

海南岛景观空间结构分析

肖 寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 苗 鸿

(中国科学院生态环境研究中心 系统生态开放研究室, 北京 100085, China)

摘要: 景观空间结构分析是景观生态学研究的核心之一。运用景观生态学原理, 借助地理信息系统技术, 选取斑块密度、边缘密度、分维数、景观多样性、景观优势度和平均接近指数等指标, 分析了海南岛不同景观类型的空间分布和空间格局特征, 探讨了该地区人类活动与景观结构之间的关系。结果显示从中部山地圈带到台地丘陵圈带到沿海平原圈带, 平均接近指数从 9231.493 到 1933.585 到 481.251, 呈明显减少趋势, 景观破碎化程度增大; 景观多样性指数从 0.787 到 1.370 到 1.537, 呈增大趋势; 平均斑块分维数从 1.067 到 1.064 到 1.059, 呈减少趋势。另外, 结果也显示从中部山地圈带到沿海平原圈带的人工景观类型优势度明显增大, 表明受人类活动影响愈来愈强烈。

关键词: 景观结构; 景观多样性; 景观优势度; 景观破碎度; 分维数; 地理信息系统; 海南岛

Analysis of landscape spatial structure in Hainan Island

XIAO Han, OUYANG Zhi-Yun, ZHAO Jing-Zhu, WANG Xiao-Ke, MIAO Hong (Department for Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: The patch density, edge density, fractal dimension of patches, landscape diversity, landscape dominance and mean proximity index were calculated by models and GIS to analyze spatial distribution and spatial structure of landscape types in Hainan Island. From mid-mountains to tablelands and hills to coastal plains, the dominance of man-made landscape types increases obviously, patch density, edge density and mean proximity index decreases, and the landscape was becoming more fragmented, landscape diversity decrease. But mean patch fractal dimension has little change in the three rings.

Key words: landscape structure; landscape diversity; landscape dominance; landscape fragment; fractal dimension; GIS; Hainan Island

文章编号: 1000-0933(2001)01-0020-08 中图分类号: Q149 文献标识码: A

景观是具有空间异质性的区域, 它是由许多大小形状不一, 相互作用的斑块按照一定的规律组成的^[1]。景观生态学研究三大核心内容是景观结构、景观功能和景观变化^[2], 而景观空间结构分析又是景观功能和景观变化研究的基础, 正因如此, 许多学者把研究目标放在景观结构定量指标的建立和完善上^[3~6]。目前景观生态学的研究热点之一是在较大的空间尺度上, 以数量分析方法评价景观空间格局特征^[7,8]。海南岛地处热带北缘及干湿热带气候的过渡带上, 岛内地形复杂, 形成了独特的海南岛景观, 孕育了丰富的生物多样性。但是急剧的城市化和工业化过程, 以及当地落后的生产方式, 如刀耕火种农业和森林砍伐, 改变了海南岛景观结构, 使生物多样性迅速减少, 生态服务功能减弱。同我国其他地区相比, 海南岛仍是一个相对年青的开发区, 受人类活动影响比其他地区小, 这使得较大尺度的宏观指导显得尤为重要。本文定量描述了景观的空间特性, 探讨了景观结构与人类活动的关系, 海南岛景观空间结构的研究有利于了解景观结构与自然生态过程和社会经济活动之间的关系, 对于海南岛土地资源合理利用、生物多样性保护、景观生态设计和水土流失控制具有重要意义。

基金项目: 中国科学院知识创新(RCEES9903), 国家自然科学基金重点基金(79930800), 国家自然科学基金(79670089)资助项目

收稿日期: 1999-11-29, 修订日期: 2000-04-19

作者简介: 肖 寒(1972~), 男, 湖南岳阳人, 博士, 主要从事生态系统服务功能评价生态经济价值及景观生态学等研究。

1 研究区域

海南岛位于中国的最南部,地处中国南海西北部,地跨北纬 $18^{\circ}10' \sim 20^{\circ}10'$,东经 $108^{\circ}37' \sim 111^{\circ}03'$,处于热带北缘,是中国仅次于台湾岛的第二大岛。由于地质穹隆构造的特殊性,使海南岛呈现为穹隆山地,中部以全岛最高峰五指山为隆起核心,地势高耸,81 座 1000m 以上的山峰连绵不断。从中部山体向四周外围沿海逐级降低,构成一个由山地、丘陵、台地和平原组成的环形层状地貌。这不仅影响气候,而且使河流发育为放射状水系,使水、温、热分配产生差异,进而影响土地资源的利用方式。

