

DOI: 10.5846/stxb201712182272

肖甜甜, 李杨帆, 向枝远. 基于生态系统服务评价的围填海区域景观生态红线划分方法及应用研究. 生态学报, 2019, 39(11): - .

Xiao T T, Li Y F, Xiang Z Y. Application of landscape ecological redline based on ecosystem services in mainland China's coastal reclamation area. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(11): - .

基于生态系统服务评价的围填海区域景观生态红线划分方法及应用研究

肖甜甜¹, 李杨帆^{1,2,*}, 向枝远¹

1 滨海湿地生态系统教育部重点实验室(厦门大学), 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361102

2 厦门大学海洋与海岸带发展研究院, 厦门 361102

摘要:以围填海活动为代表的高强度的人类开发利用方式从根本上改变了海岸带地区的自然属性, 区域生态环境发生了深刻变化。本研究定位于我国大陆沿海的围填海区域, 通过人机交互目视解译的方法获取我国大陆沿海围填海区域的矢量数据, 基于围填海活动影响下海岸带区域的景观类型和生态系统服务变化的评估结果, 识别我国海岸带的生态脆弱区和重点保护区, 提出围填海区域景观生态红线的划分方法。通过分析可知: (1) 围填海区域景观生态红线区呈现出“总体分散、局部集中”的分布特点; (2) 景观生态红线区主要分布在人工湿地和残存自然湿地中。围填海区域是进行海陆统筹研究的关键区域, 而景观生态红线作为识别其重要生态功能区, 并进行二次保护和抢救性保护的有效手段, 将为我国海岸带生态管理提供新思路和新方法。

关键词: 围填海区域; 生态系统服务评价; 景观生态红线

Application of landscape ecological redline based on ecosystem services in mainland China's coastal reclamation area

XIAO Tiantian¹, LI Yangfan^{1,2,*}, XIANG Zhiyuan¹

1 Key Laboratory of Coastal and Wetland Ecosystems (Ministry of Education), College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China

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

Abstract: Natural features and ecosystem conditions at coastal zones have been changing with sea reclamation activities, intensive human exploitation, and utilization. The study area is located in a coastal reclamation area in mainland of China. Vector data for the coastal reclamation area were obtained using a human-computer interactive visual interpretation method. Based on the vector data, the impacts of coastal reclamation on changes in the landscape types and ecosystem services in the coastal reclamation area were evaluated. Important eco-zone and eco-fragile areas were identified based on the results of ecosystem service assessment. The main conclusions of this study were as follows: (1) The characteristics of the Landscape Ecological Redline in the coastal reclamation area showed a generally dispersed and regionally centralized distribution. (2) The Landscape Ecological Redline was distributed in the landscape of artificial wetland and remaining natural wetland. The sea reclamation area is important for researching the integration of land and sea. These results provide data support and methods for integrating the land and sea as a research case to improve management systems of the land and sea.

Key Words: coastal reclamation area; ecosystem service value evaluation; landscape ecological redline

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671084); 福建省自然科学基金项目(2017J01078)

收稿日期: 2017-12-18; 网络出版日期: 2018-00-00

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

海岸带 (Coastal Zone) 地处陆地与海洋相互作用的交界地带^[1], 其面积仅占全国的 13%, 却承载了全国 43.5% 的人口, 贡献了 58.6% 的 GDP^[2]。海岸带分布着大量具有重要生态功能的滨海湿地, 同时也是受人类开发利用活动干扰最严重的区域^[3]。围填海活动作为一种高强度的海岸带资源开发利用方式, 对沿海湿地和近海海洋造成了显著的生态环境影响^[4-5], 特别是生态系统服务价值的严重损失^[6-7]。围填海区域已经成为海岸带地区生态管理的重点区域, 但该区域中陆海交互作用复杂且空间系统界限不明确, 给生态管理调控等方面带来了较大的困难^[3]。

生态系统服务 (Ecosystem Service) 的概念自提出以来^[8], 引起了学术界的广泛关注。随着生态系统服务价值的概念、分类体系的逐渐完善, 其货币化的评估方法由于其可市场化、更加直观的优点, 得到了广泛的应用^[9-12], 以生态系统服务价值评估为基础的政策研究成为其发展趋势^[13-17]。生态红线管理是以生态系统功能重要性作为划分标准, 在重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域划分边界来进行严格管控, 现有的生态红线研究在生态红线指标和框架的制定, 以及划分方法、保障措施和生态功能等方面取得了较大的进展, 但同时也存在指标较多、方法较为复杂, 且划分对象多针对独立的陆地和海洋生态系统等问题^[18-22]。近年来提出的生态保护红线政策、陆地和海洋生态红线划分指南等管理办法^[23-24], 对于海岸带围填海区域的管理范围未做出明确划分, 特别是在该区域中如何通过生态红线的划分对尚存的自然和半自然湿地开展抢救性保护, 这是陆海统筹管理和海岸带可持续发展的突出问题。

本研究所指的景观生态红线是指在景观尺度上划分的生态红线, 其方法是通过人机交互目视解译方法获取我国大陆沿海围填海区域土地利用的矢量数据, 进行围填海活动对海岸带区域的景观类型和生态系统服务价值变化的影响评估, 识别我国海岸带的生态脆弱区和重点保护区, 根据生态系统服务价值变化的冷热点分析结果划分围填海区域中需要抢救性保护的部分, 并作为景观生态红线保护区。该方法弥补了过去在景观尺度上开展生态红线划分工作时所存在的理论方法支撑不足的问题, 且该方法还具有科学简便易操作的特点, 也抓住了生态红线划分中“重要生态功能”这一重点内容。

1 研究区与研究方法

1.1 数据来源及研究区概况

本文的数据主要包括 1990 年海岸带湿地矢量数据 (来自中国科学院遥感与数字地球研究所)、1990—2015 年的围填海矢量数据 (基于 Google Earth 高分辨率在线遥感影像通过人机交互目视解译获得, 表 1)^[25]、

