

胶州湾潮间带沉积物有机碳和叶绿素的埋藏特征

吕欣欣¹, 邹立¹, 刘素美², 王芳³

(1.中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2.中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100; 3. 中国海洋大学 海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要: 于2004年9月,在胶州湾潮间带河套和红石崖两个区域(分别代表近河和近海区域)分别采集沉积物柱状样品,并分析了样品中有机碳和叶绿素含量。结果表明:(1)胶州湾潮间带沉积物有机碳和总氮质量比分别为1.0~3.0 g/kg和0.1~0.3 g/kg,随沉积物埋藏深度表现为波动变化,但无明显规律性;(2)胶州湾潮间带沉积物从表层到底层叶绿素a质量比的总体趋势是逐渐降低最后趋于稳定,叶绿素a质量比变化为0.3~5.2 g/kg;(3)胶州湾潮间带沉积物中的有机质应属于混源有机质。本实验结果对探讨胶州湾潮间带近河和近海区域沉积物中有机碳和叶绿素的埋藏和降解规律有重要意义。

关键词: 胶州湾; 潮间带; 有机碳; 叶绿素

中图分类号: Q178.53

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)05-0040-06

潮间带是海陆相互作用的一个重要界面,不仅是生物的栖居场所、繁殖场及供饵仓库,也是净化污水,削弱陆源污染物入海通量的一道屏障;同时作为海源和陆源及人为源有机物质的首先发生积累和反应的区域,是世界上生产力最高的海洋区域之一。因此潮间带沉积环境质量的高低,自身的生产和再生产能力,是海洋生态环境中与人类关系最为密切的区域之一。

潮间带介质环境复杂,包括水-气、水-沉积物、气-沉积物和生物-环境多个界面。潮间带各界面间存在的交换作用相当活跃,同时具有水动力作用强烈,泥沙输移和冲淤变化频繁, Eh 和 pH 等物理化学条件复杂多变,生物种类丰富多样等特点。这些因素决定着潮间带的沉积环境,影响着化学元素和沉积微粒的循环和交换,以及元素的保留和迁移转化、变化,同时化学元素的变化在不同程度上影响地化环境的演变,使得潮间带沉积物的分布、迁移、转化不同于陆地土壤和海底沉积物,也使得潮间带有机物的矿化在时间和空间上变化很大,其规律相对难于把握^[1~3]。最直接的表现是,潮间带沉积物有机碳含量范围广泛,垂直分布亦不相同^[4~6]。

胶州湾位于黄海之滨,山东半岛的南岸,是一个伸入内陆的天然封闭型海湾,属优良天然港湾,拥有丰富的海洋生物和旅游资源,代表着北太平洋西岸温带海湾生态系统,对山东省和青岛市的经济发展有着举足轻重的地位。其总水域面积为 423 km²,滩涂面积为 125 km²。胶州湾潮间带主要位于湾北

部与西部,集中有多条河流的入海口,湾西北岸段有大沽河、南胶莱河、洋河等集中市郊生活污水注入湾内,因此入海物质相对丰富;并且湾西、北岸段为贝类主要养殖区。胶州湾西北部潮间带组成物质自岸向海由细变粗,一般近岸高潮滩为细粒粉砂淤泥带,下部滩面侵蚀凹带,沉积物以黑色-青灰色粉砂质粘土和粘土质粉砂为主,滩面上芦苇和海三棱草为主;低潮滩,凹坑消失,滩面物质粗化,沙波纹发育。胶州湾平均水存留时间为 80 d,湾顶部存留时间在 3 个月以上,潮间带的水存留时间则更长^[7]。

通过分析胶州湾潮间带河套和红石崖两个区域(分别代表近河和近海区域)的沉积物柱状样品中有机碳和叶绿素含量,探讨胶州湾潮间带近河和近海区域沉积物中有机碳和叶绿素的埋藏和降解规律,在研究和探讨潮间带区域有机物行为规律的同时,为胶州湾海岸带功能区划,实施海洋开发、利用、保护的监督管理提供基础数据。

