

文章编号: 1000-4734(2001)01-0059-05

# 湖泊沉积物中蛋白质和氨基酸的动态变化

梁小兵 万国江 黄荣贵 吴沿友

(中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

**摘要:** 测定了阿哈湖和百花湖沉积物孔隙水中蛋白质和氨基酸的含量。蛋白质含量分别在0.32~1.71 mg/ml和0.22~1.38 mg/ml之间, 氨基酸含量分别在1.15~5.01  $\mu\text{g}/\text{ml}$ (以含N量计)和1.41~4.16  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 之间。两湖沉积物蛋白质含量峰出现在表层10 cm内, 说明表层沉积物有利于蛋白质的释放。从悬浮层到表层6或7 cm的沉积物氨基酸含量逐渐增高, 表明扩散作用的存在。随着时间的推移, 蛋白质在沉积物各层中得到了很好的保存, 说明它的分解比较有限。沉积物孔隙水中氨基酸含量和微生物活动有关, 氨基酸在27 cm以后的阿哈湖沉积物中明显积累, 可能指示微生物活动的减弱。

**关键词:** 湖泊沉积物; 孔隙水; 蛋白质; 氨基酸; 沉积环境

中图分类号: P512.32; X142

文献标识码: A

**作者简介:** 梁小兵, 男, 1963年生, 中国科学院地球化学研究所博士生, 生物化学硕士, 现从事环境地球化学的研究工作。

蛋白质是湖泊沉积物中有机氮的重要组成部分。海岸表层沉积物中蛋白质N占总N的40%~60%<sup>[1,2]</sup>, 在N循环中的研究中起着重要的作用。进入湖泊沉积物的陆源生物、水生生物及微生物残骸中均含有大量蛋白质, 微生物分泌的胞外酶和生物细胞残留的蛋白酶能将蛋白质水解成氨基酸, 后者可作为营养物质被微生物吸收利用再合成蛋白质。这种降解和合成的动态变化对湖泊沉积环境的研究具有重要的意义。蛋白质在一定深度的沉积物中水解率的大小取决于酶活性<sup>[3]</sup>, 而酶活性又和微生物的种类和数量有关。因此, 蛋白质合成和分解作用的强弱与微生物的种类、数量和活动强弱有直接关系。对湖泊或海洋沉积物中蛋白质及其组成氨基酸和游离氨基酸的分布和变化的探讨有助于对其中微生物信息、物质循环和早期成岩作用等问题的认识。

本文以阿哈湖和百花湖沉积物为对象, 通过对不同深度沉积物蛋白质和氨基酸的研究, 探讨湖泊沉积物中蛋白质-氨基酸体系的动态变化与其中微生物活动及物质循环的关系。

## 1 样品和实验方法

### 1.1 样品来源

阿哈湖和百花湖均位于贵阳市郊, 海拔1108 m。阿哈湖湖水面积3.4 km<sup>2</sup>, 补给系数56.0, 最大水深24 m, 平均水深13.2 m, 湖泊水寄宿时间仅有0.44 a; 百花湖正常湖水面积14.5 km<sup>2</sup>, 补给系数12.6, 平均水深13 m, 湖泊水寄宿时间仅有0.16 a。利用湖泊沉积物-水界面采样装置, 采取阿哈湖心水深22 m的沉积柱芯, 上覆水长9 cm, 沉积物长42 cm; 百花湖沉积柱芯的上覆水长27 cm, 沉积物长24 cm。两者均按1 cm距离分样。

### 1.2 孔隙水的分离

沉积物用冷冻离心机离心30 min, 温度5℃, 转速4000 r/min, 倾出水相即为孔隙水。

### 1.3 测定方法

蛋白质含量测定利用双缩脲法, 氨基酸含量测定利用茚三酮法<sup>[4,5]</sup>。蛋白质测定的取样量为2.0 ml, 加4.0 ml双缩脲试剂, 以酪蛋白(Sigma公司)为标样, 标准液浓度为10 mg/ml; 氨基酸测定的取样量为2.0 ml, 加茚三酮试剂3.0 ml(配制后即使用), 0.1%的抗坏血酸0.1 ml, 置沸水浴10 min, 冷水中迅速冷却, 定容至20.0 ml, 以进口分装的亮氨酸为标样, 标准液含氮量为5  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。

收稿日期: 2000-07-19

基金项目: 贵州省自然科学基金项目(编号: 3090); 中国科学院创新基金项目

其他试剂用分析纯化学试剂。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蛋白质和氨基酸含量及相互关系

湖泊沉积物孔隙水是物质溶解的介质, 又是

微生物活动的场所。对其中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{S}$  的研究揭示了很多环境地球化学过程。阿哈湖和百花湖不同沉积物层面孔隙水中蛋白质和氨基酸含量的测定结果见表 1。

