

东、黄海生源要素的埋藏通量及其时空分布特征

杨茜, 孙耀

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:通过对东、黄海水域 2006 年 4 月、10 月航次的调查, 结合²¹⁰Pb 数据, 测定了 4 个站位 200 余年来沉积物中生源要素(总氮、总磷、总有机碳)的埋藏通量。从时间分布特征可以看出, 4 个站位中, 总氮(TN)的埋藏通量均自底层向表层逐步上升, 到上个世纪五、六十年代左右达到较大值后便呈波动下降趋势; 总磷(TP)在各站位的埋藏通量的变化比较稳定, 几乎没有明显的峰值, 均自底层到表层逐渐降低。总有机碳(TOC)的埋藏通量自底层到表层逐步升高, 其中 10594, 10694 站位在上世纪六十年代左右均出现了最高值, 12694 及 H1-18 站位在上世纪四十年代出现了相对高值, 而后便呈下降趋势; 从生源要素埋藏通量的空间分布特征可以看出, 南黄海各生源要素埋藏通量的平均值分布可能与黑潮流系的影响强弱不同有关, 即黑潮流系影响越强初级生产力越弱, 生源要素埋藏通量越低, 反之则越高; 而 H1-18 站位生源要素的埋藏通量变化特点较为复杂, 原因可能与其所处海域水文条件复杂, 受陆源影响较大有关。

关键词: 东、黄海; 生源要素; 埋藏通量

中图分类号: X142

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2015)05-0680-06

The spatial and temporal distribution of the biogenic elements sedimentation flux in the East China Sea and the Yellow Sea

YANG Qian, SUN Yao

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Qingdao 266071, China)

Abstract: Core sediment samples named 10594, 10694, 12694, H1-18 were collected during cruises in the East China Sea and the Yellow Sea in April and October of 2006, combining with the results of the²¹⁰Pb dating to the biogenic elements (total nitrogen, total phosphorus, total organic carbon) of about lated 200 years. The vertical distribution profiles revealed that the total nitrogen(TN) content in the four stations was relatively similar, from deep to shallow layer the contents of TN showed the extended tendency, till the depth about 50, 60 era of 20th century the highest value was found and then showed waving downward trend; The vertical distribution of total phosphorus(TP) in the four stations revealed stable extended tendency and there was no highest points from deep to shallow layer; the contents of total organic carbon (TOC) showed the upward trend from deep to shallow layer, the highest content was found in the station 10594, 10694 at about 60 era of 20th century, as well as, the highest content were found at station 12694, H1-18 at about 40 era of 20th century and then the contents of TOC reduced; The results showed that the mean value of biogenic elements content of surface sediments was governed by the kuroshio, for the reason that the productivity of the kuroshio was lower than the other area of the Yellow Sea and the content of biogenic elements was lower. However, in the station H1-18 the content of biogenic elements was complex, which may be caused by the complicated hydrologic conditions and continental input matter around the area.

Key words: The East China Sea and the Yellow Sea; biogenic elements; sedimentation flux

收稿日期: 2014-10-21, 修订日期: 2015-01-07

基金项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2014A01YY01); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20603022013003)

作者简介: 杨茜(1984-), 女, 山东青岛人, 助理研究员, 主要从事环境化学方面的研究, E-mail: yangqian@ysfri.ac.cn

通讯作者: 孙耀, E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn

生源要素指的是生物体所需的大量元素,是海洋生物食物链的基础,与海洋生物种群的繁衍和海洋生物资源量密切相关。深入研究沉积物中生源要素的埋藏通量有利于研究人类活动和生态环境变化的历史^[1]。

