2011 年夏季胶州湾三种大型水母的种群动态研究*

王世伟¹ 张光涛¹ 孙 松^{1,2} 王彦涛^{2,3} 赵增霞¹

(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. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提要 2011 年 8 月 1 日—9 月 30 日,对胶州湾三种大型水母沙海蛰(Nemopilema nomurai)、白色霞水母(Cyanea nozakii)、海月水母(Aurelia aurita)的种群数量变动及空间分布情况开展了目测调查,同步获得了气象、水温、盐度、叶绿素 a、浮游动物丰度、种类组成等数据,调查频率为每周 2 次。调查期间,海月水母表现出逐渐降低的趋势,沙海蛰与白色霞水母种群均于 8 月 11 日达到数量高峰,8 月底及 9 月中旬之后依次衰落,至 9 月底,三种水母基本消失。三种水母的种群平均丰度变化范围分别为:沙海蛰 0—230.8ind/km²;霞水母 0—150.2ind/km²;海月水母 0—123.4ind/km²。从分布区域来看,海月水母主要位于近岸区,沙海蜇主要分布于湾口和中部深水区,而白色霞水母则在高峰期和次高峰期分别集中于深水区和近岸区。结合往年资料,作者认为,海月水母种群能够在胶州湾内进行自我补充并完成其生活史,而胶州湾沙海蛰与霞水母的种群补充则可能主要依赖于湾外种群。另外,目测方法的准确性可能受到气象条件的影响。

关键词 胶州湾,沙海蛰,霞水母,海月水母,种群动态中图分类号 Q958

近 10 年来, 有关大型水母暴发及其所引发的经济、社会问题的报道在全球范围内激增, 我国所处的东亚海域所面临的形势甚为严峻(严利平等, 2004; Purcell et al, 2007; Uye, 2008; 张芳, 2008¹⁾; Dong et al, 2010)。胶州湾毗邻黄海, 集水产养殖、港口、旅游等多功能于一体, 与青岛市的市民生活等息息相关。三种大型水母均曾在胶州湾大量出现, 它们引发的社会与经济问题已受到各界广泛关注。2009 年 7月, 胶州湾大量海月水母造成发电厂冷却水管系统堵塞; 近年来, 青岛胶州湾沿岸海水浴场游客蛰伤事件(主要由沙海蛰与霞水母引起)屡有增加; 大型水母的出现还对胶州湾及其邻近海域的渔业捕捞、水产养殖等造成危害。然而目前有关该海域大型水母生态学方面的系统研究甚少。

对大型水母成体阶段的研究难度主要受到调查

方式的限制。目前,关于大型水母种群数量、生物量的观测评估主要采用以下方法:利用渔业调查数据(Kawahara et al, 2006)、采用渔业底拖网、定置网、帆张网或两种以上的混合网具进行调查(严利平等, 2004;张芳, 2008¹⁾);采用走航期间目测观察方法(Sparks et al, 2001; Doyle et al, 2007; Uye, 2011)以及声学方法(Colombo et al, 2009; Gorbatenko et al, 2009)等。以上各类方法均具有其局限性,并各有利弊。胶州湾航运、养殖和工程设施较多,而且常年禁渔,因此拖网调查较难实施。声学方法虽然简单易行,但是其信号识别精确度易受水体中其它浮游动物(尤其是胶质生物)等外在因素的干扰(Colombo et al, 2009)。目测方法,优点是比较直观、便于操作、容易形成长时间、大尺度的数据序列;缺点是对于分布较深的水母个体难以计数。根据现场条件,本文采用目测观察

通讯作者: 孙 松, 博士, 研究员, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403601 号;中国科学院知识创新工程重要方向项目群, KZCX2-YW-Q07-05 号;国家海洋公益性行业科研专项, 201005014 号。王世伟, E-mail: wangshiwei@qdio.ac.cn

¹⁾ 张 芳,2008. 黄东海胶质浮游动物水母类研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文,1—73

的方法计数大型水母的种群丰度。

2011年夏季,胶州湾海域又出现大量大型水母。 作者自 2011年8月1日开始对胶州湾三种大型水母 的数量变动和空间分布进行了连续两个月的密集调 查,并结合对气象、海水温盐、浮游生物等外界因素 的同步监测,旨在调查三种大型水母在大量发生期 间的时空分布规律,以及与环境因子的关系,并在此 基础上进一步分析其种群变动机制。

