

文章编号: 1674-5566(2018)02-0238-12

DOI:10.12024/jsou.20170902125

春季闽北海域大型底栖动物群落特征及环境质量分析

程 宏^{1,2}, 王金辉³, 唐娅菲^{1,2}, 郑碧琪⁴, 鲁 超⁴

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家海洋局 东海环境监测中心, 上海 201206; 3. 国家海洋局 东海分局, 上海 200137; 4. 国家海洋局 宁德海洋环境监测中心站, 福建 宁德 352000)

摘 要: 根据 2016 年春季闽北近岸海域采集的大型底栖动物样品和环境资料, 分析了其群落结构特征, 并采用 Shannon-Wienener 多样性指数(H')、多变量 AMBI 指数、M-AMBI 指数对底栖动物生态环境质量进行评价。结果显示, 本次调查共鉴定出大型底栖生物 8 大类 62 种, 种类组成以环节动物(34 种)和软体动物(10 种)为主, 主要优势种为棒锥螺(*Turritella bacillum*)、不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、双腮内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*)以及棘刺锚参(*Protankyra bidentata*)。大型底栖动物物种数、生物密度偏低, 出现小型化和低质化现象, 生态群落等级以底栖生物敏感种(EGI)、惰性种(EGII)、耐受种(EGIII)和第二级机会种(EGIV)物种为主。底栖环境是影响底栖生物生态质量和群落结构的重要因素。根据 H' 、AMBI 以及 M-AMBI 的评价结果, 闽北近岸底栖动物多样性指数偏低, 环境质量基本处于良、中、差状态, 3 种指数对福建北部近岸大型底栖生物评价结果不完全一致, 结合调查数据与群落结构特征, H' 、M-AMBI 指数评价结果的合理性高于 AMBI 指数。

关键词: H' 、AMBI、M-AMBI; 底栖动物群落结构; 生态环境质量; 闽北近岸
中图分类号: S 932.8 **文献标志码:** A

随着社会经济的快速发展, 人们对于资源的需求日益增加, 近海岛屿和港湾资源的开发与利用成为沿海经济的重要来源。沿海城市、沿岸工业与湾内养殖业不断兴起, 使得大量的城市生活污水、工业废水以及养殖污水排入到港湾海域, 这可能会使港湾生态系统以及海洋生态环境遭到严重地破坏。海洋底栖生物由于行动相对迟缓, 常固定生活在海底的表面和沉积物中, 其摄食与活动均和碳、氮、硫、磷以及其他金属元素等有关^[1-2], 任何对底栖生物栖息地的破坏, 都可从底栖动物的群落结构中得到响应, 所以底栖生物可作为海洋生态环境监测的指示生物。因此, 研究大型底栖动物的群落结构组成, 可以深入了解其底栖生态环境质量现状, 为环境管理者和决策者制定科学有效的环境保护措施奠定坚实的基础。

国内外对于海洋底栖生物的研究相对较多。起初主要是利用丰度和生物量作为评价指标来

调查与判定底栖生物生境质量状况, 随着海洋生物多样性研究的不断深入, 生物评价指数得以迅速发展, 常用的生物评价指数通常为 Shannon-Wienener 指数^[3]。后来由于人为活动的增强, 海洋底栖生物受到的环境压力也在不断地变大, 准确合理地反映底栖动物生态环境质量尤为重要, 好的生物评价指数逐渐成为研究的焦点, 如 BORJA 等在海洋生物指数的基础上创建的 AMBI 以及融入因子分析的 M-AMBI 指数, 最初被用于反映欧洲沿海和河口海域生态系统健康状况, 后面证实在不同的环境压力下, 如水体富营养化、航道清淤、海产品养殖等, 该指数评价法均可使用^[4]。近年来, 该指数也被多次应用于评价我国近岸海域及河口地区的生态环境质量状况, 如蔡文倩等^[5-6]利用该指数进行渤海湾、环渤海潮间带以及长江口的底栖生物生态环境质量研究; 吴海燕等^[7]将其利用于罗源湾的生态环境质量评价

收稿日期: 2017-09-01 修回日期: 2017-10-18

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305027)

作者简介: 程 宏(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物与生态。E-mail: 1430623092@qq.com

通信作者: 王金辉, E-mail: wangjinhui@eastsea.gov.cn

研究,其广泛性和适用性都得到了认可和肯定。

闽北海域环境复杂,存在多个海湾养殖,港口来往船只较多,且有闽江口冲淡水的影响,海域环境受人为扰动因素较多。为了能够将生物资料与相应环境资料相结合,定量地反映研究区的污染与生物受扰动情况,本文将选用 Shannon-Wienener 多样性指数、多变量 AMBI 指数以及 M-AMBI 指数这三种方法,以 2016 年春季闽北近岸海域生物与环境调查数据为基础,对闽北海域大型底栖生物群落结构特征进行分析并评价其环境质量,同时分析比较不同指数的合理性。

1 材料与方法

1.1 调查海域及采样方法

调查范围为 25°31'15.104" ~ 27°14'14.503"

N,119°28'2.125" ~ 120°59'38.13"E,具体经纬度见表 1,途径沙埕港、福宁湾、三沙湾、罗源湾和闽江口等 5 个主要港湾,共布设 18 个站位,具体位置见图 1。

调查采用挖斗式采泥器(QNC7-1),取样面积 0.05 m²,每个站位重复取样 4 次,用孔径为 0.5 mm 的套筛筛选,4 次取样获得的样品合并作为该站该次采样 0.2 m² 内样品,样品的现场处理、现场分析以及资料整理均按《海洋调查规范》(GB 12763—2007)的有关规定进行,水体的 pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、活性磷酸盐(PO₄-P)、无机氮(DIN)以及油类的保存和分析方法均按照《海洋监测规范》(GB17378.4—2007)的规定执行。

