

长江口潮滩有机质稳定碳同位素 时空分布与来源分析

余 婕¹, 刘 敏^{1,*}, 许世远¹, 侯立军², 欧冬妮¹, 程书波¹

(1. 华东师范大学地理学系, 教育部地理信息科学重点实验室, 上海 200062;

2. 华东师范大学河口海岸科学研究院, 上海 200062)

摘要: 通过测定长江口潮滩悬浮颗粒有机质和表层沉积有机质在枯水季节(2006年2月)和洪水季节(2006年8月)的稳定碳同位素值, 对有机质潜在来源及局部岸段改造作用进行了分析。结果显示, 悬浮颗粒有机质稳定碳同位素值在2月明显低于8月, 变化范围分别在 -25.8% ~ -23.4% 和 -25.1% ~ -22.9% , 主要是受径流量枯洪季变化和浮游生物生长季节变化两种因素的叠加作用。表层沉积有机质2月和8月的稳定碳同位素分别为 -25.0% ~ -20.4% 和 -24.7% ~ -19.5% , 季节变化不明显, 主要来自悬浮颗粒物的沉降。除受大背景环境因素影响, 局部环境对潮滩有机质也有一定的改造作用, 污水、支流河水的输入对悬浮颗粒有机质碳同位素有一定的影响, 埋藏的潮滩植物和底栖微藻则对沉积有机质有部分贡献。

关键词: 稳定碳同位素; 有机质来源; 悬浮颗粒物; 沉积物; 长江口

文章编号: 1000-0585(2008)04-0847-08

1 引言

河口滨岸带是一个开放的复杂巨系统, 不断与外界进行物质交换, 大量的自然或人为营养物质可通过河流、地下水渗流、大气沉降和与外海水体交换等途径输入到滨岸水体中^[1,2]。河口有机质的生物地球化学循环是河口生态系统的关键组成部分, 可为主导河口生态系统的碎屑食物链提供物质保证^[3]。因此, 有关滨岸带生源要素的输入与溯源研究已成为河口复杂环境条件下物质循环研究中的热点问题。

近年来, 稳定同位素技术越来越多地应用于解译滨岸带生物地球化学过程, 如有机质合成、营养盐利用、反硝化作用、有机质在沉积物中的累积等等^[4]。一般而言, 在河口自然环境系统内, 不同来源有机质的稳定同位素组成特征会存在显著差异^[5,6]。因而诸多学者利用稳定同位素对河口和滨岸海区的有机质来源进行研究^[7~10]。长江口陆海交互作用十分强烈, 河流和海流携带大量的有机质在河口区汇聚, 形成了一个庞大的有机质蓄积库, 此外, 高等植物的根茎叶、浮游植物、底栖生物的初级和次级生产等内源物质的输入, 使得河口滨岸地区有机质来源呈现出复杂性。对长江口有机质来源的研究开展得较早的是 Tan 等^[11]和施光春^[12], Tan 等分析了长江口颗粒有机碳的来源及其对东海沉积有机

收稿日期: 2007-10-15; 修订日期: 2008-01-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40131020, 40671171), 华东师范大学优秀博士研究生培养基金项目

作者简介: 余婕(1981-), 女, 浙江定海人, 博士研究生。主要从事环境地球化学研究。E-mail: jiefy2000@126.com

* 通讯作者: 刘敏(1963-), 男, 内蒙古自治区土左旗人, 教授, 博士, 博士生导师。从事城市环境过程、环境地球化学与污染生态研究。E-mail: mliu@geo.ecnu.edu.cn

