



•研究报告•

海南岛西海岸红树林软体动物多样性

马 维¹ 王 瑁^{1*} 王文卿¹ 刘 毅² 罗柳青¹ 唐朝艺¹

1 (厦门大学环境与生态学院, 福建厦门 361102)

2 (莆田绿萌滨海湿地研究中心, 福建莆田 351100)

摘要: 为了掌握海南岛西海岸红树林软体动物多样性状况, 本文于2015–2016年对海南岛西海岸6个主要红树林分布区软体动物的种类组成、物种多样性和群落结构的时空变化进行了研究。共采集到软体动物57科201种, 主要优势种有珠带拟蟹守螺(*Cerithidea cingulata*)、绯拟沼螺(*Assiminea latericea*)、圆胖樱蛤(*Pinguitellina cycladiformis*)和斜肋齿蜷(*Sermyla riqueti*)等。年平均密度与平均生物量分别为324.13 ind./m²和142.88 g/m², 物种数、密度和生物量均高于北部湾沿岸的其他红树林。海南岛西海岸各红树林软体动物的密度和生物量均未呈现明显的季节变化, 软体动物密度存在空间上的显著差异。聚类分析结果显示, 在盐度、土壤结构和红树林群落存在差异的不同红树林, 软体动物种类组成相似度低。多因子AZTI海洋生物指数(M-AMBI)结果表明海南岛西海岸红树林软体动物群落未受明显扰动, 生态环境质量介于一般和优良之间, 但仍受到人类活动与外来植物入侵威胁, 因其在候鸟迁徙中的重要作用, 亟需加强管理与保护。

关键词: 红树林; 软体动物; 海南岛西海岸; 生物多样性; 北部湾

Biodiversity of mangrove mollusks in the west coast of Hainan Island, China

Wei Ma¹, Mao Wang^{1*}, Wenqing Wang¹, Yi Liu², Liuqing Luo¹, Chaoyi Tang¹

1 College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102

2 Putian Green Sprout Coastal Wetlands Research Center, Putian, Fujian 351100

Abstract: We aimed to understand the mollusk community in the mangrove wetlands of the west coast of Hainan Island. To do so, we explored the temporal and spatial variation in species composition, diversity and community structure of mollusks in six mangrove wetlands from 2015 to 2016. We identified a total of 201 mollusk species belonging to 57 families. The dominant species included *Cerithidea cingulata*, *Assiminea latericea*, *Pinguitellina cycladiformis*, and *Sermyla riqueti*. The average density and biomass of mollusks were 324.13 ind./m² and 142.88 g/m², respectively. Observed density, biomass and species richness at west coast of Hainan Island were higher than values recorded in other mangrove wetlands located in the coast of Beibu Gulf. While species richness, density or biomass of mollusks did not vary seasonally, mollusk densities varied spatially in our study. Cluster analysis showed that mangrove wetlands differing in salinity, soil texture and mangrove communities had very dissimilar mollusk communities. The multivariate-AZTI marine biotic index (M-AMBI) value suggested that the mollusk communities of mangrove wetlands located in the west coast of Hainan Island were undisturbed. Although the benthic community was reasonably healthy, they were nevertheless negatively impacted by human activities and invasion of exotic plants. Given that mollusks are important for various bird species that migrate to Hainan Island, we recommend measures such as pollution control and *in situ* conservation to help preserve the biodiversity of mangrove mollusks in the west coast of Hainan Island.

Key words: mangrove; mollusk; west coast of Hainan Island; biodiversity; Beibu Gulf

收稿日期: 2018-04-08; 接受日期: 2018-06-10

基金项目: 国家自然科学基金(31670490; 31600436)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wangmao@xmu.edu.cn

红树林是生长在热带与亚热带海湾、河口潮间带滩涂上特有的木本植物群落,处于陆地与海洋的过渡区域(林鹏,1997)。它通过输出大量凋落物和植物群落自身的屏蔽作用,为鸟类和底栖动物提供稳定的繁殖发育场所,有重要的生态与经济价值(Barbier et al, 2011)。软体动物作为红树林生态系统重要的组成部分,通过摄食沉积物和植物组织促进养分循环(Kristensen et al, 2008),并作为食物网的一环,成为包括鸟类在内的脊椎动物捕食者主要的食物来源(Zou et al, 2008),是红树林生态系统中物质循环和能量流动重要的消费者与转移者。包括软体动物在内的底栖生物对环境变化十分敏感(王瑁等, 2013),是海洋沉积环境生物监测中灵敏的指示生物(蔡立哲, 2015),可以反映红树林的环境特点并指示生态环境质量。

海南岛西海岸位于北部湾东侧,与广西和广东雷州半岛环抱北部湾。东方市的四必湾、儋州市的儋州湾、临高县的新盈湾和马袅湾、澄迈县的花场湾等地分布有942.69 ha的红树林,约占海南岛4,736.05 ha红树林面积的20% (但新球等, 2016)。与东海岸相比,海南岛西海岸红树林的植物种类组成较简单,但其生态功能不容忽视,根据海南观鸟会的记录,新盈湾和四必湾红树林湿地是勺嘴鹬(*Calidris pygmaea*)和黑脸琵鹭(*Platalea minor*)等多种濒危候鸟重要的补给站和越冬地(Yu et al, 2018)。目前对海南岛西海岸红树林的基本情况了解甚少,红树林的保护、管理和开发缺乏最基本的科学依据(王文卿和王瑁, 2007)。北部湾沿岸广西和广东雷州半岛红树林软体动物生物多样性已经有了较详细的资料(赖廷和与何斌源, 1998; 韩维栋等, 2003; 唐以杰和余世孝, 2007),而对海南岛西海岸红树林软体动物的研究较少,仅是在部分地点进行了零星的调查(张光星等, 2016)。2017年国务院批复同意建设北部湾城市群,目标是统筹自然岸线利用与海陆生态资源环境保护,确立起蓝色海湾生态格局。海南岛西海岸作为北部湾重要的组成部分,对红树林生物多样性及其生态本底的调研,将为我国北部湾城市群开发战略提供科学依据。

本文选取海南岛西海岸6个主要的红树林分布区:东方市四必湾、儋州市儋州湾、儋州市峨蔓镇盐丁、临高县新盈湾、临高县马袅湾和澄迈县花场湾为调查对象,这6个地点的红树林面积占海南岛

