

U^{K37} 沉积地层记录: 三门湾海表温度 (SST) 和 EI Niño 现象及其对大型底栖动物生命活动的影响

张海生, 陆斗定, 朱小莹, 潘建明, 卢 冰, 高爱根, 武光海

(国家海洋局海洋生态系统和生物地球化学重点实验室, 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要:应用 U^{K37} 估算三门湾 (1916 ~ 2003 年) 表层海水温度, SST 波动范围在 15.97 ~ 18.00℃ 之间, 年平均为 17.03℃, 此计算值比当年实测海水全年平均温度低 3.52℃, 与秋季海水实测温度相接近。研究显示, 三门湾的 EI Niño 事件在大尺度上与东太平洋一样, 均受制于气候影响因素, 但在变化尺度上又受到地理位置和地方性气候 (季风) 的影响, 事件在形式和年代上相互对应, 但其颤动幅度远不如东太平洋强烈。同时通过比较 EI Niño 期间 (2003/2002) 和非 EI Niño 期间 (2006/2005) 大型底栖生物的群落结构变动信号、生物量、栖息密度以及物种多样性等, 研究显示三门湾若干大型底栖生物对 EI Niño 事件产生响应迹象, 若干大型底栖生物对 EI Niño 的响应主要是通过海洋环流的影响来体现生命和生态效应的, 主要表现在改变了底栖生物种类数和多样性、以及生命活动及栖息密度分布模式。在 EI Niño 影响下, 台湾暖流入侵势力加强, 2003/2002 年底栖生物群落种类数减少与海流入侵及盐度密切相关; 通过与同海域浮游动物对比研究, 三门湾海域浮游动物和底栖生物对 EI Niño 的生态响应均较大, 前者可能与三门湾海域水域较浅, 外海暖水从底部入侵改变水温 and 盐度, 直接影响底栖生物的生态环境, 致使种类数大大减少有关; 而后者由于入侵暖水强度增大, 携带大量暖水性浮游动物, 呈现出在 EI Niño 时期浮游动物种类数、生物量和丰度有偏高趋势。

关键词: 三门湾; 沉积地层记录; U^{K37} ; EI Niño 事件; 大型底栖生物群落; 浮游植物; 浮游动物

文章编号: 1000-0933(2007)12-4935-09 中图分类号: Q143, P736.4 文献标识码: A

Stratigraphic record of U^{K37} : sea surface temperature (SST) and EI Niño in the Sanmenwan bay and the effect of it on life activity in Macrobenthos communities

ZHANG Hai-Sheng, LU Dou-Ding, ZHU Xiao-Ying, PAN Jian-Ming, LU Bing, GAO Ai-Gen, WU Guang-Hai

Key Laboratory of Submarine Geoscience, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 4935 ~ 4943.

Abstract: Sea surface temperature (SST) was estimated by the index of U^{K37} of organic compounds in the Sanmen bay sediment. It fluctuated between 15.97℃ and 18.00℃ with an average of 17.03℃. The estimated SST was 3.52℃ lower than the annual average temperature measured in the same year but was close to the temperature measured in fall. The research indicated that like the climate in the Eastern Pacific Ocean, on a large scale, the climate in the Sanmen bay was similarly affected by the climate events to a different degree according to geographical location and local climate such as monsoon. Like the Eastern Pacific Ocean, in a similar way in chronological basis, the Sanmen bay responded to the climate events but in a weaker scale. By comparison of the community, biomass, inhabit density and biodiversity of macrobenthos during EI Niño (between year 2002 and 2003) and non-EI Niño (between year 2005 and 2006) periods, the research

基金项目: 国家重点基础研究专项资助项目 (2002CB412505); 浙江省自然科学基金 (Y504074) 资助项目

收稿日期: 2006-09-27; 修订日期: 2007-05-09

作者简介: 张海生 (1953 ~), 男, 浙江岱山人, 研究员, 从事海洋地球化学和古海洋生态研究. E-mail: zhangsoa@163.com

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40576003 and 40276037)

Received date: 2006-09-27; Accepted date: 2007-05-09

Biography: ZHANG Hai-Sheng, Professor, mainly engaged in geochemistry and paleoceanographical ecology. E-mail: zhangsoa@163.com

indicated that certain macrobenthos communities in the Sanmen bay responded to El Niño events by changing those biological features through oceanic circulation. During El Niño period, warm Taiwan current strongly flowed into the bay. The species of the macrobenthos community during year 2002 and 2003 correlatively reduced with the intrusive current and with the salinity change. Compared to their correspondent in adjacent seas, both the macrobenthos communities and zooplankton in the Sanmen bay responded to El Niño event more significantly. The macrobenthos community species decreased significantly because a warm water invaded into the shallow bay from the floor and thus changed the temperature and salinity in the bay. On the other hand, zooplankton species, biomass and abundance tended to increase in the period of El Niño since the invaded warm current carried abundant zooplankton.

