

渤海湾海陆统筹生态安全屏障构建

杜志博¹, 陈晓琴¹, 李洪远^{1,2}, 孟伟庆³

(1.南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300350; 2.天津市跨介质复合污染环境
治理技术重点实验室, 天津 300350; 3.天津师范大学 地理与环境科学学院, 天津 300387)

摘要: [目的] 构建正向、负向作用区域相结合的生态屏障区, 以充分实现生态屏障的保护、防御目标, 为科学规划、实施生态屏障区分目标和差异化管理提供参考。[方法] 以渤海湾生态系统为研究区域, 通过水鸟多样性热点分析、生态系统服务价值评估、近岸海域生态系统质量评价得出正向、负向作用区域, 结合各省份海洋保护规划目标, 构建渤海湾海陆统筹生态安全屏障。[结果] ①水鸟多样性热点区域位于沿海滩涂、湿地和水体生态系统, 冷点区域位于建设用地和耕地等频繁受人类活动影响的区域。生态系统服务价值由北向南呈现增加的趋势, 其中水源涵养功能服务价值量最高。②近岸海域海水环境质量整体向好, 但仍存在富营养化严重、赤潮等海洋灾害频发地点; 由北向南, 海洋环境承载能力逐渐下降, 海洋渔业开发强度逐渐上升。③生态安全屏障共包括16个区域, 其中正向作用区域11个, 负向作用区域5个, 主要位于近海一侧陆海交汇处, 整体大致呈现间隔分布的特征。[结论] 以生态屏障为指导开展规划管理、生态治理工作, 正向作用区域、负向作用区域分别以实现保护目标、防御目标为宗旨, 促进海陆一体化生态文明建设。

关键词: 海陆统筹; 生态安全屏障; 正向作用区域; 负向作用区域; 空间分布

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)01-0124-09

中图分类号: X171.1, X321

文献参数: 杜志博, 陈晓琴, 李洪远, 等. 渤海湾海陆统筹生态安全屏障构建[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 124-132. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.01.015; Du Zhibo, Chen Xiaoqin, Li Hongyuan, et al. Construction of an ecological security barrier for sea and land in Bohai Bay [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1): 124-132.

Construction of an Ecological Security Barrier for Sea and Land in Bohai Bay

Du Zhibo¹, Chen Xiaoqin¹, Li Hongyuan^{1,2}, Meng Weiqing³

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China;
2. Tianjin Key Laboratory of Cross-media Combined Pollution Control Technology, Tianjin 300350,
China; 3. School of Geographic and Environment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: [Objective] An ecological barrier area that combined positive and negative action areas was constructed to fully realize the protection and defense goals of an ecological barrier in order to provide a reference for scientific planning and implementation of ecological barrier distinction goals and differentiated management. [Methods] Positive and negative effect areas for the Bohai Bay ecosystem were extracted based on a hotspot analysis of waterbird diversity, ecosystem service value assessment, and ecosystem quality evaluation of the nearshore marine ecosystem. In combination with the marine protection planning objectives of each province, the Bohai Bay sea-land coordinated ecological security barrier was finally constructed. [Results] ① The hotspots of waterbird diversity were located in coastal mudflats, wetlands, and water ecosystems. The cold spots were located in areas frequently affected by human activities such as construction land and cultivated land. The ecosystem service value showed an increasing trend from north to south, and the service value of the water conservation function was the highest. ② The overall quality of the near-shore seawater environment was improving, but there were still places with frequent marine disasters such as severe eutrophication and

收稿日期: 2022-05-23

修回日期: 2022-07-18

资助项目: 国家社会科学基金重点项目“渤海湾‘海洋生态安全屏障’构建研究”(19AZD005); 天津市科技重大专项与工程“天津市域生态空间格局优化与生态功能提升技术及应用”(18ZXSZSF00200)

第一作者: 杜志博(1993—), 女(汉族), 河北省沧州市人, 博士研究生, 研究方向为生态恢复与生态规划。Email: duzb717@163.com。

通信作者: 李洪远(1963—), 男(汉族), 天津市武清区人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态恢复理论与方法、生物多样性与生态系统服务、生态规划与设计方面的研究。Email: eialee@nankai.edu.cn。

red tides. From north to south, the carrying capacity of the marine environment gradually decreased, and the intensity of marine fishery development slowly increased. ③ The ecological security barrier area consisted of 16 areas, including 11 positive-acting areas and five negative-acting areas. These areas were mainly located at the land-sea intersection on the offshore side, and generally presented the characteristics of interval distribution. [Conclusion] The ecological barrier will be used as a guide to carry out planning and management and ecological governance. The positive-acting areas are aimed at achieving the protection goal, and the negative-acting areas are aimed at attaining the defense goal so as to promote the construction of an integrated ecological civilization on sea and land.

Keywords: land and sea coordination; ecological security barrier; positive effect area; negative effect area; spatial distribution

生态安全屏障以实现区域生态安全为终极目标,具有庇护所、水源涵养、水质净化、土壤保持、生物多样性保护等生态功能^[1-2]。国外直接关于生态屏障的研究较少,在生态安全方面,研究侧重于大尺度背景下生态安全及其与可持续发展间关系,生态系统服务理论与模型的构建及环境污染治理等生态恢复措施和生态工程建设^[3-4];近年来气候变化背景下环境因素、人为因素、生物因素对全球生态系统动态演变,生物多样性保护、碳氮循环的影响及海洋“蓝碳”研究逐渐成为新的焦点^[5-6]。国内生态安全屏障研究侧重于概念、功能及内涵分析,空间规划和景观格局演变研究等,近两年以生物多样性保护、碳中和碳达峰为目标的生态安全屏障构建^[7-9]及海洋生态系统保护研究^[10-11]逐渐增多。

