

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240131001

http://www.yykxjz.cn/

原大山, 刘志鸿, 马培振, 孙秀俊, 周丽青, 李转转, 徐东, 吴彪. 青岛典型潮间带贝类的种类组成与群落特征. 渔业科学进展, 2025, 46(1): 15-29

YUAN D S, LIU Z H, MA P Z, SUN X J, ZHOU L Q, LI Z Z, XU D, WU B. Species composition and community characteristics of typical intertidal shellfish in Qingdao, China. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(1): 15-29

## 青岛典型潮间带贝类的种类组成与群落特征\*

原大山<sup>1,3</sup> 刘志鸿<sup>1,2</sup> 马培振<sup>1</sup> 孙秀俊<sup>1,2</sup> 周丽青<sup>1,2</sup>  
李转转<sup>1</sup> 徐东<sup>1,2</sup> 吴彪<sup>1,2①</sup>

- 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071;
- 青岛海洋科技中心海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266237;
- 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心 上海 201306)

**摘要** 为了解青岛沿岸潮间带贝类优势种、群落结构等资源状况,本研究分别于2022年5月(春季)和2022年10月(秋季)对青岛沿海基岩海岸、砂质海岸、粉砂淤泥质海岸以及砂质和基岩混合海岸类型的8个典型站位的潮间带贝类资源进行调查,比较、分析了各站位贝类物种组成、优势度和香农-威纳多样性指数、丰富度指数、均匀度指数等群落结构参数,并采用相似性系数聚类和非度量多维排序方法进行群落聚类分析。结果显示,青岛沿海潮间带共鉴定出贝类40种,沧口发现的贝类物种数最多,达到18种,金口最少,仅发现6种;各调查站位的优势种组成存在差异,且同一站位贝类优势种的种类和优势度随季节的变化而不同,春季优势种主要是短滨螺(*Littorina brevicula*)、砂海螂(*Mya arenaria*)和矮拟帽贝(*Patelloida pygmaea*)等,秋季优势种主要是长牡蛎(*Crassostrea gigas*)、凸壳肌蛤(*Musculista senhousia*)和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)等;春季和秋季的多样性指数范围分别为0.85~1.84和0.66~2.00,丰富度指数分别为0.86~1.97和0.62~2.96,均匀度指数分别为0.41~0.84和0.31~0.98,多样性指数和丰富度最高的3个站位为前桃园、鳌山卫和沧口;春秋两季各站位群落聚类结果有所不同,红石崖和金口始终分别为单独一支,沧口和王哥庄始终聚为一类,前桃园和鳌山卫始终聚为一类。研究发现,底质类型对青岛潮间带贝类组成和群落结构特征具有较大影响。本研究查明了青岛不同底质潮间带的贝类资源状况,为青岛潮间带贝类资源的开发、保护和生态修复提供了基础资料。

**关键词** 潮间带; 底质; 群落结构; 多样性; 优势种

**中图分类号** S931.1 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)01-0015-15

潮间带是海洋和陆地的动态交汇区,也是生态类型最多样、生物类群最丰富的区域之一(Li *et al.*, 2022; Jiao *et al.*, 2015)。由于特殊的地理位置,潮间带又是受人类活动影响最大的滨海区域(黎清华等, 2014)。

一方面,潮间带生物资源是沿海居民赖以生存的物质基础,也是沿海经济发展的重要依赖;另一方面,潮间带是海岸带开发利用的主要区域,面临着沿海工业化、城市化和农业集约化快速发展带来的前所未有的

\* 青岛近岸渔业资源综合科学调查、青岛市第一次全国水产养殖种质资源普查项目(ZFCG2023007250)、崂山实验室山东省专项(2021QNLM050103)和国家海洋水产种质资源库共同资助。原大山, Email: yds336@163.com

① 通信作者: 吴彪, 研究员, Email: wubiao@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2024-01-31, 收修改稿日期: 2024-03-11

环境压力(Zhao *et al.*, 2019; Gao *et al.*, 2017; Sergio *et al.*, 2014)。因此,对潮间带生态环境和生物多样性的保护成为我国海洋生态文明建设的重要任务(Bai *et al.*, 2016; Cota-Ortega *et al.*, 2022)。

青岛市濒临南黄海西部,海岸多为基岩和侵蚀堆积岸段,包括基岩海岸、砂质海岸和粉砂淤泥质海岸3种基本类型。作为中国重要的海洋中心城市、滨海度假旅游城市和国际性港口城市,青岛市海洋产业发展迅速,潮间带生态环境面临的压力日益加重(王琰等, 2021)。贝类是青岛潮间带最常见的生物类群,其种类组成和群落特征随海岸类型的不同而差异较大,因此,是海岸带生态环境状况的重要指示生物。青岛沿岸潮间带贝类资源研究开始较早。张玺(1933)首先研究介绍了青岛的食用贝类,随后,组织开展了我国第一次海洋动物综合调查——青岛胶州湾调查,并进一步研究了青岛胶州湾及附近的海产食用贝类(张玺等, 1936),其研究虽未针对潮间带进行,但多数贝类均属于潮间带种类。进入21世纪,王振龙等(2002)报道了青岛潮间带腹足类动物的分布与习性;王洪法等(2006)在胶州湾红石崖潮间带调查中,定量采集到软体动物19种,定性采集到软体动物15种;舒凤月(2005)对青岛沿海潮间带的贝类资源进行了调查和物种鉴定,初步鉴定出51种贝类,隶属3纲、27科;李新正等(2006)在青岛胶州湾红石崖调查到潮间带软体动物19种;张承德等(2007)对青岛沿海潮间带的3个采集点进行调查,鉴定出软体动物51种,隶属于3纲、23科,并对软体动物的生态分布进行了分析,但未涉及群落结构特征;唐贵明等(2008)对青岛岩相潮间带大型底栖动物多样性进行了调查研究,共鉴定出贝类21种。但是,近年来未见针对青岛潮间带不同底质开展的贝类调查研究。

本研究选取了青岛市典型海岸类型的8处代表性地点,旨在查明潮间带贝类的种类组成,研究不同海岸类型的贝类群落特征,以期为青岛市潮间带贝类种质资源的开发和保护提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查时间与站位

分别于2022年5月(春季)和2022年10月(秋季)对青岛沿海不同海岸底质类型的8个代表性站位进行潮间带贝类样品采集(图1)。其中,红石崖和沧口为粉砂淤泥质海岸,前桃园、鳌山卫和田横为砂质和基岩海岸,王家台和金口为基岩海岸,王哥庄为砂质海岸,具体调查位点见图1。

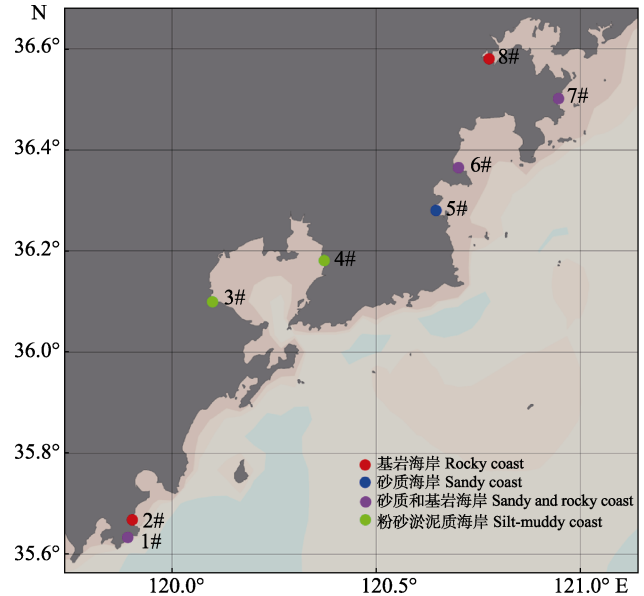


图1 青岛潮间带贝类调查站位与底质类型

Fig.1 Geographical distribution and sediment characteristics of shellfish survey stations in the intertidal zone of Qingdao

1#: 前桃园; 2#: 王家台; 3#: 红石崖; 4#: 沧口;  
5#: 王哥庄; 6#: 鳌山卫; 7#: 田横; 8#: 金口。下同。  
1#: Qiantaoyuan; 2#: Wangjiatai; 3#: Hongshiya;  
4#: Cangkou; 5#: Wanggezhuang; 6#: Aoshanwei;  
7#: Tianheng; 8#: Jinkou. The same below.

