

DOI: 10.5846/stxb201503040417

任中华, 李凡, 魏佳丽, 吕振波, 高彦洁, 丛旭日. 渤海东部海域秋季底层游泳动物种类组成及群落多样性. 生态学报, 2016, 36(17): - .
Ren Z H, Li F, Wei J L, Lü Z B, Gao Y J, Cong X R. Autumnal species composition and community diversity of nekton in the eastern Bohai Sea. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): - .

渤海东部海域秋季底层游泳动物种类组成及群落多样性

任中华^{1,2}, 李凡¹, 魏佳丽^{1,3}, 吕振波^{1,*}, 高彦洁^{1,2}, 丛旭日^{1,2}

1 山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264000

2 上海海洋大学, 海洋科学学院, 上海 201306

3 上海海洋大学, 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 根据 2014 年 9 月在渤海东部海域 (37°40'—38°20'N, 120°00'—121°20'E) 进行的游泳动物底拖网调查数据, 应用相对重要性指数、生物多样性指数、群落结构多元统计分析等方法对该海域游泳动物种类组成及群落多样性特征进行了分析。结果表明: 调查海域共捕获游泳动物 54 种, 以头足类枪乌贼 (*Loliolus spp.*) 为绝对优势种; 游泳动物资源密度为 28.82kg/h 和 5166ind./h。游泳动物种类 Margalef 丰富度指数 (D) 的变化范围为 1.99—3.67, Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 变化范围为 0.89—2.28, Pielou 均匀度指数 (J') 变化范围为 0.29—0.69。群落结构多元统计分析表明, 渤海东部海域游泳动物群落结构以 60% 的相似性可划分为 3 个组群: 长岛群岛海域组群 (A 组群)、龙口海域组群 (B 组群) 和蓬莱海域组群 (C 组群); ANOSIM 分析表明, 组群之间差异极显著, 两两之间差异亦极显著。受增殖放流影响, C 组群资源密度和种类多样性均保持较高的水平, 而 A、B 组群人为活动频繁, 过度捕捞严重, 对海域生态环境和渔业资源整体结构的破坏较大。

关键词: 渤海东部海域; 游泳动物; 种类组成; 优势种; 多样性; 群落结构

Autumnal species composition and community diversity of nekton in the eastern Bohai Sea

REN Zhonghua^{1,2}, LI Fan¹, WEI Jiali^{1,2}, LÜ Zhenbo^{1,*}, GAO Yanjie^{1,2}, CONG Xuri^{1,2}

1 Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China

2 Shanghai Ocean University, Institute of Marine science, Shanghai 201306, China

3 Shanghai Ocean University, Institute of Fisheries and Life Science 201306, China

Abstract: The species composition and community structural diversity of nekton was examined in the autumn at 21 stations in the eastern Bohai Sea (37°40'—38°20'N, 120°00'—121°20'E) using bottom trawl surveys. Analyses were performed using an index of relative importance, ecological diversity indices, multivariate analysis MDS, and CLUSTER using PRIMER 6 software and other methods. We identified 54 nekton species: 34 fishes, 17 crustaceans and 3 cephalopods, belonging to 23 families and 33 genera. There were 5 dominant species, with *Loliolus spp.* being the most dominant. There were also 11 relatively dominant species identified, including *Konosirus punctatus*, *Thrissa kammalensis*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Oratosquilla oratoria*, and *Portunus trituberculatus*. The relative nekton resources were 28.82 kg/kg² and 5166 ind./h, which had a variable spatial distribution. Much of the resource was centralized, with peak densities congregated

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目 (200905019); “水生动物营养与饲料‘泰山学者’岗位”经费

收稿日期: 2015-03-04; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ytlvzhenbo@163.com

around the Long Island Archipelago. Mantissa resources were mainly concentrated around the Long Island Archipelago and in the upper waters of Longkou. Stations SL12, SL14, SL15, SL16, and SL17 had the highest biomass, while stations SL03, SL06, SL07, SL09, SL12, SL15, and SL17 had the highest mantissa. Margalef's species richness index (D), Shannon-Wiener diversity index (H'), and Pielou's evenness index (J') of the community structure ranged from 1.99 to 3.67, 0.89 to 2.28, and 0.29 to 0.69, respectively. The MDS had a stress level of 0.15, which showed that the community structure of nekton in the eastern Bohai Sea Bay can be divided into three groups: the Long Island Archipelago group (Group A), the Longkou group (Group B), and the Penglai group (Group C). Group A included a single station (SL19), group B included stations SL01, SL02, SL04, SL05, SL08, and SL13, and group C included SL03, SL06, SL07, SL09, SL10, SL11, SL12, SL14, SL15, SL16, SL17, SL18, SL20, and SL21. ANOSIM analysis showed that in the winter, species compositions in the three groups were very significantly different ($P < 0.01$, with very significant differences between any two groups ($P < 0.01$). The typical within-group species and discriminating species between groups had a significant influence on the community structure. The typical within-group species of Group A was *Loliolus* spp., with a 97.45% cumulative contribution similarity rate. For group C, *Loliolus* spp., *Oratosquilla oratoria*, *Thrissa kammalensis*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Apogon lineatus*, and *Palaemon gravieri* combined to create a cumulative contribution similarity rate of 91.46%. For Group B, *Loliolus* spp., *Oratosquilla oratoria*, *Portunus trituberculatus*, *Trachysalambria curvirostris* and *Thrissa kammalensis* comprised the cumulative contribution similarity rate of 90.50%. The species discriminating between groups A and C were *Loliolus* spp., *Oratosquilla oratoria*, *Thrissa kammalensis*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Apogon lineatus*, *Palaemon gravieri*, *Engraulis japonicas*, *Konosirus punctatus* and *Alpheus japonicas*, whose dissimilarity cumulative contribution rate was 91.26%. For Groups A and B, the dissimilarity was due to *Loliolus* spp., *Oratosquilla oratoria*, *Portunus trituberculatus*, *Trachysalambria curvirostris*, *Thrissa kammalensis*, and *Apogon lineatus*, with a cumulative dissimilarity contribution rate of 53.14%. For Groups B and C, the species contributing to the dissimilarity were *Loliolus* spp., *Oratosquilla oratoria*, *Portunus trituberculatus*, *Trachysalambria curvirostris*, *Thrissa kammalensis*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Apogon lineatus*, *Palaemon gravieri*, *Konosirus punctatus* and *Alpheus japonicus*, with a cumulative dissimilarity contribution rate of 90.64%. The division between groups was relatively stable, as the assemblages conformed to the water environments in the different groups. The resource density and species diversity of Group C maintained a high level, due to restocking, whereas the marine ecological environment of Group A and B was damaged by frequent human activities, causing a reduction in nekton size, and leading to low diversity indices and resource density. This study aims to provide a scientific basis for the rational development and protection of nekton resources in the eastern Bohai Sea.

