

旅顺塔河湾人工栖息地对海水水质环境影响评价

Zhengqiang Yin

大连海洋大学 辽宁大连

【摘要】人工鱼礁和海藻养殖浮筏（简称浮筏）是海洋牧场创造栖息地的两种主要设施。为了解人工鱼礁、浮筏及人工鱼礁与浮筏组合（简称“鱼礁+筏”）对海洋环境的影响，对旅顺海湾海洋牧场 2021-2022 年海洋环境进行了调查，对溶解无机氮（DIN）、溶解无机磷（DIP）、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、石油类、悬浮固体和重金属（包括 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As）等指标的动态变化及依据海水水质标准确定指标的模糊隶属函数，利用层次分析法确定指标权重，计算 3 种人工生境的模糊综合评价。结果表明：2021 年 9 月、2022 年 3 月、2022 年 11 月海水水质指标全部符合《一级海水水质标准》（GB3097-1997），适合海洋渔业水域；2022 年 4 月，旅顺塔河湾海域除 1 个站位悬浮物达到《三级海水水质标准》（GB3097-1997）外，其余各站位水质调查指标均符合《二级海水水质标准》（GB3097-1997），适合海水养殖水域。2021 年人工鱼礁、浮筏、礁+筏对人类生存环境质量影响程度：人工鱼礁=礁+筏>浮筏；对海洋生物栖息地影响程度：礁+筏>人工鱼礁>浮筏；2022 年人工鱼礁、浮筏、礁+筏对人类生存环境质量影响程度：礁+筏>浮筏>人工鱼礁；对海洋生物栖息地影响程度：礁+筏>人工鱼礁>浮筏。

【关键词】海洋牧场；人工栖息地；影响；水质环境

【收稿日期】2024 年 9 月 25 日

【出刊日期】2024 年 11 月 21 日

【DOI】10.12208/j.met.20240001

Evaluation of the Environmental Impact of Artificial Habitat on Seawater Quality in Tahe Bay, Lvshun

Zhengqiang Yin

Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning

【Abstract】Artificial reefs and Seaweed enhancement floating rafts (abbreviated as floating rafts) are two main facilities for habitat creation in marine ranching. To understand the effects of artificial reefs, floating rafts, and artificial reef and floating raft combination (referred to as reef + raft) on the marine environment, a survey of the marine environment of The Bay Marine Ranch in Lvshun was conducted from 2021 to 2022, and Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN), Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP), Dissolved Oxygen (DO), Chemical Oxygen Demand (COD), petroleum, Suspended solids and Heavy metals (including Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As), etc. The dynamic changes of the indicators and the fuzzy membership function of the indicators were determined according to the seawater quality standards, the indicator weights were determined by using the analytic hierarchy process, and the fuzzy comprehensive evaluation values of the three artificial habitats were calculated. The results show that all seawater quality indicators in September 2021, March 2022 and November 2022 meet the Class I Seawater Quality Standard (GB3097—1997) and are suitable for marine fishing waters. In April 2022, the survey indicators of the waters of Tahe Bay in Lvshun were all in line with Class II Seawater Quality Standard (GB3097—1997), except one station where the suspended matter was of Class III Seawater Quality Standard (GB3097—1997), which was suitable for mariculture waters. In 2021, artificial reefs, floating rafts, reef+raft on the quality of the human living environment: artificial reefs =reef+raft > floating rafts; the degree of impact on the marine biological habitat: reef + raft >artificial reefs > floating rafts; the degree of influence of artificial reefs, floating rafts, reef + raft on human living environment

quality in 2022: reef+raft >floating rafts>artificial reefs; the degree of influence on the habitat of marine organisms: reef+raft >artificial reefs> floating rafts.

【Keywords】 Marine Ranching; Artificial Habitats; Impacts; Water Quality Environment

1 材料和方法

1.1 数据来源

塔河湾海洋牧场海域。该海湾位于辽宁省大连市旅顺南路郭家沟村附近海域。根据塔河湾海洋渔业生产实际,选取人工鱼礁区、浮筏区、礁筏结合(以下简称礁筏)区、控制区四类水域作为本研究的目标区域(图1)。于2021年9月和2022年3月、4月、11月开展了4个航次海洋环境调查。由于2022年3月和4月只有2个站位(浮筏、礁筏)数据,因此主要利用2021年9月和2022年11月的数据来分析不同人工生境对环境的影响。研究区域内采样点分布如图1所示。4个采样点的生境分别为人工鱼礁区(S1)、礁+筏区(S2)、浮筏区(S3)和控制区(S4)。海水水质环境调查按照《海洋调查规范》(GB/T: 12763.9-2007)进行^[4]。考虑到人工栖息地设施的生态效应^[5],本文分析所采用的调查因子包括无机氮(DIN)、无机磷(DIP)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、石油类、悬浮物和

