

王佳, 于莉莉, 耿林, 等. 大沽河流域滨海湿地景观格局变化及其驱动机制[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(8): 29-37.

WANG Jia, YU Lili, GENG Lin, et al. Effects of human activities on landscape alteration and aquatic environment of coastal wetland in Dagu River Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(8): 29-37.

大沽河流域滨海湿地景观格局变化 及其驱动机制

王佳^{1,2}, 于莉莉^{1,2*}, 耿林^{1,2}, 郝胜优^{1,2}, 付佳妮^{1,2}, 徐美君^{1,2}, 李林森^{1,2}, 霍晓宇^{1,2}

(1 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛 266100; 2 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 青岛 266100)

摘要:以大沽河流域滨海湿地为研究区域,以 2000、2010 及 2019 年的 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 遥感数据为数据源,提取大沽河流域滨海湿地信息,采用训练分析法和景观格局指数的时空分异规律,分析不同时期人类活动对滨海湿地景观格局变化的影响。结果表明,2000—2019 年间湿地、水体总面积变化较小,自然湿地景观面积整体呈现逐年增加的趋势,而人工湿地景观面积整体呈现逐年减小的趋势。大沽河河道在近 20 年间总体河流面积增加,河道变宽,大沽河流域滨海湿地总面积整体变化较小,其中,自然湿地景观中除滩涂湿地景观面积逐年减小外,湖泊、浅海水域、季节性河流和永久性河流湿地景观面积均增大。大沽河流域滨海湿地的斑块密度指数和斑块破碎化指数均呈现出先增后降的趋势。围垦、人口增长、城镇化发展、污染、海水入侵和环保举措等人为因素是引起大沽河流域滨海湿地面积和景观格局变化的主要驱动因素。

关键词:大沽河; 滨海湿地; 环境效应; 景观格局

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.129

0 引言

滨海湿地位于陆地和海洋的过渡区域,包括盐沼、泥滩、红树林、沼泽等^[1-2],是一种重要且独特的生态系统。滨海湿地对全球生态具有重要意义,不仅为大量生物提供了栖息地,还直接或间接地为人类提供生态系统服务,例如防洪、水循环和调节气候等关键环境功能^[3-4]。然而,由于人类活动和气候变化,近几十年来滨海湿地的面积、类型和结构发生了显著变化。在过去 150 年中,由于各种人类

活动和气候变化的影响,全球 50% 的滨海湿地已经被改造、破坏或消失^[5],滨海湿地保护面临的形势亟需引起重视。

20 世纪 70 年代以来,胶州湾沿岸滨海湿地先后经历了盐田建设、填湾造地、围建养殖池、开发港口、建设公路和临港工程等几次填海高潮^[6],使得湿地的自然属性和生态平衡遭到破坏,胶州湾滨海湿地发生严重退化,并导致生物多样性水平下降、环境净化功能降低、污染和赤潮灾害加重、植被退化演替、渔业资源衰退和湿地生态系统服务价值降低等累积环境效应的发生^[7],环境承载力进一步减弱^[8]。胶州湾滨海湿地退化是自然因素和人为因素共同影响的结果,人口压力、围海造陆、修建水库、环境污染等人为因素占据重要角色。前人对胶州湾沿岸滨海湿地开展了大量的研究工作,但尚欠缺对大沽河流域滨海湿地的研究工作。本研究通过开展人类活动对大沽河流域滨海湿地景观格局变化的影响研究,加强人类的环保意识和政府保护滨海湿地的决心,从而促进滨海湿地的可持续利用。

收稿日期: 2023-05-15

资助项目: 青岛市城市地质调查项目(ZFCG2019001542); 青岛地质工程勘察院科研基金(2022-QDDZYKY01); 中国地质调查局“重要经济区和城市群综合地质调查”工程二级项目“青岛多要素城市地质调查”(DD20189230)

作者简介: 王佳(1993—),男,博士,工程师,主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: m19953525820@163.com

* 通讯作者: 于莉莉(1981—),女,高级工程师,主要从事工程测绘、水工环地质方面的研究工作。E-mail: 547887564@qq.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大沽河是胶东半岛最大河流,全长 179.90 km,流经招远、栖霞等 9 县(市、区),在胶州市码头村南注入胶州湾^[9]。大沽河是青岛市重要的水源地,为流经地区的农田、人口提供灌溉及饮水功能。同时,由于大沽河的存在,河流湿地的面积较大,流域附近各类植物、鸟类等动植物种类繁多,对空气及环境质量优化具有重要作用^[10-11]。研究区位于大沽河下游流域及河口区域(图 1)。

