

# 山东半岛宁津沿岸潮间带大型底栖动物生态学研究

甘志彬, 李新正, 王洪法, 张宝琳

(中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 根据 2009 年 11 月至 2010 年 8 月 4 个季度(秋、冬、春、夏)对宁津沿岸潮间带 2 个断面的高潮带(SC1H 与 SC2H)、中潮带(SC1M 与 SC2M)和低潮带(SC1L 与 SC2L)所设 6 个站位的大型底栖动物生态调查资料, 采用种属组成、优势度指数、物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数等方法, 分析了调查区域内大型底栖动物的生态特征和季节变化。结果表明: 宁津沿岸潮间带共采集到大型底栖动物 45 种, 其中甲壳动物为优势类群, 共计 20 种; 软体动物 14 种, 环节动物多毛类 9 种, 其他类动物 2 种。优势种组成方面, 甲壳动物钩虾类是 4 个季度的绝对优势种。调查区域大型底栖动物的年平均生物量为 45.09 g/m<sup>2</sup>; 最高生物量出现在秋季, 最低出现在春季; 空间分布上, 除春季外其他三个季度的生物量变化趋势均为中潮带>低潮带>高潮带。年平均丰度为 182.67 个/m<sup>2</sup>; 最高丰度出现在夏季, 最低出现在冬季。宁津沿岸潮间带大型底栖动物的年平均物种多样性指数 *H'* 为 1.09, 季节变化趋势为冬季>秋季>夏季>春季, 空间分布趋势为低潮带>中潮带>高潮带。与邻近潮间带文献资料相比, 调查区域的大型底栖动物在物种数量、生物量和丰度、物种多样性方面均处于低值水平。

**关键词:** 大型底栖动物; 潮间带; 山东半岛; 宁津

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)06-0041-08

doi: 10.11759/hyxx20150907001

荣成市宁津镇位于山东半岛的东南端, 所辖海域位于南北黄海的交界处。宁津沿岸及近海是当地居民的传统渔场; 其北面的桑沟湾和南边的石岛湾是海带、贝类等重要水产品的养殖水域。宁津海岸沿线一带经济开发建设较重, 基本没有自然状态的潮间带, 频繁的人类活动对海岸扰动影响也非常明显。大型底栖动物是潮间带生物的重要组成部分, 是研究潮间带生态系统不可或缺的类群。同时潮间带生存的大型底栖动物也是环境扰动敏感类群, 其种类组成和分布等群落特征因各种理化环境及人类扰动影响的不同而呈现相应的差异性。

国外开展潮间带底栖生物调查研究较早, 研究也比较深入和透彻。例如 Whitlatch<sup>[1]</sup>对美国巴恩斯特布尔港口潮间带底栖生物群落的研究; Borzone 等<sup>[2]</sup>对巴西两处海滩潮间带生物的对比较研究; Dittmann<sup>[3]</sup>对澳大利亚北昆士兰红树林潮间带生物群落的研究。相对而言, 我国开展潮间带大型底栖动物的研究较晚, 但随着综合国力的提升, 相关领域的研究也受到越来越多的重视; 其中山东半岛沿岸潮间带是研究较为全面的区域之一。例如王洪法等<sup>[4]</sup>、李宝泉等<sup>[5]</sup>、李新正等<sup>[6]</sup>、张宝琳等<sup>[7]</sup>对胶州湾潮间带大型底栖动物的系统调查研究。马林等<sup>[8-9]</sup>、黄慧等<sup>[10]</sup>对荣成和

乳山沿岸潮间带的研究。王晓晨等<sup>[11]</sup>对黄河口岔尖岛、大口河岛和望子岛潮间带大型底栖动物的研究。所有这些研究资料即积累了对研究区域大型底栖动物现状的了解, 也为实现长期和系统的海洋环境监测和管理以及生物多样性保护提供了基础资料。

本研究分四个季度在山东半岛宁津沿岸潮间带选取两个断面, 每断面取高潮带、中潮带和低潮带三个站位, 以固定面积取样框重复采样。获取潮间带的大型底栖动物样品, 固定保存于酒精中, 带回实验室进行测定分析工作。通过分析可以获得研究区域大型底栖动物的物种组成、丰度、生物量以及生物多样性指数等数据资料, 从而更好地了解 and 掌握研究区域大型底栖动物的生态学特征, 为海岸开发和环境监测等提供参考资料。

收稿日期: 2015-09-07; 修回日期: 2015-09-25

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201505004-1)

[Foundation: Ocean Public Welfare Scientific Research Project, State Oceanic Administration of the People's Republic of China (No. 201505004-1)]

作者简介: 甘志彬(1986-), 男, 河北邯郸人, 主要从事海洋无脊椎生物分类与系统演化、大型底栖生物生态学研究, E-mail: ganzhibin2005@163.com; 李新正, 通信作者, 博士生导师, 电话: 0532-82898771, Email: lixzh@qdio.ac.cn

