

黄、渤海无机氮的收支模式初探

王保栋¹ 单宝田² 战 闰¹ 藏家业¹

(¹ 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

(² 青岛海洋大学 266003)

摘要 根据黄、渤海无机氮的收支状况,首次提出了黄、渤海无机氮的稳态收支模式。模式研究表明,大气沉降、陆源输入和海底输入的无机氮通量分别占黄、渤海无机氮浮游植物总需求量的3%、4%和12%。无机氮的外部输入约占总需求量的1/5,其他部分则由水柱中的内部再循环(再生)供给。

关键词 收支模式,氮循环,黄、渤海

生源要素的生物地球化学研究,已从过去的以定性研究为主逐渐向以定量研究为主的方向发展。特别是以氮、磷等营养盐循环为基础的生态系统动力学模式的研究,已成为海洋科学的研究前沿和国际间区域合作和全球性研究的热门课题。90年代以来,黄、渤海的化学海洋学研究得到了长足的发展。对黄、渤海生源要素的时空分布变化及运移规律等已做了大量的调查研究,人们对黄、渤海生源要素分布变化特征有了比较清楚的了解^[1-2]。但目前的研究偏重于定性方面的探讨,定量研究较为欠缺。对海区生源要素的外部补充机制和内部循环机制及与初级生产力的相互作用等方面尚缺乏深入的了解。本文拟对黄、渤海氮循环收支状况进行初步研究,为最终建立以营养盐循环为基础的黄、渤海生态系统动力学模型奠定基础。

1 黄、渤海海域营养盐的来源

黄、渤海海域营养盐的来源,除了水体中各种形态之间的转化和内部再循环(即营养盐的再生)外,外部补充主要包括陆源输入(包括径流和排污)、大气沉降、沉积物-海水界面扩散以及与东海之间的交换。

1.1 陆源输入通量估算

黄、渤海沿岸有多条大河(如黄河、鸭绿江、长江等)直接或间接注入,为之输送了大量营养盐。同时,沿岸排污(包括直排口、混排口和排污河)亦输入了大量营养盐及其他污染物。表1为黄、渤海海域陆源营养盐入海通量统计结果。其中,径流量乃多年平均,无机氮通量取不同作者估算结果之平均值。在此需要说明的是,长江作为世界上最大的大河之一,其向东海输送了大量的营养盐。但近年的调查研究表明,其对

黄海营养盐的贡献不可忽视^[3]。然而,由于缺乏有关资料(如海流等水文资料),难以对自长江输入黄海的营养盐通量做出计算。

为了解决这一问题,本文根据不同季节长江口海域多年的盐度平面分布,对盐度低于30部分(通常以盐度<30为长江冲淡水的指标,且冲淡水通常只散布在很薄的表层),以长江口北角至济州岛连线为分界线,分别估算了不同季节黄海部分面积占总面积的百分数,以此作为不同季节长江冲淡水分别进入黄海的比例。再根据长江氮的输出通量,估算出长江水中无机氮输入黄海的通量。估算结果表明,各季节代表月即2,5,8,11月,黄海盐度小于30部分的面积分别占总面积的2%,10%,25%和3%,平均值为10%。即每年约有10%的长江冲淡水输入黄海,而且主要是在夏半年。

1.2 大气沉降通量估算

大气中的无机营养盐通过干/湿沉降输入海洋。这里引用分别在位于黄海东岸和黄海西岸的陆基站的监测结果,如表2。

由上表可以看出,黄海降水中的无机氮以氨氮为主要存在形式沉降。以黄海东、西两岸测定结果之平

* 国家自然科学基金面上项目40076022号与国家海洋局青年基金资助项目98502号。

第一作者:王保栋,出生于1964年,研究员,主要从事海洋生物地球化学研究。E-mail: wbdys@263.net

收稿日期:2001-01-15;修回日期:2001-04-20

表 1 黄、渤海海域陆源无机氮入海通量统计结果(× 10⁹ mol/a)

Tab.1 Fluxes of inorganic nitrogen from land runoff into the Bohai Sea & Yellow Sea

