

文章编号: 1674-5566(2024)02-0409-15

DOI: 10.12024/jsou.20230304123

上海海岸带演变及生态系统服务价值变化

崔子奥, 高郭平, 陈洁

(上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院, 上海 201306)

摘要: 为了开展上海海岸带演变及生态系统服务价值(Ecosystem service value, ESV)变化研究, 实验基于1990、2000、2010和2020年Landsat遥感影像数据, 分析上海海岸带岸线长度变化特征; 结合Globe Land 30的数据, 利用空间分析, 开展1990—2000年、2000—2010年和2010—2020年等3个时期内土地变化和土地转移研究; 在此基础上, 构建上海海岸带ESV模型, 厘清2000—2020年上海海岸带ESV时空变化特征。结果表明: 1990—2020年间, 受人类活动和自然因素影响, 上海大陆岸线长度呈先增加后缓慢减小到再增加的变化趋势, 崇明岛岸线减少, 长兴岛和横沙岛岸线长度增加。同时, 由于人类活动强度和沿海工程力度加大, 海岸带土地利用面积变化显著, 耕地和建设用地增多。此外, 由于土地扩建, 研究期间上海海岸带呈ESV增加趋势, 但其湿地ESV在2010—2020年间下降28.59%。就空间分布而言, 上海海岸带ESV从中高值区域逐渐向低和极低区域转变, 到2020年, 单位面积ESV极高地区已基本消失。城市进程中建设用地的开发和沿海湿地生态系统的减少是造成上海海岸带ESV变化的主要原因。本研究可为服务上海市指导海岸带环境管理以及可持续发展提供科学依据和决策支持。

关键词: 海岸带; 生态系统服务; 土地利用; 围填海; 当量因子; 上海

中图分类号: P 76 **文献标志码:** A

海岸带是海陆作用明显的交互地带, 因为其具有丰富的自然资源和生产力, 是生态系统中重要的组成部分, 许多物种的繁衍和生长也都依赖于海岸带生态系统。因此, 了解并保护海岸带, 对维持海洋生态系统的平衡和稳定具有极其重要的作用。不仅如此, 随着城市化进程的不断加速, 人口数量的增多导致城市用地需求不断增大, 为了满足经济发展的需求, 海岸带也成为人类社会进行生活的重要场所。同时由于海洋经济的蓬勃发展, 沿海工业建设的兴起, 造成人类对于海岸带资源的需求开始增加^[1]。在全球气候变化的背景下, 海平面上升^[2]、围填海^[3]、海岸侵蚀^[4]、陆源污染^[5]等问题使得海岸带生态系统遭到破坏, 因此开展海岸带演变和生态系统服务研究是极为重要的。

生态系统服务价值是人类直接或间接从生态系统中获得的收益^[6], 通过研究生态系统来为

人类福祉和可持续性发展研究奠定基础^[7-8]。《千年生态系统评估》将生态系统服务分为支持、供给、调节和文化等4类服务^[9], 是目前应用最广泛的分类方法。近年来, 生态系统服务价值评估发展迅速, 其中当量因子法由于更为直观和定量, 被大家广泛应用在各类服务价值评估中。COSTANZA等^[7]首次发布全球尺度的生态系统服务的当量因子后, 得到大范围推广, 以此应用到不同地域。我国谢高地基于COSTANZA等研究提出适应中国生态系统的各单项生态系统服务当量。喻露露等^[10]根据他的方法评估了海口市的生态系统, 贾琦^[11]评估了荥阳市的生态系统服务价值, 得出南北两侧区域生态系统服务价值(Ecosystem service value, ESV)高于中部地区。相关专家^[12-13]也根据研究区的实际情况, 对当量因子进行修正, 得到了适应当地的ESV系数表。

近年来, 由于海洋经济的发展^[14], 沿海开发

收稿日期: 2023-03-21 修回日期: 2023-07-06

基金项目: 上海市青年科技英才扬帆计划(23YF1416400)

作者简介: 崔子奥(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为环境规划与管理。E-mail: zacui19981006@163.com

通信作者: 高郭平, E-mail: gpgao@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

进入热潮,各种海洋工程对海岸带生态系统带来破坏。土地利用类型作为研究生态系统服务的重要标志,通过其变化研究海岸带ESV成为近年来的研究重点^[14-16]。从研究角度来看,从岸线的变迁、沿岸的土地利用或生态系统服务的单一角度来探究海岸带的时空分布和变迁较多,但通过综合岸线和土地利用,从生态系统服务的角度来判断海岸带发展的研究仍需进一步深入。为此,上海作为中国经济发展的典型代表,截至2021年,上海海洋经济生产总值达到10 366.3亿元,位居全国第4位^[17]。并且上海围填海历史悠久,随着经济的快速发展,浦东国际机场、外高桥区、临港新城以及崇明东滩和横沙岛等多个项目的开发,上海海岸带的资源和环境都发生了巨大的改变。本文通过以上海岸带作为研究对象,基于多期的土地利用数据、遥感影像和相关参数,了解上海海岸带的岸线长度变化和土地类型面积变化,并对生态系统服务进行价值估算,厘清在

人类活动影响下上海海岸带演变和生态系统服务的时空变化特征。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文研究区为1990—2020年间上海的围填海工程区域。上海海岸带位于东海北部,西靠大陆,南侧与北侧分别与浙江省海域和江苏省海域为邻,其大陆岸线的两个端点为浏河口界碑和金丝娘桥界碑^[18]。上海沿海区域包括宝山区、浦东新区、奉贤区、金山区、崇明区等5个行政管辖区域。崇明区包括崇明、横沙、长兴等3座主要海岛。本文以上海市30年来向海推进部分作为研究区域,将1990年上海海岸线作为向陆一侧边界,向海一侧为2020年上海海岸线叠加后的最外沿边界,以此结合2000和2010年的海岸线的矢量数据后生成的闭合多边形区域即为研究区范围(图1)。

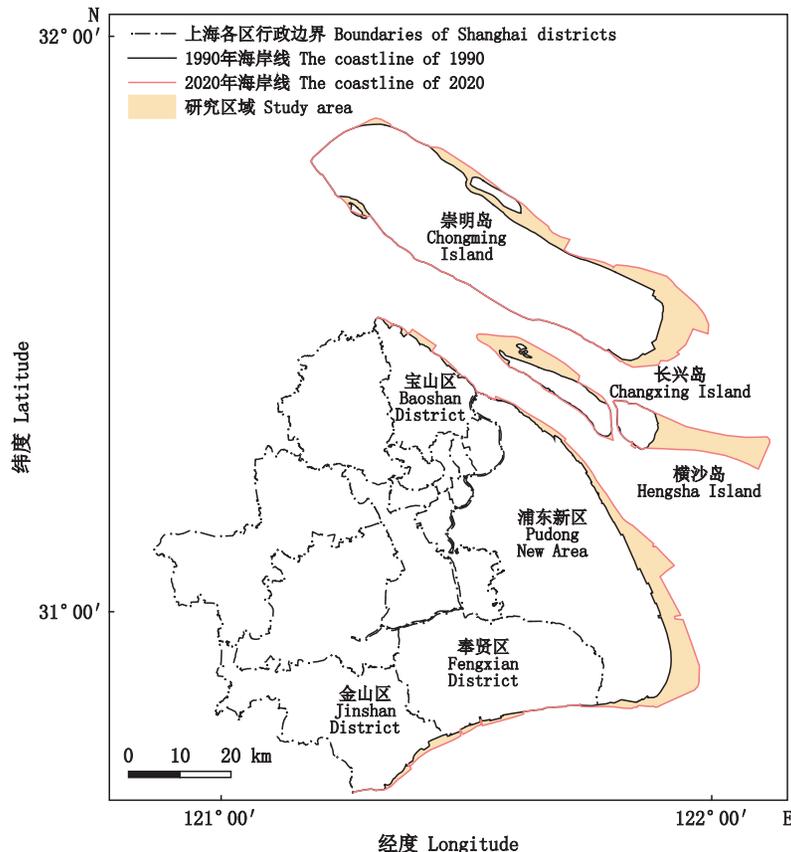


图1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch map of study area

1.2 数据来源

遥感数据:上海海岸带1990、2000、2010、

2020年共4期遥感影像数据来源于地理空间数据云(<http://gscloud.cn/>)免费提供的Landsat TM/

ETM/OLI数据作为主要数据源。所有波段进行几何校正和配准、波段合成、镶嵌和裁剪等预处理。

土地利用类型数据:本文所采用的所有土地利用数据均来自于国家基础地理信息中心的全局 30 m 地表覆盖数据(Globe Land 30, www.globeland30.org)。Globe Land 30为我国自主研发的 30 m 分辨率覆盖全球、全类型的地表覆盖数据,数据总体精度在 85% 左右^[19]。

