

烟台近海大型底栖动物群落特征*

王全超^{1,2} 李宝泉¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003; 2. 中国科学院大学 北京 100049)

提要 根据 2010 年和 2011 年对烟台近海大型底栖动物的周年调查资料, 采用优势度指数、物种多样性指数及 Cluster 聚类和 MDS 排序方法, 进行群落特征和群落演替情况的研究。结果表明, 该海域共采集大型底栖动物 176 种, 其中优势类群为多毛类。群落中的优势种主要包括短叶索沙蚕和不倒翁虫。烟台近海年平均生物量和丰度分别为 $16.72\text{g}/\text{m}^2$ 和 $1022\text{ind}/\text{m}^2$, 且存在季节性差异。丰富度指数(D)、均匀度指数(J)和多样性指数(H')的年平均值分别为 2.30、0.70 和 1.91。烟台近海大型底栖动物群落与底质和水深关系密切。群落特征发生了一定程度的变化, 软体动物比例减少, 多毛类比例增加。人类活动包括污水排放、养殖和捕捞、港口建设和船舶航运等干扰是导致上述变化的主要原因。

关键词 烟台近海; 大型底栖动物; 群落特征; 演替

中图分类号 Q958.1

近岸生态系统一直是海洋生态系统研究领域的一项重要内容。与大洋区生态系统相比, 沿岸及海湾处于陆海相互作用的强烈区域, 水动力学机制和水化学条件截然不同, 受到人为干扰的影响也相对较大(苏纪兰等, 2005)。陆源污染物随河流及大气降水等途径迁移入海, 导致海洋水质变差。此外, 港口建设和近岸海水养殖业的某些不合理规划, 导致近岸海域生态环境发生变化。环境要素的变动通常会引起生物要素发生变化, 如物种组成、多样性、群落结构及生产力等(Grall *et al.*, 1997)。反之, 通过生物要素的研究能够实现对环境状况的认知。大型底栖动物在海洋生态系统中属于消费者亚系统, 是该生态系统中物质循环与能量流动中积极的消费者与转移者(Herman *et al.*, 1999)。大型底栖动物由于具有生命周期长、活动能力弱、对环境暴露时间长且对环境变化敏感等特点, 是环境状况有效和可靠的指示类群(Pinto *et al.*, 2009)。

烟台近海位于山东半岛北岸, 毗邻黄、渤海, 岸

线蜿蜒曲折, 其总长度约 909km, 15m 等深线以内的浅海面积约为 6563.28km^2 , 适合养殖的面积为 1867.6km^2 。作为重要的海水养殖基地, 该区域在获取经济利益的同时, 由此产生的海洋环境问题也引起了较多关注。由于养殖密度超过近海生态系统的环境容量, 加之沿岸入海河流众多, 包括大沽夹河、逛荡河、马家河、辛安河和小鱼鸟河, 由养殖带来的污染和河流带来的陆源污染较为严重, 致使近岸水域环境污染逐渐加剧(Wang *et al.*, 2012)。众多学者先后对烟台近海生态系统进行调查研究, 如烟台近海经济水生生物体内重金属含量研究(邵立娜等, 2011)、近岸水体的理化特性研究(刘艳等, 2009; Wang *et al.*, 2012)和近岸海域沉积物重金属研究等(张珂等, 2011)。在大型底栖动物方面开展的工作则相对较少, 主要包括烟台海滨潮间带无脊椎动物群落特征研究(庄树宏, 1997), 烟台近海底栖动物调查(吴耀泉等, 1994; 王绪峨等, 1995; 汤宪春, 2011¹⁾)。本文在已有研究基础上, 掌握烟台近海大型底栖动物群落结构现状, 分析

* 国家自然科学基金面上项目, 40976086 号; 山东省科技发展计划项目, 2011GGF01003 号; 烟台市科学技术发展计划项目, 2010246 号。王全超, 硕士研究生, E-mail: qewang@yic.ac.cn

通讯作者: 李宝泉, E-mail: bqli@yic.ac.cn

1) 汤宪春, 2011. 烟台四十里湾大型底栖动物生态功能研究. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 11—30

收稿日期: 2013-02-23, 收修改稿日期: 2013-06-17

群落演替特征,并在此基础上探讨引发群落演替的原因,藉此了解人类活动对烟台近海海洋资源的影响范围和程度,为近岸海区生物多样性保护和渔业资源的可持续利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 站位布设及采样方法

根据不同的环境特点及受人类活动影响的不同,在烟台近海共布设 30 个站位(图 1)。分别在 2010 年的 4 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)及 2011 年的 3 月(冬季)开展调查。由于每个航次天气情况及养殖区变化等原因,各航次采样站数量有所差别。采用取样面积为 0.05m^2 抓斗式采泥器,每站成功采样 2 次。样品经 0.5mm 孔径网筛分选后用 95% 酒精现场固定,并带回实验室进行种类鉴定、个体计数及称重,样品的处理、保存、计数、称重均按照《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)进行。

1.2 群落多样性分析

采用下列指数分析大型底栖动物群落的优势种及多样性:

优势度指数: $Y = (n_i/N) \times f_i$

Shannon-Wiener 多样性指数: $H' = -\sum P_i \log_2 P_i$

Margalef 物种丰富度指数: $D = (S-1)/\log_2 N$

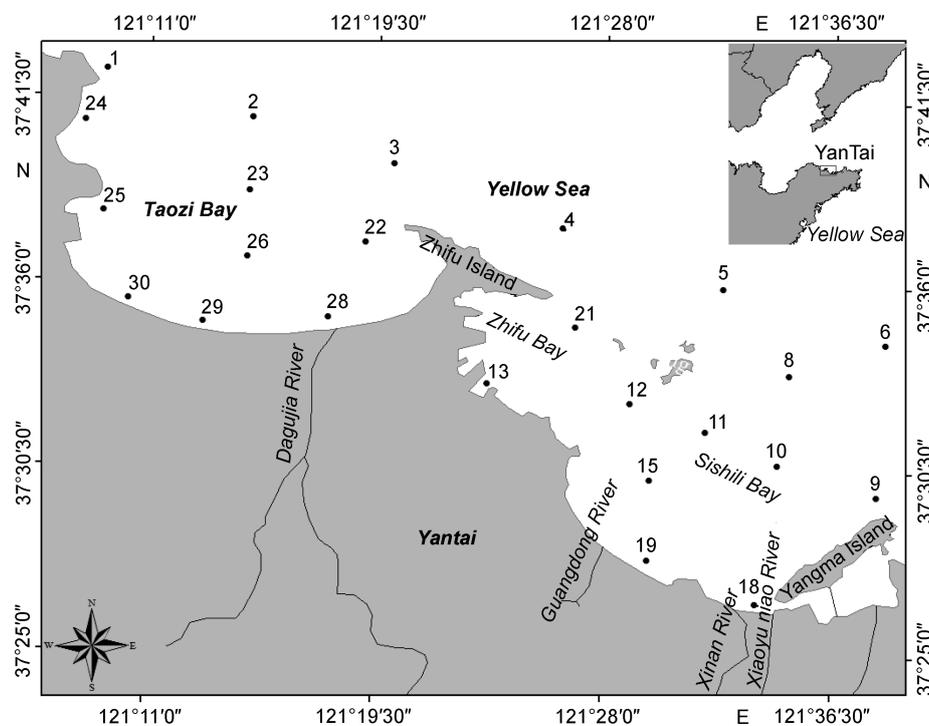


图 1 烟台近岸海域大型底栖动物调查站位

Fig.1 Sampling stations of macrobenthos in coastal water of Yantai

Pielou 物种均匀度指数: $J = H'/\log_2 S$

式中, N 为所有站位采集的大型底栖动物总个体数目; n_i 为第 i 种底栖动物的总个体数; f_i 为物种 i 在各站位出现的频率; S 为采泥样品中的种类总数, P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个体数的比值(n_i/N)。根据陈亚瞿等(1995)的优势种标准,当物种优势度 $Y > 0.02$ 时,该种即认定为优势种。

