

DOI: [10.3724/j.1007-6336.2025-0055](https://doi.org/10.3724/j.1007-6336.2025-0055)

海南岛4个红树林保护区潮间带大型底栖动物 群落结构特征

杨海杰, 钟才荣, 吕晓波, 陈旭, 程成

[海南省林业科学研究院(海南省红树林研究院), 海南 海口 571100]

摘要: 为探究海南岛 4 个红树林保护区大型底栖动物的群落结构特征, 本研究于 2024 年 8 月布设 69 个站位进行大型底栖动物调查。本次调查共鉴定出大型底栖动物 118 种, 隶属于 6 门 8 纲 15 目 44 科 74 属, 物种数量呈现新英湾保护区>清澜港保护区>东寨港保护区>新盈湿地公园。各保护区之间的大型底栖动物栖息密度差异显著, 呈现新英湾保护区>东寨港保护区>新盈湿地公园>清澜港保护区的特征。聚类分析与 nMDS 分析结果显示, 4 个红树林保护区的大型底栖动物群落可划分为 3 个亚群落, 其中新盈湿地公园与新英湾保护区群落结构相似聚为一支, 东寨港保护区和清澜港保护区各自形成独立类群。ABC 曲线及多样性指数分析结果表明, 海南岛 4 个红树林保护区的大型底栖动物群落未受扰动, 整体处于良好状态。

关键词: 红树林; 大型底栖动物; 群落结构; 生物多样性; ABC 曲线

中图分类号: Q178.53; Q958.8

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2026)02-0275-09

Characteristics of macrobenthic community structure in the intertidal zone of four mangrove reserves in Hainan Island

Yang Haijie, Zhong Cairong, Lyu Xiaobo, Chen Xu, Cheng Cheng

[Hainan Academy of Forestry(Hainan Academy of Mangrove), Haikou 571100, China]

Abstract: To characterize the community dynamics of macrobenthic fauna across four designated mangrove reserves on Hainan Island, a systematic survey was conducted in August 2024, involving 69 sampling stations throughout the reserves. This investigation identified 118 macrobenthic species, classified into 6 phyla, 8 classes, 15 orders, 44 families, and 74 genera. Species richness exhibited a clear hierarchical gradient among the reserves in the order: Xinying Bay Reserve > Qinglan Port Reserve > Dongzhai Port Reserve > Xinying Wetland Park. Significant differences in macrobenthic density were also evident, following the trend: Xinying Bay Reserve > Dongzhai Port Reserve > Xinying Wetland Park > Qinglan Port Reserve. Bray-Curtis cluster analysis in conjunction with non-metric multidimensional scaling (nMDS) revealed that the macrobenthic communities across the four reserves could be categorized into three distinct subcommunities: Xinying Wetland Park and Xinying Bay shared similar community structures and clustered together to form one community, while Dongzhai Port and Qinglan Port reserves each formed separate clusters. Analyses of the abundance-biomass comparison (ABC) curves and diversity indices indicated that the macrobenthic communities in all four mangrove reserves remained ecologically intact, demonstrating minimal anthropogenic disturbance and

收稿日期: 2025-03-21, 修订日期: 2025-07-23

基金项目: 海南省省属科研院所技术创新项目(KYYSLK2023-001)

作者简介: 杨海杰(1996—), 男, 甘肃张掖人, 硕士, 助理工程师, 主要从事红树林生态修复研究, E-mail: yanghj34@163.com

通信作者: 程成(1985—), 女, 湖北仙桃人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事湿地科学研究, E-mail: cc401@163.com

maintaining optimal ecological health.

Key words: mangrove; macrobenthos; community structure; biodiversity; ABC curves

红树林是生长于热带和亚热带潮间带的木本植物群落,广泛分布于南北回归线之间的港湾、河口、潟湖、海岸沙坝及岩礁后缘等弱浪区的海岸滩涂^[1]。红树林生态系统具有固碳增汇、净化水质、海岸防护、促淤造陆、提高物质循环及维护生物多样性等多种生态系统服务功能,对环境保护与人类社会的可持续发展至关重要^[2]。海南省的红树林植物主要分布在海南岛,现有红树林面积达 7638.73 ha,红树植物有 21 科 28 属 44 种,其中,天然分布的红树植物 37 种、国外引种 6 种、自然杂交种 1 种,约占全球红树林植物种类的三分之一,因而被誉为天然红树植物基因库^[3-4]。这些丰富的植物种类不仅为海南的生态多样性提供了保障,也为全球红树林的保护和研究提供了重要资源。

底栖动物是指生活在水体底部或底部沉积物中的动物群体,具有增强物质循环与能量流动、改善沉积环境、净化水质和维持生物多样性等多种生态功能^[5-6]。其中,大型底栖动物作为红树林生态系统的重要组成部分,对环境变化高度敏感,其群落结构和分布特征能够反映红树林生态系统的健康状况,对生态系统的健康状态具有指示作用^[7-8]。然而,随着气候变化与人类活动强度的不断加剧,大型底栖动物群落面临越来越多的生态压力。一方面,全球气候变暖导致海平面上升、海洋酸化、盐度变化和极端天气事件增多,这些因素改变了红树林区域的水文条件和底栖环境,影响底栖动物的生存和繁殖^[9-10];另一方面,养殖污染、航运扰动以及围填海活动等人为因素导致底质结构破坏、有机物污染积累及水体富营养化,进一步加剧了底栖动物生境的退化,造成物种多样性下降、群落结构简化和优势种更替等生态问题^[11-12]。