Key Words: Sanmen bay; stratigraphic record; U^{K37} ; El Niño event; macrobenthos communities; phytoplankton; zooplankton

ENSO (El Niño-Southern Oscillation, El Niño 和南方涛动现象) 现象是大尺度海、气相互作用的产物, 是海洋中一个规模巨大的自然变异现象, 不同类型的 ENSO 已被认为是年际气候变化的最强信号。在 El Niño 生成、发展和消亡过程中, 导致世界沿海各地严重灾害 (水位上升、洪水、滑坡和雪崩、飓风、旱涝、低温冷害、风暴潮加剧, 赤潮等), 因而 El Niño 事件是全球性的^[1]。据美国国家航空航天局预测, 2002 年至 2008 年将是 El Niño 现象的多发期, 预计将发生 3 次 El Niño 现象, 赤道附近的中东太平洋海水升温是引发 El Niño 现象的“罪魁祸首”, 这一现象可引起全球范围的气候异常。我国紧邻 El Niño 发生区, 尤其浙江沿海三门湾必然会受到它的影响。

最近, 人们从多种角度对 El Niño 进行研究, 其中利用 El Niño 事件自然记录研究领域来揭示 El Niño 现象与特征, 从而使人们对 El Niño 的认识从海洋表面深入到海洋底部^[2]。海洋和大气作为一个耦合的整体系统, 是海、气相互作用研究最根本的出发点, 它们是相互联系、相互影响的有机统一体, 表层海水温度 (SST) 任何微小的变化, 都会对大气产生巨大的影响。El Niño 发生的直接效应之一是海水表层温度升高, 海洋水温异常必然会影响到海洋藻类—颗石藻 (*Emiliania huxleyi*) 及其类似种属藻类生长合成链不饱和脂肪酮 (简称: 长链烯酮), 这种生物标志化合物信息会在沉积速率高、扰动小的海域得以完整而高分辨的保存^[3]。国际上利用 U^{K37} 沉积地层记录重建历史上的 ENSO 现象, 取得许多重要成果^[4~7]。

通过沉积地层记录研究将有助于我们更深刻地了解沿海气候异常变化规律和特征, 以及我们能够或者有可能回答: 历史上的 El Niño 是否在浙江省沿海沉积地层中找到相对应的记录? 这些频频爆发的 El Niño 事件在浙江沿海海洋气候变化中的强弱响应, 以及爆发时对浙江沿海生态环境的影响到底有多大? 本文同时结合国家海洋局第二海洋研究所宁修仁教授主编 2002/2003《乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价》^[8]、对比资料 2005/2006《三门湾生态环境调查综合报告》、以及多年的生物现场观察资料的研究, 进而使得年际变动的生态响应研究成为可能。本文对目前观察到的一些三门湾海域环境年际变动生态响应方式、进行初步的分析与探讨, 为进一步的深入研究奠定基础。本研究对于海洋资源的预测和可持续利用, 具有潜在的应用前景, 同时也具有深刻的科学意义。该领域的研究, 目前我国仍是相当薄弱。

1 样品采集与分析方法

1.1 样品采集

样品采集于 1995 年 4 月三门湾核电环境调查期间, H30 岩芯样位于三门湾纬度为 $29^{\circ}13.500'$, 经度为 $121^{\circ}42.72'$, 由重力活塞采样器获得, 长度约为 160cm, 采样位置样品以密集型 1cm 间距分割子样, 以建立高分辨的地层层序记录。1997-08 / 1998-09 三门湾蛇蟠海域现场调查在 H30 附近 (6) 采集表层样品; 2002-08 / 2003-05 三门湾养殖生态和容量研究评价现场调查采集沉积物表层样 (S14), 为获得最新资料提供物质保证 (见图 1)。

带回实验室称重 (湿重)、鉴定。底栖生物样品于 2002 年 8 月、11 月, 2003 年 2 月、5 月对三门湾进行 4

个航次外业调查, 采样站位见图 1; 用 0.05m^2 HNM 型采泥器采集沉积物, 经 0.5mm 套筛冲洗, 拣出全部生物样品, 用 5% 甲醛溶液固定。

1.2 分析方法

沉积物经冷冻干燥后, 在索氏萃取中用 3:1 二氯甲烷: 架醇混合溶剂萃取 48h, 并经活性铜粉脱硫, 萃取物经旋转蒸发浓缩, 正己烷溶解后进入硅胶柱层析。二氯甲烷淋洗分离出酮类化合物, 经浓缩加入双(三甲基硅烷基)三氟乙酰胺进行硅烷化反应, 转变为三甲基硅醚衍生物(TMS-醚), 以备进行 GC 分析。

1.3 气相色谱条件

气相色谱分析采用 HP5890 气相色谱仪, 弹性石英毛细管柱 (DB-5, $30\text{m} \times 0.25\text{mm}$), 程序升温: 以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度从 80°C 升至 280°C , 然后以 $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度升至 300°C 。根据气相色谱保留时间和文献报道图谱对比确定化合物。

1.4 质谱条件

气相色谱-质谱分析仪为 Finnigan-MATTSO 70BGC-MS-MS, 色谱柱为弹性石英毛细管柱 ($30\text{m} \times 0.25\text{mm}$, DB-1 涂层); $120 \sim 300^\circ\text{C}$ 程序升温, 升温速度为 $3^\circ\text{C}/\text{min}$, 离子电压 70eV , 电流 $200\mu\text{A}$ 。

