

文章编号: 1000-0550(2012)02-0325-08

广西海岸带近百年来人类活动影响下 环境演变的沉积记录^①

夏鹏¹ 孟宪伟¹ 李珍² 丰爱平¹ 王湘芹¹

(1. 国家海洋局第一海洋研究所 山东青岛 266061; 2. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

摘要 基于2007年在广西海岸带采集的6根短柱状样(64~97 cm),在²¹⁰Pb年代框架构建的基础上对沉积物中的生源要素(C、N、P)、常量元素以及重金属(Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr和As)等指标进行了综合分析,并依此重建了广西海岸带近百年来人类活动影响下沉积环境的演变历程。研究发现,近二十年来重金属和总磷的表层富集和埋藏通量有明显的上升趋势,但整体污染程度依然较轻;总氮的年埋藏通量虽保持相对稳定,但总体高于引起最低级别生态风险效应的下限;而有机质年埋藏通量的逐年减少应与潮间带红树林生态系统的衰退有关。据此可将近百年来广西海岸带的环境演变大致分为两个阶段:即20世纪80年代初以前、80年代初至现在,分别经历了未污染期和轻度污染期。

关键词 重金属 生源要素 环境演变 海岸带 广西

第一作者简介 夏鹏 男 1982年出生 博士 海洋地质学和环境地球化学 E-mail: pengxia@fio.org.cn

通讯作者 孟宪伟 E-mail: mxw@fio.org.cn

中图分类号 P736.4 文献标识码 A

0 引言

海岸带是陆地与海洋之间相互作用最活跃的地带,其环境与生态系统受到陆地和海洋的双重作用^[1-3]。海岸带沉积物是众多污染物在环境中迁移转化的主要载体、归宿地和积蓄库。它们不仅含有未受工业污染影响的化学元素环境背景值,同时也记录了各种工业和生活污染物的来源、迁移和转化历史,是追索人类活动和海洋污染进程的最佳工具^[4-8]。

本次通过对广西海岸带6根柱状样中总有机碳(TOC)、总氮(TN)、总磷(TP)及重金属等多指标综合分析的基础上,结合常量元素和²¹⁰Pb测年数据对广西海岸带百年来的环境演变过程进行了深入研究。这不仅弥补了国内在这一区域的空白,而且对于弄清广西海岸带环境演变和人类活动间的内在机理,以及对指导广西的沿海开发战略均具有重要意义。

1 样品采集与分析

1.1 样品采集

2007年3月至12月,趁低潮时将直径为10 cm的有机玻璃管缓缓插入广西潮间带沉积物中,共采集了6根短柱状样(见图1和表1)。在样品获取的过

程中尽量保持沉积物的原始状态,并利用美国Trimble公司的DSM 212H双信标DGPS定位设备进行现场定位,平面定位精度优于1 m。将柱状样进行现场密封后带回实验室,按2 cm间隔进行分样,将子样品密封冷冻直至分析。沉积化学样品在采集、运输、保存和测定的过程中,均严格按照《海洋化学调查技术规范》、《海洋调查规范》和《海洋监测规范》等相关要求和规定进行。

1.2 分析方法

TOC和TN分别采用重铬酸钾—硫酸氧化—硫酸亚铁滴定法和重铬酸钾—硫酸消化—凯氏定氮法分析测试^[9]。

用于元素分析的样品在室温状态下自然风干,再用玛瑙研钵将其研碎并全部通过160目筛。称取0.5 g样品于聚四氟乙烯坩埚中,在混酸HNO₃+HClO₄+HF作用下消解^[10]。并利用ICP—AES测定沉积物中的常量元素,ICP—MS测定Cu、Pb(Al等)、Zn、Cd和Cr元素,原子荧光光谱仪测定Hg和As元素,分光光度法测定TP的含量。全程采用水系沉积物标准物质GBW07309和海底沉积物标准物质GBW07313进行质量控制,测量精度控制在5%之内。

对入管蜡封并放置3周的~5 g干样进行²¹⁰Pb、

①国家重点基础研究发展计划(973计划)(2010CB951203)和广西908专项(GX908(新增))资助。
收稿日期:2011-01-07;收修稿日期:2011-06-29

