

长江口和杭州湾碎波带仔稚鱼群聚时空分布特征及相关环境因子分析

陈渊戈¹, 毛成贵², 林楠¹, 钟俊生³, 徐兆礼¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090;

2. 江苏省海涂研究中心, 江苏 南京 210036;

3. 上海海洋大学, 上海 201306

摘要: 2009 年 8 月至 2010 年 8 月每月大潮前后在长江口和杭州湾碎波带的 12 个站点采集仔稚鱼, 共采集到仔稚鱼 14 907 尾, 隶属 24 科 74 种, 主要优势种有刀鲚(*Coilia nasus*, 47.84%)、普氏缰虾虎鱼(*Amoya pflaumii*, 11.58%)、餐属(*Hemiculter* spp., 9.12%)、飘鱼属(*Pseudolaubuca* spp., 6.29%)、多鳞四指马鲅(*Eleutheronema rhadinum*, 5.62%)。分析了碎波带仔稚鱼群聚的时空分布特征与水温、盐度、底质、地形等环境因子的关系。聚类和排序的结果显示, 全年仔稚鱼群聚在时间序列上可分为 4 组, 各组间存在明显的种类更替, 出现的主要优势种分别是 12 月–翌年 4 月的乔氏新银鱼(*Neosalanx jordani*), 5 月的中国大银鱼(*Protosalanx chinensis*)、中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*), 6 月–9 月的刀鲚、普氏缰虾虎鱼、餐属、飘鱼属、多鳞四指马鲅, 以及 10 月、11 月的有明银鱼(*Salanx ariakensis*)。在空间梯度上可分为长江口碎波带站点和杭州湾碎波带站点两组, 两组间相异性贡献度最高的种类是刀鲚和普氏缰虾虎鱼(>10%), 多个组内的独有种类显示出不同生态类型鱼类仔稚鱼对碎波带栖息地的生境选择分化。CCA 结果显示, 所选的 5 个环境因子中只有水温和盐度对仔稚鱼群聚整体的时空分布有显著影响, 但是对整个时空分布特征的解释度并不算高, 意味着还存在其他重要的影响因素, 可能包括饵料生物、径流等。对主要种类在单种的尺度上进行了丰度时空分布与环境因子的 GAM 曲线拟合, 发现底质和地形对特定种类的仔稚鱼的分布有显著影响。地形开阔平坦、底质为沙质的站点仔稚鱼种类和丰度都相对较多, 如优势种中的飘鱼属种类、多鳞四指马鲅、日本须鲷(*Paraplagusia japonica*)等都倾向选择栖息在开阔平坦的沙质底站点。

关键词: 仔稚鱼; 碎波带; 时空分布特征; 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)04-0780-11

虽然碎波带(surf zone)水域是许多鱼类仔稚鱼重要的栖息场所, 但是直到近 10 年间国内才开始关于碎波带仔稚鱼的研究^[1–8]。早在 19 世纪末世界上已有碎波带鱼类调查的记录^[9], 人类从那时开始意识到近岸浅水区域可能是鱼类早期生活史中的一个栖息场所。

Modde 等^[10]、Ruple^[11]、Ross 等^[12]在墨西哥湾碎波带开展了仔稚鱼群聚的调查, 较早地揭示

了碎波带仔稚鱼群聚组成存在昼夜、季节和空间变化。Lasiak^[13]和 Whitfield^[14]着重研究了碎波带作为仔稚鱼保育场的功能的多样化。在东亚最早是 Senta 和 Kinoshita^[15]开始了碎波带仔稚鱼的研究。中国这方面的研究目前集中在长江口及邻近水域, 研究内容涵盖种类组成特征、周期性变化、生境选择性、多样性特征、保育形式、漂流模式等^[3–8]。关于中国碎波带仔稚鱼的时空分布及其环

收稿日期: 2014-09-25; 修订日期: 2015-03-21.

基金项目: 长江渔业资源管理委员会办公室项目(D-8005-11-0063); 上海市重点学科水生生物学建设项目(S0701).

作者简介: 陈渊戈(1986–), 男, 助理研究员, 从事鱼类早期生活史研究. E-mail: yg.chan.shou@gmail.com

通信作者: 钟俊生, 教授, 主要从事鱼类早期生活史研究. Tel: 021-61900462, E-mail: jszhong@shou.edu.cn

境因子的关系, 还未有深入探讨。相对而言, 近海水域的环境因子对鱼类早期生活史影响的研究则较多。例如, 刘淑德等^[16]发现主要作用于春季长江口及邻近海域的鱼卵、仔稚鱼的环境影响因子是盐度、水深、溶解氧和悬浮物。蒋玫等^[17]的研究则更进一步显示出盐度对鱼卵的效应较仔鱼明显, 仔鱼对温度的敏感性较盐度高, 而各水系的相互作用对鱼卵、仔鱼的分布都有十分明显的影响。碎波带水域水深较浅, 一般在 0.5~1.5 m, 使其与近岸水深相对较深的水域有着不同的水环境, 对仔稚鱼的影响可能也区别于较深水域。例如, Clark 等^[18]的研究表明底质颗粒物类型对碎波带仔稚鱼的分布有影响, Shanks 等^[19]最近的研究揭示了碎波带的地形对仔稚鱼进入碎波带成功着底有影响。

为了进一步了解长江口及邻近水域碎波带对仔稚鱼的环境制约因子, 提供长江口及邻近水域海岸线生态环境和生物资源保护和修复的基础依据, 本研究根据在长江口、杭州湾碎波带的调查, 基于探索性的多元分析, 对长江口及邻近的杭州湾碎波带水域仔稚鱼群聚特征与环境因子的关系进行探讨。

