

DOI: 10.12264/JFSC2025-0044

长江口仔稚鱼多样性与时空分布及其相关环境因素

陆天宇¹, 赵度宾¹, 陈锦辉^{2*}, 刘企昂¹, 王晓东¹, 魏广恩², 邱哲文², 钟俊生¹, 林军³

1. 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;

2. 上海市水生野生动植物保护研究中心, 上海 200092;

3. 上海海洋大学, 海洋牧场工程技术研究中心, 上海 201306

摘要: 为探究长江禁渔后长江口鱼类早期资源的现状以及潮汐对仔稚鱼分布的影响, 于 2022 年 7 月至 2023 年 5 月, 在长江口中华鲟保护区及临近水域设置 42 个采样点, 按季节分别在涨潮和退潮期间, 采用大型仔稚鱼网(口径 1.3 m、网目 0.5 mm)进行表层水平拖网调查。共拖网 336 网, 采集到 89644 尾仔稚鱼, 隶属于 20 目 23 科 81 种, 平均密度为 0.59 ind/m³。鲢科是最优势科, 占全年渔获总量的 82.13%。夏季仔稚鱼密度最大, 达到 1.77 ind/m³; 春季次之, 为 0.45 ind/m³; 秋季再次之, 为 0.12 ind/m³; 冬季最低, 仅 0.002 ind/m³。夏季仔稚鱼密度北支高于南支, 保护区内最低; 秋季仔稚鱼南支高于保护区, 北支最低; 除春季外, 各季节涨潮时仔稚鱼密度均高于退潮。春季涨潮时仔稚鱼保护区高于南支, 北支最低; 退潮时北支高于保护区, 南支最低。丰富度指数(D)和多样性指数(H')均为夏季最高, 冬季最低, 但均匀度指数(J)夏季略低于春季。对水温、盐度、pH、溶解氧进行 CCA 分析, 结果表明, 盐度在四季节均与仔稚鱼分布相关性较大, 其他环境因子仅在个别季节的涨潮或退潮时与仔稚鱼分布相关。

关键词: 长江口; 中华鲟; 自然保护区; 仔稚鱼; 种类组成; 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)08-1149-15

长江口水文条件复杂, 饵料丰富, 是众多鱼类重要的产卵场、育幼场、越冬场和育肥场^[1], 也是中华鲟(*Acipenser sinensis*)的天然栖息地和重要洄游通道^[2]。近年来, 由于过度捕捞, 长江口鱼类资源已明显衰退^[3-4], 能形成鱼汛的种类较少^[5]。众多水利工程也造成了长江口生态功能的衰退和鱼类栖息地的破碎化^[6-7]。面对长江口严峻的生境态势, 2020 年 1 月 1 日, 长江“十年禁渔”计划开始实施。

鱼类早期资源的丰度反映了鱼类繁殖群体的规模和鱼类资源量^[8], 是渔业资源可持续发展的重要基础之一^[9]。历史上对长江口仔稚鱼的种类组成、时空分布以及环境因子对鱼卵仔稚鱼分布的影响已经展开了较为广泛的研究。1990 年杨东

莱等^[10]首次调查了长江口及邻近海域鱼卵仔鱼的种类组成, 发现长江口海区的鱼卵仔鱼组成以鲢科为主。蒋玫等^[11]的调查发现长江口中华鲟保护区鱼卵仔鱼的种类组成季节变化明显, 春季种类更丰富, 优势种以鲢科为主。侯世挺等^[12]开展了长江口南支仔稚鱼数量与潮汐关系的研究, 发现涨潮期间种类数和密度均高于退潮。刘欢等^[13]对长江口崇明东滩春夏季的表层水平拖网调查, 进一步探明了长江口仔稚鱼种类组成和生物多样性, 鲢科依然具有高优势度。杨钧渊等^[14]在刘欢等^[13]的基础上, 对长江口崇明东滩进行了全年表层水平拖网调查, 夏季仔稚鱼密度最高, 春季多样性最丰富。

收稿日期: 2025-03-20; 修订日期: 2025-05-19.

基金项目: 上海市水生野生动植物保护研究中心项目(D-8006-23-0114); 上海市科委地方院校能力建设项目(23010502500).

作者简介: 陆天宇(2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向为仔稚鱼生态学. E-mail: tianyu187@163.com

通信作者: 陈锦辉, 研究员, 研究方向为水生野生动植物保护与生境修复. E-mail: 1114260882@qq.com

长江口中华鲟自然保护区生物资源丰富, 尽管对自然保护区内的生物多样性开展了持续的常年监测, 但对作为长江口水域渔业资源补充群体的鱼类早期资源的动态监测, 特别是在目前长江大保护背景下, 力度仍亟待加大。本研究为了更充分地开展长江口中华鲟自然保护区鱼类早期资源的常规监测, 调查水域涵盖了从南北支淡水河道到入海口以及中华鲟自然保护区, 调查站位设置更密集, 在探明保护区内外的种类组成和生物多样性差异的基础上, 结合仔稚鱼游泳能力弱的特点, 分析了潮汐等环境因子对仔稚鱼分布的影响, 并比较禁捕前后的鱼类早期资源状况, 旨在为长江口水域鱼类早期资源的保护提供基础科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

2022 年 7 月 18 日—8 月 14 日(夏季)、2022 年 10 月 24 日—11 月 10 日(秋季)、2023 年 2 月 8 日—3 月 8 日(冬季)、2023 年 4 月 22 日—5 月 29 日(春

季)在长江口水域设置 42 个采样点(K2-K24, Z1-Z23, 图 1)(其中 K13、K14、K16、K17、Z6、Z9、Z14、Z16、Z17、Z18、Z19 站点在中华鲟保护区内), 采用大型仔稚鱼网(口径 1.3 m, 网目 0.5 mm)在涨退潮期间分别进行表层水平拖网调查 15 min, 船速 2 n mile/h。用网口流量计(Hydro-Bios, No. 438 100)记录拖网流量值, 在现场把采集到的样本用 5% 的福尔马林溶液固定。通过多参数便携式水质分析仪(WTW Multi3630 IDSSETG)测定采样水域的水温(SST)、盐度(SAL)、溶解氧(DO)、pH。

1.2 仔稚鱼的分离与鉴定

仔稚鱼的分离与鉴定通过 Olympus SZX7 解剖镜完成, 参考《长江口鱼类》^[15]《日本产稚鱼图鉴》^[16]鉴定到科、属、种水平并计数, 按照 Kendall 等^[17]等仔稚鱼发育分期标准划分仔稚鱼的发育阶段。测量仔稚鱼体长(BL)。科及科以上按照 Nelson 等^[18]排序, 中文名以及拉丁名按照伍汉霖等^[19]。

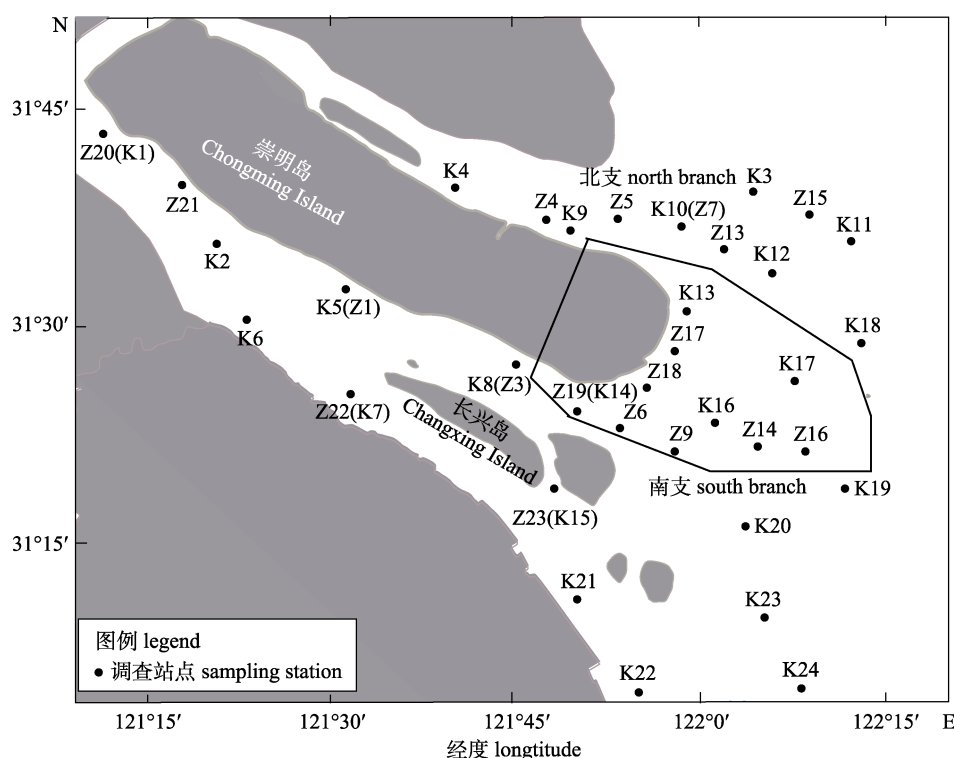


图 1 本研究调查站点图
实线内区域为中华鲟自然保护区。

Fig. 1 Map of sampling stations in this study
Area within the solid line denotes the natural reserve of *Acipenser sinensis*.

