

引用格式: 翟俊, 金点点, 陈妍, 等. 黄河三角洲高效生态经济区生态变化、问题与对策[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 517-526. [Zhai J, Jin D D, Chen Y, et al. Ecological changes, problems and countermeasures in the High Efficiency Eco-economic Zone of the Yellow River Delta[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 517-526.] DOI: 10.18402/resci.2020.03.10

黄河三角洲高效生态经济区生态变化、问题与对策

翟俊¹, 金点点¹, 陈妍¹, 刘鑫², 杨栩¹, 侯鹏¹, 徐延达³

(1. 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100094; 2. 生态环境部信息中心, 北京 100029;
3. 生态环境部, 北京 100006)

摘要:对黄河三角洲生态变化的综合监测与评估, 是准确认识三角洲区域生态状况, 加强生态环境保护与监管的基础。本文基于多源卫星遥感和地面观测数据, 监测黄河三角洲高效生态经济区近30年生态空间和植被长势状况变化, 识别区域生态状况基本特征, 定量分析区域湿地资源、岸线资源和水沙资源的变化情况; 进而结合国家和地方采取的一系列生态保护恢复措施, 讨论区域的保护成效, 辨识黄河三角洲存在的主要生态问题, 提出对策建议。结果表明: ①1990—2018年间, 黄河三角洲高效生态经济区受城镇空间和农业空间挤占, 生态空间面积减少量约为1990年生态空间面积的7.6%, 并且沿海及城镇聚集区域周边植被长势有所降低。以坑塘为主的人工湿地面积比例增加了18.1%, 人工岸线增加了27.1%, 自然湿地资源和自然岸线资源丧失明显。其中, 2010—2018年间生态空间被挤占速度有所放缓, 各类生态保护规划和工程措施积极作用也逐渐显现, 人工湿地面积和人工岸线长度的增速均明显减缓, 区域生态保护成效逐渐体现出来。②20世纪50年代以来, 黄河水沙条件发生剧烈改变, 进入黄河三角洲的水沙资源日趋减少, 河口三角洲原生湿地生态补水需求, 以及新生湿地面临的蚀退威胁仍然比较严峻。因此, 加强区域湿地资源保护修复, 优化生态保护空间布局, 强化生态空间管控, 是提高黄河三角洲生物多样性, 促进区域高质量发展的必要手段。

关键词: 生态空间; 湿地资源; 岸线资源; 水沙资源; 黄河三角洲; 高效生态经济区

DOI: 10.18402/resci.2020.03.10

1 引言

2013年, 黄河三角洲湿地被列入“国际重要湿地名录”。在国际上重要的8条鸟类迁徙路线中, 黄河三角洲横跨2条迁徙路线, 是全球鸟类迁徙重要的中转站、越冬地和繁殖地。黄河含沙量高、年输沙量大等独特的水沙情势, 加上渤海弱潮动力环境特点, 孕育出黄河三角洲这一中国暖温带最年轻的原生湿地生态系统^[1], 生态地位极为重要。2019年9月18日, 习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量

发展座谈会上强调: “下游的黄河三角洲是我国暖温带最完整的湿地生态系统, 要做好保护工作, 促进河流生态系统健康, 提高生物多样性”。

“高效生态经济”是指具有典型生态系统特征的节约集约经济发展模式^[2]。黄河三角洲位于渤海南部的黄河入海口沿岸地区, 土地资源优势突出、自然资源较为丰富, 在环渤海地区发展中具有重要的战略地位。2009年, 国务院发布了《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》(以下简称《规划》), 黄

收稿日期: 2019-09-06 修订日期: 2020-01-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0506506; 2016YFC0500206)。

作者简介: 翟俊, 男, 山西朔州人, 高级工程师, 博士, 主要从事生态状况评估与环境遥感应用。E-mail: zhajj@lreis.ac.cn

通讯作者: 徐延达, 男, 内蒙古赤峰人, 副研究员, 博士, 研究方向为自然生态保护。E-mail: xuyanda@126.com

河三角洲的开发建设正式上升为国家战略。《规划》实施以来,国家和地针对黄河三角洲湿地和生物多样性采取了一系列生态保护恢复措施。“十三五”以来,中央财政安排各类环保专项资金 182.84 亿元,支持山东省生态环境保护和治理工作。山东省制定实施了《山东黄河三角洲国家级自然保护区条例》《山东黄河三角洲国家级自然保护区管理办法》《山东省湿地保护工程实施规划(2016—2020)》和《山东黄河三角洲国家级自然保护区详细规划(2014—2020年)》等。2010年以来,通过刁口河流域生态调水工程,年均调水 2000 万~3000 万 m^3 ,黄河故道断流 34 年后重新实现全线恢复过水。通过修筑围坝、引蓄黄河水、增加湿地淡水存量等多项湿地生态修复措施或工程,有力促进了河口湿地生态系统的健康发展和良性循环。

