

doi:10.3969/j.issn.1000-2162.2024.02.013

青岛近岸海域小型水母群落结构特征 及其与环境因子关系

张亮^{1,2}, 纪莹璐^{1,2}, 蒲思潮^{1,2}, 张海舟^{1,2}, 张乃星^{1,2}, 王岚^{1,2*}

(1. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266061;

2. 自然资源部北海局 自然资源部北海预报减灾中心, 山东 青岛 266061)

摘要:以 2020 年 8—9 月在青岛近岸海域进行的调查数据为基础, 对该海域海水水质进行评价, 分析该海域小型水母的群落结构特征及其与环境因子的关系。结果表明, 所调查海域的水质质量较好, 共发现小型水母 10 种, 其中浅水 I 型网 10 种, 浅水 II 型网 7 种; 浅水 I 型、II 型网获得的小型水母平均丰度分别为 26.5, 23.0 ind·m⁻³; 该次调查小型水母的优势种为半球美螭水母(*Clytia hemisphaerica*)、五角水母(*Muggiaea atlantica*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)、蕲枝螭水母(*Obelia* spp.) 和球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)。浮游动物个体密度、底层叶绿素 a、表层悬浮物 and 无机氮是影响该海域小型水母种类数和个体密度的主要环境因子。

关键词:青岛; 小型水母; 群落结构; 优势种; 环境因子

中图分类号: P735

文献标志码: A

文章编号: 1000-2162(2024)02-0092-10

Community structure of small jellyfish and the relationship with environmental factors in the sea waters near Qingdao

ZHANG Liang^{1,2}, JI Yinglu^{1,2}, PU Sichao^{1,2},

ZHANG Haizhou^{1,2}, ZHANG Naixing^{1,2}, WANG Lan^{1,2*}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment &

Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266061, China;

2. North China Sea Marine Forecasting and Hazard Mitigation Center of Ministry of Natural Resources,

North China Sea Bureau of Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on the investigation data in the sea waters near Qingdao from August to September 2020, the seawater quality in this area was evaluated, and the community structure characteristics of small jellyfish and its relationship with environmental factors were analysed. The results showed that the water quality in the sea waters was good, and 10 species of small jellyfish were found, including 10 species in shallow water type I net, 7 species in shallow water type II net. The average abundance of small jellyfish in shallow water type I net and type II net was 26.5 ind·m⁻³ and 23.0 ind·m⁻³, respectively. The

收稿日期: 2022-10-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1404000); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金资助项目(202002)

作者简介: 张亮(1982—), 男, 山东淄博人, 自然资源部北海预报减灾中心高级工程师, E-mail: 36302162@qq.com;

* 王岚(通信作者), 自然资源部北海预报减灾中心高级工程师, E-mail: WL_312@163.com.

dominant species were *Clytia hemisphaerica*, *Muggiaea atlantica*, *Diphyes chamissonis*, *Obelia* spp., *Pleurobrachia globosa*. Individual density of zooplankton, bottom chlorophyll a, surface suspended solids and inorganic nitrogen were the main environmental factors affecting the species number and individual density of small jellyfish in the sea waters.

Keywords: Qingdao; small jellyfish; community structure; dominant species; environmental factor

水母具有种类多、数量大的特点,是海洋中浮游动物的重要类群之一,主要包括水螅水母类、管水母类、立方水母、钵水母类和栉水母类^[1].近年来,由于人类过度捕捞、全球性气候变化、海水的富营养化以及外来生物入侵等因素的影响,在全球许多海湾和海区均出现了水母数量激增甚至暴发的现象^[2],水母暴发已经成为全球关注的热点问题^[3].在我国东海和黄海海域也时有水母暴发现象^[4],并且有加剧的趋势^[5].水母数量的剧增对海洋生物群落能够产生极其显著的负面影响^[6],并且改变了海洋生物的群落结构以及海洋生态系统能量的传递机制^[7].一般来说,将水螅水母类、管水母类以及栉水母类统称为小型水母^[8],小型水母是海洋浮游动物中最重要的一个肉食性类群,它具有种类繁多、分布广泛、数量巨大的特点,在海洋生态系统物质循环、能量流动过程中扮演着重要角色,是一个极为重要的环节^[9],小型水母能够大量摄食所在海域中的鱼卵和仔稚鱼,减少了渔业资源早期的补充,对渔业资源造成负面影响^[10],因此,小型水母对于海洋生态系统平衡的维持具有重要意义.

