

胶州湾浮游动物群落长期变化*

孙松^{1,2} 李超伦² 张光涛¹ 孙晓霞¹ 杨波²

(1. 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋研究所
海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

摘要 浮游动物是海洋生态系统中一个非常重要的类群,是海洋食物网的基础和关键组成部分。基于胶州湾浮游动物长期观测资料,本文系统分析了 1977—2008 年胶州湾浮游动物群落的长期变化特征。结果表明,近 30 年来胶州湾浮游动物生物量呈现明显的上升趋势。2000 年之后胶州湾浮游动物平均生物量达到 $0.361\text{g}/\text{m}^3$,为 20 世纪 90 年代的 3.54 倍。浮游动物的季节变化规律已由 20 世纪 90 年代夏季生物量和丰度最高的季节变化特征转变为 2000 年之后春季生物量和丰度最高,夏季次之的季节变化特征。胶州湾浮游动物的种类组成发生改变,自 20 世纪 90 年代以来胶质类浮游动物的种类和数量均表现为升高的现象,水母和被囊类浮游动物的平均丰度达到 20 世纪 90 年代的 5 倍以上。桡足类、毛颚类等浮游动物类群的长期变化趋势呈现波动状态。

关键词 胶州湾,浮游动物,生物量,水母,长期变化

中图分类号 Q958.885.3

浮游动物是海洋生态系统中一个非常重要的类群,是海洋食物网的基础和关键组成部分。浮游动物的种类组成和数量变动会引起整个海洋生态系统的变动。一方面,浮游动物的种群与数量变动能够通过食物网的作用导致鱼类等上层捕食者的种类组成和数量变动(Beaugrand *et al.*, 2003),另一方面又会通过海洋生物泵的作用引起碳等生源要素生物地球化学循环的变化,从而导致生源要素通量的变化(Bathmann *et al.*, 2001)。因此,浮游动物作为海洋食物网的重要环节,在海洋生态系统中起着承上启下的传递作用。当前关于浮游动物长期变化的研究多聚焦于气候变化的影响,如 Beaugrand 等(2002, 2008)、Beaugrand (2003)对北大西洋的研究;Edwards 等(2002, 2004)对北海的研究等。对于受人类活动影响较为强烈的近海及海湾生态系统中浮游动物长期变化的研究则较为缺乏。

胶州湾是一个受人类活动和自然变化双重影响的海湾。从 20 世纪 90 年代开始,胶州湾海洋生态系

统研究站开始进行胶州湾浮游动物的长期观测,取得了宝贵的长期连续观测资料(王倩等, 2010)。本文重点分析在人类活动和自然变化双重作用下胶州湾浮游动物种类、数量及主要类群的长期变化规律,为胶州湾及近海生态系统的研究与管理提供重要科学依据。

1 材料与方法

自 1991—2008 年,于每季度月(2 月、5 月、8 月、11 月)在胶州湾 10 个长期观测站位使用浅水 I 型浮游生物网(网口内径 50cm,孔径 $510\mu\text{m}$)由底至表进行垂直拖网,采样站位如图 1 所示。将获取的浮游动物样品立即使用 5%的福尔马林溶液固定,带回实验室进行样品分析。采用重量法进行浮游动物样品湿重的测定,通过镜检进行浮游动物种类的鉴定,并计算不同种类浮游动物的丰度(ind/m^3)。

浮游动物多样性采用香农-威纳指数(Shannon-Wiener Index, H')进行计算:

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目群项目, KZCX2-YW-Q07-05 号; 国家“973”项目, 2011CB403601 号; 中国科学院对外合作重点项目, GJHZ200808 号; 国家自然科学基金项目, 40876083 号, 40631008 号。孙松, 博士, 研究员, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

其中, H' 为生物多样性指数, S 为样品中的种类总数, P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值。

