

黄海夏季虾类群落结构及其与环境因子的关系*

逢志伟 李显森** 应一平 吴强 栾青杉

(中国水产科学研究院黄海水产研究所/农业部海洋渔业可持续发展重点实验室/山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东青岛 266071)

摘要 根据2014年8月在黄海进行的渔业资源和环境综合调查数据,应用相对重要性指数、生物多样性指数和多元统计分析等方法对黄海夏季虾类群落结构及其与环境因子的关系进行了研究.结果表明:本次调查共捕获虾类20种,隶属于3目10科16属.各调查站点虾类相对资源丰度为13~45047 $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$,平均资源丰度为6838 $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$.优势种为脊腹褐虾,常见种为中华安乐虾,偶见种为戴氏赤虾、葛氏长臂虾、口虾蛄.各站点多样性指数(H)变化范围为0.007~1.538,平均值为0.391;丰富度指数(D)变化范围为0.101~1.138,平均值为0.374;均匀度指数(J)变化范围为0.006~0.947,平均值为0.298.等级聚类分析(Cluster)与非度量多维标度分析(MDS)表明,调查范围基本以45 m等深线为界将所有站点分成两个组群:冷水团组群(I)和沿岸组群(II),ANOSIM分析表明两组群差异极显著.BIOENV分析表明,影响黄海夏季虾类群落空间结构的最主要环境因子是底层水温与底层盐度.黄海夏季虾类群落以冷水团组群占绝对优势,黄海冷水团对黄海夏季虾类群落的分布格局具有决定性的影响.

关键词 黄海; 虾类; 群落结构; 多样性; 环境因子

文章编号 1001-9332(2015)11-3509-07 中图分类号 S93 文献标识码 A

Shrimp community structure and its relationships with environmental factors in the Yellow Sea in summer. PANG Zhi-wei, LI Xian-sen, YING Yi-ping, WU Qiang, LUAN Qing-shan (Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture/Shandong Province Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Qingdao 266071, Shandong, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2015, 26(11): 3509-3515.

Abstract: Based on the data collected from the bottom trawl survey in Yellow Sea, August, 2014, the community structure of shrimp assemblage and its relationships with environmental factors in summer was examined by using index of relative importance, ecological diversity indices and multivariate statistical analysis. A total of 20 shrimp species were captured, belonging to 3 orders, 10 families, 16 genera. The relative abundance of shrimp of all stations ranged from 13 to 45047 $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ and its mean value was 6838 $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$. The dominant species was *Crangon affinis*, and the common species was *Eualus sinensis*. The rare species were *Metapenaeopsis dalei*, *Palaemon gravieri* and *Oratosquilla oratoria*. The ranges of Shannon diversity index (H), Pielou's evenness index (J) and the Margalef's species richness index (D) of all stations of the shrimp community structure were 0.007-1.538, 0.101-1.138 and 0.006-0.947, respectively, and the mean values of H , J and D were 0.391, 0.374 and 0.298, respectively. MDS and Cluster analyses revealed that two clusters of Group I named cold water mass group and Group II named coastal group, which were bounded by the 45 m isobaths, were identified for all the sampling stations. Significant difference was detected by ANOSIM analysis between Group I and Group II. BIOENV analysis indicated that bottom temperature and bottom salinity were the most important environmental factors for structuring the spatial distribution of the shrimp assemblage. Cold water mass group accounted for absolute advantage and Yellow Sea cold mass had a decisive influence on the distribution pattern of the shrimp community in the Yellow Sea in summer.

Key words: Yellow Sea; shrimp; community structure; species diversity; environmental factor.

* 国家科技支撑计划项目(2012BAD18B01)和国家国际科技合作专项(2013DFA31410)资助.

** 通讯作者. E-mail: lixs@ysfri.ac.cn

2015-01-08 收稿, 2015-07-27 接受.

黄海位于太平洋西岸,处于中国大陆架边缘,渔业种类较为丰富,渔场众多,是我国重要的渔业水域,也一直是海洋渔业研究的热点水域.对黄海渔业生物群落的研究近些年来逐渐增多,但主要集中于鱼类群落的研究^[1-4].随着我国近海渔业的衰退,对作为鱼类主要饵料生物的虾类群落的研究也逐渐兴起^[5-7].

