

# 黄海冷水团及周边海域夏初小型底栖动物 现存量及空间分布研究\*

王家栋<sup>1,2</sup> 类彦立<sup>1</sup> 徐奎栋<sup>1①</sup> 杜永芬<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

**提要** 2007 年 6 月经由专项航次对黄海冷水团及邻近海域共 48 个站位(北黄海 17 个, 南黄海 31 个)的小型底栖动物组成、丰度和生物量及沉积环境进行了研究。所调查站位的小型底栖动物平均丰度达(2195 ± 1599) ind/10cm<sup>2</sup>, 平均生物量为(1843 ± 1291) μg dwt/10cm<sup>2</sup>, 冷水团内的平均丰度较冷水团外站位低约 25%, 生物量低约 18%。北黄海的小型底栖动物现存量是南黄海的 2 倍多, 平均丰度分别为(3410 ± 1578) ind/10cm<sup>2</sup>和(1529 ± 1121) ind/10cm<sup>2</sup>, 平均生物量分别为(2766 ± 1344) μg dwt/10cm<sup>2</sup>和(1336 ± 901) μg dwt/10cm<sup>2</sup>。在分选出的 18 个小型底栖动物类群中, 线虫在丰度上平均达总量的 87.9%, 其他依次为桡足类(5.9%)、甲壳类幼体(2.9%)、多毛类(1.3%)和动物类(1.2%)。而生物量上的贡献依次为线虫(42%)、多毛类(22%)、桡足类(13%)和甲壳类幼体(12%)等。在垂直分布上, 79%的小型底栖动物分布在 0—2cm 沉积物表层, 17%分布于 2—5cm 次表层, 底层 5—8cm 仅占 4%。统计分析显示, 小型底栖动物丰度和生物量与沉积物叶绿素 *a* 含量呈极显著正相关, 与水深、沉积物有机质含量、中值粒径呈显著或极显著负相关, 而生物量与沉积物(粉砂+粘土)含量呈显著负相关。研究表明, 黄海沉积物中有机质含量总体上呈近岸低、中央冷水团高的特点, 可能与夏季环状流形成的海水涡旋有关。本研究在北黄海所获小型底栖动物现存量系中国海域同类研究的最高值, 黄海的小型底栖动物高现存量区域与传统的高生产力区域一致。研究还发现, 自长江口向东北方向分布的小型底栖动物现存量较周边海区为高, 该路径与长江冲淡水向黄海的扩展路线一致, 这可能是由于长江淡水带来丰富的营养盐, 提供了较充足的食物所致。

**关键词** 黄海冷水团, 小型底栖动物, 丰度, 生物量

**中图分类号** Q958.1

海洋小型底栖动物个体小、数量大、多样性高、繁殖周期短, 是海洋底栖生态环境的重要组成, 也是海洋环境污染监测的重要指示生物(Moreno *et al.*, 2008; 彭欣等, 2009)。国际间对陆架海域小型底栖动物的生态学进行了较为详尽的研究(Higgins *et al.*, 1988; Giere, 1993)。我国的相关研究启动于渤海(张志南等, 1989; 慕芳红等, 2001), 相继在黄海、东海和南海陆续开展(张志南等, 2001, 2004; 张艳等, 2007; 黄勇等, 2007; 彭欣等, 2009; 吴绍渊等, 2009; 杜永芬等,

2010)。迄今, 对黄海的小型底栖动物研究主要集中在南黄海(张志南等, 2002; Liu *et al.*, 2005; 张艳等, 2007), 仅陈海燕等(2009)报道过北黄海的工作, 缺乏对黄海冷水团及周边的小型底栖动物现存量及空间分布的整体研究。

本研究系 2007 年 6 月进行的对南、北黄海底栖生物专项科考的一部分, 对黄海冷水团及周边海域的小型底栖动物的类群构成、丰度、生物量及分布进行了研究, 并与环境因子的关系进行了探讨, 旨在对

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目, KZCX2-YW-417; 国家自然科学基金项目, 40576072; 40706047。王家栋, E-mail: wangjiadong@qdio.ac.cn

通讯作者: 徐奎栋, 研究员, 博士生导师, E-mail: kxu@qdio.ac.cn

收稿日期: 2010-04-01, 收修改稿日期: 2011-03-08

黄海冷水团及周边海域的小型底栖动物的现存量和空间分布特征做一整体分析。

## 1 调查海域与站位

2007年6月15—28日,搭乘中国科学院海洋研究所“科学3号”考察船的“黄海冷水团调查航次”对黄海冷水团及周边海域(31°N至39°N,120°E至125°E)进行了小型底栖动物群落和相关环境因子调查研究。本研究在北黄海的17个站位、南黄海的31个站位共计48个站位成功获取

了小型底栖动物样品。根据温度、盐度和深度及任慧军等(2005)等水文资料,划为冷水团的站位有29个,冷水团外的站位19个(图1)。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品采集和分析方法

用内径2.3 cm的注射器改造的采样管,从3箱未受扰动的0.1 m<sup>2</sup>改进型Gray-Ohara箱式采泥器中,随机采集8 cm长芯样7个,其中4个芯样(含3个重复样,1个为备份样)按0—2 cm、2—5 cm、5—8 cm分层瓶装,加入等体积的10%福尔马林溶液固定,用于小型底栖动物分析;另外3个芯样的相应分层合并后,分别装入封口袋,-20℃冷冻保存,用于沉积物叶绿素 $a$ 、脱镁叶绿素 $a$ 、有机质含量及粒度分析。沉积物中叶绿素 $a$ 和脱镁叶绿素 $a$ 测定采用湿样法(王荣,1986;Metaxatos *et al.*,2002);有机质测定参照《海洋调查规范》及刘昌岭等(2007)改进的方法;粒度分析采用Cilas(940L)型激光粒度仪进行;其他环境资料来自随船温盐深测定仪(CTD)现场测定。