本文基于前人的研究观点,将生态屏障定义为:位于特定区域内的自然或人工改造的具有明确保护目标、防御对象,提供良性生态功能的区域性复杂生态系统^[12-13]。生态屏障具有明确的保护目标,即生物多样性丰富、生态系统服务价值较高的正向作用区域;同时,也具有明确的防御目标,即由于人类活动造成的高污染、高开发等环境扰动和破坏的负向作用区域。已有研究基于土地利用格局评价、生态系统服务评估、资源环境承载力评价、景观生态风险评价等不同角度开展了生态屏障构建研究,构建方法体系多将具有正向作用的区域划定为生态安全屏障区,鲜少考虑到负向作用区域。Yu 等^[14]通过生态系统服务价值估算,对长江上游区域生态效应进行定量评估,开展生态评价范围和规划建设内容研究;蒋蕾等^[15]构建了包含生态屏障因子的区域景观生态风险定量评价方法,识别生态屏障建设关键区域;Zhang 等^[10]将生态安全屏障纳入生态安全格局构建过程中,基于“生态源—生态屏障—生态阻力面—生态廊道”的框架构建渤海湾生态安全格局。这种构建体系既不能充分发挥生态屏障区对保护和维持生态系统服务供给区域

的功能,也未能体现出生态屏障区的促进作用。

鉴于此,本研究以渤海湾沿海 16 个县(市、区)行政区域为主要研究区域,基于由水鸟生物多样性、生态系统服务价值估算确定的正向作用区域,由近岸海域海洋环境污染、海洋灾害及渔业生态系统敏感性确定的负向作用区域,开展渤海湾海陆一体化生态屏障构建研究,旨在为该区域海陆一体化生态保护与空间治理提供科学依据。

1 研究区域及数据来源

1.1 研究区概况

渤海湾位于渤海西部,地理坐标为 $37^{\circ}33'5''$ — $39^{\circ}38'53''N$, $116^{\circ}52'19''$ — $119^{\circ}18'46''E$,由河北、天津、山东 3 个省市的沿海区域组成。研究集中在河北省唐山市路南区、乐亭县、曹妃甸区、滦南县、丰南区,河北省沧州市黄骅市、海兴县,天津市滨海新区、东丽区、津南区、宁河区,山东省滨州市无棣县、沾化县,山东省东营市河口区、利津县、垦利区(图 1)。



图 1 渤海湾的水鸟分布

Fig.1 Distribution of waterbirds in Bohai Bay

渤海湾地区分布的众多河流、湖泊、水库、河口与漫长的浅海滩涂构成丰富湿地景观,是中国滨海湿地的重要组成部分,也是中国东部候鸟迁徙路线上的重要栖息地^[16]。具有丰富的油气、地下热水、煤成气藏、海盐资源,是沿海区域经济发展的重要支撑,在经济、社会、生态建设中发挥不可替代的作用^[16]。

1.2 数据来源

本研究所使用数据包括行政区划数据、土地利用数据、鸟类分布点位数据、气候数据、未分类土地覆盖数据、植被类型数据、河网密度数据、路网密度数据、人口密度数据及统计年鉴和公报数据。

其中,行政区划数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn>);土地利用数据来源于 GlobaLand30(<https://www.globallandcover.com>);鸟类分布点位数据来源于中国观鸟记录中心(www.birdreport.cn)和相关研究文献资料;气候数据来源于 WorldClim 网站(<https://www.worldclim.org>);未分类土地覆盖数据来源于 LANDSAT/LC08/C01/T1_SR(Google Earth Engine);植

被类型、河网密度、路网密度数据来源于资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>);人口密度数据来源于 Worldpop(<https://www.worldpop.org>);水质监测数据来源于国家海洋环境监测中心(<http://www.nmemc.org.cn>);赤潮发生数据来源于《中国海洋灾害公报》《中国海洋环境质量公报》和相关研究文献资料;人均海岸线长度、人均海域面积、人均滩涂面积、人均海洋捕捞产量数据来源于统计年鉴、统计公报和研究区各县(市、区)政府部门网站。

2 研究方法

根据“正向作用区域保护为主,负向作用区域防御为主”的原则,将具有丰富生物资源、生境质量较高、连通性较好,对生物多样性保护、生态系统服务价值具有巨大贡献的区域划定为生态安全正向作用区域,将环境质量状况较差、灾害频发、敏感性高且易受人类活动干扰的区域划定为生态安全负向作用区域。结合河流、保护区分布现状,构建生态安全屏障。基于生态安全屏障构建的原则和内容,选取 5 个一级指标 10 个二级指标(表 1)开展具体研究。

表 1 渤海湾生态安全屏障构建指标体系

Table 1 Index system for the construction of ecological security barrier in Bohai Bay

屏障区	一级指标	二级指标	三级指标	单位	
生态安全正向作用区域	水鸟多样性保护	多样性热点区域	—	—	
		供给服务价值	食物生产 原材料生产	亿元	
	生态系统服务价值评估	调节服务价值	气体调节 气候调节 水源涵养 废水处理		
		支持服务价值	土壤形成与保护 生物多样性		
		文化服务价值	娱乐文化		
生态安全负向作用区域	海洋环境污染	近岸海域海水水质状况	近岸海域各类水质比例	%	
		富营养化状况	COD/富营养化指数	mg/L	
	海洋自然灾害	赤潮灾害状况	赤潮不同面积发生频率	—	
		渔业生态系统敏感性	海洋环境承载力	人均海岸线长度	km/10 ⁴ 人
			海洋渔业开发强度	人均海域面积 人均滩涂面积	km ² /10 ⁴ 人 km ² /10 ⁴ 人

2.1 生态安全正向屏障区

2.1.1 水鸟多样性热点分析 依据渤海湾水鸟分布记录结合《IUCN 濒危物种红色名录》《国家重点保护野生动物名录》《濒危野生动植物种国际贸易公约》确

定重点研究鸟类 38 种,去除无效栖息地点位且每个 1 km×1 km 的网格内仅保留一个分布点记录,最终得到关键鸟类分布数据记录 1 015 条(图 1)。以气候因子(年平均气温、气温季变化、最暖月的最高气温、