### 1.2 样品采集与处理

各个调查站位随机设置一条垂直于海岸的断面,在每一断面的高潮区、中潮区和低潮区分别布设3个50 cm×50 cm的定量样方,潮间带的划分按照《GB/T12763.6-2008 海洋调查规范》进行。对砂质和粉砂淤泥质海岸,样方深度设为30 cm,用孔径0.5 mm的筛网筛取所有贝类样品;对基岩海岸,捡取样方内所有贝类样品。在定量样方的周围补充定性样品采集。样品经海水洗净后,以75%酒精溶液固定和保存。参照《黄渤海软体动物图志》(张素萍等, 2016)、《中国海洋贝类图鉴》(张素萍, 2008)对采集的贝类样品进行鉴定、计数,计算物种数和栖息密度,物种拉丁名通过www.marinespecies.org网站进行校准。

### 1.3 数据分析

**1.3.1 物种优势度与多样性** 对各调查站位获取的贝类物种进行优势度(McNaughton 优势度指数,  $Y_i$ ) (沈国英等, 1990; McNaughton, 1967)计算:

$$Y_i = n_i / N \times f_i \quad (1)$$

式中,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为样品总个体数,  $f_i$  为第  $i$  种贝类在该站位出现的频率,即该种贝类出现的样方数与采样点总样方数比值。当第  $i$  种贝类优势度

$Y_i > 0.02$  时(林岩等, 2023), 该种贝类为优势种(刘奕伶等, 2015; 潘鸿等, 2021)。

分别采用香农-威纳多样性指数(Shannon-Wiener diversity index,  $H'$ ) (Shannon, 1948; Shannon *et al.*, 1949; Strong, 2016)、Margalef 丰富度指数(Margalef richness index,  $D$ )(Margalef, 1968)和 Pielou 均匀度指数(Pielou evenness index,  $J$ )(Ricotta *et al.*, 2003)计算各调查点的贝类群落物种多样性、物种丰富度和群落均匀度。计算方法如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$D = (S-1) / \ln N \quad (3)$$

$$J = H' / \ln S \quad (4)$$

公式(2)~(4)中,  $S$  为样品总物种数,  $P_i$  为第  $i$  种的个体数与样品总个体数  $N$  的比值。

**1.3.2 群落结构聚类** 分别计算各物种在所有调查站位的整体相对丰度(即所有调查站位中该物种个体数与总贝类个体数比值)和各物种在各站位的相对丰度(即各站位中该物种个体数与总贝类个体数比值), 去除在所有调查站位整体相对丰度小于 1% 的物种, 但保留在任何一个站位相对丰度大于 3% 的物种, 以减少稀有种对群落划分的干扰, 去除稀有种干扰后保留的物种确定为常规物种, 用来进行群落结构聚类。计算各站位常规物种绝对丰度(各站位中该物种的单位面积个体数)后, 以站位为行、物种绝对丰度为列构建物种-站位丰度矩阵。为平衡优势种和非优势种在群落中的作用, 先对物种丰度数据进行 4 次方根转换, 然后利用 PAST4.14 软件中的 Bray-Curtis 相似性系数聚类功能和非度量多维排序(non-metric multi-dimensional scaling, nMDS)进行群落聚类分析, 同时以这 2 种分析结果进行相互验证。利用 nMDS 分析方法计算应力值(Stress), 以示样品在降维后形成的空间的距离与其在原始多维空间的距离的差值, 该值越小, 表明结果越接近真实情况(黄冰等, 2013)。采用 PAST4.14 软件中的相似性百分比(SIMPER)分析每个聚类群落间造成差异的种及其差异贡献率, 差异贡献率超过 3% 的种为特征种。

## 2 结果

### 2.1 种类组成

本研究中, 青岛沿海 8 个站位共鉴定出贝类 40 种, 隶属 4 纲 12 目 25 科(表 1)。其中, 春季共鉴定出 4 纲 12 目 23 科 35 种, 秋季鉴定出 3 纲 10 目 21 科 32 种。春季有 7 种贝类在秋季未采集到, 如日本镜蛤(*Dosinia*

*japonica*)、光滑河篮蛤(*Potamocorbula laevis*)和胶州湾顶管角贝(*Episiphon kiaochoowanense*)。而秋季有 5 种贝类在春季未采集到, 如中国蛤蜊(*Mactra chinensis*)、朝鲜笋螺(*Terebra koreana*)和中间拟滨螺(*Littoraria intermedia*)。在各调查站位中, 沧口发现的贝类物种数最多, 达到 18 种; 金口调查站位的贝类物种数最少, 2 次调查共发现 6 种(图 2)。春季调查中, 鳌山卫和王哥庄调查到的贝类种数较多, 均超过 10 种(分别为 13 种和 12 种), 而金口的贝类种数最少, 仅为 6 种; 秋季调查中, 仅沧口调查到的贝类种数超过 10 种(12 种), 而王家台的贝类物种数最少, 仅为 4 种。调查结果显示, 除沧口调查站位秋季贝类物种数大于春季、金口 2 次调查物种数保持不变外, 其他调查站位均为秋季贝类物种数少于春季。鳌山卫调查站位不同季节的贝类种数差异最大, 秋季调查到的贝类种数(8 种)比春季(13 种)少了 5 种。

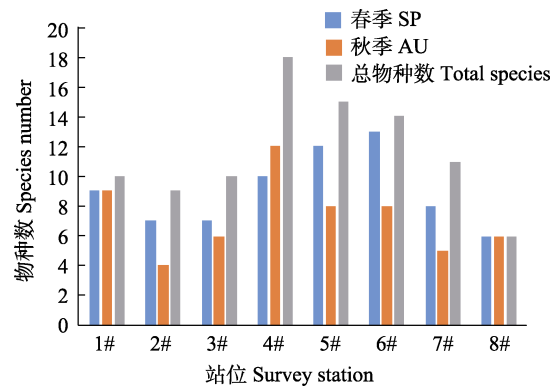


图 2 青岛潮间带贝类调查各站位物种数  
Fig.2 The species richness of shellfish at each station in the intertidal zone of Qingdao

### 2.2 优势种和优势度

本研究中, 各调查站位的优势种组成存在差异, 春季各站位优势种主要是凸壳肌蛤(*Musculista senhousia*)、砂海螂(*Mya arenaria*)、矮拟帽贝(*Patelloida pygmaea*)、短滨螺(*Littorina brevicula*)、纹斑梭蛤(*Neotrachezium liratum*)、托氏蛞蝓(*Umbonium thomasi*)、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)等(表 2)。其中, 砂海螂在沧口、短滨螺在王家台和田横的优势度均超过 30%, 分别为 33.16%、32.58%和 58.24%。秋季的优势种主要是凸壳肌蛤、长牡蛎、矮拟帽贝、锈凹螺(*Tegula rustica*)、薄壳绿螂(*Glaucanome angulata*)和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)。凸壳肌蛤在红石崖、菲律宾蛤仔在王哥庄、长牡蛎在田横站位的优势度均较高, 分别达到 56.00%、39.51%和 58.48%。

表1 青岛潮间带贝类调查物种名录

Tab.1 Species list of shellfish surveyed in Qingdao intertidal zone

纲 Class	目 Order	科 Family	物种 Species	春季 SP	秋季 AU	
双壳纲 Bivalvia	牡蛎目 Osteroida	牡蛎科 Osteroidae	长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	√	√	
			近江牡蛎 <i>Crassostrea ariakensis</i>	√	√	
	贫齿蛤目 Adapedonta	竹蛭科 Solenidae	大竹蛭 <i>Solen grandis</i>	√	√	
			灯塔蛤科 Pharidae	缢蛭 <i>Sinonovacula constricta</i>	√	√
	贻贝目 Mytilida	贻贝科 Mytilidae	凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousia</i>	√	√	
			紫贻贝 <i>Mytilus galloprovincialis</i>	√	√	
	帘蛤目 Venerida	帘蛤科 Veneridae	青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>	√	√	
			菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	√	√	
			日本镜蛤 <i>Dosinia japonica</i>	√		
			短文蛤 <i>Meretrix petechialis</i>	√	√	
			等边浅蛤 <i>Macridiscus multifarius</i>	√	√	
			蛤蜊科 Mactridae	中国蛤蜊 <i>Mactra chinensis</i>		√
			绿螂科 Glauconomidae	薄壳绿螂 <i>Glaucome angulata</i>	√	√
			棱蛤科 Trapezidae	纹斑棱蛤 <i>Neotrapezium liratum</i>	√	√
			海螂目 Myida	海螂科 Myidae	砂海螂 <i>Mya arenaria</i>	√
篮蛤科 Corbulidae					光滑河篮蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	√
掘足纲 Scaphopoda	角贝目 Dentaliida	顶管角贝科 Gadilnidae	胶州湾顶管角贝	√		
			<i>Episiphon kiaochoowanense</i>			
腹足纲 Gastropoda	新腹足目 Neogastropoda	骨螺科 Muricidae	脉红螺 <i>Rapana venosa</i>	√		
			疣荔枝螺 <i>Reishia clavigera</i>	√	√	
	头楯目 Cephalaspidea	中腹足目 Mesogastropoda	笋螺科 Terebridae	朝鲜笋螺 <i>Terebra koreana</i>		√
			织纹螺科 Nassariidae	秀丽织纹螺 <i>Nassarius festivus</i>	√	√
			节织纹螺 <i>Tritia reticulata</i>	√		
			蛾螺科 Buccinidae	香螺 <i>Neptunea cumingii</i>	√	√
			长葡萄螺科 Haminoeidae	泥螺 <i>Bullacta caurina</i>	√	
				滩栖螺科 Batillariidae	古氏滩栖螺 <i>Batillaria cumingii</i>	√
			滨螺科 Littorinidae	中间拟滨螺 <i>Littoraria intermedia</i>		√
				粒结节滨螺 <i>Echinolittorina radiata</i>	√	√
				短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>	√	√
				玉螺科 Naticidae	玉螺 <i>Natica vitellus</i>	√
原始腹足目 Archaeogastropoda	笠贝科 Lottiidae	广大扁玉螺 <i>Glossaulax reiniana</i>		√		
		微黄镰玉螺 <i>Euspira gilva</i>	√	√		
		汇螺科 Potamididae	尖锥拟蟹守螺	√	√	
		<i>Cerithideopsis largillierti</i>				
		矮拟帽贝 <i>Patelloida pygmaea</i>	√	√		
		史氏背尖贝 <i>Nipponacmea schrenckii</i>		√		
多板纲 Polyplacophora	石鳖目 Chitonida	马蹄螺科 Trochidae	锈凹螺 <i>Tegula rustica</i>	√	√	
			单齿螺 <i>Monodonta labio</i>	√	√	
			托氏蛞蝓 <i>Umbonium thomasi</i>	√	√	
			蝶螺科 Turbinidae	朝鲜花冠小月螺 <i>Lunella coreensis</i>	√	
			毛肤石鳖科 Acanthochitonidae	红条毛肤石鳖	√	√
		<i>Acanthochitona rubrolineata</i>				

注：“√”表示调查中出现该物种。

Note: The symbol "√" denotes the presence of the species in the survey.

