

文章编号: 1674-5566(2024)05-1223-15

DOI: 10.12024/jsou.20240104401

## 浙江近海大型底栖贝类群落结构及其分布特征

李庆英<sup>1,2,3</sup>, 陈峰<sup>1,2,4,5</sup>, 张洪亮<sup>1,2,4,5</sup>, 钱卫国<sup>3</sup>, 蒋日进<sup>1,2,4,5</sup>

(1. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 浙江舟山 316022; 2. 浙江省海洋水产研究所, 浙江舟山 316022; 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 316022; 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 316022)

**摘要:** 为了解浙江近海大型底栖贝类群落结构及分布特征, 2020年8月—2021年4月, 开展了4个季度底拖网渔业资源定点调查, 以29°N为界, 将调查海域分为浙北与浙南海域两个区域。调查共采集鉴定贝类41种, 隶属6目25科25属, 四季绝对优势种均为习见蛙螺和棒锥螺。不同季节中, 浙江近海南北区域贝类种类及生物量分布差异明显。春、秋季贝类生物量高于夏、冬季, 除夏季外, 其他季节贝类生物量均呈现由北部向南部递减的分布特征, 夏季南北海域平均生物量差异较小。春季丰富度指数( $D$ )与多样性指数( $H'$ )最高, 夏季最低; 而均匀度指数( $J'$ )冬季最高, 春季最低。等级聚类分析(Cluster)表明, 在60%的水平上, 将浙江近海贝类群落分为3个类群, 类群I为春、夏、秋季的南部海域, 类群II为春、夏、秋季的北部海域, 类群III为冬季南、北海域, 春、夏、秋季南北海域贝类群落存在差异。非度量多维尺度分析(Stress)值为0.08具有解释意义。CCA环境因子分析表明, 不同季节深度和底温的变化对底栖贝类生物具有显著影响。本研究可为浙江近海贝类生物多样性保护和资源可持续利用提供一定的参考。

**关键词:** 底栖贝类; 群落结构; 时空分布; 浙江近海  
**中图分类号:** S 931.1 **文献标志码:** A

浙江近海地处亚热带季风气候区, 四季分明, 季风显著, 底栖环境稳定<sup>[1]</sup>。海域内流系复杂, 主要受沿岸低盐水系和外海暖水控制, 营养物质丰富, 使其成为海洋生物生长繁殖的优良场所<sup>[2-3]</sup>。作为软体动物门中最重要的类群之一, 贝类在促进海洋物质循环、能量流动、生态修复与生物调控等方面发挥着重要的作用<sup>[4-6]</sup>。同时, 底栖贝类多属定居种, 运动能力弱, 具有对自然环境变化和人为影响敏感的特点, 其群落结构变动及其生物量变动, 一定程度上可以反映近海生物群落结构的变化, 以及有机质积累及其区域演化等长期生态环境状况<sup>[7]</sup>。例如光滑河篮蛤(*Potamocorbula laevis*)和缢蛏(*Sinonovacula constricta*)是监测海洋生态环境变化的良好指示生物<sup>[8]</sup>, 其时空分布也能反映海域内种类的种间关系及资源的利用状况<sup>[9]</sup>。鉴于

贝类在海洋生态系统中的重要地位, 需要我們进一步了解近海大型底栖贝类群落多样性及分布特征, 这对保护贝类资源生物多样性具有重要意义。

目前, 浙江近海生物群落结构及其时空分布研究主要集中在鱼类<sup>[10]</sup>、虾类<sup>[11]</sup>、蟹类<sup>[1]</sup>、头足类<sup>[12]</sup>和浮游生物<sup>[13]</sup>等方面。而贝类研究主要以岛礁区<sup>[14]</sup>、潮间带<sup>[15]</sup>、近岸浅滩<sup>[16]</sup>及养殖海域<sup>[17]</sup>为主的局部区域的贝类种类组成、系统分类、时空分布等方面, 上述研究对揭示浙江近海贝类资源状况起到了重要的作用, 但研究均以局部区域为主<sup>[18]</sup>, 且研究时间也具有局限性。为进一步系统掌握浙江近海贝类群落结构、分布特征及南北差异, 根据2020年8月—2021年4月浙江近海四个季度的渔业资源调查资料, 对浙江近海大型底栖贝类群落结构及其分布特征开展研究, 为浙江

收稿日期: 2024-01-10

修回日期: 2024-02-06

基金项目: 浙江渔场渔业资源动态监测调查专项(HYS-CZ-202314)

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: 钱卫国, E-mail: qian\_weiguo@sohu.com

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>

近海贝类生物多样性保护和资源可持续利用提供一定的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查与取样

浙江近海位于东海大陆架西边界,沿海河口众多、水系分布复杂<sup>[19]</sup>。浙江近海以北海域受到长江冲淡水、杭州湾等沿海径流影响<sup>[20]</sup>,而浙南海域受到闽浙沿岸水和台湾暖流等多种水团的影响<sup>[21]</sup>, $27^{\circ}\text{N}\sim 29^{\circ}\text{N}$ 之间的东海近岸,属暖温带海区<sup>[22]</sup>。根据调查区域的南北环境条件以及贝类种类分布特征,按照浙江近海海域的水文特点,本研究以 $29^{\circ}\text{N}$ 为界,将调查海域分为南北两个区域,调查共设置123个站位,其中北部海域

73个站点,南部海域50个站点,站位设置如图1所示。调查时间为2020年8月、2020年11月、2021年1月和2021年4月。

调查船为单船底拖网渔船,船长30 m,总吨位为96 t。网具主尺度 $58\text{ m}\times 28\text{ m}$ ,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,以确保网具性能得到最大发挥。采集贝类样本时,同步使用多参数水质仪(Conductivity, temperature and depth instrument, 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。

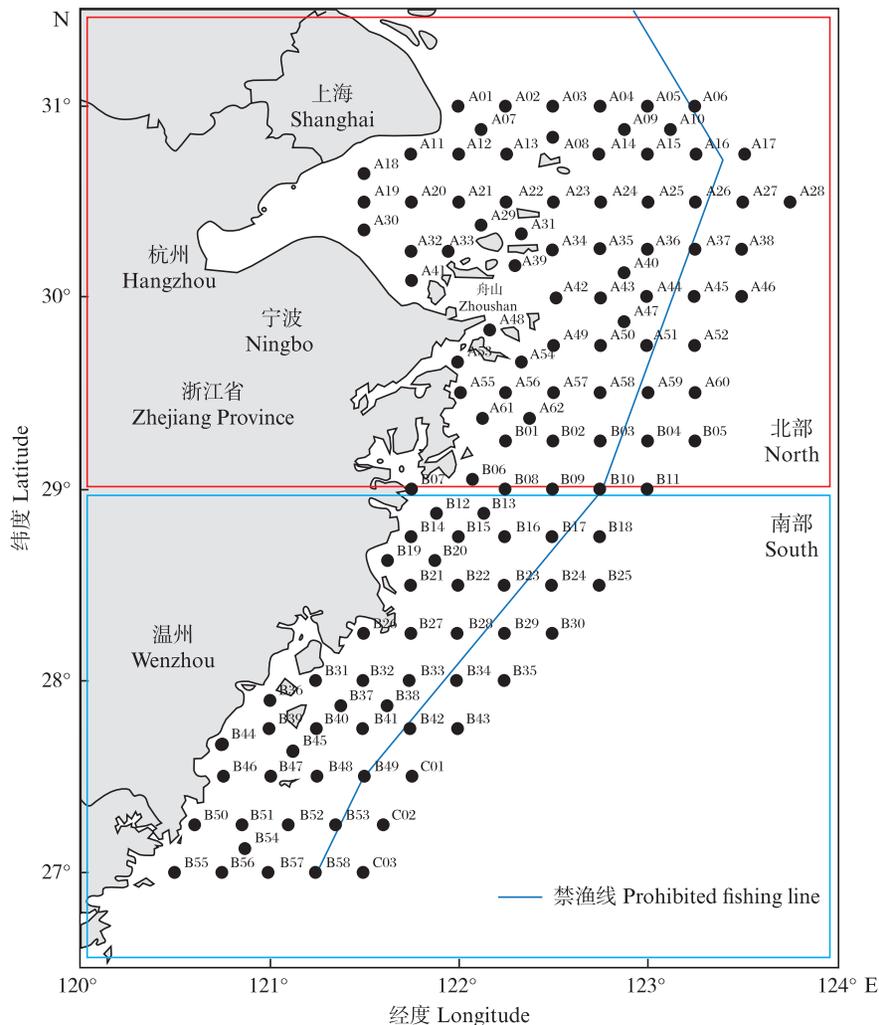


图1 浙江近海贝类调查站位图

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

### 1.2 种类鉴定分类

渔获物中贝类种类尽可能鉴定到最小分类

单元,并记录每种的质量和尾数。贝类种类名称及分类参考《中国海洋生物名录》<sup>[23]</sup>、《中国水生

贝类图谱》<sup>[24]</sup>和《中国海洋贝类图鉴》<sup>[25]</sup>。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)<sup>[26]</sup>执行。

