

# 浙江 6 个列岛大型底栖藻类分类多样性\*

求锦津<sup>1</sup> 水柏年<sup>1</sup> 水玉跃<sup>2</sup> 张春草<sup>1</sup> 董静瑞<sup>1</sup> 李超男<sup>1</sup>  
孙 鹏<sup>1</sup> 张苗苗<sup>1</sup> 田 阔<sup>1</sup>

(1. 浙江海洋大学水产学院 舟山 316000; 2. 舟山市海洋与渔业局 舟山 316000)

**摘要** 本文基于对七星列岛大型底栖藻类的实地调查, 结合浙南 3 个列岛(七星列岛、南麂列岛和洞头列岛)和浙北 3 个列岛(渔山列岛、中街山列岛和马鞍列岛)大型底栖藻类物种组成的有关文献, 构建大型底栖藻类基础数据库。采用平均分类差异指数  $\Delta^+$ 、分类差异变异指数  $\Delta^+$ 、 $G-F$  多样性测度指数和相似性系数开展分类多样性研究。结果显示: 6 个列岛藻类在目级和科级的相似性很高, 其值均在 0.800 以上; 洞头列岛的  $\Delta^+$  值最高(77.42), 中街山列岛最低(72.65), 这表明洞头列岛大型底栖藻类类群间的亲缘关系较远, 中街山列岛藻类类群间的亲缘关系较近; 七星列岛的  $\Delta^+$  值最高, 达 942.00, 南麂列岛最低, 仅 865.12, 这表明南麂列岛大型底栖藻类在不同分类阶元分布最均匀, 七星列岛的藻类分布较集中; 南麂列岛无论是  $F$  指数、 $G$  指数还是  $G-F$  指数的值均比其他 5 个列岛高, 依次为 18.62, 4.40 和 0.76, 这说明南麂列岛藻类的生态位分化程度较高。本研究构建了 6 个列岛大型底栖藻类资源与分类多样性基础数据库, 为有效保护和管理大型底栖藻类提供了理论依据。

**关键词** 6 个列岛; 大型底栖藻类; 分类多样性;  $G-F$  多样性测度指数; 相似性系数  
中图分类号 S931.1 doi: 10.11693/hyhz20170300053

大型底栖藻类是生活在岩相海岸带或岛礁生态系统中的重要生物类群, 其所构成的生物群落对维持沿岸生态系统稳定有着重要作用(陈彬等, 2012)。大型底栖藻类不仅是重要的初级生产者, 而且起到净化水质, 防止海岸侵蚀的作用。目前, 有关大型底栖藻类多样性的研究大多集中在 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielous 均匀度等指数(彭欣等, 2010; 张磊等, 2012), 但往往受样本大小和取样方法等因素的影响产生一定误差。为更准确地反映生物多样性, 研究者一直在寻求新的参数加以研究。Clarke 等(1998, 2001)提出了分类多样性指数, 分类多样性指数是依据不同分类阶元, 通过物种的有无评估多样性。该指数考虑了物种在分类阶元上的差异而区别于传统的多样性指数, 即两个类群的物种多样性一致时, 种间亲缘关系远的类群比亲缘关系近的类群

多样性更高(李娜娜等, 2011; 陈杰等, 2016)。

目前, 分类多样性指数多被用于鱼类(史赞荣等, 2010; 李娜娜等, 2011; 陈杰等, 2016)、浮游动物(刘光兴等, 2010; 陈洪举等, 2014)和大型底栖动物(曲方圆等, 2010; 彭松耀, 2013)等群落的研究。Campbell 等(2011)研究了大西洋东北部大陆坡深水底栖鱼类的分类多样性, 表明该指数是深海鱼类生存的重要指标; 曲方圆等(2010)采用平均分类差异指数和分类差异变异指数对黄海底栖动物进行了分类多样性研究。近年来, 该指数还被应用于陆生和湿地植物的研究。例如, Jastrzębska 等(2011)研究分析了麦田内植物种类组成、分类多样性等, 以探究影响春季大麦产量变动的因素; 李帅等(2015)对黄河中游湿地植物的分类多样性进行了探究, 并讨论了与传统生物多样性指数的相关性。但该指数在大型底栖藻类中的运用却少

\* 浙江省软科学研究计划项目, 2015C25018 号; “海洋科学”省重中之重学科, 111040602136 号; “水产”省一流学科, 11034060216 号。求锦津, 硕士研究生, E-mail: 18368082795@163.com

通讯作者: 田 阔, 博士, E-mail: tiankuo689291@163.com

收稿日期: 2017-03-14, 收修改稿日期: 2017-05-14

见, 本文基于浙江 6 个列岛自上世纪 70 年代以来有关大型底栖藻类的调查研究资料, 借鉴动、植物生物分类多样性的研究方法, 采用平均分类差异指数( $\Delta^+$ )、分类差异变异指数( $\Delta^+$ )、 $G-F$  多样性测度指数(蒋志刚等, 1999)和 Sprensen 相似性系数(张镜铨, 1998)等综合分析七星列岛、南麂列岛、洞头列岛、渔山列岛、中街山列岛和马鞍列岛 6 个列岛大型底栖藻类多样性状况, 进而对其进行比较, 探讨产生差异的原因, 以期构建浙江南北 6 个列岛的大型底栖藻类分类多样性基础数据库, 为有效保护和管理大型底栖藻类资源与分类多样性提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

