

# 三峡水库正常蓄水后长江口海域 营养盐分布与结构变化\*

王子成<sup>1</sup>, 王保栋<sup>1\*</sup>, 辛明<sup>1</sup>, 孙霞<sup>1</sup>, 韦钦胜<sup>1</sup>, 杨波<sup>2</sup>

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东青岛 266061; 2. 中国海监上海市总队, 上海 200136)

**摘要:**根据 2010—2011 年对长江口及其邻近海域的调查资料, 研究了三峡水库正常蓄水后长江口及其邻近海域营养盐的分布变化特征, 并与三峡大坝合拢蓄水前的 2002 年同期数据进行了比较。结果表明, 与三峡大坝合拢蓄水前相比, 三峡水库正常蓄水后长江口海域溶解无机氮、无机磷含量显著增大, 且无机磷含量增幅更大(60%), 但活性硅酸盐含量显著降低(20%), 并由此导致长江口海域 N/P 比值明显降低和 Si/N 比值的大幅度降低。此外, 三峡水库秋季蓄水活动造成的入海径流量的减少, 导致该季节长江冲淡水扩展范围和营养盐浓度及影响范围显著减小。

**关键词:**营养盐; 长江口; 三峡水库

**中图分类号:** X55

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-6647(2015)01-0100-07

在大江大河上筑坝可能会减少水沙的入海通量, 从而对海洋生态系统产生负面影响<sup>[1]</sup>。例如, 印度恒河上的法拉卡大坝(Farakka Dam)建成后, 自恒河流入孟加拉湾径流量减少了 75%<sup>[1]</sup>; 1965 年阿斯旺大坝(Aswan Dam)建成后, 自尼罗河流入地中海的淡水量减少了 90%以上<sup>[2]</sup>; 由于筑坝活动和流域降水减少, 上世纪 90 年代以来我国黄河的年均径流量仅为上世纪 50 年代的 1/3 左右<sup>[3]</sup>。此外, 在流域上建造大坝的河流约有 25%的输沙通量被水库拦截<sup>[4]</sup>。

大型水库的建造还会拦截营养盐的入海通量。例如, 法国塞纳河上游的 3 个大水库将进入库区 40%的氮(N)、50%的硅(Si)和 60%的磷(P)截留在库内<sup>[5]</sup>; 澳大利亚的 Suma Park 水库, 每年截留 16%~98%的入库磷<sup>[6]</sup>。阿斯旺大坝(Aswan Dam)建成后, 尼罗河的溶解硅含量减少了 200  $\mu\text{mol/L}$ <sup>[7]</sup>。河流拦截活动导致进入黑海和波罗的海的入海河流溶解硅通量显著减少, 并引起浮游植物群落的显著改变<sup>[8-9]</sup>。

长江是亚洲第一大河、世界第四大河(按径流量)。三峡工程作为巨型水利工程而举世瞩目。三峡大坝于 2003-06 首次蓄水至 135 m, 2006-10 实现二期蓄水目标 156 m, 2008-10 开始三期蓄水试验至 172.3 m, 2010-10 实现 175 m 正常蓄水位。关于三峡工程引起的长江入海物质通量变异及其对近海生态环境的影响, 早期的研究工作往往是基于一些假设或模型来推测三峡工程对长江口海域生态环境的影响<sup>[10-15]</sup>。近年来的研究工作则主要集中在一期蓄水后长江口海域营养盐水平和结构的变化<sup>[16-18]</sup>。但目前尚无关于三期蓄水(即正常蓄水)后长江口海域生态环境因子变化的研究报道。本文通过对三峡水库正常蓄水后在长江口海域营养盐及相关因子的现场调查, 并与三峡大坝合拢前进行比较, 以期了解三峡大坝正常运行后长江口海域营养盐的分布变化情况, 为评价三峡工程对长江口及邻近海域生态环境影响提供科学依据。

## 1 调查与方法

本文使用的数据来源为国家重点基础研究发展规划——重大水利工程影响下长江口环境与生态安全项

\* 收稿日期: 2014-07-11

资助项目: 国家重点基础研究发展规划——重大水利工程影响下长江口环境与生态安全(2010CB429004)

作者简介: 王子成(1989-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事生源要素海洋生物地球化学方面研究. E-mail: wangzc@fio.org.cn

