

东海沉降悬浮物质的特征研究*

詹滨秋 吴玉霖 李鹏程 宋金明

(中国科学院海洋研究所)

海洋中“有机碎屑雨”的存在,早已引起国内外学者的重视。生物学家认为它为深海生物提供了食物来源(Harding, 1974);化学家则认为它是海洋中物质转移的主要途径(Menzels, 1974)。但是长期以来,由于实验技术未能解决,无法进行现场研究,因而这些论断均未得到证实。自70年代以来,沉积物捕捉器的使用(詹滨秋等, 1991)开创了这个研究领域的新局面。现在不仅能够研究悬浮体的基本特性,而且可以了解它们在沉降过程中的动态变化。沉积物捕捉器的使用,在我国开始于80年代,主要用于浅海和港湾,在水深80m以上的陆架海域的使用尚未见报道。本文为运用捕捉器在东海水深大于80m水域捕获沉降悬浮物质,对其特征进行研究。此次调查研究的地点选择在长江冲淡水、黄海沿岸流、台湾暖流和黄海暖流交汇处,该海域10—50m深处一年四季存在一个半永久性的气旋型冷涡旋,并且存在上升流,因而该海域的悬浮物质具有独特性,对其进行的研究也有助于了解其他海域的同类问题。

一、方 法

(1) 沉积物捕捉器浮标系统投放于东海(32.00°N, 126.00°E), 平均水深为83m。1990年进行了两个航次调查: 90-ES-1(5月4—6日)和90-ES-2(7月27—29日)。

(2) 用两种类型的沉积物捕捉器采样: 梅花形圆柱式捕捉器, 总开口面积为0.084m²; 圆锥形捕捉器, 总开口面积为0.373m²。梅花形捕捉器悬挂深度为15m, 圆锥形捕捉器悬挂深度为68m。沉降悬浮物质的样品取自捕捉器, 浮游生物样品用浮游生物拖网获得。

(3) 样品在船上立即作冷藏保存。运回实验室后, 用孔径63μm的尼龙筛绢和孔径0.45μm的醋酸纤维膜将沉降悬浮物质分为两级: 0.45—63μm和大于63μm, 然后分别等分为18份, 进行化学分析、颗粒度测定和生物鉴定。拖网样品只作粒度测定和生物鉴定。样品的分级、预处理和分析方法见另文(詹滨秋等, 1992)。

微量金属分析用的每种样品分别用三种分解液分解: ① HF + 王水(结果包括金属有机物、金属硅酸盐和以弱键形式存在的金属化合物); ② 王水(结果包括金属有机物和以弱键形式存在的金属化合物); ③ 1mol HCl(结果代表以弱键形式存在的金属化合

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2145号。本课题为国家自然科学基金项目, 4870284号。

收稿日期: 1991年11月28日。

物)。

作者用上述分解液将颗粒金属的存在形态归为三类: 金属有机物 (Org-M)、金属硅酸盐 (Si-M) 和以弱键形式存在的金属化合物 (W-M)。弱键结合的颗粒金属的概念是根据 Loring (1982) 和 Steinar 等 (1982) 的定义提出的, 即能溶解于 1mol HCl 的颗粒金属化合物, 例如氢氧化物、碳酸盐和在水合氧化物、矿物粘土和生物碎屑上吸附或络合的金属。

二、结果与讨论

1. 沉降悬浮物质和浮游生物的颗粒度分布

90-ES-1 和 90-ES-2 两个航次捕捉器在表层和底层以及浮游生物拖网所获样品的粒度分布列于表 1。从表 1 中可看出: ① 悬浮物质颗粒度分布随深度而变化, 表层粒级小的颗粒占的比重比底层大。表层粒度分布的峰值出现在小于 0.50mm 的粒度区域。而

