

文章编号: 1000-0615(2018)05-0694-10

DOI: 10.11964/jfc.20170410787

带鱼保护区春秋季节鱼类群落特征及与环境因子的关系

胡翠林^{1,2}, 张洪亮¹, 张亚洲¹, 潘国良¹, 徐开达¹,
毕远新¹, 梁君¹, 王好学¹, 周永东^{1*}

(1. 浙江省海洋水产研究所, 农业部重点渔场渔业资源科学观测实验站,
浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江舟山 316021;

2. 浙江海洋大学水产学院, 浙江舟山 316022)

摘要: 基于2014年5月(春季)和11月(秋季)在带鱼保护区进行的渔业资源底拖网调查数据, 采用非度量多维标度(NMDS)、典范对应分析(CCA)和分类回归树(CART)方法研究了带鱼保护区春、秋季鱼类群落空间结构和群落多样性, 以及它们与环境因子的关系。结果显示, 该水域春季共捕获鱼类75种, 隶属14目49科63属; 秋季捕获鱼类78种, 隶属15目50科64属。春、秋两季鱼类空间结构均可划分为2个组群, 经单因子相似性(ANOSIM)分析, 不同季节的2个组群间均存在显著性差异。CCA分析表明, 影响春、秋季鱼类群落分布的主要环境因子有温度、盐度、水深以及浮游动物。春季多样性指数平均值为 1.65 ± 0.60 , 丰富度指数为 2.46 ± 0.90 , 秋季多样性指数平均值为 1.42 ± 0.53 , 丰富度指数为 1.89 ± 0.60 。CART分析表明, 影响春季多样性和丰富度的主要因素有Chl.a、DO、水深、pH和浮游动物(磷虾类和浮游幼体); 秋季多样性主要受温度、水深和盐度的影响, 丰富度主要受水深和温度的影响。

关键词: 带鱼; 保护区; 鱼类群落; 群落多样性; 非度量多维标度; 典范对应分析; 分类回归树

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

带鱼(*Trichiurus japonicus*)是我国最重要的海洋捕捞鱼种之一, 广泛分布于西太平洋、印度洋、大西洋, 我国渤海至南海均有分布。2000年渔获量曾达到128.0万t, 为全国单鱼种产量第一位^[1]。带鱼是东海区主要经济鱼类之一, 最高年产量达90.98万t, 居各经济鱼类产量之首, 其资源量的兴衰对东海区海洋渔业生产具有重要的意义^[2]。多年来, 由于捕捞强度的不断增长, 东海区带鱼及其他主要经济鱼类出现了小型化、低龄化的趋势^[3]。因此, 为了保护带鱼等主要经济资源, 农业部于2008年12月批准成立了“东海

带鱼国家级水产种质资源保护区”(简称“带鱼保护区”), 是迄今我国海洋最大的水产种质资源保护区, 位于浙江省沿岸东北部海域, 总面积约2.25万km², 是东海带鱼最重要的生长、繁育场所。与过去几十年相比, 由于过度捕捞和环境污染等的影响, 东海生态环境恶化, 生态系统严重受损, 表现为物种多样性降低、渔获物个体减小、渔业捕捞量下降等资源衰退的特征^[4]。带鱼在生长发育过程中, 食性类型会发生明显改变, 由浮游生物食性逐渐转变为游泳动物食性, 随着体长的增长, 鱼类在其食物组成中的

收稿日期: 2017-04-12 修回日期: 2017-11-02

资助项目: 浙江省海洋与渔业局项目[浙海渔计(2013)149号]; 浙江省科技计划项目(2017C32031); 浙江海洋大学博士启动基金(22135011015)

通信作者: 周永东, E-mail: zyd511@sina.com

比例日益增大^[1], 因此东海渔业资源的衰退势必会对带鱼的饵料基础造成严重影响, 研究分析带鱼保护区鱼类群落特征及其与环境因子的关系, 对带鱼资源保护十分重要。虽然对东海区鱼类多样性和群落结构方面的研究已有很多^[4-6], 但对底层鱼类与环境的关系方面研究分析较少, 刘勇等^[7]在2000年开展了东海底层鱼类群落多样性与水深、温度和盐度关系的研究, 但对环境因子的分析较为简单, 不能综合反映东海区底层鱼类群落多样性与环境因子(生物和非生物)的关系。

本研究根据2014年春(5月)、秋(11月)两季在带鱼保护区的底拖网调查资料, 对带鱼保护区底层鱼类群落结构特征及其环境因子进行了分析, 首次探讨了东海区底层鱼类群落结构特征受环境因子的影响程度, 并全面分析底层鱼类群落多样性与诸多环境因子(生物和非生物)的关系。以期对带鱼和其他主要经济种的保护以及保护区的管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据取自2014年5月(春季)和11月(秋季)在东海带鱼资源保护区(28°50′~30°50′N, 121°63′~123°75′E)的渔业资源底拖网调查。在该海域共设51个调查站位(图1)(秋季11、17、50和51号站位点的数据缺失), 调查船只为“浙普渔70013”, 调查网具为单拖网, 网口周长50 m (622目×8 cm)、网身长48 m、囊网网目尺寸2.5 cm。渔获物全部低温冰鲜保存, 带回实验室进行鉴定, 每一种鱼类鉴定到种^[8], 调查和样品处理分析参照《海洋调查规范》^[9]。数据分析时, 各站位鱼类渔获量换算成拖速3.0 n mile/h的单位网次渔获量。

