

南沙群岛海域沉积物-海水界面间营养物质的扩散通量*

宋金明 李鹏程

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 主要研究了南沙群岛海域泻湖及礁外沉积物间隙水生态系中的营养组份 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 及其在沉积物-海水界面间扩散转移通量, 结果表明: (1) 该海域间隙水中营养组份的浓度较高, $\Sigma\text{N/P}$ 礁外间隙水高于泻湖间隙水, 相对而言, 泻湖间隙水中缺氮, 礁外间隙水中缺磷, 礁外间隙水中营养组份的垂直分布各异; (2) 该海域沉积物活性明显高于东中国海, 沉积物中大量营养组份向上覆海水扩散转移, H_4SiO_4 是礁外界面扩散是最大的组份, 而在泻湖中 NO_3^- 或 NH_4^+ 是最大扩散量的组份, 礁外界面 H_4SiO_4 , NO_3^- 扩散大于泻湖, 这些扩散转移特征由组份本身的性质与环境特性决定; (3) 该海域水温高是造成间隙水中营养组份大量产出并向上覆海水扩散转移的主要原因, 温度高, 沉积物释放出营养组份的表现活化能降低, 沉积物的活性增强, 从而释放扩散出大量的营养组份。

关键词 营养组份, 沉积物-海水界面, 间隙水, 扩散转移, 南沙海域泻湖

海区营养物质(N, P, Si)是支持海洋生物生存繁殖最重要的成分, 是构成海洋生态系的要素之一, 其研究受到海洋学家的高度重视^[1~15]。海域营养盐的研究涉及海洋化学、海洋生物学、海洋地质学等诸多学科, 影响海洋生物的生长繁殖和群落变化, 其中的某一种要素缺乏可能成为浮游生物生长的限制性因素^[1, 13], 也是化学海洋学研究最多的元素, 同时某些地质过程如在自生矿物成因、元素的早期成岩作用等中起重要作用。作为特殊的水域, 泻湖生态系中的营养盐研究历来是其海洋研究的重中之重, 亦有大量文献发表^[13]。绝大部份的泻湖是沿岸泻湖, 其最大特点是受陆地影响和人为影响甚重, 尤以大陆径流为甚, 泻湖中的营养盐有以下显著特点: (1) 泻湖中的营养盐循环快速; (2) 泻湖内的营养盐大多高于邻近海区; (3) 人为活动对泻湖物质的物理化学特性影响甚大; (4) 河流输入对沿岸泻湖中元素迁移转化起重要作用^[13]。南海的南沙海域泻湖有其独特的特点, 由于其远离大陆, 受陆地径流影响甚微,

泻湖沉积物-海水界面附近营养盐的转移研究有其独特的意义。它是研究泻湖营养盐循环过程中最重要的环节之一, 对研究泻湖沉积物-间隙水-海水生态系中营养盐的再生转移, 营养盐与浮游生物之间的关系, N, P, Si 的早期成岩作用等有重要的意义。南沙海域泻湖及礁外沉积物-海水界面营养物质转移研究尚属空白。本文基于 1993, 1994 年度的海水、沉积物调查研究资料, 研究了南沙海域泻湖及礁外沉积物间隙水中溶解 N, P, Si 沉积物-海水界面间的扩散转移通量, 探讨了控制其转移特征的因素。