收稿日期: 2006-10-16;修回日期: 2007-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(40206017); 国家重大基础发展规划项目(2002CB412402)

作者简介: 吕欣欣(1983-),女,山东青岛人,硕士研究生,研究方向为海洋有机地球化学,lvxinin@ouc.edu.cn

1 采样站位与实验方法

1.1 站位设置

胶州湾潮间带沉积物柱状样品采集于 2004 年 9 月, 位于胶州湾北部潮间带, 包括河套(简称 HT)和红石崖(简称 HSA), 采样站位如图 1 所示, 其中河套站位接近于大沽河口。

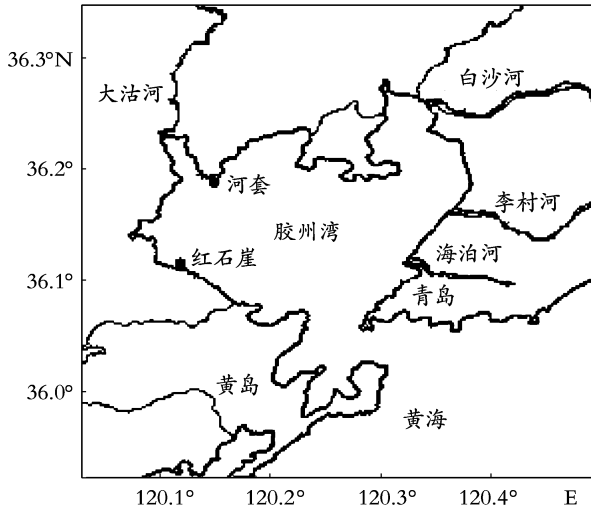


图1 胶州湾潮间带沉积物采样站位示意图

Fig.1 Sampling sites in the intertidal area of Jiaozhou Bay in September, 2004

1.2 样品采集与处理

沉积物柱状样以 PVC 采样管采集, 长度分别为 21 cm 和 22 cm。沉积物现场切割, 分装于自封袋中, 深度冷冻保存, 实验室分析。沉积物上层 2 cm 切割间隔单位为 0.5 cm, 2 cm 以下切割间隔单位为 1 cm, 每个柱状样大约切割得到 20~30 个样品。

1.3 分析方法

叶绿素分析: 采用分光光度法测定叶绿素含量, 参照 GB 17378.7-1998; 有机碳/总氮分析: 沉积物样品以 10% HCl 除无机碳, 低温烘干并研磨, 称质量包样后, 用 Vario ELIII 型元素分析仪测定有机碳和总氮含量。

2 结果与讨论

2.1 沉积物有机碳的垂直分布

胶州湾潮间带 HT 和 HSA 柱状沉积物有机碳含量较低, 质量比为 1.0~3.0 g/kg, 其垂向变化特征如图 2a 所示。在采样深度内, 两个站位有机碳含量, 随沉积物埋藏深度增加都没有表现出明显的规律性, 呈现为不显著的波动变化。HT 质量比最高

值出现在 6~7 cm (3.0 g/kg), 最低值出现在 9~10 cm (1.3 g/kg); HSA 质量比最高值和最低值分别出现在 2~3 cm (2.3 g/kg) 和 6~7 cm (1.3 g/kg)。除了个别点 9~10, 10~11, 19~20 cm, HT 柱状沉积物有机碳浓度均大于 HSA; 同时, HT 柱状沉积物有机碳浓度波动幅度也明显大于 HSA。

柱状沉积物总氮质量比为 0.1~0.3 g/kg, 其垂向变化特征见图 2b, 与有机碳垂向变化相似。HT 柱状沉积物总氮质量比最高值为 0.3 g/kg, 在 6~7 cm, 最低值 (0.1 g/kg) 出现在 9~10 cm, HSA 最高值 (0.2 g/kg) 和最低值 (0.1 g/kg) 分别在 2~3 cm 和 6~7 cm。同时比较图 2a 和图 2b 可看出, 两个站位柱状沉积物总氮垂直分布特征与有机碳相似。

