

# 长江河口悬浮颗粒物研究\*

李道季 李 军 陈吉余 陈西庆 陈邦林

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

**摘要** 1994年11月、1996年9月和1997年1月使用FACScan流式细胞仪技术等分析观测手段对长江河口悬浮体进行了研究。结果表明,长江河口悬浮体中,具有有机性的颗粒数占总颗粒数的60%—75%;在颗粒粒径分布上,粗颗粒物( $> 8\mu\text{m}$ )主要为有机物质(生物残体、小型藻类、矿物-有机物集合体),细颗粒物( $< 8\mu\text{m}$ )主要为粘土矿物,有有机物附着和具有有机裹层的粘土矿物或集合体;有机性颗粒物含量随盐度变化,高盐水侵入,有机颗粒含量增高;有机性悬浮颗粒浓度随总悬浮体的浓度增大而增大,认为长江河口悬浮体的聚集主要以有机絮凝为主。

**关键词** 悬浮体 有机性颗粒 流式细胞仪 长江河口

**学科分类号** P731

长江河口具有生物学特性的悬浮颗粒主要是浮游动植物、微生物、活体和死亡生物体,构成化学特性的悬浮颗粒主要为附着有机质的细颗粒粘土矿物、脂类、多糖类、矿物有机裹层等(Moreira-Tureq *et al.*, 1993; 夏福兴等, 1991; Chen, 1995)。传统上由于观察手段的限制,并未深入了解悬浮颗粒物的具体内在特征,而统称为“黄色物质”(Eisma, 1986)。因此在研究颗粒物质的聚沉、吸附和缩合作用,新生相生成作用,河口物质输出通量估算等方面都有一定的限制(王保栋, 1994; 陈邦林等, 1995; 时钟等, 1995)。流式细胞仪可直接快速对悬浮颗粒的生物和化学组成特征和含量的进行观察(李道季等, 1996; 焦念志等, 1999)。鉴于上述原由,本文作者尝试使用FACScan流式细胞仪,对长江河口水域悬浮颗粒物特性进行分析研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

1994年11月,在长江河口南部近岸水域进行了22个大面站位及2个定点站位各13h同步的水文、盐度、含沙量测量和表层水样的同步采集。1996年9月采集了由长江徐六径以下至长江河口口门区共19个站表、底层水样。1997年3月和1997年7月两次测量了长江河口区17个站(包括2个定点站)的水文、盐度、含沙量,采集了表、中、底层的水样(定点4个时段)(图1)。水样冷冻带回实验室备测。

\* 教育部博士点基金资助项目,97026907号;上海市高校青年学术基金项目,1995年。李道季,男,出生于1962年2月,博士,副教授, E-mail: djli@sklec.ecnu.edu.cn

