

# 辽东湾柱状沉积物中无机碳的形态

牛丽凤<sup>1</sup>, 李学刚<sup>2</sup>, 宋金明<sup>2</sup>, 袁华茂<sup>2</sup>, 李 宁<sup>2</sup>, 戴纪翠<sup>2</sup>

(1. 青岛大学 师范学院, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 根据沉积物中无机碳的结合强度, 运用连续浸取的方法将沉积物中的无机碳分成 5 种不同的形态: NaCl 相、氨水相、NaOH 相、盐酸羟胺相、HCl 相。并以渤海辽东湾柱状沉积物为例, 探讨了各形态无机碳的含量特征及其控制因素。研究表明, 辽东湾不同层次沉积物中各形态无机碳的含量特征比较明显: 氨水相>盐酸羟胺相~盐酸相>NaOH 相>NaCl 相。氨水相、盐酸羟胺相和盐酸相无机碳占沉积物中总无机碳的绝大部分, 大于 80%; NaCl 相和 NaOH 相无机碳只占总无机碳的一小部分。沉积物中各形态无机碳含量的变化受沉积环境如 pH、Eh、Es、含水率、Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>、有机碳含量等因素的影响。其中 NaCl 相无机碳受 pH、Eh 影响较大; 氨水相无机碳主要由含水率、Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>、pH、Eh 控制; NaOH 相无机碳主要由含水率、Eh 和 pH 控制; 盐酸羟胺相无机碳主要受含水率、Eh、有机碳的影响; HCl 相无机碳的控制因素和盐酸羟胺相的相似, 但它受 pH 和 Eh 的影响更显著。虽然有机碳和各个形态的无机碳都呈负相关关系, 但它对每一形态的影响都不相同, 其作用受其它环境因素的制约。环境的氧化能力越强, pH 值越小, 越不利于盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的保存, 而有利于 NaCl 相、氨水相和 NaOH 相无机碳的形成; 环境的还原能力越强, pH 值越大, 越有利于盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的保存, 而不利于 NaCl 相、氨水相和 NaOH 相无机碳的形成。辽东湾沉积物的弱氧化-还原环境有利于盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的保存。

**关键词:** 无机碳形态; 影响因素; 沉积物; 辽东湾

中图分类号: P59 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096 (2006) 11-0017-06

人类活动每年向大气排放的 CO<sub>2</sub> 约为 65 亿 t, 其中留在大气中的约占 50%, 大洋吸收约 16~20 亿 t, 陆地生态系统大约吸收 0.7~1.4 亿 t<sup>[1,2]</sup>, 还有大约 13 亿 t 找不到去处, 称为大气 CO<sub>2</sub> 丢失项, 众多学者的研究表明陆架边缘海极有可能是这丢失项的去处<sup>[3]</sup>。虽然陆架边缘海的面积只占全球海洋的 7%, 但其初级生产量却占了全球海洋的 28%, 有机碳埋藏更是占了全球海洋的 80%<sup>[4]</sup>, 这些有机物大部分在沉积物的表层分解形成 CO<sub>2</sub><sup>[5,6]</sup>。在沉积物中还含有丰富的碳酸盐, 通常在近海沉积物中无机碳的含量要高于有机碳<sup>[7,8]</sup>。各种成因的无机碳在沉积物的早期成岩过程中, 一部分通过与上覆水的交换进入再循环, 一部分被沉积物长期埋藏, 只有这部分无机碳对大气中 CO<sub>2</sub> 的减少有意义, 但如何确定这部分碳的多少有极大的

难度。事实上, 沉积物中的碳酸盐包括多种矿物, 这些矿物都可以被盐酸破坏, 但在自然条件下很难形成这样强的酸度, 沉积物处于相对较弱的酸碱条件下, 并且不同结合强度的碳酸盐在不同的 pH 下可以被依次溶出, 而这些不同结合强度的无机碳在海洋碳循环中的作用也明显不同, 所以区分鉴定不同结合强度的无机碳是研究海洋沉积物中无机碳在碳循环中作用

