

文章编号: 1674-5566(2018)01-0133-08

DOI:10.12024/jsou.20170602095

南麂列岛冬夏季潮间带大型底栖生物群落结构

张华伟, 彭欣, 刘俊峰, 薛峰

(浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江温州 325005)

摘要: 分别于 2010 年 2 月与 8 月对南麂列岛 4 条潮间带断面的大型底栖生物进行了调查研究。共鉴定出大型底栖生物 125 种, 其中软体动物 72 种, 大型藻类 23 种, 甲壳动物 13 种, 多毛类 10 种, 棘皮动物 4 种, 其他 3 种。冬季大型底栖生物种类共 72 种, 生物量($3\,941.22 \pm 2\,870.13$) g/m^2 , 丰度($1\,275.44 \pm 749.37$) $\text{ind.}/\text{m}^2$; 夏季生物种类共 93 种, 生物量($4\,521.69 \pm 3\,473.66$) g/m^2 , 丰度($2\,099.07 \pm 1\,074.82$) $\text{ind.}/\text{m}^2$; 不同季节的群落优势种无明显差异。各断面的 Shannon-Wiener 多样性指数在 1.62~2.95 之间, 平均为 2.50 ± 0.46 ; Margalef 丰富度指数在 1.99~5.88 之间, 平均为 4.81 ± 1.31 ; Pielou 均匀度指数在 0.60~0.77 之间, 平均为 0.71 ± 0.06 ; Simpson 优势度指数在 0.71~0.92 之间, 平均为 0.86 ± 0.08 。运用 ABC 曲线、等级聚类 and MDS 对大型底栖生物群落结构进行分析发现: 岩礁质 3 条断面的群落结构在不同季节存在一定差异, 但相似度均大于 50%, 泥质的国姓岙断面冬季和夏季则分别为两个群落。除人类活动较为频繁的国姓岙断面群落结构受到中等程度的扰动外, 其他断面的大型底栖生物群落结构较为稳定。

关键词: 海洋自然保护区; 群落结构; 生物多样性; 人为干扰

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

浙江省南麂列岛是我国首批确定的 5 个国家级海洋自然保护区之一, 同时是我国最早加入联合国教科文组织世界生物圈保护区网络的海洋类型自然保护区。南麂列岛地处于冷暖洋流的交汇区域, 生物种类十分丰富, 是我国南方海洋生物的多样性宝库, 享有“贝藻王国”的美誉。潮间带是滩涂湿地生态系统的重要类型, 其中的大型底栖生物在食物链网中具有重要作用, 可作为良好的环境指示物种^[1], 研究潮间带大型底栖生物的群落结构, 结合当地人类活动情况作对应的比较研究, 对于了解人类活动对南麂列岛海洋生态环境的影响、制定相应的保护对策等具有十分重要的意义。

国外学者在大型底栖生物物种数、丰度格局和生物量的时空变化^[2-3]、影响大型底栖生物的环境因子^[4-5]等方面已有大量的研究, 国内对于南麂列岛底栖生物的研究多集中在资源调查^[6-8]和种类时空分布^[9]上。为进一步了解潮间带大型底栖生物的群落结构和人类活动对其造成的

影响, 笔者分别于 2010 年 2 月和 8 月对南麂列岛 4 条潮间带断面展开调查, 通过统计分析了解其生物群落结构, 并运用 ABC (Abundance Biomass Curve) 曲线、等级聚类与非度量多维标度 (MDS) 分析群落结构的稳定性和格局, 为南麂列岛海洋自然保护区开展保护和协调发展, 建设人与生物圈保护区提供基础资料和科学理论上的支撑。

1 材料与方法

对南麂列岛进行了冬 (2010 年 2 月)、夏 (2010 年 8 月) 两个航次的潮间带大型底栖生物采样, 调查区域设 4 条断面, 其中国姓岙为泥质断面, 其他 3 条均为岩礁断面 (图 1)。每断面分别取高潮带、中潮带、低潮带三站对潮间带生物进行定性和定量的样品采集。定量样品采集框为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 或 $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ (视生物量多少而定), 每站随机采取 4~8 个样方, 定性取样在等高线内进行带状取样。潮区的划分根据南麂列岛海域的潮汐特点, 时间选择在该月份的大

收稿日期: 2017-06-30 修回日期: 2017-10-09

基金项目: 浙江省科技厅 (2010F20008); 浙江省海洋与渔业局 (浙海渔计 [2010]205)

作者简介: 张华伟 (1985—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为海洋大型底栖生物生态学。E-mail: zzz-hw@163.com

