

颗粒态有机物在长江口及其邻近海域的夏季 分布和影响因素初析*

邵锡斌 吴莹 胡俊 鲍红艳

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 上海 200062)

提要 利用气相色谱法对长江口及其邻近海域的表层颗粒态木质素(p-lignin)进行测定和分析, 结合粒度、有机碳(OC%)、叶绿素 *a*(Chl *a*)、碳稳定同位素(^{13}C)等参数研究颗粒态有机物的夏季分布, 并对其分布影响因素进行了初步分析。结果表明, 悬浮颗粒物粒度组成以粘土和粉砂为主, 平均粒径为 $7.9\ \mu\text{m}$; OC%的值为 0.57—7.41%, Chl *a* 的值为 0.35—3.71 $\mu\text{g/L}$, ^{13}C 的值为 -25.7‰—16.6‰, 在口门外水华站位出现 OC%、Chl *a* 和 ^{13}C 的最大值, 表明浮游生物现场生产是主要贡献; 紫丁香基酚类(S)、香草基酚类(V)和肉桂基酚类(C)8 种木质素酚单体的含量 (相对于总有机碳的含量)为 0.0406—1.47mg/100mgOC; 紫丁香基系列与香草基系列的质量比值(S/V)的分布范围较宽, 为 0.5—1.6 之间, 均值为 0.8; 肉桂基含量与香草基含量比值(C/V)的分布范围为 0.02—0.2 之间, 均值为 0.09; 香草基酚类的酸醛比值[(Ad/Al)_v]在 0.24—2.30 之间。盐度、总悬浮颗粒物(TSM)浓度是控制长江口内区与邻近海域颗粒态有机物来源与分布差异的重要控制因素, 颗粒态木质素在向海输送过程中还会受到矿物组分、生物降解、浮游生物现场生产等各种因素的作用, 使其组成成分和性质发生改变。木质素等参数表明最大浑浊带尽管对颗粒态有机物向海输送有改造作用, 但是影响区域有限。

关键词 最大浑浊带; 长江口; 颗粒态有机物; 木质素

中图分类号 P734 **doi:** 10.11693/hyhz20131100172

全球碳储库中, 大约有三分之二的活性有机碳储存于陆地上, 陆源有机物不仅是全球碳循环的一个重要的碳库, 也是海洋碳库的一个巨大的“源”(Hedges *et al.*, 1997)。陆源有机物通过河流和大气向海洋输送, 而河流向海输送的过程中, 陆源有机物主要以颗粒态和溶解态两种方式进行。每年经由河流输送入海的陆源有机物达 0.4Gt C (1Gt = 10^{15}C), 占陆源净生产力的 0.7% (Ittekkot, 1988; Hedges *et al.*, 1997)。长江口及其邻近海域不仅是长江入海物质的重要堆积场所, 而且也是陆海相互作用的关键地带 (Yang *et al.*, 1999)。

近年来随着长江流域水土保持的重视和大型水利工程建设, 上游来沙量不断减少, 导致长江入海

泥沙通量急剧减少。与此同时, 由于城市生活污水和工农业废水大量排放, 使得长江口及其邻近海域 N、P 含量不断增加, 富营养化程度加重, 导致赤潮发生频繁, 这些过程对长江口及其邻近海域的生物地球化学过程产生一系列影响。因此, 对长江口及其邻近海域颗粒态有机物的分布和影响因素的再研究十分重要。木质素是陆地维管束植物细胞壁的主要成分, 而维管束植物几乎只存在于陆地植物中(刘星等, 2001)。木质素的这些特征使其成为陆源有机物向海输送及其在海洋中的循环和归宿研究的很好的生物标志物(傅天保等, 1995)。本文利用长江口及邻近海域的水文化学基本参数、粒度、叶绿素 *a*(Chl *a*)、有机碳(OC%)和碳稳定同位素数据, 结合木质素的相关

*国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB409801 号; 国家自然科学基金创新群体项目, 41021064 号; 国家自然科学基金项目, 41276081 号。邵锡斌, 硕士研究生, E-mail: shaoxibin632@163.com

通讯作者: 吴莹, 教授, 博士生导师, E-mail: wuying@sklec.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2013-11-01, 收修改稿日期: 2014-01-29