河流名称	径流量 (× 10 ⁹ m ³ /a)	无机氮通量			出处 ¹⁾
		NO ₃ ⁻ N	NO ₂ ⁻ N	NH ₄ ⁺ N	
黄河	42	5.0	0.03	-	Zhang J.(1996) a
辽河	12	2.2	0.0005	0.02	Zhang <i>et al.</i> .(1997)
滦河	5.9	1.1	0.0002	0.01	本文
海河	15	2.7	0.0006	0.02	本文
鸭绿江	35	11.7	0.03	0.3	Zhang <i>et al.</i> .(1997) a
Daedong (大同江)	15		DIN 2.1		a
Han (汉江)	19	1.1	DIN 1.0		a
Geum (锦江)	7	1.1	/	1.4	Hong <i>et al.</i> .(1995) a
Yeongsan	1.6	0.07	DIN 1.7	0.07	Hong <i>et al.</i> .(1995) a
陆源排污(中国沿岸)	3.4	2.1	DIN 0.9	0.02	Hong <i>et al.</i> .(1995) a
陆源排污(朝鲜半岛)	1.7	1.1	/	0.02	a
长江(输入黄海部分)	92.8	3.1	/	2.1	b
	(928 × 10 ⁹)		0.06	1.36	Zhang J.(1996)
合计	250		DIN 8.3		沈志良(2000)
			DIN 35		

1) a: Yang D.B. *et al.* . A study on the investigation and countermeasure of marine pollution in the Yellow Sea . KORDI report , 1995 ;

b:《全国陆源排污及其对近岸海域环境与资源损害的调查监测》(国家海洋局,1995) 。

均值代表黄海降水中无机氮的年平均浓度,其分别为: NH₄⁺ N 50.8 μmol/dm³、NO₂⁻ N 21.8 μmol/dm³。南黄海的平均年降水量为 1 000 mm,南黄海面积按 300 000 km² 估算其无机氮年沉降通量为 21.8 × 10⁹ mol/a。渤海平均年降水量为 500 ~ 600 mm,北黄海为 600 ~ 750 mm,取 600 mm 作为渤海和北黄海的平均年降水量,按与南黄海相同的无机氮年平均浓度,按其总面积 1.5 × 10⁵ km² 估算其无机氮年沉降通量为 6.5 × 10⁹ mol/a。黄、渤海海域大气无机氮湿沉降通量为 28 × 10⁹ mol/a,其中氨氮 20 × 10⁹ mol/a,硝酸盐氮 8 × 10⁹ mol/a。

1.3 海水-海底界面扩散通量估算

底质中有机物的分解使营养盐得以再生,并释出于间隙水中。当间隙水与上覆水间存在浓度梯度时,营养盐则穿越海水-沉积物界面向上覆水中(或相反方向)扩散。根据黄海海水-沉积物界面无机氮扩散通量的研究结果(表 3),黄海中央海域测定结果取平均值后,按占黄海总面积 3.8 × 10⁵ km² 的一半估算其无机氮年通量为 45 × 10⁹ mol/a;渤海无测定数据,这里按与黄海

表 2 黄海海域降水中无机氮的年平均浓度(μmol/dm³)

Tab.2 Averaged concentrations of inorganic nitrogen in the precipitation of the Bohai Sea & Yellow Sea

年份	黄海东岸(安山) ^①		黄海西岸 ^[5]			
			麦岛		千里岩	
	NH ₄ ⁺ N	NO ₃ ⁻ N	NH ₄ ⁺ N	NO ₃ ⁻ N	NH ₄ ⁺ N	NO ₃ ⁻ N
1992	61.6	9.4	73.3	12.0	40.0	12.5
1993	40.4	31.3	/	/	/	/
1994	27.7	8.3	/	/	/	-
1995	105.6	28.7	/	/	/	/
1996	59.6	23.9	/	/	/	/
1997	36.2	21.5	41.9	23.1	44.8	30.5
1998	/	/	48.6	24.8	29.4	35.5
平均	55.2	20.5	54.6	20.0	38.1	26.2

① Chung,C.S., G.H. Hong, S.H. Kim *et al.* . Shore based observation on wet deposition of inorganic nutrients in the Korea Yellow Sea coast . Proceedings of IOC/ WESTPAC- Sida/ SAREC Workshop on Atmospheric Inputs of Pollutants to the Marine Environment , Qingdao , China , 1998 .

