

邓邦平, 刘衡, 王洪波, 等. 福建宁德晴川湾海域水母群落特征及其潜在生态风险分析[J]. 海洋学报, 2020, 42(4): 128–136. doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.04.015

Deng Bangping, Liu Heng, Wang Hongbo, et al. Analysis on the community characteristics and potential ecological risk of jellyfish in the Qingchuan Bay of Ningde, Fujian Province[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(4): 128–136. doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.04.015

福建宁德晴川湾海域水母群落特征 及其潜在生态风险分析

邓邦平^{1,2}, 刘衡³, 王洪波³, 秦玉涛^{1,2}, 夏利花^{1,2}, 李阳^{1,2}, 张昊飞^{1,2*}, 蒋晓山^{1,2},
杨旖祎^{1,2}, 王宇坛^{1,2}, 季晓^{1,2}, 林熙戎⁴

(1. 国家海洋局 东海环境监测中心, 上海 201206; 2. 自然资源部 海洋生态监测与修复技术重点实验室, 上海 201206; 3. 福建宁德核电有限公司, 福建 宁德 355200; 4. 上海市环境监测中心, 上海 200235)

摘要: 根据 2018 年 1 月 (冬季)、4 月 (春季)、7 月 (夏季) 和 11 月 (秋季) 在宁德晴川湾海域浮游动物调查的 4 个航次数据, 分析该海域水母群落结构和季节变化特征, 讨论了水母对宁德晴川湾核电站安全生产潜在的风险。结果表明: 宁德晴川湾海域水母种类组成、丰度分布和优势种演替均存在季节变化, 春、夏、秋、冬该海域水母种数分别为 7 种、16 种、9 种和 3 种, 丰度均值分别为 (45.48±8.24) 个/m³、(50.26±12.13) 个/m³、(3.68±1.91) 个/m³ 和 (0.18±0.07) 个/m³, 首要优势种分别为印度感棒水母 (*Laodicea indica*)、球型侧腕水母 (*Pleurobrachia globosa*)、双生水母 (*Diphyes chamissonis*) 和耳状囊水母 (*Euphysa aurata*), 优势种类组成季节演替明显。春季和夏季水母的丰度与浮游动物的总丰度呈极显著相关, 在夏季其数量与浮游动物中的桡足类数量呈显著相关 ($p<0.05$, $R=0.363$), 秋季和冬季水母群落的丰度主要受盐度的影响。秋、冬季该海域盐度、温度均较低, 水母的丰度也较低。根据宁德晴川湾核电站附近海域水母分布特征, 以水母丰度 50 个/m³ 为风险阈值考虑, 夏季为潜在高风险季节, 需重点关注距核电站冷源取水口 5~20 km 海域; 其次是春季, 重点关注距取水口 2.5~5 km 海域; 秋季和冬季基本不会因水母而引起核电站冷源安全事故发生。

关键词: 水母; 浮游动物; 群落特征; 生态风险; 宁德晴川湾

中图分类号: P714⁺.5; X171; Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2020)04-0128-09

1 引言

水母是海洋生态系统中的重要组成部分, 包括两大类, 一类隶属于腔肠动物门, 是带有刺细胞的水母, 包括水螅水母 (Hydromedusae)、管水母 (Siphonophore)、钵水母 (Scyphomedusae) 和立方水母 (Cubomedusae); 另一类隶属于栉水母动物门, 是不带刺细胞的水母, 身体上带有像梳子一样的纤毛, 称之

为栉水母 (Ctenophore)。我国近海已经记录的水母有 420 多种, 约占全球已记录种类的 1/3, 由于水母种类多、数量大、分布广, 因此它们在浮游动物群落中占有相当重要的地位^[1-2]。

水母也是滨海核电冷源安全风险生物的重要种类之一, 水母的爆发性增多, 可以导致滨海电厂海水冷却系统和核电站的进水阀堵塞而停止运转, 在我国红沿河核电 (2014 年)、青岛核电 (2011 年) 均发生过

收稿日期: 2019-06-27; 修订日期: 2019-09-16。

基金项目: 国家重点研发计划重点专项“海洋微塑料的监测、分析关键技术研究”(2016YFC1402201)。

作者简介: 邓邦平 (1983—), 男, 湖北省十堰市人, 高级工程师, 主要从事海洋生物生态监测评价工作。E-mail: dengbp@ecs.mnr.gov.cn

* 通信作者: 张昊飞, 高级工程师, 主要从事海洋环境监视监测与评价、海洋生态环境保护与规划、赤潮 (绿潮) 监视监测与防灾减灾等管理研究工作。E-mail: zhanghf@ecs.mnr.gov.cn

这种停机事件。自 20 世纪 90 年代中后期起,我国近海水母暴发愈趋频繁^[3-4],在世界许多海湾和海区水母暴发现象也日益增多^[5-6],水母的暴发将对海洋生态系统的结构与功能、海洋渔业资源、海洋景观和旅游业均产生巨大破坏作用^[7-10]。

