

曹君,张正栋,崔峰艳,等. 1996—2015年纽约湾区生态系统服务对景观格局变化的响应. 世界地理研究, 2021, 30(4): 826-838. [CAO Jun, ZHANG Zhengdong, CUI fengyan, et al. Response of ecosystem services to landscape pattern changes in the New York Bay Area from 1996 to 2015. World Regional Studies, 2021, 30(4): 826-838.]
DOI: 10.3969/j.issn.1004-9479.2021.04.2020124

1996—2015年纽约湾区生态系统服务对景观格局变化的响应

曹君¹,张正栋¹,崔峰艳¹,陈宋佳¹,杨阳²,匡腾飞³,陈裕婵⁴

(1. 华南师范大学地理科学学院, 广州 510631; 2. 广东省生态环境监测中心, 广州 510308; 3. 深圳市城市规划设计研究院, 深圳 518031; 4. 中山大学大气科学学院, 广州 519082)

摘要:生态系统服务价值对景观格局演变的响应研究已成为地理学、生态学等领域的研究热点。以纽约湾区为研究区,利用1996—2015年土地覆被数据和数字高程数据,采用生态系统服务价值当量估算法、景观格局指数、空间自相关分析等方法,分析1996—2015年湾区景观格局的时空演变规律,定量评估研究区生态系统服务价值,探讨纽约湾区生态系统服务价值对景观格局变化的响应。结果表明:①纽约湾区景观以林地和建设用地为主,其整体变化幅度较小,20年间湿地面积减少约10.94%,而建设用地增长幅度较高,约25.91%。②纽约湾区1996—2015年间ESV总量呈逐步减少,20年间共减少57.83亿元,2000—2005年间下降幅度较大约1.69%。③湾区ESV空间异质性较强,不同地区ESV增减所对应的土地利用转移各有差异。湾区南部热点区多出现湿地增加,而北部则以水域、草地增加为主。湾区西部冷点区多为湿地转林地的现象,而中部冷点区则以建设用地增加为主。④除建设用地外,湾区其余地类均呈现人为干预越少,景观结合度、聚集度越高,越有利于提升湾区整体的生态系统服务价值的规律。⑤纽约湾区ESV强度与土地利用程度(La)的空间关联性较弱,且湾区生态环境质量逐年下降。研究结果希望对世界级大湾区环境资源利用率的提升研究具有借鉴意义。

关键词:生态系统服务价值;景观格局;纽约湾区;土地利用

0 引言

生态系统服务(Ecological Service Values, ESV)是指人们和社会从自然生态系统中获得的利益,是生态系统保护的重要概念^[1-3],其作为衡量生态系统的功能状况和研究人地关系的重要实践领域,成为近年来生态和地理学领域的研究热点^[4-6]。目前,国内外对于生态系统服务价值的评估的研究已趋于成熟。Costanza等^[1]于1997年在全球尺度上提出生态系统服务功能划分标准和价值评估体系,谢高地等^[7,8]在其研究基础上提出了“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”,赵同谦^[9]、刘兴元^[10]、赵荣钦^[11]和江波等^[12]从中国森林、草地、农田和湿地等单一地类角度提出ESV的评价指标体系,也有学者对ESV评估方法进行探讨和案例研究^[14-16],但绝大多数仍以谢高地等人提出的单位面积价值当量表为基础进

收稿日期:2020-03-05; 修订日期:2020-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(41471147)。

作者简介:曹君(1997-),女,硕士研究生,研究方向为景观格局与生态系统服务研究,E-mail: jun_xht@126.com。

通讯作者:张正栋(1968-),男,博士,教授,主要从事景观格局与生态系统服务研究,E-mail: zhangzdedu@163.com。

行研究。考虑到基于单项服务功能的评价目前还没有学术界普遍接受的ESV评估体系^[13],且难以量化景观文化服务价值,因此本文选用国际大尺度研究通用的当量因子法进行纽约湾区的价值评估。

近年来,据估计,复杂的人类活动导致大范围土地覆被改变的面积占地球陆地表面的一半,并威胁到地球三分之二的生态系统服务^[17],其中自然地球地表向城市用途的转化是人类对地球生物圈最不可逆转的影响之一,它造成农田损失,影响当地气候,破坏生物的栖息地和多样性^[18]。因此深入探讨土地利用景观格局演变对生态系统服务价值的影响显得尤为重要^[19]。国内外关于土地利用变化对ESV影响的研究已有较为丰硕的成果^[20,21],Arowolo^[22]、封建民等^[23]根据价值转移法定量评估土地利用动态变化对ESV的响应,韩增林^[24]、李青圃^[25]和王金凤等^[26]从生态安全格局角度研究生态系统服务价值的时空演变规律,雷金睿^[27]和黄易木等^[28]运用不同尺度的格网空间研究土地利用与生态系统服务的空间自相关性。此类研究多从地类面积变化角度深入,但未进一步突出区域内部的差异性。同时在探讨生态系统服务的响应机制时,大多数学者从土地利用或景观格局指数等单方面与ESV进行相关性分析,对研究区的景观格局把握不够完整。为此本文从土地利用转移矩阵、景观格局指数和土地利用程度三方面深入探讨生态系统服务价值对景观格局演变的响应。

纽约湾区依靠“拥海、抱湾、通河、聚城”的区位优势,凭借金融等现代服务业优势迅速发展,已成为国际经济重要增长极^[29]。因此本研究在分析湾区的生态系统服务的时空演变特征的基础上,综合土地利用转移矩阵、景观格局指数和土地利用程度等多方面探讨景观格局演变对其生态系统服务价值的影响规律,以期为国内大湾区的空间规划与土地资源利用提供科学参考,同时对世界级大湾区生态环境的可持续发展研究具有重要的借鉴意义。