Key Words: eastern Bohai Sea; nekton community; composition; relative importance index; diversity; multivariate analysis

游泳动物洄游特性分为3种,长距离洄游种、短距离洄游种和地方性种类,渤海东部海域作为短距离洄游种和地方性种类的主要洄游路线具有重要意义。该海域处于黄渤海的链接地带,通有渤海海峡,自南向北水深逐渐加深,且平均水深高于渤海平均水深 18 m^[1];温度适宜,饵料充足,许多短距离洄游种类经黄海进入石岛、烟威沿岸行生殖洄游。幼体成长后向渤海海峡北部深水区移动,与成体混群栖息。可以看出,渤海东部海域以其得天独厚的自然条件为短距离洄游种类和地方性种类的繁殖、索饵、生长提供了便利,相较于渤海其他海域,该海域的生物多样性和资源量分布更能保持一个较高的水平。

20世纪80年代以来,由于近海主要经济鱼类的过度捕捞以及频繁的海洋开发活动,近海鱼类资源已经严重衰退,许多游泳动物种类已濒临灭绝。据调查,龙口附近海域的填海造陆活动对其附近海域的生态系统造成极大破坏,长岛群岛海域的旅游发展对附近海域的环境污染尤为严重,渤海东部海域的近岸水产养殖活动和过度捕捞压力造成该海域游泳动物趋向小型化发展。部分种类如许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*)、中国明对

虾(*Fenneropenaeus chinensis*)等只能靠增殖放流来维持种群数量^[2]。

近年来,针对渤海游泳动物群落结构、多样性及群落聚类等方面的研究文章较多,但主要集中在除渤海东部海域以外的其他渤海海域^[3-11],渤海东部海域游泳动物相关研究未见报道,无可参考对比。本文主要根据2014年9月在渤海东部海域进行的底拖网调查数据,利用生态优势度、群落多样性、多元统计分析等方法分析了该海域秋季游泳动物群落结构及多样性变化特征,主要了解该海域秋季游泳动物的群落结构特征和种类多样性,为后续研究该海域的群落结构年际变化季节变化作出指引,同时为渤海东部海域渔业资源的合理开发及保护提供科学建议。

1 材料与方法

1.1 数据来源

调查区域位于渤海东部 37°40′—38°20′N、120°00′—121°20′E 海域范围内,大致分为龙口海域、蓬莱海域和长岛群岛海域 3 个海域,于 2014 年 9 月在该海域进行 1 个航次底拖网调查。调查海域设置 21 个调查站位(表 1)。调查船只功率 260 kW,调查网具为单船底拖网,网口周长 30.6 m,网囊网目 20 mm,拖曳时网口宽度约 8 m。每站拖曳 1 h,拖速 3 Kn。渔获物样品参照《海洋调查规范(GB/T 12763.6—2007)^[12]进行生物学测定和分析处理。游泳动物种类名称及分类地位以《中国海洋生物名录^[13]》为依据。数据进行分析之前,将每个站位的渔获量统一标准化为生物量资源密度和尾数资源密度(kg/h, ind./h)。

表 1 渤海东部海域游泳动物调查站位表

Table 1 Location of the sampling stations in the eastern Bohai sea

站位 Sample	经度 Longitude	纬度 Latitude	站位 Sample	经度 Longitude	纬度 Latitude
SL01	121°01′	37°51′	SL12	121°12′	37°62′
SL02	121°02′	37°52′	SL13	121°13′	37°63′
SL03	121°03′	37°53′	SL14	121°14′	37°64′
SL04	121°04′	37°54′	SL15	121°15′	37°65′
SL05	121°05′	37°55′	SL16	121°16′	37°66′
SL06	121°06′	37°56′	SL17	121°17′	37°67′
SL07	121°07′	37°57′	SL18	121°18′	37°68′
SL08	121°08′	37°58′	SL19	121°19′	37°69′
SL09	121°09′	37°59′	SL20	121°20′	37°70′
SL10	121°10′	37°60′	SL21	121°21′	37°71′
SL11	121°11′	37°61′			

1.2 分析方法

1.2.1 相对重要性指数

采用 PINKAS 等^[14]相对重要性指数(*IRI*, index of relative importance)确定种类在群落中的重要性,计算公式为:

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

式中,*N*为某一种类的尾数资源密度占总尾数资源密度的百分比;*W*为某一种类的生物量资源密度占总生物量资源密度的百分比;*F*为某一种类出现的站位数占调查总站位数的百分比。将 *IRI* 值大于等于 1000 的种类定义为优势种。

1.2.2 群落多样性

采用 Margalrf 种类丰富度指数(*D*)^[15]、Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*)^[16]和 Pielou 均匀度指数(*J'*)^[17]分析游泳动物群落结构多样性,其计算公式为如下:

Margalrf 种类丰富度指数:

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

Shannon-Wiener 多样性指数:

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

Pielou 均匀度指数:

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

式中 S 为种类数, N 为总尾数资源密度, P_i 为第 i 种生物量资源密度占总生物量资源密度的比例, 多样性的计算采用 PRIMER 6 软件完成。

1.2.3 群落结构的多元统计分析

对渤海东部渔获游泳动物的生物量资源密度进行四次方根转换, 并计算 Bray-Curtis 相似性系数矩阵, 采用非度量多维标度分析(MDS)与等级聚类分析(CLUSTER)来研究游泳动物群落结构特征。同时用胁迫系数(Stress)来衡量 MDS 二维点图的优劣, 一般认为: 当 $0.1 < \text{stress} < 0.2$ 时, 可用 MDS 二维点图表示, 具有一定解释意义; 当 $0.05 < \text{stress} < 0.1$ 时, 排序效果基本可信; 当 $\text{stress} < 0.05$ 时, MDS 二维点图对群落结构排序具有很好的代表性^[18-19]。采用单因子相似性分析(ANOSIM)研究不同群落组群之间的差异, 采用相似性百分比分析(SIMPRES)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]。上述分析采用 PRIMER 6 软件完成。

2 结果与分析

2.1 种类组成

调查海域共捕获鱼类 34 种, 隶属于 23 科 33 属, 其中鲈形目种类最多, 共 16 种, 占鱼类调查总种数的 47.06%; 其次为鲱形目, 共 6 种, 占鱼类调查总种数的 17.65%。甲壳类 17 种, 隶属于 13 科 16 属, 其中口足目 16 种, 占甲壳类调查总种数的 94.12%, 口足目一种, 占 5.88%。头足类 3 种, 隶属于 2 科 2 属, 分别为短蛸, 枪乌贼和长蛸(附表 1)。

调查研究表明, 莱州湾游泳动物共 155 种, 其中鱼类 115 种, 甲壳类 40 种, 莱州湾和渤海鱼类种类基本一致^[20-21], 可以看出, 渤海东部海域游泳动物相对莱州湾海域种类数减少。历史资料中, 张春霖等报道渤海鱼类 116 种^[22]; 田明诚等调查记录渤海鱼类 156 种^[23], 朱鑫华等根据渤海调查记录鱼类 119 种^[24]。

2.2 优势种

本次调查优势种为 5 种, 以头足类枪乌贼(*Loliolus spp.*)为绝对优势种, 重要种有 11 种。表 2 可以看出, 斑鲹(*Konosirus punctatus*)、赤鼻棱鲷(*Thrissa kammalensis*)为渤海东部海域主要中上层鱼类; 矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)为主要的底层鱼类; 口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)为主要的甲壳类。16 种主要种类的重量累积百分比为 92.49%, 数量累积百分比为 94.63%, 在调查海域渔业资源分布中占有很大比例, 存在绝对优势。枪乌贼、斑鲹、赤鼻棱鲷和矛尾虾虎鱼等占比重最大的种类均为经济价值低、个体小的种类, 邓景耀等指出 20 世纪初渤海海域游泳动物群落结构已趋向小型化、低质化发展^[6]。

2.3 资源量及空间分布

调查海域游泳动物平均资源密度分别为 28.82kg/h 和 5166ind./h, 其中鱼类平均生物量资源密度和甲壳类相仿, 分别为 12.59kg/h、11.51kg/h, 头足类为最低, 为 4.73kg/h。如表 3 所示, 生物量资源密度以 SL12、SL14、SL15、SL16、SL17 站位捕获量最大, 集中于长岛群岛海域, 优良的水质条件和索饵水域为游泳动物的生长提供了便利的条件; 而尾数资源密度以 SL03、SL06、SL07、SL09、SL12、SL15、SL17 站位最大, 这些站位主要分布在龙口海域, 该区域渔获游泳动物以赤鼻棱鲷(*Thrissa kammalensis*)、鲷(*Engraulis japonicus*)和枪乌贼(*Loliolus spp.*)占比重最大, 3 种优势种类均为个体小、营养级低的小型中上层鱼类和无脊椎动物, 资源开发的

主要是当年生幼鱼^[25],造成该海域生物量资源密度低而尾数资源密度较高。

表 2 渤海东部海域群落优势种组成

Table 2 Dominant species of nekton community in the eastern Bohai sea

种类 Species	数量百分比 N% (Number)	重量百分比 W% (Weight)	出现站位数百分比 F% (Frequency)	相对重要性指数 IRI (index of relative importance)
枪乌贼 <i>Loliolus spp.</i>	33.11	10.48	100.00	4359.22
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	22.54	16.33	95.24	3702.19
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	9.87	22.60	100.00	3246.34
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	1.61	12.98	90.48	1320.54
斑鲦 <i>Konosirus punctatus</i>	2.13	11.57	95.24	1304.96
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	6.06	2.47	95.24	813.07
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>	7.74	1.63	85.71	803.29
短蛸 <i>Octopus minor</i>	1.30	4.18	95.24	522.71
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	4.53	0.68	71.43	371.59
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	1.83	0.71	85.71	218.06
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	1.80	0.54	85.71	200.66
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	0.41	2.03	80.95	197.02
许氏平鲷 <i>Sebastes schlegeli</i>	0.72	1.43	71.43	153.74
日本蜆 <i>Charybdis japonica</i>	0.17	1.42	90.48	144.58
方氏锦鲷 <i>Enedrias fangi</i>	0.64	1.68	61.90	143.33
长蛸 <i>Octopus fangsiao</i>	0.16	1.75	61.90	118.42