重金属(Pb、Cd、Cu、Zn、Hg、As)共12项。海水化学环境监测指标、方法及依据见表1。不同的栖息地营造对海洋生态环境的影响不同,因此根据研究区的水化学特点采用国家《海水水质标准》:GB3097-1997^[6],将海水水质标准分为共四类评价标准见表2,从而判定水质级别。

1.2 评估方法

栖息地对海水水质环境影响评价主要包括两个主要方面。一是以评价对人类生活环境质量的影响为评价目标,评价海水水质环境对人类生产生活和身心健康等人类栖息地环境质量的重要影响,即海水水质符合中国国家海水质量标准《海水质量标准》(GB3097-1997);二是评价对海洋栖息地环境的影响,即海水水质适宜海洋生物的繁殖和生长发育。研究表明,在一定范围内,营养盐和重金属含量^[7, 8]的提高对浮游植物和海洋生物的生长起着促进作用因此,本研究从以上两个方面评估人工栖息地对海水水质环境的影响。

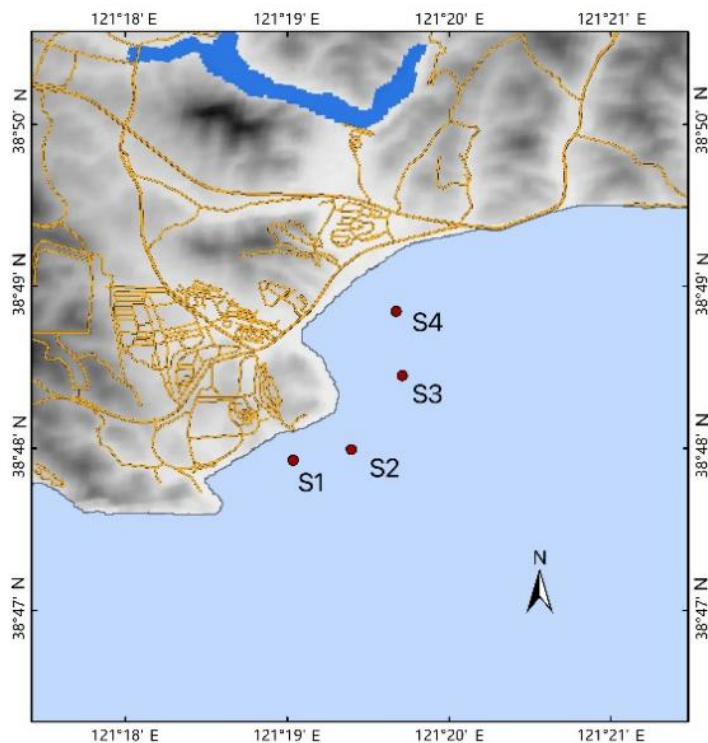


图1 塔河湾水质监测站位分布

表 1 评估标准

水质指标	海水水质标准 (GB3097-1997) /mg·L ⁻¹			
	一	二	三	四
垂度≤	0.015	0.03	0.03	0.045
DIN≤	0.2	0.3	0.4	0.5
化学需氧量≤	2	3	4	5
石油≤	0.05	0.05	0.3	0.5
溶解氧≤	6	5	4	3
悬浮物≤	10	10	100	100
铜≤	0.005	0.01	0.05	0.05
铅≤	0.001	0.005	0.01	0.05
锌≤	0.02	0.05	0.1	0.5
镉≤	0.001	0.005	0.01	0.01
汞≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
含量≤	0.02	0.03	0.05	0.05

1.2.1 建立评价指标的模糊隶属函数

本文选取水体中无机氮(DIN)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、溶解无机磷(DIP)、石油类、重金属(Pb、Cd、Cu、Zn、Hg、As)、悬浮物等 12 个考察因子作为评价指标,采用阈值抛物线标准化法建立评价指标(DIN、DIP、DO、COD 和石油类

等)的模糊隶属函数,其中 DIN、DIP、COD、石油类、悬浮物和重金属指标按偏小尺度建立,DO 按偏大尺度阈值抛物线标准化法建立(表 2)。

偏小(又称逆指标或成本型指标,越小越好)和偏大(又称正指标或效益型指标,越大越好)的基本公式如下:

(1) 有偏小标准化函数(越小越好)评估指标

$$y_i = \begin{cases} 1 & X_i < X_{\min} \\ \left(\frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \right)^k & X_{\min} \ll X_i \ll X_{\max} \\ 0 & X_i > X_{\max} \end{cases}$$

(2) 有偏大标准化函数(越大越好)评价指标

$$y_i = \begin{cases} 0 & X_i < X_{\min} \\ \left(\frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right)^k & X_{\min} \ll X_i \ll X_{\max} \\ 1 & X_i > X_{\max} \end{cases}$$

