

海陵湾水环境要素特征

丘耀文^{1,2}, 朱良生², 徐梅春², 陈秀华²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院南海海洋研究所 热带海洋环境动力学重点实验室, 广东 广州 510301)

摘要: 在分析 2001 年冬季和 2002 年夏季海陵湾附近海域涨、落潮表底层水体中水温、盐度、pH、溶解氧、化学耗氧量、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐和叶绿素 a 的时空分布特征的基础上, 应用营养状态质量指数 (I_{NQ}) 的方法评价该海域的水体富营养化状况, 用多元线性回归的方法分析叶绿素 a 与水环境要素的相互关系。结果表明, 该海域水体污染尚轻, 各环境因子在涨、落潮时无明显变化, 水体的初级生产力从过去由 N 控制转变为现在由 P 控制, 水体营养状况介于贫营养至中营养水平, 叶绿素 a 与水环境要素相关性良好 (相关系数 $r > 0.81$)。

关键词: 环境因子; 富营养化评价; 多元线性回归; 海陵湾

中图分类号: P76; X824

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2006)04-0020-05

海域的初级生产力与浮游植物的密度和叶绿素的含量密切相关, 水体的环境要素特别是营养状况直接影响叶绿素的水平, 分析这些水环境因子的时空分布特征及它们之间的相互关系, 可为区域生态环境的治理和更好地持续发展提供理论基础。

海陵湾是粤西阳江市海水养殖、滨海旅游的重要港湾, 兼具热带至亚热带气候特征, 有强的季风性和较明显的海洋性。海域潮汐属不正规的半日潮, 多年平均潮差为 1.40~1.60 m (珠江基面)^[1]。1964 年建成的连接大陆与海陵岛的海陵大堤, 阻断了海陵湾海水天然环流路径, 减弱了污染物的自然稀释能力, 导致大堤东侧严重淤积。近年来, 经济的发展和人口城市化, 海陵湾的海洋生态环境发生了较大的变化。据调查, 从 1996 年起海陵湾内养殖的牡蛎, 死亡率达到 30%~50%, 每年损失量达 10×10^4 t。而该海区历史调查仅限于海陵湾外海^[1,2], 因此, 开展海陵湾附近海域生态环境的综合调查研究, 兼作开通海陵大堤的零点生态调查, 均具现实和理论意义。

1 采样与分析方法

2001 年 12 月和 2002 年 6 月在海陵湾附近海域 (21.50°~21.80°N, 111.70°~112.10°E) 采集水样 (涨、落潮) 和表层沉积物样品, 同时进行水文项目观测, 采样站位如图 1 示。现场分析表、底层水体中温度、盐度、pH、溶解氧、化学耗氧量 (COD)、溶解无机氮、活性磷酸盐、油类和叶绿素 a 的含量, 采样和分析方法参照《海洋调查规范》。

2 结果与讨论

2.1 水环境要素的时空分布

海陵湾附近海域的污染物质主要由漠阳江和丰头河的陆源冲淡水, 以及外海水所控制。

珠江水系输送入海的大量污染物质, 部分随着西南沿岸密度环流的作用沿着岸边向西推移, 可影响到粤西海区^[3]。海陵湾各环境要素的含量范围与平均值见表 1。水温、盐度、pH、溶解氧、化学耗氧量、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、叶绿素 a 和油类在涨、落潮基本不变, 是径流小与陆源污染较轻的结果。水温在整个调查海区比较均匀, 而盐度受冲淡水的影响在丰头河水域相对较低; 表、底层水温和盐度在冬季变化很小, 而在夏季变化较大, 显示海陵湾水域在冬季水体基本不分层, 而在夏季则存在部分分层现象。与盐度类似, pH 值亦受河流冲淡水的影响, 在丰头河水域相对较低, 其余海区变化较小, 冬、夏季变化不大。溶解氧在调查海区基本上达到饱和状态,

收稿日期: 2003-09-25; 修回日期: 2004-05-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40573061); 国家重点基础研究发展规划项目 (2001CB409706)

