

DOI: 10.12264/JFSC2020-0319

厦门湾春、秋季鱼类群落结构及其多样性

魏观渊, 黄桂芳

福建省水产研究所, 福建 厦门 361000

摘要: 根据 2016 年春、秋季在厦门湾海域进行的渔业资源底拖网调查, 使用种类组成更替率、相对重要性指数、相对资源量指数、物种多样性指数和多元统计分析等指标及方法对该海域鱼类种类组成、群落结构和多样性进行研究。结果表明, 厦门湾海域春、秋季共捕获鱼类 100 种, 隶属于 2 纲 13 目 46 科 74 属; 湾内鱼类春、秋季种类组成更替率为 59.60%, 优势种组成的变化主要由鱼类洄游导致, 短吻鲷(*Leiognathus brevirostris*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)和孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*)为春、秋季共有优势种; 春季平均网获质量和平均网获数量分别为 1744.24 g/h 和 160.51 ind/h, 秋季分别为 3086.18 g/h 和 153.30 ind/h, 鱼类相对资源量存在明显的季节变化; Margalef 种类丰富度指数(D)变化范围为 0.46~4.07, Shannon-Wiener 多样性指数(H')变化范围为 0.61~2.73, Pielou 均匀度指数(J')变化范围为 0.44~0.89; Pielou 均匀度指数(J')春季高于秋季, Margalef 种类丰富度指数(D)和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')秋季高于春季; 等级聚类(CLUSTER)和非度量多维尺度分析(NMDS)表明, 春、秋季厦门湾鱼类群落均可大致划分为东北部和南部两个站位组群。厦门湾春、秋季鱼类群落空间结构具有明显季节差异。

关键词: 厦门湾; 鱼类群落结构; 物种多样性; 季节变化

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)08-1060-09

厦门湾位于福建省东南部, 北回归线附近, 是典型的亚热带半封闭型港湾, 主要受黑潮、南海暖流、闽浙沿岸水和西侧九龙江口径流的影响, 外有金门诸岛、大小担岛, 与台湾海峡相望, 岸线曲折, 地形复杂, 具有湾中有湾、湾中有岛的海岸地貌特征^[1]。厦门湾为地理位置优越的天然良港, 地处厦门珍稀海洋物种国家级自然保护区, 还是我国传统的定置网和流刺网作业海区, 鱼类生物资源十分丰富^[2-3]。由于其重要的社会价值、生态价值和经济价值, 已有多位学者对该海域二氧化碳及其生物生产力、浮游植物变化情况、水体富营养程度、水质状况、鱼类资源量等方面进行了研究^[3-9]。

近年来, 随着沿岸城市人口增加、经济发展, 厦门湾及其邻近海域的环境污染压力逐渐增大, 近岸水体营养盐和浮游植物含量较高, 若引起赤潮, 将会对海洋生态系统健康造成不利影响^[5]。高

强度的捕捞活动同样威胁着厦门湾鱼类资源的可持续利用, 有研究发现厦门东海域鱼类总渔获量已经远远超过其最大可捕量, 且与历史总名录相比, 厦门海域的鱼类群落分类学范围较小, 生态幅变窄, 群落稳定性较差, 厦门湾鱼类资源迫切需要加强保护和管理^[3,10]。

因此, 本研究根据 2016 年春、秋季在厦门湾北部同安湾海域、东部海域和南部海域进行的渔业资源底拖网调查, 使用种类组成更替率、相对重要性指数、相对资源量指数、生态多样性指数和多元统计分析等方法对厦门湾海域鱼类群落的群落结构及多样性进行研究, 旨在为该海域鱼类资源的合理开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究数据来源于 2016 年春(4 月)、秋(10 月)

收稿日期: 2020-09-27; 修订日期: 2020-11-18.

基金项目: 国家重点研发计划专项(2018YFC1406302).

