

文章编号: 1000-0550(2011)02-0346-08

三门湾近五十年来富营养化的沉积记录^①

杨丹¹ 沈奕红² 姚龙奎¹ 夏平¹ 杨义菊¹ 潘建明¹

(1. 国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 杭州 310012; 2. 慈溪市环境保护局 浙江宁波 315300)

摘要 沿海(特别是河口港湾)富营养化已成为当前海洋环境的一个突出问题。以人类活动影响下的典型海湾——三门湾为研究对象,对三门湾湾内(SM-3)及湾口(SM-17)沉积物柱状样品进行研究,采用²¹⁰Pb对SM-17沉积柱进行年代测定,建立年代标尺。通过对两个沉积柱多化学指标变化特征(有机碳、总氮、总磷和生物硅分布特征、生源要素的比值、生源要素的埋藏通量)同沉积柱的年代标尺有机结合,从沉积物中提取水体富营养化发生的高分辨率沉积记录,剖析了三门湾近五十年来富营养化沉积演变历史。从柱状样 TOC、TN 变化趋势来看,SM-17 和 SM-3 都大致经历了三个阶段,但 SM-17 变化趋势较明显,即自下而上呈上升趋势。SM-3 和 SM-17 沉积柱中 TOC 与 TN 和 BSi 都呈正相关,两个柱子沉积物来源都表明是陆源和海源的混合。从上世纪 50 年代初到 80 年代中期,TOC 的埋藏通量其间虽有波动,基本上变化不大;从上世纪 80 年代中期开始到本世纪初,各大指标的埋藏通量呈上升趋势;从本世纪初,TOC、TN 的埋藏通量有下降的趋势。综合分析各项环境指标,提出了三门湾近五十年来三门湾富营养化沉积环境演变经历了 3 个阶段,即人类活动干预下的自然演化阶段(建国以来到改革开放前);人类活动不断增强阶段(改革开放前夕到本世纪初);人类活动开始协调阶段(本世纪初以后)。

关键词 三门湾 富营养化 沉积记录

第一作者简介 杨丹 女 1976 年出生 硕士 工程师 地球化学 E-mail: yangdan126@126.com

中图分类号 P736 **文献标识码** A

0 引言

近年来,在人类活动的干预下,近岸海水的富营养化程度不断加剧,沿海(特别是河口港湾)富营养化已成为当前海洋环境的一个突出问题。三门湾是浙江省三大半封闭港湾之一、海域辽阔、海涂宽广、水产资源丰富,是浙江省贝类养殖和苗种培育的重要基地。但随着社会经济的发展,陆源污染物入海量的增加,三门湾海域环境面临着严重的压力,赤潮灾害(尤其在海水养殖密集区)和海洋污损事故时有发生,海洋生态环境面临着较大威胁。水体富营养化程度升高可导致初级生产力的上升,它必然会在水底沉积物中留下相应的沉积记录^[1],沉积物是各种营养物质的蓄积库。同时,沉积物在一定程度上又会向上覆水体中释放营养物质,因此,对水体富营养化具有潜在的影响。

自 20 世纪 80 年代以来,许多学者对三门湾作过不少调查研究,但所见多为综述性的文章^[2-5]、水化学要素的文章^[6-8]或潮间带调查^[9-11]等报道。研究主要停留在诸如生源要素^[6-8]、浮游生物、底栖生物

等的含量和时空分布规律上^[12-14],以水体中的研究较多,沉积柱状样的研究较少。特别是对三门湾富营养化沉积演化史未见报道。通过对沉积柱总有机碳、总氮、总磷、生物硅进行多指标的分析,提取水体富营养化发生的高分辨率沉积记录,追溯三门湾近五十年来富营养化发展演变历史。

1 样品采集与实验分析

1.1 样品采集

沉积物柱状样品于 2006 年在三门湾湾内(SM-3)及湾口(SM-17)用单管采样器采集,SM-3、SM-17 柱长分别为 50 cm、53 cm。沉积物类型为粉沙质淤泥。样品采集后现场进行分割,20 cm 以上按 2 cm 间隔分样,20 cm 以下按 3 cm 间隔分样,并冷冻保存。SM-3、SM-17 柱样分割后分别有 20、21 个样品,SM-3、SM-17 柱样所有样品作了总有机碳、总氮、总磷、生物硅分析,所有项目的分析工作在国家海洋局第二海洋研究所(国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室和国家海洋局海底科学重点实验室)两个重点实验室内完成。表 1 为三门湾柱状沉积物样

^①国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项(编号:JG200823、JG200825);国家海洋局青年海洋科学基金项目(编号:2009514)资助。
收稿日期:2009-08-25;收修改稿日期:2010-01-08

表 1 三门湾柱状沉积物样的基本参数

Table 1 Basic parameters of sediment core in Sanmen bays

站位	纬度	经度	水深/m	柱长/cm	pH	Eh/mV
SM-3	29°08'48.24"	121°40'23.71"	5	50	7.09 ~ 7.38	82.3 ~ 182.5
SM-17	28°59'51.19"	121°45'29.4"	4	53	7.19 ~ 7.69	67.3 ~ 186.2