# 1 材料与方 法

## 1.1 宁津沿岸潮间带概况和站位设置

本研究区域选择在宁津镇石核路东侧的海岸处。沿岸陆地上为在建的华能石岛湾核电站；沿岸近海多为海带养殖区域；沿岸底质多为泥沙、砾石(粒

径一般为 2~30 mm 的无棱角碎石)等。详细站位设置见图 1 和表 1。潮间带采样分四个季度即 2009 年 11 月(秋)、2010 年 2 月(冬)、2010 年 5 月(春)和 2010 年 8 月(夏)。选取 2 个断面, 每个断面分高潮带、中潮带和低潮带 3 个站位, 每个站位在 GPS 定位后分别进行定量和定性采集。

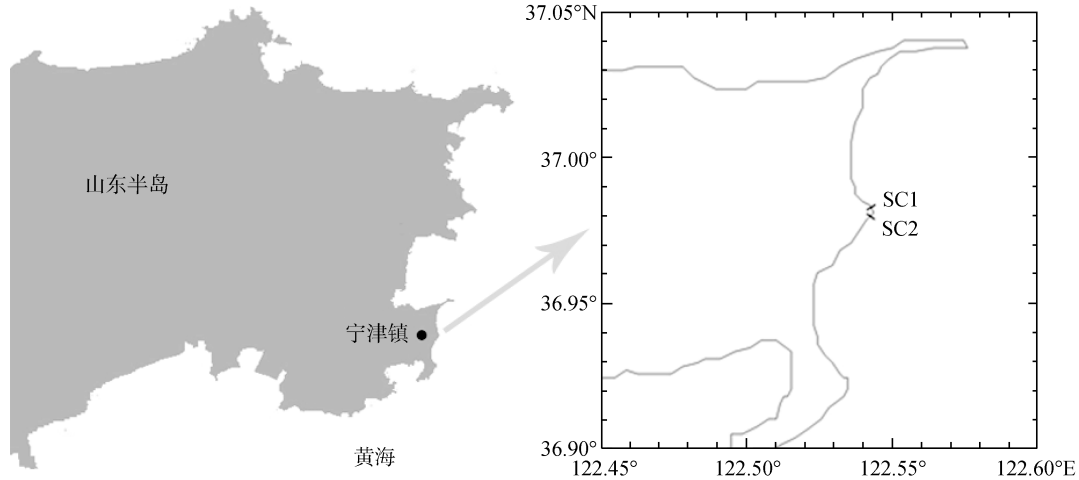


图 1 调查站位示意图

Fig. 1 Location of the sampling stations in the intertidal zone of Ningjin, Shandong

表 1 宁津沿岸潮间带大型底栖动物采样站位

Tab. 1 Macro-benthic sampling stations in the intertidal zone of Ningjin

站位	潮区	经度	纬度	底质
SC1H	高潮带	121°32'17.3"	36°58'49.0"	细沙
SC1M	中潮带	121°32'19.6"	36°58'49.1"	粗砂、砾石
SC1L	低潮带	122°32'20.5"	36°58'49.5"	粗砂、砾石
SC2H	高潮带	122°31'47.1"	36°58'01.3"	细沙
SC2M	中潮带	122°31'48.8"	36°58'00.8"	泥沙
SC2L	低潮带	122°31'49.6"	36°58'00.4"	泥沙

## 1.2 样品处理和数据统计分析

野外调查方法和实验室样品处理均按照《海洋调查规范》和《海洋监测规范》开展。定量采集以 0.25 m<sup>2</sup> 采样框和 0.3 m 深度重复取样 2 次, 而后将泥样经 0.5 mm 孔径的选样筛冲洗获得大型底栖动物, 固定于 90% 酒精中。定性采样在定量站位周围捡取大型底栖动物样品保存于 90% 酒精。样品带回实验室进行粗分、种类鉴定, 计数和质量称重等处理。数据分析使用 Excell 和 Primer 5 统计软件, 统计每个站位的大型底栖动物物种数、丰度(个/m<sup>2</sup>)、生物量(g/m<sup>2</sup>)、优势度(*Y*)、物种多样性指数(*H'*)、物种丰富度指数(*D*)和物种均匀度指数(*J'*)。

优势度指数采用计算公式<sup>[12]</sup>:

$$Y = (n_i/N)f_i$$

式中: *Y* 为底栖生物优势度指数; *n<sub>i</sub>* 为第 *i* 种的总个体数; *N* 为在所有站位采集的底栖生物总个体数; *f<sub>i</sub>* 为该物种在各调查站位中的出现频率。

物种多样性指数(*H'*)采用 Shannon 计算公式<sup>[13]</sup>:

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

物种丰富度指数(*D*)采用 Margalef 计算公式<sup>[14]</sup>:

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

物种均匀度指数(*J'*)采用 Pielou 计算公式<sup>[15]</sup>: *J'* = *H'*/log<sub>2</sub>*S*。

式中: *N* 为采泥样品中所有种类的总个体数; *S* 为采泥样品中的种类总数; *P<sub>i</sub>* 为第 *i* 种的个体数与样品中

的总个数的比值( $n_i/N$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成和季节变化

2009年11月、2010年2月、2010年5月和2010年8月在调查区域共采样获得大型底栖动物45种，

其中定量调查采到30种，定性调查采集25种(物种名录和分布见表2)。大型底栖动物群落中，甲壳动物为种类优势类群，共计20种，占总数的44.44%，软体动物14种，占总数的31.11%，环节动物多毛类9种，占总数的20.00%，其他动物(腔肠动物和鱼类)2种，占总数的4.45%。

表2 宁津沿岸潮间带大型底栖动物种名录及分布

Tab. 2 The distribution of macrobenthic species found in the intertidal zones of Ningjin

类群	种名	分布情况					
		SC1H	SC1M	SC1L	SC2H	SC2M	SC2L
多毛类 Polychaeta	丝异蚓虫( <i>Heteromastus filiformis</i> )	-	-	-	-	-	+
	沙蚕科一种( <i>Nereididae</i> sp.)	-	-	-	-	-	+
	中型阿曼吉虫( <i>Armandia intermedia</i> )	+	-	-	-	+	-
	日本臭海蛭( <i>Travisia japonica</i> )	-	+	+	-	-	-
	叉毛卷须虫( <i>Cirrophorus furcatus</i> )	-	-	-	-	-	+
	腹钩虫属一种( <i>Scolelepis</i> sp.)	-	-	-	-	-	+
	扁模裂虫( <i>Typosyllis fasciata</i> )	-	-	-	+	-	-
	沙蠲科一种( <i>Arenicolidae</i> sp.)	+	-	-	-	-	-
	躁尖索沙蚕( <i>Scoletoma impatiens</i> )**	-	+	-	+	-	-
甲壳动物 Crustacea	平背蜆( <i>Gaetice depressus</i> ) *	+	-	-	-	-	-
	绒毛近方蟹( <i>Hemigrapsus penicillatus</i> ) **	+	-	+	+	-	-
	中华近方蟹( <i>Hemigrapsus sinensis</i> ) *	-	-	-	+	-	-
	泥蟹属一种( <i>Ilyoplax</i> sp.) **	-	-	-	+	-	-
	麦杆虫一种( <i>Caprella</i> sp.)	-	+	-	-	-	-
	企氏外浪瓢水虱( <i>Exocirolana chiltoni</i> )	+	-	-	+	+	+
	团水虱科一种( <i>Sphaeromatidae</i> sp.)	-	-	+	-	-	-
	圆柱水虱属一种( <i>Exocirolana</i> sp.)	-	-	-	-	+	-
	大泵钩虾( <i>Haustorioides magnus</i> ) **	+	+	+	+	+	+
	钩虾亚目一种( <i>Gammaridea</i> sp.)	-	-	-	-	-	+
	大角玻璃钩虾( <i>Hyale grandicornis</i> )	+	+	-	-	+	+
	施氏玻璃钩虾( <i>Hyale schemidti</i> )	+	-	-	-	-	-
	尖头钩虾科一种( <i>Phoxocephalidae</i> sp.) **	-	+	-	-	+	+
	细拟脚长蜆( <i>Parathemisto gracilipes</i> )	+	-	-	-	-	-
	藤壶属一种( <i>Balanus</i> sp.) *	-	-	-	+	-	-
	小藤壶属一种( <i>Chthamalus</i> sp.) *	-	-	-	+	-	-
	等足目一种( <i>Isopoda</i> sp.)	-	+	-	-	-	-
	海蟑螂( <i>Ligia exotica</i> ) *	-	-	-	+	-	-
	海蛛纲一种( <i>Pycaogonida</i> sp.)	-	-	-	+	-	-
	软体动物 Mollusca	寇氏小节贝( <i>Collisella kolarovai</i> ) *	-	-	-	+	-
矮拟帽贝( <i>Patelloida pygmaea</i> ) **		-	-	+	-	+	-
短滨螺( <i>Littorina brevicula</i> ) **		+	-	-	-	-	+
中国蛤蜊( <i>Macra chinensis</i> ) **		-	-	+	+	+	+
贻贝( <i>Mytilus edulis</i> ) *		+	+	-	+	+	-
广大扁玉螺( <i>Glossaulax reiniana</i> ) *		-	-	-	+	-	-
长牡蛎( <i>Crassostrea gigas</i> ) *	-	-	-	-	+	-	

