

基于缓冲带的贵港市城市景观格局梯度分析

孙 娟^{1,2}, 夏汉平^{3*}, 蓝崇钰¹, 辛 琨⁴

(1. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 2. 国家环境保护总局华南环境科学研究所, 广州 510655;

3. 中国科学院华南植物园生态研究所, 广州 510650; 4. 海南师范学院生物系, 海口 571158)

摘要:运用景观格局指数与城市建成区缓冲带划分相结合的方法,分析了广西贵港市近 20a 来城市建成区整体景观与主要城市景观类型(公共设施用地、工业用地、居住用地及农田)的圈层梯度变化特征。分析结果表明:贵港市城市建成区可以看作是居住用地与公共设施用地的镶嵌景观,但这种镶嵌景观随着城市化的发展,存在日趋不明显的特征;整个景观层面的指数 20a 来在 31 个梯度带内,表现出相似的变化趋势,斑块面积指数显示出贵港市城市建成区存在两个较为明显的商业金融中心;各梯度带内景观的平均面积增大,景观的形状日臻规则,景观多样性随景观类型及均匀度的增加显著上升。2004 年主要城市景观类型在缓冲区中间各带能够很好的反映出格局的变化特征,其中工业用地和农田用地的斑块数和斑块密度随缓冲区梯度表现出较为一致的变化特征,而公共设施用地和居住用地的梯度变化趋势相似。各个梯度带中工业用地形状最为复杂,所占比重最低,平均斑块面积最大;公共设施和居住用地形状较为简单,在各带中所占比重较高,平均斑块面积较小;农田景观在各带中所占比例变化不大,近似连续分布,对城市生态环境的调节起到一定作用。

关键词:GIS; 缓冲带; 景观格局; 景观指数; 梯度分析; 贵港市

文章编号:1000-0933(2006)03-0655-08 中图分类号:X171,Q149 文献标识码:A

A gradient analysis based on the buffer zones of urban landscape pattern of the constructed area in Guigang City, Guangxi, China

SUN Juan^{1,2}, XIA Han-Ping³, LAN Chong-Yu¹, XIN Kun⁴ (1. College of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. South China Institute of Environmental Science, National Environmental Protection Administration, Guangzhou 510655, China; 3. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 4. Department of Biology, Hai'nan Normal University, Haikou 571158, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 655 ~ 662.

Abstract: Over the last century urbanization on the landscape has increased and intensified. Urban development has intense impacts on the environment on local, regional and even global scales. As a driving force in global change, the need to understand the dynamics of urban pattern and its change in an accurate and efficient manner is ever more pressing.

Based on the aerial color infrared photograph in 1985 and the QuickBird satellite image in 2004 and according to the standard for plan and construction of city land use, Guigang City was divided into 11 landscape types. In the landscape classification maps, 31 buffer zones, each being 200m wide, were divided. With the aid of GIS software ArcView 3.2 and landscape pattern analysis software FRAGSTATS 3.3, the landscape spatial patterns of each buffer zone were analyzed on the landscape level and class level. The landscape indices, such as patch size, patch fractal dimension, diversity index and evenness index, were calculated. The results indicated that:

1. The total area of the residential land and the communal facilities land in 2004 covered 46.3% of the entire constructed

基金项目:广东省自然科学基金团队资助项目(003031);国家自然科学基金资助项目(30370233);广西贵港市人民政府资助项目

收稿日期:2005-01-16; **修订日期:**2005-10-07

作者简介:孙娟(1976-),女,山东高唐人,博士,主要从事景观生态学与城市生态环境等研究. E-mail: sun010208@sina.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xiahnp@scbg.ac.cn

Foundation item: The project was supported by Natural Science Foundation of Guangdong Province (No.003031), National Natural Science Foundation of China (No.30370233), and Guigang City People's Government

Received date:2005-01-16; **Accepted date:**2005-10-07

Biography: SUN Juan, Ph.D., mainly engaged in landscape ecology and urban eco-environment. E-mail: sun010208@sina.com

area of Guigang City and the sum of patch number of the two patch types occupied about 39.7% of the total patch number, while the percentages were 48.2% and 45.4%, respectively, in 1985. This showed that the mosaic landscape with the residential land and the communal facilities land became more and more unobvious following the urban development and the landscape diversity.

2. Based on the gradient analysis with the landscape - level index and the class-level index, there were two business and finance centers existed in the constructed area. One was located in the urban center with a range of 0.8 km; the other was from the 10th to the 16th zone. In each buffer zone, the mean patch size was larger and the landscape shape was more regular in 2004 than in 1985. Furthermore, the Shannon diversity index of each buffer zone was rising in 2004 with the patch richness and the evenness index increasing.

