



## 山东近海鱼类群落种类组成与空间结构的周年变化

李雪童<sup>1,2</sup>, 王琨<sup>1,2</sup>, 徐宾铎<sup>1,3</sup>, 薛莹<sup>1,2</sup>, 任一平<sup>1,2,3</sup>, 张崇良<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 山东 青岛 266003;

3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237)

**摘要:** 山东近海渔业资源丰富, 但近年来由于过度捕捞等的影响, 渔业资源呈现衰退趋势。为全面了解山东近海鱼类群落的组成与结构, 为渔业资源的养护提供科学依据, 根据 2016—2017 年在山东近海进行的 4 个季节的渔业资源底拖网调查数据, 采用非度量多维标度排序 (NMDS)、单因子相似性分析 (ANOSIM) 等多元统计方法, 对该海域鱼类生态类群进行划分, 并分析了鱼类群落结构的时空异质性。结果显示, 调查所捕获的 134 种鱼类, 其中相对重要性指数 (IRI)  $\geq 1$  的物种有 53 种, 以鲈形目种类最多。NMDS 分析表明, 53 种主要鱼类可划分为 a~c 3 个生态类群, 其中 a 类群集中出现在夏季, c 类群主要在秋季出现, b 类群的生物量和数量在全年中变化相对较小, 且在春、冬两季具有明显优势。在群落的空间结构上, NMDS 和 ANOSIM 结果表明, 调查海域中莱州湾海域 (A 区) 与黄海邻近海域 (B、C 区) 的鱼类群落结构存在显著差异, 该差异在 4 个季节均较为明显。相似性百分比分析 (SIMPER) 表明, 造成 A 区与 B、C 区群落结构空间异质性的物种具有季节性变化, 春季主要为短吻红舌鲷和黄鲛鲷, 夏季主要为鳀, 秋季为小眼绿鳍鱼, 冬季为斑尾刺虾虎鱼和黄鲛鲷。

**关键词:** 鱼类; 群落结构; 空间异质性; 山东近海

中图分类号: S 931.5

文献标志码: A

山东近海渔业资源丰富, 拥有渤海湾南部渔场、莱州湾渔场、烟威渔场和青岛近海渔场等, 是多种重要经济渔业生物的产卵场和索饵场<sup>[1]</sup>。但近年来由于人类干扰活动, 尤其是过度捕捞的影响, 山东近海的渔业资源呈现衰退趋势<sup>[2]</sup>, 传统经济种的生物量大幅减少, 渔获个体小型化、低龄化趋势显著<sup>[3-4]</sup>, 亟待开展渔业资源相关研究, 探究该海域鱼类群落的组成与特点, 可为渔业管理和养护提供研究支撑。

目前山东近海渔业资源研究多关注高经济

价值的单一物种, 如牟秀霞等<sup>[5]</sup>研究了星康吉鳗 (*Conger myriaster*) 资源密度时空分布与环境因子之间的关系, 发现其资源密度具有明显的季节变化; 李明坤等<sup>[6]</sup>研究了山东南部近海的口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 资源, 发现其分布在各季节呈现显著的空间正相关。针对多鱼种渔业资源的研究, 其空间范围往往较为局限<sup>[7-10]</sup>, 如张蒙生等<sup>[7]</sup>分析了山东半岛南部近海冬季大型底栖动物的多样性和群落结构。目前少有研究覆盖山东近海海域的鱼类群落, 也未深入探讨鱼

收稿日期: 2020-03-24 修回日期: 2020-07-11

资助项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0900904); 国家自然科学基金 (31772852); 山东省支持青岛海洋科学与技术试点国家实验室重大科技专项 (2018SDKJ0501-2)

第一作者: 李雪童 (照片), 从事渔业资源研究, E-mail: 13294097704@163.com

通信作者: 张崇良, E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn



类群落结构的季节性和空间变化。

了解鱼类群落结构以及时空分布的动态变化有助于针对性地开展渔业资源管理, 在不同季节和海域实施适应性的资源开发方式, 从而实现对渔业资源科学地利用和养护。本研究对山东近海鱼类群落进行了全面调查, 根据2016—2017年山东近海4个航次的渔业资源调查数据, 采用非度量多维标度排序、单因子相似性分析、相似性百分比分析等方法, 对其生态类群组成及群落结构的季节变化进行了系统阐述, 揭示了鱼类群落结构的时空变动, 以为渔业资源管理和养护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究数据来源于2016—2017年秋季(2016年10月)、冬季(2016年12月—2017年1月)、春季(5月)和夏季(8月)在山东近海(117°30′~124°30′E, 35°0′~38°30′N)进行的4个航次渔业资源单船底拖网调查, 采用定点调查的方法设计调查站位。根据地理位置将调查海域划分为A~C 3个采样区, 并依水深及离岸距离, 共设置177个站位, 其中A区为莱州湾海域, 设置59个站位; B区包括烟威渔场及其邻近海域, 设置55个站位; C区为山东半岛南部及其邻近海域, 设置63个站位(图1)。由于天气、地形及养殖区等原因, 部分预设站位在实际调查中未能完成, 其中春季完成调查158站, 夏季完成调查156站, 秋季完成调查159站, 冬季完成调查163站。

本次调查所用的渔船功率为220 kW, 网具网口高度约7.53 m, 网口宽度约15 m, 网囊网目

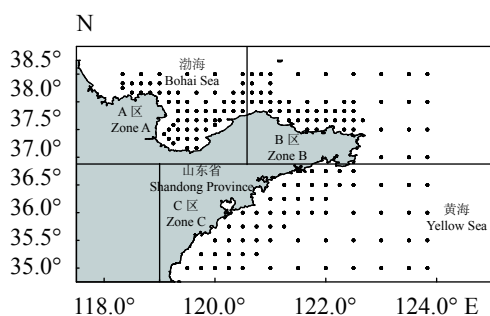


图1 山东近海渔业资源调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in the fishery resource surveys in Shandong offshore

