

广州市土地覆被格局异质性的尺度与等级特征

龚建周, 夏北成, 李楠

(中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

摘要: 基于 SPOT 遥感数据源形成广州市土地覆被类型图, 在中心城区选取互相垂直的南北和东西两条样带, 用 Fortran 编程计算各样带在 125m、250m、500m 和 1000m 4 个幅度下的景观多样性指数, 以及 Moran I、Geary C 系数和半变异函数。再将样带分别自北向南和自西向东等间距划分, 形成一系列面积相等的区域, 计算各区域以及样带整体上的多样性指数的尺度方差。结果表明, 土地覆被景观多样性在不同的研究幅度下都存在正的空间自相关性, 并具有方向性。尺度方差结果显示, 尺度方差与尺度和幅度都有关, 随着研究尺度增大, 尺度方差都呈下降之势, 而随幅度增大, 尺度方差并非单调变化。如 125m 和 250m 两种幅度时, 方差随着尺度增大而减少。尺度方差结果进一步揭示研究样带上土地覆被存在多尺度等级结构, 并且具有方向性特点, 同时也反映尺度方差不失为景观异质性研究的一种有效方法。**关键词:** 城市土地覆被; 尺度; 等级系统; 半变异函数; 尺度方差; 广州市

1 引言

空间异质性是指生态学变量空间分布上的不均匀性及其复杂程度, 是空间缀块性和空间梯度的综合^[1, 2]。对空间异质性的研究是景观生态学的重要内容, Risser 等甚至认为景观生态学研究就是异质性的研究^[3]。尺度是空间异质性的度量单位, 空间异质性的程度决定于测量所用的尺度, 依其所属的尺度等级不同而异, 这种多尺度格局反映了生态系统的等级特征^[4]。研究系统的尺度与等级结构有利于更好地认识景观异质性并理解其等级结构功能。系统等级结构特征是等级理论的重要研究内容。复杂系统是由多个层次组成的有序等级整体系统^[5, 6], 在自然界表现为各种格局与过程往往有其特定的时空尺度。也就是系统及其格局是在多尺度上存在的, 具有等级系统结构^[7-9]。系统格局与过程紧密联系并随尺度变化, 不同的格局和过程往往对应于不同的时空尺度^[10], 生态过程和格局是一系列尺度或多层次因子综合作用的结果^[5], 具有空间异质性特性。因此, 研究生态过程及其驱动机制时需首先进行多尺度、等级分析^[11], 这将是进一步理解生态过程的基础, 也是正确认识生态过程及其驱动机制的前提。

土地覆被是土地类型及其所具有的一系列自然属性和特征的综合体^[12], 是人类活动和自然过程在一定的时间和空间尺度范围内共同作用的结果^[13, 14]。具有其特有的尺度和等级特征。城市生态系统过程与格局的综合作用主要通过土地覆被来体现, 人类活动对城市生态系统的作用也通过土地利用 / 覆被来表现。因此, 研究快速城市化区域景观系统的土地覆被格局特征对于了解人类对城市生态系统的影响、城市生态系统的演化动向、驱动机制及相应的环境问题是一项紧迫的基础研究。城市土地覆被景观研究也是指导城市化发展方向、减轻因城市化而产生的环境影响、规划城市建设和生态建设等方面的一项

收稿日期: 2005-12-21; 修订日期: 2006-03-23

基金项目: 中山大学 985 工程环境污染控制技术创新平台项目 [Foundation: Environment and Pollution Control Project of 985 Engineering of Sun Yat-sen University]

作者简介: 龚建周 (1970-), 女, 博士生, 主要从事环境生态与生态环境管理。E-mail: gongjzh66@126.com

通讯作者: 夏北成, E-mail: xiabch@mail.sysu.edu.cn

重要基础工作。

本文以广州市中心城区为研究区域, 基于空间高分辨率 SPOT 遥感影像解译形成研究区土地覆被类型图, 探讨城市土地覆被的空间尺度与等级特征, 是对城市土地覆被等级特征研究的一个尝试。目的在于更好地理解城市土地覆被等级系统的复杂性^[15], 更好地揭示和理解城市生态系统的生态过程和特征, 有利于城市管理和总体规划以及评价其环境与资源特征, 也为建立可持续发展的生态城市提供参考信息。

2 研究区概况与方法

2.1 研究区概况

研究区 (E112°57'-114°13', N22°26'-23°56') 广州市位于珠江三角洲的中心腹地, 市域总面积 7434.4 km²。濒临南海, 是中国南方最大的海滨城市。地势东北高, 西南低, 北部和东北部是山区, 中部是丘陵、台地, 南部是珠江三角洲冲积平原, 属亚热带海洋性季风气候。本研究区涵盖广州市的海珠、黄埔、荔湾、越秀、天河、番禺 6 区及白云、萝岗区部分, 总面积 1215.53 km²。