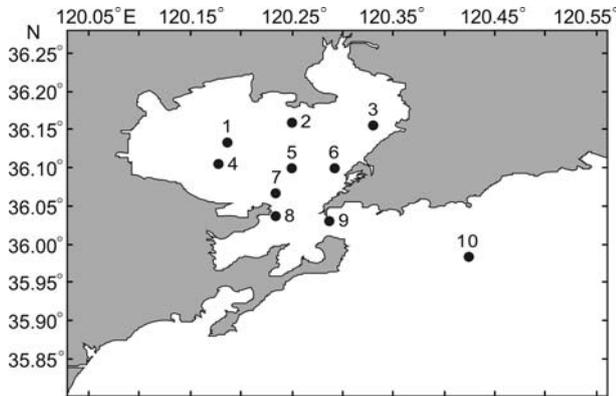


图1 胶州湾浮游动物调查站位图

Fig.1 Zooplankton sampling stations in the Jiaozhou Bay

2 结果

2.1 浮游动物生物量的长期变化

根据图2中1977—2008年胶州湾浮游动物生物量(湿重)的长期变化研究结果,近三十年胶州湾浮游动物生物量呈现明显的上升趋势。20世纪90年代的季度月平均生物量为 $0.102\text{g}/\text{m}^3$,与1977—1978年季度月平均生物量持平(当时所用网具为大型浮游动物网),2001—2008年的平均生物量达到 $0.361\text{g}/\text{m}^3$,为20世纪90年代的3.54倍。这一生物量甚至高于胶州湾1980—1981年使用北太平洋网(孔径 $330\mu\text{m}$)调查的结果,当时的月平均生物量为 $0.33\text{g}/\text{m}^3$ 。

胶州湾浮游动物生物量的长期变化在不同季节表现为不同的规律。进一步分析不同季节胶州湾浮游动物生物量的长期变化,结果如图3所示。可以看出,自20世纪90年代以来,浮游动物生物量增加最显著的季节为春季和夏季,以春季最为明显。例如,2001年5月份的生物量高达 $2.3\text{g}/\text{m}^3$,2007年为 $1.4\text{g}/\text{m}^3$,远远高于20世纪70—20世纪90年代的水平。秋季和冬季生物量稍有增加,但并不显著。除了不同季节生物量的变化规律不同之外,不同时期生物量的季节变

化特征亦有所改变。根据图4对不同时期浮游动物生物量季节变化规律的比较,1977—1978年浮游动物生物量以冬季最高,春季和夏季次之,秋季最低;1991—2000年冬季和夏季高于春季和秋季;到2001—2008年,春季的生物量显著高于其它季节,夏季次之,秋季最低。以上结果表明,胶州湾浮游动物生物量长期变化的一个显著特征为春季生物量的大幅升高。

2.2 浮游动物丰度的长期变化

胶州湾浮游动物丰度的长期变化规律与生物量的变化有所不同。根据图5的结果,从1991—2001年间,浮游动物的丰度呈现升高的趋势,到2001年季度月平均丰度达到 $1000\text{ind}/\text{m}^3$,随后几年保持在 $200\text{—}400\text{ind}/\text{m}^3$ 之间波动,这主要是由于2001年之后浮游动物的种类组成发生变化,水母等较大个体的浮游动物数量增加,引起浮游动物数量和生物量的变化并不完全一致。进一步分析不同季节浮游动物丰度的长期变化表明,自20世纪90年代后期以来,胶州湾浮游动物的数量开始增加,与生物量的变化规律相似,丰度的增加以5月份和8月份最为明显(图6)。综合比较20世纪90年代和2001年之后浮游动物的季节变化特征,结果如图7所示,发现不同时期浮游动物的丰度呈现不同的季节变化规律,20世纪90年代以夏季的数量最高,冬季次之。2001—2008年间,转变为春季的丰度最高,夏季次之。综合胶州

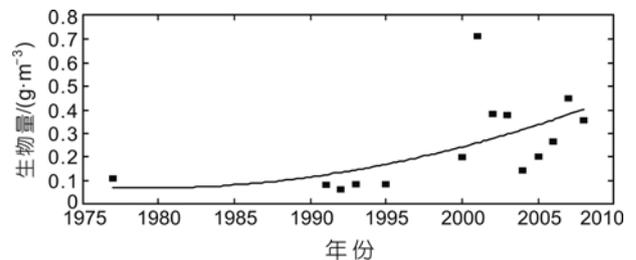


图2 浮游动物生物量(湿重)长期变化

Fig.2 Long-term changes of the zooplankton biomass (wet weight)

