

长江口邻近海域夏季大中型浮游动物物种多样性、年际变化及其影响因素

杨位迪^{1,2,3*}, 郑连明^{1,2,3}, 李伟巍³, 何浩阳³, 林 华³, 张 格³

(1. 厦门大学海洋生物多样性与全球变化研究中心, 2. 福建省海陆界面生态环境重点实验室(厦门大学),

3. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361102)

摘要: 利用 2014—2016 年每年 7 月在长江口邻近海域进行的大面调查所采集的浮游动物样品, 对该海域夏季大中型浮游动物的种类组成及种数平面分布进行了分析, 同时结合环境参数, 研究了种类组成、种数平面及年际变化的影响因素。研究表明: 长江口邻近海域 3 年共鉴定大中型浮游动物 165 种, 隶属 7 个门的 17 个类群; 桡足类和水螅水母类是每年夏季优势类群; 调查区大中型浮游动物种类分布大致呈现近岸低、远岸高、南部高于北部的特征; 大中型浮游动物种类数没有明显的年际变化, 但是种类组成有明显的年际更替。Pearson 相关性分析结果显示: 盐度、温度和溶解氧是影响大中型浮游动物种类数平面分布的主要环境因素; 复杂的水文环境及台风过境的剧烈影响可能是造成该区域大中型浮游动物种类组成年际变化的主要原因。

关键词: 长江口; 大中型浮游动物; 种类组成; 年际变化

中图分类号: P 735

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2018)04-0517-09

河口对生物的繁衍进化和人类社会的发展起着重要作用, 是许多生物种群繁殖、育幼的水域, 生物资源丰富, 渔业发达, 对资源的补充和保持生态平衡具有重要的意义^[1]。海洋浮游动物作为海洋生态系统的次级生产者, 是重要的经济水产动物, 特别是上、中层鱼类和幼鱼的饵料基础^[2]。长江口是我国最大的河口, 有关长江口浮游动物的研究早在 20 世纪 50 年代就已经开始^[3], 之后研究者们对海区浮游生物及其他生物进行了系统的普查^[4-5], 并开展了生态和生理方面的研究^[6-7]。

长江口及其邻近水域受长江冲淡水、黄海冷水团及台湾暖流等共同影响, 水文环境复杂多变, 且受气候环境影响较大^[8], 形成了具有独特海水理化特性的水域环境, 对长江口及邻近海域的浮游动物群落结构特征产生了重要影响; 且长江冲淡水与外海次表层水的势力消长, 对长江口水域浮游动物群落结构的变化

影响明显^[9]。每年的 6—7 月是长江入海径流量最大的时期, 对该海域影响最大, 长江冲淡水从长江口向东北方向伸展, 水平扩展范围很大, 前段可达 33°15' N、125°30' E 附近, 南北最大可跨越近 4 个纬度(30°0' ~ 33°45' N)^[10]。然而, 目前关于长江口邻近海域丰水期浮游动物年际变化尚无相关报道。本研究利用 2014—2016 年每年 7 月在长江口邻近海域开展的环境综合调查资料, 分析该海域大中型浮游动物的种类组成、生态类群及影响种数分布的环境因素, 旨在为进一步研究该海区生态系统结构和功能问题提供浮游动物群落结构方面的资料。

1 材料与方法

1.1 取样站点设置

2014—2016 年每年夏季(7 月)于长江口邻近海

收稿日期: 2018-01-26 录用日期: 2018-04-08

基金项目: 国家自然科学基金(41676133, J1310037); 福建省自然科学基金(2016J01196); 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室项目; 厦门大学校长基金(20720170077); 厦门大学大学生创新创业训练计划项目(201610384120, 103842017046)

* 通信作者: wdyang@xmu.edu.cn

引文格式: 杨位迪, 郑连明, 李伟巍, 等. 长江口邻近海域夏季大中型浮游动物物种多样性、年际变化及其影响因素[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2018, 57(4): 517-525.

Citation: YANG W D, ZHENG L M, LI W W, et al. Species composition and interannual variation of macro-meso zooplankton and the influential factors in the adjacent waters of the Yangtze River Estuary in summer[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2018, 57(4): 517-525. (in Chinese)



<http://jxmu.xmu.edu.cn>

区(122°0′~123°10′ E, 30°25′~31°12′ N)共进行 3 次水体生态调查.调查所用科考船为浙江海洋大学科考船“浙海科一号”.每年取样站位数量和位置略有调整,但调查区范围大体相近,具体如图 1 所示.2016 年加密调查取样站位重新编号,但受台风影响,实际调查区选取靠近 2014 和 2015 年调查区的 C~F 断面.

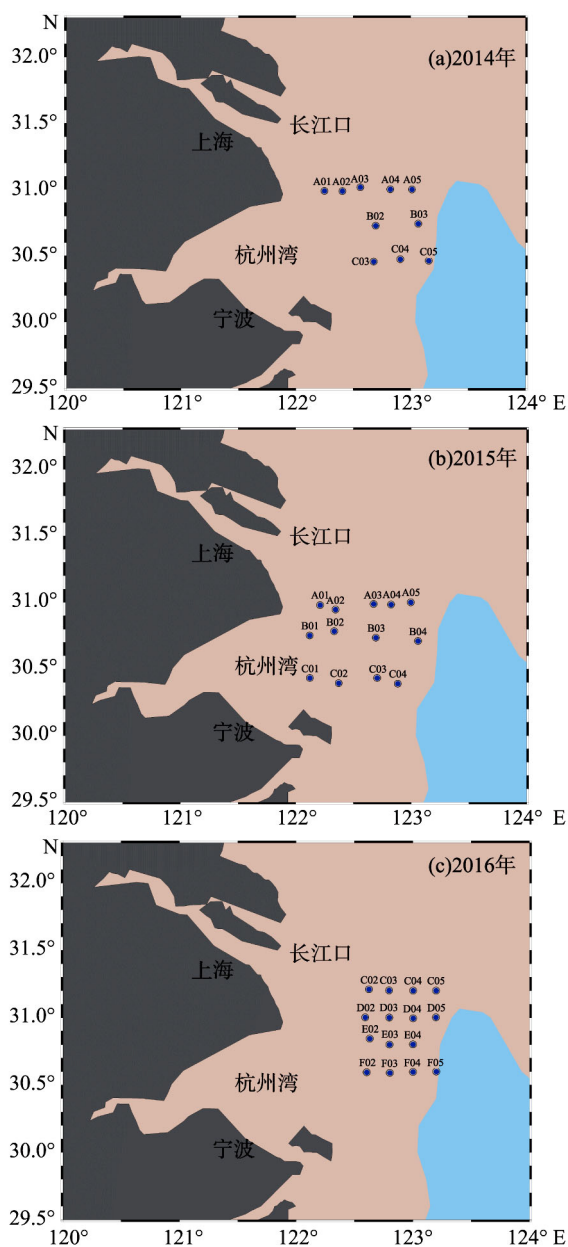


图 1 长江口海域调查站位示意图

Fig. 1 Sampling stations in the Yangtze River Estuary

1.2 样品采集与数据处理

浮游动物海上采集及处理均根据《海洋调查规范 第 6 部分:海洋生物调查》(GB/T 12763. 6—2007)^[11]进行.30 m 以上浅海域用浅水 I 型浮游生物网(网长

1.45 m,网口直径 0.5 m,网衣筛绢孔径 0.505 mm,网口面积 0.2 m²)采集;30 m 及以下深海域用海水大型浮游生物网(网长 2.80 m,网口直径 0.8 m,网衣筛绢孔径 0.505 mm,网口面积 0.5 m²)采集.采集方式为从水体底层到表层垂直拖拽,滤水量由 HYDRO-BIOS 网口流量计示数进行相关换算.网采浮游动物样品现场使用终质量分数 5% 的中性甲醛海水固定,避光常温保存.同步获得水文、化学和叶绿素等环境因子参数(Seabird SBE25 温盐深剖面仪、PHS-3C 精密酸度计、岛津 UVmini-1240、Turner Designs Trilogy 荧光仪),后期获得浮游植物丰度数据.

浮游动物样品先用 HYDRO-BIOS KIEL 浮游动物分样器进行连续等分,然后在 Zeiss Stemi 2000-C 立体显微镜下进行镜检鉴定并计数,鉴定过程中部分种类的细微结构使用 Olympus BH-2 显微镜进行观察.分样计数完毕后,再对全样中未在分样中记录的物种或类群进行镜检鉴定并计数.本研究中夜光藻(虫) (*Noctiluca scintillans*)不纳入浮游动物计数.

优势度(Y)计算:

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

其中, n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种类的总个体数, f_i 为第 i 种的出现频率. $Y \geq 0.02$ 的种类定义为优势种^[6];类似地,当浮游幼体(虫)的 $Y \geq 0.02$ 时,认定其为优势类群,与优势种合称为优势种类.

优势种类年际更替率(R)采用以下公式计算:

$$R = (a + b - 2c) / (a + b - c) \times 100\%, \tag{2}$$

其中, a 与 b 为相邻两年各有优势种(类)的个数, c 为相邻两年共有优势种(类)的个数.

本研究中平面分布图均采用 Ocean Data View 5.0 软件绘制.

2 结果与分析

2.1 种类组成及优势种类更替

2014—2016 年夏季共鉴定大中型浮游动物(不含浮游幼体(虫))165 种,其中 2014 年 92 种,2015 年 81 种,2016 年 93 种,隶属 7 个门的 17 个类群(表 1).调查结果显示,各年大中型浮游动物中种类数占比最大的均为桡足类,3 年合计 65 种,占总种类数的 39.39%,每年均达到总种类数的 40% 以上.其中 2014 年最高,达到 41.30%;其次为水螅水母类,3 年合计 33 种,占总种类数的 20.00%,每年占总种类数百分比均大于 13%.单因素方差分析结果显示,3 年的浮游动物种类数差异显著性的 p 值为 0.648 (> 0.05),表

表1 2014—2016年夏季大中型浮游动物种类组成

Tab 1 Species composition of macro-meso zooplankton in summer in 2014—2016

门类	类群	2014		2015		2016		合计	
		种类数	占总种类数百分比/%	种类数	占总种类数百分比/%	种类数	占总种类数百分比/%	种类数	占总种类数百分比/%
刺胞动物门	水螅水母类	13	14.13	15	18.52	13	13.98	33	20.00
栉水母动物门	栉水母类	2	2.17	2	2.47	2	2.15	2	1.21
环节动物门	多毛类	2	2.17	—	—	2	2.15	3	1.82
软体动物门	异足类	2	2.17	—	—	3	3.23	4	2.42
	翼足类	2	2.17	2	2.47	6	6.45	6	3.64
节肢动物门	枝角类	2	2.17	2	2.47	2	2.15	2	1.21
	介形类	3	3.26	1	1.23	2	2.15	5	3.03
	桡足类	38	41.30	33	40.74	39	41.94	65	39.39
	糠虾类	6	6.52	4	4.94	3	3.23	8	4.85
	涟虫类	1	1.09	1	1.23	1	1.08	1	0.61
	等足类	1	1.09	2	2.47	1	1.08	1	0.61
	端足类	7	7.61	7	8.64	5	5.38	15	9.09
	磷虾类	2	2.17	2	2.47	2	2.15	2	1.21
	十足类	3	3.26	1	1.23	1	1.08	3	1.82
	毛颚动物门	毛颚类	4	4.35	3	3.70	4	4.30	6
尾索动物门	有尾类	2	2.17	4	4.94	4	4.30	6	3.64
	海樽类	2	2.17	2	2.47	3	3.23	3	1.82
合计		92		81		93		165	
浮游幼体(虫)		35		25		20		46	

注:—表示未采集该类群。

明浮游动物种类数分布在3年中变化不显著。然而,3年中浮游动物的种类组成整体呈现较明显的年际变化,以水螅水母类、桡足类和端足类这3个类群为例:3年共鉴定水螅水母类33种,仅4种为共有种;桡足类共鉴定65种,共有种为11种;端足类共鉴定15种,3年仅一种共有种。

进而对3年中所鉴定大中型浮游动物的优势种类进行分析,结果如表2所示。2014年大中型浮游动物中优势种类共计6种(类),包括桡足类4种、枝角类1种以及浮游幼体(虫)1个类群,火腿伪镖水蚤为第一优势种;2015年优势种类共计7种(类),包括桡足类4种、枝角类1种以及浮游幼体(虫)2个类群,中华哲水蚤为第一优势种,2014—2015年间优势种类年际更替率为81.8%;2016年优势种类共计9种(类),包括桡足类5种、毛颚类1种、海樽类1种、莹虾类1种以及浮游幼体(虫)1个类群,平滑真刺水蚤为第一优

势种,2015—2016年间优势种类年际更替率为66.7%。

3年均均为优势种类的仅中华哲水蚤一种,2015年为第一优势种类(优势度为0.17,占浮游动物总丰度的18.32%),2014年(优势度为0.09,占浮游动物总丰度的10.08%)和2016年(优势度为0.19,占浮游动物总丰度的19.10%)均为第二优势种类。肥胖三角蚤为2014和2015年均出现的优势种类;小拟哲水蚤、太平洋纺锤水蚤以及背针胸刺水蚤为2015和2016年均出现的优势种类。表2中其余种类仅在某一年为优势种类。

2.2 生态类群划分

根据浮游动物对温度、盐度等的适应及其生存环境的水文特征,本研究调查的大中型浮游动物主要可以分为以下4个生态类群:

1) 河口半咸水类群:主要生活在长江口河口区

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

表 2 2014—2016 年夏季大中型浮游动物优势种类年际变化
Tab 2 Interannual variation of dominate species in summer in 2014—2016

优势种类	2014			2015			2016		
	Y	$x/(\text{ind} \cdot \text{m}^{-3})$	$\eta/\%$	Y	$x/(\text{ind} \cdot \text{m}^{-3})$	$\eta/\%$	Y	$x/(\text{ind} \cdot \text{m}^{-3})$	$\eta/\%$
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.09	73.84	10.08	0.17	99.78	18.32	0.19	156.35	19.10
火腿伪镖水蚤 <i>Pseudodiaptomus poplesia</i>	0.15	221.25	30.20	—	—	—	—	—	—
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.08	124.89	17.05	—	—	—	—	—	—
肥胖三角溇 <i>Evadne tergestina</i>	0.04	42.34	5.78	0.15	93.48	17.16	—	—	—
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	0.04	26.27	3.59	—	—	—	—	—	—
真刺水蚤幼体 <i>Euchaeta</i> larvae	0.03	23.84	3.25	—	—	—	—	—	—
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	—	—	—	0.15	92.92	17.06	0.03	29.84	3.64
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	—	—	—	0.14	95.59	17.55	0.03	24.97	3.05
背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	—	—	—	0.04	23.18	4.26	0.07	74.25	9.07
短尾类溇状幼体 <i>Brachyura zoea</i>	—	—	—	0.02	12.11	2.22	—	—	—
蛇尾类长腕幼虫 <i>Ophiopluteus</i> larvae	—	—	—	0.02	15.56	2.86	—	—	—
平滑针刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i>	—	—	—	—	—	—	0.26	210.97	25.78
拿卡箭虫 <i>Sagitta nagae</i>	—	—	—	—	—	—	0.03	23.23	2.84
软拟海樽 <i>Doliioletta gegenbauri</i>	—	—	—	—	—	—	0.03	26.68	3.26
长尾类溇状幼体 <i>Macrura zoea</i>	—	—	—	—	—	—	0.02	19.09	2.33
中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	—	—	—	—	—	—	0.02	17.34	2.12

注:—表示未成为该年优势种类;Y 为优势度;x 为平均丰度;η 为优势种类平均丰度占浮游动物总丰度的百分比。

域,种类较少,主要包括火腿伪镖水蚤、指状伪镖水蚤 (*P. inopinus*)及虫肢歪水蚤 (*Tortanus vermiculus*)。

2) 近岸低盐类群:主要分布在靠近近岸及河口区,种类和数量较大,是本研究调查中主要的生态类群之一,主要包括大西洋五角水母 (*Muggiæa atlantica*)、鸟喙尖头溇 (*Penilia avirostris*)、背针胸刺水蚤、真刺唇角水蚤 (*L. euchaeta*)、太平洋纺锤水蚤、红纺锤水蚤 (*A. erythraea*)、刺尾纺锤水蚤 (*A. spincauda*)、圆唇角水蚤 (*L. rotunda*)、长额刺糠虾 (*Acantho-*

mysis longirostris)、短额刺糠虾 (*A. brevirostris*)、中华假磷虾 (*P. sinica*) 等。

3) 外海高盐类群:主要分布在外海区域或受到黑潮暖流影响的区域,适应高盐环境,主要包括普通波水蚤 (*Undinula vulgaris*)、肥胖箭虫 (*Sagitta enflata*)、玛瑙叶剑水蚤 (*Sapphirina opalina*)、亚强次真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*)、小齿海樽 (*D. denticulatum*) 双尾纽鳃樽 (*Thalia democratica*) 等。

4) 广盐类群:这一类群对盐度的适应范围较广,

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

因此在调查区中能够生活在偏淡水的河口区也能存活于高盐的外海区域,分布范围非常广泛,因此也是调查区中非常重要的生态类群,主要包括四叶小舌水母(*Liriope tetraphylla*)、两手筐水母(*Solmundella bitentaculata*)、瓜水母(*Beroe cucumis*)、中华哲水蚤、小拟哲水蚤、针刺真浮萤(*Euconchoecia aculeata*)、平滑真刺水蚤、精致真刺水蚤、孟加蛮(虫戎)(*Lestrigonus bengalensis*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、中型莹虾、肥胖三角溞等。

2.3 种数平面分布

2014—2016 年各年夏季大中型浮游动物种类数(不含浮游幼体(虫)及鱼卵仔稚鱼)均呈现较为明显的近岸低、远岸高的趋势,在南北向上呈现出南高北低的特征(图 2)。其中 2014 与 2016 年种类数较为接近,2015 年种类数相对偏低,2014 年各站位的平均种类数为 29.4 种,种类数最多的为靠近调查海区西南部的 C04 站位,达 44 种,种类数最少的站位为 A01 站位,仅 16 种;2015 年南北向分布规律较不明显,平均种类数为 24.4 种,种类数最多的站位为 A05 站位,达 35 种,最少的为 C01 站,仅 13 种;2016 年平均种类数为 30.8 种,在西南角的 F05 站种类数最多,达 58 种, E03 站位最少,仅 20 种。

2.4 种类数与环境因子的相关性

测定浮游植物丰度($A(\text{Phy})$)、表层盐度(S_s)、底层盐度(S_b)、表层温度(t_s)、底层温度(t_b)、表层叶绿素 a 浓度($\rho_s(\text{Chla})$)、底层叶绿素 a 浓度($\rho_b(\text{Chla})$)、表层溶解氧($\rho_s(\text{DO})$)、底层溶解氧($\rho_b(\text{DO})$)、表层硝酸盐($\rho_s(\text{NO}_3^-)$)、底层硝酸盐($\rho_b(\text{NO}_3^-)$)、表层亚硝酸盐($\rho_s(\text{NO}_2^-)$)、底层亚硝酸盐($\rho_b(\text{NO}_2^-)$)、表层铵盐($\rho_s(\text{NH}_4^+)$)、底层铵盐($\rho_b(\text{NH}_4^+)$)、表层 pH 值(pH_s)、底层 pH 值(pH_b)，各环境因子的平均值和变化范围见附录 (<http://jxmu.xmu.edu.cn/upload/html/20180412.html>) 表 S1 和 S2。对大中型浮游动物种类数与上述环境因子进行 Pearson 相关性分析,结果表明(表 3):除了 $A(\text{Phy})$ 、 t_s 、 $\rho_s(\text{Chla})$ 、 $\rho_s(\text{NH}_4^+)$ 、 $\rho_b(\text{NO}_2^-)$ 和 pH_b 外,其他环境因子对大中型浮游动物种类数均有显著影响。2014 年种类数与 S_s 、 S_b 及 pH_s 呈极显著正相关,与 t_b 、 $\rho_b(\text{Chla})$ 、 $\rho_s(\text{NO}_3^-)$ 及 $\rho_b(\text{NH}_4^+)$ 呈极显著负相关,与 $\rho_s(\text{DO})$ 呈显著正相关,与 $\rho_b(\text{NO}_3^-)$ 呈显著负相关;2015 年种类数与 S_s 、 S_b 及 $\rho_s(\text{DO})$ 呈显著正相关,与 t_b 呈显著负相关;2016 年种类数与 S_s 、 S_b 及 $\rho_b(\text{DO})$ 呈显著正相关,与 $\rho_s(\text{NO}_3^-)$ 和 $\rho_s(\text{NO}_2^-)$ 呈显著负相关。

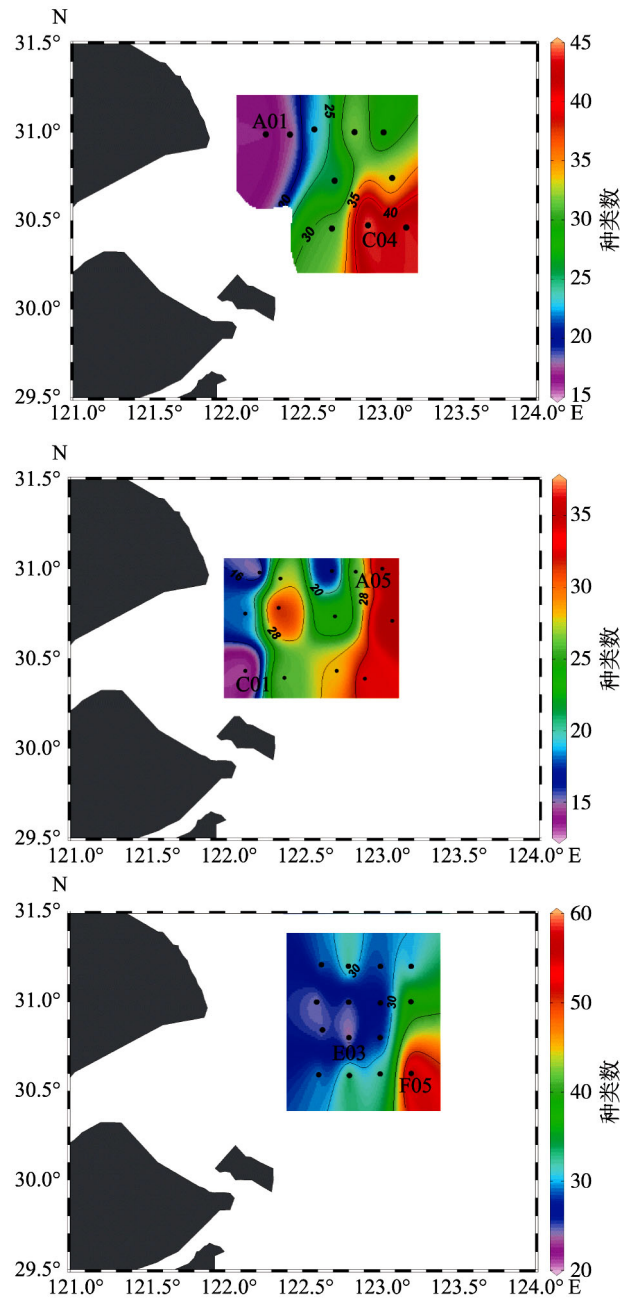


图 2 2014—2016 年夏季大中型浮游动物种类数平面分布图

Fig. 2 Spatial distribution of macro-meso zooplankton species number in summer in 2014—2016

3 讨论

3.1 长江口邻近海域大中型浮游动物组成及优势种类更替

本研究中,2014 年共鉴定浮游动物 92 种,浮游幼体(虫)35 类;2015 年共鉴定浮游动物 81 种,浮游幼

表 3 大中型浮游动物种类数与环境因子的 Pearson 相关性分析

Tab 3 Pearson correlation analysis of macro-meso zooplankton species and environmental factors

环境因子	2014		2015		2016	
	表层	底层	表层	底层	表层	底层
<i>t</i>	0.604	-0.783**	-0.111	-0.553*	0.144	-0.100
<i>S</i>	0.921**	0.779**	0.567*	0.642*	0.612*	0.569*
pH	0.799**	0.423	0.484	0.216	0.154	0.347
$\rho(\text{DO})$	0.669*	-0.527	0.614*	-0.063	0.301	0.602*
$\rho(\text{NO}_2^-)$	0.365	-0.099	0.301	0.167	-0.603*	-0.254
$\rho(\text{NO}_3^-)$	-0.915**	-0.728*	-0.534	-0.438	-0.724**	-0.181
$\rho(\text{NH}_4^+)$	-0.262	-0.828**	0.001	0.022	-0.231	-0.076
$\rho(\text{Chla})$	0.124	-0.766**	0.116	-0.089	-0.364	-0.281
<i>A</i> (Phy)	-0.527		0.107		-0.250	

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 在 0.01 水平(双侧)上极显著相关; 浮游植物丰度为拖网采样数据, 不分水层; 表层、底层分别对应于各环境因子下标 b, s.