2.2 分析数据的生成

所用原始数据为以广州市城区为中心的 SPOT 遥感影像 (轨道号为 284/303, 拍摄时间为 2002 年 11 月 7 日)。以 1:5 万的地形图为准, 采用三次多项式及最邻域插值法对遥感影像进行几何校正, 配准误差控制在 1 个像元以内。经多波段影像合成再与全色波段融合, 形成空间分辨率为 5m 的假彩色合成图像。经裁剪形成上述研究区。再通过人工解译遥感影像, 以及现场踏勘校正解译结果, 形成研究区土地覆被类型图 (共 16 类)。参照国外用于遥感调查的土地利用 / 土地覆被分类体系^[16]及我国土地利用分类标准^[17]以及土地覆被分类的有关参考文献资料^[18], 结合研究区特点, 归并小类形成适合本研究区的 8 种土地覆被类型, 分别是: 耕地、园地、林地、灌木林地、绿地、城镇建设用地 (居民用地及工矿用地)、水域和交通过地。然后在 Arc/info 软件的 grid 模块下, 将原始矢量类型图转换成栅格图, 栅格大小为 5 m。

2.3 研究方法

基于景观多样性指数, 用半变异函数进行不同幅度下的自相关检验及分布特征的分析, 了解研究区景观异质性特征。运用尺度方差及方差分析方法进一步探讨空间异质性的尺度与等级特征。半变异函数的计算见相关文献^[7, 19-21] (拟合模型的最优选择由残差 RSS 来决定)。多样性指数的计算公式为:

$$SHDI = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot \ln P_i) \quad (1)$$

式中: P_i 为景观类型 i 的面积占景观总面积的比例, n 为总的景观类型数目。

采用尺度方差分析多尺度的空间变异以及确定格局的特征尺度方面具有较大的优势^[22-25]。本文采用能较好地反映景观丰富程度和组合复杂程度的多样性指数^[7], 分析不同幅度下土地覆被景观多样性的尺度方差, 探讨研究区土地覆被等级特征及其发生的等级水平或空间尺度, 以识别城市生态系统空间变异性所对应的重要的空间尺度, 确定功能上重要的尺度范围。

以四个层次的系统为例, 对等级尺度方差的运算过程及公式介绍如下^[1]:

尺度方差的统计模型为: $X_{ijk\dots z} = \mu + \alpha_i + \beta_{ij} + \gamma_{ijk} + \dots + \omega_{ijk\dots z}$, 各层次水平的尺度方差为:

$$\begin{aligned}
SV_{\alpha} &= \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}} (\bar{X}_{ijk} - \bar{X} \dots)^2 \right) / (I - 1) \\
SV_{\beta} &= \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}} (\bar{X}_{ij.} - \bar{X}_i \dots)^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^I (J_i - 1) \right) \\
SV_r &= \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}} (\bar{X}_{ijk} - \bar{X}_{ij.})^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} (K_{ij} - 1) \right)
\end{aligned}
\tag{2}$$

式中： $X_{ijk\dots z}$ 表示等级系统最低层次上某组成单元的取值， μ 表示在这一层次上系统基本组成单元的总平均数，其余各项表示从最高层 α 开始，依次对系统总体方差的影响。 SV 分别为各等级层次上的尺度方差； \bar{X} 为不同等级上多样性的平均值。 i 、 j 、 k_{ij} 分别是 α 层次上的单元数、第 i 个 α 层次单元中所包含的 β 层次上的单元数、第 ij 个 β 层次单元中所含的 γ 层次上的单元数。

另外，计算各尺度下的方差与对应幅度下的总方差之比，进一步探讨研究区景观异质性尤其是等级结构特征。方差计算公式见有关统计工具书刊^[26]。

2.4 技术路线

根据研究需要，裁剪形成自西向东和自北向南的两条垂直样带，样带交汇点为以广州云台花园、汇景新城、仑头立交和瑞宝村为四角围成的矩形区域(图 1)。其中，自西向东的样带为 1600 行和 6919 列；南北样带为 8000 行和 1600 列。用 Fortran 编程计算移动窗口内的景观多样性指数。移动窗口设置为 125 m、250 m、500 m 和 1000 m 4 种边长幅度，窗口移动步长为一个窗口边长。此过程相当于分别用 125 m、250 m、500 m 和 1000 m 幅度的网格切割样带矢量类型图，形成不同幅度下的类型图，并计算对应的景观多样性。在此基础上再计算不同幅度下 Moran I 系数和 Geary C 系数^[1]，检验景观多样性自相关的存在与否；然后运用 GS+ 软件计算得到多样性指数的半变异函数及其理论拟合残差最小的模型。同时计算不同幅度景观多样性指数的尺度方差，尺度方差的计算窗口为 8000 m×8000 m 的矩形(矩形边长正好等于样带的宽度)。分别在自东向西、自北向南的两个方向上滑动，当完成一个窗口内的尺度方差计算后，向前滑动一个幅度大小的距离。整个样带上的尺度方差取各窗口内的平均值。最后对多样性指数进行相应尺度的方差运算。

