秦皇岛近岸海域夏季小型水母分布特征

徐东会[1,2], 齐衍萍[1,2], 张炫钊[1,2], 杜小媛[1,2], 韩龙江[1,2], 刘　潇[1,2], 周　辉[1,2], 潘玉龙[1,2]

(1. 国家海洋局 北海环境监测中心, 山东 青岛 266033; 2. 自然资源部 渤海生态预警与保护修复重点实验室, 山东 青岛 266033)

摘要: 本研究基于2014—2018年每年8月份, 于秦皇岛海域使用浅水Ⅰ型浮游生物网采集的浮游动物样品数据, 分析了小型水母群落的组成种类和丰度分布特征及环境因子与水母群落特征之间的关系。结果如下: 2014—2018年调查海域共出现小型水母13种, 其中2014、2015和2017年夏季水母种类数均为7种, 2016年夏季水母种类数为6种, 2018年夏季水母种类数最少, 仅为2种。秦皇岛近岸水域水母的优势种包括薮枝螅水母、球型侧腕水母和锡兰和平水母。2016年夏季秦皇岛水域水母丰度的平均值最高, 达到了95.0 ind./m^3。2014、2015和2018年分别为66.9 ind./m^3、69.1 ind./m^{3}和35.4 ind./m^3。2017年最低, 为14.9 ind./m^3。通过小型水母丰度与环境因子之间的相关性分析, 结果显示: 温度、盐度、pH、磷酸盐、溶解氧、无机氮、悬浮物等环境因子会对秦皇岛夏季水域水母群落结构的年际间变化产生显著影响。

关键词: 秦皇岛; 小型水母; 群落特征; 环境因子

中图分类号: Q178.1　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2022)11-0029-09

DOI: 10.11759/hykx20211013001

全球近海生态系统受到气温升高、人类活动加剧、渔业资源过度捕捞等压力的影响, 海洋生态灾害频发。我国渤、黄、东海自20世纪90年代起开始频发水母灾害, 给渔业资源、沿海工业和旅游业等带来严重影响: 2003年黄东海水母暴发导致渔业减产60%; 2013年起, 海月水母旺发连年威胁红沿河核电站, 甚至造成非计划停机; 营口、秦皇岛、青岛等多地海水浴场均发生过水母蛰人致死事件, 水母灾害日趋严重, 这种现象不仅在海洋中容易观察到的大型水母(伞径>2.5 cm)种类中发生, 也发生在不容易观察到的小型水母(伞径<2.5 cm)种类中[1-7]。水母暴发受到前所未有的重视, 成为全球性问题。目前, 针对水母生态学价值的研究大多集中在包括钵水母在内的大型水母上, 而对包括水螅水母和栉水母在内的小型水母的研究较少, 多集中在生物形态特征、分类描述和水平分布等方面[5-9]。

秦皇岛地区海洋经济快速发展, 城市人口日渐增多, 对秦皇岛地区的海洋生态环境带来巨大压力。该海域海水浴场、海水养殖业众多且发达, 但近年来频频发生的水母暴发对其海洋经济发展和生态环境带来巨大压力。目前, 已有不少关于秦皇岛水域水母特征的分析研究, 但主要集中于大型水母的群落特征方面, 迄今少见关于该海域小型水母的专题报道[10-12]。本研究利用2014—2018年每年8月在秦皇岛海域开展的海洋调查所获得的浮游动物资料, 分析了小型水母群落的种类组成和数量变化, 对该海域小型水母的分布特征进行研究, 探讨了小型水母群落与环境因子之间的关系, 以期为小型水母暴发研究积累参考资料, 并为秦皇岛海域的生态环境保护提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　调查海域及方法

分别于2014年8月6日—18日、2015年8月7日—23日、2016年8月10日—29日、2017年8月9日—26日和2018年8月2日—27日, 使用渔船在秦皇岛海域(滦河口-北戴河生态监控区)开展共计

收稿日期: 2021-10-13; 修回日期: 2022-04-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1407903)

[Foundation: Supported by the National Key Research and Development Program of China, No. 2019YFC1407903]

作者简介: 徐东会(1979—), 男, 甘肃武威人, 博士, 工程师, 主要从事浮游生物生态学研究, E-mail: lvbaobei@sina.com

24 个站位的浮游动物调查(见图 1)。采用标准的浮游生物大网(网口直径 80 cm, 网衣长 270 cm, 筛绢孔径 505 μm)由底层到表层垂直拖网的方式采集小型水母样品, 用 5%福尔马林海水溶液对样品进行固定后带回实验室完成分类鉴定。