1 材料方法

1.1 调查站点

尽量按等间距在长江口南支和杭州湾北岸碎波带水域共设置 12 个站位点(ST1 - ST12)(图 1)。根据预调查的观察, 各站位的底质明显分为泥质和沙质 2 种, 具体作业位置有位于丁坝一侧(半遮挡)、湾状地形(两侧遮挡)和开阔地形(无遮挡)3 种。ST11 位于一个河道口附近, 上游开闸时有淡水注入。所有站位均裸露无植被(表 1)。

1.2 调查方法

2009 年 8 月–2010 年 8 月, 于每月大潮前后, 在水深 0.5~1.5 m 处, 两人沿平行于岸的方向步行拖曳小型拖网(1 m×4 m, 网目 1 mm), 拖曳距离约 50 m, 每个站位点连续在不重叠区域采集 3 次。现场用 5% 的福尔马林溶液固定样本, 使用温度计和 ATAGO 手持式折射仪分别测量水温和盐度。预调查期间观察记录下每个站位的底质类型

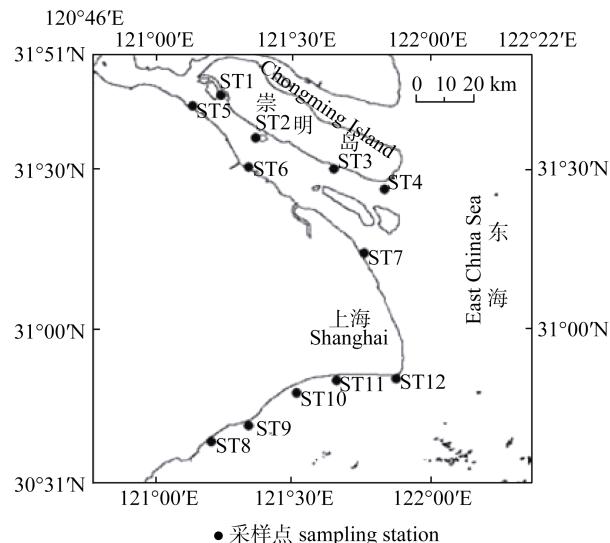


图 1 长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼采样站位点示意图

Fig. 1 Map of survey sites in the surf zone of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay

和地形, 并设置了一个“距离”参数, 其值取每个站位与 ST12 水平方向的位移(km), 以分析仔稚鱼对河口区上、下游是否有选择性。

将采集到的仔稚鱼镜检(Olympus SZX7)鉴定到科、属、种, 科名按 Nelson^[20], 学名按照伍汉霖等^[21], 按 Kendall 等^[22]的仔稚鱼发育分期标准划分发育阶段。计数并测量体长, 弯曲期(含)以前的样本测量全长, 以后的测量标准体长。

1.3 数据处理

用层级聚类(Bray-Curtis 相异性指数, Ward 法聚类)和排序(NMDS)的方法为月份以及站点分组, 根据轮廓宽度指数和实际的生态学意义选择最优分组, 分组的检验使用多重反应排序(MRPP)方法, 以分组结果为依据, 计算各种相似性百分比(SIMPER)。用 CCA 判别对仔稚鱼群聚特征影响明显的环境因子。使用 GAM 分析主要仔稚鱼种类的丰度与环境因子的相关性。

对环境因子、物种丰富度、丰度等使用 Shapiro 正态性检验后进行比较检验, 通过正态性检验的采用 One-way ANOVA 进行均值比较, 不能通过正态性检验的采用 Mann-Whitney U 检验或者 Kruskal-Wallis 检验进行中位数比较。

为了便于统计分析和输出结果, 在图片结果输出中 13 次调查分别用调查月份的英文缩写表

表 1 长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼调查站位环境因子

Tab. 1 Environmental factors of survey sites in the surf zone of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay

站位 site	底质 substratum	地形 landform	年平均盐度 average salinity	距离/km distance from the mouth of estuary
ST1	泥质 silty	丁坝一侧 groyne	0.32	64.8
ST2	泥质 silty	丁坝一侧 groyne	0.30	50.9
ST3	泥质 silty	丁坝一侧 groyne	0.18	26.1
ST4	沙质 arenaceous	丁坝一侧 groyne	0.60	5.7
ST5	沙质 arenaceous	湾状 baylike	0.27	74.1
ST6	泥质 silty	湾状 baylike	0.36	56.0
ST7	泥质 silty	开阔 open	0.30	15.5
ST8	沙质 arenaceous	开阔 open	11.76	71.2
ST9	沙质 arenaceous	湾状 baylike	9.92	55.8
ST10	沙质 arenaceous	湾状 baylike	12.23	31.4
ST11	泥质 silty	开阔 open	11.50	36.6
ST12	沙质 arenaceous	开阔 open	10.31	0.0

示, 仔稚鱼种类名称将学名缩略用字母表示。

数据分析在 R 3.0.2^[23]中进行, 使用到 vegan^[24]、 labdsv^[25]和 mgcv^[26]程序包。

2 结果与分析

2.1 仔稚鱼组成及环境因子

13 次调查总共采集 462 网次, 渔获 14 907 尾, 隶属 24 科 74 种。数量优势较大的种类有刀鲚(*Coilia nasus*, 47.84%)、普氏鱠虾虎鱼(*Amoya pflaumii*, 11.58%)、蟹属(*Hemiculter* spp., 9.12%)、飘鱼属(*Pseudolaubuca* spp., 6.29%)、多鳞四指马鲅(*Eleutheronema rhadinum*, 5.62%)。调查水域全年平均水温为 $(18.75 \pm 0.66)^\circ\text{C}$, 站位间无显著差异, 月份间存在显著差异(One-way ANOVA, $\alpha=0.05$); 平均盐度为 4.90 ± 0.52 , 站位间和月份间均存在显著差异(One-way ANOVA, $\alpha=0.05$), 位于杭州湾的 ST8-ST12 盐度较高, ST1-ST7 受长江冲淡水影响, 盐度很低。不同底质和地形的站位数量大致相当(表 1)。详细的种类组成与温盐数据请见文献[27]。