3. The landscape index computed for the main landscape types (communal facilities land, industrial estate land, residential land and farmland) in the middle of the buffer zones could reflect the urbanization changing well. The patch size and the patch number of industrial estate land and farmland showed the same changing tendency, while communal facilities land and residential land assumed another same changing tendency. In each gradient zone, the industrial estate land had the most complex shape, the lowest area percentage of each zone and the biggest mean patch size, whereas the communal facilities land and the residential land were opposite to the industrial estate land. The farmland had steady percentage along the buffer zone and its continuous distribution had an important effect on the urban eco-environment.

4. How to relate the pattern changing characteristics along the buffer zone to the urban ecological process and the urban ecological planning remains to be studied further in the future.

Key words: GIS; buffer zone; spatial pattern; landscape index; gradient analysis; Guigang City

20 世纪世纪城市化进程加快,由此导致的城市发展也加剧了对当地、周围地区及更大尺度范围内环境的影响。作为全球变化的驱动力之一,学者们用定量、有效的方式对城市土地利用转化的研究正在加紧进行之中^[1]。但是,前人的研究多是从区域整体的角度对城市结构模式及其与外界的相互关系进行探讨^[2],对城市内部结构和功能的分析研究则相对较少^[3]。生态学家从生态系统角度对城市进行研究,可为从事城市景观生态学的探讨提供有益帮助^[4]。地理学者们对城市形态的研究历史由来已久,主要有伯吉斯 1923 年提出的同心圆学说、霍伊特 1934 年的扇形学说、哈里斯和乌尔曼 1945 年的多核心学说、埃里克森 1955 年的折衷学说等^[5]。虽然以上学说多是针对美国和欧洲城市提出的,但对其他国家城市结构的研究仍有一定的借鉴意义。

景观生态学运用景观格局指数对城市景观进行定量化研究,为城市景观结构、城市生态过程以及对城市的认识提供依据^[6~9]。国内对城市景观的研究最早见于董雅文^[10]的文章,而后以李秀珍^[3]、李团胜^[11,12]、宗跃光^[13,14]、曾辉^[15~17]等为代表对城市景观展开了研究。研究内容主要在城市景观信息源分析、城市景观类型划分、城市景观格局、城市景观廊道效应及城市绿地景观研究等几个方面。研究范围主要集中在大范围城市地区(包括近郊区等的农田景观)^[18~21],对城市建成区范围内的景观格局及其梯度变化的研究还很少。本文以广西贵港市为研究对象,试图通过基于缓冲带分割的建成区景观水平及景观类型水平上的景观指数分析,了解贵港市城市建成区景观的梯度变化特征,旨在解决:(1) 基于缓冲区的格局分析是否可以定量化城市结构,一个中心还是多个中心?(2) 城市总体景观的缓冲区梯度特征如何?(3) 城市主要景观要素是否具有一定的梯度变化特征?

1 研究区概况

贵港市位于广西壮族自治区东南部(图 1)。新中

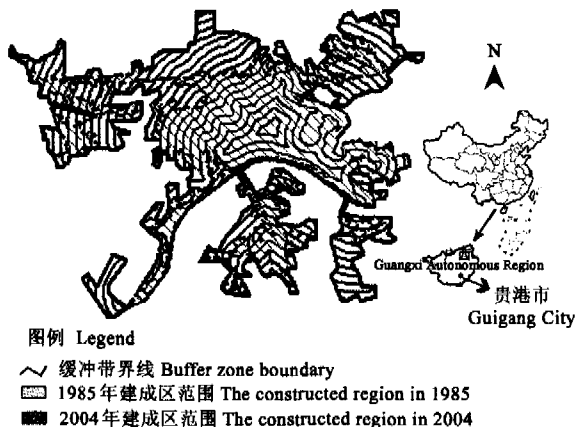


图 1 贵港市的位置及建成区缓冲带的划分

Fig. 1 The buffer zones and the location of Guigang City, Guangxi Autonomous Region, China

国成立后,所属权经过了历次改变,并先后撤县设县级贵港市和在原县级贵港市基础上正式组建地级贵港市。由于种种原因,建市早期城市建设发展速度不快,目前仍为一典型的西部较落后、城市化刚刚起步的城市。

贵港市城区位于东经 109°32′30″~109°38′28″,北纬 23°03′11″~23°07′28″之间,是我国为数不多的地处北回归线、区位优势明显、气候条件优越的城市之一。这里属南亚热带季风气候区,气候温暖,雨量充沛。市内地势西北高东南低,以平原为主。西江主流段郁江由西南至东北贯穿全市。贵港市工业主要是以甘蔗加工为主的制糖业和生活用纸制造业。另外,以水泥生产为主的建材业也占一定比重,其他的还有饲料、化工、制药、钢铁等工业项目,但未形成大规模产业。这种相对较低水平的工业发展,势必影响了城市化的发展水平。2001 年贵港市市区人口约 31.5 万,以非农业人口统计的城市化率为 21.5%,低于全国平均水平十几个百分点。建成区包括港北区和港南区 2 个行政区,城市建设用地主要集中在港北区。建成区总面积 30.9km²,属小城市^[22]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据源