1.3 数据分析

仔稚鱼密度的计算(单位为 ind/m³)^[20]:

$$G = N / (S \times L \times C)$$

式中, N 为单次拖网得到的仔稚鱼总个体数(ind), S 为网口面积(m²), L 为流量计转数, C 为流量计校正正(C=0.3)。

通过 Margalef 丰富度指数(D)^[21]、Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[22]、Pielou 均匀度指数(J')^[23]计算仔稚鱼多样性。

Margalef 丰富度指数(D):

$$D = S - 1 / \ln N$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数(J'):

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

式中, S 为仔稚鱼种类数; P_i 为第 i 种仔稚鱼个体数占总个体数的比例; N 为所有仔稚鱼的个体数之和; N_i 为仔稚鱼 i 的个体数。

通过相对重要性指数(index of relative importance, IRI)统计各个季度的优势种与重要种, IRI 大于 1000 为优势种, IRI 介于 100~1000 为重要种, 10~100 为常见种, 小于 10 为偶见种。IRI 计算公式^[24]:

$$IRI = (P_i \times F_i) \times 10000$$

式中, P_i 为第 i 种仔稚鱼个体数占总个体数的比例, F_i 为第 i 种仔稚鱼在所有站点中出现频率。各项数据计算均通过 Excel 2016 完成。

使用 Canoco5.0 软件, 对各项的环境因子进行趋势分析, 环境因子排序轴长大于 3.0 时选择 CCA 排序, 小于 3.0 时选择 RDA 排序, 探究环境因子与仔稚鱼分布的相关性。

2 结果与分析

2.1 种类组成

4 个季度共采集到仔稚鱼 89644 尾, 隶属于 20 目 23 科 81 种, 其中 5 种鉴定到科, 3 种鉴定到属, 1 种未定种(表 1)。种类数在各分类单元的分布为: 鲱形目(Clupeiformes) 2 科 14 种, 虾虎鱼目(Gobiiformes) 1 科 15 种, 鲤形目(Cypriniformes) 1 科 11 种, 胡瓜鱼目(Osmeriformes) 1 科 7 种, 鲹形目(Pleuronectiformes) 1 科 7 种, 刺尾鱼目(Acanthuriformes) 1 科 5 种, 鲻形目(Mugiliformes) 2 科 3 种, 鲷形目(Spariformes) 1 科 3 种, 鲈形目(Perciformes) 2 科 2 种, 鲈形目(Callionymiformes) 1 科 2 种, 海龙目(Syngnathiformes) 1 科 2 种, 鳎形目(Blenniiformes) 1 科 2 种, 鳗鲡目(Anguilliformes)、鲇形目(Siluriformes)、仙女鱼目(Aulopiformes)、银汉鱼目(Atheriniformes)、颌针鱼目(Beloniformes)、鲭形目(Scombriformes)、狼鲈目(Moroniformes)、鲉形目(Tetraodontiformes) 各 1 科 1 种。凤鲚(*Coilia mystus*)个体数量最多, 占总个体数的 41.01%。从生态类型组划分: 洄游性鱼类 5 种, 淡水性鱼类 14 种, 河口性鱼类 23 种, 海洋性鱼类 30 种。

表 1 长江口水域仔稚鱼种类组成
Tab. 1 Species composition of larval and juvenile fishes in the Yangtze River Estuary

种名 species	物种丰度/% abundance	体长范围/mm range of length	发育阶段 developmental stage	生态类型 habitat type	出现季节 occurrence season
鳗鲡目 Anguilliformes					
鳗鲡科 Anguillidae					
日本鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i> *	+	38.25–59.02	F	Mi	spr、sum、win
鲱形目 Clupeiformes					
锯腹鳉科 Pristigasteridae					
鳉 <i>Ilisha elongata</i> *	0.08	4.44–79.25	B–F	Ma	spr、sum、aut
鳀科 Engraulidae					
凤鲚 <i>Coilia mystus</i> *	41.01	3.96–121.66	A–F	Mi	all
刀鲚 <i>Coilia nasus</i> *	3.41	4.54–102.78	A–F	Mi	spr、sum、aut
银灰半棱鳀 <i>Encrasicholina punctifer</i> *	0.51	5.22–24.63	B–E	Mi	spr、sum

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

种名 species	物种丰度/% abundance	体长范围/mm range of length	发育阶段 developmental stage	生态类型 habitat type	出现季节 occurrence season
日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i> *	1.11	4.45–23.94	A–E	Ma	spr、sum、aut
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i> *	0.05	6.16–28.24	B–F	Ma	sum
中华侧带小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i> *	0.02	20.30–41.96	E, F	Es	sum、aut
康氏侧带小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i> *	21.09	4.49–65.07	B–F	Ma	spr、sum、aut
印度侧带小公鱼 <i>Stolephorus indicus</i> *	0.08	5.80–48.76	B, D–F	Ma	spr、sum
侧带小公鱼属未定种 <i>Stolephorus</i> spp.	1.82	4.93–6.17	B		spr
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	+	63.52	F	Ma	spr
中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	+	22.68	E	Ma	spr
黄吻棱鳀 <i>Thryssa vitrirostris</i>	+	112.62	F	Ma	aut
鳀科未定种 <i>Engraulidae</i> sp. indet.*	8.35	4.57–7.83	A–D		spr、sum
鲤形目 Cypriniformes					
鲤科 Cyprinidae					
大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	0.01	5.62–17.82	B, C, E	Fr	spr
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	0.03	4.91–7.36	B, C	Fr	sum
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i> *	0.02	6.06–8.69	B	Fr	spr
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i> *	0.01	6.39–26.79	B, E, F	Fr	spr、sum
鳊 <i>Elopichthys bambusa</i> *	+	3.36–8.62	A, B	Fr	spr
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i> *	0.02	5.96–18.42	B–E	Fr	spr、sum
鲮属 spp. <i>Hemiculter</i> spp.	0.03	4.32–6.79	B, C		sum
寡鳞鲮 <i>Pseudolaubuca engraulis</i> *	0.37	4.74–53.12	A–F	Fr	spr、sum
银鲮 <i>Pseudolaubuca sinensis</i> *	0.45	4.21–45.68	A–F	Fr	spr、sum
吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i>	0.04	4.78–6.51	B	Fr	sum
鲤科未定种 <i>Cyprinidae</i> sp. indet.*	0.09	5.08–8.76	A–D		spr、sum
鲇形目 Siluriformes					
鲇科 Bagridae					
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	+	44.67	F	Fr	sum
胡瓜鱼目 Osmeriformes					
银鱼科 Salangidae					
前颌间银鱼 <i>Hemisanx prognathus</i> *	+	12.51–96.82	D–F	Mi	spr
安氏新银鱼 <i>Neosalanx anderssoni</i> *	0.04	4.33–90.01	A–F	Es	spr、aut
乔氏新银鱼 <i>Neosalanx jordani</i> *	0.61	4.87–87.73	A–F	Fr	all
陈氏新银鱼 <i>Neosalanx tangkahkeii</i> *	2.77	5.58–90.29	A–F	Fr	spr、sum、aut
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i> *	0.03	10.24–15.84	D–F	Es	spr、aut
有明银鱼 <i>Salanx ariakensis</i> *	3.57	3.81–54.93	B–D, F	Es	aut
仙女鱼目 Aulopiformes					
合齿鱼科 Synodontidae					
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i> *	0.02	25.12–127.63	E, F	Ma	sum、aut
虾虎鱼目 Gobiiformes					
虾虎鱼科 Gobiidae					
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i> *	0.16	3.61–16.49	B–E	Es	spr、sum
六丝矛尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i> *	0.01	12.77	E	Es	spr、sum
大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> *	0.25	4.79–75.29	B–F	Es	spr、sum、aut

