

基于 GIS 的海口市景观格局梯度分析

雷金睿,陈宗铸*,杨 琦,陈小花

(海南省林业科学研究所,海南 海口 571100)

摘要:以海口市为研究样区,基于 RS 和 GIS 技术,采用景观格局和缓冲区梯度带分析相结合的方法,研究海口市景观格局空间分布和梯度变化特征。结果表明,全市以乔木林和农地景观为主,从主城区向外,沿着缓冲区梯度带,其景观面积比例和边缘密度均呈现出下降的趋势,而不透水表面和草地景观格局则表现出相反的状态,且都在第 3 区以后趋于稳定。在城市外缘 5~15 km 的城乡融合区域是城市地表覆被变化最为激烈的地带,呈现斑块形状多样、复杂、破碎的分布格局,景观多样性很高。研究认为,城市化和人为干扰是影响景观格局空间梯度分布差异的重要因素。

关键词:城市化;景观格局;梯度分析;缓冲区;不透水表面;海口市

中图分类号:S759.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)03-0205-06

GIS-Based Gradient Analysis of Urban Landscape Pattern of Haikou

LEI Jin-rui, CHEN Zong-zhu*, YANG Qi, CHEN Xiao-hua

(Hainan Forestry Institute, Haikou, Hainan 571100, China)

Abstract:Based on the RS and GIS techniques, the spatial distribution and gradient characteristics of landscape pattern in Haikou were studied by using the combination of landscape pattern and buffer gradient zone analysis. The results showed that the whole city mainly consisted of the arbors and farmland landscape. Landscape area ratio and edge density showed a downward trend from the main urban area to the outside along the buffer gradient zone. However, impervious surface and grassland landscape pattern showed a contrary tendency, and both of them later stabilized in the third district. In desakota region (5—15 km from the city), the land cover changed most significantly, showing diverse, complex and broken patch distribution pattern with high landscape diversity. Urbanization and human disturbance were considered important factors influencing the spatial gradient distribution of landscape pattern in Haikou.

Key words:urbanization; landscape pattern; gradient analysis; buffer zone; impervious surface; Haikou

城市化作为一种复杂的社会活动过程,被普遍认为是改变地表覆被、造成生物多样性降低、影响城市生态环境和景观格局空间分布差异的重要原因^[1-2]。城市扩展造成大量的自然覆被向人工覆被迅速转化^[3],严重威胁到城市生态安全和城市人居环境^[4]。城市区域景观格局的研究对揭示城市化进程的变化特征具有重要作用^[5],也是深入分析土地利用变化的基础^[6],一直以来都是城市景观生态学和城市规划研究的热点问题。

城市景观空间梯度变化分析是研究城市形态和景观格局的有效方法,国内外许多学者都将景观生态学和梯度分析结合起来研究样带景观的变化规律^[1,4,6-9]。不透水表面作为城市发展一种典型的人工地表特征,它隔断了城市地表与地下水的联系,主要由城市中的道路、广场、停车场及屋顶等建筑物组成^[10-11],近年来也已成为研究城市生态环境的重要切入点^[3,11]。本研究拟将不透水表面纳入景观分类进行海口市景观格局梯度横向变化分析,以此揭

收稿日期:2016-09-21 修回日期:2016-11-18

基金项目:海南省科学事业费项目(KYY-S-2013-46);海南省科研院所技术开发专项(KYY-S-2016-22)。

作者简介:雷金睿,男,硕士研究生,研究方向:城市生态与景观评价。E-mail:raykingre@163.com

*通信作者:陈宗铸,男,高级工程师,研究方向:林业 3S 技术应用。E-mail:30160280@qq.com

示地表覆被的空间格局变化特征,为区域土地利用规划和城市可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

海口市($19^{\circ}32' - 20^{\circ}05'N$, $110^{\circ}10' - 110^{\circ}41'E$)地处海南岛北部,北濒琼州海峡,属于热带海洋性气候。全市地势平坦,北部近海以滨海台阶式地貌为主,西部以火山口为海口市制高点,东部有东寨港红树林,南部为典型的乡村景观。海口市作为我国重要的热带滨海城市和全省政治、经济、文化、交通中心,城市化进程发展迅猛,随着海口市提出“中强、西拓、东优、南控”的城市发展战略以及海南国际旅游岛建设的不断深化,城市建成区面积迅速扩大,已从2003年 63 km^2 增加到2015年的约 150 km^2 。2015年海口市总人口222.3万,GDP为1161.28亿元。

