

# 黄河口附近海区沉积物 间隙水中的营养盐\*

沈志良 陆家平 刘兴俊

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

黄河以水少沙多而著称, 自1855年以来, 河口已经历10余次大型改道, 形成以黄河泥沙淤积为主要特征的三角形河口沉积带。

本文首次报道并讨论了黄河口附近海区沉积物间隙水中硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐和硅酸盐的分布。

## 一、调查和方法

调查于1984年9月20—21日和11月21日—12月2日分二次进行。第一次取柱状样, 共2站(9和15站), 利用箱式取样器采集; 第二次取表层泥样, 共17站, 利用抓斗采泥器, 站位表示在图1。柱状样在船上分层, 全部泥样密封在塑料袋内, 立即储存于 $-25^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱。间隙水在实验室利用尼龙间隙水压滤机压滤(经过 $0.45\mu\text{m}$ 微孔滤膜)取得, 压滤后立即进行分析。

间隙水样分析,  $\text{NO}_3 - \text{N}$ 用二苯基联苯胺二磺酸钠氧化法<sup>[1]</sup>、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 用重氮偶氮法、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 用次溴酸钠法<sup>[2]</sup>、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 用磷钼兰法、 $\text{SiO}_3 - \text{Si}$ 用硅钼兰法测定。全部样品均利用美国Technicon AA-II自动分析仪进行比色分析, 分析误差为 $\pm 10\%$ 。

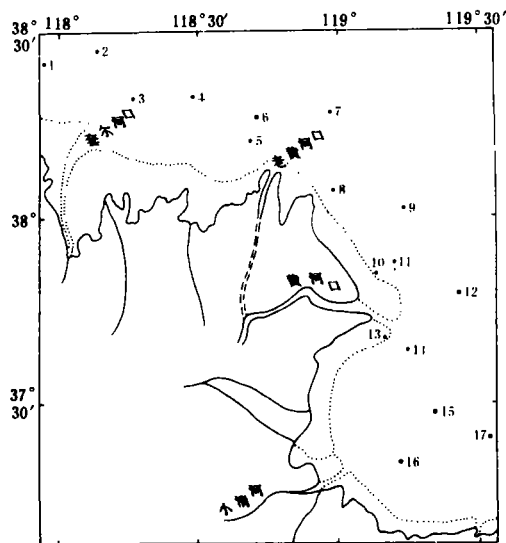


图1 站位图

本文于1988年3月3日收到, 修改稿于1989年12月15日收到。

• 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1335号。

## 二、结果和讨论

### (一) 表层沉积物间隙水中营养盐的分布

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、 $\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$ 、 $\Sigma \text{N}/\text{P}$ 和 $\Sigma \text{N}/\text{Si}$  (原子比,

