

DOI: 10.12264/JFSC2021-0491

## 长山列岛邻近海域春、秋季鱼类群落结构

邹建宇<sup>1</sup>, 张崇良<sup>1, 2, 3</sup>, 王希明<sup>4</sup>, 薛莹<sup>1, 2, 3</sup>, 纪毓鹏<sup>1, 3</sup>, 任一平<sup>1, 2, 3</sup>, 徐宾锋<sup>1, 2, 3</sup>

1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 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;

3. 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;

4. 青岛市园林和林业综合服务中心, 山东 青岛 266001

**摘要:** 为探究长山列岛邻近海域春、秋季鱼类群落的空间格局, 根据 2016 年 10 月、2017 年 5 月在长山列岛邻近海域获取的渔业资源与环境调查数据, 应用聚类分析和非度量多维标度分析等多元统计分析方法研究了该海域春季、秋季鱼类群落空间结构及其与环境因子的关系。结果表明, 该海域春、秋季调查共获鱼类 66 种, 隶属于 11 目 33 科 58 属, 其中春季 46 种, 秋季 52 种, 均以鲈形目(Perciformes)为主。春季的优势种为黄鮟鱇(*Lophius litulon*)、方氏云鳚(*Enedrius fangi*)和大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)等; 鱼类群落在空间上可分为 2 个站位组, 站位组 I 位于长山列岛以西, 站位组 II 位于长山列岛附近及其东部海域; 底层水温是影响春季鱼类群落空间结构的主要环境因素; 各站位组内的主要典型种如黄鮟鱇和赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)等存在明显的空间分布差异。秋季的优势种为小眼绿鳍鱼(*Chelidonichthys spinosus*)、黄鮟鱇和褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)等; 鱼类群落在空间上可分为 2 个站位组, 站位组 I 位于远离长山列岛的东部及西部海域, 站位组 II 则围绕长山列岛分布; 水深和底层水温是影响秋季鱼类群落空间结构的主要环境因素, 黄鮟鱇、褐牙鲆和许氏平鲉(*Sebastodes schlegelii*)等主要典型种存在着围绕长山列岛分布的趋势。在水温的驱动下春季各站位组的主要典型种空间分布不同, 鱼类群落空间结构表现出较强的异质性; 秋季由于主要典型种的空间分布差异而呈现出环长山列岛和远离长山列岛的鱼类群落空间格局。

**关键词:** 鱼类群落; 空间结构; 环境因子; 长山列岛

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)09-1349-09

研究鱼类群落空间结构对于整个生态系统的研究、养护和修复具有重要意义<sup>[1]</sup>。国内外学者开展了多项鱼类群落的研究, 其中包括群落生态多样性<sup>[2-4]</sup>、分类学多样性<sup>[5-6]</sup>和功能多样性<sup>[7]</sup>、鱼类群落空间结构<sup>[8-10]</sup>、鱼类群落结构与环境因子的关系<sup>[11-12]</sup>以及污染<sup>[13]</sup>和捕捞<sup>[14]</sup>等对鱼类群落的影响等。

长山列岛, 也称庙岛群岛, 自南向北呈带状分布, 纵列于渤海海峡海域<sup>[15]</sup>。长山列岛邻近海域位于黄海与渤海交汇处, 地理位置独特。从生态学的角度来看, 该海域处于渤海、黄海两大生

态系统的交错带, 受到黄海水团以及渤海沿岸水团两大水团的共同影响<sup>[16]</sup>。春、夏季黄海冷水团能影响该海区的东北部<sup>[17]</sup>, 秋、冬季黄海暖流也可抵达此处<sup>[18]</sup>。渤海沿岸水团在春、秋两季易受季风的影响而发生剧烈变化<sup>[19]</sup>, 同时海岛与海水的镶嵌式格局使得该海域具有独特的水文特点<sup>[15]</sup>。因此, 该海域春、秋季环境因子变化较大。此外, 春、秋两季对应着鱼类生活史重要阶段, 多种鱼类处于产卵洄游和准备越冬洄游时期<sup>[20]</sup>, 鱼类资源变动较大。关于山东半岛北部海域鱼类群落的研究多聚焦在渤海<sup>[10]</sup>、黄海<sup>[21]</sup>内, 但少有对二者交错

收稿日期: 2021-10-14; 修订日期: 2021-11-15.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0901205).