社会经济数据:上海市的粮食产量、单位价格等数据来自上海市统计年鉴、政府报告和相关文献等。

1.3 研究方法

1.3.1 上海海岸带岸线提取

通过开展海岸带岸线的提取和识别,厘清各时期的土地面积,以此开展海岸带演变的相关研究。因此通过 ENVI 对影像数据进行辐射定标、大气校正、图像镶嵌和自动配准等预处理,利用归一化水体指数(Normalized difference water index, NDWI)对影像数据进行水体和非水体的分割。因为水体的 NDWI 值较高,陆地的 NDWI 值较低,从而提取出陆地和水体的分界线。

$$\rho_{\text{NDWI}} = \frac{\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{NIR}}} \quad (1)$$

式中: ρ_{NDWI} 为归一化水体指数; ρ_{Green} 和 ρ_{NIR} 分别为绿光和近红外波段的反射值。

对于淤泥质岸线,结合归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI),通过植被覆盖度,以此来增强淤泥质岸线水陆边界的差异,进一步确定岸线位置^[20-25]。

$$\rho_{\text{NDVI}} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}} \quad (2)$$

式中: ρ_{NDVI} 为归一化植被指数; ρ_{R} 和 ρ_{NIR} 分别为红光和近红外波段的反射值。

不同于人工岸线等,水位的不同也会对淤泥质岸线等自然岸线造成差距。因此,需要对水边线进行潮位校正以此来获得更为准确的海岸线位置。

岸滩坡度 θ 为

$$\theta = \arctan \frac{h_1 - h_2}{\Delta L} \quad (3)$$

式中: h_1 、 h_2 分别为同年的两景影像的水位高度; ΔL 为两景影像相同地点所提取的水边界水平距离。

潮位校正距离 L 为:

$$L = \frac{H - h_2}{\tan \theta} \quad (4)$$

式中: H 为平均大潮潮位高度,由于上海海域为半日潮,则统计当年内每次大潮出现时连续 3 天高潮位的平均值。卫星过境时的瞬时水位来自 TPXO 9 的数据,根据潮位校正的原理,结合中浚验潮站的相关潮位资料(表 1),对上海岸线进行了潮位校正,完成了各时期段的岸线提取。

表 1 获取时刻潮位数据参数
Tab. 1 Obtain momentary tide level data parameters

年份 Year	成像时间 1 Imaging time 1	水位 1 h_1/m	成像时间 2 Imaging time 2	水位 2 h_2/m	平均大潮潮位高度 H/m
1990	05-10 1:45	1.37	06-111:45	0.17	2.13
2000	08-01 0:00	1.27	06-142:17	-0.16	2.19
2010	11-09 2:15	-0.53	11-012:17	0.72	2.17
2020	08-16 2:25	2.00	02-222:24	0.70	2.18

注:表中水位高度及潮位高度是基于平均海平面为 0 m。

Notes: The water height and tide height are based on a mean sea level of 0 m.

海岸线变迁强度 (Length change intensity, LCI) 为区域内岸线长度年均变化的百分比,能够客观地反映研究区内岸线长度变迁的时空特征,具体计算公式如下:

$$I_{ij} = \frac{L_j - L_i}{L_i(j - i)} \times 100\% \quad (5)$$

式中: I_{ij} 为区域内第 i 年至第 j 年海岸线变迁强度; L_i 、 L_j 分别为第 i 年和第 j 年的海岸线长度。

1.3.2 上海海岸带土地利用分类体系

根据 Globe Land 30 数据官网,确定上海所在区域的图幅号 N51_30,下载 2000、2010 和 2020 年的 30 m 地表覆盖数据。通过 ArcGIS 10.7,进行图像镶嵌、掩膜提取等,同时以《土地利用现状分类》标准为依据,根据已有论文研究和实际情况,将利用类型和生态系统一一匹配,上海沿海地区未利用地类型主要以湿地滩涂为主,因此将研究

区域的地类型分为6种:耕地、建设用地、草地、林地、水体和湿地。

1.3.3 ESV估算模型

ESV的主流评估模型有2种:功能价值法和当量因子法。因为功能价值法受限于研究人员的主观评价,给评价结果带来不确定性。因而选用更适合在区域和全球尺度的ESV评估的当量因子法^[26]。谢高地等^[27]在COSTANZA等^[7]的基础上提出了全国尺度的中国ESV评估模型,但由于本研究区域较小,直接应用误差较大。因此本文的ESV评估模型在他的基础上进行修订,构建

上海海岸带的ESV估算模型。

ESV当量系数等于每年每公顷粮食价值的1/7,表示生态系统潜在服务价值的一个相对贡献率^[3]。因此通过对耕地的食物生产服务价值的系数进行修订,来确定上海地区的ESV估算模型。根据上海历年年鉴资料统计,计算出1990—2020年平均粮食单产量为6 414.34 kg/hm²,2020年全国粮食均价为2.55元/kg,因此一个食物生产的ESV当量为2 336.65元/hm²,从而得到2020年上海海岸带ESV系数(表2)。

表2 2020年上海海岸带ESV系数
Tab. 2 Ecosystem service value(ESV) coefficients of the coastal zone in Shanghai Province

一级类型 First type	二级类型 Secondary type	林地 Woodland	草地 Grassland	耕地 Cultivated land	湿地 Wetland	水体 Water	建设用地 Construction land
供给服务 Supply service	食物生产	771.09	1 004.76	2 336.65	841.19	1 238.42	0
	原材料生产	6 963.22	841.19	911.29	560.80	817.83	0
调节服务 Regulating service	气体调节	10 094.33	3 504.98	1 682.39	5 631.33	1 191.69	0
	气候调节	9 510.17	3 645.17	2 266.55	31 661.61	4 813.50	0
	水文调节	9 556.90	3 551.71	1 799.22	31 404.58	43 858.92	0
支持服务 Support service	废物处理	4 019.04	3 084.38	3 247.94	33 647.76	34 699.25	0
	保持土壤	9 393.33	5 234.10	3 434.88	4 649.93	958.03	0
文化服务 Cultural service	维持生物多样性	10 538.29	4 369.54	2 383.38	8 622.24	8 014.71	0
	提供美学景观	4 860.23	2 032.89	397.23	10 958.89	10 374.73	0
合计 Total		65 706.60	27 268.72	18 459.53	127 978.33	105 967.08	0

上海海岸带ESV的具体计算公式如下:

$$V_{ES} = \sum_{k=1}^n (A_k \times V_k) \quad (6)$$

式中: V_{ES} 为生态系统服务价值ESV值; A_k 是第 k 种景观类型面积; V_k 为第 k 种景观类型的ESV系数。

2 结果

2.1 上海海岸带岸线长度变化特征

通过对上海海岸带岸线的识别、验证、提取以及矢量化后得到图2。统计结果表明,1990—2000年上海海岸带岸线的变化是显著的,具体来看,2020年上海大陆岸线总长度为192.79 km,相比1990年总体增加11.24 km,30年来呈“上升-略微减少-上升”的变化趋势,其中2010—2020年间长度变化最大,增长了8.18 km。主要原因是大陆侧

上海浦东国际机场的五期扩建工程、外高桥港口区的建设、临港新城的兴建以及金山区的海岸工程等工程建设造成海岸带岸线外移。而崇明岛的海岸带岸线呈短暂增加后减少的趋势,30年间共减少了16.36 km。长兴岛和横沙岛随着崇明区的经济建设和海洋经济发展的需要等,进行大规模土地吹填,岸线长度在2000—2020年间长度增加,分别增长了13.47 km和45.57 km。

