

胶州湾贝类养殖区氮、磷污染现状及动态变化

过 锋 赵 俊 陈聚法* 陈碧鹃 刘传霞 张 艳

(农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 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2011年3、5、8、10月和1997~2010年5、8、10月水环境调查资料,对胶州湾贝类养殖区氮、磷污染现状及动态变化进行了分析与评价,并分析了海水富营养化的成因,可为赤潮的预测预警提供基础资料。结果表明,1)2011年胶州湾贝类养殖区氮、磷污染较为严重,除3月其含量符合标准要求外,5、8、10月均存在氮、磷污染,其中无机氮超标率为11.11%~100%,活性磷酸盐超标率为33.33%~66.67%,无机氮超标率均值高于活性磷酸盐。2)氮、磷污染程度具有明显的季节变化,以10月最重,8月次之,3月最轻。无机氮和活性磷酸盐污染指数均值分别为1.35和0.93,氮污染重于磷污染。3)氮、磷营养盐空间分布不均,贝类养殖区西部和东部海域氮、磷含量高于中部海域,空间分异程度为8月>3月>5月>10月。4)海水富营养化程度较为严重,2011年3、5、8、10月富营养化站位所占比例为44.44%~100%,营养指数均值为1.09~6.99,海水富营养化严重程度依次为8月>10月>5月>3月。5)2011年各调查月份养殖区海水中N/P比值为20.96~43.22,除5月部分测站N/P比值小于Redfield比值,其他3个月份N/P比值均大于Redfield比值,活性磷酸盐可能成为浮游植物生长的主要限制因子之一。6)氮、磷污染指数具有明显的年际变化,其中无机氮污染指数2008年最高,1997和2000年最低;活性磷酸盐污染指数1997年最高,2011年最低。7)海水富营养化成因复杂,径流携带大量氮、磷等营养物质入海和贝类养殖自身污染是造成胶州湾贝类养殖区海水富营养化的主因。近年胶州湾贝类养殖区氮、磷污染状况并无明显改善,海水富营养化依然严重,存在发生赤潮的可能性。

关键词 贝类养殖 氮、磷污染 动态变化 胶州湾

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)05-0116-07

Nitrogen and phosphorous pollution in shellfish culture areas of Jiaozhou Bay

GUO Feng ZHAO Jun CHEN Ju-fa*

CHEN Bi-juan LIU Chuan-xia ZHANG Yan

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,

Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment,

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT Based on environmental survey in March, May, August, October, 2011 and

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

* 通讯作者。E-mail: chenjf@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2012-04-17; 接受日期: 2012-05-28

作者简介: 过 锋(1963-), 女, 高级工程师, 主要从事海洋渔业生态环境研究。E-mail: guofeng@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836341

May, August, October from 1997 to 2010, the status of nitrogen and phosphorous pollution and its variations in shellfish culture areas of Jiaozhou Bay were analyzed and assessed. It was found that: (1) Nitrogen and phosphorus pollution in shellfish culture areas of Jiaozhou Bay was more serious in 2011. Concentrations of these nutrients met the national standard in March only, but were above the limit in all other months, when DIN concentrations were 11.11% to 100% and phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) concentrations were 33.33% to 66.67% higher above the limit. (2) DIN and $\text{PO}_4\text{-P}$ in survey areas showed obvious seasonal variations. The maximum and minimum values appeared in October and March, respectively. The mean pollution index (P_i) of DIN and $\text{PO}_4\text{-P}$ were 1.35 and 0.93 respectively, indicating more serious pollution by nitrogen. (3) Spatial variation was also found for DIN and $\text{PO}_4\text{-P}$ in Jiaozhou Bay, with much higher concentrations of nutrients in the western and eastern regions of shellfish culture area but lower in the central region. The ranking of monthly DIN and $\text{PO}_4\text{-P}$ eutrophication was August > March > May > October. (4) Relatively serious eutrophication was found in the survey areas, with 44.44% ~ 100% sampling stations were in eutrophication. The ranking of average monthly eutrophication index values was August > October > May > March. (5) In the four months in 2011, the N/P ratio of most seawater samples was between 20.96 and 43.22, which was above the Redfield ratio, with only few exceptions in May, indicating that $\text{PO}_4\text{-P}$ may be the main limiting factor for phytoplankton growth. (6) Pollution index of nitrogen and phosphorus showed obvious interannual variation. P_i of DIN was the highest in 2008 and the lowest in 1997 and 2000, and P_i of $\text{PO}_4\text{-P}$ was the highest in 1997 and the lowest in 2011. (7) The causes of seawater eutrophication were very complex, but two main factors were identified in the aquaculture areas of Jiaozhou Bay. One was the large amounts of nitrogen, phosphorus and other nutrient inputs from the rivers, and the other was the shellfish aquaculture self-pollution. In recent years, although the nitrogen and phosphorus pollution in shellfish culture areas of Jiaozhou Bay showed no obvious deterioration, eutrophication is still serious, which may contribute to more frequent algal blooms.

