

# 基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化

田光进, 张增祥, 张国平, 周全斌, 赵晓丽

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:**城市地区包括建成区和郊区的农村,随着城市化的快速发展城市地区景观结构将发生深刻变化。由于人类活动对景观要素的作用方式、作用程度不同,其空间格局的转变模式在不同阶段出现一定程度差异。破碎度和分离度能描述景观破碎程度和景观要素斑块之间距离的变化,从而分析景观要素空间结构变化,多样性指数能分析景观要素的复杂情况。孔隙度指数能分析景观的尺度效应,从而分析不同尺度下景观要素的变化情况,能更好地分析景观要素变化的空间结构规律。利用 1986、1996 和 2000 年三期 TM 遥感图像得到海口市景观变化情况,在此期间海口市景观结构变化表现为林地、水体、沙地、农田等自然景观向城市、农村居民点和独立工矿建设用地等人文景观的变化。通过比较 1986~1996 和 1996~2000 年两个阶段景观要素的空间变化规律可以看出,林地在 1986~1996 年期间,由于人工林的增加,孔隙度指数减小;1996~2000 年,林地开发较多,斑块趋于分散。水体在 1986~1996 年大面积的水体为主,1996~2000 年以小面积为主。农田在两个阶段变化明显,1986~1996 年,农田被城市、工矿建设用地及开发区占用,斑块趋于分散;1996~2000 年由于城市开发受到控制,未开发农田被恢复,斑块趋于集中。城市反映出国家宏观调控政策的影响,1986 年,城市开发较为零乱,斑块较小;1996 年,斑块趋于集中;2000 年有进一步扩张的趋势。农村居民点规模较小,分布一直趋于分散,是一种不集约的用地形式。因此,利用景观生态学的数量方法,能很好地反映城市化过程中人类活动及政策对景观要素的影响,从而研究城市化过程中城市及其外围区域景观结构的动态变化过程。

**关键词:**海口市;景观格局;动态演化;破碎度;分离度;孔隙度;多样性指数

## Landscape Dynamic Change Pattern of Haikou City by TM Imagery and GIS

TIAN Guang-Jin, ZHANG Zeng-Xiang, ZHANG Guo-Ping, ZHOU Quan-Bin, ZHAO Xiao-Li (Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1028~1034.

**Abstract:** Urbanization is perhaps one of the most important human activities that creates enormous impacts on environment at the local, regional and global scales. The urbanization process is the urban sprawl and the absorption of adjacent villages into the city. From the 1950s to the 1980s in China there were restrictions on the migration of people from rural to urban areas of the country. These restrictions were due to "the registered permanent residence policy" which in turn limited employment opportunities in Chinese cities. Thus in China the urbanization process was different from that in developed countries.

In 1988 the provincial administration and special economic zone were built, a great amount of capital from abroad and other areas of China was invested in Hainan with the favorable tax policies. As the capital, political, economic, cultural and transportation center, the built-up area expanded quickly in Haikou city accompanying with the rapid development of the economy and the real estates. The purpose of the paper was to study the landscape dynamic change pattern during the rapid urbanization process.

Haikou is latitude  $19^{\circ}57'04''\sim 20^{\circ}05'11''$  north and longitude  $110^{\circ}10'18''\sim 110^{\circ}23'05''$  east. It is in

**基金项目:**中国科学院知识创新资助项目(KZCX1-Y-02)、中国科学院遥感应用研究所创新资助项目(CX000009)。

**收稿日期:**2001-08-30; **修订日期:**2001-11-12

**作者简介:**田光进,男,山东人,博士。主要从事遥感、GIS、景观生态学、土地利用等方面的研究。E-mail: tianguangjin@sina.com

north Hainan island and border to Qiongzhou strait. The climate is tropical monsoon with the annual precipitation of 1639 mm and average temperature is 23.8 C. Mesa is the main topography, high in south, low in north. In 1998 the total population was 527900 and GNP (Gross National Product) was 1.1 billion Yuan with 20 387 Yuan per capita, 3.3 times of the national and 3.48 times of the provincial. In other words the average economic level of the population in Haikou was higher than that of either the national or the provincial average.