上个世纪,在没有高分辨率的卫星影像为城市这一小范围提供数字影像之前,低空飞行的航空遥感相片为城市提供了较为直观和丰富的影像^[23]。2001 年由美国发射的 QuickBird(快鸟)卫星是世界上商业卫星中分辨率最高、性能最优的卫星之一。卫星的全色图像分辨率从 1m 提高到 0.61m,多光谱图像分辨率从 4m 提高到 2.5m,同时缩短了获取城市数据的周期。本文以 1985 年彩红外航空像片和 2004 年快鸟卫星影像为数据源,并辅以 1966 年的地形图作为底图信息。

2.2 研究方法

依据国家建设部(90)建标字第 322 号《城市用地分类与规划建设用地标准》^[24],将景观分为 11 类,分别是公共设施用地、市政公用设施用地、工业用地、仓储用地、居住用地、绿地、农田、水域、道路、正建与待建用地、其他用地。这种景观分类体系对研究城市建成区景观特征是合适、有效的。这其中最为活跃的并对城市发展及空间格局变化产生重要影响的主要有居住用地、公共设施及工业用地等^[25]。分类标准确定后,辅以实地踏察确定解译标志的基础上,借助 GIS 软件,最终得到两个时期城区景观类型图(图 2)。

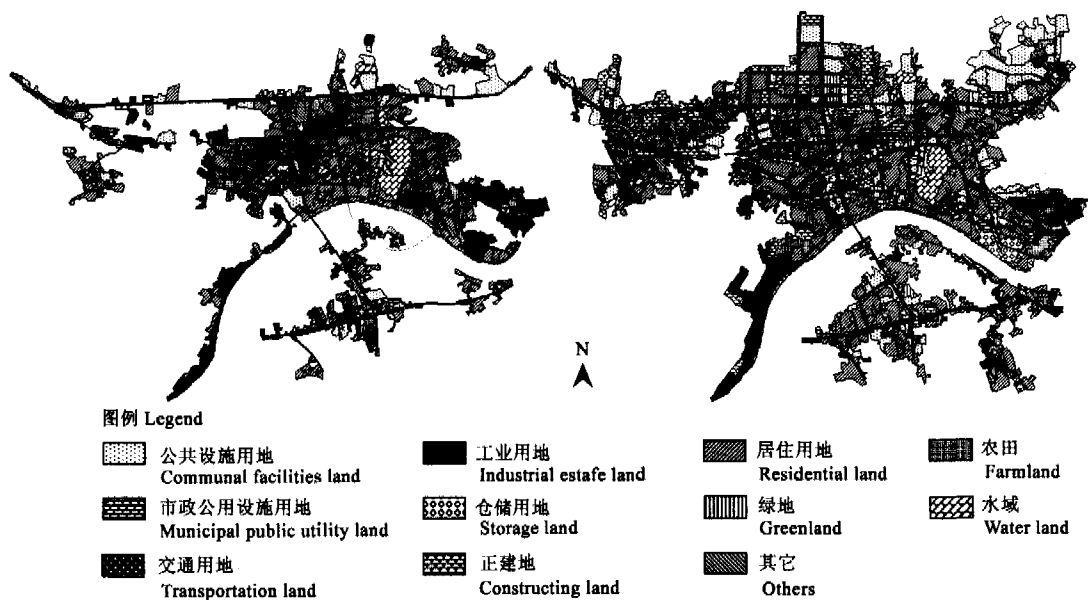


图 2 贵港市建成区两个时期的景观类型图

Fig.2 Maps showing 20 years of land usechanges for the constructed region of Guigang City, Guangxi Autonomous Region, China

以 1966 年贵港市建成区范围为界线,在 Mapinfo 软件支持下,在 1985 年与 2004 年建成区景观类型图上分

别向建成区中心、向建成区边缘以 200m 为间隔做缓冲区^[26,27],建成区范围内共得到 31 个缓冲带,从中心往四周分别为第 1 带、第 2 带、…、第 31 带(图 1)。第 1 带为贵港市建成区的几何中心,该中心位于贵港市最大湖泊东湖的西侧,这与实际的市中心相符合。然后运用 FRAGSTATS 通用格局计算软件,分别计算 31 个圈层内景观及景观类型指数,从而分析城市景观的缓冲区梯度变化特征。梯度分析所选指数及其含义如表 1 所示^[7,8,28-30]。

