

# 胶州湾海月水母(*Aurelia* sp.1)丰度周年变化 及对浮游动物群落的影响<sup>\*</sup>

万艾勇<sup>1, 2</sup> 张光涛<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 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. 中国科学院研究生院 北京 100049)

**提要** 2009 年 2—12 月间在胶州湾大沽河口邻近海域的逐月现场调查中, 利用垂直拖网研究了海月水母碟状体和水母体的时空分布情况以及对其它浮游动物类群的影响, 并探讨了海月水母的生态适应性。结果表明: 海月水母的碟状体 4 月份开始在胶州湾出现, 并且丰度逐渐增加, 到 6 月份达到最高峰。海月水母的水母体集中在 7 月份大量出现。碟状体和水母体高峰期的月平均丰度分别为 2.9 和 1.3 ind/m<sup>3</sup>。碟状体开始出现时的水温平均为 11.5℃, 数量高峰期的水温为 20.6℃, 而水母体高峰期的水温为 25.2℃。该海域的浮游动物总丰度(不含夜光虫)在 5—7 月份有个高峰期, 其中 5 月份最高值为 486.9 ind/m<sup>3</sup>。7 月份海月水母高峰期, 浮游动物的丰度没有明显下降, 两者丰度的地理变化之间也没有显著的相关性。但是通过对 2006—2010 年间的浮游动物各类群丰度对比, 2009 年海月水母暴发时夜光虫和桡足类春季丰度高值显著低于其它年份。

**关键词** 海月水母, 暴发, 浮游动物, 碟状体, 胶州湾, 周年变化

**中图分类号** Q178.1; Q958.885.3

海月水母(*Aurelia* spp.)属刺胞动物门、钵水母纲、旗口水母目、海月水母属, 广泛分布于 40°S—70°N 的沿岸水域(Kramp, 1961; Lucas, 2001)。早期世界范围内描述的海月水母种和亚种超过 12 种(Kramp, 1961), 然而后来的研究认为只有两个不同的种类 *A. aurita* 和 *A. limbata* (Russell, 1970)。现在普遍接受的是 DNA 序列分析的结果, 即海月水母存在多个隐匿种, 而日本、韩国和我国近海的种类一般记作海月水母(*Aurelia* sp.1)(Dawson *et al.*, 2001)。

自 20 世纪 80 年代以来, 海月水母的数量呈现快速增加的趋势(Uye *et al.*, 2005), 尤其是在半封闭或全封闭且潮流交换受限的水体系统中, 其数量往往明显高于开放或较深的水域(Ishii *et al.*, 1998; Lucas, 1996)。与这种分布特征相对应, 在全世界水母堵塞电厂冷却水系统的案例中有超过一半是由海月水母引

起的(Purcell *et al.*, 2007)。也有关于海月水母影响渔业生产、近海养殖活动和蜇人的报道, 但是发生的频率要比其它大型水母低。2009 年, 胶州湾也出现了海月水母大量发生, 并堵塞发电厂水循环系统。在国内的其它海区也有海月水母大量发生的报道, 但是目前国内还没有关于海月水母数量周年变化的报道。

海月水母大量发生的另外一个重要影响就是通过捕食和竞争作用影响其它浮游动物类群的丰度。水母可以通过大量滤食浮游动物、鱼类卵和仔稚鱼等, 从而通过摄食和捕食竞争影响着经济鱼类的种群数量。特别是水母暴发时, 水母以高的生长率在很短的时间大量增殖, 很容易干扰原有浮游生态系统的主要类群, 破坏了海洋生态系统的平衡(Mills, 1995)。Greve(1994)研究表明当水母大量增长时, 该水域中浮游生物的数量在短时间内急剧下降, 甚至可降至

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403604 号; 国家海洋公益性行业科研专项经费项目资助, 200805066 号。万艾勇, E-mail: aiyongyong001@yahoo.com.cn

通讯作者: 张光涛, 博士, 研究员, E-mail: gtzhang@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

为零。虽然目前国内已经可以在实验室通过人工饵料大量繁殖海月水母, 但是其在自然界对其它浮游动物类群的捕食作用尚不清楚。

海月水母的大量发生可能与很多因素有关, 比如气候变暖、富营养化、过度捕捞、海洋里人工建筑设施增加等(Mills, 1995; Purcell, 2005)。海月水母的生活史包括了附着生活的水螅体阶段和浮游生活的碟状体和成体阶段。上述因素一方面通过为附着幼体提供了更多的栖息地, 同时也为种群的补充提供更加适合的温度条件和丰富的食物来源。胶州湾, 尤其是北沿岸区大沽河口及东侧海区, 受到养殖与陆源排放的影响较大, 加上近年来养殖活动和跨海大桥等工程的修建, 大大改变了原有海洋基质的状态, 有利于大型水母水螅体的附着。因此, 在全球变暖的背景下, 海月水母的危害将在未来相当长的时间里持续影响本地的环境和社会生产活动, 而应对这种危害需要详实的数据支持。

在胶州湾海月水母大量发生的 2009 年, 作者于 2—12 月份之间在大沽河口附近海域的 18 个站位进行了逐月现场调查。在本研究分析了垂直拖网样品中海月水母碟状体和水母体数量的周年变化, 并根据同步的温度、盐度和叶绿素浓度探讨了海月水母种群补充与环境因子的关系。同时, 利用本次调查浮游动物时空变化数据, 并结合胶州湾固定站位浮游动物丰度年际变化比较, 探讨了海月水母大量发生对浮游动物群落的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 现场调查和样品分析