收稿日期: 1998-10-15, 收修改稿日期: 1999-11-18

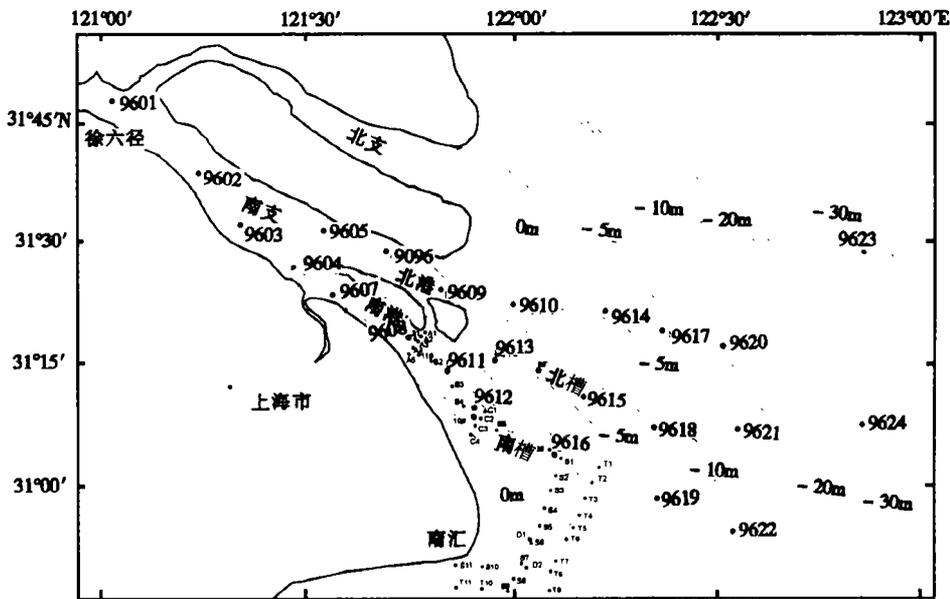


图1 长江河口研究站位

Fig.1 Study stations over the Changjiang River estuary

## 1.2 FACSscan 流式细胞仪分析

取每站的表层水样各 3ml 分别移入两个流式细胞仪测量试管,加 2% 异硫氰酸荧光素 (FITC) 0.2 $\mu$ l 于其中一试管荧光染色 20—30min 备测,另一试管作对比。使用的流式细胞仪为 Becton Dickinson 公司的 FACSscan 系统,探测颗粒数(依据样品浓度而定范围为 1 000—5 000 个),发射自然荧光的荧光玻璃珠,内标粒径分别为 10 $\mu$ m 和 2 $\mu$ m,主要探测前向光散射 FSC 和 F1 荧光发射。

## 1.3 样品盐度、含沙量和科尔特粒径分析

样品带回实验室,盐度由上海沪光仪器厂的 SYC1-2 型感应式盐度计测定。含沙量采用滤膜过滤、重量法测定。粒径测定,取样品 100ml 加偏磷酸钠分散剂 5ml,经超声波振动 15min,使用 COULTER COUNTER TAI 型分析仪测定。

## 2 结果分析

### 2.1 表层悬浮颗粒物的自然荧光特性

具有自然荧光特性的悬浮颗粒主要由含有色素的活体细胞组成,其色素主要有叶绿素、藻黄素、藻红素、藻蓝素等。FACSscan 流式细胞仪的 3 个荧光探头分别探测 3 种不同波长范围的荧光发射,其中 F1 探测波长 530nm,带宽 30nm,适合探测 FITC 和叶绿素荧光。利用前向光散射 FSC 探测参数反映颗粒粒度的特点,结合颗粒自然荧光强度参数,由 FACSscan 流式细胞仪数据处理系统给出长江河口的表层悬浮颗粒二维测量参数图,长江河口所有所测站位,除荧光颗粒含量有一定差异外,其基本的自然特性见(图 2)。结果表明,发出 F1 波长荧光的颗粒,可认为是含有色素的浮游植物和细菌活体细胞,由徐六泾至口门各个站位浮游植物活体细胞平均占所测总颗粒数(1 000 个)的 5%。对 F1 探测荧光不

敏感的颗粒, 占总颗粒数的 95%, 并且随着粒径的增大, 此类颗粒数目很快减少, 在  $10\mu\text{m}$  左右基本消失。因此, 除浮游植物活体细胞颗粒外, 其它颗粒均可认为粘土矿物、包裹粘土矿物的有机物颗粒和浮游植物遗体等。

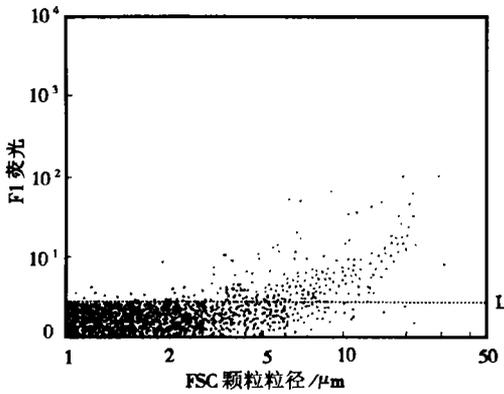


图2 长江河口表层悬浮体颗粒前向光散射 (FSC粒径)和F1荧光测量参数图

Fig.2 Plot between FSC and F1 fluorescence of suspended particles from the Changjiang River estuary

