

莱州湾扇贝养殖区水体质量调查

李希磊, 吴雪, 杨俊丽, 崔龙波* (烟台大学生命科学学院, 山东烟台 264005)

摘要 [目的]了解莱州湾扇贝养殖区水体质量。[方法]于2015年4—11月对扇贝养殖区水体质量进行了8个航次的调查,并采用营养状态质量指数、内梅罗环境质量综合评价等进行综合评价。[结果]各养殖区水温变化范围为19.6~26.6℃,平均水温23.39℃,适宜扇贝的养殖;pH变化范围为7.94~8.48,符合二类水质标准,可以满足渔业养殖需求;盐度变化范围为29.38‰~30.80‰,平均盐度在30.10‰左右,起伏变化小,适宜扇贝的生长;溶解氧含量变化范围为6.31~8.29 mg/L,平均值为7.28 mg/L,达到一类水质标准;化学需氧量达到二类水质标准,水质清洁;营养盐含量、营养状态水平偏高,适宜条件下可能发生赤潮;内梅罗污染指数较低,水质清洁。[结论]此次调查海域水体质量较高,符合二类或以上水质标准,适宜扇贝养殖,但仍应控制外源污染的输入,防范赤潮的发生。

关键词 莱州湾; 水体质量; 扇贝养殖

中图分类号 S949 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)20-0106-05

Investigation on Water Quality of Scallop Aquaculture Areas in Laizhou Bay

LI Xi-lei, WU Xue, YANG Jun-li, CUI Long-bo* (College of Life Sciences, Yantai University, Yantai, Shandong 264005)

Abstract [Objective] To investigate the water quality of Laizhou Bay scallop aquaculture areas. [Method] Eight voyages of surveys were made on water quality of scallop aquaculture areas from April to November of 2015. The evaluation of eutrophication index and Nemerow index were adopted to evaluate the water quality. [Result] The water temperature changed in the range of 19.6 °C to 26.6 °C, the average value was 23.39 °C, which was suitable for scallop culture. pH changed in the range of 7.94 to 8.48, which accorded with Grade II water quality standards and met the demands of fishery breeding. Salinity changed in the range of 29.38‰ to 30.80‰, the average value was about 30.10‰ with slight fluctuation, which was suitable for the growth of scallop. Dissolved oxygen (DO) content changed in the range of 6.31 mg/L to 8.29 mg/L, the average value was 7.28 mg/L, which accorded with Grade I water quality standards. Chemical oxygen demand (COD) reached Grade II water quality standards. The water was at clean level, nutrient salt and nutritional status were too high, which might cause red tide. Nemerow pollution index was low and the water was in good condition. [Conclusion] The water quality of investigated area exceeded Grade II water quality standards, which was suitable for scallop aquaculture. However, it was necessary to control the input of external pollution and prevent the occurrence of red tide.

Key words Laizhou Bay; Water quality; Scallop aquaculture

莱州湾位于渤海南部、山东半岛北部,是渤海三大海湾之一,多条河流由此入海,导致泥沙堆积、浅滩变宽、海水渐浅,海洋养殖环境良好^[1],加之河水携带大量有机质,莱州湾因而成为我国重要的贝类养殖区。然而,随着贝类养殖规模的扩大以及周边工业、农业的发展,养殖环境不断恶化,十余年来莱州湾生态系统一直处于亚健康或不健康状态^[2],养殖产量也不高。莱州湾扇贝养殖大多采用浮筏式垂下养殖方式,扇贝对水质的依赖性较高,海水需保持一定的动态平衡才能维持扇贝的生存与生长,海水任何理化成分或状态的异常都会影响扇贝等水生生物的养殖,如水温、pH和盐度过低或过高均会引起扇贝大面积死亡,溶解氧(DO)偏低会导致扇贝因供氧不足而窒息或死亡,总磷(TP)、活性磷(DIP)、总氮(TN)等偏低会使海水处于贫营养状态^[3],偏高则可能引起赤潮^[4],硫化物过高会引起细菌的大量繁殖,且导致海水处于缺氧状态,直接或间接影响扇贝生存与生长。为了解莱州湾扇贝养殖区水体质量状况,笔者对其水体进行了多种成分检测,以期扇贝养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点与时间 在莱州湾的莱州市和招远市海域共选取5个扇贝养殖区,分别记为1#~5#养殖区(图1),于2015年4—11月每月中旬采样1次。每个养殖区设置4个

