

胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物功能群*

辛俊宏 任一平** 徐宾铎 张崇良 薛莹 纪毓鹏

(中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003)

摘要 2009年2、5、8和11月进行了7个断面35个站位的大型底栖动物调查,选取高潮区(A)、中潮区(B、C、D)和低潮区(E)研究了胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物功能群组成及其时空变化。调查共发现大型底栖动物71种,主要种类为软体动物(31种)、环节动物(20种)和节肢动物(14种)。潮区A、B、C、D、E物种数分别为26、33、35、38、31。依据食性将主要底栖动物划分为肉食者、浮游生物食者、碎屑食者和杂食者4个功能群。各功能群物种数占总物种数的百分比由高到低依次是肉食者、浮游生物食者、碎屑食者和杂食者。各功能群中肉食者的多样性指数最高,杂食者最低。各功能群的丰度、均匀度指数、多样性指数一般都是中潮区较高,高潮区和低潮区较低。大型底栖动物功能群的分布随潮区环境的改变而变化,是对生境状况的综合反映。

关键词 大型底栖动物 功能群 潮滩湿地 胶州湾

文章编号 1001-9332(2011)07-1885-08 **中图分类号** Q958 **文献标识码** A

Macrozoobenthos functional groups in intertidal flat of northwest Jiaozhou Bay. XIN Junhong, REN Yi-ping, XU Bin-duo, ZHANG Chong-liang, XUE Ying, JI Yu-peng (College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, Shandong, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(7): 1885-1892.

Abstract: Based on the survey of macrozoobenthos at 35 locations of 7 sections in the intertidal flat of northwest Jiaozhou Bay in February, May, August, and November 2009, three zones including high tidal zone (A), mid tidal zone (B, C, and D), and low tidal zone (E) were selected to study the functional groups of macrozoobenthos in the flat. A total of 71 macrozoobenthos species were recorded, most of which were of mollusk (31 species), polychaete (20 species), and crustacean (14 species). The species number in A, B, C, D, and E was 26, 33, 35, 38, and 31, respectively. According to their food preferences, the macrozoobenthos were classified into 4 functional groups, *i. e.*, planktonphagous, carnivorous, omnivorous, and detritivorous. The percentage of the species number of each functional group in the total species number of macrozoobenthos was in the order of carnivorous > planktophagous > detritivorous > omnivorous. Carnivorous group had the highest species diversity index, while omnivorous group had the lowest one. Overall, the species richness index, evenness index, and species diversity index were higher in mid tidal zone and lower in high and low tidal zones. The present study showed that the distribution of macrozoobenthos functional groups varied with the environment of tidal zones, being an integrative reflection of their habitat conditions.

Key words: macrozoobenthos; functional group; intertidal flat; Jiaozhou Bay.

潮滩湿地位于海陆交界带,它不仅受到陆地环境的制约,还受到海洋环境的影响。底栖动物是潮滩湿地生态系统的重要组成部分,影响着其中的物质循环和能量流动^[1]。底栖动物不仅对其他经济生物

资源的分布有重要影响,而且能较好地反映其栖息环境的变化状况。由于其数量和分布与环境密切相关,因此常被作为环境监测的指示动物^[2],并被广泛应用于生态系统健康评价中^[3]。

功能群方法把生物类群划分为具有共同功能特征(功能群)或利用相同资源基础(种团)的类群,在生态学研究简化了群落内物种之间的关系。因此

* 国家海洋公益性行业科研专项(200805066)、国家自然科学基金项目(41006083)和山东省自然科学基金项目(ZR2010DQ026)资助。

** 通讯作者。E-mail: renyip@ouc.edu.cn

2010-11-19 收稿,2011-04-13 接受。

使生态系统的复杂性在研究工作中减小^[4],同时可以增加底栖动物群落在时空上的稳定性和可预测性^[5].功能群对环境变化的响应弱化了物种的个别作用,比个体及种群的反应更重要、综合性更强,因此可以更好地反映其生境特征.国外已有学者将功能群方法运用到底栖动物的研究中,如 Talley 等^[6]研究了加利福尼亚湾潮间带大型底栖动物群落与生境之间的关系;Mucha 和 Costa^[7]运用功能群的方法研究了葡萄牙 2 个受人为干扰较大的河口中大型底栖动物群落结构与水体及底质中有机物含量之间的关系.目前国内关于底栖动物的研究主要集中在群落结构及其多样性特征等方面,对于功能群的研究较少,相关研究主要有朱晓君和陆健健^[8]对长江口地区底栖动物功能群的组成、分布格局、多样性特征的研究,袁兴中等^[9]研究了长江口潮滩底栖动物沿河口梯度的变化,葛宝明等^[10]分析了灵昆岛地区大型底栖动物的功能群和营养等级,鲍毅新等^[11]研究了灵昆岛东滩湿地围垦区内外的底栖动物季节变化和功能群组成等.目前对胶州湾潮滩湿地大型底栖动物功能群研究还未有报道,有关研究主要是对女姑口、红石崖、辛岛等地大型底栖生物群落结构和多样性等的探讨^[12-15].