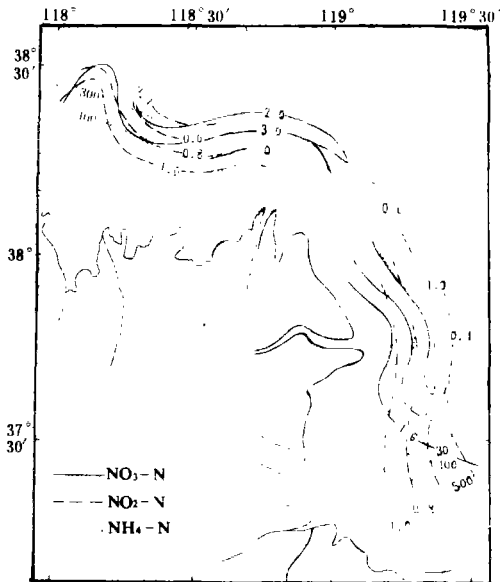


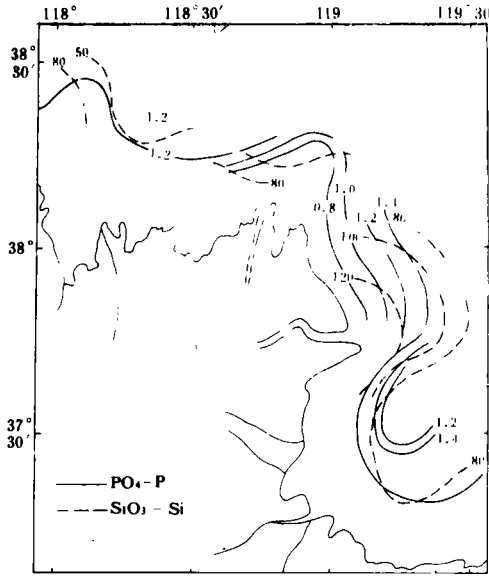
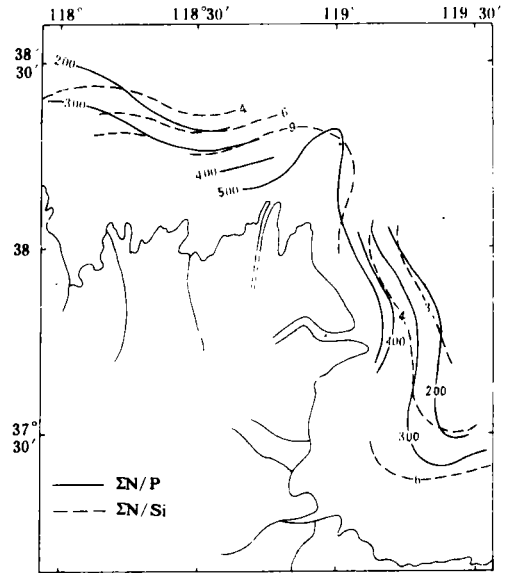
图2  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ) 平面分布

$\Sigma \text{N}$ 为总无机N)的平面分布见图2—4。间隙水和表、底层海水营养盐<sup>[3]</sup>平均浓度对比列于表1。文中黄河口区是指9站以南海域,该区受黄河水影响较大,它的西北部称为西北部海区。

由平面分布图可看出,表层沉积物间隙水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$ 的浓度分布趋势与表底层海水一致<sup>[3]</sup>,即河口和近岸高,向外逐渐降低。图和表1尚表明,黄河口区间隙水中无机N、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 和 $\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$ 浓度均高于西北部海区。底质间隙水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的浓度主要取决于该区有机物的含量及其分解速率。由于黄河水带来大量营养盐( $84.5 \times 10^3 \text{t} \cdot \text{N}/\text{a}$ 和 $1.45 \times 10^3 \text{t} \cdot \text{P}/\text{a}$ )<sup>[3]</sup>,本调查区特别是黄河口区有丰富的浮游生物。以初级生产力为例,在全年最高的7月份,本调查区表层海水C平均达 $1125 \text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ,

就是在生物活动处于低潮的本月份也有 $77 \text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ,生物碎屑是沉积物中有机质的主要来源。根据郭玉洁和高尚武等1984年4—11月调查,黄河口区浮游植物和浮游动物总生物量均高于西北部海区,浮游动物明显地表现出河口近岸高、远岸低的分布特征,与表层间隙水中营养盐分布十分一致。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的浓度尚与沉积物环境有很大关系,本调查区底层溶解氧含量为 $6.28 \times 10^{-3}$ ,氧饱和度为95%,水温 $9.8^\circ\text{C}$ ,沉积物大多为黄褐色粘土质粉砂。根据1984年5月黄河口附近7个站的调查资料,表层沉积物氧化还原电位为65—135mV,氧化环境有利于有机物氧化分解,因而间隙水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 量较高,平均为 $375 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ,最高达 $552 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ ,比胶州湾<sup>[4]</sup>高得多。

