

台湾海峡生态系统对海洋环境年际变动的响应分析

洪华生¹, 商少凌¹, 张彩云^{1,2}, 黄邦钦¹, 胡建宇^{1,2}, 黄加祺², 卢振彬³

(1. 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 海洋学系, 福建 厦门 361005; 3. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361012)

摘要:通过比较 1985~2001 年的海表温度与其间收集的现场营养盐、浮游植物和浮游动物丰度及群落结构变动信号, 以及 1971~1998 年的中上层鱼类渔获量变动信息, 发现了台湾海峡生态系统对物理环境年际变动产生的响应迹象。1997 年夏季台湾海峡处于偏冷状态, 南部近岸上升流强度减弱; 1997 年冬季正值一个较强的暖事件发展到顶峰, 北上入侵暖水强度增强、浙闽沿岸冷水强度减弱。导致这两个时期营养盐分布特征改变, 发生了一系列从浮游植物到浮游动物, 从生物量到群落结构的异常响应, 暖水性中上层鱼类渔获量则似乎呈现出 El Niño 年偏高的趋势。根据有限的辅助证据推测, El Niño 很可能不是控制台湾海峡海洋环境年际变动的强信号, 而台湾海峡的气候-海洋-生态长期低频变动可能更多地受到东亚季风-中国边缘海系统的控制。

关键词:年际变动; 生态响应; 上升流; 季风; El Niño; 台湾海峡

中图分类号: Q141 文献标识码: A 文章编号: 0253-4193(2005)02-0063-07

1 引言

对世界上各大海区及一些中尺度的上升流区, 人们通过比较气候、海洋和生物上的变动信号的强弱、频度, 已经清楚地认识到气候-海洋变动的生态响应, 它不仅包括全球持续变暖所导致的生态后果, 也包括与 ENSO 或 NAO (North Atlantic Oscillation) 相关联的生态响应现象, 即体现在年际尺度上也体现在年代际的变化上^[1-5]。历来备受海洋学家们关注的受季风驱动的上升流区, 季风的变动将引起一系列的从海洋环境到生态系统结构和功能的显著变动, 故季风作用下的上升流区是气候-海洋变动生态响应的敏感区域, 因此 IGBP 许多重大的研究计划, 如 JGOFS, SOLAS 和正在推动的 IMBER 计划都将上升流区列为研究中的“热点”(hot-spot) 区域。深入研究上升流区生态系统对海洋环境年际

变动的响应方式、动力过程和调控机制, 不仅具有深刻的科学意义, 同时对于海洋资源的预测和可持续利用, 也具有潜在的应用前景。该领域的研究, 目前在我国仍是相当薄弱的。

位处东海和南海之间的台湾海峡(见图 1), 在季风控制下不同性质的海流自东海和南海进入, 冬季东北季风驱使低温的浙闽沿岸水自东海南下, 同时还有一支暖水自南海北部北上; 夏季西南季风驱动暖水自南海北上。在夏季风及地形的作用下, 形成沿岸上升流和浅滩上升流^[6]。海流交汇、锋面发育, 使得台湾海峡成为我国近海的重要渔场之一。从 1987 年开始, 在国家自然科学基金的滚动支持下, 本研究组对台湾海峡开展了一系列综合性的调查研究, 在上升流区的分布、营养盐的补充与循环、初级生产力的调控因子、微食物环在生源有机碳转换过程中的作用等几个关键问题上取得了创新的认

收稿日期: 2003-12-01; 修订日期: 2005-01-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49636220, 49906008, 40331004).

作者简介: 洪华生(1945—), 女, 福建省厦门市人, 教授, 博士, 博导, 从事海洋生物地球化学与生态系统的相互作用研究。E-mail: hshong@xmu.edu.cn.

识^[6-8]. 多年积累的现场观测数据与时序列海洋遥感数据结合, 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台湾海峡海洋环境年际变动生态响应进行了初步的分析与探讨, 为进一步的深入研究奠定了基础.

