

# 海南清澜港水母暴发期间浮游生物生态特征研究\*

岑竞仪<sup>1</sup> 欧林坚<sup>1</sup> 吕淑果<sup>2</sup> 张云<sup>1</sup> 李霞<sup>1</sup> 江涛<sup>1</sup> 吕颂辉<sup>1</sup>

(1. 暨南大学赤潮与海洋生物学研究中心 广州 510632; 2. 海南省环境科学研究院 海口 570206)

**提要** 自 2010 年 12 月—2011 年 5 月, 调查研究了海南清澜港海域的浮游生物群落特征, 重点跟踪监测了 2011 年 5 月黄斑海蜇(*Rhopilema hispidum*)暴发期间海水营养盐水平及浮游生物群落结构变化。通过样品分析, 共鉴定出浮游植物 111 种(变种和变型), 细胞密度范围为 $(2.25 \times 10^4)$ — $(8.19 \times 10^8)$ cells/L, 浮游动物 36 种, 丰度范围为 19.39—25798.74ind/L, 其中浮游动物以桡足类为优势种群, 浮游植物以硅藻为主要优势种。在水母暴发期间浮游植物以热带骨条藻(*Skeletonema tropicum*)为主, 浮游动物以桡足类为主。清澜港养殖区为水母水螅体提供生长发育的环境和水母暴发前期浮游植物大量增殖, 为浮游动物提供充足的食物, 在一定程度上促进了水母的暴发。

**关键词** 海南, 水母暴发, 浮游生物, 黄斑海蜇

**中图分类号** Q178.1; Q958.885.3

近十年来, 全球海域, 特别是近岸海域, 水母频频暴发, 并且灾害性水母暴发次数越来越多。水母的大量繁殖对海洋生态系统的食物链结构产生干扰, 严重影响生态系统的稳定性(Purcell *et al.*, 2001)。调查研究表明, 水母数量的周期性变化与环境气候变化紧密相关, 近年来人类活动对海洋生态系统的破坏, 在一定程度上加剧了水母暴发(Mills, 2001; Richardson *et al.*, 2009)。水母暴发已被作为海洋生态系统改变的一种指示, 反映了海洋系统对人类活动、全球气候变化、大量工业和生活废水破坏的效应(Dong *et al.*, 2010)。水母的暴发与消亡过程能产生极高的生物量, 促进生态系统中的 C、P 和 N 的循环, 此过程有可能使浮游植物及浮游细菌大量繁殖(Pitt *et al.*, 2009a)。

我国对于水母的研究多集中于海蜇的养殖方面, 关于水母暴发的机制研究较少。在我国报道过的水母暴发事件较少, 主要发生在渤海、黄海和东海海域, 而在南海较为少见(Dong *et al.*, 2010)。在我国海域暴发的大型水母主要有: 海蜇(*Rhopilema esculentum*)、沙海蜇(*Nemopilema nomurai*)、白色霞水母(*Cyanea*

*nozakii*)和发形霞水母(*Cyanea capillata*)(程家骅等, 2004)。黄斑海蜇(*Rhopilema hispidum*)的暴发在我国还未见报道。本文首次记录了在海南文昌八门湾清澜港海域监测到的黄斑海蜇水母暴发, 研究水母暴发前期及水母暴发时海区浮游植物群落的变化, 分析浮游植物群落的变动对水母暴发产生的反馈, 为近年来我国近岸海域水母的暴发提供科学解释。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样站位

在海南清澜港海域布设 4 个采样站点(图 1)。从 2010 年 12 月—2011 年 5 月, 每月采样一次。

### 1.2 样品采集和处理方法

浮游生物采集分为网采样品和水采样品。网采样品用浮游生物网采集, 现场用终浓度为 4%福尔马林固定, 用于浮游动植物定性研究。水采样品用 2L 的采水器在每个站位距水面 1m 的水层和离底 1m 的水层各采集 1L 水样, 加入终浓度为 6%鲁哥氏液固定, 带回实验室进行鉴定计数。用浮游生物计数框在

\* 国家重点基础研究发展计划项目, 2011CB403603 号; 国家自然科学基金资助项目, 41176087 号; 海南省自然科学基金项目, 809055 号; 国家自然科学基金青年项目, 41106110 号; 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目。岑竞仪, E-mail: jingyicen@gmail.com

