

## 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物群落结构研究

胡成业<sup>1</sup>, 徐 衡<sup>2</sup>, 邹 莉<sup>3</sup>, 李 良<sup>1</sup>, 水柏年<sup>1\*</sup>

(1. 浙江海洋学院水产学院, 浙江 舟山 316000;

2. 乐清市水产科学研究所, 浙江 乐清 325600;

3. 宁波市海洋与渔业局, 浙江 宁波 325600)

**摘要:** 为研究浙江岛礁区潮间带软体动物群落结构特征, 分别于 2009 年春季(4 月)和秋季(10 月)对浙江沿岸 8 个采样点的软体动物开展调查, 共鉴定软体动物 27 种, 隶属 3 纲 11 目 16 科 22 属。软体动物群落以亚热带种为主, 共 13 种, 其次为广温广布种和温带种, 分别有 12 种和 2 种。春季生物量和栖息密度(156.15 g/m<sup>2</sup>, 83.47 个/m<sup>2</sup>)均高于秋季(88.04 g/m<sup>2</sup>, 63.05 个/m<sup>2</sup>)。春季优势种有疣荔枝螺、渔舟蜒螺、青蚶、齿纹蜒螺及隔贻贝等, 而秋季有疣荔枝螺、单齿螺、青蚶、渔舟蜒螺、条纹隔贻贝及锈凹螺等, 优势种春、秋季节变化明显。各采样点 Shannon-Winner 指数( $H'$ )值介于 1.13~2.77, 均值为 1.85; Pielou 均匀度指数( $J'$ )值介于 0.33~0.77, 均值为 0.64; Margalef 物种丰富度指数( $D$ )值介于 0.80~2.02, 均值为 1.27。运用 Bray-Curtis 相似性聚类和非度量多维标度(MDS)分析, 发现春、秋季软体动物群落在地域空间上均可分为 3 个组, 采用 SIMPER 分析发现组内各采样点间的平均相似率均高于 37%, 组间的平均相异率均高于 66%。

**关键词:** 软体动物; 群落结构; 多样性; 岛礁区; 潮间带; 浙江

**中图分类号:** S 932.8

**文献标志码:** A

软体动物门(Mollusca)是动物界中物种数仅次于节肢动物门(Arthropoda)的门类, 是生态系统中生物群落的重要组成部分, 主要摄食有机碎屑、微小的浮游生物及底栖生物等, 在物质循环和能量流动中起重要的作用。由于海洋重要经济种类资源的衰退, 渔民将采挖经济价值较高的软体动物作为谋生之道, 常年滥采乱挖, 造成重要经济种类资源严重衰退。而非采捕种的数量上升, 特别是一些迁移能力强、繁殖速度快、生活周期短、分布广泛的种, 能够取代采捕种的生态位而成为优势种, 使次生型群落结构深化<sup>[1]</sup>。此外, 资源的不断减少将会加速种质资源衰退, 进而对种质资源库造成破坏, 对物种生存和繁衍构成严重威胁<sup>[2]</sup>。

潮间带是陆地生态系统和海洋生态系统的交错地带, 在海陆理化因子交替作用下环境复杂多

变, 属于生物圈中最敏感的生态系统之一<sup>[3-4]</sup>。国内外曾开展过一些有关软体动物群落结构的研究<sup>[5-9]</sup>。关于浙江潮间带软体动物的研究, 主要涉及种类组成与分布、区系及生态学研究, 如邹莉等<sup>[2]</sup>报道浙江沿岸岛礁区贝类种类组成与分布, 洪君超等<sup>[10]</sup>研究渔山列岛潮间带软体动物区系, 蔡林婷等<sup>[11]</sup>对舟山东极岛潮间带贝类生态学研究, 而对浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物群落结构的系统研究较少。通过开展对软体动物群落结构的研究, 可为浙江省软体动物资源利用保护提供理论依据, 同时为今后开展海洋生态系统结构和功能研究提供基础资料。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 样品的采集、处理和分析

于 2009 年春季(4 月)和秋季(10 月), 在浙

收稿日期:2014-12-09 修回日期:2015-05-10

资助项目:浙江省重中之重学科“海洋科学学科”;国家科技支撑计划子课题(2007BAD43B03);浙江省教育厅大学生创新创业孵化项目

通信作者:水柏年, E-mail:shuibonian@163.com

江的秀山、小乌石塘、象山港、宁海、三门、石塘、洞头和南麂列岛的岛礁区潮间带布设了 8 个采样点(图 1)。在每个采样点的高潮带、中潮带和低潮带每隔 5 m 采集 3 ~ 5 个样方,每个样方用 50 cm × 50 cm 定量框确定取样位置,采集样方内的所有软体动物,置于样品袋中,无水酒精固定后带回实验室进行分类鉴定、计数和称重,采样与测定方法遵循国家标准《海洋调查规范》(GBT12763.6-2007)<sup>[12]</sup>。

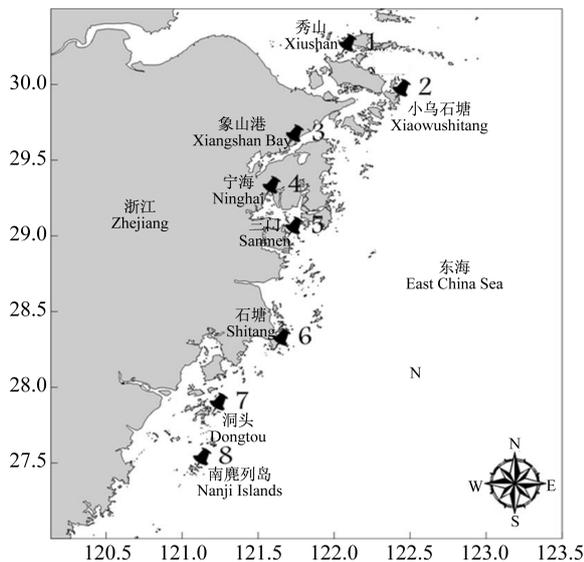


图 1 采样点

Fig. 1 The sampling sites

## 1.2 数据处理

**物种优势度** 物种优势度( $Y$ )计算公式: $Y = (N_i/N)f_i$ 。式中, $N_i$ 为第  $i$  种的个数, $f_i$ 为该种在各采样点出现的频率, $N$ 为所有物种出现的总个数。 $Y > 0.02$  的种类视为优势种。