目前,关于海南岛新英湾、新盈湾、东寨港和清澜港保护区大型底栖动物群落的研究较少,现有研究仅限于特定区域、单一底栖动物类群或潮间带红树林与海草床生境,尚缺乏系统性研究^[13-14]。因此,对海南岛 4 个红树林保护区进行

全面调查,分析其物种组成、生物多样性及群落结构特征显得尤为重要。本研究调查了新英湾、新盈湾、东寨港和清澜港保护区的红树林潮间带大型底栖动物群落,探讨其物种组成、群落结构和生物多样性,对揭示海南红树林生态系统的健康状况具有重要价值,也可为生态保护与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

2024 年 8 月,在海南东寨港国家级自然保护区(DZ, 20°00'54"N—19°55'48"N, 110°32'24"—110°37'27"E)、海南新盈红树林国家湿地公园(XY, 19°51'27"—19°50'20"N, 109°32'17"—109°33'28"E)、海南清澜港红树林省级自然保护区(QL, 19°37'37"—19°33'38"N, 110°47'19"—110°52'31"E)和海南儋州新英湾红树林市级自然保护区(DX, 19°46'22"—19°43'27"N, 109°16'22"—109°17'40"E)开展了潮间带大型底栖动物群落调查。DZ 属热带季风区海洋性气候,年均气温为 23.8℃,年均降水量为 1700 mm,潮汐类型为不规则半日潮^[15]。QL 属热带海洋性季风气候,年均气温为 24.3℃,年均降水量为 1975 mm,平均潮差为 0.75 m^[16]。XY 和 DX 属热带湿润季风气候,年均气温为 22.9℃,年均降水量为 1600 mm,平均潮差为 1.18 m,盐度为 15.75~34.17。

1.2 调查与处理方法

海南岛 4 个红树林保护区的所有监测站位均覆盖自然区域与人工修复区域,每条断面内的 3 个监测站位分别布设于高、中、低潮带。在 XY 布设 4 条断面(XY1—XY4),每条断面 3 个站位,共 12 个监测站位;在 DZ 布设 6 条断面(DZ1—DZ6),每条断面 3 个站位,共 18 个监测站位;在 QL 布设 7 条断面(QL1—QL7),每条断面 3 个站位,共 21 个监测站位;在 DX 布设 6 条断面(DX1—DX6),每条断面 3 个站位,共 18 个监测站位。

每个站位布置3个平行样方,样方尺寸为25 cm×25 cm,深度为30 cm。采集的沉积物通过0.5 mm孔径的筛网进行淘洗,并将筛网上截留的生物及残渣一同收集,装入标本瓶中,加入75%酒精溶液进行固定和保存。采集的样品在常温条件下被带回实验室,之后在解剖显微镜下分离出底栖动物和杂质,再对大型底栖生物进行分类、计数和称重。全部底栖生物的样品处理均严格按照《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)进行。

1.3 优势度与物种多样性

本研究使用优势度指数(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')、Margalef 丰富度指数(D)分析4个红树林保护区中底栖动物群落特征。计算公式如下:

(1) 优势度指数(Y)

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i \quad (1)$$

(2) Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

(3) Pielou 均匀度指数(J')

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}} \quad (3)$$

(4) Margalef 丰富度指数(D)

$$D = (S - 1) / \log_2 N \quad (4)$$

式中: n_i 为*i*物种的个体数量; N 为所有物种的个体数量; f_i 为*i*物种在各站位的出现频率(%); S 为物种数; P_i 为物种*i*的个体数与总个体数的比值; $H_{\max}$ 为最大生物多样性指数值。

1.4 群落差异结构分析

本研究使用PRIMER 6.0软件中的Bray-Curtis 相似性聚类分析和非度量多维标度(nMDS)排序方法,分析4个红树林保护区大型底栖动物群落的群聚特征,为了降低生物量占优势的个别种类的权重,对原始数据作4次方根转换^[17-18]。

1.5 丰度/生物量曲线分析

丰度/生物量比较曲线(Abundance and Biomass Curves, ABC)是在同一坐标系下绘制*K*-优势度曲线(生物量和丰度曲线),比较其相对分布特征,并评估群落受干扰程度^[19]的方法。当

生物量曲线高于丰度曲线时,表明群落处于稳定状态;反之,丰度曲线高于生物量曲线,表明群落受到了强烈干扰;若两者出现交叉,表明群落受到了中度干扰^[13,20]。为了定量评估这一关系,可计算*W*统计量(*W*-statistic),其取值范围为-1~1。当*W*>0时,表明群落丰度分布较均匀,但生物量由少数物种占据主导地位;当*W*<0时则结果相反。*W*的计算公式如下:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)} \quad (5)$$

