

胶州湾湿地海水中营养盐的时空分布与富营养化

赵 俊 过 锋 张 艳 陈聚法* 马绍赛

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室

中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘 要 依据 2009 年 2、5、7、8、9、11 月海洋环境调查资料,对胶州湾湿地海域营养盐的时空分布和富营养化水平进行了分析研究。结果表明,(1)胶州湾湿地海水中无机氮和活性磷酸盐高含量区基本位于大沽河入海口及其邻近海域,其含量和分布主要由大沽河入海径流所控制;(2)胶州湾湿地海水中无机氮和活性磷酸盐的月际变化明显,其含量基本与大沽河入海径流量呈正相关,即丰水期营养盐含量高,枯水期营养盐含量低;(3)胶州湾湿地海水富营养化水平较高,属磷中等限制潜在性富营养;(4)胶州湾湿地海水的有机污染较为严重,属中度污染;(5)大沽河入海径流是胶州湾湿地海水氮、磷等营养物质的主要来源,海水中氮、磷含量过高导致海水富营养化,应采取有效措施解决这一突出环境问题。

关键词 营养盐 分布 富营养化 胶州湾湿地

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)06-0107-08

Study on temporal and spatial distribution of nutrients and eutrophication in the seawater of Jiaozhou Bay wetland

ZHAO Jun GUO Feng ZHANG Yan CHEN Ju-fa* MA Shao-sai

(Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment; Yellow Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT Based on the environmental data surveyed in February, March, July, August, September and November, 2009, the temporal and spatial distribution of nutrients and eutrophication level in the seawater of Jiaozhou Bay wetland were studied. It was found that: (1) The regions with higher content of DIN and DIP in the seawater of Jiaozhou Bay wetland were roughly located at the estuary of Dagu River and its adjacent waters, and the horizontal distribution of them were mainly controlled by runoff amount of fresh water. (2) There were apparent seasonal variations of DIN and DIP content in the seawater of Jiaozhou Bay wetland. Basically, their con-

国家海洋公益性行业科研专项(200805066)和国家科技支撑计划课题(2009BADB7B02)共同资助

* 通讯作者。E-mail: chenjf@ysfri. ac. cn

收稿日期:2011-06-14;接受日期:2011-07-14

作者简介:赵 俊(1966-),男,副研究员,主要从事海洋渔业生态环境研究。E-mail:zhaojun@ysfri. ac. cn; Tel:(0532)85836341

tents were positively related to the input of fresh water, *i. e.*, the nutrient content was higher in the higher flow period and lower in the lower flow period. (3) The eutrophication level of seawater was higher in Jiaozhou Bay wetland, belonging to potential eutrophication with medium phosphorous limiting. (4) Organic pollution was more serious in the seawater of Jiaozhou Bay wetland, belonging to moderate pollution level. (5) The Dagu River runoff was the main source of nutritional substances such as nitrogen, phosphorous *etc.* Too much nitrogen and phosphorous in the seawater had caused the eutrophication. Effective measures should be adopted to solve this striking environmental problem.

KEY WORDS Nutrients Distribution Eutrophication Jiaozhou Bay wetland

胶州湾位于山东半岛南部,是典型的半封闭型海湾。胶州湾湿地海域是指 6m 等深线以浅区域,其主体位于胶州湾的西北部。该区沿岸主要入海河流为大沽河,每年工农业生产、水产养殖及城市生活污水通过大沽河向湾内输入大量的营养盐和有机污染物,影响着胶州湾营养盐的含量水平、富营养化程度和生态环境质量状况。受人为开发和自然变异等因素的影响,胶州湾湿地面积在不断缩小,导致纳潮量减少和海水自净能力降低,再加上陆源污染等因素的影响,胶州湾湿地生境呈现明显的退化趋势。为分析评价胶州湾湿地海域环境质量现状,确定环境中的主要污染物种类和湿地生境修复对象,2009 年 2、5、7、8、9、11 月对胶州湾湿地海域进行了 6 次生态环境综合调查。本研究根据调查资料,对胶州湾湿地海域营养盐的分布与变化、营养盐结构和富营养化程度进行了分析,研究结果可为制定胶州湾湿地生态系统功能保护和生态修复措施提供参考依据。

