

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00361

胶州湾中部海域虾类群落结构及其多样性

逢志伟¹, 徐宾铎¹, 陈学刚², 任一平¹

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 青岛市黄岛区海洋与渔业局, 山东 青岛 266555

摘要: 根据 2008 年 9 月至 2009 年 8 月在胶州湾中部海域进行的逐月底拖网调查数据, 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虾类群落结构及多样性进行了研究。结果表明: 该调查海域捕获虾类共 17 种, 隶属于 6 科 15 属。虾类相对资源量具有明显的月间变化, 9 月、10 月、6 月资源量较高, 平均网获质量的变化范围为 223.9~3 422.9 g/h, 平均网获尾数为 41~1 608 ind/h; 优势种组成具有较为明显的月间变化, 全年的优势种为鹰爪虾(*Trachysalambra curvirostris*)、细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*)和日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)。虾类种类丰富度指数(*D*)的变化范围为 0.77~1.89, Shannon-wiener 多样性指数(*H'*)变化范围为 0.90~2.34, 均匀度指数(*J*)变化范围为 0.26~0.76, 多样性指数月变化较大, 且春夏季高于秋冬季。CLUSTER 聚类分析与 MDS 分析可将胶州湾中部海域全年虾类群落划分为 4 个月份组群: I 组群(4 月、5 月), II 组群(12 月—翌年 3 月), III 组群(6 月、9 月、10 月)和 IV 组群(7 月、8 月、11 月)。ANOSIM 分析表明, II 组群与 III 组群、II 组群与 IV 组群差异显著, 其他组群间差异不显著。各组群典型种与组群间分歧种对群落结构的影响明显。BIOENV 分析表明, 底层水温是影响胶州湾中部海域虾类群落结构月变化的主要环境因子。本研究旨在为保护与合理利用胶州湾海域虾类资源对策的制定提供科学依据。

关键词: 胶州湾; 虾类; 群落结构; 种类多样性

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)02-0361-11

虾类资源是诸多高营养级鱼类的生物饵料, 同时某些种类也具有重要的经济价值, 是渔业资源的重要组成部分。近 30 年来, 由于近海主要经济鱼类资源的衰退, 虾类已成为重要的海洋捕捞对象, 在近海捕捞业中占有一定的地位。目前, 对虾类资源的研究在诸多海域较为活跃。例如, 俞存根等^[1]对浙江近海虾类资源量的研究; 陈小庆等^[2]调查研究了东海中南部外海虾类群落结构; 宋海棠^[3]对东海虾类的生态群落与区系特征的研究; 赵蒙蒙等^[4]研究了三门湾虾类群落的种类组成、时空分布和多样性等。

胶州湾位于山东半岛南部, 濒临黄海, 是一

个中型半封闭的浅海湾, 属典型的暖温带水域, 曾是多种鱼类、虾类产卵育幼的优良场所^[5]。20 世纪 80 年代以来, 对胶州湾海域虾类的研究仅在生态学、生物资源总量、重要经济种类、无脊椎动物等方面的研究中出现过^[5-10], 尚未有虾类群落结构和多样性方面的综合研究。而近些年来随着经济社会的发展, 人类活动对胶州湾的影响日益加大, 胶州湾的生物种类与群落结构正在发生急剧变化^[11]。

根据 2008 年 9 月到 2009 年 8 月在胶州湾中部海域进行的逐月底拖网调查, 本研究对该海域虾类群落结构及多样性的周年变化进行分析, 旨

收稿日期: 2012-07-20; 修订日期: 2012-08-27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41006083); 国家海洋公益性行业科研专项经费项目(200805066); 山东省自然科学基金(ZR2010DQ026); 青岛市海洋渔业资源增殖放流效果评估项目(SDSITC-0101312).

作者简介: 逢志伟(1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业资源生态学的研究. E-mail: zhiweipang@126.com

通信作者: 任一平, 教授. E-mail: renyip@ouc.edu.cn

在了解胶州湾海域的虾类资源分布与动态变化,为胶州湾海域的虾类资源的保护与合理利用对策的制订提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

调查区域位于胶州湾中部 36° 04'N—36° 08'N, 120° 11'E—120° 18'E 海域范围内, 2008 年 9 月到 2009 年 8 月在该区域进行逐月底拖网调查。调查站位除 2008 年 9 月设置 11 个站点外, 其余月份均设置 6 个站点(图 1)。调查所使用的调查船为 30 kW 单拖渔船, 拖速约 2.0 kn, 每站拖网时间约 0.5 h。调查网的网口宽度为 12 m, 网口高度为 1.6 m, 囊网网目为 20 mm。每站起网后用 CTD 仪测量并记录所在站点的底层盐度、底层水温和水深等环境因子。渔获物全部带回实验室, 参照《海洋调查规范》^[12]进行生物学测定和分析处理。在数据分析前, 进行拖速(2.0 kn)与拖网时间(1.0 h)的标准化处理。