但是,学者们针对黄河三角洲高效生态经济区的相关研究也表明,区域生态环境仍然脆弱,人地矛盾突出。李念春等^[3]构建指标体系,开展生态环境脆弱性评价,发现黄河三角洲高效生态经济区西北部沿海地区湿地资源土壤盐渍化严重,生态环境脆弱;张帅等^[4]综合评价区域土地生态系统脆弱性,发现脆弱性由西到东、从内陆到沿海逐渐加剧;彭玉明等^[5]对该高效生态经济区 2010 年的生态足迹的分析和研究结果表明,区域的生态系统处于过度开发状态;同时程钰等^[6]运用组合类型法测度黄河三角洲高效生态经济区的空间均衡状态,发现局部区域面临较为严峻的资源环境压力,人地矛盾较为突出。综合来看,以上研究主要通过与土地、环境、资源承载力等个别指标,从不同侧面来阐述区域生态环境问题,分析区域发展与生态环境的关联性特征,不仅缺少对区域国土空间结构与变化的基础特征把握,特别是生态空间中湿地、岸线资源变化的定量分析,也很少站在流域整体角度,对水沙资源变化开展关联分析。加强黄河三角洲高效生态经济区的相关研究,是满足国家战略需求的重要体现,同时对实现区域生态经济可持续发展具有重要意义。

本文主要参考“综合状况—变化趋势”的区域评估思路^[7],首先从区域宏观生态状况本底与变化特

征入手,利用多源遥感影像,从生态空间和植被状况分析了 1990—2018 年间黄河三角洲高效生态经济区生态状况变化基本特征,然后针对黄河三角洲水沙资源、湿地资源和岸线资源 3 类核心资源要素现状与变化情况开展定量分析,进而梳理区域生态环境保护政策与措施,探讨存在的主要生态问题和保护成效,对黄河三角洲高效生态经济区开展生态状况与变化综合评估,以期为黄河三角洲生态环境保护与综合监管提出对策建议。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

本文以《规划》中确定的黄河三角洲高效生态经济区为研究区域(图 1),范围包括山东省的东营市、滨州市、潍坊市的寒亭区、寿光市、昌邑市,德州市的乐陵市、庆云县,淄博市的高青县和烟台市的莱州市,共 19 个县(市、区),陆地面积 2.65 万 km^2 。研究区内涉及山东黄河三角洲国家级自然保护区和滨州贝壳堤岛与湿地系统国家级自然保护区,以及多处省级自然保护区、水源地保护区和海岸带自然保护带,约占区域面积的 14%,主要目的是严格限制各类开发建设活动,稳定生态系统结构,维持生物多样性等生态服务功能^[2]。

2.2 数据来源和方法

(1) 国土空间分类数据

根据国土空间规划的“三区三线”的内涵,本文也将黄河三角洲高效生态经济区生态系统结构划分为城镇空间、农业空间和生态空间 3 种类型。国土空间分类数据是分别基于 1990 年、2000 年、2010 年和 2018 年 Landsat 卫星影像,通过机器判读和人工识别相结合解译获取研究区多期分类数据。其中,城镇空间主要包括城镇、工矿等建设用地,农业空间主要包括耕地,生态空间主要包括林地、草地、湿地和水体。

(2) 湿地和岸线数据与获取方法

为了进一步对区域湿地、岸线资源进行分析,本文综合利用 Landsat 卫星影像,以及 Google Earth 数据,以人工目视解译的方式,获取 1990 年、2000 年、2010 年和 2018 年 4 个时期的湿地和岸线资源空间分布数据。湿地类型主要包括河流、湖泊、坑塘、

2020年3月



图1 研究区地理位置图

Figure 1 Location of the study area

滩涂和沼泽。岸线类型主要分为人工岸线和自然岸线。

(3) 植被指数数据

归一化植被指数(NDVI)是以Landsat影像为数据源,根据年最大合成法,基于Google Earth Engine(GEE)平台(<https://earthengine.google.org/>)计算得到,并形成1990—2018年逐年NDVI数据集。

(4) 其他辅助数据

水沙变化是黄河三角洲长期演变的物质和动力基础,为尽可能分析较长时间尺度下的黄河三角洲水沙情况,本文收集了黄河流域生态环境监督管理局提供的1950—2018年花园口、利津断面的径流量和输沙量等水文观测数据,和山东省生态环境厅提供的黄河三角洲物种(动物、植物)调查数据。

3 结果与分析

3.1 国土空间变化

如图2、图3所示,黄河三角洲高效生态经济区以农业空间为主,2018年农业空间面积占比达61.1%,其次为生态空间和城镇空间,占比分别约为24.6%和14.3%。生态空间主要包括水域和湿地生

态系统,以及少部分的林草等自然植被生态系统。

1990—2018年,区域生态空间整体有所减少,总面积由1990年的6884.35 km²减少至2018年的6360.31 km²,面积减少量约为1990年生态空间面积的7.6%,主要被城镇空间挤占。农业空间面积整体呈现轻微波动下降态势,主要由于城镇化占用农业空间,即减少的农业空间面积多贡献于城镇空间面积的增加。而区域城镇空间面积占比由1990年的10.8%增加至2018年的14.3%。

从不同时间段来看,1990—2010年间,生态空间减少较为明显,平均每年减少0.08%。2010—2018年间,生态空间减少速度有所放缓,平均每年减少0.06%。1990—2010年间,城镇空间面积占比增加了0.84%。2010—2018年间,城镇空间增速有所加快,面积占比增加了2.75%,其中有0.55%来自于对生态空间的挤占。

