

厦门海域水体无机氮和活性磷酸盐含量的变化趋势

陈宝红^{1,2}, 林 辉², 张春华³, 暨卫东², 周秋麟², 林力斌²,
卢美鸾², 黄海宁², 陈长平¹, 高亚辉¹

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005 2 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005

3 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西 北海 536000)

摘要: 根据 2003~2008 年每年丰水期、枯水期和平水期于厦门海域开展的海洋环境调查的资料, 研究了该海域水体无机氮和活性磷酸盐含量区域分布和时间变化趋势。结果表明, 调查期间该海域水体无机氮和活性磷酸盐平均含量都较高, 分别为 $0.50 \sim 0.031 \text{ mg/dm}^3$ 。其营养盐含量的区域分布相差较大, 其中九龙江口水体无机氮含量最高, 年均含量为 $0.52 \sim 1.37 \text{ mg/dm}^3$; 厦门西港水体活性磷酸盐含量最高, 年均含量为 $0.039 \sim 0.061 \text{ mg/dm}^3$; 而大嶝海域水体无机氮和活性磷酸盐含量最低, 年均含量分别为 $0.06 \sim 0.22$, $0.007 \sim 0.016 \text{ mg/dm}^3$ 。调查期间全海域水体无机氮含量呈逐年增加趋势, 活性磷酸盐含量在 2003~2005 年间呈上升趋势, 而 2005~2008 年则有小幅度的下降。厦门海域水体 N/P 原子比较高, 调查期间全海域年均值为 27.4~47.5 且呈逐年增加趋势。无机氮含量的明显增加趋势及越来越严重的 N/P 比失衡, 势必对该海域海洋生态系统尤其是浮游植物群落演替产生不良影响。此外, 研究还发现厦门海域水体无机氮含量与盐度呈高度负相关 ($r = -0.96$, $n = 30$)。这有力地证明了九龙江径流输入是厦门海域无机氮的最主要来源。

关键词: 海洋化学; 无机氮; 活性磷酸盐; 变化趋势; 厦门海域

DOI: 10.3969/J. ISSN. 1000-8160. 2010. 03. 003

中图分类号: P734

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2010)03-0314-06

厦门位于福建省东南部, 处于九龙江下游的三角洲地带, 是著名的闽南金三角的中心, 于 1980 年被设立为经济特区。随着社会经济的迅速发展, 无机氮和活性磷酸盐污染已成为厦门海域最突出的环境问题, 引起政府部门和科研院所的极大关注^[1]。对厦门海域富营养化和部分海区营养盐含量变化的研究已有一些报道^[2-4]。如林辉等(2008)以 COD、无机氮和活性磷酸盐为参数, 分析了厦门海域富营养化程度的变化趋势^[3]; 张元标等(2008)分析了厦门西港海域 20 a 来无机氮和活性磷酸盐含量的变化趋势^[4]。但是, 有关近年来厦门全海域水体营养盐含量的分布规律和变化趋势的研究还未见文章发表。为此, 本文利用 2003~2008 年连续开展调查的资料, 全面分析了该海域水体无机氮(DN)和活性磷酸盐(PO₄-P)含量的变化趋势, 探讨其主要来源, 旨在为政府部门减轻厦门海域营养盐污染问题提供必要的科学依据。

1 监测海域与监测方法

厦门海域西接九龙江, 东邻台湾海峡, 潮汐属正规半日潮, 具有潮差大、潮流强等特点^[5], 目前海域面积约 390 km^2 ^[6], 岸线总长为 262.6 km ^[7]。受浮游植物兴衰、九龙江径流、潮汐动力、海水流系更替以及大气沉降等综合作用, 厦门海域水体营养盐含量的时空变化较大。

本文的资料来源为作者所在的实验室于 2003~2008 年连续 6 a 开展的“厦门市海洋环境质量趋势性监测”调查。该调查每年开展水体无机氮(包括硝酸盐、亚硝酸盐和氨盐)和活性磷酸盐等项目的监测工作, 设置站位 27 个(图 1), 调查海区包括厦门西港、九龙江口、同安湾、东部海域和大嶝海域, 时间为每年的丰水期

收稿日期: 2009-10-21

基金项目: 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金资助项目(海三科 2007009); 国家海洋局公益性资助项目(200805064); 国家 908 专项资助项目(908-02-01-02); 国家重点基础研究计划项目(2005CB422305); 福建省 908 专项资助项目(FJ908-04-07, FJ908-01-01-HS)

作者简介: 陈宝红(1976~), 女, 在职博士研究生; E-mail: cbaohong@163.com

通讯作者: 高亚辉, 教授; E-mail: gaoyh@xmu.edu.cn

(5月)、平水期(8月)和枯水期(11月). 测站水深 ≤ 5 m, 仅采表层(0~5 m)水样; 测站水深 > 5 m, 采表层(0~5 m)和底层(距底部 1~2 m)水样. 上世纪 80~90年代数据参考以往的调查资料^[8-10]. 营养盐采样和分析方法均按照《海洋调查规范》^[11]执行.