收稿日期: 2005-10-12; 修回日期: 2006-02-18

基金项目: 中国科学院创新工程重要方向性项目 (KZCX3-SW-214); 青岛市科技将才专项计划项目(04-3-JJ-03); 中国科学院“百人计划”项目 (科人 2003-202) 和中国科学院创新重大项目 (KZCX1-SW-01-08)

作者简介: 牛丽凤(1970-), 女, 山东青岛人, 青岛大学师范学院实验师, E-mail: niulifeng@qingdaonews.com

的前提。

海洋沉积物中的碳酸盐矿物主要有方解石、文石、白铅矿、角铅矿、菱锌矿、菱镁矿、菱锰矿、菱钴矿等<sup>[9]</sup>。这些矿物的粒度很小,常规操作不可能获得这些单矿物,只能研究不同粒级下总碳酸盐的含量<sup>[10]</sup>。对其总量的研究虽然对了解某些海洋学过程是必要的(如古海洋学过程等),但对其自身在沉积物中的变化过程却不能了解;即使探讨沉积物中无机碳在碳循环中的作用,也不能得到有价值的信息。研究表明这些矿物在不同环境介质中的溶解能力不同,如菱钴矿、菱锌矿等溶于氨水,白铅矿、角铅矿可溶于NaOH,方解石、文石则主要溶于酸。李学刚等<sup>[11,12]</sup>根据碳酸盐矿物的这些特征将沉积物中的无机碳分成5种不同的形态,进而研究各形态无机碳在海洋碳循环中的贡献。作者以辽东湾柱状沉积物为例,测定了自然粒度下沉积物中不同形态的无机碳,并对各形态无机碳的含量分布特征及其影响因素进行了初步探讨。

## 1 取样与分析

### 1.1 样品采集

2001年12月在渤海辽东湾取得柱状沉积物样,取样站位于东经121.37°,北纬40.53°,如图1所示。沉积物柱长190cm,主要为灰黑色粉沙质泥,间有黄褐色粉沙,按3cm间隔分割样品,并对0~3cm,6~9cm,12~15cm,24~27cm,36~39cm,66~69cm,126~129cm,186~189cm段的样品进行了化学分析。

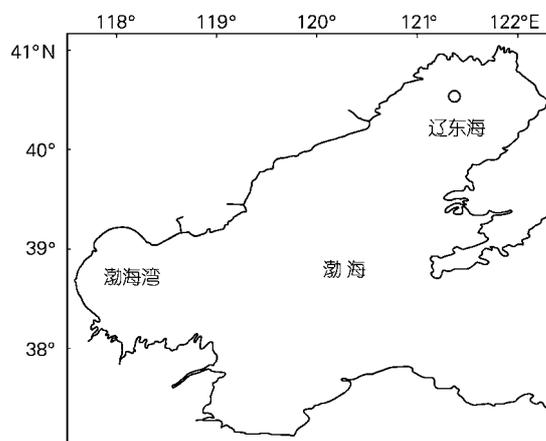


图1 取样站位  
Fig.1 Sampling station

### 1.2 样品分析

在现场用玻璃电极、铂片电极、Ag-Ag<sub>2</sub>S膜电极和饱和甘汞电极分别测得沉积物中的pH、Eh、Es。按《海洋调查规范》,取湿沉积物用EDTA容量法测定Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>,在105℃左右烘干沉积物测定其含水率,在60℃以下烘干沉积物,用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-Fe<sup>2+</sup>容量法测定自然粒度下有机碳的含量。不同形态无机碳按如下方法浸取<sup>[11]</sup>:

NaCl相( ): 准确称取1.000g 60℃烘干的样品于100mL塑料试管中,加入50mL 1mol/L的NaCl溶液,摇匀后震荡2h,用离心机离心分离,倒出浸取液,在残渣中加入25mL蒸馏水,再震荡10min,离心分离,两次离心液合并。氨水相( ): 在第一步残渣中加入25mL 0.1mol/L的氨水,摇匀后震荡2h,用离心机离心分离,倒出浸取液,在残渣中加入25mL蒸馏水,再震荡10min,离心分离,两次离心液合并。NaOH相( ): 在第一步残渣中加入25mL 0.1mol/L的NaOH溶液,摇匀后震荡2h,用离心机离心分离,倒出浸取液,在残渣中加入25mL蒸馏水,再震荡10min,离心分离,两次离心液合并。盐酸羟胺相( ): 将第一步残渣转移到锥形瓶中,加入25mL 0.2mol/L盐酸羟胺,通入高纯N<sub>2</sub>,N<sub>2</sub>流量为100mL/min,用饱和醋酸-醋酸铅吸收所产生的H<sub>2</sub>S,用50mL 0.1mol/L NaOH溶液吸收CO<sub>2</sub>,浸取1h后获得浸取液。盐酸相( ): 在第一步残渣中加入25mL 6mol/L盐酸,通入高纯N<sub>2</sub>,N<sub>2</sub>流量为100mL/min,用饱和醋酸-醋酸铅吸收所产生的H<sub>2</sub>S,用50mL 0.1mol/L NaOH溶液吸收CO<sub>2</sub>,浸取1h后获浸取液。

浸取液中的碳酸盐用LECO CR-12元素分析仪测定,最后换算为沉积物中无机碳的含量,以C的质量分数(%)计。

## 2 结果与讨论

### 2.1 沉积物中不同形态无机碳的地球化学特征

#### 2.1.1 含量特征

对柱状样中不同深度样品的测定结果表明,NaCl相无机碳在表层的质量分数为0.018%,与其它各层差别不大,整个柱样的质量分数在0.016%~0.020%之间,平均为0.018%。NaCl相无机碳约占沉积物中总无机碳的5.41%。氨水相无机碳在表层的质量分数为0.077%,稍低于其平均值(约0.11%),而整个柱样的

质量分数在 0.07%~0.19%之间。氨水相无机碳约占沉积物中总无机碳的 31.42% ;NaOH 相无机碳在表层的质量分数为 0.019%,是所有层中最低的,其它各层的在 0.019%~0.04%之间,其平均值为 0.030% ,NaOH 相无机碳约占沉积物中总无机碳的 8.68%;盐酸羟胺相无机碳在表层的质量分数约为 0.074%,而其它各层的在 0.054%~0.14%之间,平均为 0.089%。盐酸羟胺相无机碳约占沉积物中总无机碳的 26.13%;HCl 相无机碳在表层的质量分数为 0.10%,其它各层在 0.061%~0.17%之间,平均为 0.097%,HCl 相无机碳约占沉积物中总无机碳的 28.28%。

可以看出,氨水相、盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的质量分数相差不大,它们占沉积物中无机碳的绝大部分,大于 80%,NaOH 相和 NaCl 相无机碳含量较少,即氨水相>盐酸羟胺相~盐酸相>NaOH 相>NaCl 相。在所有层次中各形态无机碳所占总无机碳的比例都表现出相似的特征。之所以造成这种分布特征,可能有如下原因:(1)在该海域能溶于氨水的碳酸盐矿物较多,如菱钴矿、菱锌矿、绿铜锌矿和蓝铜矿等,导致氨水相无机碳含量较高。(2)大部分细粒的碳酸盐矿物如方解石等可溶于弱酸(盐酸羟胺),绝大部分粗粒的和难溶的碳酸盐矿物都溶于强酸(HCl),使得盐酸羟胺相和盐酸相无机碳含量较高。(3)碳酸盐的溶解度很小,所以能溶于中性溶剂的量也应当很少;而能溶于 NaOH 的碳酸盐矿物较少,只有白铅矿和角铅矿等,且这些矿物本来含量就少,所以 NaCl 相和 NaOH 相无机碳含量较其它各相低的多。