碳的贡献程度,并比较了夏季(6月)和冬季(11月)的差异;施光春研究了长江口及其邻近海区冬夏两季(1月和7月)悬浮颗粒有机碳的稳定同位素,并分析其可能来源。高建华等利用碳、氮同位素和碳、氮元素比研究了苏北潮滩湿地不同生态带有机质来源^[13],周俊丽则重点研究了崇明东滩湿地生态系统中有有机质的来源^[14]。刘敏等在研究长江河口南岸潮滩12个典型站位表层沉积物有机质时发现,有机质中的稳定碳、氮同位素组成不仅受陆源和海源有机质输入量之间消长变化的影响,还受到一系列生物地球化学过程、人为有机质输入和沉积物粒度、叶绿素等因素的改造作用^[15]。由于长江口滨岸地区复杂的自然地理状况,受到较多人为因素的干扰,因此有必要对其有机质来源进行更细致的研究。众多研究表明,与稳定氮同位素和C/N比值相比,稳定碳同位素在有机质溯源定量分析研究中更具有准确性^[5,16,17]。因此,本文在前人研究的基础上,利用稳定碳同位素,对长江口滨岸潮滩环境介质中有有机质的来源进行系统的研究。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

研究区属亚热带季风气候区,气候温和湿润,四季分明。降雨量充沛,多年平均年降雨量为1144mm,年际变化较大,降水主要集中在4~9月份。长江每年携带入河口区的悬沙总量的多年平均值为4.7亿t,年内分配极不均匀,从多年平均值来看,最大月平均悬沙通量为39.80 t/s(7月份),最小月平均悬沙通量为1.14 t/s(1月份),洪水季节输沙量可占全年的87.45%,枯水季节仅占全年的12.55%^[18]。丰富的泥沙供给使研究区滩地淤涨迅速,并以每年数十甚至上百米的淤涨速率不断向海推进。因此,沿河口滨岸发育着面积十分辽阔的滩地,自陆向海,滩地依次可划分为高、中、低潮滩。其中高潮滩沉积物颗粒组成最细,以粉砂质黏土和黏土质粉砂组成为主,滩面上芦苇和海三棱草发育茂盛,且局部岸段有明显的底栖藻类生物膜发育;中潮滩沉积物颗粒组成以黏土质粉砂和粉砂为主,滩面上发育着呈斑状分布的海三棱草,在局部岸段也发现有底栖藻类生物膜发育;低潮滩沉积物颗粒组成以粉砂和细砂质粉砂为主,滩面基本上无植被发育,而主要以底栖硅藻类群落为主。近年来,由于受围垦等人类活动影响,在长江口南岸和杭州湾北岸的许多岸段已无高潮滩出露^[19]。

研究区域内入江、入海河流众多,相对大型的河流主要有黄浦江、浏河、大治河和金汇港等(图1)。由于受人为闸门控制,落潮时大治河和金汇港等河流流水入海,而涨潮时外海潮水不能进入内河河道。此外,研究区域内的部分岸段受工农业及生活污水排放影响明显,主要集中在上海市西、南区和竹园排污口以及黄浦江等岸段。西区排污口位于长江口南岸石洞口附近,日排污能力在70万t左右,为沿岸直接排放;南区排污口位于长江口南岸白龙港附近,为沿岸直接排放,日排污能力约为55万t;竹园排污口日排污能力约为140万t,采用深水排放扩散方式^[20,21]。