目前我国利用生源要素埋藏通量对生态系统的研究主要针对的是陆地和湖泊,专家通过对研究区域现代沉积物中生源要素的沉积通量探讨了其不同区域的空间异质性,以及近百年来人类活动对自然界的扰动,也指出湖泊沉积物记录的环境信息可以反映人类活动和自然变化的演化历史^[1-3];近年来,人们的视线逐步转向海洋,有些专家着眼于深海海槽,从大时间尺度的研究来探讨陆源物质沉积通量对气候变化的响应;海洋中生源要素埋藏通量变化的重要影响因素^[4-6];也有部分专家对近海沉积物中生源要素的地球化学特征及其环境意义进行了研究,认为人为影响因素是导致该海域生源要素埋藏通量变化的重要因素^[1,7-8]。

作为西太平洋重要的边缘海,东、黄海在全球碳循环和生态系统中起着重要的作用。其受到黑潮、东亚季风等多种自然气候条件的影响,陆源输入受到长江和黄河的控制,人类活动对长江和黄河的影响也必将给黄海的生态结构造成影响,因此,东、黄海是研究海洋生态系统演变及其对气候变化和人类活动响应的理想场所。但由于数据的缺乏还无法准确的解答各种气候变化及人类影响对海洋生态系统的影响程度以及影响机制,也限制了准确预测生态系统对富营养化及全球变暖的响应^[9]。针对该海域有专家指出碳循环最终输出到沉积物的埋藏过程和速率仍认识模糊^[10],应进一步进行相关探索;2009年邢磊等对200 a来黄海浮游植物群落结构变化的生物标志物记录进行了研究,通过测定其生物标志物法来研究过去200 a来黄海的生产力及浮游植物群落结构的变化,初步估计气候变化和人类活动对海洋浮游植物生态系统的影响^[9]。

本文在前人的研究基础上针对东、黄海共4个柱状沉积物样品,结合历史数据及现场调查资料,定量分析了该海域沉积物中生源要素(总氮、总磷、总有机碳)的埋藏通量及时空分布特征,为该区域生态系统的进一步研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 站位设置

本次调查的站位分布于南黄海中部海域和长江口邻近海域,该海域东部有黑潮经过,西侧有长江入海,各种径流导致了该海域复杂的水文条件,图1为本次调查站位图及部分水文特点,站位信息如表1所示。调查时间分别为2006年4月、10月。沉积物样品均使用多管采样器($\varphi = 10$ cm)采集。将沉积物样品避光冷藏($0 \sim 5^{\circ}\text{C}$)带回实验室,按估算沉积速率以1~2 cm分层后,冷藏保存。

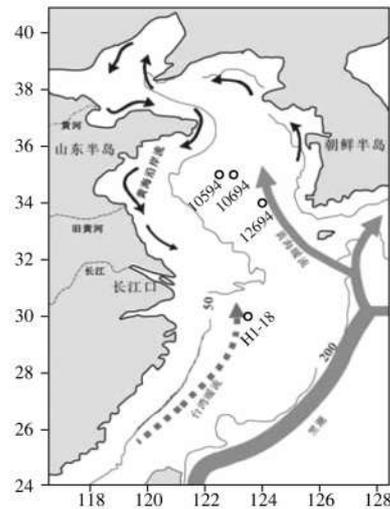


图1 调查站位

Fig. 1 Investigation stations

表1 调查站位信息

Tab. 1 The message of investigation stations

站位	经度/ $^{\circ}$ N	纬度/ $^{\circ}$ E	长度/cm
10594	122.5	35.0	47
10694	123.0	35.0	26
12694	124.0	34.0	33
H1-18	123.5	30.0	28

1.2 分析方法

样品 60°C 恒温烘干至恒重,用电动研钵仪研磨,过60目筛,待测定。

称取烘干研磨好的沉积物样品1.00 g左右,经24 h浓盐酸熏蒸后,总碳分析仪测定沉积物中TOC的含量。

用蛋白质分析仪测定沉积物中总氮含量。采用标准为:GB/T 6432-94。

总磷的测定方法参照扈传昱文献^[7]。

1.3 生源要素埋藏通量的计算

每个样品中生源要素的百分含量与该样品的平均干样密度和沉积速率的乘积便是该时段内陆源物质的埋藏通量^[8]。

公式为: $BF_{TP} = C_i S \rho_d (1)$;