表 1 阿哈湖和百花湖不同沉积深度孔隙水中蛋白质、氨基酸含量和蛋白质 N 含量( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )

Table 1. The contents of protein and amino acid and those of N in protein in pore waters at different sedimentary depths in Aha Lake and Baihua Lake ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )

沉积深度/cm	阿哈湖			百花湖		
	氨基酸含量	蛋白质含量 / $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$	蛋白质 N 含量	氨基酸含量	蛋白质含量 / $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$	蛋白质 N 含量
0~1	1.15	0.56	90.1	2.21	1.18	188.5
1~2	1.89	0.67	106.5	3.33	0.97	155.2
2~3	2.03	0.79	141.3	3.48	0.91	145.6
3~4	2.60	0.91	145.6	3.28	0.93	148.8
4~5	2.07	1.71	273.6	3.80	0.35	57.6
5~6	2.89	0.93	148.8	4.16	0.52	83.2
6~7	3.64	1.42	227.2	4.04	0.40	64.0
7~8	3.51	1.18	188.8	3.16	0.67	107.2
8~9	1.92	0.97	155.2	3.88	0.81	129.6
9~10	3.37	1.01	161.6	3.64	1.38	220.8
10~11	2.05	1.01	161.6	3.80	0.69	110.4
11~12	3.72	0.73	116.8	3.56	0.60	96.0
12~13	2.52	1.03	164.8	3.59	0.42	80.0
13~14	3.05	1.06	169.6	3.59	0.71	113.6
14~15	2.74	0.97	155.2	3.21	0.52	83.2
15~16	3.19	0.67	107.2	3.08	0.69	110.4
16~17	4.07	0.46	73.6	2.84	0.22	35.2
17~18	2.93	0.50	80.0	2.84	0.24	38.4
18~19	1.74	0.40	64.0	2.54	0.48	76.8
19~20	3.11	0.56	89.6	2.24	0.93	148.8
20~21	1.87	0.58	92.8	2.00	0.42	67.2
21~22	1.94	0.52	83.2	1.41	0.77	123.2
22~23	2.24	0.46	73.6			
23~24	2.95	0.52	83.2			
24~25	2.87	0.56	89.6			
25~26	2.75	0.48	76.8			
26~27	2.31	0.56	89.6			
27~28	4.72	0.31	51.2			
28~29	3.64	0.36	57.6			
29~30	5.01	0.36	57.6			

阿哈湖沉积物孔隙水中蛋白质含量在 0.32~1.71  $\text{mg}/\text{ml}$  之间, 15 cm 以后含量有所降低; 百花湖沉积物孔隙水中蛋白质含量在 0.22~1.38  $\text{mg}/\text{ml}$  之间, 该沉积物柱较短, 没有明显降低的沉积物区段。阿哈湖沉积物孔隙水中氨基酸的含量在 1.15~5.01  $\mu\text{g}/\text{ml}$  (以含 N 量计) 之间, 氨基酸含量在 28~30 cm 明显增高, 推测是微生物的活动减弱导致吸收减少而得以保存; 百花湖沉积物孔隙水中氨基酸的含量在 1.41~4.16  $\mu\text{g}/\text{ml}$  之间, 因沉积物柱仅 22 cm, 没有发现氨基酸含量明显增高的沉积物层。

阿哈湖沉积物孔隙水中氨基酸含量在 27 cm 后的明显增加, 说明湖泊沉积物在一定深度后, 在蛋白质分解和氨基酸的吸收利用的动态平衡过程中, 虽然蛋白质被分解形成的氨基酸数量减少, 但是氨基酸被吸收利用更为减少, 仍造成氨基酸的积累。沉积物中蛋白质含量是生物残骸分解释放和蛋白质自身被分解减少的动态平衡结果。生物体中的蛋白质在细胞破裂后进入沉积物, 在微生物分泌的和生物残骸释放的蛋白酶作用下, 最终降解成氨基酸; 同时由于微生物对蛋白质的合成, 其含量又在增加, 但种类和分子结构发生了变化

(将另文详述)。阿哈湖和百花湖沉积物孔隙水中蛋白质的研究表明只有到一定的沉积深度后,蛋白质的含量才略有减少,而总的来说都保持着高含量。据研究 LIS (Long Island Sound) 沉积物储存的蛋白质在地质(有机)聚合作用下,在成岩作用中随着深度的增加,导致更大、更难溶解的含蛋白质物质的富集<sup>[6]</sup>。这一研究结果可用于解释阿哈湖和百花湖沉积物孔隙水中蛋白质保留的作用机制。沉积物中蛋白质含量是多种因素作用的结果,是合成和分解动态平衡的结果。

