

南海北部和海南岛附近海域表层沉积物中 有机质的分布和降解状态的差异*

曹梦莉¹ 马倩倩² 吴莹¹ 张经¹

(1. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 上海 200062; 2. 宁波博达教育科技有限公司 宁波 315000)

摘要 利用气相色谱法对南海北部和海南岛附近海域表层沉积物中正构烷烃(*n*-alkanes)和脂肪酸进行测定和分析, 结合粒径、比表面积(specific surface area, SSA)、有机碳(OC%)、碳稳定同位素($\delta^{13}\text{C}$)等参数研究有机物来源和降解状态, 并对其影响因素进行分析。研究结果表明: 沉积物主要以粉砂为主, 平均粒径分布范围在 10.97—517.21 μm 之间, 选取的 16 个站位的比表面积平均值为 8.05 m^2/g , 最大值是 S23 站位的 24.46 m^2/g , 最小值是 S29 站位的 1.73 m^2/g , OC%含量在 0.15—1.18 之间, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -23.05‰—-21.24‰。沉积物中正构烷烃碳链的分布范围是 $n\text{C}_{14}$ — $n\text{C}_{33}$, 低碳数峰群以 $n\text{C}_{16}$ 、 $n\text{C}_{18}$ 为主峰碳且具有偶碳数优势, 高碳数峰群以 $n\text{C}_{29}$ 为主峰碳。脂肪酸的碳数分布范围是 $n\text{C}_{14}$ — $n\text{C}_{30}$, 低碳数单峰型分布, 短链饱和脂肪酸(short chain saturated fatty acids, SCSFA)和单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)的含量占总脂肪酸含量的 70%以上, 长链饱和脂肪酸(long chain saturated fatty acids, LCSFA)的含量不到 10%, 据此说明这两个区域有机质均以海源输入为主。在有机物保存和降解方面, 海南岛附近海域有机质载荷(OC/SSA)和 $\delta^{13}\text{C}$ 之间的正相关, 表现了良好的陆源和海源的有机物更替, 但是珠江口附近海域系列样品却未见相似过程。不仅在物源更替方面, 在有机质降解特征上珠江口附近海域中的有机物与海南岛附近海域和南海陆架深水区也有很大的差别。海南岛附近海域和南海陆架深水区有机质的降解符合一般规律, 随着水深的增加降解程度逐渐变大, 然而珠江口附近海域随着水深的增加有机质却越来越“新鲜”。结合前人对珠江口附近海域黏土矿物组成的研究, 本文认为珠江口附近海域沉积物中有机质之所以会出现上述“异常”可能是因为该研究区域黏土矿物对有机质选择性吸附所导致。

关键词 南海; 表层沉积物; 有机质载荷; 生物标志物; 降解; 黏土矿物

中图分类号 P734 **doi:** 10.11693/hyh20160900188

陆架和陆坡海域面积在全球海洋总面积中的占有率低于 10%, 但是这些海域的沉积有机质的埋藏量却占了全球海洋沉积有机碳总埋藏量的 90% (Hedges *et al.*, 1995)。影响沉积物中有机质含量的因素有很多, 如氧化还原条件(Colombo *et al.*, 1996)、微生物的组成(Demaison *et al.*, 1980)、沉积物颗粒的大小(Premuzic *et al.*, 1982)等。近三十年来的研究表明, 海洋沉积物中有机碳与细颗粒—黏土含量间具有较好的相关性, 黏土

含量高, 则有机质含量丰富(Bock *et al.*, 2000)。且现代沉积物中有机质含量和矿物组成及性质密切相关(Hedges *et al.*, 1995), 因此, 在关注有机质保存时, 同样应该重视海洋沉积物中黏土矿物类型、黏土与有机质结合方式以及不同结合方式有机质稳定性的研究。不同类型黏土矿物性质的差异, 决定了吸附有机质量的多寡, 比如蒙脱石的吸附量远大于伊利石的吸附量(Satterberg *et al.*, 2003; 卢龙飞等, 2006)。

* 国家自然科学基金项目, 91228201 号; 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2014CB441502 号。曹梦莉, 硕士研究生
E-mail: 51142601014@sklec.ecnu.cn

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

收稿日期: 2016-09-05, 收修改稿日期: 2016-11-17

利用生物标志物的方法对南海沉积物的研究主要集中在有机质来源和分布(蔡观强等, 2011)、南海古环境信息(胡建芳等, 2001)、油气开发(何家雄等, 2015)等, 鲜有成果从黏土与有机质结合角度认识有机质埋藏过程。南海黏土矿物组成复杂, 不同海区黏土矿物组成有较大差异(葛倩等, 2010; Liu *et al.*, 2016)。本文将选择南海两个典型区域(海南岛附近和南海北部), 从生物标志物与黏土矿物相互作用的角度出发, 揭示黏土矿物对有机质的吸附和保护现象, 探讨不同类型黏土矿物对有机质吸附能力的差异对

