

天津大港滨海湿地附近海域海洋生态环境质量评价

王红^{1,2}, 阚文静¹

¹国家海洋局天津海洋环境监测中心站, 天津

²天津科技大学, 天津

收稿日期: 2022年4月24日; 录用日期: 2022年6月20日; 发布日期: 2022年6月30日

摘要

本研究根据2021年8月天津大港滨海湿地生态系统附近海域6个站位的监测数据, 分别采用单因子指数法、多项水质参数综合指数法、有机污染指数评价法和富营养化指数法对该海域水质进行了评价; 采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou种类均匀度指数(J)、优势度(Y)和丰度(d)等对该海域大型底栖生物进行了评价。水质评价结果表明, 无机氮为该海域主要超标因子, 其他各项监测因子均满足该海域海洋功能区划要求; 大型底栖生物评价结果表明, 调查海域大型底栖生物多样性指数处于中等水平。

关键词

天津, 大港滨海湿地, 海洋生态环境, 质量评价

Evaluation of Marine Ecological Environment Quality in the Adjacent Sea Area of Tianjin Dagang Coastal Wetland

Hong Wang^{1,2}, Wenjing Kan¹

¹Tianjin Marine Environmental Center Station, State Oceanic Administration, Tianjin

²Tianjin University of Science and Technology, Tianjin

Received: Apr. 24th, 2022; accepted: Jun. 20th, 2022; published: Jun. 30th, 2022

Abstract

Based on the monitoring data of six stations in the sea area near the coastal wetland ecosystem of

Dagang, Tianjin in August 2021, the water quality of the sea area was evaluated by using the single factor index method, the comprehensive index method of multiple water quality parameters, the organic pollution index evaluation method and the eutrophication index method; the Shannon-Wiener diversity index (H'), Pielou evenness index (J), dominance index (Y) and abundance index (d) were used to evaluate the macrobenthos in the sea area. The water quality evaluation results showed that inorganic nitrogen was the main over-standard factor in the sea area, and other monitoring factors met the requirements of marine functional zoning in the sea area. The macrobenthos evaluation results showed that the macrobenthos diversity index in the investigated sea area was at a medium level.

Keywords

Tianjin, Dagang Coastal Wetland, Marine Ecological Environment, Quality Evaluation

Copyright © 2022 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

湿地是地球上重要的生存环境和生态系统, 被誉为“地球之肾”、“生命的摇篮”、“文明的发源地”和“物种的基因库”, 湿地与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统, 它在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染等方面都发挥着极其重要的作用[1] [2] [3] [4] [5]。天津滨海湿地类型丰富, 近年来随着经济的快速发展, 由于一系列自然及人为如盲目开垦、污染物排放、水资源短缺和气候变化等因素, 导致滨海湿地资源面临着污染和退化的威胁[6]。相关研究表明, 导致天津滨海湿地生态系统健康恶化的主要原因为赤潮灾害频发、城市化进程加速带来的人口增长和大型围填海工程的建设等[7]。

天津大港滨海湿地生态系统位于天津市滨海新区大港以东, 面积为 106.37 km², 岸线长度为 9.69 km, 是天津典型的湿地生态系统。2014 年 7 月, 天津市海洋局(现天津市规划和自然资源局)将其选划为海洋生态红线区。天津大港滨海湿地地貌类型为粉沙淤泥质平原海岸, 沿岸地势低平, 潮滩和水下浅滩宽缓, 主要植被为米草。近年来, 随着大量海洋工程的开发建设, 该海域的海洋环境发生了变化, 其原有生态功能也受到了一定影响。大型底栖动物是海洋生态系统的重要组成部分, 它们通过摄食、掘穴和建管等活动与周围环境发生着相互影响, 其群落结构是认识海洋环境特点、预测环境质量的重要指标, 研究它们的结构和功能在理论和实践上都具有重要的意义[8] [9]。因此, 对天津大港滨海湿地生态系统附近海域海洋生态环境现状进行调查, 旨在为天津大港滨海湿地生态系统的环境保护、修复及资源的合理利用提供相关科学依据。

