

文章编号: 1674-5566(2024)04-0927-11

DOI: 10.12024/jsou.20240304441

## 2021—2022年西北太平洋公海浮游动物种类组成与分布特征

沈维<sup>1</sup>, 刘必林<sup>1,2,3,4</sup>, 刘庭羽<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业可持续利用重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 浮游动物是连接海洋食物网初级生产者和低营养级生物的重要纽带, 是渔场形成的重要生物基础。根据上海海洋大学“淞航”号渔业资源调查船2021和2022年6—8月在西北太平洋公海进行渔业资源综合科学调查期间采集的浮游动物样本, 对其种类组成、分布特征及其与环境的关系等进行了分析。结果表明, 两年在调查海域共采集浮游动物174种, 隶属于10个类群, 浮游动物以桡足类和浮游幼体居多, 分别鉴定出95种、22种, 占种类总数的54.6%、12.6%, 其次为水母类, 鉴定出18种, 介形类、被囊类、毛颚类、磷虾类和腹足类分别鉴定出11种、9种、6种、4种和3种, 多毛类、端足类和枝角类各鉴定出2种。优势属(种)包括基齿哲水蚤属、隆水蚤属、拟哲水蚤属、丽哲水蚤属、羽长腹剑水蚤、隐长腹剑水蚤和长腹水蚤科幼体等7类。两年的物种种类和优势属(种)组成类似。2021年浮游动物平均丰度为732.89 ind./m<sup>3</sup>, 低于2022年的1418.88 ind./m<sup>3</sup>; 2021年的Shanno-Wiener指数为1.57~3.16、均匀度指数为0.54~0.91、丰富度指数为0.84~3.36, 三者分别均高于2022年的0.66~2.92、0.26~0.94、0.77~3.11。GAM分析显示, 浮游动物的丰度与海表盐度和200 m层水温呈显著负相关关系, 分析认为黑潮和亲潮对丰度的时空分布也有一定的影响。研究结果将为西北太平洋公海浮游动物的研究提供可参考的基础资料。

**关键词:** 浮游动物; 物种组成; 多样性指数; GAM模型; 西北太平洋

**中图分类号:** Q958.8; S932.8 **文献标志码:** A

浮游动物是重要的次级生产者, 连接着海洋食物网中的初级生产者和较高一级营养级的生物, 是海洋食物网中重要的一环, 在物质循环和能量流动中起着十分重要的作用。浮游动物对环境的变化也十分敏感, 其数量与种类的分布极易受到水文状况的影响而呈现出差异<sup>[1]</sup>, 因此可作为环境监测的优秀指标生物。西北太平洋海域是世界重要的海洋渔场, 该海域环境复杂, 存在着具有高温高盐性质的黑潮和低温低盐性质的亲潮<sup>[2]</sup>, 在黑潮和亲潮的交汇区域海水发生搅动, 带来大量营养物质, 为海域浮游动物的生长创造了条件<sup>[3-4]</sup>。

目前, 已有许多学者对西北太平洋的浮游动

物进行了各类研究。主要集中在探究亚北极地区的新哲水蚤属(*Neocalanus* sp.)的生活史<sup>[5-7]</sup>, 浮游动物的垂直分布<sup>[8]</sup>、昼夜迁移<sup>[9]</sup>以及气候环境变化<sup>[10-12]</sup>对其的影响。但是这些研究多集中在浮游动物的某些类群或者栖息分布行为上, 缺少较为全面的多种类物种组成、群落结构的研究。为此, 本文对比分析2021和2022年西北太平洋公海海域浮游动物的种类组成、丰度和多样性指数差异, 结合海域环境因子, 探讨影响浮游动物的种类组成、栖息分布的影响因素, 以期今后开展西北太平洋浮游动物的研究提供参考。

收稿日期: 2024-03-06

修回日期: 2024-04-15

基金项目: 上海市高校特聘教授“东方学者”岗位跟踪计划(GZ2022011); 农业农村部全球渔业资源调查监测评估(公海渔业资源综合科学调查)专项(D-8025-23-1002)

作者简介: 沈维(2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源学。E-mail: 1071424670@qq.com

通信作者: 刘必林, E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

## 1 材料与方法

### 1.1 采样区域与方法

2021和2022年6—8月上海海洋大学“淞航”号渔业资源调查船在西北太平洋公海(35°N~45°N, 148°E~165°E)分别采集了79和77个站点的浮游动物(图1)。浮游动物样品的采集和处理均按《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查》(GB/T12763.3—2007)实施,采用定制双鼓网,网长2.8 m,其中采集浮游植物的网口1内径37 cm,筛绢孔径近似值为20 μm;采集浮游动物的网口2内径57 cm,筛绢孔径近似值为200 μm,取样时由水深200 m垂直拖曳至表层,样品保存于5%甲醛溶液中,在实验室内使用体式显微镜进行种类鉴定及个体计数。

所有样本采集、实验流程、研究方法均严格按照《上海海洋大学实验室动物伦理规范》和上海海洋大学伦理委员会制定的规章制度执行。

### 1.2 海域基础环境因子

调查海域水温、盐度、溶解氧和叶绿素a质量浓度(*Chl.a*)等环境因子由温盐深仪(Conductivity-temperature-depth, CTD)现场测定;流速数据由船载声学多普勒流速剖面仪(Acoustic doppler current profiler, ADCP)现场测定(表1)。

### 1.3 数据处理

根据每个种的优势度值(*Y*)确定浮游动物的优势种<sup>[13]</sup>,其计算公式为

$$Y=(n_i/N) \times f_i \quad (1)$$

式中: $n_i$ 为第*i*种浮游动物的个体数; $N$ 为浮游动物总个体数; $f_i$ 为第*i*种浮游动物在总调查站点的出现频率。将 $Y \geq 0.02$ 的种类作为优势种。

采用Shanno-Wiener多样性指数( $H'$ )、Pielou均匀度指数( $J'$ )和Margalef丰富度指数( $D'$ )来描述浮游动物的生物多样性<sup>[14-15]</sup>,计算公式如下

$$H'=-\sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln(n_i/N) \quad (2)$$

$$J'=H'/\ln S \quad (3)$$

$$D'=(S-1)/\ln N \quad (4)$$

式中: $n_i$ 为第*i*种浮游动物的个体数; $N$ 为浮游动物总个体数; $S$ 为物种的总种数。

采用Past 4.09计算多样性指数,利用Spss 25进行单因素方差分析两年间的多样性指数差异性。使用R软件的“mgcv”包,以溶解氧、流速、 $T_{50}$ 、 $T_{100}$ 、 $T_{150}$ 、 $T_{200}$ 、平均水温、盐度和叶绿素作为解

