

DOI: 10.5846/stxb201410101994

喻露露, 张晓祥, 李杨帆, 赵杏杏, 马生全, Huhua Cao, 曹均阔. 海口市海岸带生态系统服务及其时空变异. 生态学报, 2016, 36(8): - .
Yu L L, Zhang X X, Li Y F, Zhao X X, Ma S Q, Huhua C, Cao J K. Coastal Ecosystem Services and their spatial-temporal variation in Haikou, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(8): - .

海口市海岸带生态系统服务及其时空变异

喻露露¹, 张晓祥¹, 李杨帆^{2,*}, 赵杏杏¹, 马生全³, Huhua Cao⁴, 曹均阔³

1 河海大学地理信息科学与工程研究所, 南京 210098

2 厦门大学海洋与海岸带发展研究院, 厦门 361102

3 海南师范大学信息学院, 海口 571158

4 Department of Geography, School of International Development and Global Studies, University of Ottawa, Ottawa K1N 6N5, Canada

摘要: 海岸带位于陆地、海洋交汇地带, 有着重要的生态价值, 但也是生态环境较为脆弱的地区。本文以海口市为研究区, 研究海口市海岸带生态系统服务及其时空变异。首先, 基于 1990、1995、2004 和 2012 年 4 期 Landsat TM 影像得到土地利用覆盖数据; 其次, 采用基于当量因子的生态系统服务价值评价方法, 结合海口市实际情况, 构建了海口市海岸带生态系统服务价值动态评估模型; 最后, 借助 GIS 空间分析技术, 应用局部空间自相关模型, 定量研究了生态系统服务价值 (ESV) 的时空变异特征。研究结果表明: (1) 在生态系统服务的总值方面, 过去 20 多年的 ESV 整体变化不大, 但近年来 ESV 有所降低, 生态环境出现退化趋势。(2) 在生态系统服务的时空变异方面, 海口市海岸带 ESV 的空间正相关性显著, 空间集聚程度较高, 高值区主要集中于中心城区西部和东寨港周围, 低值区主要集中于中心城区; 近来, 在发展城市经济和保护环境的双重作用下, 位于中心城区的低值区和位于东寨港红树林自然保护区的高值区都有所辐射扩张。

关键词: 生态系统服务; GIS; 空间相关性; 海口市海岸带

Coastal Ecosystem Services and their spatial-temporal variation in Haikou, China

YU Lulu¹, ZHANG Xiaoxiang¹, LI Yangfang^{2,*}, ZHAO Xingxing¹, MA Shengquan³, Huhua Cao⁴, CAO Junkuo³

1 Institute of geographic information science and engineering research, Hohai university, Nanjing 210098, China

2 Coastal and Ocean Management Institute, Xiamen university, Xiamen 361102, China

3 Department of Computer Science & Technology, Hainan Normal University, Haikou 571158, China

4 Department of Geography, School of International Development and Global Studies, University of Ottawa, Ottawa K1N 6N5, Canada

Abstract: The coastal zone is in the land-ocean interaction area, which has great ecological importance and the ecological environment of this zone is often vulnerable. In the present research, the coastal zone in Haikou, China was selected as a case study to explore the coastal ecosystem services and their spatial-temporal variation. Firstly, four Landsat TM images collected in 1990, 1995, 2004, and 2012 are interpreted to obtain the land use/cover data. Secondly, based on the equivalent factor method of Ecosystem Services Values (ESV) evaluation and the local conditions, a dynamic assessment model of ecosystem services values in the Haikou coastal zone was constructed. Finally, using GIS-based spatial analysis technology and the local spatial autocorrelation model, the spatial-temporal variation characteristics of Ecosystem Services Values were quantitatively studied. Analysis of the results indicated: (i) Change in ESV in the past twenty years has been insignificant, with ESV decreasing in recent years; thus the ecological environment has shown a trend of degradation; (ii) the spatial-temporal variation of ESV in the Haikou coastal zone is clear: spatial correlation is significant and the degree of

基金项目: 国家国际科技合作项目 (2012DFA11270); 国家自然科学基金项目 (41201394); 海南省国际科技合作专项 (KJHZ2014-25)

收稿日期: 2014-10-10; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangf@xmu.edu.cn

spatial agglomeration is relatively high. High values are mainly distributed in the western part of the downtown area, and surrounding Dongzhaigang, whereas low values are mainly distributed in the downtown area. Recently, under the dual-strategy of economic development and environmental protection, both the low value downtown area and the high value Dongzhaigang mangrove nature reserve area have experienced continuous radiation expansion.

Key Words: ecosystem services; GIS; spatial correlation; Haikou coastal zone

生态系统服务(Ecosystem Services)是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1],近年来,全球土地利用的变化导致全球生态系统服务功能的大量损失^[2]。生态系统服务体现了生态系统的功能状况,对于像海岸带这种人类活动剧烈、脆弱性程度高的敏感地带,进行生态系统服务的价值评价与空间分析具有重要意义^[3-4]。1997年 Costanza 等对全球生态系统服务功能进行划分与评估^[5],成为定量评价生态系统服务的里程碑。近年来,国外学者从生态系统服务的定义、度量指标、评估方法等方面进行了更深入的研究^[6-8],在评估过程中越来越重视模型方法的使用^[9-10],并开始注重研究单项生态系统服务之间的相互作用^[11-12]。而国内学者主要在以下几方面取得较大发展:对生态系统服务价值评估方法的比较^[13-14],对不同区域和不同自然地理区的生态系统服务价值的评估^[15],对森林^[16]、海洋^[17]、草地^[18]、湖泊^[19]等不同类型生态系统服务价值的评估,对生态多样性保护^[20]、土壤保持^[21]、环境净化^[22]等单项生态系统服务价值的评估,对生态系统服务价值响应区域土地利用^[23]或景观格局变化^[24]的研究,对生态系统服务评估新方法的探索^[25-26]。但总体而言,国内学者在评估生态服务价值时,大多依据 Costanza 等^[5]或谢高地等^[27]的研究成果,直接使用单位面积生态系统服务价值的平均值进行计算,或者通过生物量、生物多样性等修订方法间接估算区域生态系统服务的价值。这种方法主观性较强,不能充分地反映特定区域生态系统的结构和特性,因此,构建符合研究区域客观情况的评价模型很有必要。