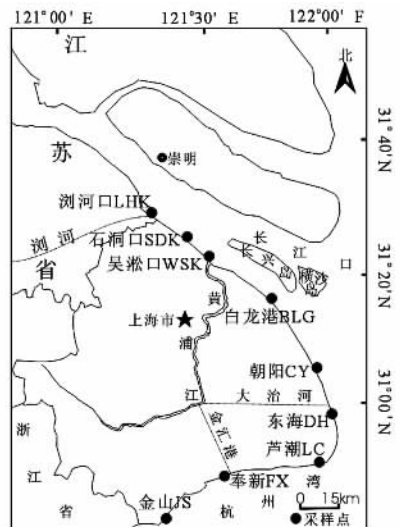


图1 采样站位示意图

Fig.1 Map of sampling stations

2.2 样品采集

根据潮滩自然环境特征和受人文活动影响的差异性和典型性, 沿长江口滨岸带选择浏河口 (LHK)、石洞口 (SDK)、吴淞口 (WSK)、白龙港 (BLG)、朝阳农场 (CY)、东海农场 (DH)、芦潮港 (LC)、奉新 (FX) 和金山 (JS) 9 个采样站位 (图 1)。分别于 2006 年 2 月和 8 月, 即长江径流量和输沙量的枯季和洪季采集样品。落潮时在每个采样站位中潮滩部位选取三个平行采样点, 并用聚乙烯塑料铲和聚乙烯塑料袋采集表层 0~1cm 沉积物样品, 然后将三个平行采样点处的沉积物混合均匀, 代表该采样站位的表层沉积物样品。同时根据采样站位的环境特征, 采集优势湿地植物、污水和支流河水。涨潮后平潮期用聚乙烯桶采集上覆水, 同时测定水质参数。样品采集后尽快运回实验室。

叶绿素的测定: 称取 2g 左右湿沉积物放入 10ml 离心管中, 加入 8ml 90% 丙酮溶液同时加入 1% 碱式碳酸镁悬浊液一滴, 振荡均匀后低温避光置于冰箱冷藏室中 24h, 然后经 4000r/min 离心 15min, 将上清液定容至 10ml 后用分光光度法测定。同时测定湿样的含水率, 计算沉积物叶绿素 a 的浓度^[22,23]。

2.3 实验分析与测试方法

悬浮颗粒物通过将 2L 左右上覆水抽滤到 GF/C 玻璃纤维滤膜 (孔径 1.2 μm) 上获得; 植物地上部分和地下部分分开, 用蒸馏水冲洗干净。所有样品于 60 $^{\circ}\text{C}$ 烘干, 研磨后过 100 目尼龙网筛, 过筛后的沉积物置于聚乙烯塑料袋中密封保存。部分样品为去除无机碳, 先用 1mol/L HCl 浸泡 24h, 然后用蒸馏水淋洗至水呈中性, 再于 60 $^{\circ}\text{C}$ 烘干备用。

稳定 C 同位素测定: 上述酸化后的样品, 在华东师范大学河口海岸国家重点实验室的菲尼根质谱公司 DELTA plus Advantage 稳定同位素质谱仪上测定, 稳定同位素丰度按以下公式 (1) 计算得出: $\delta^{13}\text{C} = [\text{R}_{\text{样品}}/\text{R}_{\text{标准}} - 1] \times 1000$

其中, R 为 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的相对比率, R 标准值为国际标准物质 PDB 的碳同位素比值。实验分析结果的相对误差在 $\pm 0.1\%$ 。

3 结果与讨论

3.1 潮滩有机质稳定碳同位素分布特征

上覆水中悬浮颗粒有机质 (SPOM) 稳定碳同位素沿程分布和季节变化见图 2。悬浮颗粒有机质的碳同位素平均在 -25.2% ~ -23.2% , 最高在 LC, 最低在 SDK, 地区分布具有自淡水区域向咸水区域逐渐变重的趋势 (表 1)。SPOM 碳同位素值的季节差异十分明显, 8 月较 2 月大, 且 9 个站位的波动范围较小, 最高出现在 DH 和 LC, 为 -22.9% , 最低值在 LHK, 为 -25.1% 。2 月同位素值的波动范围较大, 最低值出现于 SDK, 为 -25.8% , 最高值在 CY, 为 -23.4% 。这些 $\delta^{13}\text{C}$ 的差异反映出有机质来源的季节性变化特征。

表 1 采样站位上覆水盐度变化 (%)

Tab. 1 The salinity variation in overlying water from sampling stations (%)

采样站位	LHK	WSK	SDK	BLG	CY	DH	LC	FX	JS
2006 年 2 月	0.3	0.4	0.3	0.3	2.8	11.0	18.7	13.6	13.8
2006 年 8 月	0.1	0.2	0.3	0.2	9.0	14.3	15.6	14.5	9.9

