

南大洋碘分布的生物制约性*

程先豪 潘建明 张海生 张平

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

提要 讨论了中国第六次南大洋考察4条断面1个海湾计30个剖面海水中碘的赋存形式及化学形态的生物地球化学分布。结果表明, 表层海水总无机碘含量分布值在 $0.267-0.443\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 之间; 海水无机碘及碘酸根含量的垂直分布与营养盐关系密切, 溶解有机碘分布则较稳定, 其含量约为总无机碘的10%。真光层内浮游植物对碘的吸收同化速率为 $0.17\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 悬浮有机颗粒中碘的结合量约为 $4.3\mu\text{mol}/\text{m}^3$, 真光层内颗粒碘的下沉速率大于 $7.2\text{d}/\text{m}$ 。根据讨论结果提出了测区真光层内碘循环的生物地球化学模式。

关键词 碘 营养盐 南大洋 生物地球化学 模式

碘在海洋中的亲生物性质已被广泛接受 (Wong, 1991)。然而碘的这种亲生物性质在碘的海洋地球化学循环中所占的比重及碘在海水剖面中常呈现的类似于营养盐元素的分布形式所具有的生物地球化学内涵, 尚无满意的答案。南大洋是地球上最少为人类干扰的自然体系。本文在中国第六次南大洋综合考察的基础上, 首次系统地分析了海水中无机碘的存在形态, 溶解有机碘、颗粒碘和微表层海水碘的形式和含量。以期以南大洋研究为契, 在碘的海洋生物地球化学研究领域里, 提出几点值得同行关注的观点。

1 材料与方 法

微表层海水样取自于中国第七次南大洋考察, 其余样品均在第六次考察时采集, 取样站位见图1。

海水样用南森采水器采集, 取样后立即用 $0.45\mu\text{m}$ 孔径 Millipore 滤膜减压过滤, 随后密封于 500ml 聚乙烯瓶, 贮于 4°C 冷库, 回实验室后立即测定。

海水总无机碘含量用 As-Ce 催化比色法, 以番木鳖碱 (Brucine) 终止反应并显色, 碘酸根按 Jickells (1988) 的方法测定, 方法验证见表1。海水溶解有机碘为同一样品经 500W 高强度紫外低温(室温)反应器照射分解 4h 后与未经照射者之总溶解无机碘含量差。颗粒碘用质子激发 X 荧光分析法测定。

2 结果和讨论

2.1 碘的分布模式和营养盐循环

2.1.1 总溶解无机碘 研究区域表层海水总溶解无机碘浓度分布值在 $0.267-0.443$

* 国家自然科学基金资助, 0487013 号。

第六次南大洋考察的营养盐资料为本研究室王玉衡教授提供, 生产力和叶绿素 *a* 资料为本所生物室宁修仁教授提供, 北京师范大学低能辐射中心朱光华提供质子激发 X 荧光分析测定, 谨此志谢。