在胶州湾大沽河口海域布设 18 个调查站位(图 1), 于 2009 年 2 月到 12 月间进行了逐月调查。浮游动物样品通过浅水型网(网口面积  $0.2\text{m}^2$ , 筛绢孔径  $500\text{ }\mu\text{m}$ )由底到表垂直拖网采集, 4%(V/V)福尔马林海水固定保存, 回实验室在解剖镜下进行全样品鉴定并计数。各调查站位的水温和盐度及深度用 CTD(日本 Alec 公司, 型号 AAQ1183-1F)测量。逐站用 Niskon 采水器采集表层水样, 用  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  的醋酸纤维滤膜现场减压过滤  $500\text{ml}$  水样, 滤膜用锡纸包好并冷冻保存, 回实验室按照海洋调查规范(GB12763.6-91)规定的萃取荧光法, 用 Turner Design Model-10 荧光光度计测定叶绿素浓度。浮游动物计数到种, 底栖动物浮游幼体计数到类群。海月水母分别计数碟状体和水母体, 后者只计数完整个体, 其它的水母胶质残体由于难

以鉴定种类, 故忽略不计。由于不同种类的碟状体较难识别, 作者在鉴定时除与实验室获得的碟状体进行形态比较外, 还对现场捕获的碟状体进行培养, 从而确定是海月水母。

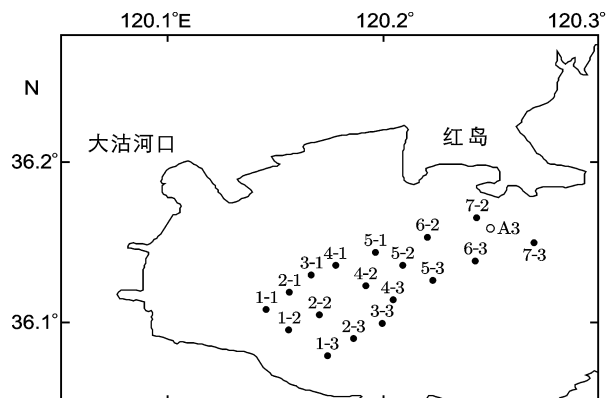


图 1 胶州湾大沽河口附近海域调查站位图

Fig.1 Map of sampling sites in the Dagu River Estuary in the Jiaozhou Bay

注: ○表示本次调查站位; ●表示浮游动物年际变化站位

### 1.2 数据分析

由于夜光虫(*Noctiluca scintillans*)数量远超其它种类, 因此分别计算夜光虫和其它浮游动物的丰度。同时, 将除海月水母外的浮游动物按分类地位划分成并夜光虫、桡足类、毛颚类、小型水母和其它浮游动物五个类群。由于只测量表层叶绿素浓度, 而且该区域水深较浅层化不明显, 因此水温和盐度也选择表层数据, 计算逐月平均值。

为了比较浮游动物丰度的年际变化, 本文在胶州湾生态站的常规监测站位中选择位置重合的 A3 站, 对浮游动物各类群丰度在 2006—2010 年间的逐月变化进行比较研究。历史数据与本文的调查采用相同的采样方法和计数强度, 并按统一的类群划分方法, 比较不同类群的丰度在海月水母大量出现的 2009 年和其它年份的差异。

## 2 结果

### 2.1 环境特征

调查海域全年的月均温、盐和叶绿素 *a* 浓度变化如图 2 所示。水温月平均变化范围为  $4.4\text{--}26.1^\circ\text{C}$ , 水温在 2 月和 12 月两个月份较低, 其中在湾北的站位 2 月份水温最低为  $4.4^\circ\text{C}$ , 进入 2 月份水温开始升高, 在 8 月份达到最高随后开始下降。本海域全年的盐度的月平均差异不是很明显, 全年的盐度范围在  $28.7\text{--}$

31.5 之间, 其中在夏季和秋季盐度明显低于其它月份的盐度。全年的叶绿素 *a* 浓度月平均变化范围为 0.04—7.4  $\mu\text{g/L}$ , 在 4、7 月份出现两个高峰。2、3 月份时整个胶州湾叶绿素 *a* 浓度都比较低, 以后开始逐渐升高, 在 4 月份出现一个明显的高峰, 随后又下降, 在 7 月份平均叶绿素 *a* 浓度达到最高为 7.4  $\mu\text{g/L}$ , 随后又开始下降。

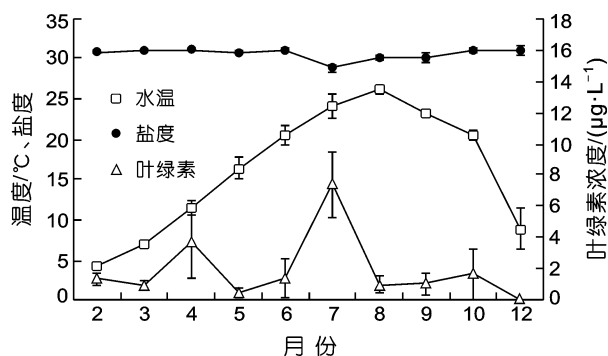


图2 月平均叶绿素 *a* 浓度、温度和盐度的周年变化  
Fig.2 Annual variation in monthly average temperatures, salinities and chlorophyll *a* concentrations

## 2.2 海月水母

海月水母碟状体 4 月份开始出现, 丰度逐渐升高, 并在 6 月份达到最高。7 月份以后再没有碟状体出现 (图 3)。其中, 4 月份只有 2-1 站采集到 1 个碟状体; 5 月份在 2-1、3-1 和 6-2 站采集到碟状体, 丰度分别为 3.3 和 5.0  $\text{ind}/\text{m}^3$ ; 6 月份在 8 个站位发现碟状体, 丰度在 1.6—11.7  $\text{ind}/\text{m}^3$  之间。海月水母的水母体集中在 7 月份出现, 水母体的平均丰度为 1.3  $\text{ind}/\text{m}^3$ 。虽然 6 月份调查过程中能零星观测到水母体, 但是丰度极低, 垂直网中并没有采集到。