3 结果

3.1 城市景观的总体特征

2004 年,贵港市城市建成区占地 30.9km²,其中居住用地占 27.5%,公共设施 18.8%,工业用地 9.0%,其余各类总共占 44.7%。需要特别指出的是,绿化用地只占到 2.5%,远没有达到我国园林建设标准 30% 的要求,这种较低的绿地覆盖率无法起到对城市环境的调节作用。整个景观的平均斑块面积(MPS)为 1.88hm²,比 1985 年的 1.46hm² 上升了 28.8%;平均斑块密度为 53.2 块/km²,比 1985 年的 68.3 块/km² 下降了 22.2%。最大斑块指数由 1985 年的 3.12 下降到 2004 年 2.09。整个景观的多样性指数由 1985 年的 1.86 上升到 2004 年的 2.14,上升幅度为 15.1%;景观均匀度由 1985 年的 0.78 上升到 0.89,而同期景观丰富度只增加了一种,这说明城市景观多样性的增加是由于各种景观类型日趋均匀分布的结果。此外,整个景观的优势度由 1985 年的 0.54 下降为 2004 年的 0.26,这充分说明随着城市化进程的演进,城市景观多样性的增加,由一种或几种景观类型占主导的状况有所改善,城市景观的功能日益完备。

表 1 景观格局指数
Table 1 Description of landscape metrics

景观指数 Landscape indices	缩写 Acronym	描述 Description
景观面积和类型面积 Landscape area and class area	LA, CA	景观在各个缓冲带的面积及主要景观类型在各个缓冲带内的面积
面积比重 Class percent of landscape	PLAND	景观中某类斑块的面积占整个景观面积的百分率
斑块密度 Patch density	PD	斑块密度即单位面积的斑块数目,结合平均斑块面积,分析景观的破碎化程度的指标
Shannon 多样性指数 Shannon diversity index	SHDI	反映景观类型多样性大小的指标
Shannon 均匀度指数 Shannon evenness index	SHEI	反映景观斑块的分布均匀程度的指标
平均斑块面积 Mean patch size	MPS	是指斑块类型面积除以该斑块的总数。它既可用于对比不同景观的集聚或破碎程度,也可以指示景观类型之间的差异
面积加权平均分维数 Area-weighted mean patch fractal dimension	AWMPFD	是景观中单个斑块的分维数以面积为基准的加权平均值,用于反映景观的形状
双对数回归分维数 Double logarithm fractal dimension	DLFD	对于二维空间的斑块来说,该指数反映景观形状偏离欧几里德几何形状(正如方形或矩形)的程度

水体作为贵港市的特色景观类型,所占的比例由 1985 年的 7.7% 下降到 2004 年的 3.4%,湖泊也由 1985 年的 115 个下降到 2004 年的 67 个。这种特色景观密度及比例的降低,不但弱化了水体对城市气候的调节作用,也减弱了贵港市的城市特色。

3.2 景观尺度上的缓冲区梯度格局分析

选取 8 个景观指数来定量分析贵港市城市景观格局沿缓冲带的变化特征。

沿着 31 个缓冲带,整个景观在各缓冲带的面积(LA)在近 20a 内表现出一致的梯度变化特征(图 3a)。缓冲区面积主要集中在缓冲带的第 3~16 带,2004 年该带群的面积为 25.3km²,占建城区总面积的 82.3%;而 1985 年该带群的面积为 14.0km²,占建成区总面积的 85.9%。其中,第 3~4 带是贵港市城市景观的集中区,2004 年这 2 带的面积占到了整个城市建成区面积的 23.1%。另外,从第 10~12 带是贵港市的另外一个重要集中地带,这 3 带的面积占到了整个城区总面积的 15.4%。同 1985 年的变化趋势相比,第 10~12 带的集中程度在 2004 年表现得更为明显。

近 20a 间斑块密度(PD)从城市的中心到 3.4km 处一直为平稳变化,1985 年这一带的斑块密度在 140

块/km²左右,到2004年下降为100块/km²左右,降低了40%。这种斑块密度的降低是由于城市集聚效应产生的结果。从3.6km到城市建成区边缘,斑块密度呈现波动变化,出现这种波动特征与人类干扰的强度及土地价值的降低密不可分。两个时期相比,1985年各梯度带的斑块密度总体上大于2004年的斑块密度(图3-b)。

图3-c所示,整个景观的平均斑块面积(MPS)在20a间随缓冲区梯度格局没有太大的变化,均表现出从3.6km外到城市边缘的波动变化。2004年的城市景观的斑块面积明显大于1985年的。