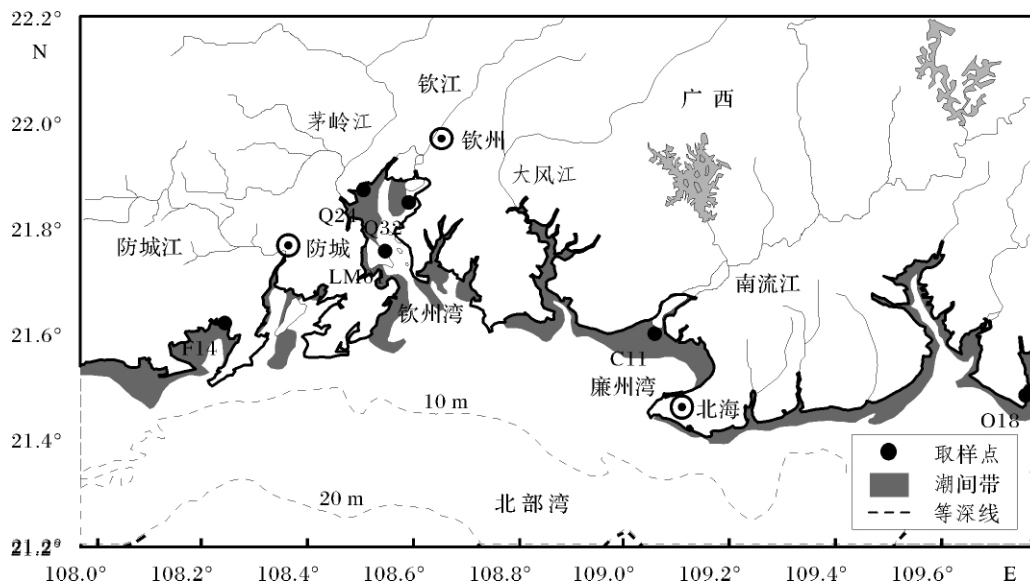


图1 研究区域和采样站位分布图

Fig. 1 Map showing the study area and coring location

表1 采样站位信息

Table 1 Details of sample position, sample length and sampling data for the six sediment cores

区域	柱号	坐标		采样方式	柱长/cm	地理位置	采样日期
		经度/°	纬度/°				
北海市	C11	109.057582	21.597535	插管法	64	南流江口	2007.03.27
北海市	O18	109.759583	21.480556	插管法	84	山口红树林区	2007.03.30
钦州市	Q24	108.505981	21.869609	插管法	82	茅岭江口	2007.04.27
钦州市	Q32	108.591932	21.845962	插管法	86	钦江口	2007.04.23
钦州市	LM01	108.547086	21.753735	插管法	97	龙门岛	2007.05.06
防城城市	F14	108.243701	21.617505	插管法	80	珍珠湾	2007.12.10

^{226}Ra 和 ^{137}Cs 的放射性比活度测试,采用EG&G Ortec公司生产的高纯锗低本底 γ 能谱仪完成。以46.5 keV(^{210}Pb)处的能量峰来计算总 ^{210}Pb 比活度,以351.92 keV(^{214}Pb , ^{226}Ra 的子体)处的能量峰来计算本底 ^{210}Pb 比活度,其差值即为过剩 ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$)的比活度^[11]。以662 keV处的能量峰计算 ^{137}Cs 的比活度,但由于沉积物中 ^{137}Cs 的含量过低均未超过检出限。

2 结果与讨论

2.1 ^{210}Pb 年龄和沉积速率

广西海岸带6根短柱状样中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度并非呈现出理想状态下随深度呈指数衰减的趋势,局部层位偶现异常的增、减波动,但总体向下减少的趋势明显(图2)。而Q32和LM01柱中表层 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 却呈现相对稳定的异常现象,这可能与沉积物的表层混合作用有关^[12]。考虑到广西海岸带非封闭体系,受浪、潮、流及人类活动的影响显著,因此选用常量初始浓

度(CIC)模式定年更为合理。它适用于沉积物主要来源于表层侵蚀产物,即 ^{210}Pb 含量明显受物源影响,沉积物增加同时导致相应 ^{210}Pb 增加的沉积系统^[13]。CIC模式中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 比活度的衰变是时间的指数函数,见式(1):

$$C(h) = C(0) \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

可利用式(1)推导出的式(2),计算不同深度的沉积物年龄。

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{C(0)}{C(h)} \right) \quad (2)$$

式中: t 为沉积物年龄; $C(0)$ 、 $C(h)$ 分别为表层和深度为 h 处沉积物中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度,其衰变常数 $\lambda = 0.03114 \text{ y}^{-1}$ 。利用指数曲线 $y = a \cdot e^{bx}$ 进行拟合,可获得平均沉积速率的计算公式(3):

$$v = h/t = -\lambda/b \quad (3)$$

根据 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的实测数据,得到广西海岸带6根短柱状样中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度与深度的拟合曲线(图2);

拟合系数 R^2 介于 0.2474 ~ 0.7919 之间, 拟合程度一般。C11、F14、LM01、O18、Q24 和 Q32 柱的平均沉积速率分别为 0.70、0.67、0.61、0.44、0.25、1.68 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中, 位于钦江口附近的 Q32 柱的沉积速率最大 (1.68 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$), 其次是位于南流江口附近的 C11 柱 (0.70 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$); 由此可以推断河流输沙是河口区沉积速率高于其它区域的主要原因。

