

长江口及邻近水域氮、磷的形态特征及分布研究

全为民, 沈新强, 韩金娣, 陈亚瞿

(农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 根据近几年大面调查的监测资料, 对长江口及邻近水域氮、磷营养盐的形态组成、时空分布及氮磷比的变动规律及其影响因素进行了分析研究。结果表明, 长江口及邻近水域中硝酸盐是水体无机氮存在的主要形态, 其约占总无机氮的 90%, 无机氮含量河口高, 向东南方向愈来愈低; 从该水域总磷的形态组成来看, 磷营养盐主要以溶解态和颗粒态共存的形式存在, TDP 略高于 TPP, 无机磷的平面分布与无机氮十分相似, 春季无机磷含量高于夏季; N/P 值变动范围大和平均值较高是该水域的主要特征, N/P 值与长江径流量的大小有关系, 夏季 N/P 值比春季高, 综合分析来看, 磷营养盐和光照都有可能成为该水域浮游植物生长的重要限制因子。

关键词: 长江口; 化学形态; 分布; 营养盐

中图分类号: P736

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)03-0076-06

近岸海域氮和磷的浓度普遍偏高, 以及由此而带来的富营养化是中国沿岸水域最突出的环境问题之一, 海域富营养化与有害赤潮的发生有着密切关系。近年来, 赤潮发生频繁, 不但破坏水域生态系统的平衡, 还给水产养殖业造成了巨大的损失, 因而引起国际社会的广泛关注。氮、磷是海洋浮游植物生长、繁殖必不可少的营养要素, 在生物活动中起着重要作用, 其在水环境中的分布变化在一定程度上控制着海洋生态系统中的初级生产过程, 是海洋初级生产力的主要限制因素。

长江年平均径流总量为 9 240 亿 m^3 , 源源不断地向河口输送大量营养盐。据报道, 长江口水域是中国富营养化最严重的水域, 中度污染和严重污染的面积较大, 主要污染物为无机氮和磷酸盐^[1]。近年来, 随着对氮、磷生物地球化学循环研究的深入, 科学家们发现, 当水环境中溶解态无机氮、磷被生物耗尽时, 浮游植物可以利用溶解态有机氮、磷和颗粒态氮、磷^[2, 3], 基于这一原因, 因此开展不同形态氮、磷营养盐的时空分布和变动规律研究是认识赤潮和进行赤潮防治的基础, 具有十分重要的现实意义。

作者利用农业部东海区渔业生态环境监测中心近年来获得的调查资料, 并结合相关的调查研究, 分析了长江口及邻近水域氮、磷营养盐的形态组成、时空分布及氮磷比的变动规律及其影响因素, 从而为该水域的渔业环境保护和海洋开发提供科

学依据。

1 调查及分析方法

在长江口及邻近水域共设 20 个监测点, 各监测点的位置如图 1 所示。分表、底层进行采样分析, 取表、底层的平均值代表该站点的营养盐含量。无机氮(硝酸盐氮、氨氮和亚硝酸盐氮之和)的调查分析均按《海洋监测规范》^[4]进行, 硝酸盐氮用铈-镉还原法测定, 氨氮用次溴酸钠氧化法测定, 亚硝酸盐氮用重氮-偶氮法测定。溶解无机磷(DIP)的样品经 0.45 μm 滤膜减压过滤后, 用磷钼蓝分光光度法测定。总磷(TP)及通过 0.45 μm 滤膜的总溶解磷(TDP)均采用过硫酸钾氧化-磷钼蓝分光光度法测定; 溶解有机磷(DOP)为 TDP 与 DIP 之差值; 颗粒磷(TPP)为 TP 与 TDP 之差值。无机氮和无机磷的数据均来自农业部东海区渔业环境监测中心 2000 ~ 2003 年 5 月和 8 月的常规监测; 另外, 本研究对 2003 年 8 月和 2004 年 5 月该水域内磷的形态组成进行了调查研究。

收稿日期: 2008-04-10; 修回日期: 2008-08-10

基金项目: 国家重点基础发展规划项目(2010CB429005); 国家公益性研究专项基金资助项目(2001DIA10014-4); 国家自然科学基金重点项目(50339040)