福建宁德晴川湾海域所建的核电站,是国家核电中长期发展规划颁布后开工的第一个核电项目,是目前我国百万千瓦级核电机组自主化、国产化程度最高的核电站,也是海峡西岸经济区建设的第一个核电站,2013 年正式投入商业运行。核电安全关乎国计民生和社会稳定,本文通过分析福建晴川湾核电站海域不同季节水母的种类组成、数量分布和群落结构特征,评估其对核电生产带来的潜在风险并提出应对策略,以期为宁德乃至我国滨海核电的生态安全管控提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 站位设置、样品采集及分析

2018 年 1 月、4 月、7 月和 11 月分别对宁德晴川湾海域(以核电站为圆心,50 km 半径内共布设 35 个站位)进行了 4 个航次浮游动物调查,站位分布见图 1,站位基本信息见表 1。浮游动物样品用浮游生物网

(浅水 I,口径 50 cm,网目孔径 0.505 mm)由底至表层垂直拖曳采集获得,样品保存和室内处理均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)^[11]进行,样品分析的水母作为本研究的主要研究对象,从个体大小来看,本研究的水母主要为小型水母。同时用 CTD 获取现场温度、盐度和 pH 等数据。

2.2 数据处理

水母优势种优势度(Y)计算公式^[12-13]为

$$Y = N_i/N \times f_i, \quad (1)$$

式中, Y 为物种优势度, N_i 为第 i 种水母的个体数, N 为所有水母个体总数之和, f_i 为第 i 种水母出现的频度。

种类更替率(R)计算公式^[14]为

$$R = [(a+b-2c)/(a+b-c)] \times 100\%, \quad (2)$$

式中, R 为种类更替率, a 与 b 分别为相邻两个季节的种类数, c 为相邻两个季节共同的种类数。

用 office2016 软件进行优势种、丰度、种类更替率等群落特征统计,用 spss20.0 软件进行水母群落数量与环境因子的相关性分析。

3 结果与分析

3.1 种类组成

宁德晴川湾海域不同调查季节出现的水母种类

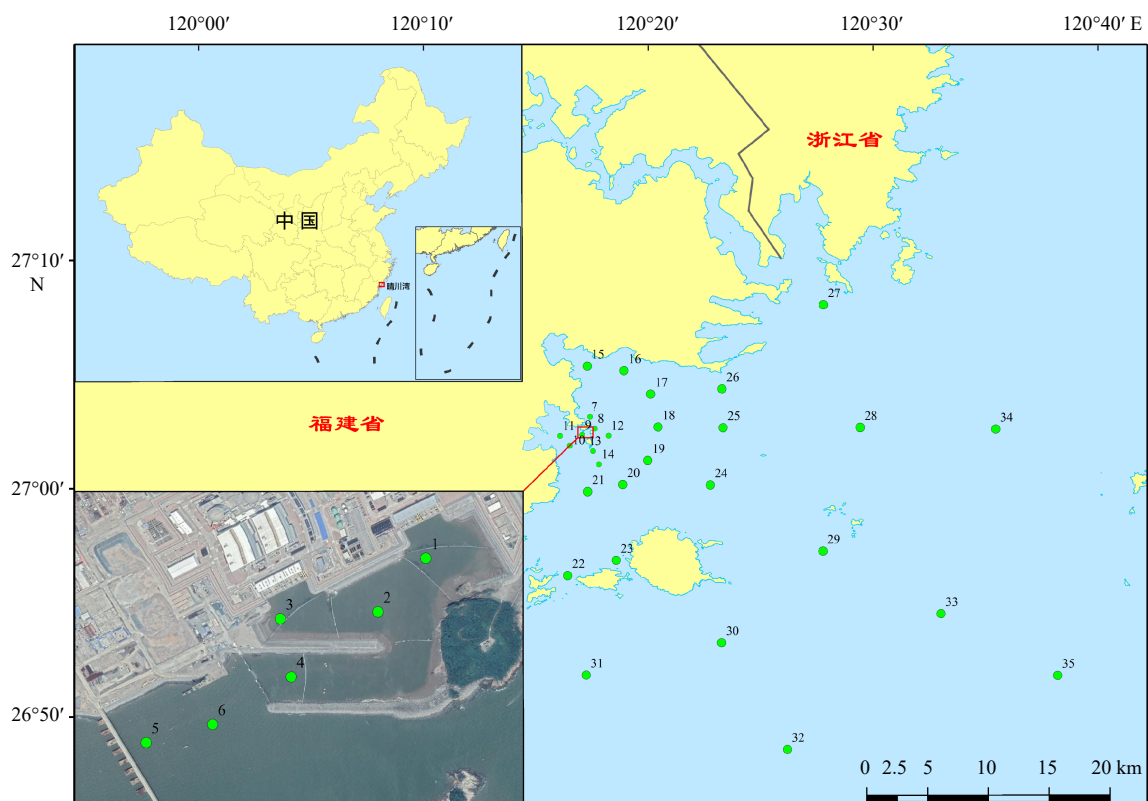


图 1 调查站位示意图

Fig. 1 Sampling stations

表 1 宁德晴川湾海域调查站位基本信息

Table 1 Basic information of survey stations in the Qingchuan Bay of Ningde

站号	纬度	经度	距取水口距离/km
1	27°02'37"N	120°17'23"E	<2.5(取水口附近)
2	27°02'32"N	120°17'19"E	<2.5(取水口附近)
3	27°02'32"N	120°17'10"E	<2.5(取水口附近)
4	27°02'27"N	120°17'11"E	<2.5(取水口附近)
5	27°02'21"N	120°16'58"E	<2.5(取水口附近)
6	27°02'23"N	120°17'04"E	<2.5(取水口附近)
7	27°03'09"N	120°17'23"E	2.5
8	27°02'37"N	120°17'36"E	2.5
9	27°02'21"N	120°17'03"E	2.5
10	27°01'53"N	120°16'29"E	2.5
11	27°02'19"N	120°16'03"E	2.5
12	27°02'19"N	120°18'12"E	2.5
13	27°01'39"N	120°17'31"E	2.5
14	27°01'04"N	120°17'47"E	2.5
15	27°05'23"N	120°17'16"E	5
16	27°05'11"N	120°18'53"E	5
17	27°04'09"N	120°20'05"E	5
