

DOI: 10.20103/j.stxb.202209052529

陈怡卉, 汪振华, 章守宇, 程晓鹏, 邹沁东, 林沅. 大陈岛礁海域甲壳类生物多样性特征. 生态学报, 2023, 43(23): 9630-9642.

Chen Y H, Wang Z H, Zhang S Y, Cheng X P, Zou Q D, Lin Y. Research on multiple dimensions of crustacean diversity in the sea area around Dachen Islands. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(23): 9630-9642.

大陈岛礁海域甲壳类生物多样性特征

陈怡卉¹, 汪振华^{1,2,*}, 章守宇^{1,2}, 程晓鹏¹, 邹沁东¹, 林沅¹

¹ 上海海洋大学海洋生态与环境学院, 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:以大陈岛礁海域甲壳类为研究对象, 多维度分析其多样性时空格局, 探索指数间关系, 并检验不同层面多样性对局地尺度环境因素的响应。旨在全面多尺度探究大陈岛礁海域甲壳动物群落生态现状, 从物种多样性、谱系多样性和功能多样性等不同视角展示该海域生物多样性特征。结果显示: 甲壳类群落多样性具有季节异质性, Shannon-Wiener 指数 (H')、分类多样性指数 (Δ) 和分类差异指数 (Δ^*) 在秋、春季显著较高, 而功能丰富度指数 (FRic) 在夏、冬季显著较高, 功能分异指数 (FDiv) 和功能分散指数 (FDis) 在夏季明显低于其它季节。同一维度内, 指数间表现出不同程度相关性, 物种多样性指数间相关性相对较强。不同维度间, 物种丰富度指数 (S) 与功能丰富度指数 (FRic) 中度正相关, 分类多样性指数 (Δ) 和分类差异指数 (Δ^*) 与功能分散指数 (FDis) 中到高度相关。对于局地尺度环境因子变化的响应, 功能多样性最为强烈, 谱系多样性次之, 而物种多样性的关键生态驱动可能为较大尺度的空间因素。研究表明, 不同层面多样性的形成受到不同尺度生态因子驱动, 因此综合各维度多样性特征及对应受控因子分析, 在生物多样性评估中可揭示指数背后更为全面和完整的生态过程。

关键词: 大陈岛; 甲壳类; 生物多样性; 时空格局; 环境因子

Research on multiple dimensions of crustacean diversity in the sea area around Dachen Islands

CHEN Yihui¹, WANG Zhenhua^{1,2,*}, ZHANG Shouyu^{1,2}, CHENG Xiaopeng¹, ZOU Qindong¹, LIN Yuan¹

¹ College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

² Engineering Research Center of Marine Ranching, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Comprehensively multi-scale understanding of biodiversity is an inevitable trend in the development of community ecology from perspectives of taxonomic, phylogenetic, and functional diversity. In this study, the spatial and temporal patterns of crustacean diversity in the sea area surrounding Dachen Islands were analyzed in multiple dimensions, the relationships among indices were explored, and the response of diversity at different facets to environmental factors at local scale was investigated. The results demonstrated the seasonal heterogeneity of crustacean communities. Shannon-Wiener index (H'), taxonomic diversity index (Δ), and taxonomic distinctness index (Δ^*) were significantly higher in the autumn and spring, while functional richness index (FRic) was significantly higher in the summer and winter. The functional differentiation index (FDiv) and functional dispersion index (FDis) were significantly lower in summer than in other seasons. There were different degrees of correlation among the indices in the same dimension, and there was a relatively significant correlation between species diversity indices. Among different dimensions, species richness index (S) was moderately positively correlated with FRic, while taxonomic diversity index (Δ) and taxonomic distinctness index (Δ^*) were moderately correlated with FDis. Functional diversity responded strongly and phylogenetic diversity

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD0901303)

收稿日期: 2022-09-05; 网络出版日期: 2023-08-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zh_wang@shou.edu.cn

responded moderately to the changes of environmental factors in the habitat. The main ecological driving force of species diversity might be large-scale spatial factors. The study suggested that the multi-scale biodiversity patterns might be affected by variously ecological mechanisms, and the integrated consideration of each dimension of diversity would reveal a more comprehensive and completely ecological process behind the indices in biodiversity assessment.

Key Words: Dachen Islands; crustaceans; biodiversity; spatio-temporal pattern; environmental factors

确定生物多样性的时空格局及其生态驱动力是开展群落生态学的中心议题,同时也可以为制定有效的保护规划策略提供信息。对生物多样性进行合理全面的量化是解决问题的基础。以往的研究主要基于以物种为基本单元的物种多样性指数来探讨。然而,物种多样性将所有物种视为独立进化的生态等价物,忽视了物种共同进化和功能相关的信息,无法解释生物群落与环境特征之间的关系等,故只能有限地代表生物多样性^[1-4]。而物种谱系结构研究既可以从进化角度分析群落物种组成现状和成因,又能检验到影响群落物种共存的生态学过程^[5]。同时,物种间的差异往往体现在物种对于不同环境的适应,即生物的功能性状,功能多样性的研究有助于更真实的反应环境因素影响生物群落建群机制,评价群落对环境变化的影响,预测生态系统功能变化^[6-8]。功能多样性作为生物多样性的一个关键指标,有助于跨环境梯度或空间尺度解析群落构建机制,其多种度量指数可以描述局域群落功能属性的不同方面,能更好的反映群落中物种间资源分配和互补的程度^[9-13]。最近的研究开始认识到生物多样性的多面性,分类学多样性作为谱系多样性的替代指标,与物种多样性和基于生物性状的功能多样性一起广泛用于群落构建、物种保护、多样性-稳定性关系等领域研究^[14-16]。

海洋生物多样性的多面性研究已深入到鱼类、底栖动物、海藻等,但针对生态系统中物质环流和能量传递的关键环节——甲壳类这一特殊功能类群的报道罕见^[17-19]。近海栖息地会使生物多样性受到生境结构复杂性的影响。本研究在大陈岛海洋牧场建设区域进行,分别选取了较为开阔的海域和岩礁附近进行采样分析,该海域是位于 27°—29°N 之间的东海近岸海域,地处中纬度地带,属亚热带季风气候,受台湾暖流、浙江沿岸流、大陆径流等三大水系交汇影响,水质肥沃,温盐适宜,饵料丰富,其区位优势 and 地理条件为许多甲壳类提供了理想的栖息及繁殖场所。而岩礁生境周边分布有网箱等人工养殖设施,多种物理空间尺度的嵌套或叠置从而形成结构复杂、水文和营养等环境要素梯度差异显著的特征,使得栖息地格局及海底环境多变。本文参考其它海洋生物类群的多样性研究文献,筛选出具有不同生态功能和属性的甲壳类性状组合,用于计算功能多样性,同时结合物种多样性和谱系多样性,在分析多维度多样性的基础上,主要研究 3 个问题:(1)不同季节、不同生境的生物多样性的差异程度;(2)不同多样性之间的关系;(3)不同多样性对局地环境因子的响应是否相同。本文通过对上述问题的系统研究,全面揭示大陈岛礁海域甲壳类多样性的格局及潜在驱动因子。