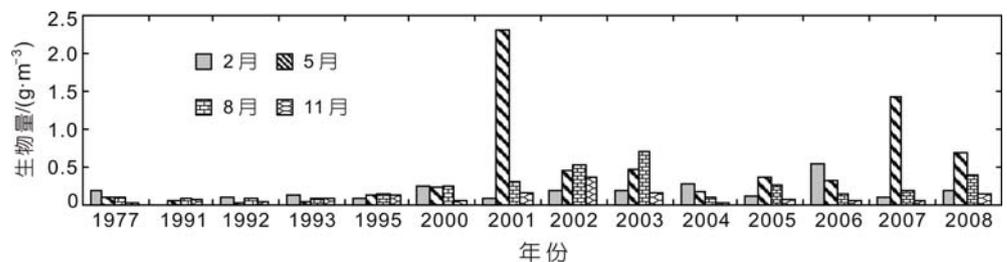


图3 不同季节浮游动物生物量长期变化

Fig.3 Long-term changes of zooplankton biomass in different seasons

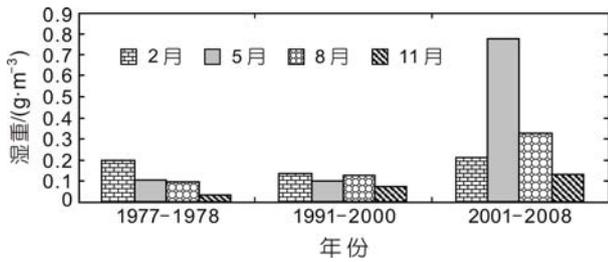


图 4 不同时期浮游动物生物量的季节变化

Fig.4 Seasonal changes of zooplankton biomass in different periods

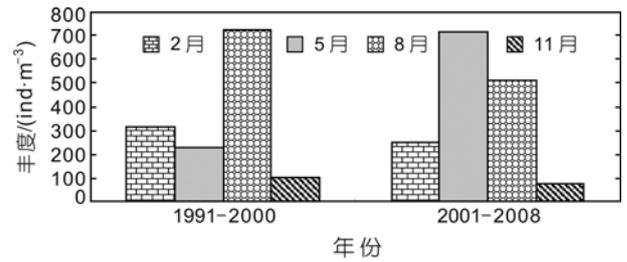


图 7 不同时期浮游动物丰度的季节变化

Fig.7 Seasonal changes of zooplankton abundance in different periods

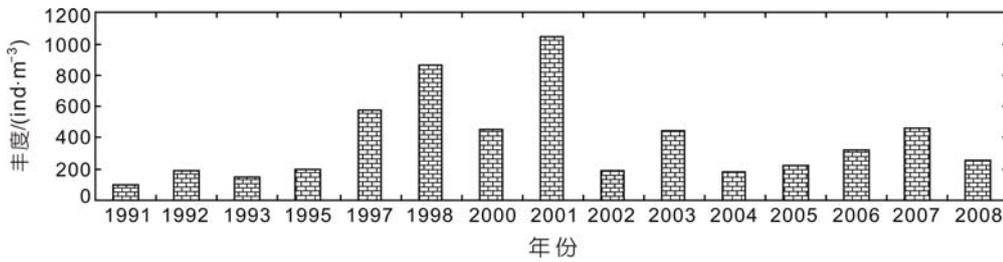


图 5 浮游动物丰度的长期变化

Fig.5 Long-term changes of zooplankton abundance

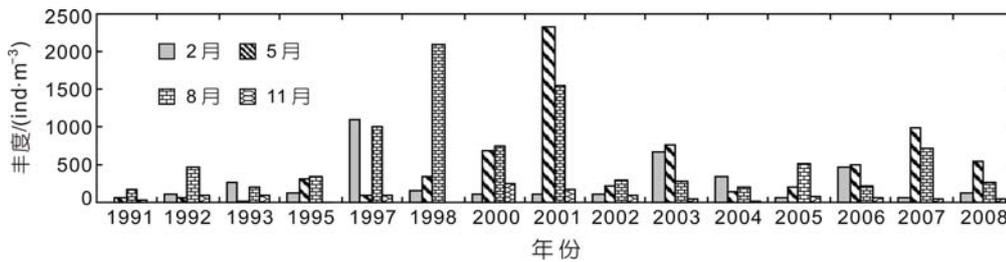


图 6 不同季节浮游动物丰度的长期变化

Fig.6 Long-term changes of zooplankton abundance in different seasons

湾浮游动物生物量和数量的长期变化研究结果,二者在春季均呈现显著的增加,与此相对应的是,胶州湾浮游植物密度和叶绿素 a 浓度在春季表现为下降的趋势,两者之间存在较好的耦合关系。

2.3 浮游动物种类组成的变化

不同时期胶州湾浮游动物种类组成情况如表 1

所示。其中 20 世纪 70 年代所用调查网具为大型和中型浮游动物网(黄世玫, 1983), 80 年代所用网具为北太平洋网(肖贻昌等, 1992), 90 年代以后所用网具为浅水 I 型和 II 型浮游生物网(高尚武等, 1995)。为确保数据资料的一致性,在此仅比较 20 世纪 90 年代和 2000 年之后的种类组成变化情况, 70 年代与 80 年代的数据作为参考。通过比较胶州湾浮游动物主要优势类群的种类组成情况,发现与 20 世纪 90 年代