表 1 2016 年春季航次站位地理位置表

Tab. 1 Geographical locations for voyage in spring 2016

站位编号 Stations	经度 Longitude	纬度 Latitude	站位编号 Stations	经度 Longitude	纬度 Latitude
M1	120°51'04.000"	27°6'27.000"	M10	120°26'28.000"	26°20'00.000"
M2	120°28'14.542"	27°6'26.345"	M11	120°9'36.000"	26°18'40.000"
M3	120°33'00.000"	27°0'00.000"	M12	119°53'57.000"	26°23'42.000"
M4	120°19'31.074"	26°59'35.050"	M13	119°44'00.000"	26°10'16.000"
M5	120°14'49.704"	26°52'56.173"	M14	120°8'40.000"	26°3'14.000"
M6	120°24'00.000"	26°51'20.000"	M15	119°49'54.070"	25°58'53.490"
M7	120°11'03.560"	26°44'36.343"	M16	119°41'29.958"	25°50'57.217"
M8	120°23'40.000"	26°37'02.000"	M17	119°54'21.000"	25°49'54.000"
M9	120°7'30.000"	26°30'00.000"	M18	119°46'18.721"	25°43'22.918"

1.2 数据处理与分析

采用 Shannon-Wienener 多样性指数(H')以及相对重要性指数(IRI)进行优势种和多样性分析,计算公式如下:

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

$$IRI = (W + N) \times F \times 10000 \quad (2)$$

式中: S 为样品中的总种数, P_i 为样品中第*i*种的个数同总个数的比值, W 为某一类生物量占总生物量的百分比, N 为某一类生物的丰度占总丰度的百分比, F 为该种的出现频率。 H' 的评价标准为:生态质量优,≥4;良,3~4;中,2~3;差,1~2;劣,<1。并采用陈国宝、江艳娥等的 IRI 范围划分标准:若 $IRI \geq 500$,则该物种为优势种;若 $500 > IRI \geq 100$,则该物种为主要种;若 $100 > IRI \geq 10$,则该物种为一般种;若 $IRI < 10$,则该物种为少见种^[8-10]。

AMBI(AZTI's Marine Biotic Index)指数和 M-AMBI 指数均用 AMBI 5.0 软件包计算,生态分组依据 2012 年 5 月的生物分组表进行分组^[4](EG I~EG V 分别代表底栖生物敏感种、惰性种、耐受种、第二级机会种和第一级机会种),AMBI 评价标准为:无扰动(undisturbed),0~1.2;轻度扰动(slightly disturbed),1.3~3.3;中度扰动(moderate disturbed),3.3~4.3;严重扰动(seriously disturbed),4.3~5.5;极度扰动(extremely disturbed),>5.5。M-AMBI 的评价标准为:“差”(bad),<0.20;“不良”(poor),0.20~0.39;“中等”(moderated),0.39~0.53;“好”(good),0.53~0.77;“高”生态质量状况(high ecological status),>0.77^[11]。

采用 SPSS 13.0 软件包中的 Correlate 分析(Pearson)对生物指数与指标进行相关关系计算,

本研究所有图片由 Surfur 12.0 软件和 Microsoft Excel 97-2003 生成。

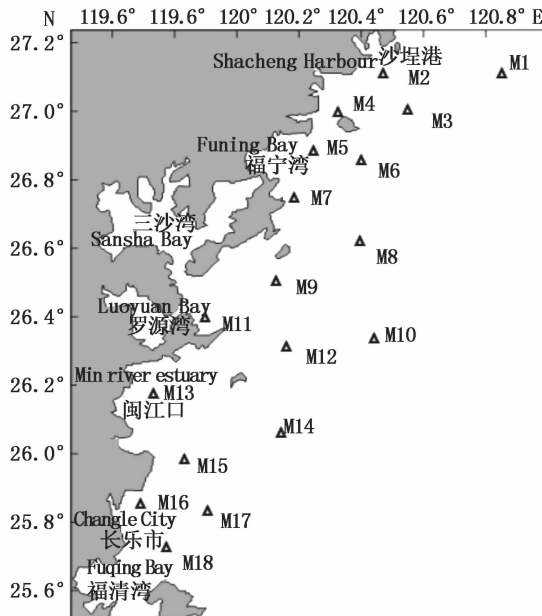


图1 2016年春季航次采样站位示意图

Fig.1 Sampling stations for voyage in spring 2016

2 结果与分析

2.1 种类组成及优势种

调查显示,闽北近岸海域底栖生物种类组成以环节动物和软体动物为主,共采集到大型底栖生物8大类62种,环节动物种类最多,有34种,占总种数的56.7%;其次为软体动物10种,占总种数的16.7%;棘皮动物4种,占总种数的6.7%;节肢动物4种,占总种数的6.7%;甲壳动物5种,占总种数的8.3%;脊索动物3种;扁形、纽形动物各1种。各站位物种数分布如图2所示。

总体来看调查区不同站位物种数有所差异,且底栖生物种类较少。最低值位于M15(2种),最高值位于M14(15种)。高值区位于沙垵港海域和福宁湾海域,低值区位于罗源湾、闽江口和福清湾近岸,但近岸以外海域物种数相对较多。

综合生物量、丰度以及出现频率这几种因素,计算得出该调查区域的主要优势种为棒锥螺($IRI = 1156$)、不倒翁虫($IRI = 930$)、双腮内卷齿蚕($IRI = 618$)以及棘刺锚参($IRI = 588$)。其他主要种有丝异须虫(*Heteromastus filiformis*, $IRI = 357$)、钩虾(*Gammarus. sp.*, $IRI = 372$)、红狼牙鰨

虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*, $IRI = 213$)等。

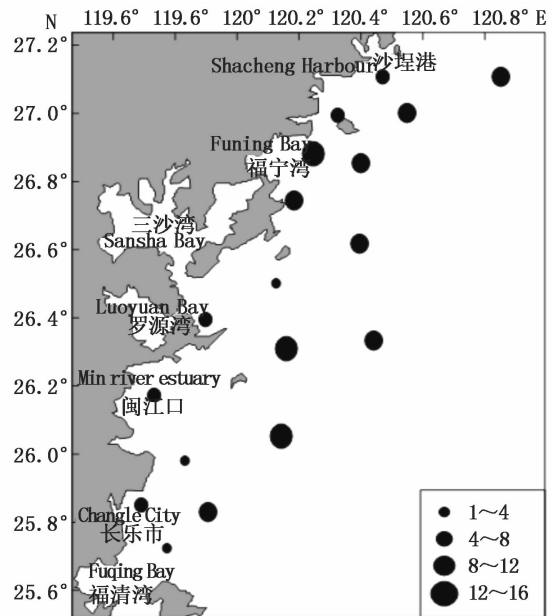


图2 闽北近岸各站位物种数分布

Fig.2 Species number distribution of each station

2.2 生物量和丰度

调查海域平均丰度和生物量为 77.65 ind/m^2 和 25.36 g/m^2 。M9 站位生物量 (79.15 g/m^2) 最大,但该站位物种数仅有3种,且丰度值 (20 ind/m^2) 远小于平均丰度值,生物量基本是个体较大的棘刺锚参所贡献;M4 站位丰度值 (165 ind/m^2) 最大,该站为有较多的棒锥螺;M1 站位生物量 (0.15 g/m^2) 与丰度值 (5 ind/m^2) 最小,该站位剔除了与本研究无关的其他物种。底栖动物丰度组成以环节动物多毛类为主(除个别站位棒锥螺较多外);各站位环节动物所占丰度均超过30%以上,生物量组成以软体动物居首,占总生物量的32.3%。具体见表2和图3(a、b)。

2.3 物种生态分组

经分析,调查站位共有大型底栖生物62种,生态分组筛选后,被分入相应的生态组别的物种有54个,除M16站外,其他站均适用于 AMBI 和 M-AMBI。分组结果显示,EG I、EG II、EG III 和 E IV 为闽北近岸大型底栖动物主要生态群落等级,4个生态群落等级所占比例分别为34.7%、30%、20.7%和8.7%,各站位内生态分组占比如图4所示。

表 2 闽北海域底栖动物的丰度 (ind/m²) 和生物量 (g/m²)
Tab.2 The abundance (ind/m²) and biomass (g/m²) of macrozoobenthos

调查站位 Stations	软体动物 Mollusc		环节动物 Annelid		棘皮动物 Echinoderm		其他动物 Others		所有动物 All	
	生物量 Biomass	丰度 Abundance	生物量 Biomass	丰度 Abundance	生物量 Biomass	丰度 Abundance	生物量 Biomass	丰度 Abundance	生物量 Biomass	丰度 Abundance
M1	0	0	8.45	40	8.65	10	2.60	15	19.70	65
M2	0	0	2.15	35	0	0	0.05	10	2.20	45
M3	10.60	55	6.15	105	0	0	2.15	5	18.90	165
M4	60.65	105	1.65	35	0	0	0.40	25	62.70	165
M5	27.25	40	1.20	45	1.00	5	0.65	25	30.10	115
M6	0.80	15	2.90	75	0.90	10	0.05	5	4.65	105
M7	22.60	25	0.35	20	1.00	5	0.65	25	24.60	75
M8	1.75	10	2.25	65	36.80	20	0.05	5	40.85	100
M9	0	0	0.20	5	77.40	10	1.55	5	79.15	30
M10	1.65	20	2.15	45	0	0	0.70	15	4.50	80
M11	0.30	5	4.00	90	0	0	0.35	20	4.65	115
M12	0.25	5	6.05	15	0.40	5	0	0	6.45	20
M13	0	0	6.05	15	0.40	5	0	0	6.45	20
M14	0	0	9.45	100	0.60	5	20.25	20	30.30	115
M15	0	0	0.15	5	0	0	0.35	5	0.50	5
M16	6.50	15	2.40	15	0	0	56.70	5	65.60	30
M17	0	0	2.20	75	1.55	10	1.10	35	4.85	120
M18	0.30	10	2.55	5	0	0	0	0	2.85	15
平均 Average	7.37	16.94	3.01	44.44	7.13	4.44	4.91	12.78	25.36	77.65