3.2 植被长势

以归一化植被指数(NDVI)来反映植被长势状况,黄河三角洲高效生态经济区植被长势较好的区域主要分布在农田及少量的林草生态系统,较差的

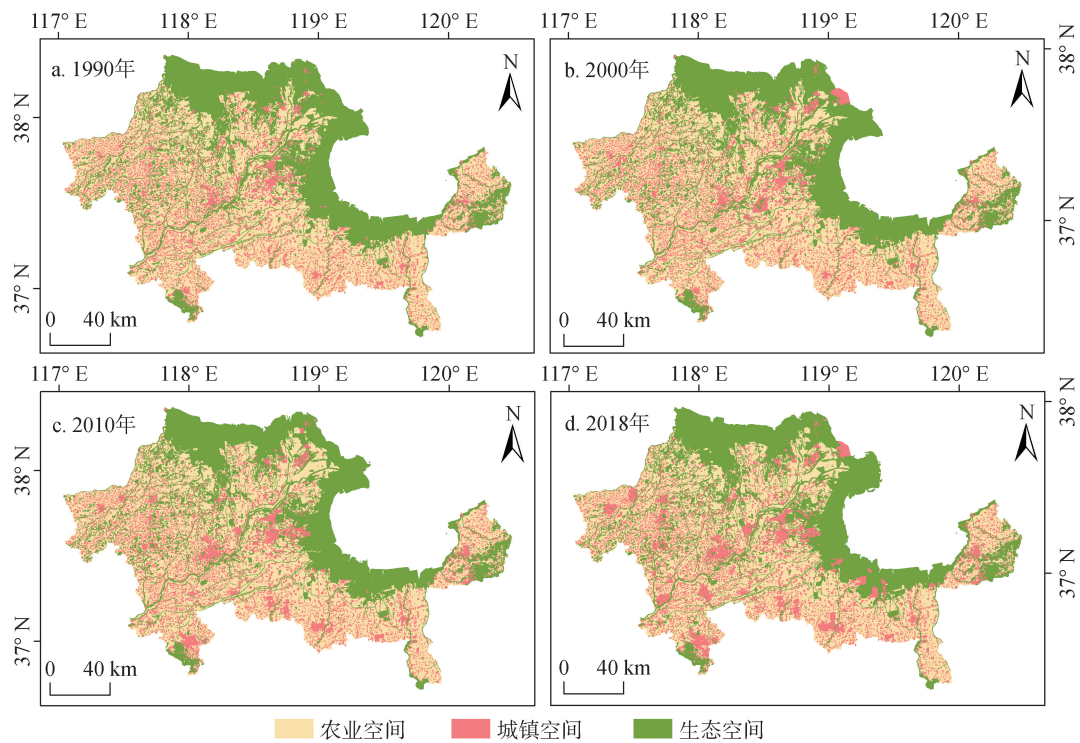


图2 1990—2018年研究区国土空间分布图

Figure 2 Spatial distribution of agricultural land, urban land, and ecological land in the study area, 1990-2018

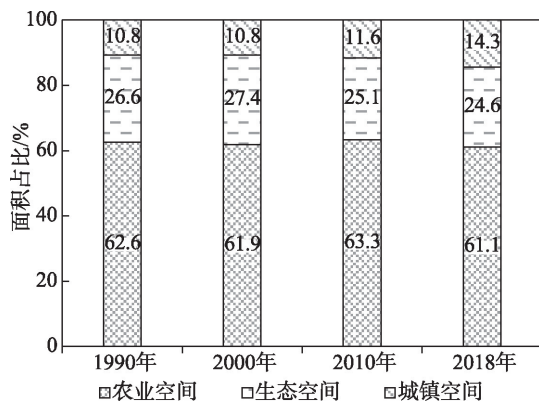


图3 1990—2018年研究区国土空间面积占比

Figure 3 Proportion of agricultural land, urban land, and ecological land in the study area, 1990-2018

区域分布在沿海的滩涂、坑塘等滨海湿地生态系统。1990—2018年,黄河三角洲区域平均NDVI值由0.47增长至0.61,整体提升了29.8%,主要位于农业生产区域。沿海坑塘和城镇聚集区域,植被指数整体有所降低。从不同时间段来看,1990—2000年、2000—2010年和2010—2018年,区域平均植被指数分别为0.50、0.53和0.57,即2010年之后植被长势提升最为明显(图4)。

3.3 湿地资源变化

黄河三角洲高效生态经济区湿地资源类型主要包括坑塘、滩涂、河流、沼泽和湖泊,以坑塘为主。整体上,湿地生态系统面积较为稳定。1990—2000年间,湿地总面积从4928.47 km²减少到4620.04 km²,2000年之后呈现波动式增加,2018年达到5169.76 km²。

从不同时间段来看,坑塘面积占比从1990年的48.0%增加到2010年的63.0%,平均每年增加0.75%;2010—2018年间,坑塘增加速度有所放缓,平均每年增加0.38%。滩涂持续减少,面积占比由1990年的29.6%降低至2018年的17.0%。沼泽面积占比由1990年的11.6%降低至2018年的6.4%。河流和湖泊面积基本保持稳定(图5、图6)。

