

长江下游无机氮和磷酸盐的分布 及其在河口的转移过程*

沈志良 刘兴俊 陆家平

(中国科学院海洋研究所)

长江口附近海区由于受到台湾暖流、黄海冷水和浙江沿岸流等水系以及长江淡水的影响,形成十分复杂的水文、化学和地质特征,成为海洋生物生长繁殖的良好环境。探索长江及长江口海区无机氮和磷酸盐的分布和迁移规律,对于河口地球化学及初级生产力的研究有十分重要的意义,已经愈来愈受到重视^[2,6,7]。本文主要就长江下游和长江口海区无机氮和磷酸盐的分布及转移规律作一些初步探讨。

一、现场调查和测试方法

本调查于 1983 年 10 月 10—21 日进行。在南京、镇江、江阴和南通各设一站,江口及海上所设各站位置见图 1,各站均取表层水样。

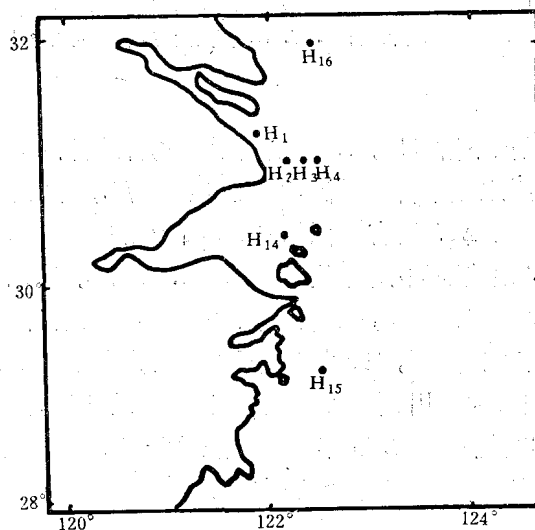


图 1 海区站位图

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1176 号。

文本承顾宏堪和郭玉洁研究员审阅指导, $\text{NO}_3\text{-N}$ 由熊孝先同志测定,特此致谢。

收稿日期: 1985 年 4 月 2 日。

$\text{NO}_3\text{-N}$ 分析采用二苯胺-二苯联苯胺法^[40], 取样后立即在现场分析。其它水样用 0.3% 氯仿固定后储存于 -25°C 低温冰箱速冻, 在实验室测定。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 分别用重氮化法和次溴酸钠氧化法^[1]测定, $\text{PO}_4\text{-P}$ 用磷钼蓝法测定, 以上三项参数均利用美国 Technicon AA-II 型自动分析仪分析。

二、结果和讨论

调查结果列于表 1。

表 1 长江下游及长江口海区海水诸理化参数

站位	参数	$T(^{\circ}\text{C})$	$S(\text{‰})^{1)}$	$T_t(\text{‰})^{1)}$	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	ΣN ($\mu\text{g/L}$) ²⁾	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	N/P (原子比)
南京		21.1	0.09	0.5	596.2	3.8	31.2	631.2	25.6	54.3
镇江		22.6	0.10	0.4	487.4	2.6	19.1	509.1	25.0	44.9
江阴		22.7	0.12	0.5	487.7	2.3	75.0	565.0	24.2	51.8
南通		23.1	0.11	1.5	488.1	1.9	40.0	530.0	24.5	47.8
H ₁		20.9	0.22	1.3	894.9	5.1	21.9	921.9	30.1	67.9
H ₂		21.0	9.37	1.5	697.0	3.0	45.1	745.1	31.7	52.2
H ₃		21.2	12.70	1.0	546.0	4.0	42.6	592.6	27.8	47.0
H ₄		21.4	20.70	1.0	345.7	4.3	73.4	423.4	38.7	24.2
H ₁₄		21.7	12.51	0.4	446.5	3.5	27.9	477.9	32.0	33.1
H ₁₅		21.9	19.06	74.6	354.5	5.5	98.5	458.5	38.9	26.2
H ₁₆		21.4	30.08	—	115.8	4.2	30.0	198.2	30.6	14.3