在过去报道的水母暴发现象绝大多数为大型水母^[5-6],而对小型水母的研究相对较少,水母数量增加甚至暴发的现象在小型水母种类中也有出现^[11-12],研究发现,在青岛胶州湾海域小型水母的总丰度2001—2009年比1991—2000年增加了5倍,小型水母数量的增多对胶州湾海洋生物多样性、生态系统的结构与功能等均产生了很大的影响^[13].目前对青岛市邻近海域小型水母的研究非常少,仅见对青岛胶州湾^[13-16]水母类进行的研究;同时这些研究所用调查数据时间较久远,因此缺乏对整个青岛市近岸海域小型水母的最新调查研究.

笔者以2020年8—9月在青岛近岸海域浮游动物调查数据为基础,分析了青岛近岸海域小型水母的种类组成、数量分布、群落结构,并对其与环境因子的关系进行分析,以期能为水母暴发灾害的安全预警和海洋生态保护修复提供基础背景数据,并为我国的胶质浮游动物生态学研究以及黄海生态环境的长期变化提供基础资料.

1 材料与方法

1.1 采样与分析

笔者于2020年8—9月期间在青岛近岸海域进行浮游动物调查采样,综合考虑站位覆盖青岛近岸海湾、港口区、国家级海洋公园及农渔业区,共布设采样站位8个(图1),调查站位水深范围在6.0~35.0 m之间.水母样品采用浅水Ⅰ型、Ⅱ型浮游生物网垂直拖网获得,采集样品用5%福尔马林海水溶液固定,带回实验室后按照《海洋监测规范 第7部分 近海污染生态调查和生物监测》^[17]关于浮游生物生态调查中的相关要求,在体视显微镜下进行小型水母全样品种类鉴定和个体计数.该研究还同时对与浮游动物群落有重要影响的环境因子进行监测,主要包括水深、水温、盐度、COD、DO、营养盐、悬浮物和叶绿素a等,调查方法按照《海洋监测规范 第4部分 海水分析》^[18]的要求进行.

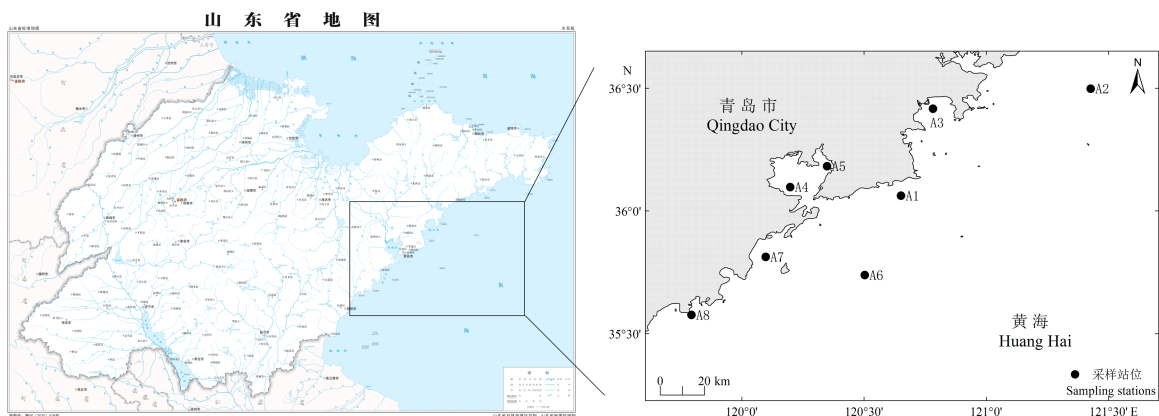


图 1 采样站

(审图号:鲁 SG(2020)019 号)

1.2 数据处理与分析

1.2.1 个体密度和优势度

小型水母的个体密度按照《海洋调查规范》中浮游动物的个体密度计算公式^[19]进行计算,单位为个每立方米($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$);小型水母的优势度按照徐兆礼等^[20]给出的计算公式进行计算,当某一浮游生物的优势度 $Y \geq 0.02$ 时,则判定该种为优势种^[20].

1.2.2 海水质量评价方法和评价标准

按照调查站位所在海域海洋功能区的海洋环境保护要求进行评价,笔者调查中 A1, A4~A7 调查站位于农业渔业区,采用《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[21]的第二类海水水质标准做参比;A2 调查站位于矿产与能源区,采用《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[21]的第四类海水水质标准做参比;A3, A8 调查站位于港口航运区,采用《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[21]的第三类海水水质标准做参比.采用单因子质量指数法^[22]进行评价.

1.2.3 小型水母个体密度平面分布

采用 ArcMap 10.4.1 软件对获得的小型水母个体密度的平面分布情况进行平面分布绘制.

