

渤海沉积物 - 海水界面附近磷与硅的生物地球化学循环模式*

宋金明 罗延馨 李鹏程

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

摘要 现场模拟了渤海沉积物-海水界面磷、硅的交换通量,在此基础上提出了渤海磷、硅的生物地球化学循环模式,渤海的磷、硅主要来源于河流的输入和沉积物向海水的扩散提供,输出则是主要通过向黄海输送。计算结果表明,渤海每年沉积物向海水提供的磷、硅分别为 10.2×10^6 和 190.6×10^6 kg,分别占渤海磷、硅循环总量的 86.4% 和 31.7%。说明沉积物-海水界面过程在渤海磷、硅循环中所起的作用是巨大的。

关键词 沉积物-海水界面过程,磷与硅的生物地球化学循环模式,渤海

磷与硅作为海洋生物最基础的营养物质,其生物地球化学循环对海洋生态系统具有至关重要的作用^[1-10]。磷、硅可以成为海洋浮游植物生长的限制因子,从而使某些生物种群的生物量减少,磷、硅的大量过剩可引起海域的富营养化,诱发有毒藻花(如赤潮)的出现^[5-7],所以研究近海特别是内海及海湾磷、硅的生物地球化学循环模式是评价其环境质量,评估其环境容量,保持其可持续发展的基础。作者利用渤海取得的样品进行现场模拟实验,研究了沉积物-海水界面间磷、硅的交换量,并根据渤海的自然地理参数,估算了该海域磷、硅的收支,重点探讨了沉积物-海水界面过程在磷、硅循环中的作用,初步提出了渤海磷、硅生物地球化学循环模式。

1 取样与分析

1998年9月随“科学一号”考察船在渤海的9个站(其中渤海湾4个站,莱州湾3个站,渤海中央盆地2个站)用大洋50采泥器采集表层沉积物样品,混合均匀,并在渤海中央盆地采集离底5m的底层水。在2000ml烧杯中加入混合好的沉积物样品300ml,加入1500ml的底层水,在22℃±0.5℃恒温箱中平行3份进行模拟实验,分别在0,1,3,6,10,15,26,50,98,146h用注射器取水10ml,用0.45μm的微孔滤膜过滤后,现场用磷钼蓝和硅钼蓝分光光度法测定溶解PQ-P、SiQ-Si的浓度(结果进行体积校正)。

2 结果与讨论

2.1 渤海沉积物-海水界面间磷、硅的现场模拟

实验结果显示,模拟实验开始1h后,沉积物对磷有较强的吸附现象,海水中的磷明显降低,而硅则是沉积物向海水中释放,海水中的硅有明显增加,其通量磷为 $-24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,硅为 $270 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,其原因在于沉积物分散到海水中,细粒物质与海水接触,其表面积效应得到了最充分的体现,可以吸附海水中的磷,而硅在海水中是不饱和的,沉积物中的硅可被释放。

随着模拟实验的进行,在10h后,磷、硅在沉积物-海水界面间的交换达到平衡,其平均通量磷为 $0.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,硅为 $16.5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,方向均是沉积物向海水中扩散。

2.2 渤海沉积物-海水界面间磷、硅交换量的估算

假定渤海泥质沉积物-海水界面磷、硅的交换量与模拟实验所得的交换量相同,其他粗粒级沉积按泥质沉积物-海水界面所占比例确定其交换量,这样可根据渤海海域面积计算出渤海沉积物-海水界面间

* 国家自然科学基金资助项目 49776300 号与国家杰出青年科学基金资助项目 49925614 号。

中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4123 号。

收稿日期:2000-07-07;修回日期:2000-08-23

磷、硅的交换量,即:

沉积物-海水界面交换量 = 模拟实验平衡的交换量 × 海域面积

表 1 渤海沉积物-海水界面间磷、硅的交换量 ($\times 10^6$ kg/a)

Tab.1 Diffusion fluxes of P and Si across sediment-seawater interface in Bohai Sea

海域	面积(km ²)	沉积物向海水释放量	
		P	Si
渤海湾	12 500	2.7	50.6
莱州湾	7 350	1.1	19.8
辽东湾	18 300	2.5	44.4
渤海盆地	35 000	3.9	75.8
渤海海峡	3 850	/	/
渤海	27 000	10.2	190.6

从渤海表层沉积物的分布类型看^[2],渤海湾基本全为黏土泥质沉积,其他区域沉积较粗且不相同,所以渤海湾按全通量计算(0.8/16.5即 P/Si,下同),莱州湾按 1/3 通量计算(0.53/11.0),辽东湾按 1/5 通量计算(0.48/9.9),渤海中央盆地按 1/2 通量计算(0.4/8.3),其结果见表 1。

2.3 渤海磷、硅的生物地球化学循环模式

渤海磷、硅的主要输入源有河流输入、沉积物向海水扩散、大气沉降以及与黄海水交换的输入,主要输出途径是通过渤-黄海水净交换向黄海输出及从

表 3 渤海磷、硅的年循环量 ($\times 10^6$ kg/a)

Tab.3 Annual cycling of P and Si in Bohai Sea ($\times 10^6$ kg/a)

海域	河流输入量		沉积物向海水扩散量		总循环量	
	P	Si	P	Si	P	Si
渤海湾	0.4(12.9)	157.7(75.7)	2.7(87.1)	50.6(24.3)	3.1	208.3
莱州湾	0.2(15.4)	113.7(85.2)	1.1(84.6)	19.8(14.8)	1.3	133.5
渤海	1.6(13.6)	410.0(68.3)	10.2(86.4)	190.6(31.7)	11.8	600.6

