

泉州湾海岸湿地沉积物 C、N 的空间变化

王爱军^{1,2}, 陈坚¹, 李东义¹, 卓志强¹

(1. 国家海洋局第三海洋研究所海洋与海岸地质环境开放实验室, 厦门 361005; 2. 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室, 南京 210093)

摘要:在泉州湾不同类型海岸湿地采集了 6 根短柱状样, 利用激光粒度仪分析了沉积物的粒度并计算了中值粒径, 利用元素分析仪分析了沉积物中的总有机碳(TOC)、总无机碳(TIC)和总氮(TN)含量. 结果显示, 泉州湾海岸湿地的沉积物以粉砂和粘土质粉砂为主, 中值粒径介于 9.2 ~ 18.5 μm 之间; 水头光滩湿地沉积物 TIC 含量约为 0.137%, 高于附近互花米草湿地的含量(0.014% ~ 0.038%), TIC 主要集中在粗颗粒部分. 沉积物 TOC、TN 含量分别介于 0.939% ~ 2.057% 和 0.163% ~ 0.260% 之间, 互花米草对 C、N 具有很强的富集能力, 红树林对 C、N 的富集能力很弱; 周边的排污活动使水头地区的 TOC 含量明显高于洛阳江河口地区. 沉积物 TOC、TN 含量与中值粒径之间的相关性很弱, TOC 与 TN 之间具有显著的正相关关系, 互花米草湿地 TN 含量与 C/N、互花米草湿地和光滩湿地的 TOC 与 C/N 均表现为显著的正相关, 这些初步说明泉州湾海岸湿地沉积物的 TOC 主要来源于周边污染物的排放及植被自身生产.

关键词:海岸湿地; 沉积物; 总有机碳(TOC); 总无机碳(TIC); 总氮(TN); 泉州湾

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)10-2361-08

Spatial Variations of Carbon and Nitrogen in Coastal Wetland Sediments of Quanzhou Bay in China

WANG Ai-jun^{1,2}, CHEN Jian¹, LI Dong-yi¹, ZHUO Zhi-qiang¹

(1. Open Laboratory of Ocean & Coast Environmental Geology, Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Six short sediment cores were collected from different coastal wetlands of Quanzhou Bay in order to obtain the particle size distribution and median grain size by laser particle size analyzer, and the contents of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and total inorganic carbon (TIC) by element analyzer. Analysis results show that sediment in coastal wetlands of Quanzhou Bay can be classified as silt and clayey-silt, and the median grain size varies from 9.2 μm to 18.5 μm . The TIC content in bare flat sediments of Shuitou area is about 0.137%, which is higher than that in coastal wetland covered by *Spartina alterniflora* (0.014% ~ 0.038%). TIC content decreases when grain size decreases in these sediments. Contents of TOC and TN vary from 0.939% to 2.057% and from 0.163% to 0.260% respectively. *Spartina alterniflora* has a strong absorption ability of carbon and nitrogen while mangrove has a weak one, and sewage discharge increases the TOC content in the sediments of Shuitou area which is higher than that of Luoyangjiang River estuary. Weak correlations occur between the contents of TOC and TN and median grain size; a typical strong positive relationship is observed between TOC and TN contents; and significant positive relationships of TN content with C/N ratio in *Spartina alterniflora* wetland and TOC content with C/N ratio in *Spartina alterniflora* wetland and bare flat are also observed. All these data indicate that the sources of TOC and TN in the coastal wetland sediments of Quanzhou Bay originate from sewage discharge and biogenic production.

Key words: coastal wetland; sediment; total organic carbon (TOC); total inorganic carbon (TIC); total nitrogen (TN); Quanzhou Bay

海岸湿地是介于陆地和海洋生态系统间复杂的自然综合体, 是全球生物生产量最高的生态系统之一, 具有极高的资源开发价值和环境调节功能. 作为陆-海-气相互作用的界面, 海岸湿地在生物地球化学循环中发挥着重要的作用; 作为 IGBP 的子计划之一的陆海相互作用(LOICZ)强调, 在今后的研究中将从地球系统科学的角度, 重点探讨人类活动影响下的海岸带物质循环过程、系统演化过程、以及对未来海岸带开发的意义^[1].

C、N 作为重要的生源要素, 其在海岸湿地中的来源、累积、循环、分解等过程一直是研究的重点内

容^[2~7]. 海岸湿地中的 C、N 主要有 2 个来源, 一方面来源于湿地生物初级生产和次级生产的输入^[8], 二是通过潮水带来的颗粒态和溶解态物质的输入^[9]. 输入到海岸湿地系统内的 C、N 被沉积物吸附后在地层中不断累积^[10], 并且在植被的影响下, 生物地球化学循环过程受到较大程度的影响^[10~16]; 沉积物

收稿日期: 2006-12-18; 修订日期: 2007-03-14

基金项目: 福建省自然科学基金项目(D0510025); 国家海洋局第三海洋研究所所长基金项目

作者简介: 王爱军(1977~), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为海洋沉积动力、海岸湿地环境, E-mail: ajwang@163.com

组分对 C、N 含量有较大的影响^[7],气候的季节变化使沉积物组分及植被生态过程表现出显著的季节性特征,对海岸湿地的 C、N 循环产生较大的影响,并且使海岸湿地处于源-汇的相互转化过程中^[17];地层中的有机质在积累的过程中一方面在成岩作用下发生矿化^[18],另一方面也处于不断的分解状态^[19].在系统总结前人研究成果的基础上, Mann^[20]、Mitsch 等^[21]对海岸湿地中的 C、N 循环问题进行了较为完整的综述.随着人类活动的加剧,海岸湿地逐渐变成了接纳污染物的地区^[22],从而对 C、N 的空间分布及物质循环过程产生重要影响.

