

初夏南黄海浮游动物功能群丰度年际变化*

时永强^{1,2,3} 孙松^{1,4}① 李超伦^{1,4} 张光涛^{1,4}

(1. 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; 2. 中国科学院大学 北京 100049;
3. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛 266071;
4. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266000)

摘要 利用 1959 年和 2000—2009 年 6 月份在南黄海海域进行的 7 个航次海洋调查采样样品, 并结合同步温盐资料及海温长期变化数据, 研究了不同浮游动物功能群丰度的年际变化。结果表明: 大型甲壳类和毛颚类功能群丰度高且波动幅度较大, 在 1959 年和 2000—2009 年两个时期无明显差异, 最低值分别出现在 2003 年和 2000 年; 而中华哲水蚤为优势种的大型桡足类功能群丰度在 2000—2009 年显著高于 1959 年, 波动范围分别在 2035—24500 和 912—1330 ind/m² 之间; 小型水母和海樽类功能群丰度一般较低, 但是在 2007 年出现暴发式增加, 平均丰度分别是其它年份中最高平均丰度的 4.8 倍和 88.5 倍。大型甲壳类和毛颚类分别在东部冷水团区和中部锋面区波动幅度最大, 小型水母和海樽类则是在西部浅水区波动幅度最大。分析认为桡足类丰度增加与营养盐浓度升高和鱼类过度捕捞有关, 而胶质生物种群剧烈波动与气候变化引起的环境变异相关。

关键词 浮游动物; 功能群; 年际变化; 南黄海; 气候变化; 中华哲水蚤

中图分类号 Q178.1; Q958.8 doi: 10.11693/hyhz20150300095

在全球很多区域都能够找到大量证据证实生态系统对气候变化产生了生态响应(Walther *et al.*, 2002), 其中海洋浮游生态系统对气候变化尤为敏感(Edwards *et al.*, 2004)。由于浮游动物具有世代短、随波逐流及对环境变化敏感等特点, 许多研究利用浮游动物的长期变化来反映气候变化(Beaugrand *et al.*, 2002; Hays *et al.*, 2005)。浮游动物在海洋生态系统食物网中起到承上启下的作用, 其数量及种类的变化会影响鱼类等高营养层次生物(Beaugrand *et al.*, 2003)。因此研究浮游动物对环境变化的响应, 对了解海洋生态系统是否发生稳态转换、评价生态系统是否健康、制定海洋管理政策等均具有非常重要的意义(Perry *et al.*, 2004)。

受气候变化和人类活动影响, 近几十年来黄海海温持续上升(Lin *et al.*, 2005; Belkin, 2009; Huang *et al.*, 2012), 并且溶解氧、N、P、Si 营养盐浓度等环境

因子发生巨大变化(Lin *et al.*, 2005; Fu *et al.*, 2012), 另外赤潮发生频率和范围、鱼类资源量、大型水母暴发频率和规模等也发生持续变化(赵宪勇, 2006; Zhang *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2008; Dong *et al.*, 2010), 以上都说明黄海环境发生了很大改变。但浮游动物在不同时期的年际变化及其对环境变化的响应在南黄海却鲜有报道, 仅见长江口海域浮游动物优势种对气候变暖的响应(李云等, 2009; Zhang *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2011, 2014), 及北黄海浮游动物群落结构和南黄海浮游动物优势种数量分布的年间比较等研究(杨青等, 2012; 陈峻峰等, 2013; 邹艺伟等, 2013)。

将浮游动物按照其在海洋生态系统中不同的作用和地位, 划分到不同类群中, 这些功能相同或相似的种类组成的同一类群即是浮游动物功能群。利用功能群的方法可以有效简化食物网, 易于模拟和较全面了解浮游动物群落时空变化(Sun *et al.*, 2010)。本文

* 国家自然科学基金项目, 41230963 号, 41121064 号; 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403604 号; 中国科学院战略性先导科技专项(A 类), XDA11020305 号。时永强, 博士研究生, E-mail: syongq@foxmail.com

通讯作者: 孙松, 博士生导师, 研究员, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2015-03-31, 收修改稿日期: 2015-06-11

根据南黄海 1959 年和 2000—2009 年 6 月份的航次调查数据, 结合环境变化资料, 将浮游动物以功能群的形式来研究分析不同浮游动物功能群丰度的年际变化, 以期为黄海浮游动物长期变化研究提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究海域及样品来源

浮游动物样品来自 1959 年、2000 年—2003 年、2007 年和 2009 年的 6 月在黄海海域(34°—37°N, 120°—124°E)进行的大面调查, 其中有 6 个站位在所有调查航次中均进行了采样, 为保证站位统一性, 本研究选取这 6 个相同站位来进行比较分析, 采样站位的位置见图 1。黄海不同区域具有不同的水文环境。根据调查站位与黄海冷水团位置之间的关系, 可将 6 个站位划分到 3 个研究区域中: WY、MY、EY, 三者分别代表西部浅水区、中部锋面区和东部冷水团区(图 1)。