2.2 仔稚鱼群聚的时间变化特征

从层级聚类结果来看, 调查水域碎波带仔稚鱼群聚组成存在较为明显的季节变化, 冬、春季与夏、秋季明显区别开来。根据轮廓指数($k=3$, 平

均轮廓宽度=0.33)则应该分为 3 组: 6~9 月, 10 月、11 月, 12 月~翌年 5 月。但是 NMDS 的结果显示 5 月与其他月份相距较远, 因此结合聚类和排序的结果, 将 13 个调查月份分为 4 组比较合适且能通过显著性检验(MRPP 检验, $\delta=0.55$, $P<0.01$), 4 组分别是 12 月~翌年 4 月, 5 月, 6~9 月, 10 月、11 月(图 2)。

这 4 组的仔稚鱼群聚组成显示出了明显的种类更替, 特别优势种的更替尤其明显。5 月采集到的 353 尾仔稚鱼中, 中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)(116 尾)和中国大银鱼(*Protosalanx chinensis*)(215 尾)占主要优势, 并且是 5 月出现的特有种。紧随春季产卵高峰之后, 6~9 月是仔稚鱼在碎波带出现的高峰期, 采集到的仔稚鱼种类数占总种数的 89.33%(67 种), 丰度占总丰度的 92.41% (13 776 尾)。丰度前 5 位的优势种虽然也在其他月份分组中出现, 但相对丰度要低得多。相比 9 月, 10 月和 11 月仔稚鱼急剧减少, 但是 11 月在 ST4(崇明岛最东端)采集到了大量有明银鱼(*Salanx ariakensis*)。12 月~翌年 4 月仔稚鱼物种丰富度和丰度更低, 集中出现在位于长江口的 ST1-ST7 站位, 出现较多乔氏新银鱼(*Neosalanx jordani*) (表 2)。根据 SIMPER 计算结果, 这其中对月份分组间相异性贡献较大的种类有刀鲚、普氏鱠虾虎鱼、蟹属、飘鱼属、有明银鱼、乔氏新银鱼、中国花鲈、中国大银鱼。

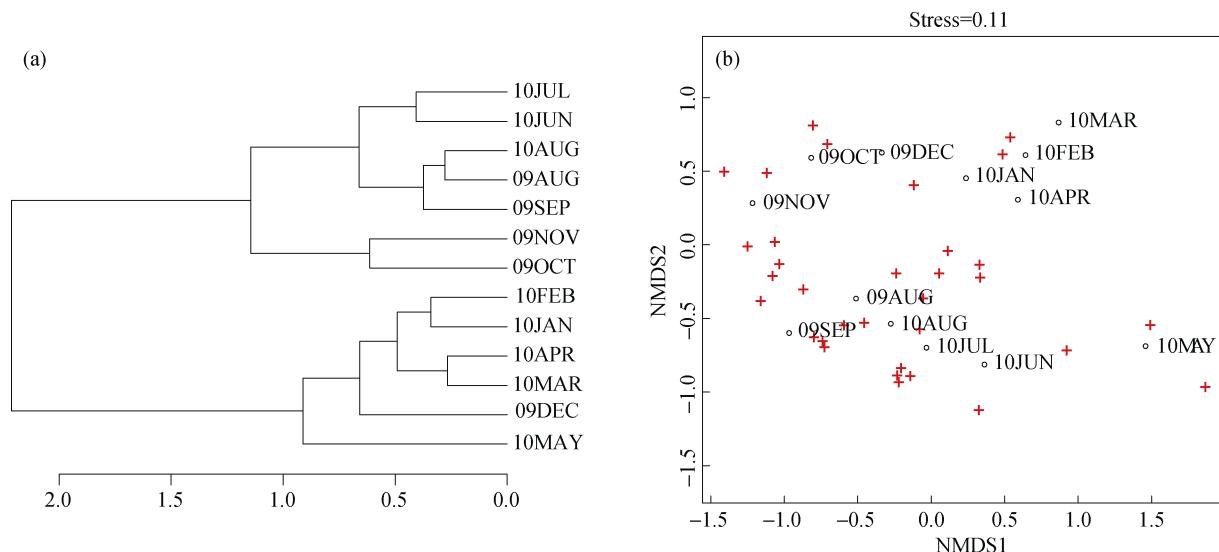


图2 长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼群聚的各月聚类(a)和排序图(b)

Fig. 2 Hierarchical cluster dendrogram (a) and ordination diagram (b) of monthly larval fishes assemblages

表2 长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼群聚各月份分组丰度前5位种类组成

Tab. 2 First 5 abundant species in each group of monthly larval fishes assemblages

种类 species	6—9月 Jun.—Nov.		10—11月 Oct.—Sep.		12—4月 Dec.—April		5月 May	
	丰度/尾 abundance/ind	%						
刀鲚 <i>C. nasus</i>	7106	51.94	25	4.62	—	—	—	—
普氏缰虾虎鱼 <i>A. pflaumii</i>	1659	12.13	67	12.38	—	—	—	—
蟹属 <i>Hemiculter</i> spp.	1330	9.72	—	—	21	9.68	8	2.30
飘鱼属 <i>Pseudolaubuca</i> spp.	926	6.77	7	1.29	—	—	—	—
多鳞四指马鲅 <i>E. rhadinum</i>	831	6.07	7	1.29	—	—	—	—
有明银鱼 <i>S. ariakensis</i>	—	—	390	72.09	—	—	—	—
乔氏新银鱼 <i>N. jordani</i>	—	—	7	1.29	132	60.83	2	0.57
舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	—	—	10	1.85	—	—	—	—
青弹涂鱼 <i>Scartelaos histophorus</i>	—	—	—	—	10	4.61	—	—
食蚊鱼 <i>Gambusia affinis</i>	—	—	—	—	9	4.15	—	—
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	—	—	—	—	7	3.23	—	—
间下鱵 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	—	—	—	—	7	3.23	—	—
大海鲢 <i>Megalops cyprinoides</i>	—	—	7	1.29	—	—	—	—
中国大银鱼 <i>P. chinensis</i>	—	—	—	—	—	—	215	61.78
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	—	—	—	—	—	—	116	33.33
龟鮀 <i>Chelon haematocheilus</i>	—	—	—	—	—	—	6	1.72

注: “—”表示未出现。

Note: “—” means not appearing.

