

王雨航, 李尚清, 叶深, 等. 瓯江口海域浮游动物群落结构与环境因子的相关性分析[J]. 海洋学报, 2024, 46(3): 98–110. doi:10.12284/hyxb2024042

Wang Yuhang, Li Shangqing, Ye Shen, et al. Correlation analysis of zooplankton community structure and environmental factors in the Oujiang River Estuary[J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(3): 98–110. doi:10.12284/hyxb2024042

瓯江口海域浮游动物群落结构与环境因子的相关性分析

王雨航^{1,2,3}, 李尚清^{1,2,3}, 叶深^{2,3}, 唐未^{2,3}, 秦松^{2,3}, 范青松^{2,3},
邱文致^{1,2,3}, 艾龙威^{1,2,3}, 郑春芳¹, 刘伟成^{2,3*}

(1. 温州大学 生命与环境科学学院, 浙江 温州 325035; 2. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325005; 3. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江 温州 325005)

摘要: 为探究瓯江口海域浮游动物群落结构与环境因子的相关性, 分别于 2021 年 3 月 (冬季)、5 月 (春季)、8 月 (夏季)、11 月 (秋季) 对瓯江口海域的浮游动物及海水温度、盐度、叶绿素 *a* 浓度等环境因子进行了 4 个航次的调查。结果显示, 本次调查共鉴定出浮游动物 78 种, 其中包括 16 种浮游幼虫, 隶属于 8 门 14 大类, 夏季物种数最丰富 (47 种), 冬季物种数最低 (23 种), 优势种 ($Y \geq 0.02$) 有 17 种, 其中桡足类占 8 种, 如中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、中华华哲水蚤 (*Sinocalanus sinensis*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*) 和背针胸刺水蚤 (*Centropages dorsispinatus*) 等。浮游动物的年平均丰度为 (162.95 ± 310.96) ind./m³, 年平均生物量为 (118.85 ± 62.80) mg/m³, 存在明显的季节变化差异, 春季丰度和生物量最高, 秋季最低; 冬季丰度比夏季高, 生物量低于夏季。浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J') 和浮游动物 Margalef 丰富度指数 (D) 年平均值分别为 1.500 ± 0.702 、 0.656 ± 0.270 和 2.301 ± 1.087 。Spearman 相关性分析和典范对应分析结果表明, 海水温度、盐度、叶绿素 *a* 浓度和浮游植物丰度是影响瓯江口海域浮游动物优势丰度的重要环境因素。这为瓯江口环境季节变化对浮游动物的影响研究提供科学参考依据, 为瓯江口生物资源的可持续发展提供基础资料和理论依据。

关键词: 浮游动物; 瓯江口; 季节变化; 环境因子; 典范对应分析

中图分类号: Q179.1; P714^{+.4}

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2024)03-0098-13

1 引言

海洋浮游动物是自主游泳能力弱, 主要随海浪漂流运动的小型动物^[1]。海洋浮游动物作为海洋生态系统的次级生产者, 可以通过捕食调节浮游植物的数量, 也可以作为营养级较高的海洋生物的优质饵料, 是海洋生态系统的重要生物类群, 在海洋初级生产力调节和渔业资源调节方面起关键性作用^[2-3]。因为浮

游动物能够通过“上行效应”影响着鱼、虾等渔业资源的群落结构和总量^[4-5], 在物质循环和能量流动中具有十分重要的作用^[6]。浮游动物对环境变化较为敏感^[7], 水环境变化、浮游植物和渔业资源变动都可能影响浮游动物群落结构的改变^[8], 因此研究浮游动物的种类组成、群落结构和季节变化特征对海洋生态和渔业资源的保护与研究具有重要意义^[9]。

瓯江口海域位于东海南部, 其间散布约 100 多个

收稿日期: 2023-08-22; 修订日期: 2023-12-19。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2020YFD0900805); 温州河口渔业资源养护试点专项调查研究项目 (05202251)。

作者简介: 王雨航 (1997—), 男, 江苏省南京市人, 主要从事渔业资源方向研究。E-mail: wyh1060131354@163.com

* 通信作者: 刘伟成 (1980—), 男, 高级工程师, 主要从事渔业资源环境研究。E-mail: lwch80@126.com

岛屿和众多海湾,地处亚热带季风区北端^[10]。由于瓯江径流和浙闽沿岸流带来丰富的营养盐^[11],加上复杂的地形所形成的上升流使得瓯江口海域浮游动物十分丰富^[12],为许多经济鱼类提供了充足的饵料。2009年高倩和徐兆礼^[13-14]已报告瓯江口及邻近海域浮游动物群落结构、丰度和多样性的时空变化,但仍缺少环境因子变化对浮游动物群落影响的研究。

本研究于2021年在瓯江口海域设计了10个站点,进行了4个季节的调查,对浮游动物群落进行样品采集,分析该海域浮游动物群落结构的时空变化特征,并运用典范对应分析法(Canonical Correspondence Analysis, CCA)分析浮游动物优势种与各环境因子的关系,以期为瓯江口环境季节变化对浮游动物的影响研究提供科学参考依据,为当地海洋牧场的合理建设提供基础数据,为瓯江口生物资源的可持续发展提供基础资料和理论依据。

2 材料与方法

2.1 样品采集

于2021年3月(冬季)、5月(春季)、8月(夏季)、11月(秋季)分别对浙江省瓯江口海域的浮游动物、环境因子等进行了4个航次的综合调查,沿着瓯江径流方向设置垂直于海岸线的断面一和平行于海岸线的断面二,从空间分布上,包含了“纯淡水区”“淡水和海水混合区”以及“海水区”。从生境情况上看,生境多,生物多样性高,在此基础上共布设了10个采样站点(图1)。浮游动物调查参考《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)^[15]规定进行,浮游动物采用浅水I型浮游生物网(网口面积为0.2 m²,

口径为50 cm,筛绢孔径为505 μm)由底至表垂直拖曳采集,在网口绑上HYDRO-BIOS流量计计算滤水体积。采集样品后,使用5%~10%甲醛溶液固定保存,带回实验室进行分类鉴定、计数和湿重生物量测量。浮游植物调查使用标准的浅水III型浮游生物网(网口面积为0.1 m²,口径为37 cm,筛绢孔径为77 μm)自底层至表层垂直拖网采集,采集到的样品用饱和鲁哥氏液(Lugols solution)固定,静止浓缩后带回实验室在显微镜(Nikon 80i 研究显微镜)下观察和计数,并采用电子天平(型号:JY3002;精度:0.01 g)对其湿重进行称重。在采样现场使用多功能温盐深探测仪(Cst-away-CTD)和水质分析仪WTW(Multi-3 430)测量温度、盐度、水深、溶解氧含量。叶绿素 a 表层水样通过200 μm筛绢后取1 L装于无菌聚乙烯塑料瓶中,每份加入2 mL碳酸镁悬浮液混匀,立即送往实验室进行分析。使用0.45 μm水系微孔滤膜抽滤得到总叶绿素 a 样品。

2.2 数据处理与分析

2.2.1 丰度和湿重重量

利用丰度 C_B (单位: ind./m³)和湿重重量 P_B (单位: mg/m³)来描述每个站位点的浮游动物资源量大小,浮游动物的丰度、湿重重量的计算公式^[15]如下:

$$C_B = \frac{N_B}{V}, \quad (1)$$

$$P_B = \frac{m_B}{V}, \quad (2)$$

式中, C_B 为单位体积海水中浮游动物的丰度; N_B 为全网个数(单位: ind.); V 为滤水量(单位: m³); P_B 为单位体积海水中浮游动物的湿重; m_B 为样品湿重(单位: mg)。

2.2.2 优势度

群落优势种采用Pinkas相对重要性指数^[16]来确定,计算公式如下:

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i, \quad (3)$$

式中, Y 为一种浮游动物的优势度, $Y \geq 0.02$ 时为优势种^[17]; n_i 为第 i 种浮游动物丰度; N 为所有浮游动物的总丰度; f_i 为样品中第 i 种生物的出现频率。