通讯作者: 吕颂辉, 博士, 教授, E-mail: lusonghui1963@163.com

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

Olympus BX61 光学显微镜下进行藻类种类鉴定和定量计数。水文数据(水温、盐度、pH、浊度和溶解氧)用 YSI6600 现场测定,营养盐在实验室按照《海洋监测规范》(GB17378.1-2007)方法进行测定。

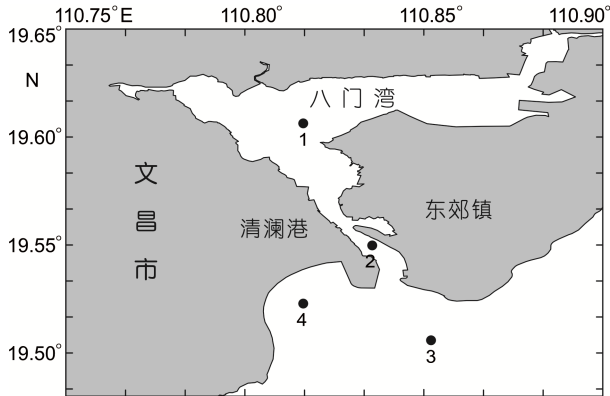


图 1 采样站位图

Fig.1 Sampling stations of Qinglan port

### 1.3 计算公式

1.3.1 多样性指数计算公式 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )(Shannon, 1949)

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

Pielou 均匀度( $J$ )(Pielou, 1969)  $J = \frac{H'}{\log_2(S)}$

Margalef 物种丰富度指数( $D$ )  $D = \frac{S-1}{\log_2(N)}$

式中,  $N$  为采集样品中所有物种的总数;  $P_i$  为物种  $i$  在样品中出现的频率,  $P_i = n_i/N$ ;  $n_i$  为物种  $i$  在所有样品中的总个体数。

1.3.2 海水富营养状况计算公式 富营养化指数( $E$ )(Likens, 1972)

$$E = \text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP} \times 10^6 / 4500$$

式中, COD、DIN 和 DIP 分别为化学需氧量、无机氮和无机磷, 当  $E > 1$  时, 水体为富营养化类型,  $E$  值越大富营养程度越严重。

## 2 结果

### 2.1 清澜港水母暴发事件

2011 年 5 月, 在海南八门湾清澜港海域观测到水母暴发, 种类有黄斑海蜇、端鞭水母(*Acromitus flagellatus*)和陈嘉庚水母(*Acromitus tankahkeei*), 其主要原因种为黄斑海蜇(洪惠鑫等, 1978)。水母暴发期间, 水体浊度大, 并呈褐色, 黄斑海蜇暴发区为 1 和 2 站位附近海域, 3 和 4 站位为非暴发区, 水母最大密度出现在 2 站位, 每  $\text{m}^3$  可达 30 多个成蜇。水母暴发期间观察到幼蜇伞形直径范围为 1—2cm, 成蜇伞形直径范围为 8—15cm, 外伞表面有黄褐色斑点。水母暴发期间伴随着热带骨条藻(*Skeletonema tropicum*)藻华, 细胞密度最高达  $7.34 \times 10^8$  cells/L, 藻华主要发生在内湾 1 站位到外湾 2 站位之间海域。在水母暴发期间没有人员中毒和鱼类死亡的报道。

### 2.2 清澜港理化环境因子的变化

2.2.1 水文因子 从表 1 中可以看出, 12 月到 5 月在水母暴发区与非暴发区水文因子的变化情况。水母暴发前, 12 月至次年 3 月, 水温变化范围为 17.42—22.20 $^{\circ}\text{C}$ , 盐度为 26.80—33.85, pH 变化范围为 7.96—8.26, 溶解氧(DO)值较高呈上升趋势。在 5 月水母暴发期间, 暴发海域水的水温高于非暴发区, 为 29.06 $^{\circ}\text{C}$ , 而盐度和 DO 值在暴发海域都低于非暴发海域。

2.2.2 清澜港营养盐变化 由表 2 可知, 调查期间清澜港营养盐总体水平偏低, 不同月份水母暴发区与非暴发区营养盐含量差异不大。1 月和 2 月  $E > 1$  为富营养状况, 其它月份  $E < 1$  处于贫营养状态, 12 月到 3 月暴发区富营养状况比非暴发区高, 在 4 月暴发前期非暴发区  $E$  比暴发区高, 而在 5 月暴发时暴发区  $E$

表 1 清澜港理化水文因子的变化  
Tab.1 Variations of hydrology in Qinglan port

月份	水温( $^{\circ}\text{C}$ )		盐度		溶解氧(mg/L)		pH	
	暴发区	非暴发区	暴发区	非暴发区	暴发区	非暴发区	暴发区	非暴发区
12	21.39	22.20	26.95	32.13	6.30	6.39	7.96	8.07
1	17.42	18.47	30.09	32.67	7.88	7.36	8.14	8.23
2	21.18	21.44	26.80	33.18	7.77	7.74	8.13	8.26
3	18.65	21.50	30.82	33.85	8.26	8.08	8.07	8.12
4	27.22	27.36	31.82	34.68	7.22	7.39	6.99	7.99
5	29.06	27.44	27.51	33.61	5.12	7.10	7.95	7.81

表 2 清澜港营养含量及营养化水平  
Tab.2 Nutrients concentration and eutrophication in Qinglan port

营养含量(mg/L)	海区	12月	1月	2月	3月	4月	5月
COD	暴发区	6.300	7.880	7.770	8.260	7.220	5.120
	非暴发区	6.390	7.360	7.740	8.080	7.390	7.100
DIN	暴发区	0.123	0.259	0.214	0.050	0.012	0.081
	非暴发区	0.093	0.192	0.181	0.069	0.033	0.025
DIP	暴发区	0.003	0.007	0.009	0.005	0.006	0.004
	非暴发区	0.003	0.010	0.007	0.003	0.005	0.004
<i>E</i>	暴发区	0.526	3.340	3.278	0.481	0.113	0.346
	非暴发区	0.365	3.229	2.243	0.433	0.289	0.160
<i>E</i> 平均值		0.446	3.284	2.760	0.457	0.201	0.253

高于非暴发区,但仍处于贫营养状况。

调查期间  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  浓度变化范围为  $9.36\text{--}39.00\ \mu\text{mol/L}$ ;  $\text{PO}_4\text{-P}$  变化范围为  $0.1\text{--}0.29\ \mu\text{mol/L}$ ; DIN 变化范围为  $1.46\text{--}15.04\ \mu\text{mol/L}$ 。12月至次年3月清澜港海域营养盐 N/P 值变化范围为  $30.73\text{--}76.03$ , 水体为磷限制(Robert *et al.*, 2010), 从图 2 中可以看出  $\text{PO}_4\text{-P}$  和 DIN 含量在 1 月份出现一个小高峰, 之后开始下降, 在水母暴发前期(4 月) $\text{PO}_4\text{-P}$  含量升高, 而 DIN 继续降低, N/P 值为 8.46, 水体从磷限制变成氮限制, 水母暴发期间(5 月), 暴发海域(1 和 2 站位) $\text{PO}_4\text{-P}$  含量降低, 而 DIN 升高, N/P 值为 44.71, 水母暴发海域恢复到磷限制状态, 在非暴发海域 DIN 并没有升高, 水体仍为氮限制。在非水母暴发月份海域中各站位的营养盐差异不大, 在 5 月水母暴发期间, 暴发区 DIN 浓度比非暴发区高出 3 倍, 主要是由于  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  在水母暴发的海域分别为  $2.54\ \mu\text{mol/L}$  和  $2.68\ \mu\text{mol/L}$ , 比非暴发海域的  $\text{NO}_3\text{-N}$  ( $0.59\ \mu\text{mol/L}$ ) 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  ( $0.99\ \mu\text{mol/L}$ ) 高, 而各站位  $\text{PO}_4\text{-P}$  差异不大, 平均值为  $0.13\ \mu\text{mol/L}$ 。

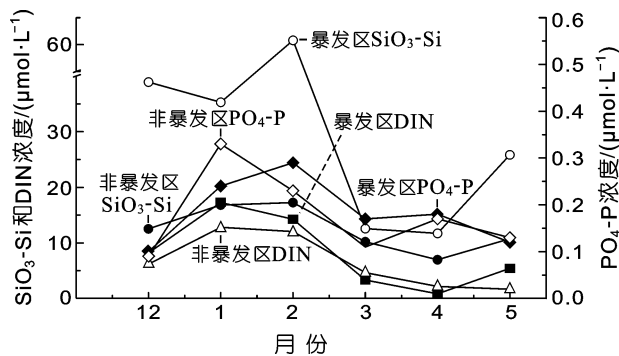


图 2 清澜港营养盐季节变化

Fig.2 Seasonal variations in nutrients in Qinglan port

12月至次年1月  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  变化平缓, 在 2 月出现一个高峰,  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  浓度达  $39\ \mu\text{mol/L}$ , 2 月至 4 月  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  呈下降趋势, 而在水母暴发期间  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  上升。从空间上看  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  含量从湾内到湾外呈递减趋势, 水母暴发区比非暴发区的  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  含量高, 说明  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  主要是来源于流入八门湾内的文昌河及文教河的陆源输入。

### 2.3 清澜港浮游动植物群落结构

2.3.1 清澜港浮游植物种类组成及数量变化 对清澜港 6 个月的样品进行分析, 共鉴定出浮游植物 111 种(含变种和变型)。主要类群为硅藻和甲藻, 其中硅藻 77 种, 占浮游植物种类总数的 69.37%; 甲藻 30 种, 占 27.03%。其它类群包括金藻 2 种、绿藻和蓝藻各 1 种。

从图 3 可知, 从在水母暴发前和暴发期间浮游植物的总种类数变化不大, 种类数最多出现在 12 月 38 种, 其它月份都是 30 种左右, 在 12 月到 3 月水母暴发前海域中主要是以硅藻为主要优势类群, 而在 4 月暴发前期至 5 月暴发期间硅藻种类减少, 甲藻种类略

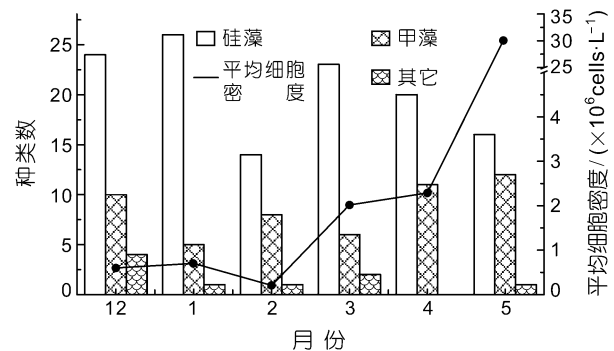


图 3 清澜港浮游植物的门类组成

Fig.3 The categories composition of phytoplankton in Qinglan port

有增加,并且硅藻多为链状群体,而小型和单细胞浮游种类减少。在水母暴发前,细胞密度均不高,在水母暴发前期(4月)到暴发期(5月)细胞密度迅速升高,表层细胞密度达  $3.08 \times 10^8$  cells/L,底层为  $2.15 \times 10^7$  cells/L,优势种为热带骨条藻和海链藻(*Thalassiosira* sp.)。

**2.3.2 清澜港浮游植物细胞密度的空间分布** 从图4中可以看出,12月至次年4月水母暴发前,清澜港不同测站间浮游植物细胞密度的空间分布存在差异,从湾内(1站位)至湾外(4)呈递减趋势,其中湾内1站位表层浮游植物细胞密度远远高于其它站位。5月水母暴发期间,暴发海域中的1站位和2站位的浮游植物细胞密度急速增加,2站位的浮游植物细胞密度最高,达  $8.19 \times 10^8$  cells/L。浮游植物群落中热带骨条藻为主要优势种,平均细胞密度为  $2.45 \times 10^8$  cells/L,数量占总浮游植物的79.7%,热带骨条藻细胞密度最高出现在2站位,为  $7.34 \times 10^8$  cells/L,达到藻华水平。

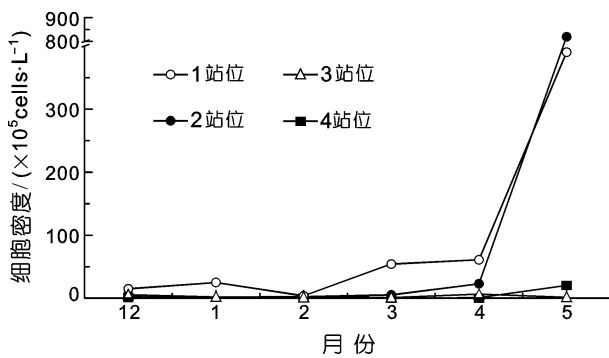


图4 清澜港浮游植物细胞密度的空间分布

Fig.4 Space distribution of phytoplankton cell density in Qinglan port

**2.3.3 清澜港浮游植物优势种的组成** 从表3中可以看出,清澜港海域优势种主要有拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia* sp.)、热带骨条藻、聚生角毛藻(*Chaetoceros socialis*)和海链藻。在不同的月份优势种存在演替的现象,12月、2月和5月热带骨条藻为主要优势种;1月拟菱形藻为主要优势种,占总细胞密度的87.7%,3月和4月聚生角毛藻为主要优势种,占总细胞密度的69%以上。在水母暴发前期到水母暴发清澜港海域优势种变化规律为:暴发前聚生角毛藻为主要优势种,热带骨条藻为次要优势种,暴发期间热带骨条藻为主要优势种。

**2.3.4 清澜港浮游植物多样性指数变化** 从图5中可以看出从12月到次年5月清澜港浮游植物多样性指数总体呈降低趋势,多样性指数  $H'$  的变化范围为0.34—2.45;丰富度  $D$  的变化范围为0.45—1.38;均匀度  $J$  的变化范围为0.14—0.79,其中多样性指数  $H'$  与均匀度  $J$  变化相似。12月至次年3月水母暴发前,清澜港浮游植物群落结构变化趋势为:群落结构简单化,种类单一化,种间的分布不均匀。在4月水母暴发前期和5月暴发期间,暴发区多样性指数  $H'$  和均匀度  $J$  比非暴发区低,丰富度  $D$  差异不大,说明在水母暴发过程中,海域中的浮游植物群体结构变得脆弱,种间分布很不均匀。

**2.3.5 清澜港浮游动物种类组成** 对1—5月清澜港的浮游动物种类进行分析,共鉴定出浮游动物35种,隶属于5门12属,主要类群为桡足类,共19种,见表4。暴发海域与非暴发海域浮游动物均以桡足类

表3 清澜港浮游植物优势种

Tab.3 Dominant species of phytoplankton in Qinglan port

月份	种类	优势度	平均细胞密度 ( $\times 10^6$ cells/L)	百分比(%)
12	拟菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.15	8.74	14.6
	热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	0.54	32.64	54.4
1	拟菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.66	82.11	87.70
	热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	0.05	3.60	5.12
2	热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	0.12	3.44	16.65
	聚生角毛藻 <i>Chaetoceros socialis</i>	0.06	1.17	5.69
3	聚生角毛藻 <i>Chaetoceros socialis</i>	0.47	212.90	70.39
	拟菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.08	15.49	7.68
	热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	0.25	57.33	25.06
4	聚生角毛藻 <i>Chaetoceros socialis</i>	0.69	158.30	69.19
	海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.	0.11	579.00	14.1
5	海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.	0.11	579.00	14.1
	热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	0.80	2454.42	79.7

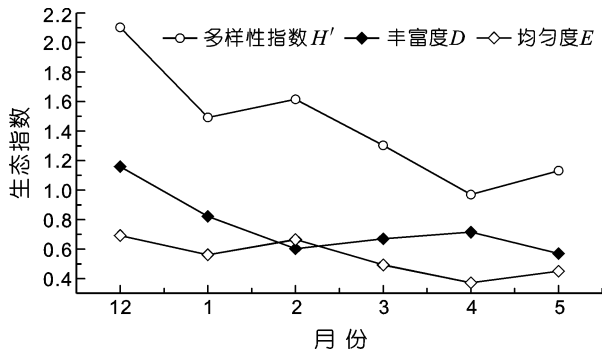


图 5 清澜港浮游植物多样性指数季节变化

Fig.5 Seasonal changes of phytoplankton diversity index in Qinglan port

表 4 浮游动物种类组成

Tab.4 Zooplankton composition in Qinglan port

海区	节肢动物门	尾索动物门	毛颚动物门	刺胞动物门	浮游幼体	总种类
水母暴发区	11	1	0	1	6	19
非水母暴发区	16	2	2	2	7	29

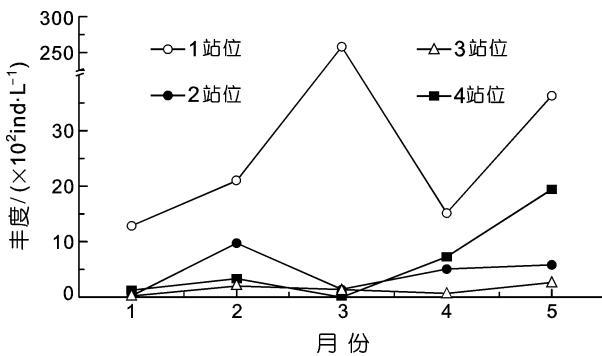


图 6 清澜港浮游动物丰度的空间变化

Fig.6 Space distribution of zooplankton abundance in Qinglan port

### 2.4 清澜港浮游生物量与环境因子的相关性

对清澜港浮游生物与环境因子进行 Pearson 相关性分析, 见表 5。结果显示浮游植物密度与水温、 $SiO_3-Si$ 、 $NO_2-N$ 、 $NO_3-N$  和  $NH_3-N$  呈正相关, 浮游动物与  $DO$  值、 $SiO_3-Si$  和  $NO_2-N$  呈正相关, 其中浮游植物密度与水温显著相关( $P<0.05$ ), 浮游动物丰度与  $NO_2-N$  显著相关( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

近年来, 全球各地水母频频暴发, 海洋学者对此

为优势群落, 其中暴发海域浮游动物种类较少以中小型为主, 而非暴发区浮游动物种类较多以小型为主。

**2.3.6 清澜港浮游动物丰度变化** 由图 6 可知, 1—5 月内湾的 1 站位到湾口的 3 站位浮游动物丰度逐渐降低。内湾的 1 站位浮游动物丰度比其它站位都高, 在 3 月份出现一个高峰, 丰度达 25798.74ind/L, 4 月水母暴发前期浮游动物丰度迅速降低, 而在水母暴发期间丰度又有所增加。2 和 4 站位浮游动物丰变化都表现为: 3 月份丰度最低, 4 月到 5 月丰度呈上升趋势。在调查期间 3 站位浮游动物丰度都不高, 最高出现在 5 月为 263.65ind/L。

展开了大量的研究。多数学者认为, 过度捕捞、全球气候变化、富营养化和大量海洋工程等在一定程度上促进了水母的暴发(Pitt *et al*, 2009a, b)。从本次调查中可以看出清澜港海域营养盐总体水平偏低, 而处于内湾的 1 站位, 受河流带入的生活污水影响, 营养水平较其它站位高。此次水母暴发区主要在内湾 1 站位与养殖区鱼排较密集的外湾 2 站位区域。这与已有研究认为, 水母的大量出现与不同海域营养盐的差异相关较小, 而与海域中是否有养殖区的筏架和其它人造工程为水母螅状体提供附着基质及中型捕食者生物量相一致(Lo *et al*, 2008; Pitt *et al*, 2009b; Purcell *et al*, 2007; Dong *et al*, 2010)。

### 3.1 水母暴发的原因

浮游植物可以在温度、营养盐、盐度等环境因子适应其生长繁殖的条件下, 进行快速的分裂生长, 在较短的时间内发展成为藻华。但是水母与浮游植物不同, 水母要经过最少 3 个月无性世代和有性世代生长和发育, 最后形成幼螅(刘春洋等, 2009)。无性世代水螅体需要一定介质附着生长, 并必须通过横裂生殖才能产生有性世代的水母型成体, 适宜的温度、光照和食物是影响横裂生殖的主要因子(陈介康等, 1984)。

表 5 浮游生物量与环境因子的相关性

Tab.5 The correlations between plankton biomass and environmental factors

项目	温度	盐度	$DO$	pH	$SiO_3-Si$	$PO_4-P$	$NO_3-N$	$NO_2-N$	$NH_3-N$
浮游植物密度	0.450*	-0.252	-0.326	-0.081	0.040	-0.245	0.294	0.003	0.199
浮游动物丰度	-0.166	-0.304	0.140	-0.070	0.071	-0.039	-0.069	0.506*	-0.010

注: \* 表示显著相关,  $N=24$

蒋双等(2002)通过室内研究表明,黄斑海蜇水母体在温度 18—30℃、盐度 12—30 可正常生长,黄斑海蜇水母体在 10℃ 以下不能存活,当水温高于 22℃ 水母体摄食量大,并大量进行横分裂进入有性世代。在调查期间清澜港水文条件都适合黄斑海蜇的生长,1 月为全年最低温度为 17.94℃,1 月后水温逐渐升高在 5 月达到 28℃,适合黄斑海蜇水母体快速生长,并进行横分裂发育成碟状体进入有性世代,最后形成幼蜇;从 1 月开始暴发区海域浮游动物丰度呈上升趋势,在 3 月达到最高,浮游动物为其提供水母的生长发育提供一定的食物基础;1 站位的大型藻类养殖网与 2 站位鱼类养殖区的筏架为水母水母体提供附着基质,因此在 1 站位和 2 站位海域存在水母暴发的条件。

### 3.2 水母暴发与藻华的相关

本次调查研究发现,黄斑海蜇暴发和热带骨条藻藻华同时发生。清澜港处于一个半封闭型的天然泻湖海湾,其中 1 站位处于内湾,2 站位处于外湾。内湾受海流的影响较小,水文条件变化不大,适合浮游植物大量繁殖。Edna 等(1990)、Pitt 等(2009a, b)和 Sanna 等(2004)在对波罗的海蓝藻藻华研究中指出,食物链顶层的捕食者被人类过度捕捞,中级捕食者数量增加,从而使浮游动物数量迅速减少,浮游动物数量的减少又会使被捕食者(浮游植物)数量迅速增加是波罗的海蓝藻藻华的原因之一。5 月份清澜港水母暴发伴随着热带骨条藻赤潮形成的主要原因是:从 3 月份水温回升后,1 站位浮游植物开始大量繁殖,由于浮游植物数量的增加,以它为食的浮游动物丰度也迅速增加,丰度达 25798.74ind/L,4 月幼蜇出现,通过捕食使浮游动物的丰度降低(1514.89ind/L),而浮游动物的减少,释放了浮游动物对浮游植物的捕食压力,从而浮游植物密度进一步增加。过上行调控作用到了 5 月份,水母数量迅速增加,当水母数量达到一定程度,使浮游动物的丰度维持在较低水平,最后形成藻华。

热带骨条藻藻华海域主要在 1 站位到 2 站位之间的海域,与水母暴发区海域相重叠。Pitt 等(2009b)在对水母暴发期间水体中氮和磷循环的研究中指出,水母的排泄物能提供水体少量无机营养,这部分无机营养能为浮游植物大量繁殖提供必要的物质基础,特别是在河口受磷或氮限制的水体中。本研究中非水母暴发月份清澜港 N/P 值都较高,为磷限制贫营养水体,浮游植物生物量会受到磷限制。4 月水母暴发前期,水体由磷限制变成氮限制,而氮限制比磷限制更能促进骨条藻的生长(赵卫红等, 2010),5 月水母暴发

期大量的排泄物进入水体,导致水母暴发海域水体中  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量比非水母暴发区高出很多,水体仍然为氮限制,而非暴发海域为磷限制,为热带骨条藻的赤潮提供一定的营养基础,因此热带骨条藻藻华海域与水母暴发区相重叠。

## 4 结论

5 月份清澜港水母暴发主要是由于内湾的大型藻类养殖网、外湾的鱼类养殖区和正在修建的跨海大桥为水母幼体提供附着的生境;3 月份水体中浮游植物大量繁殖,使海域中浮游动物数量增加为水母暴发提供物质基础。水母暴发后,通过捕食使水体中浮游动物数量迅速减少,并且大量的水母排泄物使水体中 DIN 升高,从而使浮游植物数量急速增加,最后形成热带骨条藻藻华。

## 参 考 文 献

- 刘春洋,王文波,董 婧等, 2009. 黄斑海蜇的生活史及几种钵水母类水母形态特征的比较. 渔业科学进展, 30(4): 102—107
- 陈介康,丁耕芳,刘春洋, 1984. 光对海蜇横裂生殖的影响. 海洋与湖沼, 15(4): 310—316
- 赵卫红,陈玫玫, 2010. 营养盐限制对中肋骨条藻产生化感作用的影响. 海洋环境科学, 29(2): 225—228
- 洪惠鑫,张士美,王景池, 1978. 海蜇. 北京: 科学出版社, 1—70
- 蒋 双,鲁 男,董 婧等, 2002. 黄斑海蜇的生态习性及其移殖放流的可行性探讨. 水产科学, 21(05): 12—13
- 程家骅,李圣法,丁峰元等, 2004. 东、黄海大型水母暴发现象及可能成因浅析. 现代渔业信息, 19(5): 10—12
- 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
- Edna G, Kerstin W, 1990. Nutrient limitation of primary production in the Baltic Sea area. Ambio, 19(3): 142—151
- Likens G E, 1972. Nutrient and Eutrophication: The limiting-nutrient controversy. Limnology and Oceanography, 1: 3—13
- Lo W T, Purcell J E, Hung J J *et al*, 2008. Enhancement of jellyfish (*Aurelia aurita*) populations by extensive aquaculture rafts in a coastal lagoon in Taiwan. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil, 65(3): 453—461
- Mills C E, 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? Hydrobiologia, 451: 55—68
- Pielou E C, 1969. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 294
- Pitt K A, Purcell J E, Condon R H, 2009a. Jellyfish Blooms Causes, Consequences, and Recent Advances. Hydrobiologia,

- 1—5
- Pitt K A, Welsh D T, Condon R H, 2009b. Influence of jellyfish blooms on carbon, nitrogen and phosphorus cycling and plankton production, *Hydrobiologia*, 616: 133—149
- Purcell J E, Arai M N, 2001. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. *Hydrobiologia*, 451: 27—44
- Purcell J E, Uye S I, Lo W T, 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 350: 153—174
- Richardson A J, Bakin A, Hays G C *et al*, 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in Ecology and Evolution*, 6: 312—322
- Robert P, Tom A, Timo T, 2010. Performance of the Redfield Ratio and a Family of Nutrient Limitation Indicators as Thresholds for Phytoplankton N vs. P Limitation. *Ecosystems*, 13: 1201—1214
- Sanna S, Giovana O F, Edna G, 2004. Allelopathic effects of the Baltic cyanobacteria *Nodularia spumidigena*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 8(1): 85—101

## STUDIES ON ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PLANKTON DURING JELLYFISH BLOOM IN QINGLAN PORT

CEN Jing-Yi<sup>1</sup>, OU Lin-Jian<sup>1</sup>, LÜ Shu-Guo<sup>2</sup>, ZHANG Yun<sup>1</sup>, LI Xia<sup>1</sup>, JIANG Tao<sup>1</sup>, LÜ Song-Hui<sup>1</sup>

(1. *Research Center for Harmful Algae and Marine Biology, Jinan University, Guangzhou, 510632;*  
2. *Hainan Research Academy of Environment Sciences, Hainan Province, Haikou, 570206*)

**Abstract** During *Rhopilema hispidum* bloom in May 2011, a study was conducted on variation of nutrients and plankton community structure in Qinglan port of Hainan from Dec. 2010 to May 2011. A total of 111 phytoplankton taxa and 36 zooplankton species were identified in the present study. The density of phytoplankton was  $(2.25 \times 10^4)$ — $(8.19 \times 10^8)$  cells/L and zooplankton was 19.39—25798.74 ind/L. Diatom and Copepoda species were the most common organisms in Qinglan port. The results indicated that the dominant community of plankton was *Skeletonema tropicum* and Copepoda during jellyfish bloom. To some extent, the culture rafts provided substrate on which benthic polyps may form large colonies and plankton provided enough food are the causes of jellyfish bloom.

**Key words** Hainan, Jellyfish bloom, Plankton, *Rhopilema hispidum*

## 2011 年度《海洋与湖沼》动态

(1) 《海洋与湖沼》2011 年最新公布的总被引频次在海洋科学期刊中名列第一位; 影响因子为 1.404, 学科影响指标和综合评价总分均列海洋科学期刊首位; 综合评价总分在全国科技期刊中排第 18 位。

(2) 荣获 2011 年度百种中国杰出学术期刊奖。

(3) 荣获 2011 年度中国精品科技期刊奖。