有机质降解的影响, 试图从黏土矿物的角度阐释海洋有机质沉积、保存的过程, 开拓全球碳循环研究的新思路。

1 材料与方法

1.1 样品采集

南海表层沉积物样品采集于2008年8月“南海共享航次”, 共32个站位, 采样站位图如图1所示。表层沉积物样品采用抓泥斗法采集, 样品采集后移取至自封袋内, 立即在 -20°C 冷冻保存, 直至在实验室分析。

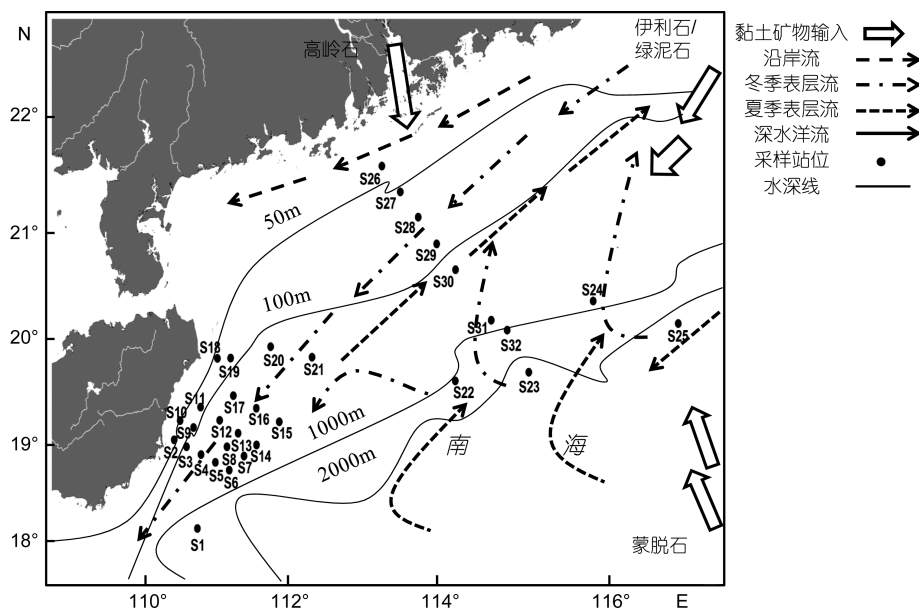


图1 南海北部表层沉积物采集站位

Fig.1 Sampling stations in the northern South China Sea

1.2 基本参数测定

粒径使用 LS100Q 粒径仪进行测定(邵锡斌等, 2014), 粒径大于 $63\mu\text{m}$ 的为砂质, 小于 $4\mu\text{m}$ 的为黏土, 介于 $4\text{--}63\mu\text{m}$ 之间的为粉砂。选取了南海北部全部和海南岛附近海域五个站位(S1、S8、S10、S18、S20)共16个样品测定了比表面积(specific surface area, SSA), 比表面积使用 ASAP2000 进行测定(王毅力等, 2005)。有机碳(OC%)使用 Vario EL 元素分析仪检测, 测定精度 $<5\%$; $\delta^{13}\text{C}$ 的测定使用 Finnigan 生产的 Delta Plus XP 稳定同位素质谱仪, 采用 VPDB 标准, 测定精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ (邵锡斌等, 2014)。

生物标志物的提取和测定: 取适量烘干研磨后的样品, 加入萃取剂后用微波消解法进行萃取, 萃取液离心后将固液分开, 取上层清液, 旋转浓缩至近干, 得到总脂。向总脂样品中加入 1mol/L 的 KOH 甲醇溶

液, 在 70°C 下加热 2h。冷却至室温, 加入正己烷萃取, 得到的上清液再进行旋转浓缩, 而后用硅胶柱分离, 用正己烷淋洗得到正构烷烃部分。剩余的下层溶液加入浓盐酸调节 pH, 用正己烷萃取至无色, 萃取液浓缩至近干, 加入 5% HCl-MeOH 溶液, 避光在 70°C 下加热 12h 进行甲酯化。甲酯化反应完成后用正己烷萃取得到含脂肪酸甲酯部分。整个分析过程正构烷烃和脂肪酸的回收率不低于 85% 。分离收集的正构烷烃及脂肪酸甲酯均用气相色谱仪进行分析。具体分析过程、色谱条件详见孙蕴婕(2011)。

