

周晓东, 赵寒冰, 倪孝品, 等. 南麂列岛附近海域贝类生物资源的分布及群落结构分析[J]. 海洋学报, 2024, 46(3): 54–65, doi:10.12284/hyxb2024038

Zhou Xiaodong, Zhao Hanbing, Ni Xiaopin, et al. Distribution and community structure analysis of shellfish biological resources in sea area adjacent to Nanji Islands[J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(3): 54–65, doi:10.12284/hyxb2024038

南麂列岛附近海域贝类生物资源的分布 及群落结构分析

周晓东¹, 赵寒冰¹, 倪孝品², 张翔玉¹, 徐坪¹, 韩庆喜¹,
陈万东², 陈舜³, 王一农^{1*}, 尤仲杰¹

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315832; 2. 南麂列岛国家海洋自然保护区管理局, 浙江温州 325400; 3. 浙江海洋大学, 浙江舟山 316022)

摘要: 为了解南麂列岛附近海域底栖贝类群落特征及分布情况, 于 2022 年 10 月 (秋季)、2023 年 3 月 (春季) 对南麂列岛周围海域进行底栖贝类的拖网调查。结果表明: 共捕获底栖贝类 49 种, 隶属 2 纲 6 目 17 科, 春季底栖贝类平均丰度为 (2429 ± 2038) ind./Agt, 平均生物量为 (4849.79 ± 2513.84) g/Agt; 秋季底栖贝类平均丰度为 (1149 ± 1589) ind./Agt, 平均生物量为 (4985.30 ± 2159.23) g/Agt, 主要优势种为棒锥螺 *Turritella bacillum*、浅缝骨螺 *Murex trapa*、结蚶 *Tegillarca nodifera*、杰氏裁判螺 *Inquisitor jeffreysii*、习见赤蛙螺 *Bufo nana*、中华衲螺 *Cancellaria sinensis*、白带三角口螺 *Trigonaphera bocageana*, 其中棒锥螺是春季和秋季共有优势种, 且优势度均远高于其他种; 该海域贝类群落优势种较稳定, 群落的功能和性质由少数种类控制。本研究为南麂列岛海洋生态系统动态变化过程提供参考依据, 为海洋生态环境保护提供基础资料。

关键词: 南麂列岛; 附近海域; 群落结构; 贝类资源

中图分类号: S932.5; P714^{+.4}

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2024)03-0054-12

1 引言

南麂列岛位于浙江省温州市平阳县东南海域, 海域主要受控于江浙沿岸水与台湾暖流水两大水系, 众多岛礁及地形引起的局部涡流及上升流在南麂列岛水域形成复杂流系, 海水混合激烈, 造就海域独特的生境, 为海洋生物提供丰富的饵料基础以及良好的栖息环境^[1]。

底栖贝类是海洋生态系统中重要的组成部分, 发挥着多种作用, 其群落结构与生物多样性对揭示海洋生态环境的变化具有重要的意义。南麂列岛贝类物种繁多、资源丰富, 被誉为“贝藻王国”^[2-7]。随着我国

沿海经济快速发展, 陆源输入物质的种类和数量增加, 造成沿岸水域富营养化加剧, 海域质量下降, 影响生物多样性^[8]。近年, 有学者对南麂列岛海域大型底栖动物进行相关研究^[9-13], 但对贝类生物资源分布相关研究较少^[14-15]。本研究基于 2022 年 10 月 (秋季) 和 2023 年 3 月 (春季) 南麂列岛附近海域 12 个站位底栖贝类的调查数据, 对底栖贝类优势度、物种多样性、群落结构的组成与变化进行分析, 研究结果丰富了南麂列岛海域底栖贝类群落的基础数据, 为进一步研究南麂列岛海洋生态系统动态变化过程提供参考依据, 为海洋生态环境保护提供基础资料。

收稿日期: 2023-08-08; 修订日期: 2023-12-14。

基金项目: 南麂列岛国家海洋自然保护区管理局项目(812105360); 国家自然科学基金项目(42076156)。

作者简介: 周晓东(1999—), 男, 广西壮族自治区南宁市人, 研究方向为大型底栖动物生态学。E-mail: 172316109@qq.com

* 通信作者: 王一农(1964—)男, 教授, 主要从事贝类、海洋生态研究。E-mail: wangyinong@nbu.edu.cn

2 材料与方 法

2.1 调查区域和时间

在南麂列岛附近海域共设置 12 个采样站位, 分别于 2022 年 10 月(秋季)和 2023 年 3 月(春季)展开调查, 站位见图 1。

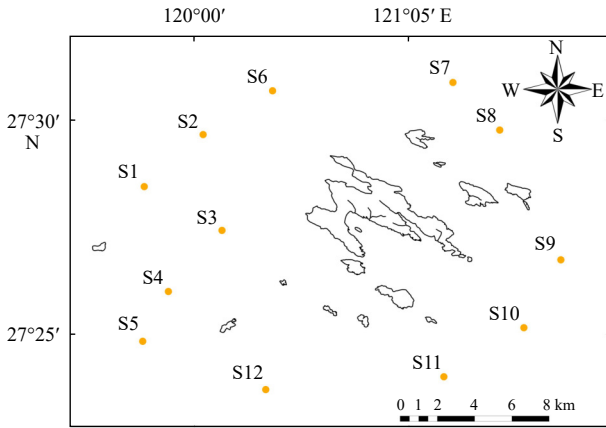


图 1 南麂列岛附近海域调查站位分布
Fig. 1 Distribution of sampling stations in sea area adjacent to Nanji Islands

2.2 采样方法

底栖贝类的采样、保存和分类方法标准参照《海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)^[16]和《海洋监测规范 第 7 部分: 近海污染生态调查和生物监测》(GB/T 17378.7-2007)^[17]中相关要求执行。采用定制拖网对大型底栖生物进行采样, 网长为 4 m, 网高为 0.4 m, 网口宽为 2.6 m, 网目为 0.02 m, 拖网时航速约为 2 kn, 拖网时间为 10 min。渔获物用孔径为 0.5 mm 的网筛进行过滤冲洗, 标本全部装入自封袋中并贴上标签, 注明编号、采样站位、拖网时长等。所有样本用 75% 的乙醇溶液固定后, 放入保温袋中, 带回实验室后放入冰箱, 于 -5℃ 冷冻保存。

