

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18366

东海及黄海南部渔业资源水文环境类群划分及其相关特征的初步分析

刘勇, 程家骅

农业农村部东海渔业资源开发利用重点实验室, 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090

摘要: 渔业资源管理正在由过去的单一物种管理向生态系统管理转变, 基于生态系统的渔业管理(ecosystem-based fisheries management, EBFM)已成为新的发展方向, 而定义和确定一个合适的生态系统是实施 EBFM 的重要前提。本研究基于 2014—2015 年 4 个季节的大面调查数据, 根据渔业生物分布的水温、盐度、水深和经纬度等因素的季节特征, 通过聚类方法把渔业生物划分出不同的生活习性偏好群, 并就各类群对水文环境的偏好、空间分布和组成特征进行分析比较, 以期 EBFM 的实现提供一个生态系统划分方法的探讨。研究结果发现, 调查海域的渔业生物可以分成 5 个类群, 类群 1 为处于南部近海深水的高温、高盐水域的鱼种; 类群 2 为南部外海深水的偏高温、偏高盐水域的鱼种; 类群 3 为北部近岸浅水的偏低温、低盐水域的鱼种; 类群 4 为中部偏近岸非深非浅水的中温、中盐水域的鱼种; 类群 5 为北部近海偏浅水的低温、偏低盐水域的鱼种。从类群物种对水温偏好角度来看, 类群 1 的水温偏好明显偏向暖水, 而类群 5 相对偏冷水, 类群 4 属于暖水和冷水偏好同时并有类群; 类群 2 和 3 的物种数量均相对较少, 且均无冷水种, 而后者相对偏暖, 前者相对偏冷。从空间分布特点来看, 类群空间呈块状分布, 各类群块状之间有相连、包含、穿插等组合形式; 各类群重心分布四季变化特征差异显著, 类群 3、4 和 5, 四季洄游起点与终点比较接近, 洄游路径趋于完整的闭环; 而类群 1 和 2, 四季洄游起点与终点相差较远, 不能形成完整洄游过程。从类群结构及组成来看, 类群 1 在春、夏季的优势种分别为太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)和大管鞭虾(*Solenocera melanthero*); 类群 2 在春、冬季的优势种分别为竹荚鱼(*Trachurus japonicus*)、日本海鲂(*Zeus faber*), 夏、秋季的优势种均为刺鲳(*Psenopsis anomala*); 类群 3 情况相对复杂, 龙头鱼(*Harpadon nehereus*)除夏季外均处于优势, 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)在春、夏季为优势种, 而黄鲫(*Setipinna taty*)在秋、冬季为优势种; 类群 4 和类群 5 均只有 1 个优势种, 分别为带鱼(*Trichiurus japonicus*)和小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)。另外, 本研究还提出研究对象在调查水域范围内的数据是否完整的检验方法, 以及不同类群相对稳定的比例结构与生态功能之间的联系等探讨方向。

关键词: 渔业资源; 类群划分; 水文环境; 东海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)04-0796-15

渔业资源管理经历了较为漫长的发展过程, 目前正处在由过去的单一物种管理向生态系统管理转变的过程中。单一物种的渔业管理在过去的一个半世纪中已经取得了显著进展, 并且已经成为一个相对成熟的渔业管理方法^[1-2]。而在广泛实

施单一物种渔业管理办法的过程中, 越来越多的工作者发现其管理上的缺陷, 即只关注单一物种的可持续性, 而忽视物种的相互作用和生态系统结构发生的变化, 没有考虑渔船兼捕以及渔船捕捞对生境的影响等生态系统方面的问题^[3]。为了

收稿日期: 2018-11-15; 修订日期: 2019-01-15.

基金项目: 农业农村部专项东海区海洋捕捞基础信息动态采集分析项目(2011-2017); 农业农村部专项中日暂定水域渔业资源调查项目(2011-2017); 农业农村部公益性行业科研专项-东海渔业资源评价和增殖养护技术研究与示范项目.

作者简介: 刘勇(1977-), 男, 副研究员, 博士, 从事海洋渔业资源与生态学研究. E-mail: liuy@ecsf.ca.cn

通信作者: 程家骅, 研究员, 从事海洋渔业资源与生态学研究. E-mail: ziyuan@sh163.net

解决这些问题, 基于生态系统的渔业管理(EBFM)已被提议作为管理渔业的发展方向^[4-5]。以生态系统作为管理单位是实现 EBFM 的基础, 如何确定或者定义一个合适的生态系统来进行适宜的管理是实施 EBFM 的重要前提。

东海水域范围广阔, 覆盖沿海三省一市, 包括浅滩、岛礁、港湾和河口等多种栖息生境^[6], 形成许多复杂的生态结构类型。若要对东海水域的渔业资源进行合理有效的管理, 就必须根据渔业资源不同的生态类型或生态特征进行适当的分类, 从而可以针对生态特点相似的类群进行适宜有效的管理^[3]。针对东海鱼类的分布特征进行群落划分的研究已有学者进行过探讨, 如沈金鏊等^[7]根据 1981 年的调查资料, 把东海深海底层鱼类资源划分成 3 个空间分布上有差别的群落; 李圣法等^[8]根据 1997—2000 年 4 个航次的调查资料, 把东海大陆架海域鱼类资源也从空间上划分成 3 个群落。上述研究均是基于各个调查站点渔获组成之间的相似性关系, 对调查站点进行归类, 并从站点空间上的特征进行群落的定义; 该方法所获得的群落在空间上有一定的范围限定, 各群落的物种数量是变动的, 不同航次、不同时间都是变化的, 而且群落之间的物种也是有交叉的, 物种在群落之间不是相互排斥的。在研究某个生态系统时, 主要的方法是从生态系统的结构入手, 也就是从生态系统的组成入手^[9]; 不管是研究生态系统的食物网或营养结构, 都要涉及生态系统的组成, 如果其组成发生变化, 那就意味着生态系统的结构发生了变化、系统是不稳定的^[10]; 想要研究生态系统, 就希望这个生态系统是一个相对稳定的系统, 那么它的结构组成也需要相对固定, 换句话说, 需要一个物种组成相对稳定的群落作为生态系统的研究对象。对环境条件取向较为相似的生物通常会聚在一起^[11], 可能会形成一个相对稳定的群落, 也可能形成一个生态结构相对稳定的系统。基于生物分布环境的特征, 把物种划分为不同的生态群落, 这是本文准备在定义生态系统方面想要做的一种新的尝试。

生物的分布依赖自然的物理环境^[12-14], 而物理环境条件又与自然的物理过程相联系, 如气候

的变化、海洋水团的形成与消长、大范围洋流通道的影响等过程^[15-16]。通过物理环境条件可以推测生物资源的分布特征^[17], 而生物的分布特征又可以反推物理过程^[18], 两者相辅相成。以渔业生物资源出现的水文环境数据为依据, 把渔业生物资源的物种从环境偏好的角度进行分类, 以期把渔业生物资源物种与水文环境特征联系起来, 即把物种与特定的水温、盐度和水深等水文特征联系起来, 同样也可以通过水文特征推测或预测特定的物种分布的可能, 这是本研究的另一个驱动因素。

本文根据渔业生物分布的水温、盐度、水深和经纬度等因素的季节变化将其划分成几个不同的生活习性偏好类群, 以期在生物和环境之间构建起一个连通的桥梁, 由生物推知环境特征, 同样可以由环境推断生物分布; 此外, 从环境偏好角度给生物分群, 类似偏好物种组合在一起、可以形成一个相对稳定的群落或系统, 这也可以为生态系统的定义提供一种新的尝试, 从而可以为以后基于生态系统的渔业管理(EBFM)提供一个基础的技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料来源

数据来自 2014 年 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)和 2015 年 1 月(冬季) 4 次东海区渔业资源大面积定点调查。调查船为双拖渔轮, 网具为 100 目×4 m, 网囊网目为 2.5 cm, 平均拖速为 2 n mile/h。调查范围为 27°00′~34°00′N, 122°00′~127°00′E, 经、纬度每隔 30′设 1 个站位, 格状均匀设置站位(图 1)。水文数据采集使用美国 Sea-Bird 公司生产的小型温盐深记录仪(CTD), 采样方法是在每个站点收好网具后, 放下 CTD 至海底, 作短暂停顿后再提收, 收集各站点水温、盐度和深度等水文数据。考虑到调查渔船为底层双拖渔轮, 捕捞对象均为海水底层生物, 影响其分布的环境因素应该为底层的水文条件, 所以本文研究的水文数据均为底层数据。