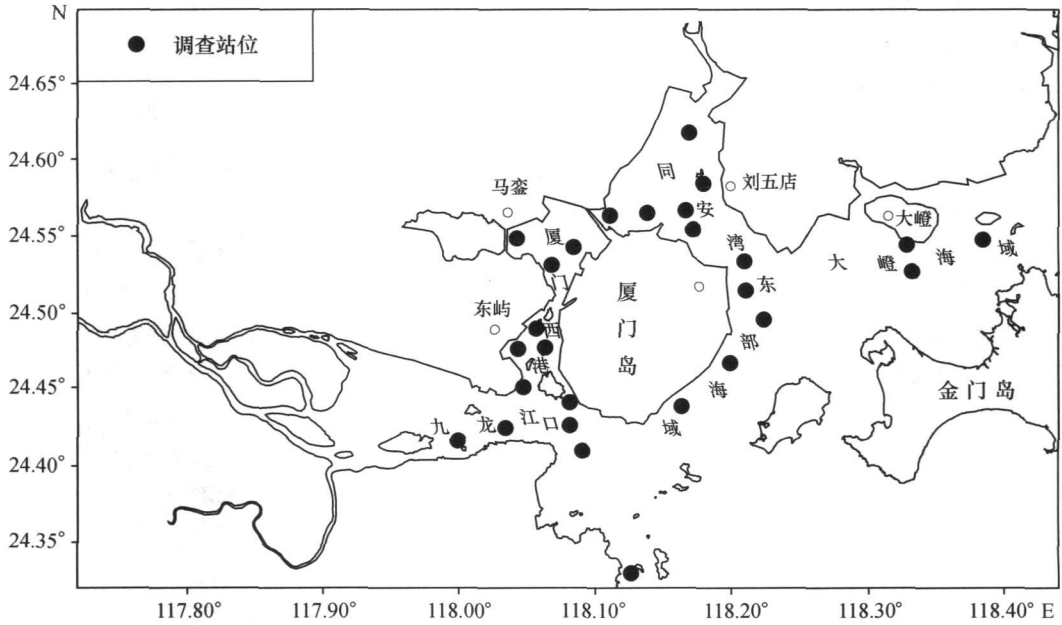


图 1 2003~2008年厦门海域营养盐监测站位

Fig. 1 Monitoring stations of nutrients in Xiamen Waters from 2003 to 2008

2 结果和讨论

2.1 厦门海域水体无机氮和活性磷酸盐含量的区域分布及变化趋势

厦门海域水体无机氮和活性磷酸盐含量在各海区的变化趋势见图 2、3

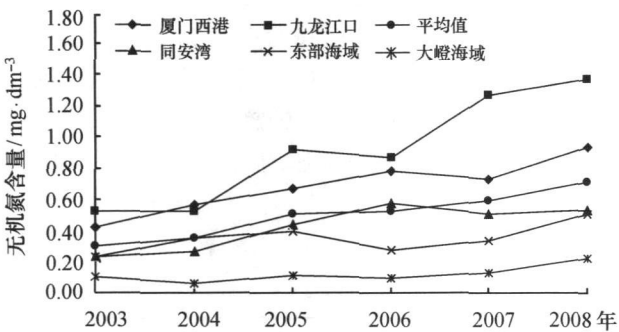


图 2 2003~2008年厦门海域水体 DIN 含量的变化趋势

Fig. 2 DIN content trend from 2003 to 2008 in Xiamen Seawaters

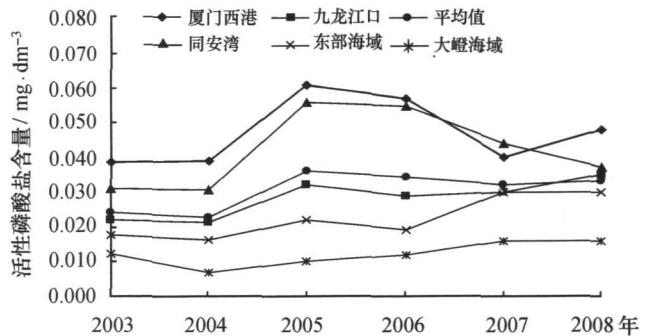


图 3 2003~2008年厦门海域水体 PO₄-P 含量的变化趋势

Fig. 3 PO₄-P content trend from 2003 to 2008 in Xiamen Seawaters

通过图 2、3 可见, 2003~2008年厦门全海域(包括厦门西港、九龙江口、同安湾、东部海域和大嶝海域)水体无机氮年均含量呈现逐年上升趋势. 其中, 2003年和 2004年厦门全海域水体无机氮年均含量符合国家第三类海水水质标准值^[12]; 2005年以来, 厦门全海域水体无机氮年均含量则超过国家第四类海水水质标准值. 厦门全海域水体活性磷酸盐年均含量在 2003~2005年间呈上升趋势, 而 2005~2008年间则略呈下降趋势. 其中, 2003年和 2004年厦门全海域水体活性磷酸盐年均含量符合国家第二至第三类海水水质标准值; 而 2005年以来, 其活性磷酸盐年均含量则符合国家第四类海水水质标准值. 其中, 2008年厦门全海域水体

无机氮年均含量为 0.71 mg/dm^3 , 活性磷酸盐年均含量为 0.033 mg/dm^3 .