2.3 仔稚鱼群聚的空间变异特征

对每个站点全年采集到的所有样本总和后进行层级聚类, 发现 ST1—ST7 与 ST8—ST12 分为显著差异的两组(MRPP 检验, $\delta=0.64$, $P<0.01$)

(图3)。通过 SIMPER 分析, 对 ST1—ST7 与 ST8—ST12 之间的相异性贡献最大的是刀鲚和普氏缰虾虎鱼。贡献度较高的种类中, 除普氏缰虾虎鱼、蟹属和飘鱼属种类之外, 其他种类都分别是

各组内的独有种类(表 3)。溯河洄游的刀鲚和河口定居性的鲻属种类、飘鱼属种类在 ST1—ST7 占主导; 在近岸水域栖息并进行接岸洄游的普氏缰虾虎鱼、多鳞四指马鲅、日本须鰈等在 ST8—ST12 占主导; 胡瓜鱼科种类(各类银鱼)主要在站位置 ST1—ST7 出现。可以看出, 长江口和杭州湾盐度的显著差异使得不同生态类型的鱼类在进入河口

碎波带栖息时产生了明显的生境选择上的分化。

通过 Kruskal-Wallis 检验分别对不同底质类型和不同地形的仔稚鱼种类数和丰度进行了比较检验, 结果均不能通过显著性检验($P>0.1$), 因而认为长江口和杭州湾碎波带仔稚鱼群聚全年总体的丰度和物种数分布在统计学上与底质类型和地形不显著相关。

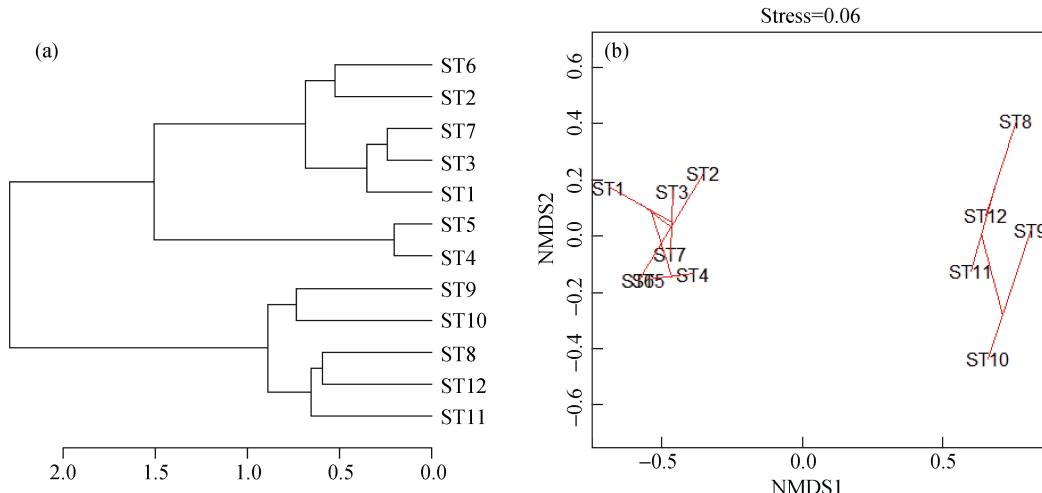


图 3 长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼群聚的站位层级聚类(a)和排序图(b)

Fig. 3 Hierarchical cluster dendrogram (a) and ordination diagram (b) of larval fishes assemblages of all sites

表 3 站位 ST1—ST7 与 ST8—ST12 组间相异性主要贡献种类

Tab. 3 Dissimilarity percentages of the primary species between groups ST1—ST7 and groups ST8—ST12

种类 species	相异性贡献率/% contribution	平均丰度 average abundance	
		ST1—ST7	ST8—ST12
刀鲚 <i>C. nasus</i>	34.90	1018.71	0.00
普氏缰虾虎鱼 <i>A. pflaumii</i>	11.54	27.57	306.60
鲻属 <i>Hemiculter</i> spp.	9.13	173.86	28.60
多鳞四指马鲅 <i>E. rhadinum</i>	8.99	0.00	167.60
飘鱼属 <i>Pseudolaubuca</i> spp.	6.53	131.29	3.80
凤鲚 <i>C. mystus</i>	2.37	0.00	46.00
日本须鰈 <i>Paraplagusia japonica</i>	1.75	0.00	39.60
有明银鱼 <i>S. ariakensis</i>	1.41	56.29	0.00
乔氏新银鱼 <i>N. jordani</i>	1.35	26.71	0.40
鮈亚科 <i>Acheilognathinae</i> sp.	1.16	1.00	17.40
香鱼衔 <i>Callionymus olidus</i>	1.16	20.57	1.00
吻虾虎鱼属 <i>Rhinogobius</i> sp.	1.05	15.57	0.20
鲻 <i>Sinierca chuatsi</i>	1.05	16.00	0.00
中国大银鱼 <i>P. chinensis</i>	1.03	30.71	0.00

注: 仅列出贡献度百分比超过 1% 的种类。

Note: Only the species with contribution over 1% are shown in this table.