目前对人类活动影响下的区域不同类型湿地环境对沉积物中 C、N 的含量及富集程度的研究还比较少,而这个问题对于研究同一地区不同类型湿地营养盐的转化、循环过程及对人类活动的响应是非常重要的.本实验选择福建泉州湾作为研究区域,初步分析了在泉州湾内的不同类型湿地沉积物 TOC、TN 含量的空间分布特征,探讨了不同类型海岸湿地生态系统及湿地环境对人类活动的响应.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

泉州湾位于福建东南部沿海,湾口向东敞开,属开敞式海湾.泉州湾潮汐形态系数为 0.29,属正规半日潮,平均潮差 4.27 m,属强潮海湾;潮流性质为正规半日潮流,潮流运动表现为比较稳定的往复运动,波浪作用相对较小,整个海湾以潮流作用为主;湾内发育了大片潮滩,最宽处可达 3 km,滩面坡度较小,淤泥厚度较大;洛阳江河口及水头地区湿地分布范围大,潮间带宽度大,湿地内盐沼植被覆盖范围较广,主要的盐沼植被有互花米草 (*Spartina alterniflora*) 和红树林,其中互花米草占据了湾内大片潮间带中上部的湿地空间,红树林主要有桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、白骨壤 (*Avicennia marina*) 和秋茄 (*Kandelia candai*) 等 3 种类型,部分光滩表层长

有藻垫,湿地动物主要有智利巢沙蚕 (*Diopatra chiliensis*)、可口革囊星虫 (*Phascolosoma esculenta*)、短拟沼螺 (*Assiminea brevicula*)、缢蛏 (*Sinonoracula constricta*)、光滑河蓝蛤 (*Potamocorbula laevis*)、招潮 (*Uca arcuata*)、莱氏异额蟹 (*Anomalifrons lightana*)、明秀大眼蟹 (*Macrophthalmus japonicus*)、弹涂鱼 (*Periophthalmus cantonensis*) 等^[23].

1.2 样品采集

2006-04-19 ~ 2006-04-20 在泉州湾石狮水头地区及洛阳江河口 2 个地区不同类型的海岸湿地中采集了短柱状样 6 根(站位分布见图 1),各采样站位周边的地貌特征及沉积结构描述见表 1.具体采样方法为:用有机玻璃管插入地下,上部用活塞抽真空并向上提有机玻璃管,由于采样区淤泥厚度较大,且柱状样采集长度较短 (< 80 cm),而且在插入有机玻璃管的过程非常慢,因此在采样过程中样品基本没有

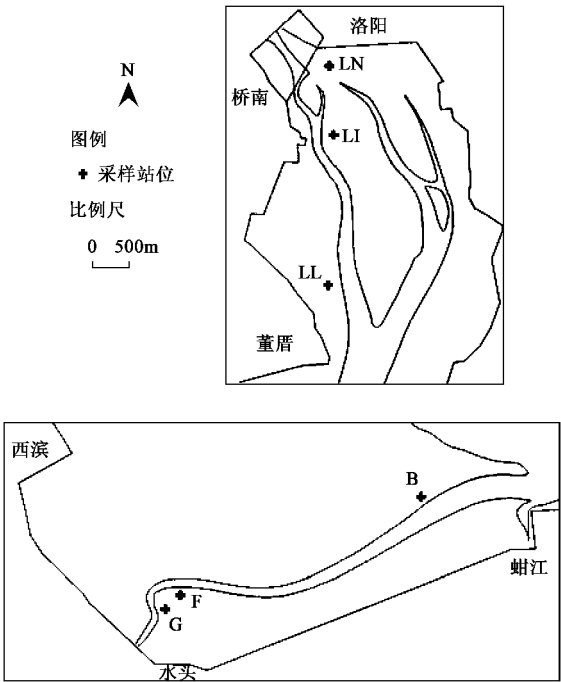


图 1 研究区位置及采样点分布

Fig.1 Location of study area and sampling sites

表 1 泉州湾海岸湿地沉积物柱状样的沉积结构和地貌特征

Table 1 Characteristics of geomorphology and sedimentary structure of sediment cores in coastal wetlands of Quanzhou Bay

采样站位	地貌特征	沉积结构特征
G	水头地区密集互花米草滩	整个剖面均为黑色淤泥,无层理,草根多
F	水头地区稀疏互花米草滩	整个剖面均为黑色淤泥,无层理,草根较少
B	水头地区光滩,潮水沟边	整个剖面均为黑色淤泥,无层理
LI	洛阳江口密集互花米草滩	整个剖面无层理,草根多
LL	洛阳江口光滩,滩面有藻垫分布	剖面无明显层理,多洞穴
LN	洛阳江口密集红树林滩内	剖面无明显层理,无植被根系、洞穴少

压缩现象;采集上来的样品以 5 cm 间隔现场分样,装入样品袋后运回实验室存储在冰柜中.