1.2 数据的筛选与处理

调查站点设置了 120 多个站点, 实际调查过

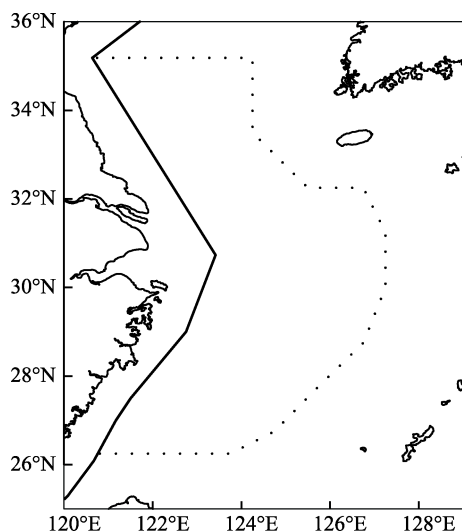


图 1 研究水域范围示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

程中有些站点因特殊原因未能按计划执行, 另外因所携带 CTD 出现故障、无法采集数据等原因, 调查和采集数据有不同程度漏缺。本研究只保留了数据完整的调查站点数据, 即既有调查生物量数据、又有 CTD 环境数据的站点。为了季节之间能够比较, 对物种也进行了筛选, 保留了四季均出现的物种。经过上述数据筛选, 用于分析研究的数据情况如下: 四季站点数分别为 98(春)、119(夏)、101(秋)和 123(冬)、保留物种数为 102 种。

根据各季调查渔业生物各站点生物量(重量), 以及各站点水文环境数据计算出各物种各季分布水文因子均值, 该值反映了生物对某环境因子的季节取向。计算方法是以前述数据为对象, 生物量为权重, 进行加权平均, 具体计算公式如下:

$$\bar{P}_{j-sp} = \frac{p_{j-i} \times b_{sp-i}}{\sum_{i=1}^{n_{sp}} b_{sp-i}}$$

式中, j 指示某种水文数据, 本研究包括水温、盐度、水深、经度和纬度等数据; sp 代表某物种; i 指示物种出现的某站点; n_{sp} 是指 sp 物种出现的总站点数; $\bar{P}_{j-sp}$ 是指 sp 物种 j 水文数据的加权平均值; p_{j-i} 是指 i 站点 j 水文数据值; b_{sp-i} 是指 sp 物种在 i 站点出现的生物量。

1.3 聚类分析方法

基于前述数据处理, 得到一个物种×环境因

子(生物量加权平均值, 共计 4 个季节的数据)矩阵, 通过聚类方法分析环境上有相似取向的物种聚群情况。采用的是系统聚类法(hierarchical clustering analysis), 选择的聚类统计量是欧氏距离(Euclidean distance), 聚类方法是采用最长距离法(complete)^[19], 具体计算过程是通过 R 统计软件^[20] amap 工具包^[21]中的 hcluster 函数来实现。

1.4 资源累积比例的下限密度指数计算方法

本研究是基于大面积定点调查数据, 其调查站点覆盖面广且分布均匀, 资源的聚集、分散等分布特征均能通过该数据有所体现。基于上述前提, 进而可以根据不同站点的资源密度指数, 寻找资源的主要分布区域。本文定义“资源主要分布区域”为资源重量累积百分比达到指定比例的分布水域, 该水域边缘对应的资源密度指数, 即该水域密度指数最低的下限, 该下限密度指数通过以下公式计算^[22]:

$$D_{\alpha} = \bar{D} \left(n \mid \sum_{i=1}^n \bar{p}_i \geq \alpha \right)$$

式中, α 为期望资源累积百分比; $\bar{p}$ 为降序排列的站点密度指数占总量的百分比序列; i 是序列中第 i 个百分比值; n 是序列前 n 个百分比值累加达到 α 时的序号, D 为降序排列的站点密度指数序列, 其第 n 个密度指数即为资源累积百分比达到期望值的下限密度指数(D_{α})。

1.5 分布重心

以各调查站点各类群的重量为权重, 计算各类群分布重心的位置, 具体计算公式为:

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \times W_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_{ij}}, \quad Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij} \times W_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_{ij}}$$

式中, X_i 和 Y_i 为第 i 类群分布重心的经度和纬度; x_{ij} 和 y_{ij} 为出现第 i 类群的第 j 站点的经度和纬度; W_{ij} 为第 i 类群分布在第 j 站点的重量。

1.6 数据处理

本文所有数据的处理和图件的绘制均是使用 R 语言软件来实现^[20]。处理和整理数据使用的主要函数包有 RODBC^[23]、XLConnect^[24], 绘画使用

的主要函数包有 `mapdata`^[25]、`maps`^[26]、`mapplots`^[27]、`ggplot2`^[28]。

2 结果与分析

2.1 各鱼种水文因子四季变化情况

观察所有鱼种四季水文因子分布情况(图 2), 可以看到一些整体分布趋势。盐度四季分布特点明显, 春、秋季分布均较为集中, 而夏、冬季分布

则比较分散。温度分布整体趋势与四季温度变化较为一致, 即春、冬季温度较低, 夏、秋季温度较高, 遵循四季温度轮回特点; 也有一些鱼种四季水温变化不是特别明显; 还有一些鱼种温度季节选择与整体趋势相反, 如夏季温度下降、冬季温度增高的情况。水深、经度和纬度四季变化比较复杂, 简单观察不能看出明显趋势, 因此对上述 3 个因子的四季分布进行了箱体图分析(图 2 右下

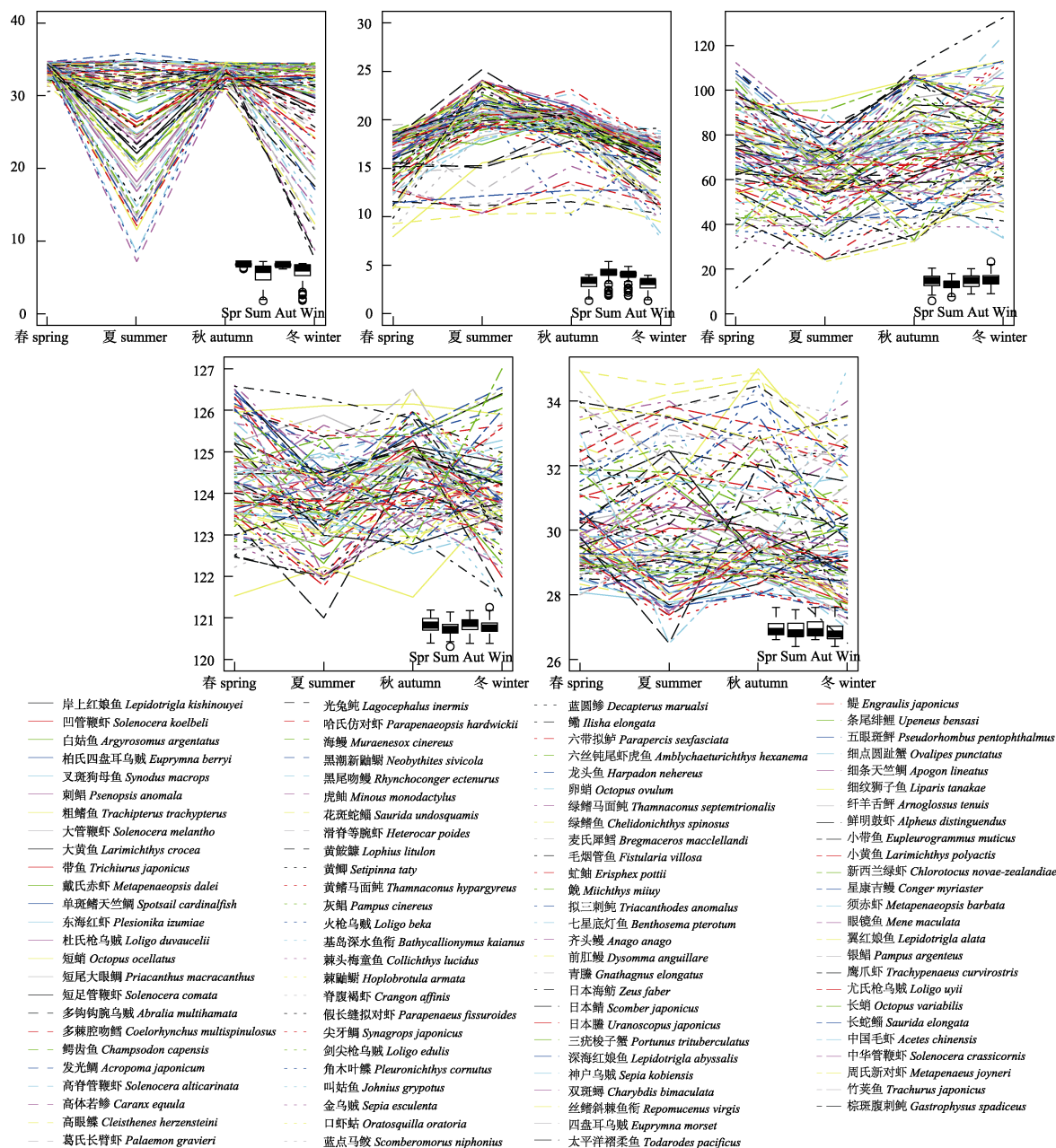


图 2 各鱼种水文因子四季分布情况

Fig. 2 Seasonal distribution of hydrological factors of various fish species

表 1 各季节渔业生物水文因子优势分布范围
Tab. 1 The advantage distribution ranges of fishery biological hydrological factors in each season