表3结果主要展现30年间上海海岸带岸线的变化强度。根据数据可以发现除了2000—2010年间,上海大陆岸线和崇明岛的岸线分别减少了0.18%和1.85%,其他地区 and 时期的岸线均有所增长。2010—2020年横沙岛变化强度最大,达到了11.13%。从总体变化趋势来看,相比较其他3个海岛,上海大陆岸线的变化强度最低,为0.21%。

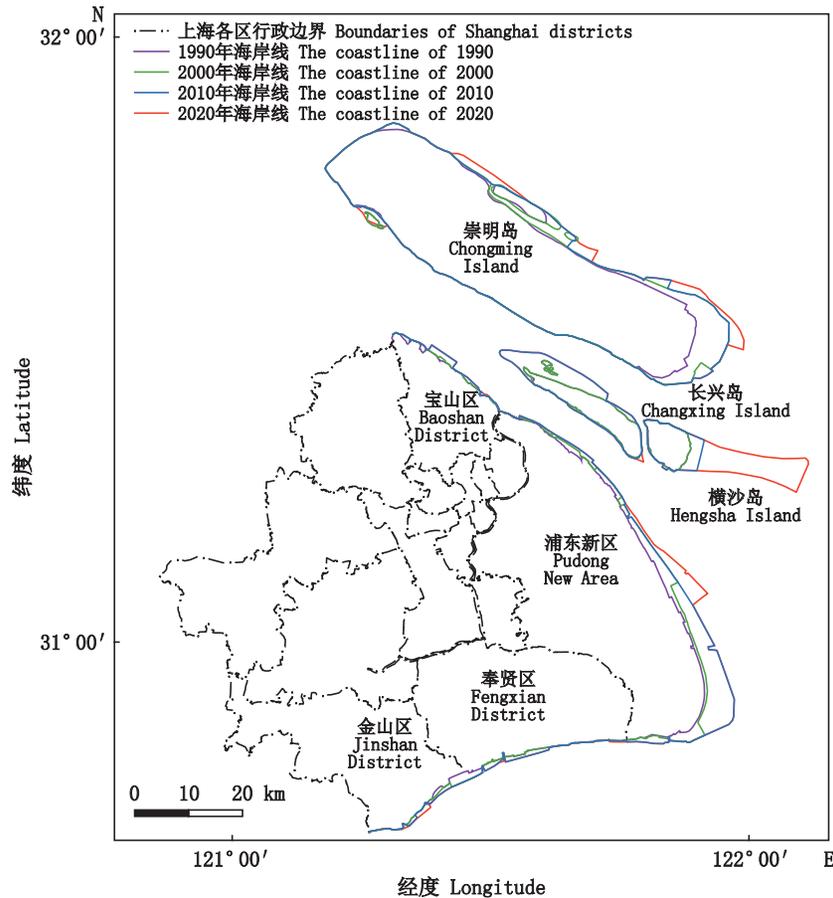


图2 1990—2020年上海海岸带岸线(每10年)

Fig. 2 Coastline of Shanghai from 1990 to 2020 (per 10 year)

表3 1990—2020年上海海岸带岸线变化强度

Tab. 3 Change intensity of Shanghai coastline from 1990 to 2020

研究区域 Study area	1990—2000	2000—2010	2010—2020	1990—2020
上海大陆岸线变化率 Shoreline change rate of Shanghai mainland	0.35	-0.18	0.44	0.21
崇明岛岸线变化率 Shoreline change rate of Chongming island	1.19	-1.85	0.12	-0.26
长兴岛岸线变化率 Shoreline change rate of Changxing island	-0.04	2.00	0.22	0.74
横沙岛岸线变化率 Shoreline change rate of Hengsha island	0.31	1.72	11.13	5.18

2.2 上海海岸带土地利用变化

2.2.1 土地变化量

基于1990—2020年的4期海岸带岸线矢量数据确定闭合区域为各期土地增加量。通过ArcGIS 10.7按掩膜提取、链接、重分类和叠加后得到向海推进区域(图3)。

从图3中可以发现,2000—2020年,前10年上海各区开展土地吹填,上海大陆侧浦东新区临港新城、外高桥码头和金山区的海岸工程等项目开展,增加的土地利用类型多以湿地滩涂和水体为主,主要目的是为经济建设和工业发展提供空间基础。长兴岛东北侧建成青草沙水库,横沙岛的

I期建设也基本完工,主要土地利用类型为湿地。2010—2020年间,由于国家颁布严格管控围填海的通知,填海造地的范围受到限制,土地增加量也由原先的255.48 km²逐渐减小到182.27 km²。除浦东国际机场继续兴建外,上海大陆侧几乎没有新增土地。崇明岛北湖建成人工岸线,因此新增湿地、水体、耕地等土地利用类型,2020年横沙岛土地吹填地段土地主要利用类型为水体和建设用地,用来打造深水新港区和上海海洋新城区。

2.2.2 土地利用时空格局变化

基于4期海岸带岸线,结合上海海岸带分类体系,借助ArcGIS 10.7的空间分析功能,确定

2000、2010和2020年3个时期的研究区土地利用类型和面积,得到3个时间段内的面积变化(表4)和各时期的土地利用状况(图4)。

从表4中可以发现,耕地是研究区内最主要的土地类型,2000、2010和2020年总面积达97.77、198.99和239.68 km²,分别占同期面积比重的47.46%、43.17%和37.23%。上海海岸带耕地的开发截至2000年集中在崇明岛东滩和兴隆沙

地段,原有的海域变成农田生态系统,并开始沿海周围建起养殖区和水塘,2010—2020年间,耕地面积的增加主要来自浦东新区临港新城大量湿地的转出。建设用地在2000—2020年累计增加245.9 km²,2020年较2000年面积增长近10倍,面积变化率是所有土地类型中增长速度是最快的,表明了上海作为超大型城市在经济发展中对海岸带土地的迫切需求。

