

文章编号: 1000-0615(2018)09-1390-09

DOI: 10.11964/jfc.20170810937

## 三门湾春秋季节鱼类群落特征及其与环境因子的关系

聂振林<sup>1</sup>, 王咏雪<sup>2</sup>, 胡成业<sup>3</sup>, 求锦津<sup>1</sup>,  
孙鹏<sup>1</sup>, 田阔<sup>1</sup>, 水柏年<sup>1\*</sup>

(1. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316000;

2. 台州市海洋与渔业局, 浙江 台州 318000;

3. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 根据2014年11月(秋季)和2015年5月(春季)在三门湾进行渔业资源调查以及同步调查的6个主要环境因子数据(水温、盐度、悬浮物、pH、溶解氧及化学需氧量等), 对三门湾鱼类群落结构及其与6个主要环境因子的关系进行了研究。结果显示, 共捕获鱼类33种, 其中以季节性洄游种类和暖水性种类为主。春、秋季优势种各有5种, 其中棘头梅童鱼、龙头鱼和孔虾虎鱼为共同优势种。应用非度量多维测度分析(NMDS)和单因子相似性分析(ANOSIM)可得, 春、秋鱼类群落均可划分为2组, 其中1组主要分布在湾内, 而另1组主要分布在湾口, 在不同站位组间均存在极显著差异。长度谱分析结果显示, 鱼类群落长度谱的斜率和截距有明显的季节性差异。RDA分析结果表明, 鱼类群落主要受温度、溶解氧、悬浮物和pH等环境因子影响。

**关键词:** 鱼类; 群落结构; 环境因子; 三门湾

**中图分类号:** S 931.1

**文献标志码:** A

海湾是全球单位面积生物生产力最高的区域, 是陆、海相互作用以及人为干扰作用的强烈承受区域, 是生态系统动态过程研究的最佳场所<sup>[1]</sup>。同时, 海湾作为近岸典型的海洋生态系统, 环境复杂多变, 饵料资源丰富, 是众多海洋生物重要的产卵场、育幼场和索饵场, 具有重要的生态和经济价值。

三门湾位于我国中部沿海, 为浙江省著名的三大半封闭海湾之一。由于水体交换较好, 口门有众多岛屿作为屏障, 减小了外海风浪对湾内的影响, 加之湾内水质肥沃, 饵料生物丰富, 故三门湾渔业资源丰富<sup>[2]</sup>。近年来, 三门湾沿岸工业发展迅速, 涉海工程大规模建设, 使得大量外源性污染物进入湾内, 同时水产养殖自身污染和过度捕捞, 三门湾渔业资源已呈现出明显的衰退趋势, 主要以经济价值较低的小型种类为主, 小型化、低龄化、低值化现象越

来越突出<sup>[3]</sup>。

关于三门湾鱼类的研究报道不多, 蔡萌等<sup>[4]</sup>对冬夏季鱼类种类组成和数量变化进行了研究, 李新等<sup>[5]</sup>对春季鱼类种类组成及多样性进行了研究。上述研究仅涉及鱼类群落数量组成及多样性特征, 而鱼类的群落组成及其结构与环境有密切的联系。为此, 本实验根据2个航次的渔业资源调查数据, 研究鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系, 以期为海湾鱼类群落特征研究提供基础资料, 为三门湾渔业资源的科学管理与可持续利用提供基础。

### 1 材料与amp;方法

#### 1.1 数据来源

根据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)<sup>[6]</sup>, 于2014年11月和2015年5月在三门湾进行渔业资

收稿日期: 2017-08-23 修回日期: 2018-01-13

资助项目: 国家科技支撑计划子课题(2007BAD43B03); 浙江省重中之重学科“海洋科学学科”; 浙江省软科学研究计划(2015C25018)

通信作者: 水柏年, E-mail: shuibonian@163.com

源调查, 各设置12个调查站位(图1)。单拖网在拖曳过程中网口张开宽度约为14 m, 囊网网目尺寸为20 mm。调查时每网拖曳约0.5 h, 平均拖速为2.6 kn。所采渔获物样品以低温冰鲜保存, 在实验室内进行样品鉴定分类, 并对样品进行称量和计数。在数据分析前对原始数据进行标准化处理。各站位同步调查水温、盐度、悬浮物、pH、溶解氧、化学需氧量等6项环境指标, 将调查海域划分为湾内(I)和湾外(II)两个区域。