2.4 环境因子对仔稚鱼群聚时空分布的影响

将水温、盐度、地形、底质和距离作为环境因子, 对全年所有样方的仔稚鱼群聚进行CCA分析($F=2.90$, $P<0.01$), 结果显示这5个因子只能解释14.45%的物种分布, 意味着还存在其他环境因素对仔稚鱼群聚的时空分布有重要影响。前两个约束轴累积承载了64.59%的特征值。水温和盐度在99%的置信水平上通过显著性检验。从双序图上可以观察到, 所有样方沿第一约束轴大致(不绝对地)可分为长江口站位(左)和杭州湾站位(右), 沿第二约束轴从下往上大体呈各月份水温增加的趋势(图4)。

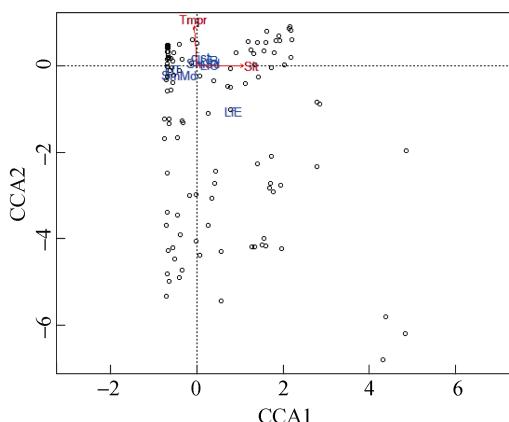


图4 长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼群聚和环境因子
CCA双序图

圆圈示样方, 环境因子标识红色表示在95%的置信水平上通过显著性检验。

Fig. 4 CCA biplot of larval fishes assemblages and environmental factors in surf zone of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay. Circles indicate samples. Environmental factors labeled in red were statistical significant, $\alpha=0.05$.

2.5 环境因子对碎波带主要种类仔稚鱼分布的影响

2.5.1 刀鲚与环境因子的关系 刀鲚的丰度显著地随水温升高而增高($P<0.05$, 图5), 在长江口与沙质底质显著相关($P<0.05$), 与盐度、横向距离、地形均无显著相关性($P>0.1$)。刀鲚在6–11月出现在碎波带, 以8月、9月数量最多, 分别占刀鲚总数的34.53%[2009年8月, 水温 $(28.08\pm0.82)^\circ\text{C}$]、14.14%[2009年9月, $(27.72\pm1.17)^\circ\text{C}$]、43.56%[2010年8月, $(30.68\pm1.97)^\circ\text{C}$]。各站点间, 沙质底的ST4和ST5出现的刀鲚仔稚鱼数量最多, 分别

占刀鲚总数的36.53%和43.25%。

2.5.2 中国花鲈与环境因子的关系 中国花鲈的丰度分布与温度、盐度、横向距离、地形、底质均无显著相关性($P>0.1$)。从拟合曲线看, 在盐度10左右丰度可能较高(图5), 但是实际上在盐度几乎为0的ST4、ST10也有不少中国花鲈仔稚鱼出现, 说明中国花鲈仔稚鱼对盐度的适应范围较广。

2.5.3 飘鱼属、蟹属种类与环境因子的关系 飘鱼属和蟹属种类在本研究调查水域均为常见的河口定居型鱼类, 它们的仔稚鱼在碎波带经常同时出现。回归分析显示碎波带飘鱼属和蟹属仔稚鱼的丰度分别与水温极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)相关, 随温度升高而增大(图5)。飘鱼属仔稚鱼与盐度的关系比较复杂, 对蟹属种类则完全没有影响(图5)。另外, 飘鱼属种类的分布与沙质地极显著相关($P<0.05$), 蟹属种类对底质则没有明显的选择性。

2.5.4 新银鱼属种类与环境因子的关系 在碎波带水域采集到乔氏新银鱼和陈氏新银鱼(*Neosalanx tangkahkeii*)两种。乔氏新银鱼终年在碎波带出现, 12月–翌年3月出现较多(69.84%), 陈氏新银鱼集中在5–8月出现(90.77%), 表明两者对碎波带的利用模式存在差异。

陈氏新银鱼仔稚鱼丰度与沙质底之外的因素均无显著相关性($P>0.1$), 从拟合的曲线上可以看出水温、盐度和横向距离对陈氏新银鱼仔稚鱼的丰度没有影响(图5)。乔氏新银鱼仔稚鱼丰度却显著地与水温($P<0.05$)、盐度($P<0.01$)、横向距离($P<0.01$)显著/极显著相关, 乔氏新银鱼在低温(12月–翌年6月)、低盐(盐度0)的上游(ST5)进入碎波带水域栖息, 并且在长江口碎波带与沙质底、开阔地形分别显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)相关。

2.5.5 日本须鰈与环境因子的关系 日本须鰈仔稚鱼的分布范围较小, 仅于8月、9月出现在ST9、ST10。回归分析结果显示日本须鰈的丰度与盐度显著相关($P<0.05$), 拟合曲线在盐度4处有一个峰值; 同时与沙质地和开阔地形均极显著相关($P<0.01$)。

