

南黄海近岸海域初夏浮游动物的群落特征

李奕璇^{1,2}, 葛汝平^{1,2}, 叶振江³, 陈洪举^{1,2}, 庄昀筠^{1,2}, 刘光兴^{1,2}

(1. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 采用 2016 年 7 月和 2017 年 6—7 月在南黄海近岸海域获取的浮游动物样品, 研究了种类组成、丰度、生物量、优势种和生物多样性的变化, 并分析其与环境因子的相关性关系。结果显示, 两个航次的温盐及浮游动物群落特征差异较大。2016 年 7 月表层平均温度为(22.8 ± 1.8)℃, 表层平均盐度为 30.0 ± 1.6; 2017 年 6—7 月表层平均温度为(25.7 ± 3.6)℃, 表层平均盐度为(27.8 ± 4.3)℃。2016 年浮游动物的种类数为 70 种(含浮游幼虫 24 类), 2017 年种类数为 56 种(含浮游幼虫 18 类)。2016 年浮游动物平均丰度(4 838.2 ± 5 186.7 ind·m⁻³)和平均湿重生物量(324.9 ± 481.5 mg·m⁻³)均高于 2017 年(2 652.4 ± 3 507.5 ind·m⁻³, 216.6 ± 245.2 mg·m⁻³)。两个航次共同的优势种为小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)和双毛纺锤水蚤(*Acartia bifilosa*)。2016 年 7 月的生物多样性略高于 2017 年 6—7 月。温、盐等水文特征的差异是造成 2016 年和 2017 年夏季浮游动物群落结构变化的主要原因。

关键词: 浮游动物; 南黄海; 群落特征; 年际变化

中图分类号: P735 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)04-0033-11

DOI: 10.11759/hyxx20191030001

南黄海是我国重要的陆架边缘海, 受苏北沿岸水、黄海暖流、长江冲淡水等的共同影响, 不同季节间海域环流复杂多变^[1], 海洋生物群落分布较复杂且群落结构的时空差异显著。同时, 南黄海有丰富的渔业资源, 分布着众多浅海渔场, 是很多经济鱼类的主要产卵场和育幼场。

浮游动物作为次级生产者, 是连接海洋食物网中初级生产力和高营养级的关键环节, 其群落变化直接或间接地影响海洋生态系统。浮游动物作为经济鱼类的饵料来源, 特别是仔稚鱼的饵料, 其时空分布在很大程度上决定了不同鱼种的补充机制。目前, 关于南黄海浮游动物的研究有较多的报道^[2-4]。Liu 等^[5]研究了 2006—2007 年 4 个季节南黄海冷水团浮游动物种类组成、生物量、丰度和生物多样性的时空变化; 贺雨涛等^[6]探究了 2008 年 8 月南黄海浮游动物的群落特征及结构; 陈学超等^[7]分析了 2014 年 4—5 月和 11 月南黄海浮游动物的群落结构变化及其与环境因子的关系。此外, 也有一些针对特定生物类群时空变化的报道, 如, 时永强等^[8]研究了 1959 年和 2000—2009 年 6 月南黄海浮游动物 6 种功能群(大型甲壳类、大型桡足类、小型桡足类、毛颚

类、水母类和海樽类)的时空变化; 左涛等^[9]研究了 2000—2002 年 6 月南黄海鳀鱼产卵场小型桡足类在数量空间分布上的年际差异。但目前我们对南黄海近岸海域浮游动物群落特征的认识还不充分。

本文利用 2016 年 7 月和 2017 年 6—7 月在南黄海近岸海域开展的浮游动物调查, 对比研究了两个航次浮游动物的种类组成、优势种和丰度等, 并分析了浮游动物群落结构与环境因子之间的关系, 探讨两个航次群落特征产生差异的原因。本文可为深入探讨南黄海的年际生态环境变化以及浮游动物与环境相互作用提供基础数据。

收稿日期: 2019-10-30; 修回日期: 2019-12-09

基金项目: 国家重点研发计划(项目编号: 2016YFA0601202); 国家自然科学基金项目(41876177); 中央高校科研基本业务费项目(201822027) [Foundation: National Key Research and Development Program of China, No. 2016YFA0601202; National Natural Science Foundation of China, No. 41876177; The Fundamental Research Funds for the Central Universities, No. 201822027]

作者简介: 李奕璇(1996-), 女, 山东省青岛市人, 硕士研究生, 从事海洋浮游生物生态学研究, Email: liyixuan_@outlook.com; 陈洪举(1982-), 通信作者, 男, 副教授, E-mail: hongjuc@ouc.edu.cn

1 材料与方法

1.1 站位设置及采样方法

分别于2016年7月1日—7月17日(2016年航次)和2017年6月20日—7月5日(2017年航次)在南黄海近岸海域进行采样调查。2016年航次68个站位,2017年航次64个站位(图1)。浮游动物样品采用WP2网(网口内径为57 cm, 筛绢孔径为202 μm)底表垂直拖网采集, 保存于5%福尔马林海水溶液, 实验室内使用体视显微镜(SZM-LED2, OPTIKA)对浮游

动物进行分类鉴定计数。浮游动物湿重生物量采用电子天平(JA2003N, 上海精密仪器仪表有限公司)称量。以上操作均参照《海洋监测规范》(GB/T 17378—2007)。现场温度、盐度和水深等环境参数由随船CTD(rbr-xr-420 CTD)测定。