表 1 1990 年海岸带类型以及 2015 年围填海区域景观类型面积统计表/hm²

Table 1 The statistical table of coastal zone data, 1990 and sea reclamation data, 2015

面积 Area/hm ²	福建省	广东省	广西壮族自治区	海南省	河北省	江苏省	辽宁省	山东省	上海市	天津市	浙江省
1990 滨海湿地	15246	22217	463	150	33220	119223	58306	52767	42282	4207	48215
近海水域	22735	32215	8832	3103	16235	64643	110031	71473	33831	53060	98951
2015 耕地	891	947	0	0	0	7053	1886	90	22982	5409	18223
林地	174	987	35	26	0	59	3	36	610	0	129
草地	324	87	3	89	0	99	123	61	0	0	924
建设用地	10096	14135	3418	1598	47478	13833	38322	11296	7436	20936	18685
残存自然湿地	1249	1590	176	141	155	45333	5969	6513	16863	526	8748
盐田	536	213	10	113	119	152	914	27830	6372	0	15738
水产养殖	19026	20901	1319	113	24599	96759	93747	38327	3063	6217	36038
裸地	4987	13265	3873	853	3810	15335	21051	12965	6251	12310	21366
新围水域	918	2390	464	407	7899	5281	6417	27184	12772	11896	27772

沿海自然保护区空间分布数据^[26]和沿海的“三生(生产、生活、生态)”用地空间分布数据(以土地的生产、生活和生态功能为主导,同时兼顾其多功能性,统筹生产、生活和生态用地空间,包括生态用地、生态生产用地(具有生态与生产双重功能,但其提供的生态功能强于生产功能)、生产生态用地(具有较强的生产功能和部分生态功能)和生活生产用地(生产和生活功能交互在一起)等四大类,体现了土地的主体功能和次要功能)^[27]。本研究区域范围为我国大陆沿海 11 省份(含自治区和直辖市)1990 年海岸线与 2015 年海岸线之间的围填海区域(图 1)。

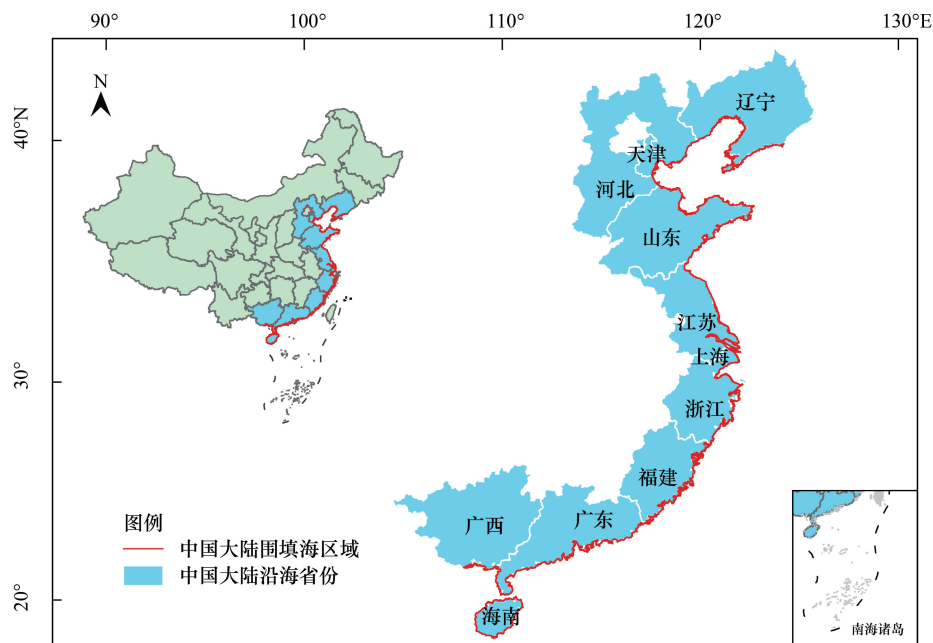


图 1 研究区位图

Fig.1 Location of study area

中国省级行政边界数据来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=200>)

1.2 技术路线

本研究以我国大陆沿海的围填海区域为研究对象,评估围填海活动对海岸带区域不同景观类型造成的生态系统服务价值变化,并识别我国海岸带的生态脆弱区和重点保护区,其中 2015 年生态系统服务价值高的区域(热点)为围填海区域的重要生态区,1990—2015 年的生态系统服务损失价值高的区域(冷点)为围填海区域的生态脆弱区,并将两者结合作为围填海区域景观生态红线区的划分基础,同时将划分的景观生态红线区分别与我国沿海自然保护区和沿海“三生用地”进行空间叠加分析(图 2)。

1.2.1 生态系统服务类型识别

本研究在景观类型的基础上识别生态系统服务类型,确定单位生态系统服务价值。其中单位生态系统服务价值在参考相关研究结果的基础上^[8-9,28],转换为我国的货币单位(元)进行评估,进而得到我国围填海区域生态系统服务的分类体系和单位价值表(表 2)。