平行采样点,每个平行采样点采集上、下2个水层的水样。

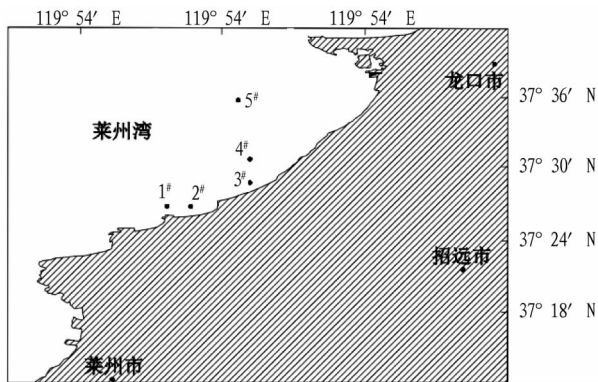


图1 养殖区分布

Fig. 1 The distribution of aquaculture areas

1.2 样品采集与保存 使用有机玻璃采水器进行水样的采集,水样为4个平行采样点、8个水层的等量混合水。采集水样的处理及保存均按照《海洋监测规范》^[5]第3部分。

1.3 试验方法 水温、pH、盐度和DO使用美国奥利龙5-star水质分析仪、硫化物使用德国默克NOVA-60A现场检测,其余各化学指标的检测以《海洋监测规范》^[5]第四部分为依据,检测方法如下:COD含量的测定采用碱性高锰酸钾法,TN和TP含量的测定采用过硫酸钾氧化法,DIP含量的测定采用磷钼蓝分光光度法,叶绿素a含量(Chla)的测定采用分光光度法。

1.4 评价方法 采用营养状态质量指数(NQI)^[3]、叶绿素a营养水平指数(D)^[6]及内梅罗环境质量综合评价指数^[7-8]等评价方法对扇贝养殖区海水质量进行分析与评价。各指标

基金项目 山东省现代农业产业技术体系建设专项(SDAIT-14)。
作者简介 李希磊(1993—),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向:海洋生态。*通讯作者,教授,博士,硕士生导师,从事海洋动物细胞学研究。
收稿日期 2017-05-12

评价标准的依据为《海水水质标准》^[9] 二类标准。

1.4.1 营养状态质量指数(NQI)评价。按照以下公式计算NQI:

$$NQI = \frac{C_{COD}}{C_{COD}^0} + \frac{C_{TP}}{C_{TP}^0} + \frac{C_{TN}}{C_{TN}^0}$$
 (1)

式(1)中, C_{COD} 、 C_{TP} 和 C_{TN} 分别为COD、TP和TN的实测浓度(mg/L), C_{COD}^0 、 C_{TP}^0 和 C_{TN}^0 分别为COD、TP和TN的评价标准浓度,其数值分别为3.00、0.03和0.60 mg/L。

分级标准如下:当NQI≥3时,为富营养水平;当2≤NQI<3时,为中营养水平;当NQI<2时,为贫营养水平。

1.4.2 叶绿素a营养水平指数(D)评价。按照以下公式计算D:

$$D = \frac{Chl\ a}{1.0}$$
 (2)

分级标准如下:D<1为贫营养水域;1≤D≤10为富营养水域;D>10为过营养水域。

1.4.3 内梅罗环境质量综合评价指数。通过pH、DO、COD、TN、TP和硫化物等因子进行内梅罗环境质量综合评价指数的计算。

内梅罗环境质量综合评价指数的计算公式为:

$$S_j = \sqrt{\frac{(S_{ij})_{\max}^2 + (\overline{S_{ij}})^2}{2}}$$
 (3)

式(3)中, S_j 为海水的质量指数, $(S_{ij})_{\max}$ 为海水中各评价因子的标准分指数的最大值, $\overline{S_{ij}}$ 为海水中各评价因子的标准分指数的平均值。

pH标准分指数^[3]的计算公式为:

$$S_{pH} = \frac{|pH - pH_{sp}|}{DS}, pH_{sp} = \frac{pH_{su} - pH_{sd}}{2}, DS = \frac{pH_{su} - pH_{sd}}{2}$$
 (4)