1) 由裘香荃等同志利用美国 InterOcean 公司的 C. T. D. 探头测定, 特此致谢。T_t 为混浊度, 表示光透过的百分比。

2) 表示总无机氮, 下同。

从表 1 可以看出, 长江下游 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度由于受到各地排污影响的程度不同而表现出明显的不均匀, 上海附近水域中含量最高, 接近 $900 \mu\text{g/L}$, 南京附近次之, 其他地区则不足 $500 \mu\text{g/L}$ 。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 ΣN 均有相似趋势。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的分布趋势也类似, 但除长江口 H₁ 站含量最高外, 其他各站差别较小, 平均含量为 $24.8 \mu\text{g/L}$ 。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的分布无一定规律。此次调查结果表明, 长江口 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量比 1963 年调查资料^[6] 高 4 倍。根据 1984 年和 1980 年《中国农业年鉴》报道, 1983 年全国氮肥总产量为 $1109.4 \times 10^4 \text{t}$, 是 1965 年的 2.25 倍, 其中长江流域的四川、湖北、湖南、江西、安徽、江苏和上海等六省一市氮肥产量就占全国总产量的 39%, 接近 1965 年全国氮肥总产量。因此, 长江口 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量的成倍增加显然和 20 年来农村大量使用氮肥有关。长江和世界其他较大河流氮、磷浓度的比较列于表 2。

表中长江下游 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 ΣN 比世界江河平均含量高得多, $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量也略高, 但是比世界发达地区如西欧的莱茵河和美国的密西西比河却低得多, 从这可以看出营养盐含量高低与河流所在地区的工农业生产发展水平相一致。根据早先 Riley^[41] 的分析, 密西西比河河水中 NO_3^- 的平均含量为 $25 \mu\text{mol/L}$, 总氮为 $52 \mu\text{mol/L}$, 表 2 中 1972 年的数据比上述数据均要大 6 倍多。这表明, 与长江一样, 近年来密西西比河河水中氮增加很

表 2 长江和其他河流营养盐浓度比较 ($\mu\text{mol/L}$) (Bennekorn, Salomons, 1980, 转引自文献 [3])

参数 河流	采样时间 (年,月)	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	总 氮	PO_4^{3-}	总 磷
长江下游 平均值	1983.10	42.2	0.22	2.7	45.1 ¹⁾	0.83	
珠江 ^[4]	1982.5 雨 季	62.0	5.7	15.7	83.6 ¹⁾		
亚马孙河	1963.4	3	0.05		20	0.4	
刚果河	1976.11 1978.5	6.5	0.2	0.5		0.7	1.9
密西西比河	1972.1—7	160		<4	300	2.8	
湄公河	1961.2	16					
恒 河		10—20		10	40	2—4	
哥伦比亚河	1965.7	12		1		0.5	
莱茵河	1977.	290	4	90	429	12	25
第聂伯河	1967.9	13.5	0.6	28	165	2.0	3.7
世界江河平 均值 ^[12]					16.1		0.65

1) 指总无机氮。

快,这主要是人为污染的结果。珠江 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量和长江口 ($63.9 \mu\text{mol/L}$) 接近,而高于长江下游平均含量; ΣN 更高;这可能因珠江调查是在雨季进行,与雨水中氮含量较高有关。

关于营养盐在河口转移规律的研究已有很多报道^[12-16]。长江口海区 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的分布

表 3 $\text{NO}_3\text{-N}$ 计算值和实测值对比

站位 量值	H_1	H_2	H_3	H_4	H_{14}	H_{15}	H_{16}
$S(\%)$	0.22	9.37	12.70	20.70	15.21	19.06	30.08
$\text{NO}_3\text{-N}$ 实测值($\mu\text{g/L}$)	894.9	697.0	546.0	345.7	446.5	354.5	115.8
$\text{NO}_3\text{-N}$ 计算值($\mu\text{g/L}$)	872.9	631.6	543.8	332.9	548.8	376.1	85.5
误差($\mu\text{g/L}$)	-22.0	-65.4	-2.2	-12.8	+102.3	+21.6	-30.3
相对误差(%)	-2.5	-9.4	-0.4	-3.7	+22.9	+6.1	-26.2