KEY WORDS Shellfish culture Nitrogen and phosphorus pollution Variation
Jiaozhou Bay

胶州湾位于山东半岛南部海域,为一典型的半封闭型海湾,其岸线长度 220 km,湾内水域面积 354 km²,滩涂面积 125 km²,平均水深 7 m 左右(吴永森等 2008)。胶州湾是我国北方重要的滩涂贝类养殖基地,主导养殖品种为菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum*。近年湾内菲律宾蛤仔养殖面积达到 10 000 hm²,年产量达 3×10⁵ t,其产业地位举足轻重。因此,选择胶州湾滩涂贝类养殖区作为研究区域具有较好的代表性。

有关胶州湾海域营养盐的分布变化与富营养化状况(过 锋等 2005;孙丕喜等 2005;姚 云等 2004、2007;沈志良 2002;张均顺等 1997;张 哲等 2009;赵 俊等 2011)已有诸多分析研究结果,但胶州湾贝类养殖区环境质量状况研究鲜见报道(宋秀贤等 2007)。本研究依据 1997~2011 年水质调查资料,对胶州湾菲律宾蛤仔养殖区氮、磷污染现状及其动态变化进行了分析评价,并分析了贝类养殖区海水富营养化的成因,可为赤潮的预测预警提供基础资料,对于减轻赤潮对海洋生态环境和养殖贝类的危害、促进我国滩涂贝类养殖业的健康稳定发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 调查区域和调查方法

胶州湾滩涂贝类养殖区水环境调查共设9个站位(图1和表1),样品采集、固定、保存、采样方法及样品测试方法均按《海洋监测规范》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会 2007)的规定进行。

调查时间分别为1997~2010年5、8、10月和2011年3、5、8、10月。

1.2 评价方法

1.2.1 氮、磷污染评价

采用单因子污染指数(P_i)法,依据《海水水质标准》(国家环境保护局 1997)中的二类标准(适用于水产养殖区),对胶州湾滩涂贝类养殖区无机氮和活性磷酸盐的污染状况进行评价,其标准限值分别为 $DIN \leq 0.30\text{mg/L}$, $DIP \leq 0.03\text{mg/L}$ 。

污染指数(P_i)计算公式: $P_i = C_i / C_s$

式中, C_i 为实测值, C_s 为标准值。

1.2.2 海水营养状况评价

采用营养指数(EI)法,对胶州湾贝类养殖区海水营养状况进行评价。其计算公式为:

$$EI = \frac{IN(\mu\text{g/L}) \times IP(\mu\text{g/L}) \times COD(\text{mg/L})}{4500}$$

式中, E 为营养指数, IN 为无机氮, IP 为无机磷, COD 为化学需氧量。

当 $E \leq 1$ 时,为贫营养;当 $E > 1$ 时,为富营养; E 值越高,富营养化程度越严重。

1.2.3 氮、磷含量空间分异程度分析

采用变异系数(CV)来表示胶州湾贝类养殖区海水氮、磷含量的空间分异程度,变异系数计算公式为:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