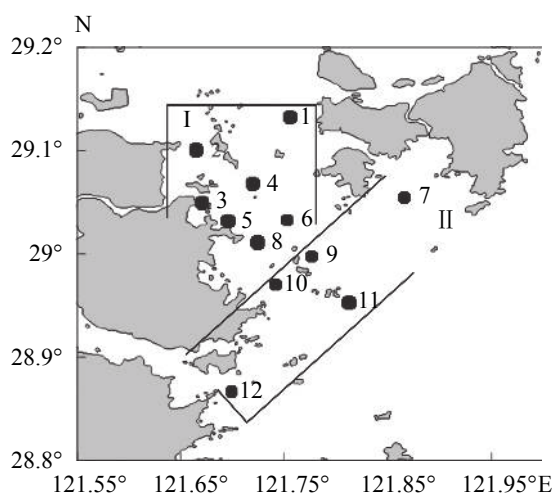


图1 三门湾渔业资源调查站位

Fig. 1 Survey stations of fisheries resources in the Sanmen Bay

## 1.2 数据处理方法

**适温性和优势种分析** 依据李新等<sup>[5]</sup>和郑元甲等<sup>[7]</sup>的报道, 按适温类型的分析方法将温州南部沿岸海域鱼类划分为暖水种、暖温种、冷温种。优势种评价采用Pinkas相对重要性指数IRI:

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

式中,  $N$ 为某一类尾数百分比,  $W$ 为相应的质量百分比,  $F$ 为相应的出现频率, 将IRI值大于1 000的种类定义为优势种。

**群落结构分析** 在分析群落结构之前, 对原始数据进行预处理。去除仅在1个站位出现的鱼类, 以减少机会种对群落结构分析的影响, 对鱼类质量数据采用对数转化[lg(x+1)]。转换后采用非度量多维测度(NMDS)分析, 然后将群落分成若干站位组, 研究三门湾鱼类群落空间结构。采用单因子相似性分析法(ANOSIM)研究不同站位组之间的群落结构差异显著性; 应

用相似性百分比法(SIMPER)分析鱼类对站位组内相似性和组间相异性的贡献率, 将贡献率 $\geq 3\%$ 的游泳动物定义为主要的特征种类。

**长度谱分析** 根据各站位不同种类的平均个体质量( $W$ ), 将平均个体质量( $W=0.01L^3$ )转换成平均长度( $L$ ), 然后将该种类的网获尾数分配到相应的长度组中, 以各长度组渔获总尾数的自然对数为纵坐标, 长度组中值为横坐标, 对两者进行线性回归, 并计算斜率和截距<sup>[8]</sup>。曲线斜率代表生态系统的营养循环效率, 曲线越陡, 效率越低; 截距反映生产力水平的高低, 截距越大, 生产力水平越高<sup>[9]</sup>。

**冗余分析** 首先对鱼类生物量数据进行去趋势对应分析(DCA)分析, 根据计算出的DCA排序轴梯度长度(LGA)来选择适宜的排序方法。在理论上, 当LGA<3时, 则进行冗余分析(RDA); 当LGA>3时, 则进行典范对应分析(CCA); 当3<LGA<4时, 两者皆可, 优先选择CCA分析<sup>[10-11]</sup>。根据对秋季和春季鱼类生物量数据进行DCA分析结果表明, 秋季和春季的LGA值均小于3, 故本实验采用基于线性模型的RDA分析。为了保证数据满足正态分布及减小异常值对分析结果的影响, 在进行RDA分析之前, 对生物量和环境数据进行lg(x+1)转换。

## 2 结果

### 2.1 环境因子

调查结果显示, 三门湾海域6个主要环境因子季节间的差异较大, 其中水温、盐度、pH和溶解氧达到极显著性差异水平( $P<0.01$ )。同一季节湾内和湾口的差异不显著, 仅水温存在显著性差异(表1)。

### 2.2 种类与优势种组成

秋季, 共捕获鱼类19种, 隶属于6目10科17属, 均为硬骨鱼类。其中, 鲈形目(Perciformes)鱼类最多, 达12种, 占总种数的63.16%。从适温性分析, 暖温性鱼类9种, 暖水性鱼类10种; 优势种共5种, 依次为棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)和矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)(表2)。

春季, 共捕获鱼类21种, 隶属于7目14科21属, 均为硬骨鱼类(Osteichthyes)。其中, 鲈形

表1 春、秋季调查海域6个主要环境因子变化

Tab. 1 Changes of environmental indicators in spring and autumn

环境因子 factors	秋季 autumn			春季 spring			
	湾 bay	湾内 inner bay	湾口 bay mouth	湾 bay	湾内 inner bay	湾口 bay mouth	湾口 bay mouth
水温 T	22.06±0.24 <sup>a</sup>	22.06±0.14 <sup>b</sup>	22.14±0.34 <sup>b</sup>	15.61±0.19 <sup>a</sup>	15.57±0.21	15.66±0.15	
盐度 S	23.26±0.58 <sup>a</sup>	23.24±0.57	23.31±0.66	28.22±0.40 <sup>a</sup>	28.18±0.43	28.27±0.41	
悬浮物 SPM	67.36±28.15	74.99±17.06	56.68±38.72	182.47±166.12	231.61±206.15	113.66±44.71	
pH	8.06±0.02 <sup>a</sup>	8.06±0.02	8.07±0.01	7.98±0.02 <sup>a</sup>	7.97±0.02	7.98±0.02	
溶解氧 DO	7.32±0.15 <sup>a</sup>	7.32±0.19	7.31±0.07	8.26±0.37 <sup>a</sup>	8.32±0.45	8.18±0.25	
化学需氧量 COD	0.71±0.09	0.72±0.08	0.69±0.10	1.11±0.55	1.31±0.65	0.84±0.16	