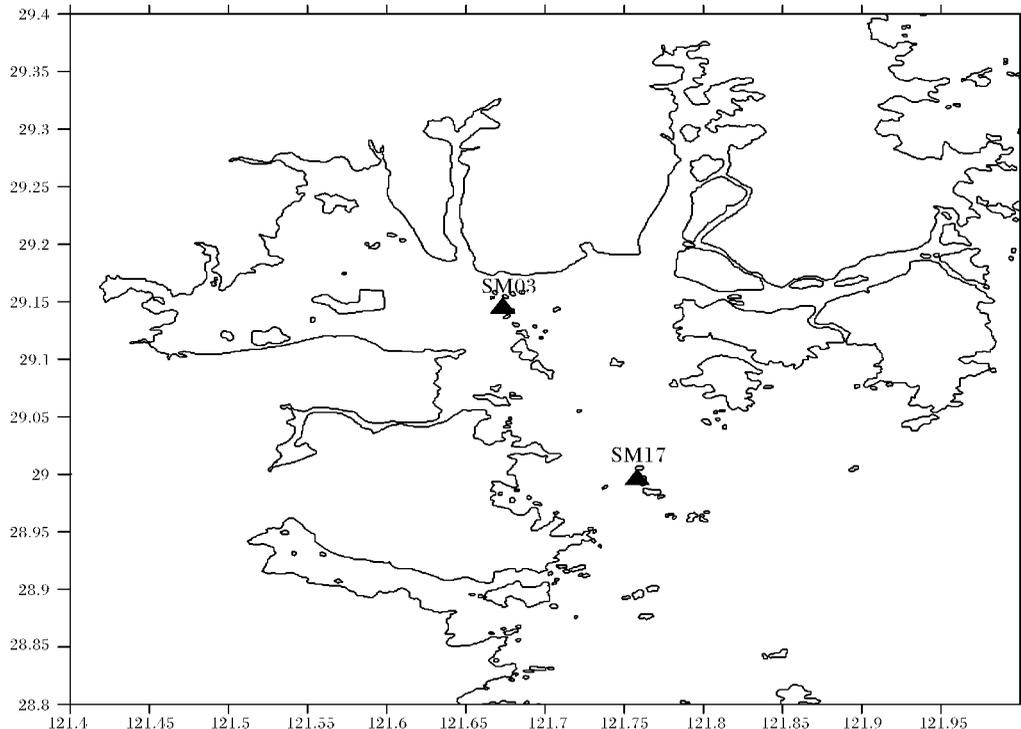


图 1 三门湾柱状沉积物样站位图

Fig. 1 Location of the study station

的基本参数,图 1 为采样站位图。

1.2 沉积年代测定

选用湾口 SM-17 沉积物柱状样进行²¹⁰Pb 年代测定。共测定了 12 个样品,根据²¹⁰Pb 测得的 SM-17 沉积柱平均沉积速率为 1.00 cm/a。这与前人研究报道比较吻合^[14-16]。图 2 为 SM-17 柱状样²¹⁰Pb 分析图。

1.3 总有机碳测定

沉积物中 TOC 分析方法按《海洋化学调查技术规范》中的重铬酸钾氧化—还原容量法来测定。

1.4 沉积物样品 TN、TP 测定

沉积物样品 TN、TP 测定按同步测定实验步骤^[17],沉积物样品消化处理后,分别采用磺胺—盐酸萘乙二胺光度法测定总氮,同时采用《海洋化学调查技术规范》中的分光光度法(磷钼蓝光度法)测定沉积物中总磷。

1.5 沉积物样品生物硅测定

采用 Mortlock 一次提取法^[18]。通过不同质量取

样量、不同浓度、不同体积提取剂,选取的最佳条件为取样量为 30 mg,提取液浓度为 0.5 mol · L⁻¹、提取液的用量为 20 mL。

2 结果和讨论

2.1 沉积柱有机碳、总氮、总磷和生源硅分布特征

2.1.1 SM-17 沉积柱有机碳、总氮、总磷和生源硅分布特征

SM-17 柱样有机碳(TOC)、总氮(TN)、总磷(TP)和生源硅(BSi)的垂向分布如图 3、4 所示。由图可知,TOC、TN、TP 和 BSi 的垂向分布特征类似,即自下而上虽有波动但大致趋势是增加的,最高值大致在表层和次表层。

SM-17 沉积柱中 TOC 含量随深度的增加呈明显的下降趋势,变化范围在 0.371% ~ 0.575% 之间,平均值为 0.466%。最高值在次表层,最低值在 25 cm,表层 TOC 的含量稍有下降。TOC 的变化趋势大致可分为三段,从 52 ~ 34 ~ 25 cm 段来看,TOC 含量最低,

