

三峡工程对长江口海区营养盐分布 变化影响的研究*

沈志良

(中国科学院海洋研究所, 青岛, 266071)

提要 本文通过1986年8月—1988年10月期间共5个航次长江口及其邻近海域的调查和历史资料, 进一步验证了作者提出的长江径流量与营养盐输出通量之间的关系式。讨论了春季营养盐分布的年际变化及其与长江径流的关系。根据秋季10月实测资料对比和定量估算, 三峡工程兴建后, 由于长江径流减少(主要在10月), 可能引起长江口海区营养盐平均浓度下降, 等值线向江口移动, 高浓度区域面积缩小等影响。

作者曾于1985年8月—1986年7月对长江口及邻近海域进行周年逐月调查(简称周年调查)并初步预测了三峡工程对长江口海区营养盐分布变化的影响^[3]。本文根据1986年8月—1988年10月间共5个航次长江口海区的调查及近年的历史资料, 验证初步预测结果并进一步探讨三峡工程对长江口海区营养盐分布变化可能产生的影响。

一、长江径流量与营养盐输出通量的关系

作者在周年调查中得出长江径流量(大通站流量, 下同) $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 与营养盐输出通量的关系式, 为使二者关系更为合理, 以指数方程式表示如下:

$$F(\text{PO}_4\text{-P})(\text{kg/s}) = 0.110\exp(0.000\ 0497Q) \quad (r = 0.880, n = 10)$$

$$F(\text{SiO}_3\text{-Si})(\text{kg/s}) = 23.070\exp(0.000\ 036\ 6Q) \quad (r = 0.735, n = 10)$$

$$F(\text{NO}_3\text{-N})(\text{kg/s}) = 4.899\exp(0.000\ 051\ 8Q) \quad (r = 0.929, n = 10)$$

$$F(\text{NO}_2\text{-N})(\text{kg/s}) = 0.0342\exp(0.000\ 044\ 6Q) \quad (r = 0.850, n = 10)$$

$$F(\text{NH}_4\text{-N})(\text{kg/s}) = 29.212\exp(-0.000\ 075\ 9Q) \quad (r = -0.692, n = 10)$$

$$F(\text{TIN})(\text{kg/s}) = 16.270\exp(0.000\ 020\ 8Q) \quad (r = 0.754, n = 10)$$

上述关系中营养盐输出通量是指经过长江口门输出的营养盐通量。营养盐输出通量可以由下式求出:

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{\text{盐度} \approx 0} Q$$

式中, $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{\text{盐度} \approx 0}$ 为盐度接近于0时河口内各站营养盐浓度的平均值。上述关系式表明, 在调查期间, 除了 $\text{NH}_4\text{-N}$ 与 Q 呈指数负相关外 ($\text{NH}_4\text{-N}$ 主要来自人类活动), 其他

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2009号。
收稿日期: 1989年10月6日。

要素输出通量都随径流量增加而增加。现用周年调查前 1980 年 6 月^[1]、1981 年 8 月和 11 月^[4]以及 1983 年 10 月^[2]的资料,以及周年调查后 1986 年 8 月、1987 年 4 月、1988 年 4 月和 10 月的调查结果(1986 年 10 月长江口内未进行调查)来验证上述关系式的可靠性。营养盐输出通量与长江径流量的相关关系见图 1。从图 1 可以看出,除少数点以外,大部分点都在曲线周围,表明长江径流量与营养盐输出通量之间的相关关系是成立的。如果把图 1 中所有的点进行相关统计,则可以进一步得到下列关系式(见图 1 实线):

$$F(\text{PO}_4\text{-P})(\text{kg/s}) = 0.122\exp(0.000\ 048\ 4Q) \quad (r = 0.837, n = 16)$$

$$F(\text{SiO}_3\text{-Si})(\text{kg/s}) = 24.031\exp(0.000\ 037\ 6Q) \quad (r = 0.748, n = 17)$$

$$F(\text{NO}_3\text{-N})(\text{kg/s}) = 5.649\exp(0.000\ 047\ 4Q) \quad (r = 0.906, n = 18)$$

$$F(\text{NO}_2\text{-N})(\text{kg/s}) = 0.044\exp(0.000\ 041\ 8Q) \quad (r = 0.698, n = 15)$$

$$F(\text{NH}_4\text{-N})(\text{kg/s}) = 31.892\exp(-0.000\ 085\ 2Q) \quad (r = -0.747, n = 15)$$

$$F(\text{TIN})(\text{kg/s}) = 17.292\exp(0.000\ 018\ 0Q) \quad (r = 0.714, n = 15)$$