参数, 对长江口和邻近海域颗粒态有机物的夏季分布及其影响因素进行初步分析。

1 采样与方法

1.1 调查站位

于 2011 年 7 月 2—9 日由“润江号”科学考察船在长江口门内徐六泾站一直向外延伸到东海大陆架区域(121.1°—123.5°E, 30.9°—32.0°N)设置的 24 个站位(包括长江口内站位, 最大浑浊带站位, 邻近海域站位, 水华站位)上进行了水文、化学和生物的综合调查, 站位如图 1 所示。

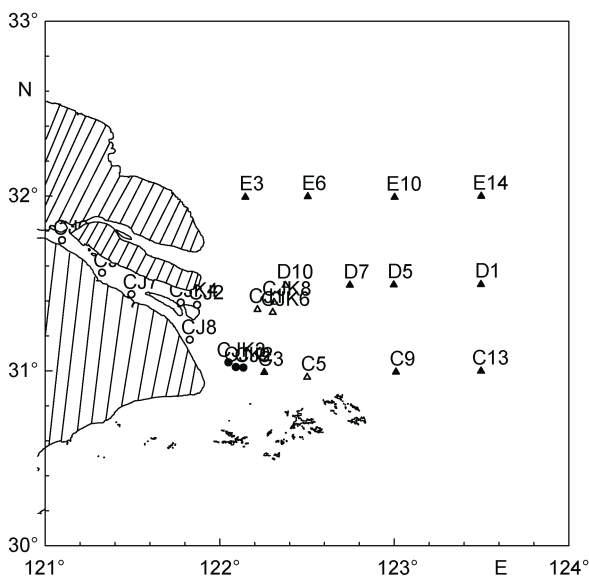


图 1 采样站位图

Fig.1 Sample stations for suspended particulate matter
长江口内站位; 最大浑浊带站位; 邻近海域站位; 水华
站位

1.2 样品采集

水样采用 Niskin 采水器采集。叶绿素 *a*、稳定同位素及 POC 样品在现场采用直径为 47mm, 孔径为 0.7 μ m 的玻璃纤维膜(GF/F)过滤收集, 颗粒态木质素样品采用直径为 142mm, 孔径为 0.7 μ m 的 GF/F 膜过滤收集, GF/F 膜使用前均在马弗炉中经 500°C, 5 小时灼烧; 样品经 GF/F 膜过滤后对折并用铝箔纸包裹, 随后, 叶绿素 *a* 样品置于液氮中保存, 稳定同位素及 POC 样品置于 -20°C 冰箱中进行冷冻保存。

1.3 仪器及方法

水文化学基本参数通过多参数测定仪现场测定; 粒度使用 LS100Q 粒度仪进行测定(宋兵等, 2009); 叶绿素 *a* 采用反相高效液相色谱法测定(胡俊等, 2011)。

POC 使用 Vario EL 元素分析仪测定, 测定精度 <5%; ^{13}C 的测定使用 Finnigan 生产的 Delta Plus XP 稳定同位素质谱仪, 采用 PDB 标准, 测定精度为 $\pm 0.2 \times 10^{-3}$ (Wu *et al.*, 2007)。木质素的测定采样碱性氧化铜氧化法-气相色谱法, 详细步骤见于灏(2007), 各参数的相对标准偏差平均为 8.8%。

2 结果

2.1 水文化学基本参数

根据长江口水体盐度和悬浮颗粒物浓度的分布特征, 将研究区域划分为三个区域, 分别为长江口内区(图 1 中 CJ7、CJ6、CJ4、CJ8、CJ2、CJK4 站位)、最大浑浊带区(图 1 中 CJ9、CJK2、CJK3 站位)以及邻近海域(图 1 中 CJ1、CJK6、CJK8、E14、E10、E6、E3、D10、D7、D5、D1、C13、C9、C5、C3 站位)。

调查区域表层的水文化学基本参数如表 1 所示。由表中数值可以看出, 长江口内站位没有受到海水入侵的影响, 盐度均保持在 0.1, 最大浑浊带区的值为 2—9.8 之间, 盐度分布呈现由长江口内逐渐向外增大的趋势, 并在口外最远距离站位获得最大值; DO 的分布趋势与盐度类似, 不同之处在于 DO 的变化幅度没有盐度大; 总悬浮颗粒物(TSM)的分布, 长江口内站位的浓度要比邻近海区的高很多, 但是相比于最大浑浊带则要低很多; 颗粒有机碳浓度(POC)的分布与 TSM 的分布趋势相同, 两者之间有很好的正相关性($r^2=0.97$, $n=24$, $P<0.01$)。