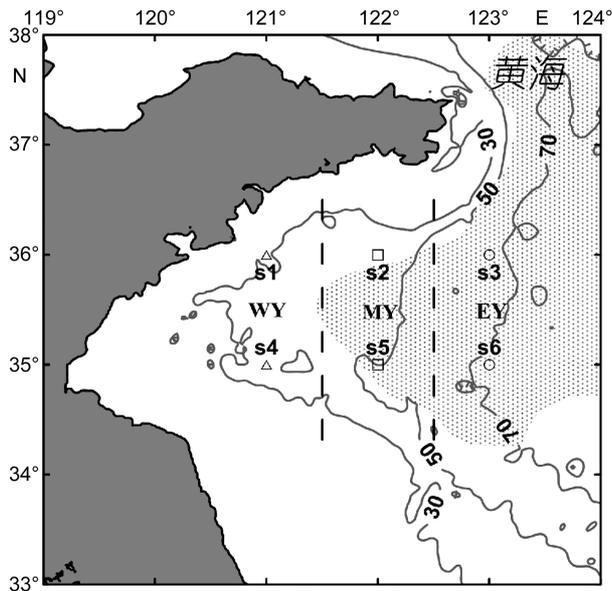


图 1 研究区域及采样站位分布图

Fig.1 Map of the study area and locations of sampling stations. 等值线表示海水深度(m), 阴影部分指示黄海冷水团的大体范围, WY、MY、EY 分别代表 3 个研究区域

温度和盐度均在每个调查站位现场测定。1959 年调查中, 在 0m 层以下的各个标准水层及底层的海水温度利用颠倒温度表进行测量, 海水盐度数据根据现场测定的海水氯度值间接计算获得。在 2000 年之后的调查中, 利用 Sea-Bird CTD 装置(2000—2003 年型号为 SBE-19, 2007 年和 2009 年型号为 SBE-25)现场测量水体温度和盐度的垂直剖面。本研究中, 海

水的表层温度和表层盐度均选在 5m 水层处测定, 而海水的底层温度和盐度均在能达到的最深水层处测定。利用大型浮游生物网(网口面积 0.5m², 网孔直径 505μm)采集浮游动物样品, 在每个站位从近海底到水面垂直拖网, 拖网速度约为 1m/s。样品采集后, 立即用 5%的甲醛海水溶液固定并保存带回。

1.2 样品鉴定及功能群划分

在实验室, 对样品中浮游动物进行鉴定, 对不同种类浮游动物的体长测定参照 Uye(1982)。大型浮游动物, 如磷虾类、毛颚类等, 在解剖镜下全部计数, 并测量相应体长。其余样品进行分样处理后(1/2—1/5), 在解剖镜下尽可能鉴定到种, 全部计数并测量体长。

根据其在食物网中具有的不同功能和作用, 黄海浮游动物可以划分到 6 个功能群: 大型甲壳类(giant crustaceans)、大型桡足类(large copepods)、小型桡足类(small copepods)、毛颚类(chaetognaths)、水母类(medusae)和海樽类(salps)(Sun *et al.*, 2010)。前三个功能群是鱼类的主要食物来源, 根据其体长大小划分, 分别包含体长为 >5mm、2—5mm 和 <2mm 的饵料浮游动物个体。由于小型桡足类功能群在大型浮游生物网中的捕获率较低(王荣等, 2003), 不能真实反映其丰度, 因此本研究只进行其它五个功能群的分析 and 讨论。毛颚类功能群在食物网中具有两种作用: 作为肉食性浮游动物, 毛颚类与鱼类竞争摄食次级生产者; 同时毛颚类也是鱼类的一个饵料来源。水母类功能群仅包括通过浮游生物网采集的小型水母, 它们摄食鱼卵、仔鱼及其它浮游动物。海樽类功能群与其它浮游动物存在竞争关系, 主要摄食浮游植物, 但高营养层次的海洋生物却不能有效地利用海樽类作为食物来源。各浮游动物功能群在各站位的丰度均以 ind/m² 表示。

本研究中的调查年份并不连续, 但为方便描述, 我们用 2000—2009 年来代表本研究中调查采样的 2000—2003 年、2007 年和 2009 年, 进而进行 1959 年和 2000—2009 年两个时期的浮游动物功能群丰度的年际比较。

2 结果

2.1 环境条件

在黄海 3 个研究区域分别分析环境条件的年际变化。虽然 2000—2009 年间 6 月份南黄海表层海水温度存在一定波动, 但大体上均高于 1959 年的表层

水温(图 2a)。1959 年各区域底层温度与 2000—2009 年相比年际差异不显著, 受黄海冷水团影响, WY 区域底层温度要明显高于其它两个区域(图 2b)。在 WY 和 MY 区域, 1959 年的表层盐度和底层盐度均低于 2000—2009 年的调查年份; 但在 EY 区域, 1959 年的表、底层盐度相对较高, 均与 2000—2009 年盐度最高值相近(图 2c, 图 2d)。受近岸淡水输入及外海黄海暖流水影响, 沿 WY—MY—EY 方向, 表、底层海水盐度逐渐升高。