当 $n = 15, 16, 17$ 和 18 时,显著性水平 0.01 的相关系数分别为 $0.641\ 1$, $0.622\ 6$, $0.605\ 5$ 和 $0.561\ 4$,可见上述各式置信水平均在 99% 以上。利用上述关系式,即可预测由于长江

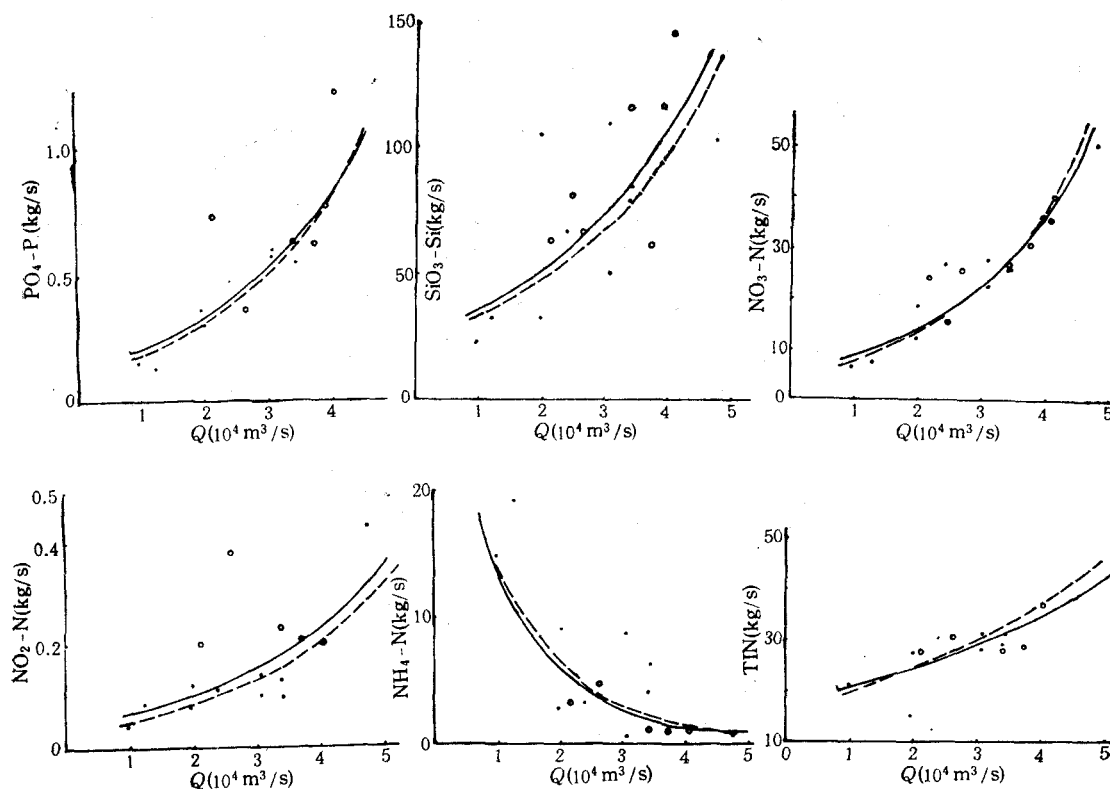


图 1 长江径流量与营养盐输出通量的关系

Fig. 1 The relationships between the runoff of the Changjiang River water (m^3/s) and the output fluxes of the nutrients (kg/s)

a. $\text{PO}_4\text{-P}$; b. $\text{SiO}_3\text{-Si}$; c. $\text{NO}_3\text{-N}$; d. $\text{NO}_2\text{-N}$; e. $\text{NH}_4\text{-N}$; f. TIN .