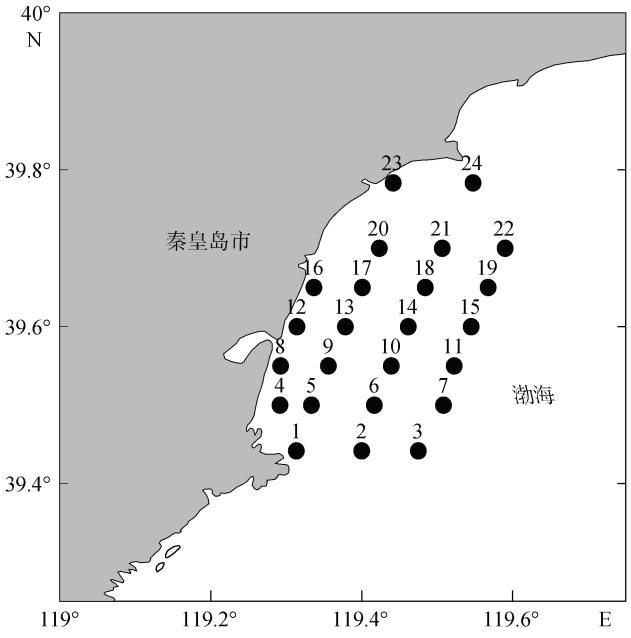

图 1　调查区域及站位分布

Fig. 1　Area of the investigation and sampling stations

同步监测了所有调查站位的表层温度、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、无机氮、磷酸盐、叶绿素 *a*。参照《海洋监测规范—海水分析》(GB17378—2007)完成水质样品的采集和分析测定。采用 pH 计法测定 pH、碘量法测定溶解氧、重量法测定悬浮物、次溴酸盐氧化法测定铵盐、萘乙二胺分光光度法测定亚硝酸盐、锌-镉还原法测定硝酸盐、抗坏血酸还原的磷钼蓝法测定磷酸盐、荧光分光光度法《海洋监测规范》(GB17378.4—2007)测定叶绿素。

1.2　数据处理与分析

1.2.1　丰度

根据每立方米水体中的个体数计算小型水母丰度。

1.2.2　优势种

小型水母的优势种是根据每个水母种类的优势度值(*Y*)来确定, 以 $Y\geqslant 0.02$ 的种类作为优势种[13]。

$$Y=(n_i/N)\times f_i, \tag{1}$$

式中, n_i 为第 *i* 种水母的个体数量, *N* 为所有种类水母的总个体数, f_i 为第 *i* 种水母在各站位出现的频率。

1.2.3　小型水母与环境因子关系

小型水母丰度与环境因子之间的关系[14], 采用多元统计软件 PRIMER V6.1 的主成分分析(PCA)、BIOENV 和 RELATE 程序进行分析。环境要素主要包括: 温度、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、无机氮、磷酸盐、叶绿素 *a* 及水深等。通过 SPSS v18.0 软件的 Kruskal-Wallis H 程序对 2014—2018 年夏季秦皇岛水域环境要素的差异性进行检验, 采用多元回归程序对小型水母丰度与浮游动物丰度的相关性进行分析。

2　结果

2.1　环境因子

2014—2018 年夏季秦皇岛水域表层温度、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、无机氮、磷酸盐、叶绿素 *a* 的年际变化如图 2 显示。秦皇岛水域表层温度变化范围为 25.9~27.8 ℃, 平均温度为 26.9 ℃(图 2a); 秦皇岛水域表层盐度变化范围为 29.9~30.8, 平均盐度为 30.5(图 2b); 秦皇岛水域表层 pH 变化范围为 8.0~8.2, 平均 pH 为 8.0(图 2c); 秦皇岛水域表层溶解氧浓度变化范围为 7.3~9.2 mg/L, 平均溶解氧浓度为 8.2 mg/L(图 2d); 秦皇岛水域表层悬浮物浓度变化范围为 9.8~24.6 mg/L, 平均悬浮物浓度为 18.5 mg/L(图 2e); 秦皇岛水域表层无机氮浓度变化范围为 0.061~0.171 mg/L, 平均无机氮浓度为 0.122 mg/L(图 2f); 秦皇岛水域表层磷酸盐浓度变化范围为 0.002~0.008 mg/L, 平均磷酸盐浓度为 0.006 mg/L(图 2g); 秦皇岛水域表层叶绿素浓度变化范围为 3.5~13.5 μg/L, 平均叶绿素浓度为 6.8 μg/L(图 2h)。差异性检验分析结果显示: 2014—2018 年夏季秦皇岛水域, 不同年份间温度、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、无机氮、磷酸盐和叶绿素 *a* 等环境因子差异极显著($P<0.01$)。

2014—2018 年夏季秦皇岛水域环境因子的 PCA 分析结果表明, 5 个年份采样站位的海水环境存在明显差异(图 3)。在 PCA1 方向上, 影响不同年份水母群落的环境因子依次为 pH、溶解氧、悬浮物、叶绿素、盐度、无机氮、磷酸盐、温度和水深等。在 PCA2 方向上, 影响不同年份水母群落的环境因子依次为无机氮、盐度、磷酸盐、温度、水深和叶绿素等。

