

# 渤海底栖桡足类群落结构的研究

慕芳红<sup>1</sup>, 张志南<sup>1</sup>, 郭玉清<sup>1</sup>

(1. 青岛海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 渤海 1998 年 9 月航次的调查结果. 小型底栖生物总平均丰度为  $(868.8 \pm 509.7)$  个  $m^{-2}$ , 底栖桡足类居第 2 位, 平均丰度为  $(66.3 \pm 56.9)$  个  $m^{-2}$ , 占总数量的 7.6%. 根据 77 种底栖桡足类丰度所做的聚类和标序分析将渤海 20 个站位划分为 4 个组合. 根据 11 种环境因子数据所做的聚类和主成分分析将研究海域划分为两个生境、4 个亚区. 对研究海域进行的分区与自然分区是基本一致的. 支配研究海域底栖桡足类群落结构的主要环境因子是水深和沉积物粒度.

**关键词:** 小型底栖生物; 底栖桡足类; 丰度; 群落结构; 环境因子; 渤海

中图分类号: Q178.1 文献标识码: A 文章编号: 0253-4193(2001)06-0120-08

## 1 引言

在海洋沉积物中底栖桡足类(benthic copepods, 主要是猛水蚤: Harpacticoid copepods)是继线虫(free-living marine nematodes)之后的第 2 丰富的小型底栖动物类群,但在粗砂型的沉积物或海藻上往往成为最丰富的类群<sup>[1]</sup>. 一方面它们被仔、稚、幼鱼及甲壳类(如对虾)大量摄食,在它们的肠容器中占绝对优势<sup>[2,3]</sup>;另一方面底栖桡足类除了摄食有机碎屑外,还能选择摄食单一的食物颗粒,如硅藻,细菌,原生动物的,它占据不同的营养级,促进营养物质的再循环,同时刺激微生物的生产<sup>[4,5]</sup>,加速有机物的降解,还能通过生物扰动及黏液分泌、筑管等行为改变或影响沉积物的物理特性<sup>[1]</sup>,因而在海洋食物网和底栖生态系统小食物网中,具有重要意义,在水层-底栖耦合中起着不容忽视的作用.底栖桡足类与沉积物环境联系紧密,丰度高,世代时间短,生活方式相对稳定,幼虫底栖生活,因此对人类影响(污染及扰动)极其敏感,作为环境质量生态监测的重要指示生物备受注目<sup>[6]</sup>.

我国的海洋底栖桡足类研究相当薄弱,分类学方面,沈嘉瑞等<sup>[7]</sup>、郑重等<sup>[8]</sup>、陈清潮等<sup>[9]</sup>在海洋浮游桡足类调查中报道少量我国近海的猛水蚤;生态学方面, Fleeger 等<sup>[10]</sup>对长江口及

收稿日期: 2000-03-06; 修订日期: 2000-09-07.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(497901001, 39770145); 国家重点基础研究专项经费资助项目(G19990437); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(97042306).

作者简介: 慕芳红(1972-),女,山东省蓬莱市人,讲师,博士,从事海洋生态学 research.

邻近海域的底栖桡足类进行了生态学的初步研究. 在渤海以往小型底栖生物生态学方面的研究中<sup>[11, 12]</sup>底栖桡足类只作为一个大的类群对数量和密度进行统计, 未进行过专门的研究. 本文提供渤海底栖桡足类的丰度、群落结构和环境因子的资料, 为渤海生态动力学模拟和环境质量生态监控提供参数和资料.

本文中小型底栖生物是指能通过 0.5 mm 孔径网筛, 但被 0.048 mm 孔径网筛留住的后生动物, 底栖桡足类是指位于此大小范围内的猛水蚤.

## 2 材料和方法

### 2.1 研究海域

研究样品使用“东方红 2”号于 1998 年 9 月采自渤海 20 个站位, 这些站位分布于莱州湾、渤海湾、渤海中部和渤海海峡. 站位分布见图 1. 环境特征见表 1.

