

文章编号: 1674-5566(2024)05-1199-12

DOI: 10.12024/jsou.20230104400

## 柏岚子海域浮游动物优势种生态位及其分化

李国星, 尹增强, 汪迪, 周英右, 张大旺, 杨军, 王岩, 闫佳敏, 陈雷

(大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 浮游动物是海洋生态系统中重要的饵料生物,其群落结构与数量分布反映了海域的生产力。根据2022年3月、12月和2023年6月柏岚子海域浮游动物调查资料,求解了该海域浮游动物的优势度指数,计算了优势种的Levins生态位宽度值和Pianka生态位重叠度值,划分了优势种的生态位类型即广生态位物种、中生态位物种和窄生态位物种;采用冗余分析方法探究了影响柏岚子海域浮游动物优势种生态位分化的主要环境因子。结果表明,2022年3月有9种优势种且均为广生态位物种,2022年12月有5种优势种且均为广生态位物种,2023年6月有6种优势种,其中广生态位物种3种,窄生态位物种3种;浮游动物优势种的生态位重叠指数在2022年3月为0.54~1.00,2022年12月为0.60~0.98,2023年6月为0.62~0.99;影响浮游动物分布的主要环境因子是温度和盐度,其次是pH、溶解氧(DO)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、无机磷(DIP)、无机氮(DIN)和化学需氧量(COD)等。研究结果有望为深入了解柏岚子海域浮游动物群落的种间关系以及浮游动物对环境变化的适应机制提供基础资料,为该海域高质量开展海洋牧场建设提供理论参考。

**关键词:** 生态位宽度;生态位重叠;冗余分析;生态位分化;浮游动物

**中图分类号:** S 917.4 **文献标志码:** A

浮游动物是海洋牧场生态系统的重要组成部分,作为海洋牧场生态系统中的次级生产者,其种类数量和分布反映了海洋牧场的生产力<sup>[1]</sup>。同时浮游动物在海洋牧场生态系统中扮演着重要角色<sup>[2]</sup>,它是一些经济鱼类的重要饵料,通过“上行控制”影响渔业资源的群落结构<sup>[3]</sup>,对渔业的发展有重要意义。生态位是指在生态系统中各物种之间的关系以及在生活环境中的地位。生态位是生态学研究的重要内容之一<sup>[4]</sup>,并且经常用于研究海洋和淡水水域中的生物生存特征及其对环境的影响<sup>[5]</sup>。研究浮游动物生态位有利于了解种间关系,对优化利用海域的海洋生物环境,增加海洋空间利用率和提升海域生产力具有重要意义。

现有文献关于浮游动物的研究主要集中在群落结构、物种组成、生态位宽度和重叠度等方面,对于浮游动物群落生态位分化的研究相对较

少。例如于洋等<sup>[6]</sup>对昌黎黄金海岸国家级自然保护区春、夏季浮游动物群落结构进行分析,发现该地区浮游动物群落结构主要以桡足类和浮游幼虫类为主;郑挺等<sup>[7]</sup>研究了北部湾浮游动物优势种的生态位及分化指数,发现各优势种对环境的适应能力存在差异;侯朝伟等<sup>[8]</sup>对烟台近海浮游动物优势种空间生态位研究发现,生态位重叠指数与物种分布环境位点的重合情况密切相关,广生态位种类之间的生态位重叠程度要高于窄生态位种类与其他种类之间的生态位重叠程度;付菲雨等<sup>[9]</sup>对西北太平洋浮游动物优势种的水平分布特征进行研究,发现浮游动物优势种的分布受多种环境因子的综合影响。杨杰青等<sup>[10]</sup>对长江口及邻近海域春、夏季浮游动物优势种时空生态位进行研究,发现空间生态位重叠指数高的种类大多具有捕食与被捕食关系。SOBKO等<sup>[11]</sup>对苏霍莫尔湾进行研究,发现浮游动物的结构、丰

收稿日期: 2024-01-10 修回日期: 2024-02-26

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401103, 2019YFD0901302);大连市科技创新基金(2021JJ11CG001)

作者简介: 李国星(1998—),女,硕士研究生,研究方向为海洋生物资源与环境评估。E-mail:lgx1580647@126.com

通信作者: 尹增强, E-mail: zqyin@dlou.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>

度和空间分布受温度、盐度、潮汐动态和水库浅度等复杂环境因素的影响。郑挺等<sup>[7]</sup>对浙江乐清湾浮游动物空间生态位进行冗余分析,发现浮游动物优势种在温度和盐度等环境因子上存在生态分化现象。

旅顺口柏岚子海域位于辽东半岛的南端,属于北温带季风气候,四季分明,降水集中,海水交换较快,海水中营养盐和微生物丰富,海洋生态环境优越。目前该海域广布藻类增殖浮筏和人工鱼礁等渔业设施,开展海参、鲍鱼等海珍品增殖,海域生物资源物种多样性高,是海洋牧场建设的优良海域<sup>[12]</sup>。饵料生物是海洋牧场维持生物资源高产出和生物多样性的基础。饵料生物生态位研究对揭示海域生态系统结构,高效开展海水增殖活动具有重要理论和现实意义。近年来关于饵料生物生态位的研究主要集中于浮游植物<sup>[13-15]</sup>,有关浮游动物生态位及其生态位分化的研究报道相对较少,目前尚未有关于旅顺口柏岚子海域浮游动物生态位的研究报道。本研究根据2022年3月(春季)、12月(冬季)和2023年6月(夏季)对旅顺口柏岚子海域浮游动物进行调查,对该地区的浮游动物优势种的生态位及其生态位分化进行研究,探讨浮游动物群落结构,分析环境因子对浮游动物的影响,以期了解柏岚子

海域浮游动物动态,为该海域高质量开展海洋牧场建设提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

数据来源于2022年3月(春季)、12月(冬季)和2023年6月(夏季)旅顺口柏岚子海域(图1)的海洋环境调查资料。浮游动物采集使用浅水Ⅱ型浮游动物网(网具参数为网口内径31.6 cm、网长140 cm和网口面积0.08 m<sup>2</sup>),从底层至表层垂直拖曳采集浮游动物样品并用5%的甲醛溶液固定,使用Olympus体视显微镜(SZX-16)和Olympus生物医药显微镜分析鉴定种类和个数;温度(Temperature)、盐度(Salinity)、pH和溶解氧(DO)采用MultiAnna MTA 5多参数水质分析仪测定;溶解性无机氮(DIN)为氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐-氮(NO<sub>2</sub>-N)和硝酸盐-氮(NO<sub>3</sub>-N)浓度之和,其中氨氮(NH<sub>3</sub>-N)采用次溴酸盐氧化法测量,亚硝酸盐-氮(NO<sub>2</sub>-N)采用奈乙二胺分光光度法测量,硝酸盐-氮(NO<sub>3</sub>-N)采用锌-镉还原法测量;溶解性无机磷(DIP)采用磷钼蓝分光光度法测量;化学需氧量(COD)采用碱性高锰酸钾法测量。海水样品的采集和分析按照《海洋调查规范》(GB 17378.4—2007)进行。