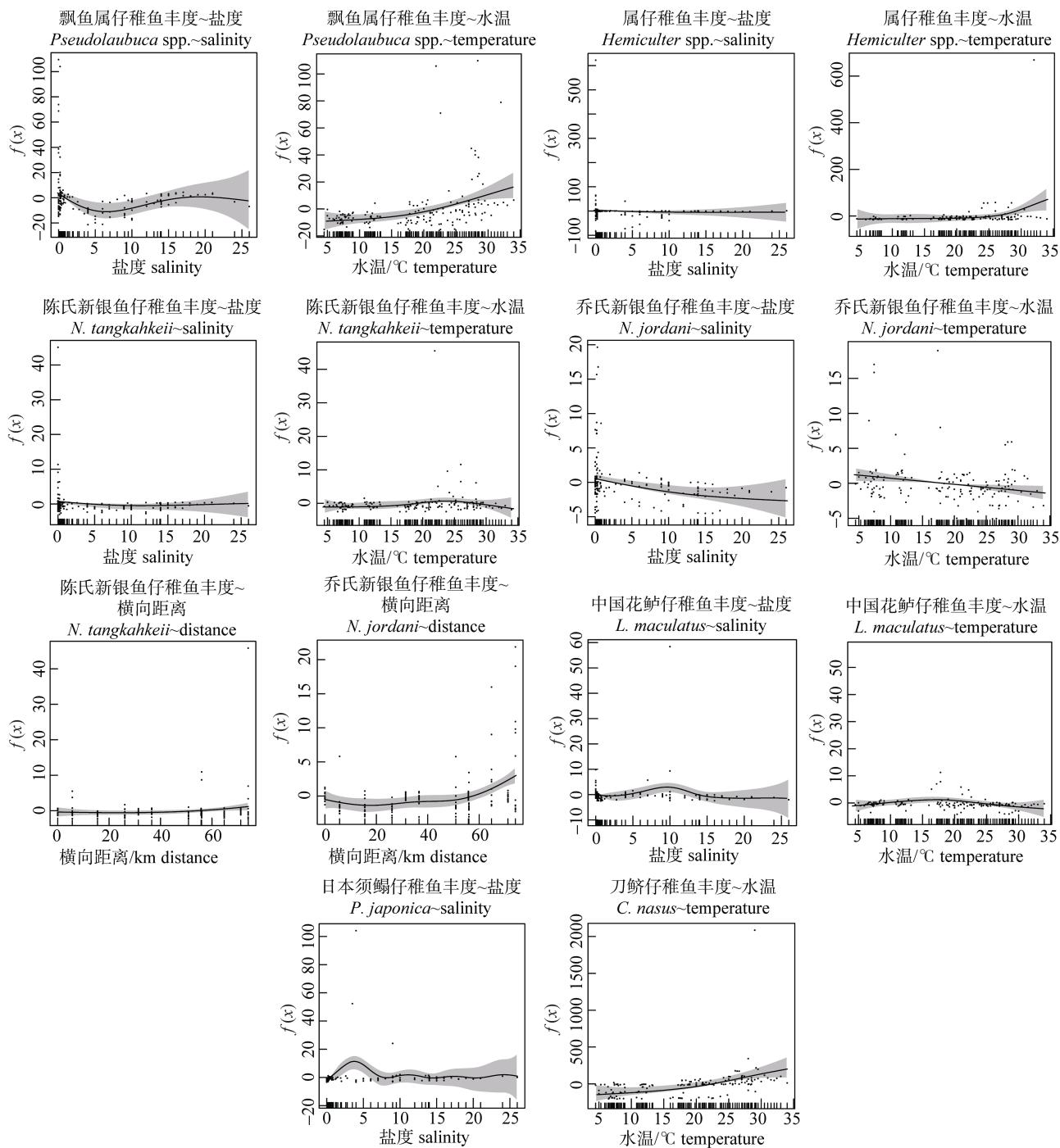


图 5 环境因子对长江口与杭州湾碎波带仔稚鱼丰度的 GAM 拟合曲线

Fig. 5 GAM fitting curves of effects of environmental factors on larval fishes in surf zone of the Yangtze River estuary and Hangzhou bay

虽然看起来日本须鰨仔稚鱼与较低盐度有显著的相关性, 但这一现象可能并不仅仅是由盐度驱使, 日本须鰨的产卵时间、漂流方式、底栖性都可能是决定这一结果的原因。可以明确的是日本须鰨稚鱼着底后倾向选择栖息在平坦开阔的沙质底

水域, 这应该是它本身的底栖性的自然结果。

2.5.6 普氏缰虾虎鱼与环境因子的关系 普氏缰虾虎鱼仔稚鱼出现在 8—11 月, 遍布整个调查范围, 拟合曲线显示它的丰度与水温、盐度、横向距离均无显著相关性($P>0.1$), 但是与开阔的沙质

地显著相关($P<0.05$)。与普氏鱚、虎鱼相似的种类还有多鳞六指马鲅, 同样仅与开阔的沙质地显著相关($P<0.05$)。

3 讨论

长江口邻近水域的鱼类群落受水温、盐度、水深和悬浮物影响, 其中水深、盐度和悬浮物含量驱动鱼类群聚空间变异, 温度驱动了时间变异^[28]。本研究中盐度是仔稚鱼群聚空间变异的主要驱动因素, 位于杭州湾的 ST8—ST12 同时受海水和长江口冲淡水的影响, 盐度较高, 位于长江口南支的 ST1—ST7 盐度终年几乎为 0, 盐度的差异将 12 个站点的仔稚鱼群聚分成了低盐的长江口站点群组和相对高盐的杭州湾站点群组。水温的作用体现在仔稚鱼物种丰富度和总丰度随水温升高而增高, 并且在时间序列上呈现出了明显的种类更替, 这是水温升高引起鱼类繁殖、饵料生物大量增殖产生的间接结果。

许多种类进入碎波带完成了后弯曲期仔鱼向稚鱼发育的着底过程(settlement)^[7], 伴随着食性转换, 这一时期成为鱼类早期生活史中第二个高死亡率的关键时期。足够的适口饵料是仔稚鱼个体渡过这一时期的关键因子, 因而饵料生物的有无及丰度的高低可能会在很大程度上影响碎波带仔稚鱼的时空分布, 在进一步研究中应该加入饵料生物因子进行考量。Clark 等^[18]认为, 混浊度对碎波带仔稚鱼的组成有重要作用, 因为一定的浑浊度使仔稚鱼获躲避捕食者的机率上升, 也能为仔稚鱼提供更丰富的饵料生物。本次调查水域受长江径流携带的大量泥沙影响, 所有站位水体混浊度均很高, 对仔稚鱼的生态生理是否存在影响, 只能通过其他室内实验手段进行探索。

