



主持人:郭志强、李秀保

北海铁山港海域大型底栖动物群落结构研究

黄丽婷¹, 赖俊翔^{2,3}, 张荣灿^{2,3}, 蒙贝君¹, 许铭本^{2,3}

(1. 广西科学院高技术集团有限公司, 南宁 530007; 2. 广西科学院 广西海洋科学院, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 南宁 530007; 3. 北部湾海洋产业研究院, 广西 防城港 538000)

摘要: 2021年3月(春季)和2021年9月(秋季)在北海铁山港海域开展大型底栖动物调查, 共采集了24个站的样品, 进行了种类鉴定、密度、生物量、Bray-curtis相似性系数和沉积物质量分析。绘制了大型底栖动物丰度/生物量曲线(ABC曲线), 分析大型底栖动物受干扰情况。结果表明, 调查海域共采集到大型底栖动物42种, 其中环节动物19种, 节肢动物11种, 软体动物6种, 棘皮动物和脊索动物各2种, 纽形动物和刺胞动物各1种。平均密度为141 ind·m⁻², 平均生物量为96.95 g·m⁻²。春季大型底栖动物优势种为菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheroides*); 秋季大型底栖动物优势种为厦门文昌鱼(*Branchiostoma belcheri*)。春季和秋季香农-维纳指数 H' 平均值分别1.73和1.25。沉积物各评价因子标准指数均小于1。ABC曲线结果显示, 春季大型底栖动物除了F06号站受到中度干扰外, 其他站位未受到干扰; 秋季所有站位都未受到干扰。总体来看, 调查海域大型底栖动物群落稳定性较好。群落结构聚类分析和MDS分析表明, 春、秋航次各站位的群落相似度较低。

关键词: 铁山港海域; 大型底栖动物; ABC曲线; 生物多样性; 群落结构

中图分类号: Q178.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054 (2024) 05-0586-13

黄丽婷, 赖俊翔, 张荣灿, 等. 北海铁山港海域大型底栖动物群落结构研究[J]. 热带生物学报, 2024, 15(5): 601-613. doi:10.15886/j.cnki.rdswwb.20230109

北海铁山港位于北部湾东北部、广西北海市合浦县, 由石头埠港、沙田港、丹兜海和营盘港等4部分组成。该湾水域开阔, 海洋生物资源丰富, 水文条件良好, 拥有得天独厚的海岸线资源, 是广西第二大港湾, 是广西最大国家级中心渔港, 是北海市的主要工业基地商港之一。港口是海洋经济的重要枢纽, 带来巨大经济利益。但是, 随着对铁山港经济开发区的建设, 滩涂围垦面积增大、临港工业开发、废水排放、港口工程建设等人为活动对港口海域生态环境和生物多样性带来破坏。铁山港湾仅一条小型的那郊河注入港汊-丹兜海, 造成该海区自净能力较弱。内外因造成该海域生态系统脆弱^[1]。

海洋底栖动物是栖息于海洋底质表面和沉积物中的生物, 大型底栖动物作为海洋生态系统的

重要组成部分, 通过摄食、掘穴和建管等活动与周围环境发生着相互影响, 它们分布地域性强, 回避污染能力差, 对环境变化较敏感, 不仅可以作为生态与环境变化的指示, 还可以作为水质的生物评价指标^[2-4]。目前对铁山港海域环境调查的研究较多, 比如沉积物重金属^[5], 沉积物碎屑^[6], 水质营养盐分布^[7]等。但是对该海域生态调查和评价的研究较少, 仅砂壳纤毛虫生态学^[8]和红树林大型底栖动物^[1]的研究。鉴于此, 本研究于2021年3月(春季)及2021年9月(秋季)在铁山港海域开展大型底栖动物生态调查, 分析该海域的大型底栖动物的生物多样性和群落结构组成, 并通过ABC曲线评价干扰情况, 为该海域的渔业资源利用和生态环境保护提供基础资料和科学依据。

收稿日期: 2023-09-15

修回日期: 2024-03-11

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(桂科ZY21195027)

第一作者: 黄丽婷(1994-), 女, 学士。研究方向: 海洋环境。E-mail: 806102381@qq.com

通信作者: 许铭本(1983-), 男, 博士, 高级工程师。研究方向: 海洋环境。E-mail: Xmben0771@126.com

1 材料与方法

1.1 研究区域与调查方法 研究区域为铁山港海域, 位于 $121^{\circ}28'35''\sim 21^{\circ}45'00''\text{N}$, $109^{\circ}26'00''\sim 109^{\circ}45'00''\text{E}$ 。本研究于2021年3月(春季)和2021年9月(秋季)进行大型底栖动物调查, 春、秋航次各布设12个站位(图1)。调查使用开口面积为 0.05 m^2 的抓斗式采泥器进行采集, 每站采集3次(以成功抓取为准)。采集到的泥样经底层筛为 0.5 mm 的网目套筛冲洗, 捡取其中的生物。所有样品用5%福尔马林溶液固定, 带回实验室分类鉴定, 计数和称重(质量)等均按GB17378.7-2007《海洋监测规范》^[9]的大型底栖动物调查方法进行。

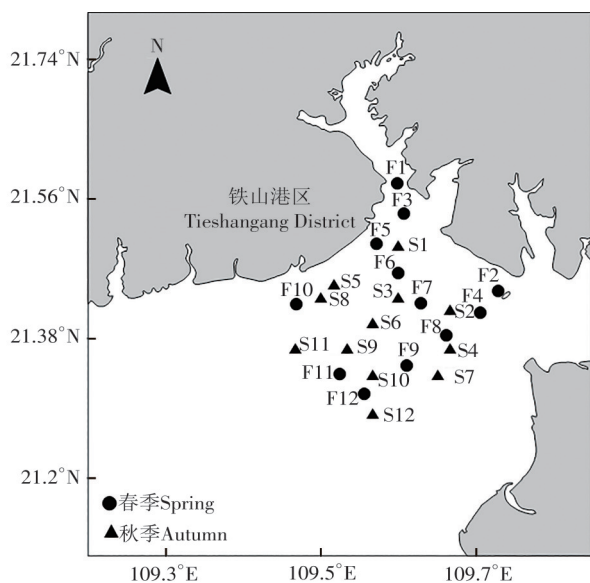


图1 调查站位图

Fig. 1 Survey stations

沉积物样品用抓斗式采泥器进行采集, 用塑料刀或勺从采泥器耳盖中仔细取上部0~1 cm表层泥样于聚乙烯袋中保存。将采集到的沉积物样品进行Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As、油类、硫化物及有机碳的含量分析, 分析方法按《海洋监测规范》^[9]的沉积物分析方法进行。其中, Cu、Pb、Cd、Cr用无火焰原子吸收法测定; Zn用火焰原子吸收法测定; Hg、As用原子荧光法测定; 油类用紫外分光光度法测定; 硫化物用亚甲基蓝分光光度法测定; 有机碳用重铬酸钾氧化-还原容量法测定。

1.2 数据分析 (1)优势种。用相对重要性指数(IRI)分析铁山港海域大型底栖动物优势种, 相对

重要性指数(IRI)全面考虑大型底栖动物种群的个体大小、数量和分布情况, 计算公式如下:

$$IRI = (W + N) \times F$$

式中, W 为每种生物量占总生物量的百分比, N 为每种丰度占总丰度的百分比, F 为该种出现的频率, $IRI > 500$ 为优势种^[10-11]。

(2)多样性指数。采用Shannon-Winener指数(H')、物种丰富度(Margalef)指数(D)、均匀度(Pielou)指数(J)分析铁山港海域大型底栖动物生物多样性, 计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i,$$