本研究结合现有的文献资料, 选取具有代表性的 6 个列岛, 即七星列岛、南麂列岛、洞头列岛、渔山列岛、中街山列岛和马鞍列岛作为研究区域, 如图 1 所示。

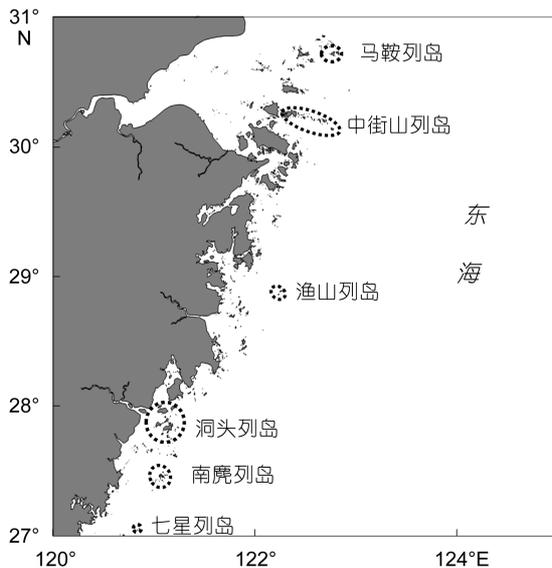


图 1 研究区域  
Fig.1 The study area

### 1.2 数据来源

本文根据 2013 年 7 月和 2014 年 11 月在七星列岛按照海洋调查规范(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2008)调查的大型底栖藻类物种资料, 结合孙建璋(2006)对七星列岛、南麂列岛、马鞍列岛大型底栖藻类的调查和王铁杆等(2012)在洞头列岛收集的藻类资料, 另有资料对南麂列岛(傅财华等, 2011; 汤雁滨等, 2014)、渔山列岛(阮积惠, 1994; 王腾飞等,

2013)和马鞍列岛(章守宇等, 2008)的藻类进行补充, 中街山列岛藻类资料则使用陆艳用等(2011)的数据, 依据刘瑞玉(2008)和毛欣欣等(2011)整理的生物名录, 梳理分类地位, 分别构建 6 个列岛大型底栖藻类物种名录。

### 1.3 分类多样性指数

分类多样性指数的计算方法: 在种、属、科、目和纲 5 个分类等级上, 确定每个物种在分类系统树状图中的路径长度权重, 用统计软件 PRIMER5.2 中的 TAXDTEST 工具求取  $\Delta^+$  和  $\Delta^+$ 。计算公式如下:

$$\text{平均分类差异指数 } \Delta^+ = \frac{\sum_{i < j} \omega_{ij}}{S(S-1)/2}, \quad (1)$$

$$\text{分类差异变异指数 } \Delta^+ = \frac{\sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2}{S(S-1)/2}, \quad (2)$$

公式(1)、(2)中,  $\omega_{ij}$  为物种  $i$  和物种  $j$  分类系统树状图中的路径长度,  $S$  为群落中的总物种数。在一定范围内,  $\Delta^+$  值越小, 说明类群间的亲缘关系越近, 反之则越远;  $\Delta^+$  值越小, 则说明群落或者生物在不同分类阶元的分布越均匀, 反之则越不均匀。

### 1.4 $G-F$ 多样性测度指数

$$G-F \text{ 多样性测度指数 } D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F}, \quad (3)$$

公式(3)中,  $D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}$ ,  $D_{Fk} = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$ 。其中,  $p_i = s_{ki}/S_k$ ,  $s_{ki}$  为名录中  $k$  科  $i$  属的物种数,  $S_k$  为名录中  $k$  科中的物种数,  $n$  为  $k$  科中的属数,  $m$  为大型底栖藻类的科数。  $D_G = -\sum_{j=1}^p D_{Gj} = -\sum_{j=1}^p q_j \ln q_j$ 。其中,  $q_j = s_j/S$ ,  $s_j$  为名录中  $j$  属中的物种数,  $S$  为名录中的物种数,  $p$  为名录中的属数。

一般规定, 当  $D_F=0$  时, 即所有的科都是单种, 则规定该地区的  $G-F$  指数为 0, 即  $D_{G-F}=0$ 。单种科越多,  $G-F$  指数值越小, 反之越大。一般来说,  $0 \leq \frac{D_G}{D_F} \leq 1$ 。  $G-F$  指数越接近 0 或为负数, 则说明  $F$  指数(科间多样性)下降, 或者说明  $G$  指数(属间多样性)上升, 反之则趋近于 1。

### 1.5 相似性指数

Sprensen 对相似性系数进行了适当的修改, 并充分论证了修改后的公式更加符合统计概率论的理论(张镜铨, 1998)。因此, 本文采用 Sprensen 相似性系数

来计算 6 个列岛之间的大型底栖藻类目级/科级相似性。计算公式如下:

$$S_c = \frac{2c}{A+B} \times 100\%, \quad (4)$$

公式(4)中,  $S_c$  为相似性系数,  $A$  为甲的大型藻类总目/科数,  $B$  为乙的大型藻类总目/科数,  $c$  为两者所共有的目/科数。0  $S_c$  1, 当两者的相似性越高,  $S_c$  的值越接近 1; 反之,  $S_c$  就越接近于 0。