西海岸红树林总面积的90%以上。选取代表性断面,采用样方法结合定性调查,比较不同地点旱、雨季间软体动物群落结构差异,讨论红树林软体动物时空分布与红树植物群落组成以及环境因子的关系,并与北部湾其他区域进行对比,从软体动物角度整体评估环北部湾区域海岸带生态现状。

1 材料与方法

1.1 研究区域与取样方法

2015年8月(雨季)和2016年1月(旱季),对海南岛西海岸6个主要红树林分布区的软体动物多样性进行调查(图1)。各调查地点主要红树林群落、土壤粒径及间隙水盐度见表1。根据植物群落类型、大型地貌和人为干扰情况,分别在四必湾(S1、S2)与花场湾(S15、S16)各设置2条断面,儋州湾(S3、S4、S5)、盐丁(S6、S7、S8)、新盈湾(S9、S10、S11)和马袅湾(S12、S13、S14)各设置3条断面,共16条断面。在每个断面设置红树林林内和林外光滩2个采样站点,每个站点用25 cm × 25 cm的定量框随机取5个样方(样方间距10 m以上),收集表面的软体动物,挖至30 cm深,使用1 mm孔径的筛网分选出泥样中的软体动物。在每个断面的林内站点,设置3个3 m × 3 m的样方,收集所有的树栖软体动物。与此同时,对调查区域树上、底表及底内生活的所有软体动物进行定性调查。所收集软体动物样品的处

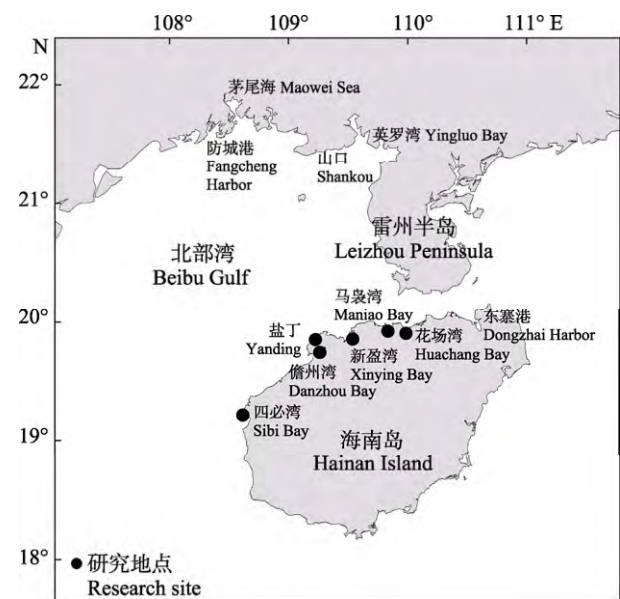


图1 海南岛西海岸调查地点分布图

Fig. 1 Survey area in the west coast of Hainan Island

表1 海南岛西海岸红树林群落及环境特征

Table 1 Mangrove communities and environmental factors of research sites in the west coast of Hainan Island

调查地点 Research sites	主要红树林群落 Main mangrove community	土壤质地 Soil texture	间隙水盐度 Salinity of interstitial water (‰)
东方市四必湾 Sibi Bay, Dongfang City	白骨壤群落 <i>Avicennia marina</i> community	粉砂质壤土 Silty loam	31.0
儋州市儋州湾 Danzhou Bay, Danzhou City	红海榄群落 <i>Rhizophora stylosa</i> community	砂质壤土 Sandy loam	21.0
儋州市盐丁 Yanding, Danzhou City	白骨壤群落 <i>Avicennia marina</i> community	粉砂质粘壤土 Silty clay loam	27.4
临高县新盈湾 Xinying Bay, Lingao County	红海榄群落 <i>Rhizophora stylosa</i> community	砂质壤土 Sandy loam	25.5
临高县马袅湾 Maniao Bay, Lingao County	桐花树群落 <i>Aegiceras corniculatum</i> community	壤土 Loam	13.2
澄迈县花场湾 Huachang Bay, Chengmai County	红海榄群落 <i>Rhizophora stylosa</i> community	砂质壤土 Sandy loam	15.7
	桐花树群落 <i>Aegiceras corniculatum</i> community		
	白骨壤群落 <i>Avicennia marina</i> community		

理、鉴定、计数和称量均按《海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查指南》(GB/T 12763.6-2007)进行。

1.2 数据处理与分析

软体动物优势度与多样性指数采用如下指标进行计算:

优势度指数(徐兆礼和陈亚瞿, 1989):

$$Y = P_i \times f_i \quad (1)$$

Margalef物种丰富度指数(Margalef, 1968):

$$d = (S - 1) / \log_2 N \quad (2)$$

Shannon-Wiener多样性指数(Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

Pielou均匀度指数(Pielou, 1975):

$$J = H' / \log_2 S \quad (4)$$

式中, P_i 是物种*i*的个体数与总个体数的比值; f_i 为物种*i*在各站位出现的频率; S 为样方内的总物种数; N 为样方内所有物种的总个体数。当 $Y \geq 0.02$ 时, 该种确定为优势种(徐兆礼和陈亚瞿, 1989)。

使用SPSS 18.0进行双因素方差分析, 比较软体动物密度、生物量、多样性指数、AZTI海洋生物指数(AMBI)以及多因子AZTI海洋生物指数(M-AMBI)在不同地点和季节间的差异。软体动物群落种类组成分析基于物种密度, 使用PRIMER 5.0将密度数据经四次方根转换、标准化处理后计算断面间的Bray-Curtis相似性系数, 并以组平均法进行等级聚类。

使用AMBI 5.0计算AMBI和M-AMBI值, 软体动物的生态分组(ecological group, EG)根据软件自带的分组表进行, 分组表中未包含的物种则划入表中存在的上级分类单元, 其中, 对抗动敏感的物种分入EG I, 对抗动不敏感的物种分入EG II, 对抗动有耐受力物种分入EG III, EG IV为第二机会种, EG V为第一机会种。生态质量分级标准参考蔡立哲等(2011)分为高等(high)、优良(good)、一般(moderate)、较差(poor)、恶劣(bad), 其中M-AMBI值分别为 > 0.82 、 $0.62-0.82$ 、 $0.41-0.62$ 、 $0.20-0.40$ 、 < 0.20 ; AMBI值分别为 < 1.2 、 $1.2-3.3$ 、 $3.3-5.0$ 、 $5.0-6.0$ 、Azoic(无生命), 对应的扰动等级分别为无扰动、轻度扰动、中度干扰、重度扰动和极端扰动(Pinto et al, 2009)。

