

文章编号: 1674 - 5566(2015)04 - 0550 - 10

## 渤海长岛海域浮游动物的种类组成与时空分布

韦章良<sup>1,2</sup>, 柴召阳<sup>1,2</sup>, 石洪华<sup>3</sup>, 霍元子<sup>1,2</sup>, 何培民<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 海洋科学研究院, 上海 201306; 3. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 于 2012 年 11 月、2013 年 2 月、5 月和 8 月 4 个航次对渤海长岛海域的浮游动物种类组成和时空分布特征进行调查, 对影响其群落结构时空变化的环境因子进行分析。本次调查共鉴定出浮游动物 38 种(属), 其中, 夏季最多, 共 26 种, 其次是秋季 23 种, 春季和冬季最少, 分别是 14 种和 13 种。浮游动物优势种具有显著的四季演替现象。春季, 优势种是墨氏胸刺水蚤 (*Centropages mcmurrichi*) 和中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*); 强壮箭虫 (*Sagitta crassa*)、长腕幼虫 (*Ophiopluteus* larva) 和糠虾幼体 (*Mysidacea* larva) 取代两种桡足类成为夏季的优势种; 秋季优势种类仅为强壮箭虫 1 种; 冬季除了强壮箭虫, 墨氏胸刺水蚤和中华哲水蚤又重新成为优势种。浮游动物丰度季节变化明显, 春季平均 1 952.74 ind/m<sup>3</sup>, 夏季平均 352.51 ind/m<sup>3</sup>, 秋季和冬季丰度最低, 分别为 87.38 ind/m<sup>3</sup> 和 79.95 ind/m<sup>3</sup>。Shannon-Wiener 多样性指数 (*H*) 变化范围是 0.222 ~ 2.766, 平均值 1.190, 均匀度指数 (*J*) 在 0.121 ~ 0.940 之间, 平均值 0.444。分析表明, 海水温度、盐度、浮游植物丰度和水团等是影响渤海长岛海域浮游动物时空分布特征的关键因子。

**研究亮点:** 首次对渤海长岛海域浮游动物种类组成和数量的时空分布进行调查, 阐明了该海域浮游动物群落结构的季节变化特征, 分析表明海水温度、盐度、浮游植物细胞丰度和水团等是影响渤海长岛海域浮游动物时空分布特征的关键因子。

**关键词:** 浮游动物; 渤海; 长岛海域; 种类组成; 优势种; 丰度

**中图分类号:** S 917

**文献标志码:** A

浮游动物是海洋生态系统中重要的组成部分, 为海洋食物网的重要一环<sup>[1]</sup>, 一方面, 通过摄食和被摄食影响海洋初级生产者和更高营养级生物的组成和数量变动, 将浮游植物通过光合作用固定的能量向更高营养级传递<sup>[2]</sup>; 另一方面, 作为海洋生物泵的主要驱动者, 在生源要素循环中起着重要的作用<sup>[3]</sup>。因此, 我国从 20 世纪 50 年代末期开始, 对海洋浮游动物的研究愈加关注<sup>[4]</sup>。

渤海是我国北方重要的渔场, 属半封闭的内海, 平均深度为 18 m, 最深处约为 70 m, 有黄河、海河及其他河流注入<sup>[5]</sup>。海水和淡水的混合与水环境的季节变化是影响渤海浮游动物群落结构的两个重要因子<sup>[6]</sup>。毕洪生等<sup>[7]</sup>分析了

1958 - 1959 年全国海洋普查渤海中网浮游动物的种类组成。1975 - 1980 年和 1984 - 1985 年, 国家海洋局先后两次组织对渤海、黄海和东海等海域进行海洋综合调查, 依据这些调查的结果绘制了《渤海、黄海、东海海洋图集》, 包括大量的浮游动物分布资料<sup>[8]</sup>。孟凡等<sup>[9]</sup>在 1984 年 8 月、11 月和 1985 年 2 月、5 月对渤海浮游动物进行调查, 分析并总结浮游动物的种类组成和生态特性。王克等<sup>[10]</sup>于 1998 年秋季和 1999 年春季对渤海浮游动物群落进行了系统的调查, 就优势种的种类及其丰度分布加以描述。钟贻诚等<sup>[11]</sup>对渤海北塘河口浮游动物的种类组成和数量变动规律加以探讨, 并对其优势种类与盐分的关系进行了初步分析。

收稿日期: 2014-11-12      修回日期: 2015-03-31

基金项目: 国家科技支撑计划 (2012BAC07B031); 国家科技基础性工作专项 (2012FY112500); 海洋公益性行业科研专项 (201305009, 201005009 - 5)

作者简介: 韦章良 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态与修复。E-mail: 315907746@qq.com

通信作者: 霍元子, E-mail: yzhuo@shou.edu.cn

当前,对我国岛群海域的研究已有报道。纪焕红等<sup>[12]</sup>在 2006 年报道了南麂列岛海域浮游动物丰度和生物量的分布状况、季节变动及其与环境因子的关系。俞存根等<sup>[13]</sup>于 2011 年对舟山群岛浮游动物种类组成及群落结构特征进行了研究分析。长岛海域位于山东半岛北部,南北纵列于山东半岛和辽东半岛的黄、渤海交汇处,占据渤海海峡的 2/3<sup>[14]</sup>,地处温带,具有明显的季节变化,水流速度快且营养盐丰富,在海洋生态系统中占有不可轻视的地位。针对该岛群海域浮游动物的研究未见报道。本文于 2012 年 11 月(秋季)、2013 年 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)对该海域进行采样调查,对其种类组成、数量分布和优势种的季节演替进行研究,对影响其时空分布的环境因子进行探讨,为长岛海域生态系统的保护和开发利用提供科学依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 采样时间、区域和方法

