

DOI: 10.12264/JFSC2024-0072

浙江近海底栖贝类生态位及种间联结性

李庆英^{2,3}, 陈峰^{1,2,4,5}, 蒋日进^{1,2,4,5}, 徐开达^{1,2,4,5}, 戴乾^{1,2,4,5}, 钱卫国³

1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021;
2. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 浙江 舟山 316021;
3. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022;
4. 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江 舟山 316021;
5. 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: 为掌握浙江近海贝类的生态位特征及其种间关系, 根据 2020 年 8 月—2021 年 4 月在浙江近海开展的 4 个季度底栖贝类生物量与海洋环境调查数据, 对贝类生态位、种间联结性, 以及环境因子对贝类优势种生态位分化的影响等方面进行了研究。结果表明: 调查采集贝类共 41 种, 其中主要贝类共 16 种, 分为 3 个生态类群, 生态位宽度为 1.1~3.7, 平均生态位宽度为 2.4, 其中习见蛙螺(*Bursa rana*)生态位宽度最大(3.7), 双沟鬘螺(*Phalium bisulcatum*)生态位宽度最低(1.1)。种对间生态位重叠值为 0~0.66, 其中长尾纺锤螺(*Fusinus longicaudus*)与管角螺(*Hemifusus tuba*)种对间生态位重叠值最大(0.66), 58 对种对间生态位重叠值为 0, 贝类生态位重叠程度较低。主要贝类种间总体呈现不显著正关联($VR>1$), 89.7%种对的联结性不显著($P>0.05$), 表明该海域主要贝类种对间对资源的整体竞争较小, 而棒锥螺(*Turritella terebra bacillum*)与扁玉螺(*Glossaulax didyma*)、带鹑螺(*Tonna olearium*)、习见蛙螺等部分种类也存在较强的竞争关系。不同季节贝类优势种生态位分化的环境因子略有不同, 但栖息水深与盐度($0.2 \leq r < 0.4$, $P < 0.01$)是影响近海贝类生态位分化的主要因素。研究结果可为近海贝类生态稳定性评估和资源养护提供科学依据。

关键词: 贝类; 生态位; 种间联结性; 浙江近海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)06-0704-14

生态位是反映群落中物种资源利用能力及共存关系的重要指标^[1], 该概念最早由 Grinnell^[2]在 1917 年首次提出, 并在后续生态学研究中得到广泛应用^[3]。其中, 生态位宽度和重叠指数, 是目前生态位研究采用最为普遍的两个参数, 生态位宽度能够反映群落物种间的生态相似性; 生态位重叠指数可以反映物种间对资源的利用状况, 是生态学研究的重要内容之一^[4], 其在群落演替以及生物与环境因子关系等研究方面具有重要的应用价值^[5]。种间联结性是反映群落物种之间相互依存与竞争关系的重要指标^[6]。近年来, 随着生态学研究的深入, 生态位理论和种间联结性方法广泛

应用于海洋动物^[4-5,7-8]群落研究。底栖海洋贝类的运动能力弱, 部分种具有固着生活的特性, 对环境影响较为敏感, 是海洋生态环境污染状况及功能监测的重要指标之一^[9]。同时, 其生长繁殖也是海洋生态系统中物质循环至关重要的环节, 它对于生态系统的平衡和稳定具有重要作用^[10]。因此, 开展底栖贝类的生态位与种间联结性关系研究, 对揭示浙江近海贝类群落的种间关系、竞争机制及其对资源利用状况具有重要的意义。

浙江近海位于西太平洋西边界, 属于亚热带和温带气候, 海域辽阔。受地表径流、低温低盐的苏北沿岸流、低温高盐的黄海冷水团以及高温

收稿日期: 2024-03-20; 修订日期: 2024-04-12。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2401901); 浙江省公益技术应用研究项目(LGN21C190005)。

作者简介: 李庆英(1997–), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源养护与利用. E-mail: 1835042712@qq.com

通信作者: 陈峰, 高级工程师, 研究方向为渔业资源与远洋渔业. E-mail: cf0421223@163.com

高盐的台湾暖流共同影响, 该区域近海营养盐浓度显著高于外海, 并且易形成贯穿表层到底层水体错综复杂的锋面, 加之该区域明显的温度和盐度季节性变化^[11-17], 促使该海域的底栖生物多样性丰富, 食物网关系结构复杂。位于该海域的贝类以习见蛙螺(*Bursa rana*)、棒锥螺(*Turritella terebra bacillum*)、扁玉螺(*Glossaulax didyma*)等种类为主^[12-13, 15-17], 目前对其研究主要集中在资源分布、物种组成、群落结构及多样性等方面^[13-17], 而浙江近海贝类生态位研究仅在潮间带和底栖群落组成中体现^[15, 18], 并未针对贝类种类进行系统研究, 同时有关该海域贝类的生态位和种间联结性之间的关系鲜有报道, 现有研究尚未充分揭示浙江地区底栖贝类之间的种属关系, 以及它们受环境影响的程度。基于此, 本研究采用浙江近海贝类拖网调查数据与海洋环境调查数据, 对浙江近海贝类主要种的生态位宽度、生态位重叠和种间联结性及其季节性变动进行研究, 阐明贝类种间的相互关系, 为揭示贝类群落演化程度及浙江近海的生态修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 调查与采样

2020年8月、11月、2021年1月和4月, 在浙江近海开展了4个季度的渔业资源调查, 调查共设置123个站位, 调查区域与站位设置如图1所示。调查船为单船底拖网渔船, 船长30 m, 总吨位96 t。网具主尺度为58 m×28 m, 上纲长45 m, 最小网目尺寸20 mm。调查期间平均渔船拖速为3.0 kn/h, 站位拖曳时间设定1 h, 各站位渔获物样品随机采样1箱(20 kg), 调查时间均在白天。拖曳时视水深、流速等具体情况适时调整浮沉力、拖速、曳纲长度等参数, 以确保网具性能发挥。采集贝类样本时, 同步使用多参数水质分析仪(CTD)现场测定水温(water temperature, WT)、底层盐度(bottom salinity, BS)和水深(water depth, WD)等环境因子。

贝类种类尽可能鉴定到最小分类单元, 并记录每种的重量和尾数。贝类种类名称及分类参考

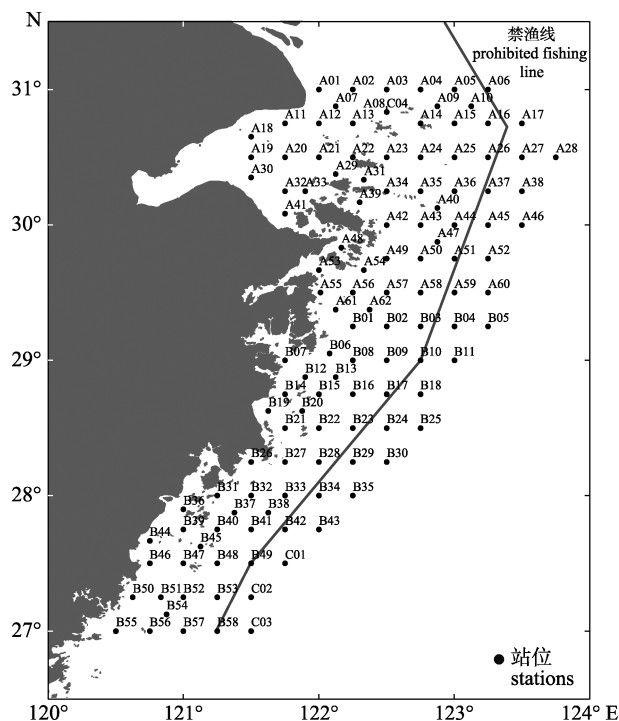


图1 浙江近海贝类调查站位示意图

Fig. 1 Sketch map of survey stations for shellfish in coastal waters of Zhejiang

《中国海洋生物名录》^[19]、《中国水生贝类图谱》^[20]和《中国海洋贝类图鉴》^[21]。种类鉴定完成后, 汇总贝类数据进行分析。上述调查、采样及测定均按《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)^[22]执行。

1.2 优势种

采用pinkas的相对重要性指数(IRI)分析贝类的优势种^[23]。其公式为:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\%$$

