

文章编号: 1000-0615(2019)03-0605-13

DOI: 10.11964/jfc.20180511303

杭州湾—舟山近海春季游泳动物群落结构及 与环境因子的关系

许永久, 俞存根*, 张平, 邓小艳, 张喆, 沈海琪

(浙江海洋大学水产学院, 浙江舟山 316022)

摘要: 杭州湾—舟山近海是许多经济鱼类的传统产卵地和栖息地, 环境因子对鱼类群落结构的影响非常显著。本研究根据2016年春季在杭州湾—舟山近海的80个站位的底拖网调查数据, 分析了鱼类及大型甲壳类群落数量和平均个体大小的空间分布, 并根据典范对应分析法(CCA)研究了鱼类及大型甲壳类主要类群的特征(丰度和个体大小)与环境因子的关系。结果显示, 游泳动物可分为5大类群(六丝钝尾虾虎鱼、底层鱼、中上层鱼、虾、蟹), 每种类群的丰度平均分别为546、213、83、316和15个/h, 平均个体大小分别为0.29、2.19、4.96、0.36和6.66 g/个。根据各类群的丰度、底温、底盐及表层浑浊度, 将整个海域分为杭州湾内和舟山近海水域, 绝大部分类群的丰度具有显著的区域差异性, 而绝大部分类群的个体大小没有区域差异性。受到浑浊度、外海水团交汇的影响, 绝大部分类群主要聚集在舟山近海的高生产力水域。CCA分析表明, 2个轴的环境因子能解释丰度总变异的25%, 而仅能解释个体大小总变异的11.7%, 说明环境因子对于鱼类及甲壳类的类群的数量空间分布具有较大影响, 而对于个体大小的分布影响较小。

关键词: 鱼类; 大型甲壳类; 类群; 群落结构; 环境因子; CCA; 杭州湾—舟山近海
中图分类号: S 937 **文献标志码:** A

舟山群岛位于长江口以南、杭州湾以东, 岛屿沿着海湾向口岸散布。杭州湾是一个典型的漏斗状河口, 湾内水体浑浊度较高, 深度较浅(<20 m)。受钱塘江淡水、长江冲淡水的入侵以及来自外海的台湾暖流的影响, 杭州湾—舟山群岛海域水文条件复杂^[1-2], 营养物质丰富, 是许多经济物种的传统产卵场和育苗场^[2-4]。近几十年来, 随着近海的加剧开发, 鱼类数量显著下降, 物种组成发生明显改变, 从大型经济物种转向小型、快速生长的非经济物种, 优势种从鱼类转向虾、蟹类^[2-5]。受人类活动和气候变化的影响, 杭州湾及舟山近岸海域的环境(如温度, 盐度, 浊度和初级生产力)变化剧烈, 这些变化改变了海洋生物的种群数量及时空分

布^[2-3]。舟山近海是典型的半日潮海域, 潮汐的周期波动对于鱼类群落结构和数量分布也具有重要的作用^[6]。

针对东海近海的渔业资源群落结构变化, 近年来, 研究人员进行了大量的调查研究, 这些研究侧重于鱼类群落结构的季节变化及其与环境因子的关系及优势种数量空间分布或其动态变化^[2-5, 7]。然而, 关于春季的杭州湾—舟山近海的游泳动物类群分布的研究较少, 同时不同游泳动物类群的空间分布规律及其与环境因子关系方面的研究也较少, 尤其是多重环境因子胁迫作用下的游泳动物不同类群空间分布方面的研究。研究多种类群渔业生态系统的群落结构, 及其动态变化、相互作用对于海洋生态

收稿日期: 2018-05-31 修回日期: 2018-09-14

资助项目: 国家海洋局海洋生态环境科学与工程重点实验室开放基金(MESE-2016-03); 浙江海洋大学科研启动基金(Q1519); 浙江省教育厅一般项目(Y201738637); 浙江海洋大学“水产”省一流学科开放课题(20160005); 浙江海洋大学“海洋科学”省重中之重学科开放课题(2016206)

通信作者: 俞存根, E-mail: cgyu@zjou.edu.cn

系统的保护和管理至关重要。本研究主要根据2016年5月的杭州湾—舟山近海渔业生态环境综合调查,研究的多种类群(鱼类及大型甲壳类)组成及与环境因子的关系,评价多重环境因子对海洋生物群落结构的影响,为进行多种类群渔业生态系统管理与修复提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与采样站点

2016年春季5月4日至11日,租用“浙普渔32207”单拖网调查船,功率330 kW,在80个站点进行渔业资源调查,网具规格:800目×35 m,网囊网目尺寸大小约为12 mm。每站计算放网一起网的拖曳时间约为1 h,平均拖速为3.0 kn。站位覆盖了从杭州湾到舟山近海的海域(29.2°~31.2°N, 121.2°~122.8°E)。所有的拖网样本均采用冰鲜保存,带回实验室后进行鉴种、计数和称重,单位时间的尾数用丰度表示(个/h)。由于捕捞作业过程的临时调整,拖网站点略有改变(图1)。

1.2 环境数据

温盐深仪(conductivity, temperature and depth

instrument, CTD)采样站点54个(图1-a, 红色站点),基本覆盖了杭州湾—舟山近海的整个调查区域,深度从表层一直下放至距离海底5 m,用于测量温度[表层温度(SST), 底层温度(BST)]、盐度[表层盐度(SSS), 底层盐度(BSS)]、浊度[表层浊度(Stur)]等水文数据(图2)。表层叶绿素a(SSC)用25 μm的Whatman GF/F滤膜过滤水样并储存在液氮中,在实验室内用90%丙酮萃取后,用Tri-logy荧光光度计测定SSC浓度。表底层的分层指数(index)根据Li等^[8]的方法获得:

$$N^2 = -\frac{g}{\rho_0} \cdot \frac{\rho_s - \rho_b}{H}$$

式中, N^2 为分层指数($10^{-5}/s^2$), g 是重力加速度(m/s^2), $\rho_0=1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, ρ_s 是表层水密度, ρ_b 是底层水密度, H 为水深(m)。考虑到CTD站位为54个,根据反距离加权(inverse distance weighting, IDW)插值方法获取所有80个站点的环境参数值,并与渔业拖网站位保持一致。

1.3 潮汐数据

鱼拖网站位遵循潮汐的变化规律,根据潮汐表获得3个潮汐站点(绿华山、滩浒和岱山站;

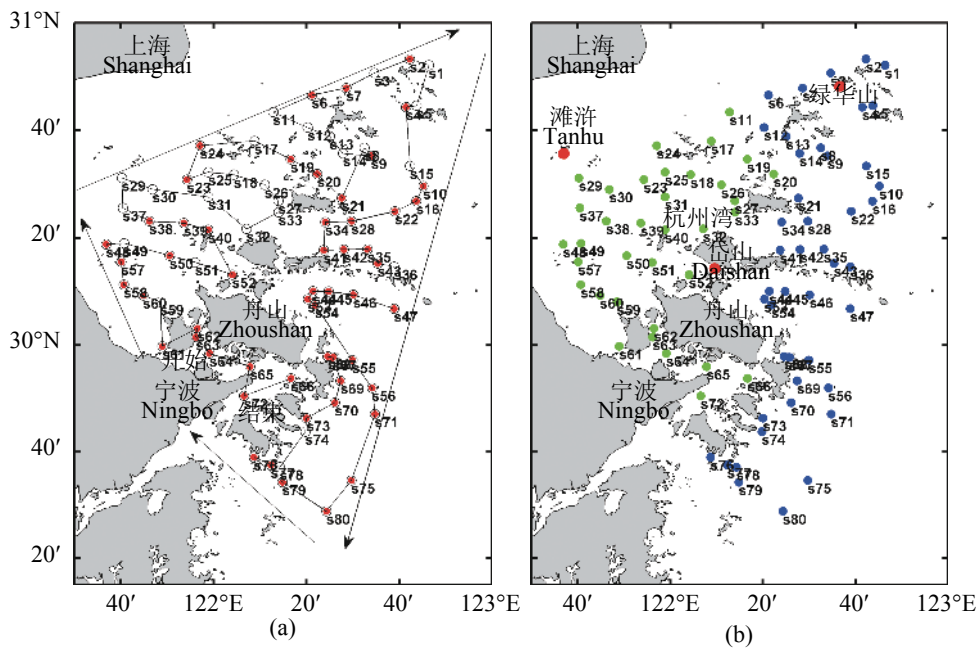


图1 杭州湾—舟山近海鱼拖网调查顺序路线(a)及站点(b)