同一站位贝类优势种的种类和优势度随季节的变化而具有差异。红石崖、前桃园和鳌山卫优势度最高的物种种类在不同季节的 2 次调查中未发生改变, 分别是凸壳肌蛤、矮拟帽贝和长牡蛎, 但优势度的变化较大。在红石崖调查站位, 凸壳肌蛤秋季优势度较春季增加了 44.94%; 在鳌山卫, 长牡蛎在秋天的优势度比春季增加了 18.04%。而在其他调查站位, 优势度最高物种的优势度变化较大。在沧口调查站位, 砂海螂在秋季的优势度仅为 0.27%, 较春季下降了 32.89%, 而长牡蛎的优势度从春季的 0.97% 增加到 11.38%。王家台秋季的调查中未采集到短滨螺, 但其在春季的优势度达到 32.58%, 而锈凹螺的优势度从春季的 0.19% 增加到秋季的 22.58%。金口站位中, 斑

纹棱蛤在秋季的优势度为 9.80%, 较春季下降了 16.64%, 薄壳绿螂的优势度则由春季的 6.42% 增加到秋季的 27.45%。在王哥庄站位, 托氏蛎螺在秋季的优势度为 10.42%, 较春季下降了 13.24%, 而菲律宾蛤仔的优势度则由 11.27% 增加了 28.23%。田横站位在秋季的调查中未发现短滨螺, 而春季该物种的优势度达到 58.24%; 长牡蛎在春季的调查中优势度为 24.98%, 在秋季的优势度则增加了 33.49%。

### 2.3 贝类群落结构特征

#### 2.3.1 群落多样性指数

青岛沿海潮间带各站位贝类群落 Shannon-Wiener 多样性( $H'$ )、Margalef 丰富度指数( $D$ )和 Pielou 均匀度指数( $J$ )结果如图 3 所示。

表 2 青岛潮间带贝类主要优势种及优势度(仅标注大于 2%的数据)/%  
Tab.2 Dominant species and their dominance levels of shellfish in the intertidal zone of Qingdao (with only data exceeding 2% being indicated)/%

优势种 Dominant species	1#		2#		3#		4#		5#		6#		7#		8#	
	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU	春季 SP	秋季 AU
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>		6.72		16.67	7.96			11.38			9.89	27.93	24.98	58.48		
凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousia</i>					11.06	56.00	2.20									
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>	6.83	6.22									8.16					
短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>	6.83	6.22	32.58								3.85	2.25	58.24			
矮拟帽贝 <i>Patelloida pygmaea</i>	12.57	6.22	27.45	18.19							2.75					
锈凹螺 <i>Tegula rustica</i>	7.10	7.71		22.58										2.34		
纹斑棱蛤 <i>Neotrapezium liratum</i>															26.44	9.80
薄壳绿螂 <i>Glaucanome angulata</i>															6.42	27.45
托氏蛎螺 <i>Umbonium thomasi</i>									23.65	10.42	5.17	16.82				
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>									11.27	39.51						

春季和秋季的多样性指数范围分别为 0.85~1.84 和 0.66~2.00, 平均为 1.44 和 1.38, 而丰富度指数则为 0.86~1.97 和 0.62~2.96, 平均均为 1.31。对于均匀度, 春季各站位的范围为 0.41~0.84, 秋季为 0.31~0.98, 平均分别为 0.66 和 0.71。在春季和秋季的调查中, 多样性指数和丰富度最高的 3 个站位都是前桃园(春季分别为 1.84 和 1.46, 秋季分别为 1.89 和 1.43)、鳌山卫(春季分别为 1.82 和 1.97, 秋季分别为 1.73 和 1.30)和沧口(春季分别为 1.79 和 1.63, 秋季分别为 2.00 和 2.96), 而春季均匀度最高的 3 个站位是前桃园(0.84)、沧口(0.78)和红石崖(0.80), 秋季则为王家台(0.98)、前桃园(0.86)和鳌山卫(0.83)。在春季, 田横的多样性指数(0.85)、丰富度指数(0.86)和均匀度指数(0.41)均为各站位中最低, 各项指数不足 1.00; 而在秋季, 田横的多样性指数(0.51)和均匀度指数(0.31)同样是各站位中最低, 但王家台的丰富度指数(0.62)为最低。

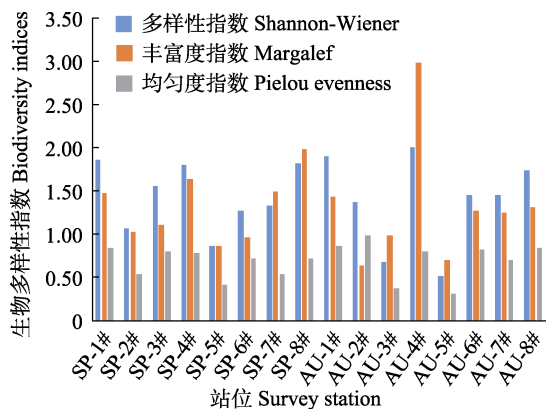


图3 青岛潮间带贝类各站位多样性指数、丰富度指数和均匀度指数

Fig.3 Assessment of shellfish diversity, richness, and evenness indices at various stations within the intertidal zone of Qingdao

多样性春季高于秋季的站位有 3 个(红石崖、鳌山卫和田横), 丰富度春季高于秋季的站位有 5 个(红石崖、王哥庄、王家台、鳌山卫和田横), 均匀度春季高于秋季的站位有 2 个(红石崖和田横)。其中, 红石崖和田横的 3 种群落指数均表现为春季高于秋季。

对于不同潮区, 沧口、金口、王家台和鳌山卫等 4 个站位低潮区春秋季平均多样性指数高于其他潮区; 红石崖和田横的中潮区春秋季平均多样性指数高于其他潮区; 前桃园和王哥庄的高潮区春秋季平均多样性指数高于其他潮区(表 3)。丰富度指数方面, 沧口、金口、王家台和鳌山卫等 4 个站位的低潮区春秋

季平均丰富度指数高于其他潮区; 红石崖、前桃园和田横的中潮区春秋季平均丰富度指数高于其他潮区; 王哥庄的高潮区春秋季平均丰富度指数高于其他潮区。均匀度指数方面, 沧口、金口、王家台和鳌山卫等 4 个站位的低潮区春秋季平均均匀度指数高于其他潮区; 田横的中潮区春秋季平均均匀度指数高于其他潮区; 红石崖、前桃园和王哥庄的高潮区春秋季平均均匀度指数高于其他潮区。

**2.3.2 聚类分析** 去除在所有调查站位整体相对丰度小于 1%的物种, 但保留在任何一个站位相对丰度大于 3%的物种后, 常规物种相对丰度在各站位春秋季分布如图 4 所示。对群落结构分析起主要作用的物种有长牡蛎、凸壳肌蛤、菲律宾蛤仔、薄壳绿螂、纹斑梭蛤、短滨螺、矮拟帽贝、锈凹螺、单齿螺(*Monodonta labio*)和托氏蛞蝓。部分物种在春季与秋季丰度变化较大, 如长牡蛎、中间拟滨螺和锈凹螺在秋季各站位丰度高于春季; 而短滨螺和古氏滩栖螺(*Batillaria cumingii*)在春季的丰度高于秋季。

春季和秋季的非度量多位排序尺度(nMDS)分析中 Stress 值分别为 0.191 和 0.206。聚类结果显示, 青岛春季潮间带贝类 Bray-Curtis 相似性在 0.15~0.45 水平上, 可划分为 4 个类群, 其中, 红石崖和金口分别为单独一类, 沧口和王哥庄为一类, 前桃园、王家台、鳌山卫和田横为一类(图 5)。维持类群间非相似性的主要特征种中, 平均非相似性最高的 5 种为短滨螺、长牡蛎、矮拟帽贝、古氏滩栖螺和菲律宾蛤仔, 分别为 9.113、6.063、6.030、5.382 和 5.045, 这 5 种贝类的贡献率也最高, 分别为 10.13%、6.740%、6.703%、5.984%和 5.609%, 5 种累计贡献率达到 35.17%(表 4)。

秋季青岛潮间带各站位贝类群落 Bray-Curtis 相似性在 0.3~0.35 之间水平上, 同样可划分为 4 个类群, 其中, 红石崖和金口分别为单独一类, 前桃园前桃园和鳌山卫为一类, 沧口、王家台、王哥庄和田横为一类(图 6)。维持类群间非相似性的主要特征种中, 平均非相似性最高的 5 种依次为长牡蛎、中间拟滨螺、锈凹螺、凸壳肌蛤和矮拟帽贝, 分别为 8.879、6.398、5.813、5.657 和 5.163, 这 5 种贝类的贡献率也最高, 分别为 10.370%、7.476%、6.793%、6.610%和 6.033%, 5 种累计贡献率达到 37.290%(表 4)。