2. 材料与方

2.1. 调查站位

本研究于 2021 年 8 月对天津大港滨海湿地生态系统附近海域进行现场调查, 共布设 6 个调查站位(图 1)。

2.2. 调查项目

海水水质调查项目为: pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、无机氮(亚硝酸盐-氮、硝酸盐-氮、

氨-氮)、活性磷酸盐、总氮、总磷、叶绿素 a; 海洋生物调查项目为: 大型底栖生物。

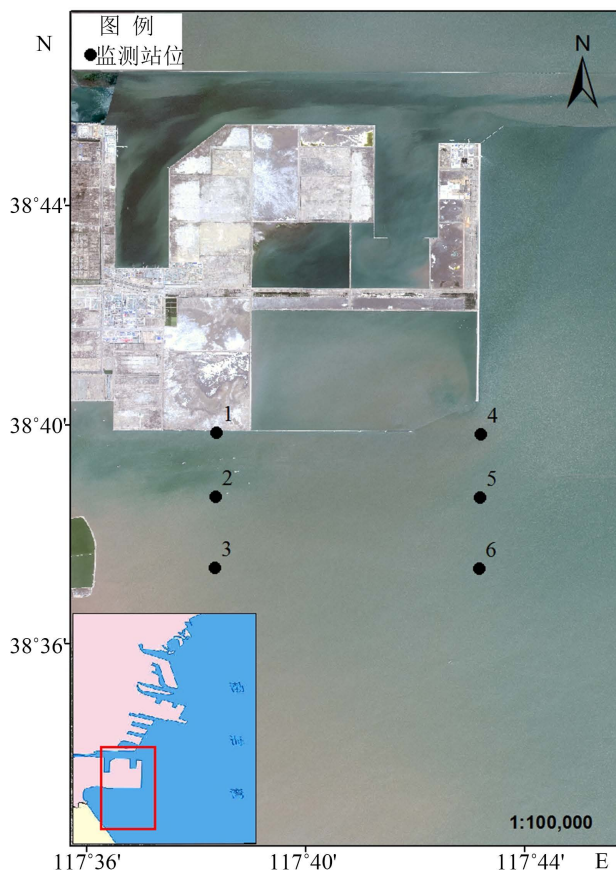


Figure 1. Sampling station map
图 1. 采样站位图

2.3. 样品采集与处理

2021 年 8 月对大港滨海湿地生态系统附近海域进行水质和海洋生物调查, 样品的采集、保存、运输和分析均按照《海洋监测规范》[10]和《海洋调查规范》[11]执行。

2.4. 评价方法

2.4.1. 单因子质量指数法

1) 采用单因子指数法进行评价, 其标准指数计算公式为[12]:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \quad (1)$$

式中: P_i 为第 i 项污染物的污染指数; C_i 为第 i 项污染物的实测浓度; C_{oi} 为第 i 项污染物的评价标准。单因子污染指数大于 1.0, 则表明水质超出规定的评价标准。

2) pH 值评价指数按下式:

$$S_{pH} = |pH - pH_{sm}| / DS \quad (2)$$

其中: $pH_{sm} = (pH_{su} + pH_{sd}) / 2$; $DS = (pH_{su} - pH_{sd}) / 2$;

式中: S_{pH} 为 pH 的污染指数; pH 为本次调查实测值; pH_{su} 为海水 pH 标准的上限值; pH_{sd} 为海水 pH 标准的下限值。

3) 根据溶解氧(DO)的特点, 溶解氧评价按下式:

$$P_{DO} = \frac{DO_f - DO}{DO_f - DO_s}; DO \geq DO_s \quad (3)$$

$$P_{DO} = 10 - 9 \frac{DO}{DO_s}; DO < DO_s \quad (4)$$

式中: $DO_f = \frac{468}{31.6 + T}$; DO 为溶解氧的实测浓度; DO_f 为饱和溶解氧的浓度; DO_s 为溶解氧的评价标准值; T 为水温($^{\circ}\text{C}$)。