2 结果

2.1 基本参数

从南海北部 32 个站位的分析结果可以看出, 平均粒径分布范围在 $10.97\text{--}517.21\mu\text{m}$ 之间, 最大值出

现在离珠江口最近的 S26 站位, 最小值在最大水深的 S23 站位。沉积物主要以粉砂为主, 粉砂的平均百分含量为 48.56%, 平均粒径为 83.50 μm , 随着水深的增加, 除个别站位外, 粒径的总体变化趋势是减小的(图 2a)。表层沉积物 OC 含量在 0.15%—1.18%之间, 平均值为 0.48%, 其中最高值出现在 S31 站位, 最小值出现在 S10 站位。选取的 16 个站位的比表面积平均值为 8.05 m^2/g , 最大值是 S23 站位的 24.46 m^2/g , 最小值是 S29 站位的 1.73 m^2/g 。在本研究中, $\delta^{13}\text{C}$ 的变化范围在 -23.05‰— -21.24‰ 之间, 平均值是 -22.15‰(表 1)。

2.2 生物标志物

沉积物中的正构烷烃碳链的分布范围是 $n\text{C}_{14}$ — $n\text{C}_{34}$, 以沉积物干重计浓度范围为 1.00—5.41 $\mu\text{g}/\text{g}$, 平均值是 2.16 $\mu\text{g}/\text{g}$ 。以 OC 计为 0.11—3.66 mg/g , 平均值是 0.62 mg/g 。单峰和双峰均有分布, 低碳数峰群以 $n\text{C}_{16}$ 、 $n\text{C}_{18}$ 为主峰碳且具有偶碳数优势, 高碳数峰群以 $n\text{C}_{29}$ 为主峰碳。碳优势指数(carbon preference index, CPI)是正构烷烃最常用的一种参数, 中短链正构烷烃的碳优势指数(CPI_1)值在 0.22—0.86 之间, 长链正构烷烃的碳优势指数(CPI_2)值在 0.76—1.95 之间。

$$\text{CPI}_{1(17-21)} = 0.5(\text{C}_{17} + \text{C}_{19} + \text{C}_{21}) / (\text{C}_{16} + \text{C}_{18} + \text{C}_{20}) + 0.5(\text{C}_{17} + \text{C}_{19} + \text{C}_{21}) / (\text{C}_{18} + \text{C}_{20} + \text{C}_{22})$$

$$\text{CPI}_{2(25-33)} = 0.5(\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33}) / (\text{C}_{24} + \text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32}) + 0.5(\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33}) / (\text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32} + \text{C}_{34})$$

在沉积物中检测到的脂肪酸的碳数分布范围是 $n\text{C}_{14}$ — $n\text{C}_{30}$, 以沉积物干重计浓度范围为 7.85—47.37 $\mu\text{g}/\text{g}$, 平均值是 15.42 $\mu\text{g}/\text{g}$ 。以 OC 计为 1.20—12.83 mg/g , 平均值是 4.00 mg/g 。低碳数单峰型分布, SCSFA(short chain saturated fatty acids, 短链饱和脂

肪酸)和 MUFA(monounsaturated fatty acids, 单不饱和脂肪酸)的含量占有脂肪酸含量的 70%以上, LCSFA(long chain saturated fatty acids)的含量不到 10%(表 1)。

3 讨论

3.1 基本参数和区域划分

沉积物粒径越小说明黏土含量越多, 比表面积越大, 因而吸附的有机质也就越多(Keil *et al.*, 1998)。从图 2b 中可以看出, 在水深超过 600m 的海域(圆圈所代表的站位)中随着比表面积的增加有机质含量在逐渐减少, 在 250m 以浅的海域(星星代表的的站位)中两者之间的关系并不是很明显。根据图 2 我们将研究区域划分为深水区(水深>600m)和浅水区(水深<250m)。环境的差异对有机质的迁移和转化应该也会产生影响, 据此将南海北部浅水区划分为珠江口附近海域(S26, S27, S28, S29, S30)和海南岛附近海域(从 S2 站位到 S21 站位)。

3.2 有机质来源

判定有机物来源的方法有很多种, 本文利用碳稳定同位素和生物标志物结合法判断研究区域的有机质来源。海源和陆源的 $\delta^{13}\text{C}$ 典型值分别为 -20‰和 -27‰(Calvert *et al.*, 1987; 马倩倩等, 2015)。在利用生物标志物示踪时可以根据脂肪酸种类的不同分析其来源, 例如, LCSFA($\text{C} \geq 22$)主要来自于陆地植物、而 SCSFA($\text{C} < 22$)则主要来自于浮游生物和细菌、MUFA 来自于藻类和浮游动物等(Zimmerman *et al.*, 2001)。长链正构烷烃的来源比较复杂, 既有来自于植物的也有从一元酸转化的, 也有来自细菌的(C_{23} 、 C_{25} 、 C_{26})(孙蕴婕, 2011)。根据 2.1 和 2.2 部分对结果的描述可以得出结论: 采样海域沉积物的有机质以海源输入为主。

