

珠江三角洲东部常平地区景观异质性研究^{*}

曾 辉 邵 楠 郭庆华

(北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

提 要 本文以 1988 年 ~ 1996 年 6 个时段景观遥感类型图为主要信息源, 利用信息熵法和空隙度指数法对珠江三角洲东部常平地区的景观异质性进行了研究。重点探讨了景观组分的空间分布差异和异质性动态变化情况。结果显示, 开发区主要呈宏观异质性分布, 果园、农田和林地呈微观异质性分布, 城镇和水体的异质性分布特征均出现显著变化。此外, 研究结果还表明在同一地区同时使用上述两种主要方法进行研究, 可以更全面地揭示景观的异质性特征。

关键词 景观异质性 信息熵 空隙度指数 珠江三角洲

异质性主要指景观内部资源或性状的时空变异程度, 是由于环境要素的时空差异及各种自然和人为干扰作用的时空不均匀性所产生的, 它是景观最基本的结构特征, 也是景观生态学研究的重要内容之一^[1~3]。景观异质性可以分为宏观异质性和微观异质性两种, 当景观中某一点的组分构成与其它任何一点均相似时, 即表现为微观异质性特征; 反之, 当组分构成在两个点上出现显著差异, 则表现为宏观异质性特征。景观异质性是一种强烈的尺度相关特征, 观察尺度不同会导致异质性程度的显著差异, 因此异质性研究通常需要在多尺度上进行^[3,4]。不同组分的异质性特征决定了景观结构、功能和动态变化特征, 了解景观的异质性特征有助于准确地揭示景观现象与各种生物及非生物过程之间的相互关系^[5]。

珠江三角洲地区是我国改革开放的前沿地区, 也是过去 10 年来景观变化最剧烈的地区之一^[6]。本文选择以东莞市常平镇为中心的一块 324 km² (18 km × 18 km) 的正方形区域为典型区, 利用在 1988 年 ~ 1996 年 6 个时段的卫星影像数据基础上, 通过人工监督下的计算机解译分类形成的 6 幅景观图为主要信息源, 来研究这一地区的景观异质性及其动态变化情况, 并对不同景观组分异质性差异的成因进行初步探讨。景观解译分析中, 在研究区内共确定水体、果园、农田、林地、开发区和城镇 6 种景观组分。

1 研究方法

景观的异质性特征可以通过统计手段进行准确度量, 近年来比较成熟的异质性分析方法主要有信息熵法和空隙度指数法两种^[7]。

1.1 信息熵法

信息熵法工作原理是将一条通过景观的样线分成若干等长的样段, 若某一组分在两个

^{*} 北京大学自然科学基金资助项目 (Supported by the Youth Foundation for Natural Science of Peking University), 参加工作的还有唐江、刘晓东两位同学。

连续的样段中同时出现或缺失，则认为它们之间不具有异质性；若只在一个样段中出现而另一个样段中缺失，则认为它们之间存在异质性。对整条样线上所有连续的两个样段都进行类似的比较，通过下面公式可计算出该景观组分在当前观察尺度上的异质性信息熵：

$$I = n / (N - 1) \tag{1-1}$$

式中 I 为异质性信息熵； n 表示观察到的异质性次数； N 表示样段数。

对样段进行两两合并，将长度增加一倍，然后重复上述工作，通过这种多次合并过程就可以观察景观组分的异质性随尺度的变化趋势。当某一组分的信息熵指数 I 随着尺度的增加趋近 1 时，表现为宏观异质性分布；趋近 0 时则表现为微观异质性分布。

1.2 空隙度指数法

空隙度概念是 1983 年由 Mandelbrot 提出的^[7]。空隙度指数的计算是通过滑箱运算法则实现的，将所研究的区域划分为网格，记录网格中景观要素出现或缺失的情况。不同边长的滑箱代表不同的观察尺度，以不同边长的滑箱从采样区的左上角向右或向下滑动，保证采样点间有部分重叠。记录每次采样时滑箱内景观要素出现的频数。滑箱滑过整个区域后，对采样数据进行统计，计算不同尺度下的空隙度指数。计算公式为：