通过图 2 比较厦门各海区水体无机氮含量的分布, 5 个海区的无机氮含量由高到低分别为: 九龙江口、厦门西港、同安湾、东部海域和大嶝海域. 2003~2008 年, 厦门各海区水体无机氮含量基本都呈上升趋势, 但增高程度不一. 九龙江口水体无机氮含量上升趋势特别明显. 2007~2008 年九龙江口水体无机氮含量远高于其他海区. 2008 年, 除大嶝海区水体无机氮含量符合国家第二类海水水质标准值外, 其他海区的无机氮含量均超过国家第四类海水水质标准值.

通过图 3 比较厦门各海区水体活性磷酸盐含量的分布, 5 个海区的活性磷酸盐含量由高到低分别为: 厦门西港、同安湾、九龙江口、东部海域和大嶝海域. 除大嶝海域在 2003~2008 年间的活性磷酸盐含量基本变化不大外, 其他海区的活性磷酸盐含量在 2003~2005 年间均呈上升趋势, 而 2005~2008 年间, 东部海域的活性磷酸盐含量呈上升趋势, 厦门西港和同安湾的呈下降趋势, 九龙江口的变化不大. 2008 年, 大嶝海域水体活性磷酸盐含量符合国家第二至第三类海水水质标准值, 九龙江口、同安湾、东部海域水体的活性磷酸盐含量符合国家第四类海水水质标准值, 而厦门西港水体的活性磷酸盐含量超过国家第四类海水水质标准值.

统计了 2003~2008 年厦门各海区水体无机氮和活性磷酸盐的平均含量并与历史同期调查结果^[8-10]进行了比较. 与上世纪 90 年代的相比, 近年来厦门各海区水体无机氮含量增加了 1.4~2.5 倍, 其中增加最多的海区为九龙江口, 增加最少的海区为大嶝海域. 与上世纪 80 年代或 90 年代的相比, 近年来厦门各海区水体活性磷酸盐含量增加了 1.3~4.3 倍, 增加最多的海区为厦门西港, 增加最少的海区为大嶝海域.

以上分析结果说明, 厦门海域水体无机氮和活性磷酸盐的含量很高, 其中无机氮对厦门海域造成的污染程度更大. 研究表明, 当海水总氮含量大于 $0.50 \sim 1.00 \text{ mg/dm}^3$ 时, 将会造成海域富营养化, 促进蓝藻、甲藻和硅藻的生长, 刺激赤潮及藻毒素的产生^[13]. 而 2005~2008 年厦门海域水体仅无机氮年均含量就已超过 0.50 mg/dm^3 (图 2), 无机氮污染问题应引起政府部门高度重视.