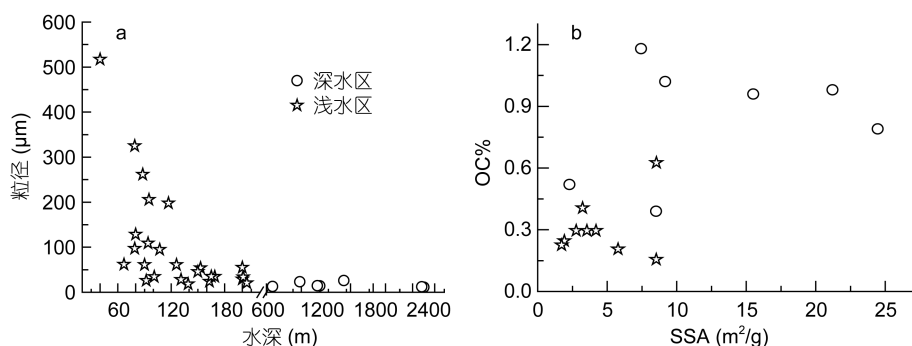


图 2 (a) 水深和粒径的关系; (b) SSA 和 OC% 之间的关系

Fig. 2 Relationship of depth vs grain size (a) and SSA vs OC% (b) in deep waters (>600m) and shallow waters (water <250m)

注: 深水区: 水深 > 600m; 浅水区: 水深 < 250m; SSA: specific surface area, 比表面积

表 1 各个站位部分基本参数
Tab.1 Some physical and chemical parameters from different sites of the study area

区域	站位	水深(m)	OC%	粒径(μm)	黏土%	CPI _{2(25—33)}	LCSFA (mg/g)	SCSFA (mg/g)	HMW	
浅水区	海南岛附近站位	S2	90	0.49	61.00	23.60	1.19	1.35	12.29	5.99
		S3	92	0.41	26.02	31.12	1.28	1.04	6.79	1.46
		S4	139	0.7	18.26	28.84	1.26	0.88	10.32	1.56
		S5	163	0.58	24.02	19.72	1.03	1.03	10.13	2.15
		S6	200	0.31	29.06	22.45	1.25	0.71	4.66	1.54
		S7	201	0.23	33.82	28.42	0.76	0.62	4.79	1.49
		S8	169	0.40	34.56	14.57	1.06	0.67	5.95	2.24
		S9	101	0.61	34.35	27.46	1.17	0.93	5.68	2.04
		S10	79	0.15	97.17	9.06	1.17	0.63	7.68	1.35
		S11	94	0.34	108.76	17.36	1.31	0.76	6.03	0.47
	珠江口附近站位	S12	131	0.56	28.04	23.92	1.11	1.08	8.21	0.90
		S13	165	0.45	34.98	16.04	1.33	0.91	7.68	1.68
		S14	205	0.35	20.48	27.85	1.51	0.59	6.00	2.12
		S15	200	0.43	54.94	15.66	1.40	0.67	6.08	1.59
		S16	153	0.36	54.03	14.43	1.36	0.78	9.24	1.65
		S17	126	0.32	61.02	17.93	1.47	0.67	3.81	2.23
		S18	88	0.24	261.72	12.42	1.40	1.33	5.27	1.27
		S19	95	0.30	205.58	14.45	1.22	0.80	6.31	2.15
		S20	107	0.29	94.59	12.67	1.26	0.57	6.46	0.94
		S21	150	0.40	45.61	18.51	1.19	0.87	7.22	1.57
深水区	站位	S26	40	0.2	517.21	12.76	1.38	2.10	16.91	1.64
		S27	67	0.62	61.85	26.32	1.66	1.07	7.73	3.17
		S28	80	0.29	128.52	15.68	1.18	0.71	5.08	2.98
		S29	79	0.22	325.02	10.31	1.26	0.91	7.23	3.87
		S30	117	0.29	197.8	8.49	1.32	0.79	7.47	0.71
		S1	1470	1.02	25.96	27.28	1.64	1.98	6.07	1.64
		S22	1200	0.96	14.14	39.05	1.27	2.08	10.45	1.63
		S23	2370	0.79	10.97	45.74	1.73	1.69	11.90	1.32
		S24	976	0.39	23.17	35.40	1.68	1.62	10.97	2.18
		S25	2346	0.98	11.98	39.44	1.10	0.83	8.51	1.02
		S31	670	1.18	12.84	32.12	1.95	2.06	10.93	3.26
		S32	1173	0.52	14.59	34.11	1.39	2.57	21.17	2.09