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

种名 species	物种丰度/% abundance	体长范围/mm range of length	发育阶段 developmental stage	生态类型 habitat type	出现季节 occurrence season
长丝虾虎鱼 <i>Cryptocentrus filifer</i>	0.02	4.40–9.78	D, E	Es	sum
裸项蜂巢虾虎鱼 <i>Favonigobius gymnauchen</i>	+	4.47	B	Es	sum
竿虾虎鱼属 spp. <i>Luciogobius</i> spp.*	+	13.97–18.74	E, F		spr、sum
阿部鲯虾虎鱼 <i>Mugilogobius abei</i> *	0.47	3.73–16.79	A–E	Es	spr、sum、aut
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i> *	0.39	4.09–26.39	B–F	Es	spr、sum、aut
弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantonensis</i> *	0.26	3.42–12.93	B–E	Es	sum
中华多椎虾虎鱼 <i>Polyspondylogobius sinensis</i> *	+	17.27–20.54	E	Es	sum
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	0.24	3.66–13.02	A–E	Fr	spr、sum、aut
青弹涂鱼 <i>Scartelaos histophorus</i>	0.03	3.52–7.65	B–D	Es	sum
髯缟虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i> *	0.5	4.05–23.18	B–E	Es	spr、sum、aut
纹缟虾虎鱼 <i>Tridentiger trigonocephalus</i> *	0.51	3.75–12.42	A–E	Es	spr、sum、aut
虾虎鱼科未定种 <i>Gobiidae</i> sp. indet.*	0.88	3.90–6.30	B–D		sum
鲮形目 Mugiliformes					
鲮科 Mugilidae					
鲮 <i>Mugil cephalus</i>	0.01	19.98–27.06	E, F	Es	spr、win
平鲮 <i>Planiliza haematocheila</i> *	0.87	4.12–22.93	B–F	Es	spr
马鲛科 Polynemidae					
多鳞四指马鲛 <i>Eleutheronema rhadinum</i>	0.04	3.96–52.90	B–F	Es	sum
鲷形目 Blenniiformes					
鲷科 Blenniidae					
美肩鳃鲷 <i>Omobranchus elegans</i>	0.01	3.82–13.22	B, D	Ma	sum
斑点肩鳃鲷 <i>Omobranchus punctatus</i>	+	3.35–20.47	E	Ma	sum
银汉鱼目 Atheriniformes					
银汉鱼科 Atherinidae					
凡氏下银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennesi</i> *	0.01	14.97–81.88	D, E	Ma	spr、win
颌针鱼目 Beloniformes					
鲻科 Hemiramphidae					
间下鲻 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	0.01	14.91–93.21	D, F	Ma	spr、win
鲷形目 Pleuronectiformes					
舌鲷科 Cynoglossidae					
短吻舌鲷 <i>Cynoglossus abbreviatus</i> *	+	9.91–55.56	D, F	Ma	sum、aut
窄体舌鲷 <i>Cynoglossus gracilis</i>	+	13.78	D	Es	spr
焦氏舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i> *	0.01	5.12–14.47	B, E	Ma	spr、sum
莱氏舌鲷 <i>Cynoglossus lighti</i>	0.01	5.14–17.43	B, E	Ma	spr、win
宽体舌鲷 <i>Cynoglossus robustus</i>	+	6.65–7.86	B	Es	aut
栉鳞须鲷 <i>Paraplagusia guttata</i> *	+	22.44	E	Ma	sum
舌鲷科未定种 <i>Cynoglossidae</i> sp. indet.*	0.01	4.98–19.12	B, F		sum
海龙目 Syngnathiformes					
海龙科 Syngnathidae					
红鳍冠海龙 <i>Corythoichthys haematopterus</i>	+	47.82–81.35	F	Ma	aut
粗吻海龙 <i>Trachyrhamphus serratus</i>	+	53.76–122.74	F	Ma	sum、aut

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

种名 species	物种丰度/% abundance	体长范围/mm range of length	发育阶段 developmental stage	生态类型 habitat type	出现季节 occurrence season
鲷形目 Callionymiformes					
鲷科 Callionymidae					
香斜棘鲷 <i>Repomucenus olidus</i> *	0.02	6.54–9.65	C–E	Ma	spr
鲷科未定种 <i>Callionymidae</i> sp. indet.	+	4.39–5.51	D		sum
鲭形目 Scombriformes					
带鱼科 Trichiuridae					
沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>	0.01	128.63–185.65	F	Ma	sum
鲈形目 Perciformes					
鳊科 Sinipercaidae					
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	+	5.12–6.00	B	Fr	sum
蝴蝶鱼科 Chaetodontidae					
单斑蝴蝶鱼 <i>Chaetodon unimaculatus</i>	+	8.18	D	Ma	sum
狼鲈目 Moroniformes					
狼鲈科 Moronidae					
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i> *	0.35	4.22–39.11	B–E	Es	spr
刺尾鱼目 Acanthuriformes					
石首鱼科 Sciaenidae					
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> *	0.08	4.18–30.51	B–F	Ma	spr、sum
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	+	4.12–26.91	B, E	Ma	sum
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i> *	0.08	4.23–96.38	B–F	Ma	all
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> *	4.11	3.22–30.26	A–E	Ma	spr、sum、aut
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	0.22	4.31–4.81	B, C	Ma	sum
鲷形目 Spariformes					
鳢科 Sillaginidae					
少鳞鳢 <i>Sillago japonica</i> *	0.02	4.93–15.16	B–E	Ma	sum
细鳞鳢 <i>Sillago parvisquamis</i>	+	12.07	D	Ma	sum
多鳞鳢 <i>Sillago sihama</i>	0.03	4.31–14.88	B, D	Ma	sum
鲈形目 Tetraodontiformes					
四齿鲈科 Tetraodontidae					
黄鳍多纪鲈 <i>Takifugu xanthopterus</i> *	0.03	3.67–17.80	C–F	Es	spr
未定种 unidentified species	4.69	4.56–23.86	A–E		spr、sum

注: A: 卵黄囊期仔鱼; B: 前弯曲期仔鱼; C: 弯曲期仔鱼; D: 后弯曲期仔鱼; E: 稚鱼; F: 幼鱼. Es: 河口性鱼类; Ma: 海洋性鱼类; Mi: 洄游性鱼类; Fr: 淡水性鱼类. spr: 春季; sum: 夏季; aut: 秋季; win: 冬季. +: <0.01; *表示该物种在保护区内出现.
Notes: A: yolk-sac larvae; B: pre-flexion larvae; C: flexion larvae; D: post-flexion larvae; E: juvenile; F: youth. Es: estuarine fish; Ma: marine fish; Mi: migration fish; Fr: freshwater fish. spr: spring; sum: summer; aut: autumn; win: winter. +: <0.01; *indicates occurrence in the reserve.

2.2 时空分布

夏季平均密度全年最高, 为 1.77 ind/m³; 其次为春季, 0.45 ind/m³; 秋季密度较低, 0.12 ind/m³; 冬季密度最低, 0.0027 ind/m³。

夏季涨潮期间仔稚鱼密度明显高于退潮, 达到 2.29 ind/m³, 退潮为 1.26 ind/m³, 涨潮时密度在 K20 达到最高, 为 29.38 ind/m³ (图 2), 退潮时

在 Z7 最高, 达到 12.63 ind/m³(图 3)。涨潮期间南支 (2.61 ind/m³)> 北支 (2.33 ind/m³)> 保护区 (0.79 ind/m³); 退潮期间北支 (1.89 ind/m³)> 南支 (0.96 ind/m³)>保护区(0.16 ind/m³)。

秋季潮期间仔稚鱼密度高于退潮, 涨潮时平均密度达到 0.15 ind/m³, 退潮为 0.09 ind/m³; 涨潮时密度在 K19 达到最高, 为 0.94 ind/m³

(图 2); 退潮时在 Z1 最高, 达到 0.22 ind/m^3 (图 3)。涨潮期间密度南支(0.17 ind/m^3)>保护区(0.12 ind/m^3)>北支(0.01 ind/m^3); 退潮分布与涨潮一致。

冬季仅在保护区内(Z17 涨潮、K17 涨潮、Z17 退潮)以及南支南侧(K22 涨潮、K24 涨潮、K23 退潮)发现少量仔稚鱼。

春季退潮期间仔稚鱼密度高于涨潮, 退潮时平均密度为 0.74 ind/m^3 , 涨潮为 0.15 ind/m^3 , 退潮时密度在 K4 达到最高, 为 12.20 ind/m^3 (图 3), 涨潮时在 K16 最高, 为 1.38 ind/m^3 (图 2)。涨潮期间保护区(0.23 ind/m^3)>南支(0.13 ind/m^3)>北支(0.08 ind/m^3); 退潮期间北支(1.37 ind/m^3)>保护区(0.78 ind/m^3)>南支(0.20 ind/m^3)。