## 2 结果

### 2.1 大型底栖藻类的物种组成

经数据处理可得, 6 个列岛藻类物种数相差较大(图 2), 南麂列岛藻类物种数(185)明显高于另外 5 个

列岛, 隶属于 26 目 44 科 87 属, 七星列岛物种数(86)最少, 隶属于 19 目 34 科 56 属。从分类阶元组成看, 6 个列岛藻类在目、科级阶元的相似性很高(表 1)。南麂列岛与马鞍列岛共有目数 23, 目级相似性系数最高(0.920); 马鞍列岛与洞头列岛目级相似性最低(0.826)。马鞍列岛与中街山列岛共有的科数为 34, 为各列岛间科级相似性系数最高(0.895); 马鞍列岛和洞头列岛科级相似性最低(0.806)。以科、目分类阶元进行 6 个列岛大型底栖藻类优势物种的统计, 发现其优势科、目组成相近。在科级分类阶元, 6 个列岛藻类大多集中在石莼科、马尾藻科、松节藻科等, 目级分类阶元则主要集中在杉藻目、仙菜目和石莼目等(附表)。

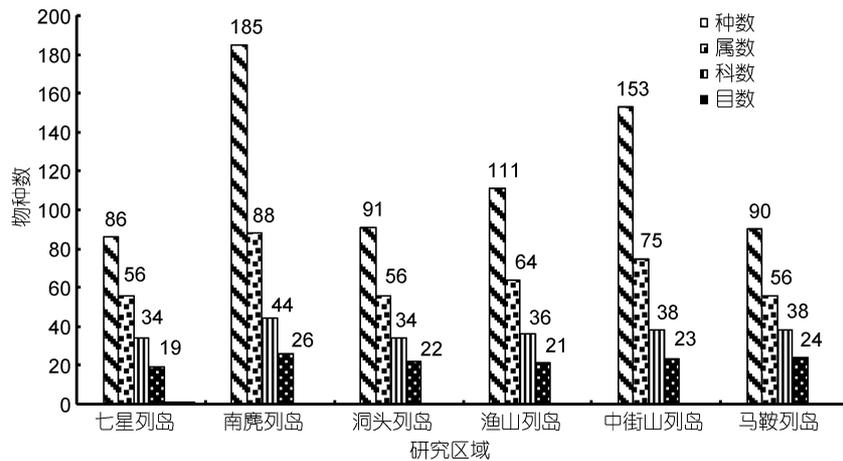


图 2 6 个列岛大型底栖藻类不同分类阶元组成

Fig.2 Compositions of different taxonomic categories of benthic macroalgae from the six islands

表 1 各列岛间大型底栖藻类相似性比较

Tab.1 Comparison in similarity of benthic macroalgae among the six islands

区域	洞头列岛(目/科级)	渔山列岛(目/科级)	中街山列岛(目/科级)	马鞍列岛(目/科级)	七星列岛(目/科级)
南麂列岛	0.875/0.846	0.894/0.875	0.898/0.878	0.920/0.854	0.844/0.846
洞头列岛		0.884/0.857	0.844/0.861	0.826/0.806	0.829/0.853
渔山列岛			0.909/0.865	0.889/0.865	0.900/0.886
中街山列岛				0.894/0.895	0.857/0.833
马鞍列岛					0.884/0.833

### 2.2 分类多样性指数

根据数理构建的大型底栖藻类物种名录, 在计算不同分类等级多样性权重值的基础上(表 2), 用 primer5.2 软件求得  $H'$  和  $S'$  值(图 3, 4)。其中洞头列岛的  $H'$  值最高(77.42), 中街山列岛的值最低(72.65)。这表明, 洞头列岛大型底栖藻类群间的亲缘关系较其他 5 个列岛都要远, 中街山列岛藻类群间的亲缘关系较近; 七星列岛的  $S'$  值最高(942.00), 南麂列岛最低(865.12)。这表明南麂列

岛大型底栖藻类在不同分类阶元的分布较均匀, 而七星列岛的藻类在不同分类阶元的分布较集中。

### 2.3 G-F 多样性测度指数

数据处理结果表明(表 3), 南麂列岛的  $F$  指数、 $G$  指数和  $G-F$  指数值均高于其余 5 个列岛, 其值依次为 18.62、4.40 和 0.76; 马鞍列岛的  $F$  指数和  $G-F$  指数值均最低, 分别仅为 10.50 和 0.64,  $G$  指数值最低的是洞头列岛, 为 3.79。