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

$$J = H' / \log_2 S.$$

式中, S 为样品中的种类总数, P_i 为第*i*种的个体数(n_i)与总个体数(N)的比值(n_i/N 或 w_i/W), N 为样品中的总个体数^[12]。

(3)ABC曲线评价。丰度/生物量曲线(ABC曲线)能够对任何物理性、生物性以及污染扰动引起的大型底栖动物群落变化作出灵敏反应^[13-14], Clarke根据ABC曲线主要原理, 研究出1个针对ABC曲线评价的统计值 W (Warwick):

$$w = \sum_{j=1}^S \left[\left(\sum_{i=1}^S b_j \right) - \left(\sum_{i=1}^S a_j \right) \right] \div 50(S - 1).$$

式中, b_j 为按生物量从高到低排列时前*j*种的累积生物量(湿质量)比例, %; a_j 为按丰度从高到低排列时前*j*种的累积丰度比例, %; W 的区间为(-1, 1)。在受干扰较小群落较为稳定的状态下, 生物量曲线基本高于丰度曲线, $W > 0$, 且 W 越大两曲线分离得越好, 表明受干扰程度越小; 反之, 当群落受到较为严重的干扰时, 丰度曲线基本在生物量曲线之上, $W < 0$, 且 W 越小两曲线分离得越好, 表明受干扰程度越大; 而当群落受到中等程度的干扰时, 两条曲线相交或重叠, W 接近于0^[15-16]。

(4)聚类分析(Cluster)和多维度排序(MDS)。采用Bray-Curtis相似性聚类分析和多维标度(MDS)排序分析研究大型底栖动物群落聚类特征, 为了降低生物量占优势的个别种类的权重, 对原始密度数据作4次方根转换, 胁强系数作为MDS排序的评价标准: 当胁强系数 < 0.05 表示吻合极好; $[0.05 \sim 0.10]$ 表示吻合较好; $[0.10 \sim 0.20]$ 表示一般吻合; > 0.30 表示吻合较差^[17-18]。

(5)单因子标准指数。本研究用单因子标准指数来评价调查海域沉积物质量状况,以《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)中第一类标准值为评价依据。单因子标准指数计算公式如下:

$$I_i=C_i/S_i$$

式中, I_i 为第 i 种检测因子的标准指数; C_i 为第 i 种检测因子的实测值; S_i 为第 i 种检测因子的标准值。当 $I_i>1$ 时,检测因子含量不符合第一类标准,沉积物质量差;当 $I_i<1$ 时,检测因子含量符合第一类标准,沉积物质量较好^[19]。

本研究中大型底栖动物优势种、丰度、生物量、多样性指数及沉积物质量用微软 Excel 统计计算;站位图、丰度、生物量及多样性指数分布图采用

Surfer14 软件绘制;ABC 曲线和聚类分析(Cluster)、多维度排序(MDS)采用 PRIMER6.0 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 种类组成与优势种 调查海域春秋两个航次采集到大型底栖动物共 7 门 42 种,其中环节动物 19 种(占 45.2%),节肢动物 11 种(占 26.2%),软体动物 6 种(占 14.3%),脊索动物和棘皮动物各 2 种(各占 4.8%),纽形动物和刺胞动物各 1 种(占 2.4%)。两个航次大型底栖动物群落种类数目均以环节动物多毛类最多。春、秋两个航次出现的总种类数目差别不大,春季为 31 种,秋季为 20 种,群落组成门类分布稍有不同(表 1)。

表 1 铁山港海域大型底栖动物各类群种数
Tab. 1 Species number of different macrobenthos groups in Tieshangang sea area

门 Phylum	春季 Spring		秋季 Autumn		春、秋季 Spring and Autumn	
	种数 Species numbers	百分比/% Percentage	种数 Species numbers	百分比/% Percentage	种数 Species numbers	百分比/% Percentage
环节动物 Annelida	16	51.6	7	35.0	19	45.2
节肢动物 Arthropoda	6	19.4	6	30.0	11	26.2
软体动物 Mollusca	4	12.9	3	15.0	6	14.3
脊索动物 Chordata	1	3.2	2	10.0	2	4.8
棘皮动物 Echinodermata	2	6.5	2	10.0	2	4.8
纽形动物 Nemertea	1	3.2	—	—	1	2.4
刺胞动物 Cnidaria	1	3.2	—	—	1	2.4
合计 Total	31	100	20	100	42	100

注:“—”表示未检测到。
Note: “—” indicates not detected.

本研究以 $IRI\geq500$ 确定为该调查区域的优势种。春季航次大型底栖动物的优势种为菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheroides*), IRI 分别为 3 054 和 1 304;秋季航次大型底栖动物的优势种为厦门文昌鱼(*Branchiostoma belcheri*), IRI 为 667。

2.2 生物量与生物栖息密度 春季大型底栖动物生物栖息密度在 33~2 040 ind·m⁻²,平均值为 240 ind·m⁻²。秋季底栖动物生物栖息密度在 14~156 ind·m⁻²,平均值为 41 ind·m⁻²。春、秋两个航次各站位生物栖息密度分布都不均匀,不同站点之间相差较大。春、秋航次生物栖息密度分布均

呈现北高南低趋势(图 2)。综合分析,调查海域两个航次大型底栖动物生物栖息密度平均值为 141 ind·m⁻²。

春季大型底栖动物生物量在 3.04~797.56 g·m⁻²,平均值为 112.64 g·m⁻²。秋季底栖动物生物量在 0.81~875.70 g·m⁻²,平均值为 81.26 g·m⁻²。春、秋航次各站位生物量分布都不均匀,不同站点之间相差较大(图 3)。主要原因是春、秋航次分别采集到个体较大的菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和毛蚶(*Scapharca subcrenata*)。综合分析结果表明,调查海域两个航次大型底栖动物生物量平均值为 96.95 g·m⁻²。