表征景观形状复杂性的面积加权平均分维数(AWMPFD)在两个时期表现出相似的梯度变化趋势(图3-d)。从城市中心到城市边缘,先是波动降低,尔后波动上升。除个别缓冲带(第18~20,29,30)外,其余各带2004年的指数值均大于1985年的。这表明随着城市规划力度的加强,城市景观形状日臻规则。

整个景观的多样性指数梯度变化表明,伴随城市化进程的演进,各缓冲区景观类型数显著增加,其中景观类型增加幅度最大的集中在第10~24带,平均每个缓冲带增加3.3类景观类型。2004年各带的多样性指数也明显大于1985年的数值(图3e所示),景观丰富度相同的在第10带内城市景观多样性指数也是明显增加,而该地带内城市景观均匀度指数也是不断上升(图3f)。这说明城市景观缓冲带内景观多样性指数的增加主要是由于景观类型数的增加,景观均匀度的增加在景观多样性增加上也起着不容忽视的重要作用^[19]。这一特征与整个城市建成区景观多样性的增加原因不同。

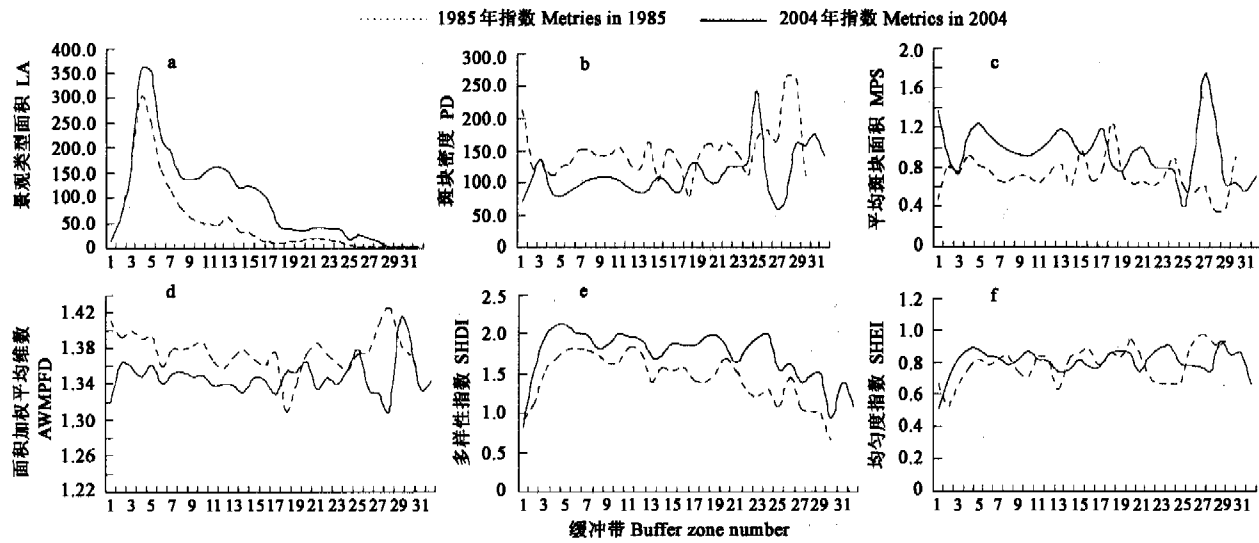


图3 景观总体水平的缓冲带梯度变化特征

Fig.3 Changes in landscape-level along the buffer zones

(a)景观类型面积 Landscape size; (b)斑块密度 Patch density; (c)平均斑块面积 Mean patch size; (d)面积加权平均分维数 Area-weighted mean patch fractal dimension; (e)Shannon 多样性指数 Shannon diversity index; (f)Shannon 均匀度指数 Shannon evenness index

3.3 景观类型尺度上的缓冲区梯度分析

2004年两种主要城市景观类型(公共设施用地、居住用地)的面积(CA)沿缓冲带均表现出相似的双高峰特征:第3~5带是一个面积分布高峰区,11~15带为一次高峰区(图4a),两个高峰区各自的面积之和分别占到各类型总面积的58.2%和43.4%。工业用地和农田分别在第4带和第5带出现了一个分布高峰,分别占到了该类型总面积的26.6%和15.8%。总体而言,4种景观在31个缓冲带内,居住用地的面积最大,其次为公共设施用地,除第4和第5两个缓冲带外,其余各带内农田景观的面积大于工业用地的面积。

比较这4种主要景观类型的斑块数量(PN),工业用地在各个缓冲带内均为最低,其次为农田,再次为居住用地公共设施用地的斑块数最高(图4b)。公共设施用地在整个31带内也有两个高峰,同景观类型面积(CA)相结合,说明贵港市存在两个城市商业集中分布地带,分别分布在第1~4带和第10~16带。其他3种主要景观类型的斑块数分布格局与面积分布梯度格局不同,农田景观出现了双高峰的分布。居住用地和工业

