Advances in Marine Sciences 海洋科学前沿, 2025, 12(1), 62-69
Published Online March 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ams
https://doi.org/10.12677/ams.2025.121007

Hans汉斯

河北唐山滦河口湿地的生态环境质量评估

王国槐[1,2]，梁　昊[1]，彭　鑫[1*]

[1]天津市地质研究和海洋地质中心，天津
[2]天津市海洋资源与化学重点实验室(天津科技大学)，天津

收稿日期：2025年2月10日；录用日期：2025年3月3日；发布日期：2025年3月12日

摘　要

滦河口湿地作为我国北方重要的湿地之一，其生态环境质量的总体评估研究较少。根据2022年对滦河口湿地生物生态等的综合调查结果以及前人研究数据，采用综合指标体系评价法对滦河口湿地的生态环境质量进行了评估。结果表明：滦河口湿地水环境指标为14分，生物指标为28分，生境指标为6分，干扰指标为14分，生态环境质量的总分为62分，处于一般水平；湿地鸟类资源丰富，但植被资源不足，生态系统可能面临初级生产力不足的潜在隐患；湿地水资源丰富，但水资源量逐渐减少，且存在污染情况；人类活动则对生态环境产生了一定程度的干扰。因此，滦河口湿地恢复的重点在于减少人类干扰、水文情势调控以及植被资源的修复。

关键词

滦河口湿地，生态环境，质量评估，评估方法

Ecological and Environmental Quality Assessment of Luanhekou Wetland in Tangshan, Hebei Province

Guohuai Wang[1,2], Hao Liang[1], Xin Peng[1*]

[1]Tianjin Geological Research and Marine Geology Center, Tianjin
[2]Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry (Tianjin University of Science & Technology), Tianjin

Received: Feb. 10th, 2025; accepted: Mar. 3rd, 2025; published: Mar. 12th, 2025

Abstract

As one of the important wetlands in northern China, the overall assessment of ecological environ-

*通讯作者。

文章引用: 王国槐, 梁昊, 彭鑫. 河北唐山滦河口湿地的生态环境质量评估[J]. 海洋科学前沿, 2025, 12(1): 62-69.
DOI: 10.12677/ams.2025.121007

ment quality of Luanhekou wetland is rarely studied. According to the comprehensive survey results of the biological ecology of the Luanhekou wetland in 2022 and the data of previous studies, the ecological environment quality of the Luanhekou wetland was evaluated by using the comprehensive index system evaluation method. The results showed that the water environment index of Luanhekou wetland was 14 points, the biological index was 28 points, the habitat index was 6 points, the disturbance index was 14 points, and the total score of ecological environment quality was 62 points, which was at the general level. Bird resources in Luanhekou wetland are abundant, but vegetation resources are insufficient, and ecosystems may face the potential hidden danger of insufficient primary productivity. Luanhekou wetlands are rich in water resources, but the amount of water resources is gradually decreasing, and there is pollution. Human activities have disturbed the ecological environment to a certain extent. Therefore, the restoration of Luanhekou wetland focuses on reducing human disturbance, regulating hydrological conditions, and restoring vegetation resources.

Keywords

Luanhekou Wetland, Ecological Environment, Quality Assessment, Assessment Methods

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

湿地是世界上最具生产力的环境之一，是生物多样性的摇篮，为无数的动植物提供了其赖以生存的水源和初级生产力。自 20 世纪 50 年代以来，我国开展了大量的湿地研究，但主要集中在对湿地的开发而不是保护，尤其是在我国东北部[1]。近 30 年来，我国经济取得了长足的发展，同时伴随着环境的恶化，消失的自然湿地是国家面临的潜在环境隐患之一[2]。政府已经意识到这种环境退化，为了保护生物多样性，截至 2024 年，已经建立了约 2700 个自然保护区[3]，并开展了大量的相关研究[1] [2] [4]。