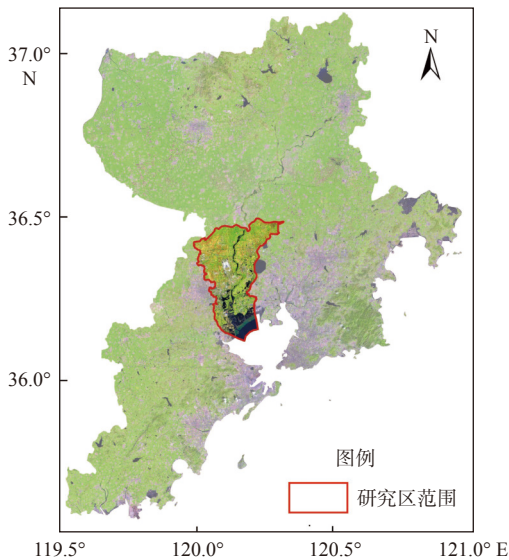


图 1 研究区范围
Fig.1 The study area

1.2 大沽河流域滨海湿地的湿地分类

本次研究根据大沽河湿地情况以及 2000、2010 和 2019 年的遥感数据,依据《湿地分类》《全国湿地资源调查技术规程(试行)》等国家标准^[12],结合湿地生态、水文等条件,对大沽河湿地进行分类^[13-14],主要分为近海与海岸湿地、河流湿地、湖泊湿地、人工湿地 4 大类。其中,近海与海岸湿地分为浅海水域和滩涂;河流湿地分为永久性河流和季节性河流湿地;人工湿地分为库塘、水产养殖场、盐田和运河。

1.3 数据来源与研究方法

本次研究选取 2000 年 10 月、2010 年 10 月的 Landsat 5 TM 数据和 2018 年 10 月的 Landsat 8 OLI

数据,空间分辨率均为 30 m。高分辨率影像则是 2000 和 2010 年的谷歌地球影像以及 2019 年的天地图影像,分辨率均 > 5 m。为了整合利用这些遥感影像的优势,需要对其进行必要的处理,主要包括几何校正、辐射校正、大气校正、正射校正、数字镶嵌^[15]。随后通过遥感监督分类方法进行遥感影像分类,该方法又称为“训练分类法”^[16]。本次研究的训练样本根据高分辨率遥感影像目视解译、研究区域 1:5 万地形图、研究区域地物类别图等资料进行选取。选取训练样本后,使用 ENVI 软件进行研究区域初分类。在分类之后,对研究区影像进行不同波段的组合,根据 Landsat 卫星波段信息,通过不同波段组合构建的假彩色图像可以直观地看到不同类别地物在影像中的形状与位置,便于对初步的分类图进行修改。之后,根据假彩色影像,对遥感初步分类结果进行简单的修改和类别校正。在以上步骤处理完之后,将初步处理后的湿地类别对照高分辨率影像进行目视解译,对初步分类的结果进行修改^[17]。湿地类别错误的区域或者未填补的区域进行修改和补充。

20 世纪 80 年代以来,景观格局、过程、尺度和驱动机制的原理和方法逐渐应用于湿地科学领域,促进了湿地景观格局演变的研究^[18-19]。湿地景观变化的研究方法主要包括定性描述、景观格局指数和景观定量分析^[20]。景观格局的变化会影响生物群和生物多样性。因此,对湿地景观格局的动态变化特征进行研究,有利于湿地景观的保护、恢复、规划和管理。景观格局指数是反映景观结构组成的量化指标^[7,21]。本次研究选取以下景观格局指数进行分析。

(1) 斑块动态度指数 (WD)

$$WD = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (1)$$

式中:WD 为湿地斑块面积或斑块数动态度;

U_a 为起始年某类斑块的总面积或者斑块数;

U_b 为终结年该类斑块的总面积或者斑块数;

t 为计算时段的年数。

(2) 斑块密度指数 (PD_i)

$$PD_i = \frac{N_i}{A_i} \quad (2)$$

式中: PD_i 为第 i 类景观的斑块密度指数;

N_i 为第 i 类斑块的个数;

A_i 为第 i 类景观的所有斑块总面积, km^2 。

(3) 斑块破碎化指数 (FN)

$$FN = \frac{MPS(N_f - 1)}{N_c} \quad (3)$$

式中: FN 代表景观整体和各景观类型的斑块破碎化指数;

N_c 为景观斑块总面积, km^2 ;

MPS 为景观中各类斑块的平均斑块面积, km^2 ;

N_f 为景观斑块数。

2 研究结果

2.1 大沽河滨海湿地解译结果

本次研究使用 Landsat 卫星、天地图高分辨率数据和谷歌地球数据, 提取到大沽河区域 2000、2010、2019 年 3 个时期的湿地解译图(图 2, 所用底图为 2018 年 Landsat 8 号卫星遥感图)。统计解译图中各种湿地类型的面积数据, 得到各类湿地面积

占比如表 1 所示。

本研究中, 根据湿地情况和遥感影像限制将湿地主要分为自然湿地与人工湿地 2 大类。自然湿地中, 近海与海岸湿地从 2000 年起面积逐渐增加, 由 2000 年的 36.67 km^2 增长至 40.39 km^2 , 面积占比每年稳定在 32%~35%。在河流湿地上, 面积也同样保持一直增长的态势, 2000—2019 年, 由最初的 8.11 km^2 每 10 年增长约 7.70 km^2 , 于 2019 年达到 23.53 km^2 。湖泊湿地在最初的年份面积较小, 一方面是由于 2000 年高分辨率遥感数据较少、低分辨率遥感数据较多, 除去大型湖泊外, 小型湖泊在低分辨率影像上基本难以分辨, 另一方面则是由于研究区域内湖泊较少。除去 2000 年的湖泊湿地面积, 2010—2019 年面积由 7.26 km^2 增长至 9.44 km^2 。人工湿地则是本次调查的湿地大类中唯一一个面积处于减小趋势的大类, 其面积由 67.99 km^2 下降至 42.03 km^2 。

