

Iodine Study of Marine Sediment from Three Sea Areas

Lihong Ji, Guangshan Liu[#], Zhigang Chen, Yipu Huang

College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361005, China

[#]Email: lgshan@xmu.edu.cn

Abstract

The iodine in the sediments collected from Jiaozhou Bay, East China Sea and East Pacific were measured and the distribution features in sediment cores were studied. The correlation between iodine and organic carbon contents in the sediments was evaluated. The results gave that the iodine contents in the sediments from Jiaozhou Bay are in the range of 51.6-94.3mg/kg and 36.5-50.3 mg/kg in the land sediment surrounding Jiaozhou Bay, and they are between 35.2 to 77.8mg/kg in the core from East Chins Sea, but vary from 68.2 to 105.6mg/kg in the sediments from East Pacific. Sequentially, from higher level to low level of iodine content, that was: East pacific > Jiaozhou Bay > East China Sea > land sediment surrounding Jiaozhou Bay. The correlation between iodine and organic carbon contents in the sediment from East Pacific is well close, in contrast with that, they are not found for other sediment from other two sea areas, which demonstrated that the relation between iodine and organic carbon contents may be variable. The correlation iodine and organic carbon content is well close in sediment of marine source but not for terrigenous sediment.

Keywords: Marine Sediment; Iodine; Organic Carbon; Jiaozhou Bay; East China Sea; East Pacific

三个不同海域沉积物碘研究*

纪丽红, 刘广山, 陈志刚, 黄奕普

厦门大学 环境与生态学院, 福建 厦门 361005

摘要: 测定了从胶州湾、东海、东太平洋采集的沉积物岩心的碘含量, 研究了 4 个沉积物岩心中碘的分布特征, 探讨了岩心中碘与有机物含量的相关关系。结果给出: 胶州湾沉积物碘含量为 51.6-94.3mg/kg, 胶州湾周边陆地沉积物的碘含量为 36.5-50.3 mg/kg, 东海岩心碘含量为 35.2-77.8mg/kg, 东太平洋岩心碘含量为 68.2-105.6mg/kg。不同海区沉积物的碘含量水平从高到低依次为: 东太平洋>胶州湾>东海>胶州湾周边陆地沉积物。三个海区的沉积物仅东太平洋岩心的碘与有机碳含量呈正相关关系, 其余海区沉积物中的碘与有机碳的含量相关性不明显。说明, 海洋沉积物的碘与有机碳的关系比较复杂, 海洋源的沉积物碘与有机碳含量呈正相关关系, 而陆源沉积物则不然。

关键词: 海洋沉积物; 碘; 有机碳; 胶州湾; 东海; 东太平洋

引言

碘是具有重要生物效应的微量元素之一, 全球碘分布主要受海洋系统控制。海洋沉积物是自然界中碘含量最高的地质体, 其中的储量占地壳总碘储量的 70%^[1-3]。海洋沉积物富集碘, 富集机理与有机质有关^[4]。Price 等 (1973) 研究了西南非洲及加利福尼亚海区沉积物中碘含量分布及其与有机物之间的关系, 指出沉积物中碘的含量比海水中高得多, 大多数地区为 200mg/kg -300mg/kg, 个别地区达 1990mg/kg^[5]。Harvey (1980) 认为海洋沉积物中的碘主要以正基碘酰胺的形式存在^[6]。Francois (1987) 则认为海洋沉积物中的碘主要赋存于

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41073044)

腐殖质中^[7]。Price (1977) 研究了纳米比亚陆架沉积物中碘和有机碳的垂直分布, 发现碘和有机碳之间的关系比较复杂^[8]。

国内学者对环境与食品中的碘研究的报道较多, 但对海洋碘研究的报道很少, 对中国海沉积物碘研究的报道更少^[9]。本文在胶州湾、东海和东太平洋采集沉积物, 测量了其中的碘, 研究了碘的分布特征及其与有机物的关系^[10]。