1 材料与方法

于 2011 年 8 月 1 日—9 月 30 日,按照每周 2 次的频率共进行了 16 次调查,每次调查时间均集中于 8:00—13:00,调查路线、站位见图 1(少数调查在该调查路线上有所延伸)。调查内容包括三种大型水母的数量分布、水温、盐度、叶绿素 *a*、浮游动物种类组成与生物量等。

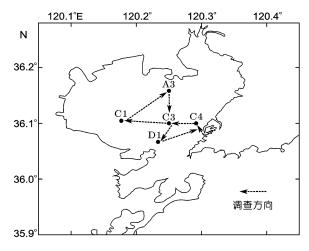


图 1 调查站位与路线

Fig.1 Investigation stations and route 注: 调查路线为码头-C4-C3-C1-A3-C3-D1-码头

1.1 气象与温盐数据

本文所用的气象数据包括海表气压、逐日降雨量与逐日太阳辐射总量,均来自胶州湾生态站MILOS-52自动气象站的资料。另外,于5个定点站位,利用便携式CTD(型号: AAQ1183-1F)现场测定海水温度、盐度。由于调查期间水体混合均匀,各水层的温度、盐度数据趋同,因此采用全水柱平均值代表该站位的温盐情况。

1.2 叶绿素测定

1L 叶绿素(Chl.a)水样采自 0m、5m、10m 和近海底层(根据调查站位水深情况)。水样采集后,立即过滤到 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜上,经 90%丙酮萃

取 24h 后,应用 Turner Designs 荧光计测定 Chl.a 的浓度。

1.3 浮游动物

浮游动物样品应用标准的浮游动物浅水I型网采集:于各取样站位由底至表垂直拖网,样品置于 5% 甲醛海水溶液中保存。回到实验室后,在解剖镜下计数,获得浮游动物丰度及种类组成数据。

1.4 水母目测观察方法

参照 Sparks 等(2001)与 Doyle 等(2007)的方法, 将观测人员分为两组, 立于"创新号"调查船的船首两侧(该船保持 6 节航速行进), 于走航过程中, 以5min 为一个计时单位, 分类计数视野内所见全部水母数目, 同步记录时间、经纬度等信息。

1.5 水母丰度计算方法

为便于比较,本文统一利用 5min 一个观测单位所计数到的水母个数来描述三种大型水母的空间分布特征(图 2、图 3、图 4)。另外,为描述三种大型水母的数量变动趋势,作者计算了三种水母的全湾平均丰度(图 5a),具体计算方法如下:于停船期间进行相关目测验证,结果表明在船头站立目测时能够分辨出水母的最大观测范围 W。为 20m(船首左右各10m),假设总航行距离为 D,则总观测面积为 A=W。D,若在观测面积内所观测到某种大型水母的总数量为 N0,则观测期间该种水母的平均丰度为 M=N0。从M1。如,则观测期间该种水母的平均丰度为 M2。M3。以观测期间该种水母的平均丰度为 M3。以见,因此本文采用 M4、代表全湾水母平均丰度。

1.6 数据分析

应用 Mann-Whitney U检验与 Kruskal-Wallis 检验比较不同区域及不同时间水母丰度差别,应用 Spearman 秩相关分析三种大型水母种群数量与环境、生物因素之间的关系,以上三种方法均为非参数分析方法,对数据的分布型不做要求,故未作任何数据转换。

2 结果

2.1 气象条件

如图 2a 所示,海表气压呈现逐渐升高的趋势,变化范围为1006.57—1024.17hPa,最低值出现于8月1日,最高值出现于9月30日(图 2a);逐日降雨量波动较大,其中8月份出现降雨的日期显著高于9月,逐日降雨量的变化范围为0—35.2mm/d,最高降雨量出现于8月28日,其次为8月20日的降雨量(35.0mm/d)(图 2b);逐日太阳辐射总量呈现波动式变

化(图 2c), 其变化范围为 3.66—25.03MJ/(m^2 ·d), 8 月份与 9 月份的逐日太阳辐射总量没有显著差异(Mann-Whitney U 检验, p=0.73)。