作者简介: 邹建宇(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源生态学. E-mail: 88015321@qq.com

通信作者: 徐宾锋, 副教授, 研究方向为渔业资源生态学和采样设计. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

带即长山列岛邻近海域鱼类群落的研究。该海域复杂的流系和独特的水文条件影响着鱼类种类组成。研究该海域春、秋季鱼类群落空间结构及影响因素具有重要意义。

本研究根据2016年10月、2017年5月在长山列岛邻近水域进行的鱼类资源与环境综合调查数据,应用多元统计分析方法,研究该海域春、秋季鱼类群落空间结构及其影响因子,以期为制定科学合理的管理措施以及资源的可持续利用方式提供基础数据和参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

数据来源于2016年10月(秋季)、2017年5月(春季)在长山列岛邻近海域进行的渔业资源与栖息环境调查。调查区域位于 $37^{\circ}30'N\sim38^{\circ}30'N$ , $119^{\circ}50'E\sim121^{\circ}50'E$ 的海域,共设置42个采样站位,由于天气等因素影响,其中春季调查站位36个、秋季调查站位40个(图1),使用功率为220 kW的底拖网渔船采样,网具网口高度约7.53 m,宽度约15 m,囊网网目大小为17 mm。调查均在白天进行,每站拖网时间为1 h,拖网速度为3.0 kn。同步使用盐温深仪(CTD75M/1167,德国Sea & Sun)调查盐度、水温、水深等环境因子。将渔获物取样并带回实验室进行分析处理,各站渔获种类鉴定到种<sup>[22]</sup>,并对每种渔业生物进行称重(精确到0.01 g)和尾数统计,具体生物学测定参考《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T12763.6—2007)<sup>[23]</sup>,并将原始调查数据进行标准化处理为拖速3.0 kn、

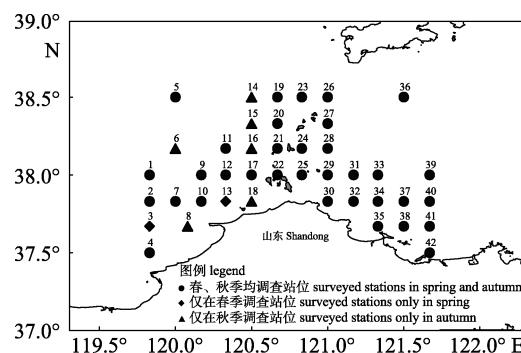


图1 长山列岛邻近海域底拖网调查站位

Fig. 1 Bottom trawl survey stations in the adjacent waters of the Changshan Islands

拖网时间1 h的相对资源量指数,即单位网次渔获量(g/h)。

### 1.2 分析方法

#### (1) 优势种

本研究中将渔获重量占比前5位的鱼种定义为优势种。

#### (2) 群落空间结构

构建鱼类种类和站位单位网次渔获重量的矩阵,对单位网次渔获重量进行平方根转化,计算不同站位间鱼类种类组成的Bray-Curtis相似性系数并形成相似性系数矩阵,对各季节鱼类群落进行等级聚类(CLUSTER)和非度量多维标度(MDS)分析划分站位组<sup>[24]</sup>。应用相似性分析(ANOSIM)检验不同站位组群落种类组成差异的显著性<sup>[25]</sup>。

利用相似性百分比分析(SIMPER)确定造成各站位组内群落结构相似的典型种和造成站位组间群落结构差异的分歧种<sup>[25]</sup>,以及各鱼种对站位组内相似性和站位组间相异性的贡献率,并选择贡献率超过5%的鱼种作为站位组的典型种或站位组间的分歧种。

#### (3) 群落空间结构与环境因子的关系

采用生物与环境相关分析(BIO-ENV)研究鱼类群落空间结构与环境因子之间的关系<sup>[26]</sup>。

群落结构聚类分析(CLUSTER)、非度量多维测度分析(MDS)、相似性分析(ANOSIM)、相似性百分比分析(SIMPER)和生物与环境相关分析(BIO-ENV)均采用PRIMER 5.0软件完成,站位图以及空间分布图采用Surfer 13.0软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成及优势种

本次春、秋季调查共捕获鱼类66种,隶属于11目33科58属。其中,鲈形目(Perciformes)31种,占总种数的46.97%;鲉形目(Scorpaeniformes)和鲽形目(Pleuronectiformes)各10种,分别占15.15%;鲱形目(Clupeiformes)7种,占10.61%;鲀形目(Tetraodontiformes)2种,灯笼鱼目(Myctophiformes)、鳕形目(Gadiformes)、鳐形目(Rajiformes)、鮟鱇目(Lophiiformes)、刺鱼目(Gasterosteiformes)和鳗鲡目(Anguilliformes)各1种。