注:括号内的数字为占总循环量的百分数。

模式(图 1)

从表 3 和图 1 可以看出,沉积物-海水界面过程在渤海磷、硅生物地球化学循环中有极其重要的作用。沉积物向海水提供的磷占渤海总循环量的 86.4%,硅占 31.7%。渤海中的磷主要来自于沉积物向海水的扩散,硅主要来自于河流输入。

海水向沉积物中转移,考虑质量平衡,对磷、硅则有:

河流输入量 + 沉积物向海水扩散 + 大气沉降 + 黄海的输入 = 向黄海的输出 + 海水向沉积物的转移

忽略大气沉降部分,并考虑沉积物-海水界面交换的净转移量和渤-黄海间净交换量,则有:

河流输入量 + 沉积物向海水净转移量 = 向黄海的净输出量 = 渤海总循环量

河流输入量可用河水中磷、硅浓度与入海径流量的乘积求得,输入渤海的主要河流有黄河、海河、滦河、辽河等^[4],其径流量用过去 30 a 的平均值,结果见表 2。

假定海河输入的磷、硅全部输入渤海湾,黄河输入的 1/3 入渤海湾,1/3 入莱州湾,则可分别计算出河

表 2 河流输入渤海的磷、硅通量

Tab.2 Input fluxes of P and Si from rivers to Bohai Sea

河流	径流量($\times 10^8$) (m ³ /a)	浓度(μ mol/L)		入海通量($\times 10^6$ kg/a)	
		PO ₄ -P	SiO ₃ -Si	P	Si
黄河	411	0.36	296	0.47	341.0
海河	154	0.42	102	0.20	44.0
辽河	165	1.71	29.3	0.88	14.0
滦河	46	0.51	87.2	0.08	11.0
总量	776	/	/	1.63	410.0

流输入渤海湾、莱州湾及渤海的量,结合沉积物向海水释放量(表 1),得出二者分别占海域循环量的比例(表 3)。

根据表 3 可画出渤海磷、硅的生物地球化学循环

3 结语

本文在对渤海现场调查模拟实验的基础上,提出渤海磷、硅的生物地球化学循环模式,即渤海的磷、硅主要来自于河流的输入和沉积物向海水提供,其主要输出通道是向黄海输出。计算结果显示,渤海向黄海

输出的磷、硅分别为 11.8×10^6 和 600.6×10^6 kg/a, 沉积物向海水扩散提供量磷、硅分别为 10.2×10^6 和 190.6×10^6 kg/a, 分别占渤海磷、硅总循环量的 86.4% 和 31.7%, 说明渤海沉积物-海水界面过程的确在磷、硅循环中起至关重要的作用, 尤其是磷最为明显。

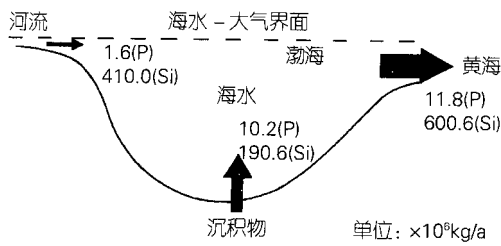


图 1 渤海磷、硅的生物地球化学循环模式
Fig. 1 Biogeochemical cycling model of P and Si in Bohai Sea

参考文献

- 1 宋金明. 中国近海沉积物-海水界面化学. 北京: 海洋出版社, 1997. 1 ~ 222
- 2 宋金明, 李鹏程. 海洋科学集刊, 1996, 37: 43 ~ 50
- 3 吴丰昌, 万国江, 蔡玉蓉. 地球科学进展, 1996, 11(2): 191 ~ 197
- 4 张经. 中国主要河口的生物地球化学研究. 北京: 海洋出版社, 1996. 210
- 5 Chambers R. M., J. W. Fourqurean, J. T. Hollibaugh. *Estuaries*. 1995, 18(3): 518 ~ 526
- 6 Chapelle A. *Ecological Modelling*, 1995, 80: 131 ~ 147
- 7 Conley D.J. and R. W. Johnstone. *Mar. Eco. Prog. Ser.* 1995, 122(1-3): 266 ~ 276
- 8 Cowan J. L. W. and W. R. Boynton. *Estuaries*. 1996, 19(3): 562 ~ 580
- 9 Gehlen M., H. Malschaert and W. R. Van Raaphorst. *Continental Shelf Research*, 1995, 15(13): 1675 ~ 1696
- 10 Jensen H. S., P. B. Mørtensen, F. φ. Andersen. *Limnol. Oceanol.* 1995, 40(5): 908 ~ 917

BIOGEOCHEMICAL CYCLING MODELS OF P AND Si NEAR THE SEDIMENT-SEA WATER IN BOHAI SEA

SONG Jir-ming LUO Yan-xin LI Peng-cheng
(Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071)

Received: July, 7, 2000

Key Words: Sediment-seawater interface process, Biogeochemical cycling models of P and Si, Bohai Sea

Abstract

On the basis of the fluxes of P and Si across the sediment-seawater interface by simulated experiments in situ, the biogeochemical cycling models of P and Si were presented. P and Si in Bohai Sea are mainly supplied by riverine input and diffusion from sediment to seawater, and their removal path is the output toward the Yellow Sea. The estimated conclusions showed that the diffusion fluxes of P and Si from sediment to seawater were 10.2×10^6 and 190.6×10^6 kg/a, accounting for 86.4% and 31.7% of the total cycling P and Si, respectively. Therefore, the sediment-seawater interface process is important part in the biogeochemical cycling of P and Si in Bohai Sea.

(本文编辑:张培新)