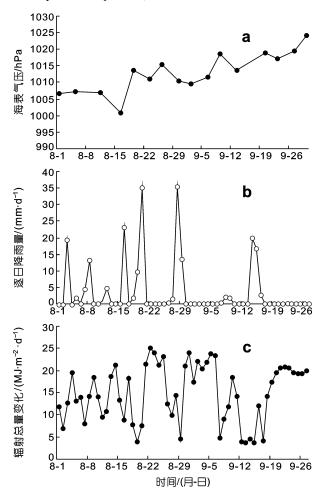


图 2 胶州湾海表气压(hPa)(a)、逐日降雨量(mm/d)(b)、 逐日太阳辐射总量变化[MJ/(m²·d)](c)

Fig.2 The changes of sea surface pressure (hPa) (a), daily precipitation (mm/d) (b) and daily solar radiation $[MJ/(m^2 \cdot d)]$ (c) in Jiaozhou Bay

2.2 水文环境

由图 3a 可见,从 8 月初开始,5 站位的水温变化趋势基本一致,呈现先上升后下降的趋势,其中,水温高峰值出现于 8 月中下旬:A3、C1、D1 三站位水温于 8 月 16 日达到最高值,分别为 26.91 $\mathbb C$ 、27.17 $\mathbb C$ 、26.11 $\mathbb C$; 而 C3 、C4 两站位水温于 8 月 26 日达到高值,分别为 25.63 $\mathbb C$ 与 25.76 $\mathbb C$ 。各站位的水温最低值均于调查末期的 9 月底出现,5 站位最低温度范围为 20.53—21.46 $\mathbb C$ 。调查期间,C1 站在这 5 个站位中的温度变幅最大,为 20.53—27.17 $\mathbb C$ 。

由图 3b 所示, A3、C3、C4 站盐度波动幅度较小, 其变化范围分别为 29.03—30.82、27.85—30.61、29.12—

30.49。而 C1、D1 两站的盐度波动幅度较大,变化范围分别为 25.94—30.14、27.99—30.74; 两站位盐度最低值分别出现于 8 月 30 日与 9 月 2 日,该时段对应于逐日降雨量的高值,两站位的盐度可能受到降雨影响而降低。

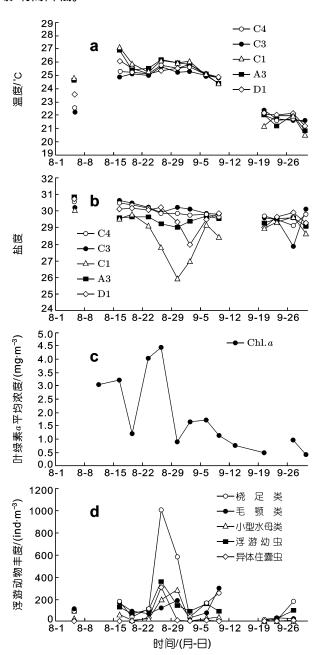


图 3 胶州湾 5 站位温度($^{\circ}$ C)(a)、5 站位盐度(b)、叶绿素 a 平均浓度(mg/m³)(c)、浮游动物丰度(ind/m³)(d)变化

Fig. 3 The changes of water temperatures (°C) (a) at 5 stations, salinities at the 5 stations (b), mean concentrations of chlorophyll $a \text{ (mg/m}^3)$ (c) and zooplankton abundance (ind/m³) (d) in Jiaozhou Bay

2.3 叶绿素与网采浮游动物

如图 3c 所示, 叶绿素 a 的变化呈现出 8 月高、9

月低的特征(Mann-Whitney U 检验, p<0.05),其中 8 月份 4 次调查期间胶州湾叶绿素 a 平均浓度超过 3mg/m^3 ,在个别站位的叶绿素 a 浓度可达 7.73mg/m^3 ,表征湾内出现浮游植物水华过程。胶州湾浮游动物各类群种群数量变动趋势较为一致(图 3 d),其数量高峰均出现于 8 月下旬至 9 月初,其中桡足类的数量变动最为明显,数量高峰出现于 8 月底,9 月中旬以后,浮游动物数量逐渐降低。

2.4 大型水母数量的时间变化

如图 4a 所示,调查期间 8 月份沙海蜇数量波动明显,9 月份基本消失。沙海蛰的平均丰度变化范围为 0—230.8ind/km 2 。 其数量高峰出现于 8 月 11 日,次高峰出现于 8 月 23 日,丰度分别为 230.8ind/km 2 与 197.8ind/km 2 。