作者简介: 魏观渊(1976-), 男, 助理研究员, 主要从事海洋渔业科学与技术研究. E-mail: 172600581@qq.com

季在厦门湾海域(包括北部同安湾海域、东部海域和南部海域)进行的渔业资源底拖网调查。调查共设置 18 个站位, 调查海域范围为 $24^{\circ}21'36''\sim 24^{\circ}36'36''\text{N}$, $118^{\circ}4'48''\sim 118^{\circ}15'36''\text{E}$ 。

厦门湾海域渔业资源底拖网调查的具体站位如图 1 所示。调查船只为功率 110 kW 的单拖渔船, 吨位为 107 t, 预设每站拖网时间 1 h, 拖速 2 kn。拖网时网口水平扩张宽度约为 27 m, 囊网网目尺寸为 30 mm。根据《海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)^[11]对鱼类进行取样、保存和分析处理, 参照《中国海洋鱼类》^[12]将各站渔获物均鉴定到种。各调查站位的相对资源量标准化为拖网时间 1 h 拖速 2 kn 的单位网次渔获量。

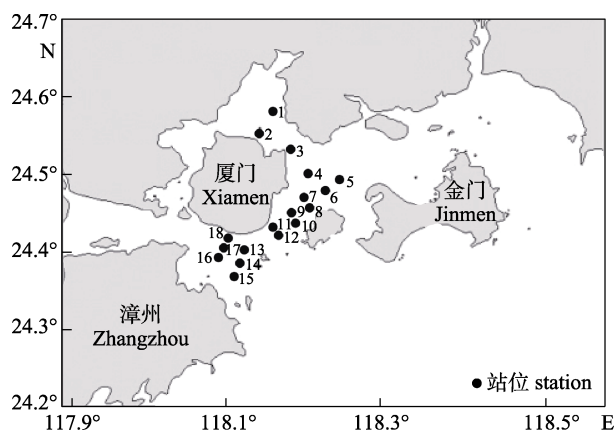


图 1 2016 年厦门湾海域渔业资源底拖网调查站位

Fig. 1 The sampling stations of bottom trawl survey for fishery resources in the Xiamen Bay in 2016

1.2 数据分析方法

1.2.1 种类组成和优势种 使用种类组成更替率^[13]来衡量厦门湾春、秋季渔获种类组成的季节变化, 其公式为:

$$A = \frac{C}{C + S} \times 100\%$$

式中, C 为秋季增加及减少物种数, S 为春、秋季共有物种数, 更替率 A 表示春、秋季鱼类群落种类组成的更替情况。

根据 Pinkas 等^[14]提出的相对重要性指数(index of relative importance, IRI), 确定厦门湾海域鱼类群落春、秋季鱼类优势度, 其公式为:

$$\text{IRI} = (N + W)F$$

式中, N 表示数量百分比, 为某个种类的尾数在总渔获尾数中所占的百分比; W 表示质量百分比, 为某个种类的渔获质量在总渔获量中所占的百分比; F 表示出现频率, 为某个种类在调查总站位数中出现的频率。将 IRI 值大于 500 的种定为优势种^[13]。

1.2.2 生态多样性指数 采用 Margalef 种类丰富度指数(D)^[15]、Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[16]和 Pielou 均匀度指数(J')^[17]来研究厦门湾鱼类群落的物种多样性。由于种间和种内的个体差异大, Wilhm^[18]提出用重量表示的多样性更接近种类间数量的分布; 沈国英等^[19]也提出, 因鱼类个体差异大, 重量比尾数更适合用于计算生物多样性。

Margalef 种类丰富度指数:

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

Shannon-Wiener 多样性指数:

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

Pielou 均匀度指数:

$$J' = H' / \ln S$$

式中, S 为调查所获鱼类种数, W 为该调查总渔获重量, P_i 为第 i 种重量占总渔获重量的比例。

1.2.3 群落空间结构 对“种类×站位”单位网次渔获重量数据进行平方根转换, 计算不同站位之间种类组成的 Bray-Curtis 相似性系数, 得到相似性矩阵; 基于此, 应用等级聚类(CLUSTER)和非度量多维尺度分析(NMDS)划分站位组, 分析该海域鱼类群落空间结构。使用胁迫系数(stress)衡量 NMDS 二维点阵分布图效果, 通常认为 $\text{stress} < 0.05$ 时, 具有很好的代表性; $0.05 \leq \text{stress} < 0.1$ 时, 结果基本可信; $0.1 \leq \text{stress} < 0.2$ 时, 具有一定解释意义^[20]。应用单因子相似性分析(ANOSIM)研究春、秋季不同站位组群落结构差异的显著性。应用相似性百分比分析(SIMPER)研究造成各站位组内种类组成相似的典型种和造成组间种类组成差异的分歧种, 以及各鱼种对站位组内相似性和组间相异性的贡献百分比^[20]。上述分析使用 PRIMER 5 软件进行。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2016 年春、秋季在厦门湾海域进行的底拖网调查共捕获鱼类 100 种, 隶属于 2 纲 13 目 46 科 74 属。其中, 辐鳍鱼纲共 89 种, 以鲈形目鱼类最