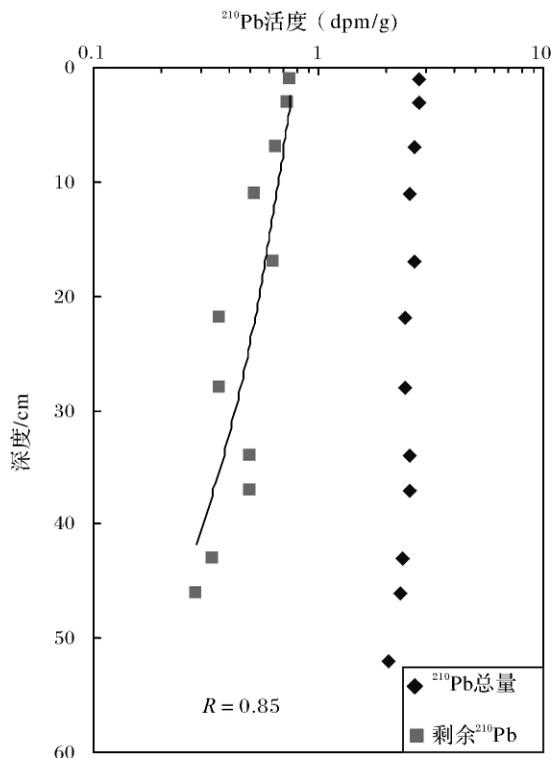


图2 SM-17 柱状样 ^{210}Pb 分析图(黑点代表 ^{210}Pb 总量, 加号代表剩余 ^{210}Pb)

Fig. 2 Dating result from ^{210}Pb for sediment Core SM-17

TOC 呈现出先增加后减少,即从 52 cm 的 0.395% 上升到 0.518% 而后再减少到 0.371%。从 25 ~ 3 cm 段看,其间虽有波动,但呈上升趋势非常明显,并在 3 cm 处达到最高。从 3 cm 以上,TOC 的含量稍有下降,表明了有机质的输入稍有下降。

SM-17 沉积柱中 TN 含量的变化趋势与 TOC 含量的变化趋势大致上呈一致性, TN 变化范围在 428 ~ 551 mg/kg 之间,平均值为 485 mg/kg。最高值在次表层,最低值在 28 cm,表层 TN 的含量稍有下降。与 TOC、TN 不同的是, TP 在整个坡面波动比较频繁,变化幅度在 106 ~ 250 mg/kg,平均值为 180 mg/kg。BSi 的含量在 0.856% ~ 1.257%,平均值在 1.057%。垂向分布波动较大在 1 cm、7 cm、15 cm、17 cm、37 cm 和 46 cm 均出现峰值,这可能与三门湾藻华现象有关。如 17 cm 处所对应的年代大约是 1987 年前后,据调查三门湾海域在 1987 年、1988 年曾发生过赤潮,分别以夜光藻、中肋骨条藻为主^[3]。又如 7 cm 处对应的年代大约是 1999 年左右,据报道 2000 年三门湾海域曾发生过赤潮^[12,13]。

2.1.2 SM-3 沉积柱有机碳、总氮、总磷和生源硅分布特征

SM-3 柱样 TOC、TN、TP 和 BSi 的垂向分布如图 4 所示。由图可知, TOC、TN、和 BSi 的垂向分布特征类似,即自下而上先减少后增加趋势。

SM-3 沉积柱中 TOC 含量变化范围在 0.382% ~ 0.642% 之间,平均值为 0.534%。最高值在 43 cm,最低值在 19 cm,表层 TOC 的含量稍有下降。TOC 的变化趋势大致可分为三段,从 49 ~ 19 cm 段来看, TOC 含量迅速减少到最低值,而且减少的幅度较大。即从 0.591% 急剧下降到 0.381%。从 19 ~ 3 cm 段看, TOC 的含量其间虽有波动,但呈上升趋势非常明显,并在 3 cm 处达到较高值 0.523%。从 3 cm 以上, TOC 的含量稍有下降,表明了有机质的输入稍有下降。

SM-3 沉积柱中 TN 含量的变化趋势与 TOC 含量的变化趋势大致上呈一致性,总氮变化范围在 306 ~ 523 mg/kg 之间,平均值为 439 mg/kg。最高值在 34 cm,最低值在 19 cm,表层 TN 的含量稍有增加。

与 TOC、TN 不同的是, TP 在整个坡面波动比较频繁,变化幅度在 129 ~ 292 mg/kg,平均值为 220 mg/kg。

BSi 的含量在 0.831% ~ 1.254%,平均值在 1.026%。垂向分布波动较大在 7 cm、15 cm、和 46 cm 均出现峰值,这可能与三门湾藻华现象有关。

2.1.3 SM-3 和 SM-17 沉积柱关系

从柱状样 TOC、TN 变化趋势来看, SM-17 和 SM-3 都大致经历了三个阶段,但 SM-17 变化趋势较明显,即自下而上呈上升趋势。从三门湾表层沉积物中总磷、总氮、总有机碳的年平均含量(图 5)^[2,3,5],从 1987 年到 2006 年来,总氮、总磷、总有机碳年平均含量呈现出先上升后降低的趋势(除总有机碳外)。总有机碳在 2006 年出现最高值,这可能是调查的站位比较少的缘故,故不能真实反映总有机碳的年际变化水平。与 1987 年平均含量相比, 2002 年总氮、总磷、总有机碳年平均含量分别升高了 45.8%、13.2%、12.3%。这与三门湾沉积柱 SM-17 各大指标(总氮、总磷、总有机碳)变化趋势一样。这进一步证明了沉积柱 SM-17 比沉积柱 SM-3 沉积环境相对较稳定。从 TOC 平均值来看, SM-3 和 SM-17 平均值分别为 0.534%、0.466%,可知, SM-3 > SM-17。这是因为 SM-17 柱样取自三门湾口,由于湾口地区水流较急,又有波浪作用的影响,水动力较强大,因此沉积物粒径比取自三门湾内 SM-3 柱样偏粗,由于粗粒径不利于有机碳的保留,而且 SM-3 柱样离三门湾下洋涂相