1 研究区概况与数据来源

1.1 纽约湾区

纽约湾区位于39. 51°N~42. 18°N,71. 86°W~75. 99°W之间,总面积3. 7×10⁴km²,包括纽约大都市区,由纽约州、康涅狄格州、新泽西州、宾夕法尼亚州等所属的35个县联合组成(图1)。纽约港宽度、深浅适当,是西半球最优良的海港,素有“世界湾区之首”的称号。纽约湾区属温带大陆性气候,四季分明,雨水充沛,气候宜人,年平均降水量820~1100毫米,冬寒夏凉。湾区地形复杂,以高原和山地为主,西北部高地为阿巴拉契亚高原,哈德逊河纵贯湾区北部直达纽约港口,是纽约州重要航道之一。纽约湾区于1996年出台第三次规划,其核心为“重建3E—经济、公平和环境”,实施“绿地方略”,对自然资源和环境进行系统性保护,提高纽约湾区的宜居性,同时制定《水供应法》等湾区环境相关政策及标准,以保障环境管理的有效性与高效性^[30]。

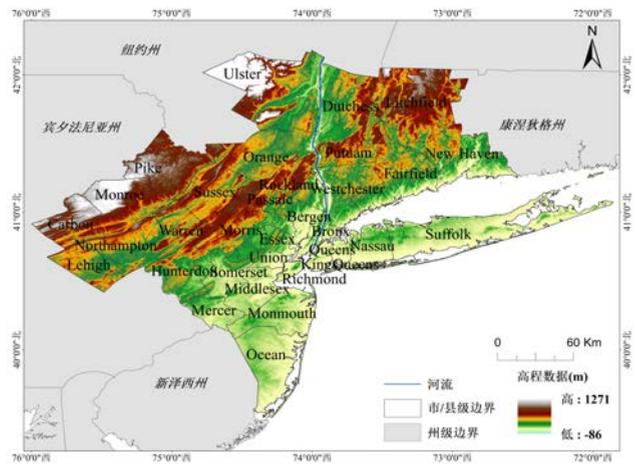


图1 纽约湾区区位图

Fig.1 Location of New York Bay Area

1.2 数据来源

研究数据包括纽约湾区的土地利用数据和数字高程数据。①土地利用数据:选取1996、2000、2005、2010、2015年的土地利用数据,来源于欧空局(ESA)CCI_LC项目所提供的全球土地覆被栅格数据,分辨率为300m,ESA数据采用美国食品和农业组织的地表覆盖分类系统(UN Food and Agriculture Organization's Land Cover Classification)作为土地覆被的分类标准。为此本研究参考《土地利用现状分类》<GB/T21010-2007>标准,结合湾区实际与研究需要,将原土地覆被类型划分为耕地、林地、草地、水域、湿地、建设用地、未利用地7类;借助ArcGIS10.2的创建渔网工具将研究区划分为1km×1km的网格单元,纽约湾区共计37727个网格单元,并统计网格内各土地利用类型面积占比,便于后期生态系统服务价值和土地利用程度综合指数的计算。②DEM数据:采用GDEM V2的数字高程数据,分辨率为30m,来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)。

2 研究方法

2.1 生态系统服务价值估算

目前生态系统服务价值估算法主要包括基于土地利用/土地覆被面积的当量因子法、模型综合法和遥感定量法。本文采用Costanza等^[1]人提出的当量因子法, Costanza等利用生物量和土地覆被面积计算出的单位面积生态系统服务价值当量表,核算了全球尺度的生态系统服务价值,并于2014年对单位面积参数进一步修正(表1)。生态系统服务价值计算公式如下^[1]:

$$ESV = \sum_{i=1}^n A_k \times VC_k \quad (1)$$

为消除行政区边界网格面积不均导致的生态系统服务价值过低差异,计算各网格的生态系统服务价值强度:

$$\bar{V}_{ESV} = \frac{V_{ESV}}{S} \quad (2)$$

式中:ESV为生态系统服务总价值; A_k 为研究区内土地利用类型 k 的分布面积(hm^2); VC_k 为土地利用类型 k 单位面积生态系统服务价值系数(元/ hm^2a); n 为土地利用类型数量; \bar{V}_{ESV} 为各网格的生态系统服务价值强度; V_{ESV} 是各网格的生态系统服务价值; S 为每个网格的面积。

2.2 土地利用程度综合指数评价体系

土地利用程度综合指数可在一定层面上反映人类活动对环境的干扰程度,根据庄大方、刘纪远等^[31]于1997年提出的一种数量化土地利用程度分析方法,即将土地利用程度按照土地自然综合体在社会等人为因素影响下自然平衡保持状态分为4级,并分级赋予指数(表2),从而给出土地利用程度的定量表达。土地利用程度综合指数的计算公式如下:

$$La = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (3)$$

表1 研究区土地利用类型生态系统服务价值系数(单位:元/ hm^2a)
Tab.1 Ecosystem service value coefficients of land use type(yuan/ hm^2a)

土地利用类型	生态系统服务价值系数	土地利用类型	生态系统服务价值系数
耕地(Cropland)	41753	湿地(Wetland)	1051305
林地(Forestland)	40365	建设用地(Urban)	49958
草地(Grassland)	31245	未利用地(Unutilized land)	0
水域(Water)	93840		

式中, L_a 为土地利用程度综合指数, A_i 为第 i 级的土地利用程度分级指数, C_i 第 i 级土地利用程度分级面积百分比。计算每个网格单元的土地利用程度综合指数时加入各土地利用类型的面积权重进行计算。

表 2 土地利用程度分级赋值表

Tab.2 The classification values of land use degree

类型	未利用地	林、草、水用地	农业用地	城镇聚落地
土地利用类型	未利用地或难用地	林地、草地、湿地、水域	耕地、园地、人工草地	城镇、居民点、工矿用地、交通用地
分级指数	1	2	3	4

2.3 生态系统服务价值变化的冷、热点局域空间关联性分析

运用 ArcGIS10.2 热点分析的 Getis-Ord G_i^* 指数对湾区 1996、2015 年的生态系统服务价值变化进行冷、热点的局域关联性分析, 运用空间叠加分析方法探讨冷、热点区域内发生的土地利用类型转移情况, 分析土地利用变化对 ESV 影响的空间异质性特征。计算公式^[32]为:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n W_{ij}(d) x_i}{\sum_j^n x_i} \quad (4)$$

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{Var(G_i^*)}} \quad (5)$$

式中, $E(G_i^*)$ 和 $Var(G_i^*)$ 分别是 (G_i^*) 的数学期望和方差, W_{ij} 为空间权重。当 $Z(G_i^*) > 1.96$ 时, 表示为 ESV 变化的热点区; 当 $Z(G_i^*)$ 介于 1.65~1.96 时为 ESV 次热点区; 当 $Z(G_i^*)$ 介于 -1.65~-1.65 时为 ESV 不显著变化区; 当 $Z(G_i^*)$ 介于 -1.96~-1.65 时为 ESV 次冷点区; 当 $Z(G_i^*) < -1.96$ 时为 ESV 冷点区。

