

# 景观指数的空间尺度效应分析

## ——厦门岛土地利用格局为例

游丽平, 林广发, 杨陈照, 林巧莺  
(福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

**摘要:** 选取8个常用的景观指数, 以厦门岛土地利用格局为例, 分析景观指数随粒度变化的基本规律。探讨尺度效应对景观格局的影响, 为基于景观指数进行不同尺度下土地利用类型、土地利用格局变化预测、对比分析和评价等研究提供参考。结果表明: 在研究区内景观类型特征和景观格局特征随粒度的增大出现了显著的变化; 除面积比例对粒度变化弱敏感外, 其余所选景观指数对粒度变化相对敏感, 体现出一定的尺度依赖性, 因而利用这些景观指数进行不同尺度下的景观格局分析时需考虑尺度效应。

**关键词:** 景观指数; 尺度效应; 厦门岛

### 1 引言

景观指数作为分析景观格局的定量化指数, 在过去二十年的时间里得到迅速发展<sup>[1]</sup>。景观格局具有尺度依赖性, 即尺度效应, 认识和研究尺度效应是正确理解景观格局的关键<sup>[2]</sup>。关于格局与尺度的关系研究是目前正在兴起的一个热点<sup>[3]</sup>。景观格局指数作为量化描述景观格局特征的主要方法之一<sup>[4]</sup>, 进行尺度对景观指数的影响研究, 即景观指数的尺度效应研究对理解格局与尺度关系有着重要的意义<sup>[5-7]</sup>。

利用景观指数进行土地利用类型、土地利用格局空间分析的方法得到广泛应用<sup>[8-10]</sup>。土地利用格局在空间上表现为不同土地利用类型斑块的镶嵌, 具有典型的空间异质性<sup>[11]</sup>, 具有对尺度的依赖性。土地利用类型、土地利用格局变化预测和对比分析、评价等研究是土地利用研究的重要内容。然而以往的部分研究是在两个或多个不同空间尺度上直接进行变化预测或对比分析, 忽视了景观格局的尺度依赖性, 研究结果具有一定的局限性。

为此, 本文以厦门岛土地利用格局为例, 通过景观指数的空间尺度效应分析(即指数对空间粒度的变化响应分析), 说明尺度对景观格局的影

响, 为利用景观指数在不同尺度上进行土地利用类型、土地利用格局的变化预测, 对比分析和评价的研究提供理论参考。

### 2 景观指数计算与尺度变化响应分析

厦门岛地处福建省东南部九龙江入海处, 濒临台湾海峡, 介于北纬 $24^{\circ}25' \sim 24^{\circ}33'$ , 东经 $118^{\circ}02' \sim 118^{\circ}13'$ 之间。厦门岛以丘陵为主, 台地和阶地广泛分布于山间, 地形复杂多样, 地势起伏不平, 由西北向东南逐渐降低。本文以厦门岛2004年1月25日的SPOT5多光谱与全色波段融合后分辨率为2.5m的遥感影像为数据源, 参照国内常用的土地利用分类系统, 结合厦门岛的具体情况及实地调查, 将厦门岛土地利用分成城镇用地、耕地、园地、林地、道路、城市绿地、水体和建设用地等8种类型。在遥感数据预处理的基础上, 目视解译得到厦门岛土地利用分布图(见图1)。全岛土地利用总面积 $132.8\text{km}^2$ , 其中城镇用地占44.6%、耕地4.4%、园地6.0%、林地22.4%、道路5.4%、城市绿地1.7%、水体5.6%和建设用地10.0%。