对较近 受陆源污染和养殖业影响较大 因而在 TOC 上表现为相对大些。虽然 SM-3 和 SM-17 站位的 TOC/TN 比值都介于水生低等植物和陆源高等植物之间,但 SM-3 C/N 比值平均值为 12,大于 SM-17 C/N 比值平均值 10,这也说明了 SM-3 受陆源影响大些。从柱状样 TN 平均值来看,SM-3 和 SM-17 的平均值分别为 439 mg/kg、485 mg/kg,SM-17 大于 SM-3,这说明了外源污染物对三门湾的污染也不忽视,由于 SM-17 比 SM-3 更易受高营养盐的江浙沿岸流的影响。从 TN 和 TOC 相关性来看,两者的变化相似,TOC 的含量越高,TN 的含量就越高。这说明 TN 与

TOC 有着类似的形成迁移机理。

2.2 生源要素的比值

在地球化学的研究中,元素的比值常被用来指示有机质的来源^[19],并且有机质都有明显的 C:N:P 值。海洋浮游植物 C/N 的平均值为 6.6:1^[20],而陆源植物由于相对缺乏氮和磷,所以软组织植物 C/N 值在 10~100 之间,木质植物的 C/N 值在 100~1000 之间。微生物也是组成沉积物中有机质的重要组成部分,其 C/N 值在 4~6 之间。由此可以看出,沉积物中海源有机质所占的比例越高,其 C/N 值就