### 1.3 数据分析

#### 1.3.1 资源密度

本文采用扫海面积法对调查海域贝类资源密度进行计算<sup>[1]</sup>,其计算公式:

$$d_i = Y_i / (1 - E) \times S_i \quad (1)$$

$$S_i = 1.852 \times V \times T_i \times L \quad (2)$$

式中: $d_i$ 为*i*站位的资源密度,生物量单位为 kg/km<sup>2</sup>,资源丰度单位为 10<sup>3</sup> ind./km<sup>2</sup>;  $Y_i$ 为调查船在*i*站位的渔获量;  $S_i$ 为调查船在*i*站位的扫海面积, km<sup>2</sup>;  $E$ 为逃逸率,根据单船底拖网的结构、渔法特点以及贝类分布水层和生活习性(基本为底栖生活,游泳能力较弱),综合相关研究关于逃逸率 $E$ 的取值依据,本研究选取的逃逸率为 0.2<sup>[1]</sup>;  $V$ 为拖网拖曳的平均拖速,本次调查拖网拖曳平均拖速为 3 kn;  $T_i$ 为拖网时间;  $L$ 为网口水平扩张宽度, m。

#### 1.3.2 优势种与常见种

群落优势种与常见种采用 Pinkas 的相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)进行计算<sup>[27]</sup>,其公式如下:

$$I_{\text{IRI}} = (N + W) \times F \quad (3)$$

式中: $I_{\text{IRI}}$ 为相对重要性指数 IRI;  $N$ 为某一种类的尾数占总尾数的百分比,%;  $W$ 为某一种类的质量占总质量的百分比,%;  $F$ 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)大于 1 000 的种类定为优势种,100~1 000 之间的种类定为重要种,小于 100 为稀有种。

#### 1.3.3 贝类群落多样性季节变化

贝类群落多样性分析运用下列公式进行计算<sup>[28-29]</sup>。

Margalef 种类丰富度指数  $D$ :

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (4)$$

Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$ :

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (5)$$

Pielou 种类均匀度指数  $J'$ :

$$J' = H' / \ln S \quad (6)$$

式中: $S$ 为某站位的贝类种类数;  $N$ 为该站位总个

体数;  $P_i$ 为该站位第*i*种贝类个体数占贝类总渔获个体数的比例。

#### 1.3.4 底栖贝类群落结构分析

使用多元统计软件 Primer 6.0 对浙江近海大型底栖贝类群落结构进行分析。采用方差分析 ANOVA 分析不同季节  $D$ 、 $H'$  和  $J'$  差异显著性,显著性检验采用 IBM SPSS 19.0 进行计算。运用单因子相似性系数(Analysis of similarities, ANOSIM)分析贝类群落结构的季节间差异<sup>[29]</sup>。为避免个别数值过高或过低引起的偶然性误差,对渔获贝类丰度数据进行平方根转换之后,使用 Bray-Curtis 相似性等级聚类(Cluster)、非度量多维标度(NMDS)及相似性百分比(Similarity percentage, SIMPER),以确定各站位间的群落结构的显著变化<sup>[20,29]</sup>。

#### 1.3.5 贝类丰度与环境因子关系

基于去趋势对应分析(Detrended correspondence analysis, DCA)的最大梯度长度大于 3,因此采用典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)研究贝类丰度与海洋环境因子之间的关系<sup>[7]</sup>。分析前,先对贝类种类进行筛选,排除出现频率少于 1~2 个站位的种类,以减少机会种对分析的干扰。

## 2 结果

### 2.1 种类组成

2020—2021 年浙江近海底拖网调查共鉴定贝类 41 种,隶属 6 目 25 科 25 属(表 1)。其中,织纹螺科(Nassidae)种类数最多,有 8 种;其次为塔螺科(Turridae)5 种;玉螺科(Naticidae)、鹑螺科(Tonnidae)、骨螺科(Muricidae)和蚶科(Arcidae)等科种类数均为 3 种;锥螺科(Turritellidae)、蛾螺科(Buccinidae)和琵琶螺科(Ficidae)等科种类均为 2 种;衲螺科(Cancellariidae)、细带螺科(Fascioliidae)、笔螺科(Mitridae)、蛙螺科(Bursidae)、盔螺科(Galeodidae)、涡螺科(Volutidae)、篮蛤科(Corbulidae)、冠螺科(Cassididae)、贻贝科(Mytilidae)、樱蛤科(Tellinidae)、竹蛭科(Solenidae)和衣笠螺科(Xenophoridae)等科种类数均为 1 种。

从不同季节来看,贝类在春季(4月)的种类数最多,共计 34 种;秋季(8月)的种类数最少,仅 17 种。研究表明,四季贝类绝对优势种均为习见

蛙螺 (*Bursa rana*) 和棒锥螺 (*Turritella terebra bacillum*)。优势种主要有半褶织纹螺 (*Nassarius semiplicatus*)、长尾纺锤螺 (*Fusinus longicaudus*)、

扁玉螺 (*Glossaulax didyma*)、带鹑螺 (*Tonna olearium*) 等4种,其余种类为重要种与稀有种(图2)。

表1 浙江近海贝类种类组成及优势度

Tab. 1 Species composition and dominance IRI of shellfish in the coastal waters of Zhejiang

种名 Species	优势度 IRI			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicatus</i>	2 240.04*	-	108.23	419.01
褐管蛾螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	638.22	45.26	701.11	674.39
长尾纺锤螺 <i>Fusinus longicaudus</i>	3 000.99*	536.45	429.86	947.02
爪哇窦螺 <i>Sinum javanicum</i>	106.58	-	1.51	39.24
红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	7.96	-	9.71	9.76
光衣笠螺 <i>Onustus exuta</i>	355.36	-	293.38	535.74
光滑河篮蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	0.29	-	-	-
厚壳蛤贝 <i>Mytilus coruscus</i>	0.32	-	-	-
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	35.96	-	-	-
扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	331.47	-	207.26	1 183.87*
金刚纳螺 <i>Cancellaria spengleriana</i>	89.66	-	-	66.51
假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i>	201.12	3.07	119.34	295.51
脉红螺 <i>Rapana venosa</i>	0.68	0.80	0.61	12.87
白龙骨乐飞螺 <i>Lophiotomo leucotropis</i>	0.17	-	-	-
泥东风螺 <i>Babylonia lutosa</i>	3.06	-	-	-
带鹑螺 <i>Tonna olearium</i>	1 165.98*	478.13	803.40	1 207.25*
闪电涡螺 <i>Fulgoraria rupestris</i>	1.22	67.58	2.177	444.57
西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	4.16	-	58.13	953.26
亚洲棘螺 <i>C. asianus Kuroda</i>	2.32	-	-	-
毛蚶 <i>Scapharca kagoshimensis</i>	693.80	-	-	-
沟鹑螺 <i>Tonna sulcosa</i>	13.86	114.35	238.25	-
鬘螺 <i>Phalium glaucum</i>	1.59	-	-	-
缢蛏 <i>Sinonovacula constricta</i>	1.41	-	-	-
棒锥螺 <i>Turritella terebra bacillum</i>	1 321.88*	1 057.88*	4 859.11*	2 289.92*
织纹螺 <i>Nassariidae</i>	2.52	-	-	-
中国鹑螺 <i>Tonna chinensis</i>	3.79	-	-	-
浅缝骨螺 <i>Murex trapa roding</i>	0.38	883.19	9.66	40.94
方斑玉螺 <i>Naticarius onca</i>	9.14	-	-	-
管角螺 <i>Hemi fusus tuba</i>	219.92	179.84	217.99	-
习见蛙螺 <i>Bursa rana</i>	32 824.41*	3 310.47*	32 587.38*	2 992.68*
琵琶螺 <i>Ficus gracilis</i>	-	20.04	1.94	-
爪哇拟塔螺 <i>Turricula javana</i>	-	6.09	-	80.04
黄短口螺 <i>Brachytoma flavidulus</i>	-	4.54	-	-
沟纹笔螺 <i>Mitra proscissa</i>	-	4.34	-	-
洁裁判螺 <i>Inquisitor recurvirostrata</i>	-	3.63	-	-
双沟鬘螺 <i>Phalium bisulcatum</i>	-	46.13	-	199.40
方格织纹螺 <i>Nassarius clathratus</i>	-	-	0.74	-
白带琵琶螺 <i>Ficus subintermedius</i>	-	-	5.75	-
纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>	-	-	-	89.56
魁蚶 <i>Scapharca broughtonii</i>	34.60	-	-	-
泥蚶 <i>Tegillarca granosa</i>	8.19	-	-	-