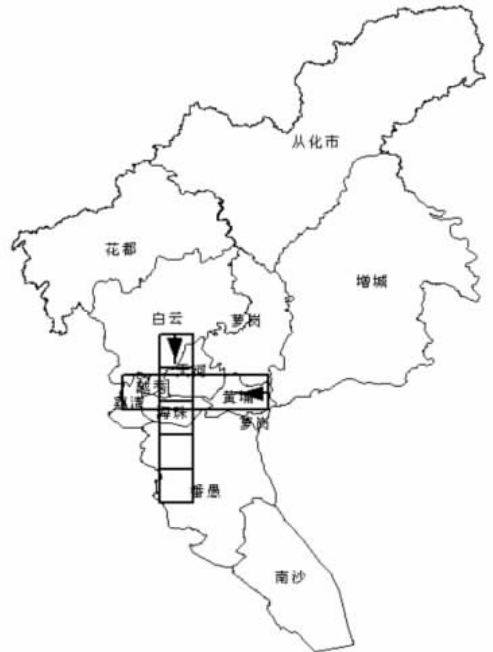


图 1 尺度方差计算所用的样带选取图
 Fig. 1 The 1000 m grid with the location of both transects of N/S and W/E for calculating scale variance

3 结果与分析

3.1 景观多样性的尺度依赖和变异性

不同幅度下景观多样性指数的空间自相关系数计算结果如表 1。各幅度下两个自相关系数的数值都在 0-1 之间，表明研究样带上景观多样性在不同幅度都存在正的空间自相关。

将半变异函数结果绘制成曲线如图2(其中, a、b、c表示南北样带上250 m、500 m、1000 m的取样幅度; A、B、C表示东西样带上250 m、500 m、1000 m的取样幅度)。从图2a、2b、2c可以看出, 南北样带不同幅度下景观多样性的半变异函数都可拟合成理想的指数模型, 表现为相关系数较大, 残差较小, 尤其是500 m和1000 m幅度下, 相关系数都大于0.8; 多样性的块金方差、基台值、块金值与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 变化不十分显著, 说明南北样带上景观多样性指数空间变异性的尺度依赖不明显, 各幅度下引起景观多样性空间变异的内外因素的比例较稳定。

图2A、2B、2C显示, 东西样带上景观空间结构不同于南北样带。表现为半变异函数曲线的最优理论拟合模型在幅度1000 m下为球体模型; 各幅度下的理论拟合模型曲线的相关系数都小, 模型拟合效果不甚理想。多样性的块金方差、基台值随着研究幅度增大而减小, 表明研究幅度增加, 样带上景观多样性指数的变异程度呈减小之势, 随机结

表1 景观多样性指数的空间自相关系数

Tab. 1 Coefficient of Moran I and Geary C for landscape diversity index

方向	不同幅度下的 Moran I				不同幅度下的 Geary C			
	125m	250m	500m	1000m	125m	250m	500m	1000m
南北	0.4186	0.4227	0.3976	0.4371	0.5810	0.5758	0.6035	0.5550
东西	0.4176	0.3940	0.4461	0.5358	0.5814	0.6054	0.5578	0.4825