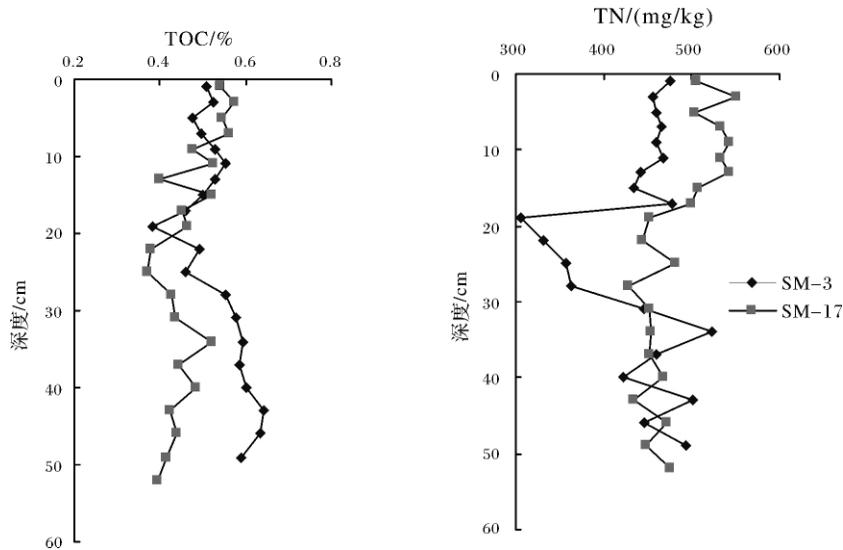


图3 SM-3 和 SM-17 TN、TOC 垂向分布图

Fig. 3 The vertical distribution of TN and TOC from sediment Core SM-3 and SM-17

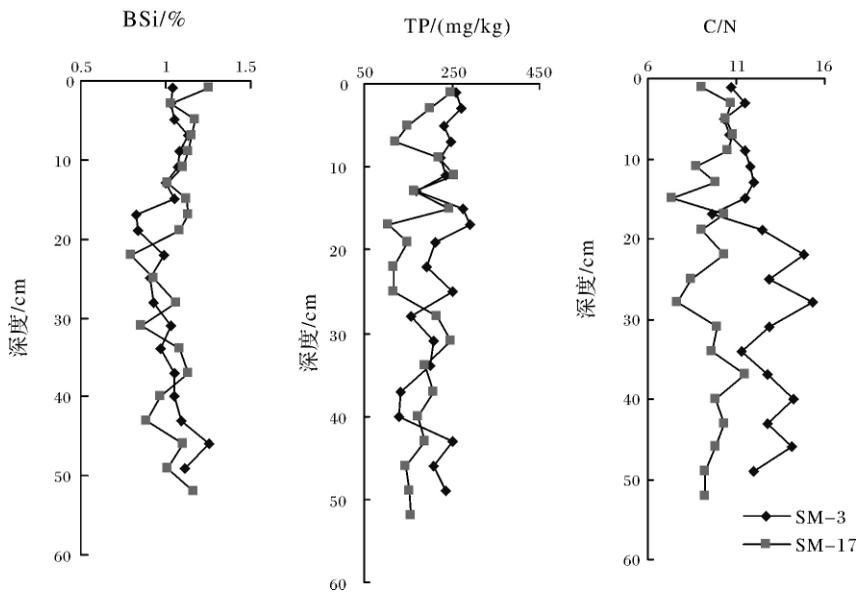


图4 SM-3 和 SM-17 BSi、TP、C/N 垂向分布图

Fig. 4 The vertical distribution of BSi, TP and C/N from SM-3 and SM-17

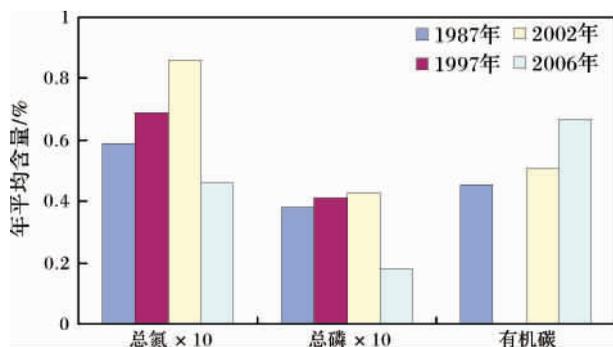


图5 三门湾表层沉积物中总氮、总磷、总有机碳的年平均含量的变化

Fig. 5 The average concentration of TN, TP, TOC of surface sediment samples from Sanmen Bay

越低。根据 C/N 值来划分有机质的来源, 该值小于 8 则为海生有机质, 大于 12 为陆源有机质^[21]。

三门湾两个柱状样沉积物的 C/N 垂向分布模式见图 4 所示, 从图中可以看出, 其 C/N 值都相对较低。SM-3 和 SM-17 站位的 C/N 比值分别平均为: 12 (10 ~ 15) 和 10 (7 ~ 11), 都介于水生低等植物和陆源高等植物之间, 显然反映了三门湾沉积物两种来源的混合。

海洋硅藻中 Si: N: P 的比例为 16: 16: 1, 如果沉积物中的 Si、N、P 都来自浮游植物, 沉积物中 Si: N: P 的比例应当接近于 16: 16: 1, 如果大于这个比例, 则说明 Si 在沉积物中积累。图 6 为三门湾两个柱状样沉积物的 Si/N、Si/P、TOC/BSi 垂向分布模式图, 可以看出各站位 BSi/TN 远远大于 1, BSi/TP 也远远大于 16, 表明三门湾沉积物中生物硅富集。

图 7 为三门湾二个沉积物柱状样中有机碳和 BSi 的相关关系图, 湾内 SM-3 和湾 SM-17 的两个站有机碳和 BSi 都明显的正相关, 表明沉积物中 BSi 对有机碳有明显的依赖关系。从三门湾沉积物中 TOC/BSi 值看, TOC/BSi 值的最大值为 0.60, 远远小于 Redfield 比值(106: 16), 这说明在相同条件下有机质的分解速率要远远大于 BSi 的溶解速率。马红波等对渤海南部沉积物的研究表明, 生源要素的分解速率依次为氮 > 磷 > 碳 > 硅^[20], 与本文利用 TOC/BSi、BSi/TN 和 BSi/TP 值得出的三门湾沉积物中有机碳、氮、磷的分解速率大于硅的结论一致, 这也说明了生物硅在三门湾沉积物中积累。

2.3 生源要素的埋藏通量

沉积物的埋藏不仅是生源要素的最终归宿, 而且也是生源要素循环的一个新起点, 因此了解究竟有多

少生源要素被埋藏就显得非常重要, 图 8 给出了三门湾沉积物中各生源要素的埋藏通量。从图中可以看出, 在 20 世纪 80 年代以前, 埋藏通量虽有波动, 但大致处于相对比较低的水平, 从 20 世纪 50 年代初到 60 年代中旬, TOC 埋藏通量从 $214 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$ 上升到 $277 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$, 这一其间, 中国农业经历了从恢复时期到调整时期快速发展的阶段, 从 20 世纪 60 年代中旬到 70 年代末, TOC 的埋藏通量从 $277 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$ 下降到 $219 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$, 这一期间, 中国社会正经历着十年的文化大革命, 从 20 世纪 80 年代开始到本世纪初, 各大指标的埋藏通量呈上升趋势。TOC 的埋藏通量从 $219 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$ 增加到 $338 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$, TN 的埋藏通量从 $24.5 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$ 增到 $27.8 \mu\text{mol/a} \cdot \text{cm}^2$ 。对应中国社会正经历着改革开放, 改革开放 20 年是中国经济快速腾飞的 20 年, 工业得到快速发展。从本世纪初, TOC、TN 的埋藏通量有下降的趋势。随着越来越多的人对环境关注, 各项治污措施和保护措施的不断完善, 城市生活污水、工农业废水得到有效的治理以及生态养殖不断推广, 人类的生产活动开始得到了有序的协调的发展, 三门湾的海域环境有变好的趋势。

2.4 三门湾富营养化过程

综合分析各项环境指标(图 2、图 3、图 4、图 5、图 6、图 7、图 8), 三门湾近五十年来得富营养化过程经历了 3 个阶段:

第一阶段: 人类活动干预下的自然演化阶段。从 SM-17 沉积柱来看, 第一阶段大致在沉积柱 53 ~ 25 cm 处, 大概的年代为建国以后至改革开放前。SM-17 沉积柱中 TOC、TN 的含量比较低。从人类活动来看, 生产力水平也比较低。

第二阶段: 人类活动不断增强阶段。从 SM-17 沉积柱来看, 第二阶段大致在沉积柱 25 ~ 3 cm 处, 大概的年代为改革开放前至本世纪初。SM-17 沉积柱中 TOC、TN 的含量增加明显。从人类活动经历看, 是改革开放 20 年, 是浙江经济不断发展与腾飞的 20 年。由此可见, 通过沉积柱各大指标以及三门湾经济的快速发展, 可以推断出三门湾处于人类活动不断增强阶段。