作者简介: 全为民(1977-), 男, 湖北大冶人, 博士, 主要从事海洋环境科学研究, E-mail: quanweim@163.com

2 结果与讨论

2.1 无机氮的形态组成及时空分布

长江口及邻近水域无机氮的形态构成如表 1 所示, 该水域亚硝酸盐和氨氮的含量相对很低, 硝酸盐的含量较高, 大约 90% 的无机氮是以硝酸盐的形式存在。这种形态特征与胶州湾明显不同, 据调查氨氮是胶州湾无机氮的主要存在形态, 其约占总无机氮的 80%, 硝酸盐仅占 16%^[5]。原因主要有以下两个方面: 一是长江三态无机氮输送和输出通量中硝酸盐占绝大部分^[6]; 二是由于受水体混浊的影响, 长江口附近海区浮游生物量较低, 因而硝酸盐的转移机制主要是物理混合过程, 即长江冲淡水受海水稀释所致, 而与化学过程和生物活动关系不大, 其在该水域具有保守性行为^[7]。

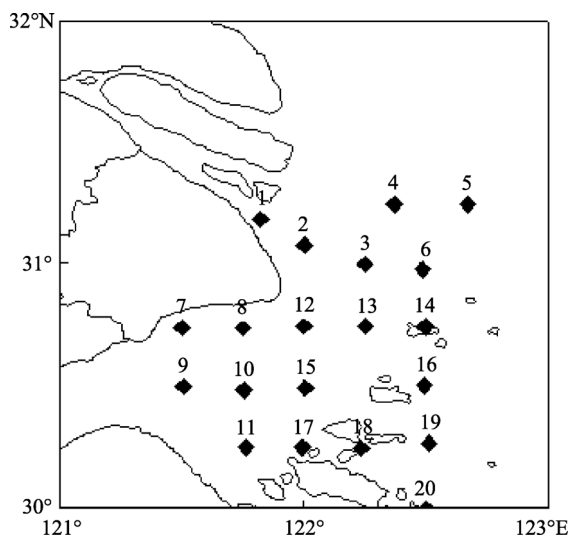


图 1 监测站点

Fig. 1 Monitoring station

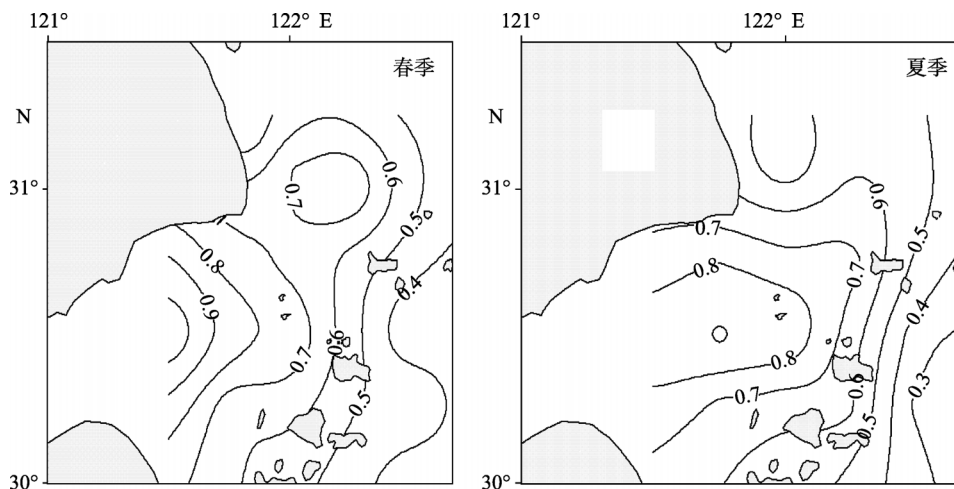


图 2 春、夏季海区无机氮的平面分布

Fig. 2 The distributions of inorganic nitrogen in the spring and the summer

表 1 2000~2003 年无机氮的化学形态构成

Tab. 1 Chemical composition of dissolved inorganic nitrogen from 2000 to 2003

年份	季节	硝酸盐氮 (%)	亚硝酸盐氮 (%)	氨氮 (%)
2000	春季	97	2	1
	夏季	93	2	5
2001	春季	85	4	11
	夏季	96	1	3
2002	春季	95	3	2
	夏季	93	2	5
2003	春季	97	1	2
	夏季	90	3	7