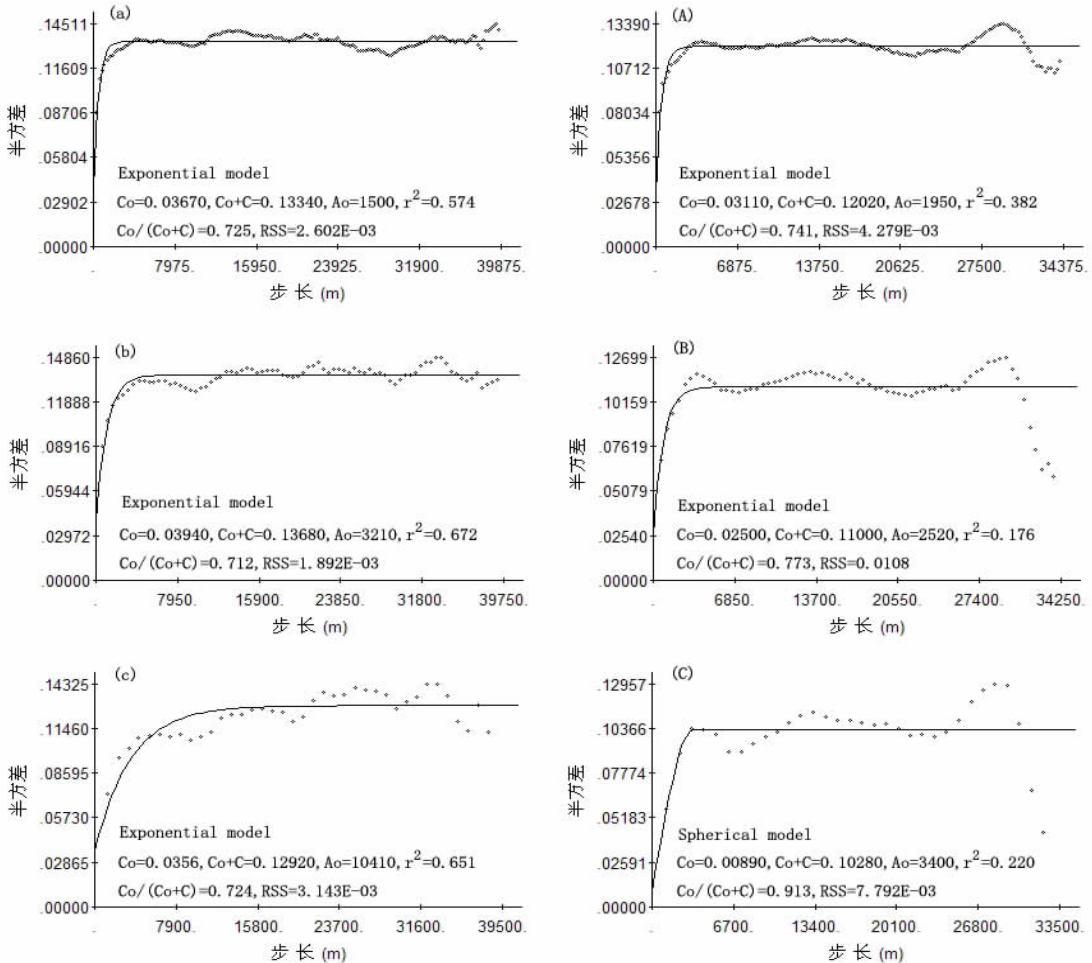


图2 不同幅度下景观多样性的半变异函数及其理论模型

Fig. 2 Semi-variogram and its theoretical model of SHDI at extents of 250 m, 500 m and 1000 m at both transects of N/S and E/W

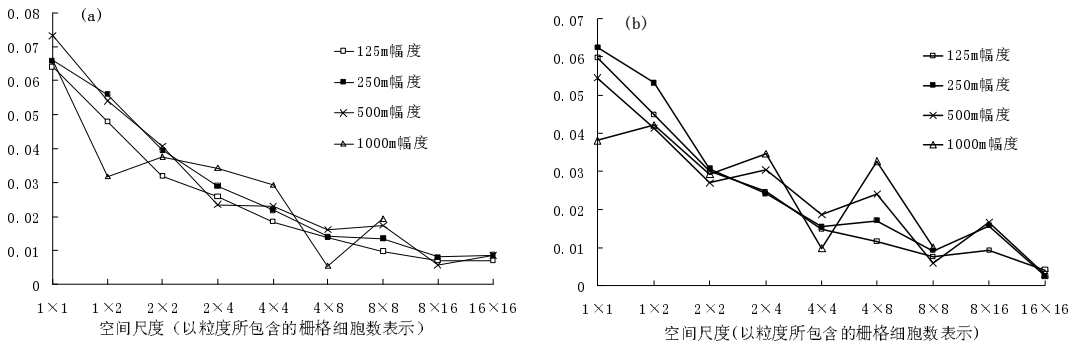


图 3 景观多样性指数的尺度方差

Fig. 3 Scale variance of landscape diversity index for land cover against scale levels from 1 by 1 to 16 by 16

