



## 黄海北部近岸海域渔业生物群落结构

崔培东<sup>1,2</sup>, 卞晓东<sup>2,3</sup>, 张雨轩<sup>2,3</sup>, 单秀娟<sup>2,3</sup>,  
金显仕<sup>2,3\*</sup>, 赵永松<sup>2</sup>, 王惠宾<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村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;

3. 山东长岛近海渔业资源国家野外科学观测研究站, 山东 烟台 265800)

**摘要:** 为摸清黄海北部近岸海域渔业生物群落结构现状, 并揭示其时空变化的主要环境驱动因子, 于2021年4—11月在该海域开展了6航次底拖网及环境调查。运用丰度-生物量比较曲线、聚类分析和非度量多维标度排序等方法分析了海域渔业资源种类组成及优势度、群落多样性及年内演替; 运用典范对应分析(CCA)探讨了群落结构时空变化与环境因子之间的关系。结果显示, 调查采集到的种类共有89种, 包括鱼类50种和无脊椎动物39种。鳀已成为海域主要中上层优势鱼种, 大泷六线鱼、细纹狮子鱼和脊腹褐虾等冷温性种类成为季节性主要渔业生物, 小黄鱼、蓝点马鲛和鲈等传统资源仍在衰退过程中。调查发现部分真鲷幼体及集群蓝圆鲹幼体, 海域或有其育幼场存在。调查期间内群落大部分时间处于不稳定状态, 其中4月群落显示中等干扰, 5—11月群落均显示严重干扰。在所选环境因子中, 海表温(SST)、海底温(SBT)、海底盐(SBS)和叶绿素(Chl.a)是导致群落结构时空变化的主要环境因子, 其中SST和SBT的影响尤为显著。本研究系统阐明了黄海北部近岸海域渔业生物群落结构特征和季节性演替, 为进一步了解该海域渔业生物群落结构现状及其对环境因子的响应提供了参考。

**关键词:** 优势种; 生物多样性; 群落结构; 典范对应分析(CCA); 黄海北部

**中图分类号:** Q 178.1<sup>+</sup>4; S 931

**文献标志码:** A

黄海北部近岸海域岛屿密布, 有大洋河、辽河、鸭绿江等诸多河流汇入, 同时受辽南沿岸流、辽东湾沿岸流、黄海暖流及黄海冷水团的交错影响, 有机质和营养盐丰富, 诸多海洋生物在此栖息繁衍, 曾是黄海北部的重要产卵场和重要的渔业水域<sup>[1-5]</sup>。该海域地处暖温带又属近岸, 海陆交互频繁, 自然界各圈层相互影响活跃, 气候复杂

多变<sup>[3]</sup>; 同时受到人类捕捞活动、伏季休渔制度的实施、增殖放流活动和近海增养殖业发展等多重因素影响, 渔业生物群落结构常呈现明显年际变动。

国内已开展过多次黄海北部近岸海域渔业生物资源调查, 对海区渔获种类组成、区系特征、资源数量变动和群落结构等进行了相关研究<sup>[1, 3, 5-11]</sup>。

收稿日期: 2022-07-18 修回日期: 2023-02-23

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900903); 农业农村部财政项目“黄渤海产卵场调查”(125C0505); 国家自然科学基金(41506168); 山东省泰山学者专项(tsqn202103135); 黄渤海渔业资源与生态创新团队专项(2020TD01)

第一作者: 崔培东(照片), 从事鱼类早期生活史及其生态学、渔业资源评估研究,  
E-mail: cui18621162327@163.com

通信作者: 金显仕, 从事渔业资源生态学研究, E-mail: jin@ysfri.ac.cn



20 世纪 50、60 年代海域捕捞生产处于初级阶段, 渔业资源相对稳定<sup>[3]</sup>; 随着渔业技术的不断发展和捕捞强度的增加, 海域底层经济渔业资源逐步衰退, 20 世纪 60 年代后陆续转为开发大中型中上层渔业资源; 20 世纪 90 年代又对小型中上层鱼类进行大规模开发利用, 渔业资源结构进一步发生改变<sup>[3]</sup>。在长期高强度的渔业捕捞压力下, 传统经济种类亲体、当年生幼鱼均遭受过度捕捞, 影响了渔业资源的可持续利用<sup>[1]</sup>。20 世纪 90 年代以后, 海域渔业资源逐渐趋于低龄化、小型化和低值化, 短生命周期、低营养级的小型中上层鱼类、头足类和小型虾、蟹类逐步代替大中型经济种类<sup>[8]</sup>。在巨大捕捞压力下, 小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*)、蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 等传统捕捞对象在 2010—2017 年已基本无规模渔汛, 鳀 (*Engraulis japonicus*) 捕捞量也呈下降趋势, 个别年份上半年双拖网作业更是呈现停产状态<sup>[11]</sup>。历经几十年的开发利用, 黄海北部近岸海域渔业生物群落结构已发生改变, 有关该海域渔业生物群落结构变化的研究前述各调查虽均有涉及, 但尚缺乏主要产卵期较为连续的观测资料, 且有关海域生态环境及其对群落结构影响机制的描述较少。

因此, 本实验于 2021 年 4—11 月在黄海北部近岸海域产卵场展开调查, 开展了 6 航次 11 站次

渔业资源调查和 20 站次栖息环境调查, 运用典范对应分析法对海区渔业资源种类组成及数量分布、群落结构稳定性及月际变动、生物多样性变化及群落结构时空变化与环境因子的关系进行了分析, 以期阐明海域渔业资源种类组成和数量分布特征, 并为海域渔业资源合理开发利用提供生态学基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源与调查方法

2021 年 4 月 (4 月 18—21 日)、5—6 月 (5 月 28 日—6 月 1 日)、7 月 (7 月 21—24 日)、8 月 (8 月 17—20 日)、9 月 (9 月 11—14 日)、10—11 月 (10 月 31 日—11 月 4 日) 于黄海北部近岸海域进行了底拖网调查。调查区域为 38.75°~39.25°N, 122°~124°E, 总计 11 站 (图 1, S1~S11)。期间采用“中渔科 102”调查船单船底拖网取样, 网目 200 mm×440 目, 网具规格 46.6 m×58 m, 网口高、宽度 6 m×21 m, 上纲长度 45 m, 底纲长度 47 m, 囊网网目 20 mm×620 目, 每站拖网 1 h, 拖速为 3 kn, 网口宽度根据水深和曳纲长度, 一般为 18~22 m。现场鉴定和记录每站渔获物的种类与数量。调查与采样方法按照《海洋调查规范第 6 部

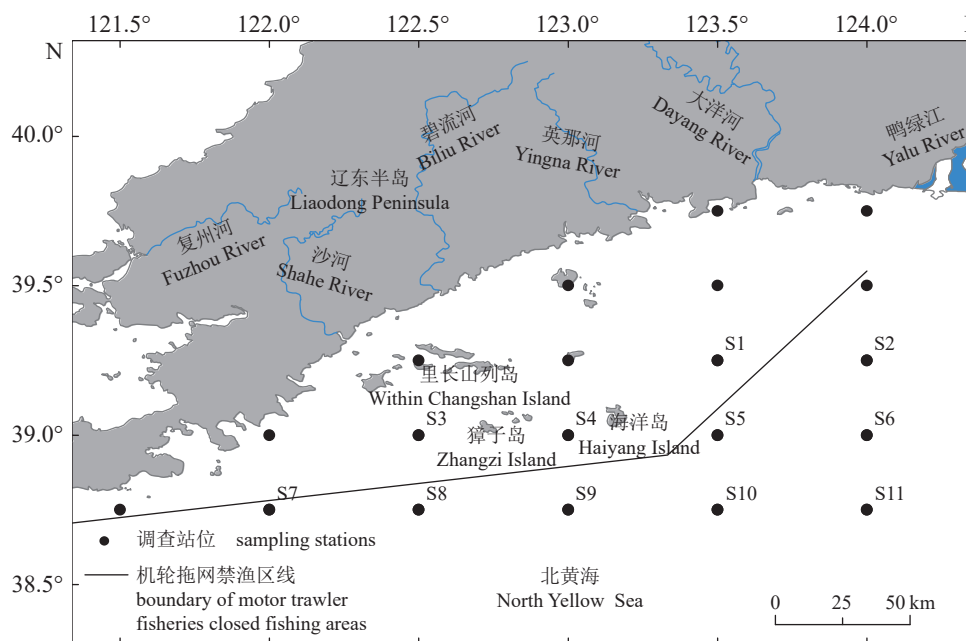


图 1 黄海北部近岸海域生态调查站位及拖网调查站位分布

全部站位进行生态环境调查; S1~S11 表示拖网调查站位。

Fig. 1 Distribution of ecological survey stations and trawl survey stations in offshore waters of the North Yellow Sea

Ecological survey was carried out in all stations; S1-S11. trawl survey station.

分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007) 执行。物种分类依据《中国海洋生物名录》<sup>[12]</sup> 及《中国北部海洋无脊椎动物》<sup>[13]</sup>。实验期间, 操作者严格遵守实验动物福利伦理规范。

将调查所获的鱼类资源按照 FishBase (<https://www.fishbase.in/search.php>)、Taiwan Fish Database (<http://fishdb.sinica.edu.tw>) 以及刘静等<sup>[14]</sup> 划分的栖息类型判断分布水层。依据 Tian 等<sup>[15]</sup> 的研究将所获鱼类划分不同适温类型。参考《中国经济动物志-海产鱼类》<sup>[16]</sup>、《黄渤海近岸水域生态环境与生物群落》<sup>[3]</sup> 等相关研究来衡量各渔业资源的经济价值。

对海域 20 站位进行生态环境调查 (图 1), 基本环境要素 (温度、盐度) 使用美国 Seabird 19 plus 及德国 Sea & Sun Technology CTD 60M 温盐深仪现场测量。分别选择海水表层 0.5 m 内和海水底层 0.5 m 内的温度、盐度平均值作为表、底层盐数据。根据船载声呐读取各站位的实测水深。使用采水器采取 500 mL 表层海水并过滤至玻璃纤维滤膜 (孔径 0.7 μm) 上以获取表层叶绿素 *a* (Chl.*a*) 样品, 冷冻保存带回实验室, 用 90% 丙酮溶液于 -20 °C 环境下冷冻萃取滤膜 12 h, 后放入 Turner Designs Trilogy 测定 Chl.*a* 浓度。

由于 7 月航次仪器故障, 因此当月表层温度和叶绿素数据选用美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) (<https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/erddap/griddap/index>) 所提供的月平均数据, 底层温度和盐度数据选用哥白尼海洋环境监测服务中心 (Copernicus Marine Environment Monitoring Service, CMEMS) ([https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL\\_ANALYSIS\\_FORECAST\\_PHY\\_001\\_024/INFORMATION](https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024/INFORMATION)) 所提供的月平均数据, 并应用 ArcGIS 10.2 进行克里金空间插值统一空间分辨率。

## 1.2 群落物种优势度及相对资源密度

采用 Pianka<sup>[17]</sup> 的相对重要性指数 (index of relative importance, IRI) 作为群落优势度指标:

$$IRI = (N + W) \times F \quad (1)$$

式中,  $N$  和  $W$  分别为每种渔获生物占所捕总量的个体数百分比和重量百分比,  $F$  为出现频率百分比。将  $IRI \geq 1000$  的种类定义为优势种,  $100 \leq IRI < 1000$  的种类定义为重要种,  $10 \leq IRI < 100$  的