小型底栖动物样品经虎红(Rose Bengal)染色,500  $\mu\text{m}$ 和31  $\mu\text{m}$ 孔径套筛冲洗后,转入硅胶液(Ludox HS 40)中悬浮离心,然后在解剖镜下按类群

分选计数(Higgins *et al.*,1988;张志南等,2004)。桡足类个体干重参照McIntyre(1968)给出的参数,其他类群的平均个体干重依据Juario(1975)和Widbom(1984)给出的参数。

### 2.2 数据统计分析

采用SURFER 8.0绘制站位图和等值线图。采用SPSS 16.0对小型底栖动物及各主要类群的丰度和生物量与环境因子(温度、盐度、水深、叶绿素 $a$ 、脱镁叶绿素 $a$ 、有机质含量和粒度)进行相关分析。采用PRIMER 5.0进行站位间环境因子相似性分析。为使数据正态分布,将原始数据经过 $\ln(x+1)$ 转化。

## 3 结果

### 3.1 沉积物环境

**3.1.1 水深、底温和底盐** 48个站位的平均水深为(50.8  $\pm$  21.7) m,整体上由海岸到外海逐渐增加(图2a)。最浅处为江苏近海的3084站(17.3 m),最深处为南黄海中部东侧的3510站(95.6 m)(图1、图2a)。各站位平均底层水温为(11.9  $\pm$  4.0)℃,受黄海地形的影响,形成了几个较明显的冷水中心,且北黄海温度整体低于南黄海温度(图2b)。底层最高水温同样出现于江苏近海的3084站(21.5℃),最低水温出现于北黄海中部的2036站(6.4℃)(图1、图2b)。底层盐度变化不大,平均为32.6  $\pm$  0.9。

**3.1.2 沉积物组成** 根据各采样站位沉积物粒度组成,48个采样站位可分为6种沉积物类型,以粉砂质砂(1099、2005、2010、2023、2041、3034、3062、3084、3102、3104、3205、3306、3510、4021、4023、S2-2站)和砂质粉砂(1101、1102、2008、2013、2017、2021、2027、2052、2054、3005、3007、3031、3086、4018、Sa站)最为常见;其他较常见类型有砂-粘土-粉砂(3035、3065、3089、3091、3611、4019站),粘土-砂-粉砂(3038、3063、3064、3087、3105站)及粘土质粉砂(2030、2036、2061、3066);粉砂质粘土类型仅两站有(3036、3403站)。沉积物中值粒径与(粉砂+粘土)含量有明显的趋同性,整体上冷水团区域和南黄海南部中间站位沉积物中值粒径较大,(粉砂+粘土)含量较高(图3)。

**3.1.3 叶绿素 $a$ 和脱镁叶绿素 $a$**  沉积物中叶绿素 $a$ 的含量预示初级生产力状况及小型底栖动物食物来源与底质环境状况,脱镁叶绿素 $a$ 含量的高低则代表沉积物中已死亡及沉降的藻类的多寡。调查海区叶绿素 $a$ 平均含量为(0.72  $\pm$  0.64)  $\mu\text{g/g}$ ,其中最高值出现

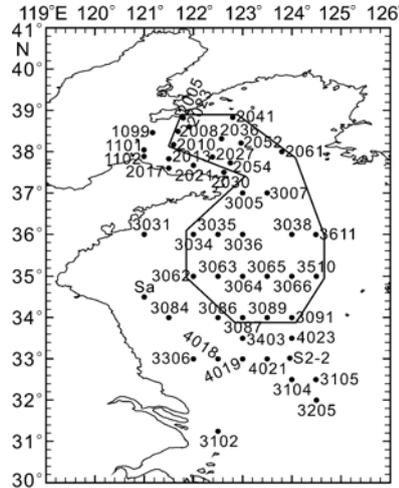


图1 黄海冷水团调查航次站位图(折线圈内示冷水团站位)

Fig.1 Sampling stations during the Yellow Sea Cold Water Mass Cruise (enclosed area indicates stations within the Yellow Sea Cold Water Mass)

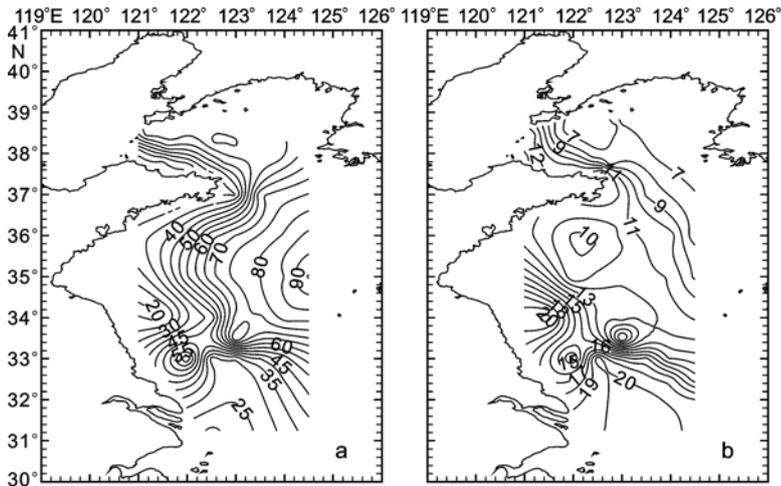


图2 (a)研究站点水深(m)和(b)底层水温(°C)分布等值线  
Fig.2 (a) Water depth(m) and (b) bottom water temperature (°C)