多, 有 44 种; 软骨鱼纲 11 种。春季共捕获鱼类 61 种, 隶属于 2 纲 11 目 25 科 47 属; 秋季共捕获鱼类 79 种, 隶属于 2 纲 13 目 35 科 58 属。秋季增加的种类主要为鲈形目(表 1)。

秋季增加及减少物种数为 59 种, 春、秋季共有物种数为 40 种, 种类组成更替率为 59.60%。

表 1 2016 年厦门湾春、秋季鱼类分类学组成
Tab. 1 Taxonomic composition of fish species in the Xiamen Bay in spring and autumn in 2016

纲 class	目 order	种类数 species number	
		春季 spring	秋季 autumn
软骨鱼纲 Chondrichthyes	须鲨目 Orectolobiformes	1	1
	鳐形目 Rajiformes	4	2
	鲼形目 Myliobatiformes	2	5
辐鳍鱼纲 Actinopterygii	鳗鲡目 Anguilliformes	2	2
	鲱形目 Clupeiformes	7	7
	仙女鱼目 Aulopiformes	2	2
	鲉形目 Scorpaeniformes	7	7
	海蛾目 Pegasiformes	1	1
	鲇形目 Siluriformes	0	1
	鲮形目 Mugiliformes	0	1
	鲈形目 Perciformes	24	39
	鲹形目 Pleuronectiformes	8	6
	鲳形目 Tetraodontiformes	3	5

2.2 优势种

春、秋季优势种组成存在差异。春季优势种为日本红娘鱼(*Lepidotrigla japonica*)、短吻鲷(*Leiognathus brevirostris*)、凤鲙(*Coilia mystus*)、皮氏叫姑鱼、角木叶鲷(*Pleuronichthys cornutus*)、

条纹斑竹鲨(*Chiloscyllium plagiosum*)和孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*); 秋季优势种为斑鲹(*Konosirus punctatus*)、孔虾虎鱼、短吻鲷和皮氏叫姑鱼。春、秋两季的共有优势种 3 种, 即短吻鲷、皮氏叫姑鱼和孔虾虎鱼(表 2)。

表 2 2016 年厦门湾春、秋季鱼类群落优势种
Tab. 2 The dominant species of fish community in the Xiamen Bay in spring and autumn in 2016

季节 season	种名 species	重量百分比/% percentage in weight	数量百分比/% percentage in abundance	出现频率/% occurring frequency	相对重要性指数 IRI
春季 spring	日本红娘鱼 <i>Lepidotrigla japonica</i>	5.30	37.54	61.11	2618.11
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	9.64	11.13	83.33	1730.73
	凤鲙 <i>Coilia mystus</i>	11.67	8.29	61.11	1219.69
	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	8.39	4.68	77.78	1016.96
	角木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	5.09	11.70	50.00	839.42
	条纹斑竹鲨 <i>Chiloscyllium plagiosum</i>	10.65	1.52	44.44	541.18
	孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	3.36	3.12	83.33	540.31
秋季 autumn	斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	36.46	24.65	55.56	3395.28
	孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	4.83	7.90	94.44	1201.96
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	4.94	8.41	77.78	1038.59
	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	4.72	5.58	88.89	916.07

2.3 相对资源量

采用平均网获重量(kg/h)和平均网获数量(ind/h)分别研究调查海区鱼类相对资源量的季节变化。厦门湾海域春、秋季鱼类相对资源量的季节变化明显。春季平均网获重量为 1744.24 g/h, 平均网获尾数为 160.51 ind/h; 秋季平均网获重量为 3086.18 g/h, 平均网获尾数为 153.30 ind/h。

2.4 物种多样性

厦门湾海域春、秋季鱼类群落不同站位的 Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J')的变化范围和平均值如表 3 所示。其中, 春季 Shannon-Wiener 多样性指数(H')在 17 号站位最低, 整个调查海区鱼类群落 Margalef 种类丰富度指数(D)和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')秋季高于春季, Pielou 均匀度指数(J')春季高于秋季。

厦门湾海域鱼类群落生物多样性指数也呈现一定的空间结构。春季, Margalef 种类丰富度指数(D)和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')在东北部海域(站位 1~12)高于南部海域(站位 13~18), 两种指数的最低值均出现在 17 站位, 分别为 0.458 和

