

海口市景观格局梯度时空分异特征及响应机制

李玉杰¹,付 晖¹,张 源²,马 昊¹,许先升^{1*}

(1.海南大学 林学院,海南 海口 570228;2.苏州大学 金螳螂建筑学院,江苏 苏州 215123)

摘 要:为深入理解快速城镇化对岛屿城市景观格局的影响,以海口市为研究对象,基于 2000、2005、2010、2015 年和 2018 年 5 期遥感影像,结合 POI(point of interest)核密度以及 OSM(open street map)路网密度数据确定 7 条样带,对海口市景观格局梯度时空分异特征及响应机制进行分析。结果表明:1)就同一时相各样带斑块破碎度和景观多样性整体分异特征来说,穿越城市核心区样带 bB 的 PD(斑块密度)和 SHDI(香农多样性指数)值均最大,位于郊区的样带 fF 的 PD 和 SHDI 值均最小,可见样带整体格局对城镇化水平、规划、政策响应明显;2)随着城市核心区距离变大,城乡交错带的斑块破碎度和景观多样性不断提升,聚集度降低,连通性变差。2010 年后,城镇化进程加快、江东新区开发和热带农业集群化引起景观格局的强响应;3)2000—2018 年,样带 bB 窗格 6、样带 cC 窗格 2、样带 dD 窗格 2~3 处 LPI(最大斑块指数)均最高,城镇化不均匀推进,导致 AWMPFD(面积加权平均斑块分维数)波动显著。研究结果可为该区域生态城市规划和城乡协调提供决策依据。

关键词:城镇化;梯度分析;移动窗格法;城镇化响应强度

中图分类号:S731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)06-0258-11

Landscape Pattern Gradient Research on Spatio-temporal Differentiation Characteristics and Response Mechanism in Haikou

LI Yu-jie¹, FU Hui¹, ZHANG Yuan², MA Hao¹, XU Xian-sheng^{1*}

(1. Forestry College, Hainan University, Haikou 570228, Hainan, China;

2. Gold Mantis School of Architecture and Urban Environment, Soochow University, Suzhou 215123, Jiangsu, China)

Abstract: In order to understand the influences of fast-going urbanization on the landscape pattern of island city, Haikou, one of the island cities in China was taken as the research object. Based on remote sensing images in 2000, 2005, 2010, 2015, and 2018, combined with POI(point of interest) and OSM (open street map), the spatio-temporal gradient differentiation characteristics and response mechanism of the landscape pattern of Haikou were investigated. The results showed that 1) with the respect of the plaque fragmentation and the overall differentiation of landscape diversity, the values of PD (patch density) and SHDI (Shannon's diversity index) in transect "bB" that was sampled across the urban core zone were the maximum. While the transect "fF" that was sampled from the outskirts of the city presented the minimum PD and SHDI values, indicating the significant responses of the overall patterns of the transects to the level, schemes and policies of urbanization. 2) With the increase of the distance from the core zone of the city, the degree of fragmentation the diversity of the landscape in urban-rural interlaced zone increased, while the degree of aggregation decreased, and the connectivity was degraded. In particular, after 2010, the whole landscape pattern had transformed overwhelmingly to response the acceleration of urbanization, the develop-

收稿日期:2019-12-20 修回日期:2020-05-30

基金项目:海南省自然科学基金(318QN194);海南省哲学社会科学规划课题(HNSK(QN)18-06)。

作者简介:李玉杰,硕士。研究方向:景观生态规划与风景园林规划设计。E-mail:1741803980@qq.com

*通信作者:许先升,博士,教授。研究方向:风景园林规划设计。E-mail:xxs918@163.com

ment of Jiangdong New Area, and the cluster development of tropical agriculture. 3) During 2000—2018, the values of LPI (largest patch index) were the highest in Pane 6 of the transect “bB”, Pane 2 of the transect “cC”, and Pane 2-3 of the transect “dD”. The uneven development of urbanization resulted in significant fluctuation of AWMPFD (area-weighted mean patch fractal dimension). The result of this study can provide references for the decision making data for the planning of Haikou City and urban-rural coordination.

Key words: urbanization; gradient analysis; moving window method; urbanization response intensity

随着城镇化进程的纵深推进,城镇范围不断扩张,与自然基底界限日渐模糊^[1]。当下,很多城市开始设立卫星城以转移非中心城市功能,郊区城市化成为趋势,城市成为中心城市和外围城镇的集合体,由城市到边缘区再到乡村形成连续谱,基于区划的城市研究已不符合发展需求。城市化经典理论主要研究城市结构和空间功能区划^[2],与景观生态学理论相比,城市形态和城市规划更强调人类土地利用需求的内在驱动力,而不是土地利用与自然地理的相互作用或生态条件。当前城市空间发展的规模和强度远远超出了经典理论的解释能力,城市化已成为全球环境变化的重要驱动力^[3-4]。因此,越来越需要将景观生态学和城市规划理论结合起来研究复杂的城市生态系统,建立合理的生态城市规划体系。

生产建设活动的快速发展,使得城市景观快速蔓延并向自然景观渗透,导致自然景观破碎化日趋严重^[5],土地利用/土地覆盖变化(land use and land cover change, LUCC)相应出现时空分异。因此,从时间和空间角度剖析城乡关系及其景观格局是实现中国社会经济转型、环境优化、城乡可持续发展的关键^[6-7],梯度分析与景观指标相结合已被证明可以很好地解释城镇化的生态响应机制^[8-9]。梯度分析更能反映景观格局的细节特征,其结构形式可依据城市的空间布局结构和扩张规律确定:1)单中心环状发展的城市、都市圈、大都市区或多卫星城城市适合圈层法,可根据城市结构以同心圆、同心多边形、建成区边界、城乡交错带或城市环线建立梯度缓冲带^[10-15];2)多中心发展的城市可通过确定城市发展路径(如道路、河流)、扩展轴线确定样带^[16-17];3)基于移动窗格的梯度分析法普遍适用且更能有效表征景观格局^[18],但很少有研究涉及样带选择本身的重要性,通常依据 LUCC 建设用地的变化和覆被类型丰富度来确定^[19],忽视了城镇化的活动因素与城乡发展的空间格局态势,因此通过界定城市功能区及质心选取样带更科学。

基础设施(包括服务基础设施和交通基础设施)的社会经济效益和空间溢出效应会促进城镇扩张^[20]、影响城乡景观格局^[21]。基础设施 POI(point of interest)和 OSM(open street map)数据已广泛

应用于城市中心体系识别与特征分析,其能反映城市空间结构、界定城市多级中心区域与扩张方向^[22-24],因此城市基础设施的 POI、OSM 可视化后可作为样带选择依据。

当前城乡梯度研究多集中于长三角、珠三角、京津冀等发达地区^[2,25-27],对中小型城市尤其像海口这样沿海沿江、带状多组团发展的岛屿城市研究较少。本研究以海口市为研究对象,旨在研究城镇化对景观格局的影响,尤其是沿城乡梯度的时空和功能变化。研究目的就是探究城乡梯度样带科学选择方法,分析由整体到局部的城乡梯度景观指数特征,讨论城镇化在城乡梯度带上的响应机制。