\* 通讯作者: 王保栋(1964-), 男, 山东高密人, 研究员, 博士, 主要从事海洋生物地球化学方面研究. E-mail: wangbd@fio.org.cn

(王佳实 编辑)

目三个航次的现场观测数据,由国家海洋局第一海洋研究所组织完成。在长江口及其邻近海域布设了 4 条东西断面共 30 个站位,开展了温度、盐度和深度观测与水样采集。调查时间分别为夏季(2010-08-06-13)、秋季(2010-10-31-11-06)、春季(2011-05-12-15)。调查范围及站位设置见图 1。

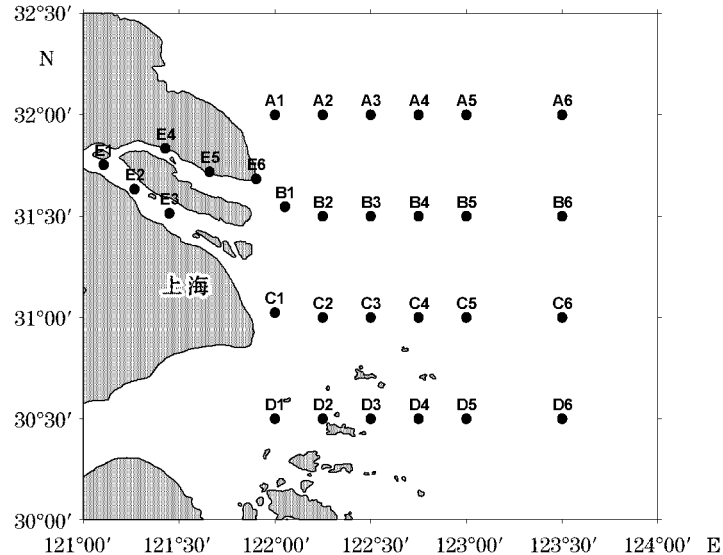


图 1 长江口及其邻近海域调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in the Changjiang Estuary and its adjacent sea areas

调查按照 GB12763.4-2007《海洋调查规范 第 4 部分:海洋化学要素调查》<sup>[19]</sup>,用 CTD 仪测量温度、盐度和深度,并利用 Niskin 采水器同步采水。水样采集后,立即用孔径为  $0.45 \mu\text{m}$  的醋酸纤维膜(稀盐酸浸洗后,用去离子水洗至中性)过滤,并将滤液分装于聚乙烯瓶中,硝酸盐( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )、亚硝酸盐( $\text{NO}_2^--\text{N}$ )、氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ )冷冻保存,硅酸盐( $\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$ )常温保存,带回实验室后使用营养盐自动分析仪测定。叶绿素 *a* 样品经 GF/F 滤膜过滤后冷冻保存,带回实验室用特纳荧光计测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 长江口海域盐度与营养盐的分布特征

#### 2.1.1 盐度的分布特征

从表层盐度分布可以看出(图 2),春季长江冲淡水自口门冲出后,沿东南方向扩展,然后在( $122^\circ30'\text{E}$ ,  $31^\circ30'\text{N}$ )左转呈舌状向东北方向扩展,盐度 30 的等值线向东接近  $123^\circ30'\text{E}$ ,向北接近  $32^\circ\text{N}$ 。进入夏季,冲淡水扩展范围进一步扩大,整个调查海域全部被盐度小于 30 的冲淡水所覆盖。秋季,长江入海径流量减小,但冲淡水向东北方向扩展的趋势依然明显,而向东南方向的输送趋势减弱,盐度 30 的等值线亦回缩到  $122^\circ30'\text{E}$ 。调查海域北部受到了黄海沿岸流南下的影响;而在东南方向有台湾暖流的顶托作用,在夏季尤其明显<sup>[20]</sup>。

#### 2.1.2 营养盐的分布特征

表层营养盐的分布特征与盐度的十分相似(图 2),营养盐整体上呈现近岸高、远岸低的特点。春季,高浓度的 DIN 冲淡水从口门冲出后,首先向东南方向扩展,在( $122^\circ00'\text{E}$ ,  $31^\circ30'\text{N}$ )向左转向,  $20 \mu\text{mol/L}$  的 DIN 浓度等值线范围可达  $123^\circ30'\text{E}$ 。 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  在口门处的浓度超过了  $2 \mu\text{mol/L}$ ,其  $0.6 \mu\text{mol/L}$  等值线向东可达  $123^\circ\text{E}$ 。 $\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$  在口门处浓度为  $35 \mu\text{mol/L}$  左右,  $20 \mu\text{mol/L}$  等值线只到达  $122^\circ30'\text{E}$ ,远低于同浓度 DIN 的影响范围。