**多样性指数** 采用 Shannon-Wiener 指数( $H'$ )、Pielou 均匀度指数( $J'$ )及 Margalef 物种丰富度指数( $D$ )对软体动物群落进行多样性分析。为减少不同种类及同种类间个体差异,Willhm<sup>[13]</sup>提出用生物量表示的多样性更接近种类间的能量分布,因此本研究根据生物量分析软体动物多样性。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i;$$

$$J' = H' / \ln S;$$

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

式中, $S$ 为总种数; $N(g)$ 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。

**群落结构分析** 在进行群落结构分析前,对软体动物生物量采用对数转化 $[\lg(x+1)]$ ,以降低少数优势种权重对数据分析的影响,使它们的分布更接近正态分布<sup>[14]</sup>。在 Bray-Curtis 相似性测量的基础上,采用聚类和非度量多维标度(MDS)进行群落结构分析,对这两种方法结果的准确性进行验证。通过胁强系数(stress)评价 MDS 结果,当  $stress < 0.05$  时效果极好, $stress < 0.1$  时效果较好, $stress < 0.2$  时效果一般;采用相似性百分比(SIMPER)分析软体动物对组内相似性和组间相异性的贡献率,将贡献率 $\geq 3\%$ 的软体动物定义为典型种<sup>[15]</sup>。

采用 SPSS19.0 软件进行方差分析(One-Way ANOVA),利用 PRIMER 5.0 软件进行 Bray-Curtis 相似性聚类、非度量多维标度(MDS)分析和相似性百分比(SIMPER)分析。

## 2 结果

### 2.1 种类组成与数量分布

浙江岛礁区 8 个采样点潮间带春、秋季共鉴定出软体动物 27 种,隶属于 3 纲 11 目 16 科 22 属。其中腹足纲(Gastropoda)种类最多,达 14 种;其次为双壳纲(Bivalvia),达 8 种;多板纲(Polyplacophora)4 种。各采样点间的种类分布不均匀,其中南麂列岛种数最多,春季达 12 种,秋季达 14 种;宁海出现的软体动物种类最少,春季为 5 种,秋季仅 3 种;其余采样点为 6 ~ 10 种。依据文献<sup>[11,16]</sup>,将软体动物区系按温度性质可划分为广温广布种、温带种、亚热带种,其中亚热带种最多,如嫁蛾(*Cellana toreuma*)及琉球花棘侧石鳖(*Acanthopleura loochooana*)等,共 13 种;广温广布种次之,如锈凹螺(*Chlorostoma rusticum*)、单齿螺(*Monodonta labio*),共 12 种;温带种,仅有紫贻贝(*Mytilus edulis*)和偏顶蛤(*Modiolus modiolus*)2 种(表 1)。

春季软体动物群落平均生物量和栖息密度分别为 156.15 g/m<sup>2</sup> 和 83.47 个/m<sup>2</sup>,腹足纲平均生物量最高,达 110.67 g/m<sup>2</sup>,双壳纲为 44.77 g/m<sup>2</sup>;腹足纲平均栖息密度最高,达 69.28 个/m<sup>2</sup>,双壳纲为 13.81 个/m<sup>2</sup>。秋季平均生物量和栖息密度分别为 88.04 g/m<sup>2</sup> 和 63.05 个/m<sup>2</sup>,腹足纲平均生物量最高,达 58.63 g/m<sup>2</sup>,双壳纲为

28.40 g/m<sup>2</sup>;腹足纲平均栖息密度最高,达49.29 个/m<sup>2</sup>,双壳纲为13.33 个/m<sup>2</sup>。单因子方差分析结果表明,软体动物群落平均生物量( $F_{7,15} = 3.02, P = 0.072$ )和栖息密度( $F_{7,15} = 1.55, P =$

0.274)各采样点间差异不显著;而季节间软体动物群落平均生物量( $F_{1,15} = 3.46, P < 0.05$ )和栖息密度( $F_{1,15} = 3.21, P < 0.05$ )表现出显著性差异。

表 1 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物物种名录  
Tab. 1 List of molluscs species in the rocky intertidal zone of Zhejiang coast

种名 Species	季节 Season		分布潮带 Distributed intertidal zone			适温类型 Temperature
	春季 Spring	秋季 Autumn	低潮带 LIZ	高潮带 HIZ	中潮带 MIZ	
琉球花棘侧石鳖 <i>Acanthopleura loochooana</i>		*	*	*		■
函馆锉石鳖 <i>Ischnochiton hakodadensis</i>	*			*	*	▲
日本宽板石鳖 <i>Placiphorella japonica</i>		*			*	■
红条毛肤石鳖 <i>Acanthochiton rubrolineatus</i>	*	*		*	*	▲
嫁蛾 <i>Cellana toreuma</i>	*	*	*			▲
斗嫁蛾 <i>Cellana grata</i>	*	*	*			■
史氏背尖贝 <i>Notoacmea schrenckii</i>	*	*	*			▲
锈凹螺 <i>Chlorostoma rusticum</i>	*	*	*	*	*	▲
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>	*	*	*	*	*	▲
单一丽口螺 <i>Calliostoma unicum</i>	*		*	*	*	▲
渔舟蛭螺 <i>Nerita albicilla</i>	*	*	*	*	*	■
齿纹蛭螺 <i>Nerita yoldi</i>	*	*	*	*		■
角蝶螺 <i>Turbo cornutus</i>	*	*			*	■
粒花冠小月螺 <i>Lunella coronata granulata</i>	*	*	*	*	*	▲
短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>	*		*			▲
粒蝌蚪螺 <i>Gyrineum natator</i>	*		*	*	*	■
疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>	*	*		*	*	▲
黄口荔枝螺 <i>Thais luteostoma</i>	*	*		*	*	▲
青蚶 <i>Barbatia virescens</i>	*	*	*	*	*	■
毛蚶 <i>Scapharca kagoshimensis</i>		*			*	▲
布纹蚶 <i>Barbatia grayana</i>		*		*	*	■
条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>	*	*		*	*	■
紫贻贝 <i>Mytilus edulis</i>	*				*	★
隔贻贝 <i>Septifer bilocularis</i>	*	*			*	■
偏顶蛤 <i>Modiolus modiolus</i>	*				*	★
近江牡蛎 <i>Crassostrea ariakensis</i>	*				*	■
异纹心蛤 <i>Cardita variegata</i>		*			*	■