春季调查共捕获鱼类46种,隶属于8目23科40属。鲈形目为20种,占比43.47%。5种优势种分别为黄鮟鱇(*Lophius litulon*)、方氏云鳚(*Enedrius fangi*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、吉氏绵鳚(*Zoarces gilli*)和黄卿(*Setipinna taty*),其中,黄鮟鱇的渔获重量占比最高,为59.20%(表1)。秋季调查共捕获鱼类52种,隶属于11目29科50属。其中,鲈形目为26种,占比50.00%。5种优势种分别为银鲳(*Pampus argenteus*)、小眼绿鳍鱼(*Chelidonichthys spinosus*)、黄鮟鱇、褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)和许氏平鲉(*Sebastes schlegelii*)(表1)。

## 2.2 鱼类群落站位组划分

根据等级聚类分析的结果,将长山列岛邻近海域春季鱼类群落划分为2个站位组,站位组I包括14个站位,站位组II包括22个站位(图2)。非度量多维标度分析得出,站位组I的相应站位在图2的左侧、站位组II在右侧,分析结果与聚类分析

结果一致,胁迫系数(stress)为0.17,表明该结果的可信性较强(图3)。ANOSIM表明,站位组I与站位组II之间的种类组成差异显著( $R=0.859, P<0.001$ )。

表1 长山列岛邻近海域鱼类群落的优势种及其渔获重量占比

Tab. 1 The dominant species and catch weight percentage of fish community in the adjacent waters of the Changshan Islands

种类 species	春季 spring	秋季 autumn	%
黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	59.20	10.86	
方氏云鳚 <i>Enedrius fangi</i>	9.20		
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	5.58		
吉氏绵鳚 <i>Zoarces gilli</i>	5.25		
黄卿 <i>Setipinna taty</i>	4.96		
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>		24.35	
小眼绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>		13.54	
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>		7.10	
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegelii</i>		7.03	

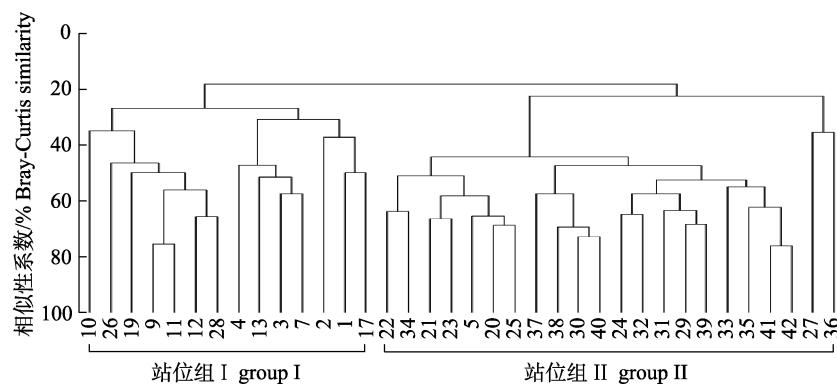


图2 长山列岛邻近海域春季鱼类群落空间结构聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of spatial structure of fish community in spring in the adjacent waters of the Changshan Islands

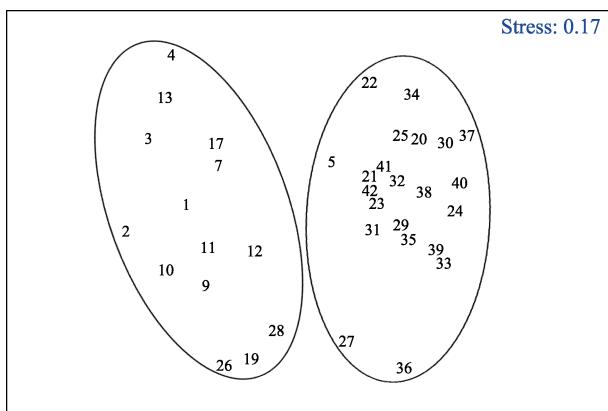


图3 长山列岛邻近海域春季鱼类群落空间结构MDS分析

Fig. 3 MDS analysis of spatial structure of fish community in spring in the adjacent waters of the Changshan Islands

根据等级聚类分析的结果,将长山列岛邻近海域秋季鱼类群落划分为2个站位组,站位组I包括33个站位,站位组II包括7个站位(图4)。非度量多维标度分析得出,站位组I的相应站位在图5的下方、站位组II在上方,胁迫系数(stress)为0.23,其图形不能正确解释群落结构间的关系,应改为用更高维图形表示(图5)。ANOSIM表明,站位组I与站位组II之间的种类组成差异显著( $R=0.649, P<0.001$ )。