1 取样与分析

1993 年 5 月和 1994 年 3~4 月两次乘“实验 3 号”考察船对南沙海域进行考察, 礁内泻湖海水用南森采水器采集, 礁外海水用

* 国家自然科学基金资助项目(49576291),

中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2463 号。

收稿日期: 1996 年 1 月 22 日

Rosette 自动采水器采集, 沉积物用抓斗式采泥器采集, 礁外沉积物待采后立即插入 $d=5\text{cm}$ 的塑料管, 以 5cm 间隔分层, 取得沉积物后立即用防污染压滤器, 配以 $0.45\mu\text{m}$ 的醋酸纤维素膜取得间隙水, 间隙水中的 NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} 、 SiO_3^{2-} 用 AA II 营养盐自动分析仪和 721 分光光度计分析测定。礁内取得的沉积物为白色珊瑚砂, 礁外沉积物为灰色泥质砂或软泥。1993 年 5 月研究了渚碧礁 (93-2Z)、东门礁 (93-4D)、仙娥礁 (93-8X) 和 6 个礁外站。1994 年 3~4 月研究了永暑礁 (94-4Y)、皇路礁 (94-10H)、半月礁 (94-16B)、信义礁 (94-17X)、仁爱礁 (94-19R) 和 4 个礁外站。礁内泻湖采集站水深一般小于 30m , 礁外站水深在 $1\,000\sim2\,000\text{m}$ 。采样站位见图 1。

2 间隙水中的营养物质 (N, P, Si)

表层沉积物间隙水中 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 的分析结果见表 1。

从上表中可以看出, 泻湖内沉积物间隙水中 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 均低于礁外间隙水中, 而 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 则不一定。1993 年 5 月航次礁外间隙水中低于泻湖, 而 1994 年 3~4 月则高于泻湖。1993 年 5 月泻湖间隙水中 $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^-$, 而 1994 年 3~4 月则为 $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_2^-$ 。估计这与 5 月份水温高于 3~4 月, NH_4^+ 比 NO_3^- 更易产出有关。

从 $\Sigma\text{N/P}$ 比值上看, 两个航次均是礁外间隙水大于泻湖, 表明在沉积物-海水界面附近礁外沉积物中磷的早期成岩作用明显, 磷的溶解态有明显转移, 可能形成固态磷灰石等。相对而言, 泻湖沉积物间隙水中的磷转移较少。从另一方面来说, 泻湖间隙水中相对磷来说缺氮, 而在礁外相对氮来说缺磷。Ames 提出, 当间隙水中磷为 0.1mg/L , $\text{pH}=7\sim8$ 时, 部分方解石就可转化为磷灰石^[5], 在礁外磷为 0.14mg/L , 所以礁外间隙水中磷以磷灰石形成发生转移。

溶解硅酸盐, 礁外间隙水明显高于泻湖, 为其 $5.72\sim6.22$ 倍, 主要是由于礁外水深, 压力大、沉积物 pH 较低, 硅更易溶解。间隙水硅的早期成岩作用明显, 尤其是在礁外间隙水中固体硅的溶解作用更是如此。

在礁外沉积物间隙水中, 营养盐的垂直分布, 磷随深度增加而增加, 在 $20\sim25\text{cm}$ 可能有降低, 硅随深度明显增加, NO_3^- , NO_2^- 随深度增加而降低, NH_4^+ 的变化较为复杂。图 2 是两个典型站 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 的垂直分布。

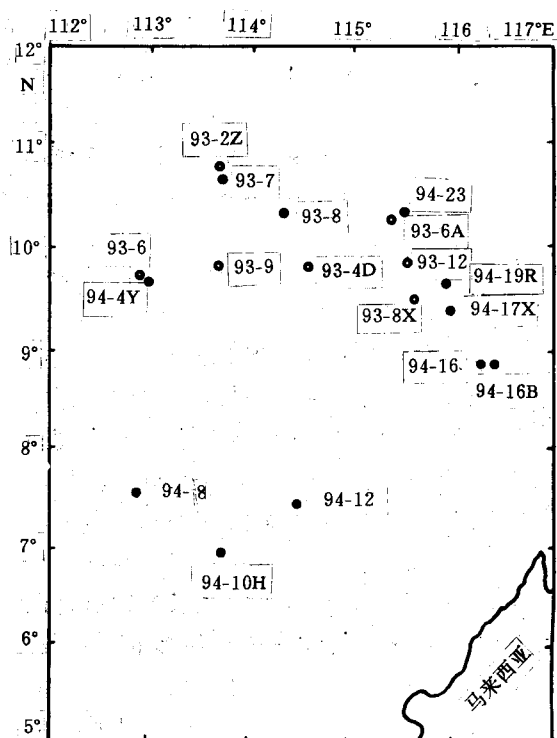


图 1 南沙群岛海域沉积物取样站位

Fig. 1 Sediment sampling stations in the district of Nansha Islands, South China Sea