于 2012 年 11 月、2013 年 2 月、5 月和 8 月对渤海长岛海域进行 4 个航次调查,调查的范围为 120°35'20" ~ 120°46'0"E, 37°53'20" ~ 38°0'0"N, 共设置 21 个采样站位(图 1)。4 次采样调查水深范围是 5 ~ 27 m, 平均水深 14 m, 使用浅水 I 型浮游生物网(网长 145 cm, 网口面积 0.2 m<sup>2</sup>, 筛绢孔径 505 μm), 由底层到表层进行垂直拖网, 网具上附加流量计记录滤水量。采集浮游动物样品后保存于 5% 甲醛海水溶液中。在每一站位采集表层 500 mL 浮游植物水样, 用中性甲醛溶液固定, 带回实验室内, 按 Utermöhl 方法进行分析并计数。现场应用 YSI 多参数水质分析仪测定水体温度(T)和盐度(S)等参数。

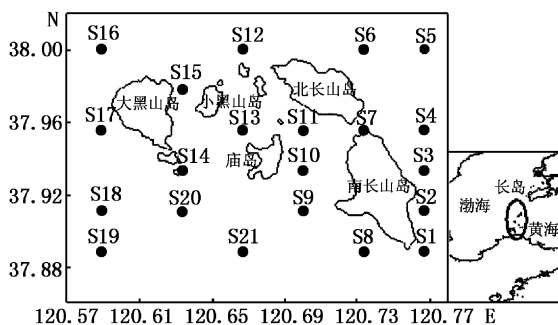


图 1 长岛采样站位图

Fig. 1 The sketch map of sampling stations

### 1.2 浮游动物样品分析

浮游动物样品带回实验室内挑除杂质后,对大型和稀有浮游动物全瓶计数,余下的样品经 Folsom 分样器分成 1/2 ~ 1/10 后,在解剖镜下全部计数。依据流量计记录的滤水量,以浮游动物总个数除以各个站位滤水量即得各个站位浮游动物的丰度(ind/m<sup>3</sup>)。

浮游动物物种多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 指数( $H$ ),计算公式为:

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

式中: $H$  为种类多样性指数; $S$  为样品中的种类总数; $P_i$  为第  $i$  种的个体数与总个体数的比值。

优势种( $Y$ )计算公式为

$$Y = f_i \times P_i \quad (2)$$

式中: $Y$  为优势度; $f_i$  为第  $i$  种在采样点中出现的频率; $P_i$  为第  $i$  种占总数量的比例, $Y \geq 0.02$  时,定为优势种。

Pielou 均匀度指数( $J$ )计算公式为:

$$J = H / \log_2 S \quad (3)$$

式中: $H$  为种类多样性指数; $S$  为样品中的种类总数。

### 1.3 数据处理

浮游动物数据用 Excel 2007 进行处理;应用 SPSS 13.0 软件对调查数据进行双因素方差分析(ANOVA);应用 Surfer 8.0 软件对调查的站位和相关数据进行作图。

## 2 结果

### 2.1 海区环境特征

长岛海域冬季大风频繁,有利于黄海暖流北上增强海水流动,暖水舌沿黄海中央自南向北延伸至渤海海峡附近;春季开始至夏季 7 月,黄海冷水团中心影响范围逐渐扩大,一个冷中心位于渤海海峡东侧<sup>[15]</sup>。渤海海域鱼类常见种类为花鲈(*Lateolabrax japonicus*)、黄鲫(*Setipinna tenuifilis*)、银鲳(*Pampus argenteus*)和中华栉孔鲈(*Ctenotrypauchen chinensis*),常见种的渔获量占鱼类总捕获量的 90.98%,斑鲈(*Clupanodon punctatus*)是该海域夏季鱼类的优势种<sup>[16]</sup>。

长岛海域水温 4 季变化明显,春季和夏季平均水温分别是 10.8 °C 和 26.5 °C,秋季和冬季平均水温是 14.3 °C 和 3.0 °C。春季和冬季盐度较高,平均为 30.66 和 30.58,秋季盐度平均为

29.43, 夏季盐度最低, 平均为 27.00。

浮游植物四季平均细胞丰度呈现春 > 冬 > 秋 > 夏季的变化趋势。冬季浮游植物平均细胞丰度为  $20.33 \times 10^7$  cells/m<sup>3</sup>, 到春季缓慢升高, 平均值为  $35.85 \times 10^7$  cells/m<sup>3</sup>, 春、冬季的平均细胞丰度显著高于夏季  $0.21 \times 10^7$  cells/m<sup>3</sup> 和秋季  $0.64 \times 10^7$  cells/m<sup>3</sup>。就种数而言, 硅藻 (Bacillariophyta) 在春秋两季占优势, 夏季则为

甲藻 (Dinophyta)。其中柔弱几内亚藻 [ *Guinardia delicatula* (Cleve) Hasle ]、裸甲藻 ( *Gymnodinium* sp. )、具槽帕拉藻 [ *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve ] 和太平洋海链藻 ( *Thalassiosira pacifica* Gran & Angst ) 分别为春夏秋冬的主要优势种。春季浮游植物细胞丰度由西部向东部海域逐渐增加, 夏季和秋季岛间丰度小于岛外海域, 冬季中南部海域的丰度高于其他站位 (图 2)。