18	27°02'43"N	120°20'24"E	5
19	27°01'14"N	120°19'57"E	5
20	27°00'11"N	120°18'50"E	5
21	26°59'52"N	120°17'17"E	5
22	26°56'12"N	120°16'23"E	10
23	26°56'52"N	120°18'33"E	10
24	27°00'10"N	120°22'44"E	10
25	27°02'41"N	120°23'18"E	10
26	27°04'23"N	120°23'15"E	10
27	27°08'04"N	120°27'44"E	20
28	27°02'41"N	120°29'23"E	20
29	26°57'16"N	120°27'44"E	20
30	26°53'15"N	120°23'15"E	20
31	26°51'50"N	120°17'13"E	20
32	26°48'35"N	120°26'09"E	40
33	26°54'32"N	120°32'59"E	40
34	27°02'37"N	120°35'24"E	40
35	26°51'50"N	120°38'09"E	50

信息如表 2 所示。4 个航次共鉴定出水母 20 种, 包括 12 种水螅水母、5 种管水母、2 种栉水母和 1 种钵水母。在小型水母的种类组成上, 水螅水母占 60%, 管水母占 25%, 栉水母占 10%, 钵水母仅为 5%。

水母种类呈现明显的季节更替(图 2)。春季共 7 种, 以水螅水母和管水母为主, 厦门隔膜水母(*Leuckartiara hoepplii*)仅在春季航次出现; 夏季共 16 种, 水螅水母为最主要类群, 超过 55%, 束手水母(*Gossea* sp.)、薺枝水母(*Obelia* sp.)、钩手水母(*Scolionema* sp.)、双小水母(*Nanomia bijuga*)等均仅在夏季出现; 秋季共 9 种, 种类组成特征与春季较为相近; 冬季共 3 种, 由水螅水母和钵水母组成, 除了 4 个季节均有出现的半口壮丽水母(*Aglaura hemistoma*), 耳状囊水母(*Euphysa aurata*)和灯塔水母(*Turritopsis nutricula*)仅出现在该季节。春、夏、秋、冬 4 个季节的种类组成更替率分别为: 88.9%、72.2%、43.8% 和 90.9%, 以夏季到秋季的种类更替率为最低。

3.2 丰度分布及季节变化

宁德晴川湾海域不同季节水母丰度变化具有明显差异(图 3)。春季、夏季、秋季和冬季水母在该海域的平均丰度分别为(45.48±8.24)个/m³、(50.26±12.13)个/m³、(3.68±1.91)个/m³和(0.18±0.07)个/m³, 春季和夏季水母丰度总体较高, 高值区主要出现在距核电取水口 3~20 km 以内海域, 秋季和冬季水母总体较低, 高值区主要出现在距核电站取水口 20 km 以外海域。

春季水母丰度高值区主要集中在距核电站取水口 2.5~5 km 区域, 该区域丰度均值达到 73.57 个/m³, 2.5 km 以内区域水母丰度也较低, 个别站点稍高, 丰度均值约为 17.50 个/m³, 春季水母水平分布总体呈现从距核电站取水口 5 km 处向东南外部海域逐渐减少的趋势; 夏季水母丰度高值区主要集中在距核电站取水口 5~20 km 区域, 该区域丰度均值达到 84.97 个/m³, 5 km 以内区域水母丰度均值为 22.04 个/m³, 东南外部区域水母丰度较低; 秋季水母丰度总体较低, 秋季水母在距核电取水口 30 km 以外区域稍高, 均值为 21.16 个/m³, 30 km 以内该均值仅为 0.76 个/m³; 冬季水母丰度为一年中最低, 水平分布上距核电取水口 20 km 以外区域相对稍多, 均值为 0.53 个/m³, 20 km 以内该均值仅为 0.04 个/m³。

3.3 优势种及其季节变化特征

宁德晴川湾海域水母类的优势种结构季节演替非常明显(表 3, 图 4)。春季以水螅水母类的印度感棒水母(*Laodicea indica*)为主要优势种类, 平均丰度达 18.65 个/m³, 其次是管水母类的双生水母(*Diphyes*

表 2 宁德晴川湾海域不同季节水母种类组成名录

Table 2 Species composition of jellyfish in different seasons in the Qingchuan Bay of Ningde

序号	类别	中文名	拉丁名	冬季	春季	夏季	秋季
1	水螅水母	多管水母属	<i>Aequorea</i> sp.			+	+
2	水螅水母	半口壮丽水母	<i>Aglaura hemistoma</i>	+	+	+	+
3	水螅水母	和平水母属	<i>Eirene</i> sp.			+	
4	水螅水母	耳状囊水母	<i>Euphysa aurata</i>	+			
5	水螅水母	束手水母属	<i>Gossea</i> sp.			+	
6	水螅水母	印度感棒水母	<i>Laodicea indica</i>		+		
7	水螅水母	厦门隔膜水母	<i>Leuckartiara hoepflii</i>		+		
8	水螅水母	四叶小舌水母	<i>Liriope tetraphylla</i>			+	+
9	水螅水母	蕪枝水母属	<i>Obelia</i> sp.			+	
10	水螅水母	钩手水母属	<i>Scolionema</i> sp.			+	
11	水螅水母	似钩手水母	<i>Scolionema suvaense</i>			+	
12	水螅水母	两手筐水母	<i>Solmundella bitentaculata</i>			+	+
13	管水母	华丽盛装水母	<i>Agalma elegans</i>			+	
14	管水母	双生水母	<i>Diphyes chamissonis</i>		+	+	+
15	管水母	拟细浅室水母	<i>Lensia subtiloides</i>		+	+	+
16	管水母	五角水母	<i>Muggiaea atlantica</i>		+	+	+
17	管水母	双小水母	<i>Nanomia bijuga</i>			+	
18	钵水母	灯塔水母	<i>Turritopsis nutricula</i>	+			
19	栉水母	刺胞栉水母	<i>Euchlora rubra</i>			+	+
20	栉水母	球型侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>		+	+	+

备注: +表示检出, 空白表示未检出。

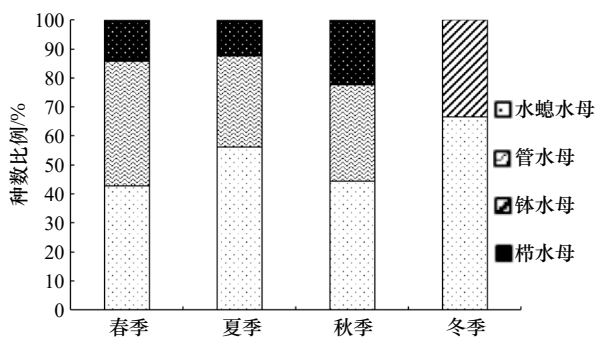


图 2 宁德晴川湾海域不同季节水母种类数百分比组成

Fig. 2 The percentage composition of jellyfish species in different seasons in the Qingchuan Bay of Ningde

chamissonis) 和栉水母类的球型侧腕水母 (*Pleurobrachia globosa*); 夏季以球型侧腕水母占绝对优势, 平均丰度达 42.12 个/m³, 其次是蕪枝水母(水螅水母)和

双生水母; 秋季以双生水母为主要优势, 平均丰度为 2.69 个/m³, 其次是球型侧腕水母; 冬季以水螅水母类的耳状囊水母为优势种, 平均丰度为 0.14 个/m³。

3.4 水母对宁德晴川湾海域核电冷源安全潜在风险分析

相关研究表明, 大于 3 mm 个体生物的大量聚集, 均可能造成核电冷源取水运行不畅, 造成取水口堵塞, 引起机组冷却系统停止工作, 导致滨海核电发生致灾生物堵塞核电冷源取水安全事件^[15]。本调查统计的优势种类球型侧腕水母和双生水母已被学者列为宁德海域核电冷源风险致灾生物名录^[16], 其中球型侧腕水母亦在红沿河核电冷源风险研究中被评估为风险值为“高”的海洋生物^[17]。根据宁德核电水母季节分布和水平分布特征(图 5), 以水母丰度 50 个/m³ 为风险阈值考虑, 夏季为高风险季节, 重点关注距取水口 5~20 km 海域; 其次是春季, 重点关注距取水口 2.5~5 km 海域; 秋季和冬季基本

