

南沙珊瑚礁生态系中元素的垂直转移途径^{*}

宋 金 明

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 于1993年和1994年用沉积物捕捉器采集南沙永暑礁和渚碧礁内的沉降颗粒物,用中子活化法分析元素的含量并计算通量,通过对生源要素的统计相关分析、垂直沉降颗粒物中的元素比、非生源要素在泻湖中的停留时间的探讨,研究了南沙珊瑚礁生态系中元素的垂直转移途径。结果表明,在南沙珊瑚礁泻湖中元素的停留时间较海水中短,元素的循环速率高,且尤以与生物作用有关的元素为甚;颗粒物中非生源要素的垂直转移主要是通过生物过程完成的,其转移量可达80%以上,表明珊瑚礁生态系中非生源元素与生源元素有相似的垂直转移机制。

关键词 非生源元素 南海 垂直转移途径 沉降颗粒物 南沙珊瑚礁生态系

学科分类号 P722.7

海水中元素的垂直转移过程研究,主要集中于生源要素,很少涉及其它元素,实际上这些元素的垂直过程研究也具有特别重要的意义,甚至仅从生源要素了解并不清楚的某些复杂过程,其它元素的研究可能给出更清晰、确切的信息(宋金明,1997; Alongi,1996; Bilger *et al.*,1995)。Sigg等(1987)在对瑞士的Zurich湖沉降颗粒物中的Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Sr的垂直转移过程研究发现,沉降颗粒物中的有机物占有相当高的比例,CaCO₃次之,且随季节二者相对比例可能变化,P、Fe、Zn、Cu、Pb、Cd与Ca有明显的负相关,但Zn、Cu、Fe、Pb与P有明显的正相关,说明生源物质在转移生源要素的同时,也同样转移这些金属离子,特别是Cu和Zn,铁锰的氧化物对这些元素的转移也有一定的贡献,而CaCO₃仅起载体的作用,所以研究生源要素以外的其它元素的生物地球化学过程同样具有重要的意义。本文通过对非生源元素与生源要素垂直转移的关系、沉降颗粒物中元素的比值与垂直转移形式及元素在泻湖中的逗留时间的研究,探讨了南沙珊瑚礁生态系中非生源元素的垂直转移途径。

1 取样与分析

于1993年5月(93-5)和1994年3—4月(94-4)在南沙渚碧礁,1993年12月—1994年3月(93-94)在永暑礁乘“实验3号”调查船投放沉积物捕捉器(Sediment Trap),采集沉降颗粒物样品,其中C、N用元素分析仪测定,P用分光光度法测定,其它元素用中子活化分析法测定,其具体采集站位和分析方法见文献(宋金明等,1997)。

2 研究结果

2.1 生源要素C、N、P的垂直转移与其它元素垂直转移的关系

^{*} 国家自然科学基金资助项目,49576291号。宋金明,男,出生于1964年4月,博士,研究员,Fax:0086-0532-2870882
收稿日期:1997-09-18, 收修改稿日期:1998-09-10

有机 C、N、P 的垂直通量与其它元素垂直通量的线性统计结果表明,与有机碳有正相关的元素有 Ce、Sm、Eu、Tb、Lu、U、Rb、Th、Ag、Zr、Cs、Sc、Al、Ca、I、Ti 等 16 种元素,与有机氮呈正相关的有 Nd、Ta 和 K,与有机磷呈正相关的有 La、Yb、Sb、Ba、Se、Cr、Zn、Co、Mg 等 9 种元素,Br、Fe 与有机氮呈负相关,As、V、Sr 与有机磷呈负相关,其相关系数均 $|\gamma| > 0.85 (n = 6)$,说明绝大部分的元素与生源要素有正相关,这些元素与生源要素有相似的转移机制,Na、Cl、Au 等与生源要素转移无相关性,呈负相关和不相关的元素可能与其本身的特性有关(宋金明等,1997),在呈负相关的 5 种元素中,除 Sr 外,Br、Fe、As、V 其重要的转移形态是铁锰氧化物结合态、离子交换态和硅酸盐结合态。Na、Cl 作为溶解盐的组分显然其转移不应该与生源要素的转移过程有关,Au 一般常呈元素态存在,其颗粒分布不均匀性导致它不可能与生源要素有相似的转移机制,在所研究的 37 种元素中,有 28 种与有机态的生源要素呈正相关,说明大部分的非生源元素与生源要素有相似的转移机制。