季节 season	水文因子 hydrological factor	范围 range	优势范围 advantage range	优势百分比 advantage percentage
春 spring	盐度 salinity	30.6–34.7	33–35	0.81
	温度/℃ temperature	7.9–19.5	13–19	0.83
	水深/m depth	11.4–112.2	50–110	0.83
	经度/°E longitude	121.5–126.6	122.5–125.5; 126–126.5	0.86
	纬度/°N latitude	28–34.9	28–30.5; 31–32.5	0.85
夏 summer	盐度 salinity	7.2–35.9	20–35	0.80
	温度/℃ temperature	10.3–25.2	18–24	0.80
	水深/m depth	23.3–95.3	40–80	0.81
	经度/°E longitude	121–126.3	121.5–122; 122.5–125.5	0.88
	纬度/°N latitude	26.5–34.5	27–32; 33–34	0.88
秋 autumn	盐度 salinity	30.4–34.6	31–31.5; 32–34.5	0.85
	温度/℃ temperature	10.2–23.2	18–22	0.83
	水深/m depth	32.3–110.2	40–90; 100–110	0.83
	经度/°E longitude	121.5–126.5	123–126	0.88
	纬度/°N latitude	28–35	28–31; 32–33	0.83
冬 winter	盐度 salinity	7.5–34.5	24–36	0.80
	温度/℃ temperature	7.9–19.1	10–12; 15–19	0.80
	水深/m depth	33.8–132.4	40–120	0.95
	经度/°E longitude	121.5–127	122.5–125; 126–126.5	0.82
	纬度/°N latitude	26.5–35	27–31; 32–33	0.84

侧), 结果发现水深整体分布趋势夏季分布相对较浅, 而其他三季水深分布则相对平稳。经度分布总体趋势为春、秋季相对偏外, 而夏、冬季相对更靠近岸边。纬度分布趋势为冬季最为偏南, 而其余三季中夏季相对偏南, 春、秋季相对偏北。

另外, 对各季水文因子的分布优势范围进行了统计分析, 统计优势范围为生物量所占比例超过 80% 的因子范围, 所有结果均列于表 1 中。

2.2 鱼种水文因子四季分布特征聚类分析

根据所有物种 5 种水文因子的生物量加权平均值数据矩阵进行聚类分析, 分析发现所有物种可以划分为 5 个类群(图 3)。第 1 个类群包括 26 个物种(表 2, 表 3), 其中鱼类、虾类和头足类分别为 17 种、5 种和 4 种, 没有蟹类; 第 2 个类群包括 20 个物种, 其中鱼类、虾类和头足类分别为 17 种、2 种和 1 种, 也不包含蟹类; 第 3 个类群包括 11 个物种, 其中鱼类、虾类、蟹类和头足类分别为 6 种、3 种、1 种和 1 种; 第 4 个类群包括 22 个物种, 其中鱼类、虾类和头足类分别为 14 种、

4 种和 4 种, 没有蟹类; 第 5 个类群包括 23 个物种, 其中鱼类、虾类、蟹类和头足类分别为 13 种、4 种、2 种和 3 种。

2.3 鱼种类群特征分析

为了分析前述 5 个类群各季水文因子的分布特征(图 4), 先画出各类群的水文因子统计特征, 再画出 5 个类群水文因子均值的平均数参考线(黑色水平线), 以及加、减 5 个类群水文因子均值的标准差参考线(红色水平线), 最后观察比较 5 个类群之间的差异, 结果发现各类群间差异还是比较明显的。

为了进一步分析 5 个类群各季水文因子分布特征, 本文进行了一个定性判断分析。定义 5 个类群水文因子均值的平均数作为该因子的中等水平(middle), 增加和减少 5 个类群水文因子均值的标准差分别作为高水平(high)和低水平(low), 然后根据各类群均值与上述 3 个值之间的距离来判断等级, 离谁最近就判为哪个水平(表 4)。最后根据类群 4 个季节的因子水平确定一个整体水平,

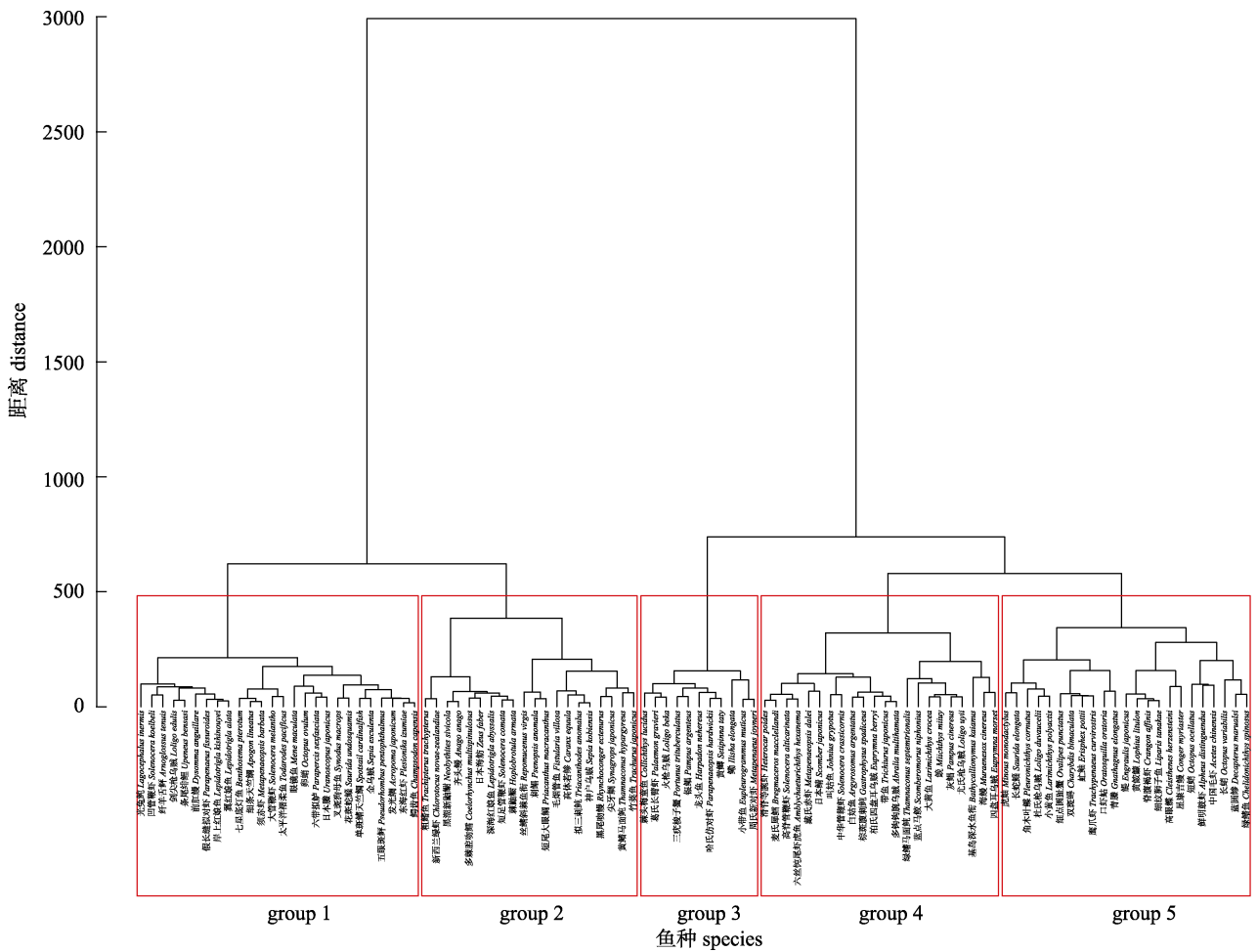


图 3 鱼种四季水文环境分布特征聚类结果

Fig. 3 Clustering results of distribution characteristics of four seasons hydrological environment of fishes