在自然湿地大类中, 滩涂和浅海水域占据绝对主导地位, 且这两类面积基本处于定值。由此可以

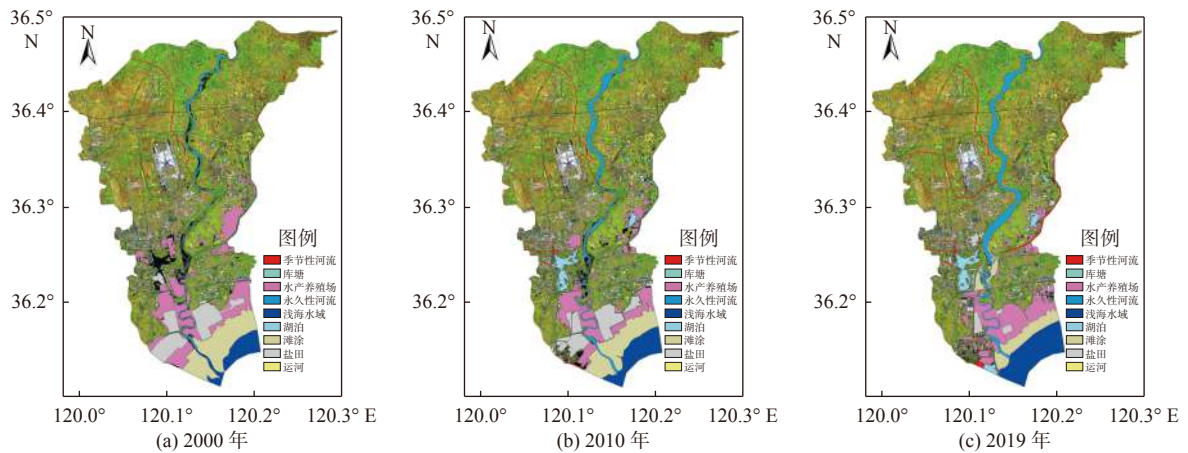


图 2 2000、2010、2019 年大沽河湿地解译图

Fig.2 Interpretation of landscape images of Dagu River wetland in 2000, 2010, and 2019

表 1 大沽河湿地类型面积占比

Table 1 Percentages of different types of area in Dagu River wetland

湿地类型		2000年		2010年		2019年	
		面积/ km^2	百分比/%	面积/ km^2	百分比/%	面积/ km^2	百分比/%
近海与海岸湿地	浅海水域	11.67	10.40	15.27	13.12	24.12	20.90
	滩涂	27.99	24.80	22.99	19.76	16.28	14.11
河流湿地	季节性河流	0.61	0.54	1.12	0.96	3.66	3.18
	永久性河流	7.48	6.63	14.88	12.78	19.86	17.22
湖泊湿地	湖泊	0.08	0.07	7.26	6.23	9.44	8.18
	库塘	2.78	2.45	5.10	4.38	2.10	1.82
人工湿地	水产养殖场	42.19	37.38	30.24	25.98	34.04	29.50
	盐田	22.69	20.10	18.94	16.27	5.68	4.92
	运河	0.31	0.27	0.57	0.49	0.21	0.18

得出,2000—2019年,浅海水域面积由11.67 km²增长到24.12 km²,滩涂面积则由27.99 km²减少至16.28 km²。河流湿地分为永久性河流和季节性河流,除去季节以及遥感解译因素,这2类河流湿地面积持续增长,2019年季节性河流的面积达到3.66 km²,几乎是2000年季节性河流面积的6倍。湖泊湿地与上述分析相同。

本次湿地解译在人工湿地大类下,分为库塘、水产养殖场、盐田、运河。2000—2019年,库塘呈现先上升后下降的趋势,由2000年的2.78 km²上升至2010年的5.10 km²,又下降至2019年的2.10 km²。水产养殖场的面积变化趋势也是先下降、再上升,总体上处于下降阶段。盐田20年内总体面积一直在下降,2000年为22.69 km²,2010年面积下降了3.75 km²,至2019年面积继续下降13.26 km²至5.68 km²。运河一般指在农田或者河流旁边向附近的村庄或者农作物引水所用,通常较难在低、中分辨率的影像上发现。2000—2019年,运河的面积变化趋势也是先减少再增加,但是相对于2000年,总体呈现下降趋势。

2.2 大沽河流域滨海湿地景观格局变化

基于遥感解译得到的大沽河流域滨海湿地景

观类型,使用Arcgis 10.8软件的Spatial Analyst工具提取大沽河流域滨海湿地景观斑块在2000、2010和2019年3个时间段的空间属性,通过湿地空间属性数据计算景观格局的变化。