$$Z^{(1)} = S(n(s, r) / N(r)) \tag{1-2}$$

$$Z^{(2)} = S^2(n(s, r) / N(r)) \tag{1-3}$$

$$\Lambda(r) = Z^{(2)} / (Z^{(1)})^2 \tag{1-4}$$

式中 $\Lambda(r)$ 为空隙度指数； $N(r)$ 为以 $r \times r$ 大小的滑箱滑动整个区域采样的总次数，其计算公式为

$$N(r) = 2(M - r + 1) \tag{1-5}$$

式中 M 为研究区域的边长； S 为景观组分在滑箱中出现的频数； $n(s, r)$ 为所研究景观组分占据 S 个格子的滑箱个数。

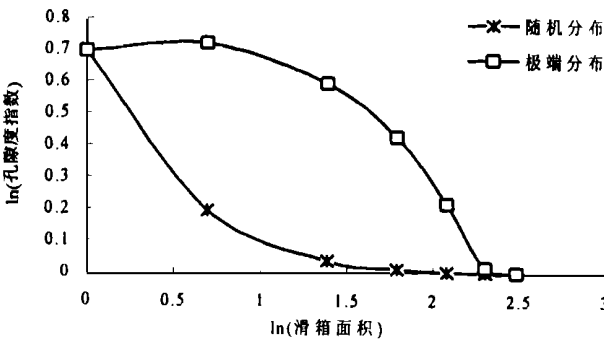


图 1 两种分布方式的孔隙度指数

Fig.1 The lacunarity indices of two spatial distribution pattern

经过一组滑箱处理后计算得到的景观孔隙度指数可以利用滑箱边长为 1 的孔隙度指数进行标准化。标准化后的空隙度指数取值在 0~1 之间，空隙度指数高说明组分空间分布的不均匀性程度高，表现为宏观异质性特征；反之，说明组分空间分布均匀，表现为微观异质性特征。例如，在 12×12 (网格) 的区域内，某一出现频率 $P=0.5$ 的景观组分呈随机分布和极端聚集分布 (规则地分布于工作区的周边区域) 时的标准空隙度指数曲线如图 1 所示。

2 工作区内的景观异质性分析

2.1 信息熵法分析结果及讨论

样线调查按照系统采样方法在研究区内等间距布设了 12 条样线, 为综合反映各组分异质性在南北和东西两个方向上的变化情况, 分别设置了 6 条横向和 6 条纵向平行样线。样线长度为 18 km, 间距 3 km, 每条样线等分为 120 个基础样段。观察景观组分在样段中的出现或缺失情况, 并利用公式 (1) 计算信息熵指数。然后将样段进行合并来增加研究尺度, 每条样线进行了 7 个尺度的采样和异质性信息计算。统计不同组分不同时段表现为宏观异质性、微观异质性以及缺失的样线数目, 结果如表 1 所示。

表 1 样线法信息熵分析结果

Tab. 1 The information entropy analysis results of transect method

景观元素	异质性情况	1988	1990	1991	1992	1994	1996
开发区	宏观异质性	7	10	9	11	10	10
	微观异质性					2	2
	组分缺失	5	2	3	1		
城镇	宏观异质性	9	11	9	5	2	2
	微观异质性	2	1	3	7	10	10
	组分缺失						
农田	宏观异质性	1		1	1		
	微观异质性	11	12	11	11	12	12
	组分缺失						
果园	宏观异质性	1	1	1	1		
	微观异质性	11	11	11	11	12	12
	组分缺失						
林地	宏观异质性		1	2	1	1	2
	微观异质性	12	11	10	11	11	10
	组分缺失						
水体	宏观异质性	5	9	8	6	9	9
	微观异质性	7	3	4	6	3	3
	组分缺失						

从表 1 的结果可以看出, 开发区呈显著宏观异质性分布, 缺失样线数量随着时间推移不断减少, 说明该组分在景观中分布范围不断增加。果园、农田和林地三种组分均呈微观异质性分布, 其中果园和农田的空间分布差异随时间推移轻微下降, 林地则有增加的趋势。城镇最初表现为宏观异质性分布, 随着时间推移又逐渐表现为微观异质性分布。这一变化趋势充分显示出随着城市用地规模的不断膨胀, 其空间分布的均匀性不断增加, 整体结构已发生了质的改变。水体的变化趋势正好与城镇相反, 随着开发建设活动对各种水面的大量占用, 空间分布差异逐渐增加, 从原来的微观异质性分布转变为宏观异质性分布。

信息熵法的分析结果还显示, 样线法的异质性分析结果明显受到样线的起止位置和布线区域的影响。例如开发区和水体部分微观异质性样线的出现, 主要因为样线正好布设在两种组分集中分布的方向上, 而农田和果园的部分宏观异质性样线则恰好布设在两种组分