2.2 生源要素

在人类活动的干预下, 近海营养盐的输送量急剧增加引起了水体的富营养化。水体富营养化程度升高可导致初级生产力的上升, 它势必会在水底沉积物中留下相应的沉积记录。

TOC 的含量介于 0.17% ~ 3.68% 之间 (均值为 1.10%), 在各柱间的变化幅度较大 (图 3a); 总体满

足海洋沉积物一类标准 (2%)^[14], 超标层位多位于 LM01 和 Q24 的深层沉积物中。TN 的含量范围介于 0.03% ~ 0.21% 之间 (均值为 0.10%), 在垂直分布上波动幅度较大, 但无明显的增减趋势; 总体高于引起最低级别生态风险效应的下限 (0.055%)^[15], 表明总氮已经成为广西海岸带沉积物的主要污染物之一。TP 的含量介于 0.01% ~ 0.07% 之间 (均值为 0.03%), 在各柱间的变化幅度较大; 总体低于引起最低级别生态风险效应的下限 (0.06%)^[15], 但 C11、LM01 和 Q24 柱中表层 TP 的含量有明显增大趋势, 接近或略超过该标准值。

生源要素的埋藏通量可以反映一段历史时期沉积环境演变的趋势, 主要取决于沉积物中的埋藏和保存情况, 并受沉积速率、孔隙度、微生物活性、生物扰

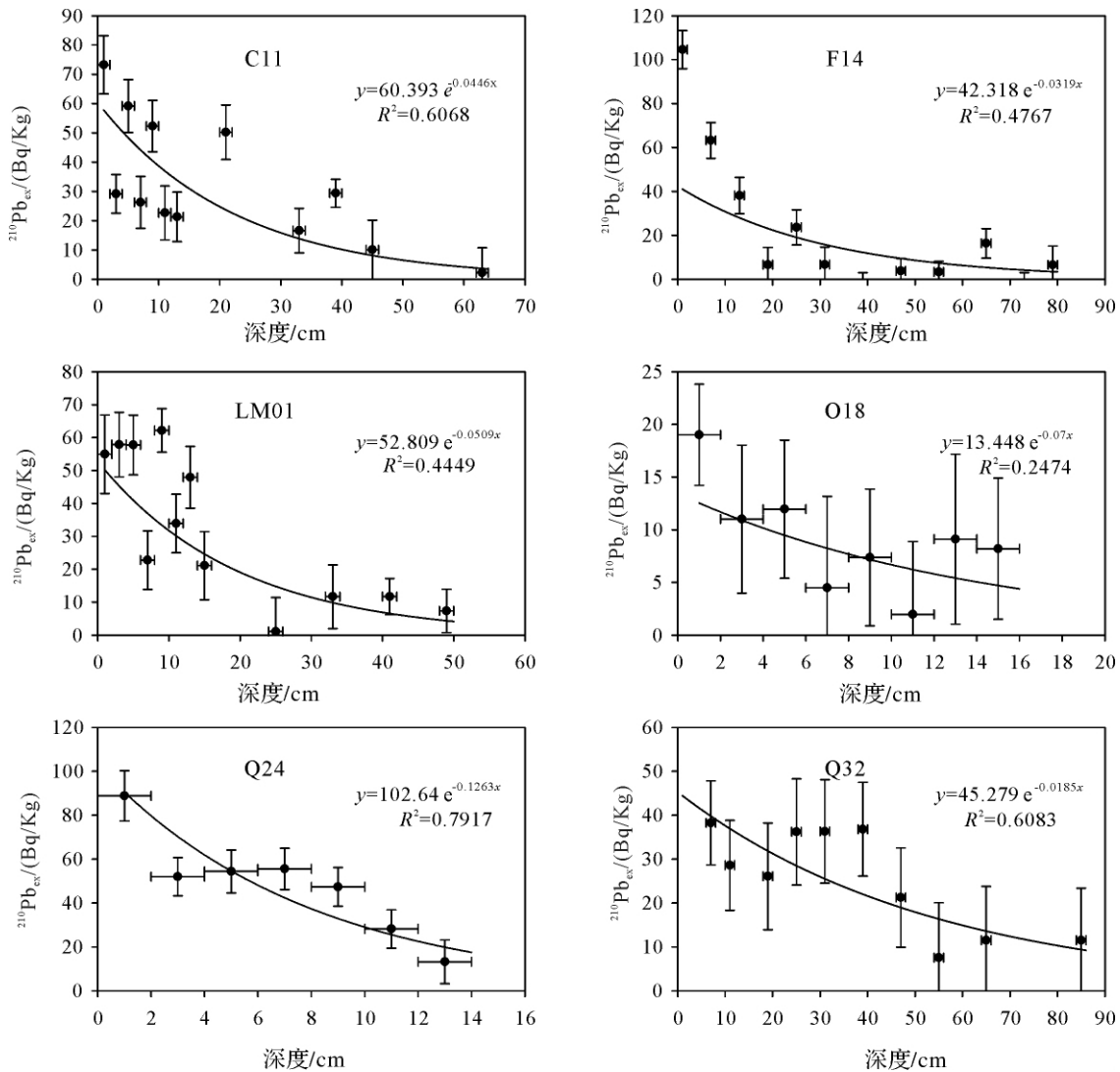


图 2 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 比活度随深度的垂向分布

Fig. 2 Vertical distribution of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ specific activity with depth

动及底层水含氧量等因素的影响^[16]。生源要素埋藏通量的计算公式为:

$$BF_i = C_i \cdot S_i \cdot \rho_i \quad (4)$$

式中: BF_i 为生源要素埋藏通量 ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); C_i 为生源要素含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); S_i 为沉积物累积速率 ($\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$); ρ_i 为沉积物干密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); i 为沉积物某一层深度 (cm)。

