

九龙江河口区主要污染物时空变化特征

郭洲华,王 翠,颜 利,王金坑* (国家海洋局第三海洋研究所,福建 厦门 361005)

摘要: 根据九龙江河口区近 30 年的历史监测资料和 2010 年 2 个航次的现场调查资料,分析了该海域表层海水中无机氮(DIN)、活性磷酸盐(DIP)、化学耗氧量(COD)和石油类浓度的年际变化特征和平面分布变化特征,并应用富营养状态指数(EI)对海水水质进行评价与分析.结果表明,近 30 年,DIN、DIP 年均浓度持续上升,COD 年均浓度呈“W”状小幅波动趋势,石油类年均浓度先缓慢增加再降低;DIN 浓度平面分布呈由西至东递减的特征,不同年份的 DIP 浓度平面分布有所差别,而 COD 和石油类浓度平面分布呈由湾内、西海域向湾外递减的趋势;海水 EI 呈不断加速升高的趋势,海水水质富营养化程度急剧恶化;受九龙江径流影响,高富营养化海域主要分布在九龙江北、中、南港和南溪入海口附近.所得的主要污染物浓度年际变化特征和平面分布变化特征等将为实施入海污染物总量控制奠定坚实基础.

关键词: 主要污染物; 年均浓度; 时空变化; 富营养化; 九龙江河口区

中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2012)04-0679-08

Spatiotemporal variations of main pollutants in Jiulongjiang Estuary. GUO Zhou-hua, WANG Cui, YAN Li, WANG Jin-keng* (Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China). *China Environmental Science*, 2012,32(4): 679~686

Abstract: Based on the survey data, including 2 cruises in 2010, obtained from recent 30 years in Jiulongjiang Estuary, the annual variations and spatial distribution of DIN, DIP, COD and petroleum hydrocarbon were analyzed and eutrophication index (EI) were applied to assess the eutrophication conditions. The annual concentration of DIN and DIP tended to rise in recent 30 years while the petroleum hydrocarbon concentration increased slowly at first and then declined and COD fluctuate in small amplitude. DIN was higher in the west than the east of the estuary with variations of DIP annually while COD and petroleum hydrocarbon concentration were high in the inner estuary and lower in the western waters of Xiamen harbor and in the outer estuary. The increasing EI for 30 years indicates that the seawater quality was in a state of deteriorating. The most eutrophic areas were located in the north, middle and south part of Jiulongjiang Estuary and at the Nan Xi opening, which suggests that it was resulted from the great input of Jiulongjiang River. All data, annual variations of pollutants with their horizontal distribution, should lay a solid foundation for establishment of total amount control of pollutants to the sea.

Key words: important pollutants; annual concentration; spatiotemporal variations; eutrophication; Jiulongjiang Estuary

福建第二大河流九龙江位于闽西南地区,流经龙岩、漳州,注入厦门湾;河口区海端以北为亚铃状、半封闭的厦门西海域,如图 1.近年来,随着社会经济的快速发展,流域与海岸带高强度的人类活动使得九龙江上游工业点源与农业面源污染问题日益突出^[1-2],河口区生态环境受到不断干扰和破坏^[3],导致海水自净能力减弱、污染负荷增大^[4-5]、海洋生态灾害频发^[6-7],亟需开展入海污染物总量控制.而认识海域主要污染物浓度的年际变化特征和平面分布变化特征是实施入海污染物总量控制的坚实基础.早在 20 世纪 50 年代,

陈再生等^[8]首次完成了九龙江口化学要素调查,随后陆续开展了一系列海洋环境质量监测^[9-11].林辉等^[12]与陈宝红等^[13]均讨论了近几年厦门海域氮、磷等要素的年际变化;张元标等^[14]则研究了厦门西海域近 20 年的营养盐含量年际变化.但众多研究常局限于分析厦门海域水质的短期

收稿日期: 2011-07-18

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目(200805065);国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务专项基金资助项目(海三科 2011017)

* 责任作者, 研究员, xm2195331@126.com

年际变化,对整个九龙江河口区污染物含量,尤其是其平面分布特征长期变化趋势的系统研究则尚未见报道。

本文在搜集九龙江河口区历史监测资料 and 进行现场调查的基础上,系统分析了海水中主要污染物浓度、海水水质富营养状态指数近 30 年的年际变化特征和平面分布变化特征,为实施入海污染物总量控制奠定坚实的基础。