1.2.4 相关性分析

采用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件包中的 Pearson Correlate 分析,对获得的小型水母数据与环境因子数据进行皮尔逊相关性分析,通过相关性分析找出小型水母与环境因子之间的相关关系.

2 结果与分析

2.1 水文环境

2020 年 8—9 月调查海域环境因子见表 1. 采用《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[21]的第二、三、四类海水水质标准做参比对环境数据进行评价,结果发现,各调查因子均符合所在海域海洋功能区的海洋环境保护要求,无超标现象,调查海域水质质量较好.透明度和盐度分布趋势一致,总体上呈近岸低,远岸高;叶绿素 a、悬浮物总体上呈近岸高,远岸低的趋势;调查海域南部水温低于北部;溶解氧无明显分布规律;位于胶州湾内调查站位无机氮、活性硅酸盐、活性磷酸盐、叶绿素 a、COD、悬浮物含量明显高于其他调查站位.

表 1 调查海域环境因子

环境因子	海域层次	监测结果			质量指数			超标率/%
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
水深/m	/	6.0	35.0	19.1	/	/	/	/
透明度/m	/	1.5	12.0	4.5	/	/	/	/
水温/℃	表	22.40	26.96	24.29	/	/	/	/
	底	21.64	26.83	23.25	/	/	/	/
盐度/‰	表	29.807	31.411	30.722	/	/	/	/
	底	30.800	31.565	31.237	/	/	/	/
pH	表	7.96	8.15	8.07	0.00	0.54	0.21	0
	底	7.93	8.10	8.04	0.13	0.29	0.20	0
DO/(mg·L ⁻¹)	表	6.48	8.05	7.09	0.07	0.56	0.34	0
	底	5.21	7.14	6.42	0.39	0.72	0.52	0
COD/(mg·L ⁻¹)	表	0.533	1.95	1.17	0.11	0.65	0.36	0
	底	0.398	1.26	0.873	0.08	0.39	0.26	0
无机氮/(mg·L ⁻¹)	表	29	197	91	0.10	0.66	0.27	0
	底	30	175	85	0.10	0.58	0.25	0
活性磷酸盐/(μg·L ⁻¹)	表	1.54	9.72	4.31	0.05	0.32	0.14	0
	底	2.10	5.90	4.28	0.07	0.20	0.13	0
活性硅酸盐/(μg·L ⁻¹)	表	46	521	203	/	/	/	/
	底	35	427	170	/	/	/	/
悬浮物/(mg·L ⁻¹)	表	6.8	14.6	10.6	/	/	/	/
	底	8.2	19.6	15.9	/	/	/	/
叶绿素 a/(μg·L ⁻¹)	表	0.332	9.71	3.45	/	/	/	/
	底	0.561	3.84	1.98	/	/	/	/

注:“/”表示无评价标准,未进行评价.

2.2 小型水母种类组成

调查共发现小型水母 10 种(见表 2),其中水螅水母类 7 种,占总种数的 70%;管水母类 2 种,占总种数的 20%;栉水母类 1 种,占总种数的 10%. 在小型水母的种类组成上,水螅水母占优势. 浅水Ⅰ型网采集到的水母种类数略多于浅水Ⅱ型网,浅水Ⅰ型网采集到 10 种,浅水Ⅱ型网采集到 7 种,浅水Ⅰ型网、浅水Ⅱ型网均采集到的小型水母有 7 种.

2.3 优势种

调查共发现优势种 5 种(表 3),其中水螅水母类 2 种、管水母类 2 种、栉水母类 1 种. 浅水Ⅰ型网采集到优势种 5 种,浅水Ⅱ型网采集到优势种 4 种,两种不同网型采集到的优势种基本一致. 不同的是,浅水Ⅰ型网采集到的五角水母(*Muggiaea atlantica*)平均个体密度明显高于浅水Ⅱ型网,浅水Ⅰ型网采集到的蕺枝螅水母(*Obelia* spp.)平均个体密度明显低于浅水Ⅱ型网.

表 2 水母种类名录表

中文名	拉丁文名	类群	浅水 I 型网	浅水 II 型网
半球美螵水母	<i>Clytia hemisphaerica</i>		+	+
蕨枝螵水母	<i>Obelia</i> spp.		+	+
嵯山秀氏水母	<i>Sugiura chengshanense</i>		+	+
鳞茎高手水母	<i>Bougainvillia muscus</i>	水螵水母类	+	
峭状镰螵水母	<i>Zanclea costata</i>		+	
细颈和平水母	<i>Eirene menoni</i>		+	
黑球真唇水母	<i>Eucheilota menoni</i>		+	+
五角水母	<i>Muggiaea atlantica</i>		+	+
双生水母	<i>Diphyes chamissonis</i>	管水母类	+	+
球型侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>	栉水母类	+	+

注：“+”表示出现,空白表示未出现.

