

华南沿海海草床分布区大型底栖动物群落特征初探

郭治明^{1,2,3,4}, 杨熙^{1,2,3,4}, 余威^{1,2,3,4}, 杨振雄^{1,2,3,4}, 吕意华^{1,2,3,4*}

(1. 自然资源部南海生态中心, 广东 广州 510300;

2. 海南南沙珊瑚礁生态系统国家野外科学观测研究站, 广东 广州 510300;

3. 韩江口—南澳岛海洋生态系统野外科学观测研究站, 广东 广州 510300;

4. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要:为探究华南沿海海草床大型底栖动物群落特征、地区差异及其与海草群落间的关系, 2020年在华南沿海12个海草床区域开展了大型底栖动物调查。共布设33个调查断面99个站位, 在主要群落参数的基础上, 运用相关性分析和聚类分析、nMDS排序、相似性百分比分析等群落生态学统计方法分析了底栖动物群落特征及其与海草群落的关系。共鉴定出大型底栖动物9大门类199种, 其中, 软体动物种类最多, 占总种类数的39.7%。各区域底栖动物的平均栖息密度为155.7 ind/m², 青葛—龙湾(琼海)的平均栖息密度最低, 珍珠湾(防城港)的平均栖息密度最高; 平均生物量为118.36 g/m², 最低值出现在义丰溪(汕头), 最高值出现在珍珠湾。各区域底栖动物的优势种以潮间带泥沙滩常见腹足类、双壳类和多毛类为主; 底栖动物的种类多样性指数(H')平均值为1.12, 最低值出现在唐家湾(珠海), 最高值出现在铁山港(北海); 各调查区域底栖动物主要群落参数大致呈现“北部湾>海南沿岸>珠江口及粤东”的规律。华南沿海海草床分布区大型底栖动物群落的区域性特征较为明显, 地理位置相近的海草床底栖动物群落特征相似性程度较高。海草密度越大, 总生物量越高, 越有利于底栖动物的种类多样性指数维持在更高水平。以大、中型海草为主的海草床, 相较于面积小, 以小型海草为主的海草床, 其区域内的大型底栖动物群落结构更为复杂。

关键词:海洋生态学; 海草床; 大型底栖动物; 群落特征; 华南沿海

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.20220703002

中图分类号: P735

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2023)03-0469-10

海草床与红树林、珊瑚礁并称为全球三大典型海洋生态系统, 是众多海洋生物索饵、繁殖、寻求庇护的重要栖息地, 同时兼具防浪固堤、净化水质、固碳储碳等极其重要的生态功能^[1-2]。大型底栖动物是海草床生态系统中极为重要的生物类群, 与海草床生态系统相互作用, 相辅相成。一方面, 作为海草床生态系统的重要组成部分, 大型底栖动物的分布栖息状况和群落结构特征与海草床面积、海草的密度和生物量关系密切^[3-4]。底栖动物的群落特征、

多样性特点和数量变化等群落生态学数据可用于海草床生态系统健康状况的评估^[5-7]。另一方面, 作为潜在的重要庇护场和索饵场, 海草床是众多大型底栖动物理想的栖息地。因此, 海草床生态系统中的大型底栖动物群落一直是国内外典型海洋生态系统生态学研究热点^[8-10]。

我国海草床在地理分布上主要分为黄渤海和南海两大海草床分布区。目前, 黄渤海区域针对海草床生态系统大型底栖动物调查和研究主要集中在山

收稿日期: 2022-08-01

资助项目: 广东省平台基地及科技基础条件建设(2021B1212050025); 中国海洋发展基金会(CODF-002-ZX-2021); 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室2020年度自主设立课题(MESTA-2020-C006); 2022年省级促进经济高质量发展(海洋经济发展)海洋六大产业专项(GDNRC[2022]48)

作者简介: 郭治明(1991—), 男, 硕士, 工程师; E-mail: guozhiming0917@163.com

* 通讯作者: 吕意华(1985—), 男, 博士, 正高级工程师; E-mail: yihualyu0607@163.com

东东营黄河口^[11-13]、山东烟台西海岸^[11,13]、山东荣成天鹅湖^[13-14]、渤海兴城—觉华岛^[15]等地,而南海海草床分布区的相关研究则集中在海南陵水新村港和黎安港^[8,16-17]、湛江流沙湾^[18]、广西铁山港^[19]等少数几个区域。最近几年,国内外学者有关海草床生态系统大型底栖动物的研究侧重于海草床与底栖动物多样性及次级生产力的关系^[20],不同类型海草床之间^[21]、海草床与其他生境之间^[22-23]以及不同演替阶段^[24]的海草床生态系统大型底栖动物群落结构及多样性的比较,部分研究还涉及底栖动物群落的时空变化^[17]、底栖动物群落对人类活动或海草生境改变的响应^[12,19]以及环境因子与海草床底栖动物群落的关系^[15]等。

近年来,海草床生态系统面临着水质污染、生境破碎化、群落结构简单化、人类活动影响加剧、生物多样性降低等问题^[25-26],但目前缺乏覆盖华南沿海大多数海草分布区域的相关调查研究,对不同区域和不同类型海草床大型底栖动物群落特征的了解尚不全面,缺少最新的第一手调查研究资料,难以从底栖动物群落特征及其与海草床之间关系的角度分析海草床的现状和功能。本研究拟通过华南沿海 12 个海草床分布区大型底栖动物的调查,初步探究不同区域、不同类型海草床间大型底栖动物群落特征的差异以及大型底栖动物群落与海草群落之间的关系,可为华南沿海海草床生态系统的保护和修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样方法