2.4 景观格局指数的选取

景观格局指数能够高度浓缩景观格局信息, 反映景观结构组成和空间配置, 定量描述景观格局演变及其对生态过程的影响, 是景观格局时空特征的重要研究手段^[33]。根据研究区域的多样性以及数据的栅格格网属性, 本文从斑块类型尺度筛选相关指数, 就“面积-边缘”“形状”“聚集度”三个方面选取 6 种指数^[34]: 斑块密度 (PD)、平均斑块面积 ($AREA_MN$)、面积加权平均斑块分形维数 ($FRAC_AM$)、斑块结合度指数 ($COHESION$)、景观分割度指数 ($DI-VISION$) 和斑块聚集度指数 (AI), 运用 Fragststs4.2 软件导入纽约湾区的五期栅格数据, 得到 1996—2015 年长时间序列下的整体景观指数以及各地类的景观指数结果, 将两组结果数据与湾区各地类 ESV 值输入 SPSS 软件中, 通过双变量相关分析计算各地类 ESV 与景观格局指数之间的相关系数。

2.5 空间自相关分析

空间自相关分析衡量变量的空间分布是否具有集聚性, 包括全局空间自相关和局部空间自相关两部分^[35,36]。本文采用 Anselin^[37]提出的双变量空间自相关法中的全局、局部分析, 运用 GeoDa 空间分析工具, 建立空间距离权重矩阵, 探讨纽约湾区的生态系统服务价值与土地利用程度的空间关联程度以及空间异质性。全局 Moran's I 指数的计算公式^[28]为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2(\sum_i \sum_j w_{ij})} \quad (6)$$

局部空间自相关指标采用局部 Moran's I 统计进行度量, 计算公式为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{S^2} \quad (7)$$

(6)、(7)式中, n 是空间单元数量, x_i 和 x_j 分别表示单元 i 和 j 的观测值, $(x_i - \bar{x})$ 是第 i 个空间单元上的观测值与平均值的偏差, w_{ij} 是基于空间 k 邻接关系建立的空间权重矩阵, 方差 $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化时空格局

由图2、表3可知, 1996—2015年间纽约湾区景观以林地和建设用地为主, 耕地面积仅占其总面积0.4%左右, 且逐年减少, 分散分布于哈德逊河谷地以及海岸平原一带。林地大面积分布于湾区西部的阿巴拉契亚高原以及康涅狄格州西部的伯克希尔山区一带, 1996年面积占比为61.6%, 20年间共减少1191.20km²; 建设用地大面积分布于新泽西州北部, 长岛中西部以及纽约州南部等地, 20年间面积占比从14.35%增加到18.07%。草地主要分布于纽约州南部的哈德逊河谷地以及湾区西南部地区, 其占地面积先增加后下降, 2005年达到峰值, 20年面积共减少106.31km²。湾区水域面积主要为哈德逊河所在地, 纵贯纽约湾区中部, 20年间水域面积缓慢增长, 沿河土地被河流冲刷侵蚀, 至2015年水域面积增加1.36%。湾区湿地面积则逐年减少, 20年共减少72.10km², 变化幅度高达10.94%, 主要分布于长岛南部沿岸以及湾区南部的沿海地区, 新泽西州北部也有少量分布。

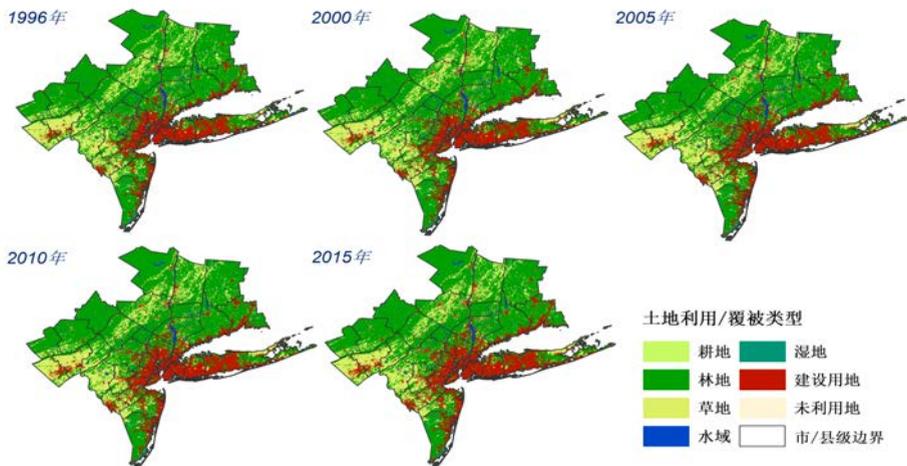


图2 1996—2015年纽约湾区土地利用状况图

Fig.2 Land use types of New York Bay Area from 1996 to 2015

3.2 生态系统服务价值时空变化特征分析

由图3、表4可知, 1996—2015年纽约湾区的ESV总值呈缓慢下降的趋势, 20年间共减少了57.83亿元, 2000—2005年间下降幅度较快, 约为1.69%。湾区ESV高值区主要分布在湾区南部海洋县沿海以及北部地区, 新泽西州北部的米德尔赛克斯郡以及摩里斯县、纽约市

表3 1996—2015年纽约湾区土地利用面积变化表

Tab.3 Land use area change of New York Bar Area from 1996 to 2015

景观类型	1996年		2000年		2005年		2010年		2015年		1996—2015 变化量 /km ²
	面积 /km ²	占比 /%									
耕地	168.14	0.45	162.65	0.44	156.48	0.42	146.67	0.39	143.91	0.39	-24.23
林地	22902.90	61.57	22582.10	60.70	22306.30	59.96	21936.90	58.97	21711.70	58.36	-1191.20
草地	7015.48	18.86	7042.35	18.93	7025.22	18.88	6977.36	18.76	6909.17	18.57	-106.31
水域	1019.93	2.74	1028.84	2.77	1028.45	2.76	1037.09	2.79	1033.85	2.78	13.92
湿地	658.86	1.77	651.74	1.75	611.51	1.64	595.33	1.60	586.77	1.58	-72.10
建设用地	5339.02	14.35	5637.65	15.15	5977.83	16.07	6412.79	17.24	6721.71	18.07	1382.69
未利用地	96.03	0.26	94.99	0.26	94.55	0.25	94.19	0.25	93.17	0.25	-2.85
总值	37200.36	100	37200.32	100	37200.33	100	37200.34	100	37200.28	100	-0.08