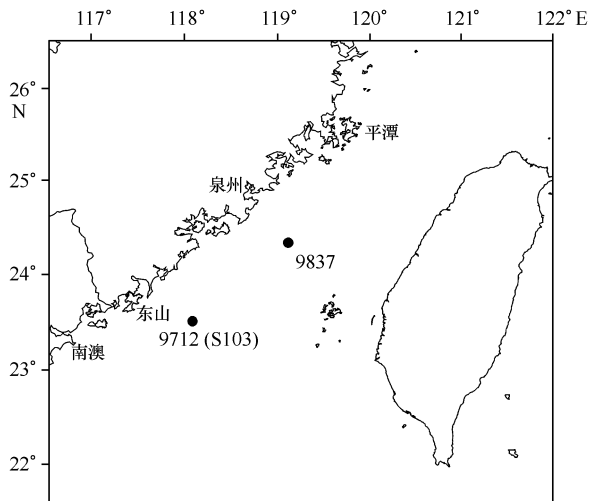


图1 台湾海峡示意图

2 资料来源

本文主要总结了“闽南-台湾浅滩渔场上升流生态系统研究”(1987~1990年)、“台湾海峡初级生产力及其调控机制研究”(1994~1996年)、“台湾海峡生源要素生物地球化学过程研究”(1996~2000年)以及“台湾海峡表层水温的长期变动及其生态响应研究”(2000~2002年)的成果, 辅以1976~2000年闽南-台湾浅滩渔场统计资料, 包括各种作业渔船数、渔获量及其种类渔获量, 以及遥感数据的分析. 遥感数据包括1985~2001年间 AVHRR Pathfinder SST(海表温度), 取自美国 NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) 数据分发中心 (<http://podaac.jpl.nasa.gov>), 分辨率为9 km, 采用 SeaDAS 遥感处理软件处理, 所取范围(26.5°N, 116°E)至(21.5°N, 122°E). 风场资料选用法国 CERSAT (Centre ERS d'Archivage et de Traitement, <http://www.ifremer.fr/cersat/>) 中心处理的1991~2000年全球 ERS 风应力, 空间分辨率为1°×1°, 采用 Matlab 读取经向风应力, 并计算其距平.

3 结果

3.1 物理环境的年际变动

1985~2001年间台湾海峡遥测海表层温度各

月距平(SSTA)的变化曲线(见图2), 反映了该海域表层水温的冷暖变动. 在这17 a间, 偏暖的年份主要出现在1988, 1991, 1994, 1997~1998和2001年, 出现的频率自1990年起似有不断增加的趋势. 其中自1997年末至1999年中的一个阶段, 偏暖的幅度最大(SSTA > 1), 持续时间最长(1年8个月), 很显然可以定义为一个较强的暖事件. 对比这17a间的赤道太平洋 ENSO 事件时间表 (<http://www.noaa.gov>), 台湾海峡偏暖的时期(2001年除外)基本上都在 El Niño 暖事件发生之后的数月出现; 而正值 El Niño 暖事件强盛时, 台湾海峡往往偏冷. 特别是1997年春至1998年春赤道太平洋出现了50 a来最强的 El Niño 事件, 1997年秋至1999年春在台湾海峡就有了一个明确的暖事件发生, 值得一提的是1997年台湾海峡在秋末暖事件爆发之前是一个偏冷的状态. 这一暖事件开始爆发, 是在1997年末 El Niño 增暖已达到顶峰时; 当在1998年2月增暖达顶峰时, El Niño 已告衰退并在数月后转入 La Niña 状态; 该事件一直持续到1999年的夏初, 其时已是赤道太平洋的 La Niña 时期. 可以说, 1997~1998年是台湾海峡的一个相当典型的非常态时期, 从偏冷的状态直接转入一个较强的持续的暖事件, 以下将以该时期与在其他年观测的数据对比所获得的认识, 来代表该海域物理环境变动与其生态响应的迹象.

首先是通常出现在夏季的因沿岸上升流导致的近岸低温特征, 在1997年削弱. 从图3所示的1997年8月至1999年8月 AVHRR SST 月平均图像可以看出, 1997年海域西北和西南两个近岸低温区的强度和范围都明显低于其他年份的同期水平, 其范围只有10~50 km; 而在1998年沿岸低温区却清晰可见. 于1998年8月近岸和外海强烈的温度相对比, 1997年夏季整个海域 SST 的分布似乎更为平均. 从现场观测上看, 1997年8月海域南部表层低温高盐水的影响范围比1988年和1994年8月小, 低温中心表层水温为26 (1988年8月低至23); 进入1998年夏季, 在海域沿岸的东山和南澳附近、平潭以及泉州近岸海域出现3个明显的低温高盐区, 强度和范围有所增加, 整个海域的温、盐梯度差似乎加大. 总之, 根据遥感及现场所捕捉的有限的表层海温分布变化特征, 可以认为1997年夏季相对于其他年份, 沿岸上升流强度减弱、范围缩小.