1 资料与方法

1.1 资料搜集

年际变化资料以国家海洋局第三海洋研究所所在九龙江河口区的监测资料为主,辅以历史文献数据,主要包括福建省海岸带和海涂资源综合调查^[15]、厦门市海岛资源综合调查^[16]、厦门海岸带综合管理^[17]、中国海湾志^[18]、福建省海洋研究所^[19]、蔡清海^[20]、庄万金等^[21]、商少凌等^[22]、暨卫东等^[23]、周玉琴^[24]、张晓萍等^[25]、高山等^[5]、林辉等^[12,26]等。平面分布数据来源于厦门港湾海洋环境综合调查^[9]、厦门海域环境污染状况调查^[10]、厦门海域环境规划研究^[11]、厦门嵩屿火电厂海洋环境调查^[27-28]、厦门湾港口总体布局规划战略环境影响报告书^[29]。

1.2 现场调查

本项目于 2010 年 8、10 月进行了海上现场调查,站位布设如图 1 所示。调查项目包括化学耗氧量(COD)、无机氮(DIN)、活性磷酸盐(DIP)、石油类等 17 项。现场采样、监测和实验室分析均依据《海洋调查规范》(GB12763-2007)^[30]、《海洋监测规范》(GB17378-2007)^[31]的相关方法进行。

2 结果与讨论

2.1 DIN 与 DIP

2.1.1 DIN 与 DIP 浓度年际变化特征 九龙江河口区海水中 DIN 年均浓度变化如图 2 所示。20 世纪 80 年代至今,DIN 年均浓度总体呈现持续升高的趋势。具体而言,20 世纪 80 年代,DIN 年均浓度在《海水水质标准》(GB3097-1997)^[32]第一类海水水质标准上限 0.20mg/L 上下小幅变动。20 世纪 90 年代中前期, DIN 年均浓度缓慢上升,最高

值为 0.40mg/L,均为第三类海水水质。20 世纪 90 年代末至 21 世纪初,DIN 年均浓度总体上较之前增加,最高达 0.59mg/L,已达到或超过第四类海水水质标准。2005 年至今, DIN 年均浓度明显上升,2010 年达到最高,为 1.03mg/L,大幅超过第四类海水水质标准。陈宝红等^[13]也指出 2003~2008 年九龙江河口区海水中的无机氮年均含量均呈上升趋势;与 20 世纪 90 年代相比,近几年的无机氮年均含量增加了 1.4~2.5 倍。

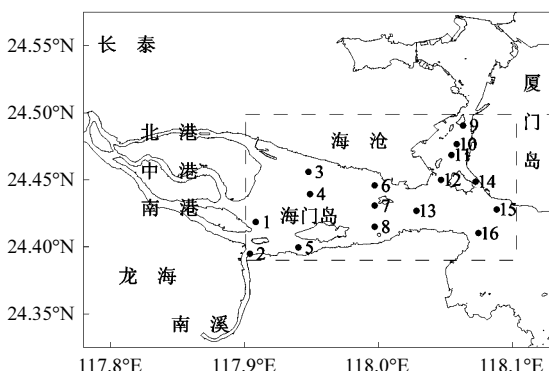


图 1 研究区域与采样站位

Fig.1 Sampling stations in the surveyed areas

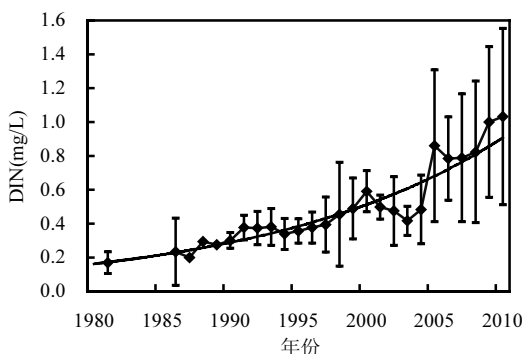


图 2 1980~2010 年九龙江河口区 DIN 浓度年际变化

Fig.2 Annual variations of DIN from 1980 to 2010 in Jiulongjiang Estuary

九龙江河口区海水中 DIP 年均浓度变化如图 3。20 世纪 80 年代至今,DIP 年均浓度基本呈不断上升的趋势。具体而言,20 世纪 80 年代中前期,DIP 年均浓度最高为 0.015mg/L,满足第一类海水水质标准。20 世纪 80 年代末至 90 年代末,DIP 年均浓度呈先小幅上升、再缓慢下降趋势,

最高为 0.025mg/L,属第二类海水水质.21 世纪初,DIP 年均浓度明显升高^[14],2006 年达到最高,为 0.041mg/L,属第四类海水水质;近几年 DIP 年均浓度有所回落,但仍为第二、四类海水水质,此趋势与陈宝红等^[13]的调查结果一致.

