

左涛, 李永涛, 左明, 等. 黄河口邻近海域浮游幼虫群落结构季节变化[J]. 海洋学报, 2022, 44(4): 47–56. doi:10.12284/hyxb2022092

Zuo Tao, Li Yongtao, Zuo Ming, et al. Seasonal variations of the planktonic larvae community in the Huanghe River Estuary adjacent waters[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(4): 47–56. doi:10.12284/hyxb2022092

黄河口邻近海域浮游幼虫群落结构季节变化

左涛^{1,2}, 李永涛^{1,2}, 左明³, 程兆龙^{1,2}, 王俊^{1,2}, 王安东⁴

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 东营市海洋发展研究院, 山东 东营 257091; 4. 山东黄河三角洲国家级自然保护区管理委员会, 山东 东营 257091)

摘要: 基于 2019–2020 年 4 个季节的 6 个航次海上生态调查, 研究黄河口邻近海域的浮游幼虫群落结构及其与环境因子的关系, 旨在为海域生物多样性保护与重要生物资源养护提供科学基础。结果显示: 在黄河口邻近海域, 共鉴定出浮游幼虫 16 类, 阶段性浮游幼虫是主要组成类群。浮游幼虫月均丰度以 11 月最高、1 月最低。浮游幼虫香农-威纳多样性指数 (H') 夏季 (6–8 月) 高和秋冬季 (11 月至翌年 1 月) 低。双壳类幼虫和无节幼虫是海区各季节的优势种及浮游幼虫总丰度的主要贡献者, 腹足类幼虫、多毛类幼虫以及耳状幼虫、桡足幼虫等是季节性出现的优势种。春–夏间优势种组成更替率高。相对高丰度浮游幼虫主要分布于黄河口入海口附近、小清河口及莱州湾中部。基于浮游幼虫类群丰度组成的聚类分析, 可将调查月和站位各分为 3 个不同的聚类组。月聚类组分别为春季 (4 月)、夏秋季 (6–11 月) 和冬季 (1 月), 春季、冬季聚类组的代表类群是无节幼虫, 夏秋季聚类组的代表类群是双壳幼虫。3 个站位聚类组的组成站位的地理分布交错, 代表类群都为双壳类幼虫和无节幼虫。多元方差 (MANOVA) 和相似性分析 (ANOSIM) 检验显示, 海区内浮游幼虫的多样性指数、丰度、群聚结构等都表现为月间差异显著 ($p < 0.05$), 站位间差异不显著 ($p > 0.05$)。生物–环境逐步多重回归分析表明, 影响浮游幼虫群聚结构的最佳环境因子组合为水温和浮游动物丰度。

关键词: 浮游幼虫; 群落结构; 黄河口

中图分类号: Q145⁺.2; Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)04-0047-10

1 引言

浮游幼虫包括永久性浮游幼虫以及诸多底栖无脊椎动物和鱼类发育过程所经历的阶段性浮游幼虫。浮游幼虫是海洋生态系统中一类复杂的生态类群, 其类型组成、数量变动等生态特征可指示和预警生物环境区域性或长期变化^[1-3]及预测和评估生物资源补充潜力^[4]。此外, 作为次级消费者——浮游动物主要构成部分及诸多底层海洋生物的补充群体, 浮游幼虫还是海洋水层–底层生态系统耦合的关键联接生

物类群^[2-3, 5-7]。在典型河口和海湾等生物繁衍和生长的关键栖息水域, 来自底栖和潮间带等不同生境生物的浮游幼虫种类极其丰富, 且具有季节性数量旺发等特征, 因此, 相较于永久性的浮游动物类群而言, 浮游幼虫在河口和海湾生态系统碳循环以及不同生境间物质交换中发挥的作用更为突出^[2-3, 7-8]。

早在 20 世纪 70 年代末, 国内学者即开始关注浮游幼虫生态研究^[9]。之后, 在东海、南海的中国近海海湾和河口开展了系列研究, 如大亚湾^[10]、遮浪湾^[11]、闽南–台湾浅滩渔场^[12]和南海北部^[13]、珠江口^[14-15]、北

收稿日期: 2021-10-28; 修订日期: 2021-12-21。

基金项目: 科技部国家重点研发计划(2019YFD0901202); 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室青年人才培养项目(LMEES-YTSP-2018-04-03); 中国海油海洋环境与生态保护公益基金(CF-MEEC/TR/2018-06)。

作者简介: 左涛(1976—), 女, 江西省抚州市人, 副研究员, 主要从事渔业生态学研究。E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn

部湾^[16]、长江口^[17]等。相较而言,在黄河口邻近海域,浮游幼虫多是在浮游动物群落结构相关研究报告^[18-22]中被简单提及,对其专门研究明显滞后^[23-26]。

黄河口邻近海域位于渤海湾和莱州湾的交界处,生物资源丰富,其中具有典型河口地方性的重要经济鱼类和无脊椎动物记录有 50 余种^[27],且规划了河口生态国家级海洋特别保护区和贝类、鱼类、沙蚕类等多个物种优质生物苗源保护地。这些保护物种在生长发育过程中大多需经历浮游幼虫阶段。海域内浮游幼虫类型多、数量大,是浮游动物组成的主要生态类群和季节性优势种^[17-20]。了解和掌握黄河口邻近海域浮游幼虫的种类组成和数量分布对于该水域的生态保护、资源养护和可持续发展增殖渔业有重要的意义。

本研究于 2019–2020 年开展了 4 个季节、6 个航次的生态调查,基于调查获得的数据,分析了黄河口邻近海域浮游幼虫的类群组成和丰度的时空分布,探讨了该河口水域浮游幼虫的群落结构与生境因子的关系。研究结果将为评价黄河口邻近海域生态环境健康状况,进而制定生物多样性保护与重要生物资源养护相关政策提供依据。

2 材料与方 法

2.1 调查海区和样品采集

调查区域(37.33°~38.17°N, 119.00°~119.75°E)位于莱州湾中西部的环黄河入海口附近 20 m 水深以浅水域。自东营港码头向南至小清河河口外,布设 20 个生物环境调查站位(图 1),使用渔船“鲁昌渔 64756”(船长为 23 m,宽为 6 m,功率为 110 kW),先后于 2019 年 4 月、6 月、8 月、10 月及 2020 年 1 月、4 月开展了 6 个航次的综合调查。

