

# 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\*

黄旭光<sup>1,3</sup> 郭东晖<sup>2</sup> 肖武鹏<sup>1</sup> 郭卫东<sup>2</sup> 黄邦钦<sup>1</sup>

(1. 厦门大学环境与生态学院 福建省海陆界面生态环境联合重点实验室 厦门 361005;  
2. 厦门大学海洋与地球学院 厦门 361005; 3. 漳州师范学院化学与环境科学系 漳州 363000)

**提要** 通过 2011 年春季对九龙江口的生态调查,对浮游植物、微型浮游动物以及小型水母的种类组成和数量变动特征并对分粒级叶绿素进行了研究,同时还分析了营养盐、温度和盐度等环境参数。调查共记录浮游植物种类 45 种,以硅藻门的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、针杆藻(*Synedra* spp.),以及绿藻门的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)、甲藻门的微小亚历山大藻(*Alexandrium minutum*),蓝藻门的优美平裂藻(*Merismopedia elegans*)具有较高的检出率;微型浮游动物分为 4 大类,红色中缢虫(*Mesodinium rubrum*)占有最大的比例为 55.5%—79.8%,无壳纤毛虫次之,砂壳纤毛虫和无节幼体所占的比例均不足 10%;小型水母种类组成中主要以弗洲指突水母(*Blackfordia virginica*)、球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)、厦门和平水母(*Eirene xiamenensis*)以及水螅水母幼体(*Hydroidomedusae larvae*)为主要优势类群,占小型水母总量的 85%以上。小型水母数量在 4 月底和 5 月初达到丰度最高值(69.49±29.4)ind/L,此时微型浮游动物数量从小型水母出现初期的峰值(1085±574.66)ind/L 下降为(526±152.93)ind/L,同时 micro 级叶绿素占总叶绿素比例达到最大值(42.26±12.94)%。小型水母数量下降后,微型浮游动物的数量回升。在小型水母数量消长过程中,浮游植物、微型浮游动物和小型水母数量间处于动态平衡。

**关键词** 小型水母,浮游植物,微型浮游动物,丰度

**中图分类号** Q178.1

水母类与桡足类等其它浮游动物相比,有着不同的生态学作用。水母成为影响浮游生态系统的主要类群(Mills, 1995),且可能破坏水生生态系统的平衡。小型水母以及大型水母的幼体阶段能捕食纤毛虫等微型浮游动物,从而影响整个微食物环(Stoecker *et al.*, 1987; Malej *et al.*, 2006; Fukuda *et al.*, 2001; Kamiyama, 2011),反之,浮游植物的增长通过微型浮游动物的级联效应为小型水母和大型水母的幼体提供了重要的食物来源。

我国近海海域特别是海湾内小型水母的丰度近年来较 1980s 和 1990s 呈增加的趋势(张芳等, 2005a,

b)。河口复杂的环境特征,解释河口小型水母数量变动的原因存在一定的困难。本研究旨在通过对 2011 年春季(3—5 月)九龙江口水母易暴发区浮游植物和微型浮游动物与小型水母数量变动的定性和定量分析,探讨河口区微型浮游生物数量变动与小型水母暴发之间的内在联系。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究站位与采样方法

根据历史资料,在九龙江口水母易暴发区域设置了 2 个主要站位: M<sub>3</sub> 站和 M<sub>5</sub> 站(图 1),于 2011 年 3

\* 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目, 2011CB403603 号;国家自然科学基金项目, 40806060 号;福建省教育厅科技项目, JA09164 号。黄旭光, 博士研究生, 讲师, E-mail: hxg226@sina.com

通讯作者: 黄邦钦, 教授, E-mail: bqhuang@xmu.edu.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

月底至5月底进行了的现场调查与采样(均于低潮时采样)。

1.2 环境参数的测定

采用 YSI 现场记录各站位海水的温度、盐度、pH 等参数。营养盐样品采集后立即用 0.45μm 微孔滤膜过滤, 滤液分成两份保存(各 200ml), 一份按 1%—2%的比例加入氯仿之后于 4℃ 冷藏, 用于测定铵氮(NH<sub>4</sub>-N); 另一份于-20℃ 冷冻保存, 用于测定硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)和活性磷酸盐(SRP)。上述营养盐参数的检测均采用 Tri-223 同步自动分析仪分析测得(Pai et al, 1990a, b)。