## 2.3 鱼类群落空间分布

根据聚类分析和MDS分析的结果,春季鱼类群落可以划分为2个站位组,站位组I基本位于长

山列岛以西海域, 站位组 II 位于长山列岛附近及其东部海域(图 6)。秋季鱼类群落可以划分为 2 个站位

组, 站位组 I 位于远离长山列岛的东部及西部海域, 站位组 II 则围绕长山列岛及东北部深水区分布(图 7)。

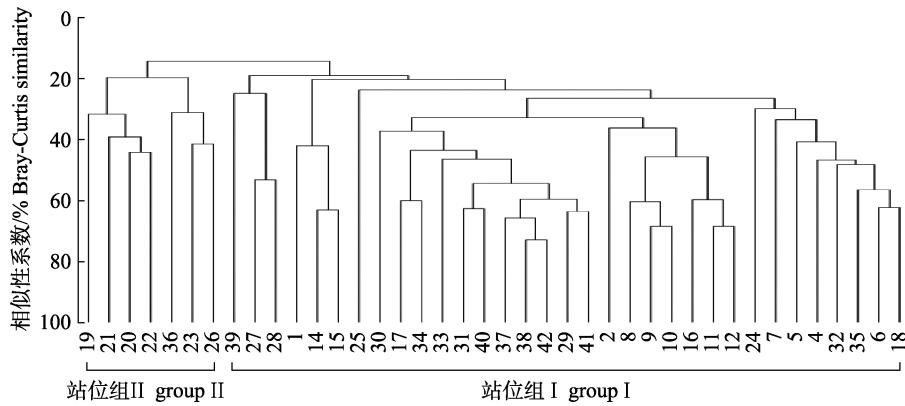


图 4 长山列岛邻近海域秋季鱼类群落聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of fish community in autumn in the adjacent waters of the Changshan Islands

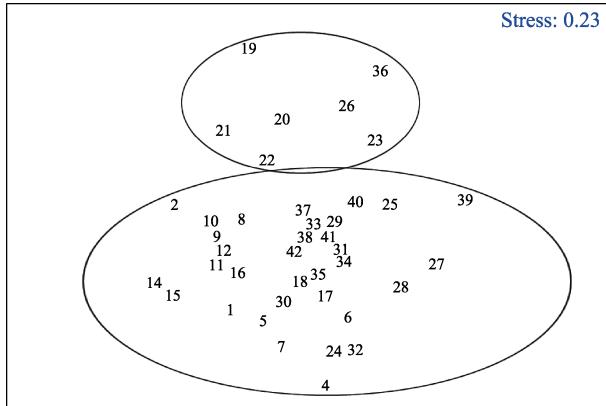


图 5 长山列岛邻近海域秋季鱼类群落空间结构 MDS 分析

Fig. 5 MDS analysis of spatial structure of fish community in autumn in the adjacent waters of the Changshan Islands

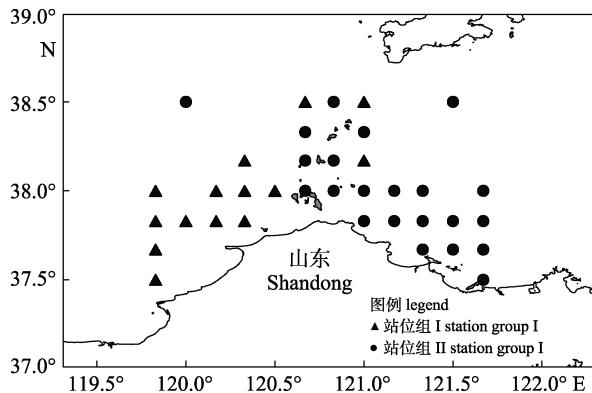


图 6 长山列岛邻近海域春季鱼类群落的空间分布  
Fig. 6 Station groups of fish communities in spring in the adjacent waters of the Changshan Islands

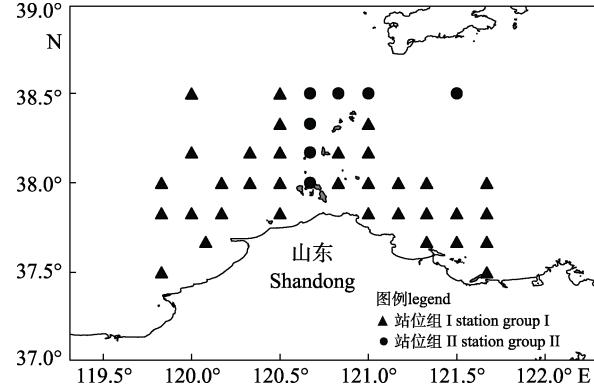


图 7 长山列岛邻近海域秋季鱼类群落的空间分布

Fig. 7 Station groups of fish communities in autumn in the adjacent waters of the Changshan Islands

