

连云港田湾核电站附近潮间带底栖动物的群落生态

唐峰华, 沈新强, 张衡, 王云龙

(中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部 海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:根据2008年4个季度的生态调查取样,对连云港海州湾田湾核电站附近潮间带A、B断面底栖动物的生物多样性、结构特征及资源密度等进行了研究。经统计分析:养殖区B断面底栖动物的生物量和栖息密度分别为 $42.32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $71.83 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,明显高于天然海滨浴场A断面处的 $11.24 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $63.67 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;A、B断面配对站位群落相似性指数超过0.50的有6对,而其他有显著性关系的却不是非常明显,表明海洋工程可能使附近海域内各生境之间底栖动物群落的分化程度降低;群落多样性的季节变化中,春、夏、秋、冬季的多样性分别为1.72、1.20、1.68、0.84,其中冬季达到重度污染,这可能与人为扰动有关,海洋工程活动会导致生态群落结构发生改变,甚至生境遭到破坏,生物多样性受到严重影响。整体上田湾核电站附近潮间带底栖动物群落结构不稳定,受田湾核电站相关工程活动影响的程度尚不能得出定论,需要继续调查监测该海域的生物资源状况,形成一个长期有效的监测机制。

关键词:底栖动物; 生物量; 栖息密度; 群落相似性; 生物多样性

中图分类号:S917

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2012)01-0096-06

Community Ecology of Benthos in Intertidal Zone near Lianyungang Tianwan Nuclear Power Plant

TANG Feng-hua, SHEN Xin-qiang, ZHANG Heng, WANG Yun-long

(China East Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory
of Marine and Estuarine Fisheries Resources and Ecology, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China)

Abstract: Biological diversity, structural characteristics and habitat density of the benthos in the intertidal zone near Lianyungang Tianwan Nuclear Power Plant were studied, according to the seasonal ecological surveys conducted in 2008. In ecological aspects, the benthic biomass and the density of B section (fish culture zones: $42.32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ and $71.83 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) were higher than those of A Division (natural habitat Beach: $11.24 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ and $63.67 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$). Community similarity data had shown that marine engineering may make benthos communities reduce the degree of differentiation of the area between the various habitats. The diversity index for the 4 seasons is 1.72, 1.20, 1.68 and 0.84, respectively. The seasonal changes in community diversity displayed in the most polluted winter probably had a relationship with the disturbance of marine engineering activities, which was likely to lead to the changes in the structure of ecological communities, or even the destruction of habitat and loss of biological diversity. Overall, the community structure was not very stable in the intertidal benthic animals near the Tianwan nuclear power plant. It cannot be immediately concluded that nuclear power plant engineering activities were related to the extent of the impact. We need to continue to investigate the biological resources of the area to monitor the situation, forming a long-term and effective monitoring mechanism.

Key words: benthos; biomass; habitat density; community similarity; biological diversity

收稿日期:2011-02-23

作者简介:唐峰华(1982—),男,研究实习员;通信作者:王云龙(1964—),男,研究员,E-mail:yunlong_wang@hotmail.com

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAC11B03);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2011T10)

连云港海州湾附近海域潮汐性质属正规半日潮,半日潮的大潮最高潮线(E. H. W. S)和大潮最低潮线(E. L. W. S)之间的海滩范围被称为潮间带。潮间带处在陆地与海洋的过渡地带,受海洋和陆地因子如水温、光照、波浪、潮汐、盐度和人为活动干扰的直接影响,潮间带生态环境复杂多变,因此在世界湿地生态系统中潮间带生态学的研究一直倍受关注^[1]。由于潮间带是陆上污染物排放入海的必经之路,大量废物的注入和滞留给潮间带底质环境及水环境带来明显的负作用,致使潮间带底栖生物群落结构发生相应的变化,严重时会导致自然生态系统的结构发生变化,破坏原有的生态平衡^[2]。