随着沉积深度的增加, 沉积物 pH 降低, 沉积物变得愈趋还原, 沉积物的矿化作用增强, 即界面层中元素早期成岩作用强度增加。有机物分解, 电位降低, 沉积物变成还原性, Si, P 大量溶出。由于磷在较高 pH 和浓度下还

会形成磷灰石沉淀,在 20cm 以下又趋于降低, NO_3^- 作为 N 的最高价态,显然在稍深层中不易保留,可能形成还原性的 NH_4^+ 等产物,也可以被粘土矿物吸附而转移,93-6 从表层的 109mV 电位降到 25cm 的 29mV,94-23 从表层的 333mV 降到 20cm 的 218mV,就证明了这一点。间隙水中营养盐表层变化百分数见表 2。

可以看出随深度增加,P,Si 基本呈增加趋势, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ 基本呈减少趋势,这显然由其本身性质与环境决定。

3 沉积物-海水界面间营养物质转移特征

沉积物-海水界面是分开固体沉积物与间隙水和上覆海水的界面。在界面上,由于固体颗粒的沉积和海水间颗粒孔隙的侵入,沉积柱增加,这种平流过程与界面上下浓度梯度引起的扩散转移过程,是化学物质通过沉积物-海水界面质量转移的两个主要过程,其净通量为^[5,9,10~12]:

表 1 南沙群岛海域表层沉积物间隙水中的营养盐($\mu\text{mol/L}$)

Tab. 1 Nutrients of surface sediment interstitial waters in the district of Nansha Islands, South China Sea($\mu\text{mol/L}$)

站名	93-2Z	93-4D	93-8X	93-6	93-7	93-8	93-9	93-12	93-6A	泻湖平均	礁外平均	礁外/泻湖
NO_3^- -N	2.15	32.54	34.40	14.84	50.32	20.34	163.12	18.56	10.05	23.03	46.21	2.01
NO_2^- -N	2.17	11.94	5.85	0	11.03	0.85	0.76	1.57	12.42	6.65	4.44	0.68
NH_4^+ -N	136.6	204.1	61.7	78.0	71.8	116.2	65.7	59.9	86.9	134.1	79.8	0.59
SiO_3 -Si	117.8	125.0	78.8	250.0	700.0	750.0	800.0	800.0	700.0	107.2	666.8	6.22
PO_4 -P	8.54	8.88	1.29	2.72	4.79	6.51	3.29	0	5.02	6.24	3.72	0.60
$\Sigma\text{N/P}$	16.50	27.99	79.03	34.13	27.79	21.10	69.79	/	21.78	26.25	35.05	1.34
站名	94-4Y	94-10H	94-16B	94-17X	94-19R	94-8	94-12	94-16	94-23	泻湖平均	礁外平均	礁外/泻湖
NO_3^- -N	63.27	55.38	24.57	68.5	24.29	95.71	57.36	55.21	105.00	47.20	78.32	1.66
NO_2^- -N	1.14	1.10	1.06	0.60	0.72	3.24	2.08	1.43	1.14	0.92	1.97	2.14
NH_4^+ -N	61.9	19.6	12.9	71.0	44.9	64.6	54.9	56.5	73.6	42.0	62.4	1.48
SiO_3 -Si	45.4	62.8	76.6	66.3	67.5	331.3	450.0	359.4	315.6	63.7	364.1	5.72
PO_4 -P	6.95	3.84	5.37	3.97	4.11	6.70	6.28	5.86	6.00	4.85	6.21	1.28
$\Sigma\text{N/P}$	18.17	19.81	7.18	35.29	17.01	24.41	18.21	19.31	29.96	18.60	22.98	1.24

