DOI: 10.20103/j.stxb.202307171528

阳静,王云沛,施宜佳,刘佳英.厦门湾大佰屿、小佰屿海域八放珊瑚物种多样性及中国新记录种.生态学报,2024,44(23):10545-10559.

Yang J, Wang Y P, Shih Y J, Liu J Y.Diversity of Octocoral species in the waters of Dabai island and Xiaobai island in Xiamen Bay and the newly recorded species in China.Acta Ecologica Sinica,2024,44(23):10545-10559.

厦门湾大佰屿、小佰屿海域八放珊瑚物种多样性及中国新记录种

阳 静[1],王云沛[1],施宜佳[2],刘佳英[1,3,*]

1 集美大学水产学院,厦门 361021

2 台湾中山大學海洋永续推动研究中心,高雄 804

3 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室,厦门 361021

摘要:气候变化和全球变暖是珊瑚白化的主要原因之一,2016 年的高温事件导致大堡礁内 40%的珊瑚白化死亡,普遍认为海洋热浪会导致珊瑚种群的严重损失,包括珊瑚死亡率增加和珊瑚分布密度降低、生物量下降等。全球珊瑚礁的迅速减少使得人们越来越关注保护和恢复珊瑚礁生态系统。珊瑚礁是地球上典型的生态系统之一,为许多鱼类和海洋无脊椎动物提供了理想的生存条件,具有丰富的海洋生物多样性,为人类提供重要的服务和产品,如海岸保护、渔业资源和制药原料,并具有重要的文化价值,对人类社会和海洋生态环境的健康与可持续发展起着至关重要的作用。八放珊瑚是珊瑚礁生态系统中重要的组成类别,在维持海洋生态系统结构完整性和生物多样性方面具有重要作用。为了解厦门湾内大佰屿、小佰屿海域八放珊瑚物种多样性现状,于 2017 年 7 月和 2021 年 4 月,在厦门湾内的大佰屿、小佰屿附近海域进行潜水调查,分别采集了 137 株和 42 株八放珊瑚样本。采用传统形态学鉴定方法对样本进行鉴定,结果显示,大佰屿栖息有 6 科 8 属 16 种珊瑚,小佰屿栖息有 5 科 7 属 13 种珊瑚。发现厦门湾新记录种 7 种,分别是真丛柳珊瑚(*Euplexaura amerea*、*Euplexaura robusta*)、小月柳珊瑚(*Menella flora*、*Menella simplex*、*Menella woodin*)、等柳珊瑚(*Parisis laxa*)和棘穗软珊瑚 *Dendronephthya purpurea*。发现中国八放珊瑚新记录种 5 种,分别是真丛柳珊瑚 *E. amerea*、小月柳珊瑚(*M. flora*、*M. simplex*、*M. woodin*)及等柳珊瑚(*P. laxa*),并对这 5 种珊瑚进行了详细的形态描述。此外,通过基因片段定序技术(COI、mtMutS 及 ND2 基因片段),对珊瑚样本进行系统发育分析。结果显示,mtMutS 基因系统发育进化树能将真丛柳珊瑚属、小月柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属、星柳珊瑚属、刺柳珊瑚属清晰地分开。COI、ND2 基因系统发育进化树能将真丛柳珊瑚属、瘦枝珊瑚属、等柳珊瑚属、星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属物种分开。本研究结果既丰富了中国和厦门湾的珊瑚物种记录,也丰富了世界八放珊瑚地理分布信息,可为厦门湾开展生物多样性保护和管理工作提供数据支持。

关键词:珊瑚;分类;新记录种;大佰屿;小佰屿

Diversity of Octocoral species in the waters of Dabai island and Xiaobai island in Xiamen Bay and the newly recorded species in China

YANG Jing[1], WANG Yunpei[1], SHIH Yijia[2], LIU Jiaying[1,3,*]

1 *Fisheries College of Jimei University*, *Xiamen* 361021, *China*

2 *Marine Sustainability Promotion Research Center*, *National Sun Yat-sen Universit*, *Gaoxiong* 804, *China*

3 *Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Fishery Resources and Ecological Environment*, *Xiamen* 361021, *China*

Abstract: Climate change and global warming are one of the main reasons of coral bleaching. The 2016 heat event caused 40% of coral bleaching and death on the Great Barrier Reef. It is generally believed that marine heat waves can lead to

基金项目:福建省自然科学基金(2019J01690);厦门市海洋经济发展专项资金(13GQT001NF14);集美大学国家基金培育计划(ZP2020021)

收稿日期:2023-07-17; **网络出版日期**:2024-08-20

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: jiayingliu@jmu.edu.cn

serious losses in coral populations, including increased coral mortality, reduced coral distribution density, and reduced biomass. The rapid decline of coral reefs around the world has prompted increasing attention to the protection and restoration of coral reef ecosystems. Coral reefs are one of the typical ecosystems on Earth, providing ideal living conditions for many species of fish and marine invertebrates and enriching marine biodiversity. It provides important services and products to mankind, such as coastal protection, fishery resources and pharmaceutical raw materials, and has important cultural value, playing a vital role in the health and sustainable development of human society and the marine ecological environment. Octocoral corals is an important component of coral reefs ecosystem, playing a crucial role in maintaining the structural integrity and biodiversity of marine ecosystems. In order to understand the species diversity of Octocoral corals in the waters of Dabai island and Xiaobai island in Xiamen Bay, 137 and 42 Octocoral coral samples were collected respectively in July 2017 and April 2021.Traditional morphological identification methods were used to identify the samples. The results showed that there were 16 species of Octocoralcorals in 6 families, 8 genera in Dabai island, and 13 species of corals in 5 families, 7 genera in Xiaobai island. Seven newly recorded species were found in Xiamen Bay, including *Euplexaura amerea*, *Euplexaura robusta*, *Menella flora*, *Menella simplex*, *Menella woodin*, *Parisis laxa* and *Dendronephthya purpurea*. Comparing records from China, five new recorded species were found, including *E. amerea*, *M. flora*, *M. simplex*, *M. woodin* and *P. laxa*, which were described in detail. In addition, phylogenetic analysis of coral samples was performed using gene fragment sequencing techniques (COI, mtMutS and ND2 gene fragments). The results showed that the genus *Euplexaura*, *Menella*, *Dendronephthya*, *Astrogorgia* and *Echinogorgia* were clearly separated by the mtMutS gene phylogenetic tree. In addition, the phylogenetic tree of COI and ND2 genes was obtained, which can separate species of the genus *Euplexaura*, *Carijoa*, *Parisis*, *Astrogorgia* and *Dendronephthya*.These findings have not only enriched the recorded species of corals in China and Xiamen Bay, but also enriched the geographical distribution information of the world′ sOctocorals coral species, and can provide data support for biodiversity conservation and management in Xiamen Bay.

Key Words: coral; classification; newly recorded species; Dabai island; Xiaobai island

珊瑚礁生态系统不仅拥有丰富的海洋生物多样性[1],还为人类提供了重要的服务和商品,如海岸保护、渔业资源和制药原料,并具有重要的文化价值[2]。八放珊瑚是珊瑚礁生态系统中重要的组成类别,隶属于刺胞动物门(Cnidaria)、珊瑚虫纲(Anthozoa)、八放珊瑚亚纲(Octocorallia)[3]。八放珊瑚亚纲有 2 目 79 个科[4]。八放珊瑚在维持海洋生态系统结构完整性和生物多样性方面具有重要作用[5]。截止 2023 年 11 月 15 日福建海域共记录珊瑚物种 10 科 22 属 67 种[6—9]。

截止 2022 年 11 月 15 日,世界海洋物种名录 WoRMS(World Register of Marine Species, https://www.marinespecies.org/)记录八放珊瑚约 3100 种。在中国的南沙群岛、东沙、福建沿海和台湾海域等处,均有八放珊瑚分布[3, 6, 10—12]。其中福建沿海的东山湾、厦门湾、惠安、连江、平潭牛山岛、福鼎台山列岛和星仔列岛等附近海域均有发现及报道[8, 9, 13]。《厦门湾物种多样性》一书记录有八放珊瑚 7 科 28 种[14]。黄晖[15]报道了厦门湾内浯屿海域有 4 科 7 属柳珊瑚。《福建东山珊瑚自然保护区及其生物多样性》一书记录软珊瑚目 6 科 20 种,其中柳珊瑚 5 科 18 种[6]。《台湾珊瑚全图鉴下—八放珊瑚》记录并描述八放珊瑚 21 科 291 种[12]。Liu[7]对厦门湾浯屿、青屿附近海域的 3 种星柳珊瑚属(*Astrogorgia*)物种进行了报道,其中 *Astrogorgia lafoa* 和 *Astrogorgia arborea* 为中国新记录种。Wang[9]对厦门湾刺柳珊瑚属(*Echinogorgia*)物种进行报道,发现中国新记录种 5 种,分别是 *Echinogorgia ramose*、*Echinogorgia flexilis*、*Echinogorgia russelli*、*Echinogorgia ramulosa* 和 *Echinogorgia gracilim*a。