(a)中黑圆圈为鱼拖网站位,红色圈为鱼拖网和CTD采样共同站点;(b)中蓝色、绿色分别表示鱼拖网的舟山近海、杭州湾站位组,三个红色站位分别为滩浒、绿华山、岱山潮汐站点

Fig. 1 Trawl survey stations (a) and tracking line sequence (b) in Hangzhou Bay-Zhoushan inshore waters

black open circle in (a) indicates trawl station, red circle indicates both trawl and CTD station; blue and green in (b) indicate Zhoushan inshore and Hangzhou bay group, respectively, three red station indicate Tanhu, Lühuashan and Daishan tidal station, respectively

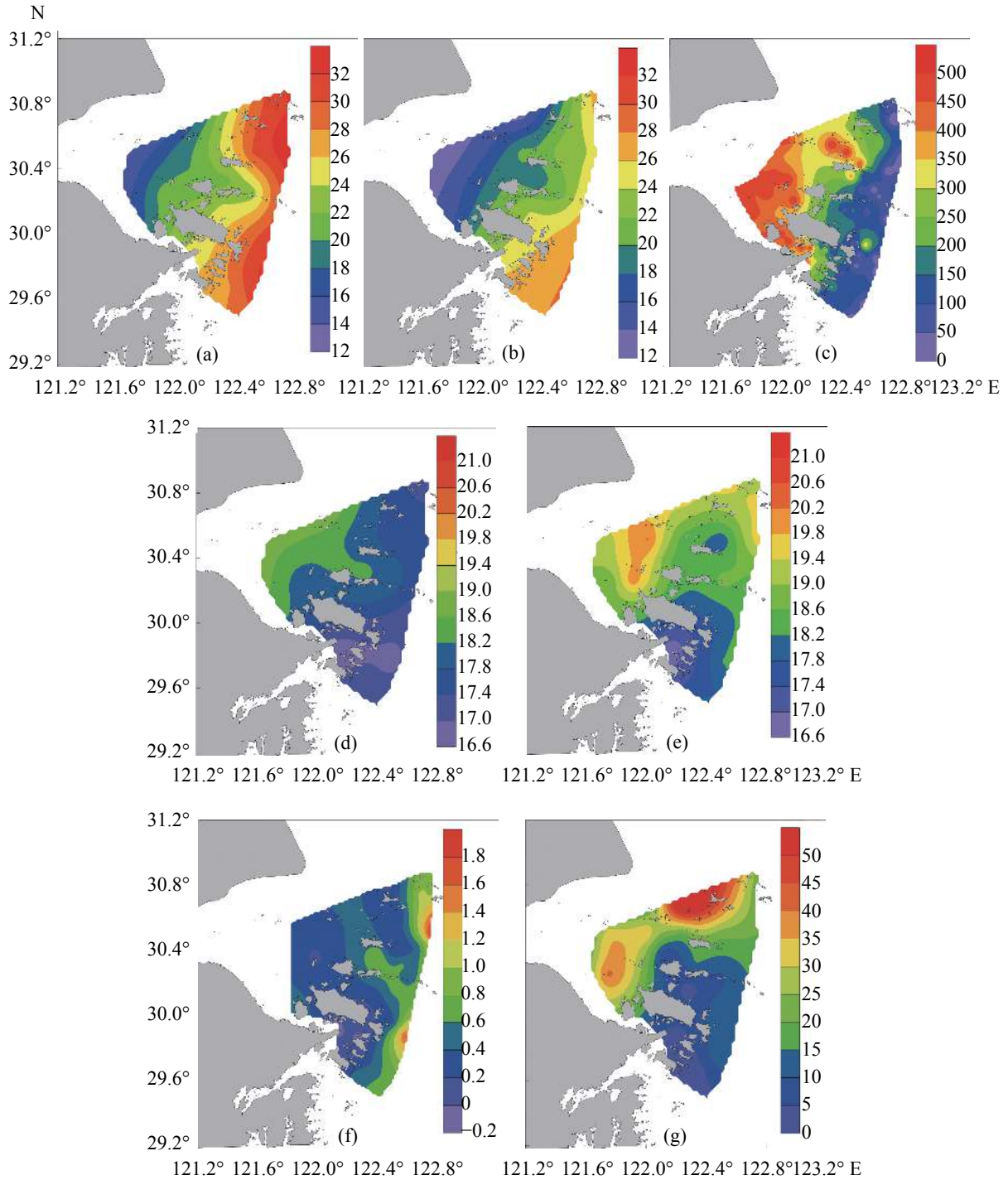


图 2 水文环境

(a)底盐-BSS; (b)表盐-SSS; (c)表浑浊度-Stur(FTU); (d)底温-BST(°C); (e)表温-SST(°C); (f)表叶绿素a-SSC(lg mg/m³); (g)分层指数(10⁻⁵/s²)

Fig. 2 Environmental conditions

(a) bottom sea salinity-BSS; (b) surface sea salinity-SSS; (c) surface turbidity-Stur(FTU); (d) bottom sea temperature-BST(°C); (e) sea surface temperature-SST(°C); (f) sea surface Chla-SSC(l g mg/m³); (g) stratification index-index (10⁻⁵/s²)

图1-b)同时期的每小时的潮高数据。对所有潮高的绝对数据进行0-1标准化, 获得3个调查站的潮高数据异常值(tidal level anomaly, TLA), 80个

渔业站位的潮高数据异常值, 根据3个站的TLA进行IDW插值法获得, 用于判定采样站位即时的潮汐动态情况。根据潮汐的周期规律, 利用谱

分析计算每个站位受潮汐的影响程度[每个站位可以据此规律分为4个潮汐阶段:涨潮(flood tide, FT)、落潮(ebb tide, ET);最高潮(maximum of tide, MaxT)、最低潮(minimum of tide, MinT)],考虑到游泳动物的特性,本研究选择涨潮与退潮、最高潮与最低潮阶段的拖网站位进行对比。

1.4 鱼类和大型甲壳类类群及优势种

杭州湾—舟山群岛海域的岛屿星罗棋布、环境多样,为多种鱼类和甲壳类动物提供了适宜的生存环境。实验主要分析常见的经济鱼类以及大型甲壳类(虾和蟹)。

优势种 优势种的计算采用相对重要性指数(IRI)^[9-10],计算公式:

$$IRI = [(n_i/N + w_i/W) \times f_i/m] \times 10^4$$

式中, n_i 、 w_i 分别为第*i*种生物的数量和质量; N 、 W 分别为总数量和总质量; f_i 为第*i*种生物在*m*次取样中出现的频率; m 为取样次数。将相对重要性指数(IRI)大于1 000者定为优势种,在100~1 000定为常见种。