2.2 垂直沉降颗粒物中的元素比

某些元素的比值可以给出许多重要的信息,Turekian 等(1973)系统地分析了翼足类软体动物中的痕量元素后,结合浮游生物、海水及碎屑矿物中的 Ce / La、Sc / La、Co / La、Th / La、Cr / La、Fe / La、Co / Cr 等比值,给出了海水中元素的来源。最近 Naqvi 等(1996)在研究印度 Kalpeni 环礁珊瑚中的稀土元素时,用 Co / La、Cr / La 比值断定珊瑚中的稀土元素来自于自生(生源形成的)和陆源两部分。本文用 Co / La、Th / La、Cr / La、Co / Cr 比值判断南沙珊瑚礁生态系中的垂直沉降颗粒物的来源,表 1 是元素比值计算结果。

表1 南沙珊瑚礁泻湖中垂直沉降颗粒物及其它物质中的元素比值

Tab.1 The various element ratios for the particulate materials in seawaters and other materials in Nansha coral reef lagoons

元素比		Co/ La	Th/ La	Cr/ La	Co/ Cr
颗 粒 物	(93-5)	0.008 8	0.001 5	0.535	0.016 4
	(94-4)	0.011 5	0.003 2	0.222	0.051 7
	(93-94)	0.031 6	0.000 7	0.081	0.019 4
海水		10.00	0.23	67.00	0.15
花岗岩长岩		0.16	0.20	0.50	0.320
花岗岩		0.02	0.34	0.08	0.250
页岩		0.38	0.24	1.8	0.24
浮游生物		0.001	0.006	0.821	0.034
碎屑矿物		0.19	0.26	0.79	0.27

从表 1 中的 4 个比值上看,泻湖的垂直沉降颗粒物中的元素比值一般是小于碎屑矿物中的元素比,但高于浮游生物中的元素比,如果把浮游生物作为自生的,碎屑矿物作为陆源的,这样就可以计算出垂直沉降颗粒物中两部分间的相对比例,表 2 是计算结果。

从表 2 可以看出,南沙珊瑚礁泻湖中垂直沉降颗粒物主要来自于自生的生源部分,一般均在 80% 以上,碎屑输入的部分仅为百分之几到百分之十几,也就是说,垂直沉降颗粒物中元素的垂直转移主要是通过生物的转化过程来完成的。

表2 南沙珊瑚礁生态系中垂直沉降颗粒物的来源(用Co/La比值计算结果)

Tab.2 The origin of settling particles the in Nansha coral reef ecosystem (on the basis of the Co/La ratios)

航次	自生的生源部分(%)	碎屑输入的部分(%)
93-5	95.7	4.3
94-4	94.3	5.7
93—94	83.7	16.3

2.3 非生源元素在珊瑚礁生态系中的逗留时间

元素在海水中的逗留时间的长短表示了其在海水中循环的快慢,逗留时间越短,则循环速率越大,元素在珊瑚礁生态系的逗留时间用 $\tau = \frac{h \cdot C}{F}$ 公式计算(宋金明,1997), τ 为逗留时间,单位为d或a; h 为水深,在这里即为捕捉器投放深度,单位为m; C 为泻湖水中元素的浓度,单位为 $\mu\text{g} / \text{dm}^3$; F 为元素的垂直沉降通量,单位为 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。表3与表4是

表3 南沙珊瑚礁生态系中元素的逗留时间(a)

Tab.3 Residence time of elements in the Nansha coral reef ecosystem (a)