图 3 是表层沉积有机质稳定碳同位素的沿程分布。2 月和 8 月 $\delta^{13}\text{C}$ 分别在 -25.0% ~ -20.4% 和 -24.7% ~ -19.5% , 地区分布也具有自淡水区域向咸水区域逐渐变重的趋势, 与刘敏等^[15]的研究结果相似。沉积有机质稳定碳同位素的季节性变化并不明显,

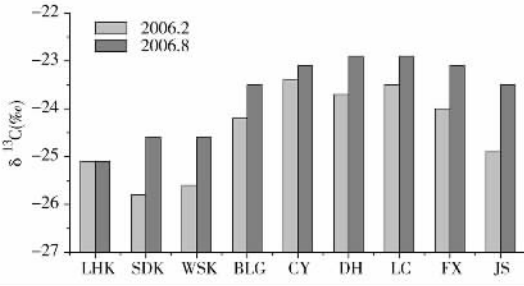


图 2 长江口潮滩悬浮颗粒有机质稳定碳同位素时空分布

Fig. 2 The temporal-spatial distribution of carbon isotope in SPOM from the Changjiang Estuary

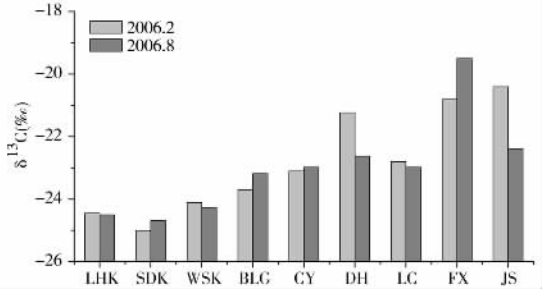


图 3 长江口潮滩表层沉积有机质稳定碳同位素时空分布

Fig. 3 The temporal-spatial distribution of carbon isotope in surface sediments from the Changjiang Estuary

LHK、WSK、CY 和 LC4 个站点两个季度的 $\delta^{13}C$ 值相同或非常接近。

3.2 悬浮颗粒有机质来源

图 4 是长江流域及长江入海口区悬浮颗粒有机质碳同位素分布的比较。从图中可以看出，从长江干流到河口区再到邻近海区，碳同位素值逐渐变大，反映出来源物质随着区域的不同种类和数量也在发生变化。在长江干流，悬浮颗粒有机质主要来源于陆地植物和富含有机质的土壤^[24]；在海区，有机质主要来源于死亡不久的表层浮游生物，包括部分活体生物^[12]；河口区则受到陆源和海源的双重作用，碳同位素值介于长江和海区有机质之间^[11]。本研究中，SPOM 碳同位素的地区分异就反映出陆源和海源有机质输入量在沿程分布上的消长变化。

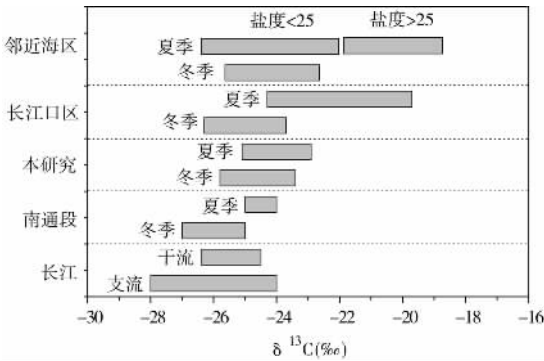


图 4 长江流域及邻近海区悬浮颗粒有机质碳同位素比较

Fig. 4 Comparison of carbon isotope in SPOM from Changjiang drainage area and adjacent coastal waters

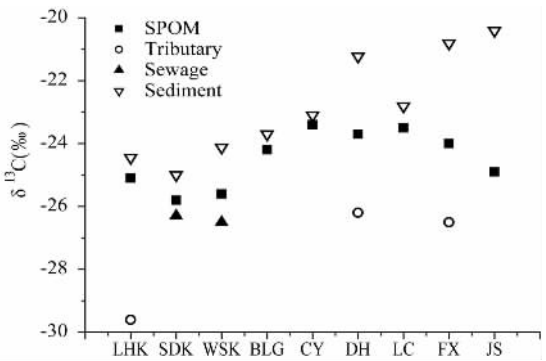


图 5 2 月各介质有机质的稳定碳同位素沿程分布

Fig. 5 The spatial variation of carbon isotope in the organic constituents in February