### 2.2 蛋白质的含 N 量及分解的有限性

蛋白质的平均含 N 量为 16%<sup>[7]</sup>, 照此计算,阿哈湖沉积物孔隙水中蛋白质态 N 含量在 51.2 ~ 273.6  $\mu\text{g}/\text{ml}$  之间,百花湖沉积物孔隙水中蛋白质态 N 含量在 35.2 ~ 220.8  $\mu\text{g}/\text{ml}$  之间,而百花湖沉积物的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的平均含量为 1.28  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。由此可见,两湖沉积物的蛋白态 N 含量远远高于  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的含量。蛋白质态 N 不能被沉积物中的微生物直接吸收利用,而  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  则属生物有效态 N,能被生物直接吸收利用。沉积物各层的蛋白质含量是经历了一定时间的生物和化学作

用后保留下来,越到下层经历的时间越长,这和沉积物的沉积年代有关。下层沉积物经历了几十年的时间还保持较高的蛋白质含量,提示蛋白质态 N 的分解比较有限。是什么因素限制着蛋白质态 N 的分解需进一步研究,值得注意的是在矿物存在的地质环境中,蛋白质的存在状态和性质显然发生了变化,正如结合在无机材料上的固定化酶的性质也发生了改变一样。

阿哈湖沉积物 5 cm 内的孔隙水中蛋白质态 N 的含量高达 90.1 ~ 273.6  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ,百花湖沉积物 4 cm 内达 145.6 ~ 188.5  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。生物只能吸收小分子无机态 N 和氨基酸等小分子物质而不能吸收蛋白质等大分子物质。要使蛋白质中的 N 成为生物可利用态 N,必须使其水解。如果这些蛋白质态 N 都能迅速水解变为氨基酸态 N 或  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,则沉积物或湖水中生物有效态 N 将会增高,影响到湖泊的富营养化。在正常条件下,沉积物中蛋白质所含的 N 对湖泊生物有效态 N 增加的影响有限,不影响湖泊的富营养化。但是,在特定条件下,如果蛋白质能迅速分解造成生物有效态 N 的增加,将有可能导致富营养化作用的加剧。

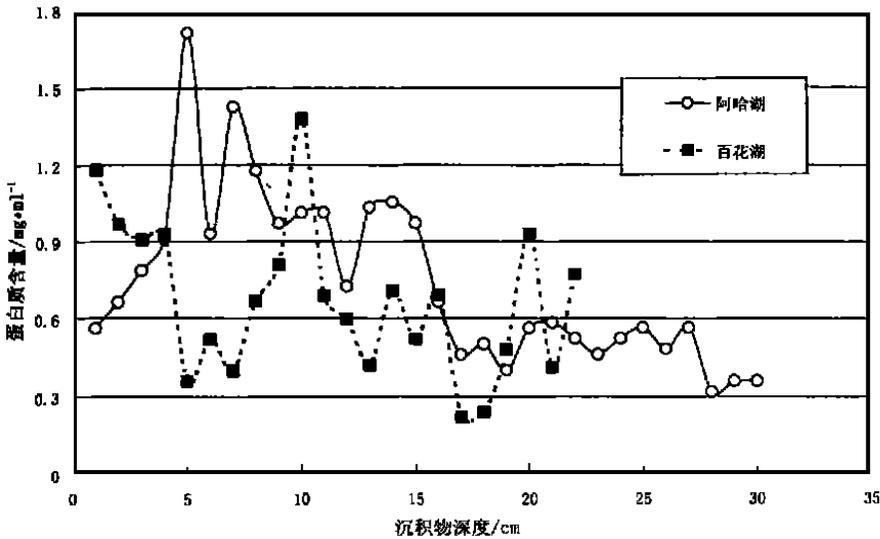


图 1 阿哈湖和百花湖沉积物孔隙水中蛋白质含量变化

Fig. 1. Variations in protein contents of Aha Lake and Baihua Lake sediments.