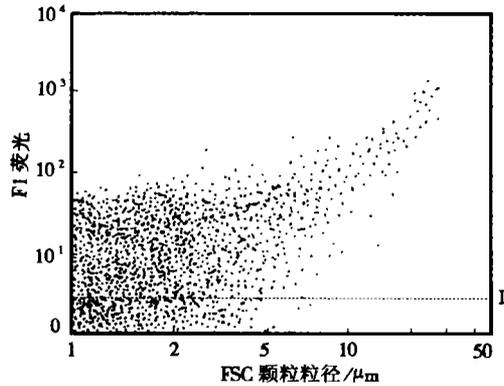


图3 长江河口表层经FITC处理悬浮颗粒前向光散射 (FSC粒径)和F1荧光测量图

Fig.3 Plot between FSC and F1 fluorescence of suspended particles treated by FITC from the Changjiang River estuary

## 2.2 悬浮颗粒物 FITC 染色的荧光特性

异硫氰酸荧光素 (FITC) 是对蛋白质具有特异性的荧光染色剂, 主要用于鉴别含有蛋白质的细菌、浮游动植物及与其结合的颗粒物等, 以区分单纯的粘土矿物颗粒。表 1 是长江河口表层水样 FITC 染色后 FACSscan 流式细胞仪的测量结果, 在不同的季节和水层, 可被 FITC 染色的悬浮颗粒数占总颗粒数的 60%—85% 不等, 冬季小于夏季。图 3 是经 FITC 处理后测量的长江河口典型的 FITC 染色的悬浮颗粒特性。图上发出 F1 波长荧光的颗粒物增多, 表明其可被 FITC 染色。长江河口每个站位此类颗粒占所测颗粒总数 (1 000 个) 的 60% 以上, 对 F1 探测荧光不敏感的颗粒占所测颗粒总数不到 40%, 与图 2 的结果对比, 可以看出由 FITC 荧光剂染色的这部分颗粒包括具有自然荧光特性的活体细胞颗粒以及那些与蛋白质有机物粘连的粘土矿物, 而且在所测粒径范围内颗粒较粗。因此长江河口南部近岸表层水域悬浮颗粒物可初步分成 3 类颗粒群: 粘土矿物颗粒、有机质粘土矿物颗粒集合体 (包括带有机裹层矿物颗粒) 和活体颗粒。

## 2.3 表层悬浮颗粒物的粒度特征

长江河口南槽各站 1994 年 11 月份表层悬浮颗粒物的粒度分布为非典型的正态分布, 悬浮颗粒粒径的峰值处在  $2\mu\text{m}$  左右。比较悬浮颗粒的自然荧光特性和 FITC 染色后的荧光特性 (图 4), 点 A1 和 B1 分别是上述两种特性所鉴别的颗粒群在对 F1 荧光敏感 L 线上的最高起始点, A2 和 B2 是两者的最低点, 以上 4 点决定了不同类别颗粒群在粒度曲线上的粒度范围和所占的百分比。由此表明, 长江河口表层悬浮颗粒物随着粒径的增大, 颗粒特性大致呈如下变化: A1 以上, 活体颗粒; A1—B1, 有机质附着或有机裹层矿物、活体颗粒; B1—A2, 矿物、有机质附着或有机裹层矿物、活体颗粒; A2—B2, 矿物、有机质附着或

表1 长江河口悬浮颗粒流式细胞仪测定结果(大面站位, 悬浮颗粒经FITC染色)

Tab.1 The results of cytometer measurement of suspended particles from the Changjiang River estuary (samples treated by FITC)