第三阶段: 人类活动开始协调阶段。从 SM-17 沉积柱来看, 第三阶段大致在沉积柱 3 cm 处以上, 年代为本世纪初(大概在 2003 年左右)以后。SM-17 沉积柱中 TOC、TN 的含量有降低的趋势。从人类活动经历看, 越来越多的人关注、保护环境, 说明人类的

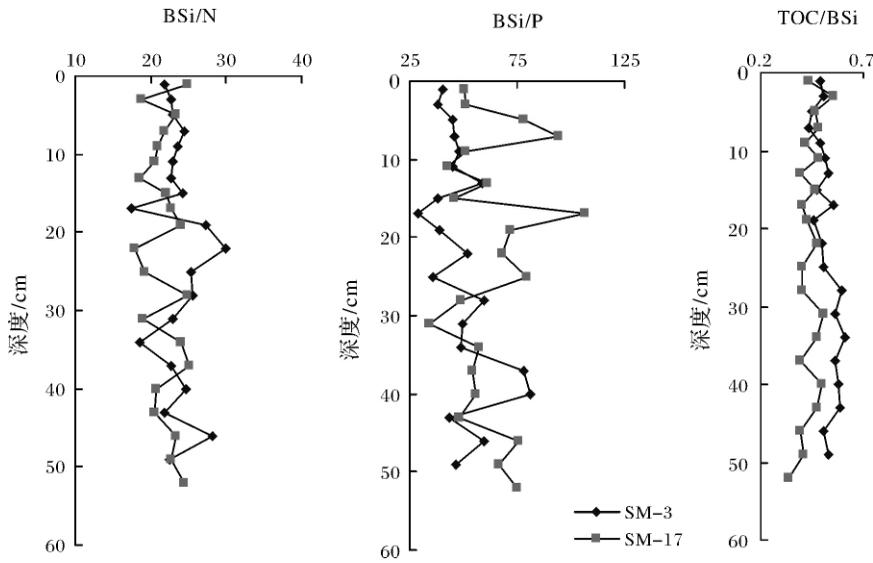


图 6 SM-3 和 SM-17 Si/N、Si/P、TOC/BSi 垂向分布模式图

Fig. 6 The vertical distribution of Si/N , Si/P and TOC/BSi from SM-3 and SM-17

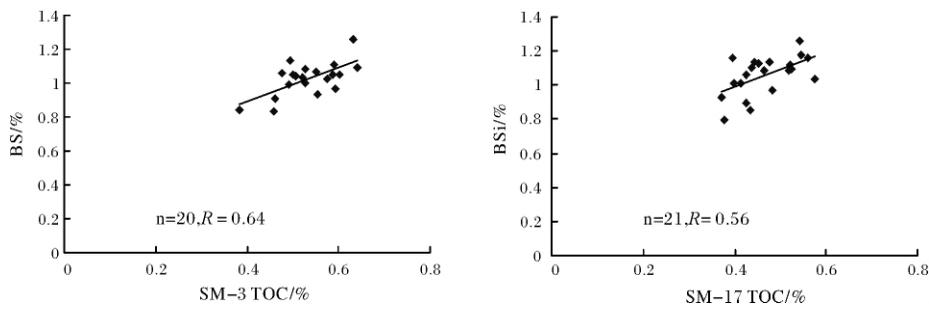


图 7 SM-3 和 SM-17 TOC 和 BSi 的相关关系图

Fig. 7 Correlation between TOC and BSi from SM-3 and SM-17

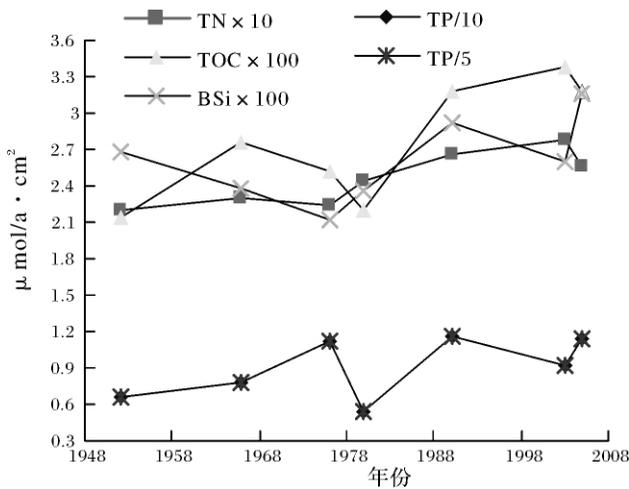


图 8 三门湾 SM-17 沉积柱状样中各生源要素的埋藏通量

Fig. 8 The burial fluxes of biogenic elements from sediment Core SM-17

经营活动进入有序的、协调的生产阶段,由此可见,通过沉积柱各大指标以及三门湾经济的协调发展,可以预测三门湾正在进入人类活动开始协调阶段。

3 结论与认识

SM-3 和 SM-17 沉积柱中 TOC 与 TN 和 BSi 都呈正相关,两个柱子沉积物来源都表明是陆源和海源的混合。

从上世纪 50 年代初到 80 年代中旬,TOC 的埋藏通量其间虽有波动,基本上变化不大。从上世纪 80 年代中旬开始到本世纪初,各大指标的埋藏通量呈上升趋势。从本世纪初,TOC、TN 的埋藏通量有下降的趋势。