2.4.2. 多项水质参数综合指数法

多项水质参数综合评价方法可较全面地反映水质整体状况。采用单因子质量指数的算术平均法计算多项水质参数综合指数, 计算公式为[13]:

$$Q_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (5)$$

式中: Q_i 为多项水质参数综合指数; S_{ij} 为单因子质量指数; n 为单因子个数。

根据计算结果综合评价并分级: $Q_i < 0.75$ 为清洁, $0.75 < Q_i < 1.00$ 为轻度污染, $1.00 < Q_i < 1.25$ 为中度污染, $Q_i > 1.25$ 为重度污染。

2.4.3. 有机污染指数评价法

有机污染指数的计算公式为[14]:

$$A = \frac{COD_i}{COD_0} + \frac{DIN_i}{DIN_0} + \frac{DIP_i}{DIP_0} - \frac{DO_i}{DO_0} \quad (6)$$

式中: A 为有机污染指数; COD_i 、 DIN_i 、 DIP_i 和 DO_i 分别为化学需氧量、无机氮、无机磷和溶解氧的实测值; COD_0 、 DIN_0 、 DIP_0 和 DO_0 分别为化学需氧量、无机氮、无机磷和溶解氧的海水水质标准值。

根据计算结果综合评价并分级: $A < 0$ 为良好, $0 \leq A < 1$ 为较好, $1 \leq A < 2$ 为开始受到污染, $2 \leq A < 3$ 为轻度污染, $3 \leq A < 4$ 为中度污染, $A \geq 4$ 为重度污染。

2.4.4. 富营养化指数法

富营养化指数能较好地反映水质富营养化程度, 计算公式为[15][16]:

$$E = \frac{COD \times DIP \times DIN}{4500} \times 10^6 \quad (7)$$

式中: E 为富营养化指数; COD 、 DIN 、 DIP 分别为化学需氧量、无机氮、无机磷和溶解氧的实测值;

根据计算结果综合评价并分级: $0 \leq E < 0.5$ 为贫营养, $0.5 \leq E < 1.0$ 为中营养, $1.0 \leq E < 3.0$ 为富营养, $E \geq 3$ 为高富营养。

2.4.5. 大型底栖生物评价方法

大型底栖生物群落特征指数计算公式如下[17]:

1) 香农 - 韦弗(Shannon-Weaver)多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (8)$$

式中: H' ——种类多样性指数; n ——样品中的种类总数; P_i ——第 i 种的个体数(n_i)与总个体数(N)的比值。

2) 均匀度(Pielou 指数):

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} \quad (9)$$

式中: J ——均匀度; H' ——种类多样性指数值; H_{\max} ——为 $\log_2 S$ 多样性指数的最大值, S 为样品中总种类数。

3) 物种优势度:

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i \quad (10)$$

式中: Y ——物种优势度; n_i ——所有测站第 i 种个体数; N ——样品中的总个体数; f_i ——第 i 种的测站出现频率。如果 $Y \geq 0.02$, 该种为优势种。

4) 丰度(Margalef 计算公式):

$$d = \frac{S-1}{\log_2 N} \quad (11)$$

式中: d ——丰度; S ——样品中的种类总数; N ——样品中的生物个体数。

2.5. 评价标准

调查海域内布设的 6 个站位, 均位于大港滨海湿地海洋特别保护区内, 要求水质符合第二类海水水质标准。海水质量状况评价参照《中华人民共和国海水水质标准》(GB3097-1997) [18], 见表 1。

Table 1. Seawater quality evaluation standard

表 1. 海水水质评价标准

项目	评价标准			
	第一类	第二类	第三类	第四类
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	6.8~8.8
DO>	6	5	4	3
COD≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030		0.045

注: 单位: mg/L, pH 无量纲。

3. 评价结果

3.1. 海水质量评价

3.1.1. 单因子指数法

单因子指数法是将每个评价指标的实测浓度与评价标准进行比较来确定各个评价指标的水质类别, 并以最差的水质类别作为断面水质类别[19], 能够较为直观地反映水质的超标指标, 是目前最常用的水质评价方法之一。

调查海域 pH 变化范围在 7.80~8.07 之间, 均值为 7.91; pH 最大值出现在 4 号站, 最小值出现在 1 号站。监测海域所有站位海水 pH 均符合第一(二)类海水水质标准; 按照各站位所处海洋功能区划所要求的海水水质标准进行评价, 海水 pH 评价指数变化范围为 0.23~1.00, 无超标站位, 见表 2。