1 研究海区与样品测量

1.1 研究海区

我们选择胶州湾、东海和东太平洋三个海域采集的沉积物样品进行了研究。

胶州湾位于山东半岛南部, 从地理位置特征和生态类型上, 可将胶州湾分为三个不同的区域: 湾口部分水比较深, 受外海特别是潮流的影响比较明显, 其生态特征与黄海生态系统相似; 湾顶部分(湾的北侧)水比较浅, 是底栖贝类的主要养殖区; 湾中部是一个混合区, 既受潮流的影响, 也受到海水养殖活动的影响^[11]。本研究测定了在胶州湾中部混合区采集的两个岩心, 其中 C23 岩心(36°5'23"N, 120°14'36"E)于 2002 年 9 月 27 日用重力采样器采集。该岩心长 271cm, 直径 10.5cm, 上层 36cm 按 1cm 间隔分割, 其余 37-271cm 按 2cm 间隔分割, 共 155 个子样。4C3 岩心(36°7'24.6"N, 120°13'18"E)于 2004 年 9 月 29 日用箱式采样器采集, 在船上甲板用直径为 7cm 塑料管取得子岩心, 岩心长 48cm, 按 4cm 间隔分割, 共 12 个样品。另外还测定了 6 个采集自胶州湾的表层沉积物和 10 个采集自胶州湾周边陆地的沉积物样品。

东海是我国的边缘海之一, 位于我国大陆中部的东侧, 北连黄海, 南接南海。它的北界为江苏启东角与韩国济州岛西北角的连线, 南界为福建东山岛南端至台湾南隅的鹅銮鼻之连线, 东边通过日本的九州岛、琉球群岛和我国台湾岛间的海峡与太平洋相通^[12]。本研究测定的东海岩心 S1004(121.3046°E, 26.3762°N)于 2006 年 6 月 28 日用重力采样器采集, 站位水深 79m。岩心长度为 157.4cm, 按 1cm 厚度分割样品, 共 157 个样品。

东太平洋的岩心 C1(154°W-143°W, 7°N-12°N)采集自东太平洋海盆 CC 区。CC 区位于夏威夷群岛东南, 处于北赤道流、南赤道流和北赤道逆流的控制区, 其西南为西太平洋暖池, 东北方向是加利福尼亚冷水区, 该区域的上层海洋水文特征主要受这些洋流和水团的影响。太平洋 CC 区沉积速率高、沉积物厚度大, 与东太平洋赤道地区高生物生产力有关^[13]。C1 岩心于 1999 年 8 月 21 日用重力采样器采自东太平洋 145°22.5'W, 8°45'N, 站位水深 5148m。该岩心长 32cm, 表层和底层样品厚度为 1cm, 其余样品厚度为 2cm, 共 17 个子样。

1.2 碘和有机碳测量方法

为进行海洋沉积物碘研究, 本实验室对海洋沉积物碘测量方法和实验条件进行了研究, 测量过程简述如下: 取约 2g 样品磨细、混匀并烘干, 与 6g KOH 混合, 在马弗炉中在 300℃ 灼烧 0.5h, 接着温度升高至 600℃ 再灼烧 2h, 然后用热水萃取, 取上清液加入磷酸酸化, 用淀粉-KI 混合溶液显色, 用分光光度法测量溶液碘含量^[10]。向沉积物样品中加入一定量 KI 试剂后按分析步骤测定, 得到样品回收率为 70.8~83.2%, 平均为 75.2%。同一沉积物样品取 7 份, 按测量方法测定其中的碘含量。得到的结果平均值相对标准偏差为 3.6%。测定 8 个样品空白, 得到上机测量的空白样品溶液平均碘含量为 0.006mg/dm³, 由其标准偏差, 计算得到方法的检出限为 0.012 mg/dm³。上机测量的样品溶液的碘含量在 0.11-0.71mg/dm³ 之间。

取约 2g 烘干的样品, 450℃ 灼烧恒重测量烧失量, 按有机碳占烧失量的 45% 计算, 得到样品中的有机碳含量 (C_{org})^[14-15]。

1.3 年代建立

本研究的沉积物岩心曾进行过其它内容的地球化学研究。其中 C23、4C3 和 S1004 岩心用 ²¹⁰Pb_{ex} 或 ¹³⁷Cs

方法测定了沉积速率^[10, 16]。C1 岩心用 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ 和 $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}$ 方法测定了沉积速率^[17]。C23、4C3、S1004 和 C1 岩心的沉积速率分别为：1.65cm/a、1.2cm/a、0.16cm/a 和 1.64mm/ka，本文利用这些沉积速率建立了年代序列。