最冷月的最低气温、气温年变化、年均降雨量、最湿月的降雨量、最干月的降雨量、降雨量季变化)、生境因子(未分类土地覆盖数据、植被类型、河网密度)、干扰因子(路网密度、人口密度)作为影响因子。将鸟类分布点位、环境变量数据转化为 MaxEnt 模型数据格式输入模型,针对每个物种随机选取 25% 的分布数据作为模型测试数据,剩余数据作为模型训练数据。采用 Bootstrap 模拟运行 10 次,以 AUC 值进行精度评价,以“10 percentile training presence logistic threshold”定义适生阈值^[17-19],在 ArcGIS 中对 38 种水鸟预测分布结果进行空间叠加分析,得到渤海湾地

区水鸟多样性热点分布图,采取自然间断点分级法划分为热点区域、次热点区域、中等区域、次冷点区域和冷点区域 5 个等级^[20]。

2.1.2 生态系统服务价值评估 生态系统服务价值评估基于改进的单位面积生态系统服务价值当量因子法,由《中国统计年鉴(2020 年)》得到中国主要农产品单位面积产量为 6 272 kg/hm²,天津市 6 655 kg/hm²,河北省 5 827 kg/hm²,山东省 6 503 kg/hm²。基于粮食产量比值进行修订〔公式(1)和(2)]^[21]后,耕地食物生产价值当量为 1.01,得到对应其他当量因子修订后数据(表 2)。

表 2 修订后的渤海湾单位面积生态系统服务价值当量

Table 2 Revised ecosystem service value equivalents per unit area in Bohai Bay

类型	森林	草地	耕地	湿地	水域	裸地
气体调节	4.36	0.81	0.73	2.43	0.52	0.06
气候调节	4.11	0.91	0.98	13.69	2.08	0.13
水源涵养	4.13	0.81	0.78	13.57	18.96	0.07
土壤形成与保护	4.06	1.97	1.48	2.01	0.41	0.17
废物处理	1.73	1.32	1.40	14.54	15.00	0.26
生物多样性保护	4.56	1.10	1.03	3.73	3.46	0.40
食物生产	0.33	0.30	1.01	0.36	0.54	0.02
原材料生产	3.01	0.05	0.39	0.24	0.35	0.04
娱乐文化	2.10	0.04	0.17	4.74	4.48	0.24

$$\mu = Q/Q_0 \quad (1)$$

$$E_i = \mu \times E_{0i} \quad (2)$$

式中: μ 为生态服务当量的地区修订系数; Q, Q_0 分别为研究区和全国农田单位面积粮食产量; E_i 为第 i 类土地利用类型经地区修订后的生态系统服务当量; E_{0i} 为第 i 类土地利用类型全国平均的生态服务价值当量,其中 $i=1, 2, \dots, 5, 6$ 依次对应森林、草地、耕地、湿地、水域、裸地。

每个栅格的生态系统服务价值估算由公式(3)^[22]计算得到:

$$ESV_{ij} = Y_{ij} \times D \times A_{ij} \quad (3)$$

式中: ESV_{ij} 为单位面积栅格生态系统服务价值(元/km²); Y_{ij} 为修订后生态系统服务当量(表 2); D 为 1 个标准单位生态系统服务价值当量的价值量,依据主要粮食作物价格计算得到 D 值为 1 908.91 元/hm²; A_{ij} 为栅格对应土地面积与单位面积(1 hm²)的比值 100。

2.2 生态安全负向屏障区

将收集到的人均海岸线长度、人均海域面积、人均滩涂面积、人均海洋捕捞产量等面板数据标准化处理(公式 4 和 5)^[23]后进行相关数据指标计算。海洋环境污染、自然灾害及敏感性指标均输入 ArcGIS 进行空间分布分析。

正向指标:

$$M_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}), \quad (i=1, 2, \dots, n; j=i=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

负向指标:

$$M_{ij} = (X_{j\max} - X_{ij}) / (X_{j\max} - X_{j\min}), \quad (i=1, 2, \dots, n; j=i=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

式中; $M_{ij}, X_{ij}, X_{j\max}, X_{j\min}$ 分别表示指标的标准值、原始值、最大值、最小值。

富营养化状况采用富营养化指数(EI)计算(公式 6)。

$$EI = (C_{\text{COD}} \times C_{\text{DIN}} \times C_{\text{DIP}} \times 10^6) / 4\ 500 \quad (6)$$

式中:EI 为富营养化指数; C_{COD} 为海水中的化学需氧量实测浓度; C_{DIN} 为无机氮浓度实测浓度; C_{DIP} 为活性磷酸盐实测浓度。EI<1.0 为贫营养,1.0≤EI≤3.0 为轻度富营养,3.0<EI≤9.0 为中度富营养,EI>9.0 为重度富营养。

3 结果与分析

3.1 水鸟多样性热点分布

MaxEnt 模型结果显示:各个物种的 AUC 值均大于 0.9,总体平均值为 0.971 7,说明模型精度良好。鸟类热点/冷点分布(图 2)结果表明,鸟类热点区域

主要位于天津市滨海新区永定新河口附近近岸海域,北大港水库、独流减河河槽及河口附近近岸海域,子牙新河、北排水河间区域、河口附近及近岸海域,宁河区七里海国家湿地公园;山东省东营市徒骇河河口

及近岸海域,黄河三角洲国家级自然保护区。旅鸟、候鸟、留鸟热点区域稍有不同,但总体上热点区域多位于沿海滩涂、湿地和水体,冷点区域多位于耕地、建设用地等受人类活动影响较大的区域。