- 为周年调查时各月相应径流量时营养盐输出通量;
- 为历史资料或后期调查结果;----为周年调查时的相关曲线。

入海径流变化所引起营养盐输出通量的变化。以 1922—1985 年共 43 年大通站平均流量 $28\,600\text{m}^3/\text{s}$ 计, 长江营养盐输出通量和年输出量分别为: $\text{PO}_4\text{-P}$, 0.48kg/s 和 1.51 万吨; $\text{SiO}_3\text{-Si}$, 70.40kg/s 和 222.10 万吨; $\text{NO}_3\text{-N}$, 21.90kg/s 和 69.10 万吨; $\text{NO}_2\text{-N}$, 0.15kg/s 和 0.46 万吨; $\text{NH}_4\text{-N}$, 2.79kg/s 和 8.79 万吨, TIN , 28.90kg/s 和 91.20 万吨。

二、长江径流量对春季长江口海区营养盐分布的影响

作者曾在周年调查中, 讨论了长江口海区营养盐的季节变化及与长江径流量的关系^[3]。下面将讨论同一季节不同年份营养盐的分布变化及与长江径流量的关系。表 1 列出 1986—1988 年连续三年枯水期 4 月份长江口 $123^\circ30'\text{E}$ 以西, $30^\circ45'\text{—}31^\circ45'\text{N}$ 之间海域 29 个相同站位表层营养盐的平均浓度。3 次调查的平面分布见图 2。

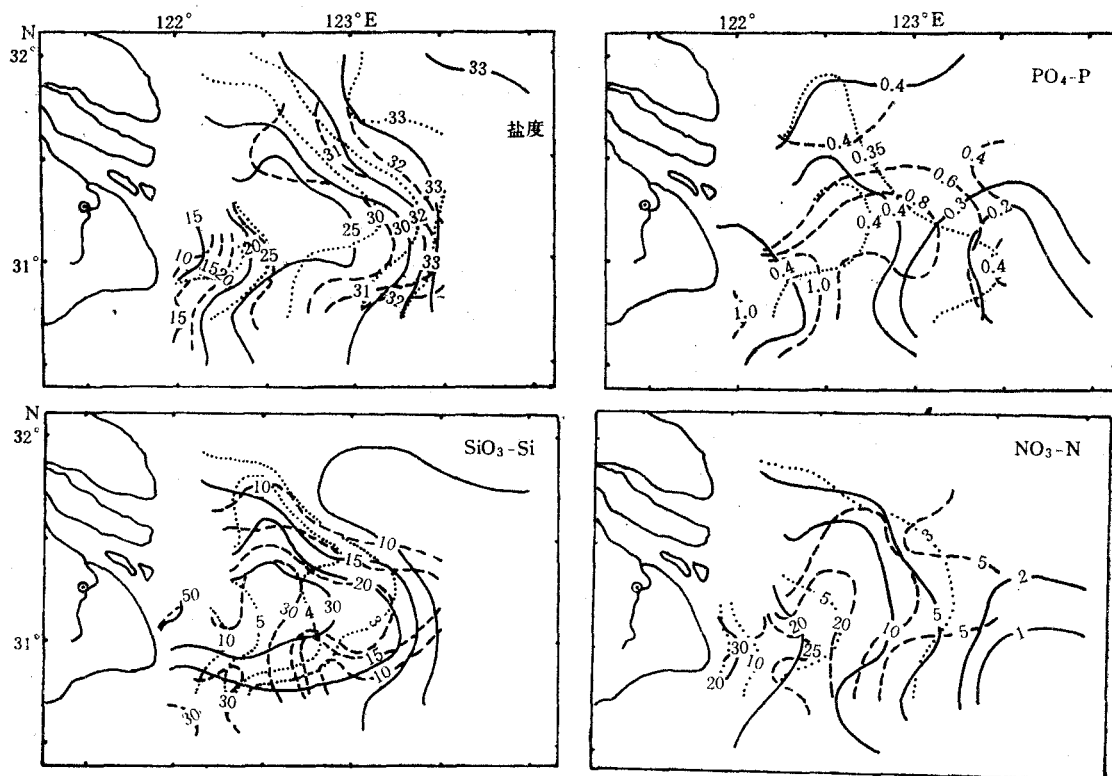


图 2 4 月营养盐的平面分布 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

Fig. 2 The horizontal distributions of the nutrients in April

.....1986 年; — — — 1987 年; ——— 1988 年。

从表 1 和图 2 可以看出, 从 1986—1988 年 4 月, 长江径流量从 19850 增加到 $26\,300\text{m}^3/\text{s}$, 盐度的平均值从 28.01 降到 26.57, 长江冲淡水面积(取盐度为 30 所包围的面积, 下同)愈来愈大, 30 等盐线分别大致到达 $123^\circ09'$, $123^\circ13'$ 和 $123^\circ18'\text{E}$ 。这里应该指出, 表 1 列出的长江径流量是指该月的平均流量, 与调查时的实际流量有一定差距。1986 年 4 月调查是在上旬进行的, 实际流量 (约 $15\,200\text{m}^3/\text{s}$) 比平均流量小; 1987 年 4 月调