Table 2. Marine water quality investigation and evaluation results**表 2.** 海水水质调查与评价结果

项目	含量范围	均值	污染指数范围	均值
pH	7.80~8.07	7.91	0.23~1.00	0.69
DO (mg·L ⁻¹)	6.67~7.29	7.04	0.20~0.42	0.29
COD (mg·L ⁻¹)	1.90~2.89	2.46	0.63~0.96	0.82
无机氮(mg·L ⁻¹)	0.354~0.439	0.406	1.18~1.46	1.35
活性磷酸盐(mg·L ⁻¹)	0.00252~0.00393	0.00328	0.08~0.13	0.11
总氮(mg·L ⁻¹)	0.00103~0.00126	0.00111	—	—
总磷(mg·L ⁻¹)	0.0391~0.0752	0.0500	—	—
叶绿素 a (mg·L ⁻¹)	5.97~17.0	11.5	—	—

注：盐度、pH 无量纲；“—”表示未评价，其中盐度、总磷、总氮无评价标准，悬浮物无本底值，pH、DO 不是污染因子，pH 称为 pH 评价指数，DO 称为 DO 评价指数。

溶解氧浓度变化范围在(6.67~7.29) mg·L⁻¹ 之间，均值为 7.04 mg·L⁻¹；监测海域溶解氧浓度最大值出现在 5 号站，最小值出现在 2 号站。监测海域所有站位海水的溶解氧浓度均符合第一类海水水质标准。

化学需氧量变化范围在(1.90~2.89) mg·L⁻¹ 之间，均值为 2.46 mg·L⁻¹；监测海域海水化学需氧量最大值出现在 4 号站，最小值出现在 6 号站。化学需氧量符合第一和第二类海水水质标准的站位比例分别为 16.7%和 83.3%；按照各站位所处的海洋功能区划所要求的海水水质标准进行评价，化学需氧量污染指数变化范围为 0.63~0.96，无超标站位。

无机氮浓度变化范围在(0.354~0.439) mg·L⁻¹ 之间，均值为 0.406 mg·L⁻¹；监测海域无机氮浓度最大值出现在 2 号站，最小值出现在 4 号站。无机氮符合第三、四类海水水质标准的站位比例分别为 33.3%和 66.7%；按照各站位所处的海洋功能区划所要求的海水水质标准进行评价，无机氮污染指数变化范围为 1.18~1.46，超标站位比例为 100%。

活性磷酸盐浓度变化范围在(0.00252~0.00393) mg·L⁻¹ 之间，均值为 0.00328 mg·L⁻¹；监测海域活性磷酸盐最大值出现在 1 号站，最小值出现在 5 号站。监测海域海水活性磷酸盐全部符合第一类海水水质标准。按照各站位所处的海洋功能区划所要求的海水水质标准进行评价，活性磷酸盐污染指数变化范围为 0.08~0.13，无超标站位。

总氮浓度变化范围在(0.00103~0.00126) mg·L⁻¹ 之间，均值为 0.00111 mg·L⁻¹；监测海域总氮最大值出现在 3 号站，最小值出现在 6 号站。

总磷浓度变化范围在(0.0391~0.0752) mg·L⁻¹ 出现在 3 号站，最小值出现在 2 号站。

叶绿素 a 浓度变化范围在(5.97~17.0) μg·L⁻¹ 之间，均值为 11.5 μg·L⁻¹；监测海域叶绿素 a 最大值出现在 4 号站，最小值出现在 2 号站。

2021 年 8 月调查海域海水水质超标因子主要为无机氮，这与王娟娟[20]、徐冠球[21]等在该区域的研究结果相一致；所有站位无机氮均超出第二类海水水质标准要求，符合第三、四类海水水质标准的站位比例分别为：33.3%和 66.7%。除此之外，其他各项监测因子均能满足其相应的海洋功能区划要求。