注: x_i 为第 i 个评价指标 i 的测度值 ($\in I$) x_{\max} 分别表示第 x_{\min} 个评价指标的最大值和最小值, y_i 为各等级的标准值。

表 2 指标评价标准的隶属函数及数据来源

指数	关联函数	数据源
DIN/mg · L-1	$\begin{cases} 1 & x < 0.2 \\ \frac{0.3-x}{0.3-0.2} & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 0 & x > 0.3 \end{cases}$	依据《中国海水水质标准》(GB3097-1997)、《中国渔业水质标准》(GB11607-89)及文献中海水营养级划分标准 ^[9] (表2)。
DIP/mg · L-1	$\begin{cases} 1 & x < 0.03 \\ \frac{0.045-x}{0.045-0.03} & 0.03 \leq x \leq 0.045 \\ 0 & x > 0.045 \end{cases}$	依据《海水水质标准》(GB3097-1997)、《渔业水质标准》(GB11607-89)及文献中海水营养级划分标准 ^[9] (表2)。
DO/mg · L-1	$\begin{cases} 0 & x < 5 \\ \left(\frac{x-5}{6-5}\right)^{0.11} & 5 \leq x \leq 6 \\ 1 & x > 6 \end{cases}$	依据《海水水质标准》(GB3097-1997)、《渔业水质标准》(GB11607-89),当DO值为5.01~6mg·L-1时评价值≥0.60。
COD/mg · L-1	$\begin{cases} 1 & x < 2 \\ \left(\frac{3-x}{3-2}\right)^{0.11} & 2 \leq x \leq 3 \\ 0 & x > 3 \end{cases}$	依据《海水水质标准》(GB3097-1997)、《渔业水质标准》(GB11607-89),COD在2~2.99mg · L-1范围内,评价值≥0.60。
石油类/毫克 · L-1	$\begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{0.05-x}{0.05-0}\right)^{0.074} & 0 \leq x \leq 0.05 \\ 0 & x > 0.05 \end{cases}$	依据《海水水质标准》(GB3097-1997)、《渔业水质标准》(GB11607-89),石油类在0~0.04995mg·L-1时评价值≥0.60。
悬浮物/mg · L-1	$\begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{10-x}{10-0}\right)^{0.074} & 0 < x \leq 10 \\ 0 & x > 10 \end{cases}$	依据《海水水质标准》(GB3097-1997)、《渔业水质标准》(GB11607-89),悬浮物在0~9.99mg·L-1时评价值≥0.60。
Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, As/mg · L-1	$\begin{cases} 1 & x = 0 \\ \left(\frac{a-x}{a}\right)^k & 0 < x \leq a \\ 0 & x > a \end{cases}$	依据《海水水质标准》(GB3097-1997)、《渔业水质标准》(GB11607-89)式中,Hg、Cd、Pb、Cu、Zn、As、硫化物的a值分别为:0.0005、0.005、0.05、0.01、0.1、0.050,a值的单位为mg·L-1;k值为0.074,k值按评价指标a值折减1%确定,评价值≈0.60。

表 3 海水营养水平^[9]

等级	营养级	DIN/mg · L ⁻¹	DIP/mg · L ⁻¹
I	营养不良	<0.2	<0.03
II	适度营养	0.2~0.3	0.03~0.045
III	营养丰富	>0.3	>0.045
IV _P	磷限制适度营养	<0.2	
V _P	磷适度限制潜在的富营养化	0.2~0.3	
VI _P	磷限制潜在的富营养化	>0.3	
IV _N	氮限制适度营养		<0.03
V _N	氮适度限制潜在的富营养化		0.03~0.045
VI _N	氮限制可能导致富营养化		>0.045

表 4 0~2 标的均值

数值	意义
0	两要素相比, 后者 (j) 比前者 (i) 更重要。
1	相比这两个要素, 两者同等重要
2	两要素相比, 前者 (i) 比后者 (j) 更重要。

表 5 评价指标权重

评价指标 s/mg · L ⁻¹	权重值 (W _i)	评价指标 s/mg · L ⁻¹	权重值 (W _i)
DIN	0.131	Hg	0.028
DIP	0.215	Cd	0.028
COD	0.036	Pb	0.028
DO	0.083	Cu	0.028
悬浮固体	0.024	Zn	0.028
石油	0.344	As	0.028

1.2.2 评价指标权重的确定

在应用多个评价指标对海洋牧场环境进行评价时, 由于各评价指标的重要性不同, 应赋予每个指标不同的权重, 采用三尺度层次分析法^[10] (表 4) 确定评价指标权重, 结果 REF_Ref136708280\h\ *MERGEFORMAT 如表 5 所示。