2 结果讨论

2.1 不同海域沉积物碘含量水平及其与文献的比较

胶州湾 C23 岩心碘含量介于 51.6-94.3mg/kg 之间，平均为 70.3mg/kg；4C3 岩心碘含量范围为 61.8-86.5 mg/kg，平均值为 75.0mg/kg；表层沉积物碘含量为 53.4-65.7 mg/kg，平均值为 61.0mg/kg；环胶州湾陆地沉积物的碘含量为 36.5-50.3 mg/kg，平均值为 42.0mg/kg。东海 S1004 岩心碘含量介于 35.2-77.8mg/kg 之间，平均为 50.6mg/kg。东太平洋 C1 岩心碘含量介于 68.2-105.6 mg/kg 之间，平均为 82.4mg/kg。

整个胶州湾的碘含量水平从高到低依次为：短岩心（4C3）> 长岩心（C23）> 表层沉积物 > 陆地沉积物。本研究的三个海区比较，碘含量水平从高到低依次为：东太平洋（C1）> 胶州湾沉积物 > 东海沉积物（S1004）> 胶州湾陆地沉积物。

表 1 给出一些文献报道的不同海域沉积物中碘含量。从表 1 可以看出，相比较而言，大洋沉积物的碘含量差异较小，本研究测定的东太平洋沉积物岩心的碘含量也与文献报道的水平一致。

不同边缘海沉积物碘含量水平离散较大，一些海域，象西南非洲大陆架、巴伦支海和巴拿马海盆的沉积物具有极高的碘含量，比其余海域高一个量级，其余海域与大洋沉积物在同一水平，本研究的东海岩心中的碘含量也与其余海域在同一水平，但高于仅有的文献报道的东海沉积物的碘含量水平^[9]。

东海 S1004 站点位于福建省东北部及台湾省北部海域的大陆架。管秉贤曾指出在台湾北部，存在着一个显著的高温、低盐即低密度水区，尺度较大，略呈椭圆形，终年存在，初级生产力低^[29]，所以进入沉积物碘含量低。S1004 岩心碘含量比胶州湾碘含量低，除沉积物类型、沉积环境和海域生产力不同外，可能还受两海域气候不同影响。

文献关于海湾沉积物碘研究的报道非常少。本研究的胶州湾碘含量水平高于周边陆地沉积物碘含量，与大部分文献报道的开阔海域沉积物碘含量在同一水平，说明在很大程度上胶州湾的海洋沉积物中的有机物海洋源的成分很大。

2.2 沉积物岩心碘含量的深度分布

所测定的 4 个岩心中的沉积物碘含量深度分布见图 1。整体看，胶州湾的两个岩心和东海的 S1004 岩心碘含量随深度呈微小增加的趋势。而采集自东太平洋的岩心中的碘含量随深度呈稍微降低趋势，符合大洋沉积物岩心中碘分布趋势^[9]。作者以为，形成这两种不同分布的原因可能与氧化还原环境有关。大洋属氧化环境，所以形成随深度增加岩心中碘含量增加的趋势；而胶州湾和东海则可能属于缺氧环境，形成随深度增加岩心中的碘含量降低的趋势。

仔细审视图 1 中每一个岩心的碘随深度的分布，可以发现一些细结构。C23 岩心上部 0-8.4cm 深度，碘含量呈逐渐降低趋势。9.5cm-16.2cm 深度碘含量随深度增加。以下或上升或下降，变化总是存在的。其它三个岩心亦存在明显的变化。总体看，胶州湾的两个岩心和东海的一个岩心中的碘含量是突然升高，又在较长一段深度上逐渐降低，呈锯齿状结构。而东太平洋的岩心则呈相反的变化趋势，即在某一深度突然降低，然后经过一段较长的距离逐渐升高。