式中, $N\%$ 为某一种类的尾数占总尾数的百分比; $W\%$ 为某一种类的重量占总重量的百分比; $F\%$ 为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比。根据不同贝类优势度(IRI)的大小, 确定不同种类在群落内的重要性。将相对重要性指数 $IRI \geq 1000$ 的种类定为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 为主要种^[11]。

1.3 生态位指标

依据浙江近海渔业资源调查中捕获的主要贝类生物量, 计算生态位宽度(B_k)和生态位重叠值(Q_{ik})。在分析前去除只在一个站位出现一次的物种, 以主要贝类物种个体数为单位, 构建贝类资源矩阵, 计算对应的空间生态位宽度及重叠值。生态位宽度采用Shannon指数^[11, 18], 生态位重叠采用

Pianka 重叠指数^[11,18]进行计算, 计算公式如下:

$$\text{Shannon 生态位宽度 } B_k = -\sum_{j=1}^r (P_{kj} \ln P_{kj})$$

$$\text{生态位重叠 } Q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^r P_{ij}\right)^2 \left(\sum_{j=1}^r P_{kj}\right)^2}}$$

式中, j 表示站位, r 为站位数总数, P_{ij} 、 P_{kj} 分别表示种 i 和种 k 在第 j 个站位的多度。 B 值为生态位宽度, 取值越大则表示该物种生态位宽度越大。 Q 值为生态位重叠, 取值范围为 0~1, Q 值越大则表示两物种的生态位重叠值越大^[18]。当 $Q_{ik} > 0.6$ 时表明贝类种对生态位重叠显著; 当 $0.3 < Q_{ik} \leq 0.6$ 时表明贝类种对生态位重叠较低; 当 $Q_{ik} < 0.3$ 时, 表明贝类种对生态位重叠低。

1.4 总体关联性分析

方差比率法(variance ratio, VR)是物种间总体关联程度的判断指标, 以各站位主要种为研究对象, 建立二元矩阵, 计算公式如下^[18]:

$$\text{物种相对多度的方差 } \sigma_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i)$$

$$\text{物种数的方差 } S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$$

$$\text{相对多度频率 } P_i = n_i / N$$

$$\text{方差比率 } VR = S_T^2 / \sigma_T^2$$

$$\text{统计量 } W = VR \times N$$

式中, N 为站位数, S 为总物种数, n 为特定物种所占的站位数, T 为站位中的物种平均数, t 为所有站位的物种数平均值, T_j 为 j 站位内出现的物种数。 $VR > 1$, 说明物种总体关联性呈正相关; $VR < 1$, 说明物种总体关联性呈负相关。 W 统计量用来检验方差比率的显著程度, 若 W 值位于卡方分布 95% 置信区间内, 即 $\chi^2_{0.95}(N) < W < \chi^2_{0.05}(N)$, 则表明种间总体不显著关联。

1.5 种间联结性分析

使用 Yates 校正的卡方检验显著性, 其公式为^[18]:

$$\chi^2_{\text{Yates}'} = \frac{(|ad - bc| - 0.5n)^2 n}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

式中, a 为一对物种共同占据的站位数; b 、 c 为单个物种出现的站位数; d 为两物种都不出现的站位数; n 为总站位数。当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 表明种间联结性不显著; $3.847 \leq \chi^2 < 6.635$ 时, 表明种间联结性显著; $\chi^2 \geq 6.635$ 时, 则表明种间联结性极显著。

Pearson 相关性系数计算公式^[1,24]:

$$r_{ik1} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}$$

式中, N 为物种数目; x_{ij} 和 x_{kj} 分别是种 i 和种 k 在样方 j 中的多度值, 它们分别组成两个向量 $\bar{x}_i$ 和 $\bar{x}_k$; $\bar{x}_i$ 和 $\bar{x}_k$ 分别是种 i 和种 k 在所有样方中多度的平均值。 r_{ik1} 值域为 $(-1, 1)$, 正值表示正相关, 负值表示负相关^[1]。

Spearman 秩相关系数计算公式^[1,24]:

$$r_{ik2} = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N (x_{ij} - x_{kj})^2_j}{N^3 - N}$$

式中, N 为样方总数; x_{ij} 和 x_{kj} 分别是种 i 和种 k 在样方 j 中的秩。

1.6 生态位分化因子分析

以深度(Depth)、表温(Temp)、底温(BT)、表盐(Sal)、底盐(BS)、叶绿素(Chl.a)等环境因子为一矩阵, 采用 Mantel-Test 方法分析贝类生物量与环境因子矩阵的相关性, 获得影响贝类生态位分化的主要影响因子^[25-26]。为消除数据差异波动的影响, 保证同等对待每一维特征, 在分析前先对所有数据进行平方根转换标准化处理, 采用 R Studio 软件绘制 Mantel-Test 结果。 Mantel's r 值 < 0.2 时, 表明两个矩阵相关性较低; 当 Mantel's r 值在 $0.2 \sim 0.4$ 表明两矩阵仅有部分重合, 重合度相对较高; 当 Mantel's r 值在 ≥ 0.4 表明两矩阵大部分重合, 重合度最高。统计检验水平 Mantel's $P < 0.05$ 时, Mantel's r 值越高, 两矩阵相关性越强, 反之亦然。

1.7 数据处理

使用 R 4.3.2 软件中的“spaa”包计算物种的生态位宽度、生态位重叠以及种间联结性, 使用“vegan”包完成 Bray-Curtis 相似矩阵的计算, 使用

“vegan”、“ggplot2”、“ggrepel”、“ggcor”包对优势种和环境因子的关系进行 Mantel-Test 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 群落组成及生态位宽度

根据 2020–2021 年浙江近海渔业资源调查,共鉴定底栖贝类 41 种,隶属于 6 目 25 科 25 属,种类出现频率较高的有织纹螺科、塔螺科、玉螺科、鹑螺科等。不同季节底栖贝类的主要种与优势种存在一定差异(表 1), 4 个季节底栖贝类主要种($100 \leq \text{IRI} < 1000$)包括西格织纹螺(*Nassarius siquijorens*)、半褶织纹螺(*Nassarius sinarus*)、假奈拟塔螺(*Turricula spurius*)等 16 种。不同季节

种类数量存在差异明显,其中春季 11 种、夏季 6 种、秋季 11 种和冬季 12 种。4 个季节优势种($\text{IRI} \geq 1000$)包括习见蛙螺、棒锥螺等,其中春季 5 种、夏季 2 种、秋季 2 种和冬季 4 种。其中,爪哇窦螺(*Sinum javanicum*)、毛蚶(*Scapharca kagoshimensis*),仅为春季主要种;西格织纹螺、电光螺(*Fulgoraria rupestris*)、双沟鬘螺(*Phalium bisulcatum*),仅为冬季主要种。夏季与秋季没有单一主要种,4 个季节共有主要种为带鹑螺(*Tonna olearium*)、棒锥螺、长尾纺锤螺(*Fusinus longicaudus*)和习见蛙螺。贝类生态位宽度的变化范围为 1.1~3.7,平均宽度为 2.4 (表 1),其中习见蛙螺的生态位宽度最高为 3.7,双沟鬘螺最低仅为 1.1。

表 1 浙江近海底栖贝类生态位宽度、优势度及出现频率
Tab. 1 Niche width dominance and occurrence frequency of shellfish in coastal waters of Zhejiang