2 结果

2.1 物种组成与优势种

在海南岛西海岸红树林共采集到软体动物2纲13目57科201种(附录1), 其中双壳纲7目30科114种, 占总种类数的56.7%, 腹足纲6目27科87种, 占43.3%。帘蛤科的种类最多, 共30种, 其次是耳螺科, 共13种。绝大部分软体动物为典型的海水型种类和河口型种类, 此外还有少量的陆生型种类和淡水型种类。陆生型种类有扁蜗牛(*Bradybaena similaris*)、褐云玛瑙螺(*Achatina fulica*)和部分耳螺科种类, 淡水型种类有大瓶螺(*Pomacea canaliculata*)、斜肋齿蜷(*Sermyla riqueti*)、瘤拟黑螺(*Melanoides tuberculata*)

和河蚬(*Corbicula fluminea*)等。褐云玛瑙螺和大瓶螺被列入中国外来入侵物种第一批名单, 萨氏仿贻贝(*Mytilopsis sallei*)也是已经确认的入侵种。

6个调查地点中, 四必湾的种类数最多(131种), 马袅湾、盐丁和花场湾的较少, 分别为46、58和61种, 儋州湾有98种, 新盈湾有85种。雨季记录13目51科183种, 多于旱季的13目55科137种, 不同地点旱、雨季软体动物种类数见图2。

海南岛西海岸红树林软体动物的优势种在不同地点间存在明显差异(表2)。总体来看优势种以蜒螺科、拟沼螺科、蚬科、汇螺科和黑螺科的种类居多, 四必湾和儋州湾的林外光滩分布有较多的珠带

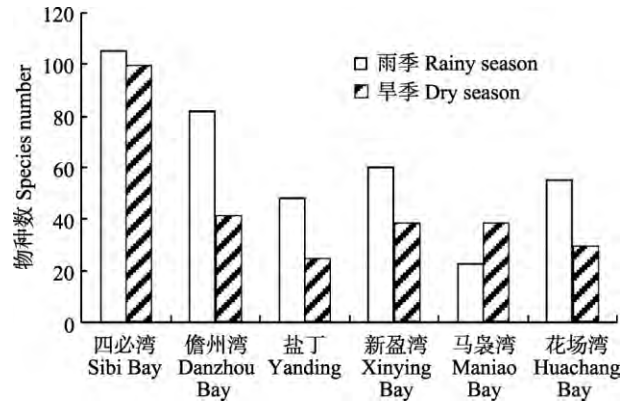


图2 海南岛西海岸红树林软体动物的物种数
Fig. 2 Species number of mangrove mollusk in the west coast of Hainan Island

表2 海南岛西海岸红树林软体动物优势种指数值(优势种为加粗斜体数字对应的种类)

Table 2 Values of dominance index of mangrove mollusks in the west coast of Hainan Island. Dominant species were marked with bold italic.

种类 Species	四必湾 Sibi Bay		儋州湾 Danzhou Bay		盐丁 Yanding		新盈湾 Xinying Bay		马袅湾 Maniao Bay		花场湾 Huachang Bay	
	雨季 Rainy season	旱季 Dry season	雨季 Rainy season	旱季 Dry season	雨季 Rainy season	旱季 Dry season	雨季 Rainy season	旱季 Dry season	雨季 Rainy season	旱季 Dry season	雨季 Rainy season	旱季 Dry season
团聚牡蛎 <i>Saccostrea glomerata</i>	0.006	0.000	-	0.002	0.114	0.002	0.005	0.003	-	-	0.000	0.001
斯氏印澳蛤 <i>Indoaustriella scarlatoi</i>	-	-	0.005	0.007	-	-	-	-	-	-	0.040	0.032
台湾朽叶蛤 <i>Coecella formaosae</i>	-	-	-	-	-	0.063	-	-	-	-	-	-
圆胖樱蛤 <i>Pinguitellina cycladiformis</i>	-	-	-	-	-	0.003	0.842	0.714	-	-	-	0.000
拟箱美丽蛤 <i>Merisca capsoides</i>	-	-	-	-	0.050	0.003	0.061	0.001	-	-	-	-
花蚬 <i>Cyrenodonax formosana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.347	0.056	0.003	-
红树蚬 <i>Geloina coxans</i>	-	-	-	0.048	-	-	0.001	0.001	0.001	0.007	0.050	0.020
豆彩螺 <i>Clithon faba</i>	-	-	-	-	-	0.333	-	-	-	0.006	0.001	-
奥莱彩螺 <i>Clithon oualaniensis</i>	0.045	0.012	0.010	-	-	0.003	-	-	0.009	-	-	-
斜肋齿蜷 <i>Sermyla riqueti</i>	-	-	0.111	0.001	-	-	-	-	0.267	0.713	0.455	0.349
短拟沼螺 <i>Assiminea brevicula</i>	0.058	0.014	0.065	-	-	-	-	0.014	0.000	0.002	0.003	0.011
绯拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>	-	0.005	0.161	0.070	-	-	0.001	0.167	0.000	0.052	0.001	0.009
古氏滩栖螺 <i>Batillaria cumingii</i>	-	-	-	0.024	-	-	-	-	-	-	-	-
珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidea cingulata</i>	0.480	0.320	0.066	0.215	-	0.005	0.003	-	-	-	0.277	0.113
尖锥拟蟹守螺 <i>Cerithidea largillierti</i>	0.025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
小翼拟蟹守螺 <i>Cerithidea microptera</i>	0.003	0.098	0.017	-	-	0.008	-	-	-	-	-	-
桑切氏两栖螺 <i>Salinator sanchezi</i>	0.027	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- 未出现 Not present.