我国在 20 世纪八十年代就开始了生态环境质量评估的研究[5] [6]；之后，前人从不同角度构建了不同评价体系，如生态特征、功能整合、社会环境评价指标体系[7]-[9]，压力、状态、响应评价指标体系[10]-[12]，组成、结构、功能评价指标体系[13]，景观格局和生态系统健康评价相结合的方法[14] [15]等。滦河口湿地生物多样，被誉为“东亚旅鸟大客栈”[10]，前人对其鸟类[16] [17]、植被[18]、浮游生物[19]、生物多样性[20]、湿地演化[21]-[23]、污染情况[24]、水动力情况[25]等进行了详细的研究，但对其生态环境质量的总体评估研究较少[10]。为此，笔者以 2022 年滦河口湿地生态调查结果及前人调查研究数据为本底数据，采用指标体系评价法从水环境、生物、生态、干扰四个方面对滦河口湿地的生态环境质量进行评估，旨在客观反映滦河口湿地的生态环境质量，并提供较为简洁且符合滦河口湿地特点的生态环境质量评价方法。

2. 研究区概况

滦河口湿地位于河北省东部沿海地区，唐山市乐亭县与秦皇岛市昌黎县境内，属三角洲湿地。研究区属暖温带半湿润大陆性季风气候，年平均气温在 10℃左右，多年年平均降水量为 613.2mm，全年日照 2545 小时，年平均风速 2.3 米/秒，无霜期 208 天，存在季节性冻土，标准冻结深度 0.7m。滦河口湿地植被由盐生草甸、沙中生草甸和人工植被构成，盐生植物主要包括盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、芦苇(*Phragmites communis*)、柽柳(*Tamarix chinensis* Lour)、獐毛(*Aeluropus sinensis*)、补血草(*Limonium sinense*)等。滦河口

湿地是东亚—澳大利西亚候鸟迁徙路线中部的重要节点，共发现有 299 种鸟类，春季和秋季鸟类最大数量都近 10 万。

3. 数据与方法

3.1. 数据来源

以作者所在单位 2022 年 6 月在滦河口湿地进行的综合调查结果为基础，并以前人调查数据进行补充；遥感图像获取来源为 World Imagery Wayback (arcgis.com)网站，选取该网站 2014 年 2 月 20 日、2017 年 2 月 27 日、2019 年 4 月 24 日、2022 年 7 月 21 日更新的遥感图像作为主要数据来源，用以获取不同年份现代滦河口湿地的岸线位置。

3.2. 评估方法

按照科学性、代表性、实用性和便捷性的原则，同时突出滦河口湿地中鸟类的重要性，选择水环境指标(A)、生物指标(B)、生境指标(C)、干扰指标(D)作为一级指标，水资源条件(A_1)、水质指标(A_2)、鸟类种类(B_1)、鸟类数量(B_2)、湿地植物相对丰度(B_3)、珍稀濒危物种(B_4)、湿地面积(C_1)、生长季植被和水面覆盖度(C_2)、外来物种入侵(D_1)、人为干扰程度(D_2)作为二级指标建立滦河口湿地的生态环境质量评估体系(表 1)。滦河口湿地生态环境质量的评估分值按公式(1)计算：

$$R = \sum_{a=1}^{2} A_a + \sum_{b=1}^{4} B_b B_b + \sum_{c=1}^{2} C_c + \sum_{d=1}^{2} D_d \quad (1)$$

式中，A_a 为水环境指标第 a 个二级指标分值，B_b 为生物指标第 b 个二级指标分值，C_c 为生境指标第 c 个

Table 1. Evaluation index system and assignment criteria of ecological environment quality of Luanhekou wetland
表 1. 滦河口湿地生态环境质量评估指标体系及赋值标准