2.2 浮游动物功能群丰度的年际变化

图 3 展示了浮游动物功能群丰度在不同区域的年际变化。大型甲壳类功能群丰度较高, 1959 年大型甲壳类高丰度值主要分布在 WY 和 MY 区域, 而 2000—2009 年调查年份高丰度主要发生在 MY 和 EY 区域, 最大丰度发生在 2001 年 EY 区域。总体上看, 大型甲壳类丰度波动较大, 尤其在 EY 区域波动幅度最大; 大型甲壳类丰度在 1959 年和 2000—2009 年两个时期无明显差异, 最低丰度发生在 2003 年。大型桡足类功能群丰度最高, 1959 年大型桡足类在三个研究区域分布较均匀, 丰度范围是 912—1330ind/m², 均显著低于 2000—2009 年调查年份的三个区域(2035—

24500ind/m², $P < 0.05$)。在 2000—2009 年, 大型桡足类功能群分布同样相对较均匀, 最大丰度发生在 2000 年 EY 区域。毛颚类功能群丰度较高, 在 1959 年主要分布在 WY 和 MY 区域; 在 2000—2009 年, 主要分布在 MY 区域, 最大丰度发生在 2003 年 MY 区域。总体上看, 毛颚类功能群丰度波动较大, 尤其在 MY 区域波动幅度最大; 毛颚类丰度在 1959 年和 2000—2009 年两个时期无明显差异, 最低丰度发生在 2000 年。水母类功能群在所有调查年份均较少出现, 主要分布在 WY 区域, 且丰度波动较大。1959 年、2002 年和 2003 年均只有一个站位出现小型水母, 且丰度很低, 而 2009 年虽然仅有一个站位采集到水母, 但丰度较高(图 4a)。水母类功能群丰度在 2007 年出现暴发式增加, 其平均丰度是 2001 年(丰度次高年)平均丰度的 4.8 倍。海樽类功能群仅在 1959 年和 2007 年采集到, 1959 年海樽类功能群由贝环纽鳃樽(*Cyclosalpa bakeri*)构成, 仅分布在 MY 和 EY 区域, 丰度范围是 146—284ind/m²。在 2007 年, 梭形纽鳃樽(*Salpa fusiformis*)在南黄海大面积暴发, 其丰度非常高, 是 1959 年海樽类平均丰度的 88.5 倍, 主要分布在 WY 区域和 EY 区域。