表 2 各聚类群鱼种组成

Tab. 2 Composition of each cluster of fish species

类群编号 group	鱼种数量 count	包含鱼种 species
1	26	岸上红娘鱼, 凹管鞭虾, 叉斑狗母鱼, 大管鞭虾, 单斑鳍天竺鲷, 东海红虾, 鰐齿鱼, 发光鲷, 光兔鲈, 花斑蛇鲻, 假长缝拟对虾, 剑尖枪乌贼, 金乌贼, 六带拟鲈, 卵鲭, 七星底灯鱼, 前肛鳗, 日本鳕, 太平洋褶柔鱼, 条尾绯鲤, 五眼斑鲆, 细条天竺鲷, 纤羊舌鲆, 须赤虾, 眼镜鱼, 翼红娘鱼
2	20	刺鲷, 粗鳍鱼, 短尾大眼鲷, 短足管鞭虾, 多棘腔吻鲷, 高体若鲈, 黑潮新魮鲷, 黑尾吻鲷, 黄鳍马面鲈, 棘魮鲷, 尖牙鲷, 毛烟管鱼, 拟三刺鲈, 齐头鳗, 日本海鲂, 深海红娘鱼, 神户乌贼, 丝鳍斜棘魮, 新西兰绿虾, 竹荚鱼
3	11	葛氏长臂虾, 哈氏仿对虾, 黄鲫, 火枪乌贼, 棘头梅童鱼, 鲷, 龙头鱼, 三疣梭子蟹, 小带鱼, 银鲷, 周氏新对虾
4	22	白姑鱼, 柏氏四盘耳乌贼, 大黄鱼, 带鱼, 戴氏赤虾, 多钩钩腕乌贼, 高脊管鞭虾, 海鳗, 滑脊等腕虾, 灰鲷, 基岛深水鱼鲷, 叫姑鱼, 蓝点马鲛, 六丝钝尾虾虎鱼, 绿鳍马面鲈, 麦氏犀鲈, 鲛, 日本鲭, 四盘耳乌贼, 尤氏枪乌贼, 中华管鞭虾, 棕斑腹刺鲈
5	23	杜氏枪乌贼, 短蛸, 高眼鲷, 虎鲈, 黄鲛鲷, 脊腹褐虾, 角木叶鲷, 口虾蛄, 蓝圆鲈, 绿鳍鱼, 虹鲈, 青鲷, 双斑鲷, 鲉, 细点圆趾蟹, 细纹狮子鱼, 鲜明鼓虾, 小黄鱼, 星康吉鳗, 鹰爪虾, 长蛸, 长蛇鲻, 中国毛虾

表 3 各聚类类群所包含鱼种大类计数
Tab. 3 Large class count of fish species included in each cluster group

类群 group	鱼类 fish	虾类 shrimp	蟹类 crab	头足类 cephalopod	口足类 stomatopod
1	17	5	0	4	0
2	17	2	0	1	0
3	6	3	1	1	0
4	14	4	0	4	0
5	13	4	2	3	1

从而可以描述类群的整体水文环境分布特征。总结分析结果, 得到如下结论: 类群 1 为处于南部近海深水的高温、高盐水域鱼种; 类群 2 为南部外海深水的偏高温、偏高盐水域鱼种; 类群 3 为北部近岸浅水的偏低温、低盐水域鱼种; 类群 4 为中部偏近岸非深非浅水的中温、中盐水域鱼种; 类

群 5 为北部近海偏浅水的低温、偏低盐水域鱼种。

把各水文因子分成 3 档, 即温度分为高温、中温和低温, 盐度分为高盐、中盐和低盐, 纬度分为南部、中部和北部, 经度分为近岸、近海和东海, 水深分为浅水、中等(不深不浅)和深水。根据表 4 的结果把各类群进行各档划分, 遇到四季水平不统一情况, 根据出现次数较高的水平定档, 并参考其它水平进行档内偏差调整; 若出现两种水平相当, 遵循就高原则。结果得到类群水文因子特征模式图(图 5)。可以看到 5 个类群均分布在温、盐 9 方格图的斜对角线上, 即低温低盐, 中温中盐 and 高温高盐的方格中, 其他分区方格均没有分布, 即没有高温低盐或高盐低温类群的出现; 而空间分布模式表明 3 个类群分布偏北偏近岸, 而另外 2 个类群则偏外偏南分布。综合起来看, 1、

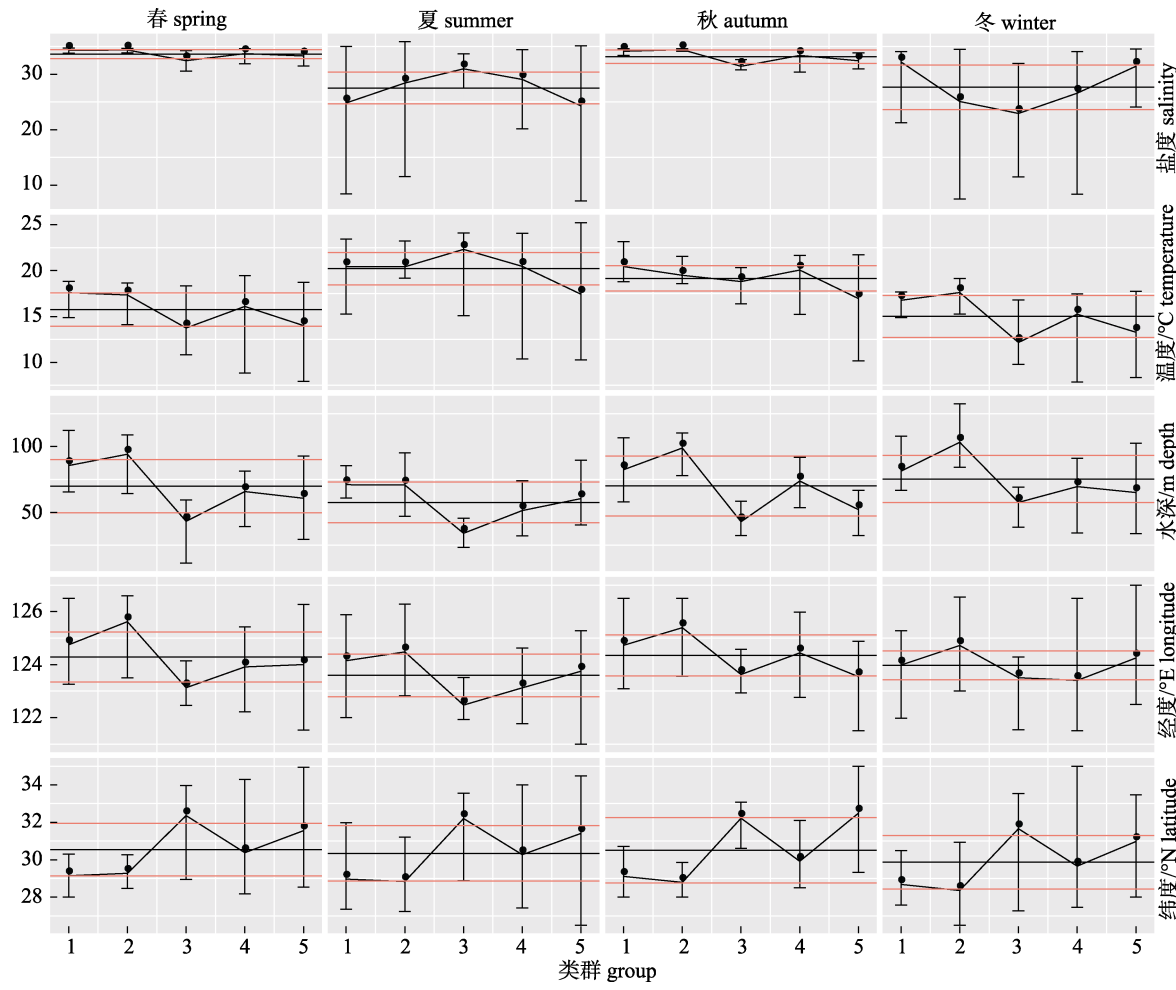


图 4 鱼种类群水文环境特征分布比较

Fig. 4 Comparison of hydrological environmental characteristics of the fish groups

表 4 各类群环境因素季节特征

Tab. 4 Seasonal characteristics of environmental factors of various groups

类群 group	因子 factor	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	特征 feature
1	盐度 salinity	high	low	high	high	高盐
	温度/℃ temperature	high	middle	high	high	高温
	水深/m depth	high	high	high	middle	深水
	经度/°E longitude	middle	high	middle	middle	近海
	纬度/°N latitude	low	low	low	low	南部
2	盐度 salinity	high	middle	high	low	偏高盐
	温度/℃ temperature	high	middle	middle	high	偏高温
	水深/m depth	high	high	high	high	深水
	经度/°E longitude	high	high	high	high	外海
	纬度/°N latitude	low	low	low	low	南部
3	盐度 salinity	low	high	low	low	低盐
	温度/℃ temperature	low	high	middle	low	偏低温
	水深/m depth	low	low	low	low	浅水
	经度/°E longitude	low	low	low	low	近岸
	纬度/°N latitude	high	high	high	high	北部
4	盐度 salinity	middle	high	middle	middle	中盐
	温度/℃ temperature	middle	middle	high	middle	中温
	水深/m depth	middle	middle	middle	middle	不深不浅
	经度/°E longitude	middle	low	middle	low	偏近岸
	纬度/°N latitude	middle	middle	middle	middle	中部
5	盐度 salinity	middle	low	low	high	偏低盐
	温度/℃ temperature	low	low	low	low	低温
	水深/m depth	middle	middle	low	low	偏浅水
	经度/°E longitude	middle	middle	low	high	近海
	纬度/°N latitude	high	high	high	high	北部