编号 no.	种 species	出现频率/% occurrence frequency	优势度 IRI				生态位宽度 niche breadth
			春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	
SP1	西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorens</i>	4.4	4.2	/	58.6	953.3√	1.5
SP2	半褶织纹螺 <i>Nassarius sinarus</i>	9.8	2240.043√	/	108.5√	419.3√	1.6
SP3	假奈拟塔螺 <i>Turricula spurius</i>	7.1	201.4√	3.2	119.5√	295.6√	2.5
SP4	爪哇窦螺 <i>Sinum javanicum</i>	5.3	/	/	/	80.6	2.0
SP5	扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	14.2	331.6√	/	207.6√	1183.9√	3.1
SP6	沟鹑螺 <i>Tonna sulcosa</i>	4.9	13.9	144.5√	238.5√	/	2.2
SP7	带鹑螺 <i>Tonna olearium</i>	16.5	1165.9√	478.3√	803.6√	1207.5√	3.1
SP8	棒锥螺 <i>Turritella terebra bacillum</i>	23.2	1321.5√	10578.9√	4859.5√	2289.99√	2.6
SP9	褐管蛾螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	17.8	638.3√	45.6	701.6√	674.6√	3.3
SP10	长尾纺锤螺 <i>Fusinus longicaudus</i>	18.3	3000.9√	536.7√	429.9√	947.3√	3.0
SP11	习见蛙螺 <i>Bursa rana</i>	48.2	32824.7√	3310.6√	32587.6√	2992.8√	3.7
SP12	管角螺 <i>Hemifusus tuba</i>	7.1	219.9√	179.9√	217.9√	/	1.5
SP13	光衣笠螺 <i>Onustus exuta</i>	13.8	355.7√	/	293.5√	535.9√	2.8
SP14	双沟鬘螺 <i>Phalium bisulcatum</i>	2.2	/	46.4	/	199.6√	1.1
SP15	电光螺/闪电涡螺 <i>Fulgoraria rupestris</i>	4	1.9	67.8	2.6	444.8√	2.0
SP16	毛蚶 <i>Scapharca kagoshimensis</i>	6.6	693.9√	/	/	/	2.1

注: 代表未出现物种; √代表该种 $100 \leq \text{IRI} < 1000$, 为该季节主要种。
Note: / indicates non-existent species; √ indicates the main species of the season ($100 \leq \text{IRI} < 1000$).

2.2 生态位宽度聚类分析

根据 Bray-Curtis 聚类结果可将底栖贝类分为 3 类生态类群,类群 1 为广生态位种,类群 2 为中生态位,类群 3 为窄生态位种(图 2)。广生态位种包括习见蛙螺、褐管蛾螺(*Siphonalia spadicea*)、带鹑螺、扁玉螺、长尾纺锤螺、光衣

笠螺(*Onustus exuta*)6 种,生态位宽度值范围为 2.8~3.7,平均宽度为 3.1;中生态位种包括棒锥螺、假奈拟塔螺、沟鹑螺(*Tonna sulcosa*)、毛蚶、爪哇窦螺、电光螺 6 种,生态位宽度值范围为 2.0~2.6,平均宽度为 2.2;窄生态位种有半褶织纹螺、西格织纹螺、管角螺(*Hemifusus tuba*)、双

沟鬘螺 4 种, 生态位宽度值范围为 1.1~1.6, 平均宽度为 1.4 (图 3)。

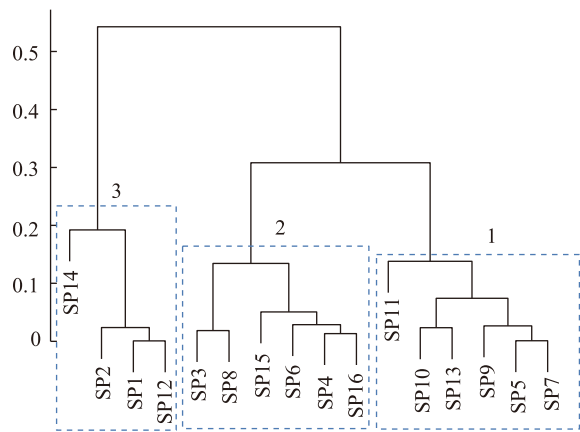


图 2 浙江近海贝类主要种生态位宽度聚类
Fig. 2 Niche width clustering of main shellfish species in coastal waters of Zhejiang

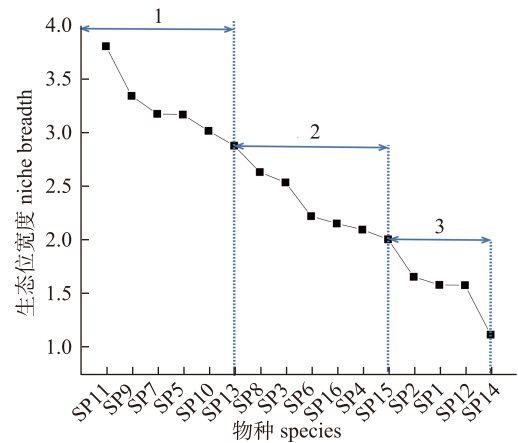


图 3 生态位宽度聚类指数组别
Fig. 3 Niche width clustering index groups

2.3 生态位重叠

在 136 对贝类种对间, 生态位重叠值在 0~0.66 之间波动(图 4)。其中, 长尾纺锤螺与管角螺

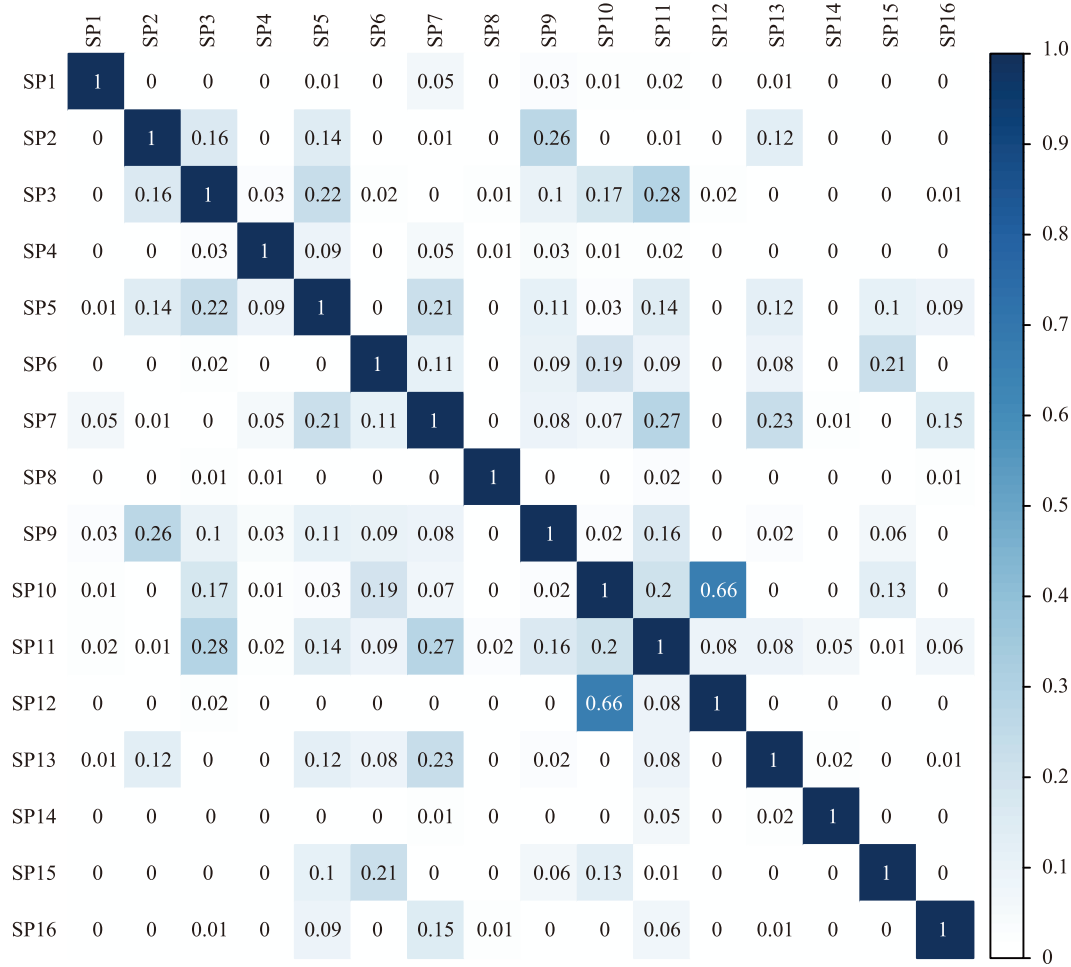


图 4 浙江近海贝类主要种生态位重叠
Fig. 4 Overlapping niches of main shellfish species in coastal waters of Zhejiang

种对的生态位重叠值最高为 0.66, 生态位重叠显著。然而有 58 对贝类种对的生态位重叠值为 0, 分别为西格织纹螺与半褶织纹螺, 假奈拟塔螺与爪哇窦螺等。生态位重叠值位于 $0.3 < Q_{ik} \leq 0.6$ 的仅 1 对物种对(长尾纺锤螺与管角螺)。 $Q_{ik} < 0.3$ 占总对数的 99.3%, 表明浙江近海四季间底栖贝类的生态位重叠程度较低。