空间相关性和空间异质性普遍存在于地理对象的空间格局问题中,对地理数据进行空间分析是地理学领域的重要方向。空间自相关分析作为空间分析的一个分支,用于探索空间变量的相关性和相关程度,和 Tobler 的地理学第一定律密切相关^[28]。生态系统服务价值和各种地理实体一样,存在着空间关联性,但之前的大部分研究都只是静态的快照式研究,忽视了它的复杂性、动态性以及非线性相关性。对生态服务价值空间分布的聚集模式、关联特征进行定量研究,有利于理解研究区生态系统的空间格局特征,揭示生态服务价值变化的影响因素和驱动机制。

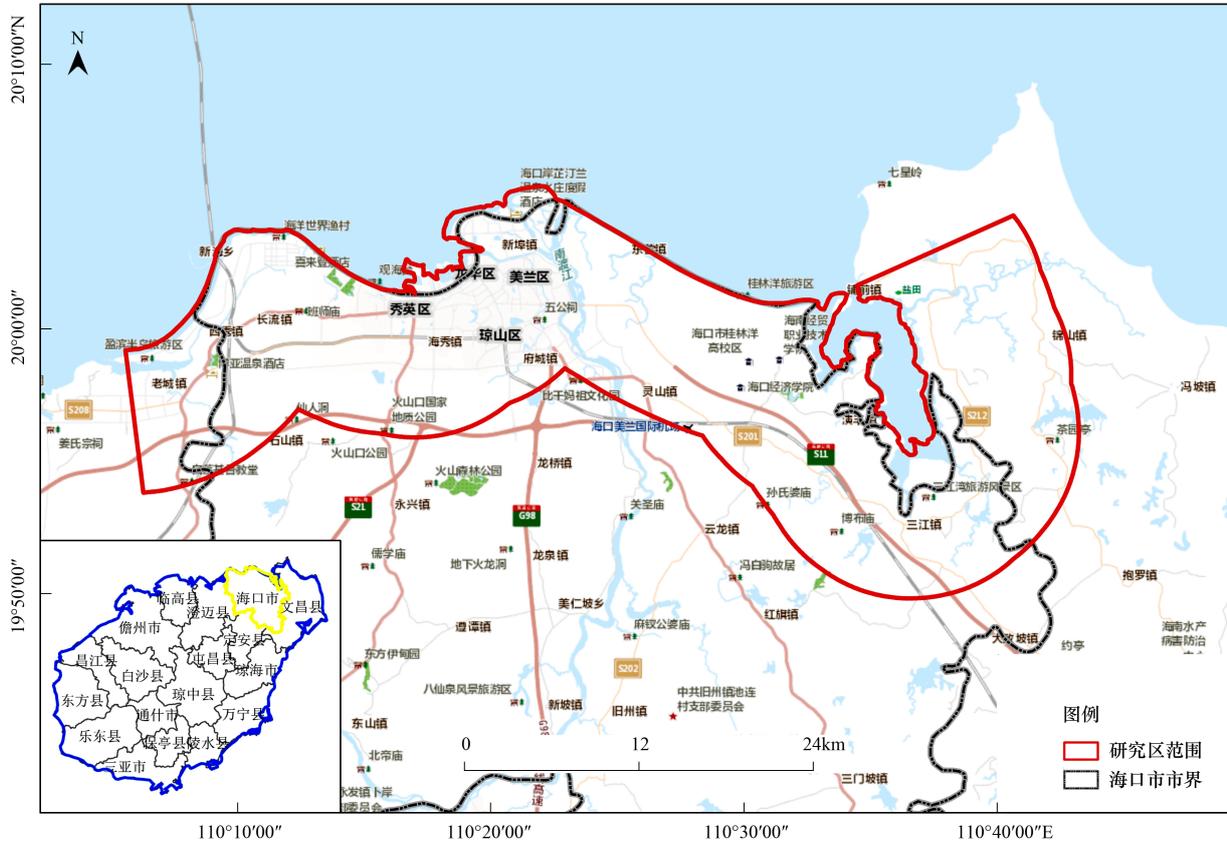
本文在借鉴已有研究成果的基础上对海口市海岸带的生态系统服务价值进行研究,利用多期遥感影像分类数据及其它统计数据,结合当地实际情况,构建海口市海岸带生态系统服务价值动态评估模型,对各年份的生态系统服务价值的分布情况进行了可视化展示,定量研究分析了生态系统服务的时空分布特征和规律,为区域可持续发展提供决策依据。

1 研究区与数据准备

海口市地处我国海南省北部沿海,海南省也是我国第二大海岛海南岛,海口是海南省的省会,分设秀英、龙华、琼山、美兰 4 个区。海口市海岸线长约 136.2 千米,其中自然岸线长 101.7 千米,占全市海岸线的 74.7%,人工岸线长 34.5 千米,占全市海岸线的 25.3%,主要用于旅游、港口码头、防潮堤和防波堤、工程用海、渔业养殖等。海口市海岸带曲折狭长,其东部的东寨港红树林自然保护区为国家级自然保护区,也是国际重要湿地保护区之一,对海岸带起到重要的保护作用。海南岛最长的河流南渡江从海口市海岸带中部穿过而入海,河流搬运大量的泥沙堆积在入海口,造成海岸淤积,对海岸线产生一定的影响。海口市海岸带绝大部分区域属于海口市中心城区范围,人口压力大,道路密度高。此外,海口市海岸带拥有丰富的旅游资源,在旅游开发的同时,由旅游业带动的房地产行业也得到蓬勃发展,建设用地的扩展趋势非常强烈。海口市海岸带的过

度开发趋势明显,土地利用结构变化剧烈,导致当地生态系统服务功能发生明显的改变。

研究区海岸线东起澄迈湾,西至铺前镇,海岸带研究范围分为陆域部分和海域部分,陆域部分为自海口市海岸线向陆延伸 10km 的滨海陆地,海域部分由沿海滩涂、红树林两类湿地生态系统组成。