为17 mm。拖网作业于白天进行, 渔获物样品的采集及分析等根据《海洋调查规范》<sup>[11]</sup>进行。样品分析鉴定到种, 并测定各种类的质量和尾数。由于在实际调查中各站位存在一定差异, 在数据分析前对原始调查数据进行标准化处理, 将所有渔获物的质量和尾数均标准化成拖网时间1 h、拖速3.0 kn的相对渔获量。

### 1.2 分析方法

**相对重要性与更替率** 研究采用Pinkas等<sup>[12]</sup>的相对重要性指数(index of relative importance, IRI)确定物种在群落中的重要程度, 并将 $IRI \geq 1000$ 的种类定义为优势种,  $100 \leq IRI < 1000$ 为重要种,  $10 \leq IRI < 100$ 为常见种,  $1 \leq IRI < 10$ 为一般种,  $IRI < 1$ 为少见种<sup>[13]</sup>。相对重要性指数的计算公式:

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

式中,  $N$ 为某一类尾数占总渔获尾数的百分比;  $W$ 为某一类生物量占总渔获量的百分比;  $F$ 为某一类出现的站位数占调查总站位数的百分比。

优势种及重要种的季节更替变化运用种类更替率分析<sup>[14]</sup>, 计算公式:

$$A = \frac{C}{C + S} \times 100\% \quad (2)$$

式中,  $A$ 为优势种以及重要种的更替率,  $C$ 为相邻两个季节增加及减少的种数,  $S$ 为相邻两个季节相同的目标物种数。

**群落结构分析** 为排除偶见种对结果的影响<sup>[15-16]</sup>, 选取 $IRI \geq 1$ 的物种进行群落结构的相关研究。根据各鱼类物种在4个季节不同的渔获生物量, 分析群落的物种组成相似性, 并划分生态类群。由于不同鱼种的渔获生物量差异较大, 本研究将各物种的生物量数据进行了平方根转换, 并由此计算不同季节鱼类群落结构的Bray-Curtis相似性系数矩阵<sup>[17]</sup>。其中相似性系数 $B$ 的计算公式:

$$B = 100 \times \left[ 1 - \frac{\sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{lj}|}{\sum_{j=1}^n |x_{ij} + x_{lj}|} \right] \quad (3)$$

式中,  $n$ 为调查的季节数,  $x_{ij}$ 和 $x_{lj}$ 分别为第 $i$ 个种类和第 $l$ 个种类在第 $j$ 个季节的相对生物量。

根据Bray-Curtis相似性系数矩阵, 利用非度量多维标度排序<sup>[18]</sup>(NMDS), 分析鱼类的群落结构特征。

空间异质性分析 在4个季节分别比较了A~C 3个采样区群落组成结构,并将每个季节所有调查站位的鱼类物种及其生物量进行非度量多维标度排序(NMDS)。使用胁强系数(Stress)判断NMDS分析结果的优劣,当 $Stress < 0.2$ 时,认为该结果具有一定的解释意义<sup>[19]</sup>。

采用单因子相似性分析(ANOSIM)对不同季节和不同组别站位的鱼类群落进行显著性检验,采用相似性百分比分析(SIMPER)研究造成不同组群间群落结构相异的分歧种与造成组群内群落结构相似的典型种<sup>[17,20]</sup>。本研究中的多元统计方法均使用PRIMER 5软件完成。

## 2 结果

### 2.1 种类组成及优势种组成

本次调查共捕获鱼类134种,其中全年 $IRI \geq 1$ 的物种共53种。这53个物种在春季出现47种,秋季出现46种,夏季出现51种,冬季出现43种。以鲈形目(Perciformes)种类最多,共有27种,占有所有种类的51.94%;其次为鲉形目(Scorpaeniformes),共有8种,占比为15.09%;鲱形目(Clupeiformes)和鲽形目(Pleuronectiformes)分别有6种和5种,占比分别为11.32%和9.43%(表1)。

山东近海的鱼类优势种及重要种存在明显的季节更替,秋冬、冬春、春夏的更替率分别为50.00%、64.71%和60.00%。4个季节 $IRI \geq 100$ 的物种只有黄鲛鳕(*Lophius litulon*)、细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)、方氏云鳚(*Pholis fangi*),其他鱼类则随季节变化交替在该海域出现。春季优势种有3种,分别为方氏云鳚、细纹狮子鱼、黄鲛鳕;重要种10种,常见种7种,一般种21种。夏季优势种只有1种,为鳀(*Engraulis japonicus*);重要种7种,常见种13种,一般种16种。秋季优势种为细条天竺鲷(*Apogon lineatus*)和小眼绿鳍鱼(*Chelidonichthys kumu*);重要种9种,常见种21种,一般种12种。冬季优势种仅有黄鲛鳕;重要种9种,常见种18种,一般种14种。

### 2.2 鱼类生态类群组成及季节变化

NMDS分析结果表明(Stress为0.11),53种主要鱼类根据其相似性可划分为a~c共3个生态类群(图2)。其中a类群集中出现在夏季,其他季节很少出现,其平均网获质量和平均网获尾