2.2 厦门海域 N/P 原子比及其变化趋势

海洋浮游植物体内 N/P 的正常值为 12~22, 平均值为 16. 水环境可利用的氮和磷在这一比值范围内被认为最适宜浮游植物生长^[14]. 从表 1 中 2003~2008 年厦门各海区水体无机氮和活性磷酸盐的 N/P 原子比可见, 2003~2008 年厦门全海域水体的 N/P 比平均值都大于 27, 其中 2008 年全海域水体的 N/P 比值达 47.5. 这说明浮游植物可利用的氮较为丰富, 而可利用的磷相对不足. 对各海区的比较可见, 调查期间九龙江口水体的 N/P 比值 (52.1~93.7) 最高, 其次为厦门西港和东部海域, 而同安湾和大嶝海域的 N/P 比值除 2008 年外都较接近 Redfield 比值. 在我国其他河口海域如长江口和珠江口等都发现了磷相对不足的情况^[15-16]. 分析厦门海域水体 N/P 原子比的时间变化趋势可见, 除东部海域外, 2003~2008 年其他海区水体 N/P 原子比基本呈增加趋势, 表明厦门海域水体整体上 N 相对过剩而 P 相对不足的趋势越来越突出. 张元标等 (2008) 报道 1987~1989 年和 1990~1999 年厦门西港海域水体的 N/P 原子比均值分别为 64 和 45^[4]. 与之相比, 本研究中厦门西港海域水体的 N/P 原子比有明显降低.

表 1 厦门海域水体 N/P 原子比的年际变化

Tab 1 Interannual variation of N/P atomic ratio in Xiamen Seawaters

年份 \ 海区	厦门西港	九龙江口	同安湾	东部海域	大嶝海域	平均值
2003	24.2	52.1	16.4	29.1	18.2	27.4
2004	32.3	53.6	18.8	47.9	18.6	34.1
2005	24.1	63.3	17.3	39.7	23.9	30.8
2006	30.2	66.0	23.1	31.9	18.1	33.3
2007	40.2	93.7	25.4	24.7	17.7	41.0
2008	43.1	86.7	32.0	37.1	30.4	47.5

2.3 九龙江径流对厦门海域无机氮和活性磷酸盐含量的影响

近岸海域水体无机氮和活性磷酸盐主要来源于包括农业化肥污染、陆源入海排污口等点源污染、大气沉

降以及海洋生物降解等^[17-18]. 就厦门海域而言, 营养盐的主要来源有九龙江径流、陆源入海排污口排污、农业和城市生活面源污染、大气沉降、海水养殖和海上运输等海源污染, 不过各来源的贡献不一. 本文主要讨论九龙江径流对厦门海域水体营养盐含量分布的影响.

陈水土等(1993)研究发现 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在九龙江口表现为保守行为, 与盐度呈良好的相关关系^[19]. 该结果仅表明在九龙江口, $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量主要受九龙江径流输入的影响. 但是否整个厦门海域水体的无机氮含量都主要受九龙江径流的影响呢? 本文统计了 2003~2008 年各年度厦门海域各海区水体无机氮平均含量与盐度的相关性(图 4), 结果表明整个厦门海域水体无机氮含量与盐度之间存在着极密切的负相关性 ($r = -0.96$, $n = 30$). 这表明九龙江径流不仅是河口区也是整个厦门海域无机氮的最主要来源, 是目前影响厦门海域水体无机氮含量分布的决定性因素.

近年来厦门海域水体无机氮含量呈不断增加趋势, 而调查也表明 2006~2008 年九龙江入海无机氮含量有明显增加^[1]. 为减轻厦门海域无机氮的污染程度, 必须加大对九龙江流域的治理.

与无机氮含量的分布不同, 厦门各海域水体活性磷酸盐含量以厦门西港的最高(图 3). 统计了 2003~2008 年各年度各海区水体活性磷酸盐平均含量与盐度之间的相关性 ($r = -0.43$, $n = 30$), 结果表明厦门海域水体活性磷酸盐含量与盐度之间有一定的负相关性, 但其相关性不大; 九龙江径流对厦门海域水体活性磷酸盐含量分布的影响程度并不突出. 其他因素包括陆源入海排污口排污、农业和城市污水的面源污染等可能对厦门海域水体活性磷酸盐含量的分布造成较大影响. 该问题还有待于进一步研究与探讨.

3 结论

(1) 厦门海域水体无机氮含量的区域分布趋势为: 九龙江口 > 厦门西港 > 同安湾 > 东部海域 > 大嶝海域, 大致呈由厦门海域的东北方向逐渐向西南方向增加的趋势; 而活性磷酸盐含量的区域分布趋势为厦门西港 > 同安湾 > 九龙江口 > 东部海域 > 大嶝海域, 大致呈由厦门西港向外逐渐降低的趋势.