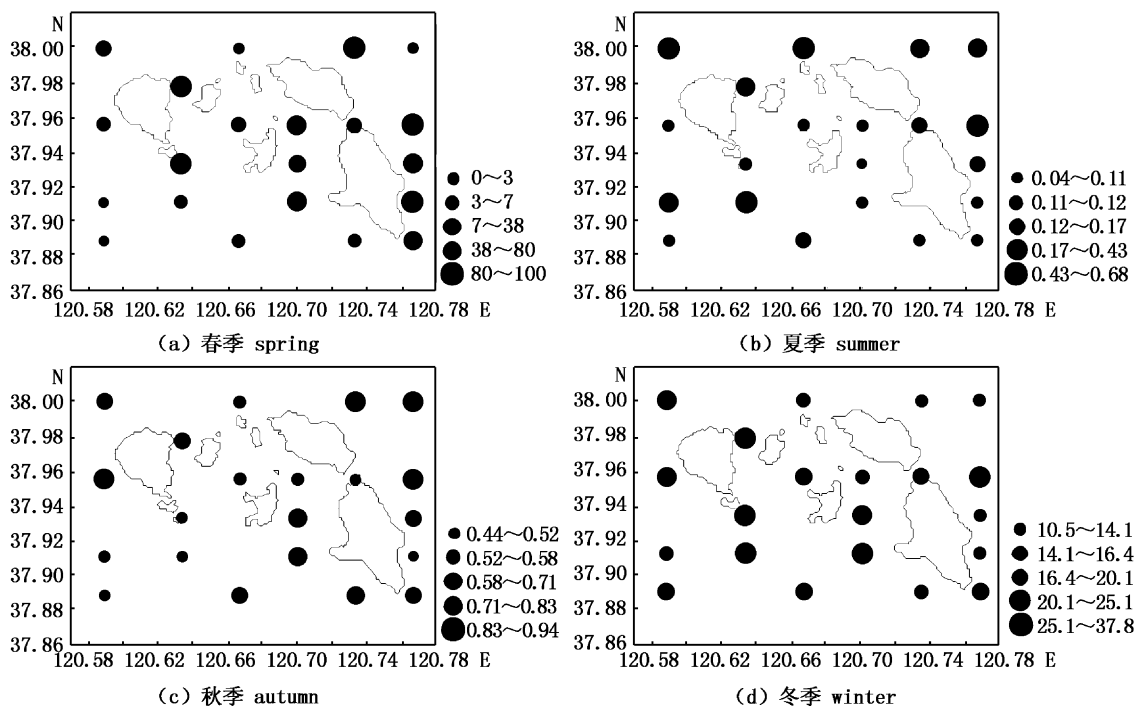


图 2 浮游植物 4 季细胞丰度平面分布图 (  $\times 10^7$  cells/m<sup>3</sup> )

Fig. 2 The horizontal distribution of phytoplankton abundance in different seasons (  $\times 10^7$  cells/m<sup>3</sup> )

## 2.2 种类组成和优势种的季节变化

本次调查共鉴定浮游动物 38 种 (属), 其中最多的是浮游幼虫 13 种, 占种类数的 34.21%, 多数出现在夏季; 其次是桡足类 10 种, 占种类数的 26.32%。另外有毛颚动物 1 种, 端足类 3 种, 水母类 5 种, 涟虫 2 种, 磷虾类 1 种, 糠虾类 3 种, 多毛类 1 种。调查海域种类数季节变化明显, 整体呈现夏秋多、春冬少的格局。夏季种类最多, 26 种; 其次是秋季 23 种; 春季、冬季种类数分别是 14 种和 13 种 (表 1)。

不同季节出现的优势种不尽相同, 具有明显

的四季演替现象 (表 2)。春季优势种有 2 种, 均为桡足类, 分别是墨氏胸刺水蚤 ( *Centropages mcmurrici* ) 和中华哲水蚤 ( *Calanus sinicus* ); 到了夏季, 浮游幼虫和毛颚类取代了春季的 2 种桡足类, 长腕幼虫 ( *Ophiopluteus larva* )、糠虾幼体 ( *Mysidacea larva* ) 和强壮箭虫 ( *Sagitta crassa* ) 成为优势种; 秋季浮游幼虫数量骤减, 优势种仅有强壮箭虫 1 种; 冬季优势种数增加, 强壮箭虫依然占据很大优势, 除此以外, 2 种桡足类墨氏胸刺水蚤和中华哲水蚤恢复其优势种地位。

表 1 长岛海域浮游动物种类组成  
 Tab. 1 List of zooplankton species in Changdao sea area

名称 name	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
桡足类 Copepoda				
1. 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	✓	✓	✓	✓
2. 墨氏胸刺水蚤 <i>Centropages mcmurrici</i>	✓	✓		✓
3. 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	✓	✓	✓	✓
4. 小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	✓	✓	✓	✓
5. 拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i>		✓	✓	
6. 尖额潜水蚤 <i>Euterpina acutifrons</i>		✓		
7. 背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>		✓		
8. 双刺唇角水蚤 <i>Labidocera bipinnata</i>		✓	✓	
9. 真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>		✓	✓	
10. 挪威小星猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>		✓		
浮游幼虫 Larva				
1. 长腕幼虫 <i>Ophiopluteus larva</i>	✓	✓		✓
2. 糠虾幼体 <i>Mysidacea larva</i>	✓	✓	✓	
3. 溞状幼虫 <i>Porcellana zoea</i>	✓	✓		
4. 桡足类无节幼虫 <i>Nauplius larva</i>	✓	✓	✓	✓
5. 疣足幼虫 <i>Nectochaeta larva</i>		✓	✓	
6. 短尾类大眼幼虫 <i>Megalopa larva</i>		✓		
7. 阿利玛幼虫 <i>Alima larva</i>		✓		
8. 稚鱼 <i>Fish larva</i>		✓		
9. 稚蟹 <i>Crab larva</i>		✓		
10. 鱼卵 <i>Fish eggs</i>	✓	✓		
11. 沙蚕类幼虫 <i>Polychaeta larva</i>	✓	✓	✓	✓
12. 长尾类溞状幼虫 <i>Maeruran larva</i>		✓		
13. 细长脚蚴幼体 <i>Gracilipes larva</i>	✓			
毛颚动物 Chaetogantha				
1. 强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	✓	✓	✓	✓
端足类 Amphipoda				
1. 细长脚蚴 <i>Themisto gracilipes</i>	✓	✓		✓
2. 蚴亚目 <i>Hyperiidea sp.</i>		✓	✓	
3. 钩虾亚目 <i>Gammaridea sp.</i>			✓	
水母类 Medusae				
1. 拟杯水母 <i>Phialucium carolinae</i>			✓	
2. 栉水母 <i>Ctenophora sp.</i>		✓		
3. 菽枝螅水母 <i>Obelia sp.</i>		✓	✓	
4. 钟泳亚目 <i>Calycophorae sp.</i>			✓	
5. 印度八拟杯水母 <i>Octophialucium indicum</i>	✓			
涟虫类 Cumacea				
1. 三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i>			✓	✓
磷虾类 Euphausiacea				
1. 中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>				✓
糠虾类 Mysidacea				
1. 黄海刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>			✓	✓
2. 漂浮囊糠虾 <i>Gastrosaccus pelagicus</i>			✓	
3. 长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	✓	✓	✓	
多毛类 Polychaetes				
1. 浮蚕 <i>Tomopteris sp.</i>			✓	

表 2 长岛海域浮游动物优势种及其优势度

Tab. 2 Dominant zooplankton species and dominance in Changdao sea area

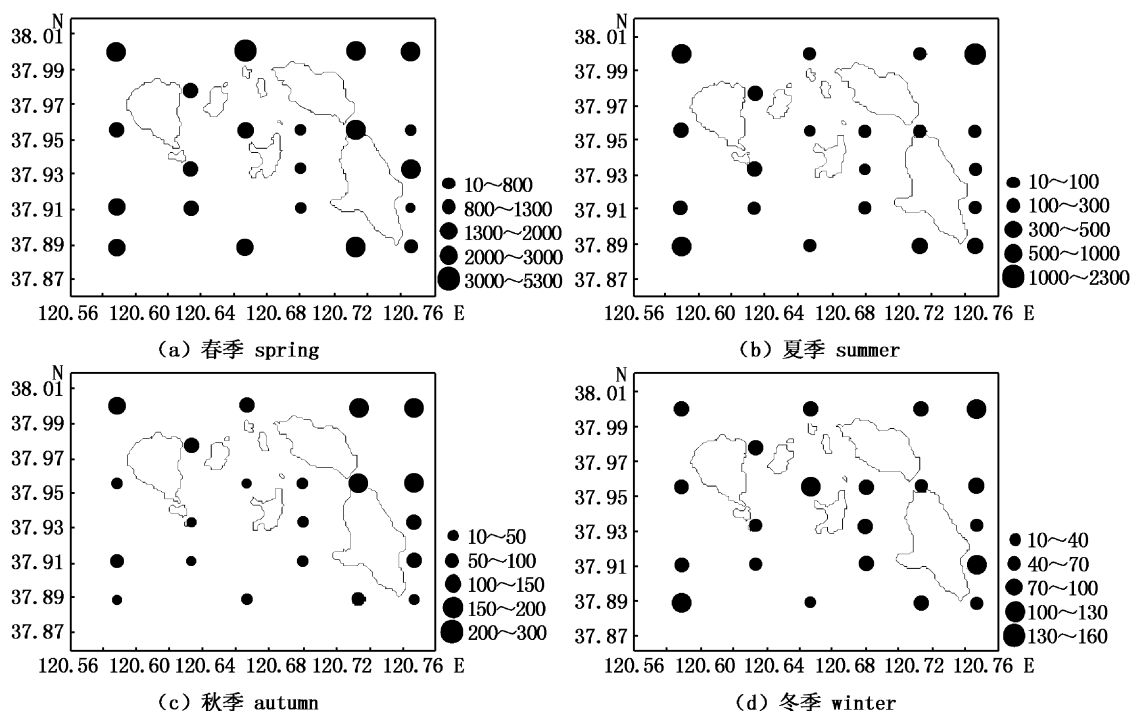
名称 item	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	-	0.38	0.56	0.46
墨氏胸刺水蚤 <i>Centropages mcmurrici</i>	0.55	-	-	0.02
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.42	-	-	0.28
长腕幼虫 <i>Ophiopluteus larva</i>	-	0.46	-	-
糠虾幼体 <i>Mysidacea larva</i>	-	0.03	-	-

### 2.3 丰度的时空分布特征

从 4 个季节大网样品鉴定可知长岛海域浮游动物种类主要为暖温带近岸低盐种类。春季浮游动物丰度达到最高峰, 春夏两个季节站位间差距较大, 呈斑块状分布; 秋冬 2 个季节随着水温的下降, 浮游动物丰度下降明显, 各站位分布趋于均匀(图 3)。

春季, 调查海区各站位浮游动物丰度在 66.33 ~ 5 287.50 ind/m<sup>3</sup> 之间, 平均丰度值为 1 952.74 ind/m<sup>3</sup>, 丰度分布不均匀, 岛间海域丰

度较小; 随着水温的上升, 种类数不断增多, 浮游动物大量繁殖, 幼虫数量增长最快。夏季各站位浮游动物丰度为 72.86 ~ 2 156.82 ind/m<sup>3</sup>, 平均丰度值为 352.51 ind/m<sup>3</sup>, 丰度向西北部逐渐增加; 秋季, 调查海区丰度下降明显, 东北部的站位浮游动物丰度较高, 各站位丰度在 11.88 ~ 294.80 ind/m<sup>3</sup> 之间, 丰度平均值是 87.380 ind/m<sup>3</sup>; 冬季浮游动物种类数量和丰度值持续下降, 全年最低水平, 各个站位之间的丰度在 33.25 ~ 137.73 ind/m<sup>3</sup> 之间, 平均值是 79.95 ind/m<sup>3</sup>。

图 3 浮游动物 4 季丰度平面分布图 (ind/m<sup>3</sup>)Fig. 3 The horizontal distribution of zooplankton abundance in different seasons (ind/m<sup>3</sup>)

### 2.4 多样性的时空分布特征

夏季和冬季航次的多样性指数明显高于春季和秋季。冬季航次鉴定物种仅 13 种, 但是由

于调查海域在该季节的优势种强壮箭虫、中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤所占优势不明显, 因此多样性指数偏高。春、秋季的种类数和多样性指数相