收稿日期: 1991年10月31日, 接受日期: 1992年6月1日。

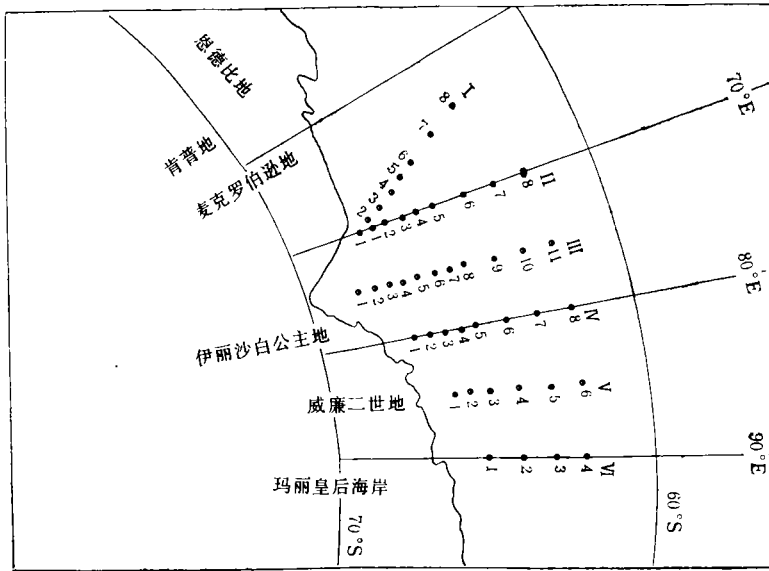


图 1 取样站位示意图

Fig. 1 Location of sampling station

表 1 总溶解无机碘和碘酸根测定的精密度和回收率试验结果

Tab. 1 Experiment result on accuracy and recovery of total inorganic iodine and iodate in Antarctic Ocean

样 品		测定值 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	平均值 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	标准偏差	相对标准偏差 (%)	加入量 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	测得量 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	回收率 (%)
总溶解无机碘	1号海水	53.3, 52.1	52.8	0.61	1.16	30.0	81.9	97.0
		52.0, 53.4						
		53.5, 52.8						
	2号海水	49.8, 48.3	48.9	0.59	1.21	30.0	79.8	103.0
		49.1, 48.2						
		49.5, 48.7						
碘酸根	1号海水	40.7, 38.9	39.8	0.67	1.68	30.0	71.3	105.0
		39.3, 39.9						
		40.3, 39.5						
	2号海水	37.6, 36.8	36.7	0.76	2.07	30.0	67.3	102.0
		35.7, 37.2						
		35.9, 37.1						

$\mu\text{mol}/\text{cm}^3$ 之间(见表 2)。分布趋势为外海区(辐散带以南, 平均 0.398 ± 0.022) > 陆架区(平均 0.378 ± 0.029) > 海湾区 (B2—B6, 0.322 ± 0.040)。由表 3 可知, 南大洋外海区碘的分布值与其它大洋区的平均值相似, 而海湾和陆架区却有较大的差异。

根据中国第六次南大洋考察得到的有关营养盐、叶绿素 *a* 等数据, 测区营养盐含量由海湾、近岸向外海逐渐升高。而叶绿素 *a* 含量湾内和沿岸较高, 外海低。因此这种与溶解无机碘相关的分布规律显然表明了生物地球化学环境对海水中碘分布的影响。

表 2 南大洋海水碘的地球化学分布

Tab. 2 Geochemical distribution of iodine in Antarctic Sea water

站 位	水深 (m)	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	碘酸根 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	站 位	水深 (m)	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	碘酸根 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	站 位	水深 (m)	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	碘酸根 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)
I-2	0	0.406	0.358	II-3	0	0.414		III-8	0	0.410	0.382
	25	0.413	0.380		25	0.394			25	0.424	0.379
	50	0.410	0.391		50	0.401			50	0.432	0.407
	100	0.435	0.407		100	0.385			100	0.428	0.394
	150	0.412	0.409		150				150	0.437	0.429
	200	0.414	0.411		200				200	0.424	0.420
I-3	0	0.387	0.348	II-4	0	0.431		III-10	0	0.370	0.354
	25	0.430	0.385		25	0.394			25	0.401	0.360
	50	0.424	0.392		50	0.425			50	0.392	0.390
	100	0.445	0.416		100	0.435			100	0.425	0.392
	150	0.432	0.401		150	0.432			150	0.429	0.427
	200	0.420	0.421		200	0.411			200	0.422	0.417
I-4	0	0.401	0.350	II-6	0	0.398		IV-1	0	0.329	0.307
	25	0.419	0.356		25	0.391			25	0.415	0.350
	50	0.437	0.363		50	0.420			50		
	100	0.412	0.392		100	0.424			100	0.431	0.411
	150	0.437	0.391		150	0.439			150	0.415	0.401
	200	0.431	0.392		200	0.422			200	0.429	0.425
I-6	0	0.386	0.336	II-7	0	0.425		IV-3	0	0.414	0.363
	25	0.415	0.328		25	0.398			25	0.387	0.368
	50	0.421	0.343		50	0.407			50	0.417	0.415
	100	0.371	0.368		100	0.401			100	0.420	0.317
	150	0.380	0.381		150	0.403			150		
	200	0.391	0.390		200	0.465			200		
I-7	0	0.363	0.342	III-2	0	0.374	0.340	IV-4	0	0.406	0.362
	25	0.398			25	0.387	0.350		25		
	50	0.435	0.420		50	0.402	0.387		50		
	100	0.427	0.422		100	0.398	0.390		100	0.424	0.420
	150	0.422			150	0.422	0.401		150	0.414	0.409
	200	0.392			200	0.404	0.402		200	0.435	0.435
I-8	0	0.371	0.338	III-4	0	0.378	0.374	IV-5	0	0.433	0.407
	25	0.383	0.361		25	0.407	0.370		25	0.418	
	50	0.410	0.408		50	0.411	0.387		50		
	100	0.384	0.380		100	0.415	0.393		100	0.402	0.401
	150	0.392	0.392		150	0.430	0.385		150	0.410	0.407
	200	0.417	0.411		200	0.425	0.415		200	0.422	0.416
II-1	0	0.339		III-5	0	0.380		IV-6	0	0.443	
	25	0.391			25	0.396			25	0.404	0.386
	50	0.412			50	0.398			50		
	100	0.420			100	0.421			100	0.445	0.420
	150	0.425			150	0.394			150	0.436	0.399
	200	0.445			200	0.442			200	0.456	0.455