夏季,由于长江径流量大,长江入海营养盐通量大,给长江口海域带来了大量的营养盐,调查海域几乎被

高浓度营养盐的长江水所覆盖。在东北方向,  $20 \mu\text{mol/L}$  的 DIN 浓度等值线甚至已经超出本次调查范围。口门附近  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  浓度高达  $2 \mu\text{mol/L}$ , 与春季相比高值范围明显扩大。  $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$  在河口区的高值约为  $50 \mu\text{mol/L}$ , 浓度  $20 \mu\text{mol/L}$  等值线只到达  $122^\circ 45' \text{E}$  左右, 远低于同浓度 DIN 的影响范围。

秋季, 营养盐向东北方向扩展的趋势减弱, 冲淡水主体贴岸南下, 在杭州湾口及以南海域营养盐等值线几乎平行于岸线,  $20 \mu\text{mol/L}$  的 DIN 浓度等值线影响范围退缩到  $122^\circ 30' \text{E}$ 。  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  的高值区有向北移动的趋势。  $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$  浓度为  $20 \mu\text{mol/L}$  的等值线影响范围退缩到  $122^\circ \text{E}$  附近。

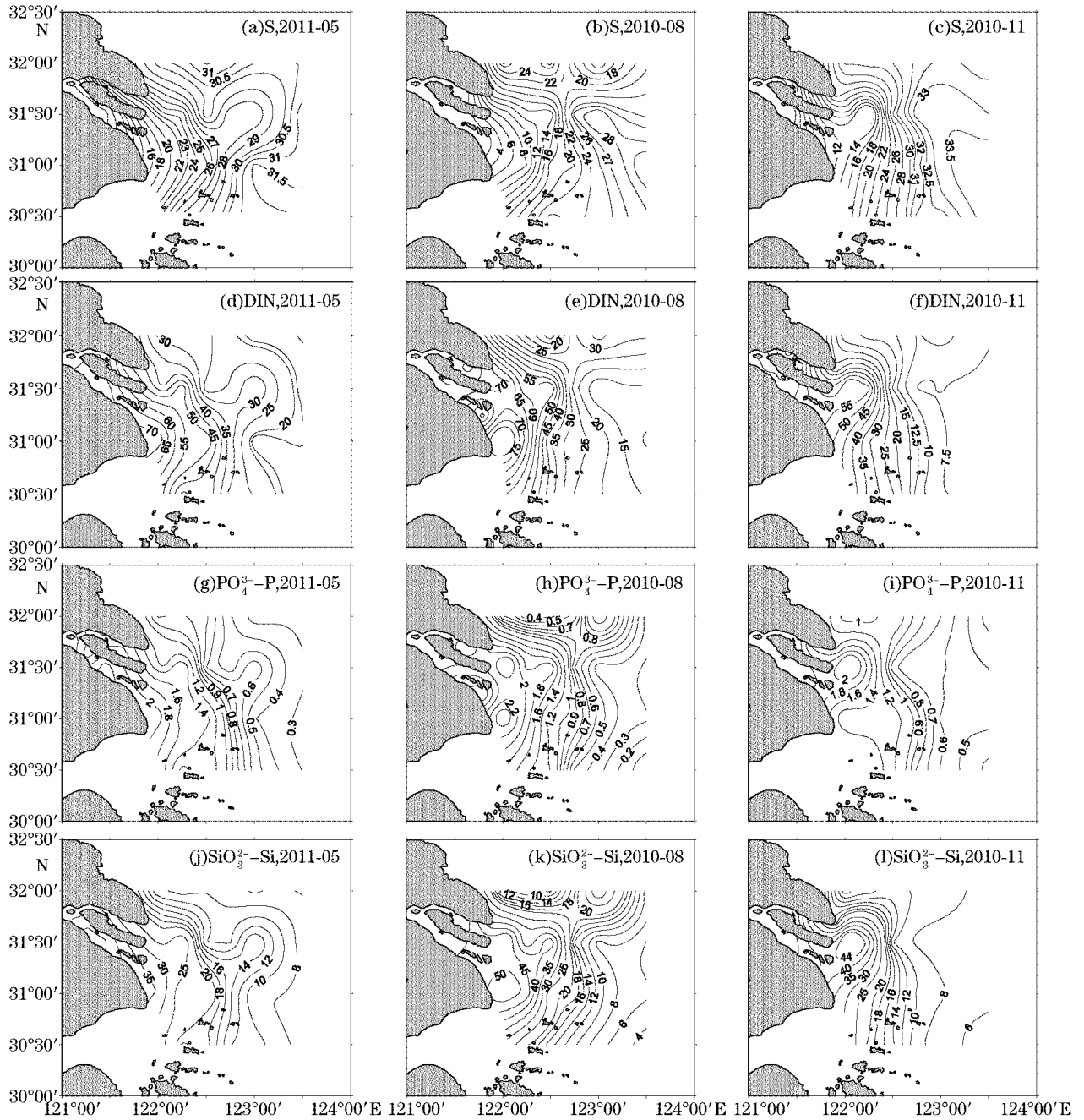


图 2 长江口及邻近海域表层盐度及营养盐 ( $\mu\text{mol/L}$ ) 平面分布

Fig. 2 Surface distributions of salinity and nutrients ( $\mu\text{mol/L}$ ) in the Changjiang Estuary and its adjacent sea areas

## 2.2 叶绿素、营养盐沿盐度梯度的分布

图 3 可以看出,春季叶绿素在低盐度区域含量相对较低;在盐度大于 20 的海域,某些站位的叶绿素 a 含量开始增大,并且在盐度 27~31 之间形成一个明显的叶绿素 a 峰值区。夏季,低盐区(盐度小于 10)叶绿素 a 含量很低,但在盐度 15~20 范围内多数测站叶绿素 a 含量迅速升高,盐度高于 20 的区域含量又迅速降低,形成了以盐度 18 为中心的叶绿素 a 峰值区。秋季,叶绿素 a 含量在低盐区域含量较低,大都小于  $1 \mu\text{g/L}$ ,但在中等盐度区域有零星高值点分布,但未出现明显的叶绿素峰值区。