1.2.3 综合评价

公式可得到各站位海洋环境综合评价值 $E = \sum_{i=1}^n w_i e_i$ (在哪里 w_i 和 e_i 分别为指标 i 的权重和指标 i 的评价值)。

本研究以评价指标的模糊隶属函数作为对人类生存环境质量影响程度的评价指标值, 以评价指标的实际值作为对海洋生物栖息地影响程度的评价指标值。将各评价指标值代入评价方程, 即可得到两种情况下的综合评价值 ($E = \sum_{i=1}^n w_i e_i$)。

2 结果

2.1 指标动态特征

主要环境指标统计结果如图 2 所示。

2.1.1 DIN 含量动态变化特征

塔河湾 DIN 含量在 0.011~0.019mg/L 之间波动 (平均值为 0.143mg/L)。2022 年 3 月, DIN 含量在 0.538 ~ 0.202mg/L 之间波动 (平均值为 0.081mg/L)。

2022 年 11 月, DIN 含量在 0.157~0.269mg/L 之间波动 (平均值为 0.001mg/L)。综上所述, 可以看出塔河湾 DIN 平均含量未超过《海水水质标准》(GB3097-1997) 一级标准 0.1mg/L 的上限值。总体来看, DIN 平均含量的年际变化呈减小趋势^[8]。2021 年 DIN 含量最高值为 0.269μg/L, 2022 年 DIN 含量最低值出现。

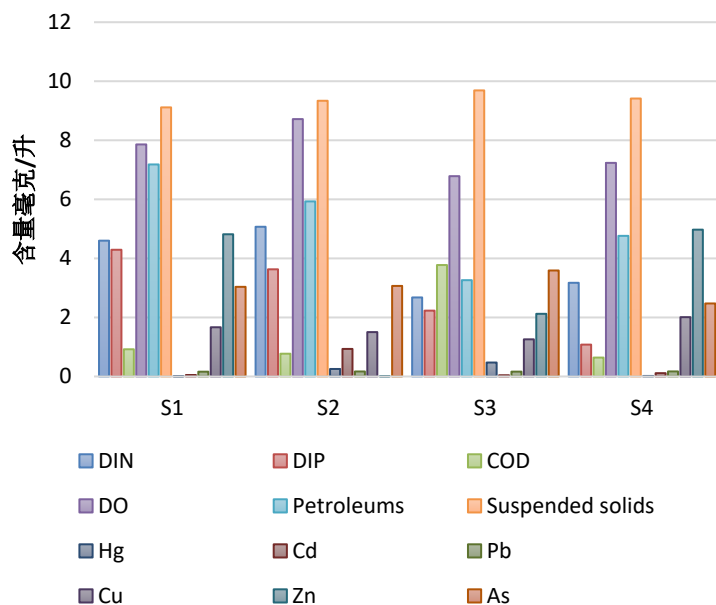


图2 塔河湾主要环境指标含量统计值

2.1.2 P 含量动态变化特征

塔河湾 DIP 含量范围为 0.003~0.008mg/L (平均 0.004mg/L); 2022 年 3 月 DIP 浓度范围为 0.016~0.082mg/L (平均 0.012mg/L); 2022 年 4 月 DIP 含量范围为 0.010~0.012mg/L (平均 0.011mg/L); 2022 年 11 月 DIP 含量范围为 0.0095~0.015 μ g/L (平均 0.013 μ g/L)。综上可知, 2021 年 9 月、2022 年 3 月、2022 年 9 月、2022 年 11 月塔河湾 DIP 平均含量均符合《海水水质标准》(GB3097-1997) I 类标准要求。总体来看, 2021 年至 2022 年, DIP 平均含量呈现先上升后下降的趋势, 2021 年 DIP 浓度达到峰值 5.97g/L; 2022 年则大幅下降至有记录以来的最低值 0.0095g/L。

2.1.3 COD 含量动态变化特征

塔河湾 COD 含量变化范围为 0.4~1.04 毫克/升 (平均 0.508 毫克/升)。2022 年 3 月, COD 含量变化范围为 0.032~1.28 毫克/升 (平均 0.480 毫克/升)。2022 年 4 月, COD 含量变化范围为 0.82~1.19 毫克/升 (平均 0.002 毫克/升)。2022 年 11 月, COD 含量变化范围为 0.64~1.05 毫克/升 (平均 0.002 毫克/升)。2022 年 11 月, COD 含量变化范围为 0.64~1.05 毫克/升 (平均 0.845 毫克/升)。2021-2022 年海水 COD 含量平均值符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 一级标准, 总体来看, 2021-2022 年

