

党二莎,龙超,张楠. 大鹏湾近岸海域水质状况与富营养化水平[J]. 环境工程技术学报,2020,10(4):623-630.

DANG E S, LONG C, ZHANG N. Study on water quality and eutrophication level in the coastal area of Dapeng Bay[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2020, 10(4): 623-630.

大鹏湾近岸海域水质状况与富营养化水平

党二莎^{1,2}, 龙超^{2,3*}, 张楠¹

1. 广州南科海洋工程中心

2. 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室

3. 中国科学院大学

摘要 根据2012—2016年大鹏湾近岸海域的监测资料,采用单因子污染指数法和有机污染指数法对海域海水水质状况进行评价;采用富营养化指数和潜在性富营养化指数对海域富营养化水平进行分析,并探讨其与环境因子盐度的相关性。结果表明:2012—2016年,大鹏湾近岸海域水质状况良好,满足GB 3097—1997《海水水质标准》中第二类海水水质标准,水质年际变化呈波动状态,无明显规律,空间分布上仅沙头角湾受到明显污染;富营养化水平基本表现为低营养,年际变化呈上升趋势,空间分布上仅沙头角湾和南澳湾分别呈现富营养和高富营养状态;潜在性富营养化主要集中在I级(贫营养);大鹏湾近岸海域富营养化指数与盐度呈负相关,表明海域受河口冲淡水和陆源带来的低盐、高浓度的污染物影响较大。

关键词 近岸海域;富营养化;盐度;评价;大鹏湾

中图分类号:X55 文章编号:1674-991X(2020)04-0623-08 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20190044

Study on water quality and eutrophication level in the coastal area of Dapeng Bay

DANG Ersha^{1,2}, LONG Chao^{2,3*}, ZHANG Nan¹

1. Nanke Marine Engineering Center of Guangzhou

2. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology,
South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

3. University of Chinese Academy of Sciences

Abstract Based on the monitoring data in the coastal area of Dapeng Bay in 2012-2016, the water quality of survey region was evaluated by using methods of single factor index and the organic pollution index. Furthermore, the eutrophication index and potential eutrophication index were applied to assess the eutrophication level, and the correlations between eutrophication level and environmental factors (salinity) also investigated. The results suggested that the water quality in the whole study area was generally good in 2012-2016, meeting Class II seawater quality standards in *Sea Water Quality Standard* (GB 3097-1997), and the interannual changes were fluctuating without obvious rules. In the spatial distribution, only the Sha Tau Kok area was significantly polluted. The results of eutrophication level basically showed low-nutrient, and the interannual changes showed an upward trend. In the spatial distribution, only the Sha Tau Kok and Nan'ao Bay showed eutrophic and high eutrophic states, respectively. The potential eutrophication was mainly concentrated in grade I (poor-nutrition). The correlation analysis showed that the eutrophication index was negatively correlated with salinity, suggesting that the surveyed sea area was greatly affected by low-salinity and high-concentration pollutants from estuarine flushing water and land-based pollution.

Key words coastal area; eutrophication; salinity; assessment; Dapeng Bay

收稿日期:2019-03-28

基金项目:广东省海洋经济发展(海洋六大产业)专项(GDNRC[2020]064);南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0404)

作者简介:党二莎(1990—),女,助理工程师,研究方向为海洋生物与生态评价,601786062@qq.com

* 责任作者:龙超(1984—),男,工程师,研究方向为海洋微藻资源与生态工程,longchao@scsio.ac.cn

富营养化是指水体随着营养物质浓度的增加而导致营养状况发生变化的过程^[1]。近年来,我国近岸海水富营养现象较为严重,沿岸各海域均有不同程度的富营养化现象,一方面导致赤潮频发,影响沿海渔业生产,另一方面引发赤潮的某些藻类能够产生毒素,毒素在贝类和鱼类体内积累会对人体健康产生影响。《2018 年中国海洋生态环境状况公报》^[2]显示,2018 年我国管辖海域呈富营养化状态的海域面积达 56 680 km²,其中轻度、中度和重度富营养化海域面积分别为 24 590、17 910 和 14 180 km²。现阶段,国内外关于海水水质和富营养化评价的研究较多,常用的方法包括单因子评价法^[3]、综合评价法^[4]、GIS 空间插值法^[5]、模糊评价法等^[6],研究成果主要集中在水质类别、水质污染程度及污染因子来源分析等方面,但针对富营养化程度和环境影响因子相关性方面的研究较少。

大鹏湾具有优越的地理位置和丰富的旅游资源,被称为“黄金海岸”,具有重要的研究价值。目前,针对大鹏湾海水富营养化已开展的研究侧重于污染因子时空分布^[7]、环境容量计算^[8]、赤潮成因分析^[9]等方面,而鲜见对富营养化成因探讨的研究。笔者以连续 5 年的实际调查数据为基础,分析和评价了大鹏湾海域水质污染状况及富营养化水平,探讨了富营养化水平与环境因子盐度之间的相关性,以期对相关管理部门制定海域水污染策略提供依据。

