

莱州湾沉积物有机质来源*

张明亮¹ 姜美洁² 付翔¹ 吕振波¹ 郑亮³

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006; 2. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061; 3. 上海海洋大学 上海 201306)

摘要 应用 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 解析了莱州湾沉积物有机质来源,发现湾内有机质主要存在海洋、河口浮游植物以及陆地有机质 3 种来源。通过 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 定量示踪,发现海洋浮游植物是湾内沉积物有机质的最主要来源,相对含量在 41.6%—58.5%之间。河口浮游植物有机质、陆源有机质相对含量波动较大,分别在 3.8%—43.8%、0—53.5%之间。海洋浮游植物有机质在整个海湾都表现出较高含量。近岸河口附近海域往往表现出高含量的河口浮游植物有机质特征,陆源有机质含量较高区域大都集中在黄河口周围海域,高河口浮游植物有机质以及高陆源有机质特征在黄河口周围海域均有出现。

关键词 有机质来源; C/N; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; 莱州湾

中图分类号 P76 **doi:** 10.11693/hyhz20130315001

近海沉积物在全球有机碳循环中起到非常重要的作用,据估计全球 90%以上的有机碳被埋藏在近海陆架区域(Tesi *et al*, 2007)。进入近海沉积物的有机质存在多种来源,既有通过初级生产过程生成的海源有机质,也有通过地表径流、大气沉降等方式进入海洋的陆源有机质以及河口浮游植物光合作用产生的河口有机质,人类活动产生的有机污染物也会进入沉积物(Andrews *et al*, 1998; Middelburg *et al*, 2007; Hu *et al*, 2009)。研究近海沉积物中有机质的来源组成对了解有机碳的归宿、埋藏具有重要意义,有助于揭示近海的有机碳循环过程。

莱州湾地理位置特殊,沉积物中有机质可能存在多种来源:湾内初级生产力较高,每年通过光合作用生产大量有机质(宋金明等, 2008);同时又有黄河、潍河、小清河等地表径流入海,带来了丰富的河口浮游植物和陆源有机质。特别是黄河作为世界上泥沙携带量最大的河流,每年从上流携带大量的陆源有机质入海,对湾内有机质组成影响巨大(张龙军等, 2007);同时莱州湾沿岸又是人类活动密集地区,人类活动产生的有机污染物也可能进入沉积物中。通过

解析湾中沉积物有机质来源组成,将有助于提升对湾内有机碳循环的生物地球化学过程的认识。

1 材料与方法

在莱州湾内均匀设置了 21 个站位,于 2012 年 8 月进行了调查取样(图 1)。使用抓斗式采泥器采集沉积物,收集表层 0—5cm 样品,冷冻保存,带回实验室分析。样品在实验室解冻后,60°C 烘干,然后加入

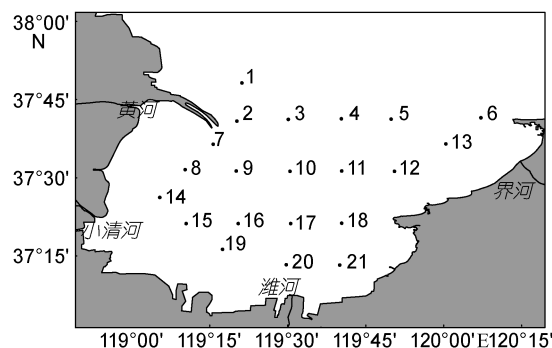


图 1 莱州湾调查站位

Fig.1 Investigating station in Laizhou Bay

*国家海洋局海洋生态环境科学与工程重点实验室开放基金, MESE-2012-03号。张明亮, 博士, 助理研究员, E-mail: zhangml1982@126.com