情况是河口高,向东南方向愈来愈低。 H_{16} 站由于受河水影响小($S = 30\%$), NO_3-N 浓度最低。根据本次调查结果制得的 NO_3-N-S 相关图(图2), NO_3-N 和 S 之间存在着明显的负相关线性关系,其相关线与理论稀释线很接近,与王正方等调查结果^[2]也相一致。相关方程式为:

$$NO_3-N = 878.7 - 26.37S \quad (r = -0.98)$$

根据该方程计算的 NO_3-N 含量与实测值的对比列于表3。表中大部分数据相对误差在 $\pm 10\%$ 以内。 H_{14} 站偏离理论稀释线和计算值较大,这表明 NO_3-N 在该海区可能有某种转移行为。上述 NO_3-N-S 的线性关系表明,在长江口, NO_3-N 的转移机制主要是物理混合过程,即长江水受海水稀释所致,而与化学过程和生物活动关系不大。

NO_2-N 是三态无机氮循环中的中间形态,因而不稳定,在海水中含量很低。 NH_4-N 是有机氮分解的初级产物,变化较复杂。根据 NO_2-N-S 和 NH_4-N-S 相关图(图3)可

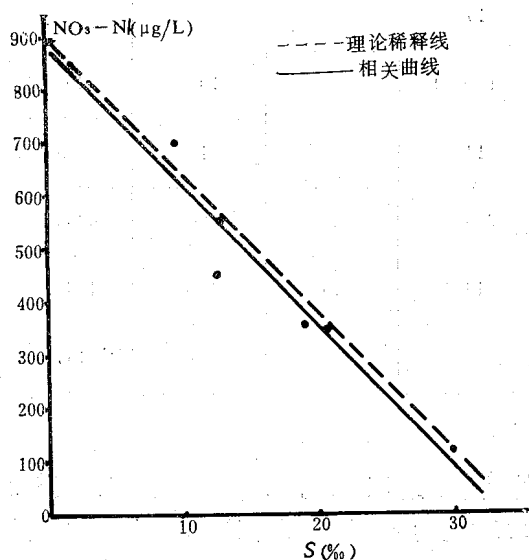


图2 NO_3-N-S 关系

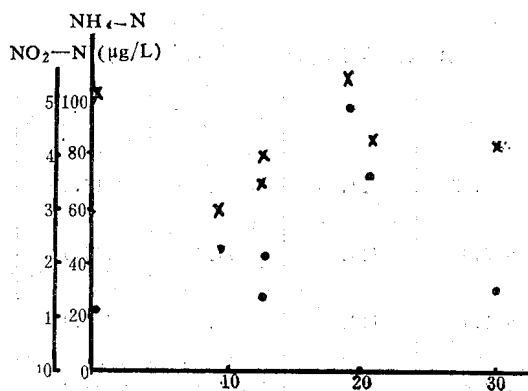
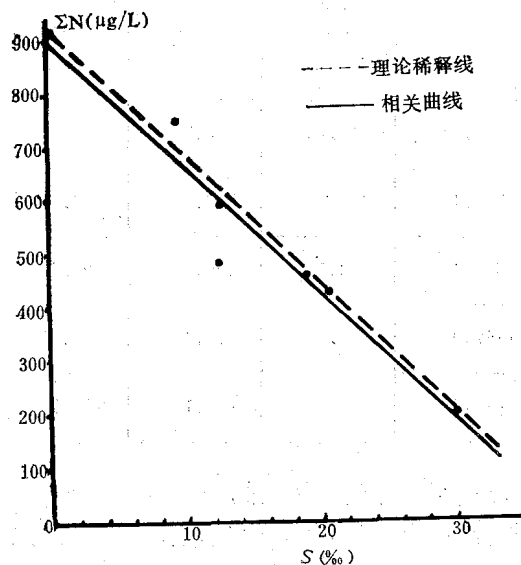
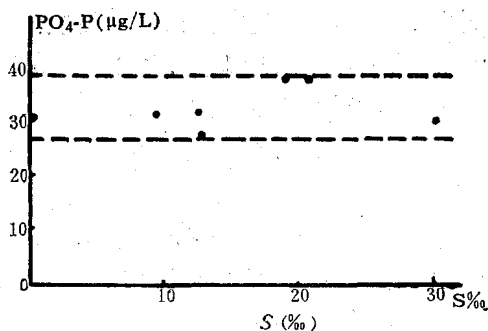