本文对胶州湾西北部潮滩湿地的大型底栖动物群落进行功能群分析,研究了大型底栖动物功能群的分布格局及其对栖息环境的响应,以期对胶州湾潮滩湿地大型底栖动物群落有更深入的了解,为潮滩湿地大型底栖动物生态学的深入研究提供基础资料.

1 研究区域与研究方法

本研究的调查区域位于胶州湾西北部潮滩湿地,邻近大沽河.该海域潮滩长而平坦,底质软且多为软泥,调查区西南小部分海区为泥沙质,涨落潮快.潮滩上开展了大规模的贝类养殖活动,主要养殖种包括菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 和光滑河篮蛤 (*Potamocorbula laevis*) 等.

大型底栖动物的野外采样于 2009 年 2、5、8 和 11 月 4 个季度月进行,共布设 7 条断面,自西向东排列依次为断面 1~7.每断面设置 5 个站点,高潮区和低潮区各 1 个,中潮区 3 个.为了便于后文描述,将其依次记为潮区 A(高潮区),潮区 B、C、D(中潮区)和潮区 E(低潮区),共 35 个取样站点(图 1).

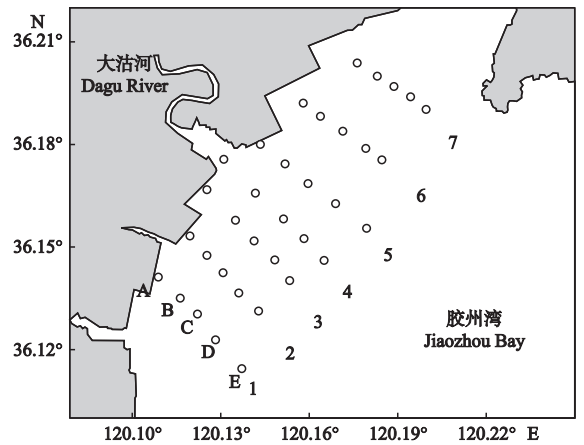


图 1 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物调查站位

Fig. 1 Sampling stations in intertidal flat of northwestern Jiaozhou Bay.

A~E: 潮区 Tidal zone; 1~7: 断面 Section.

由于该海区特殊的地理环境,进行传统的潮滩湿地采样比较困难,本研究在大潮的高潮期间乘船作业,用箱式采泥器进行 25 cm×25 cm×30 cm 采样.每个站位采 3 个样方合并为 1 个泥样,将采得的泥样用 1.0 mm 孔径的滤筛过滤掉泥沙,将滤出的样品带回实验室进行分析.

在实验室内对带回的样品进行仔细挑捡,尽量鉴定到种.对于纽虫、多毛类等身体破损较严重的,只鉴定到科或属.除无法鉴定至种的生物外,还有 6 个种类由于相关研究较少而难于对其功能群进行划分,本文在划分功能群时未包含.计数各物种生物个体数,并用感量为 0.01 g 的电子秤称量其湿质量(软体动物带壳质量).将所得的个体数除以相应的面积得到各种生物的丰度,其他处理参照《海洋调查规范》^[16]进行.

本文主要依据大型底栖动物食性对其进行功能群的划分,并参照袁兴中等^[9]、葛宝明等^[10]、鲍毅新等^[11]、李欢欢等^[17]研究成果将大型底栖动物划分为 5 个功能群:即浮游生物食者(Pl)、肉食者(C)、杂食者(O)、碎屑食者(D)和植食者(Ph).

根据潮滩湿地大型底栖动物群落的特点及取样数据,采用以下公式进行各功能群多样性分析^[18].

$$\text{Margalef 种类丰度 } (D) = (S-1)/\ln N$$

$$\text{Shannon 多样性指数 } (H') = - \sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数 } (J) = H'/H_{\max}$$

式中: S 为物种数; N 为个体数; P_i 为第 i 个物种出现的频率.

2 结果与分析

2.1 大型底栖动物种类组成

本次调查采获大型底栖动物共 71 种(表 1), 隶属 7 门 9 纲 43 科, 主要以软体动物、节肢动物和环节动物为主, 其中软体动物种类数(31 种) 占总种类数的 44%, 节肢动物(14 种) 占 20%, 环节动物(20 种) 占 28%, 棘皮动物、鱼类等其他种类(共 6 种) 占 8%。按潮区分, 潮区 A、B、C、D 和 E 大型底栖动物分别为 26、33、35、38 和 31 种。

由图 2 可见, 物种数最多的是秋季潮区 D (20 种), 最少的是春季潮区 A (9 种) 和夏季潮区 D (9 种)。潮区 D 全年除了夏季, 物种数都是各潮区最高的, 夏季潮区 B 和潮区 C 的物种数最多。双因素方差分析表明, 大型底栖动物的物种数潮区间差异不显著 ($F=2.16, P>0.05$), 季节间差异也不显著 ($F=0.72, P>0.05$)。