白色霞水母在三种大型水母中出现持续时间最长(图 4a)。白色霞水母呈现较大的数量波动,其中 8月份的数量显著高于 9月份(Mann-Whitney U 检验,p<0.05)。白色霞水母的平均丰度范围为 0—150.2 ind/km²,数量高峰分别出现于 8月 11日,次高峰出现于 9月 9日,丰度分别为 150.2 ind/km²与 107.4 ind/km²。

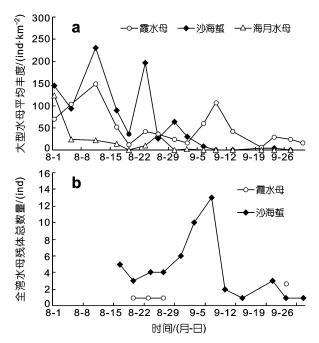


图 4 胶州湾三种大型水母平均丰度(ind/km²)变动(a)、全湾水母残体总数量(ind)变动(b)

Fig.4 The changes of mean abundances (ind/km²) (a) of three jellyfish species and the total numbers (ind) (b) of dead jellyfish parts in Jiaozhou Bay

如图 4a 所示, 从 8 月 1 日开始, 海月水母丰度呈现降低的趋势, 其平均丰度范围为 0—123.4ind/km²。

海月水母数量高峰出现于 8 月 1 日, 次高峰出现于 8 月 26 日, 丰度分别为 123.3ind/km² 与 34.1ind/km²。

应用 Kruskal-Wallis 检验比较了三种水母的全湾平均丰度,结果表明: 在整个调查期内, 白色霞水母的丰度最高, 沙海蛰次之, 海月水母最少(Kruskal-Wallis 检验, p=0.002); 然而, 若仅分析 8 月份的数据,则沙海蛰丰度最高, 白色霞水母次之, 海月水母最少; 若仅分析 9 月份的数据,则白色霞水母丰度最高、沙海蛰次之,海月水母最少。其中, 无论从整个调查期计算还是仅分析 8 月份的数据, 白色霞水母与沙海蛰的平均丰度均高于海月水母平均丰度的两倍以上。

2.5 大型水母的地理分布

如图 5 所示, 8 月 1—16 日沙海蜇密集区集中在湾中部区域,湾西部和北部的观测中基本没有发现沙海蜇。8 月 19 日沙海蛰总体丰度下降,其丰度的地理差异趋于缩小,8 月 23 日分布相对比较均匀。但是随着 8 月 26 日沙海蛰的总体丰度再次下降,8 月 30 日数量恢复后仍然表现出在湾口和中部密集分布的趋势。9 月份,沙海蛰整体数量显著降低,其分布的规律性也逐渐消失,呈现出随机分布的趋势。

如图 6 所示, 白色霞水母随着时间变化表现出不同的分布趋势。8 月 1—16 日, 白色霞水母与沙海蜇的分布趋势一致, 也是在湾口和湾中部较密集。但是经过 8 月 19 日到 9 月 2 日数量下降过程中的均匀分布期后, 随后沙海蛰密集区主要出现在西部和北部的区域, 并于 9 月 9 日形成平均丰度次高峰。

如图 7 所示,海月水母的分布与以上两种的分布格局不同,除 8 月 1 日数量高峰期的较大范围分布以外,海月水母主要以小范围分布于沙海蛰与白色霞水母较少的湾北部、西部浅水区,其密度高值区均出现在北部靠近红岛的海域,湾中部与湾口附近的数量极少。8 月 30 日以后,海月水母在全湾范围内趋于消失。

2.6 大型水母残体数量分布

作者在观测中发现有漂浮的沙海蜇和白色霞水母的残体,主要是残存的胶质肥厚的伞盖部分(图4b)。但是,没有观测到海月水母残体。与沙海蜇出现种群数量下降相对应,沙海蜇残体数量于8月中旬后逐渐增高,至8月底、9月初出现一个高峰,恰好对应于沙海蛰的数量减少过程。