注: 不同字母表示存在显著性差异 ( $p < 0.01$ )

Notes: The different letters mean significant differences

目鱼类最多, 达11种, 占总种数的52.38%。从适温性分析, 暖水性鱼类11种, 暖温性鱼类10种; 优势种共5种, 依次为棘头梅童鱼、六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、孔虾虎鱼、龙头鱼和宽体舌鳎(*Cynoglossus robustus*) (表2)。

### 2.3 鱼类群落结构

对三门湾春、秋季鱼类群落进行NMDS分析。秋季, 调查站位可划分为2组, A组有7个站位, 主要分布在湾内; B组有5个站位, 主要分布在湾口(图2-a、c)。ANOSIM组间相似性分析表明, 鱼类群落物种组成在不同站位组间均存在极显著差异( $R=0.54$ ,  $P < 0.01$ )。相似性百分比(SIMPER)分析可得, A组中典型种包括棘头梅童鱼、孔虾虎鱼和矛尾虾虎鱼, 对组内平均相似性的累计贡献率达到90.20%。B组中典型种包括棘头梅童鱼、孔虾虎鱼、龙头鱼等, 对组内平均相似性的累计贡献率达到90.02%。A组和B组的分歧种有棘头梅童鱼、孔虾虎鱼、短吻红舌鳎等, 对组间平均相异性的累计贡献率达到90.30%。

春季, 调查站位也可划分为2组, A组有7个站位, 主要分布在湾内; B组有5个站位, 主要分布在湾口(图2-b、d)。ANOSIM组间相似性分析表明, 鱼类群落物种组成在不同站位组间均存在极显著差异( $R=0.65$ ,  $P < 0.01$ )。相似性百分比(SIMPER)分析可得, A组中典型种包括棘头梅童鱼、孔虾虎鱼和宽体舌鳎, 对组内平均相似性的累计贡献率达到92.31%。B组中典型种包括六丝钝尾虾虎鱼、棘头梅童鱼、宽体舌鳎等, 对组内平均相似性的累计贡献率达到93.43%。

A组和B组的分歧种有棘头梅童鱼、六丝钝尾虾虎鱼、孔虾虎鱼等, 对组间平均相异性的累计贡献率达到90.69%。

### 2.4 鱼类长度谱

春、秋季鱼类群落组成以小型个体为主。秋季, 首先长度在5~10 cm之间(长度组中值为7.5 cm)的个体数最多, 占总尾数的73.00%; 其次长度在10~15 cm之间(长度组中值为12.5 cm)的个体, 占总尾数的15.98%。春季, 首先长度在0~5 cm之间(长度组中值为2.5 cm)的个体数最多, 占总尾数的62.42%; 其次长度在5~10 cm之间(长度组中值为7.5 cm)的个体, 占总尾数的34.71%。从鱼类群落长度谱图可知, 秋季鱼类群落的长度谱斜率大于-0.2, 而截距小于10; 春季鱼类群落的长度谱斜率小于-0.2, 而截距小于10(图3-a、b)。

### 2.5 鱼类群落与环境因子的关系

秋季, RDA分析结果显示, 第一轴和第二轴的特征值分别为0.187和0.140, 能够解释物种与6个主要环境因子累计方差的32.7%。蒙特卡洛显著性检验结果表明, 第一排序轴和所有排序轴均呈不显著差异(第一轴:  $F=1.149$ ,  $P=0.686$ ; 所有轴:  $F=1.010$ ,  $P=0.494$ )。第一排序轴与溶解氧和悬浮物呈较强正相关, 与温度和盐度呈较强负相关。第二排序轴与溶解氧和悬浮物呈较强正相关, 与pH呈最大负相关。RDA排序图显示, 鱼类在盐度、温度、溶解氧、悬浮物和pH等资源维上存在生态分化现象。白姑鱼、黄姑鱼、孔虾虎鱼等种类与温度呈正相关性, 主

表2 鱼类种类组成及其相对重要性指数

Tab. 2 Fish species composition and the IRI

编号 no.	种类 species	适温类型 temperature adaptive type	相对重要性指数 IRI	
			秋季 autumn	春季 spring
1	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	○	23.76	19.66
2	海鲢 <i>Elops machnata</i>	○		0.61
3	金色小沙丁鱼 <i>Sardinella aurata</i>	○		6.35
4	鳙 <i>Ilisha elongata</i>	○		10.66
5	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	○		2.85
6	中颌棱鲛 <i>Thrissa mystax</i>	○	3.48	
7	赤鼻棱鲛 <i>Thrissa kammalensis</i>	○		15.09
8	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	△	361.60	441.37
9	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	△	87.90	
10	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	○	3 347.09	1 357.75
11	多鳞鱚 <i>Sillago sihama</i>	○	2.48	
12	花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	△	100.13	
13	电纹石斑鱼 <i>Epinephelus radiatus</i>	○		0.25
14	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	○	45.12	
15	黑姑鱼 <i>Arobusca nibe</i>	○	2.22	
16	棘头梅童鱼 <i>C. Lucidus</i>	△	5 782.34	6 294.81
17	叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	○	7.59	
18	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	△		57.2
19	鳊 <i>Miichthys niuiy</i>	△	79.36	106.11
20	黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	○	7.57	
21	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	△		7.7
22	横带髭鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i>	△		9.63
23	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	○		140.21
24	中国鲷 <i>Pampus chinensis</i>	○		9.41
25	六丝钝尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>	△	3.56	5 474.55
26	髭缟虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>	△		0.75
27	矛尾虾虎鱼 <i>C. stigmatias</i>	△	1 429.83	
28	孔虾虎鱼 <i>T. vagina</i>	○	3 900.74	1 537.24
29	拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	○	183.63	
30	宽体舌鲷 <i>C. robustus</i>	△		1 229.53
31	短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>	△	1 612.13	
32	黄鳍东方鲀 <i>Takifugu xanthopterus</i>	△	4.46	
33	绿鳍马面鲀 <i>Thamnaconus modestus</i>	△		0.34