潮低潮。样品采用 5% 的甲醛溶液现场固定,带回实验室进行种类鉴定、计数并称重。调查过程

均按《海洋调查规范第 6 部分:海洋生物调查》所规定的方法进行。

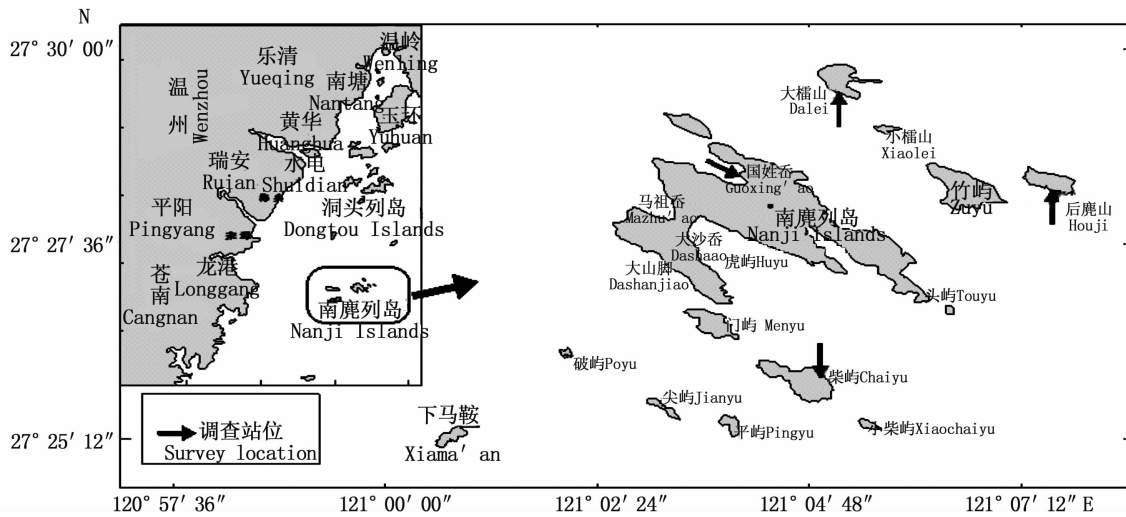


图 1 南麂列岛海域调查站位图

Fig. 1 Survey locations of Nanji Islands sea area

调查断面分布图采用 Surfer 8.0 软件绘制,利用 PRIMER 5.0 软件对南麂列岛大型底栖生物进行群落聚类、非度量多维标度以及 ABC 曲线分析。用群落欧氏距离进行等级聚类和 MDS 分析,为减少机会种对群落结构的干扰,数据首先经过原始丰度的四次方根转换,ABC 曲线则利用原始丰度与生物量数据进行计算。

各多样性指数分别由以下公式计算得到:

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln(n_i/N) \quad (1)$$

$$\text{Margalef 丰富度指数 } D = \frac{S-1}{\ln N} \quad (2)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数 } E = \frac{H}{\ln S} \quad (3)$$

Simpson 优势度指数

$$1 - \lambda' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (4)$$

$$\text{优势度 } Y = \frac{n_i}{N} \times f_i \quad (5)$$

式中: S 为总种数, N 为所有种的个体总数, n_i 为第 i 种的个体数, f_i 为第 i 种的出现频率,计算方法为该种出现的样方数与总样方之比的百分数。

2 结果

2.1 种类组成及优势种分布

冬夏两个航次共采集到大型底栖生物 125

种,其中软体动物种类最多,为 72 种,占总种数的 57.6%;其次为大型藻类,为 23 种,占总种数的 18.4%;另有甲壳动物 13 种,占总种数的 10.4%;多毛类 10 种,占总种数的 8.0%;棘皮动物 4 种,占总种数的 3.2%;其他动物 3 种。主要优势种类为鳞笠藤壶 (*Tetraclita squamosa*)、条纹隔贻贝 (*Septifer virgatus*)、厚壳贻贝 (*Mytilus coruscus*)、隔贻贝 (*Septifer bilocularis*)、疣荔枝螺 (*Thais clavigera*) 和日本花棘石鳖 (*Liolophura japonica*)。其中鳞笠藤壶为第一优势种,出现频率达到 48.3%,在总丰度中所占的比重为 13.2%;第二优势种为条纹隔贻贝,出现频率为 26.2%,在总丰度中所占比重为 12.7%;第三优势种为厚壳贻贝,出现频率为 32.8%,在总丰度中所占比重为 10.5%,其他优势种在总量中所占的比例相对较低。无柄珊瑚藻 (*Corallina sessilis*)、红条毛肤石鳖 (*Acanthochiton rubrolineatus*)、毛贻贝 (*Trichomya hirsutus*)、鼠尾藻 (*Sargassum thunbergii*)、光辉圆扇蟹 (*Sphaerozium nitidus*) 等分布较广,为潮间带的习见种类。