收稿日期: 2013-03-15, 收修改稿日期: 2013-06-24

1mol/L HCl 浸泡 24h 除去无机碳, 用蒸馏水洗至中性, 再次烘干, 研磨后过 100 目筛, 通过 Flash EA1112 HT 元素分析仪(Thermo Fisher Scientific, INC., USA)测定总有机碳(TOC)和总氮(TN)含量, TOC、TN 的精度分别为 $\pm 0.02\%$ 和 $\pm 0.003\%$; 通过 Flash EA1112 HT 元素分析仪与 MAT 253 同位素比率质谱仪(Thermo Fisher Scientific, INC., USA)联用测定有 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 比值率。 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 比值率计算分别以 PDB(Pee Dee Belemnite)和 N_2 为标准, 精度分别为 $\pm 0.1\%$ 和 $\pm 0.2\%$ 。

2 结果

2.1 TOC 和 TN

莱州湾内 TOC 含量在 0.05%—0.60%之间, 平均值为 $0.24\% \pm 0.17\%$ (表 1), 而整个渤海 TOC 平均含量为 $0.38\% \pm 0.17\%$ (Hu *et al.*, 2009), 表明莱州湾 TOC 含量在渤海中处于相对较低水平。TOC 含量在湾中表现出很强的空间异质性, 并且存在两个高值区域: 西部海域以及东北部海域, 这两个区域 TOC 含量平均为 $0.37\% \pm 0.13\%$, 接近渤海整体水平; 而其余位于海湾中部以及南部站位 TOC 均处于较低水平, 平均值为 $0.09\% \pm 0.05\%$, 远远低于高值区域(图 2)。

湾内 TN 含量在 0.01%—0.06%之间, 平均值为

$0.03\% \pm 0.02\%$, 而整个渤海 TN 平均含量为 $0.06\% \pm 0.02\%$, 表明莱州湾 TN 含量在渤海也处于较低水平。TN 表现出了与 TOC 相似的分布特征, 海湾西部以及东北部处于较高水平, 海湾中部以及南部处于较低水平(图 2)。

TN 与 TOC 表现出良好的线性关系: $\text{TN} = (0.117 \pm 0.005) \times \text{TOC} + (0.003 \pm 0.001)$ ($R^2 = 0.968$, $P < 0.01$, 图 3)。回归直线截距很小, 近乎穿过原点, 因此样品中无机氮含量极少, 几乎全部为有机氮(Goñi *et al.*, 2003)。

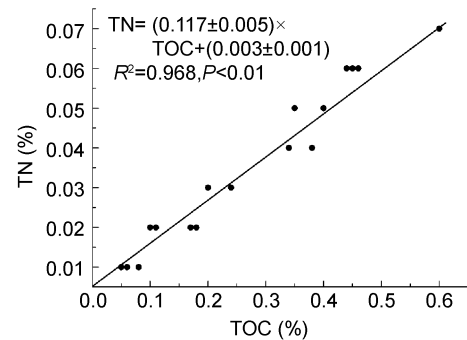


图 3 莱州湾沉积物 TN 与 TOC 关系

Fig.3 The relationship of TN and TOC in sediment of Laizhou Bay

2.2 C/N 定性分析

在不同来源的有机质中, C/N 往往表现出不同的特征值, 海洋浮游植物光合作用产生有机质 C/N 在 5—9 之间, 符合 Redfield 比值(喻涛, 2005; Middelburg *et al.*, 2007); 河口浮游植物有机质 C/N 在 5—14.6 之间(Thornton *et al.*, 1994; Canuel *et al.*, 1995), 陆源土壤有机质中碳元素含量相对较高, 因此 C/N 要高于海源有机质, 在 10—14 之间; 陆源植物有机质由于富含棕黄酸、木质素、腐殖酸等高分子化合物, C/N 往往较高, 可达 10—1000(余婕, 2008)。本文研究表明, 莱州湾中 C/N 在 5.23—9.08 之间, 平均值为 7.19 ± 0.98 (表 1), 表现出海洋、河口浮游植物有机质特征, 也存在海洋、河口浮游植物以及陆源有机质混合的可能。

有机质受生物地球化学作用特别是生物降解作用影响强烈, 在生物降解的过程中会引入氮元素, 从而造成 C/N 降低。因此在特定情况下, 仅依靠 C/N 不能够准确反映有机质来源, 还需要结合其它示踪物进行有机质来源解析。

