

薛瑞萍, 韩庆喜, 王 琳. 杭州湾北部海域渔业资源群落结构的季节变化特征[J]. 渔业研究, 2025, 47(1): 74–84.

Xue R P, Han Q X, Wang L. Seasonal changes in the community structure of fishery resources in northern Hangzhou Bay[J]. Journal of Fisheries Research, 2025, 47(1): 74–84.

杭州湾北部海域渔业资源群落结构的季节变化特征



薛瑞萍^{1,2,3,4}, 韩庆喜^{1,2,3,4}, 王 琳^{1*}

(1. 上海市水生野生动植物保护研究中心, 上海 200092;

2. 长江口水生生物资源监测与保护联合实验室, 上海 202162;

3. 农业农村部长江流域水生生物资源监测上海站, 上海 200092;

4. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 【目的】进一步了解杭州湾北部海域的渔业资源种类组成、资源密度、优势种和多样性等群落结构特征。【方法】根据 2023 年 8 月 (夏季)、2023 年 11 月 (秋季)、2024 年 1 月 (冬季) 和 2024 年 5 月 (春季) 的拖网调查数据, 运用相对重要性指数 (IRI)、聚类分析 (Cluster) 和非度量多尺度分析 (nMDS) 对该海域渔业资源群落结构进行分析。【结果】1) 共调查渔业资源种类 35 种, 季节排序为秋季 (24 种) > 夏季 (21 种) > 春季 (20 种) > 冬季 (13 种); 除冬季外, 其他 3 个季节种类组成均以鱼类、虾类、蟹类为主; 4 个季节鱼类种类数均占绝对优势。2) 杭州湾北部水域渔业资源密度呈季节性变动, 尾数资源密度排序为夏季 (627 591.20 尾/km²) > 春季 (280 652.33 尾/km²) > 秋季 (277 154.35 尾/km²) > 冬季 (58 831.26 尾/km²), 重量资源密度排序为夏季 (1 039.01 kg/km²) > 春季 (493.74 kg/km²) > 秋季 (211.32 kg/km²) > 冬季 (129.78 kg/km²)。3) 生态优势度研究结果表明, 仅安氏白虾 (*Palaemon annandalei*) 为 4 个季节共有优势种, 主要渔业种类季节更替明显。夏季有 4 种优势种 [安氏白虾、凤鲚 (*Coilia mystus*)、棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 和龙头鱼 (*Harpadon nehereu*)], 渔获量占比为 69.26%; 秋季有 2 种优势种 [安氏白虾和葛氏长臂虾 (*Palaemon gravieri*)], 渔获量占比为 61.65%; 冬季有 3 种优势种 [安氏白虾、刀鲚 (*Coilia nasus*) 和葛氏长臂虾], 渔获量占比为 67.74%; 春季有 4 种优势种 [安氏白虾、凤鲚、葛氏长臂虾和鲢 (*Müchthys miiuy*)], 渔获量占比为 81.85%。4) 从 Margalef 丰富度指数 (*D*)、Shannon-Wiener 多样性指数 (*H'*)、Pielou 均匀度指数 (*J'*) 分析群落多样性, 结果表明春季和夏季的群落多样性相差不大, 4 个季节群落多样性存在明显变动。Margalef 丰富度指数表明该调查水域受到中度干扰。5) 聚类分析、nMDS 和单因素方差分析 ($P=0.001$) 均支持群落结构存在季节差异, 单因素方差分析不支持空间上的差异 ($P>0.05$)。【结论】杭州湾北部海域渔业资源密度、种类组成和群落结构存在明显季节性变动。【意义】本研究补充了杭州湾北部海域渔业资源群落研究基础资料, 可为其渔业资源评估和养护提供参考。

关键词: 杭州湾北部; 渔业资源; 资源密度; 多样性指数; 群落结构

中图分类号: S931 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096–9848 (2025) 01–0074–11

收稿日期: 2024-09-20

修回日期: 2024-11-21

基金项目: 上海市农委科技兴农技术创新项目 (沪农科创字 2022 第 2-1 号); 国家自然科学基金面上项目 (42076156)

第一作者: 薛瑞萍, 女, 助理工程师, 硕士, 研究方向为渔业资源监测和水生动植物保护。E-mail: 1374670747@qq.com

通信作者: 王 琳, 男, 工程师, 硕士, 研究方向为捕捞学。E-mail: 719550146@qq.com

杭州湾位于浙江省东北部、上海市南部，是典型的亚热带河口海湾。该海域潮流急、潮差大、流态复杂，是众多鱼类产卵、繁殖和育肥的场所，其渔业资源种类组成、生物多样性等群落结构特征具有特殊性^[1-2]。习近平总书记在推动长江经济带发展座谈会上指出：“长江拥有独特的生态系统，是我国重要的生态宝库。”根据农业农村部《关于设立长江口禁捕管理区的通告》，杭州湾北部水域生态环境与长江流域紧密相连，生物多样性丰富，为了保护这些生物资源，杭州湾北部也实施了十年禁渔政策。长江十年禁渔是推进长江大保护的战略性举措，长江水生生物栖息环境日益优化，鱼类物种数量和资源量实现了双提升。2022 年监测数据显示，长江流域重点水域监测到的鱼类数量较 2020 年增加 25 种，长江上游的珍稀特有鱼类、中游的四大家鱼、下游的刀鲚（*Coilia nasus*）等代表性物种种群数量均明显增多，部分物种分布区域明显扩大，长江旗舰物种江豚种群数量较 2017 年增长 23.4%^[3]。

近年来，杭州湾海域有关海洋生物的研究报道较多。王森等^[4-5]对杭州湾北部棘头梅童鱼（*Collichthys lucidus*）繁殖群体生物学和安氏白虾（*Palaemon annandalei*）体质量和体长关系的季节性变化进行研究；洪波等^[6-8]对凤鲚（*Coilia mystus*）的繁殖力、资源量和网具对凤鲚幼鱼的损害进行分析；王晓东等^[9]研究了杭州湾北部明银鱼（*Salanx ariakensis*）仔稚鱼脊柱和四肢骨骼的发育。另外，部分学者还对杭州湾北部的仔稚鱼^[10-11]、底栖动物^[12]、滩涂生物^[13]、春夏季鱼类^[14]、游泳动物^[15]等进行了相关研究^[15]。

