

# 渤海湾秋季浮游动物群落特征及影响因素

徐东会<sup>1</sup>, 周瑞佳<sup>1</sup>, 杜小媛<sup>1</sup>, 王泰森<sup>1</sup>, 刘 潇<sup>1</sup>, 齐衍萍<sup>1</sup>, 菅潇扬<sup>1</sup>, 张清波<sup>1</sup>,  
孙蓓蓓<sup>1</sup>, 周 辉<sup>1</sup>

(国家海洋局 北海环境监测中心, 山东 青岛 266033)

**摘要:** 本研究基于2017年秋季在渤海湾海域以浅水 I 型浮游生物网采集的浮游动物样品, 分析了浮游动物的种类组成、丰度分布和生物多样性; 通过结合现场获取的环境参数, 探讨了环境因子与浮游动物群落特征之间的关系。结果如下: 秋季浮游动物调查共鉴定各类浮游动物 22 种、浮游幼虫 6 类, 合计种类数为 28。桡足类为最为优势的类群, 其在浮游动物的物种丰富度中占 46.4%。渤海湾秋季浮游动物的优势种类共 5 个, 包括中华哲水蚤、小拟哲水蚤、真刺唇角水蚤、近缘大眼水蚤和强壮箭虫。秋季浮游动物平均丰度为 86.9 ind./m<sup>3</sup>, 平均湿重生物量为 640.7 mg/m<sup>3</sup>, 香农-威纳指数和物种丰富度指数分别为 1.87 和 1.08。浮游动物丰度与环境因子间的相关性分析表明, 秋季影响渤海湾海域浮游动物分布的主要环境因子组合为盐度、叶绿素和浊度。与同期历史数据相比, 浮游动物的丰度和生物量均有所下降。

**关键词:** 渤海湾; 浮游动物; 群落结构; 环境因子

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2022)06-0090-09

DOI: 10.11759/hyxx20210318001

渤海湾位于渤海西部, 湾口以河北大清河口至山东的旧黄河口连线为界。因受黄河和海河的影响, 湾内海流存在一个相对稳定的弱环流系统, 而且季节变化明显, 由于水动力交换较差, 且三面环陆, 其海洋生态环境质量长期受陆源污染物排放的影响, 这必然会对渤海海洋生态系统产生显著的胁迫或控制作用<sup>[1]</sup>。浮游动物是一类游泳能力较弱, 在水中浮游生活的小型动物类群。浮游动物以浮游植物为食、同时也是鱼类和其他经济动物的重要饵料, 在食物链中起承上启下的作用<sup>[2-3]</sup>。

目前, 已有大量关于渤海海域大尺度的浮游动物的种类组成和数量变动的研究<sup>[4-7]</sup>, 同时针对渤海湾水域浮游动物群落特征的研究亦日益增多<sup>[1, 8]</sup>, 但是针对渤海湾浮游动物与环境多个生物因子和非生物因子之间关系的研究仍较为少见<sup>[9-10]</sup>。本研究利用 2017 年 11 月在渤海湾海域开展的海洋调查所获得的浮游动物资料, 分析了浮游动物的种类组成和数量变化, 对该海域浮游动物的生态特征进行研究, 探讨了浮游动物与环境因子之间的关系, 以期渤海湾海域浮游动物的长期变化研究提供基础资料, 并对该海域的生态研究和生物资源的合理利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查海区及方法

于 2017 年 11 月 6—19 日, 在渤海湾海域开展浮游动物生态调查(图 1), 共有 33 个站位, 各站位水深 的变化范围在 2.0~18.0 m 之间, 平均深度为 9.1 m。使用浅水 I 型浮游生物网进行底层到表层垂直拖网的方式采集浮游动物样品, 样品使用 5%福尔马林海水溶液固定保存, 参照《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB12763.6—2007)完成浮游动物样品的处理和分析工作。

在调查过程中, 均同步进行温度、盐度、表层叶绿素 *a*、浊度、pH、溶解氧、磷酸盐、硝酸盐、硅酸盐等环境参数的监测。参照《海洋监测规范—海水分析》(GB17378—2007)完成水质样品的采集及分析测定。采用荧光分光光度法测定叶绿素, 浊度计法

收稿日期: 2021-03-18; 修回日期: 2021-06-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1407903)

[Foundation: Supported by the National Key Research and Development Program of China, No. 2019YFC1407903]

作者简介: 徐东会(1979—), 男, 甘肃武威人, 工程师, 主要从事浮游生物生态学, 电话: 15865328289, E-mail: lvbaobei@sina.com; 菅潇扬(1989—), 男, 山东昌邑人, 通信作者, 工程师, 主要从事海洋环境监测研究, E-mail: 491711662@qq.com