式中: ρ_d 为干密度, 可表达为: $\rho_d = (1 - \varphi) / [(1 - \varphi) / \rho_s + \varphi / \rho_w] (2)$; BF_{TP} ($\mu\text{mol}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$) 是沉积物的埋藏通量; C_i ($\mu\text{mol}/\text{g}$) 是沉积物中不同形态生源要素的浓度; S (cm/a) 为沉积速率; φ (%) 是沉积物的含水率; $\rho_s = 2.56 \text{ g}/\text{cm}^3$ 是沉积物的密度; $\rho_w = 1.027 \text{ g}/\text{cm}^3$ 是水的密度^[11]。

1.4 近代沉积年代序列的确立

^{210}Pb 测年由中国科学院海洋研究所完成。每个柱样分别取 10 个样品进行测定。选择取样时间 2006 作为测年零点, 利用沉积速率得到柱状样年龄。

2 结果与讨论

2.1 近代沉积年代测定

由图 2 可知, 南黄海 10594、10694 和 12694 站位 ^{210}Pb 放射性活度随岩心深度的衰变很有规律, 呈现两段分布模式, 表明采样海区沉积环境较稳定。经过计算得到 10594、10694 和 12694 站位的沉积速率分别为 $0.350 \text{ cm}/\text{a}$ 、 $0.143 \text{ cm}/\text{a}$ 、 $0.153 \text{ cm}/\text{a}$, 对 3 站位定年, 底部年龄分别约为 150 a、200 a 和 230 a。长江口 H1-18 的 ^{210}Pb 的变化呈现三段式, 表明其上部 0~7 cm 为扰动层, 反映了强烈混合的情况。但由 7 cm 以下的 ^{210}Pb 变化得到沉积速率为 $0.22 \text{ cm}/\text{a}$, 因此, 我们以沉积速率 $0.22 \text{ cm}/\text{a}$ 作为 H1-18 的定年标准, 得到 H1-18 底部年龄约为 130 a。由于 H1-18 的上层混合, 所以在以下的讨论中 H1-18 最后 30 a 的数据为混合后的结果, 无时间变化意义。

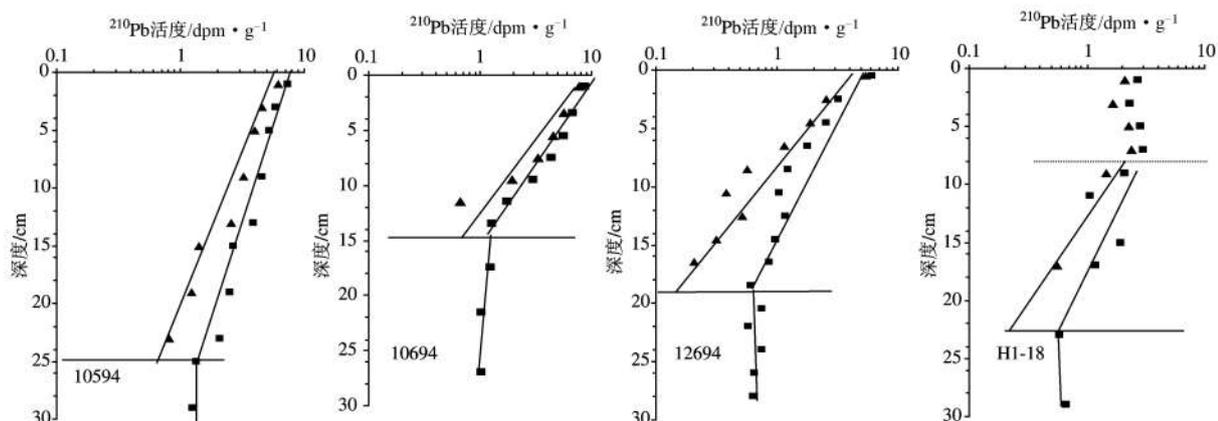


图 2 10594、10694、12694 和 H1-18 站位的 ^{210}Pb 垂直分布 (—■—表示 ^{210}Pb 总量, —▲—表示 ^{210}Pb 过剩)