一级指标(分值)	二级指标(分值)	分级(分值)
A 水环境指标(28)	A_1 水资源条件(14)	地表水资源量是否满足湿地需水要求：完全满足(14)，基本满足(10)，不能满足(4)。
	A_2 水质指标(14)	II 类及以上(14)，III 类(10)，IV 类(8)，V 类及劣 V 类(4)(选择溶解氧、COD、氨氮、总磷、汞、镉、铅 7 项指标)
B 生物指标(34)	B_1 鸟类种类(9)	当年观测到鸟类种类：在 40 种以上(9)，16~40 种(6)，8~15 种(3)，8 种以下(1)
	B_2 鸟类数量(8)	当年观测到鸟类数量：在 10,000 只以上(8)，1000~10,000 只(6)，100~1000 只(4)，100 只以下(2)
	B_3 湿地植物相对丰度(8)	湿地维管束植物种类占河北省湿地维管束植物总数：20%以上(8)，15%~20%(6)，10%~15%以上(4)，10%以下(2)
	B_4 珍稀濒危物种(9)	极危和濒危物种，或国家一级重点保护野生动植物(9)；国家二级重点保护动植物，或河北省一级保护野生动植物(6)；河北省二级保护野生动植物(3)；无以上保护级别的野生动植物(1)
C 生境指标(18)	C_1 湿地面积(8)	湿地面积：大于 10,000 hm^2 (8)，5000~10,000 hm^2 (6)，2000~5000 hm^2 (4)，小于 2000 hm^2 (2)
	C_2 生长季植被和水面覆盖度(10)	湿地指示植被和水面占湿地总面积：90%以上(8)，70%~90%(6)，50%~70%(4)，50%以下(2)
D 干扰指标(20)	D_1 外来物种入侵(10)	未受危害(10)，轻微危害(8)，中度危害(6)，严重危害(2)
	D_2 人为干扰程度(10)	未受干扰(10)，轻度干扰(8)，中度干扰(6)，重度干扰(2)

二级指标分值， D_d 为干扰指标第 d 个二级指标分值。

根据 R 值的大小，将湿地生态环境质量划分为 4 级：(1) R ≥ 85 分，应评为“优”；(2) 70 ≤ R < 85 分，应评为“良”；(3) 60 ≤ R < 70，应评为“一般”；(4) R < 60，应评为“较差”。

4. 结果

4.1. 水环境指标

(1) 水资源条件

乐亭县属暖温带大陆性季风气候区，雨量多而集中，乐亭县 1957~2018 年降水量范围为 286.6~1158.6 mm，平均值为 592.5 mm [26]；滦河是海河流域的四大水系之一，滦河流域 1960~2017 年平均降水量为 553.2 mm [27]，1956~2000 年平均水资源量 63.2 亿 m^3，2003~2012 年平均水资源量 44.5 亿 m^3 [28]；滦河口处河道宽度再 200~900 m 之间，河宽平水期 400 米，洪水期 2000 米，河谷宽阔。因此，滦河口湿地水资源情况，属于季节性满足，代表地表水资源量基本满足湿地需水要求，评分为 10 分。

(2) 水质指标

滦河口地表水的调查测试显示：溶解氧、COD、铅均为 I 类水质；氨氮有 3 个样品为 I 类水质，9 个样品为 II 类水质，9 个样品为 III 类水质，5 个样品为 IV 类水质，1 个样品为 V 类水质，13 个样品为劣 V 类水质；总磷有 34 个样品为 I 类水质，6 个样品为 II 类水质；镉有 5 个样品为 I 类水质，35 个样品为 II 类水质；汞有个 12 样品为 I 类水质，6 个样品为 III 类水质，22 个样品为 IV 类水质。因此，滦河口地表水水质为劣 V 类，评分为 4 分。

4.2. 生物指标

(1) 鸟类种类

孙砚峰等人 2011 年-2012 年的调查结果显示，滦河口湿地鸟类 17 目 26 科 241 种[20]；笔者 2022 年 6 月的调查结果，共记录到滦河口湿地鸟类 28 种，隶属于 8 目 15 科 23 属[29]，这可能是由于调查时间较短导致。因此鸟类种类指标评分为 9 分。

(2) 鸟类数量

张玉峰等人 2008 年全年观测到滦河口湿地鸟类数量约 8000 只[30]，笔者观测到鸟类 437 只，但有报道显示滦河口湿地鸟类数量可达数十万只。因此鸟类数量指标评分为 8 分。

(3) 湿地植被相对丰度

孙砚峰等人 2011~2012 年调查数据显示，滦河口湿地现有维管束植物 2 门 40 科 144 种，占河北省维管束植物总数的 5.5% [20]。因此湿地植被相对丰度指标评分为 2 分。