明显分布不均匀的区域上。由此看来,利用信息熵法进行异质性分析,必须进行多样线采样调查,才能真实反映景观的异质性特征。

信息熵计算过程中发现景观组分存在一个最大异质性表现尺度。在这个尺度之下,组分在样线上的分布是不均匀的,表现出一定的宏观异质性特征;超过这个尺度之后,这种不均匀特征作为一种细节被掩盖,组分在样线上的分布趋于均匀,表现为微观异质性特征。

表 2 不同景观组分的异质性分级*

Tab. 2 The heterogeneity classification of different landscape elements

景观组分	1988 年	1990 年	1991 年	1992 年	1994 年	1996 年
农 田	1	1	1~2	2	2	1~2
果 园	2	1	2	1~2	2	1
林 地	4	3~4	3~4	4	3~4	4
水 体	5	5	6	5~6	6	6
城 镇	6~7	6	6	5	5	4
开发区	7	7	7	7	6~7	6

* 1 最小样段长度, 2 合并一次后样段长度, 3 合并两次后样段长度, 依此类推。

表 2 是工作区内 6 种组分的异质性分级情况。从表中可以看出,农田和果园的最大异质性表现尺度最低,意味着这两种组分即使在很小的尺度观察亦呈现均匀分布;林地的最大表现尺度要高一些,说明这种组分在小尺度观察时不均匀特征十分明显,只有在较高的尺度上才表现为微观异质性分布;开发区的最大异质性表现尺度一直非常高,即表现为明显的宏观异质性分布。水体和城镇的最大异质性表现尺度变化幅度较大,但总体来看,在小尺度观察时,分布极不均匀。

不同组分的异质性表现尺度的时间变化,也反映出组分空间分布的一些动态变化特征。例如,在大规模非农用地开发过程中,农田的最大异质性表现水平有升高的趋势,说明这种组分的小尺度均匀性受到了一定程度的破坏;水体的最大异质性表现尺度的增加和城镇的减少,则反映出这两种组分因受开发活动影响而引起的异质性特征的质的变化。

2.2 空隙度指数法分析结果及讨论

空隙度指数计算的原始数据是通过滑箱采样法获得的,滑箱边长为 1~600 个像元,共选择了 36 种尺度的滑箱进行采样。每个时段每种组分的采样结果分别利用公式(1-4)计算空隙度指数,然后用滑箱面积为 1 个像元的空隙度指数进行标准化,共得到 18 幅综合性空隙度指数及标准空隙度指数图。限于篇幅,本文只选用城镇和农田两幅空隙度指数图及 1988 年和 1996 年两幅全部景观组分的标准空隙度指数图进行分析。

图 2 和图 3 为工作区城镇和农田 1988 年、1996 年的空隙度指数计算结果。两幅图 Y 轴截距的变化反映出城镇的面积逐年上升,并且幅度很大,农田面积有规律地减少。城镇在小尺度区间的空隙度指数很高,但随尺度增大下降较快,曲线的前一段形状接近于直线;较大尺度区间的空隙度指数变化平缓并逐渐趋近于零。说明城镇的分布是不均匀的,但并非呈明显的聚集分布,具有典型的空间自相似特征,随机尺度较大,异质性程度较高。从大尺度区间空隙度指数逐年降低这一趋势看,城镇的分布随时间的推移逐渐趋于均匀,表明这期间的大规模开发建设活动导致城镇的异质性程度有所降低。

农田空隙度指数曲线的走势具有典型的微观异质性曲线特征，且在整个研究时段内比较稳定。随尺度的增大空隙度指数下降很快，在较小尺度上接近于零。空隙度指数很低，随机尺度小，空间上表现为均匀分布，异质性程度很低。1996 年大尺度区间农田的空隙度指数有升高的趋势，这说明在持续强烈的人为干扰下，随着农田不断向非农用地类型转移，其异质性程度稍有提高，空间分布的均匀程度略有下降。