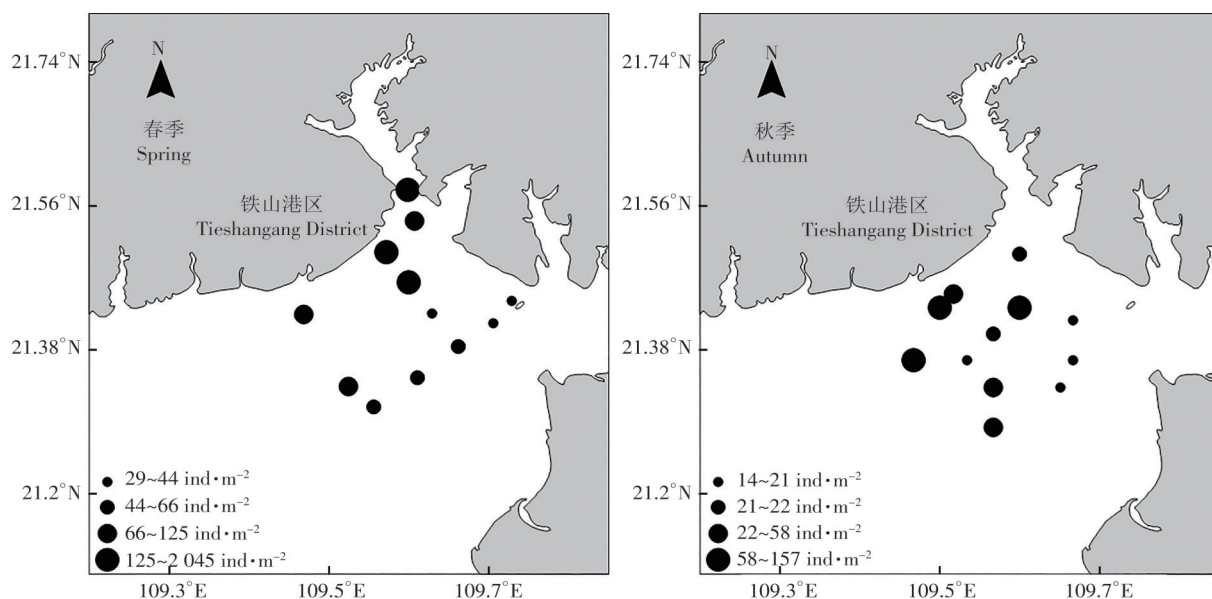


图2 大型底栖动物栖息密度分布图

Fig. 2 The distribution maps of macrozoobenthos density

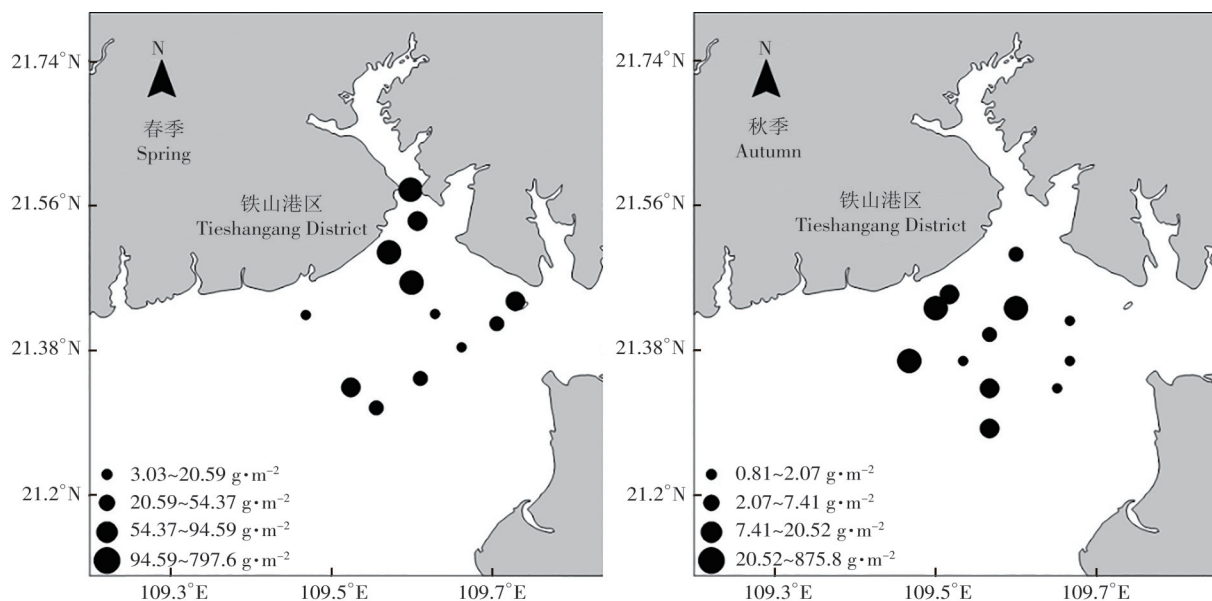


图3 大型底栖动物生物量分布图

Fig. 3 The distribution map of macrozoobenthos biomass

2.3 物种多样性 春季底栖动物 Shannon-Winener 指数 (H') 在 0.55~2.77, 平均值为 1.73, 最高值位于 F01 站, 最低值位于 F06。在 F06 站采集到大量的菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*), 该种的出现导致该站的 Shannon-Winener 指数 (H') 最低。物种丰富度 (D) 在 0.43~2.00, 平均值为 1.22, 最高值位于 F12 站, 最低值位于 F02。F02 位于湾口, 水深较浅, 仅为 1.1 m, 这可能是导致该站物种丰富度指数较低的原因。均匀度 (J) 分布范围为 0.18~1.00, 平均值

为 0.77, 最高值出现在 F09 站, 最低值出现在 F06。从图 4 可以看出, 春季 3 个指数的分布趋势均由中心向南、北两边逐渐递增。

秋季底栖动物 Shannon-Winener 指数 (H') 在 0.00~1.92, 平均值为 1.25, 最高值位于 S10 站, 最低值位于 S5 站。物种丰富度 (D) 在 0.00~1.29, 平均值为 0.92, 最高值位于 S10 站, 最低值位于 S5 站。均匀度 (J) 分布范围为 0.00~1.00, 平均值为 0.94。大部分调查站位均匀度 (J) 相对较好。从图 5 可以看出,

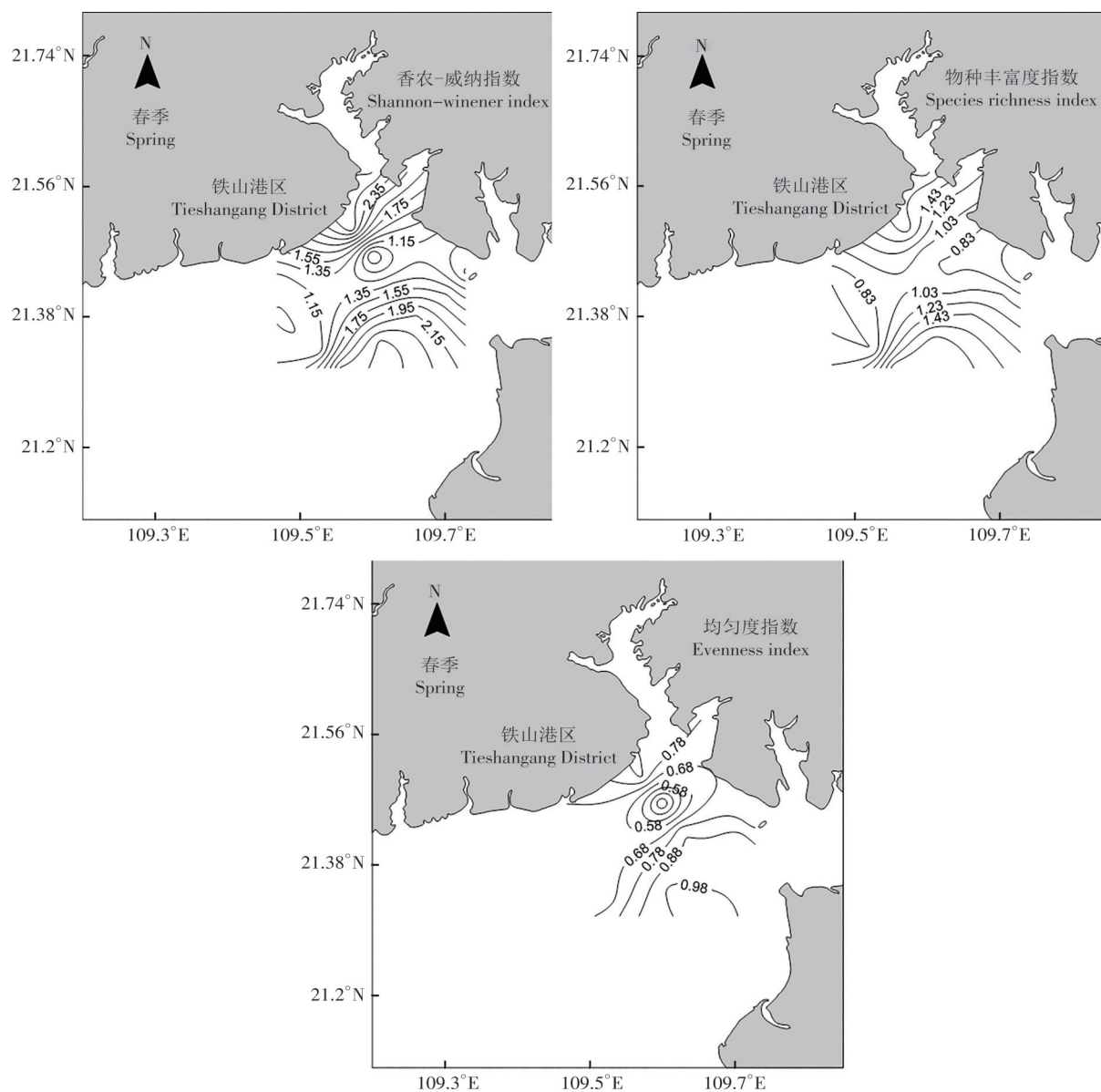
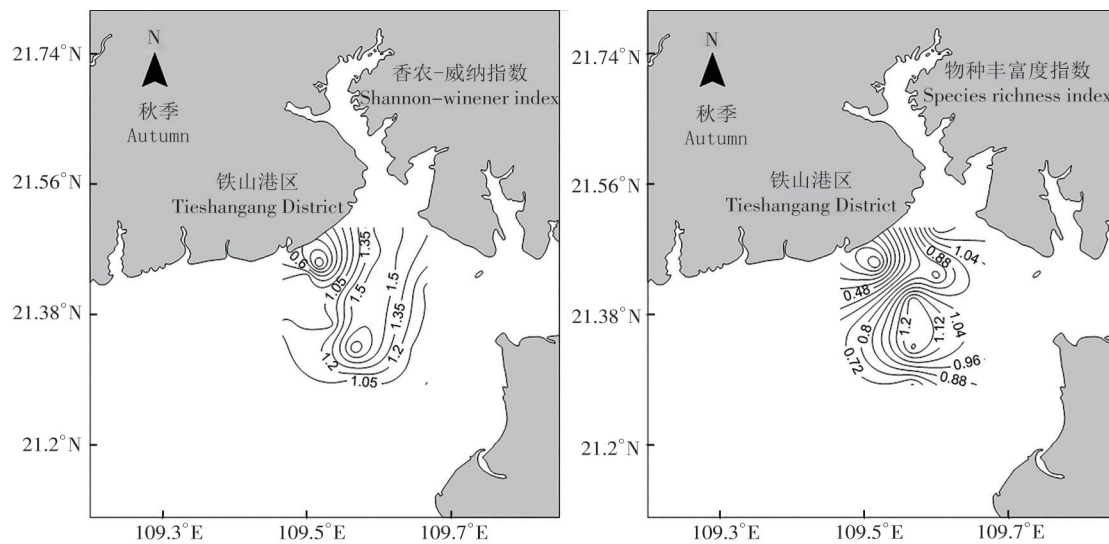