1.2.2 生态系统服务价值的评估方法

本研究用不同围填海景观类型的面积乘以该景观类型的单位服务价值^[8],计算公式为:

$$ESV = \sum A_i \times VC_i \quad (1)$$

式中, ESV 为生态系统服务价值; A_i 为围填海区域第 i 类景观的面积; VC_i 为相应的单位价值系数,即单位面积生态系统服务价值。

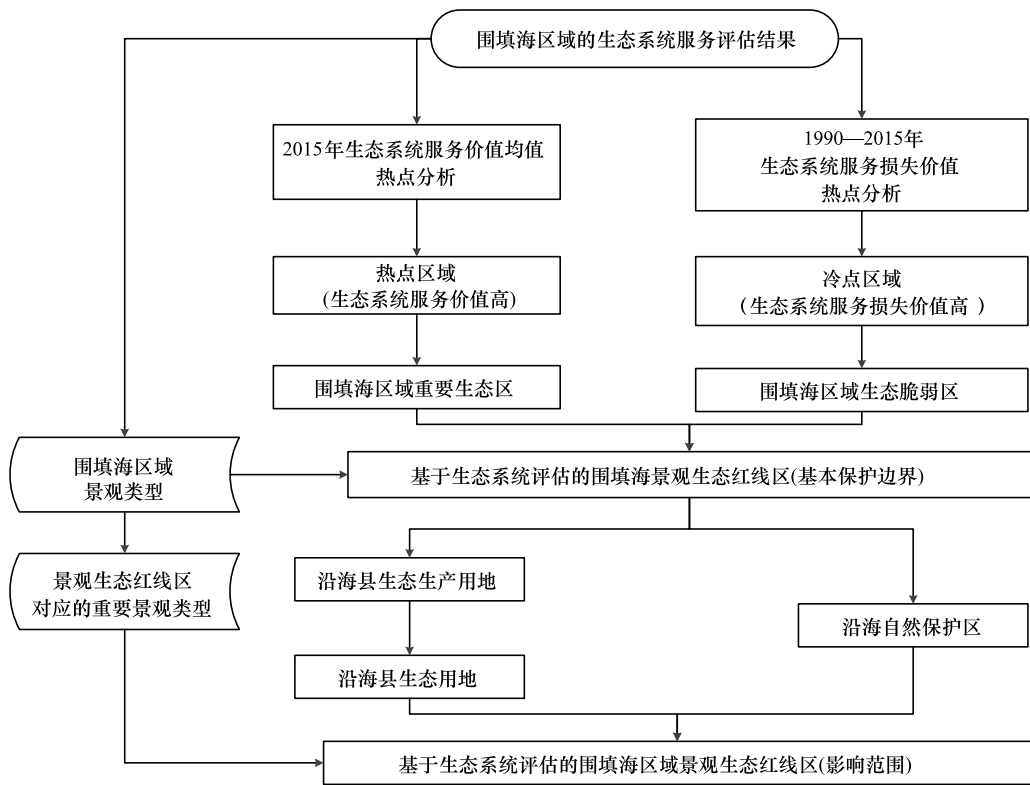


图2 我国海岸带区域的景观生态红线划分技术路线

Fig.2 Technical route of landscape ecological redline drawn in coastal reclamation area

表2 我国围填海区域生态系统服务分类及单位价值/(元/hm²)

Table 2 Classification and per value of ecosystem service in sea reclamation area

生态系统服务分类 Ecosystem services classification		土地利用类型 Land use type						
		耕地	林地	草地	城市	近海水域	湿地	水产养殖
供给服务 Provisioning services	食物	17664	2053	9064		3080	7239	136246
	原材料	1665	1156	411		1544	3163	13625
	净水	3042	1087	456			7292	
调节服务 Regulating services	基因资源	7923	3407	9231		2448	1848	
	气体调节	3125	5406	304	6882	570	1521	
	碳储存		30	68				
	干扰调节		144			1163	34948	
	废物处理	3019	912	570		8	846667	
	水处理		23	23	122		13672	
	侵蚀控制	814	760	335		36263	26667	
	授粉	167	68	266				
	生物控制	251	1285	236		350	2304	
文化服务 Cultural services	娱乐	624	7247	198	43647	6866		
	审美价值		8	1270		1536	4836	
支持服务 Supporting services	栖息地		4707	9231		1308	94685	
	土壤形成	4045	106	15				
	营养循环		502			12874	4388	

水产养殖的生态系统服务需要全国单位面积水产品产量(t hm^{-2})和水产品平均价格(元/t)的数据,取40%利润率作为食物供给价值,用地原材料的生产功能按照食品生产功能的10%计算;盐田的生态系统服务价值主要为原材料供给价值,需获取单位面积原盐产量($\text{t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)、平均价格(元/t)和生产成本(元/t)的数据。考虑到围填海区域的未利用地(裸地、新围水域)是经过人工强烈改造过的用地类型,且对其未来的利用具有高度的不确定性,因此本次研究对于围填海区域中未利用地的生态系统服务价值暂不做考虑。不同景观类型的生态系统服务价值当量均统一到2007年标准

每种景观类型的总生态系统服务价值为各种生态系统服务价值的总和:

$$ESV_T = \sum_1^n ESV_i$$
 (2)

式中, ESV_T 是围填海区域各种景观类型的生态系统服务价值总和, ESV_i 是第 i 类景观的生态系统服务价值。

1.2.3 生态系统服务价值热(冷)点分析

本研究利用 ArcGIS 10.2 中的 Getis-Ord 工具对 2015 年生态系统服务价值及 1990—2015 年生态系统服务损失价值的计算结果进行热(冷)点分析。本研究中的冷热点分析定位于围填海区域内的不同生态系统,空间分辨率位于第 22 级,空间单元大小为 0.0694 m×0.0694 m。我国围填海区域 2015 年的生态系统服务价值高的密集区域,则形成热点区,价值低的密集区域则形成冷点区;同理,我国围填海区域 1990—2015 年的生态系统服务损失价值高的密集区域形成冷点区,损失价值低的密集区域形成热点区。

1.2.4 景观生态红线区的划分方法

2015 年生态系统服务价值高的区域(热点)具有食物供给、气候调节、水土涵养等重要的生态系统服务,需要重点保护,设定为围填海区域的重要生态区;1990—2015 年的生态系统服务损失价值高的区域(冷点)抗干扰能力弱,对外界的干扰影响比较敏感,应减少或避免人类活动的干扰影响,设定为围填海区域的生态脆弱区,并将围填海区域的重要生态区和生态脆弱区结合作为围填海区域景观生态红线区的划分基础,对受人类活动影响较大的区域进行二次保护。