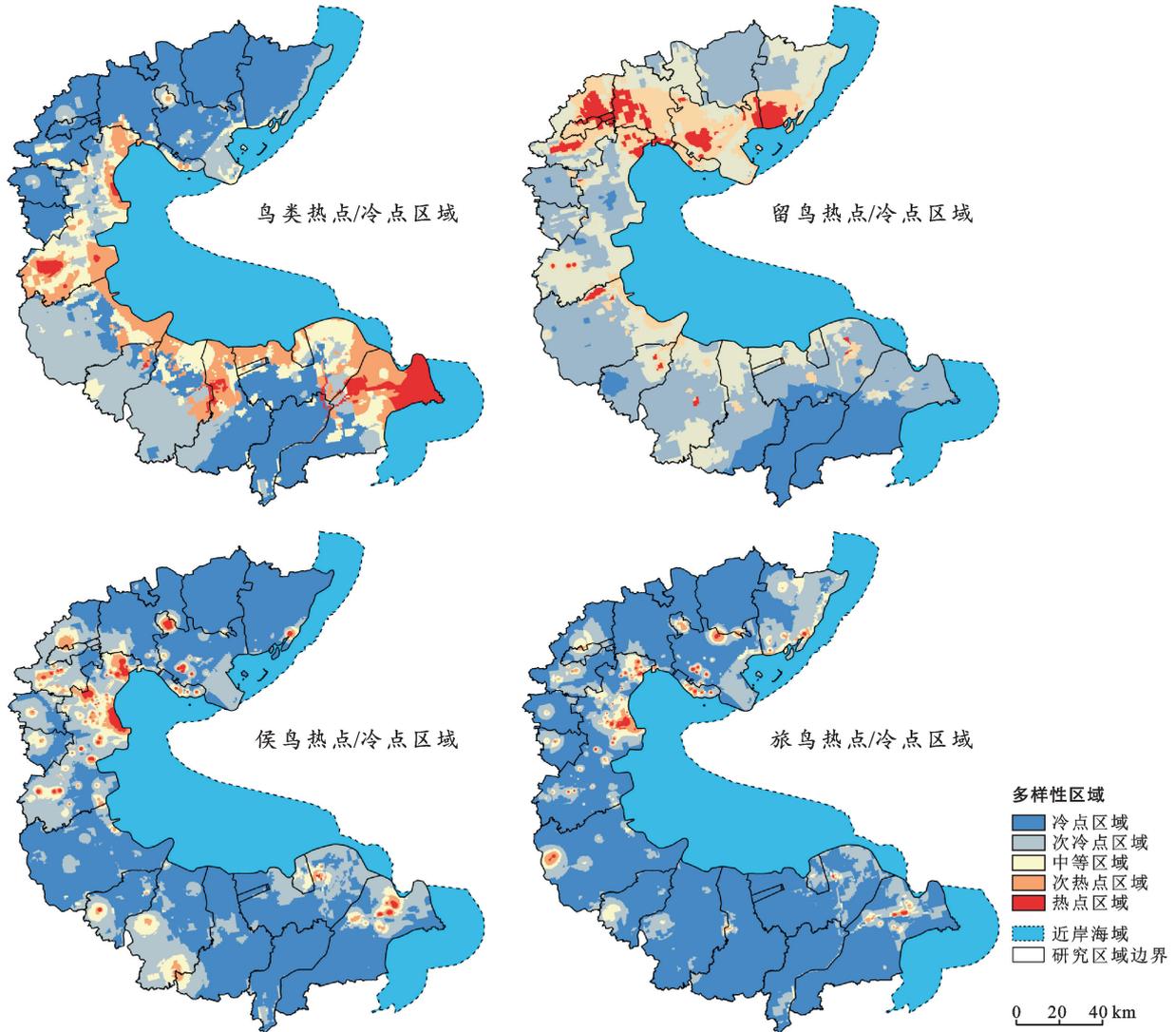


图 2 渤海湾水鸟生物多样性热点地区

Fig.2 Hotspots of waterbird biodiversity in Bohai Bay

3.2 生态系统服务价值分布

不同生态系统服务功能价值(图 3a)大小顺序依次为:水源涵养>废物处理>气体调节>娱乐文化>生物多样性>气候调节>土壤形成与保护>食物生产>原材料生产,其中水源涵养、废物处理功能的生态服务价值远大于其他功能,所占比例分别为 29.21%,27.13%。原材料生产的价值最低,仅占 1.97%。不同土地利用类型的生态系统服务功能价值(图 3b)大小顺序依次为:水体>耕地>湿地>草地>林地>裸地>人造地表,其中水体提供的生态系统服务价值远高于其他土地利用类型,占比为

54.43%。渤海湾拥有滦河、海河、黄河等众多河流,湖泊、池塘、水库零散分布且湿地资源丰富拥有众多的湿地和鸟类保护区,这些生态系统能够充分发挥水源涵养和废物处理服务价值。

区县级行政区中(图 3c),滨海新区生态系统服务价值最高,所占比例为 16.48%;其次为河口区、垦利区、无棣县,所占比例分别为 12.14%,10.47%,10.42%;最低的为路南区,仅占 0.4%。结合不同生态系统服务价值,渤海湾应在继续保持其水源涵养、废物处理功能的基础上,进一步提升生物多样性保护和调节功能。