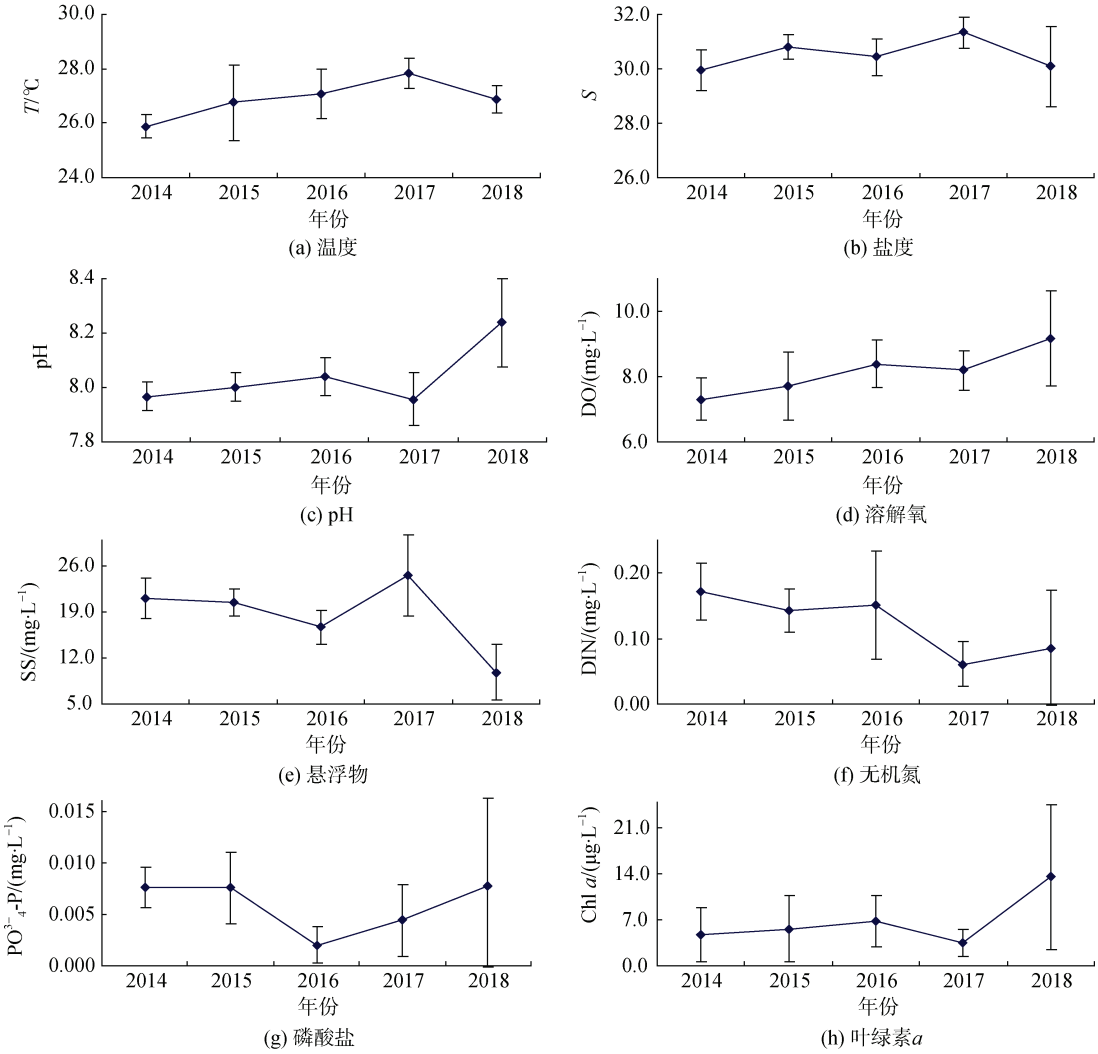

图 2　2014—2018 年夏季秦皇岛水域表层环境因子变化

Fig. 2　Variations in the environmental factors at the surface layer in the Qinhuangdao coastal waters during the summer 2014–2018.

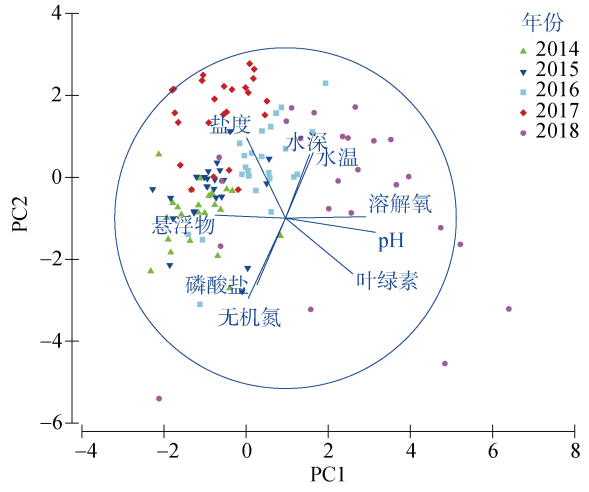

图 3　环境因子 PCA 排序

Fig. 3　PCA sequence diagram of the environmental factors

2.2　水母种类组成和优势种

2014—2018 年夏季秦皇岛水域浮游动物调查共鉴定水母 2 门，包括水螅水母 12 种、栉水母 1 种，合计种类数为 13 种(表 1)。2018 年夏季浮游动物总种类数为 30 种，水母种类数仅为 2 种，在 2014—2018 年间种类数最少，占浮游动物总种类数的 6.7%；2014 年夏季浮游动物总种类数为 33 种，水母种类数为 7 种，占浮游动物总种类数的 21.2%；2015 年夏季浮游动物总种类数为 36 种，水母种类数为 7 种，占浮游动物总种类数的 19.4%；2016 年夏季浮游动物总种类数为 42 种，水母种类数为 6 种，占浮游动物总种类数的 14.3%；2017 年夏季浮游动物总种类数为 36 种，水母种类数为 7 种，占浮游动物总种类数的 19.4%。