表 1 沉降悬浮物质和浮游生物的颗粒度分布

样品 % 颗粒度 范围 (mm)	90-ES-1 表层	90-ES-1 底层	90-ES-2 表层	90-ES-2 底层	90-ES-1 浮游生物	90-ES-2 浮游生物
4.76—4.00	0	0	0	—	0	0
4.00—3.36	1.0	0.9	0.9	—	3.6	0.9
3.36—2.83	10.0	0	0	—	0	0
2.83—2.38	0	0	0	0	0	0
2.38—2.00	0	0	0	0	0	0
2.00—1.68	3.1	1.8	1.8	1.8	11.9	4.6
1.68—1.41	0	0	0	0	0	0
1.41—1.19	0	0	0	0	0	0
1.19—1.00	0	0	0	0	0	0
1.00—0.85	35.7	25.0	10.9	32.1	43.6	40.9
0.85—0.71	7.1	9.8	4.6	13.4	14.5	10.0
0.71—0.60	10.2	11.6	5.4	11.6	16.4	9.1
0.60—0.50	11.3	6.3	7.3	18.8	6.4	7.2
0.50—0.42	12.2	10.7	6.4	11.6	3.6	3.3
0.42—0.35	8.2	9.8	15.4	5.3	0	11.8
0.35—0.30	4.1	10.7	14.6	2.7	—	7.2
0.30—0.25	5.1	8.0	9.1	1.8	—	2.8
0.25—0.21	1.0	0	7.2	0.9	—	0.9
0.21—0.18	1.0	2.7	8.2	—	—	0.9
0.18—0.15	—	0.9	5.5	—	—	0.9
0.15—0.13	—	—	1.8	—	—	—
0.13—0.11	—	—	0.9	—	—	—
0.11—0.09	—	—	0	—	—	—

注: “—”表示无测量数据。

表2 海水和沉降悬浮物质中浮游生物的种类

	90-ES-1	90-ES-2
海 水 中	硅藻类 具槽直链藻 (16 800) 具边圆筛藻 (48 00) 偏心圆筛藻 (800) 辐射列筛藻 (4 800) 琼氏圆筛藻 (4 000) 小环藻 (4 000)	硅藻类 圆筛藻 (2 400) 角刺藻 (4 800) 几内亚藻 (16 800) 舟形藻 (1 200)
	甲藻类 梭角藻 (1 600) 三角角藻 (1 600) 多甲藻 (6 400)	甲藻类 三角角藻 (16 800) 多甲藻 (32 400)
	浮游动物 桡足类 (27 200) 桡足类幼体 (21 600)	浮游动物 桡足类 (75 600) 桡足类幼体 (28 800) 瓣鳃类幼体 (7 200)
沉 降 悬 浮 物 质 中	表层	表层
	浮泥小颗粒,较多 浮游动物粪便 有机碎屑 圆筛藻 具槽直链藻 桡足类残体	浮泥小颗粒 浮游动物粪便,较多 有机碎屑 桡足类残体 桡足类无节幼体残体 硅藻类的几内亚藻 砂壳纤毛虫、瓣鳃类幼虫
	底层	底层
	浮泥小颗粒,较多 有机碎屑 浮游动物粪便 具槽直链藻,较多 曲舟藻、舟形藻 圆筛藻 桡足类残体	浮泥小颗粒,较多 浮游动物粪便,稍多 具槽直链藻 舟形藻 有机碎屑 桡足类残体、桡足类无节幼体残体 瓣鳃类幼虫残体

注：括号内数字为数量(单位：个/m³)。

底层,其峰值则在 0.87—1.00mm 处,平均直径小于 0.92mm 的颗粒占 90% 以上,而平均直径大于 0.92mm 的颗粒则小于 5%。如果从整个水体看(表层和底层的平均值),其峰值都出现在 0.87—1.00mm 之间。5 月(春季)沉降悬浮物质的平均粒度大于 7 月(夏季)。②两个月份浮游生物粒度分布极为相似,峰值均出现在相同的范围内,该粒级范围内的浮游生物占 40% 以上。总的看来,小于 1.00mm 的颗粒占 90% 以上。③ 沉降悬浮物质的粒度分布与浮游生物相一致。但是沉降悬浮物质的平均粒度小于浮游生物的平均粒度。这说明悬浮物的来源与浮游生物的生产具有密切关系。死亡的浮游生物在垂直沉降过程中,由于物理的作用和生物与化学的分解作用,变成较小的碎屑。下述浮游生物的主要种群和数量可以进一步说明这个问题。

表3 微量金属元素在沉降悬浮体中的含量

	90-ES-1 表层				90-ES-1 底层			
	总量	Org-M	W-M	Si-M	总量	Org-M	W-M	Si-M
Cu	0.123	0.093	0.012	0.018	0.036	0.021	0.009	0.006
Pb	1.478	0.183	1.085	0.160	0.300	0.107	0.118	0.067
Zn	0.953	0.287	0.333	0.333	0.478	0.279	0.114	0.106
Cr	0.277	0.060	0.170	0.047	0.442	0.027	0.314	0.101
Fe	0.789	0.106	0.612	0.072	0.148	0.039	0.098	0.011
Mn	1.592	0.198	1.353	0.040	0.172	0.055	0.111	0.010
Al	1.390	0.163	0.403	0.825	0.230	0.043	0.053	0.134