(4) 珍稀濒危物种

笔者在滦河口湿地调查发现国家二级重点保护鸟类 2 种，白腰杓鹬(*Numenius arquata*)和红隼(*Falco tinnunculus*)。除此之外，前人发现有丹顶鹤(*Grus japonensis*)、白头鹤(*Grus monacha*) [20]、中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*) [22]等数十种国家一级保护动物，狭叶瓶尔小草(*Ophioglossum thermale Kom*) [20]、野大豆(*Glycine soja*)、白额雁鸥(*Sterna albifrons*) [22]等几十种[17]国家二级重点保护动植物，因此珍稀濒危物种指标评分为 9 分。

4.3. 生境指标

(1) 湿地面积

由于滦河口湿地范围不易确定边界，本研究选取滦河入海口处湿地为研究范围，面积 3034 hm^2。因

此湿地面积指标评分为 4 分。

(2) 生长季植被和水面覆盖度

按照滦河口实际岸线边界计算，2022 年水面面积为 545 hm^2；按照影像结合现场照片观察，湿地植被面积约 100 hm^2；湿地面积为 3034 hm^2；因此湿地指示植被和水面占湿地的总面积 21%。因此生长季植被和水面覆盖度指标评分为 2 分。

4.4. 干扰指标

(1) 外来物种入侵

任颖等人[31] 2013 年对滦河流域河岸带入侵植物的调查结果显示，滦河流域入侵植物 26 种，隶属于 12 科 19 属。将其与《河北乐亭滦河口省级湿地公园总体规划(2021~2025 年)》中滦河口湿地出现植物名录进行对比，得到滦河口湿地入侵植物名录，见表 2。

滦河口湿地入侵植物有 6 科 7 属 12 种，其中 1 级入侵 3 种，2 级入侵 2 种，4 级入侵 7 种，表现为大多数入侵植物的危害不明显。同时，由于滦河流域入侵强度与海拔呈显著负相关[31]，滦河口湿地作为滦河流域海拔最低处，入侵强度也最低；入侵强度与降水量呈显著负相关[31]，滦河口湿地作为滨海湿地，历年平均降水量约 600 毫米，入侵强度低。并且通过查询滦河口湿地相关报告及文献，未发现该地区有显著外来物种入侵事件发生。因此其外来物种入侵评分为 8 分。

Table 2. Invasive plant species in Luanhekou wetland
表 2. 滦河口湿地入侵植物种类

科		属		物种		生活型	入侵等级
菊科	Compositae	白酒草属	*Conyza*	小蓬草	*Conyza canadensis*	I	1
				鬼针草	*Bidens pilosa*	I	1
		蒲公英属	*Taraxacum*	蒲公英	*Taraxacum mongolicum*	V	4
苋科	Amaranthus	苋属	*Amaranthus*	反枝苋	*Amaranthus retroflexus*	I	1
				凹头苋	*Amaranthus lividus*	I	2
				皱果苋	*Amaranthus viridis*	I	2
豆科	Leguminosae	草木犀属	*Melilotus*	草木犀	*Melilotus officinalis*	II	4
				白花草木犀	*Melilotus alba*	III	4
藜科	Chenopodiaceae	藜属	*Chenopodium*	小藜	*Chenopodium serotinum*	I	4
				灰绿藜	*Chenopodium glaucum*	I	4
十字花科	Cruciferae	荠菜属	*Capsella*	荠菜	*Capsella bursa-pastoris*	III	4
禾本科	Gramineae	虎尾草属	*Chloris*	虎尾草	*Chloris virgata*	I	4

生活型：I：一年生草本；II：二年生草本；III：一年或二年生草本；IV：一年生缠绕草本；V：多年生草本。入侵等级：1 级：恶性入侵；2 级：严重入侵；3 级：局部入侵；4 级：一般入侵。