数均在夏季达到最大(图3),包括暖温性的鳀和暖水性的日本鲭(*Scomber japonicus*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)等5种鱼类,均为洄游性鱼类。

b类群在4个季节均有分布,其平均网获质量和平均网获尾数在全年中变化相对较小。在春冬两季,b类群具有明显优势(图3)。b类群主要包括暖温性的黄鲛鳕、赤鼻棱鳀(*Thryssa chefuensis*),冷温性的方氏云鳚、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、大头鳕(*Gadus macrocephalus*)、六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)和暖水性的黄鲫(*Setipinna taty*)等19种鱼类。该类群主要为洄游性鱼类,定居性鱼类较少。

c类群主要出现在秋季,其平均网获质量高于其他类群,而尾数相对较少;除夏季有一定的捕捞量外,其他季节较少出现(图3)。此类群包括暖温性的矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、长蛇鲻(*Saurida elongata*),冷温性的细纹狮子鱼和暖水性的细条天竺鲷、小眼绿鳍鱼等28种鱼类。该类群中定居性鱼类占有一定的比重,如矛尾虾虎鱼。

### 2.3 群落空间异质性

4个季节鱼类生物量的NMDS分析表明,山东近海鱼类群落具有显著的空间结构特征。各季节Stress分别为0.18、0.15、0.18和0.15,4个季节排序结果的胁强系数均小于0.2(图4)。

NMDS排序图表明,B和C区鱼类群落结构差异不大,二者与A区群落具有显著差异。ANOSIM分析显示,A区鱼类群落结构与B和C区差异极显著( $P < 0.01$ )。此外,B和C区的浅水区与深水区鱼类群落也具有一定差别,但相对于A区,该差异较小且存在一定重叠。4个季节的鱼类群落结构均随所属海域和水深的不同而呈现出显著的空间异质性。

本研究使用SIMPER对造成A区和B、C区组内群落结构相似的典型种以及造成它们之间相异的分歧种分别进行分析,并筛选出对组内相似性或组间相异性贡献率较高的物种(表2)。SIMPER结果表明,在春季,短吻红舌鲷和黄鲛鳕是造成A区与B、C区鱼类群落结构差异的主要物种;夏季,鳀是造成鱼类群落结构空间异质性的主要分歧种;秋季的主要分歧种为小眼绿鳍鱼;冬季为斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)与黄鲛鳕。

表 1 山东近海鱼类群落的物种组成及其相对重要性指数

Tab. 1 Species composition of fish community in Shandong offshore and indices of relative importance (IRI)

目 order	种类 species	学名 scientific name	IRI					
			全年 full year	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	
鲈形目 Perciformes	方氏云鳚	<i>Pholis fangi</i>	1796.1	2493.1	436.1	191.9	734.6	
	细条天竺鲷	<i>Apogon lineatus</i>	631.8	79.8	48.5	1883.9	214.1	
	矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	513.6	326.4	26.6	587.9	156.4	
	日本鲭	<i>Scomber japonicus</i>	350.8	0.0	728.7	0.0	0.0	
	六丝钝尾虾虎鱼	<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	303.7	148.2	49.3	104.7	671.1	
	小黄鱼	<i>Larimichthys polyactis</i>	300.2	243.6	50.2	103.1	94.9	
	吉氏绵鳚	<i>Zoarces gilli</i>	221.1	232.5	25.0	82.0	81.4	
	白姑鱼	<i>Argyrosomus argentatus</i>	145.4	2.4	85.6	30.3	0.2	
	银鲳	<i>Pampus argenteus</i>	76.5	1.2	3.4	62.5	22.1	
	瓦氏鳚	<i>Callionymus valenciennae</i>	54.3	55.5	21.6	2.5	40.5	
	蓝点马鲛	<i>Scomberomorus niphonius</i>	31.1	0.0	70.8	0.0	0.0	
	皮氏叫姑鱼	<i>Johnius belangerii</i>	22.4	8.9	1.8	16.3	21.6	
	斑尾刺虾虎鱼	<i>Acanthogobius ommaturus</i>	20.5	0.1	0.0	11.8	146.0	
	绯鳚	<i>Repomucenus beniteguri</i>	18.7	3.4	0.6	30.4	34.3	
	小带鱼	<i>Eupleurogrammus muticus</i>	14.8	5.9	1.4	21.4	1.3	
	油鲚	<i>Sphyraena pinguis</i>	11.6	0.1	1.5	24.2	0.0	
	玉筋鱼	<i>Ammodytes personatus</i>	8.5	72.2	0.2	0.1	0.6	
	普氏栉虾虎鱼	<i>Amoya pflaumi</i>	5.4	1.0	0.1	0.9	86.2	
	多鳞鳢	<i>Sillago sihama</i>	4.4	0.5	0.4	5.7	5.9	
	带鱼	<i>Trichiurus lepturus</i>	3.2	0.0	2.6	1.0	0.0	
	蓝圆鲹	<i>Decapterus maruadsi</i>	3.1	0.0	0.1	13.5	0.0	
	长丝虾虎鱼	<i>Myersina filifer</i>	2.2	3.4	0.2	0.8	1.6	
	黑鳃梅童鱼	<i>Collichthys niveatus</i>	1.9	0.1	0.1	0.3	7.7	
	中华栉孔虾虎鱼	<i>Ctenotrypauchen chinensis</i>	1.5	1.4	0.0	4.9	0.0	
	云鳚	<i>Pholis nebulosa</i>	1.5	1.7	0.7	0.1	0.0	
	日本笠鳚	<i>Chirolophis japonicus</i>	1.4	1.3	0.5	0.0	0.7	
	小头栉孔虾虎鱼	<i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>	1.3	3.5	0.0	1.2	1.1	
	鲉形目 Scorpaeniformes	细纹狮子鱼	<i>Liparis tanakae</i>	3009.8	1673.1	480.5	820.2	376.9
		小眼绿鳍鱼	<i>Chelidonichthys kumu</i>	906.2	0.0	148.0	1056.9	202.8
		大泷六线鱼	<i>Hexagrammos otakii</i>	509.4	598.8	173.5	79.0	36.4
许氏平鲉		<i>Sebastes schlegelii</i>	52.4	1.6	3.3	58.7	10.9	
鲷		<i>Platycephalus indicus</i>	22.7	1.4	1.3	21.4	12.8	
绒杜父鱼		<i>Hemitripterus villosus</i>	3.4	3.8	0.9	0.2	1.7	
虹鲆		<i>Erisphex potti</i>	2.5	0.4	0.1	4.3	1.6	
褐菖鲉		<i>Sebastes marmoratus</i>	1.6	0.5	0.0	0.2	15.8	