种类定义为常见种,  $1 \leq IRI < 10$  的种类定义为一般种,  $IRI < 1$  的种类定义为少见种<sup>[3]</sup>。本研究将  $IRI \geq 10$  (包括优势种、重要种和常见种) 的渔业生物 (鱼类、甲壳类及头足类) 视为群落的主要种类<sup>[3]</sup>。

考虑到底拖网的选择作用, 根据各站位扫海面积和各种类的可捕系数对现存渔业生物资源密度进行扫海面积法估算<sup>[18-20]</sup>:

$$\rho = C / (a \times q) \quad (2)$$

式中,  $\rho$  为资源密度 (单位面积资源生物量, kg/m<sup>2</sup>),  $C$  为平均每小时拖网渔获量 (kg/h),  $a$  为每小时扫海面积 (m<sup>2</sup>/h),  $q$  为捕捞系数。网具扫海面积 ( $a$ ) 根据网口宽度 (平均为 0.02 km) 与每小时的拖曳距离 (5.556 km) 计算, 因此每网扫海面积为 0.11 km<sup>2</sup>。中上层鱼类的可捕系数取 0.3, 近底层鱼类、枪乌贼类、口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 和虾类取 0.5, 底层鱼类、蛸类、蟹类等取 0.8<sup>[8,21]</sup>。

## 1.3 群落结构生物多样性及稳定性

采用 4 种生境内的多样性 (within-habitat diversity), 即  $\alpha$  多样性测度方法:

Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$ <sup>[22]</sup> 计算公式:

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

Margalef 丰富度指数  $D'$ <sup>[23]</sup> 计算公式:

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

Pielou 均匀度指数  $J'$ <sup>[24]</sup> 计算公式:

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

Simpson 优势集中度指数  $\lambda'$ <sup>[25]</sup> 计算公式:

$$\lambda' = \sum_{i=1}^S (P_i^2)$$

上述各式中,  $S$  为渔业生物种类总数,  $N$  为渔获物生物总生物量。  $P_i$  为群落中第  $i$  种的生物量占所有物种总生物量的比例。

应用丰度-生物量比较曲线 (abundance - biomass comparison curves, ABC 曲线) 来分析海域渔业生物群落结构的稳定性<sup>[26]</sup>。以  $W$  (W-statistic) 作为 ABC 曲线的统计量:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)} \quad (3)$$

式中,  $B_i$  和  $A_i$  为 ABC 曲线中种类序号所对应的生物量和丰度的累积百分比,  $S$  为出现的物种数。该方法将生物量优势度曲线和丰度优势度曲线在

同一坐标系中进行比较, 依两条曲线的分布情况来判断群落所处干扰状况。当生物量优势曲线在丰度优势度曲线之上时  $W$  为正, 反之则为负。ABC 曲线绘制和  $W$  统计量的计算均应用 Primer 5.0 软件。

#### 1.4 群落结构的时空变化及其与环境因子之间的相互关系

以春季 (4 月及 5—6 月调查)、夏季 (7—8 月调查)、秋季 (9—11 月调查) 作为时间尺度, 以各采样站位作为空间尺度。采用种类更替率  $E$  和 Jaccard 群落种类组成相似性指数 (coefficient of community, CC)<sup>[27]</sup> 来表征群落结构季节间的物种更替<sup>[8, 28]</sup>:

$$E = A / (A + B) \quad (4)$$

式中,  $E$  为种类更替率,  $A$  为季节间种类增加与减少数之和, 即两季节间不同种类数,  $B$  为季节间相同的种类数。

$$CC = S_s / (S_j + S_k - S_s) \quad (5)$$

式中,  $S_s$  为两个比较季节间共有种类数,  $S_j$  和  $S_k$  为两个比较季节各自拥有的种类数。当 CC 为 0~0.25 时, 群落间极不相似; 当 CC 为 0.25~0.50 时, 群落间中等不相似; 当 CC 为 0.50~0.75 时, 群落间中等相似; 当 CC 为 0.75~1.00 时, 群落间极相似<sup>[27, 29]</sup>。

应用 Primer 5.0 软件进行 CLUSTER 等级聚类和多维标度分析 (non-metric multidimensional scaling, NMDS), 分别将春、夏、秋季各站点依物种丰度 (4 次方根转换) 划分不同的群落结构。进一步应用单因子相似性分析 (ANOSIM) 对不同组群的群落结构进行差异显著性检验, 并利用相似性百分比方法 (SIMPER) 检验群落结构组内相似的典型种, 以及构成组间相异的分歧种<sup>[30-31]</sup>。

选取各样方中出现频率  $\geq 5\%$  的渔业生物丰度数据作为物种矩阵<sup>[32]</sup>, 并进行  $[\lg(x+1)]$  转换以降低极端值影响; 海水表层温度 (SST)、海水底层温度 (SBT)、海水表层盐度 (SSS)、海水底层盐度 (SBS)、深度 (Depth)、Chl.a 等作为环境因子矩阵, 对除 Chl.a 以外的环境因子采取  $[\lg(x+1)]$  转换以使其符合正态分布<sup>[33-35]</sup>。首先, 对物种数据进行趋势对应分析 (detrended correspondence analysis, DCA), 预分析显示最大梯度为 4.33, 表明数据更适合单峰模型进行排序<sup>[36]</sup>, 因此选择应用典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA)

探究群落结构与环境因子的相互关系。

## 2 结果

### 2.1 黄海北部近岸海域物种组成及相对资源密度分布

本次资源调查捕获鱼类 27 656 尾, 无脊椎动物 68 206 尾, 共计 89 种。包括鱼类 50 种, 隶属于 12 目 33 科 48 属; 无脊椎动物 39 种, 隶属于 18 目 30 科 37 属, 其中甲壳类及头足类 25 种, 共计 11 目 23 科 30 属。底层鱼类主要包括大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*)、细纹狮子鱼 (*Liparis tanakae*)、方氏云鲷 (*Pholis fangi*)、黄鲛鲷 (*Lophius litulon*) 和绒杜父鱼 (*Hemitripterus villosus*) 等。中上层鱼类主要包括鳀、蓝圆鲹 (*Decapterus maruadsii*) 和黄鲫 (*Setipinna tenuifilis*) 等。头足类主要包括日本枪乌贼 (*Loligo japonica*) 和太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*) 等。甲壳类主要包括脊腹褐虾 (*Crangon affinis*)、戴氏赤虾 (*Metapenaeopsis dalei*) 和隆背黄道蟹 (*Cancer gibbosulus*) 等。本次调查 5—6 月渔获资源丰度在全年占比最高, 其次为 8 月、10—11 月、9 月、7 月和 4 月, 其中 4 月黄鲫占比最高, 5—6 月脊腹褐虾占比最高, 7、8、9、10—11 月皆为鳀占比最高 (图 2-a)。本次调查 5—6 月渔获资源生物量 (kg) 在全年占比最高, 其次为 8 月、7 月、10—11 月、9 月和 4 月, 其中 4 月黄鲫占比最高, 5—6 月海葵 (目) (*Actinaria*) 占比最高, 7 月细纹狮子鱼占比最高, 8 月太平洋褶柔鱼占比最高, 9 月鳀占比最高, 10—11 月蓝圆鲹占比最高 (图 2-b)。

将 4 至 11 月调查周期内出现的渔业生物合并计算,  $IRI \geq 10$  的渔业生物共计 16 种, 包含鱼类 11 种, 鳀、细纹狮子鱼、大泷六线鱼、黄鲛鲷、绒杜父鱼、蓝圆鲹、玉筋鱼 (*Ammodytes personatus*)、黄鲫、长绵鲷 (*Zoarces elongatus*)、大头鳕 (*Gadus macrocephalus*)、方氏云鲷。甲壳类 3 种, 脊腹褐虾、戴氏赤虾、隆背黄道蟹。头足类 2 种, 日本枪乌贼、太平洋褶柔鱼。细纹狮子鱼、鳀、大泷六线鱼、日本枪乌贼和戴氏赤虾为 4—11 月的共有种。

4 月主要种类包含 16 种, 其中优势种为黄鲫、日本枪乌贼和细纹狮子鱼 3 种。5—6 月主要种类包含 10 种, 其中优势种为脊腹褐虾。7 月主要种类包含 15 种, 其中优势种为鳀、细纹狮子鱼和大泷六线鱼 3 种。8 月主要种类包含 16 种, 其中优势种为鳀和太平洋褶柔鱼 2 种。9 月主要物种包

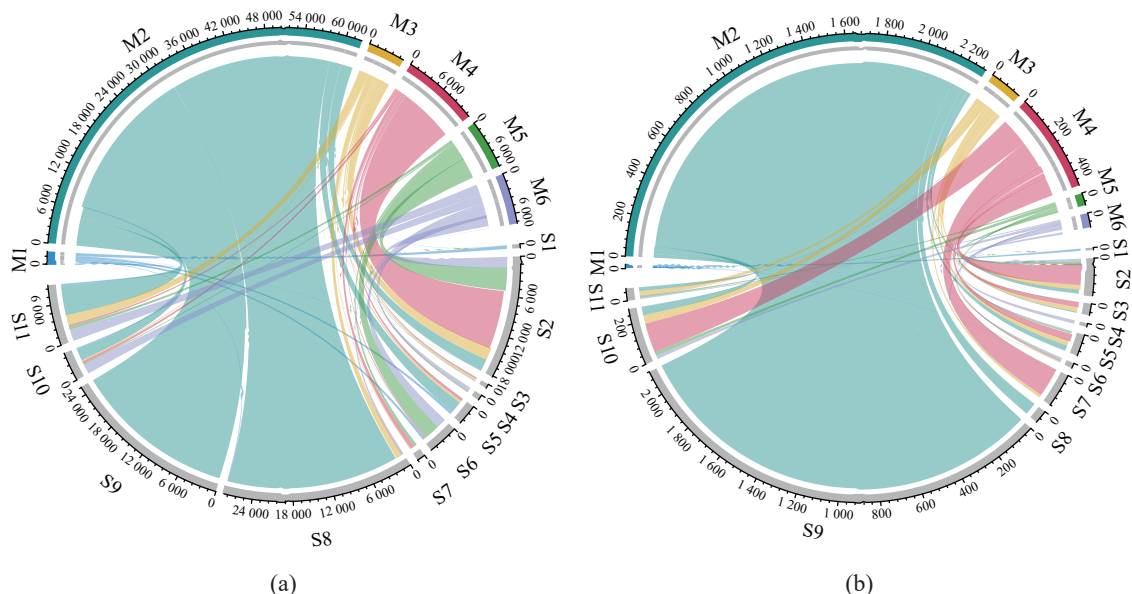


图2 2021年4—11月黄海北部近岸海域各生物类群丰度(a, 尾)及生物量(b, kg)变化

M1. 4月, M2. 5—6月, M3. 7月, M4. 8月, M5. 9月, M6. 10—11月。S1. 黄鲫, S2. 鲢, S3. 大泷六线鱼, S4. 蓝圆鲈, S5. 细纹狮子鱼, S6. 日本枪乌贼, S7. 太平洋褶柔鱼, S8. 脊腹褐虾, S9. 海葵(目), S10. 其他鱼种, S11. 其他无脊椎动物。

Fig. 2 Abundance (a, ind) and biomass (b, kg) changes of various biota in offshore waters of the North Yellow Sea from April to November, 2021

M1. April, M2. May to June, M3. July, M4. August, M5. September, M6. October to November. S1. *S. tenuifilis*, S2. *E. japonicus*, S3. *H. otakii*, S4. *D. maruadsi*, S5. *L. tanakae*, S6. *L. japonica*, S7. *T. pacificus*, S8. *C. affinis*, S9. Actiniaria, S10. other fish species, S11. other invertebrates.