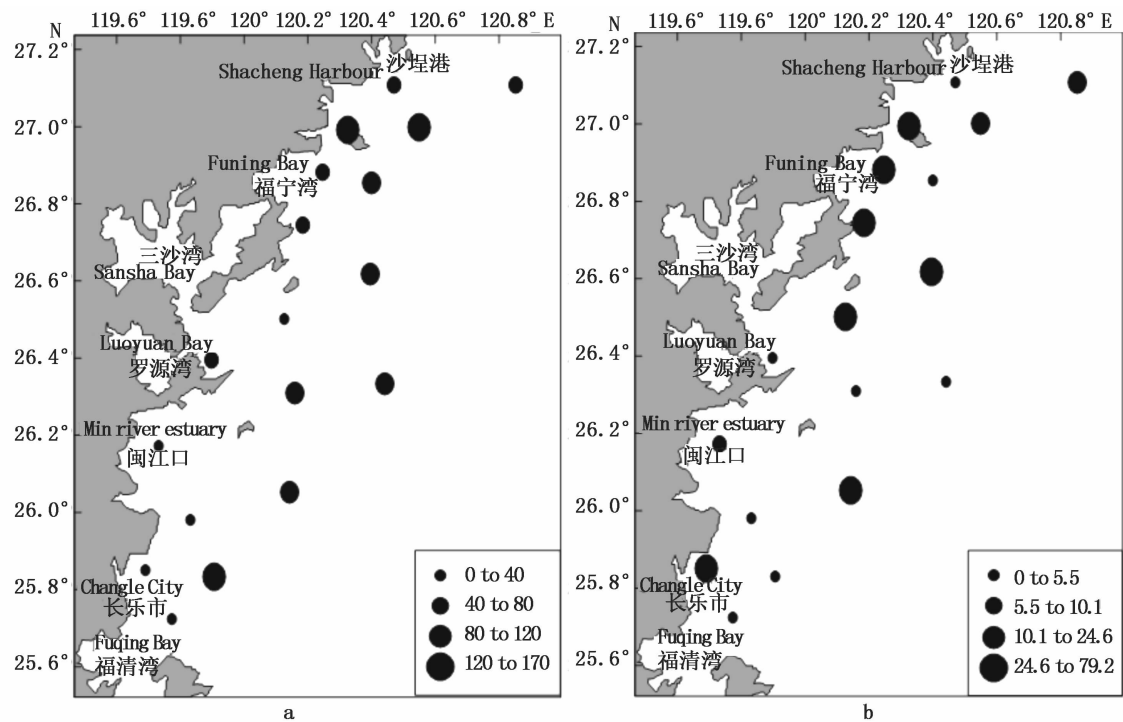


图 3 闽北海域底栖动物丰度 (a)、生物量 (b) 平面分布情况

Fig.3 Plane distribution of abundance and biomass

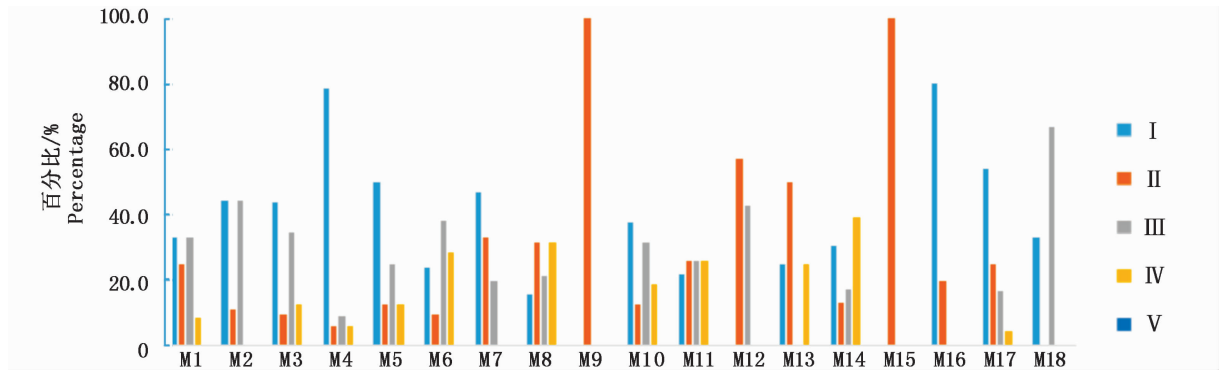


图4 闽北近岸各站位底栖动物生态等级所占百分比

Fig. 4 The percentage of benthic ecological grade in Northern Fujian coastal

其中, M2、M3、M4、M5、M7、M10、M16 和 M17 站位底栖动物以 EG I 为主, 代表种为丝须异虫、双鳃内卷齿蚕、钩虾、棒锥螺等。M8、M9、M11、M12、M13 和 M15 站位以 EG II 为主, 本次调查出现频率较高的有豆形短眼蟹 (*Xenophthalmus pinnotheroides*)、长吻沙蚕 (*Glycera chirori*)、暖湿内卷齿蚕 (*Aglaophamus tepens*)、薄倍棘蛇尾 (*Amphiplus praestans*) 等。M1、M6、M18 站位以 EG III 为主, 频率较高的有不倒翁虫 (*Sternaspis scutata*)、后指虫 (*Laonice cirrata*)、西方似蛭虫 (*Amacana occidentalis*)、秀丽波纹蛤 (*Raetellops pulchella*); M14 站位以 EG IV 为主, 代表种有奇异稚齿虫 (*Paraprionospio pinnata*) 毛须鳃虫 (*Cirriformia filigera*)、双行拟单指虫 (*Cossurella dimorpha*)、深沟毛虫 (*Sigambra bassi*)。另外, 调查区没有出现 EG V 等级物种。

2.4 生物指数分析

对调查海域的各站位底栖动物进行 Shannon-Wienener 指数 (H')、 AMBI 和 M-AMBI 指数的计算, 结果显示:

H' 的高值区出现在调查海域 M1、M6、M11、M14 和 M17 站位, 该 5 个站位的物种数均是 10 种以上, 且种类数较多, 站位离岸距离较远, 底栖生物生态质量良好。低值区出现在 M4、M9、M15 和 M18 站位, 这 4 个站位的物种数较少 (除 M4 站位外其他站位只有 2 到 3 种), 站位基本位于湾口附近, 底栖生物生态质量差 (表 3、图 5)。

AMBI 指数没有出现高值, 低值出现在福宁湾附近的 M4、M7 站以及福清湾以北的 M16 和 M17 站, 表明这 4 个站底栖生境处于未被扰动状态。另外, 闽江口附近以及闽江口以北所有站位 (M8、M9、M10、M11、M12) 的 AMBI 值均处于 1.2~3.3 之间, 表明这些站位底栖生境均属于轻微扰动状态 (表 3、图 5)。

M-AMBI 的最小值在闽江口以南附近的 M15 站, 说明该站位的底栖环境质量差。沙埕港与福宁湾之间的调查海域的所有站位和罗源湾附近的 M12、M9 站, 闽江口的 M13 站, 福清湾湾口的 M18 站以及近岸以外的 M8、M10 站的 M-AMBI 值均是中值区 (0.39~0.77), 说明这些站位的底栖环境质量处于中等或良好状态。另外福清湾附近的 M7 站和闽江口外面海域的 M11、M14 和 M17 站 M-AMBI 值处于高值区 (≥ 0.77), 说明这 4 个站位的底栖环境质量很高 (表 3、图 5)。