$\text{NH}_4^+ - \text{N} \rightarrow \text{NO}_2^- - \text{N} \rightarrow \text{NO}_3^- - \text{N}$ 是热力学的必然趋势,特别在硝化细菌存在情况下,硝化作用较为迅速。本区氧化环境有利于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 继续氧化,因而表层间隙水中有一定量的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,平均浓度分别为1.6和 $6 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ,比胶州湾强还原环境下的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度高得多,其基本分布趋势亦与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 一致,但因为受底质氧的限制, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在间隙水中的浓度比海水中低很多(见表1)。由于 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的呼吸还原作用, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 脱氮生成 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,在氧浓度低的条件下, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 还可以被某些兼性厌氧微

图3  $PO_4 - P$ 、 $SiO_3 - Si$  ( $\mu mol/dm^3$ ) 平面分布图4  $\Sigma N/P$ 、 $\Sigma N/Si$  平面分布表1 11月间隙水和海水营养盐浓度 ( $\mu mol/dm^3$ ) 对比

营养盐	西北部海区				黄河口区				调查区总平均		
	海水		间隙水		海水		间隙水		表层	底层	间隙水
	表层	底层	浓度范围	平均	表层	底层	浓度范围	平均			
$NO_3 - N$	6.9	7.2	0—10	4.1	20	12	0.5—41	7.7	14	9.6	6.0
$NO_2 - N$	0.15	0.13	0.31—9.0	2.4	0.20	0.17	0.40—1.4	0.81	0.17	0.15	1.6
$NH_4 - N$	2.4	1.9	269—437	361	4.7	4.0	227—552	387	3.6	3.0	375
$\Sigma N$	9.5	9.2	281—446	368	25	16	229—560	396	18	13	383
$PO_4 - P$	0.78	0.94	0.73—1.6	1.1	0.44	0.40	0.76—1.6	1.3	0.60	0.65	1.2
$SiO_3 - Si$	14	14	41—90	57	23	15	52—139	94	19	14	77
$\Sigma N/P$	12	9.8	234—577	335	57	40	164—737	305	30	20	319
$\Sigma N/Si$	0.68	0.66	3.7—11	6.5	1.1	1.1	2.3—7.5	4.2	0.95	0.93	5.0

生物进一步还原成  $NH_4 - N$ 。在间隙水中三态无机N是不可能达到热力学平衡的,  $NH_4 - N$  大量积累, 是间隙水中无机N的主要存在形态。

图3表明, 间隙水中  $PO_4 - P$  的平面分布比较复杂, 黄河口区略高于西北部海区, 莱州湾西南部  $PO_4 - P$  浓度较高, 黄河口东北部显示出外部比沿岸高的趋势 (与本月初级生

产力分布一致),在西北部海区,西部比东部高.由表1可看出,本区间隙水中 $PO_4 - P$ 浓度为 $0.73 - 1.6$ ,平均 $1.2$ ,比胶州湾高.本区 $PO_4 - P$ 浓度较低可能与沉积物释放 $PO_4 - P$ 有关.如西北部海区,本月表层海水中 $PO_4 - P$ 浓度为 $0.78\mu mol/dm^3$ ,底层海水为 $0.94$ ,而表层间隙水则为 $1.1$ ,间隙水和海水之间浓度差很小,反映了水和沉积物之间 $PO_4 - P$ 的交换,入秋以后水体垂直对流加强有利于该过程进行.

大陆径流是海洋中 $SiO_3 - Si$ 的主要来源之一, $SiO_3 - Si$ 在河口间隙水中的分布受到黄河水输入的很大影响,因而形成河口近岸高、外部低的分布趋势.由于无定形二氧化硅的溶解度比磷酸钙大得多,大量的悬浮硅沉积后继续溶解,再加上生物体分解,本区间隙水中 $SiO_3 - Si$ 的平均浓度为 $77$ (最高为 $139$ ),是海水平均值的 $5.5$ 倍.