近年来随着分子生物学技术的快速发展,基因片段定序在珊瑚分类研究中得以广泛应用。mtMuts 基因在真丛柳珊瑚(*Euplexaura*)、软珊瑚属(*Alcyonium*)、肉芝软珊瑚(*Sarcophyton*)、金柳珊瑚属(*Chrysogorgia*)、*Aldersladum* 属、*Lobophytum* 属及 *Sinularia* 属下物种具有较好应用效果[16—22]。COI 基因在星柳珊瑚属(*Astrogorgia*)、瘦枝珊瑚属(*Carijoa*)、*Alcyonium* 属、*Lobophytum* 属、*Sarcophyton* 属及 *Sinularia* 属下物种具有较好的应用效果[7, 18, 20—21, 23]。ND2 基因在瘦枝珊瑚属(*Carijoa*)、真丛柳珊瑚(*Euplexaura*)、小月柳珊瑚属(*Menella*)及星柳珊瑚属(*Astrogorgia*)物种系统发育分析中应用较好[22—24]。此外在三代测序技术的发展下,

根据环境 DNA 对珊瑚共生藻的遗传信息进行了分析应用,如 Symbiodiniaceae 科[25]等。

福建附近海域的环境条件适合八放珊瑚栖息,已经在福建平潭牛山岛、福鼎台山列岛、星仔列岛、白哈礁、浯屿和东山岛等附近海域发现珊瑚栖息记录和报道[8, 15],但尚未见到厦门湾内大佰屿、小佰屿附近海域珊瑚栖息报道。为了全面了解厦门湾内珊瑚物种现状及分布情况,2017 和 2021 年两次对大佰屿、小佰屿海域展开潜水调查采样,共采集了 179 株八放珊瑚样本,对八放珊瑚样本进行了形态学鉴定和系统发育分析。

1　材料与方法

1.1　调查方法与样品采集

2017 年 7 月及 2021 年 4 月对厦门湾大佰屿、小佰屿的附近海域进行潜水调查取样,共设置 11 个采样点,具体相关信息见表 1。

表 1　采样站位信息

Table 1　Information of sampling stations

年份 Year	站位 Station		经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude	年份 Year	站位 Station		经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude
2017	大佰屿(DB)	DB01	E118°27′40″	N24°33′46″	2021	大佰屿(DB)	DB01	E118°27′00″	N24°34′30″
		DB02	E118°27′17″	N24°34′15″			DB02	E118°27′12″	N24°33′48″
		DB03	E118°26′58″	N24°34′09″			DB03	E118°27′38″	N24°33′47″
		DB04	E118°27′02″	N24°34′27″		小佰屿(XB)	XB01	E118°25′33″	N24°35′19″
	小佰屿(XB)	XB05	E118°27′47″	N24°33′21″			XB02	E118°25′55″	N24°34′57″
							XB03	E118°26′20″	N24°35′22″

DB:DB 大佰屿 DaBai island;XB:XB 小佰屿 XiaoBai island

1.2　仪器设备

仪器:Nikon SMZ1270 解剖镜、G5 Phenom ProX2017 电子扫描电镜、DHG-9050A 型鼓风干燥箱、潜水设备、A200PCR 扩增仪、DYY-8C 电泳仪、Z216MK 离心机等。

1.3　样本处理、观察与鉴定方法

对样本进行编号、观察样本外观形态、颜色等,拍照并记录描述群体特征及测量数据。利用解剖镜(Nikon SMZ1270)对样本中轴、珊瑚虫收缩及舒展状态进行观察并拍照。截取 5—6 cm 左右珊瑚枝条保存于 95%乙醇中用于形态鉴定与分子生物学实验,剩余样本放置于-70℃超低温冰箱保存。

利用 5%次氯酸钠溶解骨针,骨针用蒸馏水洗净,并用鼓风干燥器烘干,利用扫描电子显微镜(SEM)(G5 PhenomProX2017)拍摄珊瑚骨针。

分类鉴定参考 Katharina & Philip[26]、Bayer[27]、McFadden & van Ofwegen[4] 和世界海洋物种名录(WROMS,World Register of Marine Species)。分类学术语参照 Bayer[28],形态学描述参照戴昌凤与秦启祥[29]、戴昌凤[12]及 Yukimitsu[30]。

1.4　DNA 的提取、引物合成

利用 TIANamp 海洋动物组织基因提取试剂盒,按照说明书提取瘦枝珊瑚样本的基因组 DNA。使用的 PCR 扩增引物为 COI: COIoct 5′-ATCATAGCATAGACCATACC-3′和 COII-8068F 5′-CCATAACAGTAGCAGC ATC-3′[21];

mtMutS:AnthCorMSH 5′-AGG AGA ATT ATT CTA AGT ATGG-3′[31]和 Mut-3458R 5′-TSG AGC AAAAGC CAC TCC-3′[22];

ND2:16S-647F 5′-ACACAG CTC GGT TTC TAT CTA CAA-3′和 ND2-1418R 5′-ACA TCG GGA GCC CACA TA-3′[32, 33];

1.5　PCR 扩增及测序

PCR 反应体系总体积为 50μL: DNA 聚合酶 2X PCR Mix 25μL;上下游引物各 2.5μL;DNA 模板 2μL;去

离子水 18μL。PCR 反应采用兰博利德公司提供的 DNA 聚合酶试剂盒 2X PCR Mix。

扩增程序如下:94℃变性 3min,然后进行 35 个循环的 94℃变性 30s,56℃退火 30s,72℃延伸 1min,循环结束最后 72℃延伸 7min。(各个引物的退火温度依据各引物 Tm 值,其他程序不变,如 COI:48℃;mtMutS:56℃;ND2:55℃)。扩增产物在 1%琼脂糖凝胶中检测,纯化和测序由生工生物工程(上海)股份有限公司进行。测序所得序列用 BioEdit 软件进行编辑、剪切、校正再将校正好的序列与 NCBI 非冗余数据库进行同源性比对,以确保所获得的序列为目标序列。

1.6 测序及数据处理分析

构建系统发育树,测序所得序列用 BioEdit 软件进行编辑、剪切、校正,再将校正好的序列与 NCBI 非冗余数据库进行同源性比对,以确保所获得的序列为目标序列。在系统发育树中,利用 MEGA7 进行序列比对及建树,建树基于 Kimu-ra 双参数模型,及最大似然法(Maximum Likelihood,ML),置信度来自 1000 次非参数自展抽样分析(bootstrap)。

2 结果

2.1 形态学结果

大佰屿附近海域共栖息有八放珊瑚 6 科 8 属 16 种。小佰屿附近海域共栖息有八放珊瑚 5 科 7 属 13 种,具体情况见表 2。对 5 个中国新记录种进行形态学描述。

表 2 大佰屿、小佰屿海域八放珊瑚物种名录

Table 2 Octocoral species List in the sea area of Dabai island and Xiaobai island

站位 stations	科 Family	属 Genus	种名 Species
大佰屿(DB)	Carijoidae	*Carijoa* Müller, 1867	*Carijoa riisei* (Duchassaing&Michelotti, 1860)
	Paramuriceidae	*Echinogorgia* Kölliker, 1865	*Echinogorgia* sp.$^{+}$
		Menella Gray, 1870	*Menella flora* (Nutting, 1910)$^{*+}$
	Euplexauridae	*Euplexaura* Verrill, 1869	*Euplexaura attenuata* (Nutting, 1910)
			Euplexaura amerea Grasshoff, 1999*
			Euplexaura robusta Kukenthal, 1908**
			Euplexaura sp2
			Euplexaura sp3
			Euplexaura sp4^{+}
	Nephtheidae	*Dendronephthya* Kükenthal, 1905	*Dendronephthya purpurea* Henderson, 1909**
			Dendronephthya sp1
		Scleronephthya Studer, 1887	*Scleronephthya gracillimum* (Kükenthal, 1906)
	Anthogorgiidae	*Muricella* Verrill, 1869	*Muricella* sp1^{+}
			Muricella sp2^{+}
			Muricella sp3
	Parisididae	*Parisis* Verrill, 1864	*Parisis laxa* Verrill, 1865*
小佰屿(XB)	Astrogorgiidae	*Astrogorgia* Verrill, 1868	*Astrogorgia dumbea* Grasshoff, 1999
	Paramuriceidae	*Paraplexaura* Kükenthal, 1909	*Paraplexaura* sp.
		Echinogorgia Kölliker, 1865	*Echinogorgia* sp.$^{+}$
		Menella Gray, 1870	*Menella flora* (Nutting, 1910)$^{*+}$
			Menella simplex (Kükenthal, 1908)*
			Menella woodin Grasshoff, 1999*
			Menella kanisa Grasshoff, 2000
	Euplexauridae	*Euplexaura* Verrill, 1869	*Euplexaura* sp1
			Euplexaura sp4^{+}
	Nephtheidae	*Dendronephthya* Kükenthal, 1905	*Dendronephthya* sp2
			Dendronephthya sp3
	Anthogorgiidae	*Muricella* Verrill, 1869	*Muricella* sp1^{+}
			Muricella sp2^{+}