相比, 2000 年之后胶州湾浮游动物种类数量显著提高,尤其是水母类浮游动物,增加了近 20 种,另外,毛颚类增加两种,但枝角类减少一种。胶州湾浮游动物的多样性的长期变化如图 8 所示, 20 世纪 90 年代和 2000 年之后浮游动物多样性指数平均值分别为 1.86 和 2.4, 提高了 30%。2000 年之后浮游动物多样性整

表 1 不同时期胶州湾浮游动物种类组成

Tab.1 Zooplankton species composition in the Jiaozhou Bay in different periods

浮游动物类群	1977—1978 ¹⁾	1980—1981 ²⁾	1991—1993 ³⁾	2004—2005 ³⁾
桡足类	25	25	22	23
毛颚类	3	2	1	3
水母类	37	32	8	28
枝角类	2	3	2	1
被囊类	3	2	1	1
其它浮游动物	15	13	8	10
总计	85	77	42	66

注: 1) 大型、中型浮游动物网; 2) 北太平洋网; 3) 浅水 I 型浮游动物网

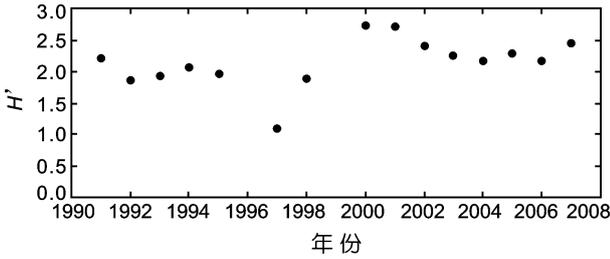


图8 胶州湾浮游动物多样性的变化

Fig.8 Changes of zooplankton diversity in the Jiaozhou Bay

体水平的提高与种类组成的变化是一致的。除种类组成发生改变外,浮游动物优势种亦有所变化。20世纪90年代胶州湾浮游动物优势种有中华哲水蚤、强壮箭虫、双刺纺锤水蚤、背针胸刺水蚤及乌喙尖头蚤等,其在不同季节出现的数量占浮游动物总丰度的50%以上(高尚武等,1995)。2004年之后,乌喙尖头蚤等枝角类逐渐失去其优势种的地位,八斑芮氏水母等水母类浮游动物成为优势种的几率增加。

2.4 浮游动物优势类群的长期变化

将胶州湾的浮游动物按照群落组成及功能特征分为5大类群:桡足类、毛颚类、被囊类、水母类和其它浮游动物。关于黄、东海浮游动物功能群的划分依据,在Sun等(2010)的文献中有详细的阐述。根据图9所示的胶州湾浮游动物主要类群的长期变化规律,自1991年以来,胶州湾桡足类的数量呈现波动的变化趋势,最高值出现在1994年2月,达到578ind/m³,最低值出现在1995年11月,仅为4ind/m³。胶州湾桡足类

的主要组成种类包括中华哲水蚤、小拟哲水蚤、太平洋纺锤水蚤、双毛纺锤水蚤、拟长腹剑水蚤、近缘大眼剑水蚤、墨氏胸刺水蚤、背针胸刺水蚤等。在这些优势种类中,除了中华哲水蚤外,其余种类均为个体较小的桡足类,根据以前对浅水I型和浅水II型浮游生物网采样的比较研究,浅水I型浮游生物网所采集的样品分析结果易低估小型桡足类的数量,但对较大个体的浮游生物数量没有影响(孙松,2008)。因此,此处关于桡足类的长期变化研究主要反映中华哲水蚤等较大个体的桡足类的变化情况,对于小型桡足类的研究需进一步结合浅水II型浮游生物网的分析结果进行探讨。