图3 NO_2-N-S , NH_4-N-S 关系

×为 NO_2-N ●为 NH_4-N

图4 $\Sigma N-S$ 关系图5 PO_4-P-S 关系

看出,它们的变化无一定规律。 H_{15} 站 NO_2-N 和 NH_4-N 出现最高值,可能与该站浮游生物较多¹⁾,上层浮游动物直接排泄 NH_4-N 及部分易分解的有机物在上层水中分解等有关,浙江沿岸上升流的影响可能也是一个值得考虑的因素^[8]。

由于长江口 NO_3-N 是无机氮的主要存在形态,因而 ΣN 与 NO_3-N 在长江口的转移规律是一致的。 $\Sigma N-S$ 相关图如图4所示,其相关方程式为:

$$\Sigma N = 903.0 - 24.0S \quad (r = -0.97)$$

由方程计算所得 ΣN 浓度与实测值的对比列于表4。

PO_4-P 在河口海区变化较小,和 S 无明显关系(图5),在盐度0—30‰ 整个范围内,其平均含量为 $32.8 \pm 4.0 \mu g/L$ (标准偏差)。这与 Stefánsson 等^[16] 在哥伦比亚河口和 Butler 等^[13] 在特马尔河口的调查结果极为相似,在那里 PO_4-P 浓度分别为 $31 \pm$

1) 王荣, 1978。东海大陆架区浮游动物种类组成与总生物量分布。东海大陆架论文集, 中国科学院海洋研究所, 第134—144页。

表4 ΣN 计算值与实测值对比

站位 量值	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆
S(‰)	0.22	9.37	12.70	20.70	12.51	19.06	30.08
ΣN 实测值($\mu g/L$)	921.9	745.1	592.6	423.4	477.9	458.5	198.2
ΣN 计算值($\mu g/L$)	897.7	678.1	598.2	406.2	602.8	445.6	181.1
误差($\mu g/L$)	-24.2	-67.0	+5.6	-17.2	+124.9	-12.9	-17.1
相对误差(%)	-2.6	-9.0	+0.9	-4.1	+26.1	-2.8	-8.6

3.1 $\mu g/L$ (标准偏差)和 21—29 $\mu g/L$ 。他们的研究表明,河口 PO_4-P 保持恒定是由于受到某种缓冲机制的控制,河口大量的悬浮沉积物从富 PO_4-P 水中吸附 PO_4-P ,同时也把 PO_4-P 送回到低 PO_4-P 水中,这样就使 PO_4-P 浓度保持在一个相对恒定的范围。 H_{15} 站 PO_4-P 与 NH_4-N 和 NO_2-N 一样达到最大值,也可能与该区上升流有关。

N/P 的变化主要受长江水的影响,其值在河口高,往外海方向变低。河口 N/P 高达 67.9,比 1963 年调查数据最大值还高将近 1 倍,这主要是由于 NO_3-N 大量增加的缘故。 H_{16} 站由于受江水影响较小, N/P 接近海水中典型值 16。由于长江口海区 PO_4-P 量值变化甚小,因此 N/P 和 S 也呈现明显的负相关关系(见图 6),其相关方程式为:

$$N/P = 65.9 - 1.89S \quad (r = -0.96)$$

根据方程式计算所得的 N/P 与实测值的对比列于表 5。表中 N/P 随 S 的变化并非生物吸收所致,而是长江水受海水稀释的结果。

无机氮和磷酸盐是浮游植物生长所必需的营养盐。对比 1959 年¹⁾和 1976 年^[5]长江

表5 N/P 计算值与实测值对比

站位 量值	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆
S(‰)	0.22	9.37	12.70	20.70	12.51	19.06	30.08
N/P 实测值	67.9	52.2	47.0	24.2	33.1	26.2	14.3
N/P 计算值	65.5	48.2	41.9	26.8	42.3	29.9	9.0
误差	-2.4	-4.0	-5.1	+2.6	+9.2	+3.7	-5.3
相对误差(%)	-3.5	-7.7	-10.9	+10.6	+27.7	+14.0	-36.7