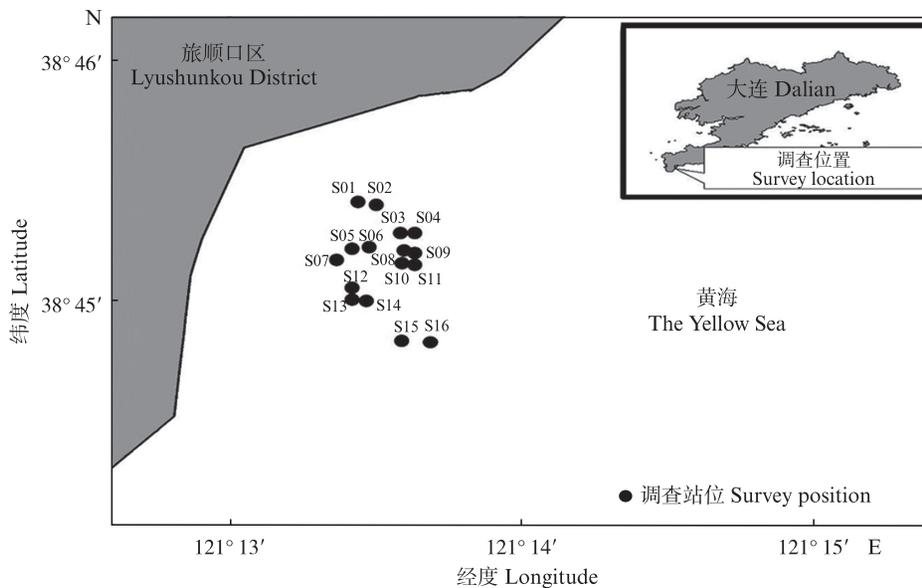


图1 旅顺口柏岚子海域调查站位图

Fig. 1 Survey stations of Bailanzi marine area in Lyushun

## 1.2 数据处理与分析

### 1.2.1 优势种及其更替率

采用优势度指数( $Y$ )来判断浮游动物优势种,公式为

$$Y = (m_i/M) \times f_i \quad (1)$$

式中: $m_i$ 为第*i*种浮游动物的个体数; $M$ 为所有浮游动物种类总个体数; $f_i$ 为该种出现的站位数与总站位数的比值。根据相关研究<sup>[16]</sup>,当 $Y \geq 0.02$ 时,该种为优势种。优势种更替率<sup>[17]</sup>公式为

$$s = (a + b - 2c)/(a + b - c) \times 100\% \quad (2)$$

式中: $a$ 、 $b$ 为两相邻时期浮游动物优势种种类数; $c$ 为两相邻时期浮游动物共同优势种种类数。

### 1.2.2 生态位宽度指数

生态位宽度指数是衡量生物利用资源多样性的一个重要指标。运用Levins公式计算优势种的生态位宽度<sup>[18]</sup>,公式如下:

$$B_i = \frac{1}{r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2} \quad (3)$$

式中: $P_{ij}$ 为物种*i*利用资源*j*的个体数的比例; $r$ 为资源总数,本研究为采样总站位数。 $B_i$ 越大表示该物种的生态位宽度越大,根据相关研究<sup>[8]</sup>, $B_i$ 取值范围为 $[0, 1]$ 。当 $B_i \geq 0.6$ 时,该物种为广生态位;当 $0.6 > B_i \geq 0.3$ 时,该物种为中生态位;当 $B_i < 0.3$ 时,该物种为窄生态位。

### 1.2.3 Pianka生态位重叠指数

生态位重叠指数是衡量种间生态位重叠程度的指标。采用Pianka重叠指数计算生态位重叠度,公式如下<sup>[19]</sup>:

$$Q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij} \times P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N P_{ij}^2 \times \sum_{j=1}^N P_{kj}^2}} \quad (4)$$

式中: $N$ 为调查海域的总站位数; $P_{ij}$ 和 $P_{kj}$ 为某种浮游动物*i*和浮游动物*k*的数量在*j*站位占总浮游动物个数的比例。根据相关研究<sup>[8]</sup>,生态位重叠度 $Q_{ik} < 0.3$ 时,物种*i*和*k*生态位重叠度低; $0.3 \leq Q_{ik} < 0.6$ 时,物种*i*和*k*生态位重叠有意义; $Q_{ik} \geq 0.6$ 时,物种*i*和*k*生态位严重重叠。

### 1.2.4 冗余分析(RDA)

冗余分析(Redundancy analysis, RDA)是多元回归模型的延伸。该分析通过对特征值进行分解筛选,可有效简化目标变量个数,进而将物种与环境因子的关系直观地体现在同一坐标轴

上<sup>[20]</sup>,从而很好地揭示环境因子对群落结构及多样性的整体影响,最终获得物种环境因子之间的关系,并且还能独立保持各个物种与环境因子的贡献率,同时具有识别环境变量组合的主要选择性梯度的优势<sup>[21]</sup>。应用Canoco 5.0软件进行冗余分析,对水温、盐度、pH、NH<sub>3</sub>-N、DIN、DIP、COD与浮游动物优势种的空间分布进行相关分析,以探讨该海域浮游动物优势种生态位的分化状态。对环境因子和生物因子数据进行趋势对应分析,当梯度长度 $< 3$ 时,运用冗余分析;当 $3 \leq$ 梯度长度 $\leq 4$ 时,运用冗余分析或典范对应分析;当梯度长度 $> 4$ 时,运用典范对应分析<sup>[22]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 浮游动物群落优势种组成

2022年3月(春季)采集浮游动物17种,其中桡足类8种(47.1%),生物密度为10 200 ind./m<sup>3</sup>;浮游幼虫6种(35.3%),生物密度为3 322 ind./m<sup>3</sup>;背囊类1种(5.9%),生物密度为80 ind./m<sup>3</sup>;毛颚类1种(5.9%),生物密度为20 ind./m<sup>3</sup>;其他动物1种(5.9%),生物密度为6 ind./m<sup>3</sup>。2022年12月(冬季)采集浮游动物16种,其中桡足类8种(50.0%),生物密度为2 707.03 ind./m<sup>3</sup>;浮游幼虫6种(37.5%),生物密度为1 929.96 ind./m<sup>3</sup>;背囊类1种(6.3%),生物密度为57.33 ind./m<sup>3</sup>;毛颚类1种(6.3%),生物密度为70.07 ind./m<sup>3</sup>。2023年6月(夏季)采集浮游动物19种,其中桡足类6种(31.6%),生物密度为2 407 ind./m<sup>3</sup>;浮游幼虫10种(52.7%),生物密度为4 577 ind./m<sup>3</sup>;背囊类1种(5.3%),生物密度为351 ind./m<sup>3</sup>;枝角类2种(10.5%),生物密度为942 ind./m<sup>3</sup>。