式(4)中, S_{pH} 为pH污染分指数,pH为此次调查的实测值, pH_{su} 为海水标准的最大值, pH_{sd} 为海水标准的最小值。

DO标准分指数^[3]确定方法为:当DO≤4 mg/L时,

$S_{DO} = 1 + (C_0 - C)$; 4 < DO < 8 mg/L, $S_{DO} = 1 - \frac{C - C_0}{C_0}$; 当DO ≥ 8 mg/L时, $S_{DO} = 0$ 。其中, S_{DO} 为DO分指数,C和 C_0 分别为DO的实测值和标准值(mg/L)。

COD、TN、TP和硫化物等的标准分指数^[3]的计算公式

为: $S_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_j}$ 。式中, S_{ij} 为海水中各评价因子的标准指数, C_{ij} 和 C_j 分别为海水中各评价因子的实测值和标准值。

内梅罗环境质量综合评价分级标准^[10]如下: $S_j < 0.6$,为清洁(I); $0.6 \leq S_j < 1.0$,为较清洁(II); $1.0 \leq S_j < 2.6$,为轻度污染(III); $2.6 \leq S_j < 5.0$,为中度污染(IV); $S_j \geq 5.0$,为重度污染(V)。

2 结果与分析

2.1 水温、pH、盐度、DO和COD的变化 由表1可知,2015年4—11月各扇贝养殖区水温变化范围为19.6~26.6℃,平均水温23.39℃,水温的变化呈现出明显的季节变化规律,最高温出现在8月。海湾扇贝在18~28℃下生长较快,在10℃以下生长缓慢^[11],因此检测的扇贝养殖区水温适宜海湾扇贝的生存与生长。扇贝养殖网笼一般悬挂于水面下2~3 m的水层,其水温受水深、天气、光照等影响明显^[12],当夏季水温超过25℃时,可能造成扇贝大规模死亡,而秋季水温的变化幅度较大,又会使处于繁殖期的扇贝因体质虚弱经不起水温突变而死亡,因此应做好天气及水温监测,做好高温及变温防护。

由表1可知,2015年4—11月各扇贝养殖区pH变化范围为7.94~8.48,上下波动较小,夏季pH略小于春、秋季,均

表1 2015年4—11月各养殖区水温、pH、盐度、DO、COD的变化
Table 1 The changes of water temperature, pH, salinity, DO and COD in each aquaculture area from April to November of 2015

月份 Month	1 [#]					2 [#]					3 [#]				
	水温 Water temperature ℃	pH	盐度 Salinity ‰	DO mg/L	COD mg/L	水温 Water temperature ℃	pH	盐度 Salinity ‰	DO mg/L	COD mg/L	水温 Water temperature ℃	pH	盐度 Salinity ‰	DO mg/L	COD mg/L
4	12.1	8.10	29.70	7.27	0.66	12.4	8.48	29.60	6.92	0.67	13.0	7.98	29.60	6.52	1.01
5	14.5	8.00	29.78	7.32	1.22	15.0	8.08	29.85	7.12	1.60	15.0	7.95	30.05	7.23	1.16
6	22.0	8.06	30.20	7.46	1.50	23.8	7.96	30.20	7.54	1.16	22.0	7.99	30.30	7.75	2.17
7	25.5	8.06	30.52	6.48	1.50	25.0	8.04	30.13	6.54	1.60	25.0	8.03	30.58	6.76	1.59
8	26.1	8.08	30.68	6.88	1.52	26.2	8.11	30.52	6.99	1.77	26.3	8.12	30.32	7.49	1.28
9	24.6	7.98	29.94	7.24	1.80	24.6	8.09	29.98	7.22	1.54	25.0	8.13	30.10	7.93	1.66
10	19.0	8.15	30.46	7.80	1.24	20.0	8.19	30.20	6.98	1.56	20.6	8.18	29.38	7.17	1.48
11	13.4	8.11	29.98	8.20	1.05	13.1	8.14	29.96	8.18	1.10	12.9	8.12	29.89	8.29	1.33
月份 Month	4 [#]					5 [#]									
	水温 Water temperature ℃	pH	盐度 Salinity ‰	DO mg/L	COD mg/L	水温 Water temperature ℃	pH	盐度 Salinity ‰	DO mg/L	COD mg/L					
4	12.5	8.11	29.50	6.31	0.80	11.1	8.30	29.80	6.66	0.62					
5	15.0	8.05	29.85	6.80	1.65	14.0	8.10	29.80	7.12	1.16					
6	20.3	7.94	30.40	7.84	2.31	19.6	8.13	30.40	7.76	1.80					
7	24.0	8.08	30.80	7.02	1.51	24.0	8.08	30.76	6.72	1.35					
8	26.6	8.04	30.47	7.28	1.85	25.8	8.07	29.96	7.22	2.06					
9	24.9	8.08	30.08	7.38	1.17	23.4	8.07	30.08	7.10	1.30					
10	20.4	8.14	29.98	7.38	1.80	20.0	8.17	30.15	7.18	2.01					
11	13.1	8.13	29.98	8.20	1.10	13.4	8.15	29.69	8.14	1.21					