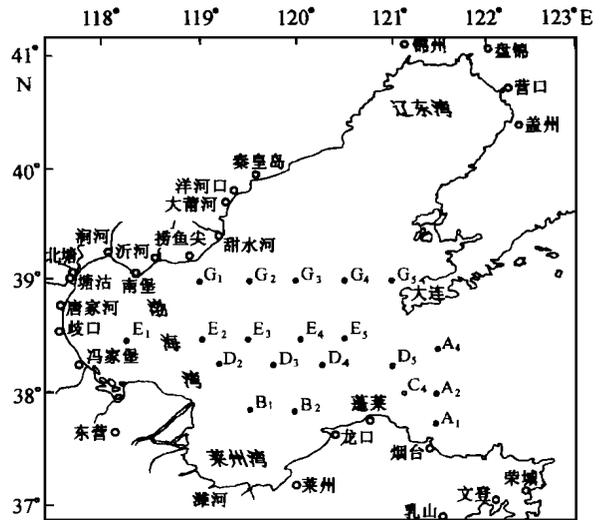


图 1 渤海取样站位

表 1 各站位的环境因子、小型底栖生物和底栖桡足类的丰度

站位	石油总量	铜	铅	铬	砷	汞	镉	砂	粉砂	黏土	水深	小型底栖动物丰度	底栖桡足类丰度
A <sub>1</sub>	1.33	12.96	16.04	17.78	8.40	0.042	0.07	5.97	80.03	14.00	20.50	760.1	51.5
A <sub>2</sub>	3.53	12.29	17.35	17.77	5.50	0.042	0.11	30.61	53.04	16.25	42.80	2111.0	65.1
A <sub>4</sub>	1.49	6.50	13.78	18.63	12.60	0.010	0.10	76.17	13.73	10.10	50.80	1751.5	220.4
B <sub>1</sub>	1.87	19.51	21.70	19.55	12.90	0.040	0.11	0.39	71.85	27.76	16.00	481.2	16.3
B <sub>2</sub>	2.10	8.83	15.75	17.45	12.10	0.040	0.11	3.26	87.68	9.06	16.60	368.1	31.4
C <sub>4</sub>	1.00	9.90	15.60	19.28	5.80	0.016	0.06	32.90	52.40	14.70	23.80	1560.6	84.2
D <sub>2</sub>	2.33	20.57	18.24	19.27	10.00	0.024	0.14	3.65	57.35	39.00	21.50	505.7	6.3
D <sub>3</sub>	5.49	16.01	18.01	17.50	7.30	0.028	0.21	3.75	80.40	15.85	22.90	534.2	40.8
D <sub>4</sub>	2.83	9.36	15.66	18.77	5.10	0.023	0.09	47.71	38.06	14.23	24.30	1063.5	47.1
D <sub>5</sub>	2.41	6.75	10.26	15.87	6.70	0.013	0.08	77.20	14.59	8.21	37.00	1556.9	177.8
E <sub>1</sub>	5.20	32.50	27.77	18.99	10.50	0.022	0.10	0.34	45.51	54.15	19.00	1016.9	27.1
E <sub>2</sub>	5.20	29.08	22.76	25.27	10.80	0.017	0.25	3.99	61.43	34.58	23.50	314.4	25.1
E <sub>3</sub>	103.00	27.42	23.75	22.31	10.50	0.062	0.23	7.77	50.83	41.40	26.00	787.8	18.2
E <sub>4</sub>	3.90	14.25	17.06	16.84	7.30	0.026	0.06	52.14	24.95	22.91	27.00	601.5	51.5
E <sub>5</sub>	1.89	8.42	13.82	17.33	5.10	0.016	0.10	71.90	14.68	13.42	30.70	841.4	38.9
G <sub>1</sub>	1.27	5.31	6.51	6.99	9.30	0.005	0.06	77.37	10.89	11.74	22.20	906.7	67.8
G <sub>2</sub>	3.88	28.78	28.95	22.25	10.30	0.033	0.19	5.92	38.41	55.67	26.40	669.9	20.4
G <sub>3</sub>	1.14	11.30	9.28	12.64	7.00	0.011	0.08	65.21	12.93	21.86	21.50	236.2	94.2
G <sub>4</sub>	2.93	6.77	6.50	12.83	8.40	0.014	0.06	68.01	12.11	19.88	26.00	540.2	94.9
G <sub>5</sub>	4.64	23.19	19.80	13.24	4.60	0.040	0.13	8.12	54.88	37.00	38.40	768.2	146.0

\* 石油总量和重金属的单位为  $10^{-6}$  mg/kg, 砂、粉砂和黏土数据为百分含量, 小型底栖动物和底栖桡足类丰度单位为个/10  $cm^2$ , 水深单位为 m.