如图 2c 所示, 胶州湾潮间带两个站位沉积物有机质的 C/N 值在垂向分布上有一定差异。首先, HSA 站位的 C/N 值在垂向上的变化幅度大于 HT, HSA 站位的 C/N 值范围为 9.9~13.4 (平均值 12.4), HT 站位的 C/N 值范围为 11~14.4 (平均值 11.5)。其次, HSA 和 HT 站位沉积物的 C/N 值在垂向上的分布均呈波动变化, 总体趋势表现为上升, 但 HT 站位沉积物的 C/N 在表层 1 cm 内先下降, 然后在 1~6 cm 之间缓慢上升, 而 HSA 站位沉积物的 C/N 值在表层 2 cm 先下降, 然后在 2~3 cm 才逐渐上升。

2.2 沉积物叶绿素的垂直分布

胶州湾潮间带沉积物样品叶绿素 a 随沉积物埋藏深度变化如图 3a 所示, 从表层开始随着沉积物埋藏深度增加, 叶绿素 a 含量总体上均逐渐降低, 在 17 cm 左右趋于稳定, 此时 HT 站位叶绿素 a 质量比在 0.9 $\mu\text{g/g}$ 上下波动, 而 HSA 站位叶绿素 a 质量比变化在 0.4 $\mu\text{g/g}$ 左右。两个站位叶绿素 a 含量在降低过程中均表现出波动, 存在波动的点包括 HT 站位的 1~1.5, 5~6 和 8~11 cm, HSA 站位的 1~1.5, 6~7 和 10~11 cm, 且 HT 沉积物中叶绿素 a 的质量比变化幅度大于 HSA, 与有机碳和总氮垂向分布变化相似。同时发现, HSA 柱状沉积物表层叶绿素 a 的含量最高, 其值为 5.2 $\mu\text{g/g}$, 而 HT 柱状沉积物次表层 1~1.5 cm 处叶绿素 a 的质量比最高, 为 4.6 $\mu\text{g/g}$ 。

叶绿素 b 和叶绿素 c 随沉积物埋藏深度变化较为复杂 (图 3b 和图 3c), HSA 站位叶绿素 b 和叶绿素 c 质量比变化在垂向分布上波动不大, 而 HT 站位叶绿素 b 和叶绿素 c 质量比变化均在 4~5 cm 和 20~21 cm 处出现较大波动。

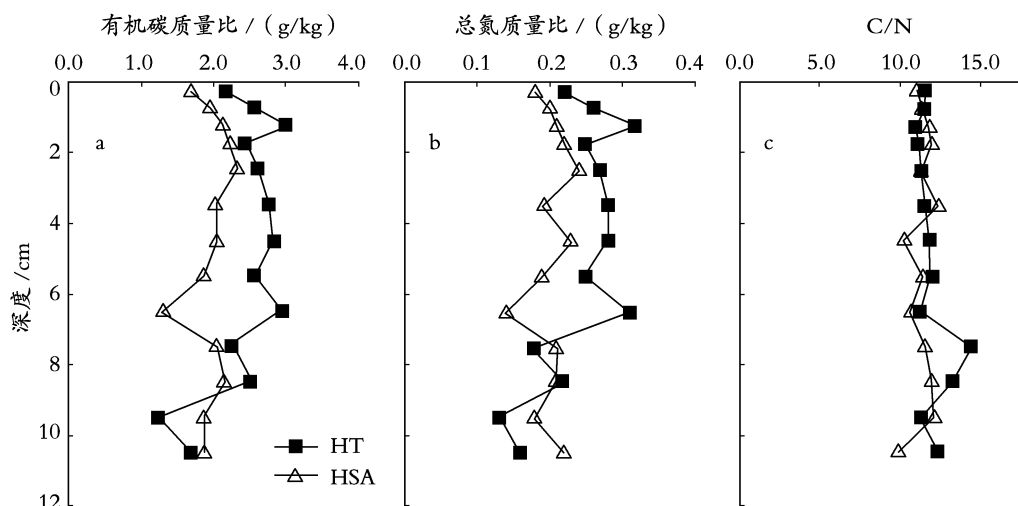


图2 胶州湾潮间带河套和红石崖柱状沉积物中POC, TN 和C/N值的分布

Fig.2 Depth profiles of POC, TN and C/N at two sampling sites in the intertidal area of Jiaozhou Bay