杭州湾北部海域渔业资源也有相关报道。王森等^[16]在 2009 年—2011 年对杭州湾北部的渔业资源种类组成和群落多样性进行初步分析；周轩等^[2]对杭州湾北部 2017 年 4 个季度的渔业资源群落结构进行分析。本研究是在农业农村部发布《关于长江流域重点水域禁捕范围和时间》，自 2021 年 1 月 1 日 0 时起，全面禁止生产性捕捞实施后，首次对杭州湾北部的渔业资源现状进行季节变动分析，以期为渔业种质资源保护、可持续利用和生态系统修复养护提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 数据来源与调查方法

数据来自于 2023 年 8 月（夏季）、2023 年 11 月（秋季）、2024 年 1 月（冬季）和 2024 年

5 月（春季）杭州湾北部 4 个站位的底拖网调查数据。调查范围为 E121°25′~E121°51′、N30°41′~N30°48′的杭州湾北部水域，调查站点为 HZ01、HZ02、HZ03 和 HZ04（图 1）。网具为单船有翼单囊拖网，网长 16 m，网口宽 23 m，网口高 5.4 m，袖网网目为 150 mm，网身网目为 20~80 mm，囊网网目为 20 mm。每站拖网作业时间为 15~30 min，平均拖速为 3.704 km/h。采样及样品分析依据为农业部水产行业标准《海洋渔业资源调查规范》（SC/T 9403—2012）^[17]和《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》（GB 12763.6—2007）^[18]。

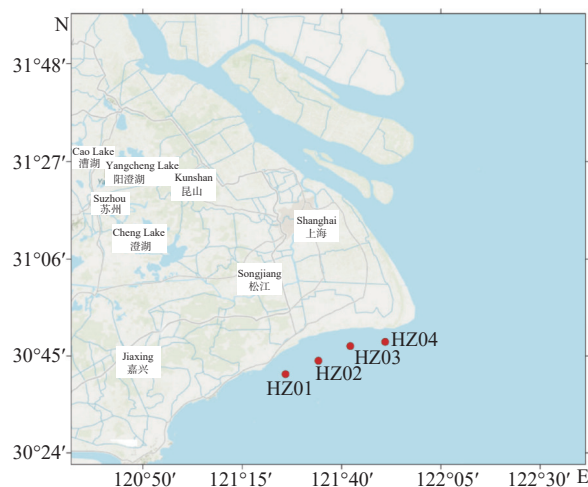


图 1 调查站点

Fig. 1 Survey stations

1.2 数据处理

1.2.1 资源密度

采用底拖网扫海面积法估算渔业资源：

$$U=d/(a \times q) \quad (1)$$

式（1）中： U 为渔获物资源量或资源密度， kg/km^2 或尾/ km^2 ； d 为平均每小时拖网渔获量， kg/h 或尾/ h ； a 为每小时网具扫海面积， km^2/h ； q 为网具捕获率，其中底层鱼类、虾蟹类、头足类的 q 值取 0.5，近底层鱼类的 q 值取 0.4，中上层鱼类的 q 值取 0.3^[19]。

1.2.2 生态优势度

采用 Pinkas 的相对重要性指数（Relative importance index, IRI）研究鱼类群落优势种组成^[20]。

$$IRI=(N+W) \times F \quad (2)$$

式（2）中： N 为某一种类的数量占总数量的百分比； W 为某一种类的重量占总重量的百分比； F 为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比。定义 $IRI \geq 1000$ 的物种为优势种； $100 \leq IRI < 1000$ 为重要种； $10 \leq IRI < 100$ 为常见种^[21]。

1.2.3 群落多样性指数

采用 Margalef 丰富度指数 (D)^[22]、Shannon-Wiener 多样性指数 (H')^[23]、Pielou 均匀度指数 (J')^[24] 分析渔业群落多样性。

$$D=(S-1)/\ln N \tag{3}$$

$$H'=-\sum\{ (N_i/N) \ln (N_i/N) \} \tag{4}$$

$$J'=H'/\ln (S) \tag{5}$$

式 (3)~式 (5) 中： S 为种类数； N 为总尾数； N_i 为第 i 种鱼的尾数。

1.2.4 群落结构分析

通过 PRIMER 6.0 软件，将杭州湾北部渔业资源丰度数据经过平方根转换和标准化，转化为 Bray-Curtis 相似性矩阵，再进行聚类分析 (Cluster) 和非度量多尺度分析 (nMDS)，并将 nMDS 排序结果与 Cluster 分析结果进行比较。使用单因素方差分析

(ANOSIM) 检验不同季节间群落结构的差异显著性。

2 结果

2.1 种类组成与季节变动

4 个季度共调查到渔业种类 35 种，隶属 10 目 19 科 28 属，其中鱼类 22 种、虾类 7 种、蟹类 6 种 (表 1)。4 个季节总种类数排序为秋季 (24 种) > 夏季 (21 种) > 春季 (20 种) > 冬季 (13 种)。其中，鱼类种类数排序为夏季 (14 种) = 秋季 (14 种) > 春季 (13 种) > 冬季 (9 种)；虾类种类数排序为秋季 (7 种) > 冬季 (4 种) = 春季 (4 种) > 夏季 (3 种)；蟹类种类数排序为夏季 (4 种) > 秋季 (3 种) = 春季 (3 种) > 冬季 (0 种)。冬季鱼类和蟹类种类数均低于其他 3 个季节；秋季虾类种类数高于其他 3 个季节 (图 2)。