1.5 底栖生物鉴定

海上取样, 室内样品分析、计算和资料整理均按《海洋监测规范(GB17378.7-1998)》进行。物种多样性指数 (H') 采用 Shannon-Weaver 公式计算, 均匀度 (J') 采用 Pielou 公式计算。

1.6 H30 柱样地层年代标定

^{210}Pb 是天然放射性 U-Th 系的一个子体, 具有 22.3a 半衰期, 是百年尺度测年的一个极好的核素, 现被广泛应用于海洋沉积物的测年^[9,10]。取 12 个层段样品, 采用 ^{210}Pb 方法进行测年, 根据 ^{210}Pb 剩余比活度(时间跨度为 1820 ~ 1995 年), 大多层位沉积速率为 1.0cm/a (图 4), 为高分辨率的气候研究提供保证(样品分割间距为 1.0cm , 结合在该研究区域 1997/1998 年, 2002/2003 年所采集的表层样, 使研究工作从历史上的时间和近期时间上相衔接, 为高分辨率的气候研究提供了进一步的保证。

2 结果与讨论

2.1 H30 柱样记录的 U_{37}^K 与海水表层温度

一系列的研究结果表明: 颗石藻以及类似种属藻类的烯酮化合物不饱和指数 $U_{37}^K = C_{37.2} / (C_{37.2} + C_{37.3})$ 与表层海水温度(SS)之间有唯一确定的关系, 其分辨率可达到年际(为 $1 \sim 1000\text{a}$), 温度分辨率为(为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$)^[11,12], 因而 U_{37}^K 可以直接识别 El Niño 现象引起的海水温度异常^[13]。同时不饱和指数与烯酮化合物总丰度无关, 也不随沉积物中有机质的溶解作用和成岩作用而改变, 其古温度信息能经受长期的生物和化学作用的破坏, 较完整保存在海洋沉积物中。最近产生最有效的两种 U_{37}^K -SST 校正公式之一: 南海 U_{37}^K 校正公式 $U_{37}^K = 0.031\text{SST} + 0.092$, 是 Pelejero 对南海岩芯顶部沉积物中 U_{37}^K 进行校正, 表现了它与年平均($0 \sim 30\text{m}$) SS 一个显著的线性关系($R = 0.926$)^[14]。本次研究 H30 岩芯样, U_{37}^K 波动范围在 $0.587 \sim 0.653$ 之间(见表 2)。

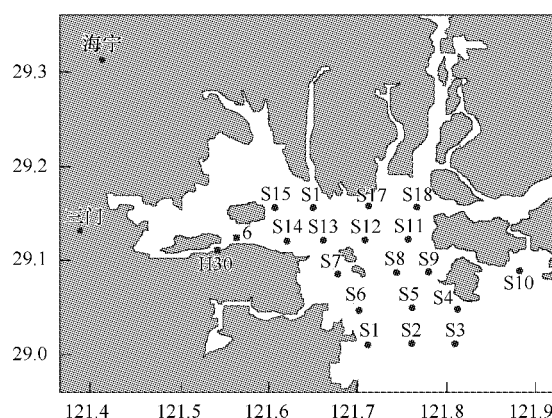


图 1 三门湾采样站位图

Fig. 1 Location of sampling sites in Sanmenwan bay

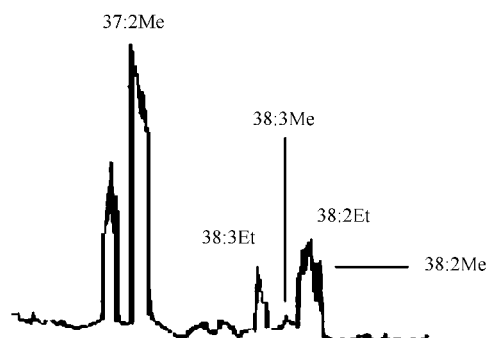


图 2 烯酮化合物气相色谱图

Fig. 2 A chromatography of alkenones

三门湾 H30 柱样(本次研究重点在 0~72.5cm)应用南海公式获得 U_{37}^K 估算三门湾表层温度 SST 波动在 15.97~18.00℃之间,平均为 17.03℃(见表 2)。本海湾实测年平均温度为 20.55℃(春季 19.21~23.57℃;夏季 27.21~29.74℃;秋季 17.21~18.14℃;冬季 9.47~10.75℃^[10]),此计算值(全年平均)比现在的全年平均温度低 3.52℃;与秋季海水温度相接近,因而可认为该区 U_{37}^K 指标可能适应的时间范围是秋季表层海水温度。

2.2 U_{37}^K 估算表层海水温度与 EI Niño 联系

由表 1 和图 5 可知,1950~2003 年共发生 15 次 EI Niño 事件,1950~1980 为 EI Niño 中等发生期,全球出现微弱中等程度的升温;1980~1998 年为 EI Niño 频繁出现期,此期间全球气温明显升温。从总体上看,在 EI Niño 事件发生的当年(开始年)沉积记录中的 U_{37}^K -SST 估算的表层温度变化不大,次年(结束年)海水温度上升较明显,变化范围在 0.1~0.58℃;到 EI Niño 结束的下一年海水表层温度下降,其幅度要比上升时大些,个别层段有例外,这也可能因为样品切割间距比 EI Niño 信号宽些或窄些。