贝类鉴定主要参考文献 [18-23] 等。按照样本编号进行个体计数, 使用分析天平(0.01 mg)测量体质量。

2.3 数据处理

2.3.1 丰度与生物量

丰度和生物量按实际拖网速度与时间记录, 以拖网时间 10 min、船速 2 kn 为标准, 计算公式为

$$S_0 = t_0 \times v_0, \quad (1)$$

式中, S_0 为实际拖网拖过的面积, 为 1 605.07 m²; t_0 为标准拖网时间 10 min; v_0 为标准船速 2 kn。

丰度及生物量均以“个/网 (ind./Agt)”和“克/网 (g/Agt)”为单位, 计算公式如下:

$$\text{丰度} = NS_0/tv, \quad (2)$$

$$\text{生物量} = MS_0/tv, \quad (3)$$

式中, N 、 M 分别为底栖动物个体数与质量; t 为实际拖网时间; v 为实际拖网平均速度。

2.3.2 克里金 (Kriging) 插值法

Kriging 插值法, 又称空间局部估计法或空间局部插值法, 以变异函数理论和结构分析为基础, 适用于区域化变量存在空间相关性, 假设都是空间相关性且所有随机误差都具有二阶平稳性^[24]。其表达式为

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=0}^n \lambda_i Z_i, \quad (4)$$

式中, \hat{Z}_0 是点 (x_0, y_0) 处的插值估计值, 即 $z_0 = z(x_0, y_0)$; λ_i 为权重系数, 表示各空间样本点 x_i 处的观测值 Z_{xi} 对估计值 \hat{Z}_0 的贡献程度; Z_i 为点 (x_0, y_0) 处的观测值。权重系数需满足 (x_0, y_0) 处的插值估计值与实际值的差值最小, 同时也能够满足: $E(\hat{Z}_0 - Z_0) = 0$ 。

当 Z_i 的 $E(Z_i) = m$ 是未知常数, 即普通克里金插值法^[24], 公式如下:

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=0}^n \lambda_i Z_i + m \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right). \quad (5)$$

丰度与生物量平面分布采用普通克里金插值法, 其求解权重系数的表达式为

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{Cov}(x_i, x_j) - \mu = \text{Cov}(x_i, x_0), \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \end{cases} \quad (6)$$

式中, μ 是拉格朗日乘子; 协方差 $\text{Cov}(x_i, x_j)$ 可用变异函数 $\gamma(x_i, x_j)$ 表示:

$$\gamma(x_i, x_j) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2. \quad (7)$$

2.3.3 优势度

优势度 (Y) 计算公式为

$$Y = \left(\frac{n_i}{N} \right) f_i, \quad (8)$$

式中, n_i 为第 i 个物种的个体数; N 为各站点的总个体数; f_i 为该种在各站点出现的频率。将 $Y \geq 0.02$ 的物种作为优势种。为减小种间数量差异对计算结果的影响, 对各物种的丰度进行四次方根换算。

2.3.4 物种多样性

多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J) 及 Margalef 物种丰富度指数 (D), 对底栖贝类进行多样性分析^[25-27], 计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i, \quad (9)$$

$$J' = H' / \log_2 S, \quad (10)$$

$$D = (S - 1) / \log_2 N, \quad (11)$$

式中, S 为所有种类的总个体数; N 为所有种类的总生物量; P_i 为第 i 种的生物量占总生物量的比例。

2.3.5 群落结构分析

为避免平衡优势种及稀有种在结构中差异而引起的误差, 将各站位所有底栖贝类的丰度进行四次方根标准化, 然后用 Primer 6.0 软件包进行 Bray-Curtis 相似性系数计算, 得到相似性矩阵, 以此为基础, 进行等级聚类 (Cluster) 和多维度标序 (Multi-Dimensional Scaling, MDS) 来分析底栖贝类群落结构。以 MDS 中的胁迫系数 (Stress) 衡量分布效果, 通常认为 $\text{Stress} < 0.05$ 时, 结果具有很好的代表性; $0.05 \leq \text{Stress} < 0.1$ 时, 结果基本可信; $0.1 \leq \text{Stress} < 0.2$, 具有一定解释意义, 图形有参考价值。在群落结构多变量分析中通过结合排序和聚类分析相互分析, 分析结果可信程度 [28-29]。采用相似性百分比 (Similarity Percentages,

SIMPER) 分析每个聚类组分组包含的物种平均相似性贡献高于 5% 的主要贡献种。

利用 Arcgis 10.6 对调查站点进行可视化标注处理, 利用 ArcGIS 工具中的普通克里金插值进行空间插值, 用自然断点分级法进行重分类, 将物种丰度和生物量划分为 7 级, 得到物种丰度和生物量变化的平面分布图。优势度运用 Microsoft Excel 2019 进行计算, 柱形图运用 MATLAB R2022a 进行制作, 底栖贝类多样性分析、聚类分析、多维度标序、相似性百分比等相关分析均在 Primer 6.0 中完成。

3 结果

3.1 种类组成与优势种

春、秋季采集底栖贝类 49 种, 其中腹足纲 35 种, 占总贝类的 71.43%, 双壳纲 14 种, 占总贝类的 28.57% (表 1)。

大型底栖贝类优势种共 7 种, 为棒锥螺 *Turritella bacillum*、浅缝骨螺 *Murex trapa*、结蚶 *Tegillarca nodifera*、杰氏裁判螺 *Inquisitor jeffreysii*、习见赤蛙螺 *Bufo naria*

表 1 南麂列岛春、秋季底栖贝类名录

Table 1 The list of benthic shellfish in spring and autumn of Nanji Islands

序号	种名	春季	秋季
腹足纲 Gastropoda			
锥螺科 Turritellidae			
1	棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	+	+
衣笠螺科 Xenophoridae			
2	光衣笠螺 <i>Xenophora exuta</i>	-	+
3	太阳衣笠螺 <i>Xenophora solarioides</i>	+	+
玉螺科 Naticidae			
4	真玉螺 <i>Eunaticina papilla</i>	+	+
5	褐玉螺 <i>Natica spadicea</i>	-	+
6	扁玉螺 <i>Neverita didyma</i>	+	+
7	雕刻窦螺 <i>Sinum incisum</i>	+	-
8	光滑窦螺 <i>Sinum laevigatum</i>	+	+
嵌线螺科 Cymatiidae			
9	双节蝌蚪螺 <i>Gyrineum bitubercularis</i>	-	+
蛙螺科 Bursidae			
10	习见赤蛙螺 <i>Bufo naria</i>	+	+
蛾螺科 Buccinidae			
11	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	+	-