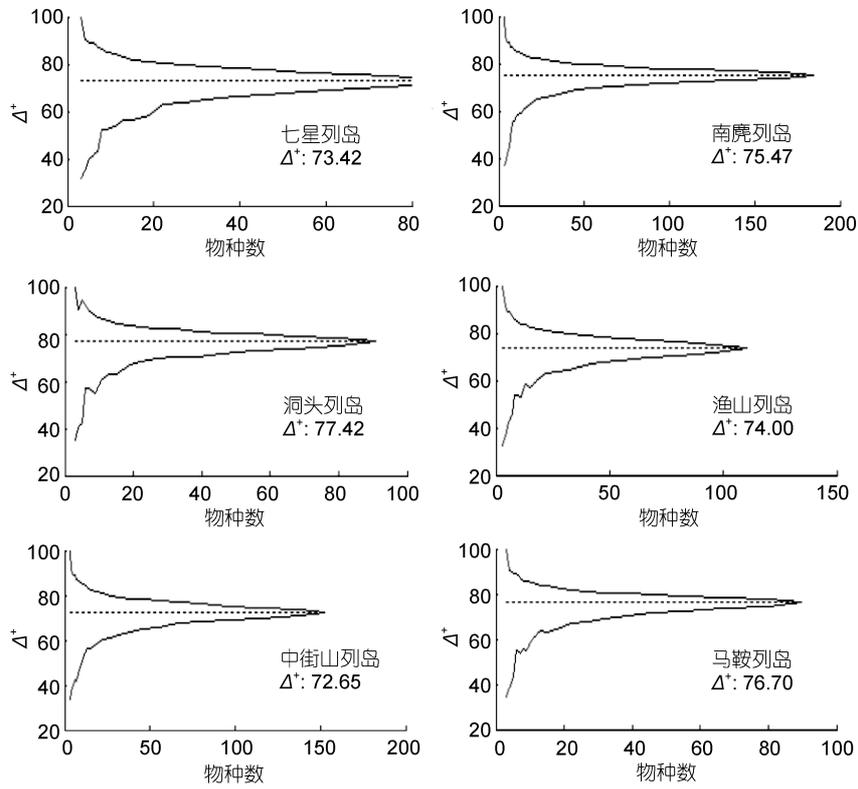


图 3 6 个列岛大型底栖藻类平均分类差异指数( $\Delta^+$ )

Fig.3 The average taxonomic distinctness of benthic macroalgae from the six islands

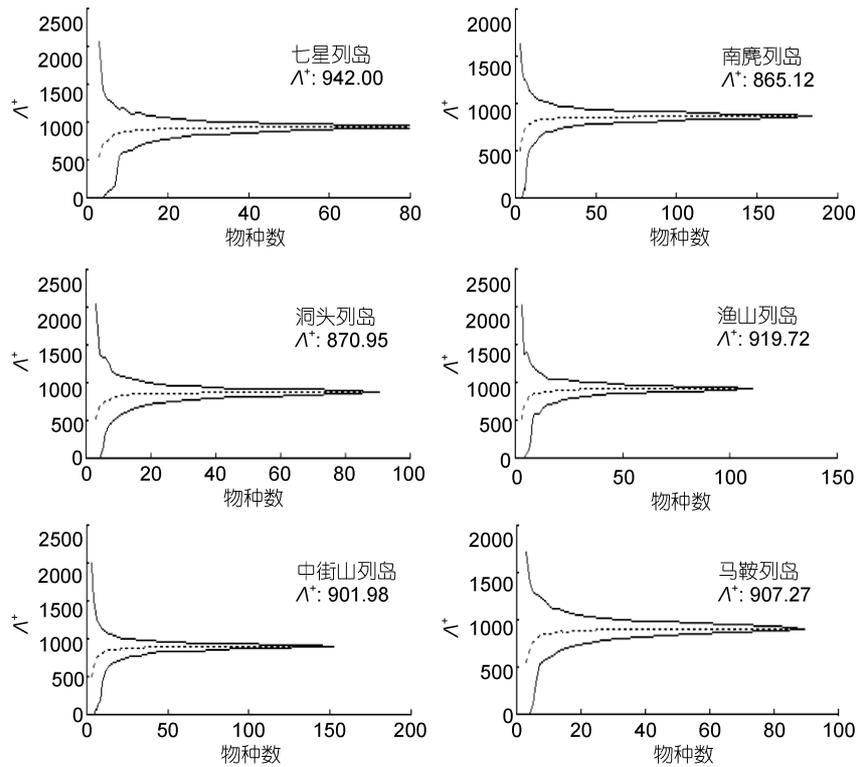


图 4 6 个列岛大型底栖藻类分类差异变异指数( $\Lambda^+$ )

Fig.4 Variation in taxonomic distinctness of benthic macroalgae from the six islands

表2 不同分类等级的多样性权重值

Tab.2 The branch weight on species at each taxonomic level

分类等级	路径长度的权重					
	七星列岛	南麂列岛	洞头列岛	渔山列岛	中街山列岛	马鞍列岛
种	11.74	15.99	13.04	13.72	15.81	13.02
属	24.95	31.23	26.37	27.89	31.12	24.10
科	39.80	43.71	38.34	41.38	43.36	36.80
目	66.36	69.51	66.09	67.61	68.98	65.53
纲	66.36	69.51	66.09	67.61	68.98	65.53
门	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表3 6个列岛大型底栖藻类G-F多样性测度指数

Tab.3 G-F index of benthic macroalgae from the six islands

区域	物种数	$\bar{+}$	$\bar{-}$	$D_F$	$D_G$	$D_{G-F}$
七星列岛	86	73.42	942.00	11.53	3.86	0.67
南麂列岛	185	75.47	865.12	18.62	4.40	0.76
洞头列岛	91	77.42	870.95	11.70	3.79	0.68
渔山列岛	111	74.00	919.72	13.48	3.94	0.71
中街山列岛	153	72.65	901.98	15.93	4.11	0.74
马鞍列岛	90	76.70	907.27	10.50	3.83	0.64

注:  $\bar{+}$ : 平均分类差异指数;  $\bar{-}$ : 分类差异变异指数;  $D_F$ : F指数;  $D_G$ : G指数;  $D_{G-F}$ : G-F多样性测度指数

### 3 讨论

#### 3.1 大型底栖藻类物种组成异同

6个列岛大型底栖藻类物种数差异较大。影响海藻生长的因子较多,如岛屿面积、海流水系、海浪、海水透明度、水温、底质和人为干扰等(章守宇等,2008;陆艳用等,2011)。

