

文章编号: 1674-5566(2024)01-0135-15

DOI: 10.12024/jsou.20230404152

长江口南部水域春、秋季鱼类群落结构比较

李诗佳¹, 施利燕², 钟俊生^{1,3}, 赵路路²

(1. 上海海洋大学 环境DNA技术与水生态健康评估工程中心, 上海 201306; 2. 上海艾利维水环境技术有限公司, 上海 200131; 3. 上海海洋大学 海洋动物系统分类与进化上海高校重点实验室, 上海 201306)

摘要: 为探明长江口南部水域鱼类群落结构, 2020年4月(春季)与9月(秋季)在长江口北港、北槽、南槽水道共设置12个站点, 采用单囊拖网(最小网目25 mm)进行了2个航次渔业资源调查。计算资源密度、相对重要性指数、 α -多样性指数, 并进行多因素回归分析、典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA), 以判定春秋两季群落时空变化规律与环境因子对鱼类分布的影响。本研究共采集到鱼类49种, 隶属16目25科41属, 均为暖温及暖水性鱼类, 以河口种居多, 狭盐性鱼类较少并呈区域分布。春季尾数资源密度高于秋季, 而秋季质量资源密度高于春季。凤鲚(*Coilia mystus*)、刀鲚(*Coilia nasus*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、鲢(*Müchthys müuy*)在两个季节中均为优势种。春季, 鲢的尾数资源密度对总密度贡献率最高, 且在各物种尾数资源密度中对总密度贡献率影响最显著; 秋季, 龙头鱼(*Harpadon nehereus*)的尾数资源密度贡献率最高, 但刀鲚的尾数资源密度影响最显著。尾数及质量多样性指数结果显示秋季的Shannon-Winner多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J')、Margalef种类丰富度指数(D')均高于春季, 而春季Simpson单纯度指数(C')平均值较高。研究水域内水面表层盐温受多种动态因素影响, 存在季节性变化, 资源密度平面分布揭示出许多类群有趋温、趋盐的生活习性。

关键词: 长江口; 鱼类群落; 资源密度; 多样性分析

中图分类号: Q 178.1 **文献标志码:** A

河口作为淡水、海水、咸淡水混合型生态系统, 是一种弹性生境, 蕴藏高度生产力和多样的生态服务功能^[1], 同时也是许多鱼类特有的繁殖场、保育场、栖息地及洄游通道, 其环境状况自然得到广泛重视。渔业资源调查作为一种科学方法, 可以探明由时空差异引起的目标群体结构变化, 为优化渔业管理政策服务。国内针对一些代表性的河口及其邻近海域的鱼类资源调查不胜枚举^[2-4]。国外也有实际应用的实例, HOQUE等^[5]对马来西亚沙捞越州泗务河口的渔业资源进行研究, 共采集到32科60种, 解析了旱季和雨季之间物种群落结构的差异性; ENGMAN等^[6]比较了波多黎各的4个具有代表性的河口鱼类群落, 并探究河口内与河口间的鱼类群落多样性, 为该地区内的渔业资源管理提供数据支撑。

长江入海口, 呈三级分汊、四口入海的地势^[7]。其所处地带属于亚热带季风气候, 降水充沛且季节天气差异明显, 入海水域受沿岸流和长江中上游冲淡水的影响大, 同时在台湾暖流、黄海冷水团等多种海洋洋流、水团的驱动下, 下层营养物质上泛, 使得中大型游泳动物饵料充足, 食物链完整, 生物多样性高。作为中国国内热门研究水域, 许多学者从物种分类^[8-10]、种群结构^[11]、种群生活史及习性^[12-14]和生态评估^[15-17]等角度出发, 开展长江口生物多样性方面的研究。本研究基于2020年4月与9月在长江口南部海域12个站点进行的渔业资源调查, 探究鱼类群落主要结构框架, 运用形态学方法分类后鉴定以探究种类组成, 计算资源密度与4种 α -多样性指数以判定尾数、质量密度与物种丰富度、均匀度等指

收稿日期: 2023-04-11 修回日期: 2023-05-17

基金项目: 长江口航道养护环保监测及生态修复项目(1923-102)

作者简介: 李诗佳(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学。E-mail: 757310346@qq.com

通信作者: 钟俊生, E-mail: jszhong@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

数的季节变化规律,利用相对重要性指数评估优势种与重要种,最后结合盐、温变化揭示环境因子对种群分布的影响,旨在为长江口渔业资源管理和保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法与样品鉴定

2020年4月(春季)和9月(秋季),在长江口南部水域(121°55'12"E~122°17'13"E,30°59'38"N~31°21'54"N),自北向南分别在北港(A1~A4)、北槽(A5~A8)、南槽(A9~A12)各设4个站点点,共12个站点点(图1),以单囊拖网(最小网目25 mm)进行拖网调查,渔船拖速范围为2.6~3.8 kn,每个站点点拖网时间30 min。采集后的渔获物立即放入船体冷库冰冻保存。使用HYDRO-BIOS生物网口流量计测定流量。环境数据采集:在每一站点处将有机玻璃采水器(5 L)置于水下0.5 m处采取2份1 L水样,采用DDBJ-350F型电导率仪和JPBJ-608型溶解氧分析仪现场测定海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面盐度(Sea surface salinity, SSS)、pH、溶解氧(Dissolved oxygen, DO),记录数据。

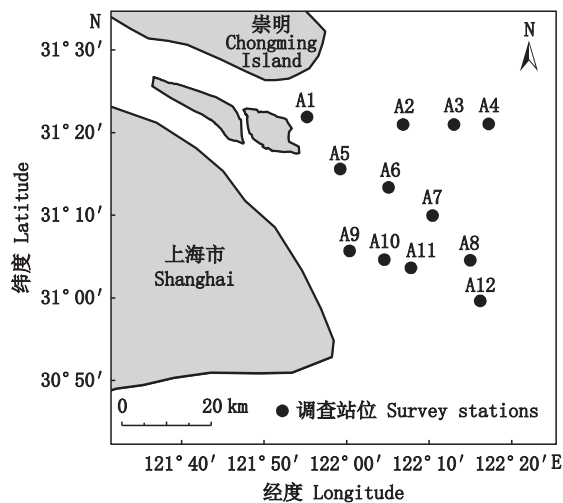


图1 调查站位图

Fig. 1 Sampling stations

依据《上海鱼类志》^[18]、《浙江海洋鱼类志》^[19]按照形态学方法进行鉴定,用量鱼板与卷尺进行标准体长(Standard length, SL)测量,数据结果精确到0.1 mm。每站每种生物随机测定30尾,不足30尾的全部测定。

按NELSON等^[20]方法进行鱼类分类系统排序,学名参照伍汉霖等^[21-22]编写的《拉汉世界鱼类

系统名典》和《中国海洋及河口鱼类系统检索》,按照FishBase数据库划分种类的适温性及生态类型。

1.2 数据分析

采用扫海面积法估算游泳动物相对资源密度,公式为

$$D = C/(q \times a) \quad (1)$$

式中: D 为渔业资源密度(质量密度:kg/km²,尾数密度:ind./km²); C 为平均每小时拖网渔获量(质量:kg/h;尾数:ind./h); a 为每小时网具扫海面积,km²/h; q 为网具捕获率, $q=1-$ 逃逸率,依据SC/T9110—2007《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》,按照本次调查所采用网具与生物类型,逃逸率取0.5。

采用Pinkas相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)来评估优势种,公式为

$$I_{\text{IRI}} = (W + N) \times F \times 10^4 \quad (2)$$

式中: I_{IRI} 为相对重要性指数IRI值; W 为某一物种质量占总质量百分比; N 为某一物种尾数占总量百分比; F 为出现率,表示某一物种出现站数占总站数百分比。本文中将 $IRI > 1000$ 定为优势种, $100 < IRI \leq 1000$ 为重要种, $10 < IRI \leq 100$ 为常见种, $1 < IRI \leq 10$ 为一般种, $IRI \leq 1$ 为稀有种。