审图号: GS (2015) 1934号

图 1 海口市海岸带研究区示意图

Fig. 1 Location of Haikou city coastal zone

表 1 研究数据列表

Table 1 Data list in the research

序号 Sequence number	数据名称 Data name	数据格式 Data format	数据时间 Data time	数据来源 Data source	
1	遥感影像	Landsat	条带号	成像日期	
			123/46, 124/46	1988-06-08, 1991-10-30	
			123/46, 124/46	1994-08-12, 1995-09-23	
			123/46, 124/46	2004-02-13, 2004-12-20	
			123/46, 124/46	2012-06-29, 2012-10-26	美国马里兰大学遥感数据下载网站
2	海南省粮食产量	统计数据	1990、1995、2004、2012	海南省统计年鉴	
3	海南省耕地面积	统计数据	1990、1995、2004、2012	海南省统计年鉴	
4	海南省粮食价格	统计数据	2001	海南省统计年鉴	
5	海南省 GDP	统计数据	1990、1995、2004、2012	海南省统计年鉴	

本文基于研究区的 4 期(1990 年、1995 年、2004 年、2012 年) Landsat TM 遥感影像数据,同时结合土地利用现状数据进行遥感影像分类,将研究区的土地利用分为耕地、林地、建设用地、沿海滩涂、红树林、水域和未利用土地 7 类。为研究生态系统服务价值的需要,结合海口市海岸带自然地理环境,将沿海滩涂和红树林划

为湿地生态系统,林地划为森林生态系统,耕地划为农田生态系统,水域划为水体生态系统,未利用土地划为未利用地生态系统,由于海口市海岸带未利用土地中主要为沙地,故将其当量因子取荒漠的值,另外,考虑到建设用地对生态环境产生的负效应远远大于正效应,故本文不考虑其生态系统服务价值。在综合考虑研究区范围、数据的疏密性以及工作效率的基础之上,将土地利用数据的格网大小定为 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 。除了遥感数据之外,其他数据还包括海南省的粮食产量、粮食价格等数据。

2 研究方法

2.1 生态系统服务价值动态评估模型构建

本文采用基于当量因子的生态系统服务价值评价方法,构建海口市海岸带生态系统服务价值动态评估模型。根据谢高地等^[27]的定义,生态系统生态服务价值 1 个当量因子为 1 公顷全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值,在生态系统服务体系中对应为农田食物生产服务,1 个生态服务价值当量因子的经济价值量为当年全国平均粮食单产市场价值的 $1/7$ 。

我国各地的自然地理环境差异显著,这决定着各地的粮食产量及生态系统的生物量相差较大,所以需要文献^[27]制定的代表全国平均水平的生态服务价值当量因子表进行改进,使其符合区域特征。海口市海岸带生态系统服务价值动态评估模型的构建如图 2 所示,包括三个部分:(1)影像数据预处理,对获得的遥感影像进行分类、类型合并,得到各生态系统的面积;(2)生物量修订,结合海口市海岸带的实际生物量,得到各生态系统的生物量因子调整系数;(3)地区粮食产量、价格调整,计算一个当量因子的价值量。

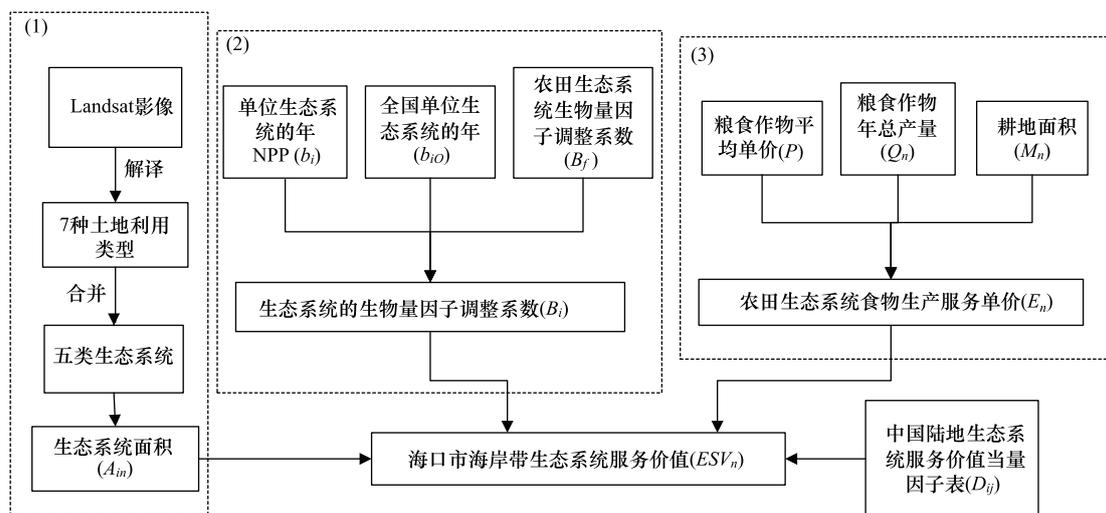


图 2 海口市海岸带 ESV 动态评估模型构建流程图

Fig. 2 The flowchart of building dynamic evaluation model of coastal Ecosystem Services Values in Haikou city

关于模型中的生物量修订,一般来说,生物量越大,生态服务功能越强^[29],于是为研究方便起见,假设生物量与生态系统服务价值呈线性关系,并在此基础上利用植被净第一生产力(net primary productivity, NPP)的比较分析进行生物量因子的调整^[30]。植物的净第一性生产力(NPP)反映了植物群落在自然环境条件下的生产能力,因而能够反映出各土地类型的生态服务的高低。另外,关于地区粮食价格的调整,本文剔除价格变化的影响,直接将 2001 年海口市各种粮食作物的平均价格定为粮食单产值的计算价格。

模型中所涉及到的计算公式及其变量含义见表 2。

2.2 局部空间自相关分析

为定量研究海口市海岸带生态系统服务的空间分布差异和变化规律,本文在利用构建好的价值评估模型计算出各年份的生态系统服务总价值的基础上,采用 Moran 散点图和空间联系的局部指标(LISA)相结合的方法,进行局部空间自相关分析,探索局部空间关联模式,反映空间关联模式的显著性水平。具体流程见图

3,分为 A、B 和 C 三部分。其中,A 部分为数据预处理,得到 ESV 格网数据;B 部分为探索局部空间关联模式,通过计算区域单元的空间权重矩阵,得到 Moran 散点图;C 部分为反映空间关联模式的显著性水平,计算局部 Moran's I 指数,并进行显著性水平检验,结合 Moran 散点图,得到 LISA 聚类地图和 LISA 显著性水平图。