以往有关胶州湾海域营养盐的分布变化与富营养化研究(过 锋等 2005;孙丕喜等 2005;姚 云等 2004、2007;沈志良 2002;张均顺等 1997;宋秀贤等 2007),大多局限于深水区域,大沽河河口湿地海域(尤其是湿地潮间带海域)站位分布稀少,因此研究结果有一定的局限性。本研究以大沽河河口湿地海域作为调查研究重点,调查区域包括浅海和潮间带两大区块,站位设置密集,是首次对该海域生态环境进行全面、系统的调查研究,具有信息量大、研究结果代表性强的特点。

1 材料与方 法

1.1 调查区域、站位设置和样品分析

调查区域位于胶州湾西北部(图 1),包括潮间带和浅海区。共设 42 个站位(图 1),其中潮间带 7 个断面 21 个站位,浅海区 7 个断面 21 个站位。分别于 2009 年 2、5、7、8、9、11 月进行了 6 个航次的现场监测和水质样品采集,采集的样品带回陆上实验室进行分析。

测定分析项目包括:水温、盐度、pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Mn})、亚硝酸盐(NO₂-N)、硝酸盐(NO₃-N)、氨氮(NH₄-N)、无机氮(DIN)和活性磷酸盐(DIP),样品的现场处理及分析测定均按中华人民共和国国家标准《海洋监测规范》(GB 17378-

2007)规定的标准方法进行。其中水温、盐度、溶解氧和 pH 以美国产 YSI 556 MPS 进行现场测定,无机氮中亚硝酸盐氮测定采用盐酸萘乙二胺分光光度法,检出限为 0.001 mg/L;硝酸盐氮测定采用镉柱还原法,检出限为 0.003 mg/L;氨氮测定采用靛酚蓝分光光度法,检出限为 0.005 mg/L;活性磷酸盐测定采用磷钼蓝分光光度法,检出限为 0.001 mg/L。上述营养盐测定所用仪器均为 7230G 型可见分光光度计。COD 测定采用碱性

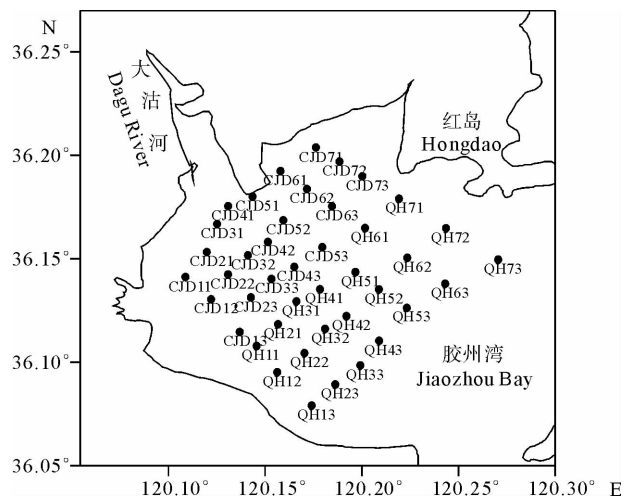


图 1 胶州湾湿地调查海域和站位分布

Fig. 1 Surveyed area and sampling locations in Jiaozhou Bay wetland

高锰酸钾法,检出限为 0.015 mg/L,所用设备为 25 ml 酸式滴定管。

1.2 水环境质量评价方法

1.2.1 单因子评价

采用《海水水质标准》(GB 3097-1997)中的一类标准(适用于海洋渔业水域,海上自然保护区和珍稀濒危海洋生物保护区),对水体中无机氮、活性磷酸盐和化学需氧量的含量进行评价,其标准限值分别为 $DIN \leq 0.2$ mg/L, $DIP \leq 0.015$ mg/L, $COD \leq 2.0$ mg/L。