表 3 小型水母优势种及其优势度

中文名	拉丁文名	浅水 I 型网			浅水 II 型网		
		出现频率/%	优势度	个体密度/(ind · m ⁻³)	出现频率/%	优势度	个体密度/(ind · m ⁻³)
半球美螵水母	<i>Clytia hemisphaerica</i>	50	0.02	2.2	50	0.03	2.4
五角水母	<i>Muggiaea atlantica</i>	38	0.20	12.9	63	0.14	2.6
双生水母	<i>Diphyes chamissonis</i>	63	0.19	5.3	50	0.15	5.1
蕨枝螵水母	<i>Obelia</i> spp.	50	0.02	2.4	75	0.28	13.2
球型侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>	25	0.02	1.5	0	0	0

2.4 个体密度的平面分布

调查发现的小型水母个体密度方面,浅水 I 型网平均个体密度为 26.5 ind · m⁻³,范围在 0~122.0 ind · m⁻³ 之间,最低个体密度出现在 A8 号站,该站位未发现水母,最高出现在 A1 号站(图 2a);浅水 II 型网平均个体密度为 23.0 ind · m⁻³,在 1.1~69.2 ind · m⁻³ 范围,最低个体密度出现在 A8 号站,最高出现在 A4 号站(图 2b). 从平面分布看,调查海域小型水母个体密度总体呈近岸高于外海,北部高于南部的趋势;位于胶州湾、鳌山湾、崂山头附近调查站位的小型水母个体密度较高,离岸线较远及位于调查海域最南部董家口附近的调查站位个体密度较低.

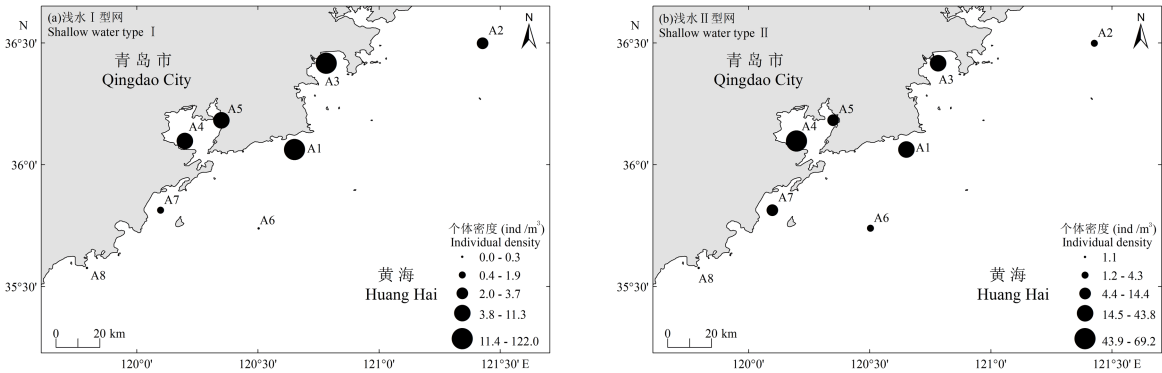


图 2 小型水母个体密度平面分布图
(审图号:鲁 SG(2020)019 号)

2.5 环境因子相关性分析

对青岛近岸海域小型水母个体密度和种类数与水质环境因子进行皮尔逊相关性分析,结果见表 4。相关性分析显示浅水Ⅱ型网获得的小型水母个体密度与底层叶绿素 a 含量呈显著正相关性($p<0.05$);浅水Ⅰ型网获得的小型水母个体密度与浅水Ⅰ型网获得的浮游动物个体密度呈显著正相关性($p<0.01$),种类数与浅水Ⅰ型网获得的浮游动物个体密度呈显著正相关性($p<0.05$);浅水Ⅱ型网获得的小型水母种类数与表层悬浮物含量呈显著负相关性($p<0.01$),与表层无机氮含量呈显著负相关性($p<0.05$);小型水母个体密度和种类数与其他环境因子均未达到显著相关。