续表 1

序号	种名	春季	秋季
盔螺科 Galeodidae			
12	管角螺 <i>Hemifusus tuba</i>	-	+
织纹螺科 Nassariidae			
13	节织纹螺 <i>Nassarius hepaticus</i>	+	+
14	半褶织纹螺 <i>Nassarius sinarum</i>	-	+
15	西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	+	+
16	红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	-	+
17	纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>	-	+
骨螺科 Muricidae			
18	亚洲棘螺 <i>Chicoreus asianus</i>	+	+
19	粒核果螺 <i>Drupa granulata</i>	-	+
20	纹狸螺 <i>Lataxiena fimbriata</i>	-	+
21	浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	-	+
22	脉红螺 <i>Rapana bezoar</i>	+	+
23	瘤荔枝螺 <i>Thais bronni</i>	+	-
24	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>	-	+
衲螺科 Cancellariidae			
25	椭圆衲螺 <i>Cancellaria eblonga</i>	+	+
26	中华衲螺 <i>Cancellaria sinensis</i>	+	+
27	白带三角口螺 <i>Trigonaphera bocageana</i>	+	+
塔螺科 Turridae			
28	细肋蕾螺 <i>Gemmula deshayesii</i>	-	+
29	杰氏裁判螺 <i>Inquisitor jeffreysii</i>	+	+
30	假主棒螺 <i>Inquisitor latifasciata</i>	+	+
31	白龙骨乐飞螺 <i>Lophiotoma leucotropis</i>	+	+
32	瓜哇拟塔螺 <i>Turricula javana</i>	+	+
33	假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i>	+	-
笋螺科 Terebridae			
34	白带笋螺 <i>Duplicaria dussumierii</i>	+	+
35	双层笋螺 <i>Duplicaria duplicata</i>	-	+
双壳纲 Bivalvia			
蚶科 Arcidae			
36	魁蚶 <i>Anadara broughtonii</i>	+	+
37	联球蚶 <i>Anadara consociata</i>	+	-
38	毛蚶 <i>Scapharca kagoshimensis</i>	+	-
39	唇毛蚶 <i>Scapharca labiosa</i>	+	+

续表 1

序号	种名	春季	秋季
40	结蚶 <i>Tegillarca nodifera</i>	+	+
	牡蛎科 Ostreidae		
41	密鳞牡蛎 <i>Ostrea denselamellosa</i>	+	+
	樱蛤科 Tellinidae		
42	刀明樱蛤 <i>Jitlada culter</i>	-	+
43	红明樱蛤 <i>Moerella rutila</i>	-	+
44	美女白樱蛤 <i>Psammacoma candida</i>	+	-
45	忱蛤 <i>Pulvinus scarlato</i>	-	+
	双带蛤科 Semelidae		
46	理蛤 <i>Theora lata</i>	+	-
	帘蛤科 Veneridae		
47	刺镜蛤 <i>Dosinia aspera</i>	-	+
48	薄片镜蛤 <i>Dosinia corrugata</i>	+	-
49	波纹巴非蛤 <i>Paratapes undulatus</i>	+	+

注：“+”表示该季节出现该物种；“-”表示该季节未出现该物种。

rana、中华衲螺 *Cancellaria sinensis*、白带三角口螺 *Trigonaphera bocageana*(表 2)。

表 2 春、秋季优势种及其优势度 (Y)
Table 2 The dominant species and its dominance (Y)
in spring and autumn

种名	优势度	
	3月(春季)	10月(秋季)
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	0.78	0.65
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	0.17	0.27
结蚶 <i>Tegillarca nodifera</i>	0.08	0.06
杰氏裁判螺 <i>Inquisitor jeffreysii</i>	0.08	0.08
习见赤蛙螺 <i>Bufo rana</i>	0.08	0.16
中华衲螺 <i>Cancellaria sinensis</i>	0.02	0.04
白带三角口螺 <i>Trigonaphera bocageana</i>	-	0.02

注：“-”表示该物种 $Y < 0.02$ 。

3.2 丰度与生物量

3月(春季)底栖贝类平均丰度为 $(2\ 429 \pm 2\ 038)$ ind./Agt, 其中: S8 站位丰度最高, 为 6 151 ind./Agt, 占总丰度的 21.11%; S10 站位丰度最低, 为 766 ind./Agt, 占总丰度的 2.63%。底栖贝类资源空间分布特征较明显, 靠近南麂列岛主岛海域丰度低, 远离主岛沿西南和东北方向丰度逐渐增多(图 2)。

10月(秋季)底栖贝类平均丰度为 $(1\ 149 \pm 1\ 589)$ ind./Agt, 其中: S10 站位丰度最高, 为 4 458 ind./Agt, 占总丰度的 25.64%; S2 丰度最低, 为 77 ind./Agt, 占总丰度的 0.44%。贝类资源空间分布特征明显, 靠近南麂列岛主岛海域丰度高, 远离主岛丰度逐渐减少(图 3)。

3月(春季)底栖贝类平均生物量为 $(4\ 849.79 \pm 2\ 513.84)$ g/Agt, 其中: S7 站位生物量最高, 为 8 623.05 g/Agt, 占总生物量的 14.82%; S11 站位生物量最低, 为 2 726.81 g/Agt, 占总生物量的 4.69%。贝类资源空间分布特征较明显, 靠近主岛海域生物量低, 远离主岛沿西南和东北方向生物量逐渐增多, 沿东南和西北方向生物量逐渐减少。

10月(秋季)底栖贝类平均生物量为 $(4\ 985.30 \pm 2\ 159.23)$ g/Agt, 其中: S4 站位生物量最高, 为 7 456.94 g/Agt, 占总生物量的 12.46%; S2 站位生物量最低, 为 517.50 g/Agt, 占总生物量的 0.87%。贝类资源空间分布特征明显, 靠近主岛生物量高, 远离主岛生物量逐渐减少。

3.3 多样性指数

春季底栖贝类 D 平均值为 1.64, 其中 S3 站位 D 最高, 为 2.21, S8 站位 D 最低, 为 0.92; J' 平均值为 0.24, 其中 S9 站位 J' 最高, 为 0.43, S8 站位 J' 最低, 为 0.02; H' 平均值为 0.91, 其中 S9 站位 H' 最高, 为 1.74, S8 站位 H' 最低, 为 0.07(图 4)。