1 材料与方法

站点设置与采样方法同论文《大陈岛礁海域甲壳类群落结构时空格局及其环境驱动》。

1.1 生物多样性计算

物种多样性选择物种丰富度(S)、Shannon-Wiener 指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和 Simpson 多样性指数(1-D)进行度量。

基于林奈分类树,计算谱系多样性的四个指数:分类多样性指数(Delta)、分类差异指数(Delta*)、平均分类差异指数(Delta+)和分类差异变异指数(Lambda+)。指数计算利用 R 语言 vegan 包中的“taxondive”和“taxa2dist”语句完成。甲壳类分类阶元为纲、目、科、属、种 5 个等级,各等级多样性权重值依次为 100、80、60、40、20。

参照大型底栖动物的功能性状的选取,考虑性状的容易获取程度,本研究选取了体型、成体大小、栖息方

式、运动方式、食性、饵料类群及寿命 7 个甲壳类功能性状,共计 22 种性状类型^[18](表 1)。每个物种的功能性状信息通过在线数据库)、专著以及文献等获得,对于无法精确获取性状信息的物种参照使用同属物种^[20—21]。根据物种与性状的相符程度,采用模糊编码法(范围 0—3)进行赋值,其中 0 表示完全不相符,3 表示高度相符(附录 1)^[18]。基于性状信息和物种丰度,利用 R 语言 FD 包中的“dbFD”语句计算功能丰富度指数(FR_{ic})、功能均匀度指数(FE_{ve})、功能分异指数(FD_{iv})以及功能分散指数(FD_{is})^[22—24]。

表 1 大陈岛海域甲壳类的性状及其类型

Table 1 Traits and corresponding categories of crustaceans in Dachen Islands

性状 Traits	性状类型 Traits categories	缩写 Labels	性状 Traits	性状类型 Traits categories	缩写 Labels
体型 Body form	两侧扁平	BF1	食性 Feeding habit	肉食者	FH1
	背腹扁平	BF2		杂食者	FH2
	圆柱	BF3		植食者	FH3
成体大小 Adult body size	大(>15cm)	ABS1	饵料类群 Prey groups	游泳生物	PG1
	中(5—15cm)	ABS2		底栖生物	PG2
	小(<5cm)	ABS3		浮游生物	PG3
栖息方式 Living habit	掘穴	LH1		碎屑	PG4
	穴居	LH2	寿命 Lifespan	长(>2 年)	L1
	自由生活	LH3		中(1—2 年)	L2
运动方式 Mobility	游泳	M1		短(<1 年)	L3
	埋伏	M2			
	爬行	M3			

1.2 统计分析

首先,选择夏皮罗-威尔克检验(Shapiro-Wilk test)对生物多样性指数和环境变量进行正态性检验,并对不符合正态性分布的指数和变量进行 lg 转换以待进一步分析。单因素方差分析(ANOVA)用于比较 4 个季节、4 个区域和 2 个水深带(10—20m 和 20—30m)的甲壳类群落的多样性差异,方差齐性选择 HSD 检验法进行事后比较,否则选用 Games-Howell 检验。Pearson 相关性分析用于检验生物多样性指数之间的一致性。

多元线性回归(MLR)被广泛用于探索生物多样性模式的生态驱动因子。MLR 分析之前,检查 8 个环境变量的正态性并对非正态性变量进行 lg 转换。同时检查不同环境变量之间的相关性,对相关性较高的环境变量进行剔除以减少共线性(Pearson's $r>0.80$)。对于 MLR,首先构建全模型,并进行全局检验, $P<0.05$ 则具有统计学意义,进入下一步模型选择。选择向前法进行逐步回归,根据 AIC 信息准则,构建最优模型,并进行模型诊断。

统计分析及绘图均在 R 语言中实现,站点图使用 ArcGIS 10.8 绘制。

2 结果与分析

2.1 生物多样性的时空格局

对调查所得 53 种甲壳类(隶属 2 目 13 科 29 属,包括虾类 30 种、蟹类 15 种和口足目 8 种,详见附录 1)的多样性参数进行时空格局分析。季节间 ANOVA 结果显示(图 1),多样性指数的三个维度均存在明显季节变化,但具体表现各有不同。物种多样性层面,物种丰富度(S)的季间差异极显著($P<0.001$),秋季出现最高值,与其它季节形成鲜明对比;Shannon-Wiener 指数(H')在夏季最低,且显著低于秋季和春季($P=0.018$)。谱系多样性层面,秋季与春季的分类多样性指数(Delta)、分类差异指数(Delta*)显著高于夏季与冬季,平均分类差异指数(Delta+)四季变化不明显,分类差异变异指数(Lambda+)季节间变化幅度较大($P<0.001$),夏季基本为物种多样性和谱系多样性的最低季节,但分类差异变异指数(Lambda+)在夏季出现最高值。功能多样性的季间差异在三个维度中最为突出,功能丰富度指数(FR_{ic})的季节变化相当剧烈($P<0.001$),与其它两个层面

相反,夏冬两季的功能丰富度指数(FRic)极显著高于秋春两季,而功能分异指数(FDiv)以及功能分散指数(FDis)依然变现为夏季显著低于其它三季;秋季的功能均匀度指数(FEve)显著低于冬春两季。