## 2.2 取样方法

使用内径为 2.6 cm 的取心管(由塑料注射器改制),从未受扰动的 0.1 m<sup>2</sup> 改进型 Gray-Ohara 箱式取样器样品中取样 3 次,心样长 5 cm,放入同一瓶中,取两个重复样. 5% 甲醛固定,虎红染色. LUDOX-TM 硅溶胶悬浮离心,0.048 mm 孔径的网筛过滤. 按类群分别挑选计数<sup>[13, 14]</sup>. 底栖桡足类全部挑出,4% 甲醛保存. 底栖桡足类的制片和鉴定方法参照 Huys 等<sup>[1]</sup>及 Huys 和 Boxshall<sup>[15]</sup>.

## 2.3 环境因子的分析方法

### 2.3.1 油类和重金属样品的采集和分析方法

在箱式采样器所采的沉积物表层刮取少量样品,盘尼西林小瓶装,-20℃ 冷冻保存. 油类和重金属参照 1998 年《海洋监测规范》,油类采用荧光分光光度法;总汞采用冷原子荧光光谱法;铜、铅、铬、镉采用无火焰原子吸收分光光度法;砷采用二乙氨基二硫代甲酸银分光光度法.

### 2.3.2 沉积物粒度分析方法

采用筛析法和沉析法,参见 1991 年《海洋调查规范》第 5 分册.

### 2.3.3 各站位的深度现场测量.

## 2.4 数据处理和分析

底栖桡足类的群落结构及环境因子的分析,包括聚类分析(hierarchical agglomerative clustering, 缩写为 CLUSTER)、标序分析(nommetric multidimensional scaling, 缩写为 MDS)、主成分分析(principal component analysis, 缩写为 PCA)、群落间底栖桡足类种类的比较(SIMPER 程序)以及底栖桡足类丰度与环境因子的相关性分析(Spearman 非参数检验)(BIOENV 和 RELATE 程序)使用多元统计分析 PRIMER 软件包<sup>[16]</sup>.

## 3 结果

### 3.1 环境因子的分析

根据本航次测量的 11 个环境因子所做的 CLUSTER 和 PCA 结果见图 2. 根据环境因子,调查海域可分为两个大的生境:生境 1 包括 10 个站位,是粒度较粗、水深较深、重金属含量较少的区域. 此区域又可划分为两个亚区:亚区 A 包括 A<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>4</sub>, E<sub>4</sub> 站,含沙量 30.6%~52.1%. 亚区 B 包括 A<sub>4</sub>, D<sub>5</sub>, E<sub>5</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub> 站,含沙量均高于 65%,为 65.2%~77.4%. 生境 2 包括 10 个站位,代表粒度较细、水深较浅和石油总量、重金属含量较高的区域,也可划分为两个亚区:亚区 C 包括 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, A<sub>1</sub>, D<sub>3</sub> 站,粉砂-黏土含量在 94%~99.6% 之间,石油总量和重金属平均含量低于亚区 D. 亚区 D 包括 E<sub>1</sub>-E<sub>3</sub>, D<sub>2</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>5</sub> 站,粉砂-黏土含量在 91.9%~99.7% 之间,石油总量和重金属含量在所有亚区中最高,尤其是 E<sub>3</sub> 站,石油总量含量异常达到 103 mg/kg.

生境 1 位于渤海海峡和渤海的中东部(G<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub> 站除外),代表了受物理因子(如海流)影响较大、粒度较粗、深度较深的海域. G<sub>1</sub>, G<sub>3</sub> 和 G<sub>4</sub> 站位于从辽东湾到渤海湾的岸边分布的一长条砂质沉积带上,含沙量高达 65%~77%,粒度情况与生境 1 其他站位相似,但明显区别于生境 2 的站位. 生境 2 位于渤海的西南部(除 A<sub>1</sub> 和 G<sub>5</sub> 站),属于受黄河沉积和人类影响较大的区域;A<sub>1</sub> 和 G<sub>5</sub> 站虽然远离黄河口,但其粉砂-黏土含量也高于 90%,也被划分在生境 2.