在二类水质标准规定的范围(7.8~8.5)内,可以满足渔业养殖需求。pH 反映海水环境的综合变化,可以直接或间接地影响海洋生物的消化、呼吸、生长、发育和繁殖,而海洋生物的呼吸作用及有机物氧化分解产生的 CO₂ 也会反作用于海水,使其 pH 降低。Nunes 等^[13]通过研究 pH 对牡蛎和贻贝等的作用发现,当海水为酸性时,贝壳无力闭合,摄食活动下降而几乎处于麻痹状态,最终导致扇贝死亡。栉孔扇贝对海水 pH 更为敏感,当 pH 降至 7.8 时已经影响到其存活,当 pH 降至 7.0 时扇贝全部死亡^[14]。

由表 1 可知,2015 年 4—11 月各扇贝养殖区盐度变化范围为 29.38‰~30.80‰,5 个养殖区全年平均盐度在 30.10‰左右,各养殖区不同月份间盐度差异不大,整体表现为夏季高于春、秋季,但均在适宜范围内,且保持相对稳定,适宜扇贝的生长。淡水注入或化工废液的排放会导致海水盐度的异常变化,因此可以用盐度来衡量相应海域的污染状况^[10]。

由表 1 可知,2015 年 4—11 月各扇贝养殖区 DO 含量均达到海水水质一类标准,DO 含量变化范围为 6.31~8.29 mg/L,平均值为 7.28 mg/L。DO 与生物的生存繁殖和水体自净作用有关,DO 较低时生物将一部分能量供应于维持氧气摄取量,从而抑制了其正常的生长^[15]。该研究结果表明,所有养殖区的 DO 含量均可满足渔业养殖的要求,适合发展扇贝养殖产业。

由表 1 可知,2015 年 4—11 月各扇贝养殖区 COD 含量变化范围为 0.62~2.31 mg/L,平均值为 1.42 mg/L。6—10

月,COD 含量随温度回升有明显升高,且最大值多出现在 8 月,但并未发现 COD 含量超标现象,这可能是由于温度较高时浮游生物生长代谢旺盛、扇贝排泄物等还原性有机物增加而引起的^[16]。有学者指出 COD 的异常升高一般发生在水体不畅通的内湾或者老化的养殖区,由过多有机物质的腐败分解所致^[10],而该研究结果表明莱州湾养殖区水体中有机物污染水平极低,均处于清洁水平。

2.2 营养盐的变化 海水中浮游生物的生存对营养盐有一定的依赖性,而浮游植物是海洋中各种化学反应的基础,又是扇贝的饵料,因此需要稳定的营养盐含量来保证海洋生态的稳定。由表 2 可知,2015 年 4—11 月各扇贝养殖区 DIP 含量的变化范围为 0.005~0.030 mg/L,平均值为 0.015 mg/L,整体呈现出夏季低、春秋季节高的趋势,最大值多出现在 4~6 月。其中,1[#]和 3[#]养殖区水体无机磷含量较其他养殖区偏高,且已经受到无机磷的污染,怀疑是由外源污染注入造成的(1[#]距离发电厂较近,3[#]距离海岸最近),但仍处于安全范围内,对渔业养殖基本无影响。其他养殖区基本未受到无机磷的污染。TP 含量的变化范围为 0.014~0.092 mg/L,平均值为 0.060 mg/L,其含量整体偏高,超过二类水质标准,TP 含量超标现象出现在所有养殖区且污染水平较高,表明 5 个养殖区均已受到磷污染,应加强监管。由于无机磷水平正常,因此磷污染可能主要是由有机磷造成的。马洪瑞等^[10]研究表明莱州湾海水属于磷(无机磷)限制性富营养状态,且磷限制性逐渐加强。