图 2 为长江口及邻近水域无机氮的平面分布图, 等值线呈不圆滑的舌状自西向东伸出, 于 30°30'N 形成密集的等值线, 说明在此处水体混合十分激烈。该水域春、夏季无机氮的平面分布十分相似, 无机氮自钱塘江-杭州湾和长江口门区向东南方向逐渐降低, 春、夏季均在杭州湾形成无机氮的高值区; 该水域 0.5 ~ 0.6 mg/L 等值线的分布具有很强的规律性, 在泗礁-大衢山-岱山-舟山群岛一线形成狭长的分布区域。这表明该海域的无机氮主要受长江和钱塘江径流输入的影响, 向东南方向逐渐被海水所稀释, 至舟山渔场附近形成营养盐的低值区。长江口及邻近水域无机氮出现这样的分布趋势, 主要是由于长江口段地理方位是东偏南向, 大量的长江径流在长江口门处射流入海, 与自南向北而来的浙江沿岸流和高温高盐的台湾暖流相遇, 再加上钱塘江径流输送、杭州湾沿岸工业密集区大量废水排放和该水域较低的初级生产力, 故在杭州湾形成无机氮高值区。

图 3 显示了该海区无机氮含量与盐度之间的相关关系。从图 3 可看出,春季该海区无机氮质量浓度随盐度的增加而逐步降低,进一步证实了上述的无机氮平面分布模式,即河口区高,向东南方向愈来愈低。图 3 显示了夏季无机氮与盐度之间是二次曲线的关系,即较低盐度条件下,无机氮与盐度呈正相关关系(长江口);盐度为 10~20 的海区是无机氮高值区(杭州湾),而在盐度大于 20 时,盐度与无机氮含量之间呈现显著的负相关关系,随盐度的增加无机氮浓度不断降低,此区主要在舟山群岛水域。上述分析表明,长江口无机氮的转移机制主要是物理混合稀释过程,但夏季无机氮的转移机制更加复杂。

2.2 磷的形态组成及时空分布

表 2 列出了长江口及邻近水域水体中各形态磷 DIP、DOP、TDP、TPP 和 TP 的浓度范围及平均值。从表可知,各形态磷含量均是夏季(8 月)高于春季(5 月),夏季 DIP 略高于春季,而夏季 DOP、TPP 的浓度值明显大于春季,原因可能是 DIP 受到水体运动与生物活动综合作用的影响^[8],而 DOP 是生物活动的产物(包括浮游植物和浮游动物的排泄),主要受生物活动的控制^[8],近年来长江口 8 月份的生产力水

平较高,浮游生物在释放出有机磷的同时又要消耗大量的 DIP,因此在夏季期间 DOP 含量较高;至于夏季 TPP 比较高的原因,估计与 8 月份长江来水量、来沙量与初级生产力均比 5 月份高有关。

图 4 显示了春、夏季该海区总磷的形态组成。以溶解态和颗粒态相比较,TDP 略高于 TPP,总的来说,长江口及邻近水域中磷主要以溶解态和颗粒态共存的形式存在,有关研究表明,长江下游输送的磷通量近 90%是以颗粒磷形式输送的,这是导致 TPP 在该海区保持较高浓度和比例的主要原因^[9];从无机态和有机态相比较,可以看出有机态是该水域磷存在的主要化学形态;DIP 仅占 TP 的 20%左右,这与 20 世纪 80 年代初黄自强等^[3]在长江口的调查结果相当一致,可见近 20 多年来长江口邻近海区磷的营养盐结构基本保持稳定,TPP 和 DOP 仍然是水体磷的主要存在形态,但各形态磷的含量不断上升。表 3 列出了不同形态磷之间的相关关系,相关分析进一步印证了上述结论,DOP、TDP、TPP 和 TP 四者之间均保持较高的相关关系,进一步表明 DOP 和 TPP 是长江口邻近海区磷营养盐存在的主要化学形态。