查是在 4 月底至 5 月初进行的, 实际流量 (约 $23\,500\text{m}^3/\text{s}$) 比平均流量大; 也就是说 1987 年与 1986 年径流量相差较大, 而与 1988 年较为接近。如果不考虑其他因素, 径流量愈大, 营养盐输出量就愈多, 海区营养盐平均含量就愈高。表 2 列出调查各月营养盐输出量, 可以看出除了 1987 年 4 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ 外, 随径流量增加, 营养盐输出量也增加, 以 1988 年 4 月最高。在长江口海区, 由于 1986 年径流量低, 营养盐输出量也低, 因而海区营养盐浓度也低 (见表 1), 但是 1987 年 4 月营养盐浓度却等于或高于 1988 年, 其中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓

表 1 4 月份营养盐平均浓度 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)Tab. 1 The average concentrations of the nutrients in April ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

年 份	径 流 量 (m^3/s)	盐 度	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_3\text{-Si}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	TIN
1986	19 850	28.01	0.37	4.17	4.38	0.20	5.47	10.0
1987	21 400	27.39	0.70	20.20	13.90	0.31	4.10	18.3
1988	26 300	26.57	0.37	20.00	11.30	0.34	5.43	17.1

度高很多, 这是由于 $\text{PO}_4\text{-P}$ 输出量是 1988 年 2 倍的缘故; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 浓度两年基本相等; $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TIN 浓度, 1987 年稍高于 1988 年。反映在表层平面分布图上 (见图 2), 在同一位置, 1987 和 1988 年 $\text{SiO}_3\text{-Si}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TIN 等值线数值大大高于 1986 年; 而 1987 和 1988 年, $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TIN, 尤其是 $\text{SiO}_3\text{-Si}$, 同一浓度的等值线位置互相交叉, 比较接近。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分布变化与 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 不同, 1987 年 4 月浓度高, 高浓度面积较大, 有关径流量与海区 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分布变化的关系还有待进一步研究。从图 2 可以看出, 长江水入海后, 其主干向东稍偏北方向扩展, 盐度、 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 水舌位置三年中变化很小, 仅是数值大小差异, 表明海流等条件较为一致。 $\text{SiO}_3\text{-Si}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TIN 浓度, 1987 年相似或稍高于 1988 年, 可能与浮游植物繁殖有关。29 个相同站位平均值的统计表明: 1987 年叶绿素 a 含量和初级生产力与 1986 年相似。1988 年叶绿素 a 含量高于 1987 年, 分别为 1.77 和 $1.55\text{mgChl. } a/\text{m}^3$; 初级生产力 1988 年是 1987 年的 2 倍多, 分别为 122.1 和 $56.4\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$; 浮游植物的利用是长江口海区营养盐输出的重要途径, 入海营养盐中的一部分通过生物转移了^[3]。以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为例, 1988 年 4 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度与盐度的关系见图 3, 可以看出, 绝大部分点都在理论稀释线以下, 表明 $\text{NO}_3\text{-N}$ 入海后有较明显的转移; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 也有类似情况。三年同期资料表明, 调查海区营养盐分布变化主要受长江径流大小的影响, 与生物活动也有一定关系。

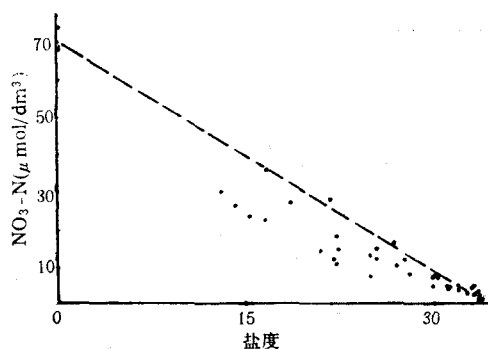
图 3 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) 同盐度的关系 (1988 年 4 月)