1.2 数据处理

浮游动物的丰度和湿重生物量根据采样时的滤水体积, 以每立方米水体中个体数和湿重(ind·m⁻³, mg·m⁻³)表示。

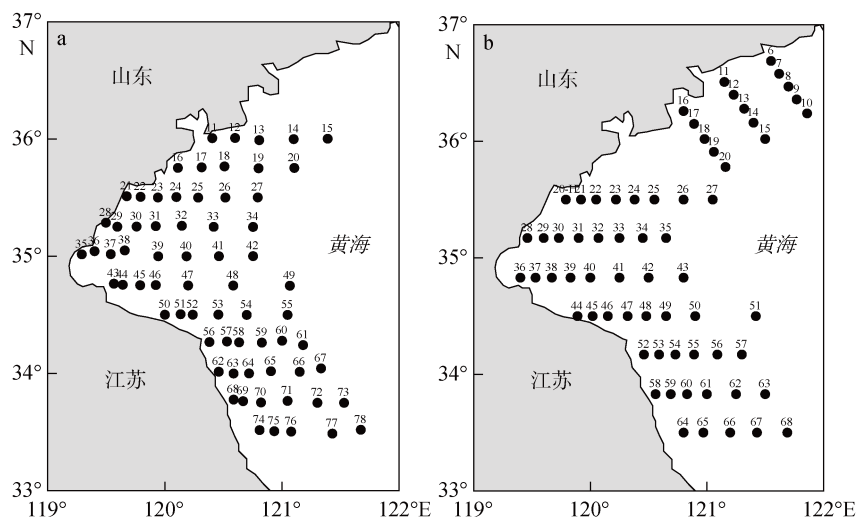


图1 调查站位图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

注: a: 2016年; b: 2017年

优势度由 $Y=(n_i/N) \times f_i$ 得出, 其中 n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种类总个体数, f_i 为出现频率。 $Y \geq 0.02$ 的种类视为优势种类^[10]。

多样性指数以香农-威纳指数(H')表示^[11], 反映物种个体出现的紊乱度和不确定性。

使用 surfer8.0 绘制站位图、丰度及生物量分布图。使用 PRIMER6.0 软件的 Dominance plot 程序绘制累计优势度曲线(K-dominance curve)^[12], 排列浮游动物丰度以表征群落中物种的均匀度和丰度百分比。使用 SPSS 软件进行相关性分析, 采用 Spearman 相关性系数分析浮游动物丰度、生物量及多样性与环境因子之间的关系, 环境因子包括海水表、底层温度、表、底层盐度及水深。

2 结果

2.1 水文环境

2016年7月表层与底层平均温度为 22.8 ± 1.8 °C

和 20.3 ± 4.3 °C, 表层和底层平均盐度为 30.0 ± 1.6 和 30.2 ± 1.8 , 平均水深 20.2 ± 6.7 m; 2017年6—7月表层与底层平均温度为 25.7 ± 3.6 °C 和 22.0 ± 7.2 °C, 表层和底层平均盐度为 27.8 ± 4.3 和 27.6 ± 5.5 , 平均水深 21.8 ± 7.9 m (表1)。两个航次的表层温度、表层盐度、底层盐度有极显著差异 ($P < 0.01$)。2016年表层温度总体呈现由南向北逐渐降低的趋势, 低值区位于研究海域的中部和北部; 2017年表层温度呈现由沿岸向外海先降低后升高的趋势, 低值区位于研究海域中部及山东半岛东北部沿岸(图2)。2016年与2017年表层盐度均总体呈现由东北向西南逐渐降低的趋势(图2)。

2.2 浮游动物种类组成

2016年航次共记录浮游动物70个种类, 其中成体46种, 浮游幼虫24类(终生浮游动物幼虫4类, 底栖动物及游泳动物幼虫20类)(表2)。浮游幼虫种类

数占比最高, 达 34.3%, 其次为桡足类和水螅水母, 占比分别为 21.4%和 20.0%。2017 年共记录浮游动物 56 个种类, 其中成体 37 种, 浮游幼虫 18 类(终生浮

游动物幼虫 3 类, 底栖动物及游泳动物幼虫有 15 类)。浮游幼虫占比最高, 达到 32.1%, 其次是桡足类和水螅水母, 分别占比 26.8%和 14.8%。

表 1 研究海域 2016 年、2017 年环境因子情况

Tab. 1 Average water temperature, salinity, and depth in 2016 and 2017

时间	统计值	表层温度/°C	底层温度/°C	表层盐度	底层盐度	水深/m
2016	范围	15.4~26.2	10.0~25.4	24.6~32.0	23.1~32.1	8.3~34.9
	平均值	22.8±1.8	20.3±4.3	30.0±1.6	30.2±1.8	20.2±6.7
2017	范围	19.8~31.6	9.9~31.9	20.8~32.2	16.9~32.6	5.5~37.9
	平均值	25.7±3.6	22.0±7.2	27.8±4.3	27.6±5.5	21.8±7.9