近年来,我国对大型工程附近的潮间带底栖生物进行了一些生态方面的调查研究^[3-7],而在海州湾附近的调查还不多见,张虎等^[8]对海州湾人工鱼礁大型底栖生物进行调查,结果显示该鱼礁区的底栖生物群落系统处于一个暂时波动状态;高爱根等^[1]对海州湾3种底质的潮间带底栖动物进行了分析,显示底栖动物的分布与人为活动影响有关。但这些报道并未涉及田湾核电站附近的潮间带生态。本研究根据2008年4个季度的生态调查取样,对田湾核电站附近潮间带底栖动物的生物多样性、结构特征及资源密度等进行了研究,以观察其潮间带生态环境的季节性变化,为开展田湾核电站附近海域生态环境评价和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

潮间带动物调查按文献^[9]方法进行,分别在连云港高公湾海滨浴场(A断面,位于34°42'59.53"N, 119°28'23.42'E)和连云港高公湾养殖区(B断面,位于34°39'51.26"N, 119°27'58.72'E)设置潮间带断面(图1),分别于2008年2、5、8和11月进行冬、春、夏、秋季调查。每一调查断面按高、中、低3个潮区分别设置取样点,即A断面3个潮区为A1、A2和A3, B断面3个潮区为B1、B2和B3。每一取样点随机取样面积0.25 m²,取样深度30 cm,以孔径1 mm的筛子筛出其中生物,在各取样点周围采集定性标本。样品用φ为75%酒精固定保存后带回实验室称质量、分析,软体动物带壳称质量,并换算成单位面积的生物量/(g·m⁻²)和栖息密度/(个·m⁻²)。

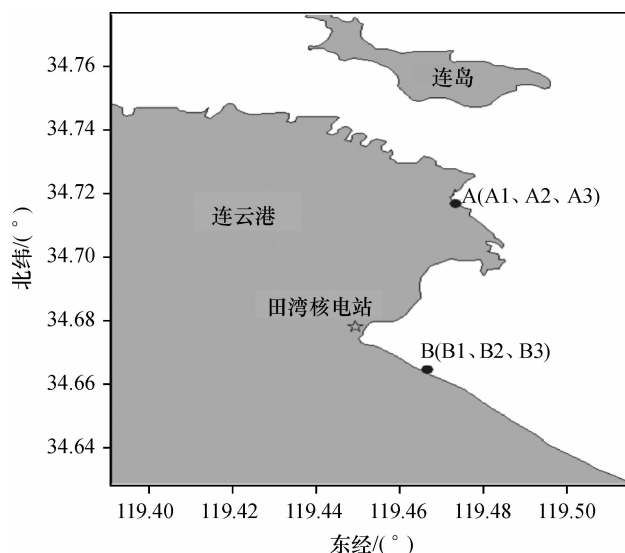


图1 潮间带采样断面示意图

Fig. 1 The sketch map of sampling sections in intertidal zone

1.2 数据处理

物种的多样性分析采用下列公式计算^[10-11]:

$$\text{优势度}(Y): Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i, \quad (1)$$

Shannon-Wiener 多样性度(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}, \quad (2)$$

$$\text{Pielou 均匀度}(J): J = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}, \quad (3)$$

$$\text{Simple 单纯度}(C'): C' = \sum_{i=1}^s \frac{n_i^2}{N^2}, \quad (4)$$

$$\text{Margale 丰富度}(d): d = (S - 1) / \log_2 N, \quad (5)$$

式(1)~(5)中, S 为种类数, n_i 为第*i*种的丰度, N 为总丰度, f_i 是*i*种类出现频率(%),取 $Y \geq 0.02$ 的种^[12]为优势种, H' 为实际多样性度, $H'_{\max} = \log_2 S$ 。

Jaccard 的群落种类相似性指数(J_a)^[13]公式为:

$$J_a = c / (a + b - c) \times 100\%, \quad (6)$$

式(6)中 a 、 b 分别为两样地的种类数; c 为两样地的共有种数。

2 结果与分析

2.1 种类组成及优势种

2008年4个季度调查海域潮间带底栖动物,共出现36种,其中多毛类19种,占总种类数的52.78%;软体动物9种,占25.00%;甲壳动物7种,占19.44%;腕足动物1种,占2.78%。具体名录和每次调查出现的优势种见表1。