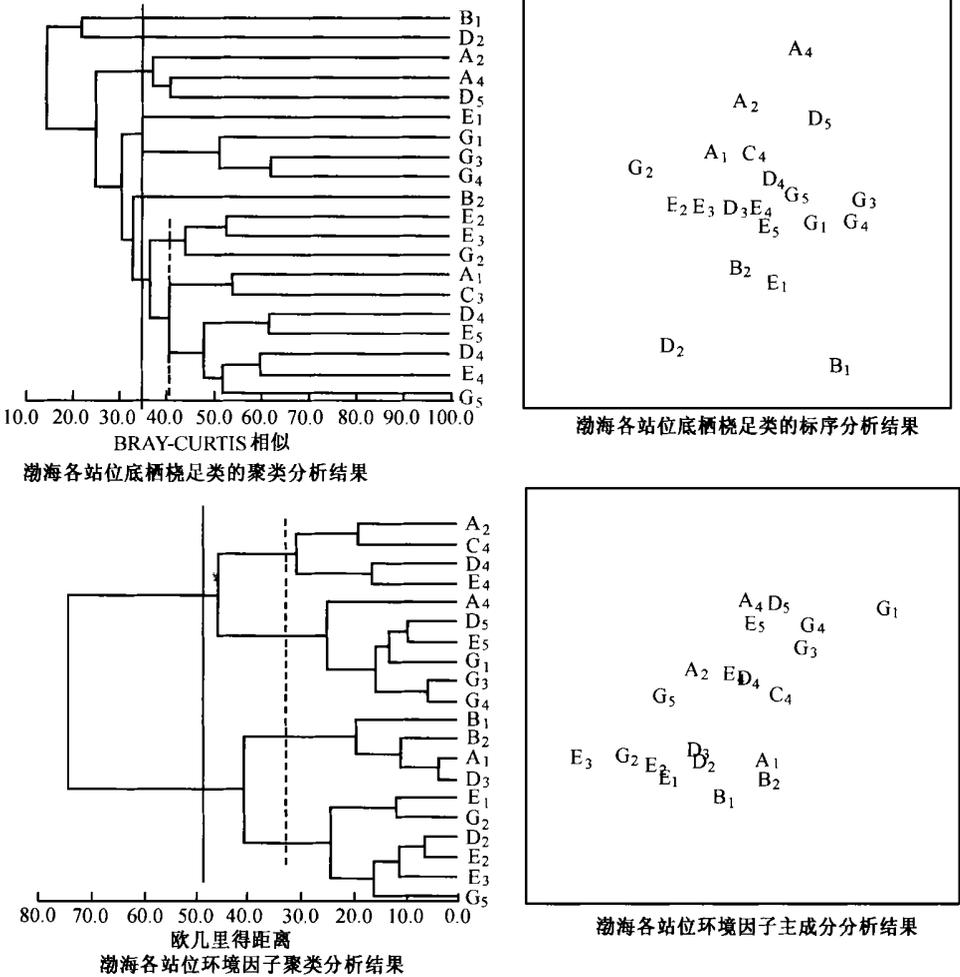


图2 渤海20个站位环境因子的聚类、主成分分析和底栖桡足类的聚类、标序分析结构

除砷外, 重金属含量均与沉积物的粉砂-黏土含量呈极显著的正相关(相关系数分别为: Cu: 0.756,  $p < 0.01$ ; Pb: 0.795,  $p < 0.01$ ; Cr: 0.577,  $p < 0.01$ ; Hg: 0.691,  $p < 0.01$ ; Cd: 0.589,  $p < 0.01$ ).