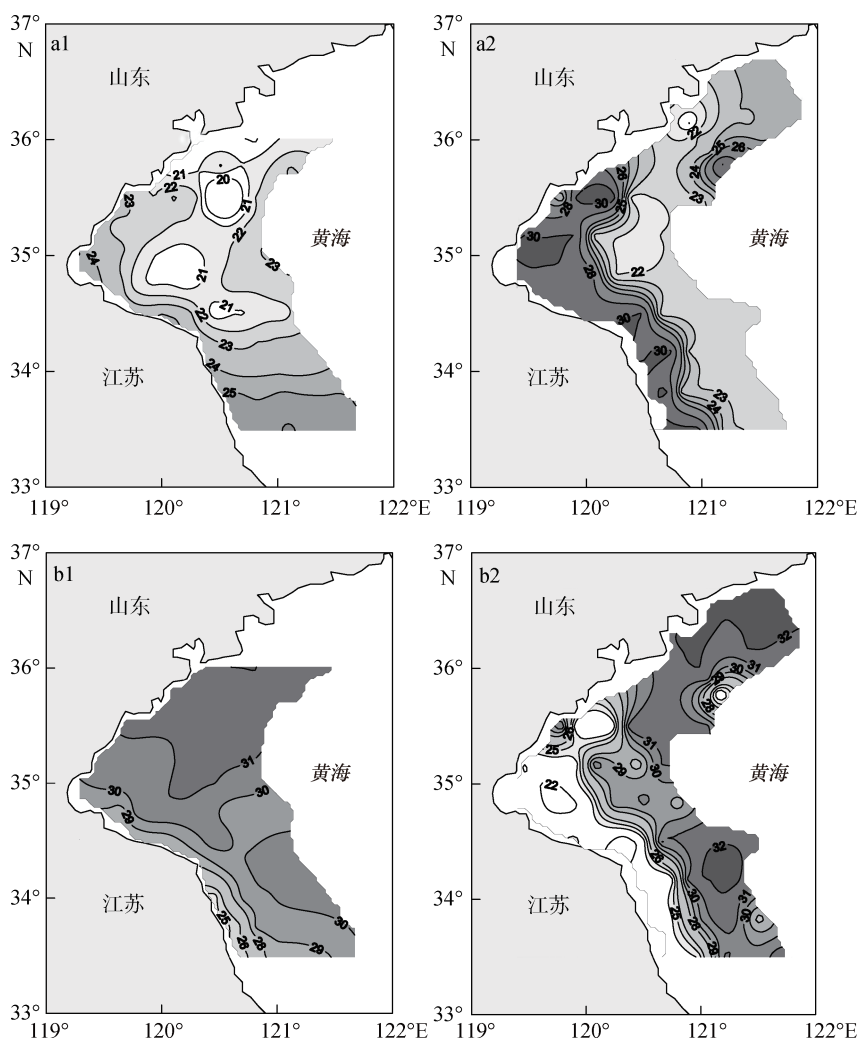


图 2 表层温度(°C)、表层盐度的平面分布

Fig. 2 Distribution of sea surface temperature (°C) and sea surface salinity

注: a1: 2016 年表层温度; a2: 2017 年表层温度; b1: 2016 年表层盐度; b2: 2017 年表层盐度

2.3 浮游动物丰度及生物量

2016 年研究海域浮游动物的平均丰度为 $4\ 838.2 \pm 5\ 186.7\ \text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$, 最高值出现在 38 号站($23\ 320.9\ \text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$), 最低值出现在 50 号站($55.6\ \text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)。研究海域浮游

动物丰度高值区主要分布在海州湾和苏北外海(图 3-a1)。2017 年研究水域浮游动物平均丰度为 $2\ 652.4 \pm 3\ 507.5\ \text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$, 最高值出现在 44 号站($17\ 328.0\ \text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$), 最低值出现在 48 号站($5.8\ \text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$), 丰度高值区主要

表 2 浮游动物种类组成及丰度

Tab. 2 Zooplankton species composition and abundance

门类	类群	2016 年		2017 年	
		种类数	平均丰度/(ind·m ⁻³)	种类数	平均丰度/(ind·m ⁻³)
原生动物		1	139.1 ± 725.1	1	159.2 ± 664.0
刺胞动物门	水螅水母	14	15.3 ± 28.2	8	37.2 ± 182.0
栉水母动物门	栉水母	2	0.2 ± 1.2	2	3.0 ± 10.0
	枝角类	2	1.9 ± 6.9	1	16.8 ± 42.5
	介形类	1	2.2 ± 7.3	1	0.4 ± 1.4
	桡足类	15	4 380.8 ± 4 882.6	15	2 282.0 ± 3 350.6
	端足类	3	0.9 ± 2.1	2	2.1 ± 7.3
节肢动物门	等足类	1	0.1 ± 0.9	-	-
	糠虾类	1	1.6 ± 6.9	1	2.2 ± 16.0
	磷虾类	2	0.6 ± 2.2	2	0.2 ± 0.9
	十足类	2	1.1 ± 2.4	2	0.3 ± 1.4
毛颚动物门	毛颚类	1	63.4 ± 90.6	1	4.6 ± 8.3
脊索动物门	被囊类	1	23.8 ± 50.6	2	25.2 ± 59.7
浮游幼虫		24	206.2 ± 311.1	18	119.1 ± 304.9
合计		70	4 838.2 ± 5 186.7	56	2 652.4 ± 3 507.5

注: - 表示该类群未出现

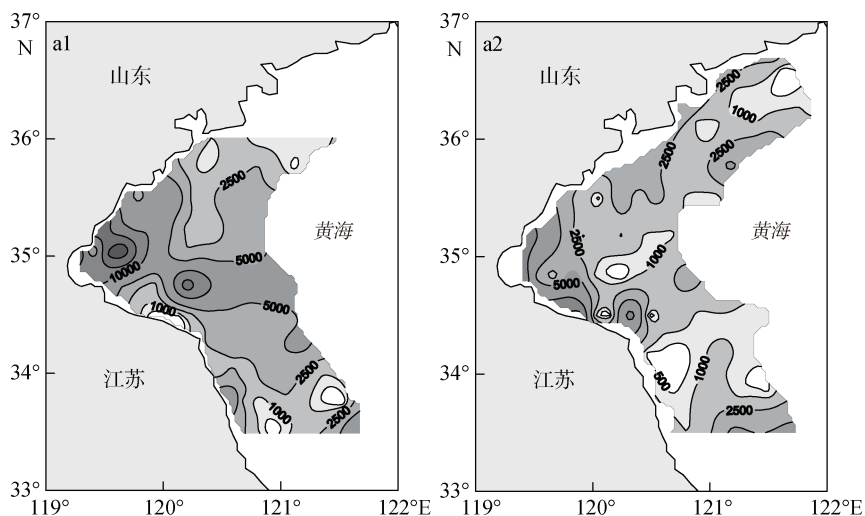
集中在海州湾外海,在其他海域浮游动物丰度分布较均匀(图 3-a2)。两航次浮游动物丰度差异极显著 ($P < 0.01$)。

2016 年浮游动物湿重生物量为 $3.31 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \sim 3 437.15 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均值为 $324.9 \pm 481.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 最低值位于 70 号站, 最高值位于 61 号站, 生物量高值区分布在研究海域的东南部(图 3-b1)。2017 年浮游动物生物量为 $63.9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \sim 1 624 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均值为 $216.6 \pm 245.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 最低值位于 8 号站, 最高值位于 44 号站。生物量高值区位于江苏沿岸及研究海域东南部, 离岸海域分布较均匀(图 3-b2)。2016 年浮游

动物湿重生物量高于 2017 年, 但两航次浮游动物湿重生物量差异不显著。

2.4 优势种

研究海区 2016 年浮游动物优势种为小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、近缘大眼剑水蚤 (*Corycaeus affinis*)、双毛纺锤水蚤 (*Acartia bifilosa*); 2017 年优势种为小拟哲水蚤、双毛纺锤水蚤、近缘大眼剑水蚤、拟长腹剑水蚤 (*Oithona similis*) 和桡足类无节幼虫 (Copepod nauplius)。拟长腹剑水蚤和桡足类无节幼虫在 2016 年不是优势种, 但丰度也比较高(表 3)。两航次浮游动物优势种的平面分布见图 4。



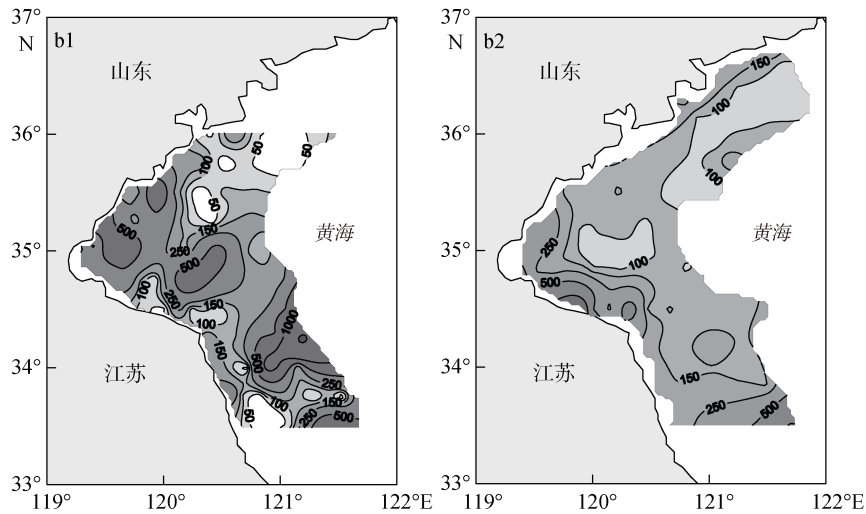


图 3 浮游动物丰度(ind·m⁻³)、湿重生物量(mg·m⁻³)的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of zooplankton abundance (ind·m⁻³) and zooplankton biomass (mg·m⁻³)

注: a1: 2016 年丰度; a2: 2017 年丰度; b1: 2016 年湿重生物量; b2: 2017 年湿重生物量

表 3 研究海域浮游动物优势种的平均丰度及优势度

Tab. 3 Composition of dominant species, dominance index, and average abundance of zooplankton

优势种	2016 年			2017 年		
	丰度/(ind·m ⁻³)	出现频率/%	优势度	丰度/(ind·m ⁻³)	出现频率/%	优势度
小拟哲水蚤	3 245.4	100.0	0.65	1 061.1	98.4	0.39
近缘大眼剑水蚤	447.5	98.5	0.08	165.6	95.3	0.06
双毛纺锤水蚤	348.5	70.6	0.05	810.8	71.9	0.22
拟长腹剑水蚤	77.7	86.7	0.01	140.4	70.3	0.04
桡足类无节幼虫	51.2	82.3	0.01	83.2	67.2	0.02

注: 加粗部分表示该物种在该航次为优势种

2.5 浮游动物多样性分析

2016 年航次的香农-威纳指数范围为 0.51~2.79, 平均值为 1.53 ± 0.58 ; 2017 年的香农-威纳指数范围为 0.30~2.66, 平均值为 1.49 ± 0.58 。两个航次的香农-威纳指数均呈现由南向北先降低后增大的趋势, 2016 年高值区主要位于山东半岛、江苏沿岸海域及研究海域南部, 2017 年高值区主要位于江苏沿岸及研究海域中部及南部(图 5)。

研究海域少数的浮游动物种类贡献了浮游动物总丰度的绝大部分。小拟哲水蚤丰度在总丰度中的占比在 2016 年为 67.1%, 2017 年为 40.0%。2016 年与 2017 年浮游动物总丰度的 70% 以上均由两个物种组成。2016 年为小拟哲水蚤和近缘大眼剑水蚤, 2017 年为小拟哲水蚤和双毛纺锤水蚤。2016 年浮游动物群落的丰富度高于 2017 年, 但均匀度

较低(图 6)。

2.6 浮游动物群落特征与环境因子的相关性分析

两个航次浮游动物群落特征与环境因子的 Spearman 相关性分析显示: 浮游动物总丰度与表、底层盐度呈显著负相关($P < 0.05$), 与水深呈极显著负相关($P < 0.01$); 小拟哲水蚤丰度与表层温度呈极显著负相关($P < 0.01$), 与底层温度呈显著负相关($P < 0.05$); 双毛纺锤水蚤与表、底层温度呈极显著正相关($P < 0.01$), 与表、底层盐度及水深呈极显著负相关($P < 0.01$); 近缘大眼剑水蚤仅与表层温度和水深呈极显著负相关($P < 0.01$); 浮游动物生物量和香农-威纳指数均与底层温度呈极显著正相关($P < 0.01$), 与表、底层盐度及水深呈极显著负相关($P < 0.01$); 香农-威纳指数还与表层温度呈显著正相关($P < 0.05$)(表 4)。

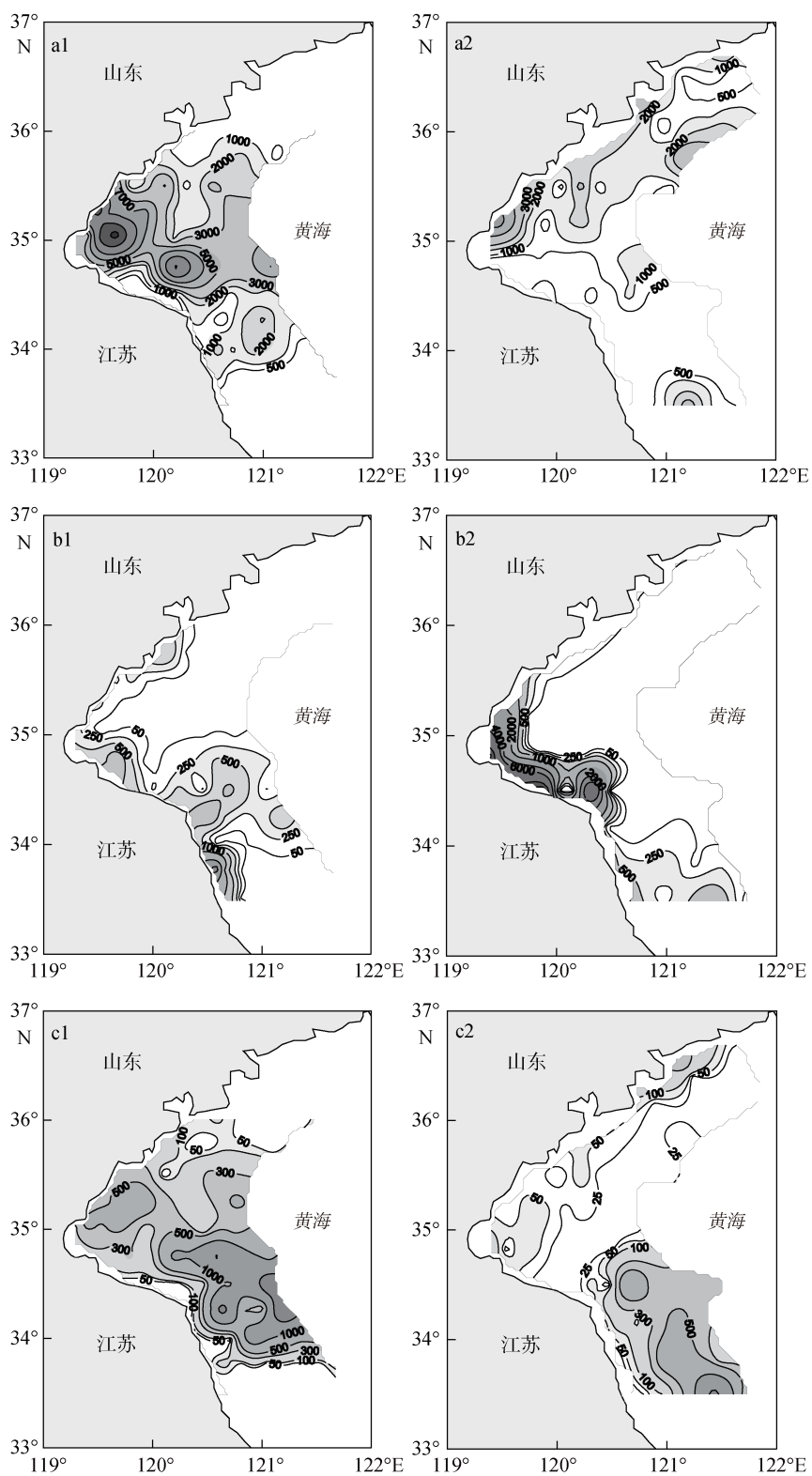


图 4 小拟哲水蚤、双毛纺锤水蚤、近缘大眼剑水蚤的平面分布

Fig. 4 Distribution of *Paracalanus parvus*, *Acartia bifilosa*, and *Corycaeus affinis*

注: a1: 2016 年小拟哲水蚤; a2: 2017 年小拟哲水蚤; b1: 2016 年双毛纺锤水蚤; b2: 2017 年双毛纺锤水蚤; c1: 2016 年近缘大眼剑水蚤; c2: 2017 年近缘大眼剑水蚤

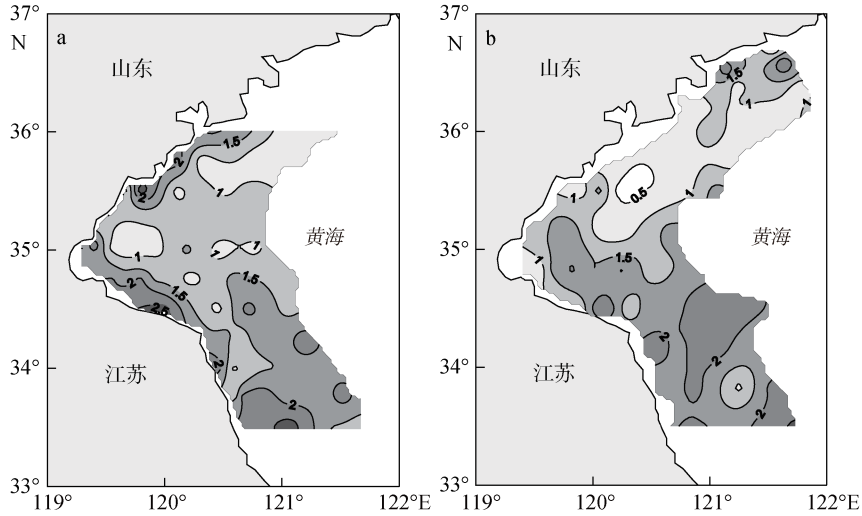


图 5 2016 年、2017 年香农-威纳指数分布
Fig. 5 Distribution of Shannon-Wiener index in investigation area
注: a: 2016 年; b: 2017 年

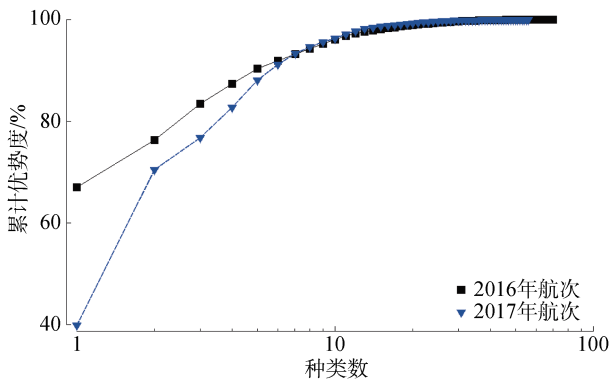


图 6 2016 年和 2017 年浮游动物 K-优势度曲线
Fig. 6 K-dominance curves of zooplankton abundance in 2016 and 2017

3 讨论

研究海域 2016 年 7 月和 2017 年 6—7 月的浮游动物种类数差异较明显, 分别为 70 种和 56 种。2017

年水螅水母和浮游幼虫种类的减少是导致差异的主要原因(表 2)。历史研究显示, 南黄海水螅水母及浮游幼虫种类数波动剧烈: 2006 年 7—8 月刺胞动物和浮游幼虫分别为 44 种和 20 种^[2], 2008 年 8 月水螅水母和浮游幼虫分别为 15 种和 27 种^[6]。浮游动物的主要类群与南黄海同季节历史数据相似, 但各类群的种类数占比略有差异^[2, 7, 13]。2015 年 8 月^[13]南黄海中型浮游生物网采样品以桡足类种类数占比最高, 其次为水螅水母和浮游幼虫。本研究两个航次均以浮游幼虫种类数占比最高, 其次是桡足类和水螅水母。研究海域浮游动物以广温广盐种(小拟哲水蚤、双毛纺锤水蚤)和广温低盐种(强壮箭虫 *Sagitta crassa*、异体住囊虫 *Oikopleura dioica*)为主, 并有少量低温高盐种(太平洋磷虾 *Euphausia pacifica*)和暖水种(半口壮丽水母 *Aglaura hemistoma*、嵎山秀氏水母 *Sugiura chengshanense*)出现。

表 4 浮游动物群落特征与环境因子的相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of zooplankton community and environmental variables

环境因子	丰度				生物量	香农-威纳指数
	总丰度	小拟哲水蚤	双毛纺锤水蚤	近缘大眼剑水蚤		
表层温度	-0.064	-0.244**	0.235**	-0.286**	0.126	0.173*
底层温度	0.107	-0.186*	0.510**	0.084	0.347**	0.391**
表层盐度	-0.144*	0.101	-0.469**	0.065	-0.235**	-0.226**
底层盐度	-0.198*	0.048	-0.445**	-0.039	-0.301**	-0.228**
水深	-0.207**	0.093	-0.625**	-0.314**	-0.459**	-0.470**

注: **: 极显著相关, $P < 0.01$; *: 显著相关, $P < 0.05$

浮游动物的生长和分布受多种环境因子共同作用,其中温度和盐度是重要的影响因子^[14-15]。近年来,南黄海夏季温盐的年度变动较剧烈,平均表层温度大多在 17~24 °C,平均表层盐度大多在 29~32.5^[8, 13]。本研究显示,2017 年表层温度偏高、盐度偏低(表 1)。由于不同浮游动物对温度和盐度耐受性的差异,其种类组成及丰度随之变化,进而影响浮游动物的群落结构^[16]。2016 和 2017 年研究海域浮游动物群落结构存在巨大差异,与两航次的温、盐等水文环境因素的差异直接相关。浮游动物优势种受温盐的影响显著,对浮游动物群落结构的改变起着关键作用。小拟哲水蚤是广温广盐种,广泛分布于渤、黄、东海及许多河口和海湾^[18-19],且常在数量上占优势^[20]。2016 年小拟哲水蚤(3 245.4 ind·m⁻³)占浮游动物总丰度的 67.1%,2017 年(1 061.1 ind·m⁻³)占 40.0%,其丰度的剧烈变化对浮游动物总丰度和生物多样性等的影响极大。本研究中 2016 和 2017 年研究海域的温度为 15.4~31.6 °C。相关性分析显示,小拟哲水蚤丰度与表层温度呈显著负相关($P < 0.01$)。左涛等^[9]研究显示,表层温度 14~21 °C 时小拟哲水蚤丰度与温度显著正相关($P < 0.05$)。小拟哲水蚤对温度的耐受范围较宽,但也有一定的局限性,如, Liang 等^[21]研究发现小拟哲水蚤在日本福山港终年存在,但在水温 20 °C 以上时生长率不再增加;张芳等^[22]研究指出,黄海小拟哲水蚤丰度在 6、7 月达到最高峰,比较适宜生存的温度范围是 13~24 °C;王秀霞等^[23]在莱州湾的研究结果显示,小拟哲水蚤高丰度对应海区表层温度多为 21~25 °C。由此可见,过高的海水温度对小拟哲水蚤的生长存在限制作用。2017 年表层温度较 2016 年高 3 °C 左右,海表温度已超过小拟哲水蚤适宜生存的范围,小拟哲水蚤的平均丰度仅为 2016 年的 1/3 左右(表 3)。温度的剧烈变化是导致 2016 和 2017 年小拟哲水蚤丰度差异的重要原因。

双毛纺锤水蚤对温度的耐受性较高,在野外产卵、孵化和生长的最适温度为 8~24 °C^[24]。但 Mckinnon 等^[25]研究指出纺锤水蚤在 29 °C 下仍可持续产卵。2017 年双毛纺锤水蚤分布的高值区海域表面温度均超过 28 °C(图 4-b2, 图 2-a2),温度高于其最适温度范围。相比而言,2016 年的温度更适合双毛纺锤水蚤的生存,但 2017 年双毛纺锤水蚤的优势度远高于 2016 年,且丰度是 2016 年的 2 倍以上(表 3)。由此推测,温度虽对双毛纺锤水蚤的生存有一定的影响,但不是决定其分布的最重要原因。相关性分析也显

示,双毛纺锤水蚤的丰度变化与盐度关系密切(表 4),且双毛纺锤水蚤的分布与盐度呈相反的趋势(图 2-b, 图 4-b)。双毛纺锤水蚤的近岸低盐特性明显^[9],低盐水域苏北沿岸是 2016 和 2017 航次双毛纺锤水蚤的共同高值区之一,且 2017 年苏北沿岸海域双毛纺锤水蚤的丰度比 2016 年高一个数量级。2017 年苏北沿岸海域表层盐度均小于 23,而 2016 年该海域表层盐度则为 28~29,盐度的变化导致双毛纺锤水蚤丰度的产生了巨大的年度差异。

历史研究显示夏季南黄海浮游动物丰度呈现由近岸向外海逐渐升高的趋势^[6, 13, 26]。2011 年夏季南黄海^[26] WP2 型浮游生物网采样品的最低丰度出现在近岸(2 550.0 ind·m⁻³),外海丰度则高于 10 000 ind·m⁻³。本研究 2016 和 2017 年浮游动物的平均丰度分别为 4 838.2 ind·m⁻³ 和 2 652.4 ind·m⁻³;2015 年夏季^[13]中型浮游生物网采样品丰度高达 17 835.8 ind·m⁻³。本研究区域集中于近岸(122°E 以西),而上述研究的站位大多在本研究海域以东,丰度差异明显。筛绢孔径较小的网型对小型浮游动物的捕获能力高于大孔径网型^[27],2008 年夏季南黄海大型浮游生物网采浮游动物的丰度为 1 054.9 ind·m⁻³, 香农-威纳指数为 2.76 ± 0.59^[6];2011 年夏季^[17]在海州湾外海使用浅水 I 型浮游生物网采集到的浮游动物丰度仅为 554 ± 689 ind·m⁻³, 香农-威纳指数为 2.315 ± 0.604。本研究中,2016 年的香农-威纳指数略高于 2017 年,但是与上述研究^[6, 17]相比,本研究的香农-威纳指数均偏低。累计优势度曲线结果显示,2016 年浮游动物群落的种类极化程度和物种丰富度均高于 2017 年(图 6)。小拟哲水蚤、双毛纺锤水蚤等小粒径浮游动物优势种的高丰度,加剧了群落种间的数量极化程度高,降低了均匀度,是导致生物多样性偏低的重要原因。由于观测的站位略有不同,可能对多样性及优势种等产生一定的影响。

4 结论

研究海域 2017 年 6—7 月温度显著高于 2016 年 7 月,而盐度则显著偏低。温盐差异影响了浮游动物的群落结构,2016 年 7 月浮游动物的种类数、丰度、生物量及生物多样性均高于 2017 年 6—7 月。研究海域的浮游动物优势种小拟哲水蚤和双毛纺锤水蚤等丰度的波动剧烈,2017 年的高温不利于小拟哲水蚤的生存,但低盐更利于双毛纺锤水蚤的生存。

参考文献:

- [1] 邹娥梅, 郭炳火, 汤毓祥, 等. 秋季南黄海水文特征及海水的混合与交换[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 12-21.
Zou Emei, Guo Binghuo, Tang Yuxiang, et al. The hydrographic features and mixture and exchange of sea water in the southern Huanghai Sea in autumn[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1999, 21(5): 12-21.
- [2] 王晓, 王宗灵, 蒲新明, 等. 夏季南黄海浮游动物分布及其影响因素分析[J]. 海洋学报(中文版), 2013, 35(5): 147-155.
Wang Xiao, Wang Zongling, Pu Xinming, et al. Analysis of the distribution of zooplankton in the Southern Yellow Sea in summer and its influencing factors[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(5): 147-155.
- [3] 刘光兴, 房静, 陈洪举. 2009年春季南黄海浒苔暴发区浮游动物群落特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(7): 72-77.
Liu Guangxing, Fang Jing, Chen Hongju. The community structure of zooplankton in the Enteromorpha proliferata outbreak area of the South Yellow Sea during spring in 2009[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(7): 72-77.
- [4] 王晓, 姜美洁, 刘萍, 等. 秋季南黄海浮游动物分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 2016, 38(10): 125-134.
Wang Xiao, Jiang Meijie, Liu Ping, et al. Distribution pattern of zooplankton and its influencing factors in the South Yellow Sea in autumn[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 38(10): 125-134.
- [5] Liu Ping, Song Hongjun, Wang Xiao, et al. Seasonal variability of the zooplankton community in the southwest of the Huanghai Sea (Yellow Sea) Cold Water Mass[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, (4): 129-141.
- [6] 贺雨涛, 刘光兴, 房静, 等. 2008年夏季南黄海浮游动物群落特征[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(4): 494-502.
He Yutao, Liu Guangxing, Fang Jing, et al. Community characteristics of zooplankton in the South Yellow Sea in summer, 2008[J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(4): 494-502
- [7] 陈学超, 朱丽岩, 黄瑛, 等. 南黄海浮游动物群落结构研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(10): 41-49.
Chen Xuechao, Zhu Liyan, Huang Ying, et al. Community structure of the zooplankton in the Southern Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2017, 41(10): 41-49.
- [8] 时永强, 孙松, 李超伦, 等. 初夏南黄海浮游动物功能群丰度年际变化[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 1-8.
Shi Yongqiang, Sun Song, Li Chaolun, et al. Interannual changes in the abundance of zooplankton functional groups in the Southern Yellow Sea in early summer[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 1-8.
- [9] 左涛, 王荣, 高尚武, 等. 南黄海鳀鱼(*Engraulis japonicus*)产卵场小型桡足类的数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(4): 330-336.
Zuo Tao, Wang Rong, Gao Shangwu, et al. Abundance of small - sized copepods in anchovy *Engraulis japonicus* spawning ground in Southern Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2006, 37(4): 330-336.
- [10] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲆渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, (4): 13-15.
Xu Zhaoli, Chen Yaqu. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Ecology, 1989, (4): 13-15.
- [11] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M], Urbana, IL.: The University of Illinois Press, 1949.
- [12] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. Australian Journal of Ecology, 1993, 18(1): 117-143.
- [13] 陈学超, 黄瑛, 穆希岩, 等. 夏季和冬季南黄海浮游动物分布特征. 中国海洋大学学报(自然科学版) 2018, 48(S1): 50-56.
Chen Xuechao, Huang Ying, Mu Xiyan, et al. Distribution characteristics of zooplankton in the Southern Yellow Sea in summer and winter[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(S1): 50-56.
- [14] Jin B S, Fu C Z, Zhong J S, Li B, Chen J K, Wu J H. Fish utilization of a salt marsh intertidal creek in the Yangtze River estuary, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 73(3-4): 844-852.
- [15] 姜会超, 陈海刚, 宋秀凯, 等. 莱州湾金城海域浮游动物群落结构及与环境因子的关系, 生态学报, 2015, 35(22): 7308-7319.
Jiang Huichao, Chen Haigang, Song Xiukai, et al. Zooplankton community structure in Jincheng area of Laizhou Bay and its relationship with environmental factors. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(22): 7308-7319.
- [16] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984: 139-491.
Zheng Zhong, Li Shaojing, Xu Zhenzu. Marine zooplankton biology[M]. Beijing, China Ocean Press, 1984: 139-491.
- [17] 杨晓改. 海州湾及其邻近海域浮游生物群落结构及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Yang Xiaogai. Community structure of plankton in Haizhou Bay and adjacent waters and their relationships with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [18] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构[J]. 生态学报, 2000,

- 20(5): 715-721.
- Bi Hongsheng, Sun Song, Gao Shangwu, et al. The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai Sea I. Species composition and community structure[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 715-721.
- [19] 洪一川, 陈栩, 朱长寿. 湄洲湾中、小型浮游动物的分布[J]. 台湾海峡, 2009, 28(2): 238-243.
- Hong Yichuan, Chen Xu, Zhu Changshou. Distribution of meso-zooplankton and micro-zooplankton in Meizhou Bay[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, 28(2): 238-243.
- [20] 郑重, 郑执中, 王荣, 等. 烟、威鲈鱼渔场及邻近水域浮游动物生态的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(4): 329-354.
- Zheng Zhong, Zheng Zhizhong, Wang Rong, et al. Ecological investigations on the zooplankton of the mackerel fishing ground off Yantai-Weihai and adjacent waters[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1965, 7(4): 329-354.
- [21] Liang D, Uye S. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. III. *Paracalanus* sp.[J]. *Marine Biology*, 1996, 127(2): 219-227.
- [22] 张芳, 孙松, 杨波, 等. 黄海小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)丰度的季节变化[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(4): 322-329.
- Zhang Fang, Sun Song, Yang Bo, et al. Seasonal changes in abundance of small copepod *Paracalanus parvus* in the Yellow Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2006, 37(4): 322-329.
- [23] 王秀霞, 左涛, 吴强, 等. 莱州湾小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)丰度分布周年变动[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(1): 1-9.
- Wang Xiuxia, Zuo Tao, Wu Qiang, et al. Annual dynamic distributions of *Paracalanus parvus* (Copepoda Calanoida) in Laizhou Bay, China[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(1): 1-9.
- [24] 孙晓红, 孙松, 李超伦, 等. 温度和饵料对双刺纺锤水蚤产卵率和孵化率的影响[J]. 海洋科学集刊, 2008, 49: 78-86.
- Sun Xiaohong, Sun Song, Li Chaolun, et al. The effects of temperature and diet on egg production and hatching success of *Acartia biflosa* (Copepoda: Calanoida): a laboratory investigation[J]. *Studia Marina Sinica*, 2008, 49: 78-86.
- [25] Mckinnon A D, Duggan S, Nichols P D, et al. The potential of tropical paracalanid copepods as live feeds in aquaculture[J]. *Aquaculture*, 2003, 223(1-4): 89-106.
- [26] 孔维. 2011年夏、秋季黄海 WP2 型网采浮游动物的群落特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Kong Wei. The Community characteristics of zooplankton from WP2 net in the Yellow Sea in summer and autumn of 2011[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [27] 王荣, 王克. 两种浮游生物网捕获性能在现场测试[J]. 水产学报, 2003, (S1): 98-102.
- Wang Rong, Wang Ke. Field test of capture capabilities of two plankton nets[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, (S1): 98-102.

Community characteristics of zooplankton in the South Yellow Sea in early summer

LI Yi-xuan^{1, 2}, GE Ru-ping^{1, 2}, YE Zhen-jiang³, CHEN Hong-ju^{1, 2},
ZHUANG Yun-yun^{1, 2}, LIU Guang-xing^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Marine Environment and Ecology (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266100, China; 2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 3. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Oct. 30, 2019

Key words: zooplankton; the South Yellow Sea; community structure; interannual change

Abstract: Based on two surveys conducted on the inshore area of the South Yellow Sea in the early summer of 2016 (July) and 2017 (June and July), we studied changes in the composition, abundance, dominant species, and biodiversity of zooplankton. Correlations between the zooplankton community structure and environmental factors were also analyzed. Results showed that the average sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), and zooplankton community structure were significantly different between the two surveys. The average SST values from 2016 and 2017 surveys were $22.8^{\circ}\text{C} \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ and $25.7^{\circ}\text{C} \pm 3.6^{\circ}\text{C}$, respectively and mean SSS values were 30.0 ± 1.6 and 27.8 ± 4.3 g/kg, respectively. In 2016, 56 species of zooplankton adults and 24 taxa of larvae were identified, and these values were different from those identified in 2017, which were 38 species of adults and 18 taxa of larvae. The 2016 mean abundance ($4\ 838.2 \pm 5\ 186.7$ ind·m⁻³) and mean biomass (324.9 ± 481.5 mg·m⁻³) of zooplankton were higher than those of 2017 (mean abundance, $2\ 652.4 \pm 3\ 507.5$ ind·m⁻³; mean biomass, 324.9 ± 481.5 mg·m⁻³). The common dominant species found both the surveys were *Paracalanus parvus*, *Corycaeus affinis*, and *Acartia bifilosa*, and the biodiversity in 2016 was slightly higher than that in 2017. The significant differences in SST and SSS between 2016 and 2017 were strongly correlated with the changes in zooplankton community structure.

(本文编辑: 赵卫红)