G, Jelinski D E, Luck M, et al. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics. *Geographic Information Sciences*, 2000, 6(1): 6~19.
- [6] Fu B J, Liu S L. Problems and trends of long-term ecological research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 13(4): 476~480.
- [7] Marceau D J. The scale issue in social and natural sciences. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25: 347~356.
- [8] Schulze R. Transcending scales of space and time in impact studies of climate and climate change on agrohydrological responses. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 185~212.
- [9] Wu J G. Landscape ecology: concepts and theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 42~52.
- [10] Peng S J, Huang Z L, Peng S L. The processes and mechanisms of the dispersal of fleshy-fruited plants at different spatial scale. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 777~780.
- [11] Xu J H, Fang C L, Yue W Z. An Analysis of the Mosaic Structure of Regional Landscape using GIS and Remote Sensing. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 32(2): 365~375.
- [12] Li X Z, Xiao D N. Study on the urban landscape ecology. *Urban Environment and Urban Ecology*, 1995, 8(2): 26~30.
- [13] Lv Y H, Fu B J. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2096~2105.
- [14] Li T S. Heterogeneity and its maintenance of urban landscape. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(1): 70~72.
- [15] Wu J G. *Landscape ecology pattern, process, scale and hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 104~105.
- [16] Xu J. *Mathematical methods in contemporary geography* (second edition). Beijing: Higher Education Press, 2002. 105~120.
- [17] Wang Z Q. *Geostatistics and its application in ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [18] Wang J, Fu B J, Qiu Y, et al. Spatiotemporal variability of soil moisture in small catchment on loess plateau-semivariograms. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 428~438.
- [19] Zhao W W, Fu B J, Chen L D. Some fundamental issues in scaling. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(6): 906~908.
- [20] Webster R. Quantitative special analysis of soil in the field. *Advanced Soil Science*, 1985, 3: 1~70.
- [21] Gao J, Song Y C. On landscape dynamics of the urban-rural ecotone based on remote sensing and GIS; a case study of southwest Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 805~813.
- [22] Shi P J, Chen J, Pan Y Z. Landuse change mechanism in Shenzhen city. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(2): 155~156.

#### 参考文献:

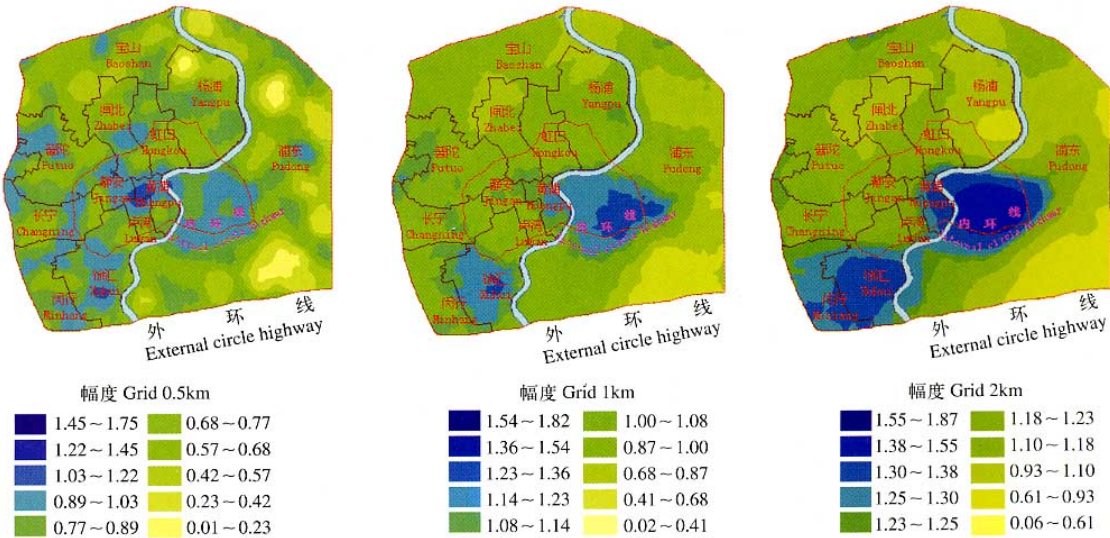
- [1] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. *生态学报*, 1997, 17(5): 453~461.
- [3] 岳天祥, 刘纪远. 生态地理建模中的多尺度问题. 第四纪研究, 2003, 23(3): 256~261.
- [6] 傅伯杰, 刘世梁. 长期生态研究中的若干重要问题及趋势. *应用生态学报*, 2004, 13(4): 476~480.
- [9] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42~52.
- [10] 彭闪江, 黄忠良, 彭少麟. 不同空间尺度下的肉果植物扩散过程和机理. *生态学报*, 2003, 23(4): 777~780.
- [11] 徐建华, 方创琳, 岳文泽. 基于 RS 与 GIS 的区域景观镶嵌结构研究. *生态学报*, 2003, 23(2): 365~375.
- [12] 李秀珍, 肖笃宁. 城市的景观生态学探讨. *城市环境与城市生态*, 1995, 8(2): 26~30.
- [13] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. *生态学报*, 2001, 21(12): 2096~2105.
- [14] 李团胜. 城市景观异质性及其维持. *生态学杂志*, 1998, 17(1): 70~72.
- [15] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 12, 104~105.
- [16] 徐建华. 现代地理学中的数学方法(第2版). 北京: 高等教育出版社, 2002. 105~120.
- [17] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [18] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数. *地理学报*, 2000, 55(4): 429~438.
- [19] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 尺度推绎研究中的几点基本问题. *地球科学进展*, 2002, 17(6): 906~908.
- [21] 高峻, 宋永昌. 基于遥感和 GIS 的城乡交错带景观演变研究——以上海西南地区为例. *生态学报*, 2003, 23(4): 805~813.
- [22] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. *地理学报*, 2000, 55(2): 155~156.



岳文泽，等：城市景观多样性的空间尺度分析——以上海市外环线以内区域为例  
YUE Wen-Ze,et al ; Spatial scale analysis of the diversities of urban landscape:  
A case study within the external circle highway of Shanghai City



图版 I 上海市景观类型结构图  
Plate I The structure of landscape types in Shanghai City



图版 II 0.5km 幅度下景观多样性的  
空间格局  
Plate II Spatial pattern of SHDI at  
the extent of 0.5km

图版 III 1km 幅度下景观多样性的空  
间格局  
Plate III Spatial pattern of SHDI at  
the extent of 1km

图版 IV 2km 幅度下景观多样性的  
空间格局  
Plate IV Spatial pattern of SHDI at  
the extent of 2km