1.2 数据来源及处理

以海南省2011年森林资源二类调查小班矢量数据为基础,在ArcGIS 10.2下结合海南省国土地类调查数据、海南省林地落界数据进行对比修正,并采用经Envi融合处理后的2011年SPOT5卫星遥感影像解译标志校对调整二类调查数据。基于《城市用地分类与规划建设用地标准》^[12]并参照相关分类体系^[4,13],将海口市地表覆被划分为乔木林、灌木林、草地、农地、不透水表面和水面6种景观类型,并建立相应的标识字段。在ArcGIS 10.2下转换为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的Grid栅格格式,运用Fragstats 4.2进行景观格局指数分析^[6]。

1.3 缓冲区设立

参照海口市城市总体规划(2011—2020)划定的主城区界限范围,在ArcGIS 10.2下利用Buffer工具以主城区边界向外围依次设立5km步长的缓冲区梯度带^[14],共设立7个缓冲区进行景观格局梯度分析。并标记主城区为第0缓冲区,向外依次为第1区、第2区、…、第7区(图1)。

1.4 景观格局指数

景观格局指数分析从类型水平(class level)和景观水平(landscape level)2景观层次上进行。类型水平上选取了景观面积(CA)、景观面积比例(PLAN)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(MPS)、边缘密度(ED)、景观形状指数(LSI)8个指数;景观水平上选取了斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)、景观形状指数(LSI)、面积一周长分维数(PAFRAC)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)6个指数^[15-16]。

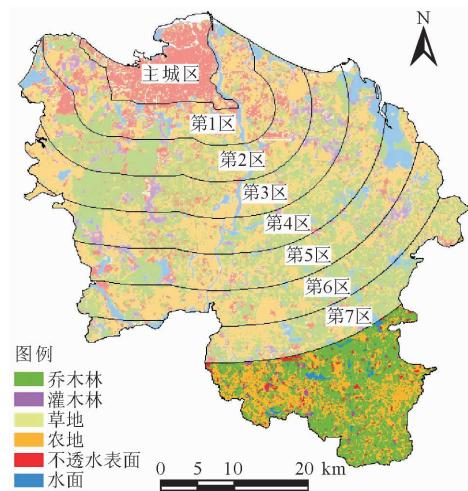


图1 海口市景观类型及缓冲区梯度带设置示意

Fig. 1 Landscape types and buffer zonesettings of Haikou

2 结果与分析

2.1 海口市景观格局总体特征

海口市景观格局各类型中以乔木林所占比例最高,达40.94%,其次是农地和不透水表面,最低的为草地,仅为2.14%(表1),表明全市以乔木林和农地景观占主导地位,平均斑块面积也较大。斑块密度与景观形状指数以草地和不透水表面最高,此2类景观的平均斑块面积亦为最小,反映了此2类景观的破碎化程度最高,斑块形状多样、复杂。乔木林景观的最大斑块指数最高,其次为不透水表面,最低的为草地景观类型,表明乔木林以大面积的集中连片形式存在以及城市不透水表面以大型城市建设斑块的构成格局。

2.2 景观类型水平梯度变化分析

在海口市各类型景观面积比例中,不透水表面在主城区所占比例最高,达79.86%,其次为草地景观,随着向外围梯度带的变化,不透水表面和草地景观面积比例均急剧下降,并在第3区(15km)以后逐渐趋于稳定。与此同时,乔木林和农地景观面积比例则随着距中心城区距离的不断加大而变大;而灌木林和水面的景观面积比例变化不明显(图2a)。

从斑块数量来看,草地和不透水表面的斑块数最多,并向外围缓冲区梯度表现出逐渐减少的趋势(图2b)。而在斑块密度中,也呈现出一致的变化趋势,表明草地和不透水表面破碎度逐渐降低,受城市建设及人为干扰力度不断减弱,从第3区开始逐渐趋于平稳(图2c)。

对于边缘密度,不透水表面和草地在主城区中达到峰值,并向外围急剧下降,而乔木林和农地景观的走向则反之,且均在第3区以后趋于稳定,反映了

此4类景观之间随着城市化建设、人为干扰等因素影响下此消彼长的关系(图2d)。

在最大斑块指数中,不透水表面在主城区最大,向外沿梯度带逐渐降低;而乔木林和农地景观最大斑块指数则在主城区最低,向外逐渐升高,说明主城区不透水表面因城市开发强度的加大而逐渐形成了大型建设斑块成团分布的格局(图2e)。

从景观形状指数来看,草地景观形状指数在主

城区最高,往后则急剧降低,在第3区后趋于稳定,反映了草地在城区及近郊因城市绿化建设,其形状破碎多样、不规则。而不透水表面、农地、乔木林3类景观则呈现出先升高后降低的走势,在第1区至第3区间出现波峰,也说明了在城乡结合部建设用地和农林用地呈现出犬牙交错的景观分布格局,景观类型形状多样化、复杂化,也是地类变化最为剧烈的区域(图2f)。

表1 海口市景观格局总体特征

Table 1 General characteristics of landscape pattern in Haikou

景观类型	CA/hm ²	PLAND/%	NP/个	PD/(个·hm ⁻²)	MPS/hm ²	LSI	LPI
乔木林	93 085.04	40.94	5 077	2.23	18.33	133.45	8.44
灌木林	6 748.38	2.97	939	0.41	7.19	48.78	0.25
草地	4 866.52	2.14	12 469	5.48	0.39	182.95	0.04
农地	78 933.62	34.72	3 399	1.50	23.22	118.72	2.83
不透水表面	28 995.89	12.75	10 061	4.43	2.88	141.14	5.16
水面	14 721.07	6.48	778	0.34	18.92	42.55	1.75
总体	227 350.50	100.00	32 723	14.39	6.95	127.07	8.44