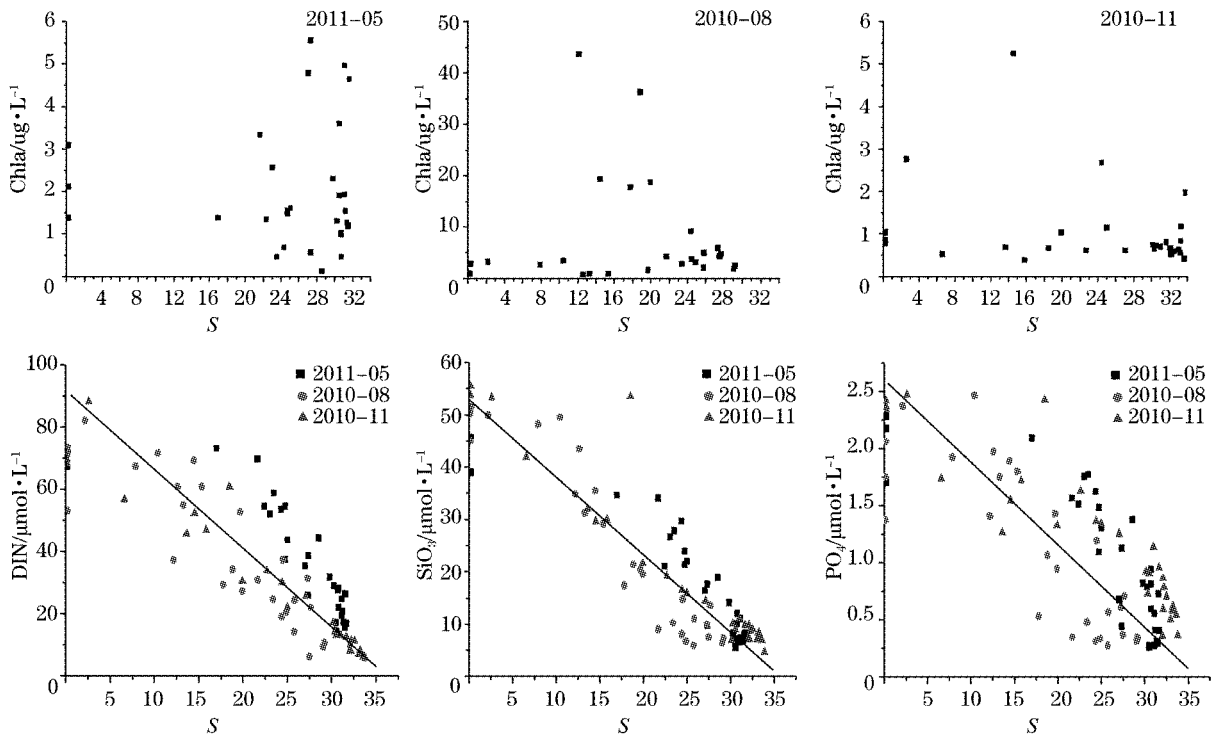


图 3 长江口及邻近海域表层叶绿素 a、营养盐与盐度关系

Fig. 3 Relationship among chlorophyll a, nutrients and salinity in the Changjiang Estuary and its adjacent sea areas

DIN、 $\text{SiO}_3^{-}\text{-Si}$  与盐度呈现良好的负相关( $r$  值分别为  $-0.75$  和  $-0.86$ ), 而  $\text{PO}_4^{-}\text{-P}$  与盐度也呈现一定的负相关( $r = -0.65$ ), 但其相关程度弱于 DIN 和  $\text{SiO}_3^{-}\text{-Si}$ 。在长江口, DIN 和  $\text{SiO}_3^{-}\text{-Si}$  具有良好的保守性, 其分布特征也与盐度基本相似, 这与以前的研究结果一致<sup>[21]</sup>。但需要指出的是, DIN 在盐度小于 5 的范围内有一轻微升高的趋势, 并不是由“添加”效应引起的, 而是因为 C1 站位靠近上海市排污口, 受到了新的污染源的影响。 $\text{PO}_4^{-}\text{-P}$  浓度在低盐度区域高出理论稀释线, 是由于长江水中被吸附在颗粒物上的磷发生解吸作用而释放到海水中, 因此长江口磷酸盐是非保守的<sup>[21]</sup>。总的来看, 夏季在中等盐度区域营养盐浓度较理论稀释线偏低, 这是因为夏季浮游植物光合作用强烈, 吸收了水体中的营养盐, 使营养盐产生了“移出”效应。