Fig. 2 ^{210}Pb age (quadrate dot indicates $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, triangle indicates $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$)

2.2 生源要素埋藏通量的年度变化

2.2.1 TN 的埋藏通量

TN 的埋藏通量如图 3 所示, 位于南黄海的 10594 站位埋藏通量比较稳定平均值为 $291.01 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$ 范围为 $232.70 \sim 336.06 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$; 10694 站位埋藏通量平均值为 $167.20 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$ 范围为 $144.33 \sim 193.04 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 12694 站位埋藏通量平均值为 $99.72 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$ 范围为 $82.06 \sim 110.25 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$ 。整体来看, 以上 3 个站位 TN 的埋藏通量变化趋势相近即自底层起逐年波动上升, 到上个世纪五、六十年代左右达到较大值后便呈下降趋势。位于长江口的 H1-18 站位 TN 通量的分布特征与以上 3 个站位有一定相似

性, 但平均值偏低, 为 $61.72 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 $45.73 \sim 55.42 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$ 。

2.2.2 TP 的埋藏通量

TP 埋藏通量的分布如图 4 所示, 10594 站位埋藏通量平均值较大, 为 $134.51 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 $98.56 \sim 198.02 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, TP 埋藏通量变化自深层到 1950 年比较稳定, 在上个世纪五十年代出现了最大值后便呈现逐年降低的趋势; 10694 站位埋藏通量平均值为 $68.00 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 $56.30 \sim 79.66 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$; 12694 站位埋藏通量平均值为 $59.42 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 $26.31 \sim 71.49 \mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 总体而言以上两个站位的峰值并不突出, 含量比较稳定; 位于长江口的 H1-18 站

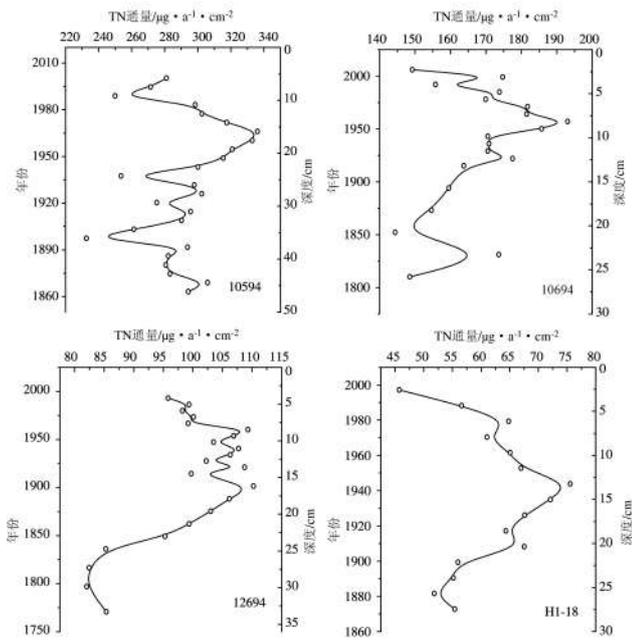


图 3 TN 埋藏通量

Fig.3 Theburial fluxes of TN

位埋藏通量平均值为 72.04 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 59.07 ~ 88.50 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, TP 藏通量随自底层向表层逐年递减。