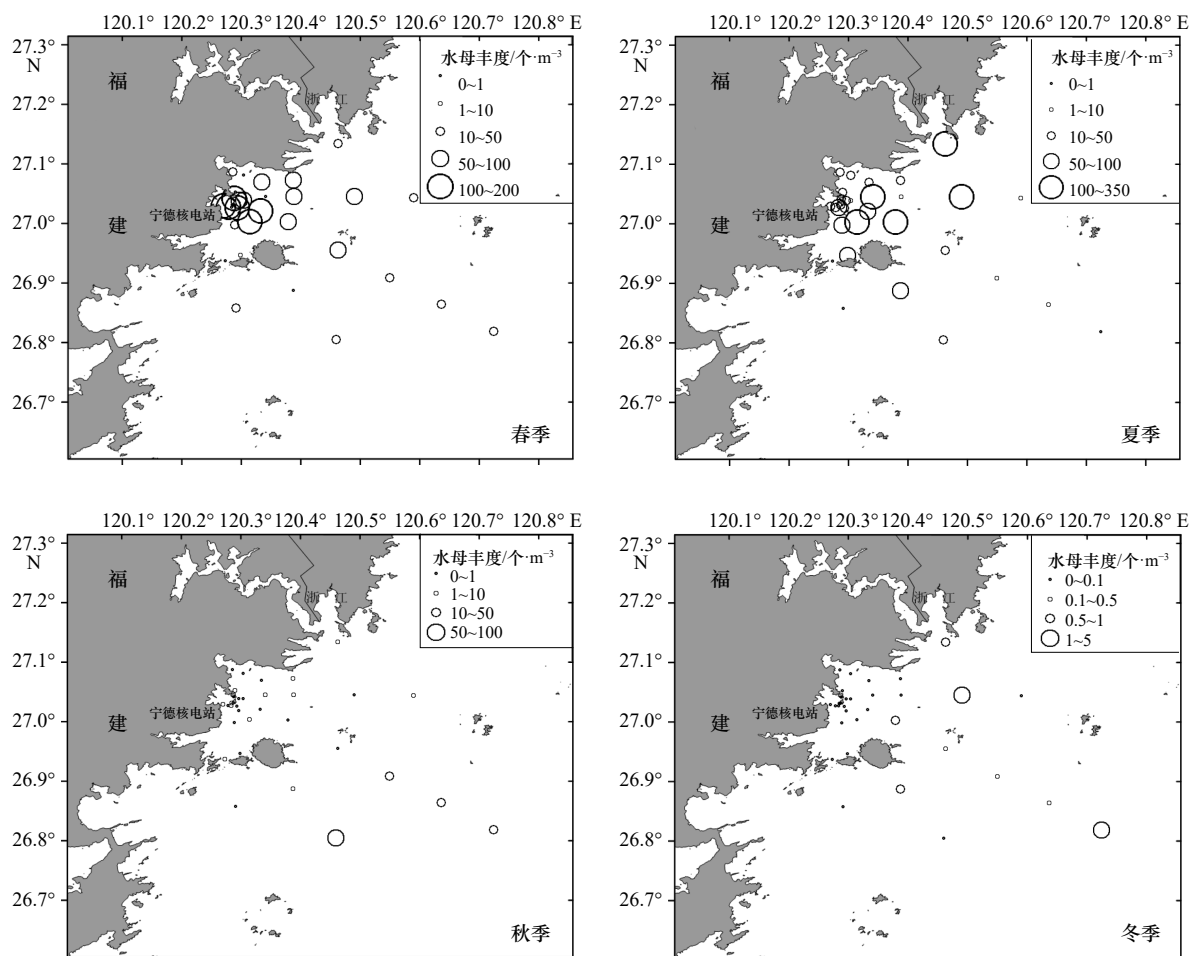


图3 宁德晴川湾海域不同季节水母丰度分布

Fig. 3 Distribution of jellyfish abundance in different seasons in the Qingchan Bay of Ningde

表3 不同季节水母优势种的优势度、平均丰度和出现频率统计

Table 3 Dominances, average abundance and frequency of the dominant jellyfish species in different seasons

季节	优势种	优势度(Y)	平均丰度/个·m ⁻³	出现频率/%
春季	印度感棒水母	0.15	18.65	37.1
	双生水母	0.08	11.02	34.3
	球型侧腕水母	0.07	12.74	25.7
夏季	球型侧腕水母	0.60	42.12	71.4
	蕈枝螅水母	0.04	4.78	37.1
	双生水母	0.03	2.50	62.9
秋季	双生水母	0.07	2.69	20.0
	球型侧腕水母	0.03	0.45	51.4
冬季	耳状囊水母	0.08	0.14	20.0

不会因水母而引起核电冷源安全事故发生,因此防范水母致灾建议主要在春、夏季进行,特别是优势种类球型侧腕水母、印度感棒水母和双生水母等种群动态变化。同时,水母的发生一般开始于近岸和沿岸水域,然后向外