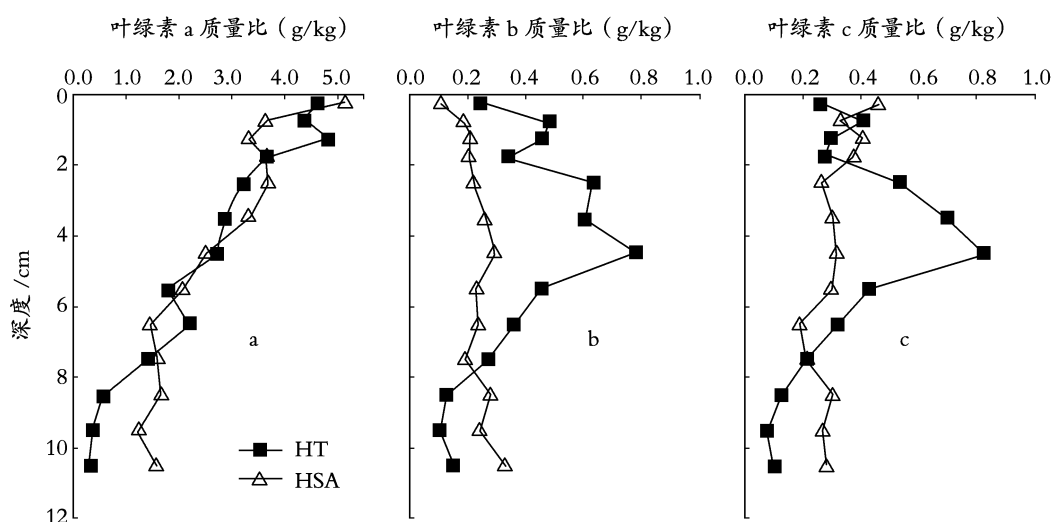


图3 胶州湾潮间带河套和红石崖柱状沉积物中叶绿素a, 叶绿素b 和叶绿素c 的分布

Fig.3 Depth profiles of Chlorophylls at two sampling sites in the intertidal area of Jiaozhou Bay

2.3 潮间带有有机碳的降解和埋藏规律

在垂向分布上, 胶州湾潮间带有有机碳含量随沉积物埋藏深度呈一定的高低波动变化, 没有表现出明显的规律性, 这种分布可能与以下因素有关:

(1) 不同季节沉积物表层有机物的生产和输入速率; (2) 不同季节和环境条件下, 表层有机物的降解和埋藏速率; (3) 沉积物的再混合(包括潮间带生物的搬运作用)。沉积物的再混合对有机物质垂向分布具有调整效应, 且此效应大小与采样点的具体环境条件有关。

沉积物中有机碳的降解速率受到很多因素影

响, 例如温度、沉积物粒级、生物搅动和物理搅动, 但主要的控制因子是有机物质的输入量及其反应活性^[8, 9], 因此不同季节表层沉积物中有机碳降解速率不同, 春夏季节大量新鲜藻类有机质输入, 有机物降解速率加快(但是净的积累量仍然是高的)。此外, 本研究区域位于高潮滩, 高潮时被海水淹没, 低潮时出露为滩地, 是海岸带中水动力作用、沉积冲淤变化最活跃的地带, 影响有机物质降解速率的因素复杂。