等地同样是高值聚集地,在湾区西北阿巴拉契亚高原一带也有零碎分布,但20年间呈缓慢减少趋势,同样分布于湾区北部阿尔斯特县和利奇菲尔德县一带的高值区也明显减少。湾区ESV低值区则主要分布在湾区西南部地区以及哈德逊河谷地一带,20年间无明显变化,而位于湾区腹地建设用地的ESV呈明显下降趋势。

1996—2015年间,耕地和湿地的ESV贡献占比逐年减少,湿地ESV减少率高达3.44%。林地的ESV贡献占比则呈“下降—上升—下降”的变化趋势,总体价值减少率为2.17%。草地ESV贡献占比在1996—2015年间快速上升,2005—2015年间则缓慢下降,20年间贡献占比增长0.11%,但其ESV总值相比1996年实际减少近3.32亿元。水域和建设用地的ESV贡献占比均呈上升趋势,其增长率分别为0.06%、3.13%。

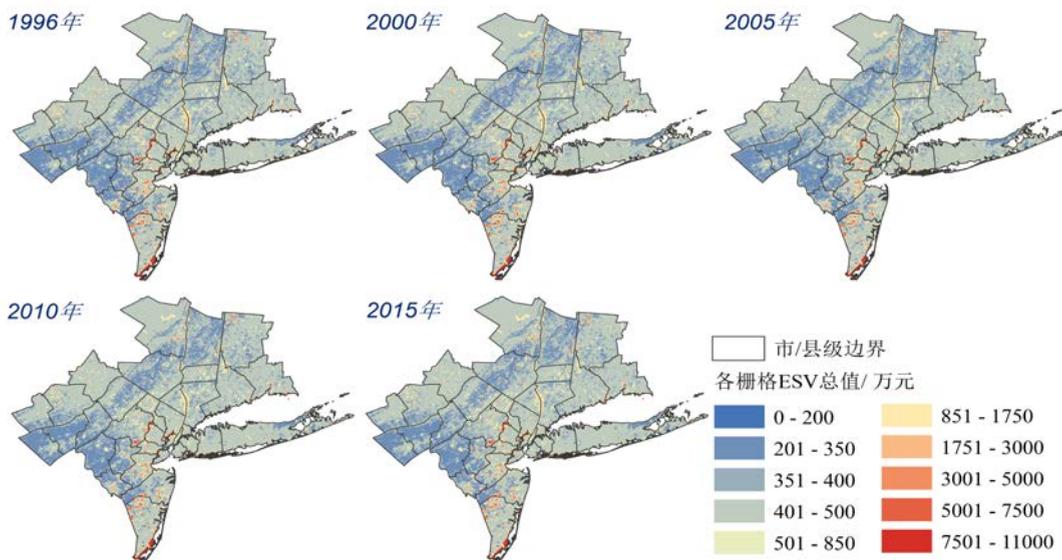


图3 1996—2015年纽约湾区生态系统服务价值空间分布

Fig.3 The spatial distribution of ecosystem service value in New York Bar Area from 1996 to 2015

表4 1996—2015年纽约湾区各地类ESV变化以及贡献率

Tab.4 The contribution rate and changes of ESV in land use types of New York Bar Area from 1996 to 2015

景观类型	1996		2000		2005		2010		2015		研究期 变化量 /亿元
	ESV /亿元	贡献 比例 /%									
耕地	7.02	0.32	6.79	0.31	6.53	0.30	6.12	0.28	6.01	0.28	-1.01
林地	924.48	41.91	911.53	41.40	900.39	41.60	885.48	41.12	876.39	40.80	-48.08
草地	219.20	9.94	220.04	9.99	219.50	10.14	218.01	10.12	215.88	10.05	-3.32
水域	95.71	4.34	96.55	4.39	96.51	4.46	97.32	4.52	97.02	4.52	1.31
湿地	692.66	31.40	685.18	31.12	642.88	29.70	625.88	29.07	616.87	28.72	-75.80
建设用地	266.73	12.09	281.65	12.79	298.64	13.80	320.37	14.88	335.80	15.63	69.08
未利用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
总值	2205.80	100	2201.73	100	2164.46	100	2153.18	100	2147.97	100	-57.83
单位面积 ESV值	59295.60		59186.16		58184.37		57881.21		57741.08		-1554.52

3.3 生态系统服务价值对景观格局演变的响应

从土地利用转移矩阵、景观格局指数和土地利用程度三方面运用冷/热点分析、相关性分析以及双变量空间自相关分析等方法探讨景观格局演变对生态系统服务价值的影响。

3.3.1 空间叠加分析 由图4可见,纽约湾区ESV变化热点分布较边缘。位于湾区南部海洋县(E区)的热点分布区域出现部分水域、林地覆盖地转为湿地,部分建设用地、未利用地转为草地。海洋县北部则多出现林地转湿地、草地转为建设用地。湾区北部奥兰治县的热点区域主要出现林地转为水域、建设用地。阿尔斯特县发生的土地利用转移类型较复杂,主要表现为耕地、林地转向草地,湿地面积增加等。中岛南部沿海(D区)的热点地区出现大片草地、建设用地转向湿地、水域。

湾区ESV变化冷点分布较分散。位于湾区腹地(A区)的冷点地区土地利用变化情况较复杂,以大面积湿地转为草地,部分建设用地转为草地为主,同时部分林地转为建设用地,但变化程度低于湿地的退化程度,因此ESV总值整体呈大幅度减少。新泽西州的米德尔塞克斯郡以及纽约州的埃塞克斯郡、纽约市等地(A区)大面积水域、湿地和草地覆盖区转为建设用地。海洋县北部冷点区域主要为湿地、林地和草地转为建设用地。湾区西部的阿巴拉契亚高原(B区)与北部的利奇菲尔德县的冷点分布区域均以湿地转为林地、草地为主,且阿巴拉契亚高原部分林地转为草地。康涅狄格州南部沿海地区(C区)的冷点区域主要为湿地、林地和草地转为建设用地、耕地。