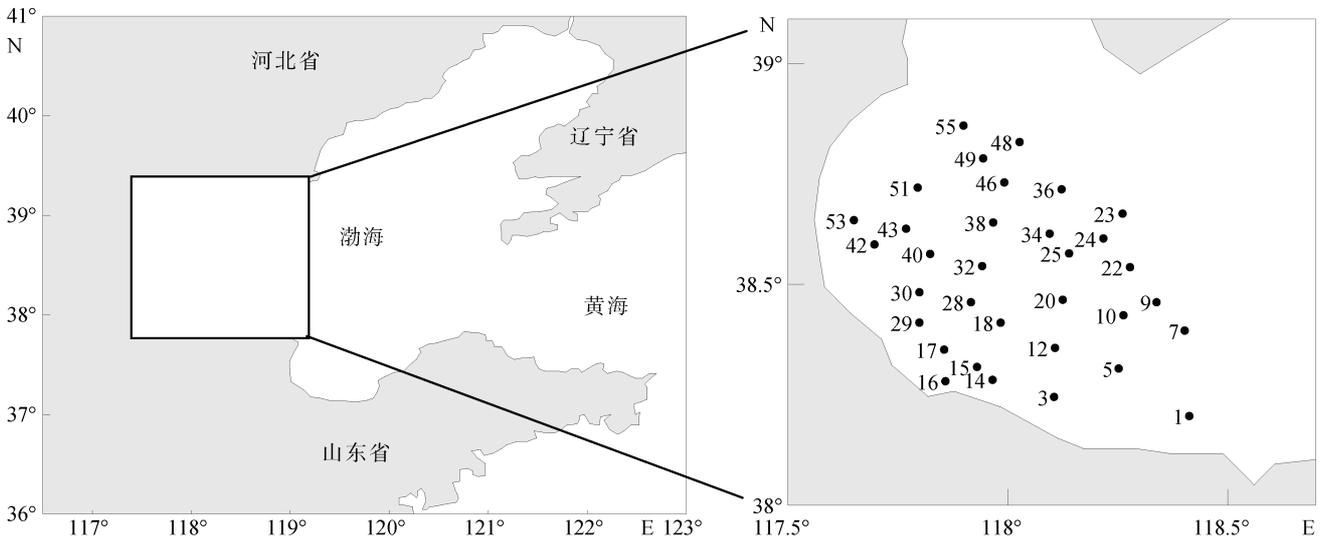


图 1 调查区域及站位分布  
Fig. 1 Investigated area and sampling stations

测定浊度, pH 计法测定 pH, 采用碘量法测定溶解氧, 采用抗坏血酸还原的磷钼蓝法测定磷酸盐, 采用锌-镉还原法测定硝酸盐, 采用硅钼蓝法《海洋监测规范》(GB17378.4—2007)测定硅酸盐。

## 1.2 数据处理与分析

### 1.2.1 丰度和生物量

根据每立方米水体中的个体数计算浮游动物丰度, 生物量为浮游动物固定样品的湿重, 称重时分离去除网采样品中的夜光虫。

### 1.2.2 优势种

浮游动物的优势种是根据每个种的优势度值( $Y$ )来确定, 以  $Y \geq 0.02$  的种类作为优势种<sup>[11]</sup>。

$$Y = (S_i/S) \times f_i \quad (1)$$

式中,  $S_i$  为第  $i$  个物种的个体数量,  $S$  为所有物种的总个体数,  $f_i$  为第  $i$  个物种在各站位出现的频率。

### 1.2.3 生物多样性

采用香农-威纳指数( $H'$ )<sup>[12]</sup>和 Margalef's index ( $D$ )<sup>[13]</sup>来表示浮游动物的多样性。依照《海洋监测规范》(GB17378.7—2007)的评价标准, 当  $H < 1$  时为重污染; 当  $H = 1 \sim 2$  时为中度污染; 当  $H = 2 \sim 3$  时为轻度污染; 当  $H = 3 \sim 4$  时为清洁区域。

香农-威纳指数( $H'$ )公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

式中,  $P_i$  为样品中第  $i$  种的个体的比例, 如样品总个体为  $N$ , 第  $i$  种个体数为  $n_i$ , 则  $P_i = n_i/N$ 。

Margalef's index( $D$ )公式为:

$$D = (S-1)/\log_2 N \quad (3)$$

式中,  $N$  为丰度。

### 1.2.4 浮游动物与环境因子关系

浮游动物丰度与环境因子间的关系<sup>[14]</sup>是应用多元统计软件 PRIMER V6.1 中的 BIOENV 和 RELATE 程序来进行分析。环境因子主要包括: 温度、盐度、叶绿素、浊度、pH、溶解氧、磷酸盐、硝酸盐、硅酸盐及水深等。

## 2 结果

### 2.1 环境因子特征

渤海湾秋季水域温度变化范围在 2.0~11.6 °C 之间, 平均温度为 7.0 °C, 其水平分布总体表现为由湾南向湾北逐渐递增的趋势(图 2a); 盐度变化范围在 29.1~32.0 之间, 平均盐度为 31.3, 其水平分布总体表现为由湾西向湾东逐渐递增的趋势(图 2b); 叶绿素浓度变化范围在 0.5~5.3 μg/L 之间, 平均浓度为 1.5 μg/L, 其水平分布总体表现为由近岸向湾口逐渐递减的趋势(图 2c)。