注：“\*”表示优势种；“-”表示未出现该种类。

Notes: “\*” indicates the dominant species; “-” indicates that the species is not present.

## 2.2 多样性分析

浙江近海贝类,四季多样性指数如表2所示。平均丰富度指数( $D$ )与平均多样性指数( $H'$ )呈现相同的规律,即春季最高,秋季其次,夏季最低。而平均均匀度指数( $J'$ )与前两者变

动不一致,冬季最高,春季和秋季相差较小,夏季最低。丰富度指数( $D$ )和多样性指数( $H'$ )呈现显著的季节性差异(ANOVA,  $P < 0.05$ ),而均匀度指数( $J'$ )季节性差异不显著(ANOVA,  $P > 0.05$ )。

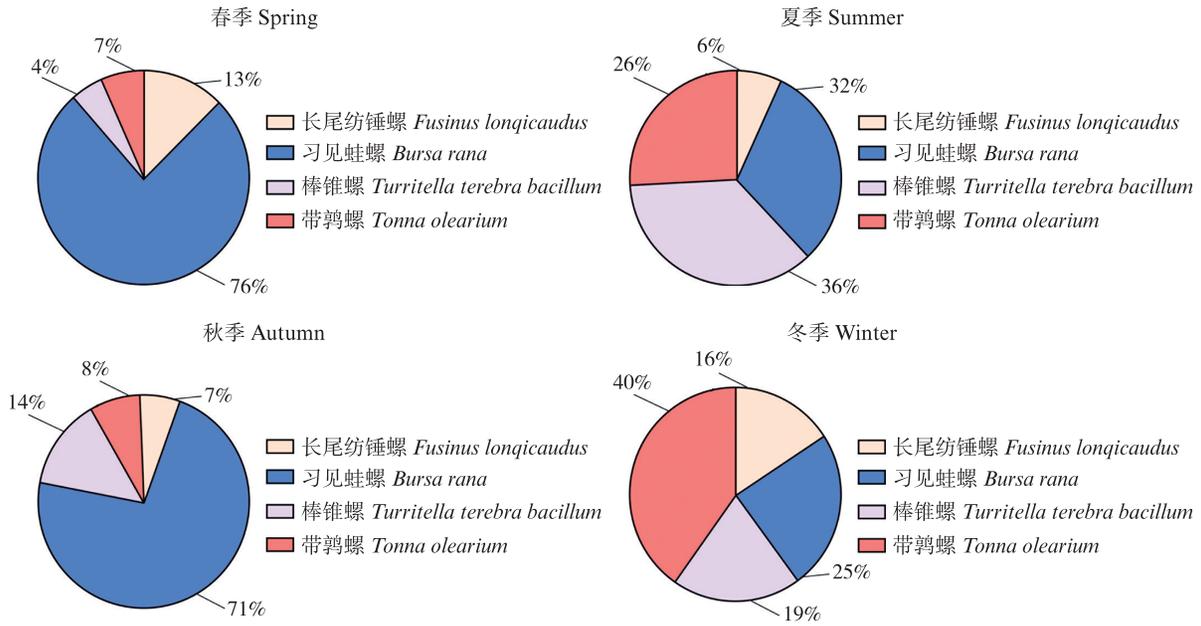


图2 浙江近海四个季度贝类优势种比例  
 Fig. 2 Dominant species percentage of shellfish in the coastal waters of Zhejiang in four seasons

表2 浙江近海四季底栖贝类群落多样性指数  
 Tab. 2 Diversity index of shellfish community in the coastal waters of Zhejiang

季节 Season	丰富度指数 <i>D</i>		均匀度指数 <i>J'</i>		多样性指数 <i>H'</i>	
	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average
春季 Spring	0.11-0.84	0.26	0.11-0.97	0.52	0.18-1.74	0.60
夏季 Summer	0.09-0.48	0.11	0.05-0.97	0.71	0.03-1.15	0.34
秋季 Autumn	0.10-0.59	0.18	0.15-0.98	0.70	0.10-1.20	0.50
冬季 Winter	0.13-0.66	0.14	0.34-0.95	0.80	0.40-1.68	0.40

2.3 群落结构分析

单因子相似性分析结果表明,贝类群落结构存在显著的季节性差异( $R=0.023, P<0.05$ )。相似性百分比分析显示,四季相邻季节的平均相异性指数分别为 85.23%、81.32%、84.79% 和 87.38%(表3)。春季与夏季大型底栖贝类群落的主要分歧种是红带织纹螺(*Nassarius succinctus*)、半褶织纹螺(*Nassarius semiplicatus*)、光衣笠螺(*Onustus exuta*)、彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens*)、

扁玉螺(*Glossaulax didyma*)、方斑玉螺(*Naticarius onca*)、金刚纳螺(*Cancellaria spengleriana*)等 7 种;夏季与秋季的主要分歧种是红带织纹螺、光衣笠螺、扁玉螺、半褶织纹螺、西格织纹螺(*Nassarius siquijorensis*)等 5 种;秋季与冬季的主要分歧种是双沟鬘螺(*Phalium bisulcatum*)和方斑玉螺;冬季与春季的主要分歧种是彩虹明樱蛤、管角螺(*Hemifusus tuba*)和双沟鬘螺等 3 种。

表 3 浙江近海相邻季节贝类群落结构差异及分歧种贡献率

Tab. 3 Differences in community structure and contribution rates of different species of shellfish in adjacent seasons in the coastal waters of Zhejiang

