

杭州湾南岸海域春秋季节浮游动物分布特征与主要环境因子的关系*

张冬融^{1,2} 徐佳奕¹ 徐兆礼^{1**} 陈佳杰¹ 孙鲁峰¹

(¹中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090; ²上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要 2011年9月(秋季)和2012年5月(春季)对杭州湾南岸附近海域(121.60°E—121.85°E, 29.95°N—30.24°N)进行了2个航次的海洋综合调查,分析了杭州湾南岸附近海域浮游动物的群落结构、生物量和丰度的分布特征及与主要环境因子的关系。结果表明:该海域浮游动物存在明显的季节变化,春季鉴定到8大类18种,优势种为虫肢歪水蚤(*Tortanus vermiculus*)、中华华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、短额刺糠虾(*Acanthomysis brevirostris*);秋季鉴定到7大类25种,优势种为左突唇角水蚤(*Labidocera sinilobata*)、百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、刺尾角水蚤(*Pontella spinicauda*);多样性指数(H')为秋季(1.60)略高于春季(1.56),生物量和丰度为秋季(580.58 mg·m⁻³和578.88 ind·m⁻³)远高于春季(61.82 mg·m⁻³和41.61 ind·m⁻³);总生物量和总丰度的空间分布由优势种决定,春季总生物量从湾外向湾内近岸增加,秋季沿湾外向湾内近岸一侧和湾外东部水域增加;而总丰度在春季同样表现为从湾外向湾内近岸递增,秋季为向湾内近岸和湾外东部水域增加。逐步回归分析表明,温度和盐度为影响春秋季节杭州湾南岸浮游动物分布的主要环境因子。

关键词 杭州湾南岸; 优势种; 总丰度; 总生物量; 环境因子

中图分类号 Q178.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2014)8-2115-09

Distribution pattern of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay during spring and autumn in relation to main environmental factors. ZHANG Dong-rong^{1,2}, XU Jia-yi¹, XU Zhao-li^{1**}, CHEN Jia-jie¹, SUN Lu-feng¹ (¹Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; ²College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(8): 2115–2123.

Abstract: To understand the community structure and distribution pattern of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay and its response to main environmental factors in different seasons, two oceanographic comprehensive surveys were carried out during the September of 2011 (autumn) and May of 2012 (spring). An obvious seasonal variation was found in species composition of zooplankton. In total, 18 species from 8 groups were identified in spring with *Tortanus vermiculus*, *Sinocalanus sinensis*, *Calanus sinicus*, and *Acanthomysis brevirostris* being the dominant species, and 25 species from 7 groups were identified in autumn with *Labidocera sinilobata*, *Sagitta bedoti*, *Labidocera euchaeta*, and *Pontella spinicauda* being the dominant species. The Shannon diversity index of zooplankton was higher in autumn (1.60) than in spring (1.56), while the average biomass and abundance in autumn (580.58 mg·m⁻³ and 578.88 ind·m⁻³) were significantly higher than those in spring (61.82 mg·m⁻³ and 41.61 ind·m⁻³). The distribution patterns of biomass and abundance were mainly determined by the dominant species, which was related to ocean currents. In spring, both the biomass and the abundance increased gradually

* 国家自然科学基金项目(41176131)和国家重点基础研究发展计划项目(2010CB428705)资助。

** 通讯作者 E-mail: xiaomin@sh136.com

收稿日期: 2013-12-12 接受日期: 2014-03-30

from outside the bay to inshore. In autumn, the biomass and the abundance increased from outside the bay to inshore and eastern area outside the bay. The correlation between community structure of zooplankton and environmental variables, calculated by the stepwise regression analysis, indicated that temperature and salinity were the two most important factors influencing the distribution pattern of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay.

Key words: south part of Hangzhou Bay; dominant species; total abundance; total biomass; environmental factor.

杭州湾南岸附近水域地形复杂,岛屿众多,受世界上著名的钱塘潮、钱塘江径流、长江径流和东海外海水的影响,产生了紊流、切变流等多种复杂的水流变化现象(朱启琴,1982)。加上水团的季节变化,使得这一水域的浮游动物比较丰富,成为中国舟山渔场的一部分,是棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、鲳鱼(*Pampus argenteus*)和大、小黄鱼(*Pseudosciaena crocea*, *Larimichthys polyactis*)等鱼类的重要产卵场和育肥场(陈佳杰,2012)。

杭州湾及邻近水域浮游动物的研究早已有过报道,例如,朱启琴(1988)利用20世纪80年代的调查资料对长江口、杭州湾浮游动物的生态学进行较为全面的研究,包括浮游动物的生态类型、数量分布、种类多样性及与环境污染的关系等多个方面。徐兆礼等(1995, 2004, 2005)对长江口浮游动物的生物量、生态特征及优势种进行研究。纪焕红等(2004)通过专项生态调查,主要从种类组成、群落结构、个体数量分布和生物多样性等角度研究了上海市金山三岛海域浮游动物的生态特征,徐兆礼等(2003)分析了杭州湾洋山岛周围海域浮游动物的时空分布特征,陈华和徐兆礼(2010)通过对杭州湾洋山深水港一期工程期间及完工后的附近海域进行调查监测,研究了洋山工程群的施工建设对邻近水域浮游动物数量分布的影响。黄备等(2012)对浙江北部海域春季浮游动物的群落结构特征进行分析。俞存根等(2011)从春夏秋冬4个季节对舟山渔场及其邻近海域浮游动物的种类组成和群落结构特征等方面进行分析。而国外对河口浮游动物生态学的研究也较为活跃,如Araujo等(2008)研究了亚热带河口浮游动物群落动态与季节循环和营养输入的关系, Morgado等(2007)对葡萄牙蒙德哥河口浮游动物营养结构和组成进行研究,Primo等(2009)研究了温带河口浮游动物多样性和分布的变化。

与杭州湾其他水域相比,杭州湾南岸附近海域浮游动物的研究尚未见报道,使得对杭州湾不同水域浮游动物的认识受到影响。本文根据2011年9

月和2012年5月2个航次的调查资料,对杭州湾南岸附近海域春秋两季的浮游动物分布特征进行研究,以期对整个杭州湾南岸海域浮游动物的生态特性有一个基本了解,为该水域的生态环境保护和渔业资源可持续利用等提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 采样区域和方法

2011年9月(秋季)和2012年5月(春季)在杭州湾南岸水域(121.60°E—121.85°E, 29.95°N—30.24°N)布设12个站位(图1, 2012年5月少布设4号站位,为11个站位),站位平均水深为5.8~11.2 m,使用浙路渔8801#船进行调查。浮游动物的样品采集采用浅水I型浮游生物网(口径50 cm、筛绢CQ14、孔径0.505 mm),自海底至海面垂直拖曳获得。样品采集方法及处理等均按《海洋调查规范——海洋生物调查》(国家质量技术监督局, 2007b)进行。所获样品均经5%福尔马林溶液固定带回实验室进行称重、分类鉴定和统计。生物量用电子天平进行称量,室内按个体计数法在体视显微镜下鉴定计数,尽可能地鉴定到最小分类单位(生物量为湿重,单位为 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$;个体丰度单位为 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$)。

盐度、水温和水深使用温盐深仪(Conductivity-

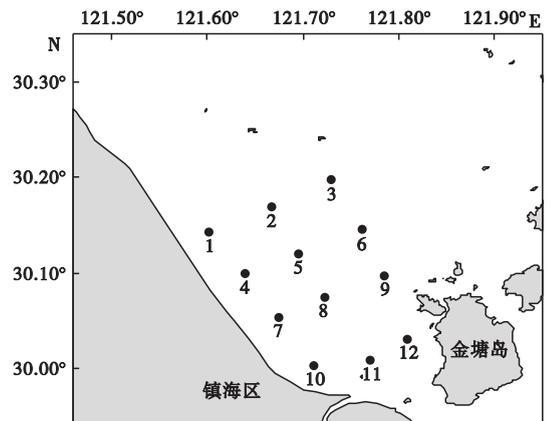


图1 采样站位示意图

Fig. 1 Sampling stations

Temperature-Depth, CTD) 现场直接测量, 化学因子如溶解氧 (dissolved oxygen, DO)、pH 等水样带回实验室按《海洋监测规范——海水分析》(国家质量技术监督局, 2007a) 提供的方法测定。

1.2 数据处理

优势种用自编程序采用如下公式(徐兆礼和陈亚瞿, 1989)计算。

优势度公式:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中: n_i 为第 i 种类在各站出现的总丰度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$); N 为所有物种在各站出现的总丰度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$); f_i 为第 i 种类在各站出现的频率。浮游动物优势度 $Y \geq 0.02$ (徐兆礼和陈亚瞿, 1989) 的种为优势种。

本文用 Shannon 多样性指数 (H') 公式 (Shannon, 1948)。

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

式中, P_i 为种 i 的个体占群落中总个体的比例, S 为样品中的种类数, 计算群落的物种多样性指数。

用 Sufer 软件绘制站位、盐度、种类数和优势种的丰度等空间分布图, 用 SPSS 软件对多样性指数做方差分析。把表温、表盐、表层 pH 和表层溶解氧作为自变量, 总生物量、总丰度、多样性指数和种类数分别作为因变量, 对它们用 DPS 软件做逐步回归分析。

2 结果与分析

2.1 温度和盐度的分布特征

杭州湾南岸附近水域春季的平均表温为 19.5

℃, 温度范围为 17.3 ~ 21.8 ℃; 春季的平均表温为 24.2 ℃, 温度范围为 22.6 ~ 25.5 ℃。秋季表层水温比春季偏高, 春秋两季均无水平梯度。表层水体盐度的水平分布沿湾外方向有明显的梯度变化, 盐度的水平分布如图 2 所示。春季盐度范围为 14.3 ~ 30, 均值为 21.8; 秋季盐度范围为 12.7 ~ 21.8, 均值为 17.9。2 季盐度均呈现自湾内向湾外增加的趋势。

2.2 浮游动物群落结构

2.2.1 种类组成

杭州湾南岸附近水域春秋两季共鉴定出浮游动物 32 种, 分属于 9 大类, 其中, 桡足类种类最多, 其次为浮游幼体, 再次为糠虾类和十足类(表 1)。

春季检测到浮游动物 8 大类 18 种, 秋季检测到 7 大类 25 种, 2 季相同的浮游动物种类有 11 种, 其种类数水平分布如图 3 所示。由图 3 可见, 春秋两季种类数分布存在较大差别, 春季靠近湾内一侧和金塘岛附近种类较多, 而秋季则呈现由近岸一侧较少向离岸一侧较多的趋势。

2.2.2 优势种分布及对总丰度分布的贡献

从优势度上看(表 2), 春季的浮游动物优势种为虫肢歪水蚤 (*Tortanus vermiculus*)、中华华哲水蚤 (*Sinocalanus sinensis*)、中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 和短额刺糠虾 (*Acanthomysis brevirostris*), 其中, 虫肢歪水蚤的优势度为 0.76, 远高于其他优势种, 为绝对优势种, 其平均丰度占浮游动物总丰度的 76.45%; 秋季的浮游动物优势种为左突唇角水蚤 (*Labidocera sinilobata*)、百陶箭虫 (*Sagitta bedoti*)、真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*) 和刺尾角水蚤 (*Pontella spinicauda*), 其

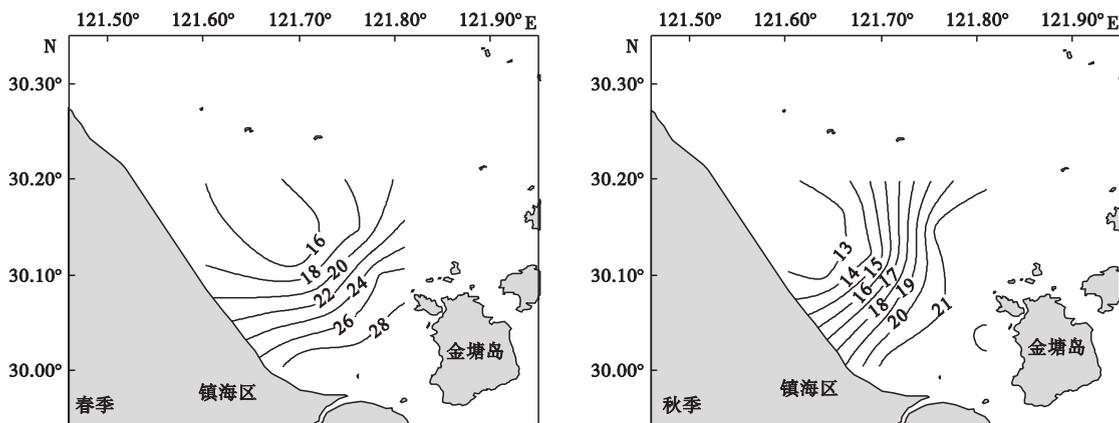


图 2 杭州湾南岸附近水域表层海水盐度的水平分布示意图

Fig. 2 Horizontal distribution of surface water salinity in the south part of Hangzhou Bay

表1 杭州湾南岸附近水域春、秋季浮游动物种类组成
Table 1 Species composition of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay in spring and autumn

浮游动物类群	春季	秋季	总计
枝角类	1	0	1
桡足类	5	9	12
端足类	1	1	1
磷虾类	2	1	2
十足类	0	3	3
糠虾类	3	3	3
涟虫类	1	0	1
毛颚类	1	1	2
浮游幼体	4	7	7
合计	18	25	32

中,左突唇角水蚤的平均丰度为 $378.10 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 占浮游动物总丰度的 65.32%, 其优势度为 0.54, 也远高于其他优势种, 同样为绝对优势种。

从对总丰度的贡献上看(表2), 春季对总丰度

有显著贡献($P < 0.05$)的优势种有中华华哲水蚤和短额刺糠虾; 对总丰度贡献极显著($P < 0.001$)的优势种有虫肢歪水蚤和中华哲水蚤2种, 其中仍以虫肢歪水蚤对总丰度贡献值 β 较大(0.85), 远远超过中华哲水蚤(0.19)。秋季, 对总丰度有显著贡献的仅有百陶箭虫1种($P = 0.01$); 对总丰度贡献极显著($P < 0.001$)的也仅有左突唇角水蚤一种, β 值高达0.93; 真刺唇角水蚤和刺尾角水蚤虽然是优势种, 但对总丰度的贡献不显著。

2.2.3 浮游动物多样性分布 杭州湾南岸附近水域浮游动物春季的 Shannon 多样性指数范围为 0.66 ~ 2.62, 均值为 1.56; 秋季范围为 0.61 ~ 2.64, 均值为 1.60, 秋季的多样性指数略高于春季。方差分析表明, 春、秋季的多样性差异不显著($F = 0.029, P > 0.05$)。其水平分布如图5所示。由图5可见, 浮游动物的多样性指数在春季呈现靠近南岸和金塘岛近岸水域多样性指数较高, 离岸水域多样性指数较低,

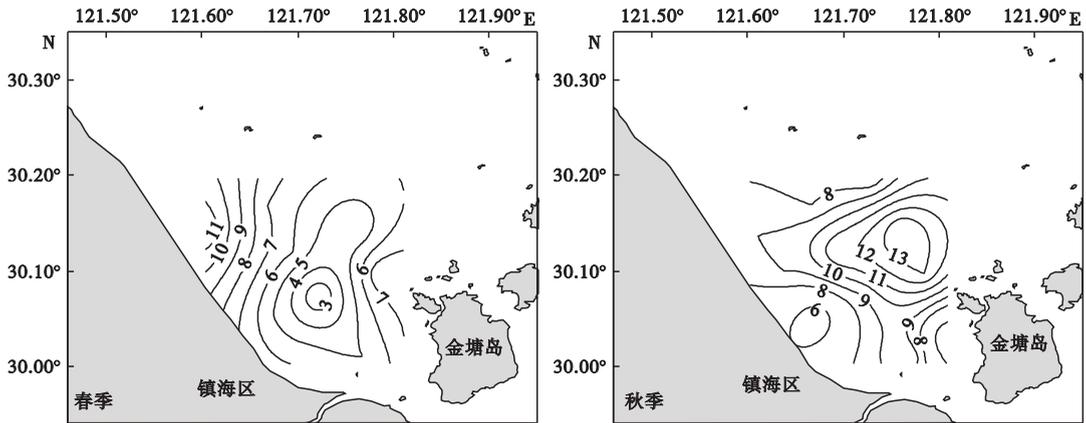


图3 杭州湾南岸附近水域浮游动物种类数的水平分布示意图

Fig. 3 Horizontal distribution of species of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay

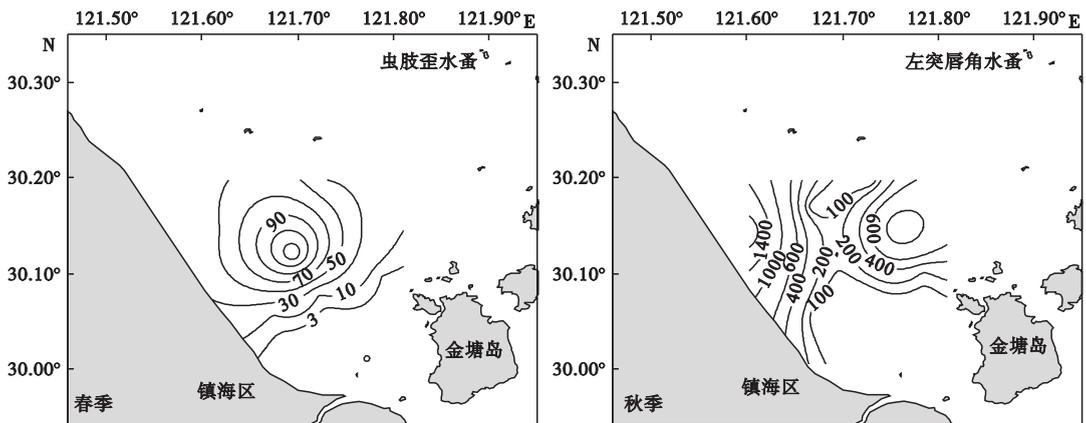


图4 春、秋季主要优势种丰度的水平分布示意图 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$)

Fig. 4 Horizontal distribution of abundance of dominant species in spring and autumn

表 2 优势种的优势度、平均丰度及对总丰度的贡献 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$)Table 2 Dominance (Y), average abundance (\bar{x}), and contribution to total abundance of dominant species

季节	优势种	拉丁名称	Y	β	P	\bar{x}	$N(\%)$
春季	虫肢歪水蚤	<i>Tortanus vermiculus</i>	0.76	0.85	3.98×10^{-7}	31.81	76.45
	中华华哲水蚤	<i>Sinocalanus sinensis</i>	0.05	0.11	0.03	2.83	6.79
	中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	0.03	0.19	1.1×10^{-4}	1.51	3.64
	短额刺糠虾	<i>Acanthomysis brevirostris</i>	0.03	0.06	0.02	1.47	3.53
秋季	左突唇角水蚤	<i>Labidocera sinilobata</i>	0.54	0.93	2.3×10^{-7}	378.10	65.32
	百陶箭虫	<i>Sagitta bedoti</i>	0.13	0.11	0.01	80.17	13.85
	真刺唇角水蚤	<i>Labidocera euchaeta</i>	0.07	0.08	0.16	47.40	8.19
	刺尾角水蚤	<i>Pontella spinicauda</i>	0.02	0.12	0.05	17.56	3.03

Y 为优势度; β 为标准回归系数; P 为显著性; \bar{x} 为平均丰度; $N\%$ 为丰度百分比。

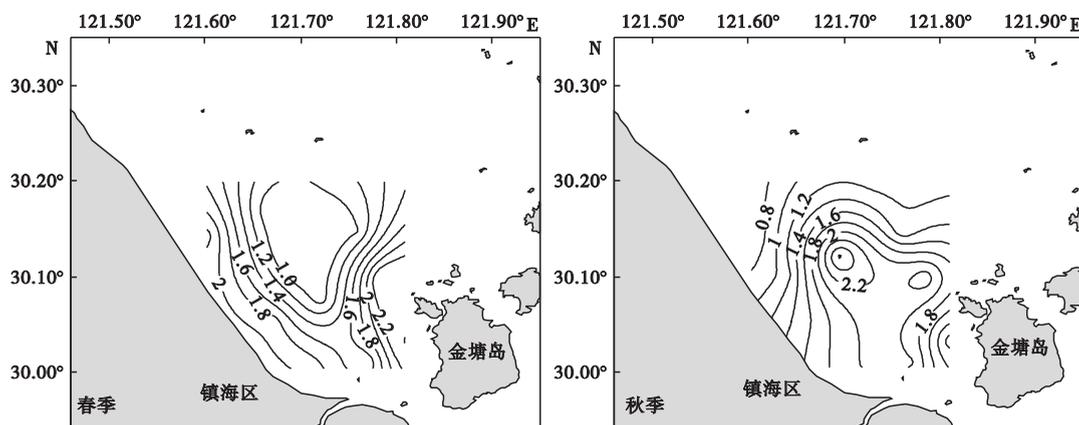
图 5 杭州湾南岸附近水域浮游动物多样性指数 (H') 值的水平分布示意图

Fig. 5 Horizontal distribution of diversity index of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay

而秋季呈现自湾内向湾外增加的趋势。春、秋季多样性指数的空间分布差异较大,这可能与南岸水域不同季节受到钱塘江径流、长江径流和东海外海水的影响不同有关(朱启琴,1988)。

2.3 浮游动物生物量和丰度分布

浮游动物生物量的水平分布如图 6。春季浮游动物的生物量范围为 $13.89 \sim 103.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 均

值为 $61.82 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由图 6 可知,春季浮游动物的总生物量靠近湾内一侧较高,湾外一侧较低,湾内一侧靠近近岸水域总生物量最大。秋季浮游动物的生物量范围为 $126.25 \sim 1258.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 均值为 $580.58 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由图 6 可见,秋季浮游动物的总生物量离岸一侧和湾内一侧较高,湾外一侧总生物量明显较低。

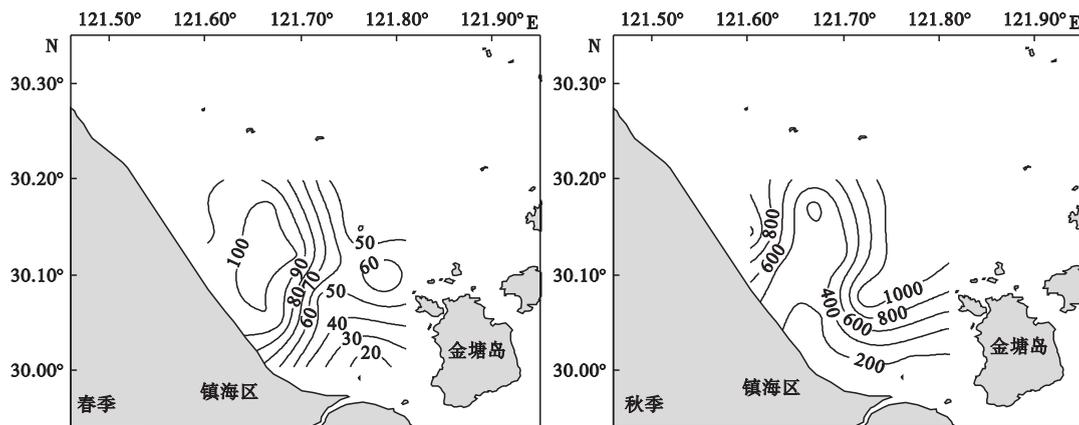
图 6 杭州湾南岸附近水域浮游动物总生物量的水平分布示意图 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Fig. 6 Horizontal distribution of total biomass of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay

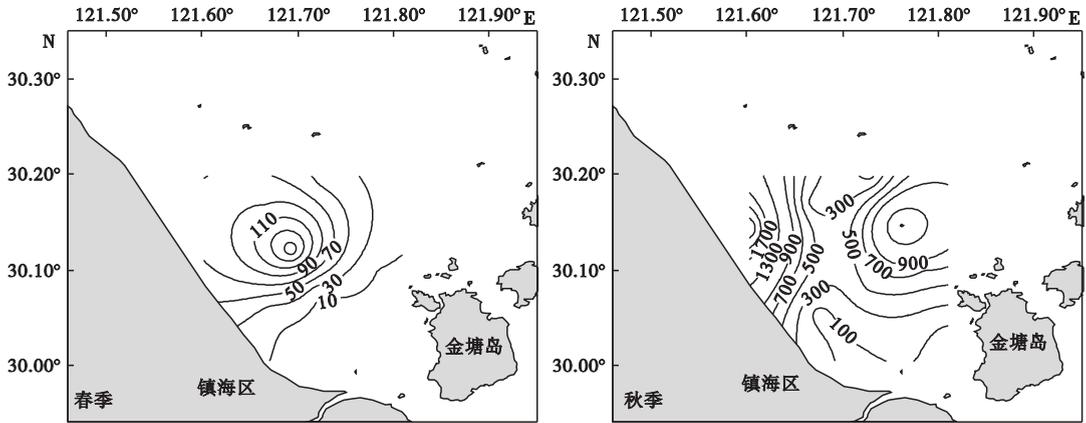


图7 杭州湾南岸附近水域浮游动物总丰度的水平分布示意图($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$)

Fig. 7 Horizontal distribution of total abundance of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay

表3 浮游动物群落与环境因子的回归方程

Table 3 Regression equation of zooplankton community and environmental variables

季节	回归方程	P				β			
		T	S	pH	DO	T	S	pH	DO
春季	总生物量: $W=137.95-3.49S$	-	0.03	-	-	-	-	-	-
	总丰度: $N=-391.64+55.69DO$	-	-	-	0.002	-	-	-	-
	多样性指数: $H'=10.55-0.29T-0.42DO$	0.004	-	-	0.03	-0.66	-	-	-0.44
秋季	种类数: $S=-81.95-1.44T-0.22M+15.16pH$	0.001	0.02	0.02	-	-0.91	-0.52	0.45	-
	总生物量: $W=30015.8-1517.86T+410.86S$	0.007	0.007	-	-	-3.17	3.18	-	-
	多样性指数: $H'=-44.83+1.90T-0.31M+0.78DO$	0.004	0.03	-	0.02	3.19	-1.94	-	0.99

P : 显著性; β : 标准回归系数; T: 表温; S: 表盐; pH: 表层 pH; DO: 表层溶解氧; -未出现。

浮游动物丰度的水平分布如图7。春季的丰度范围为 $4.64 \sim 163.33 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 均值为 $41.61 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由图7可知, 春季总丰度总体表现为自湾外向湾内递增的趋势, 越靠近湾内, 浮游动物的总丰度越大; 秋季浮游动物的丰度范围为 $18.00 \sim 2303.33 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 均值为 $578.88 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$; 秋季总丰度总体呈现为自湾外向湾内近岸一侧和湾外东部水域增加的趋势。

2.4 浮游动物群落与环境因子的关系

从表3可知, 在春季, 总生物量与表盐存在显著负相关关系; 总丰度与表层溶解氧存在显著的正相关关系; 多样性指数与表温和表层溶解氧存在显著的负相关关系; 种类数与表温有极显著的负相关关系, 与表盐有显著的负相关关系, 与 pH 有显著的正相关关系。

在秋季(表3), 总生物量对表温、表盐均有显著的相关关系, 总生物量与表温成显著负相关, 与表盐成显著正相关; 总丰度、种类数与表温、表盐、表层 pH 和表层溶解氧均无显著性相关关系; 多样性指数与表温和表层溶解氧存在显著的正相关关系, 与表盐存在显著的负相关关系。

3 讨论

3.1 优势种的分布与水团的关系

作为春季杭州湾南岸占绝对优势的种类(表2), 虫肢歪水蚤的丰度在湾内较高, 湾外较低, 呈现自湾内向湾外减少的趋势, 其高值区出现在5#站位湾内附近水域(图4), 该水域盐度相对其他站位来说较低(图2), 盐度为14.3, 而虫肢歪水蚤属于暖温带近岸低盐类群, 其对盐度变化适应范围约为 $10 \sim 28$ (陈华和徐兆礼, 2010), 因而虫肢歪水蚤容易在5#站位附近水域聚集, 其个体丰度也达到了 $146.67 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 远高于其他站位。湾外其他水域的盐度相对较高, 所以虫肢歪水蚤的分布相对较少。这也因为春季杭州湾南岸水域主要受到东海外海水的影响, 钱塘江径流和长江径流较小, 外海水使得湾外盐度较高, 湾内近岸水域盐度相对较低, 因而虫肢歪水蚤在该水域分布呈现梯度变化。

由图4可见, 左突唇角水蚤作为秋季绝对优势种, 呈现自湾外向湾内近岸一侧和东部离岸一侧逐渐增加的分布趋势, 其高值区出现在靠近湾内的近岸水域1#站位附近, 其个体丰度达到了 2106.67

$\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$,次高值区出现在湾外东部水域的6#站位附近,其个体丰度为 $1408.00 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。而这2个水域的盐度均不高,1#站位的盐度为12.7,为整个调查水域最低值,6#站位的盐度为21.6。这可能是由于秋季钱塘江和长江处于丰水期,径流量较大,钱塘江径流对湾内1#站位附近水域盐度影响较大,而6#站位附近水域盐度受长江径流影响较为明显。左突唇角水蚤在生态习性上属于近岸低盐类群(王婕妤等,2008),盐度相对较低,比较适合其生长,这就是左突唇角水蚤在这2个水域附近丰度较高的原因。另外,由于势力增强的径流与东海外海水在南岸水域混合,对南岸水域海水的温度和盐度影响都较大,秋季的温度比春季偏高,盐度偏低,也比较适合暖温带近海类群百陶箭虫和近岸低盐类群真刺唇角水蚤(王婕妤等,2008)的生长。

春秋季节杭州湾南岸水域优势种的分布规律主要受到水团的季节变化影响。

3.2 总生物量的变化与水团的关系

从图6可以看出,春季,杭州湾南岸浮游动物总生物量的最高值出现在2#站位附近水域,为 $103.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$;最低值出现在11#站位附近水域,为 $13.89 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。越往湾外一侧,总生物量越低,总体呈现自湾外向湾内近岸增加的趋势。春季每个站位浮游动物的生物量普遍都很低(朱延忠等,2011)。2#站位附近水域盐度较低,为15.4;11#站位附近水域盐度较高,为28.8。而对2#站位附近水域总生物量贡献最大的是虫肢歪水蚤,由讨论3.1可知,虫肢歪水蚤在此聚集的原因是靠近湾内水域受钱塘江径流影响较大,盐度相对较低,适合虫肢歪水蚤的生长,因而2#站位附近水域总生物量相对较高。越往湾外,杭州湾南岸水域钱塘江径流和长江径流越小,盐度越高,适合浮游动物生长的营养物质不够丰富,因而导致春季总生物量整体呈现向湾外减少的趋势。

而秋季,浮游动物的生物量范围在 $126.25 \sim 1258.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,均值高达 $580.58 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,最小值也为 $126.25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,高于春季的最大生物量,出现在2#站位附近水域(图6)。总生物量总体呈现为自湾外向湾内一侧和东部离岸一侧增加的趋势,且每个站位的总生物量基本都比较高。生物量高值则出现在1#和6#站位,1#站位位于湾内的近岸水域,其生物量为 $1258.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,6#站位则位于湾外的东部水域(图6),其生物量为 $1186.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,而对这2个站位生物量贡献最大的是绝对优势

种左突唇角水蚤(表2)。由讨论3.1可知,这是由于秋季钱塘江径流和长江径流处于丰水期,径流大,使得湾内1#站位附近水域和湾外6#站位附近水域盐度偏低,适合左突唇角水蚤在此生长,因而这2个水域的总生物量较高。加上径流与外海水在南岸水域交汇,带来了大量丰富的营养物质,适宜的温度和盐度比较适合浮游生物的生长(徐兆礼等,2004),因而秋季杭州湾南岸附近水域浮游动物的总生物量相对春季来说是比较高的。

水团的季节变化影响了优势种的分布模式,从而影响了杭州湾南岸水域总生物量的分布规律。

3.3 总丰度的分布与重要种类的关系

浮游动物的优势种对总丰度的分布模式有很大的影响,一般依据优势种对总丰度回归贡献率的高低来衡量该种类的分布对总丰度分布模式形成的影响的大小(田丰歌和徐兆礼,2012)。通常从优势种里选取对总丰度贡献极显著($P < 0.001$), β 值 > 0.30 的种类,称之为重要种类。

由表2可见,春季的重要种类是虫肢歪水蚤,其对总丰度变化的贡献值 β 高达0.85。由图4和图7可见,虫肢歪水蚤的丰度分布模式正与春季浮游动物总丰度的分布模式相一致,即呈现自湾外向湾内递增的趋势。由此可见,在春季,浮游动物总丰度所形成的分布模式,主要受到虫肢歪水蚤分布的影响。

在秋季,该水域的重要种类是左突唇角水蚤, β 值高达0.93(表2),比春季的虫肢歪水蚤的 β 值还高。从图4和图7可以看出,左突唇角水蚤的丰度分布模式与秋季浮游动物总丰度的分布模式同样相一致,自湾外向湾内近岸一侧和东部离岸一侧逐渐增加,高值区出现在湾外的东部水域和湾内的近岸水域。可见在秋季,左突唇角水蚤的分布对浮游动物总丰度的分布模式起到了最主要的影响。

3.4 环境因子对浮游动物群落的影响

有研究表明,浮游动物分布与温度、盐度等环境因素存在密切关系(Gouveia *et al.*, 1999; Dauvin, 2002)。而对于杭州湾南岸附近水域浮游动物的分布与环境因子的关系,通过逐步回归分析发现,不同的环境因子在不同季节对浮游动物群落的影响有所不同。

在春季,由表3可知,表盐对浮游动物的总生物量的分布有显著影响,二者存在负相关关系,而由讨论3.1及3.2得出,绝对优势种虫肢歪水蚤对浮游动物总生物量的分布有较大影响,其分布模式呈现自

湾外盐度较高水域向湾内盐度较低水域增加的趋势,故盐度降低,总生物量增加。而总丰度与表层溶解氧有显著正相关关系,充足的溶解氧量可以有助于浮游动物进行摄食和活动(吴利等,2011)。由图5可以看出,多样性指数在近岸水域较高,离岸水域偏低,高值区域出现在靠近金塘岛的9#、12#站位及湾内近岸的1#站位附近水域,这3个站位的温度均偏低,这与回归分析的结果一致,即温度对多样性指数的分布呈负相关影响。同样,温度对种类数的分布影响也较大。由图3可以看出,种类数在春季靠近湾内近岸一侧和金塘岛附近种类较多,高值区出现在湾内1#站位附近水域,可能是由于钱塘江径流冲刷湾内近岸水域,使得该水域温度和盐度相对其他站位较低,比较适合近岸低盐类群如虫肢歪水蚤、广温广盐类群如中华哲水蚤等在此聚集,因而种类数较高,这与表3的回归方程得出的结果相一致,即表温和种类数呈极显著负相关,表盐和种类数呈显著负相关。

在秋季,该水域主要受到钱塘江径流、长江径流和外海水的相互作用,冲淡水带来了大量丰富的营养盐,也使得该水域的盐度在12.7~21.8,平均水温比春季高4.7℃,比较适合近岸低盐类群如左突唇角水蚤和真刺唇角水蚤、暖温带近海类群如百陶箭虫在此生活,而左突唇角水蚤、真刺唇角水蚤和百陶箭虫对总生物量的分布有重要影响,这与表3的回归分析结果一致,即表温、表盐均对总生物量的分布有较大的影响(徐兆礼等,2004)。回归分析发现,浮游动物的总丰度分布和种类数分布受到4个环境因子的影响较小,均无显著相关关系。从表3可以看出,对浮游动物多样性指数影响最大的是表温,二者之间存在显著的正相关关系,而秋季多样性指数总体呈现自湾内向湾外增加的分布趋势(图5),温度虽无明显水平梯度,但也呈现向湾外增加的趋势,由此可见,在一定范围内,温度升高,多样性指数增加,即温度是影响秋季浮游动物多样性指数的至关重要因素。

总之,温度和盐度对杭州湾南岸附近水域的春秋浮游动物的群落特征有较大影响。这与前人(Attrill,2002;郑金秀等,2011)的研究结果一致,即温盐是影响浮游动物群落极为重要的因子。

3.5 杭州湾南岸浮游动物与椒江口浮游动物比较

比较近年来杭州湾南岸和椒江口浮游动物(杜萍等,2011)的调查结果,杭州湾南岸附近水域春秋

季浮游动物的种类数均比椒江口海域的种类数少,生物量在春季杭州湾南岸明显低于椒江口,而在秋季杭州湾南岸明显高于椒江口。

由讨论3.4可知,水温、盐度、潮汐以及径流等环境因子对浮游动物的群落结构有较大的影响,其中水温和盐度是影响浮游动物的种类数和生物量的重要因素。春季椒江口的平均水温高于杭州湾南岸水域,平均盐度相近,通常相对较高的温度能增加浮游动物的种类数与生物量,因此,春季椒江口的浮游动物种类数和生物量高于杭州湾南岸。在秋季,杭州湾南岸水域的平均水温高于椒江口水域,平均盐度低于椒江口水域,因而杭州湾南岸的生物量高于椒江口,而椒江口的浮游动物种类数多于杭州湾南岸的原因可能与它的动力环境条件有关,秋季椒江口水域主要受到椒江径流、长江冲淡水和台湾暖流高盐水等多个水团的影响(齐海明和徐兆礼,2013),因此物种比较丰富。

致谢 本文撰写过程得到沈晓民先生的大力指导和帮助,阙江龙、齐海明、徐捷、康伟等帮助采集样品,谨致谢忱!

参考文献

- 陈华,徐兆礼. 2010. 杭州湾洋山工程群对邻近水域浮游动物数量分布的影响. 中国水产科学, **17**(6): 1319-1326.
- 陈佳杰,徐兆礼,王翠华. 2012. 舟山渔场金塘岛海域春夏季鱼类群落. 生态学杂志, **31**(4): 931-938.
- 杜萍,徐晓群,刘晶晶. 2011. 椒江口春、秋季浮游动物分布特征及与主要环境因子的关系. 应用与环境生物学报, **17**(4): 486-494.
- 国家质量技术监督局. 2007a. 海洋监测规范第4部分:海水分析(GB 17378.4-2007). 北京:中国标准出版社.
- 国家质量技术监督局. 2007b. 海洋监测规范第6部分:海洋生物调查(GB 12763.6-2007). 北京:中国标准出版社.
- 黄备,王婕妤,沈明富,等. 2012. 浙江北部海域春季浮游动物的群落结构研究. 中国环境监测, **28**(4): 64-68.
- 纪焕红,叶属峰,黄秀清. 2004. 上海市金山三岛海域浮游动物分布特征. 海洋通报, **23**(5): 87-91.
- 齐海明,徐兆礼. 2013. 椒江口海域春秋季节虾类资源分布与环境的关系. 生态学杂志, **32**(8): 2062-2069.
- 田丰歌,徐兆礼. 2012. 福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系. 生态学报, **32**(4): 1097-1104.
- 王婕妤,唐静亮,胡颖琰,等. 2008. 浙江近岸海域浮游动物的生态分布特征. 浙江海洋学院学报:自然科学版, **27**(4): 384-389.
- 吴利,冯伟松,张堂林,等. 2011. 春、秋季西湖浮游动物群落特征及其与环境因子的关系. 水生态学杂志, **32**

- (2): 31-37.
- 徐兆礼, 晁敏, 陈亚瞿. 2004. 东海浮游动物生物量分布特征. *海洋学报*, **26**(3): 93-101.
- 徐兆礼, 陈亚瞿. 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲆渔场的关系. *生态学杂志*, **8**(4): 13-15.
- 徐兆礼, 沈新强, 马胜伟. 2005. 春、夏季长江口邻近水域浮游动物优势种的生态特征. *海洋科学*, **29**(12): 13-19.
- 徐兆礼, 沈新强, 袁骐, 等. 2003. 杭州湾洋山岛周围海域浮游动物分布特征. *水产学报*, **27**(增刊): 69-75.
- 徐兆礼, 沈新强. 2005. 长江口水域浮游动物生物量及其年际变化. *长江流域资源与环境*, **14**(3): 282-286.
- 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 1995. 长江口最大浑浊带浮游动物的生态研究. *中国水产科学*, **2**(1): 39-48.
- 徐兆礼. 2005. 长江口邻近水域浮游动物群落特征及变动趋势. *生态学杂志*, **24**(7): 780-784.
- 俞存根, 陈小庆, 胡颢琰, 等. 2011. 舟山渔场及邻近海域浮游动物种类组成及群落结构特征. *水生生物学报*, **35**(1): 183-193.
- 郑金秀, 胡菊香, 彭建华, 等. 2011. 长江口南北支浮游动物群落生态学研究. *生态环境学报*, **20**(6-7): 1102-1106.
- 朱启琴. 1982. 杭州湾环境污染对浮游动物影响的初步研究. *海洋渔业*, (5): 211-214.
- 朱启琴. 1988. 长江口、杭州湾浮游动物生态调查报告. *水产学报*, **12**(2): 111-123.
- 朱延忠, 刘录三, 郑丙辉. 2011. 春季长江口及毗邻海域浮游动物空间分布及与环境因子的关系. *海洋科学*, **35**(1): 59-65.
- Araujo HMP, Nascimento-Vieira DA, Neumann-Leitao S, *et al.* 2008. Zooplankton community dynamics in relation to the seasonal cycle and nutrient inputs in an urban tropical estuary in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **68**: 751-762.
- Attrill MJ. 2002. A testable linear model for diversity trends in estuaries. *Journal of Animal Ecology*, **71**: 262-269.
- Dauvin JC. 2002. Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English Channel). *Oceanologica Acta*, **25**: 13-22.
- Gouveia I, Miguel C. 1999. Plankton of Guadiana Estuary: Seasonal distribution and relation with environmental parameters: Preliminary results. *Revista de Biologia*, **17**: 179-192.
- Morgado F, Quintaneiro C, Rodrigues E, *et al.* 2007. Composition of the trophic structure of zooplankton in a shallow temperature estuary (Mondego estuary, western Portugal). *Zoological Studies*, **46**: 57-68.
- Primo AL, Azeiteiro UM, Marques SC, *et al.* 2009. Changes in zooplankton diversity and distribution pattern under varying precipitation regimes in a southern temperature estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **82**: 341-347.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, **27**: 379-423.

作者简介 张冬融,男,1991年生,硕士研究生,主要从事海洋生态学研究。E-mail: walyf670577030@126.com
责任编辑 李凤芹