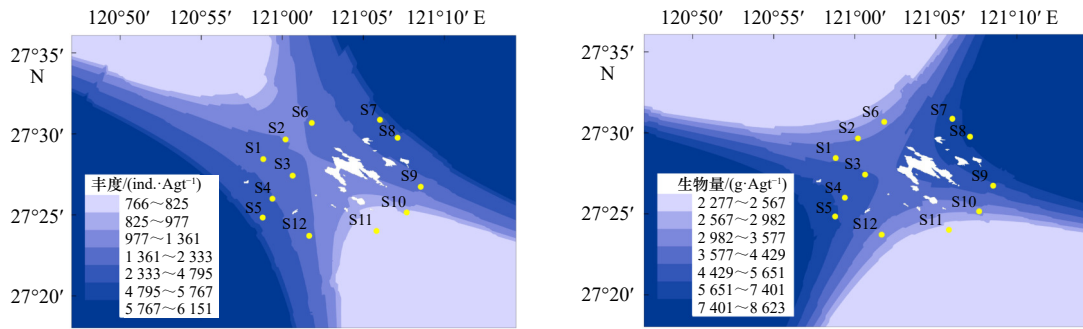


图2 春季南麂列岛附近海域底栖贝类丰度和生物量空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of abundance and biomass of benthic shellfish in sea area adjacent to Nanji Islands in spring

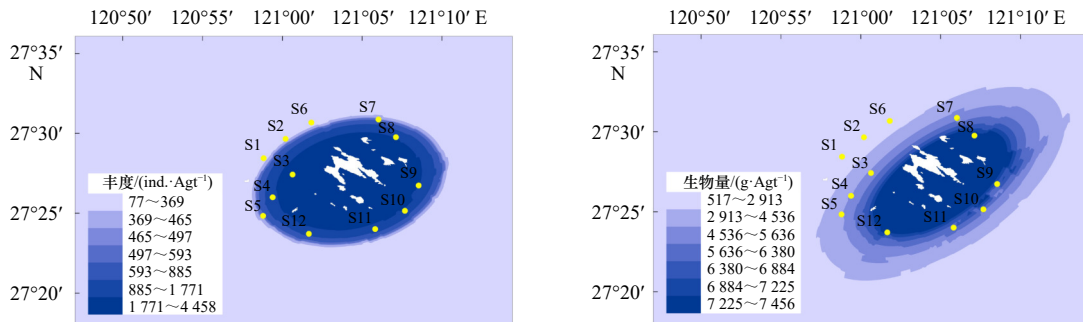


图3 秋季南麂列岛附近海域底栖贝类丰度和生物量空间分布

Fig. 3 Spatial distributions of abundance and biomass of benthic shellfish in sea area adjacent to Nanji Islands in autumn

秋季底栖贝类 D 平均值为 1.60, 其中 S3 站位 D 最高, 为 2.36, S10 站位 D 最低, 为 0.83; J' 平均值为 0.93, 其中 S2 站位 J' 最高, 为 0.76, S3 站位 J' 最低, 为 0.05; H' 平均值为 1.35, 其中 S2 站位 H' 最高, 为 2.41, S3 站位 H' 最低, 为 0.22 (图 5)。

3.4 群落结构

根据各站位底栖贝类丰度矩阵, 采用相似性百分比 (SIMPER) 分析每个聚类组组内中累计贡献率超

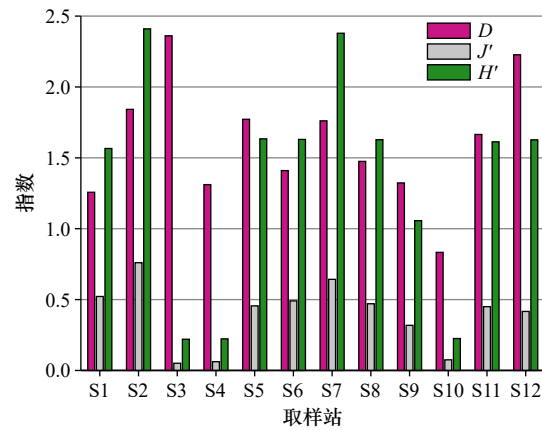


图5 秋季南麂列岛附近海域底栖贝类均匀度指数 (J')、丰富度指数 (D) 和生物多样性指数 (H')

Fig. 5 The Margalef evenness index (J'), Pielou richness index (D), and Shannon-Wiener diversity index (H') of benthic shellfish in sea area adjacent to Nanji Islands in autumn

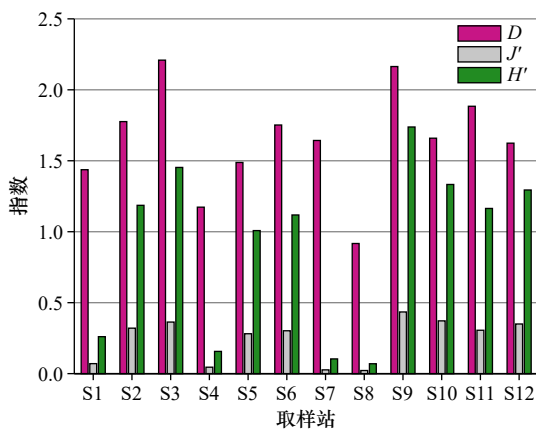


图4 春季南麂列岛附近海域底栖贝类均匀度指数 (J')、丰富度指数 (D) 和生物多样性指数 (H')

Fig. 4 The Margalef evenness index (J'), Pielou richness index (D), and Shannon-Wiener diversity index (H') of benthic shellfish in sea area adjacent to Nanji Islands in spring

过 60% 的底栖贝类。

春季南麂列岛附近海域底栖贝类群落相似性系数在 64%~83.54% 之间, 在 69.85%~70.27% 相似水平上物种聚集为 4 组, 聚类组 A 包括 S2、S3、S5、S6、S11 和 S12; 聚类组 B 包括 S9 和 S10; 聚类组 C 包括 S1、S4 和 S8; 聚类组 D 包括 S7。MDS 排序的 Stress 参数值 0.11 小于 0.2, 可判断分析结果可信, 认为通过 Bray-Curtis 相似性聚类分析和 MDS 分析相互印证,

图形具有一定意义(图6)。

SIMPER 分析表明,春季聚类组 A 内平均相似性为 74.99%,主要贡献种为棒锥螺、浅缝骨螺、杰氏裁判螺、习见赤蛙螺;聚类组 B 内平均相似性为 77.43%,主要贡献种为棒锥螺、浅缝骨螺、习见赤蛙螺、杰氏裁判螺、结蚶;聚类组 C 内平均相似度为

74.01%,主要贡献种为棒锥螺、浅缝骨螺;聚类组 D 中样本数少于 2(表 3)。

秋季南麂列岛附近海域底栖贝类相似性系数在 53.90%~83.37% 之间,在 67.21%~78.77% 相似水平上物种聚集为 4 组,聚类组 A 包括 S1、S4、S9、S10 和 S12;聚类组 B 包括 S5、S6、S7、S8 和 S11;聚类组