3.3.2 相关性分析 由表5可知,纽约湾区ESV总量与AREA_MN、FRAC_AM、COHESION、AI在95%的置信水平下呈显著正相关,与DIVISION呈显著负相关关系,与PD相关性不显著。

除建设用地外其他景观类型与AREA_MN、FRAC_AM、COHESION和AI均呈正相关关系,与DIVISION呈负相关关系。表明纽约湾区的自然或半自然景观的格局均表现出人为干扰越少、景观连通度越强且分割程度越低,越有利于提升景观生态系统服务价值的规律。由

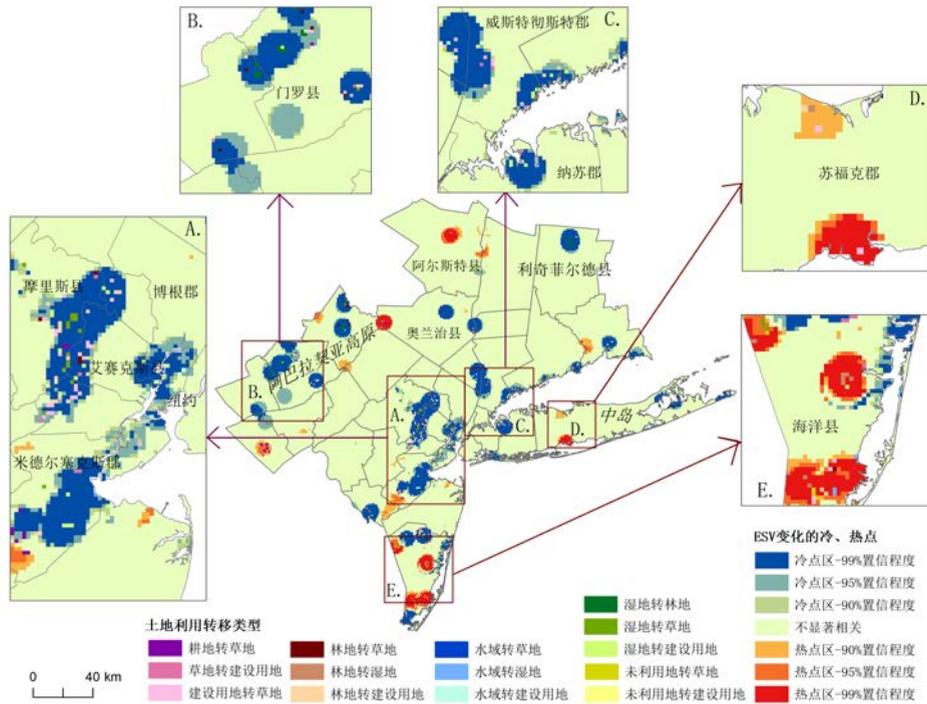


图4 纽约湾区叠加分析图

Fig.4 Superimposed analysis map of New York Bay Area

耕地、林地、草地和湿地ESV总值逐年减少的趋势可知,耕地、林地、草地和湿地景观均呈现景观连通度减弱,同时受人类活动影响加重,斑块分割程度严重的现象。建设用地ESV对平均斑块面积和斑块分割度较敏感,同时与 $FRAC_AM$ 、 $COHESION$ 呈正相关,与 $AREA_MN$ 、 $DIVISION$ 和 AI 均呈负相关关系,表明20年间建设用地景观连通度增强,而受人类活动干扰程度和斑块分割程度减弱。

耕地和湿地与 PD 在90%的置信水平下呈显著正相关,林地、草地和水域与 PD 呈负相关,同时林地和湿地ESV对于景观斑块密度变化敏感性较高。数据结果表明耕地与湿地景观的斑块密度增加和联通有利于提高地区粮食产值或有利于野生物种群落的迁徙和繁衍,但是20年间纽约湾区的耕地和湿地受城镇扩建影响,面积大幅度减少,斑块密度降低。且湾区林地和草地面积占比大幅减少,景观斑块碎片化加重,不利于物种迁徙流动。而湾区的水域景观则由于面积增加导致斑块密度增加。

3.3.3 双变量空间自相关分析 图4中ESV强度大且土地利用程度高的斑块归为“高-高集聚”类,ESV强度大但土地利用程度低的斑块归为“高-低集聚”类,ESV强度低且土地利用程度低的斑块归为“低-低集聚”类,ESV强度低但土地利用程度高的斑块归为“低-高集聚”类。为了便于分析各类栅格的数量变化,将其栅格数占比生成如下表6的对比表。

由图5、表6可知,1996—2015年纽约湾区ESV强度与 La 的全局Moran's I指数均为正数,且指数值逐年增强,但其绝对值均趋近于零,表示两者在空间上关联性较弱。主要是因为湾区经济的快速发展,使人类活动干扰辐射范围逐渐扩大,一定程度上加剧了自然生态系统的破碎化,破坏了其稳态结构。分析发现“高-高集聚”类斑块以水域和建设用地的混合区

域为主,而“低-低集聚”类斑块以林地为主。对比土地利用面积及各地类ESV贡献比发现,湾区建设用和林地占地面积较大同时也是ESV贡献主力,因此对全局相关性造成了较大影响。

表5 各地类ESV与各景观格局指数的相关性指数

Tab.5 Correlation index between ESV and landscape pattern index

纽约湾区	<i>PD</i>	<i>AREA_MN</i>	<i>FRAC_AM</i>	<i>COHESION</i>	<i>DIVISION</i>	<i>AI</i>
ESV总值	0.427*	0.757**	0.611**	0.525**	-0.725**	0.590**
耕地	0.947*	0.975**	0.941*	0.963**	.c	0.962**
林地	-0.986**	0.995**	0.886*	0.907*	-0.908*	0.76
草地	-0.917*	0.953*	0.934*	0.975**	-0.981**	0.965**
水域	-0.931*	0.976**	0.858	0.879*	-0.819	0.944*
湿地	0.974**	0.943*	0.994**	0.972**	.c	0.242
建设用地	0.735	-0.029	0.928*	0.869	-0.947*	-0.031