对 EI Niño 事件的强度与三门湾海水表层温度之间的关系进行初步分析,就总的 EI Niño 年份来看,EI Niño 事件对三门湾海水表层温度的影响远没有赤道东太平洋显著,但就 H30 柱样记录的具体 EI Niño 事件的强度来看,H30 地层记录的 2003/2002、1998/1997 年与 1983/1982 年的 EI Niño 事件温度各升高 0.31、0.52℃和 0.39℃,2003/2002 年、1998/1997 年与 1983/1982 年的 EI Niño 事件均是 20 世纪有记录以来较强和中强的三次暖事件,三门湾地层同期记录的表层海水的升高与这 3 次 EI Niño 事件有很大联系。研究结果反映了远离大洋的三门湾海域沉积物地层清晰记录了赤道太平洋地区的 EI Niño 现象,太平洋海温的异常会直接影响到东亚地区的环流和天气,全球气候相互作用及其遥相关结构的存在^[15,16],事件在形式和年代上相互对应,但其颤动幅度不如东太平洋强烈。

2.3 大型底栖生物对 EI Niño(2002/2003)的生态响应

EI Niño 事件(2003/2002)在 2002 年 5 月爆发,4 月份 Niño3 区的海表温度距平(SST_A)为 0.16℃、5 月为 0.19℃、到 6 月升为 0.68℃,SOI 从 4~6 月份南方涛动指数分别在 -0.4、-1.2、-0.7,总趋势与暖位一致;在 11 月达到峰值,2002 年 12 月份 Niño3 区位 1.41℃,热带大气、海洋状况仍为 EI Niño 盛期,2003 年 1 月迅速减弱,下降 0.76℃,2 月份 NINO 3 海温指数降为 0.5,下降值 0.33℃,这次 EI Niño 在 2003 年 3 月结束。

2.3.1 大型底栖生物的群落结构和生命活动

底栖生物的生存、发展、分布和数量变动除与水温、盐度、营养条件有密切关系外,受海流的影响也很明显,可作为环境转变及受气候影响的生物指标^[17,18]。三门湾海域在 2002 年 8 月和 11 月、2003 年 2 月和 5 月共鉴定出底栖生物 92 种,其中多毛类 38 种,软体动物 31 种,两者占总数 75%;甲壳类动物 12 种、棘皮动物 6

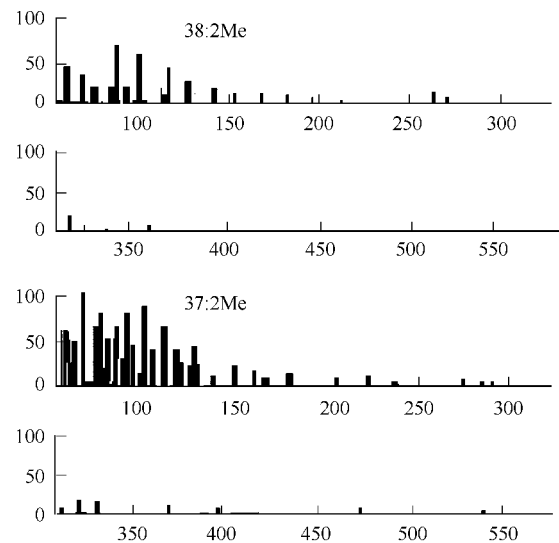


图 3 烯酮化合物质谱

Fig. 3 A mass spectrum of alkenones

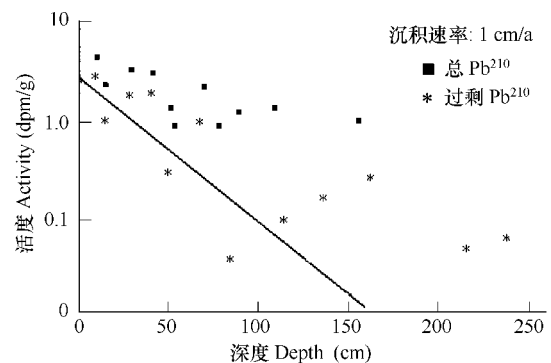


图 4 三门湾 H30 柱样 ^{210}Pb 比活度垂向分布 (H30 柱样 ^{210}Pb 测定由国家海洋局第二海洋研究所工程中心提供)

Fig. 4 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ activity in core samples from Sanmenwan bay

接表 1

种,其它类动物 5 种^[10](表 6)。由表 3 可见 EI Niño 时期(2003/2002)的三门湾大型底栖生物群落种类数与非 EI Niño 时期(2006/2005)比较显著减少,2005/2006 年三门湾生态环境调查中,共鉴定底栖生物为 161 种,软体动物 53 种,居首位,多毛类 41 种,甲壳类动物 36 种,其它类动物 27 种核棘皮动物 4 种,与 2005/2006 年相比整整减少了 69 种,以及生物量和栖息密度存在显著的差异。这样大的差异一定与 EI Niño 有关系(这两次参与调查的人员、采样方法和区域、使用仪器一致)。