2.1.2 DIN 与 DIP 浓度平面分布变化特征 九龙江河口区表层海水中 DIN 浓度的平面分布如图 4 所示,其平面分布基本呈自河端向海端递减的特征,可见其主要受河口冲淡水所控制,九龙江径流输入是河口区 DIN 的最主要来源^[13];高值区主要分布在九龙江北溪、西溪和南溪入海口以及筲笪湖邻近海域.20 世纪 80 年代初期,表层海水中 DIN 浓度相对较低,受南溪径流以及南岸漫流式泄水的影响^[18],其平面分布呈现出由湾内到湾外、南岸到北岸递减的趋势.20 世纪 90 年代初期表层海水中 DIN 分布特征与 80 年代初期相似,大致呈现出由西南向东北减的趋势,但其浓度却大幅增高,大部分海域 DIN 浓度超过第三类海水水质标准;此特征与文献报道一致^[16,18].21 世纪初,由于厦门岛沿岸的生活污水和九龙江两岸工业区的工业污水排放量急剧增加^[17],导致表层海水中 DIN 浓度继续大幅增高,平面分布呈现出由河口湾内和西海岸向湾外递减的趋势,高值区主要出现于九龙江北港邻近海域,DIN 浓度超过 1.00mg/L.2010 年 DIN 浓度平面分布特征与 2001 年类似,但水质持续恶化,北港附近海域 DIN 浓度高达 2.50mg/L.

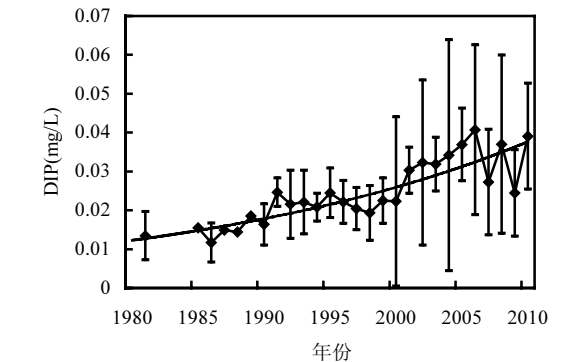


图 3 1980~2010 年九龙江河口区 DIP 浓度年际变化
Fig.3 Annual variations of DIP from 1980 to 2010 in Jiulongjiang Estuary

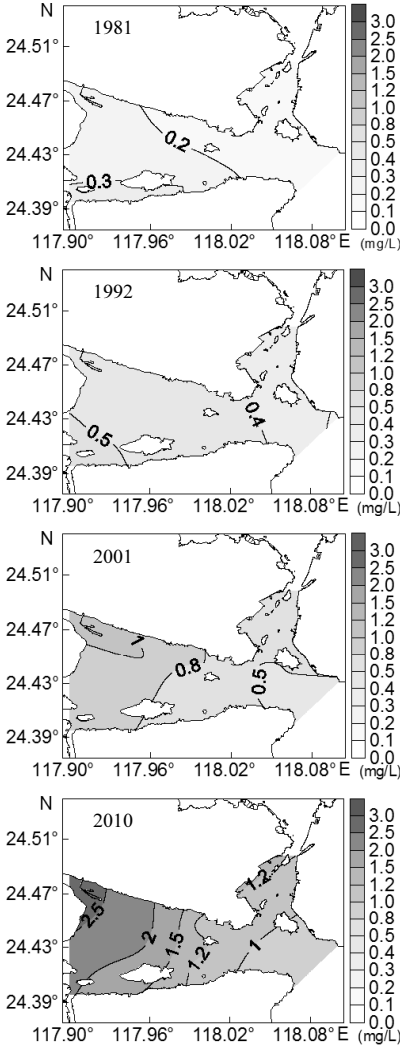


图 4 1981、1992、2001 及 2010 年 10 月九龙江河口区表层海水 DIN 浓度平面分布
Fig.4 Spatial distribution of DIN in the surface water of Jiulongjiang Estuary in October 1981, 1992, 2001 and 2010

九龙江河口区表层海水中 DIP 浓度的平面分布如图 5 所示,其平面分布特征与 DIN 有所差异,九龙江径流对其分布的直接影响并不十分突出.20 世纪 80 年代初期,DIP 浓度平面分布呈南岸高于北岸、自湾内和西海岸向湾外递减的规律,可能由河口南侧深水道高磷水舌^[33]以及西海岸高磷水系^[34]所致.但 20 世纪 90 年代初和 21 世纪初,DIP 浓度分布较为均匀,溶解态无机磷并非由九龙江径流直接补充输入,可能因活性磷酸盐在咸淡水混合过程中

发生了明显的转移、再生和转化,即“磷缓冲”机制^[35-36].2010 年 DIP 浓度平面分布特征与 20 世纪 80 年代基本相似,但浓度大幅升高,高值区主要出现在筲筴湖和南溪入海口邻近海域,其浓度已超过

第四类海水水质标准.可见,DIP 平面分布主要受河口南侧深水道高磷水舌、西海域高磷水系以及“磷缓冲”机制影响,而依据单一调查资料所得出 DIP 行为的结论具有很大的局限性.