其中夏季航次物种数(93 种)显著多于冬季航次(72 种),种类数差异主要存在于软体动物和多毛类之间,其他动物和大型藻类种类数变化不大。南麂列岛冬夏航次的各类大型底栖生物种类分布见表 1。在各断面中,柴屿与大桶山断面

(夏季)的种类数最多,均达到 47 种,国姓岙(冬季)种类数最少,为 12 种;各断面大型底栖生物种类数的季节差异也较明显,夏季均大于冬季,

国姓岙尤为突出,冬季仅 12 种,而夏季则达到 35 种。

表 1 南麂列岛大型底栖生物物种组成

Tab.1 Species composition of macrobenthos in winter and summer of Nanji Islands

断面 Sections	软体动物		甲壳动物		棘皮动物		多毛类		其他动物		大型藻类		合计	
	Mollusc		Carapace		Echinoderm		Polychaeta		Others		Macroalgae		Total	
	夏 S	冬 W	夏 S	冬 W	夏 S	冬 W	夏 S	冬 W	夏 S	冬 W	夏 S	冬 W	夏 S	冬 W
柴屿 Chaiyu	25	28	7	5	1	3	1	5	1	1	6	5	41	47
大槠山 Dalei	21	26	7	6	1	2	1	2	2	2	10	9	42	47
后麂山 Houji	18	18	3	5	0	0	1	5	1	3	7	5	30	36
国姓岙 Guoxing'ao	9	29	0	3	0	0	1	3	2	0	0	0	12	35
总物种数 Total	42	56	9	9	2	3	1	9	3	3	15	13	72	93

总体上来看,冬季大型底栖生物的主要优势种为鳞笠藤壶、厚壳贻贝、隔贻贝和短滨螺 (*Littorina brericula*) (表 2), 累积丰度占总丰度的 44.9%; 夏季的主要优势种为条纹隔贻贝、鳞笠藤壶、厚壳贻贝和隔贻贝, 累积丰度占总丰度的 44.5%。岩礁质的 3 条断面中, 除大槠山(夏季)

外, 鳞笠藤壶均为主要的优势种, 其次为厚壳贻贝和隔贻贝; 泥质断面国姓岙的主要优势种则为习见织纹螺 (*Nassarius dealbatus*) 和婆罗囊螺 (*Retusa borneensis*) 等, 与岩礁质断面的优势种基本无类同。

表 2 南麂列岛潮间带主要优势种及其优势度

Tab.2 Dominant species of macrobenthos and its dominance in winter and summer of Nanji Islands

优势种 Dominant species	柴屿 Chaiyu		大槠山 Dalei		后麂山 Houji		国姓岙 Guoxing'ao	
	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季
	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer
鳞笠藤壶 <i>Tetraclita squamosa</i>	0.14	0.02	0.05		0.15	0.14		
厚壳贻贝 <i>Mytilus coruscus</i>		0.02	0.06	0.04	0.05			
隔贻贝 <i>Septifer bilocularis</i>	0.02		0.03		0.06	0.02		
条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>		0.04	0.06		0.06			
疣荔枝螺 <i>Thais clarigera</i>			0.03	0.03				
短滨螺 <i>Littorina brericula</i>					0.03		0.11	
习见织纹螺 <i>Nassarius dealbatus</i>							0.27	0.05
青蚶 <i>Arca virescens</i>							0.02	0.06
毛贻贝 <i>Trichomya hirsutus</i>				0.02		0.02		
婆罗囊螺 <i>Retusa borneensis</i>								0.21
短石蛭 <i>Lithophaga curta</i>	0.05							0.02
日本花棘石鳖 <i>Liolophura japonica</i>					0.03			
覆瓦小蛇螺 <i>Serpulorbis imbricata</i>			0.02					
马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>				0.02				

注: 仅列出优势度 ≥ 0.02 的种类

Note: Dominance ≥ 0.02 are listed

2.2 丰度和生物量的分布

南麂列岛潮间带大型底栖生物平均生物量为 $(4\ 231.46 \pm 2\ 966.13)\text{ g/m}^2$, 平均丰度为 $(1\ 687.25 \pm 964.15)\text{ ind./m}^2$ (表 3)。生物量比例为软体动物最高, 占总生物量的 50.01%, 其次