季节 Season	平均相异性 Average dissimilarity/%	种类 Species	平均丰度 Abundance/[ $\times 10^3$ (ind./km <sup>2</sup> )]		分歧种贡献率 Contribution percentage/%
			I	II	
春季 I & 夏季 II Spring & Summer	85.23	习见蛙螺 <i>Bursa rana</i>	0.839 6	0.599 4	17.17
		棒锥螺 <i>Turritella terebra bacillum</i>	0.204 0	3.786 8	16.69
		长尾纺锤螺 <i>Fusinus longicaudus</i>	0.183 6	0.210 2	11.69
		褐管蛾螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	0.051 7	0.053 4	6.20
		红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	0.007 1	-	5.96
		浅缝骨螺 <i>Murex trapa Roding</i>	0.000 7	0.692 0	4.97
		半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicatus</i>	0.335 7	-	4.61
		管角螺 <i>Hemi fusus tuba</i>	0.008 8	0.034 0	4.47
		光衣笠螺 <i>Onustus exuta</i>	0.033 6	-	3.97
		闪电涡螺 <i>Fulgoraria rupestris</i>	0.001 1	0.028 4	2.80
		扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	0.035 2	-	2.71
		彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	0.006 9	-	2.50
		沟鹑螺 <i>Tonna sulcosa</i>	0.003 1	0.018 0	2.21
		假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i>	0.058 3	0.019 3	2.02
		方斑玉螺 <i>Naticarius onca</i>	0.011 6	-	1.59
金刚纳螺 <i>Cancellaria spengleriana</i>	0.025 0	-	1.31		
夏季 I & 秋季 II Summer & Autumn	81.32	习见蛙螺 <i>Bursa rana</i>	0.599 4	1.165 6	22.36
		棒锥螺 <i>Turritella terebra bacillum</i>	3.786 8	0.885 2	18.03
		长尾纺锤螺 <i>Fusinus longicaudus</i>	0.210 2	0.146 7	9.90
		褐管蛾螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	0.053 4	0.113 6	7.63
		红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	-	0.002 2	7.05
		浅缝骨螺 <i>Murex trapa Roding</i>	0.692 0	0.013 1	5.54
		光衣笠螺 <i>Onustus exuta</i>	-	0.074 4	4.40
		管角螺 <i>Hemi fusus tuba</i>	0.034 0	0.070 4	3.92
		闪电涡螺 <i>Fulgoraria rupestris</i>	0.028 4	0.001 7	3.33
		沟鹑螺 <i>Tonna sulcosa</i>	0.018 0	0.018 1	3.16
		扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	-	0.050 8	2.26
		半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicatus</i>	-	0.073 9	2.12
西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	-	0.060 2	2.10		
秋季 I & 冬季 II Autumn & Winter	84.79	习见蛙螺 <i>Bursa rana</i>	1.165 6	0.091 6	21.41
		棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	0.885 2	0.154 8	13.38
		褐管蛾螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	0.113 6	0.093 6	7.69
		光衣笠螺 <i>Onustus exuta</i>	0.074 4	0.049 3	7.59
		扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	0.050 8	0.067 4	7.52
		红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	0.002 2	0.014 3	6.13
		长尾纺锤螺 <i>Fusinus longicaudus</i>	0.146 7	0.048 0	5.76
		西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	0.060 2	0.260 8	4.49
		半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicatus</i>	0.073 9	0.191 6	3.84
		假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i>	0.091 5	0.103 1	3.21
		闪电涡螺 <i>Fulgoraria rupestris</i>	0.001 7	0.027 6	2.91
		浅缝骨螺 <i>Murex trapa Roding</i>	0.013 1	0.012 9	2.47
		双沟鬘螺 <i>Semicassis bisulcatum</i>	-	0.022 9	1.82
		方斑玉螺 <i>Naticarius onca</i>	-	0.017 4	1.71
脉红螺 <i>Rapana venosa</i>	0.000 7	0.003 8	1.42		

·续表3·

季节 Season	平均相异性 Average dissimilarity/%	种类 Species	平均丰度 Abundance/[ $\times 10^3$ (ind./km <sup>2</sup> )]		分歧种贡献率 Contribution percentage/%
			I	II	
冬季 I & 春季 II Winter & Spring	87.38	习见蛙螺 <i>Bursa rana</i>	0.091 6	0.839 6	15.81
		棒锥螺 <i>Turritella terebra bacillum</i>	0.154 8	0.204 0	11.89
		长尾纺锤螺 <i>Fusinus longicaudus</i>	0.048 0	0.183 6	8.53
		扁玉螺 <i>Glossaulax didyma</i>	0.067 4	0.035 2	7.58
		光衣笠螺 <i>Onustus exuta</i>	0.049 3	0.033 6	7.18
		褐管蛾螺 <i>Siphonalia spadicea</i>	0.096 3	0.051 7	6.46
		半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicatus</i>	0.191 6	0.335 7	5.93
		红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>	0.014 3	0.007 1	5.19
		西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	0.260 8	0.004 0	3.35
		假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i>	0.103 1	0.058 3	3.17
		方斑玉螺 <i>Naticarius onca</i>	0.017 4	0.011 6	2.84
		闪电涡螺 <i>Fulgoraria rupestris</i>	0.027 6	0.001 1	2.46
		彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	-	0.006 9	2.40
		金刚纳螺 <i>Cancellaria spengleriana</i>	0.022 8	0.025 0	2.13
		管角螺 <i>Hemifusus tuba</i>	-	0.008 8	2.03
		浅缝骨螺 <i>Murex trapa Roding</i>	0.012 9	0.000 7	2.03
		双沟鬘螺 <i>Semicassia bisulcatum</i>	0.022 9	-	1.76

注:“-”表示种类未出现。

Notes: “-” indicates that the species does not appear.

2.3.1 底栖贝类群落结构分析

等级聚类(Cluster)分析与非度量多维尺度排序(NMDS)分析表明,浙江近海四个季节大型底栖贝类群组在60%水平上能够形成3个较大类群,即类群 I 为春、夏、秋季的北部区域,类群 II

为春、夏、秋季南部区域,类群 III 为冬季南部与北部(图3)。胁迫系数(Stress)为0.08(图4),说明可以正确解释样本间的相似关系。ANOSIM分析得出不同聚类组间存在显著性差异( $R=0.023$ ,  $P<0.05$ )。

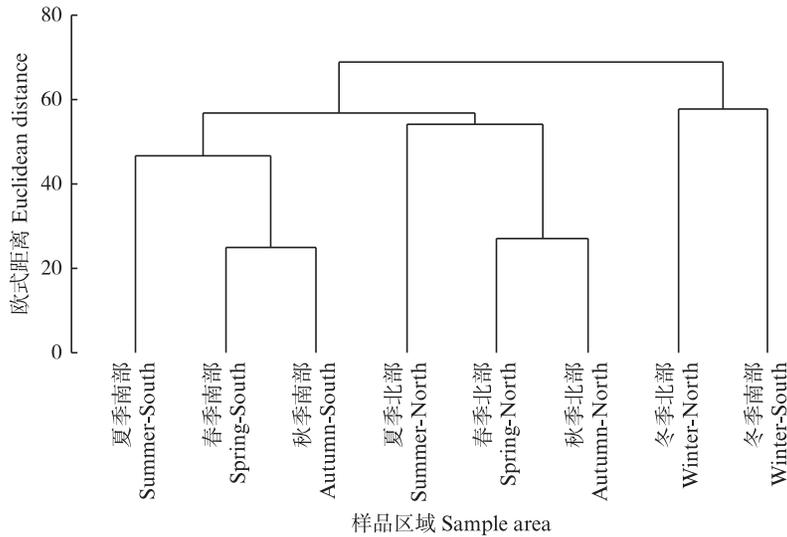


图3 浙江近海贝类种类组成等级聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of species composition for shellfish in the coastal waters of Zhejiang

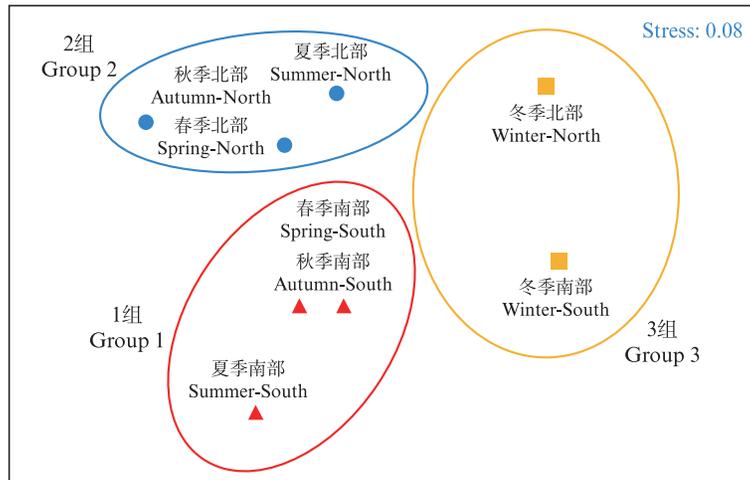


图4 浙江近海贝类种类组成非度量多维排序分析(NMDS)

Fig. 4 Non metric multidimensional scaling analysis of species composition for shellfish in the coastal waters of Zhejiang