“*”为中国新记录种,“**”为厦门湾新记录种,“+”为两个海域海域均有分布的物种

2.1.1　小月柳珊瑚属 *Menella* Gray, 1870

研究样本编号:20210403-XB-01-9

Paramuriceidae Bayer, 1956

Menella Gray, 1870

Menella flora (Nutting, 1910)(图 1,2)

珊瑚体:珊瑚体分枝形,高 20cm,宽 10cm。珊瑚分枝有四级,一级分枝以小于 40°发出,二级分枝以 60—70°发出,三级分枝以约 90°发出,分枝发出后均弯曲向上生长,主干与分枝在同一平面,不成网状,分枝末端圆钝,具体见图 1A 所示。共肉组织层较厚,共肉表面为叶片形骨针,排列呈叠瓦状。中轴圆形,直径约 0.3mm,呈两层,最里面一层为轴心,呈浅棕色,占中轴的 4/5,最外一层为深棕色,具体见图 1E 所示。

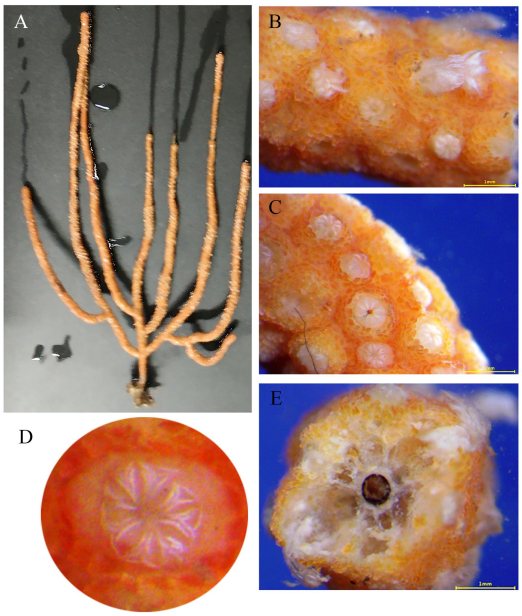

图 1　珊瑚外部形态,珊瑚虫和中轴

Fig.1　Coral external morphology, polyps and central axis

A.珊瑚群体;B, C. 珊瑚虫; D.珊瑚虫骨针排列;E.中轴

珊瑚虫:单体型,不完全收缩,珊瑚萼不明显,开口近圆形,口盖由 8 尖点和 2—3 排纺锤形骨针组成,直径约 0.4—0.6mm,具体见图 1B、C、D 所示。

骨针:珊瑚虫骨针为细长纺锤形骨针,长约 0.06—0.18mm,具体见图 2A、B 所示。共肉组织骨针包含叶片形与不规则状骨针,叶片边缘比较完整,或呈现不同程度的锯齿状,叶片形骨针长约 0.2—0.3mm,不规则形骨针长约 0.2—0.3mm,具体见图 2C、D 所示。

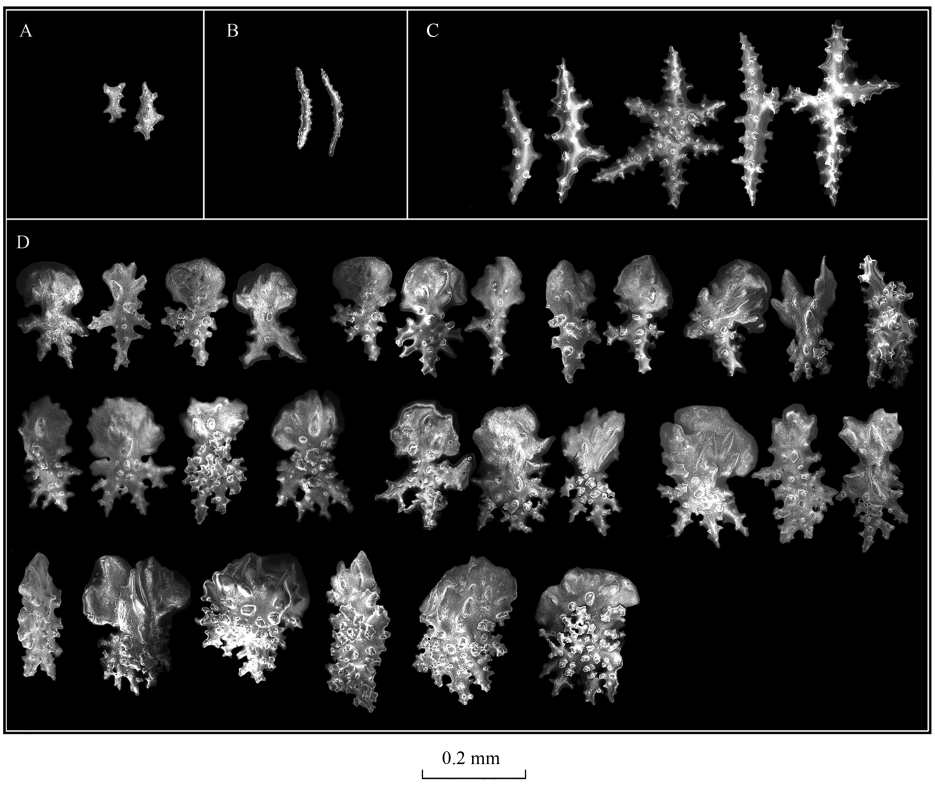

图 2　珊瑚骨针电镜图

Fig.2　SEM image of coral sclerites

A,B,C,D 表示珊瑚各个不同部位的骨针,如 A,B 表示为“珊瑚虫的骨针图”;“比例尺:A=B=C=D=0.2mm”,表示 A,B,C,D 不同部位骨针的比例尺所使用的长度都是 0.2mm

颜色:珊瑚体橘色,骨针干燥后呈橙色。

样本采集地:厦门湾小佰屿附近海域(E118°42′59″,N24°58′87″,3.0m)

研究样本编号:20210403-XB-01-4

Menella simplex (Kükenthal, 1908)(图 3,4)

珊瑚体:珊瑚体单体型,高 18cm,基底宽 1cm。分枝末端逐渐变细,珊瑚虫在共肉组织上呈现白色点状,具体见图 3A 所示。珊瑚萼壁为叶片形骨针,在共肉表面呈现叠瓦状排列,共肉组织层较厚。中轴直径约 0.25mm,呈两层,最里面一层为轴心,呈浅棕色,占中轴的 3/5,最外一层为深棕色,占中轴的 2/5,具体见图 3E 所示。

珊瑚虫:单体型,可完全收缩,萼部疣状,口盖由 8 尖点和 2—3 对纺锤形骨针聚合而成,直径约 0.5—0.7mm,分布不规则,具体见图 3B、C、D 所示。

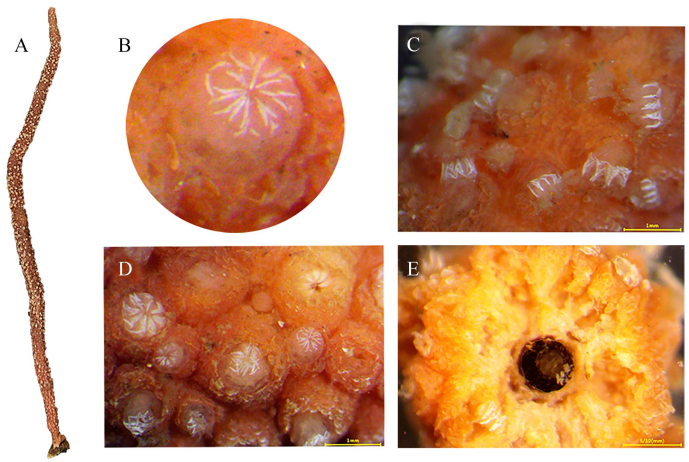

图 3 珊瑚外部形态,珊瑚虫和中轴

Fig.3 Coral external morphology, polyps and central axis

A. 珊瑚群体; B—D.珊瑚虫骨针排列; E.中轴

骨针:珊瑚虫骨针为三角形和不规则形骨针,长约 0.1—0.4mm,具体见图 4A 所示。共肉组织骨针为边缘较完整的叶片形骨针,叶片形骨针长约 0.09—0.45mm,具体见图 4B 所示。

颜色:珊瑚体橘色,骨针干燥后呈橙色。

样本采集地:厦门湾小佰屿附近海域(E118°42′59″,N24°58′87″,3.0m)

研究样本编号:20210403-XB-02-1

Menella woodin Grasshoff, 1999(图 5,6)

珊瑚体:珊瑚体高 22cm,宽 3cm,基底宽 2cm。珊瑚体二级分枝,分枝距基底 1.5cm 处,以 60—90°发出后弯曲向上生长,分枝末端无共肉组织,具体见图 5A 所示。轴为圆形,直径约 0.5mm,呈两层,轴中心为稍浅的棕色,占中轴的 2/5,最外一层为深棕色,占中轴的 3/5,具体见图 5D 所示。

珊瑚虫:单体型,可自由收缩,萼部略凸起,珊瑚萼壁的叶片形骨针明显,开口近圆形,直径约 0.2—0.5mm,高约 0.2mm,分布不规则,具体见图 5B、C、E 所示。