同步调查的环境因子包括水温、深度、盐度、pH、浊度(Turb)、电导率(Cond)、叶绿素 a (Chl. a)和溶解氧(DO), 上述指标用便携式水质分析仪(YSI6600, USA)现场测定。浮游动物的样品也同步采集, 采集和处理等全部过程均按《海洋调查规范—海洋生物调查》^[9]进行。浮游动物包括桡足类、端足类、十足类、磷虾类、糠虾类和浮游幼体6大类。

1.2 数据处理

数据处理在进行群落结构分析之前, 对原

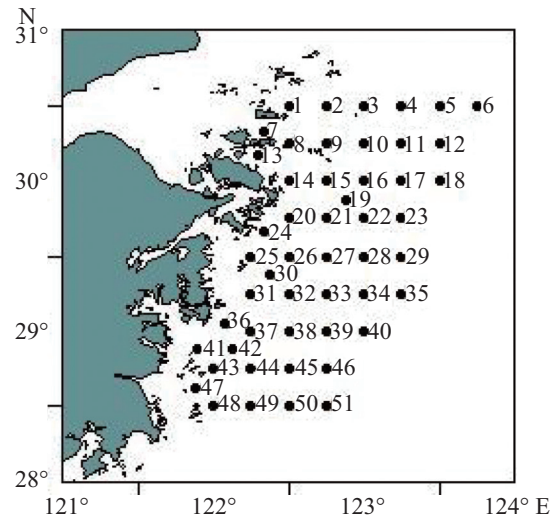


图1 带鱼保护区渔业资源调查站位图

Fig. 1 Map of fisheries resource survey stations in the Nature Reserve of *T. japonicus*

始数据进行预处理。所使用数据为去除出现率小于8.0%(即去除出现站点数小于4的鱼类种类)后的实际种类数。因此, 春、秋两季满足条件的分别为47种和43种。

鱼类多样性采用香农威尔指数(Shannon-Wiener index)(H')和Margalef丰富度指数(D)^[10]定义, 计算公式:

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

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

式中 S 为种类数, N 为总尾数, P_i 为第 i 种占总尾数的比例。

将每一种类的数量换算成单位面积丰度(千尾/ km^2), 将丰度数据进行平方根转换后, 根据Bary-Curtis^[11]相似性指数, 建立每个站位间的等级相似矩阵。利用Primer 5.0大型多元统计软件包, 采用等级聚类(非加权的组平均, 即UPGAMA)的聚类分析方法(Cluster)和非度量多维标度排序方法(non-metric multi-dimensional scaling, NMDS)分析带鱼资源保护区底层鱼类的群落结构特征, 在不同相似矩阵的基础上建立聚类分析图和NMDS平面图。检验NMDS分析结果的优劣用胁强系数(Stress)来衡量, 当 $0.1 < \text{Stress} < 0.2$ 时, 可用MDS二维点图表示, 此时图形对群落的划分具有一定的可信度; 当 $0.05 < \text{Stress} < 0.1$ 时, 可认为MDS二维点图是一个较好的排序, 此时群落的划分更

具科学性；当 $Stress < 0.05$ 时，表示MDS二维点图对群落的划分具有很好的代表性^[12]。采用单因子相似性分析(ANOSIM)研究不同站位组间的群落种类组成及丰度的差异显著性^[4]。鱼类与环境的CCA排序分析使用CANOCO 5.0软件完成，数据使用前进行 $\lg(x+1)$ 转换。

利用分类回归树(Classification and Regression Tree, CART)^[13]方法来预测鱼类多样性变化的最优环境变量。与CCA排序方法不同，CART不要求因变量和自变量之间有线性或非线性关系，它是将自变量不停地进行拆分，来预测因变量的可能发展趋势，在每次的拆分过程中会自动选择最优划分变量。初始的回归树构建完成后，还需对它进行剪枝(‘pruning’ branches)，因为若不加任何限制，最终生成的树必和原始数据完全拟合。利用1-SE规则来进行剪枝，即预测误差在“最小误差 ± 1 个相应标准差”范围内，然后在此范围内选取尽量小的复杂性参数(complexity parameter)，以它为依据进行剪枝，其中预测误差是通过交叉验证(cross-validated)获得^[14]。分类回归树的构建通过R软件进行。

2 结果

2.1 种类组成

春季拖网调查共采集到底层鱼类样本77 330尾，隶属14目49科63属74种，其中鲈形目种类最多，有28种，占总种数的37.84%。其次为鲹形目，有13种，占总种数的17.57%。鲈形目名列第3，有7种，所占比例9.46%。鲱形目、海龙目、鲑形目和刺鱼目种类数最少，均只有1种。剩下6目的种类数各2~3种(表1)。

秋季共采集到鱼类样本137 605尾，隶属15目50科64属77种，同样鲈形目种类最多，为29种，占总种数的37.66%。其次为鲹形目，有12种，占总种数的15.58%。鳗鲡目和鲈形目种类数相当，分别为9种和8种，所占比例分别为11.69%和10.39%。鲈形目为6种，比例为7.79%。鲛形目、海龙目、鲑形目、仙女鱼目、鳕形目、鳐形目、海鲂目和鳊形目种类数最少，均只有1种。鲱形目和灯笼鱼目种类也较少，分别只有3种和2种(表1)。春、秋两季同时出现的种类有46种，只在春季出现的种类为28种，仅在秋季出现的种类有31种。