为甲壳动物和大型藻类, 分别占总生物量的 37.11% 和 11.59%, 其他种类所占比例相对较小; 丰度以软体动物所占比例最大, 为 69.31%, 其次为甲壳动物, 占总丰度的 20.59%, 其他种类所占比例相对较小。

表 3 南麂列岛大型底栖生物丰度和生物量的分布

Tab. 3 Abundance and biomass composition of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands

季节 Seasons	断面 Sections	数量 Quantity	软体动物 Mollusc	甲壳动物 Carapace	棘皮动物 Echinoderm	多毛类 Annelid	其他动物 Others	大型藻类 Macroalgae	合计 Total
冬季 Winter	柴屿 Chaiyu	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	3 639.65 ± 2 475.88 1 144.76 ± 125.4	2 919.21 ± 1 771.89 679.37 ± 423.52	7.49 ± 12.97 6.67 ± 11.55	1.69 ± 1.47 40.95 ± 40.03	1.97 ± 3.41 6.67 ± 11.55	263.69 ± 237.17 6.67 ± 4.04	6 833.70 ± 1 577.81 1 885.09 ± 249.70
	大槽山 Dalei	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	2 378.46 ± 1 997.18 1 263.89 ± 1 080.19	2 014.50 ± 490.1 408.33 ± 189.44	141.43 ± 244.96 25.93 ± 44.91	4.99 ± 4.32 33.33 ± 33.33	3.43 ± 5.56 33.33 ± 29.39	508.92 ± 326.14 15.41 ± 9.21	5 051.73 ± 1652.49 1 780.22 ± 1 234.99
	后鹿山 Houji	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	1 665.38 ± 1 287.14 839.15 ± 542.67	1 905.04 ± 619.53 326.46 ± 114.39	0 0	0.54 ± 0.94 7.41 ± 12.83	0.56 ± 0.96 7.41 ± 12.83	252.52 ± 321.36 5.37 ± 5.15	3 824.04 ± 1 769.53 1 185.80 ± 479.29
	国姓岙 Guoxing'ao	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	54.23 ± 26.79 229.33 ± 97.76	0 0	0 0	0.34 ± 0.45 8.00 ± 8.00	0.85 ± 1.06 13.33 ± 16.65	0 0	55.42 ± 26.15 250.66 ± 88.12
	柴屿 Chaiyu	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	1 611.31 ± 2 365.05 1 650.00 ± 1 561.67	1 221.90 ± 1 587.28 333.33 ± 187.64	19.83 ± 34.34 179.17 ± 310.33	9.60 ± 10.91 287.50 ± 390.51	43.94 ± 76.11 133.33 ± 230.94	322.25 ± 545.13 5.16 ± 8.83	3 228.83 ± 3 599.16 2 588.49 ± 1 823.73
	大槽山 Dalei	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	5 529.91 ± 5 708.07 1 998.61 ± 1 113.84	750.39 ± 248.76 127.78 ± 48.11	32.58 ± 56.44 177.78 ± 307.92	4.30 ± 5.33 44.44 ± 41.94	146.29 ± 219.53 150.00 ± 217.94	1 863.10 ± 1 626.038 10.20 ± 9.00	326.57 ± 4 006.36 2 508.81 ± 1 508.17
后鹿山 Houji	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	1 692.35 ± 2 649.56 1 748.70 ± 2 009.89	3 748.28 ± 2623.53 898.70 ± 594.00	0 0	7.78 ± 9.84 95.74 ± 124.94	8.86 ± 13.14 52.50 ± 61.39	714.90 ± 875.47 5.80 ± 5.54	6 172.17 ± 2 095.63 2 801.44 ± 2 186.75	
国姓岙 Guoxing'ao	生物量/(g/m ²) 丰度(ind./m ²)	355.06 ± 561.99 480.95 ± 161.76	3.50 ± 4.36 4.95 ± 1.65	0 0	0.66 ± 1.08 11.62 ± 14.59	0 0	0 0	359.22 ± 565.72 497.52 ± 173.98	

2.3 群落多样性特征分析

南麂列岛各断面大型底栖生物的物种多样性指数分别为:香农-威纳多样性指数在 1.62 ~ 2.95 之间,平均值为 2.50 ± 0.46 ;丰富度指数在 1.99 ~ 5.88 之间,平均值为 4.81 ± 1.31 ;均匀度指数在 0.60 ~ 0.77 之间,平均值为 0.71 ± 0.06 ;

辛普森优势度指数在 0.71 ~ 0.92 之间,平均值为 0.86 ± 0.08 (表 4)。冬季与夏季各断面的多样性指数平均值除均匀度指数处在同一水平之外,其他指数均为夏季明显高于冬季。泥质断面(国姓岙)与岩礁质断面相比,各多样性指数水平明显较低。