1994年 11月研 究站位	表层FITC悬 浮颗粒含量 (%)	1996年 9月研究 站位	FITC悬浮颗 粒含量(%)		1997年 3月研究 站位	中层FITC悬 浮颗粒含量 (%)	1997年 7月研 究站位	中层FITC悬 浮颗粒含量 (%)
			表层	底层				
S1	63.8	9601	64.6	82.8	A1	79.4	A1	76.3
S2	59.4	9602	64.7	75.4	A2	75.0	A2	78.2
S3	67.1	9603	66.3	85.7	A3	80.8	A3	76.1
S4	62.8	9604	66.1	80.6	A4	85.4	A4	74.5
S5	63.2	9605			A5	82.3	A5	79.2
S6	63.2	9606		80.1	11*	87.5	11*	80.2
S7	61.5	9607	63.2	85.3	B1	81.1	B1	74.2
S8	61.0	9608	64.1	83.2	B2	64.8	B2	82.0
S9	57.1	9609			B3	84.7	B3	81.1
T1	62.4	9610	80.1	78.8	B4	71.9	B4	75.3
T2	60.5	9611			B5	52.2	B5	76.2
T3	62.8	9612	71.2	72.7	B6	59.2	B6	80.2
T4	62.3	9613	78.4	78.9	C1	52.0	C1	81.6
T5	63.2	9614			C2	60.8	C2	80.0
T6	60.7	9615			C3	71.6	C3	84.5
T7	62.2	9616	72.8	71.1	C4	71.6	C4	87.1
T8	62.4	9617		83.1	10*	62.0	10*	85.1
T9	62.3	9618	71.8	80.7				
D1	64.1	9619	80.2	68.3				
D2	64.2	9620	83.4					

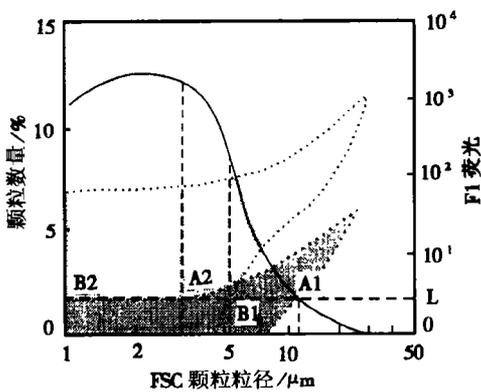


图4 长江河口悬浮体颗粒特性在粒径分布上的差异

Fig.4 Distribution of suspended particle characteristics on the particle size in the Changjiang River estuary

有机裹层矿物。由以上的分析结果看,能够产生聚集、吸附和缔合等作用的细颗粒粒径范围主要在 $2\mu\text{m}$ 以下,而 $5-15\mu\text{m}$ 的粒径范围应为絮块的主要区间,并且大于 $15\mu\text{m}$ 以上的颗粒团已观测不到。

#### 2.4 洪枯两季潮周期中 FITC 颗粒含量的变化特征

图 5a 是枯季一个潮周期中落憩、涨急、涨憩和落急 4 个时段表、中、底层 FITC 颗粒和自然荧光颗粒含量变化。表、中、底层水体 FITC 颗粒含量在落憩、涨急、涨憩时均维持在接近 60% 的水平,但在落急前 1h 表层 FITC 颗粒含量有大幅度增高达 80%, 此前水体已为含 FITC 颗粒较多的高盐水占据,而中、底层水体 FITC 颗粒含量则降

低到近 50%, 表明此前由高密度盐水导致的底层有机性颗粒物再悬浮较强, 水体分层作用明显, 表层来自海洋性的具光合作用色素的颗粒增多, 底层相对较少。同样根据洪季涨急、涨憩、落急和落憩 4 个时段利用 FACSscan 流式细胞仪对表、中、底层 FITC 颗粒和自然荧光颗粒含量变化的分析结果见图 5b。在 4 个时段中, FITC 颗粒含量基本维持在 75%—80% 之间, 明显高于枯季(图 5a), 并且表、底层含量相差不大, 垂直混合作用强烈。同时自然荧光颗粒含量水平大大高于枯季(表 1), 表明浮游植物数量增加。在涨憩、落急时表层数量大于底层, 而在落憩、涨急时底层数量大于表层, 显示河流性和海洋性颗粒在此相互交换。

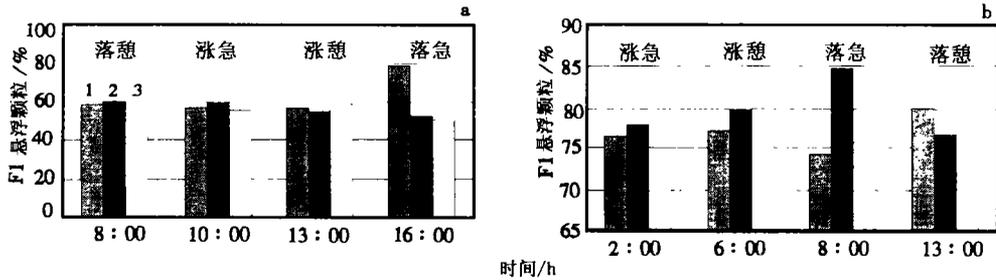


图5 10号站枯(1997.03.09) (a)、洪(1997.07.27) (b)季经FITC染色悬浮颗粒含量潮周期变化  
Fig.5 Changes of FITC dyed suspended particle contents on a tidal period of drought(a) and-flood(b) seasons in st. 10