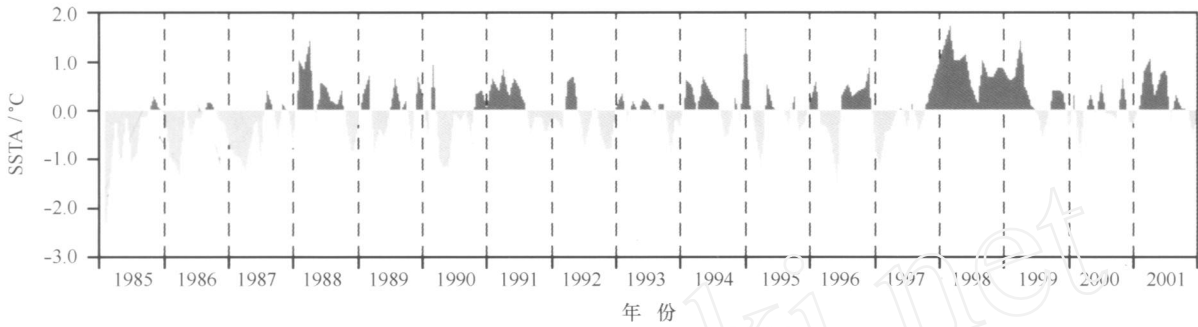


图2 1985~2001年台湾海峡海表温度距平变化

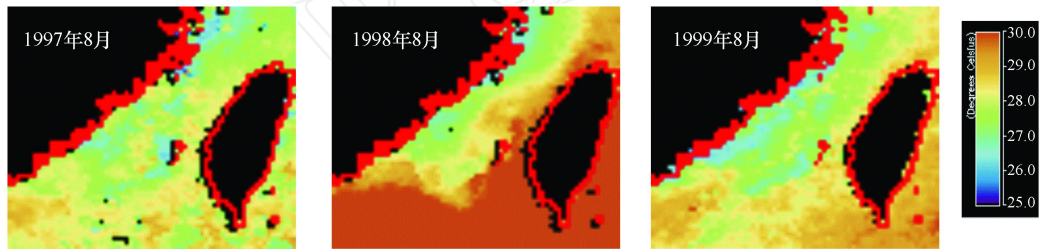


图3 1997年8月至1999年8月台湾海峡AVHR SST月平均图

其次,冬季海域内暖水的分布范围,在1998年扩大.1998年2~3月海域北部走航温盐仪取得的表层温、盐数据表明,18等温线向北抵达26°N左右,同一断面13等温线比1995年抬升了近10 m,海域中部同一测站同一日期的SST较1995年高2左右.同时AVHRR SST数据显示,2月8日表层18等温线舌端已接近25°N,至3月13日几乎整个海域东侧已为SST高于21的暖水占据^[9].我们认为,1998年冬北上暖水的强度得到增强、南下浙闽沿岸水的势力被削弱,应是造成海域趋暖的直接主导因子.

3.2 生物和化学因子的响应

3.2.1 营养盐

1997年夏季与1997年冬季的物理环境特异,首先体现在以营养盐为代表的化学环境的响应上.1997年夏季,上升流强度减弱,来自涌升水体的营养盐补充不及往年,海域南部海区的营养盐含量在历年的观测记录中最低.30 m的水层,营养盐含量呈均匀低值分布.与1988年夏季同一断面相比,20 m水层的DIP(溶解无机磷)低至未检出;大陆一侧近岸的一个站点NO₃浓度在1988年夏季高达3.0 μmol/dm³,1997年同期仅为0.60 μmol/dm³.

1997年冬季,北上寡营养盐暖水的影响增强而

富营养盐浙闽沿岸水影响减弱,营养盐含量水平比之1995年显著降低.北部中央水域附近,表层PO₄仅0.2 μmol/dm³左右,1995年同期的水平在0.5 μmol/dm³;在海域中部靠西岸一侧的9837站盐度达35.05,温度达20.64,其营养盐却特别低,PO₄-P小于0.09 μmol/dm³,NO₃-N小于0.025 μmol/dm³,硅小于0.025 μmol/dm³.