表 2 礁外间隙水表层到 20cm 营养盐变化(%)

Tab. 2 Increase rate of nutrients from 0 cm to 20 cm in vertical sediment interstitial waters of the district of Nansha Islands(%)

站名	93-6	93-7	93-6A	94-8	94-12	94-16	94-23
PO_4 -P	341.9	35.9	-16.1	104.5	100.3	7.2	-30.3
SiO_3 -Si	210.0	28.6	0	74.5	37.5	46.9	30.7
NO_3^- -N	52.2	-94.0	-43.5	-53.8	-44.5	-37.9	-49.3
NO_2^- -N	/	-74.9	-87.8	-64.8	-57.2	-27.3	-31.6
NH_4^+ -N	40.6	-28.6	64.7	-20.4	-3.3	-26.6	-57.0

$$F_{x=0} \doteq F_d$$

$$F_{x=0} = F_d + F_a + F_s$$

F_d 可用 Fick 第一定律计算:

$$F_d = \varphi \cdot D_s \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0}$$

$F_{x=0}$ 是界面净通量; F_d 为分子扩散通量; F_a 为间隙水平流扩散量; F_s 为固体颗粒沉积产生的扩散通量,相对于 F_d 来说,平流扩散和固体界面扩散 F_s 可忽略不计^[11],所以

φ 为沉积物的孔隙度; D_s 为总扩散系数, $\frac{\partial c}{\partial x}$

$|_{x=0}$ 为界面浓度梯度。

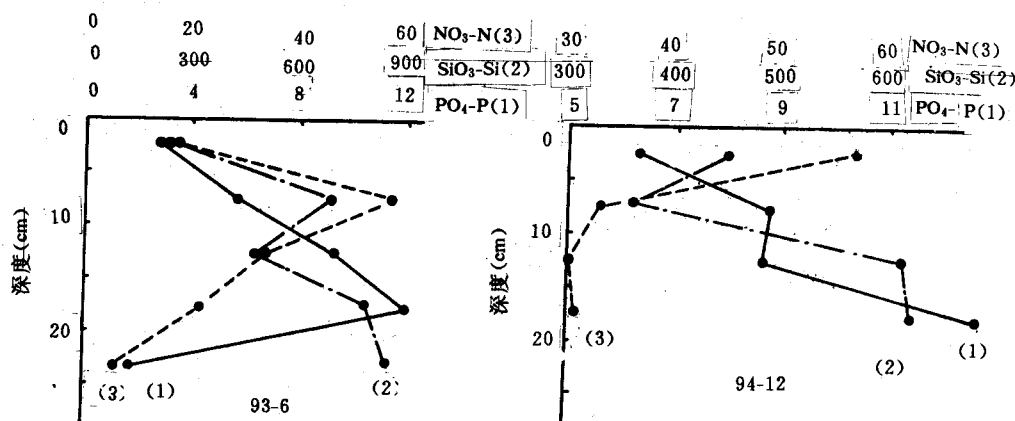


图2 礁外间隙水中 PO_4-P 、 SiO_3-Si 、 NO_3-N 的垂直分布

Fig. 2 Vertical distributions of PO_4-P , SiO_3-Si , NO_3-N in sediment interstitial waters of the outer of reef in the district of Nansha Islands of South China Sea

当 $\varphi < 0.7$ 时, $D_s = \varphi \cdot D_0^{[4]}$; $\varphi \geq 0.7$ 时, $D_s = \varphi^2 \cdot D_0$

D_0 为理想溶液的扩散系数,其值见表3^[11]。

表3 物质的理想扩散系数($\times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$)

Tab. 3 Diffusion coefficients of components at infinite dilution in water ($\times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$)

组份	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	H_4SiO_4	HPO_4^{2-}
18℃	16.1	15.3	16.8	8.5	6.80
25℃	19.0	19.1	19.8	10.0	7.34