1 材料与方法

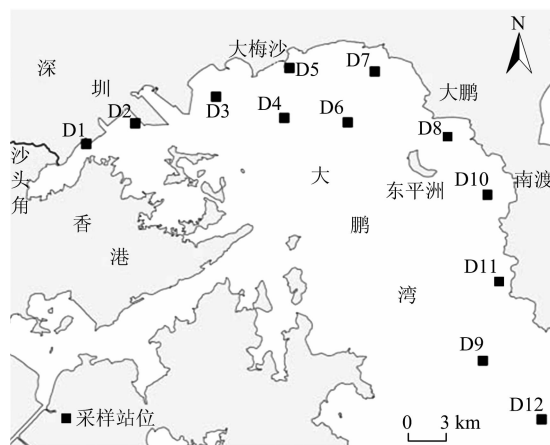
1.1 研究区概况

大鹏湾位于深圳市东南部,毗邻香港,东临大亚湾,濒临南海,水域面积近 400 km²,是一个半封闭的海湾。湾内渔业资源丰富,东部的南澳浅海养殖区是深圳重点海水增养殖区,面积达 106 km²,西北部的盐田港是四大国际中转深水港之一。大鹏湾海域旅游业发达,有梅沙滨海等多个旅游度假区。随着周边地区经济快速发展和人口的增长,大量工业、农业、第三产业和城镇生活污水通过河流和地面径流排放入海,加之海域内仍存在养殖现象,导致大鹏湾不仅接收了大量陆源污染物输入,还遭受养殖带来的内源污染释放,使海水环境质量逐渐恶化^[10]。

1.2 采样站位布设及样品采集

在大鹏湾近岸海域共布设 12 个(D1~D12) 采样站位(图 1),2012—2016 年连续 5 年分别于 3 月、5 月、8 月、11 月进行海水水质监测。采用 Niskin 采

水器现场采集水样,水深小于 10 m 时,采集表层水样;水深大于 10 m 时,采集表层、底层水样进行混合。所有样品均按照 GB/T 12763. 1—2007《海洋调查规范 第 1 部分:总则》的方法进行采集、处理、保存、运输和分析^[11]。



注: D1—沙头角湾; D2—盐田高港; D3、D5—梅沙湾;
D4、D6—大鹏湾中; D7—沙鱼涌近岸; D8—金沙湾;
D9—大鹏湾口 1; D10—南澳湾;
D11—公湾; D12—大鹏湾口 2。

图 1 大鹏湾近岸海域采样站位示意

Fig. 1 Sampling locations in Dapeng Bay coastal area

1.3 监测指标及方法

监测指标包括温度、pH、盐度、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、活性磷酸盐(DIP)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、总氮(TN)、总磷(TP)及叶绿素 a(Chl-a)。根据 GB 17378. 4—2007《海洋监测规范 第 4 部分:海水分析》^[12]进行相关指标的测定,其中温度和 DO 浓度用 WTW 便携式分析仪现场测定;COD_{Mn}用碱性高锰酸钾法测定;DIP 浓度用磷钼蓝分光光度法测定;NO₂⁻-N 浓度用萘乙二胺分光光度法测定;NO₃⁻-N 浓度用镉柱还原法测定;NH₄⁺-N 浓度用次溴酸盐氧化法测定;TN 浓度用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定;TP 浓度用流动注射-钼酸铵分光光度法测定;Chl-a 浓度用分光光度法测定。

1.4 水质评价

1.4.1 单因子污染指数法

采用单因子污染指数法对 COD_{Mn}、DO、DIN(包含 NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N)、DIP、石油类等水质指标进行评价。计算公式为:

$$Q_i = C_i/S_i \quad (1)$$

式中:Q_i 为某监测站位指标 i 的污染指数;C_i 为某

监测站位指标 i 的实测值, mg/L; S_i 为指标 i 的水质标准值, mg/L。根据《广东省海洋环境功能区划(2011—2020)》^[13], 大鹏湾海域主要为海洋功能区中的旅游休闲区和农渔业区, 故执行 GB 3097—1997《海水水质标准》中的第二类海水水质标准^[14]。单因子污染指数法分级标准见表1。

表1 单因子污染指数法分级标准
Table 1 Grades of single factor pollution index method

Q_i	级别
≤ 0.5	未污染
0.5~1.0	临界
> 1.0	明显污染

1.4.2 有机污染指数法

采用有机污染指数法对大鹏湾近岸海域水质污染情况进行评价, 其计算公式^[6]为:

$$Q = \frac{C_{\text{COD}}}{S_{\text{COD}}} + \frac{C_{\text{DIN}}}{S_{\text{DIN}}} + \frac{C_{\text{DIP}}}{S_{\text{DIP}}} - \frac{C_{\text{DO}}}{S_{\text{DO}}} \quad (2)$$