根据浮游动物调查数据和优势度指数计算结果(表1)可知,2022年3月(春季)有优势种9种,分别是太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)、克氏纺锤水蚤(*A. clausi*)、腹针胸刺水蚤(*Centropages abdominalis*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、拟长腹剑水蚤(*Oithona similis*)、近缘大眼水蚤(*Corycaeus affinis*)、桡足类无节幼体(Copepodite Nauplius larva)和蔓足类无节幼体(Cirripedia larva);2022年12月(冬季)有优势种5种,分别是小拟哲水蚤、近缘大眼水蚤、拟长腹剑水蚤、桡足

类幼体(Copepods larva)和无节幼体(Nauplius larva);2023年6月(夏季)有优势种6种,分别是拟长腹剑水蚤、多型复圆囊溞(*Podon polyphemoides*)、诺氏三角溞(*Pseudevadne nordmanni*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、桡足类幼体和无节幼体。2022年3月与12月共同优势种3种,分别为拟长腹剑水蚤、小拟哲水蚤和近缘大眼水蚤,优势种更替率为72.72%;2022年12月与2023年6月共同优势种3种,分别为拟长腹剑水蚤、桡足类幼体和无节幼体,优势种更替率为62.5%。

## 2.2 生态位宽度( $B_i$ )和重叠度( $Q_{ik}$ )

2022年3月、2022年12月和2023年6月柏岚子海域浮游动物 $B_i$ 为0.12~0.98, $Q_{ik}$ 为0.54~

1.00。2022年3月春季柏岚子海域浮游动物 $B_i$ 为0.68~0.98(表2),广生态位有9种,无中生态位和窄生态位。其中克氏统锤水蚤生态位宽度(0.98)最大,其次是拟长腹剑水蚤(0.97),太平洋纺锤水蚤生态位宽度(0.68)最小。利用Pianka公式计算出春季优势种生态位重叠度,2022年3月春季浮游动物生态位重叠度指数为0.54~1.00(表2)。生态位显著重叠( $Q_{ik} \geq 0.6$ )有35对,占97.2%,其中中华哲水蚤和拟长腹剑水蚤(1.00)种对间具有较高的生态位重叠度。生态位重叠度有意义有1对,占2.8%,小拟哲水蚤和近缘大眼水蚤(0.54)种对间具有较低的生态位重叠度。生态位重叠度指数均小于0.3的有0对,计算结果见表2。

表1 浮游动物优势种及优势度指数

Tab. 1 Dominant species and dominance index of zooplankton

2022.03			2022.12			2023.06		
编码 Code	种名 Species	优势度指数 Y	编码 Code	种名 Species	优势度指数 Y	编码 Code	种名 Species	优势度指数 Y
A01	太平洋纺锤水蚤	0.031	B01	小拟哲水蚤	0.087	C01	拟长腹剑水蚤	0.259
A02	克氏统锤水蚤	0.086	B02	近缘大眼水蚤	0.028	C02	多型复圆囊溞	0.048
A03	腹针胸刺水蚤	0.024	B03	拟长腹剑水蚤	0.437	C03	诺氏三角溞	0.065
A04	中华哲水蚤	0.084	B04	桡足类幼体	0.342	C04	异体住囊虫	0.042
A05	小拟哲水蚤	0.035	B05	无节幼体	0.036	C05	桡足类幼体	0.449
A06	拟长腹剑水蚤	0.383				C06	无节幼体	0.047
A07	近缘大眼水蚤	0.097						
A08	桡足类无节幼体	0.178						
A09	蔓足类无节幼体	0.046						

表2 2022年3月浮游动物生态位宽度( $B_i$ )和生态位重叠度( $Q_{ik}$ )统计

Tab. 2 Statistics of niche width and niche overlap index of zooplankton in March 2022

编号 Code	$B_i$	$Q_{ik}$								
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09
A01	0.68	1								
A02	0.98	0.79	1							
A03	0.95	0.84	0.93	1						
A04	0.95	0.90	0.93	0.99	1					
A05	0.70	0.96	0.76	0.90	0.94	1				
A06	0.97	0.89	0.96	0.99	1.00	0.91	1			
A07	0.82	0.61	0.95	0.80	0.78	0.54	0.82	1		
A08	0.86	0.95	0.88	0.96	0.99	0.98	0.97	0.70	1	
A09	0.81	0.99	0.86	0.92	0.96	0.97	0.95	0.69	0.99	1

注:图中物种编码见表1。

Notes: The species codes in the figure are shown in Table1.

2022年12月冬季柏岚子海域浮游动物优势种的生态位宽度为0.72~0.90(表3),广生态位有

5种,无中生态位和窄生态位。其中无节幼体(0.90)生态位宽度最大,其次是桡足类幼体

(0.88),近缘大眼水蚤(0.72)生态位宽度最小。利用 Pianka 公式计算出冬季优势种生态位重叠度,2022年12月浮游动物生态位重叠度指数为0.60~0.98(表3)。生态位显著重叠( $Q_{ik} \geq 0.6$ )有10对,占100%,其中无节幼体和小拟哲水蚤(0.98)种对间具有较高的生态位重叠度,多毛类幼体和无节幼体(0.60)种对间具有较低的生态位重叠度。生态位重叠度有意义有0对。生态位重叠度指数均小于0.3的有0对。

表3 2022年12月浮游动物生态位宽度( $B_i$ )和生态位重叠度( $Q_{ik}$ )统计

**Tab. 3 Statistics of niche width and niche overlap index of zooplankton in December 2022**

编号 Code	$B_i$	$Q_{ik}$				
		B01	B02	B03	B04	B05
B01	0.86	1				
B02	0.72	0.97	1			
B03	0.74	0.97	0.98	1		
B04	0.88	0.97	0.89	0.89	1	
B05	0.90	0.98	0.96	0.94	0.95	1

注:编码对应的种名见表1。

Notes: The species codes in the figure are shown in Table 1.

2023年6月夏季柏岚子海域浮游动物优势种的生态位宽度范围0.12~0.84(表4),广生态位有3种,无中生态位,窄生态位有3种。其中多型复圆囊溞(0.84)生态位宽度最大,诺氏三角溞(0.12)生态位宽度最小。利用 Pianka 公式计算出冬季优势种生态位重叠度,2023年6月浮游动物生态位重叠度指数范围为0.62~0.99(表4)。生态位显著重叠( $Q_{ik} \geq 0.6$ )有15对,占100%,其中多型复圆囊溞和桡足类幼体(0.99)种对间与诺氏三角溞和无节幼体(0.99)具有较高的生态位重叠度,拟长腹剑水蚤和诺氏三角溞(0.62)种对间具有较低的生态位重叠度。生态位重叠度有意义有0对。生态位重叠度指数均小于0.3的有0对。

### 2.3 生态位分化的环境影响因子

首先对环境因子进行皮尔逊相关性(Pearson correlation)分析,手动剔除方差膨胀因子(Variance inflation factor, VIF) > 10的环境因子,其次选取2022年3月、2022年12月和2023年6月柏岚子海域浮游动物优势种进行趋势分析(DCA)。结果表明,温度、盐度、pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIP、DIN和COD共8种环境因子的VIF均小于等于1,优势种趋势分析最长梯度长度为0.26,小于