基于GIS的土地利用数据尺度变换: 以原始数据为基准, 按照从小到大的栅格单元( $5 \times 5\text{m}$ 、

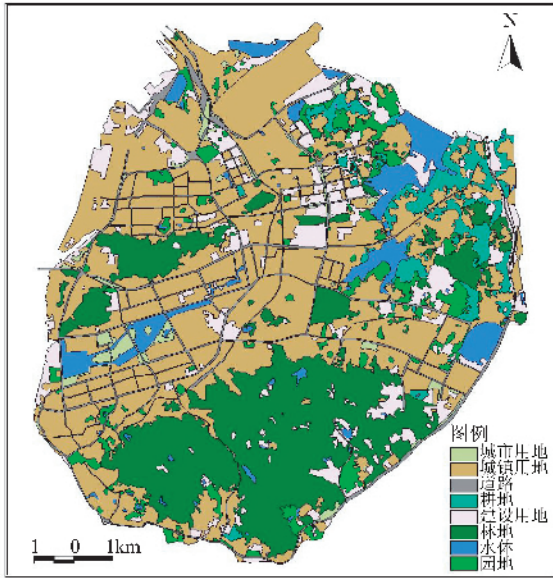


图1 2004年厦门岛土地利用现状图

Fig.1 Landuse map of Xiamen Island in 2004

10 × 10 m、20 × 20 m……)重采样, 获得不同尺度

表1 景观格局指数计算方法

Tab.1 Methods to calculate the indices of landscape pattern

景观格局指数	计算公式	生态学意义
斑块数量(NP)	$NP = n$	景观中某一斑块类型的斑块总个数, 与景观的破碎度很好的正相关性, 一般是NP大, 破碎度高, NP小, 破碎度低
面积比例(PLAND)	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100$	某一斑块类型的总面积占整个景观面积的百分比, 用于度量景观的组分, 其值趋于0时, 说明景观中此斑块类型变得十分稀少; 等于100时, 则整个景观只由1类斑块组成。
周长(TE)	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	某一类型斑块的总边界长度, 是景观类型破碎化程度的重要指标之一。
面积—周长分维数(PAFRAC)	$PAFRAC = \frac{2}{[n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} \ln a_{ij}) - \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \sum_{j=1}^n a_{ij}]} \cdot \frac{(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2) - (\sum_{j=1}^n \ln p_{ij})^2}{}$	反映类型斑块的形状复杂程度, PAFRAC越接近1, 类型能够景观斑块越简单, PAFRAC越接近2, 则越复杂。
景观形状指数(LSI)	$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}}$	反映整体景观的形状复杂程度, LSI越接近1, 整体景观形状越简单, LSI越大, 则越复杂。
多样性指数(SHDI)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	反映景观组分数量和比例的变化情况。由多个组分构成的景观中, 当各组分比例相等时, 多样性指数最高。
均匀度(SHEI)	$SHEI = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)}{\ln m}$	SHEI值较小时, 反映景观受到一种或几种优势斑块类型所支配; SHEI趋于1时, 说明景观中没有明显的优势类型且各斑块类型在景观中均匀分布。
聚集度(CONTAG)	$CONTAG = [1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m [(P_i \frac{g_{ig}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}}) \ln (P_i \frac{g_{ig}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}})]}{2 \ln m}] \times 100$	描述景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势。一般高值说明景观中的某种优势斑块类型形成了良好的连接性; 反之则说明景观是具有多种要素的密集格局, 景观的破碎化程度较高。

的土地利用栅格数据。

## 2.1 景观指数计算

将转换后不同尺度的栅格数据导入逐一景观格局分析程序 Fragstats3.3 中, 分别计算不同尺度下各景观格局指数的值。在 Fragstats3.3 中, 景观指数包括斑块水平(patch level)、斑块类型水平(class level)和景观水平(landscape level)3种类型。其中, 斑块类型指数是针对不同类型斑块进行分析, 景观水平指数则用于描述研究区的整体特征。根据研究区的特点, 在斑块类型水平上选取斑块数量(NP)、面积比例(PLAND)、周长(TE)以及面积—周长分维数(PAFRAC), 在景观水平上选取景观形状指数(LSI)、多样性指数(SHDI)、均匀度(SHEI)、聚集度(CONTAG)等指数。通过指数值随粒度的变化特征分析尺度对指数的影响, 尺度对格局的影响。各景观指数的计算公式及生态学意义<sup>[2][12]</sup>见表1。

其中，分维数是从自相似性的角度来衡量粒度变化对各景观类型复杂性的影响；景观形状指数是从整体景观的形状来衡量粒度变化对其复杂程度的影响；多样性指数、均匀度则用于反映粒度变化对景观中类型的多样性以及各种类型的斑块在研究区分布的均匀程度的影响；聚集度则描述粒度变化对研究区中斑块类型的团聚程度的影响。