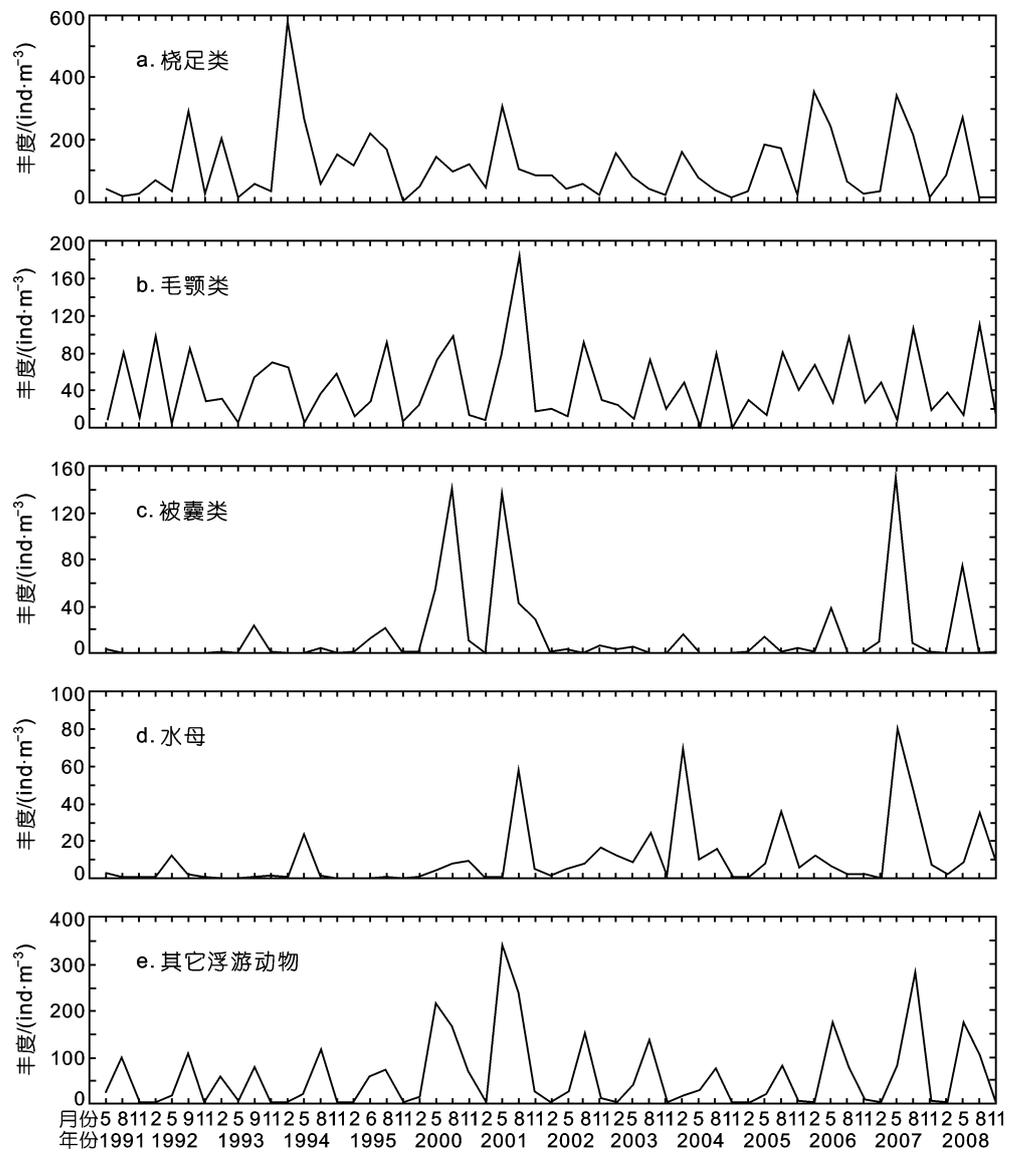


图9 浮游动物主要类群的长期变化

Fig.9 Long-term changes of dominant zooplankton groups

胶州湾的毛颚类组成以强壮箭虫为主, 拿卡箭虫和百陶箭虫也有出现。根据 2006—2007 年对胶州湾毛颚类生态学的研究, 胶州湾毛颚类年平均生物量为 $107.92\text{mg}/\text{m}^2$, 年平均生产力为 $1.47\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 占浮游动物总生产力的 11.6% (王倩等, 2010)。胶州湾毛颚类的数量亦呈现波动性的长期变化规律, 其中在 2001 年 8 月达到一个数量的高峰值。另外, 从 2002 年开始, 毛颚类的季节变化基本呈现双周期型的变化规律, 8 月份为一年中的高峰, 2 月份为次高峰。胶州湾的被囊类主要包括长尾住囊虫和异体住囊虫, 自 1991 年以来, 被囊类分别在 2000 年、2001 年和 2007 年出现了三次显著的高峰值。与 20 世纪 90 年代初相比, 2000 年之后被囊类的数量呈现增加的现象, 2000 年之后的丰度比例为 20 世纪 90 年代的 5.4 倍(图 9c)。根据图 9d 所示结果, 胶州湾的小型水母无论是平均丰度还是每年发生的最高峰值都表现出明显的增加趋势。1992 年水母的最高丰度为 $12\text{ind}/\text{m}^3$, 到 2007 年达到 $80\text{ind}/\text{m}^3$, 升高了 5 倍多。2001 年之后水母的平均丰度为 2000 年之前的 5.5 倍。除上述四类浮游动物外, 其它浮游动物(以幼虫为主)的数量在 2000 年之后亦有较大增加(图 9e), 特别是 2000—2001 年、2006—2008 年等, 其幼虫组成主要为长尾类、短尾类、蔓足类和多毛类。