图 6(a,b)是 EI Niño 年份(2003/2002 年)三门湾大型底栖生物年均生物量为 $24.69 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,平均栖息密度为 $169 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;图 6(c,d)是非 EI Niño 年份(2006/2005 年)三门湾大型底栖生物年均生物量为 $26.78 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,平均栖息密度为 $98 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2003/2002 年份三门湾大型底栖生物与 2006/2005 年份对比,2003/2002 年份生物量、生命活动及栖息密度相对集中在湾顶,而 2006/2005 年份底栖生物分布较均匀。

2.3.2 底栖生物栖息密度分布模式及其与浮游动物对比

由表 3 还可见,三门湾 2002 年 8 月底栖生物平均生物量为 $11.28 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、平均栖息密度为 $173 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2002 年 11 月底栖生物平均生物量为 $31.62 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、平均栖息密度为 $117 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2003 年 2 月底栖生物平均生物量为 $14.69 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、平均栖息密度为 $169 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2003 年 5 月底栖生物平均生物量为 $41.07 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、平均栖息密度为 $284 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从连续站实测盐度底层平均

为 29.66(最高盐度 30.50),中层 29.58,表层 29.43,显示了外海高盐海水从底层进入三门湾海域,在 EI Niño 影响下,使外海暖流更活跃——台湾暖流入侵势力加强^[17],水体的盐度和海流流速对底栖生物产生影响,盐度过高过低都会导致底栖生物群落死亡^[18],2003/2002 年底栖生物群落种类数减少与海流密切相关。

对比浮游动物种类数和丰度,2003/2002 年浮游动物种类数、生物量和丰度无疑与外海暖流势力明显加强、丰水期浙江沿岸流的势力也有所增强,因而形成了浮游动物种类数的变化范围扩大,这一时段暖水性外海种——驼背隆哲水蚤优势种突出^[10];若干浮游动物对 EI Niño 的响应主要是通过海洋环流的影响来体现生态效应的^[20],温度退居次要位置,这个证据来自 2006/2005 年 4 次调查,2005 年在没有 EI Niño 的情况下,地球表面温度就达到历史最高水平,2005 年的全球平均气温约为 14.6 摄氏度,比之前最炎热的 1998 年还要高出 0.04 摄氏度,但三门湾当年浮游动物夏秋的生物量和丰度远低于 2002 年,因而表明,导致浮游动物一年四季的生物量和丰度的变化主要受控于温度和海流;而导致 EI Niño 时期(2003/2002)浮游动物生物量和丰度的变化,最主要是海流。

底栖生物组合结构、生命活动与海湾所处位置的海流影响关系密切,2003/2002 年生物量最高 $36.74 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 在湾中部 > 其次 $28.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 在湾顶 > $14.39 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 河口 > 最低 $7.03 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 在湾口;栖息密度最大 $226.0 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 在湾顶 > 其次 $130 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $119.0 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 在河口和湾中部 > 最低 $71.0 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 在湾口;三门湾大型低栖生物栖息密度分布不均匀,稳定性较差,全年生命活动最高密度在湾顶,低密度在湾口,由湾口向

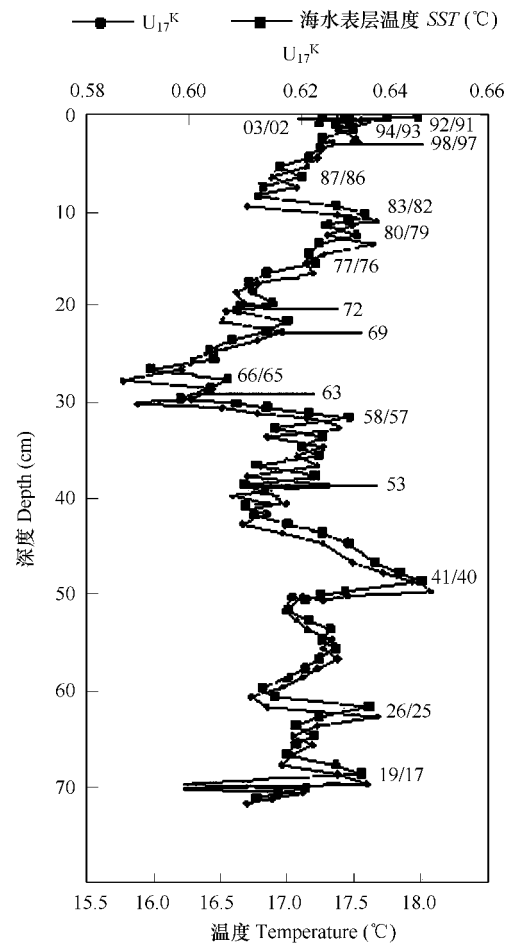


图 5 沉积地层记录的 U_{17}^{K37} 、SST 与 EI Niño 事件的关系

Fig. 5 Stratigraphic record of a connection between U_{17}^{K37} , SST and EI Niño