1.3 分粒级叶绿素 a 的采集与分析

使用 0.2μm、2μm 微孔滤膜和 20μm 筛绢组合, 分别过滤适当体积的表层水样, 收集滤膜加入 5ml 90% 丙酮于 10ml 塑料离心管, -20℃ 避光萃取 24h, 用 Turner Designs Model 7200 荧光分光光度计测定其浓度(Strickland et al, 1972), 通过差减法即可获得各粒级叶绿素 a 的含量。

1.4 微型浮游动物和浮游植物的采集与处理

使用采水器采集各站表层海水 1—2L, 加 Acid Lugol's 液进行固定至终浓度为 2%。水样置于暗处带回实验室处理。实验室内, 水样静置 24h 后, 经 10μm 孔径的筛绢虹吸浓缩至 10ml, 阴暗处常温保存。用移液枪准确移取 0.1ml 至浮游植物计数板上, 置于 100×40 放大倍数显微镜下计数, 同时鉴定微型浮游动物和浮游植物的种类, 反复多次直至达到分析要求。

1.5 小型水母的采集与分析

小型水母样品系用浅水-型(中网)标准浮游生物网由底至表垂直采集, 现场用 5% 的中性甲醛固定保存。实验室内进行种类鉴定和个体计数(ind/m<sup>3</sup>)。

2 结果

2.1 环境参数变化

从表 1 可见, 水温随采样时间呈明显的变化, 从 3 月 29 日—5 月 22 日, 2 个站位的水温由 14.84℃ 上升到 24.53℃。盐度变化亦有较大差异, 受上游淡水输入的影响, 同一采样时间内 M<sub>3</sub> 站的盐度低于 M<sub>5</sub> 站。另外 5 月 8 日航次中, 采样区域的盐度均明显低于其它时间。研究区域营养盐浓度保持在一个较高的水平, 溶解无机氮(DIN)的含量范围为 73.5—229.9 μmol/L, 其中以硝酸盐为主, 铵氮次之; 而磷酸盐的浓度范围为 1.7—3.2μmol/L, M<sub>3</sub> 站营养盐浓度显著高于 M<sub>5</sub> 站, M<sub>3</sub> 站营养盐最高值均出现在 5 月 8 日。统计分析检验可见, 硝酸盐、亚硝酸盐和铵氮之间均呈显著的正相关性(P<0.001), 且均与盐度呈显著的负相关性, 磷酸盐与氮营养盐和盐度间无相关性(P>0.05)。温度和 pH 值与营养盐之间均无明显差异(P>0.05)。

2.2 总叶绿素 a 和分粒径叶绿素 a 的含量

从图 2 可见, 总叶绿素 a 和各粒径叶绿素 a 组成比例在不同时间差别较大。M<sub>3</sub> 站在 3 月 29 日的总叶绿素 a 含量最低, 仅为 0.987μg/L; 而 4 月 26 日总叶绿素 a 含量最高, 达到 3.80μg/L。4 月 7 日与 3 月 29 日相比, 总叶绿素 a 浓度均值升高 1.5 倍, 微微型浮游植物叶绿素 a 占总叶绿素 a 比例均值升高近一倍。调查时间内, 微微型浮游植物叶绿素 a 占总叶绿素 a 的比例为 4.11%—26.0%, 微型浮游植物叶绿素 a 占总叶绿素 a 的比例为 36.7%—72.2%, 小型浮游植物叶绿素 a 占总叶绿素 a 的比例为 16.1%—56.2%。将分粒径叶绿素数据与营养盐等环境参数做相关性分析, 结果表明总叶绿素 a 与温度呈正相关性(P<0.05), 而小型浮游植物叶绿素 a 与磷酸盐间表现出显著的正相关性(P<0.001)。

2.3 浮游植物种类组成

如图 3 所示, 2011 年春季九龙江口 M<sub>3</sub>、M<sub>5</sub> 两个站位内共记录浮游植物 45 种分属 6 门, 以硅藻门占绝对优势, 占总种类数的 62%, 其次为绿藻、甲藻和蓝藻门, 黄藻门和裸藻门种类数较少。主要优势种为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、颗粒直链藻(*Melo-*

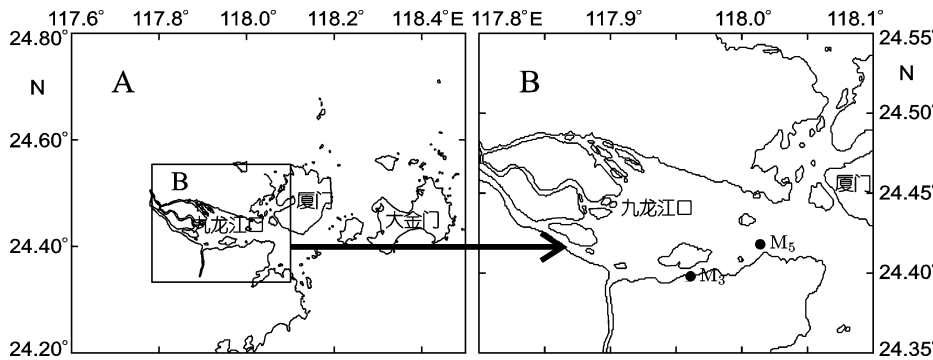


图 1 九龙江口采样点分布示意图 Fig.1 Sampling sites in the Jiulong River Estuary

表 1 九龙江口不同时期水环境参数  
Tab.1 Environmental parameters of different periods in the Jiulong River Estuary

时间	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μmol/L)		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μmol/L)		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μmol/L)		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μmol/L)		盐度		温度(°C)		pH	
	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>3</sub>
03.29	108.6	137.9	11.4	18.6	32.1	47.9	1.7	2.0	19.96	13.35	15.93	14.84	7.21	6.48
04.07	81.4	145.7	6.4	16.4	22.9	40.7	1.9	1.9	22.70	14.10	17.68	18.11	6.53	6.56
04.17	59.3	105.0	5.0	11.4	15.0	37.1	1.7	1.9	27.52	20.14	18.74	20.6	7.07	7.00
04.26	55.7	96.4	6.4	12.9	11.4	27.1	2.2	2.4	27.37	20.23	20.03	21.46	7.08	7.15
05.08	77.1	157.1	10.7	26.4	22.9	46.4	2.8	3.2	21.84	5.53	21.14	22.58	7.2	7.19
05.22	67.9	96.4	7.9	12.9	12.9	17.1	2.1	1.6	27.67	20.44	23.95	24.53	7.12	7.24

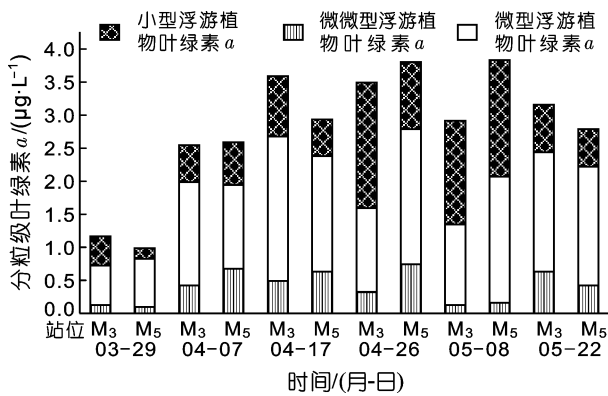


图 2 九龙江口分粒级叶绿素 a 含量

Fig.2 Size-fractionated chlorophyll a contents in the Jiulong River Estuary

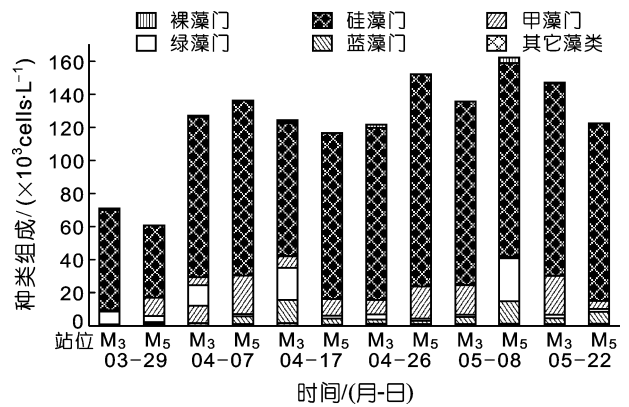


图 3 九龙江口浮游植物群落结构变化

Fig.3 Compositional variations of phytoplankton populations in the Jiulong River Estuary

*sira granulate*)、针杆藻(*Synedra* spp.); 斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)、微小亚历山大藻(*Alexandrium minutum*)、优美平裂藻(*Merismopedia elegans*)等种类在部分航次检出数较高, 其它藻类出现的数量较低。

藻类总细胞密度变化范围为  $6.06 \times 10^4 - 1.72 \times 10^5$  cells/L, 其中硅藻在所有样品中均为优势种, 细胞密度介于  $4.38 \times 10^4 - 1.28 \times 10^5$  cells/L, 所占比例为 64.6%—89.8%, 见图 3。统计分析可见, 总叶绿素 a 与浮游植物细胞总数间无明显相关性( $r = 0.425, P > 0.05, n = 12$ )。

2.4 微型浮游动物的组成

由图 4 可见, 调查期间, 分类鉴定出 2011 年春季九龙江口调查区域的微型浮游动物有四大类, 分别是砂壳纤毛虫、无壳纤毛虫、红色中缢虫和无节幼体。采样时间和区域内微型浮游动物的数量变化幅度较大, 总丰度范围为 265—1720 ind/L, 最低值出现在 3 月 29 日的 M<sub>5</sub> 站, 最高值在 5 月 8 日的 M<sub>3</sub> 站。其中红色中缢虫的丰度所占比例最大, 为 55.5%—79.8%, 而无节幼体和砂壳纤毛虫所占比例均少于 10%。

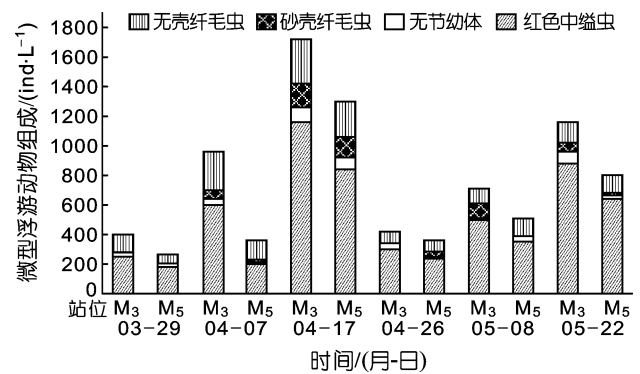


图 4 九龙江口微型浮游动物数量和组成变化

Fig.4 Variations in composition and abundance of microzooplankton in the Jiulong River Estuary

2.5 小型水母数量与微型浮游生物数量变化

小型水母种类组成中主要以弗洲指突水母(*Blackfordia virginica*)、球形侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)、厦门和平水母(*Eirene xiamenensis*)和水螅水母幼体(Hydroidomedusae larvae)为主要类群, 它们的总丰度占小型水母总数的 85% 以上。

从表 2 可见, 在小型水母出现前、出现初期、盛期和后期, 研究水域微型浮游动物、浮游植物数量分布和浮游植物的分粒级组成有显著不同, 并呈现规律性变化, 即微型浮游动物丰度在小型水母出现前达到最大值(1085±575)ind/L, 当小型水母出现时微型浮游动物数量迅速下降到(526±153)ind/L, 后期随着小型水母数量的减少, 微型浮游动物的丰度又逐渐

回升至(981±253)ind/L。浮游植物数量与微型浮游动物丰度的变化则呈相反的关系, 小型水母盛期时微型浮游动物丰度较低, 但总叶绿素含量最高, 平均为(3.52±0.43)μg/L, 其中 micro 级叶绿素占总叶绿素的比例达到最高的(42.26±12.94)%。统计检验发现, 小型水母数量与 micro 级叶绿素占总叶绿素的比例有较好的正相关性( $P < 0.05$ )。

表 2 小型水母数量变化与微型浮游生物数量变化关系  
Tab.2 Relationship between the abundance of small medusa and microplankton

小型水母出现状况	小型水母 (ind/m <sup>3</sup> )	微型浮游动物 (ind/L)	浮游植物 (×10 <sup>3</sup> cells/L)	总叶绿素 <i>a</i> (μg/L)	小型浮游植物叶绿素 <i>a</i> 占总 叶绿素 <i>a</i> 比例(%)
前期(3—29)	0 <sup>a</sup>	333±95 <sup>ac</sup>	65.8±7.35 <sup>a</sup>	1.08±0.13 <sup>a</sup>	27.13±15.60 <sup>a</sup>
初期(4—7, 4—17)	6±7 <sup>a</sup>	1085±575 <sup>bc</sup>	126.25±7.99 <sup>b</sup>	2.92±0.48 <sup>bc</sup>	22.83±3.06 <sup>a</sup>
盛期(4—26, 5—8)	69±29 <sup>b</sup>	526±153 <sup>ad</sup>	145.5±21.27 <sup>b</sup>	3.52±0.43 <sup>c</sup>	42.26±12.94 <sup>b</sup>
后期(5—22)	33±4 <sup>b</sup>	981±253 <sup>bd</sup>	134.8±17.54 <sup>b</sup>	2.98±0.26 <sup>c</sup>	21.64±15.50 <sup>ab</sup>

注: 上标有相同字母代表差异不显著( $P > 0.05$ ), 不同字母代表差异显著( $P < 0.05$ )

### 3 讨论

九龙江口环境复杂, 温度随时间变化大, 盐度主要受九龙江淡水流量影响。5月8日前由于上游流域发生较大的降雨过程, 导致采样站位的盐度大幅下降, 营养盐浓度上升。氮营养盐与盐度呈负相关, 可见淡水的输入增加了河口的氮营养盐。4月7日的水温比3月29日水温升高2—3℃, 但是总叶绿素 *a* 浓度却由均值1.0μg/L升高至2.5μg/L, 表明温度对总叶绿素 *a* 的浓度影响明显。盐度、营养盐和温度的变化都会影响到浮游生物的数量, 随着温度和营养盐的增加浮游植物和微型浮游动物数量都增长。但是本研究中, 统计检验表明浮游植物和微型浮游动物的数量变动并没有与温度和营养盐呈显著相关性。可见温度和盐度并不是影响微型浮游生物的绝对因素。

从图 2、图 3、图 4 和表 2 可见, 小型水母出现初期(4月17日)及出现以前, 随着水温的升高, 浮游植物和微型浮游动物的数量大量的增殖, 同时中型浮游动物的丰度也大幅增加(未列出), 为小型水母的生存和大量繁殖提供了食物保障。4月底和5月初的采样中, 九龙江口的小型水母丰度达到峰值时的(69±29)ind/m<sup>3</sup>, 微型浮游动物的数量则显著下降, 同时浮游植物数量也小幅上升。这一观测结果与前人的研究基本一致。徐善良等(2010)的研究表明, 桃花水母的数量变动与浮游动物和浮游植物数量存在着相对应的关系。水母的捕食行为会改变浮游生物的群落结构; 反之, 浮游生物群落结构和数量分布的动态变化也会直接影响水母种群的消长(Dodson *et al.*, 1983;

Green, 1998; Ian *et al.*, 2002; Purcell *et al.*, 2010)。本研究同时发现, 在小型水母数量达到峰值时, micro 级浮游植物占总浮游植物比例也最高, 达到 42.26%, 远高于其它时期的比例。推测是因为随着水母数量的增加, 其捕食作用导致中型和微型浮游动物的数量减少, 进而使 micro 级浮游植物数量的摄食压力降低减少, 其所占总浮游植物数量的比例自然就会增加。

气候变化、富营养化、过度捕捞、生物入侵、水产养殖以及沿岸建筑物建设等均可能是导致近年来河口和海湾中水母数量的增加的原因(Anthony *et al.*, 2009)。本研究中九龙江河口浮游植物、微型浮游动物和小型水母的种类组成在不同的采样时间内差异较大, 表明影响它们种类组成和数量的因素非常复杂, 这与研究区域环境的复杂性有关。同时也说明, 浮游植物、微型浮游动物和小型水母间的数量变动关系也是一个很复杂的过程。我们推测, 春季九龙江河口河流淡水输入增加, 以及温度的升高可能刺激了水母水螅体的发育; 春季河口温度的升高和淡水输入携带的营养盐对浮游植物的贡献, 通过微型浮游生物和中型浮游生物的级联效应促进了水母数量上升。但这一解释是否就是引起近年来河口小型水母数量激增的主要原因, 目前还难以下此定论, 尚有待进一步的研究。

### 参 考 文 献

- 张 芳, 孙 松, 杨 波, 2005a. 胶州湾水母类生态学研究 I 种类组成与群落特征. 海洋与湖沼, 36(6): 507—517  
张 芳, 杨 波, 张光涛, 2005b. 胶州湾水母类生态学研究 II

- 优势种丰度的时空分布. 海洋与湖沼, 36(6): 518—526
- 徐善良, 王丹丽, 苏春分, 2010. 一小型水池中浮游生物数量动态与桃花水母消长的关系. 水生生物学报, 34(1): 121—128
- Anthony J, Richardson, Andrew B *et al*, 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(6): 312—322
- Dodson S I, Cooper S D, 1983. Trophic relationships of the fresh-water jellyfish *Craspedacusta sowerbyi* Lankester. *Limnology and Oceanography*, 28(2): 345—351
- Fukuda Y, Naganuma T, 2001. Potential dietary effects on the fatty acids composition of the common jellyfish *Aurelia aurita*. *Marine Biology*, 138: 1029—1035
- Green J, 1998. Plankton associated with medusa of the freshwater jellyfish *Craspedacusta sowerbyi* (Lankater) in a Thames backwater. *Freshwater Forum*, 11: 69—76
- Ian K G, Boothroyd M, Kay Etheredge *et al*, 2002. Spatial distribution, size structure, and prey of *Craspedacusta sowerbyi* Lankester in a shallow New Zealand lake. *Hydrobiologia*, 468: 23—32
- Kamiyama T, 2011. Planktonic ciliates as a food source for the scyphozoan *Aurelia aurita* (sl): Feeding activity and assimilation of the polyp stage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407: 207—215
- Malej A, Turk V, Lučić D *et al*, 2006. Direct and indirect trophic interactions of *Aurelia* sp. (Scyphozoa) in a stratified marine environment (Mljet Lakes, Adriatic Sea). *Marine Biology (Berl.)*, 151: 827—841
- Mills C E, 1995. Medusa siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 52: 575—581
- Pai S C, Yang C C, Riley J P, 1990a. Formation kinetics of the pink azo dye in the determination of nitrite in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 232: 345—349
- Pai S C, Yang C C, Riley J P, 1990b. Effects of acidity and molybdate concentration on the kinetics of the formation of the phosphoantimonymolybdenum blue complex. *Analytica Chimica Acta*, 229: 115—120
- Purcell J E, Hopcroft R R, Kosobokova K N, 2010. Distribution, abundance, and predation effects of epipelagic ctenophores and jellyfish in the western Arctic Ocean. *Deep-Sea Research*, 57(1): 127—135
- Stoecker D K, Michaels A B, Davies L H, 1987. Grazing by the jellyfish *Aurelia aurita* on microzooplankton. *Journal of Plankton Research*, 9(5): 901—915
- Strickland J D H, Parsons T R, 1972. A practical handbook of seawater analysis, 2<sup>nd</sup> ed. Fisheries Research Board of Canada, 167: 201—203

## THE RELATIONSHIP BETWEEN QUANTITATIVE CHANGES OF MICROPLANKTON AND POPULATION DYNAMICS OF SMALL MEDUSA IN THE JIULONG RIVER ESTUARY IN SPRING OF 2011

HUANG Xu-Guang<sup>1,3</sup>, GUO Dong-Hui<sup>2</sup>, XIAO Wu-Peng<sup>1</sup>, GUO Wei-Dong<sup>2</sup>, HUANG Bang-Qin<sup>1</sup>

(1. College of the Environmental and Ecology, Fujian Provincial Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen University, Xiamen, 361005; 2. College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, 361005; 3. Department of Chemistry & Environmental Science, Zhangzhou Teachers College, Zhangzhou, 363000)

**Abstract** The abundances and compositions of phytoplankton, microzooplankton and small medusa were investigated in the Jiulong River Estuary in spring of 2011, meanwhile environmental factors such as nutrients, temperature, and salinity were measured. Totally 45 species of phytoplankton were recorded, and *Skeletonema costatum*, *Melosira granulata*, *Synedra* spp, *Scenedesmus obliquus*, *Alexandrium minutum*, and *Merismopedia elegans* showed high detection rate. Microzooplankton contained four classes, in which *Mesodinium rubrum* was the most common species, accounting for 55.5%—79.8% of the total population, aloricate ciliates were second; and loricate ciliates and nauplius were less than 10%. The total abundances of *Blackfordia virginica*, *Pleurobrachia globosa*, *Eirene xiamenensis*, and Hydroidomedusae larvae dominated 85% of small medusa species. There was a peak value of small medusa abundances in late April and early May, up to (69.49±29.4)ind/L, and the quantity of microzooplankton decreased from (1085±574.66)ind/L to (526±152.93)ind/L, while the percentage of micro-chlorophyll *a* in bulk chlorophyll *a* was (42.26±12.94)%. Then, the abundances of microzooplankton increased alone with the decreasing numbers of small medusa. The abundances of phytoplankton, microzooplankton, and small medusa were in a dynamic equilibrium during the spring period in this estuary.

**Key words** Small medusa, Phytoplankton, Microzooplankton, Abundance