2.3 $\delta^{13}\text{C}$ 定性分析

生物在同化作用过程中对碳同位素的吸收具有选择性, 这取决于生物的代谢方式, 选择性吸收导致了同位素的分馏。一般来说, 海洋浮游生物 $\delta^{13}\text{C}$ 特征

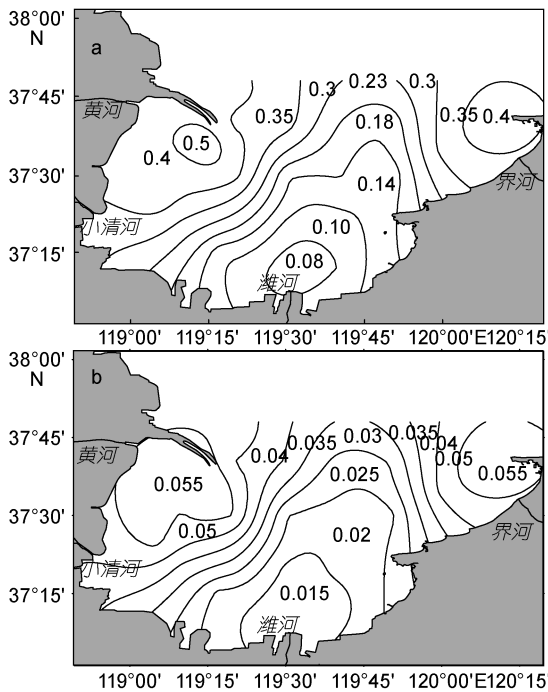


图 2 莱州湾 TOC、TN 分布

Fig.2 The distribution of TOC, TN in Laizhou Bay
a: 总有机碳(TOC)分布; b: 总氮(TN)分布, 单位均为%

表 1 莱州湾表层沉积物有机质成分参数
Tab.1 Composition and parameters of organic matter of surface sediment in Laizhou Bay

站位	TOC(%)	TN(%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
1	0.40	0.05	8.33	-23.72	4.22
2	0.24	0.03	6.95	-23.44	4.13
3	0.38	0.04	8.52	-23.50	3.97
4	0.17	0.02	6.96	-23.28	4.30
5	0.10	0.02	5.96	-23.05	2.70
6	0.44	0.06	7.07	-22.76	5.21
7	0.60	0.07	8.19	-23.58	4.32
8	0.34	0.04	9.08	-23.27	4.31
9	0.45	0.06	7.12	-23.74	3.39
10	0.06	0.01	6.70	-23.98	3.74
11	0.18	0.02	8.67	-23.60	4.00
12	0.06	0.01	6.19	-22.88	3.96
13	0.35	0.05	6.97	-22.40	4.72
14	0.46	0.06	7.70	-23.16	4.52
15	0.24	0.03	7.50	-23.73	4.88
16	0.20	0.03	7.53	-23.56	4.38
17	0.08	0.01	7.02	-23.76	4.42
18	0.11	0.02	6.64	-23.63	4.53
19	0.06	0.01	5.23	-22.74	4.41
20	0.05	0.01	6.45	-23.00	3.82
21	0.06	0.01	6.13	-22.50	4.53

值在-21‰—-18‰之间(Goi *et al.*, 1997); 河口浮游生物 $\delta^{13}\text{C}$ 特征值在-35‰—-25‰之间(Canuel *et al.*, 1995; Middelburg *et al.*, 2007); 陆地 C3 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 特征值在-33‰—-22‰之间; 而陆地 C4 植物则表现出更重的 $\delta^{13}\text{C}$ 特征值, 在-16‰—-9‰之间(Dai *et al.*, 2007); 土壤有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 的特征值与当地优势植物有关, 根据 Guo 等(2006)报导, 我国北方以 C3 植物为主, 因此土壤有机质特征与 C3 植物有机质特征相同(Gao *et al.*, 2012)。莱州湾沉积物有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 变化较小, 在-23.98‰—-22.40‰之间, 平均值为-23.30‰±0.45‰(表 1), 表现出陆源有机质特征, 也存在陆源、海洋、河口浮游植物有机质混合的可能。