3.2.2 浮游植物

营养盐供给的变动,直接导致浮游植物的丰歉变化^[10,11].1988年和1997年夏季南部海区几乎同一断面的叶绿素分布比较(见图4)表明,1997年夏季叶绿素浓度显然低于1988年,表层叶绿素含量只有0.4 mg/m³左右,高生物量(>2.0 mg/m³)的水体仅限于20 m以上水深且靠近西岸很小的范围内;而1988年20 m以浅水层的叶绿素浓度基本上都在2.5 mg/m³以上.换言之,1997年夏季确实出现了偏低的浮游植物生物量.

1998年2~3月,出现了偏高的叶绿素浓度,叶绿素分布特征也有所变化.在海域北部中央水域以西,北上暖水与南下低温浙闽沿岸水形成的锋面附近,出现了表层叶绿素的高值,达5 mg/m³,而1995年同期的表层叶绿素在同样区域只有1 mg/m³左右;1995年北部叶绿素水柱平均含量由大陆向台湾

岛递增,在 1998 年则由中央向大陆和台湾两侧降低. SeaWiFS 水色遥感数据也提示了类似的特征.

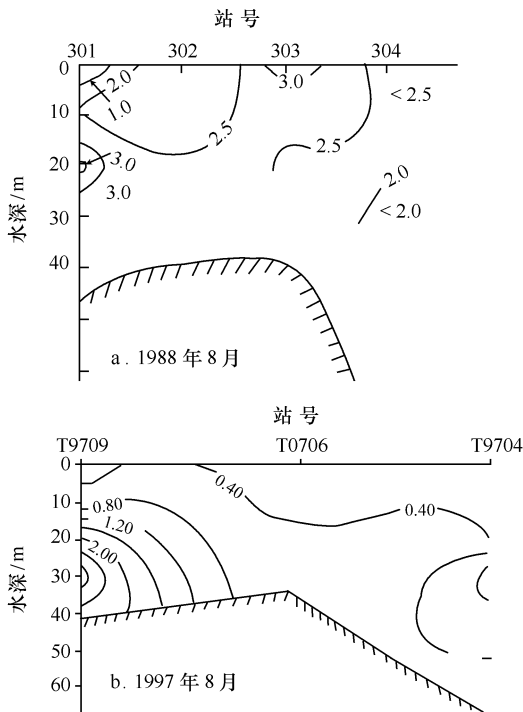


图 4 1988 与 1997 年 8 月南部海区叶绿素断面分布对比
a. 1988 年 8 月(引自杨尧等^[18]), b. 1997 年 8 月

浮游植物的响应,不仅体现在以叶绿素为表征的生物量上,而且在粒级结构上也有所表现.寡营养盐海区通常微微型浮游植物相对丰茂,在 2~3 月的海域北部,1998 年暖水影响强、营养盐低,微微型浮游植物无论在生物量还是生产力上都占据优势,而 1995 年则是微型浮游植物占主导.

3.2.3 浮游动物

物理环境上海流的变动,在浮游动物指示种上可以观察到明确的反映.

其一,联系夏季上升流强度的变动,上升流的浮游动物指示种在 1997 年与 1994 年相比,有明显差异. 1997 年夏季近岸上升流影响减弱的结果,在 1994 年和 1997 年两个夏季调查基本重复的位于近岸的 9712(S103)站,1994 年 8 月发现了不少指示上升流的深水种和狭布大洋性种类如细新哲水蚤(*Neocalanus gracilis*)、武装鹰嘴水蚤(*Aetideus armatus*)等,而 1997 年 8 月上述种类没有发现.同时 1997 年在浅滩南部上升流区,仍发现不少对该区上升流有重要指示作用的芦氏拟真刺水蚤

(*Pseudeuchaeta russelli*)和后圆真浮萤(*Euconchoecia meimei*),丰度很大,分别达到 35 个/ m^3 和 168~205 个/ m^3 ,可见浅滩上升流的强度变动,没有近岸区显著.