南沙群岛海域泻湖内沉积物为较粗的珊瑚砂取 $\varphi_0 = 0.50$, $\varphi = 0.55$ 。礁外多为泥质砂或软泥,取 $\varphi_0 = 0.70$, $\varphi = 0.65$ 。 $\frac{\alpha C}{\alpha x}|_{x=0}$ 用表层沉积物间隙水浓度与上覆海水浓度差计算得到,则可以计算出南沙群岛海域沉积物-海水界面间营养物质的分子扩散通量(表4)。

从表4可知:

1993年5月泻湖内扩散 $NO_3^- > NH_4^+ > H_4SiO_4 > HPO_4^{2-} > NO_2^-$

1994年3~4月泻湖内扩散 $NH_4^+ > H_4SiO_4 > NO_3^- > NO_2^- > HPO_4^{2-}$

1993年5月礁外扩散 $H_4SiO_4 > NH_4^+ > NO_3^- > NO_2^- > HPO_4^{2-}$

1994年3~4月礁外扩散 $H_4SiO_4 > NO_3^- > NH_4^+ > HPO_4^{2-} > NO_2^-$

在5种溶解态营养组份中,泻湖内 NO_3^- 或 NH_4^+ 是沉积物大量向上覆海水扩散的组份,而在礁外, H_4SiO_4 是最大扩散量的组份,在两种环境中 HPO_4^{2-} 或 NO_2^- 是扩散量最小的物质, $NO_3^- + NH_4^+$ 占总无机氮扩散量的95%以上,而 NO_2^- 仅占总扩散量的5%以下,表5显示了礁外与泻湖营养组份扩散量的比值。

尽管1993年,1994年泻湖、礁外所采礁、站各不相同,但扩散量的礁外/泻湖比值两个年度的 H_4SiO_4 , NO_3^- 却很接近,分别为10.34, 10.73和3.32, 2.75,而 HPO_4^{2-} , NO_2^- , NH_4^+ 差别较大,反映了组份本身的特性。 H_4SiO_4 , NO_3^- 作为海洋生态系中大量存在的营养组份,性质较稳定,产生与转移过程变化不大。在礁外沉积环境中,沉积物中 H_4SiO_4 , NO_3^- 大量产生向海水中扩散,而 NO_2^- , NH_4^+ 作为还原态的无机氮,其产生与转移机制受

环境影响大, HPO_4^{2-} 则是成岩反应强烈, 其产生与转移机制明显受到 pH 等影响, 1993 年 5 月 HPO_4^{2-} 、 NH_4^+ 在两种环境中界面扩散量

基本相当, NO_3^- 泻湖高于礁外, 1994 年 3~4 月 HPO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 均是礁外高于泻湖 2~3 倍。

表 4 南沙群岛海域沉积物-海水界面间营养物质的扩散通量 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

Tab. 4 Diffusion fluxes of nutrients ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