围填海区域的景观生态红线区需要兼顾陆地生态区和沿海保护区的相关性。因此本研究将划分的景观生态红线区分别与我国沿海自然保护区和沿海“三生用地”进行空间叠加分析。

2 结果

2.1 生态系统服务价值评估结果

1990—2015 年,我国沿海各省市围填海区域的生态系统服务价值差异明显(表 3)。1990 年,我国沿海省份中,江苏省、上海市、辽宁省、浙江省和山东省的生态系统服务总价值较高,以江苏省最高;2015 年,我国沿海各省市的供给服务差别较大,辽宁省、浙江省、江苏省、福建省、山东省和广东省的供给服务价值远远高于其他服务价值,此外上海市的调节服务价值大于供给服务价值,江苏省和浙江省的调节服务价值高于文化服务

表 3 1990—2015 年我国沿海区域生态系统服务价值(ESV)变化情况/亿元
Table 3 Changes of ecosystem service value (ESV) in coastal region from 1990 to 2015

ESV/ (10 ⁸ yuan a ⁻¹)	年份 Year	福建省	广东省	广西省	海南省	河北省	江苏省	辽宁省	山东省	上海市	天津市	浙江省	总计 Total
供给服务 Provisioning services	1990	14.06	35.64	1.38	0.25	10.63	38.70	36.28	51.70	10.80	4.81	43.17	247.43
	2015	166.59	112.27	8.15	0.85	27.39	161.72	226.50	128.82	13.84	6.61	216.48	1069.22
	1990—2015	152.52	76.63	6.77	0.60	16.76	123.03	190.22	77.11	3.04	1.79	173.31	821.79
调节服务 Regulating services	1990	18.96	44.42	5.80	1.49	31.47	297.43	207.70	100.71	221.10	22.45	116.08	1067.62
	2015	1.82	4.45	0.55	0.17	3.39	27.55	9.26	3.60	34.83	2.29	37.42	125.33
	1990—2015	-17.14	-39.97	-5.25	-1.32	-28.08	-269.88	-198.44	-97.11	-186.27	-20.17	-78.66	-942.30
文化服务 Cultural services	1990	3.00	3.12	0.75	0.27	6.66	11.89	12.38	8.77	4.26	4.71	11.49	67.30
	2015	4.52	6.31	1.51	0.71	20.74	9.69	17.08	5.47	3.87	9.22	8.50	87.63
	1990—2015	1.52	3.19	0.76	0.44	14.08	-2.20	4.70	-3.30	-0.39	4.51	-2.99	20.33
支持服务 Supporting services	1990	5.23	4.89	1.49	0.46	11.23	40.55	35.42	19.93	24.23	7.99	25.39	176.81
	2015	0.22	0.24	0.05	0.03	0.02	6.38	0.53	0.91	0.40	0.07	2.44	11.28
	1990—2015	-5.02	-4.65	-1.44	-0.43	-11.20	-34.17	-34.89	-19.03	-23.83	-7.91	-22.96	-165.53
总计 Total	1990	41.26	88.06	9.42	2.48	59.98	388.57	291.79	181.11	260.39	39.96	196.13	1559.16
	2015	173.14	123.27	10.26	1.76	51.53	205.34	253.38	138.79	52.95	18.18	264.84	1293.45
	1990—2015	131.88	35.21	0.83	-0.71	-8.45	-183.22	-38.40	-42.32	-207.44	-21.78	68.71	-265.71

价值和支持服务价值;1990—2015 年的生态系统服务损失价值较大的省份主要包括:江苏省、上海市、辽宁省、山东省和天津,且其生态系统服务损失价值最多的为调节服务和支撑服务;1990—2015 年的生态系统服务价值增加的省份主要包括:福建省、广东省、广西省、浙江省,且以福建省的生态系统服务总价值增加最显著。

2.2 围填海区域的生态系统服务冷热点分析

2.2.1 围填海区域重要生态区的范围

生态系统服务价值越高的区域则生态环境越好,故本文将 2015 年高生态系统服务价值区设定为围填海区域的重要生态区,见图 3 中的热点区域。图 3 显示,围填海区域的重要生态区(热点区域)总面积为 $8.07 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占我国大陆沿海围填海区域的 8.5%,但其分布较为分散,零散分布于浙江、福建、广东和广西的部分区域。这些区域均位于我国南部沿海,沿岸多山地,围填海强度比较低,同时森林覆盖率比较高,生态环境较好,因此生态系统服务价值较高。