## 2.5 盐度变化对悬浮颗粒物生物学和化学特性的影响

悬浮颗粒物由不同的颗粒群组成。根据 D1 站一个潮周期盐度变化和经 FITC 染色的悬浮颗粒物 FACSscan 流式细胞仪测定表明: 在高盐度时, 被 FITC 染色的颗粒群颗粒百分含量较高一些(图 6)。由于外海高盐水输入的颗粒物主要由较粗颗粒的生物体和有机物组成, 因此, 此区域的有机颗粒物主要来自长江径流, 并且其颗粒物间的聚集絮凝作用主要发生在低盐度区(陈邦林等, 1995; 林以安等, 1995)。

## 2.6 悬浮颗粒物含量与含沙量两者概念差异

研究区域悬浮颗粒物中 FITC 染色的颗粒占 60%—75%, 说明有机质的含量占有相当的比例, 因此称重法测量的含沙量并不代表真正意义上的含沙量, 实际上包含了非泥沙物质重量。根据以上的研究, 认为非泥沙物质重量可占有一定的比例。在长江河口不同区域悬浮有机颗粒物含量不同, 在最大浑浊带区因含沙量高而悬浮有机颗粒物含量亦高(图 7)。同时, 因泥沙颗粒

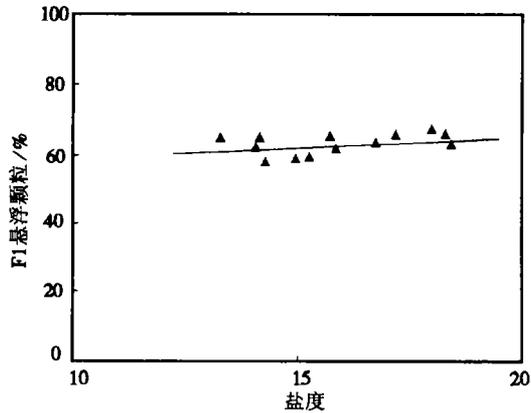


图6 盐度与FITC染色悬浮颗粒含量的关系  
Fig.6 Relations between salinity and FITC dyed suspended particle contents

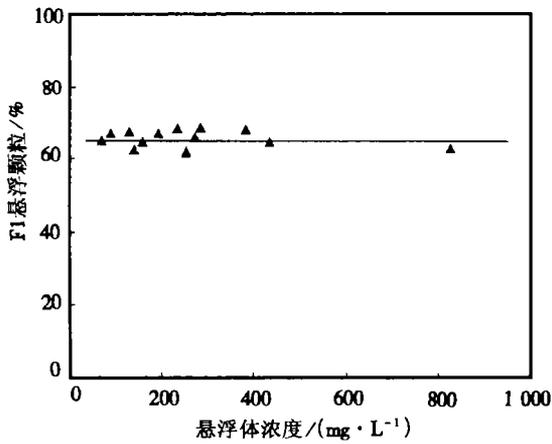


图7 悬浮体(含沙量)与FITC染色悬浮颗粒含量的关系

Fig.7 Relations between suspended sediment concentration and FITC dyed suspended particle contents

(> 8 $\mu\text{m}$ )主要为有机物质(生物残体、小型藻类、矿物-有机物集合体),细颗粒物物质(< 8 $\mu\text{m}$ )主要为粘土矿物、有有机物附着和具有有机裹层的粘土矿物或集合体;(3)有机性颗粒物含量随盐度变化,高盐水侵入,有机颗粒含量最高,并且冬季高于夏季;(4)有机性悬浮颗粒浓度随总悬浮体的浓度增大而增大,在浑浊带高悬浮体浓度区,有机性颗粒的聚集、吸附和絮凝作用会增强,认为长江河口悬浮体的聚集主要以有机絮凝为主。