2.2 大型底栖动物功能群组成与时空分布

胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物中, 肉食者 26 种, 占 37%; 浮游生物食者 23 种, 占 32%; 碎屑食者 12 种, 占 17%; 杂食者 10 种, 占 14%; 未发现植食者(表 1)。从全年来看, 各潮区不同功能群种数由高到低依次是肉食者、浮游生物食者、碎屑食者、杂食者, 在潮区 A 杂食者仅发现 1 种(表 2)。这与上述各功能群总种数的总体构成规律一致。

按潮区计, 不同功能群在不同季节表现出不同的分布规律。除潮区 D 外, 夏季其他潮区都是浮游生物食者的物种数最多。杂食者在潮区 A 的冬、夏、秋季和潮区 B 的冬季均未发现。潮区 A, 肉食者种数从冬季至秋季呈递减趋势; 潮区 B, 肉食者种数在春

季最低, 碎屑食者在夏季最高; 潮区 C, 肉食者冬季种数最高; 潮区 D, 肉食者种数冬季最高、夏季最低, 浮游生物食者春季最高, 碎屑食者冬季最高; 潮区 E, 肉食者自冬季至夏季呈上升趋势随后下降, 碎屑食者在季节间的变化与肉食者相反。

从季节变化看, 不同功能群呈现不同的变化规律。在冬季, 肉食者在潮区 D 种数最高、潮区 E 最低, 浮游生物食者在潮区 A 最高; 春季, 肉食者和浮游生物食者种数在潮区 D 最高、在潮区 A 最低, 杂食者在潮区 B、D 最高; 夏季, 肉食者在潮区 D 最低, 浮游生物食者在潮区 C 最高、潮区 D 和 E 最低, 碎屑食者在潮区 B 最高; 秋季, 肉食者在潮区 D 最高、潮区 A 最低, 浮游生物食者和碎屑食者在潮区 B 最高, 除潮区 A 外, 杂食者种数在其他潮区间相同。

双因素方差分析表明, 各功能群种数在季节间、潮区间差异均不显著 ($P>0.05$)。

2.3 大型底栖动物功能群多样性特征

为胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物各功能群种类丰度在潮区、季节间的分布总体趋势是肉食者种类丰度最高, 杂食者最低(表 3)。就季节变化看, 各潮区不同功能群种类丰度表现出不同的变化规律。潮区 A, 肉食者和碎屑食者种类丰度冬季最高, 浮游生物食者夏、秋季呈上升趋势, 杂食者均为 0; 潮区 B, 碎屑食者自冬季至秋季呈先升后降的趋势, 浮游生物食者季节间的变化趋势与其相反; 潮区 C, 碎屑食者季节间波动较平缓, 杂食者仅在秋季发现; 潮区 D, 浮游生物食者季节间波动较平缓; 潮区 E, 肉食者呈上升趋势, 浮游生物食者波动较平缓。就潮区看, 各季节中不同功能群种类丰度表现出不同的变化规律。除夏季外, 肉食者种类丰度在各季节都是潮区 D 最高。冬季, 肉食者在潮区 E 最低, 浮游生物食者在潮区 B 最高, 杂食者仅存在于潮区 E; 春季, 肉食者在潮区 A 最低, 碎屑食者在潮区 B 最高、潮区 E 最低, 浮游生物食者在潮区 D 最高、潮区 A 最低, 杂食者在潮区 D 最高; 夏季, 肉食者在潮区 E 最高、潮区 D 最低, 碎屑食者在潮区 B 最高、潮区 D、E 为 0, 杂食者仅发现于潮区 E; 秋季, 肉食者在潮区 A 最低, 碎屑食者在潮区 D 最高, 浮游生物食者在潮区 A~E 呈下降趋势, 杂食者在潮区 C 最高。

就季节变化看, 不同功能群均匀度指数表现出不同的变化规律。除潮区 A 外, 肉食者均匀度指数在季节间的变化趋势都较平缓。潮区 A, 肉食者均匀度指数自冬季至秋季呈先降后升的趋势, 浮游生物食者变化趋势与之相反, 碎屑食者夏季最低; 在潮区

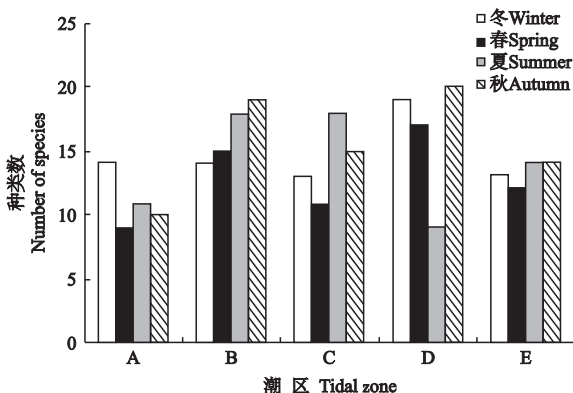


图 2 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物种数的季节和潮区变化

Fig. 2 Changes in species number of macrozoobenthos in different tidal zones and seasons in the northwestern Jiaozhou Bay.