扩展^[18],防范水母灾害风险,也应加强近岸水域生态环境变化监测和预警。

3.5 水母丰度变动的环境影响因子分析

水母是海洋生态系统中的重要环节,其丰度及结

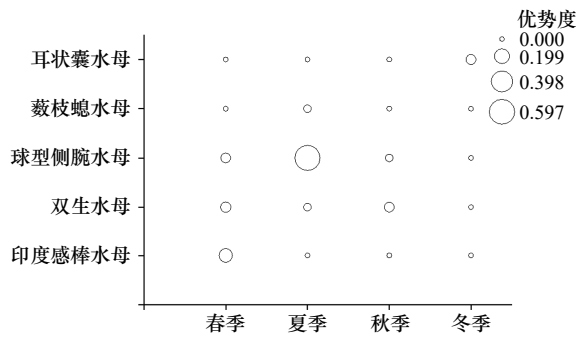


图4 不同季节优势种类的优势度(Y)变化

Fig. 4 Dominances (Y) of dominant jellyfish species in different seasons

图中圆圈大小代表优势度大小

The size of circle represent the degree of dominance

构组成变化与温度、盐度和主要食物桡足类数量等因子密切相关^[19-20],也深受风、海流、锋面和水团等因子影响^[21-23],全球气候变化和富营养化是我国近海水母暴发的最重要诱发因素^[24]。统计分析表明:春季和夏季水母的丰度与浮游动物的总丰度呈极显著相关,相关因子分别达到0.477和0.620,表明其在浮游动物群落中的数量比重较大,决定了浮游动物的群落结构组成,夏季其数量与浮游动物中的桡足类数量呈现出了显著相关性(相关系数为0.363),桡足类种群在夏季的扩大为水母种群的壮大提供了丰富的饵料基础

表4 宁德晴川湾海域不同季节水母丰度与环境因子相关性分析

Table 4 Correlation between jellyfish abundance and environmental factors in different seasons in the Qingchuan Bay of Ningde

因子季节	浮游动物丰度	浮游动物湿重生物量	桡足类丰度	水温	盐度	pH
春季	0.477**	0.269	0.247	0.032	-0.131	-0.091
夏季	0.620**	0.078	0.363*	0.029	-0.158	-0.157
秋季	0.243	0.331	-0.019	0.078	0.494**	0.096
冬季	-0.173	-0.025	-0.183	0.298	0.460**	0.307

注:**表示在 $p=0.01$ (双尾)水平上相关;*表示在 $p=0.05$ (双尾)水平相关。

4 结论

宁德晴川湾海域水母种类组成数量和丰度分布均存在明显季节变化,优势种组成季节演替明显,春、夏、秋、冬首要优势种分别为印度感棒水母、球型侧腕水母、双生水母和耳状囊水母。

夏季为宁德晴川湾核电生态安全的潜在高风险季节,需重点关注距取水口5~20 km海域;其次是春季,重点关注距取水口2.5~5 km海域;秋季和冬季基本不会因水母而引起核电污染源安全事故发生。防范

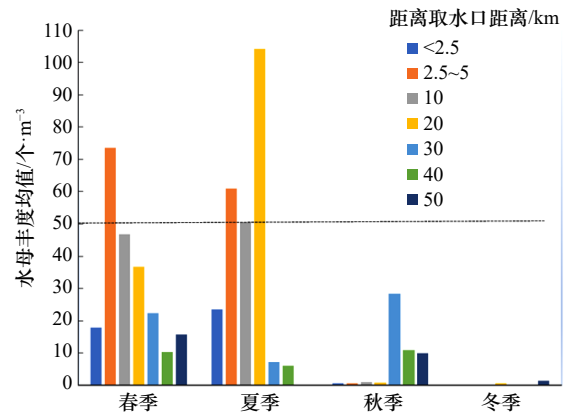


图5 宁德晴川湾核电站取水口外不同区域水母丰度均值比较

Fig. 5 Comparison of the mean abundance of jellyfish in different regions in Ningde Qingchuan Bay area outside the water intake of nuclear power plant

(表4)。秋季和冬季水母群落的丰度主要受盐度的影响,与盐度呈极显著相关,本调查春、夏、秋、冬4个航次该海域盐度均值分别为29.68、32.67、27.25和27.12,秋、冬季节盐度明显低于春季和夏季,研究表明该海域的优势种类球型侧腕水母属于亚热带外海种,该种生存需要较高的水温和盐度^[25],根据张金标^[26]的研究,在盐度为32~34,该种的出现频率明显增加,本研究的结果与上述研究结果基本一致。

水母致灾建议主要在春、夏季进行,特别关注优势种类球型侧腕水母、印度感棒水母和双生水母等种群动态变化。

春季和夏季水母的丰度与浮游动物的总丰度呈极显著相关,在夏季其数量与浮游动物中的桡足类数量呈显著相关($p<0.05$, $r=0.363$),很好的显示出浮游动物特别是桡足类为水母种群发展提供了充足的食物保障;秋季和冬季水母群落的丰度主要受盐度的影响,与盐度呈极显著相关,秋、冬季该海域盐度、温度均较低,水母丰度也较低。