海南岛热量丰富,四季不明显,各地年平均温度在 $22 \sim 26^{\circ}\text{C}$,由于地势的原因,年平均气温中部低,周围高。全岛雨量充沛,各地年平均降雨量为 1639mm,中高周低的地形使降雨的地区分配差异大,东湿西干的现象很明显。海南岛地处热带季风气候区,有明显的多雨季和少雨季,多雨季为 5~10 月份,占全年降水量的 75%~86%,少雨季为 11~4 月份,只占年降水量的 14%~25%^[9]。多雨季不但降雨集中,而且降雨强度大、暴雨多,易造成水土流失,低平地还会出现洪涝灾害。

海南岛生物资源种类繁多,发育并保存了我国最大面积的热带雨林及丰富的生物多样性,是我国生物多样性保护最具价值和最有潜力的地区之一,在全球热带雨林与生物多样性的保护中具有特殊的意义。中国生物多样性保护行动计划将海南中部山区列为中国生物多样性保护九大热点地区之一^[10],在中国环境保护纲要中也将海南列为中国下世纪重点环境保护区域。

2 研究方法

2.1 景观要素分类

本研究以海南岛 1:200,000 土地利用现状图^[11]作为基本分析图件,应用 Arc/Info 地理信息系统数字化输入土地利用图,产生矢量数据文件,在 ArcView 地理信息系统的支持下,将矢量图转换为栅格图,每个栅格面积为 $100\text{m} \times 100\text{m}$,研究区域共划分为 3399446 个栅格。本文以此栅格图进行海南岛景观空间结构分析,探讨人类活动的影响。根据研究目的,并考虑研究区域尺度较大的特点和资料的可获得性,将海南岛景观构成要素定为农田、园地、林地、草地、居民点及工矿用地、水域和其它,一共 7 个景观类型,共有 13935 个斑块。各景观要素的组成及其面积见表 1。

表 1 海南岛景观要素组成及面积
Table 1 Landscape elements and their size in Hainan Island

类型 Types	说明 Explanation	面积(km ²) Area
农田	种植农作物的土地,包括新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地;农田是人类活动的主要场所之一。	8749.37
园地	研究区域中该类景观主要有橡胶园、果树园、桑园、茶园及其他多年生热带作物园地。	6037.90
林地	生长乔木、竹类、灌木、沿海红树林等林木土地,不包括居民绿化用地以及铁路、公路、河流、沟渠的护路、护岸林。	14469.12
草地	研究区域中该类景观主要是天然草地和人工草地	181.19
居民点	城乡居民点、独立居民点以及居民点以外的工矿、国防、名胜古迹等企事业单位用地,包括其内部交通、绿化用地。	1563.11
水域	研究区域中该类景观主要包括陆地水域和水利设施用地。	1273.67
其它	研究区域中该类景观为未利用的土地,包括荒草地、盐碱地、沙地、石砾地及裸岩等。	1912.21

* 农田 Farmland; 园地 Plantation; 林地 Woodland; 草地 Grassland; 民居点及工矿用地 Residential and industrial area; 水域 Waters; 其它 Others

2.2 圈带景观

受地形地貌的限制,海南岛人类分布与土地利用方式表现出明显的圈带结构(图 1),即沿海平原圈带,台地丘陵圈带和中部山地圈带,本文试图从海南全岛的层次来研究各景观类型的空间分布格局,并探讨这 3 个圈带景观结构与人类活动的关系。