构造成的变异性也减弱。但是，块金值与基台值之比 $C_0/(C_0 + C)$ 单调增加，反映随研究幅度增大，随机因素对景观多样性的影响增大。

3.2 尺度方差分析

只研究同一样带下景观多样性各向同性的尺度方差，不同幅度下的尺度方差计算结果如图 3。从图中可以看出，尺度方差变化与幅度和尺度相关，说明样带上的景观结构具有多尺度的结构特征。不同幅度下，尺度方差的变化趋势是一致的，表现为随尺度增大方差变小且趋同，至 16×16 尺度（即 16×16 个栅格细胞的水平或粒度，后文表述类似）时，各幅度下的方差几乎无差异。其次，不同幅度下尺度方差与尺度空间的几何形状有关，矩形空间条件（尺度）下的方差偏高，而方形空间条件下的方差明显偏小，并且这种几何形状的方差变化具有地理方向性，表现为东西样带上几何形状的影响大，南北样带上小。三个较小幅度的尺度方差值很接近，且变化趋势一致性高。另外，幅度越大，尺度方差对空间几何形状的依赖越强，东西样带表现明显而呈规律性。东西、南北两个样带上，景观异质性在东西方向较强，缀块性和等级结构更复杂。该研究区域的東西样带基本上覆盖了广州市的老城区和新城区建成区，而南北样带则覆盖着包括白云区 and 番禺区的部分城郊区域，结果表明，城市建成区景观比城郊区景观的变异更大，异质性更高。

3.3 景观多样性指数的尺度方差梯度分析

为直观地比较景观多样性指数尺度方差的梯度差异，将东西、南北方向上移动窗口内的尺度方差计算结果绘制成三维曲面，分别如图 4、图 4。其中，x 轴表示尺度，数值 1、2、3、...、12 分别对应于尺度大小 1×1 、 1×2 、 2×2 、...、 32×64 ，图 4、图 4 分别为方向自西向东、自南向北；y 轴表示滑动窗口离开起始点的距离 (km)，图 4、图 4 分别为方向自北向南、自西向东滑动窗口；z 轴表示移动一个幅度大小的距离时窗口内尺度方差的值。a、b、c、d 表示幅度分别为 125 m、250 m、500 m、1000 m 时景观多样性指数的尺度方差图。

从两个图可以看出，尺度方差随幅度、尺度及地理方向各有变化。图 4 显示，南北样带上尺度方差及峰值数量都与幅度相关。小幅度时，大的方差出现在小尺度，表明异质性较强，等级结构显著。幅度提高到 250 m 时，方差在大尺度下明显增大。方差峰值数量最多的幅度为 500 m，表明该幅度下异质性强且等级结构明显。幅度继续增大至 1000 m 时，峰值数量明显地减少，方差数值增大，表明此时等级结构层次相对简单。可以看出，景观异质性和等级结构与幅度呈非单调的关系，幅度从 125 m 到 250 m 再增至 500 m 时，尺度方差峰值变化较大，表示景观等级结构差异增大。但到 1000 m 幅度时，景观的等级结构差异减缓。

尺度方差随尺度的响应也十分明显，随着尺度增加样带上景观异质性减弱，等级结

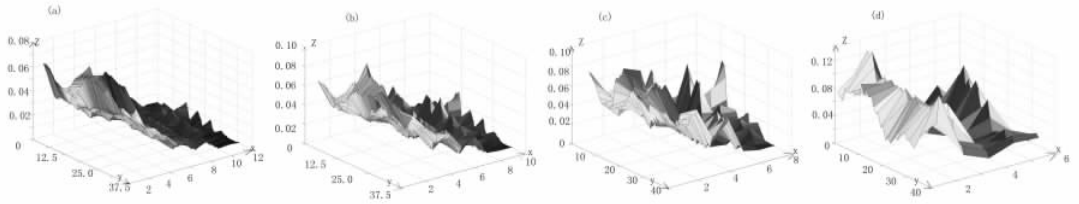


图 4 研究区景观多样性指数南北样带的尺度方差

Fig. 4 Scale variance of landscape diversity index for the N/S transect

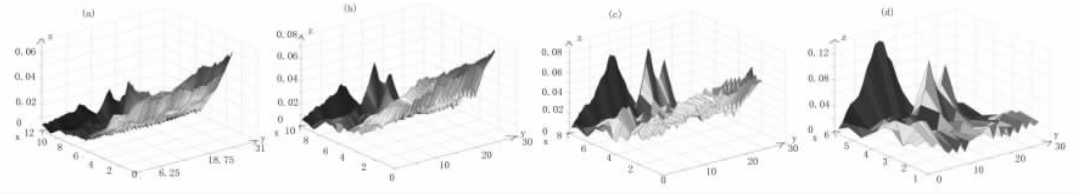


图 5 研究区景观多样性指数东西样带的尺度方差

Fig. 5 Scale variance of landscape diversity index for the W/E transect

构差异减少。但是尺度方差随尺度的响应仍然表现出与幅度有关，表现为 125 m 和 250 m 时，方差随着尺度增大而减少，其余两个幅度下，方差的变化与尺度没有直接的关系。