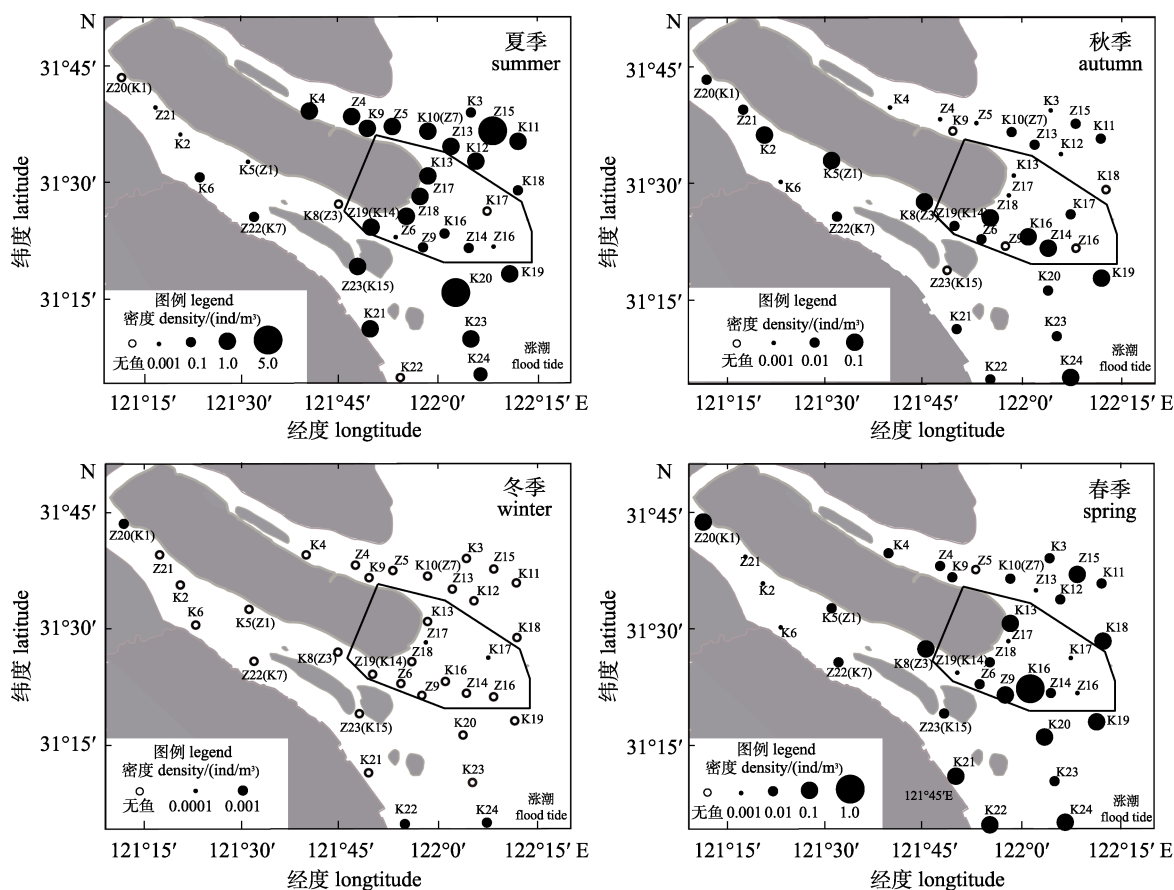


图 2 涨潮期间长江口仔稚鱼分布

Fig. 2 Distribution of larval and juvenile fishes during flood tides in the Yangtze River Estuary

2.3 优势种及其密度分布

按各季度仔稚鱼的相对重要性指数(表 2), 无年度优势种, 康氏侧带小公鱼(*Stolephorus commersonnii*)、凤鲚为年度重要种。夏季康氏侧带小公鱼、凤鲚为优势种, 刀鲚(*Coilia nasus*)为重要种; 秋季有明银鱼(*Salanx ariakensis*)为优势种, 无重要种; 春季无优势种, 陈氏新银鱼(*Neosalanx tangkahkeii*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、凤鲚为重要种; 冬季无优势种, 鲻(*Mugil cephalus*)为重要种。

3 种季度优势种在涨潮的平均密度均高于退潮, 潮汐对优势种的空间分布影响不大(图 4)。凤鲚主要分布于北支内侧、保护区近岸及南支外侧, 涨潮期间南支密度(1.81 ind/m^3)>北支(0.40 ind/m^3)>保护区(0.14 ind/m^3), 涨潮期间凤鲚密度在 K20 最大, 达到 20.28 ind/m^3 ; 退潮期间南支(0.43 ind/m^3)>保护区(0.12 ind/m^3)>北支(0.05 ind/m^3), 退潮期间凤鲚密度在 Z23 最大, 为 3.79 ind/m^3 。康氏侧带小公鱼主要分布于南北支外侧, 涨潮期间北支密度(1.81 ind/m^3)>南支(0.24 ind/m^3)>保护区

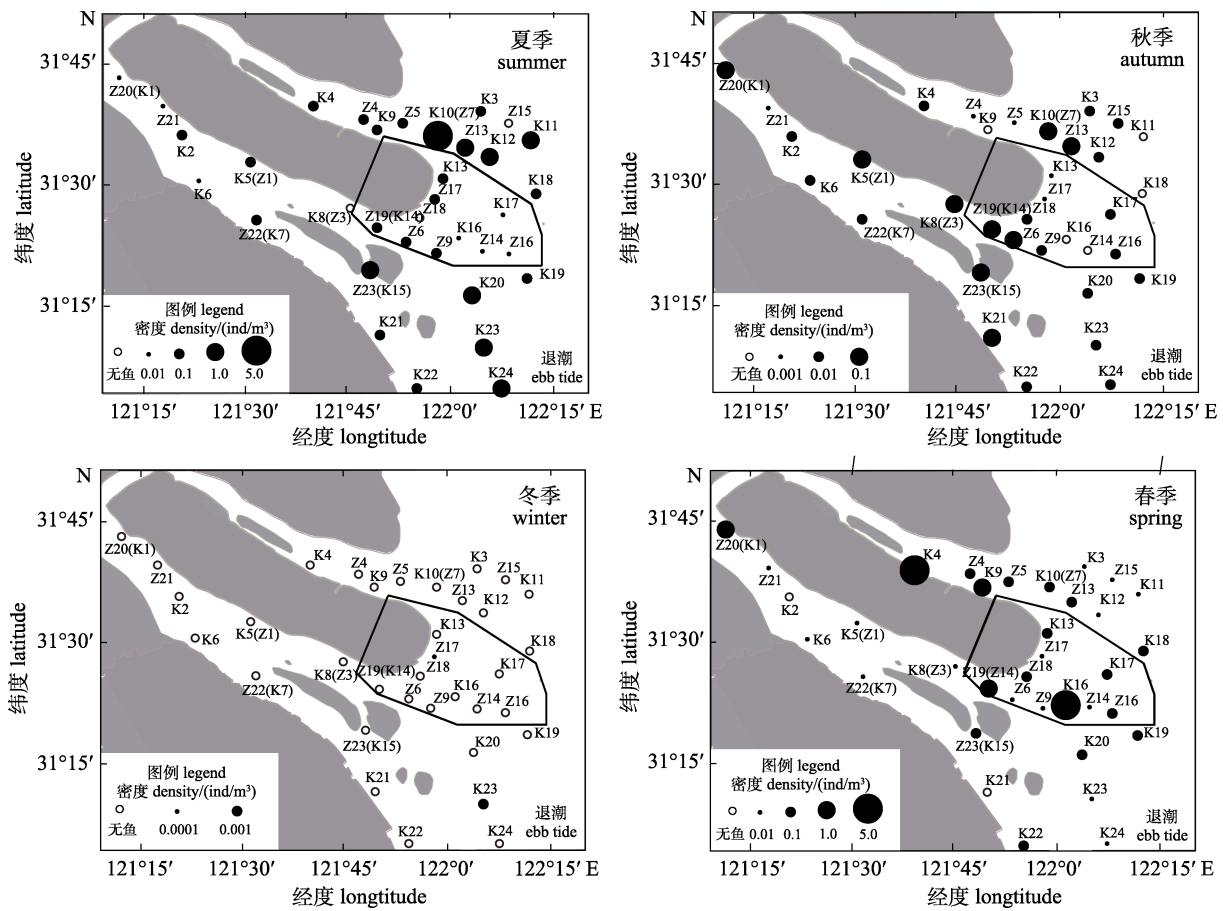


图 3 退潮期间长江口仔稚鱼分布

Fig. 3 Distribution of larval and juvenile fishes during ebb tides in the Yangtze River Estuary

表 2 长江口优势种和重要种仔稚鱼相对重要性指数(IRI>100)

Tab. 2 Index of relative importance (IRI) of dominant and important larval and juvenile fish species in the Yangtze River Estuary (IRI>100)

种名 species	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	全年 annual
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	950.48	1699.59			878.71
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>		142.24			
康氏侧带小公鱼 <i>Stolephorus commersonnii</i>		1749.52			307.49
陈氏新银鱼 <i>Neosalanx tangkahkeii</i>	226.61				
有明银鱼 <i>Salanx ariakensis</i>			5987.74		
鳊 <i>Mugil cephalus</i>				194.82	
小黄鱼 <i>Larmichthys polyactis</i>	250				