1.3 群落结构分析

采用生物统计软件 PRIMER 进行群落结构分析,为平衡优势种和稀有种在群落中的影响,数据经平方根转换后计算 Bray-Curtis 相似性系数,构建相似性矩阵。采用 Cluster 聚类 and MDS 排序分析群落结构的异质性。通过相似性百分比分析(Species contribution to similarity, SIMPER)方法计算各种类对组内相似性的平均贡献率。

2 结果

2.1 种类组成及优势种

2010—2011 年烟台近海调查共获大型底栖动物 176 种,其中多毛类 77 种(占 44%),软体动物 46 种(占 26%),甲壳动物 39 种(占 22%),棘皮动物 7 种(占 4%),其它 7 种(占 4%)(附录 I)。四个航次出现物种数量存在差异,以秋季 113 种最多;冬季 101 种次之;夏季

84 种;春季 72 种最少。其中 38 种在四个航次均出现,占总种数的 22%;74 种仅在一个航次出现,占总种数的 42%,多毛类在四个航次中均为群落中的优势类群。各主要类群的种数在四个航次也不相同:多毛类种数为秋季>夏季>冬季>春季;软体动物种数为冬季>秋季>夏季=春季;甲壳动物种数为秋季>冬季>夏季>春季。

群落中的优势种组成在不同航次间略有差别,其中短叶索沙蚕(*Lumbrineris latreilli*)和不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)在四个航次中均为优势种,且短叶索沙蚕在群落中的优势地位极其显著。丝异须虫(*Heteromastus filiformis*)和突头杯尾水虱(*Anthura gracilis*)为春季、秋季

和冬季三个航次的共有优势种(表 1)。

2.2 生物量与丰度

烟台近海四个航次大型底栖动物平均生物量为 16.72g/m², 主要类群中以软体动物贡献最高, 达 7.24g/m²; 多毛类、甲壳动物和棘皮动物贡献依次为 2.79g/m²、1.45g/m² 和 4.13g/m²。生物量季节间变化明显, 夏、秋两季的平均生物量(分别为 25.09g/m² 和 25.76g/m²) 高于春、冬两季(分别为 6.04g/m² 和 9.97g/m²)。主要类群的平均生物量季节变化也不相同,

多毛类夏季最高, 春季最低; 甲壳动物秋季最高, 夏季最低; 软体动物夏季最高, 春季最低; 棘皮动物秋季最高, 春季和冬季较低。不同航次间或者同一航次的平均生物量值在空间分布上也存在较大差异。春季和冬季的生物量空间分布较为平均, 且生物量总体数值较低, 仅在四十里湾偏东海区的生物量稍高于其它海区; 夏季和秋季的生物量空间分布差异较大, 在离岸较近海区出现不同程度的低值区(图 2)。

烟台近海四个航次大型底栖动物平均丰度为

表 1 烟台近海大型底栖动物优势种
Tab.1 Dominant species of macrobenthos in coastal water of Yantai

春季		夏季		秋季		冬季	
种名	优势度 Y	种名	优势度 Y	种名	优势度 Y	种名	优势度 Y
短叶索沙蚕 <i>L. latreilli</i>	0.312	短叶索沙蚕 <i>L. latreilli</i>	0.34	短叶索沙蚕 <i>L. latreilli</i>	0.252	短叶索沙蚕 <i>L. latreilli</i>	0.429
丝异须虫 <i>H. filiformis</i>	0.088	刚鳃虫 <i>Chaetozone setosa</i>	0.023	丝异须虫 <i>H. filiformis</i>	0.045	不倒翁虫 <i>S. sculata</i>	0.052
突头杯尾水虱 <i>A. gracilis</i>	0.049	长锥虫 <i>Haploscoloplos elongatus</i>	0.022	不倒翁虫 <i>S. sculata</i>	0.032	丝异须虫 <i>H. filiformis</i>	0.039
孟加拉海扇虫 <i>Pherusa bengalensis</i>	0.044	不倒翁虫 <i>S. sculata</i>	0.022	突头杯尾水虱 <i>A. gracilis</i>	0.028	突头杯尾水虱 <i>A. gracilis</i>	0.035
不倒翁虫 <i>S. sculata</i>	0.038			刚鳃虫 <i>C. setosa</i>	0.023	多腮齿吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i>	0.025
多腮齿吻沙蚕 <i>N. polybranchia</i>	0.033			小双鳞蛇尾 <i>Amphipholis squamata</i>	0.021		

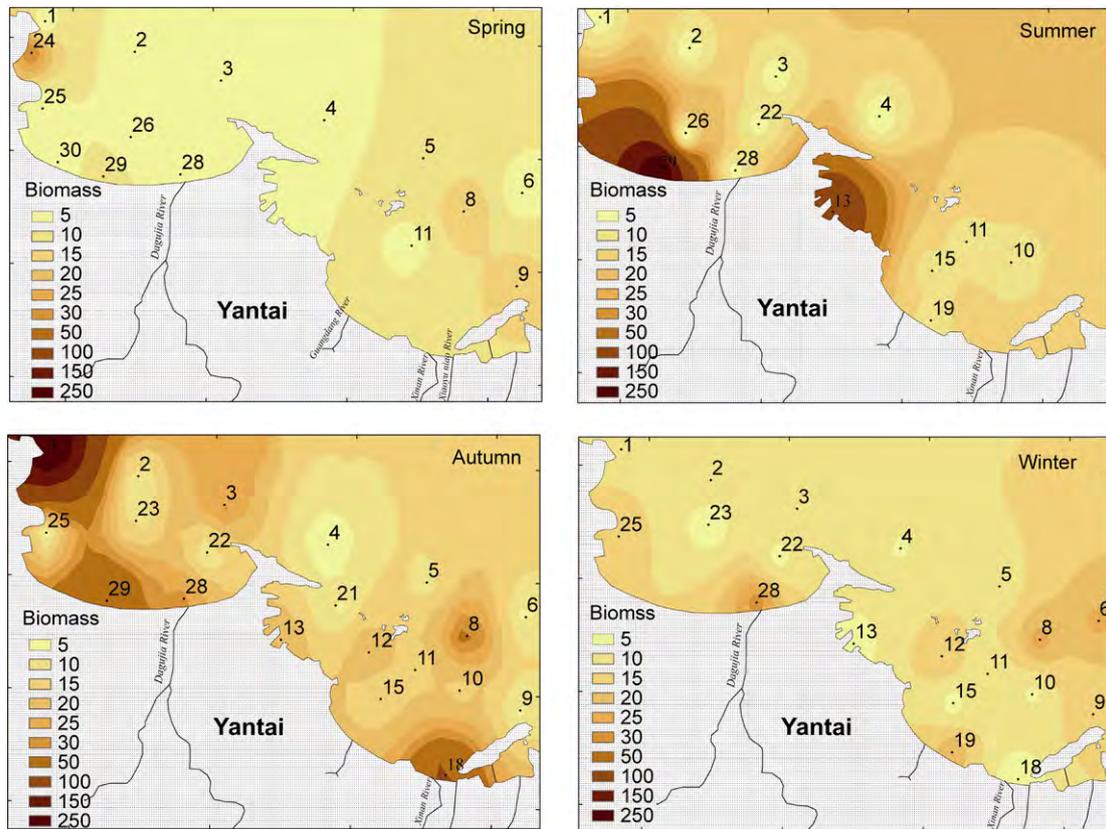


图 2 烟台近海大型底栖动物生物量的空间分布
Fig.2 Spatial distribution of macrobenthos biomass in coastal water of Yantai