SPOM 的碳同位素 2 月较 8 月为负，冬季更偏于陆源，夏季偏于海源。施光春认为，长江冲淡水羽状流是影响长江口区不同源 POC 分布格局的主要因素^[12]。由于冲淡水羽状流的强弱与所及范围受长江径流量控制，那么，长江径流量的大小就会影响长江河口区受陆源和海源输入的比例，夏季（洪期）河口区应比冬季（枯季）接受更多陆源物质，但本研究的数据却相反，与 Tan 等^[11]的研究结果相似。原因可能有两个，一方面，采样的 2006 年 8 月长江主汛期出现罕见枯水。据报道，2006 年 8 月中旬，由于上游降水量减少，

长江上游来水量比多年平均值减少了 42.9%，这就使得长江口区沉积的陆源有机质也随之减少。另一方面，潮汐作用时海水与长江河水混合作用于河口区，冬季海洋生物量低，海源的作用不明显，而夏季海洋浮游生物繁盛，河口区悬浮颗粒有机质中更能表现出海源的影响。受这两种因素叠加的作用，本研究中河口区表现出冬季陆源输入偏重而夏季海源输入偏重的现象。此外，除受大背景因素影响外，局部岸段的改造作用也会改变研究区环境介质中有机质的碳同位素特征，这将在后面讨论。

3.3 各站点有机质来源

河口滨岸潮滩这样的开放系统接受的有机质有多种来源，不仅受河源和海源的影响，还有自生相有机质的累积（如浮游植物、底栖微藻和高等植物的初级生产以及化学自养菌体的生产），以及局部岸段输入（如直接的家庭、工业和陆地径流的输入）^[15,25]。

3.3.1 冬季有机质来源 图 5 是 2006 年 2 月各介质有机质的稳定碳同位素沿程分布。沉积有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大，在 $-25.0\text{‰} \sim -20.4\text{‰}$ ，最低值出现于 SDK，最高在 JS。悬浮颗粒有机质（SPOM）的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较沉积有机质偏负，在 $-25.8\text{‰} \sim -23.4\text{‰}$ ，最小值同样在 SDK，最高值则出现于 CY。在淡水区，SPOM 的稳定同位素值变化趋势与沉积有机质相似，但在咸水区，则显示出相反的变化趋势。沉积有机质主要来源于水体悬浮颗粒物的沉降，但沉积有机质的碳同位素普遍重于悬浮颗粒有机质。已有研究表明，沉积物颗粒由细到粗，碳同位素值增加^[25]，潮汐作用时沉积物的再悬浮作用会使悬浮颗粒物的粒度偏细，从而富集轻同位素，使得沉积有机质的碳同位素值大于悬浮颗粒有机质。同时，局部环境的改造作用也使得悬浮颗粒有机质和沉积有机质的同位素值产生差异。例如，SDK 和 WSK 污水的碳同位素值分别为 -26.3‰ 和 -26.5‰ ，明显偏负，污水的输入会使悬浮颗粒有机质的碳同位素值偏小。在 DH 和 FX，支流大治河和金汇港河水的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 -26.2‰ 和 -29.6‰ ，支流的输入对 SPOM 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也产生影响。