拟蟹守螺(*Cerithidea cingulata*), 林内则主要是拟沼螺科的短拟沼螺(*Assimineia brevicula*)和排拟沼螺(*A. latericea*); 新盈湾采集到大量的圆胖樱蛤(*Pinguicula cycladiformis*), 成群地分布在林外光滩; 斜肋齿蜷是马袅湾和花场湾的第一优势种, 马袅湾还分布有大量的花蚬(*Cyrenodonax formosana*), 是雨季的第一优势种; 盐丁由于在雨季采集到的个体数较少, 导致旱、雨季调查的优势种组成存在较大差异, 除盐丁外其他地点优势种组成季节差异不明显(表2)。

2.2 密度和生物量

海南岛西海岸红树林软体动物的年平均密度和平均生物量分别为324.13 ind./m²和142.88 g/m²。双因素方差分析结果显示, 软体动物年平均密度在不同地点间存在极显著差异($P < 0.001$), 马袅湾的年平均密度显著高于儋州湾、新盈湾和盐丁。软体动物年平均生物量在不同地点之间差异不显著($P =$

0.111)。从季节上看, 软体动物年平均密度($P = 0.780$)和生物量($P = 0.960$)旱、雨季间均不存在显著性差异, 同一地点软体动物的密度和生物量在旱、雨季间波动变化不大(图3)。地点与季节间不存在明显的交互作用(表3)。

2.3 种类多样性

海南岛西海岸红树林软体动物多样性指数见图4, 地点的丰富度指数(d)变化范围为0.578–2.706, 均匀度指数(J)的变化范围为0.261–0.639, 多样性指数(H')的变化范围为1.013–3.038。地点间比较可看出, 儋州湾物种丰富度指数(d)与多样性指数(H')最高, 均匀度指数(J)也处在较高水平, 其软体动物种类多样性指数最高, 四必湾和花场湾次之, 新盈湾和马袅湾软体动物种类多样性较低, 盐丁雨季的软体动物种类多样性最低。

基于站位多样性指数进行双因素方差分析, 物

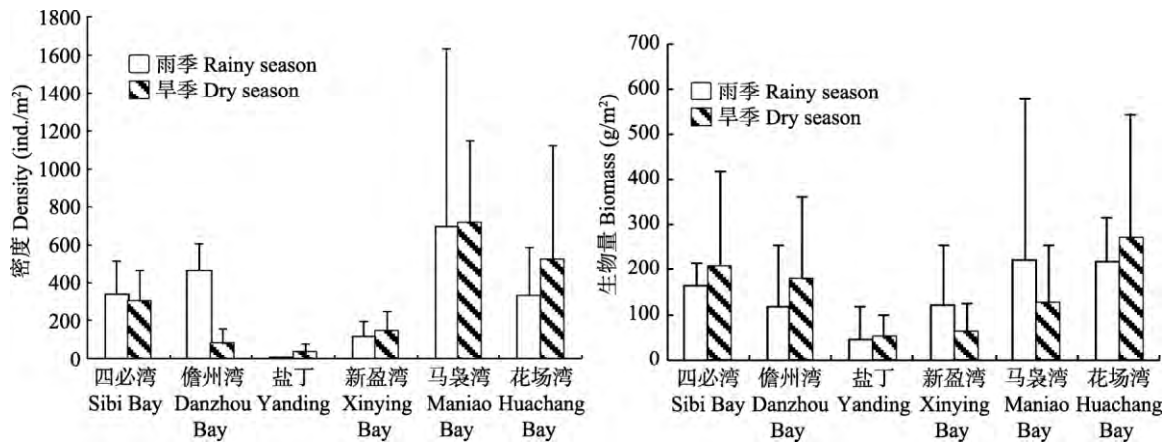


图3 海南岛西海岸红树林软体动物的密度和生物量
Fig. 3 Density and biomass of mangrove mollusk in the west coast of Hainan Island

表3 海南岛西海岸红树林软体动物群落参数的双因素方差校验分析结果
Table 3 Results of two-way ANOVA on mangrove mollusk community parameters in the west coast of Hainan Island

参数 Parameters	地点 Site		季节 Season		地点 × 季节 Site × Season	
	F	P	F	P	F	P
平均密度 Average density	5.085	0.000***	0.079	0.780	0.743	0.595
平均生物量 Average biomass	1.898	0.111	0.003	0.960	0.442	0.817
Margalef丰富度指数 Margalef species richness index (d)	2.068	0.087	1.923	0.172	0.417	0.835
Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener diversity index (H')	5.878	0.000***	8.001	0.007**	3.276	0.012*
Pielou均匀度指数 Pielou evenness index (J)	2.065	0.087	11.175	0.002**	3.148	0.016*
AZTI海洋生物指数 AZTI marine biotic index (AMBI)	2.844	0.024*	0.859	0.358	3.996	0.004*
多因子AZTI海洋生物指数 Multivariate-AZTI marine biotic index (M-AMBI)	10.962	0.000***	7.369	0.009**	5.251	0.000***

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

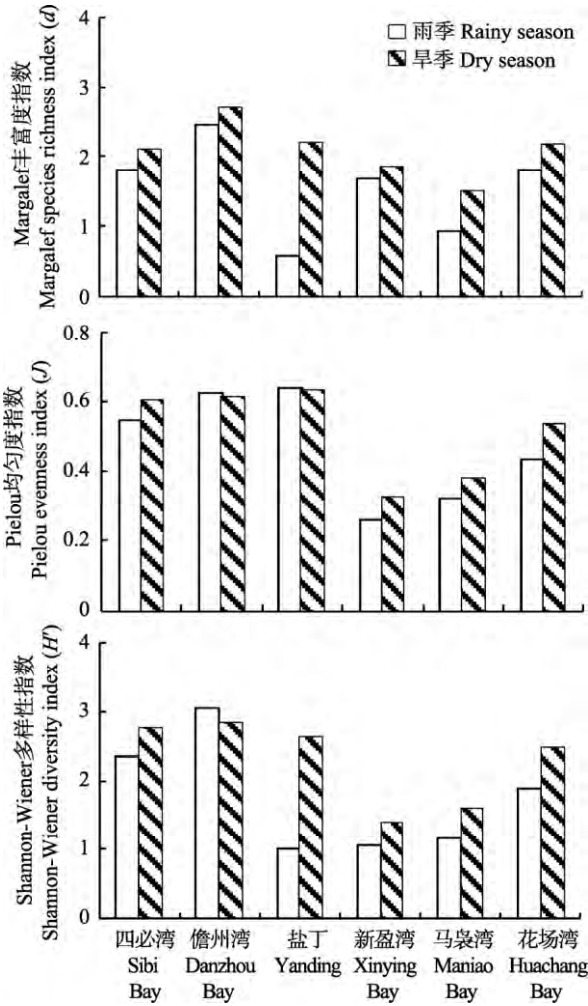


图4 海南岛西海岸红树林软体动物群落多样性指数
Fig. 4 Diversity indices for mangrove mollusk communities in the west coast of Hainan Island