3,因此对浮游动物优势种与温度、盐度、pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIP、DIN和COD共8种环境因子进行冗余分析(RDA)。

表4 2023年6月浮游动物生态位宽度( $B_i$ )和生态位重叠度( $Q_{ik}$ )统计

**Tab. 4 Statistics of niche width and niche overlap index of zooplankton in June 2023**

编号 Code	$B_i$	$Q_{ik}$					
		C01	C02	C03	C04	C05	C06
C01	0.78	1					
C02	0.84	0.95	1				
C03	0.12	0.62	0.80	1			
C04	0.29	0.70	0.86	0.98	1		
C05	0.72	0.95	0.99	0.83	0.89	1	
C06	0.26	0.69	0.86	0.99	0.98	0.88	1

注:编码对应的种名见表1。

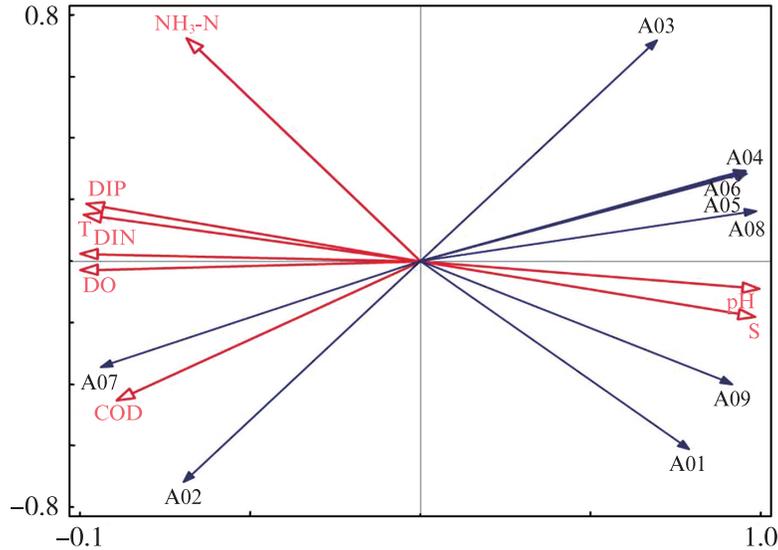
Notes: The species codes in the figure are shown in Table 1.

RDA 排序图是将优势种和环境因子反映在一张图中,这样可以直观看出优势种与环境因素之间的关系。图中箭头连线的长度代表某环境因子与优势种分布间相关程度的大小,连线越长,相关性越大,反之越小。箭头连线和排序轴的夹角代表着某个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高,反之越低<sup>[23]</sup>。

冗余分析结果表明,2022年3月春季排序第一轴的特征值为80.98%,第二轴的特征值为19.02%。由图2可知,2022年3月腹针胸刺水蚤的分布主要受pH的影响,其分布与NH<sub>3</sub>-N、pH和盐度呈正相关,与温度、DO、DIP、DIN和COD呈负相关;中华哲水蚤、拟长腹剑水蚤、小拟哲水蚤和桡足类无节幼体的分布主要受pH的影响,太平洋纺锤水蚤和蔓足类无节幼体的分布主要受盐度的影响并且这6种浮游动物都与pH、盐度呈正相关,与温度、DO、DIP、NH<sub>3</sub>-N、DIN和COD呈负相关;克氏统锤水蚤、近缘大眼水蚤的分布主要受COD的影响,两种浮游动物都与温度、DO、DIP、NH<sub>3</sub>-N、DIN和COD呈正相关,与pH、盐度呈负相关。2022年12月冬季排序第一轴的特征值为89.36%,第二轴的特征值为6.81%。由图3可知,2022年12月冬季无节幼体、近缘大眼水蚤的分布主要受NH<sub>3</sub>-N的影响,拟长腹剑水蚤的分布主要受温度的影响,这3种浮游动物分布都与温度、pH、DIP、NH<sub>3</sub>-N、DIN、COD和盐度呈正相关,

与 DO 呈负相关;小拟哲水藻的分布主要受 DIN 的影响,桡足类幼体的分布主要受盐度的影响,这两种浮游动物分布都与温度、pH、NH<sub>3</sub>-N、DIN、COD 和盐度呈正相关,与 DO、DIP 呈负相关;2023

年 6 月夏季排序第一轴的特征值为 88.10%,第二轴的特征值为 8.15%。由图 4 可知,2023 年 6 月夏季 5 种优势种全部与温度、盐度和 COD 呈正相关,与 pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIN 和 DIP 呈负相关。

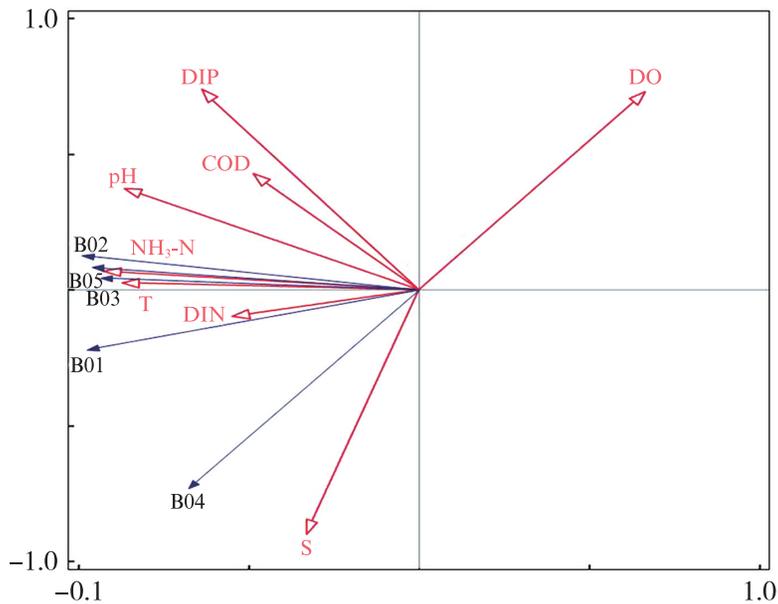


图中物种编码见表 1。

The species codes in the figure are shown in Table 1.

