

# 渤海湾海岸带表层沉积物中黑碳的分布特征

姜晓华<sup>1,2,3</sup>, 陈颖军<sup>1\*</sup>, 唐建辉<sup>1</sup>, 黄国培<sup>1,3</sup>,  
刘东艳<sup>1</sup>, 李军<sup>4</sup>, 张干<sup>4</sup>

1. 中国科学院烟台海岸带研究所//海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 中国科学院广州地球化学研究所, 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640

**摘要:** 在渤海湾西海岸潮间带、近海和主要河流采集了 85 个表层沉积物样品, 对黑碳(BC)的质量分数及其分布规律进行了研究, 并探讨了 BC 与沉积物粒度的关系。结果表明: (1)渤海湾海岸带表层沉积物中 BC 的平均质量分数为 $(0.65 \pm 0.42) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 占总有机碳的比例为  $16.8\% \pm 7.5\%$ , 均高于我国其它海岸带; (2)潮间带沉积物中 BC 的质量分数存在明显的南北分区差异(以天津港码头为界), 北区( $0.92 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )比南区( $0.22 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )平均高 4 倍以上; 近海和河流样品 BC 的质量分数也有一定程度的“北高南低”趋势, 表明 BC 在海岸带运移扩散的继承性, 河流输入可能是主要途径; (3)潮间带沉积物粒度表现为“北区细”(以粘土质粉砂主)而“南区粗”(以砂为主), 反映两个区域的水动力条件和沉积环境不同, 是造成 BC 质量分数区域差异的主要原因。

**关键词:** 渤海湾; 潮间带; 近海; 黑碳; 沉积物粒度

中图分类号: X142

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 07-1617-05

黑碳(BC)是当前国内外气候与环境等研究领域共同关注的热点, 因为它涉及到气候变化<sup>[1]</sup>、碳循环<sup>[2]</sup>、环境健康危害<sup>[3]</sup>等诸多问题。BC 主要来源于生物质和化石燃料的不完全燃烧过程, 全球每年约产生  $62 \sim 294 \text{ Tg} (10^{12} \text{ g})^{[4,5]}$ 。大部分 BC 储留在燃烧原地(主要为焦炭/木炭, char/charcoal), 而细粒子部分(烟炱, soot)进入大气, 滞留一到数周后回到地表; 部分土壤 BC 随河流和大气的搬运作用进入海洋环境, 主要汇集在海岸带沉积物中<sup>[6]</sup>。BC 在自然界中比较稳定, 因而可以很好地指示人类能源使用及其对环境质量的影响。同时, BC 具有很强的吸附性, 能显著影响环境介质中持久性有机污染物(如多环芳烃、多氯联苯、二恶英等)的赋存状态和生态毒理效应<sup>[7]</sup>。

环渤海地区是我国北方最重要的 BC 排放源区<sup>[8]</sup>, 主要的排放源包括农作物秸秆露天燃烧和民用燃烧、民用与工业燃煤、机动车(包括海上船舶)尾气等<sup>[9]</sup>。大量的 BC 和其它污染物通过河流和大气进入渤海, 造成该区域环境质量的严重恶化。有研究表明<sup>[10]</sup>, 渤海湾表层沉积物中 BC 的质量分数明显高于我国和世界其它海岸带。然而到目前为止, 关于我国海岸带沉积物中 BC 的研究还很少见<sup>[10-13]</sup>, 针对渤海湾的 BC 研究仅见于 Kang 等人的工作<sup>[10]</sup>, 而且受采样区域与样品数量的限制, 该研究不能全面反映渤海湾的 BC 污染状况。在本次

研究中, 我们在渤海湾西海岸潮间带、近海和主要河流系统采集了 85 个表层沉积物样品, 对 BC 和总有机碳(TOC)的质量分数以及沉积物粒度等进行了细致分析, 目的是查明该区域 BC 的分布特征及其影响因素, 为深入了解 BC 的环境行为以及人类活动对渤海湾的环境输入提供基础数据, 最终为该区域的环境污染治理提供科学依据。