七星列岛藻类种数最少(86种),可能与其面积仅有0.47km<sup>2</sup>,为6个列岛面积中最小,且离大陆沿岸相对较远(最近距离37km)有关,这符合MacArthur的平衡说理论(牛翠娟,2007),即岛屿面积越大且离大陆越近的岛屿,其留居物种的数目越多,反之则越少。但洞头列岛面积最大(100.3km<sup>2</sup>),离岸最近(最近距离5.7km),物种数却不高,这可能是洞头列岛人为干扰较多,海水透明度低,盐度低且季节变化幅较大,不利于藻类生长所致。

岩相底质适于大型藻类繁衍栖息,而泥相和沙相等柔性底质不适于藻类生长。七星列岛、渔山列岛和中街山列岛基本为单一岩相底质;洞头列岛多为岩相底、粉砂底、泥底;南麂列岛西侧沿岸主要是泥沙基质,外侧岛屿主要是岩相海岸,适合多种生活习性的藻类生长、生存(孙建璋,2006)。

南麂列岛春夏季主要受台湾暖流控制,秋季台湾暖流的作用逐渐消退,受到冷空气和江浙沿岸流的影响,冬季则受江浙沿岸水的支配,水文条件复杂多变,适合多种藻类的附着,由此南麂列岛藻类的多样性较高;洞头列岛海域周年受江浙沿岸流和江河径流影响,水文条件较单一,藻类物种多样性较低;而渔山列岛离长江、钱塘江入海口较远,受江浙沿岸流和长江冲淡水系的影响较小,仅在夏秋季受台湾暖流影响较强,因此多样性低;中街山列岛受台湾暖流、黄海冷水团和长江、钱塘江等长江冲淡水系的复合影响,且其海域宽阔,水动力作用适宜,促进各种藻类生长。

南麂列岛与七星列岛纬度差异甚小,且均位于暖温带向亚热带过渡的典型气候带,但这2个列岛藻类物种数差距最大,人为干扰作用导致差异不容忽视。南麂列岛早在1990年被列为国家级海洋自然保护区,实行三级分区管理,整个保护区以保护贝藻类为主。七星列岛于2013年才被批准设立为省级海洋特别保护区,此前渔民赶海对藻类的滥采乱挖,可能会给藻类多样性带来负面影响。中街山列岛、马鞍列岛和渔山列岛等藻类也受当地居民的过度采集,以及近些年兴起的海岛旅游带来的人为干扰,也可能使得藻类资源衰退(阮积惠,1994;王腾飞等,2013;蔡丽萍等,2014)。

6个列岛大型藻类的共性分析。各列岛藻类的分类阶元组成较为接近,目级和科级相似性很高,其系数数值均在0.800以上。各列岛大型底栖藻类均以暖温带性种类为主(63.12%—69.77%),亚热带性次之(10.47%—26.37%),冷温性第三(7.48%—19.77%),热带性种类仅在七星列岛(1.16%)、南麂列岛(1.68%)、渔山列岛(0.93%)和中街山列岛(1.97%)有分布,亚寒带性种类只在南麂列岛(0.56%)和马鞍列岛(1.16%)有分布。这可能是6个列岛海藻区系的性质均为暖温带向亚热带过渡的类型,尤其是南麂列岛更为典型。

#### 3.2 分类多样性分析

6个列岛的 $\Delta^+$ 值:中街山列岛(72.65)<七星列岛(73.42)<渔山列岛(74.00)<南麂列岛(75.47)<马鞍列岛(76.70)<洞头列岛(77.42)。这表明洞头列岛大型底栖藻类所属的分类阶元较离散,即藻类类群间的亲缘关系较疏远。洞头列岛藻类56属,各属单一种数量较多,占洞头列岛藻类种数的45.05%,物种组成复杂,藻类类群间的亲缘关系较远,这可能是洞头列岛水文(温度、盐度、透明度、海流)条件随时空变化复

杂, 人为因素干扰大所致。中街山列岛藻类类群间亲缘关系较近。其中 22.22% 的种类集中于仙菜目, 20.26% 的藻类集中于杉藻目, 这说明近半比例的藻类隶属于 2 个目, 各种类的分类地位相对较近; 同时, 中街山列岛为单一岩相底, 适于这 2 目藻类栖息, 这体现在  $H'$  指数值最低。

6 个列岛的  $H'$  值: 南麂列岛(865.12) < 洞头列岛(870.95) < 中街山列岛(901.98) < 马鞍列岛(907.27) < 渔山列岛(919.72) < 七星列岛(942.00)。这表明南麂列岛大型底栖藻类在不同分类阶元分布最均匀。这与南麂列岛温度、盐度等环境因子相对稳定、透明度高, 尤其是位于典型的亚热带向温带过渡地带, 最适于藻类栖息等特征有关。此外, 也与该列岛早在 1990 年被列为国家级海洋自然保护区, 有专门的科研与执法管理作为强有力保障有关。七星列岛大型底栖藻类在不同分类阶元分布较集中, 86 种大型藻类隶属于 19 目 34 科 56 属, 平均每 1 个属包含 1.5 种, 为 6 个列岛种数最少, 这可能与该列岛位于远离大陆的开放性水域, 终年风浪大, 藻类难以附着有关。