1022ind/m², 群落中各主要类群的平均丰度存在差异, 大小顺序依次为: 多毛类(819ind/m²)>甲壳动物(112 ind/m²)>软体动物(63ind/m²)>棘皮动物(23ind/m²)。丰度值的航次间变化总体上呈现从春季至冬季逐步升高的趋势, 即冬季的平均丰度最高, 达 1251ind/m²; 夏季次之, 为 1128ind/m²; 秋季为 1027ind/m²; 春季最低, 仅为 683ind/m²。各主要类群丰度值的航次间变化也较为明显, 具体表现为: 多毛类: 冬季>夏季>秋季>春季; 甲壳动物: 夏季>冬季>秋季>春季; 软体动物: 夏季>秋季>冬季>春季; 棘皮动物: 秋季>冬季>春季>夏季。不同航次间或者同一航次的平均丰度值在空间分布上也存在差异, 总体上呈现出四十里湾偏东海区的丰度高于其它海区(图 3)。

2.3 群落结构分析

四个航次各站位大型底栖动物群落间的 Bray-Curtis 相似性系数在 7%—77%之间(图 4)。以 20% 标准进行划分, 春季、夏季和冬季航次底栖动物分别可以划分为 3 个组, 秋季航次可以划分为 4 个组。

春季航次组 包括位于大沽夹河口外的 26 站和 28 站, 相似性为 25%, 表征种为独指虫(贡献率

100%); 组 包括套子湾离岸最近的 29 站和 30 站, 相似性 79%, 表征种为丝异须虫(贡献率 40%)、中阿吉曼虫(贡献率 24%)、细长涟虫(贡献率 13%)和长锥虫(贡献率 13%); 组 包括其余 11 站, 平均相似性 32%, 表征种为短叶索沙蚕(贡献率 31%)和突头杯尾水虱(贡献率 13%)。

夏季航次组 包括套子湾海区的 26、28 和 29 站, 平均相似性 49%, 表征种为长锥虫(贡献率 47%)和仿尖头钩虾属 1 种(贡献率 46%); 组 包括四十里湾海区的 10、11、13、15 和 19 站, 平均相似性 37%, 表征种为短叶索沙蚕(贡献率 77%); 组 包括套子湾湾口附近的 22 站和湾外的 1、2、3、4 站, 平均相似性 38%, 表征种为不倒翁虫(贡献率 31%)、短叶索沙蚕(贡献率 18%)、拟特须虫(贡献率 11%)和强鳞虫(贡献率 10%)。

秋季航次组 包括离岸较近 18、28 和 29 站, 平均相似性为 18%, 表征种为长锥虫(贡献率 75%); 组 包括 2、3 和 4 站等 15 个站, 平均相似性 23%, 表征种为短叶索沙蚕(贡献率 35%)和丝异须虫(贡献率 13%); 组 和组 仅包含 1 站和 13 站。

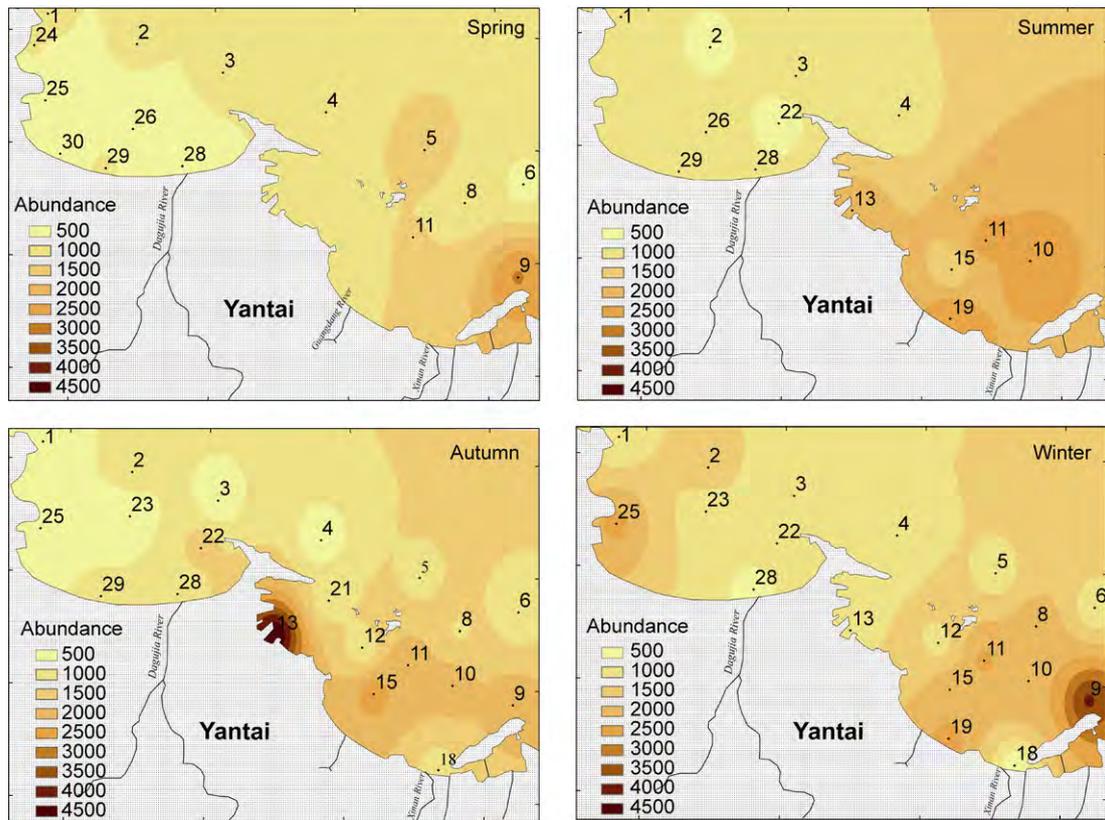


图 3 烟台近海大型底栖动物丰度的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of macrobenthos abundance in coastal water of Yantai