3.2 小型底栖生物及底栖桡足类的平面分布

20个站位的小型底栖生物的平均丰度为(868.8 ± 509.7) 个/10 cm<sup>2</sup>, 最高值出现在A<sub>2</sub>站, 为2 111 个/10 cm<sup>2</sup>, 之后依次为A<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>5</sub>站, 分别为1 751.5, 1 560.6 个/10 cm<sup>2</sup>和1 556.9 个/10 cm<sup>2</sup> 最低值出现在G<sub>3</sub>站, 为236.2 个/10 cm<sup>2</sup>, 丰度较低的站位还有B<sub>2</sub>, E<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>站, 分别为368.1, 314.4, 263.2 个/10 cm<sup>2</sup>. 共鉴定出11个小型生物类群, 自由生活海洋线虫(以下简称线虫)是个体数量最高的类群, 平均丰度为(757.5 ± 474.6) 个/10 cm<sup>2</sup>, 占总数量的87.2%; 底栖桡足类, 主要是底栖猛水蚤居第2位, 平均丰度为(66.3 ± 56.9) 个/10 cm<sup>2</sup>, 占总

数量的 7.6%, 以下依次为双壳类 (bivalve)、多毛类 (Polychaeta)、未鉴定出的类群、动物类 (Kinorhyncha)、分别占小型底栖生物总丰度的 2.5%, 1.3%, 0.7%, 0.3%, 其余各类包括寡毛类 (Oligochaeta)、腹毛类 (Gastrotricha)、涡虫类 (Turbellaria)、海螨类 (Halacaroidae)、介形类 (Ostracoda) 加起来仅占小型底栖生物总丰度的 0.5%。桡足类的最高丰度出现在 A<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> 和 G<sub>5</sub> 站, 分别为 220.4, 177.8, 146.0 个/10 cm<sup>2</sup>; 最低丰度出现在 D<sub>2</sub>, B<sub>1</sub> 及 E<sub>3</sub> 站, 分别为 6.3, 16.3, 18.2 个/10 cm<sup>2</sup>。各站位桡足类的丰度的平面分布见表 1。

### 3.3 底栖桡足类的群落结构的划分

此次航次 20 个站位共鉴定出底栖猛水蚤 14 科, 40 属, 77 种。在种类分析的基础上将这 20 个站位一起聚类和标序, 结果见图 2, 渤海这 20 个站位可划分为 4 个大的组合, 对组合间差异起重要作用的种类平均丰度的比较见表 2。

表 2 底栖桡足类组合间种类及其平均丰度的差异(单位: 每个样品个数)

种名	组合 1	组合 2	组合 3	组合 4
<i>Halosdizopera</i> sp. 1	6.67	> 0	0	< 11.83
<i>Heteropsyllus major</i>	58.83	> 12.25	> 0.63	< 4
<i>Stenhelia</i> (D) sp. 3	6.83	> 0.05		
<i>Heteropsyllus</i> sp. 2	10.5	> 0		
<i>Stenhelia</i> (S) sp. 1	8	> 1.25		
<i>Stenhelia</i> (D) sp. 2	3.5	> 0		
<i>Enhydrosoma curticauda</i>	5.83	> 0.65		
<i>Fladenia</i> sp. 1	11.33	> 0		
<i>Daniellsenia typica</i>	23.5	> 1.05	> 0	
<i>Bradya</i> sp. 1	3.17	> 0.7		
<i>Ampbiascoides</i> sp. 2	9.5	> 3.55	> 0	
<i>Halectinosoma</i> sp. 2	5.33	> 1.15		
<i>Mesopsyllus</i> sp. 2	1.5	> 0.1		
<i>Eurycletodes</i> sp. 1	2.83	> 0		
<i>Bulbamphiascus plumosus</i>	0.33	< 3.7	> 0.75	
<i>Fladenia</i> sp. 2	2.17	> 0		
<i>Enhydrosoma</i> sp. 4	4.33	> 0		
<i>Stylicletodes</i> sp. 2	3.83	> 0		
<i>Ampbiascoides</i> sp. 1	6.83	> 1.5	< 3.63	< 8.17
<i>Halectinosoma</i> sp. 3		5.85	> 0	
<i>Scottolana</i> sp. 1		2.65	< 5.88	< 20.67
<i>Halectinosoma</i> sp. 5		1.3	< 6.13	> 3.5
<i>Sinamphiascus dominatus</i>		16.15	> 2.25	< 33.83
<i>Microarthridion</i> sp. 3		3.9	> 0.75	
<i>Pseudameira</i> sp. 1		12.4	> 1.38	
<i>Enhydrosoma intermedia</i>		1.9	< 2.75	> 0
<i>Halectinosoma</i> sp. 4		0.2	< 1.13	> 0
<i>Pseudameira</i> sp. 3			0	< 20.33
<i>Onychostenhelia bisetosa</i> sp. nov. *			0.25	< 3.67
<i>Zosime</i> sp. 1			0	< 2