表 4 南麂列岛潮间带大型底栖生物的多样性指数

Tab. 4 Diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands

季节 Seasons	断面 Sections	多样性指数 Shannon-Wiener, <i>H</i>	丰富度指数 Margalef, <i>D</i>	均匀度指数 Pielou, <i>E</i>	辛普森优势度指数 Simpson, $1-\lambda'$
冬季 Winter	柴屿 Chaiyu	2.85	5.31	0.77	0.91
	大槽山 Dalei	2.74	5.48	0.73	0.91
	后鹿山 Houji	2.34	4.10	0.69	0.87
	国姓岙 Guoxingao	1.62	1.99	0.65	0.71
夏季 Summer	柴屿 Chaiyu	2.86	5.85	0.74	0.90
	大槽山 Dalei	2.95	5.88	0.77	0.92
	后鹿山 Houji	2.55	4.41	0.71	0.88
	国姓岙 Guoxing'ao	2.12	5.48	0.60	0.77
平均 Average		2.50 ± 0.46	4.81 ± 1.31	0.71 ± 0.06	0.86 ± 0.08

2.4 群落结构分析

利用 PRIMER 5.0 软件对南麂列岛大型底栖生物进行群落聚类、非度量多维标度(MDS)分析,得到的结果如图 2 所示。从分析结果可知,南麂列岛 4 条断面的大型底栖生物可划分为三

个群落,其中柴屿、大槽山和后鹿山 3 条岩礁质断面构成一个群落,国姓岙断面的冬季和夏季则分别构成另外两个群落。本次调查分析结果 stress 系数 = 0.01,吻合极好。MDS 分析结果与聚类分析结果一致。



图 2 南麂列岛潮间带大型底栖生物的聚类分析及 MDS 排序分析

Fig. 2 The dendrogram and MDS of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands

2.5 群落稳定性分析

由丰度/生物量比较构成的 ABC 曲线可反映出群落的稳定性:未受扰动的群落,生物量曲线始终位于丰度曲线之下;受中等扰动的群落,生物量曲线和丰度曲线接近重合或出现交叉;受严重干扰的群落,丰度曲线位于生物量曲线之下^[10-12]。南麂列岛各断面的大型底栖生物群落 ABC 曲线如图 3 所示。由图 3 可知,国姓岙断面的群落结构稳定性最差,分别由丰度和生物量构成的两条曲线在冬季和夏季均出现了交叉,受干扰十分明显,且生物多样性水平远低于其他断面;另外 3 条断面的稳定性相对较好。

3 讨论

3.1 南麂列岛潮间带大型底栖生物群落结构变化

聚类分析的方法在群落生态学的研究中被广泛采用,在评价群落结构的相似性上具有重要作用^[13],MDS 也常与聚类分析配合使用,用于分析不同样方群落结构的相似性十分适宜,特别适合连续梯度变化的群落关系分析^[14-15]。

聚类分析结果显示,岩礁质的柴屿、大嵛山和后麂山 3 条断面之间,夏季和冬季的大型底栖生物群落分别区分开来,说明各断面不同季节的群落结构存在差异,但相似性仍大于 50%;泥质的国姓岙断面与岩礁质的其他 3 条断面相似性不足 30%,且不同季节之间也存在较为明显的差异。各断面的群落分为三类,与 MDS 排序分析的

结果一致。群落 I 的主要优势种类为:鳞笠藤壶、厚壳贻贝、条纹隔贻贝、隔贻贝、疣荔枝螺。群落 II 的主要优势种类为:婆罗囊螺、青蚶 (*Arca virescens*)、习见织纹螺、短石蛭 (*Lithophaga curta*)。群落 III 的主要优势种类为:习见织纹螺、短滨螺、青蚶。

与 2007 年南麂列岛潮间带底栖生物的结果^[9]相比,潮间带的大型底栖生物主要优势种均为条纹隔贻贝、隔贻贝、疣荔枝螺等种类,无明显的差异,但与 2003 年的调查结果^[7]相比,则发现原来存在的主要贝类优势种如粒结节滨螺 (*Nodilittorina exigua*)、瘤荔枝螺 (*Thais bronni*)、黄口荔枝螺 (*Thais luteostoma*) 以及牡蛎 (*Ostrea gigas thunbery.*) 等均已趋于消失,优势地位被条纹隔贻贝等迁移能力强、繁殖速度快的其他贝类取代。