1 材料与方法

1.1 区域概况

海口市总面积 2 304.8 km²,海岸线 131 km,地处海南岛北部,东邻文昌市,南接定安县,西连澄迈县,北临琼州海峡与广东省隔海相望,市域大部为海拔 100 m 以下的台地和平原。2018 年海口常住人口 230.23 万人,非农业人口 181.05 万人,城镇化率 78.5%。随着国际旅游岛建设、“中强、西控、东优、南控”发展战略的不断深化^[28],海口城市化步伐不断加快,逐渐确立“一江两岸、东西双港驱动、南北协调发展”的城市发展格局(《海口年鉴 2018》),其 LUCC 自 2000 年以来不断变化并表现为“城市核心区—城乡交错带—乡村”的景观格局序列。

1.2 数据来源与处理

以地理空间数据云平台获取的 2000 年的 Landsat7 ETM+、2005 年和 2010 年的 Landsat5 TM、2015 年和 2018 年的 Landsat 8 OLI 遥感影像为数据源,运用 Erdas 8.6、ENVI 5.3 和 ArcGIS 9.3 进行去云处理、图像拼接融合、几何校正和图像增强,获得波段 4、3、2 的组合图像。据研究需求与全国土地覆被分类标准,将研究区域划分为林地、灌草地、农田、水体、人工表面和裸地 6 种土地覆被类型,借助 ENVI 5.3 进行监督分类(每一时相定义 300 个以上训练样本),分类后 Kappa 系数 2000 年 0.91、2005 年 0.88、2010 年 0.87、2015 年 0.93、2018 年 0.90;之后结合精度为 4.49 m 的 Google

Erath 历史影像及 1 : 100 000 的土地利用图(图 1)目视解译纠正,并对鉴别模糊的地方进行野外实地调研对 GPS 点验证,使总体精度达 92% 以上;最后将面积≤900 m² 的斑块融合到邻近斑块,最终得到 5 期土地覆被矢量图(图 2)。

POI 数据来自 2018 年 11 月百度在线地图 API 接口,对重复或无效数据清理、重分类后共得到 62 657 个 POI 数据,根据不同类别建筑及基础设施常规服务半径分类^[29],形成数据分类表(表 1),然后

将数据经纬度坐标信息导入 ArcGIS 得到海口市 POI 空间分布图(图 3a)。将每一类数据按对应核密度搜索半径生成 19 类核密度栅格图像,接着用栅格计算器加法叠加,得到分辨率为 30 m×3 0m 的 POI 核密度栅格图像,最后重分类为 20 个级别(图 3b)。OSM 路网属开源数据,为确保空间可识别性,只保留高速路、主干路和次干路,在 ArcGIS 9. 3 按 400 m 的搜索半径进行线密度分析,得到分辨率为 30 m 的 OSM 线密度栅格图像(图 3d)。

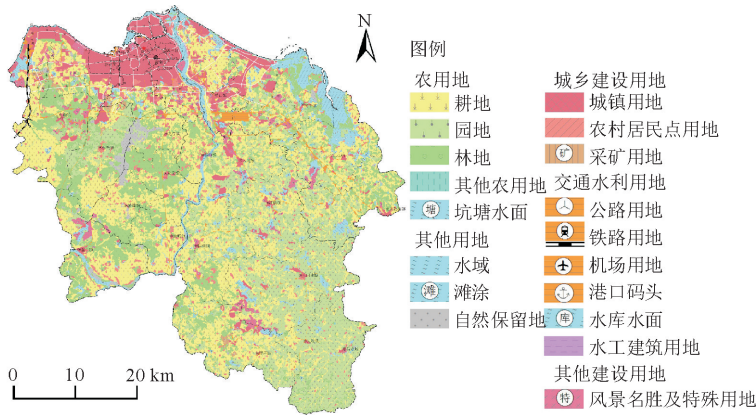


图 1 研究区 2011 年土地利用
Fig. 1 Land use situations of the research area in 2011

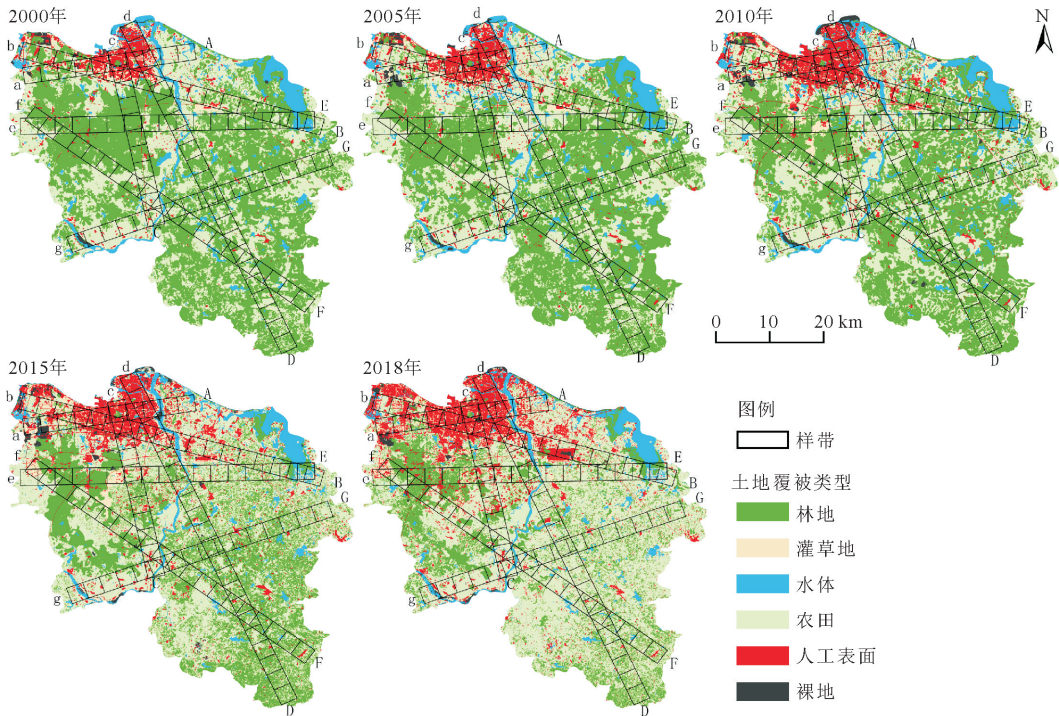


图 2 研究区土地覆被类型空间分布及样带选取

Fig. 2 Spatial distribution of land cover types and the transects in the research area