从碟状体和水母体在丰度高峰期的地理分布趋势 (图 4) 上看, 6 月份碟状体主要集中在红岛附近站位, 6-2、7-2 和 7-3 站丰度都在 11  $\text{ind}/\text{m}^3$  以上。虽然西部的 1-1、2-2 和 3-3 站也有碟状体出现, 但丰度都在 5  $\text{ind}/\text{m}^3$  以下。最西部的两条断面没有采集到水母体。共有 7 个站位采集到水母体, 丰度高值出现在 3-1 和 7-3 站, 分别达到 2.5 和 3.0  $\text{ind}/\text{m}^3$ 。

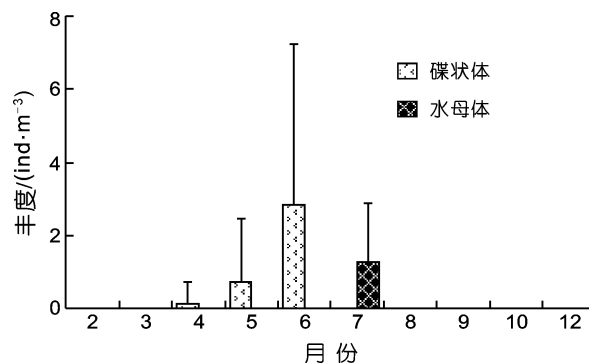


图3 海月水母碟状体和水母体月平均丰度周年变化(误差线表示标准差)

Fig.3 Monthly variation in ephyra and medusa densities of *Aurelia* sp.1 (error bar indicates standard deviation)

## 2.3 浮游动物丰度周年变化

从月平均变化 (图 5a) 可以看出, 浮游动物 (不包含夜光虫和海月水母, 下同) 总丰度在 5 月份达到全年最高峰 486.9  $\text{ind}/\text{m}^3$ , 12 月份降到全年最低值 46.5  $\text{ind}/\text{m}^3$ 。5—12 月份丰度降低期间, 除 10 月份略有升高外, 基本是逐渐降低的趋势。但是在 2—5 月份丰度升高期间, 波动明显。3 月份丰度显著增加, 而 4 月份又明显降低。虽然夜光虫在所有调查月份都出现, 但是夜光虫丰度在大多数月份都比较低, 7 月份数量高峰期平均丰度为 815.0  $\text{ind}/\text{m}^3$ , 其余月份在 2.4—

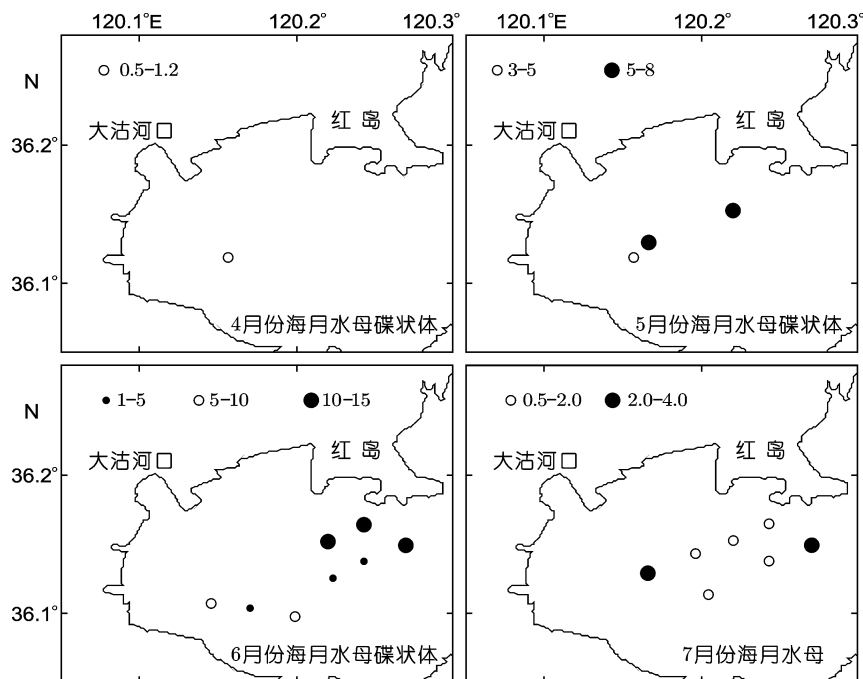


图4 海月水母碟状体和水母体在高峰期的丰度地理分布 ( $\text{ind}/\text{m}^3$ )  
Fig.4 Geographical variation in ephyra and medusa densities ( $\text{ind}/\text{m}^3$ ) of *Aurelia* sp.1 in peak months

90.5ind/m<sup>3</sup>之间。

桡足类是浮游动物中最重要的类群, 占总丰度的比例在 7%—67%之间(图 5b)。丰度月平均值在 2 月份较低, 其后的 3 月份之后快速升高, 达到最高值 186.3ind/m<sup>3</sup>, 在 4 月份快速降低为 29.6ind/m<sup>3</sup>。此期间优势种为中华哲水蚤。进入 5 月份后, 由于纺锤类水蚤数量快速增多, 使桡足类总丰度达到全年丰度次高峰。随后月平均丰度缓慢下降, 并且在 9 月份种群总丰度最低值为 7.3ind/m<sup>3</sup>, 10 月份丰度又快速增加达到冬季另一个高峰 136.1ind/m<sup>3</sup>, 随后又快速下降。

