

胶州湾水域的营养盐*

沈志良 陆家平 刘兴俊 王一飞
(中国科学院海洋研究所)

本文根据 1983—1986 年胶州湾水域理化环境的调查资料,对胶州湾及临近水域硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、磷酸盐和硅酸盐的空间时间分布变化、主要来源及它们与其它环境因子的关系等作一些探讨。

一、调查和方法

调查共设 20 个大面观察站,其中湾内 12 个,湾外 8 个(图 1)。1982 年 11 月—198

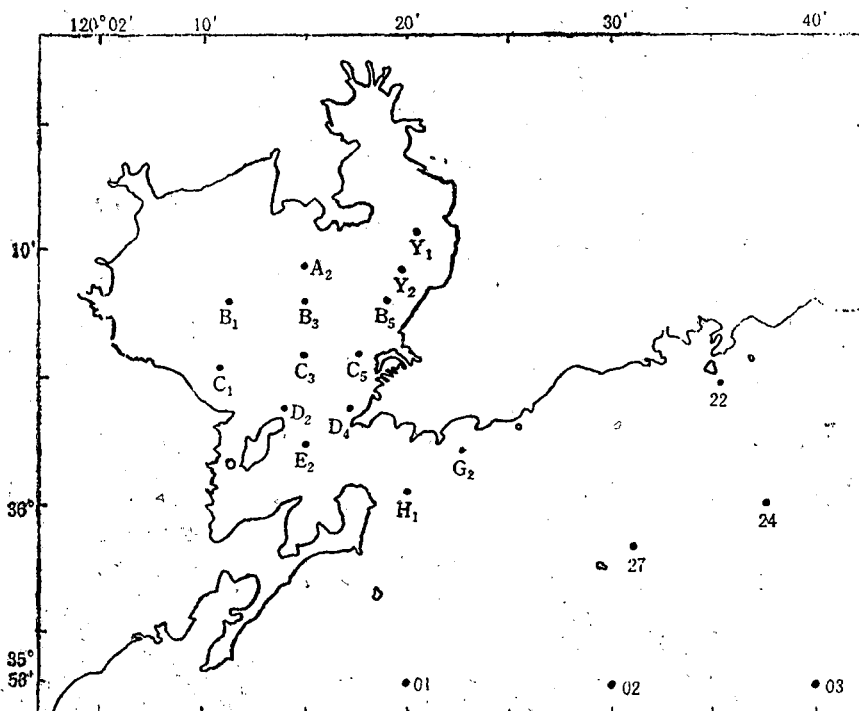


图1 站位图

*中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2254 号。
收稿日期: 1992 年 4 月 25 日。

年 11 月, 共进行了 41 个航次的调查, 其中 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 是从 1985 年 8 月开始调查的。

全部水样存放在聚乙烯瓶中, 加 0.3% 氯仿固定, 在 -25°C 低温冰箱内速冻, 回实验室解冻后取上层清液进行测定。硝酸盐 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 用 BSPB 法 (刁焕祥等, 1985), 亚硝酸盐 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 用重氮偶氮法, 氨氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 用次溴酸钠氧化法, 磷酸盐 ($\text{PO}_4\text{-P}$) 用磷钼蓝法, 硅酸盐 ($\text{SiO}_3\text{-Si}$) 用硅钼蓝法测定。上述要素均使用美国 Technicon AA-II 型自动分析仪进行比色分析。

二、结果和讨论

1. 平面分布 胶州湾内 1985 年 1, 5, 8, 11 月 4 个季节代表月 ($\text{SiO}_3\text{-Si}$ 为 1986

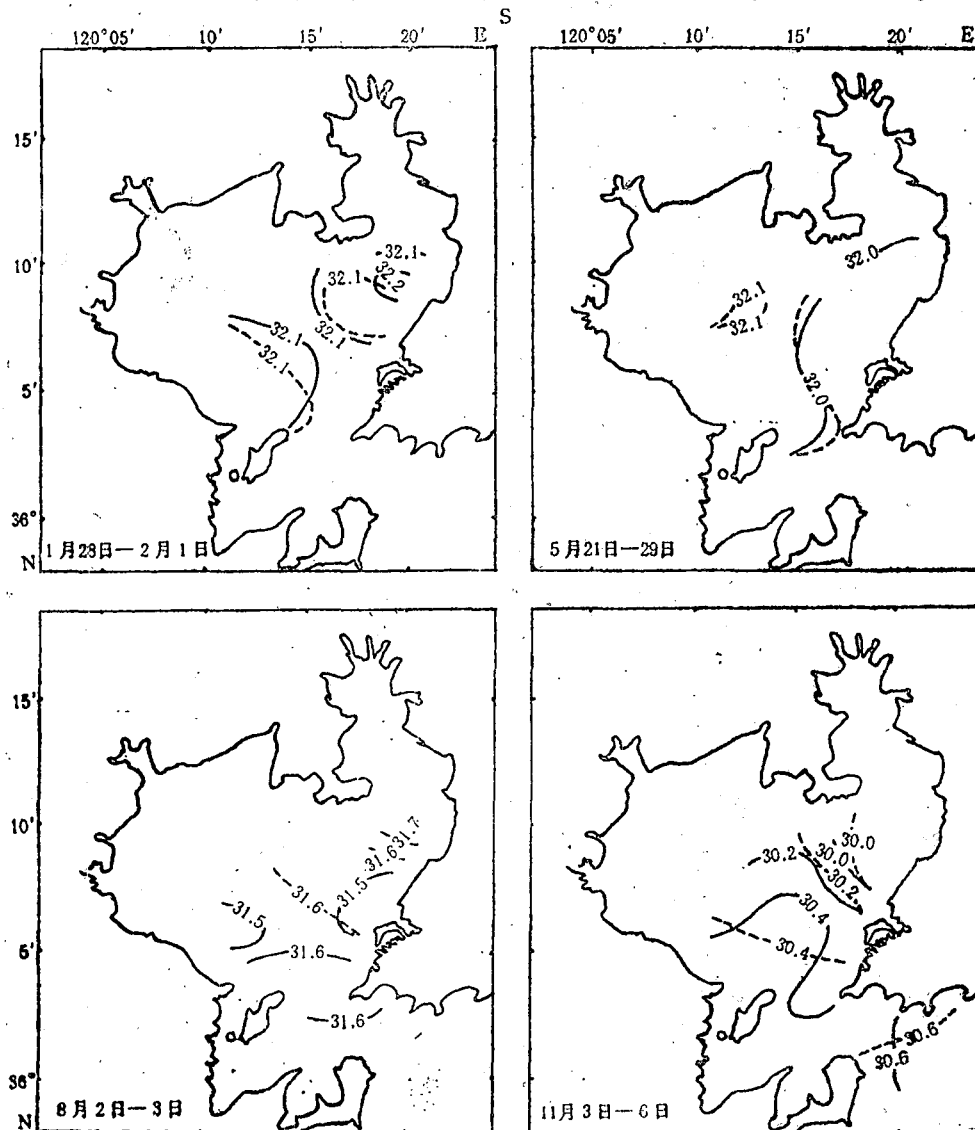


图 2 盐度平面分布
——表层——底层(图 2—7 同)