## 2.3 与三峡水库蓄水前的比较

三峡大坝于 2003-06 首次蓄水, 2010-10 实现正常蓄水。因此, 本文选择蓄水前的 2002 年和正常蓄水后的 2010 年的数据进行对比分析。此外, 长江入海径流量(大通站)2010 年(10 567 亿  $\text{m}^3$ )与 2002 年(9 926 亿  $\text{m}^3$ )大致相当, 此两年份的数据具有较好的可比性。

表 1 为三峡水库合拢蓄水前和正常蓄水后长江口海域营养盐浓度和比值的统计表。为了使不同年份/航次数据具有可比性,选择长江口被各航次调查站位全覆盖的同一海区(122°00'~123°30'E,30°30'~32°00'N)进行数据统计分析。从表 1 中可以看出,正常蓄水后长江口海域活性磷酸盐年均浓度较蓄水前大幅度增大了 60%,尤其是夏季浓度增大了 1 倍多。无机氮年均浓度也有所增大,但增大幅度(27%)较磷酸盐小得多。虽然氮、磷浓度的增大可归因于流域人类活动排放的增加,但磷浓度的增大幅度如此之大,推测应还有其他原因,如库区内源性负荷。研究表明,长江水中颗粒态磷是磷的主要存在形态,占总磷的约 3/4<sup>[22]</sup>。三峡水库每年截留 1.5 亿 t 泥沙淤积在三峡库底<sup>[23]</sup>,随着库底沉积物中结合态磷的释出,会有溶解态磷从沉积物中释放到水体中<sup>[24-25]</sup>,成为库区水体中溶解态无机磷的来源之一。

与氮、磷浓度的增大相反,正常蓄水后长江口海域活性硅酸盐年均浓度较蓄水前显著减小了 20%,尤其是秋季减小了约 50%(夏季例外)。硅酸盐浓度的减小是由于三峡水库的“人工湖效应”所致<sup>[8-9]</sup>,在此不再赘述。