表 1 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物种类组成及其功能群划分

Table 1 Functional groups and species composition of macrozoobenthos in the intertidal zone of northwestern Jiaozhou Bay

门 Phylum	纲 Class	科 Family	种 Species	功能群 Functional group
腔肠动物门 Coelenterata	珊瑚纲 Anthozoa	沙箸科 Viegelariidae	沙箸 <i>Virgularia</i> sp.	PI
环节动物门 Annelida	多毛纲 Polychaeta	沙蚕科 Nereididae	日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i> 琥珀刺沙蚕 <i>Neanthes succinea</i> 多齿围沙蚕 <i>Perinereis nuntia</i>	O O O
		叶须虫科 Phyllodocidae	巧言虫 <i>Eulalia virides</i> 双带巧言虫 <i>Eulalia bilineata</i>	C C
		吻沙蚕科 Glyceridae	长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i> 中锐吻沙蚕 <i>Glycera rouxi</i> 浅古铜吻沙蚕 <i>Glycera subaenea</i> 细弱吻沙蚕 <i>Glycera tenuis</i>	C C C C
		角吻沙蚕科 Goniadidae	寡节甘吻沙蚕 <i>Glycinde gurjanovae</i> 日本角吻沙蚕 <i>Goniada japonica</i> 色斑角吻沙蚕 <i>Goniada maculata</i>	C C C
		多鳞虫科 Polynoidae	有齿背鳞虫 <i>Lepidonotus dentatus</i> 渤海格鳞虫 <i>Gattyana pohaiensis</i>	C C
		矾沙蚕科 Eunicidae	岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i>	C
		欧努菲虫科 Onuphidae	智利巢沙蚕 <i>Diopatra chilensis</i>	C
		小头虫科 Capitellidae	丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	D
		长手沙蚕科 Magelonidae	尖叶长手沙蚕 <i>Magelona cincta</i>	D
		不倒翁虫科 Sternaspidae	不倒翁虫 <i>Sternaspis sculata</i>	D
		笔帽虫科 Pectinariidae	日本双边帽虫 <i>Amphictene japonica</i>	D
缢门 Echiura	螠纲 Echiurida	缢科 Echiuridae	短吻铲荚螠 <i>Listriolobus brevisrostris</i>	D
		棘螠科 Urechidae	单环棘螠 <i>Urechis unicinctus</i>	D
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	玉螺科 Naticidae	微黄镰玉螺 <i>Lunatia gilva</i> 半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicatus</i> 秀丽织纹螺 <i>Nassarius jestivus</i> 纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i> 不洁织纹螺 <i>Nassarius spurcus</i>	C C C C C
		织纹螺科 Nassariidae	无饰红泽螺 <i>Chemnitzia acosmia</i>	C
		小塔螺科 Pyramidellidae	泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	O
		阿地螺科 Atyiidae	圆筒原盒螺 <i>Eocylichna cylindrella</i> 内卷圆盒螺 <i>Eocylichna involuta</i>	C C
		三叉螺科 Triolidae	纵肋饰孔螺 <i>Decorifer matusimana</i>	O
		拟捻螺科 Acteocinidae	经氏壳蛞蝓 <i>Philine kinglippii</i>	C
		壳蛞蝓科 Philinidae	泥蚶 <i>Tegillarca granosa</i> 毛蚶 <i>Scapharca subcrenata</i> 橄榄蚶 <i>Estellarca olivacea</i>	PI PI PI
	双壳纲 Bivalvia	蚶科 Arcidae	小胡桃蛤 <i>Nucula paulula</i> 凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousei</i> 薄片镜蛤 <i>Dosinia corrugata</i> 日本镜蛤 <i>Dosinia japonica</i> 菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> 青蛤 <i>Cyclina sinensis</i> 凸镜蛤 <i>Dosinia gibba</i>	PI PI PI PI PI PI PI
		胡桃蛤科 Nuculidae	四角蛤蜊 <i>Maetra veneriformis</i>	PI
		贻贝科 Mytilidae	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i> 江户明樱蛤 <i>Moerella jedoensis</i> 异白樱蛤 <i>Macoma incongrua</i>	PI PI PI
		帘蛤科 Veneridae	薄荚蛳 <i>Siliqua pulchella</i> 缢蛳 <i>Sinonovacula constricta</i> 小刀蛳 <i>Cultellus attenuatus</i>	PI PI PI
		蛤蜊科 Mactridae	光滑河篮蛤 <i>Potamocorbula laevis</i> 黑龙江河篮蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i>	PI PI
		樱蛤科 Tellinidae		
		竹蛳科 Solenidae		
		篮蛤科 Aloididae		