种丰富度指数(d)在地点与季节间差异均不显著。多样性指数(H')在四必湾、花场湾和儋州湾显著大于马袅湾、新盈湾和盐丁,旱季显著大于雨季。均匀

度指数(J)盐丁显著高于其他地点,四必湾均匀度也较高,旱季显著大于雨季。

2.4 聚类分析

聚类结果表明(图5),海南岛西海岸不同红树林软体动物相似度较低。在相似性系数61–65间作等级线I,可看出相同地点的样品以较高的相似水平分为旱、雨季两群,划分结果表明群组与季节和地点密切相关;在相似性系数47–50间作等级线II,不同断面的样品分地点划归成群,地点间差异大于季节差异;在相似性系数8–10间作等级线III,盐丁断面样品单独成群,受土壤粒径小的影响,软体动物种类少,与其他地点相似性较低。

2.5 AZTI海洋生物指数(AMBI)和多因子AZTI海洋生物指数(M-AMBI)

定量调查采集到的77种软体动物中,只有10种(12.99%)可以直接登录到AMBI列表中,经过重新分组,把分组表中未包含的物种划入存在的上级分类单元,共56种(72.73%)被分入了相应的生态组别,未能分组的物种主要包括红树林特有种,以及一些中国的地方种。从未分组物种占总体密度的比例来看,除马袅湾的雨季(70.1%)外,其余地点均小于20%(0–19%),可以使用AMBI和M-AMBI指数进行分析。

AMBI评价结果显示(表4),盐丁与儋州湾AMBI值较高,说明这两个地点所受扰动较其他地点更大。AMBI值在季节间差异不显著。

M-AMBI生态环境状况评价结果显示(表4),盐丁的软体动物生态环境质量显著低于其他地点,新盈湾和马袅湾的软体动物生态环境质量也较低,旱季显著高于雨季。

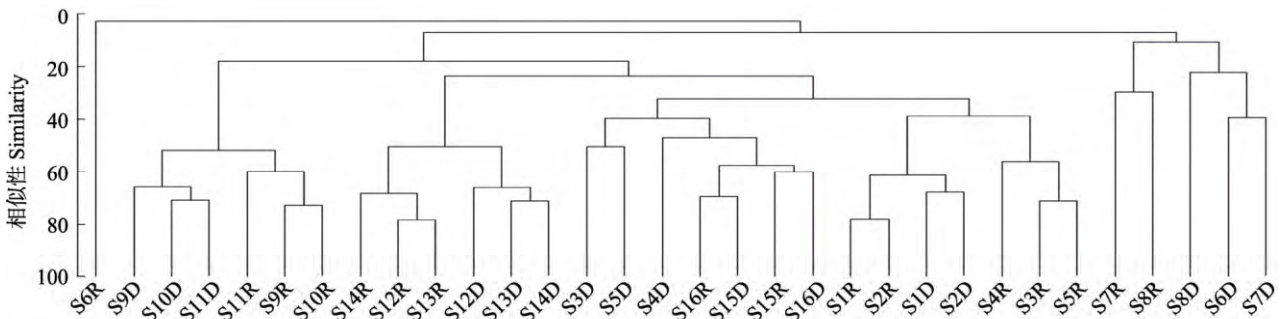


图5 海南岛西海岸红树林软体动物的群落聚类图(S1–S16: 断面; R: 雨季; D: 旱季)
Fig. 5 Cluster dendrogram for mangrove mollusk communities in the west coast of Hainan Island. S1–S16, Transects; R, Rainy season; D, Dry season.

表4 海南岛西海岸红树林软体动物的AZTI海洋生物指数(AMBI)和多因子AZTI海洋生物指数(M-AMBI)
Table 4 Results of AMBI and M-AMBI for each sites in the west coast of Hainan Island

站点 Sites	生态分组I EG I (%)	生态分组II EG II (%)	生态分组III EG III (%)	生态分组IV EG IV (%)	生态分组V EG V (%)	未分配率 Not assigned (%)	Mean AMBI	扰动等级 Disturbance classification	M-AMBI	状态 Status
雨季 Rainy season										
四必湾 Sibi Bay	83.0	16.7	0.0	0.3	0.0	6.8	0.296	无干扰 Undisturbed	0.708	优良 Good
儋州湾 Danzhou Bay	57.8	42.0	0.0	0.2	0.0	2.3	0.719	无干扰 Undisturbed	0.697	优良 Good
盐丁 Yanding	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.500	中度干扰 Moderately disturbed	0.134	恶劣 Bad
新盈湾 Xinying Bay	98.5	0.8	0.7	0.0	0.0	0.5	0.045	无干扰 Undisturbed	0.532	一般 Moderate
马袅湾 Maniao Bay	97.4	0.8	0.0	1.8	0.0	70.1	0.136	无干扰 Undisturbed	0.514	一般 Moderate
花场湾 Huachang Bay	97.0	2.0	0.0	1.0	0.0	7.3	0.092	无干扰 Undisturbed	0.639	优良 Good
旱季 Dry season										
四必湾 Sibi Bay	86.4	13.6	0.0	0.0	0.0	15.7	0.348	无干扰 Undisturbed	0.679	优良 Good
儋州湾 Danzhou Bay	69.3	29.0	0.0	1.7	0.0	18.8	0.899	无干扰 Undisturbed	0.616	一般 Moderate
盐丁 Yanding	90.4	9.6	0.0	0.0	0.0	19.0	0.223	无干扰 Undisturbed	0.557	一般 Moderate
新盈湾 Xinying Bay	76.9	22.6	0.5	0.0	0.0	0.8	0.528	无干扰 Undisturbed	0.550	一般 Moderate
马袅湾 Maniao Bay	85.9	9.7	0.0	4.3	0.0	13.8	0.507	无干扰 Undisturbed	0.601	一般 Moderate
花场湾 Huachang Bay	90.2	7.0	0.0	2.8	0.0	4.3	0.501	无干扰 Undisturbed	0.775	优良 Good