注: ○代表暖水性; △代表暖温性

Notes: ○ means the warm-water fishes; △ means the warm-temperate fishes

要分布在温度较高的区域; 中颌棱鲛、叫姑鱼、拉氏狼牙虾虎鱼等分布在pH轴附近, 与pH呈正相关性; 海鳗、黑姑鱼、六丝钝尾虾虎鱼等分布在悬浮物和溶解氧轴附近, 表现出对高溶解氧和悬浮物含量的适应性。凤鲚和龙头鱼分布在盐度轴附近, 主要分布在盐度较高的区域(图4-a)。

春季, RDA分析结果显示, 第一轴和第二轴的特征值分别为0.203和0.127, 能够解释物种与6个主要环境因子累计方差的33.0%。蒙特卡洛显著性检验结果表明, 第一排序轴和所有排序轴均呈不显著差异(第一轴:  $F=1.276$ ,  $P=0.712$ ; 所有轴:  $F=0.997$ ,  $P=0.524$ )。第一排序轴与pH呈最强正相关, 与悬浮物呈最强负相关。第二排序轴与化学需氧量呈较强正相关, 与温度呈最大负相关。海鳗、赤鼻棱鲛、棘头梅童鱼等分布在温度和悬浮物轴附近, 主要分布在温度和悬浮物较高的区域; 海鲢、黄鲫、六丝钝尾虾虎鱼等, 分布在盐度、pH和溶解氧轴附近, 表现出对高盐度、pH和溶解氧含量的适应性; 横带髭鲷、中国鲷、绿鳍马面鲀等, 与悬浮物、温度、盐度等环境因子呈负相关(图4-b)。

### 3 讨论

#### 3.1 鱼类种类组成及其优势种分析

鱼类群落种类组成是在海洋环境因子长期影响和适应过程中形成的, 主要受温度、盐度以及海流的影响较大。三门湾地处东海中北部, 属于暖温带海域, 除受陆地径流影响外, 还受浙江沿岸流和台湾暖流交替影响, 因此三门湾鱼类种类组成具有一定特点。三门湾捕获的33种鱼类中, 两季调查均出现的鱼类有7种, 仅占21.21%, 但生物量却达总生物量的72.22%。由此可见, 鱼类群落种类组成以季节性洄游种类为主, 而定居种对鱼类群落生物量起主导作用。对鱼类的适温性分析发现, 三门湾鱼类群落以暖水性鱼类为主, 占总种数的54.55%, 暖温性次之, 占45.45%。

优势种是影响鱼类群落的重要因素之一, 其种类变化可能影响到群落种类组成、能量流动和物质循环。秋季优势种为棘头梅童鱼、孔虾虎鱼、龙头鱼、短吻红舌鲷和矛尾虾虎鱼; 春季优势种为棘头梅童鱼、六丝钝尾虾虎鱼、