图 2 2022 年 3 月浮游动物优势种与环境因子冗余分析

Fig. 2 Redundancy analysis of dominant species of zooplankton and environmental factors in March 2022

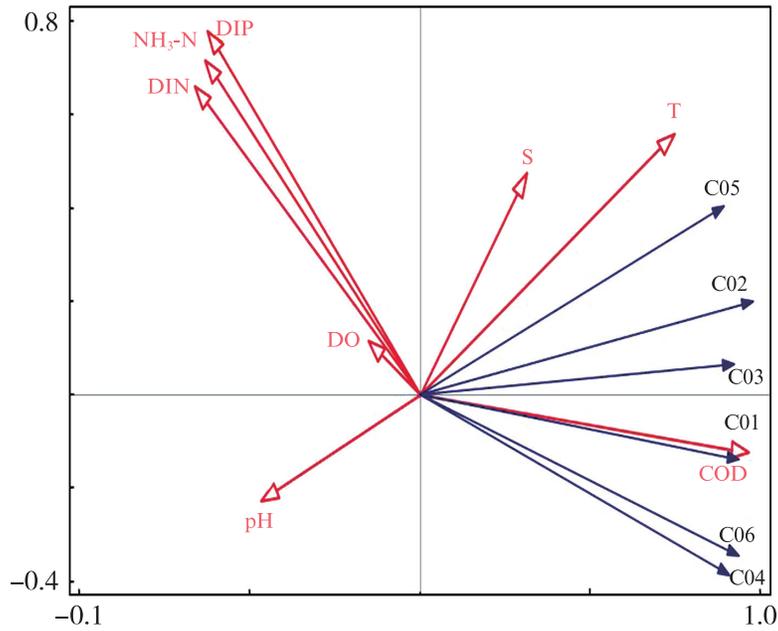


图中物种编码见表 1。

The species codes in the figure are shown in Table 1.

图 3 2022 年 12 月浮游动物优势种与环境因子冗余分析

Fig. 3 Redundancy analysis of dominant species of zooplankton and environmental factors in December 2022



图中物种编码见表1。

The species codes in the figure are shown in Table 1.

图4 2023年6月浮游动物优势种与环境因子冗余分析

Fig. 4 Redundancy analysis of dominant species of zooplankton and environmental factors in June 2023

### 3 讨论

#### 3.1 浮游动物群落结构及其优势种分析

本研究中,浮游动物群落组成2022年3月(春季)和2022年12月(冬季)均为桡足类最多,2023年6月(夏季)浮游幼虫和枝角类最多。2022年3月(春季)共鉴定优势种9种,平均优势度约为0.11;2022年12月(冬季)共鉴定出优势种5种,平均优势度约为0.19;2023年6月(夏季)共鉴定出6种优势种,平均优势度约为0.15。

根据已有的研究结果,浮游动物优势种越多且优势度越小,则群落结构越稳定<sup>[24]</sup>。由此可知,2022年3月(春季)的浮游动物群落结构比12月(冬季)的浮游动物群落结构更稳定,2023年6月(夏季)比2022年12月(冬季)的浮游动物群落结构更稳定,但是2022年3月(春季)比2023年6月(夏季)的浮游动物群落结构更稳定,这与吴利等<sup>[25]</sup>对淮河干流浮游动物群落的研究结果不符,但是与孙跃等<sup>[26]</sup>对夏冬季黄海浮游动物群落结构的研究结果基本一致。这可能是春季水温适宜,浮游动物种类繁多,部分繁殖力强的浮游动物(例如桡足类)数量增长较快,在群落中占据优势地位,而夏季优势种中桡足类最少,其原因一方面可能是夏季该海域桡足类与其他浮游动物

相比繁殖力较低,在竞争中处于弱势地位,夏季浮游动物种类数下降;另一方面,该海域分布各种渔业设施,桡足类是大型经济鱼类幼体合适的饵料生物<sup>[27]</sup>,随着休渔期的到来,一部分浮游动物成为经济鱼类的饵料,浮游动物种类下降,因此春季的浮游动物群落结构更稳定。2022年3月、12月与2023年6月的共同优势种为拟长腹剑水蚤,说明该种类为广温种,是该海域生物资源的重要饵料生物。2022年3月与12月和2022年12月与2023年6月共同优势种都共有3种,优势种更替率分别为72.72%和62.5%,更替率处于较高水平,说明旅顺口海域浮游动物的优势种组成存在较为明显的季节差异<sup>[8]</sup>。优势种更替率较高可能与温度和盐度有关。春冬季优势种更替率较高可能与盐度有关。在本研究水域,2022年3月(春季)平均盐度低于2022年12月(冬季),因此中华哲水蚤在春季为优势种,而在冬季中没有成为优势种,这与王真良<sup>[28]</sup>在对大连湾水域浮游桡足类分布的研究中发现中华哲水蚤的分布受盐度影响更为明显的研究结果相似;冬夏季优势种更替率较高,可能与温度有关,在王真良等<sup>[29]</sup>对大连湾枝角类的研究中发现,海洋中的枝角类是有明显季节变化的一类浮游动物,7月当水温上升到20.0℃时,枝角类的数量迅速增加。

5月和11月水温为10.9℃和12.1℃时,未发现枝角类,这与本研究结果相同。

### 3.2 生态位宽度分析

生态位宽度是一个物种对不同资源利用状况的衡量指标,其大小取决于物种对环境资源的利用和适应能力<sup>[30]</sup>,从浮游动物优势种生态位宽度分析结果来看,春、冬、夏季浮游动物优势种中,2022年3月(春季)9种全部为广生态位种类;2022年12月(冬季)5种全部为广生态位种类,2023年6月(夏季)6种中广生态位和窄生态位各3种,表明柏岚子海域浮游动物优势种群体主要由广生态位种类构成。2022年3月生态位宽度值最大的是克氏统锤水蚤(0.98),12月生态位宽度值最大的是无节幼体(0.90),2023年6月生态位宽度最大的是多型复圆囊溞(0.90)。

在同一海域生境条件下,生态位宽度越大,物种对环境的适应性和资源的利用能力越强,越容易在物种竞争中占优势,这表明同一生境下生物群落中物种生态优势的一个重要指标是生态位宽度<sup>[31]</sup>。从浮游动物优势种的种类数量来看,春季浮游动物优势种的数量略高于冬季和夏季,并且随着季节变化,优势种的生态位宽度也发生变化,例如春季太平洋纺锤水蚤和蔓足类无节幼体等生态位宽度较低的优势种,在夏季的生态竞争中无法继续形成优势,逐渐被桡足类幼体和无节幼体取代;夏季多型复圆囊溞、诺氏三角溞和异体住囊虫属于窄生态位,到冬季已无法继续形成优势而被取代;春季小拟哲水蚤生态位宽度值为0.70,冬季其生态位宽度值上升为0.86,为冬季偏大的生态位宽度优势种。这表明物种的生态位宽度变化与生态环境变化密切相关,物种对其环境的适应性和资源的利用程度随着生态环境的变化而变化,这与范林洁等<sup>[32]</sup>在白马湖的研究结果和罗欢等<sup>[33]</sup>在九曲湾的研究结果相似。另外,春季浮游动物的种类和数量明显要高于夏季,原因可能是春季温度适宜,并且营养盐含量达到高峰,浮游植物大量繁殖生长,为浮游动物提供了充沛的饵料,因此浮游动物生态位宽度较广。夏季营养盐含量降低,浮游植物丰度降低,浮游动物的饵料不足,从而降低了部分浮游动物的生态位宽度,因此春季浮游动物的种类和数量明显要高于夏季。另一方面,渤海及黄海海域从6月为休渔期,休渔期间游泳生物数量有所增加,

使得大量的浮游动物被捕食,这也可能是导致春季浮游动物生物量及丰度比夏季高的原因,这与段妍等<sup>[34]</sup>在黄海北部的研究结果和赵祺等<sup>[35]</sup>在唐山海洋牧场的研究结果基本相似。烟台海域与本研究海域相近,侯朝伟等<sup>[8]</sup>发现烟台近海海域,春夏季浮游动物优势种同样也是由广生态位种类构成。并且蔓足类无节幼体的变化规律相同,即在春季生态位宽度较低,到夏季无法继续形成优势被其他浮游幼虫和桡足类取代。

### 3.3 生态位重叠分析

生态位重叠指数可以衡量物种间对资源环境利用的相似度和竞争性<sup>[36]</sup>。2022年3月、12月和2023年6月柏岚子海域浮游动物优势种生态位重叠指数大于0.60的分别占97.2%、100%和100%。在现有的研究发现中,生态位宽度值较大的优势种之间往往生态位重叠度也较高<sup>[37]</sup>,但是在研究中发现,小拟哲水蚤( $B_i$ 为0.70)和近缘大眼水蚤( $B_i$ 为0.82)之间的生态位重叠指数仅为0.54,重叠不明显。宋晨等<sup>[4]</sup>研究也发现此种现象,并表明环境资源的高异质性、物种的斑块状分布和种群生态学特性差异等因素,均会导致不同生态位宽度的物种间产生不同程度的生态位重叠。因此仅靠生态位宽度值判断物种间的竞争性可能存在一定的偏差<sup>[37]</sup>。其次生态位重叠度可能与生态位宽度的季节性差异密切相关,生态位重叠度高,导致生存竞争压力大,造成生态位宽度发生变化<sup>[8]</sup>。例如,春季桡足类无节幼体和蔓足类无节幼体的生态位宽度值为0.86和0.81,夏季无节幼体生态位宽度值则降到0.26,冬季无节幼体生态位宽度值又上升到0.90,其原因可能与春季的中华哲水蚤和太平洋纺锤水蚤、夏季的诺氏三角溞和冬季的小拟哲水蚤的种间竞争有密切的联系,春季桡足类无节幼体与中华哲水蚤、蔓足类无节幼体与太平洋纺锤水蚤的生态位重叠指数均为0.99,冬季无节幼体与小拟哲水蚤的生态位重叠指数为0.98,夏季无节幼体与诺氏三角溞的生态位重叠指数分别为0.99,这些种间的生态位重叠程度非常高,在一定程度上说明这些种类竞争激烈,通常生态位重叠度高的优势种只有发生生态位分化才能降低种间竞争关系,这与彭松耀等<sup>[38]</sup>对南黄海春季大型底栖动物优势种生态位中的研究结果相同。烟台海域与本研究海域相近,侯朝伟等<sup>[8]</sup>发现生态位重叠度高

的优势种只有发生生态位分化才能降低种间竞争程度,这与本研究结果相似;但是也有研究发现在春季和夏季,桡足类浮游动物群体内部种类产生激烈的生存竞争关系,从而使生态位发生分化,降低物种间的竞争关系。而本研究发现浮游幼虫也与部分桡足类和枝角类发生激烈的生存竞争关系而导致生态位分化。其原因可能是柏岚子海域比烟台近海生境复杂程度高,从而提供了较高度度的生态位分化。

### 3.4 浮游动物优势种生态位分化与环境因子的关系分析

浮游动物相较于其他海洋生物具有运动能力较弱、随波逐流的特点,因此环境因素对浮游动物分布具有主导作用。旅顺口柏岚子海域位于黄海,兼有大陆和海洋性气候的双重特点,环境因子复杂多变,导致生活在该海域的浮游动物的分布也复杂多样。温度和盐度是影响浮游动物分布的关键因素<sup>[25]</sup>。由于柏岚子海域的地理位置的原因,夏季表层海水的温度普遍较高,高温不利于大多数浮游动物的生理代谢,因而春季优势种比夏季优势种的数量多,这与卜亚谦等<sup>[39]</sup>调查结果一致。春季盐度与大多数优势种呈正相关,夏季和冬季盐度与全部优势种呈正相关,说明柏岚子海洋牧场海域浮游动物大多数为广盐种<sup>[37]</sup>,导致夏季生物多样性高于该海域冬季浮游动物的生物多样性<sup>[40]</sup>,这与王晓等<sup>[41]</sup>调查结果相近。pH、DO、氮和磷营养元素一般通过影响浮游植物的生物量来间接影响浮游动物生长<sup>[32,42]</sup>,2022年3月春季和2023年6月夏季绝大多数优势种与pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIP和DIN呈负相关,2022年12月绝大多数优势种与pH、NH<sub>3</sub>-N、DIP和DIN呈正相关,这个结果与KAGALOU等<sup>[43]</sup>的研究结果相反,这可能是由于两者海域的优势种类不同,不同的优势种繁殖生长发育所需的环境条件差异较大造成的。其中水体中溶解氧含量过低,导致水体富营养化,浮游植物大量繁殖,从而促进浮游动物增加;因此,综合分析得到,温度、盐度对浮游动物生态位分化有直接影响,pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIP、DIN和COD对其分化的影响次之。pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIP和DIN的高低与浮游植物的分布密切相关,通过控制浮游植物的生长,间接影响浮游动物动态。

## 4 结论

2022年3月、12月和2023年6月调查共采获浮游动物45种。春季优势种最多(9种),其次是夏季(6种),冬季最少(5种)。拟长腹剑水蚤在3个季节一直是优势种,生态位宽度为0.74~0.97,为广生态位种类,在浮游动物群落中居于前列,因此拟长腹剑水蚤可能是柏岚子海域的主要饵料生物。

旅顺口柏岚子海域浮游动物优势种群体主要由广生态位种类构成,并且绝大多数优势种种间生态位严重重叠。夏冬季均呈现出广生态位种类之间的生态位重叠程度较高,在春季时这一结果出现一点偏差。

根据冗余分析结果,优势种生态位分化直接影响因素为温度和盐度,其次为pH、DO、NH<sub>3</sub>-N、DIP、DIN和COD等因子。

### 参考文献:

- [1] 廖河庭,郑尧,王宁,等. 苏北不同地区藕虾种养模式浮游生物群落结构特征分析[J]. 中国农学通报, 2023, 39(8): 156-164.  
LIAO H T, ZHENG Y, WANG N, et al. Analysis of plankton community structure characteristics of lotus root-crayfish culture model in different areas of Northern Jiangsu [J]. China Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(8): 156-164.
- [2] LI Y, CHEN F Z. Are zooplankton useful indicators of water quality in subtropical lakes with high human impacts? [J]. Ecological Indicators, 2020, 113: 106167.
- [3] 宋全健,丰美萍,边文华,等. 大陈岛海域浮游动物群落季节变化及其影响因素[J]. 生态学报, 2023, 43(17): 7128-7139.  
SONG Q J, FENG M P, BIAN W H, et al. Seasonal variation and environmental factors of zooplankton communities in sea areas around Dachen Island [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(17): 7128-7139.
- [4] 张皓,宋昌民,闫启仑,等. 辽河口春、夏季浮游动物空间生态位的比较[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(6): 920-925.  
ZHANG H, SONG C M, YAN Q L, et al. Comparative studies on the spatial niche of zooplankton in the Liaohu estuary in spring and summer [J]. Marine Environmental Science, 2016, 35(6): 920-925.
- [5] 宋晨,孟周,王晓波,等. 2019-2020年夏季舟山海域浮游动物优势种生态位及其生态分化[J]. 海洋学报, 2022, 44(10): 127-139.

- SONG C, MENG Z, WANG X B, et al. Ecological niches and ecological differentiation of dominant zooplankton species in the Zhoushan waters in summer 2019-2020[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2022, 44(10): 127-139.
- [6] 于洋, 郭夏青, 刘宪斌, 等. 昌黎黄金海岸国家级自然保护区春、夏季浮游动物群落结构与环境因子的相关性[J]. *海洋湖沼通报*, 2023, 45(2): 108-115.
- YU Y, GUO X Q, LIU X B, et al. Relationship between zooplankton community structure and environmental factors of Changli Golden Coast National Nature Reserve in spring and summer [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2023, 45(2): 108-115.
- [7] 郑挺, 林元烧, 曹文清, 等. 北部湾北部生态系统结构与功能——浮游动物空间生态位及其分化[J]. *生态学报*, 2014, 34(13): 3635-3649.
- ZHENG T, LIN Y S, CAO W Q, et al. Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf: zooplankton spatial niche and its differentiation [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(13): 3635-3649.
- [8] 侯朝伟, 孙西艳, 刘永亮, 等. 烟台近海浮游动物优势种空间生态位研究[J]. *生态学报*, 2020, 40(16): 5822-5833.
- HOU C W, SUN X Y, LIU Y L, et al. Spatial niches of dominant zooplankton species in the Yantai offshore waters [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(16): 5822-5833.
- [9] 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 Fisheries University*, 2022, 37(3): 489-496.
- [10] 杨杰青, 陈朗, 杨阳阳, 等. 长江口及邻近海域春、夏季浮游动物优势种时空生态位分析[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(11): 1625-1635.
- YANG J Q, CHEN L, YANG Y Y, et al. Spatial-temporal niche of dominant zooplankton species in the Yangtze River Estuary and adjacent waters in spring and summer [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(11): 1625-1635.
- [11] SOBKO E I, KLIMOV S I, NEVEROVA N V, et al. The structure of the zooplankton communities in Sukhove more bay, southeastern white sea[J]. *Russian Journal of Marine Biology*, 2024, 49(6): 488-497.
- [12] 李佳星. 旅顺海洋牧场生态效果评价研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2023.
- LI J X. Study on ecological effect evaluation of Lvshun marine ranching [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2023.
- [13] 黄艳芬, 刘凌, 张顺婷, 等. 淮河流域江苏段浮游植物优势种时空生态位[J]. *水生生物学报*, 2024, 48(3): 436-443.
- HUANG Y F, LIU L, ZHANG S T, et al. Spatio-temporal niche of phytoplankton dominant species in Jiangsu section of Huaihe River Basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, 48(3): 436-443.
- [14] 杨波, 张靖泽, 肖晶, 等. 贵州南北盘江浮游植物群落结构变化及优势种生态位特征[J/OL]. *水生态学杂志*: 1-17 (2023-03-13) [2024-03-13]. <https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202209150379>.
- YANG B, ZHANG J Z, XIAO J, et al. Analysis of phytoplankton community structure and dominant species niche in the south and North Panjiang rivers in Guizhou [J/OL]. *Journal of Hydroecology*: 1-17 (2023-03-13) [2024-03-13]. <https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202209150379>.
- [15] SARKER S, MOHAMMAD D, NABIL S A, et al. Modelling the role of temperature-induced environmental noise on phytoplankton niche dynamics [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 925796.
- [16] 张亮, 陶卉卉, 纪莹璐, 等. 青岛董家口港邻近海域春秋季节浮游动物群落结构特征[J]. *应用海洋学学报*, 2023, 42(1): 16-27.
- ZHANG L, TAO H H, JI Y L, et al. Community structure characteristics of zooplankton in the sea area near Dongjiakou Port of Qingdao in spring and autumn [J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2023, 42(1): 16-27.
- [17] 刘欣禹, 徐子钧, 张洪亮, 等. 渤海西南部小型水母群落特征与环境因子相关性研究[J]. *海洋学报*, 2023, 45(3): 66-75.
- LIU X Y, XU Z J, ZHANG H L, et al. Characteristics of small medusae community correlated with environmental factors in the southwest of Bohai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2023, 45(3): 66-75.
- [18] LEVINS R. *Evolution in changing environments: some theoretical explorations* [M]. Princeton: Princeton University Press. 1968.
- [19] PIANKA E R. The structure of lizard communities [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 1973, 4: 53-74.
- [20] 任玉连, 董醇波, 邵秋雨, 等. 冗余分析在微生物生态学中的应用[J]. *山地农业生物学报*, 2022, 41(1): 41-48.
- REN Y L, DONG C B, SHAO Q Y, et al. Application of redundancy analysis in microbial ecology [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2022, 41(1): 41-48.
- [21] CAPBLANCQ T, LUU K, BLUM M G B, et al. Evaluation of redundancy analysis to identify signatures of local adaptation [J]. *Molecular Ecology Resources*, 2018, 18(6): 1223-1233.
- [22] 刘坤. 舟山群岛东侧海域渔业生物群落结构特征及其