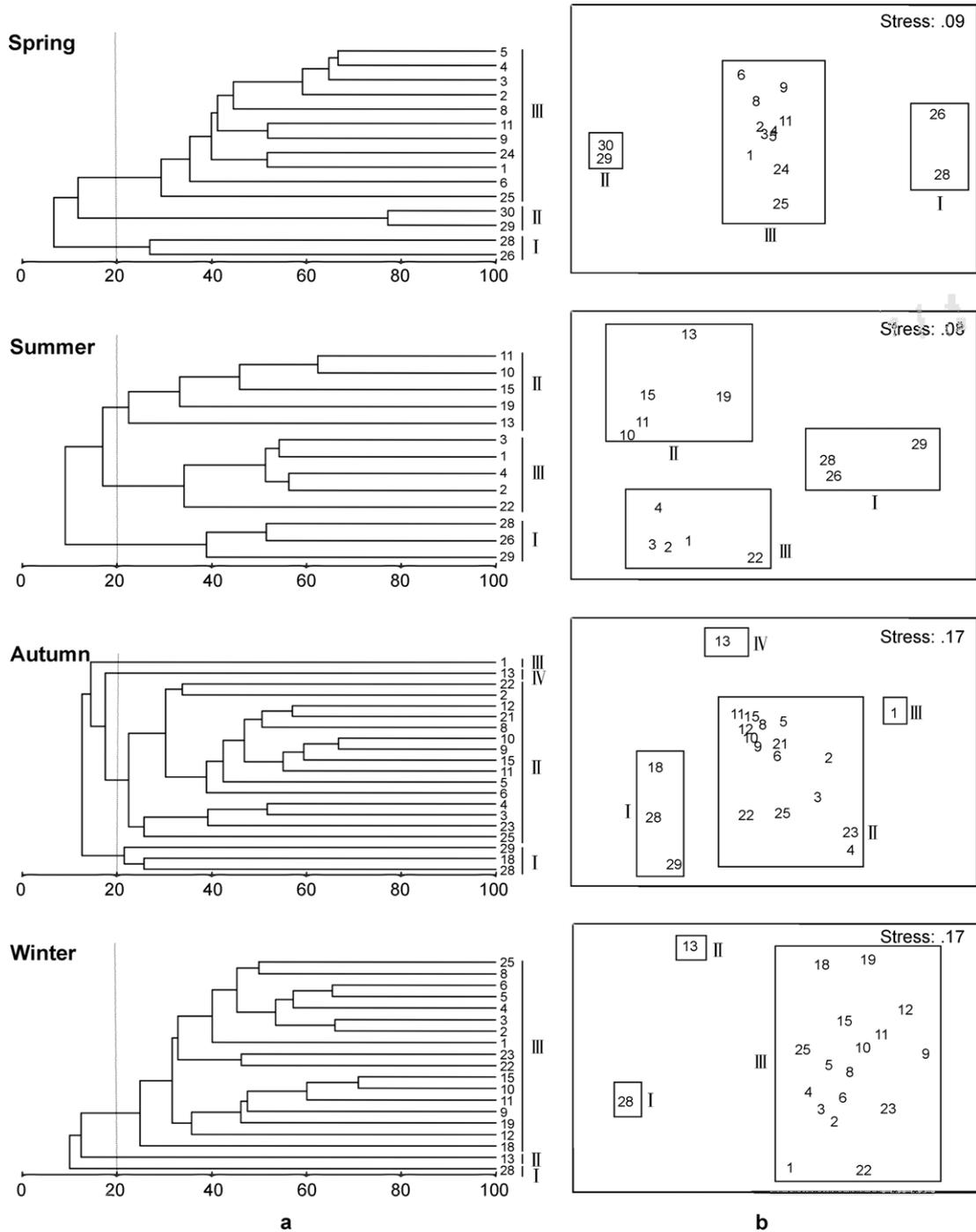


图 4 烟台近海大型底栖动物聚类(a)和 MDS(b)分析

Fig.4 Analysis of CLUSTER (a) and MDS (b) on macrobenthos in coastal water of Yantai

冬季航次的组 仅包括位于河口区 28 站; 组 仅包括港口区的 13 站; 组 包括其余各站, 平均相似性 30%, 表征种为短叶索沙蚕(贡献率 47%)和不倒翁虫(贡献率 10%)。

2.4 物种多样性

烟台近海大型底栖动物群落的三个多样性指数均相对较低(表 2)。丰富度指数(D)的年平均值为

2.38, 航次间变化较小, 从夏季的 2.2 至冬季的 2.46; 同一航次 D 值在空间分布上则存在较大差别, 具体情况为: 春季从 0.59(28 站)至 3.85(24 站); 夏季从 1.02(19 站)至 4.18(11 站); 秋季从 0.77(04 站)至 4.02(05 站); 冬季从 1.27(18 站)至 4.58(25 站)。

均匀度指数(J)的年平均值为 0.73, 航次间变化较小, 从冬季的 0.65 至夏季的 0.84。同一航次 J 值的

表 2 烟台近海大型底栖动物多样性指数
Tab.2 Diversity indices of macrobenthos in coastal water of Yantai

站位	春季			夏季			秋季			冬季		
	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>H'</i>									
1	3.49	0.88	2.76	2.24	0.83	2.26	2.27	0.85	2.25	2.74	0.79	2.34
2	2.34	0.88	2.44	2.35	0.93	2.51	2.45	0.79	2.24	3.37	0.87	2.81
3	3.52	0.91	2.88	2.25	0.75	2.07	1.97	0.91	2.18	2.96	0.84	2.55
4	3.63	0.86	2.75	2.48	0.88	2.50	0.77	0.96	1.33	2.24	0.88	2.37
5	3.53	0.83	2.70				4.02	0.85	2.84	2.76	0.82	2.42
6	1.72	0.86	2.06				2.51	0.92	2.59	3.37	0.90	2.82
8	3.17	0.84	2.60				3.65	0.87	2.83	3.75	0.82	2.75
9	2.42	0.38	1.13				1.73	0.47	1.24	1.35	0.21	0.53
10				3.36	0.55	1.81	2.81	0.59	1.82	1.98	0.36	1.01
11	2.89	0.71	2.18	4.18	0.72	2.51	3.17	0.62	2.01	2.61	0.51	1.56
12							3.07	0.85	2.58	2.69	0.76	2.23
13				1.71	0.50	1.33	2.26	0.46	1.39	1.36	0.63	1.46
15				2.69	0.66	1.97	3.10	0.56	1.79	1.48	0.41	1.03
18							2.12	0.75	2.04	1.27	0.74	1.54
19				1.02	0.24	0.53				2.08	0.23	0.65
21							3.05	0.86	2.63			
22				1.33	0.80	1.66	1.54	0.51	1.26	2.19	0.52	1.45
23							1.33	0.97	1.89	2.26	0.77	2.15
24	3.85	0.90	2.91									
25	1.76	0.93	2.22				2.17	0.89	2.28	4.58	0.78	2.79
26	0.77	0.96	1.33	1.69	0.64	1.60						
28	0.59	1.00	1.10	2.05	0.70	1.85	1.28	0.44	0.97	1.62	0.50	0.90
29	1.58	0.81	1.94	1.17	0.76	1.67	2.40	0.83	2.29			
30	1.18	0.78	1.62									

空间分布也存在较明显的差别,具体情况为:春季从 0.38(9 站)至 0.96(26 站);夏季从 0.24(19 站)至 0.93(02 站);秋季从 0.44(28 站)至 0.91(04 站);冬季从 0.22(09 站)至 0.90(06 站)。