表 1 杭州湾北部渔业资源种类组成

Tab. 1 Species composition of fishery resources in northern Hangzhou Bay

目 Orders	科 Families	属 Genera	种 Species	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring
鲈形目 Perciformes	虾虎鱼科 Gobiidae	孔虾虎鱼属 <i>Trypauchen</i>	孔虾虎鱼 <i>T. vagina</i>	+	+		+
		狼牙虾虎鱼属 <i>Odontamblyopus</i>	拉氏狼牙虾虎鱼 <i>O. lacepedii</i>	+	+	+	+
		缟虾虎鱼属 <i>Tridentiger</i>	髯缟虾虎鱼 <i>T. barbatus</i>			+	
	石首鱼科 Sciaenidae	黄姑鱼属 <i>Nibea</i>	黄姑鱼 <i>N. albiflora</i>	+			+
		梅童鱼属 <i>Collichthys</i>	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	+	+	+	+
		叫姑鱼属 <i>Johnius</i>	鳞鳍叫姑鱼 <i>J. distinctus</i>	+			
		鳆属 <i>Miichthy</i>	鳆 <i>M. miiuy</i>	+	+	+	+
	鲷科 Stromateidae	鲷属 <i>Pampus</i>	银鲷 <i>P. argenteus</i>	+	+		
鲽形目 Pleuronectiformes	舌鲷科 Cynoglossidae	舌鲷属 <i>Cynoglossus</i>	半滑舌鲷 <i>C. semilaevis</i>			+	
			短吻三线舌鲷 <i>C. abbreviatus</i>				+
			窄体舌鲷 <i>C. gracilis</i>	+		+	+
			焦氏舌鲷 <i>C. joyneri</i>	+	+	+	+
鲑形目 Salmoniformes	银鱼科 Salangidae	新银鱼属 <i>Neosalanx</i>	陈式新银鱼 <i>N. tangkahkeii</i>		+		
鲱形目 Clupeiformes	鲱科 Engraulidae	鲱属 <i>Coilia</i>	刀鲱 <i>C. nasus</i>	+	+	+	+
			凤鲱 <i>C. mystus</i>	+	+	+	+
			黄鲫属 <i>Setipinna</i>	黄鲫 <i>S. taty</i>	+	+	
	锯腹鲷科 Pristigasteridae	鲷属 <i>Ilisha</i>	鲷 <i>I. elongata</i>	+	+		
鲅鲚目 Lophiiformes	鲅鲚科 Lophiidae	黑鲅鲚属 <i>Lophiomus</i>	黑鲅鲚 <i>L. setigerus</i>				+
鲉形目 Tetraodontiformes	鲉科 Tetraodontidae	东方鲉属 <i>Takifugu</i>	黄鳍东方鲉 <i>T. xanthopterus</i>		+		
鰕针鱼目 Beloniformes	鰕针鱼科 Belonidae	扁颌针鱼属 <i>Ablennes</i>	尖嘴扁颌针鱼 <i>A. anastomella</i>		+		
仙女鱼目 Aulopiformes	狗母鱼科 Synodidae	龙头鱼属 <i>Harpadon</i>	龙头鱼 <i>H. nehereu</i>	+	+		
鳗鲡目 Anguilliformes	康吉鳗科 Congridae	康吉鳗属 <i>Conger</i>	星康吉鳗 <i>C. myriaster</i>				+

续表 1

目 Orders	科 Families	属 Genera	种 Species	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring
十足目 Decapoda	长臂虾科 Palaemonidae	白虾属 <i>Exopalaemon</i>	脊尾白虾 <i>E. carinicauda</i>	+	+	+	+
		长臂虾属 <i>Palaemon</i> Weber	葛氏长臂虾 <i>P. gravieri</i>	+	+	+	+
			细趾长臂虾 <i>P. tenuidactylus</i>		+		
			安氏白虾 <i>P. annandalei</i>	+	+	+	+
	鼓虾科 Alpheidae	鼓虾属 <i>Alpheus</i>	日本鼓虾 <i>A. japonicus</i> Miers		+	+	+
	樱虾科 Sergestidae	毛虾属 <i>Acetes</i>	中国毛虾 <i>A. chinensis</i>		+		
	对虾科 Penaeidae	赤虾属 <i>Metapenaeopsis</i>	须赤虾 <i>M. barbat</i>		+		
	方蟹科 Grapsidae	厚纹蟹属 <i>Pachygrapsus</i>	粗腿厚纹蟹 <i>P. crassipes</i>				+
	梭子蟹科 Portunidae	青蟹属 <i>Scylla</i>	锯缘青蟹 <i>S. serrata</i>	+			
			拟穴青蟹 <i>S. paramamosain</i>	+			
		蜆属 <i>Charybdis</i>	日本蜆 <i>C. japonica</i>	+	+		+
		梭子蟹属 <i>Portunus</i>	三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	+	+		+
		隆背蟹属 <i>Carcinoplax</i>	泥脚隆背蟹 <i>C. vestitus</i>		+		

注：“+”表示调查中有该物种出现。
Note: “+” indicates the presence of fishery species in the survey.

2.2 资源密度季节变动

由图 3 可看出，杭州湾北部水域渔业资源密度呈季节性变动，尾数资源密度和重量资源密度均为夏季最高、冬季最低。尾数资源密度调查结果显示：夏季（627 591.20 尾/km²）>春季（280 652.33 尾/km²）>秋季（277 154.35 尾/km²）>冬季（58 831.26 尾/km²）；重量资源密度调查结果显示：夏季（1 039.01 kg/km²）>春季（493.74 kg/km²）>秋季（211.32 kg/km²）>冬季（129.78 kg/km²）。4 个季节中，夏季的尾数资源密度和重量资源密度远大于其他 3 个季节；冬季 2 种资源密度远低于其他 3 个季节；春季、秋季尾数资源密度相差不大，但秋季重量资源密度是春季的 2.3 倍。

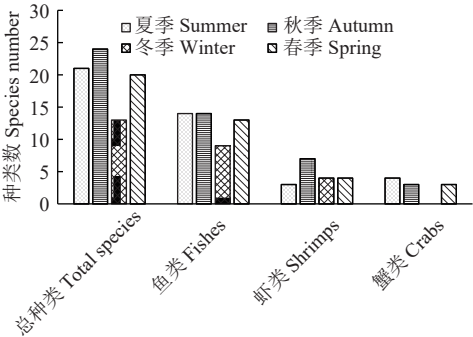


图 2 杭州湾北部渔业资源种类数
Fig. 2 Species number of fishery resources in northern Hangzhou Bay

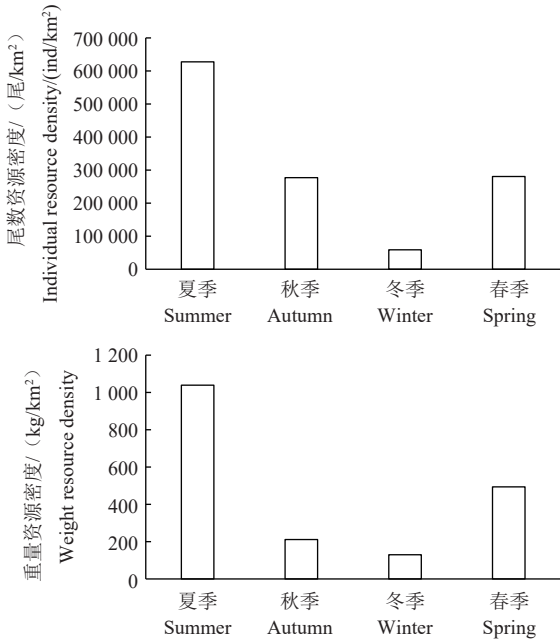


图 3 杭州湾北部不同季节渔业资源密度
Fig. 3 Density of fishery resources in different seasons in northern Hangzhou Bay