表 1 续
Table 1 continued

门 Phylum	纲 Class	科 Family	种 Species	功能群 Functional group
		海螂科 Myidae	砂海螂 <i>Mya arenaria</i>	PI
节肢动物门 Arthropoda	蔓足纲 Cirripedia		糊斑藤壶 <i>Balanus cirratus</i>	PI
	软甲纲 Malacostraca	樱虾科 Sergestidae	日本毛虾 <i>Acetes japonicus</i>	PI
		鼓虾科 Alpheidae	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	C
			鲜明鼓虾 <i>Alpheus heterocarpus</i>	C
		螯蛄虾科 Upogebiidae	大螯蛄虾 <i>Upogebia major</i>	O
			伍氏螯蛄虾 <i>Upogebia wuhsienweni</i>	O
		瓷蟹科 Porcellanidae	绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	O
		玉蟹科 Leucosiidae	豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	O
		沙蟹科 Ocypodidae	秉氏泥蟹 <i>Ilyoplax pingi</i>	D
			六齿猴面蟹 <i>Camptandrium sexdentatus</i>	D
			锯脚泥蟹 <i>Ilyoplax dentimerosa</i>	D
			宽身大眼蟹 <i>Macrophthalmus dilatatus</i>	D
			日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	D
		虾蛄科 Squillidae	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	C
棘皮动物门 Echinodermata	海参纲 Holothuroidea	锚参科 Synaptidae	棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>	O
脊索动物门 Chordata	鱼纲 Pisces	鰕虎鱼科 Gobiidae	普氏细棘鰕虎鱼 <i>Acentrogobius pflaumi</i>	C
		鳗鰕虎鱼科 Taenioididae	红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	C

PI: 浮游生物食者 Planktophagous group; C: 肉食者 Carnivorous group; O: 杂食者 Omnivorous group; D: 碎屑食者 Detritivorous group. 下同 The same below.

表 2 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物各功能群种数的季节及潮区组成变化

Table 2 Species number of macrozoobenthos of each functional group in different tidal zones and seasons in the northwestern Jiaozhou Bay

潮区 Tidal zone	季节 Season	功能群 Functional group			
		C	D	O	PI
A	冬 Winter	5	5	0	4
	春 Spring	3	3	1	2
	夏 Summer	3	2	0	6
	秋 Autumn	2	4	0	4
	全年 Whole year	10	6	1	9
B	冬 Winter	5	3	0	6
	春 Spring	3	5	3	4
	夏 Summer	5	6	1	6
	秋 Autumn	6	5	2	6
	全年 Whole year	10	8	5	10
C	冬 Winter	5	3	1	4
	春 Spring	3	4	1	3
	夏 Summer	5	3	1	9
	秋 Autumn	7	3	2	3
	全年 Whole year	18	5	2	10
D	冬 Winter	10	4	1	4
	春 Spring	5	3	3	6
	夏 Summer	2	1	1	5
	秋 Autumn	9	4	2	5
	全年 Whole year	15	5	5	13
E	冬 Winter	2	5	2	4
	春 Spring	5	2	1	4
	夏 Summer	6	1	2	5
	秋 Autumn	5	3	2	4
	全年 Whole year	11	6	4	10

B 和潮区 C, 浮游生物食者均在夏季最低; 潮区 C, 杂食者仅发现于秋季; 潮区 D, 浮游生物食者季节间波动较大, 碎屑食者和杂食者在夏季均为 0; 潮区 E, 浮游生物食者从冬季到秋季总体呈下降趋势, 碎屑食者在夏季为 0. 从潮区看, 不同功能群均匀度指数也表现出不同的变化规律. 冬季, 肉食者均匀度指数在潮区 D 最高, 碎屑食者在潮区 A 最低, 浮游生物食者在潮区 E 最低; 春季, 肉食者在潮区 A 最低、潮区 C 最高, 碎屑食者在潮区 E 最低, 浮游生物食者在潮区 C 最高, 杂食者在潮区 D 最高; 夏季, 肉食者在潮区 C 最高、潮区 A 最低, 碎屑食者在潮区 B 最高, 潮区 D、E 为 0, 浮游生物食者在潮区 D 最高; 秋季, 肉食者和碎屑食者波动较平缓, 浮游生物食者在潮区 C 最高, 潮区 E 最低, 杂食者在潮区 C 最高、潮区 A 为 0.

各功能群多样性指数存在明显季节变化. 潮区 A, 肉食者和碎屑食者在冬季最高, 浮游生物食者夏季最高; 潮区 B, 肉食者在春季最低、其他季节间相近, 碎屑食者夏季最高、冬季最低, 浮游生物食者秋季最高, 杂食者冬、夏季为 0; 潮区 C, 肉食者在春季最低, 碎屑食者波动较平缓, 浮游生物食者在秋季最高; 潮区 E, 肉食者自冬季至秋季呈先升后降趋势, 碎屑食者变化趋势与其相反, 杂食者在春季为 0. 各功能群多样性指数存在一定的潮区变化. 春季, 肉食

表 3 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物各功能群多样性特征

Table 3 Diversity indices of macrozoobenthic functional groups in tidal flat in the northwestern Jiaozhou Bay