1.3 研究方法

1.3.1 城市核心区与城市扩张方向界定 POI 和 OSM 密度越高表明区域建设强度越大、城市活力度越高,因此基于 POI 核密度、OSM 线密度确定中心

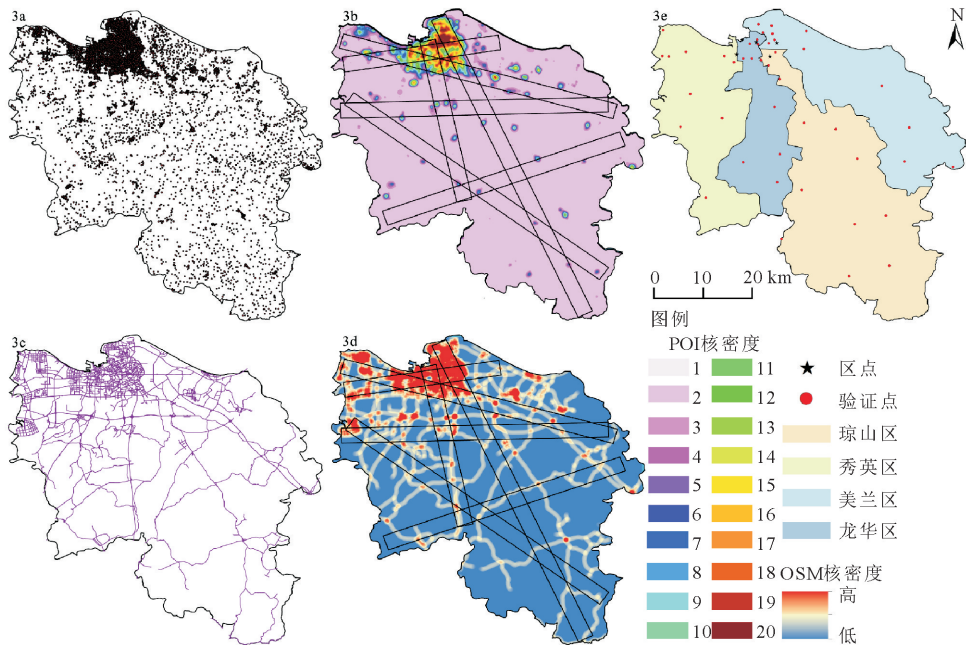
组团核心功能区位于海府中心组团的金贸片区、海口旧城片区、大英山片区、府城片区和江东组团的灵山片区(图 3b、图 3d)。对照 OSM 道路属性(图 3c),核心区在空间上呈“十字交叉”结构,其中由“金

融贸易区—海口中心商务区—江东政务中心”构成东西向的横轴,由“旧城商业步行街区—海口商务办公区和府城文化商业街区”构成了纵轴。结合五期土地覆被数据的人工表面扩展方向:长流组团沿西

海岸海岸开发重点区域,江东组团沿南渡江、东海岸及美兰机场方向,观澜湖新城开发方向,各大规模村镇聚集区等。确定城市空间结构后,作为样带选取依据。

表 1 POI 数据分类统计
Table 1 POI data classification

服务半径/m	POI 类别数量/个	有效点数量/个	核密度搜索半径/m
300~500	餐饮(11 235)、居民服务(6 124)、教育文化(2 715)	20 074	400
500~1 000	批发零售(19 896)、金融保险(1 820)、汽车销售及服务(1 769)	23 485	750
1 000~1 500	交通运输仓储(3 981)、公用设施(2 205)、商业设施及服务(1 273)、运动休闲(2 249)、住宿(5 165)、综合医院(11)	14 884	1 250
1 500~2 000	卫生社保(1 340)、农林牧渔业(74)、科技及技术服务(203)、其他(风景名胜和高尔夫、公园广场)(55)	1 672	1 750
2 000~3 000	村(2 502)、乡镇(47)、兴趣区(大学城和国贸)(2)	2 551	2 500



注:3a:基础设施 POI 分布;3b:POI 核密度;3c:OSM 路网;3d:OSM 线密度;3e:野外采样点分布。

图 3 研究区 POI、OSM 路网分布与密度及野外采样点分布

Fig. 3 Distribution and density of POI and OSM road networks and distribution of field sampling points in research area

1.3.2 景观格局指数选取 景观格局指数是景观格局的时空变化量化指标,能反映出城市发展的梯度特征和城市化进程的演变趋势^[30]。结合前人经验^[2,9,18,31]与景观指数相关预试验,考虑指数冗余度和相关性,选择景观水平指数有 PD(斑块密度)、ENN-MN(平均欧式最近邻体距离)、CONTAG(蔓延度)、SHDI(香农多样性指数),类型水平指数有 LPI(最大斑块指数)、AWMPFD(面积加权平均斑块分维数),以更全面反映海口景观格局特征。

1.3.3 梯度断面设置与分层聚类分析 结合李莹莹等^[32]、Z. ZHANG 等^[33]的研究,以较高时空信息丰富度为标准,选取 0.3 km×0.3 km、0.6 km×0.6 km、1 km×1 km、2 km×2 km、3 km×3 km、4 km×4 km、5 km×5 km、6 km×6 km 等多个窗

格的空间取样分析,表明 3 km×3 km 最合适。为更全面分析城镇化响应,需最大程度涵盖研究区范围和所有土地覆被类型,尽量在城乡景观格局变化明显的区域设置样带,保证数据丰富度,避免冗余;结合 1.3.1 中对核心区与城市扩张方向的界定,选择位于主城区的样带 aA、横跨城乡的样带 bB、cC 和 dD 及主体穿越不同郊区方向的样带 eE、fF 和 gG(表 2),统一规定小写字母一端为样带起始端,在 ArcGIS 9.3 中用移动窗格法从样带初始点逐格截取精度为 30 m×30 m 栅格数据(图 2)。根据景观生态学原理,将 570 个窗格数据按样带、年份逐一分层导入 Fragstats 4.2,得到原始景观格局指数数据,整理后导入 Origin 8.6 聚类处理,得到每条样带、每一指数的变化统计图。

表 2 研究区典型样带
Table 2 Typical transects in the study area

样带名称	窗格数/个	样带长度/km	样带面积/km ²	所经地域
样带 aA	10	30	900	长流组团—中心城区—江东新区
样带 bB	18	54	162	长流组团—中心城区—美兰机场—乡村
样带 cC	11	33	99	中心城区—龙华区
样带 dD	22	66	198	中心城区—琼山区
样带 eE	17	51	153	秀英区—龙华区—琼山区—美兰区
样带 fF	20	60	180	秀英区—龙华区—琼山区
样带 gG	18	54	162	秀英区—龙华区—琼山区—美兰区

1.3.4 城镇化响应强度 为更直观描述典型样带对城镇化的时空响应,参考崔王平等^[19]、J. M. MARK 等^[34]的研究,利用式(1)依次算出窗格城镇化梯度的动态响应强度值:

$$YRI \approx C_i + (2 \times \sqrt{C_b}) + (2 \times \sqrt{C_s}) \quad (1)$$

式中,C_i 是人工表面百分比;C_b 是裸地百分比;C_s 是农田百分比,值在 0%~15%表示农村发展缓慢,值在 90%~100%表示高度城市化,进一步将城市化梯度响应程度划分为积极响应类型、中间响应类型、间断响应类型与无响应类型。

2 结果与分析

2.1 研究区域景观总体特征

景观格局整体分析反映研究区域的整体特征^[35]。海口市林地和农田比例最高,其次为人工表面和灌草地,裸地和比例最小(图 4)。随着城镇扩张,人工表面由 2000 年的 4.4%增长到 2018 年的 13.1%,增加 2.98 倍;农田由 2000 年的 36.1%增长到 2018 年的 54.6%;而林地则由 2000 年的 51.0%减少到 2018 年的 22.3%。从 2010 年开始,伴随着人工表面和农田的高速扩张,林地面积锐减,可见城乡经济发展、农业转型改变了海口土地覆被的景观格局。

2.2 样带景观总体特征

2000—2018 年不同样带景观格局的影响因子

表 3 研究区不同样带景观指数变化

Table 3 The changes of landscape index in the different transects in research area