### 3 讨论

#### 3.1 贝类种类和优势度特征

尽管青岛沿海潮间带春季贝类种数高于秋季, 但

表 3 青岛潮间带贝类调查各站位不同潮区群落多样性  
Tab.3 Community diversity in intertidal shellfish surveys at various stations across tidal areas in Qingdao

站位 Station	季节 Season	多样性 Diversity index			丰富度 Richness index			均匀度 Evenness index		
		高潮区 High-tidal area	中潮区 Mid-tidal area	低潮区 Low-tidal area	高潮区 High-tidal area	中潮区 Mid-tidal area	低潮区 Low-tidal area	高潮区 High-tidal area	中潮区 Mid-tidal area	低潮区 Low-tidal area
1#	春 SP	1.10	1.22	1.13	0.40	0.98	0.85	1.00	0.76	0.81
	秋 AU	1.39	0.94	0.93	0.57	1.11	0.87	1.00	0.59	0.67
	均值 Average	1.24	1.08	1.03	0.48	1.04	0.86	1.00	0.67	0.74
2#	春 SP	0.11	0.78	1.04	0.38	0.70	0.90	0.10	0.56	0.65
	秋 AU	0.69	0.98	1.03	0.29	0.58	0.48	1.00	0.89	0.93
	均值 Average	0.40	0.88	1.03	0.34	0.64	0.69	0.55	0.73	0.79
3#	春 SP	0.39	1.03	1.01	0.23	0.84	0.66	0.56	0.64	0.92
	秋 AU	0.67	0.61	0.15	0.39	0.48	0.43	0.96	0.56	0.14
	均值 Average	0.53	0.82	0.58	0.31	0.66	0.55	0.76	0.60	0.53
4#	春 SP	1.33	0.00	1.69	1.00	0.00	1.30	0.74	—	0.87
	秋 AU	1.70	1.23	1.73	2.01	1.31	2.40	0.95	0.76	0.97
	均值 Average	1.52	0.61	1.71	1.51	0.66	1.85	0.85	0.76	0.92
5#	春 SP	0.50	0.21	0.50	1.15	0.80	0.62	0.24	0.12	0.31
	秋 AU	1.23	1.11	0.20	0.99	1.02	0.44	0.77	0.62	0.18
	均值 Average	0.87	0.66	0.35	1.07	0.91	0.53	0.50	0.37	0.25
6#	春 SP	1.31	0.74	1.82	0.52	0.43	1.97	0.94	0.67	0.94
	秋 AU	1.34	1.39	1.35	0.85	1.18	1.09	0.83	0.78	0.84
	均值 Average	1.33	1.07	1.58	0.68	0.80	1.53	0.89	0.73	0.89
7#	春 SP	0.00	0.98	0.62	0.00	0.83	0.56	—	0.55	0.39
	秋 AU	0.71	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.52	—	—
	均值 Average	0.36	0.49	0.31	0.29	0.41	0.28	0.52	0.55	0.39
8#	春 SP	0.00	0.65	1.24	0.00	0.46	1.16	—	0.59	0.69
	秋 AU	0.53	1.07	1.53	0.35	0.72	1.41	0.76	0.98	0.95
	均值 Average	0.26	0.86	1.38	0.17	0.59	1.28	0.76	0.78	0.82

差异不大,且不同站位的情况有所不同,这与其他地区的潮间带贝类调查结果相符,可能同断面、样方选取的随机性有关。2021—2022 年间长山岛的潮间带调查中,春季贝类物种数多于秋季(葛广玉等, 2023); 而 2015—2016 年间浙江玉环山岩礁潮间带的调查中,贝类物种数春季和秋季均为 25 种(陈万东等, 2017); 2018—2019 年间黄河三角洲潮间带贝类的调查中,不同站位表现不同,神仙沟、清八汉河站位物种数春季(5 月)大于秋季(11 月),刁口河、清水沟站位相反,物种数春季(5 月)小于秋季(11 月)(李玄等, 2020)。同时,本研究中,部分贝类物种的优势度体现出明显的季节性差异,甚至最优势物种也发生了变化,同长山列岛潮间带贝类群落结构特征相似,这可能与这些贝类的繁殖生物学特性相关。例如,青岛沿海地区长牡蛎自然繁殖季节为 6—9 月(吕敏等, 2022),而本研究的秋季调查时间在 10 月,此时长牡蛎种群数量得到大量补充,因此,长牡蛎秋季优势度显著高于春季。

在不同站位间,河口区基岩海岸的 2 个站位(王家台和金口)的贝类种类数最少,这同天津潮间带经济贝类资源变化研究中河口区贝类种类最少相吻合(丁森等, 2020)。河口区盐度较低,仅适合狭低盐或广盐性贝类生存,如金口站位采集到的近江牡蛎在其他站位均未出现(劳赞, 2005)。尽管粉砂淤泥质海岸的沧口贝类种类数最多,但同样底质的红石崖贝类种类数与其相差较大。不同底质环境中贝类物种存在较大差异,长牡蛎在基岩或砂质与基岩混合海岸类型的王家台、鳌山卫和田横中优势度显著高于其他站位,短滨螺在基岩或砂质与基岩混合海岸类型的前桃园、王家台、鳌山卫和田横站位属于优势种,节织纹螺(*Tritia reticulata*)和毛蚶(*Anadara kagoshimensis*)仅在粉砂淤泥质海岸的红石崖和沧口被采集到,且均为优势种。这是因为不同类型的贝类对底质的要求不同(阳连贵等, 2018),长牡蛎常固着在潮间带至低潮线下数米深的岩石或其他硬物上,短滨螺生活在潮间带高潮区的岩石上或缝隙间,毛蚶喜埋栖于潮间带至几

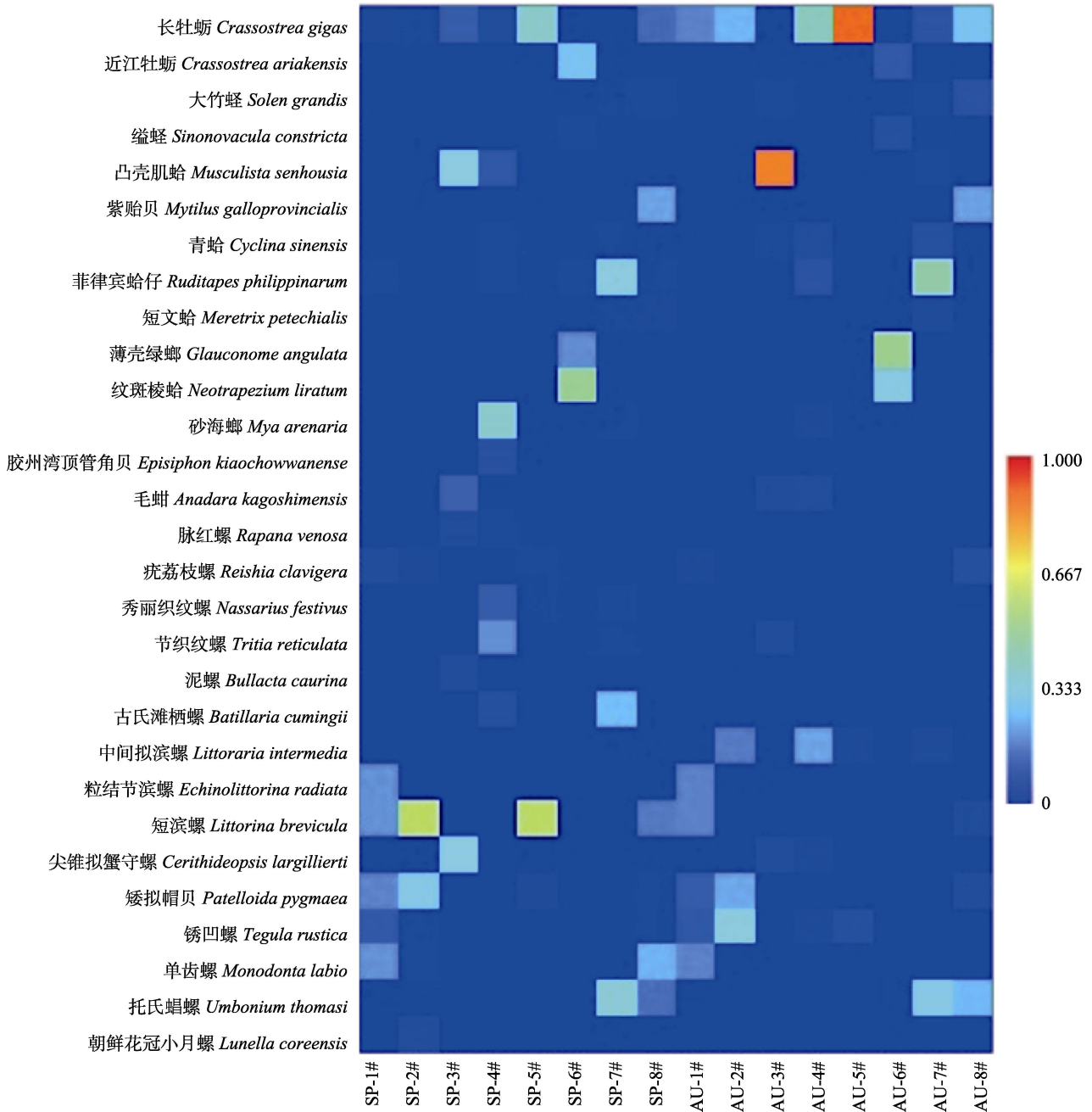


图4 常规物种相对丰度分布

Fig.4 Distribution map depicting the relative abundance of conventional species in a scholarly manner