图 4 还可以看出，南北样带上由北往南，景观异质性减弱，等级结构差异减缓，但是随着幅度增大，这种南北的差异在缩小。

从图 5 可以看出，东西样带上的方差峰值随幅度不同而出现在不同尺度上：幅度为 125 m、250 m 时，在三个尺度上出现方差的峰值，最大峰值出现尺度为 2×2 ；而当幅度为 500 m 和 1000 m 时，最大峰值出现的尺度为 4×8 、 8×8 、 8×16 ；在幅度为 1000 m 时，小尺度下的方差已经与大尺度下的方差出现很大偏差。图 5 还显示，尺度方差的差异还具有地理方向性，幅度为 125 m 和 250 m 时，样带东部在小尺度时方差较大，说明其景观异质性强；中部和西部在大尺度时异质性相对较强。整体上讲是小尺度时的方差偏大。幅度为 500 m 时，大尺度上出现明显增加的方差峰值，中部和西部的等级结构明显增强。1000 m 幅度下，仅有大尺度并在中部和西部出现方差突出的峰值，说明大幅度与大尺度下中、西部局部有明显的等级结构和局部的强异质性。

3.4 方差分析

方差分析结果如图 6。从图中可以看出，东西样带上 1000 m 幅度的方差在小尺度时

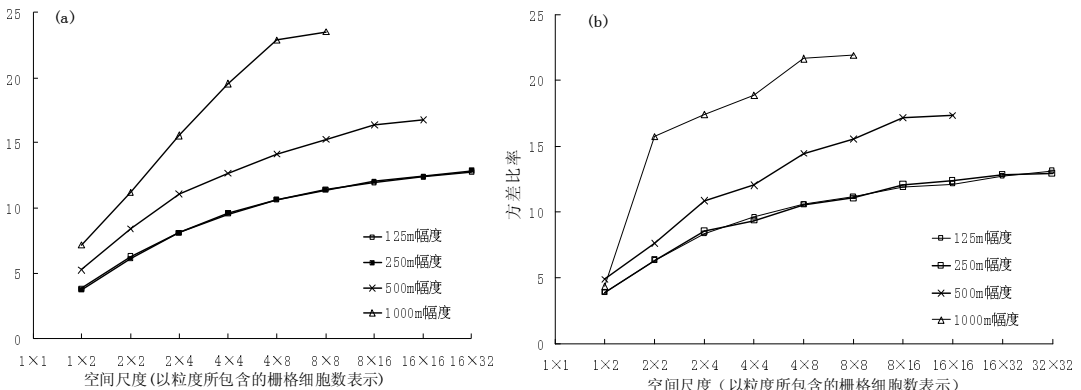


图 6 不同幅度下景观多样性方差的尺度效应分析

Fig. 6 Variance rate against scale levels from scales ranging from 1×1 to 16×32 with different extents

变化快, 尺度较大时变化趋于平缓。其余幅度下, 两条样带的方差比率曲线具有类似的尺度变化趋势; 并且随着尺度由小到大, 多个小景观不断聚合成大的景观, 所有幅度下的方差占总方差的比率都随尺度增大而增大。

从图 6(b) 还可以看出, 从尺度 1×2 到 2×2 时, 东西样带 1000 m 幅度下方差比率曲线变化骤然, 表明该尺度是 1000 m 幅度下等级结构变化的敏感尺度范围。另外, 125 m 和 250 m 幅度下, 方差比率的尺度曲线几乎重合, 表明样带中景观格局在一定幅度范围内的相对稳定性或空间异质性的尺度依赖性。

相对于尺度方差, 可以看出, 方差在反映景观等级结构特征方面不如尺度方差, 反映出该方法反映景观空间异质性尤其是等级结构特征时具有一定的局限。

4 讨论

景观多样性的半变异函数分析可知, 研究区土地覆被格局异质性在不同方向上是不同的, 并与研究所用的幅度大小密切相关, 但是异质性程度与幅度变化并非单调关系。

样带的尺度方差分析显示, 研究区土地覆被不仅存在等级结构格局, 而且具有地理方向性, 同时还与研究幅度大小密切联系。这一结果表明城市土地覆被格局的多尺度等级特征的存在, 也进一步证实空间异质性具有尺度依赖性, 以及复杂系统是多尺度等级系统的结论^[9, 14]。

景观多样性的梯度变化进一步描述了景观异质性的梯度差异细节, 表示出不同于整体的变化, 即东西样带上等级结构的梯度变化相对较弱, 表现为尺度方差曲线较为简单, 只在 500m 幅度以下的大尺度范围内有峰值出现。南北样带下尺度方差曲线峰值个数较多, 并且从北向南的方差曲线连成峰峦状, 反映出自南向北的不同地理位置上多尺度等级结构的存在, 但是不同幅度下等级结构出现的尺度及其峰值大小不尽相同。

