

# 南海北部沉降颗粒氨基酸通量 及生物地球化学意义\*

徐鲁强 陈建芳 唐运千 郑连福

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

How-Kin Wong

(Institute of Biogeochemistry and Marine Chemistry, Hamburg University, Germany)

**摘 要** 对 1987 年 9 月到 1988 年 10 月放置于南海北部的 3 套沉积物捕获器样品 (共 39 个) 进行了氨基酸通量及组成的研究. 氨基酸通量与总通量的变化一致, 均呈现季节性的不同, 并与南海季风有显著关系. 氨基酸组合特征及季节性变化指示沉降颗粒有机物质主要来源于海洋浮游生物, 其中浅层捕获器浮游植物为主要来源, 而深层则浮游动物的贡献大. 颗粒物存在着快速沉降的机制, 表明由南海季风气候控制的海洋真光层季节性的物理、化学条件变化引起的生物响应, 一定程度上控制着海洋颗粒物质的产生、传输和沉积.

**关键词** 沉降颗粒 氨基酸通量 氨基酸组合意义

## 前 言

海洋有机物质的主要来源是海洋浮游植物和浮游动物, 包括它们的新陈代谢产物和死亡后的残体, 而由河流与大气降水输入的有机质只占海洋初级生产量的 1% 左右<sup>[1]</sup>. 由有机质与无机粒子组成的颗粒物质的沉降通量与生物地球化学过程通过大气-海洋界面控制着温室气体 CO<sub>2</sub> 的含量, 并通过海洋浮游生物“生物泵”的过程把大气 CO<sub>2</sub> 输入海底沉积<sup>[2]</sup>. 沉降颗粒物质中包含了大量有关生物、物理、化学与地质方面的信息, 对海洋颗粒物质通量与组成变化的长期观测, 正是理解海洋生物地球化学循环与气候变化的关键之一.

氨基酸是海洋沉降颗粒物质的重要组成部分, 约占其中有机质含量的 30% ~ 60%. 沉降颗粒中氨基酸作为生物地球化学指标已被成功应用于巴拿马海盆<sup>[3]</sup>、黑海<sup>[4]</sup>、马尾藻海<sup>[5]</sup>、亚北极太平洋<sup>[6]</sup> 以及秘鲁上升流海区 and 赤道大西洋<sup>[7]</sup> 沉降颗粒通量的研究中. 本文对中德合作

本文于 1995-09-12 收到, 修改稿于 1996-01-16 收到.

\* 中德合作和国家自然科学基金资助项目 (编号: 49070269).

放置于南海北部的 3 套沉积物捕获器 (sediment traps) 样品进行了氨基酸通量与组成研究, 并应用它们作为生物标记化合物探讨了颗粒有机质的生物来源及沉降过程中的变化。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样方法

沉积物捕获器是近年来国际上普遍用于海洋生物地球化学研究的一种采样工具, 它可以将水柱内某一深度以上的沉降颗粒收集起来, 可放置于 5 500m 以上的深水中. 其最大特点是可以做到时序 (time-series) 采样, 即每隔数天至数月作为一个采样间隔, 可连续采样 1 年以上. 目前, 沉积物捕获器作为全球海洋通量联合研究 (JGOFS) 的主要实验手段之一, 在全球变化研究中扮演着十分独特的角色<sup>1)</sup>.

放置于南海北部的沉积物捕获器为 Honjo-Mark 型, 于 1987 年 9 月到 1988 年 3 月 (SCS- ) 和 1989 年 4~10 月 (SCS- ) 分别放置于 18 27.48 N、116 1.7 E 和 18 28.3 N、116 1.6 E. 其中, SCS- 放置 2 套 (IS, ID), SCS- 1 套 (IID), 基本资料见表 1. 整套系统被一个可以感声自动释放的锚系固定, 样品由一个横截面积为 0.509m<sup>2</sup> 的漏斗接收到下方 250cm<sup>3</sup> 的样品杯中, 共有 13 个样品杯组成, 由计时电脑通过小马达控制收集时间, 放置之前杯中装满海水并加 HgCl<sub>2</sub> 以防止杯中样品由于微生物活动而改变.

表 1 南海北部沉积物捕获器有关资料\*

站 位	SCS-		SCS-
捕获器代号	IS	ID	IID
水 深	3 750m	3 750m	3 750m
捕获器深度	1 000m	3 350m	3 350m
取样时间间隔	15d	15d	14.75d
取样起始时间	1987-09-10	1987-09-10	1988-04-13
取样终止时间	1988-03-23	1988-03-23	1988-10-21

\* 捕获器放置与回收由德国科学考察船“太阳”号完成.