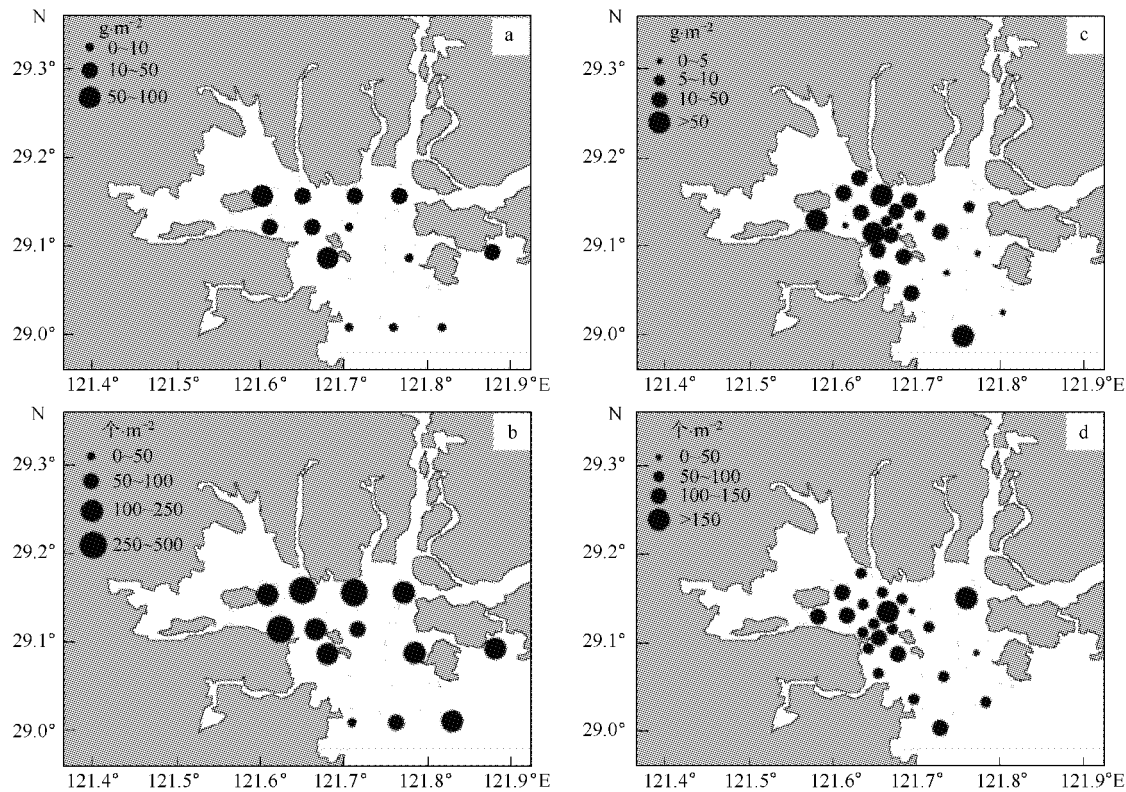


图 6 2003/2002 年和 2006/2005 年三门湾大型底栖生物量、栖息密度

Fig.6 Biomass and abundance of macrobenthos communities in Sanmenwan bay(2003/2002 and 2006/2005)

a: 2003/2002 年生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$); b: 2003/2002 年栖息密度($\text{No}\cdot\text{m}^{-2}$); c: 2006/2005 年生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$); d: 2006/2005 栖息密度($\text{No}\cdot\text{m}^{-2}$)

表 3 EI Niño 时期(2003/2002)的三门湾大型底栖生物、浮游动物与非 EI Niño 时期(2006/2005)比较

Table 3 macrobenthos and zooplankton was compared both in period of EI Niño and non-EI Niño

项目 Item	EI Niño 时期(2003/2002) EI Niño Period(2003/2002)				非 EI Niño 时期(2006/2005) Non-EI Niño Period(2006/2005)			
	2002 /8	2002 /11	2003 /2	2003 /5	2002 /8	2002 /11	2003 /2	2003 /5
大型底栖生物栖息密度($\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$)和生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) Macrobenthos inhabitant density($\text{No}\cdot\text{m}^{-2}$) and biomass($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)								
种类数 Species amount(No.)	38	35	34	44	89	89	73	58
生物量 Bio-mass	11.28	31.62	24.69	41.07	28.81	14.79	42.59	20.94
平均栖息密度 Averageinhabitant density	173.0	117.0	169.0	284.0	103	87	119	81
多样性 Diversity			0.99	3.17	2.20	1.92	2.16	2.24
浮游动物生物量($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)和丰度($\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$) Zooplankton bio-mass($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) and abundance($\text{No}\cdot\text{m}^{-3}$)								
种类数 Species amount(No.)	89	37	15	48	66	53	26	40
生物量 Biomass	378.31	138.20	36.98	133.31	147.5	123.7	38.7	94.3
丰度 Abundance	383.68	63.37	46.85	153.28	172.1	76.9	15.5	147.4
表层盐度 Surface salinity	29.43		26.20		26.49		26.11	
中层盐度 Middle salinity	29.56		26.20		26.93		26.32	
底层盐度 Bottom salinity	29.66		26.21		27.29		26.12	