释变量,浮游动物的丰度值作为响应变量,构建广义加性模型(Generalized additive models, GAM),分析浮游动物丰度与环境因子的关系。用R软件的“ggplot2”包,绘制浮游动物丰度和多样性指数平面分布图。

## 2 结果

### 2.1 种类组成及优势种

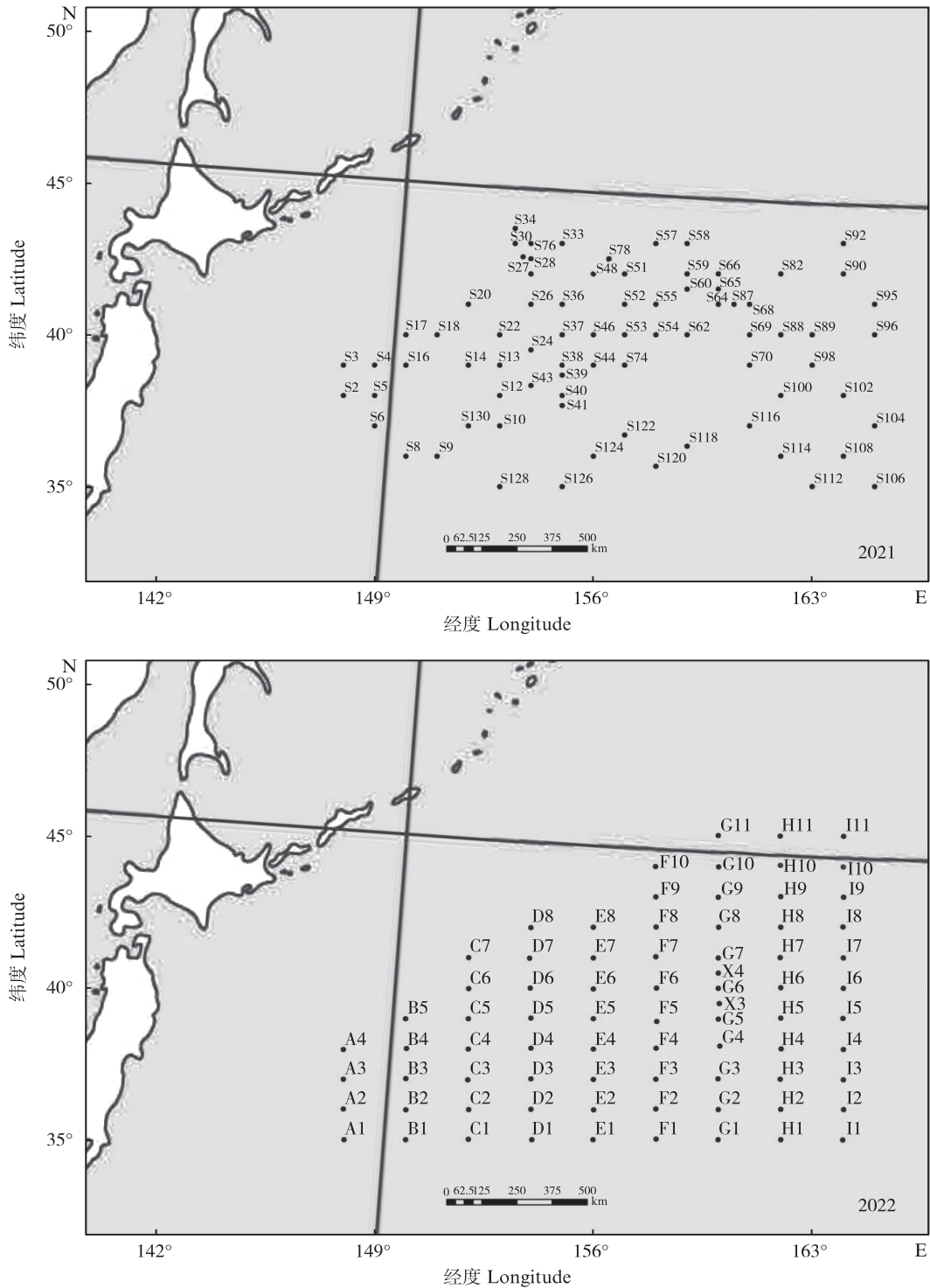
2021—2022年在西北太平洋公海海域共采集到浮游动物174种(包括浮游幼体22种),属于10个类群(表2)。2021年采集到浮游动物142种,其中桡足类82种、水母类14种、介形类9种、被囊类7种、毛颚类4种、磷虾类3种、多毛类、端足类、枝角类各2种和浮游幼体17种;2022年采集到浮游动物139种,其中桡足类74种、水母类13种、介形类9种、被囊类8种、毛颚类4种、磷虾类、腹足类各3种、多毛类、枝角类各2种、端足类1种和浮游幼体20种。2021年和2022年浮游动物种类数变动不大,重复出现的种类有107种;种类组成变动也不大,桡足类的种类数占比最高,分别达57.75%和53.24%;其次为浮游幼体,分别占11.96%和14.38%。

根据优势度指数,2021年优势种为基齿哲水蚤属(*Clausocalanus* sp.)、隆水蚤属(*Oncaea* sp.)、拟哲水蚤属(*Paracalanus* sp.)、羽长腹剑水蚤(*Oithona plumifera*)和长腹水蚤科幼体。与2021年相比,2022年优势种增加了丽哲水蚤属(*Calocalanus* sp.)和隐长腹剑水蚤(*Oithona decipiens*),见表3。2022年优势种增加了40%,优势度最大的均为羽长腹剑水蚤。

### 2.2 丰度的平面分布特征

调查海域2021年的浮游动物丰度为29.26~2 602.64 ind./m<sup>3</sup>,平均为732.89 ind./m<sup>3</sup>;2022年的浮游动物丰度为95.74~6 829.96 ind./m<sup>3</sup>,平均为1 418.88 ind./m<sup>3</sup>。两年对比显示,2021年浮游动物的平均丰度低于2022年,基本为2022年的一半;两年的浮游动物丰度值总体分布呈现南部低、北部高的趋势,各站点分布不均匀。

GAM模型分析显示,2021年影响浮游动物丰度的主要因子为 $T_{200}$ 和盐度(表4);丰度值与 $T_{200}$ 呈显著负相关,与盐度极显著负相关(图2)。2022年影响浮游动物丰度的主要因子为盐度(表4),丰度值与盐度呈极显著的负相关(图3)。



基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4392号标准地图为底图,底图边界无修改。

The figure is based on the standard map GS (2020)4392 in the Standard Map Service website of Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, with no modifications of the boundaries in the standard map.

图1 2021、2022年浮游动物采样点分布

Fig. 1 Sampling sites for zooplankton in 2021 and 2022

表1 2021年和2022年采样点环境因子  
Tab. 1 Environmental factors at sampling sites in 2021 and 2022

| 环境因子<br>Factor                           | 2021           |                |                    | 2022           |                |                    |
|--|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|
|  | 最小值<br>Minimum | 最大值<br>Maximum | 平均值±标准差<br>Mean±SD | 最小值<br>Minimum | 最大值<br>Maximum | 平均值±标准差<br>Mean±SD |
| 溶解氧<br>DO/(mg/L)                         | 6.98           | 12.12          | 9.20±1.08          | 7.69           | 12.11          | 9.37±1.01          |
| 流速<br>Flow/(mm/s)                        | 301.60         | 2 931.51       | 744.53±490.96      | 152.25         | 2 889.96       | 479.77±576.79      |
| 50 m层水温<br>T <sub>50</sub> /°C           | 1.88           | 23.56          | 14.99±5.11         | 5.40           | 22.90          | 14.79±3.94         |
| 100 m层水温<br>T <sub>100</sub> /°C         | 1.23           | 20.77          | 12.54±4.41         | 2.88           | 19.92          | 12.32±4.01         |
| 150 m层水温<br>T <sub>150</sub> /°C         | 2.28           | 18.45          | 11.24±4.20         | 3.12           | 18.24          | 11.02±3.85         |
| 200 m层水温<br>T <sub>200</sub> /°C         | 2.70           | 17.74          | 10.20±4.10         | 3.07           | 17.56          | 9.97±3.89          |
| 平均水温<br>Average temperature/°C           | 2.20           | 20.45          | 13.14±4.41         | 3.97           | 20.47          | 12.61±3.78         |
| 盐度<br>Salinity                           | 33.23          | 34.77          | 34.21±0.38         | 33.31          | 34.72          | 34.25±0.31         |
| 叶绿素 a 质量浓度<br>Chl.a/(mg/m <sup>3</sup> ) | 0.17           | 1.38           | 0.51±0.20          | 0.22           | 1.19           | 0.60±0.22          |

表2 2021年和2022年浮游动物种类组成  
Tab. 2 Zooplankton species composition in 2021 and 2022

| 类群<br>Group               | 2021                  |                                  | 2022                  |                                  |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
|                           | 种类数<br>Species number | 种类数占比<br>Percentage of species/% | 种类数<br>Species number | 种类数占比<br>Percentage of species/% |
| 桡足类<br>Copepoda           | 82                    | 57.75                            | 74                    | 53.24                            |
| 水母类<br>Scyphozoa          | 14                    | 9.86                             | 13                    | 9.35                             |
| 毛颚类<br>Chaetognatha       | 4                     | 2.82                             | 4                     | 2.88                             |
| 磷虾类<br>Euphausiacea       | 3                     | 2.11                             | 3                     | 2.16                             |
| 介形类<br>Ostracoda          | 9                     | 6.34                             | 9                     | 6.47                             |
| 多毛类<br>Polychaeta         | 2                     | 1.41                             | 2                     | 1.44                             |
| 被囊类<br>Tunicata           | 7                     | 4.93                             | 8                     | 5.76                             |
| 端足类<br>Amphipoda          | 2                     | 1.41                             | 1                     | 0.72                             |
| 腹足类<br>Gastropoda         | -                     | -                                | 3                     | 2.16                             |
| 枝角类<br>Cladocera          | 2                     | 1.41                             | 2                     | 1.44                             |
| 浮游幼体<br>Planktonic larvae | 17                    | 11.96                            | 20                    | 14.38                            |
| 合计<br>Total               | 142                   | 100.00                           | 139                   | 100.00                           |

表 3 2021 年和 2022 年浮游动物优势种  
Tab. 3 Dominant species of zooplankton in 2021 and 2022

| 类群<br>Group               | 优势种<br>Species | 2021     |                     |  | 2022     |                     |  |
|---------------------------|----------------|----------|---------------------|--|----------|---------------------|--|
|                           |                | 优势度<br>Y | 出现频率<br>Frequency/% | 平均丰度<br>Average abundance/<br>(ind./m <sup>3</sup> ) | 优势度<br>Y | 出现频率<br>Frequency/% | 平均丰度<br>Average abundance/<br>(ind./m <sup>3</sup> ) |
| 桡足类<br>Copepoda           | 丽哲水蚤属          | -        | -                   | -  | 0.027    | 85.71               | 44.95  |
|                           | 基齿哲水蚤属         | 0.172    | 98.77               | 127.79   | 0.204    | 98.70               | 293.95   |
|                           | 隐长腹剑水蚤         | -        | -                   | -  | 0.024    | 73.32               | 45.42  |
|                           | 羽长腹剑水蚤         | 0.303    | 100.00              | 221.95   | 0.351    | 98.70               | 504.11   |
|                           | 隆水蚤属           | 0.042    | 95.06               | 32.34  | 0.047    | 92.20               | 73.06  |
|                           | 拟哲水蚤属          | 0.114    | 98.77               | 84.28  | 0.090    | 97.40               | 130.51   |
| 浮游幼体<br>Planktonic larvae | 长腹水蚤科幼体        | 0.030    | 81.48               | 27.05  | 0.034    | 89.61               | 53.84  |

表 4 2021 年和 2022 年浮游动物丰度 GAM 模型分析结果  
Tab. 4 Results of generalized additive models (GAM) analysis of abundance in 2021 and 2022

| 环境因子<br>Factor                           | 2021  |       | 2022  |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
|  | F     | P     | F     | P     |
| 溶解氧<br>DO/(mg/L)                         | 2.672 | 0.108 | 0.514 | 0.476 |
| 流速<br>Flow/(mm/s)                        | 0.987 | 0.325 | 0.913 | 0.484 |
| 50 m 层水温<br>T <sub>50</sub> /°C          | 0.506 | 0.480 | 0.175 | 0.804 |
| 100 m 层水温<br>T <sub>100</sub> /°C        | 0.846 | 0.487 | 1.412 | 0.347 |
| 150 m 层水温<br>T <sub>150</sub> /°C        | 2.262 | 0.138 | 0.046 | 0.832 |
| 200 m 层水温<br>T <sub>200</sub> /°C        | 4.832 | 0.032 | 0.173 | 0.680 |
| 平均水温<br>Average temperature /°C          | 0.012 | 0.915 | 0.035 | 0.893 |
| 盐度<br>Salinity                           | 5.462 | <0.01 | 4.621 | <0.01 |
| 叶绿素 a 质量浓度<br>Chl.a/(mg/m <sup>3</sup> ) | 0.971 | 0.329 | 0.186 | 0.669 |

### 2.3 多样性指数的分布特征

2021 年 Shannon-Wiener 指数、均匀度指数和丰富度指数分别为 1.57~3.16、0.54~0.91、0.84~3.36, 均值分别为 2.27、0.75、1.88。Shannon-Wiener 指数和丰富度指数总体分布呈现由南向北逐渐降低的趋势, 高值区均主要出现在西南部; 均匀度指数高值区主要出现在南部和西北部, 低值区位于东北部(图 4)。2022 年 Shannon-Wiener 指数、均匀度指数和丰富度指数分别为 0.66~2.92、0.26~0.94、0.77~3.11, 均值分别为 2.09、0.70、1.71。Shannon-Wiener 指数和均匀度指数呈现南部高、北部低的特点, 丰富度指数的高值区出现在西南部(图 4)。2021 和 2022 年 Shannon 多样性指数和

Margalef 丰富度指数均有显著差异( $P < 0.05$ ), Pielou 均匀度指数有极显著差异( $P < 0.01$ )。总体来看, 2021 年 Shannon-Wiener 指数、均匀度指数和丰富度指数均高于 2022 年。

## 3 讨论

### 3.1 浮游动物种类组成及优势种

从浮游动物种类数来看, 2021 和 2022 年调查海域浮游动物分别为 142 和 139 种, 两年无明显差异; 从浮游动物的种类组成来看, 2021 和 2022 年调查海域浮游动物种类组成均较为丰富, 且以桡足类占绝对优势, 这与以往研究<sup>[16-17]</sup>相似。西北太平洋海域内存在亲潮和黑潮两大海流, 黑

潮是北太平洋副热带环流的西边界流,具有高温高盐的性质,而亲潮则低温、低盐,它们在40°N左右交汇,为浮游动物的生长及繁殖提供了多样的海洋环境。两股海流携带不同温盐特性的浮游动物聚集,也提高了该海域浮游动物的多样性<sup>[18]</sup>。调查海域中出现的腹突乳点水蚤

(*Pleuromamma abdominalis*)、瘦乳点水蚤(*Pleuromamma gracilis*)和粗乳点水蚤(*Pleuromamma robusta*)都是热带暖水种<sup>[19]</sup>,而新哲水蚤属(*Neocalanus* sp.)是亚北极冷水种<sup>[20]</sup>,这也证明黑潮和亲潮对浮游动物的分布和多样性具有重要影响。

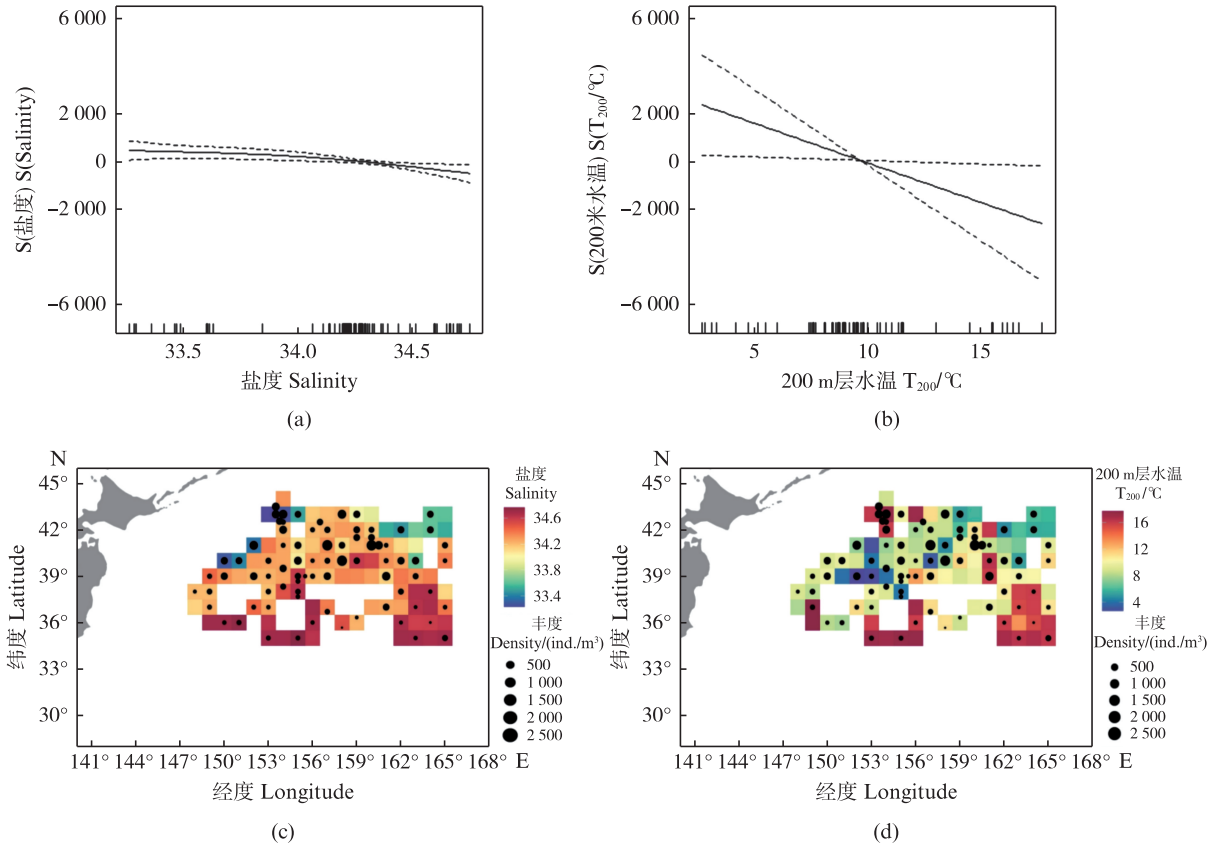


图2 2021年浮游动物丰度与环境因子的关系  
Fig. 2 Relationships between abundance and different environmental factors in 2021

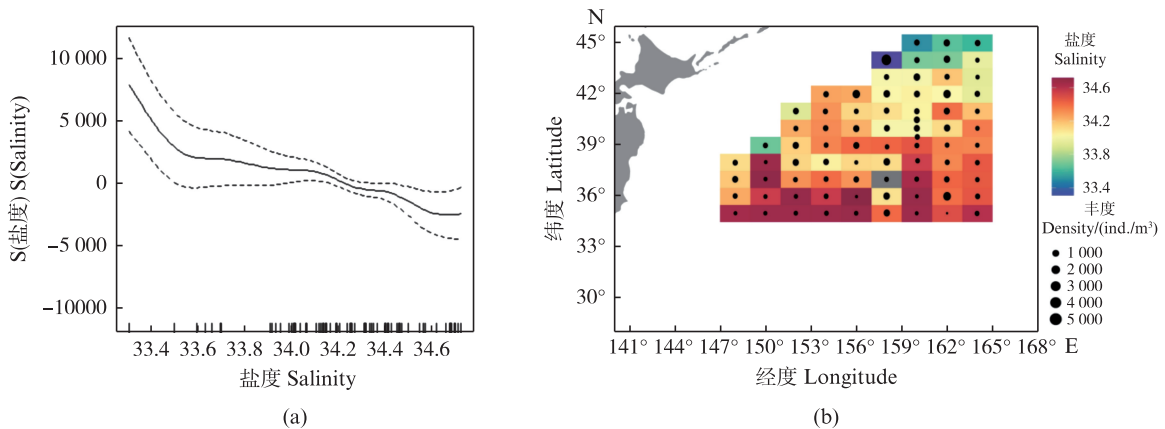


图3 2022年浮游动物丰度与环境因子的关系  
Fig. 3 Relationships between abundance and different environmental factors in 2022

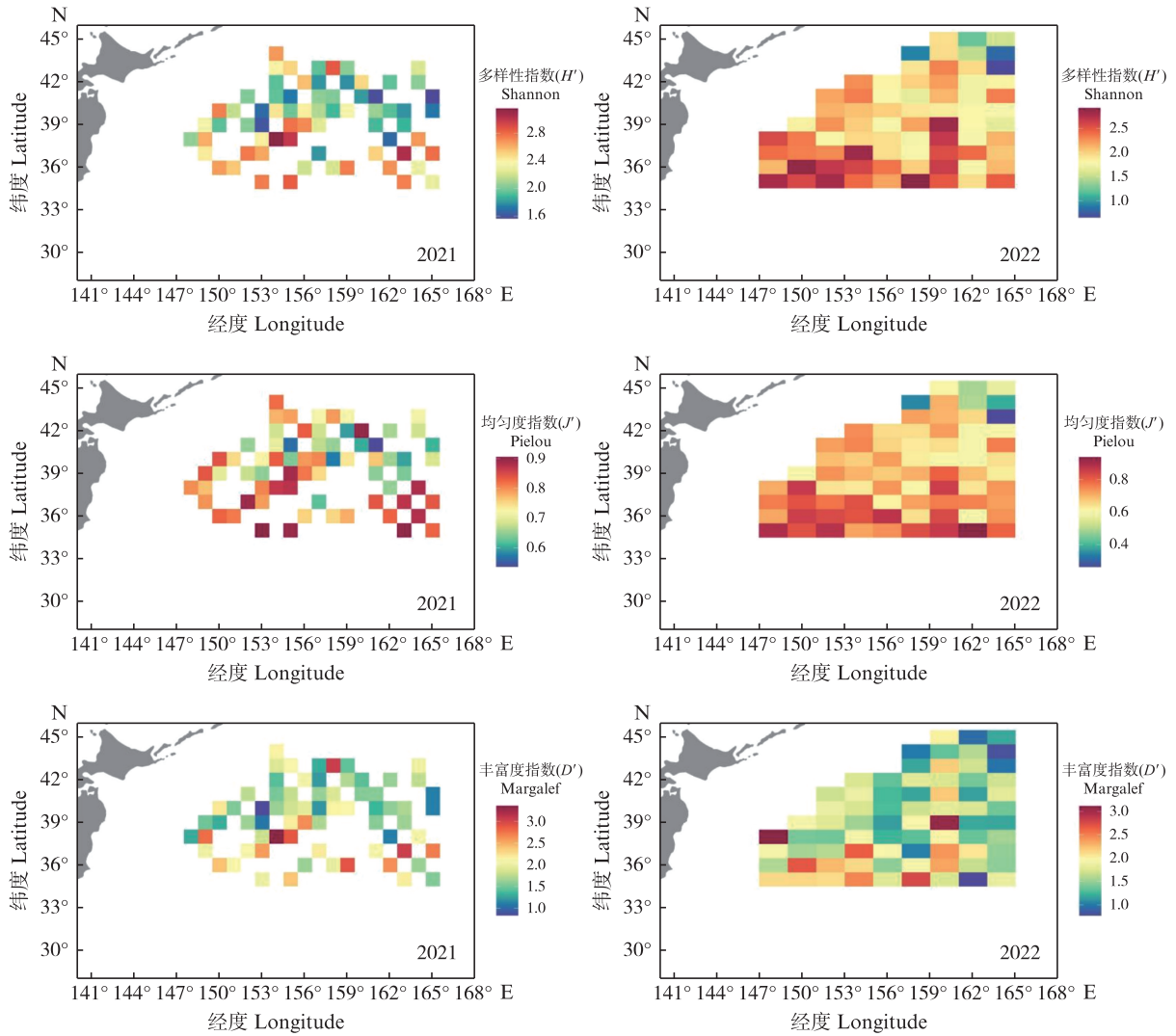


图4 2021、2022年浮游动物多样性指数的空间分布  
 Fig. 4 Spatial distribution of zooplankton biodiversity in 2021 and 2022