续表 2

站 位	水深 (m)	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	碘酸根	站 位	水深 (m)	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	碘酸根	站 位	水深 (m)	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	碘酸根
II-2	0	0.397		III-6	0	0.351	0.303	IV-7	0	0.372	0.346
	25	0.402			25	0.401	0.372		25	0.379	0.348
	50	0.402			50	0.390	0.387		50	0.395	0.376
	100	0.412			100	0.406	0.394		100	0.407	0.394
	150	0.439			150	0.401	0.400		150	0.421	0.419
	200	0.428			200	0.412	0.411		200	0.432	0.430
E1	0	0.425		B3	0	0.267	0.265	B5	0	0.369	
	25	0.435			25	0.325	0.325		25		
	50	0.428			50	0.312	0.312		50	0.429	
	100	0.434			100	0.410	0.410		100	0.446	
	150	0.415			150	0.432	0.432		150		
	200	0.405			200	0.423	0.423		200	0.435	
B2	0	0.283	0.271	B4	0	0.332	0.330	B6	0	0.358	0.325
	25	0.257	0.223		25	0.353	0.301		25		
	50	0.250			50	0.382	0.379		50	0.396	0.368
	100				100	0.391	0.381		100		
	150				150	0.410	0.410		150	0.418	0.412
	200				200	0.445	0.431		200		

表 3 不同纬度海区表层总无机碘含量

Tab. 3 Total inorganic contents in the surface sea water of different latitude

作 者	海 区	总无机碘含量 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	参考文献
菅原等 (1962)	南中国海	0.41	堀部纯男, 1983
菅原等 (1962)	印度洋	0.40	堀部纯男, 1983
Truesdale (1968)	爱尔兰海	0.40	堀部纯男, 1983
Truesdale (1968)	东大西洋	0.42	堀部纯男, 1983
Tsunogai (1971)	西太平洋	0.37	Tsunogai, 1971
Nakayama (1989)	东太平洋	0.40	Nakayama, 1989

2.1.2 溶解碘的形态 大洋水中溶解无机碘主要以 IO_3^- 和 I^- 的形式存在, 其中 IO_3^- 应为唯一的热力学稳定形式。作为生物来源的溶解有机碘, 因其含量低且变化小, 目前所见报道极少。将测区由陆架至穿过南极辐散带实测断面与笔者在其它纬度大洋的测定结果相比¹⁾, 显见研究区域表层海水中 IO_3^-/I^- 值要比其它大洋高得多, 而南极海湾表层水中的碘离子则低于检测限。