表 2 评估模型中的公式及其变量

Table 2 Formulas and variables in the evaluation model

序号 Sequence number	公式含义 The meaning of the formula	公式内容 The content of the formula	变量符号 Variable symbol	变量含义 The meaning of thevariable	变量单位 The unit of the variable
1	海口市海岸带 ESV 动态评估模型计算公式	$ESV_n = \sum_{i=1}^9 E_n \cdot A_{in} \cdot \sum_{j=1}^9 D_{ij} \cdot B_i$	ESV_n E_n A_{in} D_{ij} B_i	n 年份海口市海岸带的生态系统服务总价值 n 年份单位农田生态系统提供的食物生产服务价值 n 年份第 i 类生态系统的面积 中国大陆第 i 类生态系统的第 j 类生态服务的价值当量因子 第 i 类生态系统的生物量因子调整系数	元 元/hm ² hm ² — —
2	海口市海岸带 1 个当量因子价值的计算公式	$E_n = \left(\frac{P \cdot Q_n}{M_n} \right) \cdot \frac{1}{7}$	P Q_n M_n	2001 年海口市所有粮食作物的平均单价 n 年份海口市所有粮食作物的总产量 n 年份海口市的耕地面积	元/kg kg hm ²
3	海口市海岸带生态系统生物量的调整公式	$B_i = \frac{b_i}{b_{io}} \cdot \frac{1}{B_f}$	b_i b_{io} B_f	海口市海岸带单位面积 i 类生态系统一年的 NPP 全国单位面积 i 类生态系统一年的 NPP 海口市海岸带农田生态系统的生物量因子调整系数	g/m ² g/m ² —

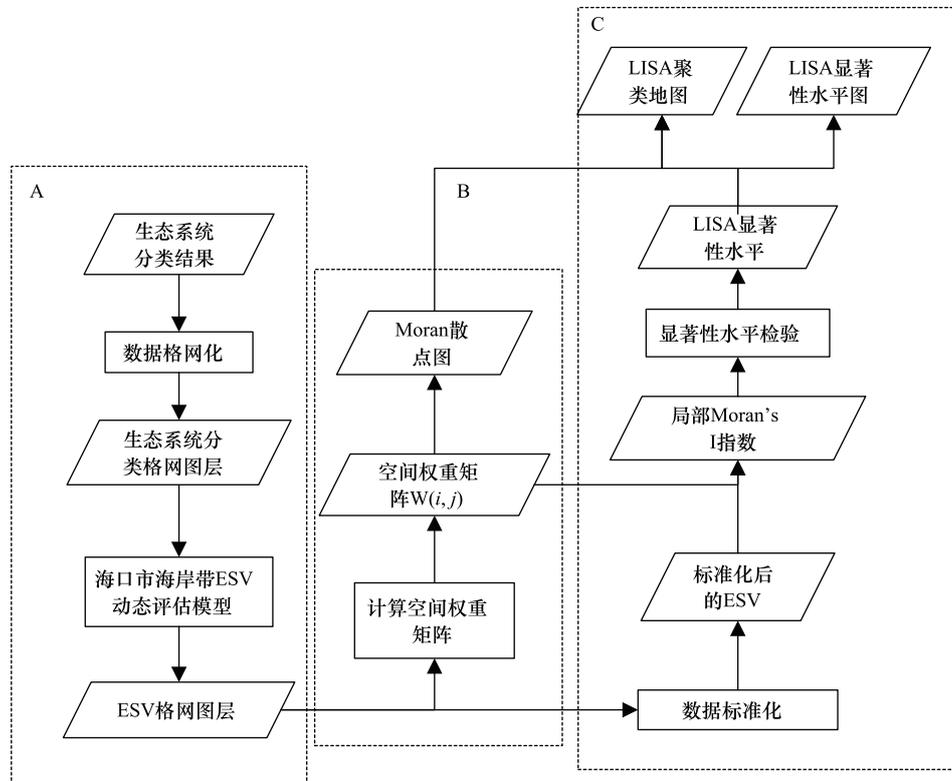


图 3 海口市海岸带 ESV 时空变异分析流程图

Fig. 3 The flowchart of spatial-temporal variation analysis of coastal Ecosystem Services Values in Haikou city

Moran 散点图的横轴是各单元标准化处理后的属性值,纵轴为该单元与周围单元属性值的加权平均,即空间滞后因子。Moran 散点图的 4 个象限表达了空间单元与邻域的 4 种空间联系类型,分别为“高高”(HH)、“高低”(HL)、“低高”(LH)和“低低”(LL)。HH 类型和 LL 类型为正的空间自相关关系,表示空间单元和周边单元的空间差异程度小,而 HL 类型和 LH 类型为负的空间自相关关系,表示空间单元和周边单元的空间差异程度大。

空间联系局部指标值由局部 Moran's I 指数计算得到,计算公式为:

$$I_i = \frac{n(X_i - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \times \sum_j W(i,j) (X_j - \bar{X}) = z_i \sum_j W(i,j) z_j \quad (1)$$

式中, n 为研究对象的数目, X_i, X_j 为观测值, \bar{X} 为观测值的平均值, z_i 和 z_j 是区域 i 和 j 上观测值的标准化, $W(i, j)$ 为研究对象 i, j 之间的空间权重矩阵。 I_i 的值大于 0 表示存在正的局部空间自相关,空间单元高-高值或低-低值发生聚集; I_i 的值小于 0 表示存在负的局部空间自相关,空间单元高-低值或低-高值发生聚集。

在给定显著性水平 α 的情况下,可用标准化统计量对局部 Moran's I 指数的显著性进行检验,如公式(2)所示。

$$Z(I_i) = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{VAR(I_i)}} \quad (2)$$

式中, $Z(I_i)$ 表示 I_i 的标准化, $E(I_i)$ 表示 I_i 的数学期望, $VAR(I_i)$ 表示方差。

本文利用 Geoda095i 软件计算空间权重矩阵,绘制 Moran 散点图,计算局部 Moran's I 指数,并在显著性水平 $p=0.05$ 的情况下,利用 99 次置换方法对局部 Moran's I 指数进行显著性检验。

3 结果与分析

3.1 数据假设

本文基于前人的研究成果^[31-32],计算了海口市海岸带生物量因子调整系数。基于数据的可获得性,除农田、森林之外的其他生态系统的生物量水平未做调整,具体情况见表 3。

