

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15169

浙江 6 个列岛潮间带大型底栖动物分类多样性

胡成业¹, 杜肖², 水玉跃³, 水柏年¹

1. 浙江海洋学院 水产学院, 浙江 舟山 316000;

2. 淡水生态与生物技术国家重点实验室宁波实验室, 浙江 宁波 315000;

3. 舟山市海洋与渔业局, 浙江 舟山 316000

摘要: 为揭示浙江 6 个重要列岛(嵊泗列岛、中街山列岛、渔山列岛、台州列岛、洞头列岛、南麂列岛)潮间带大型底栖动物分类多样性和更好地养护大型底栖动物资源。根据调查文献, 按中国海洋生物名录构建大型底栖动物种类名录, 对大型底栖动物物种数、分类多样性指数、 $G-F$ 多样性测度指数和相似性系数进行分析。结果显示, 这 6 个重要列岛潮间带大型底栖动物物种数差异较大。其中, 南麂列岛最高(330 种), 台州列岛最低(133 种)。平均分类差异指数 Δ^+ 嵊泗列岛最高, 达 84.76, 台州列岛最低, 仅 70.89, 而分类差异变异指数 Λ^+ 值洞头列岛的最高, 达 846.94, 嵊泗列岛最低, 仅 630.25。南麂列岛的 $G-F$ 多样性测度指数最高, 达 0.87, 这表明在科级分类阶元多样性(F 指数)一定的前提下, 属级分类阶元多样性(G 指数)将会变高。科级和目级相似性结果显示, 科级相似性最高的是洞头列岛与台州列岛, 达 0.651, 渔山列岛与嵊泗列岛最低, 仅 0.480; 目级相似性最高的仍是洞头列岛与台州列岛, 达 0.781, 台州列岛与渔山列岛最低, 仅 0.623。本研究分析了浙江 6 个重要列岛潮间带大型底栖动物分类多样性, 以期对浙江海岛潮间带大型底栖动物资源的养护、开发与管理提供科学依据。

关键词: 大型底栖动物; 分类多样性指数; $G-F$ 多样性测度指数; 潮间带; 嵊泗列岛; 中街山列岛; 渔山列岛; 台州列岛; 洞头列岛; 南麂列岛

中图分类号: S931.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)02-0458-11

大型底栖动物在海洋生态系统中属于消费者亚系统, 是该生态系统中物质循环、能量流动中积极的消费和转移者^[1]。目前, 有关大型底栖动物多样性的研究大多以辛普森多样性指数和香农-威纳多样性指数等物种多样性指数进行分析, 上述多样性指数仅考虑了群落中物种的丰富度和物种数, 但多样性并非只反映物种数量化的信息, 同时也要考虑在不同分类阶元上物种分布的多样性。为了能更全面地评价生物多样性, Warwick 等^[2-3]提出了平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ , 蒋志刚等^[4]提出了 $G-F$ 多样性测度指数。这些指数只根据物种有无便可对群落物种的多样

性进行评估^[5]。平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ 根据每一分类阶元上的种类丰度, 确定不同分类阶元间的加权路径长度, 反映物种组成的形态亲缘关系及分类地位关系均匀程度^[6-7]; $G-F$ 多样性测度指数基于不同属、科水平上物种的分布差异, 反映属、科水平上种的多样性^[4]。因此, 在研究生物多样性时, 应充分利用物种彼此间在进化关系及分类学的信息。

浙江地处中纬度地带, 海岛多分布于近岸浅海区, 属于大陆与海洋之间的过渡带。多种流系水团的交汇和交替消长, 营养盐丰富, 以及底质类型复杂多样, 使得潮间带大型底栖动物种

收稿日期: 2015-04-24; 修订日期: 2015-08-17。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006075); 浙江省软科学研究计划重点项目(2015C25018)。

作者简介: 胡成业(1988-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源与生态研究。E-mail: zjhuchengye@163.com

通信作者: 水柏年, 教授。E-mail: shuibonian@163.com

类繁多。目前, 分类多样性指数主要用于鱼类、自由生活线虫、海洋大型底栖动物和浮游动物群落^[5, 8-11], *G-F* 多样性测度指数广泛应用于鸟类、兽类、两栖类和鱼类群落^[4-5, 12-13], 而潮间带大型底栖动物的研究尚未见报道。对浙江海岛潮间带大型底栖动物多样性的研究, 主要为传统的多样性方法^[14-15], 而涉及分类多样性的研究, 仅见浙江海岛岩礁区大型底栖生物生态学研究^[16], 但该研究只是针对嵊泗、舟山、大陈岛和南麂岛进行单个季度潮间带和潮下带进行分类多样性分析, 这难以很好的代表浙江海岛潮间带大型底栖动物分类多样性的真实情况。那么, 浙江几个重要列岛潮间带大型底栖动物分类多样性的真实情况如何? 它们之间是否存在相似性? 相似程度又怎样? 本文结合分类多样性学指数、*G-F* 多样性测度指数和相似性系数研究浙江 6 个重要列岛潮间带大型底栖动物分类多样性, 试图揭示浙江海岛

潮间带大型底栖动物物种的多样性特征, 以期为该区域潮间带大型底栖动物资源养护、开发与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

浙江沿海岛屿众多, 星罗棋布, 北起嵊泗县花鸟山岛, 南至苍南县七星岛, 东到嵊泗县童岛, 独特的地理位置, 不仅具有与大陆沿海相似的亚热带季风气候特征外, 还显示了海陆之间的过渡性特征^[17]。根据岛屿密集程度不同, 将其以列岛命名, 自北而南, 有嵊泗列岛、中街山列岛、韭山列岛、渔山列岛、东矾列岛、台州列岛、洞头列岛、北麂列岛及南麂列岛等。本研究结合现有的文献, 选取其中的具有代表性的嵊泗列岛、中街山列岛、渔山列岛、台州列岛、洞头列岛、南麂列岛 6 个列岛作为研究区域, 定义的研究区域如图 1 所示。