多样性指数(H')的年平均值为 1.98,航次间相对较稳定,从春季的 2.18 至冬季的 1.86。但同一航次 H' 值的空间分布存在较明显的差别,春季从 1.10(28 站)至 2.91(24 站);夏季从 0.53(19 站)至 2.51(11 站);秋季从 0.97(28 站)至 2.84(05 站);冬季从 0.53(09 站)至 2.82(06 站)。

3 讨论

3.1 群落空间分布特征

大型底栖动物群落结构的分布格局与海水深度和沉积环境等因素关系密切(Coleman *et al*, 1978; Levin *et al*, 1998),本次调查结果也符合上述观点。由聚类和排序分析结果可以看出,烟台近海大型底栖

动物群落结构航次间具有一定的相似性,在 20% 的相似性水平,烟台近海各航次多数站位可以归为一个组,并且表征种重叠较大,这与烟台近海沉积物类型较为单一有关。烟台近海底质大部分为砂质泥,仅在大沽夹河河口、辛安河河口与湾口的两个站的底质呈现砂、泥和泥质砂分布。烟台近海大型底栖动物群落也表现随深度变化的趋势,海水深度由湾内至湾外逐渐变深,但深度变化不大,最深处 24m。四个航次的聚类和排序表明,位于湾口外较深海区的 1、2、3 和 4 站四个航次均具有较高的相似性,而湾内站位相互间的相似性较高,该趋势在夏季最为明显。烟台近海大型底栖动物群落在部分海区呈现斑块状分布。四个航次在大沽夹河河口附近(26、28、29 和 30 站)均独立划分出来,而且从夏季到冬季表征物种相似。烟台港海区的 13 站从秋季至冬季均为独立组,并且夏季该站与其它站位的相似性不及 30%,该站夏季、秋季和冬季三个航次丰度最高种均为刚鳃虫,其秋

季的丰度最高, 达 2310 ind./m²。需要说明的是, 大沽夹河河口区和烟台港海区沉积物类型和深度与邻近海区差别不大, 但两个区内大型底栖动物群落结构与邻近海区相差较大, 且多样性指数相比其它海区呈现偏低状态。即, 大沽夹河河口区 28 站多样性指数(H')的最高值仅为 1.85(夏季航次), 而秋季和冬季两个航次的多样性结果均小于 1。烟台港海区的 13 站, 在三个航次的采样中, 其多样性指数(H')在 1.33—1.46 之间。依据多样性评价标准(蔡立哲等, 2002), 即当 H' 值在 1—2 之间, 中度污染; H' 值在 0—1 之间, 重度污染。说明大沽夹河河口区大型底栖动物群落春、夏季受到中等干扰, 秋、冬季受到重度干扰。烟台港海区夏季、秋季和冬季受到中等程度干扰。这说明, 在沉积物类型和深度相近的环境下, 人类活动影响不同的海区, 底栖动物群落结构也出现较大的差异。

3.2 群落演替特征

因烟台近岸海域底栖动物调查开展较少, 同时由于已报道的三次调查结果与本研究在采样区域、采样季节和样品处理方法上的差异, 在此情况下很难做出完全量化的比较, 得出准确的演替规律。为了减少误差, 作者选取相同季节(夏季)的调查结果进行比较, 分析群落变动的整体趋势(表 3)。与 20 世纪 90 年代相比, 烟台近海大型底栖动物发生了一定程度的演替, 表现为种类数量减少、群落中主要类群所占比例以及优势种组成都发生了变化, 造成上述差异的因素可能来自于采样区域、采样方式和人类活动干扰等。王绪峨等(1995)和吴耀泉等(1994)开展的两次调查分别集中于芝罘岛外海区和芝罘湾附近海区, 采样时均使用 0.1m² HNM 采泥器。在物种筛选上, 则分别采用 5mm 和 1mm 孔径网筛(王绪峨等, 1995), 以及 0.5mm 和 0.25mm 孔径网筛(吴耀泉等, 1994)。此外, 本次调查覆盖范围大, 采样区受干扰的类型多, 包括污水排放、养殖、淡水注入和捕捞等, 这些干扰均能导致大型底栖动物种类组成及数量的变化(Johannessen *et al.*, 1994; 余日清等, 1997)。虽然上述两次调查总种类数量高于本次调查, 但波动不大, 对于生物地理分布区系特征来说, 烟台近岸海域仍属

相对较小的范围, 如生境或群落没有受到人类活动的持续强烈干扰, 区域内分布的底栖动物物种数应波动不大。这说明烟台近岸海域底栖动物群落受到干扰的程度, 还没有大到影响到物种数的剧烈变化。

本次调查中群落优势类群为多毛类, 与近年对北黄海大型底栖动物群落的调查结果基本吻合(曲方圆等, 2009), 群落主要由个体较小, 耐污能力较强, 生活周期较短的广温广盐种组成。但相比之前以多毛类、软体动物和甲壳动物为优势类群的群落(王绪峨等, 1995), 在近 20 年时间内, 烟台近海底栖动物群落发生了一定程度的演替, 主要表现为: 群落中优势种组成发生变化且数量减少; 群落组成结构变的单一; 物种小型化趋势明显。参照黄渤海近岸海域底栖动物群落的调查结果(胡颢琰等, 2000), 作为山东以北海域代表种之一的心形海胆在本次调查中仅在秋季航次的 1 号站采集到。

3.3 生物量与丰度

生物量和丰度的变化能够有效反映生物群落的变化, 从而推断环境的变化(Warwick, 1986)。本次调查底栖动物的生物量和丰度在四个航次呈现不同的变化趋势。冬季平均生物量较低, 但是平均丰度最高, 源于冬季温度较低给个体较小的机会种提供了更多的生存机会。主要类群的航次间变化也显示, 个体较小的多毛类动物在冬季达到丰度最高值。秋季平均生物量最高, 而平均丰度最低, 主要是由于该航次采集到个体较大的心形海胆, 对该季度总生物量的贡献达到 40%。由于心形海胆丰度不高, 且不呈均匀分布, 调查过程中采到类似的个体较大物种存在一定的偶然性, 但对数据的统计结果影响较大。除软体动物平均生物量与丰度的航次间变化一致外, 其它类群动物平均生物量与丰度航次间变化无明显规律。软体动物平均生物量与丰度均在夏季达到最高值, 在春季达到最低值, 并且航次间变化明显, 这主要是受软体动物生殖习性的影响。软体动物繁殖季节多在 5—6 月, 至夏季 8—9 月份, 软体动物达到生长的高峰期, 由于新生个体对群落的补充贡献, 因此生物量和丰度会维持在较高的水平。

表 3 不同年份大型底栖动物种数
Tab. 3 Species number of macrobenthos in different years

采样区域/采样季节(参考文献)	多毛类种数(比例)	甲壳类种数(比例)	软体类种数(比例)	棘皮类种数(比例)	总种数
本次调查/夏季	44(52%)	18(21%)	16(19%)	3(4%)	84
芝罘湾/夏季(吴耀泉等, 1994)	40(46%)	11(13%)	27(31%)	6(7%)	87
烟台近海/夏季(王绪峨等, 1995)	41(39%)	21(20%)	34(32%)	4(4%)	106

