

胶州湾东北部养殖海区环境质量状况及分析

赵增霞^{1,2}, 王芳¹, 刘群², 张光涛²

(1.中国海洋大学, 山东 青岛 266003; 2.中国科学院海洋研究所 胶州湾生态系统研究站, 山东 青岛 266071)

摘要: 基于 2006 年 2 月、5 月、8 月、11 月胶州湾东北部养殖海区现场调查结果, 采用单因子指数、富营养化指数、有机污染指数对环境状况进行了分析评价。结果表明: 该海域主要受到无机 N、P 污染; COD 在夏、秋季符合一类, 但在冬、春季只达到国家二类海水水质标准; DO 全部符合国家一类海水水质标准。通过站位间的比较发现, 东北部沧口水域环境质量最差, 全年处于富营养化状态, 有机污染介于轻度到严重污染之间。红岛附近水质较好, 不存在有机污染, 只有春、秋季达到富营养化水平。研究结果显示该海域主要受陆源污染, 且与现有污水处理不能有效去除无机 N、P 营养盐有关。

关键词: 胶州湾; 养殖海区; 海水水质评价; 富营养化; 有机污染

中图分类号: X820

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)03-0006-05

胶州湾是青岛市形成和发展的摇篮, 是青岛的“母亲湾”。但随着城市化的进程和沿岸经济的迅猛发展, 胶州湾海域面积不断缩小, 纳潮量降低, 海水污染严重, 生物多样性面临危机, 自然和生态环境受到很大影响。已有研究表明东北部海域是胶州湾富营养化最严重的区域^[1,2]。海泊河、李村河和娄山河带来的大量工业废水和生活污水, 加上养殖活动自身产生的影响, 使得该海域赤潮和渔业污染事故时有发生。然而, 不同的河流由于流经区域和径流量的差异, 所携带的污染物也各不相同, 丰水期和枯水期水质和影响范围也有所不同^[3]。由于胶州湾东北部养殖区面积较小, 以往的研究多数忽略了环境参数的地理差异。胶州湾生态站在该海域的监测在该海区加密了调查站位, 分别在李村河口、女姑口和红岛外设置了采样点, 旨在通过主要环境指标的季节和地理变化, 了解胶州湾海水增养殖区的海洋环境质量状况及其与主要人类活动影响的关系, 为海水养殖业的可持续发展和该海域生态环境保护提供科学数据支持。

1 调查与方法

1.1 站位和采样时间

调查资料取自胶州湾常规监测站中代表东北部水域的 1 号、2 号和 3 号站(图 1), 于 2006 年 2 月、5 月、8 月、11 月采集样品。采样方法按《海洋监测规范》的方法进行。

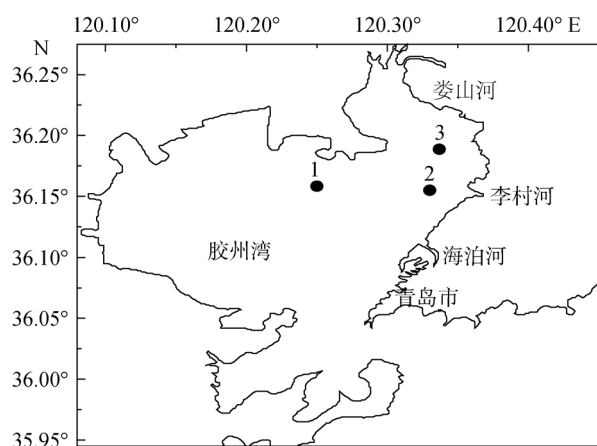


图 1 胶州湾东北部养殖海区监测站位分布

Fig. 1 Monitoring stations in the northeast mariculture zones, Jiaozhou Bay

1.2 分析项目和方法

测定项目有: 水温、pH 值、盐度、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、氨氮(NH₄-N)、亚硝酸盐(NO₂-N)、硝酸盐(NO₃-N)、活性磷酸盐(PO₄-P)、无机氮(DIN)含量为上述 3 种氮化物含量之和, 无机磷(DIP)含量

收稿日期: 2009-05-26; 修回日期: 2009-07-19

基金项目: 海洋公益项目(200805066)

作者简介: 赵增霞(1976-), 山东德州人, 在职硕士研究生, 研究方向: 海洋环境生态学, 电话: 0532-82898546, E-mail: zxzha@qdio.ac.cn; 张光涛, 通信作者, 主要从事海洋生态学研究, 电话: 0532-82898546, E-mail: gtzhang@qdio.ac.cn

