

# 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区海水环境质量 年际变化趋势及综合评价

崔毅<sup>1</sup> 马菲菲<sup>1</sup> 夏斌<sup>1</sup> 荣伟<sup>2</sup>  
陈碧鹃<sup>1</sup> 曲克明<sup>1</sup> 赵俊<sup>1</sup> 陈聚法<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 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)

(<sup>2</sup> 河北省黄骅市水产局, 061101)

**摘 要** 根据 2011~2013 年夏季对靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区表层海水营养盐、重金属以及相关环境因子的连续调查数据, 分析了该调查区域近 3 年来海水环境质量的变化, 并对该水域营养水平、重金属和有机污染状况进行了评价。结果表明, 2011 年重金属含量均符合一类海水水质标准, 2012 年 Pb 平均含量为 1.10 μg/L, 2013 年 Cu、Pb、Hg 平均含量分别为 5.19、2.79、0.07 μg/L, 均超出一类海水水质标准。2011 年和 2012 年 N/P 值均大于 Redfield 比值, P 相对缺乏。根据营养化评价模式, 调查海域 2011 年营养水平属磷限制潜在性富营养, 2012 年营养水平属中度营养, 2013 年营养水平属富营养化。2011 年和 2013 年的有机污染指数均大于 4, 表明靖海湾受到严重的有机污染, DIN 和 PO<sub>4</sub>-P 是靖海湾表层海水的主要污染物。2012 年海水质量属于允许级别, 2011 年和 2013 年海水质量属于轻度污染, 这与陆源排放、海水养殖等多方面因素有关。

**关键词** 靖海湾 综合评价 重金属 营养盐

**中图分类号** X82 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)06-0001-08

## Annual variation and comprehensive evaluation of seawater quality in *Trachidermus fasciatus* Heckel germ plasm resource protection area in Jinghai Bay

CUI Yi<sup>1</sup> MA Fei-fei<sup>1</sup> XIA Bin<sup>1</sup> RONG Wei<sup>2</sup> CHEN Bi-juan<sup>1</sup>  
QU Ke-ming<sup>1</sup> ZHAO Jun<sup>1</sup> CHEN Ju-fa<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,  
Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Yellow Sea  
Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup> Fishery Bureau of Huanghua City, Hebei Province, 061101)

**ABSTRACT** Based on the continuous surveys of heavy metals, nutrients and related environmental factors of surface water in *Trachidermus fasciatus* Heckel germ plasm resource protec-

国家海洋局项目[DOMEF (MEA)-01-01]、山东省自然科学基金(ZR2010CQ023)和国家海洋局项目[DOMEF (MEA)-02]共同资助  
收稿日期: 2013-08-22; 接受日期: 2013-09-03

作者简介: 崔毅(1956-), 男, 研究员, 主要从事海洋生态环境质量评价研究。E-mail: cui@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85832371

tion area in Jinghai Bay from 2011 to 2013, the variation of water quality was analyzed, and the nutrient level, heavy metals and organic pollution status were evaluated. The concentrations of heavy metals were below the limit of the first class seawater in 2011, and Pb concentration exceeded the first class seawater limit in 2012. In 2013, the concentrations of Cu, Pb and Hg were 5.19, 2.79 and 0.07  $\mu\text{g/L}$  respectively, all above the limit of the first class seawater. In 2011 and 2012, N/P values were higher than the Redfield ratio of 16, indicating that phosphate was relatively deficient compared to nitrogen. Based on the eutrophication evaluation model, the surveyed area belonged to phosphorus-limiting potential eutrophication in 2011, moderate eutrophication in 2012 and eutrophication in 2013. The organic pollution index was higher than 4 in 2011 and 2013, indicating that the surveyed area suffered from serious organic pollution. DIN and  $\text{PO}_4\text{-P}$  were the major pollutants of the surface water in Jinghai Bay. The seawater quality belonged to the permitted level in 2012, while the water quality belonged to the light pollution level in 2011 and 2013 due to pollutants from terrestrial runoffs and aquaculture etc.

**KEY WORDS** Jinghai Bay Comprehensive evaluation Heavy metals Nutrients

近年来,随着沿海经济的迅猛发展、海洋开发活动的不断增强,我国的海洋环境和生态系统受到很大的威胁(王 森等 2006;任以顺 2006)。良好的海洋生态环境是海洋渔业资源可持续开发利用的基础条件和保障,对于海洋经济的可持续发展具有重要的意义。因此,及时对海洋环境质量进行调查和评价显得尤为重要。

靖海湾松江鲈鱼 *Trachidermus fasciatus* Heckel 国家级水产种质资源保护区建立于2007年12月12日,位于山东省文登市辖区内,总面积818.89  $\text{hm}^2$ ,设置核心区一个和实验区两个,其中核心区面积664.75  $\text{hm}^2$ ,实验区面积154.14  $\text{hm}^2$ 。核心区特别保护期为每年12月~翌年3月,保护区的保护对象为我国二类保护动物松江鲈鱼。目前,有关靖海湾的海洋生态环境研究还很少。王育红等(2008)研究了靖海湾微型浮游植物的分布特征,结果显示靖海湾的优势种为硅藻;夏 斌等(2010)于2008年6月对靖海湾松江鲈鱼国家级水产种质资源保护区生态环境质量进行了综合评价,结果显示该水域营养水平基本属于富营养化且有机污染严重;刘 杰等(2013)研究了靖海湾及邻近海域表层沉积物的分布和输运特征,结果显示沉积物类型主要以粉砂和黏土质粉砂为主;徐林波等(2013)对靖海湾表层沉积物重金属污染程度及潜在生态危害进行了分析评价,结果显示表层沉积物重金属含量较低,潜在危害较轻。这些研究主要集中于对靖海湾沉积物、浮游植物等单一方面的分析以及对保护区单一航次的环境评价,但是关于靖海湾松江鲈鱼国家级水产种质资源保护区海水环境质量年际变化趋势及综合评价的研究尚没有报道。本研究根据2011~2013年夏季对靖海湾松江鲈鱼国家级水产种质资源保护区的生态环境质量调查数据,分析和探讨了该区域海水营养盐、重金属和有机物的污染状况以及年际变化趋势,并进行了综合评价,以期及时掌握和了解该海域的生态环境质量综合状况,为有效保护和管理松江鲈鱼种质资源保护区提供科学依据。

## 1 采样与分析方法

### 1.1 采样站位与时间

调查区域位于山东省文登市靖海湾松江鲈鱼国家级种质资源保护区的核心区内,共设9个站位(图1),调查时间为2011年8月、2012年8月及2013年6月。2013年航次因5号站位水位太浅,船只无法到达取样点,导致站位数据缺失。

### 1.2 测定参数与分析方法

调查海域水深小于5 m,故所有采样点只取表层水样。水样用 Niskin 采水器采集。监测项目包括温度、

盐度、pH、DO、COD、DIN、PO<sub>4</sub>-P、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As。样品的采集和现场处理及分析方法均按照《海洋监测规范》(GB 17378. 4-2007)中所规定的方法进行;温度、盐度和 pH 用美国 YSI 556 多参数分析仪测定;DO 用碘量滴定法测定;COD 用重铬酸钾法测定;Hg、As 用原子荧光法测定;Cu、Pb、Zn、Cd 用原子吸收分光光度法测定;磷酸盐用磷钼蓝分光光度法测定;硝酸盐用锌-镉还原法测定;亚硝酸盐用萘乙二胺分光光度法测定;氨氮用次溴酸盐氧化法测定。

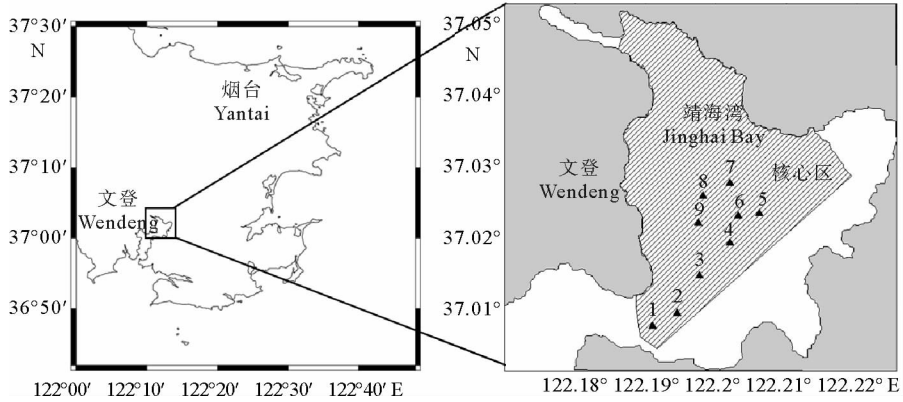


图 1 靖海湾调查站位  
Fig. 1 Sampling stations in Jinghai Bay

### 1.3 评价方法

#### 1.3.1 有机污染指数

有机污染指数(A)计算公式(蒋国昌等 1987)为:

$$A = \frac{COD_i}{COD_s} + \frac{IN_i}{IN_s} + \frac{IP_i}{IP_s} - \frac{DO_i}{DO_s} \quad (1)$$

式中,A 为污染指数,COD<sub>i</sub>、DIN<sub>i</sub>、DIP<sub>i</sub>、DO<sub>i</sub> 为实际测试值,COD<sub>s</sub>、DIN<sub>s</sub>、DIP<sub>s</sub>、DO<sub>s</sub> 为上述各项评价指标所采用的标准浓度,本研究采用的是海水一类水质标准(GB3097-1997),其值分别为 2 mg/L、200 μg/L、15 μg/L、6 mg/L。

#### 1.3.2 综合污染指数

某一海域水质综合污染指数(Q)反映的是这一海区海水的整体综合质量(贾晓平等 2003)。

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N P_i \quad (2)$$

$$P_i = \frac{C_i}{C_s} \quad (3)$$

式中,Q 为综合污染指数,N 为污染物项数,P<sub>i</sub> 为污染物的污染指数,C<sub>i</sub> 为实际测量值,C<sub>s</sub> 为评价因子的评价标准值。对于污染程度随实测浓度增加而加重的因子,采用公式(2)计算其污染指数。

由于海水 pH 值的评价标准是一个范围值而不是确定的某一个数值,其污染指数用公式计算:

$$S_{(i,pH)} = |pH_i - pH_{sm}| / D_s \quad (4)$$

式中,pH<sub>sm</sub> = 1/2(pH<sub>su</sub> + pH<sub>sd</sub>), D<sub>s</sub> = 1/2(pH<sub>su</sub> - pH<sub>sd</sub>)

式中,S<sub>(i,pH)</sub> 为第 i 站 pH 的质量指数,pH<sub>i</sub> 为第 i 站 pH 测量值,pH<sub>su</sub> 为 pH 评价标准的上限,pH<sub>sd</sub> 为 pH 评价标准的下限。

海水中溶解氧含量随污染程度的增大而减少,其污染指数计算公式(袁建军等 2003)为:

$$S_{i,DO} = \begin{cases} |DO_f - DO_i| / (DO_f - DO_s), DO_i \geq DO_s \\ 10 - 9DO_i / DO_s, DO_i < DO_s \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $S_{i,DO}$  为第  $i$  站溶解氧的标准指数,  $DO_i$  为第  $i$  站溶解氧的测量值 (mg/L),  $DO_f$  为与第  $i$  站溶解氧样品相同温度、相同盐度条件下溶解氧的饱和浓度值 (mg/L),  $DO_s$  为溶解氧的评价标准值 (mg/L)。

### 1.3.3 污染分担率

污染分担率表示单项污染因子指数对综合水质污染的贡献大小, 污染分担率最高的因子即为水体的首要污染物(陆书玉等 2001)。

$$K_i = \frac{P_i}{P} \times 100\% \quad (6)$$

式中,  $K_i$  为水体第  $i$  项污染物所占的分担率,  $P_i$  为单项污染指数, 为实测值与标准值之比值,  $P$  为各单项污染指数之和。

## 2 结果与讨论

### 2.1 重金属污染评价

重金属进入水体之后沉积于水体底质, 海洋生物终生生活在水中, 在呼吸过程中吸入的水含部分重金属, 重金属经口腔进入体循环, 富集在生物体内, 通过食物链作用于人体, 对生物体及人类的健康均会产生一定的影响, 使得重金属污染成为水环境污染评价的重要内容(Volpe *et al.* 2009)。

如表 1 所示, 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区调查海域重金属自 2008 年以来含量逐年增加。2008 年和 2011 年重金属含量均符合一类海水水质标准, 2012 年 Pb、2013 年 Cu、Pb、Hg 含量分别为 1.10、5.19、2.79、0.07  $\mu\text{g/L}$ , 均超出一类海水水质标准。其中, 2013 年 Pb 超标率达到 175%, Cu 含量已超出美国国家海洋与大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)推荐的海水中重金属生物慢性安全浓度下限(Long *et al.* 1995), 可能会对生物体产生毒性, 所以靖海湾近 3 年污染较重的重金属为 Cu、Pb、Hg。通过年际变化趋势分析, 靖海湾保护区重金属污染整体上呈逐年加重的趋势, 需引起重视。

表 1 靖海湾表层海水重金属浓度同部分重要水质标准的比较

Table 1 Comparison of heavy metal concentrations in surface seawater of Jinghai Bay with some typical water quality standards

| 项目 Items  | 含量 Concentration( $\mu\text{g/L}$ ) |           |             |            |             |           | 来源 Reference |
|---|-------------------------------------|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|--------------|
|   | Cu                                  | Zn        | Pb          | Cd         | Hg          | As        |              |
| 2008 年靖海湾<br>Jinghai Bay in 2008  | 1.63                                | 4.23      | 0.44        | 0.21       | 0.034       | 1.16      | 夏斌等(2010)    |
| 2011 年靖海湾<br>Jinghai Bay in 2011  | 1.29                                | 5.57      | 0.78        | 0.27       | 0.02        | 2.88      | 本研究          |
| 2012 年靖海湾<br>Jinghai Bay in 2012  | 1.42                                | 9.44      | 1.10        | 0.21       | 0.03        | 2.50      | 本研究          |
| 2013 年靖海湾<br>Jinghai Bay in 2013  | 5.19                                | 18.12     | 2.79        | 0.44       | 0.07        | 2.60      | 本研究          |
| 1997~2004 年南黄海平均值<br>Average values in southern Yellow<br>Sea from 1997 to 2004 | 1.12                                | 3.44      | 0.30        | 0.053      | 0.008 6     | 1.66      | 贺志鹏等(2008)   |
| 江苏如东贝类养殖区(8月)<br>Bivalves aquaculture area (August)                             | 1.92                                | 25.51     | 1.20        | 0.06       | 0.056       | 3.44      | 廖勇等(2012)    |
| 天然表层海水背景值<br>Background values in surface seawater                              | 0.01~0.04                           | 0.01      | 0.005~0.015 | 0.01       | ND          | ND        | 吴瑜端等(1983)   |
| 生物慢性安全浓度(NOAA)<br>Chronic safe concentration of organisms                       | >3.1                                | >81       | >8.1        | >9.3       | >0.94       | >36       | Long 等(1995) |
| 国家一类海水水质标准<br>First class of national seawater quality standards                | $\leq 5.0$                          | $\leq 20$ | $\leq 1.0$  | $\leq 1.0$ | $\leq 0.05$ | $\leq 20$ | 国家环保总局(1997) |

注: ND 为未测定或无相关数据

Note: ND. Not detected or no correlating data

将近 3 年靖海湾表层海水的重金属含量与南黄海贝类养殖区进行比较,发现靖海湾 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 含量均高于 1997~2004 年南黄海 8 年的平均值,而近 3 年 Cu、Pb、Cd 平均含量均高于 2010 年 8 月江苏如东贝类养殖区的含量,Zn、Hg、As 平均含量低于 2010 年 8 月江苏如东贝类养殖区的含量。这主要是由于靖海湾保护区离岸较近,受到陆源输入的影响较大,同时靖海湾保护区是半封闭的海湾,湾内与外海的海水交换仅通过不超过 1 km 的湾口进行,水交换能力较弱,导致重金属很难向外扩散。

## 2.2 有机污染评价

本研究利用 COD、DIN、DIP、DO 4 个水质指标对海水有机污染状况进行评价。根据公式(1)计算得到的 A 值,对海水污染状况进行评估。其判别标准为:当  $0 < A < 1$  时,水质为较好; $1 < A < 2$ ,水质为开始受到污染; $2 < A < 3$ ,水质为轻度污染; $3 < A < 4$ ,水质为中度污染; $A > 4$ ,水质为严重污染(蒋国昌等 1987)。

根据公式(1)计算,靖海湾调查海域 2011 年 A 值的变化范围为 7.56~10.34,平均值为 8.83;2012 年 A 值的变化范围为 3.14~3.93,平均值为 3.49;2013 年为 5.22~6.09,平均值为 5.64,而 2008 年夏季靖海湾保护区 A 值的平均值为 5.30(夏斌等 2010),根据判断标准分析,靖海湾保护区海水 2008 年为严重污染,2011 年为严重污染,2012 年为中度污染,2013 年为严重污染。周艳荣等(2008)分析了唐岛湾的有机污染状况,A 值的变化范围为 0.54~5.24,平均值为 2.57,总体上处于轻度有机污染状态。李广玉等(2005)研究了胶州湾地层水的有机污染状况,A 值的变化范围为 0.08~15.08,平均值为 3.67,整体上为中度污染。靖海湾保护区 2011 年和 2013 年的 A 值平均值均大于唐岛湾和胶州湾,必须引起重视。

## 2.3 富营养化状态评价

营养盐是生物生存的必需物质,对海洋生产力有决定性的影响,但是营养盐过多会使水质富营养化,并能诱发赤潮,导致水质恶化。由于浮游植物对海水中营养盐的利用有一个特定的比例,因此当海水氮或磷相对过剩时,就会发生营养盐限制。传统的富营养化评价标准或评价模式,会使得海区的营养化水平提高,甚至表现为通常意义上的富营养化,但实际上这部分相对过剩的氮或磷并未被浮游植物所利用,也就是没有对实质上的富营养化做出贡献,而只具有一种潜在性(孙丕喜等 2007)。即只有在水体得到适量的磷(对磷限制水体而言)或氮(对氮限制水体而言)的补充,使 N/P 值接近 Redfield 值(Redfield 1958),这部分氮或磷对富营养化的贡献才能真正体现出来,这种现象可称为潜在性富营养化(郭卫东等 1998)。本研究根据以 N、P 营养盐作为评价参数的潜在性富营养化评价模式(表 2)对

表 2 潜在性富营养化评价(郭卫东等 1998)

Table 2 Potential eutrophication assessment standards

| 等级<br>Grade     | 营养级<br>Nutrient level  | DIN<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | N/P   |
|-----------------|--|----------------------------|--|-------|
| I               | 贫营养<br>Poor nutrient   | <200                       | <30  | 8~30  |
| II              | 中度营养<br>Medium nutrient  | 200~300                    | 30~45  | 8~30  |
| III             | 富营养<br>Rich nutrient   | >300                       | >45  | 8~30  |
| IV <sub>P</sub> | 磷限制中度营养<br>Medium nutrient with limited phosphorous                    | 200~300                    | /  | >30   |
| V <sub>P</sub>  | 磷中等限制潜在性富营养<br>Potential rich nutrient with medium limited phosphorous | >300                       | /  | 30~60 |
| VI <sub>P</sub> | 磷限制潜在性富营养<br>Potential rich nutrient with limited phosphorous          | >300                       | /  | >60   |
| IV <sub>N</sub> | 氮限制中度营养<br>Medium nutrient with limited nitrogen                       | /                          | 30~45  | <8    |
| V <sub>N</sub>  | 氮中等限制潜在性富营养<br>Potential rich nutrient with medium limited nitrogen    | /                          | >45  | 4~8   |
| VI <sub>N</sub> | 氮限制潜在性富营养<br>Potential rich nutrient with limited nitrogen             | /                          | >45  | <4    |

近 Redfield 值(Redfield 1958),这部分氮或磷对富营养化的贡献才能真正体现出来,这种现象可称为潜在性富营养化(郭卫东等 1998)。本研究根据以 N、P 营养盐作为评价参数的潜在性富营养化评价模式(表 2)对

靖海湾保护区调查海域营养状况进行评价。

富营养化状态评价结果见表3。靖海湾保护区调查海域2011年营养水平属磷限制潜在性富营养,2012年营养水平属中度营养,2013年营养水平属富营养化。根据年际变化趋势分析,靖海湾富营养化程度:2013年>2011年>2012年。夏斌等(2010)分析结果显示,2008年靖海湾调查水域基本属于富营养化,这表明富营养化一直是该海域面临的重要环境问题。

## 2.4 首要污染物分析

本研究选择 pH、DO、COD、DIN、PO<sub>4</sub>-P、Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、As 为评价因子,根据公式(6)可以计算出靖海湾松江鲈鱼种质自然保护区2011~2013年各评价因子的污染指数及污染分担率(图2)。

2011年,只有 COD、PO<sub>4</sub>-P、DIN 及 1、3、5、7 号站位的 Pb 的综合污染指数大于1。从各因子的污染分担率(图2)可以看出,DIN 的污染分担率最大,均超过35%,最大的达到49%,是当年此海域的首要污染物;COD 和 PO<sub>4</sub>-P 次之,约占18%;除3号站点 Pb 污染分担率稍高,达到13%外,Cu、Zn、Cd、As 及其余站点 Pb 均在10%以下,说明该海域的主要污染物为 DIN、COD 和 PO<sub>4</sub>-P,基本没有受到重金属的污染。

2012年,只有 DO、PO<sub>4</sub>-P、DIN 及 1、5、7、9 号站位的 COD 和 1、3、5、7 号站位的 Pb 的综合污染指数大于1。从各因子的污染分担率(图2)可以得出,DO 的污染分担率最大,达到30%,是当年此海域的首要污染物;PO<sub>4</sub>-P 次之,约占18%~22%;接下来依次为 DIN、COD 及 Pb,Cu、Zn、Cd、As 各站点污染分担率均在10%以下,说明该海域的主要污染物为 DIN、COD 和 PO<sub>4</sub>-P,除 Pb 稍高外,基本没有受到重金属的污染。

2013年,除 COD、Cd 及 Zn 的个别站点(2、6、7、8、9)外,其他调查因子的污染指数均大于1,说明2013年调查海域水质受污染范围比较广。从各因子的污染分担率(图2)可以得出,PO<sub>4</sub>-P 的污染分担率最大,最高可达到32%,是当年此海域的首要污染物;此外,除4、6、9号站点外,Pb 的污染分担率也在20%左右,说明该海域的主要污染物为 PO<sub>4</sub>-P,除4、6、9号站点外,其余各站点受到 Pb 污染,其余各重金属因子的污染分担率较2011年和2012年相比有所增加,该海域开始受到其他重金属的污染。

从以上分析可以得出,2011~2013年夏季靖海湾调查海域最主要的污染物为 DIN 和 PO<sub>4</sub>-P,这与夏斌等(2010)的研究结果相同,再一次验证了富营养化是该海域面临的重要环境问题。DIN、PO<sub>4</sub>-P 是靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环境评价中的敏感因子,可能诱导赤潮的发生,对海洋生物造成损害,应引起重视。

## 2.5 海水综合质量评价

在渔场生态环境质量评价过程中,应根据渔场海域的海水化学状况及周边污染源构成情况,有选择地对海

表3 靖海湾富营养化状态评价

Table 3 Evaluation of eutrophication level of Jinghai Bay

| 时间<br>Time(Year) | DIN<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | PO <sub>4</sub> -P<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | N/P | 富营养化级别<br>Eutrophication level |
|------------------|----------------------------|---|-----|--------------------------------|
| 2011             | 1 123                      | 32  | 78  | VI <sub>P</sub>                |
| 2012             | 263                        | 30  | 19  | II                             |
| 2013             | 382                        | 59  | 14  | III                            |

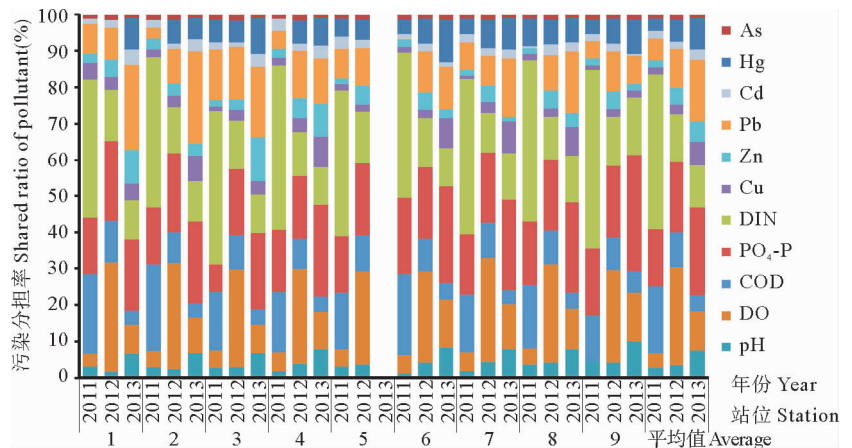


图2 2011~2013年各因子污染分担率

Fig. 2 The shared ratio of pollutant during 2011-2013

化因子和污染物进行评价。对于靖海湾水质现状的分析,依据 2011、2012 和 2013 年的监测数据,选取 pH、DO、COD、DIN、 $PO_4$ -P、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 11 个参数作为此方法研究的污染因子,以《海水水质标准》(GB3097-1997)中的一类水质标准作为标准值,采用单因子指数法和综合污染指数法进行评价。

根据公式 2 可以计算出靖海湾调查海域 2011~2013 年夏季各个站位的水质综合污染指数,结果见表 4。如表 4 所示,2011 年和 2013 年 1 号站位综合指数最高,并向湾内呈依次递减的趋势,而 2012 年 1 号站位综合指数最低,这主要是由于 1 号站位与两岸的距离最近,2011 年和 2013 年靖海湾污染程度受到沿岸居民生活、工业生产的影响较大,占主导因素,这与我国其他沿岸海域,例如三门湾(李铁军等 2011)、辽东湾(秦延文等 2010)的调查结果基本一致;而 2012 年靖海湾总体污染较轻,1 号站位于靖海湾与外海的交界处,水交换能力较强,海水自净能力占主导因素,这与夏斌等(2010)的研究结果一致。所以 1 号站位近 3 年综合质量指数的差别主要是由影响海水综合质量的主导因素不一样引起的。根据综合质量指数与环境分级关系(表 5),2012 年靖海湾各站位综合质量指数最低,根据综合质量指数确定水质环境分级属于允许级别,2011 年和 2013 年综合质量指数高于 2012 年,海水质量属于轻度污染。根据年际变化趋势分析,靖海湾海水综合质量为 2013 年>2011 年>2012 年。这可能与陆源排放、海水养殖等多方面因素有关,需加强管理。

表 4 靖海湾 2011~2013 年各个站位的水质综合污染指数

Table 4 Comprehensive quality index of each sampling station in Jinghai Bay, 2011-2013

| 站位<br>Station | 时间 Time(Year) |      |      |
|---------------|---------------|------|------|
|               | 2011          | 2012 | 2013 |
| 1             | 1.40          | 0.80 | 1.64 |
| 2             | 1.29          | 0.84 | 1.56 |
| 3             | 1.23          | 0.92 | 1.57 |
| 4             | 1.20          | 0.97 | 1.43 |
| 5             | 1.27          | 0.92 | /    |
| 6             | 1.05          | 1.01 | 1.45 |
| 7             | 1.25          | 0.97 | 1.51 |
| 8             | 1.14          | 0.94 | 1.52 |
| 9             | 1.00          | 1.01 | 1.15 |
| 均值 Average    | 1.20          | 0.93 | 1.48 |

表 5 水质综合污染指数与环境分级关系

Table 5 The relationship between the comprehensive quality index and environment classification

| 分级<br>Classification | 水质综合污染指数(Q)<br>Comprehensive quality index | 分级<br>Classification   | 水质综合污染指数(Q)<br>Comprehensive quality index |
|----------------------|--|------------------------|--|
| 清洁 Clean             | $Q < 0.3$                                  | 污染 Polluted            | $2 \leq Q < 3$                             |
| 尚清洁 Relatively clean | $0.3 \leq Q < 0.7$                         | 重污染 Seriously polluted | $3 \leq Q < 5$                             |
| 允许 Permitted         | $0.7 \leq Q < 1.0$                         | 恶性污染 Severely polluted | $Q \geq 5$                                 |
| 轻污染 Lightly polluted | $1 < Q < 2$                                |                        |  |

### 3 结论

1) 靖海湾调查海域 2011 年重金属含量均符合一类海水水质标准,2012 年 Pb、2013 年 Cu、Pb、Hg 含量均超出一类海水水质标准,也超出 NOAA 推荐的海水中重金属生物慢性安全浓度下限,可能会对生物体产生毒性,需引起重视。

2) 2011 年和 2013 年靖海湾调查海域的有机污染指数均大于 4,表明该海域受到严重的有机污染;2013 年为 5.64,表明有机污染有加重的趋势。从营养结构来看,2011 年和 2012 年 N/P 值大于 Redfield 比值,P 显得相对缺乏。根据富营养化评价模式,靖海湾调查海域 2011 年营养水平属磷限制潜在性富营养,2012 年营养水平属中度营养,2013 年营养水平属富营养化。