### 2.3 百花湖和阿哈湖沉积物孔隙水中蛋白质的动态变化

蛋白质通过生物残骸的释放进入沉积物孔

隙水,同时又在不断被分解而消失。孔隙水中的蛋白质含量是释放和分解动态平衡的结果。如图 1 所见,阿哈湖和百花湖各层沉积物孔隙水中蛋白质的分布随深度的增加没有数量级的减少,说明蛋白质在沉积物各层中随着时间的推移得到了

很好的保存。阿哈湖沉积物在表层 5 cm 和 7 cm 处存在蛋白质的峰值,以后逐渐减少,17 cm 以后保持较低含量,但含量都不低于 0.31 mg/ml;百花湖沉积物孔隙水在 10 cm 有一个蛋白质的峰值,以后逐渐降低,但没有一个含量较低的区域。沉积物孔隙水中蛋白质的高含量出现在表层 10 cm(百花湖)或 15 cm(阿哈湖)以内,说明表层沉积物有利于蛋白质的释放。以后的沉积物层由于含蛋白质的有机质逐渐被分解掉,蛋白质的释放逐渐完成,加上蛋白质逐渐被利用,使其在较深的沉积物层中处于较低含量。

#### 2.4 百花湖和阿哈湖沉积物孔隙水中氨基酸的动态变化

百花湖和阿哈湖沉积物孔隙水中氨基酸的分布见图 2。氨基酸在阿哈湖沉积物表层 7 cm 逐渐增高,7~21 cm 含量变化呈振荡走势,21 cm 后呈升高的趋势,尤其 27 cm 以后明显增高;氨基

酸在百花湖沉积物中的变化趋势和阿哈湖相似,表层 6 cm 逐渐增高,6~18 cm 维持较高含量的振荡,18 cm 以后逐渐降低,百花湖沉积物柱较短,只有 22 cm,没能见到象阿哈湖那样在 27 cm 以后出现氨基酸增高的现象。

导致氨基酸在阿哈湖沉积物 27 cm 以下有明显积累的趋势,可能是在这样深度的沉积物中微生物的活动可能有明显减弱的趋势。微生物的活动可以迅速消耗掉游离氨基酸,只有当微生物活动减弱时,氨基酸才会在湖泊沉积物中积累。百花湖沉积物柱较短,在 22 cm 的沉积深度内微生物的活动没有明显的减弱,因此没有出现阿哈湖沉积物那样的氨基酸积累现象。两湖表层几厘米的沉积物中氨基酸含量较低且从悬浮层往下有逐渐增高的趋势,提示表层沉积物中微生物活动强烈。这与以往关于湖泊表层沉积物物质循环和生物作用强弱状况的研究结果一致<sup>[9,10]</sup>。

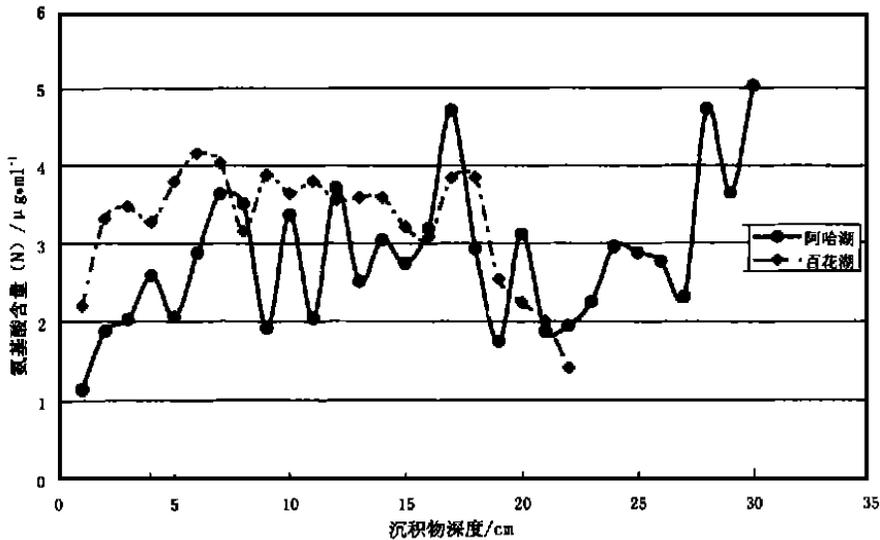


图 2 阿哈湖和百花湖沉积物孔隙水中氨基酸含量变化

Fig. 2. Variations in amino acid contents in Aha Lake and Baihua Lake sediments.