表 1　2014—2018 年夏季秦皇岛水域水母种类组成

Tab. 1　Composition of small medusae in the Qinhuangdao coastal waters during summer 2014–2018

种名	拉丁学名	2014		2015		2016		2017		2018	
		优势度(Y)	丰度/(ind.·m^{-3})	优势度(Y)	丰度/(ind.·m^{-3})	优势度(Y)	丰度/(ind.·m^{-3})	优势度(Y)	丰度/(ind.·m^{-3})	优势度(Y)	丰度/(ind.·m^{-3})
灯塔水母	*Turritopsis nutricula*	—	—	—	—	—	—	<0.01	0.1	—	—
高手水母	*Bougainvillia* sp.	<0.01	0.1	<0.01	0.1	<0.01	0.4	—	—	—	—
小介穗水母	*Podocoryne minima*	<0.01	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—
介螅水母	*Hydractinia* sp.	—	—	<0.01	0.1	—	—	—	—	—	—
四枝管水母	*Proboscidactyla flavicirrata*	<0.01	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—
真囊水母	*Euphysora* sp.	—	—	—	—	<0.01	0.1	—	—	—	—
杜氏外肋水母	*Ectopleura dumontieri*	—	—	<0.01	0.2	0.01	1.7	<0.01	0.1	—	—
嵴状镰螅水母	*Zanclea costata*	—	—	—	—	—	—	<0.01	0.1	—	—
锡兰和平水母	*Eirene ceylonensis*	<0.01	0.2	0.05	5.7	0.10	11.4	0.06	2.0	<0.01	0.2
卡玛拉水母	*Malagazzia carolinae*	—	—	<0.01	0.3	—	—	<0.01	0.1	—	—
嵊山杯水母	*Phialidium chengshanense*	<0.01	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—
薮枝螅水母	*Obelia* sp.	0.36	34.1	0.52	45.4	0.66	68.2	0.32	6.3	0.62	35.2
球型侧腕水母	*Pleurobrachia globosa*	0.40	32.0	0.11	17.4	0.07	13.2	0.07	6.3	—	—

注: - 表示未检测到

夏季秦皇岛水域水母优势种类包括水螅水母和栉水母(表 1), 其中 2014 年水母的优势种包括薮枝螅水母(*Obelia* sp.)和球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*); 2015 和 2016 年水母的优势种均包括锡兰和平水母(*Eirene ceylonensis*)、薮枝螅水母和球型侧腕水母; 2017 年水母的优势种包括锡兰和平水母、薮枝螅水母和球型侧腕水母; 2018 年水母的优势种为薮枝螅水母。

2.3 水母丰度及水平分布特征

2014—2018 年夏季秦皇岛水域浮游动物的总平均丰度为 330.7 ind./m^3, 水母的平均丰度为 56.2 ind./m^3, 占浮游动物总平均丰度的 17.4%, 其中水螅水母类平均丰度为 42.4 ind./m^3, 栉水母类平均丰度为 13.8 ind./m^3 (表 1)。图 4 结果显示, 2014—2018 年 5 年间夏季秦皇岛水域水母丰度在 2014—2016 年呈现逐年增长的趋势, 2017 年水母丰度下降明显, 2018 年水母丰度略有增加。2016 年夏季秦皇岛水域水母的平均丰度最高, 为 95.0 ind./m^3 占浮游动物总丰度(675.1 ind./m^3)的 14.1%; 2017 年夏季秦皇岛水域水母的平均丰度最低, 为 14.9 ind./m^3 占浮游动物总丰度(162.4 ind./m^3)的 9.2%; 2014 年夏季秦皇岛水域水母丰度为 66.9 ind./m^3, 占浮游动物总丰度(241.7 ind./m^3)的 27.68%; 2015 年夏季秦皇岛水域水母丰度为 69.1 ind./m^3, 占浮游动物总丰度(293.0 ind./m^3)的 23.6%; 2018 年夏季秦皇岛水域水母丰度为 35.4 ind./m^3, 占浮游动物总丰度(281.4 ind./m^3)的 12.6%。2014—2018 年水螅水母类的数量占绝对优势, 而栉水母类的数量表现出明显的逐年下降趋势(图 4)。多元回归分析结果显示: 2014—2016 年, 小型水母丰度与浮游动物丰度极显著正相关(P<0.01); 2017 年, 小型水母丰度与浮游动物丰度正相关; 2018 年, 小型水母丰度与浮游动物丰度显著正相关(P<0.05)。

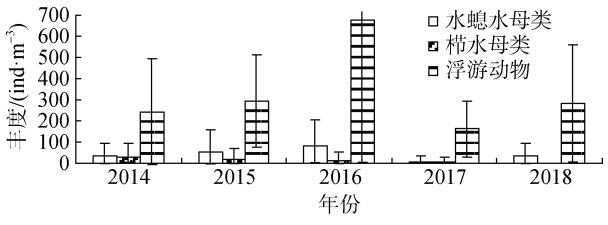

图 4 2014—2018 年夏季秦皇岛水域水母丰度变化

Fig. 4 Variations in medusae abundance in the Qinhuangdao coastal waters during summer 2014–2018