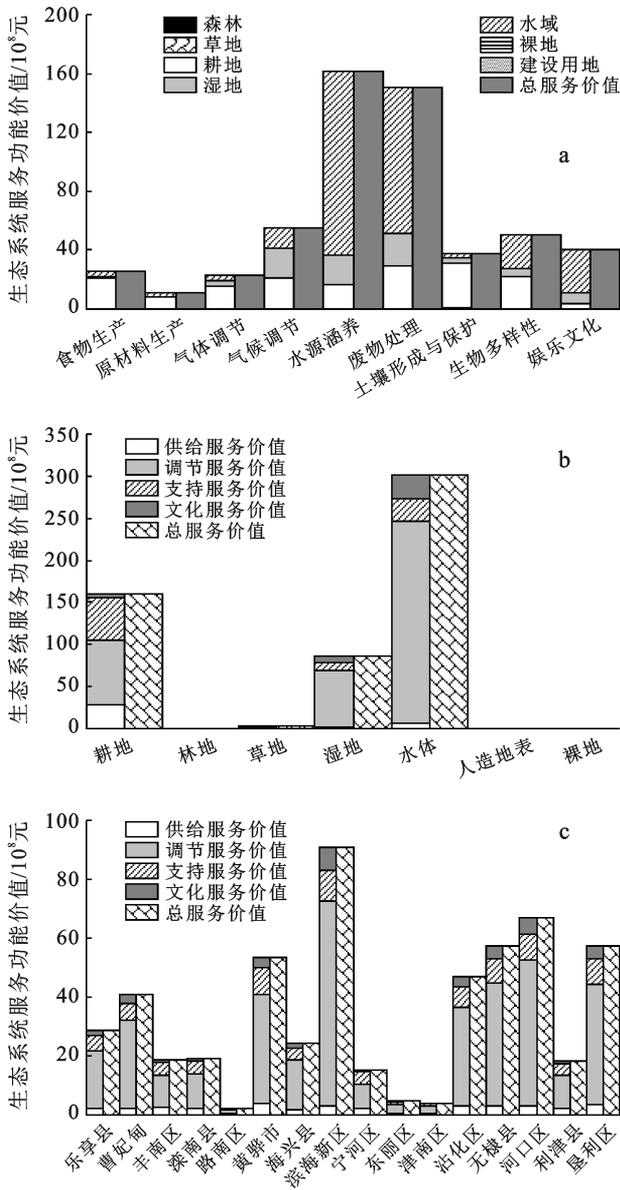


图 3 渤海湾生态系统服务功能价值评估结果

Fig.3 Assessment results of ecosystem service function value in Bohai Bay

3.3 海水环境质量状况

渤海湾近岸海域海水环境质量状况整体向好,水质优良(1,2类水质)占比约为 80.77%,劣 4 类水质占比约为 3.85%,劣 4 类水质位于独流减河、北排河口口近岸海域,黄河河口北部近岸海域(图 4)。总体上,春夏季 COD 浓度略高于秋冬季,主要原因可能与降雨量有关,夏季高降雨量致使河流径流量增加,陆源有机污染物输送量增加。同时,差异不明显可能受到监测站点数量的影响,研究区域内可用站点数量、有效站点数据有限,与其他研究结果中 COD 平均浓度存在季节性显著差异略有不同。渤海湾近岸海域 EI 指数变化范围为 0.01~7.79,平均值为 0.55,

11.29%的点位处于富营养化状态(EI≥1)。EI 值最高的点位位于徒骇河口附近东北部近岸海域及黄河河口附近北部近岸海域(图 4)。富营养化状况夏季高于秋季,与 COD 浓度季节变化一致。

3.4 海洋灾害及渔业生态系统敏感性

2000—2020 年共统计得到赤潮事件 37 次,累积发生面积超过 27 442.5 km²,其中面积大于 100 km²的赤潮 22 次,面积大于 1 000 km²的赤潮 9 次。3 个省份均有赤潮爆发记录,河北省爆发次数最多(20 次),其次为天津市(12 次)、山东省(5 次)。最常发生区域为滦河口、唐山港附近海域及黄骅市歧口镇附近海域、天津汉沽附近海域及东营黄河口临近海域(图 4)。结合渤海湾赤潮发生频率和灾害类型,滦河口、黄河口主要为河口型赤潮高频区域,天津港附近海域主要为海湾型赤潮高频区域,黄骅市歧口至黄骅港沿岸海域主要为养殖型赤潮高频区域^[24]。

由海洋渔业生态系统敏感性(图 4)分析可知,山东省海洋环境承载能力最低、海洋渔业开发强度最高;天津市海洋环境承载能力最高、海洋渔业开发强度最低。海洋渔业生态系统敏感性主要受两方面因素影响,一是渤海湾特殊的盆地构造和复杂的海岸线等自然条件,二是人口数量、分布等人类活动^[16]。

3.5 生态安全屏障空间布局

构建由正向作用区域、负向作用区域组成的生态安全屏障,不仅可以减少人类活动对于生态系统的干扰,还有助于提升和传递生态系统服务价值。依据基于水鸟多样性热点分布、生态系统服务价值估算、海水环境质量状况、海洋灾害及渔业生态系统敏感性分析结果,结合各省海洋保护规划相关文件,而后借助 ArcGIS 工具得到渤海湾生态安全屏障区空间分布(图 5)。总体来看,渤海湾生态屏障主要位于近海一侧的陆海交汇处,共包括 16 个区域,其中正向作用区域 11 个,负向作用区域 5 个,整体大致呈现间隔分布的特点。正向作用区域主要位于自然保护区或植被丰富的沼泽湿地生态系统,包括:滦河口沼泽湿地、大清河口至小清河近岸海域、乐亭菩提岛诸岛及河口附近近岸海域、南堡镇近岸海域(含曹妃甸湿地和鸟类省级自然保护区)、汉沽浅海生态系统(含大神堂牡蛎礁国家级海洋特别保护区)、古海岸与湿地国家级自然保护区、北大港湿地自然保护区、歧口附近浅海湿地(含南大港湿地和鸟类省级自然保护区、黄骅古贝壳堤保护区)、黄骅—滨州近岸海域(含大口河河口生态系统、滨州贝壳堤岛与国家级自然保护区)、东营河口浅海贝类生态系统(含东营河口浅海贝类禁止区、潮河—湾湾沟浅海贝类限制区)、黄河三角洲湿地