续表

类群	种名	分布情况					
		SC1H	SC1M	SC1L	SC2H	SC2M	SC2L
软体动物 Mollusca	牡蛎属一种( <i>Crassostrea</i> sp.) *	-	-	-	+/-	-	-
	栉孔扇贝( <i>Chlamys farreri</i> ) **	+	-	-	-	+	-
	布尔小笔螺( <i>Mitrella burchardi</i> )	-	+	-	-	-	-
	笋螺属一种( <i>Terebra</i> sp.)	-	+	-	-	-	+
	锈凹螺( <i>Chlorostoma rustica</i> ) *	-	-	-	+	+	-
	托氏虫昌螺( <i>Umbonium thomasi</i> )	-	-	-	-	+	+
	等边浅蛤( <i>Gomphina aequilatera</i> ) **	-	-	-	+	+	+
	菲律宾蛤仔( <i>Ruditapes philippinarum</i> ) *	-	-	-	+	-	-
腔肠动物 Cnidaria	海葵目一种( <i>Actiniaria</i> sp.) *	-	-	-	-	-	+
鱼类 Pisces	鳎科一种( <i>Gadiidae</i> sp.)*	-	-	-	-	+	-

“+”表示该种在该站位采集到,“-”表示该种在该站位未发现,“\*”表示仅定性调查采集到,“\*\*”表示定量和定性均采集到

在优势种组成方面,当  $Y \geq 0.02$  时,认为该物种为优势种。大角玻璃钩虾(*Hyale grandicornis*) ( $Y=0.3215$ )和等边浅蛤(*Gomphina aequilatera*) ( $Y=0.0541$ )为秋季的优势种;大泵钩虾(*Haustorioides magnus*) ( $Y=0.2469$ )、中国蛤蜊(*Macra chinensis*) ( $Y=0.0617$ )、日本臭海蛭(*Travisia japonica*) ( $Y=0.0494$ )和等边浅蛤( $Y=0.0226$ )为冬季优势种;大泵钩虾( $Y=0.4583$ )、等边浅蛤( $Y=0.0625$ )和企氏外浪瓢水虱(*Exocirolana chiltoni*) ( $Y=0.0532$ )为春季优势种;大泵钩虾( $Y=0.9465$ )为夏季优势种。

夏季和冬季调查采集到的大型底栖动物物种数最多,均为 20 种。其中夏季多毛类动物最多,为 9 种,在 SC2L 站位采集到的物种最多,为 7 种。冬季软体动物种类最多,为 11 种,同样在 SC2L 站位采集到的物种数最多,为 7 种。秋季调查共采集到 18 种,其中软体动物最多,为 9 种,在 SC2M 站位采集到的物种数最多,为 5 种。春季采集到 14 种,其中甲壳动物最多,为 9 种,在 SC1H、SC1L 和 SC2M 站位采集到的物种数最多,均为 3 种。宁津沿岸潮间带各站各季节的大型底栖动物物种数见表 3。

表 3 宁津沿岸潮间带各站各季节的大型底栖动物物种数  
Tab. 3 The number of macrobenthos species found in the intertidal zones of Ningjin during the four seasons

站位	季节				总计
	秋季	冬季	春季	夏季	
SC1H	4	2	3	1	9
SC1M	3	3	1	4	9
SC1L	1	3	3	2	5
SC2H	1	2	2	3	7
SC2M	5	6	3	6	10
SC2L	4	7	1	7	13
总计	18	20	14	20	45

## 2.2 生物量与丰度

### 2.2.1 生物量及其季节变化

宁津沿岸潮间带各季度大型底栖动物的年平均生物量为  $45.09 \text{ g/m}^2$  (表 4)。秋季平均生物量最高,为  $87.20 \text{ g/m}^2$ ;其中软体动物对生物量的贡献率最高,占本季度总生物量的 99.04%;其次为甲壳动物,占总生物量的 0.94%;多毛类动物最低,仅占总生物量的 0.02%。在空间分布上,中潮带(SC1M 和 SC2M)生物量最高,为  $226.94 \text{ g/m}^2$ 。高潮带(SC1H 和 SC2H)最低,为  $12.64 \text{ g/m}^2$ 。

冬季平均生物量居第二位,为  $39.84 \text{ g/m}^2$ ;其中软体动物平均生物量最高,占本季度总生物量的 88.55%,其次为多毛类动物,占 10.12%,平均生物量最少为甲壳动物,占 1.33%。在空间分布上,生物量的变化趋势与秋季一致,中潮带生物量最高,为  $70.14 \text{ g/m}^2$ ;高潮带最低,仅为  $0.21 \text{ g/m}^2$ 。

夏季平均生物量为  $29.24 \text{ g/m}^2$ ,居第三位;其中软体动物平均生物量最高,占本季度总生物量的 94.19%,其次为甲壳动物,占 5.81%,多毛类动物在本季度没有发现。在空间分布上,生物量同样在中潮带生物量最高,为  $49.79 \text{ g/m}^2$ ;高潮带最低,为  $1.66 \text{ g/m}^2$ 。