注:CA:景观面积,PLAND:景观面积比例,np:斑块数量,PD:斑块密度,MPS:平均斑块面积,LSI:景观形状指数,LPI:最大斑块指数,下同。

●—○—▲—■—▲—◆—★—×—●—○—▲—■—▲—◆—★—×

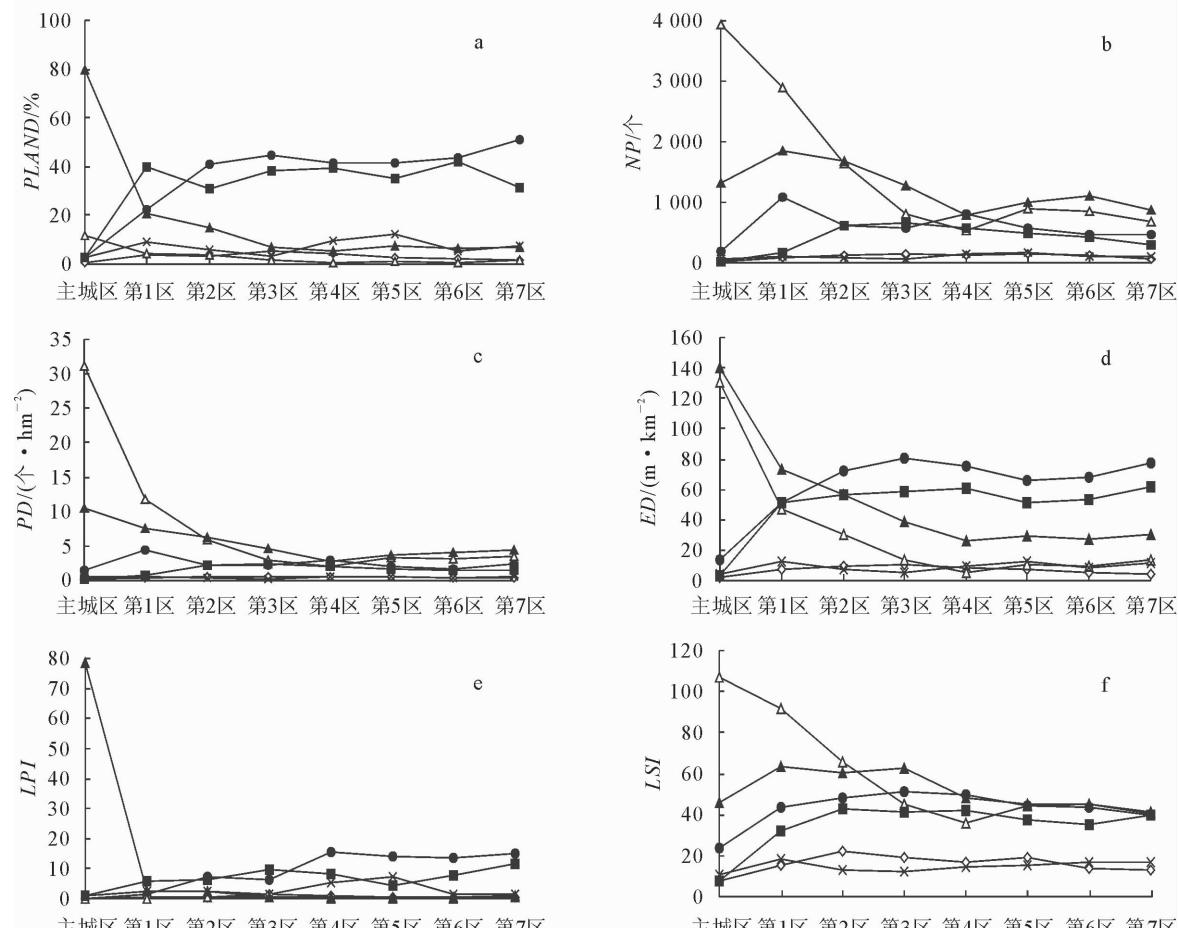


图2 海口市景观格局缓冲区梯度带类型水平变化

Fig. 2 Gradient variation characters among the buffer zones of landscape types in Haikou

总体而言,海口市不透水表面和草地景观格局向外沿着缓冲区梯度变化,景观面积比例和边缘密

度均呈现出下降的趋势,而乔木林和农地景观格局则表现出相反的状态,且在第3区(15 km)以后趋

于稳定;而灌木林和水面的景观格局变化表现不明显。在城市外缘 5~15 km 的区域范围内,不透水表面、农地与乔木林相互影响、交错,景观斑块形状呈现出多样化、复杂化、破碎化的分布格局。

2.3 景观水平梯度变化分析

从斑块密度上看,海口市景观格局沿着缓冲区梯度带表现为下降的趋势,到第 3 区时趋于稳定,表明随着城市化干扰强度的不断弱化,景观斑块破碎化程度也逐渐降低(图 3a);相应地,其平均斑块面积向外围也逐渐变大(图 3b),呈现出各斑块集中连片分布的聚团景观格局。

在景观形状指数中,总体趋势与图 2f 表现出较为一致的变化走向,在第 2 区时出现峰值(图 3c),

同样说明了在城乡结合部景观形状的剧烈变化,呈现出复杂、多样的斑块景观分布格局。再往外围则逐渐降低,直到第 5 区时趋于平稳,表现出景观斑块形状已近于自然化的分布状态。

对于面积一周长分维度指数,总体呈现出下降趋势,直至乡村地区,城市扩张对自然斑块的形状结构冲击力度弱化,其形状结构也趋于稳定(图 3d)。

而从蔓延度指数上看,主城区蔓延度最高,这说明斑块间团聚程度很高,在第 1 区处出现低谷,而后则逐渐升高,表明城郊各斑块间交错分布,连通度很低;再向外围梯度带则各斑块密度降低,大斑块的分布格局造成了斑块间团聚程度很高,延展趋势增加(图 3e)。