2.3 不同海域沉积物的碘与有机碳相关性

文献研究认为，海洋沉积物中富集碘，其富集机理与沉积物中的有机物密切相关，所以很多文献对海洋沉积物的碘与有机物的相关性进行了分析^[2, 7, 19]。但是，本文的研究发现，在所测定的四个岩中，仅东北太平洋采集的岩中的碘与有机碳含量相关性较好，其余三个岩心碘与有机碳含量相关性较差。

表 1 不同海区沉积物中的碘含量

海域/沉积物	碘含量水平 (mg/kg)		I/Corg (10^{-3})		参考文献
	范围值	平均值	范围值	平均值	
大洋					
深海沉积物	10.9-49	36.7			Bennett and Manuel, 1968 ^[18]
东北大西洋沉积物	13-139	66	10.6-31.8		Kennedy and Elderfield, 1987 ^[19]
冲绳海槽沉积物		64			赵一阳等, 1994 ^[9]
东太平洋沉积物岩心	68.2-105.6	82.4	2.72-3.76	3.23	本研究
边缘海					
浅海富氧沉积物	20-220	114	0.98-11.0	5.26	Harvey, 1987 ^[6]
波罗的海沉积物	41.6-75.9	58.4	0.90-1.20	1.06	Aldahan et al, 2000 ^[20]
西南非大陆架沉积物	96-1990	429	1.7-25.3	8.7	Price and Calvert, 1973 ^[5]
秘鲁陆坡沉积物	5-214	63	0.08-4.86	1.4	Martin et al, 1993 ^[21]
秘鲁陆架沉积物	4-108	20.1	0.07-2.84	0.78	
巴伦支海陆架沉积物	10-828	219	1.63-38.4	15.1	Price et al, 1970 ^[22]
巴拿马海盆沉积物	76-861		12.7-39.1		Pedersen and Price, 1980 ^[23]
楚可奇海	42.5-139.5	98.1			高爱国等, 2003 ^[24]
白令海	50.0-105	73.8			
西南极海表层沉积物	21.3-65.5	46.4	5.6-16.3	10.1	程先豪等, 1992 ^[25]
东海		22			赵一阳等, 1994 ^[9]
东海沉积物岩心	35.2-77.8	50.6	2.03-4.41	2.95	本研究
河口与海湾					
密西西比河沉积物	3.4-34.3	13.0	0.37-3.54	1.08	Oktay et al, 2000 ^[26]
苏格兰 Loch Etive 河口	208-721		1.9-6.4	11.1	Malcolm and Price, 1984 ^[27]
胶州湾长岩心 (C23)	51.6-94.3	70.9	1.31-6.04	2.29	本研究
胶州湾短岩心 (4C3)	61.8-86.5	75.0	3.83-5.69	4.45	本研究
胶州湾表层沉积物	53.4-65.7	61.0	1.82-3.48	2.51	本研究
土壤					
山东土壤	0.32-14.5	3.04			魏复盛, 1990 ^[28]
环胶州湾陆地	36.5-50.3	42.0	1.12-3.22	2.11	本研究

2.3.1 胶州湾

胶州湾表层沉积物、陆地沉积物和两个岩心中碘与有机碳含量相关性较差。Oktay等人测量了密西西比河三角洲沉积物中碘和有机碳,发现整个岩心碘和有机碳没有相关性,而0-35cm深度样品中碘与有机碳呈良好的正相关^[26]。C23岩心中碘与有机碳在某些深度具有一定的相关性,但或正相关、或负相关,规律性不明显,也并不能说明沉积物中碘与有机碳有怎样的相关关系。

李冬梅曾对C23岩心进行粒度分析,给出该岩心极细粉砂、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂组成^[30]。我们分析了该岩心碘与各个粒径组分的相关关系。对整个沉积物岩心,沉积物中碘与极细粉砂、细粉砂、粗粉砂、极细砂和细砂的相关性不明显。2.8cm-24cm深度碘与细粉砂和粗粉砂具有较好的负相关性,与极细粉砂和细砂几乎无相关性,与极细砂具有良好的正相关性。高爱国等人报道白令海和楚科奇海表层沉积物中碘与粉砂呈正相关,而与砂不相关^[24]。这与本文的结果相反。Price等人的研究给出西南巴伦支海沉积物卤素含量