1.1.1 研究区域

本研究调查区域包括:广东省的流沙湾(湛江)、唐家湾(珠海)、义丰溪(汕头),广西壮族自治区的铁山港(北海)、珍珠湾(防城港),海南省的东寨港(海口)、黄沙港(儋州)、花场湾(澄迈)、高隆湾—长圯港(文昌)、青葛—龙湾(琼海)、新村港(陵水)和黎安港(陵水)。其中,唐家湾、流沙湾、珍珠湾、黄沙港、高隆湾—长圯港和青葛—龙湾属于半封闭的海湾,水域相对开阔;义丰溪、铁山港和东寨港属于受径流影响较大的河口区域;花场湾、新村港和黎安港为近封闭式的天然潟湖,受潮汐影响较大。以上 12 个区域覆盖华南沿海大部分海草床分布区。调查时间为 2020 年 6—10 月,视不同类型海草生长规律差异,在海草生长旺盛的月份开展调查(表 1)。

1.1.2 采样方法

各调查区域根据海草床分布面积的大小设置 1~4 个大型底栖动物调查断面,每个断面分别在海

草分布的内缘、中部和外缘各设置 1 个站位,在 12 个区域设置了 33 个底栖动物调查断面共 99 个站位(表 1)。在每个调查站位随机布设 4 个 0.25 m × 0.25 m 的样方采集大型底栖动物,采样深度为 30 cm。样品的采集、贮存和运输均依照《海洋监测规范》^[27]进行,所有样品在实验室中进行分析。同时,在各站位开展海草床分布面积和群落调查,分布面积采用踏查方式,利用 GPS 定位海草床的边界,测点间隔为 25~50 m;再利用地理信息系统平台对野外调查的数据进行空间分析,勾绘海草分布范围图,计算海草床分布面积。海草群落调查方法如下:在每个站点设置 1 条平行于海岸带方向的调查样带,样带长度为 50 m,宽度为 1~3 m。在每个样带中随机设置 0.5 m × 0.5 m 的样方,获取海草种类组成、密度、盖度、生物量等信息,样方数量根据所处样带的海草物种多样性而定,保证样带内每个物种的样方数量不少于两个。

表 1 各调查区域的调查断面数和站位数

Tab. 1 Numbers of sections and sites in each survey area

省(区)	区域	断面数 / 个	站位数 / 个	调查时间 (年-月)
广东	流沙湾	4	12	2020-07
	唐家湾	3	9	2020-09
	义丰溪	2	6	2020-08
广西	铁山港	3	9	2020-07
	珍珠湾	2	6	2020-07
海南	花场湾	2	6	2020-08
	黄沙港	1	3	2020-08
	东寨港	3	9	2020-09
	新村港	3	9	2020-06
	黎安港	2	6	2020-06
	高隆湾—长圯港	4	12	2020-10
	青葛—龙湾	4	12	2020-10
合计		33	99	

1.2 分析方法

大型底栖动物优势度 Y 的计算公式为

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

式(1)中: n_i 为第*i*个物种的栖息密度(ind/m²), f_i 为该物种在各站出现的频率, N 为群落中所有物种的栖息密度(ind/m²)。其中, $Y \geq 0.02$ 的种类判定为该区域的优势种^[28]。

多样性指数分析采用种类多样性指数(H')^[29]、

均匀度(J)^[30]和丰度(d)^[31],计算公式如下:

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

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

$$d = (S - 1) / \ln N \quad (4)$$

式(2)至(4)中: P_i 为第*i*种的个体数(n_i)或生物量(w_i)与总个体数(N)或总生物量(W)的比值($\frac{n_i}{N}$ 或 $\frac{w_i}{W}$), S 为样品中的种类总数, N 为样品中的生物总个体数。

本研究将各站位底栖动物主要群落参数与海草密度和总生物量进行 Pearson 相关性分析,以探究海草床大型底栖动物与海草群落之间的关系,相关性分析采用 SPSS 23.0 软件进行。

此外,为探究各区域海草床之间大型底栖动物群落特征的异同,本研究以区域平均栖息密度为指标,以调查区域为样本,采用欧氏距离的计算方法建立相似性矩阵,计算前对原始数据进行 4 次方根转换,进行非度量多维标度排序(non-metric multidimensional scaling, nMDS),以分析底栖动物群落结构的分布格局。另外,为研究上述各样本组间差异的显著性,采用相似性程序分析进行差异的显著性检验;为进一步探索不同物种对样本组内相似性的平均贡献率,运用相似性百分比分析来研究造成各样本组组内群落结构相似的物种。以上均使用 PRIMER 5.0 软件包进行分析。

2 结果

2.1 各区域大型底栖动物主要群落参数

各调查区域海草床大型底栖动物样品经鉴定共有 9 大门类 199 种,其中,软体动物种类最多,共有 79 种,占总种数的 39.7%;环节动物和节肢动物次之,分别有 56 种和 53 种,占总种数的 28.1%和 26.6%;其他门类生物种类数都较少(图 1),底栖动物种类组成以热带-亚热带潮间带泥沙底质埋生生活的种类为主。

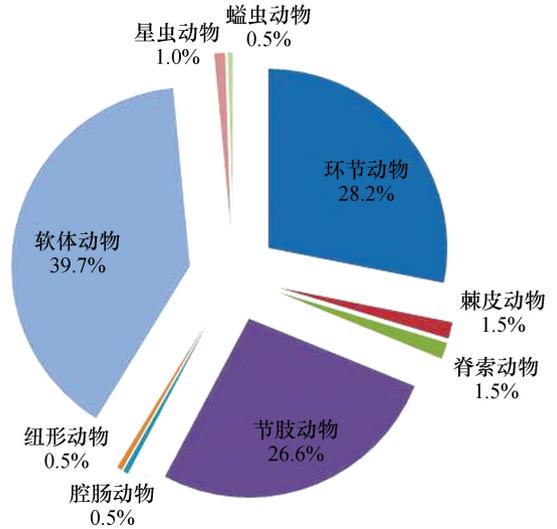


图 1 华南沿海海草床大型底栖动物种类组成

Fig. 1 Specific composition of macrobenthos in seagrass beds in South China Coast