2.4 $\delta^{15}\text{N}$ 定性分析

生物代谢也会导致 $\delta^{15}\text{N}$ 的分馏, 因此 $\delta^{15}\text{N}$ 也可以作为示踪物进行有机质的示踪, 但 $\delta^{15}\text{N}$ 不如 $\delta^{13}\text{C}$ 稳定, 易受成岩作用影响, 因此被用作 $\delta^{13}\text{C}$ 的补充示踪物。一般来说, 海洋浮游植物 $\delta^{15}\text{N}$ 在 3‰—12‰之间(喻涛, 2005); 河口浮游植物 $\delta^{15}\text{N}$ 在 5‰—15‰之间(Middelburg *et al.*, 2007); 陆源植物有机质(包括 C3、C4 植物) $\delta^{15}\text{N}$ 值一般较低, 接近于 0(Gaye-Haake *et al.*,

2005); 而陆源土壤有机质 $\delta^{15}\text{N}$ 略高于植物, 在 1‰—3.5‰之间(Nives *et al.*, 2005; Middelburg *et al.*, 2007)。本文监测莱州湾沉积物有机质 $\delta^{15}\text{N}$ 变化范围较大, 在 2.70‰—5.21‰之间, 平均值为 4.21‰±0.53‰(表 1), 有机质来源表现出海洋浮游植物特征, 也存在海洋、河口浮游植物以及陆地有机质交汇可能。

2.5 有机质来源定量分析

分别以 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 为示踪物对莱州湾沉积物有机质来源进行定性分析发现, 莱州湾沉积物中有机质来源表现出海洋、河口浮游植物以及陆地有机质特征, 并存在 3 种端元混合的可能。但是受生物地球化学作用影响, C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 在迁移和转化的过程中可能会发生改变, 因此单独以 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 作为示踪物可能存在不确定性, 也无法对有机质的来源进行定量示踪。当两种示踪物存在良好相关性的时候, 可以将其联合用做有机质来源定量分析; 若相关性较差, 则不可联用(Graham *et al.*, 2001)。

使用 SPSS19.0 将 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 两两进行 Person 相关性分析发现, C/N 与 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关系数为 0.155, 差异不显著($P>0.05$); $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关系数为 0.220, 差异不显著($P>0.05$); C/N 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的相关系数为 -0.461, 差异显著($P<0.05$), 因此可将 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 联用定量估算有机质来源。

根据 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 定性示踪结果可将莱州湾沉积物中有机质分为海洋浮游植物、河口浮游植物以及陆源有机质 3 种来源, 本文采用基于物质守恒的端元混合方程来估算沉积物有机质中海源、河口、陆源各端元含量(Goñi *et al.*, 2003):

$$[\text{C/N}]_s = f_m \times [\text{C/N}]_m + f_t \times [\text{C/N}]_t + f_e \times [\text{C/N}]_e \quad (1)$$

$$\delta^{13}\text{C}_s = f_m \times \delta^{13}\text{C}_m + f_t \times \delta^{13}\text{C}_t + f_e \times \delta^{13}\text{C}_e \quad (2)$$

$$1 = f_m + f_t + f_e \quad (3)$$

其中 $[\text{C/N}]_s$ 为样品 C/N 值, $\delta^{13}\text{C}_s$ 为样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值。 f_m 、 f_t 、 f_e 分别为海源、陆源以及河口有机质所占比例, $[\text{C/N}]_m$ 、 $[\text{C/N}]_t$ 、 $[\text{C/N}]_e$ 为海源、陆源以及河口有机质 C/N 特征值, $\delta^{13}\text{C}_m$ 、 $\delta^{13}\text{C}_t$ 、 $\delta^{13}\text{C}_e$ 为海源、陆源以及河口有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 特征值。