由表 2 和图 3 可看出，4 个季节中，蟹类的资源密度均远低于虾类和鱼类，冬季甲壳类资源密度降低。同一季节中，除冬季外，其他 3 个季节虾类的尾数资源密度均远高于鱼类，冬季鱼类尾数资源密度是虾类的 1.5 倍；除秋季外，其他 3 个季节鱼

类重量资源密度均远高于虾类和蟹类，秋季虾类重量资源密度是鱼类的 2.8 倍。

由图 4 可看出，鱼类、虾类、蟹类尾数资源密度和重量资源密度随季节变动不明显，虾类资源密度占比均为秋季>春季>夏季>冬季，鱼类资源密度占比均为冬季>夏季>春季>秋季，蟹类资源密度占

比均为夏季>秋季>春季>冬季。4 个季节的生态类型均以鱼类和虾类为主，鱼类在夏季占比最大（尾数资源密度 60.18%、重量资源密度 91.57%），虾类在秋季占比最大（尾数资源密度 91.87%、重量资源密度 72.17%），蟹类在夏季占比最大（尾数资源密度 0.50%、重量资源密度 8.21%）。

表 2 杭州湾北部不同季节生物类别渔业资源密度
Tab. 2 Density of fishery resources by biological species in different seasons in northern Hangzhou Bay

季节 Seasons	尾数资源密度/(尾/km ²) Individual resource density ratio/(ind/km ²)			重量资源密度/(kg/km ²) Weight resource density		
	鱼类 Fishes	虾类 Shrimps	蟹类 Crabs	鱼类 Fishes	虾类 Shrimps	蟹类 Crabs
夏季 Summer	90 478.27	533 973.30	3 139.59	650.45	303.24	85.32
秋季 Autumn	21 324.38	254 609.20	1 220.77	54.28	152.51	4.52
冬季 Winter	35 406.65	23 424.61	—	118.83	10.94	—
春季 Spring	30 613.20	248 818.40	1 220.77	290.28	194.05	9.41

注：“—”表示调查未监测到相关渔业种类。
Note: “—” indicates that the survey does not detect any relevant organisms.

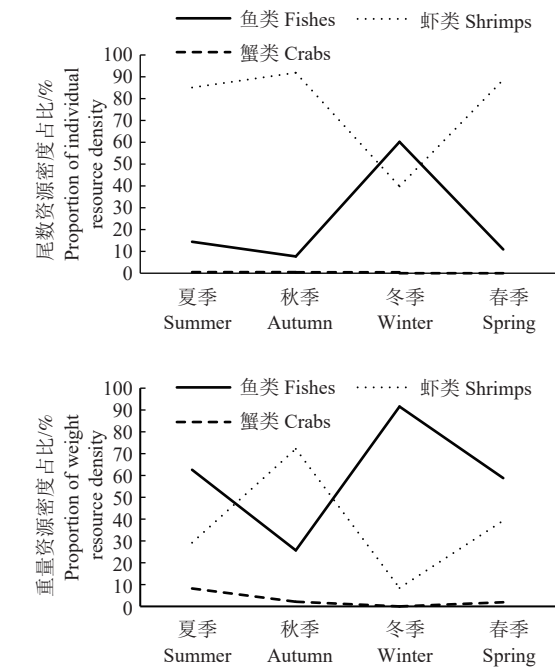


图 4 杭州湾北部不同季节生物类别渔业资源密度占比
Fig. 4 Proportion of fishery resource density of different species in different seasons in northern Hangzhou Bay

2.3 生态优势度

由表 3 可看出，仅安氏白虾为 4 个季节共有优势种，主要渔业种类季节更替明显。夏季有安氏白虾、凤鲚、棘头梅童鱼、龙头鱼 4 种优势种，其占该季总渔获尾数和渔获量的比例分别为 92.71%、69.26%。秋季有安氏白虾、葛氏长臂虾 2 种优势种，其占该季总渔获尾数和渔获量的比例分别为

88.22%、61.65%。冬季有安氏白虾、刀鲚、葛氏长臂虾 3 种优势种，其占该季总渔获尾数和渔获量的比例分别为 87.44%、67.74%。春季有安氏白虾、凤鲚、葛氏长臂虾和鲢 4 种优势种，其占该季总渔获尾数和渔获量的比例分别为 92.54%、81.85%。

表 3 杭州湾北部优势种季节变动
Tab. 3 Seasonal variation of dominant species in northern Hangzhou Bay

季节 Seasons	种名 Specific name	渔获尾数 占比/% N	渔获量 占比/% W	出现站点 频率/% F	相对重要性 指数 IRI
夏季 Summer	安氏白虾	74.9	21.28	100	9 618.5
	凤鲚	6.67	6.81	100	1 347.0
	棘头梅童鱼	4.85	27.08	100	3 193.6
	龙头鱼	6.29	14.09	100	2 037.6
	合计	92.71	69.26	—	—
秋季 Autumn	安氏白虾	78.63	56.67	100	13 529.2
	葛氏长臂虾	9.59	4.98	100	1 457.8
	合计	88.22	61.65	—	—
冬季 Winter	安氏白虾	18.36	3.15	75	1 613.6
	刀鲚	50.00	61.35	100	11 134.8
	葛氏长臂虾	19.08	3.24	100	2 231.7
	合计	87.44	67.74	—	—
春季 Spring	安氏白虾	70.87	27.35	100	9 822.5
	凤鲚	8.15	14.79	100	2 294.0
	葛氏长臂虾	13.37	5.08	100	1 845.1
	鲢	0.15	34.63	75	2 608.5
	合计	92.54	81.85	—	—

2.4 群落多样性指数

如表 4 所示，Margalef 丰富度指数排序为秋季>春季>夏季>冬季；Shannon-Wiener 多样性指数排序为冬季>夏季=春季>秋季；Pielou 均匀度指数排序为冬季>春季>夏季>秋季。4 个季节 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数变化趋势一致，而 Margalef 丰富度指数呈现与之相反的变化趋势。4 个季节杭州湾北部渔业资源群落 Margalef 丰富度指数均在 1~3 之间。春季和夏季 3 种生态指数相近。秋季 Margalef 丰富度指数最大，但 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数最小，与冬季相反。整体而言，4 个季节杭州湾北部渔业资源群落受到中度干扰，春季和夏季的群落结构相差不大，秋季群落结构和功能较差，春夏季、秋季和冬季群落多样性存在明显变动。