12 个区域底栖动物种类数变化范围为 5~52 种,其中种类最多的区域为铁山港,种类最少的区域为义丰溪(表 2)。

各调查区域底栖动物的平均栖息密度为 155.7 ind/m²,平均生物量为 118.36 g/m²。12 个区域中底栖动物平均栖息密度变化范围为 36.6~436.0 ind/m²,青葛—龙湾海草床的平均栖息密度最低,珍珠湾的平均栖息密度最高;12 个区域中底栖动物平均生物量变化范围为 5.80~345.21 g/m²,最低值出现在义丰溪,最高值出现在珍珠湾(表 2)。

各区域海草床底栖动物 H' 平均值的变化范围为 0.58~2.42,最低值出现在唐家湾,最高值出现在铁山港; J 平均值的变化范围为 0.41~0.88,最低值出现在珍珠湾,最高值出现在义丰溪; d 平均值的变化范围为 0.29~1.77,最低值出现在义丰溪,最高值出现在铁山港(表 2)。各调查区域底栖动物的 H' 平均值为 1.12, J 平均值为 0.64, d 平均值为 0.97,总体上,调查区域海草床底栖动物的 H' 、 J 和 d 均处于较低的水平。

表 2 各调查区域大型底栖动物主要群落特征参数

Tab. 2 Community structure parameters of macrobenthos in each survey area

省(区)	调查区域	种类数/种	栖息密度/(ind·m ⁻²)	生物量/(g·m ⁻²)	H'	J	d	主要优势种
广东	流沙湾	47	280.0	189.31	0.92	0.49	1.71	凸加夫蛤(<i>Gafrarium tumidum</i>)、 纵带滩栖螺(<i>Batillaria zonalis</i>)
	唐家湾	17	42.6	13.56	0.58	0.48	0.37	中国绿螂(<i>Glauconome chinensis</i>)、 羽须鳃沙蚕(<i>Dendronereis pinnaticirris</i>)
	义丰溪	5	101.3	5.80	0.67	0.88	0.29	淡水泥蟹(<i>Ilyoplax tansuiensis</i>)

续表

省 (区)	调查区域	种类 数/种	栖息密度 /(ind · m ⁻²)	生物量 /(g · m ⁻²)	H'	J	d	主要优势种
广西	铁山港	52	109.0	75.81	2.42	0.79	1.77	琴蛭虫 (<i>Lanice conchilega</i>)、珠带拟蟹守螺 (<i>Cerithidea cingulata</i>)、青蛤 (<i>Cyclina sinensis</i>)
	珍珠湾	32	436.0	345.21	1.31	0.41	1.35	珠带拟蟹守螺、日本镜蛤 (<i>Dosinia japonica</i>)、毛掌活额寄居蟹 (<i>Diogenes penicillatus</i>)
海南	新村港	15	292.6	81.82	0.81	0.61	0.93	厚鳃蚕 (<i>Dasybranchus caducus</i>)、南海毛满月蛤 (<i>Pillucina vietnamica</i>)、红角沙蚕 (<i>Ceratonereis erythraeensis</i>)
	黎安港	17	133.4	102.22	0.95	0.58	1.03	厚鳃蚕、珠带拟蟹守螺
	东寨港	20	63.8	71.86	1.22	0.72	0.79	纵带滩栖螺、珠带拟蟹守螺、亮螺 (<i>Phos senticosus</i>)
	黄沙港	18	69.3	46.47	1.59	0.73	1.34	杂色牙螺 (<i>Euplaca versicolor</i>)、克氏锉棒螺 (<i>Rhinochlamys kochi</i>)
	花场湾	11	250.7	80.88	1.14	0.52	0.92	斜肋齿蜷 (<i>Sermylea riqueti</i>)、珠带拟蟹守螺
	高隆湾—长圯港	22	52.7	163.14	0.89	0.66	0.58	特氏蟹守螺 (<i>Cerithium trailii</i>)、加夫蛤 (<i>Gafrarium pectinatum</i>)、珠带拟蟹守螺
	青葛—龙湾	21	36.6	244.20	0.91	0.78	0.54	加夫蛤、特氏蟹守螺、鳞杓拿蛤 (<i>Anomalodiscus squamosus</i>)

注:表中栖息密度、生物量、H'、J 和 d 均为平均值,下同。

各调查区域海草床底栖动物的优势种主要以潮间带泥沙滩的常见腹足类、双壳类和多毛类为主,另有若干潮间带蟹类。较常出现的优势种有珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)、纵带滩栖螺 (*Batillaria zonalis*)、厚鳃蚕 (*Dasybranchus caducus*)、加夫蛤 (*Gafrarium pectinatum*) 等(表 2)。

2.2 不同类型海草床大型底栖动物主要群落参数

如表 3 所示,不同海草类型的海草床大型底栖动物平均种类数由大到小依次为卵叶喜盐草 (*Halophila ovalis*) > 日本鳗草 (*Zostera japonica*) > 泰来草 (*Thalassia hemprichii*) + 海菖蒲 (*Enhalus acoroides*) > 泰来草 > 海菖蒲 > 贝克喜盐草 (*Halophila beccarii*)。

不同海草类型的海草床大型底栖动物平均栖息密度的大小关系为日本鳗草 = 泰来草 + 海菖蒲 > 泰来草 > 卵叶喜盐草 > 贝克喜盐草 > 海菖蒲; 而平均生物量的大小关系则为泰来草 + 海菖蒲 > 贝克喜盐草 > 卵叶喜盐草 > 海菖蒲 > 日本鳗草 > 泰来草(表 3)。平均栖息密度和生物量最高的海草床类型均为泰来草 + 海菖蒲海草床,说明海草优势种类较多的海草床其底栖动物栖息密度和生物量可能较丰富。