1.3 样品分析

将取回来的样品充分混合后取 2 份样,一份加入 5% 的 HCl 溶液,充分振荡后静止 24 h,用蒸馏水洗酸直到溶液 pH 值等于 7,然后用低温烘箱在 60℃ 恒温烘干、研磨,用德国 ELEMENTAR 公司生产的 Elemental VarioEL III 型有机化学元素分析仪上进行总碳和总氮分析,该仪器采用独特的气体分离设计(吸附-解吸法)测定样品中的 TOC、TN 总含量,其测定精度 < 0.1%. 在部分站位取未加 HCl 溶液的样品,在烘箱内以 60℃ 恒温烘干,研磨后进行了总碳(TC)测定;由于沉积物样品中溶解有机碳的含量很低,可以忽略不计^[15],因此沉积物样品 TC 含量减去 TOC 含量就得到了无机碳(TIC)含量. 另一份样品分 2 部分,一部分加 5% 的 HCl 溶液静置 24 h 以去除碳酸盐,另一部分不去除碳酸盐,2 份样品均加入 0.5% 六偏磷酸钠浸泡 24 h,然后在激光粒度仪上进行粒度分析,根据测量得到的粒径分布数据,计算出沉积物的中值粒径.

2 结果与分析

2.1 沉积物类型及 TIC 的空间分布特征

粒度分析结果显示,泉州湾海岸湿地沉积物组分均很细,沉积物的中值粒径介于 9.2 ~ 18.5 μm 之间,水头地区光滩沉积物中值粒径较互花米草滩大,洛阳江河口地区正好相反,光滩沉积物中值粒径较互花米草滩小;根据 Shepard^[24] 的分类方法,水头地区的光滩(站位 B)表层沉积物为砂质粉砂,表层以下大多为粘土质粉砂,互花米草滩的沉积物均为粉砂;其中,砂含量介于 1.64% ~ 18.83% 之间,粉砂含量介于 66.35% ~ 80.22% 之间,粘土含量介于 12.72% ~ 21.19% 之间. 元素分析结果显示,水头光滩柱状沉积物样品中 TIC 的平均含量约为 0.137%,明显高于附近互花米草滩的含量(0.014% ~ 0.038%),而洛阳江河口光滩和互花米草滩 TIC 的平均含量接近,其平均含量约为 0.05% 左右. 将原始样品的沉积物粒径频率分布与加入 HCl 溶液处理后的沉积物粒径频率分布进行对比(图 2),结果显示,光滩和互花米草滩的沉积物在除去碳酸盐后,沉积物粒度分布均趋于变细,且光滩沉积物变化相对较大,TIC 主要集中分布在沉积物中 11.0 ~ 88.4 μm 的组分(图 2). 相关分析表明,泉州湾海岸湿地沉积物的 TIC 含量与沉积物的砂含量及中值粒径在 $p = 0.05$ 的水平上显著正相关(图 3),这说明该地区沉积物的 TIC 主要集中在粗颗粒部分.

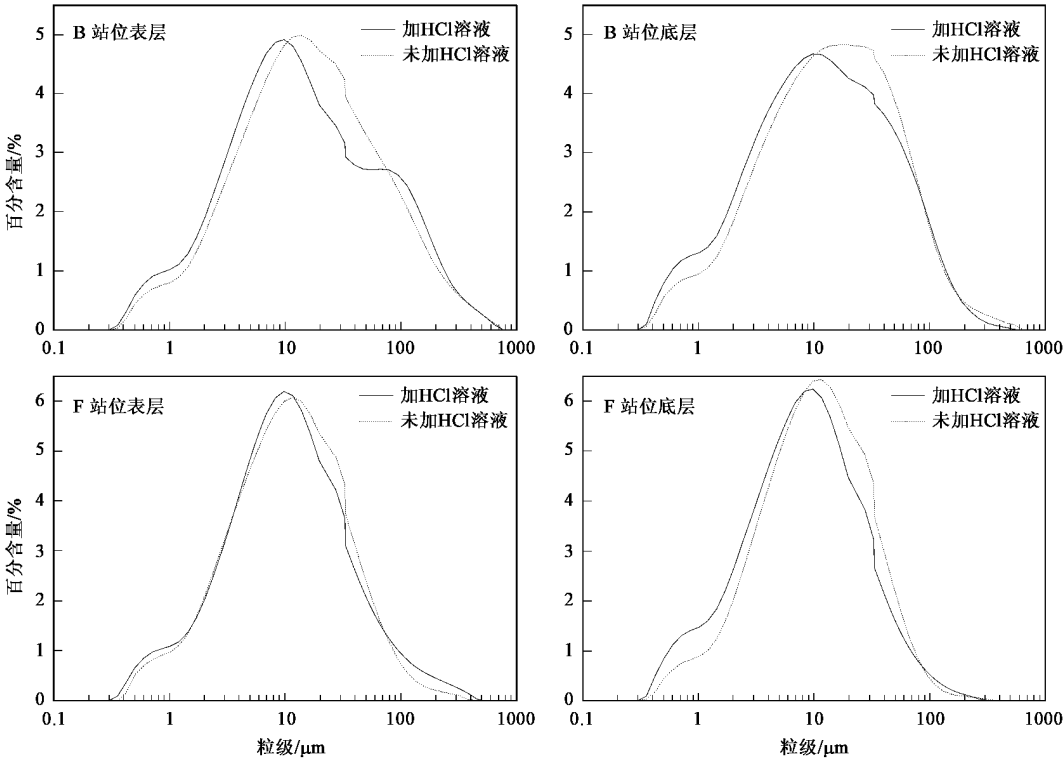


图 2 不同处理方法得到的粒径频率分布

Fig.2 Sediment grain size frequency distribution curve with different preparation methods