## 1 样品采集与分析

### 1.1 样品采集

在渤海湾从涧河到歧口的海岸带区域垂直海岸线布置了 6 条潮间带剖面 and 4 条近海剖面, 分别采集了 40 个和 27 个表层沉积物样品(0~10 cm, 极少数为 0~2 cm 的浮泥)。潮间带剖面分别位于大港油田钻井平台附近(A)、高沙岭码头(B)、驴驹河口附近(C)、蛭头沽(D)、蔡家堡(E)和海沿(F); 近海剖面位于永定新河外海(K)、涧河外海(M)、独流减河外海(T)、马棚口外海(U)以及独流减-马棚口之间的近海区域(TU)。此外, 在该区域的主要河流采集了 18 个表层沉积物样品, 包括陡河、蓟运河、潮白河、永定新河、海河、独流减河、青静黄河、子牙新河和北排水河等。采样工作在 2008 年 5 月进行, 采样点使用 GPS 系统定位(见图 1)。

### 1.2 样品处理与分析

样品中的 BC 和 TOC 分析采用化学热氧化法处理(CTO-375)结合元素分析仪检测<sup>[14]</sup>。实验步骤如

**基金项目:** 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-06-02); 山东省科技计划项目(2007GG2QT06018); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-QN210)

**作者简介:** 姜晓华(1984年生), 女, 硕士研究生, 从事海岸带环境科学研究。

\*通讯作者: 陈颖军; E-mail: yjchen@yic.ac.cn

收稿日期: 2010-06-03

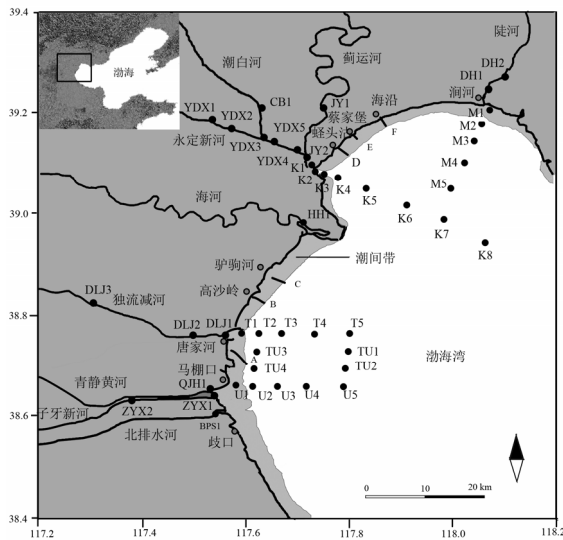


图1 研究区域及采样点位置  
Fig.1 Study area and sampling sites

下:样品经冷冻干燥、研磨后过80目筛,称取约2g进行HCl处理,除去样品中的无机碳酸盐;再次冻干,研磨均匀,取部分样品进行元素分析(采用Elementar Vario Macro元素分析仪),得到TOC的含量;剩余样品在管式加热炉进行热氧化处理(温度 $375 \pm 1^\circ\text{C}$ ,空气流通,灼烧24小时),除去样品中的有机质,再进行元素分析,得到BC的含量。

沉积物的粒度分析在Malvern Mastersizer 2000型激光粒度仪上完成(测量范围为 $0.02\sim 2000\ \mu\text{m}$ ),计算出各粒级的质量分数,并根据粒度范围( $<4, 4\sim 63, >63\ \mu\text{m}$ )进行合并,分别得到样品中粘土、粉砂、砂的质量分数,最后根据谢帕德沉积物粒度三角图进行投点和命名<sup>[15]</sup>。

### 1.3 实验质量控制

目前国际上还没有通用的黑碳标准物质。实验过程中,我们采用海洋沉积物标准参考物(NIST SRM 1941b)来检验样品处理方法的可靠性<sup>[16]</sup>。除了在建立实验方法时分析了四次1941b标准物质外,在每批次(约20个)的沉积物样品分析时加入两个该标准物,共得到12次实验数据。其中,TOC的质量分数与NIST给出的参考值( $29.9\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )一致;BC的平均质量分数为( $4.59\pm 0.79$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (干重,下同),与最新报导的国际实验室比对数据( $4.62\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $n=34$ )非常接近<sup>[16]</sup>。说明本实验得到的沉积物中BC和TOC分析结果与国际上同类研究数据具有良好的可比性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 表层沉积物中BC的质量分数与分布特征

全部样品(包括潮间带、近海和河流)的BC分析结果如图2a所示。可以看出,渤海湾海岸带沉积物中BC的质量分数( $w_{\text{BC}}$ )具有很大的变化范围,