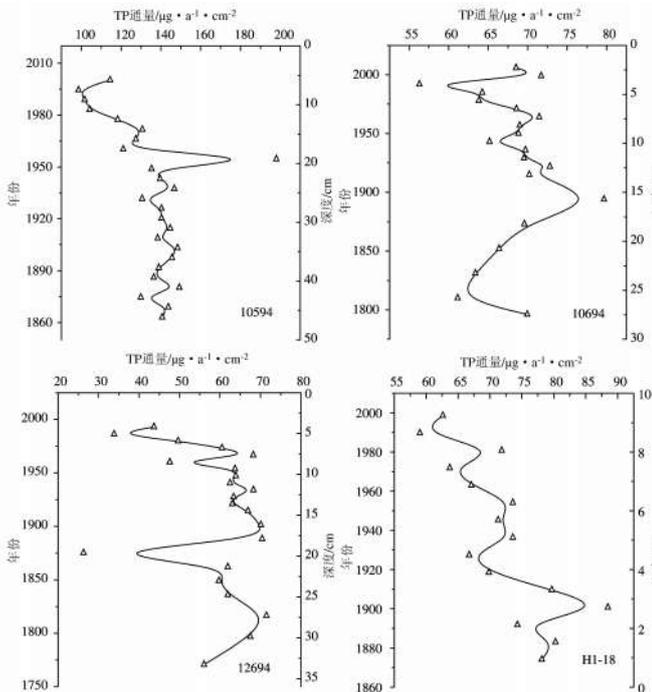


图 4 TP 埋藏通量

Fig.4 Theburial fluxes of TP

2.2.3 TOC 的埋藏通量

TOC 在 4 个调查站位的分布如图 5 所示, 10594 站位埋藏通量平均值较大, 为 3.07 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$,

cm^2 , 范围为 2.60 ~ 4.24 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$; 10694 站位埋藏通量平均值为 1.53 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 1.24 ~ 1.94 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$; 12694 站位埋藏通量平均值为 1.26 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 0.88 ~ 1.98 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$; H1-18 站位埋藏通量平均值为 2.24 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$, 范围为 1.88 ~ 2.65 $\mu\text{g}/\text{a} \cdot \text{cm}^2$ 。从各站位的变化趋势可以看出, 自底层起随着深度的变化 TOC 的埋藏通量有着逐年增大的趋势, 其中 10594, 10694 站位在上世纪六十年代左右均出现了最高值, 12694 站位以及位于长江口的 H1-18 在上世纪四十年代出现了相对高值, 而后便呈现逐年下降的趋势。

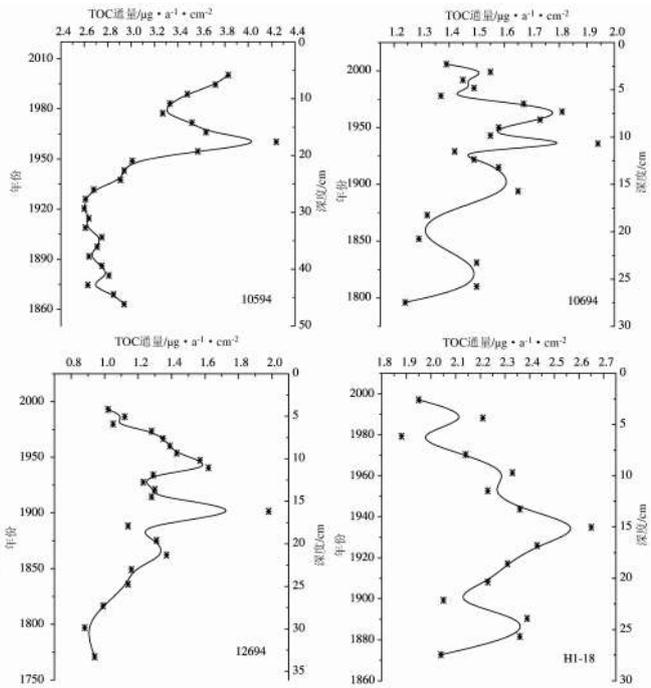


图 5 TOC 埋藏通量

Fig.5 Theburial fluxes of TOC

2.3 沉积物中有机质的来源

海洋沉积物中的有机质主要来源于海洋自生和陆源输入, 在假定海洋藻类有机质中富含大量的蛋白质, 而纤维素的含量极低, 陆生高等植物富含纤维素, 而蛋白质含量较低的基础上, 可以根据沉积物中有机质的 C/N 比来判定沉积物中有机质的来源^[12-13]; 通常认为, 新鲜藻类有机质的 C/N 在 3 ~ 8, 而来自于脉管类陆生高等植物有机质的 C/N 为 20 甚至更高, 沉积物中有机质的 C/N 在 5 ~ 20 常常被认为是受到两种物源的影响^[13]。