与历史资料相比较(表 4), 春、秋两个航次的生物量与丰度明显低于汤宪春(2011)¹⁾的调查结果, 原因为春季航次多毛类和软体动物的生物量和丰度偏低, 秋季航次并没有采集到尾索动物。夏季航次的丰度与吴耀泉等(1994)对芝罘港附近海区的调查结果基本一致, 但是生物量却远低于后者, 主要原因是群落中的物种组成发生了一定程度的演替, 个体较大的物种在群落中占的比例逐步变小, 如个体较大的棘皮动物、软体动物和甲壳动物所占比例均变小, 而个体较小的多毛类所占比例明显增高。

3.4 群落演替成因分析

上述分析表明, 烟台近岸海域大型底栖动物群落已发生了一定程度的演替。引起演替发生的成因比较复杂, 包括研究区域多年来的污水排放、水产养殖和捕捞、港口建设和船舶运输等。大沽夹河作为烟台境内最大的入海河流, 大量的营养物质及有害污染物能够随河流入海。大沽夹河沿岸居民洗涤含磷污水

的排放是导致套子湾内 DIP 含量偏高的主要原因(纪灵等, 1998); 郭献军(2006)对大沽夹河流域水质研究显示流域内总氮严重超标; 孙启耀等(2011)对烟台近海典型生态区重金属分析显示, 该区域的重金属污染程度最高。港口水体与沉积物污染物富集程度高, 并且由于港内水动力作用较弱, 不易于污染物的扩散(Guerra-García *et al.*, 2004; Darbra *et al.*, 2005)。此外, 船舶压仓水的排放很可能导致外来物种的入侵(Galil, 2000; Rilov *et al.*, 2009), 并改变该区域的底栖动物群落。13 站位于港口内, 其有机质含量和石油类含量均高于邻近海区(林荣根等, 1998)。孙万龙等(2010)对烟台港内外海区的研究比较显示港内外浮游植物、浮游动物和底栖动物的种类和数量存在显著差异。由于底栖动物不同种类对环境污染的耐受程度不同, 大沽夹河河口邻近海区由于污染较严重, 此处耐污程度高的种类能够占据有利生态位, 而耐污低的种类则受到较大影响, 导致群落结构发生变化。

表 4 不同年份大型底栖动物生物量与丰度
Tab.4 Biomass/abundance of macrobenthos in different years

季节	类别	生物量(g/m ²)			丰度(ind./m ²)		
		本次调查	四十里湾 (汤宪春, 2011 ¹⁾)	芝罘港 (吴耀泉等, 1994)	本次调查	四十里湾 (汤宪春, 2011 ¹⁾)	芝罘港 (吴耀泉等, 1994)
春季	多毛类	1.93	15.94		551.33	1245.60	
	甲壳动物	0.88	1.09		77.33	98.60	
	软体动物	2.14	6.05		42.00	141.07	
	棘皮动物	1.06	1.07		8.00	6.30	
	平均值	6.04	24.48		682.66	1494.70	
夏季	多毛类	3.62		19.10	883.08		944.21
	甲壳动物	0.42		0.95	140.77		45.26
	软体动物	19.12		23.59	90.77		61.84
	棘皮动物	1.84		19.10	6.92		108.68
	平均值	25.09		63.86	1128.46		1164.96
秋季	多毛类	2.68	6.45		799.50	1409.20	
	甲壳动物	3.24	0.12		107.00	77.10	
	软体动物	5.06	3.29		63.50	850.90	
	棘皮动物	12.56	0.24		53.50	5.40	
	平均值	25.76	76.76		1026.50	2384.00	
冬季	多毛类	2.95			1041.05		
	甲壳动物	1.25			121.05		
	软体动物	2.62			56.32		
	棘皮动物	1.06			24.73		
	平均值	9.97			1250.53		

1) 汤宪春, 2011. 烟台四十里湾大型底栖动物生态功能研究. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 11—30

贝类养殖对海洋生态系统的生物和环境因子均会产生复杂的影响, 包括加速生物沉降和沉积物富营养化、改变海流流向、流速和水质、导致营养物质在水层-沉积物界面的通量变化, 减少水体悬浮颗粒物质的含量等(Forrest *et al*, 2009)。烟台近岸的养殖主要集中在四十里湾和套子湾两个海湾, 其中四十里湾是中国北方最早开展浅海养殖的海域之一, 而套子湾作为优良的海水养殖海湾, 适宜的养殖海区已基本被全部利用。养殖品种从 20 世纪 50 年代的海带、裙带菜到贻贝、栉孔扇贝、海湾扇贝以及近年来的海参底播养殖。养殖面积一度达到 2450hm², 其中扇贝、贻贝和海带的养殖面积分别为 800hm²、400hm² 和 250hm²(高昊东等, 2011; 万玲, 2012)。如此大规模高密度的养殖, 对四十里湾生态系统包括生物群落必定产生较大的影响, 导致大型底栖动物群落演替的发生。但自 2010 年之后, 在各项工作开展过程中, 烟台市政府为了改善海滨旅游区的环境和生态质量, 逐步移除四十里湾海域的养殖筏架, 该举措对底栖生物群落的长久影响需要开展进一步调查。