式中: Q 为有机污染指数; C_{COD} 、 C_{DIN} 、 C_{DIP} 、 C_{DO} 分别为 COD_{Mn} 与 DIN 、 DIP 、 DO 浓度的实测值; S_{COD} 、 S_{DIN} 、 S_{DIP} 、 S_{DO} 对应 GB 3097—1997 中第二类海水水质标准值, 分别为 3.0、0.3、0.03、5.0 mg/L。有机污染指数法污染水平等级划分见表2。

1.5 富营养化水平评价

1.5.1 富营养化指数法

海水富营养化指数 (E) 参照邹景忠等^[15] 提出的方法, 其计算公式为:

$$E = C_{\text{COD}} \times C_{\text{DIN}} \times C_{\text{DIP}} \times 10^6 / 4\ 500 \quad (3)$$

当 E 大于 1 时, 表明水体呈富营养化, E 越高, 富营养程度越严重, 详细等级划分见表3。

表2 海水有机污染指数分级标准^[6]

Table 2 Grades of seawater organic pollution index

级别	有机污染指数	有机污染水平
I	< 0	清洁
II	0~1	较清洁
III	1~2	临界污染
IV	2~3	轻度污染
V	3~4	中度污染
VI	≥ 4	严重污染

表3 海水富营养化水平分级标准^[15]

Table 3 Grades of eutrophication level of seawater

E	富营养化水平	级别
0~0.25	低贫营养	I
0.25~0.50	贫营养	II
0.50~0.75	中营养	III
0.75~1	中富营养	IV
1~2	富营养	V
≥ 2	高富营养	VI

1.5.2 潜在性富营养化评价

参照郭卫东等^[16] 提出的以氮、磷营养盐作为评价参数的富营养化评价模式进行潜在性富营养化评价。郭卫东等^[16] 认为, 水体只有得到适量的磷(对磷限制水体而言)或氮(对氮限制水体而言)的补充, 使氮磷比(N/P)接近 Redfield 值(C: N: P 平均约为 106: 16: 1), 这部分过剩的营养盐才会导致海水富营养化水平提高, 但实际上它们并不能被浮游植物所利用, 未对实质性的富营养化作贡献, 这种现象称为潜在性富营养化。潜在性富营养化评价法划分标准见表4。

表4 潜在性富营养化划分标准^[16]

Table 4 Grades of potential eutrophication

级别	营养级	DIN 浓度/(mg/L)	DIP 浓度/(mg/L)	N/P
I	贫营养	< 0.2	< 0.030	8~30
II	中度营养	0.2~0.3	0.030~0.045	8~30
III	富营养	> 0.3	> 0.045	8~30
IV _P	磷限制中度营养	0.2~0.3		> 30
V _P	磷限制中度潜在性富营养	> 0.3		30~60
VI _P	磷限制潜在性富营养	> 0.3		> 60
IV _N	氮限制中度营养		0.030~0.045	< 8
V _N	氮限制中度潜在性富营养		> 0.045	4~8
VI _N	氮限制潜在性富营养		> 0.045	< 4

2 结果与分析

2.1 海域水质污染程度评价

2.1.1 单因子污染指数

采用单因子污染指数法计算得到 2012—2016 年大鹏湾近岸海域各水质指标的年均单因子污染指数变化范围和平均值,并对超标站位数和超标率进行统计,结果如表 5 所示。由表 5 可知,2012—2016 年大鹏湾近岸海域水质状况整体良好,各评价因子的年均单因子污染指数均低于 1,满足 GB 3097—1997 中第二类海水水质标准。2012—2016 年各站位的 DO 浓度和 COD_{Mn} 均未超标,部分年份受到了石油类、DIN 和 DIP 污染,尤其以石油类污染最为严

重。石油类年度超标率 2012 年最高(41.7%),其次为 2013 年(16.7%),2015 年和 2016 年均有一个站位超标,超标率为 8.3%;DIP 在 2013 年和 2016 年均有一个站位超标,超标率为 8.3%,其他年份各站位均未超标;DIN 仅 2016 年有一个站位超标,超标率为 8.3%,其他年份各站位均未超标。可见,大鹏湾近岸海域主要受石油类、DIN、DIP 的污染,其中 2012 年石油类污染严重。海水中石油类主要来源于过往船只排放的油污,根据 2012—2016 年《深圳市海洋环境质量公报》^[17],2012 年深圳市盐田港的巴拿马货轮发生 2 次单氰胺泄露事件,导致海水受到石油类的污染。DIN 和 DIP 超标可能是受陆源污染和海域养殖污染的影响。