注: \* 表示该种类在对应季节和潮带出现;▲表示广温种;★表示温带种;■表示亚热带种

Note: \* indicates that the species occurs in the corresponding season and tidal zone;▲ indicates eurythermal species;★ indicates temperate species;■ indicates subtropical species

## 2.2 优势度及优势种

软体动物群落中,春季疣荔枝螺(*Thais clavigera*)的优势度最高,达0.46,是该季节的第一优势种,其次是渔舟蛭螺(*Nerita albicilla*)、青蚶(*Barbatia virescens*)、齿纹蛭螺(*Nerita yoldi*)与隔贻贝(*Septifer bilocularis*);秋季优势度最高的仍是疣荔枝螺,达0.33,其次是单齿螺、青蚶、

渔舟蛭螺、条纹隔贻贝(*Septifer virgatus*)与锈凹螺。除疣荔枝螺春、秋两季均为排序第一的优势种外,其他优势种的种类组成及排序发生了较大的变化(表2)。

在不同采样点的群落中,优势种的种类数量与时空变化不尽相同。秀山春、秋季分别为2种和3种,小乌石塘为1种和4种,象山港为3种和

表 2 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物主要优势种及对应优势度  
 Tab.2 Dominant species of molluscs and its dominance in the rock intertidal zone of Zhejiang coast

优势种 dominant species	秀山 Xiushan		小乌石塘 Xiaowushitang		象山港 Xiangshan Bay		宁海 Ninghai
	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring
斗嫁蛾 <i>Cellana grata</i>							
锈凹螺 <i>Chlorostoma rusticum</i>							
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>		0.22		0.33	0.03	0.1	
齿纹蜒螺 <i>Nerita yoldi</i>	0.35	0.03					
渔舟蜒螺 <i>Nerita albicilla</i>					0.29	0.33	
疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>	0.21	0.15	0.8	0.37	0.27	0.05	0.55
黄口荔枝螺 <i>Thais luteostoma</i>							
粒花冠小月螺 <i>Lunella coronata granulata</i>				0.05			
青蚶 <i>Barbatia virescens</i>						0.04	0.34
隔贻贝 <i>Septifer bilocularis</i>				0.05			
紫贻贝 <i>Mytilus edulis</i>							
条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>							

优势种 dominant species	三门 Sanmen		石塘 Shitang		洞头 Dongtou		南麂列岛 Nanji Islands
	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring
斗嫁蛾 <i>Cellana grata</i>				0.03			
锈凹螺 <i>Chlorostoma rusticum</i>							0.12
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>		0.31					
齿纹蜒螺 <i>Nerita yoldi</i>							
渔舟蜒螺 <i>Nerita albicilla</i>	0.39					0.03	
疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>	0.31		0.52	0.27	0.37	0.37	0.32
黄口荔枝螺 <i>Thais luteostoma</i>							0.03
粒花冠小月螺 <i>Lunella coronata granulata</i>		0.05					
青蚶 <i>Barbatia virescens</i>	0.06					0.03	
隔贻贝 <i>Septifer bilocularis</i>			0.07		0.2		
紫贻贝 <i>Mytilus edulis</i>		0.04			0.16		0.05
条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>				0.02			0.1

4 种,宁海均为 2 种,三门均为 3 种,石塘为 2 种和 4 种,洞头均为 3 种,以及南麂列岛为 5 种和 3 种。其中,除三门秋季外,疣荔枝螺在春秋两季各采样点中均为优势种;其他优势种季节性变化较明显,如粒花冠小月螺 (*Lunella coronata granulata*) 在小乌石塘和三门均为秋季优势种,但不是春季优势种。

### 2.3 物种多样性

春季, $H'$  值为南麂列岛最高,达 2.77,小乌石塘最低,仅为 1.13; $J'$  值南麂列岛最高,达 0.77,小乌石塘最低,仅为 0.33; $D$  值秀山最高,达 1.

79,宁海最低,仅为 0.63。在秋季, $H'$  值南麂列岛最高,达 2.06,宁海最低,仅为 1.13; $J'$  值宁海最高,达 0.75,南麂列岛最低,仅为 0.53; $D$  值南麂列岛最高,达 2.02,宁海最低,仅为 0.34。结果显示,各采样点的  $H'$  值及  $D$  值普遍不高(表 3)。

### 2.4 群落划分

基于生物量对软体动物群落特征进行聚类分析得出,春季 8 个采样点在相似度为 29.05% 时,可划分为 3 组(图 2)。其中,南麂列岛和洞头群落相似度为 53.26%,聚为一支,组成 A 组;三门、小乌石塘、象山港、宁海及秀山群落相似度为

表 3 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物群落多样性指数  
Tab.3 Biodiversity indices of molluscs in the rock  
intertidal zone of Zhejiang coast