三门湾的富营养化的过程可以分为三段:

第一阶段: 人类活动干预下的自然演化阶段(建国以来到改革开放前)。从沉积柱中 TOC、TN 变化

情况看以及结合当时社会情况,可以看作三门湾环境演变一个背景值。

第二阶段:人类活动不断增强阶段(改革开放前夕到本世纪初)。从沉积柱 TOC、TN 不断升高,三门湾海域富营养化态严重。

第三阶段:人类活动开始协调阶段(本世纪初以后)。从沉积柱各项指标以及各项治污措施的制定和制度的不断完善,三门湾环境质量不断改善,到本世纪初,三门湾的环境质量较第二阶段有了较大的改善。三门湾海域环境有恢复的趋势。

致献 在沉积物的采集和样品的测试过程中,刘小涯高级工程师、薛斌博士、余培松博士给予了大力协助,²¹⁰Pb 年代测试数据由钱江初高级工程师提供,在此深表感谢。

参考文献(References)

- 1 贾国东,彭平安,傅家谟. 珠江口近百年来富营养化加剧的沉积记录[J]. 第四纪研究,2002,22(2): 158-165 [Jia Guodong, Peng Pingan, Fu Jiamo. Sedimentary records of accelerated eutrophication for the last 100 years of the Pearl River estuary [J]. Quaternary Sciences, 2002, 22(2): 158-165]
- 2 浙江省海岸带和海涂资源调查办公室. 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告[R]. 北京:海洋出版社,1988:151-174 [The Investigative Office of the Coastal Zone and Tidal Land Resource in Zhejiang Province. Comprehensive Research Report on Coastal Zone and Shoals Resources in Zhejiang Province [R]. Beijing: Oceanography Publishing House, 1988: 151-174]
- 3 海湾志编委委员会. 中国海湾志(上海市和浙江省北部海湾),第五分册[M]. 北京:海洋出版社,1992:234-308 [Commission of China Bay. The Book of China Bay (Bays of Shanghai and the north of Zhejiang Province), No. 5 [M]. Beijing: Oceanography Publishing House, 1992: 234-308]
- 4 余国辉,等. 三门湾综合开发论文集[M]. 北京:海洋出版社,1992:99-106 [Yu Guohui, et al. Proceedings of comprehensive development for Sanmenwan Bay [M]. Beijing: Oceanography Publishing House, 1992: 99-106]
- 5 宁修仁,等. 乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价[M]. 北京:海洋出版社,2005 [Ning Xiuren, et al. Research and Assessment on Ecological Culture and Capacity in Bays of Yueqing and Sanmenwan [M]. Beijing: Oceanography Publishing House, 2005]
- 6 郑锡建,顾峰,吴景燕,等. 三门湾海域水化学要素的分布特征及其相互关系[J]. 海洋通报,1993,12(3): 30-36 [Zheng Xijian, Wu Jingyan, et al. Distribution patterns of hydrochemical factors and interrelationship in waters of Sanmen Bay [J]. Marine Science Bulletin, 1993, 12(3): 30-36]
- 7 施晓来,叶新荣. 三门湾蛇潘海域环境质量现状评价[J]. 东海海洋,2000,18(4): 16-21 [Shi Xiaolai, Ye Xinrong. Assessment on present environmental quality of Shepan in Sanmen Bay [J]. Donghai Marine Science, 2000, 18(4): 16-21]
- 8 王奎,金明明. 三门湾海域4、7月份营养盐分布及其稀释效应[J]. 海洋学研究,2007,25(1): 10-13 [Wang Kui, Jing Mingming. Nutrient distribution and dilution effect at the Sanmenwan Bay of the Zhejiang province, China in April and July [J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 25(1): 10-13]
- 9 范明生,邵晓阳,蔡如星,等. 象山港、三门湾潮间带生态学研究: I 种类组成与分布[J]. 东海海洋,1996,14(4): 27-34 [Fan Mingsheng, Shao Xiaoyang, Cai Ruxing, et al. Studies on intertidal zone ecology of the benthic fauna in Xiangshan Harbor and Sanmen Bay: I species composition and distribution [J]. Donghai Marine Science, 1996, 14(4): 27-34]
- 10 范明生,邵晓阳,蔡如星,等. 象山港、三门湾潮间带生态学研究: II 数量组成与分布[J]. 东海海洋,1996,14(4): 35-41 [Fan Mingsheng, Shao Xiaoyang, Cai Ruxing, et al. Studies on intertidal zone ecology of the benthic fauna in Xiangshan Harbor and Sanmen Bay: II quantities and distributions. Donghai Marine Science, 1996, 14(4): 35-41]
- 11 范明生,邵晓阳,蔡如星,等. 象山港、三门湾潮间带生态学研究: III 群落结构[J]. 东海海洋,1996,14(4): 42-47 [Fan Mingsheng, Shao Xiaoyang, Cai Ruxing, et al. Studies on intertidal zone ecology of the benthic fauna in Xiangshan Harbor and Sanmen Bay: III community structure [J]. Donghai Marine Science, 1996, 14(4): 42-47]
- 12 刘镇盛,蔡昱明,刘子琳,等. 三门湾秋季浮游植物现存量 and 初级生产力[J]. 东海海洋,2003,21(2): 30-36 [Liu Zhensheng, Cai Yuming, Liu Zilin, et al. Primary production and standing stock of the phytoplankton in the Sanmen Bay during the autumn [J]. Donghai Marine Science, 2003, 21(2): 30-36]
- 13 刘镇盛,张经. 三门湾夏季浮游植物现存量 and 初级生产力[J]. 东海海洋,2003,21(3): 24-33 [Liu Zhensheng, Zhang Jing. Primary production and standing stock of the phytoplankton in the Sanmen Bay during the autumn [J]. Donghai Marine Science, 2003, 21(3): 24-33]
- 14 张海生,陆斗定,朱小萤,等. U³⁷ 沉积地层记录: 三门湾海表温度(SST)和El Niño现象及其对大型底栖动物生命活动的影响[J]. 生态学报,2007,27(10): 4935-4943 [Zhang Haisheng, Lu Douding, Zhu Xiaoying, et al. Stratigraphic record of U³⁷: Sea surface temperature (SST) and El Niño in the effect of it on the life activity in macrobenthos communities [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(10): 4935-4943]
- 15 夏小明,谢钦春. 浙江三门湾海岸发育与持续利用[J]. 海洋通报,1996,15(4): 50-57 [Xia Xiaoming, Xie Qinchun. Coastal evolution and comprehensive development of Sanmen Wan Bay, Zhejiang province [J]. Marine Science Bulletin, 1996, 15(4): 50-57]
- 16 丁喜桂. 浙江近海海域沉积物种痕量金属地球化学特征及环境质量评价[D]. 山东青岛: 山东科技大学,2006 [Ding Xigui. Geochemical Character and environmental quality assessment for trace metal sediments of the offshore and coastal zones in Zhejiang [D]. Qingdao Shandong: Shandong University of Science and Technology, 2006]