不同海草类型的海草床底栖动物主要优势种存在一定差异,其中以卵叶喜盐草、海菖蒲和泰来草 +

海菖蒲为主要海草种类的海草床底栖动物优势种较为相似,而以贝克喜盐草、日本鳗草和泰来草为主要海草种类的海草床底栖动物优势种与其他类型海草床的差异较大(表 3)。

不同海草类型的海草床底栖动物 H' 平均值的大小关系为海菖蒲 > 卵叶喜盐草 > 泰来草 + 海菖蒲 > 泰来草 > 贝克喜盐草 > 日本鳗草; J 平均值的大小关系则为日本鳗草 > 泰来草 > 海菖蒲 > 卵叶喜盐草 > 贝克喜盐草 > 泰来草 + 海菖蒲; d 平均值的大小关系为海菖蒲 > 贝克喜盐草 > 卵叶喜盐草 > 泰来草 + 海菖蒲 > 泰来草 > 日本鳗草(表 3)。说明以体型较大的海草为主的海草床,其底栖动物的多样性相对较高,但均匀度和丰度则无明显规律。

将各站位底栖动物主要群落参数与海草密度和海草总生物量进行 Pearson 相关性分析,结果如表 4 所示。海草密度和海草总生物量均与底栖动物的 H' 呈极显著的正相关,说明海草密度越大,总生物量越高,越有利于底栖动物的种类多样性指数维持在更高水平;而海草密度和海草盖度与底栖动物的 d 也呈现显著正相关,说明海草密度和盖度越高,底栖动物的物种也更丰富。此外,海草盖度与底栖动物的 J 呈极显著负相关,说明海草盖度的增大可能会吸引某几种底栖动物的大量聚集,反而使 J 值降低。

表 3 各类型海草床大型底栖动物主要群落参数

Tab. 3 Community structure parameters of macrobenthos in different type of seagrass beds

主要海草种类	区域	平均种类数/种	总种类数/种	栖息密度/(ind·m ⁻²)	生物量/(g·m ⁻²)	H'	J	d	主要优势种
贝克喜盐草 (<i>Halophila beccarii</i>)	唐家湾、 义丰溪、 花场湾	11	32	131.5	189.31	0.92	0.49	1.71	中国绿螂(<i>Glauconome chinensis</i>)、 淡水泥蟹(<i>Ilyoplax tansuiensis</i>)、 斜肋齿螯(<i>Sermyla riqueti</i>)
卵叶喜盐草 (<i>Halophila ovalis</i>)	流沙湾、 铁山港、 东寨港	40	107	150.9	112.33	1.52	0.67	1.42	凸加夫蛤(<i>Gafrarium tumidum</i>)、 纵带滩栖螺(<i>Batillaria zonalis</i>)、 珠带拟蟹守螺(<i>Cerithidea cingulata</i>)
日本鳗草 (<i>Zostera japonica</i>)	珍珠湾	32	32	436.0	5.80	0.67	0.88	0.29	珠带拟蟹守螺、 日本镜蛤(<i>Dosinia japonica</i>)
泰来草 (<i>Thalassia hemprichii</i>)	黄沙港	18	18	192.0	4.40	1.20	0.86	0.57	杂色牙螺(<i>Euplax versicolor</i>)、 克氏铤棒螺(<i>Rhinoelavis kochi</i>)
海菖蒲 (<i>Enhalus acoroides</i>)	黎安港	17	17	109.0	75.81	2.42	0.79	1.77	厚鳃蚕(<i>Dasybranchus caducus</i>)、 珠带拟蟹守螺
泰来草+海菖蒲	新村港、 高隆湾— 长圯港、 青葛—龙湾	19	47	436.0	345.21	1.31	0.41	1.35	厚鳃蚕、加夫蛤(<i>Gafrarium pectinatum</i>)、 特氏蟹守螺(<i>Cerithium trillii</i>)

表 4 大型底栖动物主要群落特征参数与海草密度及总生物量的相关性分析结果

Tab. 4 Correlation analysis results between main characteristic parameters of macrobenthos and density and total biomass of seagrass

参数	栖息密度	生物量	H'	J	d
海草密度	0.151	0.062	0.276 *	-0.194	0.425 **
总生物量	-0.002	-0.011	0.466 **	-0.072	0.195
盖度	0.119	-0.131	0.092	-0.295 **	0.243 *

注：“*”表示显著相关($P<0.05$)，“**”表示极显著相关($P<0.01$)。

2.3 大型底栖动物群落结构特征分析

各区域海草床底栖动物 nMDS 排序结果如图 2 所示。可以看出,图中距离较近的区域多为地理位置较近的区域,如新村港和黎安港、花场湾和黄沙港、高隆湾—长圯港和青葛—龙湾,说明地理位置相近的海草床区域底栖动物群落特征较为相似。各区域底栖动物大致可以分成 6 个大组:高隆湾—长圯港和青葛—龙湾(组 1),新村港和黎安港(组 2),义丰溪、珍珠湾、黄沙港、花场湾和东寨港(组 3),唐家湾(组 4),流沙湾(组 5)和铁山港(组 6)。图 2 中

stress 值为 0.14(小于 0.20),说明该结果具有一定解释意义^[32]。相似性程序分析的检验结果显示,6 组间的检验统计值 $R=0.92$,显著性 $P<0.01$,说明各组间底栖动物群落的差异极显著。

由于唐家湾、流沙湾和铁山港单独成组,无法进行组内差异分析,故仅将组 1~3 进行相似性百分比分析,结果见表 5 和表 6。由表 5 可知,组 1(高隆湾—长圯港、青葛—龙湾)的组内相似性(50.45%)较高,组 2(新村港、黎安港)和组 3(义丰溪、珍珠湾、黄沙港、花场湾和东寨港)的组内相似性均很

低,其中组 3 的组内相似性仅 5.89%,说明组内各区域海草床底栖动物群落存在较大差异;各组之间的组间相异性较大,均达 89%以上。由表 6 可知,特氏蟹守螺、加夫蛤、厚鳃蚕和火红皱蟹 (*Leptodius exaratus*) 4 个种类对组 1 的组内相似性累计贡献率达到 91.38%;厚鳃蚕、红角沙蚕 (*Ceratonereis erythraensis*)、贝氏岩虫 (*Marphysa belli*) 和珠带拟蟹守螺 4 个种类对组 2 的组内相似性累计贡献率达到 92.37%;仅珠带拟蟹守螺一个种类对组 3 的组内相似性累计贡献率达到 98.58%。