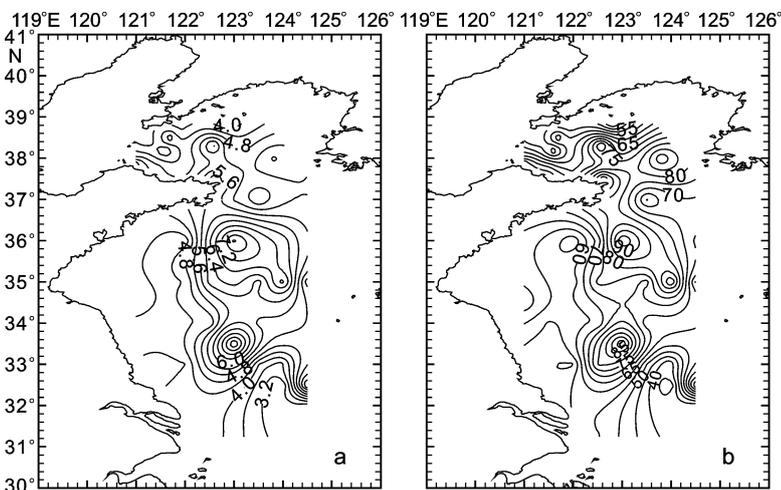


图3 (a)研究站点沉积物中值粒径( $\mu\text{m}$ )和(b) (粉砂+粘土)含量(%)分布等值线图

Fig.3 (a) Distribution of sediment  $M_{50}$  ( $\mu\text{m}$ ) and (b) silt + clay content (%)

于烟台蓬莱附近靠近养殖区的 1101 站, 高达  $4.53 \mu\text{g/g}$ ; 最低值出现于大连附近海域的 1099 站, 仅  $0.26 \mu\text{g/g}$ (图 4a)。脱镁叶绿素  $a$  平均含量为  $(2.28 \pm 0.85) \mu\text{g/g}$ , 其中最高值出现于大连湾附近的 2005 站( $4.73 \mu\text{g/g}$ ), 最低值出现于南黄海东南部的 S2-2 站( $1.08 \mu\text{g/g}$ )(图 4b)。

在垂直分布上, 沉积物中叶绿素  $a$  和脱镁叶绿素  $a$  含量均随深度增加而减少, 其中叶绿素  $a$  在沉积物 0—2 cm、2—5 cm 和 5—8 cm 三个分层中的平均含量依次为  $1.18 \mu\text{g/g}$ 、 $0.73 \mu\text{g/g}$  和  $0.46 \mu\text{g/g}$ , 脱镁叶绿素  $a$  则依次为  $3.43 \mu\text{g/g}$ 、 $2.31 \mu\text{g/g}$  和  $1.65 \mu\text{g/g}$ (图 4)。叶绿素  $a$  和脱镁叶绿素  $a$  含量分布重合较好, 显示出同源性, 即活性叶绿素和脱镁叶绿素均由底栖藻类

及浮游藻类沉降到底部形成的。

**3.1.4 有机质** 有机质的分布呈现沿岸低中间高的趋势, 平均含量为  $(1.0 \pm 0.5)\%$ , 最低值出现于江苏近海的 3084 站( $0.33\%$ ), 最高值出现于黄海中部的 3611 站( $2.42\%$ )(图 1、图 5a)。有机质含量在沉积物三个分层中的垂直分布差异不大, 依次为  $1.08\%$ 、 $1.01\%$  和  $0.99\%$ 。

**3.1.5 冷水团与非冷水团站位环境因子**

通过 cluster 分析对比发现黄海冷水团站位(29 站位)与非冷水团站位(19 站位)沉积物环境因子之间有较大差异。冷水团站位较外围有明显的低温、高盐特征( $9.5^\circ\text{C}$ 、 $32.9$  vs.  $15.6^\circ\text{C}$ 、 $32.0$ ), 且冷水团站位的水深( $62.5 \text{ m}$ )、沉积物脱镁叶绿素  $a$  ( $2.44 \mu\text{g/g}$ )、有机质( $1.3\%$ )、中值粒径( $5.4$ )和粉砂+粘土( $68.0\%$ )含量都高于非冷水团站位( $33.0 \text{ m}$ 、 $2.0 \mu\text{g/g}$ 、 $0.6\%$ 、 $4.6$ 、 $62.1\%$ ), 其中有机质含量高 2 倍有余, 而叶绿素  $a$  含量则是非冷水团站位较高( $0.63 \mu\text{g/g}$  vs.  $0.85 \mu\text{g/g}$ )。

**3.1.6 北黄海与南黄海站位环境因子** 通过对比发现北黄海站位与南黄海站位(以山东威海成山角至朝鲜半岛西岸长山串连线为分界线, 图 1)沉积物环境因子之间有较大差异, 南黄海站位水深( $56.8 \text{ m}$ )、沉积物底温( $13.3^\circ\text{C}$ )、底盐( $32.9$ )高于北黄海( $39.9 \text{ m}$ 、 $9.5^\circ\text{C}$ 、 $32.0$ ), 而叶绿素  $a$  含量则是北黄海较高( $1.00 \mu\text{g/g}$  vs.  $0.56 \mu\text{g/g}$ ), 其他环境因子无明显差异。

**3.2 黄海小型底栖动物类群的总体组成、现存量及空间分布**

在黄海海域所涉的 48 个站位中, 共分选出 18 个小型底栖动物类群, 其中线虫在丰度上占绝对优势 ( $87.9\%$ ), 其他常见类群为桡足类( $5.9\%$ )、甲壳类幼体 ( $2.9\%$ )、多毛类( $1.3\%$ )和动物类( $1.2\%$ ), 上述 5 个类群的丰度占整个小型底栖动物丰度的  $99.3\%$ (表 1)。