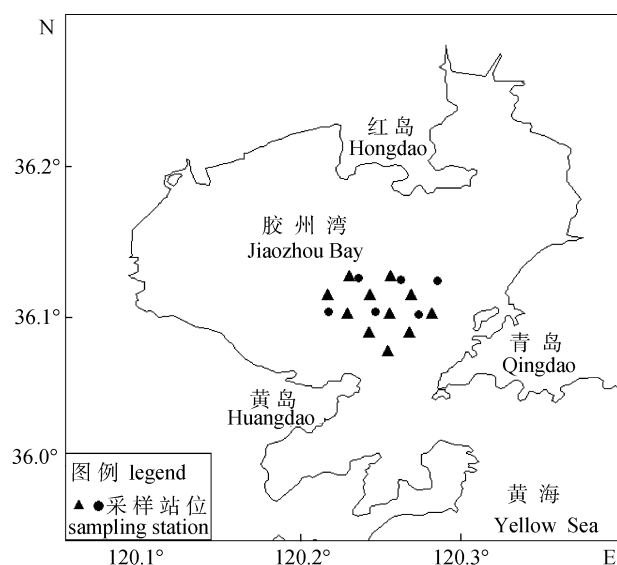


图 1 胶州湾中部海域底拖网调查站位

▲为 2008 年 9 月调查站位, ●为 2008 年 10 月至 2009 年 8 月调查站位

Fig. 1 Sampling stations by bottom trawl survey in the central waters of Jiaozhou Bay

▲ represents the survey stations in September 2008,
● represents the survey stations from October 2008 to August 2009.

1.2 分析方法

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)^[13]研究优势种的优势度, 其计算公式为: $IRI = (N + W) \times F$, 其中 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。本研究中将 IRI 大于 1 000 的种作为优势种。

1.2.2 生物多样性指数 在研究虾类群落的生物多样性时, 采用如下研究方法:

(1)Shannon-wiener 多样性指数^[14]:

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i, P_i = n_i/N,$$

其中, P_i 为第 i 种虾类占虾类总个体数的比例, n_i 为第 i 种虾类个体数, N 为虾类总个体数。

(2)Margalef 种类丰富度指数^[15] D :

$$D = (S-1)/\ln N$$

其中, S 为虾类总种数, N 为虾类总个体数。

(3)Pielou 均匀度指数^[16] J :

$$J = H'/\log_2 S$$

其中, J 为虾类种类均匀度, H' 为虾类种类多样性, S 为虾类总种数。

1.2.3 群落结构多元分析 对胶州湾中部海域全年各月虾类各种类相对生物量(kg/h)进行平方根转换计算得到 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)研究胶州湾中部海域虾类群落结构的月变化^[17-18]。采用单因子相似性分析(ANOSIM)研究不同群落组群之间差异^[18], 采用相似性百分比分析(SIMP)研究造成不同组群间群落结构相异的分歧种与造成组群内群落结构相似的典型种^[18-19]。

1.2.4 生物环境分析 采用多元分析统计软件 PRIMER v5 中生物-环境分析(BIOENV)对胶州湾虾类群落结构与环境因子的关系进行分析, 寻找环境变量子集, 使其欧氏距离相异性矩阵与生物样品的 Bray-Curtis 相异性矩阵之间形成最大的等级相关^[20-21]。

1.2.5 差异性分析与相关性分析 本研究中平均网获质量差异性、平均网获质量与平均网获尾数

相关性等采用 SPSS 16.0 中 ANOVA 分析与 Correlation 分析研究。

2 结果与分析

2.1 种类组成

调查海域捕获虾类共 17 种, 隶属于 6 科 15 属, 其中属、种数最多的为对虾科, 共 7 属 7 种, 占总种数的 41.0%。其次藻虾科共 3 属 4 种, 占总种数的 23.5%, 其余几个科的种数均不超过 2 种(表 1)。所有种类中除脊腹褐虾 (*Crangon affinis*)、长足七腕虾(*Heptacarpus futilirostris*)为冷水种外, 其他均为暖温种和暖水种。从虾类所属生态类群分析, 季节性洄游种类有鹰爪虾、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)、周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*)、细螯虾(*Leptochela gracilis*)、戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、细巧仿对虾、日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicas*)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 共计 8 种, 其他 9 种均为常年定居性种类。

2.2 相对资源量变化

胶州湾中部海域虾类相对资源量月变化显著,

相对资源量较高的月份为 6、9、10 月, 其他月份相对较低(图 2)。平均网获质量的变化范围为 223.9 ~ 3 422.9 g/h, 平均网获尾数的变化范围为 41 ~ 1 608 ind/h。平均网获质量以 4 月最低, 10 月最高。平均网获尾数最小出现在 8 月, 最大出现在 6 月。胶州湾中部海域的夏、秋季虾类资源量明显高于冬、春季。单因子方差分析表明, 月间平均网获质量差异极显著($F=6.491, P<0.01$), 月间平均网获尾数差异极显著 ($F=5.931, P<0.01$)。

2.3 优势种组成

胶州湾中部海域虾类优势种组成具有明显的月变化(表 2)。胶州湾全年的优势种为鹰爪虾、细巧仿对虾、日本鼓虾, 且作为优势种的月份均超过 6 个月。脊腹褐虾和脊尾白虾(*Exopalamon carincauda*)为 5 个月的优势种, 戴氏赤虾、水母深额虾(*Latreutes anoplonyx*)、中国明对虾、鲜明鼓虾(*Alpheus disinguendus*)均在某一月份是优势种。