表 3 渤海游泳动物平均生物量、尾数资源密度分布

Table 3 Average biomass and mantissa resource density of nekton in the eastern Bohai sea

站位 Sample	生物量资源密度/(kg/h) Biomass resource density	尾数资源密度/ind./h Abundance resource density	站位 Sample	生物量资源密度/(kg/h) Biomass resource density	尾数资源密度/ind./h Abundance resource density
SL01	36.53	5064	SL12	41.47	6720
SL02	28.63	1772	SL13	18.74	2564
SL03	35.16	13485	SL14	105.02	5319
SL04	11.48	4191	SL15	51.17	9042
SL05	11.49	4231	SL16	46.06	4049
SL06	13.14	6053	SL17	43.97	8042
SL07	25.35	9471	SL18	16.97	2414
SL08	25.45	2177	SL19	12.37	4017
SL09	20.63	6608	SL20	11.09	3644
SL10	7.84	2772	SL21	8.68	1842
SL11	34.05	5022			

2.4 生物多样性

调查海域生物种类多样性指数平均为 1.70,变化范围为 0.89—2.28,最高值出现在 SL18 站位,最低值出现在 SL13 站位;物种均匀度指数平均为 0.53,变化范围 0.29—0.69,最高值出现在 SL18 站位,最低值出现在 SL13 站位;物种丰富度指数平均为 2.85,变化范围 1.99—3.67,最高值出现在 SL17 站位,最低值出现在 SL01 站位。渤海东部海域处于黄渤海连接地带,水质优良、饵料充足、栖息地保存较为完好,游泳动物物种多样性得以保持较高的水平;除了沿岸的养殖活动外,该海域捕捞强度相对较少,各站位均匀度较为一致;由于捕捞季节为秋冬,非游泳动物产卵繁殖时间,加之洄游等因素,因而各站位丰富度指数较小。

2.5 群落结构多元统计分析

根据 PRIMER6 多元统计分析,聚类结果及空间分布效果明显。图 1 为渤海东部海域游泳动物群落结构

CLUSTER 聚类分析和 MDS 分析的结果,根据 MDS 分析的胁迫系数(stress=0.15),MDS 排序结果可用二维点阵图表示。

游泳动物群落以 60% 的相似性划分为 3 组,分别为 A 组群(SL19 号站)、B 组群(SL01—SL02,SL04—SL05,SL08 和 SL13 号站)及 C 组群(SL03,SL06—SL07,SL09—SL12,SL14—SL18 和 SL20—SL21 号站)。A 组群位于长岛群岛的单个站位,多样性指数均处于较低的水平;C 组群广泛分布于蓬莱海域和长岛群岛海域;B 组群集中分布于龙口海域,三个群落由近海近岸海域向东北方向分布。ANOSIM 分析表明,3 个组群之间差异极显著($P<0.01$),两两之间差异亦极显著($P<0.01$),说明分组结果较好。本次调查无海域水质和底质调查,因而通过种类组成和群落结构作出初步分组,为后续游泳动物群落结构与环境因子相结合分组研究作出辅助。

SIMPER 分析表明,本次调查聚类分析结果中,对组内相似性贡献较大的典型种如表 4 所示,对 A 组群相似性贡献较大的种类为枪乌贼,累积相似性贡献率为 97.45%;对 B 组群相似性贡献率较大的种类为枪乌贼、口虾蛄、三疣梭子蟹、鹰爪虾、赤鼻棱鳀,累积相似性贡献率为 90.50%;对 C 组群相似性贡献率较大的种类为枪乌贼、口虾蛄、赤鼻棱鳀、矛尾虾虎鱼、细条天竺鲷、葛氏长臂虾,累积相似性贡献率为 91.46%。对各两组群间的组间相异性贡献百分比较大的分歧种如表 5 所示,其中对 A 和 B 组群、A 和 C 组群以及 B 和 C 组群相异性贡献均较大的种类有枪乌贼、口虾蛄、赤鼻棱鳀和细条天竺鲷,为小型化、低质化种类,经济价值低,一定程度上反映出该海域游泳动物种类变化趋势。

表 4 各组群典型种及其对组内相似性贡献百分比

Table 4 Typifying species and their percentage contributions to the within-group similarity for shrimp community

种类 Species	游泳动物组群 Nekton group		
	A	B	C
枪乌贼 <i>Loliolus</i> spp.	97.45	70.86	24.03
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		13.83	9.74
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>		2.83	
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>		1.19	
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>		1.79	7.13
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>			34.31
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>			11.64
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>			4.61

表 5 各两组群分歧种及其对组间差异性贡献百分比

Table 5 Discrimination species and their percentage contributions to the every two groups dissimilarity for shrimp