表 4 杭州湾北部不同季节多样性指数

Tab. 4 Diversity index of different seasons in northern Hangzhou Bay

季节 Seasons	Margalef 丰富度指数 D	Shannon-Wiener 多样性指数 H'	Pielou 均匀度指数 J'
夏季 Summer	2.46	1.04	0.34
秋季 Autumn	3.04	0.91	0.29
冬季 Winter	1.99	1.47	0.57
春季 Spring	2.50	1.04	0.35

2.5 群落结构

由图 5 表明，聚类分析在 60% 相似性水平上，可将 16 个样方的生物划分为 7 个聚类，任意一个聚类内的样方都来自同一个季节，其中有 3 个聚类内仅有一个样方，表明该区域的群落结构存在明显的季节差异，相同季节不同站位的群落结构较为相似，尤其是春季和夏季。秋季和夏季的不同站位群落结构差异变大。nMDS 的结果也支持群落结构的季节差异。单因素方差分析证实了季节间群落结构的显著差异 ($P=0.001$)，但是不支持空间上的差异 ($P>0.05$)。对季节的相似性分析结果表明，一年中春季样方的平均相似性最高 (70.55%)，秋季样方的平均相似性最低 (70.55%)；夏季与冬季的平均不相似性最高 (58.93%)；春季与夏季的平均不相似性最低 (45.08%)。

3 讨论

3.1 种类和优势种组成季节变动分析

本次调查表明杭州湾北部渔业种类组成季节性

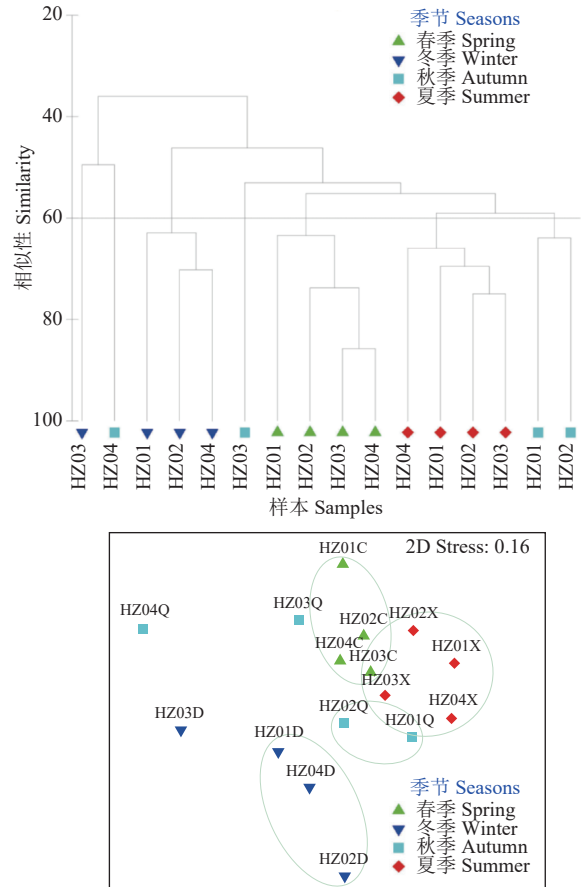


图 5 杭州湾北部渔业资源聚类分析和 nMDS 排序
Fig. 5 Cluster and MDS analysis of fishery resources in northern Hangzhou Bay

差异明显，春夏季渔业种类数相近，冬季和秋季渔业种类数差异较大，除冬季没有调查到蟹类，其他 3 个季节均有蟹类，并且 4 个季节鱼类种类数均多于虾类和蟹类。4 个季度共调查到渔业种类 35 种，其中鱼类 22 种、虾类 7 种、蟹类 6 种。与周轩等^[2]于 2017 年在杭州湾北部的 4 个季度调查相比，总种类数少了 3 种，鱼类多 1 种，虾蟹类少 2 种，另外还少了 1 种水母和 1 种软体动物，有 21 种相同渔业种类。王森等^[15]在 2012 年夏季和 2013 年冬季杭州湾北部调查到的鱼类有 22 种，其中有 10 种鱼类和本研究相同。2012 年春季和秋季在杭州湾调查到的鱼类为 31 种，有 10 种鱼类和本研究相同^[25]。郭祉宾等^[26]于 2019 年在杭州湾北岸进行了 3 个季度的调查，调查到仔稚鱼 37 种，与本研究相同的鱼类有 9 种。同一区域渔业种类组成不同，可能与调查站点数量、位置设置及调查时间有关；也可能与杭州湾北部靠近河口环境剧烈变化有关，因为这种变化使得渔业生物在种类和数量上存在着空间和时间分布上的季节更替^[27]。

夏季优势种为安氏白虾、凤鲚、棘头梅童鱼、龙头鱼；秋季优势种为安氏白虾、葛氏长臂虾；冬季优势种为安氏白虾、刀鲚、葛氏长臂虾；春季优势种为安氏白虾、凤鲚、葛氏长臂虾和鲢。与周轩等^[2]和王森等^[16]调查的杭州湾北部优势种均有季节性差异。秋季和冬季共同优势种为安氏白虾和葛氏长臂虾，这是由于洄游习性的鱼类在秋、冬季节返回深海越冬所致^[28]，有研究表明刀鲚开始进行洄游生殖时，于 2 月至 3 月出现在长江口附近^[29]，这也解释了本研究刀鲚作为冬季优势种的原因。春季和夏季除虾类外，还有小型经济型鱼类为优势种，这与谢旭等^[25]对 2012 年在杭州湾渔业资源的研究结果类似。凤鲚作为春季优势种，与周轩等^[30]对 2020 年 5 月至 8 月杭州湾北部的研究结果一致，但是其他优势种鱼类不同，这可能是调查点数量和位置设置不同所致。本研究中优势种具有明显的季节性差异，表明杭州湾北部季节性群落更替明显，群落功能也容易受到影响，这一结果与金仕显等^[31]对长江口及其邻近海域渔业生物资源的研究结果相符。