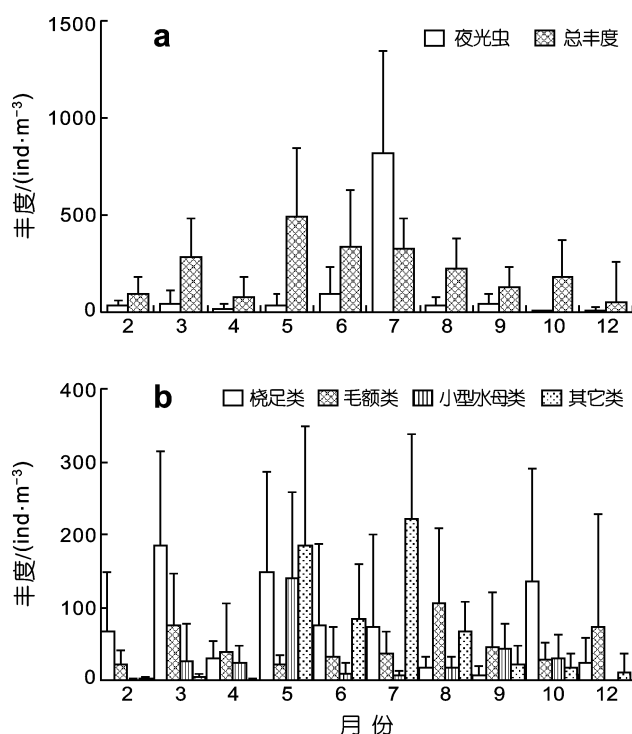


图 5 浮游动物总丰度和夜光虫(a), 桡足类、毛颚类、其它类和小型水母(b)月平均丰度的周年变化

Fig.5 Monthly variation in abundances of total zooplankton and *N. scintillans* (a), Copepod, Chaetognath, small medusae and others (b)

毛颚类占总丰度的比例在 5%—66%之间, 其中强壮箭虫(*Sagitta crassa*)占绝对优势。2 月份丰度较低, 随后的 3 月份之后快速升高, 达到全年次高值 75.1ind/m<sup>3</sup>。其丰度进入 4 月份快速下降, 在 5 月份降到全年最低点 21.5ind/m<sup>3</sup>, 之后缓慢增加并在 8 月份时达到全年最高峰 105.8ind/m<sup>3</sup>。随后丰度缓慢下降, 并且在 12 月份丰度又快速增加达到另一个小高峰。

其它类浮游动物主要包括各种底栖动物的浮游幼体, 其丰度具有较明显的季节性。其丰度在 5—8 月份的四个月份的高峰期, 主要是由于长尾类幼体,

短尾类幼体等幼体大量出现导致的, 其中在 5 月份和 7 月份分别有两个高值为 251.ind/m<sup>3</sup> 和 232.4ind/m<sup>3</sup>, 其余的月份丰度值都比较低。

小型水母类在 5 月份有个高峰值 139.4ind/m<sup>3</sup>, 其中部分是难以鉴定的水母残体如果去除后, 其丰度只有 88.9ind/m<sup>3</sup>, 但是仍是一个全年最高值。月平均丰度在 2 月份比较低, 进入 3 月份开始缓慢增加, 随后的月份丰度开始下降, 进入 8 月份后丰度又开始增加, 但是在 12 月份全部站位没有发现小型水母。

## 2.4 浮游动物丰度年际差异

通过与本次调查区域邻近的 A3 站浮游动物各类群在 2006—2010 年间的数量周年变化(图 6)可以发现: 尽管不同浮游动物类群的丰度和周年变化存在显著的年际差异, 但是总体上海月水母大量发生的 2009 年总丰度明显小于其它年份。在比较的 5 年中有 3 年浮游动物丰度最高值出现在 7 月份, 分别是 2006 年 827.1ind/m<sup>3</sup>、2008 年 3645.7ind/m<sup>3</sup> 和 2009 年 262.5 ind/m<sup>3</sup>。2010 年 7 月份的浮游动物丰度只有 113.3 ind/m<sup>3</sup>, 但是其高峰出现的 6 月份丰度为 1084.0 ind/m<sup>3</sup>。而且, 2009 年全年都没有在 A3 站采集到夜光虫, 而在其它年份它的丰度最高值在 1600—72000 ind/m<sup>3</sup> 之间, 都出现在 7 月份以前。

从各类群来看, 桡足类的数量高峰除 2006 年和 2010 年出现在 6 月份外, 其余都是 7 月份。丰度最高值在 2009 年最低, 只有 160.0ind/m<sup>3</sup>, 而其余年份的丰度最高值在 494.0 到 3364.3ind/m<sup>3</sup> 之间。其它类浮游动物数量高峰多出现在春末夏初季。2006—2008 年的丰度高值在 185.0—1517.2ind/m<sup>3</sup> 之间。2009 年的高值出现在 5 月份, 丰度只有 65.0ind/m<sup>3</sup>, 而 2010 年则是在 8 月份出现, 高达 558.3ind/m<sup>3</sup>。毛颚类的丰度呈波动变化趋势, 2006—2010 年间的最高值在 42.9—396.0ind/m<sup>3</sup> 之间, 极值分别出现在 2006 和 2010 年。小型水母的丰度最高值在 114.5—197.5ind/m<sup>3</sup> 之间, 极值出现年份与毛颚类相同。

## 3 讨论

海月水母在发育过程中体型变化较大, 从不足 3mm 的碟状体到水母体最大半径可达 40cm。因此以往的研究多针对碟状体和水母体采用不同的取样手段, 这样就使得两者丰度结果的可比性较差。本文采用垂直拖网采集样品, 由于采样水体较小, 对于碟状体的采集精度较高, 而对水母体的采集精度容易受到密度制约, 在密度较低时难以有效估计水母体丰