作者简介: 丘耀文 (1965), 男, 广东平远人, 博士, 副研究员, 主要从事海洋生态环境研究, E-mail: yqiu@scsio.ac.cn

且冬季高于夏季。化学耗氧量则相反,夏季高于冬季,且丰头河水域含量较高。夏季是浮游植物生长旺盛时期,又正值雨季,陆源有机污染物随雨水冲刷进入水体,导致有机物质含量升高,化学耗氧量自然也

高。表层水油类具有夏季高于冬季的特点,且北津港外水域含量相对较高,明显是雨水冲刷和陆源污染的结果,但其质量浓度均低于国家一类海水水质油类标准(0.050 mg/dm³)。

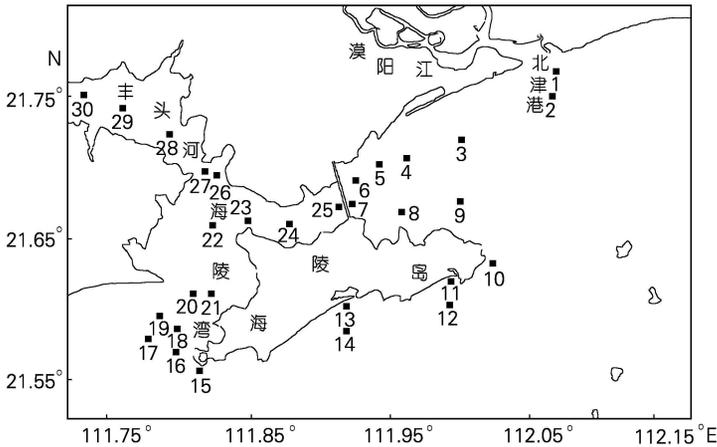


图 1 海陵湾采样站位

Fig. 1 Sampling position at Hailing Bay

海陵湾附近海域溶解无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐)与活性磷酸盐的浓度较低,达到国家一类海水水质标准。活性磷酸盐与铵盐的浓度与国内其它海区相比(表 2)较低,硝酸盐的浓度则变化较大,海陵湾附近海域硝酸盐的浓度较阳江海域、大亚湾、胶州湾和南沙群岛海区高,而低于福建沿海和东海近海硝酸盐的浓度。

丰头河与北津港外水域营养盐浓度较高,叶绿素 a 的质量浓度也相应较高。叶绿素 a 质量浓度超过国家二类海水水质标准。海陵湾附近海域叶绿素 a 质量浓度(平均为 4.43 mg/dm³)均高于大亚湾^[4]、福建沿岸^[6]、长江口^[9]和渤海^[10]叶绿素 a 的质量浓度(分别为 2.48, 1.56, 2.73, 2.88 mg/m³)。1991 年海陵湾外海即阳江海域的生态调查表明,秋季浮游植物的生物量普遍较低,平均为 5.7 × 10⁶ 个/m³;春季浮游植物的生物量较秋季高,平均为 5.7 × 10⁶ 个/m³;浮游植物个体总生物量春秋两季浮游硅藻均占 95% 以上,为该海区浮游植物的优势种^[11]。

近年来,经济的快速发展,生活污水和肥料使用量增加,导致营养盐浓度升高,且 N 盐增长比 P 盐增长相对快。海陵湾附近水域溶解无机氮浓度明显高

于阳江海区外海水域,而活性磷酸盐的浓度则反之^[11]。冬季涨、落潮 $n(N)/n(P)$ 分别为 25.4, 23.8, 水体的初级生产力从过去由 N 控制^[1]转化为现在由 P 控制,这一结果与大亚湾海域类似^[4]。

2.2 水质富营养化评价

水体的营养状况是初级生产力的重要影响因子,同时也是赤潮发生的必要条件。作者采用营养状态质量指数(I_{NQ})的方法对该海域的水体富营养化状况进行了评价^[11]。

$$I_{NQ} = \frac{c(\text{COD})}{c_s(\text{COD})} + \frac{c(\text{TN})}{c_s(\text{TN})} + \frac{c(\text{PO}_4\text{-P})}{c_s(\text{PO}_4\text{-P})} + \frac{c(\text{Chl } a)}{c_s(\text{Chl } a)}$$