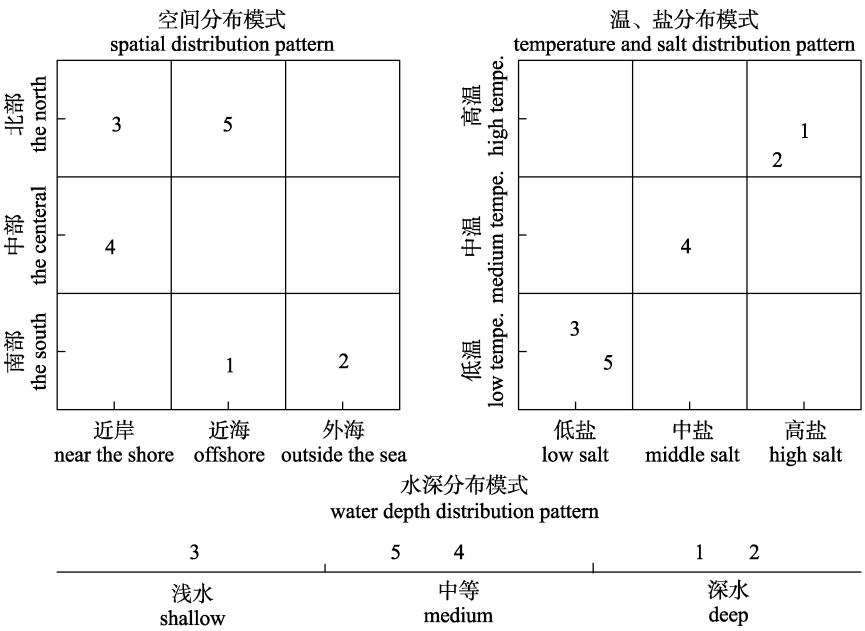


图 5 各类群分布特征模式图

Fig. 5 Distribution pattern of each group

2 类群偏向高温、高盐的环境, 分布水域靠南靠外; 3、5 类群偏向低温、低盐的环境, 分布水域靠北靠岸; 而第 4 类群对温度、盐度的偏好居中间, 分布水域也是居于南北中间的靠岸水域。

3 讨论

3.1 与鱼类水温偏好相关文献的比较

本研究通过一年度调查数据, 对调查水域水生物的环境取向进行了一个归类分析。参考鱼种水温偏好相关的文献资料^[29], 对本研究 5 个类群组成物种的水温偏好属性进行了汇总, 汇总结果如表 5 所示。由于虾蟹类和头足类的水温偏好信息较少, 判断本研究 5 个类群分群的合理性主要还是依据鱼类水温偏好的统计结果进行比较。

表 5 各类群包含鱼种的水温偏好统计
Tab. 5 Water temperature preference statistics for various species of groups

类群 group	WW	WT	CT	NoInf	鱼类 fish	虾类 shrimp	蟹类 crab
1	14	9	0	3	0	3	0
2	9	9	0	2	0	2	0
3	7	3	0	1	0	0	1
4	13	7	1	1	0	1	0
5	4	12	3	4	0	2	2

注: WW 为暖水种类, WT 为暖温种类, CT 为冷温种类, NoInf 为无信息物种。本表统计数据均依据文献[29]相关内容。

Nove: WW means warm water species; WT means warm temperature speties; CT means cold temperature spercies; No Inf means none in for mation species. All data of the table are with reference to [29].

在已知偏好的物种中未有冷水种出现, 东海及黄海南部水域渔业物种还是以暖水和暖温物种为主, 其中有少量冷温性物种。表 5 结果显示, 类群 1 水温偏好明显偏向暖水, 在已知水温偏好的物种中有超过一半以上的物种属于暖水种, 未有冷温物种出现, 该结果与本文类群 1 偏向高温的分析结论较为一致。类群 5 的物种以暖温种为主, 且出现了 3 个冷温物种, 可见该类群水温偏好相对偏冷, 与前文分析结果偏向低温一致。类群 4 的特点也比较明显, 即暖水种较多, 同时出现冷温种, 既有类群 1 的特征, 也有类群 5 的特征, 既有暖水特征、也有冷水特征, 属于两种水温偏好同时并有的类群。类群 3 的物种数量最少, 以暖水物种为主; 类群 2 的物种数量相对较少, 暖水与暖温物种数量相当; 类群 3 虽然处于靠北水域,

但其分布比较靠岸, 且水深较浅(图 5), 受陆源水影响较大^[16], 可能是其温水种较多的原因; 类群 2 处于偏南、偏外海水域(图 5), 外海较深水域会有冷水团侵入^[15], 因而导致类群组成的暖水和暖温物种数量相当的结果。

3.2 不同类群不同季节的空间分布特征

在第 2.3 节中已对 5 个类群的空间分布模式进行了概括, 该分布模式是综合四季整体特征, 具体到各季分布又有不同特点, 因此作者描绘出 5 个类群及其聚集中心的四季空间分布(图 6), 进一步分析 5 个类群的季节分布特征。图 6 上排图表示的是 5 个类群空间上的全部分布情况, 从该图可以看到当季生物量分布中心水域, 以及各类群的组成情况; 下排图为生物量最高, 且积累量达到 40%的各类群分布情况, 从中可以观察各类群主体各季的分布情况。

观察 5 个类群主体 4 个季节的分布特征(图 6), 可以看到类群 3 和类群 5 的分布中心偏北, 处于长江口水域, 类群 3 更偏近岸, 类群 5 则偏外和偏北; 其余 3 个类群的主体均分布在舟山以南水域, 类群 4 相比最偏近岸, 而类群 2 则最偏外和偏南, 类群 1 介于两个类群之间, 各类群各季的整体分布特征与第 2.3 节分布模式分析结果基本一致。另外, 通过各类群分布重心的四季变化分析(图 7), 进一步描述了各类群整体空间分布的季节变化特征。类群 3 的季节迁移特征主要为近岸与近海之间的移动, 南北移动相对较小, 春季至夏季是向近岸移动, 进入秋冬季仅往外海做短距离移动。类群 5 的季节迁移特征不仅在近海和外海之间移动, 南北之间的移动也较为明显, 春季处于偏外偏南水域, 夏、秋季往近海和北方水域移动, 到了冬季又会返回到春季偏外偏南的水域。类群 4 的季节迁移特征比较特别, 春季处于偏南水域, 夏季移到最北水域, 秋季往外海水域移动, 冬季往近海和南方水域移动, 几乎形成一个闭合的三角形。类群 1 和类群 2 的季节洄游特征比较相似, 春季至夏季均是向西北水域移动, 秋季均是向南移动, 类群 2 略有差别、偏于东南移动, 而冬季均是往西南水域移动。5 个类群的洄游路径, 前三者,