其二,联系冬季暖水与浙闽沿岸冷水的变动,指示浙闽沿岸水系的暖温性种类与指示暖水的大洋广布种及中深层种类在 1998 年与 1995 年之间也迥然不同. 1997 年冬季,暖水较强,浙闽沿岸水的影响受到削弱,相应地,在海峡中部靠西岸一侧的 9837 站发现了隆线拟哲水蚤(*Calanoides carinatus*)、芦氏拟真刺水蚤等中深层类群;而在 24°~26°N 范围内的南部断面,指示浙闽沿岸水系的暖温性种类中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)仅占浮游动物总量的 14.6%,北部断面占 33.83%.相反在 1995 年冬季的南部断面中华哲水蚤则非常优势,占到总量的 60.77%,北部断面为 37.57%.

3.2.4 中上层鱼类

中上层鱼类资源对物理环境变动的响应有以下几点初步的迹象.

1998 年 7~9 月(夏汛)平均 SST 高于 1997 年,相应于水温的升高,北部和西南部的两个中心渔场向北退缩了 0.5~0.6 个纬度^[12].

1986~1997 年间中上层鱼类的中心渔场位置存在明显的年际间摆动,基本沿着 25.5 等温线分布,随着等温线的变化而变化;渔获物种类组成中暖温性鱼种与暖水性鱼种的相对比例存在明显的年际间变动,自 1992 年起暖温性鱼种比例下降了 10%~20%点,暖水性鱼种的比例则同比升高,但与海表温度距平(SSTA)的正负切换并不同步,似乎有滞后的关系存在¹⁾.

1971~1998 年闽南—台湾浅滩渔场中上层鱼类渔获量统计分析可看出,El Niño 年(主要指 1972,1982,1983,1986,1987,1992,1993,1994 和 1997 等中等或较强的 El Niño 年)渔获量平均 2.38×10^4 t,比非 El Niño 年的渔获量平均 1.63×10^4 t 高出 46.01%;其中金色小沙丁鱼 El Niño 年渔获量平均 1.46×10^4 t,比非 El Niño 年平均 0.85×10^4 t 高出 71.76%.从渔获量组成上看,1997 年春、夏汛金色小沙丁鱼占总渔获量的比例分别为 24%和 18.3%,均比 1996 年的 18.1%和 7.8%高,而 1998 年直降到 15.1%和 3.3%.

1) 张学敬等. 闽南-台湾浅滩渔场中上层鱼类资源的年际变动与遥感海表温度的关系. 海洋通报,2005,待刊.

4 讨论与小结

以上迹象表明,台湾海峡的生态系统确对物理环境的年际变动产生了一定的响应.1997年夏季台湾海峡处于偏冷状态,南部近岸上升流强度减弱;1997年冬季正值一个较强的暖事件发展到顶峰,北上入侵暖水强度增强、浙闽沿岸冷水强度减弱.从而导致这两个时期营养盐分布特征改变,发生了一系列从浮游植物到浮游动物从生物量到群落结构的异常响应.及至中上层鱼类资源量与种类构成,更由20余年连续资料勾画出一个相对清晰的年际变动图景,似乎呈现出 El Niño 年暖水性种类渔获量偏高的趋势.

从1985到2001年的SSTA时间变动规律看,台湾海峡目前可以确认为暖事件的仅有1997年秋至1999年春的持续较强的偏暖状态,滞后1997年春至1998年春的赤道太平洋强 El Niño 暖事件约5个月.多数赤道太平洋的 El Niño 暖事件时期台湾海峡却是偏冷态,而后随着太平洋暖事件的发展及消亡,台湾海峡会转入偏暖态,但偏离气候平均态的程度皆不大.这似乎意味着相距遥远的二者之间即使存在某种关联——即所谓的“遥相关”——也是相对微弱并且间接的.这与东北太平洋受到加利福尼亚海流影响的海域截然不同,该海域从上世纪50年代以来发生的暖事件皆与赤道太平洋的 El Niño 事件关联,引起加利福尼亚海流强度或沿岸上升流强度的变动,产生一系列浮游生物结构改变、次级生产量下降进而导致渔业产量降低,以及南部鱼种向北迁移的现象^[4,13].即便同处于东北太平洋的阿拉斯加湾,其海洋环境与生态系统的年际变动却与 El Niño 事件无关^[4].一个公认的事实是,海洋生态系统对气候-海洋变动的响应机制是随着特征域的不同而存在差异的.