(碘和溴含量)与沉积物粒径不相关^[22]。Vinogradov 认为近代海洋沉积物的碘与粒径有关^[4]。程先豪等的研究结果表明,即使在有机质成岩活动最为强烈海域,也有相当部分的碘为氧化物所控制或为细粒物质吸附^[25]。从 2.8cm-24cm 深度样品中碘与沉积物粒径和有机碳关系可以看出,沉积物碘与粒径的关系会对碘与有机碳的关系造成影响,可以认为胶州湾沉积物埋藏过程中碘来源发生的变化或沉积物粒径等因素可能是碘含量和分布的影响因素。

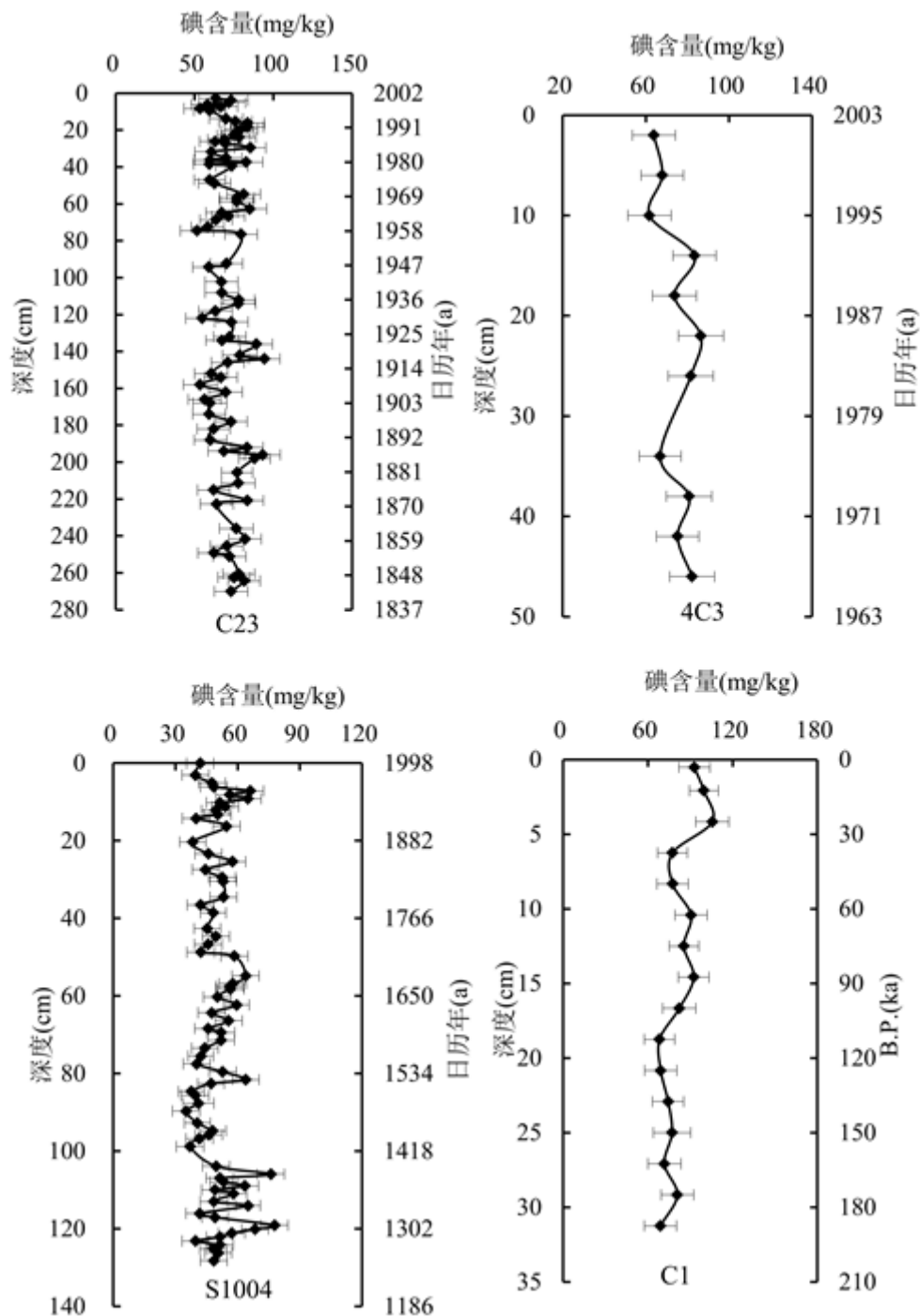


图 1 沉积物岩心碘的深度分布

2.3.2 东海

对S1004 岩心的碘含量与有机碳进行了相关性分析,发现整个岩心碘与有机碳相关性较差(图 2);而 8.5cm -60.9cm深度和 82.9cm -116.9cm深度碘与有机碳含量分别呈正相关关系,相关系数 R^2 均为 0.4552。该站