注:1) *、**分别表示在0.05和0.01水平上显著;2) c表示不能计算,因为至少有一个变量保持不变。

表6 1996—2015年纽约湾区各集聚类型斑块占比

Tab.6 The proportion of plaques of each cluster type in New York Bay Area from 1996 to 2015

年份	Not Sigenificant	High-High	Low-Low	Low-High	High-Low	全局 Moran'I
1996年	9.19%	3.59%	63.11%	19.52%	4.59%	0.081
2000年	9.30%	3.71%	62.04%	20.48%	4.47%	0.084
2005年	9.10%	3.74%	61.51%	21.41%	4.25%	0.086
2010年	8.80%	3.77%	60.78%	22.45%	4.21%	0.087
2015年	8.72%	3.81%	60.11%	23.21%	4.15%	0.087
变化趋势	↓	↑	↓	↑	↓	↑

由图5的空间布局可见,纽约湾区集聚类型斑块较为完整,连通度较高。其中“高-高集聚”类主要分布于新泽西州东海岸以及北部与康涅狄格州、纽约州的三州交汇之地,长岛沿岸也有少量零散分布,多出现于建设用地与湿地、水域的混合地区,20年间斑块占比呈持续增加状态,但原集聚区变化不大,仅表现为向外扩张的趋势。“高-低集聚”类分布最为广泛且零散,分布于纽约湾区北部、西部和新泽西州海洋县西部等地,斑块占比逐年减少,多分布于河流、湖泊覆盖的地区。“低-低集聚”类大面积分布在湾区北部以及西部地区,新泽西州海洋县西部也有分布,主要是林地以及草地的覆盖地区,斑块占比同样逐年减少。“低-高集聚”类主要分布在湾区中部以及东部沿海地区,其分布特征与建设用地的分布特征重合度较高,且20年间呈向外扩张的趋势,增长幅度高达18.87%。

4 结论与讨论

本文系统探讨了1996—2015年纽约湾区景观格局与生态系统服务价值的时空演变规律,并运用叠加分析法、相关性分析和双变量空间自相关法研究湾区景观格局和生态系统服务价值之间的耦合关系,结论如下:

①1996—2015年间,纽约湾区景观以林地和建设用地为主。耕地、林地和草地面积均有所减少,水域面积呈缓慢增加,建设用地主要分布于新泽西州北部,长岛以及纽约州南部等

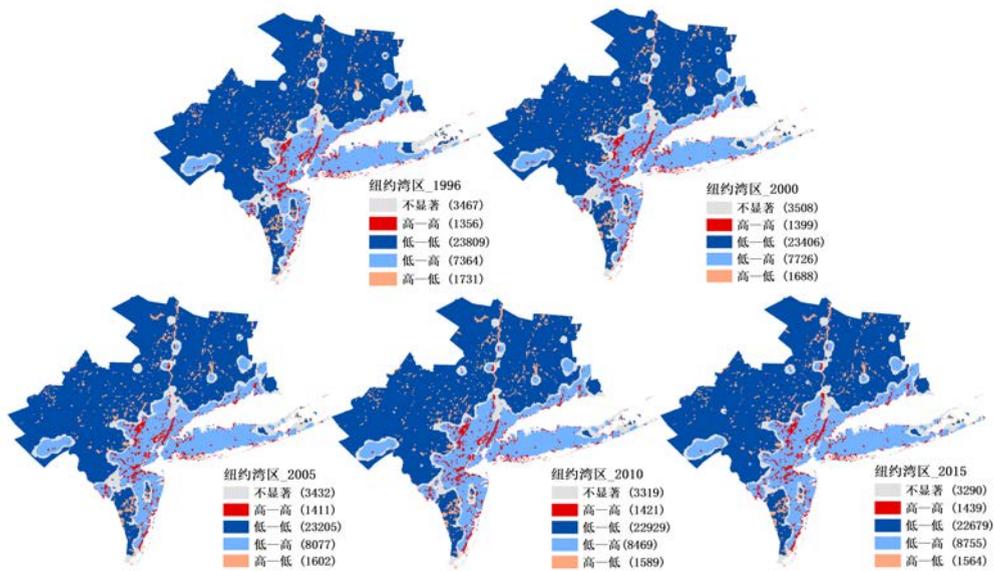


图5 1996—2015年纽约湾区聚集程度空间分布图

Fig.5 Spatial distribution of clustering degree in New York Bay Area from 1996 to 2015

地,同样呈向外扩张趋势,而湿地面积显著减少。②纽约湾区ESV总值呈缓慢下降的趋势,ESV高值区主要分布于新泽西州南部、北部以及中岛南部临海等地区,低值区则主要分布在湾区西南部地区以及哈得孙河谷地一带,林地和湿地为ESV主要贡献力。③纽约湾区的空间异质性较强,不同地区ESV的增减所对应的土地利用转移各有差异。湾区南部热点多为湿地斑块增加,而湾区北部的热点则多为水域或草地增加的现象。湾区西部高原地区的冷点多出现湿地转林地的斑块,而中部冷点则多出现湿地转草地和建设用地增加的现象。④纽约湾区除建设用地外其余地类景观格局均表现出人为干预越少,景观结合度和聚集度越高,破碎度越低,越有利于提升景观生态系统服务价值的规律。⑤纽约湾区ESV强度与La的全局Moran's I指数为正数,且两者在空间上关联性较弱,由于湾区“高-低集聚”类斑块数逐步减少,且“低-高集聚”类呈明显扩张趋势,因此湾区生态环境质量逐年缓慢下降。

虽然结果表明,湾区生态结构趋于破碎化且环境质量有所下降,但纽约湾区生态安全基础较稳健,湾区植被覆盖高达78%左右,其水域面积也在《水供应法》^[29]的湾区联控保护下呈缓慢增长趋势;同时针对潮汐湿地与淡水湿地被填埋侵占的情况,湾区建立了联邦、州、地区三级立法相结合的模式,颁布实施《湿地保护法》^[38]的生态补偿政策,以期对湿地滩涂进行有效的生态防护。因此在未来研究中可拉长时间序列到20世纪70年代,分析颁布保护法和实施政策对湿地保护的作用效果,为我国湿地资源的保护和管理提供科学参考。而在当今世界政治经济格局加速重构的背景下,对世界发达国家和地区的地理环境与经济发展的耦合效应研究尤为必要^[39,40],因此在今后研究中可将自然与人文结合,揭示生态系统服务对社会经济的响应机制。

参考文献(References):

- [1] Costanza R, Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630):253-260.