注:OC: organic carbon, 有机碳; CPI: carbon preponderance index, 碳优势指数; LCSFA: long chain saturated fatty acids, 长链饱和脂肪酸; SCSFA: short chain saturated fatty acids, 短链饱和脂肪酸; HMW: 链长在 C20—C30 之间的正构脂肪酸之和与链长 C25—C33 之间的奇碳数正构烷烃之和的比值

浅水区站位离岸比较近, 所以比较容易受到陆地的影响。如图 3a 所示, 在海南岛附近海域, 随着离岸距离的增加 $\delta^{13}\text{C}$ 越来越偏正, 有机质载荷(OC/SSA)也越来越大, 说明吸附在颗粒物上的有机质含量越来越多。在图 3b 中看出, 除了处于上升流的 S8 站位(经志友等, 2008)外, 随着短链饱和脂肪酸载荷(SCSFA/SSA)的增多 $\delta^{13}\text{C}$ 的值越来越偏正。一般来说, 海洋浮游生物产生的有机质具有偏正的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(平均

-20‰), 陆地有机质具有偏负的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(平均-27‰)(Meyers, 1994)。结合两图, 证实了海南岛附近海域陆源和海源有机质之间有很好的更替, 随着海源有机质载荷的增加, 陆源逐渐被海源所替代。同样的趋势在加拿大马更些河口三角洲地区也存在(Vonk *et al*, 2015), 展现陆源和海源之间良好的更替。 $\delta^{13}\text{C}$ 最负的点 S10 站位, 离万泉河河口最近, 受陆地影响最大。

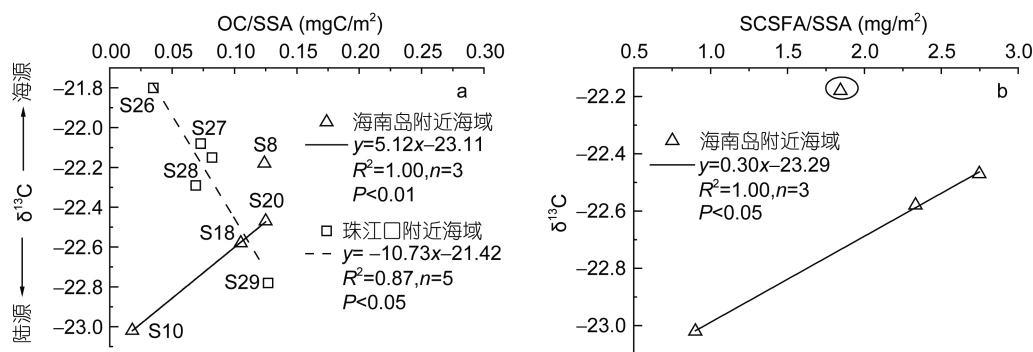


图3 (a) 浅水区 OC/SSA 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的关系; (b) 海南岛附近海域 SCSFA/SSA 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的关系
Fig.3 (a) OC/SSA vs $\delta^{13}\text{C}$ relationship in shallow water; (b) SCSFA/SSA vs $\delta^{13}\text{C}$ relationship in Hainan Island

然而珠江口附近海域的趋势却恰好相反(图 3a), 随着有机质载荷的增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值在减小, 最大的 $\delta^{13}\text{C}$ 站位处于离珠江口最近的 S26 站位, 最负的站位离岸却较远。除了物源影响之外, $\delta^{13}\text{C}$ 数值这一变化也可能与有机物降解过程中轻碳被优先利用改造有关(段毅等, 1996; Lin *et al.*, 2014)。

3.3 有机质的降解

链长在 C_{20} — C_{30} 之间的正构脂肪酸之和与链长 C_{25} — C_{33} 之间的奇碳数正构烷烃之和的比值(以下用 HMW 表示)可用来表征有机质的降解程度, 该比值越小, 所表征的有机质的降解程度越高(Vonk

et al., 2008; Vonk *et al.*, 2010; 马倩倩等, 2015)。其中在深水区, 随着水深的增加有机质的降解程度增大(图 4a), 因为随着水深的增加有机质在水体中存在的时间越长, 降解程度也就越大。Vonk 等(2008)在对波的尼亚湾的研究中发现, 随着离岸距离的增加沉积物中 HMW 的值在逐渐降低, 降解程度在逐渐增大。所以深水区沉积物中有机质的降解符合一般规律, 但是珠江口附近海域, 本文发现随着水深的增加有机质越来越“新鲜”(图 4b), 除了处于粗沙区的 S30 站位, 黏土含量在所有站位中最低, 有机质降解程度高。