0.607; Pielou 均匀度指数(J')未表现出明显的空间差异; 秋季, Margalef 种类丰富度指数(D)在东北部海域高于南部海域, Shannon-Wiener 多样性指数(H')东北部海域则略低于南部海域, Pielou 均匀度指数(J')东北部海域低于南部海域, 原因是 1、2、3 站位该指数均小于 0.3。

2.5 群落空间结构

等级聚类(Cluster)和非度量多维尺度分析(NMDS)结果表明, 厦门湾海域春、秋季鱼类群落均呈现明显的空间结构(图 2)。春季调查海域鱼类群落出现 2 组相似度较大的站位组群(图 3), I 组群包括 1、2、3、4、5、6、7、9、10、11、12 号站位, II 组群包括 13、14、15、16、17、18 号站位。I 组群站位主要位于东北部海域, II 组群站位主要位于南部海域。秋季, 出现两组相似度较大的站位组群, I 组群包括 1、2、3、4、5、6、12、13 号站位, II 组群包括 8、9、10、11、14、15、16、17、18 号站位。单因子相似性分析(ANOSIM)分析表明, 厦门湾春、秋季鱼类群落不同站位组群间的种类组成差异均极显著($P<0.01$), 两个季节鱼类群落空间结构的胁迫系数(stress)分别为 0.16

表 3 2016 年厦门湾春、秋季鱼类群落物种多样性指数的变化
Tab. 3 Changes of species diversity indices of fish community in the Xiamen Bay in spring and autumn in 2016

季节 season	Margalef 种类丰富度指数(D)		Shannon-Wiener 多样性指数(H')		Pielou 均匀度指数(J')	
	范围 range	平均值 average	范围 range	平均值 average	范围 range	平均值 average
春季 spring	0.46–2.77	1.81	0.61–2.64	1.86	0.44–0.88	0.71
秋季 autumn	1.61–4.07	2.60	0.58–2.73	1.94	0.19–0.89	0.64

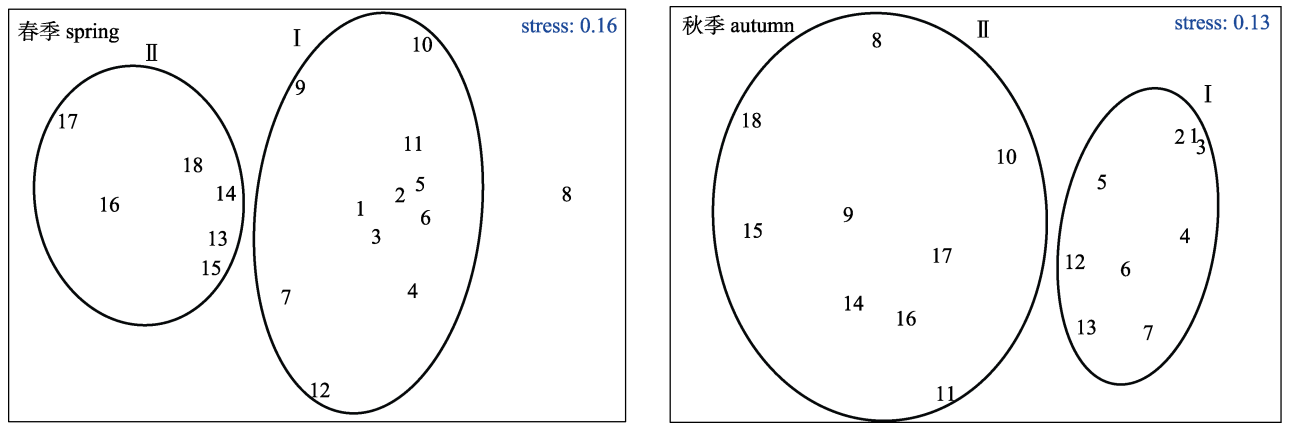


图 2 2016 年厦门湾春、秋季各站位鱼类群落 NMDS 排序图
Fig. 2 NMDS analysis of fish community in different stations in the Xiamen Bay in spring and autumn in 2016