式中, CV 为变异系数, S 为氮、磷营养盐含量空间序列的标准偏差, \bar{X} 为氮、磷营养盐含量空间序列的平均值。

2 结果

2.1 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染现状

2.1.1 氮、磷污染特征

2011年3月胶州湾贝类养殖区各调查站位无机氮和活性磷酸盐污染指数均小于1,符合二类海水水质

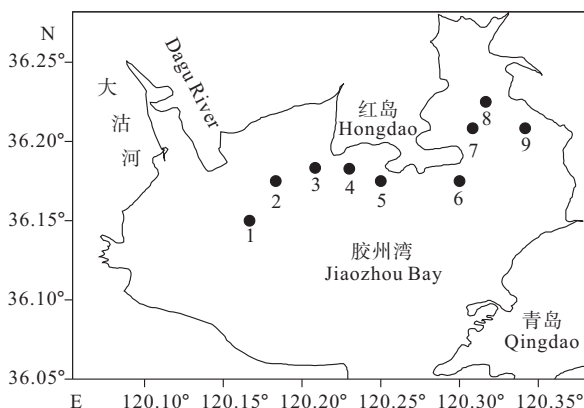


图1 胶州湾贝类养殖区水环境调查区域和站位分布
Fig. 1 The surveyed area and sampling station in shellfish culture area of Jiaozhou Bay

表1 胶州湾贝类养殖区调查站位经纬度

Table 1 The position of surveyed stations in the shellfish culture area of Jiaozhou Bay

站号 St. No.	经度 Longitude(E)	纬度 Latitude(N)
1	120°10'00"	36°09'00"
2	120°11'00"	36°10'30"
3	120°12'30"	36°11'00"
4	120°13'48"	36°10'58"
5	120°15'00"	36°10'30"
6	120°18'00"	36°10'30"
7	120°18'30"	36°12'30"
8	120°19'00"	36°13'30"
9	120°20'30"	36°12'30"

标准要求。2011年5月调查海域无机氮超标率为11.11%,活性磷酸盐超标率为33.33%。2011年8月无机氮超标率为66.67%,活性磷酸盐超标率为44.44%。2011年10月无机氮超标率为100%,活性磷酸盐超标率为66.67%。评价结果表明,除3月无机氮和活性磷酸盐含量符合标准要求外,5、8、10月胶州湾贝类养殖区均存在氮、磷污染。四季平均,无机氮超标率为44.44%,活性磷酸盐超标率为36.11%,无机氮高于活性磷酸盐(表2)。

表2 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染指数统计

Table 2 Nitrogen and phosphorus pollution index in the shellfish culture area of Jiaozhou Bay

调查年月 Survey time	无机氮 DIN		活性磷酸盐 DIP	
	污染指数范围	超标率(%)	污染指数范围	超标率(%)
	P_i range	Exceeding rate	P_i range	Exceeding rate
2011-03	0.35~0.98	0	0.20~0.85	0
2011-05	0.54~1.04	11.11	0.39~1.41	33.33
2011-08	0.92~2.68	66.67	0.19~2.04	44.44
2011-10	1.81~2.73	100	0.73~1.68	66.67
四季平均 Avg.	/	44.44	/	36.11

2.1.2 氮、磷污染的季节变化

胶州湾贝类养殖区氮、磷污染指数具有明显的季节变化(图2),调查海域无机氮和活性磷酸盐污染指数均值以秋季(10月)最高,夏季(8月)次之,春季(5月)位居第三,冬季(3月)最低,说明秋季胶州湾贝类养殖区氮、磷污染最为严重,冬季污染最轻。四季平均,无机氮污染指数为1.35,活性磷酸盐为0.93,无机氮污染程度重于活性磷酸盐。影响胶州湾贝类养殖区海水氮、磷含量季节变化的因素较多,影响机制复杂,主要与沿岸入海河流径流量的多寡和养殖活动有关。随着降水量的不断增加,冬季至夏季入海径流量不断增大,随径流入海的氮、磷等营养盐的量也不断增加,使得氮、磷污染不断加重。虽然秋季氮、磷等营养盐的入海量低于夏季,但秋季水产养殖活动减弱,滩涂贝类等养殖生物生物量大幅降低,养殖生物从海水中吸收营养盐的量也大幅下降,导致秋季胶州湾贝类养殖区氮、磷污染程度居全年最高水平。