表3 黄、渤海海水-沉积物界面无机氮通量 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

Tab.3 Fluxes of inorganic nitrogen across sediment-seawater interface in the Bohai Sea & Yellow Sea

海区	$\text{NH}_4^+ \text{ N}$	$\text{NO}_3^- \text{ N}$	出处
黄海中央 (>50 m)	11 (1)	73 (1)	[5]
	-25 (2)	1325 (2)	[7]
黄海近岸 (<50 m)	519 (1)	68 (4)	[5]

近岸相同的单位面积输入速率,按渤海和黄海近岸总面积 $2.7 \times 10^5 \text{ km}^2$ 估算其无机氮年通量为 $58 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 。黄、渤海总和为 $103 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 。

1.4 黄、渤海与东海间的无机氮交换通量估算

黄、东海之间的水交换主要是通过东侧北上的黄海暖流和西侧南下的苏北沿岸流进行。北上的黄海暖流将低营养盐的东海水输入黄、渤海,而南下的苏北沿岸流将高营养盐的黄海水输入东海,而且主要发生在冬半年(11月至翌年4月)。以长江口至济州岛连线为黄、东海分界面,并以该断面上 124.5°E 以西的营养盐浓度作为苏北沿岸流水的营养盐含量,以 124.5°E 以东的营养盐浓度作为黄海暖流水的营养盐含量,根据“中韩黄海水循环及物质通量合作研究”项目1996~1998年6个航次的季节性调查资料,其年平均值分别为 8.2 和 $4.2 \mu\text{mol/L}$ 。根据 Lee 等^[6]利用箱式模型根据盐量平衡和水量平衡估算的黄、渤海与东海之间的水交换通量为 $2700 \text{ km}^3/\text{a}$ (即每年有 2700 km^3 由东海输入黄、渤海,并有等量的海水由黄、渤海输入东海),由此可估算出通过海水交换而由黄海进入东海的无机氮净通量为: $2700 \times 10^6 \times (8.2 - 4.2) = 11 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 。

此外,黄、渤海年降水量为 $490 \text{ km}^3/\text{a}$,蒸发量为 $480 \text{ km}^3/\text{a}$,陆地输入淡水为 $250 \text{ km}^3/\text{a}$ (表1)。为保持黄、渤海水量平衡,须有 $260 \text{ km}^3/\text{a}$ 的海水溢出黄、渤海流入东海。黄、东海分界处无机氮的年平均含量为 $6.0 \mu\text{mol/L}$,这样,每年又有 $260 \times 10^6 \times 6.0 = 1.6 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 的无机氮由黄海输入东海。因此,由黄、渤海输入东海的无机氮总的净通量为 $13 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 。

2 黄、渤海无机氮的收支模式

海洋中的浮游植物是按一定比例自海水中吸收 N 和 P,这一恒定比例称为 Redfield 系数,即 C: N: P = 106: 16: 1。按照上述比例关系,可根据初级生产力估算该海区浮游植物对营养盐的需求量(NRP)。根据1984~1985年对黄海 125°E 以西海域季节性调查(2,

5, 8, 11月)、1996~1998年对南黄海全海域进行的季节性调查结果,黄海年初级生产力分别为 155 和 $181 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,取其平均值 $168 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (以C计)估算其对无机氮的年需求量为 $800 \times 10^9 \text{ mol/a}$; 根据1982~1983年、1984~1985年、1992~1993年对渤海全海域进行的季节性调查(2, 5, 8, 10月)^[4],渤海年

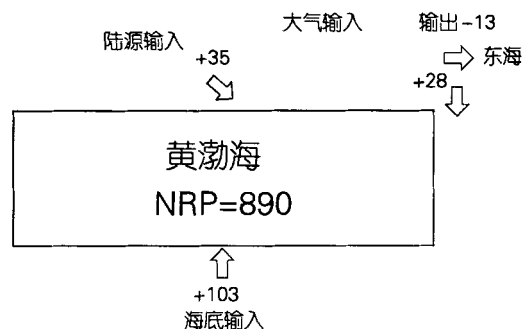


图1 黄、渤海无机氮的稳态收支模式 ($\times 10^9 \text{ mol/a}$)
Fig.1 Steadystate budget model of inorganic nitrogen in the Bohai Sea & Yellow Sea