年) 盐度和营养盐的表、底层分布见图 2—7。胶州湾海水盐度的分布变化主要受降雨、蒸发、地表径流以及与外海水(黄海水)的交换等的影响。胶州湾总面积为 423km^2 , 其中零米线以下水域面积为 298km^2 , 平均水深 $6-7\text{m}$, 部分水域与外海水交换较差, 尤以沧口水域最为显著。湾中央和湾口附近与外海水交换较好, 因此上述水域的盐度与湾外水较为接近。湾的东北部(即沧口及以北海区)盐度一般稍高于其他水域和湾外(图 2); 然而在降水量较大的夏、秋季, 盐度分布则呈相反趋势, 从湾东北部至西南部盐度

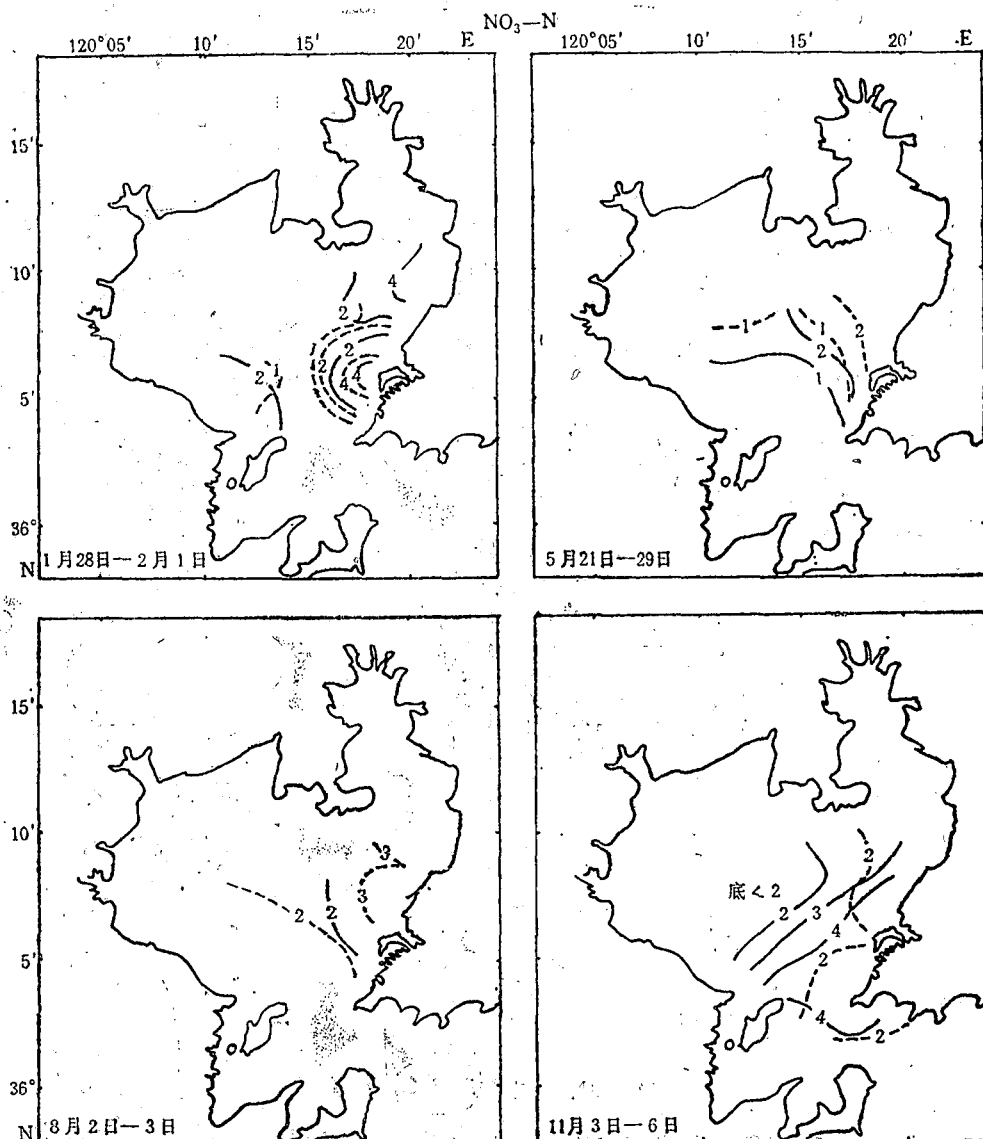


图 3 $\text{NO}_3\text{-N}$ 平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

逐渐上升;至11月,湾内的平均盐度(30.25)小于湾外(30.72)(图2)。这里需要说明的是,1985年8月的调查是在月初进行的,大量降水是在调查以后开始的,因此9—12月的盐度分布受雨水影响均呈现上述分布趋势。底层盐度分布与表层相似,一般底层盐度稍小于表层,在雨季则相反。流入胶州湾的河流均较小,其中以位于西北部的大沽河为最大,年平均流量仅为 $23.7\text{m}^3/\text{s}$,因此径流对湾内海水盐度影响较小。