表 2 底栖微藻对有机碳的贡献率

Tab. 2 The contribution ratios of microphytobenthic biomass to organic carbon

采样点	2	TOC	Chla	C-CHL	C-CHL:OC	8	TOC	Chla	C-CHL	C-CHL:OC
	月	($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$)	(%)		月	($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1}$)
LHK		4.84	6.38	255.2	5.3		4.51	1.49	59.5	1.3
SDK		9.19	0.24	9.6	0.1		9.84	2.37	94.9	1.0
WSK		4.17	4.29	171.8	4.1		5.24	7.82	312.7	6.0
BLG		4.65	2.63	105.1	2.3		3.93	3.88	155.1	3.9
CY		1.48	0.47	18.8	1.3		4.56	5.40	216.0	4.7
DH		6.22	21.98	879.3	14.1		1.67	1.68	67.1	4.0
LC		2.15	0.60	24.0	1.1		3.35	1.34	53.6	1.6
FX		3.88	15.64	625.4	16.1		0.68	2.24	89.5	13.2
JS		6.05	0.80	32.2	0.5		2.51	0.79	31.5	1.3

测定沉积物中叶绿素 a 的浓度，将其乘以转化系数 40 得到底栖微藻生物量（叶绿素碳，C-CHL）^[26]，然后计算出其占有有机碳的比重，来说明底栖微藻的作用（表 2）。从表中可以看出，叶绿素碳占有有机碳的比例在 0.1~16.1%，2 月平均为 5.0%，8 月为 4.1%，季节性差异不显著。总体上看，底栖微藻对有机质的贡献不大，在大部分岸段都可忽略。2 月的 DH 和 FX，底栖微藻生物量占沉积有机碳的比例分别为 14.1%、16.1%，

对沉积有机质有明显的改造作用,这也是造成这些区域沉积有机质与 SPOM 的碳同位素值差异显著的原因之一。

在 JS, 沉积有机质和 SPOM 的碳同位素值差异较大,为 4.5‰,可能是枯萎植物的作用,这个区域在植物生长季有大面积互花米草覆盖,留在沉积物中的植物碎屑对碳同位素有一定的影响。

3.3.2 夏季有机质来源 2006 年 8 月各介质中有机质的稳定碳同位素沿程分布见图 6。从图中可以看出,沉积有机质和悬浮颗粒有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值有着相似的变化趋势,分别在 $-24.7\text{‰} \sim -19.5\text{‰}$ 和 $-25.1\text{‰} \sim -22.9\text{‰}$,且同一站位两种介质的值非常相近,说明沉积有机质和悬浮颗粒有机质的同源性。SDK 和 WSK 两个站位污水的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 -24.0‰ 、 -25.5‰ ,三条支流的 $\delta^{13}\text{C}$ 值仍然偏负,分别为 -27.2‰ 、 -26.2‰ 和 -26.8‰ 。污水的输入对有机质碳同位素组成仍然有一定的改造作用。在 FX, 支流金汇港河水对悬浮颗粒有机质也有影响,此外,叶绿素碳占沉积有机碳的比例为 13.2%,说明底栖微藻对该区域的沉积有机质也有部分输入贡献。

采样季节 LHK、WSK、BLG、DH 和 JS 的高潮滩面上都覆盖大型植物,前三个站位为草, DH 和 JS 则是互花米草。草为 C_3 植物, $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负,为 $-30.3\text{‰} \sim -28.9\text{‰}$,地上部分和地下部分略有差异,互花米草为 C_4 植物, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-13.2\text{‰} \sim -11.7\text{‰}$,地上部分和地下部分的差异不大。总体上说,湿地优势植物的作用不明显,可能由于受到潮水的冲刷作用,潮滩植被的埋藏量很小,植物生长季节所产生的地上生物量大部分都被分解或被潮水带到外海,只有少量残留在沉积物中^[27]。

4 结论

研究区内悬浮颗粒有机质稳定碳同位素 2 月和 8 月分别为 $-25.8 \sim -23.4\text{‰}$ 和 $-25.1 \sim -22.9\text{‰}$,从淡水区到咸水区逐渐变重,显示出受到海源和河源不同程度的混合作用。各站点同位素值显示出明显的季节变化特征,2 月较 8 月偏负。受径流量枯洪季变化和浮游生物生长季节变化两种因素的叠加作用,表现出冬季陆源输入偏重而夏季海源输入偏重的现象。但是,海源和陆源有机质对河口区悬浮颗粒有机质贡献程度的大小会因气候、水文等因素的变化而改变,其年际变化及相应的河口区有机质物源差异有待进一步的研究。