	90-ES-2 表层				90-ES-2 底层			
	总量	Org-M	W-M	Si-M	总量	Org-M	W-M	Si-M
Cu	0.155	0.069	0.016	0.003	0.315	0.043	0.033	0.220
Pb	1.793	0.638	1.013	0.141	0.817	0.170	0.291	0.356
Zn	1.229	0.343	0.444	0.590	0.974	0.581	0.196	0.196
Cr	0.314	0.038	0.218	0.059	0.169	0.024	0.130	0.019
Fe	0.379	0.055	0.291	0.033	0.386	0.042	0.325	0.019
Mn	0.316	0.022	0.249	0.046	0.835	0.191	0.609	0.035
Al	0.522	0.139	0.118	0.265	0.731	0.225	0.228	0.277

注: Cu, Pb, Zn, Cr 和 Mn 的含量单位为 mg/g; Fe 和 Al 的含量单位为 %。

2. 浮游生物的主要种群和数量

两个航次所获样品的生物种群和数量鉴定结果列于表 2。从表 2 中可看出, 此海域在 5 月和 7 月, 海水中浮游生物的种群具有很大的相似性, 以硅藻类的种数最多, 但数量有所不同: 5 月具槽直链藻数量最多, 而 7 月几内亚藻数量最多。在沉降悬浮物质中含大量的小浮泥颗粒, 其次是浮游生物粪粒、残骸和有机碎屑, 其中许多碎屑已难于辨认来源于何种浮游生物。上述结果说明, 浮游生物(包括粪粒和残骸)是沉降悬浮物质的重要来源。此海域由于有几股水系交汇混合, 浮游生物和其它有机物都较多(熊孝先等, 1987)。这说明海水的长途搬运是此海域水中有机碎屑来源的另一重要途径。

3. 沉降悬浮物质中微量金属元素的含量

两个航次所获沉降悬浮物质中微量金属元素的含量见表 3, 从表可知, 铝和铁的含量高于其它 5 种金属元素 (Mn, Cu, Pb, Zn, Cr) 的含量一个数量级 (表 3)。将东海沉降悬浮物质与底质及长江河口区悬浮物中金属元素的含量作一比较 (表 4), 可看出: ① 东海北部 (32.00°N, 126.00°E) 底质和长江河口区悬浮物中 Fe 和 Al 的含量比沉降悬浮物质中的含量高得多 (约 10—13 倍); 东海底质中 Mn 的含量大约为沉降悬浮物质中含量的 100 倍, 长江河口区悬浮物中 Mn 的含量约为沉降悬浮物质中含量的 1.4 倍。② Cu, Pb,

表4 东海(32.00°N, 126.00°E)沉降悬浮物质与底质及长江河口悬浮物中微量金属元素含量之比较

资 料 来 源	Cu	Pb	Zn	Cr	Fe	Mn	Al
底质(秦蕴珊等, 1987)	0.02—0.03	>0.130	>0.080	—	>4	60—80	6—8
沉降悬浮物质(本研究, 1990)	0.15	1.10	0.91	0.30	0.43	0.73	0.72
河口悬浮物质(Zheng 等, 1986)	—	—	—	—	4.4	0.83	8.3
河口悬浮物质(Li 等, 1984)*	0.070	0.065	0.113	0.083	5.6	1.06	9.7

注: Cu, Pb, Zn, Cr 和 Mn 含量的单位为 mg/g; Fe 和 Al 含量的单位为%。

* 取 1980 年和 1981 年的平均值。

Zn 和 Cr 的情况则相反, 沉降悬浮物质中的含量高于底质和长江河口区悬浮物中的含量。我们认为, 形成这种现象的决定因素是金属的转移形态和沉积后的稳定性。长江冲淡水 and 黄海沿岸流带来的大量泥沙和粘土矿物中含有大量的 Si-Al-Fe 物质, 它们在底质中化学性质稳定, 不易被分解, 所以 Al 和 Fe 在底质中的含量比沉降悬浮物质中高, 而与河口区悬浮物中的含量相当。颗粒微量金属元素 (Pb, Cu, Cr 和 Zn) 有一大部分是在海洋中由于化学作用和生物的富集而形成的, 主要以弱键形式结合和以有机物形式存在。这两类化合物在海洋环境条件(如 Eh, pH 和盐度等)发生变化时或在细菌分解作用下, 容易转变为溶解态, 因而在底质中比较不稳定。同时这两种形态的颗粒粒度小、比重小、沉积速度小, 所以在沉降悬浮物质中的含量大于底质中的含量。Mn 主要以弱键形式结合的颗粒 Mn 在河口区前已经形成, 这部分物质的比重小, 在水中悬浮的时间长, 所以在河口区和陆架区的悬浮物质中的含量相当。

4. 沉降悬浮物质中金属的时空变化及存在形态

七种微量金属元素在沉降悬浮物质中的含量呈现明显的时空变化。Al, Fe 和 Mn 的时空变化特征相同, 在 90-ES-1 航次(5 月), 表层的含量大于底层, 而 90-ES-2 航次(7 月)的情况则相反。如果以同层次比较, 它们在 90-ES-1 航次表层悬浮体中的含量大于 90-ES-2 航次的表层含量; 而在底层, 则相反, 90-ES-2 航次的含量大于 90-ES-1 航次的含量。Cu 的含量的时空变化(除了 90-ES-1 航次的表层)与 Al, Fe 和 Mn 相同。Zn 和 Pb 在沉降悬浮物质中含量的时空变化特征相同, 而 Cr 则不具有规律性。七种微量金属元素含量均未表现出与颗粒沉降物质的时空变化构成相关性, 这说明颗粒金属的生成不仅与颗粒物质的量有关, 而且与沉降物质和颗粒金属的性质有关。例如, 在 7 月, 该海域出现强的上升流, 致使底层悬浮物质的含量大于表层。由于底质的再悬浮, Al, Fe, Mn 和 Cu 在底层悬浮物质中的含量大于表层, 然而 Cr, Pb 和 Zn 就不具有这种特点。在 5 月底, 由于长江冲淡水量增大, 带来大量陆源物质, 使得 Fe, Mn 和 Al 在表层沉降物质中的含量大于底层; 而 Cu, Cr, Zn 和 Pb 则没有这个特点。

根据两个航次资料所得三种形态颗粒金属在总量中所占的平均比率见表 5。Al 是沉降悬浮物质中含量最高者, 以硅酸盐为主要存在形态(占其总量的 51%)。Fe 和 Mn 的含量仅次于 Al, 都以弱键形式结合的颗粒为主(分别占各自总量的 76% 和 75%)。Fe 和 Mn 在河口区和海洋中, 由于海水温度、盐度、Eh 和 pH 等环境因素的变化, 由溶解态转变为絮凝的氢氧化物。因而可以推测, 除了矿物粘土外, Al 的硅酸盐和 Fe, Mn 的氢氧化

物絮凝物在沉降悬浮物质中是主要成分。颗粒 Cu 的主要形态为有机物 (占其总量的 48%), 所以颗粒 Cu 的生成与生物活动有密切关系。Cr 和 Pb 在沉降物质中主要以弱键形式结合的颗粒存在, 分别占各自总量的 70% 和 51%。而 Zn 在悬浮物质中却没有一种形态占主要地位, 三种形态的颗粒所占比率相近。上述结果说明, 生物作用和化学作用对颗粒 Zn 的生成都是不可忽视的因素, 而 Al, Fe, Mn 和 Cr 的生成则是以化学作用为主。

表 5 三种形态的颗粒金属在总量中所占的平均比率(%)

形态	元素	Cu	Pb	Zn	Cr	Fe	Mn	Al
	比率							
Org-M		48.0	26.1	44.0	13.5	16.3	18.6	22.0
W-M		13.9	51.2	28.8	69.7	76.2	75.3	26.5
Si-M		25.8	21.1	31.3	17.5	7.5	6.8	50.8

5. 微量元素在沉降悬浮物质中含量的相关性

沉降悬浮物中相关金属元素含量的相关关系式如下 (r 为相关系数, n 为样品数, T 为总量):

$$\begin{aligned}
 C_{\text{Org-Cu}} &= 0.020 + 1.09 C_{\text{Si-Fe}} \quad r = 0.94 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{Org-Cu}} &= -0.038 + 0.29 C_{\text{W-Mn}} \quad r = 0.93 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{W-Pb}} &= -0.143 + 0.700 C_{\text{T-Pb}} \quad r = 0.95 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{W-Cr}} &= 0.00 + 0.69 C_{\text{T-Cr}} \quad r = 0.98 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{W-Fe}} &= -0.006 + 0.790 C_{\text{T-Fe}} \quad r = 1.00 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{W-Fe}} &= 0.117 + 0.370 C_{\text{W-Mn}} \quad r = 0.96 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{T-Fe}} &= 0.043 + 0.533 C_{\text{T-Al}} \quad r = 0.99 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{T-Mn}} &= -0.189 + 1.28 C_{\text{T-Al}} \quad r = 0.98 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{W-Mn}} &= -0.051 + 0.864 C_{\text{T-Mn}} \quad r = 1.00 \quad (n = 4) \\
 C_{\text{Si-Al}} &= -0.059 + 0.604 C_{\text{T-Al}} \quad r = 0.97 \quad (n = 4)
 \end{aligned}$$

金属元素在沉降物质中含量的相关性有三个特点: ① 能构成相关关系的均是该金属在悬浮物质中存在的主要形态; ② 与转移途径有密切关系; ③ Fe, Mn 和 Al 彼此之间具有相关性, 并分别与其它金属元素构成相关关系。例如, Cu 以颗粒有机铜的形式与 Fe, Mn 相关。Pb, Fe 和 Mn 则以弱键结合的颗粒与其它元素相关。可是, Cr 以弱键结合的颗粒 Cr 为主要形态, 却只与总 Cr 相关, 未发现它与 Fe, Mn 和 Al 构成相关关系。颗粒 Cr 在沉降悬浮物质中含量的时空变化不具有规律性, 因而我们以为, 单用本文采用的分类法来探讨颗粒 Cr 的转移途径是不够的。Fe, Mn 和 Al 的紧密相关说明它们的生成、存在和转移过程相互间有密切的关系, 具有相互依赖性, 它们对微量元素在海洋中的转移起着携带者的作用。

三、结 语

(1) 沉降悬浮物质和浮游生物的颗粒度分布、种群和数量都具有很大的相似性,说明浮游生物是东海悬浮物质的重要来源。

(2) 沉降悬浮物质中微量金属元素含量的时空变化明显受环境条件(生物的、化学的和物理的)的影响,它们不仅有各自的特点,而且具有共同的特点。

(3) 颗粒金属的三种主要形态的分类和它们在悬浮物质中含量的相关性,有助于进一步了解颗粒微量金属元素的来源与转移途径和元素的生物地球化学过程。

(4) 颗粒 Fe, Mn 和 Al 对微量金属元素在海洋中的转移起着重要作用。

(5) 通过对沉降悬浮物质的生物、化学和物理特性的研究,可以进一步认识它在元素的生物地球化学过程中的重要作用。

参 考 文 献

- 秦蕴珊等, 1987, 东海地质, 科学出版社, 91—112。
- 詹滨秋等, 1991, 沉积物捕捉器的设计与应用, 海洋科学, 3:16—18。
- 詹滨秋等, 1992, 颗粒物质和微量金属在东海北部的沉积通量, 海洋与湖沼, 24:51—58。
- 熊孝先等, 1987, 东海西北部无机颗粒物分布异常与水系及沉积物之间关系的分析, 海洋科学, 2:8—13。
- Harding, G. C. H., 1974, The food of sea copepods, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 54:141—155。
- Li, Y. H. et al., 1984, The elemental composition of suspended particles from the Yellow and Yangtze Rivers, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48:1561—1564。
- Loring, D. H. and R. T. T. Rantala, 1977, Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter, *Fish. Mar. Serv. Can. Tech. Rept.*, 700。
- Menzel, D. W., 1974, Primary productivity, dissolved and particulate organic matter and the site of oxidation of organic matter, In: Goldberg, E. D. ed., *The sea*, Vol. 5., John Wiley, 659—678。
- Steinar, K. N. and L. Watter, 1982, The determination of weakly and strongly bound Copper, Lead and Cadmium in Oslo Fjord samples, *Marine Chemistry*, 11:223—233。
- Zeng Xiushan et al., 1986, Fluxes of Al, Fe and Mn through the Changjiang River estuary, *Rapp. P.-V. Cons. Int. Explor. Mer.*, 186:313—320。

STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF THE SINKING MATTER IN THE EAST CHINA SEA*

Zhan Binqiu, Wu Yulin, Li Pengcheng and Song Jinming

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Sinking matter is a carrier of chemical elements in the sea for transferring. The paper is the result of the study on the sinking matter, which was collected with the sediment traps in the 15m and 68m depth water layers in the East China Sea at 32°00'N, 126°00'E, in May and July, 1990. The grade distribution of sinking matter and plankton in the whole water column, biological species and number, and contents of chemical elements, were analysed and examined. The results show that the grade distribution and biological species in the sinking matter were similar to that of plankton. The paper describes the spatial and temporal characters of metal element content in spring and summer, the relationships among the particulate metals and the existence forms of the particulate metals in the sinking matter.

* Contribution No. 2145 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.