一致。Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H$ ) 呈现夏季 > 冬季 > 春季 > 秋季的趋势; 均匀度指数 ( $J$ ): 冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季, 4 个季节的  $H$  值、 $J$  值变化趋势并无太大差异, 与各季节的种类数并没有直接关系。

春季浮游动物  $H$  值在 0.55 ~ 1.15 之间, 平均值为 0.85。岛间海域比岛外海域偏低, S1、S2 站位靠近南长山岛,  $H$  值也偏低, 分别为 0.79 和 0.62,  $J$  值在岛屿间偏低, 平均值是 0.33。其他岛屿外海域分布比较均匀, 但是 S12 偏低, 为 0.19, S19 最高, 为 0.49; 夏季航次, 浮游动物  $H$  值西部海区 (1.61 ~ 2.77) 比东部海区 (1.06 ~ 1.22) 高,

两部分海区多样性指数比较均匀,  $J$  值各站位分布比较均匀, 平均值为 0.53, 其中, S8 和 S15 站位值最低, 分别为 0.29、0.23; 秋季航次, 浮游动物  $H$  值岛间海域 (0.22 ~ 0.49) 和西南部海域 (0.25 ~ 0.52) 偏低, 但是岛间海域 S10 偏高, 为 0.95, 岛外 S29 值为 0.64, 东北部海域指数较高, 变化范围在 0.31 ~ 1.02 之间,  $J$  值仅 S20 站位较高为 0.72, 在其他站位分布也比较均匀; 冬季航次, 浮游动物  $H$  值 S8 站位偏高, 为 2.32, 此站位位于庙岛和长岛之间, 其余站位分布比较均匀, 都在 1.25 ~ 1.77 之间,  $J$  值各站位分布也比较均匀, 平均值为 0.66 (图 4)。

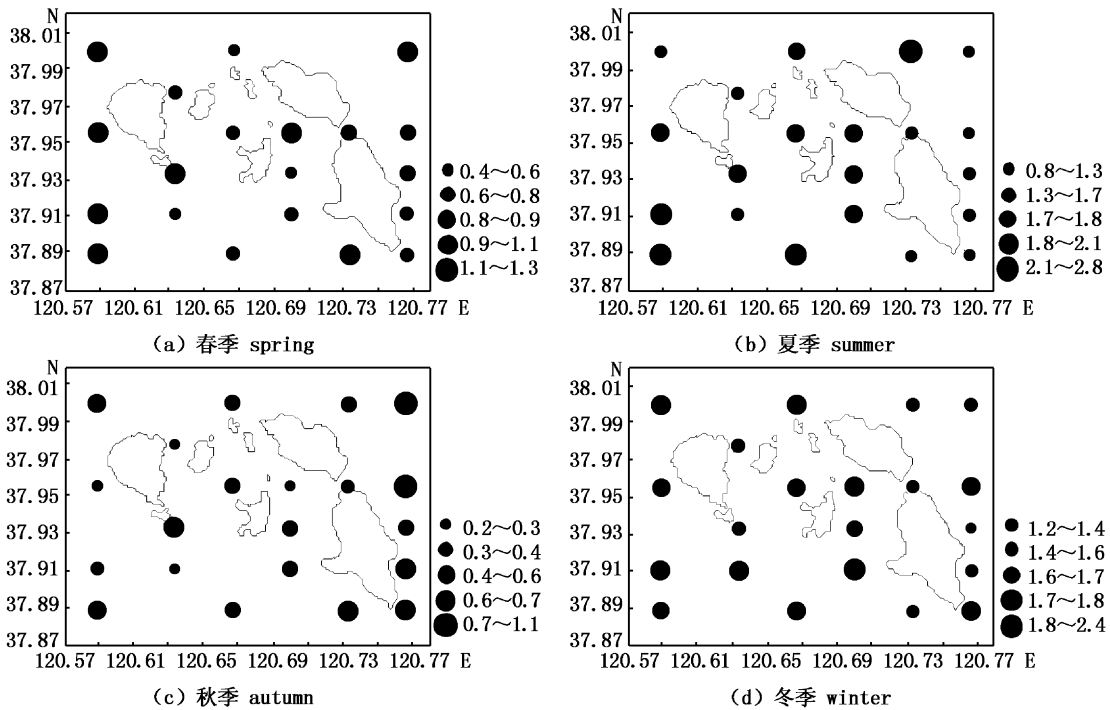


图 4 4 季 Shannon-Wiener 指数平面分布图  
Fig. 4 The horizontal distribution of Shannon-Wiener index in different seasons

2.5 浮游动物丰度与水环境因子的相关性

由表 3 可知, 长岛海域浮游动物丰度的全年变化与浮游植物丰度和盐度显著相关。就各季节而言, 该海域浮游动物丰度和秋季温度相关性极显著, 与冬季温度显著相关; 此外, 夏季盐度和浮游动物丰度显著负相关, 而浮游动物丰度和浮游植物丰度在各季节间均无显著的相关性。

表 3 浮游动物丰度与水环境因子的相关系数

Tab. 3 Pearson correlation coefficients between zooplankton abundance and environmental factors

季节 season	变异来源 source of variables		
	浮游植物丰度 phytoplankton abundance	温度 water temperature	盐度 salinity
春季 spring	-0.25	-0.283	0.398
夏季 summer	0.17	-0.025	-0.525 *
秋季 autumn	0.412	0.733 **	0.394
冬季 winter	-0.366	0.443 *	0.143
全年 the whole year	0.246 *	-0.063	0.270 *

注: \* 表示相关性显著  $P < 0.05$ ; \*\* 表示相关性极显著  $P < 0.01$ 。  
Note: \* means significant difference,  $P < 0.05$ ; \*\* means highly significant difference,  $P < 0.01$ .