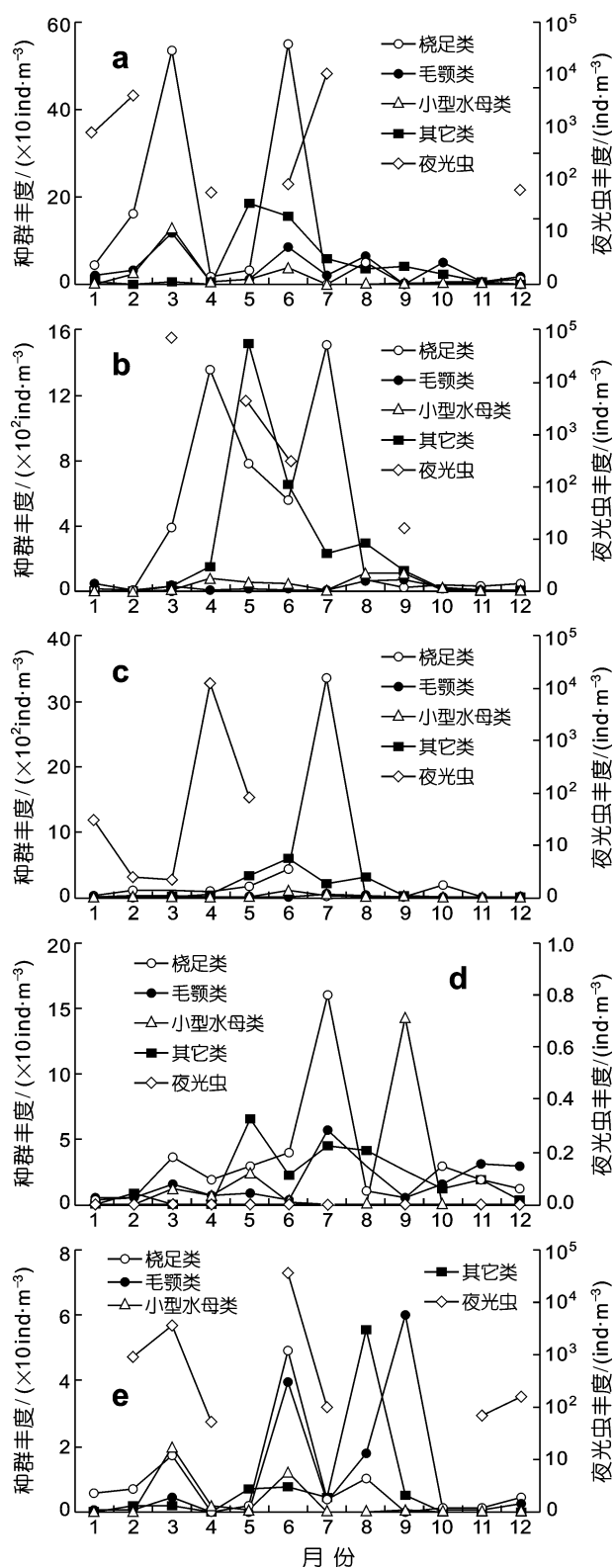


图6 2006—2010年间(自上而下)A3站桡足类、毛颚类、小型水母类、其它类(y轴左)和夜光虫(y轴右)丰度的周年变化  
Fig.6 Annual variation in abundances of Copepod, Chaetognath, small medusae, other zooplankton (primary numerical axis) and *N. scintillans* (secondary numerical axis) at A3 station during 2006—2010 (from top to bottom)

度。但是通过比较碟状体和水母体在高峰期的数量比例,可以发现前者的最大丰度是后者的数倍。从水母体丰度数值来看,本研究与黑海南部的结果相似,两者都是拖网的数据(Bat *et al*, 2009)。与声学评估的结果相比,明显小于日本近海的聚集丰度(Han *et al*, 2009),而与挪威近海评估丰度接近(Bat *et al*, 2009)。根据周年变化的数据,胶州湾海月水母的生态适应性与实验室培养结果略有不同,而且大量发生对浮游动物群落结构和丰度产生一定程度的影响。

### 3.1 海月水母种群补充与环境的关系

作者的调查中既采集到海月水母的碟状体也采集到了海月水母成体,说明胶州湾出现的海月水母是本地的种群繁殖产生的。碟状体的丰度高高峰期和成体的高峰期相差一个月的时间,这与其它海域的结果类似。海月水母生长的时间较短,也排除了长距离运输的可能性。海月水母在胶州湾每年只有一个世代,而且存在时间较短,只有4个月左右的时间。8月份水温升高至26℃时,成体基本消失。而在世界上其它的一些海域海月水母存在时间较长,甚至常年存在,并且能分别在秋季和夏季产生碟状体(Lucas, 2001)。日本 Kagoshima 湾海月水母一年中能2次排卵(Miyake *et al*, 1997)。水母体的寿命一般为4—8个月,但也有研究观测到一年甚至两年(Miyake *et al*, 1997)。在上述的研究中,尤其是帕劳的水母湖,记录到的适温范围都明显大于其它研究。海月水母发育到性成熟所需的时间在80d左右(和振武, 1993)。在作者的研究中,从碟状体出现到成体高峰期间隔3个月的时间,而碟状体的高峰到水母体高峰只有一个月的时间。据此推断,海月水母在胶州湾自然条件下的发育时间要比实验室的所需要时间短。