3.2 资源密度季节变动分析

本研究 4 个季度尾数资源密度为夏季>春季>秋季>冬季，重量资源密度为夏季>春季>秋季>冬季。4 个季节中，夏季尾数资源密度和重量资源密度远大于其他 3 个季节，冬季 2 种资源密度远低于其他 3 个季节，这可能与杭州湾北部休渔期有关，休渔期使渔业资源得以恢复，夏季渔业资源量增加。有研究认为长江口及其邻近海域渔业低质种类呈增加趋势，且渔业资源结构和渔获量存在明显的季节变动，生物资源季节性差异与温度、深度、鱼群的洄游、离岸距离和断面关系密切^[27-28,32]。本研究 4 个季节中，鱼类、虾类、蟹类的尾数资源密度和重量资源密度随季节变动不明显。蟹类的资源密度均远低于虾类和鱼类，冬季甲壳类资源密度降低，除秋季外鱼类渔获量高于甲壳类。本研究中除秋季外，其他季节甲壳类渔获量占比均较低，与 20 世纪 90 年代初期至末期长江口及毗邻水域占比相似^[31]。而 21 世纪以来，长江口及其毗邻海域各季节以底层鱼类和甲壳类为优势类群^[27-28,33]。有研究认为甲壳类因被捕食的压力和饵料竞争的压力下降而得以繁衍和生长，导致渔业生物中甲壳类种类数及资源量相对增多^[34]。从这一层面看，杭州湾北部鱼类资源有所恢复。

3.3 群落多样性指数与结构分析

本研究表明，4 个季节中秋季 Margalef 丰富度

指数最大，但 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数最小，与冬季相反，表明秋季个体数多、冬季个体数少，但冬季渔业生物群落结构更加稳定、物种分布更加均匀。春季和夏季 3 种生态指数相近，说明其群落结构相差不大。Margalef 丰富度指数均在 1~3 之间，表明杭州湾北部渔业资源群落受到中度干扰，这一结论与周轩等^[2]研究杭州湾北部的结果相符。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数变化趋势一致，群落的稳定性与物种分布的均匀度有正相关关系，这与王森等^[16]研究结果一致。群落多样性指数均存在 4 个季节性差异，这是受季节差异、鱼类的体长分布、营养需求及饵料基础的时空变化等因素的影响，生物群落功能群的组成存在差异^[35]。

本研究聚类分析、nMDS 和单因素方差分析均表明杭州湾北部群落结构存在明显的季节性差异。本研究聚类分析和群落多样性指数表明相同季节不同站位的群落结构较为相似，尤其是春季和夏季。温度和深度是影响渔业资源群落的重要因素^[36]，本研究调查水域春季和秋季水温相近，冬季、秋季和春秋季节水温相差较大，而深度相差不大，证实了群落结构和温度关系密切。单因素方差分析不支持空间上的差异（ $P>0.05$ ），这是因为本次研究只有 4 个站位，站位布设也比较集中，水域结构变化不明显，因此渔业资源空间性差异不明显。

3.4 渔业资源保护建议

长江十年禁渔对恢复长江水生态环境和保护水域生物多样性具有重要意义，有助于强化水生生物资源的保护，增加水生生物的种类和数量，促进长江流域水环境的改善^[37-38]。本次调查是在长江十年禁渔实施初期，调查结果与往年数据相比^[2,16]，渔业种类数相差不大，虽然优势种组成有所差异，但其种类数量随季节变动不大，季节间共同优势种数量均较少；群落多样性指数中，Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数的范围基本一致，Margalef 丰富度指数均有所提高；群落结构均呈现明显的季节性变动。在禁捕前，杭州湾海洋生态系统问题较为突出，主要表现在生境丧失、生物多样性下降和外来物种入侵等方面^[37]。水生生物处于恶劣的水质和栖息地环境下，生物质量整体较低，生物多样性水平较差，群落结构不稳定，生态系统健康状况长期处于亚健康状态^[38]。长江大保护是一项长期性、系统性工程，长江资源的恢复需久久为功。

长江十年禁渔政策实施前后, 监测方法、监测网具、调查站位设置等发生变化, 本次资源密度调查的网具、站位与禁捕前不同, 因而无法作比较, 建议加强监测规范、监测标准和监测管理方面的指导。与监测目标和环境条件相适应的渔具、渔法的选择是有效开展科学监测最基础的保障, 建议制定科研监测渔具渔法适用清单, 使水生生物资源监测工作在渔具渔法选择上有法可依、有章可循。通过对历史数据的整理, 发现本调查水域站位的设置存在站位密度不够、连续性不强等问题, 难以满足水生生态监测工作的需要, 而相同水域、不同站位会对渔业生物的调查结果产生影响^[14], 建议在设置调查站位时, 综合考虑水域特点、水生态系统特点、历史站位、资金人力等因素, 实现渔业资源数据纵向和横向比较。通过系统性、持续性监测, 评估长江禁捕后杭州湾北部渔业资源变化情况, 为其禁渔效果的评估提供科学依据。

参考文献 (References):