(2) 厦门海域水体无机氮含量的时间变化趋势为: 与上世纪 90 年代的数据相比, 近年来厦门各海区水体无机氮含量增加了 1.4~2.5 倍, 增加最多的海区为九龙江口. 2003~2008 年厦门各海区水体无机氮年均含量都呈上升趋势, 2008 年全海域水体无机氮平均含量达 0.71 mg/dm^3 . 厦门海域水体活性磷酸盐含量的时间变化趋势为: 与上世纪 80 年代或 90 年代相比, 近年来厦门各海区水体活性磷酸盐含量增加了 1.3~4.3 倍, 增加最多的海区为厦门西港. 2003~2005 年, 除大嶝海域的变化不大外, 各海区水体活性磷酸盐含量均呈上升趋势. 2005~2008 年间, 厦门西港和同安湾水体的活性磷酸盐含量则呈下降趋势. 2008 年厦门全海域水体活性磷酸盐平均含量为 0.033 mg/dm^3 . 无机氮和活性磷酸盐都对厦门海域造成污染, 两者相比则无机氮的污染程度更为严重, 应加大对该海域无机氮的治理力度.

(3) 2003~2008 年厦门海域各海区水体 N/P 原子比的分布趋势为: 九龙江口 > 厦门西港 > 东部海域 > 同安湾 > 大嶝海域; 大致呈由九龙江口逐渐向外降低的趋势, 即距离九龙江口越远则其 N/P 原子比越低. 2008 年厦门各海区水体的 N/P 原子比均大于 30, 表明浮游植物可利用的氮相对过剩, 而可利用的磷则相对不足.

厦门海域水体 N/P 原子比的时间变化趋势为: 2003~2008 年除东部海域外各海区水体 N/P 原子比均呈增加趋势, 厦门海域整体上氮相对过剩趋势越来越突出. 因此, 我们应警惕营养盐结构失衡加重所造成的海洋生态问题.

(4) 近年来厦门各海域水体无机氮含量与盐度呈密切的负相关性 ($r = -0.96$, $n = 30$). 结合其无机氮含量和 N/P 原子比的区域分布趋势可以推断, 九龙江径流不仅是河口区也是整个厦门海域无机氮最主要的来

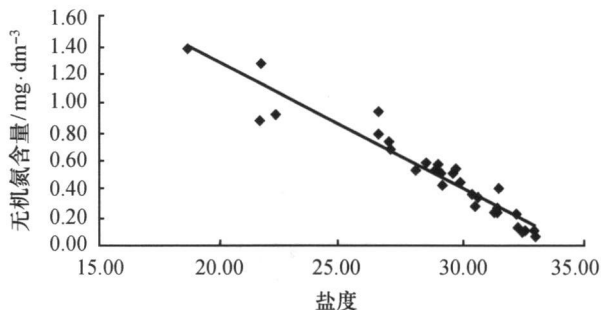


图 4 厦门海域水体 DN 含量与盐度的相关性

Fig 4 Correlation of DN and salinity in Xiamen Seawaters

源,是影响厦门海域水体无机氮含量的决定性因素.而厦门海域水体活性磷酸盐的主要来源不是九龙江径流,可能主要是沿岸人类活动产生的生活污水和工业污水的排入.

参考文献:

[1] 厦门市海洋与渔业局. 2008年厦门市海洋环境质量公报 [R]. 厦门: 厦门市海洋与渔业局, 2008

[2] 暨卫东, 黄自强, 黄尚高, 等. 厦门西海域水体富营养化与赤潮关系的研究 [J]. 海洋学报, 1996, 18(1): 51-60

[3] 林辉, 张元标. 厦门湾富营养化程度趋势变化研究 [J]. 台湾海峡, 2008, 27(3): 347-355

[4] 张元标, 林辉. 厦门西海域营养盐含量的长期变化及其预测模型研究 [J]. 台湾海峡, 2008, 27(4): 499-503

[5] 曾刚. 厦门港湾海流分布特点 [J]. 台湾海峡, 1987, 6(1): 1-5

[6] 厦门市海洋与渔业局. 厦门市有多少海域面积 [EB /OL]. [2009-01-08]. [http //www. hyj xm. gov. cn/Ocean/NewsView.aspx](http://www.hyjxm.gov.cn/Ocean/NewsView.aspx)