表1 潮间带底栖动物种类名录

Tab.1 Species list of benthic animals in the intertidal zone

种名	出现情况 ¹⁾			
	2月	5月	8月	11月
多毛类				
长吻吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	△	+	+	+
澳洲鳞沙蚕 <i>Aphrodita australis</i>		+		
日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i>		+		
加州齿吻沙蚕 <i>Aglaophamus californiensis</i>		+	△	△
尖锥虫 <i>Scoloplos (S.) armiger</i>	△			
张氏神须虫 <i>Mysta tchangii</i>				+
刺三指鳞虫 <i>Thalenessa spinosa</i>				+
鳞腹沟虫 <i>Scolecopsis squamata</i>				△
红棘尖锥虫 <i>Scoloplos (Leodamas) rubra</i>	△			
马丁海稚虫 <i>Spio martinensis</i>	△	△		
太平洋树蛭虫 <i>Pista pacifica</i>			+	△
尖叶长手沙蚕 <i>Magelona cineta</i>	+			
智利巢沙蚕 <i>Diopatra chilensis</i>	+	+	△	△
异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>		+		
四索沙蚕 <i>Lumbrineris tetraura</i>	△	+	△	△
长叶索沙蚕 <i>Lumbrineris longifolia</i>		+		△
沙枝软颚海蛭 <i>Euzonus dillonesis</i>		△		
岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i>				+
纽虫 <i>Nemertini spp.</i>			+	+
软体动物				
大连湾牡蛎 <i>Ostrea talienwanensis</i>	+	+		
短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>	+	△	+	+
中间拟滨螺 <i>Littorinopsis intermedia</i>		+		
香螺 <i>Neptunea arthriticaumingii</i>		+		
贻贝 <i>Mytilus edulis</i>			+	+
黑龙江河篮蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i>			△	
弯竹蛏 <i>Solen arcuatus</i>				+
辐射荚蛏 <i>Siliquata radiata</i>				+
汛潮楔形蛤 <i>Cyclosunetta menstrualis</i>				+
甲壳动物				
纵条纹藤壶 <i>Balanus amphitrite</i>		△		
长趾股窗蟹 <i>Scopimera tongidactyla</i>		+		
中华近方蟹 <i>Hemigrapsus penicillatus</i>		+		
宽身大眼蟹 <i>Macrophthalmus dilatatum</i>			+	
红线黎明蟹 <i>Matuta planipes</i>				+
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>				+
等足目 ²⁾ <i>Isopoda sp.</i>		+		
腕足动物				
海豆芽 <i>Lingula murphiana</i>			+	+

1) +表示出现该物种,△表示出现该物种,且为该月份的优势种;2)未鉴定到种。

2.2 种类与数量的季节性变化

由图2可见,4个调查季度中底栖动物种类数最多的是秋季和春季,分别为19和18种,其次是夏季11种,冬季最少,为9种。全区域4个季节生物量变化为春季>秋季>夏季>冬季,栖息密度变化为春季>冬季>夏季>秋季。调查区域两断面的潮间带底栖动物生物量和栖息密度全年平均值分别为26.77 g·m⁻²和67.75个·m⁻²。