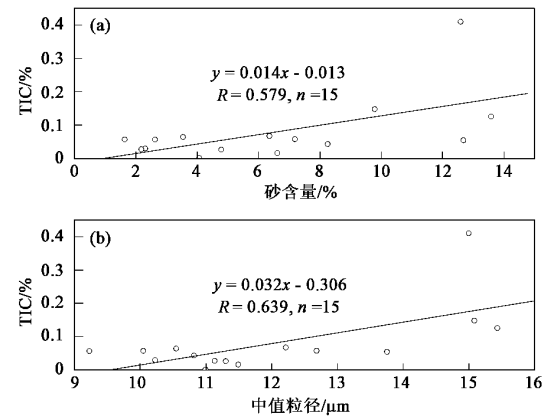


图 3 TIC 含量与砂含量及中值粒径的关系

Fig.3 Relationships between TIC content and sand content and median grain size

2.2 表层沉积物中 TOC、TN 的分布特征

泉州湾海岸湿地表层沉积物中的 TOC 含量介于 0.939% ~ 2.057% 之间,最高值出现在稀疏互花米草滩;总体分布规律表现为:稀疏互花米草湿地 > 密集互花米草湿地 > 光滩湿地 > 红树林湿地,但在洛阳江河口区表现为光滩湿地 > 互花米草湿地[图 4(a)];表层沉积物中的 TN 含量介于 0.163% ~ 0.260% 之间,变化相对较小,最高值出现在稀疏互花米草滩;总体分布规律表现为:稀疏互花米草湿地 > 密集互花米草湿地 > 光滩湿地 > 红树林湿地,但在洛阳江河口区表现为光滩湿地 > 互花米草湿地[图 4(b)].TOC 和 TN 的分布说明,稀疏互花米草湿地作为盐沼发育演化的青年阶段,对 C、N 具有很强的富集能力,而红树林则对 C、N 的富集能力最弱;现场采样时发现,在洛阳江河口的光滩湿地表层有藻垫发育,因此其 TOC 和 TN 含量较高.在空间上,2 个研究区内同一类型湿地的含量差异很大,水头地区海岸湿地沉积物的 TOC 含量明显高于洛阳江口,这与水头地区的排污有关.已有研究表明,排污活动增加了海岸湿地环境中沉积物的有机质含量^[10-25];水头地区位于石狮与晋江的交界处,工农业及生活污水在未经处理的情况下直接排入泉州湾,现场调查也发现,在水头地区低潮时潮水沟内的水体为黑色排污水,而且伴有恶臭味,说明该地区的污染非常严重,也使水头地区的 TOC 含量明显高于洛阳江河口地区.

表层沉积物的 C/N 介于 5.76 ~ 8.08 之间,并且在空间分布上表现出水头地区大于洛阳江口地区,而且最大值出现在水头地区的光滩湿地,其次是稀疏互花

米草湿地[图 4(c)],这说明排污活动增加了沉积物中的有机质含量,而对 N 含量影响相对较小.

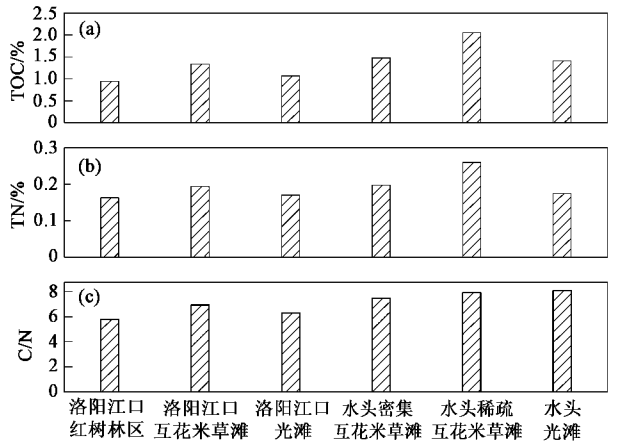


图 4 海岸湿地表层沉积物 TOC、TN 及 C/N 的空间分布

Fig.4 Spatial variations of TOC and TN contents and C/N ratio in surficial sediments of different coastal wetlands

