中街山列岛海域大型浮游动物优势种生态位与生态分化

吴媚悦^{1,2}, 张亚洲², 李振华², 印 瑞², 周婉婷^{1,2}

(1.浙江海洋大学海洋与渔业研究所,浙江舟山316021;2.浙江省海洋水产研究所,农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站,浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室,浙江舟山316021)

摘 要:为探究中街山列岛海域大型浮游动物群落结构的季节变化及影响浮游动物优势种生态位的主要环境因子,于 2021 年 4 月至 2022 年 1 月在中街山列岛海域进行了 4 个航次的浮游动物调查。运用 Shannon 指数和 Pianka 指数分析了该海域大型浮游动物优势种的生态位宽度和生态位重叠程度,采用 典范对应分析 (CCA)研究了影响该海域优势种生态分化的主要环境因子。研究结果表明,中街山列 岛海域大型浮游动物优势种共 11 种,生态位宽度值 B_i 范围为 1.80~3.46,优势度指数与生态位宽度值 存在正相关关系。生态位重叠值 Q_{ik} 的范围为 0~0.98,同一类群生态位重叠值较低,存在捕食-被捕食 关系的种对间的生态位重叠值较高。分属不同类群的种间也存在较高的生态位重叠。CCA 分析结果 表明,影响中街山列岛海域大型浮游动物生态分化的环境因子包括水温、总无机氮、盐度、溶解氧、化学 需氧量和磷酸盐。 关键词:群落结构; 生态位测度; 典范对应分析; 环境因子

中图分类号:X835 文献标识码:A 文章编号:1007-6336(2025)03-0395-08

Ecological niches and ecological differentiation of dominant macrozooplankton species in the waters of the Zhongjieshan islands

WU Meiyue^{1,2}, ZHANG Yazhou², LI Zhenhua², YIN Rui², ZHOU Wanting^{1,2} (1.Marine and Fishery Institute, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China; 2.Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fisheries Resources of Zhejiang Province, Scientific Observation and Experimental Station of Fishery Resources of Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China)

Abstract: To explore the seasonal changes of macrozooplankton community structure and the main environmental factors affecting the niche of dominant zooplankton species in the water of the Zhongjieshan islands, the research group conducted four voyages of zooplankton survey in the waters of the Zhongjieshan islands from April 2021 to January 2022. Shannon index and Pianka index were used to analyze the niche breadth and niche overlap of dominant macrozooplankton species in the sea area. Canonical correspondence analysis (CCA) was used to study the main environmental factors of ecological differentiation of dominant species in the sea area. The results showed that there were 11 dominant species of macrozooplankton in the water of the Zhongjieshan islands, and the niche breadth value B_i ranged from 1.80 to 3.46. There was a positive correlation between the dominance index and the niche breadth value. The niche overlap value Q_{ik} ranged from 0.03 to 0.98. The niche overlap value of the same group was lower, and the niche overlap value between species

收稿日期:2024-06-12,修订日期:2024-10-22

基金项目:浙江省青年基金项目(Q24C190040);省级重点研发计划项目(2021C02047)

作者简介:吴媚悦(2000-),女,浙江绍兴人,硕士研究生,主要研究方向为渔业资源养护与利用,E-mail:miawu0007@163.com 通信作者:张亚洲(1985-),男,安徽阜阳人,高级工程师,主要研究方向为渔业资源与生态,E-mail:13898237659@163.com

pairs with predator-prey relationship was higher. There was also a high niche overlap among species belonging to different groups. The results of CCA analysis showed that the environmental factors affecting the ecological differentiation of macrozooplankton in the water of the Zhongjieshan islands included water temperature, inorganic nitrogen, salinity, dissolved oxygen, chemical oxygen demand and phosphate.