致谢 本研究得到中国科学院烟台海岸带研究所刘东艳研究员的大力支持和协助, 董志军、韩庆喜、张永、邱宝平、石雅君等参加了部分取样考察, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 万 玲, 2012. 烟台四十里湾海水养殖水域环境污染研究. 安徽农业科学, 40(11): 6801—6803
- 王绪峨, 徐宗法, 周学家, 1995. 烟台近海底栖动物调查报告. 生态学杂志, 14(1): 6—10
- 曲方圆, 于子山, 刘卫霞等, 2009. 北黄海春季大型底栖生物群落结构. 中国海洋大学学报(自然科学版), 39(S1): 109—114
- 庄树宏, 1997. 烟台海滨潮间带岩岸环境无脊椎动物群落特性的初步研究. 黄渤海海洋, 15(3): 31—39
- 刘 艳, 纪 灵, 郭建国等, 2009. 烟台邻近海域水质与富营养化时空变化趋势分析. 海洋通报, 28(2): 18—22
- 孙万龙, 高昊东, 孙志高, 2010. 烟台港海域水生生态污染研究. 齐鲁渔业, 27(7): 4—8
- 孙启耀, 宋建国, 高彦博等, 2011. 烟台近岸典型生态区沉积物重金属形态分布及其污染状况. 海洋科学, 35(9): 31—36
- 纪 灵, 任荣珠, 梁源高等, 1998. 烟台市近岸海域无机磷含量逐年上升. 海洋通报, 17(6): 21—27
- 苏纪兰, 唐启升, 2005. 我国海洋生态系统基础研究的发展. 地球科学进展, 20(2): 139—143
- 吴耀泉, 张 波, 1994. 烟台芝罘湾水域底栖动物生态环境特征. 海洋环境科学, 13(3): 1—6
- 余日清, 陈桂珠, 章金鸿等, 1997. 排放生活污水对红树林底栖动物群落季节变化的影响. 中国环境科学, 17(6): 497—500
- 张 珂, 王朝晖, 冯 杰等, 2011. 芝罘湾表层沉积物中重金属的分布特征及潜在生态危害评价. 分析测试学报, 30(6): 593—599
- 陈亚瞿, 胡方西, 1995. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 I. 生物量及优势种的平面分布. 中国水产科学, 2(1): 49—58
- 邵立娜, 任宗明, 张高生等, 2011. 烟台近海海域经济类海洋生物体内 Sn、Hg 的含量分析. 环境科学, 32(6): 1696—1702
- 林荣根, 解为民, 1998. 芝罘湾附近海域底质环境现状. 海洋环境科学, 17(4): 22—26
- 胡琰琰, 黄 备, 唐静亮等, 2000. 渤、黄海近岸海域底栖生物生态研究. 东海海洋, 18(04): 39—46
- 高昊东, 邓忠伟, 孙万龙等, 2011. 烟台四十里湾赤潮发生与生态环境污染研究. 中国环境监测, 27(2): 50—55
- 郭献军, 2006. 大沽夹河流域水环境评价及污染防治对策. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 18(4): 308—312
- 蔡立哲, 马 丽, 高 阳等, 2002. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析. 厦门大学学报(自然科学版), 41(5): 641—646
- Coleman N, Cuff W, Drummond M *et al*, 1978. A quantitative survey of the macrobenthos of Western Port, Victoria. Marine and Freshwater Research, 29(4): 445—466
- Darbra R M, Ronza A, Stojanovic T A *et al*, 2005. A procedure for identifying significant environmental aspects in sea ports. Marine Pollution Bulletin, 50(8): 866—874
- Forrest B M, Keeley N B, Hopkins G A *et al*, 2009. Bivalve aquaculture in estuaries: Review and synthesis of oyster cultivation effects. Aquaculture, 298(1): 1—15
- Galil B S, 2000. A sea under siege—alien species in the Mediterranean. Biological Invasions, 2(2): 177—186
- Grall J, Glémarec M, 1997. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44: 43—53
- Guerra-García J M, García-Gómez J C, 2004. Polychaete assemblages and sediment pollution in a harbour with two opposing entrances. Helgoland Marine Research, 58(3): 183—191
- Herman P M J, Middelburg J J, Van D K J *et al*, 1999. Ecology of estuarine macrobenthos. Advances in ecological research, 29: 195—240
- Johannessen P J, Botnen H B, Tvedten F, 1994. Macrobenthos: before, during and after a fish farm. Aquaculture Research, 25(1): 55—66
- Levin L A, Gage J D, 1998. Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. Deep-Sea Research Part II, 45(1—3): 129—163
- Pinto R, Patrício J, Baeta A *et al*, 2009. Review and evaluation of estuarine biotic indices to assess benthic condition. Ecological Indicators, 9(1): 1—25

- Rilov G, Crooks J A, 2009. Marine bioinvasions: Conservation hazards and vehicles for ecological understanding. *Biological Invasions in Marine Ecosystems*: 3—11
- Wang Yujue, Liu Dongyan, Dong Zhijun *et al*, 2012. Temporal and spatial distributions of nutrients under the influence of human activities in Sishili Bay, northern Yellow Sea of China. *Marine Pollution Bulletin*, 64(12): 2708—2719
- Warwick R, 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 92(4): 557—562

COMMUNITY STRUCTURE OF MACROBENTHOS IN COASTAL WATER OFF YANTAI, EAST CHINA

WANG Quan-Chao^{1,2}, LI Bao-Quan¹

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, 264003;*
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049*)

Abstract To understand the status of macrobenthos community in coastal water off Yantai, East China, we analyzed the community succession and compared it with those of previous surveys. Several indices and methods were adopted, e.g. dominance index, diversity index, richness index, evenness index, Bray-Curtis similarity, and MDS (multidimensional scaling) ordination analysis. In total, 176 species were identified, of which Polychaeta dominated. *Lumbrineris latreilli* and *Sternaspis scutata* were dominant species in four seasons. The average values of biomass and abundance were 16.72g/m² and 1022ind/m², respectively. The community structure of macrobenthos was closely related to sediment type and depth. Some trends in the community had stayed for 20 years, i.e., the increase in Polychaeta species and decrease in Mollusk species, which could be resulted from anthropogenic activities, including waste discharge, mariculture and fishing, harbor building, and shipping.

Key words coastal water off Yantai; macrobenthos; community structure; succession

附录 I 烟台近海大型底栖动物名录

Appendix The species checklist of macrobenthos in coastal water of Yantai

物种	春季	夏季	秋季	冬季
甲壳动物 Crustacea				
日本鼓虾				+
鼓虾属 1 种		+	+	+
双眼钩虾属 1 种	+	+	+	+
突头杯尾水虱	+	+	+	+
长尾虫属 1 种	+	+	+	+
藤壶属 1 种			+	
多棘麦秆虫				+
麦秆虫属 1 种			+	
双斑罽		+		
壳颚钩虾属 1 种	+			
河螺赢蜚	+	+	+	+
大螺赢蜚	+	+	+	+
中华螺赢蜚			+	
螺赢蜚属 1 种			+	+
三叶针尾涟虫		+	+	+
宽甲古涟虫		+	+	+
塞切尔泥钩虾	+	+	+	+

续附录 I

物种	春季	夏季	秋季	冬季
钩虾属 1 种 <i>Gammarus</i> sp.			+	
中华近方蟹 <i>Hemigrapsus sinensis</i>			+	
细长涟虫 <i>Iphinoe tenera</i>	+			
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	+	+	+	+
腔钩虾科 1 种 <i>Leucothoidae</i>			+	
利尔钩虾属 1 种 <i>Liljeborgia</i> sp.				+
凸壳肌蛤 <i>Listriella curvidactyla</i>	+	+	+	+
弯指伊氏钩虾 <i>Listriella curvidactyla</i>	+	+	+	+
琴钩虾科 1 种 <i>Lysianassidae</i>	+		+	
长指马耳他钩虾 <i>Melita longidactyla</i>			+	
马耳他钩虾属 1 种 <i>Melita</i> sp.		+	+	+
糠虾科 1 种 <i>Mysidae</i>		+		
日本游泳水虱 <i>Natatolana japonensis</i>	+	+	+	+
黑褐新糠虾 <i>Neomysis awatschensis</i>				+
小头弹钩虾 <i>Orchomene breviceps</i>				+
颗粒拟关公蟹 <i>Paradorippe granulata</i>			+	
副尖头钩虾属 1 种 <i>Paraphoxus</i> sp.		+	+	+
尖额钩虾属 1 种 <i>Phoxocephalus</i> sp.		+	+	
极地蚤钩虾 <i>Pontocrates altamarinus</i>	+			
蚤钩虾属 1 种 <i>Pontocrates</i> sp.	+	+		
拟盲蟹 <i>Typhlocarcinops</i> sp.				+
伍氏蝼蛄虾 <i>Upogebia wuhsienweni</i>			+	
棘皮动物 Echinodermata				
光亮倍棘蛇尾 <i>Amphioplus lucidus</i>	+	+	+	+
日本倍棘蛇尾 <i>Amphioplus japonicus</i>	+	+	+	+
小双鳞蛇尾 <i>Amphipholis squamata</i>	+		+	+
多棘海盘车 <i>Asterias amurensis</i>		+	+	
心形海胆 <i>Echinocardium cordatum</i>			+	
紫蛇尾 <i>Ophiopholis mirabilis</i>			+	
金氏真蛇尾 <i>Ophiura kinbergi</i>			+	
软体动物 Mollusca				
卵圆阿布蛤 <i>Abrina skinoshitai</i>				+
全海笋属 1 种 <i>Barnea</i> sp.				+
台湾短口螺 <i>Brachytoma tawamurai</i>				+
圆楔樱蛤 <i>Cadella narutoensis</i>	+		+	
楔樱蛤属 1 种 <i>Cadella</i> sp.			+	
无饰红泽螺 <i>Chemnitzia acosmia</i>	+			
腰带螺 <i>Cingulina cingulata</i>			+	+
黄色扁鸟蛤 <i>Clinocardium buelowi</i>		+		
小刀蛭 <i>Cultellus attenuatus</i>		+	+	
津知圆蛤 <i>Cycladicama tsuchi</i>		+	+	+
日本镜蛤 <i>Dosinia japonica</i>			+	
内肋蛤 <i>Endopleura lubrica</i>	+	+	+	+
圆筒原盒螺 <i>Eocylichna braunsi</i>				+
滑顶薄壳鸟蛤 <i>Fulvia mutica</i>		+	+	