3 讨论

3.1 海南岛西海岸红树林软体动物种类分布

海南岛西海岸红树林共采集到软体动物2纲13目57科201种, 种类数比张光星等(2016)调查的结果有明显增加。优势种以蜒螺科、拟沼螺科、蚬科、汇螺科和黑螺科的种类居多, 有些种类为不同红树林的共有优势种, 如奥莱彩螺(*Clithon oualanicensis*)、珠带拟蟹守螺和短拟沼螺等。海南岛西海岸红树林软体动物优势种在不同地点有明显不同。马袅湾和花场湾因为有河流的淡水输入, 使花蚬和斜肋齿蜷这类能适应较低盐度的淡水型软体动物成为第一优势种。樱蛤科的圆胖樱蛤在新盈湾的光滩占绝对优势, 与张光星等(2016)对新盈彩桥红树林的调查一致。新盈湾红树林内人类的贝类采捕活动频繁, 青蛤(*Cyclina sinensis*)、文蛤(*Meretrix meretrix*)和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)等经济贝类是渔民主要的采捕对象, 而圆胖樱蛤经济价值不高,

少有采捕。另一方面, 圆胖樱蛤生长周期短、个体小、繁殖快, 长而灵巧的入水管能在沉积物的表面摄取并吸入有机碎屑, 适应有机碎屑沉积较多的红树林湿地, 能迅速占据因人类采捕造成的生态位空缺, 成为第一优势种。

3.2 海南岛西海岸红树林软体动物群落结构特征

海南岛西海岸红树林软体动物的密度和生物量在旱、雨季间的差异均不显著, 聚类分析的结果也表明相同地点不同季节的软体动物群落种类组成变化不大。陈光程等(2013)认为, 软体动物群落分布存在的季节变化主要与环境因子的季节差异以及软体动物自身的生活史有关。软体动物中很多种类在发育完成时, 活动能力较弱, 只能栖息在固定场所或活动范围有限(刘录三和李新正, 2003)。另一方面, 软体动物主要的繁殖期在温暖的春季(张玺和齐钟彦, 1961)。杨廷宝和沈寿彭(1992)研究发现, 深圳红树林珠带拟蟹守螺的繁殖高峰在5-9月, 9月之后到12月间死亡率很低, 种群数量变化不大。本

次调查在8月和次年1月进行, 错开了软体动物主要的繁殖期, 这可能是本研究旱、雨季间软体动物群落种类组成变化不大的原因。而不同地点环境因子的不同使海南岛西海岸不同红树林软体动物群落结构存在明显差异。

红树林软体动物的群落结构受到海水盐度的直接影响(Ashton et al, 2003)。张雅芝等(1999)研究发现福建省红树林大型底栖动物的多样性与盐度呈正相关关系。因为不同软体动物对盐度的适应范围不同, 狭盐性软体动物无法分布到盐度波动较大的水域, 而海洋软体动物以狭盐性变渗透种类为主, 因此盐度的降低和变动, 通常会伴随着软体动物种类数目的减少(蔡英亚等, 1995)。马袅湾和花场湾淡水流入带来的低盐度使软体动物种类数和多样性较低, 主要的优势种为能够适应较低盐度的淡水型软体动物, 群落结构与高盐度红树林差异明显。

底质粒径也是影响红树林软体动物群落结构的重要环境因子(韩淑梅等, 2010)。盐丁红树林的红树植物以红海榄(*Rhizophora stylosa*)为主, 底质粒径较小, 主要为粉砂质粘壤土, 软体动物种数少且密度和生物量最低, M-AMBI结果也显示, 盐丁的软体动物生态环境质量显著低于其他地点。唐以杰等(2015)认为, 红树林底质粒径小会限制土壤的透气性, 严重制约红树林内软体动物的生存, 降低物种多样性。海南岛西海岸不同红树林底质粒径的差异性, 造成了软体动物群落结构的差异性。

3.3 海南岛西海岸红树林软体动物的价值与保护

软体动物作为大型底栖动物的主要类群, 是鸕

类、鸕鹚类和鸭类等水鸟主要的食物来源之一(林清贤, 2003)。海南岛西海岸红树林承载着很高的软体动物多样性, 其种类、密度和生物量远高于北部湾大陆沿岸红树林(表5)。一方面, 海南岛西海岸红树林湿地是勺嘴鹬和黑脸琵鹭等濒危候鸟重要的补给站和越冬地。根据海南观鸟会的记录, 自2011年以来, 在东方和新盈等地红树林多次发现勺嘴鹬的身影; 2017年黑脸琵鹭全球同步普查报告中, 海南岛是黑脸琵鹭最南端的主要越冬地, 全岛记录到的67只黑脸琵鹭全部分布在西海岸, 并且有65只是在红树林湿地被发现(Yu et al, 2018)。另一方面, 迁徙鸟类在北部湾其他的越冬地正逐渐丧失。广西沿海红树林湿地也是黑脸琵鹭的越冬地之一, 在1995年到2002年间每年可以记录到十只左右的黑脸琵鹭。但近几年因为人类滨海活动的增加, 黑脸琵鹭在广西的记录明显减少, 2013年至今总共仅记录到3只(孙仁杰, 2017; Yu et al, 2018)。因此, 海南岛西海岸作为北部湾的重要组成部分, 对迁徙鸟类的重要性愈发突出。

M-AMBI指数表明西海岸红树林软体动物群落目前所受扰动等级较低, 生态环境质量介于一般和优良之间。虽然大规模直接破坏红树林的事件已经很少发生, 但一些威胁如: 鱼塘排污(儋州湾、新盈湾、马袅湾、花场湾)、海鸭养殖(儋州湾、新盈湾)、过度捕捞(新盈湾)、垃圾污染(儋州湾)和鱼藤危害(马袅湾)等值得关注。2015年, 我们在儋州湾光滩发现了入侵物种互花米草(*Spartina alterniflora*)。互花米草已经对福建、广东、广西等地的红树林造成严

表5 北部湾不同红树林软体动物种类、密度和生物量的比较

Table 5 Comparison of mangrove mollusk diversity, density and biomass in Beibu Gulf