(2) 人为干扰程度

根据历年影像(见图 1)，滦河口海岸线在 2014 年至 2017 年，由于新建养殖池导致岸线大范围向海移动，研究区内湿地水域面积减少 25.66%；2017 年至 2019 年，在河口位置，新建码头及厂房；2019 年至 2022 年，在滦河口北侧，新建养殖池。同时，河水、海水中活性磷酸盐、生化需氧量和无机氮指标低于四类海水水质标准，代表人类活动排放废物对河流有所污染。

引滦工程于 1979 年底开始投入建设，这导致滦河年径流量由建库前的年均 28.74 亿 m^3，减少到建库后的年均 10.57 亿 m^3，减少了 63.2%；也在滦县老城、乐亭、滦南等位置观测到地下水位降低 4~5 m [32]。同时，桃林口水库的建设拦截了滦河流域大量的水和泥沙[33]，海岸由淤积开始变为侵蚀。

因此，认为滦河口湿地受到中度人为干扰，评分为 6 分。

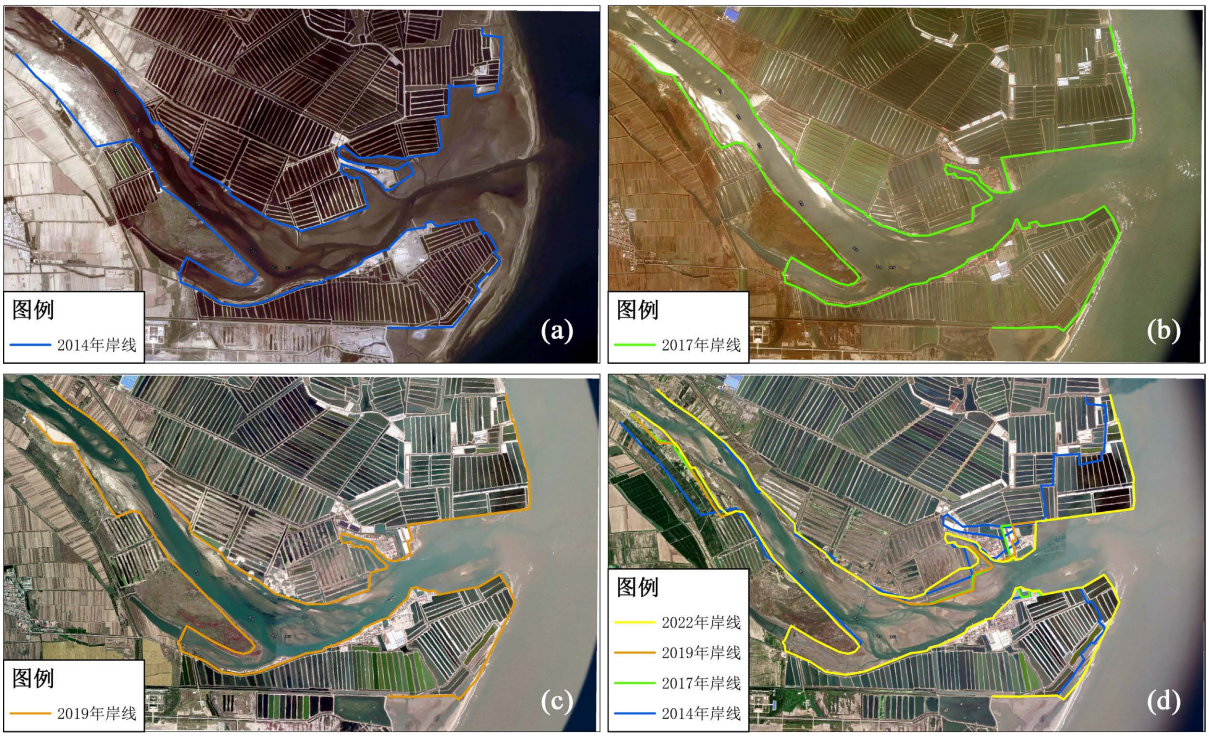

Figure 1. Remote sensing images and coastline of the Luanhe Estuary in Tangshan City. ((a) 2014, (b) 2017, (c) 2019, (d) 2022)