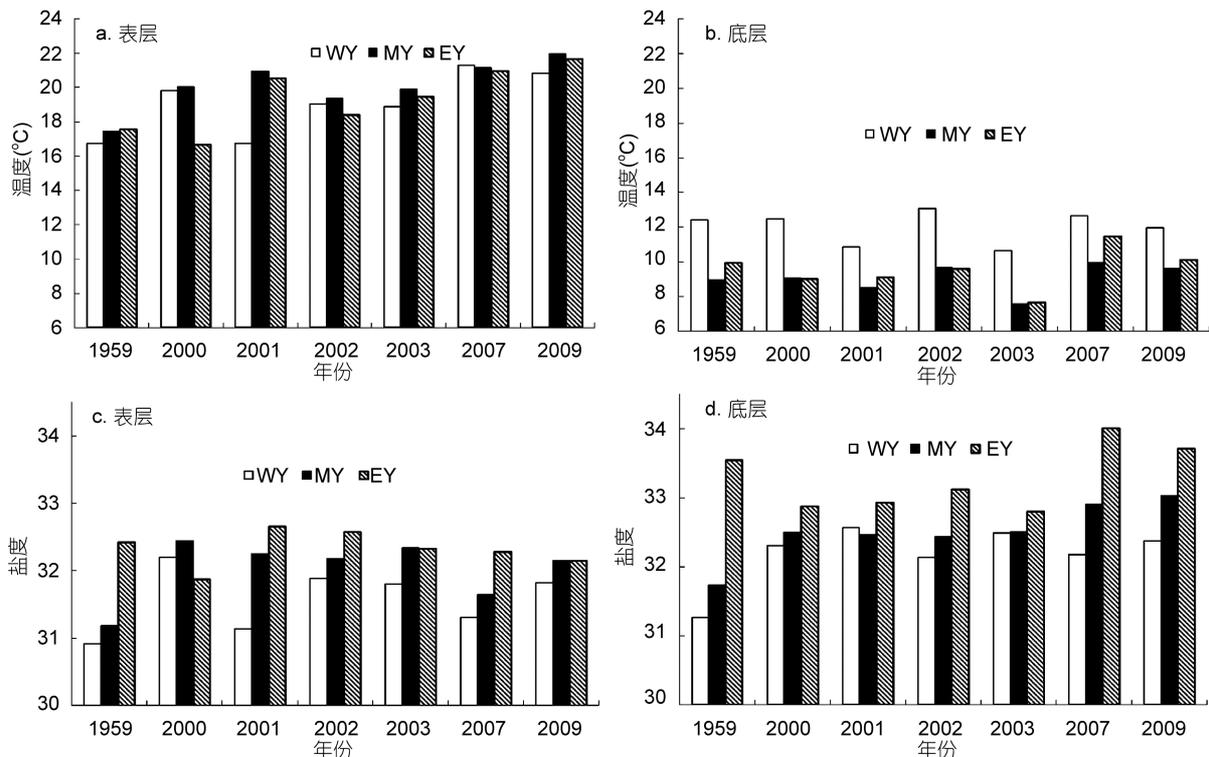


图 2 南黄海 6 月份温度(°C)和盐度的年际变化

Fig.2 Interannual variations of sea temperature (°C) and salinity in the southern Yellow Sea in June
a: 表层海水温度; b: 底层海水温度; c: 表层海水盐度; d: 底层海水盐度; WY、MY、EY 分别代表不同研究区域, 见图 1

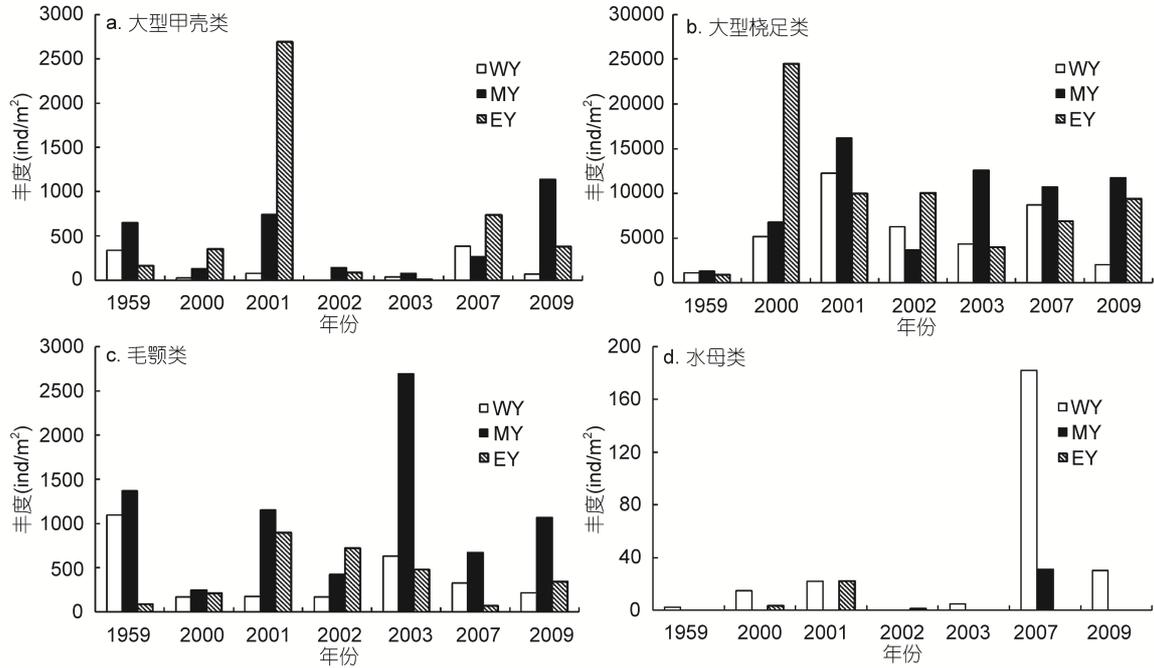


图3 南黄海6月份浮游动物功能群丰度(ind/m²)年际变化

Fig.3 Interannual changes in abundance (ind/m²) of zooplankton functional groups in the southern Yellow Sea in June
a: 大型甲壳类功能群; b: 大型桡足类功能群; c: 毛颚类功能群; d: 水母类功能群