位于“浙闽外海混合沉积环境亚区”和“东海中外陆架残留砂沉积亚区”的交界处，介于现代沉积和残留沉积环境亚区之间，不同地质年代的沉积环境可能不同^[12]，因此，岩心中不同深度的物源可能不同，碘也可能以不同形态被吸附到沉积物。程先豪等报道陆架（500m以浅）或半深海（2000m以浅）沉积物样品中氧化物结合相和吸附相占优势^[25]。本文认为，S1004 岩心样品中碘与有机碳的复杂关系，可能是因为不同深度沉积物类型不同，使碘存在的形态不同或沉积环境不同引起的。

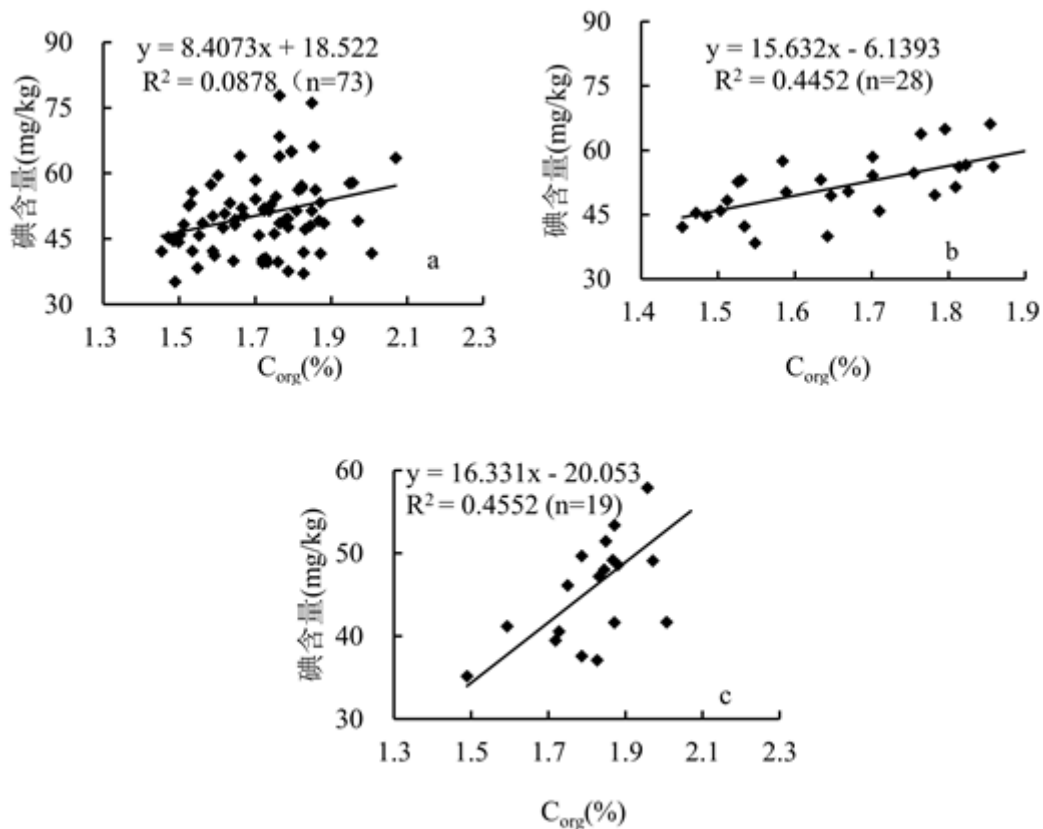


图2 东海沉积物岩心S1004 碘与有机碳的关系 (a: 整个岩心; B: 8.5-60.9CM; C: 82.9-116.9CM)