3.2 季节、底质和人类活动对潮间带大型底栖生物群落的影响

从不同季节来看,除柴屿冬季的生物量高于夏季外,其他各站点的生物量和丰度均为夏季高于冬季,夏季的平均生物量、平均丰度和底栖生物种类数均高于冬季。同时各个站点的多样性指数和丰富度指数也是夏季全面占优。这说明南麂列岛的潮间带大型底栖生物的分布与季节存在一定的相关性,但群落结构受季节影响并不明显,鳞笠藤壶、厚壳贻贝和隔贻贝在冬季和夏季均为主要的优势种类。

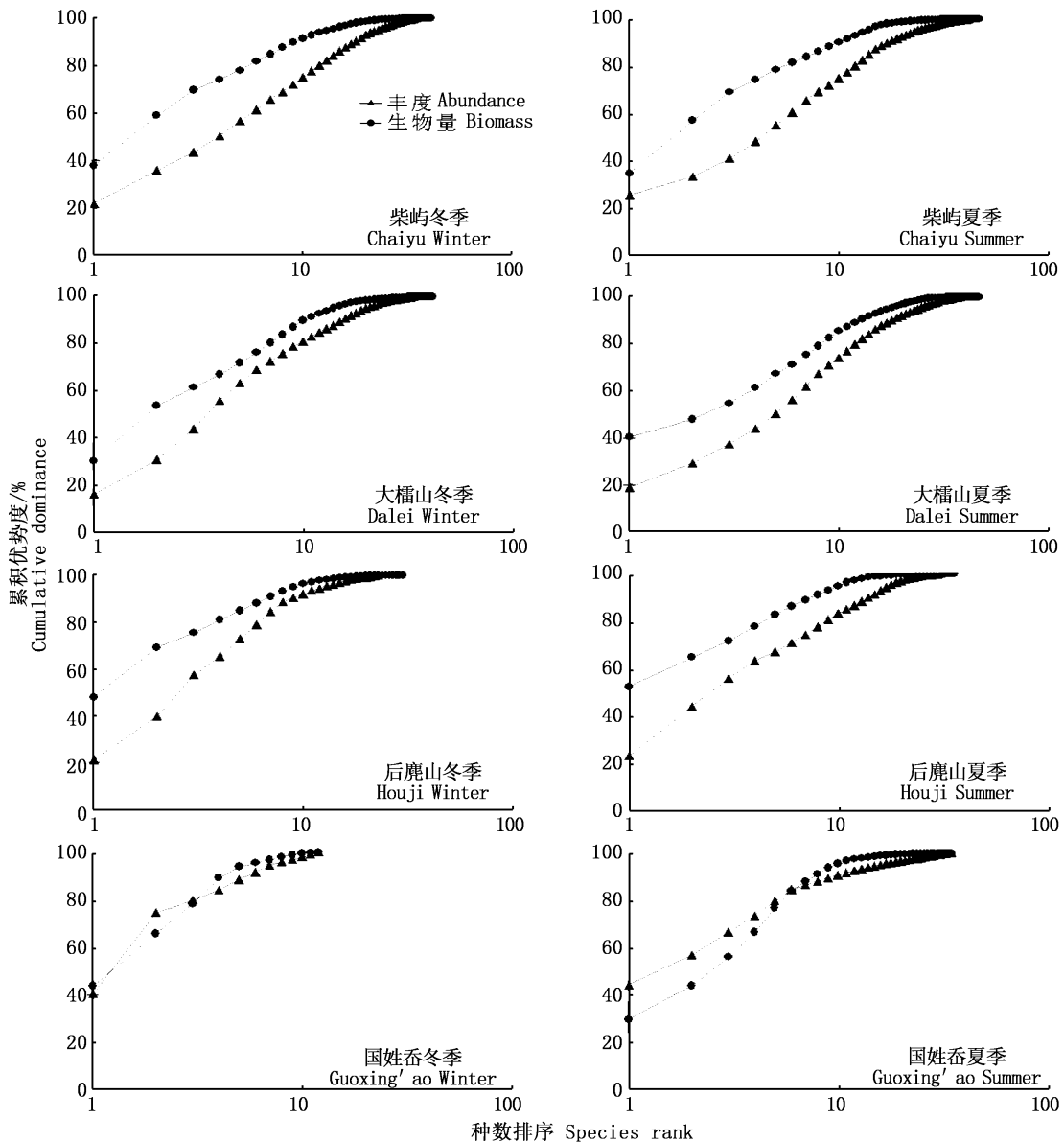


图3 南麂列岛潮间带大型底栖生物的 ABC 曲线

Fig.3 ABC curves of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands

相比而言,栖息底质较季节变化对群落结构的影响更大。潮间带大型底栖生物种类组成与底质环境类型是密切相关的,而种类组成又直接与底栖生物的生物量和丰度相关联^[16]。本次调查涉及的4条断面中,泥质的国姓岙断面大型底栖生物的生物量和丰度分别为 207.32 g/m² 和 374.09 ind./m²,远低于其他3条岩礁质断面的平均水平 5 572.84 g/m² 和 2 124.98 ind./m²;生物种数 24 种同样远低于岩礁质断面的平均数 40 种,且底栖生物种类多为适合穴居的节肢动物和少量螺类。其中冬季的主要优势种习见织纹螺

和短滨螺的优势度分别达到 0.27 和 0.11,夏季的主要优势种婆罗囊螺和青蚶的优势度则分别为 0.21 和 0.06,占前两位的主要优势种累积优势度均远大于其他岩礁质断面,非优势种的生存空间被挤压,竞争能力下降,直接影响到了群落结构的多样性和稳定性。

根据不同断面的 ABC 曲线可以看出,柴屿第一优势种的丰度和生物量累积优势度均在 20%~40% 之间,且两条平滑曲线之间的距离较远,大型底栖生物群落的稳定性最好;大桶山第一优势种的丰度和生物量累积优势度在 15%~

40%之间,群落的多样性水平更高,但稳定性受到一定的干扰;后鹿山的群落多样性水平则低于柴屿和大嵛山2条断面;而国姓岙第一优势种丰度和生物量累积优势度均较高,且两条曲线之间出现了交叉,说明生物群落受到中等程度的干扰,稳定性较差。调查涉及的4条断面中,国姓岙是南麂本岛的小渔港,渔民活动集中,且离养殖区较近,潮间带生物群落受到明显干扰,处于不稳定的状态;其它3条断面分散在人类活动相对较少的海域,受影响程度较小。

潮间带作为海陆交互作用过渡的系统单元,稳定性并不高,很容易受人类活动的影响^[17],生态系统会产生时空结构的剧烈变化^[18]。原始生境的改变和人为干扰被认为是生物多样性下降、密度和生物量锐减的主要原因^[19]。人类活动对海洋生态环境的影响主要表现在水体污染、过度捕捞、高密度养殖以及原始生境破坏等几个方面,在海洋环境质量受到影响的情况下,耐污种和生命力较强的种类会迅速发展壮大,成为潮间带生物群落的主要优势种类^[20],导致底栖生物逐渐向次生型群落结构演替。南麂列岛近年来的开发对海洋自然保护区产生的冲击应引起足够的重视。

参考文献

- [1] TAFT O W, HAIG S M. The value of agricultural wetlands as invertebrate resources for wintering shorebirds [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 110(3/4): 249-256.
- [2] BONSDORFF E. Zoobenthic diversity-gradients in the Baltic Sea: continuous post-glacial succession in a stressed ecosystem[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 330(1): 383-391.
- [3] HONKOOP P J C, PEARSON G B, LAVALEYE M S S, et al. Spatial variation of the intertidal sediments and macrozoobenthic assemblages along Eighty-mile Beach, North-western Australia [J]. *Journal Sea Research*, 2006, 55(4): 278-291.