3) 靖海湾保护区调查海域主要污染物为 DIN 和  $PO_4$ -P。2012 年海水质量属于允许级别,2011 年和 2013 年海水质量属于轻度污染,这与陆源排放、海水养殖等多方面因素有关,需加强管理。

**致谢:**感谢中国水产科学研究院黄海水产研究所崔正国副研究员、张旭志副研究员、张艳助理研究员、徐勇助理研究员、丁东生博士后在样品采集及检测中给予的帮助。

## 参 考 文 献

- 王 森,胡本强,辛万光,戚 丽. 2006. 我国海洋环境污染的现状、成因与治理. 中国海洋大学学报(社会科学版), (5): 1-6
- 王育红,杨秀兰,吕振波,张焕君,李 凡,杨建敏. 2008. 山东近岸海湾微型浮游植物分布及其丰度与营养盐相关性研究. 海洋与湖沼, 39(6): 643-649
- 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
- 孙丕喜,张朝晖,郝林华,王 波,王宗灵,刘 萍,连 岩,常忠岳,谢琳萍. 2007. 桑沟湾海水中营养盐分布及潜在性富营养化分析. 海洋科学进展, 25(4): 436-445
- 刘 杰,冯秀丽,刘 潇,林 霖. 2013. 山东半岛东部靖海湾及邻近海域表层沉积物分布和运输特征分析. 中国海洋大学学报, 43(5): 77-81
- 任以顺. 2006. 我国近岸海域环境污染成因与管理对策. 青岛科技大学学报(社会科学版), 22(3): 106-111
- 李广玉,叶思源,高宗军,张正贤. 2005. 胶州湾底层水营养盐的分布特征及有机污染状况分析. 世界地质, 24(2): 194-199
- 李铁军,郭远明,贾怡然,张小军,张玉荣,薛 斌. 2011. 三门湾海域环境质量现状评价与分析. 海洋湖沼通报, (3): 123-128
- 吴瑜端,曾继业. 1983. 河口、港湾和近岸海域重金属的污染程度与背景值. 海洋环境科学, 2(4): 60-67
- 陆书玉主编. 2001. 环境影响评价. 北京:高等教育出版社, 89-95
- 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
- 周艳荣,马文斋,高振会. 2008. 唐岛湾海域营养状态及有机污染状况分析. 海洋环境科学, 27(Supp. 2): 70-73
- 袁建军,谢嘉华. 2003. 泉州湾近岸海域水质状况调查与评价. 台湾海峡, 22(1): 14-18
- 郭卫东,章小明,杨逸萍,胡明辉. 1998. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. 台湾海峡, 17(1): 64-70
- 贺志鹏,宋金明,张乃星,徐亚岩,郑国侠,张 蓬. 2008. 南黄海表层海水重金属的变化特征及影响因素. 环境科学, 29(5): 1153-1162
- 夏 斌,马绍赛,崔 毅,陈碧鹃,宋云利,周明莹. 2010. 2008年夏季靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环境质量综合评价. 海洋环境科学, 29(5): 762-766
- 秦延文,郑丙辉,张 雷,雷 坤,贾 静. 2010. 2004—2008年辽东湾水质污染特征分析. 环境科学研究, 23(8): 987-992
- 贾晓平,杜飞雁,林 钦,李纯厚,蔡文贵. 2003. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨. 中国水产科学, 10(2): 160-164
- 徐林波,高勤峰,董双林,刘 佳,傅秀娟. 2013. 靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究. 环境科学, 34(2): 476-483
- 蒋国昌,王玉衡,董恒霖,唐仁友. 1987. 浙江沿岸富营养化程度的初步探讨. 海洋通报, 6(4): 38-39
- 廖 勇,黄厚见,李 磊,袁 骐,蒋 玫,沈新强,王云龙. 2012. 江苏如东贝类养殖区重金属的含量分布特征及潜在生态风险评价. 中国环境监测, 28(6): 4-9
- Long ER, MacDonald DD, Smith SL and 1 other. 1995. Incidence of adverse biological effects within range of chemical concentrations in marine and estuary sediments. Environ Manage 19(1): 81-97
- Redfield AC. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. Am Sci 46: 205-221
- Volpe MG, Cara FL, Volpe F and 8 others. 2009. Heavy metal uptake in the ecological food chain. Food Chem 117:553-560