### 3.3 G-F 多样性测度指数分析

$G-F$  指数除应用在鸟类、兽类的物种多样性研究之外, 还应用在植物的生物多样性测度上(蒋志刚等, 1999), 本文尝试用其来研究海洋藻类的生物多样性。研究得出, 南麂列岛的  $F$  指数(18.62)、 $G$  指数(4.40) 及  $G-F$  指数(0.76) 均比其余 5 个列岛高。这与南麂列岛的科数、属数以及物种数最多是一致的。南麂列岛的底栖藻类共有 185 种, 较均匀的分布于 44 科 83 属。在科间多样性( $F$  指数)一定的前提下, 属间多样性( $G$  指数)会上升, 即南麂列岛种类的生态位分化程度会越来越高, 种类的生态位也将会越来越多(胡成业, 2016)。该指数与分类多样性指数的分析结果一致, 即南麂列岛大型底栖藻类的物种分布较为均匀, 多样性较高。

## 4 结论

本研究采用分类多样性指数、 $G-F$  多样性测度指数和相似性系数, 综合分析了浙江 6 个列岛大型底栖藻类分类多样性的状况, 表明南麂列岛藻类丰富度和多样性均较高。6 个列岛在海流、底质等环境因素上存在差异, 但其所处的地理位置和气候条件相近, 因此对各列岛潮间带大型藻类进行养护与管理时, 既可以根据其共性借鉴成功的模式, 又需要根据其差异性对措施作出适当调整。

## 参 考 文 献

- 王铁杆, 胡仁勇, 孙庆海等, 2012. 浙江洞头大型海藻. 北京: 海洋出版社, 1—6
- 王腾飞, 蒋霞敏, 王稼瑞等, 2013. 渔山列岛潮间带大型海藻的分布特征. 海洋环境科学, 32(6): 836—840
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2008. GB/T 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, 1—157
- 牛翠娟, 2007. 基础生态学. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 175
- 毛欣欣, 蒋霞敏, 林清菁, 2011. 浙江大型海藻彩色图集. 北京: 科学出版社
- 史赞荣, 李永振, 艾红等, 2010. 西沙群岛珊瑚礁海域鱼类分类学多样性. 水产学报, 34(11): 1753—1761
- 曲方圆, 于子山, 2010. 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. 生物多样性, 18(2): 155
- 刘光兴, 姜强, 朱延忠等, 2010. 北黄海浮游桡足类分类学多样性研究. 中国海洋大学学报, 40(12): 89—96
- 刘瑞玉, 2008. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社
- 汤雁滨, 廖一波, 寿鹿等, 2014. 珊瑚藻类对南麂列岛潮间带底栖生物群落多样性的影响. 生物多样性, 22(5): 640—648
- 阮积惠, 1994. 渔山列岛潮间带底栖海藻生态的初步研究. 东海海洋, 12(4): 48—57
- 孙建璋, 2006. 孙建璋贝藻类文选. 北京: 海洋出版社, 1—23
- 李帅, 张婕, 上官铁梁等, 2015. 黄河中游湿地植物分类学多样性研究. 植物科学学报, 33(6): 775—783
- 李娜娜, 董丽娜, 李永振等, 2011. 大亚湾海域鱼类分类多样性研究. 水产学报, 35(6): 863—870
- 张磊, 张秀梅, 吴忠鑫等, 2012. 荣成俚岛人工鱼礁区大型底栖藻类群落及其与环境因子的关系. 中国水产科学, 19(1): 116—125
- 张镜理, 1998. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数. 地理研究, 17(4): 429—434
- 陆艳用, 马玉心, 崔大练等, 2011. 中街山列岛保护区底栖海藻分布与资源特征. 水产科学, 30(5): 269—275
- 陈杰, 杨璐, 杨圣云等, 2016. 福建台山列岛周边海域鱼类群落分类多样性研究. 南方水产科学, 12(1): 94—101
- 陈彬, 俞炜炜, 2012. 海洋生态恢复理论与实践. 北京: 海军出版社, 80
- 陈洪举, 刘光兴, 2014. 长江口及邻近海域浮游桡足类分类多样性研究. 中国海洋大学学报, 44(12): 90—96
- 胡成业, 杜肖, 水玉跃等, 2016. 浙江 6 个列岛潮间带大型底栖动物分类多样性. 中国水产科学, 23(2): 458—468
- 章守宇, 梁君, 汪振华等, 2008. 浙江马鞍列岛海域潮间带底栖海藻分布特征. 应用生态学报, 19(10): 2299—2307
- 彭欣, 谢起浪, 李尚鲁等, 2010. 浙南潮间带大型底栖藻类时空分布及多样性研究. 热带海洋学报, 29(3): 135—140
- 彭松耀, 2013. 黄东海大型底栖动物群落结构特征. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文
- 蒋志刚, 纪力强, 1999. 鸟兽物种多样性测度的  $G-F$  指数方法. 生物多样性, 7(3): 220—225
- 傅财华, 蒋霞敏, 毛欣欣等, 2011. 南麂列岛大柴屿潮间带底栖海藻分布特征. 宁波大学学报(理工版), 24(2): 25—30
- 蔡丽萍, 金敬林, 吴盈子等, 2014. 舟山马鞍列岛海洋特别保护区岩相潮间带底栖藻类初步调查与研究. 海洋开发与 管理, (4): 89—94