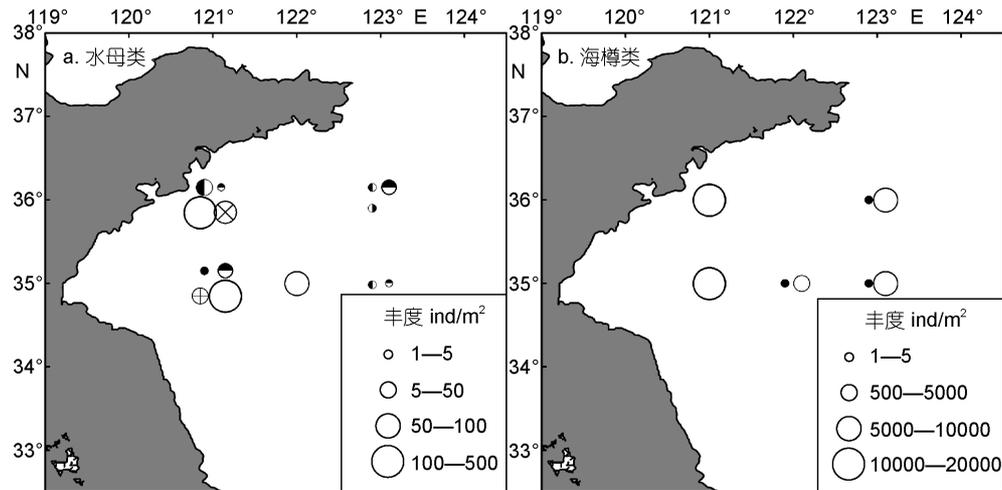


图4 南黄海水母类和海樽类功能群丰度的时空分布

Fig.4 Temporal-spatial distributions of small jellyfish and salps functional groups in the southern Yellow Sea
a: 水母类功能群; b: 海樽类功能群; 圆形大小代表丰度高, 不同类型圆代表不同年份: 1959年(●), 2000年(◐), 2001年(◑), 2002年(◒), 2003年(⊕), 2007年(○), 2009年(⊗)

3 讨论

3.1 黄海环境条件长期变化

Huang 等(2012)从黄东海过去 141 年表层海水温度(SST)序列中识别出 4 个时期, 其中 1945—1976 年为具有降温趋势的暖期, 1977—2010 年为有升温趋势的暖期, 且后者升温显著。根据卫星遥感数据, 黄渤

海 SST 在 1982—2006 年间上升了 0.67°C(Belkin, 2009), 黄海 36°N 断面实测数据显示, 黄海 SST 在 1976—2000 年间的上升速率是 0.094°C/年(Lin *et al.*, 2005)。综合来看, 与 1959 年相比, 黄海表层水温在 2000 年之后有所升高(图 5)。本研究中, 2000—2009 年 6 月调查站位的 SST 明显高于 1959 年 6 月(图 2a), 但图 5 中显示两个时期 SST 差异较小, 一方面原因是

1959 年 SST 相对较高, 导致两个时期相比 SST 增温较缓(图 5), 另一方面原因可能是黄海 6 月和全年的 SST 年际变化趋势不一致, 并且研究区域不同也可能造成一定影响。黄海底层海水温度同样具有一定的年际变化, 但与 SST 相比, 其升温趋势较弱且周期性更强(Lin *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2011)。黄海海水盐度在 1976—2000 年间轻微上升, 但趋势不显著(Lin *et al.*, 2005)。本研究中, 2000—2009 年近岸区域海水盐度相对较高, 与渤海海水盐度年际上升趋势一致(Lin *et al.*, 2001)。总之, 与 1959 年相比, 黄海海水的温度和盐度在 2000—2009 年均发生了一定变化。

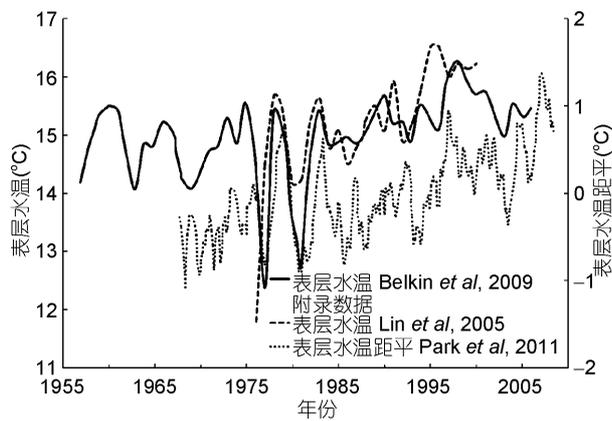


图 5 文献报道黄海表层水温及距平的变化趋势

Fig.5 Variation trends of surface seawater temperature and anomaly in the Yellow Sea using published sources

人类活动会影响海洋生态系统, 尤其是在近岸区域(Halpern *et al.*, 2008)。Hoagland 等(2008)指出黄海和东海在所有海洋大生态系统研究区域中具有最高的经济活力, 这也造成了严重的海洋环境退化。过度捕捞导致黄海鳀鱼(*Engraulis japonicus*)等鱼类资源量急剧下降(赵宪勇, 2006), 并且发生许多鱼类优势种体长减小、营养级降低等趋势(Zhang *et al.*, 2007)。沿岸经济的快速发展导致环境发生改变, 1976—2000 年间, 黄海年平均溶解性无机氮浓度上升了 $2.86\mu\text{mol/L}$, 同时溶解氧、磷酸盐和硅酸盐的浓度分别降低 56.74 、 0.10 和 $3.77\mu\text{mol/L}$ (Lin *et al.*, 2005), 而在 2007—2008 年, 黄海 N、P 和 Si 的营养盐浓度均发生显著增加(Fu *et al.*, 2012)。在近岸海域, 伴随营养盐增加, 浮游植物数量增加, 硅藻在浮游植物群落中比例降低, 而甲藻比例升高, 从数量和范围上有害赤潮的发生均有巨大升高(Zhou *et al.*, 2008; Fu *et al.*, 2012)。另外, 在中国海域, 近十几年来水母发生大面积暴发(Dong *et al.*, 2010)。以上都说明了在本研究的