式中,分子为实测浓度值,分母为相应的评价标准值;COD 为化学耗氧量, TN 为总溶解无机氮, PO₄-P 为活性磷酸盐, Chl a 为叶绿素; $I_{NQ} > 3$ 为富营养水平, $I_{NQ} = 2 \sim 3$ 为中营养水平, $I_{NQ} < 2$ 为贫营养水平。结果表明:整个调查海域水体的营养状况介于贫营养至中营养水平之间,涨潮 I_{NQ} 值(2.15)略高于落潮 I_{NQ} 值(1.98)。其中,漠阳江口以西至海陵大堤($I_{NQ} = 2.50$)、海陵岛外侧沿海($I_{NQ} = 2.21$)和丰头河水域($I_{NQ} = 2.25$)水质为中营养水平,海陵湾内($I_{NQ} = 1.62$)水质为贫营养水平,说明海陵湾附近海域污染较轻。

表 1 海陵湾水环境要素

Tab. 1 Concentration of key environmental factors in the water of Hailing Bay

项 目	层 次	时间(年月)							
		2001-12(涨潮)		2001-12(落潮)		2002-06(涨潮)		2002-06(落潮)	
		范 围	平均						
T(℃)	表	20.29~ 23.08	21.82	18.24~ 22.98	21.31	29.86~ 31.97	30.90	30.07~ 32.25	30.89
	底	21.00~ 23.08	22.00	18.62~ 23.02	21.45	29.30~ 31.91	30.23	29.27~ 32.25	30.47
S	表	19.12~ 29.91	27.28	19.71~ 30.38	27.75	6.27~ 31.85	23.91	4.08~ 29.18	22.24
	底	19.44~ 30.96	27.57	19.44~ 30.57	28.10	8.62~ 31.47	26.81	4.08~ 32.14	25.24
pH	表	7.71~ 8.42	8.17	7.93~ 8.40	8.21	7.62~ 8.37	8.15	8.02~ 8.50	8.26
	底	7.78~ 8.44	8.19	7.82~ 8.40	8.21	7.68~ 8.40	8.16	7.99~ 8.34	8.23
DO(mg/dm ³)	表	6.72~ 8.80	7.23	6.15~ 7.37	6.94	5.61~ 7.05	6.34	5.51~ 7.18	6.33
	底	6.38~ 7.39	6.96	6.15~ 7.47	6.91	4.57~ 7.62	6.05	5.00~ 9.26	6.18
COD(mg/dm ³)	表	0.554~ 1.663	0.815	0.475~ 1.386	0.826	1.04~ 2.76	1.698	0.920~ 2.696	1.637
	底	0.514~ 1.663	0.791	0.475~ 1.504	0.866	0.92~ 2.82	1.492	0.880~ 2.704	1.398
ΣOil(mg/dm ³)	表	0.007~ 0.027	0.013	0.005~ 0.022	0.012	0.022~ 0.091	0.036	0.021~ 0.039	0.029
NO ₃ ⁻ -N(μmol/dm ³)	表	0.78~ 12.62	4.30	1.13~ 13.54	5.50				
	底	0.68~ 13.32	4.24	0.93~ 11.57	4.82				
NO ₂ ⁻ -N(μmol/dm ³)	表	0.18~ 0.69	0.40	0.14~ 0.90	0.43				
	底	0.18~ 0.73	0.34	0.16~ 0.94	0.46				
NH ₄ ⁺ -N(μmol/dm ³)	表	0.81~ 5.10	2.23	0.22~ 5.65	2.29				
	底	0.64~ 5.27	2.24	0.63~ 4.33	1.93				
PO ₄ ³⁻ -P(μmol/dm ³)	表	0.045~ 0.405	0.148	0.001~ 0.450	0.148				
	底	0.001~ 0.405	0.097	0.001~ 0.765	0.145				
Chl a(mg/dm ³)	表	2.60~ 9.07	4.8	1.90~ 6.51	4.00				
	底	2.80~ 9.14	4.67	2.29~ 7.08	4.19				