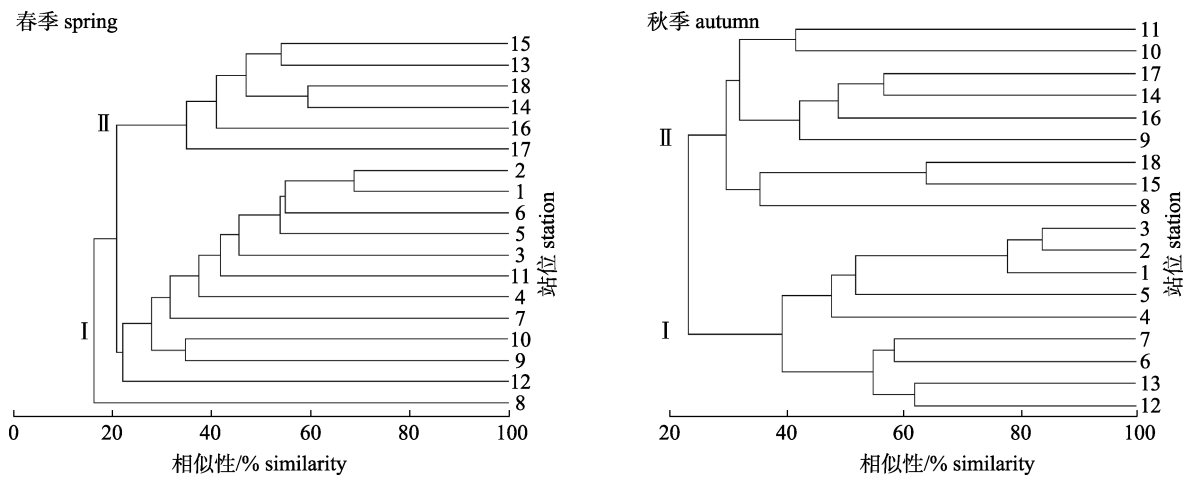


图 3 2016 年厦门湾春、秋季各站位鱼类群落聚类分析图

Fig. 3 Cluster analysis of fish community in different stations in the Xiamen Bay in the spring and autumn in 2016

和 0.13, NMDS 分析结果基本可信(图 3)。

厦门湾春季鱼类群落组内典型种和组间分歧种及其贡献百分比如表 4 所示, 其中 I 组群典型种主要包括何氏鲯(*Raja hollandi*)、日本红娘鱼、孔虾虎鱼和皮氏叫姑鱼等, II 组群典型种主要为

条纹斑竹鲨、凤鲚和皮氏叫姑鱼等, 共有典型种为皮氏叫姑鱼和短吻鲷, 组间分歧种依次为条纹斑竹鲨、凤鲚、皮氏叫姑鱼、何氏鲯和大鳞舌鲷(*Cynoglossus melampetalus*), 组间相异性累计贡献百分比为 52.68%。

表 4 2016 年厦门湾海域鱼类群落春季组内典型种和组间分歧种及其贡献百分比(>5%)

Tab. 4 Typical species within groups and discriminating species between groups and their contribution percentage for fish community in the Xiamen Bay in spring (>5%) in 2016

种名 species	组内典型种 typifying species within groups		组间分歧种 discriminating species between groups
	I 组群 group I	II 组群 group II	
何氏鲯 <i>Raja hollandi</i>	15.16		8.37
日本红娘鱼 <i>Lepidotrigla japonica</i>	12.75		
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	11.45		
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	11.03	13.22	8.43
大鳞舌鲷 <i>Cynoglossus melampetalus</i>	9.9		
短吻鲷 <i>Leiognathus brevisrostris</i>	7.75	6.19	6.29
角木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	7.18		
条纹斑竹鲨 <i>Chiloscyllium plagiosum</i>		37.43	14.86
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>		32.78	14.74
合计 total	75.23	89.62	52.68

厦门湾秋季鱼类群落组内典型种和组间分歧种及其贡献百分比如表 5 所示, I 组群和 II 组群的典型种完全不同, I 组群的典型种主要为斑鲷、孔虾虎鱼、勒氏短须石首鱼等, II 组群典型种主要包括条纹斑竹鲨、尖嘴鲷和皮氏叫姑鱼等; I 组群和 II 组群间的分歧种依次为斑鲷、尖嘴鲷(*Dasyatis zugei*)、短吻鲷、孔虾虎鱼和条纹斑竹鲨, 组间相异性累计贡献百分比为 55.77%。

3 讨论

厦门湾海域鱼类种类丰富, 历史上有记录的鱼类高达 649 种, 隶属于 2 纲 33 目 142 科 358 属^[21]。黄良敏等^[10]2013 年研究发现厦门海域现有鱼类有 331 种。本研究发现, 2016 春、秋季在厦门湾海域的底拖网调查共捕获鱼类 100 种, 隶属于 2 纲 13 目 46 科 74 属。与历史总名录相比, 软骨鱼类