2 月和 8 月沉积有机质的稳定碳同位素分别在 $-25.0\text{‰} \sim -20.4\text{‰}$ 和 $-24.7\text{‰} \sim -19.5\text{‰}$,季节变化不明显,主要来自悬浮颗粒物的沉降。潮汐作用时沉积物的再悬浮作用使悬浮颗粒物的粒度偏细,富集轻同位素,使得沉积有机质的碳同位素值普遍大于悬浮颗粒有机质。除受大背景环境因素影响,局部环境对潮滩有机质也有一定的改造作用。污水、支流河水的输入对悬浮颗粒有机质碳同位素的影响较明显,埋藏的潮滩植物和底栖微藻则对沉积有机质有部分贡献。由于只有碳同位素一个指标,无法对多种来源有机质的贡献率进行定量估算,以后有必要加强这方面的研究。

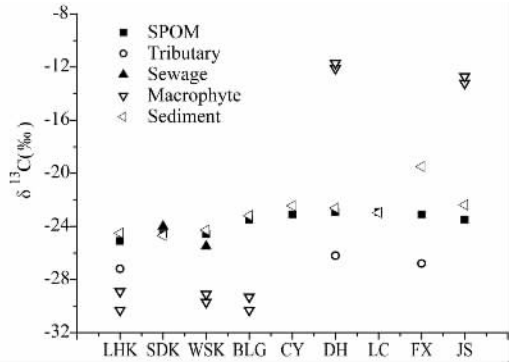


图 6 8 月各介质中有机质的稳定碳同位素沿程分布

Fig. 6 The spatial variation of carbon isotope in the organic constituents in August

参考文献:

- [1] Jickells T D. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*, 1998, 281: 217~222.
- [2] Howarth R W, Sharpley A, Walker D. Sources of nutrient pollution to coastal waters in the United States; Implication for achieving coastal water quality goals. *Estuaries*, 2002, 25: 656~676.
- [3] Go i M A, Teixeira M J, Perkey D W. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 57: 1023~1048.
- [4] Ogrinc N, Fontolan G, Faganeli J, *et al.* Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea); Indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry*, 2005, 95: 163~181.
- [5] Peterson B J. Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs; A review. *Acta Oecologica*, 1999, 20(4): 479~487.
- [6] Cloern J E, Canuel E A, Harris D. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography*, 2002, 47(3): 713~729.
- [7] Cifuentes L A, Coffin R B, Solorzano L, *et al.* Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1996, 43: 781~800.
- [8] Graham M C, Eaves M A, Farmer J G, *et al.* A study of carbon and nitrogen stable isotope and elemental ratios as potential indicators of source and fate of organic matter in sediments of the Forth Estuary, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, 52: 375~380.
- [9] Gonnea M E, Paytan A, Herrera-Silveira J A. Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 61: 211~227.
- [10] Go i M A, Cathey M W, Kim Y H, *et al.* Fluxes and sources of suspended organic matter in an estuarine turbidity maximum region during low discharge conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 63: 683~700.
- [11] Tan F C, Cai D L, Edmond J M. Carbon isotope geochemistry of the Changjiang Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1991, 32: 395~403.
- [12] 施光春. 长江口悬浮颗粒物有机碳的稳定同位素. *海洋通报*, 1993, 12(1): 49~52.
- [13] 高建杨, 杨桂山, 欧维新. 苏北潮滩湿地不同生态带有机质来源辨析与定量估算. *环境科学*, 2005, 26(6): 51~56.
- [14] 周俊丽. 长江口湿地生态系统中有机质的生物地球化学过程研究——以崇明东滩为例. 华东师范大学博士学位论文. 2006.
- [15] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 长江口潮滩有机质来源的 C、N 稳定同位素示踪. *地理学报*, 2004, 59(6): 918~926.
- [16] Andrews J E, Greenaway A M, Dennis P F. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbour, Jamaica. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, 46: 743~756.
- [17] 吴莹, 张经, 张再峰, 等. 长江悬浮颗粒物中稳定碳、氮同位素的季节分布. *海洋与湖沼*, 2002, 33(5): 546~552.
- [18] 沈焕庭, 张超, 茅志昌. 长江入河口区水沙通量变化规律. *海洋与湖沼*, 2000, 31(3): 288~294.
- [19] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 长江河口潮滩表层沉积物对磷酸盐的吸附特征. *地理学报*, 2002, 57(4): 397~406.
- [20] 潘定安. 长江口南港的水文泥沙环境及污染物输移. *地理研究*, 1996, 15(1): 39~46.
- [21] 路月仙, 陈振楼, 王军, 等. 上海市排污口环境影响评价. *环境保护科学*, 2003, 29: 46~49.
- [22] Lorenzen C J. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 1967, 12: 343~346.
- [23] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [24] 吴莹, 张经, 曹建平, 等. 长江流域有机碳同位素地球化学特征. *青岛海洋大学学报*, 2000, 30(2): 309~314.
- [25] Middelburg J J, Nieuwenhuize J. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Schelde Estuary. *Marine Chemistry*, 1998, 60: 217~225.
- [26] Jonge V E De. Fluctuations in the organic carbon to chlorophyll a ratios for estuarine benthic diatom populations. *Marine Ecology Progress Series*, 1980, 2: 345~353.
- [27] Howarth R W. Microbial processes in salt-marsh sediments. In: Ford E T. *Aquatic Microbiology*. Blackwell: Oxford, 1993. 239~261.