Key words: community structure; ecological niche detection; canonical correspondence analysis; environmental factors

浮游动物物种丰富、分布广泛、数量庞大, 是海洋生态系统中重要的生态类群。浮游动物 是存在于初级生产力和更高营养水平物种之间 的重要营养环节之一,能够影响生态系统的运作 和鱼类的生长发育,对海洋环境变动极为敏 感^[1]。生态位能够体现物种在群落中利用资源 的能力,对理解群落结构、群落演替、种间竞争 关系等具有重要作用^[2]。生态位的概念最早由 Grinnell^[3]提出,并强调了空间生态位这一理 念。有部分学者也将生态位的理念运用到浮游 动物的研究当中,例如,张皓等^[4]在研究中分析 了辽河口浮游动物生态位变动与环境因子之间 的关系;徐晓群等^[5]利用多维环境因子下的生态 位分离来研究三门湾不同种类浮游动物的群落 特征:张亚洲等^[6]对乐清湾浮游动物优势种的种 间关系和生态位分化情况进行了分析。

中街山列岛位于舟山群岛东部,岛屿附近海 域流系复杂,海流的不断变化给海区带来大量营 养物质,作为许多经济渔获物种的重要栖息地和 产卵场,渔业资源十分丰富^[7]。浮游动物是某些 重要经济鱼种幼鱼的饵料,其群落结构和丰度甚 至能决定某些渔业资源的数量变动。但目前研 究该海区的学者不多,基于生态位概念在浮游动 物群落结构中的研究仍然较少,尚无对中街山列 岛海域大型浮游动物生态位及其影响因子的研 究。本研究以中街山列岛海域大型浮游动物为 研究对象,通过对主要优势种的生态位研究,了 解大型浮游动物在群落中的相互关系,探讨大型 浮游动物的生态相似性,分析环境因子对大型浮 游动物的影响,以期为进一步研究中街山海域浮 游动物的群落结构、适应机制及生态环境修复 提供科学依据。研究结果可为应对环境变化的 适应性等提供基础依据,进而为该海域水生态修 复与水环境治理提供帮助,对海洋环境和渔业资 源的保护具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

于 2021 年 4 月至 2022 年 1 月对中街山列 岛海域的 18 个站位进行了 4 个季节的调查,包 括 4 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季)、1 月 (冬季)。具体站位信息见表 1。

表1 中街山列岛调查站位信息

rab.1 Information of survey station of Zhongjieshan Islands								
站位	纬度	经度	站位	纬度	经度			
H1	30°13′15″	122°38′30″	H10	30°10′45″	122°43′50″			
H2	30°13′00″	122°40′30″	W1	30°17′03″	122°35′12″			
Н3	30°13′00″	122°42′00″	W2	30°17′03″	122°42′42″			
H4	30°11′00″	122°38′30″	W3	30°17′03″	122°50′12″			
Н5	30°11′15″	122°40′45″	W4	30°12′03″	122°35′20″			
H6	30° 11′30″	122°42′00″	W5	30°12′03″	122°50′12″			
H7	30°11′53″	122°42′40″	W6	30°07′03″	122°35′12″			
H8	30° 10′30″	122°41′10″	W7	30°07′03″	122°42′42″			
H9	30°10′30″	122°42′30″	W8	30°07′03″	122°50′12″			

按照《海洋调查规范 第 6 部分:海洋生物调 查》(GB/T12763.6-2007)^[8],使用浅水 I 型浮游 生物网采集大型浮游动物样品,使用 5% 的福尔 马林溶液对大型浮游动物样品进行固定,将其及 时储存并送至实验室进行分类鉴定。各监测站 位同步测定了水温(*T*)、盐度、溶解氧(DO)等 9项环境参数,温度、盐度、溶解氧用船载多功能 参数仪现场测定,其余水质参数现场采样,密封 保存后及时送实验室分析。海水样品的采集与 分析均按照《海洋监测规范 第 4 部分:海水分 析》(GB17378.4-2007)^[9]进行。

1.2 数据分析

统计浮游动物群落种类数(*S*),用 Margalef 物种丰富度指数(*D*),分析该海域大型浮游动物 季节变化的群落结构特征^[10],公式如下: 式中: *S* 为样品中的浮游动物物种总数; *N* 为 样品中的浮游动物总数量。

以优势度指数(*Y*)来分析样品中的优势种, 公式如下:

$$Y = (A_i/A) \times f_i \tag{2}$$

式中: A 为样品中的物种总丰度; A_i 为第 i 种的丰度; f_i 为样品中第 i 种在站位中的出现频率; 若 $Y \ge 0.02$, 则认定为优势种。