用 PO₄-P 含量表示。各项营养盐均为荷兰产 SKALAR 流动分析仪上分析; pH 值、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD) 按《海洋监测规范》的方法分析。水温和盐度由 CTD 测得。

2 评价方法和标准

2.1 评价方法

2.1.1 单因子质量指数评价法^[4]

单因子质量评价公式为: $S_i = \frac{C_i}{C_{i0}}$

式中, S_i 为单因子的污染指数; C_i 为某污染因子的实测质量浓度; C_{i0} 为某污染因子的评价标准。根据溶解氧的特点, 采用蔡墨罗(Nemerow)的指数公式计算溶解氧污染指数, 评价公式为:

$$S_i = \frac{C_{im} - C_i}{C_{im} - C_{i0}}$$

式中, S_i 溶解氧的污染指数; C_i 为溶解氧的实测值; C_{i0} 为溶解氧的评价标准; C_{im} 为本次调查中溶解氧的最大值。

以单因子污染指数 1.0 作为该因子是否对环境产生污染的基本分界线, 小于 1.0 为水域未受该因子污染; 大于 1.0 表明水域已受到该因子污染。

2.1.2 营养指数法

营养水平评价公式^[5]:

$$E = (\text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP} \times 10^6) / 4500$$

式中, E 为营养水平指数, COD 为化学需氧量(mg/L); DIN 为无机氮质量浓度(mg/L); DIP 为无机磷质量浓度(mg/L)。

如 E 值大于 1 时, 即为富营养化, E 值越高, 富营养化程度越严重。

2.1.3 有机污染评价指数法^[6]

有机污染评价公式为:

$$A = \text{COD} / \text{COD}_0 + \text{DIN} / \text{DIN}_0 + \text{DIP} / \text{DIP}_0 - \text{DO} / \text{DO}_0$$

式中, A 为有机污染评价指数, COD 为水体的化学需氧量的实测质量浓度, DIN 为溶解态无机氮的实测质量浓度, DIP 为溶解态无机磷的实测质量浓度, DO 为溶解氧的实测质量浓度, COD₀, DIN₀, DIP₀ 和 DO₀ 分别为水体的上述各项指标的评价标准。有机污染水平评价分级见表 1。

2.2 评价标准

水质评价采用《海水水质标准(GB3097-1997)》中的第二类海水水质标准, 各评价参数的标准值见表 2。

表 1 有机污染水平评价分级

Tab. 1 Classification of organic pollution assessment

A 值	污染程度分级	水质评价
<0	0	良好
0~1	1	较好
1~2	2	开始受到污染
2~3	3	轻度污染
3~4	4	中度污染
>4	5	严重污染

表 2 水质评价标准

Tab. 2 Assessment standards of water quality

评价因子	DO	COD	DIN	DIP
评价标准(mg/L)	5.0	3.0	0.3	0.03

3 结果

3.1 胶州湾东北部海区的环境要素以及营养盐的水平分布现状

胶州湾东北部养殖海区水质监测结果见表 3。由表 3 可知, 盐度季度变化不明显, 每一个月份的站位间变化较显著。2、3 号站由于靠近李村和娄山河口, 盐度在 4 个月份均低于 1 号站。该海域水温的地理变化大体与盐度负相关, 但趋势不如盐度明显。冬季表层水温 2.45~3.10, 红岛外水温最低, 李村河口水温最高。平均温度为 15.4 (2.3~28.9), 盐度为 30.5(29.3~31.3), pH 为 8.2(8.00~8.42), DO 平均质量浓度为 8.9mg/L(6.03~12.47 mg/L), COD 平均质量浓度为 1.8 mg/L(0.95~3.03 mg/L)。

主要营养盐质量浓度大多随盐度升高而降低, 说明其补充与陆源淡水输入有关。3 号站位的营养盐质量浓度在绝大多数情况下, 明显高于 1、2 号站。N、P 营养盐的增加引起的生态效应在不同的河口近岸海域是不一样的, 胶州湾营养盐的增加其主要原因和人类活动密切相关, 东北部水域营养盐的变化尤甚。

磷在 2 月份最低, 8、11 月份较高, 尤其是在 3 号站。硝酸盐和亚硝酸盐在全年的变化不明显, 但是氨盐在 8 月份有一个显著的低值。

3.2 水质评价结果

DIN 和 DIP 的污染指数在 4 个调查月份都是在 3 号站最高, 而 DO 和 COD 则略有不同。从时间序列上看, COD 和 DO 的单因子指数全年基本上没有超过

表 3 胶州湾东北部养殖海区水质监测数据

Tab. 3 Monitoring data of seawater quality in the northeast mariculture waters, Jiaozhou Bay

采样月份	站位	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DIN	DO	COD	温度	盐度	pH
	1	0.39	6.6	0.70	3.1	10.40	11.90	2.40	2.30	30.7	8.26
2	2	0.24	15.7	1.6	30.4	47.70	12.47	2.08	2.45	30.5	8.09
	3	0.57	21.0	2.2	62.2	85.40	11.01	2.72	3.10	29.8	8.22
	1	1.2	11.8	3.0	20.8	35.60	9.12	0.95	16.4	31.0	8.15
5	2	0.89	8.4	2.0	21.6	32.00	8.26	3.03	15.7	30.9	8.17
	3	1.7	18.8	6.2	43.1	68.10	9.26	1.46	17.1	30.6	8.28
	1	0.19	1.8	0.63	1.1	3.53	7.26	1.28	26.4	30.6	8.42
8	2	1.7	10.3	5.0	5.6	20.90	6.60	1.24	27.9	30.1	8.30
	3	5.4	14.5	13.6	2.9	31.00	6.03	1.51	28.9	29.3	8.36
	1	0.64	9.6	3.1	5.7	18.40	8.37	1.39	15.4	31.3	8.20
11	2	1.2	19.0	5.4	20.2	44.60	8.06	1.65	15.3	31.0	8.06
	3	3.6	39.6	9.3	48.7	97.60	8.48	1.79	14.3	30.5	8.00
	平均值	1.5	14.8	4.4	22.1	41.3	8.9	1.8	15.4	30.5	8.2

注: PO₄-P, NO₃-N, NO₂-N, DIN, NH₄-N 单位为 μmol/L; DO, COD 单位为 mg/L

1(除 5 月份 2 号站表层), 表明此海域未受该因子沾污, COD 值夏秋季符合海水水质一类标准, 冬春季符合二类标准; DO 值均符合海水水质一类标准。DIP 单因子指数 3 个站位冬季 2 月状况良好, 未受沾污, 其余月份大部分指数接近 1 或超过 1, 受 DIP 污染比较严重。该

海域全年受 DIN 污染更加严重, 污染指数大部分远远超过 1 或接近 1。从点位图看, 1 号站除 5 月份受无机氮无机磷沾污外, 其他月份各项因子均未受沾污。2 号站和 3 号站 N、P 单因子受污染比较严重, 位于东北部沧口水域的 3 号站尤为严重(表 4)。

表 4 胶州湾海水增养殖区海水单因子质量评价

Tab. 4 Single factor assessment of water quality in mariculture zones, Jiaozhou Bay

采样月份	污染指数				
	站位	DIP	DIN	COD	DO
	1	0.40	0.49	0.80	0.14
2	2	0.25	2.23	0.69	0.07
	3	0.59	3.99	0.91	0.25
	1	1.24	1.66	0.32	0.48
5	2	0.92	1.49	1.01	0.59
	3	1.76	3.18	0.49	0.47
	1	0.20	0.16	0.43	0.72
8	2	1.76	0.98	0.41	0.80
	3	5.58	1.45	0.50	0.87
	1	0.66	0.86	0.46	0.58
11	2	1.24	2.08	0.55	0.62
	3	3.72	4.55	0.60	0.56

调查海域多数情况下都呈富营养化水平, 但是 1 号站在 2、8 月份都在 1 以下, 即没有达到富营养化水平。另外, 从有机污染指数评价来看, 除了 1 号站在 2、8 月份为良好, 1 号站在 11 月份和 2 号站在 2 月份也达到较好的水平(表 5)。

4 讨论

入海径流携带的陆源污染物一直被认为是造成胶州湾东北部养殖海域富营养化最主要的原因。通过站位间的比较, 这一点再次在本研究中得到验证。

表 5 胶州湾海水增养殖区营养水平和有机污染评价指数
Tab. 5 Indices of the nutrient levels and organic pollution assessments in mariculture zones, Jiaozhou Bay

采样月份	站位	营养水平指数	有机污染指数
	1	0.94	-0.69
2	2	2.30	0.67
	3	12.79	3.28
5	1	3.91	1.39
	2	8.32	1.77
	3	16.3	3.57
8	1	0.08	-0.66
	2	4.24	1.82
	3	24.44	6.33
11	1	1.58	0.31
	2	8.50	2.26
	3	60.81	7.18