图4 春季3个指数等值线分布图

Fig. 4 The distribution contour maps of three indices in spring



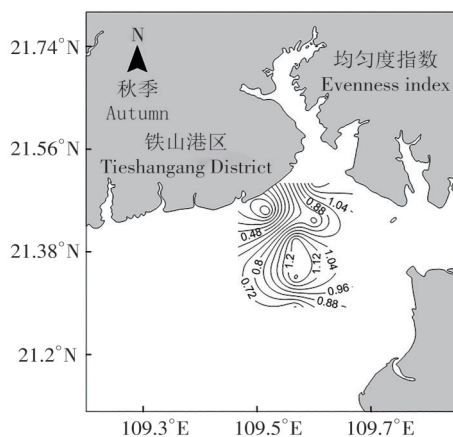


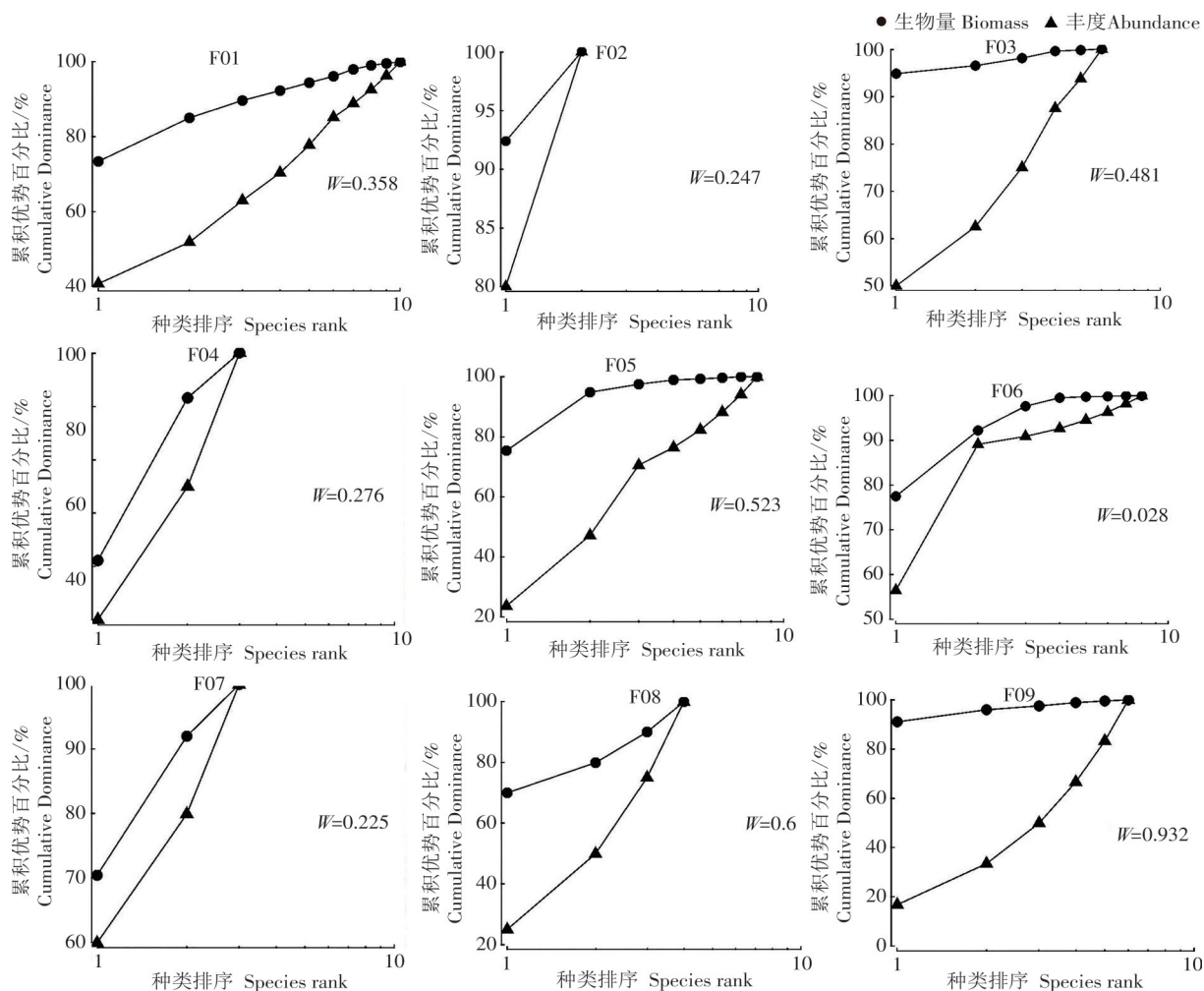
图5 秋季3个指数等值线分布图

Fig. 5 Distribution contour maps of three indices in autumn

秋季3个指数的分布趋势均以S5号站为中心向外递增。

2.4 沉积物质量评价 春、秋航次沉积物各评价因子结果见表2。从表2可以看出,两个航次沉积物各评价因子标准指数均小于1,说明调查海域沉积物质量较好。

2.5 ABC曲线分析 Warwick在1986年提出用丰度/生物量比较曲线(ABC曲线)法来监测环境污染对大型底栖动物群落的扰动^[20],通过丰度曲线和生物量曲线的位置关系及W值综合判断大型底栖动物群落是否受到环境的干扰及受干扰程度。春季航次ABC曲线结果显示(图6),除F06号站外,