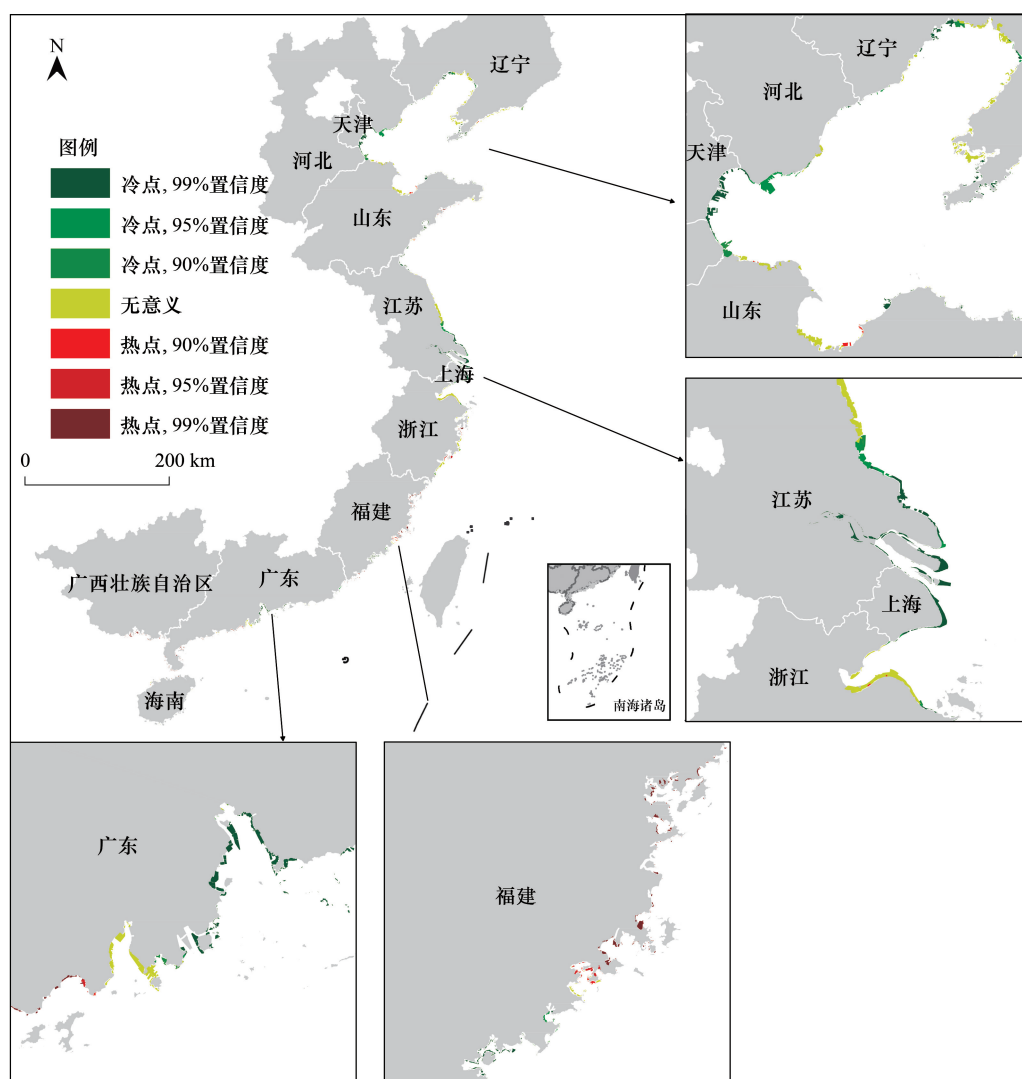


图 3 2015 年生态系统服务价值的热(冷)点分析图

Fig.3 Hot-cold-spot analysis of ecosystem service value in 2015

2.2.2 围填海区域生态脆弱区的范围界定

1990—2015 年生态系统服务损失价值较多的区域生态环境受损较严重,生态脆弱度高,故本研究将其设

定为围填海的生态脆弱区,见图 4 中的冷点区域。图 4 显示围填海生态脆弱区面积共计 $2.09 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占我国大陆沿海围填海区域的 22.1%, 为重要生态区面积的 2.6 倍。其主要集中在渤海的北岸和西南岸、江苏东南部以及浙江北部, 即这些区域 25 年间的生态系统服务损失价值高于其他区域。近年来, 渤海沿岸加快建设步伐, 围填海强度增加, 对沿岸生态环境破坏较大, 生态系统服务价值损失较多。

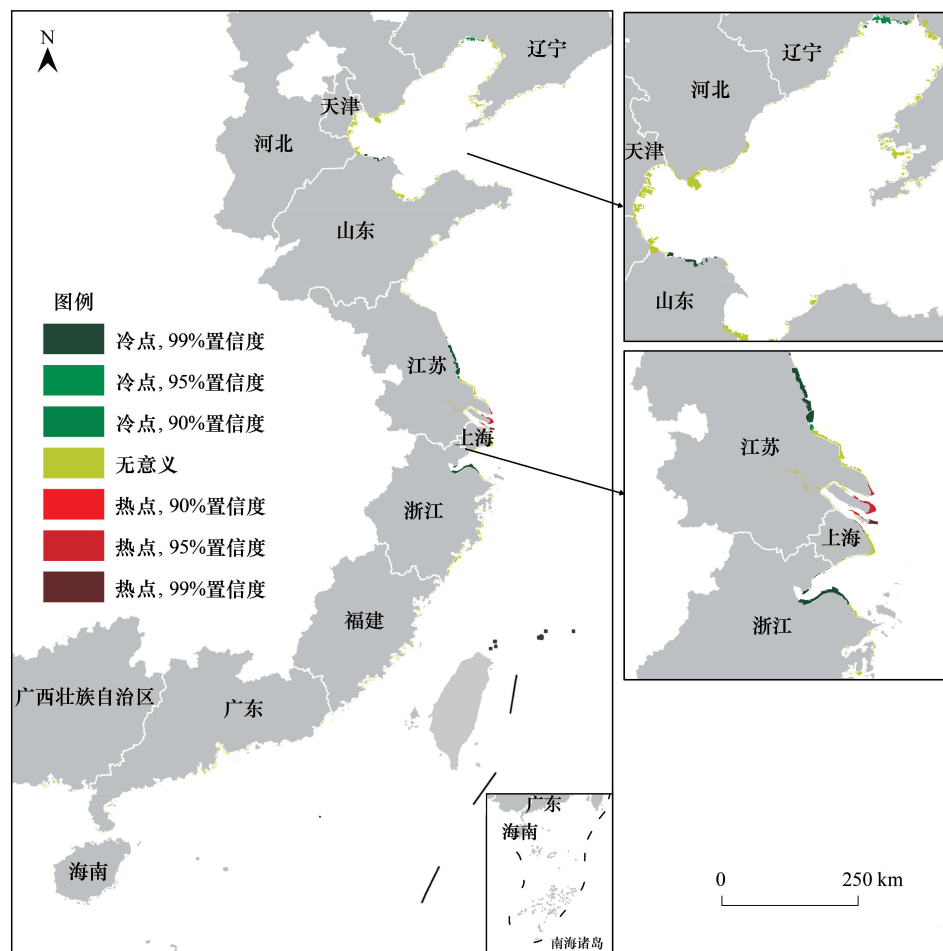


图 4 生态系统服务损失价值的热(冷)点分析图

Fig.4 Hot-cold-spot analysis of ecosystem service value loss from 1990 to 2015

2.3 景观生态红线区域划分

本文将基于生态系统服务评价识别得出的围填海区域重要生态区和生态脆弱区,作为围填海区域的景观生态红线的划分基础,划分出围填海区域景观生态红线区(图 5),其面积约为 $2.89 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。