我们推测,台湾海峡环境与生态年际变动的主控机制更直接地是出于东亚季风驱动下的中国近海海气系统的变异,但是必须指出的是,已有研究表明亚洲季风与 ENSO 事件有关^[14],南海夏季风与西太平洋年际振荡的西传也有密切联系^[15].同时,随着季风的转换,在夏季和冬季分别驱动不同的海流强度的变动,即夏季的上升流,冬季的暖水和沿岸流,从而对温度、营养盐分布及至生态系统产生影响.目前有如下证据支持这一假设:

(1)当1998年春 El Niño 强暖事件结束时,南

海也仍然维持着异常暖^[16];然而简单的相关分析表明^[17],整个台湾海峡海域的SSTA年际变动与南海暖池强度指数的年际变动之间没有显著的相关,仅仅是南部海域与之存在着很好的共变特性;故而我们认为,南衔南海北接东海的台湾海峡,可能分别受到东海和南海的影响,但是在尺度上是受控于一个共同的东亚季风-中国边缘海局地海气系统;(2)1997年夏季的西南季风与1997年冬季(1997年12月至1998年2月)的东北季风皆偏弱;1997年8月,台站观测资料表明海峡南部西岸的东山站平均风速为3.0 m/s,而1961~1980年东山站多年平均的8月风速是4.4 m/s,显然当时西南季风确实有所减弱,沿岸上升流强度低于往年的主要原因可能就在于此;1997年冬季,ERS卫星资料表明该海域呈现南风距平(图5),不利于驱使低温的浙闽沿岸水南下,改变了冷、暖水流的力量抗衡,导致北上暖水的影响范围显著增加.

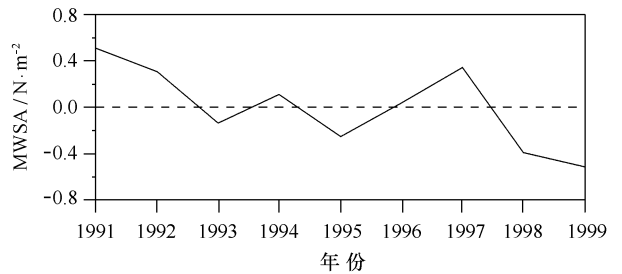


图5 1991~1999年冬季经向风风应力距平变化曲线

诚然,这一假设是本文依据目前有限的研究结果尚难以给出定论的问题.我们仍然缺乏动力上的物理证据,仅只从一些静态的参数如温度来分析海流变动;观察也仅只停留在表层,没有涉及水体垂直结构的变化;连续的生态响应现象的收集尚不足,也缺乏内在机理分析的支持.因此,很有必要作进一步的研究,从3个方面入手,即检验机制上的假设,寻求更详尽的时间连续的结构变动的信号,并分析生态响应的内在机理.期许通过加强台湾海峡实验海区的气候-海洋变动及其生态响应这一前沿科学问题的深入探讨,对认识全球变化的区域响应图景得到更为清晰的认识.

本文得到“闽南-台湾浅滩渔场上升流生态系统研究”、“台湾海峡初级生产力及其调控机制研究”、“台湾海峡生源要素生物地球化学过程研究”以及“台湾海峡表层水温的长期变动及其生态响应研究”等课题组全体成员与“延平2号”全体船员的团结协作和

支持帮助;文中采用的海表温度遥感和 ERS 风应力资料分别来自 California Institute of Technology, NASA Physical Oceanography Distributed Active

Archive Center at the Jet Propulsion Laboratory and CERSAT, at IFREMER, Plouzané (France). 谨此一并致谢!