根据 Tsunogai 等 (1971) 研究, 海水中碘的赋存形式和分布与表层充氧海水中含硝酸盐还原酶的生物活动有关, 研究海区虽夏季生产力水平较高, 但由于硝酸盐大量过剩 ($> 20 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$) 抑制了由硝酸盐还原细菌所进行的碘酸根向碘离子的转化; 相反旺盛的生物活动反而消耗碘离子。如 Hirano 等 (1983) 指出, 生物体诸如藻类和鱼类富集碘离子的能力比碘酸根高 10 倍, 而以高比率的碘酸根向外排泄。Okaichi (1989) 的实验也

1) 程先豪, 西太平洋及邻近海域碘的地域性分布。(待刊)

表明了浮游植物对碘离子的优先吸收。这解释了南大洋夏季虽具较高生产力,但其碘离子含量远低于同为高生产力区的赤道大洋¹⁾的原因。

据 Wong (1991) 的评述,海洋溶解有机碘的工作仅见 Truesdale (1975) 在英国沿岸水中几个表层样的数据,其范围为 0.02—0.04 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。除南大洋外,本次研究中笔者还同时测定了太平洋、印度洋和东中国海陆架水中有机碘含量,结果发现大洋区溶解有机碘含量普遍较低,约为总溶解无机碘的 10%,且剖面变化也不大(表 4、表 5)。

表 4 不同纬度区大洋表层水中溶解有机碘含量

Tab. 4 Dissolved organic iodine in surface water of different latitude

海 区	位 置	总无机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	溶解有机碘 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)
太平洋	2°14'N, 167°56'E	0.429	0.046
	13°45'S, 163°33'W	0.409	0.044
	21°20'S, 142°51'W	0.412	0.040
	25°31'S, 129°42'W	0.398	0.042
印度洋	6°19'S, 105°16'E	0.409	0.047
	12°24'S, 106°45'E	0.417	0.043
	32°16'S, 113°48'E	0.391	0.041
南大洋	80°03'E, 62°54'S	0.372	0.041
	75°04'E, 63°01'S	0.380	0.051
	80°01'E, 63°58'S	0.433	0.046
	74°40'E, 68°31'S	0.369	0.036

表 5 不同纬度区大洋水中溶解有机碘的垂直分布 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

Tab. 5 Vertical distribution of dissolved organic iodine in different latitude

位 置	75°04'E, 63°01'S		80°03'E, 62°54'S		175°04'E, 2°59'S		125°57'E, 26°19'N	
深 度 (m)	总无机碘	溶解有机碘	总无机碘	溶解有机碘	总无机碘	溶解有机碘	总无机碘	溶解有机碘
	($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)		($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)		($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)		($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	
0	0.370	0.051	0.372	0.042	0.366	0.045	0.407	0.080
25	0.401	0.034	0.379	0.031	0.384	0.038		
50	0.392	0.031	0.395	0.054	0.391	0.050	0.396	0.049
100	0.425	0.026	0.407	0.054	0.410	0.031		
150	0.429	0.022	0.421	0.055	0.412	0.032	0.407	0.0032
200	0.422	0.048	0.432	0.037	0.414	0.061		
350	0.430	0.031	0.428	0.030			0.418	0.080
500	0.425	0.024	0.425	0.025	0.313	0.039	0.417	0.038
800					0.411	0.039	0.452	
1 000	0.420	0.028	0.423	0.046				
1 500	0.411	0.042	0.424	0.047				
2 000	0.415	0.039						

从上述大洋区域溶解有机碘分布的相对一致性及其剖面分布的稳定性看,尽管目前对海洋溶解有机碘的化学组成还不甚了解,但至少可以假定这种有机碘的化合物较为稳定,在大洋环境中难以降解或被生物直接吸收。

表 6 测区碘和营养盐元素垂直分布的相关性
Tab. 6 Vertical correlation among iodine and nutrients in Antarctic Ocean