从 $0.09\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 到 $22.8\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,前者为潮间带C剖面上(驴驹河口附近)的样品,后者则在海河防潮闸内侧采集,两者相差260倍。对于潮间带样品,最高值( $1.40\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )出现在F剖面(天津汉沽区海沿村附近),比最低值( $0.09\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )高16倍。近海样品 $w_{\text{BC}}$ 变化范围较小,最高值和最低值分别出现在永定新河入海口附近(K剖面,  $2.01\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )和马棚口外海(U剖面,  $0.26\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),相差8倍。

表1列出了各条剖面 and 南北分区样品(以天津港码头为界)BC的平均质量分数。在潮间带,北区样品(D, E, F剖面)的 $w_{\text{BC}}$ 明显高于南区(A, B, C剖面),两者的平均 $w_{\text{BC}}$ 分别为( $0.92\pm 0.20$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和( $0.22\pm 0.17$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,相差4倍以上。近海剖面和河流样品也存在类似的“北高南低”的趋势,但差距较小:北区和南区近海样品的 $w_{\text{BC}}$ 分别为( $0.96\pm 0.40$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和( $0.73\pm 0.34$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,而河流样品分别为( $2.25\pm 0.94$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和( $1.36\pm 0.45$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。这说明,渤海湾海岸带表层沉积物中的BC污染具有明显的空间差异性和运移扩散的继承性。

表1 渤海湾西海岸带表层沉积物中黑碳和总有机碳的质量分数及其比值

Table 1 BC and TOC concentrations and their ratios in surface sediments in the west coastal zone of Bohai Bay

采样点名称*	样品数/个	$w_{\text{TOC}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$w_{\text{BC}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	BC/TOC/%
潮间带剖面 A	9	$1.73 \pm 1.53$	$0.30 \pm 0.22$	$20.7 \pm 9.53$
潮间带剖面 B	8	$0.99 \pm 0.97$	$0.19 \pm 0.12$	$22.9 \pm 7.7$
潮间带剖面 C	6	$0.67 \pm 0.09$	$0.13 \pm 0.05$	$21.0 \pm 10.4$
A+B+C 平均	23	$1.20 \pm 1.20$	$0.22 \pm 0.17$	$21.5 \pm 9.2$
潮间带剖面 D	6	$6.05 \pm 0.50$	$0.93 \pm 0.19$	$15.6 \pm 3.9$
潮间带剖面 E	4	$7.11 \pm 1.13$	$0.74 \pm 0.08$	$10.6 \pm 1.3$
潮间带剖面 F	7	$7.05 \pm 1.11$	$1.01 \pm 0.18$	$14.7 \pm 3.4$
D+E+F 平均	17	$6.71 \pm 1.07$	$0.92 \pm 0.20$	$14.1 \pm 3.8$
潮间带样品平均	40	$3.54 \pm 2.96$	$0.52 \pm 0.39$	$18.4 \pm 8.3$
近海剖面 T+U	14	$5.60 \pm 0.82$	$0.73 \pm 0.34$	$12.9 \pm 5.5$
近海剖面 K+M	13	$5.80 \pm 1.23$	$0.96 \pm 0.40$	$16.2 \pm 4.5$
近海样品平均	27	$5.70 \pm 1.04$	$0.84 \pm 0.38$	$14.5 \pm 5.3$
潮间带和近海样品平均	67	$4.41 \pm 2.60$	$0.65 \pm 0.42$	$16.8 \pm 7.5$
海河样品	1	58.3	22.8	39.1
海河以南河流样品	7	$11.2 \pm 3.31$	$1.36 \pm 0.45$	$12.4 \pm 2.5$
海河以北河流样品	10	$16.0 \pm 8.35$	$2.25 \pm 0.94$	$15.5 \pm 4.5$
河流全部样品平均(海河样品除外)	17	$14.0 \pm 7.16$	$1.88 \pm 0.89$	$14.2 \pm 4.1$

剖面名称详见文中描述

因此,对于渤海湾海岸带的环境质量而言,北区(主要为汉沽区)的人类活动影响(如能源使用)显著地高于南区(塘沽区南部和大港区)。其中,河流输入可能是海岸带BC污染的主要来源,因为:(1)河流样品的 $w_{\text{BC}}$ 平均为( $1.88\pm 0.89$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,不包括海河样品)明显高于潮间带( $0.52\pm 0.39$ )  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和近