两个调查时期间, 黄海环境已经发生了巨大改变。

3.2 浮游动物功能群丰度的年际变化

与 1959 年相比, 在长江口海域, 浮游动物暖温种如中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、强壮箭虫(*Sagitta crassa*)的分布和丰度在 2002 年之后均降低(李云等, 2009; Xu *et al.*, 2011, 2014), 而在北黄海, 浮游动物暖温种和暖水种丰度在 2009—2012 年均升高(杨青等, 2012; 邹艺伟等, 2013), 可能原因是海温升高导致长江口海域暖温种分布向北退缩, 丰度降低, 并且物候提前(Xu *et al.*, 2011), 并导致北黄海暖温种丰度增加, 暖水种北移(杨青等, 2012)。本研究中, 南黄海各浮游动物功能群在 1959 年和 2000—2009 年两个时期的丰度年际变化存在一定差异。

大型甲壳类功能群丰度虽然比大型桡足类功能群低, 但前者个体较大, 生物量较高, 是鱼类的重要饵料(孟田湘, 2003)。大型甲壳类的优势种是太平洋磷虾和细足法蚖(*Themisto gracilipes*), 主要分布在黄海中部区域(中国科学院海洋研究所浮游生物组, 1977)。太平洋磷虾斑块分布较明显(Sun *et al.*, 2011), 正是由于在 2001 年 s3 站位采集到大量太平洋磷虾, 导致 2001 年大型甲壳类丰度在 EY 区域非常高。在长江口海域, 5 月份太平洋磷虾在 2002—2012 年丰度显著低于 1959 年(Xu *et al.*, 2014); 在南黄海中部, 1959 年 5 月份太平洋磷虾丰度与 1998 年相当, 但显著低于 2010 年(陈峻峰等, 2013)。本研究中大型甲壳类丰度在 2000—2009 年 6 月年际波动较大, 与 1959 年相比无明显差异, 说明南黄海大型甲壳类在两个时期丰度变化较小。

大型桡足类功能群中中华哲水蚤占据绝对优势地位。受表层海水温度上升影响, 在长江口海域与 1959 年相比, 中华哲水蚤在 2005 年的春季丰度高峰发生时间和峰值消退时间均提前近一个月(Xu *et al.*, 2011)。在黄海东部, 中华哲水蚤在 20 世纪 90 年代 5 月份的丰度显著高于其 80 年代 5 月份丰度(Kang *et al.*, 2007); 而在黄海中部, 5 月份中华哲水蚤在 1959 年丰度和 1982 年相近, 高于 1998 年, 但显著低于 2010 年丰度(陈峻峰等, 2013)。以上研究说明中华哲水蚤对环境变化具有较敏感响应。本研究中, 大型桡足类丰度在 1959 年要显著低于 2000—2009 年, 而在后一时期虽然海温存在波动, 但其丰度年际差异较小(Shi *et al.*, 2015), 因此海水温度上升对中华哲水蚤种群发展的促进作用可能并不是影响其丰度高低的主要决定

因素, 营养盐浓度升高导致浮游植物增多促进上行作用及过度捕捞导致鱼类资源急剧下降从而降低捕食效应这两种因素更能解释大型桡足类功能群在 2000—2009 年的高丰度(Kang *et al.*, 2007)。

毛颚类功能群的优势种是强壮箭虫和拿卡箭虫(*Sagitta nageae*)。强壮箭虫是较喜低温的暖温种, 对环境变暖具有一定响应, 如 1959 年冬季强壮箭虫在长江口丰度和出现率均较高, 而在 2002 年冬季强壮箭虫几乎在长江口海域没有分布(李云等, 2009)。在黄海中部, 5 月份强壮箭虫在 1959 年丰度要低于 1982 年, 而明显高于 1998 年和 2010 年(陈峻峰等, 2013)。本研究中, 毛颚类功能群丰度在 2003 年最高, 原因是该年采集到了大量拿卡箭虫。如果去除拿卡箭虫丰度, 毛颚类功能群在 1959 年丰度要高于 2000—2009 年, 可能原因是强壮箭虫对海水温度变暖产生响应, 在南黄海丰度降低, 而在北黄海丰度增加(邹艺伟等, 2013)。

水母类功能群在调查中出现率较低, 且丰度很低。至少从 20 世纪 70 年代初开始, 在全球许多海域均出现胶质浮游动物水母类数量的增加甚至是暴发现象(Purcell *et al.*, 2007; Condon *et al.*, 2013)。除大型水母近年来在黄海暴发外(Dong *et al.*, 2010), 小型水母也出现数量增多现象, 如胶州湾小型水母的丰度在 2001—2009 年比在 1991—2000 年增加了近 5 倍(Sun *et al.*, 2012)。本研究中, 小型水母的出现率和丰度在 2000—2009 年期间有所升高, 可能是温度升高、富营养化、沿岸建设改变等原因导致水母类增加(Purcell *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2012)。水母类功能群在 2007 年丰度最高, 可能与当年水温相对较高有关(Shi *et al.*, 2015)。