表 1 研究区域不同位置的表层化学基本要素
Tab.1 Surface bulk chemical parameters from the different sites of the study area

参数	长江口内 ($n=6$)	最大浑浊带 ($n=3$)	邻近海域 ($n=15$)
盐度	0.1 \pm 0.0	5.6 \pm 3.9	19.3 \pm 8.6
DO (mg/L)	4.6 \pm 0.5	4.9 \pm 0.3	5.8 \pm 0.5
TSM (mg/L)	119.9 \pm 76.9	867.7 \pm 773.2	32.3 \pm 36.3
POC (mg/L)	1.3 \pm 0.6	5.8 \pm 3.7	0.5 \pm 0.3
Chl <i>a</i> (μ g/L)	0.7 \pm 0.2	0.7 \pm 0.4	1.7 \pm 0.9
OC (%)	1.2 \pm 0.3	0.8 \pm 0.2	2.8 \pm 2.2
^{13}C (‰)	-25.1 \pm 0.7	-23.3 \pm 0.7	-21.4 \pm 3.0

表中数值为该区域的平均值 \pm 标准偏差; n 表示样品数

长江口内区域的 OC% 的含量变化区间为 0.84%—1.54%; 最大浑浊带区域的值为 0.57%—0.87%; 邻近海域的值为 0.88%—7.41%, 沿着长江冲淡水入海方向, OC% 的含量明显增大。Chl *a* 的值为 0.35—3.71 μ g/L, 其分布表现为邻近海域的值极大的高于长江口内区和

最大浑浊带区。值得注意的是,在航次采样调查期间,邻近海域发生大规模的水华现象,涉及站位包括 E14、E10、E6、E3、D7、D5、D1、C3、C9、C13。在这些区域藻类大量的繁殖和生长,Chl *a* 的浓度介于 1.2—3.7 $\mu\text{g/L}$ 之间。长江口内的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在-25.7‰—-24.1‰之间,最大浑浊带区的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在-24.1‰—-22.9‰之间,邻近海域的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在-24.8‰—-16.6‰之间。

2.2 粒径

颗粒物粒径的大小是控制有机物含量高低的的重要因素(Keil *et al.*, 1998)。研究区域的表层悬浮颗粒物样品中主要成分以粘土和粉砂为主,粘土的平均百分含量为 51.3%,粉砂的平均百分含量为 48.1%,细砂的百分含量很低仅为 0.6%,所有样品的平均粒径为 7.9 μm 。最大浑浊带处的平均粒径为 5.4 μm ,比长江口内区和邻近海区的值要小。沿着长江冲淡水方向,除个别站位反常外,粒径的总体变化趋势是逐渐减小,这可能与水动力分选作用有关。

2.3 木质素含量

木质素在经过碱性氧化铜氧化之后会产生一系列的酚单体,这些酚单体的含量总和可以用于表示颗粒物中木质素的含量。 δ (mg/100mgOC)用于表示每 100mg 有机碳中木质素酚单体的 S 系列(紫丁香基酚类)、V 系列(香草基酚类)和 C 系列(肉桂基酚类)单体的总和; δ (mg/100mgAll)用于表示每 100mg 颗粒态样品中, S 系列、V 系列和 C 系列单体的总和; Lig8 ($\mu\text{g/L}$)用于表示水体中颗粒态木质素的含量(Goñi *et al.*, 1998), 结果见表 2。

表 2 各区域表层颗粒态木质素的含量

Tab.2 Surface particulate lignin content from the different sites of the study area

木质素含量	长江口内(<i>n</i> =6)	最大浑浊带(<i>n</i> =3)	邻近海域(<i>n</i> =15)
δ (mg/100mgOC)	0.82±0.26	0.89±0.51	0.25±0.20
δ (mg/100mgAll)	0.010±0.003	0.006±0.002	0.004±0.001
Lig8 ($\mu\text{g/L}$)	11.76±8.80	63.50±72.97	1.48±1.98