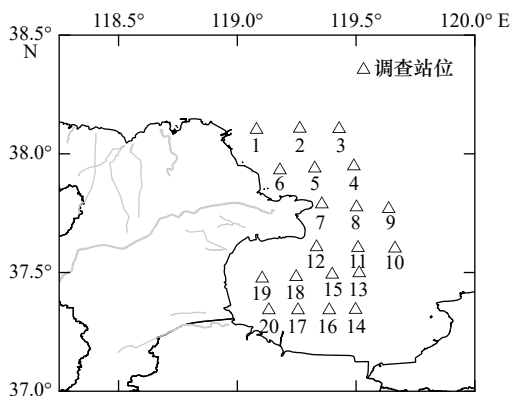


图 1 调查区域和站位分布
Fig. 1 Study area and stations distribution

按照《海洋调查规范 第 6 部分:海洋生物调查》

(GB/T 12763.6-2007)^[28],在各调查站位,使用浅水 II 型浮游生物网由底层至表层垂直拖网采集浮游幼虫和其他浮游动物;使用浅水 III 型浮游生物网由底层至表层垂直拖网采集浮游植物;使用采集面积为 0.25 m² 抓斗式采泥器采集底栖动物;使用多参数水质探测仪(RBR maestro,加拿大)测定水温、盐度、水深、pH、叶绿素浓度等水体环境参数。

2.2 数据分析

在实验室内对生物样品进行分类计数。借鉴郑重等^[29]和蔡国雄^[11]的研究方法,对样品中的浮游幼虫鉴定到类群。根据每立方米水体中浮游幼虫的个数计算其丰度(A ,单位: ind./m³),计算公式为

$$A = \frac{n}{V}, \quad (1)$$

式中, n 为各站浮游幼虫计数个数; V 为采样滤水体积。

浮游幼虫的优势类别根据优势度值确定,优势度(Y)计算公式为

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i, \quad (2)$$

式中, n_i 为第 i 类浮游幼虫的丰度; N 为所有浮游幼虫的总丰度; f_i 为第 i 类的出现频率。若优势度值大于 0.02,则该种为优势种。优势种更替率(R)计算公式为

$$R = (a+b-2c)/(a+b-c) \times 100\%, \quad (3)$$

式中, a 和 b 分别为相邻两季节的优势种数; c 为相邻两季节共同的优势种数。

浮游幼虫的多样性采用香农-威纳多样性指数(H')^[30]指标来评价。计算公式为

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i), \quad (4)$$

式中, n 为总类群数; P_i 为第 i 类浮游幼虫占总该浮游幼虫总数的比例。

应用 PRIMER6.0 软件包进行浮游幼虫的群聚结构分析^[31]。分析数据包括浮游幼虫丰度、非生物和生物环境因子参数。非生物环境因子数据包括同期表层水温、表层盐度、pH 和黄河入海月径流量、水深。黄河入海月均径流量数据为利津水文站观测值(山东黄河网, <http://sdb.yrcc.gov.cn/>)。生物环境因子数据包括同期各调查站位采集的底栖动物、浮游植物和浮游动物(不含浮游幼虫)的丰度。群聚结构分析步骤依次为,首先将生物和非生物数据分别经对数和正态化转化,采用组平均连接的聚类分析(CLUSTER)和多维定标排序分析(MDS)确定浮游幼虫群落季节(月间)和空间(站位间)群聚结构,通过相似性百分比分析(SIMPER)确定聚类组的代表种,利用相似性分析(One-Way ANOSIM)和多元方差分析(MANOVA)检

验浮游幼虫群聚和时空分布差异显著性,采用生物-环境联系 BVSTEP 逐步多重回归分析模块,明确与浮游幼虫群聚结构匹配的最佳(最大相关系数 ρ) 环境因子或组合,其匹配相关显著性运用 RELATE 程序模块检验。

3 结果

3.1 环境因子月变化

如图 2 所示,海水水温和黄河入海月径流量值以 8 月最高、1 月最低,而盐度、pH 以 8 月最低。浮游植物丰度在夏季 8 月达峰值,春季 4 月最低,而浮游动物和底栖动物的丰度分别在春季 4 月和夏初 6 月最高,冬季 1 月最低。上述因子中,水温与 Chl *a* 浓度、浮游植物丰度以及月径流量呈显著正相关($p < 0.05$)。

3.2 多样性和优势种组成

共鉴定出浮游幼虫 16 类,其中环节动物门 1 类、软体动物门 3 类、节肢动物门甲壳类 7 类、帚虫动物门 1 类、棘皮动物门 2 类以及脊索动物门 2 类。除无

节幼虫和桡足幼虫外,其他类群均属阶段性浮游幼虫。浮游幼虫多样性指数均值以 6 月 (1.81) 和 8 月 (1.44) 最高,11 月 (0.78) 和 1 月 (0.72) 最低。2019 年和 2020 年两年的 4 月 H' 值相近,为 1.01 和 1.12。多样性指数的月间差异显著 (MANOVA, $F_{4,120}=14.25, p < 0.01$), 站位间差异不显著 ($F_{19,120}=0.95, p=0.52$)。

表 1 显示,所有调查月都出现的浮游幼虫有腹足类幼虫、双壳类幼虫、无节幼虫和长尾类幼虫。其中,无节幼虫和双壳类幼虫是海区所有调查月的优势种。季节性出现的优势种还有腹足类幼虫、多毛类幼虫以及耳状幼虫、桡足幼虫等。优势种更替率以 4-6 月较高,为 0.67,其他相邻调查月间优势种更替率仅为 0.2~0.33。

3.3 丰度时空分布

总浮游幼虫丰度月均值为 $(1\ 848 \pm 1\ 067)$ ind./m³, 以 11 月最高,1 月最低。无节幼虫在 4 月和 1 月、双壳类幼虫在 6-11 月为浮游幼虫总丰度的主要贡献者 (贡献率大于 65%)。主要类群的丰度峰值出现的季