3 讨论

关于浮游动物长期变化的研究, 当前国际上发表了大量研究成果, 这些研究多数是针对全球气候变化对浮游动物群落的影响。例如, 在过去的 40 年间北大西洋浮游动物暖水种北移, 冷水种分布区缩小、生物量降低(Beaugrand *et al.*, 2002); 北海浮游动物多样性的长期变化(Edwards *et al.*, 2001); 北大西洋桡足类飞马哲水蚤长期变化的研究(Edwards *et al.*, 2002); 不同海域胶质类浮游动物的研究(Purcell, 2005)等。Mackas 等(2001)在对不同时间尺度下浮游动物长期变化的比较研究中, 综述了全球范围内不同区域浮游动物的定性变化特征、变化的程度以及变化发生的时间和空间尺度, 认为目前存在很多问题难以解答, 尤其是长时间尺度的浮游动物变化研究。综合近 20 年胶州湾浮游动物的长期变化研究结果, 主要可归纳为三个方面的变化特征, 即浮游动物生物量与丰度的增加、生物多样性增加、胶质类浮游动物数量增加。

首先, 胶州湾浮游动物生物量和数量都呈现增

加的现象, 以春季尤为显著。根据同期对胶州湾气象水文要素的长期变化研究结果, 发现胶州湾升温最显著的季节为冬季和春季, 温度的升高更加有利于浮游动物的生长繁殖。图 3 和图 7 中生物量和丰度较高的 2001 年和 2007 年对应的冬季水温偏高。除了气候变化外, 胶州湾浮游动物的变化规律可能受人类活动的影响更大一些。这一现象可以从两个方面探讨。从上行控制作用的角度, 受人类活动影响, 胶州湾的营养盐含量近几十年来持续升高(Shen, 2001), 浮游植物数量的增加非常明显(吴玉霖等, 2005), 为浮游动物的生长繁殖提供了丰富的饵料基础。自 2000 年之后, 胶州湾经常发生冬季藻华现象, 为随后浮游动物的繁殖奠定了良好的食物基础。从下行控制作用的角度, 由于渔业资源的减少, 胶州湾浮游动物被上一营养级捕食的压力降低。二者的共同作用引起浮游动物生物量和丰度的升高。类似的现象在黑海、亚得里亚海北部的里雅斯特(Trieste)湾、河口等富营养化海域亦有发生。如: 黑海在富营养化期间, 浮游动物生物量增加, 且主要是由于胶质类生物数量的增加, 这些生物摄食饵料浮游动物, 导致饵料浮游动物数量的降低。饵料动物数量的降低与水母生物量的增加相对应。里雅斯特湾的浮游动物生物量从 1992 年开始出现升高趋势。在我国的几大河口, 浮游动物在春季的生物量上升趋势十分明显, 2000 年以后, 长江口的生物量为 1959 年的 2.4 倍, 珠江口的生物量达到 1959 年的 5 倍(张达娟等, 2008)。胶州湾浮游动物生物量的变化规律与上述富营养化海域非常相似。根据胶州湾浮游动物优势类群的长期变化, 可以确定胶州湾春季浮游动物生物量及数量增加的主要贡献者为被囊类、水母类和其它生物幼体。

其次, 与 20 世纪 90 年代相比, 胶州湾浮游动物种类组成发生改变, 浮游动物多样性亦表现出明显增加的现象, 这主要受胶质类浮游动物增加的影响。浮游动物种类组成发生改变是海洋生态系统对全球变化的直接或间接响应之一。当前的研究多集中于气候变化对浮游动物分布格局及种类组成的影响, 如北大西洋、北海、印度洋-太平洋区域、地中海、黑海、黄、东海等许多区域均发生浮游动物重组现象(李君华等, 2008)。研究表明, 全球变暖使美国纳拉甘赛特湾栉水母(*Mnemiopsis leidyi*)分布区域向北推移, 而同样生活在此海域的汤氏纺锤水蚤(*Acartia tonsa*)仍保持稳定, 使这一区域浮游动物种类增加(Sullivan *et al.*, 2007)。北海自 1989—2002 年起, 桡足类多样性