2.1.3 氮、磷污染的空间分异特征

胶州湾贝类养殖区海水N、P营养盐污染存在明显的空间分异特征。变异系数分析表明,2011年四季无机氮空间分异程度较大,变异系数为0.18~0.39,平均值为0.29;活性磷酸盐空间分异程度大于无机氮,变异系数为0.27~0.67,平均值为0.47。分析结果表明,胶州湾贝类养殖区N、P营养盐空间分布不均,无机氮和活性磷酸盐空间分异程度均为夏季>冬季>春季>秋季。

从N、P营养盐的空间变化趋势分析,胶州湾贝类养殖区西部和东部海域测站无机氮和活性磷酸盐含量高于中部海域(图3),这说明N、P营养盐含量的空间分布特征主要与陆源入海径流有关,养殖区西部海域邻近大沽河入海口,养殖区东部海域沿岸有墨水河、洪江河、白沙河等多条河流入海,其中大沽河入海径流量最大,其次为墨水河。根据《青岛市海洋环境公报》(2008~2010年),2008年大沽河铵盐入海量为504 t,磷酸盐为19.7 t;2009年大沽河无机氮入海量为621 t,磷酸盐为11 t;2010年大沽河氨氮入海量为116 t,总磷为19 t。

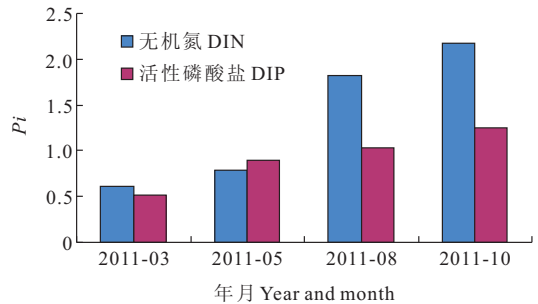


图2 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染指数的季节变化
Fig.2 Seasonal variation of nitrogen and phosphorus pollution index in shellfish culture area of Jiaozhou Bay

入海径流向养殖区输送大量营养盐,形成了N、P营养盐的这种分布格局。

2.1.4 营养状况

胶州湾贝类养殖区海水富营养化程度较为严重。营养状况分析结果(表3)表明,2011年3、5、8、10月养殖区海水富营养化站位所占比例在44.44%~100%,其中秋季全部站位海水处于富营养化水平,冬季44.44%的站位处于富营养化水平,春季和夏季富营养化站位比例介于秋、冬季之间。2011年3、5、8、10月养殖区平均营养指数在1.09~6.99,海水富营养化严重程度依次为夏季>秋季>春季>冬季。从各项指标对海水富营养化的贡献分析,以无机氮贡献最大,其次为活性磷酸盐,COD贡献最小。

2.1.5 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此恒定的比例进行,因此

把N/P比值16称为Redfield比值,作为研究浮游植物生长繁殖缺乏氮或磷营养盐的依据(Smith 1984)。

根据调查数据统计,2011年各调查月份胶州湾贝类养殖区海水中N/P比值(养殖区均值)为20.96~43.22,除5月部分测站N/P比值小于Redfield比值,其他3个月份N/P比值均大于Redfield比值(表4),表明活性磷酸盐可能成为胶州湾贝类养殖区浮游植物生长的主要限制因子之一。

2.2 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染的动态变化

胶州湾贝类养殖区氮、磷污染指数具有明显的年际变化(图4)。其中无机氮污染指数2008年最高(2.09),2005年次之(2.05),1997和2000年最低(0.72);活性磷酸盐污染指数1997年最高(2.76),2008和2009年次之(2.07),2011年最低(0.9)。

3 讨论

3.1 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染现状及年代变化

1)2011年胶州湾贝类养殖区氮、磷污染较为严重,3月其含量符合标准要求,5、8、10月无机氮超标率为

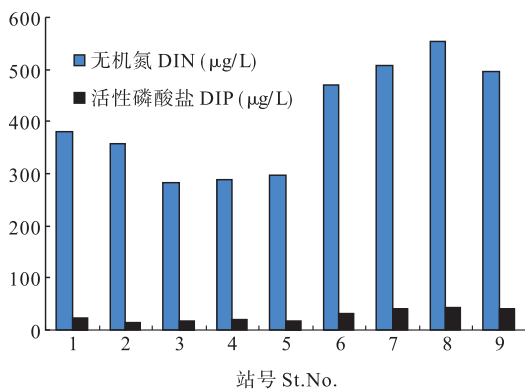


图3 胶州湾贝类养殖区无机氮和活性磷酸盐的空间分布
Fig. 3 The spatial distribution of inorganic nitrogen and phosphate in shellfish culture area of Jiaozhou Bay