研究结果还表明, 尺度方差分析方法在揭示城市土地覆被多尺度的等级特征具有较显著的优势, 揭示城市土地覆被格局的多尺度等级结构的存在, 证实了系统空间异质性的普遍性。鉴于土地覆被对于全球变化的重要性, 进行土地覆被及其变化的研究时有必要展开多尺度上的探讨, 不能将某一规模尺度揭示出来的作用关系简单地应用到高一或低一级的规模层次上。陈启佑等研究认为某一规模尺度上的土地利用 / 覆被变化驱动力机制, 在更大或更小的范围内可能表现得不明显或根本不适用^[14]。因此, 选取适当的方法展开土地覆被及其变化多尺度等级特征的研究, 不仅具有重要的理论意义也具有现实意义。因为空间变异性突出的等级或尺度往往是重要过程运作的等级水平或尺度^[1], 也是功能上重要的空间尺度, 是进一步研究时需要重点关注的尺度。对于主要由人为活动造就的城市土地利用 / 覆被景观而言, 了解到主要功能与过程的等级或尺度水平, 更有利于研究其对于区域乃至全球气候的影响, 有利于探讨其变化的驱动机制, 并将结果运用到生态城市建设和规划中。

参考文献 (References)

- [1] Wu Jianguo. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000. 10-13.
[郭建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 10-13.]
- [2] He Xingdong, Gao Yubao, Zhao Wenzhi. Geostatistics analyzing to cause of formation of circle distribution of plant communities in Horqin Sandy Land. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1512-1516. [何兴东, 高玉葆, 赵文智. 科尔沁沙地植物群落圆环状分布成因地统计学分析. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1512-1516.]
- [3] Qiu Yang, Zhang Jintun, Zheng Fengying. The kernel of landscape ecology: spatial and temporal heterogeneity in ecological systems. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(20): 42-49. [邱扬, 张金屯, 郑凤英. 景观生态学的核心: 生态

- 系统的时空异质性. 生态学杂志, 2000, 19(2): 42-49.]
- [4] Chen Yufu, Dong Ming. Spatial heterogeneity in ecological systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 346-352. [陈玉福, 董鸣. 生态学系统的空间异质性. 生态学报, 2003, 23(2): 346-352.]
- [5] Valerie I Cullinan, Mary Ann Simmons, John M Thomas. A Bayesian test of hierarchy theory: scaling up variability in plant cover from field to remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 1997, 12: 273-285.
- [6] Zev Naveh. *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer-Verlag New York, Inc., 1984.
- [7] Yue Wenze, Xu Jianhua, Tan Wenqi et al. Spatial scale analysis of the diversities of urban landscape: a case study within the external circle highway of Shanghai City. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 122-128. [岳文泽, 徐建华, 谈文琦等. 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. 生态学报, 2005, 25(1): 122-128.]
- [8] Jiang Wenwei, Liu Tong, Ding Lixia et al. Progress in spatial heterogeneity research in landscape ecology. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2003, 20(3): 311-314. [蒋文伟, 刘彤, 丁丽霞等. 景观生态空间异质性的研究进展. 浙江林学院学报, 2003, 20(3): 311-314.]
- [9] Li Habin, Wang Zhengquan, Wang Qingcheng. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(6): 651-657. [李哈滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. 应用生态学报, 1998, 9(6): 651-657.]
- [10] Kronert R, Steinhardt U, Volk M. *Landscape Balance and Landscape Assessment*. Germany: Springer, 2001.
- [11] Samuel A Cushman, Kevin McGarigal. Hierarchical, multi-scale decomposition of species-environment relationships. *Landscape Ecology*, 2002, 17: 637-646.
- [12] Yang Limin, Zhu Zhiliang. The status quo and expectation of global and local land cover and land use RS research. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4): 340-344. [杨立民, 朱智良. 全球及区域尺度土地覆盖土地利用遥感研究的现状和展望. 自然资源学报, 1999, 14(4): 340-344.]
- [13] Chang Xueli, Zhao Aifen, Li Shenggong. Spatial temporal scale and hierarchy of vulnerable ecotone. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(2): 115-119. [常学礼, 赵爱芬, 李胜功. 生态脆弱带的尺度与等级特征. 中国沙漠, 1999, 19(2): 115-119.]
- [14] Chen Youqi, He Yingbin. Scale issues in the analysis of land use/cover change. *Economic Geography*, 2005, 25(2): 152-155. [陈佑启, 何英彬. 论土地利用/覆盖变化研究中的尺度问题. 经济地理, 2005, 25(2): 152-155.]
- [15] Pattee Howard H. Hierarchy theory: the challenge of complex systems. *Ecology*, 55(5): 1174.
- [16] <http://www.pc2nd.com/bbs/UploadFile/ebook/> [区域土地利用土地覆盖遥感调查]
- [17] Liu Liming. *The Discipline of Land Resources*. Beijing: China Agricultural University Press, 2002. 84-86. [刘黎明. 土地资源学. 北京: 中国农业大学出版社, 2002. 84-86.]
- [18] <http://www.nfiicos.cn/html/criterion/land/02-1.htm> [MODIS 技术标准网站 2004-MODIS 技术标准共享平台土地覆盖数据产品参考规范(讨论稿).]
- [19] Wang Xiaochun, Han Shijie, Zou Chunjing et al. Geostatistical analysis of the pattern of *Betula ermanii* population in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 781-784. [王晓春, 韩士杰, 邹春静. 长白山岳桦种群格局的地统计学分析. 应用生态学报, 2002, 13(7): 781-784.]
- [20] Wang Jun, Fu Bojie, Qiu Yang et al. Spatiotemporal variability of soil moisture in small catchment on Loess Plateau: semivariograms. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 428-439. [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): 428-439.]
- [21] Bai Junhong, Ouyang Hua, Deng Wei. Spatial distribution pattern of nitrogen in marsh soils in Xianghai wetlands. *Geographical Research*, 2004, 23(5): 614-622. [白军红, 欧阳华, 邓伟. 向海沼泽湿地土壤氮素的空间分布格局. 地理研究, 2004, 23(5): 614-622.]
- [22] Peter M Atkinso, Paul Aplin. Spatial variation in land cover and choice of spatial resolution for remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(18): 3687-3702.
- [23] Townshend J R G, Justice C O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9(2): 187-236.
- [24] Townshend J R G, Justice C O. The spatial variation of vegetation changes at very coarse scales. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11: 149-157.
- [25] Justice C O, Townshend J R G, Kalb V L. Representation of vegetation by continental data sets derived from NOAA-AVHRR data. *International Remote Sensing*, 1991, 12(5): 999-1021.
- [26] Du Rongqian. *Biology Statistics*. Beijing: Higher Education Press, 1985. 15-16. [杜荣馨. 生物统计学. 北京: 高等教育出版社, 1985. 15-16.]