表 5 2012—2016 年大鹏湾近岸海域水质单因子污染指数

Table 5 Single factor pollution index of Dapeng Bay coastal area in 2012-2016

年份	数值类型	DO 浓度	COD_{Mn}	DIP 浓度	DIN 浓度	石油类浓度
2012	Q_i 范围	0.35~0.70	0.22~0.79	0.13~0.17	0.006~0.160	0.38~1.92
	Q_i 年平均	0.53	0.44	0.15	0.06	0.99
	超标站次	0	0	0	0	5
	超标率/%	0	0	0	0	41.7
2013	Q_i 范围	0.47~0.77	0.16~0.26	0.03~3.63	0.03~0.92	0.24~1.40
	Q_i 年平均	0.62	0.21	0.63	0.40	0.71
	超标站次	0	0	1	0	2
	超标率/%	0	0	8.3	0	16.7
2014	Q_i 范围	0.68~0.76	0.16~0.26	0.03~0.97	0.05~0.64	0.10~0.40
	Q_i 年平均	0.73	0.21	0.38	0.21	0.20
	超标站次	0	0	0	0	0
	超标率/%	0	0	0	0	0
2015	Q_i 范围	0.51~0.68	0.21~0.54	0.03~0.23	0.29~0.79	0.28~1.18
	Q_i 年平均	0.62	0.34	0.10	0.45	0.59
	超标站次	0	0	0	0	1
	超标率/%	0	0	0	0	8.3
2016	Q_i 范围	0.67~0.73	0.15~0.51	0.23~1.57	0.08~1.77	0.04~1.32
	Q_i 年平均	0.71	0.24	0.53	0.36	0.47
	超标站次	0	0	1	1	1
	超标率/%	0	0	8.3	8.3	8.3

注:超标率指超标站位数与总监测站位数的比值;超标站次指各监测站位超标次数的总和。

2.1.2 有机污染指数

大鹏湾近岸海域 10 个采样站位的有机污染指数见表 6。由表 6 结合表 2 可以看出,大鹏湾近岸海域各年份绝大多数采样站位有机污染处于清洁水平,少数采样站位部分年份处于轻度污染和中度污染。从年平均值来看,有机污染指数表现为 2013 年最高,其次是 2015 年,2016 年、2014 年和 2012 年较低,但均处于清洁水平。从区域差异来看,沙头角湾

(D1)有机污染较严重,其中 2015 年最为严重,达到中度污染;其次是 2016 年,处于轻度污染;再次是 2014 年,处于较清洁水平;2012 年和 2013 年处于清洁水平。沙头角湾污染原因主要是深圳陆源污染排放以及特殊自然条件的限制所致,该湾口属于半封闭水域,水动力条件差,水交换弱,排放物易富集^[10]。2015 年和 2016 年水质污染较严重的原因是盐田污水处理厂尾水的排放,其排放标准阈值与第

三类海水水质标准有一定的差距,污水处理厂尾水排放入海,海水对其稀释作用缓慢,导致排放口附近海水水质超标^[18]。此外,2013年大鹏湾中(D4、D6)区域的水体处于较清洁状态,这可能是由于大鹏湾海域靠近吐露港,极易受港口生产活动的影响,2013年受港口船只活动和海风影响,污染因子向湾内流动,引起区域海水受到轻微污染。

表6 2012—2016年大鹏湾近岸海域有机污染指数

Table 6 Organic pollution index of Dapeng Bay coastal area in 2012-2016

采样站位	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
沙头角湾(D1)	-1.00	-0.54	0.52	3.96	2.34
盐田商港(D2)	-0.78	-0.28	-0.42	-0.79	-0.29
梅沙湾(D3、D5)	-1.26	-0.92	-0.48	-0.88	-0.68
大鹏湾中(D4、D6)	-1.67	0.72	-0.46	-0.61	-0.74
沙鱼涌近岸(D7)	-2.05	-0.87	-0.47	-0.84	-0.72
金沙湾(D8)	-1.59	-0.82	-0.86	-0.78	-0.82
南澳湾(D10)	-1.26	-0.92	-0.80	-0.78	-0.74
公湾(D11)	-0.96	-0.83	-0.80	-0.84	-0.80
大鹏湾口1(D9)	-1.02	2.67	-1.07	-0.86	-0.82
大鹏湾口2(D12)	-0.89	-0.98	-1.11	-0.66	-0.67
年平均	-1.25	-0.28	-0.60	-0.31	-0.40

2.2 海域富营养化水平评价

2.2.1 富营养化指数

大鹏湾近岸海域富营养化指数评价结果见表7。由表7结合表3可知,2012年大鹏湾近岸海域各采样站位均处于低贫营养状态,未呈现富营养化;2013年南澳湾(D10)处于高富营养状态,其他采样站位均表现为低贫营养;2014年沙头角湾(D1)处于富营养状态,其他采样站位均表现为低贫营养;2015年和2016年的沙头角湾口(D1)处于高富营养状态,其他采样站位均表现为低贫营养。从富营养