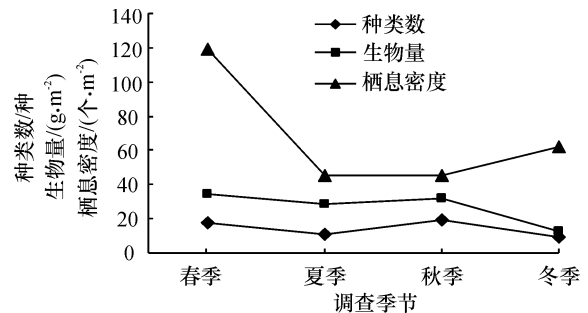


图2 潮间带底栖动物的季节变化

Fig.2 Seasonal changes of the benthos in the intertidal zone

2.3 生物量和栖息密度

4个调查季度A、B断面的生物量和栖息密度如表2所示。A断面中,冬季A1生物量最高,为2.60 g·m⁻²,A3栖息密度最高,为100个·m⁻²;春季A3生物量最高,为8.54 g·m⁻²,A1栖息密度最高,为240个·m⁻²;夏季A1生物量最高,为10.42 g·m⁻²,A1栖息密度最高,为18个·m⁻²;秋季A2生物量最高,为34.88 g·m⁻²;A1栖息密度最高,为54个·m⁻²。B断面中,冬季B1生物量最高,为43.65 g·m⁻²,B3栖息密度最高,为72.00个·m⁻²;春季B1生物量最高,为132.96 g·m⁻²;B2栖息密度最高,为152.00个·m⁻²;夏季B3生物量最高,为68.12 g·m⁻²;B3栖息密度最高,为108.00个·m⁻²;秋季B1生物量最高,为55.24 g·m⁻²;B1栖息密度最高,为66.00个·m⁻²。

A断面生物量和栖息密度全年平均值分别为11.24 g·m⁻²和63.67个·m⁻²。由图2可见,4个季节生物量变化为:秋季>夏季>春季>冬季;4季栖息密度为:春季>冬季>秋季>夏季。B断面生物量和栖息密度全年平均值分别为42.32 g·m⁻²和71.83个·m⁻²,4个季节生物量变化为:春季>夏季>秋季>冬季;与A断面不同,B断面虽然底栖生物栖息密度虽也以春季为最高,但在夏季却出现了次高值,4季栖息密度顺序呈:春季>夏季>冬季>秋季。

表2 A、B断面4个季度潮间带的生物量和栖息密度¹⁾

Tab.2 The intertidal biomass and density composition of the benthos in A and B sections of four-quarter

调查 季节	A断面								B断面							
	生物量/(g·m ⁻²)				栖息密度/(个·m ⁻²)				生物量/(g·m ⁻²)				栖息密度/(个·m ⁻²)			
	A1	A2	A3	平均	A1	A2	A3	平均	B1	B2	B3	平均	B1	B2	B3	平均
冬季	0.78	0.26	2.60	1.33	72.00	24.00	100.00	65.33	43.65	23.30	1.15	22.70	68.00	36.00	72.00	58.67
春季	5.72	5.12	8.54	6.47	240.00	92.00	56.00	129.33	132.96	46.45	8.16	62.52	148.00	152.00	24.00	108.00
夏季	10.42	10.21	9.04	9.89	18.00	14.67	16.00	16.22	19.46	54.34	68.12	47.31	48.00	67.99	108.00	74.66
秋季	33.35	34.88	13.28	27.27	54.00	41.33	36.00	43.78	55.24	30.80	24.14	36.73	66.00	40.00	32.00	46.00

1) A1、B1表示高潮区,A2、B2表示中潮区,A3、B3表示低潮区。

2.4 底栖动物多样性分析

A、B断面不同潮区底栖动物多样性(H')、丰富度(d)、单纯度(C')和均匀度(J)4个多样性指标的季节变化见图3。其中A断面冬季多样性高的是中潮区, H' 为0.90,低的是低潮区, H' 为0.24;春季多样性高的是低潮区, H' 为1.81,低的是高潮区, H' 为1.22;夏季多样性高的是低潮区, H' 为1.50,低的是高潮区, H' 为0;秋季多样性高的是低潮区, H' 高达2.28,低的是中潮区, H' 为1.53。根据初步分析,总体来说,A断面秋季的物种多样性最高,群落结构最稳

定,冬季物种较少,物种多样性最小,丰富度最低,群落稳定性最差。

而B断面冬季多样性高的是高潮区, H' 为1.90,低的是低潮区, H' 为0.31;春季多样性高的是高潮区, H' 为1.92,低的是低潮区, H' 为1.79;夏季多样性高的是中潮区, H' 为1.74,低的是高潮区, H' 为1.56;秋季多样性高的是高潮区, H' 高达1.65,低的是中潮区, H' 为1.11。相对而言,B断面的调查显示,春季的物种多样性最高,群落结构最稳定,冬季物种较少,物种多样性最小,丰富度最低,群落稳定性最差。