需要指出的是,秋季长江口海域营养盐的变化与其他季节不同,秋季磷的增大幅度最小、无机氮的浓度正常蓄水后反而低于蓄水前、而硅酸盐浓度降低幅度最大,这均是三峡水库蓄水过程中入海径流量减小所致。三峡水库 10 月份蓄水造成大坝下泄流量减小,但三峡库区距长江口约 2 000 km,实际入海径流量的减小在时间上存在滞后效应。实际观测表明,长江入海径流量(大通站)2010 年(10 567 亿 m<sup>3</sup>)略大于 2002 年(9 926 亿 m<sup>3</sup>),但 11 月的入海径流量 2010 年反而比 2002 年减少约 1/3<sup>[22]</sup>,三峡水库 10 月份蓄水过程的影响在 11 月长江口海域得以显现,使得冲淡水扩展范围和营养盐浓度及影响范围显著减小<sup>[10]</sup>。

长江口海域营养盐浓度的改变导致了营养盐结构的变化。尽管 N/P 比值各季节的变化略有不同,但总体上正常蓄水后较蓄水前有所降低,这是由于长江口海域磷浓度的增大幅度大于氮的增大幅度所致,这在一定程度上减小了长江口海域磷限制程度。Si/N 比值正常蓄水后较蓄水前大幅度降低了约 1/3,且年均值(0.60±0.23)已远低于 Redfield 比值 1,这是由硅酸盐浓度降低和无机氮浓度升高共同影响的结果,这在一定程度上增强了长江口海域非硅藻的竞争优势。

表 1 长江口海域营养盐浓度和结构统计结果

Table 1 Statistic results of nutrient concentrations and compositions in the Yangtze River estuary

时 间	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/μmol·L <sup>-1</sup>		DIN/μmol·L <sup>-1</sup>		SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -Si/μmol·L <sup>-1</sup>		N/P		Si/N	
	变化范围	平均值±标准偏差	变化范围	平均值±标准偏差	变化范围	平均值±标准偏差	变化范围	平均值±标准偏差	变化范围	平均值±标准偏差
2002-05	0.35~0.86	0.54±0.16	2.67~56.7	23.0±20.5	3.78~45.2	16.9±14.3	7.63~90.1	36.5±25.6	0.47~1.91	0.91±0.40
2011-05	0.26~2.09	0.86±0.54	14.4~73.1	32.8±16.0	5.70~34.7	14.2±8.44	29.8~70.2	43.0±11.5	0.26~0.57	0.42±0.08
2002-08	0.25~1.15	0.45±0.26	2.47~57.9	22.6±18.9	0.74~44.4	15.1±15.5	9.15~95.0	47.3±32.3	0.10~1.55	0.63±0.46
2010-08	0.27~2.63	0.99±0.74	6.25~92.7	35.6±22.1	2.98~54.8	20.2±15.3	16.9~88.1	40.1±15.4	0.21~1.21	0.56±0.22
2002-11	0.37~1.70	0.77±0.24	6.34~52.5	23.9±9.00	3.46~66.3	29.7±12.0	17.1~64.9	29.5±5.69	0.55~1.62	1.15±0.27
2010-11	0.36~2.43	0.99±0.50	5.58~60.6	20.1±16.4	4.72~53.6	15.0±12.2	11.4~36.1	18.2±6.58	0.41~1.12	0.81±0.17
2002 全年	0.25~1.70	0.59±0.28	2.47~57.9	23.2±17.4	0.74~66.3	20.7±18.3	7.63~95.0	37.6±24.8	0.10~1.91	0.90±0.43
2010-2011 全年	0.26~2.63	0.95±0.60	5.58~92.7	29.5±19.5	2.98~54.8	16.5±12.6	11.4~88.1	33.6±16.1	0.21~1.21	0.60±0.23

### 3 结 论

基于三峡水库正常蓄水后长江口及其邻近海域的调查结果分析,并与三峡大坝合拢蓄水前的 2002 年同期、同海域调查数据进行了比较。结果表明,与三峡大坝合拢蓄水前相比,三峡水库正常蓄水后长江口海域溶解无机氮、无机磷含量分别增大了 27%和 60%,磷酸盐增大幅度显著高于无机氮。同时,长江口海域活性硅酸盐含量显著降低了 20%,说明三峡水库的“人工湖效应”显著降低了长江入海活性硅酸盐通量。上述营养盐浓度的变化导致长江口海域 N/P 比值明显降低和 Si/N 比值的大幅度降低,长江口海域磷限制程度在