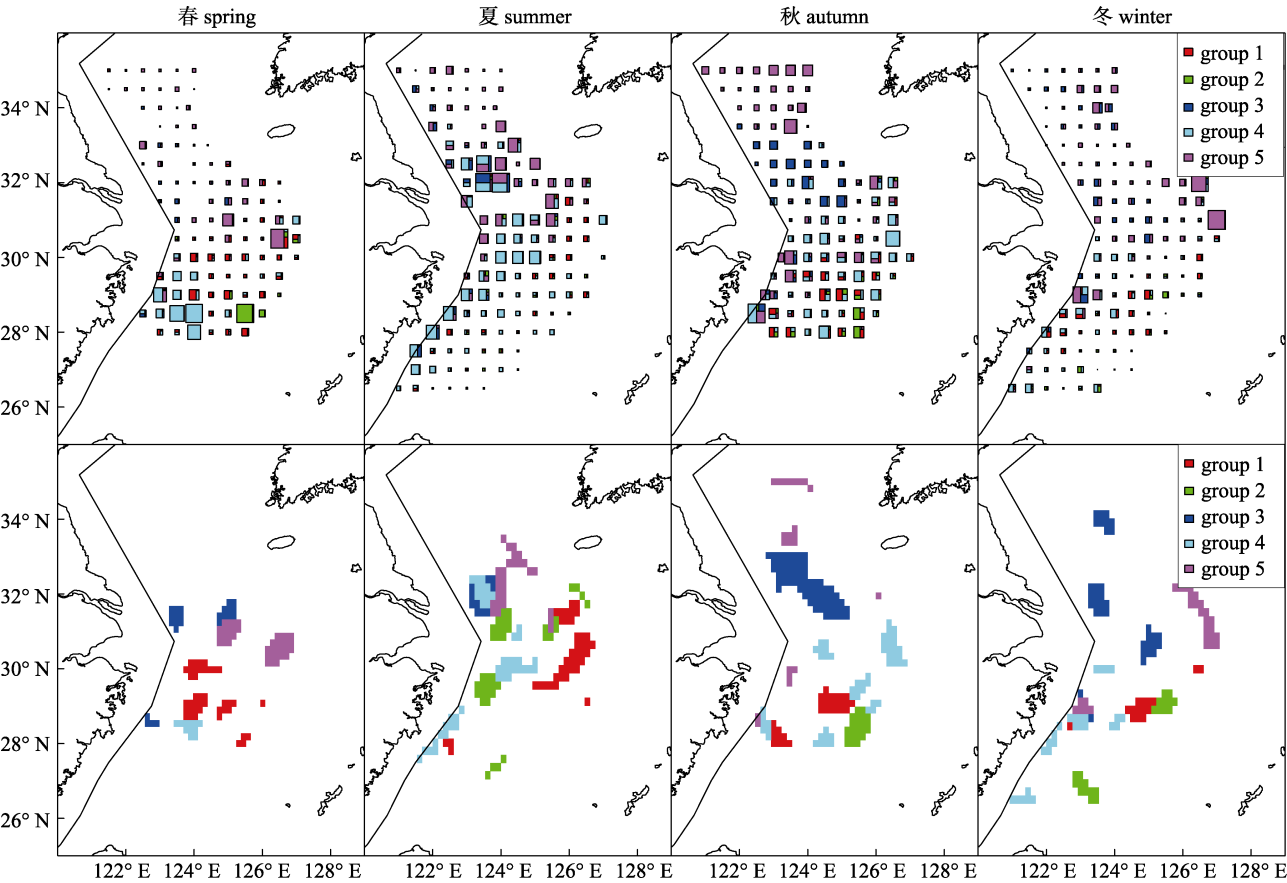


图 6 各类群各季空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution characteristics of each group in each season

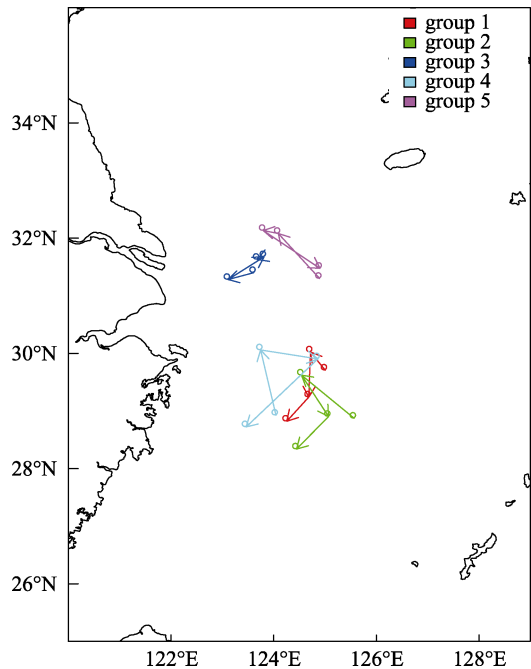


图 7 各类群分布重心的四季变化

Fig. 7 Spatial distribution changes of each group gravity center through seasons

即类群 3~类群 5, 其四季洄游的起点与终点均比较接近, 趋于一个闭环的完整洄游路径; 而类群 1 和类群 2 四季洄游的起点与终点相距较远, 不能形成一个完整的洄游过程, 很可能是因为此两类群所包含物种分布偏南, 所调查水域不能完全覆盖其分布水域, 因此在本调查范围不能描绘出一个完整的洄游过程。

上述分析过程, 为以后研究对象的选择提供了一种途径。一般的研究对象都是以种群为单位, 而且要求是整个种群的全部情况^[30], 如果种群的部分群体不在调查范围内, 那么就不能满足上述要求; 同样, 研究一个生态系统也会存在上述情况。那么可以参考本文的分析方法, 分析研究对象一整年(1 个周期)的分布情况, 通过观察其在一个周期内的迁移路径是否形成一个相对完毕的循环, 从而判断调查水域是否能够完全覆盖研究对象生活史所历经的范围, 进而可以判断所使用的数据是否能够完整的代表一个种群或一个生态系

统的情况。

从空间分布特点来看,本文按照各物种偏好环境因子划分的类群空间分布是呈块状分布,且各类群不是形成一个大整块分布,而是形成多个相对靠近的块状分布特征;另外,各类群之间并不是完全分离的,有相连、有包含,还有相互穿插的。相比按照物种数据对调查站点进行类群划分的结果来看,其类群的空间分布与水文环境有着较为密切的关系,尤其与水深有着显著的关联,其划分类群均与水深有联系^[7];类群多成整块分布,少有小块分布^[8]。上述差别主要还是源于分析方法不同所带来的。后者以站点为分类对象,越相邻站点其生物组成越相似,从而导致划分类群都是成片相连的。而本文分类对象是物种,物种分布是受多种因素影响的,除了有水文环境的影响,更重要的还有食物的影响^[11],这就是导致多个类群相互穿插、包含、相邻多种分布情况发生的可能原因,即在某一水域存在共同食物,或者类群之间是摄食与被摄食的关系导致类群空间分布的关系。

3.3 不同类群的主要构成及不同季节的资源密度变化

各类群各季站点平均生物量(图 8),除类群 4 和类群 5 在夏季超过 35 kg/h 以外,其余均未出现超过 15 kg/h 的情况。整体情况来看,最高生物量出现在夏季,其次为春季,最低的出现在冬季。从类群来看,类群 4 的生物量最高,其次分别为类群 5、类群 3 和类群 1,生物量最小的为类群 2。

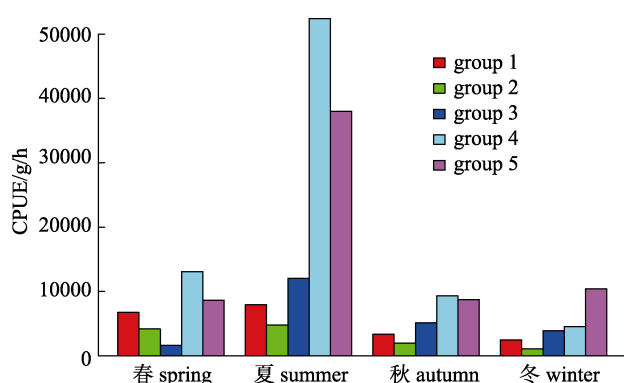


图 8 各季节各类群的平均 CPUE

Fig. 8 Average CPUE of each group for each season

另外观察到一个比较有趣的现象,即类群 1 与类群 2 之间存在着一个相对稳定的比例关系,4 个季节中类群 1 一直高于类群 2,而两者比例在四季中也有一定的变化。在春、夏、秋 3 个季节中,类群 4 都是高于类群 5,而在冬季则相反。上述现象可以通过图 9 更直观地表达出来。可以看到,除类群 1 和类群 2 之间的比例关系全年相对平稳外,类群 3 与类群 1、类群 2 之间的比例关系在除了春季以外的 3 个季节中也是相对平稳的。美国国家海洋与大气管理局(NOAA)和粮农组织(FAO)在定义生态系统管理时强调,在管理渔业时需考虑到生态系统主要组成部分和生态服务,即包括生态系统的结构和功能^[3]。本文发现的这种相对平稳的比例结构关系是否与生态系统当中特定的功能结构相关?这些疑问有待进一步的研究和探讨。

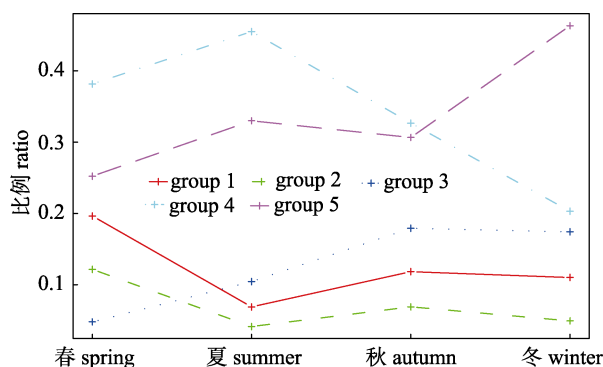


图 9 各季节各类群百分比例变化

Fig. 9 Percentage change of each group for each season

从各类群主要物种的数量来看(图 10),类群 1 的物种数最多,为 10 个;而类群 3 的物种数最少,为 4 个;类群 2 的物种数相对较多,为 8 个;类群 5 和类群 4 的物种数分别为 7 个和 6 个。主要物种数量的多少直接与类群中有没有优势种和优势程度均存在较大联系。如物种数最少的类群 3,除夏季外,其他季节均有 2 个以上比例超过 1/4 的物种;仅次于类群 3、物种数较少的类群 4,虽然优势物种只有 1 个,但其优势度相当高,各季所占比例均超过 60%。物种数最多的类群 1,各物种的比例相对均匀,没有比例优势特别明显的物种,即使某些季节出现比例相对优势的物种,季节间的物