式中: S 为出现的种类数; B_i 和 A_i 分别为*i*物种对应的生物量和丰度。

1.6 统计分析

本研究使用Microsoft Office Excel 365软件进行数据录入和整理,所有实验结果均以“平均值±标准差”的形式呈现。如果底栖动物的密度和生物量数据不符合正态分布,则采用非参数检验中的Kruskal-Wallis H方法检验整体显著性,之后使用Mann-Whitney U方法进行事后两两检验;如果生物多样性数据符合正态分布且满足方差齐性要求,则采用单因素方差分析,并进行Tukey事后检验以明确组间差异。结果中, $p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著。此外,图表的绘制通过Origin 2021软件完成。

2 结果与讨论

2.1 物种组成及优势种

在海南岛4个红树林保护区潮间带样品中共发现6门8纲15目44科74属118种大型底栖动物。4个红树林保护区大型底栖动物的物种数、物种数占比和优势度列于表1。物种数呈现DX>QL>DZ>XY的趋势(图1a),其中DX的物种数最多,为65种;QL和DZ次之,分别为64种和57种;XY物种数最少,为47种。在物种组成上,4个红树林保护区大型底栖动物以甲壳动物和软体动物为主,其次为多毛类动物和脊索动物(图1b),其中,QL的甲壳动物占比最高,为70.83%;DX的软体动物和多毛类动物占比最高,分别为41.56%、6.99%;DZ的脊索动物占比最高,为0.66%。

海南岛4个红树林保护区大型底栖动物优

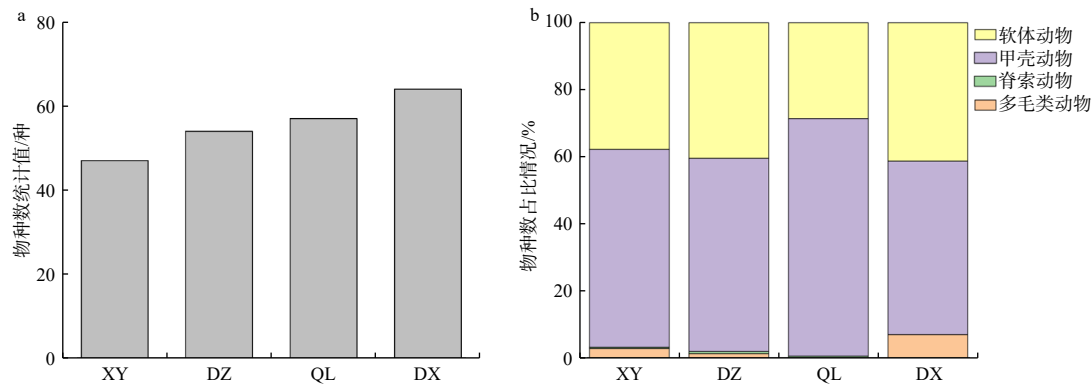


图 1 海南岛 4 个红树林保护区大型底栖动物物种数与物种数占比情况

Fig. 1 Species richness and individual abundance of macrobenthic in the four mangrove reserves of Hainan Island

表 1 海南岛 4 个红树林保护区大型底栖动物优势种名录

Tab.1 List of dominant macrozoobenthos species in four mangrove reserves of Hainan Island

调查地区	优势种	优势度指数(Y)
XY	珠带拟蟹守螺(<i>Cerithidea cingulata</i>)	0.07
	弧边管招潮(<i>Tubuca arcuata</i>)	0.05
	绯拟沼螺(<i>Assiminea latericea</i>)	0.05
	扁平拟闭口蟹(<i>Paracleistostoma depressum</i>)	0.05
	黑口滨螺(<i>Littoraiia melanostoma</i>)	0.04
	十三疣长方蟹(<i>Metaplox tredecim</i>)	0.02
	近亲拟相手蟹(<i>Parasesarma affine</i>)	0.02
DZ	珠带拟蟹守螺(<i>C. cingulata</i>)	0.14
	十三疣长方蟹(<i>M. tredecim</i>)	0.07
	绯拟沼螺(<i>A. latericea</i>)	0.05
	弧边管招潮(<i>T. arcuata</i>)	0.02
QL	珠带拟蟹守螺(<i>C. cingulata</i>)	0.18
	十三疣长方蟹(<i>M. tredecim</i>)	0.07
	丽彩拟瘦招潮(<i>Paraleptuca splendida</i>)	0.02
DX	珠带拟蟹守螺(<i>C. cingulata</i>)	0.21
	弧边管招潮(<i>T. arcuata</i>)	0.05
	扁平拟闭口蟹(<i>P. depressum</i>)	0.03
	黑口滨螺(<i>L. melanostoma</i>)	0.03

势种总体较为单一,最常见的优势种为珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)。XY 的优势种有 7 种,优势度指数最高的物种为珠带拟蟹守螺,最低的物种为十三疣长方蟹(*Metaplox tredecim*)和近亲拟相手蟹(*P.affine*); DZ 的优势种有 4 种,优势度指数最高的物种为珠带拟蟹守螺,最低的物种为弧边管招潮(*T.arcuata*); QL 的优势种有 3 种,优势度指数最高的物种为珠带拟蟹守螺,最低的物种为丽彩拟瘦招潮 (*P.splendida*); DX 的优势种有 4 种,优势度指数最高的物种为珠带拟蟹守螺,最低的物种为黑口滨螺 (*L.melanostoma*)。总体来看,DX 的大型底栖动物呈现出物种数量多、优势种数量较少的特点;相反,XY 则呈现出物种数量少、优势种数量多