除了水温和盐度外, 也观察到了其他各种环境因子对仔稚鱼的分布和行为的影响。本研究中 CCA 结果显示只有水温和盐度显著地影响了碎波带仔稚鱼群聚整体的时空分布, 但是在单种的尺度上通过 GAM 曲线拟合观察到了单个种类对底质和地形可能存在选择性。由于仔稚鱼游泳能力相对较弱, 在障碍物较多的生境, 水流较为平

缓, 更利于仔稚鱼生存, Layman^[29]发现由于沙坝的阻挡作用, 沙坝背面水流相对平缓, 仔稚鱼种类数和个体数都较多。Watt-Pringle 等^[30]的研究中发现, 流速较缓、波浪作用较小并受到遮蔽的潮沟内采集得到的仔稚鱼密度要远高于周围裸露的生境。本研究中设置了 4 个被丁坝半遮挡的站位, 但是没有明显地成为仔稚鱼选择聚集的栖息地。底质对仔稚鱼的影响则来源于鱼类对不同底质类型的喜好, 例如, Tagus 河口的鲷类稚鱼偏好细沙质的区域^[31]。本研究中可以观察到一些主要优势种类也倾向于栖息在地形开阔的沙质底站位, 如飘鱼属种类、多鳞四指马鲅、日本须鲷等, 对调查水域的仔稚鱼群聚分布特征有一定影响, 其生态机制则还需要进一步实验证明。Reina-Hervás 研究表明受与河口距离和底质影响, 鱼类组成和周年变化趋势出现差异^[32]。Ayvazian 在澳大利亚西南的碎波带研究发现, 地形和洋流的综合作用导致西海岸和南海岸碎波带鱼类种类组成有较大差别^[33], 这些因素可能也是长江口和杭州湾碎波带仔稚鱼群聚时空分布特征的重要成因。

参考文献:

- [1] Zhong J S, Yu W W, Liu B L, et al. Seasonal occurrence of fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(4): 375–381.[钟俊生, 郁蔚文, 刘必林, 等. 长江口沿岸碎波带仔稚鱼种类组成和季节性变化[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(4): 375–381.]
- [2] Zhong J S, Fu C C, Yu W W, et al. Occurrence and stay period of the juvenile *Liza haematocheila* in the surf zone of Yangtze Estuary[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(3): 281–285.[钟俊生, 傅萃长, 郁蔚文, 等. 鲣鱼稚鱼在沿岸碎波带的出现和滞留时间[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(3): 281–285.]
- [3] Zhong J S, Wu M Q, Lian Q P. Composition of fish larvae and juveniles in spring and summer in surf zone of Yangtze River estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(3): 436–443.[钟俊生, 吴美琴, 练青平. 春、夏季长江口沿岸碎波带仔稚鱼的种类组成[J]. 中国水产科学, 2007, 14(3): 436–443.]
- [4] 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): 279–304.[蒋日进, 钟俊生, 张冬良, 等. 长江口沿岸碎波带仔稚鱼的种类组成及其多样性特征[J]. 动物学研究, 2008, 29(3): 279–304.]
- [5] Lin N, Shen C C, Zhong J S. Study on the diversity and migration mechanism of fish larvae and juveniles in Jiulong River estuary[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(1): 66–72.[林楠, 沈长春, 钟俊生. 九龙江口仔稚鱼多样性及其漂流模式的探讨[J]. 海洋渔业, 2010, 32(1): 66–72.]
- [6] Ge K K, Zhong J S. Daily-age structure and growth characteristics of *Coilia nasus* larvae and juveniles in the surf zone of Yangtze River estuary[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(4): 716–721.[葛珂珂, 钟俊生. 长江口沿岸碎波带刀鲚仔稚鱼的日龄组成与生长[J]. 水生生物学报, 2010, 34(4): 716–721.]
- [7] Chen Y G. 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. [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.]
- [8] 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.]
- [9] Jordan D S, Gilbert C H. Notes on the fishes of Beaufort Harbor, North Carolina[J]. Proc US Nat Mus, 1879 (20): 365–388.
- [10] Modde T, Ross S T. Seasonality of fishes occupying a surf zone habitat in the northern Gulf of Mexico[J]. Fish Bull, 1981, 78(4): 911–922.
- [11] Ruple D L. Occurrence of Larval Fishes in the Surf Zone of a Northern Gulf of Mexico Barrier Island[J]. Estuar Coast Shelf S, 1984, 18(2): 191–208.
- [12] Ross S T, McMichael R H Jr, Ruple D L. Seasonal and diel variation in the standing crop of fishes and macroinvertebrates from a Gulf of Mexico surf zone[J]. Estuar Coast Shelf S, 1987, 25(4): 391–412.
- [13] Lasiak T A. Nursery grounds of juvenile Teleosts: evidence from the surf zone of King's Beach, Port Elizabeth[J]. S Afr J Sci, 1981, 77: 388–390.
- [14] Whitfield A K. Ichthyoplankton in a Southern African surf zone: nursery area for the postlarvae of estuarine associated fish species?[J]. Estuar Coast Shelf S, 1989, 29(6): 533–547.
- [15] Senta T, Kinoshita I. Larval and Juvenile Fishes Occurring in Surf Zones of Western Japan[J]. Trans Am Fish Soc, 1985, 114(4): 609–618.
- [16] Liu S D, Xian W W, Liu D. Characteristics of ichthyoplankton assemblages in Yangtze Estuary and adjacent waters in spring[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(10): 2284–2292.[刘淑德, 线薇薇, 刘栋. 春季长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落特征[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2284–2292.]
- [17] Jiang M, Shen X Q, Chen L F. Relationship between with abundance distribution of fish eggs, larvae and environmental factors in the Changjiang Estuary and vicinity waters in spring[J]. Marine Environmental Science, 2006, 25(2): 37–39, 44.[蒋玫, 沈新强, 陈莲芳. 长江口及邻近水域春季鱼卵仔鱼分布与环境因子的关系[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2): 37–39, 44.]
- [18] Clark B M, Bennett B A, Lamberth S J. Factors affecting spatial variability in seine net catches of fish in the surf zone of False Bay, South Africa[J]. Mar Ecol Progr Ser, 1996, 131: 17–34.
- [19] Shanks A L, Macmahan J, Morgan S G, et al. Transport of larvae and detritus across the surf zone of a steep reflective pocket beach[J]. Mar Ecol Progr Ser, 2015(In Press).
- [20] Nelson J S. Fishes of the World[M]. Hoboken: John Wiley, 2006.
- [21] Wu H L, Shao K T, Lai C F, et al. Latin-Chinese Dictionary of Fish Names by Classification System[M]. Keelung: The Sueichan Press, 2012.[伍汉霖, 邵广昭, 赖春福, 等. 拉汉世界鱼类系统名典[M]. 基隆: 水产出版社, 2012.]
- [22] Kendall A W J, Ahlstrom E H, Moser H G. Early life history stages of fishes and their characters[A]. In: Ontogeny and systematics of Fishes[M]. Lawrence: The American Society of Ichthyologists Herpetologists, 1984.
- [23] R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing[EB/OL]. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2013.
- [24] Oksanen J, Blanchet F G, Kindt R, et al. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-9[CP/OL]. http://CRAN.R-project.org/package=vegan. 2013.
- [25] Roberts D W. labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version1.6-1[CP/OL]. http://CRAN.R-project.org/package=labdsv. 2013.
- [26] Wood S N. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC, 2006.
- [27] Chen Y G, Zhang Y, Zhong J S, et al. Comparison in fish larvae and juvenile assemblages between the surf zone 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.]
- [28] Zhang Y Q, Xian W W, Li W L. Fish assemblage structure in adjacent sea of Changjiang Estuary in spring of 2004 and 2007 and its association with environmental factors[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(9): 67–74.[张迎秋, 线薇薇, 李文龙. 2004 和 2007 年春季长江口近海鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2013, 43(9): 67–74.]
- [29] Layman C A. Fish assemblage structure of the shallow ocean surf-zone on the eastern shore of Virginia barrier islands[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 51(2): 201–213.
- [30] Watt-Pringle P, Strydom N A. Habitat use by larval fishes in a temperate South African surf zone[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 58(4): 765–774.
- [31] Vinagre C, Maia A, Reis-Santos P, et al. Small-scale distribution of *Soleas olea* and *Soleas enegalensis* juveniles in the Tagus estuary (Portugal)[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 81(3): 296–300.
- [32] Reina-Hervás J A, Serrano P. Structural and seasonal variations of inshore fish populations in Málaga Bay, Southeastern Spain[J]. Mar Biol, 1987, 95(4): 501–508.
- [33] Ayvazian S G, Hyndes G A. Surf-zone fish assemblages in south-western Australia: do adjacent nearshore habitats and the warm Leeuwin Current influence the characteristics of the fish fauna?[J]. Mar Biol, 1995, 122(4): 527–536.