图 5 为长江口及邻近水域无机磷的平面分布图。

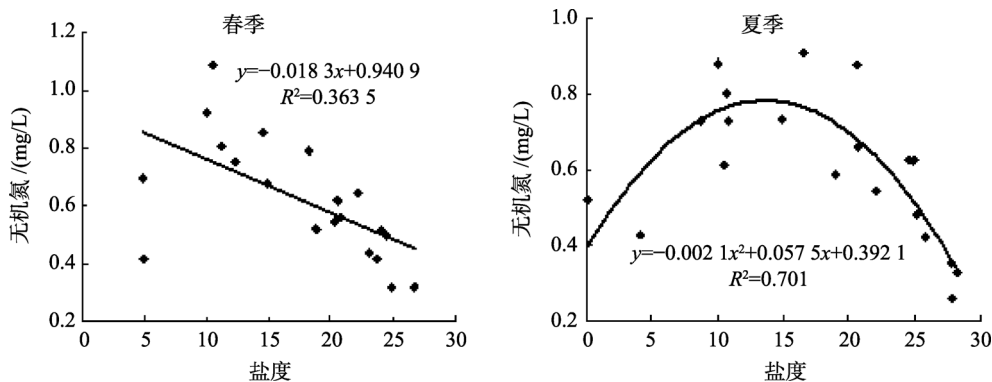


图 3 春、夏季海区无机氮与盐度的关系

Fig. 3 The relationships between inorganic nitrogen levels and salinities in the spring and the summer

表 2 不同形态磷的监测值

Tab.2 The monitoring values of different species of phosphorus

项目	2004 年春季		2003 年夏季		1981 夏季 ^[3]
	平均值(mg/L)	范围(mg/L)	平均值(mg/L)	范围(mg/L)	平均值(mg/L)
DIP	0.031	0~0.102	0.034	0.004~0.075	0.014
DOP	0.048	0.004~0.120	0.192	0.004~0.832	DOP+TPP=0.086
TDP	0.079	0.042~0.157	0.227	0.028~0.870	—
TPP	0.075	0.045~0.555	0.130	0.005~0.555	—
TP	0.154	0.051~0.872	0.357	0.048~1.396	0.101

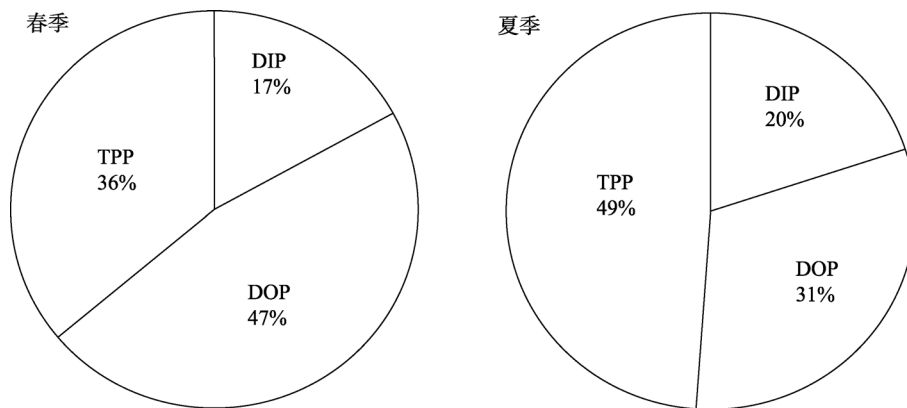


图 4 春、夏季海区总磷的形态组成

Fig. 4 The physicochemical compositions of total phosphorus in the spring and the summer

表 3 不同形态磷之间的相关系数($n=80$)

Tab. 3 The correlative coefficients between different types of phosphorus($n=80$)