表3 胶州湾贝类养殖区海水营养指数EI统计

Table 3 The eutrophication index of seawater in shellfish culture area of Jiaozhou Bay

调查年月 Survey time	营养指数范围 EI ranges	营养指数均值 Average of EI	富营养化站位比例(%) Proportion of eutrophication stations
2011-03	0.15~2.64	1.06	44.44
2011-05	0.73~4.52	2.03	55.56
2011-08	0.71~18.34	6.99	66.67
2011-10	2.53~11.36	5.38	100

表4 胶州湾贝类养殖区海水氮磷比统计

Table 4 The N/P ratio statistics of seawater in shellfish culture area of Jiaozhou Bay

调查年月 Survey time	氮磷比范围 N/P ratio range	氮磷比均值 N/P ratio average
2011-03	19.37~46.10	30.16
2011-05	15.58~30.53	20.96
2011-08	27.37~78.13	43.22
2011-10	30.56~57.67	40.08

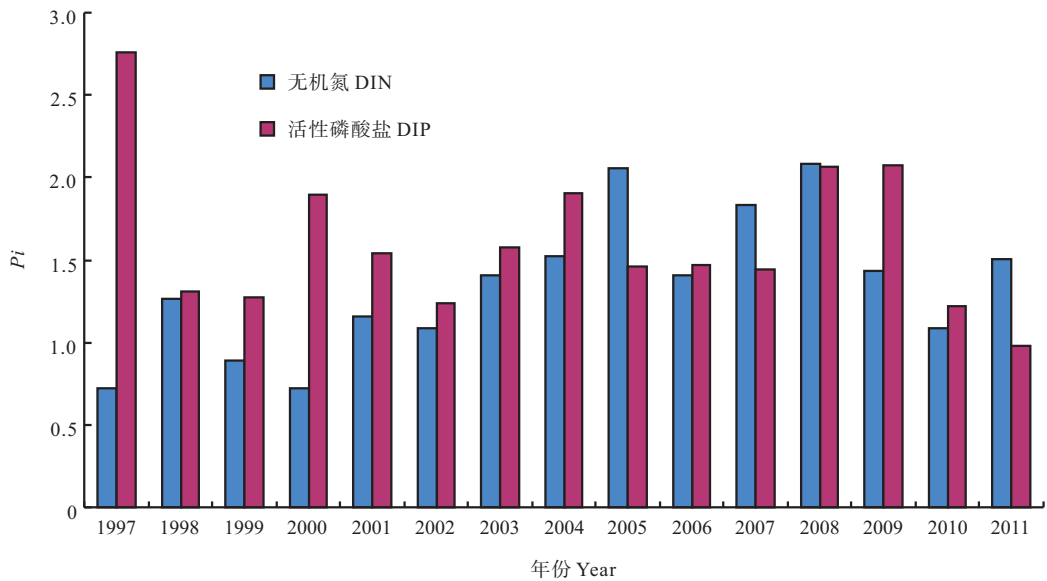


图4 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染指数的年际变化

Fig. 4 The inter-annual variation of nitrogen and phosphorus pollution index in shellfish culture area of Jiaozhou Bay

11.11%~100%,活性磷酸盐超标率为33.33%~66.67%,无机氮超标率均值高于活性磷酸盐。

2)氮、磷污染程度具有明显的季节变化,以10月最重,8月次之,3月最轻。氮、磷污染指数均值分别为1.35和0.93,氮污染重于磷污染。

3)氮、磷营养盐空间分布不均,贝类养殖区西部和东部海域氮、磷含量高于中部海域,空间分异程度为8月>3月>5月>10月。

4)海水富营养化程度较为严重,2011年各调查月份富营养化站位所占比例为44.44%~100%,营养指数均值为1.09~6.99,海水富营养化严重程度依次为8月>10月>5月>3月。

5)2011年各调查月份养殖区海水中N/P比值为20.96~43.22,除5月部分测站N/P比值小于Redfield比值,其他3个月份N/P比值均大于Redfield比值,活性磷酸盐可能成为浮游植物生长的主要限制因子之一。