种类 Species	游泳动物组群 Nekton group		
	A-B	B-C	A-C
枪乌贼 <i>Loliolus</i> spp.	22.01	27.49	13.94
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	10.03	9.21	7.44
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	1.46	1.8	
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	1.63	2.17	
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	13.38	5.7	7.49
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>		25.79	20.97
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>	4.63	8.96	6.12
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>		4.81	4.25
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>		27.15	
斑鲳 <i>Konosirus punctatus</i>		2.42	1.94
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>		2.29	1.96

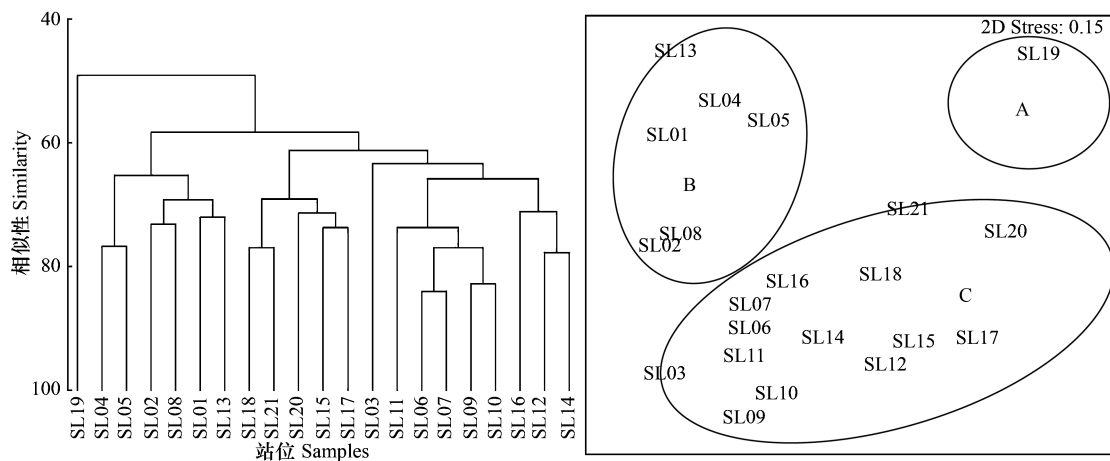


图1 渤海东部游泳动物 CLUSTER 与 MDS 聚类分析结果

Fig.1 Results of CLUSTER analysis and MDS analysis of nekton community

3 讨论

3.1 渤海东部海域游泳动物种类组成分析

渤海东部海域位处黄渤海的链接地带,平均水深高于渤海平均水深 18m^[1],资源丰富,海水理化性质稳定,适宜海洋生物的生长繁殖^[26],因其得天独厚的优越条件,长期以海洋渔业和水产养殖作为该地区的主要经济来源,并伴随海岛旅游业的不断发展。

近年来随着环渤海地区社会经济的不断发展和人类对海洋资源的开发和利用,使得海洋生态环境受到一定程度的干扰和破坏。从国家海洋局海洋环境质量公报中可知,严重污染海域主要集中在辽东湾近岸、渤海湾、黄河口和莱州湾,这都与渤海的地形与环流特征密切相关^[1]。渤海主要海水运动形式为潮汐运动,环流主要表现为潮余流^[27-28],并且潮余流在渤海是形成污染物扩散的主要应力之一。渤海东部海域连接黄渤海,通有渤海海峡,潮流运动合理,海域水交换能力的强,能充分利用自净能力,能最大化地减少污染对渤海生态系统的负面影响。

自 20 世纪 50 年代以来受人类活动(包括过度捕捞、水利建设、陆源污染、海洋海岸工程、水产养殖等)以及气候变化的影响,渤海东部海域游泳动物群落受到了严重干扰,游泳动物种数特别是鱼类种数总体呈下降趋势。蓬莱海域每年的增殖放流活动在一定程度上能补充游泳动物资源量,较之于莱州湾目前放流种类^[20],渤海东部海域放流种类较少,在本调查中仅渔获到许氏平鲉、黑棘鲷、三疣梭子蟹和中国明对虾 4 种,其他增殖放流种类没有捕获到可能与调查站位布设有关。

3.2 优势种

目前渤海东部海域游泳动物群落主要种类主要为个体小、营养级低、经济价值低的种类(表 6),优势种类的营养级以 3 级(食物链中的次级消费者)为主。研究指出,1959 年莱州湾优势种为带鱼(*Trichiurus japonicus*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)、对虾(*Penaeus chinensis*)和白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)等 5 种大型底层鱼虾类^[6];1982、1992—1993 年和 1998 年进行的 3 次调查结果表明,上述优势种群逐步为黄鲫(*Setipinnataty*)、鲰(*Engraulis japonicus*)、赤鼻棱鲰(*Scutengraulis kammalensis*)、斑鲷(*Clupanodon punctatus*)、枪乌贼(*Loligo spp.*)、青鳞小沙丁鱼(*Harengula zunasi*)等小型中上层鱼类所代替,优势种向小型化和低质化发展,游泳动物群落结构变化;1982 年以来,莱州湾优势种变化不大,但渔获的数和量却逐年下降。相较于莱州湾,其毗邻海域渤海东部海域的优势种发展趋势相同:底质化和小型化,且渔获资源量较低。