Three separate dates of the Landsat TM (Thematic Mapper) imageries in 1986-11-01, 1996-10-01 and 2000-04-30 were interpreted. The path and row of the imagery was 124-46 and weather condition was cloud free. Using the terms of the national land use classification system, landscape was divided into the following categories: forest, grass, cultivated land, water, city, rural settlement, construction site and sand. The topography map of 1 : 100 000 in 1996 was based on to interpret the imagery by remote sensing and geographic information system software MGE. The imagery in 1986 and 2000 were interpreted to get the dynamic change map during 1986~1996 and 1996~2000. If the landscape kept stable, the sign was same; if changed, the sign was changed too. For example, 2051 was signed when the landscape of forest was converted into city. The data sets were processed by ARC/INFO.

Landscape structure changed dramatically during the past 15 years. During the first period, from 1986~1996, agricultural field, water area and sand decreased rapidly with the increment of urban, rural settlement and construction land. During the second period, from 1996~2000, the forest and water decreased while agricultural field, urban, rural settlement and construction land increased. Thus pattern of change in the landscape structure was the conversion of agricultural field, forest, water, sand into urban, rural settlement, construction land. In sum natural landscape in addition to agricultural fields was converted into human settlement and construction landscape. The total area of 1996 increased because 96.99 hm<sup>2</sup> sea was filled into urban land.

Fragmentation  $F_i$ , separation  $N_i$ , lacunarity  $\Lambda(r)$  and diversity index  $H$  are each applied to study the landscape spatial change in the periods from 1986 to 1996 and 1996 to 2000. (1) Forest. During the first period  $F_i$  decreased and  $N_i$  kept stable with the plantation of man-made forest. During the second period forest acreage decreased by 15.65% with the conversion of agricultural field, urban and construction land, so  $F_i$  and  $N_i$  increased. Forest lacunarity index decreased slowly in the first period and increased in the second. It was accordant with the fragmentation law. When the dimension was 300~1500 m, the index decreased quickly. As a result larger forest patches were more frequent in the first period. In the second period there were more the imagery by remote sensing and geographic information system software MGE. The imagery in 1986 and 2000 were interpreted to get the dynamic change map during 1986~1996 and 1996~2000. If the landscape kept stable, the sign was same; if changed, the sign was changed too. For example, 2051 was signed when the landscape of forest was converted into city. The data sets were processed by ARC/INFO.

Landscape structure changed dramatically during the past 15 years. During the first period, from 1986~1996, agricultural field, water area and sand decreased rapidly with the increment of urban, rural settlement and construction land. During the second period, from 1996~2000, the forest and water decreased while agricultural field, urban, rural settlement and construction land increased. Thus pattern of change in the landscape structure was the conversion of agricultural field, forest, water, sand into urban, rural settlement, construction land. In sum natural landscape in the second period water acreage decreased by 16.87%,  $F_i$  and  $N_i$  increased simultaneously. The conversion of water was concentrated in the dimension of 300~1100 m. The grass kept stable and most sand was converted into

the forest and rural settlement. (4) Urban land, rural settlement and construction sites. The built-up area sprawled up by 210.82% and encroached on agricultural fields, sand and even the sea in the first period. The disconnected patches of the built-up area were combined, so  $F_i$  and  $N_i$  decreased. With the building-up of Hainan province and the largest special economic zone of China, a series of favorable policies stimulated the real estate development. There were more small patches in the dimension of 300~900 m in 1986 because of the out-of-order development. Urban lacunarity index decreased in 1996 with the urban expansion and combination of small patches. In the second period there were more patches with the urban expansion and  $F_i, N_i$  increased. Acreage of rural settlements increased by 94.76% in the first period and 21.38% in the second period. The fragmentation and separation increased at all times. Thus rural settlements extended and dispersed with the same law which lacunarity reflected. Construction land increased by 32.9% in the first period and 14.33% in the second period.  $F_i, N_i$  always decreased and construction sites concentrated in the two periods.