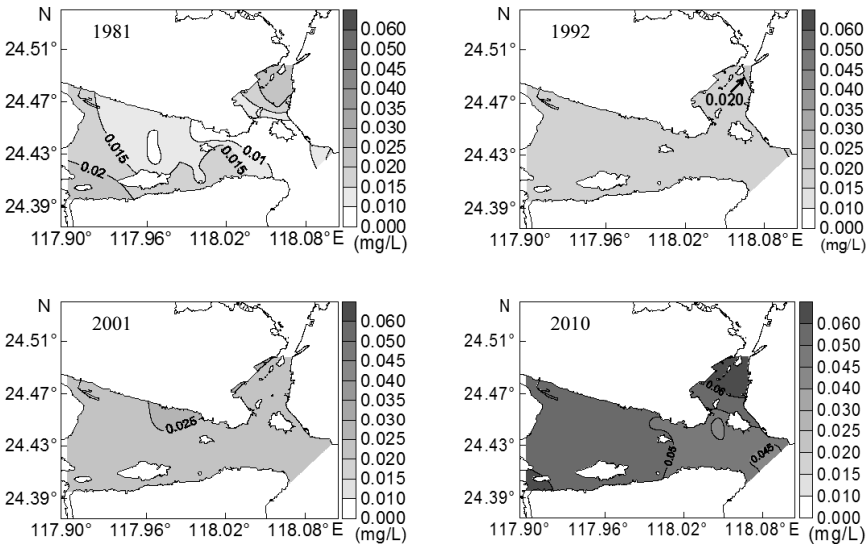


图 5 1981、1992、2001 及 2010 年 10 月九龙江河口区表层海水 DIP 浓度平面分布

Fig.5 Spatial distribution of DIP in the surface water of Jiulongjiang Estuary in October. 1981, 1992, 2001 and 2010

2.2 COD

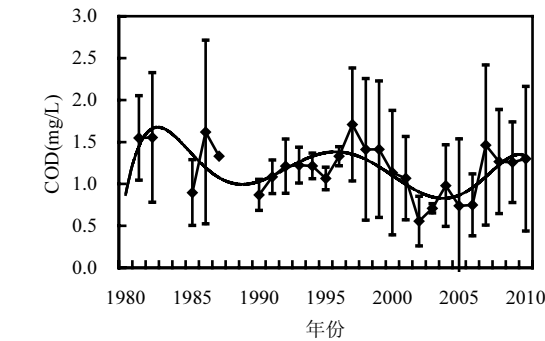


图 6 1980~2010 年九龙江河口区 COD 年际变化
Fig.6 Annual variations of COD from 1980 to 2010 in Jiulongjiang Estuary

2.2.1 COD 年际变化特征 九龙江河口区海水中 COD 年均浓度变化如图 6 所示.20 世纪 80 年代至今,COD 年均浓度总体呈“W”状小幅波动趋势,均达到第一类海水水质标准.20 世纪 80 年代中前期,COD 年均浓度相对较高,在 1.50mg/L 左

右;20 世纪 80 年代末,COD 年均浓度相对较低,此后缓慢上升,并在 90 年代中期出现最大值,达到 1.71mg/L,此趋势与厦门 ICM 项目^[17]的调查结果完全吻合.20 世纪 90 年代末至 21 世纪初,COD 年均浓度明显回落.近几年,COD 年均浓度有所回升,但仍为第一类海水水质.

2.2.2 COD 平面分布变化特征 九龙江河口区表层海水中 COD 浓度平面分布如图 7 所示,其平面分布基本呈自河端向海端、湾内向湾外减少的趋势.20 世纪 80 年代初期,海水中 COD 浓度呈由西南向东北逐渐降低的趋势,南溪入海口邻近沿岸海域等值线较密集,高值区位于海门岛以南沿岸海域,低值区位于湾口.20 世纪 90 年代初期,COD 浓度平面分布较为均匀,变幅较小,河口湾内在 1.50~2.00mg/L 之间,西海域南部在 1.00~1.50mg/L 之间.21 世纪初,COD 浓度有所降低,高值区仍出现在南溪入海口至海门岛之间.2010 年,COD 浓度又明显升高.沿岸生活、工业污水大量排放以及九龙江径流输入^[17]加重了该海域的有机污染,导致其分布

特征呈现由河口区湾内、西海域向湾外逐渐降低 的趋势,高值区主要分布在九龙江北港附近.