表 6 渤海东部海域游泳动物主要种类特征

Table 6 Characteristics of main species of nekton in the eastern Bohai sea

种类 Species	平均个体重量 Average body weight	经济价值* Economic value	个体大小* Body size	营养级** Tropic level
枪乌贼(<i>Lololus</i> spp.)	0.18	C	I	4.1
矛尾虾虎鱼(<i>Chaeturichthys stigmatias</i>)	0.40	E	I	3.3
口虾蛄(<i>Oratosquilla oratoria</i>)	1.28	C	I	3.7
三疣梭子蟹(<i>Portunus trituberculatus</i>)	4.50	A	II	3.2
斑鲆(<i>Konosirus punctatus</i>)	3.03	D	II	2.9
赤鼻棱鳀(<i>Thrissa kammalensis</i>)	0.23	D	I	3.1
细条天竺鲷(<i>Apogon lineatus</i>)	0.12	D	I	3.2
短蛸(<i>Octopus minor</i>)	1.79	B	III	4.1
葛氏长臂虾(<i>Palaemon gravieri</i>)	0.08	C	I	3.6
鹰爪虾(<i>Trachysalambria curvirostris</i>)	0.22	B	I	3.3
日本鼓虾(<i>Alpheus japonicus</i>)	0.17	D	I	3.5
长蛇鲻(<i>Saurida elongata</i>)	2.79	C	IV	4.1
许氏平鲷(<i>Sebastes schlegeli</i>)	1.10	A	III	3.0
日本鳀(<i>Charybdis japonica</i>)	4.56	C	I	3.9
方氏锦鳎(<i>Enedrias fangi</i>)	1.47	D	I	3.1
长蛸(<i>Octopus fangsiao</i>)	5.98	B	III	4.1

I: 小型 Small sized; II 中小型 Small and medium-sized; III: 中型 Medium sized; IV: 大中小型 Large and medium-sized; V: 大型 Large sized; A: 优质类 Very high; B: 经济类 High; C: 次经济类 Medium; D: 低质类 Low; * 数据引自唐启升和叶懋中^[29]; * * 数据引自 Fishbase 数据库 Froese & Pauly 和杨纪明^[30-31] 的文献

孙中之等^[32] 研究指出: 20 世纪 50 年代末至今游泳动物群落优势种沿带鱼(*Trichiurus japonicus*)→黄鲫(*Setipinna taty*)→鳀→赤鼻棱鳀→枪乌贼方向, 不断朝向更小型化的方向演替, 与其对比, 本次渔获游泳动物优势种类鳀、赤鼻棱鳀和枪乌贼等与小型化趋势相仿, 个体较小、营养价值和经济价值均较低。

3.3 游泳动物群落多样性分析

龙口海域尾数资源密度较高, 生物量资源密度较小, 这可能与龙口市填海造地的活动有关, 同时, 龙口上方海域的养殖活动对 N、P、K 等水质环境因子影响较大, 可能会对游泳动物个体的生长造成影响^[33]。渤海东部海域游泳动物多样性指数整体较高, 均与度指数次之, 丰富度指数整体较低。SL01、SL03、SL04 和 SL13 站位位于龙口上方海域养殖区内, 指数偏低可能与该区域 N、P 污染较重, 富营养化程度较高有关^[25,30]; SL19 站位位于长岛群岛风景区, 受人为扰动程度较大。SL10 站位出现的细条天竺鲷渔获资源量高达 648ind./h, 其次为矛尾虾虎鱼、葛氏长臂虾、日本鼓虾, 渔获资源量分别为 372ind./h、360ind./h 和 324ind./h; SL17 站位矛尾虾虎鱼渔获资源量高达 3432ind./h, 赤鼻棱鳀、枪乌贼和细条天竺鲷次之, 分别为 1608ind./h、840ind./h 和 720ind./h, 两个站位主要渔获种类的个体较小, 但尾数资源密度较高, 丰富度指数相对较高。除 SL01、SL03、SL13 和 SL19 站位外, 其余展位的多样性指数均处于较高水平。SL03 和 SL13 站位位于养殖区域, 养殖活动产生的污染造成附近海域水质状况不佳, 游泳动物群落生长、繁殖受到阻碍, 生物多样性显著降低。目前针对渤海东部海域游泳动物群落结构及其多样性的研究较少, 笔者建议调查海域管理部门应根据当地经济社会发展合理规划海域使用, 减少人为发展、建设活动中对海域生态环境的破坏, 加强对受污染海域的治理, 合理利用渔业资源, 使海域生态环境、渔业资源可持续发展。

3.4 游泳动物群落结构空间格局

游泳动物群落以 60% 的相似性划分为 3 组, 分别为 A 组群 (SL19 号站)、B 组群 (SL01—SL02, SL04—SL05, SL08 和 SL13 号站) 及 C 组群 (SL03, SL06—SL07, SL09—SL12, SL14—SL18 和 SL20—SL21 号站)。A 组群包含单个站位, SL19 站位位于长岛群岛风景区, 旅游开发的海钓、海上娱乐、观赏等活动造成该海域生态环境破坏, 改变游泳动物的群落结构, 使该海域游泳动物的生物多样性减小, SL19 站位游泳动物种类数为 18

种,均为小型种类,鳀、枪乌贼和赤鼻棱鳀渔获资源量最高,分别为 1824ind./h、1182ind./h 和 720ind./h,其余种类渔获资源量均小于 100ind./h,该站位渔获种类 75%属于中上层种类,垂直分布不均匀,这可能与底层生态环境遭到破坏有关。C 组群主要集中于龙口上方海域,该海域调查站位渔获游泳动物种类数较少,丰富度指数很低,枪乌贼占主导地位,与口虾蛄、三疣梭子蟹、鹰爪虾和赤鼻棱鳀的相似性的贡献率达到 90.50%。C 组群位于蓬莱上方海域,渔获种类数多,矛尾虾虎鱼和枪乌贼占主导地位,垂直分布均匀,同时,该海域水深相对较深,温度相对较高,适合大部分游泳动物的冬季越冬。本次调查发现的 4 种增殖放流种类均集中于 C 组群调查站位,可能受增殖放流的影响,该海域游泳动物种类多样性保持较高的水平,渔获资源量相对较高。