表 3 生态系统生物量因子调整系数及其基础数据

Table 3 Ecosystem biomass factor adjustment coefficient and its basic data

生态系统 Ecosystem	生物量因子调整系数 Biomass factor adjustment coefficient	基础数据 Basic data
农田 Cropland	0.72	我国不同省份农田生态系统生物量因子表 ^[31]
森林 Forest	3.03	主要森林生态系统类型净初级生产力总量表 ^[32]

关于海口市海岸带粮食产量的调整,考虑到本研究的重点以及数据的可得性,将海南省的粮食产量作为海口市海岸带的粮食产量来参与计算。表 4 是通过查阅海南省的各年份统计年鉴,计算得到的海南省各年份单位耕地面积的粮食生产情况,以此为基础得到海口市海岸带各年份的 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量 E_n 。

表 4 海南省各年份单位耕地面积粮食生产情况

Table 4 Food production of the unit of cultivated land area in Hainan province

年份 Year	年产量/kg Annual output	耕地面积/hm ² Cultivated land area	平均单产(kg/hm ²) The average per unit yield	E_n /元 E_n
1990	1689900000	560600	3014.448805	1283.294
1995	2154600000	559400	3851.626743	1639.693
2004	1965800000	482300	4075.886378	1735.163
2012	1995000000	425300	4690.806490	1996.943

3.2 生态系统服务价值评估结果分析

表 5 和图 4 显示了海口市海岸带生态系统的面积变化情况和分布变化情况。从表 5 可以看出,从 1990 至 2012 年,海口市生态系统的面积发生了很大的变化,变化最明显的是未利用地生态系统和水体生态系统。首先,未利用地生态系统减少了 89.27%,这体现了人类对未利用土地的开发力度。其次,水体生态系统增加了 63.72%,这和水产养殖面积的增大密切相关。

表 5 海口市海岸带各年份各生态系统面积(公顷)

Table 5 The area of various ecosystem in Haikou coastal zone(ha)

年份 Year	森林 Forest	农田 Cropland	湿地 Wetland	水体 Water body	未利用地 Unutilized land
1990	34458.40	36241.30	2137.35	4766.12	4844.99
1995	28565.10	34174.00	1422.81	6762.33	2171.97
2004	26780.80	32041.60	2053.80	6689.61	1003.41
2012	19462.70	30524.60	1697.22	7803.09	519.66

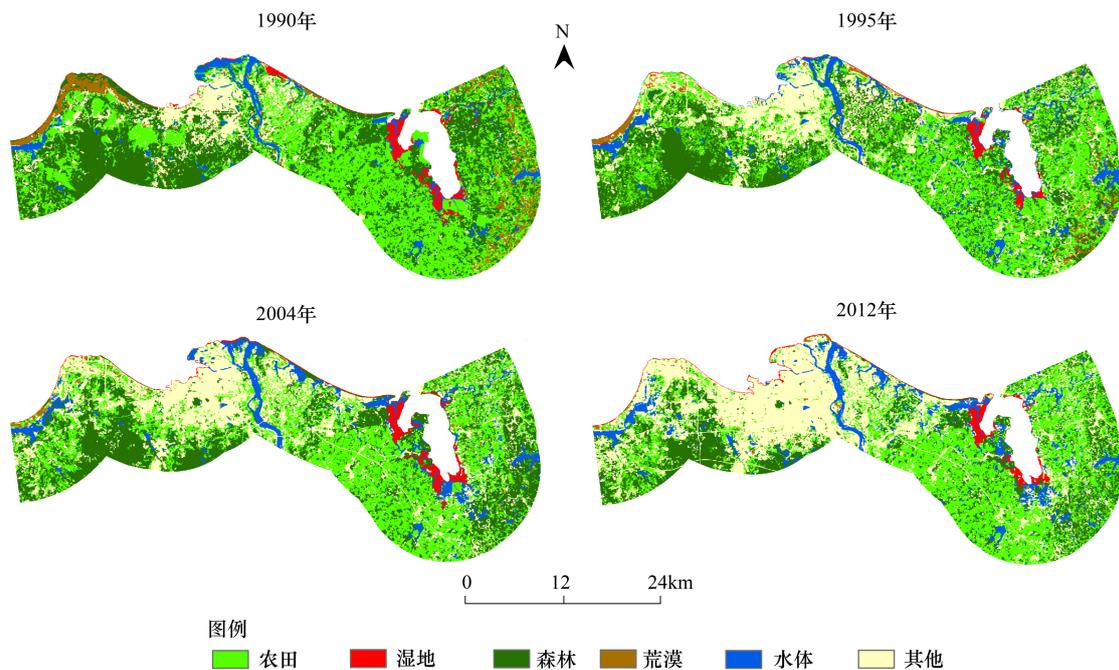


图 4 海口市海岸带生态系统分布图

Fig. 4 The distribution diagram of ecosystem in Haikou coastal zone

表 6 和图 5 显示的是海口市海岸带各年份生态系统服务价值情况。总体看来,对生态系统服务总价值贡献最大的是森林生态系统,其次是农田生态系统和水体生态系统。从时间角度来看,海口市海岸带生态系统服务总价值在 1990 至 2004 年之间处于增长趋势,在 2004 至 2012 年之间出现下降的情况。对于单个生态系统而言,水体生态系统的生态系统服务价值持续增加,未利用地生态系统的生态系统服务价值持续减少,而森林生态系统、农田生态系统和湿地生态系统的生态系统服务价值都处于有增有减的状态。

表 6 海口市海岸带各年份生态系统服务价值表(万元)

Table 6 Ecosystem services values in Haikou coastal zone(10^4 yuan)

年份 Year	森林 Forest	农田 Cropland	湿地 Wetland	水体 Water body	未利用地 Unutilized land	总计 Gross
1990	292826.53	32137.19	17200.40	28092.32	261.14	370517.58
1995	310161.11	38720.08	14630.06	50927.84	149.58	414588.67
2004	307718.08	38417.80	22347.82	53313.54	73.13	421870.38
2012	257370.05	42120.52	21254.00	71569.64	43.58	392357.79

3.3 生态系统服务价值时空变化总体特征

本研究利用 GIS 技术将生态系统服务总价值量化到每个格网,来分析生态系统服务价值的时空演变。图 6 为各年度生态系统服务价值的空间分布情况图。从空间角度来看,由于海口中心城区西面的森林覆盖率比较高,生态完整性好,所以生态服务价值高;东寨港周围分布有国家级的红树林保护区,人类活动干扰程度低,所以生态服务价值也较高;海口市中心城区人口密度高,城市化水平高,对自然生态系统的干扰程度大,所以生态服务价值低。从时间角度来看,1990—2012 年间,生态系统服务高值区域在不断缩小,且离散度变高,而低值区域以海口市中心城区为中心向周围不断扩张。