海樽类功能群仅在 1959 年和 2007 年采集到, 且种类不同, 分别是贝环纽鳃樽和梭形纽鳃樽。贝环纽鳃樽是黄海冷水团指示种(中国科学院海洋研究所浮游生物组, 1977), 但除了 1959 年全国海洋综合调查以外, 近年来仅在北黄海有过零星报道(陈介康, 1978; 朱延忠, 2008), 是否因为海温升高, 其分布范围北移还需要进一步验证。梭形纽鳃樽是通过暖流入侵进入黄海的, 由于 2006—2007 年具有较高水温, 梭形纽鳃樽在 2007 年冬春季的黄海一直保有种群, 并在春夏季暴发(Liu *et al.*, 2012)。

浮游动物的生物量和丰度在 2000—2001 年要高于 1959 年(左涛, 2003), 从本研究结果来看, 大型桡足类功能群丰度的显著增加是造成两个时期浮游动

物丰度和生物量差异的主要原因。受历史原因所限, 本文仅获取并分析 2000—2009 年及 1959 年 6 月份南黄海大型浮游生物网采样资料, 今后仍需开展时期更广、季节更多的浮游动物群落变化研究, 以期较全面了解浮游动物群落年际变化及对环境变化的响应。

4 结语

本研究中, 南黄海各浮游动物功能群在 1959 年和 2000—2009 年两个时期具有不同的年际变化。大型甲壳类丰度波动幅度较大, 在两个研究时期差异不明显; 而以中华哲水蚤为优势种的大型桡足类丰度在 2000—2009 年显著高于 1959 年, 可能与营养盐浓度升高和鱼类过度捕捞有关; 受海温升高影响, 毛颚类中强壮箭虫丰度在 2000—2009 年降低, 小型水母类在 2000—2009 年丰度和出现率均升高, 而海樽类种群也在两个时期发生了明显变化。各浮游动物功能群中不同物种及中型浮游生物网中的小型桡足类功能群丰度年际变化及对环境变化响应的研究工作, 需要今后进一步开展。

致谢 感谢老一辈科研工作者及本课题组吉鹏老师等人的现场采样工作, 感谢“北斗号”考察船全体工作人员在采样过程中给予的无私帮助, 感谢杨波老师对浮游动物样品的鉴定。谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王 荣, 王 克, 2003. 两种浮游生物网捕获性能的现场测试. 水产学报, 27(增刊): 98—102
- 中国科学院海洋研究所浮游生物组, 1977. 中国近海浮游生物的研究. 见: 全国海洋综合调查报告第八册. 天津: 海洋综合调查办公室出版, 1—159
- 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, 64—65
- 朱延忠, 2008. 夏、冬季北黄海大中型浮游动物群落生态学. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 18—25
- 李 云, 徐兆礼, 高 倩, 2009. 长江口强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度变化对环境变暖的响应. 生态学报, 29(9): 4773—4780
- 杨 青, 王真良, 樊景凤等, 2012. 北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化. 生态学报, 32(21): 6747—6754
- 邹艺伟, 杨 青, 李全宝等, 2013. 北黄海浮游动物群落结构及年间比较. 海洋环境科学, 32(5): 683—687
- 陈介康, 1978. 在黄海北部发现的两种纽鳃樽. 动物学杂志, 2: 13—16
- 陈峻峰, 左 涛, 王秀霞, 2013. 南黄海浮游动物主要种类数量分布年间比较. 海洋学报, 35(6): 195—203
- 孟田湘, 2003. 黄海中南部鳃鱼各发育阶段对浮游动物的摄食. 海洋水产研究, 24(3): 1—9
- 赵宪勇, 2006. 黄海鳃鱼种群动力学特征及其资源可持续利用.