采用Shannon-Winner多样性指数(H')、Margalef种类丰富度指数(D')、Pielou均匀度指数(J')、Simpson单纯度指数(C')分别计算尾数及质量多样性,公式如下:

Shannon-Winner多样性指数(H'):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

Margalef种类丰富度指数(D'):

$$D' = (S - 1)/\ln N_i \quad (4)$$

Pielou均匀度指数(J'):

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (5)$$

Simpson单纯度指数(C'):

$$C' = \sum_{i=1}^s \frac{n_i^2}{N_i^2} \quad (6)$$

式中: P_i 为第*i*种游泳动物质量占总质量的比例; S 为每个站点物种数; N_i 为个体数。

使用CANOCO 5.0对尾数生物量与环境因子进行约束排序以探讨相关性。首先进行数据预处理:选择进行去趋势分析(Detrended correspondence analysis, DCA),结果表明排序轴最大梯度长度分别为3.2、3.5均大于3.0,因此均选择

典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)进行,经过向前引入法(Forward selection)筛选后用以分析的变量有SSS、pH、SST、DO。使用蒙特卡罗检验(Monte Carlo method)对排序轴进行显著性检验,结果显示两个季节的第一排序轴(Axis-1)和所有排序轴均存在显著差异($P < 0.05$),证明CCA分析结果有一定生物学意义。

运用Excel、IBM SPSS Statistics 21.0、Arcgis、Graphpad prism 9.0、CANOCO 5.0进行生物统计及绘图。

2 结果

2.1 种类组成

春秋季拖网调查共采集到鱼类49种,隶属于

11目24科41属(表1),其中鲈形目种类最多为24种,隶属于10科22属,合计采集鱼类2175尾,总质量48598.91 kg。春季采集到鱼类35种,隶属于8目17科29属,秋季采集到鱼类32种,隶属于9目17科28属。两季节的共有种为18种。凤鲚尾数占比最多,达15.4%,其次为棘头梅童鱼(12.51%)、刀鲚(10.34%)。

从适温性来看,暖温性鱼类中石首鱼科与虾虎鱼科最多,各7种,其次为舌鳎科2种;暖水性鱼类中鳀科为3种,其次为鲢科和鲂科各2种;从生态类型来看,河口近海性鱼类中虾虎鱼科、鳀科、舌鳎科最多,分别有8种、5种、4种;海洋性鱼类的石首鱼科7种,其次为鲂科与鲢科,均为2种。

表1 长江口南部水域鱼类名录
Tab. 1 The list of fish in the southern water of the Yangtze River Estuary

种名 Species	尾数占比 Proportion/%	体长范围 Body length range/cm	季节 Season		生态类型 Ecotype	适温性 Optimum temperature
			春季 Spring	秋季 Autumn		
鳗鲡目 Anguilliformes						
海鳗科 Muraenesocidae						
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	0.14	6.8~20.8		+	Ma	WW
鲱形目 Clupeiformes						
鲱科 Clupeidae						
斑鲚 <i>Konosirus punctatus</i>	0.14	11.8~13.3	+		Es	WT
鳀科 Engraulidae						
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	15.40	4.5~24.3	+	+	Es	WT
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	10.34	3.5~28.5	+	+	Es	WT
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	2.07	1.8~26.0	+	+	Es	WW
中华侧带小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>	1.47	2.3~6.6		+	Es	WW
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	0.40	8.5~9.9	+	+	Es	WW
锯腹鳀科 Pristigasteridae						
鳎 <i>Ilisha elongata</i>	2.39	3.7~10.0		+	Es	WW
鲤形目 Cypriniformes						
鲤科 Cyprinidae						
寡鳞鳊 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	0.14	5.1~13.3		+	Es	WW
鲈形目 Siluriformes						
鲈科 Bagridae						
长吻鲈 <i>Tachysurus dumerili</i>	1.52	7.0~19.8		+	Es	WW
光泽黄颡鱼 <i>Tachysurus nitidus</i>	0.51	4.3~14.0	+	+	Es	WW
海鲶科 Ariidae						
丝鳍海鲶 <i>Arius arius</i>	1.29	1.5~12.0		+	Es	WW
胡瓜鱼目 Osmeriformes						
银鱼科 Salangidae						
有明银鱼 <i>Salanx ariakensis</i>	0.05	13.9		+	Es	WT

·续表 1·

种名 Species	尾数占比 Proportion/%	体长范围 Body length range/cm	季节 Season		生态类型 Ecotype	适温性 Optimum temperature
			春季 Spring	秋季 Autumn		
仙女鱼目 Aulopiformes						
狗母鱼科/合齿鱼科 Synodontidae						
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	9.01	2.7~24.0	+	+	Ma	WW
鲛鳗目 Lophiiformes						
鲛鳗科 Lophiidae						
黄鲛鳗 <i>Lophius litulon</i>	0.46	3.5~5.5	+		Ma	WT
鲉形目 Scorpaeniformes						
鲉科 Scorpaenidae						
褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i>	0.18	2.3~2.4	+		Es	WT
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	0.09	5.6~5.7	+		Ma	WT
魴鲷科 Triglidae						
棘绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	0.60	1.8~2.6	+		Ma	WW
日本红娘鱼 <i>Lepidotrigla japonica</i>	0.09	2.5	+		Ma	WW
鲈形目 Perciformes						
花鲈科 Lateolabracidae						
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	0.83	1.6~16.0	+	+	Es	WW
天竺鲷科 Apogonidae						
细条天竺鲷 <i>Apogon lineata</i>	0.60	1.8~3.6		+	Ma	WT
鲹科 Carangidae						
日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	0.05	5.0	+		Ma	WT
马鲛科 Polynemidae						
四指马鲛 <i>Eleutheronema tetradactylum</i>	0.92	4.5~14.0		+	Ma	WW
石首鱼科 Sciaenidae						
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	12.51	1.5~18.5	+	+	Ma	WT
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	0.87	2.6~12.0	+	+	Ma	WT
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	0.14	6.6~9.0		+	Ma	WT
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	0.60	2.0~3.5	+		Ma	WT
鲞 <i>Miichthys miiuy</i>	8.55	1.8~37.0	+	+	Ma	WT
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	0.05	6.5		+	Ma	WT
银姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	0.28	5.0~7.5		+	Ma	WT
鲈科 Callionymidae						
香斜棘鲈 <i>Callionymus olidus</i>	0.09	5.0	+		Es	WT
虾虎鱼科 Gobiidae						
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>	0.05	19.5	+		Es	WT
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	0.41	2.3~2.5	+		Es	WT
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.05	8.5	+		Es	WT
舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	0.05	8.0		+	Es	WW
睛尾蝌蚪虾虎鱼 <i>Lophiogobius ocellicauda</i>	3.26	8.0~10.0	+	+	Es	WT
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	3.31	4.0~20.5	+	+	Es	WT
髯须虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>	2.44	3.0~10.2	+	+	Es	WT
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	1.61	2.5~13.0	+		Es	WT
带鱼科 Trichiuridae						
日本带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	0.46	12.5~32.4		+	Ma	WT
鲷科 Stromateidae						
银鲷 <i>Pampus argenteus</i>	1.70	2.5~20.0	+	+	Ma	WW

·续表 1·

种名 Species	尾数占比 Proportion/%	体长范围 Body length range/cm	季节 Season		生态类型 Ecotype	适温性 Optimum temperature
			春季 Spring	秋季 Autumn		
灰鲢 <i>Pampus cinereus</i>	0.23	1.5~2.2	+		Ma	WT
鳢科 Channidae						
月鳢 <i>Channa asiatica</i>	0.05	2.8	+		Es	WW
鲈形目 Pleuronectiformes						
舌鳎科 Cynoglossidae						
窄体舌鳎 <i>Cynoglossus gracilis</i>	1.75	2.8~25.1	+	+	Es	WT
印度舌鳎 <i>Cynoglossus arel</i>	0.05	26.5	+		Es	WW
半滑舌鳎 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	0.05	25.0	+		Es	WT
焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	6.57	5.5~32.0	+	+	Es	WT
鲈形目 Tetraodontiformes						
鲈科 Tetraodontidae						
暗纹多纪鲈 <i>Takifugu fasciatus</i>	0.09	11.5~13.5	+	+	Es	WT
黄鳍多纪鲈 <i>Takifugu xanthopterus</i>	6.11	2.7~22.5	+	+	Es	WT

注:Es.河口及近海性鱼类;Ma.海水性鱼类;WW.暖水性鱼类;WT.暖温性鱼类;“+”代表相应出现季节。

Notes: Es. Estuarine and offshore species; Ma. Marine species; WW. Warm water species; WT. Warm temperature species; "+" represents the corresponding season.