表1 春、秋季鱼类组成

Tab. 1 Fish composition in spring and autumn

春季 spring				秋季 autumn			
目 orders	科 families	属 genera	种 species	目 orders	科 families	属 genera	种 species
鲛形目 Lophiiformes	3	3	3	鲛形目 Lophiiformes	1	1	1
灯笼鱼目 Scopeliformes	3	3	3	灯笼鱼目 Scopeliformes	2	2	2
鲹形目 Pleuronectiformes	6	6	13	鲹形目 Pleuronectiformes	5	5	12
鲱形目 Clupeiformes	1	1	1	鲱形目 Clupeiformes	3	3	3
海龙目 Syngnathiformes	1	1	1	海龙目 Syngnathiformes	1	1	1
鲈形目 Perciformes	17	25	28	鲈形目 Perciformes	19	27	29
鳗鲡目 Anguilliformes	4	6	7	鳗鲡目 Anguilliformes	6	8	9
鲑形目 Siluriformes	1	1	1	鲑形目 Siluriformes	1	1	1
鲈形目 Tetraodontiformes	1	2	2	鲈形目 Tetraodontiformes	3	4	6
仙女鱼目 Aulopiformes	1	2	2	仙女鱼目 Aulopiformes	1	1	1
鳕形目 Gadiformes	3	3	3	鳕形目 Gadiformes	1	1	1
鲈形目 Scorpaeniformes	6	7	7	鲈形目 Scorpaeniformes	4	7	8
刺鱼目 Gasterosteiformes	1	1	1	鳐形目 Rajiformes	1	1	1
鲈形目 Ophidiiformes	1	2	2	海鲂目 Zeiformes	1	1	1
				鳊形目 Myliobatiformes	1	1	1

2.2 群落空间结构

带鱼保护区春、秋季鱼类群落空间结构的聚类分析结果显示, 春季可分为2个类群: 类群A包括8个站位, 分别为舟山群岛附近的1、7~9、14、21号站位及南部的36和43号站位; 类群B包含剩余的43个站位。秋季底层鱼类同样分为2大类群: 类群A包含21个站位, 其中大部分分布于沿岸水域; 类群B包含26个站位, 这些站位绝大部分分布于水深较深的区域, 鱼类丰度相对较多(图2)。以Bary-Curtis相似性指数为基础, 分别对春(51个站位)、秋(47个站位)两季底层鱼类群落进行MDS二维分析, 其胁强系数分别0.18和0.14(图3, 图中各数字代表各站位), 说明所得的MDS图能够解释站位间的相似关系。从图中可

以看出, MDS排序图支持聚类分析的结果, 51和47个站位各分为2个组, 即组A和组B。应用ANOSIM进行组间相似性分析, 结果表明春季($R^2=0.688, P<0.01$)和秋季($R^2=0.802, P<0.01$)鱼类种类和丰度都存在显著差异。

2.3 鱼类群落结构与环境因子的关系

通过向前选择法初选发现, 春季温度、盐度、水深、pH、DO、Chl.a以及浮游动物对带鱼保护区鱼类群落结构影响显著($P<0.05$), 共解释了64.2%的物种变化信息(图4)。秋季温度、盐度、水深以及浮游动物是影响鱼类群落分布的主要环境因子($P<0.05$), 共解释了58.0%的物种变化信息(图4)。