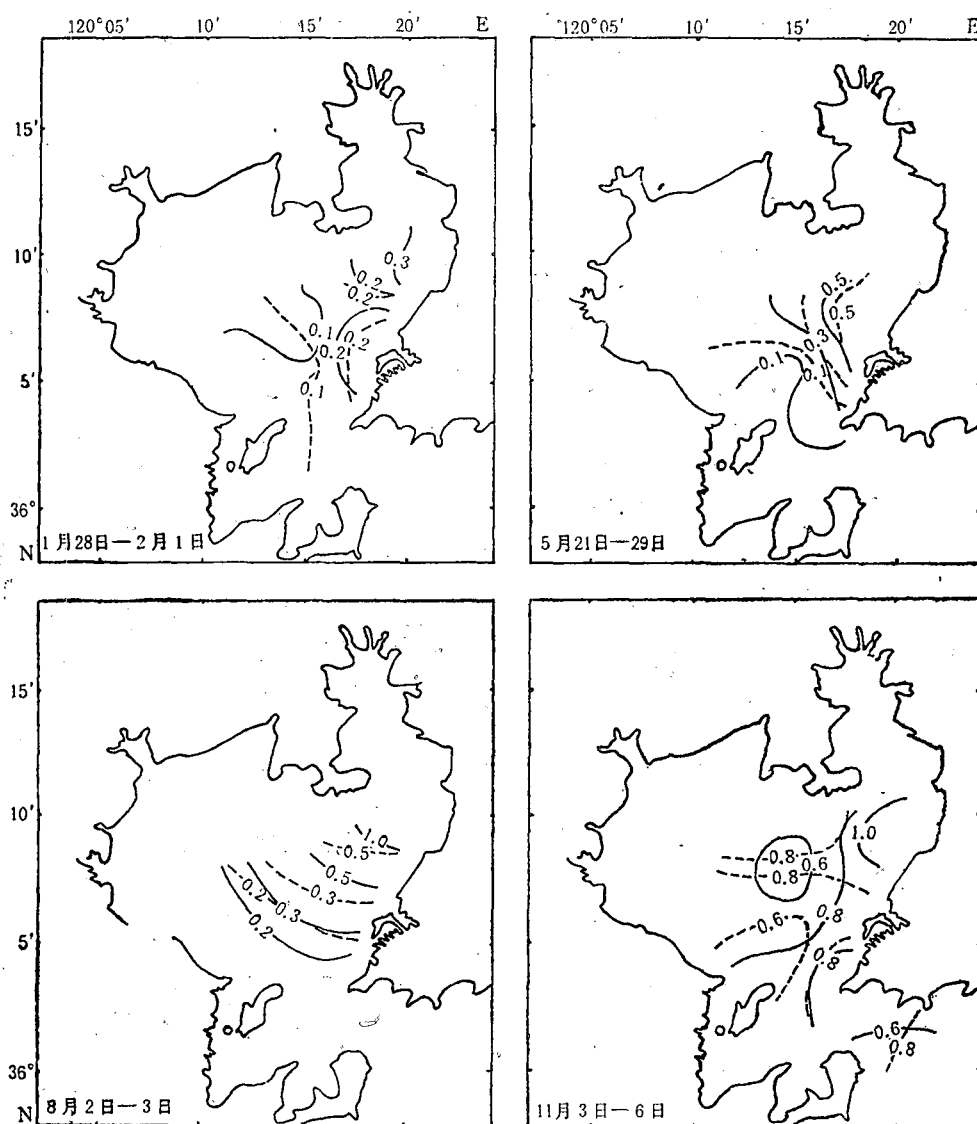


图4 $\text{NO}_2\text{-N}$ 平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

冬季 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的表、底层分布趋势较为一致,均是湾东部水域浓度高,西北部水域、湾中央和湾外低。 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 则是湾西南部水域浓度较高,

东部水域浓度很低，有的在检出线以下，这可能与 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量低以及浮游植物大量消耗有关。春季除了 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分布稍有不同外，其它营养盐浓度的表、底层分布均是从东北向西南、湾口方向递减。夏季与春季营养盐的分布模式相同，只有 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 的浓度在西南部水域较高。秋季营养盐浓度一般也是东北部或东部水域较高。湾内营养盐浓度显著地高于湾外，1984 年表层海水中，湾内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的平均浓度分别是湾外的 2.8、1.4、2.0 和 1.4 倍。从胶州湾水域营养盐的平面分布特征可以看出，青岛市工业废水和生活污水排入对其的影响，而大陆径流的影响较小。

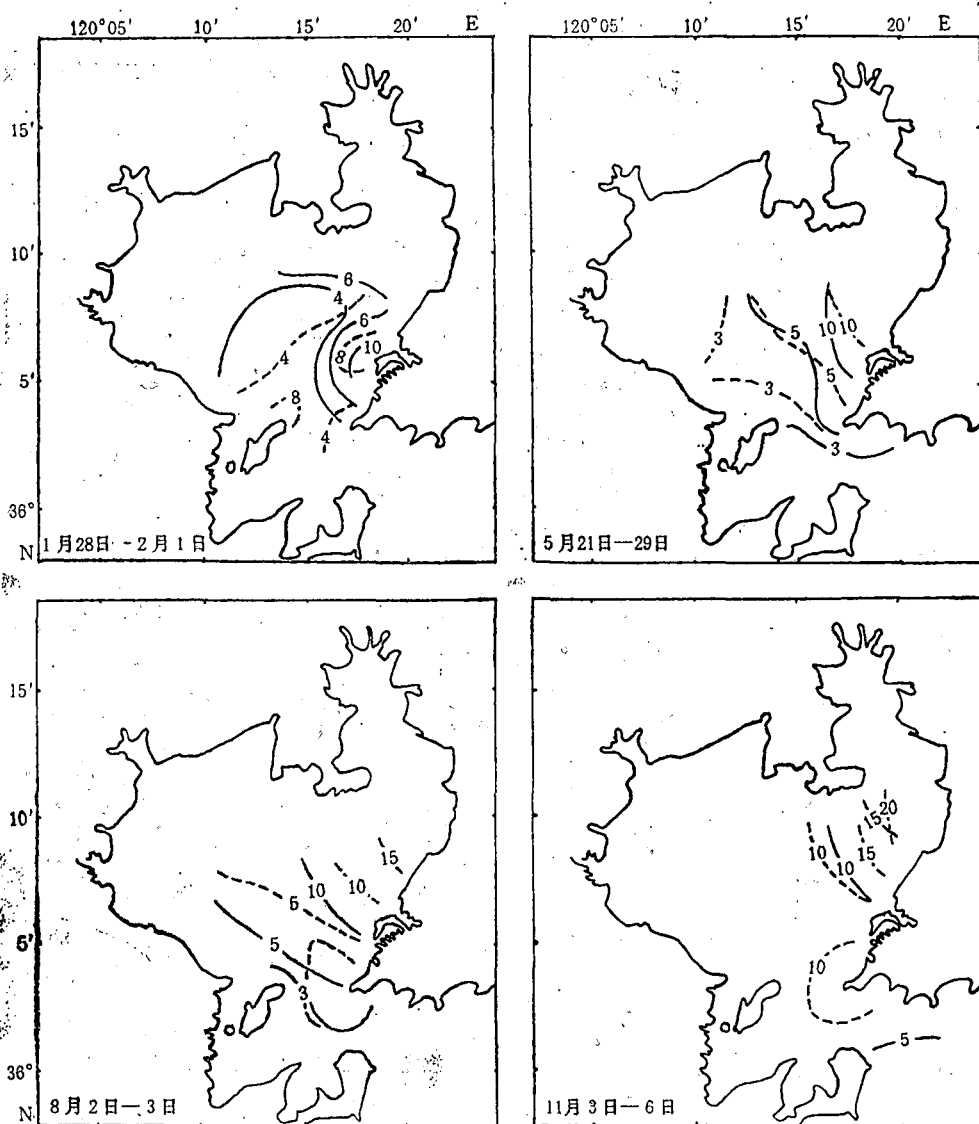


图5 $\text{NH}_4\text{-N}$ 平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

统计表明, 1985 年胶州湾表、底层海水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的平均浓度分别为 $2.8\mu\text{mol/L}$ 和 $1.9\mu\text{mol/L}$, 占总无机氮 (TIN) 值的 27% 和 21%; $\text{NO}_2\text{-N}$ 分别为 $0.45\mu\text{mol/L}$ 和 $0.36\mu\text{mol/L}$, 占 5% 和 4%; $\text{NH}_4\text{-N}$ 分别为 $7.0\mu\text{mol/L}$ 和 $6.8\mu\text{mol/L}$, 占 68% 和 75%。由上可知, $\text{NH}_4\text{-N}$ 是胶州湾海水中无机氮的主要存在形态。浮游植物能优先吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$, 特别在其繁殖生长期, 可与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 形成直接循环, 因而硝化过程难以进行。在胶州湾海水中, 三态无机氮远未达到热力学平衡。