样带名称	斑块密度(PD)/个·100 hm ⁻²					香浓多样性指数(SHDI)				
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
样带 aA	3.488 9	4.733 3	6.244 3	11.044 4	11.699 9	1.479 4	1.496 1	1.445 6	1.433 1	1.273 4
样带 bB	3.271 6	4.055 4	4.512 2	12.808 5	10.654 2	1.423 1	1.447 0	1.531 7	1.496 1	1.446 6
样带 cC	3.040 5	4.010 2	3.293 0	10.918 9	9.869 0	1.236 9	1.301 8	1.337 6	1.300 4	1.308 7
样带 dD	3.515 3	3.787 9	3.293 0	12.313 1	11.197 4	1.205 6	1.251 4	1.285 3	1.306 6	1.218 1
样带 eE	2.215 6	2.215 6	2.830 0	11.228 6	10.640 2	0.847 7	0.950 4	1.232 6	1.264 5	1.291 3
样带 fF	2.239 0	2.050 0	2.111 1	9.837 8	8.945 0	0.834 9	0.859 4	0.916 8	1.047 4	1.032 4
样带 gG	2.576 4	2.361 1	2.791 7	11.896 0	10.021 0	0.944 1	0.986 2	1.012 4	1.044 2	0.848 8

虽较复杂,但仍然有明显的整体特征(表 3)。从不同时相 PD 值对比来看,2000—2010 年保持在 2~6.2,2015—2018 年则在 9~13,2010 年后 PD 值急剧增长,而 2015 年 PD 整体高于 2018 年;从样带角度看,样带 aA、bB、cC、dD 的 PD 整体高于样带 eE、fF、gG,原因是前一组皆穿过主城区,后一组则位于城乡结合处或乡村;可见城市化水平高速增长会伴随斑块密度的增大,2010 年是景观格局变化的转折点。SHDI 对比可知,由样带 aA 到 gG 整体呈下降趋势,且 aA、bB、cC、dD 的 SHDI 整体高于样带 eE、fF、gG,验证了 PD 的分组推论。由上,城镇化水平高且人工表面扩展快的区域,其景观异质性受生产建设活动影响更大。

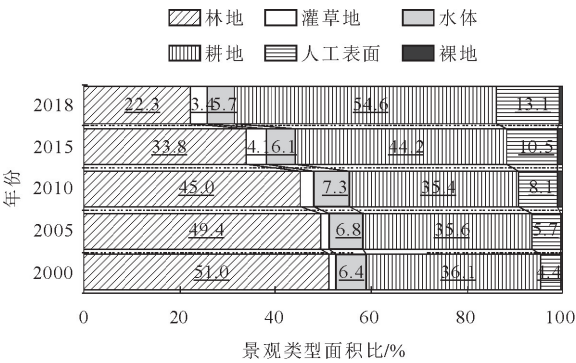


图 4 2000—2018 年研究区各景观类型面积比

Fig. 4 Area ratio of landscape types from 2000 to 2018 in research area

2.3 景观水平指数梯度分析

2.3.1 样带 aA 到 dD 景观格局时空梯度分异 样带 aA 到 dD 的 PD、ENN-MN、SHDI、CONTAG 梯度变化见图 5。整体上,随着与城市核心区距离的

增加,4 样带 SHDI 不断增大、CONTAG 不断减小,且在波峰和波谷皆对应出现于主城区或城乡交错地带。2000—2010 年人工表面扩张较缓慢,多为填充式扩展或在核心区边缘建设,城区与郊区均保留大

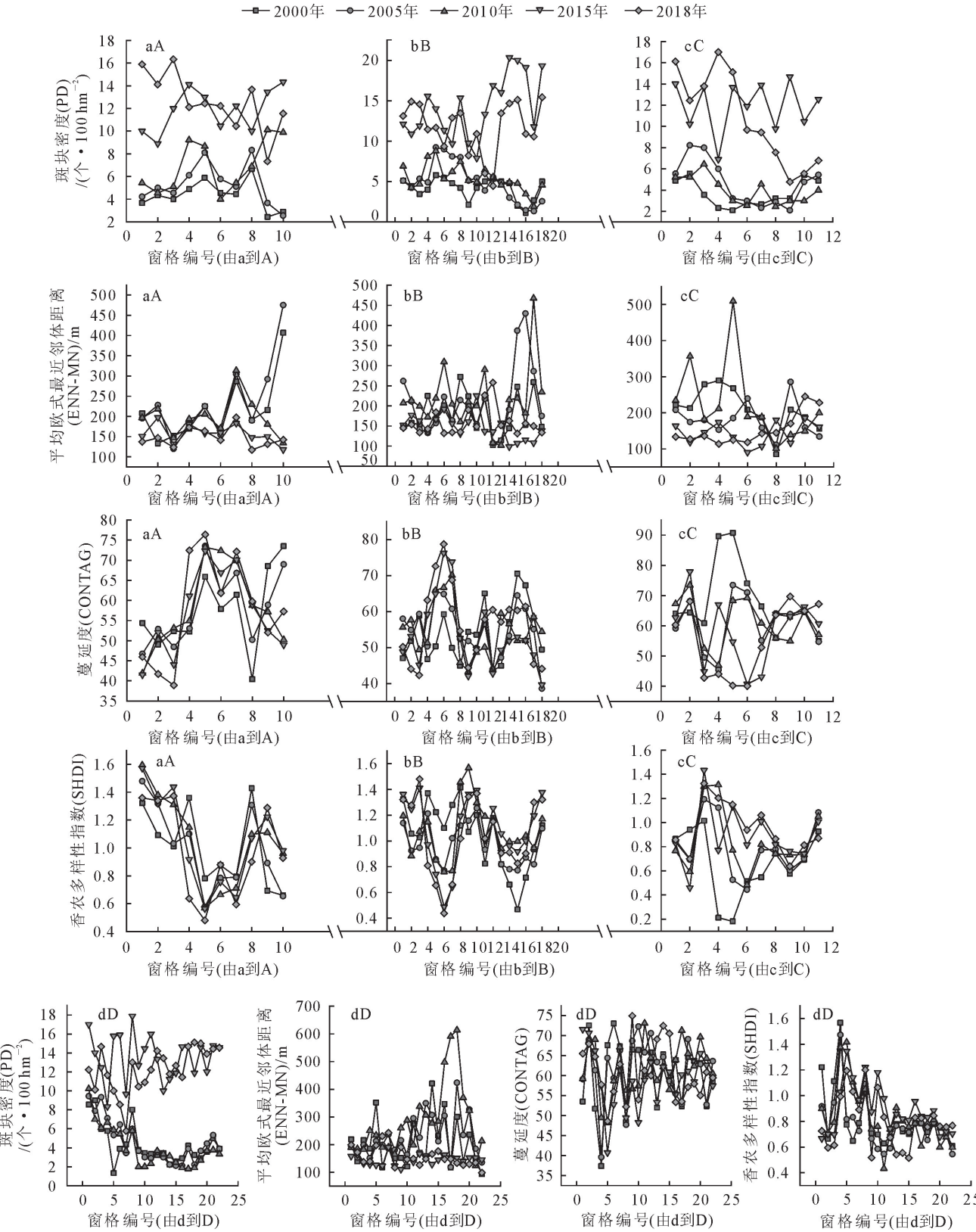


图5 研究区样带 aA 至 dD 景观指数变化趋势

Fig. 5 Trends in landscape index aA to dD in the in research area

面积生态林地作为缓冲带;2010—2015 年城镇面积跳跃式扩张,且大量自然林向橡胶林、果林或农田转化。鉴于 2010 年之前的高森林覆盖率,PD 在远离中心城区的方向上越来越小;受国际旅游岛开发、城乡建设力度加大和热带特色农业发展影响,PD 于 2010—2015 年增幅变大,2015—2018 年城乡发展进入平稳期,斑块密度波动下降。此外,建成区在南扩、西扩(沿西海岸长流组团)、东扩(沿东海岸和南渡江的江东新区),导致城乡结合处土地覆被类型丰富、斑块数量增大、景观破碎化程度高、连通性差。