- 17 宋金明. 中国近海沉积物—海水界面化学[M]. 北京: 海洋出版社, 1997: 1-222 [Song Jingming. China Marginal Sea Sediments-Water Interface Chemistry [M]. Beijing: Oceanography Publishing House, 1997: 1-222]
- 18 Mortlock R A, Eroelich P N. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments[J]. Deep-Sea Research, 1989, 36(9): 1415-1426
- 19 Ruttnerberg K C. C/N/P ratios and ^{13}C in arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter[J]. Marine Geology, 1997, 139: 123-145
- 20 Redfield A C, *et al.* The influence of organisms on the composition of sea water[C]//Hill M N, ed. The Sea, Vol. 2, Wiley, New York, 1963: 26-87
- 21 Bordowsky O K. Sources of organic matter in marine sediments[J]. Marine Geology, 1965, 3: 5-31
- 22 马红波, 宋金明, 吕晓霞. 渤海南部海域柱状沉积物中氮的形态与有机碳的分解[J]. 海洋学报, 2002, 24(5): 64-70 [Ma Hongbo, Song Jingming, Lü Xiaoxia. Nitrogen forms and decomposition of organic carbon in the southern Bohai Sea core sediments[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2002, 24(5): 64-70]

Sedimentary Records of Eutrophication for the Last 50 Years in Sanmen Bay

YANG Dan¹ SHEN Yi-hong² YAO Long-kui¹ XIA Ping¹ YANG Yi-ju¹ PAN Jian-ming¹

(1. Second Institute of Oceanography, SOA, Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Hangzhou 310012;

2. Environmental Protection Agency of Cixi, Ningbo Zhejiang 315300)

Abstract Estuarine and coastal eutrophication has been one of the prime environmental problems worrying the coastal countries, because of human frequent activities in the recent years. Sanmen Bay is a typical bay under the influence of human activities. On the basis of the present eutrophication analysis and combined ^{210}Pb age data, sedimentary age records is constructed. Through the organic tight combination of more chemical indexes (The vertical distribution of TOC, TN, TP and BSi; the ratios and burial fluxes of biogenic elements.) and age records from sedimentary pole and historical data, sedimentary records are extracted from the sedimentary pole, the sedimentary history of Sanmen Bay eutrophication in the past fifty years are presented. From varied trends of TOC and TN, the cores of SM-17 and SM-3 also experience approximately three stages and show an increase from bottom to top, but the former relatively more obvious than the latter. The relationship between TOC, TN and BSi in the two cores show positive correlation. Organic matter within the two cores is of aquatic and terrestrial sources deduced from the ratio of C/N. Although a few fluctuation burial flux of TOC for core SM-17 basically vary little from the early 1950s to middle 1980s. The fluxes of various indexes have also an increasing trend from the middle 1980s to early 20th century. The fluxes of TOC and TN do not increase. "three stages theory" on sedimentary history of Sanmen Bay eutrophication is put forward from comprehensive analyses of environmental indexes, namely natural evolution stage under the interference of human activities (from the establishment of the People's Republic of China to the beginning of reform and opening up); increasing stage under the interference of human activities (from the beginning of reform and opening up to early 20th century); slow coordination stage under the interference of human activities (since early 20th century).

Key words Sanmen Bay; eutrophication; sedimentary records