生态系统(含黄河三角洲国家级自然保护区、黄河河口生态系统)。负向作用区域则主要位于近海侧河口附近区域,包括:滦河河口附近近岸海域、永定新河口

口以南至海河河口以北近岸海域、独流减河以南至歧口镇以北近岸海域、马颊河河口至徒骇河河口近岸海域、黄河河口南北部附近近岸海域。

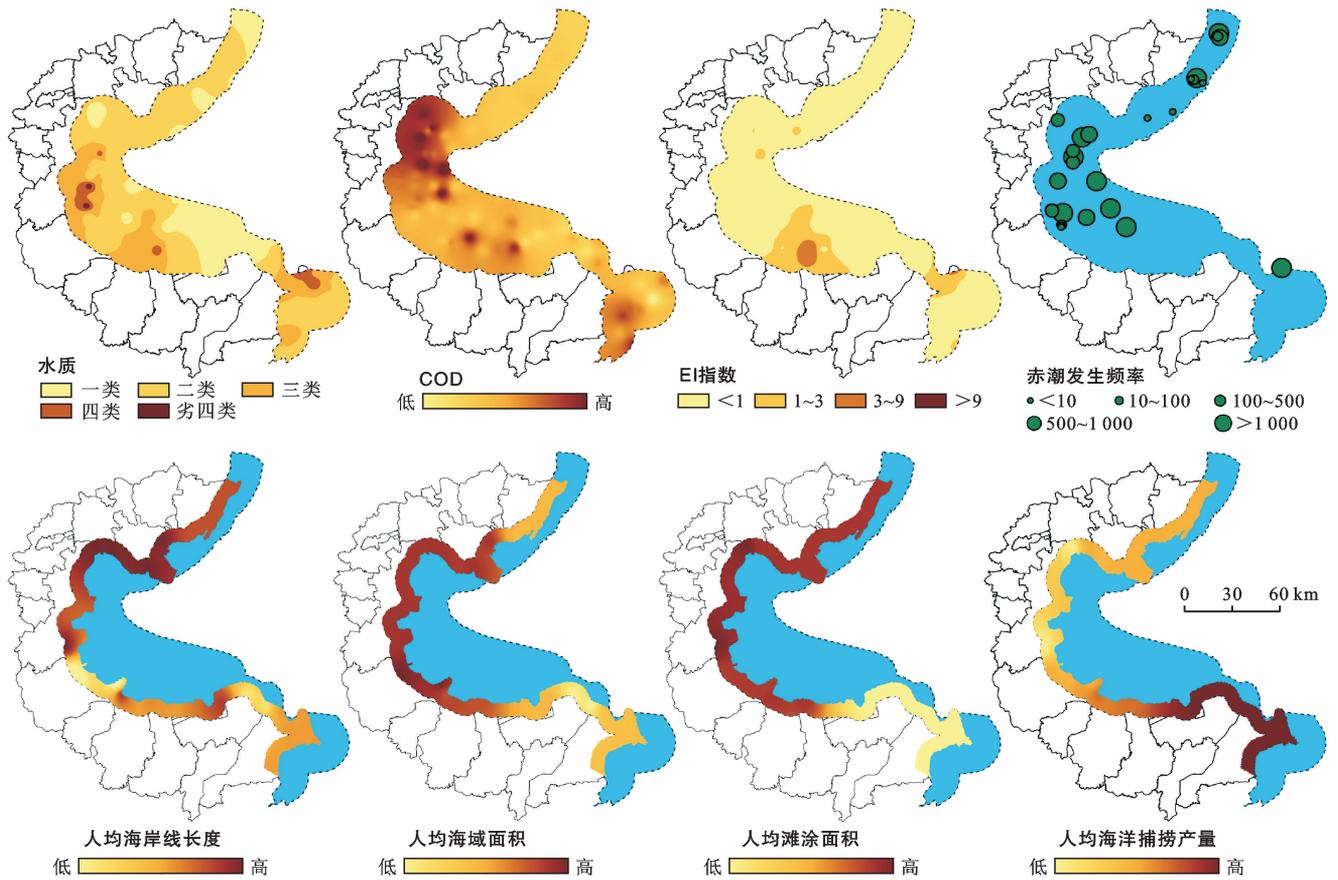


图 4 渤海湾海洋环境质量状况、海洋灾害及渔业生态系统敏感性空间分布

Fig.4 Spatial distribution of marine environmental quality status, marine hazards and sensitivity of fishery ecosystem in Bohai Bay

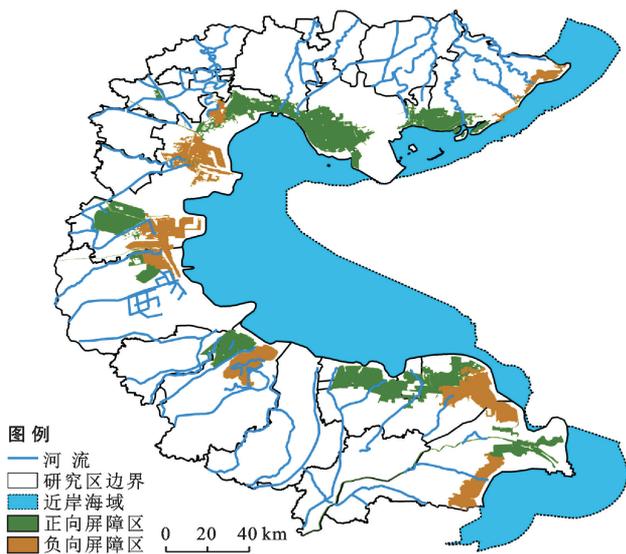


图 5 渤海湾生态安全屏障空间布局

Fig.5 Spatial layout of the ecological security barrier in Bohai Bay

在正向作用区域、负向作用区域中均涉及到滦河河口区域、歧口附近近岸海域及黄河三角洲区域,但这并不意味着空间上的完全重合。区域内湿地资源为水鸟及珍稀濒危野生动植物提供重要栖息地,同时多样的生境和丰富的生物资源也提供良好的供给、调节和文化服务价值。但由于人口密度、土地开发程度过高、海洋开发利用活动迅猛发展,造成海洋环境污染态势持续加重,富营养化现象频发,河口附近海洋灾害突发风险较高。在开发建设过程中,应根据空间相互作用和协同共生原理,基于生态安全屏障指导生产、生活和生态发展建设,正向作用区域应以实现保护目标为宗旨,完善湿地保护网络体系,结合自然保护区或扩大现存范围;构建滨海湿地水鸟栖息地观测网络,结合遥感等技术开展定期监测,加强预警能力建设。负向作用区域主要以实现防御目标为宗旨,即以整治和