图 1. 唐山市滦河口遥感影像及海岸线((a) 2014 年，(b) 2017 年，(c) 2019 年，(d) 2022 年)

4.5. 评估结果

湿地生态环境质量评估采用总和计分法，将各项指标得分相加，依据总分确定生态环境质量水平(表 3)。将各项按公式(2)计算：

$$P = \sum_{i=1}^{n} X_i \left(i = 1, 2, 3\ldots\right) \tag{2}$$

式中：

P：生态环境质量评估得分；

X_i：评估指标得分；

N：评估指标个数。

滦河口湿地生态环境质量评估得分为 62 分，结果为一般。

5. 讨论与结论

(1) 评估结果显示，滦河口湿地水环境指标的评分为 14 分，生物指标的评分为 28 分，生境指标的评分为 6 分，干扰指标的评分为 14 分，生态环境质量的总分为 62 分，说明滦河口湿地的生态环境质量处于一般水平。

Table 3. Scores of ecological environment quality assessment of Luanhekou wetland
表 3. 滦河口湿地生态环境质量评估得分

一级指标	二级指标	分值	得分
水环境指标	水资源条件	14	10
	水质指标	14	4
生物指标	鸟类种类	9	9
	鸟类数量	8	8
	湿地植物相对丰度	8	2
	珍稀濒危物种	9	9
生境指标	湿地面积	8	4
	生长季指示植被和水面覆盖度	10	2
干扰指标	外来物种入侵	10	8
	人为干扰程度	10	6
合计		100	62

(2) 在对滦河口生态环境质量评分的贡献中，生物指标贡献最大，其次是水环境指标和干扰指标，最后是生境指标。

滦河口湿地是候鸟迁徙的重要节点，鸟类资源丰富，同时珍稀濒危物种种类较多，因此生物指标贡献大。但其维管束植物类型较少，反映了湿地植被资源不足。作为生态系统中的初级生产力，植被在维持湿地生态系统的稳定中起重要作用，植被资源的不足则是滦河口湿地存在的潜在隐患。

湿地中的水是湿地环境中最重要的组成部分，滦河口湿地水资源丰富，但仍然面临水资源量逐渐减少的状况，这使得湿地不能维持现有的范围，同时湿地生物的活动范围也逐渐减少。滦河口湿地水体中汞、氨氮污染严重，这会导致其在湿地生态系统中随生物链逐渐富集，影响大型生物的健康状况。

新建养殖池、码头、厂房，引滦工程建设以及上游排污等人类活动，对滦河口湿地生态环境质量产生了不同程度的干扰，也带来了湿地连通性降低、水质净化能力下降等诸多问题。

(3) 滦河口湿地恢复的重点在于减少人类干扰、水文情势调控以及植被资源的修复。水文情势调控主要在于增加滦河口湿地水资源量，提高水体的连通性，起到改善湿地基础生态环境的作用；修复植被资源，则能在生态系统的底部提高初级生产力，增强生态系统整体的稳定性；减少人类干扰则包括了湿地范围内各项人类活动的清退以及减少污染物的排放。

基金项目

天津市地质研究和海洋地质中心“唐山市乐亭滦河口湿地修复项目勘察、设计、施工总承包(EPC)”(dxhyhy36)、天津市海洋资源与化学重点实验室开放课题“滦河口湿地生态环境调查与评估”(202201)项目资助。

参考文献

[1] Niu, Z., Zhang, H., Wang, X., Yao, W., Zhou, D., Zhao, K., *et al*. (2012) Mapping Wetland Changes in China between 1978 and 2008. *Chinese Science Bulletin*, **57**, 2813-2823. https://doi.org/10.1007/s11434-012-5093-3

[2] Liu, J. and Diamond, J. (2005) China’s Environment in a Globalizing World. *Nature*, **435**, 1179-1186. https://doi.org/10.1038/4351179a

[3] 赵文飞, 宗路平, 王梦君. 中国自然保护区空间分布特征[J]. 生态学报, 2024, 44(7): 2786-2799.