表 4 小型水母与环境因子的相关关系

环境因子	海域层次	小型水母个体密度-浅Ⅰ网	小型水母种类数-浅Ⅰ网	小型水母个体密度-浅Ⅱ网	小型水母种类数-浅Ⅱ网
水深		-0.09	-0.18	-0.62	0.11
透明度		-0.31	-0.18	-0.48	0.14
水温	表	0.38	0.48	0.12	0.63
	底	-0.18	-0.02	-0.25	0.37
盐度	表	-0.09	-0.08	-0.05	0.16
	底	0.04	0.18	0.00	0.23
pH	表	0.39	0.39	-0.53	0.18
	底	0.49	0.37	0.60	0.00
DO	表	0.58	0.66	0.01	0.69
	底	-0.29	-0.4	-0.15	-0.69
COD	表	0.23	0.01	-0.02	-0.44
	底	0.06	-0.27	-0.12	-0.55
无机氮	表	-0.56	-0.68	-0.25	-0.73*
	底	-0.39	-0.53	-0.58	-0.58
活性磷酸盐	表	0.23	0.17	-0.17	-0.20
	底	0.58	0.60	0.47	0.79
活性硅酸盐	表	-0.23	-0.31	-0.37	-0.58
	底	-0.44	-0.5	-0.59	-0.49
悬浮物	表	-0.54	-0.63	0.00	-0.87**
	底	0.34	0.18	0.29	0.15
叶绿素 a	表	0.42	0.41	0.19	-0.10
	底	0.70	0.80	0.90*	0.65
浮游动物密度	浅水Ⅰ型网	0.88**	0.83*	0.65	0.56
	浅水Ⅱ型网	0.32	0.27	0.45	0.11

注:**表示 $p<0.01$, *表示 $p<0.05$ 。

3 讨 论

3.1 种类组成和优势种分析

笔者调查获得的小型水母共计 10 种,其中水螅水母类 7 种,管水母类 2 种,栉水母类 1 种,种类组

成上,水螅水母类占优势.调查发现的小型水母主要分为 2 个生态类群,一是以低温广盐为主要特征的近岸暖温生态类群,包括五角水母、嵎山秀氏水母(*Sugiura chengshanense*);二是以高温低盐为主要特征的近岸暖水生态类群,包括半球美螭水母(*Clytia hemisphaerica*)、薮枝螭水母、鳞茎高手水母(*Bougainvillia muscus*)、嵎状镰螭水母(*Zanclea costata*)、细颈和平水母(*Eirene menoni*)、黑球真唇水母(*Eucheilota menoni*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*). 浅水 I 型浮游生物网采集到的水母种类数略多于浅水 II 型浮游生物网,可能主要是由于浅水 I 型网网口面积(0.20 m^2)大于浅水 II 型网(0.08 m^2). 根据相关文献记录,黄海有水螅水母 66 种^[23],管水母 5 种,栉水母 3 种^[24]. 孙松等^[25]根据“973”项目 2000 年 10 月—2007 年 8 月在黄海进行的浮游生物调查,对黄海小型水母类的种类组成及其丰度的时空变化进行了研究,结果表明 2006 年 9 月断面调查获得水母 20 种,其中水螅水母类 14 种,管水母类 4 种,栉水母类 2 种;2007 年 8 月获得 8 种,其中水螅水母类 6 种,管水母类 1 种,栉水母类 1 种. 笔者调查发现的小型水母种类数与孙松等^[25]2007 年 8 月研究结果相似,但低于其 2006 年 9 月研究结果^[25],也明显低于其他相关文献记录结果^[24-25],分析原因主要是由于本次调查站位较少,且均位于青岛近岸海域,覆盖范围有限,且仅是 2020 年 8—9 月的调查结果,因此获得的水母种类较少. 在种类组成方面,笔者调查的海域水螅水母类在种类组成上占优势,和以往研究结果^[23-25]一致,说明调查海域小型水母种类结构组成比较稳定.

笔者的调查显示,青岛近岸海域小型水母的优势种为半球美螭水母、五角水母、双生水母、薮枝螭水母和球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*). 孙松等^[25]根据“973”项目 2000 年 10 月—2007 年 8 月黄海浮游生物调查样品中小型水母分析结果,2006 年 9 月、2007 年 8 月调查黄海小型水母优势种有半球美螭水母、锡兰和平水母(*Eirene ceylonensis*)、双生水母、球型侧腕水母、四手触丝水母(*Lovenella assimilis*),水螅水母中的半球美螭水母基本常年在山东半岛南部占据优势地位,是黄海常年出现的优势水螅水母种类,广泛分布于山东半岛南岸及海州湾外^[25],胶州湾夏季和秋季水母类常见的优势种主要有半球杯水母(*Phialidium hemisphaericum*)、五角水母、罗氏水母(*Lovenella assimilis*)、薮枝螭水母等^[15],薮枝螭水母是胶州湾最常见的水螅水母优势种类,除冬季外,该种类在各月都可采到^[16],笔者所调查的小型水母的优势种与以往研究结果^[15-16,25]基本一致,优势种未发生明显变化.