## 2.2 斑块类型特征对粒度变化的响应

### (1) 斑块数量、面积比例、周长对粒度的响应

计算结果表明斑块的数量体现出对粒度变化的敏感性。斑块数量在 10m 和 60m 出现变化的转折点。在 2.5m ~ 10m 粒度范围内数量随粒度的增大平缓减少基本维持不变，在 10m ~ 60m 间数量随着粒度的增大逐渐增大，在粒度 60m ~ 100m 间，斑块数量呈现出不断下降的趋势。总体而言，在研究粒度范围内，斑块数量呈现出抛物线的变化特征，对其拟合的方程为： $y = 711.5 + 17.39x - 0.07627x^2$  ( $y$  为斑块数， $x$  为空间粒度)，可决系数为 0.855。斑块数量的这种变化特征与相关研究中斑块数量随粒度增大成单调的变化特征存在差异<sup>[12]</sup>。在本研究区中其他类型景观的数量变化幅度不大，斑块数量的变化主要来自于道路景观的数量变化。这是因为由于道路的宽度有限，在 2.5m ~ 10m 范围内，粒度的大小未超过道路的宽度，斑块总数变化很小，随着粒度的大小超过道路的宽度，在 10m ~ 60m 粒度范围的重采样中，受到周围类型以及粒度的影响，完整的道路出现断裂，形状越为破碎，从而引起总体斑块数量的增大。随着粒度的进一步增大，由于对小斑块的过滤作用增强，斑块总数量逐渐下降。从以上分析可知，斑块数量对粒度变化敏感，在以斑块数量为指数进行预测、对比和评价等研究时，需注意尺度的影响进行一定的尺度转换。同时，土地利用类型如本研究中相对狭长的道路景观的存在也可能使得转换存在一定的差异。

斑块面积比例没有显示出规律性的变化趋势，基本上保持着相对稳定。说明在研究粒度范围内没有出现景观类型消失的情况。可见，面积比例对粒度变化的弱敏感性。如果在粒度增大的过程中出现某些景观类型消失，将会引起其他景观类型面积比例发生显著变化<sup>[13]</sup>。可知，在斑块面积比例作为景观格局的研究指数时，若无类型损失

时，可对不同尺度下的数据进行研究。

在研究区研究粒度范围内，周长体现出对粒度变化的敏感性。呈现出 4 种变化趋势：①斑块总周长和城镇用地周长先期随着粒度的增大缓慢下降，10m 处存在明显的下降转折点，10m ~ 30m 粒度间周长有明显的下降，此后随粒度的上升，呈现较为平缓的起伏。②道路周长随粒度的增大呈现较大幅度的变化，在粒度 10m 处周长急速上升，在 50m 达到最大后相对缓慢下降。③城市绿地、建设用地、耕地、林地、园地周长均在 2.5m ~ 10m 粒度区间随着粒度的增大有较小幅度的减少，随后周长有升有降，存在较为明显的转折点。④水体的周长随着粒度的增大缓慢下降，在 60m 处出现下降的转折点，随后周长随粒度的增大有较大幅度的下降。从以上变化特征可知，无论是从总体周长还是类型周长，周长指数都受到尺度的影响，且对各种类型的影响存在一定的差异。因此，以周长作为研究指数时，需关注其尺度效应。

### (2) 面积—周长分维数对粒度的响应

图 2 为不同景观类型斑块的面积—周长分维数随粒度增大的变化情况。

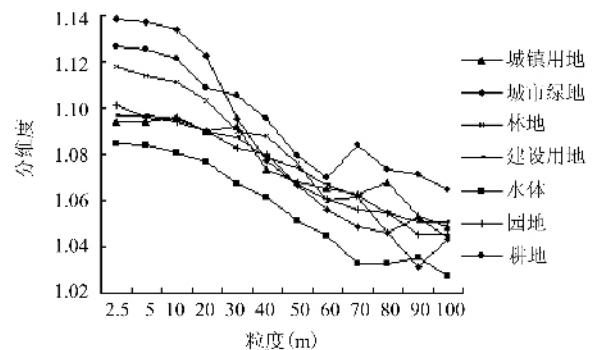


图 2 各类景观斑块的面积—周长分维数对粒度变化的响应

Fig. 2 The PAFRAC of different landscape types with different grains

其中道路的分维数由于起始值较大，不利于曲线图的详细表示，故将其单独列出，如表 2 所示。

表 2 道路在不同粒度下的分维数

Tab. 2 The PAFRAC of road at different grains

粒度	2.5m	5m	10m	20m	30m	40m
道路维数	1.4002	1.4003	1.3112	1.098	1.0747	1.0589
粒度	50m	60m	70m	80m	90m	100m
道路维数	1.0514	1.0398	1.034	1.0255	1.0247	1.0235

从图2和表2可知,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随着粒度的变化呈非线性变化趋势。总体而言,在粒度10m和60m处,各类景观斑块的分维数都有较为明显的变化转折点,因此,可将分维数的变化划分为三个区域。在2.5m~10m粒度区间,随粒度的增大,分维数有较小的下降;在10m~60m粒度区间,分维数随粒度的增大体现出较大的下降趋势;在60m~100m粒度区间,各类景观斑块的