温度是海月水母种群补充的重要控制因子。但是,与其它海区比较,发现海月水母的适温性也存在显著的地理差异。Lucas(2001)统计海月水母适温范围发现,全球不同海区的适温范围存在显著差异。由于分子生物学方法揭示不同海区的海月水母存在形态相同的不同隐匿种(Dawson *et al*, 2001),这种其适温范围的差异也可能是种类差异的原因。本研究中海月水母碟状体4月份开始出现时的水温为11.4℃,5月份升高到16.4℃,6月份碟状体丰度最高时的水温为20.6℃,而成体丰度高高峰期7月份的表层水温平均为25.2℃。同时,实验室培养得到的碟状体生长最适温度也存在显著不同,挪威近海的结果显示18℃时生长率最高(Bâmstedt *et al*, 1999),而北黄海近岸的结果则是在25℃时最高(付志璐等, 2011)。在台湾的亚

热带海域, 水螅体横裂产生碟状体的速率在 20—30 °C 的范围内随温度升高而逐渐增加(Liu *et al*, 2009)。日本的一项调查结果显示, 在 7—14 °C 的环境条件下都能观察到碟状体, 而高峰出现在 8 °C 时(Toyokawa *et al*, 2011)。因此, 作者认为海月水母在自然条件下的适温性不同于实验室的模拟条件, 可能同时受到其它环境条件的影响。

### 3.2 海月水母暴发对浮游动物丰度和群落结构的影响

目前, 多数的研究认为海月水母大量发生能够显著影响浮游动物丰度和群落结构。桡足类一般被认为是海月水母最主要的食物来源(Lo *et al*, 2008b), 但是之前没有任何关于海月水母摄食夜光虫的报道。尽管在不同研究和不同的调查中, 海月水母水母体大量发生的 7 月份浮游动物总丰度变化较大(孙松等, 2008; 刘光兴等, 2000), 难以判断其影响。但是从固定站位的年际差异来看海月水母暴发的年份浮游动物丰度明显较低。从周年的时间尺度上看, 海月水母暴发的年份浮游动物丰度的高峰明显低于其它年份, 而高峰期对应的正好是其种群补充期。本研究中降低最显著的类群是夜光虫和桡足类, 其中桡足类丰度的最高峰出现在 3 月份, 5 月份为次高峰, 但是丰度的最高值也只有 180 ind/m<sup>3</sup>, 夜光虫数量只在 7 月份较多, 但丰度也只有 815 ind/m<sup>3</sup>。都明显低于相同站位其它年份的数据。但是, 这种丰度的年际差异在肉食

性的浮游动物类群(毛颚类和小型水母)中并不明显。

海月水母也存在着摄食选择性, 对其摄食选择性的研究既有从不同类群角度的研究, 也有从种的水平上的结果。东京湾的海月水母达到高峰期时, 桡足类沃氏纺锤水蚤(*Acartia omorii*)的数量急剧下降, 戴氏长腹剑水蚤(*Oithona davisae*)的数量变化则不大。其胃含物中桡足类占绝大部分, 鱼卵等仅占很小一部分(Omori *et al*, 1995; Ishii *et al*, 2001)。在本研究中由于胶州湾浮游桡足类优势种年际变化较大, 因此无法判断海月水母对不同种类的选择性。2006 年两个丰度高峰的桡足类优势种分别是猛水蚤类和捷氏歪水蚤(*Tortanus derjugini*), 2007 和 2008 年是太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*), 而 2010 年的优势种是中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)。本研究的桡足类优势种也是太平洋纺锤水蚤。

根据本文结果中同一份样品中的数量, 海月水母和浮游动物地理分布之间并没有显著的相关性, 说明其对浮游动物群落的影响可能在较长的时间尺度上更加明显。一方面, 7 月份水母体大量出现时水母数量与浮游动物的地理分布格局(图 7)之间没有对应关系。该月份浮游动物和夜光虫的丰度都是在 5-2 站最高, 桡足类在靠近西侧丰度较高, 毛颚类在深水区的丰度高于浅水区, 小型水母和其它浮游动物分别在 2-2 和 3-1 站丰度最高。在水母体丰度最高的 7-3