根据以往研究结果, 海洋浮游植物 C/N 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的特征值平均为 7.4、-18.0‰(Canuel *et al.*, 1995; Ogrinc *et al.*, 2005; Middelburg *et al.*, 2007); 陆源有机质 C/N 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的特征值平均为 10.7、-27‰(Goñi *et al.*, 2003; Middelburg *et al.*, 2007), 河口浮游植物 C/N 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的特征值平均为 5.2、-30.0‰(Canuel *et al.*, 1995; Middelburg *et al.*, 2007)。以此计算各站位 3 种端元含量, 结果如表 2 所示。根据计算, 海洋浮游植物是莱

表 2 莱州湾有机质来源组成
Table 2 The source and composition of organic matter in Laizhou Bay

站位	海洋浮游植物 相对含量(%)	河口浮游植物 相对含量(%)	陆源有机质相 对含量(%)
1	42.3	17.7	40.0
2	51.9	37.0	11.1
3	43.4	13.6	43.0
4	53.3	36.0	10.7
5	60.5	49.9	-10.4*
6	57.6	31.4	11.0
7	48.2	43.8	8.0
8	42.7	3.8	53.5
9	48.3	36.1	15.6
10	44.3	19.0	36.7
11	41.7	11.9	46.4
12	60.9	45.5	-6.4*
13	61.4	31.0	7.6
14	50.7	24.1	25.2
15	46.4	30.3	23.3
16	47.9	28.9	23.2
17	48.6	37.8	13.6
18	51.7	42.8	5.5
19	67.1	59.2	-26.3*
20	58.5	41.5	0.0
21	64.7	44.3	-9.0*

*5、12、19、21 因陆源端元出现负值, 结果无效

州湾表层沉积物中最主要的有机质来源, 相对含量在 41.6%—58.5%之间; 河口浮游植物有机质相对含量变化较大, 在 3.8%—43.8%之间; 陆源有机质相对含量也存在较大波动, 在 0—53.5%之间。在空间分布上, 海洋浮游植物有机质在整个海湾都表现出较高含量。河流入海口附近海域往往表现出高含量的河口浮游植物有机质特征, 如靠近小清河入海口的 14、15 号站位、靠近潍河入海口的 20 号站位以及靠近界河入海口的 13 号站位。陆源有机质含量较高站位大都集中在黄河口周围海域, 但黄河口周围数个站位也表现出了高含量的河口浮游植物有机质特征(图 4)。

3 讨论

自 20 世纪六七十年代, 国外就开展了大量针对河口、潟湖、海湾地区沉积物有机质来源的研究 (Gearing *et al*, 1977; Dean *et al*, 1986; Tan *et al*, 1979; Andrews *et al*, 1998; Graham *et al*, 2001)。我国此方面研究起步较晚, 自 20 世纪九十年代起陆续报导了南沙、珠江口、长江口、东海大陆架、黄海、南海、胶