就每一样带而论,样带 aA 横穿主城区,PD 和 ENN-MN 波动较小,在建成区(窗格 4~7)处 SHDI 出现波谷、CONTAG 出现波峰;样带 bB 窗格 1~12 段 PD 和 ENN-MN 保持平稳,在村镇居民点集中处和滨海养殖场(窗格 13~17)波动明显,于窗格 3~9 和窗格 13~17 处 SHDI 均出现波峰、CONTAG 出现波谷;样带 cC 在窗格 3~7 的 4 指数值波动较大;样带 dD 窗格 3~9 段处于主城区扩展区与边缘带,因此 PD、SHDI、CONTAG 均出现大幅波动,窗格 15~20 在 2000—2010 年自然林不断向经济林和农田转化,导致 ENN-MN 保持较高值。因此,样带 bB、cC 和 dD 具有典型的“城市景观—城乡混合景观—乡村景观(或原生林景观)”梯度序列。

2.3.2 样带 eE 到 gG 景观格局时空梯度分异 样带 eE、fF 和 gG 位于郊区,景观指数变化如图 6。3 样带 PD 在 2000—2010 年趋于平稳,大都在 5 以下,2010—2015 年增幅变大(但小于样带 aA 到 dD 增幅),PD 基本在 10~18、上升明显,与林地快速向农田转化现状相符;2015—2018 年林地继续减少,PD 波动下降。2000—2010 年林地比例大,3 样带 ENN-MN 大都处于 250 以上,且在边缘密林区出现波峰,2015 年后不同覆被类型均质化严重、连通性下降,导致 ENN-MN 较低。eE 窗格 3~7、fF 窗格 1~7 和 gG 窗格 2~5 段 SHDI 都出现波谷,CONTAG 相应出现波峰,因这些区域初始段多自然林地,此后转变为农田为主,单一用地类型连通性大,斑块破碎度小。总体而言,3 条样带在大面积斑块的林地、农田或南渡江时波动幅度较大,都存在突变区间,连续性较差。

2.4 景观类型水平指数梯度变化

通过 7 条样带景观水平指数梯度分析,样带 bB、cC 和 dD 都具有典型的城乡梯度变化特征,进一步研究人工表面和城镇化时空梯度分异规律有其必要性。因此,在景观类型水平上分析所选样带人工表面的景观格局演变,能够进一步理解其内在作用机制,样带 bB、cC 和 dD 人工表面的 LPI 和

AWMPFD 如图 7。3 样带 LPI 在主城区范围内出现峰值,都达到 80%左右,在远离主城区的方向骤减,尾端出现平稳低值区间,AWMPFD 呈波动递减态势。2015—2018 年 bB 样带窗格 6 位于金牛岭公园旁的居住密集区,绿化极少,斑块尺度大,同时期 LPI 皆最大值;样带 cC 窗格 2 是保税区,工业厂房和居住区交叉分布,2010—2018 年 LPI 都是最大值;2000—2018 年,样带 dD 窗格 2 经历长期的棚户区改造、明珠广场周边核心区发展,窗格 3 经历了旧机场拆迁,以及省政府、日月广场为核心的城市新发展轴的建设,LPI 值高点在不同时期窗格 2~3 处起伏;但由于缺乏针对性的上位规划和生态城市理论指导,核心区斑块形状变化更复杂,AWMPFD 也处于高点。乡村的人工表面、农田、林地的间隔性分布,导致样带 bB 窗格 10~18、样带 cC 窗格 4~11、样带 dD 窗格 6~22 的 LPI 和 AWMPFD 值都出现波动。

3 讨论

3.1 海口景观格局梯度时空分异特征

整体而言,海口城镇密度由北向南梯度递减,主城区由核心区向东、向西跳跃式变化;以基础设施密度和交通干线为对照,城镇密度由主要干线、核心商业区向腹地呈梯度递减。对样带的分析表明,景观指数对 LUCC 的动态变化与城乡模式具有描述性和敏感性,因此结合城镇化梯度的动态响应强度(YRI)(图 8)进一步确定城市化特征。

从时间角度来看,七样带以 2010 年为转折点,PD 值 2000—2010 年波动小且处于低值,2015 年大幅增加,2018 年波动下降,表明 2010 年后城乡建设高速发展;而 ENN-MN 在 2000—2010 年波动较大,2015 年后趋于平稳且值较低,景观连通性变差;SHDI 和 CONTAG 无明确的时相界限,但波峰和波谷在城镇化表现最为剧烈的区段出现。所以 2010—2015 年海口的城镇化进程最为剧烈。

从空间角度来看,样带 aA 横穿建成区,整体城镇化水平高,属于城镇化梯度中间响应类型;样带 bB 连接三大组团,且受到南渡江阻隔、美兰机场周围服务区发展、长流组团快速开发的影响,形成跳跃式扩张的格局,因此由积极响应型向间断响应型过度;样带 dD 受建成区向心力影响更大,各景观指数规律性更强,可视作积极响应型;由于远离城区,样带 fF 和 gG 是城镇化梯度无响应类型,各景观水平指标波动较小;观澜湖新城和龙桥镇聚集化发展,使样带 eE 以 2010 年为节点,由无响应类型转化为间断响应型,而样带 cC 由中间响应类型转到间断响应型。