的特点; DZ 的物种和优势种数量适中; QL 的物种数量适中, 优势种最少。

物种组成是群落结构最基本的特征, 能够反映群落与生态环境之间的关系^[21]。本研究共采集到大型底栖动物 118 种, 其中 DX 的物种数量最多, 为 65 种。该区域自 2021 年起开展退塘还林、还湿工程, 红树种植密度较低, 郁闭度和覆盖率相对较低, 增加了林下空间与环境异质性, 为底栖动物的栖息与活动提供了有利条件^[22]。在 4 个红树林保护区中, 甲壳动物和软体动物合计占比达 96.80%, 占据绝对优势, 红树林潮间带丰富的有机碎屑资源和复杂的根系结构为这两类动物提供了良好的觅食与栖息环境; 此外, 它们对高温和低氧等潮间带环境胁迫具有较强的适应能力, 且繁殖力强、个体更新快, 易于形成高密度、稳定的种群, 因而在群落中占据主导地位^[23]。在 4 个红树林保护区中优势度最高的物种均为珠带拟蟹守螺, 该物种主要分布于中、低潮带的泥砂质滩涂, 以有机碎屑和微藻为食, 具

有繁殖力强、世代周期短、种群增长快等生物学特性, 能够在红树林潮间带环境中迅速建立高密度种群, 成为群落中的优势物种^[24]。

2.2 栖息密度及生物量

4 个红树林保护区的大型底栖动物栖息密度和生物量分析结果显示, 底栖动物密度在各保护区间存在显著差异(图 2a)。DX 的密度最高, 为 (351 ± 172) ind./m², 显著高于 XY 和 QL($p < 0.01$); DZ 的密度次之, 为 (287 ± 111) ind./m², 显著高于 QL($p < 0.05$); XY 的密度为 (225 ± 65) ind./m², 显著低于 DX($p < 0.01$); QL 的密度最低, 为 (208 ± 83) ind./m², 显著低于 DX($p < 0.01$) 和 DZ($p < 0.05$)。在生物量方面(图 2b), QL 的生物量最高, 为 (730.30 ± 614.30) g/m², 显著高于 XY 和 DZ($p < 0.05$), 但与 DX 无显著差异; DX、XY 和 DZ 的生物量分别为 (557.21 ± 323.14) g/m²、 (526.04 ± 387.59) g/m²、 (427.90 ± 24.20) g/m², 三者之间无显著差异。

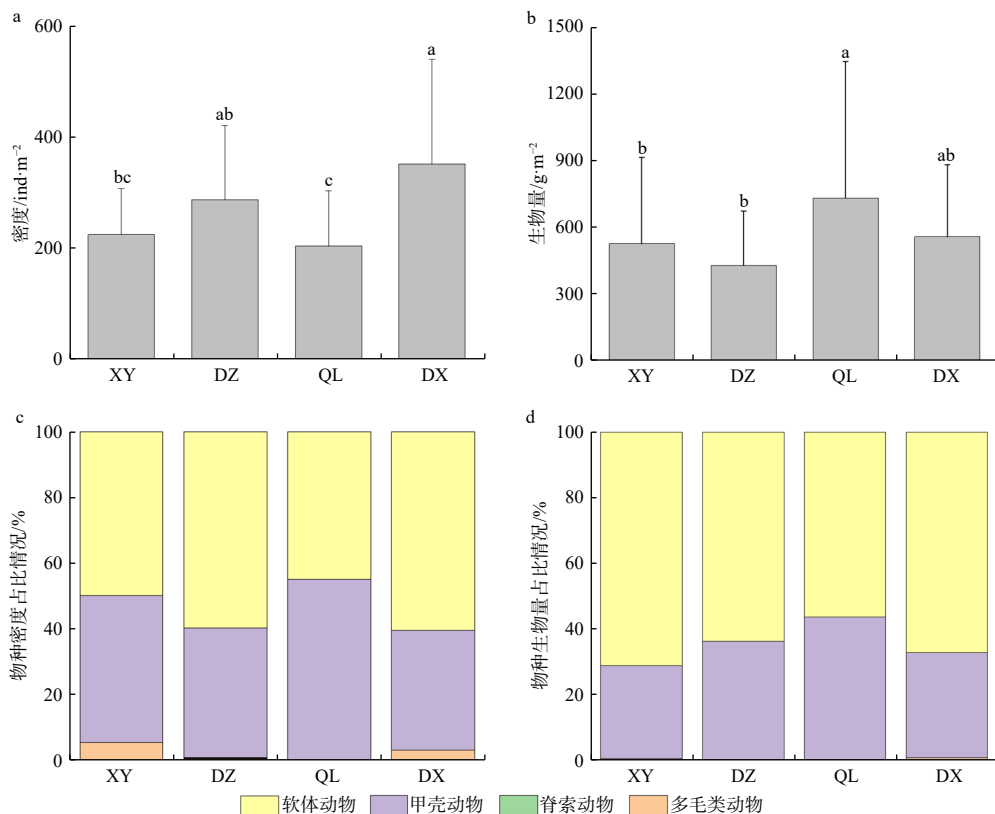


图2 海南岛4个红树林保护区大型底栖动物密度与生物量

Fig. 2 Density and biomass of macrozoobenthos in four mangrove reserves of Hainan Island