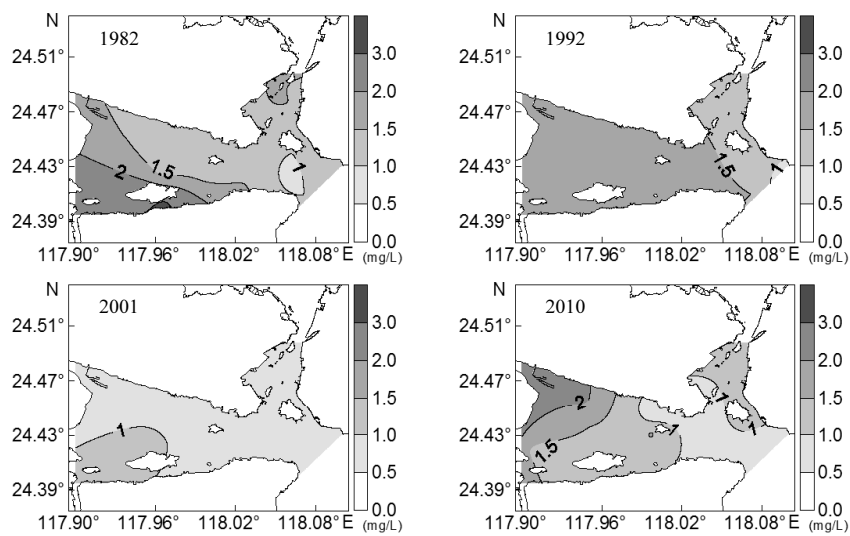


图 7 1982、1992、2001 及 2010 年 10 月九龙江河口区表层海水 COD 浓度平面分布
Fig.7 Spatial distribution of COD in the surface water of Jiulongjiang Estuary in October 1982, 1992, 2001 and 2010

2.3 石油类

2.3.1 石油类浓度年际变化特征 九龙江河口区海水中石油类年均浓度变化如图 8 所示.20 世纪 80 年代至今,石油类年均浓度总体上呈先缓慢增加、再降低的趋势,均达到第一类海水水质标准.具体而言,20 世纪 80 年代中期的石油类年均浓度约为 10.0~15.0 $\mu\text{g/L}$,远低于第一类海水水质标准.随后,石油类年均浓度开始缓慢增加^[17],21 世纪初升高至 23.3 $\mu\text{g/L}$.2003 年之后,石油类年均浓度有所回落,维持在 8.9~19.5 $\mu\text{g/L}$,也远低于第一类海水水质标准.

2.3.2 石油类浓度平面分布变化特征 九龙江河口区石油类浓度平面分布如图 9 所示,其平面分布表现出由河口湾内、西海域向湾外递减的趋势.20 世纪 80 年代中期,石油类浓度平面分布呈由西向东递减,整体上浓度较小,变幅不大.20 世纪 90 年代初期,表层海水石油类浓度有所上升,高值区出现在九龙江中港、南港和南溪入海口以及筶笏湖邻近海域,低值区位于海门岛北面和湾口.2004 年,石油类浓度略微下降,基本呈现河口湾内>西海域南部海区>湾口的情形,海域的油污染源已由以九龙江径流输入和船舶排放为主转

变为以九龙江径流输入、城市污水和港口作业排放为主,并加强了对船舶和港口作业的管理^[17,25],使海域油污染得到一定控制.2010 年,石油类浓度整体上与 2004 年差别不大,高值区分布在九龙江北港和筶笏湖附近海域.

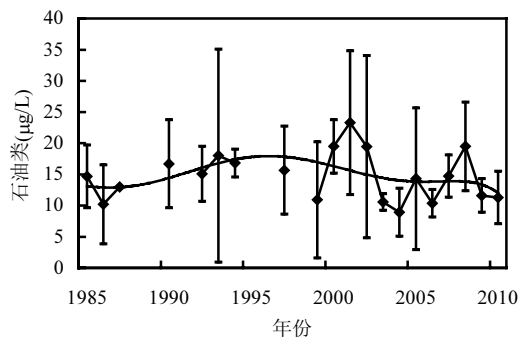


图 8 1980~2010 年九龙江河口区石油类浓度年际变化
Fig.8 Annual variations of petroleum hydrocarbon from 1980 to 2010 in Jiulongjiang Estuary

2.4 海水水质富营养状态评价及分析

2.4.1 海水水质富营养状态指数年际变化特征 海水中的营养盐是海洋生物生存的 necessary 物质条件,但过量的营养盐将导致海水富营养化,并能诱发赤潮,最终致使水质恶化.