我国对黄海虾类的研究相对较少,刘瑞玉^[8-10]研究了黄海虾类的地理学区系特征、主要经济种类区系特征等.近年来,对甲壳类群落的研究中亦有涉及虾类,吴强等^[11]研究了黄海春季甲壳类的群落结构、多样性和生物量等,李惠玉等^[12]研究了南黄海底栖甲壳动物组成的季节变化.但是,对黄海虾类群落结构的研究尚显不足.

虾类是诸多鱼类等的主要捕食对象,在海洋生态系统食物链中占有重要地位.虾类一般是指十足目的虾类,而口足目的虾类等由于生态习性、营养级等与十足目的虾类具有较大的相似性,将十足目与口足目的虾类放在一起进行研究得到了一些研究者的认同^[5,13-14].因此,本研究在此基础上进行了扩展,将十足目、口足目和磷虾目的种类统称为“虾类”,并作为一个类群进行相关群落生态学研究.

本文对黄海夏季十足目、口足目和磷虾目虾类群落结构及其与环境因子的关系进行研究,不仅可以丰富我国海洋虾类及其生态学研究的基础资料,而且可以为我国海洋虾类资源的开发与保护对策的制定提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 数据来源

样品采自2014年8月“北斗号”海洋科学调查船进行的1个航次的渔业资源和环境综合调查,调查海域位于黄海海域32°30′—40°N、120°—125°E范围内,共设置67个站点(图1).同步进行相关环境参数的测定,包括水深、水温、盐度等,其中水深采用SIMRAD EK500科学探鱼仪测定,水温、盐度采用SBE-19plus型CTD测定.底拖网网口高度为6.1~8.3 m,网口宽度约25 m,拖曳时间均控制在1 h左右,拖速均控制在3.0 kn左右,虾类样品的采集和现场分析参考《海洋调查规范》^[15]进行,虾类命名参照《中国海洋生物目录》^[16]进行.

1.2 分析方法

数据分析前,先将虾类渔获质量与渔获尾数进行拖网时间(1 h)及拖速(3.0 kn)的标准化处理.

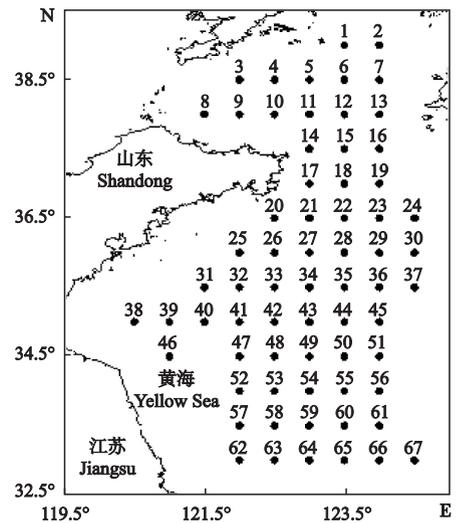


图1 夏季黄海渔业资源综合调查站位

Fig.1 Sampling stations for comprehensive surveys on fishery resources in the Yellow Sea in summer.

● 调查站位 Survey station.

1.2.1 优势种的优势度 采用相对重要性指数 IRI (index of relative importance, IRI)^[17] 研究优势种的优势度,计算公式为:

$$IRI = (N+W) \times F$$

式中: N 为某种虾尾数占虾类总尾数的百分比; W 为某种虾渔获质量占虾类总渔获质量的百分比; F 为某种虾出现站位数占调查总站位数的百分比.本文将 $IRI > 1000$ 的种作为优势种,将 $100 < IRI < 1000$ 的种作为常见种,将 $50 < IRI < 100$ 的种作为偶见种.

1.2.2 群落种类多样性指数 多样性用生物量表示更接近种类间能量的分布^[18].因此,本文在研究虾类群落的生物多样性时根据生物量来进行计算,并采用如下研究方法:

Shannon 多样性指数^[19]:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Margalef 种类丰富度指数^[20]:

$$D = (S-1) \ln W$$

Pielou 均匀度指数^[21]:

$$J = H / \ln S$$

式中: P_i 为某站位第*i*种虾类渔获质量占虾类总渔获质量的比例; W 为该站位虾类总渔获质量; S 为该站位虾类总种数.

1.2.3 群落结构多元分析 对不同站位的虾类各种类相对生物量($g \cdot h^{-1}$)进行4次方根转换,计算不同站位的Bray-Curtis相似性系数矩阵,采用多元分析统计软件PRIMER v5非度量多维标度分析

(MDS)与等级聚类分析(Cluster)^[22-23]研究黄海虾类群落结构的空问变化格局,划分不同的站位组.不同群落组群之间差异采用单因子相似性分析(ANO-SIM)^[23]研究.采用相似性百分比分析(SIMPRES)研究造成同一组群内群落结构相似的典型种与造成不同组群间群落结构相异的分歧种^[23-24].本过程利用多元分析统计软件PRIMER v5^[23]完成.