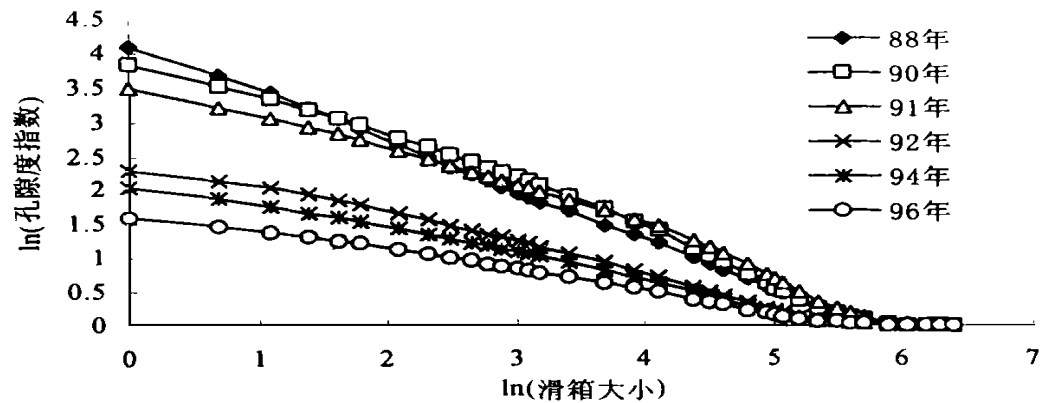


图 2 1988 年~1996 年城镇的空隙度指数
Fig. 2 The lacunarity index of town area from 1988 to 1996

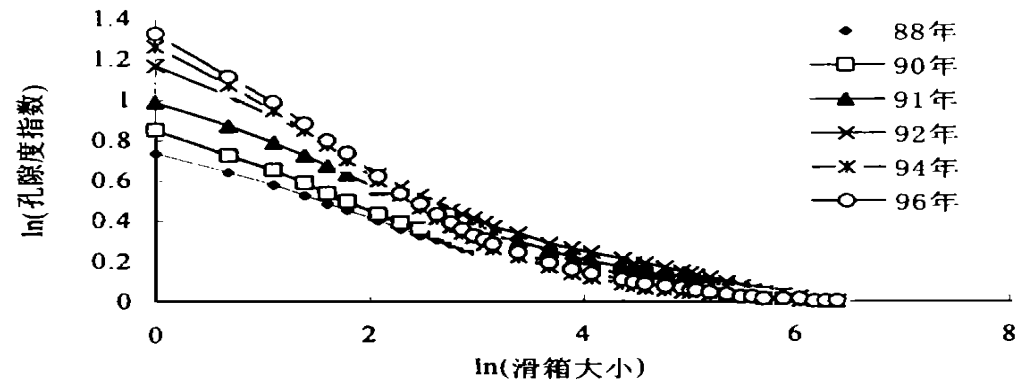


图 3 1988 年~1996 年农田的空隙度指数
Fig. 3 The lacunarity index of arable land from 1988 to 1996

图 4 和图 5 是工作区 1988 年和 1996 年所有景观组分的标准空隙度指数曲线。比较这两幅图的结果不难发现，农田和果园始终表现出明显的均匀分布特征，而林地与信息熵分析的结果出现较大变化，即在中尺度区间内，林地更倾向于非均匀聚集分布。1988 年城镇、开发区和水体在小尺度区间，开发区的分布均匀性最差，城镇次之，水体最好；大尺度区间的分布特征差异不大。1996 年这三种组分在小尺度区间的分布差异性减小，而在大尺度区间则出现了明显的分异，水体的空隙度指数要明显高于城镇和开发区。这种空隙度指数变化结果，真实地反映了水体因面积不断减少而引起分布均匀性下降，同时城镇和开发区因面积增加而趋向于均匀分布的景观变化趋势。