与长江口和胶州湾沉积物中的无机碳相比<sup>[12]</sup>,虽然辽东湾海域的生产力较高,但该区接受了来自辽河及周边河流的大量物质,沉积物中的碳被稀释,导致该区的无机碳含量较低。除氨水相外,各形态无机碳占沉积物中无机碳的比例与其它海区基本一致,盐酸羟胺相和盐酸相是沉积物中无机碳的主体,NaCl 相和 NaOH 相只占总无机碳的很少一部分;氨水相无机碳占总无机碳的比例偏高是该区无机碳形态分布的重要特征。

### 2.1.2 垂直分布

辽东湾沉积物中各形态无机碳的垂直分布如图 2 所示,表现出明显的规律,其中:

NaCl 相无机碳在整个柱状样中变化不大,含量比较稳定,只是在 12~36 cm 段稍有波动。

氨水相无机碳在 12 cm 以内变化不大,且含量在

整个柱样中最低,从 12 cm 开始到 24 cm 含量不断增加,从 24 cm 到 36 cm 含量不断降低,36 cm 以后含量相对稳定。

NaOH 相在沉积物表层不断增高,36 cm 以后含量不断下降,但含量变化不大。

盐酸羟胺相和 HCl 相变化趋势一致,但盐酸羟胺相在 0~12 cm 段含量不断升高,而 HCl 相在 0~6 cm 段不断升高,到 24 cm 深处又都降低,盐酸羟胺相在 24~66 cm 段含量又不断升高,而 HCl 相只是在 24~36 cm 段不断升高,到 126 cm 深处又不断降低,126 cm 以后含量又稍有增加。

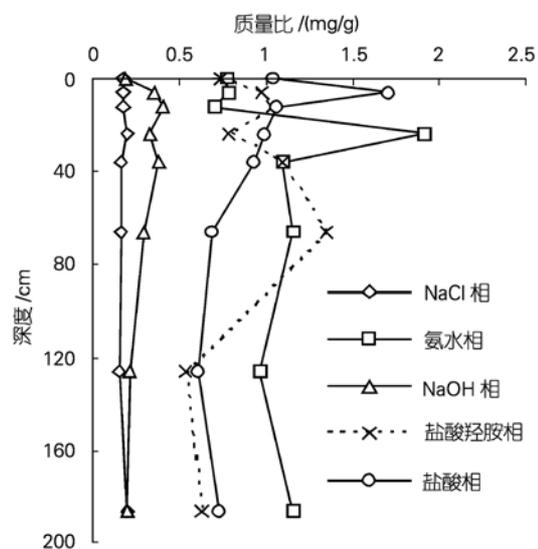


图 2 辽东湾沉积物中不同形态无机碳的垂直分布

Fig. 2 Vertical distributions of different IC forms in Liaodong Bay sediments

## 2.2 沉积物中无机碳形态与沉积物环境参数的相关性分析

海洋沉积物中无机碳含量的高低主要有以下控制因素:(1)海洋自生  $\text{CaCO}_3$  的供给速率。(2)陆源物质的供给速率。陆源碎屑物质控制着沉积物中  $\text{CaCO}_3$  含量的变化。在钙质物质供应速率稳定的情况下,陆源物质的加入将冲淡原有  $\text{CaCO}_3$  含量,使沉积物中  $\text{CaCO}_3$  含量降低。(3)沉积物埋藏后所发生的早期成岩作用,这引起  $\text{CaCO}_3$  的溶解和沉淀<sup>[13]</sup>。在辽东湾,虽然其生产力较高,可产生较多生物成因的  $\text{CaCO}_3$ <sup>[14]</sup>,但它接受了大量的来自辽河和周边河流的

物质<sup>[15]</sup>, 导致该区沉积物中总的碳酸盐含量较低。

沉积物中各形态无机碳含量的变化除受上述因素影响外, 还应受沉积环境如 pH、Eh、Es、含水率、 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 、有机碳含量等因素影响, 这些因素对各相的影响通常是不均衡的, 他们将促使各相之间的碳酸盐发生转化。表 1 是沉积物中各形态无机碳与环境参数的相关系数。