用地的分布梯度分布格局相似,从中心区向外先增加并在第4带达到峰值,而后逐渐下降。

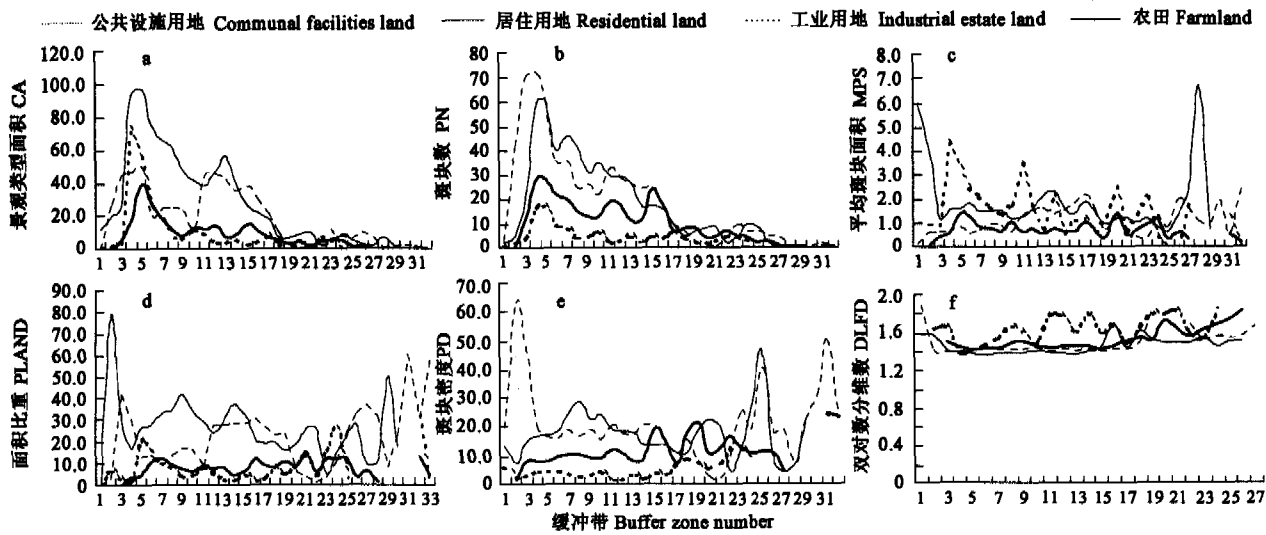


图4 主要景观类型缓冲带梯度格局变化特征

Fig.4 Changes in class-level along the buffer zones by main patch types

(a) 景观类型面积 Class size; (b) 斑块数 Patch number; (c) 平均斑块面积 Mean patch size; (d) 面积比重 Main patch type percent cover; (e) 斑块密度 Patch density; (f) 双对数分维数 Double logarithm fractal dimension

就平均斑块面积而言,农田景观的最低也最为平稳,其次为居住用地,再次为公共设施用地(图4c)。工业景观的梯度格局波动特征最为明显,在31个梯度带中出现了5个波动,但从总体来看,其斑块的平均面积最大。公共设施用地的平均斑块面积从中心区到第10带较小,随后的各带波动上升。居住用地在各梯度带中所占的面积比重(PLAND)都较高,其次是公共设施用地。在中间各梯度带,两种景观的比重之和超过了50%,表明在梯度格局中间各带,城市景观为居住用地与公共设施用地的景观镶嵌结构特征更为明显。农田景观在各个梯度带中所占比重比较稳定,均占到10%左右。工业用地除第4~6带所占比重超过10%外,在其它各梯度带中,所占比重平均在5%左右(图4d)。该指数在城市中心和边沿区较高,中间各带波动幅度不大。

由于城市边缘受到景观丰富度及景观总面积较小的影响,各种类型的景观斑块密度(PD)较大,中间各带的特征用景观指数进行说明更为合理。图4e所示,在中间各梯度带4种景观类型的斑块密度变化较为平稳,工业景观的斑块密度在各个梯度带最低,其次为农田,公共设施用地最高。

用于描述景观斑块形状的双对数回归分维数(DLFD)表明^[6],工业用地的斑块形状最为复杂,缓冲带梯度格局波动特征明显,其余3种主要景观梯度变化趋势较为一致,建成区中心和城市边缘地带,斑块边界形状较为复杂,中间各带的指数值较低(图4f)。工业用地的DLFD平均值为1.63,居住用地的最低,为1.46,农田的为1.52,稍高于公共设施用地的1.50。