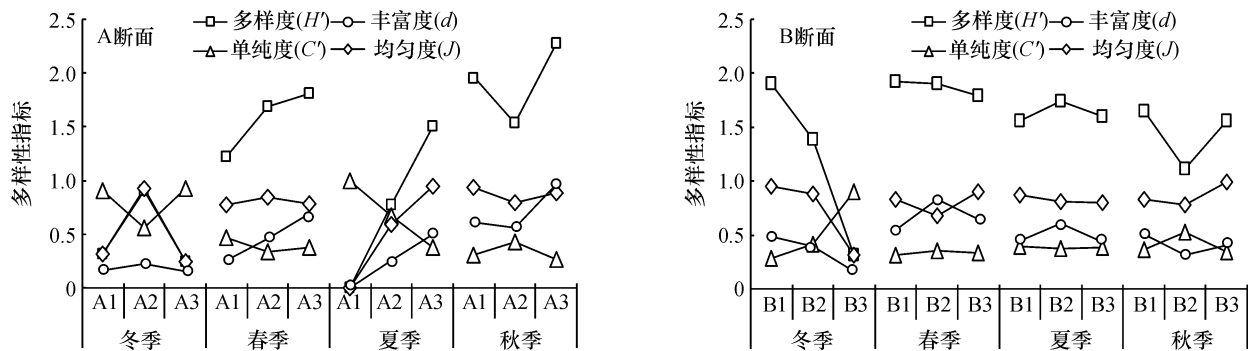


图3 A、B断面潮间带各潮区底栖动物多样性指标的季节变化

Fig.3 Seasonal variation of benthic fauna diversity index in A and B section of the intertidal zone

表3为连云港田湾核电站调查海域潮间带底栖动物多样性的季节变化情况。综合4个季度,其中多

表3 调查海域潮间带底栖动物群落多样性的季节变化

Tab.3 Seasonal variation of benthic fauna diversity index in the intertribal zone

时间	多样性 (H')	丰富度 (d)	单纯度 (C')	均匀度 (J)	污染程度 ¹⁾
春季	1.72	0.56	0.37	0.80	△
夏季	1.20	0.38	0.53	0.67	△
秋季	1.68	0.56	0.37	0.87	△
冬季	0.84	0.27	0.66	0.87	△△
全年	1.36	0.44	0.49	0.80	△

1) △表示 $H' \in (1, 3)$, 为中度污染; △△表示 $H' \in (0, 1)$, 为重度污染。

样度最高的是春季,最低的是冬季。在A、B断面的比较中,B断面养殖区的多样性 H' 为1.54,略高于A断面海滨浴场的多样性(1.18)。

2.5 群落种类相似性指数

经统计,得到6个潮区底栖动物相互间的共有种和相似性指数(J_a) (表4),群落间的 J_a 超过0.50的共有3对,分别是A2和A3、B1和B2、B2和B3,其中 J_a 最高的是B2和B3,达0.70;A1和A2、B1和B3的 J_a 接近0.50,相似性也颇高。同时运用SPSS软件对各底栖动物群落进行了成对 t 检验处理(表5),调查潮间带底栖动物群落间差异表现为显著或极显著的只有6对,即A1和A2、A1和A3、A1和B3、A2和B1、A2和B2以及A3和B1。这些断面潮区的差异主

要表现在群落的物种组成和群落中各物种的数量分布不同. 其中 A 断面 A1、A2、A3 潮区的物种数分别为 28、31、29, 而 B 断面 B1、B2、B3 潮区的物种数分别为 23、26、20. 可见养殖区 (B 断面) 的物种数明显少于天然海滨浴场 (A 断面). 在数量分布上: A1 断面 4 个调查季度的数量为 $384 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中绝大多数为多毛类, 占 93.12%; A2 断面 4 个调查季度的数量为 $172 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中绝大多数为多毛类, 占 87.32%; A3 断面 4 个调查季度的数量为 $208 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中绝大多数为多毛类, 占 82.78%. 养殖区 B1 断面 4 个调查季度的数量为 $330 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中绝大多数为多毛类, 占 78.39%; B2 断面 4 个调查季度的数量为 $296 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中大多数为软体动物, 占 50.62%;

B2 断面 4 个调查季度的数量为 $296 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中绝大多数为多毛类, 占 85.92%.