采样点 Sampling sites	季节 Season	指数 Index		
		$H'$	$J'$	$D$
秀山 Xiu shan	春季 spring	1.94	0.61	1.79
	秋季 autumn	2.02	0.72	1.32
小乌石塘 Xiao wu shi tang	春季 spring	1.13	0.33	1.64
	秋季 autumn	1.97	0.66	1.18
象山港 Xiang shan Bay	春季 spring	1.9	0.64	1.15
	秋季 autumn	2.04	0.73	1.14
宁海 Ning hai	春季 spring	1.41	0.61	0.63
	秋季 autumn	1.19	0.75	0.34
三门 San men	春季 spring	1.95	0.59	1.52
	秋季 autumn	1.94	0.61	1.61
石塘 Shi tang	春季 spring	1.29	0.56	0.8
	秋季 autumn	2.02	0.72	1.3
洞头 Dong tou	春季 spring	2.18	0.66	1.48
	秋季 autumn	1.79	0.69	0.98
南麂列岛 Nanji Islands	春季 spring	2.77	0.77	1.47
	秋季 autumn	2.06	0.53	2.02
均值 average		1.85	0.64	1.27

51.73%,聚为一支,组成 B 组;石塘群落单独组成 C 组;B 组与 C 组群落相似度为 38.99%,聚为一支,并与 A 组在相似度 29.02% 时相聚。秋季 8 个采样点在相似度为 30.63% 时,也可划分为 3 组。其中,三门与小乌石塘群落相似度为 55.09%,聚为一支,象山港与秀山,群落相似度为 74.88%,聚为一支,两者群落相似度 48.30%,聚为一支,共同组成 A 组;洞头与宁海群落相似度为 67.92%,聚为一支,并与石塘群落相似度为 54.87%,聚为一支,共同组成 B 组;南麂列岛群落单独组成 C 组;A 组与 B 组群落相似度为

38.72%,聚为一支,并与 C 组在群落相似度为 30.64% 相聚。

春、秋季 MDS 分析的 stress 值为 0.06 和 0.08,均小于 0.1,排序效果较好。MDS 二维图呈现出不同程度的离散点阵,也表明春、秋季 8 个采样点也分为 3 组(图 3),与聚类分析结果完全一致,进一步的验证了 Bray-Curtis 相似性聚类。

## 2.5 群落结构

春季群落 SIMPER 分析结果表明,依据 Bray-Curtis 相似性聚类和 MDS 排序分组结果,A 组共 5 个采样点,占采样点的一半以上,各采样点间的平均相似率为 37.36%,典型种为疣荔枝螺、渔舟蜒螺和齿纹蜒螺,对组内平均相似性的累计贡献率达到 92.80%(表 4)。B 组共 2 个采样点,平均相似率为 37.98%,典型种为疣荔枝螺、渔舟蜒螺和齿纹蜒螺,对组内平均相似性的累计贡献率达到 92.20%。C 组仅 1 个采样点,因此不存在采样点间的相似率及组内典型种。A 组和 B 组组间的平均相异率达到 79.89%,分歧种有紫贻贝、隔贻贝和疣荔枝螺等,对组间平均相异性的累计贡献率达到 92.50%。A 组和 C 组组间的平均相异率达到 69.50%,分歧种有紫贻贝、隔贻贝和条纹隔贻贝等,对组间平均相异性的累计贡献率达到 90.50%。B 组和 C 组组间的平均相异率达到 66.26%,分歧种有疣荔枝螺、渔舟蜒螺和青蚶等,对组间平均相异性的累计贡献率达到 91.90%(表 4)。

秋季群落 SIMPER 分析结果表明,A 组共 4 个采样点,占采样点的一半,各采样点间的平均相似率为 42.41%,典型种有单齿螺、疣荔枝螺和渔舟蜒螺等,对组内平均相似性的累计贡献率达到 94.60%。B 组共 3 个采样点,平均相似率为 46.95%,典型种为疣荔枝螺、青蚶和条纹隔贻贝,对组内平均相似性的累计贡献率达到 96.40%。C 组仅 1 个采样点,因此不存在采样点间的相似率及组内典型种。A 组和 B 组组间的平均相异率达到 75.50%,分歧种有疣荔枝螺、单齿螺和青蚶等,对组间平均相异性的累计贡献率达到 90.20%。A 组和 C 组组间的平均相异率达到 91.85%,分歧种有锈凹螺、条纹隔贻贝和单齿螺等,对组间平均相异性的累计贡献率达到 89.50%。B 组和 C 组组间的平均相异率达到 84.40%,分歧种有锈凹螺、条纹隔贻贝和青蚶等,对组间平均相异性的累计贡献率达到 92.00%(表 4)。

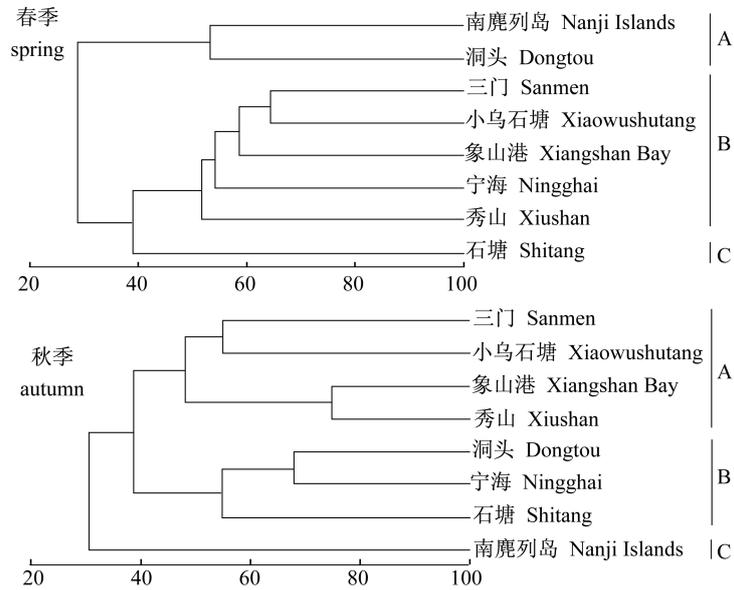


图 2 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物群落 Bray-Curtis 相似性聚类

Fig. 2 Bray-Curtis similarity clusters of molluscs in the rocky intertidal zone of Zhejiang coast