NaCl 相无机碳主要是沉积物吸附的碳酸盐, 它应当与影响沉积物吸附作用的因素相关性较强。从相关系数看, NaCl 相无机碳与 pH 和有机碳呈较强的负

相关, 与 Eh、Es 呈较好的正相关。这可能是因为 pH 越高,  $CO_3^{2-}$  可能与阳离子结合形成沉淀而使产生的  $CO_3^{2-}$  越少, 能被细颗粒物吸附的  $CO_3^{2-}$  也越少。沉积物中 Eh 值越高, 表明沉积物的氧化性越强, 而有机质被氧化产生较多的  $CO_2$ , 因而被吸附的  $CO_3^{2-}$  或  $HCO_3^-$  就越多。NaCl 相无机碳与其它因素的相关性较弱, 这说明 NaCl 相无机碳主要由 pH、Eh 控制, 但其它因素也可能对  $CO_3^{2-}$  或  $HCO_3^-$  的吸附有一定的影响, 如沉积物的粒度, 粒度越细, 所吸附的物质的量就越大<sup>[16]</sup>。

表 1 辽东湾沉积物中各形态无机碳与环境参数的相关性分析

Tab.1 Correlation coefficient between various forms of inorganic carbon and environmental factors in Liaodong Bay sediments

环境参数	NaCl 相	氨水相	NaOH 相	盐酸羟胺相	盐酸相
含水量	0.31	0.63	0.70	-0.54	0.08
$Fe^{3+}/Fe^{2+}$	0.22	-0.60	0.05	-0.16	0.34
有机碳	-0.47	-0.24	-0.16	-0.56	-0.48
Eh	0.69	0.87	0.83	-0.49	-0.75
Es	0.46	-0.34	0.49	-0.40	-0.33
pH	-0.43	-0.92	-0.67	0.44	0.71

氨水相无机碳与其环境因素的相关关系表明, 其含量的高低主要受含水率、 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 、pH、Eh 影响。氨水相无机碳与沉积物的含水率和 Eh 呈较强的正相关, 与  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 、pH 呈较强的负相关。在碱性环境中, 含水率越大, 所溶解的  $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$  就可能越多, 与其它阳离子结合的可能性也越大, 同时, Eh 值越高, 环境氧化性也越强, 越有较多的有机质被氧化, 产生较多的  $CO_2$ , 促进碳酸盐沉淀, 随着有机质的消耗, 可能会有较多的  $Fe^{3+}$  转成  $Fe^{2+}$ , 从而使  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  与氨水相无机碳表现出负相关, 随着  $CO_2$  的释出, 也使沉积物的 pH 值降低, 因而氨水相无机碳与 pH 呈负相关。

从 NaOH 相无机碳与环境因子的相关关系看, 其影响因素与氨水相无机碳的基本相似, 与含水率、Eh 呈正相关, 与 pH 呈负相关, 但二者所包含的矿物不同, 其相关性相差较大。从相关系数看, NaOH 相无机碳主要由含水率、Eh 和 pH 影响, 其它因素影响不大。

从盐酸羟胺相无机碳与其环境因子的相关关系看, 酸性条件下浸取出的盐酸羟胺相、HCl 相与碱性条件下浸取出的各相的控制因素刚好相反。盐酸羟胺相无机碳与含水率、Eh、Es 及有机碳的含量呈负相

关, 沉积物在被埋藏后, 有机质不断被氧化分解, 含量越来越少, 所产生的  $CO_2$  与 Ca、Mg 等离子结合形成方解石或白云石, 使沉积物中的碳酸盐越来越高, 而环境的 Eh 值越来越低。如含水率较低, 所形成的碳酸盐被溶解的量就减少, 参与再循环的  $CO_2$  就减少, 而被长久埋藏的无机碳就越多。

HCl 相无机碳主要存在于颗粒较粗、结合较强的碳酸盐中, 只有在较强的条件下才能溶出。HCl 相无机碳的控制因素和盐酸羟胺相的相似, 但它受 pH 和 Eh 的影响更显著, 但受含水率影响较小。