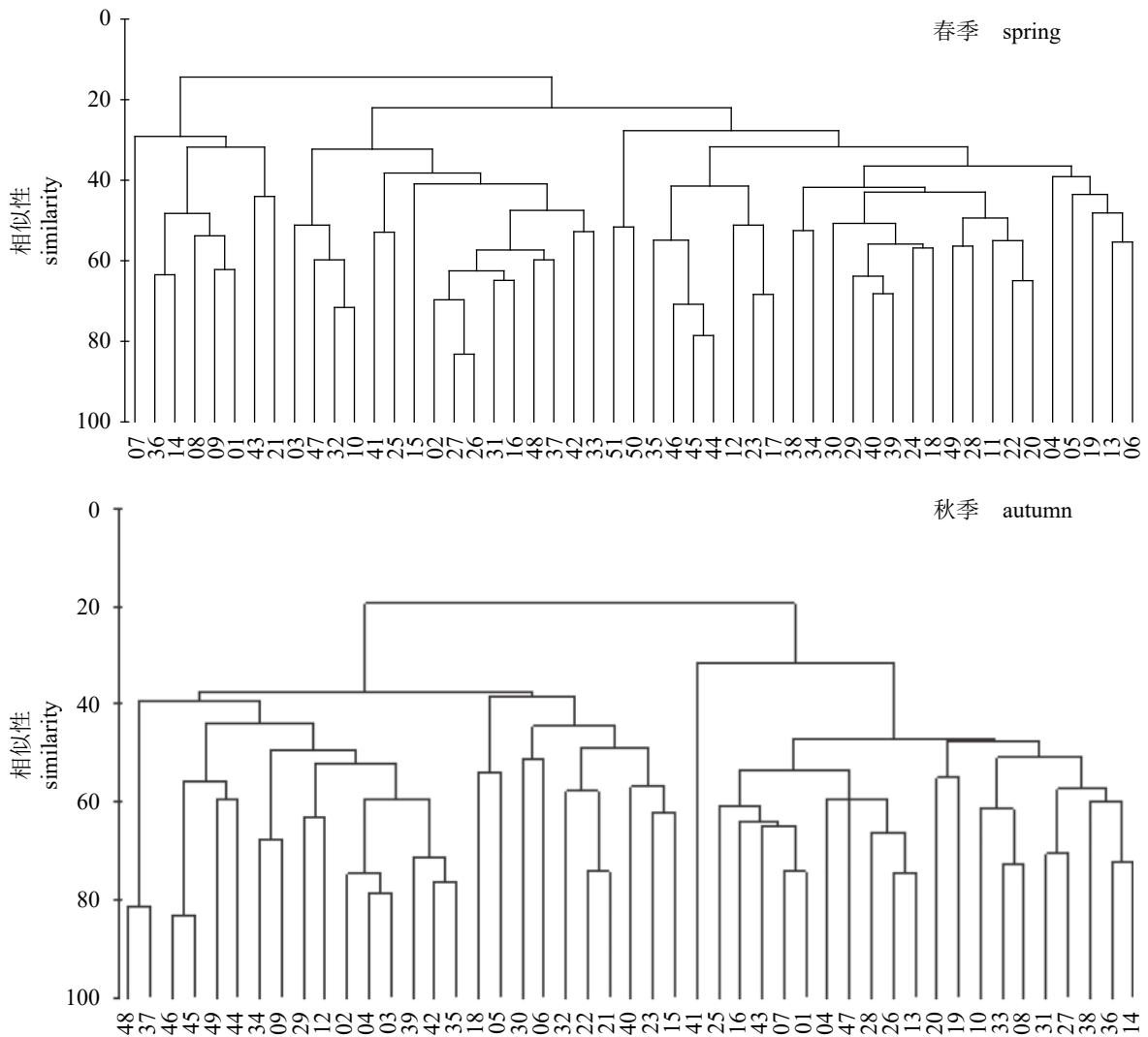


图2 带鱼保护区春(5月)、秋(11月)季鱼类空间结构的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis for spatial structure of fish assemblage in the Nature Reserve of *T. japonicus* in spring (May) and autumn (November)

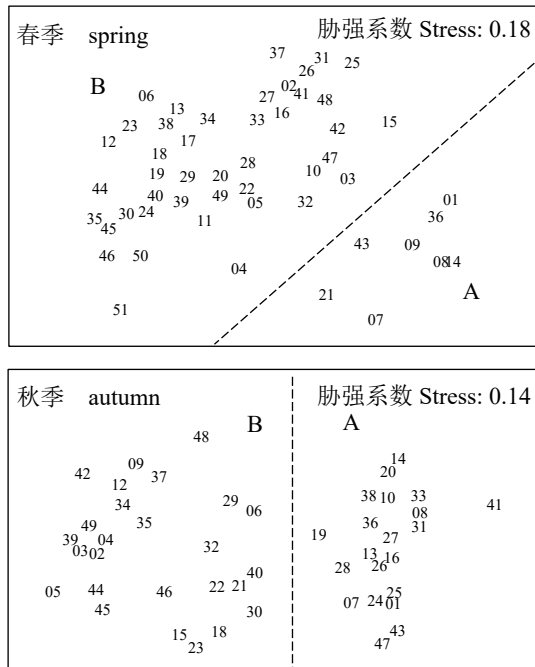


图3 带鱼保护区春(5月)、秋(11月)季鱼类空间结构的MDS排序图

A.A类群; B.B类群

Fig. 3 MDS ordination for spatial structure of fish assemblage in the Nature Reserve of *T. japonicus* in spring (May) and autumn (November)

A. A group; B. B group

2.4 鱼类多样性及CART分析

春季多样性指数平均值为 1.65 ± 0.60 , 丰富度指数为 2.46 ± 0.90 。秋季多样性指数平均值为 1.42 ± 0.53 , 丰富度指数为 1.89 ± 0.60 。影响春季多样性指数的主要因素为Chl.a、DO、水深及磷虾类, 影响春季丰富度指数的主要因素有Chl.a、DO、水深、pH和浮游幼体。秋季多样性指数主要受温度、水深和盐度的影响, 丰富度指数主要受水深和温度的影响(图5)。

3 讨论

3.1 群落结构特征

鱼类种类组成在时空上呈现出一定的异质性, 这与复杂的理化因子和海底地貌关系十分密切^[15]。带鱼保护区春季鱼类群落可分为2个站位组: 组A包括8个站位, 其中大部分站位位于舟山群岛附近, 并且靠近杭州湾湾口, 春季由于雨水较多, 陆源污染物被冲刷进湾内, 随即向外扩散, 因此这些站点受陆源有机物污染较

为严重^[16], 此组鱼类种类和丰度都较少; 相对而言, B组站点受陆源污染的影响较小, 鱼类丰度较多。秋季同样分为2个站位组: 组A的大部分站位分布于沿岸较浅的水域, 而组B的大部分站位分布于较深的区域。很多研究表明, 水深是影响鱼类空间群落结构变化的主要环境因子之一^[4, 16]。A组的主要种类: 龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、红狼牙鰕虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)、矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、绿鳍鱼(*Chelidonichthys kumu*)等; B组的主要种类: 龙头鱼、矛尾鰕虎鱼、鳄齿鱼(*Champsodon capensis*)、绿鳍鱼、七星底灯鱼(*Benthoosema pterotum*)等。两组虽然在鱼类组成方面存在不同, 但是它们之间有很多共同种。鱼类群聚格局虽然可以定义不同区域的群聚组成, 但变化是渐进的, 没有明显的群聚边界, 多数鱼类会同时出现在两个或多个群落中^[5, 17]。