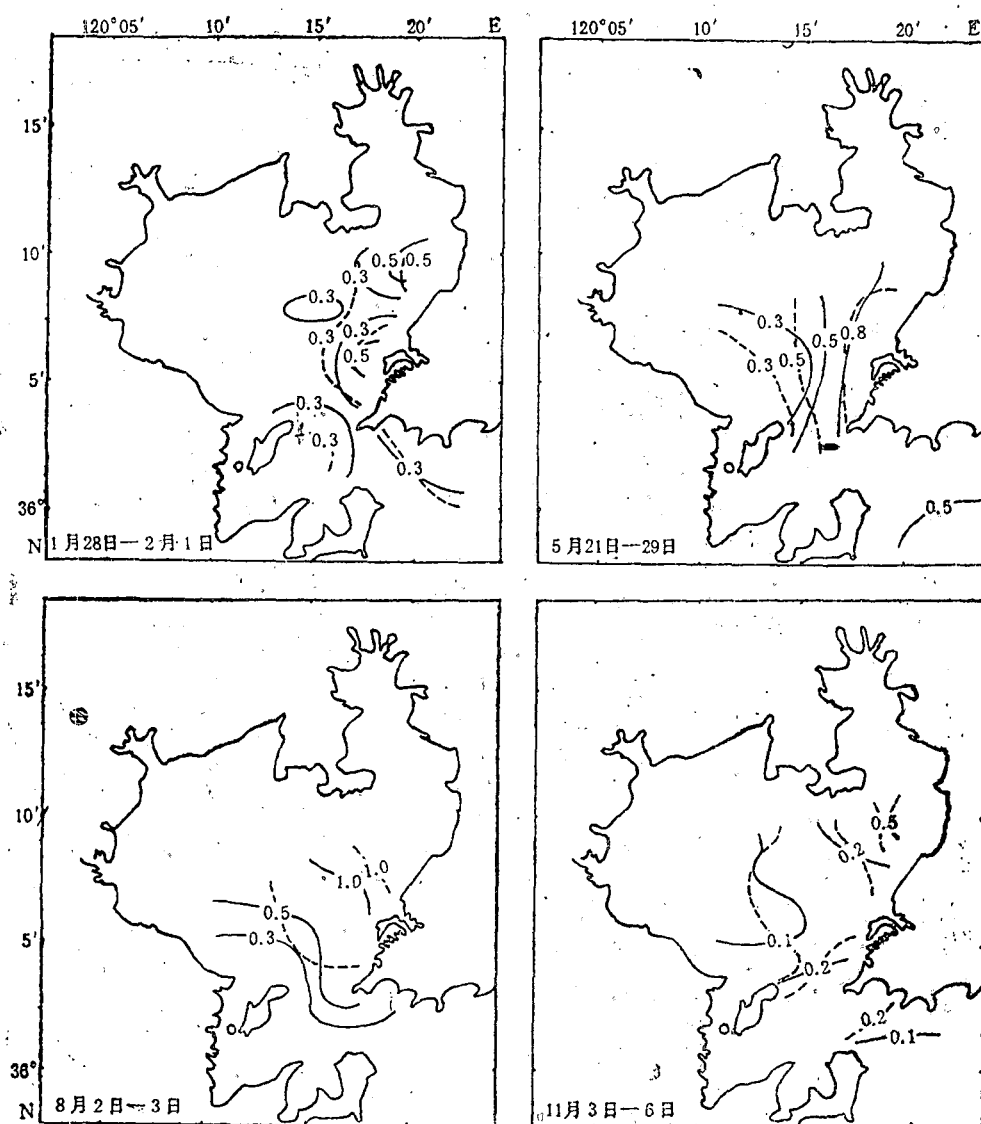
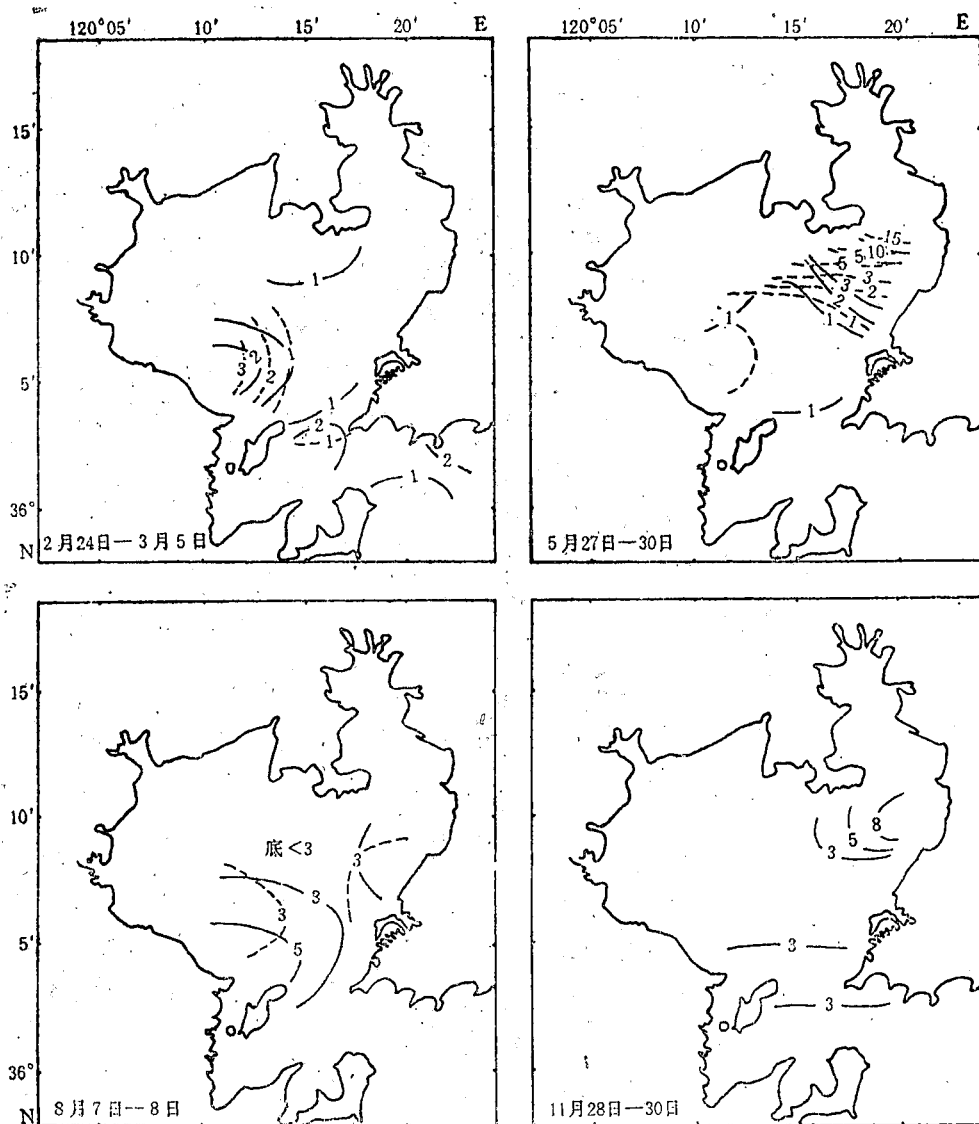