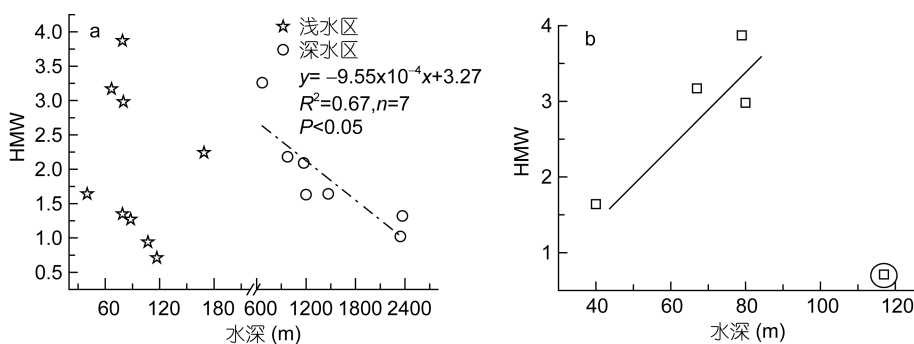


图4 (a) 深水区 and 浅水区各个站位随水深变化有机质降解程度(HMW)的差异; (b) 珠江口附近海域水深随有机质降解程度的变化
Fig.4 (a) Difference in degradation between deep water and shallow water; (b) the water depth vs HMW in Zhujiang (Pearl) River mouth

综合上文中提到的珠江口附近海域 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化趋势, 认为珠江口附近海域的有机质确实发生了降解, 但是 HMW 值所反映的有机质为什么却越来越“新鲜”呢? 本文推测 HMW 这个降解参数在珠江口附近海域所反映的降解状态可能是一个“假象”。珠江口附近海域的沉积有机物发生了降解, 但是由于黏土

矿物选择性吸附有机酸导致 HMW 变大。根据脂肪酸数据进一步分析发现: 珠江口附近几个站位的 SCSFA 除了离岸最近的 S26 站位含量较高以外, 其他站位随着水深的变化并无太大起伏, 浓度范围为 5.08—7.73mg/g(以 OC 计), 平均值为 6.88mg/g(图 5b)。图 5a 中横坐标是 SCSFA/LCSFA, SCSFA 的变化

不大, 那么就说明 LCSFA 和 HMW 呈正相关, 结合图 3 随着离岸距离的增加有机质载荷也在逐渐增多, 所以本文猜测: 黏土矿物对有机质的吸附造成有机质

载荷的增加, 同时由于黏土矿物对脂肪酸的优先吸附导致了 LCSFA 的增多, 所以 HMW 的值会增加, 有机物显得“新鲜”。

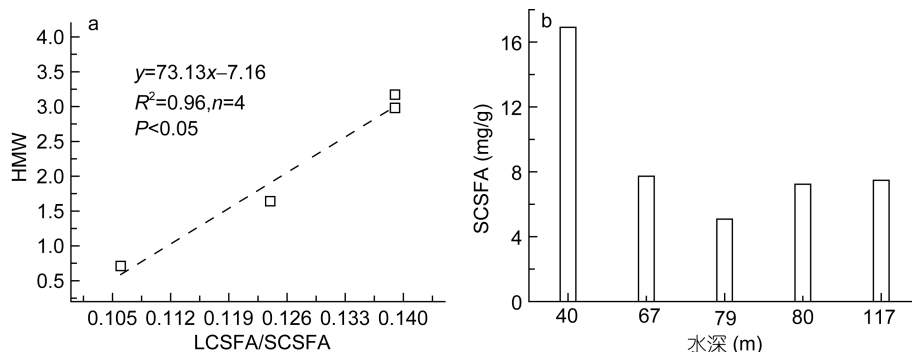


图 5 珠江口附近海域 LCSFA/SCSFA 和 HMW 的关系(a)以及 SCSFA 随水深变化的趋势(b)
Fig.5 Relationship of LCSFA/SCSFA vs HMW (a) and depth versus SCSFA (b) in Zhujiang River mouth