潮区 Tidal zone	季节 Season	C			D			O			PI		
		D	J	H'	D	J	H'	D	J	H'	D	J	H'
A	冬 Winter	1.07	0.93	1.50	0.76	0.76	1.22	-	-	-	0.64	0.58	0.80
	春 Spring	0.53	0.67	0.74	0.39	0.85	0.93	-	-	-	0.33	0.81	0.56
	夏 Summer	0.58	0.79	0.87	0.26	0.50	0.35	-	-	-	0.83	0.56	1.01
	秋 Autumn	0.42	1.00	0.69	0.64	0.83	1.15	-	-	-	1.20	0.27	0.48
	全年 Whole year	1.86	0.78	1.80	0.80	0.66	1.17	0.00	-	0.00	1.25	0.65	1.43
B	冬 Winter	0.94	0.92	1.48	0.46	0.87	0.96	-	-	-	0.85	0.44	0.79
	春 Spring	0.55	0.98	1.08	0.74	0.85	1.36	0.61	0.87	0.95	0.52	0.43	0.60
	夏 Summer	1.01	0.97	1.56	1.01	0.97	1.56	0.00	-	0.00	0.50	0.06	0.10
	秋 Autumn	1.15	0.97	1.56	0.68	0.85	1.37	0.36	0.92	0.64	0.79	0.53	0.96
	全年 Whole year	1.71	0.92	2.11	1.04	0.71	1.47	1.03	0.94	1.51	0.89	0.10	0.24
C	冬 Winter	1.15	0.97	1.56	0.53	0.89	0.97	0.00	-	0.00	0.42	0.56	0.77
	春 Spring	0.72	1.00	1.10	0.55	0.74	1.03	0.00	-	0.00	0.46	0.87	0.96
	夏 Summer	1.15	0.97	1.56	0.55	0.74	1.03	0.00	-	0.00	0.81	0.06	0.14
	秋 Autumn	1.55	0.97	1.89	0.44	0.84	0.92	0.42	1.00	0.69	0.65	0.95	1.04
	全年 Whole year	3.52	0.97	2.81	0.67	0.76	1.22	0.00	-	0.00	1.00	0.15	0.35
D	冬 Winter	2.12	0.98	2.25	0.72	0.87	1.20	0.00	-	0.00	0.57	0.52	0.72
	春 Spring	1.15	0.97	1.56	0.48	0.81	0.89	0.72	1.00	1.10	0.67	0.12	0.22
	夏 Summer	0.36	0.92	0.64	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.65	0.82	1.32
	秋 Autumn	1.97	0.98	2.15	0.75	0.88	1.22	0.29	0.65	0.45	0.54	0.08	0.13
	全年 Whole year	2.71	0.93	2.52	0.77	0.79	1.27	0.95	0.72	1.16	1.44	0.46	1.19
E	冬 Winter	0.58	0.92	1.01	0.72	1.00	1.10	0.31	0.72	0.50	0.53	0.29	0.41
	春 Spring	1.07	0.93	1.49	0.31	0.72	0.50	0.00	-	0.00	0.47	0.20	0.27
	夏 Summer	1.29	0.94	1.69	0.00	-	0.00	0.33	0.81	0.56	0.51	0.08	0.13
	秋 Autumn	1.29	0.94	1.68	0.72	1.00	1.10	0.33	0.81	0.56	0.39	0.06	0.08
	全年 Whole year	2.14	0.94	2.34	1.10	0.84	1.51	0.67	0.72	0.99	1.04	0.07	0.16

D: Margalef 种类丰富度 Margalef species abundance; J: Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index; H': Shannon 多样性指数 Shannon diversity index.

者的多样性指数在潮区 D 最高、潮区 A 最低;碎屑食者在潮区 B 最高、潮区 E 最低;浮游生物食者在潮区 A 最高、潮区 D 和 E 较低;杂食者在潮区 A、E 都为 0. 夏季,肉食者和碎屑食者的波动趋势较一致;浮游生物食者在潮区 D 最高,杂食者除潮区 E,其他潮区都为 0. 秋季,肉食者多样性指数在潮区 A ~ D 呈递增的趋势,到潮区 E 转而下降;碎屑食者呈相对较平缓的波动;浮游生物食者在潮区 C 最高、潮区 E 最低;杂食者在潮区 C 最高,潮区 A 为 0.

双因素方差分析表明,只有碎屑食者的均匀度指数在季节间存在显著差异($P < 0.05$),其他各功能群种数在季节间、潮区间差异均不显著($P > 0.05$).

3 讨 论

本研究结果表明,大型底栖动物各功能群种数的季节间差异均不显著,这可能由于胶州湾海域属于暖温带水域,且生活种类的生命周期一般都较长,导致功能群的季节变化不显著. 大型底栖动物各功能群种数的潮区间差异不显著,这可能主要与人为活动干扰有关. 高潮区调查站位以上为滩涂养殖池

塘堤坝,一定程度上影响了海水正常的涨落潮,从而影响了大型底栖动物在潮区间的分布. 尽管如此,潮区间仍呈现一定的变化梯度,潮区 B、潮区 C、潮区 D 生物组成较潮区 A、潮区 E 相对复杂,说明底栖动物功能群结构是潮间带生境梯度和环境质量的综合反映^[19].

潮区 B、C、D 位于中潮区,潮区 A 处于高潮区,潮区 E 处于低潮区,中潮区生物组成较高、低潮区相对复杂,这与潮滩湿地的生境有很大关系. 高潮区近年陆化现象越来越明显,低潮区大部分时间浸在水里,受到的冲刷比较严重,中潮区露水时间较低潮区长而受到的陆缘干扰较高潮区小,营养物质交换比较充分,所以其功能群相对多样化^[17].