2.2 温盐因子

春季表层水温变化范围为 15.1~21.7 °C,平均值为 17.1 °C,最高值出现在 A6 站,最低值出现在 A10 站,北槽平均温度 (18.9 °C)>北港 (16.5 °C)>南槽 (15.9 °C),近岸海域表层温度略高于外海。表层盐度由西内陆带向东海带呈逐渐水平升高趋势,变化范围为 0.1~26.4,平均盐度为 14.7,最高值出现在 A12 站,最低值出现在 A1 站,北槽

平均盐度 (17.6)>南槽 (13.9)>北港 (12.5)。

秋季表层水温则有从东南向西北升高的趋势,变化范围为 17.7~25.0 °C,平均温度为 21.1 °C,北港平均温度 (24.6 °C)>北槽 (19.9 °C)>南槽 (18.8 °C)。表层盐度由西北向东南逐渐升高,变化范围为 0.1~16.5,平均盐度为 6.9,最高值与最低值同样出现在 A12、A1,北槽平均盐度 (10.6)>南槽 (9.9)>北港 (0.2),见图 2 和图 3。

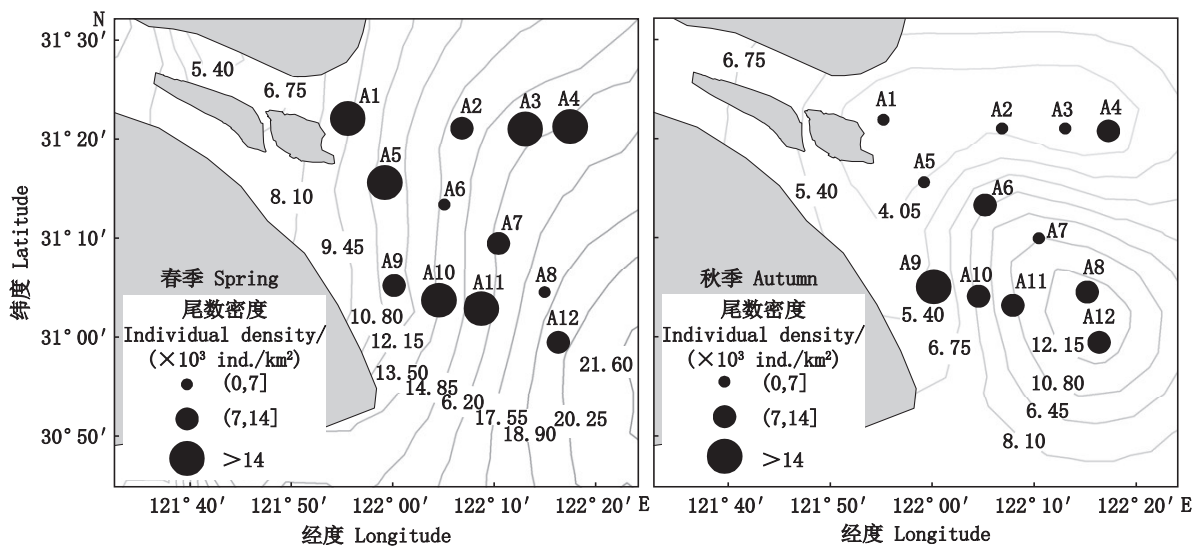


图 2 春秋季表层盐度与尾数密度分布图
Fig. 2 Surface salinity and individual density distribution in spring and autumn

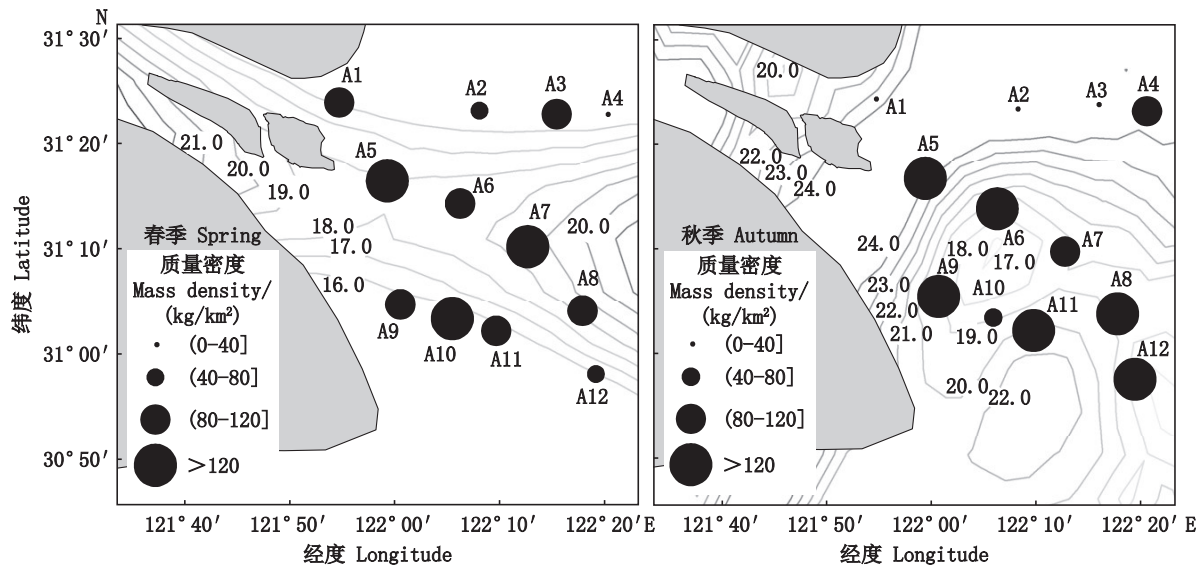


图3 春秋季表层温度与质量密度分布图

Fig. 3 Surface temperature and mass density distribution in spring and autumn

2.3 密度分布

春季尾数总密度为 153.03×10^3 ind./km², 其中 A1 站最高, 为 18.62×10^3 ind./km², 该站主要物种为凤鲚、刀鲚, A8 站最低 (6.07×10^3 ind./km²); 质量总密度为 $1\,136.47$ kg/km², A7 站最高, 为 160.03 kg/km², 该站主要物种为鲩、凤鲚和棘头梅童鱼, A4 站最低 (22.54 kg/km²)。秋季尾数总密度为 96.89×10^3 ind./km², A9 站最高, 为 14.25×10^3 ind./km², 该站主要物种为棘头梅童鱼、凤鲚和刀鲚, A1 站最低 (1.30×10^3 ind./km²); 质量总密度为 $3\,242.07$ kg/km², A8 站最高, 为 893.19 kg/km², 远高于春季最大值, 其中龙头鱼占比最多, 最低值同样出现在 A1 站, 质量密度仅为 2.54 kg/km² (图 2 和图 3)。

春季和秋季的尾数平均密度分别为 12.75×10^3 和 8.07×10^3 ind./km², 春季略高于秋季。春季呈现出北港 (15.16×10^3 ind./km²) > 南槽 (12.54×10^3 ind./km²) > 北槽 (10.56×10^3 ind./km²); 秋季不同于春季: 南槽 (11.99×10^3 ind./km²) > 北槽 (8.77×10^3 ind./km²) > 北港 (3.46×10^3 ind./km²); 从质量平均密度看, 秋季质量平均密度 (270.17 kg/km²) 远高于春季 (94.71 kg/km²), 秋季北槽、南槽质量密度均比春季总质量密度多, 但两个季节均表现出北槽 > 南槽 > 北港的趋势。