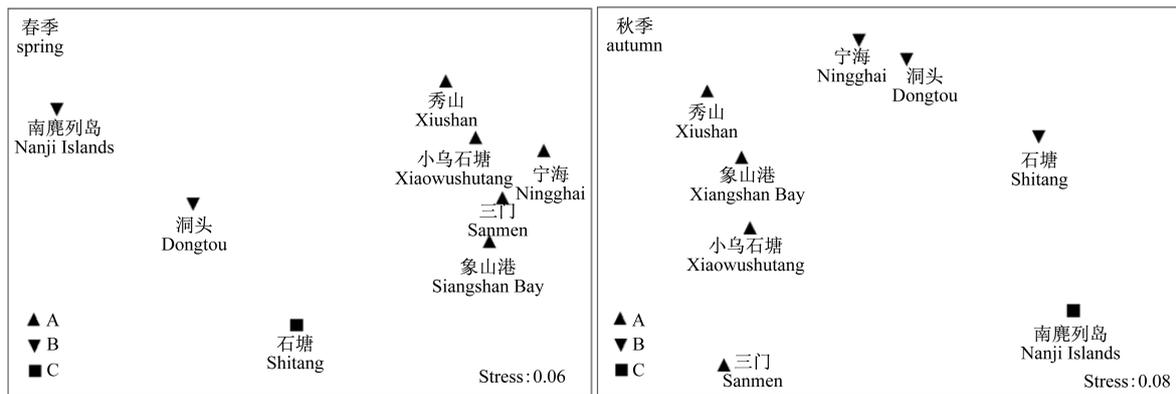


图 3 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物群落 MDS 排序分析

Fig. 3 MDS of molluscs in the rocky intertidal zone of Zhejiang coast

表 4 浙江沿岸岛礁区潮间带体动物群落组内典型种和组间分歧种及其贡献率

Tab. 4 Typifying species within station groups and discriminating species between spatial groups and their contributions percentage for molluscs in the rocky intertidal zone of Zhejiang coast

种类 species	春季 spring					秋季 autumn				
	A	B	A & B	A & C	B & C	A	B	A & B	A & C	B & C
疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>	25.01	71.63	13.44	8.12	36.83	20.85	68.35	26.39	5.40	8.39
渔舟蜒螺 <i>Nerita albicilla</i>		12.70	6.43		17.10	8.07		9.87	3.62	
齿纹蜒螺 <i>Nerita yoldi</i>		7.90	3.19		9.05					
隔贻贝 <i>Septifer bilocularis</i>	34.21		17.56	19.51	11.91					
紫贻贝 <i>Mytilus edulis</i>	33.60		19.26	27.37						
锈凹螺 <i>Chlorostoma rusticum</i>			11.88	15.21					37.12	40.16

续表 4

种类 species	春季 spring					秋季 autumn				
	A	B	A & B	A & C	B & C	A	B	A & B	A & C	B & C
条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>			11.29	15.25			10.80	5.79	30.39	30.79
青蚶 <i>Barbatia virescens</i>			5.46		13.89		17.24	18.20		8.48
角蝾螺 <i>Turbo cornutus</i>			3.95	5.06					3.87	4.18
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>					3.07	61.05		25.88	9.09	
粒花冠小月螺 <i>Lunella coronate granulata</i>						4.61		4.06		
总计 Total	92.80	92.20	92.50	90.50	91.90	94.60	96.40	90.20	89.50	92.00

注:表中 A、B、C 分组参照图 2 结果

Notes: Group A, B and C in this table are referred to Fig. 2

### 3 讨论

#### 3.1 软体动物分布和区系分析

研究结果表明,春季软体动物的生物量和栖息密度均较高,秋季较低,呈现季节波动性。春季温度逐渐上升,光照强度较强,适宜浮游植物生长,为软体动物提供丰富的食物来源。而秋季温度逐渐下降,柯盛等<sup>[17]</sup>研究表明温度较低等因素使浮游植物生长缓慢,且低温使软体动物活动时间与强度下降,体内酶的活性下降,新陈代谢缓慢,摄食量下降,影响其生长发育,故春季生物量高于秋季。此外,邹莉等<sup>[2]</sup>研究发现春季水温回升,大量的软体动物为寻求适宜的栖息地由潮下带迁移至潮间带,其中腹足类喜好将卵产在温度较高、光线较好、氧气充足和饵料丰富的场所<sup>[18]</sup>,故春季适宜栖息地密度较高。而秋季随着温度和光照强度逐渐降低,外加人为干扰、自然死亡等因素影响,群落生物量和栖息密度降低。

浙江软体动物区系属于印度—西太平洋的中国—日本亚区,分布有广温广布种、温带种和亚热带种 3 个类群<sup>[16,19]</sup>。研究发现,秀山、小乌石塘和象山港软体动物以广温广布种为主,占所鉴定种类的 60.17%,而象山港以南的采样点以亚热带种为主,占所鉴定种类的 54.97%。这主要是象山港以北沿岸海域受长江冲淡水系的直接影响,全年几乎被沿岸低盐水系控制,海水年温差较大,温差可达 20℃ 以上,适宜广温广布种分布;而象山港以南沿岸海域,每年 3—9 月,西南季风使

台湾暖流北上势力加强,近半年时间受到台湾暖流的影响和控制,适宜亚热带种分布<sup>[20-21]</sup>。此外,在三门、洞头和南麂列岛发现温带种,如紫贻贝和偏顶蛤,这主要是每年 10 月以后,受东北季风影响,闽浙沿岸流向外海推移,南下的黄海冷水团影响该海域,一些起源于北方的温带性种类渗入本海区<sup>[22]</sup>。

#### 3.2 群落多样性分析

潮间带软体动物群落分布与所处地理位置及其生境类型密切相关,盐度和水动力是重要的影响因子<sup>[23]</sup>。因此,不同采样点软体动物种类及其栖息密度和生物量存在较大差异,多样性指数也不同。研究发现,南麂列岛软体动物群落的 Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ ) 与 Margalef 物种丰富度指数 ( $D$ ) 均为最高。究其原因,南麂列岛是贝类及藻类国家自然保护区,物种丰富,且远离大陆,受人为干扰影响相对较小,使  $H'$  与  $D$  值高于其他采样点。此外,这也与台湾暖流及浙江沿岸流控制有关,春、夏季该海域受台湾暖流控制,而秋、冬季则受浙江沿岸流的影响,但沿岸水系较弱,因而适宜的环境促使更多的软体动物在此生长、繁殖<sup>[24]</sup>。与以往研究相比,发现洞头春季  $H'$  值 (2.18) 高于仇建标等<sup>[25]</sup> (1.53),而秋季 (1.79) 略低于其值 (1.90);  $D$  值 (春季 1.48, 秋季 0.98) 均低于其值 (春季 2.95, 秋季 2.05)。导致上述结果的原因可能是,本次调查采样点受人类采挖影响较严重,造成经济种资源衰退,物种更趋单一化。此外,生境破碎是生物多样性下降另

一原因<sup>[26]</sup>。洞头跨海大桥的通车,虽推动其经济的发展,但大批涉海工程也随之开工建设,破坏了潮间带及浅海生境,致使生物多样性下降。

Shannon-Wiener 指数广泛被应用于海洋污染及潮间带动物群落结构变化评价。依据 Shannon-Wiener 指数评价标准, $H'$  值在 2-3 为轻度污染,1-2 为中度污染<sup>[27]</sup>。研究发现,浙江沿岸岛礁区潮间带  $H'$  值普遍较低,其中仅有南麂列岛的  $H'$  均值大于 2,其余各个采样点的  $H'$  均值介于 1-2。这表明南麂列岛软体动物群落受轻度干扰,而其余的均受中度干扰。南麂列岛国家级海洋自然保护区成立已有二十余年,潮间带生物多样性得到有效的保护,但在利益的驱使下,偷采现象屡禁不止。此外,随着游客量逐年上升,旅游旺季日游客量近两千余人,游客带来的生活垃圾及对潮间带生物资源的破坏,使得软体动物群落长期处于受干扰状态。

### 3.3 群落结构分析

研究表明,多元统计分析方法比物种多样性指数更能体现群落结构的变化<sup>[28-29]</sup>。Bray - Curtis 相似性聚类分析和 MDS 分析结果表明,春、秋季 8 个采样点群落均可划分为 3 组。究其原因,软体动物群落的空间差异主要是不同采样点的环境存在差异,造就了不同的生境,不同的生境栖息着不同种类及优势种的软体动物,从而形成了不同软体动物群落在空间序列上的群聚。SIMPER 分析发现,组内各采样点间的平均相似率均高于 37%,且秋季高于春季,其中秋季 B 组的最高,达到 46.95%。这主要是秋季宁海、石塘和洞头 3 个采样点均出现疣荔枝螺、青蚶和条纹隔贻贝,且它们均为 B 组的典型种,对组内平均相似性的累计贡献率达到 96.40%,因此平均相异率最高。组间的平均相异率,也是秋季高于春季,尤其是 A 组和 C 组组间的平均相异率最高,达到 91.85%。王全超等<sup>[30]</sup> 研究结果表明,造成不同组之间差异的是贡献率大于 5% 的物种,本研究发现锈凹螺和条纹隔贻贝的贡献率高达 37.12% 和 30.39%,且仅在 C 组出现,故锈凹螺和条纹隔贻贝是造成秋季 A 组和 C 组组间的平均相异率较高的原因之一。此外,王卉等<sup>[31]</sup> 研究发现组 1 谭氏泥蟹栖息密度非常大,而组 3 中未出现,是造成组间差异的最重要物种。本研究 C 组中的琉球花棘侧石鳖、角蝶螺及黄口荔枝螺等

7 种软体动物的栖息密度较高,且在 A 组中均未出现,这也是造成这一结果的原因之一。

对造成组内相似的典型种及组间差异的分歧种进行分析,发现各组内的典型种均为组间的分歧种,如春季的疣荔枝螺、渔舟蜒螺及齿纹蜒螺等,秋季的条纹隔贻贝、青蚶及单齿螺等,尤其是秋季 C 组的锈凹螺均为 A 组和 C 组及 B 组和 C 组的分歧种,且对组间平均相异性的累计贡献率高达 37.12% 和 40.16%。这可能与锈凹螺仅出现在 C 组(南麂列岛),且生物量达到 92.32 g/m<sup>2</sup>,栖息密度达到 51.67 个/m<sup>2</sup>,是排序第一的优势种有关。进一步分析,造成组内群落结构相似的典型种和造成组间群落结构差异分歧种主要为不同采样点的优势种,这与王小林等<sup>[32]</sup> 对海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构的研究结果一致。本研究只针对春、秋季浙江岛礁区潮间带软体动物群落结构的研究,而夏、冬季软体动物群落结构变化有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 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. [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.海洋与湖沼,2009,40(5):584 - 589.]
- [2] Zou L, Zhang L, Shui B N, *et al.* The species composition and distribution of lithofacies seashells (Mollusc) in the intertidal zone of Zhejiang coast [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(11): 1769 - 1775. [邹莉,张龙,水柏年等.浙江省沿岸岛礁区贝类种类组成与分布特征.水产学报,2010,34(11):1769 - 1775.]
- [3] Tang G M. Study on biodiversity of macrobenthos in the rocky intertidal zone of Qingdao [D]. Qindao: Ocean University of China, 2008. [唐贵明.青岛岩相潮间带大型底栖生物生物多样性调查研究.青岛:中国海洋大学,2008.]
- [4] Zhou S Q, Guo F, Wu L S, *et al.* The study on the ecology of the benthic community in intertidal zone, Fujian Islands [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(5): 104 - 109. [周时强,郭丰,吴荔生,等.福建海岛潮间带底栖生物群落生态的研究.海洋学报,2001,23(5):104 - 109.]
- [5] Cyrus R, Marc E, Martine L, *et al.* Trace metal