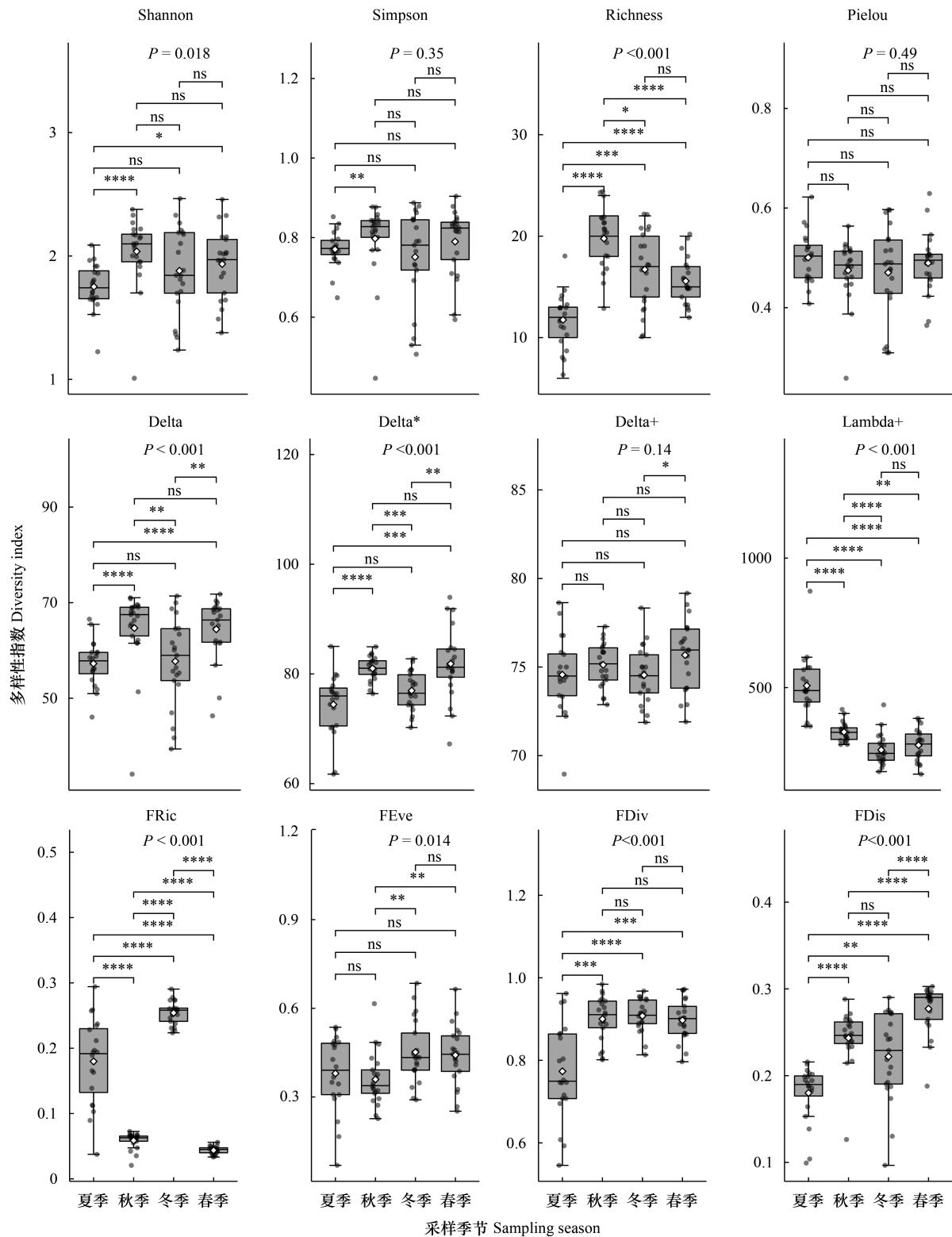


图1 甲壳类多样性指数的季节变化

Fig.1 Seasonal variation of crustacean diversity indices in Dachen Islands

Shannon: Shannon-Wiener 指数; Simpson: Simpson 多样性指数; Richness: 物种丰富度; Pielou: Pielou 均匀度指数; Delta: 分类多样性指数; Delta*: 分类差异指数; Delta+: 平均分类差异指数; Lambda+: 分类差异变异指数; FRic: 功能丰富度指数; FEve: 功能均匀度指数; FDiv: 功能分异指数; FDis: 功能分散指数; ns: 无显著差异; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$; ****: $P < 0.0001$

区域间 ANOVA 结果显示,多样性指数在水平方向上的差异不具有统计学意义;同时,水深带间的 ANOVA 结果表明,垂直方向上个别多样性指数存在显著差异:全年时间范围内,显著性差异仅存在于物种丰富度(S)和分类差异变异指数(Lambda+),具体表现为:20—30m 水深的甲壳类物种丰富度(S)高于 10—20m ($P=0.028$),而分类差异变异指数(Lambda+)相反($P=0.021$),Pearson 分析说明,水深与物种丰富度(S)之间存在较弱的正相关关系($R=0.32, P=0.01$)。时间尺度缩短至各季节,夏季各指数均未有明显差异,而秋季的功能均匀度指数(FEve)在 20—30m 水深相对更高($P=0.002$),冬季则物种丰富度(S)、分类差异变异指数(Lambda+)在 20—30m 水深相对更高($P=0.033, P=0.015$),功能均匀度指数(FEve)相反($P=0.003$),春季,分类差异变异指数(Lambda+)依然保持在较深水域有更高值($P=0.008$),功能分异指数(FDiv)则相反。综上,甲壳类群落多样性空间差异较小,未表现出明显的空间格局。

2.2 多样性指数间的相关性

同一维度内的多样性指数间相关性各不同(图 2)。物种多样性维度内,Shannon-Wiener 指数(H'),作为一个丰富度与均匀度的综合指数,全年范围内与丰富度指数(S)呈弱正相关($0.3 < r < 0.5, P < 0.001$),与均匀度指数(J')呈中度正相关($0.5 < r < 0.8, P < 0.001$),同时与辛普森指数(1-D)呈强烈正相关($r > 0.8, P < 0.001$);季节范围内情况略有波动,Shannon-Wiener 指数(H')与丰富度指数(S)的弱正相关存在于夏秋春三季,冬季不相关,但在秋冬春三季与均匀度指数(J')呈强烈正相关,而在夏季仅表现为中度正相关。谱系多样性维度内,分类多样性指数(Delta)在夏秋季与分类差异指数(Delta*)呈中度正相关,在秋季与分类差异变异指数(Lambda+)呈中度负相关,同时,分类差异指数(Delta*)也与分类差异变异指数(Lambda+)在秋季存在中度负相关关系,此外,平均分类差异指数(Delta+)在冬季与分类差异变异指数(Lambda+)呈中度正相关。功能多样性维度内,夏季,功能均匀度指数(FEve)与功能分异指数(FDiv)、功能分异指数(FDiv)与功能分散指数(FDis)均存在中度正相关关系。由此可见,物种多样性维度内的指数具有强相关性。

不同维度间的多样性指数相关性集中在部分指数间,同时具有季节波动(图 2)。物种多样性与谱系多样性两维度之间,Shannon-Wiener 指数(H')、辛普森指数(1-D)和均匀度指数(J')在物种较丰富的秋冬季均与谱系多样性指数(Delta)具有强烈正相关关系;Shannon-Wiener 指数(H')、均匀度指数(J')在秋季与分类差异指数(Delta*)呈中度正相关;Shannon-Wiener 指数(H')在秋季与分类差异变异指数(Lambda+)呈中度负相关,丰富度指数(S)与分类差异变异指数(Lambda+)在秋季和夏季分别呈中度和高度负相关,而均匀度指数(J')与分类差异变异指数(Lambda+)呈中度正相关。物种多样性与功能多样性维度间,Shannon-Wiener 指数(H')、辛普森指数(1-D)与功能分异指数(FDiv)、功能分异指数(FDiv)的关系相同,在春季与功能分异指数(FDiv)表现为中度负相关关系,与功能分散指数(FDis)在不同季节则有中度到高度的正相关关系;物种丰富度指数(S)与功能丰富度指数(FRic)在全年均呈中度正相关;均匀度指数(J')则与功能分散指数(FDis)在秋冬季呈中度正相关。谱系多样性与功能多样性维度间,谱系多样性指数(Delta)与功能分散指数(FDis)全年均呈中度至高度正相关;分类差异指数(Delta*)与功能分异指数(FDiv)、功能分异指数(FDiv)呈正相关;平均分类差异指数(Delta+)与功能均匀度指数(FEve)、功能分异指数(FDiv)为负相关;分类差异变异指数(Lambda+)与功能丰富度指数(FRic)、功能分散指数(FDis)具有负相关关系。