### 2.3.2 生物量及分布特征

浙江近海不同季节间贝类生物量具有显著差异( $P < 0.05$ , 图5), 其中, 春秋季节生物量较高, 夏季生物量次之, 冬季生物量最低。春季浙南海域生物量略低于浙北海域( $F = 1.859, P > 0.05$ ); 夏季南北海域平均生物量差异较小( $F = 0.266, P > 0.05$ ); 秋季浙北海域平均生物量是浙南海域平均生物量的1倍左右, 贝类生物量差异极显著( $F = 7.238, P < 0.01$ ); 冬季浙南平均生物量明显低于浙北( $F = 4.686, P < 0.05$ )。从时空分布图来看(图6), 除夏季贝类生物量南北分布较分散且差异较小, 其余季节间生物量均呈现出北部较高, 南部较低分布态势。

### 2.4 贝类分布与环境因子关系

去趋势对应分析(DCA)表明浙江近海贝类生物量较高的种类各季节梯度轴长度均大于3, 因此采用CCA分析贝类分布与环境因子关系(图7)。春季CCA第一轴与深度和底层盐度呈较强负相关关系( $P < 0.05$ ), 半褶织纹螺、管角螺、毛蚶和棒锥螺等种类受环境因子影响较显著; 第二轴与表层温度和底层温度呈较强正相关关系( $P < 0.05$ ), 褐管蛾螺、爪蛙窦螺、光衣笠螺、扁玉螺、习见蛙螺和带鹑螺等种类对环境响应较明显; 夏季CCA第一轴与表层温度和底层温度呈较强的负相关关系, 与深度、底层盐度呈较强正相关关系( $P < 0.05$ ), 长尾纺锤螺、爪蛙窦螺、管角螺、习见

蛙螺、带鹑螺等种类受深度、底层盐度环境因子影响较显著; 第二轴与表层盐度呈较强负相关关系( $P < 0.05$ ), 沟鹑螺与浅缝骨螺受环境因子影响较显著; 秋季除 *Chl. a* 外, CCA 第一轴与所有环境因子呈较强负相关关系, 半褶织纹螺、毛蚶、棒锥螺等种类分布情况和环境因子不显著, 其余种类均有一定响应; 第二轴与表层盐度和底层盐度呈较强负相关关系( $P < 0.05$ ), 长尾纺锤螺、扁玉螺、管角螺、习见蛙螺、棒锥螺等种类与环境因子相关性显著。冬季除底层盐度以外, CCA 第一轴与所有环境因子呈较强负相关关系( $P < 0.05$ ), 各种类对环境因子均有一定响应; 第二轴无明显相关的环境因子。

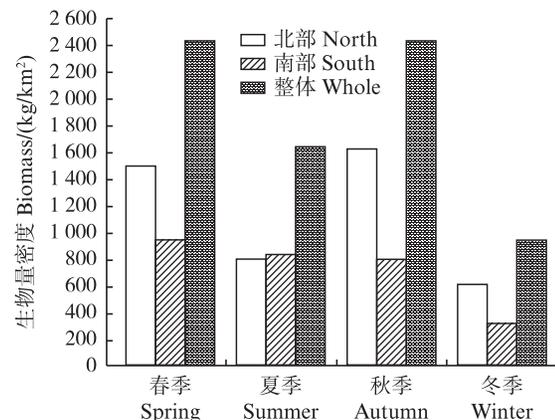


图5 浙江近海南部和北部四个季节贝类平均生物量变动

Fig. 5 Seasonal variation of shellfish biomass in the southern and northern coastal waters of Zhejiang

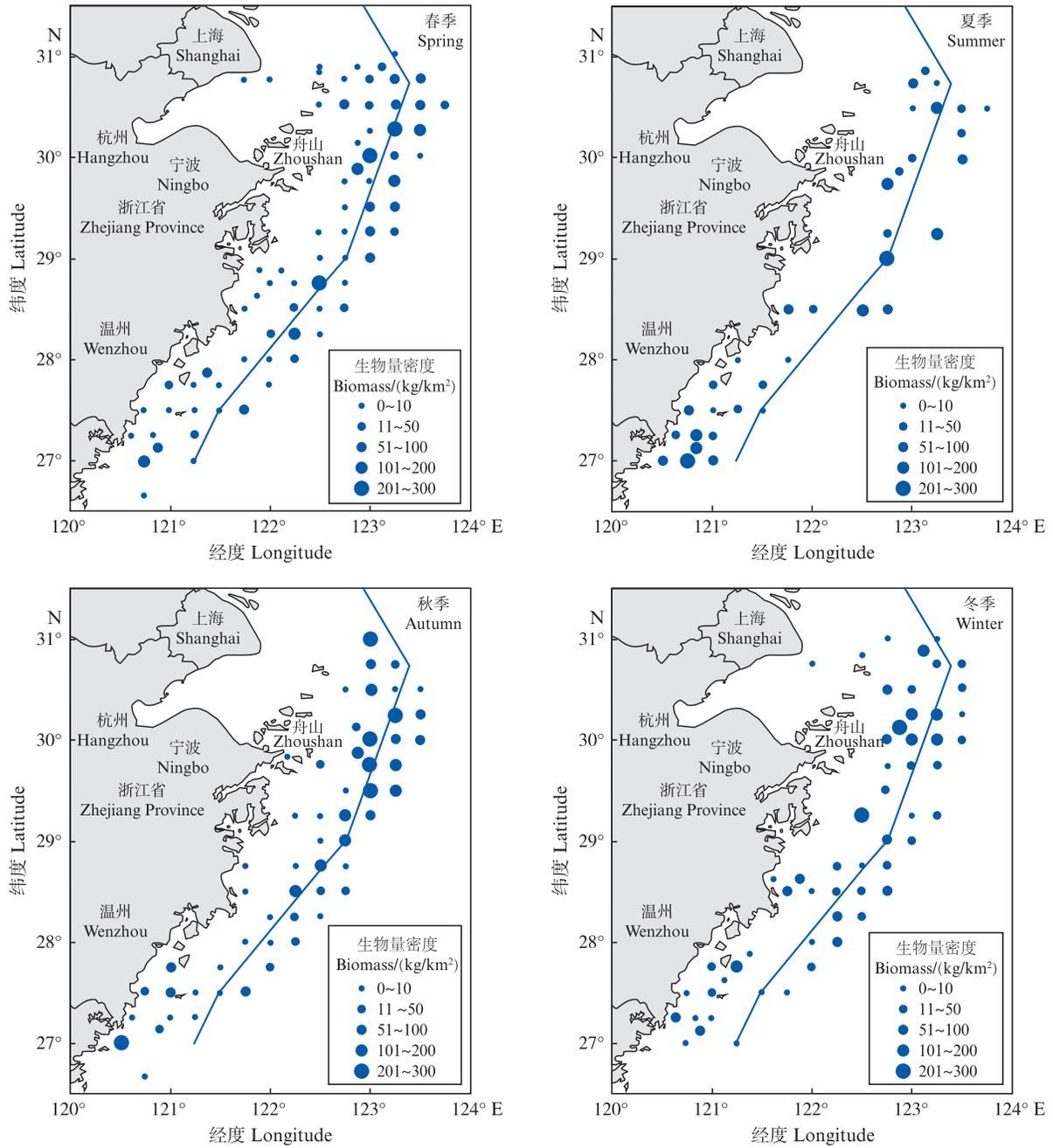


图6 浙江近海底栖贝类时空分布图

Fig. 6 Spatio-temporal distribution of shellfish in the coastal waters of Zhejiang

表 5 典范对应分析四季重要种类编号  
 Tab. 5 Species numbers of four seasons analyzed by canonical correspondence analysis

编号 Numbering	种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
S1	半褶织纹螺	△	-	-	-
S2	褐管蛾螺	△	-	△	△
S3	长尾纺锤螺	△	△	△	△
S4	爪蛙窦螺	△	-	-	-
S5	光衣笠螺	△	-	-	△
S6	魁蚶	△	-	-	-
S7	扁玉螺	△	-	△	△
S8	管角螺	△	△	△	-
S9	习见蛙螺	△	△	△	△
S10	带鹑螺	△	△	△	△
S11	毛蚶	△	-	-	-
S12	棒锥螺	△	△	△	△
S13	沟鹑螺	-	△	△	-
S14	浅缝骨螺	-	△	-	-
S15	闪电涡螺	-	-	-	△
S16	双沟髻螺	-	-	-	△

注：“△”表示重要种类；“-”表示该季节未出现种类。  
 Notes: “△” indicates important species, “-” indicates that the species is not present.