初级生产力分别为 $115, 112, 75 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,取其平均值 $100 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (以C计),估算其对无机氮的年需求量为 $90 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 。黄、渤海对无机氮的年需求量为 $890 \times 10^9 \text{ mol/a}$ 。综合上述各界面和过程中无机氮的通量,获得黄、渤海无机氮的收支模式(如图1)。从本模式中可以看出,大气沉降、陆源输入和海底输入的无机氮通量分别占黄、渤海无机氮总需求量的3%,4%和12%。黄、渤海无机氮的大气沉降通量与陆源输入通量相等,二者相加占无机氮总需求量的7%,与 Yang 等^[8]在黄海的估算结果(7.2%)一致。

海底输入通量所占比例比大气沉降通量与陆源输入通量二者之和还要多,说明无机氮的海底输入在黄渤海占有极为重要的地位。无机氮的3个主要外部来源即大气沉降、陆源输入和海底输入三者通量之和占无机氮总需求量的19%,即约1/5。无机氮需求量的其他部分则由水柱中营养盐的再循环(再生)来满足。

3 结论

研究结果表明,黄、渤海无机氮的陆源输入通量($35 \times 10^9 \text{ mol/a}$)略大于大气沉降通量($28 \times 10^9 \text{ mol/a}$),二者之和占黄、渤海无机氮总需求量的7%。而海底输入所占比例比上述二者之和还要多(12%)。无机氮的外部供给(包括大气沉降、陆源输入和海底输入)约占黄、渤海无机氮总需求量的1/5,其他部分则由水柱中营养盐的再循环(再生)供给。然而,上述模式研

究还处于初步研究阶段,各界面和过程的通量估算值尚显粗略,需要今后进一步地调查研究和完善。

主要参考文献

- 1 王保栋,王桂云,郑昌洙等。南黄海营养盐的平面分布及其横向输运规律,海洋学报,1999,21(6):124~129
- 2 王保栋。南黄海营养盐的垂直分布特征及其垂直输运规律,海洋环境科学,1999,18(1):13~18
- 3 王保栋。长江冲淡水的扩展及其营养盐的输运,黄渤海海洋,1998,16(2):41~47
- 4 于志刚,米铁柱,谢宝东等。20年来渤海生态环境参数的演化和相互关系,海洋环境科学,2000,19(1):15~19
- 5 Chung C.S., G.H. Hong, S.H. Kim *et al.*. The distributional characteristics and budget of dissolved inorganic nutrients in the Yellow Sea. In: G.H. Hong, J. Zhang and C.S. Chung. Biogeochemical Processes in the Bohai and Yellow Sea. Seoul: The Dongjin Publication Association, 1999. 41~68
- 6 Lee J.H., B.W. An, I.K. Bang *et al.*. Water and salt budgets for the Yellow Sea. In: G.H. Hong, J. Zhang and C.S. Chung. Biogeochemical Processes in the Bohai and Yellow Sea. Seoul: The Dongjin Publication Association, 1999. 221~234
- 7 Liu S.M., H.T. Chen, Q.M. Wu *et al.*. N, P and Si compounds in the South Yellow Sea. In: G.H. Hong, J. Zhang and C.S. Chung. Biogeochemical Processes in the Bohai and Yellow Sea. Seoul: The Dongjin Publication Association, 1999. 21~40
- 8 Yang S.R., M.G. Park, G.H. Hong *et al.*. New regenerated production in the yellow Sea. In: G.H. Hong, J. Zhang and C.S. Chung. Biogeochemical Processes in the Bohai and Yellow Sea. Seoul: The Dongjin Publication Association, 1999. 69~99

BUDGET MODEL OF INORGANIC NITROGEN IN THE BOHAI AND YELLOWSEA

WANG Baodong¹ SHAN Baotian² ZHAN Run¹ ZANG Jia-ye¹

(¹ First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao, 266061)

(² Ocean University of Qingdao, 266003)

Received: Jan. 15, 2001

Key Word: Budget model, Nitrogen cycle, The Bohai and Yellow Sea

Abstract

Based on the estimation of the fluxes in the biogeochemical cycling of inorganic nitrogen, a steady-state nitrogen budget model was put forward for the Bohai Sea and Yellow Sea in this paper. Model studies indicated that the atmospheric input, riverine input and benthic flux of inorganic nitrogen account for 3, 4 and 12 percent of nitrogen requirement by phytoplankton (NRP) in the Bohai Sea and Yellow Sea, respectively. Inorganic nitrogen supplied from the three major external sources, i.e. atmosphere, river and benthic flux, accounts for one-fifth of NRP, the other part of NRP is satisfied through the regeneration in the water column.

(本文编辑:张培新)