#### 2.4 典型种及分歧种

长山列岛邻近海域鱼类群落春季站位组 I 与站位组 II 的群落内种类组成平均相似性分别为 28.76% 和 45.81%, 站位组间的相异性为 94.98%。站位组 I 的典型种有 5 种, 为赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)、方氏云鳚、黄卿、矛尾虾虎鱼(*Chasmichthys stigmatias*)和六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaetichthys hexanema*), 对组内相似性贡献合计达 85.87%; 站位组 II 的典型种为黄鮟鱇, 对组内相似性贡献高达 85.09%。站位组间的分歧种为黄鮟鱇和方氏云鳚, 其中黄鮟鱇对群落间相异性贡献率高达 61.49%。秋季站位组 I 与站位组 II 的群落内平均相似性分别为 20.79% 和 10.02%, 站位组间的相异性为 95.00%。站位组 I 的典型种有 6 种,

为长蛇鲻(*Saurida elongata*)、赤鼻棱鳀、鲬(*Platycephalus indicus*)、六丝钝尾虾虎鱼、矛尾虾虎鱼和小眼绿鳍鱼, 对组内相似性贡献合计达79.94%; 站位组Ⅱ的典型种有5种, 包括黄鮟鱇、

小眼绿鳍鱼、矛尾虾虎鱼、褐牙鲆、许氏平鲉, 对组内相似性贡献达68.28%。站位组间的分歧种有8种, 为黄鮟鱇、矛尾虾虎鱼、鲬、长蛇鲻、褐牙鲆、银鲳、斑鰶和许氏平鲉(表2)。

表2 长山列岛邻近海域鱼类群落春、秋季站位组内典型种和组间的分歧种及其贡献率

Tab. 2 Typifying species within station groups/discriminating species between station groups and their contribution percentages in the adjacent waters of the Changshan islands during spring and autumn

种类 species	春季站位组 station group in spring			秋季站位组 station group in autumn			%
	I	II	I & II	I	II	I & II	
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	41.41			14.13			
方氏云鳚 <i>Enedrius fangi</i>	17.96		6.58				
黄卿 <i>Setipinna taty</i>		13.27					
矛尾虾虎鱼 <i>Chaemrichthys stigmatias</i>	7.97			5.17	10.67	11.47	
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaetichthys hexanema</i>	5.26			6.48			
黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>		85.09	61.49		25.3	18.79	
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>				41.28		6.73	
鲬 <i>Platycephalus indicus</i>				7.75			
小眼绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>				5.13	13.5	7.89	
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>					9.47	5.54	
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegelii</i>					9.34	5.17	
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>						5.5	
斑鰶 <i>Konosirus punctatus</i>						5.36	

## 2.5 群落空间结构与环境因子之间的关系

BIO-ENV分析得出不同环境因子与春、秋季鱼类群落空间结构的相关系数(表3)。其中, 与单一环境因子的关系中, 春季鱼类群落空间结构与底温的相关性最好, 底盐次之, 秋季鱼类群落空间结构与水深的相关性最好、底温次之。与多环境因子组合的关系中, 春季鱼类群落空间结构与底温和底盐组合的相关性最好; 秋季鱼类群落空间结构与水深、底温和底盐三者组合的相关性最好。

表3 长山列岛邻近海域不同环境因子及其组合与春、秋季鱼类群落空间结构的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficients between different environmental factors and their combinations and fish communities in the adjacent waters of the Changshan Islands

环境因素 environmental factor	春季 spring	秋季 autumn
水深 depth	0.118	0.415
底温 SBT	0.251	0.336
底盐 SBS	0.207	0.121
水深与底温 depth & SBT	0.179	0.440
水深与底盐 depth & SBS	0.125	0.437
底温与底盐 SBT & SBS	0.264	0.346
水深、底温与底盐 depth, SBT & SBS	0.183	0.446

## 3 讨论

长山列岛邻近海域春、秋两季调查共计捕获鱼类66种, 以鲈形目鱼类为主。在春、秋两季的优势种中, 除黄鮟鱇外多为小型、营养级较低、低龄化的鱼类, 包括小眼绿鳍鱼、方氏云鳚等。与2013—2014年莱州湾及黄河口<sup>[27]</sup>、2006—2007年黄海山东海域<sup>[21]</sup>及2012—2014年夏季渤海<sup>[10]</sup>等邻近海域鱼类群落相比, 优势种组成表现出较强的相似性。

春季站位组Ⅰ基本位于长山列岛以西, 站位组Ⅱ基本位于长山列岛附近及其东部海域。从典型种的生态习性分析, 形成这种空间格局的原因可能是: 广泛分布于渤海内的黄卿、赤鼻棱鳀等个体小、营养层次低、小型鳀鲱科鱼类于5—6月在近岸浅水区产卵<sup>[28]</sup>, 长山列岛西部海域的水深较浅, 为黄卿、赤鼻棱鳀等提供了良好的产卵场所。方氏云鳚于3—5月在此处聚集并形成春季汛期<sup>[29]</sup>, 因此, 在长山列岛以西海域形成了以方氏云鳚、赤鼻棱鳀和黄卿等为主要典型种的站位组