致谢:感谢山东省海洋资源与环境研究院环境监测中心何鑫、苏博以及鲁昌渔 64193 船长陈奎贤和船员在出海调查取样过程中给予的帮助。

参考文献 (References):

- [1] 李裴. 渤海海域潮流及潮流余流的数值模拟[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [2] 逢志伟, 徐宾铎, 陈学刚, 任一平. 胶州湾中部海域虾类群落结构及其多样性. 中国水产科学, 2013, 20(2): 361-371.
- [3] 高音, 刘明勇, 汤勇, 李九奇, 邢彬彬. 辽东湾渔业资源及生态环境的调查分析. 大连海洋大学学报, 2013, 28(2): 211-216.
- [4] 吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 张沛东, 李文涛. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系. 生态学报, 2012, 32(21): 6737-6746.
- [5] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.
- [6] 邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究. 动物学研究, 2000, 21(1): 76-82.
- [7] 李凡, 吕振波, 魏振华, 王田田, 徐炳庆, 王忠全. 2010 年莱州湾底层渔业生物群落结构及其季节变化. 中国水产科学, 2014, 20(1): 137-147.
- [8] 孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 陈云龙, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化. 生态学报, 2014, 34(2): 367-376.
- [9] 郑亮, 吕振波, 李凡, 张岚, 于文宋. 调水调沙期间黄河口海域鱼类群落结构特征. 中国水产科学, 2014, 21(3): 602-610.
- [10] 张波, 吴强, 金显仕. 莱州湾鱼类群落的营养结构及其变化. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 2-9.
- [11] 吴强, 王俊, 李忠义, 陈瑞盛, 孙坚强, 金显仕. 黄渤海春季甲壳类群落结构的季节变化. 水产学报, 2012, 36(11): 1686-1693.
- [12] 国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.
- [13] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 2008: 903-1066.
- [14] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [15] Margalef R. Information theory in ecology. General System, 1958, 25(1): 393-399.
- [16] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.
- [17] Pielou E C. Ecological Diversity. New York: Wiley, 1975.
- [18] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Marine Ecology-Progress Series, 1993, 92: 205-219.
- [19] Clarke K R, Warwick R M. Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd., 2001.
- [20] 李凡, 张焕军, 吕振波, 徐炳庆, 郑亮. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性. 生物多样性, 2013, 21(5): 537-546.
- [21] Chen D G, Shen W Q, Liu Q, Jiao Y, Zeng X Q, Ren Y P. The geographical characteristics and fish species diversity in the Laizhou Bay and Yellow River estuary. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(3): 46-52.
- [22] 张春霖, 成庆泰, 郑葆珊. 黄渤海鱼类调查报告. 北京: 科学出版社, 1955.
- [23] 田明诚, 孙宝龄, 杨纪明. 渤海鱼类区系分析. 海洋科学集刊, 1993, (34): 157-167.
- [24] 朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 叶懋中, 赵紫晶. 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究. 海洋学报, 1994, 16(3): 102-112.
- [25] 山东省海洋与渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [26] 赵瑞. 长岛海域大型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [27] 王辉, 苏志清, 冯士管, 孙文心. 渤海三维风生-热盐-潮致 Lagrange 余流数值计算. 海洋学报, 1993, 15(1): 9-21.
- [28] 王强. 渤海环流的季节变化及浮游生态动力学模拟[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [29] 唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护. 北京: 农业出版社, 1990.

- [30] Froese R, Pauly D. FishBase. [2015-03-01]. <http://www.fishbase.org>.
- [31] 杨纪明. 渤海无脊椎动物的食性和营养级研究. 现代渔业信息, 2001, 16(9): 8-16.
- [32] 孙中之, 周军, 王俊, 赵振良, 庄申, 陈宇, 阎伟, 许玉甫, 王成华, 高文斌, 孟维东. 黄渤海区拖网渔具综合定性调查及特点分析. 渔业科学进展, 2011, 32(5): 126-134.
- [33] 任中华, 郑亮, 李凡, 吕振波. 莱州湾海域虾类群落结构及其多样性. 海洋渔业, 2014, 36(3): 193-201.