续附录 I

	物种	春季	夏季	秋季	冬季
	等边浅蛤 <i>Gomphina aequilatera</i>	+		+	+
	东方缝栖蛤 <i>Hiatella orientalis</i>			+	
	日本艾达蛤 <i>Idasola japonicus</i>				+
	鸭嘴蛤 <i>Laternula anatina</i>		+		+
	短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>			+	
	中国蛤蜊 <i>Mactra chinensis</i>		+	+	
	异白樱蛤 <i>Mactra incongrua</i>				+
	本州白樱蛤 <i>Mactra nipponica</i>	+	+	+	
	蛤蜊亚属 1 种 <i>Mactra</i> sp.			+	
	丽核螺 <i>Mitrella bella</i>	+	+		+
	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	+	+	+	+
	江户明樱蛤 <i>Moerella jedoensis</i>	+			+
	红明樱蛤 <i>Moerella rutila</i>				+
	明樱蛤属 1 种 <i>Moerella</i> sp.	+			
	扁玉螺 <i>Neverita didyma</i>	+		+	+
	小亮樱蛤 <i>Nitidotellina minuta</i>	+	+	+	+
	亮樱蛤属 1 种 <i>Nitidotellina</i> sp.			+	
	豆形胡桃蛤 <i>Nucula faba</i>	+	+	+	+
	紫彩血蛤 <i>Nuttallia olivacea</i>			+	
	微角齿口螺 <i>Odostomia subilirulata</i>				+
	壳蛞蝓属 1 种 <i>Philine</i> sp.	+	+	+	+
	卵蛤属 1 种 <i>Pitar</i> sp.				+
	碗梨螺 <i>Pyrumculus phialus</i>	+			
	秀丽波纹蛤 <i>Raetellops pulchella</i>			+	+
	耳口露齿螺 <i>Ringicula doliaris</i>			+	+
	菲律宾哈 <i>Ruditapes philippinarum</i>				+
	双带蛤属 1 种 <i>Semele</i> sp.	+			
	理蛤 <i>Theora lata</i>				+
	优美方口螺 <i>Tiberia pulchella</i>		+	+	+
	金星蝶铰蛤 <i>Trigonothracia jinxiangae</i>	+	+	+	+
	醒目云母哈 <i>Yoldia notabilis</i>			+	+
多毛类 Polychaeta					
	中华内卷齿蚕 <i>Aglaophamus sinensis</i>			+	
	西方似蛭虫 <i>Amaeana occidentalis</i>	+	+	+	
	扇栉虫 <i>Amphicteis gunneri</i>	+		+	
	扁鳃扇栉虫 <i>Amphicteis scaphobranchiata</i>		+	+	
	梭须半突虫 <i>Anaitides madeirensis</i>			+	
	乳突半突虫 <i>Anaitides papillosa</i>	+	+	+	+
	锥稚虫 <i>Aonides oxycephala</i>			+	+
	花索沙蚕 <i>Arabella iricolor</i>		+		
	独指虫 <i>Aricidea fragilis</i>	+	+	+	+
	中阿吉曼虫 <i>Armandia intermedia</i>	+			+
	吻蛭虫 <i>Artacama proboscidea</i>		+	+	
	五岛短脊虫 <i>Asychis gotoi</i>		+	+	
	刚鳃虫 <i>Chaetozone setosa</i>	+	+	+	+

续附录 I

物种	春季	夏季	秋季	冬季
金毛丝鳃虫				+
丝鳃虫			+	
须鳃虫			+	+
双叶巢沙蚕			+	+
额刺裂虫		+	+	+
旋巢沙蚕	+	+		
长双须虫		+		+
管围巧言虫	+	+		+
蜂窝格鳞虫	+	+	+	
渤海格鳞虫	+			+
锥唇吻沙蚕	+	+	+	+
尖叶吻沙蚕			+	
中锐吻沙蚕			+	+
寡节甘吻沙蚕	+		+	+
穗鳞虫				+
长锥虫	+	+	+	+
丝异须虫	+	+	+	+
无疣齿蚕		+		
后指虫		+		
背鳞虫属 1 种				+
含糊拟刺虫		+	+	
短叶索沙蚕	+	+	+	+
四索沙蚕				+
尖叶长手沙蚕	+	+	+	+
缩头竹节虫				+
仙居虫	+			
囊叶齿吻沙蚕	+	+		
加州齿吻沙蚕		+	+	+
多腮齿吻沙蚕	+	+	+	+
双齿围沙蚕	+	+	+	+
异须沙蚕				+
蜈蚣欧努菲虫		+	+	
角海蛸	+		+	
狭细蛇潜虫	+	+	+	+
欧文虫		+	+	
拟特须虫	+	+	+	+
副栉虫		+	+	+
奇异锥齿虫	+			+
独齿围沙蚕		+		
多齿围沙蚕			+	
孟加拉海扇虫	+	+	+	+
树蛸虫	+	+	+	+
丛生树蛸虫			+	
双管阔沙蚕			+	
蛇杂毛虫	+	+	+	+

续附录 I

物种	春季	夏季	秋季	冬季
尖刺樱虫			+	
矮小稚齿虫		+		
昆士兰稚齿虫				+
稚齿虫属 1 种		+		
缨鳃虫			+	
迪氏线管虫			+	
环树栉虫	+		+	+
羽鳃栉虫			+	+
膜囊尖锥虫		+		
深沟毛虫	+	+	+	+
多毛类 1 种		+		+
日本书上的	+	+		
垂光稚虫	+	+		
不倒翁虫	+	+	+	+
强鳞虫	+	+	+	+
背褶沙蚕	+	+	+	+
梳鳃虫	+	+		
多丝独毛虫			+	
千岛模裂虫				+
其它 others				
太平洋黄海葵			+	+
纽虫动物 1 种		+	+	
纽虫动物 1 种		+	+	
海蜘蛛属 1 种	+		+	+
强壮箭虫		+		+
星虫动物 1 种	+	+	+	
棘刀茗荷				+

注：“+”表示此物种在该区域采集到