2.4 底栖贝类种间联结性

2.4.1 贝类主要种总体关联性 根据浙江近海采样调查(物种 16×站位 224)数据矩阵, 计算浙江近海底栖贝类种间总体关联性(表 2)。物种总体关联性的方差比率 $VR=1.12>1$, 统计量 W 值为 249.9, 位于(190.3, 259.0)区间, 表明浙江近海四季底栖贝类种间总体呈现不显著正关联。

表 2 浙江近海大型底栖贝类物种总体关联性
Tab. 2 Overall correlation of shellfish species in coastal waters of Zhejiang

S_r^2	Q_r^2	VR	W	$\chi^2[\chi^2_{0.95}(224)>W>\chi^2_{0.05}(224)]$	检验结果 inspection result
1.78	1.59	1.12	249.9	(190.3, 259.0)	总体不显著正关联 there was no significant positive association overall

2.4.2 贝类种对间联结性 浙江近海有 16 种大型底栖贝类主要种类, 卡方检验矩阵中的 136 对种对, 正联结的贝类种对有 75 对, 负联结的贝类种对占 61 对, 分别占贝类总种对数的 55.1%和 44.9%。在这 75 对正联结种对中, 其中有 3 对是极显著正联结($P<0.01$), 7 对是显著正联结($P<0.05$); 浙江近海贝类有 61 对负联结种对, 其中有 4 对是极显著负联结($P<0.01$)。浙江近海底栖贝类卡方检验分析表明, 大多数贝类种对(89.7%)的联结性不显著($P>0.05$), 这与上述(物种总体关联性)不显著正相关的结果一致(图 5)。

浙江近海贝类种对间 Pearson 相关性系数结果显示(图 6), 正相关最高值为 0.31 (长尾纺锤螺与管角螺), 表明两者种对间具有相似适生区, 潜在食源增强了两者的共同出现的几率。最低值为 0 的种对有 4 对, 分别为褐管蛾螺与管角螺、假奈拟塔螺与棒锥螺、扁玉螺与长尾纺锤螺、西格织纹螺与长尾纺锤螺。负相关最高值为-0.26 (棒锥螺与长尾纺锤螺), 研究发现棒锥螺与习见蛙螺、带鹌螺、扁玉螺、光衣笠螺、闪电涡螺, 呈现较高负相关, 表明棒锥螺与上述各种类之间存在竞争关系或对环境选择具有差异性。

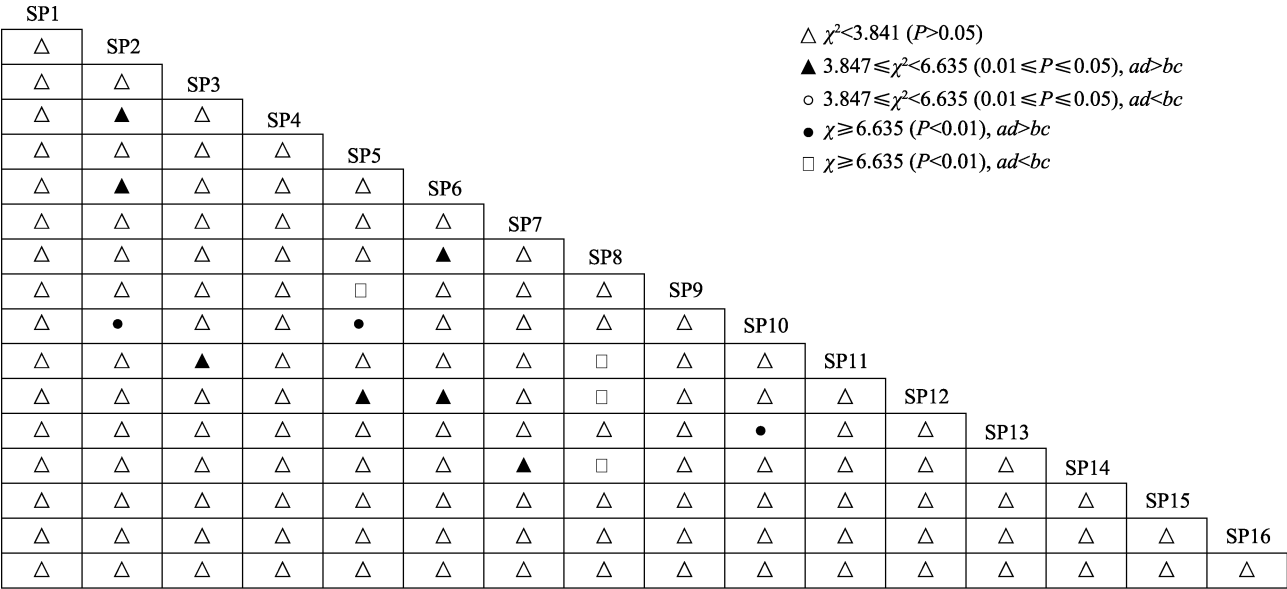


图 5 浙江近海贝类主要种种间联结性卡方检验半矩阵图
Fig. 5 Half-matrix diagram of chi-square test for linkages between main shellfish species in coastal waters of Zhejiang

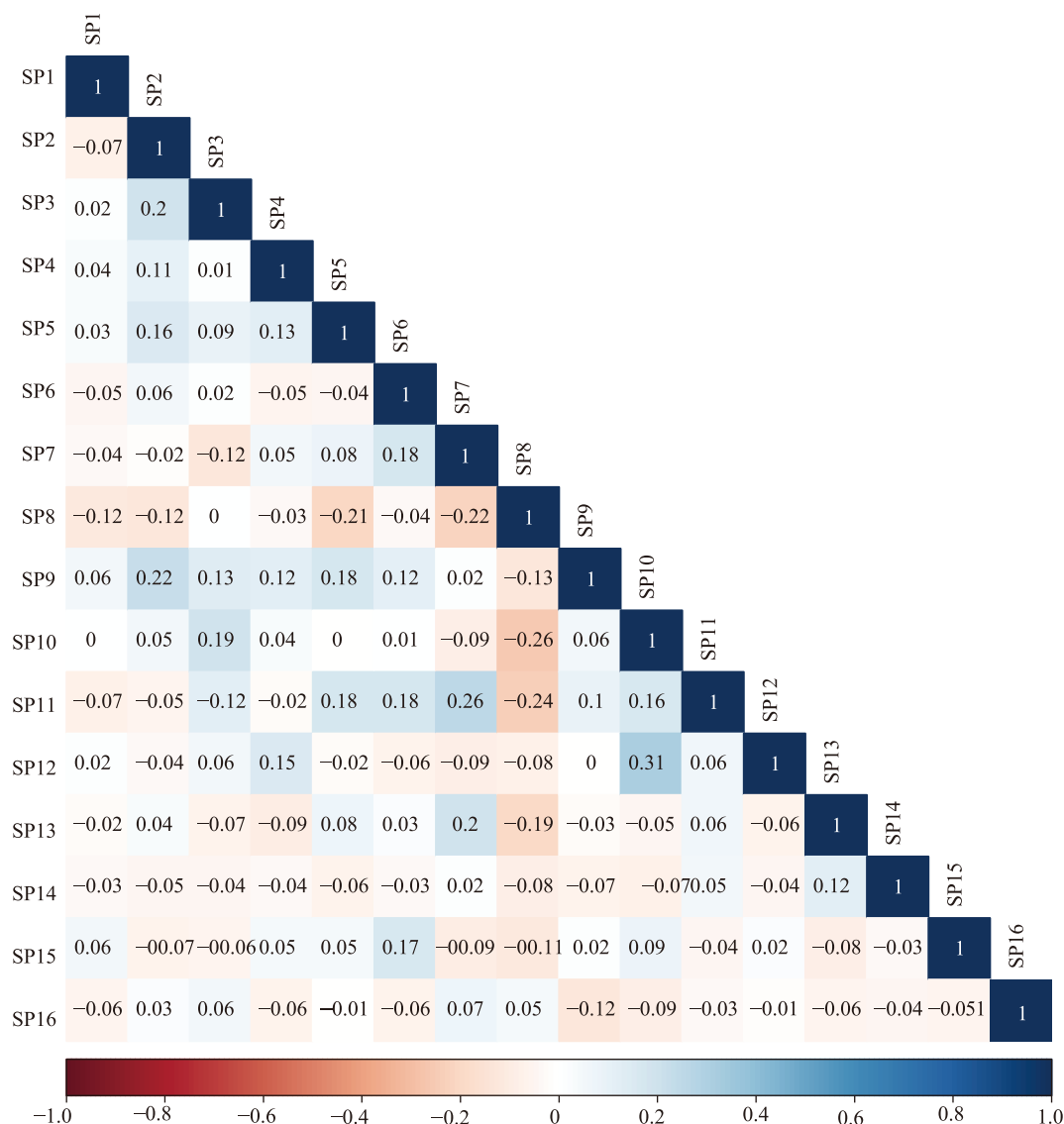


图 6 浙江近海贝类主要种种间 Pearson 相关性热图

Fig. 6 Pearson correlation hot map for main shellfish species in coastal waters of Zhejiang