1) 全国海洋综合调查图集第六册。

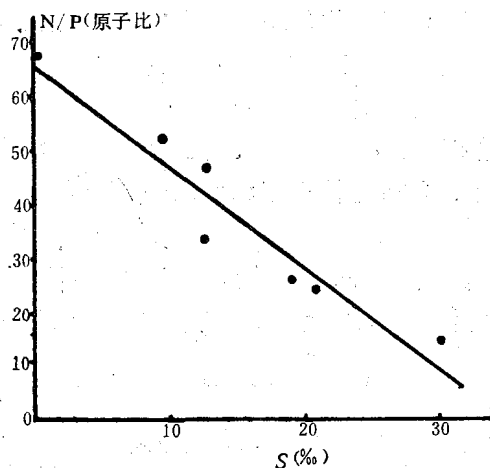
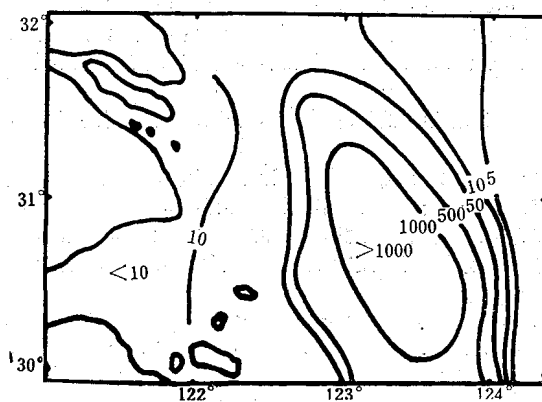
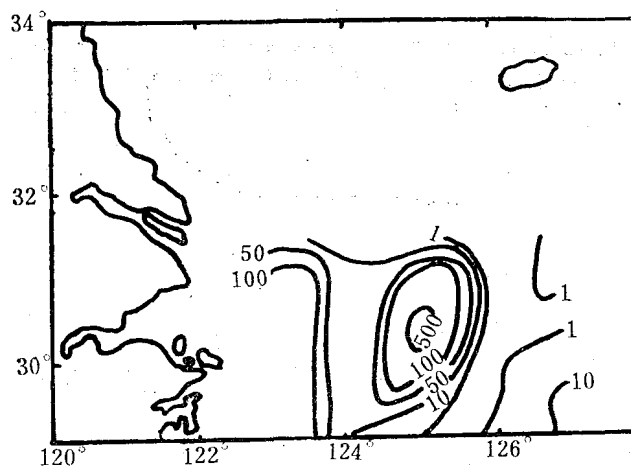


图6 N/P-S 关系

图7 1959年10月浮游植物总量分布($\times 10^4$ 个/ m^3)图8 1976年8—9月浮游植物总量分布($\times 10^4$ 个/ m^3)

口海区浮游植物数量分布的资料(见图7, 8),浮游植物数量并无大的变化,而该区营养盐(主要是无机N)却大量增加;此外,浮游植物密集区并不在营养盐最丰富的长江口,而是

在离河口较远的海区,长江口浮游植物量却很少,这说明长江口存在着对浮游植物生长的某种限制因素。从表 1 可看出,长江口海区表层水的混浊度均小于 1.5%,浮游植物能进行的光合作用极其微弱(而真光层的下限一般为表面光强的 1%^[9]),水体混浊很可能就是长江口浮游植物生长的重要限制因素。由于长江口海区浮游生物量很少,因而不难解释 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 ΣN 在该水域的保守性行为; $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量的分布规律也与浮游生物活动基本无关。

从长江口海区各站 S , T , $\text{NO}_3\text{-N}$ 等的分布还可以看出,1983 年 10 月长江冲淡水的走向是向东南,这与东海沿岸流冬半年(10—3 月)的流向是一致的。