本研究各站位  $N/C$  值平均为  $32.8$ , 其中, 南黄海站位的  $N/C$  平均值( $41.3$ )高于北黄海( $16.7$ ), 冷水团内站位的  $N/C$  平均值( $35.9$ )高于非冷水团站位( $25.4$ )(图 5b)。所涉站位的  $N/C$  高值区出现在离岸较远的南黄海冷水团中央区域而不是污染较严重的近岸海域, 其中 2013、3065、3105 和 Sa 站的  $N/C$

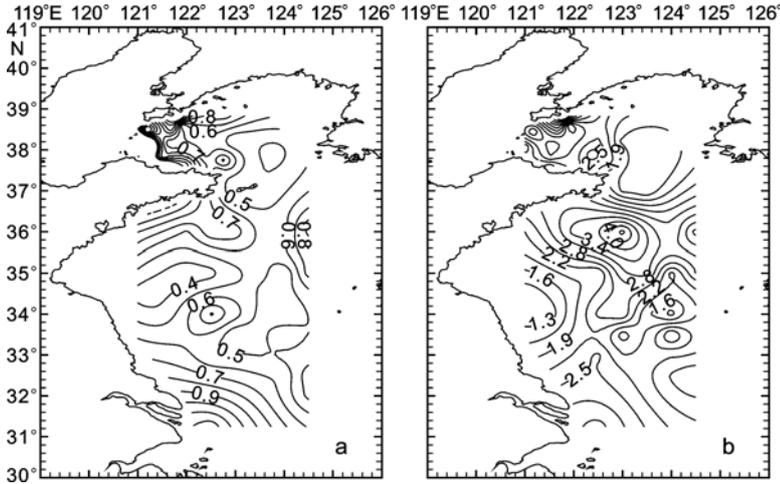


图4 (a)研究站位沉积物叶绿素 a(µg/g)和(b)脱镁叶绿素 a(µg/g)含量分布等值线图

Fig.4 (a)Distribution of sedimentary chlorophyll-a(µg/g) and (b)phaeophytin-a contents(µg/g)

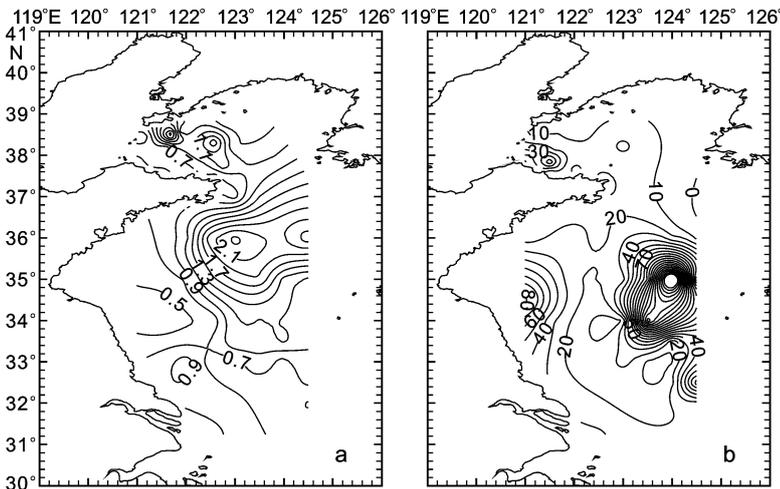


图5 (a)研究站位沉积物有机质含量(%)和(b)N/C 值分布等值线图

Fig.5 (a)Distribution of sediment organic carbon content (%) and (b)N/C ratio

值在 50—100 之间, 3089 和 3091 站的 N/C 值 >100, 而 3066 站甚至高达 249(图 1, 图 5b)。统计分析表明 N/C 值与有机质分布无相关性。

研究站位小型底栖动物的平均丰度为(2195.0 ± 1598.8) ind/10cm<sup>2</sup>, 最高值出现于威海成山角附近海域的 2030 站(高达 7379 ind/10cm<sup>2</sup>), 最低值出现于威海东部海域的 3007 站(160 ind/10cm<sup>2</sup>)(图 1、图 6a)。

在垂直分布上, 小型底栖动物主要分布在 0—2 cm 表层, 高达 79.2%; 次表层 2—5 cm 的比例为 17.0%, 底层 5—8 cm 仅占 3.8%(图 7)。小型底栖动物的几个主要类群垂直分布略有不同, 线虫在三个分层的平均分布比例分别为 77.3%、18.6%和 4.1%; 桡

足类分别为 95.7%、3.3%和 1.0%; 多毛类分别为 72.4%、21.2%和 6.3%(图 7)。

调查站位小型底栖动物平均生物量为(1842.7.4 ± 1291.2) µg dwt/10cm<sup>2</sup>, 最高值出现于大连东部海域的 2041 站, 达 5027.4 µg dwt/10cm<sup>2</sup>, 主要由多毛类贡献(生物量 1663.2 µg dwt/10cm<sup>2</sup>); 最低值出现于威海东部海域的 3007 站, 仅 220.9 µg dwt/10cm<sup>2</sup> (图 1、图 6b)。在生物量上, 主要优势类群是线虫和多毛类, 分别占总生物量的 41.9%和 22.3%; 其他较优势类群还有桡足类和甲壳类幼体, 分别占总生物量的 13.1%和 12.1%(表 1)。