湾内延伸生物密度呈增大趋势。

物种多样性统计显示^[19]多样性值(H')最高(3.17)在2003年5月,最低在2月,全年物种多样性(H')最高2.35在湾中部>其次2.31、2.14在河口和湾顶>最低1.79在湾口;均匀度统计显示范围在0.78~0.91,湾顶均匀度(J')略低于其它区域。

3 认识与结论

(1)应用 U^{K37} 估算三门湾(1916~2003年)表层海水温度SST波动在15.97~18.00℃之间,年平均为17.03℃,此计算值比现在海水全年平均温度低3.52℃,与秋季海水温度相接近。研究表明,三门湾的气候事件在大尺度上与东太平洋一样,均受制于气候影响因素,但在变化尺度上又受到地理位置和地方性气候(尤其是季风环流)的影响,事件在形式和年代上相互对应,但其颤动幅度远不如东太平洋强烈。

(2)三门湾在EI Niño期间,若干底栖生物对EI Niño的响应主要是通过海洋环流的影响来体现生命和生态效应的,主要表现在改变了底栖生物种类数和多样性、以及生命活动及栖息密度分布模式。在EI Niño影响下,使外海暖流更活跃——台湾暖流入侵势力加强,2003/2002年底栖生物群落种类数减少与海流密切相关。以上研究显示出,三门湾海域底栖生物和浮游动物对EI Niño的生态响应较大,前者可能与三门湾海域水域较浅,外海暖水从底部入侵,直接影响底栖生物的生态环境,致使种类数减少;而后者由于入侵暖水强度增大,携带大量暖水性浮游动物,呈现出在EI Niño时期浮游动物种类数、生物量和丰度偏高的趋势。

References:

- [1] Wang R Y. El Nino'S Formation, effect and some measures to control it. *Journal of Henan University*, 2001, 30(4): 78—81.
- [2] Mecaaffrey M A, *et al.* The organic geochemistry of peru margin surface sediments: I A comparison of the C_{37} alkenone and historical Ei Nino records. *Geochim Cosmochim Acta*, 1990, 54(6): 1671—1682.
- [3] Barber R, Chavez F P. Biological consequences of Ei Nino. *Science*, 1983, 222(4629): 1203—1210.
- [4] Brassell S C, *et al.* Molecular stratingraphy: A new tool for climatic assessment. *Nature*, 1986, 320(6058): 129—133.
- [5] PrahI F G, Wakeham S G. Calibration of unsaturation patterns in Long-chain ketone compositions for palaeotemperature assessment. *Nature*, 1987(6146), 330: 367—369.
- [6] Kennedy J A, *et al.* Molecular records of 20th century Ei Nino events in laminated sediments from the santa Barbara Basin. *Nature*, 1992, 357(6373): 62—64.
- [7] Kennedy J A, Brassell S C. Molecular stragraphy of the santa Barbara basin: comparison with historical records of annual climate change. *Org Geochem*, 1992, 19(1-3): 235—244.
- [8] Ning X R. Theresearch and evaluation of cultural ecology and Carrying capacity in Sanmengwan Bay. Beijing: China Ocean Press, 168—177.
- [9] Benoit G, Hemond H F. Evidence for diffusive redistribution of ^{210}Pb in lake sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55(10): 1963—1975.
- [10] Nijampurkar V N, RAO D K. Polar fallout radionuclides ^{32}Si , ^7Be and ^{210}Pb and past accumulation rate of ice at Italian station, Dakshin Gangotri, East Antarctic. *Environ Radioactivity*, 1993, 21(1): 107—117.
- [11] Muller P J, Kirst G, Ruhland G, *et al.* Calibration of the alkenone paleotemperature index U^{K37} based on core-tops from the eastern South Atlantic and the global ocean (60°N — 60°S). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1998, 62(10): 1757—1772.
- [12] Pelejero C, GRIMALT J O, HEILIG S, *et al.* High-resolution U^{K37} , temperature reconstruction in the South China Sea over the past 220 kye. *Paleochemistry*, 1999, 14(2): 224—231.
- [13] Wang Y F, Kiyotoshi Takahashi. Decadal climate variability of rainfall around the middle and lower reaches of Yangtze River and atmosoheric circulation. *Journal of Tropical Meteorology*, 2005, 21(4): 351—359.
- [14] Feng L H. Study on main characteristics of flood in Zhejiang Province. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(2): 89—92.
- [15] Chen M R, Shi S H, Sheng H M. The sea surface temperature in Changjiang Estuary and its relationship with the EI Niño event. *Marine Forecasts*, 2005, 22(1): 80—85.

- [16] Guang F T, Han Y P, Que W G. A preliminary study on Habitat and growth of *Musculus senhousei*. *Journal of Fisheries of China*, 1989, (13) 3: 181 – 188.
- [17] Shen G Y, Shi B Z. *Marine Ecology*. Beijing: Sciences Press, 2002
- [18] Hong H S, Shang S L, Zhang C Y. Evidence of ecosystem response to the interannual environmental variability in the Taiwan strait. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27 (2): 63 – 69.