### 1.2 分析方法

样品通过 1mm 孔径的筛进行筛选, 小于 1mm 的部分用旋转液体分样器将样品均匀分成 4 份, 取其中一份进行氨基酸与氨基糖分析. 为分析颗粒物中的氨基酸及氨基糖含量, 样品经 6mol/dm<sup>3</sup> HCl 在 110 下水解 22h, 取部分水解液旋转蒸发至干, 用二次蒸馏的去离子水洗涤并旋转蒸干, 如此三次. 然后用柠檬酸溶液溶解, 用 LKB-4151 氨基酸自动分析仪分析氨基酸与氨基糖. 氨基酸和氨基糖含量由计算机积分峰面积与标准物对照获得.

1) 陈建芳, 郑连福. 沉积物捕获器与全球变化研究. 1996

## 2 结果与讨论

### 2.1 氨基酸通量的季节性变化

氨基酸通量与有机质通量的变化与总通量变化一致(见图1),均呈现强烈的季节性变化。

微体生物鉴定与统计结果显示浮游生物如硅藻、颗石藻,有孔虫的季节性消长与总通量变化相似<sup>[8]</sup>,表明南海北部颗粒物质的通量受生物控制,并导致主要来自海洋浮游生物的有机质及氨基酸通量也呈季节性变化的特征。这种特征在浅层捕获器表现尤为明显。Nair等<sup>[9]</sup>在阿拉伯海沉降颗粒通量的研究中发现,由于季风引发的海水混合使真光层的营养物质增多,从而使初级生产量增大是颗粒通量增加的主要原因。南海表层海水受季风影响较大,自海面到约200m深的水层中海流受季风控制,流路、方向和强度均随季风而变。对南海北部影响较大的是每年10月到翌年3月的冬季东北季风,表层捕获器收集到较高的颗粒物质通量也正是出现在这一期间,这表明由季风引起的海水表面物理化学条件的改变所导致的生物消长,控制着南海颗粒物质及氨基酸的通量。

从氨基酸通量随深度变化来看,深层捕获器所反映的通量变化与表层季风控制的生物活动的关系不如浅层捕获明显,并且总体上只占浅层捕获器的60%左右,表明颗粒物质在向下沉降过程中有机质有明显的分解和溶解作用。另外颗粒物质的侧向运动也可能是造成上下捕获器通量变化的不一致的原因。

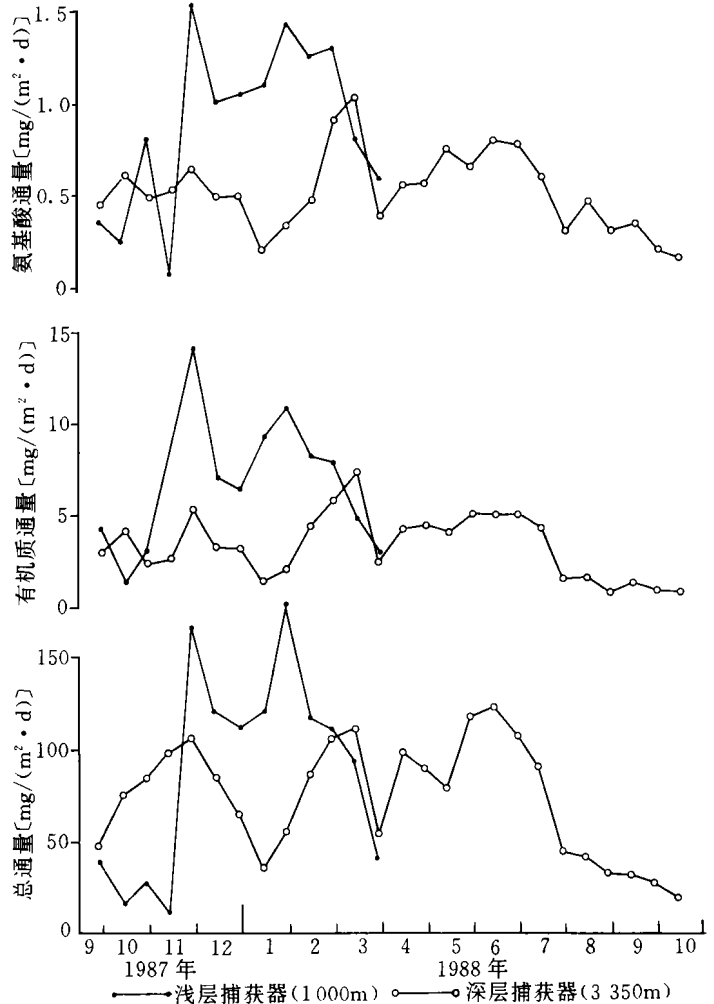


图1 南海北部1987~1988年间氨基酸、有机质及颗粒物总通量

## 2.2 氨基酸的组成

沉降颗粒氨基酸的组成见表 2.