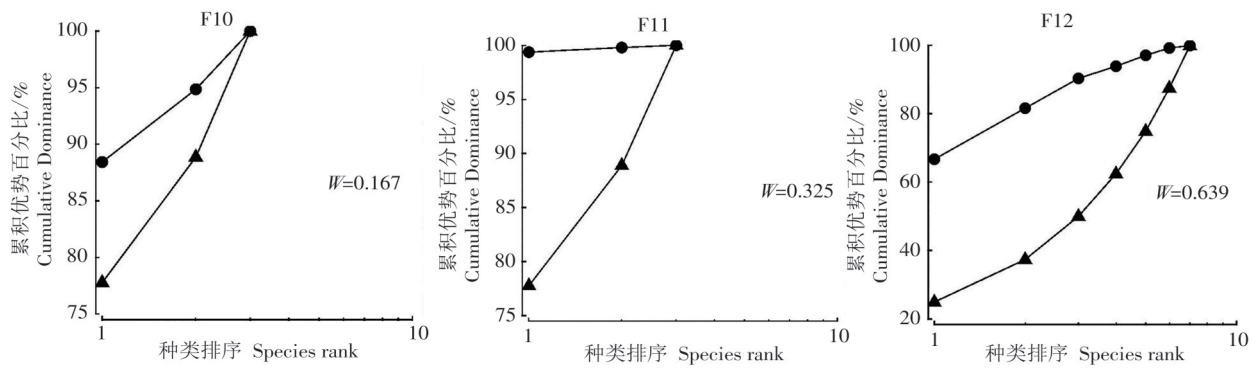
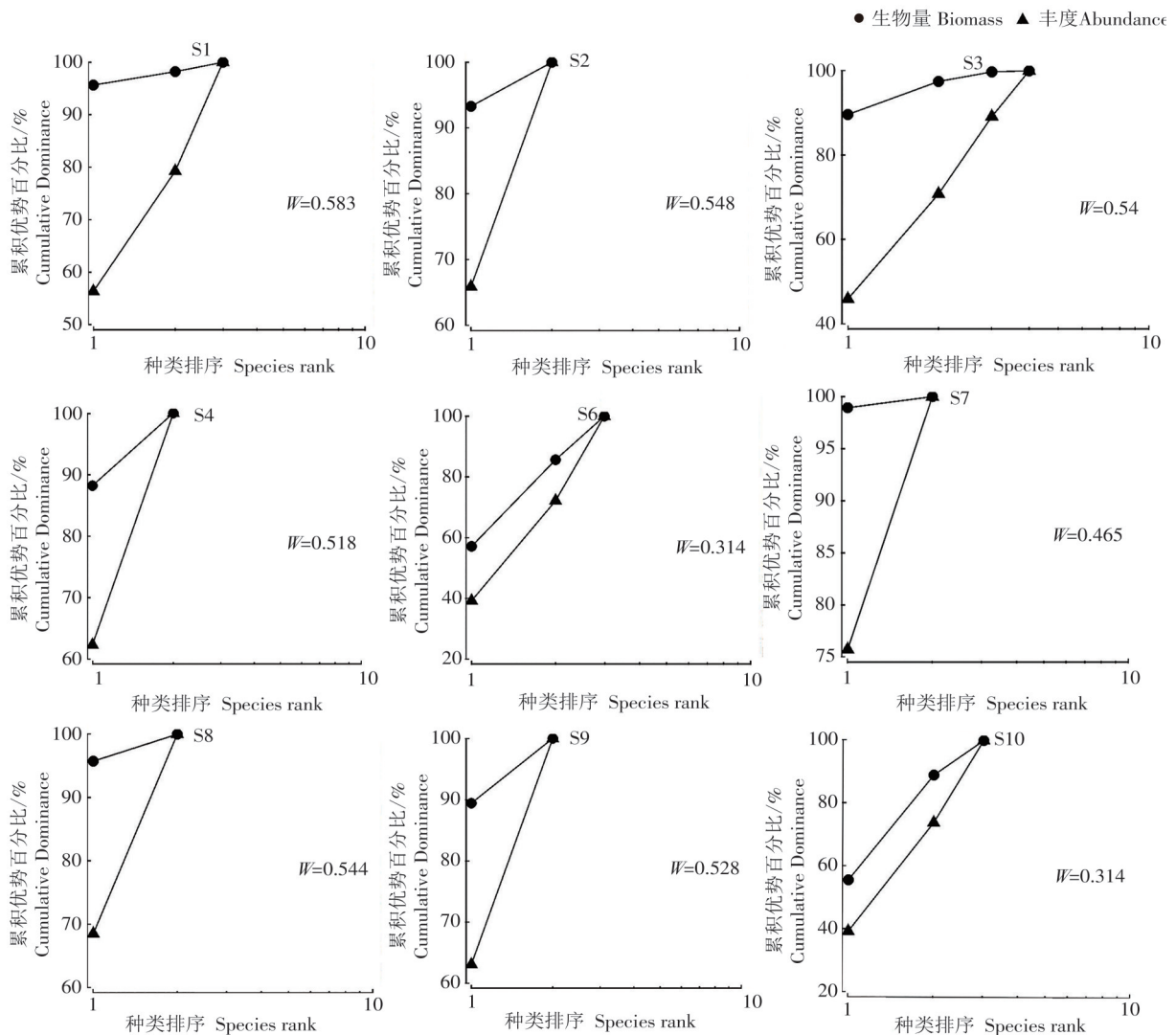


图6 春季大型底栖动物ABC曲线

Fig. 6 ABC plots of macrozoobenthos in spring

其他站位的生物量曲线始终位于丰度曲线之上, $W>0$, 表示这些站位没有受到环境干扰; F06 号站生物量曲线中部到尾部部分与丰度曲线有相交, $W=0.028$, W 趋向于 0, 表明该站位可能受到中度干扰。秋季航次 S5 号站只采集到 1 种大型底栖动

物, 故本航次不做 S5 号站 ABC 曲线分析。秋季航次 ABC 曲线结果(图 7)显示, 所有站位的生物量曲线始终位于丰度曲线之上, $W>0$, 表示这些站位没有受到环境干扰。总体来看, 调查海域大型底栖动物群落稳定性较好。