2.4 优势种数量和质量季节差异

春季与秋季各有优势种 (IRI > 1 000) 5 种, 重要种 ($100 < \text{IRI} \leq 1\,000$) 各有 4 和 6 种 (表 2), 其中凤鲚、刀鲚、棘头梅童鱼、鲩在两个季节中均为优

势种。在数量百分比上, 春季凤鲚 (32.06%) 最高, 接近总量的 1/3, 秋季同样凤鲚最高 (15.41%), 其次为棘头梅童鱼 (12.87%); 在质量百分比上, 春季鲩 (23.84%) 最高, 秋季龙头鱼 (24.61%) 最高; 在出现率上, 春季棘头梅童鱼达 100%, 秋季刀鲚 (91.67%) 最高; 凤鲚在两个季节中 IRI 均最高, 分别为 4 755.66 和 2 822.77。综合来看, 秋季优势种前 4 种 IRI 值差距较小, 但在优势种组成上与春季相似。

2.5 优势种密度对总密度的贡献

春季, 鲩的尾数贡献率 ($\beta=0.58$) 高于优势种第一的凤鲚 ($\beta=0.49$), 为最高值, 且显著性最大, 其余 2 种优势种尾数密度也均对总尾数密度有显著影响 ($P < 0.05$); 而在质量贡献率上, 凤鲚 ($\beta=0.81$) 最高, 棘头梅童鱼 ($\beta=0.70$) 次之, 这 2 种均对总质量密度有显著影响 ($P < 0.05$), 鲩贡献率不明显且影响不显著 ($P > 0.05$)。秋季, 龙头鱼的尾数贡献率最高 ($\beta=0.41$), 但在显著性水平上低于其他 2 种, 刀鲚最高 ($P=0.001\,2$), 影响总体贡献率最大, 同时刀鲚的质量贡献率最高且影响显著 ($\beta=0.52, P < 0.05$), 见表 3。

2.6 α 物种多样性比较

两个季节对比来看, 秋季的尾数多样性指数 H' 、 J' 、 D' 平均值均明显高于春季, 但 C' 相反; 在质量多样性上, 各个指数的平均值在两个季节间相差不大。从尾数和质量多样性指数来看: 春季, 质量多样性指数 H' 和 J' 的均值大于尾数多样性

指数, D' 和 C' 则相反; 秋季, 尾数多样性指数 H' 、 J' 、 D' 的均值均大于质量多样性指数。可以看出两个季节的尾数多样性指数与质量多样性指数均存在明显差异。

表 2 鱼类优势种与重要种差异比较
Tab. 2 Difference comparison between dominant and important fish species

季节 Season	种名 Dominant species	数量百分比 N/%	质量百分比 W/%	出现率 F/%	IRI
春季 Spring	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	32.06	19.82	91.67	4 755.66
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	12.87	15.44	100.00	2 830.64
	鲢 <i>Müichthys miiuy</i>	12.39	23.84	75.00	2 717.21
	焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	13.76	13.50	75.00	2 044.84
	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	9.60	9.53	83.33	1 593.87
	拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	1.24	2.52	91.67	509.88
	孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	5.72	4.38	41.67	420.66
	髯须虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>	3.52	3.69	58.33	420.64
秋季 Autumn	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	1.24	2.18	41.67	142.54
	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	15.41	18.46	83.33	2 822.77
	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	11.51	14.87	91.67	2 417.84
	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	11.41	24.61	66.67	2 401.11
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	12.19	18.04	75.00	2 267.48
	鲢 <i>Müichthys miiuy</i>	6.71	9.49	75.00	1 214.65
	黄鳍多纪鲃 <i>Takifugu xanthopterus</i>	9.17	3.80	50.00	648.43
	焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	4.09	1.20	50.00	264.38
	睛尾蝌蚪虾虎鱼 <i>Lophiogobius ocellicauda</i>	3.75	0.24	50.00	199.69
	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	2.39	3.48	33.33	195.70
	鳊 <i>Ilisha elongata</i>	3.47	0.37	41.67	160.16
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	3.08	0.94	33.33	134.09	

表 3 鱼类主要优势种密度对总密度的贡献 ($P < 0.05$)
Tab. 3 Contribution of main dominant species to total mass and individual of fishes

季节 Season	种名 Species	尾数 Individual			质量 Mass		
		β	t	P	β	t	P
春季 Spring	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	0.49	4.36	0.004 8	0.81	7.05	0.000 4
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.39	4.20	0.005 7	0.70	6.57	0.000 6
	鲢 <i>Müichthys miiuy</i>	0.58	7.62	0.000 3			
秋季 Autumn	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	0.22	5.75	0.001 2	0.52	4.32	0.005 0
	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	0.41	2.58	0.042 0	0.36	2.82	0.030 2
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.37	3.29	0.016 5	0.31	2.84	0.029 5

注: β . 标准回归系数; t . T 检验值; P . 显著性水平 (0.05)。

Notes: β . Standard regression coefficient; t . T test value; P . Significance level (0.05).

在特征值上, 尾数多样性指数 H' 、 J' 、 D' 、 C' 的最大值分别出现在秋季的 A12、A5、A1 与春季的 A4 站点, 而质量多样性指数 H' 、 J' 、 D' 、 C' 的最大值分别出现在秋季的 A6、A1、A1 与春季的 A3 站点。中位值则与平均值相近, 说明数据较为集中。结合空间分布, 在尾数多样性指数上, 季节变化趋势相同, 两个季节均呈现出从北至南 H' 和 J' 逐渐升高, D' 和 C' 逐渐降低的规律。质量多样

性指数季节变化则不同, 春季 H' 和 J' 北槽最高, D' 和 C' 北港最高, 秋季 H' 、 J' 和 D' 均为北港最高, C' 则北槽最高 (图 4)。总体而言, 本研究计算得出的 α 多样性指数间存在季节性 & 区域性变化。

2.7 CCA 分析

分析结果显示, 春季, 第一排序轴特征值为 0.375 2, 包含的物种与环境相关系数为 0.927, 解释了 21.22% 的物种组成变异, 在物种环境相关性

上,可解释48.62%的信息量;第二排序轴特征值为0.2515,包含的物种与环境相关系数为0.763,解释了14.22%的物种组成变异,在物种环境相关性上,可解释32.59%的信息量,前两轴累计解释了35.44%的物种变异率和81.21%的物种-环境信息。

秋季,第一排序轴特征值为0.3349,包含的物种与环境相关系数为0.968,解释了15.57%的

物种组成变异,在物种环境相关性上,可解释40.75%的信息量;第二排序轴特征值为0.2643,包含的物种与环境相关系数为0.919,解释了12.29%的物种组成变异,在物种环境相关性上,可解释32.16%的信息量,前两轴累计解释了27.86%的物种变异率和72.91%的物种-环境信息。从累计率上来说,春秋两季前两个排序轴具有一定代表意义。