从氨基酸的组成丰度来看,各个样品均以甘氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、丝氨酸及苏氨酸为主,它们占总氨基酸量的 60% 以上.表 3 是部分浮游生物氨基酸组成,对比表 3 与表 2 我们可以发现,沉降颗粒中的氨基酸组成与浮游生物有着很大的相似性,它们均呈现酸性氨基酸大于碱性氨基酸的特点,这正好与海水与陆相沉积物及海洋沉积物的酸性氨基酸与碱性氨基酸的顺序相反<sup>[1]</sup>,表明沉降颗粒中有机质主要来自近期生长的浮游生物,海水和那些较细的颗粒物由于在水柱中居留时间长,经过微生物对氨基酸长期的分解作用而使氨基酸组合呈现经历过成岩改变的特征.

表 3 浮游生物中主要氨基酸相对组成\* ( $\times 10^{-2}$ )

	天冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	酪氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	精氨酸
有孔虫	20.0	7.4	7.3	10.9	11.7	9.0	6.0	0.1	3.5	4.1	2.5	3.7	2.3	1.7	1.8
硅藻	10.4	6.0	6.7	10.2	11.4	10.3	7.2	2.6	5.7	9.8	2.8	4.8	5.6	1.5	4.5
沟鞭藻	10.8	7.4	9.5	9.2	17.7	10.1	5.9	1.6	3.8	6.0	3.0	3.6	6.0	1.6	3.6
硅鞭藻	9.8	5.6	7.0	12.0	10.2	11.1	6.4	2.6	4.2	8.6	2.9	4.5	8.6	1.6	4.6
颗石藻	23.7	4.0	5.0	7.6	12.8	13.8	5.2	0.0	3.1	4.8	3.0	4.6	7.6	1.9	2.6

\* 根据文献[1]、[10]综合.沟鞭藻(dinoflagellates),硅鞭藻(silicoflagellates).

总体上看,深层捕获器氨基酸组合模式与浅层捕获器相比并无大的改变.另外各样品非蛋白质氨基酸( $\beta$ -丙氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、鸟氨酸)仅占总量氨基酸的 3% 以下,表明氨基酸较为新鲜.这都充分说明了颗粒物质的快速沉降机制在南海北部也同样存在.

深层捕获器氨基酸相对组分比浅层略有增高的有甘氨酸、丝氨酸、 $\beta$ -丙氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸和鸟氨酸;略有降低的有谷氨酸、缬氨酸以及亮氨酸、异亮氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸.上下捕获器样品氨基酸组合特征的这些差异,一方面是浮游生物来源(种类与数量)不同,另一方面是氨基酸之间转化作用.如天冬氨酸可以转化为 $\beta$ -丙氨酸; $\gamma$ -氨基丁酸和鸟氨酸则可以由谷氨酸和精氨酸转化而来.甘氨酸是较稳定的氨基酸,那些不稳定的组分如苏氨酸可以发生降解生成较稳定的甘氨酸,导致甘氨酸在沉降过程中相对含量增高.令人感兴趣的是那些不易降解的氨基酸如亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸在沉层捕获器中相对含量反而下降,原因之一可能是由深层捕获器浮游动物来源的有机质相对增大引起的.

## 2.3 作为生物标记化合物的氨基酸

上面的讨论中我们提到南海北部颗粒物存在着一种快速沉降的现象(见 2.2). All-dredge 等人<sup>[11]</sup>发现,深海中占主导地位的沉降颗粒是一种由特殊结构的有机物质和无机矿物组成的粘性多面体,有机物质作为这种复合物质的载体不断吸附微小的无机颗粒(如粘土粒子、藻类生物硬壳等),并使之越长越大,形成一种所谓“海洋雪”的颗粒物快速沉降机制.氨

氨基酸随这种由生物残骸、粪粒以及无机颗粒组成的复合体沉降过程中会发生溶解并由于吸附在上面的微生物的活动而降解,从而使它们的相对组分发生较大的改变.利用这些物质作为生物地球化学指标,可以表征有机质的来源和颗粒物沉降过程中发生的生物地球化学过程<sup>3-7</sup>.