浮游生物食者在高、中潮区的多样性指数高于低潮区,这可能因为养殖活动主要分布在中、低潮区. 养殖种类的活动必然占据同属浮游生物食者的其他底栖动物的生存空间,从而导致其他底栖动物减少,同时由于养殖物种等浮游生物食者的优势度较高,导致物种多样性降低.

本次调查未发现植食者,可能主要由该调查海

域特殊的地理环境特征所决定. 本次调查的胶州湾西北部海域的底质主要为软泥相底, 缺乏有利于藻类生长的岩石岸和砾石滩等硬相底质. 而海藻的生长明显受底质影响^[20], 由于缺乏适宜的生活底质, 导致藻类缺乏, 从而进一步导致该调查海域植食者的缺乏.

本次调查中浮游生物食者物种数所占比例非常高. 这可能与胶州湾西北部潮滩湿地软泥相底质适宜营埋栖生活的双壳类生活有关, 而双壳类中大多都是浮游生物食者; 同时该海域有大量的菲律宾蛤仔、缢蛏、光滑河篮蛤的养殖活动, 海水养殖对水域和底质都会产生较大影响, 从而影响底栖生物的分布^[21].

陆地上 80% 的污染源通过河流进入海洋. 大沽河位于本次调查区域的中部, 陆地上的营养盐会随着大沽河的注入而被带入到胶州湾内. 由于大沽河的陆缘输入, 胶州湾西北部营养盐浓度高于中部和南部, 而胶州湾的无机氮和无机磷浓度从 20 世纪 60 年代到 90 年代有显著增加^[22].

王勇和焦念志^[22]和王保栋等^[23]证实海水中营养盐与浮游植物具有一定的相关性. 自 20 世纪 60 年代以来, 受人类活动的影响, 胶州湾营养盐浓度及其结构、浮游植物群落组成已经发生显著变化^[24], 而浮游植物群落结构的变化与胶州湾营养盐浓度和结构的变化密切相关^[25]. 胶州湾浮游植物数量呈增加趋势, 优势种更替明显, 多样性指数有所下降, 胶州湾浮游植物群落处于演化之中^[26], 营养盐浓度的增加对浮游植物生长有促进作用^[22], 并可能造成以其为食的浮游生物食者数量相应增加.

植被可以给底栖生物提供栖息和躲避的场所. 本次调查的潮滩为无植被覆盖的光滩, 这大大增加了滩上底栖生物的暴露机率. 袁兴中^[27]研究发现, 植被类型、覆盖度通过影响营养源的分布和食物结构, 进一步影响底栖动物功能群的分布.

胶州湾贝类养殖活动对海区的影响越来越大. 底播养殖可改变底质物理特性, 进而影响底栖动物群落^[28]. Newell^[29]认为, 虽然贝类对富营养化的水质有一定缓解作用, 但如果贝类的养殖密度大, 微生物降解其生物性沉积物的作用增强, 会导致底质环境溶解氧的消耗, 促进底质中磷的释放, 其累积的硫化氢也会对底栖无脊椎动物产生危害. 王俊等^[30]发现贝类对浮游植物有明显促长作用. 而关于养殖活动对大型底栖动物功能群的影响还有待于进一步研究.

致 谢 感谢中国海洋大学于子山教授和曾晓起教授在物种分类鉴定方面给予的大力帮助. 感谢刘群教授对英文摘要的斧正. 感谢徐宾铨博士在论文写作过程中的悉心指导和张崇良等在实验过程中的帮助.

参考文献

- [1] Dai J-C (戴纪翠), Ni J-R (倪晋仁). Roles of benthos in the aquatic ecosystem health assessment. *Ecology and Environment* (生态环境), 2008, **17** (6): 2107-2111 (in Chinese)
- [2] Lu J-J (陆健健). *Estuarine Ecology*. Beijing: Ocean Press, 2003 (in Chinese)
- [3] Yeom DH, Adams SM. Assessing effects of stress across levels of biological organization using an aquatic ecosystem health index. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2007, **67**: 286-295
- [4] Terborg J, Robinson S. *Community Ecology: Patterns and Processes*. Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1986
- [5] Steneck RS, Watling L. Feeding capabilities and limitations of herbivorous molluscs: A functional group approach. *Marine Biology*, 1982, **68**: 299-319
- [6] Talley TS, Dayton PK, Ibarra-Obando SE. Tidal flat macrofaunal communities and their associated environments in estuaries of southern California and northern Baja California, Mexico. *Estuaries and Coasts*, 2000, **23**: 97-114
- [7] Mucha AP, Costa MH. Macrozoobenthic community structure in two Portuguese estuaries: Relationship with organic enrichment and nutrient gradients. *Acta Oecologica*, 1999, **20**: 363-376
- [8] Zhu X-J (朱晓君), Lu J-J (陆健健). Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary. *Zoological Research* (动物学研究), 2003, **24** (5): 355-361 (in Chinese)
- [9] Yuan X-Z (袁兴中), Lu J-J (陆健健), Liu H (刘红). Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22** (12): 2054-2062 (in Chinese)
- [10] Ge B-M (葛宝明), Bao Y-X (鲍毅新), Cheng H-Y (程宏毅), et al. The trophic functional groups and trophic levels of the macrobenthic community at the east tidal flat of Lingkun Island. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报) 2008, **28** (10): 4796-4804 (in Chinese)
- [11] Bao Y-X (鲍毅新), Hu Z-Y (胡知渊), Li H-H (李欢欢), et al. Seasonal variation and functional groups of macrobenthic communities at diked and natural tidal flat, Lingkun Island, China. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 2008, **54** (3): 416-427 (in Chinese)
- [12] Li X-Z (李新正), Li B-Q (李宝泉), Wang H-F (王洪法), et al. Macrobenthic community of the intertidal zone of Jiaozhou Bay. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 2006, **52** (3): 612-618 (in Chinese)
- [13] Wang H-F (王洪法), Li B-Q (李宝泉), Zhang B-L