· 续表 1 ·

目 order	种类 species	学名 scientific name	IRI				
			全年 full year	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
鲱形目 Clupeiformes	鳀	<i>Engraulis japonicus</i>	10111.5	224.5	6894.0	380.2	54.2
	赤鼻棱鳀	<i>Thryssa chefuensis</i>	240.5	129.0	49.4	312.9	12.0
	黄鲫	<i>Setipinna taty</i>	156.1	246.2	7.1	42.4	398.3
	斑鲚	<i>Konosirus punctatus</i>	54.8	5.8	5.4	36.6	77.1
	青鳞小沙丁	<i>Sardinella zunasi</i>	6.7	0.2	0.1	29.1	0.0
	中颌棱鳀	<i>Thryssa mystax</i>	2.5	0.0	0.0	6.0	8.7
鲾形目 Pleuronectiformes	高眼鲾	<i>Cleisthenes herzensteini</i>	130.4	55.7	20.0	56.5	48.8
	短吻红舌鲾	<i>Cynoglossus joyneri</i>	73.7	45.5	3.7	45.7	61.2
	褐牙鲆	<i>Paralichthys olivaceus</i>	29.7	7.5	0.0	26.0	6.0
	角木叶鲾	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	19.0	18.8	8.5	2.2	0.7
	石鲾	<i>Platichthys bicoloratus</i>	2.0	3.6	0.1	0.2	0.0
鮟鱇目 Lophiiformes	黄鮟鱇	<i>Lophius litulon</i>	3113.1	1517.1	363.0	701.7	3094.1
鳕形目 Gadiformes	大头鳕	<i>Gadus macrocephalus</i>	471.3	779.8	114.9	87.4	25.4
鳗鲡目 Anguilliformes	星康吉鳗	<i>Conger myriaster</i>	137.4	144.9	32.8	33.8	26.2
仙女鱼目 Aulopiformes	长蛇鲷	<i>Saurida elongata</i>	124.3	6.5	10.1	245.7	0.9
海龙目 Syngnathiformes	尖海龙	<i>Syngnathus acus</i>	100.3	11.1	13.0	82.0	530.0
鲉形目 Tetraodontiformes	绿鳍马面鲀	<i>Thamnaconus modestus</i>	2.2	0.6	0.5	1.8	0.0
鳐形目 Rajiformes	孔鳐	<i>Raja porosa</i>	4.4	0.1	0.1	3.7	2.4

### 3 讨论

#### 3.1 种类组成

山东近海地处暖温带季风气候区,生物多样性丰富,既是渔业生物的重要产卵场和索饵场,同时又是其进出渤海的重要通道<sup>[21]</sup>,因此其渔业资源的保护与管理具有重要意义。本研究捕获生物种类较多,但在物种组成上与以往研究存在一定差异。如本研究的53种主要鱼类中,以暖水性种类最多,占鱼类种类总数的40.74%;其次为暖温性鱼类,占比为35.19%;冷温性鱼类最少,仅占24.07%。而在20世纪80年代,该海域鱼类以暖温性种类最多,约占物种总数的50.81%,暖水种次之<sup>[22]</sup>。鱼类适温类型的改变可能与气候变化、捕捞等人类活动有关。此外,调查采用的网具不同可能也是影响调查结果的重要因素。

山东近海鱼类群落的物种组成呈现明显的季节性变化。本研究中,a类群均为暖温性或暖

水性的洄游性鱼类,其中鳀在该类群中的生物量和数量占比分别达66%和95%,这与其繁殖规律相吻合。牛明香等<sup>[23]</sup>和张衡等<sup>[24]</sup>的研究表明,黄海的鳀于夏季(7—8月)完成产卵并进入索饵场进行索饵,而本研究在8月底进行的夏季调查中,采集到大量生物学规格较小的当年生鳀,与之一致。b类群的生物量与数量较为稳定,在全年的变化相对较小。该类群组成复杂多样,冷温性、暖温性和暖水性的鱼类物种数相差不大;洄游性、定居性鱼类均在此类群中占有一定比重。繁殖、洄游等习性的综合影响,导致该类群在季节间生物量变化较为复杂<sup>[8,16]</sup>,因此被NMDS划分为同一类群。c类群集中出现在秋季,生物量较高而数量较低,即个体相对较大。该类群主要由暖温性鱼类和暖水性鱼类组成,冷温性鱼类的比重相对较低。这可能对应鱼类的繁殖亲体,经春夏繁殖后,在秋季进行索饵,摄取大量能量为越冬做准备<sup>[25]</sup>。群落的种类更替体现了鱼类对于季节性环境变化的适应性。