2.5 非生物要素质量状况

依据国家海水水质标准 (GB 3097—1997), 对调查海域底层水的 pH、溶解氧 (DO)、化学需氧量 (COD)、活性磷酸盐 ($PO_4\text{-P}$)、无机氮 (DIN) 以及油类进行评价, 结果显示闽北海域调查区域的 pH 和 COD 均符合一类海水水质标准。个别站位的 DO 超二类海水水质标准, 少数站位的 $PO_4\text{-P}$ 和油类超一、二类海水水质标准, 但较多站位的 DIN 出现超一、二、三类甚至超四类海水水质标准。具体情况见表 4。

表 3 H' 、AMBI 和 M-AMBI 底栖生态质量状况评价结果
 Tab. 3 Assessment results of benthic ecological quality of H' , AMBI and M-AMBI

站位 Stations	H'	AMBI	M-AMBI
M1	Good(良)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M2	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M3	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M4	Poor(差)	Undisturbed(无扰动)	Moderate(中等)
M5	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M6	Good(好)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M7	Good(好)	Undisturbed(无扰动)	High(高)
M8	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M9	Poor(差)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Moderate(中等)
M10	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M11	Good(良)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M12	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Good(好)
M13	Moderate(中)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Moderate(中等)
M14	Good(良)	Slightly disturbed(轻度扰动)	High(高)
M15	Poor(差)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Poor(不良)
M16	Moderate(中)	Undisturbed(无扰动)	Good(好)
M17	Good(良)	Undisturbed(无扰动)	High(高)
M18	Poor(差)	Slightly disturbed(轻度扰动)	Moderate(中等)

3 讨论

3.1 群落结构特征分析

根据东海区海域调查结果(表 5),江苏近岸、长江口-杭州湾附近海域底栖生物平均密度要低于本次闽北近岸的调查结果,浙江中南近岸海域平均密度高于闽北近岸。本次调查的物种数普遍低于其他海域。根据《东海区海洋环境状况公报》,福建近岸海域大型底栖生物物种数多,平均密度高。与之相比,本次调查只有个别站位的密度值达到其平均值,总的来看物种数与密度值相差较远,且物种分布呈现较为明显的空间异质性,福宁湾海域附近的 M3 ~ M9 站位基本都是软体动物和棘皮动物,且物种数和生物量在该海域普遍较高,闽江口到福清湾以北海域的物种数、密度以及生物量都普遍很低,这可能是受到闽江口冲淡水的影响,河口是陆海相互作用的典型区域,受工、农业和人类活动的影响较大,陆源冲淡水会使得河口区无机氮、硅酸盐等的含量升高,使得水域富营养程度提高,造成生物多样性降

低。水化学参数评价结果显示闽江口到福清湾以北海域的水中无机氮含量基本属于超标状态,另外,《2016 中国近岸海域环境质量公报》显示闽江口海域水质处于极差状态,这都与本次调查的结果相一致。

另外本次调查的底栖动物中环节动物多达 56.7%,基本都是个体较小的多毛类。只有个别站位出现个体较大的物种,如棘刺锚参、棒锥螺,但是所占比例很少。结合多样性指数 H' 值的分布来看,整个闽北近岸多样性指数偏低(图 5),这说明闽北近岸的底栖生物出现小型化和低质化现象,生态群落结构相对比较脆弱。闽北近岸海域环境复杂,沿海近岸有众多的海湾养殖与港口基地,且在调查海域以南有闽江入海口,冲淡水形成区域的底栖生物会受到不同温度与盐度以及营养盐的影响,结合人类养殖活动对海洋环境的干扰,区域环境变化明显,这是造成底栖生物群落趋向小型化的原因,类似的情况也发现于渤海湾海域、莱州湾、长江口海域等^[12-16]。