3.2 环境因子对小型水母的影响

调查显示 2020 年 8—9 月青岛近岸调查海域各水质调查因子均符合所在海域海洋功能区的海洋环境保护要求,无超标现象,调查海域水质质量良好,位于胶州湾内调查站位无机氮、叶绿素 a、COD、活性硅酸盐、活性磷酸盐和悬浮物含量均明显高于其他调查站位. 有研究表明,由于无机氮等大量污染物的排入,造成胶州湾东北部海域和西部沿岸海域水质恶化现象严重,位于胶州湾顶且临近入海河口(李村河、大沽河)海域的海洋生态质量状况最差^[26],根据《2020 年青岛市生态环境状况公报》^[27],2020 年青岛市近岸海域水质总体良好,胶州湾东北部和西北部湾顶、丁字湾水质较差,主要污染物均为无机氮,其次为活性磷酸盐,笔者的调查结果与近年来本地的监测结果基本一致^[26-27].

相关性分析显示笔者的调查浅水 I 型网获得的小型水母个体密度和种类数与浅水 I 型网获得的浮游动物个体密度呈显著正相关性,有研究发现水母类的增加一般都是伴随着其他浮游动物数量的增加而增加,之后又随着其他浮游动物数量的减少而减少^[16],主要是浮游动物中的小型桡足类如小拟哲水蚤等是小型水母的重要饵料食物^[28],大量的小型桡足类旺发,为小型水母提供了丰富的食物来源^[29]. 笔者采集的小型水母个体密度和种类数量与叶绿素 a 含量总体呈正相关性,但未达到显著相关,其中浅水 II 型网获得的小型水母个体密度与底层叶绿素 a 含量达到显著正相关性. 由于叶绿素的含量可以反映所在海域的初级生产力大小,而浮游植物又是有机物的初级生产者,因此叶绿素必然影响浮游动物的分布^[30]. 笔者采集的小型水母除浅水 II 型网获得的小型水母种类数与表层无机氮含量呈显著负相关性($p < 0.05$),其余个体密度和种类数量与浮游生物生长所需的营养盐含量相关性较弱,均未达到显著相关,可见营养盐对小型水母的影响相对较弱,这可能与营养盐是通过影响浮游植物的生长间接对浮游动物产生影响有关^[31]. 研究发现,盐度与温度是两个影响浮游动物群落结构的重要因子^[32],其中温度由于可以直接影响到生物有机体的体温,而体温的高低又决定了浮游动物的新陈代谢、有机体的生长以及

发育速度、繁殖等,进而影响了浮游动物的分布^[33],笔者采集的小型水母个体密度和种类数量与表层水温呈正相关性,但未达到显著相关.有研究表明,盐度是影响小型水母丰度水平分布的主要因子^[29],盐度与大部分物种的分布呈负相关^[34],在胶州湾浮游动物调查中,也发现小型水母类与盐度呈负相关关系^[35].左涛等^[36]2015 年 5 月在整个黄海及东海北部进行系统的走航式大面调查时发现各水母的资源密度分布并未与水温、盐度表现出显著的相关性.笔者采集的小型水母个体密度和种类数量与表层盐度总体呈负相关性,但同样未达到显著相关.

3.3 与历史调查资料的比较

将笔者的调查结果与青岛近岸海域、胶州湾、崂山湾及黄海的部分历史调查资料进行对比,见表 5.从调查发现的水母种类数上看,笔者调查发现的水母种类数量明显低于 2012 年之前的历次调查结果^[15-16,25,37-39],但高于 2014 年青岛近岸(崂山湾)^[40]和 2016 年青岛近岸^[41]的调查结果.从水母的平均个体密度方面看,该次调查发现的水母平均个体密度与 2003 年 5 月—2004 年 9 月青岛近岸(胶州湾)^[37-38]调查结果基本一致,低于 2012 年 5 月黄海^[38]调查结果,高于 2000 年 10 月—2007 年 8 月黄海^[25]和 2016 年青岛近岸^[41]的调查结果.笔者调查发现的小型水母优势种与以往研究^[15-16,25,37-38]结果基本一致.造成种类数量及个体密度差异的原因可能与以下几个方面有关系:首先是采样站位的布设的数量和覆盖范围不同,一般情况下,采样站位数量越多,覆盖范围越大,则采集到浮游生物的种类数量越多,个体密度也相对较大,另外,不同位置的采样站位所在海域的环境水文条件及海水水质有所差异;其次是调查季节和频次的不同,几次调查的季节和频次有所不同,造成调查结果有所差异,由于海水温度季节性差异,小型水母的个体密度也有明显的季节差异,一般表现为夏季高冬季低^[42],另外调查频次的高低也决定了发现的种类数量的多少,调查频次高采集到的浮游生物种类也会相对较多.