2.2.1 大沽河流域滨海湿地斑块动态度

基于大沽河流域滨海湿地景观类型属性数据,通过公式(1)计算得到2000—2010年和2010—2019年大沽河流域各自然湿地景观和人工湿地景观的斑块数和面积动态度(表2、3)。

2000—2010年,大沽河流域滨海湿地各景观类型中湖泊、季节性河流和永久性河流3种自然湿地景观斑块面积有所增加,斑块面积动态度、斑块数动态度分别为897.50%、8.06%、9.87%和31.82%、15.00%、10.00%。3种湿地景观的斑块面积动态度和斑块数动态度的差异表明,2000—2010年大沽河流域滨海湿地季节性河流和永久性河流的景观面积增加的速率低于斑块数的增加速率,湖泊湿地景观面积增加速率高于斑块数增加速率;滩涂湿地景观斑块面积略有减小,斑块数仍为2块,斑块面积动态度仅有-1.78%,表明滩涂湿地景观格局变化较小;浅海水域湿地景观面积增加,面积动态度为3.07%,而斑块数减少,斑块数动态度为-5.00%。

库塘和运河2种人工湿地景观斑块数和面积

表2 2000—2010年大沽河流域湿地景观斑块数和面积动态度

Table 2 Number of patches and area dynamics of wetland landscape in Dagu River Basin from 2000 to 2010

景观类型			2000年	2010年	增减量	动态度/%
自然湿地景观	湖泊	斑块/个	11	46	35	31.82
		面积/km ²	0.08	7.26	7.18	897.50
	滩涂	斑块/个	2	2	0	0.00
		面积/km ²	27.99	23.00	-4.99	-1.78
	浅海水域	斑块/个	2	1	-1	-5.00
		面积/km ²	11.68	15.27	3.59	3.07
人工湿地景观	季节性河流	斑块/个	2	5	3	15.00
		面积/km ²	0.62	1.12	0.5	8.06
	永久性河流	斑块/个	1	2	1	10.00
		面积/km ²	7.49	14.88	7.39	9.87
人工湿地景观	库塘	斑块/个	117	212	95	8.12
		面积/km ²	2.78	5.10	2.32	8.35
	水产养殖场	斑块/个	84	92	8	0.95
		面积/km ²	42.20	30.25	-11.95	-2.83
	盐田	斑块/个	13	28	15	11.54
		面积/km ²	22.70	18.94	-3.76	-1.66
运河	斑块/个	4	9	5	12.50	
	面积/km ²	0.32	0.57	0.25	7.81	
景观总体	斑块/个	236	397	161	6.82	
	面积/km ²	115.85	116.40	0.55	0.05	

表 3 2010—2019 年大沽河流域湿地景观斑块数和面积动态度

Table 3 The number of patches and area dynamics of wetland landscape in Dagu River Basin from 2010 to 2019

景观类型			2010年	2019年	增减量	动态度/%	
自然湿地景观	湖泊	斑块/个	46	23	-23	-5.00	
		面积/km ²	7.26	9.44	2.18	3.00	
	滩涂	斑块/个	2	7	5	25.00	
		面积/km ²	23.00	16.28	-6.72	-2.92	
	浅海水域	斑块/个	1	1	0	0.00	
		面积/km ²	15.27	24.12	8.85	5.80	
		季节性河流	斑块/个	5	8	3	6.00
		面积/km ²	1.12	3.66	2.54	22.68	
	永久性河流	斑块/个	2	1	-1	-5.00	
		面积/km ²	14.88	19.86	4.98	3.35	
人工湿地景观	库塘	斑块/个	212	92	-120	-5.66	
		面积/km ²	5.10	2.10	-3	-5.88	
	水产养殖场	斑块/个	92	119	27	2.93	
		面积/km ²	30.25	34.04	3.79	1.25	
	盐田	斑块/个	28	26	-2	-0.71	
		面积/km ²	18.94	5.68	-13.26	-7.00	
	运河	斑块/个	9	2	-7	-7.78	
		面积/km ²	0.57	0.21	-0.36	-6.32	
景观总体	斑块/个	397	279	-118	-2.97		
	面积/km ²	116.40	115.39	-1.01	-0.09		

均有所增加,其面积和斑块数动态度分别为 8.35%、7.81% 和 8.12%、12.5%, 2 种人工湿地景观的动态度增加表明该时期库塘和运河面积和斑块数增长速率基本保持一致;盐田和水产养殖场面积略有减小,但斑块数增加,盐田和水产养殖场的斑块数动态度为 11.54%、0.95%、面积动态度为-1.66%、-2.83%,说明盐田和水产养殖场湿地景观斑块数和面积变化呈现相反的趋势。