调查地点 Research sites	种数 Species number	密度 Density (ind./m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	数据来源 Source of data
广西沿海 Guangxi Coast	117	—	—	Lai & He, 1998
广西北仑河口 Beilun Estuary, Guangxi	49	—	—	He et al, 2012
广西防城港 Fangcheng Harbor, Guangxi	125	234	126	Liu, 2013
广西茅尾海 Maowei Sea, Guangxi	27	—	—	Zhuang et al, 2009
广西山口 Shankou, Guangxi	81	—	—	Fan et al, 2005
广东廉江高桥 Gaoqiao, Lianjiang, Guangdong	158	115	46	Liu, 2013
广东雷州半岛 Leizhou Peninsula, Guangdong	110	—	—	Han et al, 2004
海南东寨港 Dongzhai Harbor, Hainan	149	373	192	章慧, 2016
海南岛西海岸 West coast of Hainan	201	312	149	本文 This study

— 缺乏数据 Lack of data

章慧 (2016) 海南东寨港红树林生境异质性对软体动物多样性的影响. 硕士学位论文, 厦门大学, 厦门.

重威胁(左平等, 2009)。此外, 四必湾和新盈湾引种的拉关木(*Laguncularia racemosa*)存在快速扩散的现象, 需要引起关注。海南岛西海岸较低的红树植物种类多样性支撑着较高的软体动物多样性, 对于红树林修复时引进外来种造林的必要性有待商榷。

参考文献

- Ashton EC, Macintosh DJ, Hogarth PJ (2003) A baseline study of the diversity and community ecology of crab and molluscan macrofauna in the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 19, 127–142.
- Barbier EB, Hacker SD, Kennedy C, Koch EW, Stier AC, Silliman BR (2011) The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 169–193.
- Cai LZ, Chen XQ, Wu C, Peng X, Cao J, Fu SJ (2011) Temporal and spatial variation of macrofaunal communities in Shenzhen Bay intertidal zone between 1995 and 2010. *Biodiversity Science*, 19, 702–709. (in Chinese with English abstract) [蔡立哲, 陈昕群, 吴辰, 彭欣, 曹婧, 傅素晶 (2011) 深圳湾潮间带1995–2010年大型底栖动物群落的时空变化. *生物多样性*, 19, 702–709.]
- Cai LZ (2015) *Zoobenthic Ecology in Shenzhen Bay*. Xiamen University Press, Xiamen. (in Chinese) [蔡立哲 (2015) 深圳湾底栖动物生态学. 厦门大学出版社, 厦门.]
- Cai YY, Zhang Y, Wei RF (1995) *Introduction to Malacology*. Shanghai Scientific and Technical Publishers, Shanghai. (in Chinese) [蔡英亚, 张英, 魏若飞 (1995) 贝类学概论. 上海科学技术出版社, 上海.]
- Chen GC, Yu D, Ye Y, Chen B (2013) Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 327–336. (in Chinese with English abstract) [陈光程, 余丹, 叶勇, 陈彬 (2013) 红树林植被对大型底栖动物群落的影响. *生态学报*, 33, 327–336.]
- Dan XQ, Liao BW, Wu ZB, Wu HJ, Bao DM, Dan WY, Liu SH (2016) Resources, conservation status and main threats of mangrove wetlands in China. *Ecology and Environmental Sciences*, 25, 1237–1243. (in Chinese with English abstract) [但新球, 廖宝文, 吴照柏, 吴后建, 鲍达明, 但维宇, 刘世好 (2016) 中国红树林湿地资源、保护现状和主要威胁. *生态环境学报*, 25, 1237–1243.]
- Fan HQ, Chen GH, He BY (2005) *Coastal Wetland and Management of Shankou Mangroves*. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [范航清, 陈光华, 何斌源 (2005) 山口红树林滨海湿地与管理. 海洋出版社, 北京.]
- Han SM, He P, Huang B, Zhong CR, Wang XJ, Guo H (2010) Comparative study on the diversity of macrobenthos in typical mangrove regions of Dongzhai Harbor, Hainan Island. *Journal of Northwest Forestry University*, 25(1), 123–126. (in Chinese with English abstract) [韩淑梅, 何平, 黄勃, 钟才荣, 王先静, 郭恒 (2010) 东寨港典型红树林区底栖动物多样性特征指数比较研究. *西北林学院学报*, 25(1), 123–126.]
- Han WD, Cai YY, Liu JK, Lao Z, Li ZM, Luo YM (2003) Molluscs of mangrove areas in Leizhou Peninsula, China. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 23(1), 1–7. (in Chinese with English abstract) [韩维栋, 蔡英亚, 刘劲科, 劳赞, 栗志民, 罗远谋 (2003) 雷州半岛红树林海区的软体动物. *湛江海洋大学学报*, 23(1), 1–7.]
- Han WD, Liu JK, Cai YY, Wu XD, Teunisson E, Cai JX (2004) Biodiversity and biomass of molluscs in mangrove areas of Leizhou Peninsula. *Forestry Science and Technology*, 29(1), 17–21. (in Chinese with English abstract) [韩维栋, 刘劲科, 蔡英亚, 吴晓东, Edwin Teunisson, 蔡俊欣 (2004) 雷州半岛红树林区软体动物多样性与生物量研究. *林业科技*, 29(1), 17–21.]
- He XY, Su B, Xu TB, Nong LC, Ye CF, Li XY (2012) Macrobenthic biodiversity in mangrove wetland at the estuary of Beilun River in Guangxi. *Wetland Science and Management*, 8(2), 44–48. (in Chinese with English abstract) [何祥英, 苏搏, 许廷波, 农立成, 叶朝放, 李啸宇 (2012) 广西北仑河口红树林湿地大型底栖动物多样性的初步研究. *湿地科学与管理*, 8(2), 44–48.]
- Kristensen E, Bouillon S, Dittmar T, Marchand C (2008) Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, 89, 201–219.
- Lai TH, He BY (1998) Studies on the macrobenthos species diversity for Guangxi mangrove areas. *Guangxi Sciences*, 5, 166–172. (in Chinese with English abstract) [赖廷和, 何斌源 (1998) 广西红树林区大型底栖动物种类多样性研究. *广西科学*, 5, 166–172.]
- Lin P (1997) *Mangrove Ecosystem in China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [林鹏 (1997) 中国红树林生态系. 科学出版社, 北京.]
- Lin QX (2003) *Bird in Southern Fujian Mangrove Areas and Its Correlation with Macrobenthic*. PhD dissertation, Xiamen University, Xiamen. (in Chinese with English abstract) [林清贤 (2003) 闽南沿海红树林区鸟类及其与大型底栖动物相关关系研究. 博士学位论文, 厦门大学, 厦门.]
- Liu LS, Li XZ (2003) Distribution of macrobenthos in spring and autumn in the southern Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34, 26–32. (in Chinese with English abstract) [刘录三, 李新正 (2003) 南黄海春秋大型底栖动物分布现状. *海洋与湖沼*, 34, 26–32.]
- Liu Y (2013) *Ecological Studies on Mangrove Molluscs based on Typical Mangrove Communities*. PhD dissertation, Xiamen University, Xiamen. (in Chinese with English abstract) [刘毅 (2013) 基于典型红树植物群落的红树林软体动物生态研究. 博士学位论文, 厦门大学, 厦门.]
- Margalef R (1968) *Perspectives in Ecological Theory*. University of Chicago Press, Chicago.
- Pielou EC (1975) *Ecology Diversity*. John Wiley and Sons, New York.
- Pinto R, Patrício J, Baeta A, Fath BD, Neto JM, Marques JC