参 考 文 献

- [1] 刁焕祥,1983.自动分析仪次溴酸钠氧化法测定海水中氨氮的研究.海洋科学 1: 25—28.
- [2] 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.
- [3] 吴瑜端、唐健,1984.污染物途经河口的人海通量.海洋科学 6: 44—49.
- [4] 林植青、郑建禄、朱建华,1984.珠江中氮的迁移.海洋与湖沼 15(6): 515—520.
- [5] 郭玉洁、杨则禹,1982.1976 年夏季东海陆架区浮游植物生态的研究.海洋科学集刊 19: 11—30.
- [6] 顾宏堪、熊孝先等,1981.长江口附近氮的地球化学 I.长江口附近海水中的硝酸盐.山东海洋学院学报 11(4): 37—46.
- [7] 顾宏堪、马锡年等,1982.长江口附近氮的地球化学 II.长江口附近海水中的亚硝酸盐及氨.山东海洋学院学报 12(2): 31—38.
- [8] 雷鹏飞,1984.浙江近海上升流速度及其营养盐通量计算.海洋湖沼通报 2: 22—26.
- [9] 斯蒂曼-厄耳森, E., 1975.海洋光合作用.周百成、温宗存译,1979,科学出版社,第 24 页.
- [10] 熊孝先,1965.二苯胺-二苯联苯胺混合试剂测定海水中硝酸盐.海洋与湖沼 7(2): 113—121.
- [11] 霍恩, R. A., 1969.海洋化学(水的结构与水圈化学).厦门大学海洋系海洋化学教研室译,1976,科学出版社,第 174 页.
- [12] Burton, J. D. and P. S. Liss, 1976. Estuarine Chemistry. Academic Press, pp. 93—98, 111—117.
- [13] Butler, E. I. and S. Tibbitts, 1972. Chemical survey of the Tamar estuary I. Properties of the Waters. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 52: 681—699.
- [14] Pomeroy, I. R., E. E. Smith and C. M. Grant, 1965. The exchange of phosphate between estuarine water and sediments. *Limnol. Oceanogr.* 10: 167—172.
- [15] Riley, J. P. and R. Chester, 1978. Chemical Oceanography. 2nd Ed. Vol. 7, Academic Press, pp. 387—395.
- [16] Stefánsson, U. and F. A. Richards, 1963. Processes contributing to the nutrient distributions off the Columbia River and Strait of Juan de Fuca. *Limnol. Oceanogr.* 8: 394—410.

DISTRIBUTION OF INORGANIC NITROGEN AND PHOSPHATE IN THE WATER OF DOWNSTREAM OF THE CHANGJIANG RIVER AND THEIR REMOVAL PROCESSES IN THE ESTUARY*

Shen Zhiliang, Liu Xingjun and Lu Jiaping

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

This paper discusses the distributions and the removal processes of $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, ΣN (total inorganic nitrogen) and $\text{PO}_4\text{-P}$ in the surface water of Changjiang (Yangtze) River downstream and its estuary in October, 1983. The distributions of $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and ΣN show the similar trend of distribution in Changjiang River downstream water. The concentrations of them are higher in Changjiang River mouth water than in other regions of Changjiang River. The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in river mouth water is close to $900\text{ }\mu\text{g/L}$, which is 4 times higher than in 1963, and much higher than the world-wide average concentration in the river water. This increased $\text{NO}_3\text{-N}$ is mainly due to the effect of the sewages drained from the cities and countryside along the river. The distribution of $\text{PO}_4\text{-P}$ in river water is uniform except in river mouth, where higher $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration was found. The average concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ in river water is $24.8\text{ }\mu\text{g/L}$.

The data show that the removal mechanism of $\text{NO}_3\text{-N}$ and ΣN in Changjiang River estuarine water is mainly physical mixing, and the chemical processes and biological actions seem to be not important during the survey. The $\text{NO}_3\text{-N}$ and ΣN would have the following relations to the S :

$$\text{NO}_3\text{-N}(\mu\text{g/L}) = 878.7 - 26.37S(\text{‰}) \quad (r = -0.98)$$

$$\Sigma\text{N}(\mu\text{g/L}) = 903.0 - 24.0S(\text{‰}) \quad (r = -0.97)$$

The relation of $\text{PO}_4\text{-P}$ to S indicates $\text{PO}_4\text{-P}$ levels are practically invariant over the whole S range of the estuary ($0\text{--}30\text{‰}$) at an average concentration $32.8 \pm 4.0\text{ }\mu\text{g/L}$ (standard deviation). It is possible that some "buffering" process in the estuarine water maintains the $\text{PO}_4\text{-P}$ in the water at the levels.

Very high N/P (atomic ratio), 67.9, was found in the river mouth, it decreases with the increase in S . The relation ship between N/P and S can be expressed as:

$$\text{N/P} = 65.9 - 1.89S \quad (r = -0.96)$$

This paper also suggests that the restrictive factor to phytoplankton in the Changjiang River estuary is rather the turbid water column than inorganic N and $\text{PO}_4\text{-P}$.

* Contribution No. 1176 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.