表中数值为该区域的平均值±标准偏差; *n* 表示样品数

由表 2 可知, δ (mg/100mgAll)的值呈口门及河口区高,邻近海域低的分布特征,这与木质素作为陆源有机物的生物标志物的特性相符。 δ (mg/100mgOC)在最大浑浊带区域却并没有减少,反而在某些站位上升。而 Lig8($\mu\text{g/L}$)的值在长江口最大浑浊带处明显

高于长江口内以及邻近海区的值,这也充分反映了 Lig8($\mu\text{g/L}$)的值与总悬浮颗粒物(TSM)浓度之间的正相关关系($r^2=0.98$, $n=24$, $P<0.01$)。此现象与于灏(2007)对长江口颗粒态木质素的研究结果以及戚艳平(2006)对长江口颗粒态正构烷烃的研究结果相符。

2.4 木质素特征参数

木质素是陆地维管植物细胞壁的特有成分,在作为陆源有机物的生物标志物中具有特异性,它不仅可以用来很好地指示陆源有机物的来源,而且还可以分辨陆源植物的类型(Keil *et al.*, 1998)。根据木质素降解产物之间的含量关系可以得到一系列的参数,这些参数可以指示木质素的来源、降解程度等的一些信息。例如, S/V 表示 S 系列单体总量与 V 系列单体总量的比, C/V 表示 C 系列单体总量与 V 系列单体总量的比。S/V 的值用以区分木质素的来源是被子植物还是裸子植物, C/V 的值用以区分木质素的来源是木本组织还是草本组织(Goñi *et al.*, 1998; Dittmar *et al.*, 2001; Filley *et al.*, 2006)。在长江口内区域,木质素的特征参数 S/V 和 C/V 的值分别为 0.6—1.2 和 0.02—0.2; 在最大浑浊带区域, S/V 和 C/V 值分别为 0.6—1.0 和 0.04—0.1; 在邻近海域的 S/V 和 C/V 值则为 0.5—1.6 和 0.02—0.2。

利用木质素 V 系列(香草基酚类)单体中的酸醛比还可以用于指示有机物的降解程度。在长江口内区域,木质素的(Ad/Al)_v 的平均值为 0.44±0.15,最大浑浊带区为 0.78±0.12,邻近海域为 0.95±0.58。

3 讨论

3.1 盐度(S)与总悬浮颗粒物(TSM)对有机物分布的影响

河口区是地球上生产力最高的区域之一,在这些区域里有机物是生物地球化学循环中最重要的组成部分,许多研究表明河口区有机物是碎屑食物网的基本物质来源(Hopkinson *et al.*, 1998; Raymond *et al.*, 2000)。河口区有机物的来源有很多,包括通过河流和地下水输送的陆源有机物,藻类的现场生产以及通过潮汐作用所带来的海源有机物(Goñi *et al.*, 2003)。而有机物在此区域的分布则受到复杂的物理、化学和生物的作用,使得在这一地区的有机物分布呈现特有的现象。为探讨河口区陆源和海源有机物的分布受控因素,以 δ (mg/100mg OC)和 Chl *a** (mg/100mg OC)分别代表陆源和海源有机物。如图 2a 所示, δ /Chl *a** 的值随着盐度增大而呈逐渐递减趋势,表明颗粒态

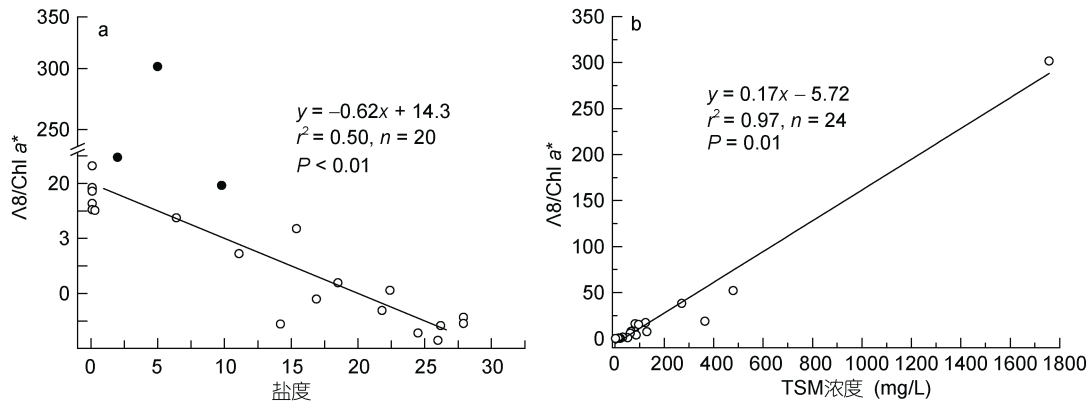


图 2 8/Chl a^* 与盐度(●最大浑浊带区)(a)、TSM 的相关性分析(b)