2014—2018 年夏季秦皇岛水域水母总丰度的平面分布见图 5。2014 年夏季秦皇岛水域水母总丰度较高, 其平均值为 66.9 ind./m^3, 总丰度最高值出现在调查水域西南部 4 号站(359.4 ind./m^3)。2015 年夏季秦皇岛水域水母总丰度较高, 其平均值为 69.1 ind./m^3, 总丰度最高值出现在调查水域西北部 23 号站(620.0 ind./m^3)。2016 年夏季秦皇岛水域水母总丰度很高, 其平均值为 95.0 ind./m^3, 总丰度最高值出现在调查水域西南部 1 号站(770.0 ind./m^3)。2017 年夏季秦皇岛水域水母总丰度很低, 其平均值为 14.9 ind./m^3, 总丰度最高值出现在调查水域西南部 1 号站(118.7 ind./m^3)。2018 年夏季秦皇岛水域水母总丰度较低, 其平均值为 35.4 ind./m^3, 总丰度最高值出现在调查水域西部 12 号站(237.5 ind./m^3)。2016 年夏季秦皇岛水域水母总丰度>2015 年夏季秦皇岛水域水母总丰度>2014 年夏季秦皇岛水域水母总丰度>2018 年夏季秦皇岛水域水母总丰度>2017 年夏季秦皇岛水域水母总丰度。

2.4 水母分布与环境因子

通过 BIOENV 分析的水母与环境因子间的相关性系数结果见表 2。双因子分析结果显示, 2014 年水母丰度与 pH/磷酸盐的相关性最高(P<0.01); 2015 年水母丰度与溶解氧/无机氮的相关性最高(P<0.01); 2016 年水母丰度与磷酸盐/温度的相关性最高(P<0.01); 2017 年水母丰度与无机氮/温度的相关性最高(P<0.01); 2018 年水母丰度与悬浮物/温度的相关性最高(P<0.01)。三因子分析结果显示, 2014 年水母丰度与 pH/溶解氧/磷酸盐的相关性最高(P<0.01); 2015 年水母丰度与溶解氧/无机氮/温度的相关性最高(P<0.01); 2016 年水母丰度与盐度/磷酸盐/温度的相关性最高(P<0.01); 2017 年水母丰度与 pH/无机氮/温度的相关性最高(P<0.01); 2018 年水母丰度与悬浮物/无机氮/温度的相关性最高(P<0.01)。四因子分析结果显示, 2014 年水母丰度与 pH/盐度/溶解氧/磷酸盐的相关性最高(P<0.01); 2015 年水母丰度与溶解氧/悬浮物/无机氮/温度的相关性最高(P<0.01); 2016 年水母丰度与盐度/悬浮物/磷酸盐/温度的相关性最高(P<0.01); 2017 年水母丰度与 pH/盐度/无机氮/温度的相关性最高(P<0.01); 2018 年水母丰度与 pH/悬浮物/无机氮/温度的相关性最高(P<0.01)。