3.1.2. 多项水质参数综合指数法

多项水质参数综合指数法是以单因子污染指数法为基础，将每个水质指标的实测浓度与评价标准之比作为单个污染指数，再将各单个污染指数相加计算算术平均值，进而求出综合污染指数，从而判断水体的污染程度[19]。由表 3 可知，天津大港滨海湿地生态系统附近海域多项水质参数综合指数的范围为

0.54~0.76, 平均值为 0.65。除 1 号站位为轻度污染($0.75 < Q_i < 1.00$)外, 其他站位评价结果均为清洁($Q_i < 0.75$)。所有站位水质参数综合指数均符合第二类海水水质标准要求, 总体评价结果为清洁。

Table 3. Evaluation results of multiple water quality parameters by comprehensive index method

表 3. 多项水质参数综合指数法评价结果

站位	Q_i	评价结果
1	0.76	轻度污染
2	0.72	清洁
3	0.72	清洁
4	0.54	清洁
5	0.59	清洁
6	0.58	清洁
平均值	0.65	清洁
最小值	0.54	—
最大值	0.76	—

3.1.3. 水质有机污染指数法

水质有机污染指数能够反映水体的有机污染状况, 该方法选取 COD、DIN、DIP 和 DO 四个指标作为评估因子, 侧重于对水质的有机污染状况进行评估。由表 4 可知, 天津大港滨海湿地生态系统附近海域有机污染指数范围为 0.64~1.09, 平均值为 0.87。除 1 号站位评价结果为开始污染($1 \leq A < 2$)外, 其他各站位评价结果均为较好($0 \leq A < 1$)。调查海域水质有机污染指数法总体评价结果为较好。

Table 4. Evaluation results of organic pollution index of water quality

表 4. 水质有机污染指数评价结果

站位	A	评价结果
1	1.09	开始污染
2	0.91	较好
3	1.00	较好
4	0.80	较好
5	0.79	较好
6	0.64	较好
平均值	0.87	较好
最小值	0.64	—
最大值	1.09	—

3.1.4. 富营养化指数法

富营养化指数由冈市友利于 1972 年提出[15], 是对水体富营养化程度进行评价的指标, 富营养化会造成浮游生物的过度繁殖, 与海水中赤潮、绿潮的发生密切相关[22]。由表 5 可知, 天津大港滨海湿地生态系统附近海域有机污染指数范围为 0.53~1.00, 平均值为 0.73。其中 1 号站评价结果为富营养($1.0 < E < 3.0$), 其他各站位评价结果均为中营养($0.5 \leq E < 1.0$)。调查海域富营养化指数法总体评价结果为中营养状态。

Table 5. Evaluation results of eutrophication index method**表 5.** 富营养化指数法评价结果

站位	<i>E</i>	评价结果
1	1.00	富营养
2	0.71	中营养
3	0.91	中营养
4	0.64	中营养
5	0.57	中营养
6	0.53	中营养
平均值	0.73	中营养
最小值	0.53	—
最大值	1.00	—

3.2. 大型底栖生物评价

3.2.1. 大型底栖生物种类组成

2021年8月调查海域共鉴定出大型底栖生物6大类38种(含未定名种),其中环节动物15种,占种类组成的39.5%;软体动物14种,占种类组成的36.8%;节肢动物4种,占种类组成的10.5%;蠕形动物和棘皮动物各2种,均占种类组成的5.3%,纽形动物1种,占种类组成的2.6%(图2,表6)。由此可知环节动物、软体动物和节肢动物是大型底栖生物种类组成的主要部分。