Fig.2 The ratio of 8 to chlorophyll- a^* versus salinity (● Turbidity Maximum Zone) (a) and Total Suspended Matter (b)

有机物在向海输送过程中,海源有机物的贡献逐渐增大,陆源有机物的输送贡献量相对减小,表明盐度差异是造成河口区颗粒态有机物分布的重要因素之一。但在最大浑浊带区 8/Chl a^* 的值显著地高于长江口内区与邻近海域,表明最大浑浊带区对陆源颗粒态有机物有一定的“添加”作用。而忽略最大浑浊带的样品,该参数与盐度体现了较好的相关性,说明了颗粒态有机物结构变化主要受盐度控制。

8/Chl a^* 与 TSM 之间呈现出很好的线性关系(如图 2b 所示),也说明颗粒态有机物在向海输送过程中不仅受控于盐度的作用,而悬浮颗粒物的浓度亦是决定其分布的重要因素。悬浮颗粒物浓度较低的地区,水体的浊度也小,使得浮游生物的现场生产作用增加,海源有机物的贡献量增大。综上所述,盐度和悬浮颗粒物浓度对河口区颗粒态有机物的来源和分布有重要作用。

3.2 木质素特征参数在向海输送过程中的变化

木质素是陆源有机物向海输送过程中的生物标志物,其特征参数在向海输送过程中的变化可以反

映陆源有机物在向海输送过程中所经历的变化和受控因素。悬浮颗粒物是颗粒态有机物的载体,国内外许多研究都表明颗粒物粒径的大小对有机物的含量、组成特征以及分布都有重要影响(Hedges *et al*, 1986; Jeng *et al*, 1995; Bergamaschi *et al*, 1997)。譬如粘土成分优先吸附酸类物质,从而表现在木质素的特征参数上就是(Ad/Al) v 值升高(Keil *et al*, 1998)。而在本研究中,悬浮颗粒物样品中的粘土百分含量与(Ad/Al) v 也表现出较好的相关关系,如图 3a 所示。表明木质素在向海输送过程中,水动力分选使得木质素参数在不同粒级中有分异。

(Ad/Al) v 值用于指征木质素的降解程度,其值在 0.2 附近说明有机物是较为新鲜的(Hedges *et al*, 1979),在 0.3—0.6 之间表示有机物来源于中度降解的植物碎屑(Opsahl *et al*, 1995),而大于 1 则认为木质素是与腐殖质和土壤有机物结合在一起。P/(V+S)值是另一种指征木质素降解程度的指标,主要是棕腐菌通过去甲基/去甲氧基产生大量的 3,4-和 3,5-双羟基酚类并伴随着 P/V+S 的升高,而(Ad/Al) v 值的升高是由于

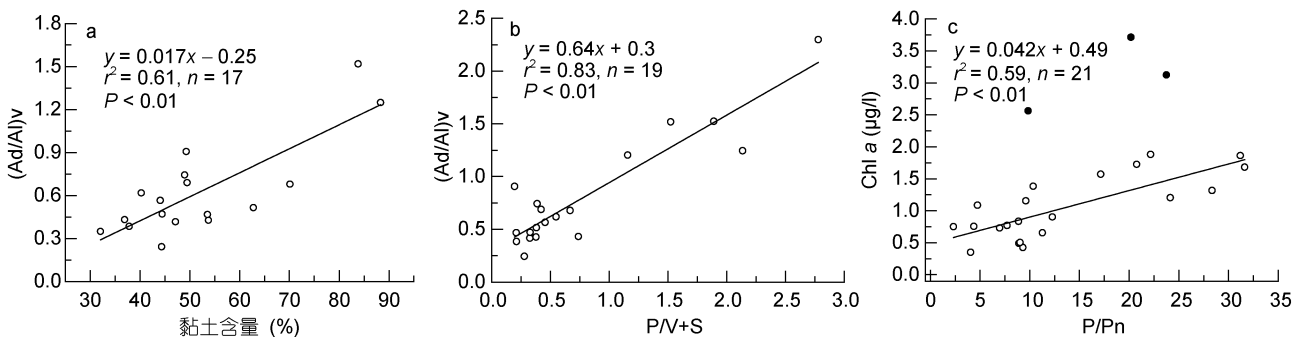


图 3 (Ad/Al) v 与 clay% (a)、P/V+S (b)的相关性及 Chl a 与 P/Pn (c)的相关性(●水华站位)