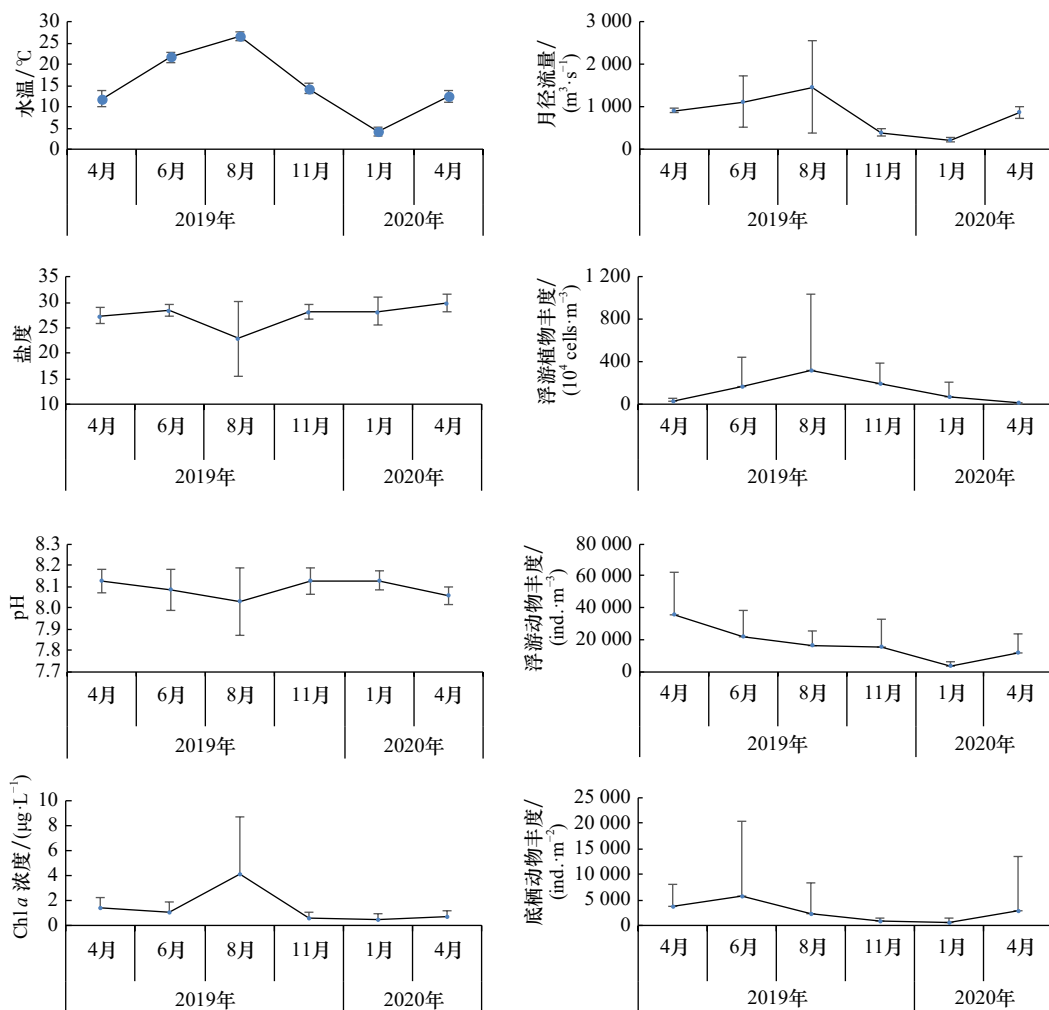


图 2 主要环境因子均值的月变化

Fig. 2 Monthly variation of mean value of main environment factor

表 1 黄河口邻近海域浮游幼虫及其优势种和优势度

Table 1 Dominant taxa and their dominance value of planktonic larvae in the Huanghe River Estuary adjacent waters

类别	2019年				2020年	
	4月	6月	8月	11月	1月	4月
环节动物门						
多毛类幼虫	+	0.09	0.12	0.09		+
软体动物门						
腹足类幼虫	+	0.06	0.18	+	+	0.06
双壳类幼虫	0.02	0.36	0.40	0.77	0.05	0.09
头足类幼虫			+			
节肢动物门甲壳类						
无节幼虫	0.62	0.03	0.03	0.03	0.67	0.61
桡足幼虫	0.02	+				
短尾类的蚤状幼虫	+	+	+			+
短尾类的大眼幼虫		+				
歪尾类的蚤状幼虫		+	+			
长尾类幼虫	+	+	+	+	+	+
阿利玛幼虫		+	+			
帚虫动物门						
辐轮幼虫	+	+		+	+	+
棘皮动物门						
耳状幼虫	+	0.02	+	+		
长腕幼虫		0.02			+	
脊索动物门						
鱼卵	+	+	+			+
仔鱼	+	+	+			+

注：“+”表示出现，非优势种。

节不同，无节幼虫在 4 月、耳状幼虫在 6 月、腹足类幼虫在 8 月、多毛类幼虫和双壳类幼虫在 11 月的丰度最高(图 3)。

图 4 显示，总浮游幼虫丰度高值基本与双壳类幼虫和无节幼虫丰度高值的时空分布重合；主要类群丰度的月间变化梯度较站位间更为明显；主要类群的相对高丰度值虽然出现的季节不同，但其多分布于紧邻黄河入海口(6~8 号站)和小清河口外、莱州湾中部(14~15 号站, 19~20 号站)站位。

月间和站位间的多因子方差分析(MANOVA)结果显示(表 2)，浮游幼虫主要类群的丰度月间差异显著($p < 0.05$)，站位间的差异不显著($p > 0.05$)。

表 2 黄河口邻近海域浮游幼虫及环境因子多元方差分析统计信息

Table 2 Statistical information from MANOVA analysis of planktonic larvae and environmental factors in the Huanghe River Estuary adjacent waters

类别	站位间		月间	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
总浮游幼虫	1.40	0.14	4.22	<0.01
多毛类幼虫	0.93	0.53	4.92	<0.01
腹足类幼虫	0.99	0.47	11.19	<0.01
双壳类幼虫	0.97	0.49	6.89	<0.01
无节幼虫	0.98	0.48	4.30	0.001
耳状幼虫	0.97	0.49	3.69	0.004
水温	1.21	0.26	692.11	<0.01
盐度	2.46	0.002	9.98	<0.01
pH	2	0.01	6	<0.01
Chl <i>a</i> 浓度	1.25	0.23	11.00	<0.01
浮游动物	1.32	0.18	10.26	<0.01
浮游植物	1.34	0.17	2.80	0.02
底栖动物	1.03	0.43	1.11	0.36