参考文献:

- [1] 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, 2002.
Gao Shangwu, Hong Huixin, Zhang Shimei. Fauna Sinica, Invertebrata, Vol. Twenty-seven[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [2] 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 the study of marine jellyfish ecology[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(2): 121-130.
- [3] 丁峰元, 程家骅. 东海区沙海蜇的动态分布[J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 83-89.
Ding Fengyuan, Chen Jiahua. Dynamic distribution of *Stomolophus meleagris* in the East China Sea Region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(1): 83-89.
- [4] 李聪. 我国水母灾害研究现状与展望[J]. 渔业研究, 2018, 40(2): 156-162.
Li Cong. Review on the current situation and perspective of Chinese jellyfish disasters' research[J]. Journal of Fisheries Research, 2018, 40(2): 156-162.
- [5] Purcell J E, Uye S I, Lo W T. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review[J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 350: 153-174.
- [6] 韩瑞, 纪平, 赵懿珺, 等. 滨海核电厂取水堵塞事件调研及分析[J]. 给水排水, 2018, 44(S1): 75-80.
Han Rui, Ji Ping, Zhao Yijun, et al. Investigation and analysis of water intake blockage in offshore nuclear power plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(S1): 75-80.
- [7] 张芳, 李超伦, 孙松, 等. 水母灾害的形成机理、监测预测及防控技术研究进展[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(6): 1187-1195.
Zhang Fang, Li Chaolun, Sun Song, et al. Progress on studying jellyfish bloom, and the monitoring and control[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2017, 48(6): 1187-1195.
- [8] 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.
Zuo Tao, Wang Jun, Wu Qiang, et al. Spatial distribution and biomass of large jellyfish in the Yellow Sea and northern part of the East China Sea in May 2015[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 195-204.
- [9] 孟亚辉, 胡立生, 李建文, 等. 提升核电冷源安全性的海生物监测技术研究[J]. 电力安全技术, 2019, 21(3): 33-39.
Meng Yahui, Hu Lisheng, Li Jianwen, et al. Research on marine biological monitoring technology to improve the cold source safety of nuclear power plant[J]. Electric Safety Technology, 2019, 21(3): 33-39.
- [10] 季轩梁, 刘桂梅, 高姗. 水母暴发因素及模型研究的现状和展望[J]. 海洋预报, 2013, 30(5): 84-91.
Ji Xuanliang, Liu Guimei, Gao Shan. Review on current situation and perspective of jellyfish outbreak and its modeling study[J]. Marine Forecasts, 2013, 30(5): 84-91.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763. 6-2007, 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 12763. 6-2007, Specifications for oceanographic survey—Part 6: marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [12] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 2版. 北京: 北京师范大学出版社, 1992: 356-357.
Sun Ruyong. Principles of Animal Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 1992: 356-357.
- [13] 杨关铭, 何德华, 王春生, 等. 台湾以北海域浮游桡足类生物海洋学特征的研究 II. 群落特征[J]. 海洋学报, 1999, 21(6): 72-80.
Yang Guanming, He Dehua, Wang Chunsheng, et al. Study on the biological oceanography characteristics of planktonic copepods in the waters north of Taiwan Island II. Community characteristics[J]. Haiyang Xuebao, 1999, 21(6): 72-80.
- [14] 连光山, 林玉辉, 蔡秉及, 等. 大亚湾浮游动物群落的特征[G]//国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 1999: 180-186.
Lian Guangshan, Lin Yuhui, Cai Bingji, et al. Characteristics of zooplankton community in Daya Bay[G]//Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration. Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay (II). Beijing: China Ocean Press, 1999: 180-186.
- [15] 於凡, 许波涛, 李勇, 等. 海生物暴发对核电厂冷源系统的影响分析及对策探讨[J]. 给水排水, 2018, 44(2): 61-64.
Yu Fan, Xu Botao, Li Yong, et al. Analysis of the impact of marine biological outbreaks on the cold source system of nuclear power plants and discussion on countermeasures[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(2): 61-64.
- [16] 唐娅菲. 滨海核电运行安全典型致灾生物研究——以宁德核电为例[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
Tang Yafei. Study on typical disaster-causing organisms of coastal nuclear power operation safety: taking Ningde nuclear power as an example[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [17] 张朝文, 关春江, 徐鹏, 等. 辽东湾东部海域核电冷源取水区的风险生物分析[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(1): 41-45.
Zhang Chaowen, Guan Chunjiang, Xu Peng, et al. Analysis on risk organisms for the cold source water of nuclear power plant in the eastern waters of Liaodong Bay[J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(1): 41-45.