采样日期	采样环境	站名	HPO_4^{2-}	H_4SiO_4	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+
1994 年 3~4 月	泻湖	永暑礁 1	3.59	81.87	247.42	4.68	0
		2	16.04	116.14	197.49	5.99	614.20
		3	16.78	/	396.25	7.49	/
		4	5.06	126.38	300.23	2.54	258.22
		平均	10.37	108.13	285.35	5.18	290.81
		皇路礁 1	9.70	230.62	267.04	8.81	237.63
		2	6.77	148.75	105.67	4.18	35.16
		3	1.40	95.20	90.52	3.36	0
		4	1.88	93.77	361.12	4.54	146.17
		5	5.06	178.50	424.57	4.04	40.94
		平均	4.96	149.37	249.78	4.99	91.98
		半月礁 1	7.26	193.49	122.09	7.49	106.46
		2	7.99	171.12	99.54	4.36	15.23
		平均	7.63	182.31	110.82	5.93	60.85
		仁爱礁 1	6.52	142.80	316.02	3.54	323.45
		2	3.84	172.55	301.85	1.91	343.48
		平均	5.18	157.68	308.94	2.73	333.47
		信义礁 1	5.06	172.55	96.97	3.67	221.79
		2	5.79	148.75	122.09	2.86	200.08
		平均	5.43	160.65	109.53	3.27	210.94
1993 年 5 月	泻湖	泻湖平均	6.71	151.63	212.88	4.42	197.61
		渚碧礁 2	15.75	328.44	15.65	13.53	832.09
		3	10.53	232.05	3.70	6.27	451.76
		平均	13.14	280.25	9.68	9.90	641.93
		东门礁	13.74	297.50	146.76	54.21	959.08
		仙娥礁	0.51	187.54	155.14	26.56	289.76
1994 年 3~4 月	礁外	泻湖平均	9.13	255.10	103.86	30.22	630.26
		94-8	19.36	2 088.01	714.95	24.33	502.28
		94-12	15.26	1 768.50	428.48	15.62	427.28
		94-16	14.05	1 412.44	412.42	10.74	439.34
		94-23	14.45	1 240.31	784.35	8.56	572.30
1993 年 5 月	礁外	礁外平均	15.78	1 627.32	585.05	14.81	485.30
		93-6	4.97	982.50	110.85	0	606.84
		93-7	10.95	2 751.00	375.89	82.84	558.37
		93-8	15.92	2 947.50	151.94	6.38	903.65
		93-9	6.62	3 144.00	1 218.51	5.71	507.57
		93-6A	11.62	2 751.00	75.07	12.17	675.93
		93-12	0	3 144.00	138.64	11.79	466.26
		礁外平均	8.35	2 636.70	345.15	19.82	619.77

4 南沙海域营养组份界面转移的特殊性

表 6 是不同海区营养物质界面转移量的比较。

从表 6 可知,南沙海域营养组份的界面扩散与其他海区相比,有如下特点:

(1) 南沙 5 种营养组份的扩散方向均是以沉积物向上覆海水,无一相反方向。

表 6 不同海域沉积物-海水界面扩散通量比较 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

Tab. 6 Comparison of nutrient diffusion fluxes in different sea regions ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

海区	HPO_4^{3-}	H_4SiO_4	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	作者
南黄海	-0.102	-55.91	/	/	-1.321	李延,宋金明(1991)
冲绳海槽	1.131	22.09	/	/	-4.488	同上
温州外海	0.133	111.90	/	/	-6.640	同上
辽东湾	/	/	/	/	1.410	朱仲斌(1992)
93-泻湖	9.13	255.10	103.86	30.22	630.26	本研究
94-泻湖	6.71	151.63	212.86	4.42	197.61	同上
93-礁外	8.35	2 637.70	345.15	19.82	619.77	同上
94-礁外	15.78	1 627.32	585.05	14.81	485.30	同上
厦门港	/	2 800.00	/	/	720.00	王康 ¹⁾ (1985)
东海	/	255.00	/	/	746.00	Aller <i>et al</i> (1983)
Long Island South	/	3 866.67	/	/	1 123.00	Aller (1980)
Narragansett Bay	/	1 000.00	/	/	1 040.00	Elderfield <i>et al</i> (1981)

1) 王康,1985. 厦门港沉积物-海水界面邻近成岩过程研究(N、Si、S),厦门大学硕士论文。

其原因在于:

(1) 南沙群岛海区地处亚热带,水温高,生物繁殖快,海区初级生产力高,生物排泄物沉降到泻湖底部和海底。由于底质环境的变化有机质分解,大量的营养组份从沉积物中溶出,向上覆海水扩散,比其他海区扩散量大。

(2) 近岸的厦门港, Long Islands South, Narragansett Bay 为实测通量,其他海区为计算通量。一般实测通量比计算通量大,加之近岸有大量人为污物排入,沉积物中大量有机组份分解,也会导致近岸区尤其是近岸港湾通量偏高。