表 5 2016 年厦门湾海域鱼类群落秋季组内典型种和组间分歧种及其贡献率(>5%)
Tab. 5 Typfying species within groups and discriminating species between groups and their contribution percentage (>5%) for fish community in the Xiamen Bay in autumn in 2016

种名 species	组内典型种贡献百分比 typifying species within groups		组间分歧种 discriminating species between groups
	I 组群 group I	II 组群 group II	
斑鲙 <i>Konosirus punctatus</i>	40.31		31.29
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	11.96		5.54
勒氏短须石首鱼 <i>Umbrina russelli</i>	8.55		
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	7.88		5.86
鲷 <i>Ilisha elongata</i>	6.5		
条纹斑竹鲨 <i>Chiloscyllium plagiosum</i>		20.64	5.27
尖嘴鲷 <i>Dasyatis zugei</i>		20.13	7.79
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>		16.27	
凤鲷 <i>Coilia mystus</i>		8.31	
龙头鱼 <i>Harpodon neherus</i>		5.38	
合计 total	75.2	70.73	55.77

中如虎鲨目、真鲨目的一些大型种类消失, 鲭形目鱼类种类数量减少, 鲈形目中的鲈科和虾虎鱼科等以及鲉形目、鲷形目、鲱形目等暖水性小型鱼类种类数量增多。鱼类种类数量降低的原因一方面是本次调查区域仅限于厦门湾的南部、东部和北部海域, 与以往研究相比缺少西部海域和九龙江口区域; 另一方面是该调查仅有春、秋季两个航次, 时间覆盖面小于历史研究的全年调查; 此外, 多年来在厦门湾海域的高强度捕捞活动以及水体富营养化破坏了海洋生态环境和鱼类栖息地^[5,8-9], 这在一定程度上也导致了厦门湾鱼类种类数量的减少。

厦门湾春季鱼类 61 种, 隶属于 2 纲 11 目 25 科 47 属, 秋季鱼类 79 种, 隶属于 2 纲 13 目 35 科 58 属。根据春、秋季航次同步调查的水文数据, 春季表、底层平均水温分别为 20.63 ℃ 和 19.81 ℃, 秋季湾表、底层平均水温分别为 23.89 ℃ 和 23.91 ℃, 该海域鱼类主要为暖温性和暖水性种类, 符合亚热带海域特征^[3]。厦门湾鱼类群落春、秋季种类组成更替率为 59.60%, 湾内鱼类具有明显的季节洄游特性。春、秋季共有优势种为短吻鲷、皮氏叫姑鱼和孔虾虎鱼 3 种。秋季, 斑鲙等体型较小的鱼类为季节优势种, 厦门湾鱼类群落优势种总体出现小型化、低营养化的现象。

厦门湾海域的相对资源量(平均网获尾数和

平均网获重量)随季节变化明显, 平均网获尾数表现为春季高, 秋季低; 平均网获重量表现为春季低, 秋季高。结合水文调查数据发现, 季节间的渔获重量与水温有关, 随着春季东北季风衰退, 水温回升, 部分洄游种类进入海湾产卵繁殖^[3,10]; 夏、秋季水温持续升高, 闽浙沿岸水减弱, 黑潮和南海暖流势力增强, 九龙江径流带来丰富的营养物质^[3, 21-22], 鱼类开始索饵、生长、发育, 个体明显增大, 导致秋季平均网获重量较高而平均网获尾数较低。

通过厦门湾海域鱼类生物多样性分析结果可以看出, 调查海域 Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')均表现为秋季高于春季, 而 Pielou 均匀度指数(J')则为春季高于秋季。造成该结果的原因是, 与秋季鱼类群落相比春季鱼类群落中优势种的数量更多, 同时优势种与非优势种的生物量差距更小。相对于黄、渤海海域而言, 厦门湾鱼类群落种类丰富度较高^[23-27], 可能由于厦门湾海域处于亚热带, 常年水温均偏高, 即使是冬、春季该海域生态环境仍适合较多鱼类种类生存^[7]。春季调查海域 17 号站位仅出现 4 种鱼类且生物量分布不均匀, 导致其 Shannon-Wiener 多样性指数(H')最低, 其余站位物种数均在 8 种以上。