- pollution and its influence on the community structure of soft bottom molluscs in intertidal areas of the Dares Salaam coast, Tanzania [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(3): 521 - 531.
- [6] Denadai M R, Amaral A C, Turra A. Structure of molluscan assemblages in sheltered intertidal unconsolidated environments [J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2005, 48(5): 825 - 839.
- [7] Misra S, Kundu R. Seasonal variations in population dynamics of key intertidal mollusks at two contrasting locations [J]. *Aquatic Ecology*, 2005, 39(3): 315 - 324.
- [8] Tang Y J, Yu S X. Molluscs fall structure in Zhanjiang mangrove nature reserves [J]. *Journal of Jiangxi Normal University: Natural Science*, 2007, 31(1): 97 - 102. [唐以杰, 余世孝. 广东湛江红树林自然保护区软体动物的群落结构. *江西师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 31(1): 97 - 102.]
- [9] Lin W, Lai L P, Tang Y J. Species diversity of mollusc in intertidal zone, Daya Bay [J]. *Biodiversity Science*, 2001, 9(3): 247 - 253. [林炜, 赖丽萍, 唐以杰. 大亚湾潮间带软体动物的物种多样性初步研究. *生物多样性*, 2001, 9(3): 247 - 253.]
- [10] Hong J C, You Z J, Wang Y W, *et al.* A preliminary analysis on the mollusca fauna of the Yushan Islands tideland, East China Sea [J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1984, 3(1): 21 - 28. [洪君超, 尤仲杰, 王依望, 等. 渔山列岛潮间带软体动物区系的初步分析 [J]. *浙江水产学院学报*, 1984, 3(1): 21 - 28.]
- [11] Cai L T, Wang Y N, Li Y F, *et al.* Preliminary study on the shellfish ecology in intertidal zone of the Dongji Island [J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(8): 47 - 54. [蔡林婷, 王一农, 李祥付, 等. 舟山东极岛潮间带贝类生态学初步研究. *海洋科学*, 2013, 37(8): 47 - 54.]
- [12] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ), Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). GBT 12763. 6 - 2007 Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [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. GBT 12763. 6—2007 海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [13] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon formula [J]. *Ecology*, 1968, 49(1): 153 - 156.
- [14] Liu S D, Xian W W, Liu D. Characteristic of ichthyoplankton assemblages in Yangtze Estuary and adjacent waters in spring [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2284 - 2292. [刘淑德, 线微微, 刘栋. 春季长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落特征. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2284 - 2292.]
- [15] Clarke K R, Warwick R M. Changes in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation [M]. 5th Edition. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory, 2001: 41 - 70.
- [16] Cai R X, Huang W H. Fauna of Zhejiang mollusks [M]. Hangzhou: Zhejiang Science & Technology Press, 1991: 4 - 7. [蔡如星, 黄惟灏. 浙江动物志—软体动物. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 4 - 7.]
- [17] Ke S, Shen Y C, Xie E Y, *et al.* Biodiversity of the benthic shellfish in the intertidal zone of the Liusha Bay, Leizhou Peninsula [J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(5): 547 - 553. [柯盛, 申玉春, 谢恩义, 等. 雷州半岛流沙湾潮间带底栖贝类多样性. *生物多样性*, 2013, 21(5): 547 - 553.]
- [18] Cai Y Y, Zhang Y, Wei N F. Introduction of malacology [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1995: 161. [蔡英亚, 张英, 魏若飞. 贝类学概论. 上海: 上海科学技术出版社, 1995: 161.]
- [19] Zhang X, Qi Z Y, Zhang F S, *et al.* A preliminary study of the demarcation of marine molluscan faunal regions of China and its adjacent waters. [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1963, 5(2): 124 - 138. [张玺, 齐钟彦, 张福绥, 等. 中国海软体动物区系区划的初步研究. *海洋与湖沼*, 1963, 5(2): 124 - 138.]
- [20] You Z J, Li W J, Hong J C. Distribution and fauna of prosobranchia along the Zhijiang coast. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1985, 4(1): 25 - 34. [尤仲杰, 李伟健, 洪君超. 浙江沿海前鳃类软体动物的分布及其区系. *浙江水产学院学报*, 1985, 4(1): 25 - 34.]
- [21] Chen S Y, Wang Y T, Sun J Z, *et al.* Study on molluscan fauna of Nanji Islands, East China Sea [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1980, 26(2): 171 - 177. [陈赛英, 王一婷, 孙建章, 等. 浙江南麂列岛贝类区系的研究. *动物学报*, 1980, 26(2): 171 - 177.]
- [22] Zhang Y P, Shan L Z. Fauna of bivalve study in