围填海的景观生态红线区呈现出沿海区域总体分散、局部集中分布的特点,主要分布在辽宁南部、河北东部、山东西北和东南部、江苏东南部、浙江北部、福建东北部和广东西南部等区域。

本研究将划分的围填海景观生态红线区与沿海自然保护区和“三生用地”进行了叠加分析(图 6),三者相互独立但在空间上有重叠,其中景观生态红线区面积共计 $2.89 \times 10^5 \text{ hm}^2$,沿海自然保护区面积共计 $18.06 \times 10^5 \text{ hm}^2$,“三生用地”面积共计 $2.39 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (其中生态用地共计 $6.13 \times 10^6 \text{ hm}^2$,生产生态用地共计 $1.33 \times 10^7 \text{ hm}^2$,生活生产用地共计 $2.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$,生态生产用地共计 $2.50 \times 10^6 \text{ hm}^2$)。结果表明大部分的沿海自然保护区都有分布在围填海景观生态红线附近的区域,二者在空间上较为吻合(景观生态红线区与沿海自然保护区相交的面积为 $5.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$),特别是在渤海沿岸、江苏沿岸以及广东沿岸;而大部分围填海的景观生态红线区与沿海“三生用地”中的生产生态用地相邻,尤其是在江苏沿岸滩涂湿地,则可见人类的生产活动对沿海区

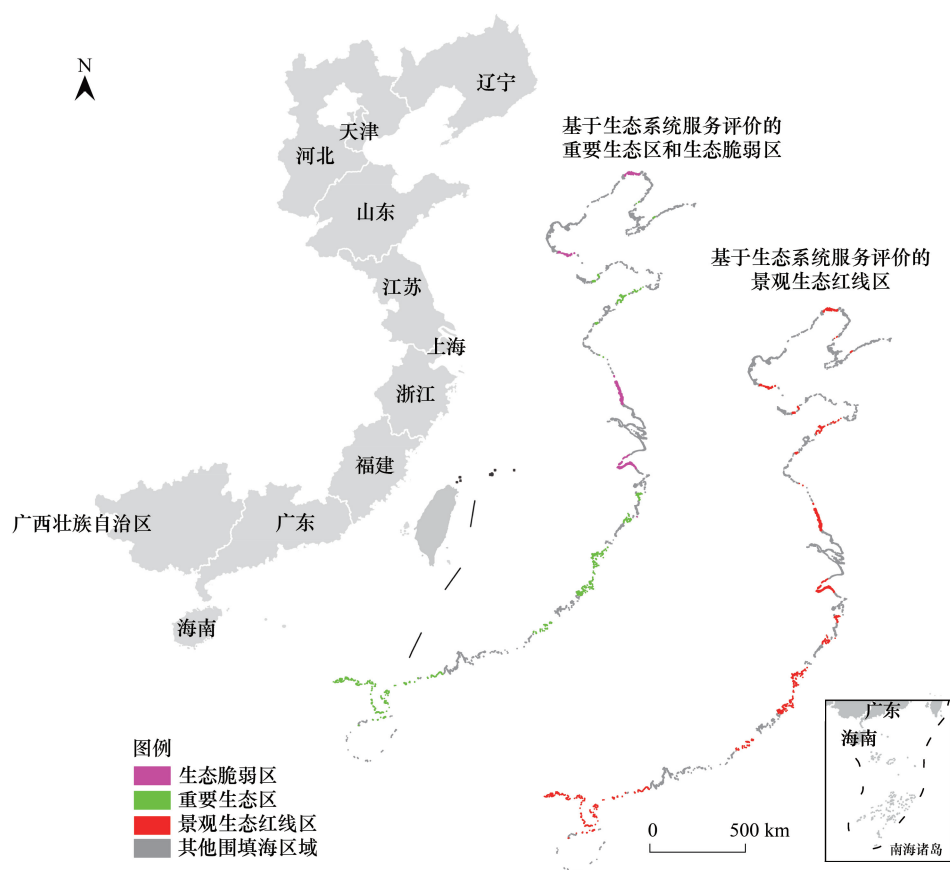


图 5 基于生态脆弱区和重要生态区确定的景观生态红线区

Fig.5 Landscape Ecological Redline based on ecological fragile area and important ecological area

域的影响较大,对沿海生态环境造成了一定的破坏,需要限制人类活动、加大对沿海生态环境的保护力度。鉴于围填海景观生态红线区与沿海区域的生产生态用地、沿海自然保护区空间毗邻的关系(图 6),景观生态红线区以及沿海自然保护区在后续的保护和管理中依然会受到人类活动的干扰,因此如何减少海岸带区域人类活动的干扰以及平衡海岸带开发和生态环境保护将成为保护沿海生态环境的重点。

3 讨论

我国生态红线划分的对象多为省级或者市级区域^[30-31],本研究则定位于围填海区域,着眼于我国大陆海岸带区域生态系统的完整性,一方面能表征我国大陆海岸带的整体生态环境质量,另一方面便于不同省级区域的比较和协同发展。已有生态红线划分方法对于陆海交界的围填海区域考虑不足;以目前生态红线划分普遍采用的生态功能重要性评估法和生态环境敏感性评估法为例^[32],生态功能重要性评估法中,主要针对的是森林、草地生态系统,仅生物多样性维护这一项生态功能更适宜用来评估围填海区域(该方法下涉及的另三项待评估重要生态功能分别为水源涵养、水土保持、防风固沙);生态环境敏感性评估法中,所评估内容主要是水土流失敏感性、土地沙化敏感性、石漠化敏感性、盐渍化敏感性评估,难以反映出围填海区域复杂的生态环境问题。