站位和水深	元素均值 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)			复相关系数	偏相关系数	t 检验值	回归方程
	I_t	IO_3^-	$PO_4^{3-}P$ NO_3^-N				
74° 58' 58"E 68° 00' 00"S (515m)	0.398	0.378	1.77	0.86	0.24, 0.46	0.43, 0.90	$I_t = 0.32 + 0.11P + 0.0019N$
				1.00	0.31, 0.98	0.57, 7.88	$IO_3^- = 0.21 + 0.004P + 0.0048N$
75° 04' 60"E 66° 58' 00"S (386m)	0.413	0.387	1.61	0.83	0.38, -0.11	0.71, -0.19	$I_t = 0.38 + 0.043P - 0.0011N$
				0.80	-0.37, 0.52	-0.62, 1.07	$IO_3^- = 0.21 - 0.043P + 0.0071N$
75° 07' 80"E 66° 31' 00"S (2000m)	0.405	1.31	25.55	0.86	0.74, -0.82	1.93, -2.45	$I_t = 0.44 + 0.064P - 0.0047N$
				0.73	0.71, -0.27	1.76, -0.48	$I_t = 0.33 + 0.59P - 0.0012N$
75° 04' 70"E 65° 56' 10"S (1932m)	0.394	0.378	1.76	0.81	0.78, -0.17	2.15, -0.30	$IO_3^- = 0.22 + 0.110P - 0.0012N$
				0.81	0.81, -0.60	2.37, -1.30	$I_t = 0.42 + 0.032P - 0.0012N$
75° 00' 08"E 64° 58' 22"S (3200m)	0.426	0.402	1.53	0.92	0.90, -0.51	3.68, -1.03	$IO_3^- = 0.339 + 0.072P - 0.0014N$
				0.87	0.87, -0.08	3.00, -0.14	$I_t = 0.30 + 0.058P - 0.0002N$
75° 03' 94"E 63° 00' 71"S (3830m)	0.407	0.390	2.06	0.97	0.93, 0.90	4.53, 3.52	$IO_3^- = 0.14 + 0.055P + 0.0036N$

2.1.3 碘与营养盐的垂直相关性 以测区断面 III 为例, 计算由南极半岛陆架至辐射带以北海水真光层内无机碘与营养盐含量分布的多元相关性, 可发现南极辐散带南北总无机碘及碘酸根与营养盐含量的垂直分布关系都相当密切 (分为 0, 25, 50, 100, 150, 200m 层), 且不受盐度影响。

作为微量生命元素, 碘与海洋中生命活动的基础元素 N, P 间的关系反映了其参与生物过程的轨迹。因此上述碘的垂直分布模式与营养盐的相似性(表 6) 表明测区碘的分布确实与以磷酸盐和硝酸盐为代表的营养盐元素在真光层内的生物地球化学循环具有共消长的关系, 即碘和营养盐的消耗和再生具有一定的相关性。此外, 表 6 中计算结果反映, 碘酸根与营养盐的相关性优于总无机碘 (I_t), 因此在测区用碘酸根来描述碘所参与的生物地球化学循环过程可能更为合适。

表 7 大洋悬浮颗粒中的碘的含量 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

Tab. 7 Iodine concentrations in suspended matters of the oceans

位 置			含量 ($\times 10^{-3}$) ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	位 置			含量 ($\times 10^{-3}$) ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)
南	表层样	海湾	5.4, 19.0, 19.0	南		0m	5.9
		深海	2.4, 3.8			25m	2.6
		海峡	10.0			50m	0.26
		淡水湖	16.0			100m	2.6
大	剖面样			大	III-10	150m	2.1
						200m	4.7
						350m	3.6
						500m	2.1
						1000m	2.5
						1500m	3.2
太平洋		178°57'E, 5°30'S	2.4				
		98°29'W, 29°31'S	0.0				
		140°08'E, 15°23'N	1.3				

2.2 影响真光层海水中碘分布的制约因子

2.2.1 初级生产力 根据 Elderfield 等 (1986), 海洋浮游植物 I/C 摩尔比约为 1.4×10^{-4} , 因此可用研究区域海水中的初级生产力来估测浮游植物对碘的同化吸收速率。本次研究所测 5 个站位 (II-6, III-10, III-2, IV-6, B4) 初级生产力以碳计最大和最小值分别为 $238.4\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$, $93.4\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 用 5 个站位平均值计算真光层内碘的同化吸收速率则得: $I = 156.4\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \times 1.4 \times 10^{-4} = 0.17 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2.2.2 悬浮有机颗粒 大洋中的悬浮颗粒主要由浮游植物及生物体的残骸和碎屑组成。Wong 等 (1976) 曾指出海水中悬浮有机颗粒对碘的清除作用。他们测定了大西洋从 75°N — 55°S 海水中的颗粒碘, 发现其最大值均在表层或表层不多几十米处; 真光层以下含量急剧降低且较稳定。