(3) 温度是控制物质界面扩散最重要的因素。南沙海区常年高水温,使沉积物中营养组份溶出量明显增加,根据 Arrhenius 方程^[11]

(2) 除近岸港湾外,南沙海域 5 种营养组份的界面扩散通量明显高于东中国海,反映了该海域沉积物活性高于东中国海。

表 5 营养组份自沉积物向海水扩散的礁外/泻湖比

Tab. 5 The ratios of outer-reef/lagoon of nutrient diffusion fluxes

组份	HPO_4^{3-}	H_4SiO_4	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+
1993 年 5 月	0.91	10.34	3.32	0.66	0.98
1993 年 3~4 月	2.35	10.73	2.75	3.35	2.46

$$\ln \frac{F_2}{F_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

F_1, F_2 分别是 T_1, T_2 温度下的扩散量; E 为物质扩散出的表观活化能; R 为气体常数。

当 $T_2 = nT_1 (n > 1)$

$$\text{则 } \ln F_2 = \frac{E}{RT_1} \cdot \frac{n-1}{n} + \ln F_1$$

显然随着 T 升高, F 明显增加。据此可估算出物质扩散的表现活化能,在 18~25℃ 温度段, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , H_4SiO_4 , HPO_4^{3-} 扩散释放的表观活化能分别为 17.05, 22.84, 16.91, 16.73, 7.87 kJ/mol, 活化能越大则越不易扩散释放,就 NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ 而言,其表观活化能 $\text{NO}_3^- \approx \text{NH}_4^+ < \text{NO}_2^-$, 所以扩散量是 $\text{NO}_3^- \approx \text{NH}_4^+ > \text{NO}_2^-$, 这与表 4, 6 结果是一致的。 NH_4^+ 自沉积物向海水释放是海洋生态系中营养盐再生过程最重要的步骤之一。研究表明,在 5~30℃ 温度段, NH_4^+ 的释放与温度成线

性相关,在细菌作用下,温度是营养盐释放的控制性因素。

(4) 东中国海由于水深较浅,海水温度季节性变化剧烈,从而引起一系列化学、生物、地质作用强烈,界面层中早期成岩作用强度变化较大,沉积物或产出或吸收营养组份,使得东中国海营养组份的扩散方向不同,或沉积物向海水扩散,或相反。

5 结语

5.1 南沙群岛海域表层沉积物间隙水溶解无机氮以 NO_3^- 和 NH_4^+ 为主,占 90% 以上。礁外间隙水中的 $\text{SiO}_3\text{-Si}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 高于泻湖 5~6 倍和 1~2 倍。 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 则不一定,1993 年 5 月航次泻湖高于礁外,1994 年 3~4 月礁外高于泻湖。 $\Sigma\text{N/P}$ 比值礁外间隙水高于泻湖,相对而言,泻湖间隙水中缺氮,而礁外缺磷,在礁外间隙水中磷有明显地转移。礁外间隙水随深度增加, $\text{PO}_4\text{-P}$ 增加,但在 20cm 以下有降低, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 随深度而明显增加, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 降低, $\text{NH}_4\text{-N}$ 则不一定。

5.2 沉积物-海水界面间营养组份的扩散通量, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , H_4SiO_4 , HPO_4^{2-} 在泻湖平均为 158.37, 17.32, 431.94, 203.37, 7.92 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{d}$ 。礁外为 564.75, 17.32, 552.54, 1938.51, 12.07 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{d}$ 。总的来看,营养组份在礁外深水中界面扩散高于泻湖。 H_4SiO_4 是礁外界面扩散量最大的组份,而在泻湖中 NO_3^- 或 NH_4^+ 是最大扩散量的组份,礁外界面扩散 H_4SiO_4 是泻湖的 10.5 倍, NO_3^- 是 3 倍,扩散方向均是从沉积物向上覆海水扩散,这些营养组份的扩散特征由其本身的特性及环境所决定。