胶州湾中部海域虾类优势种 12 月至翌年 5 月主要为日本鼓虾、脊尾白虾、脊腹褐虾等, 2008 年 9–11 月、2009 年 6–8 月主要是细巧仿对虾、鹰爪虾等。在 2009 年 6 月和 2008 年 9、10 月鹰

表 1 胶州湾中部海域捕获虾类名录
Tab. 1 List of shrimp species caught in the central waters of Jiaozhou Bay

科 family	属 genus	种 species
对虾科 Penaeidae	赤虾属 <i>Metapenaeopsis</i>	戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i> (Rathbun, 1902)
	滨对虾属 <i>Litopenaeus</i>	凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931)
	囊对虾属 <i>Marsupenaeus</i>	日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i> (Bate, 1888)
	明对虾属 <i>Fenneropenaeus</i>	中国明对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i> (Osbeck, 1765)
	仿对虾 <i>Parapenaeopsis</i>	细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i> (Bate, 1888)
	新对虾属 <i>Metapenaeus</i>	周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i> (Miers, 1880)
	鹰爪虾属 <i>Trachysalambria</i>	鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i> (Stimpson, 1860)
玻璃虾科 Pasiphaeidea	细螯虾属 <i>Leptochela</i>	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> Stimpson, 1860
长臂虾科 Palaemonidae	白虾属 <i>Exopalaemon</i>	脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i> (Holthuis, 1950)
	长臂虾属 <i>Palaemon</i>	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> (Yü, 1930)
鼓虾科 Alpheidae	鼓虾属 <i>Alpheus</i>	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> Miers, 1879
		鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i> De Man, 1909
褐虾科 Crangonidae	褐虾属 <i>Crangon</i>	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i> de Haan, 1849
	鞭腕虾属 <i>Lysmata</i>	红条鞭腕虾 <i>Lysmata vittata</i> (Stimpson, 1860)
藻虾科 Hippolytidae	深额虾属 <i>Latreutes</i>	水母深额虾 <i>Latreutes anoplonyx</i> Kemp, 1914
		疣背深额虾 <i>Latreutes planirostris</i> (de Haan)
	七腕虾属 <i>Heptacarpus</i>	长足七腕虾 <i>Heptacarpus futilirostris</i> (Bate, 1888)

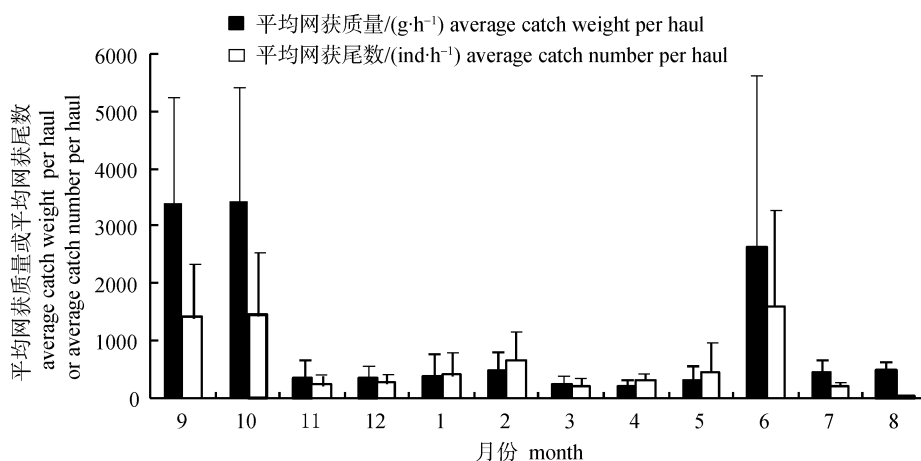


图 2 胶州湾中部海域虾类相对资源量月变化($\bar{X} \pm SD$)

Fig. 2 Monthly variations in relative resource of shrimp in the central waters of Jiaozhou Bay($\bar{X} \pm SD$)

爪虾的平均网获质量与平均网获尾数所占百分比均超过 50%。2008 年 12 月日本鼓虾、2009 年 1、2 月脊尾白虾、2009 年 5 月细巧仿对虾的平均网获质量与平均网获尾数百分比均超过 49%。另外, 2009 年 8 月中国明对虾的平均网获质量百分比高达 83.20%。

2.4 生物多样性

胶州湾虾类群落多样性指数的月变化如表 3 所示。胶州湾中部海域虾类物种数 9 月最高为 11 种, 11、2、3 月种数最低为 6 种, 春夏季月份的种数多于秋冬季。种类丰富度指数春夏月份最高, 秋季次之, 冬季最小; 变化范围为 0.77 ~ 1.89, 2009 年 2 月最小, 2009 年 8 月最大。多样性指数 H' 各月变化较为剧烈, 冬春季最高, 夏季次之, 秋季最小; 变化范围为 0.90 ~ 2.34, 2008 年 9 月最小, 2009 年 4 月最大。均匀度指数变化范围为 0.26 ~ 0.76, 2008 年 9 月最小, 2009 年 3 月最大, 变化趋势与多样性指数变化趋势相同。总体看来, 胶州湾中部海域虾类群落物种多样性指数春夏季较高, 秋冬季较低; 且春季大于夏季, 冬季大于秋季。