(0.02 ind/m³), 退潮分布与涨潮一致。涨潮期间康氏侧带小公鱼密度在 Z15 最大, 达到 9.81 ind/m³, 退潮期间在 Z7 最大, 为 12.63 ind/m³。有明银鱼广泛分布于南支淡水交汇水域及保护区内, 北支少量分布。涨潮期间南支密度(0.21 ind/m³)>保护区(0.12 ind/m³)>北支(0.01 ind/m³), 退潮分布与涨潮一致。涨潮期间有明银鱼密度在 Z3 最大, 达到 0.57 ind/m³, 退潮期间在 Z3 最大, 为

0.35 ind/m³。

2.4 物种多样性的季节变化

丰富度指数(*D*)、多样性指数(*H'*)、均匀度指数(*J'*)存在明显季节性变化(表 3), 其中, 丰富度指数(*D*)和多样性指数(*H'*)趋势相同, 夏季最高; 其次为春季; 秋季较低; 冬季最低, 均匀度指数(*J'*)春季高于夏季。同季节内 3 项指数涨潮期间高于退潮, 但夏季退潮期间的均匀度指数(*J'*)高于涨潮。

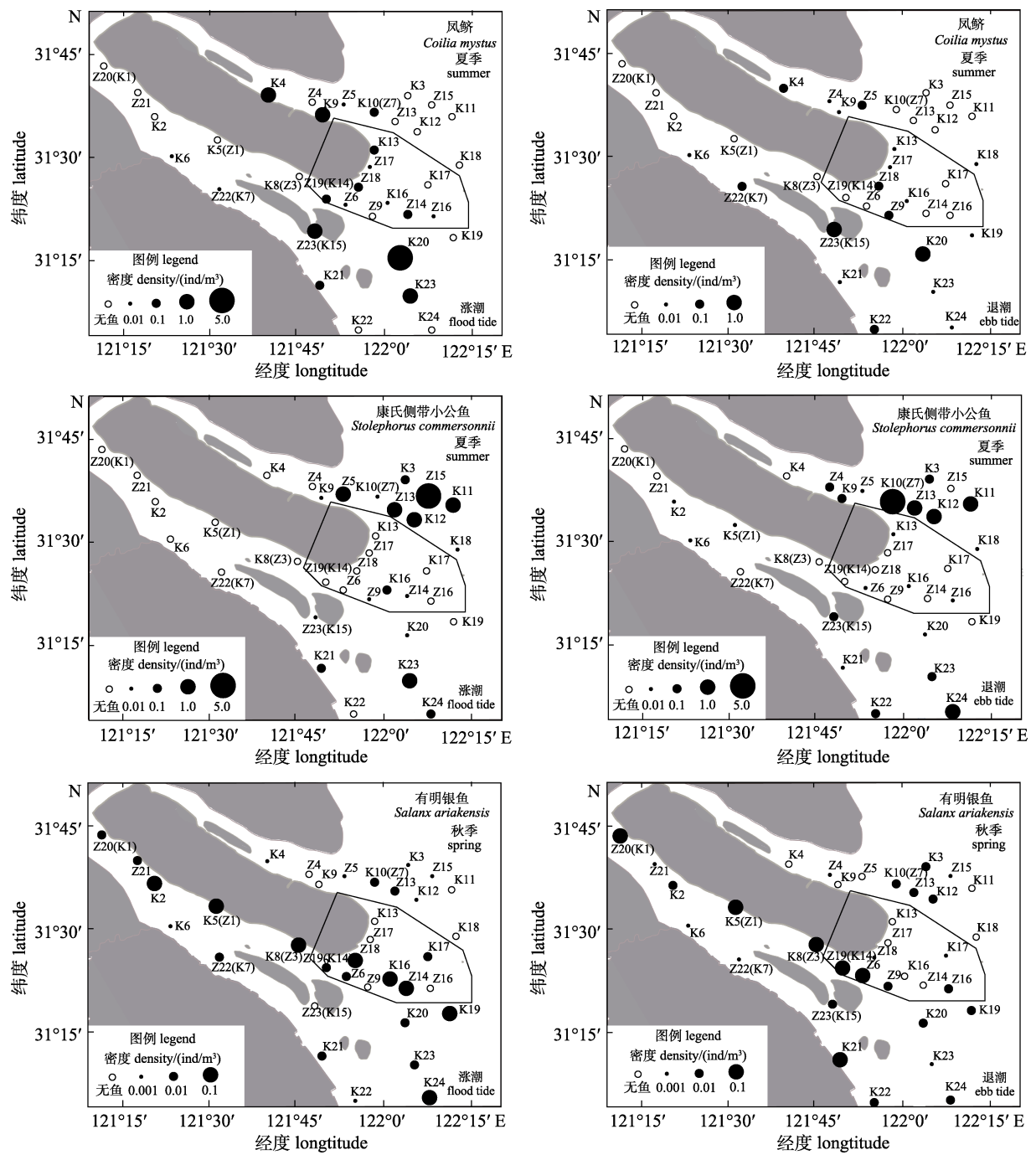


图 4 涨退潮期间长江口水域优势种密度分布

Fig. 4 Distribution of dominant fish species during flood tides and ebb tides in the Yangtze River estuary

表 3 长江口仔稚鱼生物多样性指数

Tab. 3 Biodiversity indices of larval and juvenile fishes in the Yangtze River Estuary							
季节 season	水域 waters	$D(F)$	$D(E)$	$H'(F)$	$H'(E)$	$J'(F)$	$J'(E)$
春季 spring	北支 north branch	0.79	0.74	0.71	0.59	0.49	0.43
	保护区 reserve	1.02	1.05	0.72	0.76	0.56	0.48
	南支 south branch	0.57	0.51	0.40	0.38	0.36	0.37
	平均 average	0.74	0.73	0.57	0.55	0.44	0.42

(待续 to be continued)

(续表 3 Tab. 3 continued)							
季节 season	水域 waters	$D(F)$	$D(E)$	$H'(F)$	$H'(E)$	$J'(F)$	$J'(E)$
夏季 summer	北支 north branch	0.99	1.13	0.53	0.83	0.25	0.40
	保护区 reserve	1.25	1.18	1.16	0.83	0.62	0.47
	南支 south branch	0.64	1.07	0.63	0.90	0.35	0.47
	平均 average	0.94	0.73	0.75	0.55	0.34	0.42
秋季 autumn	北支 north branch	1.04	0.97	0.80	0.67	0.62	0.48
	保护区 reserve	0.56	0.45	0.33	0.40	0.29	0.35
	南支 south branch	0.14	0.16	0.04	0.08	0.04	0.09
	平均 average	0.52	0.42	0.35	0.31	0.28	0.25
冬季 winter	北支 north branch	0	0	0	0	0	0
	保护区 reserve	1.44	0	0.69	0	1.00	0
	南支 south branch	0	0	0	0	0	0
	平均 average	0.29	0	0.14	0	0.2	0

注: D : Margalef 丰富度指数; H' : Shannon-Wiener 多样性指数; J' : Pielou 均匀度指数; F: 涨潮; E: 退潮。
Notes: D : Margalef richness index; H' : Shannon-Wiener diversity index; J' : Pielou's index of evenness; F: flood tide; E: ebb tide.

2.5 仔稚鱼分布与环境因子之间的关系

选择 CCA 排序, 排除丰度小于 1% 的物种, 选取水温(SST)、盐度(SAL)、溶解氧(DO)、pH 进行分析。涨潮期间(图 5)夏季与仔稚鱼分布相关性最大的环境因子为盐度, 其次为溶解氧和 pH; 秋季相关性最大为盐度和水温, 其次为溶解氧; 春季相关性最大为盐度, 其次是水温和溶解氧。退潮期间(图 6)夏季与仔稚鱼分布相关性最大的环