春季平均生物量最低,为  $24.07 \text{ g/m}^2$ ;其中软体动物平均生物量仍然为最高,占本季度总生物量的 81.22%,其次为甲壳动物,占 18.24%,多毛类动物比例最少,为 0.54%。在空间分布上,生物量变化趋势不同于上述三个季度,低潮带(SC1L 和 SC1L)最高,为  $52.11 \text{ g/m}^2$ ;中潮带最低,为  $9.33 \text{ g/m}^2$ 。

### 2.2.2 丰度及其季节变化

调查区域各季度大型底栖动物平均丰度见表 4。

表 4 宁津沿岸潮间带大型底栖动物的生物量(g/m<sup>2</sup>)和丰度(个/m<sup>2</sup>)Tab. 4 Seasonal biomass (g/m<sup>2</sup>) and abundance (ind/m<sup>2</sup>) of macrobenthic groups found in the intertidal zones of Ningjin

季节		多毛类动物		甲壳动物		软体动物		合计	
		生物量	丰度	生物量	丰度	生物量	丰度	生物量	丰度
秋季	高潮线	0.04	2.00	1.34	136.00	11.26	4.00	12.64	142.00
	中潮线	0.00	0.00	0.99	158.00	225.95	66.00	226.94	224.00
	低潮线	0.00	0.00	0.12	20.00	21.89	10.00	22.01	30.00
	平均	0.01	0.67	0.82	104.67	86.37	26.67	87.20	132.00
冬季	高潮线	0.19	6.00	0.02	4.00	0.00	0.00	0.21	10.00
	中潮线	5.49	20.00	0.35	20.00	64.30	30.00	70.14	70.00
	低潮线	6.41	18.00	1.24	50.00	41.53	14.00	49.18	82.00
	平均	4.03	14.67	0.54	24.67	35.28	14.67	39.84	54.00
春季	高潮线	0.00	0.00	1.27	58.00	9.50	8.00	10.77	66.00
	中潮线	0.00	0.00	7.28	98.00	2.05	6.00	9.33	104.00
	低潮线	0.38	2.00	4.63	90.00	47.10	26.00	52.11	118.00
	平均	0.13	0.67	4.39	82.00	19.55	13.33	24.07	96.00
夏季	高潮线	0.00	0.00	1.66	284.00	0.00	0.00	1.66	284.00
	中潮线	0.00	0.00	1.60	668.00	48.19	16.00	49.79	684.00
	低潮线	0.00	0.00	1.83	358.00	34.44	20.00	36.27	378.00
	平均	0.00	0.00	1.70	436.67	27.54	12.00	29.24	448.67
年平均		1.04	4.00	1.86	162.00	42.18	16.67	45.09	182.67

宁津沿岸潮间带大型底栖动物的年平均丰度为 182.67 个/m<sup>2</sup>。季节丰度平均值从大到小依次为夏季(448.67 个/m<sup>2</sup>)、秋季(132.00 个/m<sup>2</sup>)、春季(96.00 个/m<sup>2</sup>)、冬季(54.00 个/m<sup>2</sup>)。

丰度在类群组成比例上不同于生物量在类群上的分布。其中甲壳动物的丰度比例在四个季度均为最高。除冬季软体动物和多毛类动物的丰度同为 14.67 个/m<sup>2</sup> 外,其他三个季度软体动物的丰度比例均为第二位。

在空间分布上,秋季和夏季中潮带大型底栖动物的丰度最高,冬季和春季低潮带大型底栖动物的丰度最高。除秋季低潮带大型底栖动物的丰度最低外,其他三个季度均为高潮带丰度最低。

### 2.3 大型底栖动物群落多样性

宁津沿岸潮间带大型底栖动物的年平均物种多样性指数  $H'$  为 1.09, 季节变化趋势为冬季>秋季>夏季>春季, 空间分布趋势为低潮带>中潮带>高潮带。年平均物种丰富度指数  $D$  为 0.63, 季节变化趋势为冬季>夏季>秋季>春季, 空间分布趋势为低潮带>中潮带>高潮带。年平均物种均匀度指数  $J'$  为 0.57, 季节变化趋势为冬季>秋季>春季>夏季, 空间分布趋势为高潮带>中潮带>低潮带。各站位四个季度调查大型底栖动物群落的多样性指数见表 5。