含20种, 其中优势种为鲢和日本枪乌贼2种。10—11月主要物种包含20种, 其中优势种为日本枪乌贼、蓝圆鲈和鲢3种(表1)。

4—11月相对资源密度及底层温度、盐度分布如图3所示。5—8月调查所获渔业生物相对资源密度较高, 9、10—11月次之, 4月最低。其中5—6月渔业生物高密度聚集区主要出现在獐子岛西南海域及海洋岛东部海域, 7月主要出现在海洋岛周边海域和鸭绿江口以南远岸海域, 8月主要出现在调查海域西南侧及海洋岛周边海域, 其余月份均未形成明显聚集区。调查海域底层海水在4—9月处于增温期间, 直至10月后才有所下降, 4月及10—11月底层水温整体分布相对均匀, 其余各月内基本皆呈现由近岸端向离岸端逐步降低的趋势(图3-a~f)。海域海水底层盐度月间变化幅度较小, 5—7月调查海域南部和东南部有高值区出现, 整体分布离岸端低于近岸端(图3-g-l)。

## 2.2 黄海北部近岸海域鱼类亲、幼体种类及其季节变化

将4—11月底拖网所获鱼类依据体长、体重和性腺发育期等生物学参数<sup>[37]</sup>, 初步判定产卵亲体共24种, 主要经济种类包括白姑鱼(*Pennahia argentata*)、小黄鱼、带鱼(*Trichiurus japonicus*)、镰

鲷(*Pampus echinogaster*)、高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)、圆斑星鲷(*Verasper variegatus*)、角木叶鲷(*Pleuronichthys cornutus*)、半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)、大泷六线鱼、绿鳍鱼(*Chelidonichthys kumu*)和鲷(*Platycephalus indicus*)等。当年生(0龄)幼体共29种, 主要经济种类包括油鲳(*Sphyrna pinguis*)、蓝圆鲈、真鲷(*Pagrus major*)、带鱼、鲈(*Scomber japonicus*)、镰鲷、褐牙鲷(*Paralichthys olivaceus*)、高眼鲷、角木叶鲷、半滑舌鲷、绿鳍马面鲷(*Thamnaconus modestus*)、许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)、绒杜父鱼和大泷六线鱼等(表2)。其中产卵亲体种类5—6月最多, 出现15种, 其余依次为10—11月出现5种, 4月出现2种, 7月出现3种, 8、9月各出现2种。整体看来产卵亲体种数占比在春季(4—6月)最高(47.2%), 在夏季(7—8月)大幅减少(11.1%), 而后于秋季(9—11月)略有升高(15.4%)。0龄幼体种类在5—6月最多, 出现14种, 其余依次为9月出现13种, 4月出现9种, 10—11月出现8种, 7月出现7种, 8月出现5种。0龄幼体种数占比随季节更替变化幅度较为平缓, 其在春季为47.2%, 夏季降低至33.35%, 秋季回升至43.6%。此外, 已达生物学最小型的非繁殖期成体在9月最多, 出现16种, 其余依次为7月出现14种, 8

表 1 2021 年 4—11 月黄海北部近岸海域渔业资源主要物种相对重要性指数 (IRI)

Tab. 1 Index of relative importance (IRI) for the main species of fishery resources in offshore waters of the North Yellow Sea from April to November, 2021

种类 species	月份 month					
	4	5—6	7	8	9	10—11
孔鳐 <i>Raja porosa</i>	95.2					
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	227.1	942.6	3 509.3	5 542.2	6 617.3	1 582.3
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>						487.7
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	5 561.2	39.7				11.3
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>					222.8	197.6
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>				41.1	43.7	
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>		264.9	156.8	38.3		
细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>					10.2	84.1
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>				37.3	370.5	1 957.9
方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>		98.0	22.8		15.3	
縹鲷 <i>Azuma emmion</i>			16.2			
长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>		269.9	61.2			
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>					70.2	
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	32.5	32.2				27.1
带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>				19.8	145.6	
鲈 <i>Scomber japonicus</i>						418.8
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>				14.1	91.0	
镰鲷 <i>Pampus echinogaster</i>	145.1					
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	421.9	376.8				
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>				17.9	38.5	
高眼鲽 <i>Cleisthenes herzensteini</i>		39.6				
圆斑星鲽 <i>Verasper variegatus</i>						
角木叶鲽 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	16.7				11.1	
尖吻黄盖鲽 <i>Pseudoplouronectes herzensteini</i>			15.4			
红鳍东方鲀 <i>Takifugu rubripes</i>				11.4		
绿鳍马面鲀 <i>Thamnaconus modestus</i>						21.5
黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i>		14.1	425.3	930.2	52.5	
绒杜父鱼 <i>Hemitripterus villosus</i>	399.3	411.8	378.7	116.3	156.6	
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	11.9	367.4	1 357.8	472.6	236.1	23.5
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	1 121.6	1 968.7	1 620.4	742.0	394.3	442.5
金乌贼 <i>Sepia esculenta</i>						61.0
双喙耳乌贼 <i>Sepiola birostrata</i>	61.9					
四盘耳乌贼 <i>Euprymna morsei</i>						125.7
日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>	3 023.8	19.1	91.5	133.1	1 384.2	3 307.5
太平洋褶柔鱼 <i>Todarodes pacificus</i>			889.0	2 655.5	314.4	40.6
短蛸 <i>Octopus ocellatus</i>	85.1					44.8
鹰爪虾 <i>Trachypenaes curvirostris</i>		26.8			14.1	30.5
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	642.6	7 992.6	781.7			186.7
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	445.2	505.3	27.6	14.7	229.7	279.1
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	13.1				552.5	78.4
隆背黄道蟹 <i>Cancer gibbosulus</i>		55.2	821.2	62.4		
枯瘦突眼蟹 <i>Oregonia gracilis</i>		13.4				
日本矶蟹 <i>Pugettia nipponensis</i>		35.9				
寄居蟹科 <i>Paguridae</i>		27.1				

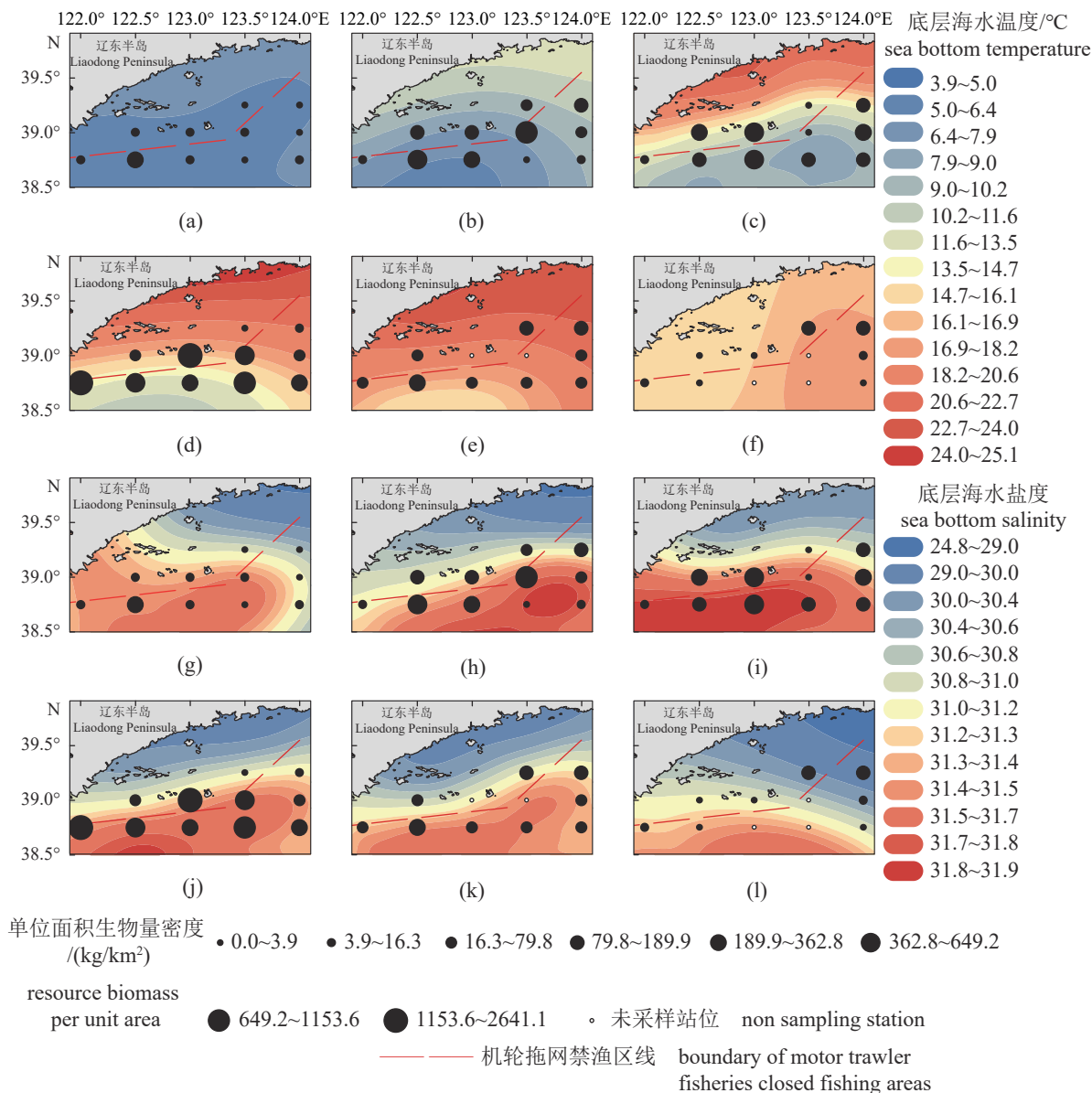


图3 2021年4—11月黄海北部近岸海域单位面积资源生物量及底层温度(a-f)和底层盐度(g-l)分布  
(a) 4月, (b) 5—6月, (c) 7月, (d) 8月, (e) 9月, (f) 10—11月, (g) 4月, (h) 5—6月, (i) 7月, (j) 8月, (k) 9月, (l) 10—11月。

Fig. 3 Distribution of resource biomass per unit area with sea bottom temperature (a-f) and sea bottom salinity (g-l) in offshore waters of the North Yellow Sea, From April to November, 2021

(a) April, (b) May to June, (c) July, (d) August, (e) September, (f) October to November, (g) April, (h) May to June, (i) July, (j) August, (k) September, (l) October to November.