Temporal-spatial distribution of stable carbon isotope of organic matter and source analysis in the Changjiang Estuary

YU Jie¹, LIU Min¹, XU Shi-yuan¹, HOU Li-jun², OU Dong-ni¹, CHENG Shu-bo¹

(1. Key Laboratory of Geo-information Science of Ministry of Education, Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Changjiang Estuary, as a typical transitional zone between land and ocean, receives large quantity of organic materials from the Yangtze River and the ocean. In addition, the input of local materials such as detritus of macrophytes, photoplankton and benthic organisms makes it more complicated to trace the source and fate of organic matter in the estuarine and coastal tidal flat. The objective of this study is to trace the potential source of organic matter and the contribution of local environment to the organic materials by investigating the stable carbon isotopes in the organic constituents from the southern tidal flats of Changjiang Estuary.

According to the features of physical geographical environment and the discrepancy in the effects of human activities in the study area, 9 typical sampling stations were selected along the southern Changjiang estuarine and coastal line. By measuring the stable carbon isotopes of organic matter in the winter (February 2006) and summer (August 2006) seasons of low and relatively high discharge, we analyzed the probable sources of organic matter from suspended particles and surface sediment. It is found that the ratios of stable carbon isotope in SPOM were respectively $-25.8 \sim -23.4\%$ and $-25.1\% \sim -22.9\%$ in February and August, with the character of more negative in February. The spatial change of carbon isotopes displayed the trend of more positive in salt water than in freshwater areas, suggesting the mixture of marine and riverine organic matter. Due to the seasonal change of water discharge and marine phytoplankton blooming, terrigenous inputs exceeded marine inputs in winter and the reverse results have been found in summer.

The ratios of stable carbon isotope in surface sediment ranged from -25.0 to -20.4 and -24.7 to -19.5 respectively in February and August. There was no obvious seasonal difference observed in isotopic compositions and the spatial change was similar to SPOM, suggesting the OM in sediment coming from the deposition of suspended particles. However, the autochthonous materials had also certain influence on the stable carbon isotopic compositions in organic matter. The input of sewage and tributary water impacted the carbon isotope in SPOM while the buried marsh macrophytes and benthic microalgae contributed to the sedimentary organic matter.

Key words: stable carbon isotope; organic matter sources; suspended particle; sediment; Changjiang Estuary