[4] Zheng, Y., Zhang, H., Niu, Z. and Gong, P. (2012) Protection Efficacy of National Wetland Reserves in China. *Chinese Science Bulletin*, **57**, 1116-1134. https://doi.org/10.1007/s11434-011-4942-9

[5] 陈桂珠. 海南岛橡胶生态环境质量及其现状评价[J]. 生态科学, 1983(2): 40-49.

[6] 王祖麟. 闽江流域生态环境质量评价的初步探讨[J]. 生态学杂志, 1985(5): 29-32.

[7] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论[J]. 生态学报, 2002(7): 1005-1011.

[8] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II. 方法与案例[J]. 生态学报, 2002(8): 1231-1239.

[9] 王薇, 陈为峰, 李其光, 等. 黄河三角洲湿地生态系统健康评价指标体系[J]. 水资源保护, 2012, 28(1): 13-16.

[10] 曹议丹, 高伟明. 河北昌黎滦河口湿地景观格局演变及生态系统健康评价研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2017.

[11] 蒋卫国, 李京, 李加洪, 等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2005(3): 408-414.

[12] 蒋卫国, 潘英姿, 侯鹏, 等. 洞庭湖区湿地生态系统健康综合评价[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1665-1672.

[13] 张祖陆, 梁春玲, 管延波. 南四湖湖泊湿地生态健康评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2008(1): 180-184.

[14] 胡庆磊, 李继红. 宝清县湿地景观动态变化和生态系统健康评价研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.

[15] 杨利, 谢炳庚. 三峡工程对洞庭湖区湿地景观格局及生态健康的影响研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.

[16] 张玉峰, 徐全洪, 高士平, 等. 河北滦河口湿地鸟类多样性调查[J]. 四川动物, 2010, 29(2): 244-248.

[17] 孙立汉, 杜静, 高士平, 等. 滦河口湿地黑嘴鸥原繁殖地恢复研究[J]. 地理与地理信息科学, 2005(3): 84-87.

[18] 谭海霞, 金照光, 孙富强, 等. 滦河口典型盐生植物的生态化学计量特征研究[J]. 植物研究, 2018, 38(6): 956-960.

[19] 李浩, 汪光义. 滦河口海域浮游细菌及病原菌时空分布和多样性研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2019.

[20] 孙砚峰, 武丽娜, 李少云, 等. 河北省滦河口湿地的生物多样性评价[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(7): 185-187.

[21] 刘爱智, 高伟明. 河北省滨海湿地动态变化分析与效益评价研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2007.

[22] 田海兰, 高伟明. 现代滦河三角洲滨海湿地动态变化分析研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2011.

[23] 杨会利, 高伟明. 河北省典型滨海湿地演变与退化状况研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2008.

[24] 刘金庆, 印萍, 张勇, 等. 滦河口沉积物重金属分布及生态风险评价[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(5): 43-52.

[25] 徐国强, 杜军, 于晓晓, 等. 现代滦河口表层沉积物特征对水动力环境的指示[J]. 海洋科学进展, 2021, 39(3): 470-482.

[26] 王婧. 1957-2018 年唐山乐亭县降雨量多尺度时间序列变化研究[J]. 广西水利水电, 2019(5): 23-26.

[27] 董满宇, 王磊鑫, 李洁敏, 等. 1960-2017 年滦河流域降水集中度与集中期时空变化特征[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2019, 55(4): 468-475.

[28] 朱晓春, 王立明, 刘江侠. 滦河流域水资源开发利用现状分析与对策[J]. 海河水利, 2015(1): 6-8.

[29] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2017.

[30] 张玉峰, 徐全洪, 高士平, 等. 滦河口湿地主要水鸟种群迁徙动态[J]. 湿地科学, 2014, 12(1): 109-112.

[31] 任颖, 何萍, 徐杰, 等. 滦河流域河岸带入侵植物分布特征及其与环境的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1843-1850.

[32] 杨德春. 浅析引滦工程对滦河下游地区的负面影响[J]. 河北水利水电技术, 2003(4): 24-25.

[33] 刘兵超. 引滦工程水资源调度分析[C]//第六届城市水安全与水管理学术研讨会论文集. 中国天津, 2023: 27-31.