- Dongtou Islands of Zhejiang [J]. Chinese Journal of Zoology, 1994, 29(1): 8-14. [张永普, 单乐州. 浙江洞头列岛双壳类软体动物区系研究. 动物学杂志, 1994, 29(1): 8-14.]
- [23] Zhou S Q, Huang L F, Guo F, *et al.* Distribution characteristics of mollusk community intertidal zone, islands of Fujian [J]. Marine Sciences, 2001, 25(8): 5-8. [周时强, 黄凌风, 郭丰, 等. 福建海岛潮间带软体动物群落分布特征. 海洋科学, 2001, 25(8): 5-8.]
- [24] Chen G T, Yang X L, Yang J Y, *et al.* Ecological and environment qualitative study in the intertidal zone and land area of Nanji Archipelago [J]. Donghai Marine Science, 1994, 12(2): 1-15. [陈国通, 杨晓兰, 杨俊毅, 等. 南麂列岛环境质量调查与潮间带生态研究. 东海海洋, 1994, 12(2): 1-15.]
- [25] Xiu J B, Peng X, Xie Q L, *et al.* The spatial-temporal distribution and its biodiversity of intertidal macro benthos in Dongtou Archipelago [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 608-614. [仇建标, 彭欣, 谢起浪, 等. 洞头列岛潮间带大型底栖生物的时空分布及其多样性. 水产学报, 2012, 36(4): 608-614.]
- [26] Zhao Y Q, Zeng J N, Chen Q Z, *et al.* Macrozoobenthos community pattern in the intertidal zone alongside Daxie development region in spring [J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(2): 78-83. [赵永强, 曾江宁, 陈全震, 等. 宁波大榭开发区北岸潮间带春季大型底栖动物群落格局. 动物学杂志, 2009, 44(2): 78-83.]
- [27] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ), Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). GB17378. 7-2007 The specification for marine monitoring - Part 7: Ecological survey offshore pollution and biological monitoring [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2007. [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. GB17378. 7-2007 海洋监测规范—第7部分: 近海污染生态调查和生物监测. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [28] Chen Z Q, Shou L, Liao Y B, *et al.* Community structure of benthic algae and its seasonal variation in the rocky intertidal zone of Sanya [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3370-3382. [陈自强, 寿鹿, 廖一波, 等. 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化. 生态学报, 2013, 33(11): 3370-3382.]
- [29] Ge M B, Bao Y X, Zheng X. Macrobenthic community ecology of a tidal flat in different habitats and creeks dyked in different years [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 446-453. [葛宝明, 鲍毅新, 郑祥. 灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究. 生态学报, 2005, 25(3): 446-453.]
- [30] Wang Q C, Han Q X, Li B Q. Macrobenthic fauna in the intertidal and offshore areas of Zhangzi Island [J]. Biodiversity Science, 2013, 21(1): 11-18. [王全超, 韩庆喜, 李宝泉. 辽宁獐子岛马牙滩潮间带及近岸海区大型底栖动物群落特征. 生物多样性, 2013, 21(1): 11-18.]
- [31] Wang H, Zhong S, Fang Z Q. Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6913-6924. [王卉, 钟山, 方展强. 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征. 生态学报, 2013, 33(21): 6913-6924.]
- [32] Wang X L, Xu B D, Ji Y P, *et al.* Fish community structure and its relationships with environmental factors in Haizhou Bay and adjacent waters of East China in winter [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1707-1714. [王小林, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构及其与环境因子的关系. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1707-1714.]

## Community structure of molluscs in the rock intertidal zone of Zhejiang coast

HU Chengye<sup>1</sup>, XU Heng<sup>2</sup>, ZOU Li<sup>3</sup>, LI Liang<sup>1</sup>, SHUI Bonian<sup>1\*</sup>

(1. College of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Fishery Science Institute of Yueqing City, Yueqing 325600, China;

3. Ningbo Bureau of Oceanology and Fishery, Ningbo 325600, China)

**Abstract:** In order to investigate the community structure characteristics of molluscs in the rock intertidal zone of Zhejiang, field sampling was carried out including eight rocky intertidal sections in Apr. and Oct. 2009. A total of 27 species in two seasons were identified, belonging to 3 classes, 11 orders, 16 families and 22 genera. The molluscs community in the intertidal zone of Zhejiang was mainly composed of subtropical species, including 13 species recorded, and followed by temperature widespread species and temperate species, with 12 species and 2 species, respectively, generally in accordance with the taxonomic features of the East China Sea. The average molluscs biomass and density in spring were 156.15 g/m<sup>2</sup> and 83.47 ind./m<sup>2</sup>, respectively; which were higher than those in autumn, being 88.04 g/m<sup>2</sup>, 63.05 ind./m<sup>2</sup>, respectively. Dominant species were *Thais clavigera*, *Nerita albicilla*, *Barbatia obliquata*, *Nerita yoldii* and *Septifer bilocularis* in spring; *T. clavigera*, *Monodonta labio*, *B. obliquata*, *N. albicilla*, *Septifer virgatus* and *Chlorostoma rustica* in autumn. Dominant species of molluscs varied with different seasons, indicating their functions in the community changed with seasons. The index of Shannon – Winner was from 1.13 to 2.77, the average being 1.85. The index of Pielou's evenness was from 0.33 to 0.77, the average being 0.64. The index of Margalef's species richness was from 0.80 to 2.02, the average being 1.27. The community structure of molluscs had been studied by Bray-Curtis similarity clustering and non-metric multidimensional scaling (MDS) analysis. The community could be spatially clustered into three groups during Spring: the first was sections including Nanji Islands and Dongtou, the second was sections including Sanmen, Xiaowushitang, Xiangshan Bay, Ninghai and Xiushan, and the third was Shitang. However, autumn was also clustered into three groups, the first was sections including Sanmen, Xiaowushitang, Xiangshan Bay and Xiushan, the second was sections including Dongtou, Ninghai and Shitang, and the third was Nanji Islands. SIMPER analysis found that the average similarity rate between each section in the group was higher than 37%, and the average difference rate between groups was higher than 66%.

**Key words:** community structure; diversity; rocky shore; intertidal zone; Zhejiang

**Corresponding author:** SHUI Bonian. E-mail: shuibonian@163.com