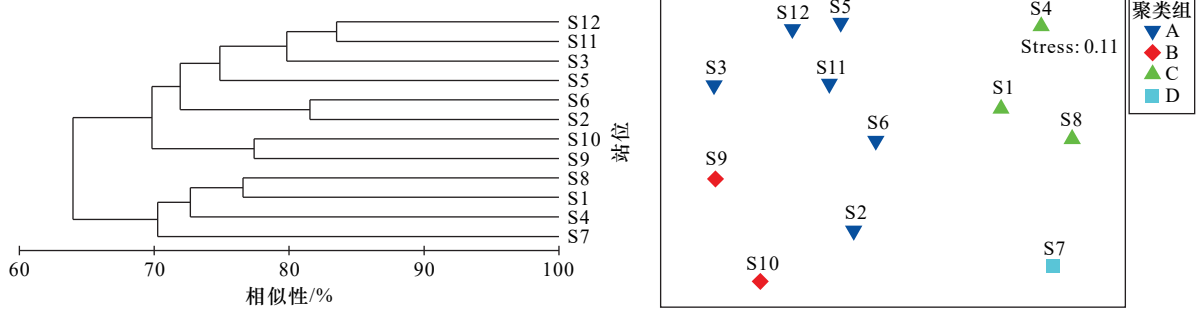


图 6 春季南麂列岛底栖贝类动物群落结构相似性和 MDS 排序

Fig. 6 Similarity and MDS ordination of benthic shellfish assemblages in sea area adjacent to Nanji Islands in spring

表 3 南麂列岛附近海域春、秋季航次底栖贝类动物群落各组累计贡献率超过 60% 的物种

Table 3 SIMPER similarity analysis on species in cumulative contribution over 60% in sea area adjacent to Nanji Islands in spring and autumn

种名	贡献率/%	累计贡献率/%
春季		
聚类组A(平均相似度: 74.99%)		
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	26.52	26.52
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	15.38	41.90
杰氏裁判螺 <i>Inquisitor jeffreysii</i>	10.70	52.60
习见赤蛙螺 <i>Bufo rana</i>	10.64	63.24
聚类组B(平均相似度: 77.43%)		
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	22.85	22.85
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	16.01	38.85
习见赤蛙螺 <i>Bufo rana</i>	11.14	49.99
杰氏裁判螺 <i>Inquisitor jeffreysii</i>	10.23	60.22
结蚶 <i>Tegillarca nodifera</i>	6.68	66.90
聚类组C(平均相似度: 74.01%)		
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	49.04	49.04
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	14.02	63.07
秋季		
聚类组A(平均相似度: 73.18%)		
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	30.61	30.61
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	18.31	48.92
习见赤蛙螺 <i>Bufo rana</i>	13.23	62.14

续表 3

种名	贡献率/%	累计贡献率/%
聚类组B(平均相似度: 73.46%)		
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	24.97	24.97
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	21.99	46.96
习见赤蛙螺 <i>Bufo rana</i>	15.81	62.77

注:春季聚类组D及秋季聚类组C、D少于两个站位,不在表中展示。

C包括S3;聚类组D包括S2。MDS排序的Stress参数值0.12小于0.2可判断分析结果可信,认为通过Bray-Curtis相似性聚类分析和MDS分析相互印证,图形具有一定意义(图7)。SIMPER分析表明,聚类

组A内平均相似性为73.18%,主要贡献种为棒锥螺、浅缝骨螺、习见赤蛙螺;聚类组B内平均相似性为73.46%,主要贡献种为棒锥螺、浅缝骨螺、习见赤蛙螺;聚类组C、D中样本数少于2。

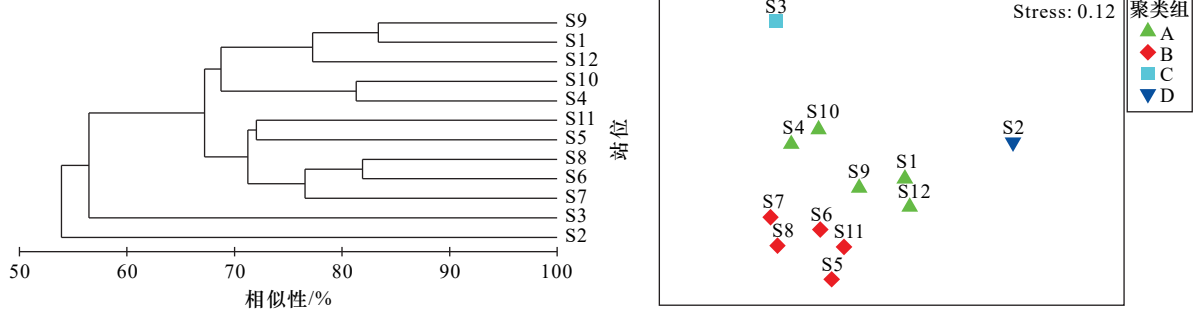


图7 秋季南麂列岛底栖贝类动物群落结构相似性和MDS排序

Fig. 7 Similarity and MDS ordination of benthic shellfish assemblages in sea area adjacent to Nanji Islands in autumn

4 讨论

4.1 种类组成与结构分析

南麂列岛海域处于台湾暖流和江浙沿岸流的交汇处,地形、流系复杂,造就其海域具有独特的生境,为海洋生物的栖息、繁殖、生长提供非常理想的环境^[1]。本次对南麂列岛附近海域春、秋季底栖贝类调查获得底栖贝类49种,高于韭山列岛海洋生态自然保护区附近海域报道的底栖贝类15种^[30],象山港底栖贝类48种^[31],象山港海洋牧场示范区底栖贝类25种^[32],檀头山岛底栖贝类16种^[28],浙江沿岸海域底栖贝类43种^[33],说明南麂列岛附近海域有着极其丰富的海洋生物资源。与南麂列岛附近海域调查历史资料相比,高于1990年调查底栖贝类37种^[9]以及1998年报道底栖贝类42种^[15],但保护区成立前未见相关报道,没有历史数据直接对比,仅能说明南麂列岛国家级自然保护区成立30年来,海洋环境质量保持良好。

本次调查优势种有7种,棒锥螺为南麂列岛底栖贝类优势种,优势度高于其他物种,在1998年调查报道中^[15],棒锥螺也是优势种,但本调查中优势种已发生变化。其他优势种还有浅缝骨螺、结螺、杰氏裁判