虽然不同的环境因素对不同形态无机碳的影响不同, 但总的来说, 环境的氧化能力越强, pH 值越小, 越不利于盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的保存, 而有利于 NaCl 相、氨水相和 NaOH 相无机碳的形成; 环境的还原能力越强, pH 值越大, 越有利于盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的保存, 而不利于 NaCl 相、氨水相和 NaOH 相无机碳的形成。由于辽东湾沉积物属于弱氧化-还原环境<sup>[17]</sup>, 且 pH 值在 7.80~8.43 之间, 该环境有利于盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的保存。因此, 在辽东湾沉积物中较为活动的 NaCl 相、氨水相和 NaOH 相无机碳将向较为稳定的盐酸羟胺相和盐

酸相无机碳转化。

### 2.3 沉积物中无机碳与有机碳的关系

有机质在沉积物的最上层可以被  $O_2$  和  $NO_3^-$  氧化产生  $CO_2$ , 导致酸度降低, 使  $CaCO_3$  溶解, 在较深层缺氧的环境中有机质可被 Fe、Mn 氧化物、硫酸盐氧化, 使碱度增加, 导致  $CaCO_3$  的沉淀<sup>[18]</sup>。因此, 有机质的矿化对沉积物中无机碳的影响比较复杂, 在不同的地区表现出不同的特征。例如: Li 等<sup>[19]</sup>对南极地区 Maxwell 湾的碳酸钙和有机碳的研究发现, 该海湾沉积物中低  $CaCO_3$  含量对应于较高的 TOC 含量, 这说明较高的 TOC 含量在  $CaCO_3$  的溶解中起着重要的作用。而 Thamban 等<sup>[7]</sup>对 Arabian 海东部边缘沉积物中有机碳和无机碳(碳酸盐)的研究发现, 该海区有机碳含量较高(在 0.94%~8.7%之间),  $CaCO_3$  含量变化较大(在 7.1%~67.6%之间), 有机碳含量和  $CaCO_3$  呈正相关关系。

在辽东湾, 有机质的含量约为 0.58%~0.69%, 并不是很高, 但它们对沉积物中无机碳的溶解却起着重要作用。从相关系数(表 1)看, 各形态无机碳都与有机碳呈或大或小的负相关, 表明有机碳的含量越高, 对无机碳在沉积物中的保留越不利, 有机碳会促进无机碳的溶解, 但各形态无机碳受有机碳的影响程度不同。如果仅从相关系数的大小看, 有机碳对盐酸羟胺相和盐酸相无机碳的影响最大。这一点也可以从各形态无机碳与有机碳的比值反映出来。图 2 是各相无机碳与有机碳的比值。从图中可以看出, 各形态无机碳与有机碳比值的垂直变化趋势基本一致, 但不同层次、不同相态的无机碳与有机碳比值的幅度并不相同, 表明有机碳对所有形态的无机碳都有影响, 但对不同形态无机碳的影响并不相同。有机碳含量高, 并不一定对无机碳的影响大, 显示出有机碳对无机碳的控制也受其它因素影响。

### 3 结论

通过对辽东湾柱状沉积物中不同形态无机碳的分析, 对各形态无机碳的含量分布特征及其影响因素进行了探讨, 获得的主要结论是:

辽东湾不同层次沉积物中各形态无机碳的含量特征比较明显, 一般是: 氨水相>盐酸羟胺相≈盐酸相>NaOH 相>NaCl 相。氨水相、盐酸羟胺相和盐酸相无机碳占沉积物中总无机碳的绝大部分, 大于 80%; NaCl 相和 NaOH 相无机碳只占总无机碳的一小部分。