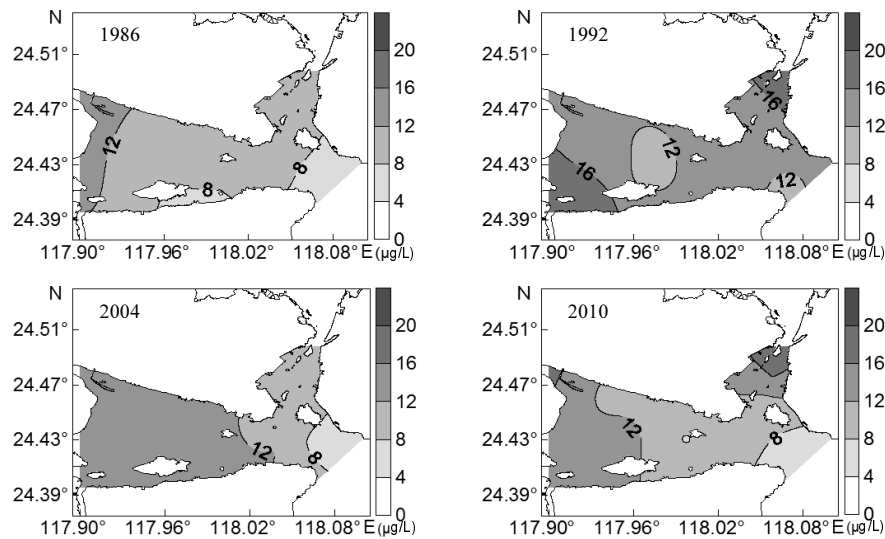


图9 1986、1992、2004 及 2010 年 8 月九龙江河口区表层海水石油类浓度平面分布

Fig.9 Spatial distribution of petroleum hydrocarbons in the surface water of Jiulongjiang Estuary in August 1986, 1992, 2004 and 2010

富营养状态指数法以目标海域海水中 DIN 和 DIP 浓度为基本环境要素、以 COD 表征海水富营养化的间接环境生态效应^[37],富营养状态指数 EI 采用下式进行计算:

$$EI=(DIN \cdot DIP \cdot COD)/a \times 10^6 \quad (1)$$

式中:COD、DIN、DIP 浓度单位均为 mg/L; a 是三者富营养化单项阈值之积,常取 4500^[37].

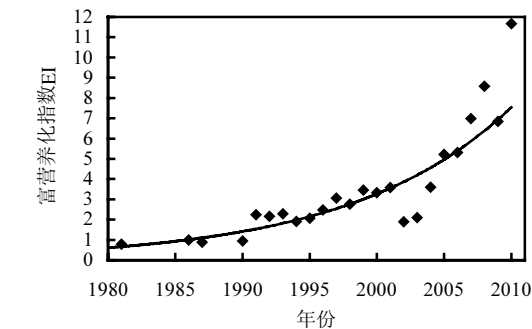


图 10 1980~2010 年九龙江河口区海水水质富营养状态指数年际变化

Fig.10 Annual variations of EI from 1980 to 2010 in Jiulongjiang Estuary

EI 越大,营养水平越高,富营养化程度越严重;EI<0.5 时,贫营养;0.5≤EI<1.0 时,中营养; 1.0≤EI<3.0 时,富营养;EI≥3.0 时,高富营养^[38].

按式(1)对九龙江河口区各年份的富营养化状态进行评价,结果见图 10.20 世纪 80 年代,EI 从 0.8 开始缓慢增加,但仍略低于 1.0,海水处于中营养状态.20 世纪 90 年代初,EI 已超过 2.0,海水已富营养化;到 20 世纪 90 年代末,EI 高于 3.0,海水呈高富营养状态.21 世纪初至今,EI 大幅升高,绝大多数年份高于 3.0,近些年更是超过 5.0,2010 年 EI 年均值达到 11.7,为历年最高,表明海水富营养化已加速加剧至十分严重的程度.由此可见,海水富营养状态指数 EI 不断加速升高,海水富营养化程度持续急剧恶化.

2.4.2 海水水质富营养状态指数平面分布变化特征 九龙江河口区表层海水富营养状态指数平面分布如图 11.20 世纪 80 年代中期,海域 EI 基本呈由西海域南部海区向湾口逐渐降低的趋势,几乎整个海域 EI<0.5,处于贫营养状态.20 世纪 90 年代初期,海域 EI 显著升高,全海域 EI>1.0,在九龙江中港、南港和南溪入海口附近海域出现 EI>3.0 的高富营养海区,并由西向东逐渐降低,在海沧东部养殖区^[5,17]EI 仍大于 2.0,在厦门岛西岸以及湾口 EI 才降至 2.0 以下.21 世纪初,海域整体富营养化程度较先前变化不大,全海域 EI>1.0,九龙江中港、南港和南溪入海口附近的高富营养海区拓展到海门岛北面,九龙江北岸附近也出现一高富营养海区,且其

东侧有一 $EI < 2.0$ 的海区.2010 年,海域整体富营养化状态急剧显著恶化,全海域 $EI > 5.0$,其平面分布呈

由河口湾内、西海域南部向湾外递减的趋势;海门岛以西等值线密集,富营养化程度异常严重.