- (张宝琳), *et al.* The ecological research of the macrobenthic community in intertidal zone of Hongshiya, Jiaozhou Bay. *Marine Sciences* (海洋科学), 2006, **30** (9): 52–57 (in Chinese)
- [14] Li B-Q (李宝泉), Zhang B-L (张宝琳), Liu D-Y (刘丹运), *et al.* The ecological study of the macrobenthic community in intertidal zone of Nugukou, Jiaozhou Bay. *Marine Sciences* (海洋科学), 2006, **30** (10): 15–19 (in Chinese)
- [15] Zhang B-L (张宝琳), Wang H-F (王洪法), Li B-Q (李宝泉), *et al.* The ecology of the macrobenthic community in the intertidal zone of Xindao, Jiaozhou Bay. *Marine Sciences* (海洋科学), 2007, **31** (1): 60–64 (in Chinese)
- [16] State Oceanic Administration of China (国家海洋局). Specification for Oceanographic Survey. Part 6: Marine Biological Survey (GB/T 12763. 6–2007). Beijing: China Standards Press, 2007 (in Chinese)
- [17] Li H-H (李欢欢), Bao Y-X (鲍毅新), Hu Z-Y (胡知渊), *et al.* Seasonal dynamics of macrobenthic functional groups and trophic levels in the bridge construction zone at the South Bank of Hangzhou Bay, China. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 2007, **53** (6): 1011–1023 (in Chinese)
- [18] Ma K-P (马克平). Principle and Method of Biodiversity Studies. Beijing: China Science & Technology Press, 1994 (in Chinese)
- [19] Engle VD, Summers JK. Latitudinal gradients in benthic community composition in western Atlantic estuaries. *Journal of Biogeography*, 1999, **26**: 1007–1023
- [20] Lin W (林炜), Lai L-P (赖丽萍), Tang Y-J (唐以杰). Species diversity of mollusc in intertidal zone, Daya Bay. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 2001, **9** (3): 247–253 (in Chinese)
- [21] Jiao N-Z (焦念志). Ecological Processes and Sustainable Development of Typical Coastal Water Ecosystems in China. Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese)
- [22] Wang Y (王勇), Jiao N-Z (焦念志). Response of phytoplankton to nutrient addition in Jiaozhou Bay. *Marine sciences* (海洋科学), 2002, **26** (4): 8–12 (in Chinese)
- [23] Wang B-D (王保栋). Nutrient distributions and their limitation on phytoplankton in the Yellow Sea and the East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14** (7): 1122–1126 (in Chinese)
- [24] Shen ZL. Historical changes in nutrient structure and its influences on phytoplankton composition in Jiaozhou Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, **52**: 211–224
- [25] Liu D-Y (刘东艳), Sun J (孙军), Qian S-B (钱树本). Study on the phytoplankton in Jiaozhou Bay. II. Influence of the environmental factors to phytoplankton community. *Journal of Ocean University of Qingdao* (青岛海洋大学学报), 2002, **32** (3): 415–421 (in Chinese)
- [26] Wu Y-L (吴玉霖), Sun S (孙松), Zhang Y-S (张永山). Long-term change of environment and its influence on phytoplankton community structure in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2005, **36** (6): 487–498 (in Chinese)
- [27] Yuan X-Z (袁兴中). Ecology Study on the Zoobenthic Community in the Wetland of the Estuarine Tidal Flat. PhD Thesis. Shanghai: East China Normal University, 2002 (in Chinese)
- [28] Zhang J-H (张继红). Effect of Filter Feeding Shellfish Mariculture on the Ecosystem and the Evaluation of Ecology Carrying Capacity. PhD Thesis. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2008 (in Chinese)
- [29] Newell RIE. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review. *Journal of Shellfish Research*, 2004, **23**: 51–61
- [30] Wang J (王俊), Jiang Z-H (姜祖辉), Dong S-L (董双林). Role of filter-feeding bivalves in proliferation of phytoplankton community. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12** (5): 765–768 (in Chinese)

作者简介 辛俊宏,女,1987年生,硕士研究生.主要从事大型底栖生物生态学研究. E-mail: yeah_good_1987@yeah.net

责任编辑 肖红