表 4 不同采样点底栖生物的共有种和群落间的相似性指数 (J_a)

Tab. 4 Common species and similarity index among J_a habitats in different plots

采样点	共有种					相似性指数 (J_a)				
	A1	A2	A3	B1	B2	A1	A2	A3	B1	B2
A2	17					0.40				
A3	15	21				0.36	0.54			
B1	12	14	11			0.31	0.36	0.27		
B2	9	11	12	17		0.20	0.24	0.28	0.53	
B3	7	7	9	14	19	0.17	0.16	0.23	0.48	0.70

表 5 基于底栖动物物种密度的群落成对 t 检验

Tab. 5 Paired t-test among macrobenthic communities based on the species density

组对	成对检验					<i>t</i> 值	自由度
	平均值	标准差	标准误差	95% 置信区间			
				上限	下限		
A1 – A2	5.888 9 *	7.800 3	1.300 0	8.528 1	3.249 7	4.523	35
A1 – A3	4.888 9 *	7.543 3	1.257 2	7.441 2	2.336 6	3.889	35
A1 – B1	1.500 0	8.234 1	1.372 3	4.286 0	–1.286 0	1.093	35
A1 – B2	2.444 4	8.553 8	1.425 6	5.338 6	–0.449 8	1.715	35
A1 – B3	4.111 1 *	11.792 9	1.965 5	8.101 3	0.121 0	2.092	35
A2 – A3	–1.000 0	5.313 1	0.885 5	0.797 7	–2.797 7	–1.129	35
A2 – B1	–4.388 9 *	9.966 5	1.661 1	–1.017 0	–7.761 1	–2.642	35
A2 – B2	–3.444 4 *	8.030 1	1.338 4	–0.727 0	–6.161 4	–2.574	35
A2 – B3	–1.777 8	8.783 5	1.463 9	1.194 1	–4.749 7	–1.214	35
A3 – B1	–3.388 9 *	8.233 3	1.372 2	–0.60 3	–6.174 6	–2.470	35
A3 – B2	–2.444 4	7.534 5	1.255 7	0.104 9	–4.993 7	–1.947	35
A3 – B3	–0.777 8	9.310 9	1.551 8	2.372 6	–3.928 1	–0.501	35
B1 – B2	0.944 4	9.189 9	1.531 6	4.053 9	–2.165 0	0.617	35
B1 – B3	2.611 1	12.784 5	2.130 8	6.936 8	–1.714 6	1.225	35
B2 – B3	1.666 7	9.444 6	1.574 1	4.862 3	–1.528 9	1.059	35

1) * 表示差异显著.

3 讨论与结论

3.1 A、B 群落相似性的研究

J_a 的大小取决于两方面因素, 一是两群落间共有种数量的多少, 二是两群落本身种数量的多少^[13]. 种类组成是群落最基本的特征, 可以反映生物群落与环境的相互关系, 不同生境栖息的生物种类和组成各不相同. 调查海域潮间带高、中、低潮区生物种类和生物组成以及优势种均有差别, 两两群落相似性系数有所差距, 表示潮位是影响自然潮间带底栖

动物分布的一个重要因素, 低、中、高各潮区的生境和底质类型都有所区别, 所以本身不同潮位之间的底栖动物群落应该就有明显差异^[14]. 但相对而言, 整体上 A、B 断面低、中、高各潮位底栖动物群落间差异不显著, 推断有可能与海洋工程活动的扰动有一定的关联, 海洋工程能使附近海域区内各生境之间底栖动物群落的分化程度降低, 因而导致潮位因素对底栖动物分布的影响降低^[15].