- [1] 周永东, 金海卫, 蒋日进, 等. 浙江中北部沿岸春、夏季鱼卵和仔稚鱼种类组成与数量分布 [J]. 水产学报, 2011, 35 (6): 880 – 889.
- Zhou Y D, Jin H W, Jiang R J, *et al.* The category composition and abundance distributions of ichthyoplankton along the north-central coast of Zhejiang Province in spring and summer [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(6): 880 – 889.
- [2] 周轩, 王森, 洪波. 杭州湾北部海域渔业资源群落结构特征分析 [J]. 浙江海洋大学学报 (自然科学版), 2020, 39 (1): 51 – 58.
- Zhou X, Wang M, Hong B. Study on fishery resources community structure in northern of Hangzhou Bay [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2020, 39(1): 51 – 58.
- [3] 中共国家发展和改革委员会党组, 中央区域协调发展领导小组办公室. 坚定不移推进长江十年禁渔奋力谱写长江大保护新篇章 [N]. 人民日报, 2024-04-12 (10).
- The Party Group of the National Development and Reform Commission of the Communist Party of China, the Office of the Central Leading Group for Regional Coordinated Development. Unswervingly push forward the 10-year ban on fishing in the Yangtze River and strive to write a new chapter in the great protection of the Yangtze River [N]. People's Daily, 2024-04-12(10).
- [4] 王森, 徐开达, 梁君. 杭州湾北部棘头梅童鱼繁殖群体生物学特征初步分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27 (5): 781 – 788.
- Wang M, Xu K D, Liang J. Preliminary analysis of biological characteristics of reproductive stocks of *Collichthys lucidus* in northern Hangzhou Bay [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(5): 781 – 788.
- [5] 王森, 周轩, 洪波, 等. 杭州湾北部安氏白虾体长与体重关系的季节变化特征 [J]. 中国水产科学, 2020, 27 (11): 1325 – 1332.
- Wang M, Zhou X, Hong B, *et al.* Impact of seasonal changes on *Palaemon annandalei* length-weight relationships in northern Hangzhou Bay [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(11): 1325 – 1332.
- [6] 洪波, 周轩, 王森. 杭州湾北部海域凤鲚个体繁殖力初步研究 [J]. 水产科技情报, 2021, 48 (6): 335 – 341.
- Hong B, Zhou X, Wang M. Preliminary study on individual fecundity of *Coilia mystus* in the north of Hangzhou Bay [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(6): 335 – 341.
- [7] 洪波, 周轩, 王森. 杭州湾北部凤鲚资源量及最大可持续产量分析 [J]. 水产科技情报, 2023, 50 (4): 245 – 251.
- Hong B, Zhou X, Wang M. Estimation on biomass and maximum sustainable yield of *Coilia mystus* in the north of Hangzhou Bay [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2023, 50(4): 245 – 251.
- [8] 洪波, 王森, 周轩. 杭州湾北部张网对凤鲚幼鱼的损害性分析 [J]. 水产科技情报, 2020, 47 (6): 332 – 336.
- Hong B, Wang M, Zhou X. Damage analysis of set nets to juvenile *Coilia mystus* in the north of Hangzhou Bay [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2020, 47(6): 332 – 336.
- [9] 王晓东, 何鸣笛, 曾娇, 等. 杭州湾北部有明银鱼仔稚鱼脊柱和附肢骨骼发育研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27 (6): 930 – 937.
- Wang X D, He M D, Zeng J, *et al.* Development of the vertebral column and the appendicular skeleton in the larvae and juveniles of *Salanx ariakensis* in the north of Hangzhou Bay [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(6): 930 – 937.

- [10] 陈渊戈. 长江口南支和杭州湾北岸碎波带仔稚鱼群聚特征的比较研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- Chen Y Y. Characteristic comparison of fish larval and juvenile assemblages between the surf zones of south branch of Yangtze River Estuary and north coast of Hangzhou Bay [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.
- [11] 闫欣, 钟俊生, 王明星, 等. 杭州湾北部水域仔稚鱼种类组成和多样性研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23 (5): 765–773.
- Yan X, Zhong J S, Wang M X, *et al.* Study on the species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the north of Hangzhou Bay [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(5): 765–773.
- [12] 寿鹿. 长江口及邻近海域大型底栖生物群落生态学研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- Shou L. Large benthic communities settled in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.
- [13] 王天厚, 钱国桢. 长江口及杭州湾北部滩涂的生物群落特征分析 [J]. 生态学杂志, 1987, 6 (2): 35–38.
- Wang T H, Qian G Z. Analyses on characters of biotic communities around Changjiang River Estuary and northern Hangzhou Bay [J]. Journal of Ecology, 1987, 6(2): 35–38.
- [14] 王森, 洪波, 张玉平, 等. 春季和夏季杭州湾北部海域鱼类种群结构分析 [J]. 水生态学杂志, 2016, 37 (5): 75–81.
- Wang M, Hong B, Zhang Y P, *et al.* Spring and summer fish community structure in northern Hangzhou Bay [J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(5): 75–81.
- [15] 王森, 洪波, 张玉平, 等. 夏、冬季杭州湾北部游泳动物群落结构 [J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35 (3): 56–62.
- Wang M, Hong B, Zhang Y P, *et al.* Community structure of nektons in northern Hangzhou Bay in summer and winter [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(3): 56–62.
- [16] 王森, 张丹, 张玉平, 等. 杭州湾北部张网渔业资源种类组成及群落多样性初步分析 [J]. 水产科技情报, 2013, 40 (4): 188–192, 198.
- Wang M, Zhang D, Zhang Y P, *et al.* Preliminary analysis of species composition and community diversity of fishery resources of set nets in northern Hangzhou Bay [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2013, 40(4): 188–192, 198.
- [17] 中华人民共和国农业部. 海洋渔业资源调查规范: SC/T 9403—2012 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification for marine fishery resources survey: SC/T 9403—2012 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [18] 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 12763.6—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration. Specifications for oceanographic survey—part 6: marine biological survey: GB 12763.6—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [19] 季相星, 王娜, 曹俊程, 等. 灌河口近岸海域 2021 年春季渔业资源情况调查 [J]. 河北渔业, 2023 (8): 24–27.
- Ji X X, Wang N, Cao J C, *et al.* Survey of fishery resources in the nearshore area of Guanhe Estuary in spring 2021 [J]. Hebei Fisheries, 2023(8): 24–27.
- [20] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [R]. California the Resources Agency Department of Fish and Game, 1971(152): 1–105.
- [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: 73–78.
- Cheng J S. Ecological environment and biological communities in coastal waters of Huanghai and Bohai Sea [M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2004: 73–78.
- [22] Margalef R. Information theory in ecology [J]. General System, 1958(3): 36–71.
- [23] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula [J]. Ecology, 1968, 49(1): 153–156.
- [24] Pielou E C. Ecological diversity [M]. New York: John Wiley & Sons, 1975.
- [25] 谢旭, 俞存根, 周青松, 等. 杭州湾海域春、秋季鱼类种类组成和数量分布 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44 (3): 656–663.