1.2.4 生物-环境关系分析 计算不同站位的 Bray-Curtis 相异性矩阵与所寻找环境变量子集的欧氏距离相异性矩阵之间形成最大的等级相关^[23,25],对黄海海域各调查站位虾类群落结构与环境因子的关系进行分析.本过程利用多元分析统计软件PRIMER v5 中生物-环境分析(BIOENV)^[23]完成.

2 结果与分析

2.1 虾类的种类组成

本次调查共捕获虾类 20 种(表 1),隶属于 3 目 10 科 16 属.在所有科中,对虾科的属、种数最多,共 4 属 5 种;其次为藻虾科,共 3 属 4 种,其他科的属、种数均不超过 2 种.在所有属中,仿对虾属、深额虾属、鼓虾属、毛虾属的种数均为 2 种,其他属的种数均为 1 种.从适温性方面分析,除脊腹褐虾为冷水种外,其他均为暖水种或暖温种.

表 1 夏季黄海海域虾类群落的种类组成

Table 1 Species composition of shrimp community in the Yellow Sea in summer

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
十足目 Decapoda	对虾科 Penaeidae	赤虾属 <i>Metapenaeopsis</i> 仿对虾属 <i>Parapenaeopsis</i>	戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i> 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i> 哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>
		鹰爪虾属 <i>Trachysalambria</i> 囊对虾属 <i>Marsupenaeus</i>	鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i> 日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>
	藻虾科 Hippolytidae	安乐虾属 <i>Eualus</i> 拟鞭腕虾属 <i>Exhippolysmata</i> 深额虾属 <i>Latreutes</i>	中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i> 长额拟鞭腕虾 <i>Exhippolysmata ensirostris</i> 水母深额虾 <i>Latreutes anoplonyx</i> 疣背深额虾 <i>Latreutes planirostris</i>
	长臂虾科 Palaemonidae	白虾属 <i>Exopalaemon</i> 长臂虾属 <i>Palaemon</i>	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i> 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>
Alpheidae	鼓虾科 <i>Alpheidae</i>	鼓虾属 <i>Alpheus</i>	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> 鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i>
	玻璃虾科 Pasiphaeidae	细螯虾属 <i>Leptochela</i>	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>
	褐虾科 <i>Crangonidae</i>	褐虾属 <i>Crangon</i>	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>
Crangonidae	管鞭虾科 Solenoceridae	管鞭虾属 <i>Solenocera</i>	中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>
	樱虾科 Sergestidae	毛虾属 <i>Acetes</i>	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i> 日本毛虾 <i>Acetes japonicus</i>
十足目 Stomatopoda	虾蛄科 Squillaeidae	口虾蛄属 <i>Oratosquilla</i>	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>
磷虾目 Euphausiacea	磷虾科 Euphausiidae	磷虾属 <i>Euphausia</i>	太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>

2.2 虾类的资源丰度及其分布

黄海夏季虾类的资源丰度及其分布如图 2 所示.各调查站点虾类资源丰度为 13~45047 g·h⁻¹,平均资源丰度为 6838 g·h⁻¹;资源丰度基本上呈现黄海远岸区域明显多于黄海西部沿岸区域的趋势.而在虾类群落资源丰度较大的黄海大部区域以 37°N 为界,南北两侧区域虾类群落资源丰度较高区域分别呈现倒置“品”字形的分布格局.

2.3 优势种

黄海夏季虾类的优势种为脊腹褐虾(*Crangon affinis*),它的生物量占虾类总生物量的 88.1%,IRI 值达 14559.1.常见种为中华安乐虾(*Eualus sinensis*),它的生物量占虾类总生物量的 7.3%,其为黄海夏季虾类生物量次多种类.偶见种为戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*) (表 2).其他种类的 IRI 值均小于 50.