I。长山列岛附近及其东部海域形成了以黄鮟鱇为典型种的站位组 II。

BIO-ENV 分析表明, 春季鱼类群落受到水温的影响较强。长山列岛邻近海域春季底层水温范围较大, 为 7.39~19.66 °C, 表现出明显的西高东低的分布规律。底层水温通过影响黄鮟鱇、赤鼻棱鳀等典型种及分歧种的空间分布进而影响鱼类群落的空间结构。黄鮟鱇、赤鼻棱鳀等鱼种的空间分布差异是造成长山列岛邻近海域春季鱼类群落空间结构异质性的关键因素。在底层水温低于 16 °C 的海域, 由于黄鮟鱇的大量分布, 形成了以其为典型种的站位组 II。在底层水温高于 16 °C 的海域, 黄鮟鱇的相对资源量指数为 0, 而赤鼻棱鳀等鱼类大量分布, 形成了以赤鼻棱鳀、黄鲫等为典型种的站位组 I。这表明, 水温的空间差异导致站位组典型种相对资源量指数的空间差异, 进而影响鱼类群落的空间结构, 使得春季鱼类群落空间格局表现出显著的异质性。

秋季站位组 I 位于远离长山列岛的东部及西部海域, 站位组 II 则围绕长山列岛分布, 鱼类群落受水深和底层水温的影响较大。秋季水深的变化范围为 6.96~50.39 m, 在长山列岛邻近海域的东北部存在明显的深水区; 底温的变化范围为 15.19~20.15 °C, 东北深水区底温最低, 其次为环长山列岛海域, 在远离长山列岛的浅水区底温较高。长蛇鲻、赤鼻棱鳀和矛尾虾虎鱼等典型种的空间分布较为均匀, 这可能是由于以上鱼类均为暖温种<sup>[30]</sup>, 秋季底层水温的变化范围处于其最适水温范围内, 其受底层水温的胁迫并不强。黄鮟鱇主要分布在长山列岛北部深水区, 这与其偏好低温的生态习性相符。褐牙鲆表现出围绕长山列岛岛屿分布的趋势, 围绕长山列岛海底底质多为泥沙质<sup>[31]</sup>, 符合其栖息偏好<sup>[32]</sup>, 这可能是造成其在空间上存在明显差异性分布的重要原因。

长山列岛邻近海域一直受黄海水团和渤海沿岸水团的综合影响且季节变化明显<sup>[16]</sup>。春、秋季两大水团处于强烈的变化时期, 春季渤海沿岸水团逐渐向渤海中央延伸, 秋季主要受偏北风的影响, 渤海沿岸水团逐渐由渤海中部向 20 m 以浅的沿岸浅水域变化<sup>[33]</sup>。长山列岛的水温等理化环境

在这种季节更替变换的水团作用下发生变化, 这也可能是影响春、秋季鱼类群落分布及特征的重要因素。长山列岛海区的海流主要受黄、渤海的交换海流影响, 在渤海海峡地势影响下, 长山列岛邻近海域大致形成了东西方向的往复流, 春、秋季海流的方向变化复杂<sup>[34]</sup>。在这种复杂的海流作用下, 长山列岛海域的鱼类群落呈现出季节变化。本研究仅分析了水深、水温、盐度等对鱼类群落空间结构的影响, 其他因子如 pH、光照、溶解氧浓度、二氧化碳浓度、底质特征等与鱼类群落也有着密切的关系<sup>[35]</sup>, 其具体的影响机制还有待于进一步研究。

总之, 长山列岛邻近海域地处黄渤海两大生态系统的交错带, 春、秋季鱼类群落及其空间格局表现出明显的差异性。春季鱼类群落在水温的驱动下在长山列岛东西两侧海域表现出较强的异质性, 站位组的分布在空间格局上存在明显的地理位置边界。秋季鱼类群落受水深及底温的影响较大, 秋季各站位组 II 的典型种多环绕岛屿分布, 因此秋季鱼类群落表现出环长山列岛和远离长山列岛的差异性分布。

## 参考文献:

- [1] Ren Y P. Fishery Resource Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020. [任一平. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.]
- [2] Cheng J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1): 29-34. [程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.]
- [3] Mei C, Xu B D, Xue Y, et al. Fish community structure and species diversity during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 110-118. [梅春, 徐宾铎, 薛莹, 等. 胶州湾中部海域秋、冬季鱼类群落结构及其多样性研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 110-118.]
- [4] Sánchez-Caballero C A, Borges-Souza J M, De La Cruz-Agüero G, et al. Links between fish community structure and habitat complexity of a rocky reef in the Gulf of California threatened by development: Implications for mitigation measures[J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 137: 96-106.