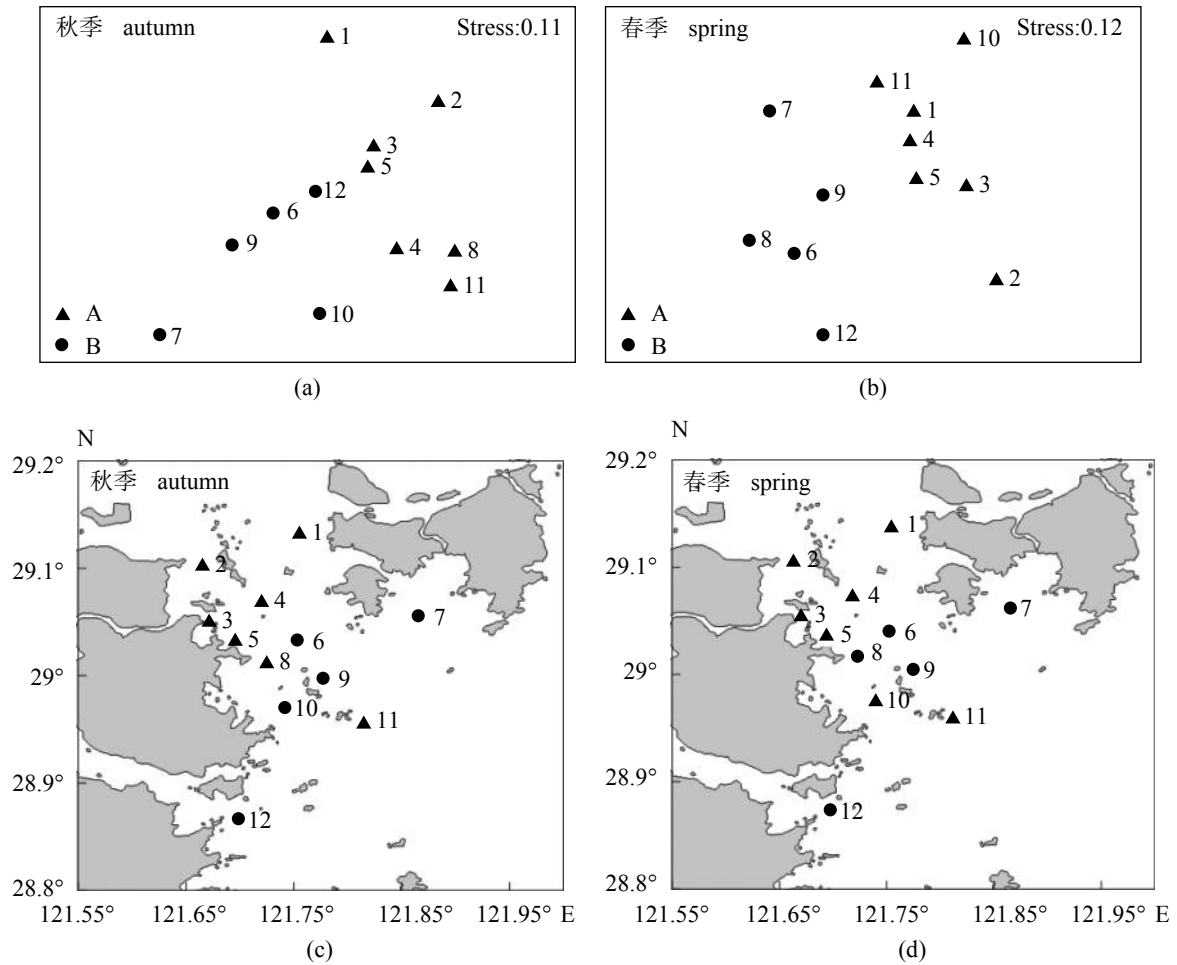


图 2 三门湾鱼类群落结构的NMDS分析(a), (b)及其空间分布(c), (d)

Fig. 2 NMDS analysis (a), (b) and spatial distribution (c), (d) of fish community structures in Sanmen bay

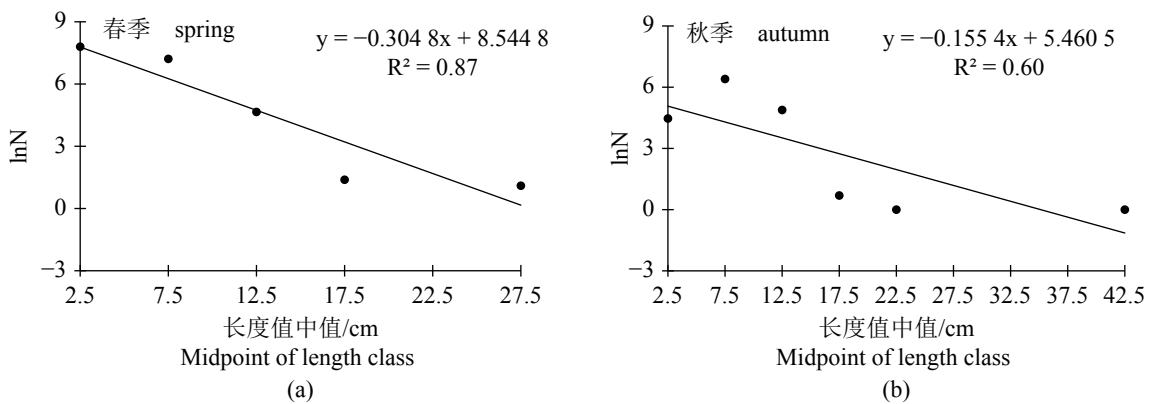


图 3 三门湾春(b)秋季(a)鱼类长度谱

Fig. 3 The size spectrum of fish in Sanmen bay in spring and autumn

孔虾虎鱼、龙头鱼和宽体舌鳎。其中，棘头梅童鱼均为两个季度的第一优势种。棘头梅童鱼为暖水性底栖小型鱼类，对温度和盐度的适应能力较强，在河口和海湾海域广泛分布。近年

来，由于传统的经济鱼类资源衰退，敌害鱼类减少，使其得到了充分繁殖与生长，资源呈上升趋势<sup>[12]</sup>。因此，无论是重量百分比还是尾数百分比均显著高于其他鱼类。此外，与蔡萌等<sup>[4]</sup>的