3.4 群聚结构及其环境因子关系

聚类分析结果显示，6 个调查月和 20 个调查站在 70% 和 88% 相似水平下可分为 3 个聚类组(图 5)，两聚类结果的多维度排序分析(MDS)的压力系数分别为 0.01 和 0.15，均小于 0.20，且各聚类组间差异达显著水平($p < 0.05$)，该分组达可接受水平。SIMPER 分析确定 4 月(M2)和 6-11 月(M3)聚类组的代表类群(累积贡献率大于 50%)分别是无节幼虫和双壳幼虫。1 月聚类组(M1)中浮游幼虫类群少，以无节幼虫丰度较高。3 个站位聚类组代表类群都为双壳类幼虫和无节幼虫，且其组成站位地理分布交错。月间和站位间的两因子交叉相似性分析(two-way crossed ANOSIM)显示，浮游幼虫群聚组成的月间差异显著($\rho = 0.188$, $p = 0.001$)，站位间差异不显著($\rho = 0.029$, $p = 0.149$)。

生物-环境关系分析显示，与浮游幼虫群聚结构匹配的最佳环境因子组合为水温和浮游动物丰度，相关性检验达显著水平；对浮游幼虫站位群聚结构差异影响最大的环境因子组合为 pH、浮游动物丰度，但其相关性未达显著水平(表 3)。

主要浮游幼虫类群中，以无节幼虫的高密区(丰度大于 10^3 ind./m³)的水温最低(10~15℃)，其平均分

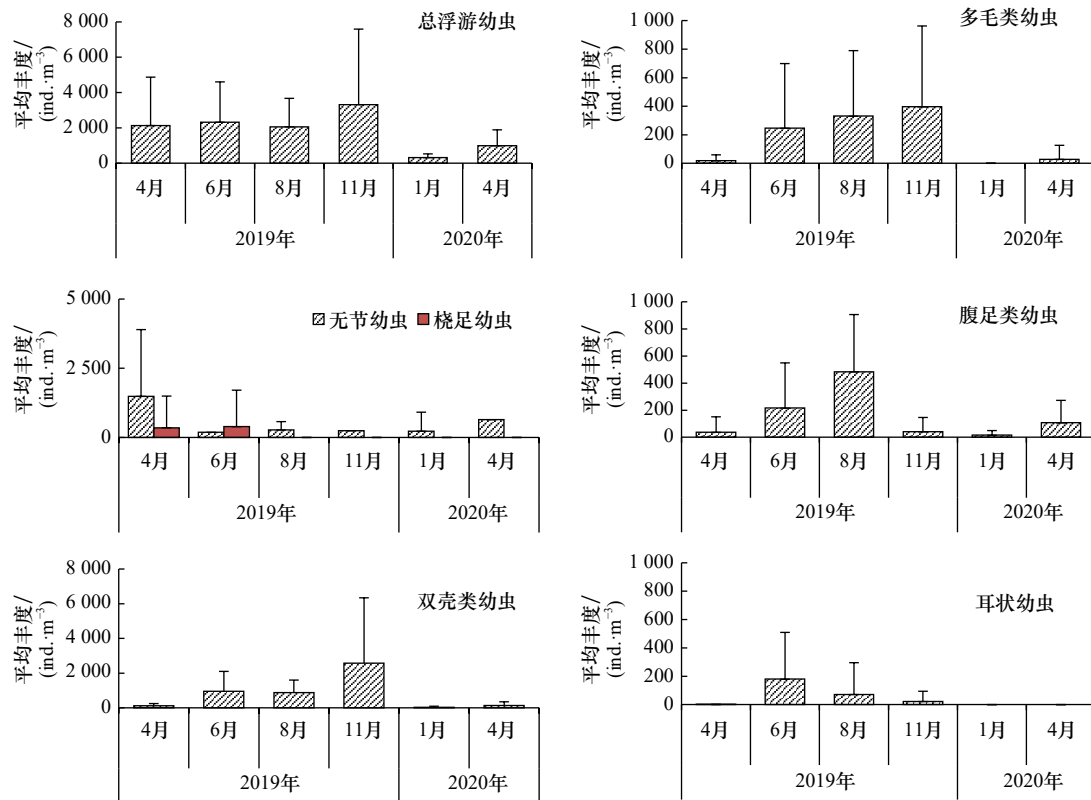


图3 总浮游幼虫及主要浮游幼虫类群的丰度均值

Fig. 3 Mean abundance of total planktonic larvae and main planktonic larvae taxa

布温度为 13.8°C ; 腹足类幼虫的高密区(丰度大于 10^3 ind./m^3)对应水温最高 ($>20^{\circ}\text{C}$), 其平均分布温度为 22.3°C 。双壳类幼虫和多毛类幼虫的高密区(丰度大于 10^3 ind./m^3)对应的水温均大于 10°C , 其平均分布温度接近, 分别为 21.3°C 和 20.2°C , 但是双壳类幼虫的极高密区(丰度大于 $5 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$)的水温为 15°C 左右(图6)。

4 讨论

本研究结果表明, 黄河口邻近海域浮游幼虫的丰度、多样性以夏、春季较高, 秋、冬季较低, 群聚结构季节变化明显, 这些特征与该海域的浮游动物群落时空变化特征相似^[18, 20]。研究水域内, 无节幼虫和双壳类幼虫数量最多, 是各季节的优势类群, 多毛类幼虫和腹足类幼虫是夏季的优势类群。这些幼虫亦是2010年9月调查中浮游动物优势种类^[21]。研究表明, 与闽南-台湾浅滩^[12]和北部湾^[16]等类似, 底栖动物的阶段性浮游幼虫是黄河口近海浮游幼虫类群组成的主要部分, 其丰度在浮游幼虫的丰度组成中亦占有相当大的比例。黄河口及其邻近海域浮游幼虫主要类群组成季节性变化特点可能与底栖动物的生殖周期和分布有关^[15, 29]。底栖动物往往呈季节性的集中产

卵, 其浮游幼虫周期变化很大(从数小时到数周或月)^[32], 遇到对它生存有利的底质时, 会在很短时间内完成变态实现附着, 浮游幼虫数量急剧降低, 因此, 浮游幼虫类群种类组成表现出明显的周期性和季节更替^[4, 10]现象。