3.4 岸线资源变化

1990—2018年间,黄河三角洲高效生态经济区海岸线逐渐增加,由1990年的493.95 km增加至2018年的858.97 km,整体长度增加了近3/4。

从海岸线类型变化来看,1990年之前以自然岸线为主,但1990年以后,自然岸线逐渐减少,人工岸

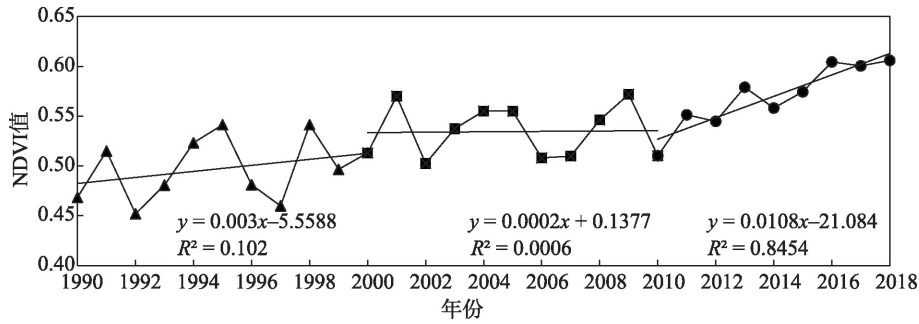


图4 1990—2018年黄河三角洲高效生态经济区归一化植被指数(NDVI)历年变化

Figure 4 Change of normalized difference vegetation index (NDVI) values in the Yellow River Delta High Efficiency Eco-economic Zone, 1990-2018

线不断增加。从不同时间段来看,1990—2010年间,由于港口建设和围海养殖等因素,人工岸线长度明显增加,由214.02 km增加至430.57 km,长度比例增加了18.4%,平均每年增加0.9%。自然岸线明显减少,由279.93 km减少至267.46 km;2010—2018年,人工岸线增长速度有所减缓,变为平均每年增加1.08%。自然岸线长度继续减少,长度比例减少了8.7%,海岸线的变化虽有泥沙淤积等自然因素,

但主要受人工围填海等影响(图7)。

3.5 水沙资源变化

泥沙是黄河三角洲形成的物质基础,河流动力是输送泥沙的重要动力。20世纪50年代开始,黄河水沙条件逐渐改变,进入黄河三角洲的水沙资源日趋减少。1950—2018年,进入黄河下游(以花园口断面为代表)实测年径流量由1950s的年均486亿m³减少到2010s的年均287亿m³;进入黄河河口三

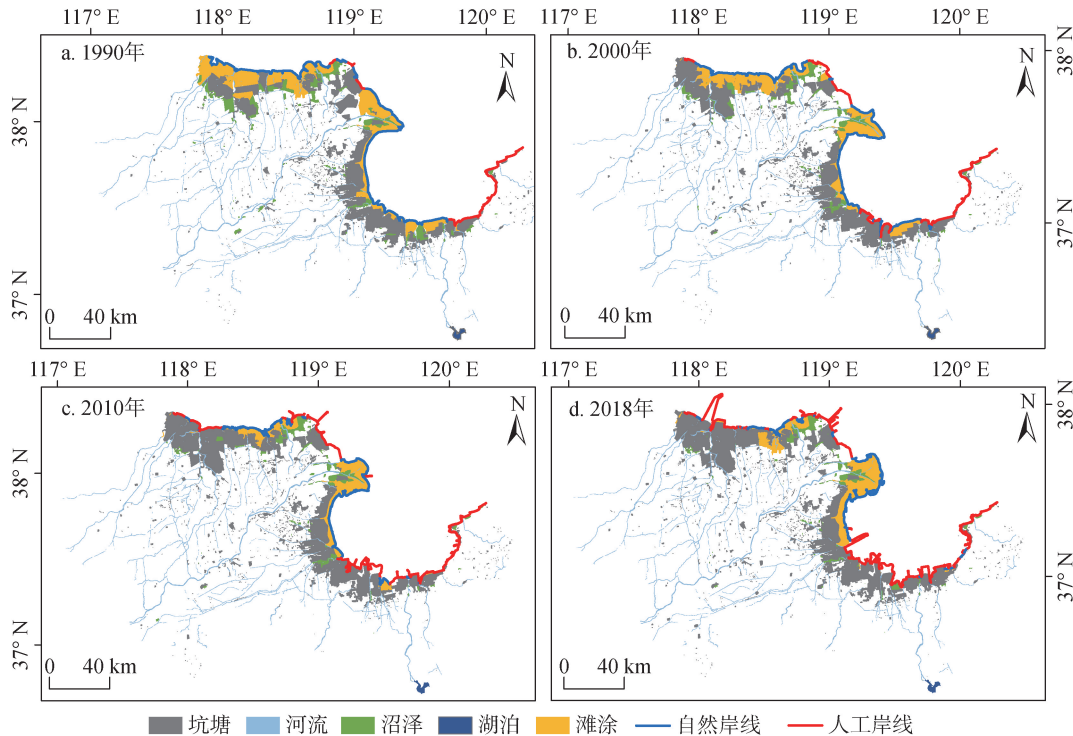


图5 1990—2018年研究区湿地和岸线资源空间分布图

Figure 5 Spatial distribution of wetland and shoreline resources in the study area, 1990-2018