平均个体大小 假设每个站点采集的一群同种生物的大小大致相似,每个站位每个物种的平均大小(S_i)可以通过该物种的总质量(W_i)除以总个数(N_i)获得。

$$S_i(\text{g}/\text{个}) = \frac{W_i}{N_i}$$

1.5 数据分析

群落结构组成 根据各站点各类群的丰度、BST、BSS和Stur之间欧氏距离和Ward连接方法,对春季各个站位进行聚类分析^[11],划分不同的海洋环境区域。利用PRIMER 7.0软件中的PERMANOVA分析不同区域(栖息地类型)对鱼类和大型甲壳类类群组成的影响,将栖息地作为固定因子,分析鱼类和大型甲壳类类群的丰度、平均个体大小的区域差异性。区域对各类群功能特征影响的差异性根据*t*检验分析获得^[11]。利用PRIMER 7.0软件中的相似性百分比分析(SIMPER)研究不同游泳动物类群在群落结构中的贡献^[12-13];

鱼类及大型甲壳类种群组成与环境因子的关系 由于优势种长度总体大于2.5,应用典范对应分析(CCA)来研究类群组成分布规律及与环境因子的关系(CANOCO version 5.0)。鱼类和

甲壳类优势种的丰度通过 $[\lg(x+1)]$ 进行转换,尽量减少稀有种的影响。使用CCA三变量图,研究物种组成、站位及环境因子之间的关系。显著性根据Monte Carlo test确定^[12]。变量的重要性由变量对应轴之间的相关系数R决定,当 $|R| \geq 0.4$ 时,该变量即可认为具有重要意义^[13]。涨潮与落潮,最高潮与最低潮对各种类群的影响的差异性根据*t*检验进行计算。

2 结果

2.1 水文条件及区域划分

杭州湾和舟山近海BSS和SSS分别呈现明显的盐度梯度,湾内受冲淡水影响,盐度较低(<20),近海底层受台湾暖流影响,盐度较高(>30)。舟山近海BSS(>28)显著高于SSS(<26)(图2-a, b),BST的分布与盐度呈现相反的趋势,杭州湾内BST较高(17.8~18.6 °C),舟山近海BST较低(16.6~17.5 °C)(图2-e, f)。舟山本岛周围表、底层温度相近,而其他区域差异较大,说明靠近舟山本岛及南部区域可能受外海底层冷水团上翻的影响。除研究区域最南端部分外,整个地区的SST一般较高(18.5~20 °C)。分层指数在杭州湾内及其北部较高,而在舟山近海靠南部较低,表明杭州湾内春季分层是由表层高温、低盐水和底层低温、高盐海水入侵形成。舟山近海南部海域受上升流影响,混合较强,分层不明显(图2-d)。杭州湾内浑浊度较高,舟山近海较低(图2-c);受此影响,叶绿素a的趋势正好相反,湾内极低,近海较高(图2-c, 2-g)。根据聚类分析,调查区域可以划分成2个水域:杭州湾内水域和舟山近海水域(图1-a)。

2.2 鱼类和大型甲壳类类群组成

本次春季调查共鉴定22种鱼,8种虾和5种蟹(表1),通过对主要鱼类和甲壳类的相对重要性指数统计发现,六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)在其中处于绝对优势地位($IRI > 5 000$),其他种类IRI均为1 000左右或者小于1 000(表2),将六丝钝尾虾虎鱼作为单独一种类群分析,以消除其在分类类群中的影响,而其他种类则根据栖息类型或者摄食类型进行划分。按相对重要性指数(>500),依次为六丝钝尾虾虎鱼、安氏白虾、中国毛虾、棘头梅童鱼、褐菖鲉、细螯虾、红背圆鲈和三疣梭子蟹。重

表 1 基于摄食习性和栖息类型的5大类群

Tab. 1 Five groups according to feeding and habitats of organism

摄食习性 feeding habits	主要食物 primary food	物种 species	代表物种 representative species
底栖生物食性—优势种 benthic feeding-dominant species	甲壳动物, 小鱼	六丝钝尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>	六丝钝尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>
底栖生物食性—底层鱼 benthic feeding-benthic fish	非浮游生物的 无脊椎动物	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> , 褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i> , 红背圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i> , 绿鳍 <i>Chelidichthys kumu</i> , 黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i> , 小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i> , 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> , 中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i> , 红鳗虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> , 短舌鲷 <i>Cynoglossus abbreviatus</i> , 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i> , 孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i> , 大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>
浮游生物食性—中上层鱼 Planktivore-pelagic fish	桡足类, 浮游 甲壳动物, 鱼卵	凤鲚 <i>Coilia mystus</i> , 中华侧带小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i> , 银鲱 <i>P. argenteus</i> 红背圆鲹 <i>D. maruadsi</i> , 日本鲭 <i>Scomber japonicus</i> , 赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i> , 汉氏棱鳀 <i>T. hamiltonii</i> , 日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i> , 黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	红背圆鲹 <i>D. maruadsi</i>
食碎屑类—虾类 detritvore-shrimp	浮游生物有机 体, 浮游动物	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i> , 中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i> , 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> , 日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> , 细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> , 东海红虾 <i>Plesionika izumiae</i> , 巨指长臂虾 <i>Palaemon macrodactylus</i> , 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	安氏白虾 <i>E. annandalei</i>
食碎屑类—蟹类 detritvore-crab	小型有机体, 软体动物	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i> , 绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i> , 日本罍 <i>Charybdis japonica</i> , 矛形梭子蟹 <i>Portunus hastatoides</i> , 细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i>	三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>

要的生物种类具有典型的代表性, 包括了鱼、虾、蟹等各种类。最终根据栖息地和摄食类型将所有的鱼和大型甲壳类分为5个类群: 六丝钝尾虾虎鱼、底层鱼类、中上层鱼类、虾类和蟹类, 类

表 2 春季主要鱼类及大型甲壳类相对重要性指数

Tab. 2 Spring IRI index of fish and macro-crustacean species

种类 speices	相对重要性指数 IRI
六丝钝尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>	7 199.7
安氏白虾 <i>E. annandalei</i>	1 397.7
中国毛虾 <i>A. chinensis</i>	1 168.0
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	1 059.3
褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i>	832.1
细螯虾 <i>L. gracilis</i>	750.9
红背圆鲹 <i>D. maruadsi</i>	645.4
三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i>	634.5
银鲱 <i>P. argenteus</i>	486.0
龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	129.0
葛氏长臂虾 <i>P. gravieri</i>	121.3
绿鳍 <i>C. kumu</i>	117.0
绒毛细足蟹 <i>R. ciliatus</i>	115.9
红鳗虾虎鱼 <i>O. rubicundus</i>	107.2
日本鼓虾 <i>A. japonicus</i>	103.1

群分类参考蒋日进等^[10]的研究成果(表1)。本次调查中, 底层鱼占绝大多数(六丝钝尾虾虎鱼也为底层鱼类), 其次为虾类、中上层鱼类和蟹类。各类群(六丝钝尾虾虎鱼, 底层鱼类, 中上层鱼类, 虾类和蟹类)的平均丰度分别为546、213、83、316和15个/h。春季, 5大类群丰度的空间分布呈现舟山近海高, 杭州湾内低的趋势(图3-a, b, c, d, e)。所有游泳动物类群丰度在不同栖息地(杭州湾内和舟山近海站位)呈现显著性差异, 即六丝钝尾虾虎鱼、底层鱼类、中上层鱼类、虾类和蟹类在舟山近海的丰度显著高于杭州湾内(t -test, $P < 0.05$, 图3, 4)。