2.4 群落多样性指数的平面分布

黄海夏季虾类群落多样性指数的平面分布如图 3 所示.在各调查站点中,多样性指数(*H*)变化范围为 0.007~1.538,平均值为 0.391,其在黄海西南部区域较高,而在山东半岛东端东南岸区域出现一高值区域,其他区域相对较低;丰富度指数(*D*)变化范围

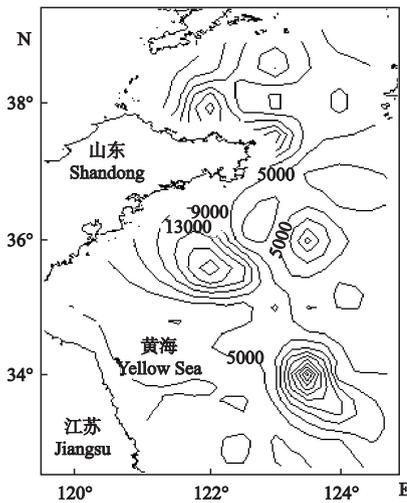


图2 虾类群落的平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of shrimp community ($g \cdot h^{-1}$).

为0.101~1.138,平均值为0.374,其在黄海西南部区域较高,而在山东半岛东端东南岸区域和黄海西南部均出现一高值区域,其他区域相对较低;均匀度指数(J)变化范围为0.006~0.947,平均值为0.298,其在黄海西南部区域较高,而在山东半岛东端近岸区域值也相对较高,其他区域相对较低.由图中可以看出, H 、 D 、 J 平面分布形态较为一致,在黄海西南部区域均较高,而在山东半岛东端南岸区域均出现一高值区域.总体来看,黄海大部区域夏季多样性指数普遍较低,而近岸区域明显高于远岸区域.

2.5 虾类群落结构多元分析

黄海夏季虾类群落结构等级聚类分析(Cluster)与非度量多维标度分析(MDS)结果如图4与图5所示.综合分析各调查站点基本以45 m等深线为界分成两个组群:Ⅰ组群所包括站点主要分布于黄海远岸及黄海北部海域,Ⅱ组群包括站点主要分布于

表2 黄海夏季虾类优势种、常见种与偶见种

Table 2 Dominant species, common species and rare species of shrimp in the Yellow Sea in summer

种类 Species	N (%)	W (%)	F (%)	IRI
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	90.9	88.1	81.4	14559.1
中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i>	1.7	7.3	49.2	442.4
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	2.1	0.7	27.1	76.2
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	1.8	1.4	22.0	69.4
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	1.9	0.1	28.8	58.2

黄海西部沿岸海域(图6).对所划分的两个组群分别包含的站点进行ANOSIM分析,结果表明两组群差异极显著($R=0.903$, $P<0.01$).

对两组群进行SIMPRE分析,对组内相似性贡献百分比占4%以上的典型种如表3所示.对Ⅰ组群相似性贡献较大的种类是脊腹褐虾,累积贡献百分比达98.5%.对Ⅱ组群相似性贡献较大的种类有口虾蛄、葛氏长臂虾、戴氏赤虾、哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*),累积贡献百分比达91.1%.对两组群间差异性贡献百分比占4%以上的分歧种分析表明,对Ⅰ、Ⅱ两个组群相异性贡献较大的种类为脊腹褐虾、口虾蛄、葛氏长臂虾、戴氏赤虾、哈氏仿对虾,相异性累积贡献百分比达93.9%(表3).

2.6 虾类群落结构与环境因子的关系

黄海夏季各环境因子(底层水温、底层盐度、水深)的平面分布如图7所示.底层水温基本呈现由近岸向远岸逐渐降低的趋势,在沿岸区域,尤其是黄海西部沿岸区域和山东半岛东端东南岸区域变化较为剧烈,黄海大部海域几乎无变化;底层盐度基本呈现