本次研究分析了南大洋两个垂直剖面及包括其它大洋的一些表层海水中的颗粒碘, 其垂直分布趋势与 Wong 等人的结果相同, 然而颗粒碘分布的区域性变化却极其明显, 其中海湾高于外海, 且南大洋高于太平洋(表 7)。由表中可见, 测区大洋表层海水颗粒碘含

量约为 $4.3 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ ，即相当于表层碘损失量(约 $0.05 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$) 的 9%。

Hidekazau 等(1986)在 1983—1984 年与笔者同一季节在南大洋 ($61^\circ 34.1'S$, $150^\circ 23.3'E$) 测得的悬浮颗粒沉降通量高于太平洋等其它大洋,且随深度的增加 (630, 1 430, 3230m) 降低;以碳计 630m 处为 $51.8\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 若以碘计则相当 $0.60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。根据上述数据估算: $(4.3 \mu\text{mol}/\text{m}^3)/[0.6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})] = 7.2\text{d}/\text{m}$, 即将表层全部颗粒碘往下沉降 1m 仅需 7.2d。显然该数值还被大大扩大了,因为真光层内的颗粒物质沉降通量要比 630m 处大的多。

如单独以离子扩散来考虑上述表层水中碘的补充,根据 Fick 第一定律:

$$F = -D_0 \frac{\partial C}{\partial X} \text{ (向下为正)}$$

式中, F 为扩散通量; $\frac{\partial C}{\partial X}$ 为浓度梯度; D_0 为扩散系数 (IO_3^- , 0°C 时为 $5.06 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$) (Lerman, 1978)。计算得: $F = -5.06 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s} \times 0.04 (\mu\text{mol}/\text{dm}^3)/(50 - 0)\text{m} = -3.5 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

显见,单独离子扩散远不足以补偿表层 (25m 以上)海水浮游植物同化吸收及悬浮颗粒的清洗作用。

2.2.3 浮游植物现存量 海洋浮游植物现存量表示方法广泛采用的是叶绿素 a 的含量。“叶绿素 a 乘以 60 可得植物碳”(霍恩, 1976); 用本次研究所获得叶绿素 a 的最大值 ($4.556 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) 估算其含碘量可得: $I = (4.556/12) \times 60 \times 1.4 \times 10^{-4} = 3.2 \times 10^{-3} (\mu\text{mol}/\text{dm}^3)$ 。仅相当于测区通常表层与真光层底部碘含量差(约 $5 \times 10^{-2} \mu\text{mol}/\text{dm}^3$) 的 6.4%。而事实上本区表层海水叶绿素 a 值除不多几个站位外,一般尚不足 $1.0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 。即其浮游植物现存含碘量不到上述差值的 1.4%, 相当于悬浮颗粒总碘量的 16%。因此除某些特殊情况(如褐藻等富碘浮游植物大量繁殖)外,浮游植物的现存量对大洋中碘的分布影响极小。这与 Butler 等(1981)所进行的浮游植物培养试验所表明的结果一致。