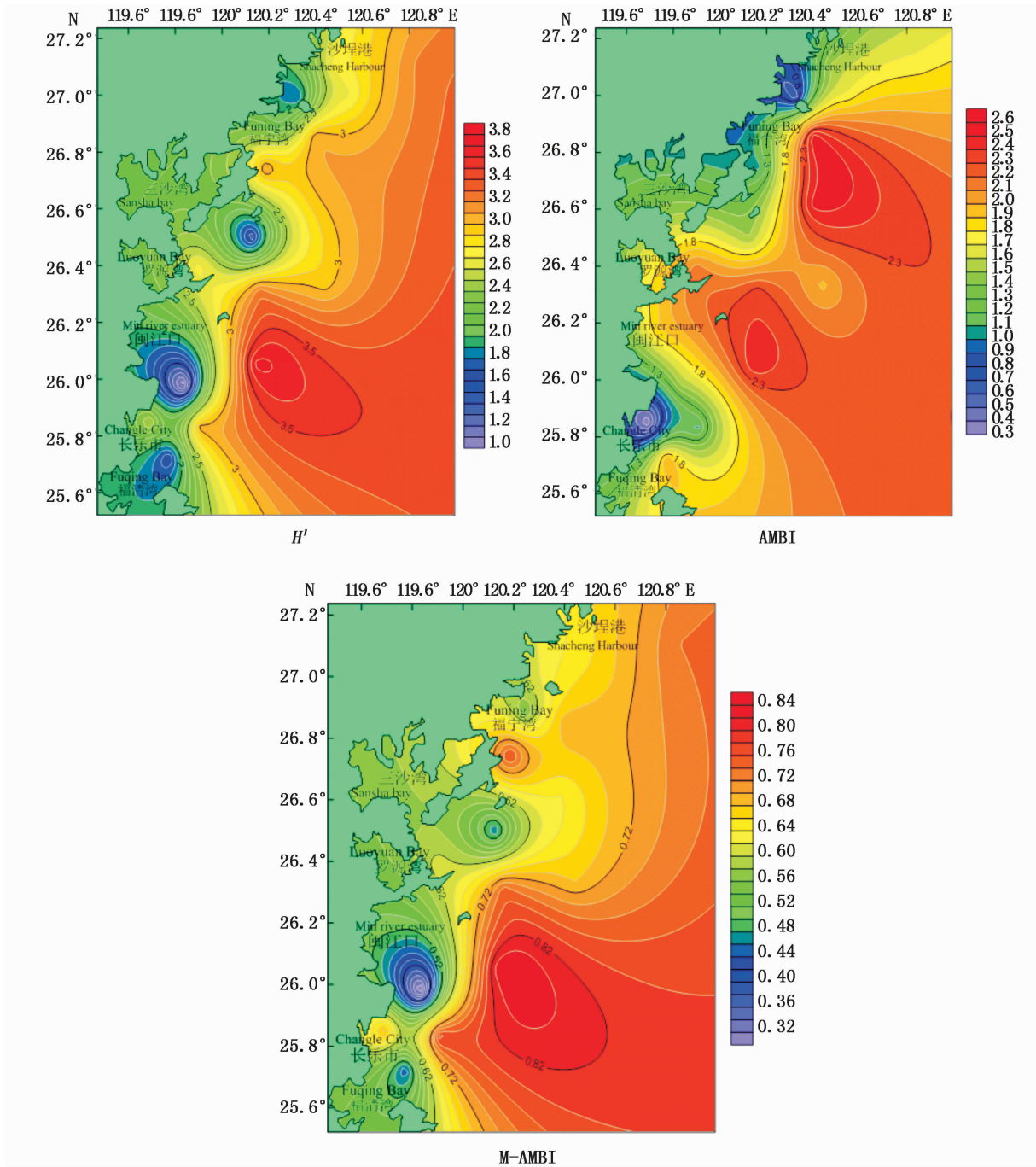


图 5 闽北底栖动物 H' 、AMBI 和 M-AMBI 指数的空间分布
Fig.5 Spatial distribution of H' , AMBI and M-AMBI indexes

表 4 闽北近岸水化学参数质量情况

Tab. 4 The quality of coastal water chemical parameters

站位 Stations	pH	DO	COD	PO ₄ -P	DIN	油类 Oil
M1	A	A	A	A	A	A
M2	A	A	A	A	A	A
M3	A	A	A	B	A	A
M4	A	A	A	C	E	A
M5	A	A	A	A	E	B
M6	A	A	A	A	B	A
M7	A	A	A	A	B	B
M8	A	A	A	A	B	A
M9	A	A	A	A	C	B
M10	A	A	A	A	A	A
M11	A	A	A	A	B	A
M12	A	A	A	A	A	A
M13	A	A	A	B	B	A
M14	A	A	A	A	A	A
M15	A	C	A	A	D	A
M16	A	A	A	A	A	A
M17	A	A	A	A	B	B
M18	A	C	A	A	E	A

注:A、B、C、D、E 分别代表一、二、三、四和超四类海水水质标准

Note:A, B, C, D and E represent one or two, three, four and over four sea water quality standards, respectively

表 5 2016 年东海区大型底栖动物密度与物种数

Tab. 5 Biomass and species numbers of macrozoobenthos in the East China Sea in 2016

时间 Time	江苏近岸 Jiangsu coastal area		长江口- 杭州湾附近海域 The Yangtze River Estuary - Hangzhou Bay near the sea		浙江中南近岸海域 South central coastal waters of Zhejiang		福建近岸海域 Fujian coastal waters		本次调查 This survey	
	密度 Density	物种数 Species	密度 Density	物种数 Species	密度 Density	物种数 Species	密度 Density	物种数 Species	密度 Density	物种数 Species
2016	11	113	26	128	147	167	130	262	78	62

3.2 生物生态分组

本次调查的底栖生物,根据目前的物种分组表(<http://ambi.azti.es>),基本都能够被分入相应的生态组别,只有一小部分生物找不到对应的组分。未被划入相应分组的生物一种是对 AMBI 指数计算的无关种,另外一种是由于我们的研究者对于某些生物的研究程度有限,具体的生物学和环境资料掌握不详细,因此不能对其进行分组^[17]。在本次分组中还有部分物种种名不能在已有的物种名单中找到,但是能对应到其属名,属名相同的物种其生态组别一般来说是相同的^[4],所以这次调查中不能找到种名的物种被分入到了属名相同的生态组别。

一般情况下,敏感种所占比例越大说明海域环境质量越好,结合本次调查的优势种以及主要

种的生态等级来看,棒锥螺、双腮内卷齿蚕、丝异须虫和钩虾均属于敏感种,不倒翁虫、棘刺锚参分别属于耐受种和惰性种,正是因为适宜的生存环境才会产生优势种和主要种,所以优势种与主要种的生态等级能够反映出海域生态环境质量整体情况,根据等级划分结果可知,调查海域耐受种和惰性种占了大部分的比例,两者所占总比例达到 50.7%,远远高于敏感种所占比例,因此该调查海域的物种组成还是以耐受种和惰性种为主,说明调查海域环境受到扰动。

3.3 不同指数评价结果的合理性

H' 、AMBI、M-AMBI 指数均能在一定程度上反映底栖动物受扰动状态,评价底栖环境压力^[18]。在我国,这 3 种指数已被用于港湾、近岸海域以及河口区的底栖生态环境质量评价,但是

不同的生物指数的评价结果往往存在一定的差异。 H' 指数与生物群落的丰富程度密切相关,同时对稀疏种更为敏感, H' 值表明闽北底栖生物多样性指数偏低。AMBI 和 M-AMBI 指数都能够响应环境压力梯度,有效地指示有机污染物、重金属污染、富营养化等环境压力梯度^[19-21]。但是运用 M-AMBI 评价生态质量状态必须设定参照状态,不同的生态质量下的参照值不同,本次调查站位的物种数表明仅 6 个站位有 10 种以上底栖动物,这说明底栖生境受到了一定程度的扰动。因此本文参照状态选择了“差”生态环境下的多样性指数、物种数参照值取 0, AMBI 的参照值取 6。M-AMBI 评价出的大部分站位生态质量处于差、中、良的状态,只有个别站位处于优生态质量状态,这与本次调查的群落结构相符。而 AMBI 评价结果显示所有站位处于轻微干扰或未受干扰的状态,这主要是因为 AMBI 指数是建立在某一站位各底栖动物栖息密度所占比例的基础之上,各站位中 EG I ~ EG V 的比例会影响评价结果,如果某个站位的敏感种、惰性种数量较多,则不管群落结构参数多低, AMBI 都会指示该站位未受干扰或轻微干扰,比如本次调查的 M15 站位,物种数只有 2 种,均属于 EG II,在 AMBI 指数的评价下也会指示处于轻微扰动状态,这就与实际调查结果存在差异。有研究表明当某一站位的底栖动物种类数(1~3 个)和个体数(<3 个)