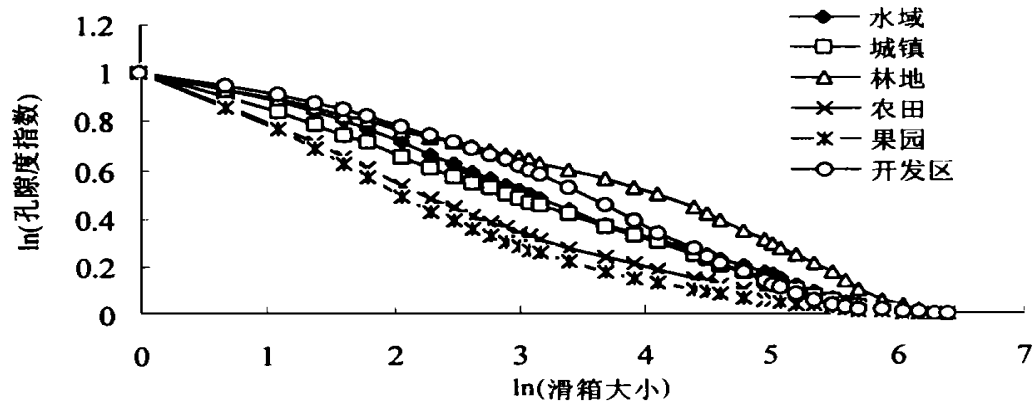


图 4 1988 年景观组分的标准孔隙度指数

Fig. 4 The standard lacunarity indices of landscape elements in 1988

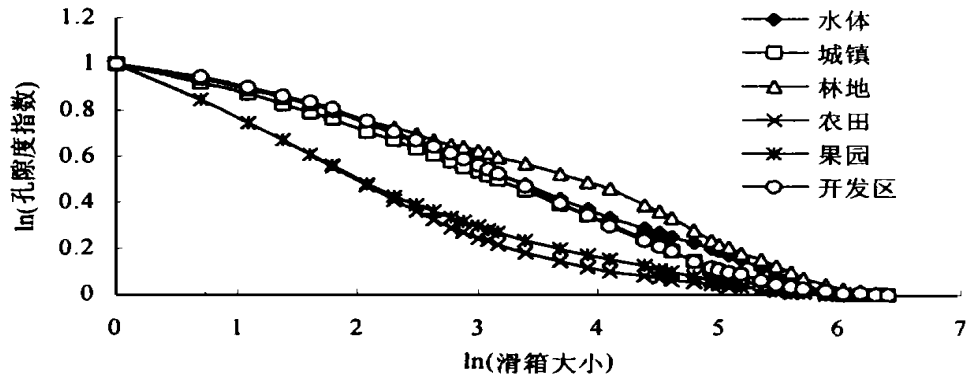


图 5 1996 年景观组分的标准孔隙度指数

Fig. 5 The standard lacunarity indices of landscape elements in 1996

2.3 两种异质性研究方法的比较

从上述分析看，信息熵法基于样线调查资料，受样线布设的数量和位置影响较大。因此，该方法虽然能较好地揭示景观异质性的局部分异特征，但总体综合性程度和连续尺度分析的敏感性不够。空隙度指数方法可以进行连续尺度景观组分空间分布的均匀性分析，并且不会受到局部特殊分布情况或采样点位的强烈影响，是样线法所无法比拟的。例如林地在中尺度区域表现出的显著非均匀分布特征，因样线分析合并尺度过大和特殊林地分布情况的影响而被忽略了。空隙度指数法还可以定量地反映景观组分的面积变化情况，这些也是信息熵法所不具备的功能。不过，空隙度指数需要对全区采样数据进行综合统计，这无疑会忽略了景观组分分布的许多局部细节信息，这种细节信息也是景观结构研究中的重要分析内容，完全忽略显然是不合理的，这是空隙度指数分析方法的一个重要缺陷。由此看来，同时使用这两种方法开展研究，可以更全面、准确地反映景观的异质性特征^[8]。

3 结论

(1) 工作区内各种景观组分的异质性类型和空间分布差异较大。农田和果园表现出典型的微观异质性特征, 空间分布均匀, 异质性程度低; 开发区具有明显的宏观异质性特征, 空间分布聚集, 异质性程度高; 城镇由宏观异质性逐渐转化为微观异质性, 空间分布特征也由聚集转向均匀分布; 水体的异质性特征变化与城镇正好相反, 逐渐由空间分布转向聚集分布; 林地虽然总体上呈微观异质性分布, 但中尺度区域的聚集分布特征明显。

(2) 自然环境条件分异和传统的土地利用方式是部分景观组分异质性特征和空间分布差异的主要原因。全区性均匀的农业经营活动, 导致农田和果园等主要农业用地类型异质性程度低, 空间分布差异不明显; 地形条件作为一种中等尺度的异质性影响因子, 是林地呈相对聚集分布的直接成因。

(3) 过去 10 年来, 研究区景观异质性特征受非农用地开发活动影响较大。随着城市用地面积的不断扩大, 城镇的异质性程度不断降低, 分布趋于均匀; 农田则因为大规模开发区建设的同化和分割作用, 均匀性程度有所降低; 同样在大量分散的水面被非农用地开发活动占用后, 以河流为主的线性水体分布格局是其呈宏观异质性分布的主要原因; 而果园、林地由于所处地形条件特殊, 受开发活动影响小, 异质性特征未出现显著变化。