## 3 讨论

### 3.1 宁津沿岸潮间带大型底栖动物的时空变化

根据数据分析结果, 调查区域大型底栖动物的年平均物种数、生物量、丰度和物种多样性指数的空间变化规律均为中潮带>低潮带>高潮带。这与马林等<sup>[9]</sup>报的石岛大鱼岛村潮间带以及黄慧等<sup>[10]</sup>报的镆镎岛潮间带的大型底栖动物空间分布规律不同。例如石岛大鱼岛村潮间带的物种多样性指数变化规律为低潮带>中潮带>高潮带, 镆镎岛潮间带的物种多样性指数变化趋势为高潮带>中潮带>低潮带。古丽亚诺娃等<sup>[16]</sup>认为潮汐规律决定海洋动植物区系种属成分以及潮间带种类的水平分布, 同时指出人类对潮间带经济种类采集和挖掘也可能会影响到生物群落的生物量。Defeo and McLachlan<sup>[17]</sup>指出砂质海滩的物种分布主要决定于潮汐范围、粒径大小和波浪能量等因素, 同时认为在人类活动影响较小的海滩, 生物之间的竞争等相互作用也是重要因素。李新正等<sup>[6]</sup>认为生物群落的种类组成既能反映生物群落与环境的相互关系, 也受到生物和非生物环境因素的制约; 物种的地带分布具有动态性和不确定性等特征。潮间带生物的垂直分布是相应物种在中长期

表 5 宁津沿岸潮间带大型底栖动物群落多样性指数

Tab. 5 Shannon index ( $H'$ ), species evenness index ( $J'$ ), and species richness index ( $D$ ) of macrobenthos found in the intertidal zones of Ningjin

站位	秋季			冬季			春季			夏季		
	$H'$	$J'$	$D$	$H'$	$J'$	$D$	$H'$	$J'$	$D$	$H'$	$J'$	$D$
SC1H	0.33	0.16	0.53	1.59	1.00	0.81	0.92	0.58	0.54			
SC1M	1.05	0.66	0.37	1.16	0.73	0.54				0.16	0.08	0.46
SC1L				1.08	0.68	0.46	0.30	0.19	0.38	0.06	0.06	0.16
SC2H				1.00	1.00	0.48	0.43	0.43	0.22	1.10	0.69	0.42
SC2M	1.78	0.77	0.74	2.34	0.83	1.30	1.09	0.69	0.46	0.39	0.15	0.76
SC2L	1.74	0.87	0.76	2.03	0.72	1.35				2.12	0.76	1.23
平均值	1.22	0.62	0.60	1.53	0.83	0.82	0.68	0.47	0.40	0.77	0.35	0.61

环境条件的作用下形成的,与底质类型、潮汐规律、生物竞争、人类活动等因素密切相关。此外,不同潮带物种的种类数量、生物量、物种多样性指数等也会受到调查主体、样方设计以及采样强度等随机因素的影响。

宁津沿岸潮间带大型底栖动物的物种数、生物量、丰度以及物种多样性指数的季节变化则没有一致规律。调查区域附近三处潮间带(宁津沿岸潮间带,石岛大鱼岛村潮间带以及镆铳岛潮间带)大型底栖动物群落季节变化各不相同,可见潮间带大型底栖动物的群落特征和分布是多种因素综合作用的结果。就物种多样性指数而言,宁津沿岸潮间带冬季最高,同样冬季采集到的大型底栖动物种类也最多,然而其丰度却为最低。明显不同于附近潮间带的报道结果<sup>[9-10]</sup>,这可能与宁津沿岸潮间带冬季人类活动强度降低有关。

### 3.2 宁津沿岸潮间带大型底栖动物群落与邻近潮间带的比较

本次调查研究采集到大型底栖动物共计 45 种,其中定量调查仅 30 种;年平均生物量为 45.09 g/m<sup>2</sup>,年平均丰度为 182.67 个/m<sup>2</sup>,年平均物种多样性指数( $H'$ )为 1.09。与邻近潮间带调查资料<sup>[5, 9-10]</sup>相比,无论物种数量,还是其他群落特征参数都处于低值水平(表 6)。从优势种组成上看,本研究区域占绝对优势的大型底栖动物在四个季度均为甲壳动物中的钩虾类。例如大角玻璃钩虾是秋季优势种;大泵钩虾是冬、春和夏三个季度的优势种,甚至它们的优势度值( $Y$ )分别高出同季度其他物种的 5 倍以上。一般而言,生物群落结构中某些物种的优势度值越明显,其生物群落中各物种的生态地位就越不平衡,其生物群落则表现为不稳定<sup>[18]</sup>。相对而言,大角玻璃钩虾和大