海南岛4个红树林保护区的大型底栖动物在物种密度和生物量的类群占比上均表现为软体动物>甲壳动物>多毛类动物>脊索动物的特征。在物种密度方面(图2c),DX的软体动物密度占比最高,为60.45%;QL的甲壳动物和脊索动物密度占比最高,分别为54.95%、0.23%;XY的多毛类动物密度占比最高,为5.48%。在物种生物量方面(图2d),XY的软体动物生物量占比最高,为71.20%;QL的甲壳动物和脊索动物生物量占比最高,分别为43.62%、0.025%;XY的多毛类动物生物量占比最高,为0.4%。

红树林生态系统的生境特征、底质类型、水质状况及人类活动共同影响了大型底栖动物群落的结构和分布特征^[25-26]。4个红树林保护区的栖息密度从大到小依次为DX、DZ、XY、QL。这一分布格局与各区域的底质特性、水动力条件及人类干扰程度密切相关。DX和DZ的底质主要为泥沙质或粉砂质,这一底质类型有利于软体动物、甲壳动物和多毛类动物的栖息,同时水动力条件较好,促进有机碎屑沉降,为底栖动物提供了丰富的食物来源,使其栖息密度较高^[27]。相较之下,QL的底质较硬,限制了部分底栖动物的觅食和附着,因此栖息密度最低^[28]。

沿岸开发、航运、渔业捕捞及养殖等人类活动对底栖动物的栖息环境造成了不同程度的改变。DX受人类活动干扰较小,生态环境保持相对自然。特别是从2021年至2022年,该区域实施了退塘还林、退塘还湿等生态修复措施,有效

改善了红树林生境质量,增强了水体交换能力,为底栖动物提供了更为适宜的栖息环境。因此,该保护区的大型底栖动物群落呈现较高的物种多样性和栖息密度,反映出生态恢复对群落结构的积极影响。DZ作为国家级自然保护区,长期的生态保护措施使其底栖动物群落保持相对稳定^[29]。QL受频繁的航运活动及环岛旅游公路建设的影响,其底栖动物的生境受到一定程度的扰动,底质不稳定性 and 水质波动加剧,栖息密度较低^[30]。

2.3 生物多样性

海南岛4个红树林保护区大型底栖动物的多样性和均匀性分析结果(图3)显示,不同保护区的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数存在显著差异。在丰富度指数方面,XY的丰富度指数最高,为 1.48 ± 0.27 ,显著高于DZ和QL($p < 0.05$);DX、DZ和QL的丰富度指数分别为 1.24 ± 0.30 、 0.97 ± 0.32 和 0.95 ± 0.37 ,三者之间无显著差异。在多样性指数方面,XY的多样性指数最高,为 2.39 ± 0.26 ,显著高于DZ和QL($p < 0.05$);DX、DZ和QL的多样性指数分别为 2.01 ± 0.43 、 1.74 ± 0.52 和 1.65 ± 0.52 ,三者之间无显著差异。在均匀度指数方面,XY的均匀度指数最高,为 0.91 ± 0.04 ,显著高于DZ和DX($p < 0.05$);DZ、QL和DX的均匀度指数分别为 0.77 ± 0.14 、 0.81 ± 0.11 和 0.77 ± 0.13 ,三者之间无显著差异。

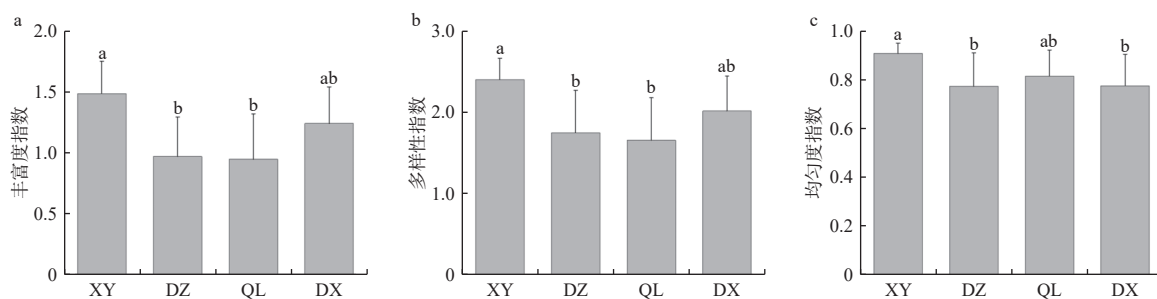


图3 海南岛4个红树林保护区大型底栖动物多样性

Fig. 3 Biodiversity of macrozoobenthos in four mangrove reserves of Hainan Island