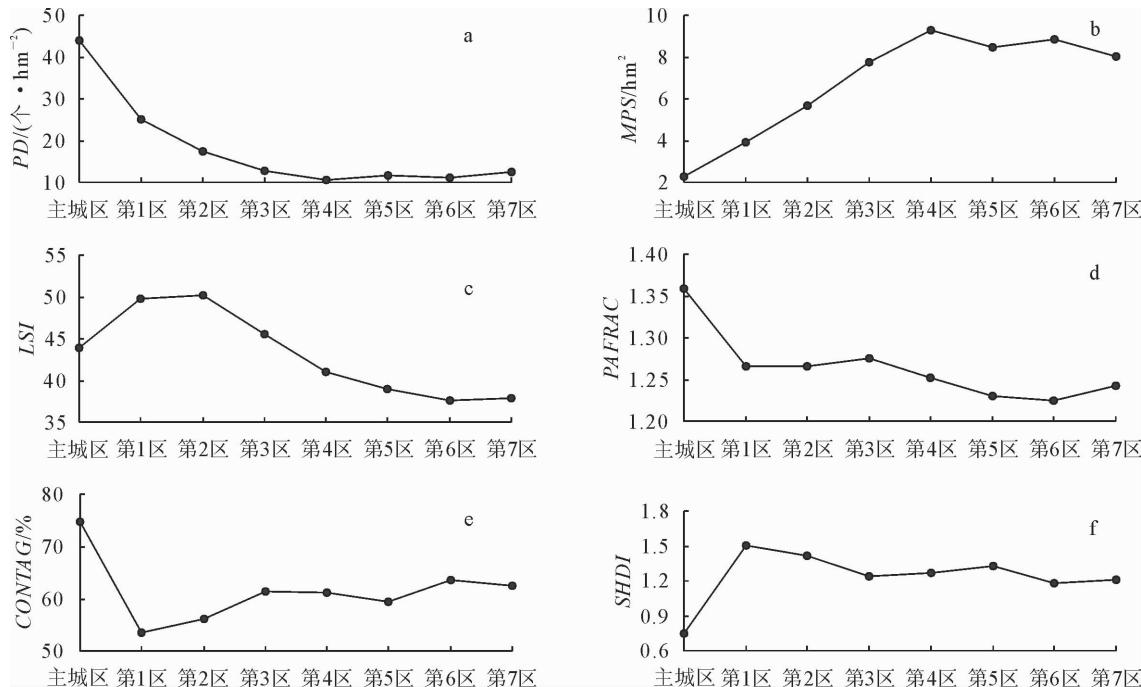


图 3 海口市景观格局缓冲区梯度带景观水平变化

Fig. 3 Gradient variation characters among the buffer zones of landscape levels in Haikou

在香农多样性指数中,呈现出先升高后降低的趋势,并在第 1 区和第 2 区之间出现高峰,因在该区域内的斑块破碎交错分布导致其景观多样性很高。而主城区不透水表面景观斑块的优势分布是造成景观多样性最低的直接原因。离主城区较远的乡村梯度带因各景观类型的自然化分布,类型多样且分布均匀,也表现出较高且稳定的景观多样性(图 3f)。

总体而言,从海口市主城区向外围缓冲区梯度带,斑块密度逐渐降低,平均斑块面积越来越大。在第 1 区和第 2 区之间的梯度带,斑块的形状指数最高,其破碎化程度造成斑块间团聚程度和连通性降低,复杂、多样的斑块分布格局形成了较高的景观多样性。

3 结论与讨论

斑块密度和平均斑块面积都能直观地描述景观格局破碎化程度,从而分析景观格局的空间结构变化^[17]。海口市不透水表面与草地景观类型的斑块密度和景观形状指数最大,而平均斑块面积最小,反映了这 2 类景观的破碎化空间分布格局。不透水表面和草地景观在主城区分布最高,面积分别占 79.86% 和 11.80%,说明主城区范围内除建设用地大量分布之外城市草坪绿化比例很高,且集中分布在海口市各大型公园绿地^[2,18],也表明海口主城区随着城市化进程的不断推进,城市绿化草坪和不透水表面斑块呈现破碎化和复杂化的交错分布。

从景观类型水平梯度变化上来看,海口市不透

水表面和草地景观格局向沿着外围缓冲区梯度带变化,景观面积比例和边缘密度均呈现出下降的趋势;而乔木林和农地景观格局则表现出相反的状态,且在第3区(15 km)以后趋于稳定。不透水表面是衡量城市化程度的重要指标,驱动不透水表面增长和扩展的主要动力来自于城市发展对土地利用的功能改变^[3,10],海口市景观格局的梯度带变化表明,在城市外缘5~15 km的区域范围内是城市地表被变化最为激烈的地带。此分布特点正好与J. H. Connell提出的“中度干扰假说”^[19]相吻合,处于中度人为干扰水平的中等城市化强度的区域,尤其是近郊区或远郊区,土地利用转变剧烈及土地利用类型多样化形成了异质性的生境,而多样化的生境维持了更高的生物多样性,反而城市化强度较高的城市生物多样性最低^[20]。随着海口城市外缘的长流组团、江东组团以及市区南部的城市建设迅速扩张,将林地、农田、水体及滩涂等自然地表快速地转变为不同功能的建设用地,致使不透水表面景观类型分布的结构性变化,景观格局动态演化、相互交错,斑块形状呈现出多样化、复杂化、破碎化的分布格局,造成斑块间团聚程度和连通性降低,也因此形成了较高的景观多样性。