2.3 多样性指数的环境驱动因子

MLR 结果显示,不同多样性指数具有不同数量的环境驱动因素,如表 2 所示。前向选择表明,包含水文环境、初级生产力、营养物质在内的 3 类生态因素对多样性均有影响,但作用程度依赖于不同维度。对于物种多样性维度指数,前向选择确定的环境变量集中在底层盐度(BS)、底层叶绿素(BChl.a)和无机氮(DIN),基于调整后的 R^2 值,可以解释 5.2%—38.2% 的指数变化。对于谱系多样性纬度指数,BS、BChl.a 和 DIN 保留的基础上,筛选确定出底层温度(BT),4 个环境变量可解释 4.3%—64.1% 的指数变化,且对于分类差异变异指数(Lambda+),BT 和 DIN 是影响其变动的重要环境因子($\text{Adj.} R^2 = 64.1\%$)。功能多样性维度的指数受到更多环境变量的影响,除水深(Depth)之外的其它 7 个环境变量均会对功能多样性产生重要作用,相较前两维度,

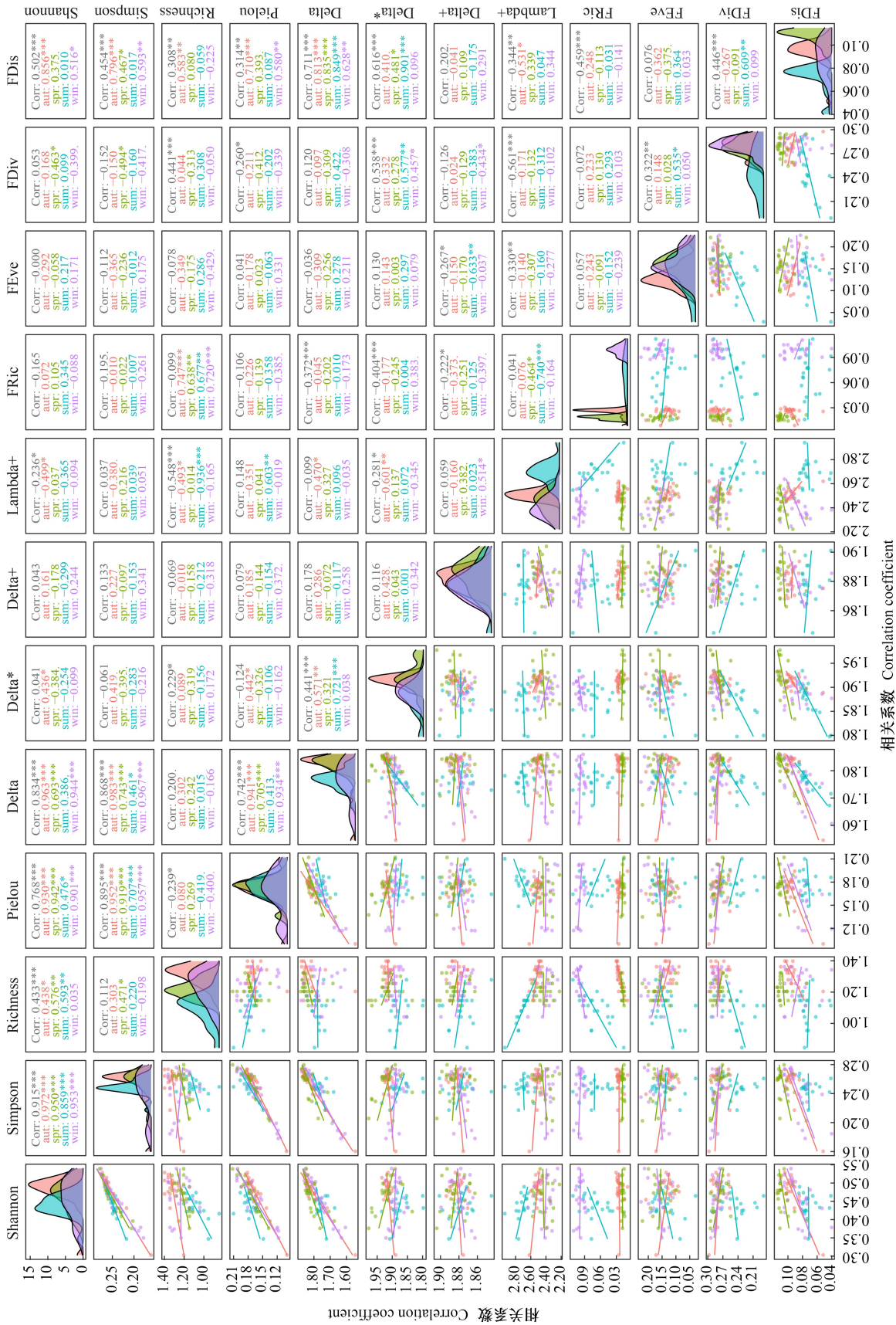


图2 大陈岛礁海域不同生物多样性指数间的相关性散点图

Fig. 2 Scatter plots of correlations between different biodiversity indices in Dachen Islands. Pearson correlation coefficients are shown in the upper diagonal. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

Shannon: 香农-威纳指数; Simpson: 辛普森多样性指数; Richness: 物种丰富度; Pielou: 均匀度指数; Delta: 分类多样性指数; Delta*: 分类差异指数; Delta+: 平均分类差异指数;

Lambda+: 分类差异变异指数; Fric: 功能丰富度指数; FEve: 功能均匀度指数; FDiv: 功能分异指数; FDis: 功能分散指数; Corr: 相关系数; aut: 秋季; spr: 春季; sum: 夏季; win: 冬季

活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)、pH 和底层溶氧(BDO)的作用不可忽视,对指数变化的解释量也相较提高(17.3%—44.1%),功能丰富度指数(FRic)和功能分异指数(FDiv)对环境因子的响应较强烈。

表 2 大陈岛礁海域甲壳类多样性指数的多元线性回归分析

Table 2 Results of multiple regression analyses for crustacean diversity indices in Dachen Islands