\* 此新种另文发表。

组合 1 包括 A<sub>2</sub>, A<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> 这 3 个站位, 位于渤海海峡中部. 组合 2 包括 10 个站位, 这 10 个站位又可以划分为 3 个亚组合, 分别为亚组合 A: A<sub>1</sub> 和 C<sub>4</sub> 站位位于渤海海峡沿岸海域; 亚组合 B: D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, E<sub>4</sub>, E<sub>5</sub>, G<sub>5</sub> 站位位于渤海中部的东部区域; 亚组合 C: G<sub>2</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> 站位位于渤海中部的西部区域. 组合 3 包括 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>, E<sub>1</sub> 这 4 个站位, 位于莱州湾和渤海湾东南部. 组合 4 包括 G<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub> 这 3 个站位, 位于渤海北部辽东湾口.

### 3.4 底栖橈足类群落结构和环境因子的关系

相关分析结果(Spearman 非参数检验)表明: 底栖橈足类的丰度和 11 个环境因子之间的相关系数  $\rho = 0.283$ ,  $p \leq 0.05$ , 尽管相关系数较低, 但这两者间是显著相关的. 根据比较底栖橈足类的丰度所做的 MDS 图和根据 11 个环境因子所做的 PCA 图可以看出, 这两个图形是吻合的, 组合 1 的站位位于图形的上方, 组合 2 的站位位于图形的中部, 组合 3 的站位位于图形的下部, 组合 4 的站位位于图形的右上方, 这表明环境梯度是控制底栖橈足类的群落结构的主要因素.

BIOENV 程序给出解释底栖橈足类丰度分布图形的最佳环境因子的组合, 为 Pb, As, 黏土含量和深度 ( $R = 0.441$ ). BIOENV 分析还给出与底栖橈足类种类丰度相关性由高到低的单个环境因子, 前 5 位依次分别为深度、砂、黏土、铅和铜. 这 5 个环境因子的值投射到 MDS 上以示底栖橈足类的群落结构与这些环境因子的关系(图 3a-f).

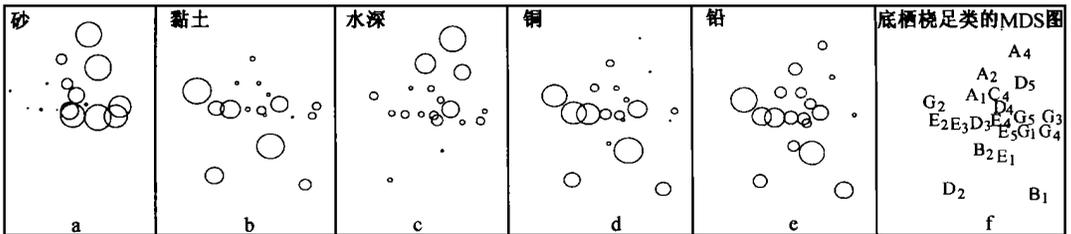


图 3 单个环境因子对底栖橈足类群落结构的影响

## 4 讨论

本研究橈足类的平均丰度范围落在已调查世界浅海潮下带( $< 100$  m)底栖橈足类的密度范围之内( $2 \sim 700$  个/ $10 \text{ cm}^2$ ), 与同纬度的北海, 阿拉伯海和美国东南部陆架相似<sup>[17, 18]</sup>. 本研究橈足类占整个小型底栖动物的比例为 7.6%, 与世界上报道的相似底质类型沉积物中的大部分结果相符合<sup>[17]</sup>.