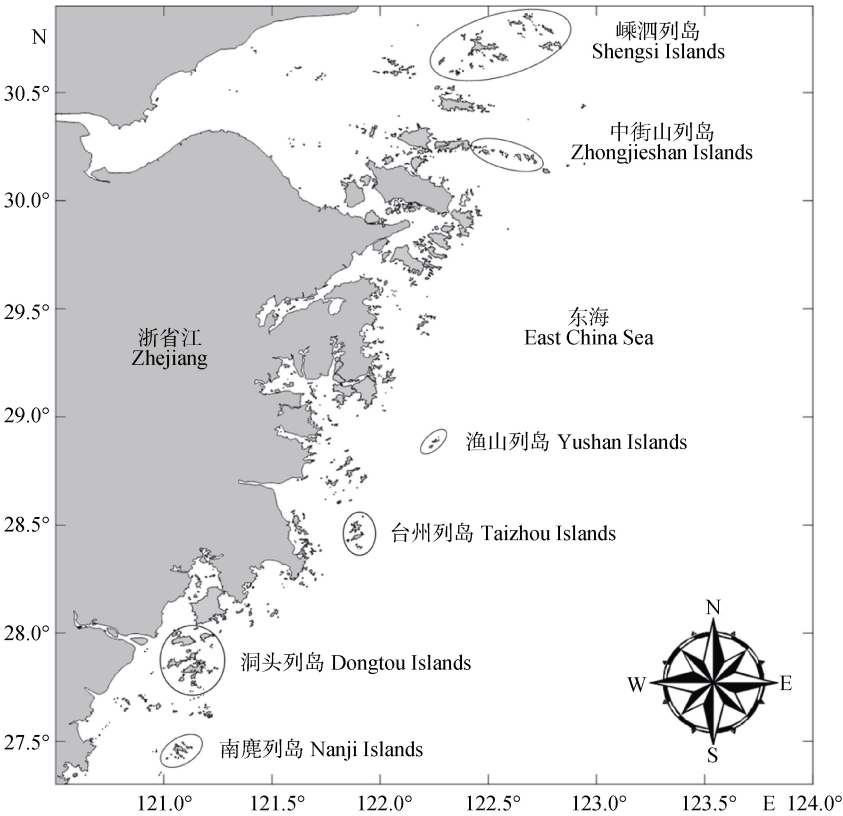


图 1 研究区域
Fig.1 The study area

1.2 数据来源

浙江 6 个列岛地处东海北部, 受台湾暖流和沿岸流的影响, 潮间带大型底栖动物种类组成具有明显的季节性变化, 基于力求充分的季节代表性考虑, 本研究收集了自 20 世纪 80 年代以来有关研究区域潮间带大型底栖动物春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)和冬季(12 月至翌年 2 月)的调查资料。其中, 南麂列岛和洞头列岛潮间带大型底栖动物的研究相对较多, 有专门的分类学著作, 故这两个列岛以《浙江动物志》^[18-19]、《南麂列岛滨海生物实习指导》^[20]及《浙江洞头海产贝类图志》^[21]为主, 部分学者的生态与资源调查及分类专题^[22-28]加以补充。而其余 4 个列岛, 到目前为止尚未见专门的分类学著作, 故只得以《浙江动物志》^[18-19]和涉及 4 个季度的生态与资源调查及分类的研究论文^[26-37]为主。基于上述文献初步建立 6 个列岛大型底栖动物的初步物种名录, 根据《中国海洋生物名录》^[38]系统的整理大型

底栖动物种类及其相应的分类层次, 排除同种异名, 分别构建了 6 个列岛大型底栖动物较为全面而系统的物种名录。

1.3 分类学多样性指数

本研究采用 Δ^+ 与 Λ^+ 两个指数体现上述几个列岛潮间带大型底栖动物的分类学多样性^[39-40]。

平均分类差异指数(average taxonomic distinctness index):

$$\Delta^+ = \left(\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} \right) / [S(S-1)/2] \quad (1)$$

分类差异变异指数(variation in taxonomic distinctness index):

$$\Lambda^+ = \sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1)/2] \quad (2)$$

其中, ω_{ij} 为第 i 和 j 个种类在分类系统树状图中的分支路径长度, S 为种类数。由于大型底栖动物属于动物界, 故研究中分类阶元为种、属、科、目、纲、门(表 1)。平均分类差异指数 Δ^+ , 分类差异变异指数 Λ^+ 及其 95% 置信漏斗区间由大型多元统计软件 PRIMER5.2 软件包 TAXDTEST 求得。

表 1 不同分类等级多样性权重值

Tab. 1 The branch weight on species at each taxonomic level

分类等级 taxon level	路径长度的权重 branch weight, ω_{ij}					
	南麂列岛 Nanji Islands	洞头列岛 Dongtou Islands	台州列岛 Taizhou Islands	渔山列岛 Yushan Islands	中街山列岛 Zhongjieshan Islands	嵎泗列岛 Shengsi Islands
种 species	10.58	8.53	7.66	6.64	7.34	7.28
属 genus	23.06	20.07	18.16	18.26	16.33	17.98
科 family	42.80	40.30	38.94	37.83	37.74	39.61
目 order	59.86	56.30	55.58	55.47	55.94	60.17
纲 class	73.13	72.77	69.36	70.96	73.24	70.41
门 phylum	100	100	100	100	100	100

1.4 G-F 多样性测度指数

F 指数, D_F ^[41]:

$$\text{在一个特定的科 } k: D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (3)$$

其中, $p_i = S_{ki} / S_k$, S_k 为大型底栖动物种类名录中 k 科中的物种数, S_{ki} 为 k 科 i 属中的物种数, n 为 k 科的属数。

$$\text{一个区域的 } F \text{ 指数}^{[41]}: D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk} \quad (4)$$

其中, m 为大型底栖动物的科数。

G 指数, D_G ^[41]:

$$D_G = - \sum_{j=1}^P q_j \ln q_j \quad (5)$$

其中, $q_j = S_j / S$, S 为大型底栖动物种类名录中的物种数, S_j 为 j 属中的物种数, p 为属数。

$$G-F \text{ 指数}^{[41]}: D_{G-F} = 1 - D_G / D_F \quad (6)$$

1.5 相似性系数

由于 Sprensen 相似性系数更符合统计概率论理论^[41], 故采用 Sprensen 相似性系数来计算南麂列岛、洞头列岛、台州列岛、渔山列岛、中街山

列岛及嵊泗列岛之间大型底栖动物物种目级和科级分类阶元的相似性系数。

$$S_c = \frac{2c}{A+B} \times 100\% \tag{7}$$

式中, A 为甲所拥有大型底栖动物目(科)数, B 为乙所拥有大型底栖动物目(科)数, c 为两者共有目(科)数, S_c 为相似性指数, 其值为 $0 \leq S_c \leq 1$ 。当两者所含有的目(科)完全一致时, S_c 最大; 当两个海域所含有的目(科)完全不同时, S_c 最小; S_c 越大则表明物种组成相似程度越高。