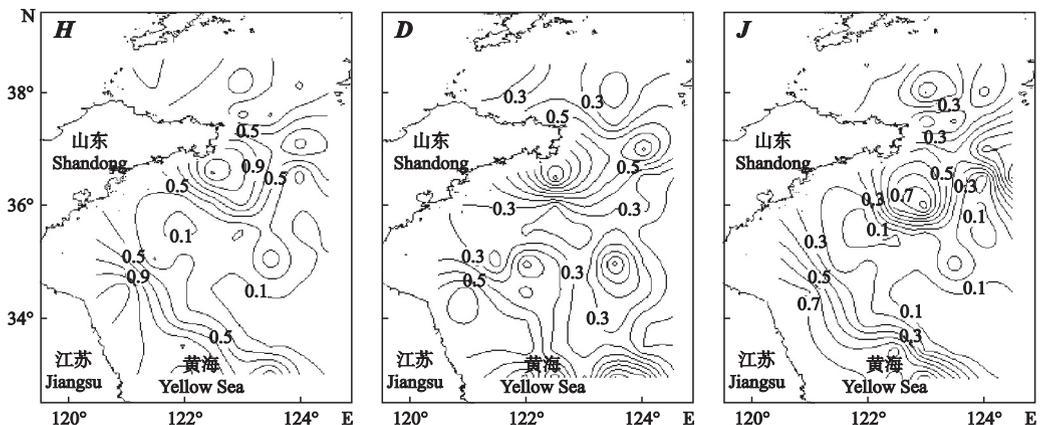


图3 黄海夏季虾类多样性指数的平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of biodiversity indices of shrimp in the Yellow Sea in summer.

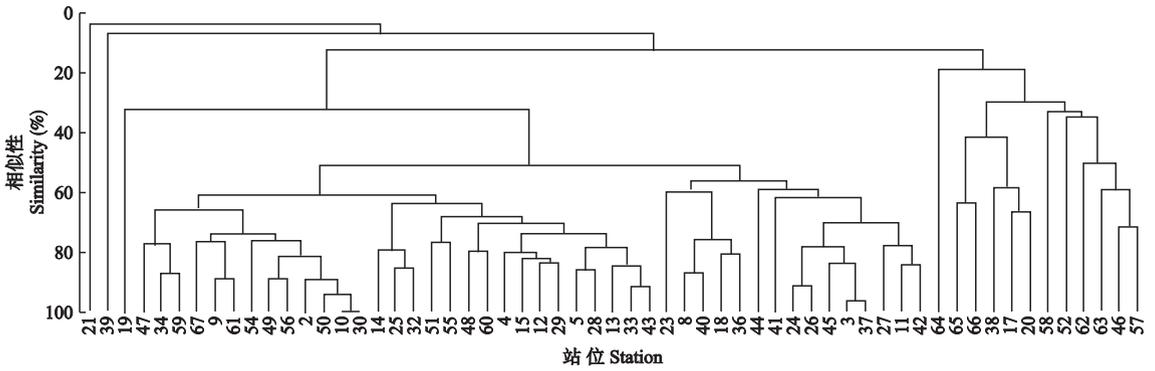


图 4 虾类群落结构聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of shrimp community.

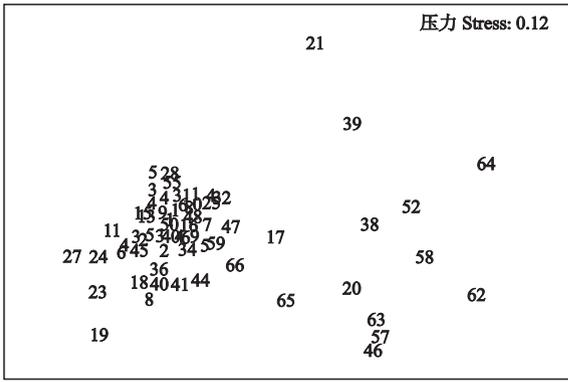


图 5 虾类群落结构 MDS 分析

Fig.5 MDS analysis of shrimp community.

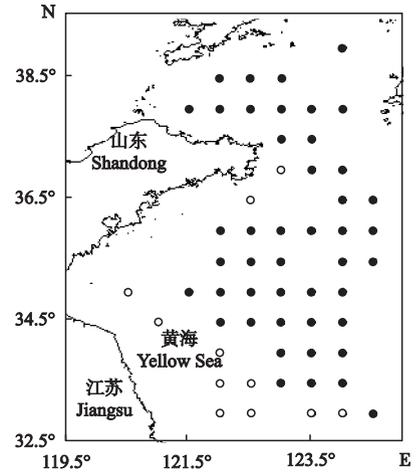


图 6 虾类两组群的平面分布

Fig.6 Horizontal distribution of two groups of shrimp.

● I 组群 Group I ; ○ II 组群 Group II .

由近岸向远岸逐渐升高的趋势,在沿岸区域,尤其是黄海西部沿岸区域和山东半岛东端东南岸区域变化趋势较为剧烈;水深基本呈现由近岸向远岸逐渐增加的趋势,在沿岸区域,尤其是黄海西部沿岸区域和山东半岛东端东南岸区域变化较为剧烈.

与虾类群落空间结构的关系.结果表明,影响黄海夏季虾类群落空间结构的最主要环境因子是底层水温与底层盐度双环境因子,而单因子中底层水温是影响黄海夏季虾类群落空间结构的最主要环境因子(表 4).