The landscape diversity index decreased in 1986~1996 owing to the decrease of agricultural fields, water and sand. The diversity increased little in 1996~2000 with urban extension. From above analysis the fragmentation  $F_i$  and separation  $N_i$  could reflect the same law as lacunarity, but could not measure dimension change. Lacunarity could measure the landscape component spatial distribution characteristics by changing the dimension.

During the rapid urbanization process, Haikou city sprawled as its built-up area grew. At the same time the landscape structure of the urban area changed greatly. The natural landscape of forest, water, sand, sea, and the agricultural landscape of fields were converted into the human landscape of urban, rural settlement land and construction sites. Because there were different models and degrees of human activity, effects on the landscape components, and the spatial pattern of the landscape varied. The landscape ecology quantitative method could measure the effect of human activities and policies on the landscape structure change pattern during the rapid urbanization process in the urban-rural fringe area.

**Key words:** Haikou city; landscape pattern; dynamic change; fragmentation; separation; diversity

文章编号:1000-0933(2002)07-1028-07 中图分类号:Q143 文献标识码:A

城市化无论在全球、区域及地方尺度都是对环境造成巨大影响的人类活动之一<sup>[1]</sup>。我国城市化进程表现为城市用地的扩张及乡镇、农村居民点发展成为城市,由于受户籍政策、就业机会等方面的制约,与西方发达国家城市化进程不同的是我国很少发生农村人口大规模迁向城市的现象<sup>[2]</sup>。目前全国城市化水平为 30.9%<sup>[3]</sup>,根据预测,到 2020 年城市化水平将达到 50%左右<sup>[4]</sup>。随着社会经济的发展,城市化速度将加快。由于我国采取了市管县的方式来促进农村地区经济的发展,城市的扩展对城市建成区、城市与农村边缘地带及农村居民点地区产生较为深刻的影响,从而造成城市及周围地区林地、草地、水体等自然景观向农田、居民点用地与工矿用地等人文景观的转变。探讨这些景观组分的空间演变规律,对于理解城市及边缘地区自然-经济-社会复合生态系统的演变趋势,建立可持续发展的城市化发展模式、贯彻节约用地的方针具有重要理论和现实意义。

## 1 研究地区

海口市位于北纬 19°57'04"~20°05'11",东经 110°10'18"~110°23'05"。地处海南岛北部,北濒琼州海峡。气候为热带季风气候,年平均降水量 1639 mm,年平均气温 23.8℃。以滨海台阶式地貌为主,地势低平,南高北低。1998 年,全市总人口 52.79 万,实现国内生产总值 110 亿元<sup>[3]</sup>。人均国内生产总值 20837 元,分别是全国人均国内生产总值的 3.3 倍<sup>[4]</sup>和海南省人均国内生产总值的 3.48 倍。因此,海口市经济发展水平高于海南省平均水平及全国平均水平。1988 年,海南建省并设立全国最大的经济特区,开放政策及优惠经济政策的实施,促使大量外资和其它地区的资金涌向海南,使其经济得到较快发展。海口市作为海南省

的省会和政治、经济、文化、交通中心,房地产业超常发展,城市建成区面积迅速扩大。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

利用 3 期 Landsat TM 遥感图像提取信息,时间分别是 1986-11-01、1996-10-01 和 2000-04-30。图像轨道号为 124-46,天气状况良好。参照全国土地利用分类方法,将海口市景观分为林地、草地、农田、水体、城市、农村、独立工矿用地、沙地等 8 种类型<sup>[5]</sup>。以 1996 年 1 : 10 万海口市地形图为准,利用遥感图像处理 and 地理信息系统软件 MGE 对 1996 年的 TM 影像进行几何纠正和人机交互解译,得到 1996 年海口市景观类型图;以 1996 年现状图为基础,解译 1986 和 2000 年的 TM 图像,得到 1986~1996 和 1996~2000 年的景观动态变化图。如果景观没有变化,则保持原先状态;如果发生变化,则进行标记,如林地转变为城市,则标记为 2051。利用地理信息系统软件 ARC/INFO 对景观结构动态变化进行数据处理。