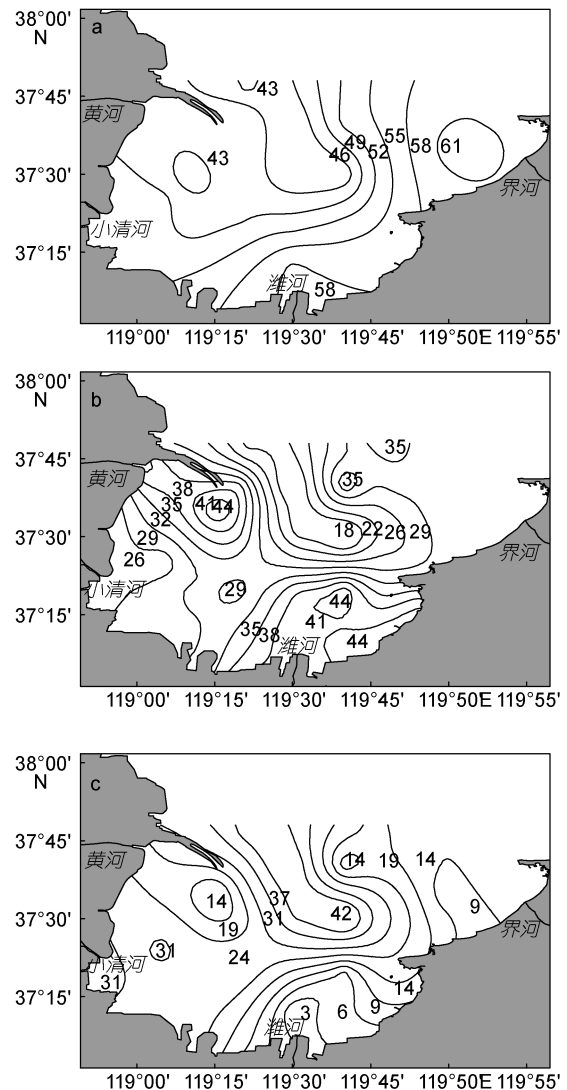


图 4 莱州湾沉积物有机质组成

Fig.4 The organic matter composition of sediment in Laizhou Bay
a: 海洋浮游植物有机质分布; b: 河口浮游植物有机质分布;
c: 陆源有机质分布, 单位均为%

州湾、渤海湾以及莱州湾等海域沉积物中有机质来源 (段毅等, 1996; 郭志刚等, 2001; 杨永亮等, 2003; 刘敏等, 2004; 朱纯等, 2005; 胡建芳等, 2005; 喻涛, 2005; 余婕, 2008; 蔡德陵等, 2009; Hu *et al*, 2009; 肖晓彤, 2010; Gao *et al*, 2012), 对我国近海沉积物有机质来源取得了一定认识。

本文分别通过 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 定性示踪发现, 莱州湾表层沉积物来源表现出海洋浮游植物、河口浮游植物、陆源有机质特征, 并存在 3 种端元混合的可能。在 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 存在相关性的条件下, 将 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 联

用定量解析莱州湾表层沉积物中海洋浮游植物、河口浮游植物、陆源有机质 3 种端元的含量, 发现海洋浮游植物是湾中沉积物有机质的最主要成分, 陆源有机质也占了一定比例, 与肖晓彤(2010)利用正构烷烃和多环芳烃等生物标志物解析莱州湾沉积物有机质来源结果一致。另外发现河口浮游植物有机质也是湾中沉积物有机质的重要组成部分。在空间分布上, 河口浮游植物有机质在小清河、潍河、界河入海口海域沉积物中占了相当大的比重。淡水浮游植物有机质随着径流输送入海, 并在入海口及临近海域沉降, 最终导致了这一现象(Thornton *et al.*, 1994; Canuel *et al.*, 1995; Middelburg *et al.*, 2007)。黄河入海口及邻近海域则表现出了不同组成特征, 受黄河输送淡水浮游植物有机质影响, 部分海域也表现出了高河口浮游植物有机质含量特征, 但部分海域表现出了高陆源有机质、低河口浮游植物有机质含量特征。这可能与黄河自身特点相关, 黄河每年从上游携带大量的陆源有机质入海(张龙军等, 2007), 受黄河冲淡水与海水混合后的水动力条件改变以及陆源有机质与河口浮游植物有机质沉降速率存在差异等影响, 最终导致了黄河入海口及邻近海域沉积物组成复杂多变。在通过 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 定量解析沉积物有机质来源的过程中, 个别站位陆源有机质含量出现了负值, 过低的 C/N 导致了这一结果, 这可能是有机质在生物降解的过程中引入了氮元素, 从而使 C/N 降低, 最终导致个别站位示踪结果无效(喻涛, 2005)。