海口市乔木林面积比例从第2区开始占据绝对优势,占40%~50%,可能原因在于该区域火山口地质公园森林及其周边原始林、次生林的成片出现,作为海口市重要生态屏障,是维持区域生态系统正常发展的基础;同时,在该区域也是城乡结合部地表变化较为频繁的地带,受人为干扰较大,开发建设力度也较强。根据徐芮^[21]等的研究表明,在1991—2014年间,海口市耕地和林地面积萎缩最为明显,是园地、建设用地等其他用地类型新增部分的主要来源。因此,应当强化海口市周边区域林地生态廊道生态功能的发挥,加强农林用地管制,减少人为干扰建设,提高生物多样性和系统稳定性,促进生态过程的正常运行^[18,22]。

景观格局的动态演化是由斑块的扩展、合并和新斑块不断出现共同构成的一个复杂过程,受到诸多因素的共同作用^[1]。根据海口市景观格局景观水平梯度变化结果,蔓延度指数呈现“V”形特征分布,主城区蔓延度最高,在第1区处出现低谷,这表明城郊各斑块间交错分布,斑块连通度很低,景观多样性则相对很高;向外则由于斑块的自然化分布,平均斑块面积和最大斑块指数趋势都走高,大斑块的分布格局造成了斑块间团聚程度很高,景观多样性也维持在较高的水平。这与广州市^[14]景观格局的研究结果一致,综合反映了景观格局指数与城市化梯度

带之间具有明显的相关性^[1,7]。

景观格局具有明显的尺度依赖性,不同梯度带步长和不同缓冲区形状都会对景观指数计算结果造成影响,许多研究设置3~5 km的缓冲带研究城市化梯度的景观格局变化^[1,14]。本研究设置5 km的缓冲区梯度带有效地揭示了在“城市—乡村”复合影响下,海口市景观格局沿梯度演变的过程,表明城市化和人为干扰是影响景观格局空间梯度分布差异的重要因素,反映了在城市化进程中地表被类型的动态变迁特征,对城市开发边界和城乡边缘效应评估都具有重要的参考价值,从而提高海口城市被景观生态建设和可持续发展水平。

参考文献:

- [1] 俞龙生,符以福,喻怀义,等.快速城市化地区景观格局梯度动态及其城乡融合区特征—以广州市番禺区为例[J].应用生态学报,2011,22(1):171-180.
- [2] YU L S, FU Y F, YU H Y, et al. Landscape pattern gradient dynamics and desakota features in rapid urbanization area: a case study in Panyu of Guangzhou[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(1): 171-180. (in Chinese)
- [3] 雷金睿,宋希强,何荣晓.滨海城市公园植物物种多样性比较—以海口市为例[J].生态学杂志,2016,35(1):118-124.
- [4] LEI J R, SONG X Q, HE R X. Comparative analysis of plant species diversity in coastal city parks: a case study of Haikou [J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(1): 118-124. (in Chinese)
- [5] 刘珍环,王仰麟,彭建.深圳市不透水表面的遥感监测与时空格局[J].地理研究,2012,31(8):1535-1545.
- [6] LIU Z H, WANG Y L, PENG J. Quantifying spatiotemporal patterns dynamics of impervious surface in Shenzhen[J]. Geographical Research, 2012, 31(8): 1535-1545. (in Chinese)
- [7] 侯冰飞,贾宝全,冷平生,等.北京市城乡交错区绿地和植物种类的构成与分布[J].生态学报,2016,36(19):1-10.
- [8] HOU B F, JIA B Q, LENG P S, et al. Composition and distribution of green space and plant species in the urban-rural ecotone of Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(19): 1-10. (in Chinese)
- [9] WU J G, HOBBS R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis [J]. Landscape Ecology, 2002, 17(4): 355-365.
- [10] 裴刚,刘养洁,王国梁.侯马市景观格局梯度分析[J].国土资源遥感,2012(4):163-168.
- [11] PEI G, LIU Y J, WANG G L. A gradient analysis of urban landscape pattern of Houma City[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2012 (4): 163-168. (in Chinese)
- [12] LUCK M, WU J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA[J]. Landscape Ecology, 2002, 17(4): 327-339.
- [13] YU X J, NG C N. Spatial and temporal dynamics of urban dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China [J]. Landscape and Urban Plan-