### 2.2 研究方法

利用遥感图像解译的景观矢量图和地理信息系统软件 ARC/INFO 计算各种景观类型的斑块面积、斑块数和面积百分比。在此基础上,利用破碎度指数  $F_i$ 、分离度指数  $N_i$ 、孔隙度指数  $\Delta(r)$  和多样性指数  $H$  来分析海口市 1986~1996 和 1996~2000 年景观结构的动态演化模式。

(1)破碎度指数 破碎度是指景观被分割的破碎程度<sup>[6~8]</sup>,其计算公式为:

$$F_i = (P_i - 1)/Q \tag{1}$$

式中, $F_i$  为景观类型  $i$  的破碎度指数; $P_i$  是景观类型  $i$  的斑块数; $Q$  是研究区所有景观类型的平均面积。景观破碎度指数  $F_i$  越大代表景观越破碎。

(2)分离度指数 分离度是指某一景观中不同斑块个体空间分布的离散(或聚集)程度<sup>[7~9]</sup>:

$$N_i = D_i/S_i \tag{2}$$

$N_i$  为景观类型  $i$  的分离度指数。 $D_i$  是景观类型  $i$  的距离指数, $D_i = 0.5 \times (n/A)^{0.5}$ ,  $n$  为景观类型  $i$  的斑块数, $A$  为研究区总面积。 $S_i$  是景观类型  $i$  的面积指数, $S_i = A_i/A$ ,  $A_i$  为景观类型  $i$  的面积。分离度用来分析景观要素的空间分布特征,分离度越大,表示斑块越离散,斑块之间距离越大。

(3)孔隙度指数 孔隙度指数用来度量景观动态变化的空间结构<sup>[6,10,11]</sup>,其公式为:

$$\Delta(r) = \frac{Z^{(2)}}{(Z^{(1)})^2}, Z^{(1)} = \sum S \frac{n(s,r)}{N(r)}, Z^{(2)} = \sum S^2 \frac{n(s,r)}{N(r)} \tag{3}$$

景观异质性具有强烈的尺度效应,观察尺度不同会导致景观异质性程度的差异<sup>[12,13]</sup>。孔隙度通过变换观察尺度来测度景观的空间结构,因此能反映景观的尺度效应。孔隙度指数可以通过滑箱来计算,当斑块分布不均匀,斑块之间距离较大时,随着滑箱边长  $r$  的增大,斑块出现频数会增大,孔隙度指数较大;当斑块分布较为均匀时,随着滑箱边长  $r$  的增加,斑块出现频数不会明显增加,孔隙度指数较小。同时,孔隙度指数能衡量斑块一定尺度范围内出现的频率较高。 $\Delta(r)$  表示孔隙度指数; $S$  是样本数,即每次选取的样本数; $n(s,r)$  是指以尺度为  $r$  的滑箱取样时存在景观组分的频数; $N(r)$  是总格子数。

利用 ARC/INFO 的 POLYGRID 功能将矢量数据转为 100m×100 m 的栅格数据,然后利用 GRID 的功能以 300m×300 m、500m×500 m、...、1900m×1900 m 等为滑箱大小来分析各种要素的孔隙度指数。

(4)多样性指数 多样性指数是指景观要素或生态系统在结构、功能及随时间变化的多样性,反映了景观的复杂性<sup>[8,14]</sup>。多样性指数采用信息理论的 Shannon 指数来表示,其公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \times \log(P_i) \tag{4}$$

类型多样性是指景观中类型的丰富和复杂程度,主要考虑不同景观中所占面积的比例和类型的多少。 $H$  是景观多样指数; $P_i$  为各种景观类型所占百分比; $m$  表示景观类型的数目。 $H$  值越大,景观多样性越大。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观结构演变数据