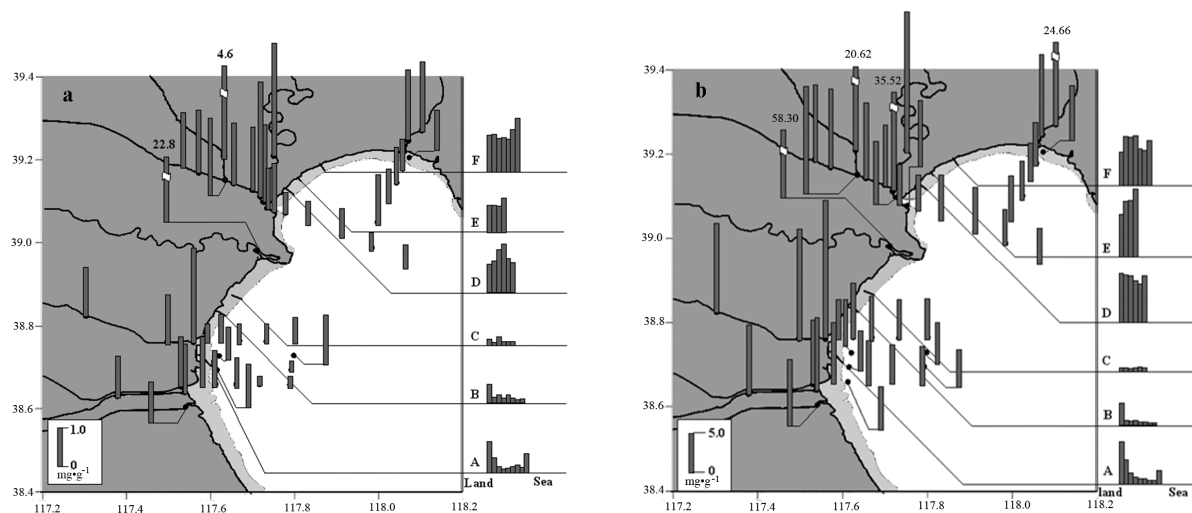


图2 渤海湾潮间带、近海和河流表层沉积物中黑碳(a)和总有机碳(b)的质量分数

Fig.2 BC and TOC concentrations in surface sediments in intertidal zone, near shore and main rivers of Bohai Bay

海( $0.84 \pm 0.38$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ; (2)近海样品的  $w_{\text{BC}}$  高于潮间带,说明河流携带的BC物质通过河道直接进入近海环境,而渤海湾特殊的半封闭环境和较弱的水体交换能力导致这些污染物易于富集在近海沉积物中;潮间带BC的污染源可能是河口附近的BC(不排除大气输入),在波浪形成的近岸流作用下沿着缓坡潮滩输移扩散<sup>[17]</sup>。

从表1还可以看出,渤海湾潮间带和近海全部样品(共67个)BC的平均质量分数为( $0.65 \pm 0.42$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,比Kang等的结果( $2.18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )明显偏低<sup>[10]</sup>。主要原因是该研究选择的采样区域局限于海河和永定新河口附近,受这两条河流和天津港的直接影响很严重。由于该区域围海造地和港口建设非常迅速,在我们的研究中没有采集相应的潮间带和近海样品,只在海河防潮闸附近进行了采样,  $w_{\text{BC}}$  达  $22.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 比其它样品高出两个数量级,说明海河的污染程度及对邻近海域环境质量的影响非常严重。与文献报导的其它海域比较,渤海湾表层沉积物中的  $w_{\text{BC}}$  高于北黄海( $0.37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )、胶州湾( $0.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )、珠江口及邻近海区( $0.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[10]</sup>、长江口及东海( $0.02 \sim 0.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[11]</sup>、以及美国 Washington 海岸带( $0.14 \sim 0.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[18]</sup>、荷兰 Schelde 河口潮间带( $0.38 \sim 0.56 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )和 Ibeian 近海( $0.47 \sim 1.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[19]</sup>,但低于美国 Palos Verdes 海岸带( $1.20 \sim 1.35 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[20]</sup>和瑞典 Stockholm 近海( $1.30 \sim 4.50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[21]</sup>等污染严重的区域。

## 2.2 表层沉积物中的 TOC 质量分数及与 BC 的相关性

图2b和表1分别给出了研究区表层沉积物单个样品和分区平均的TOC质量分数( $w_{\text{TOC}}$ ),其空间变化规律与BC相似。首先,  $w_{\text{TOC}}$  的高值点均出现