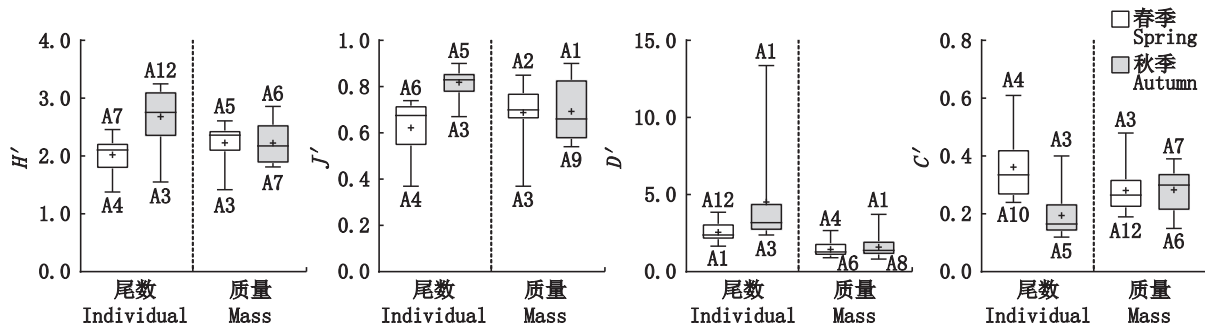


图4 两个季节多样性指数箱型图

Fig. 4 Box chart of two seasonal diversity index

表4 CCA分析结果
Tab. 4 CCA analysis results

季节 Season	排序轴 Axis	特征值 Eigenvalues	物种变量累计率 Explained variation (cumulative)/%	物种-环境相关性 Pseudo-canonical correlation	物种-环境变量累计率 Explained fitted variation (cumulative)/%
春季 Spring	1	0.375 2	21.22	0.927	48.62
	2	0.251 5	35.44	0.763	81.21
	3	0.115 5	41.98	0.644	96.18
	4	0.029 5	43.64	0.574	100.00
秋季 Autumn	1	0.334 9	15.57	0.968	40.75
	2	0.264 3	27.86	0.919	72.91
	3	0.116 3	33.27	0.875	87.05
	4	0.106 4	38.22	0.797	100.00

对春季的CCA排序可知,SSS($P=0.008$)与pH($P=0.012$)为显著解释变量,分析各物种与各环境因子之间的距离可知两者间的相关性。一些典型海洋鱼类如黄鲛鳗、日本红娘鱼、银鲳等聚集在SSS箭头附近,证明与SSS相关性较高,而环境因子DO与pH基本为一直线分布,说明正相关性较高。秋季CCA排序分析可知,SSS($P=0.003$)与SST($P=0.008$)为显著解释变量,此时SST箭头附近周围存在大量物种,包括有虾虎鱼目、鲈形目与部分具洄游习性的鲱形目等对温度敏感性大于其他环境因子的种类(图5)。

3 讨论

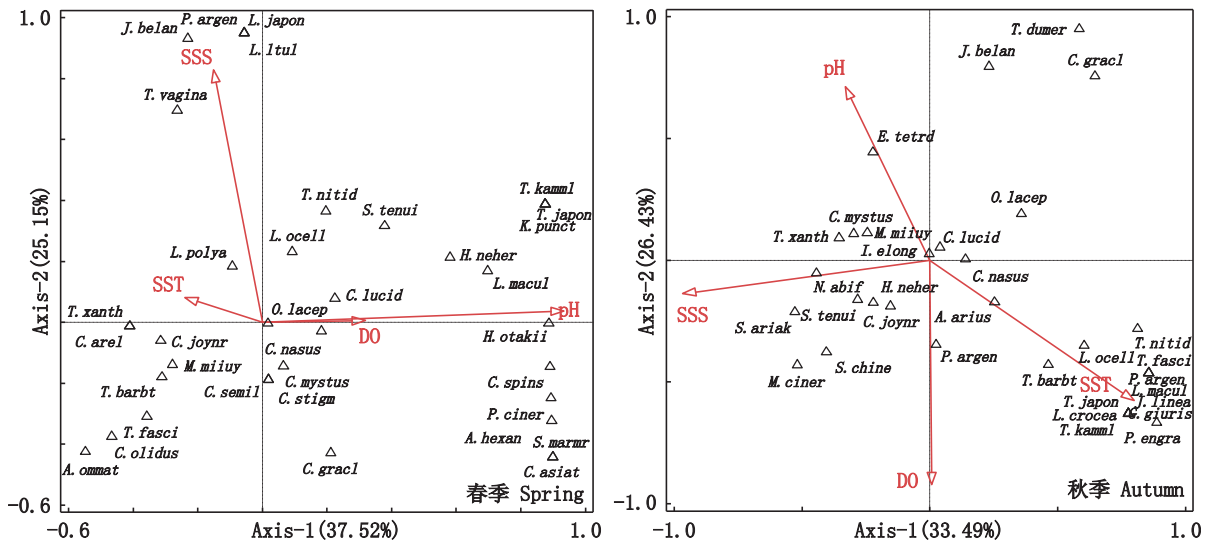
3.1 鱼类种类组成及密度季节变化特征

在种类组成上,基于宋超等^[23]相邻水域的渔业资源调查,比较后发现,同期出现的种类数多于长江口海上风电场水域,在地理特征上,本研究水域受上游淡水影响,盐度变化存在局限性,而针对海上风电场水域的研究处于口外东侧水域,以海洋性鱼类为主,存在地理差异,但也有相同种,从侧面来看,说明长江口生态系统存在一定承载力,并正在不断自我调节中。在生态类型上,本次研

究的鱼类均为底层或底栖生活的暖温、暖水种,以河口种居多,狭盐性鱼类较少,并呈区域分布。

在尾数密度变化上,北港春季尾数密度高出秋季近4.4倍,比其他两个航道各高出1.2倍与1.0倍。经过相关文献比较后发现,一些经过此地洄游的物种会引起该区域内的尾数密度变化。从尾数密度最大的凤鲚、刀鲚的分布特征来看,由东至西尾数密度有逐渐升高的趋势,特别是离内陆较近的站点资源量较大,这与代培等^[24]、毛成贵等^[25]、胡丽娟等^[26]、XU等^[27]研究的刀鲚、凤

鲚生殖洄游的路线与时间相符,可以证明一部分凤鲚、刀鲚在4月就开始了有路线规划的溯河洄游。其他有生殖、索饵、越冬洄游习性的物种也在一定时间段内,在海流的驱动下向沿岸温暖海岸带沿水道洄游,通过大量摄食以确保生活史的顺利完成。凤鲚、刀鲚作为重要经济种,捕捞量在90年代之前相当可观,但在环境污染与过度捕捞的影响下,资源量急剧下降甚至几近枯竭^[28],随着长江禁渔力度的加强,有研究显示长江口刀鲚的生物学规格及资源密度均有显著回升^[29]。



物种属名取首位字母,种名取前5-6位字母。

The genus name of species takes the first letter, and the species name takes the 5-6 letters.

图5 CCA 排序图

Fig. 5 CCA Sequencing

在质量密度变化上,个体大小、数量与之相关,例如A4站点采样得到的小型鱼类占较大比例,导致质量密度低,而秋季,在A5站点样品中体质量200 g以上的鳊9尾,最大个体达到525 g,且在该站点采集到了大量的棘头梅童鱼,故质量密度高。

整体而言,春季尾数密度比秋季高,而秋季质量密度比春季高,结合鱼类生长周期来看,符合大多数鱼种春夏孵化,秋冬育肥的特征,9月属于夏末秋初,鱼类成熟度加快,作为食物链中的消费者,整体处于能量蓄积状态。但由于种群间初次性成熟年龄差异大,代谢速度也不同,可运用相关生长、死亡模型量化种群间的成熟差异及优势种群的生长特性,探索群体年龄结构。

3.2 优势种组成与多样性变化

除凤鲚、刀鲚外,其余两种共同优势种棘头

梅童鱼与鳊,为小区域洄游种,在周边海域不乏索饵场与产卵场^[30-32],其中棘头梅童鱼在春季出现率达到100%(表1),在12个站点均有出现。基于多因素回归分析结果,在优势种贡献率上,优势种密度对总密度分布起主导作用(表2)。从两个季节来看,棘头梅童鱼的尾数密度和质量密度对总密度均有显著影响,说明该种类在总丰度及总生物量中有决定性优势。

比较以往不同年份相邻海域的调查(表5),在优势种组成上与宋超等^[23]相近,部分优势种在先前的调查中曾出现^[33-36],如龙头鱼、棘头梅童鱼、凤鲚等,而本研究内的重要、常见种也在其他调查中作为优势种出现。与历史资料相比,基于相同的优势度评估与定义方法,对其进行比较后可以看出,在优势种的组成上存在演替现象,近两年趋于稳定。有研究表明,在生物因素影响

下,会使得种群结构产生变化,如物种自身特征^[36-38](适应、生长速率、繁殖习性、营养层级等);种间关系^[39](捕食、竞争),物种入侵^[40]等方面。此外,非生物因素的影响也会导致种群结构的波动,如生态因子变化^[41-42]、人为捕捞^[43]等,所以种群结构变化的成因较为复杂,需要进行多维度考虑。