3 讨论

本文首次在一个半封闭的海湾里同时连续观测

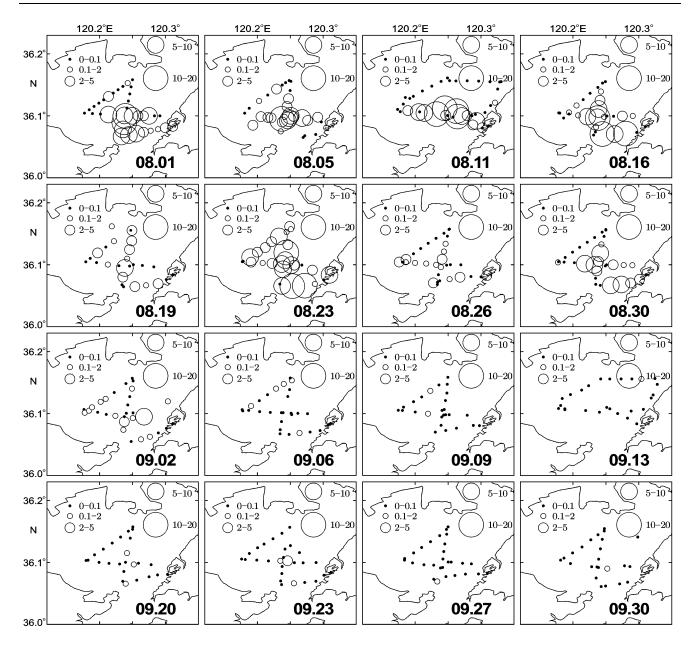


图 5 沙海蛰种群地理分布图

Fig.5 The distribution of N. nomurai

注:图上圆圈大小表示在5min内观测到的水母数量,数据单位为ind/5min。每次调查的日期见各图下方所示

三种大型水母的时空分布规律,结果表明三种水母不仅在种群发展、高峰与衰落的时间上存在差异,而且在地理分布上也趋于不同。从时间序列上来看,本次调查始于 2011 年 8 月 1 日,此时胶州湾海月水母的数量高峰期已过,其后作者观测到海月水母种群逐渐衰退的过程; 8 月中旬,沙海蜇和白色霞水母仍处于数量高峰期,两种水母的种群丰度分别于 8 月末与 9 月中旬后逐渐降低。三种水母在胶州湾的种群衰落次序从先到后依次为海月水母、沙海蜇和白色霞水母。从分布区域上讲,海月水母主要位于近岸区、沙

海蜇主要分布于湾口和中部深水区,而白色霞水母则在高峰期和次高峰期分别集中于深水区和近岸区。作者主要从以下三个方面探讨造成这种时空分布格局的原因: (1) 三种水母的适温、适盐范围; (2) 种群补充机制的可能差异; (3) 气象条件可能影响近表层水母目测数量的代表性。

张芳 $(2008)^{1}$ 根据黄、东海沙海蛰和霞水母的分布情况,报道两种水母的适温范围分别为 17—26 $^{\circ}$ 、7.7—26.1 $^{\circ}$ 、两种水母的适盐范围分别为 27.3—33.8、27.5—34.5。由此可见,本次调查期间胶州湾温

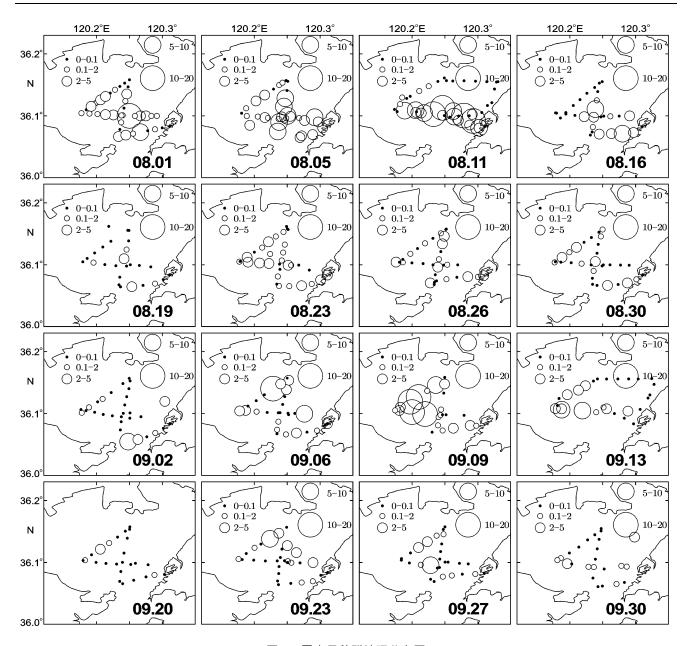


图 6 霞水母种群地理分布图

Fig.6 The distribution of C. nozakii

注:图上圆圈大小表示在5min内观测到的水母数量,数据单位为ind/5min。每次调查的日期见各图下方所示

盐变化均在其适应范围内,温盐因素似乎无法解释两种水母的种群分布格局及其动态情况。另一方面,海月水母对温度盐度的适应范围极广(郑凤英等,2010),作者认为调查期间的温盐变化同样不足以解释海月水母的种群动态,海月水母的衰退时间可能主要源于种群内在的季节变化规律:以往观测到胶州湾海月水母往往在7月形成数量高峰,之后下降。另外,海月水母在浅水、半封闭、潮流交换受限的区域往往种群数量较大,而在开放、较深的水域种群数量较小,这可能与其繁殖与摄食有关(郑凤英等,