[7] 厦门市海洋与渔业局. 厦门市的海岸线有多长 [EB /OL]. [2009-01-08]. [http //www. hyj xm. gov. cn/Ocean/NewsView.aspx](http://www.hyjxm.gov.cn/Ocean/NewsView.aspx)

[8] 国家海洋局第三海洋研究所. 厦门港湾海洋环境综合调查报告 (I) [J]. 台湾海峡, 1987, 6(4): 321-412

[9] 厦门市海岛资源综合调查开发试验领导小组办公室, 厦门市海洋管理处. 厦门市海岛资源综合调查研究报告 [M]. 北京: 海洋出版社, 1996

[10] 东亚海域海洋污染预防与管理厦门示范区执行委员会办公室. 1994~ 1998年厦门海岸带综合管理 [M]. 北京: 海洋出版社, 1998 77-82

[11] 国家海洋局. GB/T 12763. 4-2007 海洋调查规范 第4部分: 海水化学要素调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007

[12] 国家海洋局. GB 3097-1997 海水水质标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.

[13] Julio A, Camargo Alvaro A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment [J]. Environmental International 2006, 32: 831-849.

[14] 林以安, 苏纪兰, 扈传昱, 等. 珠江口夏季水体中的氮和磷 [J]. 海洋学报, 2004, 26(5): 63-73

[15] Zhou M J, Shen Z L, Yu R C. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River [J]. Continental Shelf Research, 2008, 28: 1483-1489.

[16] Yin K D, Paul J H. Nitrogen over enrichment in subtropical Pearl River estuarine coastal waters: possible causes and consequences [J]. Continental Shelf Research, 2008, 28: 1435-1442.

[17] 皮尤海洋委员会. 规划美国海洋事业的航程 (上册) [M]. 周秋麟, 牛文生, 杨圣云, 等译. 北京: 海洋出版社, 2005 209-222

[18] 潘建明, 扈传昱, 陈建芳, 等. 南海海域海水中各形态磷的化学分布特征 [J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 40-47.

[19] 陈水土, 郑瑞芝, 张钊, 等. 九龙江口、厦门西海域无机氮的分布和转化 [J]. 海洋湖沼通报, 1993(4): 28-35

Changing trends of DIN and PO₄-P content in Xiamen Seawaters

CHEN Bao-hong^{1, 2}, LIN Hui², ZHANG Chun-hua³, JIWEI-dong², ZHOU Qiu-lin², LIN Libin², LU Meiruan²,
HUANG Hairong², CHEN Chang-ping¹, GAO Ya-hui¹

(1. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China; 3. Beihai Marine Environmental Monitoring Central Station, SOA, Beihai 536000, China)

Abstract Evaluation of the regional distribution and time trend of inorganic nitrogen (DIN) and active phosphates (PO₄-P) in Xiamen Seawaters based on surveys conducted annually during the wet period (May), dry period (November) and level period (August) from 2003 to 2008 revealed a high average level of DIN and PO₄-P of 0.50 mg/dm³ and 0.031 mg/dm³, respectively. Obvious regional differences in the nutrient contents were also noticed with the highest DIN level being observed in the Jiujiang River Estuary (0.52~1.37 mg/dm³ yearly). The level of PO₄-P in West Xiamen Harbour Waters was found to be the highest (0.039~0.061 mg/dm³), while the

levels of both DIN and $\text{PO}_4\text{-P}$ in Dadeng Seawaters were the lowest ($0.06\sim 0.22\text{mg}/\text{dm}^3$ and $0.007\sim 0.016\text{mg}/\text{dm}^3$, respectively). The average DIN content in Xiamen Seawaters was found to increase annually during the survey, and the average $\text{PO}_4\text{-P}$ content increased from 2003 to 2005 and decreased slightly from 2005 to 2008. A higher N/P atomic ratio of $27.4\sim 47.5$ was observed in Xiamen Seawaters during the survey and this level increased annually. Increased DIN and N/P imbalance will cause a negative effect on marine ecosystems especially on the succession of the phytoplankton community. This study also revealed a close negative correlation between the DIN level and salinity ($r = -0.96, n = 30$), and clearly demonstrated that the Jinbngjiang River input is the most important source of DIN in Xiamen Seawaters.

Key words marine chemistry; DIN; $\text{PO}_4\text{-P}$; changing trend; Xiamen Seawaters

DOI 10.3969/J. ISSN. 1000-8160. 2010. 03. 003

(责任编辑:郭水伙)