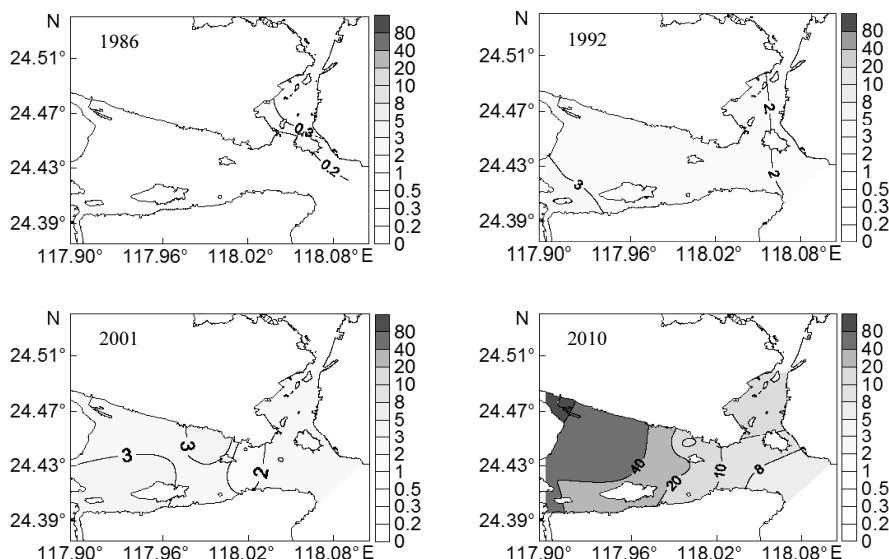


图 11 1986、1992、2001 及 2010 年 10 月九龙江河口区表层海水富营养状态指数平面分布

Fig.11 Spatial distribution of EI in the surface water of Jiulongjiang Estuary in October 1986, 1992, 2001 and 2010

3 结论

3.1 20 世纪 80 年代至今,九龙江河口区海水中 DIN、DIP 年均浓度持续上升,其中 DIN 浓度变化范围为 $0.17 \sim 1.03 \text{ mg/L}$,DIP 浓度变化范围为 $0.018 \sim 0.041 \text{ mg/L}$;COD 年均浓度总体呈“W”状小幅波动趋势,浓度变化范围为 $0.56 \sim 1.71 \text{ mg/L}$;石油类年均浓度先缓慢增加、再降低,浓度变化范围为 $8.9 \sim 28.0 \mu\text{g/L}$.

3.2 DIN 平面分布主要受河口冲淡水所控制,呈由西至东递减趋势,高值区主要分布在九龙江南港和南溪入海口附近;DIP 平面分布与 DIN 有所差异,受河口南侧深水道高磷水舌、西海域高磷水系以及“磷缓冲”机制等因素影响,依据单一调查资料所得出 DIP 行为的结论具有很大的局限性,其不同年份的平面分布有所差别,呈相对均匀分布或自南岸向北岸、湾内和西海域向湾外递减的趋势,高值区基本出现在南溪入海口和筭筭湖附近;COD 和石油类浓度平面分布均呈由湾内、西海域南部向湾外递减的趋势,高值区位于九龙江北港、南港和南溪入海口以及筭筭湖附近.

3.3 近 30 年的海水富营养状态指数 EI 呈不断加速升高的趋势,海水富营养化程度持续加速恶化.其中,20 世纪 80 年代中期,整个海域的 EI 几乎均小于 0.5,海水处于贫营养化状态;20 世纪 90 年代至 21 世纪初,大部分海域的 EI 超过 2.0,海水已迅速富营养化;2010 年,整个海域的富营养状态急剧显著恶化,EI 均超过 5.0.因九龙江径流输入的大量营养盐和有机污染物等所致,高富营养化海域主要分布在九龙江北港、中港、南港和南溪入海口附近.

参考文献:

- [1] Cao W Z, Hong H S, Yue S P. Modeling agricultural nitrogen contributions to the Jiulong River estuary and coastal water [J]. Global and Planetary Change, 2005,47:111-121.
- [2] Chen N W, Hong H S, Zhang L P, et al. Nitrogen sources and exports in an agricultural watershed in Southeast China [J]. Biogeochemistry, 2008,87(2):169-179.
- [3] 刘 岩,张璐平,洪华生.以海岸带可持续发展为目标的战略环境评价 [J]. 中国环境科学, 2001,21(1):45-48.
- [4] 王卫平,洪华生,张玉珍,等.九龙江污染物入海通量初步估算 [J]. 海洋环境科学, 2006,25(2):45-47.