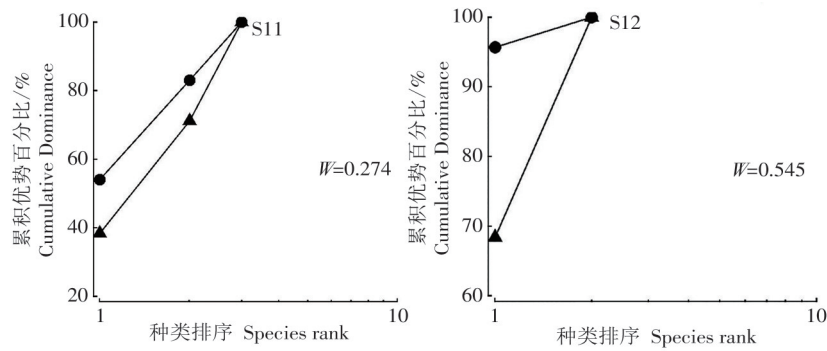


图7 秋季大型底栖动物ABC曲线

Fig. 7 ABC plots of macrozoobenthos in autumn

表2 春、秋季沉积物质量标准指数

Tab. 2 Sediment quality standard index in spring and autumn

站号 Station	铜 Cu	铅 Pb	锌 Zn	镉 Cd	铬 Cr	汞 Hg	砷 As	有机碳 OC	硫化物 Sulphide	油类 Oil
F01	0.53	0.50	0.48	0.26	0.54	0.07	0.25	0.14	0.10	0.18
F02	0.68	0.43	0.25	0.14	0.47	0.02	0.18	0.03	0.00	0.04
F03	0.65	0.43	0.28	0.16	0.44	0.09	0.25	0.18	0.06	0.14
F04	0.46	0.20	0.27	0.60	0.32	0.09	0.42	0.29	0.03	0.06
F05	0.73	0.58	0.34	0.14	0.56	0.19	0.37	0.27	0.07	0.11
F06	0.54	0.54	0.32	0.16	0.48	0.19	0.36	0.36	0.53	0.38
F07	0.47	0.42	0.33	0.14	0.52	0.10	0.26	0.24	0.14	0.08
F08	0.74	0.71	0.51	0.82	0.60	0.16	0.30	0.42	0.27	0.24
F09	0.67	0.62	0.46	0.16	0.62	0.11	0.36	0.25	0.00	0.12
F10	0.46	0.23	0.16	0.20	0.24	0.03	0.41	0.08	△	0.03
F11	0.61	0.26	0.17	0.22	0.15	0.13	0.49	0.25	0.05	0.06
F12	0.81	0.45	0.47	0.18	0.60	0.07	0.34	0.15	△	0.03
S1	0.18	0.19	0.18	0.58	0.06	0.07	0.59	0.10	0.04	0.08
S2	0.25	0.26	0.27	0.70	0.14	0.10	0.40	0.14	0.05	0.07
S3	0.11	0.05	0.12	0.56	△	△	0.65	0.02	△	△
S4	0.25	0.33	0.20	0.14	0.16	0.09	0.43	0.15	0.00	0.03
S5	0.37	0.28	0.34	0.44	0.37	0.36	0.33	0.38	0.33	0.37
S6	0.13	0.33	0.08	0.52	0.27	0.02	0.36	0.03	△	△
S9	0.13	0.08	0.08	0.16	0.11	0.06	0.37	0.09	0.00	△
S10	0.17	0.21	0.13	0.24	0.08	0.06	0.35	0.12	0.00	0.05
S11	0.27	0.26	0.19	0.14	0.15	0.08	0.25	0.15	0.04	0.12
S12	0.33	0.19	0.36	0.60	0.28	0.02	0.27	0.18	0.05	0.03

注：“△”表示未检测出，F01-F12为春季站位，S1-S12为秋季站位。
Note: “△”indicated no detected, F01-F12 indicates the spring station, S1-S12 indicates the autumn station.

2.6 聚类分析与MDS分析 春、秋航次各站大型底栖动物Bray-curtis相似性聚类结果表明(图8)，春、秋航次各站位的群落相似度均较低，春季航次只有F01和F05站的相似系数超过50%，其余站位的相似系数为7%~50%。春季航次在12.13%的相似水平上将12个站位分为4组，分别为群落I(F1、

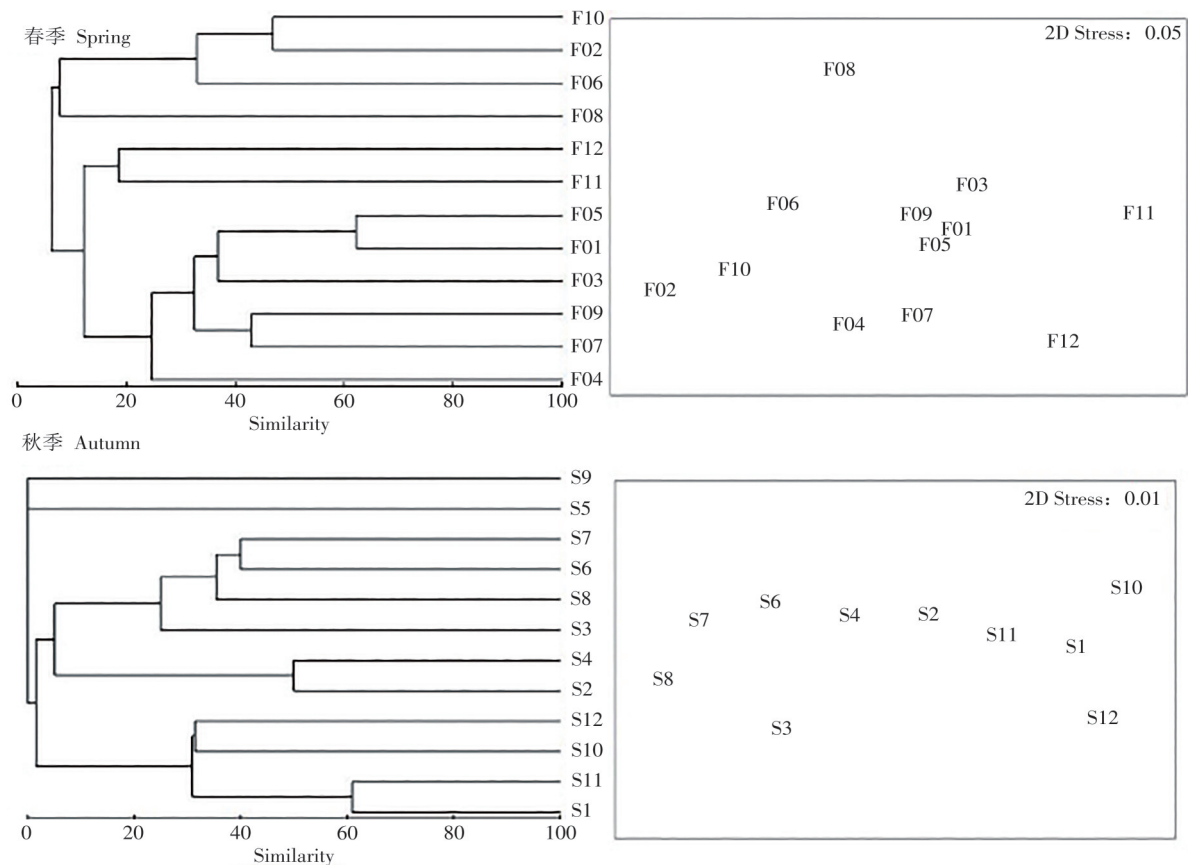


图8 聚类分析与MDS分析图

Fig. 8 Graph of cluster analysis and MDS analysis

F3、F4、F5、F7、F9)、群落Ⅱ(F6、F2、F10)、群落Ⅲ(F11、F12)和群落Ⅳ(F08)。秋季航次只有S1、S2、S4和S11站相似系数超过50%,其余站位的相似系数为0~40%。秋季航次在24.50%的相似水平上将10个站位分为3组,分别为群落Q1(S2、S4)、群落Q2(S1、S10、S11、S12)和群落Q3(S3、S6、S7、S8)。

胁强系数作为MDS排序的评价标准,当胁强系数 <0.10 表示吻合较好,根据MDS结果(图8),春季胁强系数为0.05,秋季胁强系数为0.01。结果表明MDS排序吻合较好,MDS排序结果与聚类分析结果基本一致,进一步验证聚类分析结果。

3 讨论

3.1 大型底栖动物种类、栖息密度、生物量和物种多样性 调查海域春、秋航次采集到大型底栖动物共42种,其中环节动物多毛类19种,节肢动物11种,软体动物6种,棘皮动物和脊索动物各2种,纽形动物和刺胞动物各1种。生物量平均值为 $96.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,生物栖息密度平均值为 $141 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