间隙水中 $\Sigma N/P$ 和 $\Sigma N/Si$ ,由于 $NH_4 - N$ 含量很高,因而比海水中的比值高得多,分别为 $319$ 和 $5.0$ ,它们的平面分布见图4,与无机N浓度的分布趋势一致.

(二) 间隙水中营养盐的垂直分布

9月份9和15站沉积物间隙水中营养盐的垂直分布见图5和6.与11月相同站位比较,

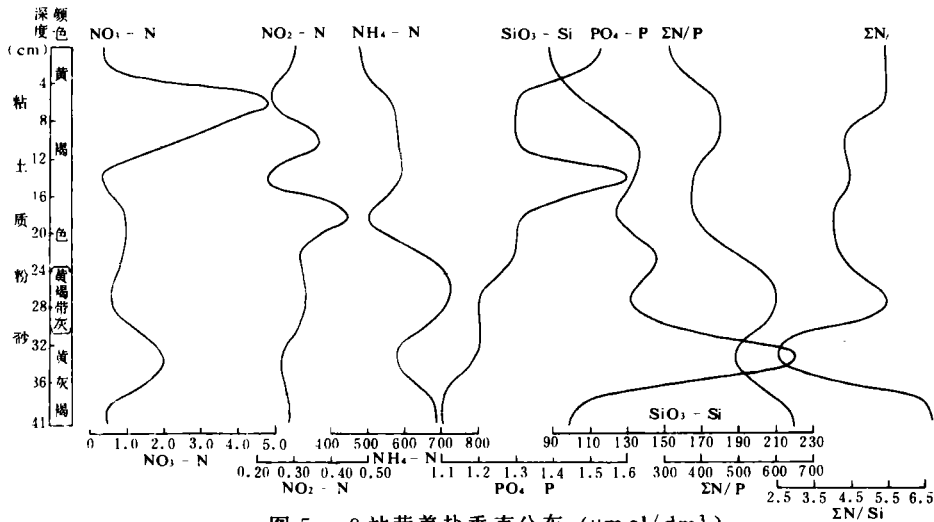


图5 9站营养盐垂直分布 ( $\mu mol/dm^3$ )

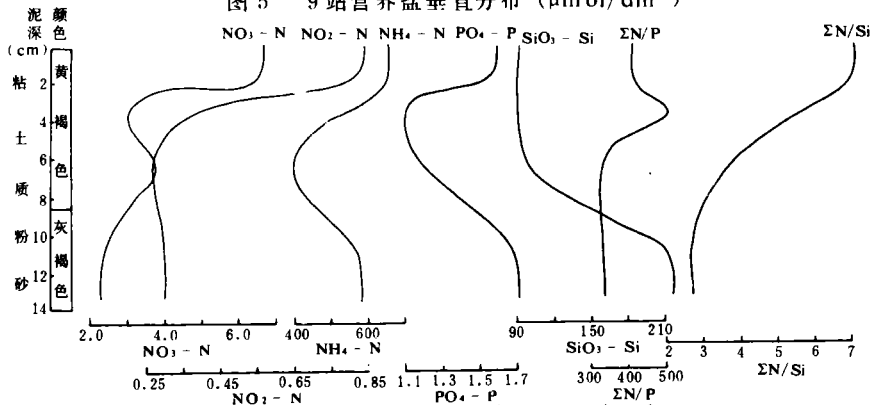


图6 15站营养盐垂直分布 ( $\mu mol/dm^3$ )

表层间隙水中的  $\text{NH}_4 - \text{N}$  浓度高 1 倍多,  $\text{PO}_4 - \text{P}$  也略高, 15 站  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  高不少, 这与本月生物量高 (9 和 15 站初级生产力分别比 11 月高 2.5 和 3.1 倍) 和温度高 (底层水温  $23^\circ\text{C}$ ) 相一致,  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  浓度高尚与本月黄河径流量大 (是 11 月的 3 倍) 有关。