Fig.3 (Ad/Al) v versus the percentage of clay (a), P/V+S (b) and chlorophyll- a versus P/Pn (c) (● bloom stations)

白腐菌在有氧环境里通过侧链氧化和芳环断裂造成的(Dittmar *et al.*, 2001; Filley *et al.*, 2002)。在本研究中, P/(V+S)与(Ad/Al)_v表现出很好的相关关系,表明木质素在向海输送过程中受到两种不同降解模式的共同作用。

P系列酚单体是木质素氧化降解之后的其中一种产物,包括 p-hydroxyacetophenone (Pn)、p-hydroxybenzaldehyde (Pl)、p-hydroxybenzoic acid (Pd), p-hydroxyacetophenone (Pn)只来源于木质素的氧化降解,而 p-hydroxybenzaldehyde (Pl)和 p-hydroxybenzoic acid (Pd)不仅只来源于木质素的氧化降解,也有可能是来自于蛋白质和多糖在氧化铜氧化过程中产生(Goñi *et al.*, 2000)。因此, Pn/P (P系列酮浓度与P系列酚总浓度之比)可以用于表示有机物质来源的差异性。在本研究中 P/Pn 与 Chl *a* 浓度之间呈现较好的线性关系,说明P系列酚单体不仅仅只是来源于木质素的降解,藻类等浮游生物的现场生产对其也有重要贡献。如水华站位的 P/Pn 的值与 Chl *a* 之间显著相关,进一步证实浮游生物现场生产对P系列酚单体贡献的重要作用。

综上所述,木质素在向海输送过程中受到粒径、生物降解以及浮游生物现场生产的干扰等等,表明木质素在河口区会经历很大程度的改造,使得在利用木质素相关参数进行研究时应充分考虑多重因素的共同作用。

3.3 长江口最大浑浊带的影响

为阐明长江口最大浑浊带对颗粒态有机物在向海输送过程中的影响,本文拟选取从长江口内徐六泾站位(CJ6)沿着长江冲淡水方向一直延伸到邻近海域C断面的最远端站位C13站来进行探讨。木质素的分布存在显著的空间差异(图4),从长江口内沿着冲淡水方向总体上呈下降的趋势,表明沿着向海方向,颗粒态陆源有机物逐渐减少,这与木质素作为陆源有机物生物标志物的特性相一致。值得注意的是在最大浑浊带区,木质素含量的变化趋势减小,在个别站位甚至还有很大程度的增加,这表明在最大浑浊带区对陆源有机物有一个添加的作用。Mannino等(2000)认为最大浑浊带区域陆源有机物的添加可能是来源于底层的再悬浮作用,也有可能是来源于溶解有机物和颗粒态有机物之间转换而来。木质素的特征参数 P/(V+S)从长江口内徐六泾站到邻近海域C断面呈逐渐增大趋势,特别是在经过最大浑浊带区后的邻近海域增加尤其明显。

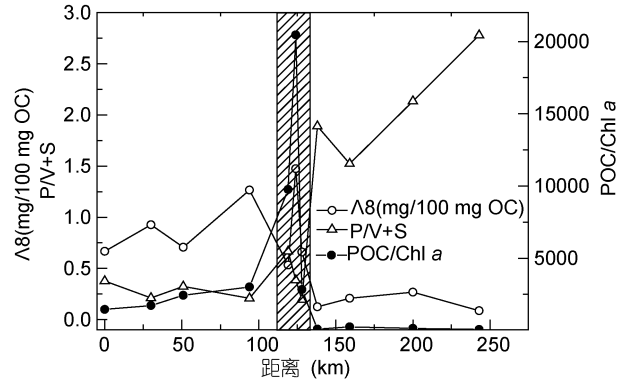


图4 8(mg/100mgOC)、P/V+S、POC/Chl *a* 沿着冲淡水方向变化趋势(阴影部分为最大浑浊带)