化指数年均值来看,2012—2016年大鹏湾近岸海域富营养化呈现递增趋势。周毅频等^[19]于2000—2010年对大鹏湾海域DIN和DIP进行调查,结果表明DIN浓度年际变化趋势平稳,DIP浓度年际变化呈较明显的下降趋势,而N/P的年际变化呈较明显上升趋势,且高N/P区域分布于南澳养殖场和沙头角湾附近水域,与本研究的结果基本一致。沙头角湾(D1)富营养化程度较高的原因在于其地理位置特殊,易受淡水污染物输入的影响,DIN的输入量远大于DIP;另外,湾口浮游植物大量摄取磷酸盐,也会导致磷酸盐的浓度大大降低,使N/P偏离Redfield值。2013年南澳湾(D10)富营养化程度较高的原因可能与当年其附近养殖场饵料投放有关。

表7 2012—2016年大鹏湾近岸海域富营养化指数

Table 7 Eutrophication index of Dapeng Bay coastal area in 2012-2016

采样站位	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
沙头角湾(D1)	0.05	0.05	1.06	3.65	8.44
盐田商港(D2)	0.05	0.23	0.17	0.07	0.18
梅沙湾(D3、D5)	0.01	0.01	0.08	0.03	0.05
大鹏湾中(D4、D6)	0.01	0.06	0.13	0.08	0.05
沙鱼涌近岸(D7)	0.03	0.00	0.12	0.06	0.05
金沙湾(D8)	0.03	0.16	0.01	0.03	0.04
南澳湾(D10)	0.01	4.85	0.03	0.06	0.04
公湾(D11)	0.02	0.17	0.03	0.05	0.03
大鹏湾口1(D9)	0.02	0.05	0.003	0.07	0.03
大鹏湾口2(D12)	0.02	0.05	0.001	0.14	0.07
年平均	0.03	0.06	0.16	0.42	0.90

2.2.2 潜在性富营养化水平

大鹏湾近岸海域潜在性富营养化评价结果如表8所示。

表8 2012—2016年大鹏湾近岸海域潜在性富营养化评价结果

Table 8 Assessment results of potential eutrophication of Dapeng Bay coastal area in 2012-2016

年份	处于相应营养级的采样站位占比/%								
	I	II	III	IV _P	V _P	VI _P	IV _N	V _N	VI _N
2012	100								
2013	75.1		8.3	8.3					8.3
2014	91.7		8.3						
2015	91.7		8.3						
2016	83.4		8.3			8.3			

由表 8 可知,2012—2016 年大鹏湾近岸海域的营养级主要集中在 I 级(贫营养),各年份处于 I 级状态的采样站位比例均超过 75.1%,说明海域整体富营养化水平较低,这与富营养化指数法的评价结果相吻合。同时,2013 年处于磷限制中度营养和氮限制潜在性富营养状态的比例分别为 8.3% 和 8.3%,主要位于南澳湾和大鹏湾口等受人类活动和养殖排放影响较明显的区域;2016 年处于磷限制潜在性富营养状态的比例为 8.3%,主要位于沙头角湾(D1)等易受水动力条件影响的区域。磷限制潜在性富营养或中度富营养说明水体中氮浓度大大超过了磷浓度,N/P 不平

衡,一般来说,沿岸和较封闭水域易发生磷限制潜在性富营养,沙头角湾靠近陆域,易受陆域水体的影响,使氮、磷浓度不平衡。

2.3 富营养化指数与盐度关系

海域的富营养化状况与水体环境因子之间存在相关关系。水体环境因子影响营养盐的水平 and 赋存状态,而营养盐水平和状态的改变一定程度上会改变水体的理化性质,进而影响水体中其他物质的形态分布^[20]。为探讨富营养化水平的影响因素,对 2012—2016 年大鹏湾近岸海域水体盐度与富营养化指数进行了线性回归,结果如图 2 所示。