在河流样品中,除海河样品( $58.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )外,蓟运河、潮白河和陡河大桥附近的样品均超过  $20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (这几个样品的BC质量分数也相应偏高,可能受机动车尾气的影响较大);北区河流样品TOC的平均质量分数( $16.00 \pm 8.35$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  高于南区河流( $11.17 \pm 3.31$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其次,河流样品TOC的总体平均质量分数( $14.01 \pm 7.16$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,比潮间带( $3.54 \pm 2.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )和近海( $5.70 \pm 1.04$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  都高出数倍。第三,潮间带和近海样品的  $w_{\text{TOC}}$  也存在“北区高于南区”的现象。说明南北两个分区的TOC和BC排放源具有一定的相似性,而且BC与TOC之间较好的线性相关性( $R^2=0.79$ ,  $n=81$ ,剔除上述四个高值点)也说明了这一点。

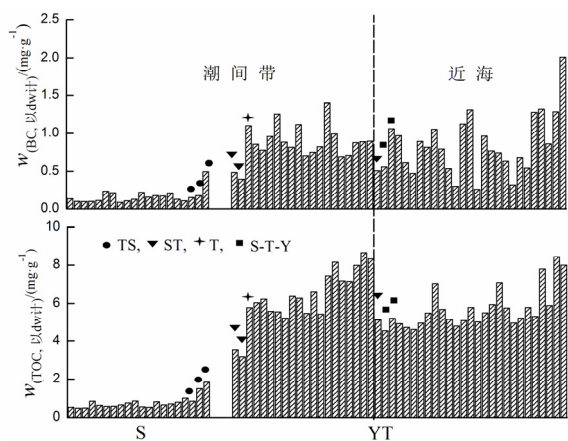
海岸带沉积物中的  $w_{\text{TOC}}$  常被用于估算海洋初级生产力,但其准确性容易受到BC的影响,需要根据BC的比例进行剔除<sup>[22,23]</sup>。根据本文研究,渤海湾表层沉积物中BC占TOC的比例为5%~42%,平均为  $16.8\% \pm 7.5\%$ ,与全球海岸带的状况相当<sup>[24]</sup>。从表1可以看出,潮间带和近海的BC/TOC比值分别为18.4%和14.5%,比Kang等人的分析结果(34%)低,但高于我国其它海岸带,如北黄海(6%)、胶州湾(8%)、珠江口及邻近海区(5%)等<sup>[10]</sup>,与国际上其它污染严重的海岸带相当<sup>[25]</sup>。

## 2.3 黑碳的质量分数与沉积物粒度的关系

沉积物粒度分析结果显示,渤海湾潮间带表层沉积物存在明显的“北细南粗”现象:北区的三条剖面(DEF,共17个样品)除一个为粉砂(T)外,其余均为粘土质粉砂(YT);南区的三条剖面中(ABC,23个样品)有17个为砂(S)、3个粉砂质砂(TS)和2个砂质粉砂(ST),只有1个样品为YT。另外,南区粒度较细的样点都分布在A和B剖面靠近潮下带的位

置,即砂质沉积物向南有变窄的趋势或呈条带状分布。这些现象与其他研究很好地吻合<sup>[26]</sup>,主要的原因包括:(1)北区位于渤海湾西北湾顶部,潮汐和海流能量很弱,属于低能潮汐作用为主的泥质粉砂潮滩沉积环境;(2)南区驴驹河—独流减河岸段水动力较强,以单向涨潮流为主;向南到歧口附近过渡为潮滩沉积环境<sup>[26,27]</sup>。近海沉积物的粒度没有表现出南北区域上的差异,除1个ST外(剖面T),其余均为YT。

图3显示了渤海湾潮间带和近海样品BC和TOC质量分数与沉积物粒度的对应关系。可以看出,BC和TOC易于在泥质和粉砂质等细粒沉积物中富集,是造成渤海湾潮间带表层沉积物BC和TOC质量分数呈现明显“北高南低”趋势的根本原因。另一方面,近海样品的BC和TOC质量分数虽然也存在一定程度的南北区域差异,但没有潮间带显著(即没有受到沉积物粒度的影响),主要原因可能是河流输入的空间差异。