本研究显示, 水温是对浮游幼虫的聚集结构具有显著影响的环境因子。一般认为, 水温和饵料生物旺发是触发底栖动物产卵和幼虫丰度峰值出现的重要因素^[7, 33]。在水温较高、饵料较多的春、夏、秋3季, 底栖动物成体繁殖较快, 幼虫的种类和数量随之增多。反之, 在水温较低, 饵料较少的冬季, 成体停止繁殖或繁殖很慢, 幼虫的种类和数量势必大大减少^[32]。温度是控制双壳类生殖期时间的主要因素^[34-35], 研究区的双壳类和腹足类幼虫平均分布水温较高 ($>21^{\circ}\text{C}$)。此外, 河口陆地径流量、盐度、潮汐、海洋等水文分布也是影响浮游幼虫分布的重要因素^[33, 36-39], 如表3所示, 虽然月径流量和浮游植物未被列入最佳影响因子组合中, 但它们与浮游幼虫的月群集结构间具有较高的相关系数, 而春季无节幼体丰度激增, 可能与初级生产增加相关^[7]。

本文的研究结果显示, 包括双壳类幼虫和腹足类幼虫等在内的贝类幼虫是海区内浮游幼虫优势类群,

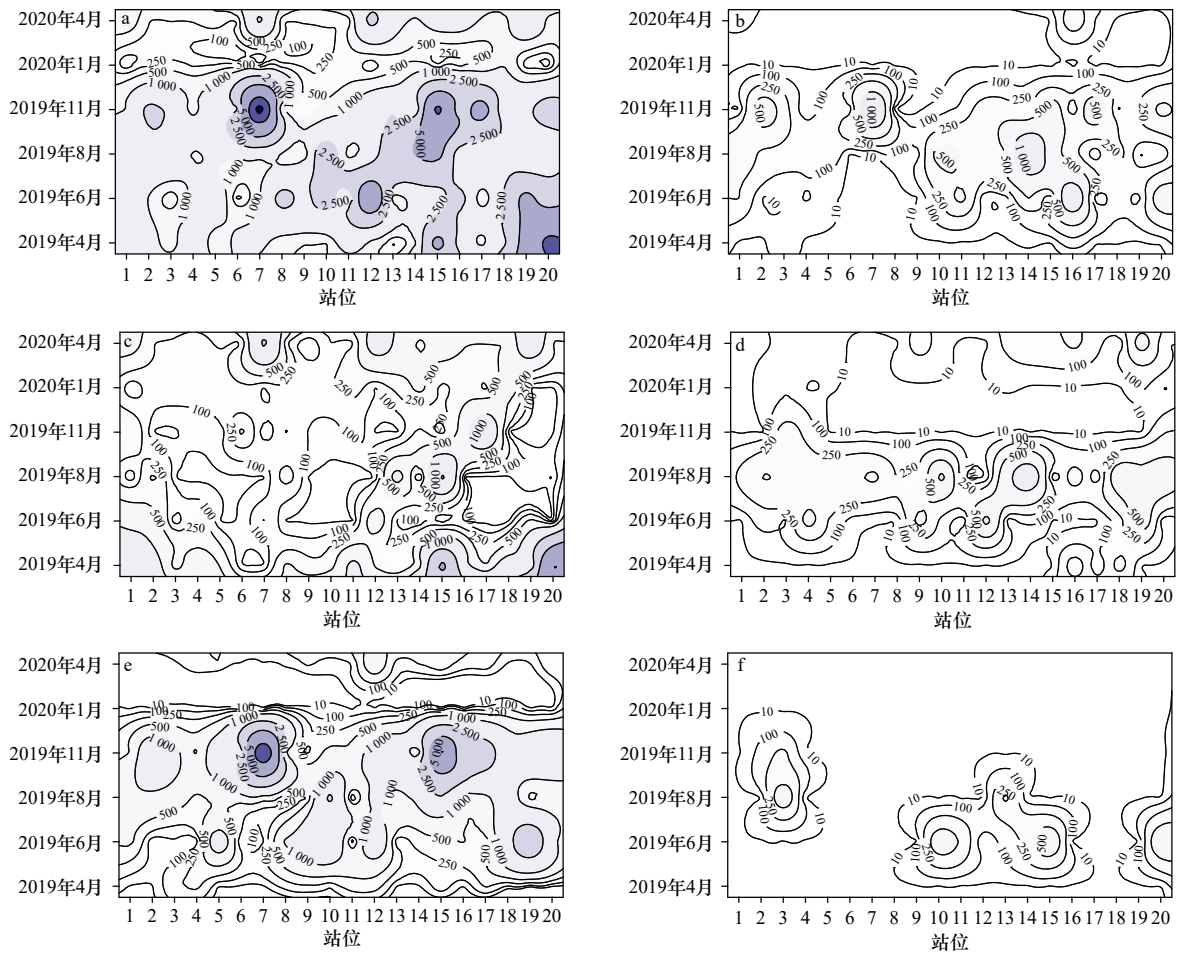


图 4 总浮游幼虫丰度 (ind./m³) 及主要类群丰度 (ind./m³) 的时空分布

Fig. 4 Temporal-spatial abundance (ind./m³) distributions of total planktonic larva and major taxa

a. 总浮游幼虫; b. 多毛类幼虫; c. 无节幼虫; d. 腹足类幼虫; e. 双壳类幼虫; f. 耳状幼虫

a. Total planktonic larvae; b. polychaeta larva; c. nauplii; d. gastropoda larva; e. bivalve larva; f. auricularia larva

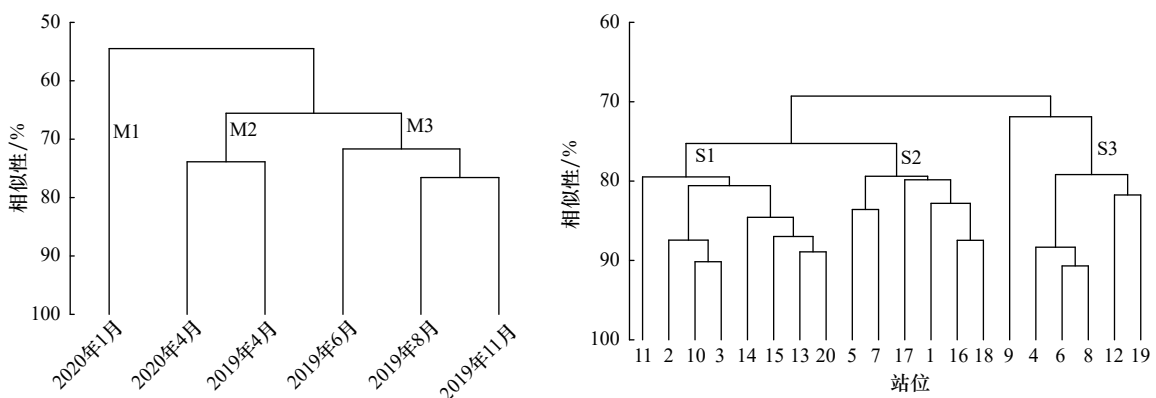


图 5 浮游幼虫丰度聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of planktonic larva based on the abundance among months and stations