本研究采用丰富度指数、多样性指数和均匀度指数对海南岛4个红树林保护区潮间带大型底栖动物群落的多样性特征进行分析。结果表

明,各保护区在多样性水平上存在显著差异,其中XY在丰富度、多样性和均匀性方面均优于其他保护区,表明其底栖动物群落结构更为稳定、

生态系统更为完整,该区域位于海南岛西北部的泊潮港内,水动力较弱,受人类活动干扰较小,为底栖动物提供了良好的栖息和繁殖环境,从而维持了较高的生物多样性;相比之下,DZ和QL分别位于海南岛的北部和东北部,水动力较强,且频繁的旅游赶海、水产养殖等人类活动使得底栖动物的幼体补充量减少、生境破碎化,栖息条件受限,因此其多样性水平低于其他保护区^[31]。

2.4 群落结构

基于生物量的大型底栖动物群落 Bray-Curtis 聚类分析结果与非度量多维尺度分析(nMDS)结果一致,表明海南岛4个红树林保护区的大型底栖动物群落可划分为3个亚群落(图4a、图4b)。聚类分析(图4a)显示,当相似度超过36.64%时,群落开始分离;当相似度为45.40%~56.95%时,XY和DX聚为一支(A

群),DZ独立形成另一支(B群),QL也独立成群(C群)。根据协强系数(stress)评估结果,当 $\text{stress} < 0.2$ 时可判断分析结果可信。对海南岛4个红树林保护区进行基于群落生物量的nMDS标序, stress 值为0,因此可认为模型合适,样本间的关系可信。nMDS结果亦显示其可分为3个亚群,与聚类分析的结果一致(图4b)。这一分布格局受到地理位置、生态环境特征及人类活动的共同影响。XY和DX均位于儋州市沿海,地理位置相对接近,具有相似的水文条件和沉积环境,两地的潮汐动态、营养物质供给及底质类型为底栖动物提供了相似的生态位,促使群落结构趋同^[32]。相比之下,DZ和QL分别位于海南岛的北部和东部,受地理位置的影响,两地群落结构存在明显差异,分别形成独立的亚群落。

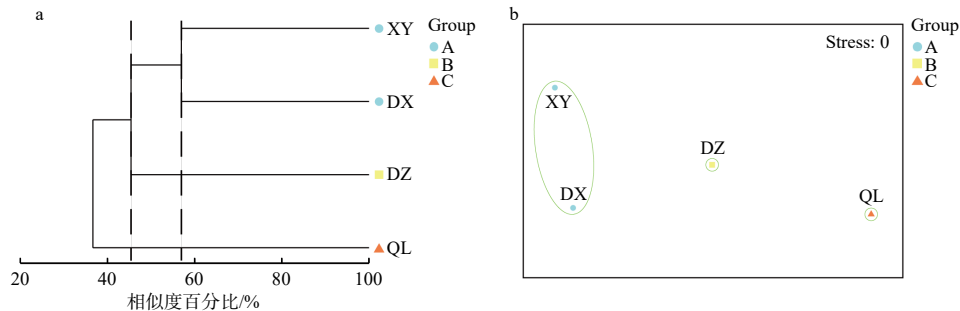


图4 海南岛4个红树林保护区大型底栖动物群落 Bray-Curtis 聚类(a)和 nMDS 排序分析(b)

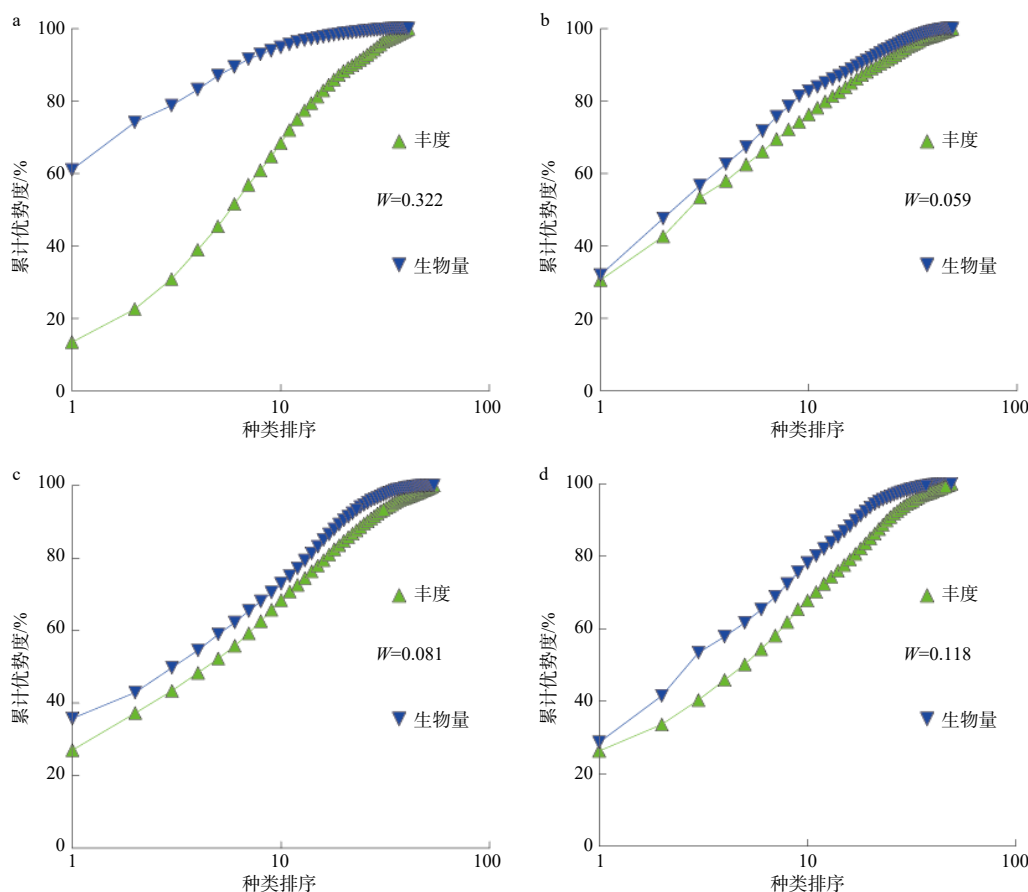
Fig. 4 Bray-Curtis cluster analysis (A) and nMDS ordination analysis (B) of macrobenthic communities in the four mangrove reserves of Hainan Island