从各个多样性指数意义上出发, H' 和 J' 可以通过个体的均匀度来估算群落多样性的大小; D' 说明种类丰富度; C' 在公式中兼顾以上两种方面,结合本研究中的两个季节尾数 α 多样性指数

分布特征,可以看出 H' 、 J' 均出现从北至南逐渐升高的趋势,而 D' 与 C' 恰恰相反,说明群落从北至南呈不均匀分布,种类丰富度由南至北逐渐降低,质量多样性指数则与密度资源变化有相同趋势。与历史调查相比,春季多样性指数 J' 平均值及范围较2013年孙鹏飞等^[34]计算出的值较接近,较宋超等^[23]小, H' 与 D' 的平均值则偏大,整体在合理的范围内变化。秋季调查中,3个指数平均值比以往调查的数值大,群落内物种的分配状况较先前均匀,群落多样性指数表现良好。

表5 长江口及相邻海域鱼类资源调查结果比较
Tab. 5 Investigation and comparison of fishery resources at the Yangtze River Estuary and in adjacent waters at different times

时间 Time		鱼类优势种 Dominant species	尾数多样性指数 Diversity index			参考文献 Reference
年份 Year	月份 Month		H'	D'	J'	
2011	5	凤鲚、小黄鱼	1.16~3.06(2.31)	1.08~2.13(1.65)	0.31~0.91(0.65)	[33]
2013	5	六丝钝尾虾虎鱼、龙头鱼	0.49~2.39(1.52)	0.38~2.11(1.63)	0.27~0.85(0.62)	[34]
2019	4	棘头梅童鱼、刀鲚、凤鲚、拉氏狼牙虾虎鱼、鮠	0.89~1.53(1.22)	0.48~1.36(1.00)	0.55~0.85(0.70)	[23]
2020	4	凤鲚、棘头梅童鱼、鮠、焦氏舌鳎、刀鲚	1.38~2.46(2.02)	1.66~3.86(2.56)	0.37~0.74(0.62)	本研究
2006	10	/	0.79~2.92	1.68~4.26	0.26~0.77	[35]
2011	11	带鱼、龙头鱼、小黄鱼、银鲳、黄鲫	0.87~2.47(1.76)	1.19~2.56(1.70)	0.21~0.65(0.45)	[34]
2012	8	红狼牙虾虎鱼	0.15~2.34(1.70)	0.46~2.60(1.51)	0.11~1.00(0.71)	[33]
2019	9	龙头鱼、凤鲚、棘头梅童鱼、刀鲚、鮠	1.23~2.08(1.62)	0.96~1.77(1.40)	0.58~0.81(0.68)	[23]
2020	9	凤鲚、刀鲚、龙头鱼、棘头梅童鱼、鮠	1.55~3.25(2.64)	2.38~13.37(5.00)	0.67~0.90(0.81)	本研究

3.3 水文环境变化和对鱼类分布的影响

调查水域内的表层温盐平面分布表明,同一水域内存在季节性变化。从盐度上看:春季盐度变化范围及平均值均高于秋季。分析春季在冲淡水与海水结合过程中,外海海水营养盐补充速度与河口流向大陆架的淡水冲刷速度相近,导致由里向外呈现梯度等级的稳定排序,此时河口、近海性鱼类因生活史阶段的不同在各个盐度梯度间均有分布,海洋性鱼类最近可达A3及A11所在的14.85的等盐线附近;在秋季,长江仍处于丰水期,受长江冲淡水影响,北港的航道径流量稍大于其余两个航道,中和了东海海水盐度,且受副热带高压影响,频繁降水,同时在进入夏季时,承受了低盐的南黄海冷水团影响^[44-45],此时水体中营养盐含量下降,海洋性鱼类需通过渗透压调节以维持正常生理功能,如对盐度需求敏感的龙头鱼、海鳗、银鲳、日本带鱼等鱼类仅在近外海的站点(A4, A8, A12)出现,呈现一定的趋盐性。而

从水温上看,春季的平均温度及变化范围比秋季低,春季受沿岸上升流及次级环流影响较大,但最低温保持在15度以上,结合鱼类自身对环境的适应性,所以本次采集到的鱼类均为暖水性或暖温性鱼类。秋季则延续夏季的高温环境,蓄积一定热量,温跃层强度大,加上由南向北的台湾暖流的持续高温影响,在风应力和热力的驱使下,形成热动力机制,导致了调查水域附近存在明显的温度等级划分^[46]与不同鱼类的群体划分。

在环境变化上,从自然因素角度出发,从上世纪起,长江口水底地形就一直处于动荡的变化过程中,经历了长期的自然演变,近些年才开始逐渐呈现稳定状态^[47],但航道的冲淤变化仍比较复杂,如北港有“滩淤槽冲”的特性与趋势^[48],加上来水来沙变化、潮汐作用、海水倒灌、水土流失等自然因素共同作用,在河床及水流内部结构的持续改变下极易造成生态因子的波动,影响了鱼类原有栖息地环境。其次,从非自然因素角度考

虑,鱼类群体生存受到人类活动的影响是毋庸置疑的^[49-51],在受到长江上游工程建设、大坝修建、贸易运输等频繁的人类群体活动的影响下,导致的水体污染、富营养化加剧、系统稳态下降,从而加大鱼类生存压力,存活率降低。一些运用理化模型模拟、预测环境因素对鱼类生物量影响的研究结果均显示^[52-54],水文环境因子与鱼类资源量显著相关,且鱼类对环境的适应具有一定的规律性。CCA 排序图结果证明斑尾刺虾虎鱼、孔虾虎鱼、髯缟虾虎鱼、赤鼻棱鯷等多种鱼类在适应环境变化过程中,与温度、pH、DO 具有一定相关性。而对盐度范围变化接受能力较强的广盐性物种如刀鲚、凤鲚、拉氏狼牙虾虎鱼等分布区域较广。在变量上本研究分析了基本水文环境因子,对于其余水质检测指标如叶绿素 a 质量浓度、无机氮化合物、重金属离子含量等对鱼类种群资源空间分布的影响,需通过理化检测后说明。

参考文献:

- [1] 陆健健. 河口生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 2003.
LU J J. Estuarine ecology [M]. Beijing: China Ocean Press, 2003.
- [2] 张邦杰, 莫介化, 麦家柏, 等. 虎门口邻近水域鱼类群落组成与历史变化[J]. 淡水渔业, 2015, 45(5): 50-58.
ZHANG B J, MO J H, MAI J B, et al. The fish population composition and the variations of the fishery resources in Humen Harbor Waters[J]. Freshwater Fisheries, 2015, 45(5): 50-58.
- [3] 朱鑫华, 缪锋, 刘栋, 等. 黄河口及邻近海域鱼类群落时空格局与优势种特征研究[J]. 海洋科学集刊, 2001(43): 141-151.
ZHU X H, LIAO F, LIU D, et al. Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the yellow river estuary and its adjacent waters [J]. Studia Marina Sinica, 2001(43): 141-151.
- [4] 林坤, 麦广铭, 王力飞, 等. 2015—2018年珠江口近岸海域鱼类群落结构及其稳定性[J]. 水产学报, 2020, 44(11): 1841-1850.
LIN K, MAI G M, WANG L F, et al. Structure and stability of the fish community in the Pearl River Estuary coastal waters from 2015 to 2018 [J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(11): 1841-1850.
- [5] HOQUE M M, MUSTAFA KAMAL A H, IDRIS M H, et al. Status of some fishery resources in a tropical mangrove estuary of Sarawak, Malaysia [J]. Marine Biology Research, 2015, 11(8): 834-846.
- [6] ENGMAN A C, KWAK T J, FISCHER J R, et al. Fish assemblages and fisheries resources in Puerto Rico's Riverine estuaries [J]. Marine and Coastal Fisheries, 2019, 11(2): 189-201.
- [7] 庄平, 张涛, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2018: 3-4.
ZHUANG P, ZHANG T, LI S F, et al. Fishes of the Yangtze Estuary [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2018: 3-4.
- [8] 刘守海, 杨旖祎, 何彦龙, 等. 基于DNA条形码的长江口鱼类浮游生物形态分类研究[J]. 海洋学报, 2021, 43(8): 93-104.
LIU S H, YANG Y Y, HE Y L, et al. Morphological classification of ichthyoplankton in the Changjiang River Estuary based on DNA barcoding [J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(8): 93-104.
- [9] 张冬良, 李黎, 钟俊生, 等. 长江口碎波带刀鲚仔稚鱼的形态学研究[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 150-154.
ZHANG D L, LI L, ZHONG J S, et al. Morphological study on larvae and juveniles of *Coilia nasus* in the surf zone of Yangtze river estuary [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(2): 150-154.
- [10] 周建设, 张驰, 刘海平, 等. DNA条形码在西藏水系裂腹鱼亚科鱼类鉴定中的研究[J]. 淡水渔业, 2019, 49(1): 33-41.
ZHOU J S, ZHANG C, LIU H P, et al. Studies on identification of Schizothoracinae population in Tibet water system by DNA barcode [J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(1): 33-41.
- [11] 丁月旻, 钱微微. 秋季长江口鱼类浮游生物群落时空结构[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(10): 67-74.
DING Y M, XIAN W W. Temporal and spatial structure of ichthyoplankton assemblages in the Yangtze Estuary during autumn [J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(10): 67-74.
- [12] 宋超, 李亚鸽, 赵峰, 等. 长江口刀鲚繁殖群体组成及繁殖性能[J]. 中国水产科学, 2022, 29(7): 951-959.
SONG C, LI Y G, ZHAO F, et al. Reproductive population composition and reproductive performance of *Coilia nasus* from the Yangtze Estuary [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(7): 951-959.
- [13] 彭彪彪, 赵峰, 王思凯, 等. 中国花鲈在长江口不同亚生境中的栖息特征[J]. 南方水产科学, 2021, 17(4): 1-8.
PENG B B, ZHAO F, WANG S K, et al. Habitat traits of *Lateolabrax japonicus* in different subhabitats of Yangtze River Estuary [J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(4): 1-8.
- [14] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口纹缟虾虎鱼胚胎发育及早期仔鱼生长与盐度的关系[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 170-176.
FENG G P, ZHUANG P, ZHANG L Z, et al. Embryonic

- and pre-larval development of *Tridentiger trignocephalus* and adaptability to salinity [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(2): 170-176.
- [15] 王汝贤, 杨刚, 耿智, 等. 环境DNA技术在长江口鱼类多样性分析中的应用[J]. *水生生物学报*, 2023, 47(3): 365-375.
- WANG R X, YANG G, GENG Z, et al. Application of environmental DNA technology in fish diversity analysis in the Yangtze River Estuary [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(3): 365-375.
- [16] 王学昉, 孟维钊, 王丛丛, 等. 环境DNA技术在长江口水生生物监测中的应用潜力[J]. *应用海洋学学报*, 2021, 40(3): 547-554.
- WANG X F, MENG W Z, WANG C C, et al. Potential application of environmental DNA technology in monitoring aquatic organisms in the Yangtze Estuary [J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2021, 40(3): 547-554.
- [17] JIA H, WANG Y B, YOSHIZAWA S, et al. Seasonal variation and assessment of fish resources in the Yangtze Estuary based on environmental DNA [J]. *Water*, 2020, 12(10):2874.
- [18] 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海市水产研究所. 上海鱼类志[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai Fisheries Research Institute. *Ichthyography of Shanghai* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1990.
- [19] 赵盛龙, 徐汉祥, 钟俊生, 等. 浙江海洋鱼类志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2016.
- ZHAO S L, XU H X, ZHONG J S, et al. *Marine fishes of Zhejiang province* [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 2016.
- [20] NELSON J S, GRANDET C, WILSONM V H. *Fishes of the world* [M]. 5th ed. Hoboken: John Wiley andSons, 2016.
- [21] 伍汉霖, 邵广昭, 赖春福. 拉汉世界鱼类名典[M]. 基隆, 中国: 水产出版社, 1999.
- WU H L, SHAO G Z, LAI C F. *Latin-Chinese dictionary of fish names* [M]. Jilong, China: The Sueichan Press, 1999.
- [22] 伍汉霖, 钟俊生. 中国海洋及河口鱼类系统检索[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- WU H L, ZHONG J S. *Key to marine and estuarial fishes of China*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [23] 宋超, 胡丽娟, 赵峰, 等. 长江口海上风电场水域鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(3): 469-482.
- SONG C, HU L J, ZHAO F, et al. Fish community structure and its relationship with environmental factors in offshore wind farm waters of the Yangtze Estuary [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(3): 469-482.
- [24] 代培, 严燕, 朱孝彦, 等. 长江刀鲚国家级水产种质资源保护区(安庆段)刀鲚资源现状[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(11): 1267-1276.
- DAI P, YAN Y, ZHU X Y, et al. Status of *Coilia nasus* resources in the national aquatic germplasm resources conservation area in the Anqing section of the Yangtze River [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(11): 1267-1276.
- [25] 毛成贵, 矫新明, 钟俊生, 等. 长江口刀鲚资源现状及保护研究进展[J]. *淮海工学院学报(自然科学版)*, 2015, 24(3): 78-83.
- MAO C Z, JIAO X M, ZHONG J S, et al. Research progress on resource status and protection of *Coilia nasus* in Yangtze River Estuary [J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2015, 24(3): 78-83.
- [26] 胡丽娟, 宋超, 耿智, 等. 长江口凤鲚仔稚鱼主要繁殖季节的时空分布特征[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(9): 1152-1161.
- HU L J, SONG C, GENG Z, et al. Temporal and spatial distribution of *Coilia mystus* larvae and juveniles in the Yangtze Estuary during primary breeding season [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(9): 1152-1161.
- [27] XU G C, BIAN C, NIE Z J, et al. Genome and population sequencing of a chromosome-level genome assembly of the Chinese tapertail anchovy (*Coilia nasus*) provides novel insights into migratory adaptation[J]. *Gigascience*, 2020, 9(1): giz157.
- [28] 袁传宓. 长江中下游刀鲚资源和种群组成变动状况及其原因[J]. *动物学杂志*, 1988, 23(3): 12-15.
- YUAN C M. Changes of *Coilia coilia* resources and population composition in the middle and lower reaches of the Yangtze River and their causes [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1988, 23(3): 12-15.
- [29] 马凤娇, 杨彦平, 方弟安, 等. 长江禁捕后长江口刀鲚资源特征[J]. *水生生物学报*, 2022, 46(10): 1580-1590.
- MA F J, YANG Y P, FANG D A, et al. Characteristics of *Coilia nasus* resources after fishing ban in the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(10): 1580-1590.
- [30] 谢起浪, 单乐州, 王铁杆, 等. 浙南飞云江口棘头梅童鱼的资源调查和研究[J]. *渔业现代化*, 2006(1): 35-36.
- XIE Q L, SHAN L Z, WANG T G, et al. Investigation and study on resources of *Collichthys lucidus* in Feiyun River Estuary of the south Zhejiang province [J]. *Fishery Modernization*, 2006(1): 35-36.