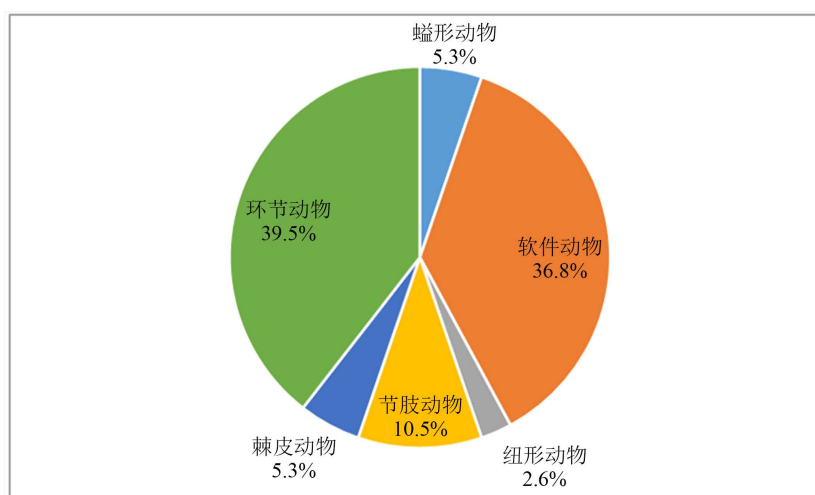


Figure 2. Percentage diagram of species composition of macrobenthos in the sea area under investigation

图 2. 调查海域大型底栖生物种类组成百分比示意图

Table 6. List of macrobenthic species in the sea area under investigation**表 6.** 调查海域大型底栖生物种名录

种名	拉丁文名
环节动物 Annelida	
边鳃拟刺虫	<i>Linopherus pancibranchiata</i>
渤海格鳞虫	<i>Gattyana pohailnsis</i>

Continued

不倒翁虫	<i>Sternaspis sculata</i>
独指虫	<i>Aricidea fragilis</i>
刚鳃虫	<i>Chaetozone setosa</i>
寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>
含糊拟刺虫	<i>Linopherus ambigua</i>
尖叶长手沙蚕	<i>Magelona cineta</i>
栗色仙须虫	<i>Nereiphylla castanea</i>
日本角吻沙蚕	<i>Goniada japonica</i>
蛇杂毛虫	<i>Poecilochaetus serpens</i>
树蛭虫	<i>Pista cristata</i>
伪豆维虫	<i>Dorvillea pseudorubrovittata</i>
细丝鳃虫	<i>Cirratulus filiformis</i>
异足索沙蚕	<i>Lumbrineris heteropoda</i>
软体动物 Mollusca	
保罗尖肋螺	<i>Tomopleura pouloensis</i>
布氏蚶	<i>Arca boucardi</i>
豆形胡桃蛤	<i>Nucula faba</i>
菲律宾蛤	<i>Ruditapes philippinarum</i>
红带织纹螺	<i>Nassarius succinctus</i>
脉红螺	<i>Rapana venosa</i>
毛蚶	<i>Scapharca subcrenata</i>
平濼掌扇贝	<i>Volachlamys hirasei</i>
小刀蛭	<i>Cultellus attenuatus</i>
小荚蛭	<i>Siliqua milimai</i>
秀丽织纹螺	<i>Nassarius dealbatus</i>
圆筒原盒螺	<i>Eocylichna braunsi</i>
长岛角螺	<i>Ceratia nagashima</i>
中国不等蛤	<i>Anomia chinensis</i>
节肢动物 Arthropoda	
大华螺赢蜚	<i>Sinocorophium acherusicum</i>
裸盲蟹	<i>Typholcarcinops nudus</i>
绒毛细足蟹	<i>Raphidopus ciliatus</i>
针长足虻	<i>Rhaphium</i> sp.
棘皮动物 Echinodermata	
棘刺锚参	<i>Protankyra bidentata</i>
滩栖阳遂足	<i>Amphiura uadicola</i>
螠形动物 Echiurida	
短吻铲荚螠	<i>Listriolobus brevirostris</i>
多皱无吻螠	<i>Arhynchite rugosum</i>
纽形动物 Nemertine	
纽虫	Lineidae

3.2.2. 优势种

2021年8月调查海域大型底栖生物优势种及其优势度见表7, 调查海域大型底栖生物优势种有6种(优势度 ≥ 0.02), 其中软体动物2种, 环节动物、节肢动物、棘皮动物和螠形动物各1种, 具体为短吻铲荚蛭、小荚蛭、长岛角螺、绒毛细足蟹、棘刺锚参和不倒翁虫。其中短吻铲荚蛭优势度最高, 在所有测站中出现的频率为16.7%, 是本次调查海域大型底栖生物群落的第一优势种, 平均密度为 $155.0 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, 占总密度的13.3%; 小荚蛭为第二优势种, 在所有测站中出现频率为50.0%, 平均密度为 $20.0 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, 占总密度的5.2%; 长岛角螺为第三优势种, 出现频率为83.3%, 平均密度为 $58.0 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, 占总密度的24.9%。