莱州湾地理位置特殊, 有多条河流在此入海, 特别是黄河携带大量的陆源有机质入海。同时, 莱州湾沿岸受人类活动影响强烈, 河流径流输送大量的营养盐入海, 富营养化严重(夏斌等, 2009), 导致海洋浮游植物和河口浮游植物繁盛, 海洋浮游植物有机质成为湾内有机质的最主要组成成分。在强烈的陆源输入和人类活动干扰下, 莱州湾沉积物有机质含量理应处于较高水平。而在其他受人类活动影响强烈海域及河口地区, TOC、TN 均表现出了高含量特征(Andrews *et al.*, 1998; Graham *et al.*, 2001; 胡建芳等, 2005; 葛晨东等, 2007)。然而莱州湾内沉积物有机质 TOC、TN 却处于较低水平, 甚至低于渤海平均水平, 仅在海湾西部与东北部海域与渤海持平(Hu *et al.*, 2009)。这可能与有机质在沉积物界面的矿化有关, 莱州湾内溶解氧处于较高水平, 促进了有机质的矿化分解(夏斌等, 2009)。另外, 莱州湾内大型底栖动物生物量处于较高水平, 直接摄食沉积物有机质的沉积

食性动物占了很大比重(张莹等, 2012)。湾内浮游植物有机质含量较高, 而浮游植物有机质富含蛋白质、碳水化合物、脂类等易降解物质, 更易于生物吸收, 因此大型底栖动物的生物利用也可能是原因之一(余婕, 2008)。到底是何种原因导致了莱州湾沉积物有机质含量处于较低水平, 还需要进一步的研究。

参 考 文 献

- 朱 纯, 潘建明, 卢 冰等, 2005. 长江、老黄河口及东海陆架沉积有机质来源指标及有机碳的沉积环境. 海洋学研究, 23(3): 36—46
- 刘 敏, 候立军, 许世远等, 2004. 长江口潮流有机质来源的 C、N 稳定同位素示踪. 地理学报, 59(6): 918—926
- 杨永亮, 麦碧娴, 潘 静等, 2003. 胶州湾表层沉积物中多环芳烃的分布及来源. 海洋环境科学, 22(4): 38—43
- 肖晓彤, 2010. 莱州湾沉积物主要有机物含量分布与来源分析. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 1—64
- 余 婕, 2008. 河口潮滩湿地有机质来源、组成与食物链传递研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 1—104
- 宋金明, 李学刚, 袁茂华等, 2008. 中国近海生物固碳强度与潜力. 生态学报, 28(2): 551—558
- 张龙军, 张向上, 王晓亮等, 2007. 黄河口有机碳的时空输运特征及其影响因素分析. 水科学进展, 18(5): 674—682
- 张 莹, 刘元进, 张 英等, 2012. 莱州湾多毛类底栖动物生态特征及其对环境变化的响应. 生态学杂志, 31(4): 888—893
- 胡建芳, 彭平安, 麦碧娴等, 2005. 珠江口不同沉积有机质的来源及相对含量. 热带海洋学报, 24(1): 16—20
- 段 毅, 罗斌杰, 徐雁前等, 1996. 南沙海洋沉积物中生物标志化合物的组成及地化意义. 海洋与湖沼, 27(3): 258—263
- 夏 斌, 张晓理, 崔 毅等, 2009. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价. 渔业科学进展, 30(3): 103—111
- 郭志刚, 杨作升, 陈致林等, 2001. 东海陆架泥质区沉积物有机质的来源分析. 地球化学, 30(5): 416—424
- 葛晨东, 王 颖, Pedersen T F 等, 2007. 海南岛万泉河口沉积物有机碳、氮同位素的特征及其环境意义. 第四纪研究, 27(5): 845—852
- 喻 涛, 2005. 南海北部表层沉积物不同粒级组份中有机质的来源研究. 厦门: 厦门大学硕士学位论文, 1—65
- 蔡德陵, 石学法, 周卫健等, 2009. 南黄海悬浮体和沉积物的物质来源和运移: 来自碳稳定同位素组成的证据. 科学通报, 46(增刊): 16—23
- Andrews J E, Greenaway A M, Dennis P E, 1998. 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. Estuary, Coastal and Shelf Science, 46: 743—756
- Canuel E A, Cloern J E, Ringelberg D B *et al.*, 1995. Molecular and isotopic tracers used to examine source of organic matter and its incorporation into the food webs of San