修复为主,以流域—河口—近岸海域整体性思路开展污染防治,构建海陆统筹污染防治协调管理、入海污染物总量控制制度体系,持续推动海水养殖绿色、集约化发展。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文在传统以正向作用区域划定生态安全屏障的基础上,将负向作用区域纳入生态屏障建设方法体系,以更好的实现生态屏障区的防御目标,充分发挥生态屏障的良性生态功能。与已有研究既有相似之处,又可实现对现有方法的补充,具体体现在以下两个方面:

(1) 生态安全格局分析。常咏梅等^[25]利用最小累积阻力模型开展了黄河流域豫鲁段景观生态安全格局研究,结果表明:黄河三角洲为黄河流域豫鲁河段中生态安全构建的生态核心区域,且由于该区域是入海口,生态相对稳定性较差,必须重点加以保护。侯亚琼等^[26]运用 PSR 模型开展天津市海岸带生态安全评价研究,结果表明:2000—2014 年天津海岸带生态安全指数评价等级均处于预警状态,生态安全面临较大风险。与本研究划定汉沽浅海生态系统、古海岸与湿地国家级自然保护区、黄河三角洲湿地生态系统为生态安全正向作用区域结果相似。同时,本研究在构建生态屏障区时增加生态安全负向作用区域,划定永定新河河口以南至海河河口以北近岸海域、独流减河以南至歧口镇以北近岸海域、黄河河口南北部附近近岸海域为生态安全负向作用区域,实现了对原有研究方法的补充,结果相对全面、科学。

(2) 保护区空缺分析。穆泳林等^[27]基于系统保护规划开展海河流域湿地保护优先格局与保护空缺识别,结果指出:蓟运河、潮白河、北运河、永定河下游平原区与主要湿地保护空缺分布于天津宁河县;徒骇河、马颊河水系保护空缺主要位于黄河三角洲自然保护区外围湿地区域。曲方圆等^[28]开展黄海生态区保护空缺分析,结果指出:河北滦南湿地较大的保护空缺主要包括曹妃甸海草床;天津塘沽和黄骅湿地保护空缺斑块主要包括蓟运河河口湿地、独流减河河口湿地、黄骅东海岸湿地。本文中构建的生态安全屏障可有效保护河北省唐山市滦南湿地区(曹妃甸南侧—乐亭县海草床、沙河口湿地)、天津市滨海新区河口湿地(独流减河、蓟运河河口湿地)、河北省沧州市黄骅东海岸湿地、山东省滨州市、东营市河口湿地(马颊河、小清河、黄河河口湿地)等自然保护区空缺区域,研究结果可实现对现有空缺区域的有效保护和管理。

本研究较为科学准确地构建出渤海湾生态安全

屏障,但也存在以下问题。首先构建指标体系仍存在一定的客观性,一定程度上弱化了指标间相互关系;其次受收集数据资料时效性、准确性的影响,生态系统服务价值评估中,改进的单位面积生态系统服务价值当量因子未对土地类型进行进一步细化分类,在一定程度上可能带来一定的不确定性。后续研究应进一步完善生态安全屏障构建方法和指标体系,加强多区域、多类型生态系统生态网络与生态系统服务、生态安全格局空间规划间的关联性、限制性及提升措施的研究。

4.2 结论

本文以渤海湾沿岸 16 个县(市、区)为例,基于重点水鸟生物多样性热点分析、生态系统服务价值估算、生态环境污染状况评价等基本方法构建由正向作用区域、负向作用区域组成的生态安全屏障区。

(1) 水鸟多样性热点区域位于沿海滩涂、湿地、水体,具体分布在唐山市菩提岛诸岛,天津市滨海新区永定新河、独流减河河口附近沿海滩涂、北大港湿地及独流减河河槽、七里海湿地,东营市徒骇河河口附近沿海滩涂及黄河三角洲。生态系统服务价值呈现“北部较低—中部中等—南部较高”的空间分布特征,不同生态系统服务类型中,水源涵养、废物处理的价值量远高于其他功能;不同土地利用类型中,水体总服务价值量最高。

(2) 近岸海域海水环境质量状况较差的区域位于独流减河、北排河河口及黄河河口附近近岸海域;EI 值最高点位于徒骇河河口和黄河河口;赤潮灾害频发点位于滦河口、唐山港附近海域及黄骅市歧口镇附近海域,天津汉沽附近海域及东营黄骅河口临近海域;按照行政隶属划分,海洋环境承载能力呈现“高一—中—高一低”的趋势,海洋渔业开发强度呈现“中—低—中—高”的趋势。

(3) 渤海湾生态屏障主要位于近海一侧的陆海交汇处,共包括 16 个区域。其中,正向作用区域 11 个,负向作用区域 5 个,整体大致呈现间隔分布的特点。正向作用区域主要位于自然保护区或植被丰富的沼泽湿地生态系统,负向作用区域则主要位于近海侧河口附近区域。

[参 考 文 献]

- [1] Chaturvedi R, Favas P J, Pratas J, et al. Metal(loid) induced toxicity and defense mechanisms in *Spinacia oleracea* L.: Ecological hazard and Prospects for phytoremediation [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019,183:109570.
- [2] Larin D S, Bondarenko V L, Skorikova E A. Assessment of ecological safety in zones of influence of water