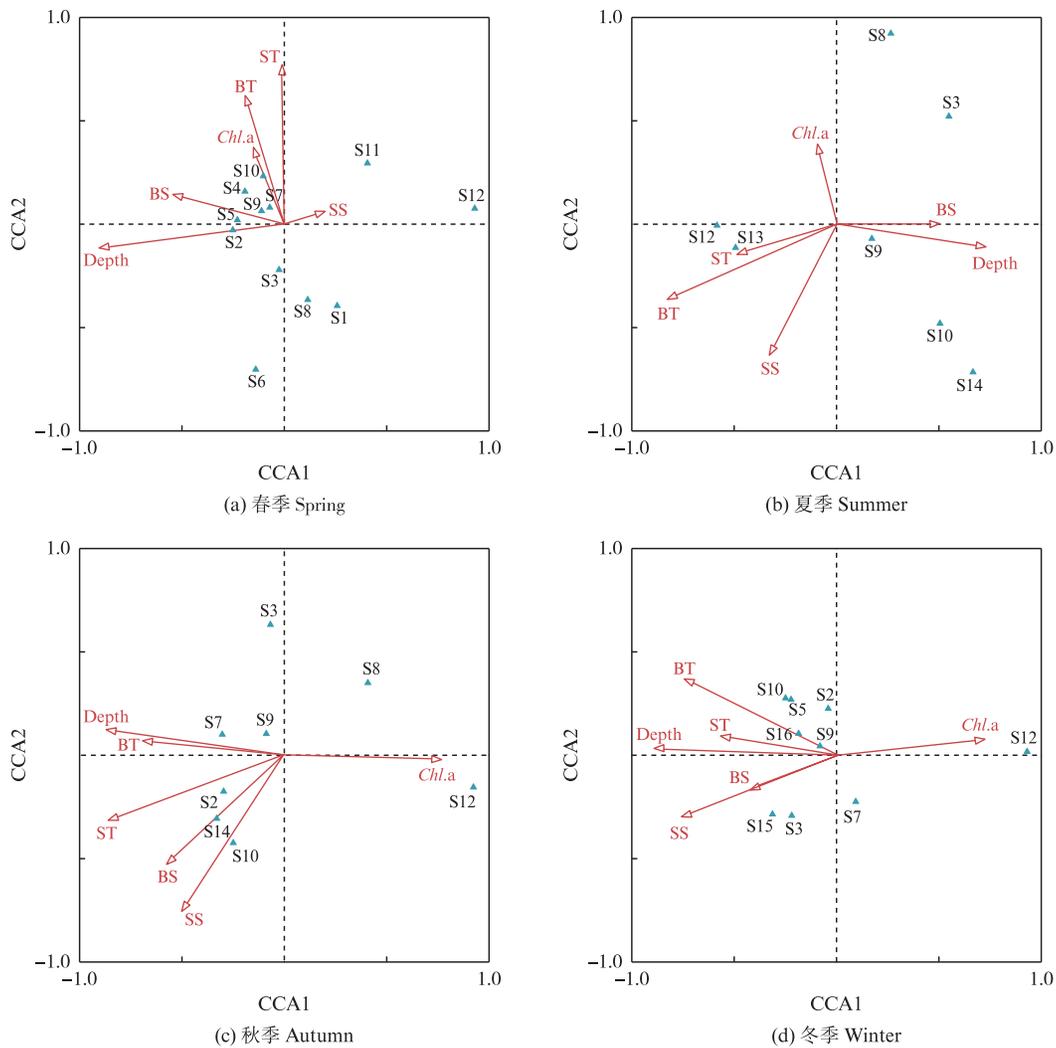


图 7 浙江近海贝类丰度与环境影响因素的典范对应分析排序

Fig. 7 CCA ranking analysis of the relationship between shellfish abundance and environmental factors in the coastal waters of Zhejiang

### 3 讨论

#### 3.1 种类组成与优势种

浙江近海位于东海大陆架西部,属于典型的亚热带季风气候,四季分明。同时,该海域受到长江冲淡水、沿岸流、台湾暖流和黄海冷水团等海流和水系的影响<sup>[3,20]</sup>,气候适宜,营养盐丰富,是包括底栖贝类在内的各种海洋生物的重要栖息场所。本研究基于底拖网渔业资源调查数据,经采样鉴定贝类41种,隶属6目25科25属,基本涵盖了浙江近海贝类的主要种类<sup>[16,30]</sup>,但低于浙江海域底栖贝类历史记录<sup>[31]</sup>,这可能与本研究采样方法有关。贝类种类数及种类丰度四季变化明显,呈现出春、秋、冬、夏,逐渐递减的趋势,其中织纹螺科、塔螺科、玉螺科等种类数量相比其他科的种类数量较高,属于典型的广温、广盐种,分布于近海浅沙质底栖环境,具有较强的环境适应能力<sup>[20,30]</sup>。浙江近海底栖贝类不同季节受到环境胁迫影响不同,导致不同季节的贝类优势种产生一定的变化。但不同季节间优势种存在一定的重叠,如习见蛙螺为春、夏、秋三季的绝对优势种,而棒锥螺、习见蛙螺为四个季节中共有的优势种,这两个种类均属于典型的广温、广盐性种类,生活于浅海软泥或砂泥底,对底质与底栖环境耐受性较强<sup>[32]</sup>。

#### 3.2 贝类多样性分析

通常种类多样性较高的生物群落,其生态环境较好,生物群落有较好的稳定性、较强的抗变能力和修复能力<sup>[33]</sup>,同时多样性也是表征群落结构水平和群落稳定性的重要生态特征,多样性的变化与种类的群落结构发展密切相关<sup>[34]</sup>。

本研究表明,浙江近海贝类丰富度指数( $D$ )春、秋季的种类丰富度高于夏、冬两季,均匀度指数( $J'$ )冬季最高,春季最低。与近年来的历史研究相比,不同季节 $H'$ 、 $D$ 与 $J'$ 指数平均值低于卢占晖等<sup>[3,35]</sup>和严润玄等<sup>[20]</sup>的研究结果。分析认为,群落 $H'$ 、 $D$ 与 $J'$ 的变化不仅与各站位间出现的种类数有关,还取决于种间个体的均匀性及丰度<sup>[36]</sup>。贝类优势种习见蛙螺、棒锥螺高密度集群,种类趋向单一化,导致 $H'$ 、 $D$ 与 $J'$ 偏低。同时,多样性指数 $H'$ 、 $D$ 和 $J'$ 也被用作评价大型底栖动物群落稳定性以及生态环境质量的依据<sup>[37]</sup>,根据蔡立哲等<sup>[35]</sup>提出的多样性指数表征污染程度评

价的标准: $H' < 1$ 为重污染; $1 \leq H' \leq 2$ 为中等污染; $2 < H' \leq 3$ 为轻度污染; $H' > 3$ 为清洁。依此标准,本研究海域多样性指数( $H'$ )平均值均未超过1,且略低于之前调查结果<sup>[3,35]</sup>,同时也低于邻近海域(黄海、厦门海域)<sup>[12,35,38]</sup>的多样性指数。因此该研究海域环境质量较差,研究认为工程建设、渔船捕捞活动等因素是影响该海域环境质量较低的因素之一,以及水体富营养化对底栖动物的生存和繁殖产生的负面影响,均会对底栖贝类多样性指数产生影响<sup>[19,22]</sup>。