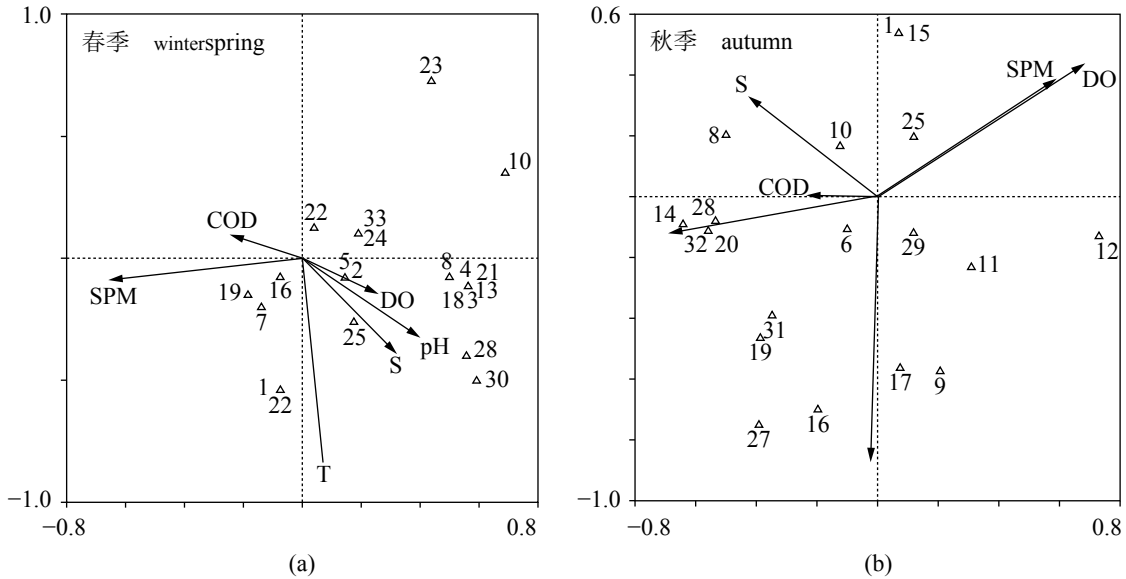


图4 三门湾春(a)秋季(b)鱼类群落与环境因子RDA分析

Fig. 4 RDA analysis of fish community and environmental factors in Sanmen bay in spring and autumn

研究结果相比,发现三门湾的鱼类优势种发生了较大的演替,特别是曾作为主要优势种的小黄鱼在调查中极少被捕获。这与过度捕捞、海洋环境退化等密切相关。尤其是帆张网作业,捕捞小黄鱼的产卵亲体,对其补充群体的数量影响较大,造成群体的结构不合理<sup>[7]</sup>。

### 3.2 鱼类群落结构分析

NMDS分析能有效揭示群落变化的连续梯度<sup>[13]</sup>。研究表明三门湾鱼类群落结构存在空间异质性,根据三门湾湾内与湾口在底质、潮差、水深等环境因素方面存在差异<sup>[14]</sup>,这可能是导致这种异质性的重要原因。ANOSIM组间相似性分析也表明,2个季节鱼类群落物种组成在不同站位组间均存在极显著差异。SIMPER分析表明,造成春秋季节鱼类群落结构相似的组内典型种,以及群落结构差异的组间分歧种均为两季的优势种,这在一定程度上表明鱼类群落结构的时间异质性。各季组内的典型种和组间的分歧种主要是不同季节种类组成不同及主要优势种重量、数量的相对变化造成的,在春秋季节形成了不同优势种类组成的鱼类类群,从而显示出鱼类群落时间序列上的群聚<sup>[15]</sup>。同时,2个季节各站位的组内典型种同时又是各站位组间一定程度上的分歧种,如棘头梅童鱼、孔虾虎鱼等。任一平等<sup>[16]</sup>研究也表明,各组典型种又是组间分歧种,尽管ANOSIM分析表明春、秋季组间群落

结构存在极显著差异,但认为该差异主要是由于这些种类的数量分布的空间差异和拖网调查的随机性造成的。

### 3.3 鱼类长度谱特征

通过对鱼类群落进行长度谱分析可以有效反映鱼类种间的复杂关系,直接反映鱼类长度的分布,在一定程度上反映鱼类群落的能量流动和结构组成,因此受到广泛应用<sup>[17-19]</sup>。研究发现,三门湾鱼类群落长度谱的斜率和截距有明显的季节性差异,秋季直线较平缓,截距较小,说明生产力水平较低,营养循环效率偏高;春季直线较陡,截距较大,表明生产力水平较高,营养循环效率偏低。春季,为多数鱼类的产卵季节,幼鱼个体小、数量多,导致长度谱曲线的斜率和截距变大;秋季,当年生的幼鱼逐渐长成个体较大的成鱼,使得长度谱曲线趋于平缓。由此可见,当年生的幼鱼群体对长度谱的影响较大,反映出三门湾鱼类群落结构简单。此外,长期高强度的捕捞作业也会使得鱼类长度谱发生变化。Graham等<sup>[20]</sup>研究发现,随着捕捞强度的增大,鱼类群落的长度谱曲线将变陡,截距变大。