Table 2 The changes of nutrients content in water body of each aquaculture area from April to November of 2015										mg/L
月份 Month	1 [#]			2 [#]			3 [#]			
	DIP	TP	TN	DIP	TP	TN	DIP	TP	TN	
4	0.020	0.037	2.152	0.005	0.026	2.716	0.030	0.031	2.863	
5	0.010	0.014	1.780	0.005	0.026	2.407	0.015	0.026	2.375	
6	0.030	0.070	0.766	0.020	0.028	2.405	0.030	0.042	0.991	
7	0.017	0.092	0.482	0.020	0.088	0.489	0.011	0.076	0.411	
8	0.010	0.085	0.473	0.012	0.070	0.480	0.011	0.070	0.330	
9	0.006	0.091	0.280	0.006	0.087	0.294	0.005	0.070	0.338	
10	0.015	0.074	0.767	0.010	0.084	0.561	0.010	0.063	0.362	
11	0.024	0.045	0.553	0.017	0.047	0.699	0.018	0.020	0.771	
月份 Month	4 [#]			5 [#]						
	DIP	TP	TN	DIP	TP	TN				
4	0.020	0.026	2.207	0.015	0.026	2.068				
5	0.010	0.028	1.712	0.013	0.058	2.323				
6	0.020	0.030	0.829	0.013	0.077	1.780				
7	0.005	0.080	0.536	0.008	0.088	0.487				
8	0.011	0.085	0.280	0.011	0.083	0.580				
9	0.008	0.081	0.322	0.010	0.096	0.431				
10	0.012	0.084	0.492	0.013	0.074	0.385				
11	0.027	0.047	0.444	0.021	0.061	0.757				

由表 2 可知,2015 年 4—11 月各扇贝养殖区 TN 含量的变化范围为 0.28~2.86 mg/L,平均值为 1.03 mg/L,在少数月份偏高,处于轻微污染水平,但从整体来看仍处于清洁水平,达到二类水质标准。单志欣等^[17]研究发现莱州湾无机

氮含量过剩,氮循环受阻而以硝态氮的形式大量存在于水体中。郎晓辉等^[18]调查发现,莱州湾有 17 处各类排污口,每年排入污水 2 亿 t 以上,导致该海域石油、重金属和氮污染均达到Ⅱ级以上。

2.3 营养状态 从表 3 可以看出,2015 年 4、5 和 11 月(水温低于 20 ℃)营养状态基本为中营养水平,少数为贫营养水平,而富营养水平状态多集中在 6—10 月(水温基本超过 20 ℃),因此养殖区的富营养状态可能与温度回升所引起的各类海洋生物代谢活动加快有关。按照慕建东^[6]采用的叶

绿素 a 营养水平评价方法,5 个养殖区在 4—10 月均处于不同程度的富营养状态,亦以夏季为最高,而 11 月均表现为贫营养状态。整体营养状态较高的海域,在合适的条件下有发生赤潮的可能。

表 3 2015 年 4—11 月扇贝养殖区营养状态质量指数(NQI)及叶绿素 a 营养水平指数(D)
Table 3 NQI and D in scallop aquaculture areas from April to November of 2015

月份 Month	1 [#]		2 [#]		3 [#]		4 [#]		5 [#]	
	NQI	D	NQI	D	NQI	D	NQI	D	NQI	D
4	2.25	1.89	2.08	3.31	2.44	3.07	1.94	2.22	1.83	3.51
5	1.65	2.90	2.15	3.07	2.12	3.68	2.12	3.07	2.18	3.51
6	3.67	4.70	2.32	5.03	2.49	3.33	2.08	3.10	3.83	2.96
7	4.40	3.64	4.25	4.05	3.75	3.37	4.06	4.04	4.19	3.34
8	4.21	4.25	3.64	3.58	3.31	2.72	3.92	2.96	4.42	2.76
9	4.01	4.97	3.99	3.57	3.45	3.72	3.63	4.05	4.35	3.13
10	4.27	3.01	4.15	3.57	3.20	3.88	4.22	3.54	3.78	3.78
11	2.79	0.37	3.08	0.37	2.39	0.37	2.67	0.17	3.70	0.61