Fig.4 Spatial distribution of 8(mg/100mgOC), P/V+S and POC/Chl *a* along the Changjiang Water Mass (shaded part is the Turbidity Maximum Zone)

POC与叶绿素 *a* 的比值(POC/Chl *a*; 浓度比,下同)可以用来表征颗粒物中现场生产力对有机碳的贡献程度,由于叶绿素 *a* 是有机碳中相对不稳定的组分,所以该比值(<200)可以用来指示颗粒物的新鲜程度(Cotrim *et al.*, 2001)。由此推断,存在明显陆源 POC 输送,或者有机碳降解充分时,河口/河区 POC/Chl *a* 比值则可能很大(刘宗广等, 2013)。最大浑浊带区 POC/Chl *a* 的值显著的高于长江口内区和邻近海域,这可能是由于最大浑浊带区通过再悬浮作用将底部经过高度降解的有机物返回到水体中;但同时,作者也注意到木质素等参数的分布差异主要集中在最大浑浊带附近,并不随之距离向河或向海的增加而持续保持原信号,这与刘启贞等(2009)对长江口颗粒态金属污染物的分布规律研究结果一致。

4 结论

夏季长江口及其邻近海域颗粒态有机物的分布受到盐度、总悬浮颗粒物(TSM)浓度以及最大浑浊带的影响。随着盐度增大,颗粒态陆源有机物相对于海源颗粒态有机物的贡献量逐渐下降。总悬浮颗粒物浓度的下降,降低了水体的浊度,提高了浮游生物的现场生产,海源颗粒态有机物的相对贡献量增加。颗粒态木质素在向海输送过程中会受到矿物组分、生物降解、浮游生物现场生产等各种因素的作用,使其组成成分和性质发生改变。最大浑浊带的底部再悬浮,局部改变了颗粒态陆源有机物向海输送过程中的信号。

参 考 文 献

- 于 灏, 2007. 颗粒态陆源有机物在长江和东海陆架区的迁移和埋藏. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 21—22
- 刘 星, 吴 莹, 张 经, 2001. 木质素在河口与陆架海洋环境中的示踪. 海洋环境科学, 20(4): 61—66
- 刘启贞, 李九发, 戴志军等, 2009. 长江口颗粒态金属污染物时空分布规律分析. 海洋环境科学, 28(3): 251—256
- 刘宗广, 吴 莹, 胡 俊等, 2013. 东海陆架典型断面颗粒态氨基酸的分布及控制因素分析. 海洋与湖沼, 44(3): 563—568
- 宋 兵, 李 珍, 李 杰等, 2009. 越南红河水下三角洲北区表层沉积物类型及分布特征初探. 海洋通报, 28(6): 78—83
- 胡 俊, 柳 欣, 王 磊等, 2011. 应用反相高效液相色谱定性定量浮游植物光合色素. 海洋科学, 35(11): 19—28
- 戚艳平, 2006. 长江及其邻近海域中颗粒态及溶解态正构烷烃的分布. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 126
- 傅天保, 陈 松, 姜善春等, 1995. 气相色谱法测定沉积物中的木质素. 海洋学报, 17(1): 59—63
- Bergamaschi B A, Tsamakias E, Keil R G *et al*, 1997. The effect of grain size and surface area on organic matter, lignin and carbohydrate concentration, and molecular compositions in Peru Margin sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(6): 1247—1260
- Cotrim Da Cunha L, Serve L, Gadel F *et al*, 2001. Lignin-derived phenolic compounds in the particulate organic matter of a French Mediterranean river: seasonal and spatial variations. *Organic Geochemistry*, 32(2): 305—320
- Dittmar T, Lara R J, 2001. Molecular evidence for lignin degradation in sulfate-reducing mangrove sediments (Amazonia, Brazil). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(9): 1417—1428
- Filley T R, Cody G D, Goodell B *et al*, 2002. Lignin demethylation and polysaccharide decomposition in spruce sapwood degraded by brown rot fungi. *Organic Geochemistry*, 33(2): 111—124
- Filley T R, Nierop K G, Wang Y, 2006. The contribution of polyhydroxyl aromatic compounds to tetramethylammonium hydroxide lignin-based proxies. *Organic Geochemistry*, 37(6): 711—727
- Goñi M A, Ruttenger K C, Eglinton T I, 1998. A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(18): 3055—3075
- Goñi M A, Teixeira M J, Perkey D W, 2003. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(5): 1023—1048
- Goñi M A, Thomas K A, 2000. Sources and transformations of organic matter in surface soils and sediments from a tidal estuary (North Inlet, South Carolina, USA). *Estuaries*, 23(4): 548—564
- Hedges J I, Clark W A, Quay P D *et al*, 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*, 31(4): 717—738
- Hedges J I, Keil R G, Benner R, 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Organic Geochemistry*, 27(5—6): 195—212
- Hedges J I, Mann D C, 1979. The characterization of plant tissues by their lignin oxidation products. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43(11): 1803—1807
- Hopkinson C S, Buffam I, Hobbie J *et al*, 1998. Terrestrial inputs of organic matter to coastal ecosystems: An intercomparison of chemical characteristics and bioavailability. *Biogeochemistry*, 43(3): 211—234
- Ittekkot V, 1988. Global trends in the nature of organic matter in river suspensions. *Nature*, 332(6163): 436—438
- Jeng W, Chen M, 1995. Grain size effect on bound lipids in sediments off northeastern Taiwan. *Organic Geochemistry*, 23(4): 301—310
- Keil R G, Tsamakias E, Giddings J C *et al*, 1998. Biochemical distributions (amino acids, neutral sugars, and lignin phenols) among size-classes of modern marine sediments from the Washington coast. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(8): 1347—1364
- Mannino A, Harvey H R, 2000. Terrigenous dissolved organic matter along an estuarine gradient and its flux to the coastal ocean. *Organic Geochemistry*, 31(12): 1611—1625
- Opsahl S, Benner R, 1995. Early diagenesis of vascular plant tissues: Lignin and cutin decomposition and biogeochemical implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(23): 4889—4904
- Raymond P A, Bauer J E, 2000. Bacterial consumption of DOC during transport through a temperate estuary. *Aquatic Microbial Ecology*, 22(1): 1—12
- Wu Y, Zhang J, Liu S M *et al*, 2007. Sources and distribution of carbon within the Yangtze River system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(1): 13—25
- Yang S L, Shi Z, Zhao H Y *et al*, 1999. Effects of human activities on the Yangtze River suspended sediment flux into the estuary in the last century. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6): 1210—1216