Spearman 秩相关性检验显示: 半褶织纹螺与褐管蛾螺、带鹑螺与习见蛙螺、长尾纺锤螺与管角螺呈正关联 $r_{ik2} \geq 0.20$; 假奈拟塔螺与长尾纺锤螺、沟鹑螺与闪电涡螺等, 呈正关联 $0.08 < r_{ik2} < 0.20$; 半褶织纹螺与棒锥螺、假奈拟塔螺与带鹑螺、褐管蛾螺与毛蚶, 呈负关联 $-0.14 \leq r_{ik2} < -0.03$; 值得注意的是, 棒锥螺与扁玉螺、带鹑螺、褐管蛾螺、习见蛙螺、光衣笠螺均呈负关联 $r_{ik2} < -0.14$ (图 7), 该结果与种对间 Pearson 相关性系数分析结果具有重叠性。

2.5 生态位分化因子分析

Mantel-Test 分析表明(图 8), 在四季优势种中,

棒锥螺的生物量及其分布受到深度的影响较显著 ($P < 0.01$), 且相关性较高 ($0.2 \leq r < 0.4$), 习见蛙螺受深度和底盐显著影响 ($P < 0.05$), 但相关性不高 ($r < 0.2$), 值得注意的是半褶织纹螺、长尾纺锤螺、带鹑螺在春季受到环境因子影响均较低 ($P > 0.05$); 而习见蛙螺在夏季受环境因子影响较小 ($P > 0.05$); 随着季节变化, 棒锥螺在秋季受深度的影响程度升高 ($P < 0.01$), 且相关性也增高 ($r > 0.4$), 同时受表温、底盐、叶绿素影响极显著 ($P < 0.01$), 相关性也较高 ($0.2 \leq r < 0.4$)。冬季优势种扁玉螺和带鹑螺均受到表温显著影响 ($P < 0.01$), 其相关性不高 ($r < 0.2$), 见表 3。

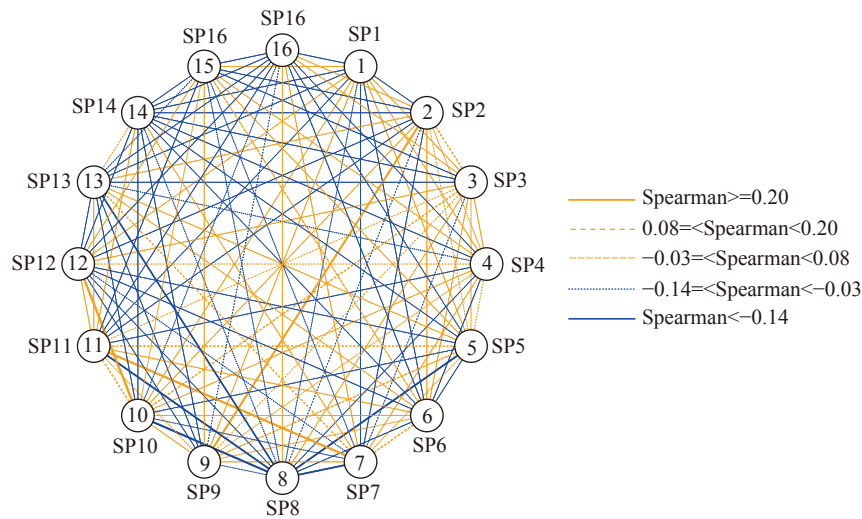


图 7 贝类主要种 Spearman 种间关联网络图

Fig. 7 Spearman main species of benthic shellfish was associated with the interspecific network

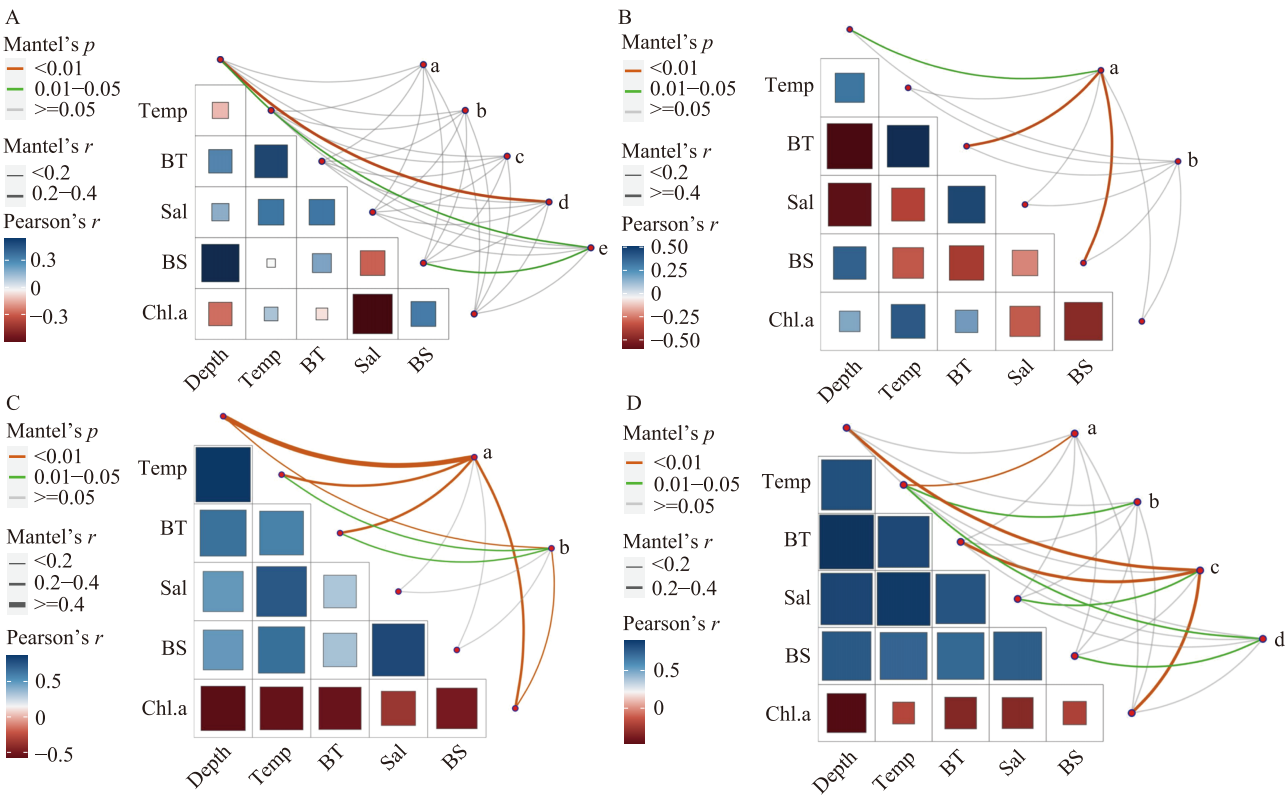


图 8 浙江近海四季主要种与环境因子的 Mantel-Test 检验分析

A. 春季, a: 半褶织纹螺; b: 长尾纺锤螺; c: 带鹑螺; d: 棒锥螺; e: 习见蛙螺. B. 夏季, a: 棒锥螺; b: 习见蛙螺. C. 秋季, a: 棒锥螺; b: 习见蛙螺. D. 冬季, a: 扁玉螺; b: 带鹑螺; c: 棒锥螺; d: 习见蛙螺.