### 3.3 冷水团及外围海域小型底栖动物的类群组成、现存量及空间分布

统计分析表明, 黄海冷水团与外围站位的小型底栖动物及其主要类群的丰度与生物量差异不显著, 但冷水团中心站位的小型底栖动物数量明显较低。整体上冷水团站位小型底栖动物现存量较非冷水团站位低, 平均丰度低约 25%(分别为 1936.5 ind/10cm<sup>2</sup> 和 2589.5 ind/10cm<sup>2</sup>), 平均生物量低约 18%(分别为 1693.3 dwt/10cm<sup>2</sup> 和 2070.9 µg dwt/10cm<sup>2</sup>)(图 6)。线虫现存量同样是冷水团站位较非冷水团站位整体为低, 丰度分别为 1696.3 ind/10cm<sup>2</sup> 和 2287.6 ind/10cm<sup>2</sup>, 生物量为 675.8 µg dwt/10cm<sup>2</sup> 和 915.0 µg dwt/10cm<sup>2</sup>。在各主要类群的分布比例上, 除多毛类在冷水团站位的丰度和生物量比例较非冷水团站位高外(丰度 1.6% vs. 1.0%; 生物量 26.3% vs. 17.3%), 差异都不明显。

差异都不明显。

在垂直分布上, 非冷水团站位小型底栖动物及其主要类群丰度在沉积物三个分层中整体上较冷水团站位高, 特别是线虫在非冷水团站位沉积物 2—5cm 分层中的丰度约是冷水团站位的 2 倍(504 ind/10cm<sup>2</sup> vs. 264 ind/10cm<sup>2</sup>), 而分布比例则差别不大。

### 3.4 北黄海及南黄海小型底栖动物的类群组成、现存量及空间分布

统计分析表明, 北黄海与南黄海站位小型底栖动物及其主要类群线虫及桡足类的平均丰度和生物量差异极显著(P<0.01), 多毛类差异不显著。线虫在北黄海的平均丰度(2988.5 ind/10cm<sup>2</sup>)和生物量

表 1 研究站位小型底栖动物平均丰度和生物量  
Tab.1 Mean abundance and biomass of meiofauna groups at the sampling stations

名称	丰度		生物量	
	(ind/10cm <sup>2</sup> )	(%)	( $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )	(%)
线虫 Nematoda	1930.3 $\pm$ 1432.0	87.9	772.1 $\pm$ 572.8	41.9
桡足类 Copepoda	130.2 $\pm$ 126.4	5.9	242.1 $\pm$ 235.1	13.1
多毛类 Polychaeta	29.4 $\pm$ 25.6	1.3	411.1 $\pm$ 359.0	22.3
甲壳类幼体 Nauplii	63.5 $\pm$ 73.9	2.9	222.2 $\pm$ 258.6	12.1
动物类 Kinorhyncha	26.7 $\pm$ 26.4	1.2	53.3 $\pm$ 52.9	2.9
双壳类 Bivalvia	2.0 $\pm$ 3.2	0.1	8.4 $\pm$ 13.6	0.5
介形类 Ostracoda	2.5 $\pm$ 7.6	0.1	64.8 $\pm$ 197.6	3.5
腹毛类 Gastrotricha	4.0 $\pm$ 11.7	0.2	14.0 $\pm$ 40.9	0.8
寡毛类 Oligochaeta	0.0 $\pm$ 0.1	< 0.01	0.1 $\pm$ 0.4	< 0.01
缓步类 Tardigrada	0.0 $\pm$ 0.1	< 0.01	0.1 $\pm$ 0.4	< 0.01
螨类 Halacaroida	0.1 $\pm$ 0.2	< 0.01	0.2 $\pm$ 0.8	< 0.01
涡虫 Turbellaria	1.0 $\pm$ 2.4	< 0.01	3.6 $\pm$ 8.3	0.2
纽虫 Nemertina	0.8 $\pm$ 2.6	< 0.01	2.9 $\pm$ 9.0	0.2
蛇尾 Ophiuroidea	0.2 $\pm$ 0.9	< 0.01	0.5 $\pm$ 3.3	< 0.01
异足类 Tanaidacea	0.9 $\pm$ 1.9	< 0.01	13.8 $\pm$ 28.5	0.7
端足类 Amphipoda	1.9 $\pm$ 7.2	0.1	27.8 $\pm$ 108.2	1.5
等足类 Isopoda	0.1 $\pm$ 0.3	< 0.01	0.2 $\pm$ 1.1	< 0.01
涟虫 Cumacea	0.1 $\pm$ 0.3	< 0.01	0.4 $\pm$ 1.2	< 0.01
其他	1.5 $\pm$ 2.5	0.1	5.1 $\pm$ 8.8	0.3
合计	2195.0 $\pm$ 1598.8	100.0	1839.4 $\pm$ 1288.5	100.0

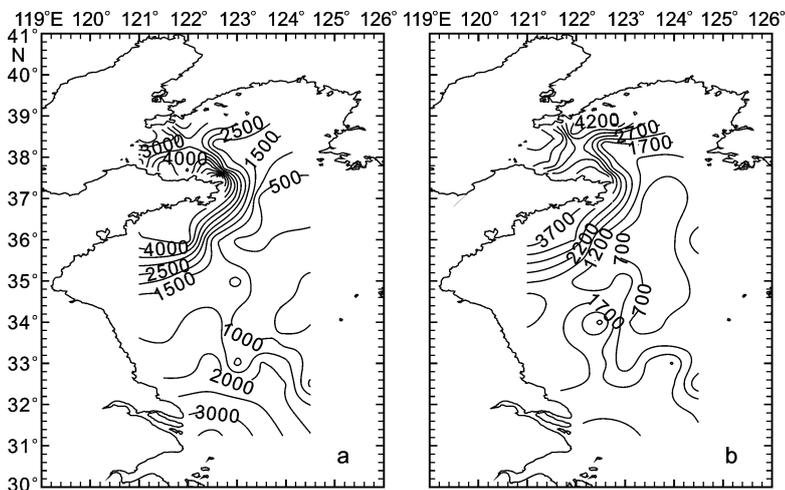


图 6 (a)研究站位小型底栖动物丰度(ind/10cm<sup>2</sup>)和(b)生物量( $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )分布等值线图