参考文献:

- [1] ATTRILL M J, POWER M. Climatic influence on a marine fish assemblage[J]. *Nature*, 2002, 417(6886): 275—278.
- [2] O'BRIEN C M, FOX C J, PLANQUE B, et al. Climate variability and North Sea cod[J]. *Nature*, 2000, 404(6774): 142.
- [3] CHAVEZ F P, STRUTTON P G, FRIEDERICH G E, et al. Biological and chemical response of the equatorial Pacific Ocean to the 1997—98 El Niño[J]. *Science*, 1999, 286(5447): 126—213.
- [4] MCGOWAN J A, CAYAN D R, DORMAN L M. Climate-ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific[J]. *Science*, 1998(5374), 281: 210—217.
- [5] REID P C, EDWARDS M, HUNT H G, et al. Phytoplankton change in the North Atlantic[J]. *Nature*, 1998, 391(6667): 546.
- [6] 洪华生,丘书院,阮五崎,等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究[C]. 北京:科学出版社,1991.
- [7] 洪华生,阮五崎,黄邦钦,等. 台湾海峡初级生产力及其调控机制研究[A]. 洪华生等. 中国海洋学文集(7) [C]. 北京:海洋出版社,1997, 1—15.
- [8] 洪华生. 台湾海峡生源要素生物地球化学过程研究[A]. 国家自然科学基金“九五”重点项目结题报告[R]. 2000.
- [9] 商少凌,洪华生,商少平,等. 1998年冬季台湾海峡的暖水入侵及其生态响应[J]. 遥感学报,2001, 5(5): 383—387.
- [10] 黄邦钦,洪华生,林学举,等. 台湾海峡微型浮游植物的生态研究 I. 时空分布及其调控机制[J]. 海洋学报,2003, 25(4): 72—82.
- [11] 朱根海,宁修仁,蔡昱明,等. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究[J]. 海洋学报,2003, 25(2): 8—23.
- [12] 商少凌,洪华生,商少平,等. 台湾海峡 1997 - 1998 年夏汛中上层鱼类中心渔场的变动与表层水温的关系浅析[J]. 海洋科学,2002, 26(11): 27—30.
- [13] SIMPSON J J. Response of the Southern California current system to the mid-latitude North Pacific warming events of 1982 - 1983 and 1940 - 1941[J]. *Fish Oceanogr*, 1992, 1(1): 57—79.
- [14] 徐建军,王东晓. 印度洋-太平洋海温的年际、年代际异常及其对亚洲季风的影响[J]. 2000, 22(3): 34—43.
- [15] 宋焱云,谢安,毛江玉,等. 南海夏季风爆发的低频特征. 海洋学报[A]. 2000, 22(2): 35—40.
- [16] 王东晓,谢强,杜岩,等. 1997 - 1998 年南海暖事件[J]. 科学通报,2002, 47(9): 711—716.
- [17] 李娜,商少平,张彩云,等. 南海暖池对台湾海峡 SST 时间变动的影晌初探[C]. 《第十四届全国遥感技术学术交流会》论文集,青岛, 2003.
- [18] 杨尧,张钊,高素华. 闽南-台湾浅滩渔场叶绿素 a 含量及分布[A]. 洪华生,丘书院,阮玉崎,等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究[C]. 北京:科学出版社,1991. 341—345.

Evidence of ecosystem response to the interannual environmental variability in the Taiwan Strait

HONG Hua-sheng¹, SHANG Shao-ling¹, ZHANG Cai-yun^{1,2}, HUANG Bang-qin¹,
HU Jian-yu^{1,2}, HUANG Jia-qi², LU Zhen-bin³

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Fujian Fisheries Research Institute, Xiamen 361012, China)

Abstract: By comparing remote sensing sea surface temperature and in situ chemical and biological data collected since 1985, some evidences of ecosystem variation responding to interannual environmental variability were found in the Taiwan Strait. Owing to incomplete extensive and serial biological observations, the eco-system responses were mainly illustrated by two specific cases. Coastal upwelling weakened in the summer of 1997, when the Taiwan Strait was during a cold phase. Cold Zhe-Min coastal water weakened and northward intrusion of warm water was strengthened in the winter of 1997, while it was the peak of a

strong warm episode of the Taiwan Strait and the South China Sea. During these two periods, nutrient distribution, phytoplankton and zooplankton abundance and community structure altered and showed anomaly. El Nino seemed weakly linking to the Taiwan Strait. It was hypothesized that forcing within the East Asia monsoon-China marginal sea system might be the dominant mechanism. To achieve better understanding of how the Taiwan Strait ecosystem responds to climate variations, supporting the long-term physical evidences and serial biotic variation signals observation are especially needed.

Key words : interannual variability; ecosystem response; upwelling; monsoon; El Niño; Taiwan Strait

www.cnki.net