1.2.2 海水营养状况评价

采用潜在性富营养化评价模式(郭卫东等 1998;夏 斌等 2009)(表 1),对胶州湾湿地海域营养状况进行评价。

表 1 水体营养级划分标准

Table 1 Classification standard for the water eutrophication level

等级 Grade	营养级 Nutrient level	DIN(μ g/L)	PO ₄ -P(μ g/L)	N/P
I	贫营养 Oligotrophic	<200	<30	8~30
II	中度营养 Medium eutrophic	200~300	30~45	8~30
III	富营养 Eutrophic	>300	>45	8~30
IV _P	磷限制中度营养 Medium eutrophic with phosphorous limiting	200~300	/	>30
V _P	磷中等限制潜在性富营养 Potential eutrophic with medium phosphorous limiting	>300	/	30~60
VI _P	磷限制潜在性富营养 Potential eutrophic with phosphorous limiting	>300	/	>60
IV _N	氮限制中度营养 Medium eutrophic with nitrogen limiting	/	30~45	<8
V _N	氮中等限制潜在性富营养 Potential eutrophic with medium nitrogen limiting	/	>45	4~8
VI _N	氮限制潜在性富营养 Potential eutrophic with nitrogen limiting	/	>45	<4

1.2.3 海水有机污染状况评价

采用有机污染综合指数法和有机污染等级划分标准(表 2)(夏 斌等 2009)对胶州湾湿地海域有机污染状况进行评价。即:

$$A = \frac{COD_i}{COD_s} + \frac{IN_i}{IN_s} + \frac{IP_i}{IP_s} - \frac{DO_i}{DO_s}$$

式中,A 为有机污染指数; COD_i 、 DIN_i 、 DIP_i 和 DO_i 分别为各要素实测值; COD_s 、 DIN_s 、 DIP_s 和 DO_s 为各要素的一类海水水质标准限值,分别为 2.0、0.2、0.015 和 6.0 mg/L。

表 2 水体有机污染评价分级标准

Table 2 Classification standard for organic pollution in water

A 值 A value	<0	0~1	1~2	2~3	3~4	>4
污染程度分级 Organic pollution level	0	1	2	3	4	5
水质评价 Water quality evaluation	良好 Excellent	较好 Good	开始受到污染 Primarily polluted	轻度污染 Slightly polluted	中度污染 Moderately polluted	严重污染 Seriously polluted

2 结果

2.1 胶州湾湿地海水中营养盐的时空分布特征

2.1.1 氮、磷营养盐的平面分布

2009年调查月份胶州湾湿地海水中溶解态无机氮含量范围为66.74~1245.78 $\mu\text{g/L}$,平均值为385.12 \pm 112.12 $\mu\text{g/L}$ 。各调查月份无机氮平面分布趋势大致相似:受大沽河径流入海的影响,无机氮高含量区位于大沽河河口及其邻近海域,浅海区无机氮含量相对较低。另外,2009年2、5月在调查海域西南角存在另一无机氮高含量区,可能与沿岸排放富氮废水有关(图2)。

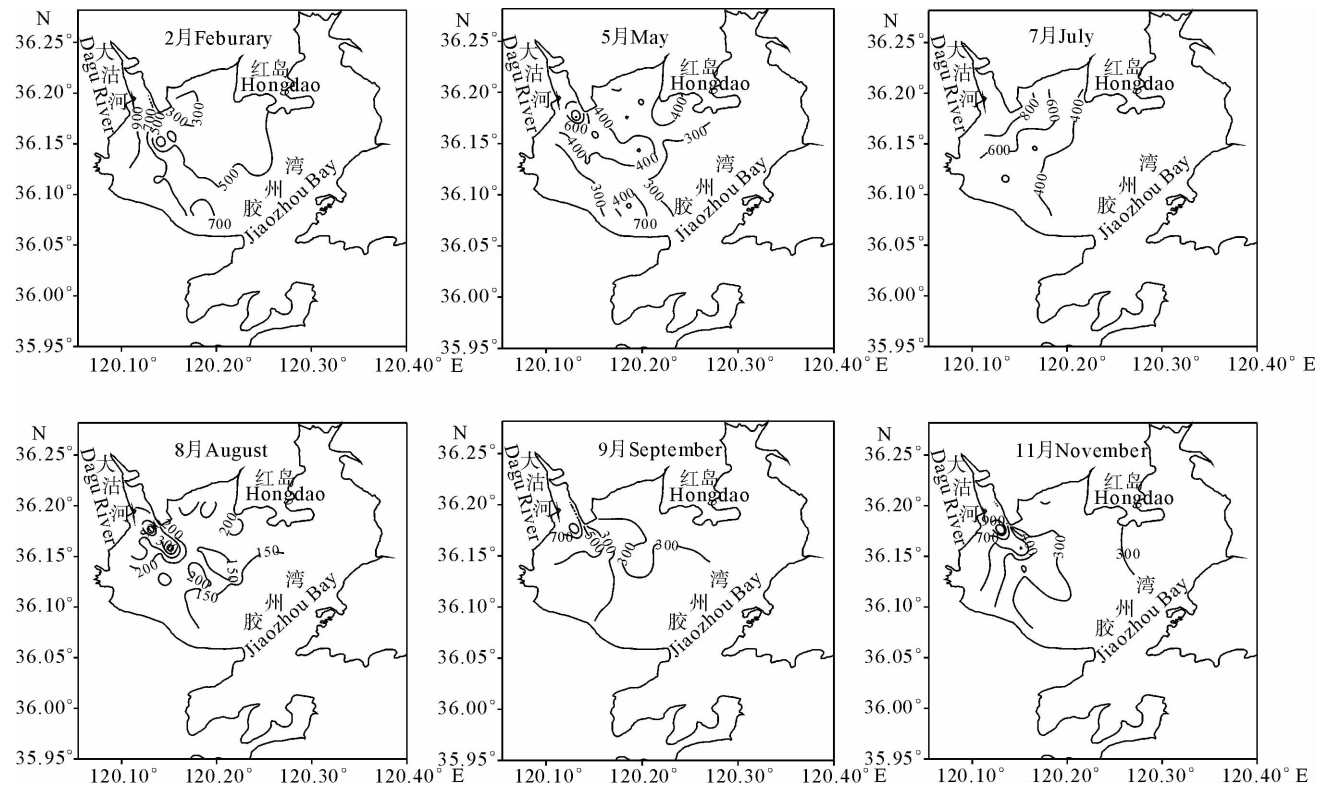


图2 胶州湾湿地海水中无机氮分布($\mu\text{g/L}$)

Fig. 2 Distribution of DIN in the seawater of Jiaozhou Bay wetland ($\mu\text{g/L}$)

活性磷酸盐含量范围在4.68~121.08 $\mu\text{g/L}$,平均值为27.77 \pm 9.69 $\mu\text{g/L}$ 。各调查月份活性磷酸盐也具有大致相似的分布趋势:2009年2、5、7、9、11月大沽河河口及其邻近海域为活性磷酸盐高含量区,沿大沽河河道为轴线,等值线基本呈舌状分布,由西北向东南其含量逐渐降低;2009年8月调查海域存在两个活性磷酸盐高含量区,一个位于大沽河河口及其邻近海域,另一个位于红岛以南海域,该高值区的出现可能与红岛一些水产加工企业排放富磷废水有关(图3)。

2.1.2 氮、磷营养盐的月际变化

胶州湾湿地海水中无机氮月际变化明显,以2009年2月含量最高,7月次之,8月含量最低(图4)。造成这种变化趋势的原因可能与浮游生物的繁殖有关。2月,水温低,浮游生物繁殖总量小,对氮营养盐的吸收少;8月,水温高,浮游生物大量繁殖,使氮营养盐含量急剧下降。

活性磷酸盐含量呈先增后降的变化趋势,2009年2~7月呈升高趋势,7~11月呈下降趋势(图4)。活性磷酸盐的月际变化趋势与大沽河入海径流量的变化趋势相吻合,即丰水期活性磷酸盐含量高,枯水期活性磷酸盐含量低。

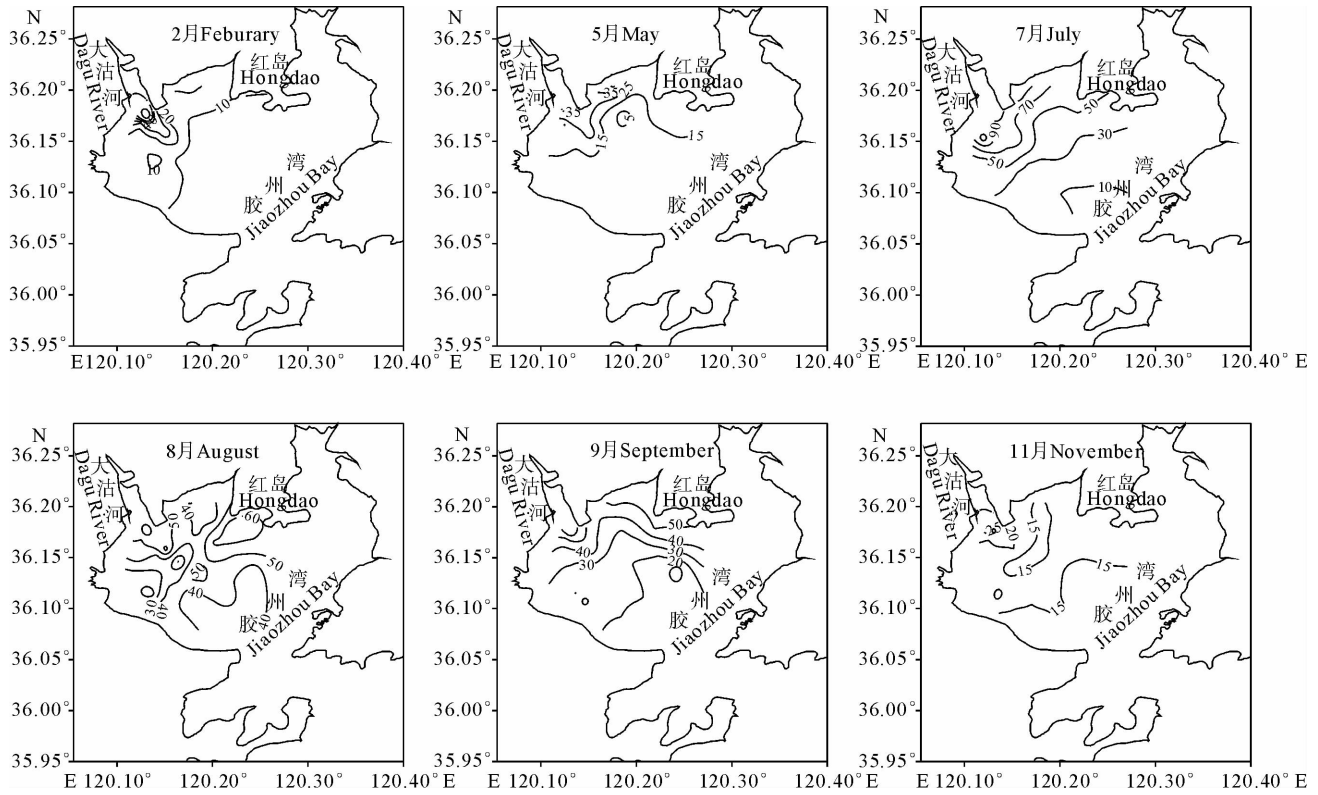


图 3 胶州湾湿地海水中活性磷酸盐分布($\mu\text{g/L}$)

Fig. 3 Distribution of DIP in the seawater of Jiaozhou Bay wetland ($\mu\text{g/L}$)