- [31] 王淼,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.
- [32] 邹明汐,陈渊戈,宋小晶,等. 黄海南部近岸水域棘头梅童鱼仔稚鱼的分布和漂移趋势[J]. 水产学报, 2022, 46(4): 557-568.
ZOU M X, CHEN Y G, SONG X J, et al. Distribution and drift trend of *Collichthys lucidus* larvae and juveniles in the coastal waters of the southern Yellow Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(4): 557-568.
- [33] 张迎秋. 长江口近海鱼类群落环境影响分析[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2012.
ZHANG Y Q. Environmental impact on the fish assemblage structure in adjacent sea area of the Yangtze River estuary [D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2012.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] ANDOLINA C, FRANZOI P, CAVRARO F, et al. Trophic adaptability shapes isotopic niche of the resident fish *Aphanius fasciatus* across lagoon habitats [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2022, 264: 107685.
- [37] 廖传松,陈思宝,叶少文,等. 三峡水库鱼类群落结构及主要鱼类种群年龄与生长[J]. 中国水产科学, 2021, 28(6): 695-702.
LIAO C S, CHEN S B, YE S W, et al. Fish assemblage structure and age and growth of the primary fish populations in the Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(6): 695-702.
- [38] 刘思磊,王银平,李佩杰,等. 长江下游鳊种群生长及繁殖特性[J]. 生态学杂志, 2021, 40(7): 2146-2154.
LIU S L, WANG Y P, LI P J, et al. Population growth and reproduction characteristics of *Parabramis pekinensis* in the lower reaches of the Yangtze River [J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(7): 2146-2154.
- [39] 庄平,罗刚,张涛,等. 长江口水域中华鲟幼鱼与6种主要经济鱼类的食性及食物竞争[J]. 生态学报, 2010, 30(20): 5544-5554.
ZHUANG P, LUO G, ZHANG T, et al. Food comparison among juvenile *Acipenser sinensis* and other six economic fishes in the Yangtze estuary [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(20): 5544-5554.
- [40] LEWIN W C, DOROW M, HENSELER C, et al. Temporal development of fish communities in brackish lagoons of the Baltic Sea considering the invasion of the non-indigenous round goby (*Neogobius melanostomus*) [J]. Regional Studies in Marine Science, 2023, 62: 102953.
- [41] 刘雅丹. 浅谈气候变化对渔业和水产养殖的影响[J]. 中国水产, 2022(1): 68-71.
LIU Y D. A brief discussion on the impact of climate change on fisheries and aquaculture [J]. China Fisheries, 2022(1): 68-71.
- [42] 黄良敏,张会军,张雅芝,等. 入海河口鱼类生物与水环境关系的研究现状与进展[J]. 海洋湖沼通报, 2013(1): 61-68.
HUANG L M, ZHANG H J, ZHANG Y Z, et al. Research and progress of relationship between fish and aquatic environmental factors in estuarine waters [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(1): 61-68.
- [43] 王迎宾,郑基,覃涛,等. 捕捞作用下鱼类资源量变动短期影响的模拟研究[J]. 海洋湖沼通报, 2011(3): 39-45.
WANG Y B, ZHENG J, QIN T, et al. A simulation study of short-term fish abundance variation under the effect of fishing [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011(3): 39-45.
- [44] 吴晓丹,宋金明,李学刚. 长江口邻近海域水团特征与影响范围的季节变化[J]. 海洋科学, 2014, 38(12): 110-119.
WU X D, SONG J M, LI X G. Seasonal variation of water mass characteristic and influence area in the Yangtze Estuary and its adjacent waters [J]. Marine Sciences, 2014, 38(12): 110-119.
- [45] QI J F, YIN B S, ZHANG Q L, et al. Analysis of seasonal variation of water masses in East China Sea [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2014, 32(4): 958-971.
- [46] 王建丰,司广成,于非. 台湾暖流变化特征及机制研究进展[J]. 海洋科学, 2020, 44(5): 141-148.
WANG J F, SI G C, YU F. Progress in studies of the characteristics and mechanisms of variations in the Taiwan Warm Current [J]. Marine Sciences, 2020, 44(5): 141-148.
- [47] 赵德招,万远扬. 2015年长江口航道运行维护特征分析[J]. 水利水运工程学报, 2017(2): 82-90.
ZHAO D Z, WAN Y Y. Characteristic analysis of dredging

- maintenance for Yangtze River estuary deepwater navigation channel in 2015 [J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2017(2): 82-90.
- [48] 严超, 刘俊延. 长江口北港水沙特性及河床演变分析[J]. *中国水运*, 2019, 19(11): 128-129, 151.
YAN C, LIU J Y. Characteristics of water and sediment and analysis of riverbed evolution in the North Harbor of the Yangtze Estuary[J]. *China Water Transport*, 2019, 19(11): 128-129, 151.
- [49] SU G H, LOGEZ M, XU J, et al. Human impacts on global freshwater fish biodiversity[J]. *Science*, 2021, 371(6531): 835-838.
- [50] 单秀娟, 陈云龙, 金显仕, 等. 气候变化对长江口鱼类资源密度分布的重塑作用[J]. *渔业科学进展*, 2016, 37(6): 1-10.
SHAN X J, CHEN Y L, JIN X S, et al. Reshaping the distribution of fish abundance by climate change: a case study in the Yangtze River estuary[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(6): 1-10.
- [51] 郭建忠, 陈作志, 许友伟, 等. 人类活动对大亚湾海域鱼类群落多样性及其演替的影响[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(3): 595-607.
GUO J Z, CHEN Z Z, XU Y W, et al. The effects of anthropogenic activities on the diversity and succession of fish community in Daya Bay [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(3): 595-607.
- [52] 马金, 黄金玲, 陈锦辉, 等. 基于GAM的长江口鱼类资源时空分布及影响因素[J]. *水产学报*, 2020, 44(6): 936-946.
MA J, HUANG J L, CHEN J H, et al. Analysis of spatiotemporal fish density distribution and its influential factors based on generalized additive model (GAM) in the Yangtze River estuary [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(6): 936-946.
- [53] NADDAFI R, ÖSTMAN Ö, BERGSTRÖM L, et al. Improving assessments of coastal ecosystems-Adjusting coastal fish indicators to variation in ambient environmental factors[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 145: 109604.
- [54] 张公俊, 杨长平, 刘岩, 等. 北部湾防城港—钦州近岸海域鱼类群落格局及其与环境因子的关系[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(4): 20-33.
ZHANG G J, YANG C P, LIU Y, et al. Pattern of fish community and its relationship with environmental factors in Fangchenggang (Qinzhou coastal area of Beibu Gulf) [J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(4): 20-33.

Comparative study on fish community structure in spring and autumn in the southern waters of the Yangtze River Estuary

LI Shijia¹, SHI Liyan², ZHONG Junsheng^{1,3}, ZHAO Lulu²

(1. Engineering Research Center of Environmental DNA and Ecological Water Health Assessment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai ALW Water Environment Tech. CO., Ltd., Shanghai 200131, China; 3. Shanghai Universities Key Laboratory of Marine Animal Taxonomy and Evolution, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to ascertain the fish community structure in the southern waters of the Yangtze River Estuary, 12 stations were set up in the North Port, the North Channel and the South Channel of the Yangtze River Estuary in April (spring) and September (autumn) of 2020, and two voyages of fishery resource surveys were conducted using single bag trawls (minimum mesh size 25 mm). By calculating individual, weight resource density, relative importance index, α -diversity index, combined with multiple factor regression analysis and canonical correspondence analysis (CCA), we could determine the spatio-temporal change rule of the community and the impact of environmental factors on the distribution. In this study, 49 species of fish were collected, belonging to 16 orders, 25 families and 41 genera. All of them are warm temperature and warm water fish. The majority of them are estuarine fish, while the narrow salt fish are less and distributed regionally. The resource density in spring is higher than that in autumn, while the weight resource density in autumn is higher than that in spring. *Coilia mystus*, *Coilia nasus*, *Collichthys lucidus* and *Miichthys miiuy* were dominant species in both seasons. In spring, *Miichthys miiuy*'s individual resource density has the highest contribution rate to the total density and the most significant impact. In autumn, the contribution rate of the individual resource density of *Harpadon nehereus* is the highest, but the influence of the individual resource density of *Coilia nasus* is the most significant. The results of individual and weight diversity index showed that H' , J' and D' in autumn were higher than those in spring, while the average value of C' in spring was higher. The surface salt temperature of the water surface in the study area is affected by many dynamic factors and there is a large seasonal change. The resource density plane distribution map and the ranking map reveal that certain groups have a life habit of tending to temperature and salt.

Key words: Yangtze River Estuary; fish communities; resource density; diversity analysis