1993年《中国海湾志第十二分册(广西海湾)》铁山港海域大型底栖动物调查资料^[21]发现,春秋两个航次平均生物量为 $219.10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,平均生物栖息密度为 $1548 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,春季采集到大型底栖动物58种,秋季109种。本研究与之相比,采集到的种类数、平均生物量、平均生物栖息密度均较少,原因可能是:(1)采样方式不同,本研究为抓斗式采泥器定量采样,而铁山港海域大型底栖动物调查资料中采样方式为定性拖网和定量采泥;(2)可能是铁山港近年来的开发活动有加剧的趋势。如港口工程建设、围填海等,填海施工产生的悬浮泥沙及船舶机舱废水中的油类对底栖生物的生存产生了影响。

调查海域春、秋季航次各站位Shannon-Winener指数(H')平均值分别为1.73和1.25;物种丰富度(D)平均值分别为1.22和0.92;均匀度(Pielou)指数(J)平均值分别为0.77和0.94。春季航次Shannon-Winener指数(H')及均匀度(Pielou)指数(J)最低值均出现在F06号站,物种丰富度(D)最低值出现在F02号站;秋季航次Shannon-

Winener 指数(H')、均匀度(Pielou)指数(J)及物种丰富度(D)最低值均出现在 S5 号站。相对于自然因素,人为干扰是影响海域生态环境变化的主要因素,如陆源排污、围填海和海上工程建设等^[17]。F06 位于航道三期工程及沙田港区航道附近海域,航道的疏浚和过往船只过多、船舱含油废水的泄漏等会破坏大型底栖动物的生境,影响大型底栖动物群落稳定性,这可能是该站多样性指数低的原因。吴斌等^[22]认为水深与物种丰富度(D)具有正相关性,在一定程度上水深影响底栖生物群落结构。F02 位于湾口,水深较浅,仅为 1.1 m,是调查海域所有站位中水深最低的,这可能是该站物种丰富度指数低的原因。已有研究表明,养殖过程产生的有机颗粒沉淀如能被溶解氧完全分解,可为大型底栖动物生长提供物质来源,促进其生长,但如果存在过量的有机颗粒沉淀,则会造成无氧底栖环境,进而降低大型底栖动物的多样性^[23-24]。秋季航次调查期间发现 S5 号站周边有大量的网箱养殖,可能是该站水域存在过量的有机颗粒沉淀,进而导致该站多样性指数低。

3.2 大型底栖动物群落结构特征 1993 年《中国海湾志第十二分册(广西海湾)》铁山港海域大型底栖动物调查结果发现,该海域大型底栖动物物种组成占比最多的为个体较大的软体动物和甲壳类,小型类多毛类占比较少^[21];而本研究春、秋航次调查发现,该海域大型底栖动物物种组成占比最多的均为小型类多毛类,个体较大的棘皮动物和刺胞动物类群占比较少,说明铁山港海域大型底栖动物群落结构具有明显小型化特征。近年来,铁山港围填海工程、码头建设、航道建设、人工养殖越来越多,人类活动破坏大型底栖动物生境,影响其群落结构稳定性,这可能是造成底栖动物群落趋向小型化的原因,渤海湾、长江口海域也出现类似的情况^[25-29]。

铁山港海域大型底栖动物群落春、秋航次 ABC 曲线分析表明,春季航次除了 F06 受到中度干扰外,其他站位未受到干扰。秋季航次所有站位都没有受到干扰。底栖动物是指长时间生活在水体底部的动物群落,大部分底栖动物活动能力弱,其生存受环境变化影响较明显。航道疏浚对底栖动物的生长、繁殖、种类数、生物量和底栖生态结构群落产生较大的影响,底栖生物的损失较为明

显^[30]。航道疏浚施工需要挖掘底栖动物所栖息的底部泥沙和石块,航道疏浚开挖改变了疏浚区域及其邻近区底面原有的底栖生态环境,使得栖息于这一范围内的底内动物和底上动物因底泥的挖离将全部丧失。此外,在航道疏浚施工过程中,作业船舶在水中的搅动会产生大量的悬浮泥沙。根据泥沙沉降速度,航道疏浚产生的悬浮泥沙大部分会沉于海底,余日清^[31]报道大颗粒悬浮泥沙在沉降过程中会直接覆盖底栖动物,如贝类、甲壳类尤其是它们的稚幼体,长时期的累积覆盖影响将导致底栖生物的减产或死亡。王超等^[32]认为航道疏浚会破坏底栖生物栖息环境,导致其死亡或减产,产生直接危害作用。董双武^[33]在研究航道疏浚对海洋生态环境影响时,也发现航道疏浚会改变底栖生物原有的生活环境,导致其因底泥开挖而大量死亡。F06 位于北海港铁山港区航道三期工程及沙田港区航道附近海域,航道的疏浚和过往船只过多、船舱含油废水的泄漏、渔业活动及污染等会直接或间接破坏大型底栖动物的生境,影响大型底栖动物群落结构。大型底栖动物群落结构与其生活的沉积物环境密切相关,人为干扰会破坏沉积物环境状况,影响海洋生物群落结构^[34-35]。本研究两个航次沉积物评价因子标准指数均小于 1,表明调查海域沉积物质量较好,受人为干扰影响小。总体而言,铁山港海域大型底栖动物群落结构较稳定。

调查海域大型底栖动物春、秋航次聚类分析结果显示,春、秋航次群落各站位间的平均相似度较低。其中,春季航次只有 F01 和 F05 站的相似系数超过 50%,其余站位的相似系数为 7%~50%;秋季航次只有 S1、S2、S4 和 S11 站相似系数超过 50%,其余站位的相似系数为 0~40%。可能是由于铁山港海域环境的复杂性,形成了不同的底栖生物小生境,不同的小生境栖息着不同结构的底栖动物群落,从而导致调查海域底栖动物群落各站间相似度较低。

3.3 与国内其他海域对比 为了更好地了解铁山港海域大型底栖动物的生态状况,现将本研究的调查结果与国内海域的历史调查结果相比较(表 3)。本次调查海域两个航次的大型底栖动物总种数及总平均丰度均小于胶州湾、山东南部近海、大亚湾及烟台近岸海域调查结果;除了胶州湾,春季航次

表3 本研究调查结果与其他海域对比
Tab. 3 Comparison of this survey with those of other sea areas

调查海域 Survey seawaters	调查时间 Survey date	采样季节 Season of sampling	采泥器类型 Type of mud collector	总种数 Total species	总平均丰度/ ind·m ⁻²	总平均生物量/ (g·m ⁻²)	参考文献 Reference
胶州湾 Jiaozhou Bay	2018 年 5 月	春季 spring	箱式 box-type	208	2 654.38	1 024.51	[36]
山东南部近海 In southern coast of Shandong Province	2007 年 4 月	春季 spring	箱式 box-type	170	1 494	13.88	[37]
大亚湾 Daya Bay	2013 年 8 月	夏季 summer	抓斗式 Grab bucket type	153	410	84.83	[38]
烟台近岸海域 Yantai coastal area	2010 年 8 月	夏季 summer	抓斗式 Grab bucket type	84	1 128	25.09	[39]
本研究海域 Study area	2021 年 3 月至 9 月	春季 spring 秋季 autumn	抓斗式 Grab bucket type	31 20	240 41	112.64 81.26	本研究

大型底栖动物总平均生物量均大于其他海域。造成此现象的原因可能有：(1)采泥器类型的不同。与抓斗式采泥器相比，箱式采泥器密封性较好。在采样时，箱式采泥器能完整将沉积物采上来，避免一些小个体种类随水流掉。(2)采样季节不同。温度影响生物的生长、发育和繁殖，从而影响生物的种类数量、生物量和分布范围，大型底栖动物丰度与底层水温呈极显著正相关，底温影响大型底栖动物丰度的分布^[27]。(3)春季航次在 F06 站采集到大量个体较大，壳较厚重的菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)，对春季航次调查海域的平均生物量贡献较大；在胶州湾调查海域同样发现了大量的菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)。