- [5] 高山,陈伟琪,陈祖峰.厦门海域氮、磷的主要来源分析及其控制措施 [J]. 厦门大学学报:自然科学版, 2006,45(S1):286-291.
- [6] Chen S T, Ruan W Q, Zhen R Z. The biogeochemical study of phosphorus in the Jiulong River estuary and Western Sea (1) [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1993,15(1):62-70.
- [7] Hong H S, Shang S L, Huang B Q. An estimate on external fluxes of phosphorus and its environmental significance in Xiamen Western Sea [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999,39(1-12): 200-204.
- [8] 陈再生,林美丽.福建省九龙江口化学要素初步调查报告 [R]. 厦门:中国科学院华东海洋研究所, 1959.
- [9] 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 [R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 1981.
- [10] 国家海洋局第三海洋研究所.厦门海域环境污染状况调查报告 [R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 1982.
- [11] 国家海洋局第三海洋研究所.厦门海域环境规划研究 [R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 1994.
- [12] 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.
- [13] 陈宝红,林辉,张春华,等.厦门海域水体无机氮和活性磷酸盐含量的变化趋势 [J]. 台湾海峡, 2010,29(3):314-319.
- [14] 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.
- [15] 福建省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室.福建省海岸带和海涂资源综合调查报告 [M]. 北京:海洋出版社, 1990.
- [16] 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.
- [17] 东亚海域海洋污染防治和管理厦门示范区执行委员会办公室.厦门海岸带综合管理(下册) [M]. 北京:海洋出版社, 1998.
- [18] 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志(第八分册):福建省南部海湾 [M]. 北京:海洋出版社, 1993.
- [19] 福建省海洋研究所.2008 年福建省主要海湾环境质量监控质量评价报告:厦门湾 [R]. 厦门:福建省海洋研究所, 2008.
- [20] 蔡清海.厦门西海域磷氮含量及其对环境的影响 [J]. 福建水产, 1988,(1):55-64.
- [21] 庄万金,曾昭文.厦门西海域营养盐的地球化学 I:无机氮 [J]. 海洋通报, 1991,10(5):14-20.
- [22] 商少凌,洪华生.厦门西海域磷的研究 [J]. 海洋环境科学, 1996,15(1):15-21.
- [23] 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.
- [24] 周玉琴.厦门西港海域水质污染状况分析 [J]. 海洋环境科学, 1999,11(4):59-64.
- [25] 张晓萍,李凌云,张元标,等.厦门邻近海域油类污染状况评价 [J]. 台湾海峡, 2001,20(2):161-164.
- [26] 林辉,张元标.厦门西海域水质状况及其环境容量评估 [J]. 台湾海峡, 2008,27(2):214-220.
- [27] 国家海洋局第三海洋研究所.厦门嵩屿火电厂工程可行性研究海域环境影响报告书 [R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 1987.
- [28] 国家海洋局第三海洋研究所.嵩屿港区二期工程海洋化学调查研究专题报告 [R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 2007.
- [29] 厦门大学环境科学研究中心.厦门湾港口总体布局规划战略环境影响报告书 [R]. 厦门:厦门大学, 2001.
- [30] GB12763-2007 海洋调查规范 [S].
- [31] GB17378-2007 海洋监测规范 [S].
- [32] GB3097-1997 海水水质标准 [S].
- [33] 张远辉,王伟强,黄自强.九龙江口盐度锋面及其营养盐的化学行为 [J]. 海洋环境科学, 1999,18(4):1-7.
- [34] 潘伟然,骆智斌,张国荣,等.厦门九龙江河口区无机氮和活性磷酸盐含量分布的计算 [J]. 台湾海峡, 2009,28(3):331-335.
- [35] 崔红,孙秉一.河口区水体中磷酸盐的缓冲机制 [J]. 海洋湖沼通报, 1991,(1):77-84.
- [36] 陈水土,阮五崎,郑瑞芝.九龙江口-厦门西海域磷的生物地球化学研究: I 水体中溶解态磷与颗粒态磷的含量、分布与转化 [J]. 台湾海峡, 1993,15(1):62-70.
- [37] 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):41-52.
- [38] 王修林,李克强,石晓勇.胶州湾主要化学污染物环境环境容量 [M]. 北京:科学出版社, 2006.

致谢: 感谢唐森铭研究员对本文英文写作的指导与帮助.

作者简介: 郭洲华(1987-),男,福建福安人,国家海洋局第三海洋研究所硕士研究生,主要从事环境规划与评价研究.发表论文 1 篇.