2.4 内梅罗环境质量综合评价指数 莱州湾扇贝养殖区海水质量分指数(S_i)及内梅罗环境质量综合评价指数(S_j)如表 4 所示。根据内梅罗环境质量综合评价分级标准,5 个养殖区均表现出明显的季节特征;2015 年 4—6 月 2[#]、3[#]和 4[#]均表现为清洁状态,尤其以 4[#]清洁状态为最优,而 1[#]和 5[#]在 6 月开始受到轻度污染;7—10 月所有养殖区均表现出不同程度的轻度污染,其中 3[#]和 4[#]污染程度相对较低,而 5[#]在 9 月

已达到中度污染水平,但此后又有所好转;11 月多数养殖区表现为清洁或较清洁状态,整体污染状况均有所好转。万玲^[19]研究发现烟台四十里湾养殖海域夏季污染情况比春季严重。崔毅等^[20]研究也发现,不同季节莱州湾主要淡水入河口断面污染水平夏秋季高于春季。这些研究结果都与此次调查结果相一致。

表 4 扇贝养殖区水体质量分指数及内梅罗环境质量综合评价指数
Table 4 Water quality single index and Nemero environmental quality comprehensive evaluation index of scallop aquaculture areas

养殖区 Aquaculture areas	月份 Month	S_i						S_j	等级 Grade
		pH	DO	COD	TN	TP	硫化物 Sulfide		
1 [#]	4	0.143	0.546	0.223	0.797	1.233	1.380	0.606	II
	5	0.429	0.536	0.533	0.659	0.457	0.240	0.165	I
	6	0.257	0.508	0.387	0.950	2.333	0.360	1.521	III
	7	0.257	0.704	0.533	0.804	3.067	0.320	2.576	III
	8	0.200	0.624	0.590	0.788	2.833	0.280	2.203	III
	9	0.486	0.552	0.513	0.466	3.033	0.460	2.511	III
	10	0	0.440	0.520	1.278	2.467	0.400	1.702	III
	11	0.114	0	0.367	0.921	1.500	0.780	0.638	II
2 [#]	4	0.943	0.616	0.220	1.006	0.857	0.380	0.347	I
	5	0.200	0.576	0.407	0.891	0.853	0.240	0.268	I
	6	0.543	0.492	0.500	0.891	0.933	0.360	0.314	I
	7	0.314	0.692	0.500	0.816	2.933	0.294	2.365	III
	8	0.114	0.602	0.507	0.800	2.333	0.320	1.513	III
	9	0.171	0.556	0.600	0.489	2.900	0.660	2.303	III
	10	0.114	0.604	0.413	0.936	2.800	0.420	2.154	III
	11	0.029	0	0.350	1.165	1.567	0.680	0.699	II
3 [#]	4	0.486	0.696	0.337	1.060	1.043	0.200	0.383	I
	5	0.571	0.554	0.387	0.880	0.853	0.340	0.283	I
	6	0.457	0.450	0.723	0.367	1.400	0.460	0.593	I
	7	0.343	0.648	0.530	0.686	2.533	0.400	1.788	III
	8	0.086	0.502	0.427	0.550	2.333	0.340	1.486	III
	9	0.057	0.414	0.553	0.563	2.333	0.420	1.492	III

接下表

续表 4

养殖区 Aquaculture areas	月份 Month	S _i						S _j	等级 Grade
		pH	DO	COD	TN	TP	硫化物 Sulfide		
4 [#]	10	0.086	0.566	0.493	0.604	2.100	0.380	1.227	Ⅲ
	11	0.086	0	0.443	1.285	0.667	0.720	0.469	I
	4	0.114	0.738	0.267	0.817	0.857	0.120	0.242	I
	5	0.286	0.640	0.550	0.634	0.935	0.380	0.300	I
	6	0.600	0.432	0.770	0.307	1.000	0.540	0.342	I
	7	0.200	0.596	0.503	0.893	2.667	0.246	1.959	Ⅲ
	8	0.314	0.544	0.617	0.467	2.833	0.300	2.186	Ⅲ
	9	0.200	0.524	0.390	0.537	2.700	0.340	1.975	Ⅲ
	10	0.029	0.524	0.600	0.820	2.800	0.380	2.144	Ⅲ
	11	0.057	0	0.367	0.741	1.567	0.680	0.679	Ⅱ
5 [#]	4	0.429	0.668	0.207	0.766	0.857	0.100	0.247	I
	5	0.143	0.576	0.387	0.860	0.935	1.280	0.531	I
	6	0.057	0.448	0.600	0.659	2.860	0.560	2.232	Ⅲ
	7	0.200	0.656	0.450	0.812	2.567	0.396	1.826	Ⅲ
	8	0.229	0.556	0.687	0.967	2.767	0.420	2.133	Ⅲ
	9	0.229	0.580	0.433	0.718	3.200	0.454	2.779	Ⅳ
	10	0.057	0.564	0.670	0.642	2.467	0.560	1.692	Ⅲ
	11	0	0	0.403	1.261	2.033	0.620	1.157	Ⅲ