各生源要素的埋藏通量在不同柱间呈现相似的垂向分布特征, 详见图 3b。其中, 位于钦江口附近的 Q32 柱中生源要素的埋藏通量最高, 其次是位于南流江口的 C11 柱; 表明河流输入是氮、磷等生源要素的主要来源。依据图 3b 中各生源要素埋藏通量的垂向分布特征可将沉积环境演变大致分为三个阶段: ① ~1927 年以前, TOC、TN、TP 的埋藏通量基本保持在一个相对稳定的水平上, 以自然源输入为主; ② 1927 年之后, LM01、Q24 和 Q32 柱中 TOC 的埋藏通量呈现明显的减少趋势; 尤其是 LM01 柱的 TOC 埋藏通量从 ~1927 年左右的 $15 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 突减至 ~5 $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

• $\text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。由于这三根短柱均位于钦州湾内, TOC埋藏通量在近期的一致递减可能与当地红树林系统的衰退有关^[17]; ③ ~1980 年之后, 与富营养化密切相关的 TN 和 TP 埋藏通量不断增大, 应与沿岸工农业的迅猛发展和人类活动排污加剧有关^[18]。以 C11 柱为例, TN 的埋藏通量从 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 增加至 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, TP 的埋藏通量也从 $0.35 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 增加至 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

2.3 重金属元素

柱状样中的重金属元素不仅蕴含着大量海洋地质和环境信息, 而且能较好地反映该区域的污染状况, 是开展地球化学研究和进行环境评价的基础资料。重金属含量结合同位素测年技术为定量评价人类历史发展时期的环境质量和环境演变提供了有利的工具。根据海洋沉积物一类质量标准《GB18668—2002》^[14], 广西海岸带 6 根短柱样中重金属元素的含量(表 2)除 C11 柱中的 Cu 元素、F14 柱中的 Pb 元素和 C11 柱中的 As 元素(图 4a)含量接近或略超过一

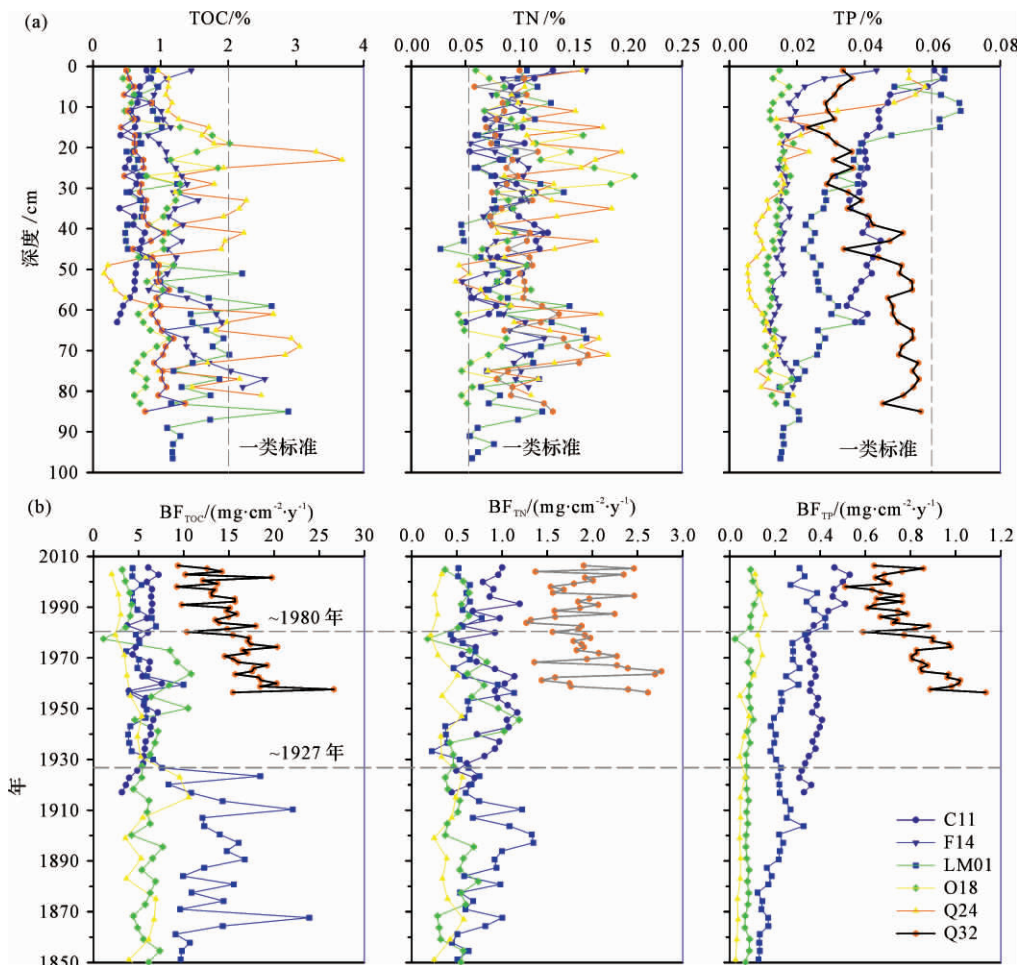


图3 TOC、TN、TP含量及其埋藏通量的垂向分布

Fig. 3 Vertical distribution of TOC, TN and TP contents and burial fluxes

类标准外,其余重金属元素(Hg、Cd、Cr、Zn)的污染程度相对较轻,均满足海洋沉积物一类标准的要求。

2.3.1 富集系数(EF)