4 结论

文中用宽度为200m的缓冲区将贵港市建成区分分为31个缓冲带,借助景观格局指数定量分析了城市内部景观格局的梯度变化特征。分析结果较好地回答了前言中提出的3个问题。

4.1 2004年贵港市城市建成区的居住用地和公共设施用地面积之和占总面积的46.3%,两者的斑块数占到总斑块数的39.7%,而1985年两者的比例分别为48.2%和45.4%。这表明随着城市化的发展,城市建成区景观的多样化,以居住用地和公共设施用地构成的镶嵌结构有所减弱。

4.2 基于缓冲区分割的景观格局梯度分析能够很好的验证城市形态理论,并为城市形态中心的确立提供定量化的依据。研究表明,城市的主要中心在景观类型缓冲带梯度分析层面上具有斑块面积,斑块数,面积比重,斑块密度等指数上升的变化特征。贵港市在2004年表现为比较明显的两个城市中心的特征,一个分布在

以城市缓冲带中心为原点的,半径为 0.8km 的范围内,一个分布在第 10~16 带的范围内。根据这些指数提供的量化信息,可以断定随着城市化进程的推进,贵港市的双中心的城市形态日益明显。

4.3 景观指数能够很好地反映城市景观格局及主要景观要素在梯度带中间的变化特征。在中间各梯度带,4 种主要景观类型指数沿梯度带的变化所反映出的特征与实际情况相吻合。位于城市中心和城市边缘的各梯度带受梯度带面积较小、丰富度较低等的影响,景观指数的变化波动较大,反映的变化趋势不明显。4 种主要景观要素沿梯度带的景观指数变化差异明显,反映出较好的梯度变化特征。

4.4 在景观格局分析软件支持下可以快速获得景观格局变化的定量信息。但是,如何将城市景观格局梯度变化特征与城市地域发展变化的推动力分析相结合,进行深入的城市生态过程及城市生态规划的研究是今后需要进一步深入开展的工作。

References:

- [1] André Botequilha Leitão, Jack Ahern. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 59: 65 ~ 93.
- [2] Xiao D N. Landscape Ecology-theory, method and application. Beijing: China Forestry Press, 1991. 30 ~ 42; 186 ~ 195.
- [3] Li X Z, Xiao D N. Study on the urban landscape ecology. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1995, 8(2): 27 ~ 30.
- [4] Yang S H. Study on Urban Eco-environment. Guangzhou: Sun Yet-sen University Press, 1991. 78 ~ 150.
- [5] Wang H J, Ning Y M. Urban Geographical Theory. Hefei: Anhui Science & Technology Press, 1983. 167 ~ 173.
- [6] Wu J G. Landscape Ecology: Pattern, Progress, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000. 96 ~ 117.
- [7] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. Theory and Application of Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2001. 202 ~ 207.
- [8] Pauleit S, Duhme F. Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 52: 1 ~ 20.
- [9] Cook E. A. Urban landscape networks: an ecological planning framework. *Landscape Res*, 1991, 16: 8 ~ 15.
- [10] Dong Y W. Spatial structure and application of the urban area. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1989. 2(3): 10 ~ 13.
- [11] Li T S, Xiao D N. Landscape division of Shenyang City. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(3): 232 ~ 236.
- [12] Li T S, Xiao D N. Urban landscape structure analysis of Shenyang City. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(6): 717 ~ 723.
- [13] Zong Y G. Corridor effects and urban landscape structure. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1996, 9(3): 21 ~ 25.
- [14] Zong Y G. The corridor effects and optimization of landscape structure in a metropolitan area-a case study on Beijing. *Geographical Research*, 1998, 17(4): 119 ~ 123.
- [15] Zeng H, Jiang C M. Landscape structure study of Longhua Area in Shenzhen City during the fast urbanization process: structure and heterogeneity analysis of forest land. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(3): 378 ~ 383.
- [16] Zeng H, Jiang Z Y. Landscape structure of Longhua area in Shenzhen City during fast urbanization process: structure and heterogeneity analysis of urban construction area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 567 ~ 572.
- [17] Zeng H, Jiang Z Y, Kong N N, et al. Auto-correlation analysis of landscape pattern for a fast urbanization area: a case study of Longhua area, Shenzhen City. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2000, 36(6): 824 ~ 831.
- [18] Zhang L Q, Wu J P, Zhen Y, et al. A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area China. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69: 1 ~ 16.
- [19] Luck M, Wu J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 2002, 17: 327 ~ 339.
- [20] Tian G J, Zhang Z X, Zhang G P, et al. Landscape dynamic change pattern of Haikou City by TM imagery and GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1028 ~ 1034.
- [21] Li J X, Wang Y J, Shen X H, et al. Landscape pattern analysis along an urban-rural gradient in the Shanghai metropolitan region. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1973 ~ 1980.
- [22] Tan M H, Lv C H. Distribution of China city size expressed by urban built-up area. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 285 ~ 293.
- [23] Fu S X. Specific Analysis of Remote Sensing and Geographic Atlas. Beijing: Science Press, 2002. 203 ~ 209.
- [24] Ministry of Construction of the People's Republic of China. The Classification and the Standard for Plan and Construction of City Land Use. Beijing: Plan Press, 1991. 2 ~ 11.
- [25] Huang Y P. Urban Space Theory and Space Analysis. Nanjing: Southeast University Press, 2002. 185 ~ 197.
- [26] Jiang R G, Zhang Z L. Analysis on the ring structure of urban land use in Jinan City. *Areal Research and Development*, 2003, 22(4): 73 ~ 76.