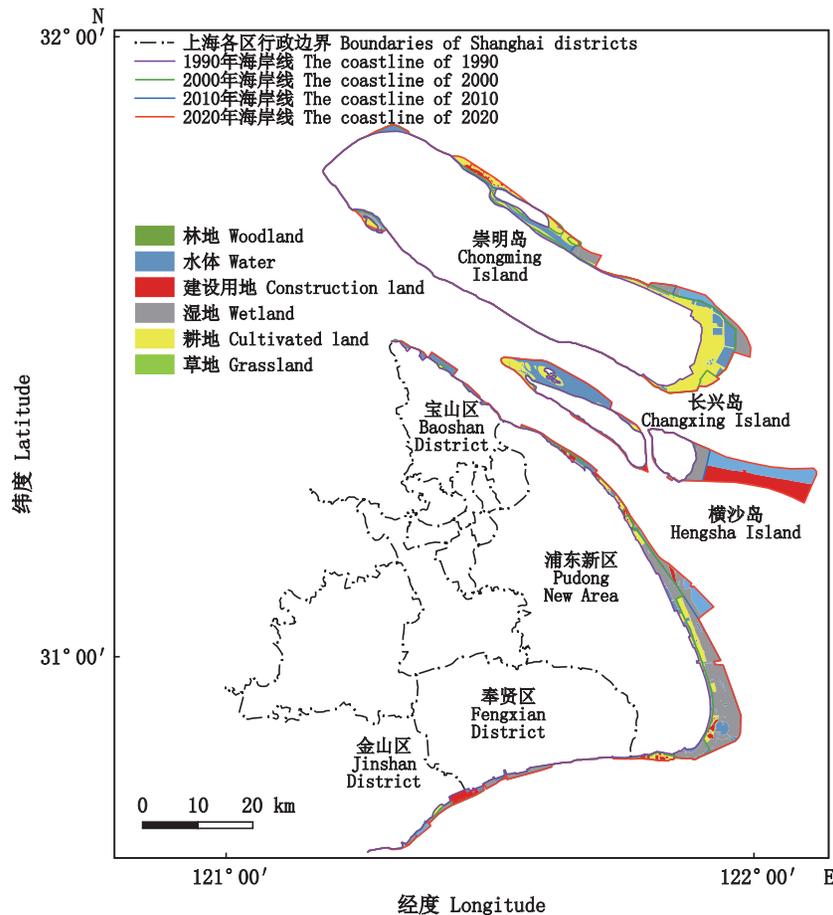


图3 1990—2020年上海海岸带岸线向海推进区域

Fig. 3 Seaward area of Shanghai shoreline from 1990 to 2020

表4 2000—2020年上海海岸带土地利用面积变化

Tab. 4 Change of land use area in Shanghai coastal zone from 2000 to 2020

土地利用类型 Land use type	面积 Area/km ²			2000—2010		2010—2020		2000—2020	
	2000	2010	2020	变化量 Variation/km ²	变化率 Rate/%	变化量 Variation/km ²	变化率 Rate/%	变化量 Variation/km ²	变化率 Rate/%
耕地 Cultivated land	97.77	198.99	239.68	101.22	103.53	40.70	20.45	141.91	145.15
建设用地 Construction land	10.98	38.11	131.03	27.13	247.13	92.92	243.81	120.05	1 093.47
水体 Water	55.59	103.89	172.54	48.30	86.90	68.65	66.08	116.96	210.41
湿地 Wetland	41.66	118.17	86.09	76.51	183.67	-32.08	-27.15	44.43	106.66
草地 Grassland	0	1.82	6.81	1.82	-	4.99	274.19	6.81	-
林地 Woodland	0	0.52	7.61	0.52	-	7.09	1 369.50	7.61	-

从图4中可以看出上海的整体土地利用程度较高。林地和草地只是零星分布在海岸带周围,增长量小。由于研究期间上海海岸带围填海活动活跃,水体包括滩涂围垦后增加的养殖水面和围海后一定时期内的水面,因此水体面积总体扩大。

2010—2020年,湿地面积从原先的118.17 km²减少到86.09 km²。随着围填海政策的收紧和沿海经济的不断刺激,土地资源的紧缺,建设用地的需求会造成水体和湿地面积的不断减小,因此需要引起重视,防止过度开发。

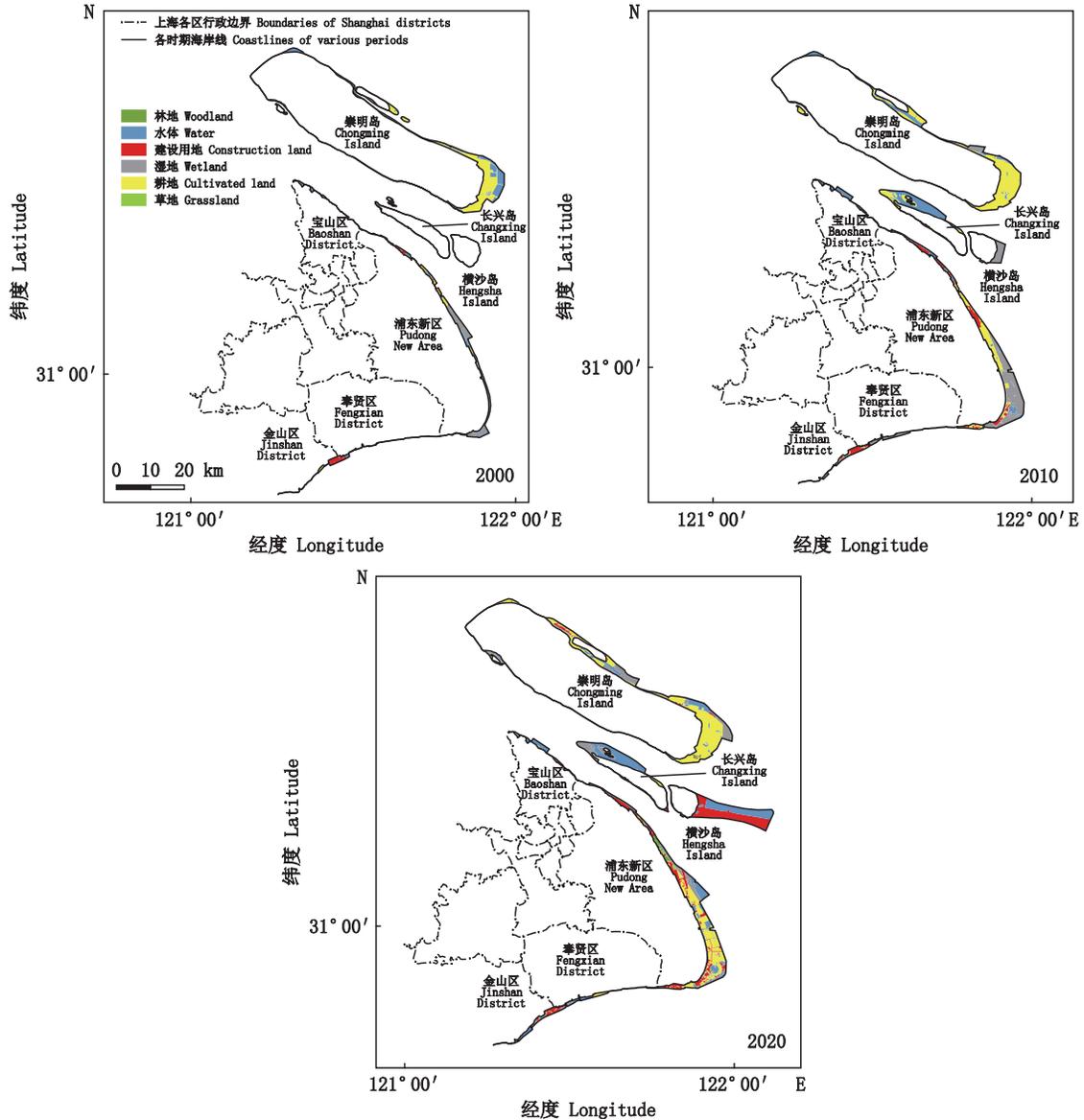


图4 2000—2020年上海海岸带土地利用状况
Fig. 4 Land use in Shanghai coastal zone from 2000 to 2020