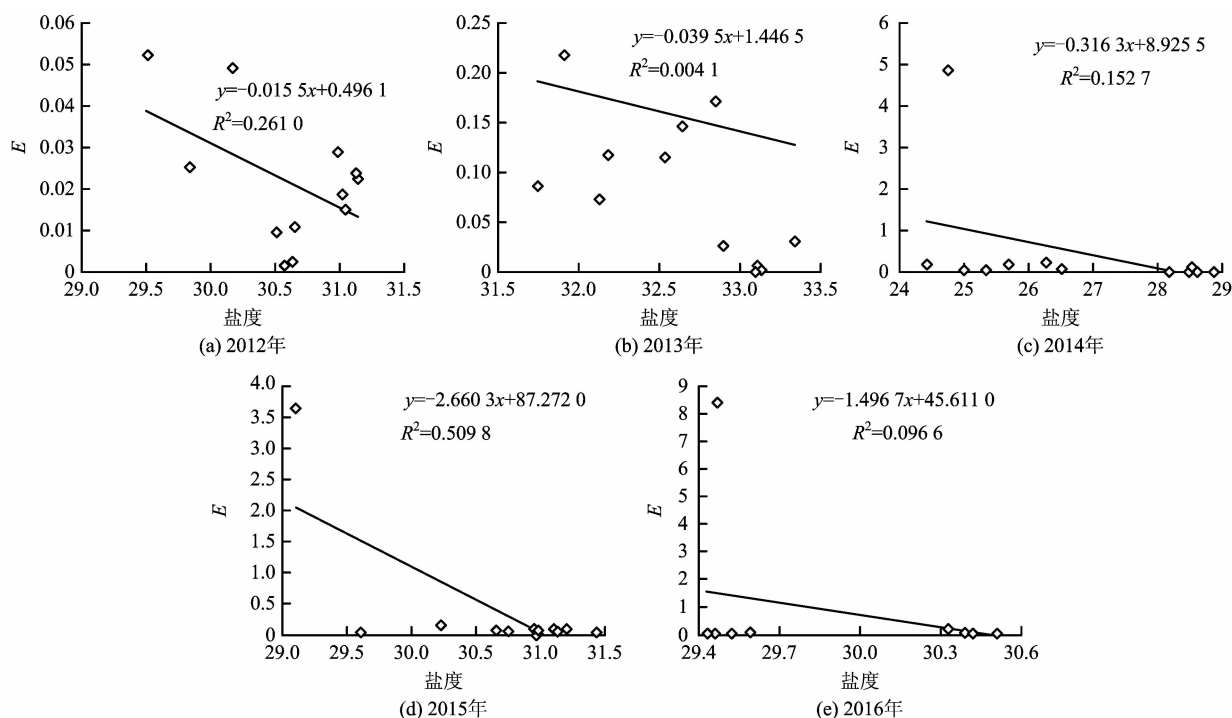


图 2 2012—2016 年大鹏湾海域富营养化指数和水体盐度的关系

Fig. 2 Relationship between eutrophication index and salinity of Dapeng Bay coastal area in 2012-2016

由图 2 可知,2012—2016 年大鹏湾近岸海域富营养化指数与盐度均呈负相关,表明该海域营养盐主要由沿岸入海河流输入,营养盐分布受入海径流量及外海海流的混合过程影响,这与相关学者提出的营养盐和盐度呈显著负相关,咸淡水的混合作用对营养盐的空间分布有显著影响的研究结果一致^[21-22]。

从年际变化来看,2012 年和 2015 年盐度与富营养化指数的负相关性较强,2013 年、2014 年、2016 年盐度与富营养化指数的负相关性较弱。该结果表明各年份引起海域富营养化的主要因子可能存在差异。夏斌等^[23]于 2007 年 8 月对莱州湾及附近水体的调查结果表明,富营养化指数与盐度的相关性不

十分显著,相关系数(R)为 0.39 ($P > 0.05, n = 16$);张亮等^[24]于 2011 年 8 月对莱州湾海域的调查结果表明,富营养化与盐度呈显著负相关,引起富营养化的主要因子是 DIP,且 DIP 并非主要来自河流输入,而是以有机物的分解矿化再生为主,该结果与本研究成果相似。根据有机污染指数和富营养化水平的研究结果可知,不同年份受污染的主要区域虽存在差异,但主要分布在沙头角湾、大鹏湾口、南澳湾区域,而这 3 个区域接受外来污染的途径不尽相同,如沙头角湾易受陆源污染输入的影响,大鹏湾口易受溢油事件的影响,南澳湾主要受养殖污染和陆源输入的影响,也即不同区域接收外来污染的途径不同,

引起富营养化的主要因子可能不同。另外,不同年份采样期间降水量的差异,也有可能引起富营养化指数和盐度间相关性存在显著差异。

3 结论

(1) 大鹏湾近岸海域水质状况良好,2012—2016年绝大多数采样站位满足 GB 3097—1997 第二类海水水质标准,仅沙头角湾受到污染。海域水质年际变化呈现波动状态,无明显规律。

(2) 大鹏湾近岸海域富营养化评价结果整体表现为低营养,2012—2016年富营养化水平呈上升趋势,空间分布上仅沙头角湾和南澳湾分别表现为富营养和高富营养状态,潜在性富营养化水平主要集中在 I 级(贫营养)。

(3) 大鹏湾近岸海域富营养化指数与盐度呈负相关,2012年和2015年盐度与富营养化指数的负相关性较强,2013年、2014年、2016年盐度与富营养化指数的负相关性较弱。不同外来污染源使引起海域富营养化的主要因子不同,由此导致不同年份富营养化指数和盐度之间相关性存在显著差异。