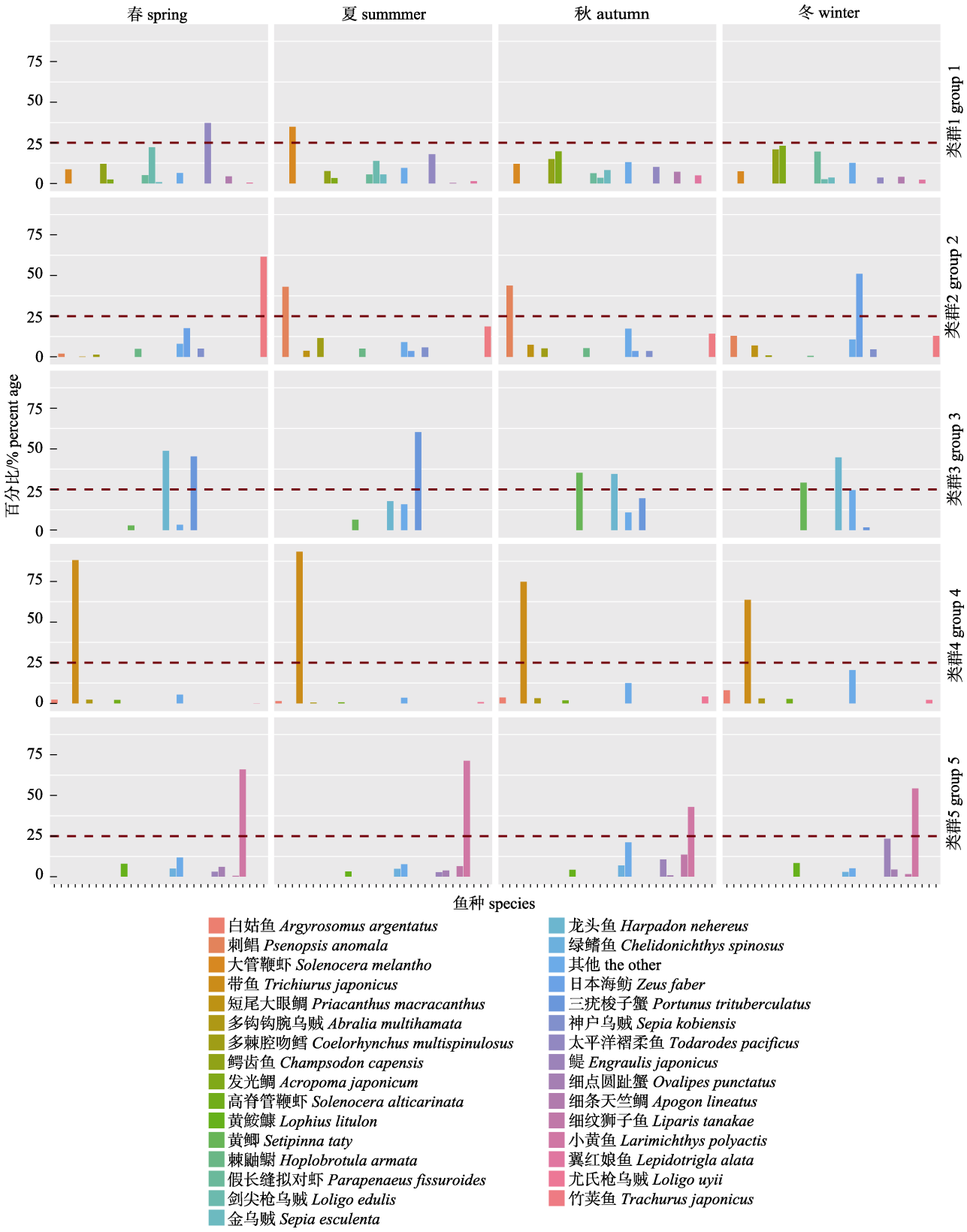


图 10 各季节各类群组成结构的变化

Fig. 10 Changes in the composition of various groups in each season

表 6 各类群各季节优势种情况统计
Tab. 6 Statistics on dominant species in each season

类群 group	季节 season	鱼种 fish	百分比/% percentage
1	春 spring	太平洋褶柔鱼 <i>Todarodes pacificus</i>	37.22
	夏 summer	大管鞭虾 <i>Solenocera melantho</i>	34.88
2	春 spring	竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	61.56
	夏 summer	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	42.98
	秋 autumn	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	43.77
	冬 winter	日本海鲂 <i>Zeus faber</i>	50.94
	春 spring	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	48.69
3	春 spring	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	45.31
	夏 summer	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	60.17
	秋 autumn	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	35.21
	秋 autumn	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	34.44
	冬 winter	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	29.08
	冬 winter	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	44.69
	春 spring	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	88.05
	夏 summer	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	93.30
4	秋 autumn	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	74.79
	冬 winter	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	63.66
5	春 spring	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	65.96
	夏 summer	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	71.32
	秋 autumn	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	42.90
	冬 winter	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	54.28

种也不相同。类群 2 的情况与类群 1 比较接近，而类群 5 的情况与类群 4 的比较接近。

各类群各季节的优势种及其优势程度见表 5、表 6，这里把所占比例超过 1/4 的物种均列出来。类群 1 的相对优势种为太平洋褶柔鱼和大管鞭虾，分别出现在春季和夏季，其余季节均没有出现比例超过 1/4 的优势种。类群 2 的优势种有竹荚鱼、日本海鲂和刺鲷，前两者分别出现在春季和冬季，而刺鲷出现在两个季节，夏季和秋季。类群 3 的优势种有龙头鱼、三疣梭子蟹和黄鲫；龙头鱼是绝对优势种，除了夏季不属于优势种外，其余 3 个季节均为优势种；三疣梭子蟹和黄鲫均在 2 个季节中处于优势，前者在春季和夏季是优势种，后者在秋季和冬季为优势种。类群 4 和类群 5 均只有 1 个优势种，分别为带鱼和小黄鱼；带鱼的优势程度相对较高，最低比例也在 60%之上，最高的达到 90%以上；小黄鱼的优势度相对低一些，所占比例在 40%~70%之间。

李圣法等^[8]通过物种组成把调查站点划分成近海、大陆架外缘和混合 3 个类群，各类群的主

要特征鱼种分别小黄鱼、竹荚鱼和带鱼。这几个特征鱼种在本文的类群中也都是优势种，分别对应类群 5、类群 2 (春季)和类群 4，这些类群所处水深特征基本与前文一致。前文类群内的特征鱼种会有交叉，因为是按空间站点划分的类群，类群的空间分布是隔离的，而类群内的鱼种是交叉的；本文研究方法不同，结果恰好相反，类群间鱼种是没有交叉的，而空间是有重叠的。不同季节间各类群的优势种或者特征种是有变化的，前文不同类群不同季节的特征种可能是同一种，这是因为鱼种由于季节的不同，空间上的分布发生了变化^[11]，从而导致了同一鱼种出现在不同类群的不同季节里。而本文类群所含物种是彼此不同的，季节间也有类群的优势种发生变化，而这种变化仅是各类群组成物种内的替换，这种季节变化的原因是因为物种的不同生活史所导致的，即不同物种的产卵和补充时间是不同的^[31]，从而出现了同一类群不同季节不同优势种的出现。

3.4 应用前景及展望

本文基于四季调查数据，根据各物种分布的水文因子均值，将调查水域渔业生物划分成了 5 个类群。这 5 个类群生态特征相对分离，对水温、盐度和水深偏好，以及空间分布都有各自明显特点，完全可以把这 5 个类群作为独立研究单位、分别进行研究。各类群若能自成一个完整生态系统，那么若要开展基于生态系统的渔业管理 (EBFM)^[3, 5]，则可以考虑把调查水域渔业生物划分成 5 个单位进行区别管理。另外，从各类群不同水文特征偏好的角度来看，可以根据各类群的分布情况反推海洋物理环境特征，或推演海洋物理过程的发生，如洋流的路径、水团的消长^[15]。若类群是长期稳定不变的，则可以把该水域几百个物种归纳成 5 个类群进行研究，可以扩展到较长的时间尺度上进行研究分析，对该海域渔业资源的变动规律将会得到更清晰、更简明、更好的归纳。