螺、习见赤蛙螺、中华衲螺、白带三角口螺,其中浅缝骨螺相对优势度也较高,优势种能有效利用更多资源^[34]、生态适应能力强^[35]。棒锥螺、浅缝骨螺属广泛布种,能够在不同季节中相对稳定地繁衍和生存,所以春秋两季的相对丰度变化不大。

根据聚类结果,海域春、秋两季的底栖贝类群落结构相似性较高,群落比较简单,并且相对稳定,南麂列岛东侧海域虾蟹群落结构相似性也较高^[13],这个现象可能是因为同一地理水域的底栖贝类区系共有同源性的特点。棒锥螺、浅缝骨螺、习见赤蛙螺是南麂列岛附近海域底栖贝类群落的典型种^[1],也是群落组内的主要贡献种。南麂列岛地处典型的亚热带海洋性季风气候区,每年春、夏季完全受台湾暖流控制,秋、冬季受江浙沿岸流的影响,软体动物群落结构的时空异质性与水深、地形及水系关系密切^[36]。

4.2 丰度与生物量的时空分布差异

春季底栖贝类平均丰度 $[(2\ 429 \pm 2\ 038)\text{ ind./Agt}]$ 高于秋季底栖贝类平均丰度 $[(1\ 149 \pm 1\ 589)\text{ ind./Agt}]$,春季底栖贝类平均生物量 $[(4\ 849.79 \pm 2\ 513.84)\text{ g/Agt}]$ 稍低于秋季底栖贝类平均生物量 $[(4\ 985.30 \pm 2\ 159.29)\text{ g/Agt}]$,出现这些现象可能有3点原因:第一,春季阳

光充足,光合作用强烈,微小型藻类的数量达到全年最高,浮游生物进行大量繁殖和摄食,为贝类生长发育提供充足饵料,为底栖贝类提供良好的生长发育环境^[3];第二,春季气温较高,加上台湾暖流的控制加强,水温回升较快,贝类正处于繁殖阶段,从而使春季的丰度达到高值;第三,秋季温度适中、营养盐浓度较高,又受江浙沿岸流的影响,贝类处于快速生长阶段,个体明显增大,所以秋季贝类平均生物量稍大于春季贝类平均生物量,但其仍受捕食、海流迁移和死亡等因素影响,进而导致秋季贝类平均丰度低于春季贝类平均丰度^[37],这一结果与1998年调查一致^[15]。

利用克里金插值分析对渔获量数据进行插值,可以预测渔获量空间分布^[38-43]。底栖贝类资源空间分布特征明显,春季靠近南麂列岛主岛海域底栖贝类丰度和生物量低,远离主岛高;秋季靠近南麂列岛主岛海域底栖贝类丰度和生物量高,远离主岛低,呈明显的集中式分布特点,出现这种情况原因可能有3点:第一,不同的底质栖息的软体动物种类、生物量和栖息密度有较大差异^[44],棒锥螺、浅缝骨螺是南麂列岛附

近海域春季和秋季共有优势种,分布范围和数量的动态变化直接影响着底栖生物物的分布密度和生物量,且优势度远高于其他种,栖息于泥或泥砂质底低潮线附近至浅海区域,浅海区域以泥底质为主^[1],适合棒锥螺、浅缝骨螺的生长繁殖;第二,底层盐度是影响软体动物组成的主要因子^[45],盐度分布呈现夏季高、秋季低的分布特征,南麂列岛周围存在一个涉及外海水的环流圈,外海水从该区域的西南方向进入,然后顺时针绕过南麂列岛,形成了一片高盐水区,其西侧底层则存在一片低盐水区,这表明周边海域经历了外海水与近岸水相互作用的复杂过程^[1],其影响底栖贝类分布;第三,春季底栖贝类处于繁殖期,个体小,台湾暖流的控制加强,海区岛礁众多,受地形影响,局部涡流十分发达,水体交换频繁,贝类易被海流迁移到距岛更远的海域,秋季底栖贝类处于快速生长阶段,近岛海域受江浙沿岸流和台湾暖流的影响^[46],海水因混合激烈使自身营养盐得以保持,致使藻类生长茂盛,为贝类提供丰富的食物来源,使其在近岛海域丰度与生物量增多。

参考文献:

- [1] 蔡厚才. 南麂列岛国家级海洋自然保护区简志 [M]. 北京: 海洋出版社, 2021: 13-14.
Cai Houcai. Brief Notes on Nanji Islands National Marine Nature Reserve[M]. Beijing: China Ocean Press, 2021: 13-14.
- [2] 尤仲杰, 王一农. 南麂列岛海产双壳类的补充报道 [J]. 浙江水产学院学报, 1989, 8(1): 17-28.
You Zhongjie, Wang Yinong. Additions to the marine bivalvia of the Nanji Islands of China[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1989, 8(1): 17-28.
- [3] 朱根海, 王旭, 王春生, 等. 南麂列岛国家海洋自然保护区微、小型藻类生态研究 II. 数量分布 [J]. 东海海洋, 1998, 16(2): 23-29.
Zhu Genhai, Wang Xu, Wang Chunsheng, et al. Ecological studies on nanoalgae and microalgae in Nanji Islands national marine natural conservation area II. Quantitative distribution[J]. Donghai Marine Science, 1998, 16(2): 23-29.
- [4] 纪焕红, 叶属峰, 刘星, 等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游动物的物种组成及其多样性 [J]. 生物多样性, 2006, 14(3): 206-215.
Ji Huanhong, Ye Shufeng, Liu Xing, et al. The species composition and diversity of zooplankton in Nanji Islands National Nature Reserve[J]. Biodiversity Science, 2006, 14(3): 206-215.
- [5] 张晓辉, 周燕, 龙华, 等. 南麂列岛海洋保护区浮游动物调查 [J]. 动物学杂志, 2006, 41(4): 83-86.
Zhang Xiaohui, Zhou Yan, Long Hua, et al. Investigation on zooplankton in Nanji Marine Protected Area (MPA)[J]. Chinese Journal of Zoology, 2006, 41(4): 83-86.
- [6] 孙建璋, 庄定根, 王铁干, 等. 南麂列岛铜藻的研究 [J]. 现代渔业信息, 2009, 24(5): 19-21.
Sun Jianzhang, Zhuang Dinggen, Wang Tiegan, et al. Study on *Sargassum hernerii* (Tarn) Ag around Nanji Islands[J]. Modern Fisheries Information, 2009, 24(5): 19-21.
- [7] Shi Benze, Xu Kuidong. Four new species of *Epacanthion* Wieser, 1953 (Nematoda: Thoracostomopsidae) in intertidal sediments of the Nanji Islands from the East China Sea[J]. Zootaxa, 2016, 4085(4): 557-574.
- [8] 高爱根, 曾江宁, 陈全震, 等. 南麂列岛海洋自然保护区潮间带贝类资源时空分布 [J]. 海洋学报, 2007, 29(2): 105-111.
Gao Aigen, Zeng Jiangning, Chen Quanzhen, et al. Time and space distribution of Molluscas of intertidal zone in Nanji Archipalego Marine Nature Reserve[J]. Haiyang Xuebao, 2007, 29(2): 105-111.
- [9] 王永泓, 陈国通. 南麂列岛邻近海域底栖生物群落结构分析 [J]. 东海海洋, 1994, 12(2): 62-69.
Wang Yonghong, Chen Guotong. Analysis of macrobenthic community structure in sublittoral area of Nanji Island[J]. Donghai Marine Science, 1994, 12(2): 62-69.
- [10] 陈万东. 南麂列岛浅海大型底栖动物群落结构与生物评价 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.
Chen Wandong. Community structure and biological evaluation of macrobenthic Fauna in Nanji Islands[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017.
- [11] 谢旭, 俞存根, 蔡厚才, 等. 南麂列岛海域蟹类群落结构及其与环境因子的关系 [J]. 海洋学报, 2017, 39(10): 65-77.