4 结 论

本次调查采集到大型底栖动物共 42 种，生物量平均值为 96.95 g·m⁻²，生物栖息密度平均值为 141 ind·m⁻²，春季优势种为菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheroides*)；秋季优势种为厦门文昌鱼(*Branchiostoma belcheri*)。ABC 曲线结果表明，春季除 F06 受中度干扰外，其他站位未受到干扰；秋季所有站位均未受到干扰。航道疏浚会影响底栖动物群落结构的稳定性。总体来说，铁山港海域大型底栖动物群落结构较稳定。

参考文献：

[1] 高霆炜, 杨明柳, 宋超. 海岸工程对北海铁山港红树林

大型底栖动物群落的影响 [J]. 广西科学院学报, 2021, 37(3): 299–306.
[2] 李铁平, 刘修泽, 王彬, 等. 辽东湾海域大型底栖动物群落特征 [J]. 海洋渔业, 2017, 39(3): 267–276.
[3] BEZMATERNYKH D M, KRYLOVA E N. Macrozoobenthos in the Gilevsk Reservoir and adjacent reaches of the Alei River (Altai Krai) [J]. Inland Water Biology, 2016, 9 (2): 160–166.
[4] KOCHUROVA T I, KANTOR G Y. Macrozoobenthos in the middle course of the Vyatka River in the area of a Chemical–Weapons Destruction Facility [J]. Inland Water Biology, 2013, 6(4): 322–330.
[5] 陈旭阳, 刘保良. 广西铁山港海域沉积物重金属污染状况及潜在生态风险评价 [J]. 海洋通报, 2012, 31(3): 297–301.
[6] 张云吉, 王凤, 金秉福. 广西铁山港表层沉积物碎屑矿物组成、分布及水动力环境分析 [J]. 海洋科学, 2013, 37(6): 95–101.
[7] 蓝文陆, 李天深, 韩丽君. 广西铁山港附近海域营养盐分布及其季节变化 [J]. 海洋科学, 2014, 38(7): 63–69.
[8] 于凌宇, 张文静, 林元烧, 等. 广西铁山港海域砂壳纤毛虫生态学研究 [J]. 安全与环境工程, 2014, 21(3): 12–17.
[9] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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.
[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.
[11] 韩浩, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 531–537.
[12] 王迪, 陈丕茂, 马媛. 钦州湾大型底栖动物生态学研究 [J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4768–4777.
[13] 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.
[14] 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.
- [15] 李少月, 隋吉星, 曲方圆, 等. 辽东湾六股河口邻近海域冬季大型底栖动物生态学特征[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(1): 95-105.
- [16] 贺湛斐, 童春富. 太浦河大型底栖动物群落组成及时空分布特征[J]. 生态学报, 2023, 43(11): 4619-4631.
- [17] 赵凡淇, 刘卫霞, 隋吉星, 等. 秋季山东南部近岸海域大型底栖动物群落特征[J]. 海洋科学进展, 2018, 36(1): 117-127.
- [18] 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.
- [19] 徐阁, 王德鸿, 王诗文, 等. 西沙永兴岛附近海域沉积物的环境质量评价[J]. 海洋学报, 2022, 44(1): 137-146.
- [20] WARWICK R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Marine Biology, 1986, 92(4): 557-562.
- [21] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第十二分册(广西海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [22] 吴斌, 宋金明, 李学刚. 黄河口大型底栖动物群落结构特征及其与环境因子的耦合分析[J]. 海洋学报, 2014, 36(4): 62-72.
- [23] 高爱根, 陈全震, 胡锡钢, 等. 象山港网箱养鱼区大型底栖生物生态特征[J]. 海洋学报, 2005, 27(4): 108-113.
- [24] Pearson T H, Black K D. The environmental impact of marine fish cage culture[M]. Black K D. Environmental Impacts of Aquaculture. Sheffield: Sheffield Academic Press, 2001: 1-31.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 刘旭东, 孙立娥, 张晓红, 等. 渤海海域夏季大型底栖动物群落特征[J]. 中国环境监测, 2019, 35(3): 120-127.
- [29] 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.
- [30] 水玉跃, 丁天明. 舟山虾峙门口外航道疏浚对海洋生态环境的影响及防治措施[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2012, 31(3): 249-255.
- [31] 余日清, 李适宇. 珠江口航道疏浚对海洋生态影响及渔业资源损失的定量分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(S2): 184-189.
- [32] 王超, 张伶. 航道疏浚对珠江口附近海洋生态环境影响及预防措施[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 58-60.
- [33] 董双武. 航道疏浚对海洋生态环境的影响及预防措施研究[J]. 低碳世界, 2013(14): 134-135.
- [34] 何斌源, 邓朝亮, 罗砚. 环境扰动对钦州港潮间带大型底栖动物群落的影响[J]. 广西科学, 2004, 11(2): 143-147.
- [35] 王宗兴, 孙丕喜, 姜美洁, 等. 钦州湾秋季大型底栖动物多样性研究[J]. 广西科学, 2010, 17(1): 89-92.
- [36] 崔雯瑶, 杨湘君, 张蒙生, 等. 胶州湾春季大型底栖生物多样性及群落结构特征[J]. 海洋科学, 2020, 44(6): 101-109.
- [37] 钟海霞, 曲方圆, 隋吉星, 等. 山东南部近海春季大型底栖动物丰度、生物量及群落结构研究[J]. 海洋通报, 2018, 37(1): 88-98.
- [38] 袁涛萍, 李恒翔, 李路, 等. 夏季大亚湾大型底栖动物群落结构[J]. 热带海洋学报, 2017, 36(1): 41-47.
- [39] 王全超, 李宝泉. 烟台近海大型底栖动物群落特征[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1667-1680.

Community structure of macrobenthos in Tieshangang seawaters of Beihai city

HUANG Liting¹, LAI Junxiang^{2,3}, ZHANG Rongchan^{2,3}, MENG Beijun¹, XU Mingben^{2,3}
(1. Guangxi Academy of Sciences High Technology Group Co. Ltd, Nanning, Guangxi 530007; 2. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Marine Sciences, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi 530007; 3. Beibu Gulf Marine Industry Research Institute, Fangchenggang, Guangxi 538000, China)

Abstract: In March 2021 and September 2021, a survey of macrobenthos was carried out in Tieshangang seawaters of Beihai city. Samples from 24 stations were collected in the seawaters, and used for species

identification, and the density, biomass and Bray-curtis similarity coefficient of macrobenthos species and sediment quality were analyzed. The abundance/biomass curve (ABC curve) of macrobenthos were plotted and the disturbance of macrobenthos was analyzed. The results showed that a total of 42 species of macrobenthos were collected, including 19 of annelidas, 11 of arthropods, 6 of mollusks, 2 of echinoderms and chordates, and 1 of neoglyphs and cnidarians each. The average density and average biomass of macrobenthic animals were $141 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ and $96.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. The dominant species were *Ruditapes philippinarum* and *Xenophthalmus pinnotheroides* in spring and *Branchiostoma belcheri* in autumn. The average value of Shannon-Wiener index (H') was 1.73 in spring and 1.25 in autumn. The standard index of each evaluation factor of sediment was less than 1. The ABC analysis showed that all the stations were not disturbed except for F06 station, which was moderately disturbed in spring. All stations were undisturbed in autumn. In general, the macrobenthos community in the survey seawaters was stable. The cluster analysis and MDS analysis showed that the community similarity of each station was low in spring and in autumn.

Keywords: Tieshangang seawaters; microbenthic animals; ABC curve; biodiversity; community structure

(责任编辑:钟云芳)