2.5 ABC 曲线结果

ABC 曲线分析结果(图5)显示,海南岛4个红树林保护区的生物量曲线均位于丰度曲线之上,且 W 均大于0。结果表明,4个保护区的大型底栖动物未受明显干扰。XY的 W 远大于另外3个保护区,且生物量曲线始终高于丰度曲线很长一段距离,而另外3个红树林保护区的生物量曲线逼近丰度曲线,有形成交叉的趋势,可认为相比于其他3个保护区,XY的大型底栖动物群落结构受到的干扰相对更小。

ABC 曲线可较为直观地揭示底栖动物群落受环境扰动的程度,在栖息地生态环境质量评价中应用广泛^[33]。结合多样性指数分析,ABC 曲

线不仅能够反映底栖动物群落结构的稳定性,还能用于评估群落对环境变化的响应情况^[20, 34]。若生物量曲线在丰度曲线之上,表明群落未受扰动,生态结构相对稳定;若丰度曲线在生物量曲线之上,表明群落受到严重干扰;若两条曲线出现交叉,表明群落受到中度干扰,生态稳定性已经受到一定影响^[35]。本研究中,海南岛4个红树林保护区的生物量曲线均位于丰度曲线之上,且 W 均大于0,表明整体上群落未受到明显扰动。其中,XY的生物量曲线与丰度曲线间距较大,且 W 显著高于其他3个红树林保护区,表明该区域的底栖动物群落结构较为稳定。该结果与生物多样性指数分析结果一致,即XY的生物



注: a 为海南新盈红树林国家湿地公园; b 为海南东寨港国家级自然保护区; c 为海南清澜港红树林省级自然保护区; d 为海南儋州新英湾红树林市级自然保护区

图5 海南岛4个红树林保护区大型底栖动物的ABC曲线

Fig. 5 ABC curves of macrobenthic communities in the four mangrove reserves of Hainan Island

多样性指数高于其他3个保护区,进一步验证了该区域群落的生态稳定性较强,受环境扰动较小。

3 结论

海南岛4个红树林保护区潮间带共发现大型底栖动物118种,群落组成以甲壳动物和软体动物为主,优势度最高的物种为珠带拟蟹守螺;儋州新英湾红树林市级自然保护区的大型底栖动物物种数量和密度均高于其他3个保护区;海南新盈红树林国家湿地公园大型底栖动物的生物多样性高于其他3个保护区。4个红树林保护区的大型底栖动物可划分为3个亚群落,新盈红树林国家湿地公园与儋州新英湾红树林市级自然保护区聚为一支,东寨港国家级自然保护区和清澜港红树林省级自然保护区分别独立形成

一支。ABC曲线分析结果表明,4个红树林保护区的大型底栖动物群落均未受到扰动,处于良好状态。

参考文献:

- [1] 林 鹏. 中国红树林研究进展 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2001, 40(2): 592-603.
- [2] 段晓男, 王效科, 逯 非, 等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力 [J]. 生态学报, 2008, 28(2): 463-469.
- [3] 辛 欣, 宋希强, 雷金睿, 等. 海南红树林植物资源现状及其保护策略 [J]. 热带生物学报, 2016, 7(4): 477-483.
- [4] 方发之, 黎肇家, 桂慧颖. 海南红树林现状调查与研究 [J]. 热带林业, 2022, 50(1): 42-49.
- [5] Glock N. Benthic foraminifera and gromiids from oxygen-depleted environments—survival strategies, biogeochemistry and trophic interactions [J]. Biogeosciences, 2023, 20(16): 3423-3447.
- [6] Hatkar P, Vachhrajani K, Kuppusamy S. Marine benthic diver-