如图 6 所示, 位于南黄海的 10594 站位的 C/N 范围为 8.61 ~ 13.90, 平均值为 10.56, 从变化

趋势可以看出该值的分部趋势稳中有升说明陆源输入在逐年波动上升,这可能与人类的生产生活的活跃程度有关;10694 站位的 C/N 范围为 7.62 ~ 11.54,平均值为 9.31;12694 站位的 C/N 范围为 10.61 ~ 17.97,平均值为 12.61,以上两个站位处于黄海中部泥质区,故陆源输入较小且 C/N 变化趋势稳定;从南黄海各站位的 C/N 的数值可以看出其均属于混源有机质。位于长江口的 H1-18 站位 C/N 较高,范围为 25.83 ~ 46.12,平均值为 36.01,说明此站所测有机质主要来自陆源。

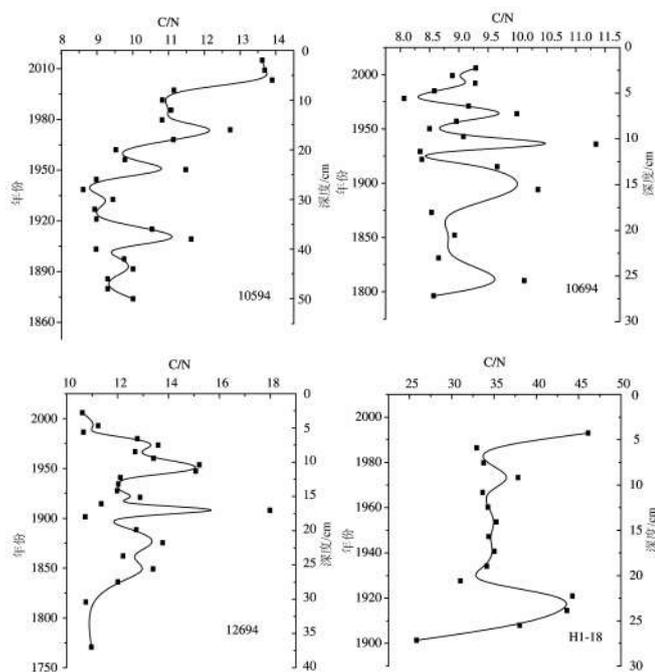


图6 柱状沉积物中有机质 C/N 比的分布特征

Fig. 6 The distributions of C/N ratios of organic matters in core sediments

10594,10694 和 12694 站位位于黄海中部泥质区,主要受黄海沿岸流与黑潮流系的影响,一般认为其陆源沉积物主要来自于现代黄河和古黄河沉积,具有水文条件稳定的特点^[9]。生源要素的埋藏通量在上个世纪 50 年代以前含量较低,可能是因为当时我国还未进入工业化时期,人类活动对海洋的影响较小,水体中初级生产力偏低,所以总体而言生源要素的埋藏通量也较低,而从 50 年代开始,我国的全面建设增加了营养元素向海洋的输入,为浮游植物的增长提供了物质基础,因而五、六十年代初期浮游植物现存量出现过一个大值^[14],进而使得更多的生源要素得以保留在沉积物中,故生源要素的埋藏通量在这一时期出现