6)氮、磷污染指数具有明显的年际变化,其中无机氮污染指数2008年最高,1997和2000年最低;活性磷酸盐污染指数1997年最高,2011年最低。

3.2 胶州湾贝类养殖区海水富营养化成因分析

引起海水富营养化的原因包括自然因素和人为因素,海水富营养化主要由人为因素引起且主要发生在沿岸、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,由陆地向近岸海域大量输送氮、磷是发生富营养化的主要原因(王云龙 2000)。以点源方式向近岸海域输送营养物质(如河流入海,工业、生活污水和水产养殖废水排放等)对海水富营养化的影响最为明显,农业、旅游业等面源方式排放影响小于点源方式。此外,海水养殖自身污染、海底沉积物中生源要素的释放、富含营养物质的深层水与表层水的混合等因素也可以引起浅海海域营养物质的增加。

胶州湾贝类养殖海域沿岸有大沽河、墨水河、横江河、白沙河、李村河等多条入海河流,河水源源不断地向养殖区输送氮、磷、碳等营养物质以及有机污染物,再加上养殖海域封闭性强、水交换能力弱,使海水中营养盐含量和富营养化程度得以保持较高水平。

胶州湾是我国北方重要的贝类养殖基地,养殖面积和养殖密度均处于较高水平。研究表明,滤食性贝类对海洋生态系统中的营养盐循环会产生明显影响:一方面,贝类通过滤食浮游植物和有机碎屑等吸收水体中的营养盐;另一方面,贝类又可向水体中排泄无机营养盐,如铵等,还将粪和假粪排放于底泥中,改变了底泥的数量和质量,增加了底泥中营养盐的浓度,而底泥中的沉积有机物经矿化作用和再悬浮作用,又可使沉积物

中的营养盐重新进入水体进行物质循环(秦培兵 2001;蒋红 2006;陈聚法 2007)。因此,高密度大规模菲律宾蛤仔养殖也是造成胶州湾贝类养殖区海水富营养化的关键因素。

综上所述,河流向养殖海域大量输送氮、磷等营养物质和贝类养殖自身污染是引起胶州湾贝类养殖区海水富营养化的主因。另外,沿岸工业污水、生活污水、池塘养殖废水、农业施肥残留随降水径流排放入海均为胶州湾贝类养殖区海水富营养化的贡献因素。

本研究结果表明,近年胶州湾贝类养殖区氮、磷污染状况并无明显改善,海水富营养化依然严重,存在发生赤潮的可能性。必须提高防范意识,一旦发生赤潮,应采取有效措施,尽可能地把赤潮对养殖贝类的影响降至最低。另外,应合理规划养殖规模、养殖密度,以维护胶州湾贝类养殖业的健康稳定发展。

参 考 文 献

- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 2007. 海洋监测规范-第4部分:海水分析(GB17378.4-2007). 北京:中国标准出版社
- 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
- 吴永森,辛海英,吴隆业,李文涓. 2008. 2006年胶州湾现有水域面积与岸线的卫星调查与历史演变分析. 海岸工程,27(3):15~22
- 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
- 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
- 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
- 张 哲,王江涛. 2009. 胶州湾营养盐研究概述. 海洋科学,33(11):90~94
- 陈聚法,赵 俊,孙 耀,方建光. 2007. 桑沟湾贝类养殖水域沉积物再悬浮的动力机制及其对水体中营养盐的影响. 海洋水产研究,28(3):105~111
- 国家环境保护局. 1997. 海水水质标准(GB3097-1997). 北京:中国标准出版社
- 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
- 赵 俊,过 锋,张 艳,陈聚法,马绍赛. 2011. 胶州湾营养盐结构变化的研究. 渔业科学进展,32(6):107~114
- 秦培兵,卢继武. 2001. 滤食性贝类对浅海养殖系统中营养盐循环的影响. 海洋科学,25(5):27~29
- 蒋 红,崔 毅,陈碧鹃,陈聚法,辛福言,马绍赛. 2006. 乳山湾菲律宾蛤仔可溶性氮、磷排泄及其与温度的关系. 中国水产科学,13(2):237~242
- 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):149~160