采用 BIOENV 分析研究了黄海夏季各环境因子

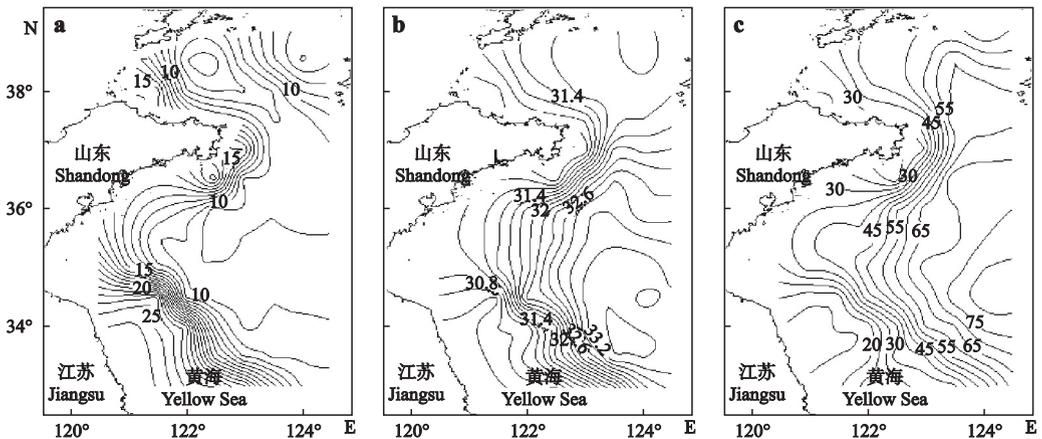


图 7 黄海夏季各底层环境因子的平面分布

Fig.7 Horizontal distribution of bottom environmental factors in the Yellow Sea in summer.

a) 水温 Water temperature (°C); b) 盐度 Salinity (‰); c) 水深 Water depth (m).

表3 虾类群落组群典型种和组群间分歧种及其贡献百分比(>4%)

Table 3 Typifying species, discriminating species and their percentage contributions of shrimp community (>4%)

种类 Species	I (%)	II (%)	I & II (%)
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	98.5		60.4
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		59.0	12.6
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>		15.7	8.8
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>		11.0	7.7
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>		5.4	4.5

表4 虾类群落组成与环境因子的相关性

Table 4 Correlation between shrimp community composition and environmental factors

环境因子 Environment factor	相关系数 Correlation coefficient
底层水温-底层盐度 Bottom temperature-bottom salinity	0.599
底层水温 Bottom temperature	0.584
底层水温-水深 Bottom temperature-depth	0.555
底层水温-底层盐度-水深 Bottom temperature-bottom salinity-depth	0.549
水深 Depth	0.475
底层盐度-水深 Bottom salinity-depth	0.457
底层盐度 Bottom salinity	0.375

3 讨论

黄海夏季黄海冷水团势力强大且分布范围广大,低温高盐的生态环境使得包括虾类在内的多种海洋生物中的较多种类迁移到西部沿岸地区产卵育幼^[1-2],这就一定程度上造成了黄海夏季虾类种类数较少和黄海远岸区域夏季多样性指数较近岸区域低.本次夏季调查在黄海海域共捕获虾类20种,隶属于3目10科16属,从适温性分析以暖水种或暖温种为主.黄海夏季由近岸向远岸底层水温、底层盐度基本分别呈现逐渐降低和逐渐升高的趋势,而水深基本呈现逐渐增加的趋势.黄海夏季虾类群落空间结构受底层水温与底层盐度的影响明显,而黄海西部沿岸区域和山东半岛东端东南岸区域均是底层水温较高、底层盐度较低的区域,更适宜暖水种或暖温种虾类生长,因此多样性指数(H)、丰富度指数(D)、均匀度指数(J)平面分布在黄海西南部区域和山东半岛东端南岸区域均出现一高值区域.