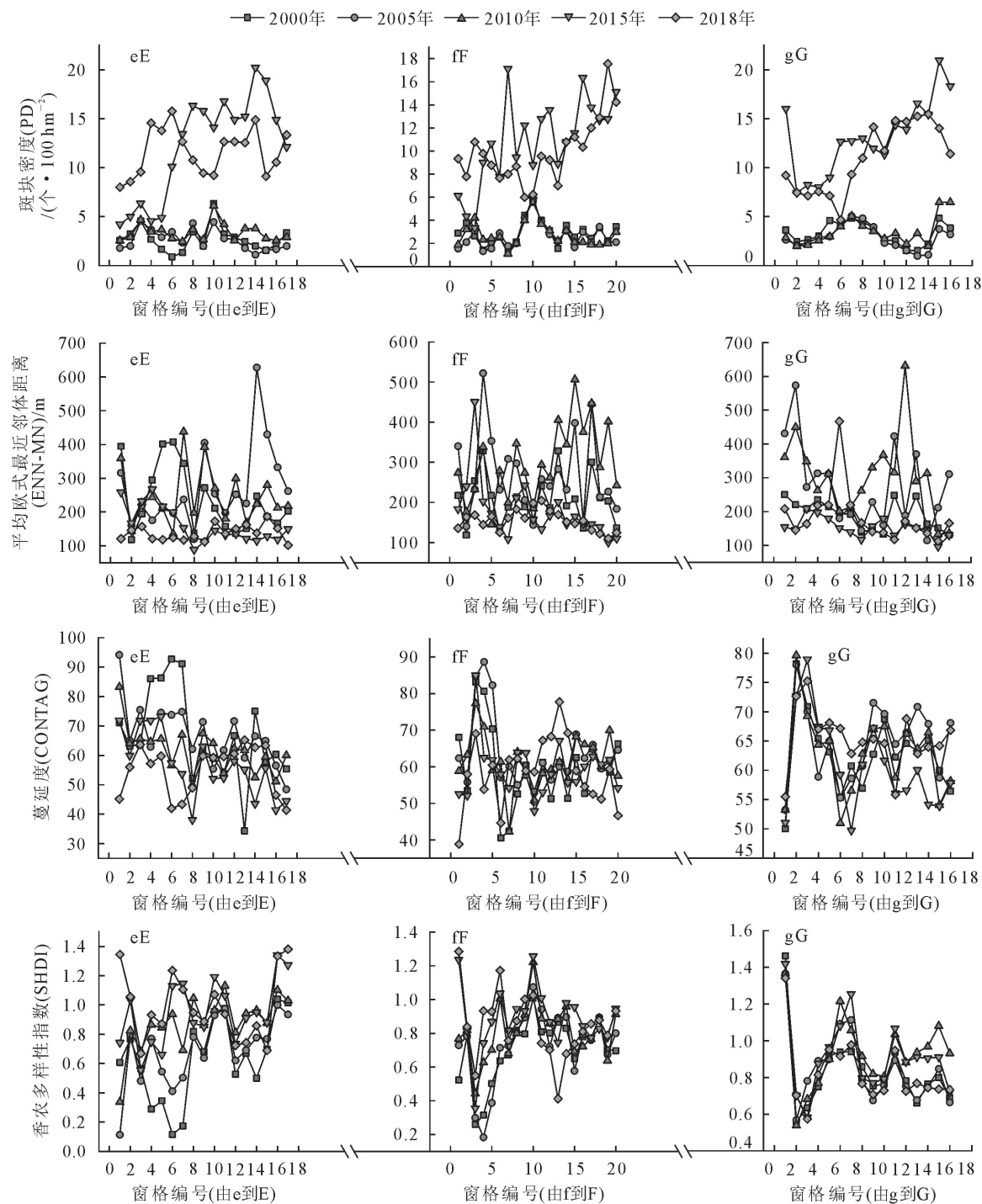


图 6 研究区样带 eE、fF 和 gG 景观指数变化趋势

Fig. 6 Trends in landscape index of transect “eE”, “fF” and “gG” in the research area

3.2 样带景观格局演变的响应机制

处于远郊区的样带 eE、fF、gG 和 dD 后半段，主要以农业、橡胶种植业为主，因此城镇化响应弱；而样带 aA 和 bB 位于主城区内，因而经济定位重要、开发建设速度快，城镇化表征更明显，景观指数波动更剧烈。鉴于规划对主城区南扩限制，土地供需矛盾加深，使得南部城市空间扩张放缓，城乡交错带景观格局将更加破碎化和分散化。2010 年之前由于南渡江分割、交通网络建设尚未完善，城镇化进程较

为缓慢，随着环岛高铁、高架高速、跨南渡江桥梁等交通网形成，经济结构调整，建成区会不断向长流组团、江东自贸区蔓延，城镇化梯度响应也将加剧，逐渐由填充式、边缘式向跳跃式转变。可见海口“带状多组团”发展格局有别于“多中心多组团”的城市（如重庆）^[5]和“卫星城发展模式”的城市（如厦门）^[19]，具有独特性。海口景观多样性与异质性峰值主要出现在城乡融合区，其次是建成区内棚户区改造部分和农业、水产养殖业发育较快的区域，这也导致

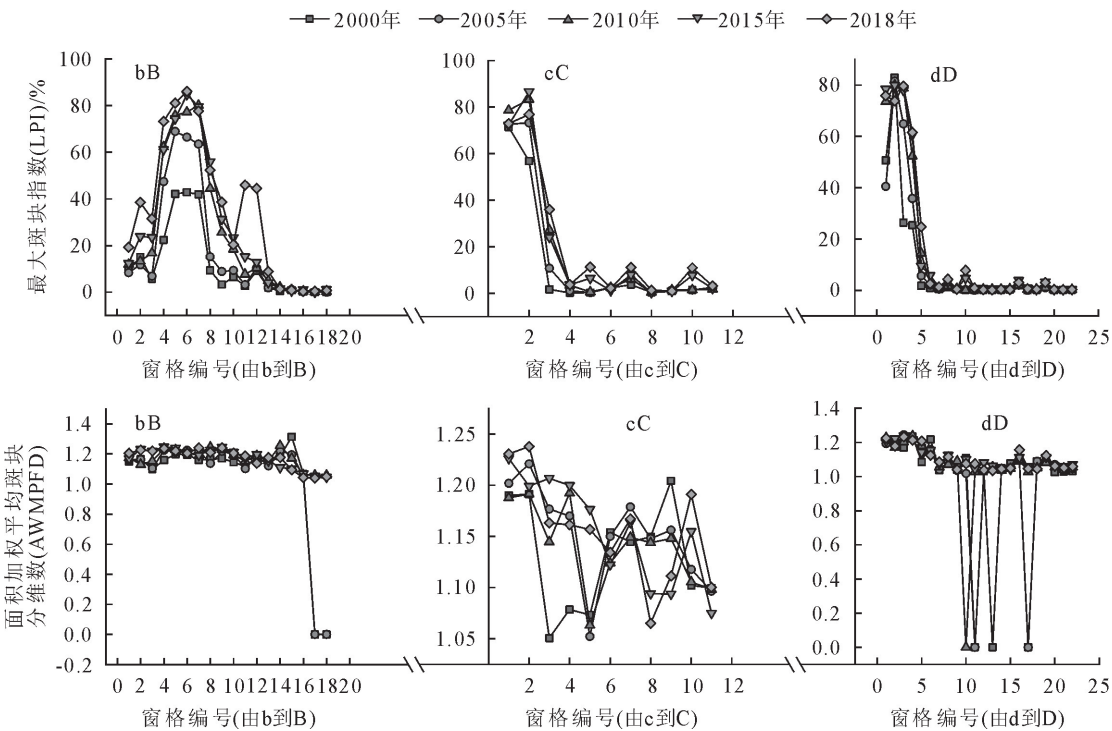


图 7 研究区样带 bB、cC 和 dD 人工表面景观格局分析

Fig. 7 Landscape pattern analysis of artificial surface in transect “bB”, “cC” and “dD” the research area