2010—2019 年,大沽河流域滨海湿地各景观类型中季节性河流斑块面积持续增加,相较于 2000—2010 年,季节性河流湿地面积增加速率增大。该景观斑块的面积和斑块数动态度分别为 22.68% 和 6.00%,表明 2010—2019 年大沽河流域滨海湿地季节性河流湿地的面积增大速率大于斑块数增大速率;湖泊和永久性河流湿地景观的斑块数减少,但面积增加,2 种景观斑块的面积和斑块数动态度分别为 3.00%、3.35% 和-5.00%、-5.00%。相较于 2000—2010 年,2 种景观斑块的面积动态度较小,且景观斑块数从增加变为减少,表明湖泊和永久性河流湿地的发育速率变低;滩涂湿地景观斑块面积继续减小,而斑块数却明显增加,斑块面积和斑块数动态度为-2.92% 和 25.00%,相较于 2000—2010 年,滩涂湿地面积减小速率增大;浅海水域湿地景观斑

块面积增加,面积动态度为 5.80%,而斑块数不变,斑块数动态度为 0,相较于 2000—2010 年,浅海水域湿地面积增加的速率增大。

人工湿地景观类型中,库塘、盐田和运河的斑块数和面积均减小,3 种景观的面积和斑块动态度分别为-5.88%、-7.00%、-6.32% 和-5.66%、-0.71%、-7.78%;只有水产养殖场的面积和斑块数略有增加,面积和斑块动态度为 1.25%、2.93%。说明相较于 2000—2010 年,人工湿地景观总体退化,面积和斑块数均减小。

2.2.2 大沽河流域滨海湿地斑块密度指数

2000—2010 年,大沽河流域自然湿地景观的斑块密度指数均减小,尤其湖泊湿地景观的斑块密度指数减小尤为明显,表明湖泊、浅海水域不仅面积增加,景观破碎化程度也降低。滩涂湿地景观的斑块密度指数稍有增大,表明滩涂湿地不仅面积减小,景观破碎化程度也加重。而季节性河流和永久性河流湿地面积增加、斑块数增加,景观破碎化程度也增加。人工湿地中,库塘斑块密度指数略有减小,水产养殖场、盐田、运河的斑块密度指数略有增大;景观总体斑块密度指数从 2.04 增加到 3.41,主要是受到水产养殖场、滩涂面积减小和库塘、盐田斑块数增大的影响(表 4)。

表4 2000、2010、2019年大沽河流域湿地景观密度指数

Table 4 The density index of wetland landscape in Dagu River Basin in 2000, 2010, and 2019

景观类型	密度指数/(个/km ²)			
	2000年	2010年	2019年	
自然湿地景观	湖泊	137.50	6.34	2.44
	滩涂	0.07	0.09	0.43
	浅海水域	0.17	0.07	0.04
	季节性河流	3.23	4.46	2.19
	永久性河流	0.13	0.13	0.05
人工湿地景观	库塘	42.09	41.57	43.81
	水产养殖场	1.99	3.04	3.50
	盐田	0.57	1.48	4.58
	运河	12.50	15.79	9.52
景观总体	2.04	3.41	2.42	

2010—2019年大沽河流域湖泊、浅海水域、季节性河流和永久性河流湿地面积增大、斑块密度指数减小,表明除了滩涂其他自然湿地景观的破碎化程度均降低。而滩涂面积减小、斑块密度指数增大,破碎化程度增大;人工湿地中,库塘、水产养殖场和盐田3种湿地景观斑块密度指数增大,而运河湿地景观斑块密度指数减小;2010—2019年景观总体斑块密度指数从3.41减小到2.42,主要是受到政府重视湿地保护和湿地修复的影响(表4)。

2.2.3 大沽河流域滨海湿地景观斑块破碎化指数

基于大沽河流域滨海湿地景观各类型的斑块面积和斑块数,通过公式(3)计算得到2000、2010和2019年大沽河流域滨海湿地景观斑块破碎化指数(表5)。结果表明,2000—2019年大沽河流域湖泊湿地斑块数先增加后减少,但其面积一直增大,使得湖泊湿地的斑块破碎化指数先增大后降低;滩涂湿地斑块数增加,面积减小,斑块破碎化指数增

加;浅海水域湿地面积持续增大,斑块数减小,斑块破碎化指数降低;季节性河流湿地斑块数持续增加,但面积也一直增大,使得其斑块破碎化指数持续增大;永久性河流湿地面积持续增大,但斑块数先增加后减小,导致斑块破碎化指数先增大后降低;人工湿地景观中,库塘、盐田和运河3种湿地景观斑块破碎化指数均呈现先增大后降低的趋势;而水产养殖场湿地景观的斑块破碎化指数持续增大。2000—2019年大沽河流域滨海湿地景观总面积基本保持稳定,景观总体的斑块破碎化指数先增大后降低,可能是由于2010年以后政府注重湿地保护和湿地修复的缘故。

3 景观格局变化驱动因素分析

大沽河流域滨海湿地景观格局变化受到自然环境和人类活动2种驱动因素的共同影响。影响

表5 2000、2010、2019年大沽河流域滨海湿地景观斑块破碎化指数

Table 5 Fragmentation index of landscape patches in coastal wetlands in Dagu River Basin in 2000, 2010, and 2019