本研究中所采用的基于生态系统服务价值评估的生态红线划分方法,构成一个针对围填海区域的 17(主要生态服务类型)×8(主要景观类型)的矩阵,基本涵盖了该区域内所有生态系统服务类型。此外,已有生态红线划分时,多将现有的自然保护区或者重点生态功能区直接列入,未做进一步的保护优先级的划分^[21]。围填海区域范围内还有一些具有生态价值的自然湿地和半自然湿地,这个特殊问题在本研究的景观生态红线划

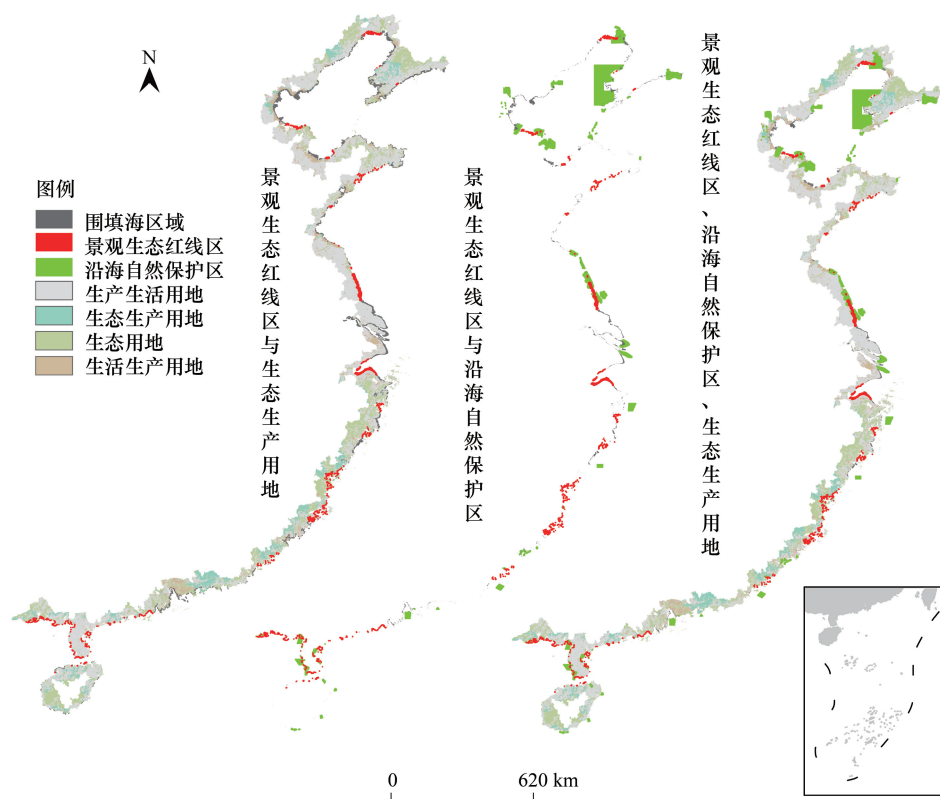


图6 生态红线区与沿海自然保护区、“三生用地”的叠加分析图

Fig.6 Overlay analysis of Landscape Ecological Redline, ecological-living-industrial land and coastal nature reserve

分方法中得到了有效解决:基于具体的空间单元进行了空间量化,并针对重要生态区和生态脆弱区进一步分级,针对不同的区域提出了不同保护政策,解决了部分湿地的二次抢救性保护问题。

本研究选取“三生用地”和自然保护区两类海岸带土地利用方式来与景观生态红线划分结果进行比较,以确定景观生态红线划分得出的生态脆弱区和重要生态区的准确性,并进一步分析景观生态红线区在空间上对已确定的海岸带保护区域可能产生的影响。而“三生用地”、自然保护区、景观生态红线区在空间上重叠的部分,是最具代表性的生态功能区或生态脆弱区,是海岸带中待保护区域里的重点区域。因此在空间落地上可按照景观生态红线优先的思路,即落入到景观生态红线的部分,按照生态红线的要求进行严格管控。而对于分属三生用地和自然保护区各自的独立空间,建议在新一轮国土空间规划(多规合一)中统筹解决。

4 结论与展望

4.1 结论

在围填海活动的影响下,我国大陆近海水域和滨海湿地主要转移为水产养殖用地、港口码头、裸地、新围水域、工矿用地和盐田等景观类型,自然景观破坏严重,生态系统服务损失较大。

本研究首次从景观尺度开展生态红线区的划分,划分的围填海区域景观生态红线区呈现出“总体分散、局部集中”的分布特点,反映了我国沿海生态环境空间分布的不均衡性以及不同环境相互作用的差异性。

景观生态红线区主要分布在人工湿地和残存自然湿地中,故湿地是围填海景观生态红线区的主要景观类型。以湿地景观为基础,设定景观生态红线的动态弹性提升空间,确定热点区域的保护边界以及增加重要生态区的连通度,避免形成“生态孤岛”。

4.2 展望

本研究中提出的围填海区域景观生态红线是将景观生态学理论和生态系统服务价值评估结合划分的围

填海区域的保护界限,有助于对围填海区域中具有生态价值的部分进行积极人工干预,开展二次生态保护和抢救性保护。由于围填海区域生态环境高度复杂以及价值评估法的局限,本研究的生态系统服务价值可能被低估,如有关未利用地的生态系统服务价值的研究,下一步拟根据海岸带用地、用海规划和用途,对围填海区域的景观类型进行细分,实现生态系统服务价值的精细化评估。生态系统服务评估融入陆海统筹的管理实践也将成为未来的研究重点。