#### 3.3 群落结构相似性

群落结构与生境的异质性密切相关,在相似的生境中贝类群落也存在相似性<sup>[18]</sup>,浙江近海大型底栖贝类南、北区域种类类群存在一定的相似性。等级聚类 Cluster 分析和 NMDS 排序表明,浙江近海四季南北海域之间相似性水平在 60% 水平上,划分为 3 个类群。类群 I 为春、夏、秋季的浙北区域,类群 II 为春、夏、秋季浙南区域,类群 III 为冬季浙江近海整个区域。

根据贝类生态类型,将贝类习性划分为广温广布种、温带种、亚热带种<sup>[15,23-25]</sup>。类群 I 为春、夏、秋季浙北海域,浙北海域贝类主要以习见蛙螺与棒锥螺为主,此类种类具有广温、广盐的生态习性,常栖息于浅海泥沙质海底<sup>[20,30,35,39]</sup>。浙江海域受到长江冲淡水与外海高盐海水在此交汇影响,温度、盐度变化范围广,符合该类群种类生态习性<sup>[40]</sup>。类群 II 为春、夏、秋季浙南区域,浙南海域位于温台渔场,受到外海黑潮暖流以及水温逐渐增高的影响,南部海域种类主要以带鹑螺与棒锥螺等温带和亚热带种为主,其中,南部海域管角螺、棒锥螺等是典型的亚热带种,且数量占比较高,这也说明浙江近海南部海域底栖贝类群落以该类群为主。类群 III 为冬季浙江近海全部区域,冬季南、北海域相似性较高,其原因可能是冬季海水温度较低,与之生态习性相关的底栖贝类种类单一,导致冬季贝类种类数量及生物量差异较小<sup>[41]</sup>。

#### 3.4 时空分布特征与环境因子

底栖贝类资源密度时空分布的变化,不仅是因为底栖动物自身的生态习性特征,也与海洋环境的季节性变化有关<sup>[42-44]</sup>。本研究表明,底栖贝类的生物量存在明显的季节变化,其中春季平均生物量最高,秋季次之,夏季与冬季最低(图 5)。

从四个季节的贝类资源密度时空分布图来看(图6),浙北海域的平均生物量明显高于浙南海域。鉴于贝类生态习性具有差异性,因此不同种类的贝类在生长繁殖期间所受到的环境影响因子有所差异<sup>[3]</sup>,在CCA分析中浙江近海贝类种类均与四个季节间的水深、底层温度呈现极显著的相关性( $P < 0.01$ ),为究其不同季节间底栖贝类种类的生态习性与环境因子的具体影响展开了以下分析。

春秋季节CCA排序表明,贝类生物量均与深度呈较强负相关关系。可能与春秋季节种类(如半褶织纹螺、褐管蛾螺、长尾纺锤螺等)主要栖息于潮间带、浅海泥沙质海域,与典型的浅海种类有关。这些种类在群落结构中占比较高,且集中分布于浙北海域。可能与浙北近海地处长江三角洲,沿岸河口众多,同时受到河口泥沙冲流,多为泥沙质浅海有关<sup>[39]</sup>。因此春季浙北海域生物量较高,呈现出由北向南递减的分布趋势,这与卢占晖等<sup>[3]</sup>的研究结果一致。

春夏季节是贝类产卵繁殖生长的高峰期<sup>[15]</sup>,但值得注意的是夏季贝类种类较少,且资源密度分布情况与春秋季节相比较低(图6),CCA分析排序表明,夏季贝类生物量均与表层温度和底层温度呈较强负相关关系。由于水温和食物的供给也会影响贝类资源密度的分布<sup>[45]</sup>,可能是海域温度过高,影响藻类分布和生长<sup>[39]</sup>,而贝类多以藻类为食。本次调查采集的贝类以温带种居多,如棒锥螺、习见蛙螺等广温广布种,琵琶螺、沟鹑螺等典型亚热带种较少,由于夏季海水温度过高,也导致夏季温带种贝类生物量较低,种类较少。因此夏季浙江近海南北海域资源密度分布差异较小。冬季浙江近海,底温为9.6~17.6℃,仅棒锥螺、电光螺、双沟鬘螺等少数种类能够适应海水温度较低的底栖环境,导致冬季贝类生物量最低。

浙江近海资源调查采样贝类多以温带种为主,由于春、秋季节,海水底温分别为13.0~21和19~23℃,适宜底栖贝类的生长繁殖。同时,春、秋季节在多种水团的影响下,营养盐及饵料生物较为充足,为底栖贝类生长提供了充足的食物来源<sup>[32]</sup>,与该季节及海域生境条件吻合,使得春、秋季底栖贝类生物量显著大于夏、冬两季,因此季节变动与水深成为浙江近海南北海域底栖贝类

群落种类与时空分布差异的主要原因。

#### 4 总结

本文研究了浙江近海贝类群落结构、物种多样性及其时空分布特征,表明春季与秋季生物量较高,夏季与冬季生物量较低,并且呈现出浙北生物量比浙南生物量高的分布特征。优势种以棒锥螺、习见蛙螺等广温广布种为主,研究发现季节变化也是促使大型底栖贝类群落结构发生变化的主要因素之一。因此,本研究对了解和掌握浙江近海贝类的资源状况及季节变动规律,以及贝类的资源合理开发与保护具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 张洪亮,王忠明,朱增军,等. 浙江南部沿岸产卵场春季虾类群落结构特征分析[J]. 水生生物学报, 2013, 37(4): 712-721.  
ZHANG H L, WANG Z M, ZHU Z J, et al. Analysis on the community characteristics of shrimps in the coastal spawning ground of South Zhejiang during spring[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(4): 712-721.
- [2] 王开立,王运磊. 海洋底栖动物在海洋生态系统中的重要性[J]. 农村经济与科技, 2017, 28(15): 54-55.  
WANG K L, WANG Y L. The importance of marine benthic fauna in marine ecosystems[J]. Rural Economy and Science-Technology, 2017, 28(15): 54-55.
- [3] 卢占晖,朱文斌,徐开达,等. 浙江沿岸海域螺类群落结构及其季节变化[J]. 海洋与湖泊, 2023, 54(1): 276-285.  
LU Z H, ZHU W B, XU K D, 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.
- [4] 刘雨蒙. 枸杞岛海藻场食物网能量流动关键环节研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.  
LIU Y M. Key point of energy flow in macroalgae bed food-web of Gouqi Island [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [5] OWEN G. Feeding and Digestion in the Bivalvia [J]. Advances in Comparative Physiology and Biochemistry, 1974, 5: 1-35.
- [6] SMAAL A C, VONCK W, PRINS T C. The functional role of mussels in the oosterschelde estuary netherlands [J]. Journal of Shellfish Research, 1989, 8(2): 472-478.
- [7] 赵永强,曾江宁,陈全震,等. 椒江河口滩涂贝类时空分布与环境因子的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(6): 808-813.