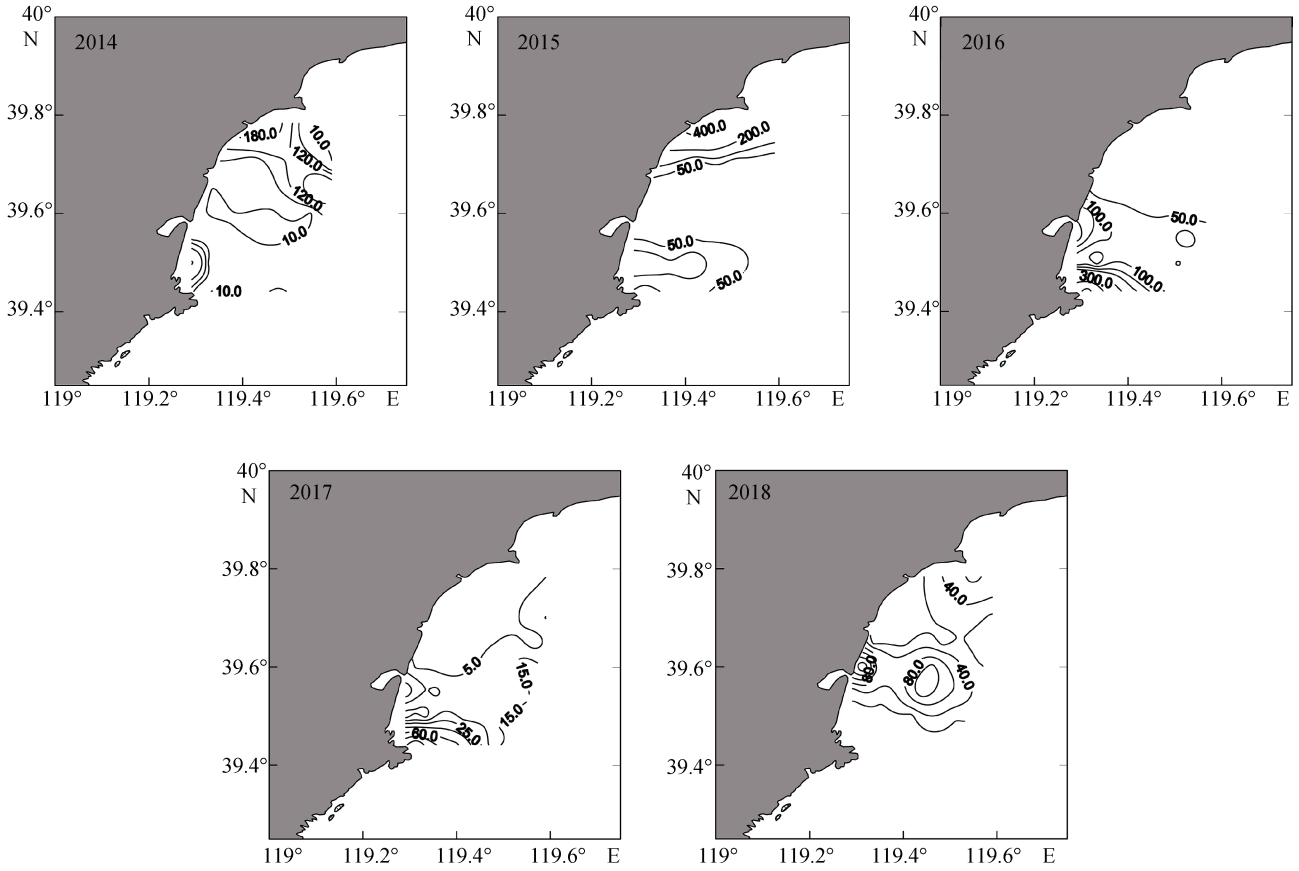

图 5　2014—2018 年夏季秦皇岛水域水母丰度(ind./m^3)平面分布

Fig. 5　Horizontal distribution of medusae abundance (ind./m^3) in the Qinhuangdao coastal waters during summer 2014–2018

表 2　水母与环境因子的相关性

Tab. 2　Correlation between medusae abundance and environmental variables

因子	参数	Spearman 相似性系数 ρ_s				
		2014	2015	2016	2017	2018
双因子	pH/磷酸盐	0.257**				
	溶解氧/无机氮		0.471**			
	磷酸盐/温度			0.321**		
	无机氮/温度				0.267**	
	悬浮物/温度					0.440**
三因子	pH/溶解氧/磷酸盐	0.284**				
	溶解氧/无机氮/温度		0.452**			
	盐度/磷酸盐/温度			0.365**		
	pH/无机氮/温度				0.263**	
	悬浮物/无机氮/温度					0.383**
四因子	pH/盐度/溶解氧/磷酸盐	0.290**				
	溶解氧/悬浮物/无机氮/温度		0.436**			
	盐度/悬浮物/磷酸盐/温度			0.387**		
	pH/盐度/无机氮/温度				0.235**	
	pH/悬浮物/无机氮/温度					0.318**

注: *表示 P<0.05; **表示 P<0.01

3 讨论

秦皇岛位于渤海中部西侧, 2014—2018 年夏季秦皇岛水域表层温度和盐度的年际变化呈现先升高后下降的趋势; 表层 pH、溶解氧和叶绿素呈现总体上升的趋势; 表层悬浮物、无机氮呈现总体下降的趋势; 表层磷酸盐呈现先下降后上升的趋势。通过不同年份间环境因子的差异性检验, 2014—2018 年夏季秦皇岛水域, 温度、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、无机氮、磷酸盐和叶绿素 *a* 等环境因子差异极其显著。

秦皇岛水域水母的群落组成特征存在明显的年际差异, 2014—2018 年夏季秦皇岛水域共记录小型水母 13 种分属 2 门, 其中包括 12 种水螅水母和 1 种栉水母, 历年夏季水母种类数介于 6~7 种, 但是在 2018 年夏季水母种类数仅为 2 种; 2014—2017 年夏季秦皇岛水域水母的优势种类均包含薮枝螅水母和球型侧腕水母, 而 2018 年水母的优势种仅有薮枝螅水母; 历年夏季水母种类数占浮游动物总种类数的 6.7%~21.2%。张万磊等[11]在 2009—2011 年进行的秦皇岛海域调查中, 对浮游动物的分析和鉴定结果总共记录了 26 种小型水母。本研究与其相比, 小型水母的种类数呈现显著的下降趋势。

2014—2016 年夏季, 秦皇岛海域水母丰度呈逐年上升趋势, 2017 年水母丰度显著下降, 2018 年略有上升。秦皇岛海域水母丰度在 2016 年夏季最高, 2017 年夏季最低。2014 年至 2018 年, 水螅水母数量占绝对优势, 而栉水母数量呈现明显的逐年下降趋势。多元回归分析结果显示, 2014—2018 年, 小型水母丰度与浮游动物丰度正相关。2014—2018 年夏季秦皇岛水域水母总丰度的平面分布结果显示, 出现水母丰度最高值的调查站位均位于调查区域的近岸海域。在野外, 水母水螅体多附着在硬质或半硬质的基质上, 例如岩礁、贝壳、牡蛎壳、大型藻类表面、塑料玻璃等人工材料, 实验表明, 水母水螅体对附着的基质材料有一定的偏好性, 海湾扇贝壳最适合水螅体增殖, 其次海洋中人工材料的增多为水螅体繁殖提供了良好的附着基质[15]。多年来秦皇岛海港区和山海关区邻近海域养殖用海、码头、港口、人工岛等的建设为水母生长提供了良好的附着基, 这很可能是导致调查区域近岸海域水母丰度较高的重要因素之一。