Fig. 3 The relationship between nitrate and salinity in April, 1988

表 2 4月营养盐输出通量

Tab. 2 The output fluxes of the nutrients in April

年 份	PO ₄ -P		SiO ₃ -Si		NO ₃ -N	
	kg/s	t/月	kg/s	t/月	kg/s	t/月
1986	0.30	778	32.5	84 240	18.6	48 211
1987	0.73	1 892	63.2	163 814	24.4	63 244
1988	0.36	933	67.0	173 664	25.8	66 874

三、三峡工程对长江口海区营养盐分布变化的影响

三峡工程兴建将改变长江径流量的季节分配,根据水库调蓄方案,1—4月放水,长江下泄流量按150m方案将增加1000m³/s,按180m方案将增加2000—2500m³/s;10月蓄水,长江下泄流量按150和180m方案将分别减少2800和7000m³/s。假定宜昌以下来水条件不变,长江实际入海流量,1988年4月比1987年4月增加了约2800m³/s,类似于1—4月180m方案,根据前面讨论,由于生物影响,海区营养盐分布变化不大。下面将重点讨论10月蓄水对海区营养盐分布变化的影响。作者曾预测,长江下泄流量减少,营养盐输出量将减少,必将引起长江口海区营养盐分布的变化和浓度下降,尤其以SiO₃-Si, NO₃-N和TIN最为显著,高浓度区域将随冲淡水面积减少而缩小^[3]。

1985和1986年10月,长江口123°00'E以西,30°45'—32°00'N之间水域28个相同站位表层营养盐的平均浓度列于表3。1985年10月长江径流量超过30000m³/s,1986年10月比上年约减少6500m³/s,占1/5还多,接近180m方案长江下泄流量的减少量。长江下泄流量的减少将引起营养盐输出量减少,根据二者关系式可以估算营养盐输出量,1986年10月比1985年10月,SiO₃-Si和NO₃-N输出量分别将减少43934和17030t。

表 3 10月营养盐的平均浓度 (μmol/dm³)

Tab. 3 The average concentrations of the nutrients in October

年 份	盐 度	SiO ₃ -Si	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	TIN
1985	22.7	30.7	11.80	0.28	4.46	16.5
1986	25.6	23.1	7.33	0.35	5.22	12.9

从表3可以看出,由于入海径流量减少,长江口海区1986年10月平均盐度增加2.9,SiO₃-Si, NO₃-N和TIN平均浓度则分别下降7.6, 4.5和3.6μmol/dm³。1985和1986年10月盐度、SiO₃-Si和NO₃-N表层分布见图4。图4表明,由于长江入海径流减少6500m³/s,表层冲淡水面积明显向江口收缩,盐度30等盐线约从123°28'E向江口退缩至123°02'E; SiO₃-Si和NO₃-N高浓度区也向江口方向收缩,等值线向江口移动。如SiO₃-Si 20μmol/dm³线前锋从122°53'E移至122°47'E,10μmol/dm³线从123°13'E移至123°03'E; NO₃-N 20μmol/dm³线从123°23'E西移至122°12'E,10μmol/dm³线从123°03'E移至122°35'E。根据图4粗略计算结果表明,在调查的范围内,1986年10月,长江冲淡水面积比1985年10月减少约6100km²; SiO₃-Si浓度大于10μmol/dm³的区

域减少了约 $4\,300\text{km}^2$; $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度大于 $10\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 的区域减少约 $2\,500\text{km}^2$; TIN 浓度大于 $10\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 的区域面积也减少了约 $3\,800\text{km}^2$ 。通过实测结果得出的结论与作者的预测结果颇为一致。从上述讨论可以看出,三峡工程建成后,按 180m 方案,10 月份长江入海径流量较大幅度减少,可能引起长江口海区营养盐平均浓度下降,等值线向江口移动,高浓度区域面积缩小等影响。营养盐的分布变化,除明显受长江径流大小影响外,也还受生物活动和其他理化因素的影响。根据同步调查资料,1986 年 10 月初级生产力平均值是 1985 年的 3 倍,而叶绿素 a 仅是上一年的一半。1985 年 10 月长江冲淡水明显发生转向,营养盐水舌也随之转向,1986 年则无转向发生。