计算生态位宽度采用 Shannon 指数, 生态位 重叠采用 Pianka 指数, 公式如下:

$$B_i = -\sum_{j=1}^r P_{ij} \ln P_{ij} \tag{3}$$

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

式中: r 为调查海域的总站位数; P_{ij} 和 P_{kj} 分 别为某种浮游动物 i、k 的数量在j 站位占总浮游 动物数量的比例; B_i 取值范围为 $[0, R], B_i$ 越大, 该浮游动物生态位宽度值也越大; Q_{ik} 为生态位 重叠指数,取值范围为 $[0, 1]^{[11-12]}$ 。

使用 Arcgis10.8 绘制采样站位图,用 SPSS 26 进行方差分析,检验显著性,用 PRIMER 5 进行聚类分析,检验种群季节变化差异。利用 Canoco 5.0 对浮游动物的丰度、环境因素数据进行统计,在排序轴线的最大梯度长度超过 4 的情况下,选取 CCA 典范对应分析;在排序轴线的最大梯度长度小于 3 的情况下,采用 RDA 冗余分析^[13];在最大梯度为 3~4 的情况下,二者均可,本文选用的是 CCA 典范对应分析。

2 结果与讨论

2.1 群落结构

本次调查在中街山列岛海域共采集到大型 浮游动物 140 种(类),17 个大类(包括无法鉴定 到种的个体和浮游幼体),其中种类最多的为桡 足类,共43 种,占总种数的 30.71%;其次为浮游 幼虫,共23 类,占 16.43%;水螅水母类 15 种,占 10.71%。种类组成变化方面,夏季种类最多,其 次为秋季和春季,冬季种类最少,仅为 53 种。浮 游动物种类季节变化明显,夏季种类显著高于其 他季节。夏季生物量最高,冬季最低。物种多样 性指数与均匀度指数等随季节变化较为明显,全 年变化趋势如图 1 所示。



图 1 中街山列岛海域大型浮游动物群落结构特征值变 化趋势

Fig. 1 Macrozooplankton community structure characteristic value change trend chart in Zhongjieshan islands

根据浮游动物丰度对各季节站位进行聚类分析,将浮游动物群落划分为5个类群,如图2 所示。其中,组群1仅有夏季W05一个站位;组 群2由夏季站位构成,组群3由秋季站位构成, 组群5由冬季站位构成,相似度分别为77.15%、 66.32%和70.95%;组群4为春季类群,夏季站 位H01、W01被划入其中,相似度为71.78%。结 果表明,同一季节各站位群落结构相似性较高, 各季节群落结构变化明显。

方差分析结果显示,大型浮游动物种类季节 变化显著(p<0.05),夏季种类高于春季和冬季。 大型浮游动物平均丰度与平均生物量随季节变 化较为明显,其中平均丰度与平均生物量冬季最 低、夏季最高,与叶文建等^[14]的结论一致。春季 平均丰度显著提高主要是因为春季是绝对优势 种中华哲水蚤出现的高峰期,结果与杨杰青等[15] 和张亚洲等[16]发现东海区春季水温较适宜中华 哲水蚤生长的结论基本一致,各个季节出现的优 势种均有变化,有明显的季节演替特征。结果表 明,夏季大型浮游动物种类更加丰富,不同站位 之间差异较小:冬季大型浮游动物种类最少。同 时, 桡足类在秋季的种类数高于夏季, 与张武昌 等[17] 关于桡足类在总体丰度高时种类数变少的 观点一致。浮游动物群落结构变化与水温关系 密切。该海域属亚热带季风气候区,春季水温偏



图 2 中街山列岛海域大型浮游动物群落聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of zooplankton community in Zhongjieshan islands

暖,大量浮游幼体和桡足类等开始繁殖、生长; 夏季温度最高,在台湾暖流及长江入海口等水团 的作用下该海域正处于丰水期,水体营养物质增 加;秋季水温降低,减弱了大型浮游动物的生长 能力;冬季温度最低,水体浑浊,大大降低了该海 域大型浮游动物的生长和代谢率。

2.2 优势种分析

本研究中主要优势种共 11 种,包括百陶箭 虫、肥胖箭虫等,平均优势度为 0.12,具体见表 2。 浮游动物优势种越多、优势度越小,其群落结构 越复杂^[18]。春季调查海域大型浮游动物优势种 为5种,其中,中华哲水蚤为绝对优势种,优势度 高达0.665;夏季优势种为6种,肥胖箭虫为主要 优势种;秋季优势种为5种,亚强次真哲水蚤为 主要优势种;冬季优势种仅为3种,其中中华哲 水蚤为绝对优势种,优势度高达0.794;春季未发 现球型侧腕水母,而软拟海樽仅在夏季被发现。

2.3 优势种生态位宽度和生态位重叠

Shannon 指数生态位宽度计算结果表明,中 街山列岛海域大型浮游动物优势种的生态位宽 度值为1.80~3.46,根据生态位宽度值的大小,可 将优势种分为三大类群:广生态位(*B*>3.10)、中

rue.2 Composition of dominant species of matrice ophilikton anoughout the year									
伯日	山米	春季		夏季		秋季		冬季	
細亏	种关	<i>Y</i> ≥0.02	丰度						
Z1	百陶箭虫Sagitta bedoti	0.033	44.34		74.44		11.11	0.043	13.09
Z2	肥胖箭虫Sagitta enflata		1.06	0.218	764.45	0.039	24.31		2.56
Z3	拿卡箭虫Sagitta nagae	0.078	98.43		15.89		3.22		6.70
Z4	拟细浅室水母Lensia subtiloides	0.045	56.54	0.042	157.33		10.07		0.28
Z5	漂浮小井伊糠虾 <i>liella pelagica</i>		8.75		4.74	0.07	43.13		1.64
Z6	双生水母Diphyes chamissonis		3.27	0.092	341.80	0.064	39.66		0.12
Z7	五角水母Muggiaea atlantica	0.063	79.66	0.055	205.48		0.64		2.50
Z8	亚强次真哲水蚤Subeucalanus subcrassus		0.08		50.47	0.176	108.32		5.67
Z9	中华哲水蚤Calanus sinicus	0.665	843.79	0.098	388.94	0.052	32.01	0.794	240.68
Z10	软拟海樽Dolioletta gegenbauri		-	0.073	288.80		-		-
Z11	球型侧腕水母Pleurobrachia globosa		-		64.56		2.12	0.026	8.32

表 2 全年大型浮游动物优势种组成

Tab.2 Composition of dominant species of macrozooplankton throughout the year

生态位(2.90<B_i≤3.10)和窄生态位(B_i≤2.90)。 广生态位类群更能够适应环境,如百陶箭虫、五 角水母和中华哲水蚤;中生态位类群对环境的适 应能力稍弱于广生态位类群,如拟细浅室水母、 亚强次真哲水蚤、球型侧腕水母、漂浮小井伊糠 虾和拿卡箭虫;窄生态位类群对生态环境要求最 高,如双生水母、肥胖箭虫和软拟海樽。

生态位重叠指数可有效反映浮游动物不同 种类对生态资源(空间和食物等)利用的相互关 系,当生态位重叠指数大于 0.6 时,表明物种之 间生态位重叠显著^[19]。浮游动物优势种种对共 91个,生态位重叠值*Q_{ik}*的变化范围为0~0.98, 具体结果见表3。其中,*Q_{ik}>*0.6的种对有19个, 占总对数的20.9%,双生水母和肥胖箭虫的生态 位重叠值最大(0.98),其次为软拟海樽与双生水 母、软拟海樽与肥胖箭虫等;*Q_{ik}为*0.3~0.6的种 对有29个,占总对数的31.9%; 0<*Q_{ik}*<0.3的种对 有41个,占总对数的45.1%;其中,拿卡箭虫与 软拟海樽、漂浮小井伊糠虾与软拟海樽的重叠 值*Q_{ik}*均为0。

Tab.3 Niche width value and niche overlap index of dominant species of macrozooplankton in the waters of the Zhongjieshan islands											
编号	D	Q_{ik}									
	B _i	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
Z1	3.46										
Z2	2.37	0.20									
Z3	2.99	0.53	0.03								
Z4	3.09	0.53	0.36	0.16							
Z5	3.08	0.24	0.04	0.22	0.10						
Z6	2.63	0.22	0.98	0.04	0.40	0.09					
Z7	3.29	0.63	0.74	0.31	0.63	0.11	0.73				
Z8	3.09	0.23	0.41	0.03	0.15	0.64	0.43	0.39			
Z9	3.12	0.62	0.07	0.78	0.24	0.24	0.07	0.40	0.06		
Z10	1.80	0.12	0.95	0.00	0.31	0.00	0.97	0.63	0.35	0.02	
Z11	3.05	0.52	0.49	0.07	0.69	0.08	0.51	0.61	0.21	0.19	0.39

表 3 中街山列岛大型浮游动物优势种生态位宽度值和生态位重叠指数

注:编号同表2

生态位宽度是衡量物种对资源利用能力的 重要标准,宽度值越大说明物种在该资源环境条 件下的适应能力越强^[20]。从生态位宽度的分析 结果来看,本研究中广生态位种占全部优势种 的 27.3%,中生态位种占比为 45.4%,窄生态位种 占比为 27.3%。广生态位的 3 种浮游动物种包 括百陶箭虫等,为 4 个季节几乎均有出现且空间 分布广泛的物种,对该海域其他大型浮游动物种 类的生长及其对资源的利用产生了强大的种间 竞争力。而窄生态位的物种如肥胖箭虫为高温 高盐种,受季节变化影响大,生态位宽度值小,种 间竞争力小。由此可见,生态位宽度指数的大小 能够反映中街山列岛海域大型浮游动物在不同 生境中的生态习性及种间竞争关系,证明了生态 位宽度在同一生境条件下能够衡量物种优势度 这一观点^[21]。

生态位重叠值的大小能够反映不同物种之间在同一生境条件下的相似度和竞争关系^[22]。 有研究表明,当两个物种的生态位重叠指数大于0.6时,表明这些物种在生境条件的选择上具 有较高的重合度^[23]。生态位宽度跟生态位重叠 值往往存在正相关关系^[24],在本研究中,百陶箭 虫的生态位宽度值较高,但是与其他物种的生态 位重叠值较低,主要原因是近缘物种在时间、空 间或营养上存在一种生态分化现象,以此来减弱 在同一生态系统中的种间竞争关系^[25]。百陶箭 虫属沿岸优势种,在不同水团和海流交汇处大量 繁殖,该海域水流交汇,正适宜其生长繁殖。由 于其生态位宽度值较高,与其生态相似性较高的 物种会通过生态位的分离(选择不同时间、空 间、食物等生存条件)来减少竞争,从而实现共 存。生态重叠度值高的种一般分属不同类群^[5], 如本研究中的中华哲水蚤(桡足类)与拿卡箭虫 (毛颚动物)、软拟海樽(被囊动物)与双生水母 (管水母类)等。毛颚动物以桡足类为食,因此在 时空追随上的关系密切。软拟海樽为被囊类,其 与肉食性的管水母类重叠值较高的原因在于,它 们都属于暖水性种,在夏季水温较高时都呈现较 高的存活率,其相似的生存需求导致在同一资源 环境条件下产生较高的资源竞争。

- 2.4 生态位分化
- 2.4.1 海域环境因子

中街山列岛海域环境因子变化情况见表 4。 调查海域中间为岛礁,四周为海区,四季气候变 化明显,温度夏季最高,冬季最低。受外海影响 剧烈,盐度常年较高,海域 pH 全年较稳定,溶解 氧含量夏季明显低于其他季节。悬浮物浓度为 2.2~107.0 mg/L,最高值出现在冬季,冬季化学 需氧量最高,其次为春季、夏季和秋季。其他环 境因子季节变化差异不显著(p>0.05)。

表 4 中街山列岛海域环境因-	子
-----------------	---

1 au. 4 Environmental factors in the waters of the Zhongjieshan Islands								
环境因子	春季	夏季	秋季	冬季				
<i>T</i> /°C	15.73±0.72	23.68±1.82	21.82±0.91	12.48±1.01				
Sal	28.62±1.31	28.30±1.93	24.43±3.86	28.75±2.50				
d/m	34.45±13.52	36.35±13.40	34.28±11.95	36.41±15.84				
$SS/mg \cdot L^{-1}$	17.75±12.25	30.50±20.50	33.60±31.40	62.00±45.00				
pH	8.34±0.12	8.17±0.13	8.12±0.10	8.21±0.07				
$DO/mg \cdot L^{-1}$	9.15±0.47	7.28±0.82	8.56±0.30	9.02±0.26				
$\text{COD/mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.92±0.56	0.66±0.17	0.46±0.11	1.54±0.45				
$N/mg \cdot L^{-1}$	0.37±0.18	0.25±0.06	0.52±0.14	0.26±0.12				
PO_4 - $P/mg \cdot L^{-1}$	0.01±0.01	0.02±0.01	0.04±0.01	0.02±0.02				

注: T: 水温; Sal: 盐度; d: 水深; SS: 悬浮物; pH: 酸碱度; DO: 溶解氧; COD: 化学需氧量; N: 总无机氮; PO4: 磷酸盐

2.4.2 CCA 排序

利用向前引入法(forward selection)对环境 因子进行筛选,蒙特卡罗(Monte Carlo)置换检验 结果表明,显著影响(p<0.05)中街山列岛海域大 型浮游动物生态位分化的环境因子包括水温、 总无机氮、盐度、溶解氧、化学需氧量和磷酸盐, 共解释了该海域大型浮游动物群落种类组成总 变异的86.7%。轴1和轴2的特征值分别为0.57 和0.24,分别解释了总变异的35.6%和14.9%。 轴1和轴2的种类-环境因子相关系数分别为 0.91和0.80,表明这6个环境因子与浮游动物群 落存在显著相关关系。排序图轴1基本反映了 水温梯度(-0.85)、溶解氧梯度(0.61)、总无机氮 梯度(0.30)和化学需氧量梯度(0.28)的变化,除 水温外,溶解氧和化学需氧量沿排序图轴1从左 到右含量逐渐升高;排序图轴2基本反映了总无 机氮梯度(0.60)、盐度梯度(-0.59)和磷酸盐梯度 (0.44)的变化,除盐度外,总无机氮和磷酸盐含 量沿排序图轴2从下往上逐渐增加。

如图 3 所示,部分浮游动物种类分布在排序 图左侧,说明其适温性较高,丰度随温度升高而 增加。双生水母、百陶箭虫、中华哲水蚤等距离 轴1最近,说明其受温度和溶解氧影响最大。绝 对优势种中华哲水蚤适温性较低,与水温呈负相 关关系。

浮游动物的数量和分布会受到环境因素的 强烈影响^[26]。本研究结果显示,影响中街山列岛 大型浮游动物生态分化的主要环境因子为水 温、盐度、溶解氧、总无机氮、磷酸盐和化学需 氧量。从典范分析的结果来看,大型浮游动物受 表层水温影响极显著(*p*<0.01),大部分优势种与 表层水温呈正相关关系,而绝对优势种中华哲水





图 3 大型浮游动物优势种与环境因子的 CCA 排序



蚤与水温呈负相关关系,这是因为中华哲水蚤为 暖温性种,当水温升高超过一定程度时,中华哲 水蚤的死亡率升高,在较暖的条件下(春季、秋 季)会表现出较高的繁殖力和生长速率,生态位 宽度较大^[27]。同时,姜会超等^[28]在研究中发现, 当水温适中时,水温与浮游动物物种之间存在极 显著的相关关系。从排序图的结果来看,亚强次 真哲水蚤和漂浮小井伊糠虾与磷酸盐和总无机 氮呈正相关关系,亚强次真哲水蚤为植食性桡足 类,糠虾类为杂食性浮游动物,均以浮游植物为 饵。磷酸盐和总无机氮等是构成水体营养盐的 主要成分,王春生等^[29]和刘潇等^[30]在研究中指 出,水域营养盐的变化会导致浮游藻类的丰度发 生变化,从而间接影响存在捕食关系的浮游动物 丰度变化。同时,水体 COD 浓度的变化也会引 起浮游植物群落变化从而间接影响浮游动物分 布。毛颚动物如百陶箭虫和肥胖箭虫属肉食性 浮游动物,运动能力极强,因此与溶解氧呈一定 的正相关关系;被囊动物运动能力弱,海樽类通 过被囊层下的肌带收缩运动进行滤水呼吸和进 食,相比于依靠运动和力量捕食的毛颚动物更耐 低氧环境,因此在排序图中软拟海樽与溶解氧呈 明显的负相关关系。