参考文献:

- [1] 王若禹. 厄尔尼诺得成因、影响及防范措施. *河南大学学报*, 2000, 30(4): 78 ~ 81.
- [8] 宁修仁. 乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价. 北京: 海洋出版社, 168 ~ 177.
- [13] 王亚非, 高桥清利. 长江中下游降水以及东亚夏季风环流的年代际变化. *热带气象学报*, 2005, 21(4): 351 ~ 358.
- [14] 冯利华. 浙江洪水的主要特征分析. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(2): 89 ~ 92.
- [15] 陈美榕, 石少华, 沈红梅. 长江口海域海水表层温度与厄尔尼诺事件的关系. *海洋预报*, 2005, 22(1): 80 ~ 86.
- [16] 关福田, 韩一萍, 曲维功. 寻氏肌蛤生境及生长的初步研究. *水产学报*, 1989, (13)3: 181 ~ 188.
- [17] 沈国英, 施并章. *海洋生态学*. 北京: 科学出版社, 2002.
- [18] 洪华生, 商少凌, 张彩云, 等. 台湾海峡生态系统对海洋环境年际变动的响应分析. *海洋学报*, 2005(2), 27: 63 ~ 69.

表1 三门湾 H30 柱样(以及 05 站、S14 表层样) U_{37}^K - SST 和 EI Niño

Table 1 U_{37}^K - SST and EI Niño events was record with the core sample H30 from the sammenwan bay

深度 (cm)	年份 Year (a)	U_{37}^K	SST(℃)	深度 (cm)	年份 Year (a)	U_{37}^K	SST(℃)	深度 (cm)	年份 Year (a)	U_{37}^K	SST(℃)	深度 (cm)	年份 Year (a)	U_{37}^K	SST(℃)
0.5	2003**	0.638	17.61	15.5	1978	0.624	17.16	33.5	1957*	0.616	16.90	52.5	1936	0.622	17.10
0.5	2002*	0.629	17.32	16.5	1977**	0.619	17.00	34.5	1956	0.615	16.87	53.5	1935	0.624	17.16
0.5	1998**	0.645	17.84	17.5	1976*	0.617	16.94	35.5	1955	0.603	16.48	54.5	1934	0.629	17.32
0.5	1997*	0.629	17.32	18.5	1975	0.613	16.81	36.5	1954	0.604	16.52	55.5	1933	0.627	17.26
0.5	1995	0.627	17.26	19.5	1974	0.611	16.74	37.5	1953*	0.612	16.77	56.5	1932*	0.630	17.35
1.0	1994	0.633	17.45	20.0	1973	0.616	16.90	38.5	1952	0.606	16.58	57.5	1931	0.626	17.23
1.5	1993*	0.630	17.35	20.5	1972*	0.608	16.65	39.5	1951*	0.609	16.68	58.5	1930	0.623	17.13
2.5	1992**	0.634	17.48	21.5	1971	0.607	16.61	40.5	1950	0.616	16.90	59.5	1929	0.619	17.00
3.5	1991*	0.627	17.26	22.5	1970	0.619	17.00	41.0	1949	0.619	17.00	60.5	1928	0.613	16.81
4.5	1990	0.626	17.23	23.5	1969*	0.626	17.23	41.5	1948	0.616	16.90	61.5	1927	0.616	16.90
5.5	1989	0.624	17.16	24.5	1968	0.606	16.58	42.5	1947	0.611	16.74	62.5	1926**	0.629	17.32
6.5	1988	0.617	16.94	25.5	1967	0.601	16.42	43.5	1946	0.619	17.00	63.5	1925*	0.626	17.23
7.5	1987**	0.622	17.10	26.5	1966**	0.602	16.45	44.5	1945	0.618	16.97	64.5	1924	0.621	17.06
8.5	1986*	0.613	16.81	27.5	1965*	0.605	16.55	46.5	1944	0.627	17.26	65.5	1923	0.625	17.19
9.5	1985	0.612	16.77	28.5	1964	0.587	15.97	47.5	1943*	0.639	17.65	66.5	1922	0.621	17.06
10.5	1984	0.630	17.35	29.5	1963*	0.601	16.42	48.5	1942	0.639	17.65	67.5	1921	0.619	17.00
11.0	1983**	0.642	17.74	30.0	1962	0.594	16.19	49.5	1941**	0.650	18.00	68.5	1920	0.621	17.06
11.5	1982*	0.630	17.35	30.5	1961	0.607	16.61	50.0	1940*	0.632	17.42	69.5	1919**	0.627	17.26
12.5	1981	0.628	17.29	31.0	1960	0.614	16.84	50.5	1939*	0.627	17.26	70.0	1918*	0.594	16.19
13.5	1980**	0.629	17.32	31.5	1959	0.624	17.16	50.0	1938	0.623	17.13	70.5	1917*	0.623	17.13
14.5	1979*	0.623	17.13	32.5	1958**	0.625	17.19	51.5	1937	0.620	17.03	71.0	1916	0.617	16.94

*公认该年含有 6 各月以上的 EI Niño, 也为起始年; ** 为 EI Niño 年结束年; # 为 La Niña 年 * 代表的是起始年, ** 代表的是结束年, # 代表的是 La Niña 年