沉积物的再混合可能包括生物搅拌和侵蚀/再悬浮过程, 也可能是生物搅拌和侵蚀过程的协同效

应^[10]。由于受潮汐涨落影响,潮间带水动力混合作用强烈,表层沉积物不断经历沉降-再悬浮过程,使表层有机质含量变化复杂,这也说明了其浓度大小并不能反映短时间内有机物质的输入。生物搅动主要指由于底栖动物的活动,例如挖洞、搅拌、再混合、捕食,在表层沉积物中创造出一个动荡的有氧/厌氧区^[11],HT和HSA位于胶州湾西北部,一般近岸高潮滩为细粒粉砂淤泥带,适合底栖动物生活,因为被淹没的时间仅占潮周期的1/4~1/3,出露水面的时间较长,生物钻孔可以较深,生物搅动结构比较发育^[12],从而使得沉积物中有机物的分布复杂。

此外,在空间分布上,比较两个区域有机碳的含量变化发现,在沉积物埋藏深度内,HT柱状沉积物有机碳和总氮的含量波动幅度明显大于HSA,可能是由于HT站位处于河海交接处,水动力条件复杂,沉积物再混合过程比较强烈。同时也可看出,在大多埋藏深度上,HT柱状沉积物有机碳和总氮浓度大于HSA,这可能因为HT近河,大沽河径流带来丰富的有机物质在此发生积累,这与Galois等^[2]研究Marennes-Oléron Bay和Humber Estuary两个潮间带有机碳空间变化得出的结论相似,即随着采样点离海距离的增近,有机碳含量降低。从表1可看出,胶州湾潮间带有机碳含量相对其他潮间带区域,有机碳含量相对较低,说明胶州湾有机物来源有限,这可能与两个潮间带区域都位于青岛郊区,工业化程度不高有关;此外,有机碳含量变化范围小。

表1 潮间带区域有机碳含量的对比

Tab. 1 The comparison of organic carbon in the intertidal areas

潮间带	有机碳 (%)	文献来源
德国威登海西北部 Swinnplate 潮滩	0.1~1.0	[6]
德国北海南部 Dangast 潮间带	1.0~3.3	[5]
胶州湾潮间带	0.1~0.3	本研究

在海洋沉积物研究中,碳、氮比的大小常被用来作为判断有机物的来源是海生还是陆生的标准。Milliman等^[13]采用C/N研究了冬季长江口区有机物的来源,标准是C/N大于12的划为陆源有机物,C/N小于8的划为海源有机物,结果发现冬季长江口区颗粒有机物主要是陆源的。一般情况下,沉积物中有机质的C/N值大于5或8常常被认为是受到两种物源的影响。胶州湾潮间带HT和HSA沉积物有机

质的C/N值随沉积物埋藏深度呈波动变化,反映了其受不同的物源输入、氧化还原条件及生物化学过程的共同影响,及潮间带复杂的水动力条件的扰动作用,其比值在9.9~14.4之间,即沉积物中的有机质应属于混源有机质,且C/N值愈高,陆源输入的有机质成分就愈大。胶州湾沉积物陆源有机质,主要在胶州湾沿岸工农业生产过程中产生,并由周边河流带入;自生有机质主要是胶州湾初级生产力的产物。Sun等^[14]通过一系列微观实验,发现沿着沉积物埋藏深度,叶绿素a和新鲜藻类有机碳降解速率相似;因此从叶绿素的垂直分布结果来看,其含量在表层10cm内迅速降低,可见新鲜藻类有机物质在早期成岩过程中迅速发生降解,而有机碳含量随沉积物埋藏深度增加总体上未表现出明显的减少趋势,说明藻类有机碳对该区域总有机碳含量贡献很少,也说明了有机碳的降解受生物搅动和物理搅动影响大,沉积物发生再混合。HSA和HT站位沉积物的C/N值的平均值分别为11.5和12.4,HT站位沉积物的C/N值较大,可能是由于相对于HSA站位,大沽河携带大量陆源有机碎屑在HT潮间带沉积的原因。而从C/N值结果看,随着沉积物埋藏深度增加,其总体趋于上升,陆源有机质相对比例增大,说明海洋自生有机质在埋藏过程中优先发生降解。