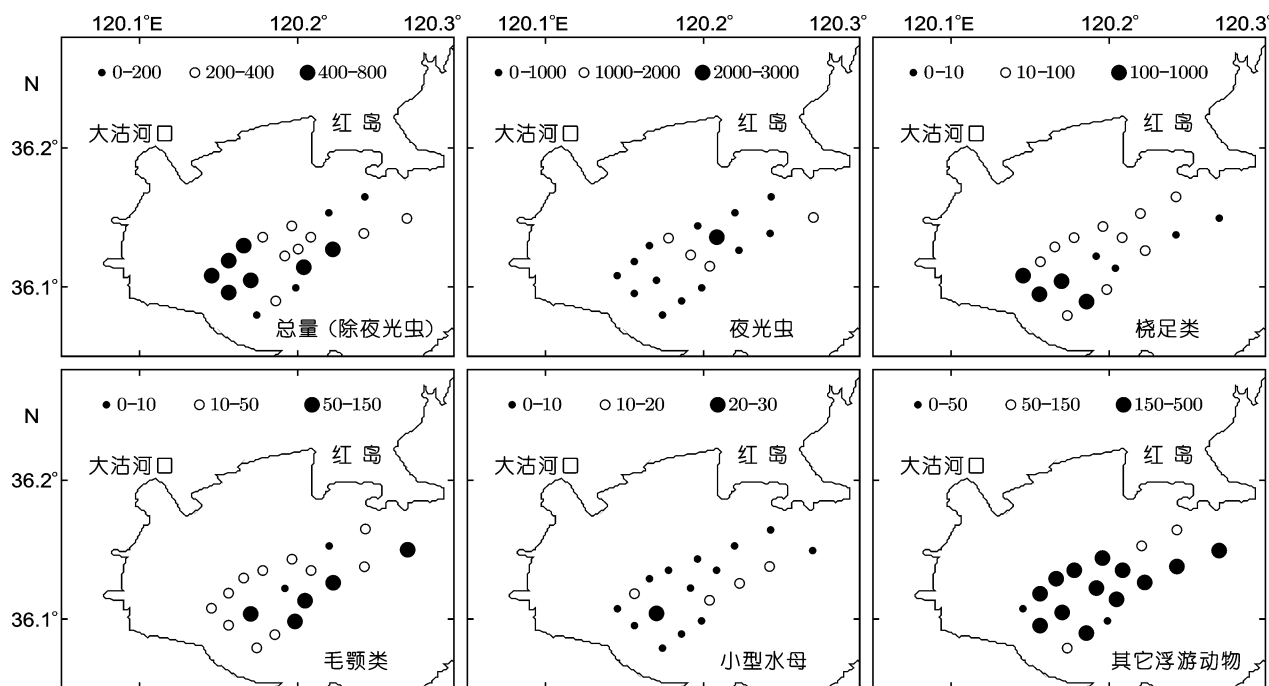


图 7 7 月份浮游动物总丰度、夜光虫、桡足类、毛颚类、小型水母和其它类丰度的地理变化(ind/m<sup>3</sup>)

Fig.7 Geographical variation (ind/m<sup>3</sup>) of total zooplankton, *N. scintillans*, copepod, Chaetognath, small medusae and other zooplankton abundances in July

和 3-1 站浮游动物总量及各类群的丰度均未出现显著下降,甚至还出现高值。同样,在 6 月份碟状体丰度高峰期,也没有观测到其丰度对浮游动物丰度的地理变化产生显著影响。

### 3.3 暴发原因和危害分析

适合海月水母水螅体附着的基质增加是其大量发生的一个重要前提。根据目前的研究,适合的基质包括养殖的闸架、浮码头、海底的沉船等金属废弃物等多种人工设施(Lo *et al*, 2008a; Di Camillo *et al*, 2010; Toyokawa *et al*, 2011)。作为一个受人类活动影响比较显著的海湾,胶州湾内目前存在闸式养殖,同时码头等海洋建筑也可能作为潜在的附着基。根据作者的研究结果,碟状体在丰度高峰期有聚集分布的趋势。由于海月水母从水螅体到碟状体阶段生活习性也由附着变为浮游生活,因此上述的地理分布趋势也可能于碟状体集中释放有关。

胶州湾内富营养化的条件,使得浮游植物和浮游动物的生物量和生产力都比较高,这也是海月水母种群暴发的能量基础。Brodeur 等(2002)研究认为水母数量变化受饵料生物丰歉的影响,当食物丰富且其它条件适宜时,水母可快速生长并发生暴发。胶州湾湾北海域在 5—7 月份水温等条件适宜,并且会有一个由夜光虫和桡足类等浮游动物大量出现造成的丰度高峰期。这为海月水母提供了快速生长良好的饵料环境,从而满足了其迅速生长的饵料基础,进而导致了其在该海域中的大量暴发。

从长时间序列的数据来看,包括海月水母在内的很多大型水母数量年际变动与气候变化存在显著的联系(Purcell, 2005)。海月水母在北海的丰度变化就与北大西洋涛动指数呈现较好的负相关性(Lynam *et al*, 2004)。虽然我国海洋表面水温在最近 50 年间也呈现升高的趋势,但是目前尚无法确认其与海月水母暴发的关系。而具体到 2009 和 2011 年两次暴发事件,胶州湾春季的水温条件的确适宜其碟状体释放和快速生长,但是与气候变化的关系并不显著。2010 年的冬季青岛地区气温偏冷,而且胶州湾北部海域出现较严重的海冰覆盖。因此,针对某一具体年份海月水母暴发的分析或者预测不能简单的用冬季或者全年的温度作为依据。

水母数量增加,除了像海蜇这样极少数可食用种类外,带来的影响多数是负面的。对于胶州湾的海月水母暴发,其对电厂等工业设施和浴场等旅游活动的影响是最值得关注的,而对生态系统的影响仍

然具有很高的不确定性。由于胶州湾内全年禁渔,无法评估其对资源种类种群补充的影响。其对浮游动物群落的影响也会通过食物网的级联作用影响到初级生产等其它过程。在本研究中,叶绿素 *a* 浓度分别在 4、7 月份出现峰值,而此时对应的是浮游动物总丰度,尤其是浮游桡足类丰度的降低。但是这种能量流动的改变能否根本改变生态系统的结构和功能目前还无法判断。