### 3.4 鱼类群落与环境因子间的关系

鱼类的群落与环境因子(水温、水深、盐度、营养盐和海流等)有密切关系<sup>[7]</sup>。RDA分析结

果也表明, 研究区域鱼类群落受到温度、溶解氧、悬浮物和pH等环境因子的主导。RDA分析是一种直接梯度分析方法, 不是单纯对变量组进行分析, 也不是将几个变量综合成一个虚拟的复变量, 分析结果提取了能最大程度上代表所有指标解释能力的最小变量组合<sup>[21]</sup>。RDA排序图表明, 春季随着水温的升高, 海鳗、棘头梅童鱼、鲩、横带髭鲷等洄游性鱼类资源量增加; 而秋季水温逐渐降低, 孔虾虎鱼、黄鳍东方鲀等定居性鱼类资源量增加。因此, 温度是影响鱼类群落结构的重要因子, 这与吴忠鑫等<sup>[22]</sup>的研究结果相一致。鱼类群落的结构变化主要是由鱼类的产卵和索饵行为引起的<sup>[23]</sup>, 温度条件能够作用于鱼类的脑垂体分泌促性腺激素, 调节鱼体的产卵行为, 同时较高的温度有利于植物和浮游动物的快速生长和繁殖, 为鱼类提供了充足的食物<sup>[24]</sup>。

溶解氧是影响鱼类群落结构变化的重要非生物环境因素之一。溶解氧含量通过生理耐受限度影响鱼类活动水平和栖息地(垂直或水平尺度)的改变, 最终影响不同区域鱼类种群生物量和群落结构。Harris等<sup>[25]</sup>研究发现, 溶解氧是影响鱼类浮游生物群落结构及其丰度最有效的指示因子。RDA排序图表明, 六丝钝尾虾虎鱼、凤鲚、皮氏叫姑鱼等鱼类的资源量与溶解氧呈密切正相关。悬浮物对鱼类群落结构的影响也较大。RDA排序图表明, 中颌棱鯧、赤鼻棱鯧、鲩等的幼鱼主要分布在悬浮物含量高的区域, 而浮游生物食性鱼类在该区域分布较少。单秀娟等<sup>[26]</sup>研究认为高浊度减轻了鱼类的捕食压力。悬浮物对鱼类群落结构的影响主要表现为幼鱼的分布, 但随着水体中的悬浮物含量持续升高, 会降低透明度, 不利于浮游植物的光合作用, 进而影响浮游生物食性鱼类的分布。pH是水体中一些化学性的总和, 是其他因素共同作用的结果, 在一定的空间内也受入海径流和温度的影响<sup>[27]</sup>。因此, pH与温度共同构成了影响鱼类群落结构的重要环境因子, 这与翟璐等<sup>[28]</sup>的研究结果基本一致。上述环境因子将随着水深的变化也将发生相应的变化。

#### 参考文献:

[1] 焦念志. 海湾生态过程与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

Jiao N Z. Ecological processes and sustainable development of typical coastal water ecosystems in China[M]. Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese).

[2] 宁修仁. 乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.

Ning X R. Research and evaluation of aquaculture ecology and aquaculture capacity in Leqing Bay and Sanmen Bay[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005 (in Chinese).

[3] 冀萌萌, 田阔, 胡成业, 等. 三门湾春、秋季游泳动物群落组成及物种多样性研究[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(2): 42-48.

Ji M M, Tian K, Hu C Y, *et al.* Species composition and community diversity of nekton during spring and autumn in Sanmen Bay[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(2): 42-48(in Chinese).

[4] 蔡萌, 徐兆礼. 浙江三门湾冬夏季鱼类种类组成和数量变化[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 198-205.

Cai M, Xu Z L. Species composition and density of fishes in the Sanmen Bay[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(2): 198-205(in Chinese).

[5] 李新, 周青松, 俞存根, 等. 浙江三门湾春季鱼类种类组成及多样性研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 33(6): 488-494.

Li X, Zhou Q S, Yu C G, *et al.* Species composition and diversity of fish in spring in Sanmen Bay[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2014, 33(6): 488-494(in Chinese).

[6] 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, 2008.

State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008 (in Chinese).

[7] 郑元甲, 陈学忠, 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: 12.

Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, *et al.* Biological resources and environment of the continental shelf of the East China Sea[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2003: 12 (in Chinese).