月出现 13 种, 10—11 月出现 12 种, 4 月出现 11 种, 5—6 月出现 9 种。未达生物学最小型的非 0 龄鱼在 9—11 月最多, 皆出现 6 种, 其余依次为 5—6 月出现 5 种, 8 月出现 3 种, 4 月和 7 月各出现 2 种。

### 2.3 黄海北部近岸海域群落多样性及 ABC 曲线

2021 年 4—11 月, 黄海北部近岸海域渔业生物群落多样性有较为明显的月度变动(图 4)。期

间, Marglef 丰富度指数 ( $D$ ) 基本呈现“双峰”分布, 5—6 月和 9 月群落  $D$  先升至顶峰与次高峰。Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 变化趋势与  $D$  基本一致, 群落丰富度较高的月份  $H'$  也处于较高水平。Pielou 均匀度指数 ( $J'$ ) 和 Simpson 优势集中度指数 ( $\lambda$ ) 整体变化幅度不大, 二者呈现相对的变化趋势, 峰值分别出现在 9 和 4 月, 谷值分别出现在 4 和 9 月。

黄海北部近岸海域渔业生物群落丰度-生物量

比较曲线如图 5 所示。4—6 月, ABC 曲线中生物量优势度曲线与丰度优势度曲线相对位置变化明显, 4 月丰度优势度曲线起点低于生物量优势度

曲线, 而后与之交叉,  $W$  为 0.006。5—6 月丰度优势度曲线起点较 4 月有所升高, 并始终高于生物量优势度曲线,  $W$  为 -0.095。7—9 月丰度优势

表 2 4—11 月黄海北部近岸海域调查所获鱼类资源发育阶段

Tab. 2 Development stages of fishery resources obtained from the investigation in offshore waters of the North Yellow Sea from April to November

物种 species	月份 month					
	4	5—6	7	8	9	10—11
孔鳐 <i>Raja porosa</i>	▲△	○				
斑鲆 <i>Konosirus punctatus</i>	○					△
鲹 <i>Engraulis japonicus</i>	△	○	○	○	○	△
赤鼻棱鲷 <i>Thryssa kammalensis</i>						●△
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	△●	○●	△		●△	△
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	△					
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>					●△	▲
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>		●▲		▲	▲	
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>		▲	▲△	△		
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	△●	○				●
油鲆 <i>Sphyaena pinguis</i>			●			△
细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>		△	○		●△	●△
少鳞鳕 <i>Sillago japonica</i>		○			△	
鳕属 <i>Sihama</i>						△
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>				●	●	●△
叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	△					
白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>		○				▲
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	○		△			
真鲷 <i>Pagrus major</i>					●	△
方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	△	△	△	△	△	○
縹鲷 <i>Azuma emmion</i>		●△	△			
长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>		●△	●△	●△	△	
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>		○●	△	△	●△	△
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	●△	●○			●	●
带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>			○	○	△	●
鲈 <i>Scomber japonicus</i>				●		▲
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>				△	△	
镰鲷 <i>Pampus echinogaster</i>	●	○				▲
六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	▲	▲			▲	
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	●△	●△	●	△	△	
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>		●		△	●△	
高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>		○●	△	△	●	
圆斑星鲷 <i>Verasper variegatus</i>		○				
角木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	△	●△		△	○	○
尖吻黄盖鲷 <i>Pseudoplouronectes herzensteini</i>			△	△		
石鲷 <i>Platichthys bicoloratus</i>		△				
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>						○●
黄鳍东方鲀 <i>Takifugu xanthopterus</i>		○●			▲	



物种 species	月份 month					
	4	5—6	7	8	9	10—11
红鳍东方鲀 <i>Takifugu rubripes</i>				▲	▲	
绿鳍马面鲀 <i>Thamnaconus modestus</i>			△		●	●
黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i>		○	△	△	●△	▲
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegelii</i>		▲	●		●	
褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i>					▲△	
绒杜父鱼 <i>Hemirhamphus villosus</i>	●	●▲	●▲△	▲	▲△	▲
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	△●	●△	●△	●△	●△	○
欧氏六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	●					
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>		○				
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>		○				△
蛇鲷 <i>Erisphex pottii</i>						△
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	●	●△	●△	●△	△	○

注：“●”表示出现0龄幼体，“○”表示出现产卵亲体，“△”表示已达生物学最小非繁殖期成体，“▲”表示出现未达生物学最小型的非0龄鱼，“-----”代表对应物种的繁殖期，参考自陈大刚<sup>[37]</sup>。  
Notes: “●” indicates the presence of 0-year-old juvenile fish, “○” indicates the presence of Parent fish, “△” indicates the adult that has reached the biological minimum size, but the current month is not its breeding period, “▲” indicates that there are non-0-year-old fish, but it does not reach the biological minimum size, and “-----” represents the spawning period of the corresponding species, with reference to Chen<sup>[37]</sup>.

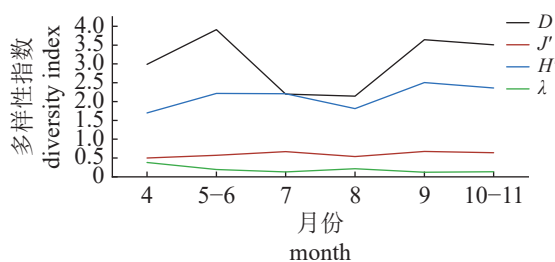


图 4 2021 年 4—11 月黄海北部近岸海域渔业生物群落多样性指数

D. Marglef 丰富度指数, J'. Pielou 均匀度指数, H'. Shannon-Wiener 多样性指数, λ. Simpson 优势集中度指数。

Fig. 4 Diversity index of fishery biological community in offshore waters of the North Yellow Sea from April to November, 2021

D. Margalef richness index, J'. Pielou evenness index, H'. Shannon-Wiener diversity index, λ. Simpson dominance concentration index.

度曲线皆高于生物量优势度曲线, W 均为负值, 10—11 月丰度优势度曲线起点大幅下降, 优势不明显, 与生物量优势度曲线极为接近, W 为-0.05。

### 2.4 黄海北部近岸海域群落结构时空变化

通过计算季节间 Jaccard 群落种类组成相似性指数和物种更替率(表 3)可知, 春(4—6 月)夏季(7—8 月)群落之间中等不相似, 有 28 种相同物种, 物种更替较为明显; 夏季秋季(9—11 月)群落之间中等相似, 共有物种数达 31 种, 季节间物种更替率小于春夏季间更替率; 春秋间群落中等相似, 物种更替率低于春夏季, 与夏秋季相当, 虽

季节跨度较大, 但仍有 36 种相同物种出现。

春季黄海北部近岸海域渔业生物群落在 50.6% 的相似性水平上可分为 3 组, 其中鸭绿江口南部及海洋岛西南部(S1、S2、S6、S9、S11)为组 1, 獐子岛西南部及海洋岛东南部(S8、S10)为组 2, 海域西南端至獐子岛、海洋岛一带(S3、S4、S5、S7)为组 3(图 6)。NMDS 分析结果与 CLUSTER 结果一致, 所得 Stress 值小于 0.1, 表明分类结果较好<sup>[38]</sup>。ANOSIM 也验证春季各组间群落种类组成差异极显著( $R=0.802, P<0.01$ )。后利用 SIMPER 分析得出(表 4, 表 5), 组 1 内各站位间的平均相似性(average similarity)为 48.9%, 组内典型种(相似性贡献大于 4%)完全由甲壳类组成, 主要为冷温性种, 相似性累积贡献率达到 91.9%。组 2 内各站位间的平均相似性为 9.7%, 相似性累积贡献率达到 79.5%, 中上层暖水性和暖温性种类(黄鲫和日本枪乌贼等)为主要典型种(累积贡献率达 33.2%)。组 3 内各站位间的平均相似性为 20.5%, 相似性累积贡献率达到 88.3%, 玉筋鱼等底层冷温性种类为主要典型种(累积贡献率达 58.1%)。组 1 与组 2、组 3 的平均相异性(average dissimilarity)分别为 98.4% 和 94.9%, 导致组 1 与其余两组群落产生差异的分歧种(相异性贡献大于 4%)主要为底层种类(脊腹褐虾、戴氏赤虾和细纹狮子鱼等); 组 2 与组 3 间的平均相异性为 87.5%, 分歧种主要为中上层(黄鲫和鲢)及底层鱼类(玉筋鱼)。

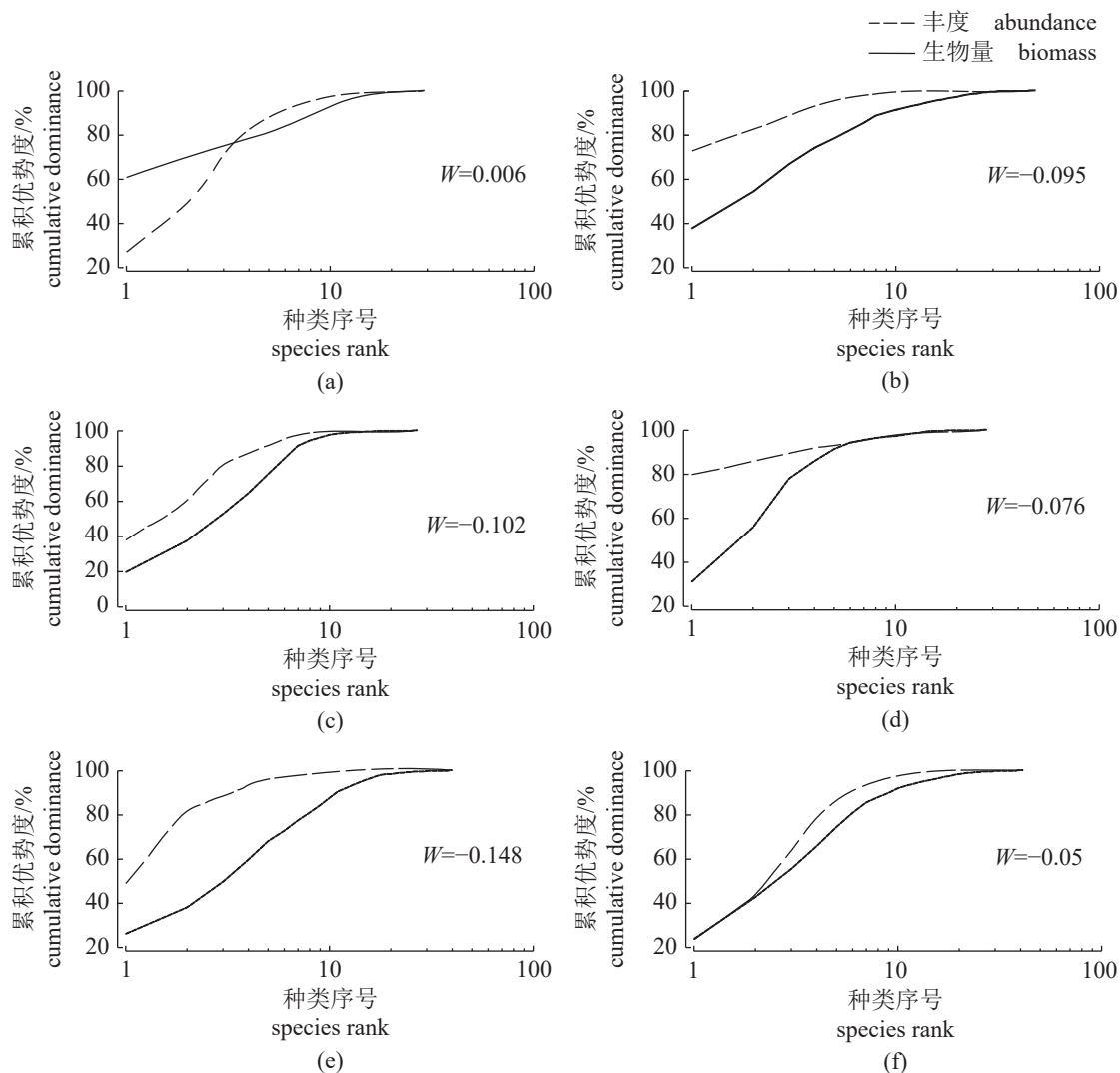


图 5 2021 年 4—11 月黄海北部近岸海域丰度-生物量比较曲线

(a) 4 月, (b) 5—6 月, (c) 7 月, (d) 8 月, (e) 9 月, (f) 10—11 月。

Fig. 5 Abundance biomass comparison curve in offshore waters of the North Yellow Sea from April to November

(a) April, (b) May to June, (c) July, (d) August, (e) September, (f) October to November.