骨针:珊瑚虫骨针为纺锤形,稍弯曲,长度约为 0.2—0.4mm,具体见图 6A 所示。共肉组织骨针为不规则形、叶片形及柱状,叶片形骨针边缘较完整,长度约为 0.2—0.45mm,柱状骨针长度约为 0.12—0.17mm,不规则形骨针长度约为 0.18—0.45mm,具体见图 6B、C、D 所示。

颜色:珊瑚体粉色,骨针烘干后呈白色。

样本采集地分布:厦门湾小佰屿附近海域(E118°43′20″,E24°58′26″,1.0m)

2.1.2 真丛柳珊瑚属 *Euplexaura* Verrill, 1869

研究样本编号:20170702-DB-02-5

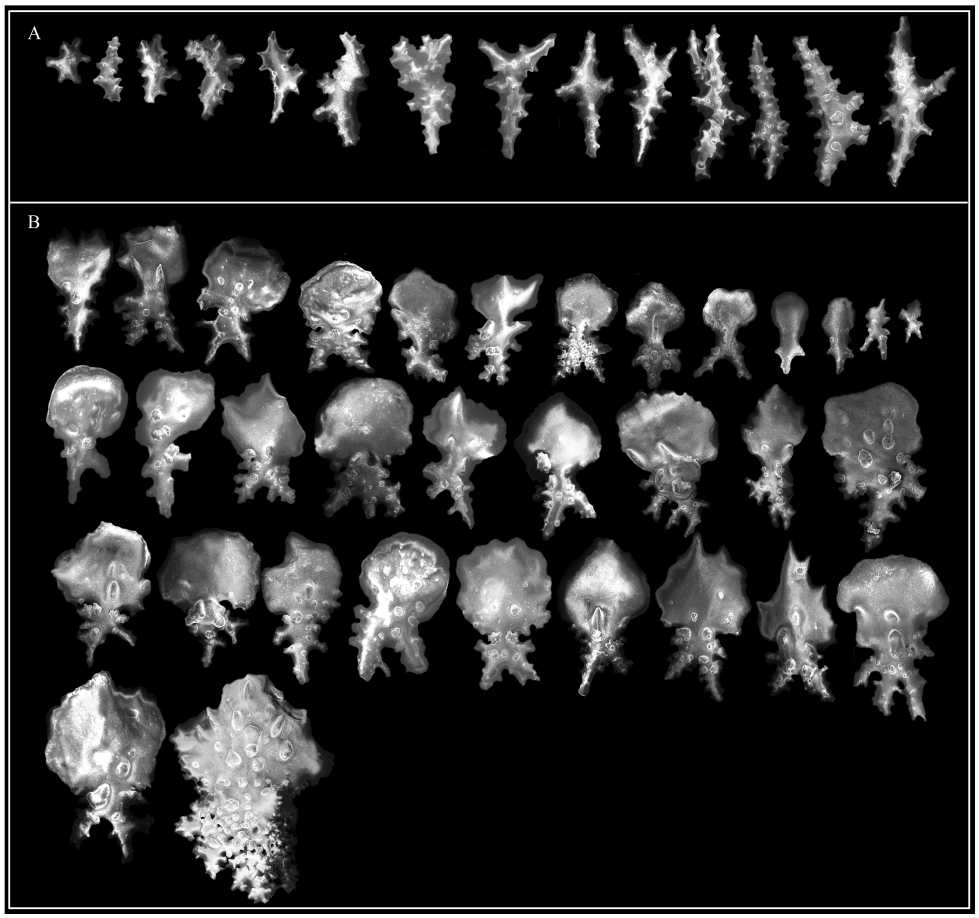

图 4　珊瑚骨针电镜图

Fig.4　SEM image of coral sclerites

A.珊瑚虫骨针;B.共肉组织骨针;比例尺:A=B=0.2mm

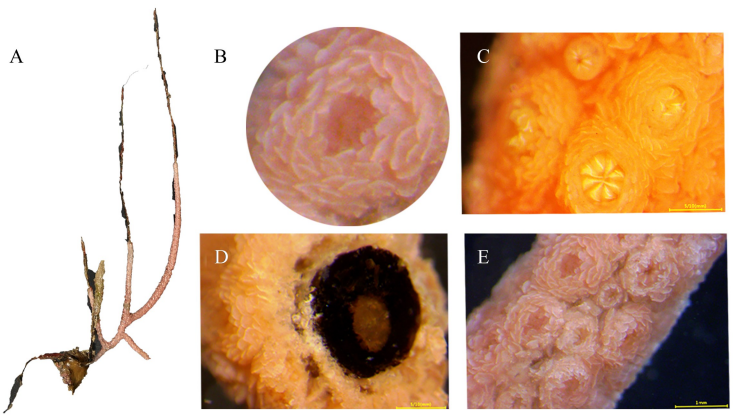

图 5　珊瑚外部形态,珊瑚虫和中轴

Fig.5　Coral external morphology, polyps and central axis

A. 珊瑚群体; B, C.珊瑚虫骨针排列; D.中轴; E.珊瑚虫

Euplexauridae McFadden, van Ofwegen & Quattrini, 2022

Euplexaura Verrill, 1869

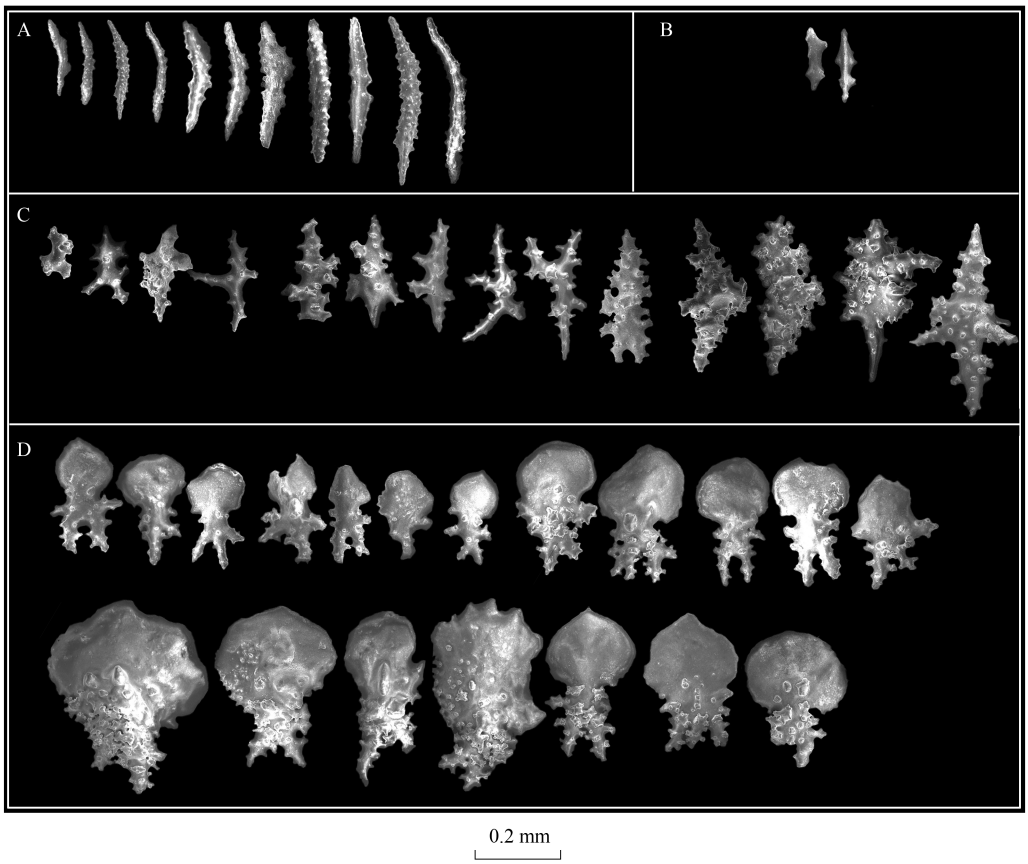

图 6 珊瑚骨针电镜图

Fig.6 SEM image of coral sclerites

A.珊瑚虫骨针;B, C, D.共肉组织骨针;比例尺:A=B=C=D=0.2mm

Euplexaura amerea Grasshoff, 1999(图 7,8)

珊瑚体:珊瑚体由众多分枝组成,呈平面扇形,高 27cm,基底长约 4cm。分枝以直角从主干或分枝发出,末端呈圆柱状,具体见图 7A 所示。共肉组织表面较粗糙,珊瑚虫不规则分布。分枝中轴为圆形,分为 2 层,第 1 层为轴中心,呈黄色,占中轴的 2/3,第 2 层为浅棕色,占中轴的 1/3,轴直径约 0.7mm,具体见图 7C 所示。