Table 7. Dominant species and dominance of macrobenthos in the sea area under investigation

表 7. 调查海域大型底栖生物优势种及其优势度

优势种	所属门类	测站出现频率(%)	优势度	平均密度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)
短吻铲荚蛭	螠形动物	16.7	0.022	155.0
小荚蛭	软体动物	50.0	0.026	20.0
长岛角螺	软体动物	83.3	0.207	58.0
绒毛细足蟹	节肢动物	50.0	0.041	32.0
棘刺锚参	棘皮动物	83.3	0.050	14.0
不倒翁虫	环节动物	66.7	0.057	25.0

3.2.3. 种群密度和生物量分布

2021年8月调查海域大型底栖生物平均密度为 $194 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, 各站位数量波动范围在($100\sim 310$) $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间, 站位间的种群密度分布差异较小, 密度最高值出现在3号站位, 最低值出现在6号站位(图3); 大型底栖生物平均生物量为 $16.2076 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 各站位数量波动范围在($7.8060\sim 46.5795$) $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间, 站位间生物量差异较明显, 调查海域大型底栖生物生物量在4号站位最高, 在1号站位生物量最低(图3)。

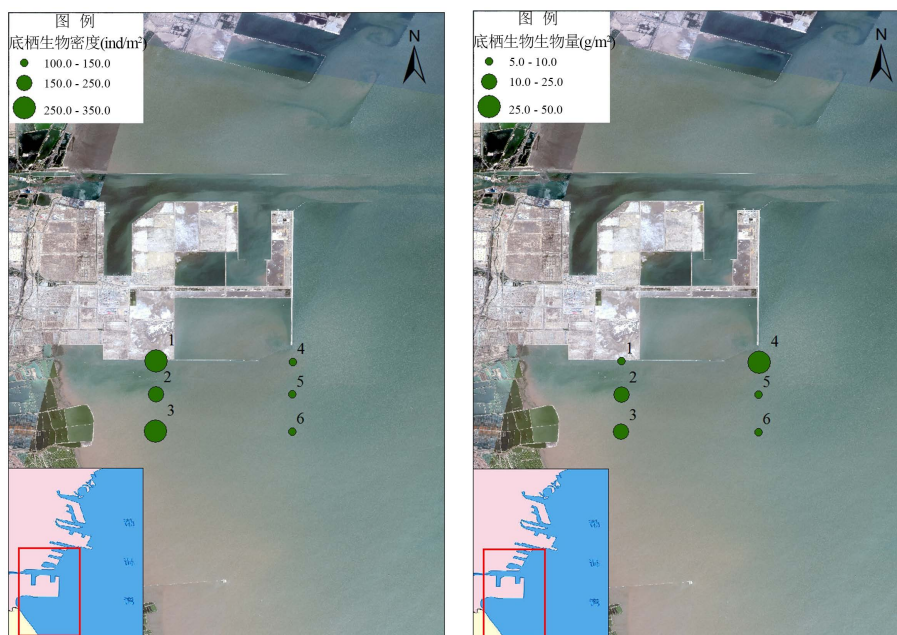


Figure 3. Schematic diagram of density and biomass distribution of benthos in the sea area under investigation

图 3. 调查海域底栖生物密度、生物量分布示意图

3.2.4. 群落特征参数

2021年8月份底栖生物多样性指数平均为2.66,各站位波动范围在2.33~3.40之间;均匀度指数平均值为0.75,各站位波动范围在0.65~0.89之间;站位优势度均值0.61,各站位波动范围在0.44~0.70之间;丰度均值1.43,各站位波动范围在1.14~1.87之间(表8)。根据《滨海湿地生态监测技术规程》[23]可知,2021年8月监测海域大型底栖生物多样性指数均处于中等水平。

Table 8. Characteristic parameters of macrobenthos community in the investigated sea area

