

# 长江口邻近洋山港工程海域无机氮和磷的时空变化特征

张正龙<sup>1,2</sup>, 束炯<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>

(1. 华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062; 2. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200137)

**摘要:** 根据 2004~2008 年间 2 月和 8 月的营养盐监测资料, 分析了长江口邻近洋山港工程海域无机氮和磷浓度的时空变化特征, 结果表明: 亚硝酸盐和氨氮浓度呈波动特征。硝酸盐和无机氮浓度很高, 均超过四类海水水质标准; 硝酸盐占无机氮总量的 90.2% 以上。活性磷酸盐浓度较高且基本稳定, 其浓度均值处于四类海水水质标准范围。水体氮磷比值为 48~70, 存在磷限制现象。硝酸盐和活性磷酸盐浓度 8 月高于 2 月, 而亚硝酸盐和氨氮浓度 2 月高于 8 月。营养盐浓度表层高于底层, 由近岸向外海浓度递减。

**关键词:** 长江口; 洋山港; 无机氮; 时空特征

中图分类号: X834

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)05-0047-06

为了适应国际航运市场发展趋势, 参与竞争东北亚国际集装箱枢纽港, 促进上海建设国际航运中心的需要, 国家投资建设洋山深水港重大工程。该深水港工程位于长江口和杭州湾交汇处的崎岖列岛海区, 由南北两个岛链合围而成, 大、小洋山是其中两个主要岛屿<sup>[1]</sup>。洋山港工程自 2002 年 6 月开工, 至 2008 年底, 先后完成了洋山深水港一期、二期和三期工程。

20 世纪 80 年代以来, 国内海洋学者对长江口及其邻近海域的营养盐分布、成因和浓度变化等已经做了很多研究工作, 得出了一些研究成果<sup>[2-8]</sup>, 但针对长江口邻近洋山港工程海域近期的营养盐时间变化和空间分布特征还未见相关报道。本文利用国家海洋局东海环境监测中心 2004~2008 年间每年 2 月和 8 月共 10 航次的长江口邻近洋山港工程海域营养盐监测资料, 分析了该海域硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、氨氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )和活性磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )要素时间变化和空间分布特征, 总结近 5 年间长江口邻近洋山港工程海域水体营养盐的时空变化特征。

(YSG01~YSG12), 加之邻近的上海市趋势性监测固定站位 6 个(SH01~SH06)。本文利用这 18 个固定站位资料来了解长江口邻近洋山港工程海域营养盐浓度的时间变化和空间分布规律(图 1)。

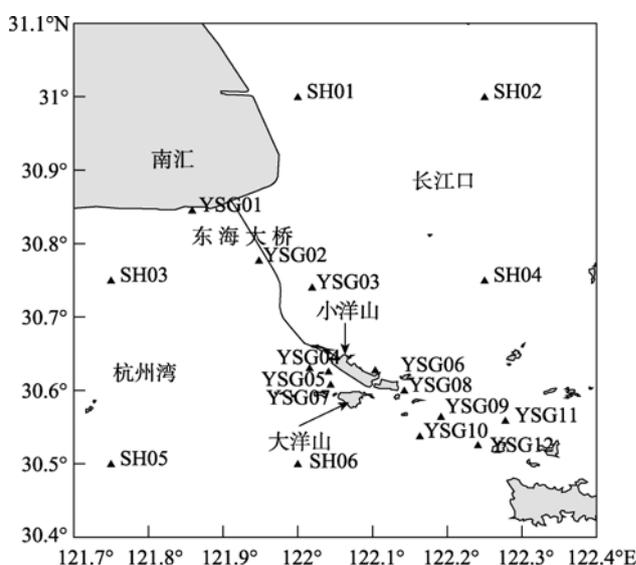


图 1 监测站位

Fig. 1 Sampling stations

## 1 材料与方 法

### 1.1 监测区域与站位

监测区域为长江口邻近洋山港工程海域, 大致在 30°24'~31°06'N, 121°42'~122°24'E。

2004 年 2 月以来, 国家海洋局东海环境监测中心在洋山港工程海域共布设了 12 个固定测站

收稿日期: 2010-02-10; 修回日期: 2010-06-12

基金项目: 国家高科技 863 计划项目(2007AA12Z182); 中国水利部公益性项目(200701026); 上海市 908 项目专项(ST1 和 ST2)

作者简介: 张正龙(1973-), 男, 安徽巢湖人, 工程师, 博士研究生, 主要从事海岸带和海洋水质遥感研究, E-mail: zhah2008@163.com

## 1.2 采样和测定方法

采样时,当站位水深小于等于 10 m 时,采集表层 0.5 m 水样;水深大于 10 m 时,采集表层和底层水样。

测定方法均按《海洋监测规范》(GB17378.4-1998、GB17378.4-2007)<sup>[9-10]</sup>执行,其中硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)浓度采用锌镉还原分光光度法,亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)浓度采用盐酸萘乙二胺分光光度法,氨氮(NH<sub>4</sub>-N)浓度采用次溴酸盐氧化法,活性磷酸盐(PO<sub>4</sub>-P)浓度采用磷钼蓝分光光度法。

本文无机氮(DIN)浓度为硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮浓度之和。文中所用数据都是经过了严格质控的测定分析数据。

## 2 结果与讨论

### 2.1 年际变化特征

长江口邻近洋山港工程海域水深一般在 5 ~ 20 m 范围,在水深小于 10 m 的站位无实测底层营养盐数据,加之 10 航次采样时潮位的差异,导致有实测底层营养盐数据的站位不统一。为了保证营养盐浓度比较时站位的一致性,本节在分析年际变化时只

统计各站位表层营养盐浓度值。

将长江口邻近洋山港工程海域 2004 年 2 月至 2008 年 8 月间 10 航次 18 站位营养盐监测资料进行统计,首先得到每年 2 月和 8 月各营养盐浓度的平均值,进一步统计出各年度 2 月和 8 月营养盐浓度平均值的均值,并统计各时段无机氮浓度值、氮磷比和硝酸盐占无机氮百分比(表 1)。

本文用各年度 2 月和 8 月表层营养盐浓度平均值的均值来反映该海域营养盐浓度的年际变化。

由表 1 可知,2004 ~ 2008 年间,长江口邻近洋山港工程海域硝酸盐浓度均值最低为 2004 年的 0.755 mg/L,最高为 2008 年的 1.032 mg/L。硝酸盐浓度均值很高,年际间呈波动上升趋势。这是因为近年来长江和钱塘江流域的化肥施用量以及沿岸生活污水排放量的不断增长,直接或间接地导致了长江和钱塘江水体中硝酸盐浓度的增高,造成研究海域硝酸盐浓度也呈波动上升趋势<sup>[6]</sup>。亚硝酸盐浓度均值最低为 2004 年的 0.010 mg/L,最高为 2006 年的 0.028 mg/L,亚硝酸盐浓度年际间呈波动特征。氨氮浓度均值最低为 2007 年的 0.033 mg/L,最高为 2008 年的 0.095 mg/L,氨氮浓度年际间呈波动特征。

表 1 2004~2008 年间表层营养盐的统计值(mg/L)

Tab.1 The statistics of nutrients in surface waters during 2004-2008

时间(年-月)	硝酸盐 (mg/L)	亚硝酸盐 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	无机氮 (mg/L)	活性磷酸盐 (mg/L)	硝酸盐占无机 氮百分比(%)	氮磷比
2004-02	0.681	0.014	0.092	0.787	0.029	87.2	60
2005-02	0.835	0.018	0.157	1.010	0.028	82.6	87
2006-02	0.768	0.029	0.096	0.893	0.031	86.0	62
2007-02	0.926	0.016	0.042	0.984	0.038	94.7	59
2008-02	0.969	0.019	0.160	1.148	0.032	85.8	80
2004-08	0.829	0.005	0.019	0.853	0.051	96.7	37
2005-08	1.132	0.006	0.009	1.148	0.054	98.6	53
2006-08	0.851	0.026	0.024	0.901	0.038	94.4	65
2007-08	1.038	0.010	0.025	1.073	0.041	96.8	57
2008-08	1.095	0.007	0.030	1.132	0.046	96.6	54
2004 年	0.755	0.010	0.055	0.820	0.040	91.9	48
2005 年	0.984	0.012	0.083	1.079	0.041	90.6	70
2006 年	0.810	0.028	0.060	0.898	0.035	90.2	64
2007 年	0.982	0.013	0.033	1.029	0.040	95.8	58
2008 年	1.032	0.013	0.095	1.140	0.039	91.2	67

2004 ~ 2008 年间,长江口邻近洋山港工程海域水体无机氮浓度普遍很高,均超过海水水质四类标准(0.5 mg/L),属于劣四类,最低为 2004 年的 0.755

mg/L,最高为 2008 年的 1.140 mg/L。2004 年以来,无机氮浓度均值呈波动增加趋势。这反映长江口邻近洋山港工程海域水体氮营养盐浓度不但明显富余,

而且无机氮浓度还在波动升高,表明水体水质有下降趋势。

该海域 3 种不同形态的溶解无机氮浓度中,各年度的硝酸盐占无机氮百分比都高于 90.2%,其中 2007 年所占百分比高达 95.8%,硝酸盐占有绝对优势,硝酸盐浓度的变化状况从某种意义上可反映出无机氮的变化,这种特征与已有长江口和杭州湾氮营养盐规律类似<sup>[4,8]</sup>。

长江口邻近洋山港工程海域活性磷酸盐浓度较高,按照海水水质标准,2004~2008 年间活性磷酸盐均值都属于四类水质(0.030~0.045 mg/L)范围内;5 年间活性磷酸盐浓度的均值基本稳定,最高为 2005 年的 0.041 mg/L,最低为 2006 年的 0.035 mg/L。其浓度基本稳定是因为该海域邻近长江口,存在磷酸盐的缓冲作用<sup>[11-12]</sup>。

该海域水体氮磷比值为 48~70,明显超过了 Redfield 的氮磷比值 16,也大于 30,存在磷限制现象<sup>[13-14]</sup>。

## 2.2 季节变化特征

将长江口邻近洋山港海域 2004 年 2 月至 2008 年 8 月间的 10 航次 18 站位营养盐监测资料进行统计平均,得到 5 年间 2 月和 8 月各营养盐浓度的平均值,用来反映营养盐的季节变化(表 2)。

由表 2 可知,5 年来长江口邻近洋山港工程海域硝酸盐浓度变化范围为 0.277~2.5mg/L,浓度变化范围 8 月高于 2 月,平均值 8 月高于 2 月;亚硝酸盐

浓度变化范围为 0.001~0.241mg/L,浓度变化范围 8 月高于 2 月,平均值 2 月高于 8 月;氨氮浓度变化范围为 0.003~0.868mg/L,浓度变化范围 2 月高于 8 月,平均值 2 月明显高于 8 月;活性磷酸盐变化范围为 0.003~0.106mg/L,浓度变化范围 8 月高于 2 月,平均值 8 月高于 2 月。硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮和活性磷酸盐浓度表、底层季节变化趋势基本一致。

长江口邻近洋山港工程海域硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮在不断地循环和转化过程中,受到化学的、生物的和物理的各种因子影响。硝酸盐和活性磷酸盐浓度 8 月高于 2 月,主要是因为夏季长江和钱塘江等径流量大,无机氮、磷营养盐陆源输入量明显比 2 月多。8 月份,洋山工程海域浮游生物生长旺盛,消耗了较多氨氮,加之水温高和光照强,氨氮易硝化分解,致使 8 月氨氮浓度比 2 月低<sup>[15]</sup>。亚硝酸是氮转化的中间环节载体,不稳定,8 月份水体各种氧化作用活跃,易将其转化为最终产物硝酸盐,因而其浓度比 2 月低。

## 2.3 空间分布特征

### 2.3.1 垂直分布特征

由表 2 可知,长江口邻近洋山港工程海域营养盐的垂直分布特征是:硝酸盐、亚硝酸、氨氮和活性磷酸盐浓度表层高于底层,这与以前的一些研究结果一致<sup>[4-5]</sup>。这种分布特征说明了河流径流输入和沿岸的污水排放等陆源输入是该海域营养盐的主要来源<sup>[16]</sup>。

表 2 不同季节营养盐的变化范围和平均值

Tab. 2 The variation ranges and mean values of nutrition in different seasons (mg/L)

层次	硝酸盐		亚硝酸盐		氨氮		活性磷酸盐	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
2 月表层	0.317-1.470	0.836	0.001-0.140	0.019	0.008-0.868	0.110	0.019-0.053	0.032
2 月底层	0.406-1.180	0.732	0.001-0.100	0.016	0.009-0.269	0.085	0.020-0.040	0.029
8 月表层	0.277-2.500	0.989	0.002-0.241	0.011	0.003-0.155	0.022	0.003-0.103	0.047
8 月底层	0.374-1.420	0.787	0.001-0.150	0.007	0.003-0.098	0.020	0.023-0.106	0.044

### 2.3.2 平面分布特征

长江口邻近洋山港工程海域 2004 年 2 月至 2008 年 8 月间有固定 18 个监测站位,每站位都有 2 月和 8 月各 5 次测量数据,把每站位 2 月和 8 月各 5 次表层的硝酸盐、亚硝酸、氨氮和活性磷酸盐浓度进行平均,用其平均浓度值作为各站位 2 月和 8 月的营养盐值,然后用 surfer 软件分别进行插值,绘制成 2 月和 8 月各表层营养盐平面分布图,用来了解长江口

邻近洋山港工程海域营养盐的平面分布特征(图 2)。此方法可以反映各站位 5 年间所在海域营养盐综合、平均状态的平面分布,得到的结果更为客观。

由图 2 可知,长江口邻近洋山港工程海域,2 月和 8 月份硝酸盐浓度分别从长江口和杭州湾内侧海域向大、小洋山外侧海域方向浓度递减。2 月份亚硝酸盐浓度杭州湾内侧海域要高于附近长江口海域,其浓度平面分布特点是从杭州湾内侧海域向大、小

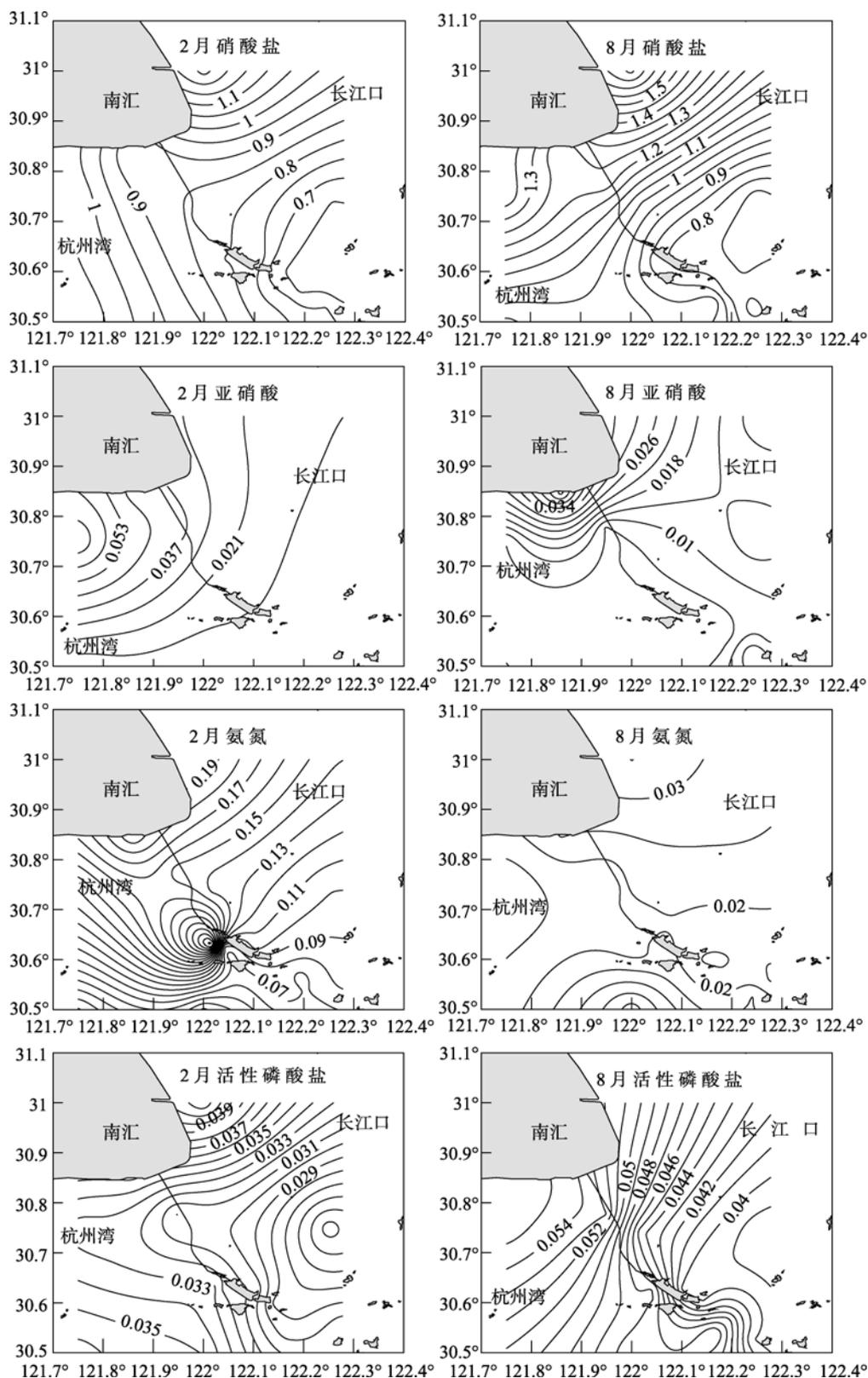


图2 营养盐2月和8月平面分布

Fig. 2 Horizontal distributions of nutrients in February and August

洋山外侧海域浓度递减; 8月份亚硝酸盐浓度分别从 长江口和杭州湾内侧海域向大、小洋山外侧海域方

向浓度递减, 内侧沿岸浓度梯度大。2月氨氮浓度总体由近岸向外海浓度递减, 但在小洋山附近海域存在一个高值区; 8月氨氮浓度总体由长江口和杭州湾内侧海域向外海浓度递减。2月活性磷酸盐浓度分别从长江口和杭州湾内侧海域向大、小洋山外侧海域方向浓度递减, 近岸浓度梯度大; 8月杭州湾内侧海域浓度要高于长江口海域, 其浓度平面分布特点是从杭州湾内侧海域向大、小洋山外侧海域浓度递减。

硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮和活性磷酸盐浓度总体平面分布特征: 由上海南汇区近岸向外海浓度递减, 东海大桥区浓度最高, 其次是大、小洋山附近的洋山港口区, 东南侧的外海区浓度最低。产生这种平面分布特征是因为: 长江口邻近洋山港工程海域位于长江口和杭州湾水体的交汇处, 受长江口和钱塘江径流等不同水体的影响, 在长江口和杭州湾陆源营养物质输入影响的近岸海域, 各营养盐浓度出现高值, 向外侧海域, 由于海水的稀释和浮游生物消耗等作用, 其浓度逐渐降低<sup>[17]</sup>。

由图 2 还可知, 硝酸盐和活性磷酸盐浓度等值线变化梯度 8 月明显大于 2 月, 而亚硝酸盐和氨氮浓度等值线变化梯度 2 月大于 8 月。这主要是因为各营养盐浓度的季节差异造成的, 营养盐要素浓度高的月份浓度变化梯度大。

### 3 小结

通过对长江口邻近洋山港工程海域 2004 ~ 2008 年间 2 月和 8 月营养盐浓度监测资料的整理和分析, 研究得出硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮和活性磷酸盐要素的时间变化和空间分布特征, 结果如下:

(1) 亚硝酸盐和氨氮浓度呈波动特征; 硝酸盐和无机氮浓度都很高, 且呈波动增加趋势, 均超过四类海水水质标准; 硝酸盐占无机氮百分比高于 90.2%, 占有绝对优势。

(2) 活性磷酸盐浓度较高, 其浓度均值处于四类海水水质标准范围, 活性磷酸盐浓度均值基本稳定。

(3) 水体氮磷比值的平均值为 48 ~ 70, 存在磷限制现象。

(4) 硝酸盐和活性磷酸盐浓度 8 月高于 2 月, 亚硝酸盐和氨氮浓度 2 月高于 8 月。

(5) 硝酸盐、亚硝酸、氨氮和活性磷酸盐浓度表层高于底层, 总体平面分布特征是由近岸向外海浓度递减。

(6) 硝酸盐和活性磷酸盐浓度等值线变化梯度 8 月大于 2 月, 而亚硝酸盐和氨氮浓度变化梯度 2 月大于 8 月。

参考文献:

- [1] 陈沈良, 崎岖列岛海区的水文泥沙及其峡道效应[J], 海洋学报, 2000, 22(3): 123-131.
- [2] 王正方, 姚龙奎, 阮小正. 长江口营养盐(N,P,Si)分布与变化特征[J]. 海洋与湖沼, 1980, 14(4): 324-332.
- [3] 沈志良. 三峡工程对长江口海区营养盐分布变化影响的研究[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 540-546.
- [4] 叶仙森, 张勇, 项有堂. 长江口海域营养盐的分布特征及其成因[J]. 海洋通报, 2000, 19(1): 89-92.
- [5] 李玲玲, 于志刚, 姚庆祯, 等. 长江口海域营养盐的形态和分布特征[J], 水生态学杂志, 2009, 2(2): 15-20.
- [6] 周俊丽, 刘征涛, 孟伟, 等. 长江口营养盐浓度变化及分布特征[J], 环境科学研究, 2006, 19(6): 139-144.
- [7] 王芳, 康建成, 周尚哲, 等. 春秋季节长江口及其邻近海域营养盐污染研究[J], 生态环境, 2006, 15(2): 276-283.
- [8] 方涛, 李道季, 孔定江, 等. 夏秋季长江口及毗邻海域 N、P 营养盐分布及其潮汐变化[J], 海洋环境科学, 2008, 27(5): 437-442.
- [9] 国家质量技术监督局发布.GB17378.4-1998 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [10] 中国国家标准化管理委员会发布. GB17378.4-2007. 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [11] 赵宏亮, 刘莲生, 张正斌. 海水中磷酸盐在固体粒子上的阴离子交换作用——. 长江口磷酸盐缓冲现象及其生物获得性[C]//海洋化学论文选. 北京: 海洋出版社, 1994: 85-89.
- [12] 黄尚高, 杨嘉东, 暨卫东, 等. 长江口水体活性硅、氮、磷含量的时空变换及相互关系[J], 台湾海峡, 1986, 5(2): 114-123.
- [13] 王保栋, 陈爱萍, 刘峰. 海洋中 Redfield 比值的研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(2): 232-235.
- [14] 胡明辉, 杨逸萍, 徐春林, 等. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制[J]. 海洋学报, 1989, 11(4): 439-443.
- [15] Sierra J. Nitrogen mineralization and nitrification in a tropical soil: effects of fluctuating temperature conditions[J]. Soil Bid Biochem. 2002, 34: 1219-1226.
- [16] 范丽, 程金平, 郭广勇. 长江口污染物种类及其来源[J]. 江苏环境科技, 2008, 21(增 1): 10-15.
- [17] 潘胜军, 沈志良. 长江口及其邻近水域溶解无机氮的分布变化特征[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 205-211.

## Temporal and spatial characteristics of inorganic nitrogen and phosphate in the Yangtze Estuary adjacent to Yangshan harbour

ZHANG Zheng-long<sup>1,2</sup>, SHU Jiong<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Geographical Information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. East China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)

**Received:** Feb., 10, 2010

**Key words:** Yangtze Estuary; Yangshan harbour; inorganic nitrogen; temporal and spatial characteristics

**Abstract:** Based on the nutrient monitoring data of February and August during 2004~2008, the temporal and spatial characteristics of inorganic nitrogen and phosphate were analyzed in the Yangtze Estuary adjacent to Yangshan harbour. The results showed that the concentrations of nitrite and ammonia were fluctuant. The concentrations of nitrate and inorganic nitrogen were extremely high, surpassing those of the fourth rank of standard seawater quality. Nitrate occupied more than 90.2% of inorganic nitrogen. The concentration of phosphate was high and steady, which belonged to the fourth rank of standard seawater quality. The ratio of nitride to phosphate was 48~70, so that phosphorus was a limiting factor for phytoplankton growth. The concentrations of nitrate and phosphate in August were higher than in February, but the concentrations of nitrite and ammonia in February were higher than those in August. The concentrations of nutrients in the surface were higher than those in the bottom. The concentration of inorganic nitrogen and phosphate decreased from seashore to outer sea.

(本文编辑: 张培新)

---

(上接第 46 页)

## Major element characteristics of east coast mud off the Hainan Island

CHANG Hong<sup>1</sup>, XIAO Shang-bin<sup>2,3</sup>, CHEN Zhong<sup>3</sup>, CHEN Mu-hong<sup>3</sup>

(1. Wuhan Center of China Geological Survey, Yichang 443005, China; 2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 3. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Received:** Aug., 31, 2009

**Key words:** the north South China Sea; continental shelf; mud; geochemical characteristics; grain-size; Core S20

**Abstract:** Lithology, grain-size, and major element analysis were carried out for Core S20, which was collected from the mud area off the east coast of Hainan Island. The lithology was homogenous, and was mainly composed of clay silt, indicating a relatively stable environment that extends to present day. The concentration of major elements obeyed the rule that "grain-size controlling on geochemical elements". Based on R-model factor analysis, the first principal component had relatively high loadings of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and K<sub>2</sub>O, reflecting the difference of elements' activity in hypergene environment. The second component had high loadings of MgO and Na<sub>2</sub>O, of which we have no good explanation. Furthermore, the study on mineralogy is needed.

(本文编辑: 刘珊珊)