表4 氨基酸与氨基糖及部分氨基酸之间比值 (mol 比)

	氨基酸	天冬氨酸	天冬氨酸	谷氨酸	精氨酸	葡萄糖胺
	氨基糖	甘氨酸	$\beta$ -丙氨酸	$\gamma$ -氨基丁酸	鸟氨酸	半乳糖胺
IS1	46.4	0.71	25.1	16.3	10.5	4.4
2	53.0	0.75	24.2	16.2	21.0	3.8
3	95.6	0.84	68.5	45.9	39.0	2.1
4	192.9	0.85	59.7	51.1	39.0	0.7
5	39.2	0.82	29.9	12.8	20.0	4.8
6	49.0	0.69	21.8	16.6	12.7	2.8
7	49.4	0.83	23.2	14.6	11.5	3.2
8	44.7	0.80	28.5	16.1	13.0	4.2
9	21.6	0.84	35.9	20.0	13.0	4.5
10	41.1	0.81	26.6	14.8	19.0	4.2
11	25.6	0.98	33.7	24.7	20.0	4.8
12	47.6	0.89	26.7	19.1	26.0	4.4
13	41.3	0.74	25.9	19.1	13.7	6.0
I D1	11.0	0.76	15.1	9.1	8.0	2.7
2	11.0	0.69	13.5	8.6	2.04	3.4
3	9.1	0.80	11.7	5.8	10.3	2.7
4	10.7	0.75	12.3	8.4	11.2	2.6
5	9.1	0.98	18.4	13.7	20.0	3.8
6	10.4	0.85	15.0	10.7	13.7	2.6
7	12.8	1.01	31.7	14.9	12.7	2.8
8	5.0	0.95	12.6	13.2	20.0	8.4
9	11.8	0.80	21.3	18.5	8.5	3.7
10	10.3	0.90	21.5	13.8	19.0	3.6
11	9.5	0.86	19.9	13.2	20.0	3.9
12	13.7	0.94	15.8	10.4	19.5	3.1
13	12.3	0.67	16.6	14.1	18.5	3.0
II D1	9.8	0.82	14.3	7.7	4.5	2.7
2	11.3	0.86	19.5	7.6	6.0	2.8
3	12.6	0.62	11.5	10.6	6.7	2.3
4	10.8	0.75	13.5	9.9	5.8	2.2
5	11.6	0.69	15.3	12.7	5.3	2.5
6	14.0	0.67	15.3	14.9	5.7	2.7
7	14.4	0.63	13.4	13.2	5.8	2.7
8	10.5	0.82	15.2	9.8	5.8	2.8
9	15.9	0.60	17.3	10.3	2.0	2.6
10	15.1	0.68	17.7	9.6	7.6	2.6
11	14.5	0.66	17.4	9.9	3.3	2.7
12	11.2	0.83	19.4	8.7	9.5	3.2
13	10.4	0.75	14.3	10.4	5.8	2.8

氨基酸与氨基糖(AA AS)的比例可以推断有机质主要来源于浮游植物还是浮游动物,氨基糖在浮游动物,尤其是几丁质中的含量很高.尽管硅质生物和钙质生物都含有较高的天冬氨酸和甘氨酸,然而钙质生物如有孔虫和颗石藻中天冬氨酸占优势(见表2),因此天冬氨酸与甘氨酸的比值可以反映有机质来自硅质还是钙质生物.非蛋白质氨基酸 $\beta$ -丙氨酸, $\gamma$ -氨基丁酸和鸟氨酸在活的浮游生物中是不存在的,它们主要分别由蛋白质氨基酸天冬氨酸、谷氨酸和精氨酸分解而成,并且这种分解只有在微生物存在时才能进行,因而利用它们的比值可以指示微生物的活动情况.

表4列出了上下两层捕获器氨基酸:氨基糖(AA AS);天冬氨酸:甘氨酸(ASP GLY);天冬氨酸: $\beta$ -丙氨酸(ASP: $\beta$ -ALA);谷氨酸: $\gamma$ -氨基丁酸(GLU: $\gamma$ -ABA);精氨酸:鸟氨酸(ARG ORN);以及葡萄糖胺:半乳糖胺(Glu-am Galam)的比值.