2.2.3 生物多样性

采用Shannon-Wiener多样性指数(H')^[18]、Pielou均匀度指数(J')和Margalef丰富度指数(D)^[19]来描述浮游动物多样性,计算公式如下:

$$H' = -P_i \log_2 \sum P_i, \quad (4)$$

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}, \quad (5)$$

$$D = (S - 1) / \log_2 N, \quad (6)$$

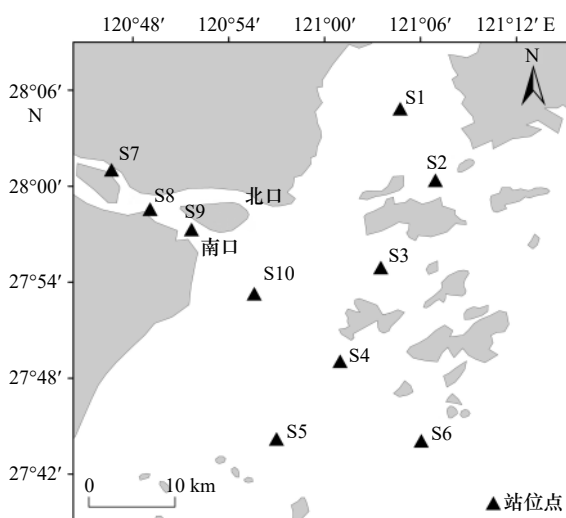


图1 瓯江口海域调查站点

Fig. 1 Sampling stations of Oujiang River Estuary sea area

式中, H' 是生物种类多样性指数, H' 越大, 生物多样性越高; P_i 是第 i 种生物的个体数 (n_i) 与总个体数 (N) 的比值; J 是均匀度指数, J 取值为 0~1, 越接近 1 表示物种均匀度越高; D 是丰富度指数; S 是样品中总种类数。

2.2.4 数理统计

运用 ARCGIS 10.8 绘制浮游生物种类数、生物量和丰度季节分布图, 运用克里金插值法绘制环境因子分布图; 使用 SPSS 21.0 软件对浮游动物优势种丰度与海水温度、盐度、叶绿素 a 浓度和浮游植物丰度 4 个环境因子进行 Spearman 相关性分析; 使用 GraphPad Prism 8 作图; 应用 R 语言中的 vegan 数据包分析浮游动物与环境因子的关系, 首先进行趋势对应分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA), 当排序梯度最大值大于 4.0 时选择典范对应分析 (CCA), 当排

序值小于 3.0 时选择冗余分析 (Redundancy Analysis, RDA), 梯度长度介于 3.0~4.0 之间选用 RDA 和 CCA 均可^[20]。通过 CCA 分析图可以体现出不同种类浮游动物的生态习性, 不同物种在分析图中位置越接近, 说明生态习性越相似。运用蒙特卡洛置换检验方法, 以 $p < 0.001$ 为基准, 检验各环境因子对浮游动物优势种影响的显著性。

3 结果分析

3.1 环境因子

调查海域的表层水温有明显的季节变化, 夏季水温最高, 冬季水温最低, 春季、秋季次之 (图 2)。表层温度空间分布较为均匀, 但春、夏季北部海域较暖, 秋、冬季河口区域较暖 (图 2)。调查海域盐度除河口

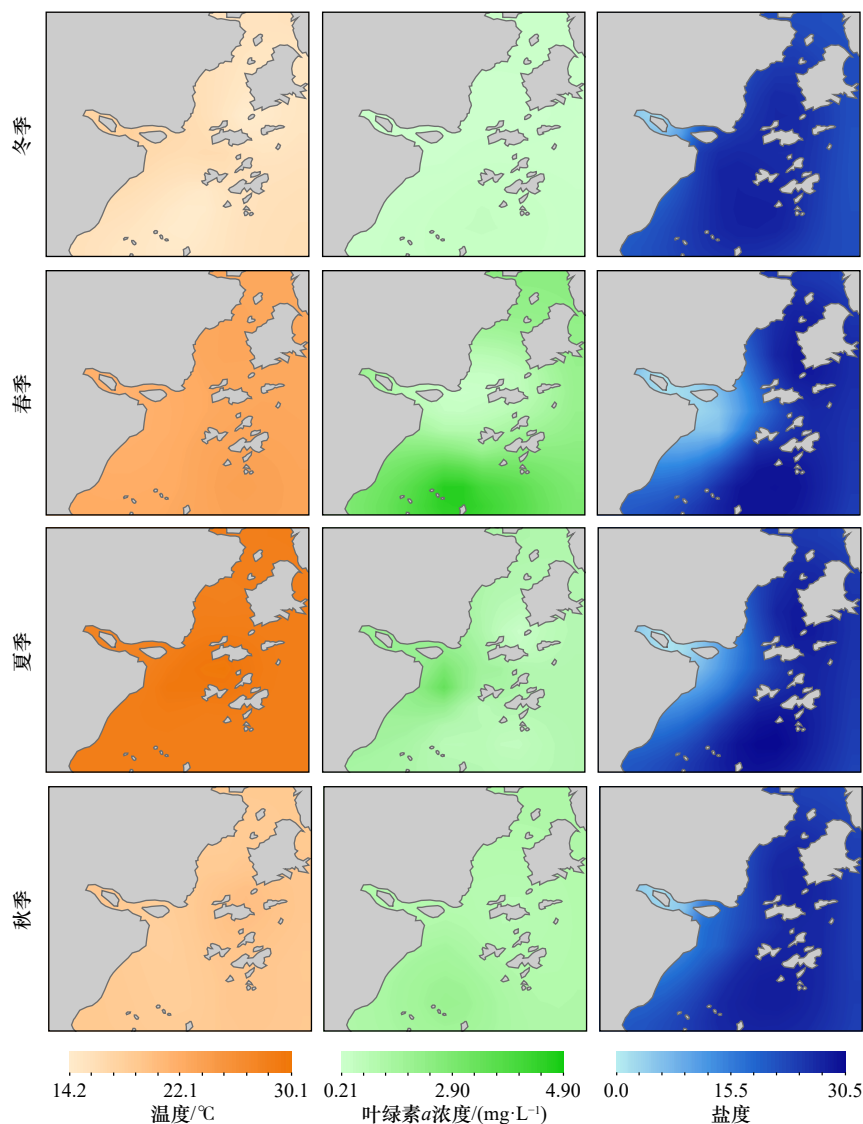


图 2 甌江口海域表层海水温度、盐度和叶绿素 a 浓度的平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of surface sea temperature, salinity and Chl a concentration in the Oujiang River Estuary sea area

入海区域外各季节变化不大; 河口位置则呈现春、夏、秋、冬递增的趋势(图2)。叶绿素 *a* 浓度春、夏季高于秋、冬季, 春季南侧海域和夏季河口区域浓度较高, 秋、冬季浓度分布较均匀(图2)。

3.2 浮游动物种类组成及其季节变化

瓯江口海域4个航次共调查鉴定到浮游动物78种, 隶属于8门14大类, 以桡足类和浮游幼虫居多, 分别为32种和16种, 占总种类数的41.0%和20.5%; 其次为水螅水母5种, 占总种类数的6.4%; 糠虾5种, 占总种类数的6.4%; 管水母和毛颚类各4种, 占总种类数的5.1%; 十足类有3种, 占总种类数的

3.8%; 端足类和栉水母2种, 占总种类数的2.6%; 被囊类、涟虫类、磷虾类、翼足类和枝角类各有1种, 占总种类数的1.2%。种类名录及季节分布详见表S1。

浮游动物的种类组成随季节变化而变化。春季37种; 夏季浮游动物种类最丰富, 共计47种; 秋季37种; 冬季种类数最少, 共23种。春季和夏季种类数高值区域类似, 都集中在霓屿岛、大门岛附近海域; 秋季的种类数总体分布不均, 秋季种类数高值点出现在大门岛附近海域及瓯江南口外侧海域; 冬季种类数整体分布比较均匀, 除个别点位种类数较丰富以外整体分布较少(图3)。

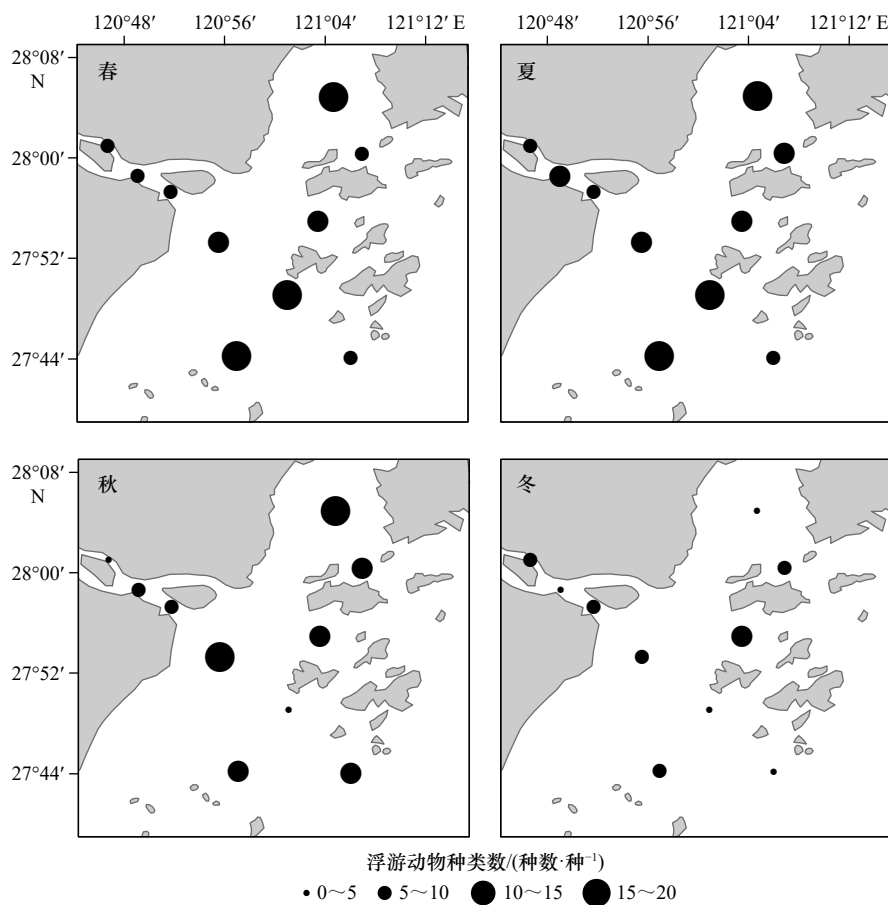


图3 瓯江口海域浮游动物种类数分布

Fig. 3 Zooplankton species distribution in the Oujiang River Estuary sea area

3.3 优势种的季节变化

取优势度 $Y \geq 0.02$ 的物种为优势种, 调查海域4个季节共计算出优势种17种, 属于6大类群。优势种共包含桡足类8种, 浮游幼虫4种, 糠虾类2种, 端足类、毛颚类和被囊类各1种。浮游动物各类群丰度差异大, 各季节优势种类群也有较大差异。春季和秋季优势种各有7种, 其中春季钩虾(未定种)(*Gammarus* sp.) 优势度最高(0.17), 秋季亚强真哲水蚤(*Eu-*

calanus subcrassus) 优势度最高(0.14); 夏季出现6个优势种, 其中太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*) 优势度最高(0.38); 冬季唯一优势种中华哲水蚤(*Calanus sinicus*) 优势度为0.96(表1)。

3.4 浮游动物生物量和丰度的空间分布和季节变化

瓯江口调查海域浮游动物全年生物量的变化范围为4.85~720.83 mg/m³, 年平均值为(118.85 ± 62.80) mg/m³, 有较为明显的季节变化: 春季最高, 为

表 1 瓯江口海域浮游动物优势种的季节分布和平均丰度

Table 1 Seasonal distribution and average abundance of dominant zooplankton species in the Oujiang River Estuary sea area

序号	种名	冬季		春季		夏季		秋季	
		优势度	平均丰度/(ind.·m ⁻³)	优势度	平均丰度/(ind.·m ⁻³)	优势度	平均丰度/(ind.·m ⁻³)	优势度	平均丰度/(ind.·m ⁻³)
sp1	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.96	280.2 ± 435.5	0.03	304.1 ± 958.5	-	-	-	-
sp2	中华华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	/	/	0.03	145.3 ± 407.5	-	-	-	-
sp3	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>	/	/	0.02	90.4 ± 278.2	-	-	/	/
sp4	太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	/	/	-	-	0.38	44.3 ± 57.8	0.04	2.9 ± 4.6
sp5	背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	/	/	/	/	0.04	5.1 ± 5.4	0.08	6.8 ± 7.8
sp6	精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	/	/	/	/	0.02	3.7 ± 5.9	-	-
sp7	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	/	/	/	/	-	-	0.14	7.8 ± 15.3
sp8	中华胸刺水蚤 <i>Centropages sinensis</i>	/	/	/	/	-	-	0.05	6.9 ± 20.4
sp9	钩虾(未定种) <i>Gammarus</i> sp.	-	-	0.17	483.2 ± 848.7	-	-	/	/
sp10	糠虾幼体 Mysidacea larva	/	/	0.10	463.2 ± 1 146.4	0.02	6.1 ± 11.9	-	-
sp11	磷虾类带叉幼体 Furcilia larva	-	-	0.02	57.6 ± 140.1	-	-	-	-
sp12	短尾类溞状幼体 Brachyura zoea	-	-	-	-	0.04	5.3 ± 7.0	-	-
sp13	箭虫幼体 Sagitta larva	-	-	-	-	-	-	0.02	1.7 ± 1.9
sp14	长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	/	/	0.04	191.7 ± 568.1	-	-	-	-
sp15	短额刺糠虾 <i>Acanthomysis brevirostris</i>	/	/	-	-	/	/	0.02	2.3 ± 3.9
sp16	百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	/	/	-	-	0.05	8.6 ± 13.1	-	-
sp17	异体住囊虫 <i>Oikopleura dioica</i>	/	/	/	/	-	-	0.03	2.4 ± 4.2

注: sp表示种类;“-”表示此物种不是优势种($Y < 0.02$);“/”表示未出现该物种。

(195.93 ± 270.23) mg/m³; 夏季次之, 为(132.36 ± 130.82) mg/m³; 冬季为(101.89 ± 69.89) mg/m³, 高于秋季(45.22 ± 39.01) mg/m³。春季生物量最高值主要出现在调查海域的北面; 夏季在瓯江河口水域以及调查海域的南侧生物量较高; 秋季生物量整体分布较为均匀, 在调查海域的北部大门岛北侧海域出现高值点; 冬季在瓯江河口水域以及大门岛、霓屿岛海域生物量较高, 在断面二上生物量分布较均匀(图 4)。

瓯江口调查海域浮游动物全年丰度的变化范围为 4.17~1 666.67 ind./m³, 年平均值为(162.95 ± 310.96) ind./m³, 有较显著的季节变化, 春季最高, 为(372.45 ± 510.55) ind./m³, 秋季最低, 为(41.75 ± 47.80) ind./m³, 冬季为(161.22 ± 278.79) ind./m³, 高于夏季(76.39 ±

71.33) ind./m³。春季丰度分布整体较均匀, 最高值点在瓯江河口内; 夏季丰度分布高值区域出现在调查海域南侧, 瓯江南口外侧海域丰度较高; 秋季丰度分布均匀, 南口外侧海域以及大门岛北部海域丰度较高; 冬季丰度高值点出现在霓屿岛附近海域, 调查海域北侧丰度较低(图 5)。

3.5 浮游动物群落多样性指数

调查结果显示, 调查海域浮游动物多样性指数(H')夏季最高, 冬季最低, 秋季高于春季; 均匀度指数(J')夏季最高, 冬季最低, 秋季高于春季; 丰富度指数(D)夏季最高, 冬季最低, 秋季高于春季(图 6)。

浮游动物多样性指数(H')全年变化范围为 0.096~2.487, 平均值为 1.500 ± 0.702。春季多样性指数平均

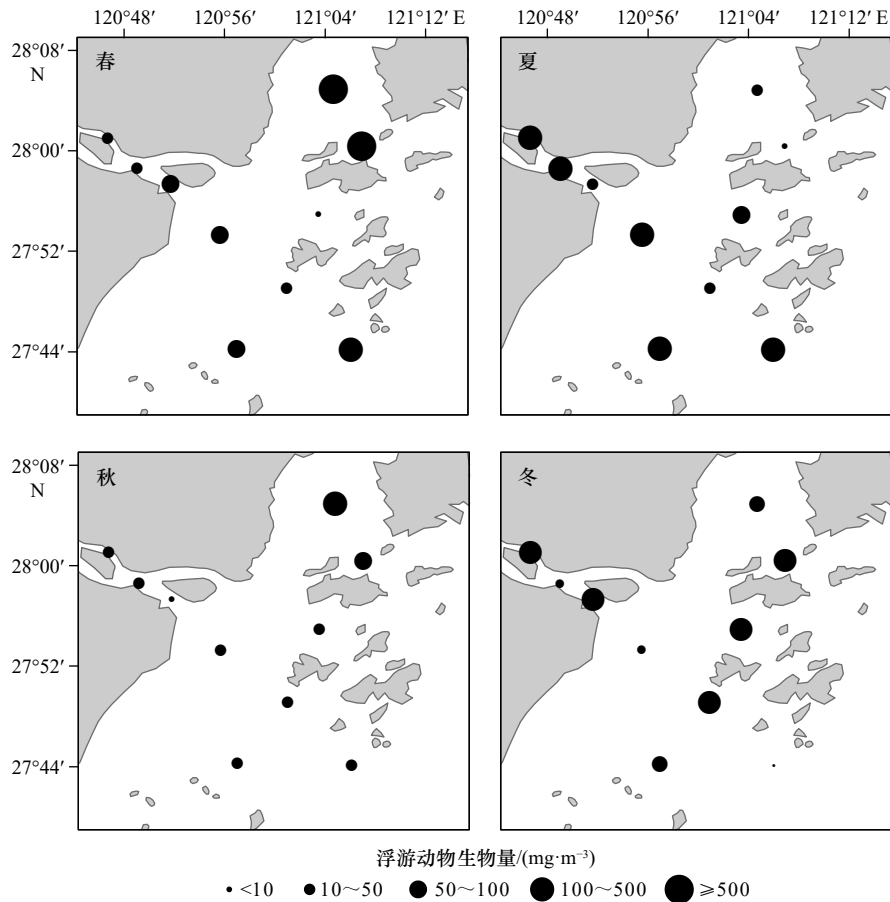


图4 瓯江口海域浮游动物生物量分布

Fig. 4 Zooplankton biomass distribution in the Oujian River Estuary sea area

值为 1.500 ± 0.792 ; 夏季多样性指数平均值为 1.931 ± 0.298 , 为全年最高; 秋季多样性指数平均值为 1.866 ± 0.453 ; 冬季多样性指数平均值为 0.701 ± 0.384 , 为全年最低(图 6a)。

浮游动物均匀度指数(J')全年变化范围为 $0.058 \sim 0.932$, 平均值为 0.656 ± 0.270 。春季均匀度指数平均值为 0.607 ± 0.302 ; 夏季均匀度指数平均值为 0.751 ± 0.127 , 为全年最高; 秋季均匀度指数平均值为 0.745 ± 0.065 ; 冬季均匀度指数平均值为 0.07 ± 0.320 , 为全年最低(图 6b)。

丰富度指数(D)全年变化范围为 $0.458 \sim 4.604$, 平均值为 2.301 ± 1.087 。春季丰富度指数平均值为 2.096 ± 1.308 ; 夏季丰富度指数平均值为 2.988 ± 0.700 , 为全年最高; 秋季丰富度指数平均值为 2.767 ± 0.986 ; 冬季丰富度指数平均值为 1.351 ± 0.361 , 为全年最低(图 6c)。

3.6 优势种丰度与主要环境因子间的相关性

调查海域 4 个季节共有优势种 17 种, 属于 6 大类群。优势种共包含桡足类 8 种, 浮游幼虫 4 种, 糠虾类 2 种, 端足类、毛颚类和被囊类各 1 种。将优势种 6 大类群丰度与水温、盐度、叶绿素 a 浓度和浮游植

物丰度进行 Spearman 相关性分析, 结果显示, 桡足类丰度与叶绿素 a 浓度和水温呈极显著正相关($p < 0.01$), 与浮游植物丰度呈显著正相关($p < 0.05$); 端足类丰度与盐度和浮游植物丰度呈极显著正相关($p < 0.01$); 浮游幼虫与叶绿素 a 浓度、水温和浮游植物丰度呈极显著正相关($p < 0.01$), 与盐度呈显著正相关($p < 0.05$); 糠虾类与叶绿素 a 浓度和盐度呈极显著负相关($p < 0.01$); 毛颚类与水温呈极显著正相关($p < 0.01$)(表 2)。

为了进一步探究瓯江口海域的环境因子对浮游动物群落的影响, 将 6 大类群 17 个优势种进行趋势对应分析, 排序轴长度大于 4.0($DCA1 = 5.3263$), 因此选用 CCA 相关性分析(图 7)。环境因子第一排序轴的特征值为 0.4803, 第二排序轴为 0.3563, 累计解释量为 24.29%, 环境因子对浮游动物群落分布的整体解释量为 51.11%。根据排序结果显示, 温度(0.7002)、叶绿素 a 浓度(0.3687)和浮游植物丰度(0.6362)与第一轴呈显著正相关, 盐度(-0.6599)与第一轴呈显著负相关, 除浮游植物丰度外, 其他环境因子与第二轴呈显著负相关。据 Monte-Carlo 置换检验每个环境因

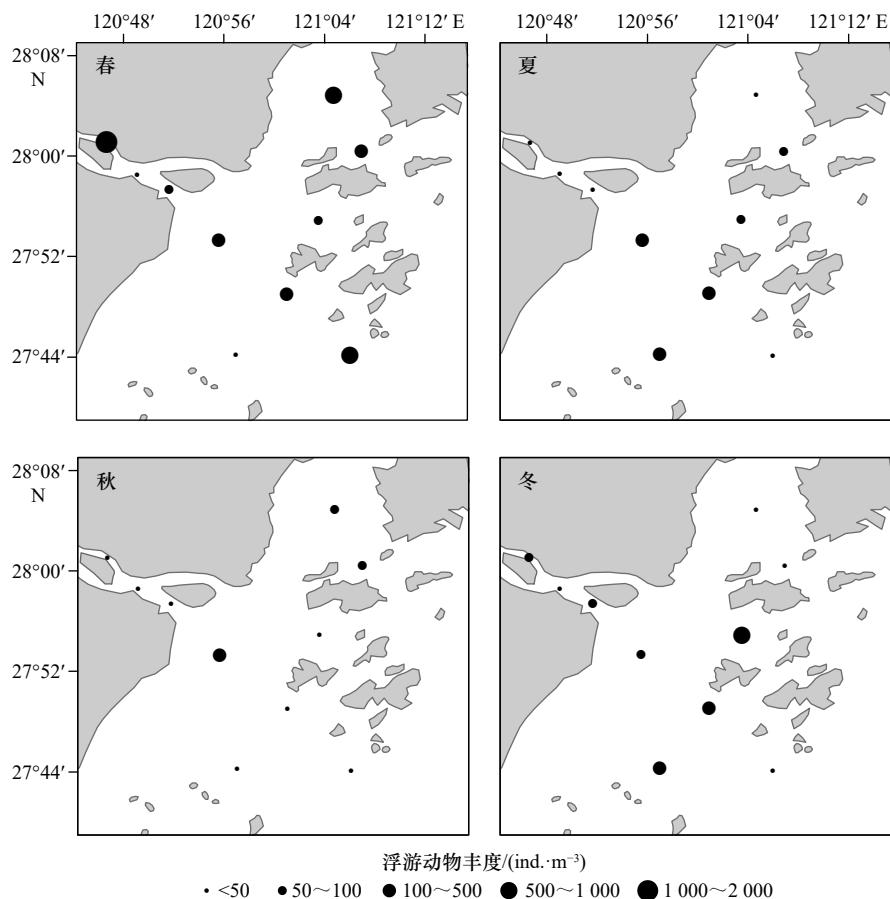


图 5 瓯江口海域浮游动物丰度分布

Fig. 5 Zooplankton abundance distribution in the Oujiang River Estuary sea area

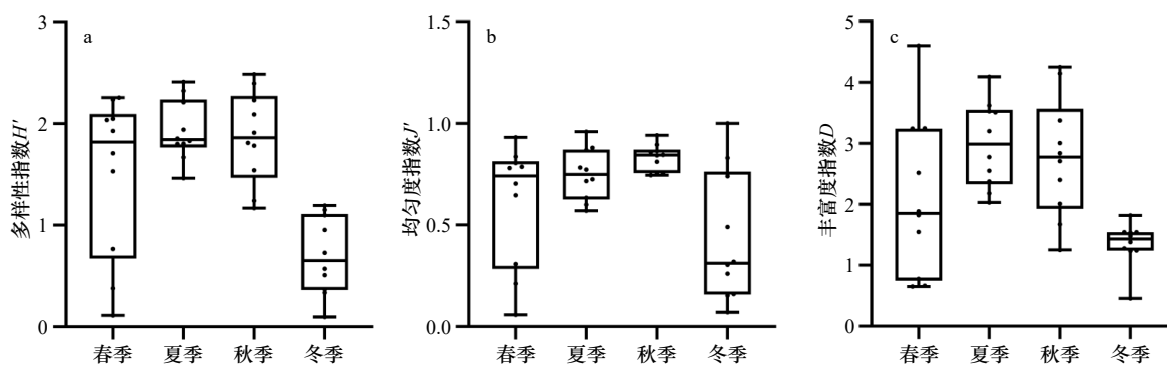


图 6 瓯江口海域浮游动物多样性指数季节分布

Fig. 6 Seasonal distribution of zooplankton diversity index in the Oujiang River Estuary sea area

子与优势种群落变化的相关性显示,环境因子显著影响浮游动物的群落分布($p < 0.001$),温度($r^2 = 0.596\ 2$, $p = 0.001$)、盐度($r^2 = 0.734\ 7$, $p = 0.001$)和浮游植物丰度($r^2 = 0.396\ 0$, $p = 0.001$)对浮游动物群落有极显著的影响,叶绿素 a 浓度($r^2 = 0.127\ 1$, $p = 0.057$)影响不显著。

在排序图中(图 7),盐度、水温和浮游植物丰度均对浮游动物的分布有较大影响,与第一轴相关性较

高的环境因子为水温、叶绿素 a 浓度和浮游植物丰度,与第二排序轴相关性较高的环境因子为盐度。总体而言,盐度、水温和浮游植物丰度对浮游动物群落分布与组成相关性较大,与叶绿素 a 浓度相关性较小。太平洋纺锤水蚤、背针胸刺水蚤和短额刺糠虾等生态习性相似,与盐度和水温呈正相关;中华哲水蚤、虫肢歪水蚤和长额刺糠虾等丰度与浮游植物丰度呈正相关,与盐度呈负相关;中华哲水蚤丰度与

表 2 瓯江口海域浮游动物丰度与环境因子的 Sperman 相关性分析

Table 2 Sperm correlation analysis of zooplankton abundance and environmental factors in Oujiang River Estuary sea area

相关系数	桡足类	端足类	浮游幼虫	糠虾类	毛颚类	被囊类
叶绿素 a 浓度	0.619**	0.112	0.501**	0.443**	0.138	0.225
水温	0.499**	0.211	0.577**	0.156	0.475**	-0.045
盐度	-0.217	-0.487**	-0.337*	-0.558**	0.217	0.163
浮游植物丰度	0.371*	0.477**	0.571**	0.241	0.283	-0.141

注: “*”表示显著相关($p < 0.05$), “**”表示极显著相关($p < 0.01$)。

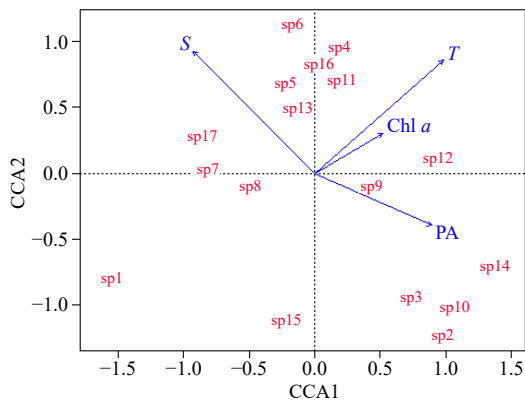


图 7 瓯江口海域浮游动物优势种丰度与环境因子的 CCA 分析

Fig. 7 CCA analysis of zooplankton abundance and environmental factors in the Oujiang River Estuary sea area

T: 海水温度; S: 盐度; Chl a : 叶绿素 a 浓度; PA: 浮游植物丰度;
 sp1: 中华哲水蚤; sp2: 中华华哲水蚤; sp3: 虫肢歪水蚤; sp4: 太平洋纺锤水蚤; sp5: 背针胸刺水蚤; sp6: 精致针刺水蚤; sp7: 亚强真哲水蚤; sp8: 中华胸刺水蚤; sp9: 钩虾(未定种); sp10: 糠虾幼体;
 sp11: 磷虾类带叉幼体; sp12: 短尾类溞状幼体; sp13: 箭虫幼体;
 sp14: 长额刺糠虾; sp15: 短额刺糠虾; sp16: 百陶箭虫; sp17: 异体住囊虫
 T: Sea water temperature; S: salinity; Chl a : chlorophyll a concentration;
 PA: phytoplankton abundance; sp1: *Calanus sinicus*; sp2: *Sinocalanus sinensis*; sp3: *Tortanus vermiculus*; sp4: *Acartia pacifica*; sp5: *Centropages dorsispinatus*; sp6: *Euchaeta concinna*; sp7: *Eucalanus subcrassus*;
 sp8: *Centropages sinensis*; sp9: *Gammarus* sp.; sp10: Mysidacea larva;
 sp11: Furcilia larva; sp12: Brachyura zoea; sp13: Sagitta larva; sp14: *Acanthomysis longirostris*; sp15: *Acanthomysis brevirostris*; sp16: *Sagitta bedoti*; sp17: *Oikopleura dioica*

水温和叶绿素 a 浓度具有负相关性。

4 讨论

4.1 浮游动物种类组成及季节变化

本次瓯江口海域调查共记录到浮游动物 78 种, 隶属于 8 门 14 大类; 其中桡足类有 32 种为该海域主要类群, 其次为浮游幼虫 16 种。调查海域浮游动物

种类数分布整体呈现出由瓯江南口水域向外海逐渐增大的趋势。但是在春季、夏季和冬季, 位于外部海域的 S6 点位种类数较少; 在秋季和冬季, S5 点位种类数较少, 由此可见个别点位不符合分布规律。从浮游动物种类数分布图来看(图 3), 春、夏两季在大门岛和霓屿岛附近海域种类数较高, 这是由于该海域岛屿众多, 南部受台湾暖流的影响^[21], 东北部受浙江沿海的浙闽沿岸流影响^[14], 西部有来自瓯江北口的淡水径流^[13], 各种温度、盐度的水团在此汇集, 这可能是适宜各种生态类群的浮游动物生长的原因之一, 例如有以虫肢歪水蚤、长额刺糠虾为代表的亚热带河口半咸水种, 也有以中华哲水蚤为代表的暖温带近海种等。春、夏季瓯江径流量大, 沿着径流方向输出大量营养盐, 形成南口外侧较高的浮游植物密度, 浮游动物和浮游植物构成捕食与被捕食的关系^[22], 在浮游植物密度高的水域, 浮游动物有较为丰富的饵料, 有利于其生长繁殖, 因此在南口及外侧海域也形成浮游动物种类数较高的区域。秋季在调查海域北侧乐清湾和瓯江南口位置种类数较多; 冬季水温最低, 种类数也最少。冬季种类数由瓯江口南口向外海递减。浮游动物随潮水和洋流运动, 其分布受洋流和水团影响^[23-24], 秋、冬季瓯江径流减小, 台湾暖流将适应能力强的外海种带入霓屿岛和洞头岛内侧海域。

与本河口浮游动物历史数据相比, 高倩和徐兆礼^[14]调查 2007 年 6 月和 9 月瓯江口水域浮游动物数量时发现桡足类为主要优势类群, 林义等^[25]调查 2016 年 5 月(春季)和 8 月(夏季)温州海域浮游动物群落特征同样发现桡足类为主要类群, 与本次调查结果一致, 表明该调查海域在浮游动物种类组成上较为稳定。

4.2 优势种季节变化

根据调查结果来看, 瓯江口海域浮游动物优势种有明显的季节变化, 生态类群也多种多样。瓯江口海域开阔, 受外海暖流影响与外界交换保持通畅, 有利于暖水广布种进入^[26], 瓯江口整体种类组成较丰富,

浮游动物群落优势种的生态类型以亚热带种和广温种为主。中华哲水蚤作为冬季的唯一优势种属于偏低温的暖温带近海种类^[27], 冬季气温整体偏低, 平均温度为 15.27℃, 该种可作为冷水团指示种^[28]; 春季水温升高中华哲水蚤持续繁殖, 该种仍是优势种。由于中华哲水蚤适温范围为 5~23℃^[29], 调查海域夏季平均气温为 28.8℃, 温度超过 25℃ 该种不出现^[30], 因此在夏季调查航次内未发现中华哲水蚤。春季台湾暖流增强^[21], 水温上升, 种类数增加, 浮游动物大量繁殖, 浮游幼体丰度高^[31], 春季优势种有糠虾幼体和磷虾类带叉幼体, 夏季优势种有短尾类溞状幼体。中华哲水蚤和虫肢歪水蚤属于亚热带河口半咸水种^[25-26], 长额刺糠虾属于亚热带沿岸低盐种^[32], 对盐度的适应性较低, 结合调查所得的环境数据(图 2), 春季盐度相对较低, 在春季这 3 个种的优势度较高。太平洋纺锤水蚤是夏季优势度最高的物种, 根据王桂忠等^[33]在厦门港海区对太平洋纺锤水蚤的研究表明, 高温(大于 25℃)诱发该种休眠卵的产生, 考虑到瓯江夏季径流量增大, 调查区域受瓯江冲淡水影响, 季节演替较厦门港海区相比略迟, 与临近海区乐清湾情况相符^[26]。该种同样也作为秋季优势种出现但秋季优势度(0.04)较夏季(0.38)低。相比较而言, 短额刺糠虾与太平洋纺锤水蚤同属于近海暖水种^[26], 短额刺糠虾的分布基本符合季节演替规律, 在水温过低的冬季和水温过高的夏季该种都未调查发现过, 春、秋季均有所发现且秋季该种作为优势种出现。夏、秋季优势种还包括背针胸刺水蚤, 在河口分布的背针胸刺水蚤的水域略偏高温且有较广的适盐度^[34], 在瓯江河口站点点均有分布。百陶箭虫的分布与温度密切相关^[35], 夏季温度升高百陶箭虫的丰度逐步增加, 进入秋季直至冬季消亡。精致针刺水蚤、亚强真哲水蚤和异体住囊虫都属于大洋广布生态类群^[26], 适应能力强分布范围广, 在秋季皆为优势种, 其中亚强真哲水蚤是秋季的第一优势种。

4.3 浮游动物丰度和生物量的分布和季节变化

调查海域丰度春季最高, 冬季次之, 夏季低于秋季。生物量春、夏季最高, 冬、秋季最低。丰度与生物量的季节变化趋势大致相同。考虑到可能是夏季调查到多种的水母类, 水母类数量虽然不多但是含水量高, 湿重生物量远高于桡足类和枝角类等, 因此夏季丰度低于冬季生物量却高于冬季。造成冬季丰度较高的原因是调查出现大量的中华哲水蚤, 中华哲水蚤是冬季的唯一优势种, 该种对冬季丰度的影响起决定性的作用, 就空间分布而言, 冬季丰度较高的区域

集中在霓屿岛附近海域, 该海域生物量与丰度分布保持一致。春季丰度平面分布整体较均匀, 生物量在大门岛北侧乐清湾附近海域出现高值区, 在瓯江水域内 S7 点位丰度较高但生物量偏低, 该点位有多种浮游幼虫如短尾类溞状幼体、糠虾幼体等。这些幼体对生物量贡献不大, 并没有造成生物量的提高。春季在 S5 点位丰度极低但生物量却很高, 这也是水母类浮游动物造成的。生物量 4 个季节分布高值区各不一样, 冬季和秋季生物量分布整体较均匀, 此时台湾暖流较夏季弱^[36], 与浙江沿岸流和瓯江径流共同作用影响, 使秋、冬季生物量分布较均匀。春季台湾暖流逐渐增强^[21], 随台湾暖流进入很多外海种, 在洞头岛南侧形成生物量高值区。夏季瓯江处于丰水期^[37], 径流量增大, 随瓯江冲淡水带来大量的营养盐有利于浮游植物的生长, 为浮游动物的生长提供了丰富的饵料, 夏季在河口位置形成生物量高值区。

4.4 优势种分布的影响因子

优势种是群落中占比最多的关键种, 能从一定程度上反映特定海域浮游动物群落的特征^[38]。在本研究中, 通过 Spearman 相关性分析和 CCA 分析显示: 温度和盐度与优势种分布的相关性较高。水温影响浮游动物的代谢速度, 水温过高或过低对浮游动物的生长发育和繁殖均有不利影响^[39-40], 导致调查海域内优势种的季节分布明显, 其中冬季温度最低, 因此冬季浮游动物的种类数和多样性指数最低。盐度对浮游动物的生长发育也有重要影响, 在调查海域瓯江河口附近, 四季均呈现出低盐特征, 导致该地区浮游动物以低盐种(太平洋纺锤水蚤和背针胸刺水蚤等)和河口半咸水种(中华哲水蚤和虫肢歪水蚤等)为主, 种类数较少。同时海流和水团是影响浮游动物分布格局的重要因素^[41], 调查海域内北部受瓯江径流和江浙沿岸流影响, 南部受台湾暖流控制, 耐受高温、高盐的大洋广布生态类群伴随外海的高温、高盐度海水扩散至沿岸, 例如亚强真哲水蚤、精致真哲水蚤和肥胖箭虫等。

浮游植物作为饵料与浮游动物的生长繁育密切相关^[42], 夏季浮游植物丰度最高, 为浮游动物的生长发育提供了充足的饵料, 因此夏季浮游动物丰度较高, 优势种优势度高种类丰富; 冬季浮游植物丰度较低, 浮游动物丰度较低, 浮游幼虫所占比例极小, 表明浮游动物更适应在饵料丰富的环境下繁殖。温度和盐度为浮游植物的生长发育提供了良好环境, 瓯江河口口水域营养盐丰富, 但由于水体高含量悬沙作用, 水体的透光性较差, 浮游植物难以更好地进行光合作用, 整体丰度不高。河口南口点位(S7、S8、S9)受河

口悬沙影响浮游植物丰度较低,这3个点位的浮游动物丰度大小和浮游植物同比降低,因此推断出水体悬浮物含量也是间接影响浮游动物丰度的相关因子。叶绿素 *a* 是了解自然水体中浮游植物生物量的重要度量,本次 CCA 分析结果显示叶绿素 *a* 浓度对浮游动物优势种影响较小,这也许和优势种种类有关,同时叶绿素 *a* 浓度在调查水域内分布较均匀,季节差异性较小,因此在本次调查结果中叶绿素 *a* 没有成为浮游动物优势种的重要影响因子,该调查结果与临近海

域福建沙埕港^[43]类似。

本研究结果显示,在 CCA 排序分析方法中,水温、盐度、叶绿素 *a* 浓度和浮游植物丰度共同解释了浮游动物优势种分布 51.11% 的原因,剩余 48.89% 的原因可能是 pH、化学需氧量和总氮浓度等环境因子,这还有待进一步分析验证。

致谢: 感谢浙江省海洋水产养殖研究所海洋生态与渔业资源研究室为本研究提供调查和实验数据。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Yildiz İ, Feyzioglu A M. Distribution of mesozooplankton along to Anatolian coast in Black Sea over autumn period[J]. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 2016, 45(2): 269-276.
- [3] 姜会超,刘宁,高继庆,等.烟台四十里湾浮游动物群落特征及与环境因子的关系[J].*生态学报*,2017,37(4):1318-1327.
Jiang Huichao, Liu Ning, Gao Jiqing, et al. Zooplankton community structure in Sishili Bay and its relationship with environmental factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(4): 1318-1327.
- [4] Baars M A, Fransz H G. Grazing pressure of copepods on the phytoplankton stock of the central North Sea[J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1984, 18(1/2): 120-142.
- [5] 庞碧剑,蓝文陆,黎明民,等.北部湾近岸海域浮游动物群落结构特征及季节变化[J].*生态学报*,2019,39(19):7014-7024.
Pang Bijian, Lan Wenlu, Li Mingmin, et al. Community structure and seasonal variation of zooplankton in coastal Beibu Gulf[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(19): 7014-7024.
- [6] Suzuki K, Tsuda A, Kiyosawa H, et al. Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 271(1): 99-120.
- [7] Fullgrabe L, Grosjean P, Gobert S, et al. Zooplankton dynamics in a changing environment: a 13-year survey in the northwestern Mediterranean Sea[J]. *Marine Environmental Research*, 2020, 159: 104962.
- [8] 张才学,龚玉艳,孙省利,等.2010年夏季雷州半岛沿岸海域浮游动物群落结构特征[J].*海洋学报*,2014,36(4):91-99.
Zhang Caixue, Gong Yuyan, Sun Xingli, et al. Zooplankton community in the coastal zone of Leizhou Peninsula in summer 2010[J]. *Haiyang Xuebao*, 2014, 36(4): 91-99.
- [9] 叶文建,杜萍,寿鹿,等.舟山海域大中型浮游动物群落时空变化及受控要素[J].*生态学报*,2021,41(1):254-267.
Ye Wenjian, Du Ping, Shou Lu, et al. Spatio-temporal variation of marco and mesozooplankton communities and the controlling factors around Zhoushan Archipelago[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(1): 254-267.
- [10] 陈雷,徐兆礼,姚炜民,等.瓯江口春季营养盐、浮游植物和浮游动物的分布[J].*生态学报*,2009,29(3):1571-1577.
Chen Lei, Xu Zhaoli, Yao Weimin, et al. The distribution of nutrients, phytoplankton and zooplankton in spring of the Oujiang River Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1571-1577.
- [11] 黄小平,黄良民.河口最大浑浊带浮游植物生态动力过程研究进展[J].*生态学报*,2002,22(9):1527-1533.
Huang Xiaoping, Huang Liangmin. Progress in researches on dynamical processes of phytoplankton ecology in maximum turbidity zone of estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1527-1533.
- [12] 李娟,温周瑞,李庚辰,等.太湖梅梁湾和贡湖湾浮游甲壳动物群落结构及其与环境因子的相互关系[J].*长江流域资源与环境*,2014,23(S1):81-90.
Li Juan, Wen Zhourei, Li Gengchen, et al. Relationship between crustacean zooplankton community structure and aquatic environmental factors of Meiliang and Gonghu bay in lake Taihu[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(S1): 81-90.
- [13] 高倩,徐兆礼.瓯江口水域夏、秋季浮游动物数量时空分布特征[J].*中国水产科学*,2009,16(3):372-380.
Gao Qian, Xu Zhaoli. Distribution pattern of zooplankton in the Oujiang Estuary during summer and autumn[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(3): 372-380.
- [14] 高倩,徐兆礼.瓯江口夏、秋季浮游动物种类组成及其多样性[J].*生态学报*,2009,28(10):2048-2055.
Gao Qian, Xu Zhaoli. Species composition and diversity of zooplankton in Oujiang River Estuary in summer and autumn[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2048-2055.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.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,2008.

- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey: Part 6 marine biological survey: GB/T 12763.6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [16] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in western Australia[J]. *Copeia*, 1971, 1971(3): 527-536.
- [17] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系 [J]. *生态学杂志*, 1989, 8(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]. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13-15.
- [18] Burks A W, Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[J]. *The Philosophical Review*, 1951, 60(3): 398-400.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范: 第 7 部分 近海污染生态调查和生物监测: GB 17378.7-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring: Part 7 ecological survey for offshore pollution and biological monitoring: GB 17378.7-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [20] 张群, 许旭明, 陈倩. 潮白河流域水库浮游动物群落季节变化特征及其驱动因素 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2023, 59(2): 290-300.
Zhang Qun, Xu Xuming, Chen Qian. Seasonal variation and drivers of zooplankton community in reservoirs of Chaobai river basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2023, 59(2): 290-300.
- [21] 翁学传, 王从敏. 关于台湾暖流水的研究 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 1989, 19(S1): 159-168.
Weng Xuechuan, Wang Congmin. A study on Taiwan warm current water[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 1989, 19(S1): 159-168.
- [22] Dagg M J. Ingestion of phytoplankton by the micro-and mesozooplankton communities in a productive subtropical estuary[J]. *Journal of Plankton Research*, 1995, 17(4): 845-857.
- [23] 付菲雨, 卜心宇, 沈鑫绿, 等. 西北太平洋亚热带海域浮游动物种类组成与分布 [J]. *应用生态学报*, 2022, 33(2): 544-550.
Fu Feiyu, Bu Xinyu, Shen Anglü, et al. Composition and distribution of zooplankton species in the subtropical areas of the northwestern Pacific Ocean[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(2): 544-550.
- [24] 陈小庆, 俞存根, 胡颢琰, 等. 舟山渔场及邻近海域浮游动物数量分布特征 [J]. *生态学报*, 2010, 30(7): 1834-1844.
Chen Xiaoping, Yu Cungen, Hu Haoyan, et al. Distribution characteristic of zooplankton quantitative in Zhoushan Fishing Ground and its adjacent area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1834-1844.
- [25] 林义, 邹清, 王航俊, 等. 温州沿岸海域春、夏季浮游动物群落特征及与环境因子的关系 [J]. *海洋开发与管理*, 2021, 38(6): 51-59.
Lin Yi, Zou Qing, Wang Hangjun, et al. Characteristics of zooplankton community structure and its response to environment factors in the Wenzhou coastal waters during spring and summer[J]. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(6): 51-59.
- [26] 邹清, 姚炜民, 张淑敏. 乐清湾 2009 年夏季浮游动物种类组成和数量分布 [J]. *海洋科学进展*, 2012, 30(2): 266-275.
Zou Qing, Yao Weimin, Zhang Shumin. Species composition and quantitative distribution of zooplankton in Yueqing Bay during the summer of 2009[J]. *Advances in Marine Science*, 2012, 30(2): 266-275.
- [27] 张才学, 周凯, 孙省利, 等. 深圳湾浮游动物的群落结构及季节变化 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(11): 2686-2692.
Zhang Caixue, Zhou Kai, Sun Xingli, et al. Community structure and seasonal variation of the zooplankton in Shenzhen Bay[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(11): 2686-2692.
- [28] Pu Xinming, Sun Song, Yang Bo, et al. The combined effects of temperature and food supply on *Calanus sinicus* in the southern Yellow Sea in summer[J]. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26(9): 1049-1057.
- [29] Huang Yousong, Liu Guangxing, Chen Xiaofeng. Molecular phylogeography and population genetic structure of the planktonic copepod *Calanus sinicus* Brodsky in the coastal waters of China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 33(10): 74-84.
- [30] 黄加祺, 郑重. 温度和盐度对厦门港几种桡足类存活率的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 1986, 17(2): 161-167.
Huang Jiaqi, Zheng Zhong. The effects of temperature and salinity on the survival of some copepods from Xiamen Harbour[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1986, 17(2): 161-167.
- [31] 王媛媛, 李捷, 石洪华, 等. 庙岛群岛南部海域浮游生物群落特征初步分析 [J]. *海洋科学*, 2016, 40(6): 30-40.
Wang Yuanyuan, Li Jie, Shi Honghua, et al. Preliminary analysis of the characteristics of plankton community in southern waters of Miaodao Archipelago[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(6): 30-40.
- [32] 张冬融, 徐兆礼, 徐佳奕, 等. 杭州湾不同水域秋季浮游动物群落结构及其影响因素 [J]. *应用生态学报*, 2015, 26(9): 2859-2866.
Zhang Dongrong, Xu Zhaoli, Xu Jiayi, et al. Zooplankton community structure in relation to influencing factors in different parts of Hangzhou Bay in autumn[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(9): 2859-2866.
- [33] 王桂忠, 李少菁, 陈峰, 等. 厦门港海区两种常见纺锤水蚤卵的生物学和季节演替 [J]. *厦门大学学报 (自然科学版)*, 1994, 33(S1): 135-140.
Wang Guizhong, Li Shaojing, Chen Feng, et al. Studies on the egg biology and seasonal succession of two common species of *Acartia* from Xiamen waters[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1994, 33(S1): 135-140.
- [34] 左涛, 王俊, 王秀霞. 莱州湾桡足类胸刺水蚤 (*Centropages*) 的种类季节更替和生态分布 [J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(2): 327-335.

- Zuo Tao, Wang Jun, Wang Xiuxia. Seasonal species succession and ecological distribution of Copepod *Centropages* in Laizhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(2): 327–335.
- [35] 袁骐, 王云龙. 东海北部肥胖箭虫和百陶箭虫空间分布参数的特征 [J]. *海洋渔业*, 2007, 29(3): 240–244.
- Yuan Qi, Wang Yunlong. On the parametric features of the spatial distribution of *Sagitta enflata* and *Sagitta bedoti* in the northern part of the East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2007, 29(3): 240–244.
- [36] 孙鲁峰, 孙岳, 徐兆礼. 椒江口海域浮游动物群落季节变化特征 [J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(1): 131–138.
- Sun Lufeng, Sun Yue, Xu Zhaoli. The study on the seasonal variations of zooplankton community in Jiaojiang coastal waters[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(1): 131–138.
- [37] 郑敬云, 李孟国, 麦苗, 等. 瓯江口水文泥沙特征分析 [J]. *水道港口*, 2008, 29(1): 1–7.
- Zheng Jingyun, Li Mengguo, Mai Miao, et al. Hydrographic and sediment analyses of the Oujiang Estuary[J]. *Journal of Waterway and Harbor*, 2008, 29(1): 1–7.
- [38] 徐佳奕, 徐兆礼. 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 [J]. *生态学报*, 2013, 33(5): 1413–1424.
- Xu Jiayi, Xu Zhaoli. Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(5): 1413–1424.
- [39] Devreker D, Souissi S, Seuront L. Effects of chlorophyll concentration and temperature variation on the reproduction and survival of *Temora longicornis* (Copepoda, Calanoida) in the eastern English Channel[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, 318(2): 145–162.
- [40] Lenz P H, Hower A E, Hartline D K. Temperature compensation in the escape response of a marine copepod, *Calanus finmarchicus* (Crustacea)[J]. *The Biological Bulletin*, 2005, 209(1): 75–85.
- [41] 郑白雯, 曹文清, 林元烧, 等. 北部湾北部生态系统结构与功能研究 I. 浮游动物种类组成及其时空变化 [J]. *海洋学报*, 2013, 35(6): 154–161.
- Zheng Baiwen, Cao Wenqing, Lin Yuanshao, et al. Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf I. The temporal and spatial variation of species composition on zooplankton[J]. *Haiyang Xuebao*, 2013, 35(6): 154–161.
- [42] 付菲雨, 韩需武, 方舟, 等. 西北太平洋春、冬季浮游动物优势种水平分布与影响因子的关系 [J]. *大连海洋大学学报*, 2022, 37(3): 489–496.
- Fu Feiyu, Han Peiwu, Fang Zhou, et al. Distribution and relationship with influential factors of dominant zooplankton species in the Northwest Pacific Ocean in spring and winter[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2022, 37(3): 489–496.
- [43] 朱延忠, 陈洪举, 刘光兴. 福建沙埕港浮游动物群落特征及影响因子 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2008, 38(6): 943–950.
- Zhu Yanzhong, Chen Hongju, Liu Guangxing. Study on the community characteristics of zooplankton and influential factors in Shacheng Harbor, Fujian Province[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(6): 943–950.

补充材料

表 S1 种类名录及季节分布

补充材料可通过 <http://www.hyxbocean.cn/> 获取。补充材料未进行排版和编辑, 内容的准确性和科学性由作者承担。

Correlation analysis of zooplankton community structure and environmental factors in the Oujiang River Estuary

Wang Yuhang^{1,2,3}, Li Shangqing^{1,2,3}, Ye Shen^{2,3}, Tang Wei^{2,3}, Qin Song^{2,3}, Fan Qingsong^{2,3},
Qiu Wenzhi^{1,2,3}, Ai Longwei^{1,2,3}, Zheng Chunfang¹, Liu Weicheng^{2,3}

(1. College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China; 2. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China; 3. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bioresource, Wenzhou 325005, China)

Abstract: In order to explore the relationship between zooplankton community structure and environmental factors in the Oujiang River Estuary, four voyages were conducted in March (winter), May (spring), August (summer) and November (autumn) in 2021 to investigate the zooplankton and other environmental factors such as sea temperat-

ure, salinity and chlorophyll *a* concentration in the Oujiang River Estuary sea area. The results show that 78 species of zooplankton are identified, including 16 species of larva, it belongs to 8 classes and 14 categories, with the highest number of species in summer (47 species) and the lowest number in winter (23 species). The dominant species ($Y \geq 0.02$) include *Calanus sinicus*, *Sinocalanus sinensis*, *Acartia pacifica*, and *Centropages dorsispinatus*, 17 species. The average annual abundance of zooplankton is (162.95 ± 310.96) ind./m³, and the average annual biomass is (118.85 ± 62.80) mg/m³. The abundance and biomass of zooplankton are the highest in spring and the lowest in autumn. The abundance in winter is higher than that in summer, and the biomass is lower than that in summer. The average annual Shannon-Wiener diversity index (H'), Pielou evenness index (J') and Margalef richness index (D) are 1.500 ± 0.702 , 0.656 ± 0.270 and 2.301 ± 1.087 , respectively. Spearman correlation analysis and canonical correspondence analysis show that sea temperature, salinity, Chl *a* concentration and phytoplankton abundance are important environmental factors affecting the dominant abundance of zooplankton in the Oujiang River Estuary. It provides scientific reference for the study on the influence of seasonal environmental changes on zooplankton in the Oujiang River Estuary, and provides basic data and theoretical basis for the sustainable development of biological resources in the Oujiang River Estuary.

Key words: zooplankton; Oujiang River Estuary; the seasons change; environmental factors; Canonical Correspondence Analysis