3.4 生态系统服务价值局部空间自相关分析

Moran 散点图(图 7)展现了区域单元和周围单元的空间联系形式,从图中可以看出,生态系统服务价值

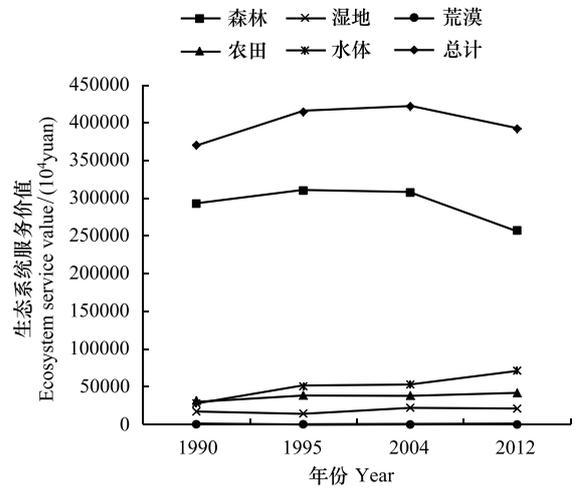


图 5 海口市海岸带生态系统服务价值变化情况
Fig. 5 Changes in ecosystem services values in Haikou coastal zone

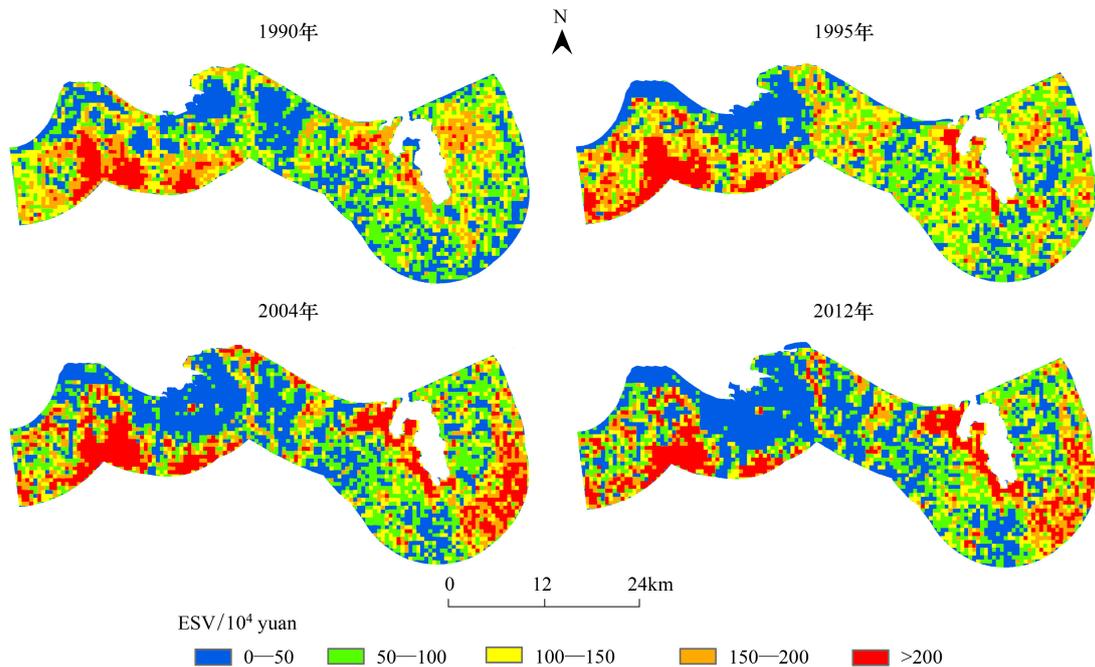


图 6 海口市海岸带生态系统服务价值空间分布
Fig. 6 The spatial distribution of ecosystem services values in Haikou coastal zone

散点主要分布在第一象限(HH)和第三象限(LL),第二象限(LH)和第四象限(HL)散点分布相对较少,说明生态系统服务价值具有较大的空间正相关性。从 1990 至 2012 年,沿趋势线分布的散点越来越多,散点与趋势线匹配的效果越来越好,这体现了自相关程度的增强。

LISA 聚类图(图 8A)是对 Moran 散点图中通过了显著性检验的区域单元的地理表达。可以看出,生态系统服务价值之间的空间集聚主要为空间相似值之间的集聚,空间奇异值极少,这印证了 Moran 散点图所揭示的空间正相关性。和生态系统服务价值的分布情况相一致,高值集聚区主要分布在中心城区西面和东寨港周围,低值集聚区主要是以中心城区为中心分布。

LISA 显著性水平图(图 8B)显示了和周围单元具有显著的空间联系的区域单元。从空间上看,大部分区

域的相关性不显著,主要在高值集聚区和低值集聚区表现出较高的显著性水平,显著性水平达到 0.01 的区域位于显著性水平达到 0.05 区域的中间位置。从时间上看,较高显著水平($p=0.01$)的区域面积呈增长趋势,主要发生在东寨港周围以及海口市中心城区周围,表明这部分区域的生态系统服务价值在空间分布上的差异性变小,空间趋同性增强。