指数 Indices	变量 Variables	估计值 Estimate	标准误差 Standard error	t 值 t value	P 值 P-value	调整 R^2 Adjusted R^2
Shannon-Will 指数	BS	2.280	1.194	1.190	0.039	
Shannon-Will index	BChl.a	0.410	0.225	1.822	0.045	0.066
Simpson's 多样性指数	BChl.a	0.036	0.017	2.098	0.039	0.052
Simpson's diversity index						
物种丰富度 Richness	BS	1.595	0.369	4.325	<0.001	
	DIN	1.431	0.336	4.258	<0.001	0.382
均匀度指数 Pielou's evenness index	DIN	-0.170	0.080	-2.124	0.037	0.053
分类多样性指数 Taxonomic diversity index	BChl.a	15.227	5.722	2.661	0.009	
	DIN	60.398	27.655	2.184	0.032	0.132
分类差异指数 Taxonomic distinctness index	DIN	0.513	0.098	5.251	<0.001	0.245
平均分类差异指数	BS	-0.001	0.001	-1.915	0.049	0.043
Average taxonomic distinctness index						
分类差异变异指数	BT	0.016	0.002	9.573	<0.001	
Variation in taxonomic distinctness index	DIN	-0.271	0.111	-2.433	0.017	0.641
功能丰富度指数	DIN	-1.652	0.306	-5.412	<0.001	
Functional richness index	pH	3.778	1.119	3.376	0.001	
	BT	-0.739	0.223	-3.315	0.001	
	$\text{PO}_4\text{-P}$	1.616	0.611	2.646	0.01	
	BDO	-1.527	0.675	-2.263	0.026	0.427
功能均匀度指数	BT	-0.290	0.079	-3.664	<0.001	
Functional evenness index	$\text{PO}_4\text{-P}$	-1.781	0.776	-2.294	0.024	0.173
功能分异指数	DIN	0.355	0.063	5.663	<0.001	
Functional divergence index	BDO	0.133	0.040	3.353	0.001	0.441
功能分散指数	BT	0.107	0.052	2.045	0.044	
Functional dispersion index	BS	0.221	0.072	3.070	0.003	
	BChl.a	0.032	0.012	2.624	0.011	
	BDO	0.364	0.154	2.358	0.021	
	DIN	0.183	0.061	2.979	0.004	
	pH	-0.510	0.240	-2.126	0.037	0.344

BS: 底层盐度 Bottom salinity; Bchl.a 底层叶绿素 Bottom chlorophyll-a; DIN: 无机氮 Dissolved inorganic nitrogen; BT: 底层温度 Bottom temperature; $\text{PO}_4\text{-P}$ 活性磷酸盐 Active phosphate; BDO: 底层溶解氧 Bottom dissolved oxygen

3 讨论

3.1 生物多样性的季节异质性与空间一致性

大陈岛礁海域甲壳类三维多样性指数的季节变化明显。该海域的环境要素在季节间变化明显,体现在甲壳类生物多样性上,不同指数对环境因子季间波动的反应程度不同。物种丰富度指数(S)、分类差异变异指数(Lambda+)、功能丰富度指数(FRic)以及功能离散度指数(FDis)能很好的检验出甲壳类因环境因子的季节变化而产生的物种组成、亲缘关系以及功能特征方面的差异。而从 Pielou 均匀度指数(J')、平均分类差异指数(Delta+)的表现来看,各季节间甲壳类物种分布无明显差异,亲缘关系由近到远的变化趋不大。其它指数则反应适中,部分季节间存在明显差异。

物种多样性在秋季达到最高,夏季最低。分类多样性指数(Δ)和分类差异指数(Δ^*)与物种多样性相似,也在秋季具有中位数的最高值,夏季具有最低值,而平均分类差异指数(Δ^+)在春季中位数最高,秋季次之,说明春季甲壳类群落中物种的亲缘关系较远。从分类差异变异指数(Λ^+)来看,夏季甲壳类亲缘关系分布最不均匀。总而言之,大陈岛的甲壳类群落在秋季达到了多样性高峰期,冬春季发生下降。有趣的是,在多数研究中物种丰富的夏季成为了本调查中的多样性最低季节,这是本研究更值得关注的问题。洄游性物种的季节迁移是造成多样性季节变化的主要原因,这一点已经是普遍认识^[25-27]。春季水体回暖,产卵群体开始向近岸浅水区聚集,经历夏季秋季的繁殖,索饵群体的过度,冬季逐渐向外海越冬洄游,因此,大陈岛作为洄游性物种的重要产卵场,在夏秋季节汇集繁杂的洄游物种,此时,海域内物种组成在定居种的基础上增加洄游性物种,使得秋季的物种多样性和分类多样性明显高于冬春季,这一现象在沿岸岛礁海域调查中多有体现^[25,27]。而到了翌年夏季,生态系统处于最活跃状态,从初级生产力到最高级消费者,各营养级生物的资源量空前之大,而处于中间环节的甲壳类,其群体数量虽得到了补充和滋养,但同时所遭受的捕食压力也空前强烈,加之禁渔期的实施,剔除了人为活动的干扰,使得鱼类资源休养生息,甲壳类却在此时面临着能否虎口脱险的最大挑战。所以,研究推测,强大的捕食压力是造成甲壳类在夏季生物多样性最低的原因。

功能多样性方面,种类丰富的秋季和春季反过来成为一年中功能丰富度较低的季节。秋季,口虾蛄和三疣梭子蟹作为季节优势种,生物量占比达 60.56%,二者组成捕食性甲壳类的代表,一家独大,造成该季节功能丰富度的变化范围缩小,中位数降低,相似特点在春季也有出现,而其它季节就相对均衡一些,功能均匀度秋季较低也做了印证。

三个纬度多样性指数的单因素方差分析显示,水平方向上多样性未产生区域间明显分化,同时,垂直方向上物种丰富度(S)与水深有较弱相关性,仅在冬季形成较深水层多样性高的格局。大陈岛礁海域岛屿分布复杂、除上下大陈岛作为主岛外,还存在众多小岛,加之镶嵌其中的各种养殖设施和海岸工程结构体,使得空间异质性提高,水文环境多变。海域西侧常年受沿岸流的影响,东侧有台湾暖流在不同时期产生较大影响,温盐条件存在区域化差异。然而,三个层面的多样性指数并未反应出水体环境的复杂性,是因为局地尺度的空间因子和环境要素梯度对群落生物多样性的变化驱动力弱,在该海域表现出生物多样性的空间一致性。