从这些比值及其季节性

变化,结合前面的讨论,我们可以得到以下几点认识:

(1) 浅层捕获器(IS)氨基酸/氨基糖为21.6~192.7,平均为57.7,远大于深层(I D, II D)的9.77~15.9,表明浅层有机质主要来自浮游植物,而深层则以浮游动物来源为主.一般认为

当 AA:AS 小于 20 时,可以判断浮游动物为有机质的主要来源。

(2) 从天冬氨酸与甘氨酸的比值来看,硅质与钙质生物共同组成了沉降颗粒有机质的来源,其比值总体上小于 1,指示硅质生物来源的有机质占有一定的优势。

(3) 非蛋白质氨基酸的转化速率可以从天冬氨酸:β-丙氨酸;谷氨酸;γ-氨基丁酸和精氨酸:鸟氨酸的比值可以看出,它们在浅层捕获器中的平均比值分别为 33.1、21.8 和 19.8,说明谷氨酸与精氨酸较天冬氨酸容易降解。但总体上看,它们的转化率仅为 2%~10%,表明颗粒物由于沉降速率较高而保持较为新鲜的面貌,深层捕获器与浅层相比,上述比值下降一半左右,这表明了微生物对氨基酸组成改组的强度。Haake 等人<sup>[6]</sup>在亚极地太平洋类似的工作中发现,在基本无细菌活动时,颗粒物中葡萄糖胺/半乳糖胺在 20 以上,而细菌来源的氨基糖葡萄糖胺/半乳糖胺比例为 1~3。我们的样品葡萄糖胺/半乳糖胺的比例为 0.71~8.4,平均值分别为 3.8(1S)、3.6(1D)、2.87(1D),这说明微生物活动在南海北部水柱中较为强烈。微生物的活动不仅改组了浮游生物来源的有机物质,其本身的新陈代谢产物也为沉降颗粒氨基酸输入了新的组分。

### 3 结论

运用氨基酸作为生物地球化学指标,从某种程度上反映了颗粒物质的来源及在水柱中的变化,硅质和钙质的浮游生物是颗粒有机物质的提供者,颗粒物通过有机-无机颗粒间的相互作用得以聚集增大而快速沉降,在颗粒物质的沉降过程中,有机质在微生物的参与下发生降解和溶解,从而使部分物质重新回到水柱之中。南海北部由于受亚洲季风气候的影响,使得表层海水的物理化学条件产生季节性的变化,从而引起真光层海洋浮游生物季节性的消长,并通过水柱中复杂的生物地球化学过程控制着颗粒物质的形成,传输与沉积。

感谢德国汉堡大学生物地球化学和海洋化学研究所 V. Ittekkot 教授在样品分析中的指导和帮助。

### 参考文献

- 1 王将克,陈水侠,钟月明,罗红玉.氨基酸生物地球化学.北京:科学出版社,1991,308
- 2 Ittekkot V, B Haake and M G Weisner. Organic-mineral interactions in the sea: implications for atmospheric CO<sub>2</sub> transfer to the deep ocean. Mitt Geol.-palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd, 1990, 69, 167~175
- 3 Ittekkot V, E T Degens and S Honjo. Seasonality in the fluxes of sugars, amino acids, and amino sugars to the deep ocean: Panama Basin. Deep-Sea Research, 1984, 31, 1071~1083
- 4 Izdar E and T Kouk. The relation between environmental events and particle flux in the Black Sea. Mitt Geol.-palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd, 1987, 62, 1~18
- 5 Ittekkot V, W G Deuser and E T Degens. Seasonality in the fluxes of sugars, amino acids and amino sugars to the deep ocean: Sargasso Sea. Deep-Sea Research, 1984, 31, 1057~1069
- 6 Haake B, V Ittekkot, S Honjo and S Manganini. Amino acid hexosamine and carbohydrate fluxes to the deep subarctic Pacific (Station P). Deep-Sea Research, 1993, 40, 547~560
- 7 Lee C and C Cronin. The vertical flux of particulate organic nitrogen in the sea: decomposition of amino acid in the Peru upwelling area and the equatorial Atlantic. Journal of Marine Research, 1982, 40, 227~251

- 8 陈文斌, 徐鲁强. 南海北部颗粒通量的初步研究. 南海海洋沉积作用过程与地球化学研究(郑连福, 陈文斌主编), 北京: 海洋出版社, 1994, 191 ~ 201
- 9 Nair R R and V Ittekkot. Monsoon related-increased particle fluxes to the deep Arabian Sea. *Nature*, 1989, 338, 749 ~ 751
- 10 Hecky R E and K Mopper. The amino acid and sugar composition of diatom cell-walls. *Marine Biology*, 1973, 19, 323 ~ 331
- 11 Allredge A L and M W Silver. Characteristics dynamics and significance of marine snow. *Progress in Oceanography*, 1988, 20, 41 ~ 82