2.3 柱状沉积物中 TOC、TN 的分布特征

柱状样沉积物的元素分析结果显示,TOC 和 TN 在各类型湿地剖面中均表现为由表向下逐渐降低的趋势(图 5).红树林湿地内 TOC、TN 含量的垂向变化幅度最小;互花米草湿地内的 TOC、TN 含量在 40 cm 以上表现为逐渐降低的趋势,再往下又逐渐升高,而且水头地区的互花米草湿地在表层 10 cm 内的变化幅度较大,稀疏互花米草湿地内的 TOC、TN 含量在整个剖面上的含量均大于其他湿地类型,而且由表向底表现为快速递减;水头地区光滩沉积物中的 TOC、TN 含量在表层 10 cm 内迅速减小,10 cm 以下深度的变化很小,洛阳江口光滩湿地中的 TOC 含量在整个剖面上分布较为一致,在底部略有递减趋势,而 TN 在表层 20 cm 内的变化幅度较大,20 cm 以下则表现为缓慢递减的总趋势.在垂直方向上,TOC 含量在不同类型湿地中的空间分布规律表现为:稀疏互花米草湿地 > 密集互花米草湿地 > 洛阳江口光滩湿地 > 洛阳江口红树林湿地 > 水头光滩湿地, TN 含量的空间分布规律表现为:稀疏互花米草湿地 > 密集互花米草湿地 > 洛阳江口红树林湿地 > 光滩湿地;这与表层沉积物中的 TOC、TN 含量分布特征不一致.柱状沉积物的 C/N 在不同类型湿地中的分布范围显著不同,稀疏互花米草湿地的 C/N 介于 7.7 ~ 8.2 之间,密集互花米草湿地的 C/N 介于 6.4 ~ 7.9 之间,洛阳江口红树林湿地的 C/N 介于 5.6 ~ 6.3 之间,洛阳江口光滩湿地的 C/N 介于 6.3 ~ 6.7 之间,水头地区光滩湿地的 C/N 在地层中稳定在

6.0 左右。

已有研究表明,随着植被生长程度的提高,植被对 TOC 的贡献逐渐增大,沉积物中的 TOC 含量逐渐增高^[15,26]。互花米草由于其生命力强大,繁殖速度快,对土壤有机质及营养盐的贡献很大,使互花米草湿地地层内的 TOC、TN 含量明显高于光滩和红树林湿地;也正是因为互花米草的存在增加了土壤中的 TOC 含量,容易引起地层中 N 的不足^[15],互花米草湿地内的 C/N 由表向底逐渐降低的变化也说明了地层内的 N 含量的不足;在排除表层的污染后,光滩湿地和红树林湿地内的 TOC、TN 及 C/N 在垂向上基本没有变化,说明红树林对土壤有机质的贡献相对较小。

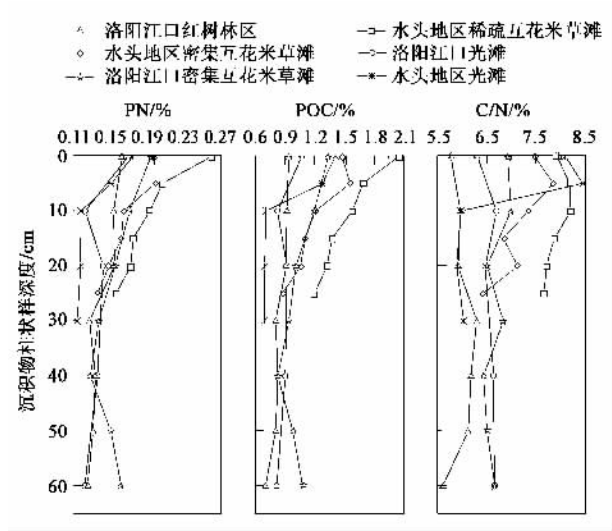


图 5 泉州湾海岸湿地柱状沉积物 TOC、TN 及 C/N 的垂向分布特征

Fig.5 Vertical distribution of TOC and TN contents and C/N ratio in core sediments of different coastal wetlands in Quanzhou Bay

2.4 各要素之间的关系

泉州湾互花米草湿地沉积物 TOC、TN 含量与中值粒径对比分析显示,随着沉积物变细,互花米草湿地和光滩湿地 TOC、TN 含量逐渐增加,红树林湿地 TOC、TN 含量逐渐减少,但相关性都不太显著,且互花米草湿地和红树林湿地 TN 含量与中值粒径的相关性较 TOC 与中值粒径的相关性好,光滩湿地相对较差[图 6(a)、6(b)]; C/N 的分析显示,红树林湿地与光滩湿地的 C/N 随着沉积物变细而增大,相关性相对较好,而互花米草湿地则基本没有相关性[图 6(c)].一般来说,在河口海岸环境下的沉积物 TOC、TN 含量随沉积物变细而增加,揭示了 TOC、TN 主要富集在细颗粒部分^[27],并且根据河流输入悬浮体及

盐沼植被的 C/N 计算了盐沼植被和河流输入对河口海岸沉积物 TOC、TN 的贡献^[7].将泉州湾看作一个开放的系统,海岸湿地沉积物 TOC、TN 的来源主要有生物自身生产(植被、底栖动物等)、河流输入、外海输入以及周边的排污活动等,由于目前缺乏对这些物源 TOC、TN 含量的资料,无法确定泉州湾海岸湿地沉积物中 TOC、TN 的主要来源及各物源所占的比例;根据 TOC、TN 与中值粒径的相关性分析,初步可认为泉州湾海岸湿地沉积物 TOC、TN 主要来源不是河流输入与外海输入,而是主要来源于生物自身生产及周边排污活动的输入。