2010)。这或许有助于解释本文发现海月水母主要分布于湾北部及西部浅水区的趋势。

作者认为,海月水母可在湾内完成生活史,而其它两种水母则很可能主要来自外海种群的输送,理由如下:首先,海月水母的碟状体、幼水母和成体都在胶州湾内观测到[见本专辑万艾勇等(2012)],但是自然条件下极少记录到沙海蜇和白色霞水母的碟状体,而且在其种群大量出现之前并没有在胶州湾发现其幼水母体;其次,通过同时期对胶州湾内以及湾外青岛沿海的调查,发现海月水母的湾内丰度远大

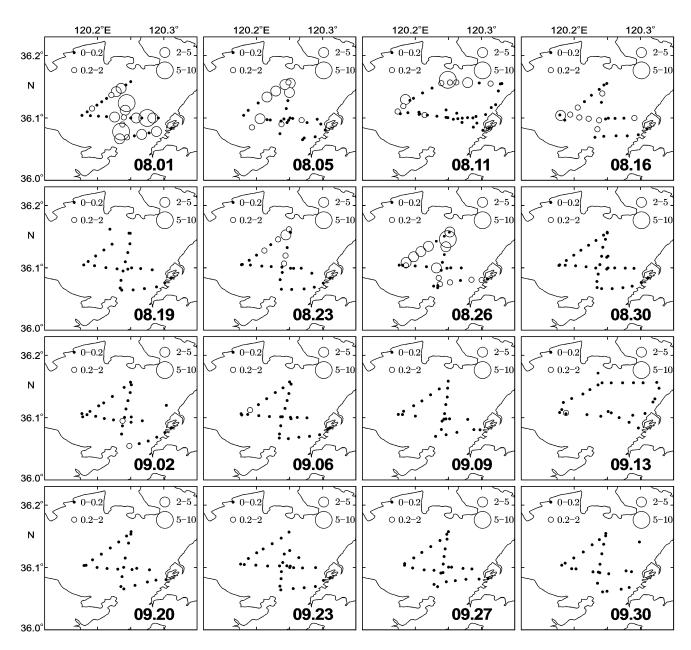


图 7 海月水母种群地理分布图

Fig.7 The distribution of A. aurita

注:图上圆圈大小表示在 5min 内观测到的水母数量,数据单位为 ind/5min。每次调查的日期见各图下方所示

于湾外,而沙海蛰与白色霞水母则呈现湾外多而湾内较少的趋势(表 1),表明后两种水母的湾外种群符合"源种群"的特征。另外,从沙海蜇的目测数据对比来看(表 1),无论是比较最高丰度还是平均丰度,2011年夏季胶州湾沙海蛰种群丰度远低于近年来黄、东海海域该种出现期间的种群丰度。研究表明,大型水母的分布趋势与锋面、海流、涡结构等水文物理条

件关系密切(Kawahara et al, 2006; Graham et al, 2001; 张芳, 2008¹⁾; Yoon et al, 2007)。作者发现,沙海蜇和白色霞水母倾向分布于湾口和湾中心区域,尤其是种群丰度由低升高之后,这符合陈金瑞等(2011)对外源物质进入湾内后分布状态的数值模拟结果。

目测方法只能对近表层水母数量计数,因此其准确与否受到大型水母垂直移动的影响,然而有关

¹⁾ 张 芳, 2008. 黄东海胶质浮游动物水母类研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1—73

表 1	2011年夏季胶州湾与近几年黄、	东海海域夏季沙海蛰丰度目测数据比较	
-----	------------------	-------------------	--

Tab.1 The comparison between visual observed abundances of *N. nomurai* in Jiaozhou Bay at summer 2011 and that in the Yellow Sea and the East China Sea from August 2006 to September 2011