减小,但非硅藻的潜在竞争优势在不断增加。此外,三峡水库秋季蓄水活动造成的人海径流量减少,导致该季节长江冲淡水扩展范围和营养盐浓度及影响范围显著减小。

### 参考文献(References):

- [1] MILLIMAN J D. Blessed dams or damned dams[J]. *Nature*, 1997, 386:325-326.
- [2] NIXON S W. Replacing the Nile: Are anthropogenic nutrients providing the fertility once brought to the Mediterranean by a great River? [J]. *Ambio*, 2003,32(1): 30-39.
- [3] XU J X, SUN J. Influence of precipitation and human activities on water fluxes from the Yellow River into the sea in the past 50 years [J]. *Advances in Water Science*,2003,14(6): 690-695. 许炯心,孙季. 近 50 年来降水变化和人类活动对黄河入海径流量的影响[J]. *水科学进展*,2003,14(6):690-695.
- [4] VOROSMARTY C J, MEYBECK M, FEKETE B, et al. The potential impact of neo-Castorization on sediment transport by the global network of rivers[M]. Wallingford:IAHS,1997:261-273.
- [5] JOSETTE G, LEPORCP B, SANCHEZ X. Biogeochemical mass-balances (C, N, P, Si) in three large reservoirs of the Seine Basin (France)[J]. *Biogeochemistry*, 1999, 47:119-146.
- [6] CHOWDHURY M, BAKRI D. Diffusive nutrient flux at the sediment-water interface in Suma Park Reservoir, Australia[J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2006, 51(1):144-156.
- [7] WAHBY S D, BISHARA N F. The effect of the River Nile on Mediterranean water, before and after the construction of the High Dam at Aswan[C]//MARTIN J M, BURTON JD, EISMA D, et al. Conference Papers: River Inputs to Ocean Systems, 1982: 75-82.
- [8] HUMBORG C, ITTEKKOT V, COCIASU A, et al. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure [J]. *Nature*. 1997, 386:385-388.
- [9] HUMBORG C, CONLEY D J, RAHM L, et al. Silicon retention in river basins: far-reaching effects on biogeochemistry and aquatic foodwebs in coastal marine environments[J]. *Ambio*, 2000, 29: 45-50.
- [10] SHEN Z L. A study on the effects of the Three Gorge Project on the distributions and changes of nutrients in the Changjiang River estuary[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*,1991, 22(6): 540-546. 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.
- [11] LIU R Y, LUO B Z. A study on the effects of the Three Gorge Project on the ecological environment in the Yangtze River estuary[J]. *Studia Marina Sinica*,1992, 33: 1-13. 刘瑞玉,罗秉征. 三峡工程对长江口区生态环境影响的研究[J]. *海洋科学集刊*,1992,33:1-13.
- [12] CHEN C T A. The Three Gorges Dam: reducing the upwelling and thus productivity in the East China Sea[J]. *Geophysical Research Letters*, 2000, 27(3): 381-383.
- [13] ZHANG E R, ZHANG J. Analysis of the Three-Gorge Reservoir impacts on the retention of N and P in the Yangtze River[J]. *Journal of Lake Sciences*,2003,15(1): 41-48. 张恩仁,张经. 三峡水库对长江 N、P 营养盐截留效应的模型分析[J]. *湖泊科学*,2003,15(1): 41-48.
- [14] ZHANG J, ZHANG Z F, LIU S M, et al. Human impacts on the large world rivers: Would the Changjiang (Yangtze River) be an illustration? [J]. *Ambio*, 1999, 13(4): 1099-1105.
- [15] WANG B D, BROCKMANN U. Potential impacts of Three Gorges Dam in China on the ecosystem of East China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 27(1): 67-76.
- [16] CHAI C, YU Z M, SONG X X, et al. Characteristics of nutrient structures and limitation in the Yangtze River estuary before and after water storage of the Three Gorges Project[J]. *Environmental Science*,2007,28(1):64-69. 柴超,俞志明,宋秀贤,等. 三峡工程蓄水前后长江口水域营养盐结构及限制特征[J]. *环境科学*,2007,28(1):64-69.
- [17] SHI J, LIU P X. Concentration characteristics of nutrients and influx calculation in Changjiang Estuary before and after water storage of the Three Gorges Project[J]. *Marine Environmental Science*,2009,28(Sup. I):16-20. 时俊,刘鹏霞. 三峡蓄水前后长江口水域营养盐浓度变化特征和通量估算[J]. *海洋环境科学*,2009,28(Sup. I):16-20.
- [18] LIU P X, CHEN H T, DENG C M, et al. The distribution and variation trend of inorganic nutrients in the Yangtze River Estuary and adjacent areas after the first filling of the Three Gorges Dam[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2007,37(Sup. II):165-172. 刘鹏霞,陈洪涛,邓春梅,等. 三峡一期蓄水后长江口及邻近海域营养盐分布特征与变化趋势[J]. *中国海洋大学学报*,2007,37(Sup. II): 165-172.
- [19] GB12763. 4—2007 Specifications for Oceanographic Survey-Part 4: Survey of chemical parameters in sea water[S]. Beijing: China Standard Press. 2007. GB12763. 4-2007. 海洋调查规范 第 4 部分:海水化学要素调查[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