海水 COD 含量平均值呈断崖式下降趋势, 最高值为 2022 年, 为 1.05 μ g/L; 最低值为 2021 年, 为 0.46 μ g/L。

2.1.4 油气含量动态变化特征

2021 年 9 月塔河湾石油类含量介于 6.50~14.30 μ g/L 之间 (平均含量 10.70 μ g/L)。2022 年 3 月石油类含量介于 1.76~7.50 μ g/L 之间 (平均含量 3.50 μ g/L)。2022 年 4 月石油类含量介于 11.60~14.40 μ g/L 之间 (平均含量 13.00 μ g/L)。2022 年 11 月石油类含量介于 0.02~0.03 μ g/L 之间 (平均含量 0.00 μ g/L)。2022 年 11 月石油类含量介于 0.02~0.03 μ g/L 之间 (平均 0.24 μ g/L)。2021-2022 年海水石油类含量继续符合《海水水质标准》(GB3097-1997) 第一类标准, 综合分析石油类平均含量呈上升下降趋势, 最高值为 14.3 μ g/L, 最低值为 6.5 μ g/L。2022 年石油类含量最高值为 0.0268 μ g/L, 最低值为 0.0178 μ g/L。2021-2022 年石油类含量从 S4 到 S1 呈上升下降的波动趋势。

2.1.5 DO 含量动态变化特征

2021 年 9 月塔河湾 DO 含量范围为 5.81 至 6.81 毫克/升 (均值为 6.315 毫克/升)。2022 年 3 月, DO 含量在 9.39 毫克/升左右波动。2022 年 4 月, DO 含量范围为 11.87 至 12.75 毫克/升 (均值为 12.31 毫克/升)。2022 年 11 月, DO 含量范围为 7.6 至 8.43 毫

克/升（均值为 7.8625 毫克/升）。2022 年 11 月，DO 含量范围为 7.6 至 8.43 毫克/升（均值为 7.8625 毫克/升）。综上可知，塔河湾 DO 平均浓度未超过《海水质量标准》一级海水水质上限 6mg/L，水质为一级海水。总体来看，DO 平均含量的年际变化呈现振荡上升后下降的趋势。

2.1.6 悬浮物含量动态变化特征

塔河湾悬浮物含量范围为 6.54 至 7.73 毫克/升（平均值为 7.418 毫克/升）。2022 年 3 月，悬浮物含量在 9.8 毫克/升左右波动。2022 年 4 月，悬浮物含量范围为 8.42 至 9.22 毫克/升（平均值为 8.82 毫克/升）。2022 年 11 月，悬浮物含量范围为 10.3 至 11.3 毫克/升（平均值为 10.9 毫克/升）。2022 年 11 月，悬浮物含量范围为 10.3 至 11.3 毫克/升（平均值为 10.9 毫克/升）。

综上可知，塔河湾悬浮物平均含量未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）II 类标准 100 毫克/升的上限值，水质级别为 II 类。总体来看，悬浮物平均含量的年际变化呈现震荡上升后下降的趋势，2021 年悬浮物最高值为 7.73 毫克/升，最低值为 6.54 毫克/升；2022 年悬浮物最高值为 11.3 毫克/升，最低值为 8.42 毫克/升。

2.1.7 海水重金属含量动态变化特征

2021 年至 2022 年，塔河湾 Cu 浓度在 1.98~3.49g/L 之间波动，未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准，水质为 I 类；塔河湾 Pb 浓度在 0.15~0.345g/L 之间波动，未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准，水质为 I 类；塔河湾 Zn 浓度在 4.1~11.6g/L 之间波动，未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准，水质为 I 类。Cd 平均浓度范围为 0.07~0.331 μ g/L，未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准，水质为 I 类。塔河湾 Hg 平均浓度范围为 0.014~0.0362g/L，未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准，水质为 I 类。塔河湾砷平均浓度范围为 1.34~11.40g/L，未超过《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准，水质为 I 类。因此，塔河湾海洋环境中重金属含量满足《海水水质标准》（GB3097-1997）一级标准要求。

2.2 海水水质环境的影响

本研究评估水质环境对人类生活环境质量和海

洋生物栖息地质量的影响，旨在分析不同人工栖息地对海洋水质环境的影响。由于 2022 年 3 月和 4 月只有两个站位（浮筏和礁+浮筏）投入运营，因此仅采用 2021 年 9 月和 2022 年 11 月的数据来评估各类人工栖息地对海水水质环境的影响。

将评价指标实测值代入模糊隶属度函数，得到各评价指标的评价值；将各评价指标的评价值代入公式，得到历次调查的模糊综合评价值（ $E = \sum_{i=1}^n w_i e_i$ ）（表 6），用于评价不同生境水质环境对人类居住环境质量的影响程度。将评价指标实测数据代入公式（ $E = \sum_{i=1}^n w_i e_i$ ）得到前期调查的综合评价价值，用于评价不同生境水质环境对海洋生物栖息地的影响程度（表 6）。