十米水深的软泥和泥沙质海底,节织纹螺匍匐于浅海沙或泥沙质海底(张素萍, 2008)。

### 3.2 群落多样性特征

总体来看,贝类群落结构多样性程度最高的3个站位是前桃园、鳌山卫和沧口,贝类群落结构最简单的是田横。舒风月(2005)认为,造成青岛市贝类种类数平面分布差异的主要原因是底质环境的不同。在地势坡度小的岩礁底质海岸,少量泥沙会随着潮汐运行至潮间带,在潮间带堆积,形成砂质和基岩混合海岸

(辛美丽等, 2022)。在本研究中,前桃园和鳌山卫为砂质和基岩混合海岸,而沧口虽为粉砂淤泥质海岸,但存在零星小石块,因此,既有岩相贝类,又有泥相贝类,造成以上3个站位贝类群落多样性程度高。前桃园和王家台的直线距离仅3~4 km,但前者贝类多样性和丰富度明显高于后者,可能是由于琅琊台岬角的地理分隔造成底质、水流等环境差异所致。潮流是影响山东省近岸海域沉积物运输的主要因素(由丽萍等, 2022),岬角能够显著改变所在区域潮流,进而影响区域内饵料分布、泥沙运动和底质类型(韩雪健等,



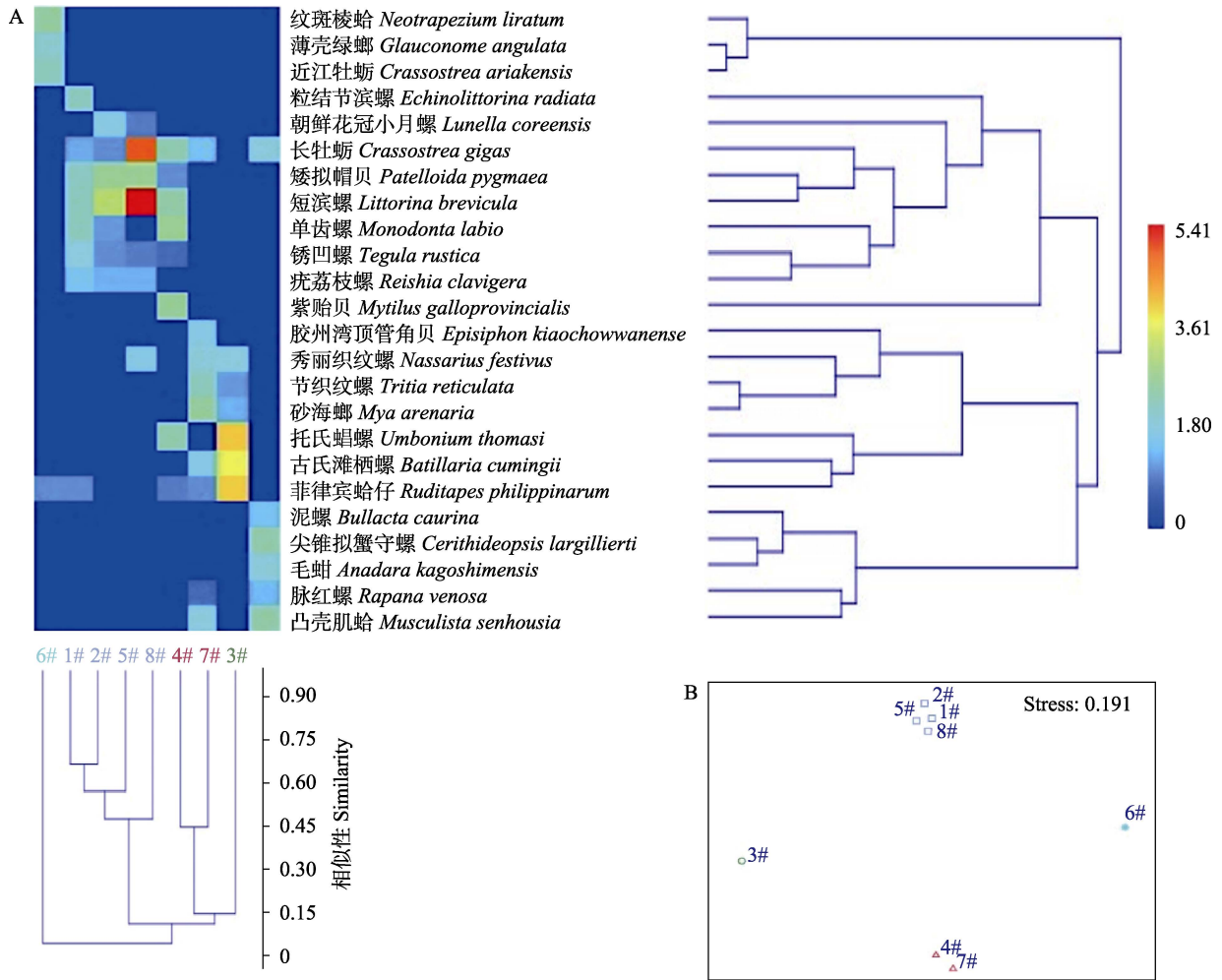


图 5 春季青岛潮间带各站位贝类聚类(Bray-Curtis) (A)与非度量多维排序(nMDS) (B)  
Fig.5 Shellfish clustering (Bray-Curtis)(A) and non-metric multi-dimensional scaling (nMDS)(B)  
at various stations in the Qingdao intertidal zone in spring

2022), 从而改变潮间带底栖贝类群落特征(Mosbahi *et al*, 2019; Schröder *et al*, 2015; 胡亚丽等, 2022)。

关于本次研究中不同潮区间群落结构的差异, 葛广玉等(2024)对长山列岛的调查结果显示, 物种丰富度、密度和物种多样性表现为中潮区 > 低潮区 > 高潮区。边缘效应是生态学的重要理论之一, 是指在两个或多个不同性质的生态系统(或其他系统)交互作用处, 由于某些生态因子(可能是物种、能量、信息、时机或地域)或系统属性的差异和耦合作用而引起系统某些组分及行为(如种群密度、生产力、多样性等)的较大变化(王如松等, 1985)。边缘效应的主要特征包括生物多样性增加、种群密度提高和物种丰富度提高等(王健锋等, 2002; 孙震, 2014)。潮间带作为海洋与陆地生态系统的交汇处, 具有典型的边缘效应, 特别是中潮区遭受的潮汐作用相较于高潮区和低潮区更为频繁(Amos, 1995), 根据边缘效应理论, 应具有更高的生物多样性和物种丰富度, 在王一农等(2003)、

谢进金等(2006)和李永仁等(2017)的研究中均是中潮区贝类种最多。本次青岛调查研究结果显示, 红石崖和田横站位中潮区群落多样性要高于低潮区, 但沧口、王家台、金口和鳌山卫低潮区群落多样性高于中潮区。这种低潮区贝类多样性高于中潮区的情况在东极岛潮间带也有报道(蔡林婷等, 2013)。

### 3.3 贝类群落聚类

在本研究中, 春季和秋季的非度量多位排序尺度(nMDS)分析中, 应力值(Stress)分别为 0.191 和 0.206。黄冰等(2013)认为, Stress 值小于 0.3 即可判断分析结果可信; 刘颖等(2021)和赵梓屹等(2023)认为, Stress 值小于 0.2 即可判断分析结果可信; 而周甜等(2023)认为 Stress 值小于 0.05 可较好地反映样本间的差异程度。因此, 本研究认为春季非度量多位排序尺度分析结果可信度高, 尽管秋季应力值稍大于 0.2, 但聚类分析(Bray-Curtis)与非度量多位排序尺度分析图相互

表4 维持类群间非相似性的主要特征种及其贡献率  
Tab.4 The key indicator species and their role in upholding inter-community dissimilarity