3.2 生物多样性不同纬度之间的关系

生物多样性的不同方面可能是互补的,并提供关于各种生态过程的不同信息,因此生态学、生物地理学和保护学的研究强调了生物多样性分析和环境评估中使用多样性的多个方面的重要性^[28-29]。本研究中,探讨了大陈岛礁海域甲壳类 Alpha 多样性的不同维度之间的关系。发现一些生物多样性指数在一定程度上具有相关性,而另一些指数则没有表现出显著的相关性。此外,不同季节的多样性指数之间关系强度不同。这表明,水生生态系统中的生物多样性指数之间的关系可能是高度可变的,且受研究对象和度量方式的影响。尽管如此,的确发现了这些多样性指数在 3 个维度之间的相似性或相异性的一些规律。同纬度多样性内部,物种多样性指数之间的相关性相对强烈,Shannon-Wiener 指数(H')是基于物种丰富度和物种均匀度,所以 Shannon-Wiener 指数(H')与均匀度指数(J')和丰富度指数(S)存在显著的中强度相关。分类多样性指数(Δ)和分类差异指数(Δ^*)与分类差异变异指数(Λ^+)呈中度负相关。不同多样性之间,物种丰富度指数(S)与功能丰富度指数($FRic$)存在显著正相关,一些研究表明物种丰富度与功能多样性有较强的相关性^[15,30]。这是因为 $FRic$ 反映了功能特征的范围,因而总是受到物种丰富度(S)的约束。分类多样性指数(Δ)和分类差异指数(Δ^*)与功能分散指数($FDis$)存在显著相关,这一发现部分支持了功能多样性和谱系多样性应该由于进化保守而相互关联的观点,许多与生态过程相关的性状具有某种程度的系统发育信号^[31]。

3.3 生物多样性不同维度对局地尺度环境因子的响应差异

生物多样性的三个方面对环境变量的反应不同,这符合先验假设。群落生态学、生物地理学和保护生物学的研究强调,群落组成和多样性的形成受多个尺度的因素影响,包括局地决定因素、区域效应和历史因

素^[6,32-33]。本研究只探讨局地环境因素对多样性的影响。有研究表明,局地压力在解释多样性指数变化中占比最高,且在水生生态系统的群落形成中环境因素过滤的作用超过了空间因素^[6,34-35]。MLR 确定了不同多样性指数对局地环境过滤因子的响应程度和数量。三个维度相较,物种多样性指数对局地环境因子的响应最小,谱系多样性次之,功能多样性指数最强烈。先前的研究证明,功能多样性可能是由几个环境变量在精细的空间尺度(例如生境异质性)作用的结果,空间因素对于功能多样性作用不明显,甚至微弱可忽略不计^[2,36]。相比功能多样性与空间因素之间的弱联系,谱系多样性与空间因素之间的关系应该更加复杂,与多个生态过程有关,包括那些在广泛尺度(例如,进化和扩散过程)和精细尺度(即生物相互作用和环境过滤)的作用。一般来说,如果生态位保守、性状环境关系占主导地位,与物种多样性相比,谱系多样性应该受到环境过滤的影响更大^[37]。简单来说,物种多样性受到局地尺度的环境因素的影响程度最小,谱系多样性次之,功能多样性与环境因素联系最强烈。在此基础上,本研究的结果就可以理解了。另外,一般而言,环境过滤(相对于空间因素)对多样性变化的相对贡献可能很大程度上取决于环境梯度的长度,如底栖生物栖息地条件和营养盐浓度的范围^[29]。

除局地压力,群落组成和多样性在一定程度上也受大尺度因素(气候因素)的影响,一些发现强调了生物多样性分析中考虑区域或者景观等大尺度的环境变化的重要性^[15,38]。一般来说,气候因素通过对局部环境条件的影响而间接影响大型无脊椎动物群落^[39]。例如,气温的变化调节水生生物的生长,并通过对水温的影响间接地限制各种景观的物种分布^[40]。同样,降水的变化可能在很大程度上影响水体流态,从而进一步调剂生物组合和生态系统功能^[41]。尽管环境过滤通常是生物群落的主要决定因素,先前的研究还是强调了水生群落也受到空间过程的影响^[28-29,39]。因此,研究应从不同尺度全面分析该海域甲壳类生物多样性的生态驱动。

4 结论

本文选取大陈岛礁海域这一典型近岸岛礁,针对生态系统食物网的关键中间营养级——甲壳类,综合分析物种多样性(S 、 H' 、 J' 和 $1-D$)、谱系多样性(Δ 、 Δ^* 、 Δ^+ 和 Δ^+)和功能多样性($FRic$ 、 $FEve$ 、 $FDiv$ 和 $FDIs$)的时空格局、不同维度多样性指数关系以及对生境中环境因子的响应差异,主要结论如下:

(1) 甲壳类物种多为一年生,其三个维度生物多样性均具有显著的季节差异,秋季的群落物种组成最为丰富,亲缘关系相对较远,而功能丰富度最低,口虾蛄和三疣梭子蟹构成的捕食性甲壳类占领主体生态空间,仍有生态空间空余,有效资源利用效率不高;夏季则物种数目最少,但功能丰富度较高,生态空间利用程度较高,资源利用更充分;冬春季物种数目居中,生态位互补程度高。岩礁生境与较开阔海域之间并未表现出生物多样性的空间差异。

(2) 相同维度多样性指数间有不同程度的相关性,物种多样性指数间相关性最强烈;不同纬度多样性间,物种丰富度与功能多样性有较强的相关性, $FRic$ 总是受到物种丰富度(S)的约束,分类多样性指数(Δ)和分类差异指数(Δ^*)与功能分散指数($FDIs$)显著相关。

(3) 生物多样性的三个方面是由不同的生态驱动因素决定的,功能多样性对局地尺度环境因子响应最强烈,谱系多样性次之,物种多样性可能主要受较大尺度生态因素的驱动。综合运用各维度多样性在生物多样性评估中将揭示指数背后更为全面和完整的生态过程。

参考文献(References):

- [1] Azevedo M C C, de Sousa Gomes-Gonçalves R, Mattos T M, Uehara W, Guedes G H S, Araújo F G. Taxonomic and functional distinctness of the fish assemblages in three coastal environments (bays, coastal lagoons and oceanic beaches) in Southeastern Brazil. *Marine Environmental Research*, 2017, 129: 180-188.
- [2] Li Z F, Liu Z Y, Heino J, Jiang X M, Wang J, Tang T, Xie Z C. Discriminating the effects of local stressors from climatic factors and dispersal processes on multiple biodiversity dimensions of macroinvertebrate communities across subtropical drainage basins. *Science of the Total Environment*, 2019, 688: 115-125.