- [5] Wang J, Zhang C L, Xue Y, et al. Taxonomic diversity of fish community in the Yellow River Estuary[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(4): 86-95. [王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口鱼类群落分类学多样性的研究[J]. 海洋学报, 2018, 40(4): 86-95.]
- [6] Li Y J, Chen Z Z, Zhang J, et al. Species and taxonomic diversity of Qilianyu Island reef fish in the Xisha Islands[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(7): 815-823. [李媛洁, 陈作志, 张俊, 等. 西沙群岛七连屿礁栖鱼类物种和分类多样性[J]. 中国水产科学, 2020, 27(7): 815-823.]
- [7] Zhang X Z, Wang J, Xu B D, et al. Spatio-temporal variations of functional diversity of fish communities in Haizhou Bay[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(9): 3233-3244. [张晓妆, 王晶, 徐宾铎, 等. 海州湾鱼类群落功能多样性的时空变化[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3233-3244.]
- [8] Zhu X H, Yang J M, Tang Q S. Study on characteristics of fish community structure in Bohai Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1996, 27(1): 6-13. [朱鑫华, 杨纪明, 唐启升. 渤海鱼类群落结构特征的研究[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(1): 6-13.]
- [9] Xu B D, Jin X S, Liang Z L. Changes of demersal fish community structure in the Yellow Sea during the autumn[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(2): 148-154. [徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 秋季黄海底层鱼类群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 148-154.]
- [10] Li Z Y, Wu Q, Shan X J, et al. Interannual variations in fish community structure in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 403-413. [李忠义, 吴强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构的年际变化[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 403-413.]
- [11] 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. [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.]
- [12] Zeng J W, Lin K, Wang X F, et al. Fish community structure and its relationship with environmental factors in Leizhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 108-117. [曾嘉维, 林坤, 王学锋, 等. 雷州湾附近海域鱼类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 108-117.]
- [13] Sarkar B, Islam A. Drivers of water pollution and evaluating its ecological stress with special reference to macrovertebrates (fish community structure): A case of Churni River, India[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, 192(1): 45.
- [14] 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. [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.]
- [15] Compilation Committee of China Island Chronicles. *China Island Chronicles. Shandong Volume, Volume 1, Northern Coast of Shandong Province*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013: 33-35. [《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志. 山东卷. 第1册, 山东北部沿岸[M]. 北京: 海洋出版社, 2013: 33-35.]
- [16] Zheng D, Zhang R A. Analysis of spring water masses in the sea area off Yantai, Weihai and Shidao[J]. *Marine Science Bulletin*, 1983, 2(1): 61-68. [郑东, 张瑞安. 烟威及石岛近海春季水团分析[J]. 海洋通报, 1983, 2(1): 61-68.]
- [17] Yu F, Zhang Z X, Diao X Y, et al. Analysis of evolution of the Huanghai Sea Cold Water Mass and its relationship with adjacent water masses[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(5): 26-34. [于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. 海洋学报, 2006, 28(5): 26-34.]
- [18] Shi Q. Spatio-temporal modes and circulation variation on the interannual variation of seasonal Mean wind-driven current field in the Bohai Sea and Yellow Sea in winter and summer[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2019, 38(1): 93-108. [石强. 渤、黄海冬、夏季节风生流场年际变化时空模态与环流变异[J]. 应用海洋学报, 2019, 38(1): 93-108.]
- [19] Shi Q. Spatio-temporal modes and variation on the seasonal cycle of wind-driven current field in the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2018, 37(4): 480-495. [石强. 渤、黄海风生流场季节循环时空模态与变异[J]. 应用海洋学报, 2018, 37(4): 480-495.]
- [20] Chen X J. *Fishery Resources and Fishery Oceanography*[M]. 2nd ed. Beijing: China Ocean Press, 2014. [陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 第2版. 北京: 海洋出版社, 2014.]
- [21] Lyu Z B, Li F, Xu B Q, et al. Fish community diversity during spring and autumn in the Yellow Sea off the coast of Shandong[J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(2): 207-214. [吕振波, 李凡, 徐炳庆, 等. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落多样性[J]. 生物多样性, 2012, 20(2): 207-214.]
- [22] Zhang C L, Cheng Q T, Zheng B S, et al. *A Survey of Fishes in the Yellow Sea and Bohai Sea*[M]. Beijing: Science Press, 1955: 1-8. [张春霖, 成庆泰, 郑葆珊, 等. 黄渤海鱼类调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 1955: 1-8.]