在 80 年代末就发现有机质和营养盐严重污染区均集中在湾东部的海泊河、李村河和娄山河等河口邻近海域^[6, 7]。本次调查的营养盐和 COD 质量浓度远高于全湾的表层平均值。营养盐在 60 到 80 年代间升高了数倍的水平, 90 年代又有增加(表 6)^[7, 8]。本实验结果表明, 胶州湾东北部水域 PO₄-P 季度平均质量浓度比 90 年代全湾表层平均质量浓度增加了 3.5 倍; NO₃-N 季度平均质量浓度增加了 6.4 倍; NO₂-N 增加了 5.7 倍; NH₄-N 增加了 1.7 倍; DIN 增加了 2.8 倍; COD 质量浓度虽然有所增加, 但远不及无机 N、P

表 6 胶州湾表层海水中营养盐含量

Tab. 6 Concentrations of nutrients in surface waters in Jiaozhou Bay

调查年份	质量浓度(μmol/L)				
	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DIN
1962~1963	0.14	0.38	0.17	1.6	2.2
1983~1986	0.43	1.8	0.39	6.5	8.7
1991~1998	0.33	2.0	0.66	8.2	10.8

从生态保护的角度, 人们更加关心长期的变化趋势。根据在 3 号站上的连续调查, 主要营养盐质量浓度在 1991~2004 年大体保持了升高的趋势, 但年际的波动比较剧烈^[13]。也有研究认为, 从全湾的情况看, 营养盐等污染主要发生在 80、90 年代, 此后增长的趋势并不明显。尤其是进入 21 世纪以来, DIN、DIP 和石油烃污染范围都有缩小的趋势。COD 绝对值虽然没有减小, 也有从东北向西部海域转移的趋势^[2]。从作者的结果看, 尽管无机 N、P 污染范围有所缩小, 单因子质量评价显示在红岛附近只有 5 月

的增长速度, 其季度平均质量浓度比 90 年代仅增加了 0.5 倍。根据同一站位的比较, 60 年代 3 号站 NH₄-N 测得最高质量浓度为 5.8 μmol/L, 80 年代为 34.6 μmol/L, 而本实验中作者测得 3 号站年平均质量浓度为 39.2 μmol/L。

由于陆源输入强度和水体交换与自净能力的变化, 造成无机营养盐在近岸的富集尤为严重。在本研究中, 1 号站的营养盐和 COD 污染状况要明显好于 3 号站, 2 号站则介于两者之间。1 号站在 2、8 月浮游植物高峰期各项营养盐指标几乎都好于表 6 中全湾表层的平均水平, 说明浮游植物的生长消耗是克服富营养化、净化水体重要的因素。早在 60 年代, 刁焕祥^[9, 10]就指出, 在胶州湾东北沿岸, 不但由于咸淡水交混, 而且由于大陆水及城市排水带来一定的营养盐, 因而浮游植物通常比较丰富。丰富的浮游植物使沿岸营养盐受到消耗, 因而沿岸 NO₃-N、NO₂-N 及 PO₄-P 等含量降低, 从而使整个胶州湾趋于均匀。但是 NH₄-N 的含量却增加, 雨水和沿岸污水、浮游动物的排泄和有机物分解是其来源之一; 三态氮的氨化及硝化作用没有充分进行, 没有达到热力学平衡状态是其二。从邻近海域浮游植物和底栖动物的组成上看, 该地区生态系统结构并为发生根本性变化^[11, 12], 只是浮游植物和初级生产者并不能全部利用过剩的营养盐。这将是今后进行生态保护重要的指标和着眼点。

份达到污染水平, 2、8 月份综合的营养指数也降到 1 以下, 但是在沧口水域的质量浓度水平仍然显著高于 90 年代的水平。同时, 在污染物组成和营养盐组分的一些变化也值得今后进一步关注。

首先, 无机污染的威胁相对于有机污染有增加的趋势。作者参考 90 年代以及 2000 年以后胶州湾全湾平均值和 2006 年东北部养殖海区的平均值做一比对(表 7), 从 90 年代到 2006 年, 胶州湾东北部养殖海区的温度、盐度、DO、PH 和 COD 均比以往全湾平均值高, 盐度低于全湾平均值。温度、盐度和

pH 由于受到水团性质和调查时间的影响, 很难判断具体的变化趋势, 但是溶解氧质量浓度的升高则充分说明该地区水体保持了较好的自净能力。同时, COD 质量浓度增加的程度也远小于无机 N、P 质量浓度的升高。其次, 无机污染中不同组分增加的趋势也各不相同。从表 6 中可以看出, 东北部养殖海区的