5个类群的个体大小分别为0.29、2.19、4.96、0.36和6.66 g。除了底层鱼类, 所有类群个体大小在不同栖息地(杭州湾内和舟山近海)空间差异不显著(t -test, $P > 0.05$)(图3, 4)。而游泳动物各类群丰度和大小的组成受栖息地的影响极显著(PERMANOVA, $P < 0.01$)。对所有物种的SIMPER分析显示, 六丝钝尾虾虎鱼(27%), 中国毛虾(10.9%)和安氏白虾(10.9%), 贡献了49%整个海域的相似性; 而褐菖鲉(8.71%), 安氏白虾(8.53%)和棘头梅童鱼(8.5%)是杭州湾内和舟山近海区域平均差异性(57.4%)的主要贡献种, 3者共贡献了差异性的25.7%。

2.3 潮汐对群落结构组成及丰度的影响

拖网调查的站位遵循每1个调查周期(一个来

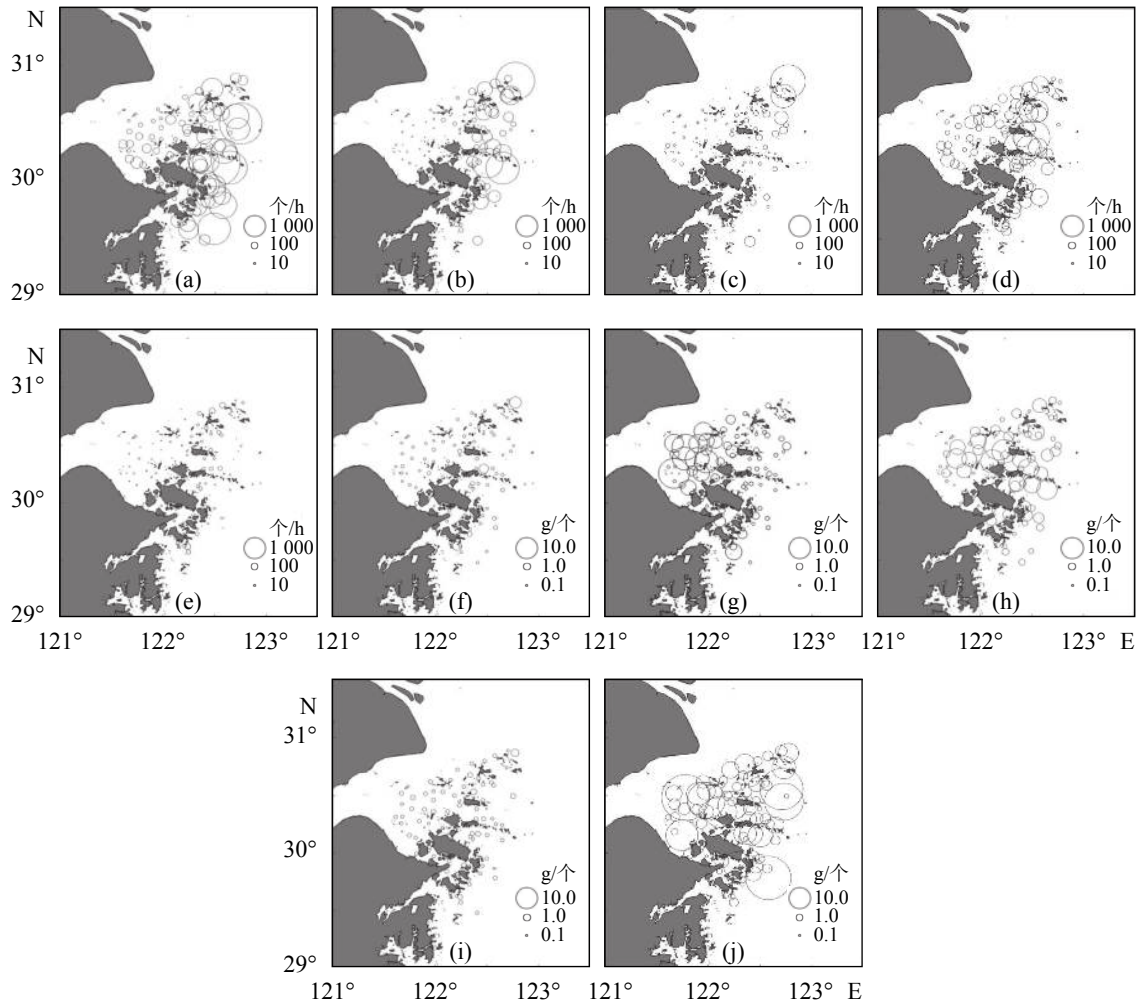


图3 春季五大类群的丰度(a~e, 个/h)及个体大小(f~j, g/个)空间分布

Fig. 3 Abundance (a-e, ind./h) and size (f-j, g/ind.) distribution of five groups in spring

回)8个站点的变化规律(图5-a),功率谱分析表明,该周期为12 h(图5-b),与本地区的半日潮完全吻合。因此,拖网调查受到潮汐的显著影响。即落潮时沿着外海的方向拖曳调查,涨潮时沿着海湾的方向调查。按照潮汐的涨落,划分潮汐的类型,根据 t 检验的结果,涨潮和退潮对所有类群丰度的影响均无显著差异(t -test, $P > 0.05$)。Ranksum秩和检验结果显示,在调查的舟山近海区域和杭州湾内区域,最高潮和最低潮对所有类群丰度的影响均无显著差异(Ranksum, $P > 0.05$)。尽管此次调查具有明显潮汐周期性,但不同潮汐类型未对游泳动物丰度造成显著影响,因而对各类群丰度群落组成影响有限。

2.4 各类群群落结构与环境因子之间的联系

各类群丰度和环境变量的CCA分析表明,前

四轴与环境因子之间的相关性显著($F=3.9$, $P < 0.01$),其中CCA1和CCA2解释了物种累计方差变异的25.5%和物种—环境累计方差总变异的69%(图6-a,表3)。BSS、SSS、SSC和经度(lon)与CCA1呈正相关,而表层浑浊度(Stur)、BST和SST与CCA1呈负相关。CCA1正负轴两边呈现较好的舟山近海和杭州湾内站点的隔离分布。低盐高温、高浊度中的湾内样本聚集在CCA1的负轴,而高盐低温、高叶绿素a的近海样本聚集在CCA1的正轴(图6-a)。由于春季为绝大多数海洋洄游性鱼类的产卵季,高生产力的舟山近海站点吸引了大量鱼类及甲壳类种类在近海区域聚集摄食或产卵(如日本鳀、银鲱、日本鲭、三疣梭子蟹等洄游种类)(图6-a)。而杭州湾内较高浑浊度及极低叶绿素a限制了鱼类和甲壳类的生存,仅有特殊体型和摄食行为的河口性鱼类和