致谢:中山大学刘小平教授课题组与作者合作完成我国大陆沿海海岸线和围填海数据的提取和解译工作,厦门大学环境与生态学院彭本荣教授、中国科学院生态环境研究中心郑华研究员对论文给出宝贵意见,厦门大学杨奕对论文提出修改建议并对文献和文字表达部分做出校对和修改,在此一并致谢。

参考文献(References):

- [1] 朱大奎,王颖. 工程海岸学. 北京: 科学出版社, 2014.
- [2] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴—2011. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [3] 李杨帆, 朱晓东, 王向华. 填海造地对港湾湿地环境影响研究的新视角. 海洋环境科学, 2009, 28(5): 573-577.
- [4] Sun Z G, Sun W G, Tong C, Zeng C S, Yu X, Mou X J. China's coastal wetlands: conservation history, implementation efforts, existing issues and strategies for future improvement. *Environment International*, 2015, 79: 25-41.
- [5] Tian B, Wu W T, Yang Z Q, Zhou Y X. Drivers, trends, and potential impacts of long-term coastal reclamation in China from 1985 to 2010. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2016, 170: 83-90.
- [6] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪, 薛雄志, 曹秀丽, 彭晋平. 填海造地生态损害评估: 理论、方法及应用研究. 自然资源学报, 2005, 20(5): 714-726.
- [7] 索安宁, 张明慧, 于永海, 韩富伟. 曹妃甸围填海工程的海洋生态服务功能损失估算. 海洋科学, 2012, 36(3): 108-114.
- [8] Costanza R, d'Arge R, de 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. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [9] de Groot R, Brander L, van der Ploeg S, Costanza R, Bernard F, Braat L, Christie M, Crossman N, Ghermandi A, Hein L, Hussain S, Kumar P, McVittie A, Portela R, Rodriguez L C, ten Brink P, van Beukering P. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 50-61.
- [10] Schägner J P, Brander L, Maes J, Hartje V. Mapping ecosystem services' values: current practice and future prospects. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 33-46.
- [11] 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.
- [12] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 刘焱序, 田璐. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973.
- [13] Liu S, Costanza R. Ecosystem services valuation in China. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1387-1388.
- [14] Goldstein J H, Caldarone G, Duarte T K, Ennaanay D, Hannahs N, Mendoza G, Polasky S, Wolny S, Daily G C. Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(19): 7565-7570.
- [15] Börger T, Beaumont N J, Pendleton L, Boyle K J, Cooper P, Fletcher S, Haab T, Hanemann M, Hooper T L, Hussain S S, Portela R, Stithou M, Stockill J, Taylor T, Austen M C. Incorporating ecosystem services in marine planning: the role of valuation. *Marine Policy*, 2014, 46: 161-170.
- [16] Marre J B, Thébaud O, Pascoe S, Jennings S, Boncoeur J, Cogan L. Is economic valuation of ecosystem services useful to decision-makers? Lessons learned from Australian coastal and marine management. *Journal of Environmental Management*, 2016, 178: 52-62.
- [17] Woodruff S C, Bendor T K. Ecosystem services in urban planning: comparative paradigms and guidelines for high quality plans. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 152: 90-100.
- [18] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 区域生态安全格局构建研究进展与展望. 地理研究, 2017, 36(3): 407-419.
- [19] 许妍, 梁斌, 鲍晨光, 兰冬东, 于春艳, 马明辉. 渤海生态红线划定的指标体系与技术方法研究. 海洋通报, 2013, 32(4): 361-367.
- [20] 曾江宁, 陈全震, 黄伟, 杜萍, 杨辉. 中国海洋生态保护制度的转型发展——从海洋保护区走向海洋生态红线区. 生态学报, 2016, 36

(1): 1-10.

- [21] 林勇, 樊景凤, 温泉, 刘述锡, 李滨勇. 生态红线划分的理论和技术. 生态学报, 2016, 36(5): 1244-1252.
- [22] Lü Y H, Ma Z M, Zhang L W, Fu B J, Gao G Y. Redlines for the greening of China. *Environmental Science & Policy*, 2013, 33: 346-353.
- [23] 环境保护部办公厅, 国家发展和改革委员会办公厅. 关于印发《生态保护红线划定指南》的通知 (环办生态[2017] 48 号). (2017-05-27) [2017-06-01]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/t20170728_418679.htm
- [24] 国家海洋局. 海洋生态红线划定技术指南. 北京: 国家海洋局, 2016.
- [25] Sajjad M, Li Y F, Tang Z H, Cao L, Liu X P. Assessing hazard vulnerability, habitat conservation, and restoration for the enhancement of mainland China's coastal resilience. *Earth's Future*, 2018, 6(3): 326-338.
- [26] 环境保护部卫星环境应用中心. 国家级自然保护区遥感监测图集. 北京: 测绘出版社, 2014.
- [27] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局. 资源科学, 2015, 37(7): 1332-1338.
- [28] Millennium Ecosystem Assessment (MEA). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [29] 苗海南, 刘百桥. 基于 RS 的渤海湾沿岸近 20 年生态系统服务价值变化分析. 海洋通报, 2014, 33(2): 121-125.
- [30] 黄伟, 曾江宁, 陈全震, 杜萍, 汤雁滨, 杨辉. 海洋生态红线区划——以海南省为例. 生态学报, 2016, 36(1): 268-276.
- [31] 燕守广, 张慧, 李海东, 唐欢欢. 江苏省陆地和生态红线区域生态系统服务价值. 生态学报, 2017, 37(13): 4511-4518.
- [32] 何书言, 林静玉, 李艺, 李杨帆, 沈迟. 生态保护红线划定的情景分析方法及生态管治应用. 环境保护, 2017, 45(23): 64-69.