2.5 群落结构的多元分析及其与环境因子的关系

应用 CLUSTER 聚类分析与 MDS 分析所得的胶州湾中部海域虾类群落结构的月变化结果如图 3 与图 4 所示。以 47.8% 的相似性可以将全年虾类群落划分为 4 个组群, 分别为 I 组群(4-5 月, 组

内相似性为 74.85%)、II 组群(12-翌年 3 月, 组内相似性为 70.46%)、III 组群(6、9、10 月, 组内相似性为 73.76%)、IV 组群(7、8、11 月, 组内相似性为 57.58%)(图 3)。此 MDS 分析结果与 CLUSTER 聚类分析结果基本一致(图 4)。

胶州湾中部海域虾类群落各组群中对组内相似性贡献百分比占 4% 以上典型种如表 4 所示。对 I 组群相似性贡献较大的种类有细巧仿对虾、日本鼓虾、脊腹褐虾、鲜明鼓虾、水母深额虾、疣背深额虾(*Latreutes planirostris*), 相似性累积贡献百分比达 93.79%。对 II 组群相似性贡献较大的种类有脊尾白虾、日本鼓虾、脊腹褐虾、鲜明鼓虾, 相似性累积贡献百分比达 97.25%。对 III 组群相似性贡献较大的种类有鹰爪虾、细巧仿对虾、日本鼓虾、鲜明鼓虾, 相似性累积贡献百分比达 93.86%。对 IV 组群相似性贡献较大的种类有鹰爪虾、细巧仿对虾、鲜明鼓虾、日本鼓虾, 相似性累积贡献百分比达 90.38%。

对在 47.8% 的相似性划分的 4 个组群之间虾类种类组成结构进行 ANOSIM 分析, 结果表明不同月份组群种类组成差异极显著($R=0.939$, $P=0.001$)。两两比较结果表明, I、II 两个组群差异不显著($R=0.929$, $P=0.067$); I、III 两个组群差异不显著($R=1$, $P=0.10$); I、IV 两个组群差异不显著($R=0.667$, $P=0.10$); II、III 两个组群差异显著($R=1$, $P=0.029$); II、IV 两个组群差异显著($R=1$, $P=0.029$);

表 2 胶州湾中部海域虾类群落优势种组成
Tab. 2 Dominant species of shrimp community in the central waters of Jiaozhou Bay

种类 species	W/%	N/%	F/%	IRI
全年 all year				
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	65.96	40.59	55.84	5950.35
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	9.46	23.20	76.62	2502.83
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	6.56	12.10	83.12	1551.07
2008 年 9 月 Sept.2008				
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	93.09	84.38	100.00	17746.23
2008 年 10 月 Oct.2008				
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	85.98	55.71	100.00	14169.03
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	9.63	35.44	100.00	4506.94
2008 年 11 月 Nov.2008				
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	25.37	73.11	100.00	9848.35
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	67.87	18.87	100.00	8673.59
2008 年 12 月 Dec.2008				
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	55.73	74.44	100.00	13017.56
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>	18.86	16.09	100.00	3495.31
鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i>	18.37	5.63	83.33	2000.10
2009 年 1 月 Jan.2009				
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>	61.39	58.42	83.33	9984.57
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	23.33	25.10	100.00	4842.42
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	9.43	14.59	83.33	2001.97
2009 年 2 月 Feb.2009				
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>	56.79	49.11	100.00	10589.61
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	27.41	27.32	100.00	5473.19
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	12.97	13.21	100.00	2618.79
2009 年 3 月 Mar.2009				
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	34.97	39.88	100.00	7484.98
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>	37.28	25.87	100.00	6314.53
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	23.11	22.40	100.00	4551.10
2009 年 4 月 Apr.2009				
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	42.71	19.48	100.00	6218.69
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	26.07	35.58	100.00	6165.60
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	19.17	16.04	100.00	3521.40
水母深额虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>	3.47	18.86	100.00	2232.62
2009 年 5 月 May 2009				
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	66.55	77.51	100.00	14406.61
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	17.01	12.22	100.00	2922.61
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	8.35	3.99	83.33	1028.18
2009 年 6 月 Jun.2009				
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	67.22	53.29	100.00	12051.07
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	9.12	17.69	100.00	2680.95
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	10.59	16.02	100.00	2660.33
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	5.16	7.51	83.33	1056.09
2009 年 7 月 Jul.2009				
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	47.46	69.77	100.00	11723.74
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	47.76	24.52	100.00	7228.38
2009 年 8 月 Aug.2009				
中国明对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	83.20	39.31	100.00	12250.55
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	6.46	31.58	100.00	3804.35
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	5.96	14.72	83.33	1722.92

表 3 胶州湾虾类群落多样性指数的月变化
Tab. 3 Monthly variations in biodiversity indices of shrimp community in the central waters of Jiaozhou Bay

月份 month	种数 number of species	多样性指数 H'	丰富度指数 D	均匀度指数 J
2008 年 9 月 Sept.2008	11	0.90	1.38	0.26
2008 年 10 月 Oct.2008	9	1.47	1.10	0.46
2008 年 11 月 Nov.2008	6	1.17	0.91	0.45
2008 年 12 月 Dec.2008	9	1.22	1.43	0.39
2009 年 1 月 Jan.2009	7	1.49	1.00	0.53
2009 年 2 月 Feb.2009	6	1.85	0.77	0.72
2009 年 3 月 Mar.2009	6	1.95	0.93	0.76
2009 年 4 月 Apr.2009	9	2.34	1.38	0.74
2009 年 5 月 May 2009	10	1.21	1.47	0.36
2009 年 6 月 Jun.2009	10	1.94	1.22	0.58
2009 年 7 月 Jul.2009	10	1.25	1.68	0.38
2009 年 8 月 Aug.2009	8	2.12	1.89	0.71