- Francisco Bay. *Limnology and Oceanography*, 40(1): 67—81
- Dai J, Sun M Y, 2007. Organic matter sources and their use by bacteria in the sediments of the Altamaha estuary during high and low discharge periods. *Organic Geochemistry*, 38(1): 1—15
- Dean W, Arthur M A, Claypool G E, 1986. Depletion of ^{13}C in cretaceous marine organic matter source diagenetic of environmental signal? *Marine Geology*, 70(1—2): 119—157
- Hu L M, Guo Z G, Feng J L *et al*, 2009. Distributions and sources of bulk organic matter and aliphatic hydrocarbons in surface sediments of the Bohai Sea, China. *Marine Chemistry*, 113(3—4): 197—211
- Gao X L, Yang Y W, Wang C Y, 2012. Geochemistry of organic carbon and nitrogen in surface sediments of coastal Bohai Bay inferred from their ratios and stable isotopic signatures. *Marine Pollution Bulletin*, 64(6): 1148—1155
- Gaye-Haake B, Lahajnar N, Emeis K *et al*, 2005. Stable nitrogen isotopic ratios of sinking particles and sediments from the northern Indian Ocean. *Marine Chemistry*, 96(3—4): 243—255
- Gearing D J, Plucker F E, Parker P L, 1977. Organic carbon stable isotope ratios of continental margin sediments. *Marine Chemistry*, 5(3): 251—266
- Goñi M A, Ruttenger K C, Eglinton T I, 1997. Sources and contribution of terrigenous organic carbon to surface sediments in the Gulf of Mexico. *Nature*, 389(6648): 275—278
- 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
- Guo Z G, Li J Y, Feng J L *et al*, 2006. Compound-specific carbon isotopic compositions of individual long-chain n-alkanes in severe Asian dust episodes in the North China Coast in 2002. *Chinese Science Bulletin*, 51(17): 2133—2140
- Graham M C, Eaves M A, Farmer J G *et al*, 2001. 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*, 52(3): 375—380
- Middelburg J J, Herman P M J, 2007. Organic matter processing in tidal estuaries. *Marine Chemistry*, 106(1): 127—147
- Ogrinc N, Fontolan G, Faganeli J *et al*, 2005. Carbon and nitrogen isotope composition of organic matter in coastal marine sediment (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): Indicators of source and preservation. *Marine Chemistry*, 95(3): 163—181
- Tan F C, Strain D M, 1979. Organic carbon isotope ratios in recent sediment in the St Lawrence Estuary and the Gulf of St Lawrence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 8(3): 213—225
- Tesi T, Miserocchi S, Goñi M A *et al*, 2007. Organic matter origin and distribution in suspended particulate materials and surficial sediments from the western Adriatic Sea (Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3): 431—446
- Thornton S F, McMannus J, 1994. Application of organic carbon and nitrogen stable isotopes and OC/TN ratios as a source indicators of OM Provenance in estuarine system: evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 38: 219—233

THE SOURCE OF ORGANIC MATTER IN THE SEDIMENT OF LAIZHOU BAY

ZHANG Ming-Liang¹, JIANG Mei-Jie², FU Xiang¹, LV Zhen-Bo¹, ZHENG Liang³

(1. Shandong Province Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China; 2. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China; 3. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract We analyzed the source of organic matter in the sediment of Laizhou Bay indicated by C/N, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$. Three types of source were recognized, i.e., marine phytoplankton, estuary phytoplankton, and terrestrial organic matter. Calculation using C/N and $\delta^{13}\text{C}$ indicated that organic matter from marine phytoplankton was the main source of sediment in the range of 41.6%—58.5%, while those from estuary phytoplankton and terrestrial organic matter ranged 3.8%—43.8% and 0—53.5%, respectively. In specific, organic matter from marine phytoplankton exhibits higher content in the whole bay, the content of estuary phytoplankton organic matter was higher in estuaries areas, and that of the terrestrial ones were accumulated mostly near the Huanghe (Yellow) River estuary, in which the contents of estuary phytoplankton and terrestrial organic matter were high too.

Key words organic matter source; C/N; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; Laizhou Bay