- Campbell N, Neat F, Burns F *et al*, 2011. Species richness, taxonomic diversity, and taxonomic distinctness of the deep-water demersal fish community on the Northeast Atlantic continental slope (ICES Subdivision VIa). *ICES Journal of Marine Science*, 68(2): 365—376
- Clarke K R, Warwick R M, 1998. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35(4): 523—531
- Clarke K R, Warwick R M, 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 265—278
- Jastrzębska M, Wanic M, Jastrzębski W P *et al*, 2011. Taxonomic diversity and distinctness indices in assessment of weed communities. *Acta Agrobotanica*, 64(4): 251—258

## TAXONOMIC DIVERSITY OF BENTHIC MACROALGAE IN SIX ISLANDS OF ZHEJIANG

QIU Jin-Jin<sup>1</sup>, SHUI Bo-Nian<sup>1</sup>, SHUI Yu-Yue<sup>2</sup>, ZHANG Chun-Cao<sup>1</sup>, DONG Jing-Rui<sup>1</sup>,  
LI Chao-Nan<sup>1</sup>, SUN Peng<sup>1</sup>, ZHANG Miao-Miao<sup>1</sup>, TIAN Kuo<sup>1</sup>  
(1. *College of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China*;  
2. *Zhoushan Bureau of Oceanology and Fishery, Zhoushan 316000, China*)

**Abstract** This paper summarizes the field investigation of benthic macroalgae in Qixing Islands, Zhejiang Province, and combines available literatures data of the benthic macroalgae from other five archipelagic islands of the province, including Nanji, Dongtou, Yushan, Zhongjieshan, and Ma'an Islands, and established the database of the benthic macroalgae. The results indicate that the taxa of the six islands were similar in the order and family level. The maximum average taxonomic distinctness index (77.42) was found in Dongtou Islands, and the minimum in Zhongjieshan Islands (72.65). Thus, the genetic relationship of the benthic macroalgae in the Dongtou Islands is more distant than those of the other five islands. The maximum variation in taxonomic distinctness index was revealed in the Qixing Islands (942.00), and the minimum in Nanji Islands (865.12). Therefore, the taxonomic distribution of benthic macroalgae in Nanji Islands was the evenest among all the islands. Moreover, Nanji Islands ranked No. 1 in *F* index (18.62), *G* (4.40) and *G-F* index (0.76) among all islands, indicating that the algae species of Nanji Islands featured higher niche differentiation degree. This paper shall provide the basic natural information for effective protection to benthic macroalgae resources these islands.

**Key words** six Islands; benthic macroalgae; taxonomic diversity; *G-F* diversity index; similarity index

附表

6 个列岛优势科(前 8 科)物种组成  
Species composition of dominant family (top 8) from the six islands

种	QXI	NJI	DTI	YSI	ZJS	MAI	种	QXI	NJI	DTI	YSI	ZJS	MAI
红毛菜 <i>Bangia fusco-purpurea</i>		+	+	+	+	+	对丝藻 <i>Antithamnion cruciatum</i>	+	+		+	+	
小红毛菜 <i>Bangia gloiopeltidicola</i>		+					日本对丝藻 <i>Antithamnion nipponicum</i>					+	
皱紫菜 <i>Porphyra crispata</i>	+	+	+	+	+		绢丝藻 <i>Callithamnion corymbosum</i>				+	+	
长紫菜 <i>Porphyra dentata</i>	+	+		+	+		波登仙藻 <i>Ceramium boydenii</i>	+				+	
刺边紫菜 <i>Porphyra dentimarginata</i>		+			+		日本仙菜 <i>Ceramium japonicum</i>	+	+		+	+	+
坛紫菜 <i>porphyra haitanensis</i>	+	+	+	+	+	+	三叉仙菜 <i>Ceramium kondoi</i>	+					+
铁钉紫菜 <i>porphyra ishigecola</i>	+	+	+				圆锥仙菜 <i>Ceramium peniculatum</i>	+	+		+	+	+
圆紫菜 <i>Porphyra suborbiculata</i>		+	+	+	+	+	柔质仙菜 <i>Ceramium tenerrimum</i>					+	
甘紫菜 <i>Porphyra tenra</i>		+					粗凝菜 <i>Campylaeophora crassa</i>		+		+	+	
条斑紫菜 <i>Porphyra yezoensis</i>		+	+	+	+	+	钩凝菜 <i>Campylaeophora hypnaeoides</i>		+			+	
石花菜 <i>Gelidium amansii</i>			+	+	+		纵胞藻 <i>Centroceras clavulatum</i>	+	+			+	
匍匐石花菜 <i>Gelidium pusillum</i>			+	+	+		日本洞毛藻 <i>Griffithsia japonica</i>	+	+		+	+	
细毛石花菜 <i>Gelidium crinale</i>				+	+		丛孢藻 <i>Spemothamnion suychiroi</i>		+				
小石花菜 <i>Gelidium divaricatum</i>			+	+	+		异管藻 <i>Heterosiphonia japonica</i>		+		+	+	+
大石花菜 <i>Gelidium pacificum</i>				+	+		美丽异管藻 <i>Heterosiphonia pulchra</i>		+			+	
鸡毛菜 <i>Pterocladia tenuis</i>				+	+		鹿角沙菜 <i>Hypnea cecicornis</i>	+					
拟鸡毛菜 <i>Pterocладиella capillacea</i>			+	+			密毛沙菜 <i>Hypnea boergesenii</i>	+					
叉节藻 <i>Amphiroa ephedraea</i>	+	+	+	+	+		筒枝沙菜 <i>Hypnea chordacea</i>	+					
硬叉节藻 <i>Amphiroa rigida</i>					+		长枝沙菜 <i>Hypnea charoides</i>	+					
宽扁叉节藻 <i>Amphiroa dilatata</i>		+	+		+	+	囊藻 <i>Colpomenia sinuosa</i>						+
珊瑚藻 <i>Corallina officinalis</i>	+	+	+	+	+	+	萱藻 <i>Scytosiphon lomentarius</i>						+
珊瑚藻的一种 <i>Corallina</i> sp.				+			无节萱藻 <i>Scytosiphon dotryo</i>						+
小珊瑚藻 <i>Corallina pilulifera</i>	+	+	+		+	+	鹅肠菜 <i>Enderachne binghamiae</i>						+
无柄珊瑚藻 <i>Corallina sessilis</i>		+	+	+	+		网地藻 <i>Dictyota dichotoma</i>	+	+				
石叶藻的一种 <i>Lithophyllum</i> sp.					+		叉开网地藻 <i>Dictyota divaricata</i>			+			
冈村石叶藻 <i>Lithophyllum okamurai</i>	+	+	+	+	+		印度网地藻 <i>Dictyota indica</i>			+			
叉珊瑚 <i>Jania decussato-dichotoma</i>	+	+			+	+	厚网藻 <i>Pachydictyon coriaceum</i>	+	+				
宽角叉珊瑚 <i>Jania adhaerens</i>		+	+				宽叶网翼藻 <i>Dictyopteris latiuscula</i>	+	+				
粗珊瑚 <i>Calliarthron yessoense</i>		+	+	+			育叶网翼藻 <i>Dictyopteris prolifera</i>		+				