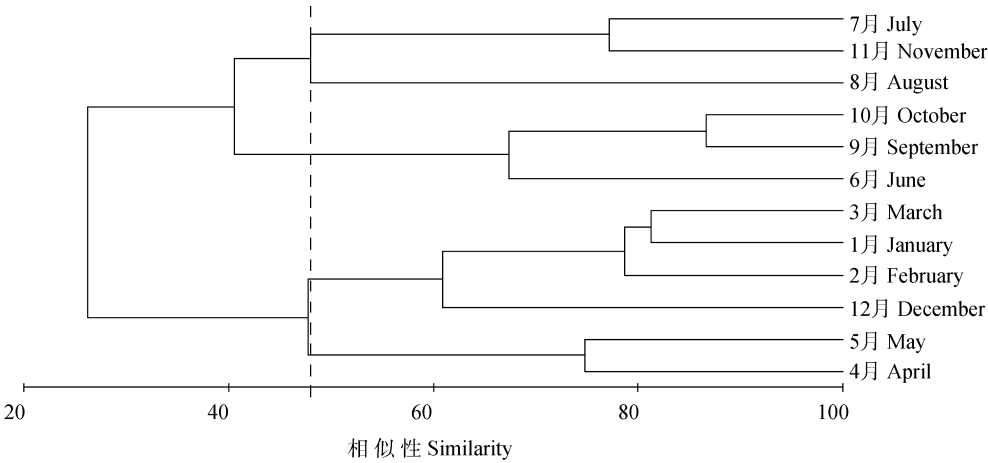


图 3 胶州湾中部海域全年虾类群落结构聚类分析结果
Fig. 3 Results of CLUSTER analysis of shrimp community all year in the central waters of Jiaozhou Bay

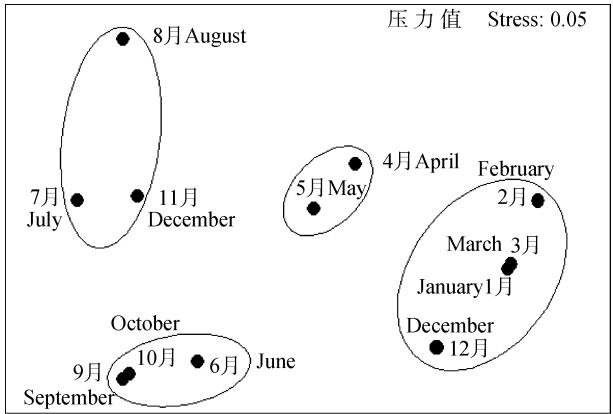


图 4 胶州湾中部海域全年虾类群落结构 MDS 分析结果
Fig. 4 Results of MDS analysis of shrimp community all year in the central waters of Jiaozhou Bay

III、IV 两个组群差异不显著($R=0.815$, $P=0.10$)。

胶州湾中部海域虾类群落各两组群间对组间差异性贡献百分比占 4% 以上的种类的分歧种如表 5 所示。对 I、II 两个组群相异性贡献较大的种类有脊尾白虾、细巧仿对虾、脊腹褐虾、水母深额虾、鲜明鼓虾、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)，相异性累积贡献百分比达 85.74%；对 I、III 两个组群相异性贡献较大的种类有脊尾白虾、脊腹褐虾、细巧仿对虾、戴氏赤虾、鲜明鼓虾，相异性累积贡献百分比达 81.06%；对 I、IV 两个组群相异性贡献较大的种类有鹰爪虾、中国明对虾、脊腹褐虾、日本鼓虾、细巧仿对虾、葛氏长臂虾，

表 4 胶州湾中部海域虾类群落各组群典型种及其对组内相似性贡献百分比(>4%)

Tab. 4 Typifying species and their percentage contributions to the within-group similarity for shrimp community in the central waters of Jiaozhou Bay(>4%)

种类 species	虾类群落组群 shrimp group			
	I	II	III	IV
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>		37.04		
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	28.63		12.63	32.1
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	18.60	17.88		
水母深额虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>	5.80			
鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i>	10.95	9.71	7.69	10.88
疣背深额虾 <i>Latreutes planirostris</i>	5.26			
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	24.55	32.62	11.37	7.87
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>			62.17	39.53

表 5 胶州湾中部海域虾类群落各两组群间分歧种及其对组间差异性贡献百分比(>4%)

Tab. 5 Discrimination species and their percentage contributions to the every two groups dissimilarity for shrimp community in the central waters of Jiaozhou Bay(>4%)

种类 species	I – II	I – III	I – IV	II – III	II – IV	III – IV
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>	32.13	57.03		11.59	19.74	
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	27.16	6.18	9.43	12.11	15.07	7.28
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	8.68	6.57	17.18	5.22	11.05	
水母深额虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>	8.49					
鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i>	5.26	5.28		4.40		6.38
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	4.02		4.01			
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>			10.35		12.38	8.98
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>			26.15	48.31	18.88	47.86
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>		6.00		5.03		6.60
中国明对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>			17.50		12.11	8.97
凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>						4.17