境因子为盐度和 pH, 其次是溶解氧; 秋季相关性最大为水温和盐度; 春季盐度的相关性最大, 温度次之。

3 讨论

3.1 仔稚鱼种类组成特征

长江口作为我国最大的温带河口, 渔业资源丰富, 是许多重要的经济洄游性鱼类的通道。对

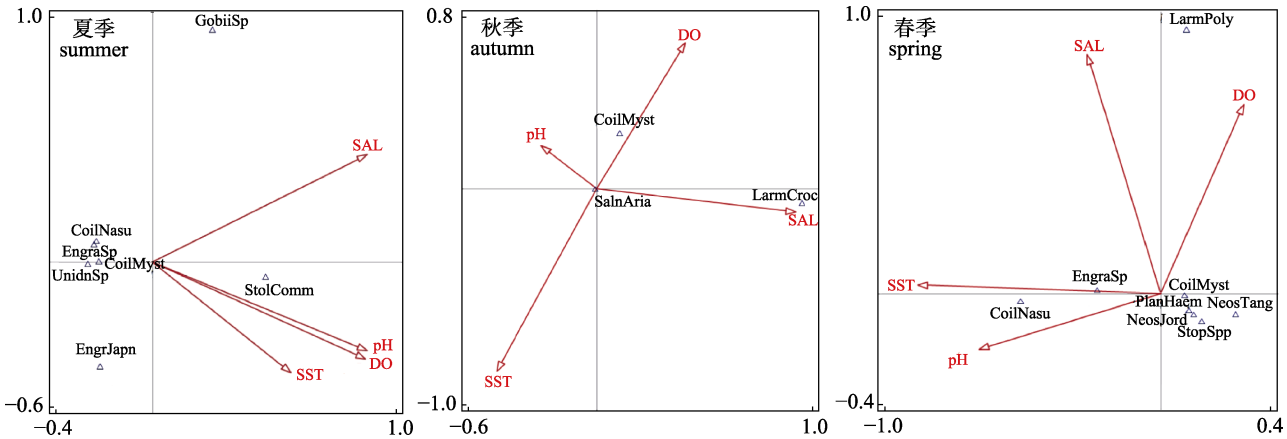


图 5 涨潮期间长江口仔稚鱼与环境因子的 CCA 排序

GobiiSp: 虾虎鱼科未定种; CoilNasu: 刀鲚; EngraSp: 鳀科未定种; UnidnSp: 未定种; CoilMyst: 凤鲚; EngrJapn: 鳀; StolComm: 康氏侧带小公鱼; SalnAria: 有明银鱼; LarmCroc: 大黄鱼; LarmPoly: 小黄鱼; PlanHaem: 平鲛; NeosJord: 乔氏新银鱼; StopSpp: 侧带小公鱼属未定种; NeosTang: 陈氏新银鱼。

Fig. 5 CCA sequencing of larval and juvenile fishes and environmental factors during flood tides in the Yangtze River Estuary
GobiiSp: Gobiidae sp.; CoilNasu: *Coilia nasus*; EngraSp: Engraulidae sp.; UnidnSp: unidentified sp. CoilMyst: *Coilia mystus*; EngrJapn: *Engraulis japonicus*; StolComm: *Stolephorus commersonnii*; SalnAria: *Salanx ariakensis*; LarmCroc: *Larimichthys crocea*; LarmPoly: *Larimichthys polyactis*; PlanHaem: *Planiliza haematocheila*; NeosJord: *Neosalanx jordani*; StopSpp: *Stolephorus* spp.; NeosTang: *Neosalanx tangkahkeii*.

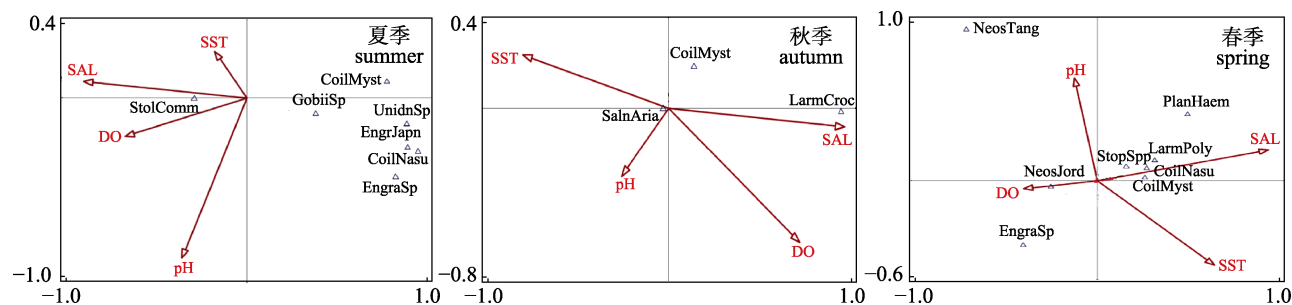


图 6 退潮期间长江口仔稚鱼与环境因子的 CCA 排序

GobiiSp: 虾虎鱼科未定种; CoilNasu: 刀鲚; EngraSp: 鳀科未定种; UnidnSp: 未定种; CoilMyst: 凤鲚; EngrJapn:

鳀; StolComm: 康氏侧带小公鱼; SalnAria: 有明银鱼; LarmCroc: 大黄鱼; LarmPoly: 小黄鱼; PlanHaem:

平鲛; NeosJord: 乔氏新银鱼; StopSpp: 侧带小公鱼属未定种; NeosTang: 陈氏新银鱼。

Fig. 6 CCA sequencing of larval and juvenile fishes and environmental factors during ebb tides in the Yangtze River Estuary
GobiiSp: Gobiidae sp.; CoilNasu: *Coilia nasus*; EngraSp: Engraulidae sp.; UnidnSp: unidentified sp. CoilMyst: *Coilia mystus*;
EngrJapn: *Engraulis japonicus*; StolComm: *Stolephorus commersonnii*; SalnAria: *Salanx ariakensis*; LarmCroc: *Larimichthys crocea*;
LarmPoly: *Larimichthys polyactis*; PlanHaem: *Planiliza haematocheila*; NeosJord: *Neosalanx jordani*; StopSpp: *Stolephorus* spp.; NeosTang: *Neosalanx tangkahkeii*.

于长江口水域鱼类早期资源的物种变动也历来引人关注, 20 世纪 90 年代初, 在长江口及其近海拖网调查中记录了 53 科 94 种鱼卵、仔稚鱼^[10]; 21 世纪初期, 长江口临近海域调查中发现了 23 科 35 种仔稚鱼^[25]。这些调查水域基本上是长江口的临近海区, 对长江口的南北支入海口的调查涉及较少, 从而形成了以海水性鱼类为主、淡水鱼类较少、近海型种类居多的生态格局。同时, 也有长江口九段沙盐沼湿地的鱼类约 17 科 30 多种^[26], 长江口碎波带发现了 31 科 84 种仔稚鱼^[27], 以上学者从不同规模的研究水域、采用各种网具得出了长江口仔稚鱼种类数量差异, 而本研究中共采集到 23 科 81 种, 其中以海洋性和河口性仔稚鱼种类最丰富, 种类数超过全年仔稚鱼种类数的 60%, 且丰度以洄游性鲱属鱼类和海洋性小公鱼类为主, 与长江口碎波带仔稚鱼物种数量^[27]相近, 也与杨钧渊等^[14]的调查结果基本相一致, 说明长江口仔稚鱼类群依然由少数高优势度的优势种和众多的偶见种构成。尽管各研究存在调查水域、采样方法、网具和时空差异, 出现的物种数不同, 但生态类型类似, 且体现了长江口鱼类的丰富多样性。

仔稚鱼种类组成区域的差异性显著。中华鲟保护区内, 仔稚鱼以河口性的虾虎鱼类和部分洄游性鱼类仔稚鱼为主, 仔稚鱼的丰度虽然较低, 但种类丰富, 季节变化小。北支的仔稚鱼以海洋

性的鳀科鱼和石首鱼以及部分洄游性鱼类为主, 种类组成与多样性季节变化明显, 与杭州湾北部碎波带、泗礁沙滩碎波带的构成相似^[28-30], 海洋性的鳀科仔稚鱼占据优势, 仔稚鱼丰度高, 多样性较低。南支由主要由洄游性仔稚鱼和少数淡水鱼性及河口性仔稚鱼组成。比较以往的研究, 本研究涉及的长江口水域包含了更广阔的咸水水域, 体现了并非鲤科仔稚鱼高优势度^[31], 而是洄游性仔稚鱼占绝对优势, 季节性更替明显, 南支仔稚鱼的优势种季节变化明显的特征。

3.2 仔稚鱼分布与潮汐和环境因子的关系

盐度是影响河口仔稚鱼分布的首要环境因子^[32-33], 本研究仔稚鱼分布也得到了同样的结果(图 5、图 6)。潮汐的强弱引发的盐度梯度对运动能力较弱的仔稚鱼输送作用决定了仔稚鱼分布, 涨潮期间仔稚鱼的密度往往高于退潮^[34]。而且, 长江径流的强弱也是影响长江口仔稚鱼分布的因素之一。春季长江的淡水补充径流较少^[35], 水体交换不频繁, 潮汐带来高盐度的海水, 使近岸成为高盐度水域, 本研究广盐性的凤鲚和海洋性的小黄鱼仔稚鱼集中分布于北支及保护区北域的结果就是很好的佐证(图 2、图 3)。但春季退潮仔稚鱼密度高于涨潮, 这是否由于春季退潮流速处于全年较低位^[36], 退潮的低流速难以将仔稚鱼大规模输送出长江口, 而造成仔稚鱼的聚集现象, 还有待于进一步探讨。夏季长江补充径流达到全年