致谢 中国科学院海洋研究所“创新号”调查船全体船员在取样过程中给予帮助,谨致谢忱。

### 参 考 文 献

- 付志璐,董 婧,孙 明等,2011. 温度、盐度对黄海北部海月水母碟状幼体生长的影响. 水产科学, 30(4): 221—224
- 刘光兴,张志南,2000. 胶州湾北部浮游动物的生物量和生产力. 中国海洋大学学报(自然科学版), 30(Z1): 58—64
- 孙 松,周 克,杨 波等,2008. 胶州湾浮游动物生态学研究报告 I. 种类组成. 海洋与湖沼, 39(1): 1—7
- 和振武,1993. 海月水母的生殖. 生物学通报, 28(8): 14—15
- Båmstedt U, Lane J, Martinussen M B, 1999. Bioenergetics of ephyra larvae of the scyphozoan jellyfish *Aurelia aurita* in relation to temperature and salinity. Mar Biol, 135: 89—98
- Bat L, Satilmis H H, Birinci-Ozdemir Z *et al*, 2009. Distribution and population dynamics of *Aurelia aurita* (Cnidaria: Scyphozoa) in the southern Black Sea. North-West J Zool, 5: 225—241
- Brodeur R D, Sugisaki H, Hunt G L, 2002. Increases in jellyfish biomass in the Bering Sea: implications for the ecosystem. Mar Ecol-Prog Ser, 233: 89—104
- Dawson M N, Jacobs D K, 2001. Molecular evidence for cryptic species of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa). Biol Bull, 200: 92—96
- Di Camillo C G, Betti F, Bo M *et al*, 2010. Contribution to the understanding of seasonal cycle of *Aurelia aurita* (Cnidaria: Scyphozoa) scyphopolyps in the northern Adriatic Sea. J Exp Mar Biol Ecol, 90: 1105—1110
- Greve W, 1994. The 1989 German Bight invasion of *Muggiaea atlantica*. ICES J Mar Sci, 51(4): 355—358
- Han C H, Uye S I, 2009. Quantification of the abundance and distribution of the common jellyfish *Aurelia aurita* s.l. with a Dual-frequency IDentification SONar (DIDSON). J Plankton Res, 31: 805—814
- Ishii H, Båmstedt U, 1998. Food regulation of growth and maturation in a natural population of *Aurelia aurita* (I). J Plankton Res, 20: 805—816
- Ishii H, Tanaka F, 2001. Food and feeding of *Aurelia aurita* in Tokyo Bay with an analysis of stomach contents and a measurement of digestion times. Hydrobiologia, 451: 311—320
- Kramp P L, 1961. Synopsis of the Medusae of the World. London,

- United Kingdom: Cambridge University: 1—469
- Liu W C, Lo W T, Purcell J E, 2009. Effects of temperature and light intensity on asexual reproduction of the scyphozoan, *Aurelia aurita* (L.) in Taiwan. *Hydrobiologia*, 616: 247—258
- Lo W T, Chen I L, 2008a. Population succession and feeding of scyphomedusae, *Aurelia aurita*, in a eutrophic tropical lagoon in Taiwan. *Estuar Coast Shelf Sci*, 76: 227—238
- Lo W T, Purcell J E, Hung J J *et al*, 2008b. Enhancement of jellyfish (*Aurelia aurita*) populations by extensive aquaculture rafts in a coastal lagoon in Taiwan. *ICES J Mar Sci*, 65: 453—461
- Lucas C H, 1996. Population dynamics of *Aurelia aurita* (Scyphozoa) from an isolated brackish lake, with particular reference to sexual reproduction. *J Plankton Res*, 18: 987—1007
- Lucas C H, 2001. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia*, 451: 229—246
- Lynam C P, Hay S J, Brierley A S, 2004. Interannual variability in abundance of North Sea jellyfish and links to the North Atlantic Oscillation. *Limnol Oceanogr*, 49: 637—643
- Mills C E, 1995. Medusae siphonophores and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystems. *ICES J Mar Sci*, 52: 575—581
- Miyake H, Iwao K, Kalinuma Y, 1997. Life history and environment of *Aurelia aurita*. *South Pacific Study*, 17: 273—285
- Omori M, Ishii H, Fujinaga A, 1995. Life history strategy of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphomedusae) and its impact on the zooplankton community of Tokyo Bay. *ICES J Mar Sci*, 52: 597—603
- Purcell J E, 2005. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: a review. *J Mar Biol Ass UK*, 85: 461—476
- Purcell J E, Uye S I, Lo W T, 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Mar Ecol-Prog Ser*, 350: 153—174
- Russell F S, 1970. The Medusae of the British Isles volume II: Pelagic Scyphozoa, with a supplement to the first volume of Hydromedusae. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 521 07293 X
- Toyokawa M, Aoki K, Yamada S *et al*, 2011. Distribution of ephyrae and polyps of jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus 1758) sensu lato in Mikawa Bay, Japan. *J Oceanogr*, 67: 209—218
- Uye S, Shimauchi H, 2005. Population biomass, feeding, respiration, and growth rates, and carbon budget of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the Inland Sea of Japan. *J Plankton Res*, 27(3): 237—248

## ANNUAL OCCURRENCE OF MOON JELLYFISH *AURELIA* sp.1 IN THE JIAOZHOU BAY AND ITS IMPACTS ON ZOOPLANKTON COMMUNITY

WAN Ai-Yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Guang-Tao<sup>1</sup>

(1. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071;  
2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

**Abstract** During February—December, 2009, monthly investigations were carried out in north-western part of the Jiaozhou Bay. Abundances of the moon jellyfish *Aurelia aurita* and other zooplankton groups were investigated with vertical net towing. Ecological adaption and impacts on other zooplankton groups of moon jellyfish were analysed, and compared with synchronous zooplankton and environmental data. Ephyra of *A. aurita* was observed from April to June, when its abundance increased from 0.1 to 2.9 ind/m<sup>3</sup>. Medusa of *A. aurita* was captured only in July with an average abundance of 1.3 ind/m<sup>3</sup>. The average water temperatures were 11.5°C at occurrence of ephyra and 20.6 and 25.2°C during abundance peak of ephyra and medusae, respectively. Total zooplankton abundance (without *A. aurita* and *Noctiluca scintillans*) was high from May to July, with the highest of 486.9 ind/m<sup>3</sup> being observed in May. In July, no significant decrease was observed in total zooplankton abundance, and its geographical variation showed no significant correlation with that of *A. aurita*. However, through re-analysis of historic data during 2006—2010 in the similar area, it was revealed that annual peak abundances of *N. scintillans*, copepods and meroplankton were much lower in *A. aurita* bloom years than in non-bloom years, while no difference was observed in abundances of chaetognaths and small jellyfish.

**Key words** *Aurelia aurita*, Jellyfish bloom, Jiaozhou Bay, Zooplankton, Annual variation