相异性累积贡献百分比达 84.62%; 对 II、III 两个组群相异性贡献较大的种类有鹰爪虾、细巧仿对虾、脊尾白虾、脊腹褐虾、戴氏赤虾、鲜明鼓虾, 相异性累积贡献百分比达 86.66%; 对 II、IV 两个组群相异性贡献较大的种类有脊尾白虾、鹰爪虾、细巧仿对虾、日本鼓虾、中国明对虾、脊腹褐虾, 相异性累积贡献百分比达 89.23%; 对 III、IV 两个组群相异性贡献较大的种类有鹰爪虾、日本鼓虾、中国明对虾、细巧仿对虾、戴氏赤虾、鲜明鼓虾、凡纳滨对虾, 相异性累积贡献百分比达 90.24%。

胶州湾中部海域环境因子的平均值月变化如图 5 所示。各环境因子中变化最剧烈的为底层水温, 其 2 月最低至 4.68℃, 后逐渐升高到 8 月最高达 25.14℃, 后逐渐降低。受各月降水与蒸发量的

不同的影响, 夏秋季的盐度低于冬春季。

BIOENV 分析表明, 单因子中影响胶州湾中部海域虾类群落结构月变化的主要环境因子为底层水温; 双因子中, 影响胶州湾中部海域虾类群落分布的主要为水温、盐度组合。总体看来, 底层水温是影响胶州湾中部海域虾类群落分布的最主要环境因子(表 6)。

3 讨论

3.1 胶州湾虾类生态适应性

胶州湾海域地处北温带, 水温季节变化较为明显, 同时受大沽河等沿岸河流冲淡水的影响, 形成了复杂多变的海洋生态环境, 进而形成了较为复杂的虾类生态群落结构。本次调查捕获虾类

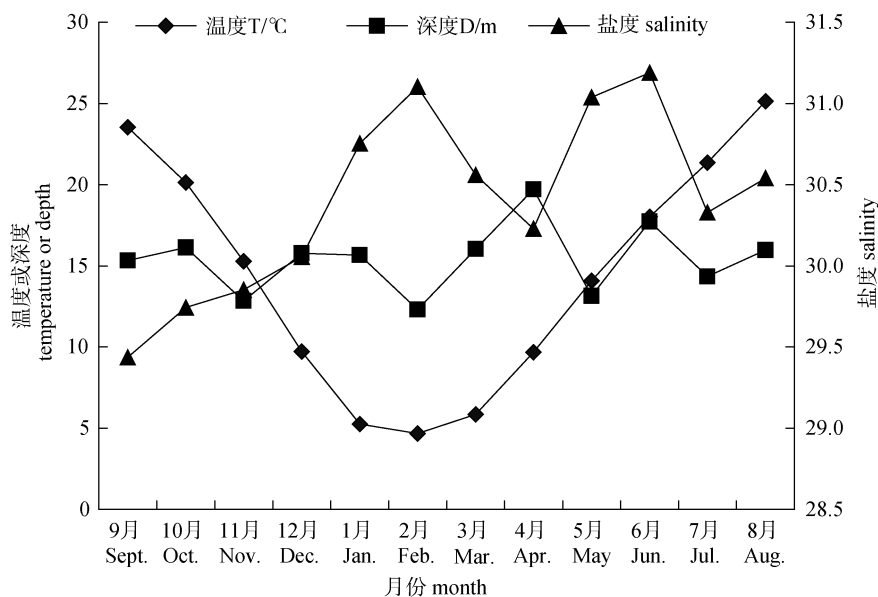


图 5 胶州湾中部海域环境因子的月变化

Fig. 5 Monthly variations in environmental factors in the central waters of Jiaozhou Bay

表 6 胶州湾中部海域虾类群落组成与环境因子的相关性
Tab. 6 Correlation between shrimp community composition and environmental factors in the central waters of Jiaozhou Bay

环境因子 environmental factors	相关性 correlation
盐度-水温 salinity-temperature	0.459
水温 temperature	0.455
水温-深度-盐度 temperature-depth-salinity	0.436
水温-深度 temperature-depth	0.435
盐度 salinity	0.346
盐度-深度 salinity-depth	-0.123
深度 depth	-0.153

中暖水种和暖温种数量占绝对优势。

随着春季水温逐渐回升，细巧仿对虾、鹰爪虾、中国明对虾、周氏新对虾等季节性洄游种类陆续从黄海进入胶州湾进行产卵繁殖；秋季水温逐渐降低，鹰爪虾、中国明对虾、周氏新对虾、细巧仿对虾等逐渐游出胶州湾进入黄海深水区越冬。常年定居性种类除日本鼓虾、鲜明鼓虾、水母深额虾外，其他种类出现频率较低。季节性洄游种类中，如中国明对虾仅在 7-9 月捕获，戴氏赤虾仅在 6、7 月份捕获，这可能主要与不同虾类在胶州湾水域的产卵、索饵习性有关。受水温、盐度等环境要素的影响，某些虾类可能要到河口