### 2.2 种类组成

渤海湾秋季水域浮游动物调查共鉴定各类浮游动物 22 种、浮游幼虫 6 类, 合计种类数为 28 (表 1)。其中, 浮游动物成体分别包括刺胞动物 1 种, 栉水母 1 种, 桡足类 13 种, 等足类 1 种, 糠虾类 1 种, 涟虫类 1 种, 端足类 1 种, 毛颚类 1 种, 被囊类 2 种。

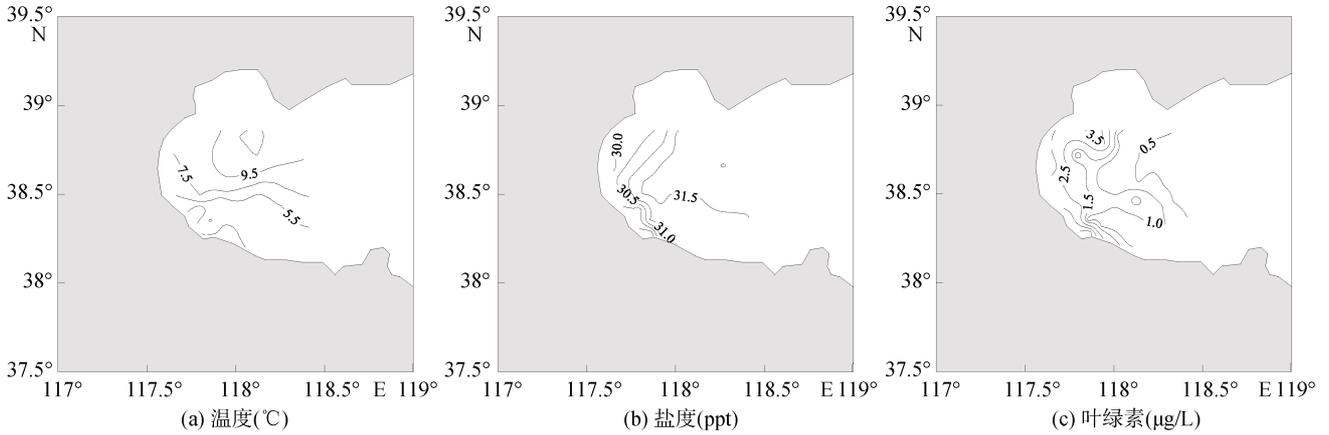


图2 渤海湾环境因子的平面分布图  
Fig. 2 Spatial distributions of environmental factors in Bohai Bay

表1 渤海湾水域浮游动物种类组成

Tab. 1 Composition of zooplankton in Bohai Bay

种名	拉丁学名	丰度/(ind·m <sup>-3</sup> )	丰度百分比/%
半球美螳水母	<i>Clytia hemisphaerica</i>	0.1	0.02
球型侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>	0.2	0.26
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	6.1	7.03
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	27.4	31.76
强额拟哲水蚤	<i>Paracalanus crassirostris</i>	0.1	0.15
平滑真刺水蚤	<i>Euchaeta plana</i>	0.4	0.43
太平洋真宽水蚤	<i>Eurytemora pacifica</i>	0.1	0.12
背针胸刺水蚤	<i>Centropages dorsispinatus</i>	0.2	0.19
真刺唇角水蚤	<i>Labidocera euchaeta</i>	6.0	6.90
洪氏纺锤水蚤	<i>Acartia hongii</i>	0.2	0.20
太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacifica</i>	0.7	0.76
捷氏歪水蚤	<i>Tortanus derjugini</i>	0.1	0.13
拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i>	0.5	0.55
近缘大眼水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>	3.6	4.13
小毛猛水蚤	<i>Microsetella norvegica</i>	0.9	1.05
小寄虱	<i>Microniscus</i> sp.	0.1	0.03
长额刺糠虾	<i>Acanthomysis longirostris</i>	0.1	0.16
针尾涟虫属	<i>Diastylis</i> sp.	5.1	5.88
钩虾亚目	Gammaridean	3.9	4.48
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	28.3	32.74
异体住囊虫	<i>Oikopleura dioica</i>	1.1	1.30
小齿海樽	<i>Doliolum denticulatum</i>	0.2	0.26
多毛类幼体	Polychaeta larva	0.5	0.57
双壳类幼体	Bivalvia larva	0.4	0.48
蔓足类无节幼虫	Nauplius larva	0.1	0.04
长尾类幼体	Macrura larva	0.3	0.32
短尾类溞状幼虫	Brachyura zoea larva	0.1	0.03
仔鱼	Fish larva	0.1	0.01

渤海湾秋季水域浮游动物的生态特征可划分为如下几个类群: (1) 近岸低盐类群: 该类群适应的盐度较低, 代表种类有半球美螳水母(*Clytia hemisphaerica*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)等; (2) 广温广盐类群: 该类群适温性强, 主要有球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、背针胸刺水蚤(*Centropages dorsispinatus*)、近缘大眼水蚤(*Corycaeus affinis*)、强壮箭虫(*Sagitta crassa*)等; (3) 高温高盐类群: 该类群代表种类为小齿水樽(*Doliolum denticulatum*)。