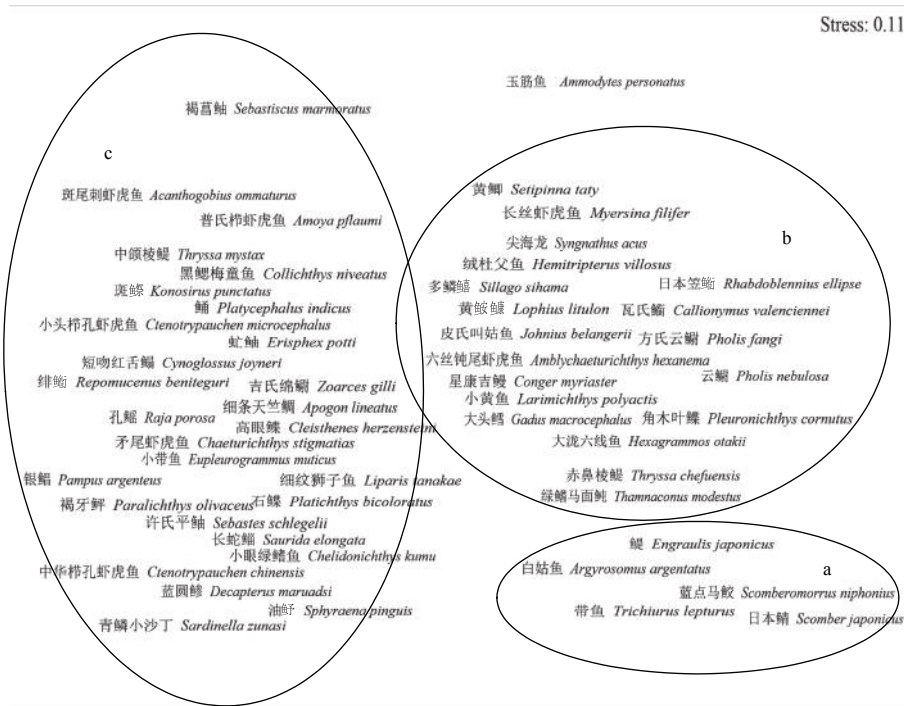


图 2 山东近海主要鱼类种类的 NMS 结果

Fig. 2 NMS results of main fish species in Shandong offshore

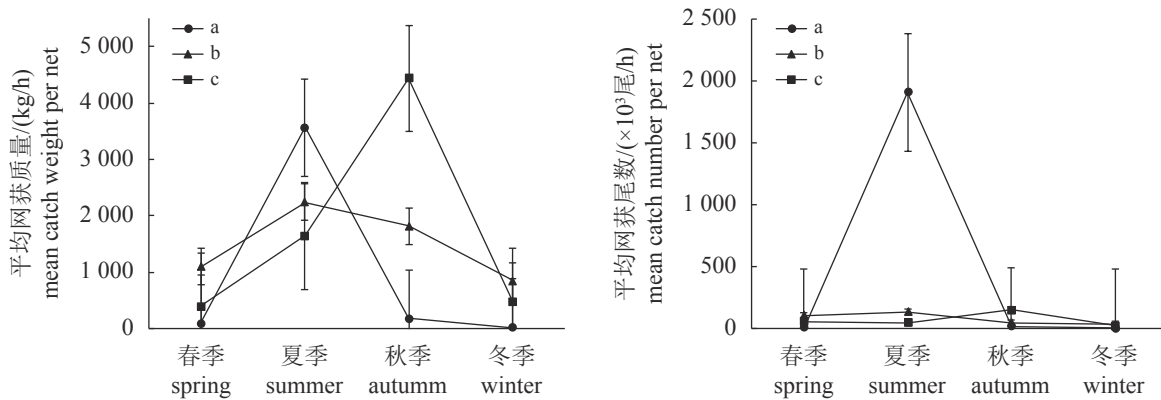


图 3 山东近海鱼类类群 a, b, c 的平均网获质量和平均网获尾数的季节变化

图中误差线为标准差

Fig. 3 Seasonal changes in mean catch weight and number per net of fish groups a, b and c in Shandong offshore

The error line in the figure is SD value

### 3.2 优势种的组成与更替

山东近海鱼类群落优势种组成近几十年来发生了较大变化: 20 世纪 50 年代, 金显仕等<sup>[26]</sup>在对山东近海进行的底拖网调查中发现, 带鱼和小黄鱼在该海域占有绝对优势; 80 年代以来, 朱鑫华等<sup>[22]</sup>的研究表明, 周年主导黄渤海沿岸群落的鱼类为鲷、黄鲫和青鳞小沙丁鱼等小型中上层鱼类; 而进入 21 世纪, 鲷等小型鱼类的

优势更加显著<sup>[26]</sup>; 高雪等<sup>[9]</sup>对烟威海域进行的渔业资源调查与本研究同期进行, 其优势种为鲷、细纹狮子鱼和黄鲛鲷。而本研究中山东近海优势种为鲷和方氏云鲷等, 均为小型鱼类。高强度的捕捞活动造成的渔业资源衰退可能是山东近海鱼类优势种不断更替的主要原因。过度捕捞使 k 选择物种的优势度降低, 而体型相对较小、性成熟时间较早以及世代较短的鲷和方氏云鲷