3.2 影响鱼类群落结构的环境因子

CCA排序能够很好地解释物种与环境之间的内在联系, 揭示鱼类对不同生态栖息环境的适应性特征^[18]。春季和秋季影响带鱼保护区鱼类分布的理化因子都有温度、水深和盐度。温度影响鱼类的分布已有很多报道^[4, 19-20]。带鱼保护区处于亚热带地区, 近海鱼类多以暖温性和暖水性鱼类为主, 它们的数量和分布会随着温度的变化而变化。暖温性鱼类的最适温度为 $10 \sim 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, 暖水性鱼类的最适温度为 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右^[21]。春季采样时的平均温度为 $16 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右, 更适合暖温性鱼类的生存, 例如带鱼、长吻红舌鲷(*Cynoglossus lighti*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、红狼牙鰕虎鱼等在这个季节数量比较多。秋季采样时的平均水温为 $21.82 \text{ } ^\circ\text{C}$, 更适合暖水性鱼类的生长, 例如细条天竺鲷(*Apogon lineatus*)、凤鲷(*Coilia mystus*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)、海鳗(*Muraenesox cinereus*)等。

水深是影响鱼类分布的主要环境因子之一, 它主要通过与水深有伴随关系的水动力、光照、DO以及食物来源等因素影响鱼类的分布^[22-23]。Pinault等^[23]报道, 由于深水层大型镖水蚤、糠虾类、等足类、端足类以及十足类幼体比较多, 因此许多杂食性鱼类喜居于此层。本研究春季水体中桡足类、浮游幼虫及端足类的数量随着水深的增加而增加, 绝大部分鱼类也与水深呈

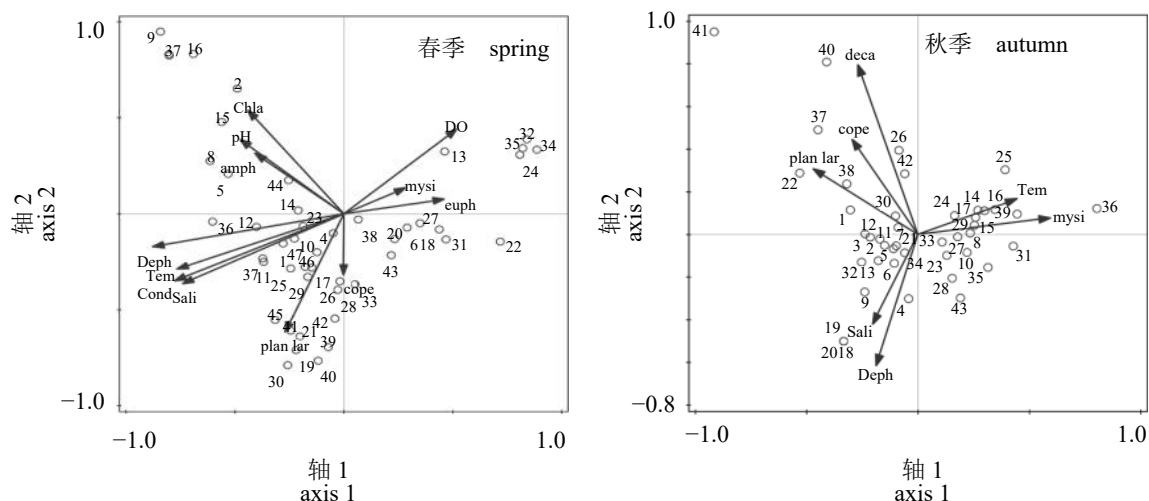


图4 春(5月)、秋(11月)季鱼类与环境因子CCA排序

春季: Deph: 水深; Tem: 温度; Turb: 浊度; Chl.a: 叶绿素a; DO: 溶解氧; Sali: 盐度; Cond: 电导率; amph: 端足类; plan lar: 浮游幼体; cope: 桡足类; euph: 磷虾类; mysid: 糠虾类。1) 魮鱼 *Erisiphex potti*; 2) 短尾吻鳗 *Rhynchoconger brevirostris*; 3) 刺鲷 *Psenopsis anomala*; 4) 矛尾鰕虎鱼 *Chaeturichthys stigmatias*; 5) 鰕齿鱼 *Champsodon capensis*; 6) 宽体舌鳎 *Cynoglossus robustus*; 7) 银鲷 *Pampus argenteus*; 8) 五眼斑鲆 *Pseudorhombus pentophthalmus*; 9) 发光鲷 *Acropoma japonicum*; 10) 小黄鱼 *Larimichthys polyactis*; 11) 细条天竺鲷 *Apogon lineatus*; 12) 白姑鱼 *Argyrosomus argentatus*; 13) 龙头鱼 *Harpodon nehereus*; 14) 带鱼 *Trichiurus japonicus*; 15) 黑尾吻鳗 *Rhynchoconger ectenurus*; 16) 七星底灯鱼 *Benthoosema pterotum*; 17) 断线舌鳎 *Cynoglossus interruptus*; 18) 绿鳍鱼 *Chelidonichthys kumu*; 19) 蓝圆鲈 *Decapterus maruadsi*; 20) 褐菖鲈 *Sebastes marmoratus*; 21) 日本竹荚鱼 *Trachurus japonicus*; 22) 多鳞鲷 *Sillago sihama*; 23) 日本鲭 *Pneumatophorus japonicus*; 24) 红狼牙鰕虎鱼 *Odontamblyopus rubicundus*; 25) 前肛鳗 *Dysomma anguillaris*; 26) 海鳗 *Muraenesox cinereus*; 27) 黄鲛鲷 *Lophius litulon*; 28) 皮氏叫姑鱼 *Johnius belengerii*; 29) 单指虎鲈 *Minous monodactylus*; 30) 赤鼻棱鳗 *Thrixa kammakensis*; 31) 六丝钝尾鰕虎鱼 *Chaeturichthys hexanema*; 32) 中华栉孔鰕虎鱼 *Ctenotrypauchen chinensis*; 33) 鳎 *Miichthys niiuy*; 34) 棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus*; 35) 长吻红舌鳎 *Cynoglossus lightii*; 36) 日本鰕 *Uranoscopus japonicus*; 37) 斑鳍天竺鲷 *Apogon carinatus*; 38) 长蛇鳎 *Saurida elongata*; 39) 紫斑舌鳎 *Cynoglossus purpureomaculatus*; 40) 尖海龙 *Syngnathus acus*; 41) 断线舌鳎 *Cynoglossus interruptus*; 42) 角木叶鲷 *Pleuronichthys cornutus*; 43) 多齿蛇鳎 *Saurida tumbil*; 44) 凤鲆 *Coilia mystus*; 45) 斑条躄鱼 *Antennarius striatus*; 46) 香鲷 *Repomucenus olidus*; 47) 星康吉鲷 *Conger myriaster*