- [20] ZHAO B R. Analysis of direction change mechanism of the Changjiang River diluted water[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1991, 13(5): 600-610. 赵保仁. 长江冲淡水的转向机制问题[J]. *海洋学报*, 1991, 13(5): 600-610.
- [21] WANG X L, WANG B D, ZHANG C S, et al. Nutrient composition and distributions in coastal waters impacted by the Changjiang plume[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 27(5): 111-125.
- [22] YAN W, ZHANG S. The composition and bioavailability of phosphorus transport through the Changjiang (Yangtze) River during the 1998 flood[J]. *Biogeochemistry*, 2003, 65(2): 179-194.
- [23] The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. National Bulletin of River Sediment: 2002-2011[M/OC]. [2014-06-20] [http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/zghlnsgb/2012.12/t20121213\\_334877.html](http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/zghlnsgb/2012.12/t20121213_334877.html). 中华人民共和国水利部编.《中国河流泥沙公报》(2002-2011)[M/OC]. [2014-06-20] [http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/zghlnsgb/201212/t20121213\\_334877.html](http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/zghlnsgb/201212/t20121213_334877.html).
- [24] NIU F X, XIAO S B, WANG C Y, et al. Estimation of releasing fluxes of sediment phosphorus in the Three Gorges Reservoir during late autumn and early winter[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(4): 1308-1314. 牛凤霞, 肖尚斌, 王雨春, 等. 三峡库区沉积物秋末冬初的磷释放通量估算[J]. *环境科学*, 2013, 34(4): 1308-1314.
- [25] NIE X, LIN Z W, GU J G, et al. Phosphorus fractions and their release from sediments of middle and small sized reservoirs for drinking water in the south of China[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(3): 903-908. 聂祥, 林彰文, 顾继光, 等. 南亚热带中小型水库沉积物中磷的形态与释放特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(3): 903-908.

## Changes of Distributions and Compositions of Nutrients in the Changjiang Estuary After Normal Operation of the Three Gorges Reservoir

WANG Zi-cheng, WANG Bao-dong, XIN Ming, SUN Xia, WEI Qin-sheng, YANG Bo

(1. *The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China;*

2. *Shanghai Branch of China Marine Surveillance, Shanghai 200136, China)*

**Abstract:** Based on the field observations in the Changjiang Estuary and its adjacent sea areas in 2010—2011, changes of distributions and compositions of nutrients in the Changjiang Estuary were studied after normal operation of the Three Gorges Reservoir. By comparison with the field data in 2002 before closure of the Three Gorges Dam, it was found that the concentrations of dissolved inorganic nitrogen and phosphate increased by 27% and 60%, respectively, while dissolved silicate decreased by 20% in the Changjiang Estuary and its adjacent sea areas after the normal operation of the Three Gorges Reservoir. The changes in nutrient concentrations resulted in a significant decrease of N/P ratio as well as substantial decrease of Si/N ratio in the Changjiang Estuary. Besides, the reduction of freshwater discharge from the Changjiang in autumn, which was resulted by filling of the Three Gorges Reservoir, led to a significant reduction in the range of extension of the Changjiang Diluted Water and concentrations of nutrients as well as their affecting areas in the Changjiang Estuary and its adjacent sea areas.

**Key words:** nutrient; Changjiang Estuary; Three Gorges Reservoir

**Received:** July 11, 2014