- intake technological complex of multipurpose water supply systems [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 272(2):022226.
- [3] 巩杰, 燕玲玲, 徐彩仙, 等. 近 30 年来中美生态系统服务研究热点对比分析: 基于文献计量研究[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3537-3547.
- [4] Jung M, Arnell A, de Lamo X, et al. Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water [J]. Nature Ecology & Evolution, 2021, 5(11): 1499-1509.
- [5] Raw J L, Adams J B, Bornman T G, et al. Vulnerability to sea-level rise and the potential for restoration to enhance blue carbon storage in salt marshes of an urban estuary [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2021, 260: 107495.
- [6] 胡秋红, 丛楠, 殷国栋. 典型生态屏障区生态安全格局构建: 以承德市为例[J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2914-2926.
- [7] 王耕, 周腾禹. 基于文献计量分析的区域生态安全研究热点与趋势[J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6950-6957.
- [8] 王玉华, 高学磊, 白力军, 等. 内蒙古北方生态安全屏障建设研究[J]. 环境与发展, 2019, 31(9): 202-205.
- [9] 张倩倩. 浅析如何构筑生物多样性保护屏障: 以塞罕坝自然保护区为例[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(16): 86-87.
- [10] Zhang Jinxin, Cao Yunmeng, Ding Fanshu, et al. Regional ecological security pattern construction based on ecological barriers: A case study of the Bohai Bay terrestrial ecosystem [J]. Sustainability, 2022, 14(9): 5384.
- [11] 曹洪军, 谢云飞. 渤海海洋生态安全屏障构建问题研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2021(1): 21-31.
- [12] 宝音, 包玉海, 阿拉腾图雅, 等. 内蒙古生态屏障建设与保护[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 62-65.
- [13] 杨冬生. 论建设长江上游生态屏障[J]. 四川林业科技, 2002, 23(1): 1-6.
- [14] Yu Zhilei, Qin Tianling, Yan Dengming, et al. The impact on the ecosystem services value of the ecological shelter zone reconstruction in the upper reaches basin of the Yangtze River in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(10): 2273.
- [15] 蒋蕾, 韩维崢, 孙丽娜. 基于景观生态风险的区域生态屏障建设研究[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(4): 219-226.
- [16] 赵宁. 基于 InVEST 模型的渤海湾沿岸土地系统碳储量及生境质量评估[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2020.
- [17] 孟影, 马姜明, 王永琪, 等. 基于 Maxent 模型的柞木分布格局模拟[J]. 生态学报, 2020, 40(22): 8287-8296.
- [18] 季乾昭, 王荣兴, 黄志旁, 等. 样本量与研究范围变化对 MaxEnt 模型准确度的影响: 以黑白仰鼻猴为例[J]. 兽类学报, 2019, 39(2): 126-133.
- [19] 李美玲. 气候变化下马可波罗盘羊的环境适应性及生境廊道识别[D]. 新疆乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.
- [20] 罗绮琪, 胡慧建, 徐正春, 等. 基于 Maxent 模型的粤港澳大湾区水鸟多样性热点研究[J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7589-7598.
- [21] 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[J]. 地理研究, 2012, 31(10): 1775-1784.
- [22] 王彦芳. 京津冀地区生态系统服务价值估算与分析[J]. 环境保护与循环经济, 2017, 37(7): 50-54.
- [23] 高源, 王钧丹. 环渤海地区海洋渔业生态系统脆弱性的时空演变及影响因素分析[J]. 经济论坛, 2020(4): 95-102.
- [24] 赵冬至, 赵玲, 张丰收. 我国海域赤潮灾害的类型、分布与变化趋势[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(3): 7-11.
- [25] 常咏梅. 黄河流域豫鲁段景观生态安全格局研究[D]. 山东济南: 山东建筑大学, 2021.
- [26] 侯亚琼. 天津市海岸带生态安全评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [27] 穆泳林, 梁晨, 李晓文, 等. 基于系统保护规划的海河流域湿地保护优先格局与保护空缺识别[J]. 生态学报, 2021, 41(10): 3836-3845.
- [28] 曲方圆, 李淑芸, 赵林林, 等. 黄海生态区保护空缺分析[J]. 生物多样性, 2021, 29(3): 385-393.

(上接第 123 页)

- [23] 卢亚丽, 徐帅帅, 司保江, 等. 黄河流域九省(区)水资源环境承载力动态演变特征研究[J]. 人民黄河, 2021, 43(11): 103-108.
- [24] 涂正革, 谌仁俊. 工业化、城镇化的动态边际碳排放量研究: 基于 LMDI“两层完全分解法”的分析框架[J]. 中国工业经济, 2013(9): 31-43.
- [25] 马景, 武周虎, 邹艳均, 等. 基于灰色马尔科夫模型的南四湖水水质预测[J]. 水资源保护, 2021, 37(5): 153-158.
- [26] 康春涛, 贡力, 王忠慧, 等. 利用灰色残差 GM(1, 1)-Markov 模型预测水工混凝土的劣化[J]. 水利水运工程学报, 2021(1): 95-103.
- [27] 李志超, 刘升. 基于 ARIMA 模型、灰色模型和回归模型的预测比较[J]. 统计与决策, 2019, 35(23): 38-41.
- [28] 段文婷, 陈有川, 张洋华, 等. 黄河下游地区农村居民点数量变化的时空特征及其影响因素研究[J]. 城市发展研究, 2021, 28(6): 19-24.
- [29] 燕永芳. 黄河下游两岸沿线城市水—能源—粮食耦合系统协调性研究[D]. 河南郑州: 华北水利水电大学, 2021.
- [30] 雷亚君, 张永福, 张敏惠, 等. 新疆水资源生态足迹核算与预测[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 142-150.
- [31] 周召红, 吴江. 县域经济社会发展与水资源时空差异关系分析: 以宜昌市为例[J]. 人民长江, 2021, 52(9): 101-106.