- [4] AYRES D R, STRONG D R. The *Spartina* invasion of San Francisco Bay[J]. *Aquatic Nuisance Species Digest*, 2002, 4(4): 37-39.
- [5] TESKE P R, WOOLDRIDGE T H. What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 57(1/2): 225-238.
- [6] 高爱根. 南麂列岛国家级海洋自然保护区贝类新记录[J]. *东海海洋*, 2004, 22(3): 68.
- [7] 高爱根, 曾江宁, 陈全震, 等. 南麂列岛海洋自然保护区潮间带贝类资源时空分布[J]. *海洋学报*, 2007, 29(2): 105-111.
- [8] 孙建璋. 孙建璋贝藻类文选[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 23-44.
- [9] 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.
- [10] 田胜艳, 于子山, 刘晓收, 等. 丰度/生物量比较曲线法监测大型底栖动物群落受污染扰动的研究[J]. *海洋通报*, 2006, 25(1): 92-96.
- [11] 唐以杰, 余世孝, 柯芝军, 等. 用ABC曲线法评价湛江红树林自然保护区的环境状况[J]. *广东教育学院学报*, 2006, 26(3): 70-74.
- [12] 魏永杰, 张海波, 蔡燕红, 等. 象山港潮间带大型底栖动物群落受扰动状况研究[J]. *海洋环境科学*, 2009, 28(S1): 46-49.
- [13] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 等. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析[J]. *中国环境科学*, 1997, 17(4): 297-300.
- [14] 厉红梅, 蔡立哲, 林丽珠, 等. 深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2001, 40(3): 735-740.
- [15] 孙建璋. 孙建璋贝藻类文选[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 23-44.
- [16] SUN J Z. Anthology of shellfish and Algae by Sun Jian-zhang [M]. Beijing: Ocean Press, 2006: 23-44.
- [17] 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] TIAN S Y, YU Z S, LIU X S, et al. Abundance/biomass curves for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25(1): 92-96.
- [19] TANG Y J, YU S X, KE Z J, et al. An evaluation on the environment condition of Zhanjiang mangrove nature reserves by the ABC curve method [J]. *Journal of Guangdong Education Institute*, 2006, 26(3): 70-74.
- [20] WEI Y J, ZHANG H B, CAI Y H, et al. Study on disturbed status of macrobenthos communities in inter-tidal zone in Xiangshan Bay [J]. *Marine Environmental Science*, 2009, 28(S1): 46-49.