参考文献

- [1] MEYER-REIL L A, KÖSTER M. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 41(1/2/3/4/5/6): 255-263.
- [2] 生态环境部. 2018年中国海洋生态环境状况公报[A/OL]. (2019-05-29) [2019-06-20]. <http://hys.mee.gov.cn/dtxx/201905/P020190529532197736567.pdf>.
- [3] 党广彬, 宋瑞红. 滨州港港区水质评价及污染特性分析[J]. *山东交通科技*, 2019(3): 118-124.
- DANG G B, SONG R H. Water quality assessment and pollution characteristic analysis of Binzhou port area [J]. *Shandong Communications Technology*, 2019(3): 118-124.
- [4] 王以斌, 刘军, 邵师, 等. 连云港近岸海域 2011—2016 年环境变化研究[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(8): 3430-3440.
- WANG Y B, LIU J, SHAO S, et al. 2011-2016 marine environment temporal variations research in the Lianyungang coastal area [J]. *China Environmental Science*, 2019, 39(8): 3430-3440.
- [5] 陈晨, 杨桂朋, 高先池, 等. 胶州湾微表层和次表层海水中营养盐的分布特征及富营养化研究[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(8): 1856-1865.
- CHEN C, YANG G P, GAO X C, et al. Nutrients distributional characteristics and eutrophication in the sea-surface microlayer and subsurface water in the Jiaozhou Bay [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(8): 1856-1865.
- [6] 林晓娟. 基于模糊综合评价法的长江口海水富营养化评价方法研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
- [7] 李绪录, 周毅频, 夏华永. 2000—2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化[J]. *环境科学*, 2013, 34(3): 857-863.
- LI X L, ZHOU Y P, XIA H Y. Intra-and inter-annual variabilities of particulate organic matter in the Mirs Bay from 2000 to 2010 [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(3): 857-863.
- [8] 栗苏文, 李红艳, 夏建新. 基于 Delft 3D 模型的大鹏湾水环境容量分析[J]. *环境科学研究*, 2005, 18(5): 91-95.
- LI S W, LI H Y, XIA J X. Dapeng Bay water environment capacity analysis on the base of Delft 3D model [J]. *Research of Environment Sciences*, 2005, 18(5): 91-95.
- [9] 池缔萍, 郭翔宇, 钟仕花. 近 5 年来深圳大鹏湾南澳赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(4): 564-569.
- CHI D P, GUO X Y, ZHONG S H. Change and structure of nutrient status in red tide monitoring area of Nan'ao in last five years [J]. *Marine Environment Science*, 2010, 29(4): 564-569.
- [10] 夏华永, 李绪录, 韩康. 大鹏湾环境容量研究: I. 自净能力模拟分析[J]. *中国环境科学*, 2011, 31(12): 2031-2038.
- XIA H Y, LI X L, HAN K. Studies on the environmental capacity of the Dapeng Bay: Part I. numerical study of water self-purification capacity [J]. *China Environmental Science*, 2011, 31(12): 2031-2038.
- [11] 国家海洋局. 海洋调查规范 第 1 部分 总则: GB/T 12763. 1—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 国家海洋局. 海洋监测规范 第 4 部分 海水分析: GB/T 17378. 4—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [13] 广东省人民政府关于印发《广东省海洋功能区划(2011—2020年)》文本的通知[A/OL]. (2013-01-31) [2019-03-20]. http://www.gd.gov.cn/gkmlpt/content/0/141/post_141627.html?jump=false#7.
- [14] 国家海洋局. 海水水质标准: GB 3097—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [15] 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): 45-58.
- ZOU J Z, DONG L P, QIN B P. Discussion on eutrophication and red tide in Bohai Bay [J]. *Marine Environmental Science*, 1983, 2(2): 45-58.
- [16] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价[J]. *台湾海峡*, 1998, 17(1): 64-70.
- GUO W D, ZHANG X M, YANG Y P, et al. Potential eutrophication assessment for Chinese coastal waters [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1998, 17(1): 64-70.
- [17] 2012—2016年深圳市海洋环境质量公报[R]. 深圳: 深圳市海洋局, 2017.
- [18] 罗慧谋. 沙头角湾海水污染物的时空分布特征研究[J]. *环境与发展*, 2017(4): 90-92.
- LUO H M. Spatial and temporal distribution of seawater pollutants in Shatou Bay [J]. *Pollution and Development*, 2017(4): 90-92.
- [19] 周毅频, 李绪录, 张军晓, 等. 大鹏湾中溶解态总氮和总磷的多年调查结果分析[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(4): 706-710.
- ZHOU Y P, LI X L, ZHANG J X, et al. Analysis of multi-year