Fig.6 (a)Distribution of meiofaunal abundance(ind/10cm<sup>2</sup>) and (b)biomass( $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )

(1195.4  $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )是南黄海(1350.0 ind/10cm<sup>2</sup>、540.0  $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )的 2 倍多, 而桡足类的平均丰度(233.1 ind/10cm<sup>2</sup>)和生物量(433.5  $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )甚至是南黄海(73.7 ind/10cm<sup>2</sup>、137.1  $\mu\text{g dwt}/10\text{cm}^2$ )的 3 倍多。

线虫丰度和生物量占小型底栖动物总量的比例在南、北黄海无明显差异, 桡足类丰度和生物量所占比例则以北黄海高(丰度 6.8% vs. 4.8%; 生物量 15.7% vs. 10.3%); 而多毛类丰度与生物量所占比例则是南黄海的较高(丰度 1.1% vs. 1.7%; 生物量 18.4% vs. 26.8%)。

在垂直分布上, 北黄海调查站位小型底栖动物及其主要类群在 0—2 cm 表层与 2—5 cm 次表层平均丰度明显较南黄海站位高。北黄海站位小型底栖动物及其主要类群丰度 0—2 cm 表层比例较南黄海站位高, 2—5 cm 分层无明显差异(桡足类除外, 南黄海比例较高), 而 5—8 cm 分层则是南黄海站位较高。

### 3.5 小型底栖动物丰度、生物量与沉积物环境因子间的关系

统计分析显示, 研究站位的小型底栖动物丰度和生物量与水深、沉积物有机质含量、中值粒径呈显著或极显著负相关, 与沉积物叶绿素 *a* 含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 小型底栖动物生物量与沉积物(粉砂+粘土)含量显著负相关( $P < 0.05$ ), 这可能是

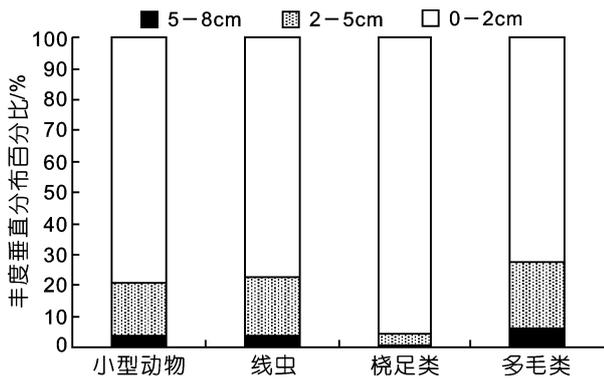


图7 研究站位的小型底栖动物、线虫、桡足类及多毛类的平均丰度垂直分布(%)

Fig.7 Vertical distribution(%) total meiofauna, nematodes, copepods and polychaetes

由于占小型底栖动物生物量 22.4% 的多毛类在生物量上与沉积物(粉砂+粘土)含量极显著负相关造成的(表 2)。线虫与桡足类丰度呈现类似结果,都与水深、沉积物有机质含量、中值粒径呈显著或极显著负相关,与沉积物叶绿素 *a* 含量呈极显著正相关(表 2)。与其他主要类群不同的是,多毛类的丰度与沉积物砂含量显著正相关,与沉积物中值粒径和(粉砂+粘土)含量极显著负相关(表 2)。

## 4 讨论

### 4.1 黄海夏初小型底栖动物现存量及空间分布探讨

作者在北黄海获得的小型底栖动物平均丰度系国内同类研究的最高值,是陈海燕等(2009)于 2006 年 7 月对同海域调查结果的 3 倍多(表 3)。造成这一差异的原因可能与北黄海站位的小个体线虫明显较多有关,相较于本研究中作者采用的 31  $\mu\text{m}$  孔径网筛,后者采用的 61  $\mu\text{m}$  孔径网筛可导致个体较小的线虫

(含线虫幼体)大量丢失,这一点可由二者的线虫丰度推知(表 3)。此外,这一推测也由陈海燕等(2009)的所获的桡足类(个体较大,不易为 61  $\mu\text{m}$  孔径网筛遗漏)平均丰度与本调查一致(239 ind/10cm<sup>2</sup> vs. 233 ind/10cm<sup>2</sup>)而得到证实。南黄海的小个体线虫明显比北黄海少,所获的小型底栖动物平均丰度与 Liu 等(2005)和张艳等(2007)对相近海域的调查结果接近(表 3)。与国内外其他调查结果相比较,黄海小型底栖动物丰度整体较高(表 3;慕芳红等, 2001),表明该区域小型底栖动物生产力较高。

研究显示,黄海小型底栖动物的高现存量区域与传统的高生产力区域基本吻合,其丰度和生物量较高的站位主要分布于黄、东海传统的渔业区,包括烟威渔场(1101、2013、2017、2021、2023 和 2030 站)、石岛渔场(3005、3034 站)、大沙渔场(3086 站),长江口附近(3102 站)和大连(2005、2023 站)及青岛近海(3031 站)。长江口的高生产力站位 3102 站及其东北方向的大沙渔场的 4 个相对高生产力的站位 3104、4018、4021 和 S2-2 站,其表层和底层盐度都明显低于周边站位,分布上与汤毓祥等(2000)所示的以长江冲淡水为主体的沿岸水向黄海扩展的路径基本一致,这可能是由于长江淡水带来较丰富营养盐,提供了较充足的食物所致。研究发现,多毛类无论是在水平还是垂直分布上,都与小型底栖动物其他主要类群有较明显差异。北黄海线虫及桡足类的丰度无论在水平分布还是沉积物表层 0—5 cm 中都约是南黄海的 3 倍,而多毛类丰度仅高出 30% 左右,这可能与它们的生活习性不同且受不同环境因子制约有关。线虫与桡足类丰度主要与水深、沉积物有机质含量、中值粒径和沉积物叶绿素 *a* 含量相关(表 2);而多毛类的丰度