项目	DIP	DOP	TDP	TPP	TP
DIP	1				
DOP	0.38	1			
TDP	0.45	0.99	1		
TPP	0.30	0.88	0.87	1	
TP	0.40	0.98	0.98	0.95	1

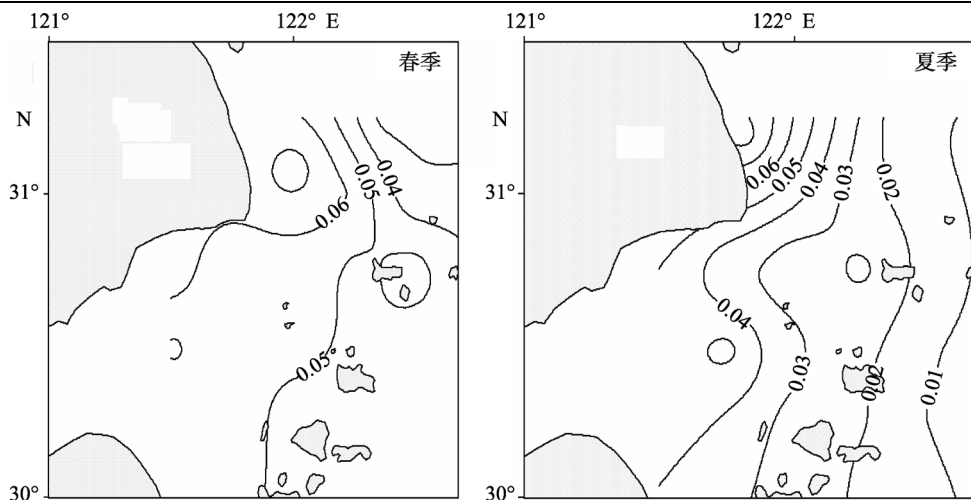


图 5 春、夏季海区无机磷的平面分布

Fig. 5 The distributions of inorganic phosphorus in the spring and the summer

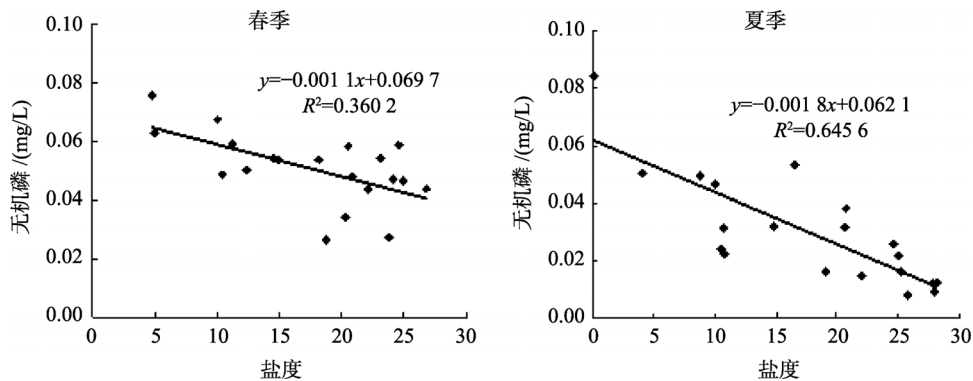


图 6 春、夏季海区无机磷与盐度的关系

Fig. 6 The relationship between inorganic phosphorus and saline in the spring and the summer

从图可知, 长江口门区为无机磷高值区, 其含量自长江口向东和东南方向愈来愈低, 并呈现一段连续的稀释梯度。从图 5 可以发现: 春季无机磷高值区的扩展范围明显大于夏季, 夏季等值线分布得十分紧密, 而春季等值线较稀疏, 表明该海区无机磷行为变化的复杂性。图 6 显示了该海区无机磷含量与盐度之间的负相关关系, 并且夏季的负相关性大于春季, 说明夏季长江冲淡水 and 海水的混合作用更为剧烈。

2.3 限制因子分析

许多研究表明, 氮、磷和硅都有可能成为河口生态系统中的限制因素, 限制因子是随着季节和空间不同而变化的。历年的监测资料显示, 长江口海区是硅酸盐高值分布区, 因此硅不可能成为该海域浮游植物生长的限制因子。表 4 列出了近几年长江口及邻近水域无机 N/P 值, 从表 4 可知, N/P 变动范围较大, 平均值为 21~62, 均高于正常 Redfield 值 16, 夏季 N/P 比值明显高于春季, 这种变动规律与有关学者在 Chesapeake 湾和 Riga 湾的研究结论十分吻合^[10], 河水径流大时, 氮磷比率较高, 流量较小时比率也随之变小, 显然该结论与长江口的调查结果相当一致, 原因可能为长江径流输入是长江口高无机氮的主要控制因素, N/P 值的变化受长江水的影响, 由于长江 8 月份来水量大于 5 月, 因而夏季 N/P 值通常较高。另外, 在许多河口区光照也有可能成为浮游植物生长的限制因子, 长江口邻近海区表层水十分混浊, 浮游植物能进行的光合作用极其微弱, 这很有可能成为长江口初级生产的重要限制因子。