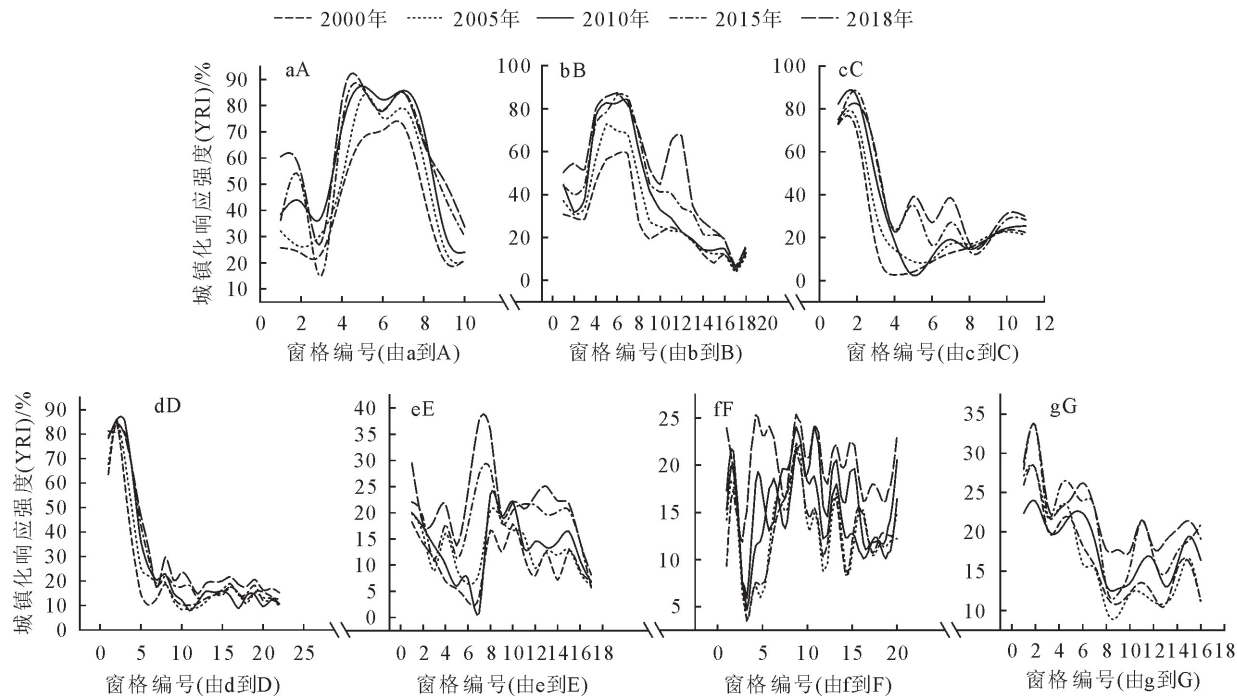


图 8 7 条样带城镇化梯度动态响应时空特征

Fig. 8 Temporal and spatial characteristics of urbanized gradient dynamic response of 7 transects in the research area

SHDI、CONTAG 曲线分别呈现“M”型和“W”型模式;这与武汉^[20]、北京^[26]、上海^[33]等大城市峰值在城市边缘、向城市中心值降低有所区别。

3.3 海口市城镇化特征与应对策略

根据梯度分析结果,参考 Li 等^[14]对城市化的研究,将 2000—2018 年的海口市城镇扩张分为 2 个阶段:1)快速城镇化阶段(2000—2010),核心区边缘

扩张强度高,随着城市-乡村过渡区离市中心距离增加,强度不断下降。城市扩张区已经形成,但范围小,这一阶段最活跃的城镇化集中在滨江、白龙、新埠岛、金盘和秀英片区,以填充式扩张为主,“城乡二元结构”特征依然明显。2)高速城镇化阶段(2010—2018),核心区内部更新、填充基本完成,建成区面积大幅增加,城市扩展区不断向江东组团、长流组团以

及南边的绕城高速推进,小城镇也逐渐规模化聚集,城镇化潜力随距离市中心的距离增加而增加,“城乡一体化”不断推进,城镇扩展强度空间变化最为明显。

对比北京、上海、厦门、武汉等大城市普遍经历的广泛和扩散的城镇化阶段^[5,26,33,36],海口城镇化进程相对滞后,这与国家“发展战略不平衡”,突出发达地区优势,允许区域发展差距,强调整体经济增长密不可分^[37]。“十五”和“十一五”期间(2000—2010),政府制定了加快城市化进程,和谐发展大中小城市和小城镇的战略,海口也出台《海口城市总体规划(2005—2020)》引导城乡一体化协调、城市副中心发展,这对海口景观格局变化起到了至关重要的作用。

4 结论

结合基础设施 POI 核密度、OSM 线密度确定梯度带,运用景观指数和移动窗格法定量分析了 2000—2018 年海口景观格局时空分异特征,引入城镇化梯度的动态响应强度进一步描述城乡梯度变化规律。研究表明,样带梯度对景观格局时空演变规律研究,能够更好地展现海口特殊城市发展模式下的城镇化生态响应机制,2000—2018 年,受城镇发展水平和城市规划影响,7 样带整体景观特征区别明显,其中城镇化水平较高的样带 aA 和 bB,景观破碎度最低,样带 bB 对城镇化发展更为敏感,且开发力度增大、自贸区政策将导致样带 bB 景观格局更为复杂。景观水平样带 aA、bB、cC 和 dD 景观指数波动幅度在时空上都比样带 eE、fF 和 gG 显著,因而景观格局梯度变化更明显,且多组团发展的格局易导致连续的景观序列中断,产生跳跃式扩张。对样带 bB、cC 和 dD 人工表面类型水平分析可知。2010 年后人工表面斑块大小与分型受江东新区开发影响,导致 LPI 在样带 bB 美兰机场处陡增;主城区不断更新,人类活动对郊区的景观格局影响逐渐加深,导致 3 样带 AWMPDF 皆波动下降。

海口市景观梯度分异规律表明,不同城市功能区具有不同特征,证明现有的城市空间发展已超出经典理论的解释能力,将生态学与城市规划结合的跨学科方法有助于理解城市空间特征与梯度变化,为未来生态都市规划提供数据支撑。此外,若将经济水平与人口分布量化并结合 LUCC,能够加深对城镇化内在相应机制的理解,也可为城市经济空间结构布局提供一定依据。

参考文献:

[1] 姚士谋,汤茂林,陈爽等.区域与城市发论[M].合肥:中国科学

技术出版社,2004.

[2] TAO L,CAIGE S,LI X H,*et al.* Spatial pattern of urban functional landscapes along an urban-rural gradient;a case study in Xiamen city,China[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation,2016,46:22-30.

[3] TIAN G,WU J,YANG Z. Spatial pattern of urban functions in the Beijing metropolitan region [J]. Habitat International, 2010,34(2):249-255.

[4] ERFU D,ZHUO W U,XIAODIAN DU. A gradient analysis on urban sprawl and urban landscape pattern between 1985 and 2000 in the Pearl river delta,China[J]. Frontiers of Earth Science,2018,12:791-807.

[5] LIN T,XUE X,SHI L,*et al.* Urban spatial expansion and its impacts on island ecosystem services and landscape pattern;a case study of the island city of Xiamen,Southeast China[J]. Ocean & Coastal Management,2013,81:90-96.

[6] TAVARES A O,PATO R L,MAGALH? ES M C. Spatial and temporal land use change and occupation over the last half century in a peri-urban area[J]. Applied Geography,2012,34: 432-444.

[7] SCHNEIDER A. Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of landsat satellite data and a data mining approach[J]. Remote Sensing of Environment,2012,124:687-704.

[8] LI H,WEI Y,HUANG Z. Urban land expansion and spatial dynamics in globalizing Shanghai[J]. Sustainability, 2014, 6: 8856-8875.

[9] WU Q,HU D,WANG R,*et al.* A GIS-based moving window analysis of landscape pattern in the Beijing metropolitan area, China[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology,2006,13:419-434.

[10] 焦利民,肖丰涛,许刚,等. 武汉都市区绿地破碎化格局对城市扩张的时空响应[J]. 资源科学,2015,37(8):1650-1660.