- measurements of dissolved total nitrogen and phosphorus in the Mirs Bay [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(4):706-710.
- [20] 龙爱民,陈绍勇,田正隆. 珠江口及近海水体中铜的含量和形态及其与营养盐的空间分布关系[J]. 环境科学研究, 2004, 17(4):10-13.
- LONG A M, CHEN S Y, TIAN Z L. Distribution of copper and nutrients and their relationship in Pearl River Estuary [J]. Research of Environmental Sciences, 2004, 17(4):10-13.
- [21] 戴纪翠,高晓薇,倪晋仁,等. 深圳近海海域营养现状分析与富营养化水平评价[J]. 环境科学, 2009, 30(10):2879-2883.
- DAI J C, GAO X W, NI J R, et al. Status analysis of nutrients and eutrophication assessment in Shenzhen coastal waters [J]. Environmental Science, 2009, 30(10):2879-2883.
- [22] 尹艳娥,沈新强,蒋玫,等. 长江口及邻近海域富营养化趋势分析及与环境因子关系[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4):622-629.
- YIN Y E, SHEN X Q, JIANG M, et al. Analysis on the trend of eutrophication in the Chang Estuary and in the adjacent East China Sea and its relation to environment factors [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(4):622-629.
- [23] 夏斌,张晓理,崔毅,等. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3):103-111.
- XIA B, ZHANG X L, CUI Y, et al. Evaluation of the physicochemical environment and nutrition status in Laizhou Bay and adjacent waters in summer [J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(3):103-111.
- [24] 张亮,宋春丽,张乃星,等. 莱州湾西部海域营养盐分布特征及富营养化程度评价[J]. 广西科学院学报, 2017, 33(2):82-86.
- ZHANG L, SONG C L, ZHANG N X, et al. Nutrient distribution and eutrophication assessment in West sea area of Laizhou Bay [J]. Journal of Guangxi Academy of Science, 2017, 33(2):82-86. ◇

《环境工程技术学报》投稿须知

文稿应具有创新性、科学性、先进性、实用性,内容务求论点明确、论证可信、论据充分、数据准确、逻辑推理正确,文章结构严谨、层次清楚、重点突出、文笔精练、图表规范,并且是未在其他公开发行人期刊或正式出版的论文集发表的作品。

稿件需要清楚地提出问题。对所研究问题的背景,研究工作的目的,主要方法、原理与主要仪器设备,结果(包括主要数据)与分析以及结论等内容有清楚描述。

稿件涉及的研究项目应具有一定的前沿性,在已有的环境工程技术研究存量上,研制出新的技术方法、新系统、新设备、新仪器;在原有基础上提出新的观点、新的方法或新的改进;或是重大的新技术推广应用研究。

请作者注意保持严谨的学风。凡引用他人观点、成果,必须加以注明。

来稿全文(含图、表)以 8 000 字为宜,特别有价值的论文可放宽至 1.5 万字。为保证稿件评审的客观公正,提高本刊的质量,本刊实行双向匿名审稿制度。稿件中应注意避免影响匿名审稿的行文或注文出现。

作者进入《环境工程技术学报》网站(www.hjgejsxb.org.cn)登录在线投稿系统,注册用户名后,在线投递论文。投稿及查看进度等使用方法请查看网站首页的“使用指南”。本刊采用 Word 2003 版本排版。稿件图、表须工整清楚,不得自造简化字。不符合本刊投稿要求的稿件,编辑部将不能受理。

来稿的编排顺序:题目、作者姓名、工作单位及城市、邮编,中文摘要、关键词,英文题目、作者姓名汉语拼音、作者单位(英文)、英文摘要、英文关键词(与中文关键词相对应),正文以及参考文献。

在首页脚注处应注明收稿日期,基金项目(省部级以上基金资助或其他资助项目及项目批准号),第一作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、主要研究领域和 E-mail)及责任作者简介。

参考文献一般不少于 15 篇,其中外文文献不少于 5 篇。中文期刊应提供英译文,需以原刊为准。

编辑部收到稿件后即登记送审,经初审、复审、终审,每一审稿程序完成后均可能产生不录用稿。未被录用稿将通过 E-mail 或电话通知作者,投稿时请务必写明 E-mail 和电话,以利编辑及时处理稿件,请勿一稿两投。如果超过 3 个月未收到我刊的刊用通知,作者可自行处理稿件。

文责自负,但编辑有权对来稿做文字性修改、删节。如作者不同意删改,请注明。

来稿采用后,本刊根据文稿质量向作者支付稿酬。特殊稿件按双方协议标准执行。作者论文的著作权(含各种介质)使用费与稿酬一次付清,不再另付。

文章在《环境工程技术学报》发表后,编辑部将赠送 2 本样刊给作者。

作者稿件一经录用,文稿将编入我刊数据库检索系统,并提供使用功能。如不同意以上投稿须知条款内容及有关版权使用协议的规定,请作者在来稿时声明,本刊将视情况做适当处理,否则视为同意。