2.3.3 东太平洋

对C1 岩心的碘含量与有机碳进行相关性分析，发现岩心中碘与有机碳呈正相关关系，相关系数 R^2 为0.4399（图3）。

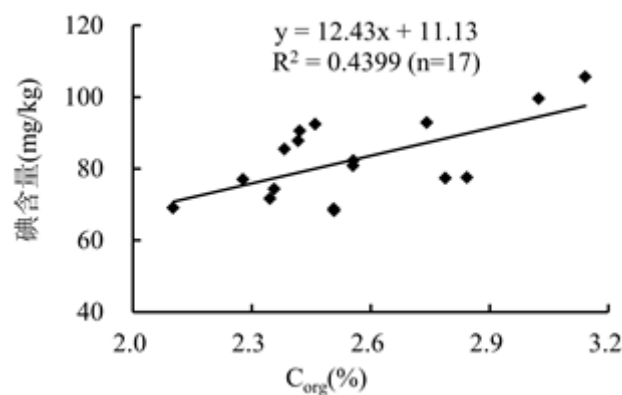


图3 东太平洋 C1 岩心碘与有机碳关系

从图1可以看出，63 ka BP - 88 ka BP 期间，沉积物中碘含量较高。刘广山等用 $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}/^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ 比值法研究了100ka 时间尺度海洋输出生产力的变化，给出60 ka BP - 80 ka BP 期间研究海域有较高的输出生产力^[17]，

证明海洋沉积物中有机物对碘的影响。深海区域, 由于颗粒物沉降过程中活性有机质几乎耗尽, 因此碘赋存于较为惰性的有机残余物中, 以一部分有机组分形式存在。然而, 深海环境具有较强的氧化性, 海水中的氧化物/氢氧化物可能从海水中吸附碘进入沉积物, 以一部分氧化物结合相和吸附态碘形式存在。深海沉积物氧化物结合组分和吸附态碘影响碘与有机碳的关系, 而且深海沉积物中碘与有机物的粒径有关^[31]。因此, 深海沉积物碘含量和分布除受有机物影响外, 还受氧化物和沉积物粒径的影响。

3 结语

(1) 测定了三个不同海域沉积物中的碘。结果给出胶州湾沉积物的碘含量介于 51.6-94.3mg/kg 之间, 环胶州湾陆地沉积物的碘含量为 36.5-50.3 mg/kg, 东海岩心碘含量介于 35.2-77.8mg/kg 之间, 东太平洋岩心碘含量介于 68.2-105.6 mg/kg 之间。碘含量水平从高到低依次为: 东太平洋>胶州湾沉积物 >东海沉积物>胶州湾陆地沉积物。

(2) 研究发现, 沉积物中碘含量及其分布受多种因素的影响, 而不只是受有机质控制。不同海域, 各种因素综合作用、互相叠加的结果, 造成沉积物碘与有机碳关系复杂, 它们可能呈正相关, 也可能呈负相关, 或根本无相关性。所以本研究的胶州湾和东海沉积物碘与有机碳不存在明显的相关性, 而东海沉积物岩心部分深度碘与有机碳含量相关性。东太平洋岩心碘与有机碳呈较好正相关关系。远洋沉积物碘与有机碳含量相关性较好, 而近岸沉积物碘与有机碳的含量相关性差, 说明海洋源的沉积物碘受近控于有机物, 而陆源沉积物则不然。