- ning, 2007, 79(1): 96-109.
- [9] 顾朝林, 陈田, 丁金宏, 等. 中国大城市边缘区特性研究[J]. 地理学报, 1993, 48(4): 317-328.
- GU C L, CHEN T, DING J H, et al. The study of the urban fringes in Chinese megalopolises[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(4): 317-328. (in Chinese)
- [10] ARNOLD C L, GIBBONS C J. Impervious surface coverage: emergence of a key environmental factor[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1996, 62(2): 243-258.
- [11] 刘珍环, 王仰麟, 彭建. 不透水表面遥感监测及其应用研究进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1143-1152.
- LIU Z H, WANG Y L, PENG J. Remote sensing of impervious surface and its applications: a review[J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(9): 1143-1152. (in Chinese)
- [12] GBJ 137-90. 城市用地分类与规划建设用地标准[S]. 北京, 1992.
- [13] 邹春城, 张友水, 黄欢欢. 福州市城市不透水面景观指数与城市热环境关系分析[J]. 地理信息科学学报, 2014, 16(3): 490-498.
- ZOU C C, ZHANG Y S, HUANG H H. Impacts of impervious surface area and landscape metrics on urban heat environment in Fuzhou City, China[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(3): 490-498. (in Chinese)
- [14] 郭添, 夏北成, 刘蔚秋, 等. 城市化进程中广州市景观格局的时空变化与梯度分异[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1671-1676.
- GUO L, XIA B C, LIU W Q, et al. Spatiotemporal change and gradient differentiation of landscape pattern in Guangzhou City during its urbanization[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1671-1676. (in Chinese)
- [15] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [16] 周亚东, 周兆德. 基于 GIS 与 Fragstats 的海南岛森林景观格局研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 78-83.
- ZHOU Y D, ZHOU Z D. Study on forest landscape patterns based on GIS and FRATSTATS in Hainan Province[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2015, 35(5): 78-83. (in Chinese)
- [17] 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[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1028-1034.
- TIAN G J, ZHANG Z X, ZHANG G P, et al. Landscape dynamic change pattern of Haikou City by TM imagery and GIS[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1028-1034. (in Chinese)
- [18] 余宇晨, 陈彩虹, 贺丹, 等. 基于 MCR 模型和 Kriging 的海口市景观格局优化分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 233-238.
- SHE Y C, CHEN C H, HE D, et al. Landscape pattern optimization analysis based on MCR model and Kriging in Haikou [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(3): 233-238. (in Chinese)
- [19] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs[J]. *Science*, 1978, 199: 1302-1310.
- [20] 毛齐正, 马克明, 邬建国, 等. 城市生物多样性分布格局研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1051-1064.
- MAO Q Z, MA K M, WU J G, et al. An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1051-1064. (in Chinese)
- [21] 徐芮, 谢跟踪, 邱彭华. 海口市土地利用格局变化图谱分析[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 379-383.
- [22] 付晖, 方纪华, 许先升, 等. 海口市中心城区公共绿地景观格局分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 260-265.
- FU H, FANG J H, XU X S, et al. Evaluation on landscape pattern of Haikou urban public spaces[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(6): 260-265. (in Chinese)

(上接第 204 页)

- [13] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- XU H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(5): 589-595. (in Chinese)
- [14] 杨智翔, 何秀凤. 基于改进的 NDBI 指数法的遥感影像城镇用地信息自动提取[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 181-183.
- YANG Z X, HE X F. Automatic extraction of urban land-use information from remote sensing images based on improved NDBI method [J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2010, 38(2): 181-183. (in Chinese)
- [15] 张晓莉, 赵鹏祥, 高凌寒, 等. 基于 Landsat 影像的西宁市主城区热岛效应分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 183-190.
- ZHANG X L, ZHAO P X, GAO L H, et al. Analysis of heat island effect based on landsat images in Xining City[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(3): 183-190. (in Chinese)
- [16] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 绿地格局对城市地表热环境的调节功能[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2372-2380.
- CHEN A L, SUN R H, CHEN L D. Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2372-2380. (in Chinese)
- [17] 曹璐, 胡瀚文, 孟宪磊, 等. 城市地表温度与关键景观要素的关系[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2329-2334.
- CAO L, HU H W, MENG X L, et al. Relationships between land surface temperature and key landscape elements in urban area [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2329-2334. (in Chinese)
- [18] 刘东, 李艳, 孔繁花. 中心城区地表温度空间分布及地物降温效应—以南京市为例[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 117-122.
- LIU D, LI Y, KONG F H. Spatial distribution of land surface temperature in central city proper and the cooling of objects effect: a case study of Nanjing[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2013, 25(1): 117-122. (in Chinese)