鱼类群落结构与海洋水文环境的变化密切相

关,一般来说,温度、盐度、水深等环境因子都是导致群落结构呈现出一定时空格局的主要因素^[25-28]。厦门湾海域 18 个站位群落聚类分析和非度量多维尺度分析结果表明,春季鱼类群落聚类为 2 个组群,春季 I 组群主要分布在厦门湾北部和东部海域,水深较浅,II 组群站位位于厦门湾南部海域,受九龙江入海径流影响较大,水深较深^[1,18-19];秋季鱼类群落也可聚类为两个组群,与春季两个组群的分布类似。由此可见,厦门湾鱼类群落大致可划分为东北部和南部两个组群,但秋季鱼类群落空间划分界限与春季相比较模糊,这种空间结构可能是由水温、水深、径流等水文因素和鱼类洄游导致的鱼类分布季节性差异导致的。相似性百分比分析表明,春季凤鲚对 II 组群的相似性贡献百分比达 32.78%,这可能是因为春季凤鲚开始由咸水区洄游至淡水区产卵^[29]。

根据 2016 年春、秋季厦门湾及其邻近海域渔业资源底拖网调查资料,本研究发现厦门湾春季渔获个体平均重量仅为 10.87 g,这可能与渔获个体中当年生幼鱼占优势有关。湾内鱼类呈现小型化和低营养级化趋势,鱼类相对资源量和群落生态多样性指数存在季节差异,群落空间结构明显。本研究可为保护厦门湾海域鱼类群落多样性,制定厦门湾鱼类资源开发利用管理措施提供了基础资料。

参考文献:

- [1] Bao J J. Study on topography and geomorphology of Xiamen Bay and its adjacent regions[D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2011. [鲍晶晶. 厦门湾及邻近海域地形地貌研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2011.]
- [2] Yu Z P, Yu J. Study on value assessment of rare and endangered species in marine reserve: A case of the Xiamen rare marine species national nature reserve[J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(1): 81-86. [于志鹏, 余静. 海洋保护区珍稀濒危物种价值评估研究——以厦门海洋珍稀物种国家级自然保护区为例[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(1): 81-86.]
- [3] Zhang Y Z, Huang L M. A study on fish species diversity and community structure in eastern waters of Xiamen[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 28(2): 66-76. [张雅芝, 黄良敏. 厦门东海域鱼类的群落结构及种类多样性研究[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(2): 66-76.]
- [4] Zhang Y H, Chen G X. Carbon dioxide changes and biological production in Xiamen waters[J]. Marine Science Bulletin, 2000, 19(2): 30-35. [张远辉, 陈国祥. 厦门海域二氧化碳及其生物生产力的估算[J]. 海洋通报, 2000, 19(2): 30-35.]
- [5] Yang B C, Chen Z F, Dai H, et al. Distribution status and water quality of phytoplankton in Xiamen Bay[J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(9): 88-93. [杨毕铨, 陈章飞, 戴红, 等. 厦门湾浮游植物分布现状和水质状况评价[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(9): 88-93.]
- [6] Li Q S, Jiang J L, Wang C, et al. Spatial variability of the main contaminations in seawater environment in Xiamen Bay[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(3): 372-377. [李青生, 蒋金龙, 王翠, 等. 厦门湾海域主要水环境污染空间分异特征[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(3): 372-377.]
- [7] Jiang R G. Analysis and assessment on the characteristics of eutrophication in the Xiamen Bay and its adjacent coastal waters[D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2014. [蒋荣根. 厦门湾及其邻近海域富营养化特征分析与评价[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2014.]
- [8] Chen P, Fu S F, Wen C X, et al. Assessment of impact on coastal wetland of Xiamen Bay and response of landscape pattern from human disturbance from 1989 to 2010[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(2): 167-174. [陈鹏, 傅世锋, 文超祥, 等. 1989—2010 年间厦门湾滨海湿地人为干扰影响评价及景观响应[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(2): 167-174.]
- [9] Xie S Y. Land reclamation in nearly 60 years and its impacts on water age of the representative region in Xiamen Bay[D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2016. [谢森扬. 近 60 年围填海工程影响下厦门典型海域水龄的时空变化[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2016.]
- [10] Huang L M, Xie Y J, Li J, et al. The taxonomic diversity of fish community in the coastal waters of Xiamen[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(2): 126-132. [黄良敏, 谢仰杰, 李军, 等. 厦门海域鱼类群落分类学多样性的研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(2): 126-132.]
- [11] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine

- Biological Survey, GB/T 12763.6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 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. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查 GB/T 12763.6-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [12] Chen D G, Zhang M Z. Marine Fishes of China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015. [陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015.]
- [13] Liu R Y. Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992. [刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.]
- [14] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Fishery Bulletin, 1971, 152: 5-10.
- [15] Margalef R. Information theory in ecology[J]. General Systematics, 1958, 3: 36-71.
- [16] Shannon C E, Weaver W, Blalut R E, et al. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [17] Pielou E C. Ecological Diversity[M]. New York: Wiley, 1975.
- [18] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.
- [19] Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002. [沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002.]
- [20] Clarke K R, Warwick R M. Changes in Marine Communities: An approach To Statistical Analysis and Interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E, 2001.
- [21] Huang Z G. Diversity of Species in Xiamen Bay, China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. [黄宗国. 厦门湾物种多样性[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.]
- [22] Gu H J. Study on fish community and resources in Jiulong River Estuary, Fujian[D]. Xiamen: Jimei University, 2014. [顾洪静. 福建九龙江口水域鱼类群落及其资源的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2014.]
- [23] Wang X L. Temporal and spatial variations of the fish community structure in Haizhou Bay and adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [王小林. 海州湾及邻近海域鱼类群落结构的时空变化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [24] 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.]
- [25] Cheng J S. The structure and diversity of demersal fish communities in winter in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 2000, 21(3): 1-8. [程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(3): 1-8.]
- [26] 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. [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(自然科学版), 2005, 35(5): 792-798.]
- [27] Cheng J S. Ecological Environment and Biological Communities in Coastal Waters of the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2004. [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.]
- [28] Li S F. The ecological study for fish community in the East China Sea continental shelf: The spatial pattern and diversity[D]. Shanghai: East China Normal University, 2005. [李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学研究—空间格局及其多样性[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.]
- [29] Chao M, Huang L M, Li J, et al. Biological characteristics of *Coilia mystus* in Jiulong River Estuary in Fujian Province[J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2016, 21(1): 16-20. [晁眉, 黄良敏, 李军, 等. 福建九龙江口凤鲚的生物学特征[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2016, 21(1): 16-20.]

Fish community structure and species diversity during spring and autumn in the Xiamen Bay

WEI Guanyuan, HUANG Guifang

Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361000, China

Abstract: Xiamen Bay, located in the southeastern part of Fujian Province, is a typical subtropical semi-closed bay. It is an important spawning ground for many commercially important fish species, such as *Pagrosomus major*, *Lateolabrax japonicus*, and *Ilisha elongata*. In recent years, the ecological environments and marine living resources in the Xiamen Bay have been greatly affected by the rapid urbanization, increased nutrient input, and overexploitation of fishery resources. Fish communities have shown decreasing trends in taxonomic range and stability. It is crucial to ascertain the current fish species composition and its differences compared to historical studies. Based on the data collected from a bottom trawl survey of fishery resources during spring and autumn 2016 in the Xiamen Bay, the fish species composition, community structure, and species diversity were examined through the species replacement rate, relative importance index, relative resource index, species diversity index, and multivariate statistical analysis. The results showed that 99 species of fish caught during the survey period belonged to two classes, 13 orders, 46 families, and 74 genera. The species composition replacement rate during spring and autumn was 59.60%. Changes in dominant species were mainly caused by fish migration. *Leiognathus brevirostris*, *Johnius belangerii*, and *Trypauchen vagina* were common dominant species in both spring and autumn. The average relative weight and abundance per haul were 1744.24 g/h and 160.51 ind/h in spring and 3086.18 g/h and 153.30 ind/h in autumn, respectively, which showed obvious seasonal changes. The Margalef species richness index (D) varied from 0.46 to 4.07, Shannon-Wiener species diversity index (H') varied between 0.61 and 2.73, and Pielou evenness index (J') varied from 0.44 to 0.89. J' was higher in spring than in autumn, whereas D and H' were higher in autumn than in spring. Hierarchical clustering and non-metric multi-dimensional scaling analysis showed that the fish communities in Xiamen Bay could be divided into two station groups: the northeastern and southern station groups. The analysis of similarities test showed a significant difference between the fish species compositions of the two station groups in spring and autumn in the bay ($P < 0.01$). The fish species composition showed an obvious difference in spatial structure between spring and autumn in the Xiamen Bay.

Key words: Xiamen Bay; fish community structure; species diversity; seasonal changes

Corresponding author: WEI Guanyuan. E-mail: 172600581@qq.com