秋季: deca: 十足类。1) 白姑鱼 *Argyrosomus argentatus*; 2) 斑条躄鱼 *Antennarius striatus*; 3) 带鱼 *Trichiurus japonicus*; 4) 单指虎鲈 *Minous monodactylus*; 5) 鰕齿鱼 *Champsodon capensis*; 6) 发光鲷 *Acropoma japonicum*; 7) 海鳗 *Muraenesox cinereus*; 8) 红狼牙鰕虎鱼 *Odontamblyopus rubicundus*; 9) 六指马鲛 *Polynemus sextarius*; 10) 龙头鱼 *Harpodon nehereus*; 11) 矛尾鰕虎鱼 *Chaeturichthys stigmatias*; 12) 细条天竺鲷 *Apogon lineatus*; 13) 小黄鱼 *Larimichthys polyactis*; 14) 棕斑鬼头鲷 *Lagocephalus spadiceus*; 15) 长吻红舌鳎 *Cynoglossus lightii*; 16) 棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus*; 17) 大黄鱼 *Larimichthys crocea*; 18) 黄姑鱼 *Nibea albiflora*; 19) 黄鳍东方鲀 *Takifugu xanthopterus*; 20) 刺鲷 *Psenopsis anomala*; 21) 绿鳍鱼 *Chelidonichthys kumu*; 22) 皮氏叫姑鱼 *Johnius belengerii*; 23) 褐菖鲈 *Sebastes marmoratus*; 24) 宽体舌鳎 *Cynoglossus robustus*; 25) 鳎 *Miichthys niiuy*; 26) 七星底灯鱼 *Benthoosema pterotum*; 27) 半滑舌鳎 *Cynoglossus semilaevis*; 28) 尖头黄鳍牙鲷 *Nibea acuta*; 29) 海鲗 *Arius felis*; 30) 银鲷 *Pampus argenteus*; 31) 中华栉孔鰕虎鱼 *Ctenotrypauchen chinensis*; 32) 食蟹齿齿鳎 *Pisodonophis cancrivorus*; 33) 黑尾吻鳗 *Rhynchoconger ectenurus*; 34) 紫斑舌鳎 *Cynoglossus purpureomaculatus*; 35) 短吻三线舌鳎 *Cynoglossus abbreviatus*; 36) 凤鲆 *Coilia mystus*; 37) 星康吉鲷 *Conger myriaster*; 38) 前肛鳗 *Dysomma anguillaris*; 39) 日本竹荚鱼 *Trachurus japonicus*; 40) 断线舌鳎 *Cynoglossus interruptus*; 41) 短尾吻鳗 *Rhynchoconger brevirostris*; 42) 青鳞小沙丁鱼 *Sardinella zunasi*; 43) 尖吻蛇鳎 *Ophichthus apicalis*

Fig. 4 CCA ordination of fish species and environmental factors in spring (May) and autumn (November)

Spring: Deph: depth; Tem: temperature; Turb: turbidity; Chl.a: chlorophyll a; DO: dissolved oxygen; Sali: salinity; Cond: conductivity; amph: amphipoda; plan lar: planktonic larvae; cope: copepod; euph: euphausiid; mysid: mysidacea. Autumn: deca: decapod

正相关关系(图4), 底层鱼类大部分属于杂食性, 幼体或者有些成体的食物组成中包含大量的浮游动物^[24], 因此春季水深可能是通过食物饵料间接地影响了鱼类的分布。秋季水深与盐度呈正相关关系, 此时水深可能更多的通过盐度来影响鱼类的分布。