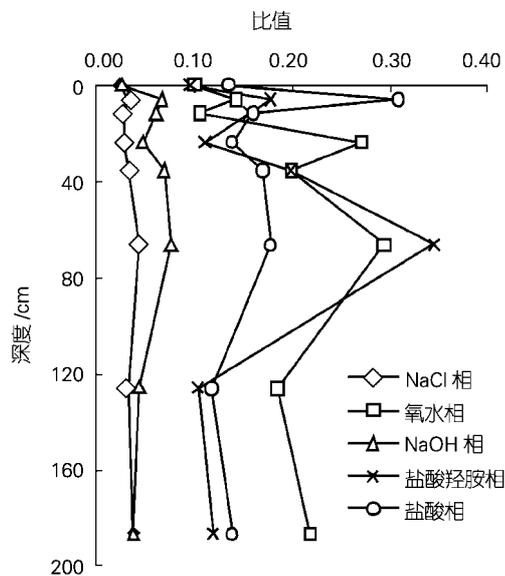


图 3 辽东湾沉积物中各形态无机碳与有机碳的比值

Fig.3 Ratios of various forms of inorganic carbon to organic carbon in Liaodong Bay sediments

沉积物中各形态无机碳含量的变化受沉积环境如 pH、Eh、Es、含水率,  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ , 有机碳含量等因素的影响。其中 NaCl 相无机碳受 pH、Eh 影响较大; 氨水相无机碳主要由含水率、 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 、pH、Eh 控制; NaOH 相无机碳主要由含水率、Eh 和 pH 控制; 盐酸羟胺相无机碳主要受含水率、Eh、有机碳的含量等影响; HCl 相无机碳的控制因素和盐酸羟胺相的相似, 但它受 pH 和 Eh 的影响更显著。虽然有机碳和各个形态的无机碳都呈负相关关系, 但它对每一形态无机碳的影响都不相同, 其作用受其它环境因素的制约。

参考文献:

- [1] Bates N R. Interannual variability of oceanic  $CO_2$  and biogeochemical properties in the Western North Atlantic subtropical gyre [J]. *Deep-Sea Res*, 2001, 48(8-9):1 507-1 528.
- [2] Battle M, Bender M L, Tans P P, et al. Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric  $O_2$  and  $\delta^{13}C$  [J]. *Science*, 2000, 287:2 467-2 470.
- [3] 宋金明. 中国近海生物地球化学 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004, 1-222.
- [4] Rabouille C, Mackenzie F T, Ver L M. Influence of the

- human perturbation on carbon, nitrogen, and oxygen biogeochemical cycles in the global coastal ocean [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, **65**(21): 3 615-3 641.
- [5] Jahnke R A, Jahnke D B. Rate of C, N, P and Si recycling and denitrification at the US Mid-Atlantic Continental slope depocenter [J]. *Deep-sea Research I*, 2000, **47**: 1 405-1 428.
- [6] Stahl H, Tergberg A, Brunnegard J, *et al.* Recycling and burial of organic carbon in sediments of the Porcupine Abyssal Plain, NE Atlantic [J]. *Deep-sea Research I*, 2004, **51**: 777-791.
- [7] Thamban M, Purnachandra V, Raju S V. Controls on organic carbon distribution in sediments from the eastern Arabian Sea Margin [J]. *Geo-Marine letter*, 1997, **17**: 220-227.
- [8] Palanques A, Isla E, Puig P, *et al.* Annual evolution of downward particle fluxes in the Western Bransfield strait (Antarctica) during the FRUELA project [J]. *Deep-sea Research II*, 2002, **49**:903-920.
- [9] Helmke J P, Bauch H A. Glacial-interglacial relationship between carbonate components and sediment reflectance in the North Atlantic [J]. *Geo-marine Letter*, 2001, **21**: 16-22.
- [10] 杨作升, 范德江, 郭志刚, 等. 东海陆架北部泥质区表层沉积物碳酸盐颗粒分布与物源分析 [J]. *沉积学报*, 2002, **20**(1):1-6.
- [11] 李学刚, 李宁, 宋金明. 海洋沉积物不同结合态无机碳的测定 [J]. *分析化学*, 2004, **32**(4): 425-429.
- [12] Li X G, Song J M, Yuan H M. Inorganic carbon of sediments in the Yangtze River Estuary and Jiaozhou Bay [J]. *Biogeochemistry*, 2006, **77** : 177-197.
- [13] 吴世迎, 刘焱光, 王湘芹, 等. 冲绳海槽中段沉积岩芯碳酸盐烧失量的古环境意义 [J]. *黄渤海海洋*, 2001, **19**(2): 17-24.
- [14] 王俊, 李洪志. 渤海近岸叶绿素和初级生产力的研究 [J]. *海洋水产研究*, 2002, **23**(1): 23-28.
- [15] Yang Z S, Wang Z X, Qu J Z, *et al.* Study on carbonates from the coastal zone of the Yellow River delta and adjacent Bohai gulf [J]. *青岛海洋大学学报*, 1989, **19** ( 3 ) : 91-99.
- [16] 马红波, 宋金明. 渤海南部海域沉积物中吸附态氮的分布特征及控制因素[J]. *地球化学*, 2002, **32**(1): 48-54.
- [17] 李学刚, 吕晓霞, 孙云明, 等. 渤海沉积物中的活性铁与其氧化还原环境的关系[J]. *海洋环境科学*, 2003, **22**(1): 20-24.
- [18] 宋金明. 中国近海沉积物-海水界面化学 [M]. 北京 : 海洋出版社, 1997, 1-222.
- [19] Li B H, Yoon H, Park B. Foraminiferal assemblages and CaCO<sub>3</sub> dissolution since the last deglaciation in the Maxwell Bay, King George Island, Antarctica [J]. *Marine Geology*, 2000, **169**: 239-257.