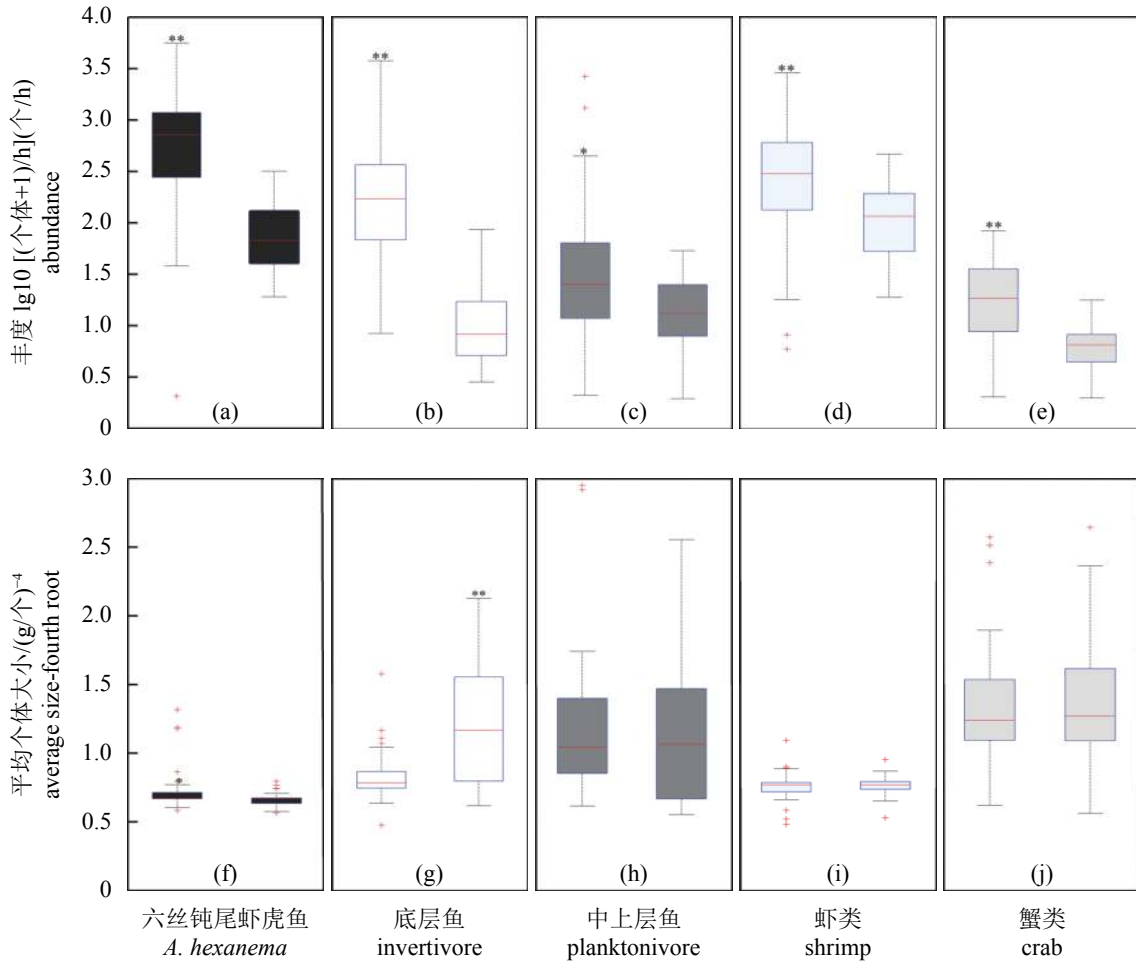


图 4 各类群游泳动物的丰度(a-e)和平均个体大小(f-j)的空间差异的箱形图

(a)~(e)分别为六丝钝尾虾虎鱼、底层鱼、中上层鱼、虾类和蟹类的丰度,小图内左侧柱子为舟山近海,小图内右侧柱子为杭州湾内;误差棒表示95%的置信区间,星号表示舟山近海和杭州湾区域的差异性显著水平,**表示极显著($P<0.01$),*表示显著($P<0.05$),红色横线表示平均值,红色十字表示异常值

Fig. 4 Boxplot of Abundance (a-e) and size (f-j) of nektonic groups in different areas

(a)~(e) were *A. hexanema*, invertivore, planktivore, shrimp and crab groups, respectively; left in each small figure indicates zhoushan inshore, right indicates Hangzhou bay; errorbar indicates 95% confidential level, star indicates the significant difference level of two regions (Zhoushan inshore and Hangzhou Bay), ** indicate extremely significant difference ($P<0.01$), * indicates significant difference ($P<0.05$), red line indicates average value, red cross indicates outlier

河口虾类(如龙头鱼、中华栉孔虾虎鱼、安氏白虾和中国毛虾等)。近海样本同样沿着CCA2分布广泛,该轴与SSC呈较强的正相关关系,与纬度相关性较弱。食浮游生物的中上层鱼类沿着CCA2向上分布,即叶绿素a越高,中上层鱼类(日本鲭、日本鳀、银鲱)越多。显然,第二轴与饵料供应有很强的相关性。

春季平均个体大小与环境因子的CCA分析显示,第一CCA轴(CCA1,特征值:0.22)和第二CCA轴(CCA2,特征值:0.103)表现出很高的物种—环境相关性(CCA1和CCA2与环境因子相关

性分别为0.68和0.65)。前2个CCA轴解释了物种累计方差百分比的11.8%和物种—环境因子累计方差百分比的58.7%(图6-b,表4)。BSS、SSS、SSC和lon等环境变量与CCA1呈正相关,而Stur、BST、SST与CCA1呈负相关。绝大部分个体大的六丝钝尾虾虎鱼、虾、蟹类和部分中上层鱼类聚集在较低温度,低浊度和弱分层的近海海域(CCA1的正轴)(图6-b,表4)。而大部分个体较小的底层鱼类聚集在高浑浊度、低盐的湾内海域(CCA1的负轴)(图6-b,表4)。这种个体大小的分隔模式可能反映了鱼种对栖息地类型的偏好或

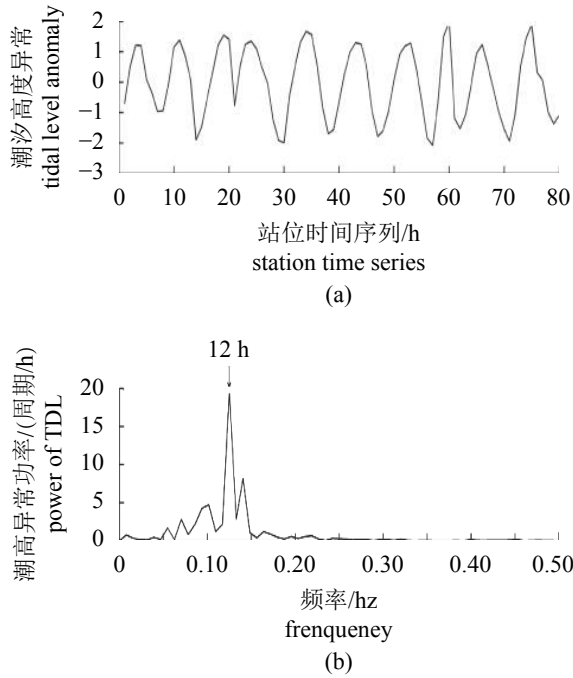


图5 80个站位的潮汐高度异常(a)及其功率谱和周期(b)