表 5 笔者的调查结果与历史资料的对比

调查海域	调查时间	调查站位数量	采样网具类型	种类数量	个体密度/ (ind · m ⁻³)	优势种	数据来源
青岛近岸	2020 年 8—9 月	8	浅水Ⅰ型网	10	26.5	半球美螭水母、五角水母、双生水母、薮枝螭水母、球型侧腕水母	笔者的研究
			浅水Ⅱ型网	7	23.0	半球美螭水母、五角水母、双生水母、薮枝螭水母	
青岛近岸 (胶州湾)	2003 年 5 月、 2004 年 9 月	4~22	浅水Ⅰ型网	34	26.4	薮枝螭水母、半球美螭水母、四枝管水母、日本真瘤水母、五角水母、四手触丝水母、八斑芮氏水母、真拟杯水母、锡兰和平水母	文献 [37-38]
青岛近岸 (胶州湾)	1980—1998 年	2~9	浅水Ⅰ、Ⅱ型网、 北太平洋网	56	/	酒杯水母属、和平水母属、罗氏水母、五角水母、四枝管水母、四叶小舌水母、贝氏真囊水母、小介穗水母和灯塔水母等	文献 [15-16]
黄海	2000 年 10 月— 2007 年 8 月	14~72	浮游生物大网	34	0.8	半球美螭水母、锡兰和平水母、真囊水母、四手触丝水母、八斑芮氏水母、两手筐水母、双生水母、五角水母、球型侧腕水母、瓜水母	文献 [25]
青岛近岸 (崂山湾)	2014 年 8 月	19	浅水Ⅱ型网	4	/	/	文献[40]
青岛近岸	2016 年 9 月	8	WP2 型网	5	11.9	/	文献[41]
黄海	2012 年 5 月	57	WP2 型网	17	33.3	/	文献[39]

注:“/”表示文献中未涉及相关数据.

参考文献:

- [1] STEELE J H, THORPE S A, TUREKIAN K K. Marine biology: a derivative of the encyclopedia of ocean sciences[M]. 2nd ed. Burlington: Academic Press, 2009.
- [2] PURCEL L J E, UYE S, LO W T. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct sequences for humans: a review[J]. Marine Ecology-progress Series, 2007, 350: 153-174.
- [3] 张芳, 孙松, 李超伦. 海洋水母类生态学研究进展[J]. 自然科学进展, 2009, 19 (2): 121-130.
- [4] 孙松, 于志刚, 李超伦, 等. 黄、东海水母暴发机理及其生态环境效应研究进展[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43 (3): 401-405.
- [5] 程家骅, 李圣法, 丁峰元, 等. 东、黄海大型水母暴发现象及其可能成因浅析[J]. 现代渔业信息, 2004, 19 (5): 10-12.
- [6] SCHNEIDER G, BEHREND S G. Top-down control in a neritic plankton system by *Aurelia aurita* medusae—a summary[J]. Ophelia, 1998, 48 (2): 71-82.
- [7] 单秀娟, 庄志猛, 金显仕, 等. 长江口及其邻近水域大型水母资源量动态变化对渔业资源结构的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22 (12): 3321-3328.
- [8] 高尚武, 洪惠馨, 张士美. 中国动物志 无脊椎动物 第二十七卷 刺胞动物门 水螅虫纲 管水母亚纲 钵水母纲 [M]. 北京: 科学出版社, 2022.
- [9] RICHARDSON A J, BAKUN A, HAYS G C, et al. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2009, 24 (6): 312-322.
- [10] PURCELL J E, ARAI M N. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review[J]. Hydrobiologia, 2001, 451 (1/2/3): 27-44.
- [11] SULLIVAN B K, KEUREN D V, CLANCY M. Timing and size of blooms of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in relation to temperature in Narragansett Bay, RI[J]. Hydrobiologia, 2001, 451 (1/2/3): 113-120.
- [12] GREVE W. The 1989 german bight invasion of *Muggiaea atlantica*[J]. ICES Journal of Marine Science, 1994, 51 (4): 355-358.
- [13] SUN S, LI Y H, SUN X X. Changes in the small-jellyfish community in recent decades in Jiaozhou Bay, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30 (4): 507-518.
- [14] 冯颂, 孙松, 李超伦, 等. 胶州湾半球美水母 (*Clytia hemisphaerica*) 数量周年变动及对浮游动物摄食压力估算[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43 (3): 464-470.
- [15] 马喜平, 孙松, 高尚武. 胶州湾水母类生态的初步研究 I. 群落结构及其年季变化[J]. 海洋科学集刊, 2000, 42: 91-99.
- [16] 马喜平, 孙松, 高尚武. 胶州湾水母类生态的初步研究 II. 数量时空变化及同环境因子的关系[J]. 海洋科学集刊, 2000, 42: 100-107.
- [17] 国家海洋局. 海洋监测规范: 第 7 部分 近海污染生态调查和生物监测: GB 17378. 7—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [18] 国家海洋局. 海洋监测规范: 第 4 部分 海水分析: GB 17378. 7—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [19] 国家海洋局. 海洋调查规范: 第 6 部分 海洋生物调查: GB/T 12763. 6—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [20] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8 (4): 13-15, 19.
- [21] 国家环境保护局. 中华人民共和国国家标准: 海水水质标准: GB 3097-1997[S/OL]. [2022-08-30]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/shjbh/shjzlbz/199807/t19980701_66499.shtml.
- [22] 国家环境保护总局环境工程评估中心. 环境影响评价技术导则与标准汇编[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [23] 和振武, 许人和. 我国海域的水螅水母及其分布[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 1996, 24 (4): 69-76.
- [24] 蒋双, 陈介康. 黄渤海水螅水母, 管水母和栉水母的地理分布[J]. 海洋通报, 1994, 13 (3): 17-23.
- [25] 孙松, 张芳, 李超伦, 等. 黄海小型水母的分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43 (3): 429-437.