带鱼保护区地理位置比较特殊, 受杭州湾

淡水以及暖寒流的影响, 海水盐度变化范围较大^[16], 因此, 会依盐度梯度的变化在不同的区域出现不同生态类型的鱼类。

3.3 影响鱼类群落多样性的环境因素

以往的研究发现叶绿素对鱼类的影响并不大, 叶绿素影响着浮游动物的数量及分布(图4),

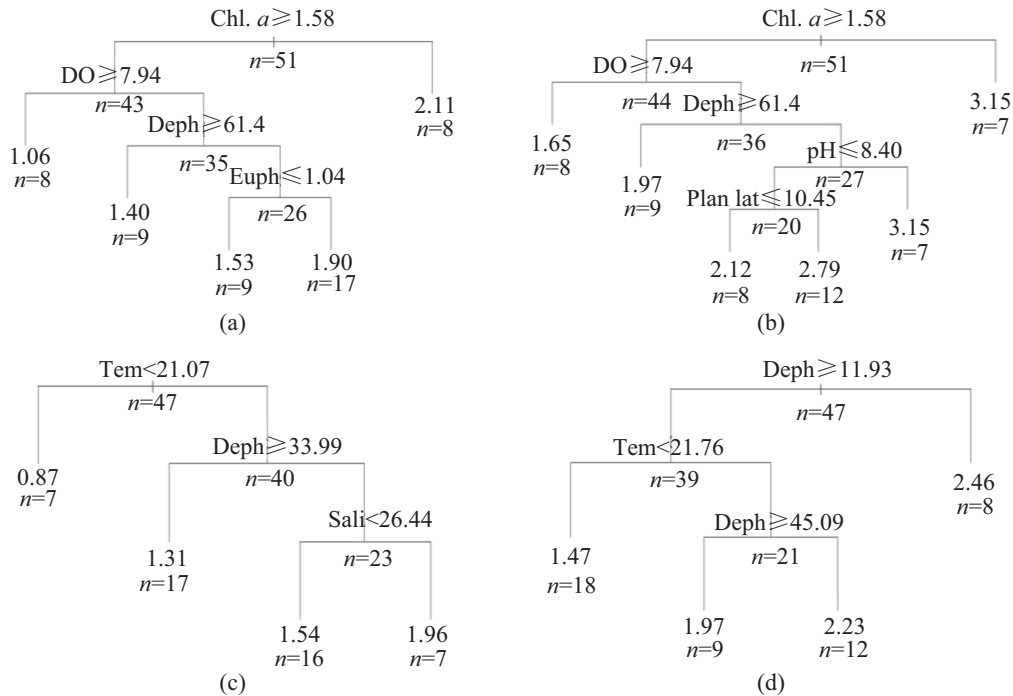


图 5 春(5月)、秋(11月)季多样性指数和丰富度指数的分类回归树

(a)5月多样性指数; (b)5月丰富度指数; (c)11月多样性指数; (d)11月丰富度指数

Fig. 5 Classification and regression tree of diversity index and richness index in spring (May) and autumn (November)

(a)diversity index in May; (b)richness index in May; (c)diversity index in November; (d)richness index in November

而浮游动物为鱼类的重要饵料,因此,叶绿素也会间接地影响鱼类的分布,本研究中大部分鱼类倾向叶绿素含量大于 $1.50 \mu\text{g/L}$ 的水体。此外,大量研究表明,溶解氧影响着鱼类的分布及聚集模式,大部分鱼类喜居于溶解氧相对较高的区域^[25],而本研究结果显示,春季鱼类大部分聚集于溶解氧低于 8.0 mg/L 的水域,这一方面可能与鱼类生活环境的适应性有关,底层水域由于光照和浮游植物较少,长期处于低氧状态,底层鱼类在长期的进化中也形成了较强的耐低氧的能力;另一方面可能是本区域的鱼类更容易受饵料生物的影响(图4),在浮游动物较多的聚集区溶解氧含量相对较低,从而出现了溶解氧较低的区域鱼类多样性和丰富度更高的情况。春季水深是影响鱼类群落多样性的另一重要因素,本研究结果显示,在水深小于 60 m 的水域,鱼类聚集度更高。

秋季鱼类群落多样性主要受温度和水深的影响。温度影响着鱼类个体的新陈代谢能力^[26],主导了鱼类生长、发育和繁殖等各个生活史,同时通过参与调解初级生产力间接地影响鱼类

整个食物网结构^[27],因此成为影响鱼类群落多样性的重要因子之一。 $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右的水温是影响带鱼保护区鱼类丰富度的临界点(图5-d),当水温大于此值时,鱼类丰富度指数较高,相反,当水温小于此值时,鱼类丰富度指数就会降低。

参考文献:

- [1] 张波. 东、黄海带鱼的摄食习性及随发育的变化[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(2): 6-12.
Zhang B. Feeding habits and ontogenetic diet shift of hairtail fish (*Trichiurus lepturus*) in East China Sea and Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(2): 6-12(in Chinese).
- [2] 宓崇道. 东海带鱼资源状况、群体结构及繁殖特性变化的研究[J]. 中国水产科学, 1997, 4(1): 7-14.
Mi CD. A study on resources, stock structure and variation of reproductive habit of Hairtail, *Trichiurus haumela* in East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(1): 7-14(in Chinese).
- [3] 周永东, 徐汉祥, 刘子藩, 等. 东海带鱼群体结构变动的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002,