图6 $\text{PO}_4\text{-P}$ 平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

图 7 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 平面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

2. 断面分布 1, 5, 8, 11月盐度和营养盐的断面分布见图8—13。胶州湾海水中盐度分布基本属于垂直均匀型,如图8所示,湾中央冬季表、底层盐度仅差0.03,夏季也仅差0.09。只有在大雨以后,水体才出现分层现象和较显著的盐度梯度,如1985年9月,表、底层盐度差最大的 B_5 站达4.4,盐度梯度以东西沿岸水域最大,向中央和湾口逐渐变小。营养盐浓度断面分布基本规律($\text{SiO}_3\text{-Si}$ 除外)均为东高西低, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 则呈相反趋势,这可能与它们的来源不同有关。冬、春季垂直分布均匀,夏、秋季上下水体出现一定的浓度梯度,这与沿岸排污,致使表层水中营养盐增高有关,9月最为明显。

无机氮表层高于底层是由于陆地排污和雨水等的影响;而 $\text{PO}_4\text{-P}$ 表层略低于底层则与浮游植物的消耗有关 ($\text{PO}_4\text{-P}$ 来源少, 含量低)。

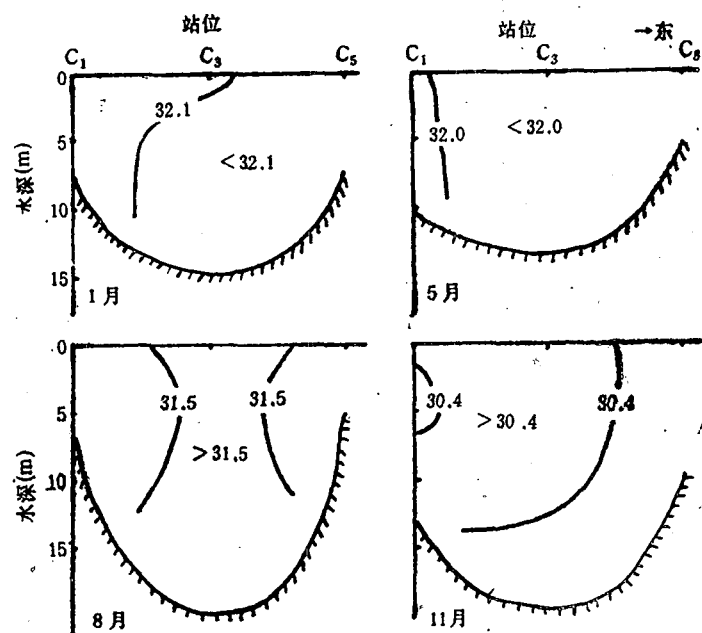


图8 盐度断面分布

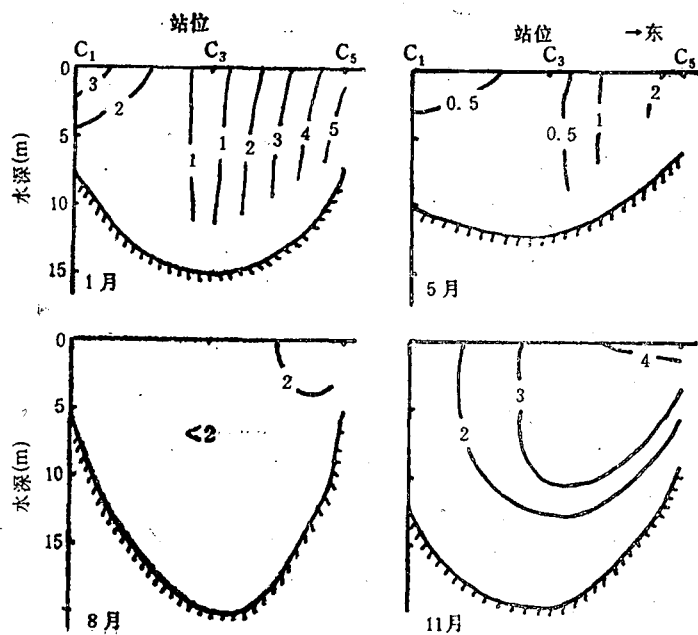
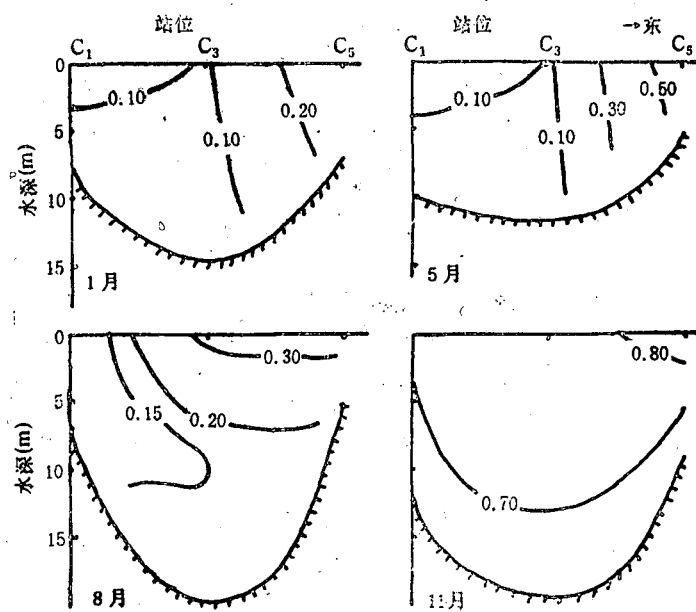
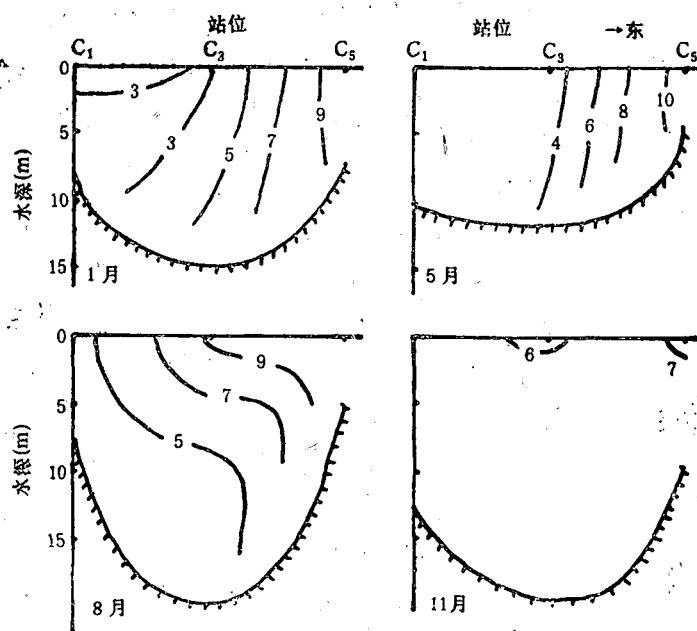
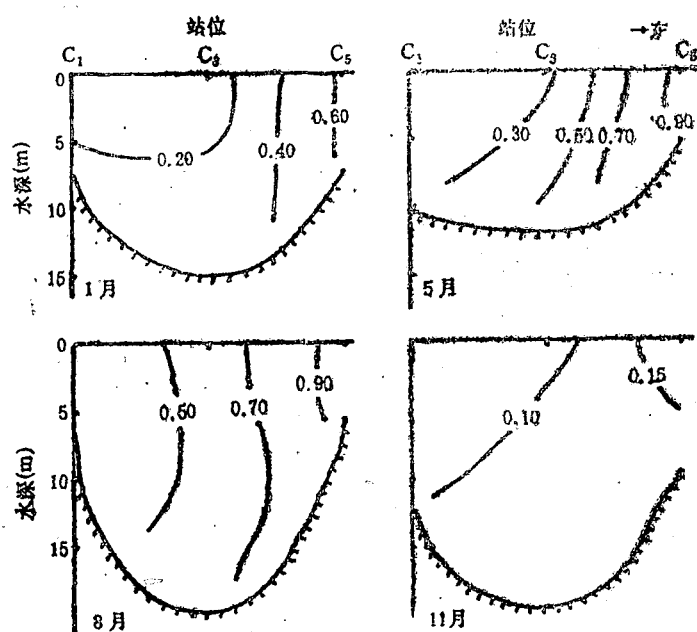
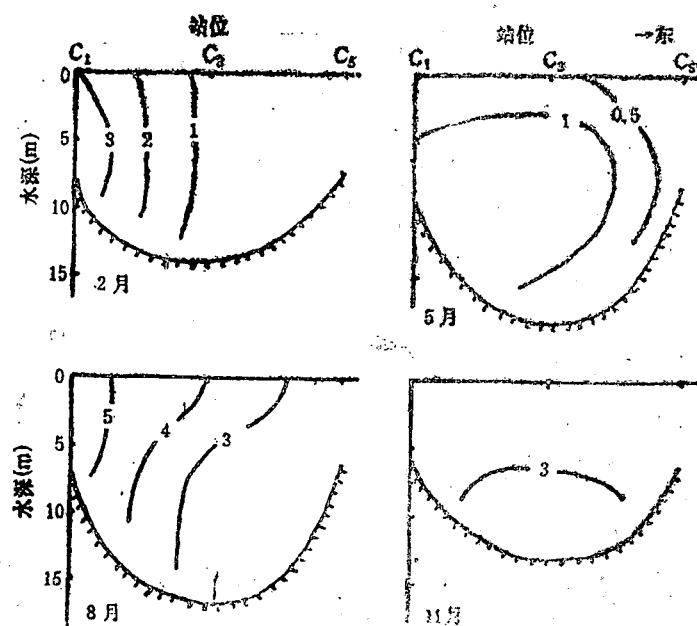


图9 $\text{NO}_3\text{-N}$ 断面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