尽管底栖橈足类的群落对人类影响, 包括污染和扰动非常敏感<sup>[6]</sup>, 但长期以来人们也认识到沉积物的类型也是影响底栖橈足类群落结构的重要因子<sup>[17]</sup>. 本研究中沉积物黏土含量、深度、Pb 和 As 影响渤海底栖橈足类群落结构的重要因素, 综合起来能够最佳的解释调查区域底栖橈足类群落结构图形. 重金属主要富集于粉砂-黏土含量高的细腻沉积物中<sup>[19]</sup>. 渤海的 Pb 的分布明显受到京津地区大量的工业和生活污水排放的影响<sup>[20]</sup>, 砷的分布受黄河泥沙输入的影响<sup>[21]</sup>. 本次调查渤海沉积物中 Pb 的分布表现为渤海湾最高, 莱州湾其次, 渤海中部和海峡口低的趋势; As 的分布表现为莱州湾高, 渤海中部和海峡口低的趋势. 两者分布格局的

不同反映了其来源的差异。目前缺乏沉积物重金属污染评价的统一标准,若以渤海页岩 Pb 含量( $20 \times 10^{-6}$ )作为标准<sup>[20]</sup>,仅 5 个站位(B<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, G<sub>2</sub>)超标;以深海软泥 As 含量( $13 \times 10^{-6}$ )作为标准<sup>[22]</sup>,所测站位 As 含量无一超标。单个环境因子中水深、砂含量和黏土含量是与底栖桡足类群落结构相关性最高的 3 种因子,其次才是 Pb 和 Cu。由此认为本研究调查海域的沉积环境作为一个整体状况良好,但渤海湾和莱州湾局部海域人类活动已对沉积环境构成一定影响。调查海域自然环境因子,即水深和沉积物结构是影响底栖桡足类群落结构的主要因素。与渤海同纬度,同属温带海区的北海的研究结果<sup>[18]</sup>表明,北海的底栖桡足类群落结构主要是由沉积物的粒度、水深和纬度决定的。本研究与北海的研究具有可比性。

在黄河口及邻近海域的底栖动物调查<sup>[11, 12]</sup>工作中,根据小型底栖动物类群组成的变化和大型底栖动物密度、生物量和种类组成,将研究海域划分为黄河口水下三角洲、莱州湾、渤海中部和渤海湾东部 4 区,并且认为与自然分区基本一致。本调查涉及到渤海的更广大的海域,但基本结论与以往的工作是一致的,即根据底栖桡足类的种类组成和丰度所划分的 4 个组合与自然的分区是基本一致,由组合 1 到组合 2 再到组合 3 反映了从渤海海峡的中部的深水、粒径较粗沉积物向黄河口水下三角洲的浅水和粒径较细的沉积物过渡的一个主要趋势。组合 4 虽然处于这个趋势之外,但反映了从辽东湾到渤海湾的岸边分布的一长条砂质沉积带的存在。底栖桡足类的种类组成,组合 1 明显区别于组合 2~4,主要表现在拥有一些丰度较高的特有的种类,如 *Heterosyllus* sp. 2 和 *Fladenia* sp. 1, 还有一些特别优势的种类,如 *Heterosyllus major* 和 *Danielssenia typica*, 这些种类为典型的较深水域生存种类。组合 2 与组合 3 之间无明显区别,也无明显的优势种。组合 4 拥有一些优势的种类,如 *Haloschizopera* sp. 1, *Scotolana* sp. 1, *Sinamphiascus dominatus* sp. nov., *Pseudameira* sp. 3, 但也没有自己丰度较高的特有种类。对此的解释为渤海是一个典型的温带浅海,除渤海海峡中部区域外,大部分水深小于 30 m, 平均水深仅 18 m, 风浪尤其是冬季北风的盛行对渤海南半部沉积物的再悬浮起重要作用<sup>[23]</sup>。猛水蚤一条重要的扩散途径是在水体中悬浮<sup>[13]</sup>, 这种再悬浮可能对底栖桡足类较大区域的扩散具有一定的意义。