分维数基本呈现出有升有降的变化。可见,分维数在研究区研究粒度范围内体现出对尺度变化的敏感性,且在不同的尺度区间呈现出不同的变化特征。

### 2.3 景观格局特征对粒度变化的响应

从景观指数计算结果来看(如表3),不同粒度的选择,对土地利用景观格局进行分析,结果存在差异。

表3 不同粒度下的景观格局指数统计表

Tab. 3 The pattern indices at different grains

粒度 (m)	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
LSI	26.3843	26.2405	26.0503	25.284	24.2711	22.9454	21.5564	20.2571	19.2348	18.436	17.4377	17.0628
CONTAG	59.6277	57.9487	55.5863	51.8008	48.82	46.4339	44.5452	43.0769	41.5088	40.2884	39.243	37.9895
SHDI	1.6189	1.6189	1.6188	1.6185	1.6185	1.6197	1.6203	1.616	1.621	1.6189	1.6223	1.621
SHEI	0.7785	0.7785	0.7785	0.7783	0.7783	0.7789	0.7792	0.7771	0.7795	0.7785	0.7801	0.7795

从表3可知,LSI随粒度的增加呈明显的线性递减。这是由于景观形状指数与斑块周长密切相关,随着粒度的增大,小的斑块不断被过滤,斑块周长形状趋于规则,因而,LSI在研究粒度范围内呈现出不断减小的趋势。利用线性方程对LSI随粒度的变化特征进行拟合,可决系数达0.991,方程表达式为: $y = 26.95 - 0.104x$ ( $y$ 为LSI, $x$ 为空间粒度)。CONTAG随粒度的增加呈现线性下降的趋势。这是因为聚集度同时受到景观组成成分丰富度和不同斑块相邻关系的影响,在粒度增加的过程中,斑块丰富度下降,导致了CONTAG的下降<sup>[14]</sup>。对CONTAG随粒度的变化特征进行线性拟合,拟合方程为: $y = 57.214 - 0.215x$ ( $y$ 为CONTAG, $x$ 为空间粒度),可决系数达0.944。从LSI和CONTAG的随粒度的变化特征可知,景观形状指数和聚集度均与尺度关系密切,体现出对粒度变化的敏感性。可见,利用LSI和CONTAG进行研究时须注意尺度的作用。

SHDI和SHEI两个指数随着粒度的增大呈现出基本一致的变化趋势。在2.5m到30m粒度间,SHDI和SHEI的值随粒度的增大,变化幅度很小,随着粒度的进一步增大,SHDI和SHEI的值有升有降。总体而言,均没有表现出有明显的变化。这是因为多样性指数和均匀度主要取决于景观类型的数量和面积比例,本研究区粒度增大的过程

中未发生景观类型消失现象,各景观类型的面积比例基本保持相对稳定,因而多样性指数和均匀度未发生大的变化。但是当粒度大到一定程度以后,若出现某些景观类型消失,多样性和均匀度必然持续下降<sup>[13]</sup>。一定程度上说明了在本研究区研究粒度下,这两种指数也是尺度相关的景观格局指数,只是对于粒度变化敏感性较差。同时,从SHDI和SHEI的变化特点可知,若在本研究区研究数据尺度在2.5m到30m的范围内,则可直接以SHDI和SHEI的值进行景观格局预测、对比和评价等研究。

## 3 景观指数的尺度变化结果分析

通过对研究区土地利用格局在不同粒度下的景观指数变化特征分析,可知不同指数对粒度变化响应的敏感性不同,具体表现为:(1)由于研究区没有景观类型消失,面积比例随粒度的增大未表现出明显变化,基本维持稳定,在研究粒度范围内体现出对尺度变化的弱敏感性。(2)斑块数量、周长、分维数、景观形状指数和聚集度具有明显的尺度效应,体现出对尺度变化的敏感性,呈现出一定的变化规律。其中,斑块数量呈现出抛物线的变化特征,在10m和60m出现变化的转折点;周长随粒度的增大主要表现为4种变化特

征, 均存在较为明显的变化转折点; 分维数随粒度的变化呈现非线性的变化趋势, 各景观类型的分维数在 10m 和 60m 处均有较明显的变化转折点; 景观形状指数和聚集度随粒度的增大呈线性下降的趋势, 与粒度大小有很好的拟合, 可决系数达 0.9 以上。(3) 多样性指数和均匀度随粒度的增大变化趋势基本一致, 在 2.5m ~ 30m 粒度间, 变化幅度很小, 随着粒度的进一步增大指数值有升有降, 总体而言, 在整个研究尺度区间表现为小幅度的浮动, 多样性指数和均匀度在研究粒度范围内对尺度变化的敏感性相对较弱。