(a)中的横轴数据的顺序为80个站点拖曳序号

Fig. 5 Tidal level anomaly of 80 stations (a) and its power spectra and period

Numbers of x axis in (a) indicate trawling survey sequence of 80 stations

者其生态习性的适应性。

3 讨论

3.1 春季游泳动物优势种及其空间差异

本次调查的所有鱼、虾、蟹中常见的种类($IRI > 100$)15种,其中8种鱼类、5种虾类和2种蟹类。优势种($IRI > 500$)有8种,分别为:六丝钝尾虾虎鱼(7199)、安氏白虾(1397)、中国毛虾(1168)、棘头梅童鱼(1059)、褐菖鲉(832)、细螯虾(750)、红背圆鲀(654)、三疣梭子蟹(634)(图7)。其中,底栖鱼类六丝钝尾虾虎鱼占最主要的地位,其在舟山群岛近海岛礁附近呈现较高丰度、而在杭州湾内丰度较低。韩东燕等^[14]发现六丝钝尾虾虎鱼属底栖动物食性类型的鱼类,主要摄食虾类和腹足类,尤其是细螯虾是其主要的摄食饵料。因此,沿岛礁周围密集分布的细螯虾、中国毛虾等可能有利于六丝钝尾虾虎鱼的聚集摄食(图7-a, e, f, g)。岛礁性鱼类在本次拖网调查中占有显著优势地位,主要分布在舟山近海区域(图7-b, c)。根据王凯等^[15]和张洪亮等^[16]的研究,褐菖鲉、棘头梅童鱼等底栖、岩礁性鱼类要在春季亦主要摄食虾类,在岛礁附近的舟

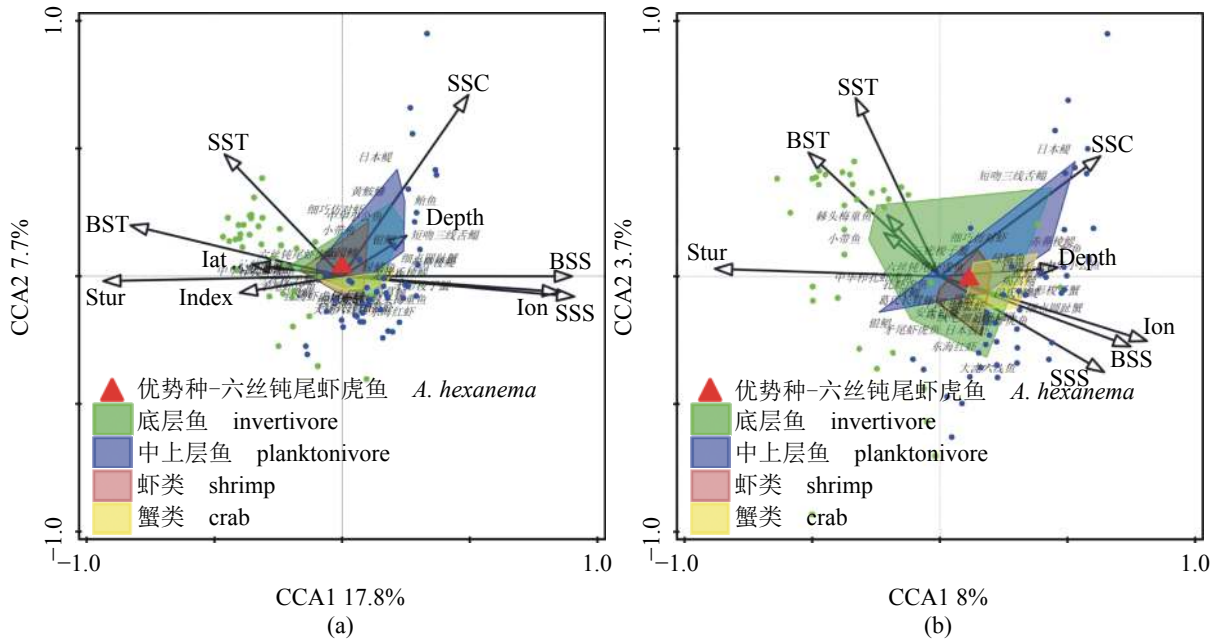


图6 鱼类和大型甲壳类类群丰度(a)和个体平均大小(b)与环境因子、样方之间的CCA三变量图
红色三角形.六丝钝尾虾虎鱼,绿色.底层鱼类,蓝色.中上层鱼类,棕色.虾类,黄色.蟹类;斜体为具体物种,详见表1

Fig. 6 Triplots between fish and macro-crustacean species, environmental variables and sampling stations in functional traits (a) abundance and (b) average size

Red triangle. *A. hexanema*; green. invertivore, blue. planktivore, brown. shrimp, yellow. crab; species name was highlighted with italics, see details in Tab. 1

表3 栖息地对各类群丰度及个体大小群落组成影响的显著性

Tab. 3 Significant values (*P*) of assemblage structure across the habitat factors based on PERMANOVA results

功能特性 functional traits	变异来源 source of variation	群落组成 community	六丝钝尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>	底层鱼类 invertivore	中上层鱼类 planktonivore	虾类 shrimp	蟹类 crab
丰度 abundance	栖息地	0.001*	0.001*	0.001*	0.025	0.39	0.001*
个体大小 size	栖息地	0.003*	0.159*	0.001*	0.696	0.141	0.663

注: 丰度经过 $\lg(\text{数量}+1)$ 转换, 各类群丰度之间距离使用Bray-Curtis相似性指数; 平均个体大小经过开四次方根转换, 各类群大小之间距离使用欧氏距离, *P*值经过999次迭代计算而来, * 极显著差异($P<0.01$)

Notes: the abundance was $\log\text{-}(X+1)$ transformed, the distance of all the groups were linked based on Bray-Curtis dissimilarities; the average size was fourth-root transformed, and the distance was based on Euclid distance, *P* values were obtained using 999 permutations, *. extremely significant difference ($P<0.01$)

表4 基于CCA分析的鱼类和大型甲壳类丰度(对数转换)与环境因子的关系

Tab. 4 Correlations of environmental variables with the first two CCA axes, based on the log-transformed abundance of fish and macro-crustacean species assemblages

环境参数 environmental variables	丰度 abundance		平均个体大小 average size	
	CCA1 (17.8%)	CCA2 (7.7%)	CCA1 (8%)	CCA2 (3.7%)
底层水温 BST	0.74*	0.16	-0.35	0.31
表层水温 SST	0.40*	0.35	-0.22	0.45*
底层盐度 BSS	-0.83*	-0.02	0.51*	-0.18
表层盐度 SSS	-0.82*	-0.07	0.44*	-0.24
表层叶绿素a SSC	-0.48*	0.50*	0.43*	0.30
水深 depth	-0.25	0.11	0.31	0.02
表层浑浊度 surface turbidity	0.85*	0.01	-0.56*	0.02
海水分层指数 index	0.35	-0.05	-0.14	0.16
经度 longitude	-0.79*	-0.07	0.55*	-0.16
纬度 latitude	0.30	0.03	-0.15	0.11

注: * 表示其相关系数 $|R|\geq 0.4$

Notes: * indicates the correlation coefficient $|R|\geq 0.4$

山近海丰度较高,而在杭州湾内丰度极低。棘头梅童鱼、褐菖鲉在春季均属于繁殖产卵期^[17-18],需要累积大量的营养。因此,这些底栖鱼类可能在春季温度上升时,已经洄游到饵料比较丰富的舟山近海海域,为春季繁殖产卵做好营养储备。本次调查中,捕获了红背圆鲈等中上层鱼类,反映了近海底拖网影响较广,同时,舟山近海尤其是舟山北部嵊泗海域,受长江冲淡水的影响,带来大量营养盐,为中上层鱼类提供充足饵料^[10]。

细螯虾属于近海种,主要栖息于近海海域,在河口区很少,春季沿岸洄游至岛礁区产卵,主要摄食小型浮游动物及碎屑类^[19-20]。安氏白虾和中国毛虾属于河口低盐种,主要栖息于河口近岸海域,吴常文等^[20]发现安氏白虾的数量分布从杭州湾至舟山近海呈现递减趋势,该结果与