- 21(4): 314-320.
- Zhou Y D, Xu H X, Liu Z P, *et al.* A study on variation of stock structure of Hairtall, *Trichiurus haumela* in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science), 2002, 21(4): 314-320(in Chinese).
- [4] 翟璐, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 黄河口及其邻近水域夏季鱼类群落空间格局及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2852-2858.
- Zhai L, Xu B D, Ji Y P, *et al.* Spatial pattern of fish assemblage and the relationship with environmental factors in Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2852-2858(in Chinese).
- [5] 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.
- Li S F, Cheng J H, Yan L P. Spatial structures of fish communities on the continental shelf of the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4377-4386(in Chinese).
- [6] 姜亚洲, 程家骅, 李圣法. 东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 453-459.
- Jiang Y Z, Cheng J H, Li S F. Variation in fish community structure and biodiversity in the north of the East China Sea between two periods[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 453-459(in Chinese).
- [7] 刘勇, 李圣法, 陈学刚, 等. 东、黄海2000年冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. 海洋科学, 2007, 31(10): 19-24.
- Liu Y, Li S F, Chen X G, *et al.* The structure and diversity of demersal fish communities in winter 2000 in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2007, 31(10): 19-24(in Chinese).
- [8] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Liu RY. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese).
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007 (in Chinese).
- [10] Ludwig J A, Reynolds J F. Statistical Ecology[M]. NewYork: John Wiley & Sons, 1988.
- [11] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. Ecological Monographs, 1957, 27(4): 325-349.
- [12] Hammer Ø, Harper D A T. Paleontological Data Analysis[M]. Oxford: Wiley-Blackwell, 2006.
- [13] Breiman L, Friedman J, Stone C J, *et al.* Classification and Regression Trees[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 1984.
- [14] 谢益辉. 基于R软件rpart包的分类与回归树应用[J]. 统计与信息论坛, 2007, 22(5): 67-70.
- Xie Y H. The application of the classification and regression tree based on the package rpart in R-language[J]. Statistics & Information Forum, 2007, 22(5): 67-70(in Chinese).
- [15] 翟璐, 韩东燕, 傅道军, 等. 胶州湾及其邻近海域鱼类群落结构及与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 810-821.
- Zhai L, Han D Y, Fu D J, *et al.* Fish community structure and the relationship with environmental factors in Jiaozhou Bay and adjacent waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 810-821(in Chinese).
- [16] 王迎宾, 俞存根, 陈全震, 等. 春、夏季舟山渔场及其邻近海域鱼类群落格局[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 545-551.
- Wang Y B, Yu C G, Chen Q Z, *et al.* Community structure of fish in Zhoushan Fishing Ground and its adjacent waters in spring and summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(2): 545-551(in Chinese).
- [17] 李圣法, 严利平, 李长松, 等. 东海北部鱼类组成特征分析[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 384-392.
- Li S F, Yan L P, Li C S, *et al.* The analysis of fish composition pattern in the northern East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(4): 384-392(in Chinese).
- [18] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- Zhang J T. Quantitative Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese).
- [19] 王小林, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 海州湾及邻近海域冬季

- 鱼类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1707-1714.
- Wang X L, Xu B D, Ji Y P, *et al.* Fish community structure and its relationships with environmental factors in Haizhou Bay and adjacent waters of East China in winter[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1707-1714(in Chinese).
- [20] 汪洋, 吴常文. 中街山列岛岩礁海域鱼类群落多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 776-785.
- Wang Y, Wu C W. Fish community diversities in reef waters of Zhongjieshan Islands[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 776-785(in Chinese).
- [21] 王小荟. 海州湾主要鱼种的空间分布及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- Wang X H. Spatial distribution of dominant fish species in Haizhou Bay and their relationships with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [22] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 北部湾鱼类群落格局及其与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1579-1586.
- Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, *et al.* Fish community pattern and its relation to environmental factors in the Beibu Gulf[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(10): 1579-1586(in Chinese).
- [23] Pinault M, Bissery C, Gassiole G, *et al.* Fish community structure in relation to environmental variation in coastal volcanic habitats[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2014, 460: 62-71.
- [24] 杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16(10): 10-19.
- Yang J M. A study on food and trophic levels of Bohai Sea fish[J]. Modern Fisheries Information, 2001, 16(10): 10-19(in Chinese).
- [25] Maes J, Stevens M, Breine J. Modelling the migration opportunities of diadromous fish species along a gradient of dissolved oxygen concentration in a European tidal watershed[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 75(1-2): 151-162.
- [26] Jacob W, Mc Clatchie S, Probert P K, *et al.* Demersal fish assemblages off southern New Zealand in relation to depth and temperature[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1998, 45(12): 2119-2155.
- [27] Selleslagh J, Amara R. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel)[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 79(3): 507-517.

Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Nature Reserve of *Trichiurus japonicus*

HU Cuilin^{1,2}, ZHANG Hongliang¹, ZHANG Yazhou¹, PAN Guoliang¹, XU Kaida¹,
BI Yuanxin¹, LIANG Jun¹, WANG Haoxue¹, ZHOU Yongdong^{1*}

(1. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds,
Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fisheries Resources of
Zhejiang Province, Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China;
2. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: The fish community structure and its relationships with the environmental factors in the Nature Reserve of *Trichiurus japonicus* were studied based on the data collected from bottom trawl surveys in spring and autumn 2014 by using non-metric multi-dimensional scaling (NMDS), canonical correspondence analysis (CCA) and classification and regression tree (CART). In spring, a total of 75 fish species were sampled in the survey, belonging to 63 genera, 49 families, and 14 orders. In autumn, a total of 78 fish species were captured, belonging to 64 genera, 50 families, and 15 orders. Spatial structure of fish assemblage in spring and autumn could be classified into two groups. ANOSIM (analysis of similarity) indicated that the fish species composition varied significantly between two groups in two seasons. The canonical correspondence analysis (CCA) suggested that the main environmental factors affecting the spatial distribution of fish assemblage in spring and autumn were water temperature, salinity, depth and zooplankton. The average values of diversity index and richness index were 1.65 ± 0.60 and 2.46 ± 0.90 separately in spring, while the average values of diversity index and richness index were 1.42 ± 0.53 and 1.89 ± 0.60 separately in autumn. The classification and regression tree (CART) indicated that the diversity and richness index in spring and autumn were mainly affected by Chl.*a*, DO, depth, pH and zooplankton (euphausiid and planktonic larvae). The main factors affecting the diversity index were water temperature, depth and salinity in autumn, while the main factors affecting the richness index were water temperature and depth.

Key words: *Trichiurus japonicus*; nature reserve; fish community; community diversity; multi-dimensional scaling; canonical correspondence analysis; classification and regression tree

Corresponding author: ZHOU Yongdong. E-mail: zyd511@sina.com

Funding projects: Ocean and Fisheries Bureau Project of Zhejiang Province (Zhejiang Ocean Fishery Project[2013]no. 149); Science and Technology Planning Project of Zhejiang Province (2017C32031); PhD Initial Funding of Zhejiang Ocean University (22135011015)