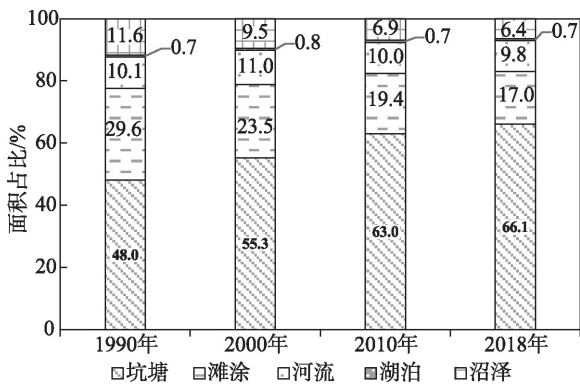


图6 1990—2018年湿地生态系统类型面积变化

Figure 6 Areal change of wetland ecosystem types, 1990-2018

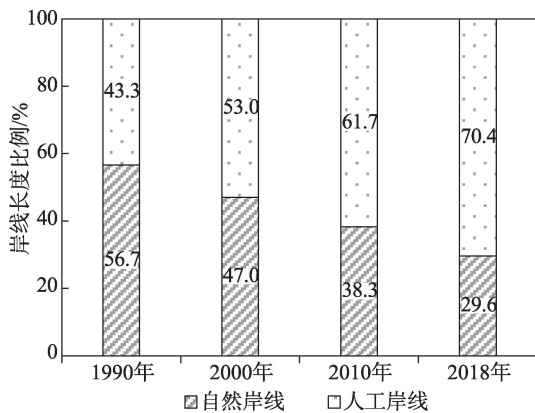


图7 1990—2018年自然及人工岸线长度变化

Figure 7 Change in the length of natural and artificial shorelines, 1990-2018

角洲(以利津断面为代表)实测年径流量由1950s的年均481亿 m^3 减少至2010s的年均184亿 m^3 。但是从2000年以来,进入黄河下游和河口三角洲的年径流量趋于稳定且表现出略有回升的特征(图8)。

从输沙量变化来看(图9),1950—2018年,黄河花园口断面年输沙量整体呈明显减少趋势,从1950s的年均15.61亿t逐渐减少至2010s的0.62亿t。其中,和1990s相比,2000s输沙量显著减少,从6.83亿t减少到1.03亿t。

4 讨论

4.1 保护成效

黄河三角洲高效生态经济的发展,就是要体现可持续发展理念,推进产业结构生态化、经济形态高级化,促进经济体系高效运转和高度开放,实现开发与保护、资源与环境、经济与生态的有机统一^[2]。

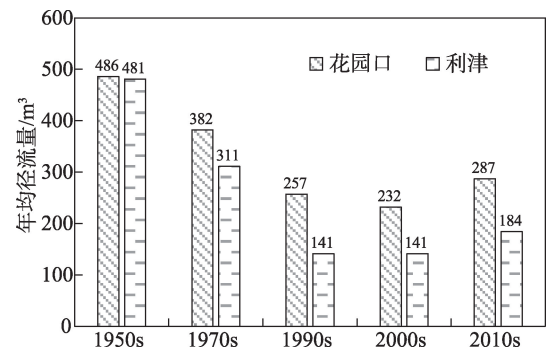


图8 1950s—2010s花园口、利津断面不同时段年均径流量统计

Figure 8 Annual average runoff statistics of Huayuankou and Lijin sections in different time periods, 1950s-2010s

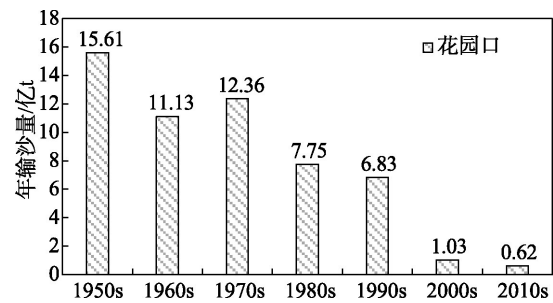


图9 1950s—2010s黄河下游年输沙量变化

Figure 9 Change of annual sediment discharge in the lower reaches of the Yellow River, 1950s-2010s

从生态空间和植被长势状况变化来看,2010年后,生态空间被挤占的速度有所放缓(图3),区域植被长势提升明显(图4)。从湿地和岸线资源变化来看,以坑塘为主的人工湿地面积和人工岸线长度的增速均明显放缓(图6、图7)。整体上可以看出,黄河三角洲开发约束在逐渐增强,与张淑敏等^[8]的研究结果一致。

利津水文站监测结果显示,2016年黄河三角洲地表水水质由Ⅲ类水改善为Ⅱ类水^①。目前,在黄河三角洲国家级自然保护区,现有国家一二级保护动物90种,全球濒危野生动植物种55种。据山东省鸟类调查结果表明,2000—2018年期间,鸟类种群数量由283种增加到368种,丹顶鹤等国家一级重点保护鸟类由9种增加至12种、大天鹅等二级重点保护鸟类由41种增加至51种。可以看出,以黄河三角洲自然保护区管理部门实施的系列湿地生

① 数据来源于生态环境部门地表水水质监测资料。

2020年3月

态修复工程为例,多年以来该区域实施各类生态保护规划和工程措施起到了一定的作用,对黄河三角洲生态系统产生了较为积极的影响,受损淡水湿地得到修复和恢复,生物多样性有所增加。

4.2 生态问题

由于黄河三角洲受流域生态系统变化和当地社会经济发展的双重影响,生态空间仍然受到挤占,自然湿地和自然岸线比例持续减少,区域生态状况发生着显著变化,具体来看,仍然存在以下主要生态问题:

(1)黄河来水来沙减少,影响三角洲生态安全。黄河水沙资源是黄河三角洲生态系统形成和演替的根本动力,影响着黄河三角洲地貌、水文、土壤、植被的分异过程和演变过程;由于历史淤积而形成的特殊地形特征,三角洲与主河槽、河滩地之间的区域水系不通,加之上游来水减少、生产生活用水量大,使得黄河三角洲湿地水资源相对不足^[9-11]。总体来看,黄河水沙动力及海洋动力之间的“博弈”过程发生改变,尽管得益于黄河2002年开始的调水调沙以及2008年开始的河口生态调度及生态补水,2000年之后进入下游和河口的径流量趋于稳定,但长期来看,三角洲的水沙输入量明显减少,致使整体由淤积向侵蚀方向发展,引起河口新生湿地蚀退、土壤盐碱化加速等一系列问题,对河口三角洲生态系统发育、演替和鸟类栖息地等造成影响^[12-16]。

(2)湿地生态需水缺口大,原生湿地生态系统受到威胁。黄河三角洲国家级自然保护区现有的35万亩芦苇湿地,最适宜生态补水量约为3.5亿 m^3/a ,但是目前只能在黄河调水调沙期间进行生态补水,且补水量不足1亿 m^3 ,存在约2.5亿 m^3 缺口,致使湿地生态系统受到严重威胁^[17-19]。同时,石油开发对黄河三角洲国家级自然保护区侵占问题突出、历史遗留问题多,2017年第一轮中央环保督察时发现保护区共有油井等油田生产设施2481处,也对这一国际重要湿地产生威胁^[20]。另外,20世纪90年代为护堤引种的外来物种——互花米草,近几年在黄河三角洲呈爆发式增长蔓延,侵占大量的盐地碱蓬等原生湿地生态系统,2014—2016年平均年增长速率达到392.55 hm^2 ^[21,22]。

5 结论与对策建议

5.1 结论

本文基于长时间尺度卫星遥感监测与地面监测、调查数据,以黄河三角洲高效生态经济区为例,综合分析了黄河三角洲的国土空间、湿地资源、岸线资源、水沙资源的生态状况变化特征及存在的生态问题,主要研究结论如下:

(1)2018年,湿地和林草等组成的生态空间面积为6360.31 km^2 ,1990—2018年生态空间面积减少量约为1990年生态空间面积的7.6%,主要受城镇空间和农业空间的挤占。沿海及城镇聚集区域周边植被长势有所降低。从不同时间段来看,2010年以后,生态空间被挤占速度有所放缓,区域整体生态状况有所改善。

(2)1990—2018年期间,以坑塘为主的人工湿地面积比例增加了18.1%,以滩涂、沼泽、河流和湖泊为主的自然湿地面积比例从52.0%减少到33.9%;海岸线长度由493.95 km 增加至858.97 km ,其中,人工岸线占海岸线总长度的比例从43.3%增加到70.4%,自然岸线长度比例从56.7%减少到29.6%。自然湿地资源和自然岸线资源丧失明显。但2010年之后,各类生态保护规划和工程措施积极作用逐渐显现,人工湿地面积和人工岸线长度的增速均明显放缓。

(3)20世纪50年代开始,黄河水沙条件逐渐改变,进入黄河三角洲的水沙资源日趋减少。1950年至2018年,进入黄河下游的年径流量减少了一半左右,年均输沙量锐减了90%以上,河口三角洲原生湿地生态补水需求,以及新生湿地面临的蚀退威胁仍然比较严峻。

5.2 对策建议

(1)加强湿地保护修复,维护生物多样性。加大河口三角洲自然湿地保护和恢复,采取水量调度与生态流量过程优化管理等措施,促进河口生态系统修复,开展退耕还湿、退养还滩、河岸带生态保护与修复,稳定自然岸线。对生物多样性的威胁因素实施有效监控,掌握生物多样性变化趋势、保护状况和威胁因素,实施关键物种栖息地营造优化、鸟类补食区建设等工程项目,加强生物多样性保护和

外来入侵物种防治。

(2)优化生态保护空间布局,统筹好保护和发展的关系。牢固树立生态保护与经济发展“一盘棋”思想,优化布局生态空间、农业空间和城镇空间,划定并严守生态保护红线,实施生态空间管控,降低人类活动对生态空间的干扰。合理规划人口、城市 and 产业发展,减轻区域生态压力,提升生态功能。以保护促发展、以保护强发展,推动产业结构生态化,推动形成富有地域特色的高质量发展新路子。

(3)加强生态保护顶层设计,促进三角洲生态系统健康。按照山水林田湖草综合治理、系统治理、源头治理的理念,编制《黄河流域生态保护总体规划》,实施河口三角洲生态系统的综合保护。强化黄河流域及黄河入海河段的基础观测研究和生态状况调查评估工作,摸清黄河三角洲生态底数与变化。加强环保督察力度,构建流域生态保护刚性约束与管理机制,促进流域及三角洲生态系统健康。

致谢:感谢黄河流域生态环境监督管理局提供的水文观测数据,以及山东省生态环境厅提供的物种调查数据。

参考文献(References):

[1] 刘高焕,刘庆生,叶庆华,等.黄河三角洲土地利用动态监测与海岸带综合管理[J].资源科学,2006,28(5):171-175. [Liu G H, Liu Q S, Ye Q H, et al. Monitoring ecosystem change and land resources utilization in the Yellow River Delta[J]. Resources Science, 2006, 28(5): 171-175.]