都很少时, AMBI 的敏感程度会降低^[22]。

从整个调查海域各站位的 H' 、AMBI 和 M-AMBI 指数的平面分布来看(如图 5), H' 和 M-AMBI 指数值呈现相同的趋势,都是在近岸处低、远岸处高,说明近岸处的底栖动物生态环境相对较差,而远岸处生态环境质量高。但是 AMBI 指数的分布情况与前面两者存在一定的差异,如闽江口以南海域的站位 M15 以及福宁湾、福清湾以北的站位 M4、M18 处, H' 和 M-AMBI 指数均显示环境质量差,而 AMBI 值却显示该区域基本属于无扰动状态,另外福宁湾以东海域 AMBI 指数的评价结果明显高于 H' 和 M-AMBI 指数。结合本次非生物要素的监测结果, M15 与 M18 站位的无机氮含量均分别达到超三、四类海水水质标准, M4 处的活性磷酸盐和无机氮含量也分别达到超二、四类海水水质标准,福宁湾以东海域的无机氮和油类含量也不同程度地超一类海水水质标准。所以, H' 和 M-AMBI 指数的评价结果能与非生物因素质量的监测结果取得很好的一致性。另外,相关性分析也表明 H' 和 M-AMBI 指数与调查区域的物种数存在极显著正相关关系,与密度分别呈显著和极显著正相关关系,且 H' 和 M-AMBI 指数之间也存在极显著正相关关系,但是 AMBI 指数不与任何一方存在相关关系(表 6)。因此,本研究中 H' 和 M-AMBI 指数更能合理地评价闽北近岸的底栖生态环境质量。

表 6 多样性指数与生物指标的相地关系

Tab. 6 Correlation between diversity index and biological indexes

项目 Item	项目变量 Item variables	R 值 R value	样本数/个 Samples	P 值 P value
M-AMBI	H'	0.937 **	18	0.000
	种类数 Species	0.922 **	18	0.000
H'	密度(ind/m ²) Density	0.646 **	18	0.004
	种类数 Species	0.937 **	18	0.000
种类数 Species	密度(ind/m ²) Density	0.519 *	18	0.027
	M-AMBI	0.922 **	18	0.000
密度 Density	H'	0.937 **	18	0.000
	J	0.715 **	18	0.001
J	M-AMBI	0.646 **	18	0.004
	H'	0.519 *	18	0.027
种类数 Species	J	-0.786 **	18	0.000
	种类数 Species	0.715 **	18	0.001

注: * 表示 0.05 水平上显著相关, ** 表示 0.01 水平上显著相关

Note: * indicating significant correlations at the 0.05 level, ** indicating significant correlations at the 0.01 level

4 结论

本次调查共鉴定出大型底栖生物 8 大类 62 种,种类组成以环节动物(34 种)和软体动物(10 种)为主,分别占总种数的 56.7% 和 16.7%,主要优势种为棒锥螺、不倒翁虫、双腮内卷齿蚕以及棘刺锚参。整个调查区域大型底栖动物平均丰度和生物量为 77.65 ind/m² 和 25.36 g/m²,生态群落等级以 EG I、EG II、EG III 和 EG IV 物种为主。主要代表种为双腮内卷齿蚕、丝异须虫、不倒翁虫、长吻沙蚕以及深沟毛虫等。本次调查显示闽北近岸海域底栖动物种类偏少、生物密度偏低,出现小型化和低质化现象。

根据 H' 、AMBI 以及 M-AMBI 的评价结果,闽北近岸底栖动物多样性指数偏低,环境质量基本处于良、中、差状态,3 种指数对应的评价结果有所差异, H' 和 M-AMBI 指数的评价结果与非生物因素质量的监测结果取得很好的一致性,且多样性指数 H' 和 M-AMBI 存在极显著正相关关系,结合调查数据与群落结构特征现象, H' 、M-AMBI 指数评价结果的合理性要高于 AMBI 指数。

参考文献:

- [1] 林和山,俞炜炜,刘坤,等. 基于 AMBI 和 M-AMBI 法的底栖生态环境质量评价——以厦门五缘湾海域为例[J]. 海洋学报, 2015, 37(8): 76-87.
LIN H S, YU W W, LIU K, et al. Assessing benthic ecological status in stressed Wuyuan Bay (Xiamen, China) using AMBI and M-AMBI [J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(8): 76-87.
- [2] BORJA A, BARBONE E, BASSET A, et al. Response of single benthic metrics and multi-metric methods to anthropogenic pressure gradients, in five distinct European coastal and transitional ecosystems [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(3): 499-513.
- [3] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [4] BORJA A, FRANCO J, PÉREZ V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(12): 1100-1114.
- [5] 蔡文倩,孟伟,刘录三,等. 春季渤海湾大型底栖动物群落结构特征研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(5): 1458-1466.
CAI W Q, MENG W, LIU L S, et al. Macrozoobenthos community structure of the Bohai Bay in spring time [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 33(5): 1458-1466.
- [6] 蔡文倩,刘录三,孟伟,等. AMBI 方法评价环渤海潮间带底栖生态质量的适用性[J]. 环境科学学报, 2012, 32(4): 992-1000.
CAI W Q, LIU L S, MENG W, et al. The suitability of AMBI to benthic quality assessment on the intertidal zones of Bohai Sea [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(4): 992-1000.
- [7] 吴海燕,陈克亮,张平,等. 基于不同生物指数的罗源湾生态环境质量状况评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 825-831.
WU H Y, CHEN K L, ZHANG P, et al. Eco-environmental quality assessment of Luoyuan Bay, Fujian Province of East China based on biotic indices [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(3): 825-831.
- [8] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California Department of Fish and Game, 1971, 152: 1-105.
- [9] 陈国宝,李永振,陈新军. 南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 373-381.
CHEN G B, LI Y Z, CHEN X J. Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea [J]. Biodiversity Science, 2007, 15(4): 373-381.
- [10] 江艳娥,林昭进,黄梓荣. 南海北部大陆架区渔业生物多样性研究[J]. 南方水产, 2009, 5(5): 32-37.
JIANG Y E, LIN Z J, HUANG Z R. Biodiversity of fishery resources in the continental shelf of northern South China Sea [J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(5): 32-37.
- [11] BORJA A, TUNBERG B G. Assessing benthic health in stressed subtropical estuaries, eastern Florida, USA using AMBI and M-AMBI [J]. Ecological Indicators, 2011, 11(2): 295-303.
- [12] 刘录三,孟伟,田自强,等. 长江口及毗邻海域大型底栖动物的空间分布与历史演变[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3027-3034.
LIU L S, MENG W, TIAN Z Q, et al. Distribution and variation of macrobenthos from the Changjiang Estuary and its adjacent waters [J]. ACTA ECOLOGICA SINICA, 2008, 28(7): 3027-3034.
- [13] 刘录三,郑丙辉,李宝泉,等. 长江口大型底栖动物群落的演变过程及原因探讨[J]. 海洋学报, 2012, 34(3): 134-145.
LIU L S, ZHENG B H, LI B Q, et al. Long-term trends of macrobenthos in Changjiang Estuary, China in relation to environmental changes [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(3): 134-145.
- [14] 李宝泉,李新正,王洪法,等. 长江口附近海域大型底栖动物群落特征[J]. 动物学报, 2007, 53(1): 76-82.
LI B Q, LI X Z, WANG H F, et al. Characters of a macrobenthic community off the Changjiang River Estuary

- [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(1): 76-82.
- [15] 蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 等. 渤海湾大型底栖动物群落优势种长期变化研究[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(8): 2332-2340.
- CAI W Q, MENG W, LIU S L, et al. Long-term trends of the dominant macrozoobenthos in Bohai Bay [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(8): 2332-2340.
- [16] 周红, 华尔, 张志南. 秋季莱州湾及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(8): 80-87.
- ZHOU H, HUA E, ZHANG Z N. Community structure of Macrobenthos in Laizhou Bay and adjacent waters [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(8): 80-87.
- [17] BORJA Á, MADER J, MUXIKA I. Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0) [J]. *Revista de Investigación Marina*, 2012, 19(3): 71-82.
- [18] BORJA Á, DAUER D M, GRÉMARE A. The importance of setting targets and reference conditions in assessing marine ecosystem quality[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 12(1): 1-7.
- [19] 蔡立哲, 陈昕韡, 吴辰, 等. 深圳湾潮间带 1995—2010 年大型底栖动物群落的时空变化[J]. *生物多样性*, 2011, 19(6): 702-709.
- CAI L Z, CHEN X W, WU C, et al. Temporal and spatial variation of Macrofaunal Communities in Shenzhen Bay intertidal zone between 1995 and 2010 [J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 702-709.
- [20] CAI L Z, TAM N F Y, WONG T W Y, et al. Using benthic macrofauna to assess environmental quality of four intertidal mudflats in Hong Kong and Shenzhen coast [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 22(2): 309-319.
- [21] WU H Y, CHEN K L, CHEN Z H, et al. Evaluation for the ecological quality status of coastal waters in East China Sea using fuzzy integrated assessment method [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(3): 546-555.
- [22] BORJA A, MUXIKA I. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's marine biotic index) in the assessment of the benthic ecological quality[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 50(7): 787-789.

Research on community characteristics of macrozoobenthos and environmental quality of offshore North Fujian in spring

CHENG Hong^{1,2}, WANG Jinhui³, TANG Yafei^{1,2}, ZHENG Biqi⁴, LU Chao⁴

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea environmental monitoring center of State Oceanic Administration, Shanghai 201206, China; 3. East China Sea Branch of the State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China; 4. Ningde marine environmental monitoring center of State Oceanic Administration, Ningde 352000, Fujian, China)

Abstract: The study analyzed the features of some community structure, and evaluated ecological environmental quality of macrozoobenthos with Shannon-Wienener (H') diversity index, multivariate AMBI index and M-AMBI index according to the sample and environmental material of macrozoobenthos that were collected in offshore area of Northern Fujian in spring in 2016. The results showed it appeared 8 categories and 62 species of macrozoobenthos totally. The species composition was subject to annelid worm (34 species) and mollusc (10 species). The dominant species were *Turritella bacillum*, *Sternaspis scutata*, *Aglaophamus dibranhis*, *Protankyra bidentata*. Species and density of macrozoobenthos were low, and miniaturization and low quality appeared. The level of ecological community was subject to sensitive species (EG I), inertia species (EG II), tolerance species (EG III) and the second opportunity species (EG IV) of macrozoobenthos. Bottom-dwelling environment was an important factor to affected the ecological quality and community structure of macrozoobenthos. According to the evaluating result of H' , AMBI and M-AMBI, diversified index of macrozoobenthos in offshore area of Northern Fujian is low, and environmental quality were in good, medium and weak status, and the evaluating results of these three indexes to macrozoobenthos in offshore area of Northern Fujian were not accordance completely. According to the investigation data and features of community structure, the rationality of the evaluating result of H' and M-AMBI index was higher than AMBI index.

Key words: H' , AMBI, M-AMBI; benthic community structure; ecological environment quality; offshore North Fujian