Fig. 8 Mantel-Test analysis of main species and environmental factors in four seasons in coastal waters of Zhejiang
A. Spring, a: *Nassarius semiplicatus*; b: *Fusus longicaudus*; c: *Tonna olearium*; d: *Turritella terebra bacillum*; e: *Bursa rana*. B. Summer, a: *Turritella terebra bacillum*; b: *Bursa rana*. C. Autumn, a: *Turritella terebra bacillum*; b: *Bursa rana*. D. Winter, a: *Glossaulax didyma*; b: *Tonna olearium*; c: *Turritella terebra bacillum*; d: *Bursa rana*.

表 3 浙江近海底栖贝类 Mantel-Test 分析显著性指数
Tab. 3 Mantel-Test analysis significance index of benthic shellfish in coastal waters of Zhejiang

季节 season	物种 species	影响因子 impact factors	<i>r</i>	<i>P</i>
春季 spring	棒锥螺 <i>T. bacillum</i>	深度 Depth	0.2–0.4***	<0.01***
		深度 Depth	<0.2	0.01–0.05
		底盐 BS	<0.2	0.01–0.05
夏季 summer	棒锥螺 <i>T. bacillum</i>	深度 Depth	<0.2	0.01–0.05
		底温 BT	≥0.4***	<0.01***
		底盐 BS	≥0.4***	<0.01***
秋季 autumn	棒锥螺 <i>T. bacillum</i>	深度 Depth	≥0.4***	<0.01***
		表温 Temp	0.2–0.4***	<0.01***
		底温 BT	<0.2	<0.01
	习见蛙螺 <i>B. rana</i>	叶绿素 Chl.a	<0.2	<0.01
		深度 Depth	<0.2	<0.01
		表温 Temp	<0.2	0.01–0.05
	习见蛙螺 <i>B. rana</i>	底温 BT	<0.2	0.01–0.05
		叶绿素 Chl.a	<0.2	<0.01
		表温 Temp	<0.2	<0.01
冬季 winter	扁玉螺 <i>G. didyma</i>	表温 Temp	<0.2	<0.01
		带鹑螺 <i>T. olearium</i>	<0.2	0.01–0.05
		棒锥螺 <i>T. terebra bacillum</i>	深度 Depth	0.2–0.4***
	棒锥螺 <i>T. terebra bacillum</i>	底温 BT	0.2–0.4***	<0.01***
		表盐 Sal	<0.2	0.01–0.05
		叶绿素 Chl.a	0.2–0.4***	<0.01***
	习见蛙螺 <i>B. rana</i>	表温 Temp	<0.2	0.01–0.05
		底盐 BS	<0.2	0.01–0.05
		底盐 BS	<0.2	0.01–0.05

注: ***表示该环境因子与贝类之间相关极显著($P<0.01$).
Note: *** indicates that the environmental factor has significant correlation with shellfish ($P<0.01$).

3 讨论

3.1 贝类生态位

生态位宽度,可揭示物种对群落资源的利用程度及个体数量的丰富程度^[3,27]。本研究通过 Bray-Curtis 聚类分析,发现相对重要性指数高的种类与生态位宽度值大的种类基本一致,究其原因主要源于相对重要性指数根据站点物种尾数、生物量及出现频率计算而来,而生态位宽度根据不同季节的站点渔获量的分布程度来衡量,其值也反映该贝类对资源的利用能力^[4]。因此生态位宽度也与生物量的高低密切相关。

经研究发现,浙江近海主要贝类分为 3 个生态位类群,即广生态位种、中生态位种和窄生态位种,分别占主要贝类的 37.5%、37.5%和 25.0%。广生态位种,大多属于广温广布种,广泛分布于浙

江近海,在四季间生物量均较高,说明广生态位种类生境适应能力及种间竞争力强,因此生态位宽度比其他底栖贝类宽度值高;而中生态位种生态位宽度处于中间水平,该生态位物种资源占有量和种间竞争能力较强;窄生态位种由西格织纹螺、半褶织纹螺、管角螺、双沟鬘螺等 4 种组成,其中半褶织纹螺生物量与其他贝类相比较,且是春季的优势种,但该种类的生态位宽度值却较低,相关研究表明^[28],优势种的生态位宽度不仅取决于物种的数量,还受到物种在不同栖息地中的出现频率影响。因此,这与半褶织纹螺的生物量高但生态位宽度值较低的研究结果相一致(表 1)。同时,导致生态位宽度不同的原因之一是物种自身的生态习性以及季节性变化引起的物种生物量分布差异。例如广生态位种习见蛙螺具有广温广布的生态特性,各季节间生物量均较高,

出现频率达到 48.2%; 而窄生态位种半褶织纹螺属于温带种, 仅在春季生物量较高, 出现频率则仅为 9.8%, 由于两种贝类自身生态习性的不同, 在浙江近海内分布不均, 各站点间的生物量差异较大, 因此导致贝类生态位宽度差异较大。

3.2 生态位重叠

生态位重叠分析, 不仅可以体现种间潜在的竞争关系, 也可以反映物种对资源利用的相似程度^[29-30]。本研究发现浙江近海大型底栖贝类的生态位重叠值较低, 生态位重叠值最大值为 0.31, 种对为长尾纺锤螺与管角螺, 二者均为热带、亚热带种, 在浙江南部海域分布较密集, 因为长尾纺锤螺与管角螺属于相同的功能群可能会存在一些竞争, 比如针对食物、资源和空间。沟鹑螺与长尾纺锤螺生态位重叠值最小, 仅为 0.01, 可能与两种贝类种间关系趋于独立有关, 也可能是沟鹑螺与长尾纺锤螺在资源利用上可能存在空间异质性^[12-17]。

同时生态位重叠指数能够描述物种在受时间和空间双重因素影响时的生态位重叠程度^[31]。因而, 生态位宽度较大的物种, 并不意味着其生态位重叠值也较高, 例如习见蛙螺是浙江近海四季优势种(IRI>1000), 且生态位宽度最宽(3.7), 但它与其他贝类间重叠指数并不高, 这可能是由于贝类自身习性之间存在差异性, 因而对资源环境适应性不同导致。同时, 假拟塔螺与棒锥螺、长尾纺锤螺与西格织纹螺和闪电涡螺, 以及管角螺与褐管蛾螺等, 生态位重叠值为 0, 在上述无重叠关系的种对中, 长尾纺锤螺为春季主要种, 而闪电涡螺仅为冬季主要种, 长尾纺锤螺主要栖息于热带亚热带浅海, 而闪电涡螺是栖息于温带海域, 二者分布和栖息环境存在明显季节性差异, 这也证明了生态位重叠可以反映群落种对生态习性具有相似性的观点^[32]。

3.3 主要大型底栖贝类种间联结性

浙江近海主要贝类群落总体联结性呈不显著正相关, 由于种间总体联结性能够反映群落的稳定性^[33]。因此该结果表明贝类种间相互排斥的影响较小, 群落处于基本稳定状态^[18], 种类间在生存栖息空间上相异或相互依存。由于种间联结性

主要反映两个物种在空间分布上的关联^[1], 运用单一的检验方法可能会导致结果存在误差性。因此本研究参照历史研究方法采用 χ^2 检验、Pearson 相关性系数与 Spearman 秩相关系数相结合的方法进一步验证研究结果的准确性^[1]。研究发现, 浙江近海大多数贝类种对间关联性未达到显著水平(图 5、6、7), 表明浙江近海贝类生态习性具有相似性, 对海域环境有相似的适应能力, 种类组成稳定性强。生态位重叠值的高低也会影响种对间联结性结果^[10]。值得注意的是, 长尾纺锤螺和管角螺均为浙江近海四季主要贝类, 种对间生态位重叠显著, 种对间正相关程度较高($P<0.01$), 表明它们之间存在某种形式的共生或相互促进关系。这意味着当一个物种的数量增加时, 另一个物种的数量也会随之增加。这种关系可能是由于资源利用、互惠共生、共同的生态适应或者其他积极的相互作用所导致的。由此印证, 生态位重叠值显著的种对, 其联结性显著程度可能增大, 此现象说明种对间具有相似适生区, 共同的潜在食源提高了长尾纺锤螺和管角螺两者共同出现概率^[18]。棒锥螺与习见蛙螺、带鹑螺、扁玉螺、光衣笠螺、闪电涡螺均呈现负相关, 种对间生态习性不同, 存在对环境选择的差异性导致其种对间相关性不显著的现象。棒锥螺生态习性为广温广布种, 带鹑螺为盐度较低的潮间带区域, 扁玉螺、光衣笠螺、闪电涡螺等种类适宜温带及亚热带海域, 这些物种在资源利用、栖息地偏好方面存在差异, 促使资源分配的变化, 或者在共同的生态环境中产生生态位分化, 以减少直接的竞争, 导致负相关关系的产生。