- [27] Wu Q C, Zhu X G. Review and prospect of the research on urban spatial structure. *Geography and Territorial Research*, 2001, 17(2): 46 ~ 50.
- [28] Herold M, Goldstein N C, Clarke K C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86: 286 ~ 302.
- [29] Foresman T W, Pickett S T A, Zipperer W C. Methods for spatial and temporal land use and land cover assessment for urban ecosystems and application in the greater Baltimore-Chesapeake region. *Urban Ecosystems*, 1997, 1: 201 ~ 216.
- [30] Li X Z, Bu R C, Chang Y, *et al.* The response of landscape metrics against pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123 ~ 134.

参考文献:

- [2] 肖笃宁. 景观生态学-理论方法与应用. 北京: 中国林业出版社, 1991. 30 ~ 42; 186 ~ 195.
- [3] 李秀珍, 肖笃宁. 城市的景观生态学探讨. *城市环境与城市生态*, 1995, 8(2): 27 ~ 30.
- [4] 杨士弘. 城市生态环境研究. 广州: 中山大学出版社, 1991. 78 ~ 150.
- [5] 王洪俊, 宁越敏. 城市地理概论. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1983. 167 ~ 173.
- [6] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 96 ~ 117.
- [7] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001. 202 ~ 207.
- [10] 董雅文. 城市地区的空间结构及其应用. *城市环境与城市生态*, 1989, 2(3): 10 ~ 13.
- [11] 李团胜, 肖笃宁. 沈阳市城市景观分区研究. *地理科学*, 1999, 19(3): 232 ~ 236.
- [12] 李团胜, 肖笃宁. 沈阳市城市景观结构分析. *地理科学*, 2002, 22(6): 717 ~ 723.
- [13] 宗跃光. 廊道效应与城市景观结构. *城市环境与城市生态*, 1996, 9(3): 21 ~ 25.
- [14] 宗跃光. 大都市空间结构的廊道效应与景观结构优化. *地理研究*, 1998, 17(4): 119 ~ 123.
- [15] 曾辉, 姜传明. 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究——林地的结构和异质性特征分析. *生态学报*, 2000, 20(3): 378 ~ 383.
- [16] 曾辉, 江子瀛. 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究——城市建设用地结构及异质性特征分析. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 567 ~ 572.
- [17] 曾辉, 江子瀛, 孔宁宁, 等. 快速城市化景观格局的空间自相关特征分析——以深圳市龙华地区为例. *北京大学学报(自然科学版)*, 2000, 36(6): 824 ~ 831.
- [20] 田光进, 张增祥, 张国平, 等. 基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化. *生态学报*, 2002, 22(7): 1028 ~ 1034.
- [21] 李俊祥, 王玉洁, 沈晓虹, 宋永昌. 上海市城乡梯度景观格局分析. *生态学报*, 2004, 24(9): 1973 ~ 1980.
- [22] 谈明洪, 吕昌河. 以建成区面积表征的中国城市规模分布. *地理学报*, 2003, 58(2): 285 ~ 293.
- [23] 傅肃性. 遥感专题分析与地学图谱. 北京: 科学出版社, 2002. 203 ~ 209.
- [24] 中华人民共和国建设部. 城市用地分类与规划建设用地标准北京: 计划出版社, 1991. 2 ~ 11.
- [25] 黄亚平. 城市空间理论与空间分析. 南京: 东南大学出版社, 2002. 185 ~ 197.
- [26] 姜鲁光, 张祖陆. 济南城市土地利用的圈层结构分析. *地域研究与开发*, 2003, 22(4): 73 ~ 76.
- [27] 吴启焰, 朱喜钢. 城市空间结构研究的回顾与展望. *地理学与国土研究*, 2001, 17(2): 46 ~ 50.
- [30] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应. *生态学报*, 2004, 24(1): 123 ~ 134.