2.3 真光层内碘的循环模式

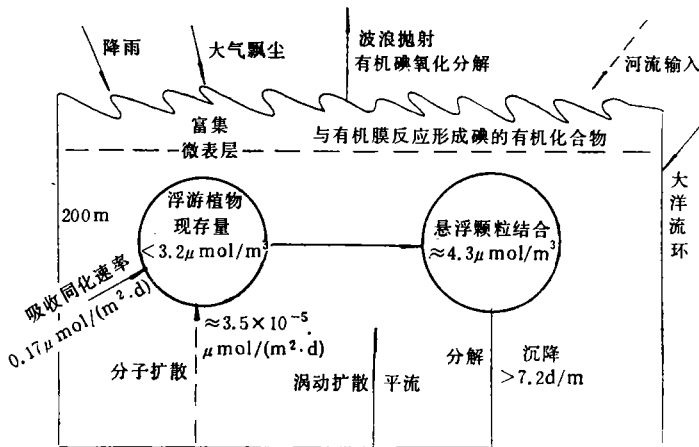


图 2 真光层内碘的循环模式

Fig. 2 Cycling model of iodine within the euphotic zone

综上所述,笔者试以下列模式描述真光层内碘的生物地球化学循环,以进一步直观地阐述测区海水碘分布的生物制约性(图 2)。

需要补充说明的是除本文所列数据外,作者还对南极陆地冰雪和淡水湖泊进行了测定,结果表明南极冰雪相当洁净而湖泊水中碘浓度处于检出限即 $1\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 附近。因此南大洋测区某些季节性冰雪融水河流的输入可以忽略。

参 考 文 献

- 堀部纯男等著,崔清晨等译,1983,海水化学,科学出版社(北京),339pp.
- 霍恩, R.A. 著,厦大海洋系译,1976,海洋化学,科学出版社(北京),145pp.
- Butler, E. C. V. et al., 1981, Influence of phytoplankton on iodine speciation in seawater, *Limnol. and Oceanogr.* **26**: 382—386.
- Elderfield, H. and Truesdale, V. W., 1980, On the biophilic nature of iodine in seawater, *Earth Planet, Sci, Lett.*, **50**: 105—114.
- Hidekazau, M. and Nabuhiko, H., 1986, Source of organic matter in the sinking particles collected from the Pacific sector of the Antarctic Ocean by sediment trap experiment, *Men. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **40**: 364—379.
- Hirano, S. et al., 1983, A new method for the determination of iodine in seawater, *Radioisotopes*, **32** (3): 319—322.
- Jickells, T. D., 1988, Iodine cycling in the Sargasso Sea and the Bermuda inshore waters, *Mar. Chem.*, **24**: 61—82.
- Lerman, A., 1978, *Geochemical Processes—Water and Sediment Environment*, Wiley-Interscience Publication, 81pp.
- Nakayama, E. et al., 1989, Determination and distribution of iodine and total iodine in the north Pacific Ocean by using a new automated electrochemical method, *Mar. Chem.*, **27**: 105—116.
- Okaichi, T., 1989, *Red Tide: Biology, Environmental Science and Toxicology*, Elsevier (New York), pp. 229—232.
- Truesdale, V. W., 1975, “Reactive” and “unreactive” iodine in sea water—A possible indication of an organically bound iodine fraction, *Mar. Chem.* **3**: 111—119.
- Tsunogai, S. and Henml, T., 1971, Iodine in the surface water of the ocean, *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, **27**: 67—72.
- Wong, G. T. F., 1991, The marine geochemistry of iodine, *Reviews in Aquatic Sciences*, **4**(1): 45—73.
- Wong, G. T. F., et al., 1976, The distribution of particulate iodine in the Atlantic, *Earth Planet, Sci. Lett.*, **32**: 441—452.

BIOLIMITATION OF IODINE DISTRIBUTION IN ANTARCTIC OCEAN

Cheng Xianhao, Pan Jianming, Zhang Haisheng, Zhang Ping
(*Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012*)

ABSTRACT

Based on the analysis of samples collected during Sixth Chinese Antarctic Exploration, this paper discusses the geochemical distribution of iodine species and chemical forms. Special interest is directed to the relations among the iodine species, and parameters related to organism activity. The concentrations of total inorganic iodine are from 0.267 to 0.443 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (mostly iodate) in the surface seawater. There are closely relations between nutrients and the concentrations of iodine and iodate. The results shows dissolved organic iodine concentration distributes stably horizontally and vertically is about 10% of the total inorganic iodine. The absorption and assimilation rate of phytoplankton for iodine is about 0.17 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$; the associated iodine as suspended organic particulates is about 4.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$, in which the iodine instantaneous crop averages 16%. The deposit rate of the particulate iodine is more than 7.2d/m, within the euphotic zone. A biogeochemical cycle model is proposed.

Key word Iodine Nutrient Antarctic Ocean Biogeochemistry