- Xie Xu, Yu Cungen, Cai Houcai, et al. The crab community structure and its relationship with environment factors in the Nanji Islands ground shallow sea area waters[J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(10): 65–77.
- [12] 晁文春, 何贤保, 苗振清, 等. 春夏季南麂列岛海域甲壳类种类组成及分布特征 [J]. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2013, 32(3): 214–221.
- Chao Wenchun, He Xianbao, Miao Zhenqing, et al. The species composition and diversity of crustaceans in the waters of Nanji Islands[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2013, 32(3): 214–221.
- [13] 孙蓓蓓, 俞存根, 刘惠, 等. 南麂列岛东侧海域春秋季节虾蟹类生物多样性 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(7): 787–795.
- Sun Beibei, Yu Cungen, Liu Hui, et al. Spring and autumn shrimp and crab biodiversity in the East Nanji Islands[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(7): 787–795.
- [14] 陈赛英, 王一婷, 孙建章, 等. 浙江南几列岛贝类区系的研究 [J]. *动物学报*, 1980, 26(2): 171–177.
- Chen Saiying, Wang Yiting, Sun Jianzhang, et al. Studies on molluscan fauna of Nanji Islands, East China Sea[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1980, 26(2): 171–177.
- [15] 高爱根, 董永庭, 王慧珍, 等. 南麂列岛邻近海域贝类生态分布的初步研究 [J]. *东海海洋*, 1998, 16(2): 50–55.
- Gao Aigen, Dong Yongting, Wang Huizhen, et al. Preliminary study on the distribution of mollusca ecology in sublittoral area of Nanji Islands[J]. *Donghai Marine Science*, 1998, 16(2): 50–55.
- [16] 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.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey: part 6 marine biological survey: GB/T 12763.6–2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] 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7部分 近海污染生态调查和生物监测: GB/T 17378.7–2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring: Part 7 ecological survey for offshore pollution and biological monitoring: GB/T 17378.7–2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [18] 张素萍. 中国动物志: 第五十六卷: 无脊椎动物, 软体动物门, 腹足纲, 凤螺总科、玉螺总科 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- Zhang Suping. *Fauna Sinica: Vol. 56: Invertebrata, Mollusca, Gastropoda: Strombacea and Naticacea*[M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [19] 张素萍. 中国动物志: 第六十二卷: 无脊椎动物, 软体动物门, 腹足纲, 骨螺科 [M]. 北京: 科学出版社, 2022.
- Zhang Suping. *Fauna Sinica: Vol. 62: Invertebrata, Mollusca, Gastropoda, Muricidae*[M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [20] 徐凤山, 张均龙. 中国动物志: 第五十七卷: 无脊椎动物, 软体动物门, 双壳纲, 樱蛤科、双带蛤科 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- Xu Fengshan, Zhang Junlong. *Fauna Sinica: Vol. 57: Invertebrata, Mollusca, Bivalvia: Tellinidae, Semelidae*[M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [21] 徐凤山, 张素萍. 中国海产双壳类图志 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Xu Fengshan, Zhang Suping. *An Illustrated Bivalvia Mollusca Fauna of China Seas*[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [22] 黄宗国, 林茂. 中国海洋物种和图集上卷: 中国海洋物种多样性 [M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- Huang Zongguo, Lin Mao. *The Living Species and Their Illustrations in China's Seas Part I: the Living Species in China's Seas*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [23] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Liu Ruiyu. *Checklist of Marine Biota of China Seas*[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [24] 李海涛, 邵泽东. 空间插值分析算法综述 [J]. *计算机系统应用*, 2019, 28(7): 1–8.
- Li Haitao, Shao Zedong. Review of spatial interpolation analysis algorithm[J]. *Computer Systems & Applications*, 2019, 28(7): 1–8.
- [25] Ludwig J A, Reynolds J F. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- [26] Margalef R. Information theory in ecology[J]. *General Systems*, 1958, 3(1): 36–71.
- [27] Pielou E C. *Ecological Diversity*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1975: 16–51.
- [28] 刘迅, 王莉, 顾晓英, 等. 浙江檀头山岛周围海域夏、秋季大型底栖动物群落结构特征 [J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(3): 553–567.
- Liu Xun, Wang Li, Gu Xiaoying, et al. Characteristics of the community structure of macrobenthos around Zhejiang Tantoushan Island waters in summer and autumn[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(3): 553–567.
- [29] 厉红梅, 蔡立哲, 林丽珠, 等. 深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序 [J]. *厦门大学学报 (自然科学版)*, 2001, 40(3): 735–740.
- Li Hongmei, Cai Lizhe, Lin Lizhu, et al. Using hierarchical clustering and No-metric MDS to explore spatio-temporal variation of benthic community at intertidal in Shenzhen Bay[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2001, 40(3): 735–740.
- [30] 张亚洲, 贺舟挺. 春、夏季韭山列岛海洋生态自然保护区海域渔业资源分析 [J]. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2013, 32(4): 292–298.
- Zhang Yazhou, He Zhouting. Analysis on the fishery resources in the sea area of Jiushan archipelago oceanic ecology reserve during spring and summer[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2013, 32(4): 292–298.