- (2009) Review and evaluation of estuarine biotic indices to assess benthic condition. *Ecological Indicators*, 9, 1–25.
- Shannon CE, Weaver W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Sun RJ (2017) “Black-faced dancer”: Black-faced spoonbills. *Forestry of Guangxi*, (3), 18–19. (in Chinese) [孙仁杰 (2017) “黑面舞者”黑脸琵鹭. *广西林业*, (3), 18–19.]
- Tang YJ, Yu SX (2007) Spatial zonation of macrofauna in the Zhanjiang Mangrove Nature Reserve, Guangdong. *Acta Ecologica Sinica*, 27, 1703–1714. (in Chinese with English abstract) [唐以杰, 余世孝 (2007) 广东湛江红树林保护区大型底栖动物群落的空间分带. *生态学报*, 27, 1703–1714.]
- Tang YJ, Chen K, Liu JL (2015) The structure of the mollusca community and niche analysis in Zhanjiang Mangrove Nature Reserves. *Journal of Guangdong University of Education*, 35(3), 65–70. (in Chinese with English abstract) [唐以杰, 陈康, 刘金苓 (2015) 湛江红树林保护区软体动物群落结构与生态位分析. *广东第二师范学院学报*, 35(3), 65–70.]
- Wang M, Liu Y, Ding YP, Zhong CR, Li HL, Wang WQ (2013) *Mangrove Molluscs of Dongzhaigang, Hainan*. Xiamen University Press, Xiamen. (in Chinese) [王瑁, 刘毅, 丁弈朋, 钟才荣, 李华亮, 王文卿 (2013) 海南东寨港红树林软体动物. 厦门大学出版社, 厦门.]
- Wang WQ, Wang M (2007) *The Mangroves of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [王文卿, 王瑁 (2007) 中国红树林. 科学出版社, 北京.]
- Xu ZL, Chen YQ (1989) Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Journal of Ecology*, 8(4), 13–15. (in Chinese with English abstract) [徐兆礼, 陈亚瞿 (1989) 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲎渔场的关系. *生态学杂志*, 8(4), 13–15.]
- Yang TB, Shen SP (1992) Studies of the population ecology of *Cerithidea cingulata* (Gmelin) in the mangrove area of Fudian, Shenzhen. Supplement to the *Journal of Sun Yatsen University*, (3), 85–92. (in Chinese with English abstract)
- [杨廷宝, 沈寿彭 (1992) 深圳红树林区珠带拟蟹守螺的种群生态研究. *中山大学学报论丛*, (3), 85–92.]
- Yu YT, Tse IWL, Fong HHN (2018) International Black-faced Spoonbill Census 2017. Black-faced Spoonbill Research Group, The Hong Kong Bird Watching Society, Hong Kong.
- Zhang GX, Lan JX, Wu R, Wang DR (2016) Preliminary study on macrozoobenthos diversity in mangrove area of Hainan Province. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 36(11), 37–42. (in Chinese with English abstract) [张光星, 兰建新, 吴瑞, 王道儒 (2016) 海南省红树林区大型底栖动物多样性的初步研究. *热带农业科学*, 36(11), 37–42.]
- Zhang X, Qi ZY (1961) *Essentials of Malacology*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张玺, 齐钟彦 (1961) 贝类学纲要. 科学出版社, 北京.]
- Zhang YZ, Chen CZ, Wang YY, Chen PJ, Yang RQ (1999) The ecology of benthos in Fujian mangrove swamps. *Acta Ecologica Sinica*, 19, 896–901. (in Chinese with English abstract) [张雅芝, 陈灿忠, 王渊源, 陈品健, 杨瑞琼 (1999) 福建红树林区底栖生物生态研究. *生态学报*, 19, 896–901.]
- Zhuang JL, He BJ, Xu MB (2009) Ecological features of the intertidal benthos in the Qinzhou Maowei Gulf of Guangxi. *Guangxi Sciences*, 16, 96–100. (in Chinese with English abstract) [庄军莲, 何碧娟, 许铭本 (2009) 广西钦州茅尾海潮间带生物生态特征. *广西科学*, 16, 96–100.]
- Zou FS, Zhang HH, Dahmer T, Yang QF, Cai JX, Zhang W, Liang CY (2008) The effects of benthos and wetland area on shorebird abundance and species richness in coastal mangrove wetlands of Leizhou Peninsula, China. *Forest Ecology and Management*, 255, 3813–3818.
- Zuo P, Liu CA, Zhao SH, Wang CH, Liang YB (2009) Distribution of *Spartina* plantations along the China's coast. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(5), 101–111. (in Chinese with English abstract) [左平, 刘长安, 赵书河, 王春红, 梁玉波 (2009) 米草属植物在中国海岸带的分布现状. *海洋学报*, 31(5), 101–111.]

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 海南岛西海岸红树林软体动物种类名录

Appendix 1 Species list of mangrove mollusk in the west coast of Hainan Island

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2018104-1.pdf>