特别是双壳类幼体在黄河口邻近海域分布广泛, 全年都有出现, 且是各季节的优势类群。在 2012–2013 年的周年调查也发现, 双壳类幼虫丰度值高, 是春、秋季黄河口海域浮游动物的优势种^[20]。图 4 显示, 在 6 月、8 月和 11 月, 调查区内出现多个双壳类幼虫丰

度大于 1 000 ind./m³ 的高密区, 特别是在 11 月, 有些站位的丰度大于 10⁴ ind./m³。在 2010 年 9 月的调查中也发现, 双壳类的浮游幼虫是除夜光虫 (*Noctiluca scintillans*) 外, 数量密度最高的浮游动物类群, 其丰度达 3 485 ind./m³^[21]。海区内贝类幼虫分布广、数量多

表3 环境因子及其最佳匹配组合与浮游幼虫群聚结构的
Weighted Spearman 等级相关系数

Table 3 Weighted Spearman rank correlation coefficient for environmental factors and their best combinations with the planktonic larvae assemblage structure

环境因子	相关系数	
	月间	站位间
水温	0.618	0.076
盐度	<0.001	0.100
pH	<0.001	0.160
Chl <i>a</i> 浓度	0.007	<0.001
月径流量	0.385	0.091
浮游动物	0.623	0.110
浮游植物	0.308	0.06
底栖动物	0.082	0.053
最佳组合	0.67*(水温, 浮游动物)	0.169(pH, 浮游动物)

注: *相关性达显著水平($p < 0.05$)。

与黄河口邻近海域有丰富的贝类资源密切相关。黄河口有绵延广阔的泥沙质滩涂, 为众多贝类提供了优越的栖息繁殖场所, 分布于黄河口滩涂的贝类资源生物达 40 余种^[27]。本研究结果表明, 黄河口邻近海域

双壳类和腹足类幼虫丰度季节变化明显, 以夏、秋季居多, 在空间上则呈明显的斑块分布, 高丰度集中分布于紧邻黄河口入海口、小清河口及莱州湾等区域(图 4)。上述双壳类和腹足类幼虫数量的时空分布特点可能与黄河口不同贝类成体的生活空间具有区域界限、生殖期具有季节差异有关。海区内多个贝类优势种中, 光滑篮蛤(*Potamocorbula laevis*)、脉红螺(*Rapana venosa*)、西施貽贝(*Coelomactra antiquata*)和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)等的栖息密度亦以夏、秋季居多; 四角蛤蜊(*Macra veneriformis*)、文蛤(*Meretrix meretrix*)等以夏、冬季居多, 彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens*)和红明樱蛤(*Moerella rutila*)以春季居多^[27]。

浮游幼虫涉及的生物门类广, 同种浮游幼虫随发育期和环境变化而形态各异, 同属种类的幼虫高度相似, 因此, 从形态学角度进行浮游幼虫物种水平上的分类鉴定较为困难。本研究仅对样品中各浮游幼虫鉴定到类别, 结果并不能完全反映黄河口邻近海域浮游幼虫的多样性和物种丰富度水平。近年来, 已证实基于已有的生物分子序列信息, 利用分子生物学高通量测序、DNA 条形码等技术可从类属、物种水平区分和鉴定浮游幼虫种类^[39-41]。当前, 黄河口邻近海域的浮游生物和底栖生物分子生物学本底信息比较

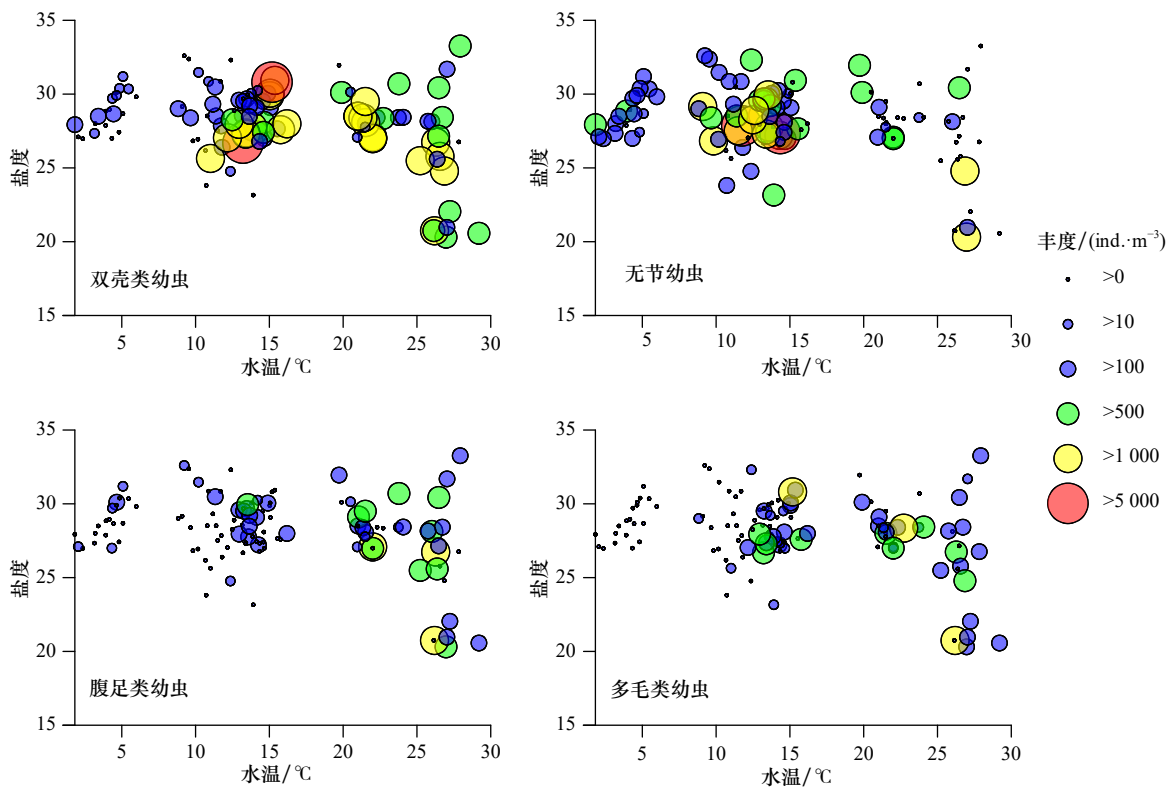


图 6 主要浮游幼虫类群的丰度与水温和盐度的相对分布

Fig. 6 Relative distributions of the main planktonic larvae taxa abundance with water temperature and salinity