以相似贡献率大于 5% 作为一组群落的指示种^[33],则组 1 的指示种为特氏蟹守螺、加夫蛤、厚鳃蚕和火红皱蟹,说明组 1 海草床底栖动物是以软体动物为主,辅以若干多毛类和蟹类的复合型群落;组 2 的指示种为厚鳃蚕、红角沙蚕和贝氏岩虫,说明组 2 海草床底栖动物是以底埋生活的多毛类为主的群落;组 3 的指示种仅珠带拟蟹守螺 1 种,说明组 3 海草床底栖动物群落多以珠带拟蟹守螺这一优势种为主要特征。可见,底栖动物群落结构的复杂性程度

排名为组 1>组 2>组 3,结合 3 组所在区域海草群落的特点(表 7),表明面积较大,以大、中型海草为主的海草床,其区域内的大型底栖动物群落结构较为复杂;而面积较小,以小型海草为主的海草床,其区域内的大型底栖动物群落结构较为简单。

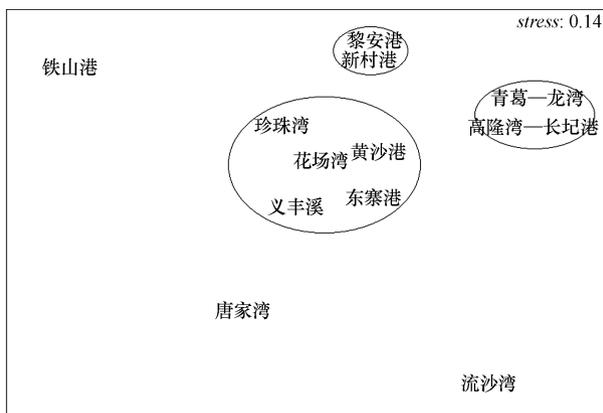


图 2 各调查区域大型底栖动物群落的非度量多维标度排序
Fig. 2 nMDS analysis of macrobenthos community in each area surveyed

表 5 大型底栖动物各群落组的组内相似性和组间相异性

Tab. 5 Similarity within each group and dissimilarity among three macrobenthic groups

组别	组内相似性/%	组间相异性/%
组 1(高隆湾—长圪港、青葛—龙湾)	50.45	—
组 2(新村港、黎安港)	16.64	—
组 3(义丰溪、珍珠湾、黄沙港、花场湾和东寨港)	5.89	—
组 1 和组 2	—	89.40
组 1 和组 3	—	94.08
组 2 和组 3	—	92.58

表 6 各物种对各群落组组内相似性的贡献率

Tab. 6 Species with higher contribution on similarity within each group

组别	物种名	贡献率/%	累计贡献率/%
组 1(高隆湾—长圪港、青葛—龙湾)	特氏蟹守螺 (<i>Cerithium traillii</i>)	43.25	43.25
	加夫蛤 (<i>Gafrarium pectinatum</i>)	30.11	73.36
	厚鳃蚕 (<i>Dasybranchus caducus</i>)	10.81	84.17
	火红皱蟹 (<i>Leptodius exaratus</i>)	7.21	91.38
组 2(新村港、黎安港)	厚鳃蚕	38.16	38.16
	红角沙蚕 (<i>Ceratonereis erythraensis</i>)	31.31	69.47
	贝氏岩虫 (<i>Marphysa belli</i>)	19.08	88.55
	珠带拟蟹守螺 (<i>Cerithidea cingulata</i>)	3.82	92.37
组 3(义丰溪、珍珠湾、黄沙港、花场湾和东寨港)	珠带拟蟹守螺	98.58	98.58

表 7 大型底栖动物各群落组所在区域海草面积及主要海草种类

Tab. 7 Dominant seagrass species and acreages in area with different groups of macrobenthic community

组别	面积/hm ²	海草种类
组 1(高隆湾—长圯港、青葛—龙湾)	1 241.70	海菖蒲 (<i>Enhalus acoroides</i>)、泰来草 (<i>Thalassia hemprichii</i>)
组 2(新村港、黎安港)	112.22	海菖蒲
组 3(义丰溪、珍珠湾、黄沙港、花场湾和东寨港)	99.56	卵叶喜盐草 (<i>Halophila ovalis</i>)、贝克喜盐草 (<i>Halophila beccarii</i>)

3 讨论

3.1 华南沿海海草床大型底栖动物群落的区域对比及历史对比

从海草床大型底栖动物主要群落参数来看,各调查区域底栖动物栖息密度、生物量、种类多样性指数、均匀度和丰度区域间的波动均较大,但大致可以得出“北部湾(流沙湾、铁山港、珍珠湾)>海南沿岸(高隆湾—长圯港、青葛—龙湾、新村港、黎安港、黄沙港、花场湾、东寨港)>珠江口及粤东(唐家湾、义丰溪)”的规律(表 2);结合部分区域的历史调查数据(表 8),可见海南东海岸和北部湾海域的历史调查研究结果也明显高于珠江口及粤东海域。从优势种组成看,地理位置相近的海草床底栖动物优势种组成较为相似,如新村港和黎安港的厚鳃蚕、高隆湾—长圯港和青葛—龙湾的特氏蟹守螺和加夫蛤(表 2);这可能是由于地理位置相近的海草床区域常具有相近的底质环境、水动力环境和气候条件,而

这些因素往往是吸引某几类底栖动物聚集的重要原因,使得偏好相似生境条件的种类成为该区域的优势种。另外,相近地理位置的区域往往分布的海草群落类型也较为相似,而不同海草群落类型常具有其特有的优势种^[34]。由此可见,华南沿海海草床分布区大型底栖动物群落的区域性特征较为明显,地理位置相近的海草床底栖动物群落特征相似性程度较高。