1986 到 2000 年,海口市景观结构的变化表现为农田、林地、水体和沙地面积大量减少,而城市、农村

和工矿建设用地大量增加。景观转变规律表现为林地、农田、水体和沙地等自然景观向城市、农村和独立工矿用地等人为景观的转变。景观多样性指数在 1986~1996 年降低,主要是因为农田、水体、沙地面积的大量减少;1996~2000 年景观多样性略有增加,主要是城市用地的进一步扩展。由于围海造陆,海口市 1996 年土地面积比 1986 年增加 96.99 hm<sup>2</sup>。

3.2 景观要素空间结构变化

按照景观类型的划分,海口市景观要素被分为林地、草地、农田、未利用地、水体、城市、农村和独立工矿建设占地等景观组分,利用破碎度和分离度指数分析景观要素的空间结构变化。

(1) 林地 1986~1996 年,林地面积增加 0.28%,主要是人工林面积增加,使其破碎度减小,斑块之间距离不变,分离度指数不变。1996~2000 年,林地面积减小 15.65%,大量林地转变为耕地、城市和工矿建设用地,从而使破碎度和分离度增加。

(2) 农田 1986~1996 年,农田面积减少 37.87%,主要是由于城市、工矿建设占用耕地及部分规划但没有开发的耕地,导致农田破碎度和斑块之间的距离都在增加。1996~2000 年,耕地面积恢复性增长 11.14%,主要是受国家宏观调控政策的影响,部分开发区及房地产项目没有开发的土地被恢复成为耕地。农田斑块增加,破碎度增加;斑块之间距离减小,分离度减小。

(3) 水体、草地和沙地 1986~1996 年,水体面积减少 83.13%,主要是滩涂及库塘转变为城市用地,斑块数量减少,导致破碎度减小;斑块之间距离增加,分离度增加。在此期间,部分滩涂及围海造陆增加了城市建设用地。1996~2000 年,水体面积减少 6.87%,水体破碎度增加,斑块之间距离增加,分离度增加。

在景观要素中,草地保持相对稳定。未利用地主要是沙地,1986~2000 年全部被利用,大部分被改造成林地,少数被农村居民点占用。

(4) 城市、农村居民点及工矿建设用地 随着 1988 年海南设省和成立全国最大的经济特区,优惠政策的实施促使大量资金投入房地产业,建成区面积不断扩大。1986~1996 年,建成区面积增加 210.82%,主要占用郊区的耕地、沙地、滩涂及部分围海造陆地面积。建成区不连续的斑块得以连接,破碎度减小;斑块之间的距离减小,分离度减小。1996~2000 年,城区面积仅增加 4.27%,城市建设受到控制,新增斑块较少,破碎度增加;斑块之间距离增加,分离度增加,城市建设有趋于分散的趋势。

1986~1996 年,农村居民点面积增加 94.76%,破碎度和分离度增加;1996~2000 年,农村居民点用地增加 21.38%,破碎度和分离度都在增加。因此,农村居民点面积一直在增加,分布零散,不利于用地的节约,农村居民点扩大占用了周围的耕地和林地,对周围环境造成一定的破坏。

1986~1996 年,工矿建设用地面积增加 32.9%,建设速度较快,破碎度和分离度都在减小,用地趋于集中。1996~2000 年,工矿建设用地增加 14.33%,破碎度增加,分离度减小,说明工矿建设用地斑块数量增加,距离趋近,主要在原有工

表 1 1986, 1996, 2000 年海口市景观结构变化

Table 1 The landscape structure Haikou in 1986, 1996, 2000 (hm<sup>2</sup>)

| 景观类型 <sup>①</sup> | 1986     | %     | 1996     | %     | 2000     | %     |
|-------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| 农田 <sup>②</sup>   | 8178.86  | 36.07 | 4572.62  | 20.08 | 5081.91  | 22.32 |
| 林地 <sup>③</sup>   | 6474.92  | 28.56 | 6493.24  | 28.51 | 5477.32  | 24.05 |
| 草地 <sup>④</sup>   | 377.41   | 1.66  | 377.41   | 1.66  | 377.41   | 1.66  |
| 水体 <sup>⑤</sup>   | 2479.07  | 10.93 | 418.33   | 1.84  | 389.59   | 1.71  |
| 城市 <sup>⑥</sup>   | 2805.21  | 12.37 | 8719.26  | 38.29 | 9091.57  | 39.92 |
| 农村 <sup>⑦</sup>   | 253.31   | 1.12  | 493.34   | 2.17  | 598.82   | 2.63  |
| 独立工矿 <sup>⑧</sup> | 1155.08  | 5.09  | 1535.11  | 6.74  | 1755.14  | 7.71  |
| 沙地 <sup>⑨</sup>   | 950.92   | 4.19  | 162.46   | 0.71  |          |       |
| 总计 <sup>⑩</sup>   | 22674.78 |       | 22771.77 |       | 22771.77 |       |