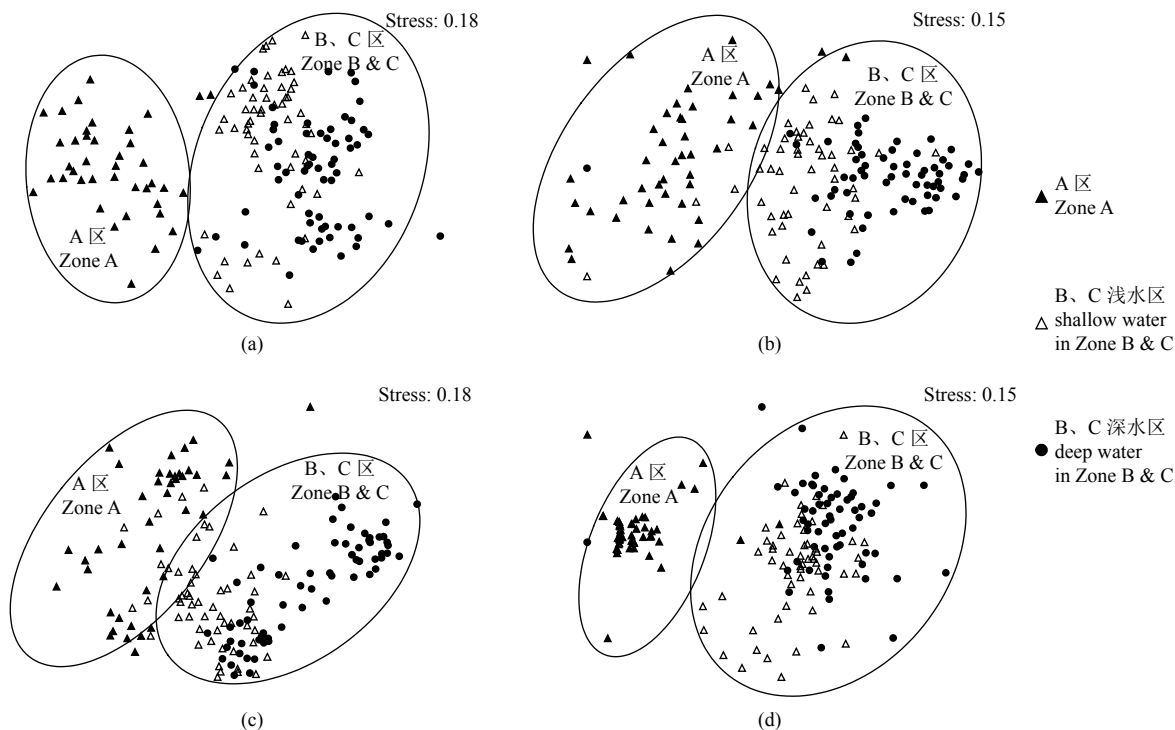


图 4 山东近海鱼类群落结构的 NMDS 分析

B、C 浅水区和深水区分别对应水深 < 30 m 和 > 30 m 的站位, (a) 春季, (b) 夏季, (c) 秋季, (d) 冬季

Fig. 4 NMDS analyses of the fisheries community in Shandong coastal waters

Shallow water and deep water in Zone B & C correspond to stations with water depths < 30 m and > 30 m, (a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

等 r 选择物种能够较好地适应捕捞胁迫, 导致其优势度逐年上升<sup>[17, 27-28]</sup>, 渔业资源的组成从优质的经济生物向小型和低质鱼类变化<sup>[3]</sup>。

需要注意的是, 上述渔业资源调查虽都采用底拖网, 但所采用网具的网口高度、宽度以及网目尺寸不同, 对鱼类的选择性存在差异, 也可能在一定程度上影响研究结果。但综合比较相关研究可以发现, 山东近海渔业资源还是呈现了衰退趋势, 表现出传统经济鱼种优势度下降, 以及优势种小型化和低龄化的现象。

### 3.3 空间异质性

本研究表明, 调查海域 A 区与 B、C 区的鱼类群落结构有显著差异, 这可能与不同海区的理化环境紧密相关, 其中影响最大的可能是水体深度, 因为水深是一个综合性的环境因子, 随水体深度的变化, 温度、营养盐浓度、叶绿素含量以及初级生产力的高低等都随之发生变化<sup>[29]</sup>, 从而影响鱼类群落结构。A 区即莱州湾, 属渤海海域, 该海域水深较浅, 入海的江河携带大量泥沙和营养物质, 使得该海域饵料资源

丰富; 黄海暖流最远可到达渤海中部<sup>[25]</sup>, 使莱州湾海域的海水温度保持在一个相对稳定的状态。短吻红舌鲷、赤鼻棱鲷和矛尾虾虎鱼同属暖温性中小型鱼类, 栖息于近岸水域中, 不作长距离洄游, 以浮游生物或底栖无脊椎动物为食, 与该海域的环境特点相适应, 成为 A 区的主要物种。

B、C 区属于黄海海域, 其北部受到黄海冷水团的影响, 南部又有黄海暖流流经, 寒、暖流交汇使得该水域环境多变<sup>[25]</sup>, 许多鱼类具有显著的洄游习性。同时, 多年来的过度捕捞使该海域小型中上层鱼类优势度上升, 鲷成为该海域的优势种。另一方面, 许多饵料生物如脊腹褐虾 (*Crangon affinis*) 近年来在黄海的生物量丰富<sup>[30]</sup>, 为黄鲷、小眼绿鳍鱼和细纹狮子鱼等大型底层鱼类提供饵料, 使其维持了较高的种群数量。其中, 黄鲷是该海域食物网中的高营养级鱼种<sup>[31]</sup>, 栖息于水体较深的海域<sup>[32]</sup>, 且以鲷为食<sup>[33]</sup>, 该食物链也导致了 A 区与 B、C 区群落结构的差异。