2.4 潮间带叶绿素的埋藏特征

浮游植物叶绿素特别是叶绿素a,是所有浮游植物种群含有最多的色素,一般用作生物标志物以评价水体中浮游植物生物量和沉积物中的有机碳量^[15-17]。胶州湾潮间带沉积物叶绿素a含量,总体趋势上,从表层到底层逐渐降低最后趋于稳定,这是由于叶绿素本身降解造成的。生活在潮间带底质中的各种藻类,由于泥沙沉降逐渐被埋藏在黑暗和缺氧的条件下,有些会暂时转变为休眠状态,但大多数会因为不断深埋而发生死亡解体,在细菌的作用下,叶绿素a不断被降解为脱镁叶绿素。此外,HT站位沉积物中叶绿素a的质量比变化幅度大于HSA中的,这与有机碳和有机氮垂向分布相似。同时发现,HSA站位叶绿素a质量比的最高点出现在表层,可能是因为表层沉积物处于水、气及沉积物交接面,海水中各种死亡的浮游生物残体首先沉降到表面,一些衰老或者死亡不久的藻体中的色素可以直接测定;同时生活在表层沉积物的藻类有良好的光照和氧气条件,有利于其生长^[18]。而HT站位柱状沉积物次表层1~1.5cm处叶绿素a的质量比最高,这可能是生物扰动和环境变化引起底层沉积物悬浮和再沉降^[19],在这一过程中把叶绿素a带到

了次表层甚至更深的位置,导致表层叶绿素 a 含量低于次表层。存在类似明显突跃的点还有 HT 站位的 5~6 cm 和 8~11 cm 处, HSA 站位的 1~1.5, 6~7 和 10~11cm, 不过沉积物深处的叶绿素突跃, 其主要原因还是被埋藏时刻浓度高的原因。在叶绿素 a 的降解过程中, 总体上, 表层 2 cm 范围降解速度最快, 这与荷兰 Molenplatt 潮间带沉积物^[20]中叶绿素 a 的结果相一致, 这可能与光和氧化条件有关; 叶绿素分子相对不稳定, 尤其在潮间带区域, 表层沉积物不断经历再悬浮—沉降过程, 交替暴露在空气和光照中, 促使叶绿素大量降解^[21]。