泉州湾海岸湿地沉积物 TOC、TN 及 C/N 之间的相关分析结果显示,在各种类型湿地中,沉积物的 TOC 含量与 TN 含量之间均表现为显著的线性相关关系,其中以互花米草滩的相关性最好,红树林湿地沉积物的 TN 含量随 TOC 含量增大的增长速度最大,光滩湿地最小,互花米草湿地介于两者之间[图 7(a)].TOC 与 TN 之间的显著相关,说明周边排污活动使泉州湾海岸湿地沉积物中的 TOC 含量增加,有利于营养盐 N 在沉积物中的累积与赋存;类似的研究结果在长江口滨岸也有发现,并且出现了 Eh 值的降低^[25]。

已有研究显示,含有 N 的有机质比富含有机碳的有机质更易分解^[28],且自上向下的柱状样沉积物 C/N 增大、TN 含量降低、TN 含量与 C/N 呈负相关,均指示 N 相对于 C 更易损失的成岩作用的发生^[29]。泉州湾互花米草湿地 TN 含量与 C/N 呈显著的正相关,表明互花米草湿地沉积物有机质的分解程度非常低,光滩湿地和红树林湿地的 TN-C/N 表现为不太显著的正相关[图 7(b)].TOC-C/N 的相关分析表明[图 7(c)],互花米草湿地和光滩湿地的 TOC 与 C/N 表现为显著的正相关,说明周边污染物的排放对 TOC 的贡献很大,增加了沉积物的 C/N;互花米草湿地的相关性高于光滩湿地,这说明互花米草对沉积物 TOC 的贡献较大,增加了沉积物中的 TOC 含量与 C/N。

3 结论

(1)泉州湾海岸湿地的沉积物以粉砂和为主,沉积物中值粒径介于 9.2 ~ 18.5 μm 之间,粉砂和粘土含量分别介于 66.35% ~ 80.22% 和 12.72% ~ 21.19%之间;水头光滩湿地柱状沉积物样品中 TIC 的平均含量约为 0.137%,明显高于附近互花米草滩的含量(0.014% ~ 0.038%),而洛阳江河口光滩和互花米草滩 TIC 的平均含量接近,其平均含量约

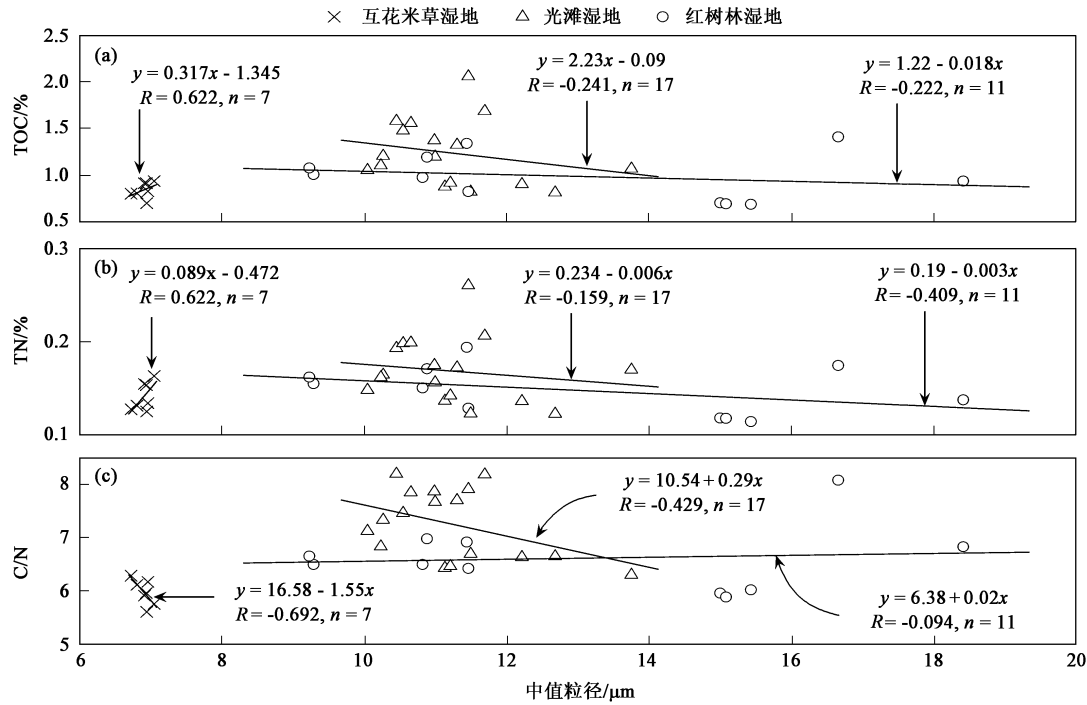


图 6 沉积物中值粒径与 TOC、TN 及 C/N 之间的关系

Fig.6 Relationships between median grain size and contents of TOC & TN and C/N ratio in different coastal wetland sediments