从部分区域的历史调查数据对比结果看(表 8),各区域底栖动物的大部分主要群落参数均低于历史调查数据。尤其是各区域的 H' 、 J 和 d ,大多处于较低的水平。一方面,与本研究部分的采样站点设置较少有关,部分未采集到底栖动物的站点拉低了总体均值;另一方面,本次调查发现华南沿海多处海草床区的海草分布面积与历史文献报道的面积相比均有明显下降^[34-37],较低水平的底栖动物群落参数可能是海草床面积萎缩以及在人类活动等因素干扰下生境退化的反映。

表 8 华南沿海部分海草床大型底栖动物主要群落参数历史数据对比

Tab. 8 Comparison of important parameters of macrobenthic communities in some of seagrass beds from this and previous studies in South China Coast

调查区域	调查年份	栖息密度/(ind · m ⁻²)	生物量/(g · m ⁻²)	H'	J	d
铁山港	2005—2008 ^[35]	241.2	—	—	—	—
	2020	109.0	75.81	2.42	0.79	1.77
流沙湾	2002 ^[36]	388.8	118.81	2.70	0.85	—
	2020	280.0	189.31	0.92	0.49	1.71
唐家湾	2008 ^[37]	18.7	19.12	1.23	0.89	—
	2020	42.6	13.56	0.58	0.48	0.37
高隆湾—长圯港	2013 ^[38]	413.2	174.37	2.87	0.65	2.75
	2020	52.7	163.14	0.89	0.66	0.58
新村港	2013 ^[38]	518.4	201.90	2.83	0.64	3.07
	2020	292.6	81.82	0.81	0.61	0.93

3.2 海草群落对海草床大型底栖动物群落的影响

本研究结果显示,海草床分布区大型底栖动物群落明显受到海草床类型及海草群落特征的影响,

这一影响主要表现在底栖动物栖息密度、生物量和物种多样性等参数上。海草分布面积、种类数、密度、盖度、总生物量、类型均可能对大型底栖动物群落特征

参数产生影响,面积大、种类多、盖度高、密度高、生物量高以及个体较大的海草均可能促进大型底栖动物多样性和复杂性的提升。其中,海草密度和海草总生物量均与底栖动物的 H' 呈极显著正相关,而海草密度和海草盖度与底栖动物的 d 也呈现显著正相关。对纽约约克河海草床区域 1971—2016 年底栖生物密度、多样性、次级生产力等参数变化的评估发现海草面积的减少与上述参数的降低密切相关^[20]。一方面,较高的海草生物量意味着较高的初级生产力,可支撑更高的次级生产力,从而可能吸引更多种类的底栖动物前来觅食,形成更为复杂的底栖动物食物网,有助于底栖动物物种多样性的提高。另一方面,较高密度、较大面积、盖度大、较大个体的海草能提供更大的遮蔽面积和更高的生境异质性,从而有利于吸引更多种类、更大数量的底栖动物^[13,39-40]。

此外,海草床区大型底栖动物群落结构的复杂程度也与海草床类型关系密切,主要表现在海草分布面积较大,以大、中型海草为主的海草床,其区域内的大型底栖动物物种多样性相对较高,群落结构更为复杂。有学者认为,较大面积的海草床和个体较大的海草种类可形成掩护效果更佳的蓬盖 (canopy),如对加拿大新斯科舍省地区鳗草 (*Zostera marina*) 海草床的底栖动物群落进行研究发现,蓬盖的高度对该地区大型底栖动物群落结构存在较显著的影响^[23]。蓬盖既能更有效地削弱波浪,使运输的沉积物变细,形成生物可利用性更高的泥滩,又有助于

提高庇护面积和效果,成为大型底栖动物群落更加理想的栖息地^[41]。

对海南东海岸海草床大型底栖动物的研究表明,海草床大型底栖动物群落的种类组成、分布、生物量、栖息度和多样性指数受到地区、海草种类因素的综合影响^[39],这与本研究的结果较一致。此外,底质特征、水质环境、季节变化、滩涂高程等也可能是影响海草床大型底栖动物群落的重要因素^[15,42-43],有关这些因素的影响,还有待于进一步的调查研究。

4 结论

通过对华南沿海 12 个海草床区大型底栖动物群落的调查研究,得出的主要结论如下:

华南沿海 12 个海草床区共发现大型底栖动物 9 大门类 199 种,其中,软体动物种类最多,优势种以潮间带泥沙滩常见腹足类、双壳类和多毛类为主。大型底栖动物种类数、栖息密度、生物量、种类多样性指数、均匀度和丰度等主要群落参数大致呈现“北部湾>海南沿岸>珠江口及粤东”的规律。

华南沿海海草床分布区大型底栖动物群落的区域性特征较为明显,地理位置相近的海草床底栖动物群落特征相似性程度较高。海草密度越大,总生物量越高,越有利于底栖动物的种类多样性指数维持在更高水平。以大、中型海草为主的海草床,相较于面积小,以小型海草为主的海草床,其区域内的大型底栖动物群落结构更为复杂。

参考文献:

- [1] 庄武艺, J. 谢佩尔. 海草对潮滩沉积作用的影响[J]. 海洋学报, 1991, 13(2): 230-239.
ZHUANG W Y, SHEPEL J. Effects of seagrass on tidal flat sedimentation[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1991, 13(2): 230-239.
- [2] FOURQUREAN J W, DUARTE C M, KENNEDY H, et al. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock[J]. Nature Geoscience, 2012, 5(7): 505-509.
- [3] HARTOG C, YANG Z D. A catalogue of the seagrasses of China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1990, 8(1): 74-91.
- [4] HUANG X P, HUANG L M, LI Y H, et al. Main seagrass beds and threats to their habitats in the coastal sea of South China[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(2): 136-142.
- [5] SMITH S V. Marine macrophytes as a global carbon sink[J]. Science, 1981, 211(4 484): 838-840.
- [6] 张波. 黄海中部高眼鲽的摄食及随体长的变化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1 849-1 854.
ZHANG B. Diet composition and ontogenetic variation in feeding habits of *Cleithenes herzensteini* in central Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8): 1 849-1 854.
- [7] YUILLE M J, JOHNSON T B, ARNOTT S E, et al. *Hemimysis anomala* in Lake Ontario food webs; stable isotope analysis of nearshore communities[J]. Journal of Great Lakes Research, 2012, 38(S2): 86-92.
- [8] 李洋, 王小兵, 黄勃, 等. 陵水新村湾海草场大型底栖生物多样性分析[J]. 热带生物学报, 2015, 6(4): 381-387.
LI Y, WANG X B, HUANG B, et al. Observation of macrobenthos in seagrass meadows in the Xincun Bay, Lingshui, Hainan, China[J]. Journal of Tropical Biology, 2015, 6(4): 381-387.
- [9] DE TROCH M, GURDEBEKE S, FIERS F, et al. Zonation and structuring factors of meiofauna communities in a tropical seagrass bed (Gazi Bay, Kenya)[J]. Journal of Sea Research, 2001, 45(1): 45-61.
- [10] MILLS V S, BERKENBUSCH K. Seagrass (*Zostera muelleri*) patch size and spatial location influence infaunal macroinvertebrate assemblages[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 81(1): 123-129.
- [11] 宋博, 陈琳琳, 闫朗, 等. 山东东营和烟台潮间带海草床食物网结构特征[J]. 生物多样性, 2019, 27(9): 984-992.

- SONG B, CHEN L L, YAN L, et al. Food web characteristics of seagrass beds in intertidal of Dongying and Yantai, Shandong Province[J]. Biodiversity Science, 2019, 27(9): 984-992.
- [12] 孟周, 严润玄, 韩庆喜. 斑块状海草床对大型底栖动物群落的影响[J]. 海洋通报, 2021, 40(4): 425-432.
- MENG Z, YAN R X, HAN Q X. Effects of patchy seagrass meadow on macrobenthic community[J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(4): 425-432.
- [13] 宋博. 海草床生境片段化对底栖动物多样性和食物网的生态效应[D]. 烟台: 烟台大学, 2020.
- SONG B. Ecological effects of seagrass bed fragmentation on benthic biodiversity and food web[D]. Yantai: Yantai University, 2020.
- [14] 刘建影, 李文涛, 覃乐政, 等. 山东荣成天鹅湖海草场大型底栖贝类时空分布研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(1): 113-122.
- LIU J Y, LI W T, QIN L Z, et al. Spatio-temporal variations in benthic and macrobenthic molluscs in Swan Lake, Shandong, China[J]. Marine Sciences, 2017, 41(1): 113-122.
- [15] 张兆衡, 杨薇, 张子玥, 等. 渤海兴城-觉华岛海域海草床典型生物群落特征及其关键环境因子识别[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(1): 90-98.
- ZHANG Z H, YANG W, ZHANG Z Y, et al. Characteristics of typical biological communities and identification of key environmental factors in the seagrass bed of Xingcheng-Juehua Island, Bohai Sea[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2022, 58(1): 90-98.
- [16] 陈春华, 吴钟解, 张光星. 新村港海草床的生态状况及可持续利用探讨[J]. 海洋开发与管理, 2011, 28(11): 74-78.
- CHEN C H, WU Z J, ZHANG G X. Ecological status and sustainable utilization of seagrass beds in Xincun bay[J]. Marine Development and Management, 2011(11): 74-78.
- [17] 涂志刚, 韩涛生, 陈晓慧, 等. 海南陵水新村港与黎安港海草特别保护区大型底栖动物群落结构与多样性[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(1): 41-48.
- TU Z G, HAN T S, CHEN X H, et al. The community structure and diversity of macrobenthos in Linshui Xincungang and Li'angang Seagrass Special Protected Area, Hainan[J]. Marine Environmental Science, 2016, 35(1): 41-48.
- [18] 柯盛. 流沙湾底栖贝类生物多样性与马氏珠母贝的养殖容量研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010.
- KE S. The biodiversity of benthic shellfishes in Liusha Bay and carrying capacity of *Pinctada fucata martensii*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010.
- [19] 苏治南, 邱广龙, 范航清, 等. 人为物理干扰对海草群落及大型底栖动物的生态影响[J]. 广西科学, 2017, 24(5): 474-482.
- SU Z N, QIU G L, FAN H Q, et al. Ecological effects of physical disturbance on seagrass community and associated macrobenthos[J]. Guangxi Sciences, 2017, 24(5): 474-482.
- [20] SEITZ R D, EWERS LEWIS C J. Loss of seagrass results in changes to benthic infaunal community structure and decreased secondary production [J]. Bulletin of Marine Science, 2018, 94(4): 1 273-1 292.
- [21] VALDEZ S R, SHAVER E C, KELLER D A, et al. A survey of benthic invertebrate communities in native and non-native seagrass beds in St. John, USVI[J]. Aquatic Botany, 2021, 175: 103448.
- [22] WONG M C. Secondary production of macrobenthic communities in seagrass (*Zostera marina*, eelgrass) beds and bare soft sediments across differing environmental conditions in Atlantic Canada[J]. Estuaries and Coasts, 2018, 41(2): 536-548.
- [23] BARNES R S K. Patterns of benthic invertebrate biodiversity in intertidal seagrass in Moreton Bay, Queensland[J]. Regional Studies in Marine Science, 2017, 15: 17-25.
- [24] LUNDQUIST C J, JONES T C, PARKES S M, et al. Changes in benthic community structure and sediment characteristics after natural recolonisation of the seagrass *Zostera muelleri*[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 13250.
- [25] 敬永杰, 刘凯, 管卫兵. 水产养殖环境中稳定同位素方法应用进展[J]. 海洋湖沼通报, 2018(4): 119-125.
- JING Y J, LIU K, GUANW B. The application of stable isotopes in aquaculture environments[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(4): 119-125.
- [26] 徐步欣, 张剑, 郎尚昆, 等. 海南文昌沿岸海草床的现状及其退化因素分析[J]. 应用海洋学学报, 2022, 41(4): 614-624.
- XU B X, ZHANG J, LANG S K, et al. Ecological status and degradation factors in seagrass beds along the coast of Wenchang, Hainan[J]. Journal of Applied Oceanography, 2022, 41(4): 614-624.
- [27] 国家海洋局. 海洋监测规范: 第7部分 近海污染生态调查和生物监测: GB 17378.7—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 18-23.
- State Oceanic Administration. The specification for marine monitoring—Part 7: ecological survey of offshore pollution and biological monitoring: GB 17378.7—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 18-23.
- [28] MCNAUGHTON S J. Relationships among functional properties of Californian grassland[J]. Nature, 1967, 216(5 111): 168-169.
- [29] SHANNON C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27: 379-423, 623-656.
- [30] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: Wiley-Inter Science, 1969.
- [31] MARGALEF R. Diversidad de especies en las comunidades naturales[J]. Publicacions del Institute de Biologia Aplicada, 1951, 9(5): 5.
- [32] CLARKE K R, WARWICK R M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness[J]. Mairne Ecology Progress Series, 2001, 216(3): 265-278.
- [33] 张衡, 朱国平. 长江河口潮间带鱼类群落的时空变化[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2 519-2 526.
- ZHANG H, ZHU G P. Spatio-temporal changes of fish community in Yangtze estuary intertidal zone[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 216(3): 265-278.
- [34] 黄小平, 黄良民, 李颖虹, 等. 华南沿海主要海草床及其生境威胁[J]. 科学通报, 2006, 51(增刊2): 114-119.
- HUANG X P, HUANG L M, LI Y H, et al. Main seagrass beds and their habitat threats along the coast of South China[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(S2): 114-119.