沿岸区域进行产卵和索饵育肥等活动，有关此方面的研究较少，仅见于吴耀泉和柴温明^[7]对中国明对虾进行的研究。

胶州湾海域所跨经纬度较小，地理分布区域相对狭小，深水区域更为狭小。本研究表明，胶州湾中部海域虾类种类较少。本调查中偶尔捕获的日本囊对虾和凡纳滨对虾，可能为周边养殖场养殖虾类逃逸所致^[10]，因为胶州湾海域无凡纳滨对虾和日本囊对虾野生群体。

3.2 虾类相对资源量的月变化

从各月的相对资源量来看，相对资源量较大的月份为 6、9、10 月，其他月份相对较少，而相对资源量的多少主要受主要优势种类鹰爪虾的影响。9、10、6 月鹰爪虾的相对网获质量分别达到 3.17、2.94、1.78 kg/h，从而提高了当月的相对资源量，这可能与鹰爪虾在胶州湾水域的产卵、索饵生态习性有关。鹰爪虾生命周期短、繁殖速度快，亲虾产卵后生活较长时间到 8、9 月份逐渐消失^[7]，到秋季当年生仔虾逐渐长大，因此就造成了鹰爪虾相对资源量在 7、8 月份骤然减少，9、10 月份又恢复的现象。鹰爪虾生态特点与中国明对虾相似^[7]，但在几乎同等捕捞压力与干扰的条件下依然有相对高的资源量，这可能主要与鹰爪虾

自身承受外界干扰的能力较强有关, 有关此方面的研究还有待于进一步进行。

3.3 优势种

20世纪90年代初期, 胶州湾的虾类主要种类有中国明对虾、鹰爪虾、周氏新对虾^[7]。而本次调查结果表明胶州湾全年的主要优势种为鹰爪虾、细巧仿对虾、日本鼓虾。中国明对虾曾是胶州湾最重要的经济虾类。2008年9月, 2009年7、8月分别捕获中国明对虾, 并且在2009年8月其为优势种。胶州湾作为我国黄海西部重要的对虾产卵场, 中国明对虾亲虾每年4月陆续进入胶州湾进行产卵活动。所繁殖的幼对虾生长迅速, 是秋汛渔业的重要捕捞对象^[9]。但由于过度捕捞、病害以及对虾生存环境遭到破坏等原因, 使中国明对虾一度濒临绝迹。本调查中国明对虾在胶州湾中部海域2009年8月达到0.4 kg/h, 并成为优势种。

胶州湾的中国明对虾在秋季还存在小的虾汛。4、5、6月为中国明对虾产卵季节, 但本调查并未在此时期捕获中国明对虾。一方面可能与其亲虾产卵后存活时间较短且幼虾摄食生长时主要聚集于沿岸河口区域有关^[7]。而本调查主要集中于胶州湾中部海域, 因此捕获其的几率大大减少; 另一方面可能与过度捕捞和其他破坏胶州湾海域环境行为的发生使胶州湾作为中国明对虾优良产卵场的功能正在弱化有关, 后几个月捕获的中国明对虾可能为放流的中国明对虾。

3.4 虾类多样性

本次调查显示, 胶州湾中部海域虾类群落结构较为简单, 虾类多样性较低。胶州湾为虾类产卵育幼的优良场所, 有包括很多虾类在内的诸多种类会洄游至此产卵育幼^[5]。许多虾类春季进入胶州湾, 经过产卵育幼后秋季离开胶州湾进入黄海越冬。这就造成了胶州湾海域多样性指数(H')、丰富度指数(D)、均匀度指数(J)在春夏季较高, 秋冬季较低。

虾类是处在海洋生物食物链的较底层, 其数量变动与高营养级的鱼类等高营养级生物存在一定联系, 而胶州湾海域鱼类组成具有较大的季节变化^[5]; 另外胶州湾虾类具有生命周期短繁殖速

度快的特点, 使胶州湾虾类群落结构具有更新较快的特点。这就一定程度上影响了虾类组成乃至虾类多样性。胶州湾海域有广阔的潮间带与潮下带, 其底质类型复杂多样化, 空间异质性程度较高, 但其多样性又受制于其较小的海域尺度; 地处大陆边缘受到一定的干扰, 如虾类的增殖放流、养殖、采捕等^[22], 且其本身在湾内存在一定的空间移动, 加之全年水温等环境要素的时间与空间变化, 这些因素也影响了胶州湾虾类的多样性。因此, 多样性指数的变化较为剧烈。

3.5 群落结构特征的探讨

MDS分析与CLUSTER聚类分析结果显示胶州湾海域虾类全年可分成4个组群, 这4个组群与全年4个季节基本对应, 这更加说明了虾类群落结构与海洋环境密切相关^[23], 水温是影响胶州湾中部海域虾类群落分布的最重要环境因子。

但是, III组群(6、9、10月)、IV组群(7、8、11月)夏季月份与秋季月份分布相互交错。ANOSIM分析表明二者差异不显著, SIMPRE分析表明, 既是组群相似性主要贡献种又是组群间差异性的主要贡献种的种类为: 鹰爪虾、日本鼓虾、细巧仿对虾等。如鹰爪虾其作为主要优势种大量存在于6、9、10月份(III), 而7、8、11月份(IV)少有存在, 其对组群差异性贡献百分比为47.86%, 这对III、IV组群夏季月份与秋季月份分布相互交错起了巨大作用。这更加说明了生态优势种对生物群落的重要作用, 其数量变化与活动强烈影响着其他物种与类群^[22, 24]。在优势种较为集中的北方海域, 其对维持群落稳定的作用更为重要^[22]。因此, 我们在研究与保护胶州湾虾类生物群落乃至胶州湾整个生物群落时, 对生态优势种的研究与保护尤为重要。