- LI H M, CAI L Z, LIN L Z, et al. Using hierarchical clustering and no-metric MDS to explore spatio-temporal variation of benthic community at intertidal in Shenzhen Bay [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2001, 40(3): 735-740.
- [15] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. *青岛海洋大学学报*, 2003, 33(1): 58-64.
- ZHOU H, ZHANG Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(1): 58-64.
- [16] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 92-96.
- LI G G, FAN Z G. *Marine ecology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 92-96.
- [17] 施华宏. 滨海采捕对岸带生物资源的影响及管理对策[J]. *海洋开发与管理*, 2001, 18(2): 32-34.
- SHI H H. The effect derived from beach catch on coastal living resources and corresponding countermeasures of management [J]. *Ocean Development and Management*, 2001, 18(2): 32-34.
- [18] MARQUES J C, NIELSEN S N, PARDAL M A, et al. Impact of eutrophication and river management within a framework of ecosystem theories [J]. *Ecological Modelling*, 2003, 166(1/2): 147-168.
- [19] 王宝强, 薛俊增, 庄骅, 等. 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性[J]. *生态学报*, 2011, 31(20): 5865-5874.
- WANG B Q, XUE J Z, ZHUANG H, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 5865-5874.
- [20] 陈寅山, 饶小珍, 许友勤, 等. 闽江口梅花港潮间带贝类动物群落生态研究[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1997, 13(2): 93-96.
- CHEN Y S, RAO X Z, XU Y Q, et al. Community ecology of mollusca on intertidal zone in Meihua harbour of min river estuary [J]. *Journal of Fujian Teachers University (Natural Science)*, 1997, 13(2): 93-96.

Community structure of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands in winter and summer

ZHANG Huawei, PENG Xin, LIU Junfeng, XUE Feng

(Zhejiang Mariculture Research Institute, Zhejiang Key Lab of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-Resource, Wenzhou 325005, Zhejiang, China)

Abstract: The investigation was conducted at four sections of Nanji Islands in February and August 2010. One hundred and twenty five species were indentified, including 72 species of molluscs, 23 of macroalgae, 13 of carapaces, 10 of annelids, 4 of echinoderms and 3 others. 72 species of macrobenthos were collected in winter and 93 species in summer, the average biomass and inhabit density were $3\ 941.22 \pm 2\ 870.13\ \text{g/m}^2$, $1\ 275.44 \pm 749.37\ \text{ind./m}^2$ and $4\ 521.69 \pm 3\ 473.66\ \text{g/m}^2$, $2\ 099.07 \pm 1\ 074.82\ \text{ind./m}^2$, respectively. The dominant species in different seasons have no significant change. The index of Shannon-Wiener's biodiversity was from 1.62 to 2.95, the average being 2.50 ± 0.46 . The Margalef's species richness was from 1.99 to 5.88, the average being 4.81 ± 1.31 . The Pielou's evenness was from 0.60 to 0.77, the average being 0.71 ± 0.06 . The Simpson's dominance was from 0.71 to 0.92, the average being 0.86 ± 0.08 . Upon analysis of the macrobenthos community structure by ABC curve, hierarchical clustering analysis and MDS diagrams, the similarity index of community structure between three rocky sections in different seasons were all higher than 50%, and lower than 10% between the only muddy section in winter and summer. The section in Guoxing'ao has the lowest community structural stability, seriously affected by the activities of fishermen.

Key words: Marine Nature Reserve; community structure; biodiversity; human disturbance