2.2.1 对人居环境质量的影响

2021 年 9 月，评价指标模糊评价价值范围为 0.880~1.000；DIN、DIP、COD、Pb、Zn、Cd、Hg、As 指标模糊评价价值均为 1.000，表明环境质量达到一级海水质量标准；DO 指标的模糊评价价值除对照区为 0.977 外，人工鱼礁、浮筏、礁+筏 3 个生境均为 1.000，表明 3 个人工生境可能对秋季水体的 DO 环境有所改善。

悬浮物模糊评价价值介于 0.880~0.924 之间，模糊评价价值排序为人工鱼礁>礁+筏>对照>浮筏；石油类的模糊评价价值介于 0.975~0.990 之间，模糊评价价值排序为礁+筏>人工鱼礁=浮筏>对照；Cu 的模糊评价价值 0.969~0.984，具有模糊评价价值排名为人工鱼礁>对照>鱼礁+筏>浮筏；重金属综合模糊评价价值在 0.995~0.997 之间，模糊评价价值排序为人工鱼礁>浮筏>鱼礁+筏=对照；水质综合模糊评价价值在 0.987~0.994 之间，模糊评价价值排序为人工鱼礁=鱼礁+筏子>浮筏>控制。

2.2.2 对海洋生物栖息环境的影响

2021 年 9 月营养素综合效果排名礁+筏>人工鱼礁 s=对照区>浮筏；重金属综合效应排序为人工鱼礁 s>浮筏>礁+筏>对照区；总体效应排序为人工鱼礁 s>对照区>礁+筏>浮筏。2022 年 11 月营养盐综合效应排序为礁+筏>人工鱼礁=控制区>浮筏；重金属综合效应排序为人工鱼礁>控制区>浮筏>鱼礁+筏>控制区；总体效果为人工鱼礁>控制区>鱼礁+筏>浮筏。原因可能是礁+筏区和浮筏区沉积物中含有较多的藻类增殖和藻类腐烂，藻类腐烂产生的碎屑被细菌分解为营养

物质, 人工鱼礁产生的上升流将营养物质从底部输送到表层, 因此礁+筏区的营养物质综合评价价值最高。浮筏海区营养盐含量最低可能是因为藻类吸收了大量的营养盐, 而水体中的营养盐由于缺乏上升流而无法将底层沉积物中的营养盐补充到中上层海区。控制区营养盐含量较高是因为控制区浮游植物和藻

类含量低于浮筏区。浮筏区和礁+筏区藻类密度较高, 这可能是重金属浓度相对较低的原因。研究表明, 藻类对重金属有较强的吸附作用^[1]藻类密度高的海域重金属含量较低, 对照区重金属含量低可能是由于采样前几天海上风浪引起大量藻类上浮至对照区所致。

表 6 塔河湾区域海水水质评价结果

时间	项目	评价价值								
		S1 (人工鱼礁)		S2 (礁石+筏)		S3 (浮筏)		S4 (管制区)		
		模糊评价价值	实际值	模糊评价价值	实际值	模糊评价价值	实际值	模糊评价价值	实际值	
2021.09	DIN	0.131	0.018	0.131	0.021	0.131	0.016	0.131	0.019	
	DIP	0.215	0.001	0.215	0	0.215	0.001	0.215	0	
	COD	0.036	0.029	0.036	0.035	0.036	0.002	0.036	0.017	
	DO	0.083	0.491	0.083	0.499	0.083	0.049	0.081	0.565	
	悬浮固体	0.022	0.157	0.022	0.197	0.021	0.172	0.022	0.186	
	石油	0.339	0.005	0.340	0.003	0.339	0.002	0.336	0.003	
	Cu	0.027	0.094	0.027	0.080	0.027	0.098	0.027	0.055	
	Pb	0.028	0.009	0.028	0.010	0.028	0.006	0.028	0.008	
	Zn	0.028	0.314	0.028	0.297	0.028	0.325	0.028	0.291	
	Cd	0.028	0.007	0.028	0.009	0.028	0.008	0.028	0.008	
	Hg	0.028	0.001	0.028	0.001	0.028	0.001	0.028	0.001	
	As	0.028	0.094	0.028	0.038	0.028	0.051	0.028	0.045	
	养分	0.346	0.019	0.346	0.021	0.346	0.016	0.346	0.019	
	重金属	0.166	0.519	0.166	0.435	0.166	0.489	0.166	0.408	
	综合评价价值	0.991	1.22	0.993	1.19	0.991	0.731	0.986	1.198	
	2022.11	DIN	0.131	0.035	0.131	0.005	0.131	0.021	0.131	0.037
		DIP	0.215	0.003	0.215	0.038	0.215	0.002	0.215	0.022
COD		0.036	0.038	0.036	0.029	0.036	0.023	0.036	0.03	
DO		0.083	0.644	0.083	0.083	0.083	0.7	0.083	0.636	
悬浮固体		0.000	0.271	0.000	0.262	0.000	0.247	0.000	0.266	
石油		0.333	0.009	0.327	0.006	0.325	0.008	0.327	0.009	
Cu		0.027	0.095	0.027	0.067	0.027	0.067	0.027	0.084	
Pb		0.028	0.005	0.028	0.006	0.028	0.004	0.028	0.005	
Zn		0.028	0.157	0.028	0.118	0.028	0.115	0.028	0.129	
Cd		0.028	0.002	0.028	0.002	0.028	0.002	0.028	0.002	
Hg		0.028	0	0.028	0	0.028	0	0.028	0	
As		0.027	0.319	0.028	0.227	0.028	0.185	0.027	0.137	
养分		0.346	0.038	0.346	0.043	0.346	0.023	0.346	0.059	
重金属		0.166	0.578	0.166	0.42	0.166	0.373	0.165	0.357	
综合评价价值		0.964	1.578	0.958	0.843	0.956	1.374	0.957	1.357	