上述展望还有许多问题需要解答：各类群是否相对稳定，或者说是否在其他调查中同样出现，这将是下一步研究需要验证的内容。各类群是否可以自成一个相对完整的生态系统，或者在整个

大的生态系统中充当某个生态系统的功能群^[32], 它们在该水域的渔业生物群落中到底是充当着什么样的角色、发挥着什么样的作用, 还需要进一步深入研究来寻找答案。

参考文献

- [1] Sainsbury K J, Punt A E, Smith A D. Design of operational management strategies for achieving fishery ecosystem objectives[J]. ICES Journal of Marine Science, 2000, 57(3): 731-741.
- [2] Link J S. System level optimal yield: Increased value, less risk, improved stability, and better fisheries[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2017, 75(1): 1-16.
- [3] Trochta J T, Pons M, Rudd M B, et al. Ecosystem-based fisheries management: Perception on definitions, implementations, and aspirations[J]. PLoS ONE, 2018, 13(1): e190467.
- [4] Brodziak J, Link J. Ecosystem-based fishery management: What is it and how can we do it?[J]. Bulletin of Marine Science, 2002, 70(2): 589-611.
- [5] Pikitch E K. Ecology: ecosystem-based fishery management[J]. Science, 2004, 305(5682): 346-347.
- [6] East China Sea Fisheries Headquarters of the Ministry of Agriculture, Aquatic Bureau of the Ministry of Agriculture. Investigation and Zoning of Fishery Resources in the East China Sea[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987. [农牧渔业部水产局, 农牧渔业部东海区渔业指挥部. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.]
- [7] Shen J A, Cheng Y H. A study on the deep sea demersal fish communities and their structures in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 1987, 11(4): 293-306. [沈金鳌, 程炎宏. 东海深海底层鱼类群落及其结构的研究[J]. 水产学报, 1987, 11(4): 293-306.]
- [8] Li S F, Cheng J H, Yan L P. Spatial structures of fish communities on the continental shelf of the East China Sea[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4377-4386. [李圣法, 程家骅, 严利平. 东海大陆架鱼类群落的空间结构[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4377-4386.]
- [9] Cai X M. Ecosystem Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2000. [蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [10] Sun R Y. General Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1993. [孙儒泳. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.]
- [11] Yan M C. Fish Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [12] Sharma S, Jackson D A, Minns C K, et al. Will northern fish populations be in hot water because of climate change?[J]. Global Change Biology, 2007, 13(10): 2052-2064.
- [13] Cochrane K, De Young C, Soto D, et al. Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge[M]. Rome: Fisheries and Aquaculture Circular, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.
- [14] Cheung W W L, Watson R, Pauly D. Signature of ocean warming in global fisheries catch[J]. Nature, 2013, 497(7449): 365-368.
- [15] Zhang C Y, Feng Z G, Zhang X K, et al. Analysis on research progress of Kuroshio[J]. World Sci-Tech R&D, 2017, 39(3): 239-249. [张灿影, 冯志纲, 张晓琨, 等. 黑潮研究进展分析[J]. 世界科技研究与发展, 2017, 39(3): 239-249.]
- [16] Su J L. A review of circulation dynamics of the coastal oceans near China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(4): 1-16. [苏纪兰. 中国近海的环流动力机制研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 1-16.]
- [17] Bae M J, Murphy C A, García-Berthou E. Temperature and hydrologic alteration predict the spread of invasive Large-mouth Bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Science of the Total Environment, 2018, 639: 58-66.
- [18] Miao Y T, Yu H H. Analysis of corresponding relation between water type and indication plankton under normal weather condition in the East China Sea[J]. Marine Science Bulletin, 1998, 17(2): 13-21. [苗育田, 于洪华. 正常天气系统下的东海水系与指示生物对应关系的分析[J]. 海洋通报, 1998, 17(2): 13-21.]
- [19] Wang B H. Multivariate Statistical Analysis and Modeling for R Language[M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2010. [王斌会. 多元统计分析及R语言建模[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2010.]
- [20] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing[CP/OL]. <https://www.R-project.org/>.
- [21] Lucas A. amap: Another multidimensional analysis package[CP/OL]. [Http://cran.r-project.org/package=amap](http://cran.r-project.org/package=amap).
- [22] Liu Y, Cheng J H. Bottom-temperature distribution characteristics of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the East China Sea and comparison of analysis methods[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(2): 423-435. [刘勇, 程家骅. 东海区小黄鱼海底水温分布特征及分析方法比较[J]. 中国水产科学, 2018, 25(2): 423-435.]
- [23] Ripley B, Lapsley M. RODBC: ODBC database access[CP/OL]. <https://cran.r-project.org/package=RODBC>.
- [24] GmbH M S. XLConnect: Excel connector for R[CP/OL]. <https://cran.r-project.org/package=XLConnect>.
- [25] Becker R A, Wilks A R, Brownrigg R. mapdata: Extra map databases[CP/OL]. <https://cran.r-project.org/package=mapdata>.
- [26] Becker R A, Brownrigg R, Minka T P, et al. maps: Draw geographical maps[CP/OL]. <https://cran.r-project.org/package=maps>.
- [27] Gerritsen H. mapplots: Data visualisation on maps[CP/OL]. <https://cran.r-project.org/package=mapplots>.
- [28] Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis[M]. New York: Springer-Verlag, 2009.
- [29] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Resources and Environment of the East China Sea shelf[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2003: 450-487. [郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 450-487.]

- [30] Zhan B Y. Fishery Resource Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [31] Chen D G. Fishery Resources Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 34-36. [陈大刚. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 34-36.]
- [32] Zhang B, Tang Q S, Jin X S. Functional groups of communities and their major species at high trophic level in the Yellow Sea ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1099-1111. [张波, 唐启升, 金显仕. 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1099-1111.]

Preliminary analysis on the division of fishery resources based on hydrological environment factors in the East China Sea and south of the Yellow Sea

LIU Yong, CHENG Jiahua

Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

Abstract: Fisheries resource management is shifting from the management of single species towards the management of the whole ecosystem. Ecosystem-based fisheries management (EBFM) is a relatively new concept and defining and identifying a suitable ecosystem is an important prerequisite for implementing EBFM. Based on survey data of four seasons from 2014 to 2015 in the East China Sea and south of the Yellow Sea, this study classified fishery organisms into different living habit preference groups by clustering according to the biodistribution seasonal characteristics of water temperature, salinity, water depth, latitude, longitude, etc. The preference for hydrological environment, characteristics of spatial distribution, and group composition structure among all groups were analyzed and compared, in order to probe an ecosystem division method for the realization of EBFM. The fishery organisms in the surveyed seas can be divided into five groups: group 1 has a preference for high-temperature and high-salt conditions in the deep southern offshore waters, group 2 has a preference for high-temperature and high-salt conditions in the deep waters of the southern open sea, group 3 has a preference for low-temperature and low-salt-water conditions in the shallow waters near the northern coast, group 4 has a preference for medium-temperature and medium-salt conditions in the intermediate waters near the central area, and group 5 has a preference for low temperature and low salt water conditions in the shallow northern offshore waters. From the perspective of water temperature preference of group species, group 1 obviously prefers warm water, while group 5 prefers cold water. The preference of group 4 was intermediate. From the perspective of spatial distribution characteristics, the group space is distributed in blocks, and there are combinations of combinations, inclusions, and interspersions among various groups. The different groups were concentrated in different areas in different seasons. The starting point of the migration of groups 3, 4, and 5 is close to the end point of the migration. For groups 1 and 2, the starting point and the ending point of the migration are far apart, and a complete migration could not be identified. In terms of group structure and composition, the dominant species in spring and summer of group 1 were flying squid (*Todarodes pacificus*) and mud shrimp (*Solenocera melanthero*), respectively. In group 2, the dominant species of spring and winter were horse mackerel (*Trachurus japonicus*) and John dory (*Zeus faber*), respectively, and butterfish (*Psenopsis anomala*) was dominant both in summer and autumn. The situation of group 3 is relatively complicated, and the Indian Bombay duck (*Harpadon nehereus*) is dominant in all seasons except summer, the swimming crab (*Portunus trituberculatus*) is dominant in spring and summer, and the scaly hairfin anchovy (*Setipinna taty*) is dominant in autumn and winter. For groups 4 and 5, there is only one dominant species each, the hairtail (*Trichiurus japonicus*) and the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*), respectively.

Key words: fishery resources; group division; hydrological environment; East China Sea

Corresponding author: CHENG Jiahua. E-mail: ziyuan@sh163.net