由于重金属的含量变化受沉积物粒度效应的控制作用显著,因此有必要对沉积物中重金属浓度进行归一化校正,以减少粒度(或矿物)差异对重金属含量的影响,以期获得更为准确的沉积环境演变信息^[19]。本次选用富集系数法(EF)来评价广西海岸带沉积物中重金属的污染程度,其计算公式如下:

$$EF = (M_s/X_b) / (M_s/X_b) \quad (5)$$

式中: M 为沉积物中的重金属元素; X 为参比元素,本次选用Al; s 代表沉积物; b 代表背景值,本次选用深层沉积物作为环境背景。Zhang J和Liu C L^[20]认为:EF=1.5是划分自然源和人为源的界限;若沉积物中重金属的EF<1.5,表明其可能全部来源于陆壳物质的自然风化;若EF>1.5,表明部分重金属来源于为人类活动排污。

按EF的均值大小(表2)排序为:Hg(1.21)>Cu(1.18)>Cd(1.17)=As(1.17)>Pb(1.11)>Zn(1.08)>Cr(1.02);表明广西海岸带柱状样中重金属元素总体受人类活动排污影响较轻。其中,C11柱中的Hg、Cd和Cu元素受人类活动影响较大,最大富集系数分别为3.72、4.07和2.65;此外,珍珠湾F14柱如Cu和Pb的表层污染也相对较重,最大富集系数分别为4.15和5.83;龙门岛LM01柱中Cd和Cu元素的表层富集现象也异常明显。从EF的垂向分布特征(图4b)可以看出:大致以20 cm深度为界,深层沉积物中的EF值大致稳定在1附近,表现出强烈的陆源属性;而表层沉积物中的EF值多接近或略超过1.5,且越往表层递增趋势越明显。

2.3.2 过剩重金属通量

沉积物中重金属过剩通量(MF_{xs})的变化可以反映重金属人为源的输入强度,并以此重塑相邻陆域工农业活动的历史演化。MF_{xs}的计算公式^[21]如下:

$$MF_{xs(i)} = M_{xd(i)} \cdot S_i \cdot \rho_i \quad (6)$$

$$MF_{xs(i)} = M_{(i)} - M_{background(i)} \quad (7)$$

$$\rho_i = \frac{2.6 \times D}{D + 2.6 \times (1 - D)} \quad (8)$$

式中:MF_{xs(i)}为过剩重金属通量($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); $M_{xs(i)}$ 为过剩重金属浓度($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$); S_i 为沉积物累积速率($\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$); ρ_i 为沉积物干密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); D 为沉积物干湿重量比(%); i 为沉积物某一层的深度(cm)。

重金属过剩通量的时间演变趋势与EF极其相似(图4c),表现出一致的表层富集现象。由图4c可知:①~1945年以前,MF_{xs}始终保持在一个较低且接近零的水平上;表明该时期内重金属以自然源输入为主;②1945~1980年间,C11柱中Cu元素的过剩通量始终保持在较高水平上($12.37 \sim 77.60 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,均值 $31.14 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),推断其可能来源应与传统消毒剂(如CuSO₄)的大量使用有关;③~1980年至今,随着沿岸工农业发展步伐的加快,海岸带沉积物中重金属的过剩通量不断增加,尤其是近十年来表现得尤为严重。含铜消毒剂逐渐被一些低毒消毒剂所代替。

以受人类活动影响较为明显的两个区域为例,详述近二十年来MF_{xs}的增长情况:①南流江口的C11柱中Hg、Pb、Zn、Cd和Cr的过剩通量分别从80年代初的0.02、4.87、3.68、0.02和3.20 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 增加到现在的0.14、8.82、16.83、0.11和12.58 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,分别增长了7、1.81、4.57、5.5和3.93倍。②龙门岛的LM01柱中Cu、Cd、Pb和Zn的过剩通量分别从80年代初的5.86、0.01、0.65和1.52 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 增加到现在的20.75、0.05、3.38和20.10 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,分别为增长前的3.5、4.4、5.2和3.93倍。

2.4 人类影响强度

本文根据Wang等^[23]的研究,以1980年以前生源要素和重金属埋藏通量的均值作为背景水平,以1980年到2007年左右的埋藏通量为人类影响值计算人类影响因子(AF)。这对评价人类活动在沉积环境演变中的作用,对评价环境质量和预测未来变化的趋势具有十分重要的意义。AF的计算公式如下:

$$AF = \frac{F_a - F_b}{F_b} \quad (9)$$

其中:AF为人类影响因子; F_a 为1980年至2007年受人类活动影响明显时期各参数埋藏通量的均值; F_b 为1980年前未受(或微受)人类活动影响时各环境参数埋藏通量的均值。