注: (1) 被评价指标的测度值代入模糊隶属度函数得到模糊评价价值, 该值的范围在 0~1 之间, 越接近 1, 表示该指标越好;

(2) 营养成分模糊评价价值由公式得出 $(0.131 \cdot F_{DIN} + 0.215 \cdot F_{DIP}) / (0.131 + 0.215)$, 式中 F 为模糊隶属函数值; 营养盐评价价值由公式得出 $(0.131 \cdot C_{DIN} + 0.215 \cdot C_{DIP}) / (0.131 + 0.215)$, 式中 C 为实测值;

(3) 重金属模糊评价价值为 $(0.028 \cdot F_{Cu} + 0.028 \cdot F_{Pb} + 0.028 \cdot F_{Zn} + 0.028 \cdot F_{Cd} + 0.028 \cdot F_{Hg} + 0.028 \cdot F_{As}) / (0.028 \times 6)$, 式中 F 为得到的模糊隶属函数值; 重金属实测评价价值为 $(0.028 \cdot C_{Cu} + 0.028 \cdot C_{Pb} + 0.028 \cdot C_{Zn} + 0.028 \cdot C_{Cd} + 0.028 \cdot C_{Hg} + 0.028 \cdot C_{As}) / (0.028 \times 6)$, 式中 C 为实测值;

(4) 综合评价价值是各指标的模糊评价价值 (或测度值) 分别乘以其权重之和。

3 讨论

(1) 人工栖息地在一定程度上改善了海洋水质环境。魏丁王(2010)认为人工鱼礁建设对改善和修复海洋生态有积极作用^[12]；张岩等(2013)研究了山东莱州湾人工鱼礁海水水质变化特征^[13]；陈皮茂等(2013)指出利用人工鱼礁改善海洋渔场和富集区生态环境是沿海渔业可持续发展的有效措施^[14]。通过对不同生境组合对营养盐、重金属及总体的综合评价结果计算,判断鱼礁区建设对旅顺塔河湾海域海水水质有一定改善。2021年9月综合评价结果为人工鱼礁>控制区>礁+筏>浮筏;人工鱼礁=礁+筏>浮筏>控制区。2022年11月对综合评价结果进行分析,结果为人工鱼礁=礁+筏>浮筏>控制区;礁+筏>浮筏>控制区>人工鱼礁。结果与贾小平(2003)的研究结果一致^[15]。研究表明,人工鱼礁和人工鱼礁浮筏组合对海洋生态环境影响较大,其中浮筏和人工鱼礁浮筏两种生境组合对海洋生态系统的影响随季节变化而存在差异。本研究关于不同人工生境对海洋环境影响程度的研究结果可为人工生境修复海洋生态系统提供参考。

(2) 生态效益是海洋牧场相较于传统养殖方式的显著特点,海洋牧场生态效益的最大化必须建立在人工措施形成的生态效益最大化的基础上^[16]。本研究评估了人工鱼礁、浮筏、鱼礁+筏三种人工生境对海洋生态环境的影响,希望本研究成果能为海洋牧场的健康可持续发展起到催化剂的作用。

(3) 模糊综合评价法能客观反映评价事物的模糊性和连续性,保证事物之间的紧密联系^[17]。在水质评价方面,模糊综合评价法应用隶属函数划分水质等级,能科学客观地反映水质状况。从各项指标的实际情况看,评价结论与专家意见基本一致。综合评价结果显示,该海域污染程度逐渐加重。该海域位于近岸浅水区,靠近港口,人类活动的不确定性可能导致海域营养物质发生不稳定变化,给调查结果带来一定的偶然性^[18-23]。