高值;而近 50 年来,黄河入海水通量和沉积物通量都呈逐年降低的趋势,这一点与 Wang 等的研究结果一致^[15-18],故生源要素含量也相应降低。

位于长江口的 H1-18 站位处于长江冲淡水影响海域,各生源要素埋藏通量的在近年来呈逐年下降的趋势,通过对过去 150 a 来的长江径流量和沉积物入海通量的研究发现该现象与长江入海沉积物通量明显减小^[19],以及陆源稀释作用有关^[20]。

从空间的分布角度而言,TN 埋藏通量的平均值 H1-18 < 12694 < 10694 < 10594,TP 埋藏通量的平均值 12694 < 10694 < H1-18 < 10594,TOC 埋藏通量的平均值 12694 < 10694 < H1-18 < 10594,南黄海各生源要素埋藏通量的平均值均呈 12694 < 10694 < 10594 的顺序,由图 1 可以看出 12694 站位处在黑潮流系黄海暖流的强影响海域,从而造成该站位生源要素埋藏通量低且变化稳定的特点;10694 站位虽然离黑潮流系相对较远,生源要素埋藏通量平均值较高,但依然能较有效的反映水体中生产力的时间变化;10594 站位与 10694 站位的变化趋势相近,也能有效的反映水体中生产力的时间变化,但其偏离黑潮流系较大,且受黄海沿岸流的影响较强,生源要素的埋藏通量较高。H1-18 站位处于长江口的混合区域主要是长江入海径流与附近海水混合而成,因此生源要素的变化特点复杂。

3 结论

(1) 位于南黄海海域的 10594,10694,12694 站位中,生源要素(TN,TP,TOC)随着我国工业化及经济发展水平的发展在近年来有着显著的增大趋势,说明人类活动的输入可能是导致该海域生源要素增大的主要原因。而在东海海域的 H1-18 站位生源要素随着时间的推移并未出现明显的上升趋势,该现象可能与陆源输入的稀释作用有关。

(2) 10594,10694 和 12694 三个站位的生源要素的平均值随着空间顺序从近岸向离岸依次降低,其中 12694 站位中各生源要素含量较低且变化幅度小,该现象可能与黑潮流系的影响有关。H1-18 处于长江口附近海域,水文特点复杂,故各生源要素平均值的变化幅度较大。

参考文献:

[1] 朱广伟,秦伯强,高光. 太湖现代沉积物中磷的沉积通量及空

- 间差异性[J]. 海洋与湖泊, 2007, 38(4): 329-335.
- [2] 杨洪, 易朝路, 谢平, 等. 人类活动在武汉东湖沉积物中的记录[J]. 中国环境科学, 2004, 24(3): 261-264.
- [3] 舒卫先, 李世杰, 姚书春. 太湖 ZS 孔沉积记录的近 50 年来营养盐沉积通量变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(3): 67-72.
- [4] 郑丙辉, 秦延文, 孟伟, 等. 1985~2003 年渤海湾水质氮磷生源要素的历史演变趋势分析[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 494-499.
- [5] WU Y H, LÜCKE A, WANG S M. Assessment of nutrient sources and paleoproductivity during the past century in Longgan Lake, middle reaches of the Yangtze River, China[J]. Journal of Paleolimnology, 2008, 39(4): 451-462.
- [6] 张存勇, 冯秀丽. 海州湾南部近岸现代沉积速率及其沉积通量[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 478-485.
- [7] 扈传昱, 王正方, 吕海燕. 海水和海洋沉积物中总磷的测定[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(3): 48-52.
- [8] 孟宪伟, 杜德文, 刘焱光, 等. 冲绳海槽近 3.5 万 a 来陆源物质沉积通量及其对气候变化的响应[J]. 海洋学报, 2007, 29(5): 74-80.
- [9] 邢磊, 赵美训, 张海龙, 等. 二百年来黄海浮游植物群落结构变化的生物标志物记录[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2009, 39(2): 317-322.
- [10] 戴民汉, 翟惟东, 鲁中明, 等. 中国区域碳循环研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 120-130.
- [11] 戴纪翠, 宋金明, 李学刚, 等. 胶州湾沉积物中氮的地球化学特征及其环境意义[J]. 第四纪研究, 2007, 27(3): 347-356.
- [12] ST-ONGE G, HILLAIRES-MARCEL C. Isotopic constraints of sedimentary inputs and organic carbon burial rates in the Saguenay Fjord, Quebec[J]. Marine Geology, 2001, 176(1/2/3/4): 1-22.
- [13] UJIIÉ H, HATAKEYAMA Y, GU X X, et al. Upward decrease of organic C/N ratios in the Okinawa Trough cores: proxy for tracing the post-glacial retreat of the continental shore line[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 165(1/2): 129-140.
- [14] 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室. 全国海洋综合调查报告第八册[M]. 北京: 海洋出版社, 1964.
- [15] WANG H J, YANG Z S, SAITO Y, et al. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): Impacts of climate change and human activities[J]. Global and Planetary Change, 2007, 57(3/4): 331-354.
- [16] FAN H, HUANG H J. Response of coastal marine eco-environment to river fluxes into the sea: A case study of the Huanghe (Yellow) River mouth and adjacent waters[J]. Marine Environmental Research, 2008, 65(5): 378-387.
- [17] REN L L, WANG M R, LI C H, et al. Impacts of human activity on river runoff in the northern area of China[J]. Journal of Hydrology, 2002, 261(1/2/3/4): 204-217.
- [18] WANG H J, YANG Z S, SAITO Y, et al. Interannual and seasonal variation of the Huanghe (Yellow River) water discharge over the past 50 years: Connections to impacts from ENSO events and dams[J]. Global and Planetary Change, 2006, 50(3/4): 212-225.
- [19] WANG H J, YANG Z S, WANG Y, et al. Reconstruction of sediment flux from the Changjiang (Yangtze River) to the sea since the 1860s[J]. Journal of Hydrology, 2008, 349(3/4): 318-332.
- [20] 王丽莎, 石晓勇, 张传松. 东海近岸沉积物中生物硅的分布[J]. 海洋通报, 2008, 27(4): 117-120.
- [21] 朱白婢, 陈宏, 李春强, 等. 海南省红沙港海水中浮游植物现状调查[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(2): 484-485.
- [22] 韩涛生, 万莉, 许小贝. 海南陵水新村港浮游植物群落特征分析[J]. 热带生物学报, 2012, 3(2): 180-185.
- [23] 周祖光, 吴国文. 海南澄迈湾海洋生物多样性研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(3): 32-34.
- [24] 郭璐璐, 李仕平, 黄镜波, 等. 2010-2011 年海口近海岸浮游植物群落结构[J]. 海南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 26(1): 54-60.
- [25] BRAY J R, CURTIS J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. Ecological Monographs, 1957, 27(4): 325-349.
- [26] ROHLF F J. NTSYSpc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system, Version 2.1. Users Guide[M]. New York: Exeter Publication Ltd Setauket, 2000.
- [27] 陈达森, 陈波, 严金辉, 等. 琼州海峡余流场季节性变化特征[J]. 海洋湖沼通报, 2006(2): 13-17.
- [28] 郭瑾, 杨维东, 刘洁生, 等. 温度、盐度和光照对球形棕囊藻生长和产毒的影响研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(8): 1341-1346.
- [29] 龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等. 2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 5972-5985.
- [30] 廖秀丽, 陈丕茂, 马胜伟, 等. 大亚湾杨梅坑海域投礁前后浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 109-119.
- [31] RAKOCEVIC-NEDOVIC J, HOLLERT H. Phytoplankton community and chlorophyll a as trophic state indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan)[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2005, 12(3): 146-152.
- [32] 于海燕, 周斌, 胡尊英, 等. 生物监测中叶绿素 a 浓度与藻类密度的关联性研究[J]. 中国环境监测, 2009, 25(6): 40-44.

(上接第 668 页)