PCA 和 RELATE 分析结果表明, 2014—2018 年夏季秦皇岛海域水母丰度与不同环境因子存在显著相关性。由于不同种类的水母对环境因子的适应性不同, 不同年份水母群落对环境因子的依赖表现也不同。高倩等[16]分析了 2002 年至 2003 年在长江口及其附近海域获得的海洋调查数据。结果表明, 水温是影响调查海区小型水母总丰度季节变化的主要环境因素, 小型水母丰度与表层温度呈显著正相关。同时, 盐度是影响小型水母平面分布格局的主要环境因子, 与夏季中层盐度呈正相关。赵亮等[17]研究发现, 夏、秋季水层中 18~25 ℃的持续时间越长, 越有利于水螅体足囊萌发和第二年水螅横裂的补充, 导致第二年沙海蜇数量有增加的趋势, 而秦皇岛海域 8 月多年来温度为 25~28 ℃, 略高于海月水母和沙海蜇等大型水母的最适生长温度。研究表明, 营养盐浓度升高及氮磷比例的改变会导致浮游生物数量的增加, 从而为水母种群的快速扩增提供物质基础, 而多个种类的水母及其水螅体均可对低氧环境产生较强的耐受性, 这一特性可使其能够适应多种生境[5]。郗艳娟等[18]对河北省沿海水域的海水理化因子与水母丰度进行了灰色关联分析。结果表明, 活性磷酸盐、无机氮、溶解氧、温度和盐度是影响河北沿海水母丰度的主要因素。本研究结果与其相似, 秦皇岛夏季水域水母群落结构的年际变化主要受温度、溶解氧、pH 值、磷酸盐、无机氮、悬浮物和盐度等环境因素的影响。

4 结论

1) 2014—2018 年夏季, 秦皇岛近岸水域水母的群落组成特征存在明显的年际差异。在 2014—2017 年间秦皇岛水域水母种类数差异不大且种类组成丰富, 而 2018 年夏季水母种类数最少, 仅有 2 种。2014—2018 年, 秦皇岛近岸水域水母的优势种包括薮枝螅水母、球型侧腕水母和锡兰和平水母。2014—2016 年夏季, 秦皇岛水域水母丰度呈现逐年增长的趋势, 而 2017 年水母丰度显著下降, 2018 年水母丰度略有增加。2016 年夏季秦皇岛水域水母丰度最高, 2017 年夏季秦皇岛水域水母丰度最低。2)秦皇岛夏季水域水母群落结构的年际变化, 主要受到温度、溶解氧、pH、磷酸盐、无机氮、悬浮物、盐度等环境因子和浮游动物等生物因子的显著影响。2014 年水母丰度与 pH、盐度、溶解氧和磷酸盐等环境因子的相关性最高; 2015 年水母丰度与溶解氧和无机氮等环境因子的相关性最高; 2016 年水母丰度与盐度、悬浮物、磷

酸盐和温度等环境因子的相关性最高; 2017 年水母丰度与无机氮和温度等环境因子的相关性最高; 2018 年水母丰度与悬浮物和温度等环境因子的相关性最高; 2014—2018 年, 水母丰度与生物因子浮游动物丰度均表现为正相关。

参考文献:

[1] PITT K A, PURCELL J E. Jellyfish blooms: cause, conse-quences, and recent advances[J]. Hydrobiologia, 2009, 616: 1-289.

[2] PURCELL J E, GRAHAM W M, DUMONT H J. Jellyfish blooms: ecological and societal importance[J]. Hydrobiologia, 2001, 451: 1-333.

[3] SUN X, WANG S, SUN S. Introduction to the China jellyfish project[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(2): 491-492.

[4] 郭东晖, 李刚, 何静. 2007-2011 年春季珠江口中东部水域水母研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 584-588.
GUO Donghui, LI Gang, HE Jing. Ecological studies on the medusae in the mid-eastern Pearl River estuary during the spring of 2007-2011[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(3): 584-588.

[5] 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.
ZHANG Fang, SUN Song, LI Chaolun. Advances in Marine jellyfish ecology[J]. Progress In Natural Science, 2009, 19(2): 121-130.

[6] 孙松. 对黄、东海水母暴发机理的新认知[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 406-410.
SUN Song. New perception of jellyfish bloom in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(3): 406-410.

[7] 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.
SUN Song, ZHANG Fang, LI Chaolun, et al. The distribution pattern of small medusae in the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(3): 429-437.

[8] 黄旭光, 郭东晖, 肖武鹏, 等. 九龙江口春季微型浮游生物数量变动及其与小型水母消长的关系[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 579-583.
HUANG Xuguang, GUO Donghui, XIAO Wupeng, et al. The relationship between quantitative changes of microplankton and population dynamics of small medusa in the Jiulong River Estuary in spring of 2011[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(3): 579-583.