最大,北支河道窄且多浅滩^[37],得到的径流补充量较少,涨潮时,大量海洋性仔稚鱼被带入北支(图 2),而南支径流量大,低盐度呈现明显梯度分布,出现广盐性的凤鲚仔稚鱼广泛分布于南支(图 4),退潮输送仔稚鱼离开长江口,推断是出现退潮仔稚鱼密度低于涨潮的因素之一。在秋季长江径流量减少,近岸再次成为较高盐度的水域,有明银鱼在秋季长江口水域的南支及保护区近岸广泛分布并且与盐度呈现一定正相关(图 4),该结果符合宋超等^[38]的调查结果。

从其他环境因子分析,首先,水温是季节间仔稚鱼群落更替的重要因素,直接与仔稚鱼生命活动相关。长江口自河口向近海的方向温度递减,水温出现区域性波动^[39],本研究在春季涨潮和秋季涨退潮期间水温与仔稚鱼分布存在较大相关性(图 5、图 6)。其次,夏季的表层 pH 分布与初级生产力正相关,浮游植物消耗 CO₂ 使 pH 上升,浮游植物分布呈现明显的区域特异性^[40],浮游植物分布的区域性造成各站点 pH 的明显差异,使仔稚鱼分布也与 pH 呈现相关性(图 6)。而且,夏季台湾暖流存在趋岸现象,带来了底层低含氧量水体,使长江口南部形成了高氧、低氧的水域^[41],造成溶解氧区域性差异。本研究中溶解氧仅在夏季涨潮期间与仔稚鱼分布相关(图 5),在南部站点呈现近岸丰度低,离岸丰度高的特点(图 3),可能与溶解氧区域差异相关。

3.3 保育场保护的重要性

本研究采集到的仔稚鱼的数量和种类较之前的调查^[13-14]均有明显提升,说明长江口依然是众多鱼类重要的产卵场、洄游通道以及保育场,目前已经看到了“十年禁渔”的初期效果,长江口中小型鱼类早期资源显著恢复,但生命周期长、营养级高的鱼类还需要更长的时间恢复,“十年禁渔”计划的实施可以实现鱼类资源从单一种类的恢复到群落结构的改善。尤其是中华鲟自然保护区仔稚鱼多样性指数较高(表 3),一方面保护区内初级生产力资源丰富,滩涂地形广袤,是众多河口性鱼类的栖息地^[42],滩涂地形水流缓慢,饵料丰富,往往是仔稚鱼优良的保育场^[29,43]。另一方面,2003 年保护区成立以来,生物种群和生态环

境长期受到监测和保护,人类开发活动对保护区鱼类早期资源影响较小。未来还需持续对保护区内鱼类早期资源状况的进行监测,这对长江口未来的生态保护以及长江口生物多样性的保全有着重要意义。

4 结论

本文探讨了 2022 年夏季—2023 年春季长江口仔稚鱼的种类组成与分布,并分析了环境因子与仔稚鱼分布的相关性。共采集到仔稚鱼 89644 尾,隶属于 20 目 23 科 81 种。得出以下结论:长江口仔稚鱼资源多样性丰富但优势种单一;潮汐、径流与盐度的互相作用是影响长江口仔稚鱼分布的首要因素,其他环境因子仅在单个季节影响仔稚鱼分布;长江口是众多鱼类的产卵场、洄游通道以及保育场,具有极高的保护价值。

参考文献:

- [1] Zhang T, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Present situation of fish species composition in nature reserve of *Acipenser sinensis* and adjacent waters in the Yangtze River estuary[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(4): 370-376. [张涛, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口中华鲟自然保护区及临近水域鱼类种类组成现状[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 370-376.]
- [2] Peng W T, Zhu Z Y, Liu J, et al. Assessment of the ecosystem characteristics and conservation value of the Yangtze River Estuary[J]. National Park, 2024(2): 91-100. [彭婉婷, 朱自煜, 刘佳, 等. 长江口生态系统特征和保护价值评价[J]. 国家公园(中英文), 2024(2): 91-100.]
- [3] Chen Y Q, Gong Q, Huang W P, et al. Study on the characteristics, present situation and rational utilization of fishery resources in the Yangtze River estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(S1): 48-51. [陈渊泉, 龚群, 黄卫平, 等. 长江河口区渔业资源特点、渔业现状及其合理利用的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(S1): 48-51.]
- [4] Ge C G. Analysis on elver net resulting in damage of early fish resource[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013: 1-46. [葛成冈. 长江口鳗苗网对鱼类早期资源损害性的分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 1-46.]
- [5] Ni Y, Chen Y Q. Fishery resources, ecological environment, production status and fishery positioning and adjustment in the Yangtze River Estuary[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2006, 33(3): 121-123, 127. [倪勇, 陈亚瞿.

- 长江口区渔业资源、生态环境和生产现状及渔业的定位和调整[J]. 水产科技情报, 2006, 33(3): 121-123, 127.]
- [6] Peng W T, Wang D D, Cai Y L. Assessing ecological vulnerability under climate change and anthropogenic influence in the Yangtze River estuarine island-Chongming island, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(21): 11642.
- [7] Bi J G, Lin S G, Zhu P X. Coupling and coordinated development of urban resilience and urban land use efficiency and the influencing factors: A case study of Yangtze River economic belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(11): 2315-2328. [毕佳港, 林树高, 诸培新. 城市韧性与城市土地利用效率耦合协调发展及其影响因素——以长江经济带为例[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(11): 2315-2328.]
- [8] Greer A T, Chiaverano L M, Luo J Y, et al. Ecology and behaviour of holoplanktonic scyphomedusae and their interactions with larval and juvenile fishes in the northern Gulf of Mexico[J]. ICES Journal of Marine Science, 2018, 75(2): 751-763.
- [9] Yin M C. Advances and studies on early life history of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1991, 15(4): 348-358. [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348-358.]
- [10] Yang D L, Wu G Z, Sun J R. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of the Changjiang river and adjacent areas[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1990, 21(4): 346-355. [杨东莱, 吴光宗, 孙继仁. 长江口及其邻近海区的浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(4): 346-355.]
- [11] Jiang M, Wang Y L, Shen X Q, et al. Distribution characteristics of fish eggs and larvae in *Acipenser sinensis* Natural Reserve at Changjiang River Estuary[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(2): 288-292. [蒋玫, 王云龙, 沈新强, 等. 长江口中华鲟保护区鱼卵和仔鱼的分布特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 288-292.]
- [12] Hou S T, Zhong J S, Wang X D, et al. The study on the amount changes of fish larvae during flood and ebb in the south branch of Yangtze River Estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(2): 250-258. [侯世挺, 钟俊生, 王晓东, 等. 长江口南支仔稚鱼数量随潮汐变化的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 250-258.]
- [13] Liu H, Chen J H, Wu J H, et al. Analytical research of spatial distribution of fish larvae and juveniles in summer and autumn in the eastern Chongming, Yangtze River Estuary[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(8): 1395-1405. [刘欢, 陈锦辉, 吴建辉, 等. 长江口崇明东滩夏秋季仔稚鱼的空
- 间分布[J]. 水产学报, 2021, 45(8): 1395-1405.]
- [14] Yang J Y, Chen J H, Zhong J S, et al. Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the water area of Chongming Dongtan, Yangtze River Estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(4): 829-840. [杨钧渊, 陈锦辉, 钟俊生, 等. 长江口崇明东滩水域仔稚鱼种类组成及多样性[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(4): 829-840.]
- [15] Zhuang P, Wang Y H, Li S F, et al. Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006. [庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.]
- [16] Okiyama M. An atlas of early stage fishes in Japan[M]. The 2nd edition. Tokyo: Tokai University Press, 2014. [冲山宗雄. 日本产稚鱼图鉴[M]. 第 2 版. 东京: 东海大学出版社 2014.]
- [17] Kendall A W, Ahlstrom E H, Moser H G. Early life history stages of fishes and their characters[M]//Moser H G, Richards W J, Cohen D M, et al. Ontogeny and Systematics of Fishes. The American Society of Ichthyologists Herpetologists. Lawrence: Allen Press, 1984: 11-22.
- [18] Nelson J S, Grande T C, et al. Fishes of the world[M]. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
- [19] Wu H L, Shao G Z, Lai C F, et al. Latin-Chinese dictionary of fish names by classification system[M]. Qingdao, China: China Ocean University Press, 2017. [伍汉霖, 邵广昭, 赖春福, 等. 拉汉世界鱼类系统名典[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2017.]
- [20] 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/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey Part 6: Marine biological survey[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, GB/T 12763.6-2007 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.]
- [21] Li S J, Shi L Y, Zhong J S, et al. Comparative study on fish community structure in spring and autumn in the southern waters of the Yangtze River Estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(01): 135-14. [李诗佳, 施利燕, 钟俊生, 等. 长江口南部水域春、秋季鱼类群落结构比较[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(01): 135-14.]
- [22] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.
- [23] Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.