表 3 黄海北部近岸海域群落结构季节间物种相似性及更替率

Tab. 3 Seasonal species similarity and replacement rate of community structure in offshore waters of the North Yellow Sea

两比较季节 two comparison seasons	<i>a</i>	<i>b</i>	CC	<i>E</i> /%
春-夏 spring-summer	35	28	0.44*	55.6
夏-秋 summer-autumn	31	31	0.50**	50.0
春-秋 spring-autumn	36	36	0.65**	50.0

注：“*a*”为两比较季节间不同种数，“*b*”为两比较季节间相同种数，“CC”为Jaccard指数，“*E*”为物种更替率，“\*”代表群落之间中等不相似，“\*\*”代表群落间中等相似。

Notes: "*a*" represents the number of different species between the two comparison seasons, "*b*" represents the number of same species between the two comparison seasons, "CC" represents the Jaccard coefficient of community, "*E*" represents the species replacement rate, "\*" represents moderate dissimilarity between communities, "\*\*" represents moderate similarity between communities.

夏季群落在 49.5% 的相似性水平上可分为 4 组, 大洋河口周边海域 (S1) 为组 1, 獐子岛西南及海洋岛东南海域 (S5、S7、S8、S10) 为组 2, 鸭

绿江口南部、獐子岛西部和东南部 (S2、S3、S6、S9、S11) 为组 3, 獐子岛与海洋岛相邻海域 (S4) 为组 4 (图 6)。NMDS 分析结果与 CLUSTER 结果

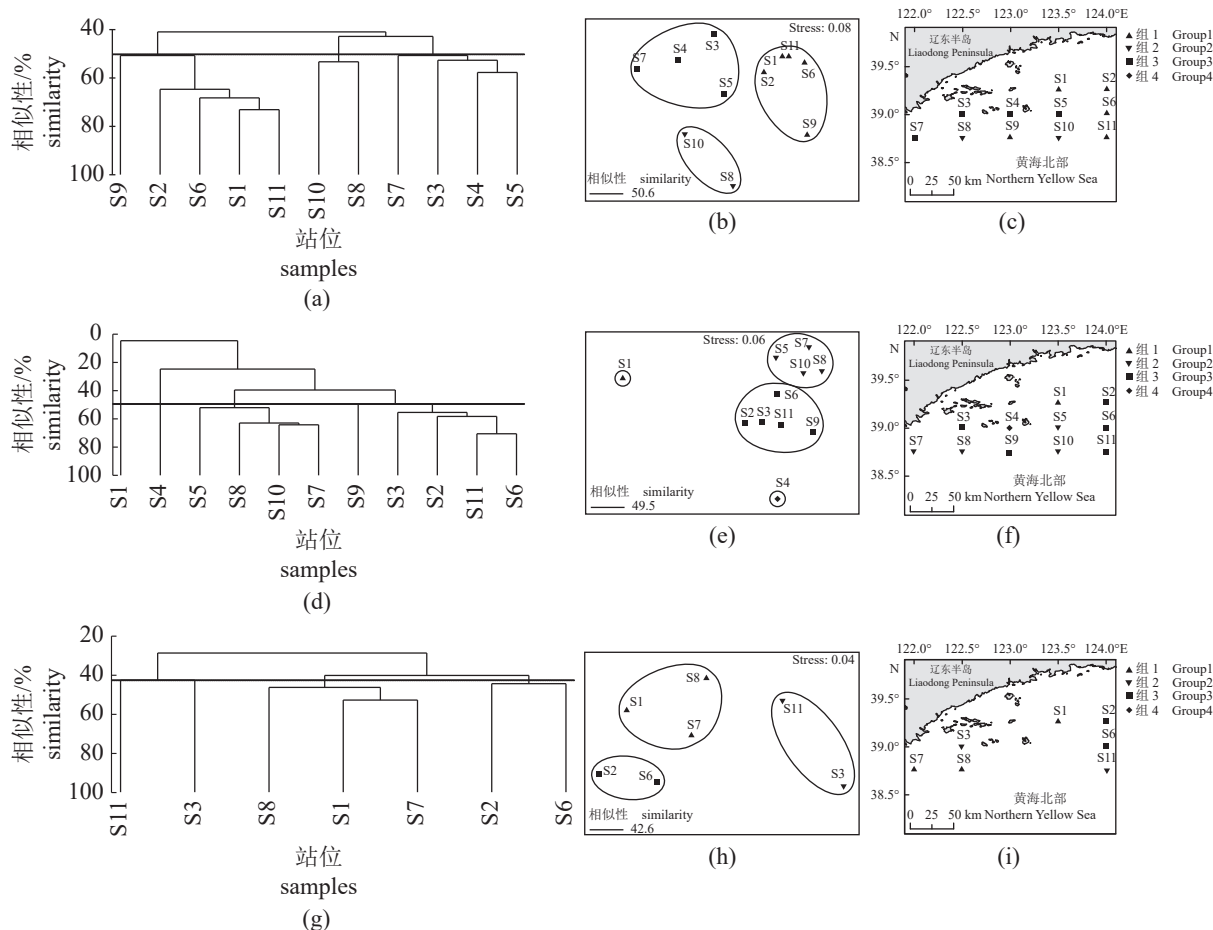


图 6 春、夏、秋季黄海北部近岸海域渔业生物群落

(a) (d) (g) 聚类图, (b) (e) (h) NMDS 排序图, (c) (f) (i) 站位示意图。 (a) (b) (c) 春季, (d) (e) (f) 夏季, (g) (h) (i) 秋季。

Fig. 6 Fishery biological community in offshore waters of the North Yellow Sea in spring, summer and autumn

(a) (d) (g) cluster diagram, (b) (e) (h) NMDS ordination diagram, (c) (f) (i) station diagram. (a) (b) (c) spring, (d) (e) (f) summer, (g) (h) (i) autumn.

一致, 所得 Stress 值小于 0.1, 各组间群落种类组成差异极显著 ( $R=0.872, P<0.01$ )。组 1 内仅有蓝圆鲈一个种类 (暖水性种); 组 2 平均相似性为 57.7%, 相似性累积贡献率达到 88.9%, 底层冷温性种类 (大泷六线鱼和细纹狮子鱼等) 为主要典型种 (累积贡献率达 80.0%); 组 3 平均相似性为 55.1%, 相似性累积贡献率达到 91.3%, 中上层暖温性种类 (鲉和太平洋褶柔鱼等) 为主要典型种 (累积贡献率达 49.3%); 组 4 内仅有太平洋褶柔鱼 (暖温性) 和鲈 (暖水性) 两个种类。组 1、组 2 间的平均相异性为 100%, 分歧种为底层种类 (隆背黄道蟹和大泷六线鱼等); 组 1、组 3 间的平均相异性为 91.0%, 分歧种为中上层种类 (鲉和太平洋褶柔鱼等); 组 1、组 4 间的平均相异性为 100%, 分歧种为中上层种类 (鲉和蓝圆鲈等); 组 2 与组 3、组 4 间的平均相异性分别为 60.5% 和 86.4%, 主

要分歧种均为底层种类 (脊腹褐虾和隆背黄道蟹等); 组 3、组 4 间的平均相异性为 66.6%, 主要分歧种为中上层种类 (鲉和鲈等)。

秋季部分站位因禁渔区、养殖区等问题未能作业, 选取两月共现站位 (S1、S2、S3、S6、S7、S8、S11)。秋季渔业生物群落在 42.6% 的相似性水平上可分为 3 组, 大洋河口南部及獐子岛西南部 (S1、S7、S8) 为组 1, 调查海域东南端及獐子岛西部 (S3、S11) 为组 2, 鸭绿江口南部 (S2、S6) 为组 3 (图 6)。NMDS 分析结果与 CLUSTER 结果一致, 所得 Stress 值小于 0.1, 各组间群落种类组成差异极显著 ( $R=0.775, P<0.01$ )。各组内典型种均由暖温性和暖水性种类组成: 组 1 内各站间的平均相似性为 48.5%, 相似性累积贡献率达到 79.3%, 中上层种类 (鲉和日本枪乌贼等) 为主要典型种 (累积贡献率达 52.6%); 组 2 内平均相似性为 42.6%, 相似性累积贡献率达到 100%, 中上层

表 4 黄海北部近岸海域各季节的典型种及其贡献率

Tab. 4 Typical species and their contribution rate in each season in offshore waters of the North Yellow Sea

物种 species	春季 spring			夏季 summer		秋季 autumn		
	1	2	3	2	3	1	2	3
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	83.2		4.7	9.6		9.3		
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>			50.5					
日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>		7.6	8.2		7.6	8.9	15.3	15.3
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>				11.4	7.0			
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>		5.1		13.3	9.5	5.7		5.5
绒杜父鱼 <i>Hemitripterus villosus</i>		5.1		8.0				
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>		25.6	17.2					
鲷 <i>Engraulis japonicus</i>					29.4	28.1	28.1	
方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>				7.3	8.5			5.5
长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>				7.5		5.4		
隆背黄道蟹 <i>Cancer gibbosulus</i>		23.1		7.4				
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>				8.6				
寄居蟹科 <i>Paguridae</i>		7.7						
蓝圆鲈 <i>Decapterus maruadsi</i>					5.6	7.5	31.0	15.6
太平洋褶柔鱼 <i>Todarodes pacificus</i>				8.9	12.3			5.5
黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i>				6.9				
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	8.7				7.5			8.6
带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>					4.1			
小带鱼 <i>Eupleurogrammus haumela</i>			7.6				12.8	
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>							12.8	
细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>						8.1		7.2
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>								8.6
短蛸 <i>Octopus ocellatus</i>								8.9
日本矶蟹 <i>Pugettia nipponensis</i>		5.1						
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>								8.2
真鲷 <i>Pagrus major</i>								5.5
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>						6.5		

种类(蓝圆鲈和鲷等)为主要典型种(累积贡献率达 87.2%); 组 3 内平均相似性为 44.4%, 相似性累积贡献率达到 94.5%, 底层种类戴氏赤虾和三疣梭子蟹等为主要典型种(累积贡献率达 58.0%)。组 1 与组 2、组 3 群间的平均相异性分别为 69.2% 和 59.8%, 主要分歧种为中上层种类(鲷和日本枪乌贼等); 组 2、组 3 群间的平均相异性为 74.4%, 主要分歧种为中上层种类(日本枪乌贼和赤鼻棱鲷等)。

### 2.5 黄海北部近岸海域渔业生物群落与环境因子的关系

CCA 分析结果显示(图 7), 对于物种样本, 第一、二排序轴间的相关系数仅为-0.04, 表明两排序轴近乎垂直; 对于环境因子, 第一、二排序轴的相关系数为 0, 表明排序结果有效<sup>[39]</sup>。前两个排序轴的特征值分别为 0.342 和 0.313, 共解释

了物种群落变异程度的 20.0%。44 个物种与环境因子排序轴(第一排序轴和第二排序轴)的相关系数都达到了 0.86 以上, 表明排序能够较好地反映物种与环境因子间的关系。物种编号见表 6。

在所选环境因子中, SST、SBT、SBS、Chl.a 是显著影响黄海北部近岸海域渔业资源结构时空变化的环境因子, 其中水温条件(SST 和 SBT)尤为重要。蓝圆鲈、鲷、太平洋褶柔鱼等物种的丰度与 SST 成较强的正相关, 双喙耳乌贼(S41)的适宜 SST 最低, 红鳍东方鲀(Sp30)的适宜 SST 最高; 细纹狮子鱼和方氏云鲷等物种丰度与 SBT 成负相关, 枯瘦突眼蟹(Sp37)的适宜底温最低, 长蛇鲻(Sp6)的适宜底温最高; 蓝圆鲈、鲈等物种丰度与 Chl.a 成正相关, 隆背黄道蟹(Sp39)适宜叶绿素浓度最低, 双喙耳乌贼(Sp41)适宜叶绿素浓度最高; 大头鳕和隆背黄道蟹等物种丰度与 SBS 成正相关, 绿鳍马面鲀(Sp10)的适宜底盐最

表 5 黄海北部近岸海域各季节的分歧种及其贡献率

**Tab. 5 Discriminating species and their contribution rate in different seasons in offshore waters of the North Yellow Sea**

物种 species	春季 spring			夏季 summer						秋季 autumn		
	1-2	1-3	2-3	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4	1-2	1-3	2-3
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	67.0	66.0		8.5			8.58	7.5		6.6	4.5	
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>			21.1									
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>		6.6	19.6	4.2	19.8	61.0	9.1	19.8	19.9	8.02	10.4	4.3
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>				5.6	4.4	12.4	4.12		6.0		4.3	
鲈 <i>Scomber japonicus</i>						11.0		4.2	6.0			
黄鲫 <i>Setipinna termuifilis</i>			22.9									
太平洋褶柔鱼 <i>Todarodes pacificus</i>				7.6	9.7	9.2				4.1		
隆背黄道蟹 <i>Cancer gibbosulus</i>				8.8			8.0	7.5				
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>				8.6	6.9		4.3	7.5	6.4			
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	9.8	9.0	4.6	8.2	6.7		4.3	7.2	6.3			
绒杜父鱼 <i>Hemitripterus villosus</i>				5.9			4.6	5.2				
大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>				5.7			5.8	5.0				
黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i>				4.9				4.2				
长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>			4.3	4.7				4.07				
方氏云鳎 <i>Pholis fangi</i>				4.6	5.9				5.4			
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	10.3	10.1			7.3		5.1		7.0	4.5	5.7	4.7
日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>					7.0		4.2		6.9	4.3	5.8	8.1
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>										6.7		6.1
细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>										5.5		
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>											4.1	
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>										4.2		

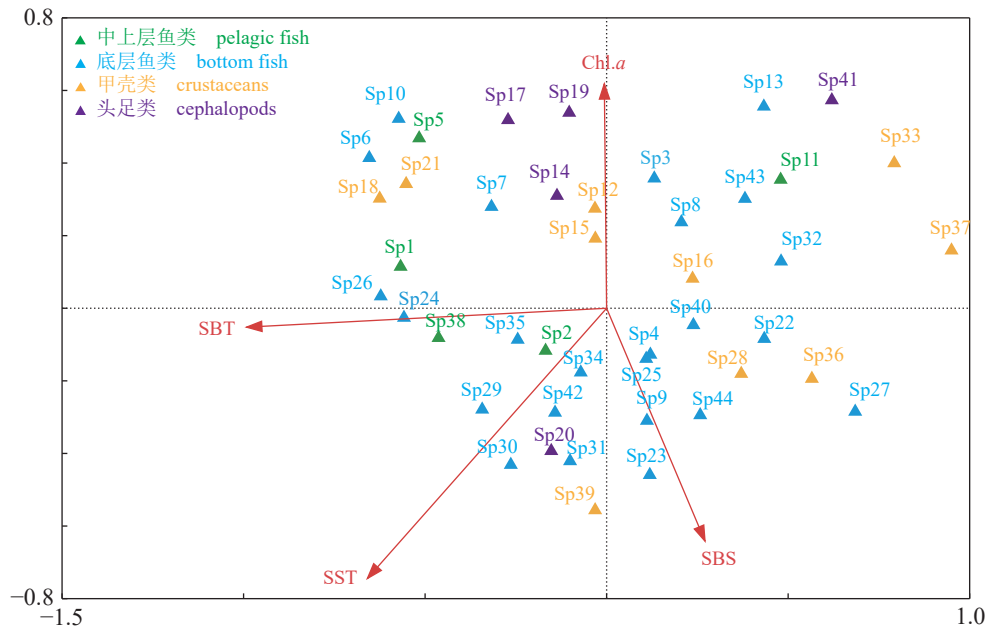


图 7 黄海北部近岸海域主要生物类群丰度与主要环境因子间的 CCA 排序图

SBT.海水底层温度、SST.海水表层温度、SBS.海水底层温度、Chl.a.叶绿素。

Fig. 7 CCA ordination of main biota and environmental factors in offshore waters of the North Yellow Sea

SBT. sea bottom temperature, SST. sea surface temperature, SBS. sea bottom salinity, Chl.a. chlorophyll-a.

表 6 黄海北部近岸海域 CCA 分析所用物种编号

Tab. 6 Species numbers used for CCA analysis in offshore waters of the North Yellow Sea

物种 species	编号 numbers	物种 species	编号 numbers	物种 species	编号 numbers
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	Sp1	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	Sp16	黄鲛鳕 <i>Lophius litulon</i>	Sp31
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	Sp2	四盘耳乌贼 <i>Euprymna morsei</i>	Sp17	六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	Sp32
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	Sp3	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	Sp18	寄居蟹科 <i>Paguridae</i>	Sp33
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	Sp4	短蛸 <i>Octopus ocellatus</i>	Sp19	许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	Sp34
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	Sp5	太平洋褶柔鱼 <i>Todarodes pacificus</i>	Sp20	角木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	Sp35
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	Sp6	鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	Sp21	日本矶蟹 <i>Pugettia nipponensis</i>	Sp36
细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>	Sp7	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	Sp22	枯瘦突眼蟹 <i>Oregonia gracilis</i>	Sp37
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	Sp8	大头鳕 <i>Gadus macrocephalus</i>	Sp23	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	Sp38
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	Sp9	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	Sp24	隆背黄道蟹 <i>Cancer gibbosulus</i>	Sp39
绿鳍马面鲀 <i>Thamnaconus modestus</i>	Sp10	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	Sp25	绒杜父鱼 <i>Hemitripterus villosus</i>	Sp40
黄鲷 <i>Setipinna termuifilis</i>	Sp11	绯鲭 <i>Callionymus beniteguri</i>	Sp26	双喙耳乌贼 <i>Sepiolo birostrata</i>	Sp41
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	Sp12	高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	Sp27	星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	Sp42
镰鲷 <i>Pampus echinogaster</i>	Sp13	双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	Sp28	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	Sp43
日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>	Sp14	褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	Sp29	长绵鳎 <i>Zoarces elongatus</i>	Sp44
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	Sp15	红鳍东方鲀 <i>Takifugu rubripes</i>	Sp30		

低, 高眼鲷 (Sp27) 的适宜底盐最高。

### 3 讨论

#### 3.1 黄海北部近岸海域渔业生物群落基本属性、特征与年代际演变

黄海北部近岸海域渔业生物群落并非作为独立群落存在, 在黄海沿岸、辽南沿岸流和黄海暖流此消彼长的作用下, 海区水温季节变化显著且盐度较低, 游泳动物多为暖温种, 暖水性种类所占比例远小于东海和南海海区<sup>[40]</sup>, 底栖动物多以沿岸广温低盐种为主, 海域整体呈现暖温带区系特点, 属北太平洋温带区东亚亚区<sup>[37]</sup>。

对比与本调查站位设置相似的早年 (1998—2000 年)<sup>[3, 8]</sup> 和近年 (2006—2007 年、2014—2017 年)<sup>[5, 11]</sup> 调查, 2021 年黄海北部近岸海域渔业生物群落优势种仍以底层、暖温性鱼类为主, 种类总数亦变化不大, 但不同水层的渔业生物群落结构存在明显变动。中上层鱼类在本次调查中渔获量占比较小 (23.2%), 总体优势地位有所降低。小型中上层鱼类生命周期短, 对环境变化的响应高度敏感, 1990 年以后对小型中上层鱼类的大规模开发利用<sup>[3]</sup> 应为本次调查中上层渔获量显著下降的重要人为影响因素。在中上层鱼类群落中, 斑鲈和青鳞小沙丁鱼 (*Sardinella zunas*) 不作为优势种

类出现, 鳀在近年来逐渐占据优势地位, 但 8 月盛期内资源存量 (13 553.7 t) 仍远低于 1998—2000 早期调查 (33 515.9 t, 统一海域面积为  $4.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[8]</sup>), 呈波动式下降趋势, 各种群数量变动规律和差异仍需长时间的持续观测。蓝圆鲹为暖水种, 在黄渤海区往年调查中甚少分布, 夏季或为东海群系, 成体曾偶见于黄海南部, 秋季亦有幼鱼索饵<sup>[37]</sup>, 群体规模小且不稳定; 2021 年 8—11 月调查采集到一定规模的蓝圆鲹 0 龄幼鱼, 且于 10—11 月出现大量集群现象, 推测附近海域内有其育幼场存在, 水文条件的年际变动及生物自身补充、摄食等特性的综合作用是育幼场形成的重要因素, 然而, 历史资料中少有蓝圆鲹在黄海北部集群的记录, 因此无法确定该现象是否为网具选择性差异导致的偶然事件, 其育幼场形成的主导因子以及该鱼种的利用潜力亦须开展深入研究。与历史调查相比<sup>[3, 11]</sup>, 2021 年调查具有相近的网具规格及拖速, 然而, 作为历史优势鱼种的蓝点马鲛<sup>[3]</sup> 及在 2017 年资源量明显回升的鲈<sup>[11]</sup> 在本次调查中却少有捕获, 此 2 种中上层重要经济鱼种在黄海北部的资源量呈波动式衰退迹象。底层种类中, 脊腹褐虾、细纹狮子鱼和大泷六线鱼在黄海北部海域早年调查中占比较少, 或受北黄海冷水团和海域渔业生物群落结构改变的影响, 其虽

为冷温性种类, 但常于春夏季升温期至夏季高温期占据优势地位, 成为季节性主要渔业生物。真鲷作为重要经济鱼种, 其在历史调查中少有捕获, 资源破坏严重<sup>[10]</sup>, 但随着人工养殖技术发展, 增殖放流活动的逐步展开, 加之伏季休渔期政策的充分保护, 其在近年来复现于黄海北部近岸海域<sup>[11]</sup>。本次9月调查于鸭绿江口以南海域捕获6尾真鲷0龄幼体, 推测附近水域或存在其育幼场, 真鲷资源呈恢复趋势。小黄鱼在20世纪50—60年代为本海区主要经济种类<sup>[41]</sup>, 其种群资源在高强度和节制的捕捞后已遭受严重损害<sup>[1]</sup>, 20世纪90年代开始实施的全面伏季休渔制度, 缓解了部分捕捞压力, 但小黄鱼种群的小型化、低龄化问题仍较显著<sup>[8-9, 42]</sup>, 自2010年始又有衰退趋势, 后期难以形成规模渔汛<sup>[11]</sup>。小黄鱼种群在本次调查中的优势度亦较低, 为各月海洋生物群落的少见种, 种群资源呈现持续衰退迹象。对于头足类而言, 太平洋褶柔鱼种群优势度于7月开始升高, 在8月调查中成为绝对优势种, 推测该洄游群体或为东海产卵场发生的太平洋褶柔鱼分支<sup>[43]</sup>。黄海北部海域作为产卵育幼场, 夏季鱼类稚幼体众多, 饵料资源丰富<sup>[44]</sup>, 有利于其群体栖息生存。

### 3.2 黄海北部近岸海域渔业生物群落生物多样性与季节性演替

黄海北部近岸海域地处暖温带, 在中纬度季风影响下气候季节变化明显, 生境的季节变动在一定程度上影响了群落生物的季节性演替。各渔业生物类群为维持自身生命以及争夺繁衍后代所需饵料, 会在产卵、越冬及索饵等各个时期依据自身生物学特性的需求, 移动并占据一定的空间, 以畅通其物质流动和能量流动<sup>[45]</sup>。由春季向夏季过渡时, 黄海北部海域逐渐进入升温期, 暖温性种类开始向海域内迁移, 该海域作为重要产卵场也开始迎来产卵洄游盛期<sup>[46]</sup>, 因此春季末期(5—6月)群落生物多样性及物种丰富度整体呈现上升趋势, 鸭绿江口南部及海区中部海洋岛周边海域渔业生物群落典型种逐渐由冷温性底层鱼类和甲壳类演替为鳀和太平洋褶柔鱼等中上层暖温性种类。随着温度的不断升高, 加之受北黄海冷水团边缘影响<sup>[47-49]</sup>, 獐子岛及海洋岛以南外部深水区群落逐渐演替为大泷六线鱼和细纹狮子鱼等底层冷温性种类, 调查区域内冷温性种类个体的减少(如脊腹蝎虾等)使得夏季群落生物多样性及物种丰富度大幅降低。秋季海域初入降温期, 各种类

产卵活动逐步进入末期, 产卵后亲体及幼体在产卵场附近进行分散索饵, 部分种类边索饵边逐渐向海域南部外海移动, 在此期间, 海域不同地理位置、不同水层的渔业生物群落基本更替为暖温性及暖水性种类, 历经产卵盛期大量物种的迁入和幼体资源的补充, 海域秋季群落丰富度和多样性都有明显提高。

综合来看, 春夏季黄海北部近岸海域正处于渔业生物集中产卵洄游时期<sup>[46]</sup>, 生殖群体的大量迁入致使春-夏季物种更替幅度达全调查月份最高水平, 而夏季海域冷水团边缘的低温水域为夏-秋季海洋环境变动提供了缓冲区, 削弱了环境变化速率, 为冷温性鱼种持续迁入及留存提供了适宜生境, 进而缩小了夏-秋季物种更替幅度。

### 3.3 影响黄海北部近岸海域渔业生物群落稳定性的主要因素

本次调查自4月中旬持续到11月上旬, 因渔业生物群落在不同程度上受到海洋环境、气候变化、种群迁入迁出以及人类活动的干扰, 群落稳定性存在明显的月际变动。4月黄海北部近岸海域正值春季, 尚未进入大幅升温期, 气候条件相对稳定, 渔业生物群落中 $r$ 选择种类丰富度优势度有增加趋势, 人为捕捞与生境变化对群落的干扰处于中度水平<sup>[50-52]</sup>, 群落相对稳定。5—6月獐子岛和海洋岛南部海域出现大规模海葵暴发现象, 泛滥繁殖的海葵极大地压缩了底栖生物的空间生态位, 其复杂的食性也限制着其他渔业生物的生存繁衍<sup>[53]</sup>, 为北黄海底栖生态系统带来巨大压力, 因此, 黄海北部近岸海域渔业生物群落在5—6月受到较强的自然扰动, 群落处于极不稳定状态。春夏季为产卵洄游盛期<sup>[46]</sup>, 大量渔业生物的产卵洄游行为形成了较为持续的种群迁入扰动, 加之辽南沿岸水系的增强, 海域生境剧烈变化, 7月群落所受干扰进一步加剧。8月海区内大量分布的水母(单次网获最高可达2 000 kg)极大地占据了海洋上层空间生态位, 并使得海域生境遭受一定程度破坏, 生物及非生物环境扰动大幅增加, 加之产卵洄游种类的不断迁入扰动, 群落处于严重干扰状态, 不过, 诸多洄游种类的聚集形成了更为复杂的营养通道<sup>[3]</sup>, 使得群落具备较强的抗干扰能力, 且由于伏季休渔期内人为捕捞扰动大幅降低, 有效缓冲了海域生境干扰, 8月群落整体稳定性较7月有所提高。9—11月, 随着休渔期的结束, 人为捕捞扰动骤增, 群落结构遭受严

重干扰, 其稳定性进一步降低。综合看来, 伏季休渔制度的设立可为海域渔业生物群落结构稳定性提供良好保障, 但黄海北部近岸海域渔业生物群落稳定性整体仍处于较低水平。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 农业部水产局, 农业部黄海区渔业指挥部. 黄渤海区渔业资源调查与区划 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990.  
Fisheries Bureau of the Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Headquarters of Ministry of Agriculture. Investigation and regionalization of fishery resources in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990 (in Chinese).
- [2] 陈钰. 黄海北部海洋渔业经济状况[J]. 水产科学, 2002, 21(4): 29-30.  
Chen Y. Fishery economy of northern Yellow Sea[J]. *Fisheries Science*, 2002, 21(4): 29-30 (in Chinese).
- [3] 程济生, 邱盛尧, 李培军, 等. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004.  
Cheng J S, Qiu S Y, Li P J, *et al.* Ecological environment and biotic community in the coastal waters of the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2004 (in Chinese).
- [4] 王年斌, 薛克, 马志强, 等. 黄海北部河口区活性磷酸盐含量分布动态与环境质量评价[J]. 中国水产科学, 2004, 11(3): 272-275.  
Wang N B, Xue K, Ma Z Q, *et al.* Distribution of active phosphates and assessment of the ambient water quality in estuary of the northern Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(3): 272-275 (in Chinese).
- [5] 刘修泽, 董婧, 于旭光, 等. 辽宁省近岸海域的渔业资源结构[J]. 海洋渔业, 2014, 36(4): 289-299.  
Liu X Z, Dong J, Yu X G, *et al.* Fishery resource structure in coastal waters of Liaoning Province[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(4): 289-299 (in Chinese).
- [6] 《中国渔业资源调查和区划》编辑委员会. 中国渔业资源调查和区划之六中国海洋渔业资源 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.  
Editorial Committee of Fishery Resources Survey and Regionalization in China. Fishery resources survey and regionalization in china (VI) marine fishery resources of China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990 (in Chinese).
- [7] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 秋季黄海底层鱼类群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 148-154.  
Xu B D, Jin X S, Liang Z L. Changes of demersal fish community structure in the Yellow Sea during the autumn[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(2): 148-154 (in Chinese).
- [8] 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄渤海生物资源与栖息环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
Jin X S, Zhao X Y, Meng T X, *et al.* Biological resources and habitats in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 2005 (in Chinese).
- [9] 李涛. 北黄海及山东半岛南部近岸海域渔业资源群落结构的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.  
Li T. Preliminary study on community structure of fishery resources in north Yellow Sea and coastal waters of southern Shandong Peninsular[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010 (in Chinese).
- [10] 金显仕, 邱盛尧, 柳学周, 等. 黄渤海渔业资源增殖基础与前景 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.  
Jin X S, Qiu S Y, Liu X Z, *et al.* The basis and prospect of fishery resources proliferation in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese).
- [11] 董婧, 刘修泽, 王爱勇, 等. 辽宁近海与河口区渔业资源 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.  
Dong J, Liu X Z, Wang A Y, *et al.* Fishery resources in Liaoning coastal and estuarine areas[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018 (in Chinese).
- [12] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
Liu R Y. Checklist of marine biota of China seas[M]. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese).
- [13] 杨德渐. 中国北部海洋无脊椎动物 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.  
Yang D J. Invertebrate of the northern China seas[M]. Beijing: China Higher Education Press, 1996 (in Chinese).
- [14] 刘静, 宁平. 黄海鱼类组成、区系特征及历史变迁[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 764-769.  
Liu J, Ning P. Species composition and faunal characteristics of fishes in the Yellow Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 764-769 (in Chinese).



- [15] 田明诚, 孙宝龄, 杨纪明. 渤海鱼类区系分析[J]. 海洋科学集刊, 1993, 34: 157-167.  
Tian M C, Sun B L, Yang J M. Analysis of the fish fauna of the Bohai Sea[J]. *Studia Marina Sinica*, 1993, 34: 157-167 (in Chinese).
- [16] 中国科学院海洋研究所. 中国经济动物志-海产鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1962.  
Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Chinese economic zoology-marine fish[M]. Beijing: Science Press, 1962 (in Chinese).
- [17] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *amphibolurus isolepis* in western Australia[J]. *Copeia*, 1971, 1971(3): 527-536.
- [18] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.  
Zhan B Y. Fishery resources assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [19] 吕振波, 李凡, 王波, 等. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落结构[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 692-699.  
Lv Z B, Li F, Wang B, *et al.* Community structure of fish resources in spring and autumn in the Yellow Sea off Shandong[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(5): 692-699 (in Chinese).
- [20] 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 (in Chinese).
- [21] 李凡, 张焕君, 吕振波, 等. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 537-546.  
Li F, Zhang H J, Lü Z B, *et al.* Species composition and community diversity of nekton in Laizhou Bay, China[J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(5): 537-546 (in Chinese).
- [22] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 82-100.
- [23] Margalef R. Information theory in ecology[J]. *General Systems*, 1958, 3: 36-71.
- [24] Pielou E C. Ecological diversity[M]. New York: Wiley, 1975: 4-50.
- [25] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163(4148): 688.
- [26] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [27] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. *Taxon*, 1972, 21(2-3): 213-251.
- [28] 卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 渤海莱州湾硬骨鱼类早期资源群落结构及演变[J]. 水产学报, 2022, 46(1): 51-72.  
Bian X D, Wan R J, Jin X S, *et al.* Early life resources assemblage structure and succession to the marine Osteichthyes in the Laizhou Bay of Bohai Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(1): 51-72 (in Chinese).
- [29] 卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 近30年渤海鱼类种群早期补充群体群聚特性和结构更替[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 1-15.  
Bian X D, Wan R J, Jin X S, *et al.* Ichthyoplankton succession and assemblage structure in the Bohai Sea during the past 30 years since the 1980s[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 1-15 (in Chinese).
- [30] Clarke K, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 92: 205-219.
- [31] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Austral Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [32] Lopes M R M, de M Bicudo C E, Ferragut M C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 542: 235-247.
- [33] Naselli Flores L, Barone R. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy)[J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369-370: 163-178.
- [34] Muylaert K, Sabbe K, Vyverman W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 50(5): 673-687.
- [35] 温超男, 黄蔚, 陈开宁, 等. 太湖滨岸带浮游动物群落结构特征与环境因子的典范对应分析[J]. 水生生态学杂志, 2020, 41(2): 36-44.  
Wen C N, Huang W, Chen K N, *et al.* Canonical correspondence analysis between zooplankton community structure and environmental factors in the littoral zone of Taihu Lake[J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, 41(2): 36-

- 44 (in Chinese).
- [36] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [37] 陈大刚. 黄渤海渔业生态学 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991.  
Chen D G. Fishery ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 1991 (in Chinese).
- [38] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. *Ecological Monographs*, 1957, 27(4): 326-349.
- [39] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [40] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰. 东海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1963.  
Zhu Y D, Zhang C L, Cheng Q T. Fishes of East China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1963 (in Chinese).
- [41] 金显仕. 黄海小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)生态和种群动态的研究[J]. *中国水产科学*, 1996, 3(1): 32-46.  
Jin X S. Ecology and population dynamics of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* bleeker) in the Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1996, 3(1): 32-46 (in Chinese).
- [42] 张波, 吴强, 牛明香, 等. 黄海北部鱼类群落的摄食生态及其变化[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(6): 1343-1350.  
Zhang B, Wu Q, Niu M X, *et al.* Variation in feeding ecology within the fish community in the north Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(6): 1343-1350 (in Chinese).
- [43] 吴强, 王俊, 金显仕, 等. 中国北部海域主要无脊椎动物群落结构及多样性[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(5): 1152-1160.  
Wu Q, Wang J, Jin X S, *et al.* Community structure and diversity of invertebrates in northern region of China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(5): 1152-1160 (in Chinese).
- [44] 程济生, 朱金声. 黄海主要经济无脊椎动物摄食特征及其营养层次的研究[J]. *海洋学报*, 1997, 19(6): 102-108.  
Cheng J S, Zhu J S. Study on feeding characteristics and nutrient level of main economic invertebrates in the Yellow Sea[J]. *Haiyang Xuebao*, 1997, 19(6): 102-108 (in Chinese).
- [45] 林景祺. 中国海洋渔业资源(一)[J]. *海洋科学*, 1991(1): 18-22.  
Lin J Q. China's marine fishery resources[J]. *Marine Science*, 1991(1): 18-22 (in Chinese).
- [46] 万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究[J]. *海洋水产研究*, 1998, 19(1): 60-73.  
Wan R J, Jiang Y W. Studies on the ecology of eggs and larvae of Osteichthyes in the Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(1): 60-73 (in Chinese).
- [47] 翁学传, 张以悬, 王从敏, 等. 黄海冷水团的变化特征[J]. *青岛海洋大学学报*, 1989, 19(1): 119-131.  
Weng X C, Zhang Y K, Wang C M, *et al.* The variational characteristics of the Huanghai Sea (Yellow Sea) cold water mass[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1989, 19(1): 119-131 (in Chinese).
- [48] 姚志刚, 鲍献文, 李娜, 等. 北黄海冷水团季节变化特征分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(6): 9-15.  
Yao Z G, Bao X W, Li N, *et al.* Seasonal evolution of the northern Yellow Sea cold water mass[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(6): 9-15 (in Chinese).
- [49] Xin M, Ma D Y, Wang B D. Chemicohydrographic characteristics of the Yellow Sea cold water mass[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 34(6): 5-11.
- [50] Huston M. A general hypothesis of species diversity[J]. *The American Naturalist*, 1979, 113(1): 81-101.
- [51] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs: high diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state[J]. *Science*, 1978, 199(4335): 1302-1310.
- [52] Washington H G. Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems[J]. *Water Research*, 1984, 18(6): 653-694.
- [53] Tsurpalo A P, Kostina E E. Feeding characteristics of three species of intertidal sea anemones of the south kuril islands[J]. *Russian Journal of Marine Biology*, 2003, 29: 31-40.

## Community structure of fishery organisms in offshore waters of the North Yellow Sea

CUI Peidong<sup>1,2</sup>, BIAN Xiaodong<sup>2,3</sup>, ZHANG Yuxuan<sup>2,3</sup>, SHAN Xiujuan<sup>2,3</sup>,  
JIN Xianshi<sup>2,3\*</sup>, ZHAO Yongsong<sup>2</sup>, WANG Huibin<sup>2</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. National Field Observation and Research Center for Fisheries Resources in Changdao Waters, Yantai 265800, China)

**Abstract:** The offshore waters of the North Yellow Sea is a traditional fishery area in northern China, with sufficient bait organisms and high marine primary productivity, which meet the habitat conditions required for the growth and development of various marine fishery resources and are important spawning grounds and habitats for fishery taxa. In order to understand the current community structure of fishery organisms and reveal the main environmental drivers of its spatial and temporal changes, six monthly voyages of the resource bottom trawl and its habitat surveys were conducted from April to November 2021. Abundance-biomass comparison curves(ABC), spatial interpolation analysis, diversity Analysis, CLUSTER analysis and non-metric multidimensional scale ranking(NMDS) were used to analyze the species composition, dominance, relative abundance, diversity, stability and intra-annual succession of fishery organisms community structure; the relationship between spatial and temporal variation of fishery organisms community structure and environmental factors was analyzed by Canonical Correlation Analysis(CCA). The results showed that 89 species were collected, including 50 species of fish, 19 species of crustaceans, 6 species of shellfish, 6 species of cephalopods, 6 species of echinoderms and 2 species of coelenterates. The dominant species from April to November were *Engraulis japonicus* and *Crangon affinis*, while the important species were *Actinaria*, *Liparis tanakae*, *Loligo japonica*, *Todarodes pacificus*, *Metapenaeopsis dalei* and *Hexagrammos otakii*. Compared with past surveys, the pelagic species *Konosirus punctatus* and *Sardinella zunas* had a significantly lower catch proportion in this survey. During the survey, many kinds of fishery biological parents and larvae appeared, showing that the sea area has the property of good spawning and nursery grounds. In addition, under the long term influence of protection measures such as fishing moratorium, juveniles of important economic species *Pagrus major* were found in this survey, and juveniles of *Decapterus maruadsi* also showed obvious clustering phenomenon, which to a certain extent reflects the development trend of the resource for the better. The community was unstable for most of the survey period. In April, the selective species number in the fishery community began to increase, the community structure was in a state of moderate interference. From May to June, there was a large-scale outbreak of anemone in southern waters of the Zhangzi Island and Haiyang Island, and the marine environment was under great pressure. Therefore, the community was in a state of serious disturbance. In July, the community showed a state of severe disturbance. Since spring and summer are the peak periods of spawning migration, the spawning migration of a large number of fishery organisms formed a relatively continuous migration disturbance. Due to this and the drastic changes in the sea area habitat, the disturbance to the community in July was further intensified. The community in August was in a severely disturbed state, and the diversity level showed a decreasing trend compared with the previous month. The reason for this is that a large number of jellyfish communities appeared in the sea in August, which greatly occupied the ecological niche

in the upper ocean space, leading to a significant increase in natural disturbance and a certain degree of damage to the marine habitat. But as was in timing of the peak spawning migration, when migratory fish species gathered, the nutrient channels became more complex, and the community was more resistant to disturbance, so its stability was improved. After four months of fishing moratorium, the community richness and diversity were significantly improved from September to November, but with the end of the moratorium, the ABC curve showed that the community structure was severely disturbed from September to November due to the sudden increase of anthropogenic fishing disturbance. The CCA results showed that among the selected environmental factors, sea surface temperature (SST), sea bottom temperature (SBT), sea bottom salinity (SBS) and chlorophyll-a (Chl.*a*) were the main environmental factors causing spatio-temporal changes in community structure, among which SST and SBT had more significant effects. During the transition from spring to summer, the offshore waters of the North Yellow Sea gradually entered the warming period, and the warm-temperature species began to migrate into the sea area. The typical species of fishery biological community in the sea area around the southern Yalu River estuary and the central sea area of the Haiyang island gradually transitioned from cold-temperature species to warm-temperature species such as *E. japonicus* and *T. pacificus*. Possibly affected by the edge of the cold water mass in the North Yellow Sea, the communities in the deep water area south of Zhangzi Island and Haiyang Island gradually evolved into cold-temperature species, such as *H. otakii* and *L. tanakae*. In autumn, the sea area was still characterized by warm water, and the fishery biological communities in different geographical locations and different water layers of the sea area were basically replaced by warm temperature and warm water species. In addition, according to the Jaccard similarity index and species turnover rate, the species turnover rate of fishery biological community was relatively large during the transition from spring to summer, while the species turnover rate was significantly decreased during the transition from summer to autumn. Traditional resources such as *Larimichthys polyactis*, *Scomberomorus niphonius* and *Scomber japonicus* were still in the process of decline, and the phenomenon of low quality of marine fishery resources was still more significant. The relationships between species composition, quantitative distribution, community structure changes and stability, biodiversity changes and spatial and temporal changes in community structure and environmental factors in the marine area were also elucidated preliminarily. It was found that reproduction, feeding migration, overwintering migratory behavior, human activities and environmental changes of each fishery taxon all have important effects on the turnover of community species, and the resource dynamics of the early replenishment group is particularly critical, while external environmental factors and internal mechanisms of its changes are complex. It is necessary to carry out further study on the early life stage of marine fish and the recruitment mechanisms should be discussed in terms of environmental conditions. This study systematically clarifies the structural characteristics and seasonal succession of fishery biological community in offshore waters of the North Yellow Sea, providing reference and data support for further understanding the current situation of fishery biological community structure and its response to environmental factors.

**Key words:** dominant species; biodiversity; community structure; CCA; North Yellow Sea

**Corresponding author:** JIN Xianshi. E-mail: [jin@ysfri.ac.cn](mailto:jin@ysfri.ac.cn)

**Funding projects:** National Key Research and Development Program of China (2018YFD0900903); Special Financial Fund of Spawning Ground Survey in the Bohai Sea and the Yellow Sea of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (125C0505); National Natural Science Foundation of China (41506168), Special Fund of the Taishan Scholar Project (tsqn202103135); Innovation Team of Fishery Resources and Ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea (2020TD01)