### 2.3 优势种

渤海湾秋季水域浮游动物的优势种类共有 5 个, 分别为中华哲水蚤( $Y=0.06$ )、小拟哲水蚤( $Y=0.32$ )、真刺唇角水蚤( $Y=0.06$ )、近缘大眼水蚤( $Y=0.02$ )和强壮箭虫( $Y=0.31$ )。渤海湾水域中华哲水蚤的平均丰度为  $6.1 \text{ ind./m}^3$ , 其对浮游动物总丰度的贡献率达到 7.0%。丰度最高值出现在调查水域西部 53 号站, 丰

度值为  $28.3 \text{ ind./m}^3$ (图 3a)。渤海湾水域小拟哲水蚤的平均丰度为  $31.6 \text{ ind./m}^3$ , 其对浮游动物总丰度的贡献率达到 34.4%。丰度最高值出现在调查水域西南部 17 号站, 丰度值为  $575.0 \text{ ind./m}^3$ (图 3b)。渤海湾水域真刺唇角水蚤的平均丰度为  $6.0 \text{ ind./m}^3$ , 其对浮游动物总丰度的贡献率达到 6.9%。丰度最高值出现在调查水域西南部 15 号站, 丰度值为  $45.0 \text{ ind./m}^3$ (图 3c)。渤海湾水域近缘大眼水蚤的平均丰度为  $3.6 \text{ ind./m}^3$ , 其对浮游动物总丰度的贡献率达到 4.1%。丰度最高值出现在调查水域西南部 17 号站, 丰度值为  $50.0 \text{ ind./m}^3$ (图 3d)。渤海湾水域强壮箭虫的平均丰度为  $28.3 \text{ ind./m}^3$ , 其对浮游动物总丰度的贡献率达到 32.7%。丰度最高值出现在调查水域西部 53 号站, 丰度值为  $137.0 \text{ ind./m}^3$ (图 3e)。

### 2.4 浮游动物丰度及生物量水平分布特征

渤海湾秋季水域浮游动物丰度的平面分布见图 4a。秋季浮游动物总丰度平均值为  $86.9 \text{ ind./m}^3$ , 总丰度最高值出现在调查水域西南部 17 号站( $750.0 \text{ ind./m}^3$ ), 丰度