2.2.3 土地利用类型转化

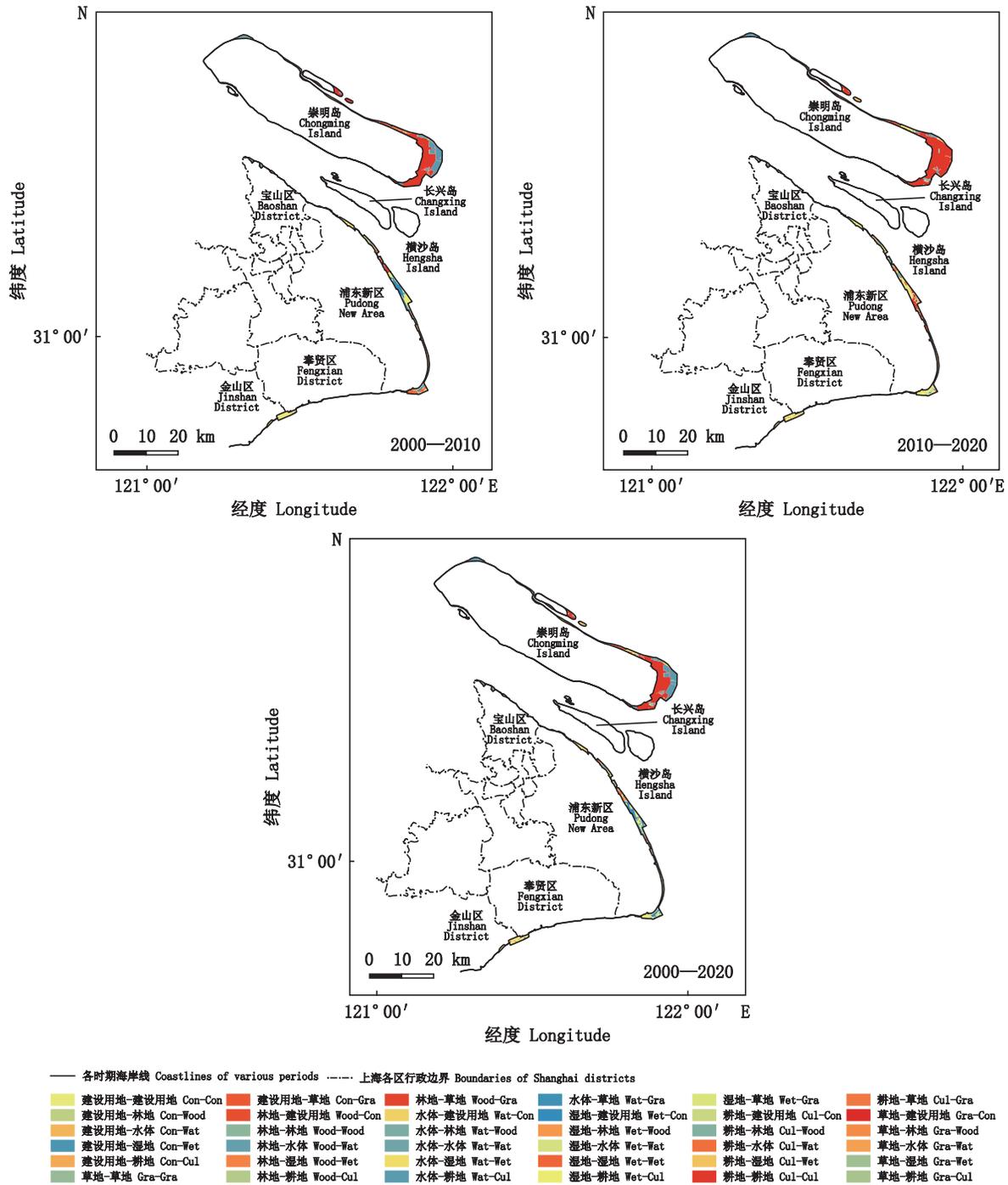
为更直观了解上海海岸带土地利用转入及转出的具体情况,以2000年的土地面积为参照,利用ArcGIS 10.7的空间分析功能将各时期的土地利用类型进行叠加分析,得到3个时期的土地利用类型转变情况(图5)。

从图5中不难看出,2000—2020年间主要的

转出类型是水体和湿地,转入类型以耕地和建设用地为主,主要原因是利用最容易获得的资源,即水体和湿地来进行沿海经济建设。2000—2010年间水体有33.46 km²转为耕地,4.87 km²转为建设用地;2000—2020年间水体有36.80 km²转为耕地,湿地有12.62 km²转为建设用地。而转成林地和草地的面积非常有限,各自不到1

km², 2000—2020年, 建设用地面积的增长与上海推进城市化和经济增长呈正相关, 说明该阶

段上海海岸带发展主要以城市化和工业化发展为主。



2.3 ESV变化分析

2.3.1 生态系统服务总价值变化

根据ESV评估模型, 计算出上海市2000、2010和2020年3个时期的ESV总量。由表5可知, 由于人类活动和围垦造地, 研究区域不断扩

大, 总ESV逐渐增大。2000、2010、2020年的ESV值分别为 13.02×10^8 、 29.89×10^8 、 34.41×10^8 CNY, 其中水体和湿地的贡献度最高, 分别占总体的86.1%、87.4%和85.1%。

2000—2010年间由于围填海兴起, 上海大陆

侧的开发进入白热化,大量土地初期为湿地和水体。但随着上海城市化进程的加快,2010—2020年,原本集中在浦东南汇的大面积湿地转成耕地和建设用地,研究区内湿地总体 ESV 降低了 4.41×10^8 CNY。2000—2020 年草地和林地面积

增长量微乎其微,造成林地和草地对上海海岸带总 ESV 贡献的价值量太少。而随着工业化程度的加深,原本用来维持生态系统稳定的湿地等利用类型被开发为建设用地,用于人类经济发展,从而可能会造成海岸带总 ESV 的进一步降低。

表 5 2000—2020 年上海海岸带 ESV 变化
Tab. 5 Changes of ESV in the coastal zone of Shanghai Province during 2000 to 2020

土地利用类型 Land use type	ESV/ 10^8 CNY			2000—2010		2010—2020		2000—2020	
	2000	2010	2020	变化量 Variation/ 10^8 CNY	变化率 Rate/%	变化量 Variation/ 10^8 CNY	变化率 Rate/%	变化量 Variation/ 10^8 CNY	变化率 Rate/%
耕地 Cultivated land	1.81	3.67	4.42	1.86	103.02	0.76	20.84	2.62	145.33
水体 Water	5.89	11.01	18.28	5.08	86.22	7.31	66.66	12.39	210.35
湿地 Wetland	5.33	15.12	11.02	10.10	189.36	-4.41	-28.59	5.69	106.64
草地 Grassland	0	0.05	0.19	0.05	-	0.13	264.87	0.19	-
林地 Woodland	0	0.04	0.5	0.03	-	0.47	1 742.70	0.50	-
建设用地 Construction land	0	0	0	0	-	0	-	0	-
总计 Total	13.03	29.89	34.41	17.11	131.36	4.27	14.18	21.39	164.16

2.3.2 单项生态系统服务功能价值变化

通过修正后的上海海岸带 ESV 评估模型和多期土地利用数据,计算出 3 个时期研究区域内各生态系统服务功能价值以及变化量(表 6)。由于围填海造成研究区面积扩大,除了 2000—2010

期间气候调节服务受到湿地面积减小的影响,单项生态系统服务价值降低外,其他服务量都有所上升。但随着沿海经济速度的不断加快,水体,湿地等土地类型转变为建设用地,各单项服务功能的 ESV 增加速率都有所降低。

表 6 2000—2020 年上海海岸带单项 ESV 变化
Tab. 6 Change of single ecosystem service value (ESV) in Shanghai coastal zone from 2000 to 2020

生态系统服务功能 Ecosystem service function	ESV/ 10^8 CNY			2000—2010		2010—2020		2000—2020	
	2000	2010	2020	变化量 Variation/ 10^8 CNY	变化率 Rate/%	变化量 Variation/ 10^8 CNY	变化率 Rate/%	变化量 Variation/ 10^8 CNY	变化率 Rate/%
食物生产 Food production	0.33	0.69	0.86	0.36	109.09	0.17	24.64	0.53	160.61
原材料生产 Raw material production	0.16	0.34	0.47	0.18	112.50	0.13	38.24	0.31	193.75
气体调节 Gas regulation	0.47	1.13	1.19	0.66	140.43	0.06	5.31	0.72	153.19
气候调节 Climate regulation	1.81	4.70	4.20	2.89	159.67	-0.50	-10.64	2.39	132.04
水文调节 Hydrologic regulation	3.92	8.64	10.80	4.72	120.41	2.16	25.00	6.88	175.51
废物处理 Waste disposal	3.65	8.24	9.71	4.59	125.75	1.47	17.84	6.06	166.03
保持土壤 Soil conservation	0.58	1.35	1.50	0.77	132.76	0.15	11.11	0.92	158.62
维持生物多样性 Maintain biodiversity	1.04	2.34	2.80	1.30	125.00	0.46	19.66	1.76	169.23
提供美学景观 Provide aesthetic landscape	1.07	2.46	2.88	1.39	129.91	0.42	17.07	1.81	169.16

从生态系统服务构成上来看,一级生态系统服务中,对总 ESV 贡献度最大的是调节服务,占 75.2%,其次是支持服务、文化服务和供给服务。2020 年的贡献率分别为 12.5%、8.4%、3.9%。表明研究区内居民从生态系统的调节服务中受益最多。单项生态系统服务功能中,水文调节、废物处理、气候调节是最主要的生态系统服务,在 3

个时期内均位列前位。其中水文调节价值最高,主要原因是研究区域位于东海沿岸,水网密集且降水充足。

2.3.3 ESV 空间分布

对 2000、2010、2020 年 3 个时期的研究区域构建 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ 的渔网,利用 ArcGIS 10.7 的空间分析功能,进行克里金插值,计算各研究区

域的单位ESV。将计算结果进行分级:低于3万元/hm²为极低,3~6万元/hm²为低,6~9万元/hm²为中,9~12万元/hm²为高,12万元/hm²以上为极高。