表 2 不同海区水体中的营养盐浓度比较 (μmol/dm³)

Tab. 2 Nutrient concentrations in the waterbody of different sea areas (μmol/dm³)

项 目	阳江海域 ^[1]	大亚湾 ^[4]	胶州湾 ^[5]	福建沿海 ^[6]	东海近海 ^[7]	南沙群岛 ^[8]	本研究
PO ₄ ³⁻ P	0.38	0.18	0.2~ 0.5	0.28	0.52	0.24	0.14
NO ₃ ⁻ -N	1.43	2.18	1.2~ 9.0	10.45	16.12	1.76	4.72
NO ₂ ⁻ -N	0.23	0.17	ND	ND	1.23	0.07	0.41
NH ₄ ⁺ -N	ND	1.98	ND	ND	1.88	4.59	1.67

注: ND 表示未检测

2.3 叶绿素 a 与水环境要素的相互关系

基于 2001 年冬季涨、落潮海陵湾附近海域现场调查数据,选取代表性因子: 温度、盐度、pH、溶解氧、

化学耗氧量、溶解无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐)、磷酸盐与叶绿素 a 进行分析。为了使数据有可比性,先对数据作标准化处理,再用 SPSS 数据处理软件进

行多元线性回归分析,得到叶绿素 a 与水环境因子的灰色模型^[12-13]。

设有数据系列: $\{X_j(i) | i = 0, 1, 2, \dots, m (j = 1, 2, \dots, n)\}$,

则分析数据系列为: $\{Y_i(i) | i = 1, 2, \dots, m\} =$

$$mX_j(i) / \sum_{i=1}^m X_j(i)$$

$$A = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_{r+1}]^T$$

$$X = [1, X_1, X_2, \dots, X_{r+1}]$$

$$Y = X \times A$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{r+1}x_{r+1}$$

式中 $x_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ 分别代表温度 (T)、盐度 (S)、pH 值和溶解氧 (DO)、COD、DIN、 PO_4^{3-} -P 的浓度, a_i 为相应的系数, a_0 为常数项; y 为叶绿素 a 的含量。

结果表明, 叶绿素 a 与水环境因子 $T, S, pH, DO, COD, DIN (NO_3^-N, NO_2^-N, NH_4^+N), PO_4^{3-}P$ 之间的相关性较好 (图 2)。尽管模型系数变化较大, 但相关系数达到 0.81, 仍表明研究海域叶绿素的质量浓度与水环境因子具有内在的关联, 并可由水环境因子来表达。

$$c(\text{Chl } a) = 14.754 - 3.925T - 3.218S - 2.380pH - 3.563c(\text{DO}) - 0.545c(\text{COD}) - 0.055c(\text{DIN}) - 0.063c(\text{PO}_4\text{-P})$$

($r = 0.82$, 涨潮)

$$c(\text{Chl } a) = 7.710 - 1.771T + 0.185S - 6.403pH + 0.757c(\text{DO}) + 0.518c(\text{COD}) + 0.174c(\text{DIN}) - 0.170c(\text{PO}_4\text{-P})$$

($r = 0.81$, 落潮)

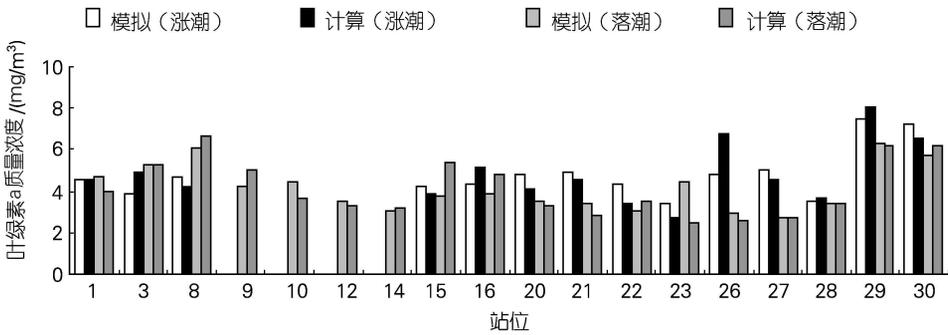


图 2 2001 年冬季涨落潮海陵湾叶绿素 a 实测值与计算值

Fig. 2 Comparison of chlorophyll a contents *in situ* measurement and simulation in flood tide and ebb tide in winter of 2001 at Hailing Bay