2021 和 2022 年的优势种基齿哲水蚤属、隆水蚤属、拟哲水蚤属、丽哲水蚤属、羽长腹剑水蚤和隐长腹剑水蚤均为小型桡足类。小型桡足类繁殖快、生命周期短<sup>[21]</sup>,故而产量高,比体型较大的浮游动物更有优势。另外,这些小型桡足类都是广温广盐种,适应能力较强,几乎在世界的各个海域均有广泛分布<sup>[22]</sup>。西北太平洋的海域环境相对稳定,使得两年的优势种和优势度变化均不明显,优势种较为集中。2021 和 2022 年第一优势种均为羽长腹剑水蚤,其集中度也均最高,该结果与付菲雨等<sup>[18]</sup>在 2019 年 3 月对西北太平洋海域(28°N ~35°N, 147°E ~154°E)的调查结果不一致,本研究的调查时间为 6—8 月,且采样区域(35°N ~45°N, 148°E ~165°E)偏北,不同的调查时间和区域导致优势种有所区别。

### 3.2 浮游动物丰度时空分布变化与环境因子的关系

#### 3.2.1 丰度与纬度、流速的关系

研究认为,在副热带北太平洋西边界流区域以及亚热带海域,浮游动物的丰度随纬度的增高而增大<sup>[23-24]</sup>,而本研究调查海域同样也发现类似的现象。

2021 年浮游动物的丰度总体低于 2022 年浮游动物的丰度,约为 2022 年的一半。通过对比两年的环境因子发现,2021 年的海流流速大于 2022 年,平均流速几乎为 2022 年的 2 倍。由于浮游动物没有自主游泳的能力,只能依附在水流中流动,在较大的流速下浮游动物不能聚集,都随着海流运动<sup>[25]</sup>,而 2021 年的平均流速较大,导致 2021 年浮游动物的丰度较小。从浮游动物丰度

的空间分布特征来看,黑潮延伸体流经区域浮游动物的丰度较小,而亲潮流经区域的浮游动物丰度较大。由于亲潮的海流流速总体比黑潮慢,所以在亲潮流经区域的浮游动物相对较为聚集,丰度也会高于黑潮延伸体流经区域。

### 3.2.2 丰度与温度、盐度的关系

温度和盐度是海洋中重要的环境因子,会影响浮游动物的组成与分布<sup>[26]</sup>。国内外多名学者已发现浮游动物的丰度和生物量与盐度有关。SUN等<sup>[27]</sup>研究发现西太平洋160°E的浮游动物的生物量与盐度呈显著负相关;POMERLEAU等<sup>[28]</sup>在太平洋海域发现的优势种丰度也与盐度呈正相关;本研究结果中,2021和2022年浮游动物的丰度均与盐度呈显著负相关,与POMERLEAU等<sup>[28]</sup>的研究结果有所区别,这可能是因为白令海峡区域耐低盐的浮游动物较多,而本研究海域偏南,多为对盐度不耐受的物种。此外,浮游动物的丰度与温度也相关。VOLVENKO等<sup>[29]</sup>对浮游动物进行了20年的监测,发现其丰度与海表温具有显著的相关性,这与本文的研究结果相似;MACKAS等<sup>[11]</sup>研究发现对于中纬度的海域,在温度升高时,浮游动物的空间分布和最大丰度区会向北移动。

另外,温度和盐度同时也影响着浮游动物的生长、代谢和繁殖过程。在一定范围内盐度升高时,安氏伪镖水蚤(*Pseudodiaptomus annandalei*)的运动会被抑制,影响其生长过程<sup>[30]</sup>;调查海域中的浮游动物,例如背针胸刺水蚤(*Centropages dorsispinatus*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)等属于低盐类群<sup>[31]</sup>,对盐度的适应性较差,在盐度较高的水域难以生存,导致它们丰度较小。另外,高盐度的水域中可能导致浮游植物不能生存<sup>[32]</sup>,影响浮游动物的摄食,继而也会影响仔稚鱼的性腺发育等生理过程<sup>[33]</sup>和头足类等的生长<sup>[34]</sup>。

### 3.3 多样性指数时空分布变化

2021和2022年的Shannon-Wiener指数、均匀度指数和丰富度指数总体上均呈现南部高、北部低的格局,这可能与黑潮和亲潮的交汇带来丰富的营养物质有关。两年的Shannon-Wiener指数和丰富度指数均较高,说明浮游动物的多样性较高,研究证实许多类群的最高物种多样性都出现于西太平洋<sup>[35]</sup>。一般认为,均匀度指数大于0.3

时<sup>[36]</sup>,物种分布比较均匀。2021年航次调查的79个站点均匀度指数均大于0.3,2022年航次调查的77个站点中有76个站点均匀度指数大于0.3,说明两年浮游动物的物种组成分布比较均匀,群落结构组成较为丰富。

2022年F10站点的Shannon指数、丰富度指数和均匀度指数较低,但是丰度很高,说明该站点浮游动物丰度虽然高,但种类少,多样性低,物种分布不均匀。结合其环境因子和物种组成,F10站点的温度过低造成了那些暖水性种类在此环境下不适应生存,因此物种数量较少。羽长腹剑水蚤数量占绝对优势,丰度远高于其他物种。羽长腹剑水蚤在黄海、渤海中均有广泛分布<sup>[37-38]</sup>,且同属的隐长腹剑水蚤在北极Kings Bay海域也是优势种<sup>[22]</sup>,这说明羽长腹剑水蚤属于广温广盐种,对温度和盐度的适应范围较广,在较低的温度下也能生存,所以数量特别高,这就导致该站点的均匀度指数偏低。

## 4 结论

2021和2022年在西北太平洋海域共鉴定出浮游动物174种,其中2021年142种,2022年139种。基齿哲水蚤属、隆水蚤属、拟哲水蚤属、羽长腹剑水蚤和长腹水蚤科幼体是两年的共有优势属(种),2022年另有优势属(种)丽哲水蚤属和隐长腹剑水蚤,两年的物种种类和优势种组成相似。

浮游动物的丰度较高且空间分布差异较大,北部为高值区,这与黑潮和亲潮的共同作用有关。丰度主要受200 m层水温和盐度的影响;多样性指数总体呈现南部高、北部低的格局。本研究为今后西北太平洋公海浮游动物的研究提供了基础资料。

感谢所有参与调查以及样品采集和鉴定的老师、同学。

### 参考文献:

- [1] BONECKER C C, SIMÕES N R, MINTE-VERA C V, et al. Temporal changes in zooplankton species diversity in response to environmental changes in an alluvial valley[J]. *Limnologia*, 2013, 43(2): 114-121.
  - [2] 王亚松. 西北太平洋黑潮-亲潮混合区溶解有机质分布特征、生物降解过程及水团指示潜力[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- WANG Y S. Distribution characters, biodegradation



- processes and potential as water mass tracers of dissolved organic matter in the Kuroshio-Oyashio confluence region of the northwest Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [3] 徐兆礼, 崔雪森, 黄洪亮. 北太平洋柔鱼渔场浮游动物数量分布及与渔场的关系[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 515-521.
- XU Z L, CUI X S, HUANG H L. Distribution of zooplankton in *Ommastrephes batrami* fishing ground of the North Pacific Ocean and its relationship with the fishing ground[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 515-521.
- [4] 朱清澄, 马伟刚, 刘昊, 等. 夏季西北太平洋公海秋刀鱼渔场浮游动物数量分布初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(1): 118-122.
- ZHU Q C, MA W G, LIU H, et al. Study on distribution of zooplankton in Pacific saury (*Cololabis saira*) fishing ground of the North Pacific Ocean in summer[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(1): 118-122.
- [5] MILLER C B, FROST B W, BATCHELDER H P, et al. Life histories of large, grazing copepods in a subarctic ocean gyre: *Neocalanus plumchrus*, *Neocalanus cristatus*, and *Eucalanus bungii* in the Northeast Pacific[J]. Progress in Oceanography, 1984, 13(2): 201-243.
- [6] TSUDA A, SAITO H, KASAI H. Geographical variation of body size of *Neocalanus cristatus*, *N. plumchrus* and *N. flemingeri* in the subarctic Pacific and its marginal seas: implications for the origin of large form of *N. flemingeri* in the Oyashio Area[J]. Journal of Oceanography, 2001, 57(3): 341-352.
- [7] TSUDA A, SAITO H, KASAI H. Life histories of *Neocalanus flemingeri* and *Neocalanus plumchrus* (Calanoida: Copepoda) in the western subarctic Pacific[J]. Marine Biology, 1999, 135(3): 533-544.
- [8] DAI L P, LI C L, TAO Z C, et al. Zooplankton abundance, biovolume and size spectra down to 3000 m depth in the western tropical North Pacific during autumn 2014 [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2017, 121: 1-13.
- [9] YAMAGUCHI A, MATSUNO K, HOMMA T. Spatial changes in the vertical distribution of calanoid copepods down to great depths in the North Pacific [J]. Zoological Studies, 2015, 54: 13.
- [10] ARONÉS K, AYÓN P, HIRCHE H J, et al. Hydrographic structure and zooplankton abundance and diversity off Paíta, northern Peru (1994 to 2004) —ENSO effects, trends and changes[J]. Journal of Marine Systems, 2009, 78(4): 582-598.
- [11] 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.
- [12] CHIBA S, BATTEN S D, YOSHIKI T, et al. Temperature and zooplankton size structure: climate control and basin-scale comparison in the North Pacific [J]. Ecology and Evolution, 2015, 5(4): 968-978.
- [13] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鱼渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989(4): 13-15, 19.
- XU Z L, CHEN Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 1989(4): 13-15, 19.
- [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]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2048-2055.
- GAO Q, XU Z L. 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] 陈佳杰, 徐兆礼, 陈雪忠. 冬、春季黄海南部沿岸水域浮游动物[J]. 海洋渔业, 2008, 30(4): 327-332.
- CHEN J J, XU Z L, CHEN X Z. Zooplankton in the Coastal waters of Southern Yellow Sea during winter and spring[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(4): 327-332.
- [16] 付菲雨, 韩霏武, 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 F Y, HAN P W, FANG Z, 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.
- [17] 辛全栋, 李向阳, 肖雪艳, 等. 西北太平洋海域表层浮游动物群落结构与其环境因子的关系[J]. 宁波大学学报(理工版), 2023, 36(2): 23-30.
- XIN Q D, LI X Y, XIAO X Y, et al. Community structure of zooplankton and its relationship with environmental factors in the surface waters of the Northwest Pacific Ocean [J]. Journal Of Ningbo University (NSEE), 2023, 36(2): 23-30.
- [18] 付菲雨, 卜心宇, 沈益绿, 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 F Y, BU X Y, SHEN A L, 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
- [19] 张武昌, 高尚武, 孙军, 等. 南海北部冬季和夏季浮游哲水蚤类群落[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 448-458.
- ZHANG W C, GAO S W, SUN J, et al. Planktonic Calanoid community in the Northern South China Sea in winter and summer [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,

- 2010, 41(3): 448-458.
- [20] 林景宏, 戴燕玉, 林茂, 等. 夏季白令海浮游动物的分布[J]. 极地研究, 2002, 14(2): 126-135.  
LIN J H, DAI H Y, LIN M, et al. Distribution of the zooplankton in Bering Sea in summer[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2002, 14(2): 126-135.
- [21] 王荣, 张鸿雁, 王克, 等. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(5): 453-460.  
WANG R, ZHANG H Y, WANG K, et al. Function performed by small copepods in marine ecosystem [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(5): 453-460.
- [22] 邓邦平, 蒋晓山, 周红宏. 夏季北极 Kings Bay 海域中型浮游动物群落特征[J]. 生态学杂志, 2019, 38(2): 486-491.  
DENG B P, JIANG X S, ZHOU H H. Community characteristics of mesozooplankton in summer in Kings Bay area of Arctic ocean [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(2): 486-491.
- [23] DAI L P, LI C L, YANG G, et al. Zooplankton abundance, biovolume and size spectra at western boundary currents in the subtropical North Pacific during winter 2012 [J]. Journal of Marine Systems, 2016, 155: 73-83.
- [24] FUKUDA J, YAMAGUCHI A, MATSUNO K, et al. Interannual and latitudinal changes in zooplankton abundance, biomass and size composition along a central North Pacific transect during summer: analyses with an Optical Plankton Counter [J]. Plankton and Benthos Research, 2012, 7(2): 64-74.
- [25] HAURY L R, YAMAZAKI H, ITSWEIRE E C. Effects of turbulent shear flow on zooplankton distribution [J]. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1990, 37(3): 447-461.
- [26] 薛泽, 朱丽岩, 王博渊, 等. 温度和盐度对两种海洋桡足类动物摄食和代谢的影响[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(1): 95-102.  
XUE Z, ZHU L Y, WANG B Y, et al. Effects of temperature and salinity on feeding and metabolism of two marine copepods [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51(1): 95-102.
- [27] SUN D, WANG C S. Latitudinal distribution of zooplankton communities in the Western Pacific along 160° E during summer 2014 [J]. Journal of Marine Systems, 2017, 169: 52-60.
- [28] POMERLEAU C, NELSON R J, HUNT B P V, et al. Spatial patterns in zooplankton communities and stable isotope ratios ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in relation to oceanographic conditions in the sub-Arctic Pacific and western Arctic regions during the summer of 2008 [J]. Journal of Plankton Research, 2014, 36(3): 757-775.
- [29] VOLVENKO I V. A dataset of zooplankton occurrence, abundance, and biomass in the Far East seas and adjacent Pacific Ocean waters [J]. Ecology: Ecological Society of America, 2023, 104(10): e1419.
- [30] 王玉祯. 安氏伪镖水蚤的生长发育与种群增长研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2017.  
WANG Y Z. Studies on growth, development and population propagation of *Pseudodiaptomus annandalei* (Sewell, 1919) [D]. Xiamen: Xiamen University, 2017.
- [31] 孟庆超. 舟山东极海域浮游动物群落特征及其与环境因子相关性 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.  
MENG Q C. Characteristics of Zooplankton and its relationship with environmental factors in the Dongji seaarea of Zhoushan [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019.
- [32] 邵海燕, 王卿, 高春霞, 等. 长江口浮游植物群落特征及影响因素分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2024, 39(1): 124-133.  
SHAO H Y, WANG Q, GAO C X, et al. Analysis of phytoplankton community characteristics and influencing factors in the Yangtze River Estuary [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2024, 39(1): 124-133.
- [33] 杨钧渊, 陈锦辉, 钟俊生, 等. 长江口崇明东滩水域仔稚鱼种类组成及多样性 [J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(4): 829-840.  
YANG J Y, CHEN J H, ZHONG J S, et al. Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the water area of Chongming Dongtan, Yangtze River Estuary [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(4): 829-840.
- [34] 刘庭羽, 张嘉琦, 刘必林. 西北太平洋公海两种大洋性鱿鱼营养生态位分析 [J/OL]. 上海海洋大学学报: 1-13 [2024-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2024.20240307.1153.010.html>.
- [35] LIU T Y, ZHANG J Q, LIU B L. Trophic niche analysis of two species of Oceanic squid in the high sea of Northwest Pacific Ocean [J/OL]. Journal of Shanghai Ocean University: 1-13 [2024-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2024.20240307.1153.010.html>.
- [35] 林茂, 王春光, 王彦国, 等. 西太平洋浮游动物种类多样性 [J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 646-654.  
LIN M, WANG C G, WANG Y G, et al. Zooplanktonic diversity in the western Pacific [J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 646-654.
- [36] 马建新, 郑振虎, 李云平, 等. 莱州湾浮游植物分布特征 [J]. 海洋湖沼通报, 2002(4): 63-67.  
MA J X, ZHENG Z H, LI Y P, et al. The distribution characteristics of phytoplankton in Laizhoubay [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2002(4): 63-67.
- [37] 陈亚瞿, 徐兆礼, 杨元利. 黄海南部及东海中小型浮游桡足类生态学研究 II. 种类组成及群落特征 [J]. 水产学

报, 2003, 27(s1): 9-15.

CHEN Y Q, XU Z L, YANG Y L. Study on ecology of meso-small pelagic copepods in the Southern Yellow Sea and the East China Sea II. Species composition and community characteristics [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(s1): 9-15.

[38] 边佳胤, 余健涛, 谢挺, 等. 春、夏季舟山海域浮游动物

分布特征、群落结构及其与环境因子的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2020(2): 122-130.

BIAN J Y, YU J T, XIE T, et al. Distribution characteristics and community structure of zooplankton in seawater around Zhoushan in spring and summer and their associations with environmental factors [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2020(2): 122-130.

## Zooplankton species composition and distributional characteristics in the high seas of the Northwest Pacific Ocean in 2021–2022

SHEN Wei<sup>1</sup>, LIU Bilin<sup>1,2,3,4</sup>, LIU Tingyu<sup>1</sup>

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Zooplankton is an important link between primary producers and lower trophic level organisms in the marine food web, and is an important biological basis for the formation of fishing grounds. Based on the zooplankton samples collected by the fishery resources survey vessel “Songhang” of Shanghai Ocean University during the comprehensive scientific survey of fishery resources in the high seas of the Northwest Pacific Ocean from June to August in 2021 and 2022, the zooplankton samples were analyzed in terms of their species composition, distributional characteristics, and their relationship with the environment. The results showed that a total of 174 zooplankton species were collected in the surveyed area over the two years, belonging to 10 groups. Copepoda and planktonic larvae were the most abundant zooplankton, with 95 and 22 species identified respectively, accounting for 54.6% and 12.6% of the total number of species, followed by Scyphozoa, with 18 species identified, and Ostracoda, Tunicata, Chaetognatha, Euphausiacea, and Gastropoda with 11, 9, 6, 4 and 3 species respectively. Additionally, two species each of Polychaeta, Amphipoda, and Cladocera were identified. The dominant genes (species) included seven categories: *Clausocalanus* sp., *Oncaea* sp., *Paracalanus* sp., *Calocalanus* sp., *Oithona plumifera*, *Oithona decipiens* and Metridinidae larvae. The species diversity and dominant genes (species) composition were similar in both years. The mean zooplankton abundance in 2021 was 732.89 ind./m<sup>3</sup>, lower than that in 2022 (1 418.88 ind./m<sup>3</sup>). The Shannon-Wiener index in 2021 was 1.57–3.16, the Evenness index was 0.54–0.91, and the abundance index was 0.84–3.36. All three indices were higher than those in 2022, which ranged from 0.66 to 2.92, 0.26 to 0.94, and 0.77 to 3.11, respectively. GAM analyses showed that zooplankton abundance was significantly and negatively correlated with the sea-surface salinity and the water temperature in the 200 m layer, and the analyses suggested that the Kuroshio current and the Oyashio also had a certain effect on the temporal and spatial distributions of the abundance. The results of this study will provide basic information for the study of zooplankton in the high seas of the Northwest Pacific Ocean.

**Key words:** zooplankton; species composition; diversity index; GAM; Northwest Pacific Ocean