研究期间,上海海岸带(图6)ESV的极高和高值区明显减少,极低和低值区明显增多。各研究区域的单位面积ESV不断转低。2000年上海海岸带单位面积ESV极高区域集中在上海大陆侧,分布在浦东新区的国际机场建设区域和芦潮港附近。2000—2010年,随着上海城市化进程加快,高值区域发生了变化。上海临港新城的开发初期,土地利用类型主要以水体和湿地为主,此时间段该地区从大冶河至芦潮港段ESV均处于

高或极高,此外横沙岛也存在高值区。高值区域主要以湿地生态系统为主,分布在海岸带沿岸区域。但随着临港地区发展建设,大量水体和湿地转出,成为建设用地,单位面积ESV逐步降低。2020年,上海大陆侧单位面积ESV大于12万元/hm²已经完全消失。2020年ESV高值地区集中在长兴岛青草沙、横沙岛的建设水体区域以及崇明岛北部。大陆侧几乎全部处于低或极低,单位价值低的区域往往分布在建设用地。临港新片区仅剩滴水湖ESV处于中值水平。城市化进程中建设用地的开发和沿海湿地生态系统的减少是造成上海海岸带ESV变化的主要原因。

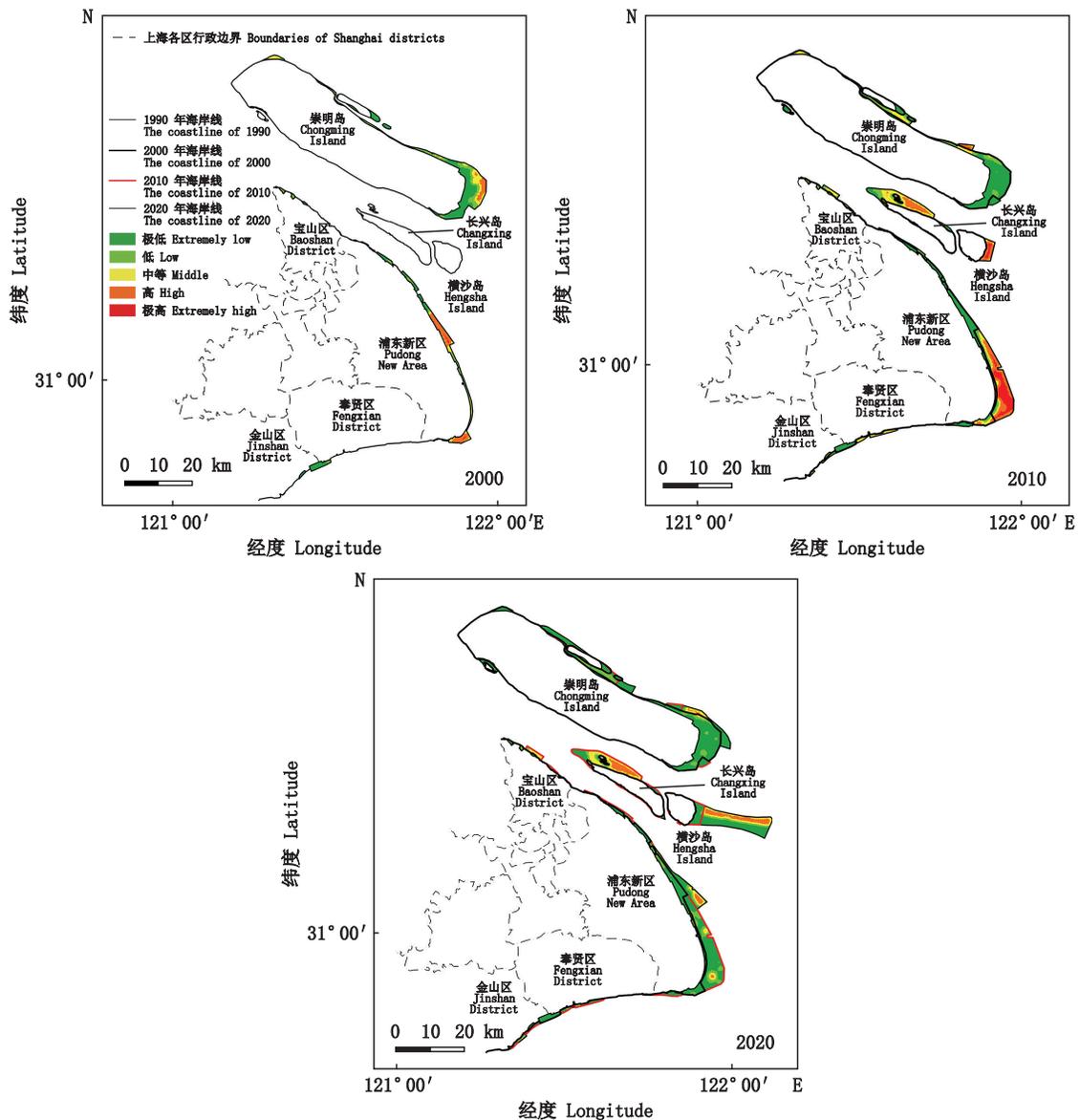


图6 2000—2020年上海海岸带ESV空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of ESV in Shanghai coastal zone from 2000 to 2020

3 讨论

上海海岸带演变和生态系统服务的变化主要受自然因素和人类活动共同影响。自然因素中泥沙输运,相对海平面的上升和生态环境的恶化等原因会使上海海岸带和ESV发生改变,流域减沙是造成河口侵蚀的重要原因之一。长江口由于受到三峡工程的影响,通过蓄水拦沙造成来沙量减小,三峡工程完成后前50年与天然情况相比,每年要少1 400 hm²土地^[28],长江口外的水下三角洲出现严重侵蚀^[29],破坏了沿岸植被和栖息地,沉积物被冲刷走,导致生态系统不稳定以及生物多样性减少。在全球气候变化背景下,根据IPCC和长江口地区的沉降趋势,预计21世纪末长江口相对海平面上升1 m左右^[30]。相对海平面的上升会造成长江口滨海湿地的轻度脆弱和中度脆弱比例增加^[31],同时也会造成滨海湿地面积减小^[32],从而造成上海海岸带总ESV降低,也会对水资源调节、海岸保护、生物多样性的维护等造成负面影响。不仅如此,由于人类活动的影响,长江口生态环境受到威胁,海水污染严重,水环境质量较差,导致长江口海域多年处于亚健康状态^[33],各种海岸工程导致各种海洋生物的栖息地严重破碎化^[34],从而造成水源和水资源受到污染,沿海景观和旅游价值下降,维护生物多样性等生态系统服务功能下降,相应的价值量减小。

人类活动中围填海影响最为广泛。按照时间划分,共可以分成3个阶段^[35]:第一阶段随着国家改革开放,围填海被列入发展,以此刺激了海洋经济的发展。但开发初期没有重视草地和林地对维护海岸带生态系统健康和功能的重要性,因此增加总面积较少;第二阶段由于国家2003年颁布《全国海洋经济发展规划纲要》,通过划分海洋功能区,进一步加快海岸带工业化建设,此时围填海热潮开始。主要通过填海造地进行工业园区、滨海旅游业、新区开垦以及沿海大型基础设施建设等活动。土地面积共增加255.48 km²。2010年,建设用地面积相比之前已经增大2倍,新增土地利用类型多以湿地和水体为主,面积分别为118.17 km²和103.89 km²,此时的填海主要是为浦东临港新城的建设服务。第三阶段为限制开发阶段。2010—2020年,上海海

岸带湿地面积减小32.08 km²,建设用地面积增加92.92 km²,建设面积的转入来源为湿地和水体。可见上海海岸带沿海企业在围填海政策收紧的同时,通过改变土地原有自然属性,达到通过进行商业活动得到经济补偿。2010—2020年湿地的转出造成对总ESV的贡献从15.12×10⁸ CNY下降至11.02×10⁸ CNY,气候调节服务能力也减弱。2020年,上海海岸带单位面积ESV的极高值已经消失,ESV高的地方集中在青草沙和崇明岛滨海湿地附近。