[9] 冯颂, 孙松, 李超伦, 等. 胶州湾半球美螅水母(*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.
FENG Song, SUN Song, LI Chaolun, et al. Annual changes in *Clytia hemisphaerica* abundance and its grazing pressure on zooplankton populatin in the Jiaozhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(3): 464-470.

[10] 郑向荣, 李燕, 饶庆贺, 等. 秦皇岛近海大型水母暴发性增长原因探析[J]. 河北渔业, 2014, 2: 16-20.
HENG Xiangrong, LI Yan, RAO Qinghe, et al. An analysis of the cause of explosive of macro-jellyfish in inshore Qinghuangdao area[J]. Hebei Fisheries, 2014, 2: 16-20.

[11] 张万磊, 李莉, 张建乐. 秦皇岛海域水母类特征分析[J]. 河北渔业, 2015, 2: 16-18.
ZHANG Wanlei, LI Li, ZHANG Jianle. Features of jellyfishes in Qinhuangdao Sea area[J]. Hebei Fisheries, 2015, 2: 16-18.

[12] 刘婧美, 饶庆贺. 秦皇岛近岸海域水母暴发原因分析及防治对策研究[J]. 河北渔业, 2016, 1: 55-57.
LIU Jingmei, RAO Qinghe. Study of the cause & countermeasures of jellyfishes outbreaks at offshore area in Qinhuangdao[J]. Hebei Fisheries, 2016, 1: 55-57.

[13] MCHAUGHTON S J. Relationships among functional properties of Californian grassland[J]. Nature, 1967, 216(5111): 168-168.

[14] SOUISSI S, IBANEZ F, HAMADOU R B, et al. A new multivariate mapping method for studying species assemblages and their habitats: example using bottom trawl surveys in the Bay of Biscay (France)[J]. Sarsia, 2001, 86: 527-542.

[15] 王彦涛, 孙松, 李超伦. 海月水母水螅体附着选择性研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1091-1095.
WANG Yantao, SUN Song, LI Chaolun. Study on substrate choice and settlement preferences of planula larvae of *Aurelia* sp.1[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1091-1095.

[16] 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.
GAO Qian, CHEN Jiajie, XU Zhaoli, et al. Abundance distribution and seasonal variation of medusae, siphonophores, and ctenophores in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and the adjacent East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(22): 7328-7337.

[17] 赵亮, 李夏, 张芳. 黄海水温与沙海蜇丰度年际变化的相关分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 564-571.
ZHAO Liang, LI Xia, ZHANG Fang. On relationship between inter-annual variation in water temperature regime and *Nemopilema nomurai* abundance in the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(3): 564-571.

[18] 郗艳娟, 吴新民, 郑向荣, 等. 灰关联分析法研究水

母密度与海水理化因子的关系[J]. 河北渔业, 2012, 8: 5-6.
XI Yanjuan, WU Xinmin, ZHENG Xiangrong, et al. The grey relational analysis of the relationship between jellyfish density and physical and chemical properties of seawater[J]. Hebei Fisheries, 2012, 8: 5-6.

Distribution characteristics of small medusae in the Qinhuangdao coastal waters during summer

XU Dong-hui[1, 2], QI Yan-ping[1, 2], ZHANG Xuan-zhao[1, 2], DU Xiao-yuan[1, 2], HAN Long-jang[1, 2], LIU Xiao[1, 2], ZHOU Hui[1, 2], PAN Yu-long[1, 2]

(1. North China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China; 2. Key Laboratory of Ecological Prewarning and Protection of Bohai Sea, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266033, China)

Received: Oct. 13, 2021
Key words: Qinhuangdao coastal water; small medusae; community structure; environmental factors

Abstract: In this study, we analyzed the composition, abundance, and distribution characteristics of small medusae based on samples collected in Qinhuangdao coastal waters during the summers of 2014–2018. The abundance of medusae and the factors influencing their abundance were explored in multivariate analyses according to the sampling date and environmental parameters. Fourteen species of small medusae were identified in this survey. The numbers of small medusae species observed during the summers of 2014–2018 were 7, 7, 6, 7, and 2, respectively. *Obelia* sp.*, Pleurobrachia globose*, and *Eirene ceylonensis* were the dominant species. In 2014, the average abundance was 66.9 ind./m^3. In 2015, the average abundance was 69.1 ind./m^3. In 2016, the average abundance was 95.0 ind./m^3. In 2017, the average abundance was 14.9 ind./m^3. In 2018, the average abundance was 35.4 ind./m^3. The abundance of small medusae varied in Qinhuangdao coastal waters. The interannual variation in the primary environmental factors affected the distribution of small medusae. These factors were salinity, dissolved oxygen (DO), pH, and phosphate in 2014. In 2015, they were DO and inorganic nitrogen. In 2016, they were salinity, suspended solids, temperature and phosphate. In 2017, they were temperature and inorganic nitrogen. In 2018, they were temperature and suspended solids. This study provides fundamental information on long-term observations of small medusae ecology in the Qinhuangdao coastal waters.

(本文编辑: 康亦兼)