续表

种		QXI	NJI	DTI	YSI	ZJS	MAI	种	QXI	NJI	DTI	YSI	ZJS	MAI
松节藻科 Rhodomelaceae	聚枝刚毛藻 <i>Cladophora fuliginosa</i>		+	+				束生刚毛藻 <i>Cladophora fascicularis</i>		+				+
	摩里斯多管藻 <i>Polysiphonia mollis</i>		+					细丝刚毛藻 <i>Chaetomorpha sericea</i>		+				
	莫氏多管藻 <i>Polysiphonia morrowii</i>		+					苍白刚毛藻 <i>Cladophora albida</i>		+				
	五旋多管藻 <i>Polysiphonia richardsoni</i>					+		曲褶刚毛藻 <i>Cladophora flexuosa</i>		+				
	多管藻 <i>Polysiphonia urceolata</i>	+	+	+	+	+	+	斯氏刚毛藻 <i>Cladophora stimpsonii</i>	+	+	+		+	
	鸭毛藻 <i>Symphyocladia latiuscula</i>	+	+		+	+	+	膨胀刚毛藻 <i>Cladophora utriculosa</i>	+	+	+		+	
	苔状鸭毛藻 <i>Symphyocladia Marchantioides</i>		+		+	+	+	海绿色刚毛藻 <i>Cladophora glaucescens</i>		+	+		+	
	小鸭毛藻 <i>Symphyocladia pennata</i>		+		+	+		日本刚毛藻 <i>Cladophora japonica</i>						+
	地钱鸭毛藻 <i>Symphyocladia gracilis</i>						+	硬毛藻 <i>Chaetomorpha antennina</i>		+				
	红叶藻科 Delesseriaceae	羽裂橡叶藻 <i>Phycodrys fimbriata</i>					+		气生硬毛藻 <i>Chaetomorpha aerea</i>		+			
具钩顶群藻 <i>Acrosorium uncinatum</i>						+		中间硬毛藻 <i>Chaetomorpha media</i>	+	+	+		+	
顶群藻 <i>Acrosorium yendoi</i>						+		螺旋硬毛藻 <i>Chaetomorpha spiralia</i>	+	+	+		+	
细脉顶群藻 <i>Acrosorium polyneurum</i>						+		扭曲硬毛藻 <i>Chaetomorpha tortuosa</i>						+
红叶藻 <i>Erythrophyllum gmelini</i>						+		线形硬毛藻 <i>Chaetomorpha linum</i>					+	
红叶曲果藻 <i>Cirrucarpus gmelini</i>					+		硬毛藻的一种 <i>Chaetomorpha moniligera</i>						+	
环节藻科 Champiaceae	链状节荚藻 <i>Lomentaria catenata</i>	+		+		+		假根羽藻 <i>Bryopsis corticulans</i>			+			
	节荚藻 <i>Lomentaria hakodatensis</i>	+		+		+		藓羽藻 <i>Bryopsis hypnoides</i>			+			+
	扁节荚藻 <i>Lomentaria pinnata</i>	+		+		+		羽藻 <i>Bryopsis plumosa</i>			+			+
	荧光环节藻 <i>Champia bifida</i>	+				+		丛簇羽藻 <i>Bryopsis caespitosa</i>						+
	日本环节藻 <i>Champia japonica</i>	+						羽状羽藻 <i>Bryopsis pennata</i>			+			+
	环节藻 <i>Champia parvula</i>	+		+		+								
蛙掌藻 <i>Binghamiella californica</i>					+									

注: QXI: 七星列岛; NJI: 南麂列岛; DTI: 洞头列岛; YSI: 渔山列岛; ZJS: 中街山列岛; MAI: 马鞍列岛