景观类型	斑块破碎化指数/(个/km ²)			
	2000年	2010年	2019年	
自然湿地景观	湖泊	0.909 1	0.978 3	0.956 5
	滩涂	0.500 0	0.500 0	0.857 1
	浅海水域	0.500 0	0.000 0	0.000 0
	季节性河流	0.500 0	0.800 0	0.875 0
	永久性河流	0.000 0	0.500 0	0.000 0
人工湿地景观	库塘	0.991 5	0.995 3	0.989 1
	水产养殖场	0.988 1	0.989 1	0.991 6
	盐田	0.923 1	0.964 3	0.961 5
	运河	0.750 0	0.888 9	0.500 0
景观总体	0.995 8	0.997 5	0.996 4	

景观格局变化的自然环境因素主要是气温和降水, 青岛市 2000—2019 年的年平均气温变化较小, 年均降水除了 2007 年的高值和 2015—2016 年的低值, 其他年份降雨基本稳定, 且自然环境对湿地景观格局变化的影响是长期的, 所以自然因素不是研究区湿地景观格局变化的主要驱动因素。而人类活动对湿地的改造会使湿地景观格局发生根本性的转变, 因此, 人类活动是大沽河流域滨海湿地景观格局变化的主要驱动因素。

3.1 围垦

围垦是导致大沽河流域滨海湿地不断萎缩的重要因素之一^[7]。大沽河流域滨海湿地属于胶州湾滨海湿地的一部分, 受到围垦的影响, 胶州湾滩涂湿地自 20 世纪 30 年代面积开始萎缩, 至 20 世纪 80 年代滩涂湿地面积由 285 km² 减小到 142 km², 到 90 年代减小到 85 km², 相较于 30 年代胶州湾滩涂湿地面积已经不足 1/3。2000 年以来大沽河河口地区滩涂湿地面积仍呈现逐年减小的趋势, 由 27.99 km² 减小至 16.28 km², 且滩涂湿地的密度指数和破碎化指数均逐年增大, 表明其景观破碎化程度逐年增加(表 4、5)。

3.2 人口压力

人口变化是研究区湿地景观格局变化的原因之一。大沽河流域地处青岛市的中心偏西区域, 青岛市人口的变化对大沽河流域滨海湿地的影响较为直接, 2000—2019 年青岛市人口由 749.40 万人增长至 992.3 万人, 整体呈现持续快速增长的趋势, 其中 2000—2010 年人口增长速率较高, 2010—2019 年人口增长速率减缓。从大沽河流域滨海湿地景观斑块密度指数和破碎化指数(表 4、5)可以看出, 2000—2010 年大沽河流域滨海湿地斑块密度指数和破碎化指数均增大, 表明湿地景观的破碎化程度增大, 可能与该时期人口快速增长引起滨海湿地空间结构变化有关。而 2010—2019 年人口增速放缓, 大沽河流域滨海湿地斑块密度指数和破碎化指数均减小, 湿地景观破碎化程度减弱。

3.3 城镇化建设

城镇化的迅速发展造成了土地资源的紧缺, 大量的农田、湿地和养殖区被占用, 滨海区域不断填海造陆, 对滨海湿地的空间分布和生态环境产生重

要的影响。随着青岛市政府对大沽河流域沿岸开发力度的加大, 人工建筑物占用大量耕地, 而耕地则向未开垦土地扩展, 靠近河流域有很大面积自然湿地被人类开垦成耕地。2000—2019 年大沽河流域农田的面积一直处于下降的趋势, 由最初的 341.19 km² 下降到 2019 年的 255.39 km²。自然湿地景观滩涂和人工湿地景观水产养殖场和盐田面积占比较高, 且这 3 个湿地景观的面积均呈现下降的趋势(表 2、3)。研究区域 2000—2019 年城镇化发展迅速, 城市、农村的扩张以及道路等设施的建设占据了大部分农田以及部分自然湿地和人工湿地, 对大沽河流域滨海湿地景观格局变化产生了一定的负面影响。

3.4 污染

污染是研究区湿地景观格局变化的驱动因素之一, 同时也是湿地景观格局变化的结果。大沽河流经招远、莱西、即墨等 9 县(市、区), 沿途有大量工业污水和居民生活污水排入, 造成污染物较多。大沽河沉积物中重金属元素 Hg 主要受招远金矿采选和冶炼行业污染源的影响, As 受大气沉降污染源的影响, Pb 同时受招远金矿采选、冶炼行业污染源和大气沉降污染源的影响, Cu、Zn 和 Cr 受农业污染源影响^[22]。大沽河排污控制区及桃源河入大沽河口处水质状况为重度污染, 主要污染指标还是 Hg, 造成 Hg 超标的原因可能是企业排污和河道上游修建水库、堤坝, 造成 Hg 在水体中的滞留、富集。

2003—2010 年大量工业污水和生活污水排放至大沽河, 严重超出了大沽河滨海湿地的净化能力范围, 导致湿地的水生环境逐渐恶化, 进而影响到湿地中生物的生存和发育, 整个生态系统的正常运转随之受到影响。2014 年以来, 青岛市重点排查大沽河流域汇水区内非法排污企业, 彻底消除大沽河干流与支流排污口, 经过湿地的不断净化, 大沽河流域滨海湿地的水质逐渐得到改善。