呈现增加趋势(Edwards *et al.*, 2001, 2002)。白令海胶质浮游动物及意大利海域浮游动物亦发生类似变化。在我国近海,近50年来,受暖流增强的影响,南黄海浮游动物物种数量增加,优势种组成种类多样化,主要优势种中华哲水蚤和强壮箭虫比例增加,小型桡足类和暖水性种类数量增加(左涛, 2003)¹⁾。而与此相反,由于东海暖流范围向北延伸,太平洋磷虾、拟长脚虫戎等偏冷水的物种向北迁移,优势度下降,东海暖温性优势种的优势度也有一定的下降(徐兆礼等, 2003, 2005)。与上述海域相比,胶州湾的暖水性种类以水母类的增加最为明显,如拟杯水母(*Phialucium caroliniae*)、球形侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)等,广温性的种类如半球杯水母(*Phialidium hemisphaericum*)、五角水母(*Muggiaea atlantica*)亦显著增加。

再次,关于胶州湾浮游动物优势类群长期变化的研究结果,一个显著的特征是水母类和被囊类浮游动物丰度的增加,尤其是水母的数量,呈现明显的增加趋势。根据张芳等(2005)对胶州湾水母类生态学的研究,2000年之后水母的种类与20世纪90年代相比也有明显的升高。近年来,水母和海樽等胶质类浮游动物在全球范围内均呈现增加的趋势(霍元子, 2008)²⁾,我国近海水母的数量增加亦非常显著。这也是当前国际上关注的热点问题。胶州湾水母种类与数量的增加与中国近海乃至全球很多区域的变化是相似的。关于水母数量增加的原因,当前有很多假设,包括气候变化、富营养化、过度捕捞、水产养殖、水利工程的修建、生物入侵等(Purcell, 2005; Purcell *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2009)。不同区域水母增加的原因非常复杂,由于任何一个单一的原因都难以解释水母在全球范围内大量暴发的现象,目前人们更倾向于多因素共同作用的推测,对于近岸海域尤其如此,如西班牙的小海、黑海等(张芳等, 2009)。Purcell等(2007)认为,在很多近海区域,人类活动对近海环境的影响增加,水母的暴发是对这种变化的一种综合响应。胶州湾同时受到上述多种人类活动的共同影响,近10年来胶质类浮游动物的增加亦是对环境综合变化的一种响应。要了解胶州湾水母增加的内在机制,需要更多地了解水母不同生活史阶段的生态学及受控因素,进一步针对生态系统的不同层面开展

综合研究。

4 小结

通过综合分析1977—2008年胶州湾浮游动物群落的长期变化特征,主要结论如下:

浮游动物生物量呈现明显的上升趋势。2001—2008年的平均生物量达到 $0.361\text{g}/\text{m}^3$,为20世纪90年代的3.54倍。浮游动物的季节变化规律已由20世纪90年代夏季生物量和丰度最高的季节变化特征转变为2000年之后春季生物量和丰度最高,夏季次之的季节变化特征。春季胶州湾浮游动物的生物量和丰度升高幅度最为显著。

胶州湾浮游动物的种类组成发生改变,近20年胶质类浮游动物的种类和数量均表现为升高的现象,以水母类浮游动物的增加最为显著。2000年之后胶州湾浮游动物的多样性水平比20世纪90年代增加了30%,水母和被囊类浮游动物的平均丰度达到20世纪90年代的5倍以上。桡足类、毛颚类等浮游动物类群的长期变化趋势呈现波动状态。

致谢 本研究中的海上调查和样品分析得到了中国科学院海洋研究所胶州湾海洋生态系统研究站和浮游动物研究组各位老师、同学以及“科交二号”和“创新号”考察船全体工作人员的支持,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王 倩, 孙 松, 霍元子等, 2010. 胶州湾毛颚类生态学研究. 海洋与湖沼, 41(4): 639—644
- 孙 松, 周 克, 杨 波等, 2008. 胶州湾浮游动物生态学研究 I. 种类组成. 海洋与湖沼, 39(1): 1—8
- 李君华, 李少菁, 朱小明, 2008. 海洋浮游动物多样性及其分布对全球变暖的响应. 海洋湖沼通报, 4: 137—144
- 肖贻昌, 高尚武, 张和清, 1992. 浮游动物. 见: 刘瑞玉主编. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 170—203
- 吴玉霖, 孙 松, 张永山, 2005. 环境长期变化对胶州湾浮游植物群落的影响. 海洋与湖沼, 36(6): 487—498
- 张 芳, 孙 松, 杨 波, 2005. 胶州湾水母类生态学研究 I. 种类组成与群落特征. 海洋与湖沼, 36(6): 507—517
- 张 芳, 孙 松, 李超伦, 2009. 海洋水母类生态学研究进展. 自然科学进展, 19(2): 3—12
- 张达娟, 闫启仑, 王真良, 2008. 典型河口浮游动物种类及生物量变化趋势的研究. 海洋与湖沼, 39(5): 536—540