### 3 讨论

#### 3.1 浮游动物群落结构的季节变化

浮游动物群落在不同的季节和不同水环境等因素的综合作用下,其种类数和丰度等都在不断地变动。白雪娥等<sup>[17]</sup>、孟凡等<sup>[9]</sup>和王克等<sup>[10]</sup>报道称渤海桡足类的种类分别是 21、18 和 16 种,本文只针对长岛海域,一共鉴定出 10 种桡足类。夏季浮游动物种类数达到最高峰,物种多样性指数较高。种类数在秋季依然有一个小高峰,到冬季和春季种类数迅速减少。

长岛海域优势种突出,季节性演替显著。王克等<sup>[10]</sup>报道渤海中南部春季的优势种为中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤,秋季优势种有 3 种,分别是中华哲水蚤、真刺唇角水蚤和强壮箭虫。强壮箭虫属于广温近岸种,肉食性浮游动物,是浮游动物种群的重要组成者。长岛海域春季平均盐度最高,为 30.66。郑执中<sup>[18]</sup>调查发现在盐度小于 31 或者更低的海区,适合一些温带广温低盐近岸种或内湾性种类和个别适温、适盐范围较广的温带外海种生存。本次调查发现,夏季开始,强壮箭虫逐渐成为长岛海域的优势种,到了秋季,优势种仅有强壮箭虫一种,优势度高达 0.56,占总丰度的 90.29%,各站位均有出现,分布极为广泛。冬季优势度逐渐下降,直到春季,数量依然较多,但不再是优势种。霍元子等<sup>[19]</sup>在研究南黄海强壮箭虫生活史中发现其有 5 个世代,其中,世代 4(7-11 月)和世代 5(10-5 月)分别为夏季-秋季和秋季-春季世代,这两个世代强壮箭虫的生长率最大。

冬季的优势种除了强壮箭虫,还有中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤,但是桡足类的优势度比起强壮箭虫不明显;到了春季,优势种类仅为这 2 种桡足类,优势度比起冬季显著增加,桡足类丰度占总丰度的 97.73%。夏季中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤丰度迅速下降,而在部分水温较低的站位仍然可以发现,到秋季丰度缓慢上升。中华哲水蚤是偏低温高盐的温带近海类型,难以耐受夏季高温。孟凡等<sup>[9]</sup>在研究江苏海岸带时认为,在夏季,水温通常在 26℃ 以上,中华哲水蚤基本消失;在部分水温较低的海域,依然可以发现少量的中华哲水蚤。在本次夏季航次调查中,中华哲水蚤在 8 个站位出现,这些站位均分布在水温较

低的长岛外海域。渤海海峡是北黄海冷水团的边缘,此时黄海冷水团已逐步进入旺盛时期,致使得海峡口的等温线密集,其低温水舌从北黄海沿老铁山水道伸入渤海<sup>[20]</sup>。中华哲水蚤全年出现在渤海,主要有两个原因:第一,夏季渤海湾出现一个低温中心,与渤海海峡连接构成一条低温带,广温性的中华哲水蚤出现在部分渤海海域;第二,是中华哲水蚤在渤海部分海域形成越冬的群体<sup>[21]</sup>。

浮游幼虫是多种海洋动物的早期发育阶段,同时也是大中型肉食性浮游动物和鱼虾的优质饵料。浮游幼虫在长岛海域四季均有出现,其中夏季种类和数量最多。王学锋等<sup>[22]</sup>在研究北部湾浮游幼虫群落结构中认为水温是影响浮游幼虫与其生境之间关系的首要因素。长岛海域夏季浮游幼虫的优势种为长腕幼虫和糠虾幼体,其他季节 2 种幼虫也有出现,但数量和范围很小。长岛海域春季水温上升,饵料浮游植物丰度高,适合糠虾类大量繁殖。郑严<sup>[23]</sup>对南海黑褐新糠虾的生活史研究中发现,该种糠虾的生殖和寿命与水温有明显关系,最适温度在 15~20℃,春季世代在 5-6 月份开始生殖,直到 7-8 月份。

#### 3.2 浮游动物丰度的变化与分析

冬季调查期间浮游植物大量繁殖生长,尤其是硅藻,最适合硅藻生长的温度一般低于 18℃<sup>[24-25]</sup>,调查期间该海域春季、秋季和冬季水温均低于 14.3℃,其中柔弱几内亚藻、具槽帕拉藻和太平洋海链藻分别在春季、秋季和冬季的优势度超过 0.5。浮游植物细胞丰度由秋季开始持续增加,达到一个小高峰,春季达到最高峰,为之后浮游动物丰度的爆发提供丰富的饵料。范凯<sup>[26]</sup>在 2003-2004 年对渤海湾浮游动物调查中报道春季浮游动物丰度达到最高为 7 047.2 ind/m<sup>3</sup>,其次是夏季 2 633.3 ind/m<sup>3</sup>,秋季、冬季分别为 596.4 ind/m<sup>3</sup> 和 328.9 ind/m<sup>3</sup>,四季丰度均高于本文调查海域的丰度,但呈现春季 > 夏季 > 秋季 > 冬季的变化趋势与本文一致。长岛海域春季浮游动物丰度最高,明显大于其他 3 个季节,由西南向东北呈增加的趋势,与浮游植物空间分布特征基本一致,其中,桡足类占有绝对优势,其次是毛颚动物。夏季浮游动物丰度下降,但仍高于秋冬季节。一方面是鱼类等前来索饵,并在海区产卵,繁殖后代,本次调查中,5 月份发现鱼卵,

8 月份出现稚鱼和稚蟹<sup>[27]</sup>;另一方面,夏季浮游植物细胞丰度骤减至春季丰度的 0.58%。秋冬季节的丰度仅为春季的 4%~4.5%。有研究表明近海浮游植物沿盐度梯度变化<sup>[28]</sup>,本文研究海域盐度呈现春>冬>秋>夏的季节分布,为浮游植物生长繁殖提供有利条件。同时,郑重等<sup>[29]</sup>在烟、威海渔场对墨氏胸刺水蚤的研究发现,四月初墨氏胸刺水蚤在北黄海近岸水域开始大量出现,之后进入渤海。