由此可见,滨海湿地为海岸带提供了多种宝贵的生态系统服务,同时也对支持海岸带生物多样性具有不可替代的作用^[36]。但随着人类活动的加剧,上海海岸带湿地的减少和建设用地面积的扩大,显著影响到生态系统服务功能,尤其是生物多样性^[37]。海岸带的演变,土地利用强度的增加,改变了栖息地的物种组成和丰富度,造成生态系统物种多样性的降低,进而改变原料供给、水源供给等生态系统服务功能,造成ESV的降低^[38],同时截至2018年,上海仅有13.6%的滨海湿地生态系统处于“健康”状态^[39]。因此,通过涵养水源和建立滨海湿地保护区是保护生物多样性、维护生态系统的健康和稳定的重要手段^[40]。在人类活动影响下的海岸带变化和生态系统服务受到多种因素共同影响,未来仍需进行更深入地研究,以此来减少人类开发带来的不良影响和维持生态系统的平衡,对于促进海岸带的管理和社会的可持续发展具有重要意义。

4 结论

本研究以1990、2000、2010和2020年的Landsat遥感数据为基础,结合Globe Land 30土地利用数据和上海海岸带ESV评估模型,探究上海海岸带演变和生态系统服务价值的时空特征,得出以下结论:

(1)1990—2020年间上海海岸带岸线长度变化明显。上海大陆岸线的长度总体增加11.24 km,呈上升到略微减少再上升的趋势;崇明岛岸线总体减少了16.36 km;长兴岛和横沙岛的海岸带岸线长度在1990—2000年间基本没有变化,在2000—2020年间长度增加,分别增长了13.47 km和45.57 km。

(2)1990—2020年间上海海岸带土地面积共

计增加 643.75 km²,集中在崇明东滩,浦东国际机场、临港新城、长兴岛的青草沙水库和横沙岛等区域。耕地在 3 个时期内面积比重最大,分别为 47.46%、43.17% 和 37.23%。建设用地 2020 年较 2000 年面积增长超过 10 倍,面积变化率也是所有土地类型中增长速度最快的。2000—2020 年,原有水体和湿地大量转出为耕地和建设用地,只有极少数仍然保留。

(3)从生态系统服务构成上来看,上海海岸带中水文调节、废物处理、气候调节是最主要的生态系统服务功能,在 2000、2010 和 2020 年都位居前列。其中水文调节价值最高,主要原因是研究区域位于东海沿岸,水网密集且降水充足。就 ESV 的空间分布而言,虽然围填海等造成总 ESV 增加,但单位面积 ESV 高值地区不断减少。建设用地的开发和沿海湿地生态系统的减少是造成变化的主要原因。

参考文献:

- [1] 刘玉斌. 中国海岸带典型生态系统服务价值评估研究 [D]. 烟台: 中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2021.
LIU Y B. Evaluation of typical ecosystem service value in China's coastal zone [D]. Yantai: University of Chinese Academy of Sciences (Yantai Institute of Coastal Zone Research Chinese Academy of Sciences), 2021.
- [2] 刘一鸣, 徐媛银, 曾辉. 中国东海海岸带地区生态系统健康评估及其尺度依赖性[J]. 生态学报, 2022, 42(24): 9913-9926.
LIU Y M, XU N Y, ZENG H. Ecosystem health assessment and its scale dependence in the coastal region of the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(24): 9913-9926.
- [3] 刘礼群, 江坤, 胡智, 等. 雄安新区国土空间开发的生态系统服务价值响应特征[J]. 生态学报, 2022, 42(6): 2098-2111.
LIU L Q, JIANG K, HU Z, et al. Response characteristics of ecosystem services values in territorial space development of Xiong'an New Area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(6): 2098-2111.
- [4] 刘青, 张卫国, LAM N SN, 等. 海岸侵蚀作用下海岸带地区极端风暴洪水风险评估——以上海石化为例[J]. 海洋通报, 2022, 41(2): 200-207.
LIU Q, ZHANG W G, LAM N SN, et al. Risk assessment of extreme storm flooding in coastal zones under coastal erosion: a case study in Shanghai Petrochemical [J]. Marine Science Bulletin, 2022, 41(2): 200-207.
- [5] 魏建兵, 肖笃宁, 解伏菊. 人类活动对生态环境的影响评价与调控原则[J]. 地理科学进展, 2006, 25(2): 36-45.
WEI J B, XIAO D N, XIE F J. Evaluation and regulation principles for the effects of human activities on ecology and environment[J]. Progress in Geography, 2006, 25(2): 36-45.
- [6] BOYD J, BANZHAF S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units [J]. Ecological Economics, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [7] COSTANZA R, D'ARCE R, DEGROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [8] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
OUYANG Z Y, WANG R S, ZHAO J Z. Ecosystem services and their economic valuation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635-640.
- [9] DOOLEY E E. EHPnet: millennium ecosystem assessment [J]. Environmental Health Perspectives, 2005, 113(9): A591.
- [10] 喻露露, 张晓祥, 李杨帆, 等. 海口市海岸带生态系统服务及其时空变异[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2431-2441.
YU L L, ZHANG X X, LI Y F, et al. Coastal ecosystem services and their spatial-temporal variation in Haikou, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(8): 2431-2441.
- [11] 贾琦. LUCC 影响下近 30 年荥阳市生态系统服务价值演变特征研究[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(6): 95-103.
JIA Q. Evolution characteristics of ecosystem service value in Xingyang City in recent 30 years under the influence of LUCC [J]. Safety and Environmental Engineering, 2020, 27(6): 95-103.
- [12] 李丽, 王心源, 骆磊, 等. 生态系统服务价值评估方法综述[J]. 生态学杂志, 2018, 37(4): 1233-1245.
LI L, WANG X Y, LUO L, et al. A systematic review on the methods of ecosystem services value assessment [J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(4): 1233-1245.
- [13] 於方, 杨威杉, 马国霞, 等. 生态价值核算的国内外最新进展与展望[J]. 环境保护, 2020, 48(14): 18-24.
YU F, YANG W S, MA G X, et al. The latest development and prospect of ecological value accounting at home and abroad [J]. Environmental Protection, 2020, 48(14): 18-24.
- [14] 姜忆涓, 李加林, 龚虹波, 等. 围填海影响下海岸带生态服务价值损益评估——以宁波杭州湾新区为例[J]. 经济地理, 2017, 37(11): 181-190.
JIANG Y M, LI J L, GONG H B, et al. Ecosystem service