元 素	永暑礁 1993—1994			渚碧礁								海水
				93-5			94-4			平均		
	C	F	τ	C	F	τ	C	F	τ	τ		
K	4.2×10 ⁵	40953	43.3	4.46×10 ⁵	28831	678.1	4.07×10 ⁵	9200	1818.1	1248.1	7×10 ⁶	
Na	10.16×10 ⁶	72693	5743.8	9.18×10 ⁶	13940	28867.4	10.11×10 ⁶	19320	21505.2	25186.3	2.6×10 ⁸	
Ca	3.52×10 ⁵	914219	15.9	3.60×10 ⁵	1476000	10.7	3.45×10 ⁵	2035500	7.0	8.8	1.0×10 ⁶	
Mg	12.78×10 ⁵	616342	85.2	12.39×10 ⁵	107913	503.3	12.68×10 ⁵	146188	356.5	429.9	4.5×10 ⁷	
Sr	5500	1880.0	120.3	6280	236.8	1162.5	5390	377.2	586.9	874.7	1.9×10 ⁴	
Ba	1.2	12.31	3.8	40.0	13.42	130.7	1.2	9.84	5.0	67.9	8.4×10 ⁴	
Cl	1.9×10 ⁷	28974	26949.1	1.9×10 ⁷	4063	204990.6	1.9×10 ⁷	9872	79094.6	102535.3	1×10 ⁸	
Br	65000	4526	590.1	65000	630	4552.7	65000	1619	1649.9	3101.3	1×10 ⁹	
I	60	1192.8	2.1	60	242.1	10.9	60	340.9	7.2	9.1	4×10 ⁵	
Hf	0.0071	0.041	7.1	0.0071	0.007	44.5	0.0071	0.025	11.7	28.1	—	
Ta	0.0025	0.0790	1.3	0.0025	0.0125	8.8	0.0025	0.0028	36.7	22.8	—	
V	1.5	116.81	0.5	1.5	8.10	8.1	1.5	26.86	2.3	5.2	1.0×10 ⁴	
Rb	120	1.238	3983.6	120	0.020	263013.7	120	0.276	17867.8	140440.8	2.7×10 ⁵	
Cs	0.29	0.021	567.4	0.29	0.003	4237.5	0.29	0.014	851.3	2544.2	4×10 ⁴	
Au	0.005	0.0557	3.7	0.005	0.089	2.5	0.005	0.0736	2.8	2.7	5.6×10 ⁵	
Ag	0.003	0.083	1.5	0.003	0.013	10.1	0.003	0.018	7.3	8.7	2.1×10 ⁶	
Cr	0.21	2.13	4.1	0.21	3.81	2.4	0.21	1.51	5.7	4.1	350	
Co	0.001	0.041	1.0	0.001	0.062	0.7	0.001	0.078	0.5	0.6	1.8×10 ⁴	
Zn	0.39	16.3	1.0	0.39	56.7	0.3	0.39	22.9	0.7	0.5	1.8×10 ⁴	
Sb	0.15	0.70	8.8	0.15	1.09	6.0	0.15	0.69	8.9	7.5	3.5×10 ⁵	
Sc	0.00068	0.0722	0.4	0.00068	0.0174	1.7	0.00068	0.0262	1.1	1.4	5.6×10 ³	
Se	0.13	0.186	28.7	0.13	0.079	72.1	0.13	0.041	130.3	101.2	2×10 ⁴	
U	3.0	53.86	2.3	3.0	8.72	15.1	3.0	12.24	10.7	12.8	3×10 ⁶	
Th	0.05	0.0186	110.5	0.05	0.0105	208.7	0.05	0.0216	95.1	151.9	200	
As	1.72	41.3	1.7	1.72	3.3	22.8	1.72	10.9	6.5	14.5	2×10 ⁴	

计算结果。

表4 南沙珊瑚礁生态系中元素逗留时间(d)

Tab.4 Residence time (d) of elements in the Nansha coral reef ecosystem

元 素	永暑礁 1993—1994			渚碧礁								海水 $\tau(a)$
	C	F	τ	93-5			94-4			平均 τ		
Zr	0.027	0.66	610	0.027	3.28	132	0.027	3.50	116	124	—	
Ti	0.96	4127	3	0.96	656	23	0.96	920	16	20	160	
Fe	0.056	1355.8	0.6	0.056	25.0	36	0.056	321.5	2.6	19.3	140	
Al	0.54	5407	1.5	0.54	2227	3.6	0.54	3864	2.1	2.8	100	
La	0.004	26.21	2.3	0.004	7.12	9.0	0.004	6.81	8.8	8.9	—	
Ce	0.003	0.68	66	0.003	0.180	267	0.003	0.290	155	211	440	
Nd	0.003	1.899	24	0.003	0.46	104	0.003	0.198	227	166	320	
Sm	0.0006	0.330	27	0.0006	0.046	209	0.0006	0.069	130	170	180	
Eu	0.00014	0.060	35	0.00014	0.016	140	0.00014	0.015	140	140	300	
Tb	0.0001	0.014	107	0.0001	0.006	267	0.0001	0.007	214	236	—	
Yb	0.0009	0.070	193	0.0009	0.023	626	0.0009	0.022	655	641	530	
Lu	0.00016	0.020	120	0.00016	0.004	640	0.00016	0.006	400	520	450	

注：C为浓度，单位为 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ；F为垂直通量，单位为 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