注: S:砂; YT:粘土质粉砂; TS:粉砂质砂; ST:砂质粉砂; T:粉砂;  
S-T-Y:砂-粉砂-粘土。

图3 渤海湾潮间带和近海表层沉积物黑碳(上)和有机碳(下)质量分数与沉积物粒度的关系

Fig.3 Relationship between BC and TOC concentrations and sediment granularity in surface sediments in intertidal zone and near shore of Bohai Bay

### 3 结论

(1) 渤海湾海岸带表层沉积物中BC的平均质量分数为 $(0.65 \pm 0.42) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其中潮间带和近海的 $w_{\text{BC}}$ 分别为 $(0.52 \pm 0.39) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $(0.84 \pm 0.38) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。该区域的 $w_{\text{BC}}$ 及其在TOC中所占的比例 $(16.8\% \pm 7.5\%)$ 比我国其它海岸带高,但低于美国和欧洲一些污染严重的海岸带。

(2) 渤海湾表层沉积物中的 $w_{\text{BC}}$ 存在南北分区(以天津港码头为界)的差异,说明人类活动(能源消耗)在北区(即汉沽区)比南区(塘沽区南部与大港区)对海岸带环境的影响更大。BC和TOC之间存在较

好的相关性( $R^2=0.79, n=81$ ),可能表明南北两区的污染源较为相似。

(3) 沉积物粒度分析结果表明,渤海湾潮间带北区表层沉积物以粘土质粉砂为主,南区则以砂为主。这种粒度上的空间分异与南北两区的水动力条件和沉积环境的不同有关,但又直接造成了 $w_{\text{BC}}$ 明显的“北高南低”趋势。近海表层沉积物在粒度上没有区域分异,其 $w_{\text{BC}}$ 存在的较弱的空间差异主要来自河流输入的影响。

### 参考文献:

- [1] RAMANATHAN V, Carmichael G. Global and regional climate changes due to black carbon[J]. Nature Geoscience, 2008, 1: 221-227.
- [2] KUHLBUSCH T A J. Black carbon and the carbon cycle[J]. Science, 1998, 280: 1903-1904.
- [3] NEL A. Air pollution-related illness: effects of particles[J]. Science, 2005, 308: 804-806.
- [4] KUHLBUSCH T A J, CRUTZEN P J. Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric  $\text{CO}_2$  and a source of  $\text{O}_2$ [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1995, 9: 491-502.
- [5] PENNER J E, EDDLEMAN H, NOVAKOV T. Towards the development of a global inventory for black carbon emissions[J]. Atmospheric Environment, 1993, 27: 1277-1295.
- [6] FORBES M S, RAISON R J, SKJEMSTAD J O. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems[J]. Science of the Total Environment, 2006, 370: 190-206.
- [7] LOHMANN R, MACFARLANE J K, Gschwend P M. Importance of black carbon to sorption of native PAHs, PCBs, and PCDDs in Boston and New York Harbor sediments[J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39: 141-148.
- [8] CAO G L, ZHANG X Y, ZHENG F C. Inventory of black carbon and organic carbon emissions from China[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40: 6516-6527.
- [9] OHARA T, AKIMOTO H, KUROKAWA J, et al. An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, 7: 4419-4444.
- [10] KANG Y J, WANG X C, DAI M H, et al. Black carbon and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of China's marginal seas[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27(2): 297-308.
- [11] WANG X C, LI A C. Preservation of black carbon in the shelf sediments of the East China Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52: 3155-3161.
- [12] SUN X S, PENG P A, SONG J Z, et al. Sedimentary record of black carbon in the Pearl River estuary and adjacent northern South China Sea[J]. Applied Geochemistry, 2008, 23: 3464-3472.
- [13] MAI B X, QI S H, ZENG E Y, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: Assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis[J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37: 4855-4863.