近年来,重金属和TP向广西近岸的输送量均有一定程度的增加,增加了0.01~0.63倍(表3);但TOC和TN的输送量却有一定程度的下降趋势,尤以TOC输入量减少的最为显著。在陆源生活污水入海通量不断增加的情况下^[18],有机质埋藏通量的减少并不能总是客观反映陆源有机质的输入量,也可能与海源有机质(红树林系统衰退)供应量减少有关。以

重金属为例,按受人类活动影响的强度排序为: Cd (0.57) > Hg(0.24) > Zn(0.18) > Cu(0.17) > Pb (0.15) > Cr(0.06) > As(0.01),Cd 和 Hg 受人类活动的影响最明显,其次为 Zn、Cu、Pb, Cr 和 As 受人类活动的影响较小;这与前面 EF 和 MF_{xs} 研究中所得出的结论一致。相比胶州湾沉积物受人类活动影响

的强度而言^[24],广西海岸带沉积物的人为活动影响强度很低,仅为胶州湾的 4.48% ~ 85.14% (除 TOC 和 TN)。

3 结论

本文基于广西海岸带 6 根短柱状样中生源要素

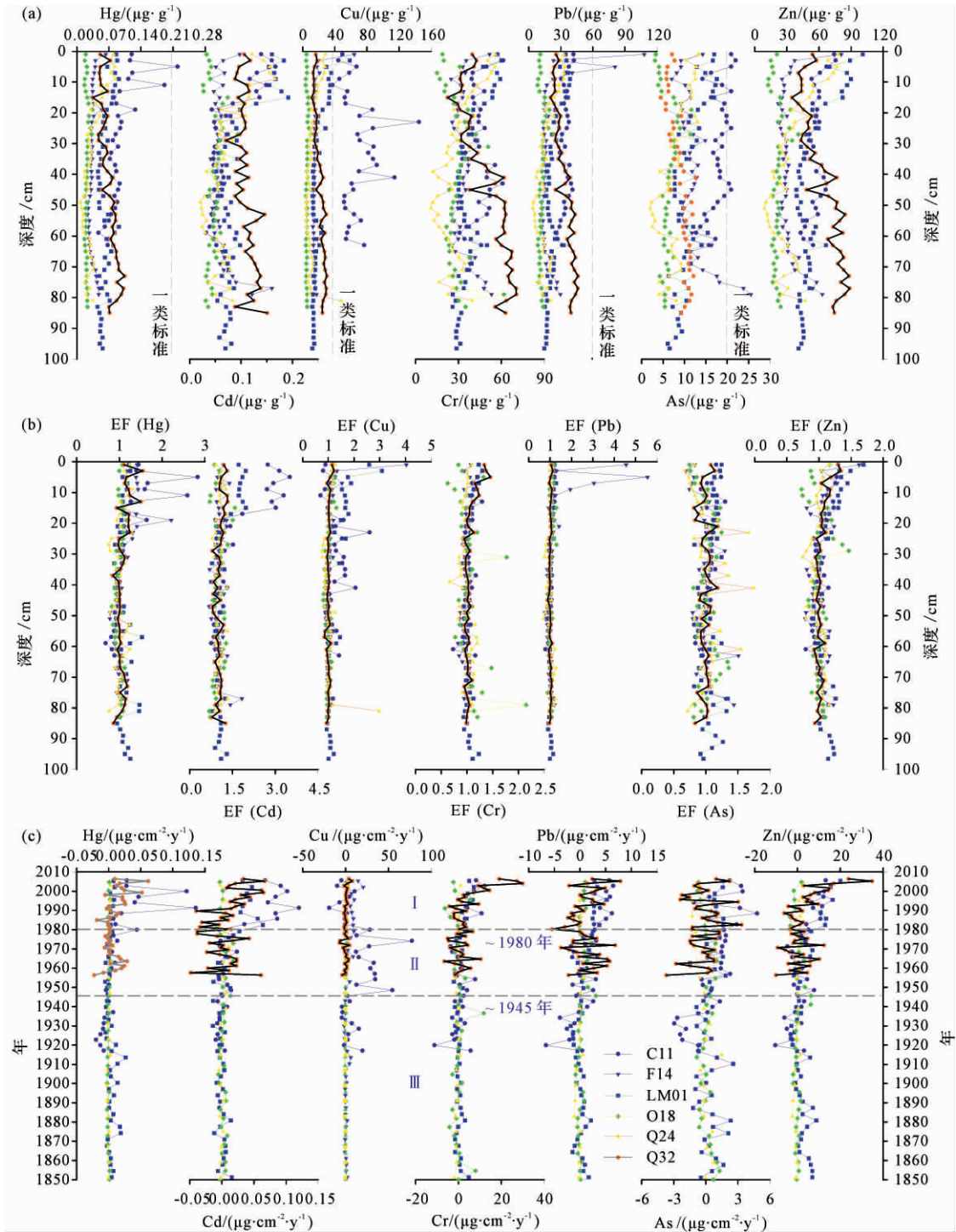


图4 重金属含量(a)、富集系数(b)和过剩通量(c)的垂向分布

Fig. 4 Vertical distribution of heavy metal concentrations, enrichment factors and excess fluxes