珊瑚虫:单体型,可自由收缩,收缩时珊瑚虫和共肉组织持平,有点小凹,未完全收缩的珊瑚虫高约0.4mm,具体见 7B、D 所示。

骨针:珊瑚虫骨针为细长纺锤形,长约 0.1—0.25mm,具体见图 8A 所示。共肉组织骨针为厚实椭圆形或圆柱形骨针,表面棘突较多,长约 0.06—0.17mm,具体见图 8B 所示。

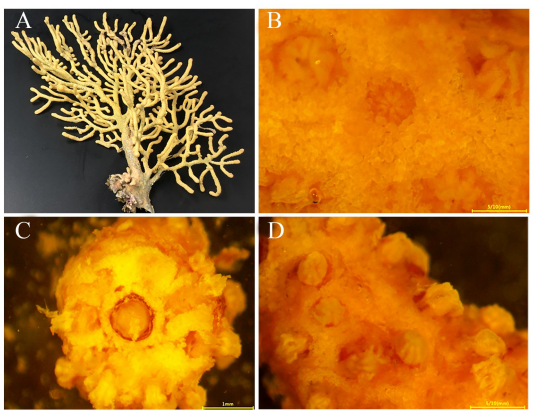

图 7 珊瑚外部形态,珊瑚虫和中轴

Fig.7 Coral external morphology, polyps and central axis

A.珊瑚群体;B, D.珊瑚虫;C.中轴

颜色:珊瑚体黄色,骨针干燥后为淡黄色。

样本采集地:厦门湾大佰屿附近海域(E118°27′17″,N24°34′15″,4.5m)

2.1.3 等柳珊瑚属 *Parisis* Verrill, 1864

研究样本编号:20210403-DB-01-10

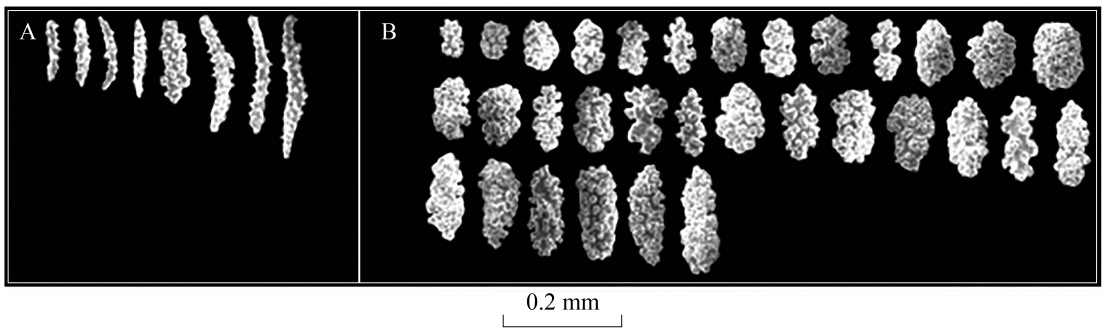

图 8　珊瑚骨针电镜图

Fig.8　SEM image of coral sclerites

A. 珊瑚虫骨针, B.共肉骨针;比例:A=B=0.2mm

Parisididae Aurivillius, 1931

Parisis Verrill, 1864

Parisis laxa Verrill, 1865(图 9,10)

珊瑚体:珊瑚断枝分枝形,高约 7cm,基底缺失。断枝分枝距主枝 0.7cm 处以锐角发出,分枝间不融合,末端为钝形,具体见图 9A 所示。共肉组织层较薄,珊瑚虫在分枝上不规则分布。分枝中轴直径约 0.5 mm,节间白色,节点黄色,具体见图 9D、E 所示。

珊瑚虫:单体型的,不可自由收缩,收缩后呈圆柱形,具体见图 9B、C 所示。

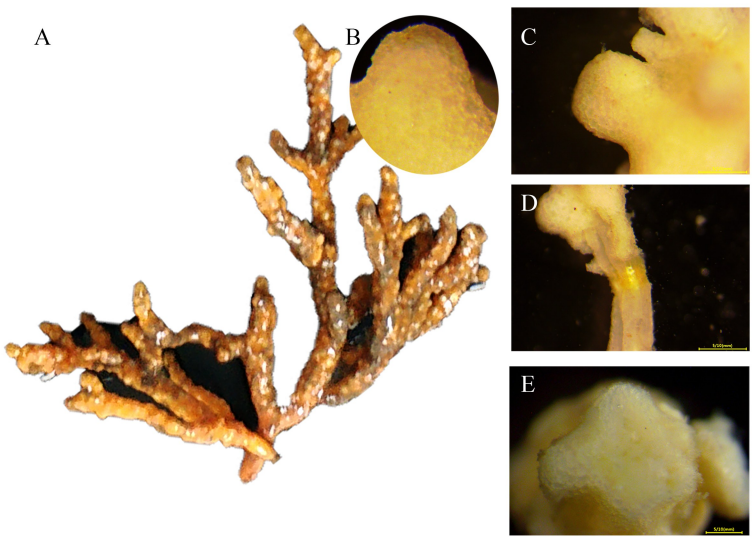

图 9　珊瑚外部形态、珊瑚虫和中轴

Fig.9　Coral external morphology, polyps and central axis

A.珊瑚群体; B, C.珊瑚虫; D.节点; E.中轴

骨针:珊瑚虫骨针为不规则形,长约 0.05—0.12mm,具体见图 10A 所示。共肉组织骨针为椭圆形或球形,长约 0.08—0.21mm,具体见图 10B 所示。节点骨针为瘤状骨针,长约 0.06—0.11mm,具体见图 10C 所示。

颜色:珊瑚体被酒精浸泡后呈橙色,骨针干燥后呈白色。

样本采集地:厦门湾大佰屿附近海域(E118°45′01″,N24°57′51″,3.0m)

2.2　基于 COI、mtMutS 及 ND2 基因系统发育进化树

利用测序所得 COI、mtMutS 及 ND2 基因序列与 GENBANK 数据库序列构建系统发育进化树,实验所得序列已上传至 NCBI,用最大似然法方法(Maximum Likelihood,ML)构建了 COI、mtMutS 及 ND2 基因序列系统发育树。

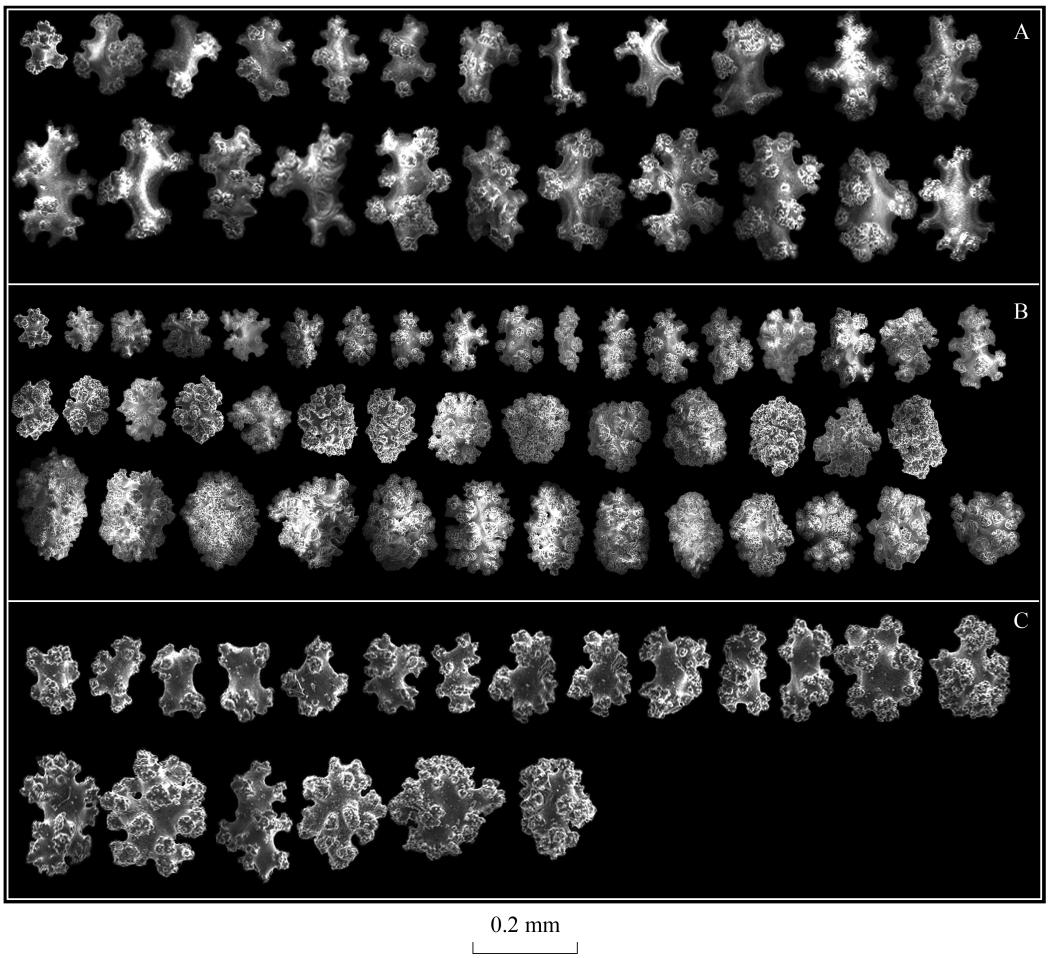

图 10 珊瑚骨针电镜图

Fig.10 SEM image of coral sclerites

A.珊瑚虫骨针;B.共肉骨针;C.节点骨针;比例:A=C=0.1mm, B=0.2mm

根据 COI 基因序列构建的系统发育进化树见图 11,该系统发育树可以将等柳珊瑚属、瘦枝珊瑚属、星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属、真丛柳珊瑚属分开,但却不能将 Paramuriceidae 科下小月柳珊瑚属、刺柳珊瑚属和并丛柳珊瑚属分开。