3 小结

通过分析测试胶州湾潮间带沉积物柱状样品中有机碳/氮和叶绿素含量, 得到结果如下: (1) 胶州湾潮间带沉积物有机碳和总氮质量比分别为 1.0~3.0 g/kg 和 0.1~0.3 g/kg, 随沉积物埋藏深度表现为一定的波动变化, 但无明显规律性。(2) 胶州湾潮间带沉积物从表层到底层, 叶绿素 a 质量比总体趋势上逐渐降低最后趋于稳定, 叶绿素 a 质量比为 0.3~5.2 g/kg。(3) 胶州湾潮间带沉积物中的有机质应属于混源有机质, 所埋藏有机物以陆源为主, 并且由表层向底层, 陆源有机物的比例逐渐增大。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Galois R, Blanchard G, Seguigness M. 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: 1 199-1 217.
- [3] Lu C, Lin P. The techniques of afforestation of the mangrove and its role in coastline protection [A]. Wang Y, Schafer C T. *Island Environments and Coastal Development* [C]. Nanjing: Nanjing University Press, 1993. 321-328.
- [4] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 长江口潮滩有机质来源的 C、N 稳定同位素示踪[J]. *地理学报*, 2004, **59**(6): 918-926.
- [5] Böttcher M E, Hespeneide B, Llobet-Brossa E, *et al.* The biogeochemistry, stable isotope geochemistry, and microbial community structure of a temperate intertidal mudflat: an integrated study [J]. **Netherlands Journal of Sea Research**, 1998, 32: 63-72.
- [6] Volkman J K, Rohjans D, Rullkotter J, *et al.* Sources and diagenesis of organic matter in tidal flat sediments from the German Wadden Sea[J]. **Continental Shelf Research**, 2000, 20: 1 139-1 158.
- [7] 王亚平, 高抒. 胶州湾沉积动力学及相关领域研究进展[J]. *海洋科学*, 2001, **25**(2): 26-28.
- [8] Berner R A. *Early Diagenesis: A Theoretical Approach* [M]. USA: Princeton University Press, 1980. 241.
- [9] Westrich J T, Berner R A. The role of sedimentary organic matter in bacterial sulfate reduction: the G model tested[J]. **Limnology and Oceanography**, 1984, 29: 236-249.
- [10] Grant J, Daborn G. The effects of bioturbation on sediment transport on an intertidal mudflat[J]. **Netherlands Journal of Sea Research**, 1994, 32: 63-72.
- [11] Aller R C. Bioturbation and remineralization of sedimentary organic matter: effects of redox oscillation [J]. **Chemical Geology**, 1994, 114: 331-345.
- [12] 刘宪斌, 朱琳, 张福, 等. 天津塘沽驴驹河—独流减河潮间带沉积物特征研究[J]. *海洋通报*, 2005, **24**(3): 37-41.
- [13] Milliman J D, Xie Q C, Yang Z S. Transport of particulate organic carbon and nitrogen from the Yangtze river to the ocean [J]. **American Journal of Science**, 1984, 284: 824-834.
- [14] Sun M Y, Dai J H. Relative influences of bioturbation and physical mixing on degradation of bloom-derived particulate organic matter: Clue from microcosm experiments [J]. **Marine Chemistry**, 2005, 96: 201-218.
- [15] Furlong, E T, Carpenter R. Pigment preservation and remineralization in oxic coastal marine sediments [J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 1988, 52: 87-99.
- [16] Stephens M P, Kadko D C, Smith C R, *et al.* Chlorophyll-a and pheopigments as tracers of labile organic carbon at the central equatorial Pacific seafloor [J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 1997, 61: 4 605-4 619.
- [17] Sun M Y, Aller R C, Lee C. Early diagenesis of chlorophyll-a in Long Island Sound sediments: A measure of carbon flux and particle reworking [J]. **Journal of Marine Researches**, 1991, 49: 379-401.
- [18] 远克芬. Chlorophyll and organic matter in sediment of Huanghe River estuary and its neighboring area areas[J]. *青岛海洋大学学报*, 1990, **20**(1): 46-58.
- [19] De Jonge V N, Van Beusekom J E E. Wind and tide induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary [J]. **Limnology and Oceanography**, 1995, 40: 766-778.

- [20] Lucas C H, Holligan P M. Nature and ecological implications of algal pigment diversity on the Molenplaat tidal flat (Westerschelde estuary, S W Netherlands) [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 180: 51-64.
- [21] Bianchi T S, Rolff C, Widbom B, *et al.* Phytoplankton pigments in Baltic Sea Seston and sediments: seasonal variability, fluxes, and transformations [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55: 369-383.

Preservation of organic carbon and chlorophylls in the intertidal sediments of Jiaozhou Bay

LÜ Xin-xin¹, ZOU Li¹, LIU Su-mei², WANG Fang³

(1.Key Lab of Marine Environmental Science and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2.College of Chemical and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3.Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Oct.,16,2006

Key words: Jiaozhou Bay; intertidal area; organic carbon/nitrogen; chlorophylls

Abstract: In order to explore the preservation and degradation characteristics of intertidal sediments, the contents of organic carbon, nitrogen, and chlorophylls were analyzed in sediment cores from two sites, representing the area near to river and sea, respectively, in the intertidal areas of Jiaozhou Bay. The data show that the organic carbon and total nitrogen concentrations in intertidal sediments of Jiaozhou Bay were variable (ranged at 1.0 ~ 3.0 g/kg and 0.1 ~ 0.3 g/kg, respectively), and no obvious trends were discovered in the depth profiles in the sediments. Chlorophyll a concentrations in the intertidal sediments of Jiaozhou Bay show a significant decrease with depth going down to 15-17 cm and then remained unchanged, ranging from 0.3 to 5.2 g/kg. C/N ratios suggested that the organic matter in the intertidal sediments of Jiaozhou Bay originated from both sea production, terrigenous input, and organic matter from sea production degreed prior to that from terrigenous input.

(本文编辑: 刘珊珊)