表 2 重金属元素的含量、富集系数和过剩通量统计

Table 2 Descriptive statistics of heavy metal concentrations, enrichment factors and excess fluxes

项目	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As
含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$							
范围	0.01 ~ 0.22	3.59 ~ 144.88	3.97 ~ 108.12	8.93 ~ 101.08	0.02 ~ 0.19	10.71 ~ 70.67	2.00 ~ 25.55
均值 \pm 方差	0.05 \pm 0.04	22.34 \pm 21.67	23.14 \pm 12.29	44.01 \pm 20.46	0.08 \pm 0.04	37.25 \pm 13.01	10.40 \pm 4.55
EF 范围	0.68 ~ 3.72	0.65 ~ 4.54	0.78 ~ 5.83	0.75 ~ 1.80	0.61 ~ 4.07	0.60 ~ 2.25	0.67 ~ 5.67
均值	1.21	1.18	1.11	1.08	1.17	1.02	1.17
$\text{MF}_{\text{ss}} / (\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$							
范围	-0.03 ~ 0.31	-23.55 ~ 77.60	-4.14 ~ 18.93	-12.06 ~ 40.48	-0.05 ~ 0.13	-11.31 ~ 21.96	-2.65 ~ 11.28
均值	0.01	2.32	1.84	3.42	0.01	0.28	1.44

表 3 重金属和生源要素的人类影响因子

Table 3 Anthropogenic factors of heavy metals and biogenic elements

柱号	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As	TOC	TN	TP
最小值	-0.19	-0.31	-0.22	-0.25	-0.14	-0.30	-0.30	-0.51	-0.26	-0.23
最大值	1.00	0.89	0.70	0.90	1.64	0.61	0.31	0.12	0.06	2.14
均值	0.24	0.17	0.15	0.18	0.57	0.06	0.01	-0.30	-0.08	0.63

(C、N、P) 以及重金属元素分析测试的基础上, 结合常量元素(Al) 和 ^{210}Pb 测年数据, 对近百年来广西海岸带沉积物在人类活动影响下的沉积环境演变进行了综合研究。据此可将其环境演变历程大致分为三个主要阶段: ① 上世纪 30 年代以前, 可以看作是广西近岸沉积物环境演变背景, 该时期内的主要特征表现为较低的重金属污染和富营养化状况, 以自然源输入为主; ② 上世纪 30 年代至 80 年代初, 围塘养殖、围海造田等人类活动不仅占据了大量红树林赖以生存的空间(红树林生态系统的衰退), 还造成局部区域含铜消毒剂(如 CuSO_4) 的污染; ③ 上世纪 80 年代初至今, 是广西临海陆域工农业迅猛发展的阶段, 加上各项治污措施和保护措施不当, 该时期内沉积物环境一度恶化, 是人类活动影响最为显著的时期。但就人类活动影响程度而言, 广西海岸带沉积物所受的影响程度要远远小于污染较重的胶州湾沉积物。摸清近百年来广西海岸带沉积物中环境演变的信息对于治理和防护近岸海域环境及其未来发展趋势的预测均具有十分重要的理论和现实意义。

参考文献 (References)

- Angelidis M O, Aloupi M. Assessment of metal contamination in shallow coastal sediments around Mytilene Greece [J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1997, 68(2): 281-293
- Dassenakis M I, Kloukinitou M A, Pavlidou A S. The influence of long existing pollution on trace metal levels in a small tidal Mediterranean Bay [J]. Marine Pollution Bulletin, 1996, 32(3): 275-282
- Jha S K, Chavan S B, Pandit G G, et al. Geochronology of Pb and Hg pollution in a coastal marine environment using global fallout ^{137}Cs [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2003, 69: 145-157
- Aloupi M, Angelidis M O. Geochemistry of natural and anthropogenic metals in the coastal sediments of the island of Lesbos, Aegean Sea [J]. Environmental Pollution, 2001, 113: 211-219
- Covelli S, Fontolan G. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines [J]. Environmental Geology, 1997, 30(1): 34-45
- Doherty G B, Brunskill G J, Riddm J. Natural and enhanced concentrations of trace metals in sediments of Cleveland Bay, Great Barrier Reef Lagoon, Australia [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 41: 337-344
- Loring D H. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments [J]. ICES Journal of Marine Science, 1991, 48: 101-115
- Veinott G, Perron-cashman S, Anderson M R. Baseline metal concentrations in coastal Labrador sediments [J]. Marine Pollution Bulletin, 2001, 42(3): 182-192
- 刘建军, 吴敬禄. 太湖大浦湖区近百年来湖泊记录的环境信息 [J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 559-564 [Liu Jianjun, Wu Jinglu. Environmental information of recent 100 years recorded sediments of Dapu area in Taihu Lake [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4): 559-564]
- Loring D H, Rantala R T T. Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter [J]. Technical Report-Fisheries and Marine Service, 1992, 700: 57-58
- San Miguel E G, Bol var J P, Garc a-Tenorio R. Vertical distribution of Th-isotope ratios, ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs in sediment cores from an estuary affected by anthropogenic releases [J]. Science of the Total Environment, 2004, 318: 143-157
- Bloesch J, Evans R. D. Lead-210 dating of sediments compared with accumulation rates estimated by natural markers and measured with