根据 mtMutS 基因序列构建的系统发育进化树见图 12,mtMutS 基因可以将星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚、真丛柳珊瑚、小月柳珊瑚属、刺柳珊瑚属及并丛柳珊瑚属分开。发育树结果与形态学结果鉴定的属级相一致。小月柳珊瑚属、刺柳珊瑚属及并丛柳珊瑚属形态相近,系统发育进化树能一定程度上将其分开,但种内亲缘关系较近,未能分开。

根据 ND2 基因序列构建的系统发育进化树见图 13,ND2 基因能将等柳珊瑚属、瘦枝珊瑚属、星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属和真丛柳珊瑚属各自单独划为一支,但 Paramuriceidae 科下小月柳珊瑚属、刺柳珊瑚属和并丛柳珊瑚属这 3 属未能分开,表明亲缘关系较近。等柳珊瑚属、瘦枝珊瑚属、星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属和真丛柳珊瑚属的发育树结果与形态学结果鉴定的属级相符合,但种内未能分开。

3 讨论

3.1 大佰屿、小佰屿海域栖息的八放珊瑚数量接近,但物种差异较大

对 2017 年 5 个站位,2021 年 6 个站位的珊瑚资源调查结果进行统计分析,大佰屿附近海域共栖息八放珊瑚 6 科 8 属 16 种,小佰屿附近海域共栖息有八放珊瑚 5 科 7 属 13 种。具体见图 14。从图 14 可以看出,同时

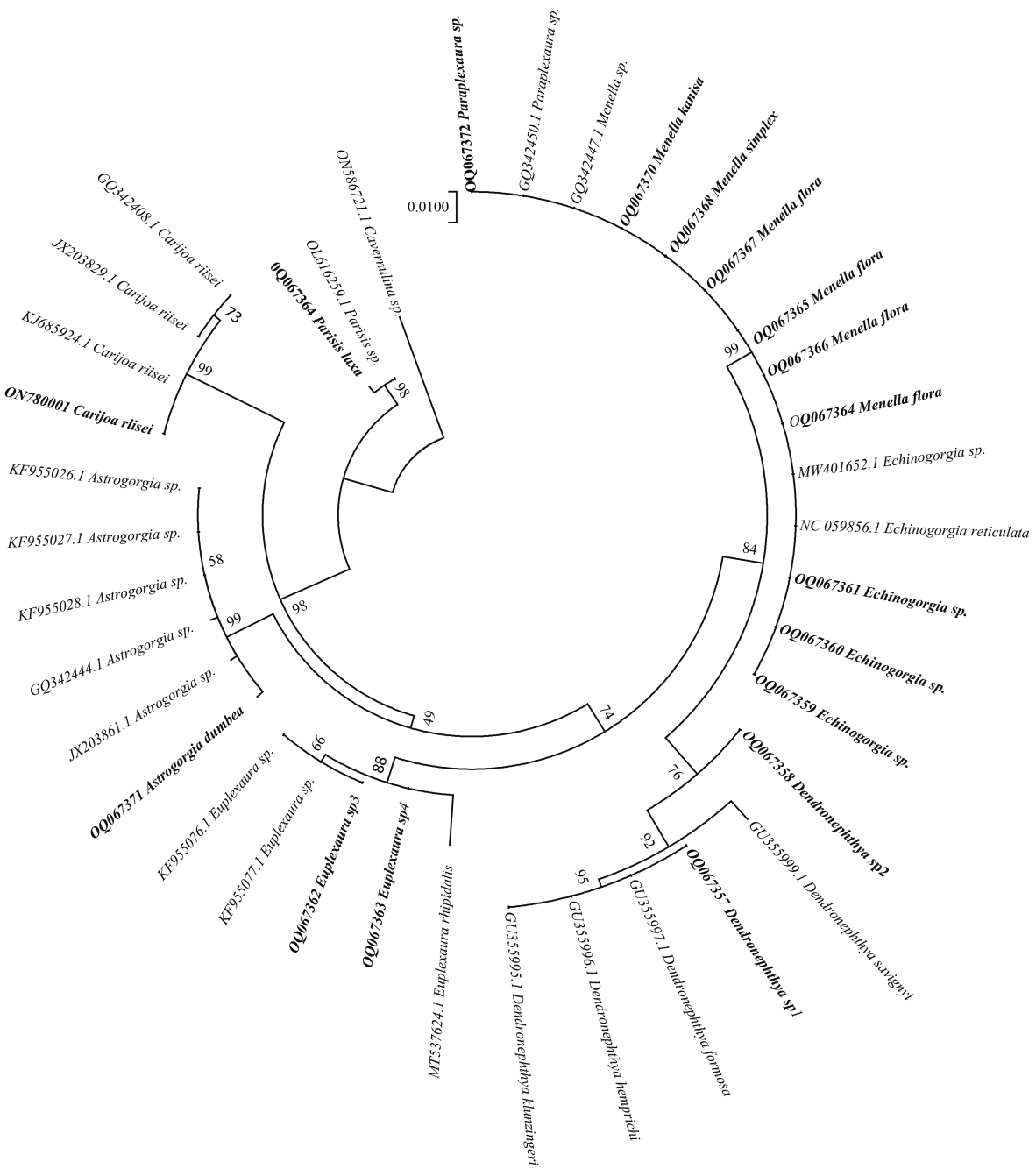

图 11　ML 法构建 COI 系统发育进化树

Fig.11　Phylogenetic evolutionary tree of COI constructed by ML method

ML:ML 最大似然法 Maximum Likelihood

栖息在两个站位的珊瑚仅有 5 种,另有 8 种是仅栖息在小佰屿,有 11 种只栖息在大佰屿。

3.2　与台湾附近海域八放珊瑚的物种多样性比较

截至 2022 年 1 月,戴昌凤共记录台湾海域八放珊瑚共 21 科 70 属 291 种[12],在大、小佰屿附近海域分布的棘穗软珊瑚属(*D. purpurea*)、*Scleronephthya* 属(*S. gracillimum*)、真丛柳珊瑚属(*E. robusta*)、瘦枝珊瑚属(*C. riisei*)在台湾附近海域都有分布。但真丛柳珊瑚属 *E. amerea*、小月柳珊瑚属(*M. flora*、*M. simplex*、*M. woodin*)及等柳珊瑚 *P. laxa* 台湾海域未有记录报道。