无机 N 营养盐质量浓度与 90 年代全湾表层的平均质量浓度相比, NO₃-N、NO₂-N 和 PO₄-P 的增长速度显著高于 NH₄-N。异养细菌的数量也是在河口和近岸地区比较多^[14], 而异养浮游细菌矿化有机质可以产生营养盐。其中的相关关系值得进一步深入探讨和研究。

表 7 胶州湾东北部养殖海域与全湾各环境要素比较

Tab. 7 Comparison of environmental factors between the northeast mariculture waters and the overall average in the Jiaozhou Bay

调查年份	温度()	盐度	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)
1997	12.97	31.7	8.08	8.05	1.22
1999	16.1	31.94	8.11	7.74	1.28
2000	14.6	32.02	8.15	6.26	1.61
2003	14.03	31.51	8.04	6.16	1.1
2006	15.4	30.5	8.2	8.9	1.8

注: 1997 年 pH、COD 取 5、8、11 月数据, DO 取 8 月、11 月数据; 2000 年 pH 取 2、5、8 月数据

从上面的讨论可以看出, 尽管该地区水体仍然保持了一定的自净能力, 但是控制陆源输入是保持水体环境质量的重中之重。进入 21 世纪, 尤其是 2008 年奥运会前夕, 青岛市周边污水处理的力度显著加强, 污水处理率达到 70%, 污染的强度得到初步的控制。但是, 污水处理过程中对不同组分的去除效率也不尽相同, 作者仍然应该关注近岸的污染问题, 尤其是从生态系统的角度看到营养盐的变化。另外, 除了生活和工业污水, 地表径流造成的农业施肥流失也会给近海生态系统造成影响, 主要是无机 N、P。总之, 应该看到, 该海域的富营养化并没有显著减轻, 同时污染物种类和营养盐组分上的变化, 以及是否会引起生态系统的级联反应也值得今后重点关注。

参考文献:

[1] 姚云, 沈志良. 胶州湾海水富营养化水平评价[J]. 海洋科学, 2004, 28(6): 14-17
 [2] 钱国栋, 汉红燕, 刘静, 等. 近 30 年胶州湾海水中主要化学污染物时空变化特征[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(4): 781-786
 [3] 李莉, 梁生康, 石晓勇, 等. 2007 年环胶州湾入海河流污染状况和污染物入海通量分析[J]. 环境科学与管理, 2009, 36(9): 23-28
 [4] 姚炜民, 陈雷. 乐清湾海水增养殖区环境质量状况及分析[J]. 海洋通报, 2007, 26(4): 116-120.
 [5] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化与赤潮问

题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-53.
 [6] 孙耀, 陈聚法. 胶州湾海域营养状况的化学指标分析[J]. 海洋环境科学, 1993, 12(3-4): 25-31.
 [7] 沈志良, 陆家平, 刘兴俊. 胶州湾水域的营养盐[A]. 中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊[C]. 北京: 科学出版社, 1994. 115-129.
 [8] 沈志良. 胶州湾营养盐结构的长期变化及其对生态环境的影响[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(3): 322-331.
 [9] 中国科学院海洋研究所水化学研究组. 胶州湾海水中氮的地球化学(上) [J]. 海洋湖沼通报, 1982a, 3: 8-17.
 [10] 中国科学院海洋研究所水化学研究组. 胶州湾海水中氮的地球化学(续) [J]. 海洋湖沼通报, 1982b, 4: 37-46.
 [11] 张利永, 刘东艳, 孙军, 等. 胶州湾女姑山水域夏季赤潮高发期浮游植物群落结构特征[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 997 ~ 1 002.
 [12] 李宝泉, 张宝琳, 刘丹运, 等. 胶州湾女姑口潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. 海洋科学, 2006, 3(10): 15 - 19.
 [13] 姚云, 沈志良. 胶州湾东北部营养盐的季节和多年变化[J]. 水科学进展, 2007, 18(3): 379 - 384.
 [14] 赵三军, 肖天, 李洪波, 等. 胶州湾异养细菌及大肠菌群的分布及对陆源污染的指示[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 541-547.

(下转第 31 页)