图 10 $\text{NO}_2\text{-N}$ 断面分布 ($\mu\text{mol/L}$)图 11 $\text{NH}_4\text{-N}$ 断面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

图 12 $\text{PO}_4\text{-P}$ 断面分布 ($\mu\text{mol/L}$)图 13 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 断面分布 ($\mu\text{mol/L}$)

3. 季节变化 表层海水中营养盐和其它环境因子的季节变化见图 14, 15。图 14 中 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 1—8 月数据取自 1986 年, 9—12 月取自 1985 年, 图 15 中浮游植物数据取自 1981 年 (山东省科学技术委员会, 1990)。从图 14 可以看出, 营养盐浓度均是 8—12 月

高 ($\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度 7—10 月较高), 可能与 8 月以后大量降雨有关 (8 月降水量达 371.6 mm)。9 月表层海水中盐度降至全年最低点 (26.25), 直至 12 月还未恢复到 8 月初的水平。雨水中含有较高浓度的无机氮 (1990 年 9 月上旬测得青岛市雨水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 $7.5 \mu\text{mol/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 $0.28 \mu\text{mol/L}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 为 $19.5 \mu\text{mol/L}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 为 $0.64 \mu\text{mol/L}$),

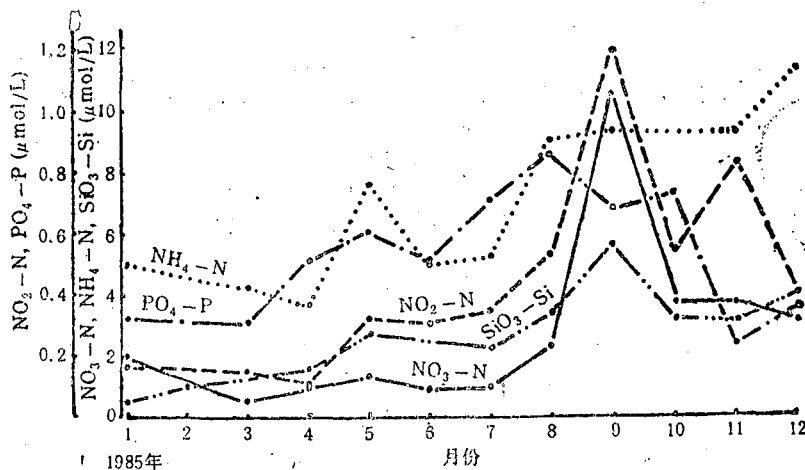
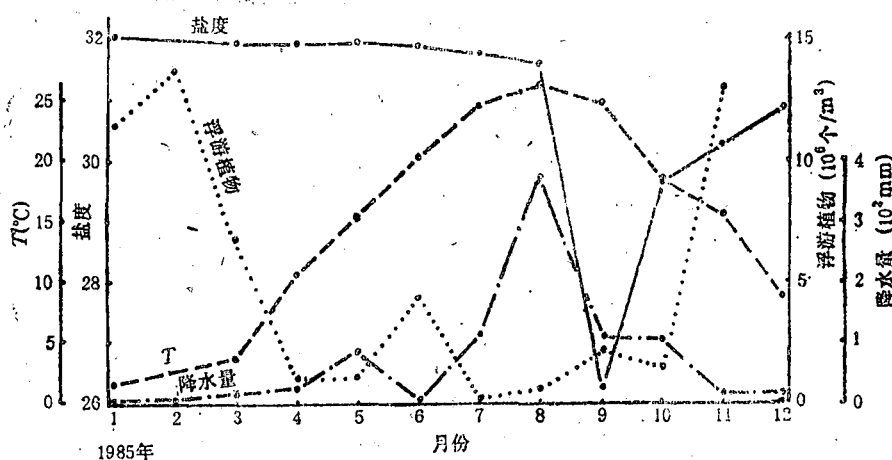
图 14 营养盐的季节变化 ($\mu\text{mol/L}$)