表 8. 调查海域大型底栖生物群落特征参数

站号	种数	密度 (ind/m ²)	生物量 (g/m ²)	丰度	多样性指数	均匀度
1	12	300	7.8060	1.34	2.33	0.65
2	11	200	10.8410	1.31	2.33	0.67
3	13	310	13.4260	1.45	2.60	0.70
4	14	125	46.5795	1.87	3.40	0.89
5	9	130	9.5515	1.14	2.42	0.76
6	11	100	9.0415	1.51	2.88	0.83
最小值	9	100	7.8060	1.14	2.33	0.65
最大值	14	310	46.5795	1.87	3.40	0.89
平均值	12	194	16.2076	1.43	2.66	0.75

4. 结论

水质评价结果表明,2021年8月调查海域海水水质超标因子主要为无机氮,与2015年该区域的相关研究结果[20][21]相一致;除此之外,其他各项监测因子均能满足其相应的海洋功能区划要求。

大型底栖生物评价结果表明,2021年8月调查海域大型底栖生物多样性指数均处于中等水平。与2015年[24]相比,调查海域大型底栖生物种类有所增加;优势种由单一优势种凸壳肌蛤增加为短吻铲荚蛭、小荚蛭、长岛角螺等6种;大型底栖生物平均密度和平均生物量有所降低,多样性指数有所增加。

基金项目

北海局海洋科技项目(202115)。

参考文献

- [1] 孙广友. 中国湿地科学的进展与展望[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 666-672.
- [2] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展[J]. 生态学杂志, 2001, 20(3): 31-36.
- [3] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111-120.
- [4] Bin, F.G. and Rang, L.K. (2001) Progress in the Study on the Relationship between Global Warming and Wetland Ecological System. *Geographical Research*, **20**, 120-128.
- [5] Mitsch, W.J. (1995) Restoration of Our Lakes and Rivers with Wetlands—An Important Application of Ecological Engineering. *Water Science & Technology*, **31**, 167-177.
- [6] 李文艳. 天津滨海湿地生态系统退化指标体系的构建与评价研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2011: 1-2.
- [7] 王彬, 刘宪斌, 张秋丰. 天津滨海湿地生态系统健康评价[J]. 科技创新导报, 2011(24): 123-124.
- [8] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 531-537.

- [9] 龚志军, 谢平, 唐汇涓, 等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响[J]. 水生生物学报, 2001, 25(3): 210-216.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局. GB 17378-2007. 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. GB 12763-2007. 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 国家海洋局人事劳动教育司. 海洋环境保护与监测[M]. 北京: 海洋出版社, 1998: 127-128.
- [13] 张亮, 宋春丽, 曹丛华, 等. 岚山港海洋临时倾倒区水质评价及变化趋势分析[J]. 海洋学研究, 2011, 29(4): 43-49.
- [14] 蒋岳文, 王永强, 尚龙生. 大连湾海水营养盐的含量及有机污染状况的分析[J]. 海洋通报, 1991(1): 100-103.
- [15] 姚云, 沈志良. 水域富营养化研究进展[J]. 海洋科学, 2005, 29(2): 53-57.
- [16] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-54.
- [17] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2002: 158-163.
- [18] 国家海洋局. GB 3097-1997. 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [19] 余金玲, 田丽蓉, 吴海涛, 等. 基于不同评价方法的威海市河流水质研究[J]. 青海大学学报, 2022, 40(1): 99-106.
- [20] 王娟娟, 李彤, 张素青, 等. 2015年天津大港滨海湿地海洋特别保护区海水质量状况及富营养化状况分析[J]. 河北渔业, 2016(10): 18-24.
- [21] 徐冠球, 张秋丰, 屠建波, 等. 2015年天津市海洋生态红线区海洋环境质量综合评价[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(1): 120-125.
- [22] 黄亚楠, 吴孟孟. 富营养化指数法在中国近岸海域的应用[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(2): 316-320.
- [23] 国家海洋局. HY/T080-2005. 滨海湿地生态监测技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [24] 张萍, 缴建华, 李彤, 等. 天津大港滨海湿地海洋特别保护区春季大型底栖动物种类组成及其物种多样性[J]. 渔业研究, 2017, 39(2): 114-119.