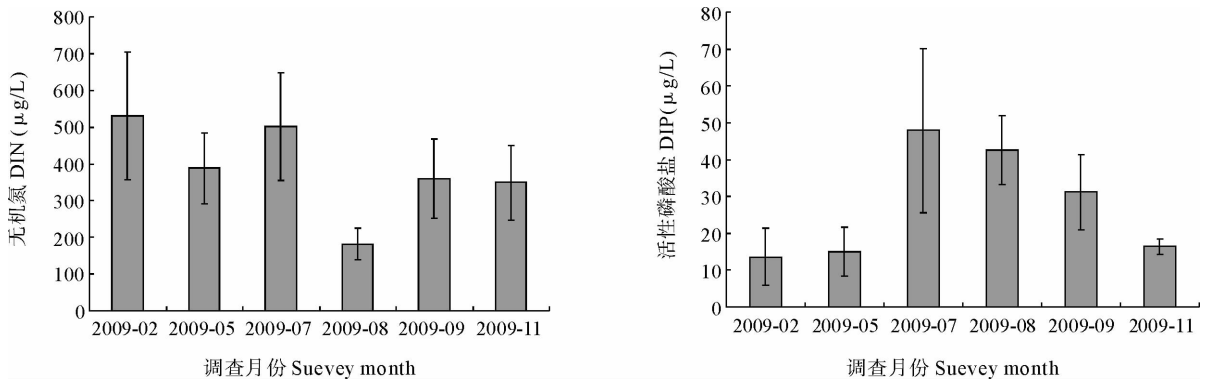


图 4 胶州湾湿地海水中无机氮和活性磷酸盐含量月际变化

Fig. 4 Seasonal variation of DIN and DIP in the seawater of Jiaozhou Bay wetland

2.2 胶州湾湿地海水环境质量评价

2.2.1 无机氮、活性磷酸盐和化学需氧量含量水平

评价结果表明,各月份调查海域无机氮站位超标率为 21.43%~100%,其中 2009 年 5、7、11 月超标率最高(均为 100%),2、9 月次之(均为 97.62%),8 月超标率最低(21.43%),所有调查月份无机氮超标倍数为 0.003~5.229 倍(表 3)。

各月份调查海域活性磷酸盐站位超标率为 26.19%~100%,其中 2009 年 8 月超标率最高(100%),9 月次之(97.62%),2 月超标率最低(26.19%),所有调查月份活性磷酸盐超标倍数为 0.001~5.855 倍(表 3)。

表3 无机氮、活性磷酸盐和化学需氧量超标情况

Table 3 Samples above the standard limit for DIN, DIP and COD

污染指标 Pollution index	月份 Year-Month	站位超标率(%) Above limit rate (%)	超标倍数范围 Number of fold above the limit value	污染指标 Pollution index	月份 Year-Month	站位超标率(%) Above limit rate (%)	超标倍数范围 Number of fold above the limit value
DIN	2009-02	97.62	0.432~4.062	COD	2009-08	100.00	0.127~3.501
	2009-05	100.00	0.130~3.638		2009-09	97.62	0.115~3.604
	2009-07	100.00	0.183~4.006		2009-11	69.05	0.001~1.102
	2009-08	21.43	0.003~1.302		2009-02	4.76	0.285~1.006
	2009-09	97.62	0.054~4.486		2009-05	28.57	0.057~1.105
	2009-11	100.00	0.011~5.229		2009-07	4.76	0.315~0.813
DIP	2009-02	26.19	0.048~5.855	2009-08	7.14	0.027~0.229	
	2009-05	35.71	0.037~2.109	2009-09	0.00	/	
	2009-07	95.24	0.142~7.702	2009-11	0.00	/	

各月份调查海域化学需氧量站位超标率在0~28.57%，其中2009年5月超标率最高(28.57%)，8月次之(7.14%)，9、11月超标率均为0，所有调查月份化学需氧量超标倍数为0.057~1.105倍(表3)。

由此可见，调查海域无机氮和活性磷酸盐超标较为严重，化学需氧量轻度超标。

2.2.2 营养盐结构

N/P比值(原子比)是衡量营养盐结构的主要指标，Redfield(1958)研究发现，一般大洋深层的N/P为16左右，与浮游植物元素组分的N/P大致相同。浮游植物的生长繁殖对无机氮和磷酸盐的摄取基本以这恒定的比例进行，因此把N/P比值16称为Redfield比值，作为研究生态环境中缺乏氮或磷的依据(Smith 1984)。

根据调查数据统计，各调查月份胶州湾湿地海水中N/P比值在9.46~86.35，除2009年8月小于Redfield比值，其余5个调查月份N/P比值均大于Redfield比值，表明活性磷酸盐可能成为该水域浮游植物生长的主要限制因子之一。

2.2.3 营养化水平

根据水体营养级划分标准(表1)，对胶州湾湿地海域的总体富营养化程度进行评价。结果表明，该海域总体潜在性营养化程度为V_P级，属磷中等限制潜在性富营养。不同月份胶州湾湿地海域富营养化程度存在一定差异，2009年2月水体营养化程度为VI_P级，属磷限制潜在性富营养；2009年5、11月营养化程度为V_P级，属磷中等限制潜在性富营养；2009年7月营养化程度为Ⅲ级，属富营养；2009年8、9月营养化程度为Ⅱ级，属中度营养(表4)。

表4 胶州湾湿地海水营养化程度评价结果

Table 4 Eutrophication assessment of the seawater in Jiaozhou Bay wetland

调查年月 Survey time	N/P	等级 Grade	营养水平 Nutrient level
2009-02	86.35	VI _P	磷限制潜在性富营养 Potential eutrophic with phosphorous limiting
2009-05	57.22	V _P	磷中等限制潜在性富营养 Potential eutrophic with medium phosphorous limiting
2009-07	23.19	Ⅲ	富营养 Eutrophic
2009-08	9.46	Ⅱ	中度营养 Medium eutrophic
2009-09	25.53	Ⅱ	中度营养 Medium eutrophic
2009-11	47.19	V _P	磷中等限制潜在性富营养 Potential eutrophic with medium phosphorous limiting
平均 Average	41.49	V _P	磷中等限制潜在性富营养 Potential eutrophic with medium phosphorous limiting

2.2.4 有机污染状况评价

根据水体有机污染评价分级标准(表2),对胶州湾湿地海水的有机污染状况进行评价。结果表明,该海域总体有机污染等级为4级,属中度污染。不同月份胶州湾湿地海水有机污染程度存在一定差异,2009年2、5月有机污染水平为3级,属轻度污染;2009年7月有机污染水平为5级,属严重污染;2009年8、9月有机污染水平为4级,属中度污染;2009年11月有机污染水平为2级,属开始受到污染(表5)。

表5 胶州湾湿地海水有机污染状况

Table 5 Condition on organic pollution in the seawater of Jiaozhou Bay wetland

调查年月 Survey time	A值范围 Range of A value	A值平均 Average of A value	污染程度分级 Pollution grade	污染状况 Pollution condition
2009-02	0.56~12.25	2.56	3	轻度污染 Slightly polluted
2009-05	1.01~8.17	2.36	3	轻度污染 Slightly polluted
2009-07	1.07~11.99	5.25	5	严重污染 Seriously polluted
2009-08	1.34~6.89	3.34	4	中度污染 Moderately polluted
2009-09	0.40~9.76	3.22	4	中度污染 Moderately polluted
2009-11	0.92~7.30	1.77	2	开始受到污染 Primarily polluted
平均 Average	/	3.08	4	中度污染 Moderately polluted

3 讨论

3.1 胶州湾湿地海水中氮、磷营养盐的来源分析

大沽河属常年性河流,是胶州湾湿地海域沿岸最主要的人海河流。从无机氮和活性磷酸盐的水平分布看,氮、磷高含量区基本位于大沽河河口及其邻近海域,据此可以判断,胶州湾湿地海水中的氮、磷营养盐主要来源于大沽河入海径流。部分调查月份在红石崖一带沿海和红岛以南海域还分别存在另一氮高含量区和磷高含量区,应与沿岸企业排放富含氮、磷的污水有关。另外,胶州湾湿地海域是青岛市重要的海水养殖区,沿岸为农作物种植区和居民聚集区,水产养殖自身污染、农业生产过量施肥因降水和灌溉而造成的面源排放和生活污水排放也会对胶州湾湿地海水中的氮、磷营养盐的含量和分布产生影响。