物种名 Species	春季 SP		秋季 AU	
	平均非相似性 Average dissimilarity	贡献率 Contribution/%	平均非相似性 Average dissimilarity	贡献率 Contribution/%
短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>	9.113	10.130	4.796	5.605
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	6.063	6.740	8.879	10.370
矮拟帽贝 <i>Patelloida pygmaea</i>	6.030	6.703	5.163	6.033
古氏滩栖螺 <i>Batillaria cumingii</i>	5.382	5.984		
中间拟滨螺 <i>Littoraria intermedia</i>			6.398	7.476
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	5.045	5.609	3.460	4.043
托氏蝓螺 <i>Umbonium thomasi</i>	4.876	5.420	4.329	5.058
凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousia</i>	4.411	4.904	5.657	6.610
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>	4.307	4.789	2.854	3.335
砂海螂 <i>Mya arenaria</i>	3.925	4.364		
秀丽织纹螺 <i>Nassarius festivus</i>	3.884	4.318		
纹斑棱蛤 <i>Neotrapezium liratum</i>	3.777	4.199	3.221	3.764
节织纹螺 <i>Tritia reticulata</i>	3.383	3.762	2.653	3.100
锈凹螺 <i>Tegula rustica</i>	3.355	3.730	5.813	6.793
毛蚶 <i>Anadara kagoshimensis</i>			3.101	3.624
青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>			3.369	3.937
近江牡蛎 <i>Crassostrea ariakensis</i>	3.270	3.636		
尖锥拟蟹守螺 <i>Cerithideopsis largillierti</i>	3.187	3.543	3.018	3.526
紫贻贝 <i>Mytilus galloprovincialis</i>			2.981	3.484
薄壳绿螂 <i>Glaucanome angulata</i>	3.012	3.349	3.597	4.204
粒结节滨螺 <i>Echinolittorina radiata</i>			2.854	3.335
大竹蛏 <i>Solen grandis</i>			3.631	4.243
疣荔枝螺 <i>Reishia clavigera</i>	2.979	3.312	3.952	4.619

校正,所以认为秋季群落非度量多位排序尺度分析结果同样具有一定可信度,分析结果具有解释意义。在群落聚类中,春季前桃园、王家台、鳌山卫和田横聚为一类,这4个站位均属于砂质海岸或砂质和基岩海岸,因此,认为底质条件是造成贝类群落聚类的主要原因,且主要特征种为岩相贝类,如短滨螺、长牡蛎和矮拟帽贝。尽管主要底质不同,但沧口(泥滩)和王哥庄(沙滩)滩涂均发现大量散落的石块,因此两站聚为一类。在秋季调查中,贝类群落聚类结果与春季略有差异。沧口、王哥庄、王家台和田横聚为一类,主要特征种为长牡蛎。牡蛎具有群聚的习性,因此,推测岩相长牡蛎的大量出现是造成该聚类结果的主要生物因素。在郭彪等(2020)对礁体附着生物的研究中,长牡蛎在多次调查中均占绝对优势,这说明有石块存在的浅海滩涂适合长牡蛎的生存,其在群落中占据的优势地位对群落结构的影响不可忽视。

红石崖和金口2个站位在春秋季节均单独聚为一类,这可能与地理位置、底质类型和水环境等因素

相关。金口站位位于五龙河河口,属于典型的河口区,与其他站位的水环境差异较大;且在8个站位中,仅金口站位存在适应低盐环境的近江牡蛎的群聚生长(葛广玉等,2023),因此,推测近江牡蛎是造成该聚类结果的主要生物因素。虽然红石崖和沧口同属于粉砂淤泥质海岸,且两站位隔胶州湾西东相望,但沧口的淤泥中杂有石块,同红石崖站位的淤泥底质不同,因此,沧口站位与同样散落石块或基岩海岸的王哥庄等站位紧密聚类,而红石崖单独成一类。该现象符合底质类型对潮间带底栖生物群落的影响(辛美丽等,2022;廖一波等,2007;朱四喜等,2010;李亚芳等,2018)。

综上所述,在此次青岛潮间带贝类群落聚类中,底质类型通过影响不同适应性贝类的丰度对聚类结果造成巨大影响;泥滩和沙滩中石块的存在会使本不适应其环境的岩相贝类大量存在,对聚类结果造成影响;同时,是否处在河口区等因素对群落聚类的影响也不可忽视。

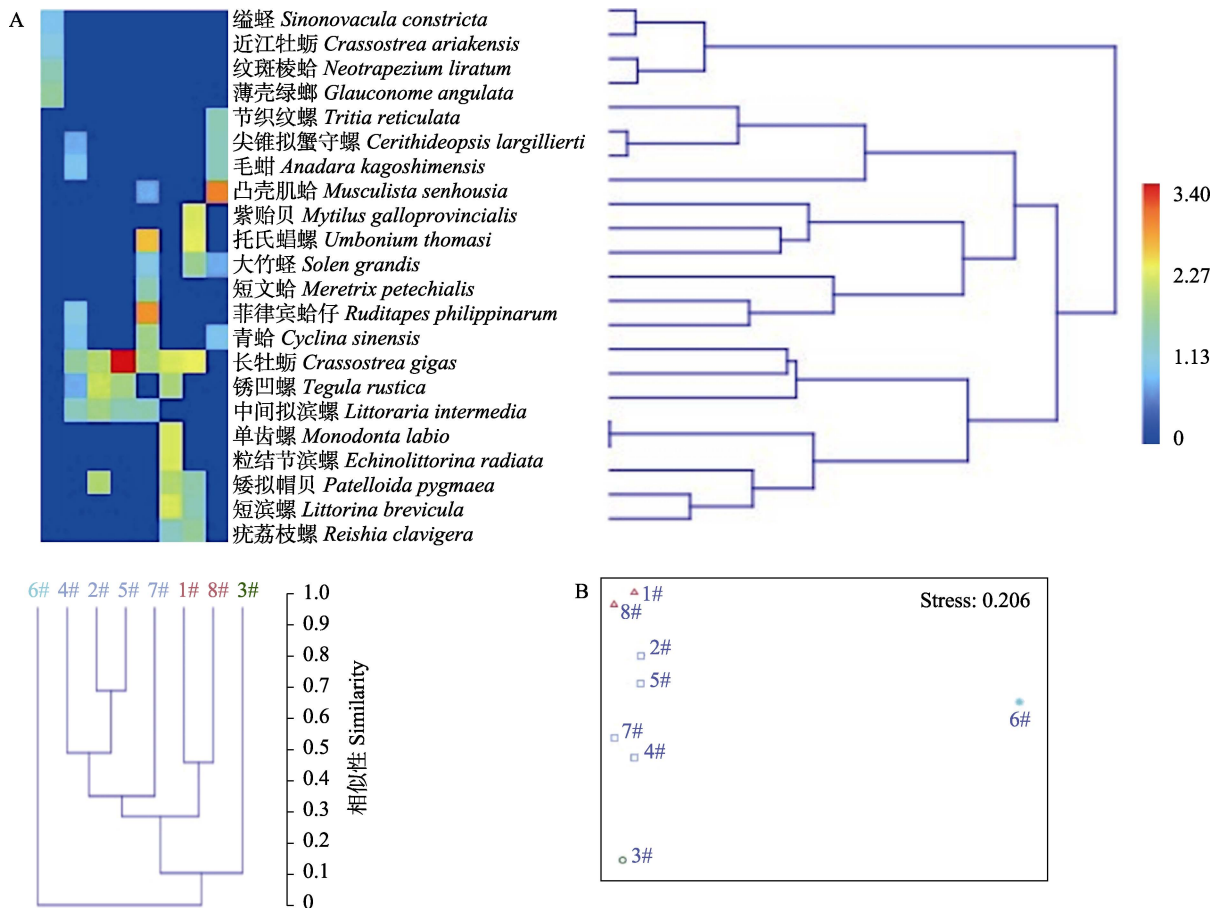


图 6 秋季青岛潮间带各站贝类聚类(Bray-Curtis) (A)与非度量多维排序(nMDS) (B)

Fig.6 Shellfish clustering (Bray-Curtis)(A) and non-metric multi-dimensional scaling (nMDS)(B) at various stations in the Qingdao intertidal zone in autumn.