图 15 盐度、温度、浮游植物和降水量的季节变化

雨季地表径流也增加了胶州湾海水中氮、磷、硅的浓度。从图 14 和 15 可以看出, 营养盐的季节变化与浮游植物呈负相关关系, 秋、冬季胶州湾浮游植物出现繁殖高峰, 这可能是造成冬季营养盐浓度不很高的重要原因。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度较快地下降则与其本身来源少、含量低有关。由于诸环境因子 (生物的和非生物的, 包括人类活动) 的影响, 每年营养盐的变化有所不同。

胶州湾表层海水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 之原子比不稳定, 且较小, 1985 年月平均值介于 1.4—16.1 之间, 年平均仅为 5.8, 其季节变化与营养盐的季节变化相似, 以 9—1 月

较高。TIN/P 值也有类似的变化,但其值比 $\text{NO}_3\text{-N}/\text{PO}_4\text{-P}$ 值高得多,月平均值介于 9.3—60 之间,年平均为 19.4,这主要是由于 $\text{NH}_4\text{-N}$ 值高,且硝化作用很难进行所致。

4. 年际变化 1983—1986 年营养盐和其它环境因子的年际变化见图 16, 17。从图 16 可以看出, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 TIN 浓度均有增加的趋势, $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度的变化与其在海水中不稳定有关; $\text{PO}_4\text{-P}$ 是 1986 年低于前二年。从图 17 中可以看出,降水量和温度以 1985 年为最高,盐度则最低。

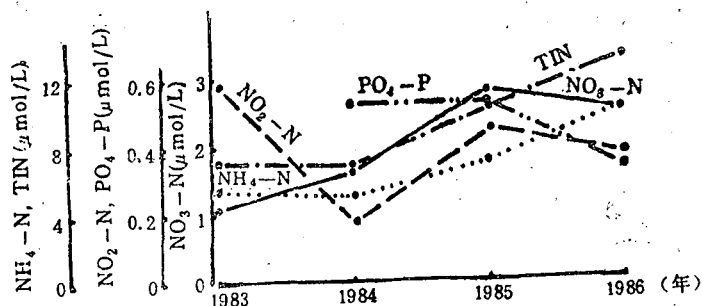


图 16 营养盐的年际变化 ($\mu\text{mol/L}$)

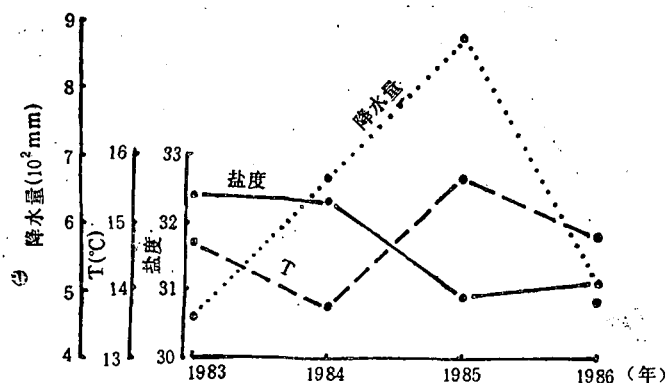


图 17 盐度、温度和降水量的年际变化

5. 营养盐浓度与盐度的关系 相关计算表明,夏、秋季,大部分营养盐与盐度呈显著的负线性相关关系。如 1985 年 8—12 月,营养盐与盐度之间呈负相关关系,说明该时期海水中的营养盐浓度主要受海水稀释所控制,在枯水期则没有这样的关系。以 1985 年 9 月营养盐浓度与盐度的相关关系为例,结果列于表 1。

湾内表层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度的月平均值与盐度呈如下关系 (1983—1986 年平均盐度范围为 26.25—32.92)。1985 年: $\text{NO}_3\text{-N}(\mu\text{mol/L}) = 43.532 - 1.327(\text{盐度})$ ($r = -0.967, n = 11$) 1983—1986 年: $\text{NO}_3\text{-N}(\mu\text{mol/L}) = 34.833 - 1.042(\text{盐度})$ ($r = -0.821, n = 37$)。

6. 无机环境和生物生产力 从调查结果可以看出,胶州湾表层海水中营养盐平均浓度 (1985 年) 的变化范围和年平均值大致为: $\text{NO}_3\text{-N}$, 0.57—10.7 $\mu\text{mol/L}$ 和 2.8 $\mu\text{mol/L}$; $\text{NO}_2\text{-N}$, 0.11—1.2 $\mu\text{mol/L}$ 和 0.45 $\mu\text{mol/L}$; $\text{NH}_4\text{-N}$, 3.7—11.3 $\mu\text{mol/L}$ 和 9.0 $\mu\text{mol/L}$; TIN, 4.8—21.2 $\mu\text{mol/L}$ 和 10.3 $\mu\text{mol/L}$; $\text{PO}_4\text{-P}$, 0.23—0.86 $\mu\text{mol/L}$ 和 0.53

$\mu\text{mol/L}$; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (1985年9月—1986年8月), $0.47\text{--}5.7\mu\text{mol/L}$ 和 $2.7\mu\text{mol/L}$; TiN/P , $9.3\text{--}60$ 和 19.4 。与60年代调查结果相比 (中国科学院海洋研究所水化学研究组, 1982), 无机N和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度均有所增加, 特别是 $\text{NH}_4\text{-N}$ 较为明显, 这是由于近30年来工业废水和生活污水大量增加所致。据统计, 1980年, 青岛市区工业废水排放量为7019.7万t/a, 生活污水为1438万t/a, 位于湾东岸的海泊河、李村河和娄山河等是主要的排污渠道, 其中海泊河每天有14万立方米污水流入胶州湾, 占全市污水的40%, 工业废水的2/3以上。农用化肥产量和使用量猛增以及养殖海带施肥等, 也是胶州湾海水中营养盐增加的重要原因。大量污水的排入使胶州湾局部海域污染比较严重, 湾东北