总体而言, 本研究表明山东近海鱼类群落

表 2 山东近海鱼类群落站位组内典型种和组间分歧种及其贡献率

季节 season		物种 species	组 groups		
			Zone A	Zone B & C	Zone A & Zone B & C
春季 spring	短吻红舌鲷	<i>Cynoglossus joyneri</i>	24.2		9.25
	赤鼻棱鲷	<i>Thryssa chefuensis</i>	20.41		8.71
	矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	13.8		6.45
	黄鲛鲷	<i>Lophius litulon</i>		32.52	11.84
	方氏云鲷	<i>Pholis fangi</i>	7.24	17.86	5.78
	细纹狮子鱼	<i>Liparis tanakae</i>	13.96		6.34
夏季 summer	短吻红舌鲷	<i>Cynoglossus joyneri</i>	22.86		5.85
	斑鲷	<i>Konosirus punctatus</i>	18.31		6.60
	矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	16.12	1.49	5.54
	日本鲭	<i>Scomber japonicus</i>		14.99	6.85
	鲷	<i>Engraulis japonicus</i>		14.8	6.88
	细纹狮子鱼	<i>Liparis tanakae</i>		13.89	6.48
秋季 autumn	赤鼻棱鲷	<i>Thryssa chefuensis</i>	18.87		5.93
	小眼绿鳍鱼	<i>Chelidonichthys kumu</i>		25.36	8.36
	长蛇鲷	<i>Saurida elongata</i>		16.29	6.96
冬季 winter	斑尾刺虾虎鱼	<i>Acanthogobius ommaturus</i>	77.13		23.19
	短吻红舌鲷	<i>Cynoglossus joyneri</i>	20.62		8.38
	黄鲛鲷	<i>Lophius litulon</i>		50.76	16.80

注: 表中相似性贡献率和相异性贡献率使用 PRIMER 5 软件进行计算, 空值表示该鱼种在该项目中贡献率低于13%, 故不列出

Notes: similarity and dissimilarity contribution percentage in the table were calculated by software PRIMER 5. Null value indicates that the contribution percentage of the species in the project was less than 13%, so it was not listed

结构存在较为显著的空间异质性。产生这种现象的原因, 一方面同山东近海本身地理环境特征结构复杂多变有关; 另一方面也同本海域现存物种的栖息、洄游等生活史特征相关, 导致鱼类群落结构在不同海区不同季节的分布体现出一定的异质性。因此, 应对山东近海的渔业资源管理, 应该针对不同的海区制定不同的政策, 从而更有针对性地实现对渔业资源的保护和利用, 为山东近海渔业资源保护提供科学依据。

#### 参考文献 (References):

- [1] 山东省海洋与渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价 [M]. 北京: 海洋出版社, 2010.  
Shandong Provincial Oceanic and Fishery Department. Investigation and evaluation of economic resources in

Shandong costal waters[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010 (in Chinese).

- [2] 金显仕, 程济生, 邱盛尧, 等. 黄渤海渔业资源综合研究与评价 [M]. 北京: 海洋出版社, 2006.  
Jin X S, Cheng J S, Qiu S Y, et al. Integrated research and evaluation on fisheries resources in Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006 (in Chinese).
- [3] 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).
- [4] 沃佳, 牟秀霞, 徐宾铎, 等. 江苏近海北部海域春季鱼类群落结构的周年变化[J]. 应用生态学报, 2018,



- 29(1): 285-292.
- Wo J, Mou X X, Xu B D, *et al.* Interannual changes in fish community structure in the northern part of the coastal waters of Jiangsu Province, China in Spring[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(1): 285-292(in Chinese).
- [5] 牟秀霞, 李明坤, 尹洁, 等. 山东半岛东南部海域星康吉鳎资源密度时空分布及其与环境因子之间关系[J]. 水产学报, 2019, 43(8): 1759-1767.
- Mou X X, Li M K, Yin J, *et al.* Relationship between spatio-temporal distribution of *Conger myriaster* and the environment factors in the southeast waters of Shandong Peninsula[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1759-1767(in Chinese).
- [6] 李明坤, 徐宾铎, 薛莹, 等. 山东南部近海口虾蛄空间分布特征及其季节变化[J]. 水产学报, 2019, 43(8): 1749-1758.
- Li M K, Xu B D, Xue Y, *et al.* Spatial distribution characteristics and seasonal variation of *Oratosquilla oratoria* in the southern coastal waters of Shandong Province[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1749-1758(in Chinese).
- [7] 张蒙生, 曲方圆, 隋吉星, 等. 山东半岛南部近海冬季大型底栖动物多样性及群落结构特征[J]. 中国海洋大学学报, 2017, 47(S1): 58-66.
- Zhang M S, Qu F Y, Sui J X, *et al.* Diversity and community structure of macrobenthos in southern coast of Shandong Peninsula in Winter[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(S1): 58-66(in Chinese).
- [8] 李涛, 张秀梅, 张沛东, 等. 山东半岛南部近岸海域渔业资源群落结构的季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(1-2): 41-50.
- Li T, Zhang X M, Zhang P D, *et al.* Seasonal variation on community structure of fishery resources in the coastal waters of southern Shandong Peninsular[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(1-2): 41-50(in Chinese).
- [9] 高雪, 李凡, 吕振波, 等. 烟威海域游泳动物群落结构研究[J]. 海洋渔业, 2019, 41(2): 179-187.
- Gao X, Li F, Lü Z B, *et al.* Study of nekton community structure in the offshore of Yantai and Weihai[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(2): 179-187(in Chinese).
- [10] 杨涛, 单秀娟, 金显仕, 等. 莱州湾鱼类群落的关键种[J]. 水产学报, 2016, 40(10): 1613-1623.
- Yang T, Shan X J, Jin X S, *et al.* Keystone species of fish community in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(10): 1613-1623(in Chinese).
- [11] 国家质量技术监督局. GB/T 12763-2007 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- State Bureau of Quality Technical Supervision. GB/T 12763-2007 The specification for oceanographic survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2008 (in Chinese).
- [12] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 1970, 52: 5-10.
- [13] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 1980—2007年大亚湾鱼类物种多样性、区系特征和数量变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2403-2410.
- Wang X H, Du F Y, Qiu Y S, *et al.* Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundances in Daya Bay in 1980-2007[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2403-2410(in Chinese).
- [14] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- Liu R Y. Ecology and living resources of the Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992 (in Chinese).
- [15] 李凡, 周兴, 张岚, 等. 山东近海鱼类群落分类多样性[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2322-2330.
- Li F, Zhou X, Zhang L, *et al.* Taxonomic diversity of fish assemblages in coastal waters off Shandong[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2322-2330(in Chinese).
- [16] 张玉钦, 邱盛尧. 山东近海渔业资源现状初步研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2019, 32(1): 61-67, 102.
- Zhang Y Q, Qiu S Y. A preliminary study on current situation of fishery resources in Shandong Offshore[J]. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering Edition), 2019, 32(1): 61-67, 102(in Chinese).
- [17] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. Plymouth, UK: Primer-E Ltd., 2001: 689-692.
- [18] Kruskal J B. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method[J]. Psychometrika, 1964, 29(2): 115-129.
- [19] Khalaf M A, Kochzius M. Changes in trophic com-