参考文献:

- [1] 俞存根, 宋海棠, 丁跃平, 等. 浙江近海虾类资源量的初步评估[J]. 浙江水产学院学报, 1994, 13(3): 149-155.
- [2] 陈小庆, 俞存根, 虞聪达, 等. 东海中南部外海虾类群落结构特征分析[J]. 水生生物学报, 2009, (4): 664-673.
- [3] 宋海棠. 东海虾类的生态群落与区系特征[J]. 海洋科学集

- 刊, 2002, 44: 124–133.
- [4] 赵蒙蒙, 徐兆礼. 三门湾海域冬夏季十足目和十足目虾类的种类组成、时空分布及多样性分析[J]. 动物学杂志, 2011, 46(3): 11–18.
- [5] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [6] 曾晓起, 朴成华, 姜伟, 等. 胶州湾及其邻近水域渔业生物多样性的调查研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2004, 34(6): 977–982.
- [7] 吴耀泉, 柴温明. 胶州湾水产经济动物资源及其利用[J]. 海洋科学, 1993(5): 21–23.
- [8] 于海燕, 李新正, 李宝泉, 等. 胶州湾大型底栖甲壳动物数量动态变化[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(4): 289–295.
- [9] 吴耀泉, 张宝琳, 孙道元. 胶州湾中国对虾资源的生态特征[J]. 海洋科学集刊, 1996, 37: 131–134.
- [10] 陈晓娟, 薛莹, 徐宾铎, 等. 胶州湾中部海域春、夏季大型无脊椎动物群落结构及多样性特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(3): 78–84.
- [11] 李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态[J]. 动物学报, 2006(3): 80–84.
- [12] 中国技术监督局. 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查 GB/T12763.3-2007[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [13] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters [J]. Fish Bull, 1971, 152: 1–105.
- [14] Shannon E C, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Illinois: Urbana University of Illinois Press, 1948: 125.
- [15] Margalef D R. Information theory in ecology [J]. Gen System, 1958, 3: 36–71.
- [16] Pielou E C. Mathematical Ecology [M]. New York: John Wiley, 1977: 385.
- [17] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1993, 92: 205–219.
- [18] Clarke K R, Warwick R M. Changes in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation [M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd, 2001.
- [19] Clarke K R. Nonparametric multivariate analyses of changes in community structure [J]. Aust J Ecol, 1993, 18: 117–143.
- [20] Clarke K R, Warwick R M. Changes in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation (2nd edition) [M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd., 2001.
- [21] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33(1): 58–64.
- [22] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 153–183.
- [23] Clarke K R, Warwick R. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation [M]. Plymouth, UK: Natural Environmental Research Council, 1994: 144.
- [24] 郑师章, 吴千红, 王海波, 等. 普通生态学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1994: 148–175.

Community structure and diversity of shrimp assemblages in the central waters of Jiaozhou Bay, China

PANG Zhiwei¹, XU Binduo¹, CHEN Xuegang², REN Yiping¹

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Ocean and Fishery Bureau Qingdao Development Zone, Qingdao 266555, China

Abstract: Based on monthly bottom trawl surveys in the central waters of Jiaozhou Bay from September 2008 to August 2009, a study on the community structure and diversity of shrimps was carried out using an index of relative importance, ecological diversity indices, multivariate analysis and other methods. Survey results indicated that 17 shrimp species, belonging to 15 families and six genera, were caught. The relative monthly shrimp resource, which was highest in September, October and June, varied dramatically among months. The average catch weight per haul (h) ranged from 223.9 g/h to 3 422.9 g/h, and the average catch number per haul varied from 41 ind/h to 1 608 ind/h. Monthly changes were observed in the dominant species *Trachysalambria curvirostris*, *Parapenaeopsis tenella* and *Alpheus japonicus*. There were severe changes in the diversity index among months, with the indices in spring and summer being higher than those in autumn and winter. The Margalef's species richness index (*D*), Shannon-Wiener diversity index (*H'*) and Pielou's evenness index (*J*) of the community structure ranged from 0.77–1.89, 0.90–2.34 and 0.26–0.76, respectively. MDS and CLUSTER analysis identified four month groups, comprising Group I (April and May), Group II (December, January, February and March), Group III (June, September and October) and Group IV (July, August and November), for shrimp communities during the entire year in this area. ANOSIM analysis revealed significant differences in species composition between Group II and Group III or Group II and Group IV, but no significant differences between other groups. Typical species within-group and discriminating species between groups had a significant influence on the community structure. BIOENV analysis showed that bottom water temperature was the most important environmental factor affecting monthly variations in shrimp community structure in the central waters of Jiaozhou Bay.

Key words: Jiaozhou Bay; shrimp; community structure; species diversity

Corresponding author: REN Yiping. E-mail: renyip@ouc.edu.cn