- [2] Costanza R,De Groot R,Sutton P,et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014,26(1):152-158.
- [3] Daily G C,Soderquist T,Aniyar S,et al. The value of nature and the nature of value. *Science*,2000,289(5478):395-396.
- [4] Sutton P C,Costanza R. Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery,land cover,and ecosystem service valuation. *Ecological Economics*,2002,41(3):509-527.
- [5] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展. *地理科学进展*,2014,33(4):441-446. [Fu B, Zhang L. Land-use change and ecosystem services: concepts,methods and progress. *Progress in Geography*,2014,33(4): 441-446.]
- [6] Leemans H B J,Groot R S D. Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. *Physics Teacher*,2003,34(9):534-534.
- [7] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 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. [Xie G, Zhen L,Lu C,et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of Natural Resources*,2008,23(5):911-919.]
- [8] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. *自然资源学报*,2015,30(8): 1243-1254. [Xie G,Zhang C,Zhang L. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area. *Journal of Natural Resources*,2015,30(8):1243-1254.]
- [9] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等. 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(4):480-491. [Zhao T, Ouyang Z,Zheng H,et al. Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*,2004,19(4): 480-491.]
- [10] 刘兴元,龙瑞军,尚占环. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究. *草业学报*,2011,20(01):167-174. [Liu X, Long R,Shang Z. Evaluation method of ecological services function and their value for grassland ecosystems. *Acta Prataculturae Sinica*,2011,20(01):167-174.]
- [11] 赵荣钦,黄爱民,秦明周,等. 农田生态系统服务功能及其评价方法研究. *农业系统科学与综合研究*,2003,19(04):267-270. [Zhao R,Huang A,Qin M. Studay on farmland ecososyem service and it's valuation method. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*,2003,19(04):267-270.]
- [12] 江波,欧阳志云,苗鸿,等. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价. *生态学报*,2011,31(08):2236-2244. [Jiang B, Ouyang Z,Miao H, et al. Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(08):2236-2244.]
- [13] 宋敏敏,张青峰,吴发启,等. 黄土沟壑区小流域景观格局演变及生态服务价值响应. *生态学报*, 2018,38(08):2649-2659. [Song M, Zhang Q,Wu F. Landscape pattern changes and evaluation of ecological service values in a small watershed of the Loess Gully Region. *Acta Ecologica Sinica*,2018,38(08):2649-2659.]
- [14] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究. *农业工程学报*,2006,22(09):21-28. [Duan R, Hao J, Zhang J. Land utilization and changes on eco-service value in different locations in Beijing. *Transactions of the CSAE*,2006,22(09):21-28.]
- [15] 王航,秦奋,朱筠,等. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响. *生态学报*,2017,37(4):1286-1296. [Wang H,Qin F,Zhu J. The effects of land use structure and landscape pattern change on ecosystem service values. *Acta Ecologica Sinica*,2017,37(04):1286-1296.]
- [16] 徐丽芬,许学工,罗涛,等. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法——以渤海湾沿岸为例. *地理研究*,2012, 31(10):1775-1784. [Xu L,Xu X,Luo T. Services based on land use: A case study of Bohai Rim. *Geographical Research*, 2012,31(10):1775-1784.]
- [17] Zalasiewicz J,Williams M,Steffen W,et al. The new world of the anthropocene. *Environmental Science & Technology*, 2010. 44(7): 2228-223. .
- [18] Karen C, Seto, Michail, et al. A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS One*, 2011,6(8): e23777.
- [19] Santos-Martin F,Zorrilla-Miras P,Palomo I, et al. Protecting nature is necessary but not sufficient for conserving ecosystem services: A comprehensive assessment along a gradient of land-use intensity in Spain. *Ecosystem Services*, 2019. 35(C): 43-51.
- [20] 吴健生,岳新欣,秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建--以重庆两江新区为例. *地理研究*,2017,36(3):429-440. [Wu J,Yue X,Qin W. The establishment of ecological security patterns based on the redistribution of ecosystem service value: A case study in the Liangjiang New Area, Chongqing. *Geographical Research*,2017,36(3):429-440.]
- [21] 邓楚雄,钟小龙,谢炳庚,等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化. *地理研究*,2019,38(04):844-855. [Deng C,