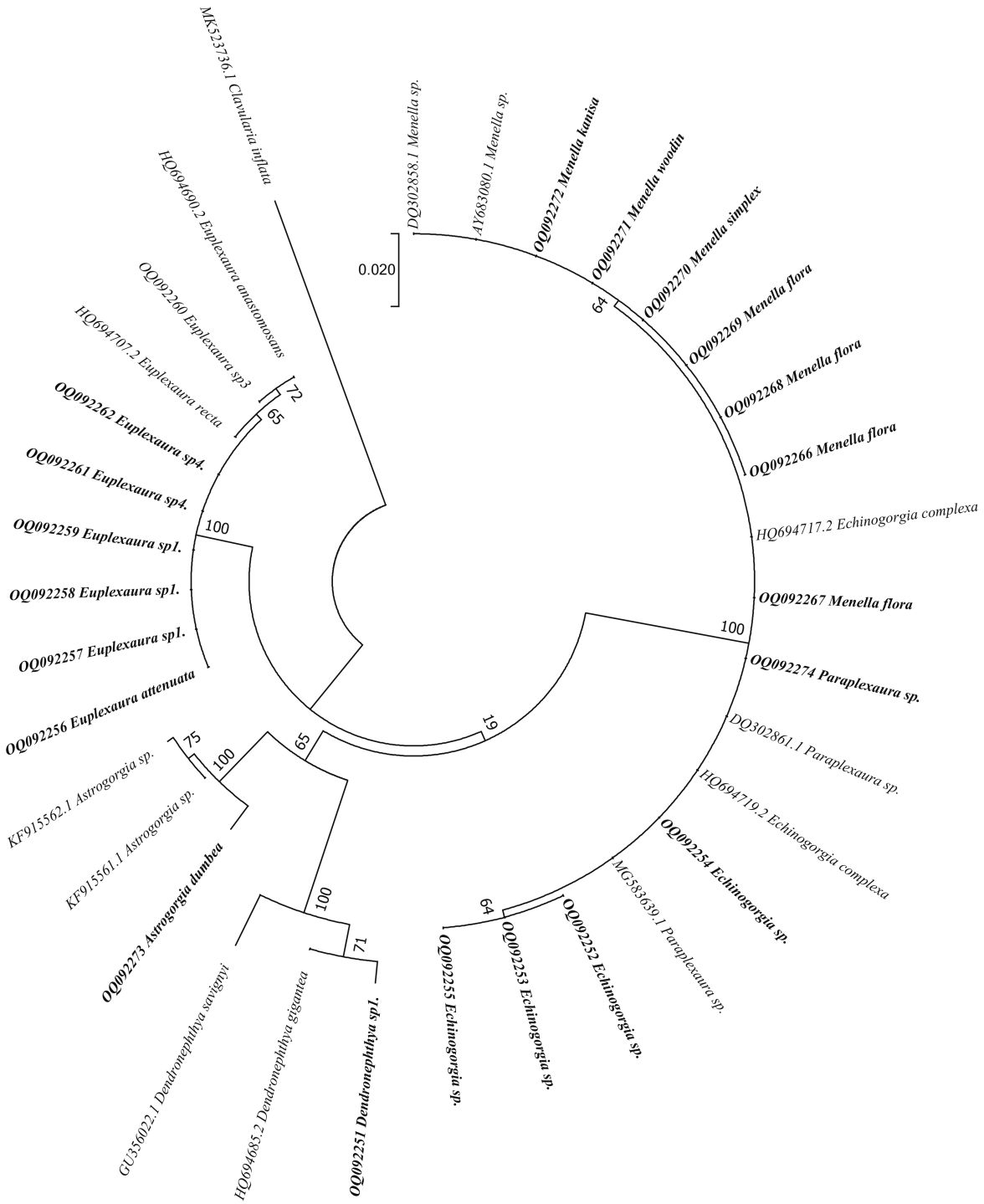

图 12 ML 法构建 mtMutS 系统发育进化树

Fig.12 Phylogenetic tree of mtMutS gene fragments constructed by ML method

3.3 八放珊瑚系统发育分析

随着分子生物学的研究进展以及新技术的出现,基因片段定序方法在八放珊瑚中的应用也越来越多。其中无脊椎动物、鱼类及蟹类等经常运用线粒体基因(mtMutS、ND2 及 COI)进行系统发育研究[36]。近年来,越来越多的学者应用 mtMuts 基因片段对八放珊瑚进行初步鉴定[16],效果较好。Liu[7]利用 COI 基因将星柳珊

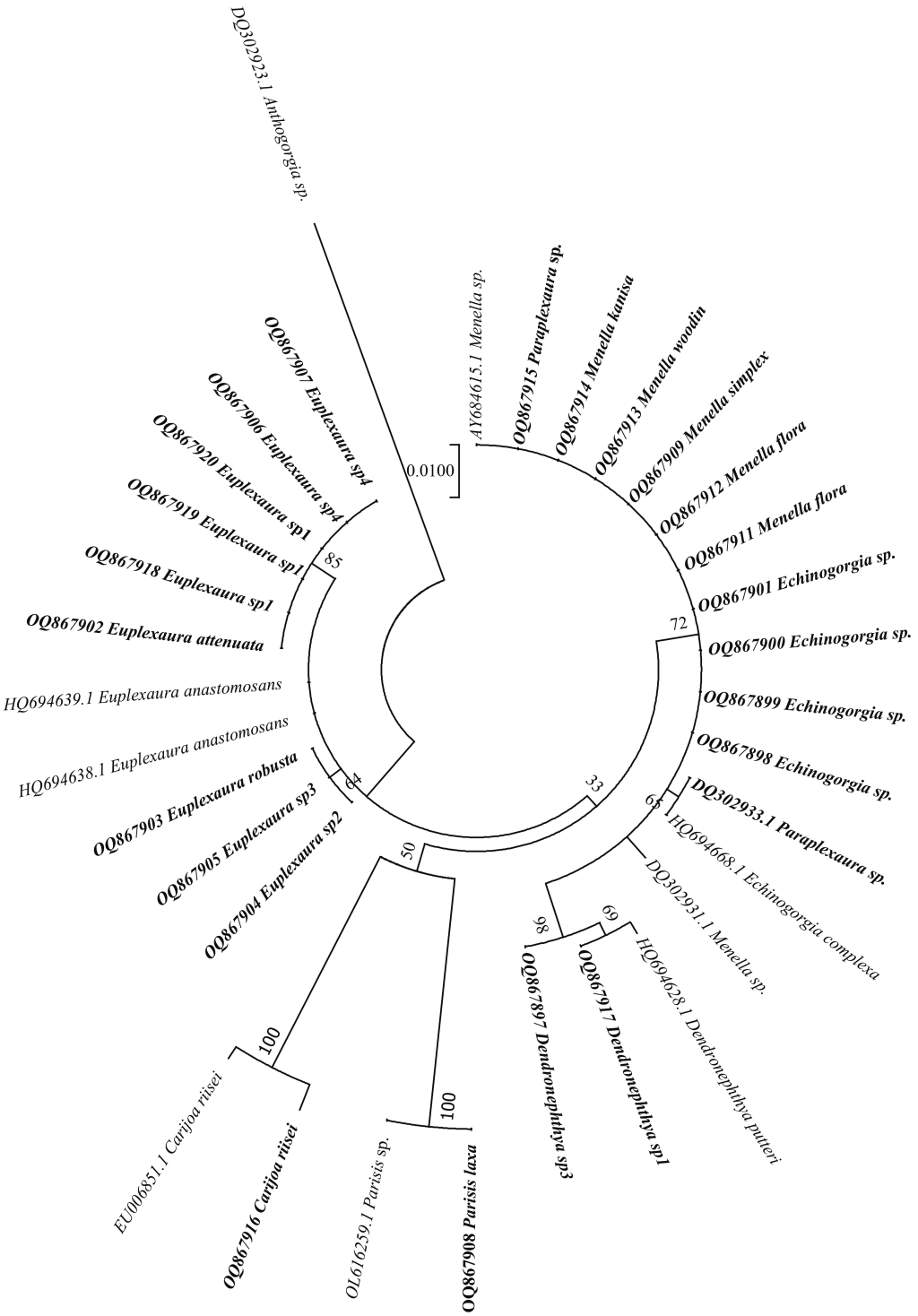

图 13　ML 法构建 ND2 系统发育进化树

Fig.13　Phylogenetic tree of ND2 gene fragments constructed by ML method

瑚属物种进行建树分析,发现根据该基因片段信息,能将星柳珊瑚物种分开。Wang[9]利用 COI、mtMutS 及 ITS 基因片段对刺柳珊瑚属物种进行系统分析,发现这三种基因片段能将刺柳珊瑚物种分开。

根据系统发育进化树可知,mtMutS 基因片段聚类结果与形态学结果基本符合。mtMutS 基因片段能将真丛柳珊瑚属、小月柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属、星柳珊瑚属、刺柳珊瑚属清晰地分开。COI、ND2 基因能将真丛柳

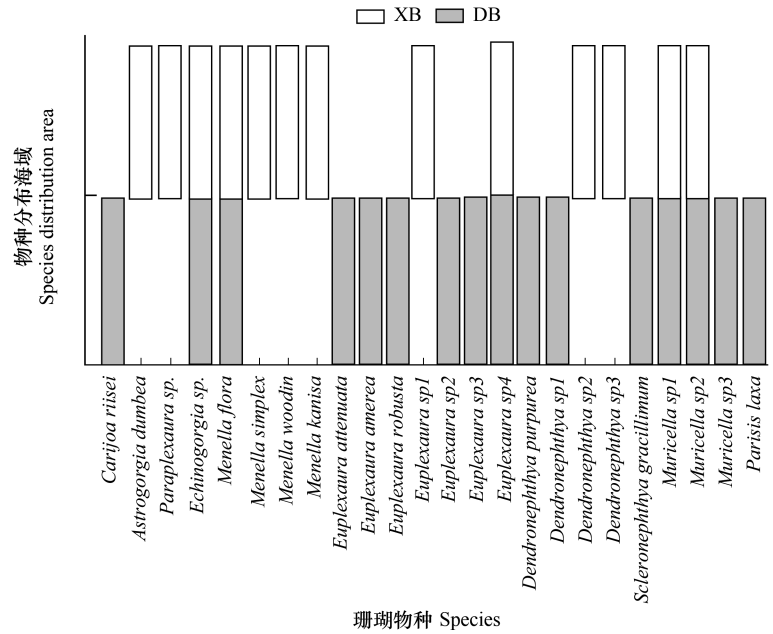

图 14 大佰屿、小佰屿海域栖息的八放珊瑚物种对比图

Fig.14 Comparison map of Octocorals species inhabiting the waters of Dabai islands and Xiaobai islands

DB:DB 大佰屿 DaBai island;XB:XB 小佰屿 XiaoBai island

珊瑚属、瘦枝珊瑚属、等柳珊瑚属、星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属物种分开,但 COI、ND2 基因对 Paramuriceidae 科下小月柳珊瑚属 *Menella*、刺柳珊瑚属 *Echinogorgia*、并丛柳珊瑚属 *Paraplexaura* 物种亲缘关系解析度不够,未能明确将 3 属分开。COI、ND2 及 mtMutS 基因片段未能将珊瑚种间分开,对于珊瑚物种更高阶元的系统发育分析还需进一步研究。