①Landscape type ②Agricultural Field ③Forest ④Grass  
⑤Water ⑥City ⑦Rural settlement ⑧Construction  
⑨Sand ⑩Total

表 2 1986, 1996, 2000 年海口市景观类型的破碎度和分离度指数

Table 2 The fragmentation and dispersion indices of Haikou landscape in 1986, 1996, 2000(hm<sup>2</sup>)

| 景观类型<br>Landscape type | 1986           |                | 1996           |                | 2000           |                |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | F <sub>i</sub> | N <sub>i</sub> | F <sub>i</sub> | N <sub>i</sub> | F <sub>i</sub> | N <sub>i</sub> |
| 农田 <sup>①</sup>        | 0.19           | 0.05           | 0.21           | 0.10           | 0.22           | 0.08           |
| 林地 <sup>②</sup>        | 0.28           | 0.07           | 0.25           | 0.07           | 0.33           | 0.09           |
| 草地 <sup>③</sup>        | 0.08           | 0.72           | 0.08           | 0.72           | 0.08           | 0.72           |
| 水体 <sup>④</sup>        | 0.11           | 0.13           | 0.10           | 0.33           | 0.12           | 0.35           |
| 城市 <sup>⑤</sup>        | 0.12           | 0.11           | 0.02           | 0.02           | 0.03           | 0.04           |
| 农村居民点 <sup>⑥</sup>     | 0.13           | 1.30           | 0.14           | 0.69           | 0.15           | 0.70           |
| 工矿用地 <sup>⑦</sup>      | 0.12           | 0.31           | 0.10           | 0.22           | 0.13           | 0.20           |
| 沙地 <sup>⑧</sup>        | 0.04           | 0.19           |                |                |                |                |
| H                      | 0.705          |                | 0.657          |                | 0.662          |                |

①Agricultural field ②Forest ③Grass ④Water ⑤City  
⑥Rural settlement ⑦Construction ⑧Sand



矿用地附近扩张。

3.3 景观要素空间结构变化的尺度效应

为了分析各景观要素空间异质性随尺度变化的差异,图 1 列出了 1986 和 2000 年各种景观要素的孔隙度指数曲线;限于篇幅,仅列出了农田与城市的 3 期动态变化曲线。由 1986 和 2000 年的孔隙度指数曲线可以看出,城市、农田和林地随尺度的变化出现频率差异较小,曲线相对平缓,斑块面积较大;在尺度为 300~1900 m 时,空间分布相对较为均匀。农村居民点、草地、未利用地、工矿建设用地和水体随尺度变化,出现频率差异明显,曲线相对突出,草地、农村居民点分布更为零散,斑块面积较小。