3.2 胶州湾湿地海水富营养化原因分析

引起海水富营养化的原因可分为两大类:自然因素和人为因素(王云龙 2000;胡耐根 2009)。由自然因素引起的富营养化情况很少,海水富营养化主要由人为因素引起。海水在正常情况下,由于受海流、潮汐和扩散等因素的影响,混合良好,海水中各化学要素的分布趋于均匀。因此,海水的富营养化往往发生在沿岸、河流入海口、海湾等受人类活动影响比较强烈而水体交换不良的海域。海洋中浮游植物所需的营养成分有很多,主要有氮、磷、硅、有机物、微量元素及各类维生素等。由于硅、有机物、微量元素和维生素在海水中的含量都相对比较大,一般不会成为浮游植物生长的限制因素。海洋中影响浮游植物生长的限制因素主要有氮、磷两元素,向近海海域大量输送氮、磷是发生富营养化的主要原因。向近海海域输送氮、磷,影响明显的是以点源方式输送的,如河流、工业和生活污水、海水养殖等,农业、旅游业等面源方式也应引起足够的重视。此外,海底沉积物中氮、磷等物质的释放、富含营养物质的深层水与表层水的混合,也可以引起浅海海域营养物质的增加。

综上所述,陆地向近海海域大量输送氮、磷是引起海水富营养化的主因。就胶州湾湿地海域而言,大沽河是向胶州湾湿地海域输送氮、磷等营养物质的主要点源。另外,沿岸工业污水、生活污水、池塘养殖废水、农业施残残留随降水径流排放入海以及海上水产养殖自身污染、海浪和海流引起沉积物再悬浮造成氮、磷等物质的释放均为胶州湾湿地海水富营养化的贡献因素。海水富营养化是胶州湾湿地生境退化的主要表现,减轻胶州

湾湿地海水富营养化程度已成为亟待解决的环境问题之一。应采取陆源污染控制、养殖清洁生产、构建大型海藻筏式生态健康养殖模式等措施,有效降低胶州湾湿地海水的富营养化水平。

参 考 文 献

- 王云龙. 2000. 近岸海域海水富营养化的成因与影响. 山东环境, 6: 33~34
- 孙丕喜, 王宗灵, 战 闰, 夏 滨, 王湘芹. 2005. 胶州湾海水中无机氮的分布与富营养化研究. 海洋科学进展, 23(4): 466~471
- 过 锋, 陈聚法, 陈碧鹃, 崔 毅. 2005. 胶州湾北部氮、磷营养盐的分布及变化特征. 海洋水产研究, 28(4): 34~38
- 张均顺, 沈志良. 1997. 胶州湾营养盐结构变化的研究. 海洋与湖沼, 28(5): 529~535
- 宋秀贤, 俞志明. 2007. 胶州湾东北部养殖海域夏季营养盐分布特征及其对浮游植物生长的影响. 海洋与湖沼, 38(5): 446~452
- 沈志良. 2002. 胶州湾营养盐结构的长期变化及其对生态环境的影响. 海洋与湖沼, 33(3): 322~331
- 胡耐根. 2009. 水体富营养化的成因及防治对策. 科技信息, 33: 726~727
- 姚 云, 沈志良. 2004. 胶州湾海水富营养化水平评价. 海洋科学, 28(6): 14~22
- 姚 云, 郑世清, 沈志良. 2007. 胶州湾营养盐及富营养化特征. 海洋通报, 26(4): 91~98
- 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 胡明辉. 1998. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. 台湾海峡, 17(1): 64~70
- 夏 斌, 张晓理, 崔 毅, 陈碧鹃, 陈聚法, 过 锋, 张 艳, 黄翠玲. 2009. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价. 渔业科学进展, 30(3): 103~111
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 561~ 600
- Smith, S. V. 1984. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limner Oceanogr.* 29(1): 1 149~1 160