2 结果与分析

2.1 大型底栖动物种类组成

研究表明, 浙江 6 个重要列岛潮间带大

型底栖动物物种数差异较大。其中, 南麂列岛物种数最多, 达 330 种, 隶属于 10 门 18 纲 42 目 124 科 213 属; 台州列岛最少, 仅 133 种, 隶属于 9 门 15 纲 29 目 73 科 105 属(图 2)。

从不同列岛物种数最多的目级分类阶元分析, 南麂列岛帘蛤目(Archaogastropoda)物种数最多, 达 63 种, 渔山列岛中腹足目(Mesogastropoda)物种数最少, 仅 18 种; 从不同列岛物种数最多的科分析, 南麂列岛以帘蛤科(Veneridae)物种数最多, 达 23 种, 渔山列岛的贻贝科(Mytilidae)物种数最少, 仅 8 种(表 2)。

2.2 分类学多样性指数

根据大型底栖动物种类名录, 求得 6 个列岛的 Δ^+ 和 Λ^+ 值(图 2、图 3)。其中, 嵊泗列岛的 Δ^+

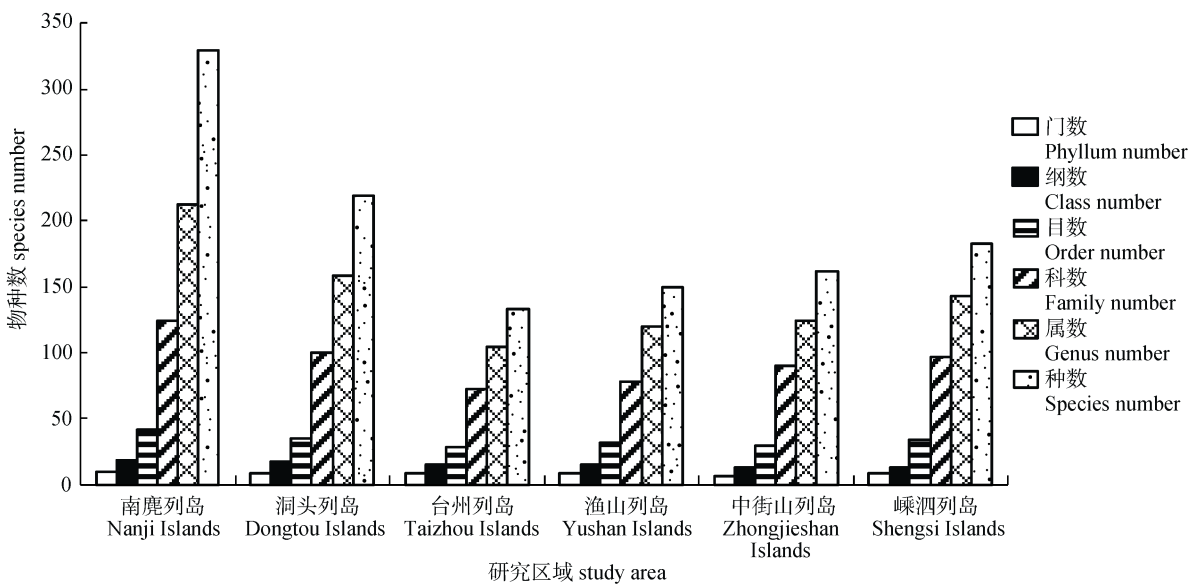


图 2 不同列岛大型底栖动物不同分类阶元组成
Fig. 2 Compositions of different taxonomic category of macrobenthos from different islands

表 2 不同列岛大型底栖动物物种数最多的目和科
Tab. 2 The most species of macrobenthos of orders and families from different islands

区域 area	目 order	物种数 species number	比例/% percentage	科 family	物种数 species number	比例/% percentage
南麂列岛 Nanji Islands	帘蛤目 Archaogastropoda	63	19.09	帘蛤科 Veneridae	23	6.97
洞头列岛 Dongtou Islands	十足目 Decapoda	66	30.14	梭子蟹科 Portunidae	12	5.48
台州列岛 Taizhou Islands	新腹足目 Neogastropoda	22	16.54	牡蛎科 Ostreidae	8	6.02
渔山列岛 Yushan Islands	中腹足目 Mesogastropoda	18	12.00	贻贝科 Mytilidae	7	6.02
中街山列岛 Zhongjieshan Islands	新腹足目 Neogastropoda	26	16.05	织纹螺科 Nassariidae	8	4.94
嵊泗列岛 Shengsi Islands	十足目 Decapoda	19	10.38	藤壶科 Balanidae	8	4.37

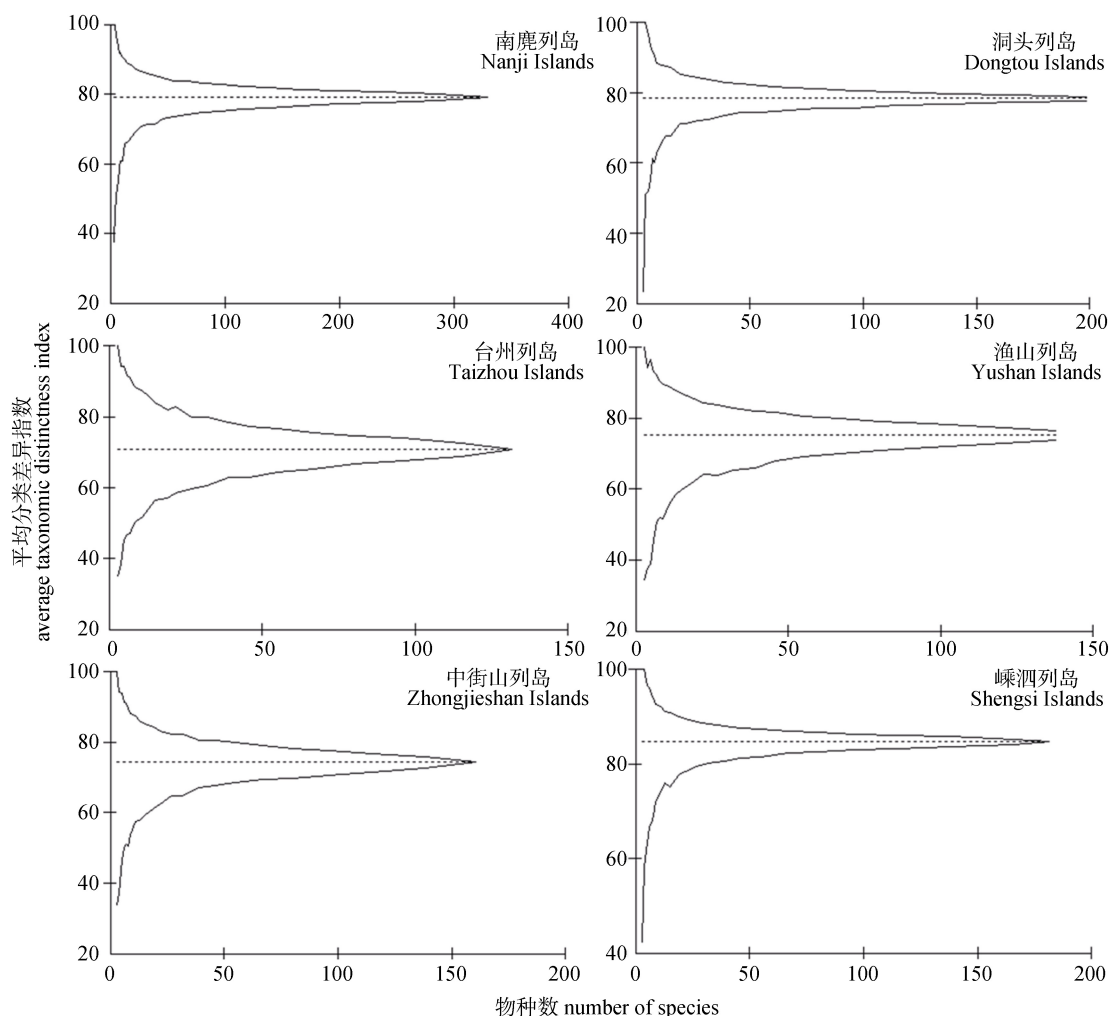


图 3 不同列岛大型底栖动物平均分类差异指数 Δ^+

Fig. 3 The average taxonomic distinctness Δ^+ of macrobenthos from different islands

值最高(84.76), 台州列岛最低(70.89); 洞头列岛的 Δ^+ 值最高(846.94), 嵊泗列岛最低(630.25)。 Δ^+ 表明嵊泗列岛大型底栖动物群落间的亲缘关系较远, 而台州列岛大型底栖动物群落间的亲缘关系较近; Δ^+ 表明洞头列岛大型底栖动物在不同分类阶元上分布不均匀, 而嵊泗列岛大型底栖动物在不同分类阶元上分布较均匀。

2.3 G-F 多样性测度指数

结果表明, F 指数南麂列岛最高, 达 40.53, 台州列岛最低, 仅 14.35; G 指数南麂列岛最高达 5.15, 台州列岛最低, 仅 4.55; $G-F$ 指数仍南麂列岛最高, 达 0.87, 台州列岛最低, 仅 0.68(表 3)。进一步分析, 不同列岛大型底栖动物物种数的自然对数与 G 指数($R^2=0.97$, $n=6$, $P<0.01$)和 F 指数

($R^2=0.96$, $n=6$, $P<0.01$)为极显著相关(图 4a, 图 4b)。此外, 物种数自然对数与 $G-F$ 指数($R^2=0.81$, $n=6$, $P<0.01$)也呈极显著相关(图 4c)。

2.4 大型底栖动物相似性

浙江各列岛潮间带大型底栖动物科级和目级相似性结果显示, 各列岛的相似性均较高, 其中科级相似性最高的是洞头列岛与台州列岛, 达 0.651, 最低的是渔山列岛与嵊泗列岛, 仅 0.480; 目级相似性最高的仍是洞头列岛与台州列岛, 达 0.781, 最低的是台州列岛与渔山列岛, 仅 0.623(表 4)。

3 讨论

3.1 大型底栖动物种类分布特征

本研究构建的 6 个列岛大型底栖动物的物种

表 3 不同列岛大型底栖动物分类学多样性指数
Tab. 3 Taxonomic diversity index of macrobenthos from different islands

区域 area	物种数 number of species	Δ^+	Λ^+	D_F	D_G	D_{G-F}
南麂列岛 Nanji Islands	330	79.18	692.62	40.53	5.15	0.87
洞头列岛 Dongtou Islands	219	78.38	846.94	28.36	4.94	0.83
台州列岛 Taizhou Islands	135	70.89	743.32	14.35	4.55	0.68
渔山列岛 Yushan Islands	150	75.26	750.31	21.59	4.71	0.78
中街山列岛 Zhongjieshan Islands	162	74.35	748.87	19.91	4.72	0.76
嵊泗列岛 Shengsi Islands	183	84.76	630.25	21.84	4.84	0.78

注: Δ^+ 表示平均分类差异指数; Λ^+ 表示分类差异变异指数。
Note: Δ^+ denotes average taxonomic distinctness; Λ^+ denotes variation in taxonomic distinctness.

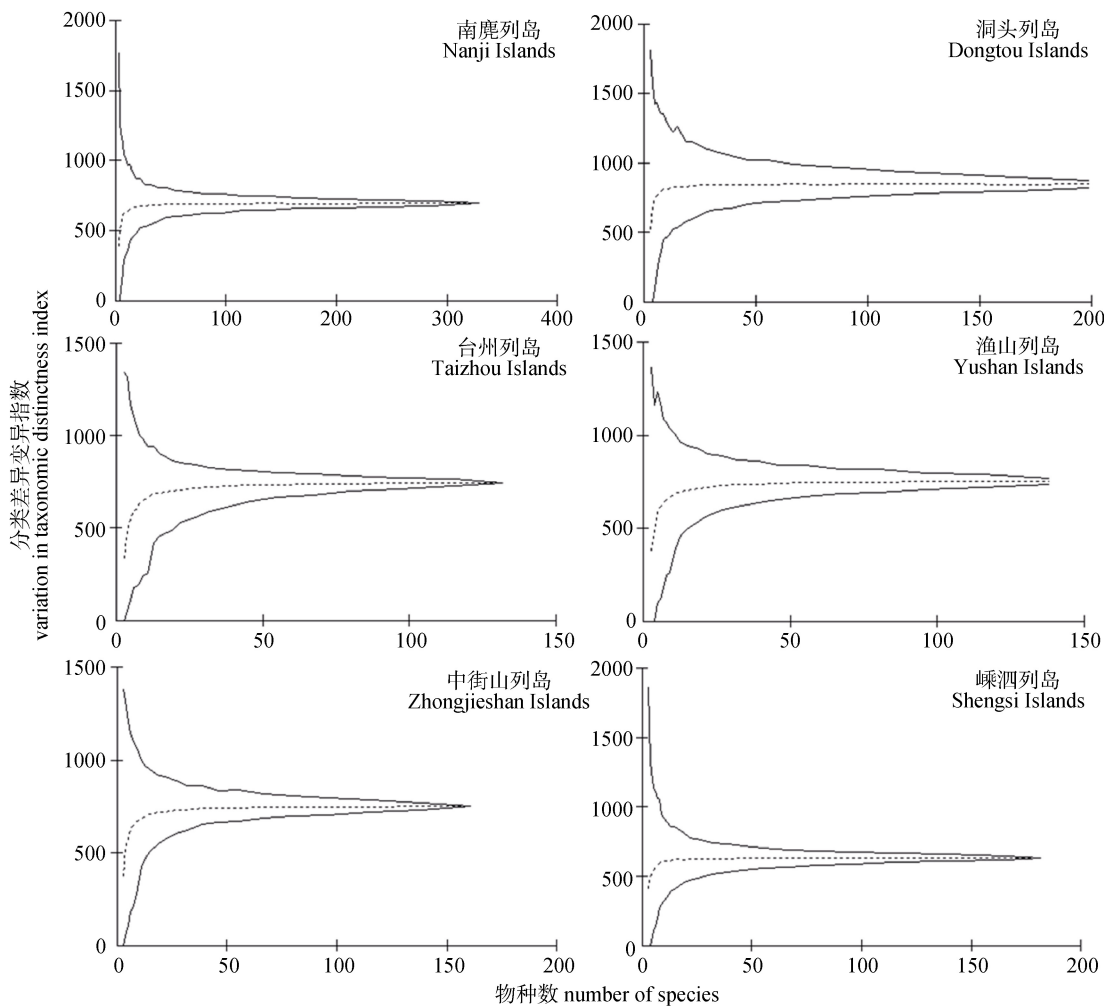


图 4 不同列岛大型底栖动物分类差异变异指数 Λ^+

Fig. 4 Variation in taxonomic distinctness Λ^+ of macrobenthos from the different islands

名录结果发现, 物种数从高到低依次为南麂列岛(330)、洞头列岛(219)、嵊泗列岛(183)、中街山列岛(162)、渔山列岛(150)和台州列岛(135)。许多研究表明, 岛屿物种数(S)与面积(A)相关 [$S=cA^z$ 或 $\lg S=\lg c+z(\lg A)$], 其中 c 为单位面积物种数, z 为物

种数-面积关系中回归的斜率, 其值一般在 0.24~0.34^[42-43]。本研究中洞头列岛、嵊泗列岛和南麂列岛的面积相对较大, 故这 3 个列岛潮间带大型底栖动物物种数相对较多。通常认为, 岛屿面积越大, 生境多样性程度越高, 有利于更多的物种

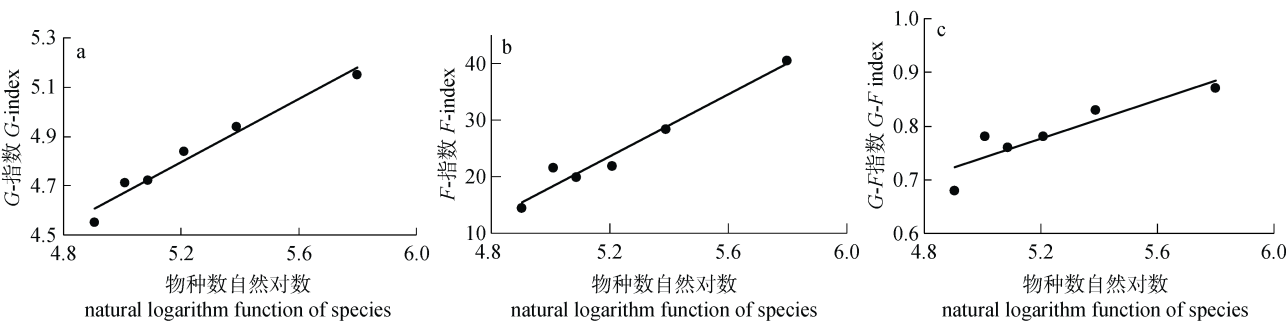


图 5 不同列岛 $G-F$ 多样性测度指数与物种数自然对数的关系

Fig. 5 Relationship between $G-F$ index and natural logarithm function of species from different islands

表 4 不同列岛潮间带大型底栖动物种类相似性比较

Tab. 4 Comparison of similarities of macrobenthos species among different islands

区域 area	洞头列岛 (科/目级) Dongtou Islands (order/family)	台州列岛 (科/目级) Taizhou Islands (order/family)	渔山列岛 (科/目级) Yushan Islands (order/family)	中街山列岛 (科/目级) Zhongjieshan Islands (order/family)	嵎泗列岛 (科/目级) Shengsi Islands (order/family)
南麂列岛 Nanji Islands	0.559/0.727	0.539/0.732	0.557/0.729	0.578/0.750	0.593/0.711
洞头列岛 Dongtou Islands		0.651/0.781	0.554/0.656	0.588/0.677	0.646/0.780
台州列岛 Taizhou Islands			0.541/0.623	0.620/0.644	0.552/0.762
渔山列岛 Yushan Islands				0.651/0.742	0.480/0.636
中街山列岛 Zhongjieshan Islands					0.486/0.688

分布。但研究发现,南麂列岛面积在 6 个列岛中并不是最大的,但其物种数最高。究其原因,首先,南麂列岛潮间带的底质类型具有完整性与典型性的特点,栖息着大量不同生态习性的大型底栖动物;其次,台湾暖流与浙南沿岸上升流交汇影响着南麂列岛海域,促进水体间的交换,适宜的温度和丰富的营养盐等环境因子有利于大型底栖动物的栖息和繁殖;最后,南麂列岛是中国首批海洋自然保护区,以保护海洋生物多样性为目标,有效的保护致使其物种多样性较高。因此,在 6 个列岛中,南麂列岛物种数最多。

3.2 分类学多样性分析

分类学多样性指数面对各种变量和不受控制的取样时具有稳健性,同时也考虑了集合的分类学均匀度。潮间带大型底栖动物平均分类差异指数 Δ^+ 值,从大到小依次为嵎泗列岛(84.76)、南麂列岛(79.18)、洞头列岛(78.38)、渔山列岛(75.26)、中街山列岛(74.35)和台州列岛(70.89)。这说明嵎泗列岛的分类多样性最高,大型底栖动物所属的

分类阶元较离散,也即嵎泗列岛大型底栖动物间的亲缘关系较远。嵎泗列岛大型底栖动物共 183 种,却隶属于 13 纲 34 目 97 科 143 属,其中在目级分类阶元上存在某些与其他种类分类地位相距较远的种类,如革囊星虫目(Phascolosomatiformes)中仅有弓形革囊星虫(*Phascolosoma arcuatum*),筒骨海绵目(Haplosclerida)中仅有多样厚指海绵(*Pachychalina variabilis*)等,这造成大型底栖动物群落各分类阶元种类组成较离散,故平均分类差异指数 Δ^+ 值较高。此外,嵎泗列岛地处舟山群岛的北部,水系组成复杂,盐度变化明显,近岸海域受长江、钱塘江径流影响,盐度值较低,以低盐或广盐性种为主;近岸海域向外海过渡的海域,盐度值适中,分布高盐种、广盐种和低盐种;外海海域,年均盐度值较高,该海区波浪作用强,多为高盐种^[44]。因此,各种因子的耦合作用决定了大型底栖动物组成较为复杂,导致分类多样性较高。而台州列岛大型底栖动物分类多样性最低,物种所隶属的分类阶元较集中,物种间的亲缘关

系较为接近。在分类阶元组成上, 大多数物种隶属于腹足纲(Gastropoda)和双壳纲(Bivalvia)的几个分类阶元上, 物种间的平均分类等级路径的长度较短, 使得大多数的分类学地位相对较近, 故平均分类差异指数 Δ^+ 值最低。

潮间带的底质类型虽然不是决定大型底栖动物分布的唯一因素, 但大型底栖动物分布与底质的适应具有密切关系。岩礁区主要分布有营固着、附着、爬行吸附及自由生活的种类, 以及营凿穴生活的种类等; 在泥滩和泥沙滩主要分布有营匍匐爬行生活的腹足类、营埋栖生活的双壳类、营穴居生活的甲壳类等。底质类型越完整的潮间带分布不同生活方式的大型底栖动物种类通常越多, 并且隶属的分类阶元越复杂, 使得不同种类间的平均分类等级路径的长度较长, 导致分类多样性较高。在本研究中, 南麂列岛、洞头列岛和嵎泗列岛潮间带底质类型较丰富, 因此在 3 个列岛平均分类差异指数 Δ^+ 值相对较高。而台州列岛潮间带底质较单一, 除局部丘陵坡麓、谷口或湾岬发育有零星泥滩和石砾沙滩外, 几乎均为岩礁区, 导致软体动物门的种类占绝对优势^[45], 大型底栖动物组成种类较为集中, 使得分类多样性较低。

Ellingsen 等^[46]研究发现, 在大尺度上大型底栖动物 Δ^+ 值受纬度的影响较大, 呈现“南高北低”的变化趋势。苏巍等^[47]通过比较中国近海不同纬度海域之间的鱼类分类多样性指数, 也发现 Δ^+ 和 Δ^+ 值呈现梯度分布, 低纬海域鱼类 Δ^+ 和 Δ^+ 值低于高纬海域。而本研究并未发现大型底栖动物 Δ^+ 和 Δ^+ 值与纬度变化存在相关性, 这可能与研究区域的范围不大有关。分类差异变异指数 Δ^+ 值从大到小依次为洞头列岛(846.94)、渔山列岛(750.31)、中街山列岛(748.87)、台州列岛(743.32)、南麂列岛(692.62)和嵎泗列岛(630.25), 相对其他 5 个列岛洞头潮间带大型底栖动物群落间的分类地位关系不均匀, 也就是说某一分类阶元上物种比较集中, 如十足目拥有物种有 66 种, 而平均每个目拥有的物种仅有 6.3 种。

3.3 $G-F$ 多样性测度分析

$G-F$ 多样性测度指数是基于 Shannon-Weaver

指数的信息测度, 通过构建物种名录来进行研究生物群落中属、科水平上物种多样性, 可以对浙江各列岛潮间带大型底栖动物多样性比较^[12]。研究发现, 南麂列岛的 $G-F$ 多样性测度指数最高, 达 0.87, 这表明在科级分类阶元多样性(F -指数)一定的前提下, 属级分类阶元多样性(G -指数)将会变高, 即南麂列岛属所拥有种的生态位分化程度高, 种生态位将会更多。其原因可能是南麂列岛潮间带大型底栖动物的种类丰富, 相似的物种为了饵料、栖息空间以及其他资源出现激烈的竞争, 使得某一物种占有的实际生态位可能越来越窄, 在进化过程中促使生态上相似的种向着不同的栖息、摄食方式及其他习性分化, 以降低种间的竞争关系, 进而使不同物种间达到平衡而共存^[42]。此外, 浙江几个重要列岛潮间带大型底栖动物的 G 指数、 F 指数和 $G-F$ 多样性测度指数与物种数自然对数呈极显著相关, 说明大型底栖动物物种数越高, 相应的 $G-F$ 多样性测度也相对较高, 即大型底栖动物属和科级分类阶元的多样性与物种数的多寡相关。

参考文献:

- [1] Tian S Y, Zhang W L, Zhang R. Role of macrobenthos in marine ecosystem[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2009, 38(2): 50–54.[田胜艳, 张文亮, 张锐. 大型底栖动物在海洋生态系统中的作用[J]. 盐业与化工, 2009, 38(2): 50–54.]
- [2] Warwick R M, Clarke K R. New ‘biodiversity’ measures of reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1995, 129: 301–305.
- [3] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties[J]. J Appl Ecol, 1998, 35(4): 523–531.
- [4] Jiang Z G, Ji L Q. Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China[J]. Chinese Biodiversity, 1999, 7(3): 220–225.[蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 $G-F$ 指数方法[J]. 生物多样性, 1999, 7(3): 220–225.]
- [5] Shi Y R, Li Y Z, Ai H, et al. Fish taxonomic diversity of coral reef areas in Xisha Islands[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(11): 1753–1761.[史赟荣, 李永振, 艾红, 等. 西沙群岛珊瑚礁海域鱼类分类学多样性[J]. 水产学报, 2010, 34(11): 1753–1761.]
- [6] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd

- Edition. PRIMPER-E: Plymouth, 2001.
- [7] David M, Julie L, Tomasini J A, et al. Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 550(1): 121–130.
- [8] Gambi C, Vanreusel A. Biodiversity of nematode assemblages from deep-sea sediments of the Atacama Slope and Trench (South Pacific Ocean)[J]. *Deep-Sea Res Part I—Oceanogr Res Pop*, 2003, 50: 103–117.
- [9] Warwick R M, Turk S M. Predicting climate change effects on marine biodiversity: comparison of recent and fossil molluscan death assemblages[J]. *J Mar Biol Assoc UK*, 2002, 82: 847–850.
- [10] Qu F Y, Yu Z S. The application of taxonomic diversity in macrobenthic ecology: taking Yellow Sea for example[J]. *Biodiversity Science*, 2010, 18(2): 155–160.[曲方圆, 于子山. 分类多样性在大型底栖动物生态学方面的应用: 以黄海底栖动物为例[J]. *生物多样性*, 2010, 18(2): 155–160.]
- [11] Liu G X, Jiang Q, Zhu Y Z, et al. The taxonomic diversity of planktonic copepods in the North Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(12): 89–96.[刘光兴, 姜强, 朱延忠, 等. 北黄海浮游桡足类分类多样性研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(12): 89–96.]
- [12] Ding J J, Liu D Z, Li C W, et al. Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 343–350.[丁晶晶, 刘定震, 李春旺, 等. 中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异[J]. *生态学报*, 2012, 32(2): 343–350.]
- [13] Yu X D, Luo T H, Wu Y M, et al. A large-scale pattern in species diversity of amphibians in the Yangtze River Basin[J]. *Zoological Research*, 2005, 26(6): 565–579.[于晓东, 罗天宏, 伍玉明, 等. 长江流域两栖动物物种多样性的尺度格局[J]. *动物学研究*, 2005, 26(6): 565–579.]
- [14] Lv Y L, Zhang Y P, Li K, et al. Macrobenthos diversity in intertidal zone of Dazhuyu Island, Dongtou County of Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(4): 707–716.[吕永林, 张永普, 李凯, 等. 浙江洞头大竹屿岛潮间带大型底栖生物多样性[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(4): 707–716.]
- [15] Jiao H F, Peng X M, You Z J, et al. Species diversity of macrobenthos in the rocky intertidal zone of Yushan Island[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(5): 511–518.[焦海峰, 彭小明, 尤仲杰, 等. 渔山岛岩石相潮间带大型底栖动物物种多样性[J]. *生物多样性*, 2011, 19(5): 511–518.]
- [16] Fu J P. The ecological on macro benthos in the rocky zone of islands in Zhejiang[D]. Qingdao: Ocean University of China.[付俊平. 浙江海岛岩礁区大型底栖生物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [17] Zhou H, Guo S H, Feng Z G. Islands of Zhejiang [M]. Beijing: Higher Education Press, 1998.[周航, 国守华, 冯志高. 浙江海岛志[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.]
- [18] Cai R X, Huang W H. Fauna of Zhejiang: mollusks[M]. Hangzhou: Zhejiang Science & Technology Press, 1991.[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.]
- [19] Wei C D, Chen Y S. Fauna of Zhejiang: crustacea[M]. Hangzhou: Zhejiang Science & Technology Press, 1991.[魏崇德, 陈永寿. 浙江动物志: 甲壳类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.]
- [20] Sun J Z, Wang Y S, Yu H. Biological practice guidance in Nanji Islands coastal[M]. Beijing: China Ocean Press, 2000.[孙建章, 王友松, 余海. 南麂列岛滨海生物实习指导[M]. 北京: 海洋出版社, 2000.]
- [21] Zhang Y P, Zhou H B, You Z J. Picture of Marine Shellfish in Dongtou Islands Zhejiang Province[M]. China Beijing: Ocean Press, 2012.[张永普, 周化斌, 尤仲杰. 浙江洞头海产贝类图志[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.]
- [22] Gao A G, Chen G T, Yang J Y, et al. Ecological study on mollusca of the intertidal zone in Nanji Archipelago marine nature reserve[J]. *Donghai Marine Science*, 1994, 12(2): 44–61.[高爱根, 陈国通, 杨俊毅, 等. 南麂列岛海洋自然保护区潮间带软体动物生态研究[J]. *东海海洋*, 1994, 12(2): 44–61.]
- [23] Zhang Y P, Ying X P, Zhang H M. Investigation of benthic invertebrates in Tongtong Islands[J]. *Journal of Wenzhou Normal College*, 1997(6): 76–78.[张永普, 应雪萍, 郑汉森. 洞头列岛潮间带底栖无脊椎动物的调查研究[J]. *温州师范学院学报*, 1997(6): 76–78.]
- [24] Jin L L. Preliminary study on the Crabs fauna of Dongtou Island Zhejiang Province[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1989(2): 56–61.[金莉莉. 浙江洞头岛潮间带蟹类调查报告[J]. *海洋湖沼通报*, 1989(2): 56–61.]
- [25] Zhang Y P, Shan L Z. Faunal study of Bivalve in Dongtou Islands Province[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[J]. *动物学杂志*, 1994, 29(1): 8–14.]
- [26] You Z J, Li W J, Hong J C. Distribution and fauna of Prosobranchia along the Zhejiang coast[J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1985, 4(1): 25–34.[尤仲杰, 李建伟, 洪君超. 浙江沿海前鳃类软体动物的分布及其区系[J]. *浙江水产学院学报*, 1985, 4(1): 25–34.]
- [27] You Z J. Distribution and Fauna of Opisthobranchia along the Zhejiang Coast[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2004, 39(4): 11–15.[尤仲杰. 浙江近海后鳃类软体动物的分布及

- 其区系[J]. 动物学杂志, 2004, 39(4): 11–15.]
- [28] You Z J, Li J W, Hong J C. A report on Bivalve of Zhejiang coast[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1985, 4(2): 133–144.[尤仲杰, 李建伟, 洪君超. 浙江沿海的双壳类[J]. 浙江水产学院学报, 1985, 4(2): 133–144.]
- [29] Shi S D. The intertidal molluse resources in Daehen Islands[J]. Journal of Taizhou Teachers College, 1999, 21(6): 57–60.[施时迪. 大陈岛软体动物资源[J]. 台州师专学报, 1999, 21(6): 57–60.]
- [30] Peng X, Qiu J B, Wu H X, et al. Investigation on benthic organisms in rocky intertidal zone of Dachen Island, Taizhou[J]. Journal of Zhejiang Ocean University, 2007, 26(1): 48–53.[彭欣, 仇建标, 吴洪喜, 等. 台州大陈岛岩礁相潮间带底栖生物调查[J]. 浙江海洋学院学报, 2007, 26(1): 48–53.]
- [31] You Z J. Ecological study on the intertidal zone of the Yushan Islands, Zhejiang[J]. Marine Sciences, 1986, 10(3): 36–41.[尤仲杰. 鱼山列岛潮间带软体动物生态的研究[J]. 海洋科学, 1986, 10(3): 36–41.]
- [32] Hong J C, You Z J, Wang Y W. A preliminary analysis on the Mollusca fauna of 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.]
- [33] You Z J, Wang Y N. Distribution and Fauna of molluscs along the Zoushan Coast[J]. Chinese Journal of Zoology, 1989, 24(6): 1–7.[尤仲杰, 王一农. 舟山沿海软体动物的分布及其区系特点[J]. 动物学杂志, 1989, 24(6): 1–7.]
- [34] Wu C W, Wang Z Z, Lv Y L. Species composition and suggesting of exploration on the Mollusca of Zhongjieshan Islands tideland[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1997, 16(2): 85–95.[吴常文, 王志铮, 吕永林. 中街山列岛软体动物种类组成及资源开发利用建议[J]. 浙江水产学院学报, 1997, 16(2): 85–95.]
- [35] You Z J, Hong J C, Wang Y N, et al. Distribution pattern of species on the intertidal rocky shore of the Shenshan Islands, Zhejiang[J]. Journal of Ningbo University, 1997, 10(1): 64–71.[尤仲杰, 洪君超, 王一农, 等. 舟山嵊山岛岩相潮间带生物分布特征[J]. 宁波大学学报, 1997, 10(1): 64–71.]
- [36] Yang W X, Chen Y S. Studies on species constitution of benthic biology and fauna and flora characteristics in rocky intertidal Zone along Shengsi Archipelago[J]. Journal of Hebei Normal university, 1996, 20(4): 82–85.[杨万喜, 陈永寿. 嵊泗列岛岩相潮间带底栖生物种类组成及区系特点[J]. 河北师范大学学报, 1996, 20(4): 82–85.]
- [37] 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[J]. 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季大型底栖动物的群落格局[J]. 动物学报, 2007, 53(6): 1000–1010.]
- [38] Liu R Y. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008.[刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [39] Warwick R M, Clarke K R. New ‘biodiversity’ measures of reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1995, 129: 301–305.
- [40] Clarke K R, Warwick R M. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels[J]. Mar Ecol Progr Seri, 1999, 184: 21–29.
- [41] Zhang Y L. Coefficient of similarity-an important parameter in floristic geography[J]. Geographical Research, 1998, 17(4): 429–434.[张镜铨. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数[J]. 地理研究, 1998, 17(4): 429–434.]
- [42] Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2002: 135–140.[沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 135–140.]
- [43] Zhang Z B. Study on the relationship between species, area and latitude of vertebrates[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 305–311.[张知彬. 物种数和面积、纬度之间关系的研究[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 305–311.]
- [44] Yang W X, Chen Y S. Community ecology of intertidal zone of Shengsi archipelago I. Species constitution and seasonal variation of benthic biocommunity in rocky intertidal zone[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1996, 7(3): 305–309.[杨万喜, 陈永寿. 嵊泗列岛潮间带群落生态学研究 I. 岩相潮间带底栖生物群落组成及季节变化[J]. 应用生态学报, 1996, 7(3): 305–309.]
- [45] Yu Y Y, Dong J M. A preliminary study of animal ecological distribution in the tidal zone of the Dachen Islands[J]. Journal of Hangzhou University, 1979(4): 96–102.[虞研原, 董聿茂. 大陈诸岛潮间带动物生态调查[J]. 杭州大学学报, 1979(4): 96–102.]
- [46] Ellingsen K E, Clarke K R, Somerfield P J, et al. Taxonomic distinctness as a measure of diversity applied over a large scale: the benthos of the Norwegian continental shelf[J]. J Anim Ecol, 2005, 74: 1069–1079.
- [47] Su W, Xue Y, Ren Y P. Temporal and spatial variation in taxonomic diversity of fish in Haizhou Bay: The effect of environmental factors[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(3): 624–634.[苏巍, 薛莹, 任一平. 海州湾海域鱼类分类多样性的时空变化及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2013, 20(3): 624–634.]

Taxonomic diversity of macrobenthos species of intertidal zone in six important islands of Zhejiang

HU Chengye¹, DU Xiao², SHUI Yuyue³, SHUI Bonian¹

1. College of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China;

2. Ningbo Laboratory, State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Ningbo 315000, China;

3. Zhoushan Bureau of Oceanology and Fishery, Zhoushan 316000, China

Abstract: The macrobenthos is an important part of the ecological system in biological communities, and plays an important role in energy transformation and material circulation. With the decline of marine fishery resources, the intertidal zones in six important islands of Zhejiang are seriously threatened by human activities, causing deep recession of some significant economic macrobenthos living resources. We investigated the taxonomic diversity of the macrobenthos of the intertidal zone, and protected the macrobenthos resources in several important islands of Zhejiang (East China Sea). We used the macrobenthos composition produced by the Checklist of Marine Biota of China Seas, which is based on the historical data of macrobenthos surveys in several important islands of Zhejiang since the 1980s. The species number, taxonomic diversity, *G-F* index and composition of species similarity index in the order and family levels were calculated. The results showed that species number in the macrobenthos differed in several important islands of Zhejiang. The largest species number occurred in the Nanji Islands: a total of 330 macrobenthos species were recorded, belonging to 213 genera, 124 families, 42 orders, 18 classes and 10 phyla. The lowest species number was recorded in the Taizhou Islands, with a total of 133 macrobenthos species belonging to 105 genera, 73 families, 29 orders, 15 classes and nine phyla. We used the PRIMER 5.2 software to calculate the average taxonomic distinctness index and the variation in taxonomic distinctness index for several important islands of Zhejiang. The Shengsi island had the maximum average taxonomic distinctness index (84.76), while the minimum was the Taizhou Islands (70.89). Thus, the genetic relationship of the composition of the macrobenthos species in the Shengsi Islands was more distant than that of the other six islands. The maximum variation in taxonomic distinctness index was calculated for the Dongtou Islands (846.94) and the Shengsi Islands had the minimum (630.25). The islands showed the maximum *G-F* index (0.87), which indicates a higher *G*-index on the premise of a constant *F*-index. Compared with the composition of macrobenthos species similarity index analysis at the order level, the composition of macrobenthos species similarity between the Dongtou Islands and Taizhou Islands was the highest (0.651) and the lowest was between the Yushan Islands and Shengsi Islands (0.480). At the family level, the highest composition of macrobenthos species similarity index was between the Dongtou Islands and Taizhou Islands (0.781) and the lowest was between the Taizhou islands and Yushan Islands. Thus, the macrobenthos species compositions were not significantly different between the Dongtou Islands and Taizhou Islands at the order and family levels. The macrobenthos of the intertidal zone taxonomic diversity in six important islands of Zhejiang was analyzed, which provided references for conservation, development and management within the macrobenthos of the intertidal zone of the Zhejiang Islands.

Key words: macrobenthos; taxonomic diversity; *G-F* diversity index; intertidal zone; Shengsi Islands; Zhongjieshan Islands; Yushan Islands; Taizhou Islands; Tongtong Islands; Nanji Islands

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