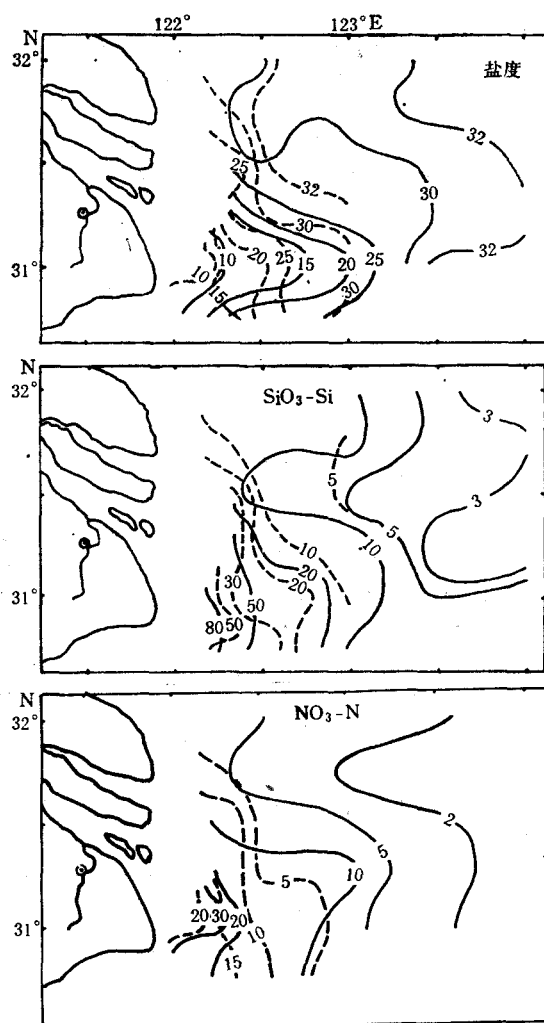


图 4 10 月营养盐的平面分布 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

ig. 4 The horizontal distributions of the nutrients in October

——1985 年; ----1986 年。

参 考 文 献

- [1] 王正方、姚龙奎、阮小正,1983。长江口营养盐(N,P,Si)分布与变化特征。海洋与湖沼 14(4): 324—332。
[2] 沈志良、刘兴俊、陆家平,1987。长江下游无机氮和磷酸盐的分布及其在河口的转移过程。海洋科学集刊 28: 69—77。
[3] 张法高、杨光复、沈志良,1987。三峡工程对长江口水文、水化学和沉积环境的影响。长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集。科学出版社,369—402页。
[4] 黄尚高、杨嘉东、暨卫东等,1986。长江口水体活性硅、氮、磷含量的时空变化及相互关系。台湾海峡 5(2): 114—123。

**A STUDY ON THE EFFECTES OF THE THREE GORGE
PROJECT ON THE DISTRIBUTIONS AND CHANGES
OF THE NUTRIENTS IN THE CHANGJIANG
RIVER ESTUARY***

Shen Zhiliang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao, 266071)

ABSTRACT

In this paper, the correlative equations between the flows of the Changjiang River water into the sea and the output fluxes of the nutrients proposed by author were verified on the base of five cruises investigations in the Changjiang River estuary and its near seas from August, 1986 to October, 1988 and historical data in recent years. It shows that in addition to ammonia, the exponential correlations between the output fluxes of the nutrients and the flows of the Changjiang River water are all positive. The annual average output fluxes of the phosphate, silicate, nitrate, nitrite, ammonia and total inorganic nitrogen from the Changjiang River water into the sea were estimated to be 1.51×10^4 , 222.10×10^4 , 69.10×10^4 , 0.46×10^4 , $8.79 - 10 \times 10^4$ and 91.20×10^4 tons respectively. The annual changes of the distributions of the nutrients in April and October and the relationships between them and the flows of the Changjiang River water were also discussed. It is possible that if three Gorge reservoir is built, the average concentrations of the nutrients in the Changjiang River estuary seas will decrease, the isograms will move toward the river mouth and higher condensation areas of the nutrients will reduce due to the decreas in the flow of the Changjiang River water (in October).

* Contribution No. 2009 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.