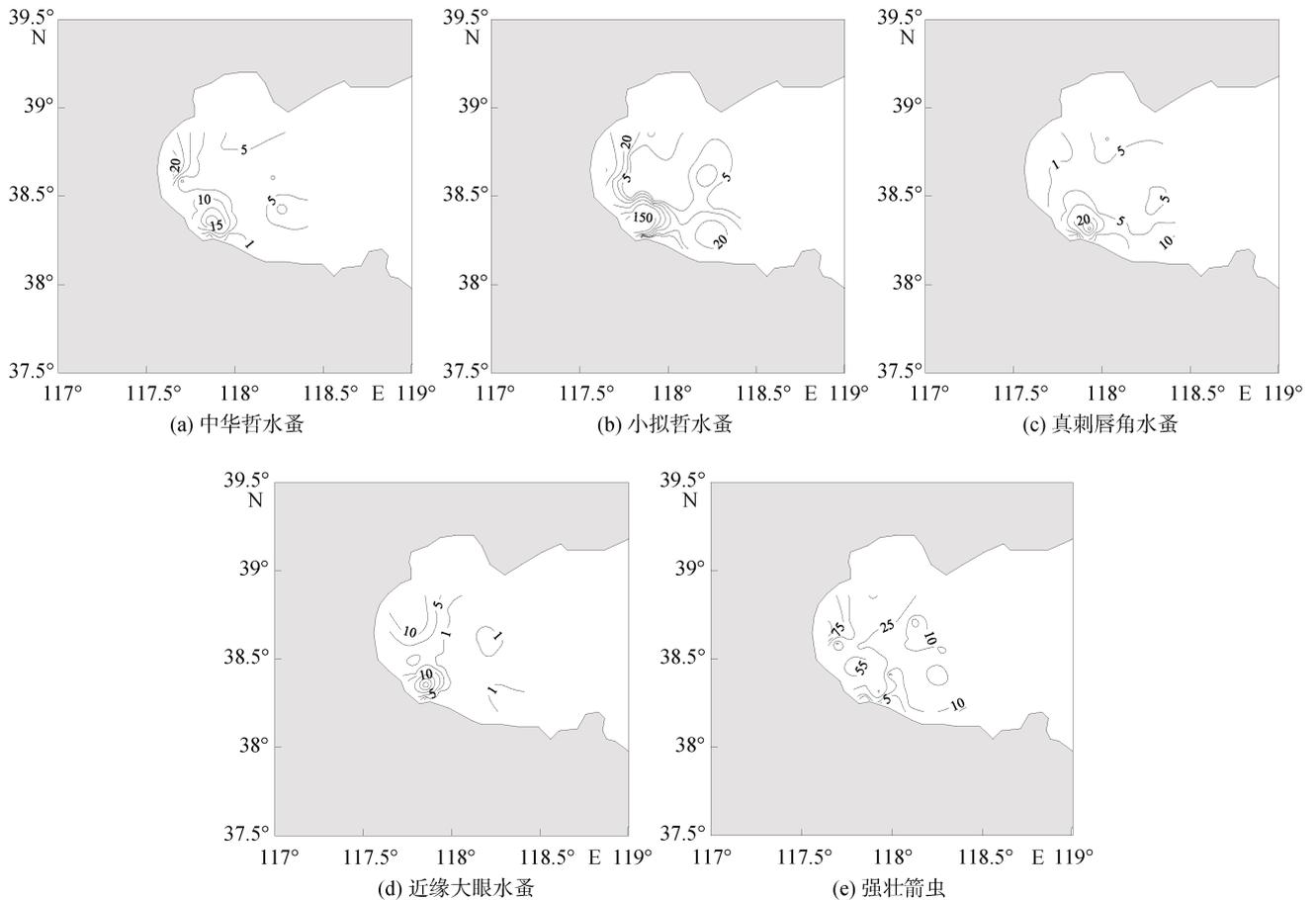


图 3 优势种丰度( $\text{ind./m}^3$ )平面分布图

Fig. 3 Horizontal distributions of the dominant species ( $\text{ind./m}^3$ )

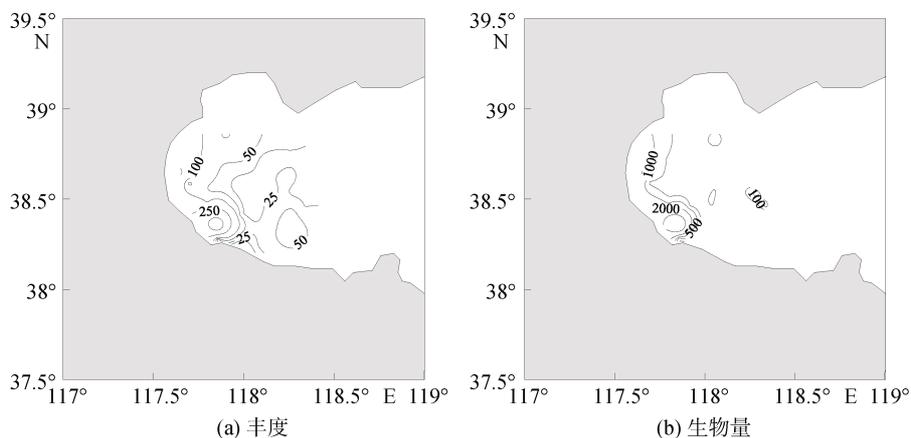


图 4 浮游动物丰度(ind./m<sup>3</sup>)和生物量(mg/m<sup>3</sup>)平面分布

Fig. 4 Horizontal distributions of zooplankton abundance (ind./m<sup>3</sup>) and biomass (mg/m<sup>3</sup>)

最小值出现在调查水域东北部 36 号站(10.0 ind./m<sup>3</sup>)。渤海湾秋季水域浮游动物生物量的平面分布见图 4b。秋季浮游动物湿重生物量的分布格局与丰度存在略微的差异。平均湿重生物量为 640.7 mg/m<sup>3</sup>, 生物量的最高值出现在调查水域西南部 17 号站(7 250.0 mg/m<sup>3</sup>), 最小值出现在调查水域东部 22 号站(30.7 mg/m<sup>3</sup>)。

### 2.5 浮游动物生物多样性分布特征

渤海湾秋季水域浮游动物香农-威纳指数的平面

分布见图 5a。秋季浮游动物香农-威纳指数平均值为 1.87, 最高值出现在调查水域东北部的 36 号站, 值为 2.54; 而最低值出现在该水域西南部的 30 号站, 值为 1.23。渤海湾秋季水域浮游动物物种丰富度指数的平面分布见图 5b。秋季浮游动物物种丰富度指数平均值为 1.08, 最高值出现在调查水域西部的 43 号站, 值为 1.87; 而最低值出现在该水域西南部的 15 号站, 值为 0.42。

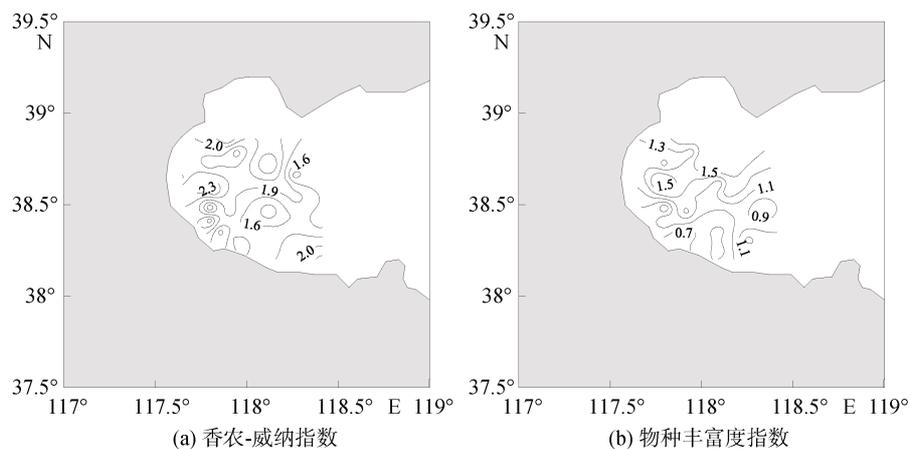


图 5 浮游动物生物多样性平面分布

Fig. 5 Horizontal distributions of zooplankton biodiversity

### 2.6 浮游动物分布与环境因子

渤海湾秋季水域浮游动物与环境因子间的相关性系数见表 2。单因子分析结果显示, 浮游动物丰度与表层盐度的相关性最高( $P < 0.01$ )。双因子分析结果显示, 浮游动物丰度与表层盐度/表层浊度的相关性最高( $P < 0.01$ )。三因子分析结果显示, 浮游动物丰度与表层盐度/底层盐度/表层浊度的相关性最高( $P <$

0.01)。四因子分析结果显示, 浮游动物丰度与表层盐度/底层盐度/表层叶绿素/表层浊度的相关性最高( $P < 0.01$ )。五因子分析结果显示, 浮游动物丰度与表层盐度/底层盐度/表层叶绿素/表层浊度/底层浊度的相关性最高( $P < 0.01$ )。在所涉及的影响因子中, 秋季对渤海湾水域浮游动物分布最重要的影响因子包括: 盐度、叶绿素和浊度。

表 2 浮游动物与环境因子的相关性

Tab. 2 Correlation between zooplankton abundance and environmental variables

因子	参数	相似性系数 $\rho_s$
单因子	表层盐度	0.536**
	表层叶绿素	0.378**
	底层浊度	0.390**
双因子	表层盐度/表层浊度	0.606**
	表层盐度/底层浊度	0.605**
	底层盐度/底层浊度	0.601**
三因子	表层盐度/底层盐度/表层浊度	0.626**
	表层盐度/底层盐度/底层浊度	0.625**
	表层盐度/表层叶绿素/表层浊度	0.590**
四因子	表层盐度/底层盐度/表层叶绿素/表层浊度	0.611**
	表层盐度/底层盐度/表层叶绿素/底层浊度	0.605**
	表层盐度/底层盐度/表层浊度/底层浊度	0.603**
五因子	表层盐度/底层盐度/表层叶绿素/表层浊度/底层浊度	0.601**
	水深/表层盐度/底层盐度/表层浊度/底层浊度	0.585**
	表层盐度/底层盐度/底层磷酸盐/表层浊度/底层浊度	0.583**

\* 表示  $P < 0.05$ ; \*\* 表示  $P < 0.01$

### 3 讨论

本次渤海湾秋季水域调查共记录浮游动物 22 种, 浮游幼虫 6 类, 合计 28 个种类。其中, 浮游甲壳动物 17 种, 为绝对优势类群; 其次为被囊类 2 种和浮游幼虫 6 类。1998 年秋季渤海中南部海域的大网浮游动物样品共鉴定记录浮游动物 46 种, 浮游幼虫 13 类<sup>[15]</sup>。范凯和李清雪<sup>[16]</sup>分析了 2003—2004 年渤海湾海域四个季节的大、中网浮游动物样品, 秋季共记录浮游动物 19 个种类。2006—2007 年 908 专项渤海调查航次的浮游动物样品数据显示, 秋季共鉴定记录浮游动物 39 种, 浮游幼虫 9 类<sup>[7]</sup>。2013 年秋季渤海中部海域的大网浮游动物样品, 共鉴定出浮游动物 42 种, 浮游幼虫 14 类<sup>[3]</sup>。本研究结果与同期历史数据相比<sup>[16]</sup>, 浮游动物成体种类数有所增加, 浮游幼虫的种类数差别不大, 种类组成上仍是以桡足类和水螅水母为主。本研究调查海域出现了 2 种典型的暖水种, 平滑真刺水蚤在 1 和 16 号站位出现, 小齿海樽在 43、46、48 和 51 号站位出现。暖水种类数量的增加通常是海洋环境综合变化的结果, 并且与许多因素有关, 例如气候变化、海洋环流和富营养化。近年来, 在渤海湾的海

水温度逐渐升高, 水温是影响桡足类等浮游生物生长和增殖的重要环境因素<sup>[9]</sup>。水温的升高促使浮游动物的暖水物种更容易通过洋流进入渤海湾, 并在较高纬度的渤海湾海区生长和存活, 在本研究中暖水种的分布与水温由湾南向湾北逐渐递增的趋势相一致。

王克等<sup>[15]</sup>研究表明, 中华哲水蚤、真刺唇角水蚤等桡足类和强壮箭虫是 1998 年秋季渤海中南部海域的优势种类。徐东会等<sup>[3]</sup>研究表明, 中华哲水蚤、强壮箭虫等是 2013 年秋季渤海中部海域的优势类群。本研究结果与上述报道相似, 渤海湾秋季水域浮游动物的优势种类包括: 中华哲水蚤、小拟哲水蚤、真刺唇角水蚤、近缘大眼水蚤等桡足类和强壮箭虫。依据本年秋季航次同步调查的中网浮游动物样品分析数据显示, 夜光虫(*Noctiluca scientillans*)在调查站位出现的频率为 94%, 且丰度最高值达到了 203 000.0 ind./m<sup>3</sup>。本研究中渤海湾秋季浮游动物总丰度平均值仅为 86.9 ind./m<sup>3</sup>, 与同期渤海海域浮游动物总丰度的历史数据相比较低<sup>[15-16]</sup>, 我们认为此次调查浮游动物总丰度的下降, 完全是由于夜光虫的大量分布所导致的。渤海湾秋季水域浮游动物的平均湿重生物量为 640.7 mg/m<sup>3</sup>, 本研究结果与同期

历史资料相比<sup>[4, 15-16]</sup>, 浮游动物的丰度和生物量有所下降。

渤海湾水域浮游动物香农-威纳指数为 1.87, 多样性指数低于 2, 说明, 秋季渤海湾调查海域处于中等污染状态。范凯和李清雪<sup>[16]</sup>分析了 2003—2004 年渤海湾海域四个季节的大、中网浮游动物样品, 结合群落结构中浮游动物近岸数量少、远岸多, 研究表明渤海湾水质已经受到严重污染。这主要可能是由于渤海湾本身水动力交换能力较差, 且三面环陆, 位于唐山、天津、沧州和山东省黄河口的半包围区域内, 流入海湾的主要河流包括黄河、海河、蓟运河和滦河等, 其海洋生态环境质量长期受陆源污染物排放的影响。随着国家 2019 年《渤海综合治理攻坚战行动计划》的大力实施, 通过确定开展陆源污染治理行动、海域污染治理行动、生态保护修复行动、环境风险防范行动等四大攻坚行动, 并明确了量化指标和完成时限, 渤海恢复为昔日的海上粮仓为期不远。

浮游动物群落的种类组成和分布等特征与温度、盐度、叶绿素、浊度、pH、溶解氧、磷酸盐、硝酸盐、硅酸盐等生物因子和非生物因子息息相关<sup>[2-3, 7, 9-10, 17]</sup>。位于渤海西部的渤海湾, 湾内存在相对稳定的弱环流系统, 浮游动物群落结构特征与其水质环境存在密切关联。渤海湾的海域类型属于典型的高强度营养盐输入和高强度开发的浅水泥质、缓坡生态系统类型, 且渤海地处温带, 季节变化明显<sup>[1, 16]</sup>。秋季, 渤海湾盐度较高, 渤海水浅, 面积小, 半封闭性较强, 水温易受外界条件的影响, 变化剧烈, 盐度除河口地区外, 比较稳定和规则, 因此, 盐度与温度是影响渤海浮游动物群落结构的两个重要因子<sup>[16]</sup>。针对 2006—2007 年的 908 专项调查中的浮游动物数据资料统计分析结果显示, 秋季对中国近海浮游动物群落结构影响较大的环境因子, 包括水温、盐度、水深和 pH 等<sup>[7]</sup>。杨璐等<sup>[9]</sup>通过渤海湾 2004—2015 年夏季浮游动物的监测资料, 研究分析了浮游动物的群落结构特征变化与环境因子之间的关系, 结果表明渤海湾浮游动物的群落变化主要受温度、盐度、营养盐等环境因子的作用。根据 2015—2016 年夏、冬两季渤海浮游动物样品数据的分析结果表明, 影响浮游动物分布的主要环境因子为盐度和浊度<sup>[10]</sup>。本研究结果与上述文献资料结论相似, 秋季对渤海湾水域浮游动物分布最重要的影响因素包括: 盐度、叶绿素和浊度等。本研究中浮游动物总丰度和优势种丰

度的水平分布均表现为由近岸向湾口逐渐递减的趋势, 与叶绿素的水平分布的总体趋势相似。

## 4 结论

1) 渤海湾海域秋季浮游动物群落结构的组成、分布变化主要受到盐度、叶绿素和浊度等环境因子的影响。

2) 秋季浮游动物的丰度和生物量与历史数据相比下降。

### 参考文献:

- [1] 王宇, 房恩军, 郭彪, 等. 渤海湾天津海域春季浮游动物群落结构及其与环境因子的关系. 海洋渔业, 2014, 36(4): 300-305.  
WANG Yu, FANG Enjun, GUO Biao, et al. Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in spring of Bohai Bay in Tianjin sea area[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(4): 300-305.
- [2] FRONEMAN P W. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2004, 60(1): 125-132.
- [3] 徐东会, 孙雪梅, 陈碧鹃, 等. 渤海中部浮游动物的生态特征[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(4): 7-18.  
XU Donghui, SUN Xuemei, CHEN Bijuan et al. The Ecological Characteristics of Zooplankton in the Central Bohai Sea[J]. Progress In Fishery Sciences, 2016, 37(4): 7-18.
- [4] 白雪娥, 庄志猛. 渤海浮游动物生物量及其主要种类数量变动的研究[J]. 海洋水产研究, 1991(12): 71-92.  
BAI Xuee, ZHUANG Zhimeng. Studies on the fluctuation of zooplankton biomass and its main species number in the Bohai Sea[J]. Marine Fisheries Research, 1991(12): 71-92.
- [5] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 715-721.  
BI Hongsheng, SUN Song, GAO Shangwu et al. The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai Sea I. species composition and community structure[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 715-721.
- [6] 张武昌, 王克, 高尚武, 等. 渤海春季和秋季的浮游动物[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 630-639.  
ZHANG Wuchang, WANG Ke, GAO Shangwu, et al. Zooplankton in the Bohai Sea in spring and autumn[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(6): 630-639.
- [7] 杜明敏, 刘镇盛, 王春生, 等. 中国近海浮游动物群落