表 2 研究站位小型底栖动物与沉积物环境因子的相关性分析

Tab.2 Correlation analyses between the biomass of each meiofauna group and the environmental parameters

环境因子	小型底栖动物丰度	小型底栖动物生物量	线虫丰度	桡足类丰度	多毛类丰度
底层水温	-0.031	-0.088	-0.017	-0.206	-0.087
水深	-0.580**	-0.513**	-0.582**	-0.421**	-0.122
叶绿素 <i>a</i> 含量	0.404**	0.378**	0.400**	0.350*	0.180
脱镁叶绿素 <i>a</i> 含量	0.168	0.204	0.154	0.263	0.242
有机质含量	-0.432**	-0.414**	-0.428**	-0.299*	-0.108
中值粒径	-0.375**	-0.474**	-0.346*	-0.439**	-0.419**
砂含量	0.127	0.220	0.104	0.193	0.356*
(粉砂+粘土)含量	-0.192	-0.320*	-0.162	-0.277	-0.435**

\* 示显著相关( $P < 0.05$ ), \*\* 示极显著相关 ( $P < 0.01$ )

表 3 黄海及相邻海域小型底栖动物的丰度比较  
Tab.3 Comparison of abundances of meiofauna in the Yellow Sea and other China's seas

研究海域	时间(年·月)	深度(cm)	过筛( $\mu\text{m}$ )	丰度 (ind/10 $\text{cm}^2$ )			参考文献
				小型动物	线虫	比率(%)	
渤海	1997.06	5	48	2300 $\pm$ 1206	2151 $\pm$ 1158	93	慕芳红等, 2001
	1998.09	5	48	869 $\pm$ 510	758 $\pm$ 475	87	慕芳红等, 2001
	1999.04	5	48	632 $\pm$ 400	558 $\pm$ 340	87	慕芳红等, 2001
东、黄海	2000.10	10	50	654 $\pm$ 441	570 $\pm$ 395	87	张志南等, 2004
	2001.04	10	50	342 $\pm$ 252	312 $\pm$ 126	91	张志南等, 2004
北黄海	2006.07	10	61	1099 $\pm$ 634	789 $\pm$ 452	72	陈海燕等, 2009
	2007.06	8	31	3410 $\pm$ 1578	2989 $\pm$ 1445	88	本研究
南黄海	2007.06	8	31	1529 $\pm$ 1121	1350 $\pm$ 1007	88	本研究
	2000.06	5	50	809 $\pm$ 407	597 $\pm$ 362	74	张志南等, 2002
	2003.01	10	31	954 $\pm$ 269	831 $\pm$ 227	87	张 艳等, 2007
	2003.07	10	31	1584 $\pm$ 686	1186 $\pm$ 425	89	Liu et al., 2005
	2004.01	10	31	1186 $\pm$ 486	1064 $\pm$ 470	90	张 艳等, 2007

与沉积物中值粒径、砂含量和(粉砂+粘土)含量相关, 表明多毛类分布主要受沉积物类型影响。

#### 4.2 有机质分布及测定讨论

本研究发现, 黄海沉积物中的有机质含量总体上呈现沿岸低中间高的特点, 不同于通常的从近岸往离岸海域有机质含量逐渐增高的趋势。有机质含量分布的“异常”降低了作为海洋底栖生境有机质富营养化参考的  $N/C$  值的指示意义。作者推测这是由于黄海的独特地形及水文条件所致, 即黄海为半封闭海域, 并存在夏季环状流(汤毓祥等, 2000), 形成的海水涡旋作用使沉积物有机质往中央较深的冷水团区域集聚所致。贺志鹏(2008)<sup>1)</sup>认为有机质含量与沉积物粒度负相关, 沉积物粒度越细, 有机质含量越高, 反之则越低, 这与本研究一致(图 3, 图 5a)。研究发现, 有机质在研究的 48 个站位 3 个分层中的平均含量依次为 1.08%、1.01%和 0.99%, 显示有机质含量在离岸海域沉积物 0—8 cm 深度的分层分布差异不大。由此, 作者建议对于离岸海域的浅层沉积物中有机质含量以测定 0—2 cm 表层的含量即可。但是, 这一方式不适于近岸海域, 尤其是受人类活动影响较大的潮间带与河口区沉积物, 通常有机质含量在这些区域具有明显的分层。

致谢 中国科学院海洋研究所“2007 年黄海冷水团调查航次”底栖生物组全体成员在采样过程中付出的艰辛劳动, 代仁海、詹子峰和刘淑德硕士等在采样和统计分析中提供帮助, 谨致谢忱。

#### 参 考 文 献

- 王 荣, 1986. 荧光法测定浮游植物色素计算公式的修正. 海洋科学, 10(5): 1—5
- 任慧军, 詹杰民, 2005. 黄海冷水团的季节变化特征及其形成机制研究. 水动力学研究及进展, 20(增刊): 887—896
- 刘昌岭, 朱志刚, 贺行良等, 2007. 重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法快速测定海洋沉积物中有机碳. 岩矿测试, 26(3): 205—208
- 汤毓祥, 邹娥梅, 李兴宰等, 2000. 南黄海环流的若干特征. 海洋学报, 22(1): 1—16
- 杜永芬, 徐奎栋, 孟昭翠等, 2010. 南海小型底栖动物生态学的初步研究. 海洋与湖沼, 41(2): 199—207
- 吴绍渊, 慕芳红, 2009. 山东南部沿海冬季小型底栖生物的初步研究. 海洋与湖沼, 40(6): 682—691
- 张 艳, 张志南, 黄 勇等, 2007. 南黄海冬季小型底栖生物丰度和生物量. 应用生态学报, 18(2): 411—419
- 张志南, 李永贵, 图立红等, 1989. 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. 海洋与湖沼, 20(3): 197—208
- 张志南, 林岍旋, 周 红等, 2004. 东、黄海春秋小型底栖生物丰度和生物量研究. 生态学报, 24(5): 997—1005
- 张志南, 周 红, 于子山等, 2001. 胶州湾小型底栖生物的丰度和生物量. 海洋与湖沼, 32(2): 139—147
- 张志南, 慕芳红, 于子山等, 2002. 南黄海鲈鱼产卵场小型底栖生物的丰度和生物量. 青岛海洋大学学报, 32(2): 251—258
- 陈海燕, 周 红, 慕芳红等, 2009. 北黄海小型底栖生物丰度和生物量时空分布特征. 中国海洋大学学报, 39(4): 657—663
- 黄 勇, 张志南, 刘晓收, 2007. 南黄海冬季自由生活海洋线