3.5 海水入侵

海水入侵是研究区湿地景观格局变化的结果, 同时进一步引起湿地景观格局的变化。海水入侵受到自然因素和人为因素的共同影响, 大沽河下游地下水由大气降水和地表水补给, 总体来说地下水水位的变化受大气降水的控制。但在 20 世纪 90 年代初期, 济铁路蓝村以南至李哥庄一带, 由于李哥庄地下水过度开采, 就出现过地下水漏斗情况,

而且受开采漏斗影响,造成海水入侵^[23]。2010年后,大沽河中上游地下水开采量进一步减小,但下游李哥庄开采区一直存在持续开采,加之近年来青岛市整体降水量偏少,水位呈逐年下降趋势,2019年大沽河流域又出现了地下水漏斗。滩涂湿地能够形成保护屏障,防止海水入侵。2000—2019年大沽河流域滨海湿地中滩涂湿地景观的斑块面积逐年减小,从而对海水入侵的调节作用减弱,是大沽河流域河口区域海水入侵的原因之一,而海水入侵进一步造成地下水咸化和土壤盐渍化,使得滩涂湿地植被退化,湿地面积进一步减小。

3.6 环保举措

随着人类环保意识的加深,政府越来越重视河流、湖泊、湿地退化问题,大沽河流域2000—2019年新增6条季节性河流,且季节性河流面积逐年增加,大沽河主干流持续拓宽,流域面积也持续增加。2019年主河道附近还开辟了一些相连接的小湖泊,而在大沽河支流处,2010和2019年大沽河的分支相对于2000年变得更多、拓展得更长。湖泊面积也逐年增加,有效保护了湖泊资源(表2、3)。近年来青岛市还推出了减少人工湿地开辟以及恢复自然湿地的湿地保护政策,2000—2019年盐田面积逐年减小,水产养殖场面积也有所减小,而浅海水域的面积逐年提升(表2、3)。与此同时,青岛市政府通过一系列举措对大沽河流域滨海湿地进行修复,使湿地有不同程度的修复,湿地生态环境得到一定程度的改善。

青岛市生态环境局对大沽河水源地进行水质实时监测,按月出台水源水质状况报告;定期联合水务管理部门对辖区化工企业污水处理设施和污染防治情况开展联合调查;对污染防治不合格,无污水处理设施的企业下达整改违法行为决定书,同时建立青岛市重点排污单位名单,定期对重点排污单位进行检查监管;定期开展环保宣教工作,提高青岛市市民环保意识,共同维护大沽河流域滨海湿地的水生环境。这一系列的举措极大改善了研究区湿地环境质量。

4 结论

本次研究以大沽河流域滨海湿地作为研究区域,以研究区2000、2010、2019年的Landsat 5 TM和Landsat 8 OLI遥感数据为数据源,提取大沽河流

域滨海湿地水体图、湿地图及其面积、变化率等数据,在总结前人湿地分类的基础之上,对大沽河流域滨海湿地进行分类。采用训练分析法和景观格局指数的时空分异规律,分析不同时期人类活动对滨海湿地景观格局变化的影响。

(1)通过2000、2010、2019年大沽河流域滨海湿地解译和面积信息可以看到,2000—2019年间湿地总面积分别为112.86、116.39、115.39 km²,整体变化较小,而且人工湿地面积分别为67.99、54.86、42.03 km²,面积逐步减少,而自然湿地逐年恢复增多,面积分别为44.87、61.53、73.36 km²。大沽河河道在近20年间总体河流面积增加,河道变宽。人工湿地减少和自然湿地增多,可能是由于2000年后政府注重湿地保护和湿地修复,相继推出了减少人工湿地开辟以及恢复自然湿地的湿地保护政策。

(2)2000—2019年,大沽河流域滨海湿地总面积整体变化较小。其中,自然湿地景观除滩涂湿地景观面积逐年减小外,湖泊、浅海水域、季节性河流和永久性河流湿地景观面积均有所增大,自然湿地景观面积整体呈现逐年增加的趋势,而人工湿地景观面积整体呈现逐年减小的趋势。大沽河流域滨海湿地的斑块密度指数和斑块破碎化指数均呈现出先增后降的变化趋势。

(3)大沽河流域滨海湿地景观格局变化受到自然环境和人类活动2种驱动因素的共同影响。自然环境对湿地景观格局变化的影响是长期且范围较大的,而人类活动对湿地的改造对湿地景观格局变化的影响是短期且影响区域较小的,因此,围垦、人口增长、城镇化发展、污染、海水入侵和环保举措等人为因素是大沽河流域滨海湿地景观格局变化的主要驱动因素。

参考文献:

- [1] 关道明. 中国滨海湿地[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [2] 陆健健. 中国滨海湿地的分类[J]. 环境导报, 1996(1): 1-2.
- [3] SUN B D, CUI L J, Li W, et al. A meta-analysis of coastal wetland ecosystem services in Liaoning Province, China[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2018, 200: 349-358.
- [4] RENZI J J, He Q, SILLIMAN B R. Harnessing positive species interactions to enhance coastal wetland restoration[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2019, 7: 131.
- [5] 魏帆, 韩广轩, 张金萍, 等. 1985—2015年围填海活动影响下的环渤海滨海湿地演变特征[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1527-1537.
- [6] 谢文霞, 李晓燕, 于蓉蓉, 等. 胶州湾湿地的退化影响因素与生

- 态修复建议[J]. 海洋科学, 2012, 36(10): 99-106.
- [7] 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等. 胶州湾滨海湿地的景观格局变化及环境效应[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 190-200.
- [8] 徐美君, 刘洪华, 杨宝凯, 等. 青岛市地质资源环境承载力评价关键技术与应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(9): 79-88.
- [9] 相恒茂, 万剑华, 韩仲志, 等. 青岛大沽河流域土壤重金属的空间分布[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(20): 5207-5210.
- [10] XI M, KONG F, LI Y, et al. Temporal-spatial variation of DOC concentration, UV absorbance and the flux estimation in the lower Dagu River, China[J]. Frontier of Earth Science, 2017(11): 660-669.
- [11] 王艳玲, 崔文连, 刘峰, 等. 青岛市大沽河河口区生态环境现状研究[J]. 中国环境监测, 2007, 23(3): 77-81.
- [12] 黄桂林, 唐小平, 鲍达明, 等. GB/T 24708—2009, 中华人民共和国国家标准: 湿地分类[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [13] 唐小平, 黄桂林. 中国湿地分类系统的研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(5): 531-539.
- [14] 牟晓杰, 刘兴土, 阎百兴, 等. 中国滨海湿地分类系统[J]. 湿地科学, 2015, 13(1): 19-26.
- [15] 赵书河. 高分辨率遥感数据处理方法实验研究[J]. 地学前沿, 2006, 13(3): 60-68.
- [16] 王延飞, 温小荣, 周蔚. 湿地覆被的几种遥感监督分类方法比较: 以江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区核心区为例[J]. 林业实用技术, 2012(2): 62-64.
- [17] 付佳妮, 刘洪华, 董杰, 等. 遥感技术在青岛市城市地质调查中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(9): 69-78.
- [18] SOLER L D S, VERBURG P H. Combining remote sensing and household level data for regional scale analysis of land cover change in the Brazilian Amazon[J]. Regional Environmental Change, 2010, 10(4): 371-386.
- [19] BALMFORD A, BRUNER A, COOPER P, et al. Economic reasons for conserving wild Nature[J]. Science (New York), 2002, 297(5583): 950-953.
- [20] FUJIHARA M, KIKUCHI T. Changes in the landscape structure of the Nagara River Basin, central Japan[J]. Landscape and Urban Planning, 2005, 70(3/4): 271-281.
- [21] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [22] 孙鸿运, 胡泓, 高培, 等. 大沽河表层沉积物重金属生态风险评估[J]. 海洋湖沼通报, 2020, 5: 95-104.
- [23] 徐军祥, 康凤新. 山东省地下水资源可持续开发利用研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2001.

Effects of human activities on landscape alteration and aquatic environment of coastal wetland in Dagu River Basin

WANG Jia^{1,2}, YU Lili^{1,2*}, GENG Lin^{1,2}, HAO Shengyou^{1,2}, FU Jiani^{1,2}, XU Meijun^{1,2}, LI Linsen^{1,2}, HUO Xiaoyu^{1,2}

(1 Key Laboratory of Urban Geology and Underground Space Resources, Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Qingdao 266100, China; 2 Qingdao Geo-engineering Surveying Institute (Qingdao Geological Exploration and Development Bureau), Qingdao 266100, China)

Abstract: The information of coastal wetland of Dagu River basin, Qingdao, Shandong, East China, was extracted from long-term series of Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI remote sensing data of 2000, 2010, and 2019. The effects of human activities on the alteration of coastal wetland landscape in different periods were analyzed by data training analysis and spatio-temporal differentiation of landscape pattern index. Results show that the total area of wetland and water body changed slightly from 2000 to 2019, and the natural wetland landscape area showed a trend of increasing year by year, while the constructed wetland landscape area showed a trend of decreasing year by year. In recent 20 years, the river area of Dagu River has increased and the river channel has become wider. The total area of coastal wetland in Dagu River basin changed a little as a whole. In the natural wetland landscape, except for the wetland area where tidal flat decreased year by year, the wetland area of lakes, shallow sea waters, seasonal rivers, and permanent rivers all were increased. The patch density index and patch fragmentation index of the coastal wetland increased first and then decreased in Dagu River basin. Reclamation, population growth, urbanization, pollution, seawater intrusion, and environmental protection measures are the main factors and forces for the alteration of the coastal wetland area and landscape pattern in Dagu River basin.

Key words: Dagu River; coastal wetland; environmental effect; landscape pattern