- Xie X, Yu C G, Zhou Q S, *et al.* Species composition and quantitative distribution of fishes in the Hangzhou Bay during spring and autumn[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(3): 656 – 663.
- [26] 郭祉宾, 钟俊生, 洪波, 等. 杭州湾北岸水域仔稚鱼的多样性和聚类分析 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28 (11): 1477 – 1488.
- Guo Z B, Zhong J S, Hong B, *et al.* Diversity and cluster analysis of fish larvae and juvenile on the northern of Hangzhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(11): 1477 – 1488.
- [27] 孙鹏飞, 戴芳群, 陈云龙, 等. 长江口及其邻近海域渔业资源结构的季节变化 [J]. *渔业科学进展*, 2015, 36 (6): 8 – 16.
- Sun P F, Dai F Q, Chen Y L, *et al.* Seasonal variations in structure of fishery resource in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(6): 8 – 16.
- [28] 汤昌盛, 张芳, 冯颂, 等. 2015 年夏季长江口及其邻近海域渔业生物群落结构分析 [J]. *海洋渔业*, 2017, 39 (5): 490 – 494.
- Tang C S, Zhang F, Feng S, *et al.* Biological community of fishery resources in the Yangtze River Estuary and adjacent sea areas in the summer of 2015[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(5): 490 – 494.
- [29] 袁传宓. 刀鲚的生殖洄游 [J]. *生物学通报*, 1987 (12): 1 – 3.
- Yuan C M. Reproductive migration of the *Coilia nasus*[J]. *Bulletin of Biology*, 1987(12): 1 – 3.
- [30] 周轩, 洪波, 张玉平. 杭州湾东北部鱼类群落优势种时空生态位分析 [J]. *大连海洋大学学报*, 2023, 38 (5): 848 – 856.
- Zhou X, Hong B, Zhang Y P. Spatiotemporal ecological niche analysis of the dominant fishes in northeast Hangzhou Bay[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2023, 38(5): 848 – 856.
- [31] 李建生, 程家骅. 长江口水域主要渔业生物资源状况的分析 [J]. *南方水产科学*, 2005, 1 (2): 21 – 25.
- Li J S, Cheng J H. Dynamic analysis of fishery biology resources of trawl in waters of the Yangtze River Estuary[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(2): 21 – 25.
- [32] 李建生, 李圣法, 任一平, 等. 长江口渔场渔业生物群落结构的季节变化 [J]. *中国水产科学*, 2004, 11 (5): 423 – 439.
- Li J S, Li S F, Ren Y P, *et al.* Seasonal variety of fishery biology community structure in fishing ground of the Yangtze Estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(5): 423 – 439.
- [33] 金显仕, 单秀娟, 郭学武, 等. 长江口及其邻近海域渔业生物的群落结构特征 [J]. *生态学报*, 2009, 29 (9): 4761 – 4772.
- Jin X S, Shan X J, Guo X W, *et al.* Community structure of fishery biology in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4761 – 4772.
- [34] 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 (自然科学版)*, 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 (Natural Science)*, 2011, 41(1/2): 41 – 50.
- [35] 史赞荣, 晁敏, 全为民, 等. 2010 年春季长江口鱼类群落空间分布特征 [J]. *中国水产科学*, 2011, 18 (5): 1141 – 1151.
- Shi Y R, Chao M, Quan W M, *et al.* Spatial variation in fish community of Yangtze River Estuary in spring[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(5): 1141 – 1151.
- [36] 戴芳群, 朱玲, 陈云龙. 黄、东海渔业资源群落结构变化研究 [J]. *渔业科学进展*, 2020, 41 (1): 1 – 10.
- Dai F Q, Zhu L, Chen Y L. Variations of fishery resource structure in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(1): 1 – 10.
- [37] 刘鹏霞, 邵晓静, 时俊, 等. 长江口—杭州湾区域生态环境问题与综合治理途径——以上海市为例 [J]. *环境保护*, 2022, 50 (19): 45 – 51.
- Liu P X, Shao X J, Shi J, *et al.* Eco-environmental problems and the comprehensive treatment in the region of Yangtze Estuary and Hangzhou Bay: a case study of Shanghai[J]. *Environmental Protection*, 2022, 50(19): 45 – 51.
- [38] 王孝程, 解鹏飞, 李晴, 等. 长江口海域生态环境状况及保护对策 [J]. *环境科学研究*, 2020, 33 (5): 1197 – 1205.

Wang X C, Xie P F, Li Q, *et al.* Ecological environment
of the Yangtze Estuary and protection countermeasures

[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(5):
1197 – 1205.

Seasonal changes in the community structure of fishery resources in northern Hangzhou Bay

XUE Ruiping^{1,2,3,4}, HAN Qingxi^{1,2,3,4}, WANG Lin^{1*}

(1. Shanghai Aquatic Wildlife Conservation and Research Center, Shanghai 200092, China;

2. Joint Laboratory for Monitoring and Conservation of Aquatic Living Resources in the Yangtze Estuary, Shanghai 202162, China;

3. Shanghai Station of Aquatic Organisms Monitoring in the Yangtze River of the Ministry of Agriculture and
Rural Affair, Shanghai 200092, China;

4. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: [Objective] To further understand the community structure characteristics of fishery resources in northern Hangzhou Bay, including species composition, resource density, dominant species, diversities and so on. [Methods] The fishery resources community structure was analyzed by using IRI, Cluster and nMDS based on the trawl survey data collected in August 2023 (summer), November 2023 (autumn), January 2024 (winter) and May 2024 (spring). [Results] 1) A total of 35 fishery species were investigated in four seasons, and the order of seasons was autumn (24 species) > summer (21 species) > spring (20 species) > winter (13 species). In any season, except winter, the species composition was mainly fishes, shrimps and crabs. The number of fish species in the four seasons was dominant. 2) The density of fishery resources in northern Hangzhou Bay changed seasonally. The order of individual resource density was summer ($627\ 591.20\ \text{ind}/\text{km}^2$) > spring ($280\ 652.33\ \text{ind}/\text{km}^2$) > autumn ($277\ 154.35\ \text{ind}/\text{km}^2$) > winter ($58\ 831.26\ \text{ind}/\text{km}^2$), and the order of weight resource density was summer ($1\ 039.01\ \text{kg}/\text{km}^2$) > spring ($493.74\ \text{kg}/\text{km}^2$) > autumn ($211.32\ \text{kg}/\text{km}^2$) > winter ($129.78\ \text{kg}/\text{km}^2$). 3) IRI study showed that the dominant species was only *Palaemon annandalei* in four seasons, and the seasonal change of main fishery species was obvious. The catch of four dominant species accounts for 69.26% in summer, 61.65% in autumn, 67.74% in winter and 81.85% in spring. 4) Margalef richness index (D), Shannon-Wiener diversity index (H') and Pielou' evenness index (J') were used to analyze the community diversities. The results showed that there was little difference in community diversities between spring and summer, but there were obvious changes in community diversities among spring, summer, autumn and winter. Margalef species richness index indicated that the investigated waters were moderately disturbed. 5) Cluster, nMDS and one-way ANOVA ($P=0.001$) all supported the seasonal differences in community structure, while one-way ANOVA did not support the spatial differences ($P>0.05$). [Conclusion] The density, species composition and community structure of fishery resources in northern Hangzhou Bay have obviously seasonal changes. [Significance] This study supplements the basic data for the fishery resources community in northern Hangzhou Bay, providing reference for fishery resource assessment and conservation.

Key words: northern Hangzhou Bay; fishery resources; resource density; diversity indices; community structure