- Zhong X,Xie B, et al. Spatial and temporal changes of land ecosystem service value in Dongting Lake area in 1995-2015. *Geographical Research*,2019,38(04):844-855.]
- [22] Arowolo A O,Deng X,Olatunji O A,et al. Assessing changes in the value of ecosystem services in response to land-use/land-cover dynamics in Nigeria. *Science of The Total Environment*,2018,636(2018):597-609.
- [23] 封建民,郭玲霞,李晓华. 汉中市土地利用时空变化及其对生态系统服务价值的影响. *水土保持研究*,2020,27(01):275-282. [Feng J,Guo L,Li X. Temporal and spatial variations of land uses and their influences on ecosystem service function values in Hanzhong City. *Research of Soil and Water Conservation*,2020,27(01):275-282.]
- [24] 韩增林,赵文祯,闫晓露,等. 基于生态系统服务价值损益的生态安全格局演变分析——以辽宁沿海瓦房店市为例. *生态学报*,2019,39(22):8370-8382. [Han Z,Zhao W,Yan X, et al. The evolution of ecological security pattern based on the profit and loss analysis of ecosystem services: taking Wafangdian County as a case. *Acta Ecologica Sinica*,2019,39(22):8370-8382.]
- [25] 李青圃,张正栋,万露文,等. 基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化. *地理学报*,2019,74(7):1420-1437. [Li Q,Zhang Z,Wan L, et al. Landscape pattern optimization in Ningjiang River Basin based on landscape ecological risk assessment. *Acta Geographica Sinica*,2019,74(07):1420-1437.]
- [26] 王金凤,刘方,白晓永,等. 西南地区生态系统服务价值时空演变及模拟预测. *生态学报*,2019,39(19):7057-7066. [Wang J,Liu F,Bai X. The spatial and temporal evolution and simulation forecast of ecosystem service values in southwest China. *Acta Ecologica Sinica*,2019,39(19):7057-7066.]
- [27] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,等. 海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J]. *生态学报*,2019,39(07):2366-2377. [Lei J,Chen Z,Wu T. Spatial autocorrelation pattern analysis of land use and the value of ecosystem services in northeast Hainan island. *Acta Ecologica Sinica*,2019,39(07):2366-2377.]
- [28] 黄木易,岳文泽,方斌,等. 1970-2015年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制. *地理学报*,2019,74(09):1904-1920. [Huang M,Yue W,Fang B. Scale response characteristics and geographic exploration mechanism of spatial differentiation of ecosystem service values in Dabie Mountain area,central China from 1970 to 2015[J]. *Acta Geographica Sinica*,2019,74(09):1904-1920.]
- [29] 张震. 粤港澳大湾区产业结构变迁对经济协调发展的影响. *科技进步与对策*,2019,36(07):48-55. [Zhang Z. Analysis on the influence of industrial structure's change and the coordinated development of economy in the Guangdong-Hong Kong-Macao Bay Area. *Science & Technology Progress and Policy*,2019,36(07):48-55.]
- [30] 田莉. 纽约大都市区规划. *城市与区域规划研究*,2012,5(01):179-195. [Tian L. Greater New York planning. *Journal of Urban and Regional Planning*,2012,5(01):179-195.]
- [31] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. *自然资源学报*,1997,12(2):10-16. [Zhuang D, Liu J. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resources*,1997,12(2):10-16.]
- [32] Getis A,Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*,1992,24(3):189-206.
- [33] 林炳青,陈兴伟,陈莹,等. 流域景观格局变化对洪枯径流影响的SWAT模型模拟分析. *生态学报*,2014,34(07):1772-1780. [Lin B,Chen X, Chen Y, et al. Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model. *Acta Ecologica Sinica*,2014,34(07):1772-1780.]
- [34] 徐炫清,陈裕婵,李青圃,等. 五华河流域景观格局演变对径流泥沙的影响. *水土保持研究*,2018,25(01):231-236+242. [Xu X,Chen Y,Li Q. Effects of landscape patterns on runoff and sediment in Wuhua River Basin. *Research of Soil and Water Conservation*,2018,25(01):231-236+242.]
- [35] 刘永超,李加林,袁麒麟,等. 中美港湾流域生态系统服务价值变化比较——以浙江象山港与佛罗里达坦帕湾为例. *地理研究*,2019,38(02):357-368. [Liu Y,Li J,Yuan Q. A comparative study on the changes of ecosystem services values in the bay basin between China and the USA: A case study on Xiangshangang Bay basin,Zhejiang and Tampa Bay basin,Florida. *Geographical Research*,2019,38(02):357-368.]
- [36] 姚小微,曾杰,李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征. *农业工程学报*,2015,31(9):249-256. [Yao X,Zeng J,Li W. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan Urban Agglomeration. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2015,31(9):249-256.]
- [37] Anselin L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*,1995,27(2):93-115.
- [38] 沈哲,刘平养,黄劼. 纽约市湿地保护对我国大中型城市的启示. *环境保护*,2012(19):76-78. [Shen Z,Liu P,Huang H. New York City wetland conservation for China's large and medium-sized cities. *Environmental Protection*,2012(19):76-78.]

- [39] 王俊惠,侯西勇,张安定. 美国本土海岸带土地利用变化特征研究. 世界地理研究,2018,27(3):19-29. [Wang J, Hou X, Zhnag A. Study on the characteristics of land use change in American coastal zone. World Regional Studies, 2018,27(3): 19-29.]
- [40] 秦大河,张国友,宋长青,等. 今天的中国为什么比任何时候都需要世界地理学. 世界地理研究,2020,29(01):1-7. [Qin D, Zhang G,Song C,et al. Why does China today need world geography more than ever. World Regional Studies,2020,29 (1):1-7.]

Response of ecosystem services to landscape pattern changes in the New York Bay Area from 1996 to 2015

CAO Jun¹, ZHANG Zhengdong¹, CUI fengyan¹, CHEN Sonja¹,
YANG Yang², KUANG Tengfei³, CHEN Yuchan⁴

(1. School of Geography,South China Normal University, Guangzhou 510631,China; 2. Guangdong Ecological Environment Monitoring Center, Guangzhou 510308, China; 3. Shenzhen Urban Planning and Design Institute, Shenzhen 518031, China; 4. School of Atmospheric Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 519082,China)

Abstract: The response of ecosystem service values to the evolution of landscape pattern has become a hot topic in the fields of geography and ecology. Based on the digital elevation data and land cover data in the New York Bay Area from 1996 to 2015, this paper analyzed the temporal and spatial evolution law of the bay area landscape pattern from 1996 to 2015, quantitatively evaluated the ecosystem service value of the bay area, and discussed the response of ecosystem service values to landscape pattern change by using the methods of ecosystem service value equivalent estimation, landscape pattern index and spatial autocorrelation analysis. The results show that: ① The landscape of the New York Bay area is dominated by forest and construction, and its overall change is relatively weak. The wetland area decreased by approximately 10.94% in 20 years, and the construction land increased by approximately 25.91%. ② From 1996 to 2015, the ESV in the New York Bay area decreased gradually, with a total decrease of 5.783 billion yuan in 20 years, and a rapid decrease of about 1.69% between 2000 and 2005. ③ The spatial heterogeneity of ESV in the Bay Area is strong, and the land-use transfer corresponding to the increase and decrease of ESV in different regions varies. The hotspots in the southern part of the Bay Area tend to increase in wetlands, while the northern part is dominated by waters and grasslands. The cold spot areas in the west of the Bay Area are mostly wetland to forest, while the central cold spot areas are dominated by increased construction. ④ Except for the construction land, the less human intervention, the higher landscape integration and aggregation, the more conducive to enhance the overall ecosystem service value of the bay area. ⑤ The spatial correlation between ESV intensity and land use (LA) is weak, and the eco-environmental quality of New York Bay area is declining year by year. The results of the study are expected to be of reference to the study of improving the utilization of environmental resources in the world-class Greater Bay Area.

Key words: ecosystem services values; Landscape pattern; New York Bay Area; land use