缺乏。因此,进一步研究工作中,应结合形态学和分子测序技术,发展和构建相关的种类比对信息数据库,提高浮游幼虫的种类鉴定水平,为细致刻画黄河

口邻近海域浮游幼虫群落时空分布格局提供技术支持,提高对黄河口生态系统中浮游幼虫生态功能作用的认识。

参考文献:

- [1] Richardson A J. In hot water: zooplankton and climate change[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, 65(3): 279–295.
- [2] Kirby R R, Beaugrand G, Lindley J A, et al. Climate effects and benthic–pelagic coupling in the North Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 330: 31–38.
- [3] Kirby R R, Beaugrand G, Lindley J A. Climate-induced effects on the meroplankton and the benthic–pelagic ecology of the North Sea[J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(5): 1805–1815.
- [4] Patterson H M, Swearer S E. Long-distance dispersal and local retention of larvae as mechanisms of recruitment in an island population of a coral reef fish[J]. *Austral Ecology*, 2007, 32(2): 122–130.
- [5] Turner J T, Levinsen H, Nielsen T G, et al. Zooplankton feeding ecology: grazing on phytoplankton and predation on protozoans by copepod and barnacle nauplii in Disko Bay, West Greenland[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 221: 209–219.
- [6] de Almeida Fernandes L D, Quintanilha J, Monteiro-Ribas W, et al. Seasonal and interannual coupling between sea surface temperature, phytoplankton and meroplankton in the subtropical south-western Atlantic Ocean[J]. *Journal of Plankton Research*, 2012, 34(3): 236–244.
- [7] Michelsen H K, Svensen C, Reigstad M, et al. Seasonal dynamics of meroplankton in a high-latitude fjord[J]. *Journal of Marine Systems*, 2017, 168: 17–30.
- [8] Williams R, Collins N R. Seasonal composition of meroplankton and holoplankton in the Bristol Channel[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(1): 93–101.
- [9] 郑重. 浮游幼虫生态研究——海洋浮游生物学的新动向之三[J]. 自然杂志, 1978, 1(8): 493–498.
Zheng Zhong. Ecological research on planktonic larva—the third prospect on marine planktology[J]. *Chinese Journal of Nature*, 1978, 1(8): 493–498.
- [10] 蔡秉及. 大亚湾浮游幼虫的丰度[M]//国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 1990: 232–236.
Cai Bingji. The Planktonic Larva Abundance in Daya Bay[M]//Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration. *Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay (II)*. Beijing: China Ocean Press, 1990: 232–236.
- [11] 蔡国雄. 遮浪湾浮游幼虫主要类别的形态[J]. 热带海洋, 1992, 11(4): 96–101.
Cai Guoxiong. Morphology of pelagic larvae from Zhelang Bay (South China Sea)[J]. *Tropic Oceanology*, 1992, 11(4): 96–101.
- [12] 黄加祺, 白云彪. 闽南—台湾浅滩渔场浮游幼虫的分布[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(S1): 145–148.
Huang Jiaqi, Bai Yunbiao. The distribution of pelagic larvae in Minnan-Taiwan Bank fishing ground[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1994, 33(S1): 145–148.
- [13] 杨国锋, 汪文兰. 南海北部甲壳类浮游幼虫数量分布及其与海况的关系[J]. 生态科学, 1986, 5(1): 39–44.
Yang Guofeng, Wang Wenlan. The quantitative distribution and variation of the planktonic crustacean larvae in the northern part of South China Sea and their relation to the sea condition[J]. *Ecological Science*, 1986, 5(1): 39–44.
- [14] 高琼珍, 李昌华. 珠江口一带浮游幼虫的初步报导[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1962, 31(2): 60–63.
Gao Qiongzen, Li Changhua. Preliminary study on planktonic larvae in Pearl River Estuary[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1962, 31(2): 60–63.
- [15] 李开枝, 尹健强, 黄良民, 等. 珠江口浮游幼虫的生态研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(6): 42–47.
Li Kaizhi, Yin Jianqiang, Huang Liangmin, et al. Ecological study on planktonic larvae in the Pearl River Estuary[J]. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26(6): 42–47.
- [16] 王学锋, 李纯厚, 廖秀丽, 等. 北部湾浮游幼虫群落结构及其环境适应性分析[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(4): 529–534.
Wang Xuefeng, Li Chunhou, Liao Xiuli, et al. Community structure and environmental adaptation of the planktonic larvae in Beibu Gulf[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(4): 529–534.
- [17] 刘镇盛. 长江口及其邻近海域浮游动物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
Liu Zhensheng. Community structure and biodiversity of zooplankton in the Changjiang Estuary and its adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [18] 马静, 陈洪举, 刘光兴. 2007年夏季黄河口及其邻近水域浮游动物的群落特征[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(5): 74–80.
Ma Jing, Chen Hongju, Liu Guangxing. Study on the zooplankton community structure in the Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer, 2007[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(5): 74–80.
- [19] 冷宇, 张继民, 刘霜, 等. 黄河口及邻近海域海洋生物物种多样性[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2013: 78–114.
Leng Yu, Zhang Jimin, Liu Shuang, et al. Marine Biodiversity in the Yellow River Estuary and Adjacent Waters[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2013: 78–114.
- [20] 董志军, 杨青, 孙婷婷, 等. 黄河口邻近海域浮游动物群落时空变化特征[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 659–667.