基于以上的研究结果分析, 除面积比例随粒度变化基本维持不变, 可以用于研究区研究粒度范围内所有粒度条件下的景观格局研究外, 其余的各景观指数尽管计算方法、大小以及对于尺度变化的响应各不相同, 但是它们都体现出一定的尺度依赖性, 因此, 利用这些指数进行不同尺度下的景观类型、景观格局变化预测、对比分析和评价等研究时需考虑尺度效应, 进行一定的尺度转换。

## 4 结论与讨论

以厦门岛土地利用景观格局为例, 分析了尺度变化对景观指数、景观格局的影响, 研究结果表明: 在研究区内, 景观类型特征和景观格局特征随尺度的变化呈现出显著的变化特征; 除面积比例对粒度变化弱敏感外, 其余所选景观指数对粒度变化相对敏感, 体现出一定的尺度依赖性, 说明利用这些景观指数进行不同尺度下的景观格局研究时需考虑尺度效应。

该研究还有待深入研究: (1) 在研究中只分析了 8 种常用景观指数的尺度效应, 对其他类型景观指数随尺度变化的效应研究应增加指数的选择。(2) 对景观类型随尺度变化特征的进一步拟合是今后研究中应加强的内容; (3) 另外, 土地利用类型划分、所选研究尺度范围等都可能对景观指数尺度效应造成影响, 今后有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. 第四纪研究, 2003, 23(3): 326 ~ 333.
- [2] 郭建国. 景观生态学. 北京: 高等教育出版社, 2001, 99 ~ 109.
- [3] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华等. 不同尺度下城市景观综合指数的空间变异特征研究. 应用生态学报, 2005, 6(11): 2053 ~ 2059.
- [4] 申卫军, 郭建国, 任海等. 空间幅度变化对景观格局分析的影响. 生态学报, 2003, 23(11): 2119 ~ 2231.
- [5] Gal Yaacobi, Yaron Ziv, Michael L. Rosenzweig. Effects of interactive scale-dependent variables on beetle diversity patterns in a semi-arid agricultural landscape. Landscape Ecology, 2007, (22): 687 ~ 703.
- [6] RC Corry, R Laforzezza. Sensitivity of landscape measurements to changing grain size for fine - scale design and management. Landscape and Ecological Engineering, 2007, (3): 47 ~ 53.
- [7] A Buyantuyev, J Wu. Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis. Landscape Ecology, 2007, (22): 7 ~ 13.
- [8] 郝仕龙, 陈南洋, 柯俊. 黄土丘陵小流域土地利用景观空间格局动态分析. 农业工程学报, 2005, 21(6): 50 ~ 53.
- [9] 陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究——以陕西延安地区大南沟流域为例. 地理科学, 2001, 27(1): 46 ~ 51.
- [10] 杨国清, 吴志峰, 祝国瑞. 广州地区土地利用景观格局变化研究. 农业工程学报, 2006, 22(5): 218 ~ 211.
- [11] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. 生态学报, 2001, 21(2): 191 ~ 196.
- [12] 申卫军, 郭建国, 林永标等. 空间粒度变化对景观格局分析的影响. 生态学报, 2003, 23(12): 2506 ~ 2519.
- [13] 曾辉, 郭庆华, 刘晓东. 景观格局空间分辨率效应的实验研究——以珠江三角洲东部地区为例. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(6): 820 ~ 826.
- [14] 谈文琦, 徐建华, 岳文泽等. 上海城市土地利用格局的景观生态学分析. 生态科学. 2004, 23(2): 114 ~ 117.

# The Effects of Spatial Scales on Landscape Indices

## ——A Case Study of The Landuse Pattern of Xiamen Island

YOU Liping, LIN Guangfa, YANG Chenzhao, LIN Qiaoying  
(*College of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*)

**Abstract:** Chosed the landuse of Xiamen Island as an experimental area, the paper analyzes the characteristics of the change of 8 landscape indices (such as NP, PLAND, TE, PAFRAC, LSI, SHDI, SHEI and CONTAG) associates with the increase of grain, and confers the influence of spatial scaling effect to the landscape, and thereupon the paper in order to provide reference for the researches such as the change forecast, comparison analysis and evaluation of the landuse types or landuse pattern among different grains that base on the landscape indices. The result demonstrates that: (1) the characteristics of landscape types and landscape pattern of the study area changes significantly coincided with the increasing of grain; (2) in the study area, the PLAND is weakly sensitive pattern indices to grain change that means the PLAND can be directly used under the range of reaches grains for landscape pattern study, and other indices (such as NP, TE, PAFRAC, LSI, SHDI, SHEI and CONTAG) are relative sensitive to the grain change and reflect certain spatial dependence, that means the scaling effect should be consider when studying the landscape pattern in difference grain based on these landscape indices.

**Key words:** landscape indices; scaling effect; Xiamen Island