4 结论

(1)栖息在厦门湾内大佰屿和小佰屿附近海域的八放珊瑚物种种类较多,其中大佰屿有 6 科 8 属 16 种八放珊瑚,小佰屿有 5 科 7 属 13 种八放珊瑚。

(2)发现厦门湾八放珊瑚新记录种 7 种,分别为真丛柳珊瑚(*Euplexaura amerea*、*Euplexaura robusta*)、小月柳珊瑚(*Menella flora*、*Menella simplex*、*Menella woodin*)、等柳珊瑚(*Parisis laxa*)和棘穗软珊瑚 *Dendronephthya purpurea*。

(3)发现八放珊瑚中国新记录种 5 种,分别是真丛柳珊瑚 *E. amerea*、小月柳珊瑚(*M. flora*、*M. simplex*、*M. woodin*)及等柳珊瑚 *P. laxa*。

(4)COI、ND2 基因适合用于真丛柳珊瑚属、瘦枝珊瑚属、等柳珊瑚属、星柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属的系统发育分析。

(5)mtMutS 基因片段适合用于真丛柳珊瑚属、小月柳珊瑚属、棘穗软珊瑚属、星柳珊瑚属、刺柳珊瑚属的系统发育分析。

致谢:感谢朱达仁教授对本文写作的帮助。

参考文献(References):

[1] Fisher R, O'Leary R A, Low-Choy S, Mengersen K, Knowlton N, Brainard R E, Caley M J. Species richness on coral reefs and the pursuit of convergent global estimates. Current Biology: CB, 2015, 25(4): 500-505.

[2] Moberg F, Folke C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. Ecological Economics, 1999, 29(2): 215-233.
[3] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 2008: 334-345.
[4] McFadden C S, Van Ofwegen L P, Quattrini A M. Revisionary systematics of Octocorallia (Cnidaria: Anthozoa) guided by phylogenomics. Bulletin of the Society of Systematic Biologists, 2022, 1(3): 1-86.
[5] 梁君, 赵瑞, 隋宥珍, 张燕, 李雪珽, 薛彬. 八放珊瑚生物生态学现状、退化原因及对策建议. 应用海洋学学报, 2023, 42(4): 726-738.
[6] 黄晖, 练健生, 李振兴, 陈章群. 福建东山珊瑚自然保护区及其生物多样性. 北京: 海洋出版社, 2009: 58-61.
[7] Liu J Y, Wang Y P, Yang J, Shih Y J, Chu T J. Revealing the coral species diversity in Xiamen Bay: spatial distribution of genus *Astrogorgia* (Cnidaria, Alcyonacea, Plexauridae) and newly recordedSpecies. Water, 2022, 14(15): 2417.
[8] 杨顺良, 杨璐, 赵东波, 任岳森. 福建沿海浅水石珊瑚和柳珊瑚的种类及其分布. 应用海洋学学报, 2015, 34(2): 209-218.
[9] Wang Y P, Yang J, Chu T J, Liu J Y. The species diversity of the genus *Echinogorgia* in Xiamen Bay and Its new record in China. Water, 2023, 15(20): 3547.
[10] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布. 增订版. 北京: 海洋出版社, 2008.
[11] 兰竹虹, 陈桂珠. 南中国海地区珊瑚礁资源的破坏现状及保护对策. 生态环境, 2006, 15(2): 430-434.
[12] 戴昌凤. 台湾珊瑚全图鉴下-八放珊瑚.台湾: 猫头鹰出版社, 2022.
[13] 李秀保, 黄晖, 练健生, 杨剑辉, 黄良民. 福建东山海域柳珊瑚种类空间分布与多样性. 台湾海峡, 2011, 30(1): 92-96.
[14] 黄宗国. 厦门湾物种多样性. 北京: 海洋出版社, 2006.
[15] 黄晖, 李秀保, 练健生, 杨剑辉, 李元超, 邹仁林. 福建厦门湾和东山湾海域柳珊瑚的物种多样性及其分布. 台湾海峡, 2007, 26(1): 92-98.
[16] 王沛政, 杨超杰, 王海山, 李卫东. 南海一种软珊瑚 *Aldersladum* Sp 的初步鉴定. 海南热带海洋学院学报, 2018, 25(5): 18-22.
[17] 徐雨. 西太平洋海山金柳珊瑚科分类学和系统发育研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2019.
[18] 周洋, 杨超杰, 王沛政, 王海山, 徐云升, 李卫东. 海南岛附近海域肉芝软珊瑚的鉴定. 应用海洋学学报, 2019, 38(1): 30-42.
[19] Bilewitch J P, Degnan S M. A unique horizontal gene transfer event has provided the octocoral mitochondrial genome with an active mismatch repair gene that has potential for an unusual self-contained function. BMC Evolutionary Biology, 2011, 11: 228.
[20] Benayahu Y, van Ofwegen L P, Dai C F, Jeng M S, Soong K, Shlagman A, Du S W, Hong P, Imam N H, Chung A, Wu T A, McFadden C S. The Octocorals of Dongsha atoll (south China Sea): an iterative approach to Species identification using classical taxonomy and molecular barcodes. Zoological Studies, 2018, 57: e50.
[21] McFadden C S, Benayahu Y, Pante E, Thoma J N, Nevarez P A, France S C. Limitations of mitochondrial gene barcoding in Octocorallia. Molecular Ecology Resources, 2011, 11(1): 19-31.
[22] McFadden C S, France S C, Sánchez J A, Alderslade P. A molecular phylogenetic analysis of the Octocorallia (Cnidaria: Anthozoa) based on mitochondrial protein-coding sequences. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2006, 41(3): 513-527.
[23] 阳静, 刘佳英, 王云沛, 施宜佳. 厦门湾瘦枝珊瑚属空间分布及新记录种. 应用海洋学学报, 2023, 42(4): 604-612.
[24] Concepcion G T, Crepeau M W, Wagner D, Kahng S E, Toonen R J. An alternative to ITS, a hypervariable, single-copy nuclear intron in corals, and its use in detecting cryptic species within the octocoral genus *Carijoa*. Coral Reefs, 2008, 27(2): 323-336.
[25] Hume B C C, Smith E G, Ziegler M, Warrington H J M, Burt J A, LaJeunesse T C, Wiedenmann J, Voolstra C R. SymPortal: a novel analytical framework and platform for coral algal symbiont next—generation sequencing ITS2 profiling. Molecular Ecology Resources, 2019, 19(4): 1063-1080.
[26] Katharina F, Philip A. Soft Corals and Sea Fans. Science Communication Australian Institute of Marine Science, 2001, 1-264.
[27] Bayer F. Key to the Genera of Octocorallia exclusive of Pennatulacea (Coelenterata: Anthozoa), with diagnoses of new taxa. Proceedings Of The Biological Society Of Washington, 1981,(3):902-948.
[28] Bayer F M, Grasshoff M, Verseveldt J. Explanation of plate 20. Illustrated trilingual glossary of morphological and anatomical Terms applied to Octocorallia. Leiden: BRILL, 1983: 74-75.
[29] 戴昌凤, 秦啟翔. 东沙八放珊瑚生态图鉴.台北: 台湾大学海洋研究所, 2017, 1-293.
[30] Yukimitsu Lmahara, Fumihito L, Hiroshi N. The Octocorals of Sagami Bay. Tokai: Tokai University Press, 2014, 1-398.
[31] France S C, Hoover L L. Analysis of variation in mitochondrial DNA sequences (ND3, ND4L, MSH) among Octocorallia (=Alcyonaria) (Cnidaria: Anthozoa). Bulletin of the Biological Society of Washington, 2001, 10:110-118.
[32] Herrera S, Baco A, Sánchez J A. Molecular systematics of the bubblegum coral Genera (Paragorgiidae, Octocorallia) and description of a new deep-sea species. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2010, 55(1): 123-135.
[33] France S C, Hoover L L. DNA sequences of the mitochondrial *COI* gene have low levels of divergence among deep-sea octocorals (Cnidaria: Anthozoa). Hydrobiologia, 2002, 471(1): 149-155.
[34] Sánchez M J A. Presencia de los octocorales *Stylatula diadema* bayer (pennatulacea) y *carijoa riisei* (duchassaing y michelottt) (telestacea) enla costa caribe colombiana. Bulletin of Marine and Coastal Research, 2016, 23: 137-147.
[35] Lira A K F, Naud J P, Gomes P B, Santos A M, Perez C D. Trophic ecology of the octocoral *Carijoa riisei* from littoral of Pernambuco, Brazil. I. Composition and spatio-temporal variation of the diet. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2009, 89(1): 89-99.
[36] 李秀保, 黄晖, 张俊彬, 董志军, 黄良民. 通过核糖体 18S rDNA 探讨柳珊瑚分子系统发育关系. 海洋通报, 2006, 25(6): 10-19.