- [24] Yu W, Xu C Y, Zhong J S, et al. Spatial and temporal distribution characteristics and analysis of influencing factors of fish larvae and juveniles along the coast of Minnan fishing grounds[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2024, 31(3): 316-331. [余伟, 徐春燕, 钟俊生, 等. 闽南渔场沿海仔稚鱼时空分布特征及影响因子[J]. 中国水产科学, 2024, 31(3): 316-331.]
- [25] Jiang M, Shen X Q. Abundance distributions of pelagic fish eggs and larva in the Changjiang River estuary and vicinity waters in summer[J]. Marine Sciences, 2006, 30(6): 92-97. [蒋玫, 沈新强. 长江口及邻近水域夏季鱼卵、仔鱼数量分布特征[J]. 海洋科学, 2006, 30(6): 92-97.]
- [26] Jin B S, Fu C Z, Zhong J S, et al. Fish utilization of a salt marsh intertidal creek in the Yangtze River estuary, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 73(3-4): 844-852.
- [27] Jiang R J, Zhong J S, Zhang D L, et al. Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River Estuary[J]. Zoological Research, 2008, 29(3): 297-304. [蒋日进, 钟俊生, 张冬良, 等. 长江口沿岸碎波带仔稚鱼种类组成及其多样性特征[J]. 动物学研究, 2008, 29(3): 297-304.]
- [28] Mao C Z, Chen Y G, Zhong J S, et al. Differences and association of larval and juvenile fish community in surf zone of south branch of Yangtze River and the adjacent waters[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(1): 125-134. [毛成责, 陈渊戈, 钟俊生, 等. 长江口南支邻近水域碎波带仔稚鱼群落结构的差异及关联[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 125-134.]
- [29] Chen Y G, Zhang Y, Zhong J S, et al. Comparison in fish larvae and juvenile assemblages between the surf zones of south branch of Yangtze River estuary and north coast of Hangzhou Bay[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(5): 688-696. [陈渊戈, 张宇, 钟俊生, 等. 长江口南支和杭州湾北岸碎波带水域仔稚鱼群聚的比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 688-696.]
- [30] Mao C Z, Zhong J S, Fang Y Q, et al. Species composition and habitat use patterns of fish larvae and juveniles inhabiting the surf zone of a sandy beach at Sijiao Island[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 166-177. [毛成责, 钟俊生, 方永清, 等. 东海区泗礁沙滩碎波带仔稚鱼种类组成及栖息地利用模式[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 166-177.]
- [31] Rao Y Y. Study on annual resource variation of larvae and juveniles in the southern branch of the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020. [饶元英. 长江口南支水域仔稚鱼资源量年度变化的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.]
- [32] Krumme U. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder[J]. Fisheries Research, 2004, 70(1): 1-15.
- [33] 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. [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.]
- [34] Li L F, Zhong J S, Zeng J, et al. Vertical distribution and changes during day and night of *Coilia nasus* larvae and juveniles depending on flood and ebb tide in southern branch of Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(1): 74-82. [李联飞, 钟俊生, 曾娇, 等. 潮汐对长江口南支刀鲚仔稚鱼垂直分布及昼夜变化的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(1): 74-82.]
- [35] Chen Y J, Ge J P. Environmental features of waters surrounding Chongming island in Yangtse estuary[J]. Marine Science Bulletin, 1994, 13(5): 7-13. [陈伊俊, 葛建平. 崇明岛周围水域环境状况特征分析[J]. 海洋通报, 1994, 13(5): 7-13.]
- [36] Guo L C, Zhu C Y, He Q, et al. Examination of tidal wave properties in the Yangtze River estuary[J]. Marine Science Bulletin, 2017, 36(6): 652-661. [郭磊城, 朱春燕, 何青, 等. 长江河口潮波时空特征再分析[J]. 海洋通报, 2017, 36(6): 652-661.]
- [37] Shen T. Yangtze River water resources protection and sustainable development[J]. Water Resources Protection, 2002, 18(3): 2-5, 68. [沈泰. 长江水资源保护与可持续发展[J]. 水资源保护, 2002, 18(3): 2-5, 68.]
- [38] Song C, Liu Y Y, Lv Y, et al. Distribution of *Salanx ariakensis* larvae in the Yangtze Estuary and its relationship with environmental factors[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(4): 318-324. [宋超, 刘媛媛, 吕杨, 等. 长江口有明银鱼仔鱼的分布及其与环境因子的关系[J]. 海洋渔业, 2015, 37(4): 318-324.]
- [39] Yin H, Yang S Q, Liang E H, et al. Heat flux from the Yangtze River to the sea and its ecological effects[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2024, 60(4): 682-690. [尹航, 杨善卿, 梁恩航, 等. 长江入海热通量及其生态效应[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2024, 60(4): 682-690.]
- [40] Li L Q. Study on characteristics of plankton community structure and its influencing factors in the Yangtze River Estuary[D]. Shenyang: Shenyang University, 2024: 1-77. [李立群. 长江口海域浮游生物群落结构特征及其影响因素研究[D]. 沈阳: 沈阳大学, 2024: 1-77.]

- [41] Cao G P, Song J B, Fan W. Mechanism of upwelling evolution in the Yangtze River Estuary adjacent waters in summer, 2007[J]. Marine Sciences, 2013, 37(1): 102-112. [曹公平, 宋金宝, 樊伟. 2007 年长江口邻近海域夏季上升流演变机制研究[J]. 海洋科学, 2013, 37(1): 102-112.]
- [42] Gao Y, Huang X R, Zhang T T, et al. Research advances in coastal estuarine wetland ecosystem in China: A case study of the Yangtze Estuary[J]. Wetland Science & Management, 2016, 12(4): 59-63. [高宇, 黄晓荣, 张婷婷, 等. 中国滨海河口海湾湿地生态系统研究进展——以长江口为例[J]. 湿地科学与管理, 2016, 12(4): 59-63.]
- [43] Kawakami T, Tachihara K. Occurrence and body size changes of drifting land-locked Ryukyu-ayu *Plecoglossus altivelis* ryukyuensis larvae in the San-numata River, Okinawa-Jima Island, Japan[J]. Ichthyological Research, 2010, 57(2): 204-208.

Diversity and spatio-temporal distribution of larval and juvenile fishes and associated environmental factors in the Yangtze River Estuary

LU Tianyu¹, ZHAO Dubin¹, CHEN Jinhui^{2*}, LIU Qiang¹, WANG Xiaodong¹, WEI Guangen², QIU Zhewen², ZHONG Junsheng¹, LIN Jun³

1. Shanghai University Key Laboratory of Marine Animal Taxonomy and Evolution, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Shanghai Aquatic Wildlife Conservation and Research Center, Shanghai 200092, China;
3. Engineering Technology Research Center of Marine Ranching, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: This study investigated the recovery of fish resources after a fishing ban in the Yangtze River and the influence of tides on the distribution of larval and juvenile fishes. From July 2022 to May 2023, 42 sampling stations were set up in the *Acipenser sinensis* natural reserve and adjacent waters of the Yangtze River estuary. Sampling was conducted with a larval net (diameter 1.3 m, mesh 0.5 mm) that was towed at the surface layer in different seasons during flood and ebb tide. A total of 336 nets were trawled, and 89644 larval and juvenile fishes comprising 81 species, 23 families, and 20 orders were collected. The average density was 0.59 ind/m³. Engraulidae was the most dominant family, accounting for 82.13% of the total catch. The density of larval and juvenile fishes was the highest in summer, reaching 1.77 ind/m³, followed by spring (0.45 ind/m³) and autumn (0.12 ind/m³), and it was lowest in winter (0.002 ind/m³). The distribution of larval and juvenile fishes in a single season was not influenced by tides except in spring. Moreover, the density of larval and juvenile fishes in summer was higher in the north branch than in the south branch and the lowest in the reserve. In autumn, larval and juvenile fishes were more abundant in the south branch than in the reserve, with the lowest abundance in the north branch. In spring, larval and juvenile fishes were more abundant in the reserve than in the south branch during the flood tide, with the lowest abundance in the north branch. However, the abundance in the north branch was greater than that in the reserve during ebb tide. The density of larval and juvenile fishes was higher during flood tide than ebb tide, except in spring. The richness index (*D*) and diversity index (*H'*) were both highest in summer, followed by spring, lower in autumn, and lowest in winter. However, the evenness index (*J'*) was lower in summer than in spring. CCA analysis of water temperature, salinity, pH, and dissolved oxygen showed that salinity was significantly correlated with the distribution of larval and juvenile fishes during the whole seasons, while other environmental factors were correlated with the distribution of larval and juvenile fishes only during flood or ebb tide in several seasons.

Key words: Yangtze River Estuary; *Acipenser sinensis*; natural reserve; larval and juvenile fishes; species composition; environmental factors

Corresponding author: CHEN Jinhui. E-mail: 1114260882@qq.com