- Environment, 2020, 711: 134750.
- [3] Hill M J, Heino J, White J C, Ryves D B, Wood P J. Environmental factors are primary determinants of different facets of pond macroinvertebrate alpha and beta diversity in a human-modified landscape. *Biological Conservation*, 2019, 237: 348-357.
- [4] Tuya F, Asensio M, Bosch N E, García A, Navarro A. Partitioning multiple diversity dimensions of nearshore fish assemblages within a coastal seascape. *Hydrobiologia*, 2019, 834(1): 87-102.
- [5] Tucker C M, Cadotte M W, Carvalho S B, Davies T J, Ferrier S, Fritz S A, Grenyer R, Helmus M R, Jin L S, Mooers A O, Pavoine S, Purschke O, Redding D W, Rosauer D F, Winter M, Mazel F. A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2017, 92(2): 698-715.
- [6] Arnan X, Cerdà X, Retana J. Relationships among taxonomic, functional, and phylogenetic ant diversity across the biogeographic regions of Europe. *Ecography*, 2017, 40(3): 448-457.
- [7] Tolonen K E, Leinonen K, Marttila H, Erkinaro J, Heino J. Environmental predictability of taxonomic and functional community composition in high-latitude streams. *Freshwater Biology*, 2017, 62(1): 1-16.
- [8] Purschke O, Schmid B C, Sykes M T, Poschlod P, Michalski S G, Durka W, Kühn I, Winter M, Prentice H C. Contrasting changes in taxonomic, phylogenetic and functional diversity during a long-term succession: insights into assembly processes. *Journal of Ecology*, 2013, 101(4): 857-866.
- [9] Münkemüller T, de Bello F, Meynard C N, Gravel D, Lavergne S, Moullot D, Mouquet N, Thuiller W. From diversity indices to community assembly processes: a test with simulated data. *Ecography*, 2012, 35(5): 468-480.
- [10] Swenson N G, Anglada-Cordero P, Barone J A. Deterministic tropical tree community turnover: evidence from patterns of functional beta diversity along an elevational gradient. *Proceedings Biological Sciences*, 2011, 278(1707): 877-884.
- [11] 帅方敏, 李新辉, 陈方灿, 李跃飞, 杨计平, 李捷, 武智. 淡水鱼类功能多样性及其研究方法. *生态学报*, 2017, 37(15): 5228-5237.
- [12] Petchey O L, Gaston K J. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 2006, 9(6): 741-758.
- [13] 韩涛涛, 唐玄, 任海, 王俊, 刘楠, 郭勤峰. 群落/生态系统功能多样性研究方法及展望. *生态学报*, 2021, 41(8): 3286-3295.
- [14] Guilhaumon F, Albouy C, Claudet J, Velez L, Ben Rais Lasram F, Tomasini J, Douzery E, Meynard C, Mouquet N, Troussellier M, Araújo M, Moullot D. Representing taxonomic, phylogenetic and functional diversity: new challenges for Mediterranean marine - protected areas. *Diversity and Distributions*, 2015, 21(2): 175-187.
- [15] Li Z F, Jiang X M, Wang J, Meng X L, Heino J, Xie Z C. Multiple facets of stream macroinvertebrate alpha diversity are driven by different ecological factors across an extensive altitudinal gradient. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(3): 1306-1322.
- [16] Craven D, Eisenhauer N, Pearse W D, Hautier Y, Isbell F, Roscher C, Bahn M, Beierkuhnlein C, Bönisch G, Buchmann N, Byun C, Catford J A, Cerabolini B E L, Cornelissen J H C, Craine J M, De Luca E, Ebeling A, Griffin J N, Hector A, Hines J, Jentsch A, Kattge J, Kreyling J, Lanta V, Lemoine N, Meyer S T, Minden V, Onipchenko V, Polley H W, Reich P B, van Ruijven J, Schamp B, Smith M D, Soudzilovskaia N A, Tilman D, Weigelt A, Wilsey B, Manning P. Multiple facets of biodiversity drive the diversity - stability relationship. *Nature Ecology & Evolution*, 2018, 2(10): 1579-1587.
- [17] Araújo A V, Dias C O, Bonecker S L C. Diversity and functional groups of copepods as a tool for interpreting trophic relationships and ecosystem functioning in estuaries. *Marine Environmental Research*, 2020, 162: 105190.
- [18] 董建宇, 孙昕, 詹启鹏, 张宇洋, 张秀梅. 莱州湾东岸潮下带大型底栖动物群落 beta 多样性格局及其驱动因素. *生物多样性*, 2022, 30(3): 60-69.
- [19] Tuya F, Herrero-Barrencua A, Bosch N E, Abreu A D, Haroun R. Reef fish at a remote tropical island (Principe Island, Gulf of Guinea): disentangling taxonomic, functional and phylogenetic diversity patterns with depth. *Marine and Freshwater Research*, 2018, 69(3): 395.
- [20] Gusmao J B, Brauko K M, Eriksson B K, Lana P C. Functional diversity of macrobenthic assemblages decreases in response to sewage discharges. *Ecological Indicators*, 2016, 66: 65-75.
- [21] Liu K, Lin H S, He X B, Huang Y Q, Li Z, Lin J H, Mou J F, Zhang S Y, Lin L S, Wang J J, Sun J. Functional trait composition and diversity patterns of marine macrobenthos across the Arctic Bering Sea. *Ecological Indicators*, 2019, 102: 673-685.
- [22] Mason N W H, Moullot D, Lee W G, Wilson J B. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 2005, 111(1): 112-118.
- [23] Schleuter D, Daufresne M, Massol F, Argillier C. A user's guide to functional diversity indices. *Ecological Monographs*, 2010, 80(3): 469-484.
- [24] Villéger S, Mason N W H, Moullot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 2008, 89(8): 2290-2301.
- [25] 晁文春. 南麂列岛附近海域甲壳类群落结构与生物多样性分析[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2013.
- [26] 朱玉丹, 蒋日进, 周永东, 吴仁斌, 印瑞, 芮银, 张琳琳. 大陈洋产卵场保护区甲壳类群落结构特征及其与环境因子的关系. *应用生态学*

报, 2021, 32(4): 1489-1497.

- [27] 齐海明. 椒江口海域甲壳动物群落结构和资源分布及其与环境因子的关系[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [28] Corbelli J M, Zurita G A, Filloy J, Galvis J P, Vespa N I, Bellocq I. Integrating taxonomic, functional and phylogenetic beta diversities: interactive effects with the biome and land use across taxa. *PLoS One*, 2015, 10(5): e0126854.
- [29] Tolonen K T, Vilmi A, Karjalainen S M, Hellsten S, Heino J. Do different facets of littoral macroinvertebrate diversity show congruent patterns in a large lake system? *Community Ecology*, 2017, 18(1): 109-116.
- [30] Hultgren K M, Ossentjuk L, Hendricks K, Serafin A. Crustacean diversity in the Puget Sound: reconciling species, phylogenetic, and functional diversity. *Marine Biodiversity*, 2021, 51(2): 37.
- [31] Winter M, Devictor V, Schweiger O. Phylogenetic diversity and nature conservation: where are we? *Trends in Ecology & Evolution*, 2013, 28(4): 199-204.
- [32] Heino J. A macroecological perspective of diversity patterns in the freshwater realm. *Freshwater Biology*, 2011, 56(9): 1703-1722.
- [33] Leibold M A, Chase J M. Metacommunity ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 2017.
- [34] Castillo-Escrivà A, Aguilar-Alberola J A, Mesquita-Joanes F. Spatial and environmental effects on a rock-pool metacommunity depend on landscape setting and dispersal mode. *Freshwater Biology*, 2017, 62(6): 1004-1011.
- [35] Nicacio G, Juen L. Relative roles of environmental and spatial constraints in assemblages of Chironomidae (Diptera) in Amazonian floodplain streams. *Hydrobiologia*, 2018, 820(1): 201-213.
- [36] Villéger S, Brosse S, Mouchet M, Mouillot D, Vanni M J. Functional ecology of fish: current approaches and future challenges. *Aquatic Sciences*, 2017, 79(4): 783-801.
- [37] Morlon H, Schwikl D W, Bryant J A, Marquet P A, Rebelo A G, Tauss C, Bohannan B J M, Green J L. Spatial patterns of phylogenetic diversity. *Ecology Letters*, 2011, 14(2): 141-149.
- [38] Burgmer T, Hillebrand H, Pfenninger M. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia*, 2007, 151(1): 93-103.
- [39] Poff N L. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 1997, 16(2): 391-409.
- [40] Li F Q, Cai Q H, Jiang W X, Qu X D. The response of benthic macroinvertebrate communities to climate change: evidence from subtropical mountain streams in Central China. *International Review of Hydrobiology*, 2012, 97(3): 200-214.
- [41] Rocha M P, Bini L M, Domisch S, Tolonen K, Jyrkänkallio-Mikkola J, Soininen J, Hjort J, Heino J. Local environment and space drive multiple facets of stream macroinvertebrate beta diversity. *Journal of Biogeography*, 2018, 45: 2744-2754.

附录 1 大陈岛礁海域甲壳类功能性状的模糊值

Appendix table 1 Fuzzy-code values for biological traits of crustaceans in Dachen Islands																							
物种 Species	体型 Body form			成体大小 Adult body size			栖息方式 Living habit			运动方式 Mobility			食性 Feeding habit			饵料类群 Prey groups				寿命 Lifespan			
	BF1	BF2	BF3	ABS1	ABS2	ABS3	LH1	LH2	LH3	M1	M2	M3	FH1	FH2	FH3	PG1	PG2	PG3	PG4	L1	L2	L3	
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0	
鞭腕虾 <i>Lysmata vittata</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0	
扁足异对虾 <i>Ayppopenaeus stenodactylus</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0	
刀额仿对虾 <i>Parapenaeopsis cultrirostris</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
断脊小口虾蛄 <i>Oratosquilla interrupta</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0	
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	3	0	
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
红星梭子蟹 <i>Portunus sanguinolentus</i>	0	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	1	3	1	0	3	2	1	0	0	3	0	
巨指长臂虾 <i>Palaemon macrodactylus</i>	3	0	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	2	1	0	3	0	
锯齿长臂虾 <i>Palaemon serrifer</i>	3	0	0	0	3	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	0	3	2	1	0	3	0	
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0	
隆线强蟹 <i>Eucreate crenata</i>	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	3	1	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
矛形梭子蟹 <i>Portunus pulchricristatus</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	1	0	3	0	3	0	1	3	1	0	3	0	
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0	0	3	0	0	3	0	3	0	3	0	0	3	1	0	3	0	0	3	1	0	3	0
日本螯 <i>Charybdis japonica</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	2	1	3	1	0	0	3	1	0	0	3	0	
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0	3	0	3	0	0	1	0	3	3	0	1	3	1	0	0	3	0	0	3	0	0	
双斑螯 <i>Charybdis bimaculata</i>	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	1	3	3	1	0	3	1	0	0	0	3	0	
窝纹网虾蛄 <i>Dictyosquilla foreolata</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0	
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0	
纤手梭子蟹 <i>Portunus gracilimanus</i>	0	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	3	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	1	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0	
锈斑螯 <i>Charybdis feriatus</i>	0	3	0	3	0	0	0	3	0	3	2	1	3	1	0	1	3	1	0	3	0	0	
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	1	3	0	0	3	1	0	0	3	
中国明对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	3	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	1	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	
周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
齿额红虾 <i>Plesionika dentirostris</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0	
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0	
刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	1	3	0	0	3	1	0	0	3	0	

续表

物种 Species	体型 Body form			成体大小 Adult body size			栖息方式 Living habit			运动方式 Mobility			食性 Feeding habit			饵料类群 Prey groups				寿命 Lifespan		
	BF1	BF2	BF3	ABS1	ABS2	ABS3	LH1	LH2	LH3	M1	M2	M3	FH1	FH2	FH3	PG1	PG2	PG3	PG4	L1	L2	L3
东海红虾 <i>Plesionika izumiiae</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
横斑鞭腕虾 <i>Lysmata kuekenthali</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
脊额外鞭腕虾 <i>Exhippolysmata ensirostris</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	3	0	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	0	3
假长缝拟对虾 <i>Parapenaeus fissuroides</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0
尖刺口虾蛄 <i>Oratosquilla mikado</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0
拟穴青蟹 <i>Scylla paramamosain</i>	0	3	0	3	0	0	0	3	0	3	0	1	3	0	0	3	1	0	0	0	0	3
日本岩瓷蟹 <i>Petrolisthes japonicus</i>	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	1	3	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
锐齿螯 <i>Charybdis acuta</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	2	1	3	1	0	0	3	1	0	0	3	0
条尾近虾蛄 <i>Anchisquilla fasciata</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0
小眼绿虾蛄 <i>Clorida microphthalma</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curirostris</i>	3	0	0	0	3	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0
长叉口虾蛄 <i>Oratosquilla nepa</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0
长毛对虾 <i>Penaeus penicillatus</i>	3	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	3	1	0	1	3	1	0	0	3	0
长枪船形虾 <i>Tozeuma lanceilatum</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
凹管鞭虾 <i>Solenocera koebeli</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	3	3	0	0	3	0	0	0	3	1	0	0	3	0
变态螯 <i>Charybdis variegata</i>	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	1	3	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
前刺小口虾蛄 <i>Oratosquilla perpenisa</i>	0	3	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>	3	0	0	3	0	0	3	0	0	1	3	0	3	1	0	0	3	1	0	0	3	0
双角互敬蟹 <i>Hyastenus diacanthus</i>	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	1	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0
四齿矶蟹 <i>Pugettia quadridens</i>	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	3	1	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	3	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0
长手隆背蟹 <i>Carcinoplax longimana</i>	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	1	3	0	3	0	0	3	1	0	0	3	0
背腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	3	0	0	0	0	3	3	0	0	3	1	0	0	3	0	0	0	3	1	0	3	0