Influence of abiotic factors on spatiotemporal patterns of larval fish assemblages in the surf zones of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay

CHEN Yuange¹, MAO Chengze², LIN Nan¹, ZHONG Junsheng³, XU Zhaoli¹

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China

2. Tidal Flat Research Center of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China

3. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The surf zone is an important habitat for larval organisms; in particular, a large amount of research has demonstrated the utility of the surf zone as a nursery ground for various fish species. In last decade, concerns have arisen in China about this habitat, particularly around the Yangtze River estuary. Species composition, habitat selection, and biodiversity have been previously investigated. This study analyzed the characteristics of the larval fish assemblage in the surf zones of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay and determined the relative influences of various abiotic factors. Fish larvae were collected monthly using a small trawl net (1 m×4 m, 1-mm mesh size) at 12 stations during each spring tide from August 2009 to August 2010. Temperature, salinity, distance from the outermost site (km), landform, and substratum were simultaneously recorded at each sampling site. All collected specimens were fixed in 5% formalin, after which they were identified to the lowest possible taxonomic division and measured (length, mm). In total, 14 907 individuals were caught by 462 hauls. The dominant species were *Coilia nasus* (47.84% of the total fish abundance), *Amoya pflaumii* (11.58%), *Hemiculter* spp. (9.12%), *Pseudolaubuca* spp. (6.29%), and *Eleutheronema rhadnum* (5.62%). Hierarchical clustering grouped the 13 months of sampling into 4 significant clusters(December–April, May, June–September, and October–November), showing clear species replacement among groups. The twelve stations were grouped into 2 groups: the Yangtze River estuary group (ST1–ST7) and the Hangzhou Bay group (ST8–ST12). SIMPER analysis indicated that the species contributing most to dissimilarity among groups were *C. nasus* and *A. pflaumi* (>10%), indicating differentiation in habitat selection. Canonical correspondence analysis was performed on the same dissimilarity matrices. Salinity and temperature were significantly related to the distribution of larval and juvenile fishes, but did not significantly explain the total distribution, suggesting latent factors are influencing the assemblage. Generalized additive models were conducted for each primary species to reveal individual influencing environmental factors. The abundance of *C. nasus* and *Pseudolaubuca* spp. were positively related to high temperature and sand substrata, while *Hemiculter* spp. were positively related only to high temperature. Two species in the genus *Neosalanx* showed different environmental preferences. Abundances of *P. japonica* and *A. pflaumi* were also positively related to sand substrata. In conclusion, this study revealed that temperature and salinity significantly affected spatiotemporal variation of the entire larval fish assemblages in the surf zones of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay, while substrata and landform had varying influence that differed among species. Habitats with sandy sediment and an open landform may be preferable to most larval fishes in the Yangtze River and Hangzhou Bay surf zones.

Key words: larval fishes; surf zone; assemblage characteristics; environmental factor

Corresponding author: ZHONG Junsheng. E-mail: jszhong@shou.edu.cn