- 生态位研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
- LIU K. Study on fishery community structure characteristics and niche in the waters east of Zhoushan Islands [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2021.
- [23] LEPSŠ J, ŠMILAUER P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003: 43-58.
- [24] 杨璐, 刘捷, 张健, 等. 渤海湾浮游动物群落变化及其与环境因子的关系[J]. 海洋学研究, 2018, 36(1): 93-101.
- YANG L, LIU J, ZHANG J, et al. Zooplankton community variation and its relationship with environmental variables in Bohai Bay [J]. Journal of Marine Sciences, 2018, 36(1): 93-101.
- [25] 吴利, 李源玲, 陈延松. 淮河干流浮游动物群落结构特征[J]. 湖泊科学, 2015, 27(5): 932-940.
- WU L, LI Y L, CHEN Y S. Characteristics of community structures of zooplankton in the mainstream of Huaihe River [J]. Journal of Lake Science, 2015, 27(5): 932-940.
- [26] 孙跃, 沈阳, 戴铃灵, 等. 夏冬季黄海浮游动物群落结构及其影响因素[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(7): 82-93.
- SUN Y, SHEN Y, DAI L L, et al. Zooplankton distribution and influencing factors in the Yellow Sea in summer and winter [J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2020, 50(7): 82-93.
- [27] 乔一明. 桡足类优势种的摄食选择性及关键赤潮藻对其摄食行为影响研究[D]. 济南: 山东大学, 2023.
- QIAO Y M. Feeding selectivity of dominant copepods and the influence of key red tide algae on their feeding behavior [D]. Jinan: Shandong University, 2023.
- [28] 王真良. 大连湾水域浮游桡足类的分布[J]. 黄渤海海洋, 1995, 13(1): 47-53.
- WANG Z L. Distribution of pelagic copepods in Dalian Bay [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1995, 13(1): 47-53.
- [29] 王真良, 徐汉光, 刘晓丹, 等. 大连湾的枝角类[J]. 海洋科学, 1991(5): 65-67.
- WANG Z L, XU H G, LIU X D, et al. The cladocera in the Dalian Bay [J]. Marine Sciences, 1991(5): 65-67.
- [30] 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 X C, ZHU L Y, HUANG Y, et al. Community structure of the zooplankton in the Southern Yellow Sea [J]. Marine Sciences, 2017, 41(10): 41-49.
- [31] 冯玉超, 郑晓阳, 王正宁, 等. 杉木纯林和混交林林下草本层种群生态位特征[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(2): 217-224.
- FENG Y C, ZHENG X Y, WANG Z N, et al. Niche characteristics of plant populations in understory herbaceous layer of *Cunninghamia lanceolata* pure forest and mixed forest [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, 35(2): 217-224.
- [32] 范林洁, 胡晓东, 陈文猛, 等. 白马湖浮游动物生态位及其生态分化影响因子[J]. 水生生态学杂志, 2022, 43(5): 59-66.
- FAN L J, HU X D, CHEN W M, et al. Zooplankton ecological niche and factors affecting ecological differentiation in Baima Lake [J]. Journal of Hydroecology, 2022, 43(5): 59-66.
- [33] 罗欢, 吴琼, 陈倩, 等. 生态修复后九曲湾水库浮游动物优势种演替及生态位特征分析[J]. 生态环境学报, 2021, 30(2): 320-330.
- LUO H, WU Q, CHEN Q, et al. Succession of dominant zooplankton species and analysis of niche characteristics in Jiuquwan reservoir after ecological restoration [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(2): 320-330.
- [34] 段妍, 王爱勇, 王小林, 等. 黄海北部春季和夏季浮游动物生态特性与时空分布[J]. 水产科学, 2017, 36(4): 456-461.
- DUAN Y, WANG A Y, WANG X L, et al. Seasonal variation and community structure of zooplankton in Northern Yellow Sea in Liaoning in spring and summer [J]. Fisheries Science, 2017, 36(4): 456-461.
- [35] 赵祺, 刘辉, 张秀文, 等. 唐山海洋牧场浮游动物群落结构及生态位[J]. 河北渔业, 2021(10): 17-24, 30.
- ZHAO Q, LIU H, ZHANG X W, et al. Community structure and niche of zooplankton in Tangshan Marine Ranching [J]. Hebei Fisheries, 2021(10): 17-24, 30
- [36] WATHNE J A, HAUG T, LYDERSEN C. Prey preference and niche overlap of ringed seals *Phoca hispida* and harp seals *P. groenlandica* in the Barents Sea [J]. Marine Ecology Progress Series, 2000, 194: 233-239.
- [37] 刘坤, 俞存根, 许永久, 等. 舟山群岛东侧海域春秋季节主要甲壳类物种的空间生态位分析[J]. 浙江大学学报(理学版), 2021, 48(4): 450-460, 480.
- LIU K, YU C G, XU Y J, et al. Analysis of the spatial niche of major crustacean species in the waters east of Zhoushan Islands in spring and autumn [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2021, 48(4): 450-460, 480
- [38] 彭松耀, 李新正, 王洪法, 等. 南黄海春季大型底栖动物优势种生态位[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1917-1928.
- PENG S R, LI X Z, WANG H F, et al. Niche analysis of dominant species of macrozoobenthic community in the Southern Yellow Sea in spring [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(6): 1917-1928.
- [39] 卜亚谦, 朱丽岩, 陈香, 等. 夏冬季渤海、北黄海浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(2): 59-66.
- BU Y Q, ZHU L Y, CHEN X, et al. Community structure of zooplankton and its relationship with environmental factors in the Bohai and the North Huanghai Sea in summer

- and winter [J]. *Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition)*, 2019, 49(2): 59-66.
- [40] 杨杰青, 史赟荣, 全为民, 等. 基于 RDA 与 GAMs 模型的东海近岸海域浮游动物与温盐关系[J]. *海洋学报*, 2019, 41(8): 72-84.
- YANG J Q, SHI Y R, QUAN W M, et al. Analysis of the relationships between zooplankton and temperature-salinity based on RDA and GAMs model in coastal East China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, 41(8): 72-84.
- [41] 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 X, WANG Z L, PU X M, 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.
- [42] DRUVIETIS I, SPRINGE G, URTANE L, et al. Evaluation of plankton communities in small highly humic bog lakes in Latvia [J]. *Environment International*, 1998, 24(5/6): 595-602.
- [43] KAGALOU I I, KOSIORI A, LEONARDOS I D. Assessing the zooplankton community and environmental factors in a Mediterranean wetland [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 170(1/4): 445-455.

## Ecological niche and niche differentiation of dominant species of zooplankton in the Bailanzi sea area

LI Guoxing, YIN Zengqiang, WANG Di, ZHOU Yingyou, ZHANG Dawang, YANG Jun, WANG Yan, YAN Jiamin, CHEN Lei

(*College of Marine Science and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, Liaoning, China*)

**Abstract:** Zooplankton are important food organism in the marine ecosystem, and its community structure and population distribution reflect the productivity of the waters. In order to understand the interspecific relationship of the zooplankton community and the impact of changes in environmental factors on the niche differentiation of dominant species in the Bailanzi waters, basing on the zooplankton survey data in March and December of 2022 and June of 2023, we obtained the dominance index of zooplankton in this sea area through calculating the Levins niche width value and Pianka niche overlap value of the dominant species, and divided the niche types of the dominant species into broad niche species, medium niche species and narrow niche species. The redundancy analysis method was used to explore the main environmental factors affecting the niche differentiation of dominant species of zooplankton in Bailanzi waters. The results showed that there were 9 dominant species and all of them were wide ecological niche species in March 2022, 5 dominant species and all of them were wide ecological niche species in December 2022, and 6 dominant species, including 3 wide ecological niche species and 3 narrow ecological niche species, in June 2023. The niche overlap indexes of the dominant zooplankton species in March 2022 ranged from 0.54 to 1.00, and those in December 2022 ranged from 0.60-0.98 in March 2022, 0.62-0.99 in December 2022, and 0.62-0.99 in June 2023. Redundancy analysis showed that the main environmental factors affecting zooplankton distribution are temperature and salinity, followed by pH, dissolved oxygen (DO), ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), dissolved inorganic phosphorus (DIP), dissolved inorganic nitrogen (DIN), chemical oxygen demand (COD). The research results are expected to provide basic information for an in-depth understanding of the interspecific relationships of zooplankton communities in Bailanzi waters and the adaptation mechanism of zooplankton to environmental changes, and provide a theoretical reference for high-quality marine ranch construction in this waters.

**Key words:** niche width; ecological niche overlap; redundancy analysis; niche differentiation; zooplankton