春末、夏季浮游幼虫种类和数量增长较快,占总丰度的 57.69%,长腕幼虫、糠虾幼体、溞状幼虫和桡足类无节幼虫是主要的浮游幼虫。张武昌和王荣<sup>[30]</sup>调查黄海胶州湾指出,桡足类幼虫在 8、9 月份最多,这与桡足类在夏季繁殖有关。夏季桡足类种类最多,春季的 2 个桡足类优势种已不是优势种,丰度比例达到最低,为 5.85%。此后桡足类数量不断增长,到了冬季,中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤开始成为优势种,直到第二年的春季,丰度逐渐增高。

此外,糠虾幼体大量出现在夏季,秋季调查中鉴定出的 3 种糠虾,分别是黄海刺糠虾、漂浮囊糠虾和长额刺糠虾,与毕洪生等<sup>[7]</sup>分析 1959 年全国海洋普查中网浮游动物标本得出的糠虾种类一致。水母类具有很强的季节性,夏季只有菽枝螵水母 1 种,在 S4、S11 和 S28 3 个站位出现,数量较少,平均丰度为 0.08 ind/m<sup>3</sup>;秋季航次种类增加到 5 种,主要分布在长岛海域东部,平均丰度是 0.35 ind/m<sup>3</sup>。除了菽枝螵水母,还有拟杯水母、栉水母和印度八拟杯水母,其他两个季节水母类基本没有分布。

#### 参考文献:

- [1] 霍元子. 黄海浮游动物功能群的研究[D]. 中国科学院研究生院(海洋研究所),2008.  
HUO Y Z. Study on the zooplankton functional groups in the Yellow Sea [D]. University of Chinese Academy of Sciences (Chinese Academy of Sciences Institute of Oceanography), 2008.
- [2] 张武昌,王荣. 海洋微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力[J]. 生态学报,2001,21(8):1360-1368.  
ZHANG W C, WANG R. Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton and primary production in marine ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001,21(8): 1360-1368.
- [3] POMEROY L R. The oceans food web, a changing paradigm [J]. BioScience, 1974, 24: 499-504.
- [4] 徐兆礼. 中国海洋浮游动物研究的新进展[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2006,45(s2):16-23.  
XU Z L. Advance and future of our study on marine zooplankton [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2006, 45(s2):16-23.
- [5] 张耀光,关伟,李春平,等. 渤海海洋资源的开发与持续利用[J]. 自然资源学报,2002,17(6):768-775.  
ZHANG Y G, GUAN W, LI C P, et al. A study on the exploitation and the sustainable utilization of marine resources in the Bohai Sea [J]. Journal of Natural Resources, 2002,17(6):768-775.
- [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 W C, WANG K, GAO S W, et al. Zooplankton in the Bohai Sea in spring and autumn [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2002,33(6):630-639.
- [7] 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 H S, SUN S, GAO S W, 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.
- [8] 张金标,宁修仁. 黄,渤,东海海洋图集-海洋生物图集[M]. 北京:海洋出版社,1991:1-250.  
ZHANG J B, NING X R. The Yellow, Bo, East China Sea Marine Atlas [M]. Beijing: The Ocean Press, 1991:1-250.
- [9] 孟凡,丘建文,吴宝铃. 黄海大海洋生态系的浮游动物[J]. 黄渤海海洋,1993,11(3):30-37.  
MENG F, QIU J W, WU B L. Zooplankton of the Yellow Sea large marine ecosystem [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1993, 11(3):30-37.
- [10] 王克,张武昌,王荣,等. 渤海中南部春秋季节浮游动物群落结构[J]. 海洋科学集刊,2002,44:34-42.  
WANG K, ZHANG W C, WANG R, 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.
- [11] 钟贻诚,李玉和,张鑫光. 北塘河口浮游动物生态的初步研究[J]. 生态学报,1984,4(4):393-400.  
ZHONG Y C, LI Y H, ZHANG L G. Preliminary ecological survey of zoology of the zooplanktons in the Beitang Estuary [J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(4):393-400.
- [12] 纪焕红,叶属峰,刘星,等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游动物的物种组成及其多样性[J]. 海洋通报,2006,26(1):206-215.  
JI H H, YE S F, LIU X, et al. Temporal and spatial distribution of abundance and biomass of zooplankton in the Nanji Islands marine nature reserve [J]. Marine Science Bulletin, 2006, 26(1):206-215.