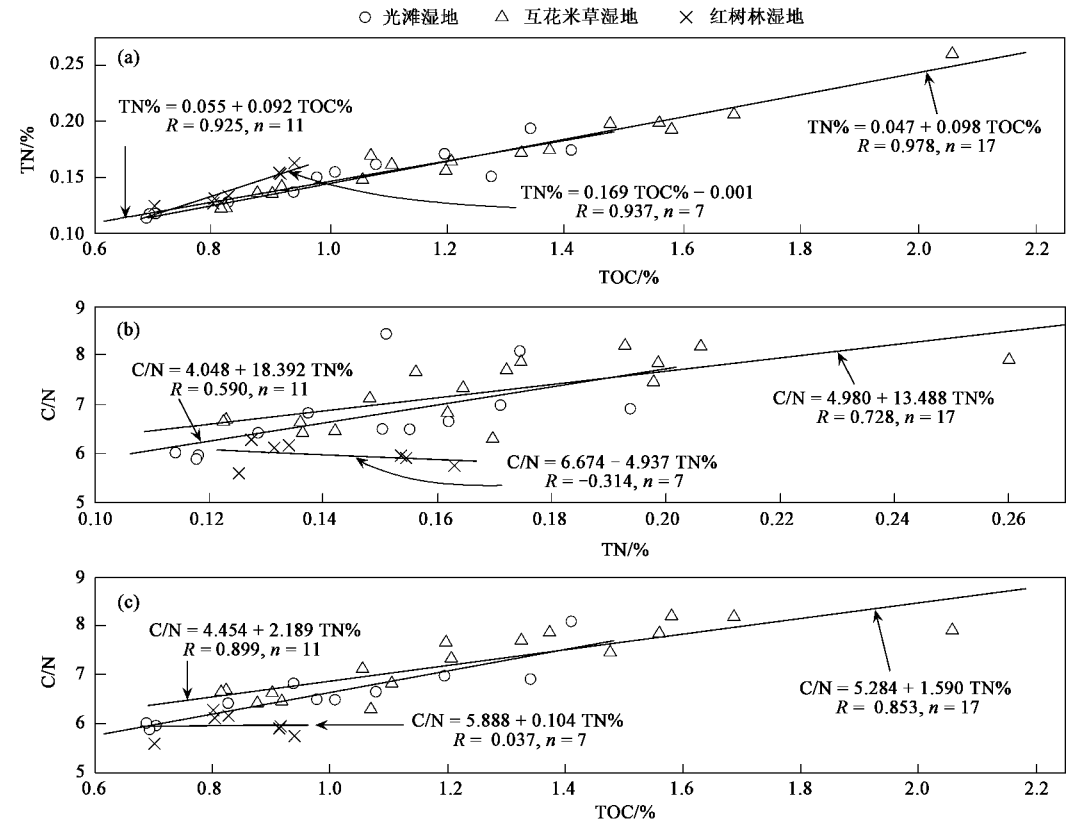


图 7 不同类型湿地沉积物中 TOC、TN 及 C/N 之间的相关关系

Fig.7 Relationships between contents of TOC& TN and C/N in the sediment of different coastal wetlands

为 0.05% 左右;TIC 含量与沉积物的砂含量及中值粒径呈显著正相关,说明该 TIC 主要集中在粗颗粒部分.

(2)泉州湾海岸湿地表层沉积物中的 TOC 和 TN 含量分别介于 0.939% ~ 2.057% 和 0.163% ~ 0.260% 之间;稀疏互花米草湿地作为盐沼发育演化的青年阶段,对 C、N 具有很强的富集能力,而红树林则对 C、N 的富集能力最弱;排污活动使水头地区的 TOC 含量明显高于洛阳江河口地区.

(3)根据泉州湾海岸湿地沉积物 TOC、TN 含量与中值粒径的相关性研究,初步可认为泉州湾海岸湿地沉积物 TOC、TN 主要来源生物自身生产及周边排污活动的输入;TOC、TN 含量及 C/N 的垂向变化及 TOC-C/N 的相关性分析都表明,排污活动使泉州湾海岸湿地沉积物中的 TOC 含量明显增加,互花米草的生长也增加了沉积物的 TOC 含量及 C/N.

致谢:国家海洋局第三海洋研究所的黄财宾、邝炳焕等参加了野外取样工作,于力、刘静萍协助进行了粒度分析,谨致谢忱!

参考文献:

[1] Crossland C J, Kremer H H, Lindeboom H J, *et al.* Coastal Fluxes in the Anthropocene [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 231.

[2] Bordovskiy O K. Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments [J]. Marine Geology, 1965, **3**: 3 ~ 114.

[3] Martens C S. Recycling of organic carbon near the sediment water interface in coastal environments [J]. Bulletin of Marine Science, 1985, **35**: 566 ~ 575.

[4] Alongi D M, Tirendi F, Dixon P, *et al.* Mineralization of organic matter in intertidal sediments of a tropical semi-enclosed delta [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1999, **48**: 451 ~ 467.

[5] Bouillon S, Raman A V, Dauby P, *et al.* Carbon and nitrogen stable isotope ratios of subtidal benthic invertebrates in an estuarine mangrove ecosystem (Andhra Pradesh, India) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002, **54**: 901 ~ 913.

[6] Gao S, Jia J J. Sediment and carbon accumulation in a small tidal basin: Yuehu, Shandong Peninsula, China [J]. Regional Environment Change, 2004, **4**: 63 ~ 69.