- value assessment of coastal zone caused by reclamation: A case study of Ningbo Hangzhou bay new zone [J]. *Economic Geography*, 2017, 37(11): 181-190.
- [15] 孙静,张英,乔庆华,等. 围填海工程监测及生态系统服务价值变化分析[J]. *测绘科学*, 2020, 45(12): 197-204.
- SUN J, ZHANG Y, QIAO Q H, et al. Reclamation project monitoring and ecosystem service value change analysis [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2020, 45(12): 197-204.
- [16] BEAUMONT N J, JONES L, GARBUTT A, et al. The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2014, 137: 32-40.
- [17] 陈万旭,刘志玲,李江风,等. 长江中游城市群生态系统服务和城镇化之间的空间关系研究[J]. *生态学报*, 2020, 40(15): 5137-5150.
- CHEN W X, LIU Z L, LI J F, et al. Mapping the spatial relationship between ecosystem services and urbanization in the middle reaches of the Yangtze River Urban Agglomerations [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(15): 5137-5150.
- [18] 钱静,栾奎峰,陆雪骏,等. 基于Landsat数据的近30年上海大陆岸线变化分析[J]. *海洋测绘*, 2020, 40(5): 63-68.
- QIAO J, LUAN K F, LU X J, et al. Analysis of Shanghai continental coastline in recent 30 years based on Landsat satellite data [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2020, 40(5): 63-68.
- [19] 高媛. 全球30米土地覆盖产品的精度评估研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2021.
- GAO Y. Accuracy assessment of global 30 m land cover products [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2021.
- [20] 安佰超. 基于FVCOM的杭州湾及邻近海域潮汐动力学数值模拟和应用研究[D]. 上海线: 上海海洋大学, 2016.
- AN B C. Numerical studies and application of tidal dynamics based on FVCOM in Hangzhou Bay and adjacent seas [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [21] 康波. 基于遥感和GIS的长岛南五岛近30年海岸线时空变迁分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- KANG B. Spatial-temporal changes of the coastline in Five South Island of Long Island in recent three decades on RS and GIS [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [22] 冯永玖,刘丹,韩震. 遥感和GIS支持下的九段沙岸线提取及变迁研究[J]. *国土资源遥感*, 2012(1): 65-69.
- FENG Y J, LIU D, HAN Z. Shoreline extraction and change analysis of the Jiuduansha Islands with the support of remote sensing and GIS technologies [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2012(1): 65-69.
- [23] 侯西勇,毋亭,王远东,等. 20世纪40年代以来多时相中国大陆岸线提取方法及精度评估[J]. *海洋科学*, 2014, 38(11): 66-73.
- HOU X Y, WU T, WANG Y D, et al. Extraction and accuracy evaluation of multi-temporal coastlines of China's Mainland since 1940s [J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(11): 66-73.
- [24] 王常颖,王志锐,初佳兰,等. 基于决策树与密度聚类的高分辨率影像海岸线提取方法[J]. *海洋环境科学*, 2017, 36(4): 590-595.
- WANG C Y, WANG Z R, CHU J L, et al. Coastline extraction from high-resolution image based on decision tree and density clustering algorithms [J]. *Marine Environmental Science*, 2017, 36(4): 590-595.
- [25] 郑又能,肖宇峰,寸超,等. 基于改进区域生长的水岸线提取方法研究[J]. *计算机应用研究*, 2020, 37(6): 1876-1881.
- ZHENG Y N, XIAO Y F, CUN C, et al. Research on waterfront line extraction based on improved region growing method [J]. *Application Research of Computers*, 2020, 37(6): 1876-1881.
- [26] 景晓栋,田贵良,班晴晴,等. 基于文献计量的21世纪以来我国生态系统服务研究现状及发展趋势[J]. *生态学报*, 2023, 43(17): 7341-7351.
- JING X D, TIAN G L, BAN Q Q, et al. Knowledge map analysis of current status and development trend of ecosystem services research in China since the 21st century [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(17): 7341-7351.
- [27] 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[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.
- [28] 陈吉余,徐海根. 三峡工程对长江河口的影响[J]. *长江流域资源与环境*, 1995, 4(3): 242-246.
- CHEN J Y, XU H G. Impacts of the Yangtze River Three-Gorge Hydro-engineering works on the Yangtze Estuary [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1995, 4(3): 242-246.
- [29] 丛宁,张振克,夏非. 人类活动与全球变暖影响下长江口海岸地貌动态与灾害趋势研究[J]. *河南科学*, 2010, 28(5): 605-611.
- CONG N, ZHANG Z K, XIA F. A study on coastal geomorphological changes and disasters of the Changjiang river estuary under the influences of human activities and global warming [J]. *Henan Science*, 2010, 28(5): 605-611.
- [30] 孙弋. 近20年来长江水下三角洲的冲淤演变及驱动因素分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- SUN Y. Accretion-erosion evolution and its driving

- mechanisms of Yangtze underwater delta over the past nearly 20 years [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018.
- [31] 崔利芳, 王宁, 葛振鸣, 等. 海平面上升影响下长江口滨海湿地脆弱性评价[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 553-561.
- CUI L F, WANG N, GE Z M, et al. Vulnerability assessment on the coastal wetlands in the Yangtze Estuary under sea-level rise [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 553-561.
- [32] 易思, 谭金凯, 李梦雅, 等. 长江口海平面上升预测及其对滨海湿地影响[J]. 气候变化研究进展, 2017, 13(6): 598-605.
- YI S, TAN J K, LI M Y, et al. Projection of sea level rise and its impacts on coastal wetlands within the Yangtze estuary[J]. Climate Change Research, 2017, 13(6): 598-605.
- [33] 刘鹏霞, 邵晓静, 时俊, 等. 长江口—杭州湾区域生态环境问题与综合治理途径——以上海市为例[J]. 环境保护, 2022, 50(19): 45-51.
- LIU P X, SHAO X J, SHI J, et al. Eco-environmental problems and the comprehensive treatment in the region of Yangtze Estuary and Hangzhou Bay: a case study of Shanghai [J]. Environmental Protection, 2022, 50(19): 45-51.
- [34] 王孝程, 解鹏飞, 李晴, 等. 长江口海域生态环境状况及保护对策[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1197-1205.
- WANG X C, XIE P F, LI Q, et al. Ecological environment of the Yangtze Estuary and protection countermeasures[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(5): 1197-1205.
- [35] 卢婧. 基于IAD框架的深圳市非正规围填海造地处置机理研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
- LU J. Research on the government strategy of irregular reclamation in Shenzhen based on IAD framework [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2022.
- [36] 姚焱中. 基于土地利用的辽宁海岸带生态系统服务价值时空变化及多情景预测[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2022.
- YAO Y Z. Study on spatial-temporal changes and multi-scenarios prediction of Liaoning coastal ecosystem service valuebase on land use [D]. Shenyang: Liaoning University, 2022.
- [37] 张婷玉. 上海市近40年滨海湿地时空格局及其驱动机制[D]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- ZHANG T Y. Spatial-temporal pattern and driving mechanism of coastal wetlands in Shanghai over the past 40 years [D]. Shanghai: East China Normal University, 2022.
- [38] QI Y, LIAN X H, WANG H W, et al. Dynamic mechanism between human activities and ecosystem services: a case study of Qinghai lake watershed, China [J]. Ecological Indicators, 2020, 117: 106528.
- [39] 林世伟. 上海市潮滩湿地退化评估及生态修复优先区识别[D]. 上海: 华东师范大学, 2021.
- LIN S W. Quantitative assessment of tidal wetlands degradation and the identification of priority areas for ecological restoration in Shanghai City [D]. Shanghai: East China Normal University, 2021.
- [40] 赵广华, 田瑜, 唐志尧, 等. 中国国家级陆地自然保护区分布及其与人类活动和自然环境的关系[J]. 生物多样性, 2013, 21(6): 658-665.
- ZHAO G H, TIAN Y, TANG Z Y, et al. Distribution of terrestrial national nature reserves in relation to human activities and natural environments in China [J]. Biodiversity Science, 2013, 21(6): 658-665.

Coastal zone evolution and ecosystem service value change in Shanghai

CUI Ziao, GAO Guoping, CHEN Jie

(College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to carry out the study on the evolution of Shanghai coastal zone and the change of ecosystem service value, the experiment analyzed the characteristics of shoreline length change in Shanghai coastal zone based on Landsat remote sensing image data in 1990, 2000, 2010 and 2020; combined the data of Globe Land 30 with spatial analysis to explore the land change and land transfer in three periods from 1990–2000, 2000–2010 and 2010–2020; and on this basis, constructed the ESV model of Shanghai coastal zone to clarify the spatial and temporal characteristics of ESV in Shanghai coastal zone from 2000 to 2020. The results show that, between 1990 and 2020, the shoreline of Shanghai mainland displayed a trend of increasing, then slowly decreasing, and finally increasing due to human activities and natural factors, with the shoreline of Chongming Island decreasing and the shoreline of Changxing Island and Hengsha Island increasing. Meanwhile, due to the intensity of human activities and increased coastal engineering, the land use area of the coastal zone changed significantly, with an increase in arable land and construction land. In addition, due to land expansion, the Shanghai coastal zone showed an increasing trend of ESV during the study period, but its wetland ESV decreased by 28.59% between 2010 and 2020. In terms of spatial distribution, the ESV of Shanghai coastal zone gradually shifted from medium to high value areas to low and very low areas, and by 2020, areas with very high ESV per unit area had largely disappeared. The development of construction land in urban process and the reduction of coastal wetland ecosystem are the main reasons for the change of ESV in Shanghai coastal zone. This study can provide scientific basis and decision support to guide the environmental management of coastal zone as well as sustainable development in Shanghai.

Key words: coastal zone; ecosystem services; land use; land reclamation; equivalence factor; Shanghai