(4) 信息熵分析方法作为一种简单的异质性分析方法, 可以通过样线调查迅速判断景观组分的异质性特征, 发现景观组分空间分布的一些局部差异, 并通过最大异质性表现尺度进行组分的异质性等级划分。空隙度指数是一种有效的景观组分空间分布格局分析方法, 它可以连续地反映组分空间分布的均匀性随分析尺度增加的变化, 同时还可以定量地反映出组分面积变化、空间自相关尺度等重要信息。将二者结合起来, 在同一地区共同进行异质性研究, 能够真实地揭示景观的异质性特征。

参 考 文 献 (References)

- 1 Mladenoff D J, White M A, Paster J. Comparing spatial pattern in unaltered old-growth and disturbed forest landscape. *Ecological applications*, 1993, **3**(2) 294 ~ 306.
- 2 Li H B, Reynolds J F. A simulation experiment to quantify spatial heterogeneity in categorical maps. *Ecology*, 1994, **75**(8) 2446 ~ 2455.
- 3 Forman R T T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. *Cambridge University Press*, 1995.
- 4 Urban D L, O'Neill R V, Shugart H H, Jr. Landscape Ecology——A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience*, 1987, **37**(2) 119 ~ 127.
- 5 Pickett S T A, Cadenasso M L. Landscape ecology——Spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, 1995, **269**(5222) 331 ~ 334.
- 6 Zeng Hui, Guo Qinghua, Liu Jingyan. Analysis of landscape ecological changing characteristics of Dongguan City. *China Environmental Science*, 1997, **17**(5) 422 ~ 425. (In Chinese) [曾辉, 郭庆华, 刘静艳. 东莞市景观生态演化特征的分析. *中国环境科学*, 1997, **17**(5) 422 ~ 425.]
- 7 Plotnick R E, Gardner R H, O'Neill R V. Lacunarity indices as measures of landscape texture. *Landscape Ecology*, 1993, **8**(3) 201 ~ 211.
- 8 Cullinan V I, Thomas J M. A comparison of quantitative methods for examining landscape pattern and scale. *Landscape Ecology*, 1992, **7**(3) 211 ~ 228.

A STUDY OF LANDSCAPE HETEROGENEITY FOR THE CHANGPING AREA IN THE EASTERN PART OF ZHUJIANG DELTA

Zeng Hui Shao Nan Guo Qinghua

(*Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871*)

Key words landscape heterogeneity, average information level, lacunarity index, Zhujiang delta

Abstract

Heterogeneity is the most essential landscape characteristic and one of the most important objects of landscape research. In this paper, we use six types of landscape remote sensing maps along with a new procedure that combines average information levels and a lacunarity index, to the analysis of the landscape heterogeneity of the eastern part of the Zhujiang delta.

Heterogeneity types and spatial distributions of landscape elements in working areas are very significant. Arable land and orchards are microheterogeneous elements with a homogeneous distribution and a low heterogeneity level. Developing areas are macroheterogeneous elements with cluster distributions and high heterogeneity levels. A woodland looks like a microheterogeneous element, but its distribution is more uneven.

Natural environmental changes and human disturbances are the main causes of the significant differences in heterogeneity and spatial distribution among the landscape elements. Homogeneous management of agricultural production converts arable land and orchards into nonheterogeneous elements, but as areas decrease there is a gradual increase in their heterogeneity. Vigorous human disturbances in a local area, like non-agricultural land exploitation, causes the difference in the spatial distribution of towns and other developing areas. Since geomorphology is a medium-scale impact factor, the woodland has more of a cluster distribution pattern because of its effect. Water's high heterogeneity level is produced by a river's linear characteristics after most of its surface area is changed by construction.

Its results can be used for classifying the microheterogeneity of landscape elements. The lacunarity index method, although losing some detailed structural information, provides results that are not impacted by any local special element distribution. We also gain important structural information such as area change and autocorrelation. Using the two methods simultaneously in heterogeneity studies compensates for the weaknesses of each other and improves the results.

作者简介

曾辉, 男, 1964年生, 副教授, 1989年毕业于北京大学环境科学中心后留城市与环境学系任教, 主要从事景观生态学教学和科研工作。1995年起攻读在职博士学位, 曾先后发表学术论文20余篇。