- [23] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T12763.6-2007 Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2007. [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/T12763.6-2007 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.]
- [24] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 92: 205-219.
- [25] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [26] Clarke K R, Warwick R M, Britain P M L. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory, 1994.
- [27] Sun P F, Shan X J, Wu Q, et al. Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(2): 367-376. [孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 等. 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 367-376.]
- [28] Cheng Q T, Zhou C W. The Fishes of Shandong Province[M]. Jinan: Shandong Science & Technology Press, 1997. [成庆泰, 周才武. 山东鱼类志[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1997.]
- [29] Bi Y P. Biology and its fishery of Fang's blenny *Enedrias fungi* Wang et Wang in offshore in Liaoning Province[J]. *Fisheries Science*, 2005, 24(9): 27-28. [毕远溥. 方氏云鳚渔业生物学及其在辽宁沿海的渔业[J]. 水产科学, 2005, 24(9): 27-28.]
- [30] Shui B N, Zhao S L, Han Z Q. Ichthyology[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2015. [水柏年, 赵盛龙, 韩志强. 鱼类学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2015.]
- [31] Shi X F. China's Offshore Seas—Marine Sediment[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014. [石学法. 中国近海海洋——海洋底质[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.]
- [32] Li M D. The Ecology of Economic Fishes in China[M]. 2nd ed. Tianjin: Tianjin Scientific & Technical Publishers, 2012. [李明德. 中国经济鱼类生态学[M]. 第 2 版. 天津: 天津科学技术出版社, 2012.]
- [33] Li R S, Zhao S L. Marine Resources and Environment in Shandong Province[M]. Beijing: Ocean Press, 2002. [李荣升, 赵善伦. 山东海洋资源与环境[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.]
- [34] Zhang Z X, Qiao F L, Guo J S, et al. Seasonal variation of coastal water movement in the southern Bohai Sea and water exchange between the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2010, 28(2): 142-148. [张志欣, 乔方利, 郭景松, 等. 渤海南部沿岸水运移及渤海海水体交换的季节变化[J]. 海洋科学进展, 2010, 28(2): 142-148.]
- [35] 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. [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.]

## Fish community structure in spring and autumn in the adjacent waters of the Changshan Islands

ZOU Jianyu<sup>1</sup>, ZHANG Chongliang<sup>1,2,3</sup>, WANG Ximing<sup>4</sup>, XUE Ying<sup>1,2,3</sup>, JI Yupeng<sup>1,3</sup>, REN Yiping<sup>1,2,3</sup>, XU Binduo<sup>1,2,3</sup>

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China;
3. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China;
4. Service Center of Qingdao Landscape and Forestry Bureau, Qingdao 266001, China

**Abstract:** To understand the spatial pattern of fish communities in the adjacent waters of the Changshan Islands in spring and autumn, the spatial structure of fish communities and its relationship with environmental factors in spring and autumn were examined using multivariate statistical analysis, including cluster analysis and MDS, based on data collected from surveys in October 2016 and May 2017. There were 66 species of fish captured in this sea area, belonging to 58 genera, 33 families, and 11 orders, including 46 species in spring and 52 species in autumn, all of which were dominated by Perciformes. The dominant species of fish communities in spring were *Enedriias fangi*, *Lophius litulon*, and *Thryssa kammalensis*. The fish community in spring was divided into two station groups. Station group I was located to the west of the Changshan Islands, and station group II was located in the Changshan Islands and its eastern waters. The bottom water temperature was the main environmental factor affecting the spatial structure of the fish community in spring. The main typifying species in each station group, such as *Lophius litulon* and *Thryssa kammalensis*, had apparently different spatial distribution patterns. The dominant species of fish communities in autumn were *Chelidonichthys spinosus*, *Lophius litulon*, and *Paralichthys olivaceus*. The fish community in autumn was divided into two station groups. Station group I was located in the eastern and western waters off the Changshan Islands, and station group II was distributed around the Changshan Islands. Water depth and bottom water temperature were the main environmental factors affecting the spatial structure of the fish community in autumn. The main typifying species, such as *Lophius litulon*, *Paralichthys olivaceus*, and *Sebastes schlegelii*, were mainly distributed around the Changshan Islands. In summary, driven by water temperature, the spatial distribution of typifying species in fish communities during spring was different, and the spatial structure of fish communities showed strong heterogeneity. The spatial pattern of the fish community showed two station groups that are around and off the islands because of the difference in spatial distributions of the main typifying species in autumn.

**Key words:** fish community; spatial structure; environmental factors; Changshan Islands

**Corresponding author:** XU Binduo. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn