

文章编号: 1674-5566(2024)03-0702-13

DOI: 10.12024/jsou.20231004334

大规模筏式养殖生境中端足类群聚特征和时空差异

孙梦雨¹, 汪振华^{1,2}, 林军^{1,2}, 章守宇^{1,2}, 王凯^{1,2}, 李晶晶¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 海洋牧场工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 基于2022年2—7月(大型海藻快速生长期2—3月、成熟期4—5月和衰落期6—7月)在嵊泗枸杞岛贻贝养殖区和对照区潮间带的同步采集数据,采用相对重要性指数、Shannon-Wiener多样性和Margalef丰富度指数,结合聚类和排序等多元统计方法,对筏架不同结构体及其上大型海藻所附生的端足类的种类组成、丰度密度变化和群聚特征进行分析。结果共采集端足类24种,隶属于2亚目7科16属,其中在养殖生境采集端足类24种,而潮间带仅采集到4种。养殖筏架上的优势种为钩虾亚目的强壮藻钩虾(*Ampithoe valida*)、毛日藻钩虾(*Sunampithoe plumosa*)和施氏玻璃钩虾(*Hyale schmidti*)以及麦秆虫亚目的凯氏麦秆虫(*Caprella kroyeri*)、十远麦秆虫(*Caprella decipiens*)和长腮麦秆虫(*Caprella equilibra*);潮间带各种类相对重要性指数(IRI)皆小于5,未出现优势种。端足类的整体丰度密度呈现逐月增加趋势,从2—3月大型海藻快速生长期的(580±90) ind./m²增加到6—7月衰落期的(1 604±1 172) ind./m²;不同部位的平均丰度密度最大为浮球(1 390±1 478) ind./m²,最小为贻贝串(683±1 610) ind./m²。端足类在大型海藻快速生长期的丰富度和多样性最高,其次是海藻成熟期,再次是衰落期;丰富度和多样性指数最高的是贻贝串。在群聚特征方面,端足类群落不仅在时间方面有明显变化,不同部位间也存在显著差异($P < 0.01$)。在端足类对不同大型海藻的选择利用方面,强壮藻钩虾等6种端足类与褐藻、绿藻的生物量存在显著正相关关系($P < 0.01$)。研究发现,大规模筏式养殖区支撑了种类丰富、结构多元且生物量庞大的端足类资源,可为海洋牧场人工生境的构建和生态系统结构优化提供重要依据。

关键词: 端足类; 种群密度; 生物量; 种类分布

中图分类号: S 931.1 **文献标志码:** A

筏式养殖是我国贻贝养殖的主要模式,通过近几十年的发展已在天然海域构建了规模庞大的浮体设施,一定程度上发挥了浮鱼礁的生态效应^[1]。筏式贝类养殖所构筑的异质性空间及其上附生的大型海藻构成了局部海域人工生境的结构主体,为许多海洋生物提供了独特的栖息场所^[2]。其中的附生动物中,端足类是发生量最大且持续时间最长的一类生物,它们将大型海藻作为食物来源或栖息庇护场所的同时,又为该生境中的其他消费者提供了丰富的饵料来源^[3-4],在大型海藻到更高营养级消费者的能流方面发挥了重要的上、下行作用。生态系统中任何生物在量

上的骤变必然是系统反馈机制发挥作用的表现,而厘清大规模人工生境中端足类的种类组成及其群聚特征,是探索其生态效应的基础。

端足类的摄食行为(食草类、食肉类、杂食类、食腐类)和生活习性(自由生活、管栖生活)不同,对生境和食物资源的需求亦不同^[5],即使同种端足类也会因为栖息环境、食物丰欠、捕食者存在等因素影响而采取不同的摄食策略^[6]。在缺乏人类活动干扰的自然海域端足类不仅是重要的饵料生物,也是能量流动以及物质传递的关键层级。事实上天然海域端足类的发生量并不大,如研究发现位于马里兰州海湾的端足类其最高平

收稿日期: 2023-10-19 修回日期: 2023-12-12

基金项目: 国家自然科学基金(42376207); 国家重点研发计划(2019YFD0901303); 上海海洋大学科技发展专项(A2-2006-20200212)

作者简介: 孙梦雨(1997—),女,硕士研究生,研究方向为海洋生物学。E-mail:mengyusun123@163.com

通信作者: 汪振华, E-mail:zh_wang@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>

均丰度为 (34.8 ± 24.7) ind./m²[7]。近几十年来,随着近海养殖规模不断扩大,近岸海域出现了越来越密集的人工生境,产生了不可忽视的生态影响,如大型海藻和大型无脊椎动物的大量附生成成为养殖生境能流和物流的重要环节,最终为麦秆虫和钩虾等端足目生物的大量发生创造了条件。目前国内关于端足类的研究主要关注优势端足类与大型海藻的关系[8-9],也有学者发现端足类在海洋渔业碳汇过程中发挥重要作用[10],而从群落水平对端足类的系统研究极为少见,这对全面深入把握该类别生物的生态功能极为不利。了解端足类对不同筏式养殖结构体的选择利用规律是揭示其大量发生机制的基础,也是解析海域重要生物资源动态的重要参考。

本研究目的是探究枸杞岛贻贝养殖生境中的端足类群聚特征及其对大型海藻选择性利用的种间差异,评估发生量及其可能原因。通过确定端足类的栖息密度和生物量时空分布和动态特征,为该人工生境的生态系统功能研究提供基础数据,也为区域海洋牧场建设目标生物栖息环境的营造和食物网结构优化指明方向。

1 材料与方 法

1.1 研究区域和采样方法

研究海域为浙江省嵊泗县枸杞岛,其位于舟山群岛北部的马鞍列岛海洋特别保护区。采样时间为2022年2—7月,对应大型海藻快速生长期(2—3月)、成熟期(4—5月)和衰落期(6—7月)。研究区域共设置12个采样点,其中9个位于筏架养殖区,其余3个为潮间带对照点(C1-C3)(图1)。分浮球、苗绳和贻贝串3个部位进行端足类的采集。每个筏架采样点随机选择一个浮球,对其浸水部分的海藻全部采样,附生端足类则部分采样(底部面积的60%);随机选取一段长30 cm、直径3 cm的苗绳,其上海藻及附生端足类100%采集;每个站点随机选择30 cm长度的贻贝串进行藻类和端足类的采集,采样率为100%。采用25 cm×25 cm样方框进行潮间带大型海藻、附生及附着动物的随机采样。使用铁铲和刮刀将样方框内所有生物刮取并置于样品袋中,并在6 h之内将样品存放于0℃低温环境,用于后续实验处理。

1.2 样品处理和实验

将各点采样获得的海藻放入水中清洗使海藻与端足目生物分开,其中端足目生物主要为钩虾和麦秆虫两类端足类(生物丰度超过99%),利用孔径150 μm的筛网进行过滤,得到附生的端足类,进一步洗去泥沙和藻类残渣后用纸巾吸干多余水分,分别计数各样品中的钩虾和麦秆虫数量并测定其总生物量。通过光学显微镜观察其生物特征,依据《中国动物志》[11]及《中国海洋生物图集》[12]确定各点采集的端足类样品种类。

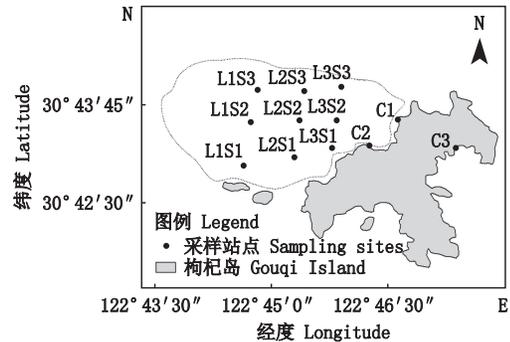


图1 枸杞岛采样站点分布图
Fig. 1 Distribution map of sampling sites for Gouqi Island

1.3 数据分析

1.3.1 生物量统计

实际有效采样面积为浮球、苗绳和贻贝串3部分面积估算之和:浮球表面积依直径为30 cm的球体表面积公式计算;贻贝串表面积依长度30 cm,半径10 cm的圆柱体计算;苗绳表面积依长度30 cm,直径3 cm的圆柱体计算。

基于章守宇等[13]的研究结果,结合Google earth测算值估算出整个筏架养殖区的面积为1 120 hm²;同时枸杞岛岸线总长约为21.1 km,潮间带平均宽度约为5 m,由此得出枸杞岛潮间带总面积约为 1.1×10^5 m²。依据现场测量以及王旭[14]等研究,枸杞岛的贻贝养殖区可分为近2 000个100 m×50 m的养殖单位。在养殖区域中,浮球间的平均间隔约为0.75 m。根据实地考察,主绳之间平均距离约3.6 m;结合养殖单元的宽度可得出一个养殖单元内平均的主绳数量为14条,推测养殖区所有苗绳的总长度为 2.8×10^6 m;利用不同年生贻贝串的养殖比例及其放置浮球的不同距离与推测的苗绳总长度可估算得到整片海域中浮球的总个数为 3.8×10^6 个。贻贝串的数量根据浮球数量计算可得数量为 6.1×10^6 个。

1.3.2 优势种和多样性

(1) 采用 Pinkas 相对重要性指数 (Index of Relative Importance, IRI) 分析物种优势度, IRI 的计算公式如下:

$$I_{RI} = (N_i + W_i) \times F_i \times 10^4 \quad (1)$$

式中: N_i 表示某一物种尾数占所有物种总尾数的百分比, W_i 表示某一物种体质量占所有物种质量的百分比, F_i 表示某一物种在调查中出现的站位数占总站位数的百分比。

运用 Margalef 物种丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数表征端足类的生物量分布特征以及多样性特征。

(2) Margalef 物种丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

式中: S 为物种数; N 为全部种的个体总数。

(3) Shannon-Wiener 多样性指数

$$H = -\sum (P_i \times \ln P_i) \quad (3)$$

式中: H 为 Shannon-Wiener 多样性指数; P_i 为抽样个体属于某一物种的概率。

1.3.3 群落特征多元分析

在进行聚类分析前, 对端足类丰度数据进行二次方根转换, 以削弱极端值的影响。采用等级聚类 (CLUSTER) 和非度量多维测度 (nMDS) 分析端足类群聚结构, 应用相似性分析 (ANOSIM) 检验各月份群落结构的零假设, 用 SIMPER 方法分析各鱼种对样本组内相似性和组间相异性的平均贡献率。采用 PRIMER 5.0 软件进行 Cluster、nMDS、SIMPER 和 ANOSIM 分析, RDA 二维排序图采用 R 语言绘制, 在进行排序分析之前先对数据进行去趋势的对应分析, 结果数值大于 4.0 则采用 CCA 分析, 3.0~4.0 之间 RDA 和 CCA 分析皆可采用, 小于 3.0 则采用 RDA。调查站位图和数量密度图采用 ArcGIS 10.2 软件绘制, 显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 端足类种类组成

共采集端足类 18 729 尾, 隶属于钩虾和麦秆虫 2 个亚目、7 科、16 属、24 种 (表 1), 其中钩虾亚目 6 科、10 属、17 种, 麦秆虫亚目 7 种。在筏架养殖生境采集到的端足类共计 24 种, 而潮间带仅采集到 4 种。在所鉴定的 24 种端足类中, 长腮麦秆虫 (*Caprella equilibra*) 的数量最多, 约占所记录的端足类总数的 28%, 凯氏麦秆虫 (*Caprella kroyeri*)

占 19%, 十远麦秆虫 (*Caprella decipiens*) 占 18%, 猴麦秆虫 (*Caprella simia*) 占 9%, 强壮藻钩虾 (*Ampithoe valida*) 占 6%, 拉式藻钩虾 (*Ampithoe kulafi*) 占 3%, 圆腮麦秆虫 (*Caprella penantis*) 和施氏玻璃钩虾 (*Hyale schmidti*) 都占 3%, 毛日藻钩虾 (*Sunampithoe plumosa*) 占 2%, 其余 11 种端足类共占总数量的 1%。

大型海藻快速生长期采集到的端足类为 20 种, 成熟期和衰落期均为 19 种, 而潮间带对应的种类数分别为 3 种和 2 种。筏架生境所采集的端足类中, 强壮藻钩虾和毛日藻钩虾等 13 种端足类在绝大部分月份中出现, 而长尾科洛钩虾和中国亮钩虾等种类仅偶尔出现个别月份。其余皆为常见种。

2.2 端足类在筏架养殖生境中的丰度密度时空变化

从月度变化上看, 筏架养殖区 7 月的端足类丰度密度最高 (2 953.3 ind./m²), 2 月种类密度最低 (207.5 ind./m²)。从不同生长期来看, 快速生长期的丰度密度为 (203±222) ind./m², 成熟期为 (411±486) ind./m², 衰落期为 (1 604±1 142) ind./m²。

空间变化方面, 2—4 月种群密度变化趋势为由西北向岸边逐渐降低, 5 月与 7 月的变化趋势为由东北向西南逐渐降低, 6 月的变化趋势为由西向东逐渐降低。远离岸边站点的种群密度高于近岸站点。

2.3 端足类优势种时空变化

枸杞岛贻贝养殖区春夏两季端足类的共同优势种为强壮藻钩虾, 且为春夏季的绝对优势种, 除 6、7 月外, 其他月份的 IRI 值都远高于其他种类 (表 1)。2 月钩虾亚目优势种为强壮藻钩虾、毛日藻钩虾和青岛板钩虾; 麦秆虫亚目优势种为圆腮麦秆虫。3 月钩虾亚目优势种为强壮藻钩虾; 麦秆虫亚目优势种为凯氏麦秆虫、长腮麦秆虫、十远麦秆虫。4 月钩虾亚目优势种为强壮藻钩虾、施氏玻璃钩虾; 麦秆虫亚目优势种为十远麦秆虫、圆腮麦秆虫。5 月钩虾亚目优势种为强壮藻钩虾; 麦秆虫亚目优势种为十远麦秆虫、凯氏麦秆虫和长腮麦秆虫。6 月钩虾亚目优势种为强壮藻钩虾; 麦秆虫亚目优势种为凯氏麦秆虫、长腮麦秆虫和猴麦秆虫。7 月钩虾亚目优势种为拉式藻钩虾; 麦秆虫亚目优势种为长腮麦秆虫、凯氏麦秆虫、十远麦秆虫和猴麦秆虫。潮间带端足类的种类和数量远低于筏架区丰富 (表 1)。

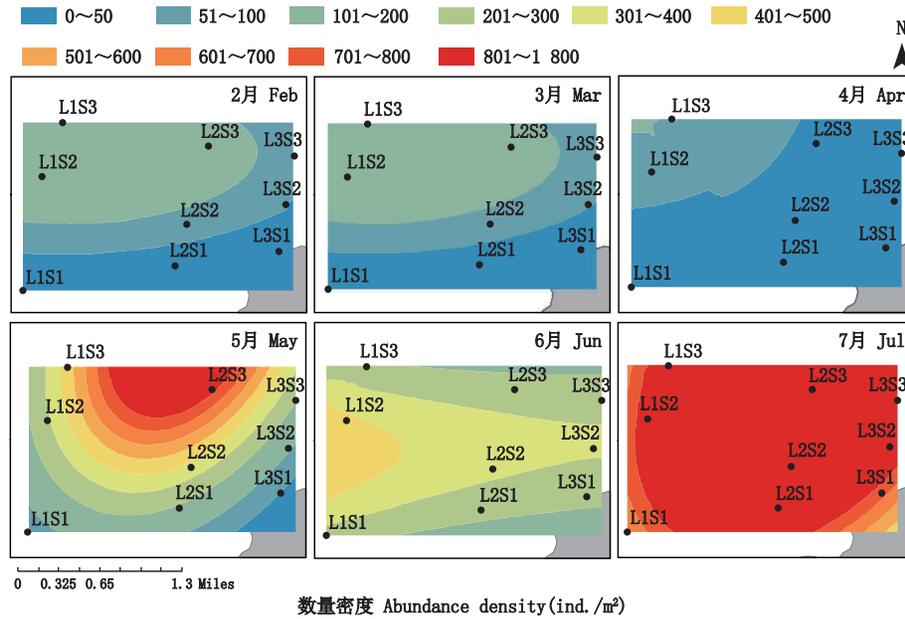


图2 枸杞岛筏架区9个站点(2022年2—7月)端足类数量密度的分布

Fig. 2 Average density of amphipods at 9 stations (February–July 2022) in the raft frame area of Gouqi Island

在海藻快速生长期,钩虾亚目的优势种为强壮藻钩虾、毛日藻钩虾和青岛板钩虾;麦秆虫亚目为凯氏麦秆虫、十远麦秆虫和长腮麦秆虫。成熟期钩虾亚目的优势种为强壮藻钩虾和施氏玻璃钩虾;麦秆虫亚目为凯氏麦秆虫、十远麦秆虫和长腮麦秆虫。衰落期钩虾亚目优势种为强壮藻钩虾和拉式藻钩虾;麦秆虫亚目优势种为长腮麦秆虫、凯氏麦秆虫、十远麦秆虫和猴麦秆虫。

浮球、苗绳和贻贝串3种基质上的优势种组成相同月份基本一致但随月份发生变化(表2),2月青岛板钩虾是苗绳和贻贝串上的优势种,毛日藻钩虾是浮球上的优势种;3月强壮藻钩虾是浮球上的优势种,十远麦秆虫是苗绳上的优势种,凯氏麦秆虫是贻贝串上的优势种。4月强壮藻钩虾是浮球苗绳上的共同优势种,施氏玻璃钩虾是贻贝串上的优势种;5月浮球上的优势种为十远麦秆虫,苗绳上的优势种为凯氏麦秆虫,强壮藻钩虾是贻贝串上的优势种;6月的共同优势种为凯氏麦秆虫;7月的共同优势种为长腮麦秆虫。

2.4 筏架养殖生境端足类多样性时空差异

大型海藻快速生长期(2—3月)端足类的丰富度和多样性最高,其次是成熟期(4—5月),再次是衰落期(6—7月)。不同附生基质之间的差异上,贻贝串上的丰富度(2.01±0.51)和多样性(1.99±0.11)均高于其他两种基质(图3)。

2.5 筏架养殖生境端足类群落结构

nMDS 分析结果如下(图4),其胁迫系数(Stress)均小于0.2,表明端足类群落聚类分析具有一定的解释意义。大型海藻快速生长期的单因素相似性分析(ANOSIM)结果显示贻贝串与其余两种基质间的群落差异显著,而苗绳与浮球间差异并不显著[群组1($R_{串-球}=0.291, P<0.01$),群组2($R_{串-绳}=0.248, P<0.01$),群组3, $R_{球-绳}(P>0.05)$]。在大型海藻成熟期,单因素相似性分析(ANOSIM)结果显示仅贻贝串与浮球两种基质间群落差异显著,其余两组均不显著($R_{串-球}=0.209, P=0.01$)。在大型海藻衰落期,单因素相似性分析(ANOSIM)结果显示3种基质间群落差异都十分显著[群组1($R_{串-球}=0.197, P<0.01$),群组2($R_{串-绳}=0.258, P<0.01$),群组3($R_{球-绳}=0.581, P<0.01$)]。SIMPER 分析结果显示,在海藻生长期(2—3月)组内平均相似度分别为24.14%和48.67%,群组1中板钩虾、施氏玻璃钩虾和强壮藻钩虾等累计贡献率达到76.91%。群组2中十远麦秆虫、板钩虾和施氏玻璃钩虾等累计贡献率达74.11%,两组平均相异度为74.49%和77.96%;在成熟期(4—5月)组内平均相似度为56.25%,群组中 长腮麦秆虫、凯氏麦秆虫和十远麦秆虫累计贡献率达到72.04%,平均相异度为64.73%;在衰落期(6—7月)组内平均相似度分别为36.67%、61.64%和74.26%,群组1中 长腮麦

秆虫、十远麦秆虫和凯氏麦秆虫等累计贡献率达到73.14%。群组2中十远麦秆虫、板钩虾和施氏玻璃钩虾等累计贡献率达71.92%，群组3中长腮

麦秆虫、猴麦秆虫和凯氏麦秆虫等累计贡献率达72.52%，两组平均相异度为51.12%，62.72%和48.55%。

表1 枸杞岛筏架养殖区不同月份端足类优势种和常见种的相对重要性指数
Tab. 1 Index of relative important (IRI) of the dominant and common species of the Gouqi Island in Zhejiang

种类 Species	采集区域 Collection area	月份 Month					
		2月	3月	4月	5月	6月	7月
强壮藻钩虾 <i>Ampithoe valida</i>	RT	947.91	258.27/0.03	667.77/0.07	320/0.03	381.5/0.04	8.63/0.16
毛日藻钩虾 <i>Sunampithoe plumosa</i>	R	715.40	49.64	65.66	23.75	95.66	
拉氏藻钩虾 <i>Ampithoe kulafi</i>	RT	3.00/0.03	0.99	1.34	0.23	4.65	112/0.03
雷氏藻钩虾 <i>Ampithoe ramondi</i>	R			41.44		6.85	
长尾科洛钩虾 <i>Colomastix longicaudata</i>	R						7.37
上野螺赢蜚 <i>Corophium uenoi</i>	R	3.00		0.72			
青岛板钩虾 <i>Stenothoe qingdaoensis</i>	R	315.38	39.21	2.13			
大角玻璃钩虾 <i>Hyale grandicornis</i>	RT	0.42/0.03	0.66	0.78		0.10	
施氏玻璃钩虾 <i>Hyale schmidti</i>	RT	995	97.96	421.62/2.04	0.81/0.06	3.63/0.08	11.10
小肢浪钩虾 <i>Cymadusa pillipes</i>	R	0.76	1.51	0.21		0.54	
中国亮钩虾 <i>Photis sinensis</i>	R					30.21	
小叶浪钩虾 <i>Cymadusa microphthalma</i>	R		0.83				
浪钩虾属 <i>Cymadusa brevidactyla</i>	R	0.22					
拟钩虾亚属 <i>Gammaropsis Lilgeborg</i>	R	122.1	8.42	7.71	1.91	0.93	
藻钩虾科 <i>Ampithoidae stebbing</i>	R	44.17	0.96	18.62			
玻璃钩虾属 <i>Hyale rathke</i>	R	7.21	10.96	51.87	0.21	1.84	18.30
凯氏麦秆虫 <i>Caprella kroyeri</i>	R		290.35	58.02	475.5	526	443.53
十远麦秆虫 <i>Caprella decipiens</i>	R	22.41	205.52	88.42	522.4	435.14	390.30
厚麦秆虫 <i>Caprella iniquilibra</i>	R		1.61	1.30	0.33		8.17
猴麦秆虫 <i>Caprella simia</i>	R	4.22	23.70	11.13	151.21	191.5	225.52
巨麦秆虫 <i>Caprella gigantochir</i>	R	0.41	2.10			5.35	
镇氏麦秆虫 <i>Caprella danilevskii</i>	R	14.8		1.74		0.52	
长腮麦秆虫 <i>Caprella equilibra</i>	R	4.57	176.43	26.72	302.35	398.73	866.95
圆腮麦秆虫 <i>Caprella penantis</i>	R	31.84	47.66	85.71	85.54	36.13	

注: R表示筏架养殖区, T表示潮间带, “/”后面的数值为潮间带端足类的相对重要性指数。

Notes: R indicates that Raft culture, T indicates that intertidal zone, “/” The latter values are the relative importance index of intertidal amphipods.

表 2 枸杞岛筏架养殖区不同基质端足类优势种的相对重要性指数
Tab. 2 Index of Relative Importance of the dominant species of different substrate amphipods in raft culture area of Gouqi Island

月份 Month	浮球 Floats	苗绳 Seedling rope	贻贝串 Mussel strings
	种类及 IRI	种类及 IRI	种类及 IRI
2 月	青岛板钩虾(267.12)	青岛板钩虾(214.29)	青岛板钩虾(148.15)
	毛日藻钩虾(294.52)	毛日藻钩虾(168.65)	毛日藻钩虾(44.44)
	强壮藻钩虾(150.68)	强壮藻钩虾(119.05)	强壮藻钩虾(66.67)
	圆腮麦秆虫(35.01)		
3 月	凯氏麦秆虫(123.75)	凯氏麦秆虫(108.57)	凯氏麦秆虫(177.78)
	强壮藻钩虾(143.81)	强壮藻钩虾(93.33)	强壮藻钩虾(149.33)
	十远麦秆虫(70.23)	十远麦秆虫(139.68)	十远麦秆虫(131.56)
	长腮麦秆虫(121.89)	长腮麦秆虫(100.95)	长腮麦秆虫(35.56)
4 月	强壮藻钩虾(461.85)	强壮藻钩虾(508.70)	强壮藻钩虾(148.15)
	施氏玻璃钩虾(262.38)	施氏玻璃钩虾(91.03)	施氏玻璃钩虾(245.96)
	十远麦秆虫(6.69)	十远麦秆虫(18.74)	十远麦秆虫(6.69)
	圆腮麦秆虫(96.39)	圆腮麦秆虫(56.22)	圆腮麦秆虫(11.40)
5 月	强壮藻钩虾(418.88)	强壮藻钩虾(126.04)	强壮藻钩虾(278.54)
	凯氏麦秆虫(605.31)	凯氏麦秆虫(207.30)	凯氏麦秆虫(86.76)
	十远麦秆虫(665.09)	十远麦秆虫(163.47)	十远麦秆虫(70.78)
	长腮麦秆虫(384.90)	长腮麦秆虫(123.19)	长腮麦秆虫(24.35)
6 月	猴麦秆虫(98.90)	猴麦秆虫(50.42)	猴麦秆虫(54.53)
	凯氏麦秆虫(210.73)	凯氏麦秆虫(159.39)	凯氏麦秆虫(216.40)
	强壮藻钩虾(172.41)	强壮藻钩虾(145.24)	强壮藻钩虾(98.89)
	十远麦秆虫(197.32)	十远麦秆虫(125.07)	十远麦秆虫(103.16)
	长腮麦秆虫(195.40)	长腮麦秆虫(130.89)	长腮麦秆虫(167.54)
7 月	猴麦秆虫(237.67)	猴麦秆虫(113.15)	猴麦秆虫(68.08)
	凯氏麦秆虫(473.69)	凯氏麦秆虫(55.39)	凯氏麦秆虫(188.39)
	拉氏藻钩虾(119.65)	拉氏藻钩虾(14.14)	拉氏藻钩虾(40.22)
	十远麦秆虫(416.92)	十远麦秆虫(49.77)	十远麦秆虫(116.36)
	长腮麦秆虫(925.94)	长腮麦秆虫(113.37)	长腮麦秆虫(216.73)

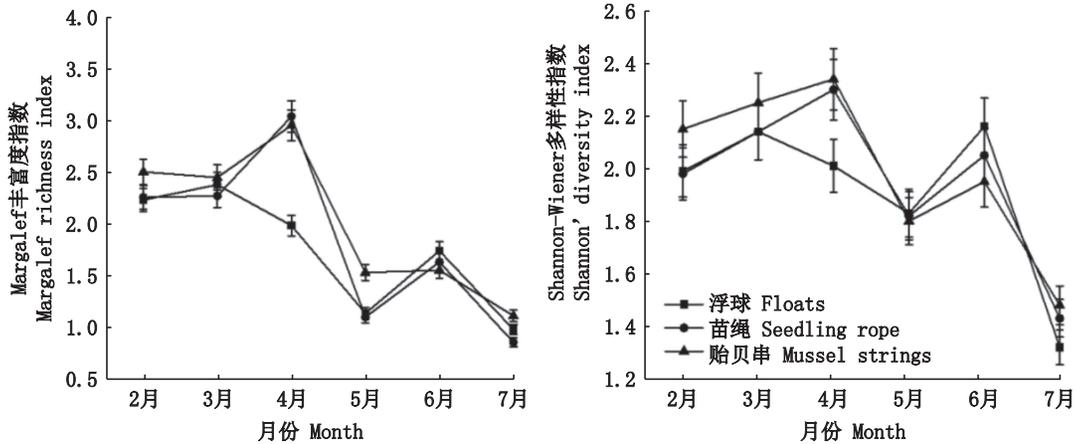


图 3 枸杞岛筏架区端足类多样性及丰富度指数月度变化

Fig. 3 Monthly variation of amphipods diversity index and richness index in the rafting area of Gouqi Island

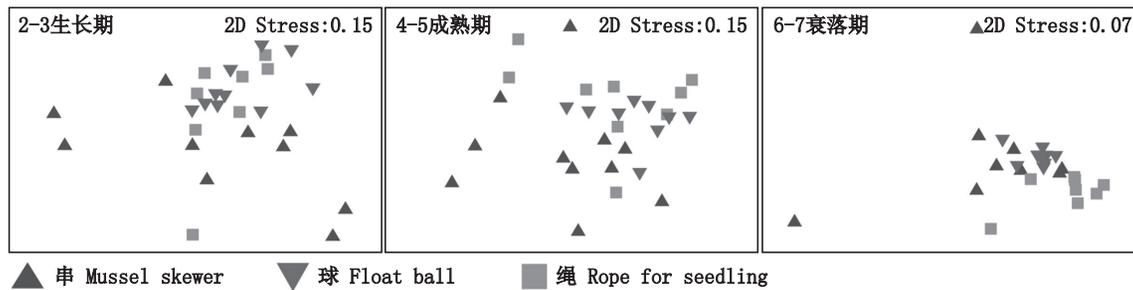


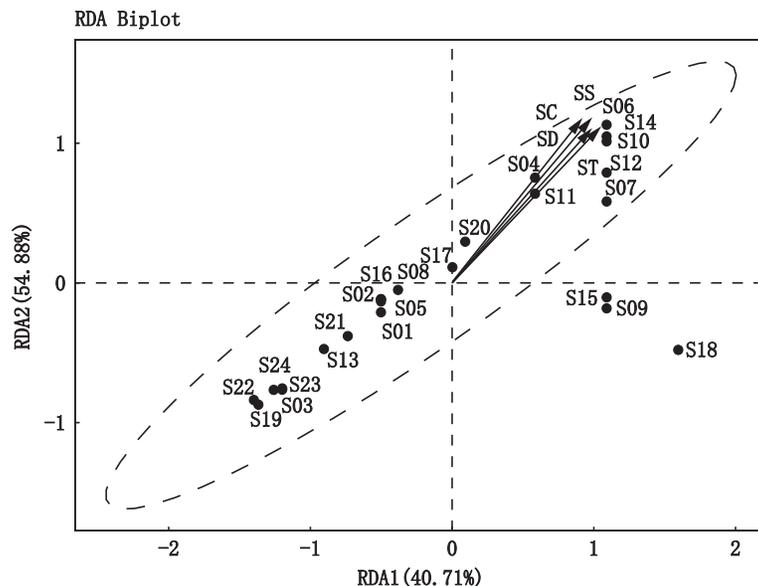
图4 海藻不同生长阶段对应端足类群落nMDS排序图

Fig. 4 nMDS sequence map of amphipod community corresponding to different growth stages of seaweed

2.6 端足类群落与环境因子相关关系

本次采集站点均位于水面2 m以上,因此选用表层环境因子进行分析。蒙特卡洛检验结果显示,温度、盐度、溶解氧和叶绿素a为影响端足类群落结构变化的主要因子($P < 0.05$),RDA统计

结果显示,温度、盐度、溶解氧和叶绿素a 4个环境因子之间的相关性十分相似,且均与施氏玻璃钩虾、拉氏藻钩虾等高度正相关,与板钩虾、大角玻璃钩虾、雷氏藻钩虾等高度负相关。



S01 板钩虾; S02 大角玻璃钩虾; S03 藻钩虾属; S04 浪钩虾属; S05 拟钩虾属; S06 玻璃钩虾属; S07 猴麦秆虫; S08 巨麦秆虫; S09 凯氏麦秆虫; S10 拉氏藻钩虾; S11 毛日藻钩虾; S12 强壮藻钩虾; S13 上野螺赢蜚; S14 施氏玻璃钩虾; S15 十远麦秆虫; S16 小肢浪钩虾; S17 圆腮麦秆虫; S18 长腮麦秆虫; S19 小叶浪钩虾; S20 厚麦秆虫; S21 雷氏藻钩虾; S22 长尾科洛钩虾; S23 中国亮钩虾; S24 镇氏麦秆虫。

S01 *Stenothoe qingdaoensis*; S02 *Hyale grandicornis*; S03 *Ampithoidae stebbingi*; S04 *Cymadusa brevidactyla*; S05 *Gammaropsis Liljeborg*; S06 *Hyale rathke*; S07 *Caprella simia*; S08 *Caprella gigantochir*; S09 *Caprella kroyeri*; S10 *Ampithoe kulafi*; S11 *Sunampithoe plumosa*; S12 *Ampithoe valida*; S13 *Corophium uenoi*; S14 *Hyale schmidtii*; S15 *Caprella decipiens*; S16 *Cymadusa pillipes*; S17 *Caprella penantis*; S18 *Caprella equilibra*; S19 *Cymadusa pillipes*; S20 *Caprella iniquilibra*; S21 *Ampithoe ramondi*; S22 *Colomastix longicaudata*; S23 *Photis sinensis*; S24 *Caprella danilevskii*;

图5 枸杞岛筏架区端足类生物量与环境因子的RDA排序

Fig. 5 RDA ranking of amphipod biomass and environmental factors in the rafting area of Gouqi Island (first surface, then bottom)

2.7 优势种端足类与优势种大型海藻的相关关系

本次采集到的端足类主要有7种,包括钩虾亚目的板钩虾、毛日藻钩虾、强壮藻钩虾、施氏玻璃钩虾、拉氏藻钩虾以及麦秆虫亚目的凯氏麦秆虫、猴麦秆虫、十远麦秆虫、长腮麦秆虫。在筏架

区采集到的海藻可归类为红藻、绿藻与褐藻。通过相关性分析发现(表3),红藻的生物量与端足类的生物量无显著相关性($P > 0.05$),绿藻的生物量与板钩虾、猴麦秆虫、凯氏麦秆虫、十远麦秆虫、长腮麦秆虫呈显著正相关($P < 0.01$),褐藻的生物量与强壮藻钩虾的生物量呈显著正相关性

($P < 0.01$)。

筏架区优势种大型海藻多样性指数整体呈现下降趋势,在海藻成熟期(4月)达到峰值,衰落

期(7月)达到最低值。丰富度指数在海藻快速生长期(3月)达到最低值,衰落期(7月)达到最高值(图6)。

表3 海藻生物量与端足类生物量的相关性分析
Tab.3 Correlation analysis of algae biomass and amphipod biomass

生物量 Biomass	相关性统计值(r^2) Correlation statistic values		
	红藻生物量 Biomass of Rhodophyta	绿藻生物量 Biomass of Chlorophyta	褐藻生物量 Biomass of Phaeophyta
强壮藻钩虾生物量	N	N	0.005**
毛日藻钩虾生物量	N	N	N
拉氏藻钩虾生物量	N	N	N
板钩虾生物量	N	0.044**	N
施氏玻璃钩虾生物量	N	N	N
猴麦秆虫生物量	N	<0.001**	N
凯氏麦秆虫生物量	N	0.001**	N
十远麦秆虫生物量	N	0.002**	N
长腮麦秆虫生物量	N	<0.001**	N

注:**表示P值小于0.01, N表示P值大于0.05。

Notes: ** indicates that $P < 0.01$, N indicates that $P > 0.05$.

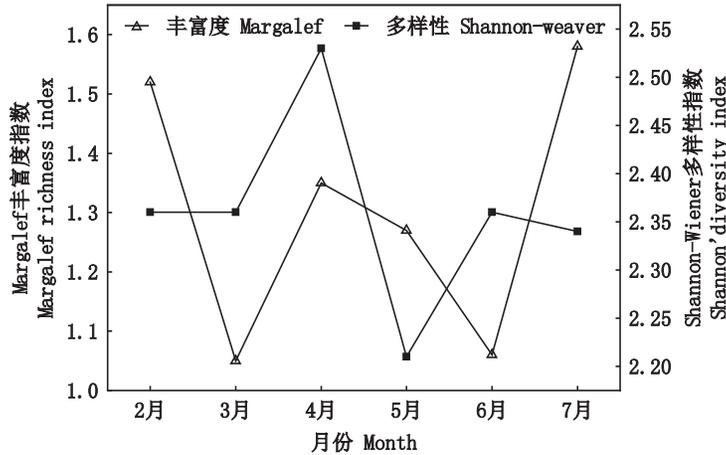


图6 枸杞岛筏架区优势种海藻多样性及丰富度指数月度变化
Fig.6 Monthly variation of seaweed diversity index and richness index in the rafting area of Gouqi Island

3 讨论

3.1 端足类的种类组成及其时空变化

本研究在筏式养殖生境共采集到24种端足类,而在潮间带仅采集到4种。国内对端足类的研究主要集中在生态学方面,而对群落层面的研究较少。郑新庆^[15]等利用碳氮同位素分析了两种端足类的食性。刘书荣^[16]等初步探究了钩虾和麦秆虫两个亚目与大型海藻之间的关系,但是并未关注到种的水平,刘金林^[17]等采用分子测序的方法对舟山海域的端足类进行检测,由于端足

类分子数据库还不完善仅检测出2亚目2科,目前采用分子手段进行端足类种类鉴定仍存在较大的不确定性。在国外的研究中主要关注潮间带^[18-19]等自然生境以及南极^[20]等极端环境中端足类的群落特征,缺少人工生境与自然生境之间的对比,本研究以传统生物学鉴定的方法探究端足类群落在筏式养殖区与潮间带两种不同生境之间的区别。

研究表明枸杞岛筏式养殖生境中端足类优势种有强壮藻钩虾、毛日藻钩虾、施氏玻璃钩虾和长腮麦秆虫等,强壮藻钩虾是筏架区的绝对优

物种。刘书荣等^[21]也发现筏架区端足类的发生量巨大,但是并没有指出支撑这些发生量的具体优势种。强壮藻钩虾的形态特征和摄食习性助其成为绝对优势种一方面由于其体型较大,成体体长可达2 cm,体躯偏扁、体表光滑,有利于在水中活动,鳃足较大且呈亚螯状,有利于进食以及驱赶竞争者;另一方面强壮藻钩虾的摄食实验结果表明,其对3种大型海藻的摄食倾向显示出无选择性^[22],意味着其食物来源更为广泛。藻钩虾科的形态特征与生活习性使其更能适合各种环境。

端足类的生物量呈现明显的月度变化,且与大型海藻生物量呈显著相关性,这与 ANDRES 等^[23]的研究结果一致。而站点之间无明显变化规律,原因可能为每次采样时并不能保证选取同一串贻贝串取样,而且当地渔民会定期清理浮球上的海藻。在大型海藻衰落期主要的端足类为麦秆虫,这可能与麦秆虫的食性有关, GUERRA-GARCÍA 和 TIerno DE FIGUEROA^[24]对麦秆虫标本进行食性分析发现不是所有麦秆虫都是滤食性,有一部分麦秆虫是肉食性。同时 BAEZA-ROJANO^[25]等以卤虫和微藻为食物源培养麦秆虫,3个月后种群增长状况良好。根据团队以往的研究发现养殖区内麦秆虫主要碳源为藻体及其表面附生生物(45%)及浮游动物(49%)^[26],枸杞岛海域浮游植物生物量呈季节变化,夏季最高冬季最低^[24],浮游动物的量也在夏季达到最高值^[27],可能成为麦秆虫的食物来源。

贻贝串上端足类的丰富度和多样性高于浮球和苗绳2种基质,这与端足类的栖息特点有关。筏式贻贝养殖设施由苗绳、浮球和系挂于苗绳上的贻贝串等结构组成,这些人工构造物的投放在不同程度上增加了海洋表底层水体的空间异质性,影响水流特征^[28],贻贝的滤食系统十分发达,主要滤食海水中的浮游植物和有机碎屑,贝类的排泄加强生物沉积,生活在贻贝串上的端足类相较于生活在其他2个部位的端足类来说可以更好利用贻贝滤食产生的碎屑。研究表明,水体中存在的悬浮固体颗粒可以有利于管栖类端足类的生存^[29]。同时贻贝串上的大量附生植物是某些植食性端足类的食物来源^[30-31]。

3.2 端足类群落结构与环境因子的关系

在以往的研究中,端足类的平均密度与非生

物因子(温度、盐度、DO、pH、深度和水体透明度)无显著相关性,端足类丰度和多样性的变化被归因于大型海藻的种类组成、多样性和形态的变化^[32-34],在本研究中温度、盐度、溶解氧等环境因子与端足类生物量之间有一定相关性,但并不显著。大型海藻在快速生长期和成熟期加速对藻场内碳、氮、磷的吸收,而在发生了凋亡后,将有大量的P、N等物质被释放出来溶解在水体中^[35],于是在短时间内,水体营养盐的浓度就会提高。SHILLA^[36]等在研究中提出,在自然衰落的过程中,水生植物体中大部分的P、N等营养物质会迅速被释放进入水体。CRUZ-RIVER 等^[30]开展了管栖性藻钩虾(*Ampithoe longimana*)对13种海藻的摄食实验,结果表明,管栖性藻钩虾的摄食率和海藻的干湿比及鲜藻的总有机碳含量密切相关,与管栖性藻钩虾一样,强壮藻钩虾也属于管栖性端足类,且为春夏两季的绝对优势种,这可能是端足类群落特征发生变化的原因。

本文研究发现筏式养殖区端足类群落的 α 和 β 多样性皆随海藻生长期的推进而下降,通过nMDS分析也可看出, β 多样性也呈下降趋势,即后期群落开始出现“同质化”,这主要和优势藻种的变化有关。对同年海藻进行分析发现,随着海藻生长周期的变化,藻类多样性也呈现从高到低的变化,说明端足类食物多样性下降,很多种类被压制,而能适应新变化的端足类大量繁殖,群落趋于简单化。生活在大型海藻中的藻栖生物的丰度和群落结构会随着时间发生变化^[37-38],这些变化与大型海藻的生物量呈正相关关系,但是郑新庆等^[8]认为端足类的丰度和大型海藻生物量之间的变化并不同步,而是存在1个月的滞后期。因此大型海藻的生活史与端足类群落变化的相关性是今后需深入研究的内容。

大型海藻可以为端足类提供食物、庇护所和栖息场所,影响端足类的丰度和分布^[18]。4种麦秆虫的生物量与绿藻的生物量均呈现明显的正相关关系,原因是2—7月枸杞岛筏架区的绿藻主要是气生硬毛藻,麦秆虫是一种生活在海藻上常见的藻栖滤食性生物,游泳能力较弱,一般栖息在其他生物或非生物体表面。气生硬毛藻具有复杂的藻体结构,可以为麦秆虫提供良好的附着基质,有研究表明藻类的形态结构以及与其他生物基质的相互作用会影响藻栖生物的群落组

成^[39-40],这与本研究的结果一致。有学者对钩虾和麦秆虫两种端足类的稳定同位素进行了分析,发现麦秆虫的稳定同位素值与浮游植物更为接近,这也表明麦秆虫将大型海藻作为主要栖息场所^[41],同时也有研究指出藻类叶片间隙体积是唯一对端足类丰度有显著影响的藻类性状^[42]。食物的可获得性^[43]以及捕食者存在^[44]也会影响端足类的群落组成。因此海藻群落自身形态特征的多样化会直接影响栖息于其表面生物群落结构。

3.3 筏式养殖生境端足类生物量评价

筏架养殖生境为端足类提供了更优越的栖息地,整个筏架区的生物量约为 5.21×10^{10} ind(约为5 157.9 t),约是潮间带的900倍。出现如此大的差距表明人工生境在营造端足类群落格局方面发挥了非常重要的作用。分析原因可能有以下几方面:首先潮间带岩礁生境中波浪冲刷作用比筏架区更强烈。对于麦秆虫这类需要勾抓在物体表面栖息的生物来说附着更困难,这可能是麦秆虫未在潮间带采集到的原因。BUENO等^[45]发现营自由生活和管栖生活的钩虾更适宜在潮间带生境中生存,其特性可以抵抗干燥的环境并且不易被海浪冲刷,而筏架区相对稳定的环境更适宜大多数钩虾生存。其次潮间带生境中捕食者威胁更大。筏架养殖区中的捕食者主要是褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)等肉食性鱼类,而潮间带是周期性暴露的环境,各种小型甲壳类和海鸟也是重要捕食者。研究发现潮间带鸟类捕食会影响潮间带无脊椎动物的分布和数量^[46]。最后附着基质的材质影响端足类的栖息选择。筏架区各种构造物为端足类提供了多样的栖息地,包括尼龙材质的苗绳,塑料材质的浮球和生物体质的贻贝串,而潮间带的附着基质是较为单一的礁石和藻类叶片,研究发现附着基质的材质会影响附着生物的分布^[47]。

4 结论

研究发现枸杞岛贻贝筏式养殖生境中具有较高的端足类生物多样性、丰富的端足类生物量和格局多样的端足类群落结构,作为人工生态系统中能流和物流的重要环节,发挥了承上启下的重要调控作用。未来可针对筏式养殖生境中高营养级捕食者的胃含物组成和低营养级饵料生物的食物源贡献进行深入探讨,以更好构建筏式人

工生境的系统功能谱,为岛礁海域海洋牧场的设计和 optimization 提供科学参考。

参考文献:

- [1] 汪振华,钟佳明,章守宇,等.褐菖鲉幼鱼对贻贝养殖生境的利用规律初探[J].水产学报,2019,43(9):1900-1913.
WANG Z H, ZHONG J M, ZHANG S Y, et al. Habitat use of juvenile rockfish (*Sebastes marmoratus*) in mussel farming waters: a preliminary study [J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(9): 1900-1913.
- [2] 汪振华,王凯,赵静,等.贻贝养殖区底层鱼类群落结构特征分析[J].海洋科学,2015,39(6):21-31.
WANG Z H, WANG K, ZHAO J, et al. Study of benthic fish community structure in mussel farming habitat of Ma'an Archipelago [J]. Marine Sciences, 2015, 39(6): 21-31.
- [3] JACOBUCCI G B, TANAKA M O, LEITE F P P. Temporal variation of amphipod assemblages associated with *Sargassum filipendula* (Phaeophyta) and its epiphytes in a subtropical shore [J]. Aquatic Ecology, 2009, 43(4): 1031-1040.
- [4] 王凯,章守宇,汪振华,等.枸杞岛海藻场褐菖鲉的摄食习性[J].水产学报,2010,34(2):227-235.
WANG K, ZHANG S Y, WANG Z H, et al. Feeding habit of *Sebastes marmoratus* in seaweed bed around Gouqi Island [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(2): 227-235.
- [5] GUERRA-GARCÍA J M, TIerno DE FIGUEROA J M, NAVARRO-BARRANCO C, et al. Dietary analysis of the marine Amphipoda (Crustacea: Peracarida) from the Iberian Peninsula [J]. Journal of Sea Research, 2014, 85: 508-517.
- [6] GUERRA-GARCÍA J M, SÁNCHEZ J A, ROS M. Distributional and ecological patterns of caprellids (Crustacea: Amphipoda) associated with the seaweed *Stypocaulon scoparium* in the Iberian Peninsula [J]. Marine Biodiversity Records, 2009, 2: e151.
- [7] MORALES-NÚÑEZ A G, CHIGBU P. Abundance, distribution, and species composition of amphipods associated with macroalgae from shallow waters of the Maryland Coastal Bays, USA [J]. Marine Biodiversity, 2017, 49(1): 175-191.
- [8] 郑新庆,黄凌风,王蕾,等.筲筴湖大型海藻群落的几种藻栖端足类的种群动态研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2011,50(5):928-933.
ZHENG X Q, HUANG L F, WANG L, et al. Population dynamics of several species of amphipods in the macroalgae canopies in Yudang Lagoon [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2011, 50(5): 928-933.

- [9] 王卉, 李恒翔, 李路, 等. 大亚湾大型海藻丛的大角玻璃钩虾种群分布特征[J]. 热带海洋学报, 2019, 38(4): 52-58.
WANG H, LI H X, LI L, et al. The population distribution of *Hyale grandicornis* in macroalgae canopies of Daya Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2019, 38(4): 52-58.
- [10] 薛素燕, 毛玉泽, 李加琦, 等. 钩虾对大型海藻的摄食选择及其潜在的碳汇分析[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 40-48.
XUE S Y, MAO Y Z, LI J Q, et al. The feeding selectivity of amphipod *Eogammarus possjeticus* on macroalgae and its potential carbon sink analysis [J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(5): 40-48.
- [11] 任先秋. 中国动物志: 无脊椎动物: 第四十一卷: 甲壳动物亚门: 端足目: 钩虾亚目(一)[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 588.
REN X Q. Fauna sinica: Invertebrates: Vol. 41: Crustaceans: Acropoda: Hooked shrimp (1) [M]. Beijing: Science Press, 2006:588.
- [12] 黄宗国, 林茂. 中国海洋生物图集(第5册): 动物界(3): 节肢动物门(1)[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
HUANG Z G, LIN M. An illustrated guide to species in China's seas (Vol. 5): Animal kingdom (3): Arthropoda (1)[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [13] 章守宇, 王蕾, 汪振华, 等. 枸杞岛海藻场优势种鱼类群体特征及其在不同生境中的差异[J]. 水产学报, 2011, 35(9): 1399-1409.
ZHANG S Y, WANG L, WANG Z H, et al. Characteristics of dominant fish assemblages in kelp bed habitat of Gouqi Island and distribution diversity in coastal area [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(9): 1399-1409.
- [14] 王旭, 赵旭, 章守宇, 等. 枸杞岛贻贝养殖水域碳氮磷分布格局[J]. 水产学报, 2015, 39(11): 1650-1664.
WANG X, ZHAO X, ZHANG S Y, et al. Distribution pattern of dissolved carbon, nitrogen and phosphorus in mussel culture areas of Gouqi Island [J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(11): 1650-1664.
- [15] 郑新庆, 王倩, 黄凌风, 等. 基于碳、氮稳定同位素的厦门筲筴湖两种优势端足类食性分析[J]. 生态学报, 2015, 35(23): 7589-7597.
ZHENG X Q, WANG Q, HUANG L F, et al. Feeding habits for two dominant amphipod species in the Yundang Lagoon based on stable carbon and nitrogen isotope analysis [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(23): 7589-7597.
- [16] 刘书荣, 周曦杰, 崔潇, 等. 贻贝筏式养殖区海藻群落对两类代表性藻栖端足目种群特征的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(3): 461-468.
LIU S R, ZHOU X J, CUI X, et al. Effects of seaweeds community on two representative seaweed-associated Amphipod population characteristics in mussel raft culture area[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(3): 461-468.
- [17] 刘金林, 夏菁, 赵莉娟, 等. 基于DNA条形码技术的舟山海域石莼附生动物的分子生物学鉴定[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(6): 874-879, 886.
LIU J L, XIA J, ZHAO L J, et al. Species identification of epizoans from *Ulva lactuca* in Zhoushan sea area by using the DNA barcode technology [J]. Marine Environmental Science, 2020, 39(6): 874-879, 886.
- [18] KODAMA M, KAWAMURA T, NAKAMOTO K, et al. Effect of algal phenology on seasonal dynamics of gammarid assemblages: differences between canopy and understory strata in a *Sargassum yezoense* bed [J]. Marine Ecology Progress Series, 2020, 634: 63-76.
- [19] CHAVANICH S, WILSON K A. Rocky intertidal zonation of gammaridean amphipods in Long Island Sound, Connecticut[J]. Crustaceana, 2000, 73(7): 835-846.
- [20] AMSLER C D, MCCLINTOCK J B, BAKER B J. Amphipods exclude filamentous algae from the Western Antarctic Peninsula benthos: experimental evidence [J]. Polar Biology, 2012, 35(2): 171-177.
- [21] 刘书荣, 周曦杰, 章守宇, 等. 贻贝筏式养殖区附生大型海藻与两种附着端足目的关系[J]. 生态学杂志, 2018, 37(9): 2737-2744.
LIU S R, ZHOU X J, ZHANG S Y, et al. Relationship between epiphytic seaweeds and two seaweed-associated amphipods in mussel raft culture area [J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(9): 2737-2744.
- [22] 郑新庆, 黄凌风, 李元超, 等. 啃食性端足类强壮藻钩虾对筲筴湖三种大型海藻的摄食选择性[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7166-7172.
ZHENG X Q, HUANG L F, LI Y C, et al. The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7166-7172.
- [23] MORALES-NÚÑEZ A G, CHIGBU P. Abundance, distribution, and species composition of amphipods associated with macroalgae from shallow waters of the Maryland Coastal Bays, USA [J]. Marine Biodiversity, 2019, 49(1): 175-191.
- [24] GUERRA-GARCÍA J M, TIerno DE FIGUEROA J M. What do caprellids (Crustacea: Amphipoda) feed on? [J]. Marine Biology, 2009, 156(9): 1881-1890.
- [25] BAEZA-ROJANO E, CALERO-CANO S, HACHERO-CRUZADO I, et al. A preliminary study of the *Caprella scaura* amphipod culture for potential use in aquaculture [J]. Journal of Sea Research, 2013, 83: 146-151.
- [26] 崔潇. 两类端足目生物对浮筏海藻的选择性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
CUI X. Choices of floating raft macroalgae by two

- amphipods species [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [27] 王蕾, 焦俊鹏, 章守宇. 枸杞岛海藻场浮游植物群落季节变化特征[C]//2008年中国水产学会学术年会论文摘要集. 昆明: 中国水产学会, 2008.
- WANG L, JIAO J P, ZHANG S Y. Seasonal variations of phytoplankton communities in Gouqi Island Kelp Beds [C]//Proceedings of the Collection of Abstracts of the Annual Conference of Chinese Society of Fisheries. Kunming, China: Chinese Society of Fisheries, 2008.
- [28] LIN J, ZHANG S Y. Hydrodynamic and ecological effect of an offshore mussel suspended aquaculture farm: observation and modelling [C]//China Society of Fisheries. Changsha, China: IEEE, 2014.
- [29] ULRICH I, ANGER K, SCHÖTTLER U. Tube-building in two epifaunal amphipod species, *Corophium insidiosum* and *Jassa falcata* [J]. Helgoländer Meeresuntersuchungen, 1995, 49(1): 393-398.
- [30] CRUZ-RIVERA E, HAY M E. Macroalgal traits and the feeding and fitness of an herbivorous amphipod: the roles of selectivity, mixing, and compensation [J]. Marine Ecology Progress Series, 2001, 218: 249-266.
- [31] BJÆRKE M R, FREDRIKSEN S. EPIPHYTIC macroalgae on the introduced brown seaweed *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Phaeophyceae) in Norway [J]. Sarsia, 2003, 88(5): 353-364.
- [32] VÁZQUEZ-LUIS M, SANCHEZ-JEREZ P, BAYLE-SEMPERE J T. Changes in amphipod (Crustacea) assemblages associated with shallow-water algal habitats invaded by *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the western Mediterranean Sea [J]. Marine Environmental Research, 2008, 65(5): 416-426.
- [33] VÁZQUEZ-LUIS M, BORG J A, SANCHEZ-JEREZ P, et al. Habitat colonisation by amphipods: comparison between native and alien algae [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2012, 432-433: 162-170.
- [34] HACKER S D, STENECK R S. Habitat architecture and the abundance and body-size-dependent habitat selection of a phytal amphipod [J]. Ecology, 1990, 71(6): 2269-2285.
- [35] BLOMSTER J, BÄCK S, FEWER D P, et al. Novel morphology in *Enteromorpha* (Ulvophyceae) forming green tides [J]. American Journal of Botany, 2002, 89(11): 1756-1763.
- [36] SHILLA D, ASAEDA T, FUJINO T, et al. Decomposition of dominant submerged macrophytes: implications for nutrient release in Myall Lake, NSW, Australia [J]. Wetlands Ecology and Management, 2006, 14(5): 427-433.
- [37] PEREIRA LEITE F P, TURRA A. Temporal variation in *Sargassum* Biomass, *Hypnea* epiphytism and associated fauna [J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2003, 46(4): 665-671.
- [38] BELATTMANIA Z, CHAOUTI A, ENGELEN A H, et al. Spatiotemporal variation of the epifaunal assemblages associated to *Sargassum muticum* on the NW Atlantic coast of Morocco [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(28): 35501-35514.
- [39] BUSCHBAUM C, CHAPMAN A S, SAIER B. How an introduced seaweed can affect epibiota diversity in different coastal systems [J]. Marine Biology, 2006, 148(4): 743-754.
- [40] LEITE F P P, TANAKA M, GEBARA R S. Structural variation in the brown alga *Sargassum cymosum* and its effects on associated amphipod assemblages [J]. Brazilian Journal of Biology, 2007, 67(2): 215-221.
- [41] 蒋日进, 章守宇, 王凯, 等. 枸杞岛近岸海域食物网的稳定同位素分析 [J]. 生态学杂志, 2014, 33(4): 930-938.
- JIANG R J, ZHANG S Y, WANG K, et al. Stable isotope analysis of the offshore food web of Gouqi Island [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(4): 930-938.
- [42] BUENO M, DIAS G M, LEITE F P P. The importance of shore height and host identity for amphipod assemblages [J]. Marine Biology Research, 2017, 13(8): 870-877.
- [43] POORE A G B, STEINBERG P D. Preference-performance relationships and effects of host plant choice in an herbivorous marine amphipod [J]. Ecological Monographs, 1999, 69(4): 443-464.
- [44] ZAMZOW J P, AMSLER C D, MCCLINTOCK J B, et al. Habitat choice and predator avoidance by Antarctic amphipods: the roles of algal chemistry and morphology [J]. Marine Ecology Progress Series, 2010, 400: 155-163.
- [45] BUENO M, DENA-SILVA S A, FLORES A A V, et al. Effects of wave exposure on the abundance and composition of amphipod and tanaidacean assemblages inhabiting intertidal coralline algae [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2016, 96(3): 761-767.
- [46] HORI M, NODA T, NAKAO S. Effects of avian grazing on the algal community and small invertebrates in the rocky intertidal zone [J]. Ecological Research, 2006, 21(5): 768-775.
- [47] 陈翔峰, 侯健, 穆振军, 等. 海洋污损生物变化及附着规律研究 [J]. 材料开发与应用, 2011, 26(1): 24-28.
- CHEN X F, HOU J, MU Z J, et al. Study on the adhesion and variety of marine fouling organism [J]. Development and Application of Materials, 2011, 26(1): 24-28.

Assemblage structure and spatial-temporal variation of amphipods in large-scale raft culture habitats

SUN Mengyu¹, WANG Zhenhua^{1,2}, LIN Jun^{1,2}, ZHANG Shouyu^{1,2}, WANG Kai^{1,2}, LI Jingjing¹

(1. College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Engineering Technology Research Center of Marine Ranching, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This study is based on synchronous data collection in the intertidal zone of the raft culture area on Shengsi Gouqi Island from February to July 2022 (the rapid growth period of large seaweed from March to April, the mature period in May, and the decline period from June to July). Relative importance index, Shannon-Weaver diversity, and Margalef richness index were used in combination with multivariate statistical methods such as clustering and sorting to analyze the species composition, abundance density changes, and clustering characteristics of amphipods attached to different structures on rafts and large seaweed. A total of 24 amphipod species were collected, belonging to 16 genera in 7 families within 2 suborders. Among these, 24 amphipod species were collected in the aquaculture habitat, while only 4 species were collected in the intertidal zone. The dominant species on the aquaculture rafts were *Ampithoe valida*, *Sunampithoe plumosa*, *Hyale schmidti*, *Caprella kroyeri*, *Caprella decipiens*, and *Caprella equilibra*. In the intertidal zone, no dominant species were observed, and the *IRI* values for all species were less than 5. The overall abundance density of amphipods showed a monthly increasing trend, rising from (580±90) ind./m² during the rapid growth period of large seaweed from February to April to (3 800±400) ind./m² during the decline period from June and July. The highest average abundance density among different sites was found on the floaters, with (9 700±400) ind./m² while the lowest was observed on the mussel strings with (4 800±100) ind./m². Amphipods had the highest abundance and diversity during the rapid growth period of large seaweed, followed by the mature period, and the lowest values were observed during the decline period. Yibei strings had the highest abundance and diversity indices. In terms of clustering characteristics, amphipod communities not only exhibited significant temporal variations but also significant differences among different sites ($P < 0.01$). In terms of amphipods' selection and utilization of different large seaweeds, six amphipod species, including *Ampithoe valida*, exhibited a significant positive correlation with the biomass of brown and green algae ($P < 0.01$). The study found that large-scale raft-based aquaculture areas support a diverse, structurally varied, and highly abundant amphipod resource. This conclusion can provide an important basis for the construction of artificial habitats in marine ranching and the optimization of ecosystem structure.

Key words: amphipods; population density; biomass; species distribution