1) 左 涛, 2003. 东-黄海浮游动物群落结构研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1—121

2) 霍元子, 2008. 黄海浮游动物功能群的研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所; 北京: 中国科学院研究生院, 博士学位论文, 1—125

- 徐兆礼, 李春鞠, 2005. 东海浮游磷虾类数量分布. 水产学报, 29(3): 373—378
- 徐兆礼, 蒋 玫, 晁 敏等, 2003. 东海浮游桡足类数量分布. 水产学报, 27(3): 258—264
- 高尚武, 王 克, 1995. 胶州湾的浮游动物数量和分布. 见: 刘瑞玉主编. 胶州湾生态学研究. 北京: 科学出版社, 151—158
- 黄世玫, 1983. 胶州湾的浮游动物. 山东海洋学院学报, 13(2): 44—59
- Bathmann U, Bundy M H, Clarke M E *et al*, 2001. Future marine zooplankton research——a perspective. Marine Ecology Progress Series, 222: 297—308
- Beaugrand G, 2003. Long-term changes in copepod abundance and diversity in the north-east Atlantic in relation to fluctuations in the hydroclimatic environment. Fish Oceanogr, 12(4/5): 270—283
- Beaugrand G, Brander K M, Lindley J A *et al*, 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. Nature, 426(6967): 661—664
- Beaugrand G, Edwards M, Brander K *et al*, 2008. Causes and projections of abrupt climate-driven ecosystem shifts in the North Atlantic. Ecology Letters, 11: 1157—1168
- Beaugrand G, Reid P C, Frédéric I *et al*, 2002. Reorganization of north Atlantic marine copepod biodiversity and climate. Science, 296: 1692—1694
- Edwards M G, Beaugrand P C, Reid A A *et al*, 2002. Ocean climate anomalies and the ecology of the North Sea. Mar Ecol Prog Ser, 239: 1—10
- Edwards M, Reid P C, Planque B, 2001. Long term and regional variability of phytoplankton biomass in the northeast Atlantic (1960—1995). ICES J Mar Sci, 58: 39—49
- Edwards M, Richardson A J, 2004. The impact of climate change on the phenology of the plankton community and trophic mismatch. Nature, 430: 881—884
- Mackas D L, Thomson R E, Galbraith M, 2001. Changes in the zooplankton community of the British Columbia continental margin, 1985—1999, and their covariation with oceanographic conditions. Can J Fish Aquat Sci, 58(4): 685—702
- Purcell J E, 2005. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: a review. J Mar Biol Assoc U K, 85: 461—476
- Purcell J E, Uye S, Lo W, 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. Mar Ecol Prog Ser, 350: 153—174
- Richardson A J, Bakun A, Hays G C H *et al*, 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends in Ecology and Evolution, 24(6): 312—322
- Shen Z L, 2001. Historical changes in nutrient structure and its influences on phytoplankton composition in Jiaozhou Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 52: 211—224
- Sullivan B K, John H C, Keuren D V, 2007. Seasonality of the copepods *Acartia hudsonica* and *Acartia tonsa* in Narragansett Bay, RI, USA during a period of climate change. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 73(1—2): 259—267
- Sun S, Huo Y, Yang B, 2010. Zooplankton functional groups on the continental shelf of the Yellow Sea. Deep-Sea Research II, 57: 1006—1016

LONG-TERM CHANGES IN THE ZOOPLANKTON COMMUNITY IN THE JIAOZHOU BAY

SUN Song^{1,2}, LI Chao-Lun², ZHANG Guang-Tao¹, SUN Xiao-Xia¹, YANG Bo²

(1. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Zooplankton is an important component in marine ecosystem. Based on monitoring data from 1977 to 2008, the long-term trend of zooplankton community in the Jiaozhou Bay was analyzed. Our results indicated that the biomass of zooplankton showed a dramatic increasing trend in the past 30 years, especially in spring. The average biomass of zooplankton after 2000 reached 0.361g/m³, about 3.54 times of the average biomass before 2000. The seasonal pattern of zooplankton biomass and abundance also changed. In the 1990's, the biomass and abundance were highest in summer, while their peak time changed to spring after 2000. In addition, the composition of zooplankton species changed at the same time. For example, both the number of species and the abundance of gelatinous zooplankton increased in the past 20 years, especially the jellyfish. The zooplankton biodiversity index after 2000 was 30% higher than that from before 2000. The average abundance of medusa and appendicularia after 2000 were 5 times of those in the 1990's. The abundance of copepod and chaetognath fluctuated during this period.

Key words Jiaozhou Bay, Zooplankton, Biomass, Jellyfish, Long-term change