从表 3、表 4 可知，在研究的全部 37 种元素中，其在珊瑚礁生态系中的逗留时间远小于在一般海水中的逗留时间，说明这些元素与生源要素一样，在珊瑚礁生态系中的循环速率远高于在海水中的循环速率。表中数据显示，与生物作用有关的元素和主要以碎屑存在的元素在珊瑚礁生态系中的逗留时间尤其更短于在海水中的逗留时间，如 Ca、I 及 Zr、Fe、Al、Ti、稀土元素等，如把元素的逗留时间与其原子序数作图，可把这些元素分为 4 类，即 4 个区。在永暑礁与渚碧礁泻湖中，处于第 I 区的共同元素是 C、N、P、Fe、Al、Ti、Se 等 7 种元素，在永暑礁中还有 V，在渚碧礁中还有 Zn、Co、Zr，第 I 区的主要元素是生源要素，共同的特点是在珊瑚礁中有高的循环速率，其逗留时间小于 2a；第 II 区的元素是稀土元素，其特点是具有较短的逗留时间，一般在 2a 以内，在珊瑚礁的逗留时间随原子序数的增大而逗留时间加长，即重稀土的逗留时间比较稀土长；第 III 区的元素最多，共同的元素是 K、Ca、Mg、Sr、Ba、Cr、Au、Ag、U、Th、Hf、Ta、Cs、Br、I、As、Sb、Se 等 18 种元素，在永暑礁中还有 Zn、Co、Zr，在渚碧礁中还有 V，这一组元素有中等的逗留时间，一般从几年到 1 000 年左右，多数在十几年到几十年之间，第 IV 区的元素有 Na、Cl、Rb，其逗留时间大于 5 000 年，永暑礁与渚碧礁泻湖中第 II、IV 区的元素完全相同。

3 结语

3.1 南沙珊瑚礁生态系中元素的逗留时间较比海水中短，即元素的循环速率相当高，尤以生源要素或与生物作用有关的元素为甚。

3.2 颗粒物中非生源元素的垂直转移与生源要素的垂直转移机制相似，非生源元素以生物作用转移的部分一般在 80% 以上，也就是说珊瑚礁生态系中非生源元素的垂直转移与生源要素有相似的转移途径。

参 考 文 献

- 宋金明, 1997. 中国近海沉积物-海水界面化学. 北京: 海洋出版社, 200
- 宋金明, 李鹏程, 1997. 南沙珊瑚礁生态系中稀有元素的垂直通量. 中国科学(D辑), 27(4): 354—359
- Alongi D M, 1996. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forests. J Mar Res, 54(1): 123—148
- Bilger R W, Atkinson M J, 1995. Effects of nutrient loading on mass-transfer rates to a coral-reef community. Limnol Oceanogr, 40(2): 279—289
- Naqvi S A S, Nath B N, 1996. Signatures of rare-earth elements in banded corals of Kalpeni atoll-Lakshadweep archipelago in response to monsoonal variation. Indian J Mar Sci, 25: 1—4
- Sigg L, Sturm M, Kistler D, 1987. Vertical transport of heavy metals by settling particles in Lake Zurich. Limnol Oceanogr, 32(1): 112—130
- Turekian K K, Katz A, Chan L, 1973. Trace element trapping in pteropod tests. Limnol Oceanogr, 18(2): 240—249

PATHS OF ELEMENT VERTICAL TRANSPORT IN THE NANSHA
CORAL REEF ECOSYSTEM, SOUTH CHINA SEA

SONG Jin-ming

(Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Science, Qingdao, 266071)

Abstract Settling particulates were sampled by sediment traps deployed in the lagoons of Zhubi and Yongshu reefs in 1993 and 1994, Nansha Islands waters, the South China Sea. The elemental concentrations in particles were determined with the method of neutron active analysis. Statistical relationship between biogenic and abiogenic elements, elemental ratios in settling particles and the residence time of abiogenic elements in coral reef lagoons show that: 1) most of abiogenic elements are directly proportional to biogenic elements (such as organic carbon, nitrogen or phosphorus) in terms of concentrations or vertical fluxes of settling particles, the correlation coefficients being more than $|\pm 0.85|$; 2) a number of elemental ratios can be used to illustrate the origin of material e. g. by using the ratios of Co / La, the origin of settling particles can be studied, the authigenic biogenic parts accounts for 95.7% and 94.3%, during the cruise 93-5 and 94-4 in Zhubi reef lagoon respectively, and 83.7% during the cruise 1993—1994 in Yongshu reef lagoon, indicating that, the vertical transport magnitude by biological process accounts for more than 80% of abiogenic elements; 3) the residence time was smaller in coral reef lagoons than in seawaters, the residence time of Zr, Ti, Fe, Al, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu in Nansha coral reef lagoons are from several days to hundred days, and from several years to thousands years for the other abiogenic elements; as a result, the abiogenic element cycling rates are high in lagoons.

According to the above results, the vertical transport mechanism of abiogenic elements is the same as biogenic elements.

Key words Abiogenic element South China Sea Path of vertical transport Settling particulates Nansha coral reef ecosystem

Subject classification number P722.7