表1 1985年9月营养盐浓度与盐度的相关关系

营养盐	$\text{NO}_3\text{-N}$		$\text{NO}_2\text{-N}$		$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{PO}_4\text{-P}$		$\text{SiO}_3\text{-Si}$	
水层	表层	全部	表层	全部	表层	全部	表层	全部	表层	全部
r	-0.980	-0.980	-0.927	-0.922	-0.676	-0.552	-0.588	-0.218	-0.900	-0.765
n	11	26	11	26	11	26	11	25	11	26
盐度范围	表层23.8—29.5, 全部水层23.8—30.0									

部沧口附近水域尤为严重, 如1986年5月31日 Y_1 站测得 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度为 $34.6\mu\text{mol/L}$, 1985年8月2日 Y_1 站 $\text{PO}_4\text{-P}$ 为 $2.0\mu\text{mol/L}$ 。1963—1964年沧口潮间带生物调查共获得141种动物, 而1980年—1981年仅采到17种 (范振刚, 1982), 这与沧口附近水域水交换差, 污染物稀释扩散能力弱也有关。调查表明, 胶州湾海域 $\text{NO}_3\text{-N}$ 并不丰富, 许多水域, 特别是从湾中央至湾口水域, $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度常在 $1\mu\text{mol/L}$ 以下, 1985年3, 4, 6, 7月整个湾平均浓度不超过 $1\mu\text{mol/L}$, 个别站位甚至在检出线以下, 如1985年7月 B_1 站和 A_2 站。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度较高, 左右着整个胶州湾无机氮的浓度水平, 因而无机N不会成为浮游植物的限制因素。从调查数据可以看出, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 浓度较低, 1986年1, 2月表层平均值仅为 $0.47\mu\text{mol/L}$ 和 $0.96\mu\text{mol/L}$, 许多月份部分站在检出线以下, 可能成为浮游植物繁殖的限制因素。

由于胶州湾营养盐来源比较丰富, 水体透明度较高, 其地理位置也决定了入海营养盐的利用率较高, 因此胶州湾成为我国沿海初级生产力较高的水域之一, 周年月平均值为 $422\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 叶绿素a季度月平均含量为 $3.96\text{mg}/\text{m}^3$, 年平均浮游植物为 6×10^6 个/ m^3 (山东省科学技术委员会, 1990)。资料表明, 浮游植物一般密集在湾北部、东北部和西部, 与营养盐平面分布较为一致。从季节变化看, 夏、秋季高浓度的营养盐成为秋、冬季浮游植物出现繁殖高峰的化学物质基础, 因而冬季以后营养盐浓度较低。与60年代初相比, 营养盐的季节变化发生了较大的变化 (中国科学院海洋研究所水化学研究组, 1982), 这是人类活动对生态环境影响的结果。一方面东部沿岸污水的排放使胶州湾局部水域受到污染, 然而另一方面又为胶州湾生物生产力的提高提供了有利条件, 二者的矛盾、统一则是今后需进一步研究的重大课题。

参 考 文 献

- 刁焕祥、刘兴俊, 1985, BSPB 自动分析法测定海水中硝酸盐的研究, 海洋学报, 7(3): 374—377。
 山东省科学技术委员会, 1990, 山东省海岸带和海涂资源综合调查报告集综合调查报告, 中国科学技术出版社, 269—297。
 中国科学院海洋研究所水化学研究组, 1982, 胶州湾海水中氮的地球化学(上), 海洋湖沼通报, 3: 8—17。
 中国科学院海洋研究所水化学研究组, 1982, 胶州湾海水中氮的地球化学(续), 海洋湖沼通报, 4: 37—46。
 范振刚, 1982, 胶州湾潮间带污染生态学的研究, 海洋科学, 6: 39—41。

NUTRIENTS IN JIAOZHOU BAY WATERS*

Shen Zhiliang, Lu Jiaping, Liu Xingjun and Wang Yifei

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

This paper discusses 1983—1986 space-time distributions of $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ and $\text{SiO}_3\text{-Si}$, their origins and the relationships between them and other environmental factors. High concentrations of inorganic N (particularly $\text{NH}_4\text{-N}$) and $\text{PO}_4\text{-P}$ were found in eastern and northeastern waters and low concentrations in the middle waters of the Jiaozhou Bay, bay mouth and outer bay waters, indication clearly that the high concentrations of inorganic N and $\text{PO}_4\text{-P}$ were mainly from the output of industrial and residential area sewage in the east coast. The concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$ (yearly average, $5.0\text{--}10.2\ \mu\text{mol/L}$ during 1983—1986) was much higher than $\text{NO}_3\text{-N}$ (yearly average, $1.1\text{--}2.5\ \mu\text{mol/L}$ during 1983—1986) in the Jiaozhou Bay seawater, and the higher concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$ (about 72 per cent of total inorganic N) was the main form of inorganic N in the seawater. The atomic ratio between $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ (monthly average, $1.4\text{--}16.1$, yearly average, 5.8 in 1985) was much lower than that between total inorganic N and $\text{PO}_4\text{-P}$ (monthly average, $9.3\text{--}60$, yearly average, 19.4 in 1985). It showed the system of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ was not thermodynamic equilibrium. The concentration of $\text{SiO}_3\text{-Si}$ was lower (monthly average, $0.47\text{--}5.7\ \mu\text{mol/L}$, yearly average, $2.7\ \mu\text{mol/L}$) and could not be detected at some stations in some months. It was possible that low concentration $\text{SiO}_3\text{-Si}$ sometimes limited the growth of phytoplankton.

There were negative linear relationships between most nutrients and salin-

* Contribution No. 2254 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

ity in the heavy rain season in 1985 which showed that their concentrations were controlled by its dilution in seawater. The relationship of the monthly average concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in the surface seawater to salinity (range of salinity, 26.25—32.92) from 1983 to 1986 was as given below:

$$\text{NO}_3\text{-N } (\mu\text{mol/L}) = 34.833 - 1.042 (\text{salinity}) \quad (r = -0.821, n = 37)$$

Except for being polluted in some parts, as a whole the water quality was good in Jiaozhou Bay. The contents of inorganic N and $\text{PO}_4\text{-P}$ were moderate and had rising tendency (mainly $\text{NH}_4\text{-N}$). They had rich origin beneficial to phytoplankton growth. The seasonal variations of nutrients were related to phytoplankton breeding, raining and other environmental factors and showed some different laws from the sixties, which is inseparable from the effects of the human race activities.