REFERENCES

- [1] Wong G. The marine geochemistry of iodine. *Critical Reviews in Aquatic Sciences*, 1991, 4: 45-73
- [2] Fuge R, Johnson C. The geochemistry of iodine-a review. *Environmental Geochemistry and Health*, 1986, 8: 31-54.
- [3] Muramatsu Y, Wedepohl K H. The distribution of iodine in the earth's crust. *Chemical Geology*, 1998, 147: 201-216
- [4] Vinogradov A. Iodine in marine muds. To the problem of the origin of iodine-bromine waters in petroliferous regions. *Tr Biogeokhim Lab Akad Nauk SSSR*, 1939, 5: 19-32
- [5] Price N, Calvert S. The geochemistry of iodine in oxidised and reduced recent marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37: 2149-2158
- [6] Harvey G. A study of the chemistry of iodine and bromine in marine sediments. *Marine Chemistry*, 1980, 8: 327-332
- [7] Francois R. The influence of humic substances on the geochemistry of iodine in nearshore and hemipelagic marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51: 2417-2427
- [8] Price N B, Calvert S E. The contrasting geochemical behaviours of iodine and bromine in recent sediments from the Namibian shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1977, 41: 1769-1775
- [9] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学. 北京: 科学出版社, 1994
- [10] 纪丽红. 海洋沉积物和铁锰结壳碘的地球化学与 ¹²⁹I 年代学. 厦门大学博士论文. 2001
- [11] 孙松, 张永山, 吴玉霖, 等. 胶州湾初级生产力周年变化. 2005, 36: 481-486
- [12] 金翔龙. 东海海洋地质. 北京: 海洋出版社, 1992
- [13] 许东禹. 多金属结核的特征及成因. 地质出版社, 1993
- [14] 鲍恩著. 崔仙舟, 王中柱 译. 元素的环境化学. 北京: 科学出版社. 1986
- [15] Heiri O, Lotter A F, Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25(1): 101-110
- [16] 刘广山, 李冬梅, 易勇, 等. 胶州湾沉积物的放射性核素含量分布与沉积速率. *地球学报*, 2008, 29(6): 769-777
- [17] 刘广山, 黄奕普, 彭安国, 等. γ 谱测定 ²³⁰Th 和 ²³¹Pa 的深海沉积物沉积速率与古生产力研究. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 153-160.
- [18] Bennett J, Manuel O. On iodine abundances in deep-sea sediments. *Journal of Geophysical Research*, 1968, 73: 2302-2303

- [19] Kennedy H A, Elderfield H. Iodine diagenesis in pelagic deep-sea sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51: 2489-2504
- [20] Aldahan A, Englund E, Possnert G, et al. Iodine-129 enrichment in sediment of the Baltic Sea. *Applied Geochemistry*, 2007, 22: 637-647
- [21] Martin J B, Gieskes J M, Torres M, et al. Bromine and iodine in Peru margin sediments and pore fluids: Implications for fluid origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57: 4377-4389
- [22] Price N B, Calvert S E, Jones P G W. The distribution of iodine and bromine in the sediments of the southwest Barents Sea. *Journal of Marine Research*, 1970, 28: 22-34
- [23] Pedersen T, Price N. The geochemistry of iodine and bromine in sediments of the Panama Basin. *Journal of Marine Research*, 1980, 38: 397-411
- [24] 高爱国, 刘焱光, 张道建, 等. 楚科奇海与白令海沉积物中碘的纬向分布. *中国科学*, 2003, 33(2): 155-162
- [25] 程先豪. 海洋沉积物中碘的早期成岩再迁移. *海洋学报*, 1993, 15(4): 56-63
- [26] Oktay S D, Santschi P H, Moran J E, et al. The ¹²⁹I iodine bomb pulse recorded in Mississippi River Delta sediments: results from isotopes of I, Pu, Cs, Pb, and C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64: 989-996
- [27] Malcolm S J, Price N B. The behaviour of iodine and bromine in estuarine surface sediments. *Marine Chemistry*, 1984, 15(3): 263-271
- [28] 魏复盛主编. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [29] 管秉贤. 第二次中国海洋湖沼科学论文集. 北京: 科学出版社, 1983, 19-30
- [30] 李冬梅. 沉积物粒径谱的解析及其环境指示意义研究. 厦门大学硕士学位论文, 2006
- [31] Shishkina O, Pavlova G. Iodine distribution in marine and oceanic bottom muds and in their pore fluids. *Geochemistry international*, 1965, 2: 559-565

【作者简介】



纪丽红 (1981-), 女, 山东滨州人, 2011年毕业于厦门大学, 获博士学位, 现任职于临沂大学。主要从事海洋环境元素与同位素研究, 已发表论文 4 篇, 获发明专利一项。

Email: jilihongxin@gmail.com