- 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 9—18
- 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, Reid P C, Ibañez F *et al*, 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science*, 296(5573): 1692—1694
- Belkin I M, 2009. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 81(1—4): 207—213
- Condon R H, Duarte C M, Pitt K A *et al*, 2013. Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(3): 1000—1005
- Dong Z J, Liu D Y, Keesing J K, 2010. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences. *Marine Pollution Bulletin*, 60(7): 954—963
- Edwards M, Richardson A J, 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430(7002): 881—884
- Fu M Z, Wang Z L, Pu X M *et al*, 2012. Changes of nutrient concentrations and N:P:Si ratios and their possible impacts on the Huanghai Sea ecosystem. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(4): 101—112
- Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A *et al*, 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865): 948—952
- Hays G C, Richardson A J, Robinson C, 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(6): 337—344
- Hoagland P, Jin D, 2008. Accounting for marine economic activities in large marine ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, 51(3): 246—258
- Huang D J, Ni X B, Tang Q S *et al*, 2012. Spatial and temporal variability of sea surface temperature in the Yellow Sea and East China Sea over the past 141 years. In: Wang S Y ed. *Modern Climatology*. In Tech, 213—234
- Kang J H, Kim W S, Jeong H J *et al*, 2007. Why did the copepod *Calanus sinicus* increase during the 1990s in the Yellow Sea? *Marine Environmental Research*, 63(1): 82—90
- Lin C, Ning X, Su J *et al*, 2005. Environmental changes and the responses of the ecosystems of the Yellow Sea during 1976—2000. *Journal of Marine Systems*, 55(3—4): 223—234
- Lin C L, Su J L, Xu B R *et al*, 2001. Long-term variations of temperature and salinity of the Bohai Sea and their influence on its ecosystem. *Progress in Oceanography*, 49(1—4): 7—19
- Liu Y Q, Sun S, Zhang G T, 2012. Seasonal variation in abundance, diel vertical migration and body size of pelagic tunicate *Salpa fusiformis* in the Southern Yellow Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 30(1): 92—104
- Park S, Chu P C, Lee J H, 2011. Interannual-to-interdecadal variability of the Yellow Sea Cold Water Mass in 1967—2008: Characteristics and seasonal forcings. *Journal of Marine Systems*, 87(3—4): 177—193
- Perry R, Batchelder H, Mackas D L *et al*, 2004. Identifying global synchronies in marine zooplankton populations: issues and opportunities. *ICES Journal of Marine Science*, 61(4): 445—456
- Purcell J E, Uye S I, Lo W T, 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 350: 153—174
- Shi Y Q, Sun S, Zhang G T *et al*, 2015. Distribution pattern of zooplankton functional groups in the Yellow Sea in June: a possible cause for geographical separation of giant jellyfish species. *Hydrobiologia*, 754(1): 43—58
- Sun S, Huo Y Z, Yang B, 2010. Zooplankton functional groups on the continental shelf of the yellow sea. *Deep-Sea Research Part II*, 57(11—12): 1006—1016
- Sun S, Li Y H, Sun X X, 2012. Changes in the small-jellyfish community in recent decades in Jiaozhou Bay, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 30(4): 507—518
- Sun S, Tao Z C, Li C L *et al*, 2011. Spatial distribution and population structure of *Euphausia pacifica* in the Yellow Sea (2006—2007). *Journal of Plankton Research*, 33(6): 873—889
- Uye S I, 1982. Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 38(3): 149—158
- Walther G-R, Post E, Convey P *et al*, 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879): 389—395
- Xu Z L, Ma Z L, Wu Y M, 2011. Peaked abundance of *Calanus sinicus* earlier shifted in the Changjiang River (Yangtze River) Estuary: a comparable study between 1959, 2002 and 2005. *Acta Oceanologica Sinica*, 30(3): 84—91
- Xu Z L, Zhang D, 2014. Dramatic declines in *Euphausia pacifica* abundance in the East China Sea: response to recent regional climate change. *Zoological Science*, 31(3): 135—142
- Zhang B, Tang Q S, Jin X S, 2007. Decadal-scale variations of trophic levels at high trophic levels in the Yellow Sea and the Bohai Sea ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 67(3—4): 304—311
- Zhang G T, Sun S, Xu Z L *et al*, 2010. Unexpected dominance of the subtropical copepod *Temora turbinata* in the temperate Changjiang river estuary and its possible causes. *Zoological Studies*, 49(4): 492—503
- Zhou M J, Shen Z L, Yu R C, 2008. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River. *Continental Shelf Research*, 28(12): 1483—1489

INTERANNUAL CHANGES IN THE ABUNDANCE OF ZOOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS IN THE SOUTHERN YELLOW SEA IN EARLY SUMMER

SHI Yong-Qiang^{1,2,3}, SUN Song^{1,4}, LI Chao-Lun^{1,4}, ZHANG Guang-Tao^{1,4}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environment Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 4. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266000, China)

Abstract Zooplankton samples were collected from seven oceanographic censuses in the southern Yellow Sea in June in 1959 and 2000—2009. The interannual changes in abundance of different zooplankton functional groups were studied with simultaneously measured temperature-salinity data and long-term change data of seawater temperature. The results show that both giant crustaceans and chaetognaths had high abundance and fluctuated remarkably; both the abundance was similar between 1959 and 2000—2009, of which the lowest abundance occurred in 2003 and 2000, respectively. The abundance of large copepods, dominated by *Calanus sinicus*, was significantly higher in 2000—2009 than that in 1959, and the fluctuation ranges were 2035—24500 and 912—1330 ind/m² in the two periods, respectively. Small jellyfish and salps usually presented low abundance, but both increased dramatically in 2007 for being 4.8-fold and 88.5-fold, respectively, of the highest mean abundance in other years. Giant crustaceans and chaetognaths varied widely in the Yellow Sea Cold Water Mass region and tidal front region, respectively, while small jellyfish and salps fluctuated widely in the western shallow region. We believe that the increased copepod abundance was resulted from increased nutrition and over-fishing, while the dramatic fluctuation of gelatinous zooplankton was due to environmental variation under global climate change.

Key words zooplankton; functional group; interannual change; southern Yellow Sea; climate change; *Calanus sinicus*