2.3 景观特征指数

根据海南岛景观特征,运用下列景观特征指数分析海南岛景观结构特征,以研究景观结构与人类活动的关系。

2.3.1 景观优势度指数(Landscape dominance index), 优势度指数用于测度景观多样性对最大多样性的偏离程度, 或描述景观由少数几个主要的景观类型控制的程度。优势度指数越大, 则表明偏离程度越大, 即组成景观的各类型所占比例差异大, 或者说某一种或少数景观类型占优势; 优势度小则表明偏离程度小, 即组成景观的各种景观类型所占比例大致相当。本文用景观百分比来表示景观优势度, 指数值在 0~100 之间。优势度为 0, 则表示组成景观的各种景观类型所占比例相等; 优势度为 100, 景观完全均质, 即由一种景观类型组成:

$$P_i = \sum_{i=1}^n a_{ij}/A \times 100 \quad (1)$$

式中, P_i : 景观类型 i 所占景观比例(%); a_{ij} : 斑块 ij 的面积(m^2); A : 景观总面积(m^2)。

2.3.2 斑块密度(Patch density) 反映景观的破碎化程度, 同时也反映景观空间异质性程度。 PD 愈大, 破碎化程度愈小, 空间异质性程度也愈小。

$$PD = N/A \times 10000 \times 100 \quad (2)$$

式中, PD : 斑块密度($1/100hm^2$); N : 景观中斑块数量; A : 景观面积(m^2)。

2.3.3 边缘密度(Edge density) 边缘密度指景观中单位面积的边缘长度, 反映景观的破碎程度, 边缘密度的大小直接影响边缘效应及物种组成。

$$ED = E/A \times 1000 \quad (3)$$

式中, ED : 边缘密度(m/hm^2); E : 景观中边缘长度(m); A : 景观面积(m^2)。

2.3.4 分维数(Mean patch fractal dimension), 用来测定斑块形状影响内部斑块的生态过程, 如动物迁移, 物质交流。本文使用下式^[4]来度量斑块形状的复杂程度。 $MPFD$ 的值在 1~2 之间, $MPFD$ 愈靠近 1, 斑块形状愈简单; 相反, $MPFD$ 愈靠近 2, 斑块形状愈复杂。

$$MPFD = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (2 \ln(0.25P_{ij}/\ln a_{ij})) \right) / N \quad (4)$$

式中, $MPFD$: 平均斑块分维数; P_{ij} : 斑块 ij 的周长(m); a_{ij} : 斑块 ij 的面积(m^2); N : 景观中斑块的数量; m : 景观类型数量; n : 某类景观类型的斑块数。

2.3.5 景观多样性指数(Landscape diversity index) 根据信息论原理, 景观多样性指数的大小反映景观要素的多少和各景观要素所占比例的变化。当景观由单一要素构成时, 景观是均质的, 其多样性指数为 0; 由两个以上的要素构成的景观, 当各景观类型所占比例相等时, 其景观的多样性为最高; 各景观类型所占比例差异增大, 则景观的多样性下降^[12]。景观多样性指数^[13]为:

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i) \quad (5)$$

式中, H : 多样性指数; P_i : 景观类型 i 所占面积的比例; m : 景观类型的数量

2.3.6 平均接近指数(Mean proximity index) 该指数用来测度景观破碎度, 景观破碎度是指景观被分割的破碎程度, 即景观里某一景观类型在给定时间里和给定性质上的破碎化程度。在较大尺度研究中, 景观的破碎化状况是其重要的属性特征。景观的破碎化与人类活动紧密相关, 与景观格局、功能和过程密切联系, 同时它又与生物多样性保护密切相关^[14], 许多生物物种的保护均要求有足够大的自然生境, 随着景观的破碎化和斑块面积的减少, 适于生物生存的环境在减少, 它将直接影响到物种的繁殖、扩散、迁移和保