黄海夏季虾类的优势种仅有脊腹褐虾,且其优势度很高($IRI = 14559.1$),生物量占虾类总生物量的88.1%.夏季黄海脊腹褐虾生物量巨大的原因主要有:1)脊腹褐虾为冷水种,而夏季黄海分布范围

遍及大部分海域的黄海冷水团为其提供了较为理想的生存环境;2)脊腹褐虾经济价值相对较低,在我国近海高捕捞强度的大背景下受捕捞的影响较小;3)可能与其自身的生长繁殖习性有关,脊腹褐虾可以全年抱卵、生殖季节长且8月为重要抱卵盛期^[26];4)虾类是较高营养级鱼类等的重要饵料,而脊腹褐虾更是黄海许多鱼类尤其是底层鱼类等的重要饵料生物^[27-28],夏季大部分鱼类都迁徙至黄海沿岸区域产卵育幼^[1],并且黄海底层鱼类资源已经出现了减少甚至衰退^[26,29],这些均在一定程度上减少了对脊腹褐虾的捕食.另外,夏季黄海脊腹褐虾在冷水团海域生物量巨大也正是造成黄海夏季虾类渔获资源量在黄海大部区域明显多于黄海西部沿岸区域的原因.鉴于黄海夏季脊腹褐虾生物量较大,对其的开发保护方面的研究有待于进一步加强.

多元统计分析方法已经应用于虾类群落结构特征方面的研究,研究表明虾类群落结构与环境因子密切相关^[6,30-31].本研究表明,黄海夏季虾类群落组成主要受底层水温与底层盐度两环境因子的影响,基本以45 m等深线为界分成沿岸组群(黄海西部沿岸海域)和冷水团组群(黄海远岸及黄海北部海域)两组.夏季,黄海西部沿岸由于水深较浅和受沿岸流等的影响而水温较高、盐度较低^[32-33],因此形成了以非冷水种口虾蛄、葛氏长臂虾、戴氏赤虾等为组群典型种的沿岸组群(II);而黄海远岸及黄海北部海域夏季处于黄海冷水团的控制之下,水温较低、盐度较高^[32-33],因此形成了以冷水种脊腹褐虾为组群典型种的冷水团组群(I).但是,由于黄海冷水团在黄海夏季势力很强且分布范围几乎遍及黄海大部分海域,因此冷水团组群的分布范围明显大于沿岸组群,且两组群差异极显著.需要指出的是,本次调查所设站位多集中于远岸区域,而在近岸区域较少,这在一定程度上导致了沿岸组群(II)出现的站位较少,但这对沿岸组群、冷水团组群范围的确定几乎无影响.总之,黄海夏季虾类群落以冷水团组群占绝对优势,黄海冷水团对黄海夏季虾类群落的分布格局具有决定性的影响.

致谢 中国水产科学研究院黄海水产研究所资源室全体成员和“北斗”号全体船员在取样过程中付出了极大努力,谨致谢忱.

参考文献

- [1] Jin XS, Tang QS. Changes in fish species diversity and dominant species composition in the Yellow Sea. *Fishe-*