本次春季调查的分布结果一致。

3.2 春季游泳动物群落特征与环境因子的关系

本研究发现,底温、底盐和表层浑浊度是影响调查海域的最重要的环境因子。该海域的水团据此分为湾内高温低盐水团,舟山近海低温高盐水团。杭州湾内主要受到季节升温 and 淡水径流的影响,底部的冲淡水温度回暖,舟山群岛岛礁外部受外海台湾暖流底层水团的影响,温度较低,盐度较高。冲淡水和台湾暖流水团在岛礁外部区域交汇,很容易形成高生产力的区域。宁修仁等^[21]发现在长江口及舟山近海易形成初级生产力锋面,并推测最佳光照和浑浊度的比例是其形成的主要原因。本文亦认为,由于受浑浊度逐渐减弱的影响,春季的叶绿素a高值区沿岛礁近海域呈现带状分布,为该

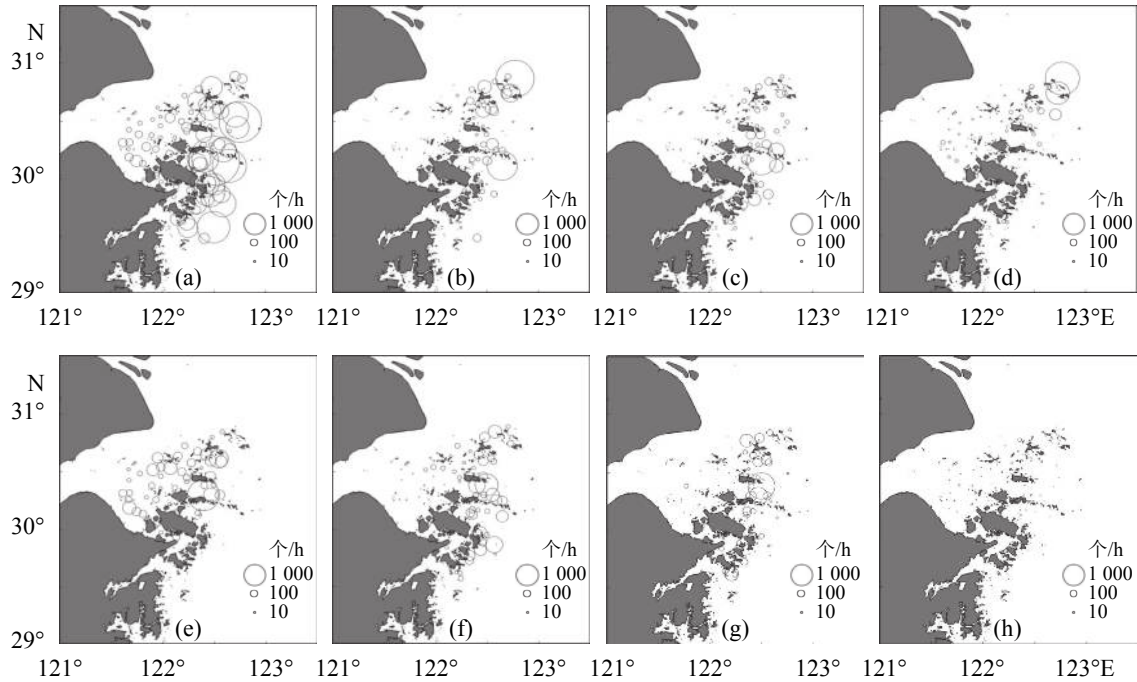


图 7 春季优势种数量分布

(a)六丝钝尾虾虎鱼, (b)棘头梅童鱼, (c)褐菖鲈, (d)红背圆鲂, (e)安氏白虾, (f)中国毛虾, (g)细螯虾, (h)三疣梭子蟹

Fig. 7 Abundance distribution of dominant species in spring

(a) *A. hexanema*, (b) *C. lucidus*, (c) *S. marmoratus*, (d) *D. maruadsi*, (e) *E. annandalei*, (f) *A. chinensis*, (g) *L. gracilis*, (h) *P. trituberculatus*

海域丰富的渔业生产力提供了基础饵料，而低叶绿素a的杭州湾内海域渔业产量极低，这一结果与俞存根等^[2]和周永东等^[18]的研究结论一致。鱼类的个体大小能够反映鱼类对环境的适应性，本文研究发现，除了底层鱼类个体大小具有区域显著性差异外($P < 0.05$)，其他几种类群游泳动物均不具有区域差异性($P > 0.05$)。平均个体较大的底层鱼出现在杭州湾内，而非稍外的舟山近海，与此相反，数量分布呈现相反的趋势。这种数量与个体大小的分布差异可能反映了个体的生长策略及对环境的适应^[22]。底层鱼类主要由棘头梅童鱼、褐菖鲈、绿鳍等构成(图7-b, c)，这些鱼类具有较强的游泳能力，大个体的鱼类可以选择合适的生存环境，或者是保存能量以便产卵或者是为了提高后代的成活率而逃离到较混浊的海域。其他小型鱼类或虾类，处在生长期，主要依靠饵料来进行生存环境选择，通常选择饵料较丰富的舟山近海(即上文所说的生产力峰区)。另外，杭州湾—舟山近海海域层化指数分布表明，杭州湾内分层较强，稳定性较好(图2-d)。大个体的鱼类，通常选择稳定的水域进行产卵，而小个体的鱼类，游泳能力较弱，受

水团的环境影响较大。因此，游泳生物的个体大小、数量分布与生物的生长策略、环境条件、饵料以及捕食者都有关系。

本研究仅调查了温度、浑浊度、表层叶绿素a、深度及分层指数对游泳动物类群丰度、个体大小的分布影响，这些环境因子能够解释各类群丰度组成变异的1/4，说明其他影响因子也起着较为重要的作用。本文中，SSC仅能反映表层浮游植物的浓度，虽然能够间接作为指示因子，但并不能直接代表大部分底层鱼类的饵料(浮游动物)。因此，底层鱼类的胃含物及同步的浮游动物或者小型仔稚鱼调查是下一步的重要研究工作。本研究中的环境因子仅解释了各类群平均个体大小变异的1/10，相较于游泳动物的数量分布，环境因子对个体大小的影响更小，推测的主要原因可能有：(1)游泳动物并非按照大小聚集，而更多的是以种类或者类群聚集；(2)本研究中的个体大小为各类群的体质量，而不是真实的个体长度。尽管长度与质量有一定的关系，但关系的形式因为类群而异，统一采用质量来表示个体大小会带来误差；(3)个体大小受到遗传基因和个体生理机能的显著影响，

而相较于环境因子, 基因基本上决定了个体的最大长度, 生理机能决定了其生活史过程^[23]。

参考文献:

- [1] Sun D, Liu Z S, Zhang J, *et al.* Environmental control of mesozooplankton community structure in the Hangzhou Bay, China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 35(10): 96-106.
- [2] 俞存根, 陈全震, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域鱼类种类组成和数量分布[J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(3): 410-417.
- Yu C G, Chen Q Z, Chen X Q, *et al.* Species composition and quantitative distribution of fish in the Zhoushan fishing ground and its adjacent waters[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(3): 410-417(in Chinese).
- [3] 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(in Chinese).
- [4] 程家骅, 丁峰元, 李圣法, 等. 夏季东海北部近海鱼类群落结构变化[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(5): 775-781.
- Cheng J H, Ding F Y, Li S F, *et al.* Changes of fish community structure in the coastal zone of the northern part of East China Sea in summer[J]. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(5): 775-781(in Chinese).
- [5] Jin X S. Long-term changes in fish community structure in the Bohai Sea, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 59(1): 163-171.
- [6] Lee C L, Huang Y H, Chung C Y, *et al.* Tidal variation in fish assemblages and trophic structures in tropical Indo-Pacific seagrass beds[J]. *Zoological Studies*, 2014, 53: 56.
- [7] Jiang Y Z, Cheng J H, Li S F. Temporal changes in the fish community resulting from a summer fishing moratorium in the northern East China Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, 387: 265-273.
- [8] Li Y, Fratantoni P S, Chen C S, *et al.* Spatio-temporal patterns of stratification on the Northwest Atlantic shelf[J]. *Progress in Oceanography*, 2015, 134: 123-137.
- [9] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. *Fish Bulletin*, 1971, 152: 1-105.
- [10] 蒋日进, 徐汉祥, 金海卫, 等. 东海蓝圆鲹的摄食习性[J]. *水产学报*, 2012, 36(2): 216-227.
- Jiang R J, Xu H X, Jin H W, *et al.* Feeding habits of blue mackerel scad *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel in the East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(2): 216-227(in Chinese).
- [11] Alemany D, Acha E M, Iribarne O. The relationship between marine fronts and fish diversity in the Patagonian Shelf Large Marine Ecosystem[J]. *Journal of Biogeography*, 2009, 36(11): 2111-2124.
- [12] Ter Braak C J F, Smilauer P. CANOCO reference manual and canodraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (Version 4.5)[M]. Ithaca NY, USA: Microcomputer Power, 2002.
- ter Braak C. J. F. & Šmilauer P. (2002): CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination. Version 4.5. - Microcomputer Power, Ithaca, NY.
- [13] Ramos S, Paris C B, Angélico M M. Larval fish dispersal along an estuarine-ocean gradient[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2017, 74(9): 1462-1473.
- [14] 韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾六丝钝尾虾虎鱼的摄食生态特征[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1446-1452.
- Han D Y, Xue Y, Ji Y P, *et al.* Feeding ecology of *Amblychaeturichthys hexanema* in Jiaozhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(5): 1446-1452(in Chinese).
- [15] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛海藻场褐菖鲉的摄食习性[J]. *水产学报*, 2010, 34(2): 227-235.
- Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Feeding habit of *Sebastes marmoratus* in seaweed bed around Gouqi Island[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(2): 227-235(in Chinese).
- [16] 张洪亮, 王洋, 梁君, 等. 中街山列岛海洋保护区棘头梅童鱼生物学特征与资源密度的季节变化[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2015, 34(5): 407-410.
- Zhang H L, Wang Y, Liang J, *et al.* Seasonal variations of the biological characteristics and abundance density of *Collichthys lucidus* in Zhongjieshan Islands marine protected area[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University*

- (Natural Science), 2015, 34(5): 407-410(in Chinese).
- [17] 曾旭, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛褐菖鲉*Sebasticus marmoratus*栖息地适宜性评价[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3765-3774.
- Zeng X, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Habitat suitability assessment of *Sebasticus marmoratus* in the rocky reef region of the Ma'an Archipelago[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(12): 3765-3774(in Chinese).
- [18] 周永东, 金海卫, 张洪亮, 等. 浙江南部沿岸产卵场春、夏季鱼卵、仔稚鱼种类组成与分布[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 590-598.
- Zhou Y D, Jin H W, Zhang H L, *et al.* Species composition and abundance distributions of ichthyoplankton along the south coast of Zhejiang Province in spring and summer[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(3): 590-598(in Chinese).
- [19] 施仁德. 浙南近海中国毛虾*Acetes chinensis* Hansen的洄游分布及世代交替[J]. 东海海洋, 1986, 4(1): 56-61.
- Shi R D. The distribution, migration and generation of *Acetes chinensis* Hansen in the inshore waters of southern Zhejiang[J]. *Donghai Marine Science*, 1986, 4(1): 56-61(in Chinese).
- [20] 吴常文, 王伟洪. 杭州湾海域安氏白虾生物学与生态分布的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1993, 12(1): 21-31.
- Wu C W, Wang W H. On the biology and ecological distribution of shrimp, *Palaemon (Exopalaemon) annandalei*, at Hangzhou Bay[J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1993, 12(1): 21-31(in Chinese).
- [21] 宁修仁, 史君贤, 蔡昱明, 等. 长江口和杭州湾海域生物生产力锋面及其生态学效应[J]. 海洋学报, 2004, 26(6): 96-106.
- Ning X R, Shi J X, Cai Y M, *et al.* Biological productivity front in the Changjiang Estuary and the Hangzhou Bay and its ecological effects[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(6): 96-106(in Chinese).
- [22] Chamberlin J W, Beckman B R, Greene C M, *et al.* How relative size and abundance structures the relationship between size and individual growth in an ontogenetically piscivorous fish[J]. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(17): 6981-6995.
- [23] Rex M A, Etter R J, Morris J S, *et al.* Global bathymetric patterns of standing stock and body size in the deep-sea benthos[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 317: 1-8.

Spring nekton community structure and its relationship with environmental variables in Hangzhou Bay-Zhoushan inshore waters

XU Yongjiu, YU Cungen*, ZHANG Ping, DENG Xiaoyan, ZHANG Zhe, SHEN Haiqi

(School of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Hangzhou Bay-Zhoushan inshore waters are the home of many commercial fish species, providing a good place for spawning and habitats. The environments in these areas significantly affect the marine species and its structure. According to the bottom trawl survey, covering 80 stations, in these areas during spring, 2016, we studied the fish and macro-crustacean species assemblage and its spatial distribution. The canonical correspondence analysis (CCA) was used to reveal correlation between functional traits of fish and macro-crustacean species (abundance and size) and environmental variables. The results showed that all the marine species can be divided into five ecological groups (dominant group-*Amblychaeturichthys hexanema*, demersal fishes, pelagics, shrimp, and crab), with the average abundance 546, 213, 83, 316 and 15 individuals hour, respectively. The average size for these ecological groups was 0.29, 2.19, 4.96, 0.36 and 6.66 g/individual, respectively. According to five ecological group abundance, bottoms temperature, bottom salinity and surface turbidity, the waters were clustered into two areas: Hangzhou Bay and Zhoushan inshore waters. Abundance of most of the ecological groups significantly differed in two areas, while the size of most groups was not significantly different. As affected by the mixed waters of fresh water runoff and offshore waters, the large abundance of marine communities gathered in Zhoushan inshore areas, which was characterized by high primary production. The CCA analysis showed that environmental variables in the first two axes explained around 25% of the total variation of abundance, and only 11.7% of the total variation of the average size, indicating that the environmental variables played a more important role in explaining the spatial distribution of abundance than in explaining spatial distribution of average size.

Key words: fish; macro-crustacean; ecological groups; community structure; environmental variables; CCA; Hangzhou Bay-Zhoushan inshore

Corresponding author: YU Cungen. E-mail: cgyu@zjou.edu.cn

Funding projects: Open Foundation from Key Lab of Marine Environment Science and Engineering of State Oceanic Administration (MESE-2016-03); Startup Funding of Zhejiang Ocean University (Q1519); General Foundation of Zhejiang Provincial Education Department (Y201738637); Open Foundation from Fishery Sciences in the First-Class Subjects of Zhejiang (20160005)