3.4 生态位分化分析

底栖贝类的生长与繁殖与水深、底盐、底温等环境因子息息相关^[14-15], 海洋贝类多为定栖性种类, 其生态系统更容易受到环境因子变化的影响, 具有对环境变化较敏感的特性^[16,34]。同时, 贝类种类之间也会受到栖息地环境和摄食对象的不同, 而影响其生态位的分化, 从而获取生存资源, 避免激烈的种间生存压力^[28]。为了探究其原因, 本研究通过对浙江近海底栖贝类生态位分化的分析, 发现相同的种类在不同的季节中, 受到环境

因子影响有所差异,并且在单一季节中,不同贝类之间所受主要环境因子也有所不同。借助 Mantel-Test 分析^[35],来解释生态位分化主要贝类种,在生态位重叠值、生态位宽度中存在差异的原因。研究发现不同贝类种类对栖息水深及盐度的需求均较高(图 8),因此栖息水深的需求以及盐度程度的需求,可能是影响贝类生态位分化、生物量及其空间分布的主要因素。根据环境特点发现,浙江近海海域受到台湾暖流与沿岸流交汇影响,盐度差异显著^[12-17,36],所造成的生态差异也会对不同生态习性的贝类产生空间分布的影响,例如棒锥螺与习见蛙螺属浅海热带亚热带种^[37],栖息水深及底层盐度和表层盐度的需求显著,受水深及底层盐度影响显著($P<0.05$);长尾纺锤螺和带鹑螺以及半褶织纹螺在春季受环境因子影响较小(图 8),因其种类的生态习性与春季环境因子相符合,所以在春季受到环境因子影响较小,同时在夏季秋季影响也不显著,但在冬季影响显著($P<0.05$),Mantel-Test 分析呈现的结果与其生态习性相符;另外,浙江南部海域和北部海域的底栖生态差异^[38-39],也会对不同生态习性的贝类产生影响,从生物量来看浙北海域生物量比南部生物量较高,由此可见不同海域底栖环境也是影响生态位分化的因素之一。同时,通过 Mantel-Test 生态分化研究也能够更好地解释贝类种类之间生态位宽度与重叠,例如半褶织纹螺与习见蛙螺同为主要种,两种贝类均有相似的环境因子需求,但习见蛙螺对环境变动产生的影响更为容易接受,由此二者之间呈现空间分布上的差异,导致两者呈现出生态位宽度上习见蛙螺比半褶织纹螺高的态势。综上所述,影响浙江近海贝类生态位分化的主要环境因子为栖息水深与底盐,但不仅限于该环境因子,其自身的生态习性对环境也具有一定的选择性。

参考文献:

- [1] Xu M H, Liu M, Zhai D T, et al. A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 8224-8233. [徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224-8233.]
- [2] Grinnell J. The niche-relationships of the California thrasher[J]. *The Auk*, 1917, 34(4): 427-433.
- [3] Zhang Y F, Zheng Z H, Chen X B, et al. Niche characteristics of the invasive plant *Ageratum conyzoides* and its commonly associated weeds[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(9): 3727-3737. [张亚芬, 郑子洪, 陈旭波, 等. 入侵植物藿香蓟与常见伴生杂草的生态位特征[J]. *生态学报*, 2022, 42(9): 3727-3737.]
- [4] Liu K, Yu C G, Xu Y J, et al. Spatio-temporal niche of major fish species in Pishan waters off Zhejiang Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(3): 1069-1079. [刘坤, 俞存根, 许永久, 等. 浙江披山海域主要鱼类时空生态位[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(3): 1069-1079.]
- [5] Zhao Y Q, Zeng J N, Chen Q Z, et al. Macrozoobenthos community pattern in the intertidal zone alongside Daxie development region in spring[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, 44(2): 78-83. [赵永强, 曾江宁, 陈全震, 等. 宁波大榭开发区北岸潮间带春季大型底栖动物群落格局[J]. *动物学杂志*, 2009, 44(2): 78-83.]
- [6] Jiang H, Zhang H, Long W X, et al. Interspecific associations and niche characteristics of communities invaded by *Decalobanthus boissianus*[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(4): 388-399. [江焕, 张辉, 龙文兴, 等. 金钟藤入侵群落的种间联结及生态位特征[J]. *生物多样性*, 2019, 27(4): 388-399.]
- [7] Jiao H F, Peng X M, You Z J, et al. Species diversity of macrobenthos in the rocky intertidal zone of Yushan Island[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(5): 511-518. [焦海峰, 彭小明, 尤仲杰, 等. 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位[J]. *生物多样性*, 2011, 19(5): 511-518.]
- [8] Ge B M, Bao Y X, Zheng X. Macrobenthic community ecology of a tidal flat in different habitats and creeks dyked in different years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 446-453. [葛宝明, 鲍毅新, 郑祥. 灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究[J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 446-453.]
- [9] 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. [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]. *水生态学杂志*, 2022, 43(5): 59-66.]
- [10] Zhang L M, Lan B, Zhang D S, et al. Niche and interspecific association of dominant herbaceous plants in the water-

- level-fluctuating zone of Fuling-Fengjie section of the Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(8): 3228-3240. [张乐满, 兰波, 张东升, 等. 三峡水库涪陵-奉节段消落带优势草本植物生态位与种间联结性研究[J]. *生态学报*, 2022, 42(8): 3228-3240.]
- [11] Ye S, Yang R, Ding P P, et al. Spatio-temporal niches and interspecific association of dominant fish species in the offshore waters of southern Zhejiang[J]. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 2022, 44(1): 48-62. [叶深, 杨蕊, 丁朋朋, 等. 浙江南部近海主要鱼类的时空生态位及种间联结性[J]. *海洋学报*, 2022, 44(1): 48-62.]
- [12] Lu Z H, Zhu W B, Xu K D. Study on seasonal changes of snails and shellfish communities in costal areas off Zhejiang Province[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2023, 54(1): 276-285. [卢占晖, 朱文斌, 徐开达, 等. 浙江沿岸海域螺贝类群落结构及其季节变化[J]. *海洋与湖沼*, 2023, 54(1): 276-285.]
- [13] Yan R X, Han Q X, Wang X B. Community composition and diversity of macrobenthos trawled in Hangzhou Bay and Sanmen Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, 51(3): 484-493. [严润玄, 韩庆喜, 王晓波. 杭州湾和三门湾拖网大型底栖动物群落组成和多样性研究[J]. *海洋与湖沼*, 2020, 51(3): 484-493.]
- [14] Shou L, Zeng J N, Liao Y B, et al. Seasonal distribution of macrozoobenthos in relation to environmental factors in Hangzhou Bay[J]. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 2012, 34(6): 151-159. [寿鹿, 曾江宁, 廖一波, 等. 杭州湾大型底栖动物季节分布及环境相关性分析[J]. *海洋学报* (中文版), 2012, 34(6): 151-159.]
- [15] Cai L T, Wang Y N, Li X F, et al. Preliminary study on the shellfish ecology in intertidal zone of the Dongji Island[J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(8): 47-54. [蔡林婷, 王一农, 李祥付, 等. 舟山东极岛潮间带贝类生态学初步研究[J]. *海洋科学*, 2013, 37(8): 47-54.]
- [16] Song C, Xu L T, Wang X B, et al. Composition and main environmental factors of macrobenthos community in sea area of Zhoushan Islands, Zhejiang[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2022, 53(6): 1585-1597. [宋晨, 许丽婷, 王晓波, 等. 浙江舟山海域大型底栖动物群落组成及主要影响因素因子分析[J]. *海洋与湖沼*, 2022, 53(6): 1585-1597.]
- [17] Zou L, Zhang L, Zhang B, et al. The species composition and distribution of lithofacies seashells (Mollusc) in the intertidal zone of Zhejiang coast[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(11): 1769-1775. [邹莉, 张龙, 张宾, 等. 浙江省沿岸岛礁区贝类种类组成与分布特征[J]. *水产学报*, 2010, 34(11): 1769-1775.]
- [18] Chen Y Y, Zhang X M, Pei W H, et al. Niche and interspecific association of dominant macrobenthic species in mussel culture area[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(6): 765-774. [陈屹洋, 张秀梅, 裴文豪, 等. 贻贝养殖区大型底栖动物优势种生态位及种间联结性[J]. *中国水产科学*, 2023, 30(6): 765-774.]
- [19] Liu R Y. Checklist of marine biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008. [刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [20] Zheng X D, Qu X D, Zeng X Q, et al. Atlas of aquatic molluscs in China[M]. Qingdao: Qingdao Press, 2013. [郑小东, 曲学东, 曾晓起, 等. 中国水生贝类图谱[M]. 青岛: 青岛出版社, 2013.]
- [21] Zhang S P. Atlas of marine mollusks in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008. [张素萍. 中国海洋贝类图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.]
- [22] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 specifications for oceanographic survey. Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2007: 56-62. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.]
- [23] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. *Fishery Bulletin*, 1971, 152: 1-105.
- [24] Bishara A J, Hittner J B. Testing the significance of a correlation with nonnormal data: Comparison of pearson, spearman, transformation, and resampling approaches[J]. *Psychological Methods*, 2012, 17(3): 399-417.
- [25] Somers K M, Jackson D A. Putting the Mantel test back together again[J]. *Ecology*, 2022, 103(10): e3780.
- [26] Chen L, Yang X G, Wang L, et al. Characteristics of evapotranspiration components of different plant communities in desert steppe and its relationship with environmental factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(1): 330-342. [陈林, 杨新国, 王磊, 等. 荒漠草原不同植物群落蒸散组分特征及其环境因子影响分析[J]. *生态学报*, 2024, 44(1): 330-342.]
- [27] Chen Y D, Ren L, Xu P, et al. Spatio-temporal and trophic niche of dominant fish species in Kuncheng Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(4): 1655-1663. [陈亚东, 任洸, 徐跑, 等. 昆承湖优势种鱼类时空-营养生态位[J]. *生态学报*, 2023, 43(4): 1655-1663.]
- [28] Li F, Xu B Q, Lv Z B, et al. Ecological niche of dominant

- species of fish assemblages in Laizhou Bay, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(14): 5195-5205. [李凡, 徐炳庆, 吕振波, 等. 莱州湾鱼类群落优势种生态位[J]. *生态学报*, 2018, 38(14): 5195-5205.]
- [29] Williamson M H. An elementary theory of interspecific competition[J]. *Nature*, 1975, 180(4583): 422-425.
- [30] Balzani P, Gozlan R E, Haubrock P J. Overlapping niches between two co-occurring invasive fish: The topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva* and the common bleak *Alburnus alburnus*[J]. *Journal of Fish Biology*, 2020, 97(5): 1385-1392.
- [31] Liu K, Yu C G, Zheng J, et al. The spatial niche and differentiation of major fish species in the waters east of the Zhoushan Islands in spring and autumn[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(1): 100-111. [刘坤, 俞存根, 郑基, 等. 舟山群岛东侧海域春秋季节主要鱼类空间生态位及其分化[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(1): 100-111.]
- [32] He X B, Li J, Shen C, et al. The breadth and overlap of ecological niche of major fish species in the Minjiang River Estuary, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(9): 3085-3092. [何雄波, 李军, 沈忱, 等. 闽江口主要渔获鱼类的生态位宽度与重叠[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(9): 3085-3092.]
- [33] Zhou S X, Peng Y S, Ding J M, et al. Analysis on community stability and inter-specific correlations among dominant woody populations of the endangered plant *Sinojackia rehderiana* communities[J]. *Guihaia*, 2017, 37(4): 442-448. [周赛霞, 彭焱松, 丁剑敏, 等. 珍稀植物狭果秤锤树群落木本植物种间联结性及群落稳定性研究[J]. *广西植物*, 2017, 37(4): 442-448.]
- [34] Silva R S, Carvalho K D, Pessanha A L M. Distribution and feeding ecology of three juvenile mojarras in a hypersaline tropical estuary in Northeastern Brazil[J]. *Marine Ecology*, 2016, 37(6): 1266-1281.
- [35] Liu H, Guo P J, Chen Z J, et al. Niche and interspecific association of main crustaceans in the nearshore waters of Zhoushan[J]. *Acta Oceanologica Sinica (in Chinese)*, 2019, 41(4): 83-93. [刘惠, 郭朋军, 陈洲杰, 等. 舟山近岸海域主要甲壳类的生态位及其与种间联结性[J]. *海洋学报*, 2019, 41(4): 83-93.]
- [36] Ding P P, Gao C X, Peng X, et al. Niches and interspecific association of dominant shrimp species in the offshore waters of southern Zhejiang Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(11): 3942-3950. [丁朋朋, 高春霞, 彭欣, 等. 浙江南部近海主要虾类的时空生态位及种间联结性[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(11): 3942-3950.]
- [37] Cai R X. Editorial committee of fauna of Zhejiang: Mollusca[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1991. [蔡如星. 浙江动物志: 软体动物[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.]
- [38] Chen W F, Peng X, Ye S, et al. Community structure and diversity of shrimp species in the coastal area of South Zhejiang[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(3): 37-45. [陈伟峰, 彭欣, 叶深, 等. 浙南近海虾类群落结构及其多样性分析[J]. *海洋科学*, 2018, 42(3): 37-45.]
- [39] He L Z, Shou L, Liao Y B, et al. The succession of macrobenthic functional groups in Changjiang River Estuary and its adjacent waters[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, 51(3): 477-483. [何臻臻, 寿鹿, 廖一波, 等. 长江口及其临近海域大型底栖动物功能群演替初探[J]. *海洋与湖沼*, 2020, 51(3): 477-483.]

Niche and interspecific association of benthic shellfish in coastal waters of Zhejiang

LI Qingying^{2,3}, CHEN Feng^{1,2,4,5}, JIANG Rijin^{1,2,4,5}, XU Kaida^{1,2,4,5}, DAI Qian^{1,2,4,5}, QIAN Weiguo³

1. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China;
2. Marine and Fishery Institute, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China;
3. College of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;
4. Key Research Station for Fisheries Resources of Main Fishing Ground, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhoushan 316021, China;
5. Key Research Station of Sustainable Utilization for Marine Fisheries Resources, Zhoushan 316021, China

Abstract: This study investigated the niche and interspecific associations of shellfish, as well as the impact of environmental factors on the niche differentiation of dominant species in shellfish, based on four quarters of benthic shellfish biomass and marine environment survey data conducted in the coastal waters of Zhejiang from August 2020 to April 2021. The results showed that a total of 41 species of shellfish were surveyed and collected, of which 16 were the main shellfish, divided into three ecological groups. The niche width was 1.1–3.7, with an average of 2.4. Among the shellfish, *Bursa rana* had the largest niche width of 3.7, and *Phalium bisulcatum* had the lowest of 1.1. The niche overlap value between species was 0–0.66, with the maximum niche overlap value between species of *Fusinus longicaudus* and *Hemifusus tuba* being 0.66. The niche overlap between 58 species was 0, and the degree of niche overlap was relatively low. The overall correlation between the main shellfish species was not significant ($VR>1$), and 89.7% of the species showed no significant correlation ($P>0.05$), indicating that the overall competition for resources among the major shellfish species in the sea area was relatively low. However, some species such as *Turritella terebra bacillum*, *Glossaulax didyma*, *Tonna olearium*, and *Bursa rana* also had strong competitive relationships. The environmental factors that affected the niche differentiation of dominant species of shellfish in different seasons were slightly different; however, the major factors affecting the niche differentiation of nearshore shellfish are habitat water depth and salinity ($0.2\leq r<0.4$, $P<0.01$). These results can provide a scientific basis for the assessment of ecological stability and resource conservation of nearshore shellfish.

Key words: shellfish; niche; interspecific association; coastal waters of Zhejiang

Corresponding author: CHEN Feng. E-mail: cf0421223@163.com