- [18] 周永东, 刘子藩, 薄治礼, 等. 东、黄海大型水母及其调查监测[J]. *水产科技情报*, 2004, 31(5): 224–227.
Zhou Yongdong, Liu Zipan, Bo Zhili, et al. Large jellyfish in the East China Sea and Yellow Sea and its investigation and monitor[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2004, 31(5): 224–227.
- [19] 程家骅, 丁峰元, 李圣法, 等. 东海区大型水母数量分布特征及其与温盐度的关系[J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 440–445.
Cheng Jiahua, Ding Fengyuan, Li Shengfa, et al. A study on the quantity distribution of macro-jellyfish and its relationship to seawater temperature and salinity in the East China Sea Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 440–445.
- [20] 曲长凤, 宋金明, 李宁. 水母旺发的诱因及对海洋环境的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(12): 3701–3712.
Qu Changfeng, Song Jinming, Li Ning. Causes of jellyfish blooms and their influence on marine environment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(12): 3701–3712.
- [21] 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.
Sun Song, Yu Zhigang, Li Chaolun, et al. Progress in the jellyfish bloom research in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(3): 401–405.
- [22] Brinckmann-Voss A. Seasonality of hydroids (Hydrozoa, Cnidaria) from an intertidal pool and adjacent subtidal habitats at Race Rocks, off Vancouver Island, Canada[J]. *Scientia Marina*, 1996, 66(1): 89–97.
- [23] Thibault-Botha D, Lutjeharms J R E, Gibbons M J. Siphonophore assemblages along the east coast of South Africa; mesoscale distribution and temporal variations[J]. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26(9): 1115–1128.
- [24] 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.
- [25] 徐兆礼, 高倩, 陈佳杰, 等. 东海栉水母对温度和盐度生态适应的Yield-Density模型[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 68–72.
Xu Zhaoli, Gao Qian, Chen Jiajie, et al. Yield-density model on adaptation of ctenophora to water temperature and salinity in East China Sea[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 68–72.
- [26] 张金标. 我国东南近岸海域球型侧腕水母的分布和丰度[J]. *海洋学报*, 1983, 5(S1): 840–846.
Zhang Jinbiao. Distribution and abundance of *Pleurobrachia globosa* in the coastal waters of China[J]. *Haiyang Xuebao*, 1983, 5(S1): 840–846.

Analysis on the community characteristics and potential ecological risk of jellyfish in the Qingchuan Bay of Ningde, Fujian Province

Deng Bangping^{1,2}, Liu Heng³, Wang Hongbo³, Qin Yutao^{1,2}, Xia Lihua^{1,2}, Li Yang^{1,2}, Zhang Haofei^{1,2}, Jiang Xiaoshan^{1,2}, Yang Yiyi^{1,2}, Wang Yutan^{1,2}, Ji Xiao^{1,2}, Lin Xirong⁴

(1. East China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 201206, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecological Monitoring and Restoration Technology, Ministry of Natural Resources, Shanghai 201206, China; 3. Fujian Ningde Nuclear Power Co., Ltd., Ningde 355200, China; 4. Shanghai Environmental Monitoring Centre, Shanghai 200235, China)

Abstract: Based on the data from the zooplankton survey in the waters around the Ningde nuclear power plant in January (winter), April (spring), July (summer) and November (autumn) 2018, the structure and seasonal changes of jellyfish communities in the area were analyzed. The potential risks of jellyfish to the safe production of nuclear power in Ningde were discussed. The results showed that there were seasonal changes in the species composition, abundance distribution and dominant species succession of jellyfish in the Ningde nuclear power plant area. The numbers of jellyfish species in the spring, summer, autumn and winter were 7, 16, 9 and 3, respectively. The mean abundances were (45.48 ± 8.24) ind./m³, (50.26 ± 12.13) ind./m³, (3.68 ± 1.91) ind./m³, and (0.18 ± 0.07) ind./m³, respectively. The main dominant species were *Laodicea indica*, *Pleurobrachia globosa*, *Diphyes chamissonis* and *Euphysa aurata*. The seasonal succession of dominant species was obvious. The correlation analysis between the change of jellyfish abundance and environmental factors showed that the abundance of jellyfish in spring and summer was significantly related to the total abundance of zooplankton, and its number was significantly related to the number of copepods in zooplankton in summer ($p < 0.05$, $R = 0.363$). The abundance of jellyfish communities in au-

tumn and winter was mainly affected by salinity. The salinity of the sea area was relatively low in autumn and winter, and the temperature is also low, so the abundance of jellyfish was also low. According to the distribution characteristics of jellyfish in Ningde, the jellyfish abundance of 50 ind./m³ was considered as the risk threshold value, and summer was the potentially high-risk season for ecological disasters. It was necessary to focus on the 5–20 km away from the intake area in summer; followed by the spring, the focus was on the 2.5–5 km away from the intake area; in autumn and winter, the safety of nuclear power sources was basically not caused by jellyfish.

Key words: jellyfish; zooplankton; community characteristics; ecological risk; Qingchuan Bay of Ningde