3.2 群落多样性的季节变化

Shannon-Wiener 多样性 (H') 常被用于评价水体

受人为影响的程度,根据参考文献[16],影响程度可以分成4类: $H'=0$,受人为影响严重; $0 < H' < 1$,受到重度影响; $H'=1 \sim 3$,受到中度影响; $H' > 3$,基本没影响.本研究中,冬季底栖动物的 $H' < 1$,说明冬季该海域水质处于重度污染状态,而其他3季度也处于中度污染状态,推断可能与冬季核电站排温水而影响作用稍大有关.A、B两断面的多样性相差不大,且两地的污染程度都处于中度污染.可见,田湾核电站对这两地的污染并没有很大差距.但对田湾核电站海域附近的潮间带污染情况应引起重视.

生物多样性与扰动强度关系密切^[17-19],当扰动为中等强度时多样性最高,当扰动处于两极时则多样性较低.田湾核电站工程的实施,以及平时核电站的运行都可能变成该海域受到扰动的重要因素.工程活动很可能会导致原来的生态群落结构发生改变^[20],甚至生境遭到破坏,生物多样性受到严重影响^[21].

综上所述,根据连云港田湾核电站附近潮间带底栖动物的种类组成、群落分布特征及多样性指数等生态学指标分析,调查区域受核电站相关工程活动影响的程度尚不能马上做出结论,是核电站运行造成的污染还是本身养殖区的污染?哪个更可能是决定因素?还有待深入探索,需要继续调查监测该海域的生物资源状况,形成长期有效的监测机制,实时了解该海域资源变动情况,从而为资源环境保护提供进一步基础资料.

致谢:该资源监测项目由朱江兴老师帮助采样调查,特此致谢!

参考文献:

- [1] 高爱根,杨俊毅,曾江宁,等.海州湾潮间带大型底栖动物的分布特征[J].海洋学研究,2009,27(1):22-29.
- [2] 张进龙.杭州湾上海石化沿岸潮间带生态环境分析[J].海洋湖沼通报,2008,1:74-79.
- [3] 袁兴中,陆健健.围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响[J].生态学报,2001,21(10):1642-1647.
- [4] 蒋玫,沈新强,杨红.水下爆破对渔业生物影响的研究[J].海洋渔业,2005,27(2):150-153.
- [5] 贾晓平,林钦,蔡文贵.大亚湾马鞭洲大型爆破对周围水域环境与海洋生物影响的评估[J].水产学报,2002,26(4):313-320.
- [6] 徐兆礼,戴国梁,陈亚瞿.杭州湾北岸嘉兴电厂附近潮间带底栖动物[J].海洋环境科学,1994,13(4):50-55.
- [7] 李荣冠,江锦祥.兴化湾大型底栖生物生态研究[J].海洋学报,1999,21(5):101-109.
- [8] 张虎,刘培廷,汤建华,等.海州湾人工鱼礁大型底栖生物调查[J].海洋渔业,2008,30(2):97-104.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.GB 17378.7—2007 海洋监测规范[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 马克平.生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法:上[J].生物多样性,1994,2(3):162-168.
- [11] NAEEM S. Disentangling the impacts of diversity on ecosystem functioning in combinatorial experiments [J]. Ecology,2002,83:2925-2935.
- [12] 陈亚瞿,徐兆礼.南黄海、东海鲎鳃鱼索饵场浮游动物生态特征[J].应用生态学报,1990,1(4):327-332.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 胡知渊,李欢欢,鲍毅新,等.灵昆岛围垦区内外滩涂大型底栖动物生物多样性[J].生态学报,2008,28(4):1498-1507.
- [16] 国家环保局水生生物监测手册编委会.水生生物监测手册[M].南京:东南大学出版社,1993.
- [17] WASHINGTON H G. Diversity, biotic and similarity indices: A review with special relevance to aquatic ecosystems [J]. Water Research, 1984, 18(6): 653-694.
- [18] 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.
- [19] 卜秋兰,沈新强,罗民波.洋山深水港海域大型底栖动物初步研究[J].海洋渔业,2007,29(3):245-250.
- [20] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. Science, 1978, 199: 1302-1310.
- [21] 罗民波,陆健健,沈新强,等.大型海洋工程对洋山岛周围海域大型底栖动物生态分布的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(1):97-102.

【责任编辑 李晓卉】