参考文献

- [1] Shouyu Zhang, Zhenhua Wang. (2011). Research progress on key habitats of fish [J]. Fisheries Modernization, 38, 58-65.
- [2] Zhenlin Liang, Shengsheng Guo, Zhaoyang Jiang, et al. (2020). The concept and technology of constructing a "full life history of fish" type marine ranch [J]. Journal of Fisheries, 44, 1211-1222.
- [3] Hongsheng Yang, Shouyu Zhang, Xiumei Zhang, et al. (2019). Strategic Thinking on the Construction of Modern Marine Ranch in China [J]. Journal of Fisheries, 43, 1255-1262.
- [4] Specifications for Marine Investigation, Part 9: Guidelines for Marine Ecological Investigation: GB/T: 12763.9-2007 [S]. Beijing: Environmental Science Press, 2007.
- [5] State Environmental Protection Administration, State Oceanic Administration. Sea water quality standard: GB3097-1997 [S]. Beijing: Environmental Science Press, 1997.
- [6] Qiangqiang Yin, Shouyu Zhang. (2012). Preliminary study on the ecological effect evaluation system of resource conservation Artificial reef in the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 34, 23-31.
- [7] Dalin Shi, Xiaohua Hu, Zuozhu Wen, Haizheng Hong. (2021). Marine biological nitrogen fixation and its response to Global change [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science Edition), 60, 367-381.
- [8] Yi Wang, Lu Wang, Shi Li. (2020). Research progress of heavy metal pollution in offshore environment [J]. Journal of Dongguan University of Technology, 27, 95-103.
- [9] Yuanjia Zheng, Xuezhong Chen, Jiahua Cheng, et al. (2003). Biological Resources and Environment of the East China Sea Continental Shelf [M]. Shanghai Science and Technology Press, 16-17.
- [10] Yin Zhu, Zhiyong Meng, Shuyu Kan. (1999). Calculating Weights Using Analytic Hierarchy Process [J]. Journal of North Jiaotong University, 23, 119-122.
- [11] Changxu Qin, Limei Xu. (2021). Research progress on Bioremediation of heavy metals by algae [J]. Aquaculture, 42, 5-11.
- [12] Weiding Wang, Jun Liang, Shouyu Zhang, et al. (2010). The impact of Artificial reef construction on nutrients and water quality in Shengsi sea area, Zhejiang Province [J]. Journal of Hydrobiology, 34, 78-87.
- [13] Yan Zhang, Jufa Chen, Feng Guo, et al. (2013). Change

- characteristics of water quality in Laizhou Artificial reef waters [J]. *Progress in Fisheries Science*, 34, 1-7.
- [14] Pimao Chen, Huarong Yuan, Xiaoping Jia, et al. (2013). Preliminary study on changes of fishery resources in Yangmeikeng Artificial reef area of Daya Bay [J]. *South Fisheries Science*, 42, 85-92.
- [15] Xiaoping Jia, Feiyan Du, Qin Lin, et al. (2003). Discussion on the comprehensive assessment method of the ecological environment quality of marine fishing grounds [J]. *China Fisheries Science*, 10, 160-164.
- [16] Weifeng Liu, Dahai Liu, Song Guan, Wei Jiang. (2021). The connotation and improvement path of ecological benefits of marine ranching [J]. *China Environmental Management*, 13, 33-38.
- [17] Yunxu Chai, Changlai Xiao, Xiujuan Ling, et al. (2019). Applicability of grey correlation and fuzzy comprehensive evaluation of improved method in groundwater quality evaluation [J]. *Water Resources and Hydropower Technology*, 50, 146-152.
- [18] Guifang He, Guoming Yuan. (2007). Comprehensive assessment of water quality in the Pearl River Estuary in recent 20 years using fuzzy mathematics [J]. *Marine Environmental Science*, 26, 53-57.
- [19] Xu Wang, Yonggang Wang, Changhong Sun, et al. (2016). Research progress on the formation mechanism and evaluation methods of urban black and odorous water bodies [J]. *Journal of Applied Ecology*, 27, 1131-1140.
- [20] Jufang Chen, Yuzao Qi, Ning Xu, et al. (2006). Community structure and annual quantitative change of Phytoplankton in Aotou waters of Daya Bay [J]. *Journal of Hydrobiology*, 30, 475-480.
- [21] Guanghui Wang. (1987). Phosphate Pollution and Its Elimination in Water [J]. *Industrial Water Treatment*, 60-61.
- [22] Rude Li. (1986). Water pollution caused by detergents and phosphates [J]. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 45-46.
- [23] Zhen Li. (2002). Pollution hazards and prevention strategies of phosphates in detergents on water bodies [J]. *Chemical Technology Market*, 25, 25-27.
- 版权声明：©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS