

长江口海域营养盐的形态和分布特征

李玲玲¹, 于志刚¹, 姚庆祯¹, 陈洪涛¹, 米铁柱², 巩 瑶¹

(1. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100;
2. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 利用 2007 年 4 月对长江口海域航次的调查结果, 对该海域营养盐的形态和分布特征进行了探讨, 并对其主要控制过程进行了讨论。结果表明: 长江口海域营养盐的浓度变化范围较大, 整体分布趋势是由近岸向外海逐渐降低, 且明显受水文状况影响。在长江口海域, 磷主要以磷酸盐的形式存在, 其余依次是溶解有机磷、颗粒态磷; 氮主要以硝酸盐的形式存在, 其余依次是溶解有机氮、颗粒态氮、氨氮、亚硝酸盐。硝酸盐和硅酸盐的行为是保守的, 其行为主要受咸淡水混合过程控制; 磷酸盐、溶解有机磷、颗粒态磷、亚硝酸盐、氨氮和溶解有机氮的行为是非保守的。

关键词: 长江口, 营养盐, 形态, 分布特征

中图分类号: X142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2009)02-0015-06

引言

在化学海洋学中海水营养盐指氮、磷、硅元素的盐类, 它们是海洋浮游植物生长繁殖所必需的成分, 也是海洋初级生产力和食物链的基础。水体中营养盐具有不同的存在形态, 其结合形式大致可分为: 溶解态、颗粒态和吸附态等; 从化合物性质还可分为有机态和无机态等等, 其中对浮游植物生长影响最直接的是溶解无机态的营养盐。在近岸的浅海和河口区, 海水营养盐的含量分布, 不但受浮游植物的生长消亡和季节变化的影响, 而且和大陆径流的变化、温度跃层的消长等水文状况有很大的关系。

长江口海域营养盐的分布变化, 因其独特的地理位置, 不仅受到西部长江冲淡水的影响, 而且还受东部的黑潮、南部的台湾暖流以及北部的南黄海沿岸流的影响形态(焦念志等, 1998; 刘兴泉, 2001), 总体而言, 存在上层水流向外海、下层水流向河口的河口型环流(王康善等, 1987)。关于长江口及其邻近海域营养盐的分布变化规律, 已有不少研究报道。王正方等(1983)对长江口营养盐分布及迁移规律进行研究得出, 硝酸盐和硅酸盐主要受海水稀释控制, 其行为是保守的; 黄尚高等(1986)的研究也表明长江口中硝酸盐具有良好的保守行为, 而磷酸盐

则存在缓冲作用; 王保栋(1998)也发现硝酸盐在长江口具有良好的保守性, 且其浓度的变化与长江流域氮输入通量增加有关(叶属峰等, 2005; Baodong Wang, 2006; 傅瑞标等, 2002)。

本文通过对 2007 年 4 月长江口海域营养盐样品的分析, 着重探讨长江口海域营养盐的形态和分布特征, 为长期观测三峡工程对长江口生态系统的影响提供参考。

1 采样及分析方法

于 2007 年 4 月利用“勘 407 轮”调查船对长江口海域进行现场调查, 具体采样站位见图 1。现场用 CTD 观测盐度、水深, 用 Niskin 采水器分别采集不同层次水样。水样采集后, 立即经 0.45 μm 醋酸纤维滤膜(预先用 1: 1 000 HCl 浸泡 24 h, 并用 Milli-Q 水洗至中性)过滤, 滤液分装于 2 个 100 mL 聚乙烯瓶(预先用 1: 5 HCl 浸泡 24 h, 并用去离子水洗至中性)中, 一份于 -20°C 下冷冻保存用于磷酸盐($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)、硝酸盐($\text{NO}_3^{-} - \text{N}$)、亚硝酸盐($\text{NO}_2^{-} - \text{N}$)、氨氮($\text{NH}_4^{+} - \text{N}$)、溶解态总磷(DTP)、溶解态总氮(DTN)的测定; 另一份加入固定剂氯仿后常温保存用于硅酸盐($\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$)的测定。另取一份水样用 GF/F 膜过滤, 滤膜于 -20°C 下冷冻保存用于颗粒态磷(PP)、颗粒态氮(PN)的测定。

在实验室中, 利用 QUAATRO 型营养盐自动分析仪(德国 BRAN + LUEBBE 公司)测定无机态营养盐, 溶解无机氮是硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮三者浓度之和($\text{DIN} = \text{NO}_3^{-} - \text{N} + \text{NO}_2^{-} - \text{N} + \text{NH}_4^{+} - \text{N}$), 其

收稿日期: 2009-01-08

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(30490232); 科技部基础研究重大项目(2002CB412405)。

通讯作者: 姚庆祯, E-mail: qzyao@ouc.edu.cn

作者简介: 李玲玲, 1984 年生, 女, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物地球化学。E-mail: li_lingling@yahoo.cn

检出限分别是: $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 $0.01 \mu\text{mol/L}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 $0.02 \mu\text{mol/L}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 为 $0.02 \mu\text{mol/L}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 $0.03 \mu\text{mol/L}$, $\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$ 为 $0.04 \mu\text{mol/L}$ 。颗粒态磷、颗粒态氮、溶解态总磷和溶解态总氮采用碱性过硫酸钾氧化法消化,用 AA Ⅲ 型营养盐自动分析仪(德国 BRAN + LUEBBE 公司)测定,消化过程中以乙二胺四乙酸二钠(EDTA)(Klaus Grasshoff et al, 1999)和 5'腺苷-磷酸(AMP)(谭加强等, 2001)分别作为有机氮和有机磷标准,消化率分别为 96% 和 100%。溶解有机磷 $\text{DOP} = \text{DTP} - (\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$, 溶解有机氮 $\text{DON} = \text{DTN} - \text{DIN}$, 总磷 $\text{TP} = \text{DTP} + \text{PP}$, 总氮 $\text{TN} = \text{DTN} + \text{PN}$ 。

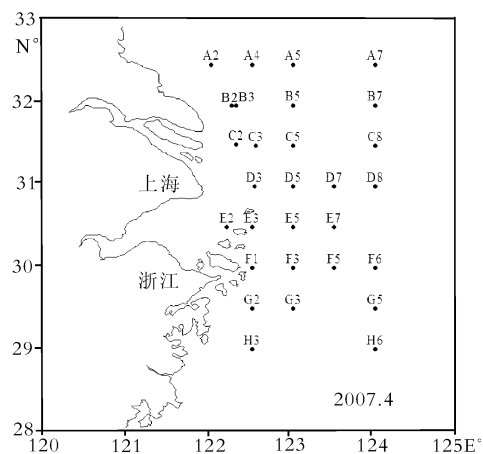


图1 2007年4月长江口海域观测站位

Fig.1 Sampling stations in the

Yangtze River Estuary in April 2007

2 结果与讨论

2.1 长江口海域营养盐的含量及形态

2007年4月长江口海域磷酸盐、溶解有机磷(DOP)、溶解态总磷(DTP)、颗粒态磷(PP)、总磷(TP)的浓度变化范围分别是: $0.02 \sim 0.82$ 、未检出 ~ 0.44 、 $0.16 \sim 1.23$ 、 $0.06 \sim 1.14$ 、 $0.29 \sim 2.04 \mu\text{mol/L}$ 。磷酸盐占 DTP 的比例为 5% ~ 94%, 平均值为 51%; 在 122.7°E 以西的大部分海区, 磷酸盐占 DTP 的比例为 51% ~ 94%, 为 DTP 的主要存在形态; 122.7°E 以东的大部分海区, 磷酸盐占 DTP 的比例低于 50%, DOP 为 DTP 的主要存在形态。在整个调查海域, DTP 占 TP 的比例为 50% ~ 93%, 平均值为 72%, DTP 为 TP 的主要存在形态。PP 占 TP 的比例为 7% ~ 62%, 平均值为 30%, 在大部分调查海域, PP 为所有磷形态中浓度最低的形态, 占 TP 比例最小。

长江口海域硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、溶解无机

氮(DIN)、溶解有机氮(DON)、溶解态总氮(DTN)、颗粒态氮(PN)、总氮(TN)的浓度变化范围也较大, 分别是: $0.07 \sim 81.5$ 、 $0.05 \sim 1.39$ 、未检出 ~ 11.0 、 $0.73 \sim 73.7$ 、未检出 ~ 13.28 、 $6.62 \sim 76.7$ 、 $0.65 \sim 9.54$ 、 $7.56 \sim 83.1 \mu\text{mol/L}$ 。硝酸盐占 DIN 的比例为 9% ~ 99%, 平均值为 79%, 硝酸盐为 DIN 的主要存在形态; 在调查海区的东南部(D7、F6、G5、H6 等站位), 硝酸盐占 DIN 的比例低于 50%。亚硝酸盐占 DIN 的比例为 0.1% ~ 21%, 平均值为 5%, 在调查海域的大部分区域, 亚硝酸盐在 DIN 的各存在形态中浓度最低, 占 DIN 的比例最小。氨氮占 DIN 的比例为 1% ~ 82%, 平均值为 17%; 在调查海区的东北部(A7、B2、B3、C3、D5、F6 等站位), 氨氮为 DIN 的主要存在形态; 其它站位氨氮所占比例介于硝酸盐所占比例与亚硝酸盐所占比例之间, 是 DIN 的次要存在形态。DIN 占 DTN 的比例为 10% ~ 99%, 平均值为 65%; 调查海域的东南部(D7、D8、F6、G5、H6 等站位), DON 为 DTN 的主要存在形态; 其它大部分站位, DIN 为 DTN 的主要存在形态。DTN 占 TN 的比例为 69% ~ 98%, 平均值为 89%, 为 TN 的主要存在形态; PN 占 TN 的比例为 2% ~ 31%, 平均值为 11%。在调查的大部分海域, 硝酸盐为 TN 的主要存在形态, 其余依次是 DON、PN、氨氮、亚硝酸盐。

长江口海域硅酸盐的浓度变化范围是 $3.50 \sim 56.7 \mu\text{mol/L}$ 。在大部分调查海域, 硅酸盐的浓度在 $10.0 \sim 20.0 \mu\text{mol/L}$; 硅酸盐浓度在靠近长江口位置的站位比其他海域站位高, 最高浓度出现在 C2 站表层, 为 $56.7 \mu\text{mol/L}$, 低浓度出现在调查海域的东南部。N/P 比值的变化范围为 $27.0 \sim 367.9$, 大部分站位 N/P 比值皆在 100 以上, 高值区主要分布在长江口东南部海区。Si/N 比值的变化范围为 $0.43 \sim 2.51$, 长江冲淡水区域及江苏、浙江沿岸海区 Si/N 比值小于 1.0, 受黑潮水影响的区域 Si/N 比值较高。

2.2 长江口海域营养盐的分布特征

从 2007 年 4 月长江口及邻近海域盐度表层与底层分布图(图 2)可以看出, 盐度的表层和底层分布趋势大体一致, 梯度分布明显, 都是呈现近岸低、外海高的特点。由于长江冲淡水从表层外泄, 而外海水从底部楔入, 表层盐度明显低于底层。由盐度的平面分布可看出: 表层长江冲淡水自口门冲出后一部分穿过杭州湾口及舟山群岛一带沿岸南下; 另一部分则左转向北或东北, 进入南黄海西南部(王保栋, 1998)。

长江口及邻近海域的盐度一方面受长江径流量和冲淡水方向的影响,另一方面还受东部的黑潮、南部的台湾暖流以及北部的黄海沿岸流的影响(石晓勇等,2003)。沿东海大陆架北上的以高温、高盐、低营养盐为特征的黑潮对该海域的影响主要体现在 123.0°E 以东、 32°N 以南,亦即冲淡水转向后的外围扩展区域。

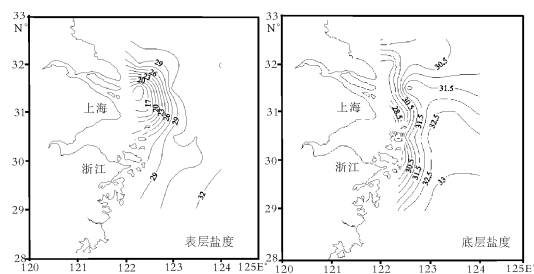


图2 2007年4月长江口海域表底层盐度分布

Fig. 2 The distribution of salinity at surface and bottom in the Yangtze River Estuary in April 2007

图3为2007年4月长江口海域表、底层硅酸盐平面分布图。由图可以看出,硅酸盐表、底层分布趋势与盐度基本一致,都是呈现近岸浓度高、外海浓度低的特点;表层浓度明显高于底层,且其表、底层分布趋势基本一致。表层硅酸盐分布呈现双向扩展的趋势,分别从长江口向东南和东北两个方向扩展,底层受黑潮和台湾暖流等的影响,等值线明显靠近海岸。硅酸盐最高浓度出现在靠近长江口的区域,最低浓度出现在调查区域的东南部。

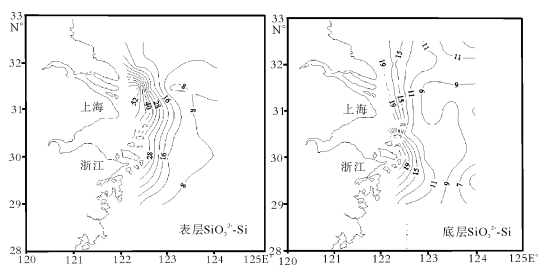


图3 2007年4月长江口海域

表底层硅酸盐平面分布($\mu\text{mol/L}$)

Fig. 3 The distribution of silicate at surface and bottom in the Yangtze River Estuary in April 2007

图4为海水中各形态磷的平面分布图。结果表明:从整个调查区域看,长江口海域各形态磷的表、底层分布趋势基本一致,并且其分布变化与水文状况密切相关。整体趋势是:近岸海区浓度高,由近岸向外海呈递减趋势;表层浓度高于底层;最高浓度出现在长江口附近的区域,最低浓度出现在受台湾暖流影响的东南海区。由图4可知,除溶解有机磷和颗粒态磷外,各形态磷分布趋势基本一致,且其分布

趋势与盐度基本一致。各形态磷在表层均呈现双舌状的分布趋势,且其分布与盐度大体相同,这主要是由于长江冲淡水的影响。

磷酸盐含量高值区主要出现在长江冲淡水区,最高浓度出现在口门内,由口门向外浓度逐渐降低,受黑潮水影响的东南部海区磷酸盐浓度较低;底层磷酸盐浓度分布与表层相似,由口门向外海浓度逐渐降低。DOP除了东南部浓度低于 $0.1 \mu\text{mol/L}$ 外,其它站位浓度差异不大,基本在 $0.2 \mu\text{mol/L}$ 上下波动;除长江口东部底层DOP浓度高于表层外,其它站位DOP浓度表、底层差别不大。PP最高浓度出现在长江口门附近及杭州湾口,由杭州湾口向外浓度逐渐降低,大部分站位PP浓度表、底层差异不大,PP低浓度区主要分布在受黑潮水影响的东南部海区,PP表、底层分层明显,底层浓度高于表层。TP的分布趋势与磷酸盐一致,近岸浓度高、外海浓度低;含量高值区主要出现在长江冲淡水区,最高浓度出现在靠近长江口的区域;在调查海域东南部,由于受黑潮的影响,磷酸盐含量相对较低。

图5为2007年4月调查海域表、底层海水中不同形态氮的平面分布图。由图可得,硝酸盐的最高值出现在长江口门附近,高浓度区主要分布在长江冲淡水影响的区域,浓度由长江口向外呈梯度递减;表现为近岸浓度高,外海浓度低;A、B断面各站硝酸盐浓度表、底层差异不大,垂向分布均匀;其它断面以 123°E 为界, 123°E 以西的站位由于高盐、低氮的海水从底层楔入,表现为表层硝酸盐浓度高,底层硝酸盐浓度低; 123°E 以东的站位正好相反,表现为表层硝酸盐浓度低,底层硝酸盐浓度高。亚硝酸盐的分布趋势与硝酸盐相似,最高浓度出现在长江口门,由口门向外海浓度呈梯度降低;亚硝酸盐浓度在口门附近站位表层高于底层,其它站表、底层差异不大。氨氮最高浓度也出现在长江口门处,由口门向外浓度逐渐降低, 122.5°E 以东的调查区域氨氮浓度变化不大,基本在 $1.0 \mu\text{mol/L}$ 上下波动;底层氨氮的浓度分布与表层完全不同,最高浓度出现在苏北沿岸,达 $11.3 \mu\text{mol/L}$;在长江口东部及东南部也出现2个高值区。

DON最高值出现在口门内,由口门向外浓度逐渐降低,口门东北部的B5、A4站附近出现一低值区;DON表、底层分层明显,大部分站位表层DON浓度明显高于底层。PN高值区主要出现在杭州湾口及长江口东部,而低值区出现在调查区域的北部及受黑潮水影响的东南部海区;底层PN分布与表

层不同,PN 最高值出现在杭州湾口,由杭州湾口向外海浓度逐渐降低。TN 的分布趋势与硝酸盐相似,浓度最高值出现在长江口门附近,高浓度区主要分

布在长江冲淡水影响的区域,低浓度区出现在受黑潮水影响的东南部海区;TP 浓度由长江口向外呈梯度递减,表现为近岸浓度高,外海浓度低。

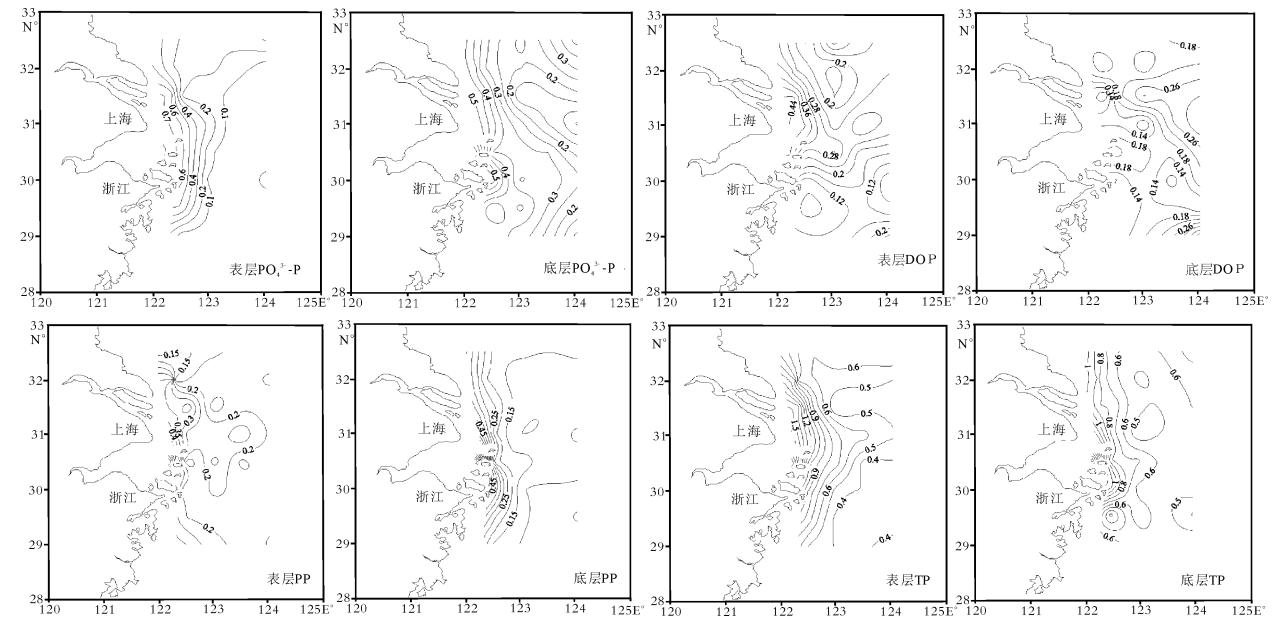


图 4 2007 年 4 月长江口海域不同形态磷的平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

Fig. 4 The horizontal distributions of phosphorus in the Yangtze River Estuary in April 2007

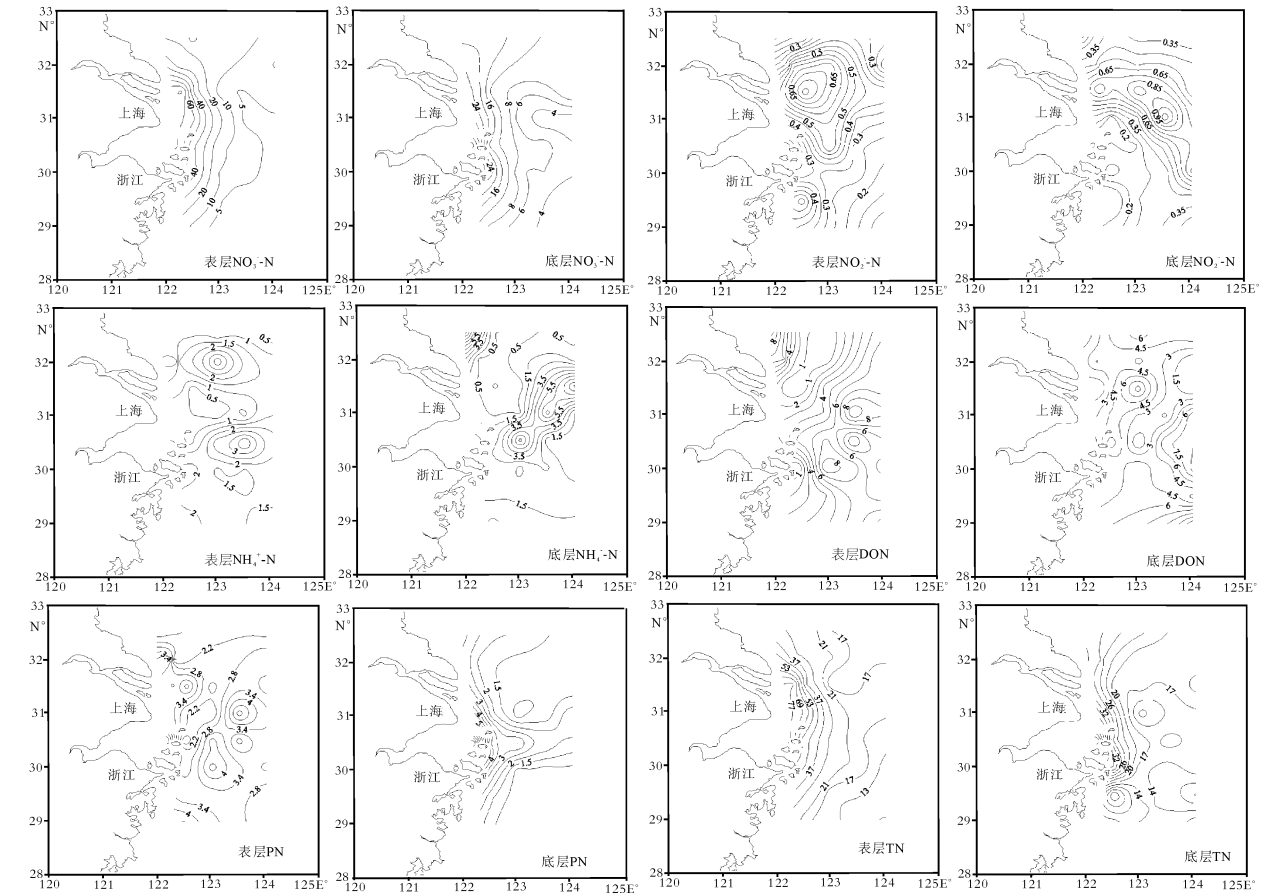


图 5 2007 年 4 月长江口海域不同形态氮的平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

Fig. 5 The horizontal distributions of nitrogen species in the Yangtze River Estuary in April 2007

2.3 影响长江口海域营养盐分布的因素

长江口、杭州湾海域及浙江近海始终受3种性质各异的水团控制。(1)长江冲淡水。通常在长江口外以盐度20~25为界,包括河口羽状锋内缘的高混浊区,其影响范围随长江的外泄量变化而具有季节和年度变化的特点;长江冲淡水以低盐、高营养盐、高悬浮体含量为特征。(2)黄海沿岸流。该流系从渤海绕过成山角沿江苏的岸线向南,中间与黄海中部的涡旋混合,流系的温度、盐度较低,含沙量较高。(3)黑潮如东海的分支(台湾暖流)。台湾暖流从台湾岛附近进入东海控制着陆架外缘地区,并沿水下深槽上溯至长江口,海水具有高温、高盐、低营养盐和低的含沙量特征(Beardsley et al, 1985; 张经等, 1996)。

由2007年4月调查海域盐度和不同形态营养盐的平面分布图可以看出,长江口海域受长江冲淡水和黑潮这2种水团的影响较大。长江冲淡水中含有高浓度的营养盐,强大的径流不断向长江口海域输送营养盐,其入海径流中硅酸盐含量最多,其次是硝酸盐和氨氮(张平, 2001),这样使营养盐的整体分布趋势是浓度由近岸向外海呈梯度递减,且浓度高值区出现在长江冲淡水区,而黑潮如东海的分支(台湾暖流)以高盐、低营养盐为主要特征,因此大部分营养盐浓度的低值区出现在调查海域的东南部,即出现在受黑潮影响的区域。

通过对2007年4月长江口海域各形态营养盐与盐度的相关性分析可以得出,硝酸盐、硅酸盐与盐度有较好的负相关,其相关性系数分别为: -0.82 ($N=99, P<0.0001$)、 -0.81 ($N=99, P<0.0001$),由此可以得出物理过程对其浓度的影响较大,这与王正方等(1983)、黄尚高等(1986)、王保栋(1986)的研究结果是一致的,即硝酸盐和硅酸盐主要受长江冲淡水等陆源输入所控制;海水中磷酸盐、溶解有机磷、颗粒态磷、亚硝酸盐、氨氮和溶解有机氮与盐度之间无明显相关,说明其不仅受物理过程的影响,还受化学过程和生物活动的影响(宋树林, 1994; 韦蔓新等, 2001),即它们可能由长江冲淡水等陆源输入、生物活动和高盐外海水等多个过程共同控制(石晓勇等, 2003; 谷国传等, 1994)。

3 结论

通过对2007年4月长江口海域所采样品进行分析测定,可得出如下结论:

(1)在长江口海域,磷主要以磷酸盐的形式存

在,其余依次是溶解有机磷、颗粒态磷;氮主要以硝酸盐的形式存在,其余依次是溶解有机氮、颗粒态氮、氨氮、亚硝酸盐。

(2)研究区域内,磷酸盐、总磷、硝酸盐、总氮以及硅酸盐具有相似的分布特征,整体分布趋势是:近岸海区浓度高,由近岸向外海呈递减趋势,最高浓度出现在靠近长江口的区域,最低浓度出现在受台湾暖流影响的东南海区,表层和底层分布趋势基本一致。

(3)硝酸盐和硅酸盐的行为是保守的,其行为主要受淡水混合过程所控制;而磷酸盐、溶解有机磷、颗粒态磷、亚硝酸盐、氨氮、溶解有机氮、颗粒态氮的行为是非保守的。

志谢:中国海洋大学何会军、张涛参与了现场调查工作,在此深表谢意。

参考文献:

- 傅瑞标, 沈焕庭, 刘新成. 2002. 长江河口潮区界溶解态无机氮磷的通量[J]. 长江流域资源与环境, 11(1): 64-68.
- 谷国传, 胡方西, 胡辉, 等. 1994. 长江口外盐水入侵分析[J]. 东海海洋, 12(3): 1-11.
- 黄尚高, 杨嘉东, 暨卫东, 等. 1986. 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, 5(2): 114-123.
- 刘兴泉. 2001. 东海PN断面夏季温盐及化学要素的分布特征[J]. 海洋与湖沼, 32(2): 204-212.
- 焦念志, 王荣, 李超伦. 1998. 东海春季初级生产力与新生生产力的研究[J]. 海洋与湖沼, 29(2): 135-140.
- 宋树林. 1994. 车由岛附近海域营养盐分布特征[J]. 黄渤海海洋学报, 12(3): 50-55.
- 石晓勇, 王修林, 韩秀荣, 等. 2003. 长江口邻近海域营养盐分布特征及其控制过程的初步研究[J]. 应用生态学报, 14(7): 1086-1092.
- 谭加强, 于志刚, 林桂炽, 等. 2001. 过硫酸盐氧化法测定海水中溶解总磷[J]. 青岛海洋大学学报, 31(2): 256-262.
- 王保栋. 1998. 长江冲淡水的扩展及其营养盐的输送[J]. 黄渤海海洋学报, 16(2): 41-47.
- 王康善, 苏纪兰. 1987. 长江口南港环流及悬移输送的计算分析[J]. 海洋学报, 9(5): 627-637.
- 王正方, 姚龙奎, 阮小正. 1983. 长江口营养盐分布与变化特征[J]. 海洋与湖沼, 14(4): 324-332.
- 韦蔓新, 赖廷和, 何本茂. 2001. 广西钦州内湾贝类养殖海区三氮的含量和百分组成[J]. 台湾海峡, 20(4): 441-446.
- 叶属峰, 纪焕红, 曹恋, 等. 2005. 长江口海域赤潮成因及其防治对策[J]. 海洋科学, 5: 26-32.

- 张经, 应时理. 1996. 长江口中颗粒态重金属[M]// 张经等. 中国主要河口的生物地球化学研究 - 化学物质的迁移与环境. 北京: 海洋出版社, 146 - 159.
- 张平. 2001. 长江口营养结构变化研究[D]. 北京: 中国科学院.
- Baodong Wang. 2006. Cultural eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) plume: History and perspective[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 1 - 7.

- Beardsley R. C., Limeburner R., Yu H., et al. 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea[J]. Continental Shelf Research. 57 - 76.
- Klaus Grasshoff, Klaus Kremling, Manfred Ehrhardt. 1999. Methods of Seawater Analysis: Third Edition[M]. Weinheim: Wiley-Vch Verlag GmbH, 159 - 192, 203 - 223.

(责任编辑 张俊友)

The Distribution and Species of Nutrient in the Yangtze River Estuary

LI Ling-ling¹, YU Zhi-gang¹, YAO Qing-zhen¹, CHEN Hong-tao¹, MI Tie-zhu², GONG Yao¹

- (1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;
2. Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Concentrations and species of nutrient were determined in the Yangtze River estuary and its adjacent area in April 2007. Concentrations of nutrients displayed obviously variability in the Yangtze River estuary and its adjacent area, with higher levels in the shallow coastal waters. The nutrients distribution of Yangtze River estuary and its adjacent coastal area are influenced by several water masses. Yangtze River diluted water carries abundant N, P, Si nutrients to the surface layer, Taiwan Warm Current mostly affects the bottom layer and in the upwelling area adjacent to the Yangtze River estuary, and that Subei Coastal Water and Minzhe Coastal Water mainly influence the inshore area. Nitrate is the predominant species of dissolved inorganic nitrogen (DIN). DIN is the predominant species of dissolved total nitrogen (DTN) in the Yangtze River estuary and its adjacent coastal area, while dissolved organic nitrogen (DON) is the predominant species in the Taiwan Warm Current area. Phosphate is the predominant species of dissolved total phosphorus in the Yangtze River estuary and its adjacent coastal area, while dissolved organic phosphorus (DOP) is the predominant species in the Taiwan Warm Current area. The data indicated that silicate and nitrate behave conservatively, but silicate and phosphate did not behaved conservatively.

Key words: Yangtze River estuary; nutrient; distribution; species