体(虫)25 类; 2016 年共鉴定浮游动物 93 种, 浮游幼体(虫)20 类. 桡足类为该海域第一大类群, 3 年分别占当年总种类数的 41.30%, 40.74% 和 41.94% (浮游幼体(虫)不计算在内); 其次为水螅水母类, 分别占当年总种类数的 14.13%, 18.52% 和 13.98%. 3 年中桡足类和水螅水母类种类数略有变化, 但各自占浮游动物种类数的比例相近, 是调查区中的两个优势类群, 这一结果与陈亚瞿等^[7]、徐兆礼等^[12] 以及陈洪举等^[13] 对长江口海域的研究结果相符. 但对 3 年中桡足类、水螅水母类种类进行比较, 发现存在明显的变化, 唯一的共有优势种是广盐性的中华哲水蚤. 2014 年第一优势种为河口半咸水类群的火腿伪镖水蚤, 其在 A01、A02 和 A03 站位大量出现, A04 和 A05 站位少量出现, 其余站位均未采获, 表明该调查区西北部受河口冲淡水影响较明显, 海水层化现象较为稳定(图 3(a)和(b)). 2015 和 2016 年均受到台风影响, 水体混合较好; 2015 年航次调查时间为台风过境后 2 d, 从 A 断面温盐剖面图(图 3(c)和(d))可见水体表底混合较好, 未出现层化现象; 2016 年出航时间是台风登陆后 6 d, 海域环境已经逐步恢复到台风影响之前, 从 E 断面温、盐剖面图可见出现海水层化(图 3(e)和(f)). 但 2015 和 2016 年桡足类优势种类基本相同, 火腿伪镖水蚤仅在 2015 年少量采获, 而在 2016 年未采获. 同时, 本研究中同属河口半咸水类群的虫肢歪水蚤仅在 2014 年航次中 A01、A02 和 A03 站位有采获. 以上现象与本研究调查区所处的长江口混合区性质密切相关, 该海域水系较为复杂, 夏季表层为长江冲淡水覆

盖, 垂直方向上长江冲淡水逐步向西收缩, 底层受黄海冷水团、东海冷水团与长江冲淡水共同形成混合带影响^[10].

陈洪举^[14] 在 2003 和 2006 年的 6 月分别对长江口海域进行调查, 共鉴定浮游动物种类 383 种、浮游幼体(虫)34 类, 与本研究相比浮游动物种类数明显较多. 陈洪举^[14] 在研究中所设定站位范围较大(28°00' ~ 32°19.60' N, 121°6.52' ~ 124°00' E), 包括了长江口河道、南支水域、北支水域以及外海区域; 而本研究调查区范围相对较小, 为长江口偏南水系及其下方海区, 靠近杭州湾湾口, 因此浮游动物类群以河口半咸水类群、近岸低盐类群及广盐类群为主. 在靠近外海的站位或者受到黑潮影响的区域也会出现外海高温高盐的类群, 但是本研究中该类群种类数与陈洪举^[4] 研究的结果相比较少, 此外在河道区域出现的淡水类群在本研究中也并未发现.

3.2 浮游动物种类数平面变化及年际变化的影响因素

浮游动物的分布受到温盐、饵料、海流、潮汐、台风等因素的影响, 是各项环境因子综合效应的结果. 本研究结果显示影响调查区浮游动物分布的主要环境因素为盐度、温度及溶解氧, 而引起年际间群落结构发生变化的主要因素是盐度、温度及台风.

Pearson 相关性分析结果显示 3 年中浮游动物的种类数受到盐度影响最显著, 这与徐兆礼等^[12] 和刘镇盛^[15] 对长江口海域研究结果一致. Zhu 等^[16] 对长江口海域研究的结果也认为盐度、温度和叶绿素是影响该

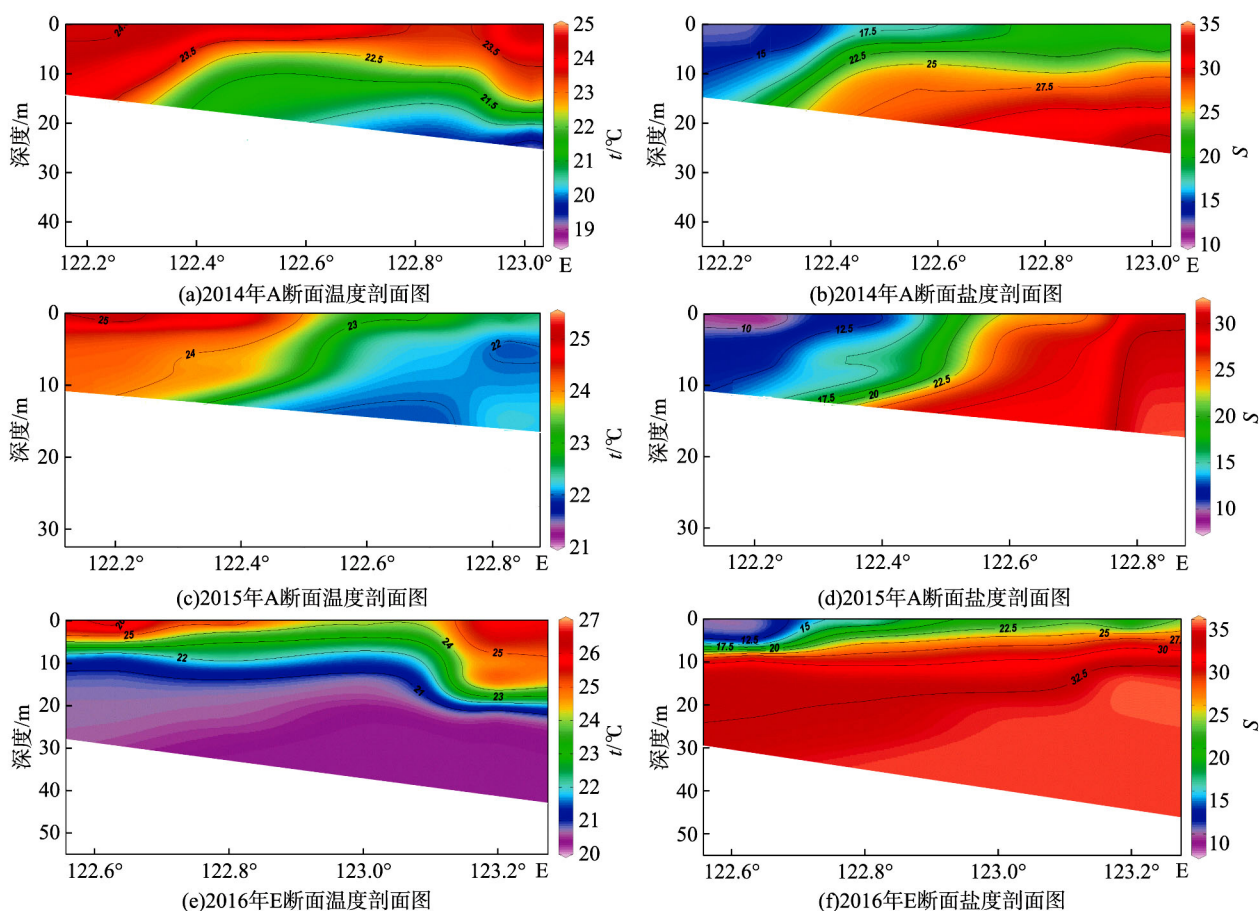


图3 2014—2016年长江口海区温、盐剖面图

Fig. 3 Profile of salinity and temperature in the Yangtze River Estuary in 2014—2016

海域浮游动物群落的主要因素。杜明敏等^[17]的研究认为中国近海区域对浮游动物群落影响最大的环境因素是温度和盐度。Song等^[18]对辽东湾的研究也认为温度、盐度与浮游动物群落具有较强的相关性。

除盐度外,温度也是影响该海域浮游动物分布和年际变化的因素之一,温度的变化对部分浮游动物分布以及种类数均存在一定影响。高倩等^[19]对长江口北支水域的研究发现温度是该海域浮游动物群落季节变化的主要因素,郑金秀等^[20]对长江口南北支水域研究结果也显示温度是影响调查海域浮游动物群落结构的重要因素。目前,全球正处于气候变暖时期,海洋温度上升,浮游动物的群落也随之受到影响。Mackas等^[21]综合东北太平洋海区浮游动物多年的研究结果探讨了海洋变暖现象对浮游动物群落的作用。有研究表明长江口海域水母的频繁暴发可能与温度和盐度上升相关^[22]。另有研究发现长江口中华假磷虾21世纪的丰度相比20世纪增加的原因是海水表层温度的增加^[23]。

温度和盐度可以表征海流水团运动、交汇情况。本调查区受长江冲淡水、黄海冷水团及台湾暖流等水团的共同影响,各股势力的消长直接导致温盐的变化,进而带来了各水团的特征种。毕洪生等^[24]在研究渤海浮游动物群落结构中,记录到暖水性种类直接由黄海海流带入渤海,以及中华哲水蚤、墨氏胸刺水蚤分布格局与同期调查中渤海的环流模式一致。杜明敏等^[17]在分析2006—2007年中国近海浮游动物群落结构中,也发现浮游动物的分布与海流、水团运动存在紧密联系。

综上,浮游动物种类组成在2014—2016年有较为明显的变化,主要原因可能有:1) 3年的调查区站位因实际情况有所变化,2014和2015年设定调查区域大致相同,而2016年设定的调查区相对偏北、偏外,并且在南部受到台湾暖流(黑潮)的影响,因此在该年的优势种中出现了偏外海高盐的种类,如软拟海樽等;而在2014年调查区海域西北部受到长江冲淡水影响较大,群落中出现了大量河口半咸水种类,如

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

火腿伪镖水蚤、虫肢歪水蚤。2) 适盐能力较强的中华哲水蚤在本研究调查的3年中均为优势种,一定程度上说明该海域盐度变化较为剧烈,适盐性较广的种类能较好地在该海域生长、繁殖,进而成为稳定的优势种。3) 台风带来的扰动也是浮游动物群落结构发生变化的原因之一,2014年海域环境较为稳定,而2015和2016年的调查均在台风过境后,水体发生混合,浮游动物群落随着水体混合也相应发生了变化。台风对浮游动物群落的影响包括两方面:一方面是台风通过对水体扰动直接作用在浮游动物群落而产生影响;另一方面则是通过对海域各项环境因子的影响,包括溶解氧、叶绿素浓度、营养盐等,而间接影响到浮游动物的群落结构。

4 结 论

1) 2014—2016年夏季(7月)在长江口邻近海域共鉴定大中型浮游动物165种,隶属7个门的17个类群;桡足类和水螅水母类是每年夏季优势类群;浮游动物种类分布大致呈现近岸低、远岸高、南部高于北部的特征。

2) 调查区大中型浮游动物种类数没有明显的年际变化,但是种类组成有明显的年际更替:2014—2015年之间浮游动物优势种类年际更替率为81.8%,2015—2016年之间浮游动物优势种类年际更替率为66.7%。

3) 盐度、温度和溶解氧是影响浮游动物种类数平面分布的主要环境因素;复杂的水文环境及台风过境的剧烈影响可能是造成该区域浮游动物种类组成年际变化的主要原因。

参考文献:

- [1] 罗秉征.河口及近海的生态特点与渔业资源[J].长江流域资源与环境,1992,1(1):24-30.
- [2] 郑重,李少菁,许振祖.海洋浮游生物学[M].北京:海洋出版社,1984:7.
- [3] 沈嘉瑞.江苏奉贤近海甲壳类动物的研究[J].动物学报,1955,7(2):75-94.
- [4] 陈亚瞿,郑国兴,朱启琴.长江口区浮游动物初步研究[J].东海海洋,1985,3(3):53-61.
- [5] 朱启琴.长江口、杭州湾浮游动物生态调查报告[J].水产学报,1988,12(2):111-128.
- [6] 徐兆礼,王云龙,陈亚瞿,等.长江口最大浑浊带区浮游动物的生态研究[J].中国水产科学,1995,2(1):39-48.
- [7] 陈亚瞿,徐兆礼,王云龙,等.长江口河口锋区浮游动物生态研究Ⅱ 种类组成、群落结构、水系指示种[J].中国水产科学,1995,2(1):59-63.
- [8] 唐晓晖,王凡.长江口邻近海域夏、冬季水文特征分析[J].海洋科学集刊,2004,46:42-66.
- [9] 汤新武,蔡德所,陈求稳,等.三峡工程三期蓄水初期长江口水域春季浮游动物群落特征及其与环境的关系[J].环境科学学报,2015,35(4):1082-1088.
- [10] 喻祖祥,苏育嵩,俞光耀,等.长江口及济州岛附近海域变性水团的初步分析[J].青岛海洋大学学报,1989,19(1):132-144.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化委员会.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.
- [12] 徐兆礼,陈亚瞿.东海毛颚类优势种及与环境的关系[J].中国水产科学,2005,12(1):76-82.
- [13] 陈洪举,刘光兴.2006年夏季长江口及其邻近水域浮游动物的群落结构[J].北京师范大学学报(自然科学版),2009,45(4):393-398.
- [14] 陈洪举.长江口及其邻近海域浮游动物群落生态学研究[D].青岛:中国海洋大学,2007:17.
- [15] 刘镇盛.长江口及其邻近海域浮游动物群落结构和多样性研究[D].青岛:中国海洋大学,2012:81-86.
- [16] ZHU Y Z, LIU L S, ZHENG B H, et al. Relationship between spatial distribution of zooplankton and environmental factors in the Changjiang Estuary and its adjacent waters in spring[J]. Marine Sciences, 2011, 35(1):59-65.
- [17] 杜明敏,刘镇盛,王春生,等.中国近海浮游动物群落结构及季节变化[J].生态学报,2013,33(17):5407-5418.
- [18] SONG L, ZHOU Z, WANG N, et al. Zooplankton diversity of Liaodong Bay and relationship with oceanic environmental factors[J]. Marine Sciences, 2010, 34(3):35-39.
- [19] 高倩,徐兆礼,庄平.长江口北港和北支浮游动物群落比较[J].应用生态学报,2008,19(9):2049-2055.
- [20] 郑金秀,胡菊香,彭建华,等.长江口南北支浮游动物群落生态学研究[J].生态环境学报,2011,20(6/7):1102-1106.
- [21] MACKAS D L, BATTEN S, TRUDEL M. Effects on zooplankton of a warmer ocean: recent evidence from the Northeast Pacific[J]. Progress in Oceanography, 2007, 75(2):223-252.
- [22] XIAN W, KANG B, LIU R. Jellyfish blooms in the Yangtze Estuary[J]. Science, 2005, 307(5706):41.
- [23] GAO Q, XU Z. Effect of regional warming on the abundance of *Pseudeuphausia sinica* Wang et Chen (Euphausiacea) off the Changjiang River (Yangtze River)

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 30(6):
122-128.

点I.种类组成与群落结构[J].生态学报,2000,20(5):
715-721.

[24] 毕洪生,孙松,高尚武,张芳.渤海浮游动物群落生态特

Species Composition and Interannual Variation of Macro-meso Zooplankton and the Influential Factors in the Adjacent Waters of the Yangtze River Estuary in Summer

YANG Weidi^{1,2,3*}, ZHENG Lianming^{1,2,3}, LI Weiwei³, HE Haoyang³, LIN Hua³, ZHANG Ge³

(1. Marine Biodiversity and Global Change Research Center, Xiamen University,

2. Fujian Province Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen University,

3. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: Macro-meso zooplankton was studied in the adjacent waters of the Yangtze River Estuary in summer (July) during 2014 to 2016. Species composition of macro-meso zooplankton and spatial distribution of species number were investigated in the study. The environmental factors, which affected species composition, spatial distribution and interannual variation, were also analyzed. A total of 165 macro-meso zooplankton species were identified, which belong to 7 phyla, 17 taxa. Copepod and hydromedusae were dominant taxa in every summer. The stations with high species number were mainly in the southern part and offshore water, and low in the northern and inshore water. No obvious interannual variation in species number was detected among the three years, but distinct interannual variations in species composition were observed. Salinity, temperature and dissolved oxygen were the most important environmental factors that affected spatial distribution of species number of macro-meso zooplankton based on Pearson correlation analysis, and environmental disturbance caused by different water masses and the typhoon might be the main factor leading to the interannual variation in species composition of macro-meso zooplankton among the three years.

Key words: Yangtze River Estuary; macro-meso zooplankton; species composition; interannual variation