

# 春秋季节大丰港海域富营养化评价及趋势分析\*

张晓昱,花卫华,袁广旺,毛成贵,崔彩霞

(江苏省海涂研究中心 南京 210036)

**摘要:**文章以2013年4月底和11月中旬对盐城大丰港周边海域开展的海域水质现状调查结果为依据,分析讨论了该海域富营养化指数和营养状态质量指数的分布现状。结果显示:春秋两季富营养化指数范围分别为3.34~13.70、1.66~15.96,平均值为7.70和6.35;春秋两季营养状态质量指数范围分别为3.35~9.80、2.93~6.03,平均值为4.69和4.09;富营养化指数与营养状态质量指数分布总体呈现由西向东递减,王港河河口附近有高值区,说明大丰港海域营养盐主要还是受陆源污染影响;两种评价方法显示大丰海域的富营养化程度的趋势基本一致,即大丰港海域富营养化程度较高,水质状况较差;利用N:P摩尔比值进行潜在性富营养化评价中发现,大丰港海域水体中无机氮水平较高,活性磷酸盐的含量相对不足,大丰港周边海域属磷限制潜在性富营养水平。

**关键词:**大丰港;营养盐;富营养化;潜在性富营养化

中图分类号:P734

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2015)08-0101-06

大丰港位于江苏省1040 km海岸线中部(33°16'N,120°46'E),国家一类口岸,也是江苏沿海重点建设的三大海港之一。大丰港借助海岸线东侧小阴沙及瓢儿沙等干出沙丘作为天然屏障,依靠岸线和沙洲之间的天然潮汐通道“西洋深槽”建设深水码头,该处水深稳定,15 m等深线宽3~4 km,长55 km,并与外海深水贯通,港口常年不冻<sup>[1]</sup>。

本研究以2013年春秋季节大丰港周边海域调查数据为依据,计算了该海域水质富营养化指数及营养状态质量指数,比较了这两种在我国广泛应用的富营养化评价方法,并采用潜在性富营养化评价法进行营养结构分析,讨论该海域潜在性富营养限制环境因子,为大丰近岸海域的环境管理、环境容量估算提供科学依据。

## 1 数据资料与评价方法

### 1.1 样品采集与检测分析

调查海域共布设26个水质调查站位,分别于2013年4月底和2013年11月中旬采集表层海水样品,涨潮和落潮各一次。调查站位分布具

体见图1。调查的环境因子包括:活性磷酸盐、无机氮(硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮的总和)、化学需氧量和叶绿素。样品的采集、贮存、运输、前处理及其检测分析均按照《海洋调查规范》<sup>[2]</sup>和《海洋监测规范》<sup>[3]</sup>中相关要求操作。

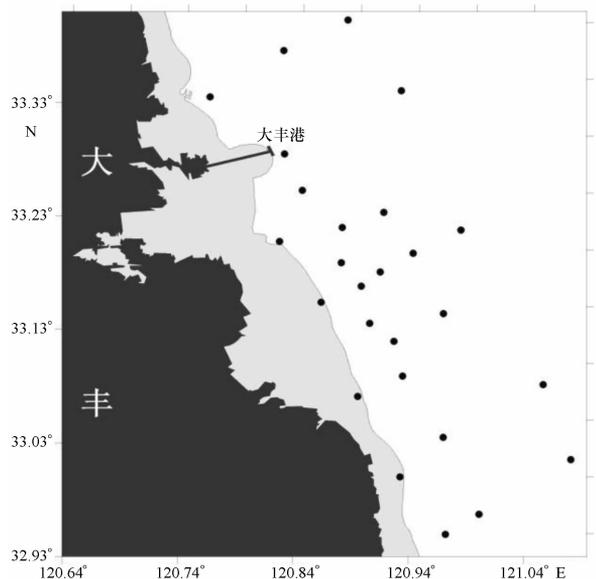


图1 采样站位分布

\* 基金项目:海洋公益性行业科研专项经费资助项目“江苏海涂围垦关键技术研究与应用示范”(2012418005)。

## 1.2 评价方法

### 1.2.1 富营养化指数

海水富营养化状况采用目前常用的富营养化指数(eutrophication index)法<sup>[4]</sup>进行分析评价,计算公式如下:

$$P_{EI} = C_{COD} \cdot C_{DIP} \cdot C_{DIN} \times 10^6 / 4\ 500$$

式中: $P_{EI}$ 为富营养化状态指数; $C_{COD}$ 、 $C_{DIP}$ 、 $C_{DIN}$ 分别为海水化学需氧量、活性磷酸盐和无机氮的检测含量,单位均为 mg/L。评价标准为  $P_{EI} \geq 1$  时,表明水体呈现富营养化水平, $P_{EI}$ 值越大,富营养化程度越严重。

### 1.2.2 营养状态质量指数法

营养状态质量指数(NQI)法是当前海洋环境调查规范中推荐使用的水域富营养化评价方法<sup>[5]</sup>,计算公式如下

$$P_{NQI} = \frac{C_{COD}}{S_{COD}} + \frac{C_{DIN}}{S_{DIN}} + \frac{C_{DIP}}{S_{DIP}} + \frac{C_{Chla}}{S_{Chla}}$$

式中:分子全部是海水 COD(化学需氧量)、DIN(无机氮)、DIP(活性磷酸盐)和 Chl *a* (叶绿素 *a*) 的检测浓度(mg/L, Chl *a* 为  $\mu\text{g/L}$ );分母全部是 COD、DIN、DIP 和 Chl *a* 的标准浓度。标准浓度的设定根据(陈鸣渊等<sup>[6]</sup>, 2007)研究,将 COD、DIN、DIP 和 Chl *a* 的标准值设为 3.0 mg/L, 0.3 mg/L, 0.03 mg/L, 5  $\mu\text{g/L}$ 。最终的营养化水平分级: $P_{NQI} > 3$ , 为富营养化水平; $P_{NQI}$  为 2~3, 为中度营养化水平; $P_{NQI} < 2$ , 为贫营养化水平。

### 1.2.3 潜在性富营养化评价法

本研究采用 N:P 比值(氮磷摩尔比)的潜在性富营养化划分法,对调查海域营养结构及潜在性富营养限制环境因子进行分析评价。

Redfield 等<sup>[7]</sup>和 Brzezinski<sup>[8]</sup>研究显示,浮游植物在光合作用中对氮、磷营养盐的吸收是按 16:1 的恒定摩尔比进行的,当氮磷摩尔比值小于 16, 则浮游植物生长受氮限制;反之则受磷限制。

基于前人研究,郭卫东等<sup>[9]</sup>根据 DIN(无机氮)、 $\text{PO}_4^{3-}\text{P}$ (活性磷酸盐)含量、N:P(氮磷摩尔比)结合国家海水水质标准,参照生物培养实验结果,对水质富营养化情况做出分级,提出了潜在性富营养化概念,并在此基础上提出富营养化分级标准及评价模式。具体营养级划分原则如表 1 所示。

表 1 潜在性富营养化营养级分类

| 级别   | 营养级         | DIN/<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | $\text{PO}_4^{3-}\text{P}/$<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | N:P   |
|------|-------------|---|--|-------|
| I    | 贫营养         | <0.2  | <0.03  | 8~30  |
| II   | 中度营养        | 0.2~0.3                                     | 0.03~0.045   | 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  | 磷中等限制潜在性富营养 | >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     | —   | 0.03~0.045   | <8    |
| V N  | 氮中等限制潜在性富营养 | —   | >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 氮、磷营养盐等要素含量对比评价分析

无机氮:调查结果显示,大丰港周边海域春季无机氮含量范围在 0.645~0.996 mg/L 之间,平均值为 0.789 mg/L;秋季无机氮含量范围在 0.509~1.225 mg/L 之间,平均值为 0.736 mg/L。无机氮春、秋两季劣于四类海水水质标准。大丰港海域主要的入海径流是王港河,近几年大量工业污水、农业和居民生活废水通过王港河直接排入该海域,这是导致大丰港海域无机氮含量处于高水平的主要原因之一。

活性磷酸盐:调查结果显示,大丰港周边海域春季活性磷酸盐含量范围在 0.020~0.026 mg/L 之间,平均值为 0.022 mg/L;秋季活性磷酸盐含量范围在 0.015~0.029 mg/L 之间,平均值为 0.022 mg/L。活性磷酸盐春、秋两季含量基本保持稳定,符合二、三类海水水质标准。我国磷污染在近些年得到了较好的控制,主要是归结于含磷农业化肥施用的减少和无磷洗涤剂的使用。

化学需氧量:调查结果显示,大丰港周边海域春季化学需氧量含量范围在 0.87~2.85 mg/L 之间,平均值为 1.95 mg/L;秋季化学需氧量含量范围在 0.69~3.10 mg/L 之间,平均值为 1.67 mg/L。春季化学需氧量较秋季含量稍高,两季均符合一类海水水质标准。大丰港附近水

深条件好,加之“西洋深槽”水动力交换能力强,因此化学需氧量含量相对较低。

叶绿素:调查结果显示,大丰港周边海域春季叶绿素含量范围在 3.768~12.908  $\mu\text{g/L}$  之间,平均值为 8.752  $\mu\text{g/L}$ ;秋季叶绿素含量范围在 0.206~4.629  $\mu\text{g/L}$  之间,平均值为 1.781  $\mu\text{g/L}$ 。叶绿素春季和秋季含量相差较大,主要是浮游植物受季节影响明显,春季浮游植物随气温上升开始生长,水体中叶绿素含量随之上升,秋季则反之。

### 2.2 富营养化指数的平面分布

大丰港周边海域表层海水富营养化指数的平面分布见图 2,富营养化指数分布总体呈现由西向东递减。在春季涨潮和秋季涨潮可以看出

大丰港码头南侧王港河对该海域富营养化影响较大,河口附近有高值区,说明大丰港海域营养盐主要还是受陆源污染影响。从表 2 中可以看出,大丰港周边海域表层海水富营养化指数均大于 1,变化范围从 1.66~15.96。大丰港周边海域海水富营养化现象严重,虽然最大值 15.96 在秋季,但从均值看来无论是涨潮还是落潮,春季富营养化指数都比秋季高。

表 2 大丰港周边海域表层海水富营养化指数

| 季节 | 落潮时均值 | 涨潮时均值 | 范围         | 总均值  |
|----|-------|-------|------------|------|
| 春季 | 8.03  | 7.35  | 3.34~13.70 | 7.70 |
| 秋季 | 6.18  | 6.52  | 1.66~15.96 | 6.35 |

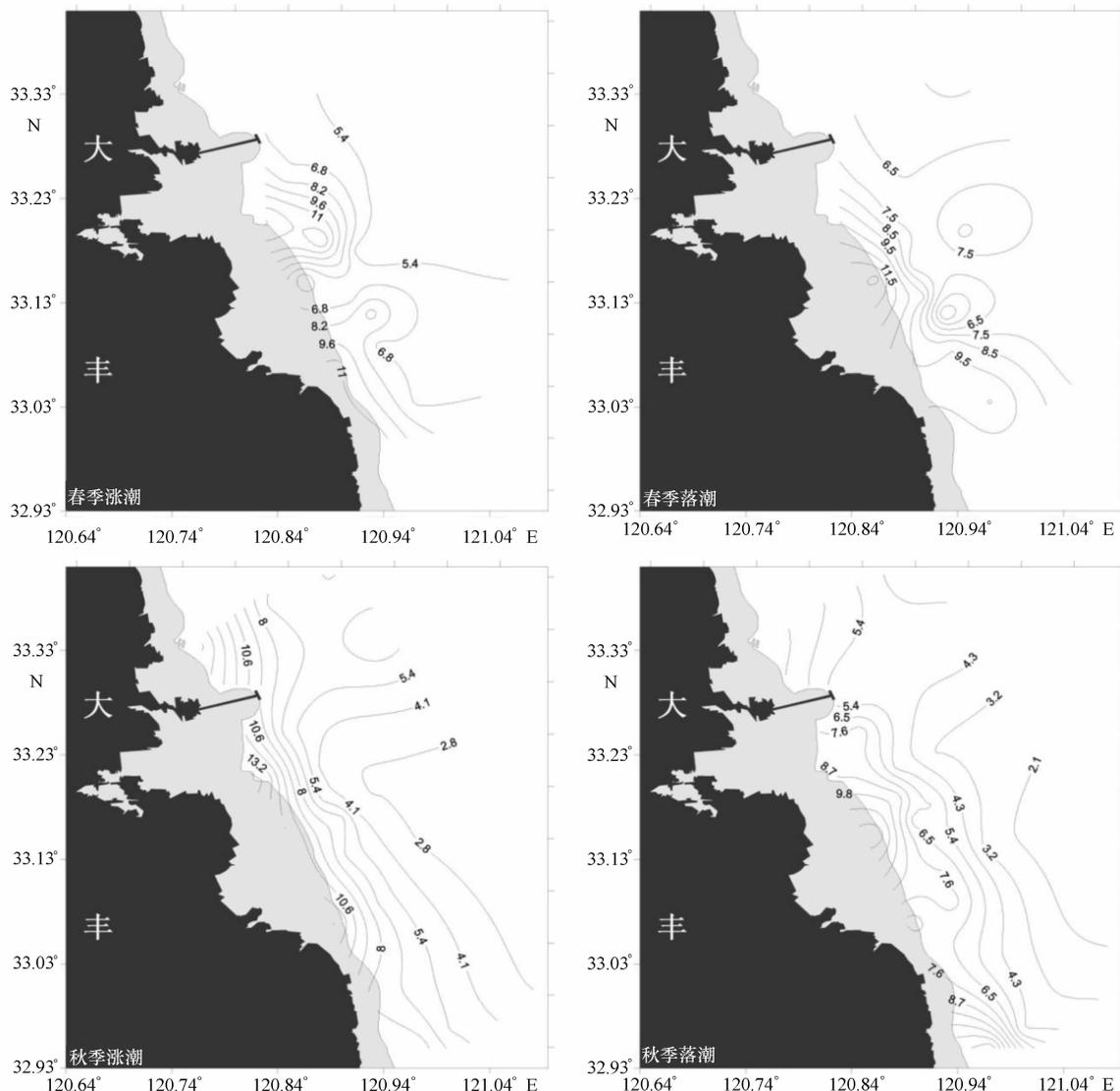


图 2 富营养化指数(EI)的平面分布

### 2.3 营养状态质量指数的平面分布

大丰港周边海域表层海水营养状态质量指数的平面分布见图 3, 营养状态质量指数分布总体呈现由西向东递减。与富营养化指数分布图一致, 在春季涨潮可以看出大丰港码头南侧王港河对该海域富营养化影响较大, 河口附近有高值区, 说明大丰港海域营养盐主要还是受陆源污染

影响。用表 3 中计算结果对照营养化水平分级可知, 大丰港周边海域表层海水营养状态质量指数除 1 个站位略小于 3, 其他均大于 3, 变化范围从 2.93~9.80。指数结果显示大丰港周边海域海水为富营养化水平, 最大值在春季, 达到了 9.80。从均值上看, 无论是涨潮还是落潮, 春季营养状态质量指数都比秋季高。

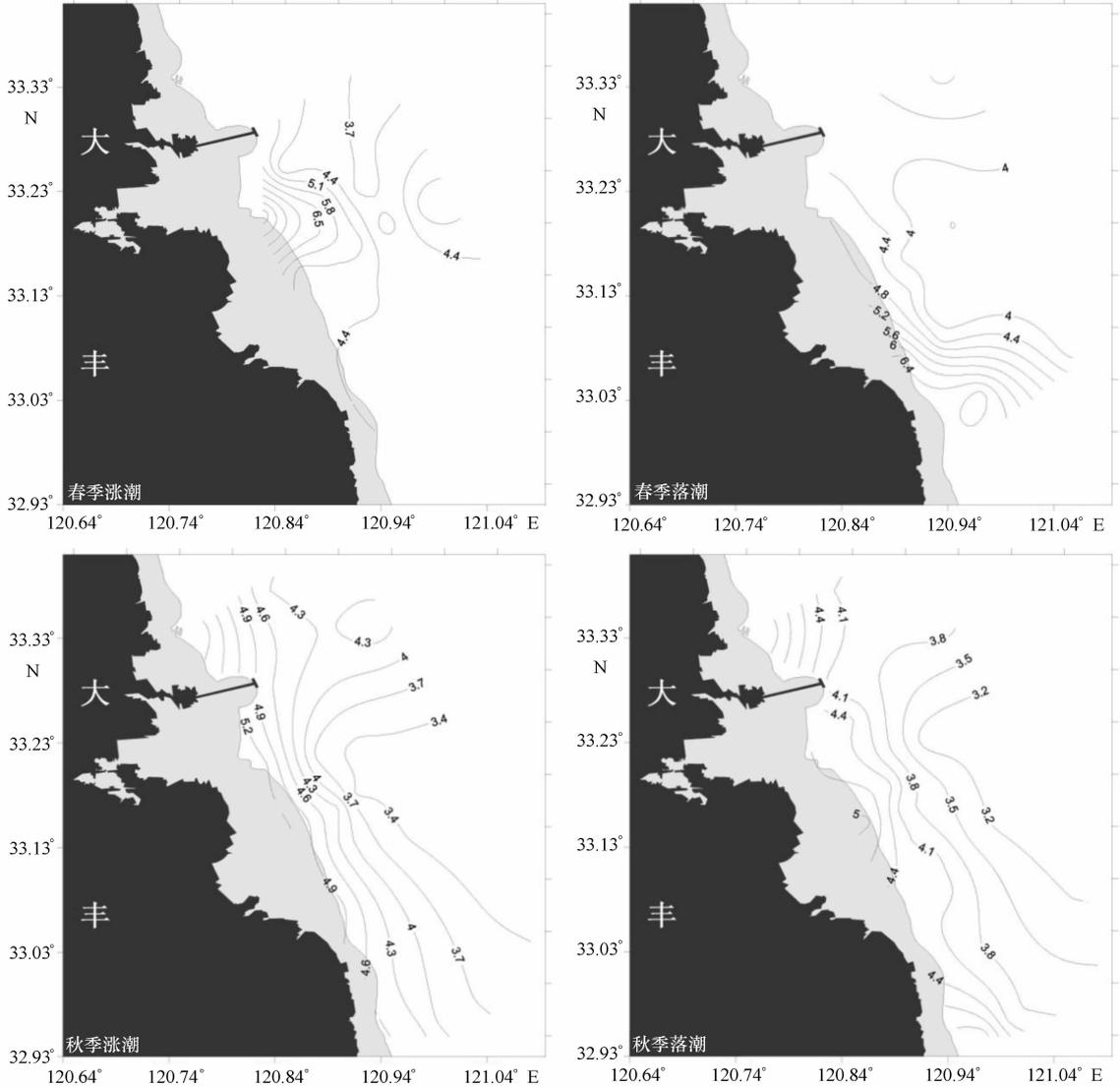


图 3 营养状态质量指数(NQI)的平面分布

表 3 大丰港周边海域表层海水营养状态质量指数

| 季节 | 落潮时均值 | 涨潮时均值 | 范围        | 总均值  |
|----|-------|-------|-----------|------|
| 春季 | 4.52  | 4.86  | 3.35~9.80 | 4.69 |
| 秋季 | 4.03  | 4.15  | 2.93~6.03 | 4.09 |

### 2.4 富营养化指数与营养状态质量指数结果比较

从富营养化指数与营养状态质量指数的平

面分布图比较发现, 两种评价方法反映的季节与涨落潮趋势基本一致, 但比较两种评价方法的计算结果可以发现, 富营养化指数法与营养状态质量指数法在对于春季涨潮和落潮的评价中存在一定差异。前者计算结果显示落潮时比涨潮时均值高一些, 但后者结果却相反。在对于秋季涨潮时与落潮时的评价和春秋两季均值的评价结

果中,两种方法计算的结果趋势是一致的。从这种综合比较可知,采用不同的富营养化评价方法,可能导致最终的结果存在一定的差异性。这种差异主要来源于评价要素选择的数量与类别存在差异。当评价要素较少时,其计算结果就会存在一定的局限性。因此增加评价过程中的评价要素,并结合评价区域的背景值,将更有利于准确反应评价海域的真实情况。对于大丰港周边海域的富营养化评价结果来说,虽然两种方法在结果上存在细微的差异,但是最终的结果都反映该海域富营养化现象严重,应当引起当地主管部门的重视。近些年,大丰沿海地区为了加快经济的发展,引进了一些污染重、耗能高的企业。临近大丰港的王港排污区排污口是江苏省重点监测入海排污口,《2013 年江苏省海洋环境质量公报》显示,王港排污区排污口全年 4 次监测均超标排放<sup>[10]</sup>。为了追求地区农业的高产,每年施用了大量的农药和化肥,从而加剧了农业面源的污染程度。同时由于鱼、虾等养殖废水基本是未经处理就直接排入海洋,造成大量饵料和排泄物聚集在浅海。多方因素极易引起大丰港周边海域的富营养化,造成环境质量恶化。

## 2.5 潜在性富营养化评价

大丰港周边海域表层海水中 N:P 比值春季的范围在 66.95~99.23,均值 77.60。秋季的范围在 61.67~98.96,均值 74.08。两季的 N:P 比值均远大于 16(表 4)。参照 Redfield 等<sup>[7]</sup>和 Brzezinski<sup>[8]</sup>的 16:1 浮游植物吸收氮、磷的恒定摩尔比。可以初步判定当前大丰港周边海域水体为磷限制,也就是说该海域目前处于无机氮相对过剩的情况,只有当水体中磷酸盐含量增加,使 N:P 比值接近 Redfield 值时,多余的无机氮才能在富营养化过程中体现出贡献来。因此,对于大丰临近海域水体中营养盐含量的控制,可以通过限活性磷酸盐的含量来限制浮游植物的生长,降低赤潮、绿潮等自然生态灾害的发生频率。

表 4 大丰港周边海域表层海水氮、磷摩尔比

| 季节 | 落潮时均值 | 涨潮时均值 | 范围          | 总均值   |
|----|-------|-------|-------------|-------|
| 春季 | 77.60 | 77.60 | 66.95~99.23 | 77.60 |
| 秋季 | 74.58 | 73.57 | 61.67~98.96 | 74.08 |

另一方面,根据郭卫东等<sup>[9]</sup>提出的潜在性富营养化营养级分类概念对大丰港周边海域表层海水中 N:P 比值进行评价,N:P 比值如表 5 所示。评价结果表明:大丰港周边海域春、秋季涨、落潮均属磷限制潜在性富营养水平。这说明该区域虽然由于工业和农业污水排放及王港河径流的影响无机氮水平很高,但由于受到磷的限制,总体上还处于潜在性富营养化阶段。这与 Redfield 值在分析结果上保持了一致,并且合理地给出了营养级分类。

表 5 大丰港周边海域表层海水潜在性富营养化评价

| 季节 | 涨落潮 | DIN/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | PO <sub>4</sub> -P/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | N:P<br>(摩尔比) | 营养级  |
|----|-----|-------------------------------|--|--------------|------|
| 春季 | 落潮  | 0.806                         | 0.023  | 77.60        | VI P |
|    | 涨潮  | 0.771                         | 0.022  | 77.60        | VI P |
| 秋季 | 落潮  | 0.741                         | 0.022  | 74.58        | VI P |
|    | 涨潮  | 0.731                         | 0.022  | 73.57        | VI P |

## 3 结论

(1)依据 2013 年春秋季大丰港周边海域调查数据,评价了该海域水质质量现状。无机氮为主要污染源,劣于四类海水水质标准。活性磷酸盐与化学需氧量分别符合二、三类与一类海水水质标准。

(2)海水富营养化指数与营养状态质量指数平面分布显示,王港河对大丰港周边海域富营养化影响较大,该海域营养盐主要还是受陆源污染影响。当采用海水富营养化指数法对大丰港周边海域表层海水进行评价时,其富营养化指数  $P_{EI}$  均值为 7.03,结果远大于 1;而采用营养状态质量指数法对该海域进行评价时,该海域营养状态质量指数  $P_{NQi}$  均值为 4.39,营养水平总体上属于 III 级,即富营养化水平。虽然两种评价方法显示大丰海域的富营养化及污染程度上有细微差异,但显示的趋势大体一致,大丰港海域富营养化程度较高,水质状况差。

(3)调查数据显示,大丰港周边海域春、秋两季无机氮、活性磷酸盐的平均浓度分别为 0.762 mg/L、0.022 mg/L。在利用 N:P 比值进行潜在性富营养化评价中发现,水体中无机氮水平较高,活性磷酸盐的含量相对不足,大丰港海

域属磷限制潜在性富营养水平。依据林荣根<sup>[7]</sup>指出的富营养指数法仅适用于没有藻类生长限制因素(氮或磷)的水域理论,因此选择营养状态质量指数法对大丰港海域进行富营养化水平评价更为合理。

工业污水,农业和生活废水排放、港口活动

的日趋加强等综合因素,导致了大丰港周边海域富营养化程度的加重,为保护大丰邻近海域的生态环境,防止富营养化水平的进一步加剧,必须根据大丰海域的环境容量、环境功能确定控制标准。制定相应的氮、磷浓度的排放标准,对排海污染物实施总量控制。

## 参考文献

- [1] 贾晓晖. 江苏大丰港港口介绍[J]. 天津航海, 2012(2): 8-9.
- [2] 国家海洋局. GB 12763-2007 海洋调查规范(海水化学要素观测)[S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2007.
- [3] 国家海洋局. GB 17378-2007 海洋监测规范(海水分析)[S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2007.
- [4] 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.
- [5] 陈于望. 厦门附近海域富营养化状况分析[J]. 海洋环境科学, 1987, 6(3): 14-19.
- [6] 陈鸣渊, 俞志明, 宋秀贤, 等. 利用模糊综合方法评价长江口海水富营养化水平[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 47-54.
- [7] REDFIELD A C, KETCHUM B H, RICHARDS F. The influence of organisms on the composition of sea water[C]//Hill M N. The sea. New York: John Wiley, 1963: 26-27.
- [8] BRZEZINSKI M A. The Si:c:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of sonic environmental variables[J]. Journal of Phycology, 1985, 21: 347-357.
- [9] 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(3): 64-70.
- [10] 江苏省海洋与渔业局. 2013年江苏省海洋环境质量公报[R]. 2013.
- [11] 林荣根. 海水富营养化水平评价方法浅析[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(2): 28-31.