南海北部表层沉积物中黏土矿物的组成主要由陆源区所决定, 该地区沉积物的主要物源区有华南大陆、台湾岛、吕宋岛等(Liu *et al.*, 2007, 2016; 刘志飞等, 2007; 刘志飞, 2010), 然而海南岛附近海域海底表层沉积物的物质主要来自于海南岛本土(吴敏等, 2007)。在南海北部, 珠江输送的高岭石、台湾来的伊利石和绿泥石以及吕宋岛输送的蒙脱石在此汇集, 从珠江口的伶仃洋到南海北部陆缘再到南海北部陆坡, 高岭石平均含量从 40%降低到 33%再持续降低到 7%, 而蒙脱石的平均含量从 6%升到 16%再持续升高到 35%, 伊利石和绿泥石的含量变化不大(Liu *et al.*, 2007, 2016; 刘志飞等, 2007; 刘志飞, 2010)。这四种黏土矿物对有机质的吸附能力各不相同, 其中蒙脱石不仅可以在外表面吸附有机质, 内部也能储存有机质, 高岭石和绿泥石层间吸附能力较弱, 而伊利石仅仅依靠外表面吸附有机质(Satterberg *et al.*, 2003; 卢龙飞等, 2006)。同时黏土矿物对有机质的吸附会对有机质具有一定的保护作用, 在相同的降解条件下受保护的成分降解速度会变慢(卢龙飞等, 2006)。在南海北部珠江口附近海域, 随着离岸距离的增加蒙脱石含量增多, 黏土矿物对有机酸的优先吸附使得 HMW 值增加, 所以造成珠江口附近海域有机质降解的假象。在海南岛附近海域, 由于黏土矿物由伊-蒙混层矿物、伊利石、高岭石和绿泥石组成, 并且各个组分含量比较均衡(吴敏等, 2007), 所以对有机质的选择性吸附并不明显, 这就造成了两片海域沉积有机质保存状态的不同。

4 结论

将采样区域划分为深水区(水深>600m)和浅水区(水深<250m)、珠江口附近海域和海南岛附近海域, 发现各个区域表层沉积物中有机质的保存状态存在差异, 在深水区随着比表面积的增加有机质含量在逐渐减少, 在浅水区两者之间的关系并不是很明显。

根据 $\delta^{13}\text{C}$ 和正构烷烃、脂肪酸等参数证实南海北部表层沉积物中有机质以海源为主, 海南岛附近海域有机物有良好的海源和陆源的更替现象。

深水区附近海域的沉积有机质降解过程符合一般规律, 而浅水区的珠江口附近海域沉积有机质的降解却出现了“异常”, 这是由于该区域黏土矿物对有机质的选择性吸附所致, 因此在南海北部陆架区域有机物的埋藏和降解需要结合黏土矿物特征综合分析, 避免地球化学信息的错误解释。

参 考 文 献

- 蔡观强, 彭学超, 张玉兰, 2011. 南海沉积物物质来源研究的意义及其进展. 海洋科学进展, 29(1): 113—121
- 马倩倩, 魏 星, 吴 莹等, 2015. 三峡大坝建成后长江河流表层沉积物中有机物组成与分布特征. 中国环境科学, 35(8): 2485—2493
- 王毅力, 芦家娟, 周岩梅等, 2005. 沉积物颗粒表面分形特征的研究. 环境科学学报, 25(4): 457—463
- 卢龙飞, 蔡进功, 包于进等, 2006. 黏土矿物保存海洋沉积有机质研究进展及其碳循环意义. 地球科学进展, 21(9): 931—937
- 刘志飞, Colin C, 黄 维等, 2007. 珠江流域盆地表层沉积物的黏土矿物及其对南海沉积物的贡献. 科学通报, 52(4):