- [31] 顾晓英, 陶磊, 施慧雄, 等. 象山港大型底栖动物生物多样性现状 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1551–1557.
Gu Xiaoying, Tao Lei, Shi Huixiong, et al. Macrobenthic faunal diversity in Xiangshan Bay[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(6): 1551–1557.
- [32] 陈晨, 焦海峰, 王一农, 等. 象山港海洋牧场示范区大型底栖生物的时空变化 [J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 130–139.
Chen Chen, Jiao Haifeng, Wang Yinong, et al. Temporal and spatial changes of macrobenthos in marine pasture demonstration area in Xiangshan Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 130–139.
- [33] 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.
Lu Zhanhui, Zhu Wenbin, Xu Kaida, et al. Study on seasonal changes of snails and shellfish communities in coastal areas off Zhejiang Province[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2023, 54(1): 276–285.
- [34] 谢志才, 马凯, 叶麟, 等. 保安湖大型底栖动物结构与分布格局研究 [J]. 水生生物学报, 2007, 31(2): 174–183.
Xie Zhicai, Ma Kai, Ye Lin, et al. Structure and spacial distributional pattern of macrozoobenthos in Bao'an Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(2): 174–183.
- [35] 刘好真, 李祥付, 刘懂, 等. 浙江象山东部海域夏季大型底栖动物优势种群和生态位 [J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(4): 873–882.
Liu Haozhen, Li Xiangfu, Liu Dong, et al. Niche of dominant microbenthic species in the East Sea of Xiangshan, Zhejiang in summer[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2018, 49(4): 873–882.
- [36] 任海庆, 袁兴中, 刘红, 等. 环境因子对河流底栖无脊椎动物群落结构的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(10): 3148–3156.
Ren Haiqing, Yuan Xingzhong, Liu Hong, et al. The effects of environment factors on community structure of benthic invertebrate in rivers[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3148–3156.
- [37] 高爱根, 陈国通, 杨俊毅, 等. 南麂列岛海洋自然保护区潮间带软体动物生态研究 [J]. 东海海洋, 1994, 12(2): 44–61.
Gao Aigen, Chen Guotong, Yang Junyi, et al. Ecological study on Mollusca of the intertidal zone in Nanji Archipalego Marine Nature Reserve[J]. Donghai Marine Science, 1994, 12(2): 44–61.
- [38] 牛文杰, 朱大培, 陈其明. 泛克里金插值法的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(13): 73–75, 99.
Niu Wenjie, Zhu Dapei, Chen Qiming. Research of universal Kriging[J]. Computer Engineering and Applications, 2001, 37(13): 73–75, 99.
- [39] 方学燕, 陈新军, 冯永玖, 等. 基于综合环境因子的协同克里金法分析茎柔鱼资源丰度空间分布 [J]. 海洋学报, 2017, 39(2): 62–71.
Fang Xueyan, Chen Xinjun, Feng Yongjiu, et al. Study of spatial distribution for *Dosidicus gigas* abundance off Peru based on a comprehensive environmental factor[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(2): 62–71.
- [40] Morsan E M. Spatial analysis and abundance estimation of the southernmost population of purple clam, *Amiantis purpurata* in Patagonia (Argentina)[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2003, 83(5): 1073–1082.
- [41] Katsanevakis S. Density surface modelling with line transect sampling as a tool for abundance estimation of marine benthic species: the *Pinna nobilis* example in a marine lake[J]. Marine Biology, 2007, 152(1): 77–85.
- [42] Rufino M M, Maynou F, Abelló P, et al. Small-scale non-linear geostatistical analysis of *Liocarcinus depurator* (Crustacea: Brachyura) abundance and size structure in a western Mediterranean population[J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, 276: 223–235.
- [43] Roa-Ureta R, Niklitschek E. Biomass estimation from surveys with likelihood-based geostatistics[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(9): 1723–1734.
- [44] 李宝泉, 李新正, 于海燕, 等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系 [J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 193–198.
Li Baoquan, Li Xinzheng, Yu Haiyan, et al. Macrobenthic mollusca fauna and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(3): 193–198.
- [45] 叶洁琼, 蔡立哲, 黄睿婧, 等. 北部湾底拖网软体动物的种类组成及其环境影响 [J]. 海洋通报, 2010, 29(6): 617–622.
Ye Jieqiong, Cai Lizhe, Huang Ruijing, et al. Species composition of trawling mollusk in Beibu Gulf and its environmental effect[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(6): 617–622.
- [46] 杨树刚, 毛新燕, 江文胜. 夏季浙江沿岸上升流的年际变化研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2020, 50(2): 1–8.
Yang Shugang, Mao Xinyan, Jiang Wensheng. Interannual variation of coastal upwelling in summer in Zhejiang, China[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(2): 1–8.

Distribution and community structure analysis of shellfish biological resources in sea area adjacent to Nanji Islands

Zhou Xiaodong¹, Zhao Hanbing¹, Ni Xiaopin², Zhang Xiangyu¹, Xu Ping¹, Han Qingxi¹,
Chen Wandong², Chen Shun³, Wang Yinong¹, You Zhongjie¹

(1. School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315832, China; 2. Nanji Islands National Marine Nature Reserve Administration, Wenzhou 325400, China; 3. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: To understand the characteristics and distribution of benthic shellfish communities in the vicinity of the Nanji Islands, we conducted bottom trawl surveys in the surrounding waters during October 2022 (autumn) and March 2023 (spring). The findings reveal that a total of 49 benthic shellfish species were captured, spanning 2 classes, 6 orders, and 17 families. During spring, the average abundance of benthic shellfish was $(2\,429 \pm 2\,038)$ ind./Agt, with an average biomass of $(4\,849.79 \pm 2\,513.84)$ g/Agt. In autumn, the average abundance was $(1\,149 \pm 1\,589)$ ind./Agt, with an average biomass of $(4\,985.30 \pm 2\,159.23)$ g/Agt. The primary dominant species comprised *Turritella bacillum*, *Murex trapa*, *Tegillarca nodifera*, *Inquisitor jeffreysii*, *Bufo nana*, *Cancellaria sinensis* and *Trigonaphera bocageana*. Notably, *Turritella bacillum* emerged as a dominant species in both spring and autumn, with dominance significantly surpassing that of other species. The dominance of benthic shellfish communities in this marine area appears relatively stable, with the community's functionality and nature being primarily governed by a select few species. This study provides a reference basis for the dynamic changes in the marine ecosystem of the Nanji Islands and offers foundational data for the protection of marine ecological environments.

Key words: Nanji Islands; adjacent sea area; community structure; shellfish resources