- [13] 俞存根, 陈小庆, 胡颖琰, 等. 舟山渔场及邻近海域浮游动物种类组成及群落结构特征[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 183-193.  
YU C G, CHEN X Q, HU H Y, et al. Species composition and community structure characteristics of zooplankton in the Zhoushan fishing ground and its adjacent area [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(1): 183-193.
- [14] 刘良忠, 柳新华, 杜世纯. 渤海海峡跨海通道对长岛经济发展影响及对策探讨[J]. 海洋开发与管理, 2013, 1(10): 103-108.  
LIU L Z, LIU X H, DU S C. The Bohai Strait Sea-crossing passage effect on Changdao economic development and the countermeasures [J]. Marine Development and Management, 2013, 1(10): 103-108.
- [15] 于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. 海洋学报中文版, 2006, 28(5): 26-34.  
YU F, ZHANG Z X, DIAO X Y, et al. Analysis of evolution of the Huanghai Sea Cold Water Mass and its relationship with adjacent water masses [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(5): 26-34.
- [16] 单秀娟, 金显仕, 李忠义, 等. 渤海鱼类群落结构及其主要增殖放流鱼类的资源量变化[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 1-9.  
SHAN X J, JIN X S, LI Z Y, et al. Fish community structure and stock dynamics of main releasing fish species in the Bohai Sea [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(6): 1-9.
- [17] 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, 13(12): 71-91.  
BAI X E, ZHUANG Z M. Studies on the fluctuation of zooplankton biomass and its main species number in the Bohai Sea [J]. Marine Fisheries Research, 1991, 13(12): 71-91.
- [18] 郑执中. 黄海和东海西部浮游动物群落的结构及其季节变化[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(3): 199-204.  
ZHENG Z Z. The structure of zooplankton communities and its seasonal variation in the Yellow Sea and in the Western East China Sea [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1965, 7(3): 199-204.
- [19] 霍元子, 孙松, 杨波. 南黄海强壮箭虫 (*Sagitta crassa*) 的生活史特征[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(2): 180-185.  
HUO Y Z, SUN S, YANG B. Life cycle of the chaetognath *Sagitta crassa* in the Southern Yellow Sea, China. [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2010, 41(2): 180-185.
- [20] 鲍献文, 万修全, 吴德星, 等. 2000年夏末和翌年初冬渤海水文特征[J]. 海洋学报中文版, 2004, 26(1): 14-24.  
BAO X W, WANG X Q, WU D X, et al. Hydrologic characteristics of the end summertime in 2000 and early wintertime in 2001 in the Bohai Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 14-24.
- [21] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 II. 桡足类数量分布及变动[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 177-185.  
BI H S, SUN S, GAO S W, et al. The ecological characteristics of zooplankton community in the Bohai Sea II. The distribution of copepoda abundance and seasonal dynamics [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(2): 177-185.
- [22] 王学锋, 李纯厚, 廖秀丽, 等. 北部湾浮游幼虫群落结构及其环境适应性分析[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(4): 529-534.  
WANG X F, LI C H, LIAO X L, et al. Community structure and environmental adaptation of the planktonic larvae in Beibu Gulf [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(4): 529-534.
- [23] 郑严. 黑褐新糠虾生物学的研究 - II. 生活史的研究[J]. 海洋与湖沼, 1984, 15(4): 287-298.  
ZHENG Y. On the biology of *Neomysis Awatschensis* (Crustacea Mysidacea) II. life history [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1984, 15(4): 287-298.
- [24] Da SSLILVA C A, TRAIN S, RODRIGUES L C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system [J]. Hydrobiologia, 2005, 537(1/3): 99-109.
- [25] WASMUND N, TUIMALA J, SUIKKANEN S, et al. Long-term trends in phytoplankton composition in the western and central Baltic Sea [J]. Journal of Marine Systems, 2011, 87(2): 145-159.
- [26] 范凯. 渤海湾浮游动物群落结构及水质生物学评价[D]. 天津: 天津大学, 2007.  
FAN K. Community of zooplankton and assessment to water quality in Bohai Bay [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [27] 田丰歌, 徐兆礼. 春夏季苏北浅滩大丰水域浮游动物生态特征[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(3): 316-320.  
TIAN F G, XU Z L. Ecological characters of zooplankton in middle area of Subei Shoal in spring and summer [J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(3): 316-320.
- [28] BERGESCH M, GARCIA M, ODEBRECHT C. Diversity and morphology of *Skeletonema* species in Southern Brazil, Southwestern Atlantic Ocean [J]. Journal of Phycology, 2009, 45(6): 1348-1352.
- [29] 郑重, 郑执中, 王荣, 等. 烟、威海渔场及邻近水域浮游动物生态的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(4): 329-354.  
ZHENG Z, ZHENG Z Z, WANG R, et al. Ecological investigations on the zooplankton of the mackerel fishing ground off Yantai-Weihai and adjacent waters [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1965, 7(4): 329-354.
- [30] 张武昌, 王荣. 胶州湾桡足类幼虫和浮游生纤毛虫的丰度与生物量[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 280-287.  
ZHANG W C, WANG R. Abundance and biomass of copepod nauplii and ciliates in Jiaozhou Bay [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2001, 32(3): 280-287.

## Species composition, abundance and distribution of zooplankton along the coast of Chang Island in the Bohai Sea, China

WEI Zhangliang<sup>1,2</sup>, CHAI Zhaoyang<sup>1,2</sup>, SHI Honghua<sup>3</sup>, HUO Yuanzi<sup>1,2</sup>, HE Peimin<sup>1,2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Marine Scientific Research Institute, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, Shandong, China)

**Abstract:** Based on the samples collected from the four cruises carried out in November 2012, February, May and August 2013, the species composition, abundance and distribution of zooplankton along the coast of Chang Island in the Bohai Sea were studied. The results showed that a total of 38 species (genera) of zooplankton were identified. There were 26 and 23 zooplankton species (genera) in summer and autumn, respectively, which were significantly higher than those in spring and winter. Variations in the dominant zooplankton species composition occurred obviously between different seasons. The dominant species were *Centropages mcmurrichi* and *Calanus sinicus* in spring, but replaced completely by *Sagitta crassa*, Ophiopluteus larva and Mysidacea larva in summer. *Sagitta crassa* was the only dominant species in autumn. In addition to *Sagitta crassa*, *Centropages mcmurrichi* and *Calanus sinicus* dominated the zooplankton community in winter. The abundance of zooplankton varied significantly between different seasons. The average abundance of zooplankton was 1 952.74 ind/m<sup>3</sup> in spring, which was significantly higher than those in other seasons. And the average abundance of zooplankton was 352.51 ind/m<sup>3</sup>, 87.38 ind/m<sup>3</sup> and 79.95 ind/m<sup>3</sup> in summer, autumn and winter, respectively. The Shannon-Wiener index (*H*) ranged from 0.222 to 2.766 during the sampling period and the average *H* value was 1.190. Pielou evenness index (*J*) varied from 0.121 to 0.940 with an average of 0.444 during the study period. The most important environmental factors influencing the changes of zooplankton species composition, abundance and distribution were water temperature, salinity, phytoplankton abundance and hydrological conditions along the Coast of Chang Island in the Bohai Sea.

**Key words:** zooplankton; the Bohai Sea; Chang Island; species composition; dominant species; abundance