- ZHAO Y Q, ZENG J N, CHEN Q Z, et al. Relationship of environmental factors with temporal and spatial distribution of macrobenthic mollusks at a tide flat of Jiaojiang River estuary [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2009, 15(6): 808-813.
- [8] 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 山东长岛潮间带大型底栖动物生态特征研究[J]. *海洋科学*, 2018, 42(10): 41-52.
- WANG J B, LI X Z, WANG H F, et al. Macrobenthic ecology in the intertidal zones of Changdao Islands in Shandong province [J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(10): 41-52.
- [9] AITKEN A, CONLAN K, RENAUD P E, et al. The benthic environment [M]. 2008.
- [10] 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.
- 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*, 2012, 34(6): 151-159.
- [11] 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.
- 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.
- [12] 杜腾飞, 李昂, 戴芳群, 等. 2006-2013年黄海秋季头足类资源状况调查与分析[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(4): 955-964.
- DU T F, LI A, DAI F Q, et al. Survey and analysis of the autumnal Cephalopod distribution in the Yellow Sea during 2006-2013 [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(4): 955-964.
- [13] 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.
- 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.
- [14] 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 X, WANG L, GU X Y, 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.
- [15] 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.
- 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.
- [16] 刘明智, 蒋日进, 陈峰, 等. 乐清湾贝类群落组成及其粒径谱结构特征[J]. *生态学报*, 2023, 43(2): 777-788.
- LIU M Z, JIANG R J, CHEN F, et al. Analysis on community structure of shellfish and its characteristics of biomass particle size spectrum in Yueqing Bay, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(2): 777-788.
- [17] 彭欣, 谢起浪, 陈少波, 等. 南麂列岛潮间带底栖生物时空分布及其对人类活动的响应[J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(5): 584-589.
- PENG X, XIE Q L, CHEN S B, et al. Distribution of intertidal benthos and the human impact in Nanji Islands, China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(5): 584-589.
- [18] 王超超. 南海贝类养殖海域大型污损动物群落季节性变化规律研究[D]. 海口: 海南大学, 2016.
- WANG C C. The study on the seasonal characteristics of macrofaunal fouling community in the shellfish aquaculture in the South China Sea [D]. Haikou: Hainan University, 2016.
- [19] 戚劲. 浙江近岸海域富营养化时空分布变化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- QI J. Study on the spatio-temporal changes of eutrophication in Zhejiang Coastal Sea [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [20] 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.
- 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.
- [21] 李诗佳, 施利燕, 钟俊生, 等. 长江口南部水域春、秋季鱼类群落结构比较[J]. *上海海洋大学学报*, 2024, 33(1): 135-149.
- LI S J, SHI L Y, ZHONG J S, et al. Comparative study on fish community structure in spring and autumn in the southern waters of the Yangtze River Estuary [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2024, 33(1): 135-149.
- [22] 贾海波, 胡颖琰, 唐静亮, 等. 陆源有机污染对舟山海域大型底栖生物分布的影响[J]. *中国环境监测*, 2011, 27(5): 65-69.
- JIA H B, HU H Y, TANG J L, et al. Effects of terrigenous organic pollution on distribution of macrobenthos in Zhoushan Sea [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2011, 27(5): 65-69.
- [23] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- LIU R Y. Checklist of marine biota of China seas [M]. Beijing: Science Press, 2008.

- [24] 郑小东, 曲学东, 曾晓起. 中国水生贝类图谱[M]. 青岛: 青岛出版社, 2013.  
ZHENG X D, QU X D, ZENG X Q. Atlas of Chinese aquatic China[M]. Qingdao: Qingdao Press, 2013.
- [25] 张素萍. 中国海洋贝类图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.  
ZHANG S P. Atlas of Chinese marine shellfish [M]. Beijing: China Ocean Press, 2008.
- [26] 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. 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, 2008: 56-62.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-part 6: marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2008: 56-62.
- [27] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[R]. Fishery Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [28] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. Society for General Systems Research, 1958, 3: 36-71.
- [29] CLARK K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMPER-E Ltd, 2001: 1-91.
- [30] 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.  
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.
- [31] 蔡如星. 浙江动物志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.  
CAI R X. Zoology of Zhejiang Province [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1991.
- [32] 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子分析[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(6): 1585-1597.  
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.
- [33] 刘文亮, 何文珊. 长江河口大型底栖无脊椎动物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2007.  
LIU W L, HE W S. The benthic macro-invertebrates in the Yangtze Estuary [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2007.
- [34] 杨梅, 李新正, 徐勇, 等. 胶州湾潮下带大型底栖动物群落的季节变化[J]. 生物多样性, 2016, 24(7): 820-830.  
YANG M, LI X Z, XU Y, et al. Seasonal variations in macrobenthic communities in the subtidal zones of Jiaozhou Bay[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(7): 820-830.
- [35] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641-646.  
CAI L Z, MA L, GAO Y, et al. Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2002, 41(5): 641-646.
- [36] 田胜艳, 张文亮, 于子山, 等. 胶州湾大型底栖动物的丰度、生物量和生产量研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(6): 81-87.  
TIAN S Y, ZHANG W L, YU Z S, et al. Abundance, biomass and secondary production of macro-benthos in the Jiaozhou Bay, China[J]. Marine Sciences, 2010, 34(6): 81-87.
- [37] CHAINHO P, COSTA J L, CHAVES M L, et al. Influence of seasonal variability in benthic invertebrate community structure on the use of biotic indices to assess the ecological status of a Portuguese estuary [J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, 54(10): 1586-1597.
- [38] 彭松耀, 李新正, 徐勇, 等. 十年间黄海大型底栖动物优势种的变化[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(03): 536-542.  
PENG S Y, LI X Z, XU Y, et al. Variation of macrobenthos in yellow sea in past 10 years [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2017, 48(3): 536-542.
- [39] DAVISON I R. Environmental effects on algal photosynthesis: temperature [J]. Journal of Phycology, 1991, 27(1): 2-8.
- [40] 葛广玉, 周丽青, 井浩, 等. 长山列岛潮间带贝类群落结构季节变化[J]. 渔业科学进展, 2024, 42(2): 199-209.  
GE G Y, ZHOU L Q, JING H, et al. Annual variation of shellfish community structure in intertidal zone of Changshan Islands [J]. Progress in Fishery Science, 2024, 42(2): 199-209.
- [41] 蔡丽萍, 金敬林, 吴盈子. 2016年夏季舟山近岸海域底栖生物调查与研究[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(9): 82-87.  
CAI L P, JIN J L, WU Y Z. Research and investigation of benthic in Zhoushan nearby sea during the summer of 2016 [J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(9): 82-87.
- [42] GARCÍA-ARBERAS L, RALLO A. The intertidal soft-bottom infaunal macrobenthos in three Basque estuaries (Gulf of Biscay): a feeding guild approach [J]. Hydrobiologia, 2002, 475-476(1): 457-568.

- [43] GAUDÊNCIO M J, CABRAL H N. Trophic structure of macrobenthos in the Tagus estuary and adjacent coastal shelf[J]. *Hydrobiologia*, 2007, 587(1): 241-251.
- [44] MUNIZ P, VENTURINI N. Spatial distribution of the macrozoobenthos in the solís grande stream estuary (canelones-maldonado, uruguay)[J]. *Brazilian Journal of Biology*, 2001, 61(3): 409-420.
- [45] 何懿臻, 寿鹿, 廖一波, 等. 长江口及其邻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.
- 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.

## Community structure and distribution characteristics of shellfish in the coastal waters of Zhejiang

LI Qingying<sup>1,2,3</sup>, CHEN Feng<sup>1,2,4,5</sup>, ZHANG Hongliang<sup>1,2,4,5</sup>, QIAN Weiguo<sup>3</sup>, JIANG Rijin<sup>1,2,4,5</sup>

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

**Abstract:** In order to understand the community structure and distribution characteristics of macrobenthic shellfish in the coastal waters of Zhejiang, the fixed-point bottom trawl fishery resources survey was conducted from August 2020 to April 2021. The surveyed sea was divided into two areas, the northern and the southern part in Zhejiang, with 29°N as the boundary. A total of 41 species of shellfish belonging to 25 genera, 25 families and 6 orders were collected and identified. The absolute dominant species in all seasons were *Bursa rana* and *Turritella terebra bacillum*. There were obvious regional differences in number of species and shellfish biomass distribution in the north and the south areas during different seasons. The shellfish biomass for spring and autumn was higher than that for summer and winter, and it decreased from the north to south area in other seasons except summer. In summer, differences in the average biomass of shellfish were not found in the north region and the south areas. In terms of diversity analysis, The richness index ( $D$ ) and the diversity index ( $H'$ ) were the highest in spring and the lowest in summer, and the evenness index ( $J'$ ) was the highest in winter and the lowest in spring. Hierarchical Cluster analysis (Cluster) results showed that the shellfish communities were divided into 3 groups at 60% similarity level in Zhejiang coastal waters. Group I was in the southern area in spring, summer and autumn, Group II was in the northern area in spring, summer and autumn, and Group III was the whole area in the winter, and there were differences in the north and the south areas in spring, summer and autumn. The stress value of non-metric multidimensional analysis was 0.08, which had explanatory significance. CCA analysis showed that depth and bottom sea temperature had significant effects on benthic shellfish distribution. This study can provide some reference for shellfish biodiversity conservation and sustainable use for shellfish resources in the coastal waters of Zhejiang.

**Key words:** Benthic shellfish; community structure; spatial-temporal distribution; coastal waters of Zhejiang