- munity structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 239(1): 287-299.
- [20] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [21] 程济生. 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. Ecological environment and community in the offshore waters of the Yellow and Bohai Seas[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2004 (in Chinese).
- [22] 朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 等. 黄、渤海沿岸水域游泳动物群落结构时空格局异质性研究[J]. *动物学报*, 1994, 40(3): 241-252.
- Zhu X H, Wu H Z, Xu F S, *et al.* The heterogeneity of spatiotemporal patterns of nekton community structure in the coastal waters of Yellow Sea and Bohai Sea[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1994, 40(3): 241-252(in Chinese).
- [23] 牛明香, 王俊, 袁伟, 等. 黄海鳀鱼时空分布季节差异分析[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(1): 114-121.
- Niu M X, Wang J, Yuan W, *et al.* Seasonal dissimilarity of *Engraulis japonicus* spatiotemporal distribution in Yellow Sea[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(1): 114-121(in Chinese).
- [24] 张衡, 张波, 金显仕, 等. 黄海鳀鱼鱼体能值的季节变化[J]. *海洋水产研究*, 2004, 25(6): 7-12.
- Zhang H, Zhang B, Jin X S, *et al.* Seasonal variations in energy content of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(6): 7-12(in Chinese).
- [25] 陈大刚. 渔业资源生物学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- Chen D G. Fishery resources biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997 (in Chinese).
- [26] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. *生物多样性*, 2000, 8(1): 65-72.
- Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong[J]. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(1): 65-72(in Chinese).
- [27] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 374-379.
- [28] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [29] 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.
- 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(in Chinese).
- [30] 单秀娟, 陈云龙, 周志鹏, 等. 黄海中南部细纹狮子鱼繁殖生物学特征的年际变化[J]. *渔业科学进展*, 2014, 35(3): 1-8.
- Shan X J, Chen Y L, Zhou Z P, *et al.* Inter-annual variations in propagational biological characteristics of *Liparis tanakae* in central and southern Yellow Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(3): 1-8(in Chinese).
- [31] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 黄海中部小黄鱼的食物组成和摄食习性的季节变化[J]. *中国水产科学*, 2004, 11(3): 237-243.
- Xue Y, Jin X S, Zhang B, *et al.* Diet composition and seasonal variation in feeding habits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in the central Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(3): 237-243(in Chinese).
- [32] 林龙山, 郑元甲. 东海区黄鮟鱇资源状况的初步探讨[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(3): 179-183.
- Lin L S, Zheng Y J. Preliminary research on stock of *Lophius litulon* in the East China Sea region[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(3): 179-183(in Chinese).
- [33] 张学健, 程家骅, 沈伟, 等. 黄海南部黄鮟鱇摄食生态[J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3117-3125.
- Zhang X J, Cheng J H, Shen W, *et al.* Feeding ecology of *Lophius litulon* in the south of Yellow Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3117-3125(in Chinese).

## Annual variation of species composition and spatial structure of fish community in Shandong offshore

LI Xuotong<sup>1,2</sup>, WANG Kun<sup>1,2</sup>, XU Binduo<sup>1,3</sup>, XUE Ying<sup>1,2</sup>, REN Yiping<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Chongliang<sup>1,2\*</sup>

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

**Abstract:** The coastal waters of Shandong have rich fisheries resources but have suffered from pressures including overfishing. In order to comprehensively understand the composition and structure of the fish community in Shandong coastal waters and to provide a scientific basis for the conservation of fishery resources, a fishery resources survey was conducted in Shandong coastal waters from 2016 to 2017 using bottom trawl in four seasons. A range of multivariate statistical methods including non-metric multi-dimensional scaling (NMDS) and ANOSIM were used to analyze the species composition and spatial heterogeneity of the community structure. The results showed that a total of 134 species were caught in this survey, of which 53 species had Index of relative importance  $IRI \geq 1$ . NMDS analysis showed that the 53 species could be divided into three groups, a, b, c. Among them, Group a was characterized by the large biomass in summer and Group c in autumn. Group b was characterized by the relatively small changes of biomass throughout the year and the obvious dominance in spring and winter. Regarding the spatial structure of fish community, NMDS and ANOSIM showed that the fish community structure in Laizhou Bay (Zone A) was significantly different from that in the northern and southern adjacent waters (Zones B and C) of the Shandong Peninsula, and the differences persisted in all seasons. SIMPER showed that the species that caused the spatial heterogeneity of community structure between Zone A and Zone B & C were *Cynoglossus joyneri* and *Lophius litulon* in spring; *Engraulis japonicus* in summer; *Chelidonichthys kumu* in autumn; *Acanthogobius ommaturus* and *L. litulon* in winter.

**Key words:** fish; community structure; spatial heterogeneity; Shandong offshore

**Corresponding author:** ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2018YFD0900904); National Natural Science Foundation of China (31772852); Marine S & T Fund of Shandong Province for Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao)(2018SDKJ0501-2)