## 参 考 文 献

- AMOS C L. Chapter 10 siliciclastic tidal flats. *Developments in Sedimentology*, 1995, 53: 273–306
- BAI L R, ZHAO Z Y, LIU Q M, *et al.* Investigation on shellfish species living in the intertidal zone to subtidal zone of Fenjiezhou Island of Hainan. *Agricultural Science and Technology*, 2016, 17(5): 1204–1210
- CAI L T, WANG Y N, LI X F, *et al.* Preliminary study on the shellfish ecology in intertidal zone of the Dongji Island. *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. *海洋科学*, 2013, 37(8): 47–54]
- CHEN W D, WU E W, CAI H C, *et al.* Shellfish species composition and ecological characteristics in rocky intertidal zone in Pishan, Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2017, 36(1): 1–8 [陈万东, 伍尔魏, 蔡厚才, 等. 浙江玉环披山岩礁潮间带贝类种类数量组成与生态特征. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2017, 36(1): 1–8]
- COTA-ORTEGA L E, BARJAU-GONZALEZ, LOPEZ-VIVAS J M, *et al.* Determination of the fish community structure of an intertidal rocky zone of the Pacific coast of Baja California Sur. *Open Journal of Marine Science*, 2022, 12(1): 1–18
- DING S, WANG Z Z. Seawater salinity changes in Rizhao marine environmental monitoring station. *Ocean Development and Management*, 2020, 37(2): 63–65 [丁森, 王珍珍. 日照海洋环境监测站海域表层海水盐度的变化特征. *海洋开发与管理*, 2020, 37(2): 63–65]
- GAO Q, HUANG Y. *Oncholaimuszhangi* sp. nov. (Oncholaimidae, Nematoda) from the intertidal zone of the East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2017, 35(5): 1212–1217
- GE G Y, CHI C F, WANG Z Y, *et al.* Genome-wide identification of the SLC13 gene family in *Crassostrea arakensis* and its expression characteristics in gill under acute salt stress. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(2): 127–137 [葛广玉, 迟长凤, 王振原, 等. 近江牡蛎 SLC13 基因家族的全基因组鉴定及急性高盐胁迫下的表达特征. *中国水产科学*, 2023, 30(2): 127–137]
- GE G Y, ZHOU L Q, JING H, *et al.* Annual variation of shellfish community structure in intertidal zone of Changshan Islands. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(2): 199–209 [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. 渔业科学进展, 2024, 45(2): 199–209]
- GUO B, CHEN W, GAO Y, *et al.* Community characteristics of attaching organisms on the artificial reefs built in different years in Dashentang, Tianjin. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(6): 12–18 [郭彪, 陈卫, 高燕, 等. 天津大神堂海域不同时间序列礁体附着生物群落特征变化. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 12–18]
- HAN X J, KUANG C P, GONG L X, *et al.* Sediment transport and seabed evolution under artificial headlands and beach maintenance. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2022, 53(4): 917–932 [韩雪健, 匡翠萍, 宫立新, 等. 人工岬角和海滩养护下泥沙输运与海床演变. 海洋与湖沼, 2022, 53(4): 917–932]
- HU Y L, LIANG J, XU Y J, *et al.* Relationship between change in zooplankton community structure and water masses in coastal waters of Zhoushan in 2019. *Fisheries Science*, 2022, 41(5): 788–798 [胡亚丽, 梁君, 许永久, 等. 2019年舟山近海浮游动物群落结构变化与水团的关系. 水产科学, 2022, 41(5): 788–798]
- HUANG B, HARPER D A T, HAMMER  $\phi$ . Introduction to PASTA comprehensive statistics software package for paleontological data analysis. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2013, 52(2): 161–181 [黄冰, David A T Harper,  $\phi$ yvind Hammer. 定量古生物学软件 PAST 及其常用功能. 古生物学报, 2013, 52(2): 161–181]
- JIAO H F, ZHENG D, YOU Z, *et al.* Species composition and diversity of macrobenthos in the intertidal zone of Xiangshan Bay, China. *Journal of Ocean University of China*, 2015, 14(2): 375–384
- LAO Z. *Crassostrea ariakensis* farming technology. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2005(1): 15–18 [劳赞. 近江牡蛎养殖技术. 江西水产科技, 2005(1): 15–18]
- LI B Q, PAVLYUK O N, TREBUKHOVA Y A, *et al.* Taxonomic composition and spatial distribution of meiofauna community from a sandy intertidal zone in Sishili Bay, Yellow Sea coast (Northern China). *Journal of Ocean University of China*, 2022, 21(5): 1389–1401
- LI Q H, WAN S M, HE J, *et al.* Human impact on the intertidal environment in Beibu Gulf over the last 200 years. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2014, 34(1): 57–64 [黎清华, 万世明, 何军, 等. 近两百年来人类活动对北部湾潮间带环境的影响. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(1): 57–64]
- LI X Z, LI B Q, WANG H F, *et al.* Macrobenthic community of the intertidal zone of Jiaozhou Bay. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(3): 612–618 [李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态. 动物学报, 2006, 52(3): 612–618]
- LI X, SHI H J, WANG H Y, *et al.* Diversity and distribution of intertidal molluscs in the Yellow River delta, China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(8): 1055–1063
- [李玄, 史会剑, 王海艳, 等. 黄河三角洲潮间带软体动物多样性与分布格局. 生态与农村环境学报, 2020, 36(8): 1055–1063]
- LI Y F, DU F Y, WANG L G, *et al.* Effects of the sediment type on ecological functions of macrobenthos in the intertidal zones of Sanya Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(10): 1559–1571 [李亚芳, 杜飞雁, 王亮根, 等. 底质类型对三亚湾潮间带大型底栖动物生态功能的影响. 水产学报, 2018, 42(10): 1559–1571]
- LI Y R, ZHANG C, LIANG J, *et al.* Survey on molluscs resources in the SP of intertidal zone from Tianjin. *Marine Sciences*, 2017, 41(11): 113–118 [李永仁, 张超, 梁健, 等. 天津潮间带春季贝类资源调查. 海洋科学, 2017, 41(11): 113–118]
- LIAO Y B, ZENG J N, CHEN Q Z, *et al.* Macrobenthos community patterns in the intertidal zone of the Shengsi archipelago in spring and autumn. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(6): 1000–1010 [廖一波, 曾江宁, 陈全震, 等. 嵊泗海岛不同底质潮间带春秋大型底栖动物的群落格局. 动物学报, 2007, 53(6): 1000–1010]
- LIN Y, DING X Y, LÜ H, *et al.* Ecological niche and interspecific association of phytoplankton during the ice-on period of Ulansuhai Lake. *Journal of Hydroecology*, 2023, 44(3): 102–109 [林岩, 丁晓宇, 吕航, 等. 冰封期乌梁素海浮游植物生态位和种间联结性研究. 水生态学杂志, 2023, 44(3): 102–109]
- LIU Y L, GE J W, LI Y Y, *et al.* Correlations between the volume of dominant periphytic algae species and the water quality parameters in Gufu River. *China Environmental Science*, 2015, 35(7): 2182–2191 [刘奕伶, 葛继稳, 李艳元, 等. 古夫河着生藻类优势种体积与水质因子的相关性研究. 中国环境科学, 2015, 35(7): 2182–2191]
- LIU Y, LI J J, CHEN C, *et al.* Characteristics of the intertidal macrobenthic community structure from nine islands in Xiangshan Bay Zhejiang Province, in spring and summer. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2021, 52(3): 685–696 [刘颖, 李进京, 陈晨, 等. 浙江象山港岛屿春、夏季潮间带大型底栖生物的群落结构特征. 海洋与湖沼, 2021, 52(3): 685–696]
- LÜ M, LI Q. Seasonal variations of gonadal development and biochemical components of *Crassostrea gigas* in Tianheng Island sea area, Shandong. *Periodical of Ocean University of China (Natural Science)*, 2022, 52(2): 33–40 [吕敏, 李琪. 山东田横岛海域长牡蛎性腺发育及生化成分周年变化. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(2): 33–40]
- MARGALEF R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University Chicago Press, 1968
- MCNAUGHTON S J. Relationships among functional properties of Californian grassland. *Nature*, 1967, 216(5111): 168–169
- MOSBAHI N, SERBAJI M M, PEZY J P, *et al.* Response of benthic macrofauna to multiple anthropogenic pressures in the shallow coastal zone south of Sfax (Tunisia, central