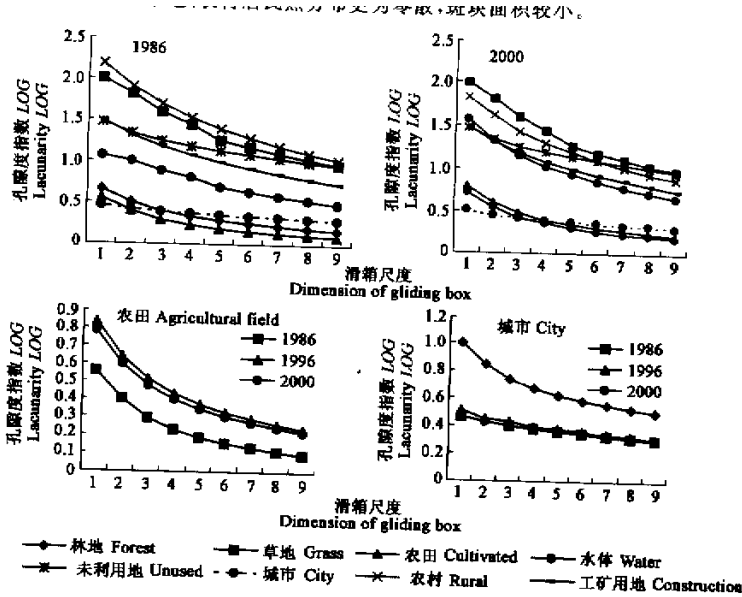


图 1 海口市主要景观类型的孔隙度指数曲线

Fig. 1 Lacunarity index curve of major landscape type

林地的孔隙度变化相对较小,1986~1996 年孔隙度略有降低,1996~2000 年孔隙度稍微增加,林地孔隙度指数在两个阶段变化较小,这与破碎度变化的趋势是一致的。1986~1996 年,孔隙度指数略有降低,在滑箱大小为 300m×300m、500m×500m、700m×700m、900m×900m、1300m×1300m、1500m×1500 m 时,孔隙度指数降低,在此范围林地斑块出现频数减小,主要是人工林的增加使林地斑块面积增加。1996~2000 年孔隙度指数增加比较明显,孔隙度指数在尺度为 300~900 m 时,孔隙度指数增加较快,林地趋于破碎,细小斑块增加,主要是因为大量林地被开垦为耕地、城市和工矿建设用地,细小斑块增加较多。

1986~1996 年,水体孔隙度指数增加,其中滑箱大小为 1300m×1300 m、...、1900m×1900 m 之间时增加最大,说明水体被开发的是较大的斑块,包括填海造陆等,较小的斑块开发量较少。1996~2000 年开发活动转向较小的水体,尺度范围主要在 300m×300 m、500m×500 m 之间。

1986~1996 年,农田孔隙度指数增加较多,主要集中在滑箱半径为 300m×300 m、...、1100m×1100 m 之间。农田面积大量减少,被城市、工矿建设及开发区占地占用,导致农田孔隙度指数增加。1996~2000 年,孔隙度指数减少。在尺度为 300~1100 m 时,农田孔隙度减小较快,农田在此尺度范围频数减小,农田斑块由于耕地恢复性增长,被规划而未开发的耕地被恢复为农田,农田斑块在此尺度范围出现增多。

从城市的孔隙度动态变化可以看出,1986~1996 年城市的孔隙度下降很多,1996~2000 年孔隙度略有增加。因为开发活动经历了两个阶段城市用地由分散到集中、再到分散的过程,这与破碎度、分离度反映的规律是一致的,但破碎度和分离度不能反映尺度的变化。从 1986 年孔隙度指数曲线可以看出,滑箱大小为

300m×300m、500m×500m、700m×700m、900m×900 m 时,曲线斜率较大,说明较小的斑块相对较多,尺度变换时出现频数差异较大。因此,在此阶段,城市外围有一些较小的斑块,反映出城市开发活动较多,零星地较多。1996 年孔隙度指数明显降低,国家宏观调控政策的实施,使房地产开发受到控制,较小的斑块被合并,城市开发趋于有序,在此滑箱半径内建成区斑块孔隙度指数减小,城市用地趋于集中。2000 年孔隙度指数略有增长,在此滑箱半径内斑块出现频数增加,城市进一步扩展,细小斑块略有增长。因此,孔隙度指数通过尺度的变换能很好地反映城市的生长过程,对于研究城市的扩展规律具有较好的作用。

1986~1996 年农村居民点孔隙度指数减小,农村居民点分布趋于分散。1996~2000 年农村居民点孔隙度指数稍微减小,居民点之间的距离增加。因此,农村居民点分布一直趋于分散,这与城市开发不同,是不节约的用地形式。