- ries Research, 1996, **26**: 337–352
- [2] Jin XS, Xu BD, Tang QS. Fish assemblage structure in the East China Sea and southern Yellow Sea during autumn and spring. *Journal of Fish Biology*, 2003, **62**: 1194–1205
- [3] Liu Y (刘勇), Li S-F (李圣法), Cheng J-H (程家骅). A study on seasonal changes of the fish communities in the East China Sea and the Yellow Sea. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), 2006, **28**(4): 108–114 (in Chinese)
- [4] Shan X-J (单秀娟), Chen Y-L (陈云龙), Dai F-Q (戴芳群), et al. Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2014, **34**(2): 377–389 (in Chinese)
- [5] Zhao M-M (赵蒙蒙), Xu Z-L (徐兆礼). Species composition, temporal and spatial distributions and diversity of Hoplocarida and Decapoda shrimps in summer and winter in Sanmen Bay. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), 2011, **46**(3): 11–18 (in Chinese)
- [6] Chen X-Q (陈小庆), Yu C-G (俞存根), Yu C-D (虞聪达), et al. Spatial distribution of shrimp assemblages in the offshore waters of the mid-southern East China Sea. *Journal of Zhejiang Ocean University* (Natural Science) (浙江海洋学院学报: 自然科学版), 2010, **29**(4): 318–324 (in Chinese)
- [7] Yu C-G (俞存根), Chen X-Q (陈小庆), Song H-T (宋海棠). Analysis on community structure and diversity of shrimps in the East China Sea in spring. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(7): 3593–3604 (in Chinese)
- [8] Liu R-Y (刘瑞玉). Economic Shrimps in Northern Region of China Sea. Beijing: Science Press, 1955 (in Chinese)
- [9] Liu R-Y (刘瑞玉). Preliminary studies on the benthic fauna of the Yellow Sea and the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 1963, **5**(3): 230–241 (in Chinese)
- [10] Liu R-Y (刘瑞玉). Notes on the economic macrurous crustacean fauna of the Yellow Sea and the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 1959, **2**(1): 35–42 (in Chinese)
- [11] Wu Q (吴强), Wang J (王俊), Li Z-Y (李忠义), et al. Spatial variation of crustacean community structure in Yellow Sea and Bohai Sea in spring. *Journal of Fishery of China* (水产学报), 2012, **36**(11): 1685–1693 (in Chinese)
- [12] Li H-Y (李惠玉), Ling J-Z (凌建忠), Li S-F (李圣法). Seasonal composition of crustacean species in the East China Sea and Yellow Sea. *Progress in Fishery Sciences* (渔业科学进展), 2009, **30**(3): 13–19 (in Chinese)
- [13] Xu Z-L (徐兆礼), Shen A-L (沈盎绿), Li X-Z (李新正). Distribution of Hoplocarida and Decapoda shrimps in Oujiang estuary, East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), 2009, **16**(1): 104–112 (in Chinese)
- [14] Que J-L (阙江龙), Kang W (康伟), Xu Z-L (徐兆礼), et al. Distribution of Hoplocarida and Decapoda shrimps in spring and winter in the middle area of Subei shoal. *Maine Fisheries* (海洋渔业), 2012, **34**(3): 301–307 (in Chinese)
- [15] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (国家质量监督检验检疫总局), Standardization Administration of People's Republic of China (国家标准化管理委员会). Specification for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey (GB/T 12763.6—2007). Beijing: China Standards Press, 2007 (in Chinese)
- [16] Liu R-Y (刘瑞玉). Checklist of Maine Biota of China Seas. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese)
- [17] Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*, 1971, **152**: 1–105
- [18] Wilhm JL. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 1968, **49**: 153–156
- [19] Shannon EC, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949
- [20] Ulanowicz re. Information theory in ecology. *Computers and Chemistry*, 2002, **25**: 393–399
- [21] Pielou EC. Mathematical Ecology. New York: John Wiley, 1977
- [22] Clarke KR, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, **92**: 205–219
- [23] Clark KR, Warwick RM. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd Ed. Plymouth, UK: Primer-E Ltd, 2001
- [24] Clarke KR. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structures. *Australian Journal of Ecology*, 1993, **18**: 117–143
- [25] Zhou H (周红), Zhang Z-N (张志南). Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology. *Journal of Ocean University of Qingdao* (Natural Science) (青岛海洋大学学报: 自然科学版), 2003, **33**(1): 58–64 (in Chinese)
- [26] Fishery Bureau of Ministry of Agriculture (农业部水产局), Ministry of Agriculture of the Yellow Sea Area Fishery Command (农业部黄海区渔业指挥部). Investigation and Division of Fisheries Resource of Yellow and Bohai Sea. Beijing: Ocean Press, 1990 (in Chinese)
- [27] Cheng J-S (程济生). Structure and diversity of invertebrate resources in the Yellow Sea. *Journal of Fishery Science of China* (中国水产科学), 2005, **12**(1): 68–75 (in Chinese)
- [28] Wei S (韦晟), Jiang W-M (姜卫民). Study on food web of fishes in the Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 1992, **23**(2): 182–191 (in Chinese)
- [29] Zhao C-Y (赵传纲). Maine Fishery Resource of China. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990 (in Chinese)
- [30] Qi H-M (齐海明), Sun Y (孙岳), Xu Z-L (徐兆礼), et al. Shrimp community structure and its influential factors in the Jiajiang River estuary during spring and autumn. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(12): 3546–3552 (in Chinese)
- [31] Xu J (徐捷), Chen J-J (陈佳杰), Xu Z-L (徐兆礼). Shrimp community structure in the Lvisi fishing ground during spring and summer. *Journal of Fishery of China* (水产学报), 2014, **38**(8): 1097–1105 (in Chinese)
- [32] Sun X-P (孙湘平). China Offshore Marine Areas. Beijing: Ocean Press, 2006 (in Chinese)
- [33] Su J-L (苏纪兰), Yuan Y-L (袁业立). China Offshore Hydrology. Beijing: Ocean Press, 2005 (in Chinese)

作者简介 逢志伟,男,1987年生,研究实习员.主要从事渔业资源生态学研究. E-mail: pangzw@ysfri.ac.cn

责任编辑 肖红