- [26] 刘旭东, 孙立娥, 张晓红, 等. 青岛近岸海域生态环境质量综合评价[J]. 环境监测管理与技术, 2019, 31(4): 38-42.
- [27] 青岛市生态环境局 2020 年青岛市生态环境状况公报[EB/OL]. (2021-06-04)[2022-08-08]. http://www.qingdao.gov.cn/zwgk/zdgk/tjsj/hjzkgb/202109/t20210903_3263059.shtml.
- [28] PURCELL J E. Dietary composition and diel feeding patterns of epipelagic siphonophores [J]. Marine Biology, 1981, 65 (1): 83-90.
- [29] 高倩, 陈佳杰, 徐兆礼, 等. 长江口及邻近海域浮游水螅水母、管水母和栉水母的丰度分布与季节变化[J]. 生态学报, 2015, 35 (22): 7328-7337.
- [30] 田慧娟, 马培明, 刘吉堂, 等. 连云港近海浮游动物生态特征及其与环境的关系[J]. 海洋环境科学, 2009, 28 (Z1): 35-38.
- [31] 姜会超, 陈海刚, 宋秀凯, 等. 莱州湾金城海域浮游动物群落结构及与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2015, 35 (22): 7308-7319.
- [32] 范凯, 李清雪. 渤海湾浮游动物群落结构及水质生物学评价[J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (6): 1697-1699.
- [33] LENZ P H, HOWER A E, HARTLINE D K. Temperature compensation in the escape response of a marine copepod, *Calanus finmarchicus* (Crustacea) [J]. The Biological Bulletin, 2005, 209 (1): 75-85.
- [34] 姜会超, 刘宁, 高继庆, 等. 烟台四十里湾浮游动物群落特征及与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2017, 37 (4): 1318-1327.
- [35] 王卫成. 胶州湾浮游动物功能群长期变化研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2017.
- [36] 左涛, 王俊, 吴强, 等. 2015 年 5 月黄海及东海北部大型水母分布及生物量估算[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47 (1): 195-204.
- [37] 张芳, 孙松, 杨波. 胶州湾水母类生态研究 I. 种类组成与群落特征[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36 (6): 507-517.
- [38] 张芳, 杨波, 张光涛. 胶州湾水母类生态研究 II. 优势种丰度的时空分布[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36 (6): 518-526.
- [39] 雷发灿, 李雨苑, 刘光兴, 等. 春季黄海 WP2 型网采浮游动物的群落特征[J]. 海洋环境科学, 2020, 39 (4): 585-592, 599.
- [40] 时永强, 左涛, 袁伟, 等. 夏季崂山湾浮游动物群落结构及空间分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48 (5): 990-997.
- [41] 王宁, 庄昀筠, 刘光兴, 等. 青岛近海浮游动物的群落特征研究[J]. 海洋环境科学, 2021, 40 (2): 190-199.
- [42] GIBBONS M J, RICARDSON A J. Patterns of jellyfish abundance in the North Atlantic[J]. Hydrobiologia, 2009, 616 (1): 51-65.

(责任编辑 于敏)