海域	调查时间	沙海蛰目测丰度情况	文献来源
南黄海	2006年8—9月	丰度范围为(0—1.0)×10 ⁶ ind/km²,南黄海平均丰度为~2000ind/km²,最高丰度出	张芳, 20081)
		现于长江口附近与海州湾外海	
南黄海	2007年6月	丰度范围为(0—3.5)×10 ⁵ ind/km ² ,南黄海平均丰度为~300ind/km ² ,最高丰度出	张芳, 20081)
		现于位于长江口海域,其余多数海域沙海蛰丰度极低	
黄、东海	2008年	丰度小," 非暴发年 "	Uye, 2011
黄、东海	2009年6月下旬	丰度范围为 $(0-1) \times 10^5$ ind/km 2 ,最高丰度出现于长江口海域与黄海中部	Uye, 2011
黄、东海	2010年	丰度小," 非暴发年 "	Uye, 2011
黄、东海	2011年8月	丰度范围为 $(0-1.5) \times 10^4$ ind/km 2 ,黄、东海最高丰度区域位于长江口以南附近,	王世伟等, 20122)
		次高值见于青岛外海附近, 5min 内最高观测丰度可达 2186.8ind/km²	
胶州湾	2011年8—9月	全湾平均丰度范围为 0—230.8ind/km², 5min 内观测到的最高丰度为 1563.6	本文
		ind/km²,出现于湾口附近	

这方面的研究较少,而且发现垂直移动的规律性并不明显。有研究认为沙海蜇主要分布于 40m 以浅的水层,夜间所处深度往往大于白天,而且其所处水层主要与水团结构有关(Honda et al, 2009)。本文调查区域水深多数小于 10m, 能见度可达到 2m 左右,而且所有观测均在相同的时间段,因此可以认为水母自身垂直移动节律对观测结果的影响较小。需要注意的是,气象条件也可能影响水母的垂直分布。例如,渔民的经验是阴雨天难见海蜇。在调查中,8月11日沙海蛰和白色霞水母种群高峰期刚过,8月16日与8月19日观测到两种水母数量的显著降低或许与降雨事件有关(图 2b)。因此今后采用目测方法估计水母种群丰度需要密切注意气象条件。

虽然沙海蜇和白色霞水母可能来自外海的输运,但是它们的死亡过程发生在湾内。研究表明,水母尸体、残片可下沉至海底为底栖生物提供食物(Yamamoto et al, 2008),并通过尸体分解过程改变水体营养盐结构与底层溶解氧浓度(Pitt et al, 2009; West et al, 2009)。调查期间,作者发现8月末沙海蛰残体的数量上升过程恰好对应于沙海蛰的种群逐渐衰落的过程,表明自身死亡很可能是沙海蛰种群衰落的原因之一。据报道,沙海蛰死亡残体密度大于海水密度,呈下沉趋势(Yamamoto et al, 2008),因此在水体中及海底可能存在更多水母残体,其分解过程及其对胶州湾生态系统的影响应该受到关注。另外,整个调查期间没有发现海月水母的残体,这一方面

可能与海月水母总体数量较少有关,也可能与其伞 盖胶质成分的含量及生化组成有关。

作者对水母种群丰度与外界环境、生物因素进行 Spearman 秩相关分析发现,仅有海月水母与叶绿素 a 浓度、浮游动物幼体丰度呈现出显著的正相关关系,其它相关关系均不显著,目前尚不清楚该统计关系 是否反映海月水母与浮游生物之间真实的摄食关系。应该注意的是,如果沙海蛰与霞水母主要源自湾外,则很难期望通过湾内生物因素来解释其种群的兴衰。事实上,作者对最近 5 年以来浮游生物生物量与大型水母的粗略生物量进行了比较,发现两者之间同样很难形成严格的数量关系。鉴于此,今后在探讨大型水母种群变动影响因素时,除了进行必要的统计分析之外,必须结合水文物理模拟研究以及受控条件下的机理性研究进行综合分析。

致谢 "创新号"科学考察船全体船员对本调查给予了大力支持,金鑫、王晔晔、鲁景亮、时永强、冯颂等同志参与了现场与室内样品鉴定工作,谨致谢忱。

参 考 文 献

万艾勇, 张光涛, 2012. 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. 海洋与湖沼, 43(3): 494—501严利平, 李圣法, 丁峰元, 2004. 东海、黄海大型水母类资源动态及其与渔业的关系初探. 海洋渔业, 26(1): 9—12陈金瑞, 陈学恩, 于华明等, 2011. 胶州湾潮汐潮流高分辨率数值模拟研究. 中国海洋大学学报, 41(7/8): 029—035