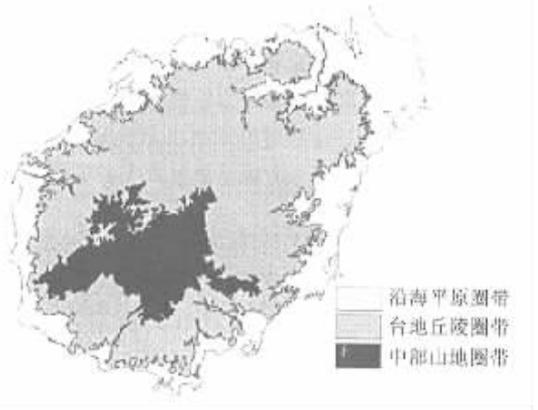


图1 海南岛土地利用环状圈带

Fig.1 Three rings in land-use of Hainan Island

中部山地圈带 Mid-mountain; 台地丘陵圈带 Tableland and hill; 沿海平原圈带 Coastal plain

护^[15]。本文采用下式^[16]来度量海南岛景观的破碎化程度。 MPI 为0时,表示在指定的搜索半径内没有同类型的斑块相邻接; MPI 越大,同类型的斑块聚集程度越大,破碎化程度越小。

$$MPI = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}} \right) / N \quad (6)$$

式中, MPI :平均接近指数; a_{ijs} :离斑块 ij 指定距离内的同类斑块 ijs 的面积; h_{ijs} :离斑块 ij 指定距离内同类斑块 ijs 与斑块 ij 的距离(m); N :景观中斑块数量

3 结果与分析

3.1 全岛水平各景观要素的空间分布特征

从图2可以看出,海南岛景观共13935个斑块,分布于7个类型之中。在各景观类型中,草地的斑块数最少,共89个,占总斑块数的0.64%;居民点及工矿用地斑块数最多,共4372个,占总数的31.37%,其次是农田和林地,分别占总数的27.54%和21.18%。居民点及工矿用地分布点多是与农田分布一致的,同时,人类开发活动将原先的大块林地分割成许多小块,因此林地斑块数也多。草地的出现主要是由于人类活动的影响。大部分天然草地是森林植被破坏后形成的,同时由于农业综合开发,部分草地已用于热作种植,故草地斑块数很少。

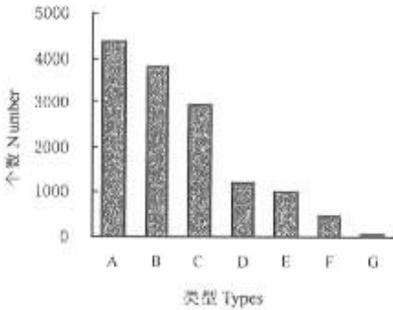


图2 海南岛各景观类型的斑块数

Fig. 2 Patch number of various landscape types

A 居民点 Residential area; B 农田 Farmland; C 林地 Woodland; D 园地 Plantation; E 其它 Others; F 水域 Waters; G 草地 Grassland

就平均斑块面积来看,全岛平均斑块面积为 2.45km^2 ,园地和林地的平均斑块面积较大,分别为 5.02km^2 和 4.90km^2 ,而居民点及工矿用地的平均斑块面积最小,为 0.36km^2 (图3),表明该地区人口分布较分散。园地虽然是人工类型景观,但海南岛园地主要是橡胶园,橡胶是政府支持的有组织有规模种植的,因此分布较集中,平均斑块面积较大。热带林地主要集中在中部山区,虽然其斑块数大,但其整体面积也大,故其平均斑块面积也较大。图4显示,园地和林地的平均斑块周长较大,分别为 16.04km^2 和 13.33km^2 ,而居民点及工矿用地的平均斑块面积最小,为 2.38km^2 ,这与平均斑块面积所表现的特征是一致的。

3.2 三个圈带景观结构特征

在地理信息系统的支持下,借助统计软件,根据(1)式计算出每一圈带各景观要素的优势度指数,根据(2)、(3)、(4)、(5)、(6)式依次计算出每一圈带的斑块密度、边缘密

度、平均斑块分维数、景观多样性指数和平均接近指数。

3.2.1 景观优势度指数(Dominance) 结果表明景观优势度在空间上存在着较大的差异(图5)。在平原圈带,农田、林地和居民点及工矿用地占优势,分别占平原圈带总面积的43.16%、25.16%和9.85%。这一圈带是以农业为主的粮食作物-经济作物-防护林圈带,25.16%的林地主要是防护林。在台地丘陵圈带,林地、园地和农田占优势,分别占台地丘陵圈带总面积的43.95%、26.13%和20.56%。这一圈带是以热带经济林为主的热带经济-经济作物-粮食作物圈带,这里43.95%的林地主要由热作园及热带经济林和部分天然季雨林组成,可以看出这一圈带粮食作物仍占相当大的比例。在中部山地圈带,林地占绝对优势,达中部山地圈带总面积的78.51%,其次是其它和园地,分别占中部山地圈带总面积的11.89%和4.38%,这一圈带是以林地为主的中部热带雨林、季雨林-珍贵用材林-自然保护区圈带。从全岛水平来看,林地仍占很大优势,占全岛面积的41.36%,其次是农田和园地,分别为21.97%和14.21%。历史上海南岛几乎被原始森林所覆盖。后来随着人口的增加,技术的发展,农田和园地的比例不断上升。现在农田、园地和居民点及工矿用地总面积已近全岛总面积的一半,约41.55%,可见人类活动对海南岛的影响。

图 5 亦表明,从沿海平原到台地丘陵到中部山地圈带,居民点及工矿用地、农田和园地这 3 种景观类型所占优势程度呈明显递减趋势,这 3 种景观类型均与人类活动密切相关,可见从沿海到中部山地,土地利用程度逐渐减少,景观受人类活动影响愈来愈小,这主要是自然地理条件,即海南穹隆地形造成的。从土地开发历史来看,海南岛土地最先由北部开始,然后分沿东西两岸南下,进而逐步向内部垦殖。

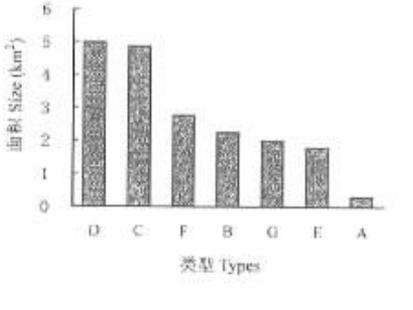


图 3 海南岛各景观类型的平均斑块面积
Fig. 3 Mean area of various landscape types
图例同图 2 Legend see fig. 2

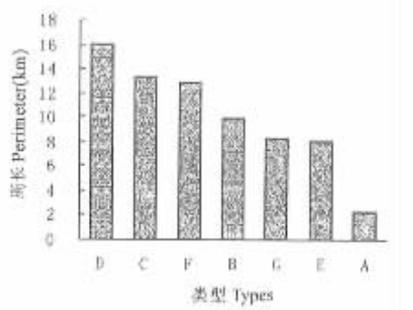


图 4 海南岛各景观类型的平均斑块周长
Fig. 4 Mean perimeter of various landscape types
图例同图 2 Legend see fig. 2

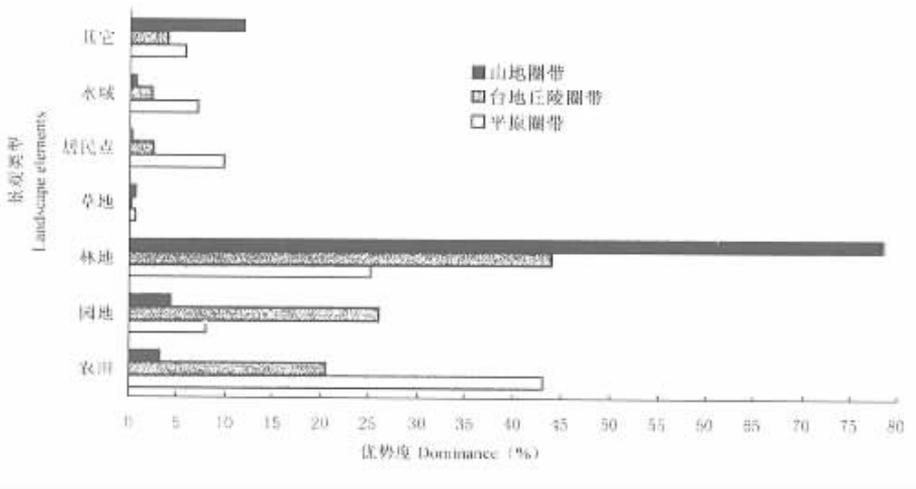


图 5 不同景观类型的景观优势度
Fig. 5 The dominance of various landscape elements

农田 Farmland; 园地 Plantation; 林地 Woodland; 草地 Grassland; 居民点及工矿用地 Residential and industrial area; 水域 Waters; 其它 Others; 山地圈带 Mid-mountain; 台地丘陵圈带 Tableland and hill; 平原圈带 Coastal plain

3. 2. 2 斑块密度 (Patch density) 从沿海平原圈带到台地丘陵圈带到中部山地圈带, 斑块密度递减。斑块密度反映景观的破碎程度和景观异质性的高低, 斑块密度愈大, 景观的破碎程度愈大, 景观异质性愈高^[15]。图 6 显示沿海平原圈带受人类活动影响最为强烈, 大的自然景观斑块变成了许多小的自然景观斑块和人工斑块, 斑块密度增加, 景观异质性增高。

3. 2. 3 边缘密度 (Edge density) 边缘密度指景观中单位面积的边缘长度, 反映景观的破碎程度。图 7 进一步显示了沿海平原圈带的破碎程度最大, 其边缘密度达 20.54m/hm², 中部山地圈带的破碎程度最小, 边缘密度为 9.7m/hm²。

3. 2. 4 景观多样性指数 (Landscape diversity index) 景观多样性指数能反映一个景观中不同景观类型分

布的均匀化和复杂化的程度。通常,人口集中,人类活动强烈的地区,自然景观受到改造的程度愈大,土地多被开垦为农业、工矿、城市及农村居民用地^[15]。从海南岛中部山地圈带到台地丘陵圈带到沿海平原圈带,景观多样性指数递增(图 8。)在海南岛三个圈带景观类型数目一致情形下,这反映了海南岛由山地到平原圈带各景观类型的分布越来越均匀,人类活动愈来愈强烈。

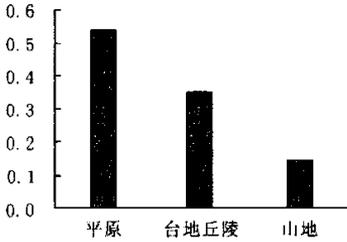


图 6 不同圈带的斑块密度

Fig. 6 Patch density of various rings

平原 Coastal plain; 台地丘陵 Tableland and hill; 山地 Mid-mountain

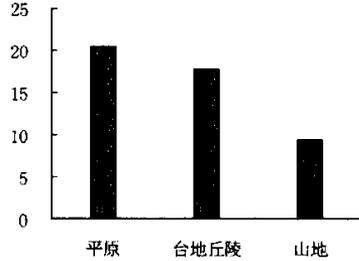


图 7 不同圈带的边缘密度

Fig. 7 Edge density of various rings

图例同图 6 Legend see fig. 6

3.2.5 平均接近指数(Mean proximity index) 本文用平均接近指数来度量景观破碎程度。景观破碎度反映的是单位面积上斑块个数的多少。海南岛平原圈带的平均接近指数最低为 481.25, 山地圈带最高为 9231.49(图 9), 反映了平原圈带破碎度远大于山地圈带。沿海平原圈带强烈的人类活动增加了许多人工类型的景观斑块, 原来较大的自然景观被改造为许多较小的斑块; 同时随着交通道路, 引水排水渠的修建, 原来较大斑块的景观被分割为许多大小不同的小斑块, 这也增加了景观的破碎度。而在经济技术落后的中部山地圈带, 由于自然地理条件的限制, 人类活动相对较弱, 人工景观类型的斑块相对较少, 修建的道路、沟渠相对较少, 使得景观破碎程度较低, 平均接近指数较高。

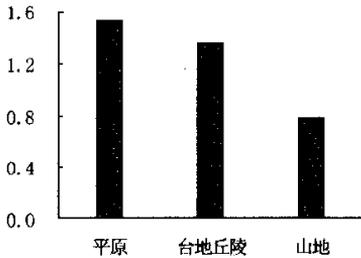


图 8 不同圈带的景观多样性指数

Fig. 8 Landscape diversity index of various rings

图例同图 6 Legend see fig. 6

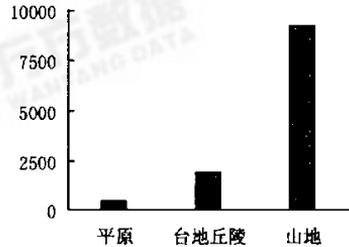


图 9 不同圈带的平均接近指数

Fig. 9 Mean proximity index of various rings

图例同图 6 Legend see fig. 6

3.2.6 平均斑块分维数(Mean patch fractal dimension) 图 10 显示, 海南岛中部山地圈带的平均斑块分维数最高达 1.067, 其次是台地丘陵圈带为 1.064, 平均斑块分维数最低的是沿海平原圈带为 1.059, 表明中部山地圈带的斑块形状较为复杂, 斑块形状取决于自然地貌的平面形态^[1], 在中部山地圈带, 高山连绵不断, 地貌呈复杂状态, 在中部山地圈带, 农田和居民点沿沟底和沟缘分布, 这取决于沟底和沟缘的形状, 地貌形态使得斑块形状表现得较为复杂; 而台地丘陵圈带, 地貌形态较中部山地相对简单, 同时这里主要分布热带作物园和人工林, 当地在造林时人为控制取直林地的边缘。因此在地貌形态和人类活动的共同影响下, 斑块形状表现得较中部山地圈带简单。沿海平原圈带, 地貌形态表现得更为简单, 且这一圈带

的景观类型主要是农田和人工防护林地,这些人工景观斑块形状较为规则,虽然随着人工景观类型斑块面积的增加,分维数会微弱增加,但在地貌形态和人类活动的综合影响下,其分维数表现得比中部山地和台地丘陵圈带低。

4 结论与讨论

自海南建省以来,经济获得了较快的发展。同时,人类对海南岛景观空间结构的影响也十分明显。

(1)人类活动对各种景观类型的优势度影响十分明显。随着人类活动的加剧,人工景观类型在海南岛景观中的优势度增加。海南岛在距今 3000 多年前,还是一个被热带森林植被覆盖的处女地^[17],但是现在农田、园地和居民点及工矿用地等 3 种典型的人工景观的优势度之和已达 41.55%,主要分布在沿海平原圈带和台地丘陵圈带。

(2)人类活动对景观破碎程度的影响在圈带区域上表现非常明显,人类活动强度与景观破碎程度成正比关系。研究显示,从中部山地圈带到台地丘陵圈带到沿海平原圈带,景观平均接近指数从 9231.493 到 1933.585 到 481.251,呈显著减少,景观破碎化程度增大,人类活动的影响增强,这与海南岛现状是一致的,即海南岛人口、工业和农田主要分布在沿海平原一带,越往中部山区,人口越稀少^[18],人类活动影响强度越低。

(3)在海南岛独特地貌形态和人类活动的综合影响下,平均斑块分维数在圈带区域上的差异并不明显,平均斑块分维数的最大差值仅为 0.008。

(4)景观多样性在区域圈带上的表现为:从中部山地圈带到台地丘陵圈带到沿海平原圈带,景观多样性指数从 0.787 到 1.370 到 1.537,呈增大趋势。随着人类活动的加强,森林面积的锐减,大面积的森林景观变成了各种各样的人工景观类型,形成了极为多样化的变化模式,导致海南岛景观多样性增加,但这也给物种多样性的保护造成了极为严重的困难^[19]。

(5)以上诸多景观特征指数中,平均接近指数和景观优势度指数在海南岛各圈层中所表现的数值差距较大,表明这两个特征指数在反映海南岛景观结构与人类活动的关系方面比较有效。

(6)通过以上的景观结构分析,可以看出海南岛中部山地圈带受人类活动的干扰较小。中部山地圈带主要分布有热带森林,海南岛的热带森林在全球热带雨林与生物多样性的保护中具有特殊的意义。中国生物多样性保护行动计划将海南中部山区列为中国生物多样性保护九大热点地区之一,在中国环境保护纲要中也将海南列为中国下世纪重点环境保护区域。另外,森林生态系统为人类提供了多种生态服务功能^[20],如保护生物多样性、水源涵养、水土保持、土壤肥力的更新与维持、营养物的循环、二氧化碳的固定、维持大气化学的平衡与稳定、净化环境等等。随着对可持续发展机制研究的深入,人们发现维持与保育森林生态系统服务功能是实现可持续发展的基础。中部山地圈带的热带森林对海南岛未来社会经济的发展具有极其重要的意义^[21]。这些均表明,海南岛目前的景观格局是合理的,有利于海南生物多样性的维持和自然保护区的建设,进而有利于海南岛资源的可持续利用。但在未来的经济发展中应从景观的层次注意合理适度地利用自然资源,建议:在沿海平原圈带以粮食作物、经济作物,防护林以及城乡居民点为主;丘陵台地圈带以橡胶等热带作物、热带高产水果,经济用材林为主;中部山地圈带是以保育热带森林和生物多样性为主自然保护区群。

(7)运用 GIS 技术研究大区域景观结构空间特征是一种可行的方法与技术。同时 GIS 还能够与遥感技术很好地结合,快速更新大区域的信息,因此 GIS 在大区域景观结构空间特征研究中具有广阔的前景。

参考文献

万方数据

[1] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. 生态学报, 1995, 15(2): 113~120.

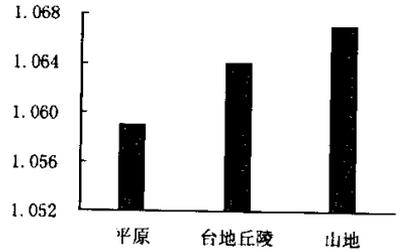


图 10 不同圈带的平均斑块分维数

Fig. 10 Mean patch fractal dimension of various rings

图例同图 6 Legend see fig. 6

- [2] Forman RTT, Godron M. *Landscape Ecology*. New York: Wiley, 1986.
- [3] O'Neil RV, Krummel JR, *et al.* Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**: 153~162.
- [4] Li H. Spatio-temporal pattern analysis of managed forest landscapes; a simulation approach. Ph. D. Thesis. Oregon State University, Corvallis.
- [5] Turner MG. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 1990, **4**: 21~30.
- [6] Turner G, and Gardner RH. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer, 1991.
- [7] 伍业刚, 李海滨. 景观生态学的理论发展. 见: 刘建国. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 30~39.
- [8] 李海滨, 伍业刚. 景观生态学的数量研究方法. 见: 刘建国. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 209~233
- [9] 翟培基. 中国自然资源丛书. 海南卷. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [10] 国家环保局. 中国生物多样性保护行动计划. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [11] 海南省土地管理局. 海南省土地利用现状图. 海南, 1996.
- [12] 赵 羿, 等. 沈阳市东陵区景观格局变化及其对环境的影响研究. 都市与计划(台湾), 1993, **20**(1): 75~87.
- [13] 王宪礼, 肖笃宁. 辽河三角洲湿地的景观格局分析. 生态学报, 1997, **17**(3): 318~323.
- [14] Verner J, Morrison ML and Ralph CJ. *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. University of Wisconsin Press, Madison, U. S. A. 1986.
- [15] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析. 生态学报, 1996, **16**(4): 337~344.
- [16] McGarigal K and Marks BJ. *Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, 1994.
- [17] 余显芳. 海南岛人类活动与生态环境演变规律和预测. 见: 谢宗辉. 海南经济发展与环境保护. 海口: 海南出版社, 1991. 226~239.
- [18] 许士杰. 海南省——自然、历史、现状与未来. 北京: 商务印书馆, 1988.
- [19] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义. 地理学报, 1996, **51**(5): 444~462.
- [20] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, 1999, **10**(5): 635~640.
- [21] 欧阳志云, 肖 寒, 等. 海南岛生态系统服务功能及空间特征研究. 见: 赵景柱, 欧阳志云, 吴 刚主编. 社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. 270~284.