- sediment traps [J]. *Hydrobiologia*, 1982, 92: 579-586
- 13 Appleby P G, Oldfield F. The calculation of ^{210}Pb data assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment [J]. *Ca-tena*, 1978, 5: 1-8
- 14 国家海洋局. 海洋沉积物质量 (GB18668—2002) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002 [State Oceanic Administration of China. Marine Sediment Quality (GB18668—2002) [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002]
- 15 Leivuori M, Niemistö L. Sedimentation of trace metals in the Gulf of Bothnia [J]. *Chemosphere*, 1995, 31(8): 3839-3856
- 16 Song Jinming, Luo Yanxin, Lü Xiaoxia, Li P C. Form s of phosphorus and silicon in the natural grain size surface sediments of the southern Bohai Sea [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2003, 21(3): 286-292
- 17 梁维平, 黄志平. 广西红树林资源现状及保护发展对策 [J]. *林业调查规划*, 2003, 28(4): 59-62 [Liang Weiping, Huang Zhiping. Resource status and strategies for protection of mangrove forests in Guangxi Province [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2003, 28(4): 59-62]
- 18 吕俊. 南流江干流水污染发展趋势 [J]. *广西水利水电*, 2008(1): 26-28 [Lü Jun. Main stream water pollution trend of Nanliu river [J]. *GX Water Resources & Hydropower Engineering*, 2008(1): 26-28]
- 19 Covelli S, Fontolan G. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines [J]. *Environmental Geology*, 1997, 30(1): 34-45
- 20 Zhang J, Liu C L. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54: 1051-1070
- 21 Spencera K L, Cundyb A B, Croudace I. W. Heavy metal distribution and early-diagenesis in salt marsh sediments from the Medway Estuary, Kent, UK [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 57: 43-54
- 22 周晓英, 朱惠辉. 硫酸铜在水产养殖中的应用 [J]. *江西农业科技* 2003, 11: 31-33 [Zhou Xiaoying, Zhu Huihui. Copper sulfate in the application of aquatic breeding [J]. *Jiangxi Agricultural Science and Technology*, 2003, 31-33]
- 23 Wang G P, Liu J S, Tang J. The long-term nutrient accumulation with respect to anthropogenic impacts in the sediments from freshwater marshes (Xianghai Wetlands, Northeast China) [J]. *Water Research*, 2004, 38: 4462-4474
- 24 戴纪翠, 宋金明, 李学刚, 等. 人类活动影响下的胶州湾近百年环境演变的沉积记录 [J]. *地质学报*, 2006, 80(11): 1170-1178 [Dai Jicui, Song Jinming, Li Xuegang, *et al.* Human impacts on environmental changes in the last one hundred years of the Jiaozhou Bay [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(11): 1170-1178]

Sedimentary Records of Environmental Evolution During the Recent 100 Years in the Coastal Zone of Guangxi Province

XIA Peng¹ MENG Xian-wei¹ LI Zhen² FENG Ai-ping¹ WANG Xiang-qin¹

(1. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao Shandong 266061;

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

Abstract: Six sediment cores were collected during 2007 from the coastal zone of Guangxi province. The temporal evolution of biogenic elements (C, N and P) and metal (Hg, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr and As) inputs was clearly recorded by high $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ -derived sedimentation rates ($0.25 \sim 1.68 \text{ cm y}^{-1}$), especially in the estuary of Qinjiang river and Nanliu river ($1.68 \text{ cm} \cdot \text{y}^{-1}$ and $0.70 \text{ cm} \cdot \text{y}^{-1}$, respectively), which could be attributed to high rates of river sediment transport. Based on the vertical distributions of enrichment factors and excess fluxes, heavy metals and total phosphorus were obviously enriched in the recent 20 years, but do not exceed the quality standard for marine sediment. The results indicated that the natural inputs prevailed up to the early 1980s except Cu. After this period, the excess metal fluxes could be associated with the intensive use of phosphate fertilizers and the combustion of fossil fuels, which caused a slight enrichment. However, total organic carbon showed decreasing trends toward the surface, which could be associated with the decreases of the mangrove forest derived from tidal flat reclamation recently. According to all indicators, environmental evolution of the Guangxi coast during the recent 100 years can be divided into two stages: (1) before the early 1980s characterized by the relatively low heavy metal pollution and scarce eutrophication; (2) after the early 1980s, the concentrations of heavy metals and total phosphorus are significantly increasing, indicating of the anthropogenic inputs.

Key words: heavy metals; biogenic elements; environmental evolution; coastal zone; Guangxi province