### 参 考 文 献

- 李道季,陈吉余,1996. FACSscan 流式细胞仪在河口悬浮颗粒研究中的应用. 海洋湖沼通报, 67(3): 77—83
- 时 钟, Pye K, 陈吉余, 1995. 潮滩盐沼物理过程的研究进展综述. 地球科学进展, 10(1): 19—30
- 陈邦林, 韩庆平, 陈吉余, 1995. 长江河口浑浊带化学. 长江河口最大浑浊带和河口锋研究论文选集. 华东师范大学学报(自然科学版), 29—39
- 王保栋, 1994. 河口细颗粒泥沙的絮凝作用. 黄渤海海洋, 12(1): 71—76
- 林以安, 唐仁友, 李 炎等, 1995. 长江口生源元素的生物地球化学特征与絮凝沉降的关系. 海洋学报, 17(5): 65—72
- 夏福兴, Eisma D, 1991. 长江口悬浮颗粒有机絮凝研究. 华东师范大学学报(自然科学版), 66—70
- 焦念志, 杨燕辉, 1999. 四类海洋超微型浮游生物的同时监测. 海洋与湖沼, 30(5): 506—511
- Chen S M, 1995. Floc size and aspects of flocculation processes of suspended particulate matter in the North Sea Area. University Utrecht, No. 128, Den Haag, Cip-Gegevens Koninklijke Bibliotheek, 26—79
- Eisma D, 1986. Flocculation and De-flocculation of Suspended Matter in Estuaries. Neth J Sea Res, 20(2/3): 183—199
- Moreira-Tureq P, Matin J M, Fleury A, 1993. Chemical and Biological Characterization of Particles by flow cytometry in the Krka estuary, Croatia. Marine Chemistry, 43: 115—126

粒径很小,难以沉降,且大部分与有机质结合。因此在研究泥沙运动、颗粒物沉降和物质输移时,要考量悬浮泥沙含量的实际意义和重要性。

### 3 结 语

使用 FACSscan 流式细胞仪研究分析长江河口悬浮颗粒物的生物学和化学特性,特别是颗粒组成在颗粒粒径分布上的差异、盐度变化对悬浮颗粒特性产生的影响,及悬浮颗粒含量、浓度与含沙量的关系。结果表明,(1)长江河口悬浮体中,具有有机性的颗粒数占总颗粒数的 60%—75%; (2)在颗粒粒径分布上,粗颗粒物

## A STUDY ON SUSPENDED MATTER IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY

LI Dao-ji, LI Jun, CHEN Ji-yu, CHEN Xi-qing, CHEN Bang-lin

(State Key Lab of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062)

**Abstract** The suspended matters in the Changjiang River estuary were studied by using FACScan flow cytometer and hydrodynamic and sedimentological methods in this paper. The field observations and sampling were undertaken during Nov. of 1994, Sept. of 1996 and Mar. and July of 1997. By comparing the characteristics between natural fluorescence of suspended particles and those dyed by FITC, the differences of suspended particle components on particle size composition, the effects of salinity changes on the characteristics of suspended particles, and the relations between contents of organized suspended particles and sediment concentration are provided. The results show that the organized suspended particles make up 60% to 75% of total suspended particle numbers in the Changjiang River estuary; for the particle size composition, coarse ( $> 8\mu\text{m}$ ) suspended particles were mainly organic matter (phytoplankton, zooplankton, micro-organisms, live and dead cells, and organic matter coated on mineral particles), whilst fine suspended particles ( $< 8\mu\text{m}$ ) were mainly clay mineral and organic matter cohered or coated on mineral particles. The content of organic matter increased due to the higher salinity sea water intrusion, and it was higher in winter than in summer. The concentration of organic suspended particles increased with increasing total suspended matter concentration, which strengthened the congregation, absorption and flocculation of organized particles in turbidity maximum (TM) area. Therefore, organic materials represent a main factor for the flocculation of suspended matter.

**Key words** Suspended matter    Organic particle    Cytometer    Changjiang River estuary

**Subject classification number** P731