表 4 2000~2003 年该水域的 N/P 值
Tab. 4 The ratios of DIN to DIP from 2000 to 2003

时间	平均值	变动范围
2000 年春季	20.8	2.4~71.4
2000 年夏季	61.9	0.1~165.9
2001 年春季	31.8	0.1~90.9
2001 年夏季	61.9	26.2~163.6
2002 年春季	23.3	2.5~38.9
2002 年夏季	57.8	4.8~154.8
2003 年春季	35.1	3.6~94.4
2003 年夏季	53.2	19.4~138.1

3 结论

硝酸盐是水体无机氮存在的主要形态, 其约占无机氮的 90%, 无机氮含量河口高, 向东南方向愈来愈低, 无机氮的转移机制主要是物理混合稀释过程。

水体中磷主要以溶解态和颗粒态共存的形式存在, TDP 略高于 TPP, 长江口门区为无机磷高值区, 其含量自长江口向东南方向愈来愈低, 并呈现一段连续的稀释梯度。

N/P 变动范围较大, 平均值在 21~62 之间, 均高于正常 Redfield 值 16, 夏季 N/P 值通常较高, 可能与夏季长江径流量大有关。

参考文献:

- [1] 傅瑞标, 沈焕庭. 长江河口淡水端溶解态无机氮磷的通量[J]. 海洋学报, 2002, 24(4): 34-43.
- [2] 童万平, 韦蔓新, 何本茂. 北海湾不同形态氮磷关系的研究[J]. 海洋通报, 2002, 21(1): 63-68.
- [3] 黄自强, 暨卫东. 长江口水中总磷、有机磷、磷酸盐的变化特征及相互关系[J]. 海洋学报, 1994, 16(1): 51-60.
- [4] GB17378-1998, 海洋监测规范[S].
- [5] 沈志良. 胶州湾营养盐的动态变化[A]. 董金海, 焦念志. 胶州湾生态学研究[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 47-52.
- [6] 沈志良. 长江和长江口氮的生物地球化学研究——关于长江 N 通量的研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(12): 10-15.
- [7] 顾宏堪. 渤海东海海洋化学[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 423-438.
- [8] 陈洪涛, 陈淑珠, 张经, 等. 南黄海海水中各种形态磷的分布变化特征[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(1): 9-13.
- [9] 张秀梅, 梁涛, 耿元波. 河口、海湾沉积磷在全球变化区域响应研究中的意义[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 161-168.
- [10] 张平, 沈志良. 营养盐限制的水域性特征[J]. 海洋科学, 2001, 25(6): 16-19.

Chemical compositions and distributions of nitrogen and phosphorus in Changjiang River Estuary and its adjacent east China sea

QUAN Wei-min, SHEN Xin-qiang, Han Jin-di, Chen Ya-qu

(Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China)

Received: Apr., 10, 2008

Key words: Changjiang River Estuary and adjacent East China Sea; chemical formation; distribution; nutrients

Abstract: According to the monitoring results in recent years, chemical compositions of nitrogen and phosphorus and their distribution in Changjiang River Estuary and Adjacent East China Sea had been comprehensively investigated. Nitrate nitrogen was the main chemical species and occupied about ninety percent of inorganic nitrogen in the water area. The concentration of inorganic nitrogen was the highest in the estuary, but it became more and more dilute in the southeast sea area. Total phosphorus existed in two chemical forms including dissolved and particulate phosphorus. The concentration of inorganic phosphorus in the spring was higher than that in the summer. Large variation and high average values of N/P were the main characteristics of this estuary and its adjacent sea area. A positive correlation existed between the N/P and the runoff of Changjiang River. In general, the phosphorus nutrient and illumination may be the limiting factors for phytoplankton growth.

(本文编辑: 张培新)