- 结构及季节变化[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5407-5418.  
DU Mingmin, LIU Zhengsheng, WANG Chunsheng, et al. The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5407-5418.
- [8] 高文胜, 刘宪斌, 张秋丰, 等. 渤海湾近岸海域浮游动物多样性[J]. 海洋科学, 2014, 38(4): 55-60.  
GAO WENSHENG, LIU Xianbin, ZHANG Qiufeng, et al. Species diversity of zooplankton in the coastal area of Bohai Bay[J]. Marine Sciences, 2014, 38(4): 55-60.
- [9] 杨璐, 刘捷, 张健, 等. 渤海湾浮游动物群落变化及其与环境因子的关系[J]. 海洋学研究, 2018, 36(1): 93-101.  
YANG Lu, LIU Jie, ZHANG Jian, et al. Zooplankton community variation and its relationship with environmental variables in Bohai Bay[J]. Journal of Marine Sciences, 2018, 36(1): 93-101.
- [10] 卜亚谦, 朱丽岩, 陈香, 等. 夏冬季渤海、北黄海浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(2): 59-66.  
BU Yaqian, ZHU Liyan, CHEN Xiang, et al. Community structure of zooplankton and its relationship with environmental factors and the North Huanghai Sea in Summer and Winter[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(2): 59-66.
- [11] MCHAUGHTON S J. Relationships among functional properties of Californian grassland[J]. Nature, 1967, 216(5111): 168-168.
- [12] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. IL: The University of Illinois Press, 1949: 1-125.
- [13] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. International Journal of General Systems, 1958, 3: 36-71.
- [14] SOUISSI S, IBANEZ F, HAMADOU R B, et al. A new multivariate mapping method for studying species assemblages and their habitats: example using bottom trawl surveys in the Bay of Biscay (France)[J]. Sarsia, 2001, 86: 527-542.
- [15] 王克, 张武昌, 王荣, 等. 渤海中南部春秋浮游动物群落结构[J]. 海洋科学集刊, 2002, 44: 34-42.  
WANG Ke, ZHANG Wuchang, WANG Rong, et al. The structure of zooplankton community in the central and southern part of the Bohai Sea, China, in spring and autumn[J]. Studia Marina Sinica, 2002, 44: 34-42.
- [16] 范凯, 李清雪. 渤海湾浮游动物群落结构及水质生物学评价[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1697-1699.  
FAN Kai, LI Qingxue. Community of zooplankton and assessment to water quality in Bohai Bay[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(6): 1697-1699.
- [17] 郑重, 李少菁, 连光山. 海洋桡足类生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1992: 126-163.  
ZHENG Zhong, LI Shaojing, LIAN Guangshan. Biology of Marine copepods[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1992: 126-163.

# Community characteristics and factors influencing zooplankton in the Bohai Bay during autumn

XU Dong-hui<sup>1</sup>, ZHOU Rui-jia<sup>1</sup>, DU Xiao-yuan<sup>1</sup>, WANG Tai-sen<sup>1</sup>, LIU Xiao<sup>1</sup>,  
QI Yan-ping<sup>1</sup>, JIAN Xiao-yang<sup>1</sup>, ZHANG Qing-bo<sup>1</sup>, Sun Bei-bei<sup>1</sup>, ZHOU Hui<sup>1</sup>  
(North China Sea Environmental Monitoring Center, MNR, Qingdao 266033, China)

**Received:** Mar. 18, 2021

**Key words:** Bohai Bay; zooplankton; community structure; environmental factors

**Abstract:** In this study, we analyzed the composition, abundance, and biodiversity of zooplankton based on the samples collected in Bohai Bay during the autumn of the year 2017. The abundance and determining factors were explored with multivariate analysis according to the sampling date and environmental parameters. A total of 28 zooplankton species/taxa (including 6 pelagic larvae) were identified in this survey. Copepods were the most abundant species. The numbers of pelagic copepod accounted for 46.4% of the total species richness. *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus*, *Labidocera euchaeta*, *Corycaeus affinis*, and *Sagitta crassa* were observed to be the dominant species. Based on the data collected during the autumn season, the average abundance, average biomass, Shannon-Wiener index ( $H'$ ), and Margalef's index ( $D$ ) were calculated at 86.9 ind/m<sup>3</sup>, 640.7 mg/m<sup>3</sup>, 1.87, and 1.08, respectively. The abundance along with biomass fluctuated and showed distinct heterogeneity in the Bohai Bay. The correlation analysis demonstrated that the distribution of zooplankton was affected by salinity, chlorophyll a concentration, and turbidity. The abundance and biomass of zooplankton declined in comparison to the data collected in 1991, 2002, and 2007. This research provided fundamental information on the long-term observation of zooplankton ecology in Bohai Bay.

(本文编辑: 康亦兼)