5.3 南沙海域沉积物-海水界面扩散通量高于东中国海,主要是由于南沙区域常年

高水温,沉积物释放扩散出营养组份的表观活化能降低,沉积物的活性明显增强,使沉积物间隙水中得到大量营养组份,并向上覆海水扩散。

研究沉积物-海水界面间营养组份的转移是海洋生态系营养盐循环研究的重要组成部分,具有重要的生态学研究意义。

参考文献

- [1] 宋金明、李鹏程,1995。青岛青年科学大会论文集。青岛出版社,49~58。
- [2] 宋金明、李延,1991。海洋科学 1:27~34。
- [3] 宋金明,1992。海洋环境科学 11(3):45~51。
- [4] 李延、宋金明,1991。第四次中国海洋湖沼科学会议论文集。科学出版社,94~99。
- [5] Baturin, G. N., 1981. Phosphorites on the Sea Floor. Developments in Sedimentology 33. Elsevier Sci. Pub. Col.
- [6] Billen, G., 1982. Amer. J. Sci. 282: 512-541.
- [7] Herbert, R. A., 1982. In "Sediment Microbiology" Ed. by Nedwell & Brown, Academic Press. 53-71.
- [8] Aller, R. C., 1980. Adv. Geophys. 22: 237-250.
- [9] Aller, R. C., J. E. Markin et al., 1983. In "Proceeding of International Symposium on Sediment on the Continental Shelf. with Special Reference to the East China Sea. Vol. 2. China Ocean Press.
- [10] Elderfield, H., N. Luedtke et al., 1981. Ame. J. Sci. 281:768-787.
- [11] Lerman, A., 1979. Geochemical Processes; Water and Sediment Environments. John Wiley & Sons Inc.
- [12] Aston, S. R., 1983. Silicon Geochemistry and Biogeochemistry. Academic Press.
- [13] Mee, L. D., 1978. In "Chemical Oceanography" Vol. 7. 2nd Ed. Edited by J. P. Riley and R. Chester. Academic Press. 441-490.
- [14] Devol, A. H., J. P. Christensen, 1993. J. Mar. Res. 51 (2): 345-372.
- [15] Hecky, R. E., P. Campbell and L. L. Hendzel, 1993. Limnol. Oceanogr. 38(4): 709-724.

STUDIES ON CHARACTERISTICS OF NUTRIENT DIFFUSION FLUXES ACROSS SEDIMENT-WATER INTERFACE IN THE DISTRICT OF NANSHA ISLANDS, SOUTH CHINA SEA

Song Jinming and Li Pengcheng

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071*)

Received: Jan. 22, 1996

Key Words: Nutrient, Sediment-seawater interface, Interstitial water, Diffusion flux, The district of Nansha Islands

Abstract

The nutrients ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$) in sediment interstitial waters and their diffusion fluxes across sediment-water interface were studied in the ecosystem of lagoon and outer-reef in the district of Nansha Islands, South China Sea. The main results show as follows: (1) The nutrient concentrations are high in interstitial waters of the district and the ratio of $\sum \text{N/P}$ of interstitial waters is higher in outer-reef than in lagoon. The nitrogen of interstitial waters is deficient in lagoon and P in outer-reef. The vertical distributions of nutrients are different in interstitial waters of outer-reef. (2) The activity of sediment in the district of Nansha Islands is higher than that of in the East China Sea. A great deal of nutrient diffuses from sediment to overlying water. H_4SiO_4 is the most diffusion flux component of nutrients in outer-reef and NO_3^- or NH_4^+ is the most diffusion flux component of nutrients in lagoons. The diffusion fluxes of H_4SiO_4 , NO_3^- are higher in outer-reef than that of in lagoon. The diffusion characteristics of nutrients are decided by nutrient feature and sediment environment. (3) The high temperature in the district of Nansha Islands is the main season that causes a great deal of nutrient produced in sediment and diffused from sediment to overlying water. The apparent active energy is decrease in condition of high temperature and the sediment activity is increase, so a great deal of nutrient is produced in sediment and diffused from sediment to overlying water.