- [14] GUSTAFSSON O, BUCHELI T D, BARRING H, et al. Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15: 881-890.
- [15] 国家技术监督局. 海洋调查规范: 海洋地质地球物理调查方法(GB/T 13909-1992)[S]. 1992: 9-30.  
National Bureau of Quality and Technical Supervision. Specification for oceanographic survey: Marine geology and geophysics investigation(GB/T 13909-1992)[S]. 1992: 9-30.
- [16] HAMMES K, SCHMIDT M W I, SMERNIK R J, et al. Comparison of quantification methods to measure fire-derived (black/elemental) carbon in soils and sediments using reference materials from soil, water, sediment and the atmosphere[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 21: GB3016.
- [17] 孙涛, 陶建华. 波浪作用下渤海湾近岸海域污染物的输移扩散规律[J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(2): 110-119.  
SUN Tao, TAO Jianhua. The study of pollutant transport on the action of waves in the near-shore area of Bohai bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(2): 110-119.
- [18] DICKENS A F, GELINAS Y, MASIELLO C A, et al. Reburial of fossil organic carbon in marine sediments[J]. *Nature*, 2004, 427: 336-339.
- [19] MIDDELBURG J J, NIEUWENHUIZE J, V, BREUGEL P I. Black carbon in marine sediments[J]. *Marine Chemistry*, 1999, 65: 245-252.
- [20] GUSTAFSSON O, GSCHWEND P M. The flux of black carbon to surface sediments on the New England continental shelf[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1998, 62: 465-472.
- [21] SUNDELIN B, WIKLUND A K E, LITHNER G, et al. Evaluation of the role of black carbon in attenuating bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons from field-contaminated sediments[J]. *Environmental Toxicology & Chemistry*, 2004, 23: 2611-2617.
- [22] 贾国东, 彭平安, 房殿勇, 等. 南海南部约 30 ka 来沉积有机质的生物输入特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(1): 7-11.  
JIA Guodong, PENG Ping'an, FANG Dianyong, et al. The characteristics of biological input of the sedimentary organic matter in southern South China Sea for last 30 Ka years[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 7-11.
- [23] VERARDO D J. Charcoal analysis in marine sediments[J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42: 192-197.
- [24] SCHMIDT M W I, NOACK A G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges[J]. *Global Biogeochemistry Cycles*, 2000, 14: 777-793.
- [25] MASIELLO C A. New directions in black carbon organic geochemistry[J]. *Marine Chemistry*, 2004, 92: 201-213.
- [26] 裴艳东, 王云生, 范昌福, 等. 天津市潮间带表层沉积物的类型及其分布[J]. *地质通报*, 2009, 28(7): 915-922.  
PEI Yangdong, WANG Yunsheng, FAN Changfu, et al. The surface sediment types and distribution of Tianjin intertidal zone, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(7): 915-922.
- [27] 徐如彦, 赵保仁, 黄景洲, 等. 渤海的平均余环流[J]. *海洋科学*, 2006, 30(11): 47-52.  
XU Ruyan, ZHAO Baoren, HUANG Jingzhou, et al. Then mean residual circulations in the Bohai Sea[J]. *Marine Science*, 2006, 30(11): 47-52.

## The distribution of black carbon in the surface sediments of coastal zone, Bohai Bay

JIANG Xiaohua<sup>1,2,3</sup>, CHEN Yingjun<sup>1\*</sup>, TANG Jianhui<sup>1</sup>, HUANG Guopei<sup>1,3</sup>,  
LIU Dongyan<sup>1</sup>, LI Jun<sup>4</sup>, ZHANG Gan<sup>4</sup>

1. Key Laboratory of Coastal Environment Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, Yantai 264003 China;

2. Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071 China;

3. Graduate University of CAS, Beijing 100049 China;

4. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640 China

**Abstract:** The concentration and spatial distribution of black carbon (BC) in west coast of Bohai Bay were investigated, based on 85 samples that collected from the intertidal zone, near shore and main rivers. The correlation between BC concentration and sediment granularity was analyzed and discussed. The results showed that (1) mean concentration of BC in coastal zone of Bohai Bay was  $(0.65 \pm 0.42) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , which contributed  $16.8\% \pm 7.5\%$  of total organic carbon. These data were higher than the other coastal areas of China; (2) significant difference of BC concentration was observed between the southern and northern areas (divided by Tianjin Port), and the average BC concentration in the northern area ( $0.92 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) was higher than that in the southern area ( $0.22 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) by more than four folds; BC concentrations displayed little spatial difference between near shore and rivers, which indicated the consistency of BC transportation in coastal zone and river input may be the main source; (3) sediment granularity in intertidal zone showed the obvious difference of "fine in north" (dominated by clayey-silt) and "coarse in south" (dominated by sandy), which illustrated the different sedimentary dynamics between two areas, and it explained the spatial difference of BC concentrations.

**Key Words:** Bohai Bay; intertidal zone; near shore; black carbon; sediment granularity