- sity of the gulf of Kutch, Gujarat: a review[J]. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 2024, 45(15): 268-283.
- [7] 张林,王瑁,王文卿.红树林湿地主要大型底栖动物的生态功能及多样性保护需求[J].*广西科学院学报*, 2024, 40(3): 197-206.
- [8] 刘瑞东,纪腾蛟,齐娟娟,等.底栖动物生物评价指数在水环境监测中的应用[J].*环境与发展*, 2024, 36(5): 70-74.
- [9] 孙艳桃.海水酸化对小型底栖生物群落及猛水蚤摄食、发育和繁殖的影响[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [10] 李浩天.多种生境下底栖有孔虫分子多样性以及对温度的响应研究[D].青岛:中国科学院大学(中国科学院海洋研究所),2021.
- [11] 陈国贵.中国红树林蟹类多样性、群落构建及对造林的响应[D].厦门:厦门大学,2022.
- [12] 陈屹洋,张秀梅,胡成业,等.嵵泗枸杞岛贻贝养殖区大型底栖动物优势类群群落构建机制[J].*生态学报*, 2025, 45(7): 3507-3519.
- [13] 何晨,王佳宁,周林滨,等.海南新村港和黎安港海草床大型底栖生物的群落结构比较[J].*热带海洋学报*, 2025, 44(4): 106-118.
- [14] 邹明明,郭玉清,甘加成.秋季海南省新英港红树林湿地的海洋线虫群落结构研究[J].*中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2022, 52(5): 44-54.
- [15] 田蜜,钟才荣,吕晓波,等.东寨港不同退塘还林模式红树林群落特征比较[J].*热带海洋学报*, 2025, 44(3): 58-65.
- [16] 张孟文,钟才荣,吕晓波,等.海南清澜港南海桑群落中物种生态位特征和种间联结性[J].*植物资源与环境学报*, 2023, 32(5): 70-77.
- [17] 周红,张志南.大型多元统计软件PRIMER的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J].*青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2003, 33(1): 58-64.
- [18] 吴荣军,李瑞香,朱明远,等.应用PRIMER软件进行浮游植物群落结构的多元统计分析[J].*海洋与湖沼*, 2006, 37(4): 316-321.
- [19] 田胜艳,于子山,刘晓收,等.丰度/生物量比较曲线法监测大型底栖动物群落受污染扰动的研究[J].*海洋通报*, 2006, 25(1): 92-96.
- [20] 李北兴,黎傲雪,董建宇,等.湛江湾潮间带大型底栖动物的群落结构及其受干扰程度[J].*南方水产科学*, 2023, 19(2): 12-20.
- [21] 宋远昊,龚吕,李贲,等.辽河口不同退塘还湿方式对大型底栖动物的影响[J].*生物多样性*, 2025, 33(2): 89-101.
- [22] 尹连政,秦永强,苏园园,等.退塘还林红树林大型底栖动物群落结构变化及影响因素[J].*热带生物学报*, 2024, 15(6): 780-790.
- [23] Md A, Ulhusna F A, Syafrianti D, et al. Breeding sites characteristics, fecundity, and gonad maturity levels of *Scylla* sp. in mangrove area, Kuala Batee district southwest Aceh, Indonesia[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2025, 1476(1): 12094.
- [24] 孙启梦,张素萍.中国海汇螺科Potamididae的分类学研究 I. 塔蟹守螺属[J].*海洋科学*, 2022, 46(2): 64-73.
- [25] Carrier-Belleau C, Drolet D, Mckindsey C W, et al. Environmental stressors, complex interactions and marine benthic communities' responses[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 4194.
- [26] Francescangeli F, Milker Y, Bunzel D, et al. Recent benthic foraminiferal distribution in the Elbe Estuary (North Sea, Germany): a response to environmental stressors[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, 251: 107198.
- [27] Wen D, Hong M, Wang H, et al. Spatiotemporal dynamics and potential restoration of mangroves in Circum-Xinying-Bay region, Hainan Province, China[J]. *Journal of Sea Research*, 2023, 193: 102368.
- [28] Wang K Y, Jiang M H J, Li Y T, et al. Spatial differentiation of mangrove aboveground biomass and identification of its main environmental drivers in Qinglan harbor mangrove nature reserve[J]. *Sustainability*, 2024, 16(19): 8408.
- [29] 辜晓虹.海南东寨港红树林自然保护区保护成效研究[D].海口:海南师范大学,2023.
- [30] 孙振和,张前进,刘龙.海南环岛旅游公路对清澜自然保护区红树林的影响及保护对策探讨[J].*交通节能环保*, 2023, 19(5): 114-118.
- [31] Bhagarathi L K, Dasilva P N B. Impacts and implications of anthropogenic activities on mangrove forests: a review[J]. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 2024, 11(1): 40-59.
- [32] 陈晓娟.海南岛海岸带湿地类保护地游憩发展现状及其问题研究[D].海口:海南师范大学,2024.
- [33] 赖廷和,何斌源,黄中坚,等.防城河口湾潮间带大型底栖动物群落结构研究[J].*热带海洋学报*, 2019, 38(2): 67-77.
- [34] 胡桂坤,秦璐璐,李郁郁,等.基于ABC曲线的天津潮间带生物群落受扰动的分析[J].*天津科技大学学报*, 2019, 34(5): 57-62.
- [35] 刘颖,李进京,陈晨,等.浙江象山港岛屿春、夏季潮间带大型底栖生物的群落结构特征[J].*海洋与湖沼*, 2021, 52(3): 685-696.

(本文编辑:曲丽梅)