¹⁾ 张 芳, 2008. 黄东海胶质浮游动物水母类研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1—73

²⁾ 王世伟, 孙 松, 2012. 2011 年夏季黄东海大型水母数量分布. 海洋与湖沼(待刊)

- 郑凤英, 陈四清, 倪 佳, 2010. 海月水母的生物学特征及其 暴发. 海洋科学进展, 28(1): 126—132
- Colombo G A, Benovic A, Malej A *et al*, 2009. Acoustic survey of a jellyfish-dominated ecosystem (Mljet Island, Croatia). Hydrobiologia, 616: 99—111
- Dong Z J, Liu D Y, Keesing J K, 2010. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences. Marine Pollution Bulletin, 60: 954—963
- Doyle T, Jonathan D R, Houghton Sarah M, 2007. Davenport the broad-scale distribution of five jellyfish species across a temperate coastal environment. Hydrobiologia, 579: 29—39
- Gorbatenko K M, Nikolayev A V, Figurkin A L *et al*, 2009. Quantitative composition, distribution, and feeding of large jellyfish (Scyphozoa et Hydrozoa) on the West Kamchatka shelf in summer. Russian Journal of Marine Biology, 35(7): 579—592
- Graham W M, Pages F, Hamner W M, 2001. A Physical context for gelatinous zooplankton aggregations: a review. Hydrobiologia, 451: 199—212
- Honda N T, Watanabe T, Matsushita Y, 2009. Swimming depths of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* investigated using pop-up archival transmitting tags and ultrasonic pingers. Fisheries Science, 75(4): 947—956
- Kawahara M S, Uye S, Ohtsu K et al, 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish Nemopilemia nomurai (Scy-

- phozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. Marine Ecology-Progress Series, 307: 161—173
- Pitt K A, Welsh D T, Condon R H, 2009. Influence of jellyfish blooms on carbon, nitrogen and phosphorus cycling and plankton production. Hydrobiologia, 616: 133—149
- Purcell J E, Uye S, Lo W T, 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. Marine Ecology Progress Series, 350: 153—174
- Uye S, 2008. Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*: a threat to the fisheries sustainability of the East Asian Marginal Seas. Plankton and Benthos Research, 3(Suppl.): 125—131
- Uye S, 2011. Non-blooming of the giant jellyfish *Nemopilema no-murai* two years in row. The Tentacle Times, summer issue: 2
- West E J, Welsh D T, Pitt K A, 2009. Influence of decomposing jellyfish on the sediment oxygen demand and nutrient dynamics. Hydrobiologia, 616: 151—160
- Yamamoto J, Hirose M, Ohtani M et al, 2008. Transportation of organic matter to the sea floor by carrion falls of the giant jellyfish Nemopilema nomurai in the Sea of Japan. Marine Biology, 153(3): 311—317
- Yoon W D, Yang J-Y, Shim M B *et al*, 2007. Physical processes influencing the occurrence of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) around Jeju Island, Korea. J Plank Res, 30(3): 251—260

POPULATION DYNAMICS OF THREE SCYPHOZOAN JELLYFISH SPECIES DURING SUMMER OF 2011 IN JIAOZHOU BAY

WANG Shi-Wei¹, ZHANG Guang-Tao¹, SUN Song^{1, 2}, WANG Yan-Tao^{2, 3}, ZHAO Zeng-Xia¹ (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; 3. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

Abstract During August 1 to September 30, 2011, the population abundances and distributions of three scyphozoa jellyfish species *Nemopelima nomurai*, *Cyanea nozakii* and *Aurelia aurita* were examined by visual observation twice per week, along with the investigation of the metrological conditions, water temperatures, salinities, chlorophyll *a* concentrations and the zooplankton abundances. All the three jellyfish species showed great variations on both population abundance and distribution. The mean abundances of *N. nomurai*, *C. nozakii*, and *A. aurita* were 0—230.8ind/km², 0—150.2ind/km² and 0—123.4ind/km², respectively. We also discussed the possible reasons of the three jellyfish species population dynamics and the limitations of visual observation method in estimation of the scyphozoan jellyfish population abundance.

Key words Jiaozhou Bay, Nemopelima nomurai, Cyanea nozakii, Aurelia aurita, Population dynamics