15 站营养盐的垂直分布比较有规律, 三种无机 N 均是表层浓度高、下层低, 从表层开始三者浓度均逐渐下降,  $\text{NO}_3 - \text{N}$  在 2.5—4.5 cm 处出现较小值 ( $3.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ) 后, 在 4.5—8.5 cm 处浓度上升至较大值, 此时  $\text{NH}_4 - \text{N}$  和  $\text{NO}_2 - \text{N}$  浓度呈相反趋势, 继续下降至最小值 (分别为 394 和  $0.27 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ), 以后  $\text{NO}_3 - \text{N}$  浓度随深度而下降直至最下层,  $\text{NH}_4 - \text{N}$  和  $\text{NO}_2 - \text{N}$  浓度则不断上升。三态无机 N 的垂直变化可能表明上下层氧化还原环境的变化, 氧化还原环境变化直接影响到有机 N 及其进一步氧化产物的浓度变化。  $\text{PO}_4 - \text{P}$  与无机 N 化合物的变化趋势非常一致, 唯下层略高于表层。  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  在上层浓度几乎不变, 4.5 cm 以下和 P 化合物一样开始上升, 最大值为  $214 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , 反映了有机物的矿化和二氧化硅的溶解。  $\Sigma \text{N}/\text{P}$  和  $\Sigma \text{N}/\text{Si}$  的垂直分布恰与  $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  相反, 呈现出上层高、下层低的分布趋势。

9 站位于黄河口东北部, 受黄河水影响小, 生物量亦少些, 因而间隙水中营养盐含量亦低于 15 站。无机 N 的垂直分布不如 15 站那样有规律, 但  $\text{NO}_3 - \text{N}$  和  $\text{NH}_4 - \text{N}$  浓度由上至下均出现几个峰值, 唯位置不完全重合,  $\text{NH}_4 - \text{N}$  浓度随深度有上升趋势, 反映了有机 N 不断氧化分解, 而  $\text{NO}_3 - \text{N}$  浓度的变化则表明各处  $\text{NH}_4 - \text{N}$  进一步氧化的程度不同,  $\text{NO}_2 - \text{N}$  浓度取决于  $\text{NH}_4 - \text{N}$  的氧化和  $\text{NO}_3 - \text{N}$  的还原, 不稳定, 其垂直变化较为复杂。由于该站取样深度较大,  $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  变化也较 15 站复杂,  $\text{PO}_4 - \text{P}$  最大值在 12—16 cm 处, 为  $1.6 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ,  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  浓度随深度逐渐上升, 在 30—36 cm 处最大, 为  $221 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。由图 5 可看出,  $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{SiO}_3 - \text{Si}$  在下层均有下降趋势, 几乎达到了最低值, 可能与那里的氧化还原环境有关。  $\Sigma \text{N}/\text{P}$  值主要取决于  $\text{NH}_4 - \text{N}$  的大小, 其垂直分布与  $\text{NH}_4 - \text{N}$  一致, 量值变化介于 324—623 之间,  $\Sigma \text{N}/\text{Si}$  大小取决于  $\Sigma \text{N}$  和  $\text{Si}$  二者变化的幅度, 垂直分布较为复杂, 在 2.6—6.5 之间变化, 最大值出现在最下层 36—41 cm 处。

顾宏堪研究员审阅全文, 郭玉洁、高尚武、马锡年、李 延等提供部分资料, 谨此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 刁焕祥、刘兴俊, BSPB 自动分析法测定海水中硝酸盐的研究, 海洋学报, 7 (1985), 3: 374—377。
- [2] 刁焕祥, 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, 1983, 1: 25—28。
- [3] 沈志良、陆家平、刘兴俊, 黄河口及其附近海域的无机氮和磷酸盐, 海洋科学集刊, 第 30 集, 科学出版社, 1989, 51—79。
- [4] 顾宏堪、李国基, 胶州湾底质溶液中的氮和磷, 海洋与湖沼, 10 (1979), 2: 103—111。