1) 贺志鹏, 2008. 南黄海重金属的演变特征及控制因素. 中国科学院研究生院博士学位论文, 45—46

- 虫群落结构的研究. 海洋与湖沼, 38(3): 199—205
- 彭欣, 谢起浪, 陈少波等, 2009. 南麂列岛潮间带底栖生物时空分布及其对人类活动的响应. 海洋与湖沼, 40(5): 584—589
- 慕芳红, 张志南, 郭玉清, 2001. 渤海小型底栖动物的丰度和生物量. 青岛海洋大学学报, 31(6): 897—905
- Giere O, 1993. *Meiobenthology*. Berlin/ Heidelberg: Springer-Verlag, 1—328
- Higgins R P, Thiel H, 1988. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1—488
- Juario J V, 1975. Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German Bight. *Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung Bremerhaven*, 15: 283—337
- Liu X S, Zhang Z N, Huang Y, 2005. Abundance and biomass of meiobenthos in the spawning ground of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the southern Huanghai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 24: 94—104
- McIntyre A D, 1968. The macrofauna and meiofauna of some trophic beaches. *Journal of Zoology*, 156: 377—392
- Metaxatos A, Ignatiades L, 2002. Seasonality of algal pigments in the sea water and interstitial water/sediment system of an eastern Mediterranean coastal area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 415—426
- Moreno M, Ferrero T J, Gallizia I *et al*, 2008. An assessment of the spatial heterogeneity of environmental disturbance within an enclosed harbour through the analysis of meiofauna and nematode assemblages. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77: 565—576
- Widbom B, 1984. Determination of average individual dry weight and ash-free dry weight in different sieve fractions of marine meiofauna. *Marine Biology*, 84: 101—108

## AN INVESTIGATION ON THE BIOMASS, ABUNDANCE AND DISTRIBUTION OF MEIOFAUNA UNDER THE COLD WATER MASS AND ITS SURROUNDING AREAS OF THE YELLOW SEA

WANG Jia-Dong<sup>1,2</sup>, LEI Yan-Li<sup>1</sup>, XU Kui-Dong<sup>1</sup>, DU Yong-Fen<sup>1</sup>

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*; 2. *Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049*)

**Abstract** Composition, abundance, biomass and environmental parameters of meiofauna were investigated based on samples collected from 48 stations (including 17 and 31 stations in the northern and southern Yellow Sea, respectively) in the area dominated by Yellow Sea Cold Water Mass and its surrounding areas in the summer 2007. The mean abundance and biomass of meiofauna in the sampling stations were  $(2195 \pm 1599)$  ind./10cm<sup>2</sup> and  $(1843 \pm 1291)$   $\mu$ g dwt/10cm<sup>2</sup>, respectively. The mean abundance of meiofauna in the 29 stations in the area dominated by the cold water mass was ~25% lower than that in the other 19 stations, and the biomass was ~18% lower. The abundance and biomass in the north Yellow Sea were ~2 times more than those in the south Yellow Sea, i.e., the abundance was  $(3410 \pm 1578)$  ind./10cm<sup>2</sup> and  $(1529 \pm 1121)$  ind./10cm<sup>2</sup>, respectively, and the biomass was  $(2766 \pm 1344)$   $\mu$ g dwt/10cm<sup>2</sup> and  $(1336 \pm 901)$   $\mu$ g dwt/10cm<sup>2</sup>, respectively. Among the 18 main meiofaunal groups that we examined, free-living nematodes were the most abundant and contributed 87.9% to the total meiofaunal abundance, which was followed by copepods (5.9%), nauplii (2.9%), polychaetes (1.3%) and kinorhynchs (1.2%). Nematodes contributed to 42% of the total meiofaunal biomass in the Yellow Sea, followed by polychaetes (22%), copepods (13%) and nauplii (12%). Moreover, ~79% of the total meiofauna lived in surficial sediments (0—2 cm), 17% lived in 2—5 cm depth, while only 4% were found in 5—8 cm depth. The abundance and biomass of total meiofauna showed significant positive correlation with chlorophyll a concentrations, and significant negative correlation with water depth, sediment organic matter concentration, and median diameter of sediment grains. In addition, meiofaunal biomass showed significant negative correlation with the content of silt and clay in the sediments. These results suggested that sediment organic matter concentration in the nearshore area were lower than those in the central area of the Yellow Sea. This phenomenon was likely caused by the annular circulation in the Yellow Sea in summer. The standing crop of meiofauna in the northern Yellow Sea was the highest ever recorded for China's seas. This high standing crop is consistent with high productivity in the Yellow Sea. Furthermore, meiofaunal standing crop was higher along the river plume from estuary of the Changjiang(Yangtze) River, which brought abundant nutrients to this area.

**Key words** The Yellow Sea Cold Water Mass, Meiofauna, Abundance, Biomass