#### 2.5 氨基酸态 N 和 $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N 对湖泊环境的影响

湖泊沉积物中氮循环与含 N 生物大分子蛋白质及其分解产物氨基酸相关,受微生物种类和数量及 pH 等多种因素控制。氨基酸态 N 是连接蛋白质、无机氮和微生物的桥梁,它和  $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N 一样在沉积物中作为微生物赖以生存的

N 素营养源,影响着微生物活动。微生物体内的氨基酸构成氨基酸代谢库,满足生物体合成和分解的新陈代谢所需,处于动态平衡过程中。沉积环境中的氨基酸和沉积物中微生物有密切的联系,微生物将沉积物中的氨基酸吸收到体内,加入自身的氨基酸代谢库中,参与体内物质的合成。氨基酸作为 N 素营养能直接提供微生物合成生命必需物质的中间原料,对微生物显得特别重要。研究表明,阿哈湖沉积物中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量在

0.3 ~ 5.2  $\mu\text{g}/\text{ml}$  之间, 氨基酸态 N 在 1.2 ~ 5.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$  之间; 百花湖沉积物的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的平均含量为 1.28  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , 氨基酸态 N 在 1.41 ~ 4.16  $\mu\text{g}/\text{ml}$  之间。三种 N 素营养的数量基本相当, 在同一数量级, 它们对微生物生长具有重要的影响。湖泊沉积物中氨基酸态 N 受有机质的数量和生物

作用强弱的控制。表层沉积物的可溶性物质易扩散进入湖水, 对湖泊环境造成影响, N 素营养向湖水扩散对湖泊富营养化产生影响。阿哈湖和百花湖沉积物的氨基酸含量分别从 7 cm 和 6 cm 深处到悬浮层呈逐渐降低的趋势(图 2), 也指示这种扩散作用的存在。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Burdige D J, Martens C S. Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin; 10. The role of amino acids in sedimentary organic carbon and nitrogen cycling [ J ] . *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1988, 52: 1571 ~ 1584.
- [ 2 ] Henrichs S M, Farrington J W and Lee C. Peru upwelling region sediments near 150S. 2. Dissolved free and total hydrolyzable amino acids [ J ] . *Limnol. Oceanogr.*, 1984, 29: 20 ~ 24.
- [ 3 ] Arnosti C. Rapid potential rates of extracellular enzymatic hydrolysis in Arctic sediments [ J ] . *Limnol. Oceanogr.*, 1998, 43(2): 315 ~ 324.
- [ 4 ] 张龙翔. 生物化学实验指导 [ M ] . 北京: 人民教育出版社, 1981. 160 ~ 168.
- [ 5 ] 西北农业大学. 基础生物化学实验指导 [ M ] . 西安: 陕西科学技术出版社, 1985. 51 ~ 64.
- [ 6 ] Pantoja S, Lee C. Molecular weight distribution of proteinaceous in Long Island Sound sediments [ J ] . *Limnol. Oceanogr.*, 1999, 44(5): 1323 ~ 1330.
- [ 7 ] 祝其锋. 生物化学 [ M ] . 广州: 广东科技出版社, 1997. 1 ~ 7.
- [ 8 ] Wan Xi, Wang Guojiang, Huang Ronggui and Pu Yong. Biogeochemical mechanism of postdepositional remobilization of Fe & Mn in Lake Aha, China [ J ] . *Chinese Geographical Science*, 1997, 7(4): 368 ~ 374.
- [ 9 ] 万国江, 陈振楼, 万曦, 普勇, 韦朝阳, 黄荣贵. 湖泊沉积物-水界面铁-锰循环研究新进展 [ J ] . 地质地球化学, 1996, (2): 5 ~ 8.
- [ 10 ] 吴丰昌, 万国江, 蔡玉蓉. 沉积物-水界面的生物地球化学作用 [ J ] . 地球科学进展, 1996, 12(2): 191 ~ 197.

## DYNAMIC STUDY OF PROTEIN AND AMINO ACIDS IN LAKE SEDIMENTS

Liang Xiaobing Wan Guojiang Huang Ronggui Wu Yanyou  
(State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

**Abstract:** The contents of protein and amino acids in pore water in Aha Lake and Baihua Lake sediments were measured to be 0.34 ~ 1.19 mg/ml and 0.22 ~ 1.38 mg/ml and 1.15 ~ 5.01  $\mu\text{g}/\text{ml}$  (calculate in nitrogen content) and 1.41 ~ 4.16  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , respectively. Peak protein contents are produced in 10 cm surface sediments of the two lakes. It is shown that surface sediments are favorable to release of protein. Amino acid contents increase gradually from the suspend layer down to 6- or 7-cm sediments, implying the occurrence of diffusion. Proteins have been preserved well in every sediment layer with time passing by. It indicates their decomposition and release are controlled by some factors. Amino acid contents of sediment pore water are related to activities of microorganisms. Below the 27-cm depth, amino acids in Aha Lake sediments are accumulated obviously. It suggested that microorganism activity tends to become weak.

**Key words:** lake sediment; pore water; protein; amino acid; sedimentary environment