## 参考文献:

- [1] HUYS R, GEE J M, MOORE C G, et al. Marine and brackish water harpacticoid copepods. Part 1[A]. Synopses of the British Fauna (New series)[M]. London, 1996. 352.
- [2] COULL B C. Are member of the meiofauna food for higher trophic levels[J]. Trans Am Microsc Soc, 1990, 109 (3): 233 ~ 246.
- [3] GEE J M. An ecological and economic review of meiofauna as food for fish[J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 1989, 96: 243~ 261.
- [4] MEINTYRE A D. Ecology of marine meiobenthos[J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 1969, 44: 245~ 290.
- [5] MONTAGNA P A. Rates of inetazoan meiofaunal microbivory: areview[J]. Vie et Milieu, 1995, 45(1): 1~ 9.
- [6] COULL B C, CHANDLER G T. Pollution and meiofauna: field, laboratory and mesocosm studies[J]. Oceanogr Mar Biol Annu Rev, 1992, 30: 191~ 271.
- [7] 沈嘉瑞,白雪娥. 烟台鲈鱼产卵场桡足类的研究[J]. 动物学报, 1956, 8(2): 177~ 234.
- [8] 郑重,张松踪,李松,等. 中国海洋浮游桡足类(第 1 卷)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1965. 1~ 210.
- [9] 陈清潮,章淑珍,朱长寿. 黄海和东海的浮游桡足类 II. 剑水蚤和猛水蚤目[J]. 海洋科学集刊, 1974, 27: 153~ 173.

- [10] FLEEGER J W, 唐质灿, HIGGINS R P. 长江口及邻近海域小型底栖桡足类和动物类生态的初步研究[J]. 海洋科学集刊, 1986, 27: 199~ 208.
- [11] 张志南, 李永贵, 于子山. 黄河口水下三角洲及其邻近水域小型底栖动物的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(3): 197~ 207.
- [12] 张志南, 谷 峰, 于子山. 黄河口水下三角洲海洋线虫空间分布的研究[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(1): 11~ 19.
- [13] GIERE O. Meiobenthology[M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 328.
- [14] HIGGINS R P, THIEL H. Introduction to the Study of Meiofauna[M]. Smithsonian Institution Press, 1988. 488.
- [15] HUYS R, BOXSHALL G A. Copepod Evolution[M]. The Ray Society, 1991. 467.
- [16] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistic Analysis and Interpretations [M]. Bournemouth, UK: Bourne Press Limited, 148.
- [17] HICKS G R F, COULL B C. The ecology of marine meiobenthic Harpacticoid copepods[J]. Oceanogr Mar Biol Ann Rev, 1983, 21: 67~ 175.
- [18] HUYS R, HERMAN P M J, HEIP C H R, et al. The meiobenthos of the North Sea: density, biomass trends and distribution of copepod communities[J]. Ices J Mar Sci, 1992, 49(1): 23~ 44.
- [19] CAUWER G. Influence of sedimentological features on the distribution of trace metals in marine sediments[J]. Marine Chem, 1987, 22: 22~ 234.
- [20] 吴景阳, 李云飞. 渤海湾沉积物中若干重金属的环境地球化学 I. 沉积物中重金属的分布模式及其背景值[J]. 海洋与湖沼, 1985, 16(2): 92~ 101.
- [21] ZHANG J. Geochemistry of arsenic in the Huanghe (Yellow River) and its delta region—a review of available data[J]. Aquat Geochem, 1996, 1: 241~ 275.
- [22] 廖先贵. 渤海底质中砷的地球化学特征[J]. 海洋科学, 1985, 7(4): 453~ 459.
- [23] KELLER G H, ZHEN J, YANG Z S, et al. Mass physical properties of Huanghe Delta and South Bohai Sea near surface deposits, China[J]. Marine Geotechnology, 1990, 9: 207~ 225.

## The study on the community structure of benthic copepods in the Bohai Sea

MU Fang-hong<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-nan<sup>1</sup>, GUO Yu-qing<sup>1</sup>

(1. Marine Life College, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** The benthic meiofauna was quantitatively investigated at 20 stations in the Bohai Sea in September 1998. Mean meiofaunal abundance amounts to  $(868.8 \pm 509.7)$  ind/m<sup>2</sup>. Benthic copepods are the second in overall abundance, constituting 7.6% of the total meiofauna, with the mean abundance of  $(66.3 \pm 56.9)$  ind/m<sup>2</sup>. The cluster ordination and PCA analysis of 11 environmental variables show there are two distinctly different habitats in the Bohai Sea, these two habitats are divided into four sub-areas further. According to the cluster and MDS analysis of 77 benthic copepods species, four groups are divided, these areas are well coincident with natural zone. The major factors which affect the community structure of benthic copepods are depth and grain size of sediment.

**Key words:** meiofauna; benthic copepods; abundance; community structure; environmental variables; Bohai Sea