#### 4 结论与讨论

破碎度和分离度能描述景观破碎程度和景观要素斑块之间距离的变化,从而分析景观要素空间结构变化,多样性指数能分析景观要素的复杂情况。孔隙度指数能分析景观的尺度效应,从而分析不同尺度下景观要素的变化情况,能更好地分析景观要素变化的空间结构规律。

海口市在快速城市化过程中,城市建成区面积不断扩大,建成区及郊区景观结构发生了较大变化。突出表现为农田、林地、水体等自然景观向城市、农村居民点和独立工矿建设用地等人文景观的变化。由于人类活动对景观要素的作用方式、作用程度不同,其空间格局的转变模式在不同阶段出现一定程度差异。通过比较 1986~1996 和 1996~2000 年两个阶段景观要素的空间变化规律可以看出,林地在 1986~1996 年期间,由于人工林的增加,孔隙度指数减小;1996~2000 年,林地开发较多,斑块趋于分散。水体在 1986~1996 年大面积的水体为主,1996~2000 年以小面积为主。农田在两个阶段变化明显,1986~1996 年,农田被城市、工矿建设用地及开发区占用,斑块趋于分散;1996~2000 年由于城市开发受到控制,未开发农田被恢复,斑块趋于集中。城市反映出国家宏观调控政策的影响,1986 年,城市开发较为零乱,斑块较小;1996 年,斑块趋于集中;2000 年有进一步扩张的趋势。农村居民点规模较小,分布一直趋于分散,是一种不集约的用地形式。因此,利用景观生态学的数量方法,能很好地反映城市化过程中人类活动及政策对景观要素的影响,从而研究城市化过程中城市及其外围区域景观结构的动态变化过程。

#### 参考文献

- [1] Turner II B L, Clark W C, Kates R W, *et al.* The earth as transformed by human action: global and regional changes in the bio-sphere over the past 300 years. Cambridge, Cambridge university press with clark university, 1990. 713.
- [2] Gottman J. Megalopolis-the urbanized northeastern seaboard of the United States. Twentieth Century Fund. New York, 1957, 810.
- [3] HSB(Hainan statistics bureau). *Hainan statistical annuals*. Haikou city: Hainan press, 1999.
- [4] SSB(State statistics bureau, China). *China Statistical Annals*. Beijing: Chinese statistics press, 2000.
- [5] Liu J Y(刘纪远). *Macro-scale survey and dynamic study of natural resources and environment of China by remote sensing*. Beijing: Chinese scientific technological press, 1996.
- [6] Sui Daniel Z, Zeng H. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota region. *Landscape and urban planning*, 2001, **53**: 37~52.
- [7] Chen L D(陈利顶), Fu B J(傅伯杰). Analysis of human activities on Yellow River delta. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 1996, **16**(4): 337~344.
- [8] Chen L D(陈利顶), Fu B J(傅伯杰), Wang J(王军). Study on land use change in a small typical catchment in Loess Hilly area-a case study in Danangon catchment, Yan'an, Shaanxi province. *Scientia Geographica Sinica*(in Chinese)(地理科学), 2001, **21**(1): 46~51.
- [9] Pearce M C. Pattern analysis of forest cover in southwestern Omtario. *The east lakes geographer*, 1992, **27**: 65~76.
- [10] Zeng H(曾辉), Shao N(韶楠), Guo Q H(郭庆华). A study of landscape heterogeneity for the Changping areain the eastern part of Zhujiang delta. *Acta Geographica Sinica*(in Chinese)(地理学报), 1999, **54**(3): 255~262.
- [11] Peralta P, Mather P. An analysis of deforestation patterns in the extractive reserves of Acre-Amazonia from satellite imagery: a landscape ecological approach. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, **21**(13): 2555~2570.
- [12] Forman R T. *Land mosaics: the ecology of landscape and regions*. Cambridge university press, 1995.
- [13] Urban D L. Landscape ecology-a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *Bioscience*, 1987, **37**(2): 119~127.
- [14] Li F(李方数据), Sun S H(孙司衡). A preliminary research of landscape ecology application in desertification monitoring and assessment-a case study. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2001, **21**(3): 482~490.