6 个指标对内梅罗环境质量综合评价指数的贡献从大到小依次为 TP、TN、DO、COD、硫化物、pH。由此可见,营养盐污染对内梅罗环境质量综合评价指数的贡献较其他因素明显,磷污染普遍存在(5 个养殖区均已受到磷污染,1[#]和 3[#]养殖区开始受到无机磷污染),因此应该加大对营养盐水平的监测,尽量避免或降低这些潜在风险对渔业养殖造成的损失。

3 小结

综上所述,此次调查扇贝养殖区水体的温度、pH、盐度、DO、COD 等指标均适合扇贝的养殖。海水质量综合评价结果表明,调查水体处于磷限制性富营养状态,且富营养现象集中于夏、秋季,在扇贝养殖活动(5—10 月)结束后,海水质量逐渐改善,因此海水质量受扇贝活动的影响较大,应当在相应季节加大监控力度,防止赤潮的发生。

参考文献

[1] 侯英民. 山东海情[M]. 北京:海洋出版社,2010:98-120.
[2] 国家海洋局. 中国海洋环境状况公报[R]. 北京:国家海洋局,2010-2015.
[3] 李斌,白艳艳,邢红艳,等. 四十里湾营养状况与浮游植物生态特征[J]. 生态学报,2013,33(1):260-266.
[4] 迟守峰. 烟台市四十里湾海域赤潮成因分析及预防对策[J]. 齐鲁渔业,2008,25(9):55-57.
[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋监测规范:GB 17378—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

[6] 慕建东. 渤海重要渔业水域生态环境质量状况评价[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.
[7] 崔力拓. 河北省海域贝类养殖区生态环境质量评价研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(10):6004-6006,6010.
[8] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
[9] 国家环保总局. 海水水质标准:GB 3097—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
[10] 马洪瑞,陈聚法,崔毅,等. 胶州湾湿地海域水体和表层沉积物环境质量评价[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2749-2756.
[11] 李聪明. 莱州市海湾扇贝养殖产业结构与特征初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
[12] 徐振飞. 莱州湾表层海水水化学要素分析[D]. 北京:中国地质大学,2014.
[13] NUNES J P, FERREIRA J G, GAZEAU F, et al. A model for sustainable management of shellfish polyculture in coastal bays[J]. Aquaculture, 2003,219:257-277.
[14] 袁有宪,陈聚法,陈碧娟,等. 栉孔扇贝对环境变化适应性研究—盐度、pH 对存活、呼吸、摄食及消化的影响[J]. 中国水产科学,2001,7(4):73-77.
[15] 胡国宏,孙广华,朱世成,等. 低溶氧量对怀头鲂呼吸代谢耗氧率的影响[J]. 动物学杂志,2002,37(2):46-48.
[16] 王增焕,柯常亮,王许诺,等. 流沙湾贝类养殖海域环境质量评价[J]. 南方水产科学,2011,7(3):24-30.
[17] 单志欣,郑振虎,邢红艳,等. 渤海莱州湾的富营养化及其研究[J]. 海洋湖沼通报,2000(2):41-46.
[18] 郎晓辉,李悦,孔范龙,等. 莱州湾环境存在的问题及保护对策[J]. 现代农业科技,2011(3):296-297.
[19] 万玲. 烟台四十里湾海水养殖水域环境污染研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(11):6801-6803.
[20] 崔毅,马绍赛,李云平,等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响[J]. 海洋水产研究,2003,24(1):35-41.

科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据,只需强调或阐述其重要发现及趋势。