- Mediterranean Sea). *Environmental Pollution*, 2019, 253: 474–487
- PAN H, TANG Y H. Phytoplankton community structure and eutrophication evaluation of Changtan reservoir. *Journal of Hunan Ecological Science*, 2021, 8(2): 60–65 [潘鸿, 唐宇宏. 长潭水库浮游植物群落结构及其富营养化评价. *湖南生态科学学报*, 2021, 8(2): 60–65]
- RICOTTA C, AVENA G. On the relationship between Pielou's evenness and landscape dominance within the context of Hill's diversity profiles. *Ecological Indicators*, 2003, 2(4): 361–365
- SCHRÖDER M, SONDERMANN M, SURES B, *et al.* Effects of salinity gradients on benthic invertebrate and diatom communities in a German lowland river. *Ecological Indicators*, 2015, 57(1): 236–248
- SERGIO G I, CARMINA T R, RAFAEL F G, *et al.* New records for Gastropoda class of species found in the rocky intertidal zone of the marine priority region 32, Guerrero, Mexico. *Open Journal of Marine Science*, 2014, 4(3): 221–237
- SHANNON C E, CLAUDE E. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, 1949
- SHANNON C E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 1948, 27(3): 379–423
- SHEN G Y, SHI B Z. Marine ecology. Xiamen: Xiamen University Press, 1990 [沈国英, 施并章. 海洋生态学. 厦门: 厦门大学出版社, 1990]
- SHU F Y. Mollusca resources in the intertidal zone along Qingdao coast. *Territory and Natural Resources Study*, 2005(3): 84–84 [舒凤月. 青岛沿海潮间带的贝类资源. *国土与自然资源研究*, 2005(3): 84–84]
- STRONG W L. Biased richness and evenness relationships within Shannon-Wiener index values. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 703–713
- SUN Z. Study on how landscape fragmentation affects biodiversity. *Environment and Sustainable Development*, 2014, 39(5): 36–38 [孙震. 景观破碎化对生物多样性的影响机制探究. *环境与可持续发展*, 2014, 39(5): 36–38]
- TANG G M, ZHONG Y, ZENG X Q. Study on biodiversity of macrobenthic fauna in the rocky intertidal zone of Qingdao. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(5): 8–15 [唐贵明, 钟瑜, 曾晓起. 青岛岩相潮间带大型底栖动物生物多样性调查研究. *南方水产*, 2008, 4(5): 8–15]
- WANG H F, LI B Q, ZHANG B L, *et al.* The ecological research of the macrobenthic community in intertidal zone of Hongshiya, Jiaozhou Bay. *Marine Sciences*, 2006, 30(9): 52–57 [王洪法, 李宝泉, 张宝琳, 等. 胶州湾红石崖潮间带大型底栖动物群落生态学研究. *海洋科学*, 2006, 30(9): 52–57]
- WANG J F, LEI R D. On progress of theoretical research on ecotone. *Journal of Northwest Forestry University*, 2002, 7(4): 24–28 [王健锋, 雷瑞德. 生态交错带研究进展. *西北林学院学报*, 2002, 7(4): 24–28]
- WANG R S, MA S J. Edge effect and its application in economic ecology. *Journal of Ecology*, 1985(2): 38–42 [王如松, 马世骏. 边缘效应及其在经济生态学中的应用. *生态学杂志*, 1985(2): 38–42]
- WANG Y N, ZHOU Y F, DING L F, *et al.* Intertidal shellfish resources of Shitang coastal island, Wenling, Zhejiang, China. *Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering)*, 2003, 16(1): 40–43 [王一农, 周友富, 丁理法, 等. 浙江温岭石塘沿海岛屿的潮间带贝类资源. *宁波大学学报(理工版)*, 2003, 16(1): 40–43]
- WANG Y, LIU X D, XU R J, *et al.* Preliminary study on marine spatial development and carrying capacity of Qingdao. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(2): 53–57 [王琰, 刘晓东, 许瑞军, 等. 青岛市海洋空间开发现状与强度初探. *海洋开发与管理*, 2021, 38(2): 53–57]
- WANG Z L, ZHANG P Y, ZHANG C D. Distribution and habit of tideland Gastropod in Qingdao. *Territory and Natural Resources Study*, 2002(4): 67–69 [王振龙, 张培玉, 张承德. 青岛潮间带腹足类动物分布和习性. *国土与自然资源研究*, 2002(4): 67–69]
- XIE J J, XIE J H, LIN J J, *et al.* Ecological distribution of mollusca in intertidal zone of Quanzhou, Fujian. *Marine Sciences*, 2006, 30(1): 54–62, 92 [谢进金, 谢进辉, 林娟娟, 等. 泉州潮间带贝类的生态分布. *海洋科学*, 2006, 30(1): 54–62, 92]
- XIN M L, WU H Y, LIU W, *et al.* Effects of intertidal zone substrate on growth and distribution of seaweeds. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2022, 44(4): 128–135 [辛美丽, 吴海一, 刘玮, 等. 潮间带底质对大型海藻生长及分布的影响. *海洋湖沼通报*, 2022, 44(4): 128–135]
- YANG L G, CHEN J Z. Shellfish aquaculture. Qingdao: China Ocean University Press, 2018 [阳连贵, 陈家珍. 贝类养殖学. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2018]
- YOU L P, ZHAO Y T, SUN S, *et al.* Types and changing trends of sediments in the coastal waters of Shandong Province. *Ocean Development and Management*, 2022, 39(1): 77–81 [由丽萍, 赵玉庭, 孙珊, 等. 山东省近岸海域沉积物类型及变化趋势. *海洋开发与管理*, 2022, 39(1): 77–81]
- ZHANG C D, SHU F Y. Species composition and distribution of intertidal molluscs at three sites along Qingdao coast. *Territory and Natural Resources Study*, 2007(3): 85 [张承德, 舒凤月. 青岛沿海潮间带三个采集点软体动物种类组成及分布. *国土与自然资源研究*, 2007(3): 85]
- ZHANG S P, ZHANG J L, CHEN Z Y, *et al.* Mollusks of the Yellow Sea and Bohai Sea. Beijing: Science Press, 2016 [张素萍, 张均龙, 陈志云, 等. 黄渤海软体动物图志. 北京: 科学出版社, 2016]
- ZHANG S P. Atlas of marine mollusks in China. Beijing: China Ocean Press, 2008 [张素萍. 中国海洋贝类图鉴. 北京: 海洋出版社, 2008]
- ZHANG X. A preliminary study of edible mollusks in Qingdao. *National Shandong University Science (Series)*, 1933(2):

- 366–378 [张玺. 青岛食用软体动物之初步研究. 国立山东大学科学(丛刊), 1933(2): 366–378]
- ZHANG X, XIANG L J. Study of edible mollusks in Jiaozhou Bay and its vicinity. Contributions from the Institute of Zoology, National Academy of Peiping, 1936(16): 1–94 [张玺, 相里矩. 胶州湾及其附近海产食用软体动物之研究. 国立北平研究院动物学研究所中文报告汇刊, 1936(16): 1–94]
- ZHAO M W, WANG E K, XIA P, *et al.* Distribution and pollution assessment of heavy metals in the intertidal zone environments of typical sea areas in China. Marine pollution Bulletin, 2019, 138: 397–406
- ZHAO Z Y, LIU L, LIU R Y, *et al.* Characteristics of phytoplankton community structure and its relationship with environmental factors in Jiangsu Section of the Yangtze River based on NMDS. Science Technology and Engineering, 2023, 23(22): 9711–9718 [赵梓屹, 刘凌, 刘瑞艳, 等. 基于 NMDS 的长江江苏段浮游植物群落结构特征及其环境因子关系. 科学技术与工程, 2023, 23(22): 9711–9718]
- ZHOU T, DU J, LIU Y Z, *et al.* Effects of constructive species difference on soil fungal diversity in *Larix gmelini* forests. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2023, 43(12): 153–164 [周甜, 杜君, 刘永志, 等. 落叶松林建群种差异对土壤真菌多样性的影响. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(12): 153–164]
- ZHU S X, ZHOU W, ZHANG F J. Macrobenthic animals community characters in summer in the intertidal zones of Zhoushan archipelago, Zhejiang, China. Journal of Marine Sciences, 2010, 28(3): 23–33 [朱四喜, 周唯, 章飞军. 舟山群岛不同底质潮间带夏季大型底栖动物的群落结构特征. 海洋学研究, 2010, 28(3): 23–33]

(编辑 冯小花)

## Species Composition and Community Characteristics of Typical Intertidal Shellfish in Qingdao, China

YUAN Dashan<sup>1,3</sup>, LIU Zhihong<sup>1,2</sup>, MA Peizhen<sup>1</sup>, SUN Xiujun<sup>1,2</sup>,  
ZHOU Liqing<sup>1,2</sup>, LI Zhuanzhuan<sup>1</sup>, XU Dong<sup>1,2</sup>, WU Biao<sup>1,2①</sup>

(1. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China; 3. Shanghai Ocean University, National Aquatic Science Experimental Teaching Demonstration Center, Shanghai 201306, China)

**Abstract** The intertidal zone, a dynamic interface between the ocean and land, is one of the most diverse ecological habitats and harbors some of the richest biological communities. However, due to its unique location at the water's edge, it also bears the brunt of human activities in coastal areas. Intertidal biological resources serve as a foundation for the survival of coastal residents and plays a crucial role in coastal economic development. However, the intertidal zone serves as a primary area for coastal zone development and utilization, facing unprecedented environmental pressure resulting from rapid industrialization, urbanization, and agricultural intensification along coastlines. Consequently, safeguarding the intertidal ecological environment and biodiversity has become imperative for China's marine ecological civilization construction efforts. The coastal substrates in Qingdao encompass a diverse range of types, with predominantly rocky, sandy, and silt-muddy coasts constituting its coastline features. As an important marine center city encompassing coastal resorts and international port cities in China, Qingdao has witnessed rapid growth in its marine industry sector, while experiencing mounting pressure on its intertidal ecosystem. Shellfish are the predominant biological group in Qingdao's intertidal zone, exhibiting significant variation in species composition and community characteristics across different coastal types, thus serving as crucial ecological indicators for this zone. Despite a relatively early start to

① Corresponding author: WU Biao, Email: wubiao@ysfri.ac.cn

research on shellfish resources in Qingdao's intertidal zone, recent surveys focusing on shellfish distribution across various substrates are limited.

To comprehensively assess the resource status and community structure of intertidal shellfish along the Qingdao coast, this study investigated intertidal shellfish resources at eight representative stations, including rocky, sandy, silt-muddy, and mixed sandy-rocky coastal types in May and October 2022. The composition of shellfish species, dominance patterns, and community structure parameters, including the Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index, and Pielou evenness index, were compared and analyzed at each station. Community clustering analyses were performed using similarity coefficient clustering and non-metric multi-dimensional scaling techniques. Our findings revealed in total 40 identified species of intertidal shellfish along the Qingdao coast. Among the stations surveyed for species richness, Canyon Street exhibited the highest number, with 18 species recorded, whereas Jinkou had the lowest, with only six species observed. The dominant species composition varied among survey stations and showed seasonal variations in type and dominance. During spring, *Littorina brevicula*, *Mya arenaria*, and *Patelloida pygmaea* emerged as the dominant species, whereas *Crassostrea gigas*, *Musculista senhousia*, and *Ruditapes philippinarum* dominated during fall. The Shannon-Wiener diversity index ranged from 0.85 to 1.84 and 0.66 to 2.00, Margalef richness index ranged from 0.86 to 1.97 and 0.62 to 2.96, and Pielou evenness index ranged from 0.41 to 0.84 and 0.31 to 0.98 in spring and autumn, respectively. Qiantaoyuan in Langya, Aoshanwei, and Cangkou exhibited the highest Shannon-Wiener diversity and Margalef richness indices among all stations. Community clustering results varied between spring and autumn at each station. Hongshiyi and Jinkou consistently formed separate branches, Cangkou and Wanggezhuang always clustered together, and the former Taoyuan in Langya and Aoshanwei were consistently grouped together. This study revealed that substrate type significantly influenced the composition and community structure characteristics of intertidal shellfish in Qingdao. This study identifies the status of shellfish resources on various substrates within Qingdao's intertidal zone, providing a foundation for resource development, protection, and ecological restoration efforts.

**Key words** Intertidal zone; Substrate; Community structure; Diversity; Dominant species