- Dong Zhijun, Yang Qing, Sun Tingting, et al. Spatial and seasonal variability of the zooplankton community in the Yellow River Estuary's adjacent sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 659–667.
- [21] 王文杰, 刘光兴. 2010年秋季黄河口及其邻近海域中小型浮游动物的群落特征[J]. *海洋科学*, 2013, 37(11): 9–15.
Wang Wenjie, Liu Guangxing. The characteristics of meso- and micro-zooplankton community in the Yellow River Estuary and its adjacent area in autumn, 2010[J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(11): 9–15.
- [22] 田家怡, 李洪彦. 黄河口邻近海域浮游动物的分布特征及其与环境因子的关系[J]. *海洋环境科学*, 1985, 4(3): 32–41.
Tian Jiayi, Li Hongyan. Distribution characteristics of zooplankton and its relationship with environmental factors in the waters near the Yellow River Estuary[J]. *Marine Environmental Science*, 1985, 4(3): 32–41.
- [23] Jin Xianshi, Shan Xiujuan, Li Xiansen, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2013, 56(3): 366–374.
- [24] 孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 等. 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化[J]. *生态学报*, 2014, 34(2): 367–376.
Sun Pengfei, Shan Xiujuan, Wu Qiang, et al. Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(2): 367–376.
- [25] Song Yingfei, Zhang Longjun, Luo Xianxiang. Spatiotemporal distribution of fish eggs and larvae in the Huanghe (Yellow) River Estuary, China in 2005–2016[J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2019, 37(5): 1625–1637.
- [26] Ren Zhonghua, Li Fan, Wei Jiali, et al. Community characteristics of macrobenthos in the Huanghe (Yellow River) Estuary during water and sediment discharge regulation[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 35(8): 74–81.
- [27] 张士华, 刘艳芬, 左明, 等. 黄河口贝类资源与可持续利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
Zhang Shihua, Liu Yanfen, Zuo Ming, et al. Shellfish Resource and Its Sustainable Utilization in the Yellow River Estuary[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2018.
- [28] 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, 2008: 1–157.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration. GB/T 12763.6–2007, Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 1–157.
- [29] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
Zheng Zhong, Li Shaojing, Xu Zhenzu. Marine Planktology[M]. Beijing: China Ocean Press, 1984.
- [30] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana IL: The University of Illinois Press, 1947: 125.
- [31] Clarke K R, Gorley R N, Somerfield P J, et al. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. 3rd ed. Plymouth: PRIMER-E, 2014.
- [32] Shanks A L. Pelagic larval duration and dispersal distance revisited[J]. *The Biological Bulletin*, 2009, 216(3): 373–385.
- [33] Pineda-Metz S E A, Montiel A. Seasonal dynamics of meroplankton in a sub-Antarctic fjord (Southern Patagonia, Chile)[J]. *Polar Biology*, 2021, 44(5): 875–886.
- [34] Chícharo L, Chícharo M A. Effects of environmental conditions on planktonic abundances, benthic recruitment and growth rates of the bivalve mollusc *Ruditapes decussatus* in a Portuguese coastal lagoon[J]. *Fisheries Research*, 2001, 53(3): 235–250.
- [35] Ziadi B, Dhib A, Turki S, et al. Bivalve and barnacle larvae distribution driven by water temperature in a Mediterranean lagoon[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(9): 7002–7011.
- [36] Koettker A G, Lopes R M. Meroplankton spatial structure and variability on Abrolhos Bank and adjacent areas, with emphasis on brachyuran larvae[J]. *Continental Shelf Research*, 2013, 70: 97–108.
- [37] Meerhoff E, Tapia F J, Castro L R. Spatial structure of the meroplankton community along a Patagonian fjord—The role of changing freshwater inputs[J]. *Progress in Oceanography*, 2014, 129: 125–135.
- [38] MacTavish A L, Ladah L B, Lavín M F, et al. High frequency (hourly) variation in vertical distribution and abundance of meroplanktonic larvae in nearshore waters during strong internal tidal forcing[J]. *Continental Shelf Research*, 2016, 117: 92–99.
- [39] Ershova E A, Descoteaux R, Wangensteen O S, et al. Diversity and distribution of meroplanktonic larvae in the Pacific Arctic and connectivity with adult benthic invertebrate communities[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 490.
- [40] Brandner M M, Stübner E, Reed A J, et al. Seasonality of bivalve larvae within a high Arctic fjord[J]. *Polar Biology*, 2017, 40(2): 263–276.
- [41] Descôteaux R, Ershova E, Wangensteen O S, et al. Meroplankton diversity, seasonality and life-history traits across the Barents Sea Polar Front revealed by high-throughput DNA barcoding[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021, 8: 677732.

Seasonal variations of the planktonic larvae community in the Huanghe River Estuary adjacent waters

Zuo Tao^{1,2}, Li Yongtao^{1,2}, Zuo Ming³, Chen Zhaolong^{1,2}, Wang Jun^{1,2}, Wang Andong⁴

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Marine Ecology and Environmental Science Laboratory, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 3. Marine Development Research Institute, Dongying 257091, China; 4. Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve Management Committee, Dongying 257091, China)

Abstract: Planktonic larvae are the necessary stages during the growth and development of many fishery species, such as shellfish, benthic fish, polychaete in the Huanghe River Estuary adjacent waters. Seasonal studies on the planktonic larvae community were carried out for biodiversity and bio-resource protection researches in the region. The larvae samples were collected from the vertical hauling of a mesh size 0.160 mm plankton net onboarding of six cruises during April 2019, June 2019, and August 2019, November 2019, January and April 2020 in the sea. Of the 16 planktonic larvae identified, 87% groups were meroplankton. The community diversity index (H') showed higher in June and August than in November and January. For the study region, the dominant organisms of planktonic larvae were bivalve larvae, nauplii, gastropoda larvae, polychaeta larvae, copepodite larvae, auricularia larvae. But the composition of dominant species varied with seasons, with the highest seasonal turnover rate (67%) from April to June, only bivalve larvae and nauplii dominated the planktonic larvae community for all seasons. Total planktonic larvae abundance reached the highest in November, the lowest in January. The planktonic larvae had their high abundance mostly near the estuaries of the Huanghe River and the Xiaoqinghe River, and in the middle part of Laizhou Bay. By cluster analysis, three assemblages of communities were differentiated based on the family compositions and their abundance at each station of six surveyed months. The representative species for monthly cluster groups were nauplii for spring (April) and winter (January) groups, bivalve larvae for summer-autumn (June to November) group. The station cluster groups overlapped geographically with the same representative species (bivalve larvae and nauplii). From statistical analysis of MANOVA and ANOSIM, biodiversity index, abundance, similarity among cluster groups presented significantly different among measured months, but stations, suggesting a seasonal variation for planktonic larvae community. Bio-environment multiple regression analysis showed that the combination of water temperature and zooplankton abundance had the most effects on the planktonic larvae community.

Key words: planktonic larvae; community structure; Huanghe River Estuary