[7] Zhou J L, Wu Y, Kang Q S, *et al.* Spatial variations of carbon, nitrogen, phosphorous and sulfur in the salt marsh sediments of the Yangtze Estuary in China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, **71**: 47 ~ 59.

[8] Bull I D, Bergen P F, Bol R, *et al.* Estimating the contribution of *Spartina anglica* biomass to salt marsh sediments using compound specific stable carbon isotope measurements [J]. Organic Geochemistry, 1999, **30**: 477 ~ 483.

[9] Chalmers A G, Wiegert R G, Wolf P L. Carbon balance in a salt marsh: interactions of diffusive export, tidal deposition and rainfall-caused erosion [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1985, **21**: 757 ~ 771.

[10] Álvarez-Iglesias P, Rubio B, Pérez-Arlucea M. Reliability of subtidal sediments as “geochemical recorders” of pollution input: San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, **70**: 507 ~ 521.

[11] Smart R M, Barko J W. Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora* [J]. Ecology, 1980, **61**: 630 ~ 638.

[12] 周虹霞, 刘金娥, 钦佩. 外来种互花米草对盐沼土壤微生物多样性的影响 [J]. 生态学报, 2005, **25**(9): 2304 ~ 2311.

[13] 高建华, 杨桂山, 欧维新. 苏北滩涂湿地不同生态带有机质来源辨析与定量估算 [J]. 环境科学, 2005, **26**(6): 51 ~ 56.

[14] 欧维新, 杨桂山, 高建华. 盐城滩涂湿地对 N、P 营养盐物质的截留效应研究 [J]. 湿地科学, 2006, **4**(3): 179 ~ 185.

[15] 陈庆强, 周菊珍, 孟翊, 等. 长江口盐沼土壤有机质更新特征的滩面趋势 [J]. 地理学报, 2007, **62**(1): 72 ~ 80.

[16] Galois R, Blanchard G, Seguinés M, *et al.* Spatial distribution of sediment particulate organic matter on two estuarine intertidal mudflats: a comparison between Marennes-Oléron Bay (France) and the Humber Estuary (UK) [J]. Continental Shelf Research, 2000, **20**: 1199 ~ 1217.

[17] Delafontaine M T, Flemming B W, Bartholomä A. Mass balancing the seasonal turnover of POC in mud and sand on a back-barrier tidal flat (southern North Sea) [A]. In: Flemming B W, Delafontaine M T, Liebezeit G (eds.). Muddy Coast Dynamics and Resource Management [C]. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. 107 ~ 124.

[18] Volkman J K, Rohjans D, Rullkötter J, *et al.* Sources and diagenesis of organic matter in tidal flat sediments from the German Wadden Sea [J]. Continental Shelf Research, 2000, **20**: 1139 ~ 1158.

[19] Canuel E A, Martens C S. Reactivity of recently deposited organic matter: degradation of lipid compounds near the sediment-water interface [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, **60**: 1793 ~ 1806.

[20] Mann K H. Ecology of Coastal Waters [M]. (Second edition). Blackwell Science, 2000. 31 ~ 63.

[21] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands [M]. (Third edition). John Wiley & Sons Inc, 2000. 261 ~ 305.

[22] Tam N F Y, Guo C L, Yao W Y, *et al.* Preliminary study on biodegradation of phenanthrene by bacteria isolated from mangrove sediments in Hong Kong [J]. Marine Pollution Bulletin, 2002, **45**: 316 ~ 324.

[23] 黄宗国. 海洋河口湿地生物多样性 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004. 237 ~ 241.

[24] Shepard F P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1954, **24**: 151 ~ 158.

[25] 付金沐, 刘敏, 侯立军, 等. 长江口滨岸排污活动对潮滩营养盐环境地球化学过程的影响 [J]. 环境科学, 2007, **28**(2): 315 ~ 321.

[26] Wang X C, Chen R F, Berry A. Sources and preservation of organic matter in Plum Island salt marsh sediments (MA, USA): long-chain nalkanes and stable carbon isotope compositions [J]. Estuarine,

- Coastal and Shelf Science, 2003, **58**: 917 ~ 928.
- [27] Álvarez-Iglesias P, Rubio B, Vilas F. Pollution in intertidal sediments of San Simon Bay (Inner Ria de Vigo, NW of Spain): total heavy metal concentrations and speciation [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, **46**(4): 491 ~ 503.
- [28] Cowie G L, Hedges J I. Biochemical indicators of diagenetic alteration in natural organic matter mixtures [J]. Nature, 1994, **369**: 307.
- [29] Soto-Jimenez M F, Paez-Osuna F, Ruiz-Fernandez A C. Organic matter and nutrients in an altered subtropical marsh system, Chiricahueto, NW Mexico [J]. Environmental Geology, 2002, **43**: 913 ~ 921.

欢迎订阅 2007 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想,理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国工程索引 EI;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA): Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA): Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS): Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2007 年为 16 开本,40 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号: CN11-1895/X 国际标准刊号: ISSN 0250-3301

国外发行代号: M 0205 国内邮发代号: 2-821

编辑部地址: 北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编: 100085

电话: 010-62941102; 传真: 010-62849343; E-mail: hjkx@rcees.ac.cn; 网址: www.hjkx.ac.cn