- 448—456
- 刘志飞, 2010. 南海沉积物中的黏土矿物: 指示东亚季风演化历史. 沉积学报, 28(5): 1012—1019
- 孙蕴婕, 2011. 沉积物中脂类生物标志物的物源示踪及环境演变指示——以海南及中国东部若干入海河流为例. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 41
- 吴 敏, 李胜荣, 初凤友等, 2007. 海南岛周边海域表层沉积物中黏土矿物组合及其气候环境意义. 矿物岩石, 27(2): 101—107
- 何家雄, 苏丕波, 卢振权等, 2015. 南海北部琼东南盆地天然气水合物气源及运聚成藏模式预测. 天然气工业, 35(8): 19—29
- 邵锡斌, 吴 莹, 胡 俊等, 2014. 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. 海洋与湖沼, 45(6): 1288—1294
- 经志友, 齐义泉, 华祖林, 2008. 南海北部陆架区夏季上升流数值研究. 热带海洋学报, 27(3): 1—8
- 胡建芳, 彭平安, 房殿勇等, 2001. 南海沉积物中 C_{30} — C_{32} 烷基二醇的检出及可能的古环境信息. 地球化学, 30(6): 569—578
- 段 毅, 马兰华, 1996. 生物标志化合物碳同位素地球化学研究的几个相关问题. 地球科学进展, 11(4): 356—361
- 葛 倩, 初凤友, 刘敬圃等, 2010. 南海表层黏土矿物的分布与来源. 海洋地质与第四纪地质, 30(4): 57—66
- Bock M J, Mayer L M, 2000. Mesodensity organo-clay associations in a near-shore sediment. Marine Geology, 163(1—4): 65—75
- Calvert S E, Fontugne M R, 1987. Stable carbon isotopic evidence for the marine origin of the organic matter in the holocene black sea sapropel. Chemical Geology: Isotope Geoscience Section, 66(3—4): 315—322
- Colombo J C, Silverberg N, Gearing J N, 1996. Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough: I—fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons in rapidly settling particles. Organic Geochemistry, 25(3—4): 211—225
- Demaison G J, Moore G T, 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. Organic Geochemistry, 2(1): 9—31
- Hedges J I, Keil R G, 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. Marine Chemistry, 49(2—3): 81—115
- Keil R G, Tsamakis 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
- Lin F, Chen M, Tong J L *et al*, 2014. Carbon and nitrogen isotopic composition of particulate organic matter and its biogeochemical implication in the Bering Sea. Acta Oceanologica Sinica, 33(12): 40—47
- Liu Z F, Colin C, Huang W *et al*, 2007. Clay minerals in surface sediments of the Pearl River drainage basin and their contribution to the South China Sea. Chinese Science Bulletin, 52(8): 1101—1111
- Liu Z F, Zhao Y L, Colin C *et al*, 2016. Source-to-sink transport processes of fluvial sediments in the South China Sea. Earth-Science Reviews, 153: 238—273
- Meyers P A, 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chemical Geology, 114(3—4): 289—302
- Premuzic E T, Benkovitz C M, Gaffney J S *et al*, 1982. The nature and distribution of organic matter in the surface sediments of world oceans and seas. Organic Geochemistry, 4(2): 63—77
- Satterberg J, Arnarson T S, Lessard E J *et al*, 2003. Sorption of organic matter from four phytoplankton species to montmorillonite, chlorite and kaolinite in seawater. Marine Chemistry, 81(1—2): 11—18
- Vonk J E, van Dongen B E, Gustafsson Ö, 2008. Lipid biomarker investigation of the origin and diagenetic state of sub-arctic terrestrial organic matter presently exported into the northern Bothnian Bay. Marine Chemistry, 112(1—2): 1—10
- Vonk J E, van Dongen B E, Gustafsson Ö, 2010. Selective preservation of old organic carbon fluvially released from sub-Arctic soils. Geophysical Research Letters, 37(11): L11605
- Vonk J E, Giosan L, Blusztajn J *et al*, 2015. Spatial variations in geochemical characteristics of the modern Mackenzie Delta sedimentary system. Geochimica et Cosmochimica Acta, 171: 100—120
- Zimmerman A R, Canuel E A, 2001. Bulk organic matter and lipid biomarker composition of Chesapeake Bay surficial sediments as indicators of environmental processes. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 53(3): 319—341

DIFFERENCE IN ORGANIC MATTER DISTRIBUTION AND DEGRADATION IN SURFACE SEDIMENT BETWEEN NORTHERN SOUTH CHINA SEA AND HAINAN ISLAND

CAO Meng-Li¹, MA Qian-Qian², WU Ying¹, ZHANG Jing¹

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

2. Ningbo Boda Education & Technology Co. Ltd, Ningbo 315000, China)

Abstract The South China Sea receives sediments from multiple sources of adjacent lands and islands and hosts rich in fossil fuel resources. To understand organic carbon (OC) origination, transportation, and degradation in water and sediment, surface sediments were sampled in two maritime regions, i.e., the northern South China Sea along Zhujiang (Pearl) River delta (ZJ) and waters to the east of Hainan Island (HN), two major marine oil-gas productive fields of China. Sedimentological (grain size, specific surface area (SSA)) and geochemical (OC%, $\delta^{13}\text{C}$ -OC and *n*-alkanes, fatty acids) studies were performed. Samples were mostly fine-grained sand-silt sediments and showed a tendency of fining away from land. Parameters of OC% (0.15—1.18), $\delta^{13}\text{C}$ (−23.05‰—−21.24‰) were determined, and molecular biomarkers (*n*-alkane carbon preference index and types of fatty acids) were measured. Correlation between SSA and OC% was not significant. Correlation between OC load (OC/SSA) and $\delta^{13}\text{C}$ in HN samples was positive, showing good transition from terrestrial to marine origination from land to ocean, which is normal; however, this phenomenon was not observed in the ZJ samples. We believe that the difference shall be resulted from selective adsorption by clay minerals different in species and fraction between the two sets of samples. ZJ samples are affected by multiple sources from South China continent, Taiwan and Luzon Islands, while that of HN from nearby single Hainan Island.

Key words South China Sea; surface sediment; organic matter load; biomarkers; degradation; clay mineral