泵钩虾的体型小、广温性、广盐性,对环境要求低,经常出现在污染和扰动明显的沿岸潮间带区域。而相邻区域的石岛沿岸<sup>[9]</sup>、镆铳岛沿岸<sup>[10]</sup>和胶州湾女姑口潮间带<sup>[5]</sup>的优势种则为体型较大的多毛类和软体动物。这说明研究区域的大型底栖动物群落中的物种组成更趋于小型的物种。造成这种趋势的原因包括上文提到的潮间带底质、潮汐、海水理化性质等自然环境因素。因为潮间带大型底栖动物的群落特征与潮间带的底质、潮汐、海陆环境理化性质及相互作用等因素密切相关<sup>[19]</sup>。石岛大鱼岛村潮间带<sup>[9]</sup>底质为沙、石块(粒径一般为 30~100 mm 的棱角明显的石块)和岩石(粒径大于 100 mm 的石块或底质为岩石相);镆铳岛潮间带<sup>[10]</sup>底质为粗砂、石块和砾石,而本次调查区域的底质为泥沙、粗砂和砾石。一般而言,泥沙等混合底质环境的底栖生物多样性要高于泥或砂等匀质性的沉积环境<sup>[20]</sup>,然而本次调查潮间带的物种数量和物种多样性指数等参数与邻近区域相比都较低。那么导致这种情况和群落物种小型化更重要的原因可能就是人类活动的干扰和环境污染。蔡立哲等<sup>[21]</sup>认为:Shannon-Weaver 物种多样性指数( $H'$ )是较好的评价污染程度的工具,并将评价标准分为 5 级:无底栖生物为严重污染, $H' < 1$  为重度污染, $1 < H' < 2$  为中度污染, $2 < H' < 3$  为轻度污染, $H' > 3$  为清洁。根据这一评判标准,本调查区域潮间带为中度污染。事实也可能就是如此,从文献资料和实地观察发现,本次潮间带调查区域紧邻育苗场和于家村养殖场,海岸常见小型驳船,海面分布有养殖网箱和浮漂,海滩常见生活及生产垃圾。此外,调查发现研究区域附近存在在建大型工程。所有这些人类活动和环境污染都会对本区域大型底栖生物产生巨大影响。

表 6 宁津沿岸潮间带大型底栖动物群落特征与邻近海域比较

Tab. 6 Comparison of the ecological characteristics of macrobenthos found in the intertidal zones of Ningjin and the adjacent area

潮间带	时间(年)	物种数量	生物量(g/m <sup>2</sup> )	丰度(个/m <sup>2</sup> )	物种多样性指数(H')	参考文献
宁津沿岸	2009~2010	45	45.09	182.67	1.09	本文
石岛沿岸	2008~2009	68	99.87	397.70	2.45	[9]
镆镞岛	2007	92	81.74	329.67	1.95~2.19	[10]
胶州湾女姑口	2003~2004	57	-	-	1.89	[5]

致谢: 课题组李宝泉、王金宝、韩庆喜、蔡文倩、董栋、董超、马林、孙德海、王晓晨、寇琦、彭松耀、隋吉星等参加了本研究的野外考察, 实验室样品鉴定和处理, 数据分析工作, 并在论文写作过程中给予良好建议和大力帮助, 在此致以衷心的感谢!

参考文献:

[1] Whitlatch R B. Seasonal changes in the community structure of the macrobenthos inhabiting the intertidal sand and mud flats of Barnstable Harbor, Massachusetts[J]. *The Biological Bulletin*, 1977, 152(2): 275-294.

[2] Borzone C A, Melo S G, de Rezende K V, et al. Macrobenthic intertidal communities from wave to tide dominated beach environments. A case study in two Brazilian beaches[J]. *Journal of Coastal Research*, 2003: 472-480.

[3] Dittmann S. Abundance and distribution of small infauna in mangroves of Missionary Bay, North Queensland, Australia[J]. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 2015, 49(2): 535-544.

[4] 王洪法, 李宝泉, 张宝琳, 等. 胶州湾红石崖潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. *海洋科学*, 2006, 9(30): 52-57.  
Wang Hongfa, Li Baoquan, Zhang Baolin, et al. The ecological research of the macrobenthic community in intertidal zone of Hongshiya, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 9(30): 52-57.

[5] 李宝泉, 张宝琳, 刘丹运, 等. 胶州湾女姑口潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(10): 15-19.  
Li Baoquan, Zhang Baolin, Liu Danyun, et al. The ecological study of the macrobenthic community in intertidal zone of Nugukou, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(10): 15-19.

[6] 李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态[J]. *动物学报*, 2006, 52(3): 612-618.  
Li Xinzheng, Li Baoquan, Wang Hongfa, et al. Macrobenthic community of the intertidal zone of Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 52(3): 612-618.

[7] 张宝琳, 王洪法, 李宝泉, 等. 胶州湾辛岛潮间带大

型底栖动物生态学调查[J]. *海洋科学*, 2007, 31(1): 60-64.  
Zhang Baolin, Wang Hongfa, Li Baoquan, et al. The ecology of the macrobenthic community in the intertidal zone of Xindao, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(1): 60-64.

[8] 马林, 王洪法, 帅莲梅. 乳山口西村潮间带大型底栖动物生态学研究[J]. *海洋科学*, 2009 33(6): 29-34.  
Ma Lin, Wang Hongfa, Shuai Lianmei. The ecological report of the macrobenthic community in the intertidal zone of Xicun village, Rushan County, Shandong Peninsula[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(6): 29-34.