- [ 8 ] Bianchi G, Gislason H, Graham K, *et al.* Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(3): 558-571.
- [ 9 ] Macpherson E, Gordo A. Biomass spectra in benthic fish assemblages in the Benguela system[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 138: 27-32.
- [10] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [11] Legendre P, Legendre L. Numerical ecology[M]. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 1998.
- [12] 庄平, 王幼魁, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 10.  
Zhuang P, Wang Y K, Li S F, *et al.* Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006: 10(in Chinese).
- [13] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 92: 205-219.
- [14] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第五分册上海市和浙江省北部海湾[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 4.  
Editorial Board of China Bay Survey. Survey of China Bays (Vol. 5)[M]. Beijing: China Ocean Press, 1992: 4 (in Chinese).
- [15] 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).
- [16] 任一平, 徐宾铎, 叶振江, 等. 青岛近海春、秋季渔业资源群落结构特征的初步研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(5): 792-798.  
Ren Y P, Xu B D, Ye Z J, *et al.* Preliminary study on community structure of fishery resources during spring and autumn in the coastal waters of Qingdao[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(5): 792-798(in Chinese).
- [17] 程家骅, 姜亚洲. 捕捞对海洋鱼类群落影响的研究进展[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(2): 359-366.  
Cheng J H, Jiang Y Z. Methods for evaluating fishing effects on fish community[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(2): 359-366(in Chinese).
- [18] Rice J, Gislason H. Patterns of change in the size spectra of numbers and diversity of the North Sea fish assemblage, as reflected in surveys and models[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1996, 53(6): 1214-1225.
- [19] Shin Y J, Rochet M J, Jennings S, *et al.* Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 384-396.
- [20] Graham N A J, Dulvy N K, Jennings S, *et al.* Size-spectra as indicators of the effects of fishing on coral reef fish assemblages[J]. *Coral Reefs*, 2005, 24(1): 118-124.
- [21] 董旭辉, 羊向东, 刘恩峰, 等. 冗余分析(RDA)在简化湖泊沉积指标体系中的应用——以太白湖为例[J]. *地理研究*, 2007, 26(3): 477-484.  
Dong X H, Yang X D, Liu E F, *et al.* Application of redundancy analysis in predigesting sedimentary proxies for paleolimnological research: A case study of Taibai Lake[J]. *Geographical Research*, 2007, 26(3): 477-484(in Chinese).
- [22] 吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(21): 6737-6746.  
Wu Z X, Zhang L, Zhang X M, *et al.* Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(21): 6737-6746(in Chinese).
- [23] 王迪, 林昭进. 珠江口鱼类群落结构的时空变化[J]. *南方水产科学*, 2006, 2(4): 37-45.  
Wang D, Lin Z J. Spatial and temporal variations of fish community structure in the Pearl River Estuary waters[J]. *South China Fisheries Science*, 2006, 2(4): 37-45(in Chinese).
- [24] 黄良敏, 张会军, 张雅芝, 等. 入海河口鱼类生物与水环境关系的研究现状与进展[J]. *海洋湖沼通报*, 2013(1): 61-68.  
Huang L M, Zhang H J, Zhang Y Z, *et al.* Research and progress of relationship between fish and aquatic environmental factors in estuarine waters[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(1): 61-68(in Chinese).
- [25] Harris S A, Cyrus D P, Beckley L E. The larval fish assemblage in Nearshore coastal waters off the St Lucia



- Estuary, South Africa[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 49(6): 789-811.
- [26] 单秀娟, 钱薇薇, 武云飞. 长江河口生态系统鱼类浮游生物生态学研究进展[J]. *海洋湖沼通报*, 2004(4): 87-93.
- Shan X J, Xian W W, Wu Y F. Progress of studies on ichthyoplankton ecology of Changjiang River Estuary[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2004(4): 87-93(in Chinese).
- [27] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- Li G G, Fan Z G. *Marine Ecology*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011 (in Chinese).
- [28] 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).

## Fish community structure and its relationships with environmental factors in Sanmen bay during spring and autumn

NIE Zhenlin<sup>1</sup>, WANG Yongxue<sup>2</sup>, HU Chengye<sup>3</sup>, QIU Jinjin<sup>1</sup>,  
SUN Peng<sup>1</sup>, TIAN Kuo<sup>1</sup>, SHUI Bonian<sup>1\*</sup>

(1. Fisheries College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China;

2. Taizhou City Ocean and Fisheries Bureau, Taizhou 318000, China;

3. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Based on the data collected from the bottom trawl survey and environmental investigation in November 2014 and May 2015, this paper studied the community structure of fish assemblage and its relationships with 6 major environmental factors in Sanmen bay. The results show, a total of 33 fish species were captured, species composition was dominated by seasonal migratory species, the settling species played a leading role in biomass, and the species were mainly composed of warm water fishes. There were 5 kinds of dominant species in autumn and spring, *Collichthys lucidus*, *Harpodon nehereus*, *Trypauchen vagina* were the common dominant species; NMDS and ANOSIM analysis revealed that the survey stations could be divided into 2 groups, of which one group was mainly distributed on the inside of the bay and the other one was mainly in the estuary; Significant difference was detected between the different stations in each season; The size spectrum analysis showed that the slope and intercept of fish community structure have obvious seasonal differences in Sanmen bay. RDA analysis showed that the fish communities structure was dominated by environmental factors such as temperature, dissolved oxygen, suspended matter and pH.

**Key words:** fish; community structure; environmental factor; Sanmen bay

**Corresponding author:** SHUI Bonian. E-mail: shuibonian@163.com

**Funding projects:** National Science and Technology Support Program (2007BAD43B03); Subject in Zhejiang Province; Project of Soft Science Research Project of Zhejiang Province (2015C25018)