附表1 渤海东部海域捕获游泳动物种类组成

Additional 1 Composition of nekton species in the eastern Bohai sea

分类 Classification	物种 Species	目 Order	科 Family	属 Genus	
鱼类 Fishes	孔鲀(<i>Raja kenoei</i>)	鲛形目	鲛科	鲛属	
	青鳞小沙丁鱼(<i>Sardinella zunasi</i>)	鲱形目	鲱科	小沙丁鱼属	
	斑鲹(<i>Konosirus punctatus</i>)	鲱形目	鲱科	斑鲹属	
	鳀(<i>Engraulis japonicus</i>)	鲱形目	鳀科	鳀属	
	黄鲫(<i>Setipinna taty</i>)	鲱形目	鳀科	黄鲫属	
	赤鼻棱鳀(<i>Thrissa kammalensis</i>)	鲱形目	鳀科	棱鳀属	
	中颌棱鳀(<i>Thrissa mystax</i>)	鲱形目	鳀科	棱鳀属	
	长蛇鲭(<i>Saurida elongata</i>)	仙女鱼目	狗母鱼科	蛇鲭属	
	尖海龙(<i>Syngnathus acus</i>)	刺鱼目	海龙科	海龙属	
	许氏平鲉(<i>Sebastes schlegeli</i>)	鲉形目	鲉科	平鲉属	
	绿鳍鱼(<i>Chelidonichthys spinosus</i>)	鲉形目	鲉科	绿鳍鱼属	
	鲷(<i>Platycephalus indicus</i>)	鲷形目	鲷科	鲷属	
	大泷六线鱼(<i>Hexagrammos otakii</i>)	鲷形目	六线鱼科	六线鱼属	
	细条天竺鲷(<i>Apogon lineatus</i>)	鲷形目	天竺鲷科	天竺鲷属	
	多鳞鱈(<i>Sillago sihama</i>)	鲷形目	鱈科	鱈属	
	皮氏叫姑鱼(<i>Johnius belengerii</i>)	鲷形目	石首鱼科	叫姑鱼属	
	银姑鱼(<i>Pennahia argentatus</i>)	鲷形目	石首鱼科	银姑鱼属	
	小黄鱼(<i>Larimichthys polyactis</i>)	鲷形目	石首鱼科	黄鱼属	
	黑棘鲷(<i>Sparus macrocephalus</i>)	鲷形目	鲷科	鲷属	
	方氏锦鲷(<i>Enedrias fangi</i>)	鲷形目	锦鲷科	云鲷属	
	绵鲷(<i>Enchelyopus elongatus</i>)	鲷形目	绵鲷科	绵鲷属	
	绯衍(<i>Callionymus beniteguri</i>)	鲷形目	鱼科	属	
	小带鱼(<i>Eupleurogrammus punctamanus</i>)	鲷形目	带鱼科	小带鱼属	
	蓝点马鲛(<i>Scomberomorus niphonius</i>)	鲷形目	鲭科	马鲛属	
	髯须虾虎鱼(<i>Tridentiger barbatus</i>)	鲷形目	虾虎鱼科	须须虾虎鱼属	
	长丝虾虎鱼(<i>Cryptocentrus filifer</i>)	鲷形目	虾虎鱼科	丝须虾虎鱼属	
	矛尾虾虎鱼(<i>Chaeturichthys stigmatias</i>)	鲷形目	虾虎鱼科	矛尾虾虎鱼属	
	中华栉孔虾虎鱼(<i>Ctenotrypauchen chinensis</i>)	鲷形目	虾虎鱼科	栉孔虾虎鱼属	
	普氏缙虾虎鱼(<i>Amoya pflaumi</i>)	鲷形目	虾虎鱼科	普氏缙虾虎鱼属	
	钝吻黄盖鲽(<i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>)	鲽形目	鲽科	黄盖鲽属	
	石鲽(<i>Kareius bicoloratus</i>)	鲽形目	鲽科	石鲽属	
	短吻红舌鲷(<i>Cynoglossus joyeri</i>)	鲽形目	舌鲷科	舌鲷属	
	绿鳍马面鲀(<i>Thamnaconus modestus</i>)	鲀形目	鲀科	马面鲀属	
	假睛东方鲀(<i>Takifugu pseudommus</i>)	鲀形目	鲀科	东方鲀属	
	甲壳类 Crustaceans	口虾蛄(<i>Oratosquilla oratoria</i>)	十足目	虾蛄科	口虾蛄属
		中国明对虾(<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	十足目	对虾科	明对虾属
		鹰爪虾(<i>Trachysalambria curvirostris</i>)	十足目	对虾科	鹰爪虾属
		鲜明鼓虾(<i>Alpheus distinguendus</i>)	十足目	鼓虾科	鼓虾属
		日本鼓虾(<i>Alpheus japonicus</i>)	十足目	鼓虾科	鼓虾属

续表

分类 Classification	物种 Species	目 Order	科 Family	属 Genus
	日本褐虾 (<i>Crangon hakodatei</i>)	十足目	褐虾科	褐虾属
	葛氏长臂虾 (<i>Palaemon gravieri</i>)	十足目	长臂虾科	长臂虾属
	红条鞭腕虾 (<i>Lysmata vittata</i>)	十足目	藻虾科	鞭腕虾属
	大螯蛄虾 (<i>Upogebia major</i>)	十足目	螯蛄虾科	螯蛄虾属
	隆线强蟹 (<i>Eucrate crenata</i>)	十足目	宽背蟹科	强蟹属
	泥脚隆背蟹 (<i>Carcinoplax vestita</i>)	十足目	长脚蟹科	隆背蟹属
	三疣梭子蟹 (<i>Portunus trituberculatus</i>)	十足目	梭子蟹科	梭子蟹属
	日本螯 (<i>Charybdis japonica</i>)	十足目	梭子蟹科	螯属
	颗粒拟关公蟹 (<i>Dorippe granulata</i>)	十足目	关公蟹科	关公蟹属
	日本关公蟹 (<i>Dorippe japonica</i>)	十足目	关公蟹科	拟平家蟹属
	四齿矶蟹 (<i>Pugettia quadridens</i>)	十足目	蜘蛛蟹科	矶蟹科
	日本大眼蟹 (<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	十足目	沙蟹科	大眼蟹属
头足类	枪乌贼 (<i>Loliolus spp.</i>)	枪形目	蛸科	蛸属
Crustaceans	短蛸 (<i>Octopus minor</i>)	八腕目	枪乌贼科	拟枪乌贼属
	长蛸 (<i>Octopus fangsiao</i>)	八腕目	蛸科	蛸属