3 小结

海陵湾附近海域涨落潮表底层水体水温、盐度、pH、溶解氧、化学耗氧量、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、叶绿素 a 和油类的含量变化很小, 水体污染轻。

水环境要素主要由漠阳江和丰头河的陆源冲淡水及外海水所控制, 水域的初级生产力从过去由 N 控制转化为现在由 P 控制。

水体富营养化评价结果表明: 冬季整个调查海域水体介于贫营养至中营养水平之间, 其中, 漠阳江口以西至海陵大堤、海陵岛外侧沿海和丰头河水域水质为中营养水平, 海陵湾内水质为贫营养水平。

多元线性回归分析显示叶绿素 a 与环境要素相关性较好。

参考文献:

[1] 广东省海岛资源综合调查大队. 阳江海区海岛资源综

合调查报告[M]. 广州: 广东科技出版社, 1994. 63-90.

[2] 广东省海岸带和海涂资源综合调查组. 广东省海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1987. 267-333.

[3] 柯东胜. 广东近海水域重金属含量及其分布规律的研究[J]. 环境科学学报, 1991, 11(1): 9-16.

[4] 丘耀文. 大亚湾营养盐质变特征[J]. 海洋学报, 2001, 23(1): 85-93.

[5] 任玲, 张曼平, 孙军, 等. 胶州湾内外水体部分化学、生物因子的调查分析[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(4): 557-564.

[6] 陈其焕, 陈兴群, 张明. 福建沿岸叶绿素 a 及初级生产力的分布特征[J]. 海洋学报, 1996, 18(60): 99-105.

[7] 韩秀荣, 王修林, 孙霞等. 东海近海海域营养盐分布特征及其与赤潮发生关系的初步研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1097-1101.

[8] 林洪瑛, 韩舞鹰. 南沙群岛海域营养盐分布的研究[J]. 海洋科学, 2001, 25(10): 12-14.

[9] 沈新强, 蒋玫, 袁骥. 长江河口区叶绿素 a 分布的研究

- [J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 1-5.
- [10] 王俊, 李洪志. 渤海沿岸叶绿素和初级生产力研究[J]. 海洋水产研究, 2002, 23(1): 23-28.
- [11] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-54.
- [12] 黄伟建, 黄贯虹, 江天久, 等. 大鹏湾叶绿素与生态因子的灰关联分析[J]. 海洋学报, 2000, 22(1): 136-140.
- [13] 丘耀文, 朱良生, 李锦蓉, 等. 赤潮过程浮游植物与营养物质时间变化率研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1127-1130.

The characteristics of key environmental factors in the water of Hailing Bay, Guangdong Province

QIU Yao-wen^{1,2}, ZHU Liang-sheng², XU Mei-chun², CHEN Xi-rhua²

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Received: Sep., 25, 2003

Key words: environmental factors; eutrophication; multivariate linear regression; Hailing Bay

Abstract: On the basis of analyzing the contents and their spatial and temporal distribution characteristics of temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demanded, nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, chlorophyll a and total oils in the surface and bottom sea water of Hailing Bay during flood tide and ebb tide in the winter of 2001 and the summer of 2002 the environment quality, nutrient quality index (I_{NQ}) is used to assess the eutrophication in the water areas of Hailing Bay, and multivariate linear regression is used to analyze the relationship between chlorophyll a and key environmental factors. Results show that water pollution of Hailing Bay is slight, the values of the environmental factors are not remarkably changed during flood tide and ebb tide, primary productivity is controlled by present phosphorus instead of by past nitrogen, water eutrophication status is between oligotrophic and mesotrophic, correlation between chlorophyll a and key environmental factors is quite good (relative coefficient R is above 0.81).

(本文编辑:张培新)