- [35] 范航清, 彭胜, 石雅君, 等. 广西北部湾沿海海草资源与研究状况[J]. 广西科学, 2007, 14(3): 289-295.
FAN H Q, PENG S, SHI Y J, et al. The situations of seagrass resources and researches along Guangxi coasts of Beibu Gulf[J]. Guangxi Sciences, 2007, 14(3): 289-295.
- [36] 黄小平. 中国南海海草研究[M]. 广州: 广东经济出版社, 2007.
HUANG X P. Studies on seagrass in the South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Economic Publishing House, 2007.
- [37] 黄小平, 江志坚, 张景平, 等. 广东沿海新发现的海草床[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 132-135.
HUANG X P, JIANG Z J, ZHANG J P, et al. Newly discovered seagrass beds in the coastal seas of Guangdong Province[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(1): 132-135.
- [38] 黄小平. 中国热带海草生态学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
HUANG X P. Ecological studies on tropical Seagrass in China[M]. Beijing: Science Press, 2019.
- [39] 李洋. 海南岛东海岸海草场大型底栖动物研究[D]. 海口: 海南大学, 2015.
LI Y. Study of macrobenthic at seagrass beds in the east coast of Hainan Island[D]. Haikou: Hainan University, 2015.
- [40] BELL J, WESTOBY M. Abundance of macrofauna in dense seagrass is due to habitat preference, not predation[J]. Oecologia, 1986, 68(2): 205-209.
- [41] ATTRILL M, STRONG J, ROWDEN A. Are macroinvertebrate communities influenced by seagrass structural complexity? [J]. Ecography, 2000, 23(1): 114-121.
- [42] LEE S, FONG C, WU R. The effects of seagrass (*Zostera japonica*) canopy structure on associated fauna: a study using artificial seagrass units and sampling of natural beds[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 259(1): 23-50.
- [43] SANDERS H. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships[J]. Limnology and Oceanography, 1958, 3(3): 245-258.

Preliminary study on characteristics of macrobenthic communities in seagrass bed areas in South China Coast

GUO Zhiming^{1,2,3,4}, YANG Xi^{1,2,3,4}, YU Wei^{1,2,3,4}, YANG Zhenxiong^{1,2,3,4}, LÜ Yihua^{1,2,3,4*}

(1. South China Sea Ecological Center, MNR, Guangzhou 510300, China;

2. Nansha Islands Coral Reef Ecosystem National Observation and Research Station, Hainan, Guangzhou 510300, China;

3. Hanjiang Estuary-Nansha Island Marine Ecosystem Observation and Research Station, Guangzhou 510300, China;

4. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, MNR, Guangzhou 510300, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics and regional differences of macrobenthic communities in seagrass beds in South China Coast, a survey was carried out in 12 seagrass beds in South China Coast in 2020. A total of 33 sections and 99 sites were investigated and the species composition, density, biomass, dominant species and the diversity parameters of macrobenthic community were calculated. Then we use statistical methods such as correlation analysis, cluster analysis, nMDS analysis and similarity analysis to describe the characteristic of the macrobenthic community and its relationship with seagrass communities. A total of 199 species of macrobenthos from 9 phyla were identified, among which mollusk species accounted for 39.7%. The average density of benthos was 155.7 ind/m² with the lowest density in Qingge-longwan (Qionghai) and the highest in Zhenzhu Bay (Fangchenggang). The average biomass was 118.36 g/m² with the lowest biomass Yifeng River (Shantou) and the highest in Zhenzhu Bay (Fangchenggang). The dominant species of benthos were mainly gastropods, bivalves and polychaetes. The average species diversity index of benthos was 1.12 with the lowest in Tangjia Bay (Zhuhai) and the highest in Tieshan Port (Beihai). The most parameters of macrobenthic community showed generally higher in order of Beibu Gulf > Hainan coast > Pearl River Estuary and eastern Guangdong. The regional characteristics of macrobenthic communities of seagrass beds were obvious, and the characteristics of the macrobenthic community were similar in closer seagrass bed areas. The higher the seagrass density and total biomass, the higher the species diversity index. The community structure of macrobenthos in seagrass beds dominated by large and medium-sized seagrass was more complex than that in small seagrass beds.

Key words: marine ecology; seagrass beds; macrobenthos; community characteristic; South China Coast

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.20220703002

* Corresponding author (E-mail: yihualyu0607@163.com)

(责任编辑:方建勇)