[9] 马林, 李新正, 王洪法, 等. 石岛大鱼岛村潮间带大型底栖动物生态学研究[J]. *海洋科学*, 2013, 37(5): 87-93.  
Ma Lin, Li Xinzheng, Wang Hongfa, et al. The ecology characterization of macrobenthic community from the intertidal zone of Dayudao Village, Shidao Town, Shandong Peninsula[J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(5): 87-93.

[10] 黄慧, 李新正, 王洪法, 等. 山东半岛镆镞岛潮间带大型底栖动物群落特征[J]. *海洋科学*, 2012, 36(11): 90-97.  
Huang Hui, Li Xinzheng, Wang Hongfa, et al. Characteristics of macrobenthos community from the intertidal zones of Moye Island, Shandong Peninsula[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(11): 90-97.

[11] 王晓晨, 李新正, 王洪法, 等. 黄河口岔尖岛, 大口河岛和望子岛潮间带秋季大型底栖动物生态学调查[J]. *动物学杂志*, 2008, 43(6): 77-82.  
Wang Xiaochen, Li Xinzheng, Wang Hongfa, et al. Macrobenthic Ecology of the Intertidal Zones of Chajiandao, Dakouhedao and Wangzidao of Yellow River Estuary in Autumn[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(6): 77-82.

[12] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐鲆渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13-15.  
Xu Zhaoli, Chen Yaqu. Aggregated Intensity of Dominant Species of Zooplankton in Autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13-15.

- [13] Shannon CE, Wiener W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963, 117.
- [14] Margalef R. Perspective In Ecological Theory[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1968, 111.
- [15] Pielou EC. The use of information theory in the study of ecological successi[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 10: 370-383.
- [16] 古丽亚诺娃, 刘瑞玉, 斯卡拉脱, 等. 黄海潮间带生态学[J]. 中国科学院海洋研究所丛刊, 1958, 1(2): 1-21.  
Gurjanova P V, Liu J Y, Scarlato OA, et al . A short report on the intertidal zone of the Shantung Peninsula (Yellow Sea) . Bulletin of Institute of Marine Biology, Academia Sinica, 1958, 1(2): 1-43 .
- [17] Defeo O, McLachlan A. Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis[J]. Marine ecology progress, 2005, 295: 1-20.
- [18] 刘录三, 孟伟, 郑丙辉, 等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: I. 种类组成与数量分布[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 118-123.  
Liu lusan, Meng Wei, Zheng Binghui, et al. Studies on Macrobenthos in the Northern Waters of Liaodong Bay: iv. Species Composition and Number Distribution[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 118-123.
- [19] 范振刚. 胶州湾潮间带生态学的研究 , 沧口潮间带[J]. 生态学报, 1985, 5(1): 28-41.  
Fan Zhengang. Studies on the ecology of intertidal zone of the Jiaozhou Wan II. The littoral zone of Congkou[J]. Acta Ecologica Sinica, 1985, 5(1): 28-41.
- [20] Gray J S. Animal-sediment relationships[J]. Oceanogr Mar Biol Ann Rev, 1974, 12: 223-261.
- [21] 蔡立哲, 马丽. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2002, 41(5): 641-646.  
Cai Lizhe, Ma Li, Gao Yang, et al. Analysis on Assessing Criterion for Polluted Situation Using Species Diversity Index of Marine Macrofauna[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2002, 41(5): 641-646.

## Ecological characteristics of macrobenthos found in the intertidal zone of Ningjin, Shandong

GAN Zhi-bin, LI Xin-zheng, WANG Hong-fa, ZHANG Bao-lin  
(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Sep. 7, 2015

Key words: macrobenthos; intertidal zone; Shandong Peninsula; Ningjin

**Abstract:** The ecological characteristics and seasonal variation of the macrobenthic community in the intertidal zone of Ningjin Town, Shandong Peninsula were investigated on the basis of the samples collected from the surveys conducted in November 2009 and February, May, and August 2010 (representing autumn, winter, spring, and summer, respectively). In total, 45 macrobenthic species were identified, of which, 20 were Crustaceans, 14 were Molluscs, 9 were Polychaetes, and the remaining 2 belonged to other benthic taxa. The dominant species varied during the four seasons, with the exception of Gammaridea, which was predominant all year round. The average biomass from the four surveys was 45.09 g/m<sup>2</sup> with the highest biomass found during autumn and the lowest during spring. The spatial distribution of biomass demonstrated the tendency as medium tidal zone > low tidal zone > high tidal zone except during spring. The average abundance was 182.67 ind/m<sup>2</sup> with the highest abundance found during summer and the lowest during winter. The annual mean Shannon index (*H'*) of the macrobenthos community in the region studied was 1.09; its seasonal variation was winter > autumn > summer > spring, and the spatial variation was low tidal zone > medium tidal zone > high tidal zone. Compared with previous reports of the adjacent areas, all the biological parameters of macrobenthos from the intertidal zone of Ningjin were relatively low.

(本文编辑: 康亦兼)