## Forms of inorganic carbon in Liaodong Bay core sediments

NIU Li-feng<sup>1</sup>, LI Xue-gang<sup>2</sup>, SONG Jin-ming<sup>2</sup>, YUAN Hua-mao, LI Ning<sup>2</sup>, DAI Ji-cui<sup>2</sup>

( 1 .Normal College, Qingdao University, Qingdao 266071, China ;2 .Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Science, Qingdao 266071, China )

Received : Oct., 12, 2005

Key words: forms of inorganic carbon; influencing factors; sediment; Liaodong Bay

**Abstract:** According to combined strength of inorganic carbon(IC) in sediments, inorganic carbon was divided into five forms by sequential extractions : NaCl form, NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O form, NaOH form, NH<sub>2</sub>OH•HCl form and HCl form. As a case of Liaodong Bay sediment, the contents of various IC forms and their influencing factors were discussed. The results showed that NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O form > HCl form ≈ NH<sub>2</sub>OH•HCl form > NaOH form > NaCl form. NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O form, NH<sub>2</sub>OH•HCl form and HCl form account for more than 80% of total inorganic carbon, NaCl form and NaOH form only account for the minority. The changes of their content and distribution were influenced by many environmental factors, such as pH, Eh, Es, water content, organic carbon, Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> and so on. NaCl form was influenced mainly by Eh and pH ; NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O form was controlled mainly by water content, Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>, pH and Eh; NaOH form was influenced mainly by water content, Eh and pH; NH<sub>2</sub>OH•HCl form was controlled mainly by water content, Eh, organic carbon; the influencing factor of HCl form was similar to that of NH<sub>2</sub>OH•HCl form but the influences of pH and Eh were more stronger. Although the correlation between organic carbon and each IC form was negative, but the influences of organic carbon on every IC form is different and the influence was restricted by other environmental factors. In general, the environment which has higher oxidation capacity and lower pH will make against the preservation of NH<sub>2</sub>OH•HCl form and HCl form, but was suitable for the formings of NaCl form, NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O form and NaOH form. However, the environment which has higher reductive capacity and higher pH was suitable for the preservation of NH<sub>2</sub>OH•HCl form and HCl form, but will make against the formings of NaCl form, NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O form and NaOH form. Weak oxidation-reductive environment was suitable for the preservations of NH<sub>2</sub>OH•HCl form and HCl form in Liaodong Bay sediments. ( 本文编辑 : 张培新 )