[2] 国家发展与改革委员会.黄河三角洲高效生态经济区发展规划[EB/OL].(2009-12)[2019-09-06].<http://www.gov.cn/gzdt/att/site1/20091223/00123f3eabca0c9bf64b01.pdf>. [National Development and Reform Commission. The Development Plan of the Yellow River Delta Efficient Ecological Economic Zone[EB/OL].(2009-12)[2019-09-06].<http://www.gov.cn/gzdt/att/site1/20091223/00123f3eabca0c9bf64b01.pdf>.]

[3] 李念春,袁辉.黄河三角洲高效生态经济区生态环境脆弱性评价研究[J].山东国土资源,2015,31(10):57-61. [Li N C, Yuan H. Evaluation and study on ecological vulnerability of Efficient Ecological Economic Zone in the Yellow River Delta area[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(10): 57-61.]

[4] 张帅,董会忠,曾文霞.土地生态系统脆弱性时空演化特征及影响因素:以黄河三角洲高效生态经济区为例[J].中国环境科学,2019,39(4):1696-1704. [Zhang S, Dong H Z, Zeng W X. The time-space evolution characteristics of the vulnerability of land ecosystems and influencing factors: A case study of the Yellow River Delta Efficient Eco-economic Zone[J]. China Environmental Science, 2019, 39(4): 1696-1704.]

[5] 彭玉明,赵振华,徐扬,等.黄河三角洲高效生态经济区生态环境承载力分析[J].山东国土资源,2013,29(12):21-25. [Peng Y M, Zhao Z H, Xu Y, et al. Analysis on ecological environment bearing capacity in High-efficiency Economic Zone in Yellow River Delta[J]. Shandong Land and Resources, 2013, 29(12): 21-25.]

[6] 程钰,任建兰,侯纯光.沿海生态地区空间均衡内涵界定与状态评估:以黄河三角洲高效生态经济区为例[J].地理科学,2017,37(1):83-91. [Cheng Y, Ren J L, Hou C G. Meaning of space balance and assessing the state of the coastal ecological regions: A case of the Yellow River Delta Efficient Ecological Economic Zone [J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(1): 83-91.]

[7] 侯鹏,王桥,申文明,等.生态系统综合评估研究进展:内涵、框架与挑战[J].地理研究,2015,34(10):1809-1823. [Hou P, Wang Q, Shen W M, et al. Progress of integrated ecosystem assessment: Concept, framework and challenges[J]. Geographical Research, 2015, 34(10): 1809-1823.]

[8] 张淑敏,张宝雷.国家战略背景下黄河三角洲地区国土开发适宜性格局[J].资源科学,2016,38(5):837-846. [Zhang S M, Zhang B L. The suitability pattern of territorial development in the Yellow River Delta under national strategy[J]. Resources Science, 2016, 38(5): 837-846.]

[9] 刘海红,刘胤序,张春华,等.1991-2016年黄河三角洲湿地变化的遥感监测[J].地球与环境,2018,46(6):590-598. [Liu H H, Liu Y X, Zhang C H, et al. Remote sensing monitoring of wetland changes in the Yellow River Delta during 1991-2016[J]. Earth and Environment, 2018, 46(6): 590-598.]

[10] 李云龙,孔祥伦,韩美,等.1986-2016年黄河三角洲地表水体变化及其驱动力分析[J].农业工程学报,2019,35(16):105-113. [Li Y L, Kong X L, Han M, et al. Analysis of surface water changes and driving force in Yellow River Delta from 1986 to 2016 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(16): 105-113.]

[11] 袁秀,孙燕燕,王计平,等.基于水鸟栖息地恢复的黄河三角洲水资源综合利用策略[J].资源科学,2020,42(1):104-114. [Yuan X, Sun Y Y, Wang J P, et al. Comprehensive utilization of water resources in the Yellow River Delta for waterfowl habitat restoration[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 104-114.]