3 结论

(1)中街山列岛海域的4次调查共采集到大型浮游动物140种,17个大类。主要优势种共11种,浮游动物种类季节变化显著,各个季节出现的优势种均有变化,有明显的季节演替特征。

(2)4次调查均有出现的物种受季节变化影 响小,生态位宽度值更大;受季节变化影响越大 的物种其生态位宽度值越小。

(3)同一类群种间存在一种生态分化现象, 以此来减弱同一生存环境下的种间竞争关系,因此生态位重叠值较低。存在捕食-被捕食关系的种对间的生态位重叠值较高。对生存环境要求相似的物种即使分属不同类群,也存在较高的生态位重叠。

(4)影响中街山列岛调查海域大型浮游动物 优势种生态分化的主要环境因子包括水温、总 无机氮、盐度、溶解氧、化学需氧量和磷酸盐。

参考文献:

- BEAUGRAND G. Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2009, 56(8/9/10): 656-673.
- [2] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] GRINNELL J. The niche-relationships of the California thrasher[J]. The Auk, 1917, 34(4): 427-433.
- [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.
- [5] 徐晓群,曾江宁,陈全震,等.浙江三门湾浮游动物优势种空 间生态位 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 818-824.
- [6] 张亚洲,张琳琳,印 瑞,等.浙江乐清湾浮游动物空间生态 位[J].应用生态学报,2021,32(1):342-348.
- [7] 梁 君, 王伟定, 虞宝存, 等. 中街山列岛海洋保护区岛礁生 境鱼类资源及群落多样性季节变化 [J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 979-989.
- [8] 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.
- [9] 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4部分:海水分析:GB 17378.4-2007[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [10] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. General Systems, 1958, 3: 36-71.
- [11] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of

- [12] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [13] BEYENE A, ADDIS T, KIFLE D. Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: case study of the Kebena and Akaki rivers in Addis Ababa, Ethiopia[J]. Ecological Indicators, 2009, 9(2): 381-392.
- [14] 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.
- [15] 杨杰青, 全为民, 史赟荣, 等. 东海近岸海域浮游动物群落时 空分布 [J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1060-1076.
- [16] 张亚洲,李振华. 2014 年春季东海带鱼资源保护区海域浮游 动物群落结构 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2015, 34(4): 305-309.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] JOHNSON W B, SASSER C E, GOSSELINK J G. Succession of vegetation in an evolving river delta, Atchafalaya bay, Louisiana[J]. Journal of Ecology, 1985, 73(3): 973-986.
- [21] HUTCHINSON G E. Concluding remarks[J]. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 1957, 22: 415-427.
- [22] 高 原, 王 超, 刘乾甫, 等. 珠三角河网不同水文期浮游动物优势种及生态位 [J]. 水生态学杂志, 2019, 40(6): 37-44.

- [23] 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.
- [24] 梁 森,姜 倩,孙丽艳,等.曹妃甸近岸海域大、中型浮游动物优势种空间生态位研究 [J]. 生态环境学报, 2018, 27(7): 1241-1250.
- [25] 杨杰青, 晁 敏, 史赟荣, 等. 三门湾及邻近海域百陶箭虫和 肥胖箭虫时空共存关系初探 [J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(2): 433-443.
- [26] 王慧君, 许永久, 俞存根, 等. 2018-2019 年舟山近海浮游动 物群落结构春季年际变化及其与水团的关系 [J]. 海洋学报, 2020, 42(6): 90-100.
- [27] PU X M, SUN S, YANG B, et al. Life history strategies of *Calanus sinicus* in the southern Yellow Sea in summer[J]. Journal of Plankton Research, 2004, 26(9): 1059-1068.
- [28] 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 [J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7308-7319.
- [29] 王春生,杨关铭,朱根海,等.南麂列岛附近海域浮游动物的 分布及其与浮游藻类和营养盐的关系 [J].东海海洋, 1998, 16(2): 41-48.
- [30] 刘 潇,潘玉龙,孙蓓蓓,等. 荣成近岸海域浮游动物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. 现代农业科技, 2019(10): 177-179,182.

(本文编辑:胡莹莹)