Characteristics of Scale and Hierarchical Structure of Landscape System under Different Heterogeneities of Land Cover Patterns in Guangzhou City

GONG Jianzhou, XIA Beicheng, LI Nan

(School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The pattern of land cover in Guangzhou city was translated from remote sensing image of SPOT. Two transects of north-south (N/S) and west-east (W/E) were set at the cross point which was the center of Guangzhou. Landscape diversity was selected as an index to describe the abundance of landscape. Four kinds of different extents were chosen to calculate the indices, such as 125 m, 250 m, 500 m and 1000 m. All those calculations were performed with Fortran programs under moving square windows of corresponding extents. The moving windows were sampled along the transects from west to east and from north to south with the step of a moving window size. Based on the calculation of diversity index, coefficients Moran I and Geary C and function of semi-variance were counted at different extents for correlativity of landscape diversity of urban land cover.

Then, the two transects were partitioned by equal distance of the small width of the transects, 8000 m. A series of sample units with equal area were formed along the two transects. Scale variances were figured out for each unit based on the indices of landscape diversity. It was carried out at four extents. The scale variance of each transect was an average of all units in the same transect.

The results revealed that there was a positively spatial autocorrelation between landscape diversities under different extents and the two transects had different spatial heterogeneities of landscape. Besides internal factors, variances of spatial structure of land cover in the two transects were affected by human activities directly. Different rates of factors formed different spatial heterogeneities of landscape of urban land cover. The semi-variance curve of diversity index was not different obviously with the increasing extents at N/S transect, but it was obvious at W/E transect. The rate of $C_0/(C_0 + C)$ increased monotonously, indicating that the impact of stochastic factors on landscape diversity increased with the increase of research extent.

The scale variance of landscape of land cover in the moving windows along the two transects under different extents decreased with the increase of scales, and all scale variances went to be almost similar at a large extent of 1000 m. The values of scale variances were obviously relative to spatially geometrical shape. The scale variance of landscape was bigger when spatial shape of sample units was a rectangle in contrast to the shape of a square. The spatial heterogeneity of landscape in the two transects was not only relative to the direction of transect, but also relative to the extent. The scale variance did not monotonously change from small extent to large extent, such as extents of 125 m and 250 m, the change of scale variance decreased with the increase of extent. Analysis of scale variance showed that there was a multi-scale hierarchical structure of land cover, but it was different between the N/S and W/E transects. The heterogeneity was higher in the W/E transect than in the N/S transect.

In a word, the scale variance and function of semi-variance are appropriate methods to study spatial heterogeneity and hierarchical structure of landscape of urban land cover with changes in scale and extent.

Key words: urban land cover; scale; hierarchical system; semi-variance; scale variance; Guangzhou