SPATIAL VARIABILITY OF PARTICULATE ORGANIC MATTER IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY AND ADJACENT REGIONS IN SUMMER

SHAO Xi-Bin, WU Ying, HU Jun, BAO Hong-Yan

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

Abstract We analyzed grain size, organic carbon content, chlorophyll *a*, stable carbon isotopes, and lignin phenols to investigate the distribution and factors that influence the distribution of particulate organic matter in the Changjiang River estuary and adjacent regions in summer of 2011. The result show that suspended particulate matters were composed of clay and silt in average grain size of 7.9 μm ; OC%: 0.57%—7.41%; Chl *a* 0.35—3.71 $\mu\text{g/L}$; and $\delta^{13}\text{C}$ -25.7‰ to -16.6‰. The maximum values of OC%, Chl *a* and $\delta^{13}\text{C}$ were detected at algae bloom stations, indicating dominated contribution from phytoplankton. The sum of syringyl (S), vanillyl (V), and cinnamyl (C) phenols that normalized to organic carbon ($\mu\text{g/g}$) varied from 0.0406—1.47 $\text{mg}/100\text{mgOC}$; the S/V ratio was 0.5—1.6 (mean at 0.8) and C/V at 0.02—0.2 (mean at 0.09); (Ad/Al)_v value (acid/aldehyde ratio of vanillyl phenol) was 0.24—2.30. Relationship among salinity, total suspended matter (TSM), and the ratio of $\delta^{13}\text{C}$ to Chl *a** (normalized with particulate organic carbon or POC) suggested that the structural of organic matter in the study region was controlled by salinity and TSM. Mineral composition, microbial degradation, and in situ production were major factors affecting constituent of particulate lignin during transportation from Changjiang River into the sea. Lignin indexes in combination with POC/Chl *a* ratio indicate that although the TMZ could alter POC during the transportation, the area of the play is limited within the TMZ only.

Key words Turbidity Maximum Zone (TMZ); Changjiang River estuary; particulate organic matter; lignin