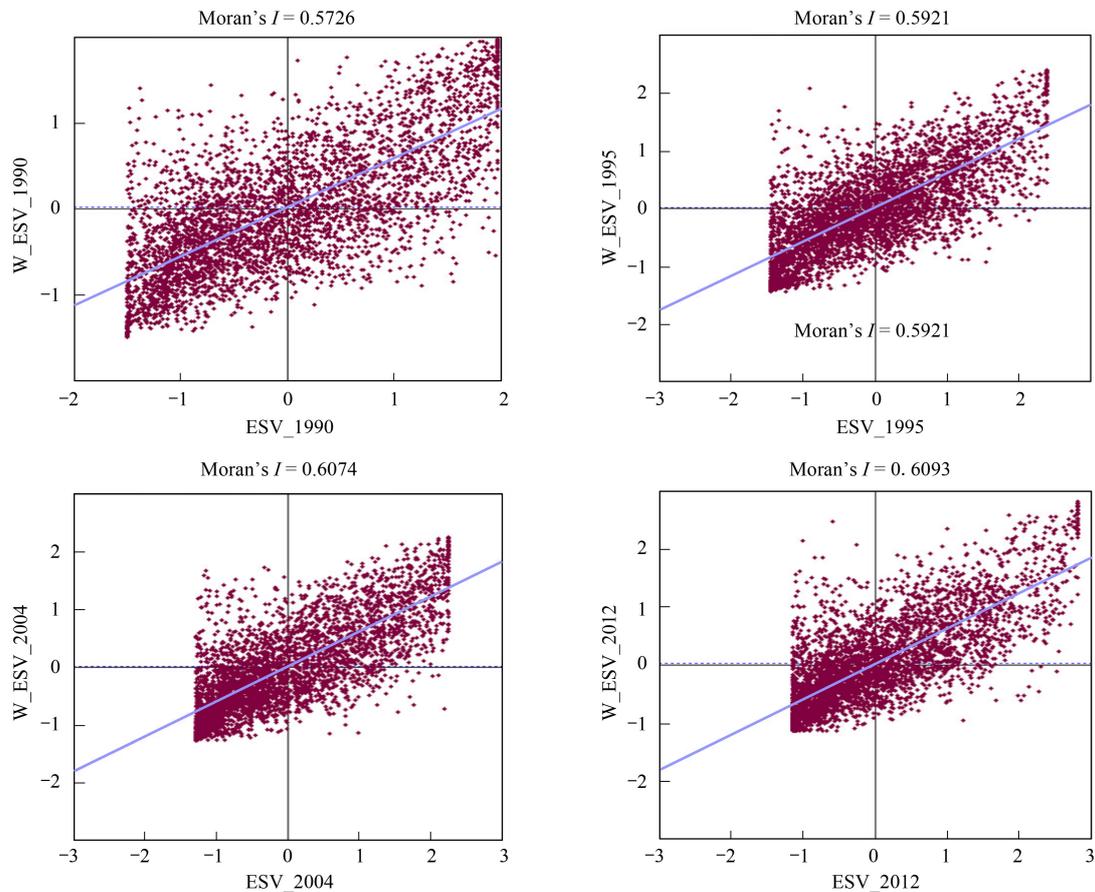


图7 海口市海岸带4个时期生态系统服务价值 Moran 散点图

Fig. 7 Moran scatter plots of the ecosystem services values in Haikou coastal zone

4 结论与讨论

本文在借鉴已有的研究成果基础之上,采用基于当量因子的生态系统服务价值评价方法,结合海口市海岸带的实际自然地理和社会经济情况,构建了海口市海岸带生态系统服务价值动态评估模型,并利用局部空间自相关模型,对生态系统服务价值的时空变异性进行研究。研究表明:

(1)海口市海岸带在1990、1995、2004和2012这四年的生态系统服务价值(ESV)分别为37.05亿元、41.46亿元、42.19亿元和39.24亿元。整体变化不大,但近年来ESV有所降低,生态环境出现退化趋势。

(2)海口市海岸带生态系统服务价值有显著的正空间相关性,空间集聚程度较高,高值区主要集中于中心城区西部和东寨港周围,低值区主要集中于中心城区;1990—2012年,高值区以中心城区为中心向四周辐射扩张,低值区在东寨港周围有所增加,而在中心城区西部有所减少。

本文在对生态系统服务价值的研究过程中不仅考虑到区域差异,而且实现了动态评估。在空间上,通过生物量指标对全国平均水平的生态系统服务价值当量因子表进行修订;在时间上,通过各年份的海南省粮食产量调整,实现生态系统服务价值的动态评估。此外,在对生态系统服务的时空变异研究方面,不同于大多数对生态系统服务价值分布格局的空间展示,本研究利用GIS空间分析的方法,对生态系统服务价值空间聚集