[11] 张利利,厉月桥,李锐. 海口市 2000—2015 年城乡交错带景观格局梯度变化研究[J]. 西南林业大学学报,2018,38(1):133-139.

ZHANG L L,LI Y Q,LI R. Gradient changes of landscape pattern in urban-rural ecotone of Haikou city from 2000 to 2015[J]. Journal of Southwest Forestry University,2018,38 (1):133-139. (in Chinese)

[12] 胡秋凤,陈娟,戴文远,等. 快速城镇化下旅游海岛景观格局梯度分析——以福建省平潭岛为例[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2019,35(2):109-116.

HU Q F,CHEN J,DAI W Y,*et al.* Gradient analysis of landscape pattern of tourism island with rapid urbanization:a case study of Pingtan island[J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition,2019,35(2):109-116. (in Chinese)

[13] LI X,ZHANG L,LIANG C. A GIS-based buffer gradient analysis on spatiotemporal dynamics of urban expansion in Shanghai and its major satellite cities[J]. Procedia Environmental Sciences,2010,2:0-1156.

[14] TIAN G,JIANG J,YANG Z,*et al.* The urban growth, size distribution and spatio-temporal dynamic pattern of the Yangtze River delta megalopolitan region, China[J]. Ecological

Modelling,2011,222:865-878.

[15] 伍斌,王志杰,潘远珍. 基于 GIS 的安顺市景观格局空间梯度分析[J]. 西北林学院学报,2019,34(6):214-223.

WU B,WANG Z J,PAN Y Z. Spatial gradient analysis of urban landscape pattern in Anshun city based on GIS[J]. Journal of Northwest Forestry University,2019,34(6):214-223. (in Chinese)

[16] 黄宁,吝涛,章伟婕,等. 厦门市同安区不同扩展轴上的景观格局梯度分析与比较[J]. 地理科学进展,2009,28(5):767-774.

[17] REIMETS R,UUEMAA E,OJA T,*et al.* Urbanisation-related landscape change in space and time along spatial gradients near roads: a case study from estonia [J]. Landscape Research,2015,40:192-207.

[18] ZHANG S,YORK A M,BOONE C G,*et al.* Methodological advances in the spatial analysis of land fragmentation[J]. The Professional Geographer,2013,65:512-526.

[19] 崔王平,李阳兵,李潇然. 重庆市主城区景观格局演变的样带响应与驱动机制差异[J]. 自然资源学报,2017,32(4):553-567.

CUI W P,LI Y B,LI X R. Gradient analysis and comparison of landscape pattern along different transects in the main urban area of Chongqing city[J]. Journal of Natural Resources,2017,32(4):553-567. (in Chinese)

[20] ZENG C,SONG Y,CAI D,*et al.* Exploration on the spatial spillover effect of infrastructure network on urbanization: a case study in Wuhan urban agglomeration [J]. Sustainable Cities and Society,2019,47:101476.

[21] SU S,XIAO R,LI D,*et al.* Impacts of transportation routes on landscape diversity: a comparison of different route types and their combined effects[J]. Environmental Management,2014,53:636-647.

[22] 王俊珏,叶亚琴,方芳. 基于核密度与融合数据的城市功能分区研究[J]. 地理与地理信息科学,2019,35(3):66-71.

WANG J J ,YE Y Q,FANG F. A study of urban functional zoning based on kernel density and fusion data[J]. Geography and Geo-Information Science,2019,35(3):66-71. (in Chinese)

[23] 宁晓刚,刘娅菲,王浩,等. 基于众源数据的北京市主城区功能用地划分研究[J]. 地理与地理信息科学,2018,34(6):42-49,1.

NING X G,LIU Y F,WANG H,*et al.* Research on functional land division of main urban area in Beijing based on crowd sourcing data [J]. Geography and Geo-Information Science,2018,34(6):42-49,1.

[24] GAO S,JANOWICZ K,COUCLELIS H. Extracting urban functional regions from points of interest and human activities on location-based social networks[J]. Transactions in GIS,2017,21:446-467.

[25] LI J,LI C,ZHU F,*et al.* Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai,China between 1989 and 2005[J]. Landscape Ecology,2013,28:1545-1565.

[26] GUO L Y,DI L P,TIAN Q. Detecting spatio-temporal changes of arable land and construction land in the Beijing-Tianjin corridor during 2000—2015[J]. Journal of Geographical Sciences,2019,29:702-718.

[27] CAO X S,LIU Y W,LI T. Analysis of landscape patterns in the urban-rural integrated area based on moving window: a case study of Sanshui district in Foshan city[J]. Journal of Landscape Research,2018,10:24-30.

[28] 梅珍珍,李刚,赵志忠,等. 海口市城市空间扩张机理研究[J]. 海南师范大学学报:自然科学版,2009,22(2):219-223.

MEI Z Z,LI G,ZAO Z Z,*et al.* 2009. The study of urban spatial expansion mechanism in Haikou [J]. Journal of Hainan Normal University:Natural Science,2009,22(2):219-223. (in Chinese)

[29] 王鹤超,徐浩. 基于 POI 及核密度分析的上海城乡交错带分布研究[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2019,37(1):1-5,18.

WANG H C,XU H. Shanghai urban-rural ecotone distribution research based on POI and kernel density analysis[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science,2019,37(1):1-5,18. (in Chinese)

[30] 邬建国. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2007.

[31] 王俊俊,弓弼. 西咸新区景观格局演变及其生态风险分析[J]. 西北林学院学报,2019,34(2):250-256.

WANG J J,GONG B. Evolution of landscape pattern and ecological risk in Xixian new area[J]. Journal of Northwest Forestry University,2019,34(2):250-256. (in Chinese)

[32] 李莹莹,黄成林,张玉. 快速城市化背景下上海绿色空间景观格局梯度及其多样性时空动态特征分析[J]. 生态环境学报,2016,25(7):1115-1124.

LI Y Y,HUANG C L,ZHANG Y. Investigating spatiotemporal patterns of landscape gradient and diversity of urban green spaces of Shanghai in response to rapid urbanization [J]. Ecology and Environmental Sciences,2016,25(7):1115-1124. (in Chinese)

[33] ZHANG Z,TU Y,LI X. Quantifying the spatiotemporal Patterns of urbanization along urban-rural gradient with a road-landscape transect approach: a case study in Shanghai,China[J]. Sustainability,2016,8:862.

[34] MARK J M,AMY K H. The use of gradient analysis studies in advancing our understanding of the ecology of urbanizing landscapes: current status and future directions[J]. Landscape Ecology,2008,23:1143-1155.

[35] 周亮,张志云,吴丽娟等. 北京城市扩展轴上的绿地景观格局梯度分析[J]. 林业资源管理,2006(5):47-52.

ZHOU L,ZHANG Z Y,WU L J,*et al.* Landscape pattern gradient analysis of green space along the extended directions of urbanization in Beijing[J]. Forest Resources Management,2006(5):47-52. (in Chinese)

[36] LU S,GUAN N X,HE C,*et al.* Spatio-temporal patterns and policy implications of urban land expansion in metropolitan areas: a case study of Wuhan urban agglomeration, central China[J]. Sustainability,2014(6):4723-4748.

[37] YANG D. Patterns of China's regional development strategy [J]. The China Quarterly,1990,122:230-257.