[12] 王一鸣,高鹏,穆兴民,等.1973年以来黄河三角洲形态与入海

2020年3月

- 水沙通量关系研究[J]. 泥沙研究, 2018, 43(5): 39-45. [Wang Y M, Gao P, Mu X M, et al. Relationship between the shape of the Yellow River Delta and the runoff-sediment flux since 1973[J]. Journal of Sediment Research, 2018, 43(5): 39-45.]
- [13] 刘玉斌, 韩美, 张鹏, 等. 黄河入海水沙变化特征及其趋势预测[J]. 泥沙研究, 2018, 43(1): 20-26. [Liu Y B, Han M, Zhang P, et al. Characteristics and trend of flow and sediment at the Yellow River Estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2018, 43(1): 20-26.]
- [14] 徐梦辰, 刘加珍, 陈永金. 黄河三角洲湿地柽柳群落退化特征分析[J]. 人民黄河, 2015, 37(7): 85-89. [Xu M C, Liu J Z, Chen Y J. Characteristics analysis of degenerated tamarix community in the wetland of the Yellow River Delta[J]. Yellow River, 2015, 37(7): 85-89.]
- [15] 黄子强, 车纯广, 谭海涛, 等. 黄河三角洲水鸟多样性调查及种群数量监测[J]. 山东林业科技, 2018, 48(2): 41-45. [Huang Z Q, Che C G, Tan H T, et al. Investigation on the diversity and population of waterbird in the Yellow River Delta Nature Reserve[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2018, 48(2): 41-45.]
- [16] 范晓梅, 刘高焕, 唐志鹏, 等. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 139-144. [Fan X M, Liu G H, Tang Z P, et al. Analysis on main contributors influencing soil salinization of Yellow River Delta[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(1): 139-144.]
- [17] 连煜, 王新功, 黄翀, 等. 基于生态水文学的黄河口湿地生态需水评价[J]. 地理学报, 2008, 63(5): 451-461. [Lian Y, Wang X G, Huang C, et al. Environmental flows evaluation based on eco-hydrology in the Yellow River Delta wetlands[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(5): 451-461.]
- [18] 刘青勇, 王爱芹, 张娜, 等. 基于调水调沙的黄河三角洲湿地生态修复技术[J]. 中国农村水利水电, 2016, (2): 60-63. [Liu Q Y, Wang A Q, Zhang N, et al. Wetland ecological restoration technique based on water and sediment of Yellow River Delta[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016, (2): 60-63.]
- [19] 孙志高, 牟晓杰, 陈小兵, 等. 黄河三角洲湿地保护与恢复的现状、问题与建议[J]. 湿地科学, 2011, 9(2): 107-115. [Sun Z G, Mou X J, Chen X B, et al. Actualities, problems and suggestions of wetland protection and restoration in the Yellow River Delta[J]. Wetland Science, 2011, 9(2): 107-115.]
- [20] 生态环境部. 山东省公开中央环境保护督察整改方案[EB/OL]. (2018-05-29) [2019-09-06]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201805/t20180529_441686.htm. [Ministry of Ecology and Environment. Shandong Province Publishes Rectification Plan for Central Environmental Protection Supervision[EB/OL]. (2018-05-29) [2019-09-06]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201805/t20180529_441686.htm.]
- [21] 李晓敏, 张杰, 马毅, 等. 基于无人机高光谱的外来入侵种互花米草遥感监测方法研究: 以黄河三角洲为研究区[J]. 海洋科学, 2017, 41(4): 98-107. [Li X M, Zhang J, Ma Y, et al. Study on monitoring alien invasive species *Spartina alterniflora* using unmanned aerial vehicle hyperspectral remote sensing: A case study of the Yellow River Delta[J]. Marine Sciences, 2017, 41(4): 98-107.]
- [22] 杨俊芳. 现代黄河三角洲入侵植物互花米草遥感监测与分析[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017. [Yang J F. Remote Sensing Monitoring and Analysis of Invasion Plant *Spartina Alterniflora* in Modern Yellow River Delta[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2017.]

Ecological changes, problems and countermeasures in the High Efficiency Eco-economic Zone of the Yellow River Delta

ZHAI Jun¹, JIN Diandian¹, CHEN Yan¹, LIU Xin², YANG Xu¹, HOU Peng¹, XU Yanda³

(1. Ministry of Ecology and Environment Center for Satellite Application on Ecology and Environment, Beijing 100094, China;

2. Information Center of Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China; 3. Ministry of

Ecology and Environment of the People's Republic of China, Beijing 100006, China)

Abstract: Comprehensive monitoring and assessment of the ecological changes in the Yellow River Delta (YRD) is fundamental of properly understanding ecological conditions of the delta region and strengthening ecology and environment protection and supervision. Based on multi-source satellite remote sensing and ground observation data, this study monitored the changes of ecological space and vegetation growth in the High Efficiency Eco-economic Zone of the Yellow River Delta (HEEZ-YRD) over the past 30 years, identified the basic characteristics of regional ecological status, and quantitatively analyzed changes of regional wetland, coastline, water and sediment resources. Then, combining with a series of ecological protection and restoration measures taken by the state and local governments, this article discussed the regional protection effectiveness, identified the main ecological problems in the YRD, and put forward countermeasures and suggestions. The results show that from 1990 to 2018, occupied by urban and agricultural space, the reduction of ecological spatial area in the past 30 years was about 7.6% of that in 1990, and the growth trend of vegetation around the coastal and urban agglomeration areas decreased in the HEEZ-YRD. Artificial wetland that mainly composed by ponds increased by 18.1%, artificial shoreline increased by 27.1%, and the natural wetland and shoreline resources lost significantly. The speed of ecological space being occupied has slowed between 2010 and 2018, and the positive effects of ecological protection planning and engineering measures have gradually emerged. The growth rate of the artificial wetland area and the artificial shoreline length has slowed significantly, and the regional ecological protection effect has gradually shown. Since the 1950s, water and sediment conditions of the Yellow River have changed dramatically, and the water and sediment resources entering the YRD have gradually reduced. The ecological water replenishment demand of the original wetland and the threat of erosion and regression faced by new wetland are still severe. Therefore, increasing protection and restoration of regional wetland resources, optimizing the spatial distribution planning of ecological protection, and strengthening the control of ecological space are the necessary means to improving the biodiversity of the YRD and promoting the high-quality development for the region.

Keywords: ecological space; wetland resources; shoreline resources; water and sediment resources; Yellow River Delta; High Efficiency Eco-economic Zone