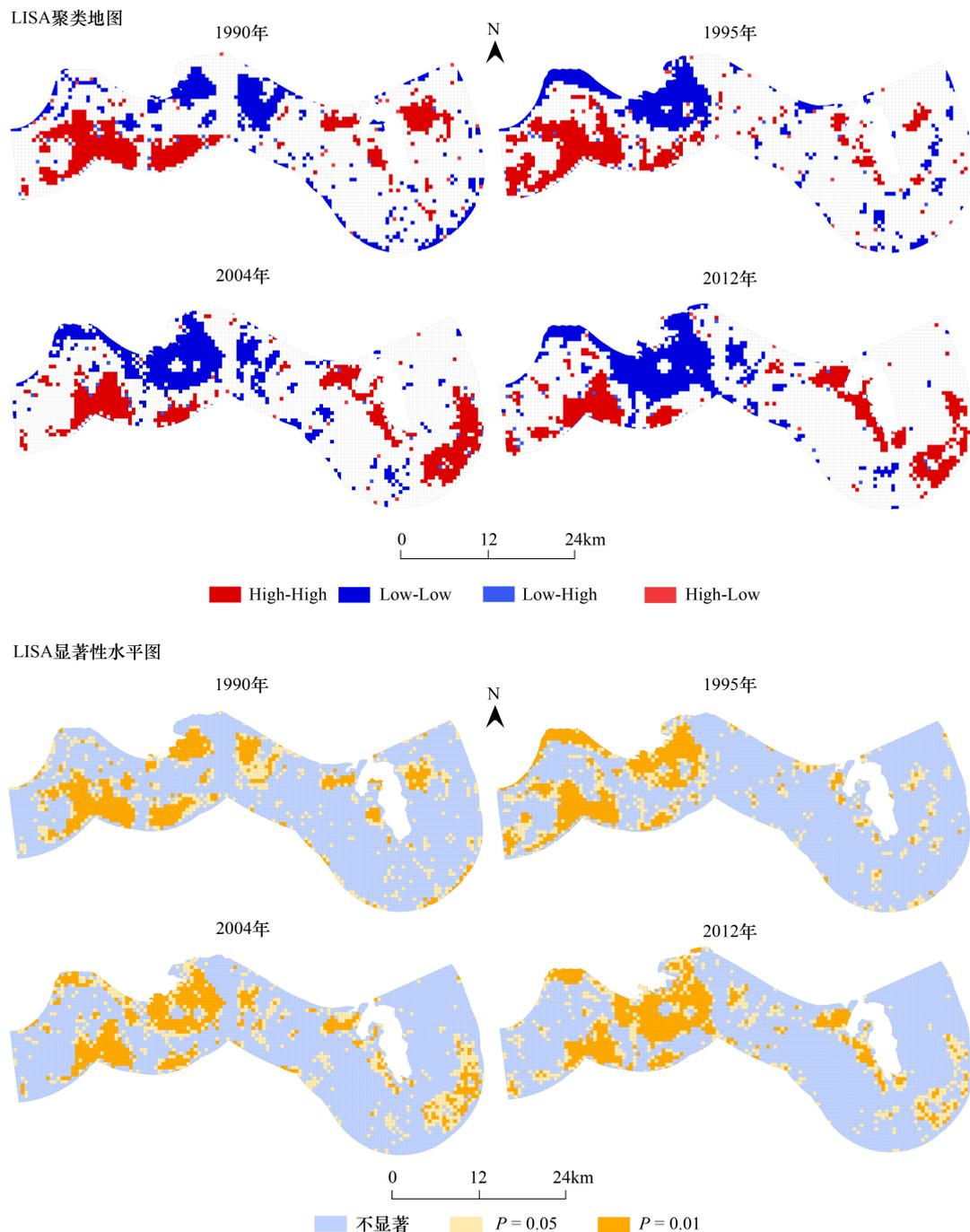


图8 海口市海岸带4个时期生态系统服务价值显著性检验:(A) LISA 聚类地图、(B) LISA 显著性水平图

Fig. 8 The significance testing of the ecosystem services values in Haikou coastal zone: (A) LISA cluster maps. (B) LISA significance level maps

规律和空间关联模式的动态变化进行定量研究。

本研究也存在着一些不足之处。首先,本文是从土地利用角度来估算生态系统服务价值,所以对土地利用类型的解译精度要求较高。其次,由于中国陆地生态系统服务价值当量表是以全国民众对各项服务的生态服务的可能的支付意愿和支付能力为基础的,所以在构建地区生态系统服务价值评估的模型中,需要考虑到当地对各项生态系统服务的支付意愿和支付能力。受限于数据来源的局限,本研究对这些因素考虑不足,有待进一步发展和改进。

参考文献 (References):

- [1] Daily G C. Nature's Services: Social Dependence on Nature Ecosystems. Washington: Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [3] 陈伟琪, 王莹. 围填海造成的海岸带生态系统服务损耗的货币化评估技术探讨. *海洋环境科学*, 2009, 28(6): 749-754.
- [4] 索安宁, 于永海, 韩富伟. 环渤海海岸带生态服务价值功能评价. *海洋开发与管理*, 2011, 28(7): 67-73.
- [5] Costanza R, Arge R, Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [6] Bateman I J, Harwood A R, Mace G M, Watson R T, Abson D J, Andrews B, Binner A, Crowe A, Day B H, Dugdale S, Fezzi C, Foden J, Hadley D, Haines-Young R, Hulme M, Kontoleon A, Lovett A A, Munday P, Pascual U, Paterson J, Perino G, Sen A, Siriwardena G, van Soest D, Termansen M. Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom. *Science*, 2013, 341(6141): 45-50.
- [7] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [8] Fisher B, Polasky S, Sterner T. Conservation and human welfare: economic analysis of ecosystem services. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 151-159.
- [9] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan K M, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [10] Polasky S, Nelson E, Pennington D, Johnson K A. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [11] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [12] Raudsepp-Heame C, Peterson G D, Tengö M, Bennett E M, Holland T, Benessaiah K, MacDonald G K, Pfeifer L. Untangling the environmentalist's paradox: why is human well-being increasing as ecosystem services degrade?. *BioScience*, 2010, 60(8): 576-589.
- [13] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 刘江. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响. *地理学报*, 2010, 65(6): 708-714.
- [14] 吕一河, 张立伟, 王江磊. 生态系统及其服务保护评估: 指标与方法. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1237-1243.
- [15] 窦玥, 戴尔阜, 吴绍洪. 区域土地利用变化对生态系统脆弱性影响评估——以广州市花都区为例. *地理研究*, 2012, 31(2): 311-322.
- [16] 吴霜, 延晓冬, 张丽娟. 中国森林生态系统能值与服务功能价值的关系. *地理学报*, 2014, 69(3): 334-342.
- [17] 石洪华, 郑伟, 丁德文, 吕吉斌, 张学雷. 典型海洋生态系统服务功能及价值评估——以桑沟湾为例. *海洋环境科学*, 2008, 27(2): 101-104.
- [18] 陈春阳, 陶泽兴, 王焕炯, 戴君虎. 三江源地区草地生态系统服务价值评估. *地理科学进展*, 2012, 31(7): 978-984.
- [19] 陈为国, 许文杰. 湖泊生态系统服务功能影响因子分析与评价研究. *节水灌溉*, 2010(12): 35-37.
- [20] 李景文, 范树阳. 达里诺尔国家级自然保护区生物多样性保护功能价值评估研究. *内蒙古环境科学*, 2009, 21(6): 110-115.
- [21] 饶恩明, 肖焱, 欧阳志云, 郑华. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素. *生态学报*, 2013, 33(3): 746-755.
- [22] 肖滋民, 王立华, 郝亮, 吴丽云. 潍坊市城市绿地生态系统环境净化服务价值研究. *湖北农业科学*, 2011, 50(19): 3929-3933.
- [23] 黄云凤, 崔胜辉, 石龙宇. 半城市化地区生态系统服务对土地利用/覆被变化的响应. *地理科学进展*, 2012, 31(5): 551-560.
- [24] 索安宁, 于永海, 韩富伟. 辽河三角洲盘锦湿地景观格局变化的生态系统服务价值响应. *生态经济*, 2011(6): 147-151.
- [25] 吕一河, 马志敏, 傅伯杰, 高光耀. 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估. *生态学报*, 2013, 33(4): 1153-1159.
- [26] Fu B, Wang S, Su C H, Forsius M. Linking ecosystem processes and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(1): 4-10.
- [27] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [28] 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进. *地理研究*, 2009, 28(6): 1449-1463.
- [29] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [30] 艾志华. 潜江市土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.
- [31] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 鲁春霞. 我国粮食生产的生态服务价值研究. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 10-13.
- [32] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480-491.