

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.15099

北部湾西北部饵料浮游动物季节变化及其与鱼卵、仔稚鱼的关系

阙江龙, 徐兆礼, 孙鲁峰

中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090

摘要: 根据 2012 年在北部湾西北部广西近海冬、春、夏和秋 4 个季节的调查资料, 探讨了该海域浮游动物总丰度的平面分布、季节变化及鱼卵仔稚鱼的丰度的季节变化, 结果表明, 调查水域浮游动物的丰度在春夏、秋冬季变化较大, 而在冬春与夏秋季变化较小, 浮游动物在冬、春、夏、秋四季的平均丰度分别为 337.35 ind/m^3 、 280.01 ind/m^3 、 4.32 ind/m^3 和 14.78 ind/m^3 , 冬春季明显高于夏秋季, 浮游动物数量高峰季比东海提前了一个季节。冬春两季, 浮游动物的数量分布特征相近, 在湾内和沿岸水域数量高于近海水域。相反, 在夏秋季, 丰度在近海水域明显高于沿岸及湾内水域。浮游动物在各季节不同的分布特征与该海域沿岸水、外海水和混合水的季节性变化有关, 优势种经历了由春季的沿岸暖温种到夏季和秋季的外海暖水种到冬季的沿岸暖水种更替的过程。该海域的主要优势种, 冬季为鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*), 春季为中华哲水蚤(*Calanus sinicus*), 夏季和秋季同为肥胖软箭虫(*Flaccisagitta enflata*), 主要优势种类的生态适应性决定了浮游动物总数量的分布特征。鱼卵、仔稚鱼在冬、春、夏、秋季的丰度为 6.83 ind/m^3 、 3.09 ind/m^3 、 0.05 ind/m^3 、 0.20 ind/m^3 , 季节变化趋势与浮游动物一致, 由高到低依次为冬季、春季、秋季、夏季, 两者较强的正相关关系表明, 食物饵料充足对鱼卵仔鱼的发育具有促进作用。

关键词: 北部湾; 浮游动物; 季节变化; 水团; 鱼卵; 仔稚鱼

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)05-1027-09

北部湾西北部广西近海是中国大陆沿岸最西南端海域, 西邻越南, 属典型的南亚热带海洋季风气候。区域内有北仑河口国家级自然保护区, 同时也是二长棘鲷和长毛对虾国家级水产种质资源保护区所在地, 该区由于北仑河口等入海河流的注入, 潮汐相对缓和, 利于泥沙、碎屑物质的沉积, 构成了独特的地形地貌, 径流带来大量陆源营养物质, 形成了该海域特有的浮游动物群落。

我国目前对近海浮游动物研究较多, 但主要集中在长江口^[1-7]、浙江沿岸^[8-11]和福建近海^[12-15]等北部水域。对北部湾浮游动物主要开展大面积^[16-17]研究, 对某一沿海海域相对微观的研究较少。北部湾西北部广西近海海域是北部湾渔场的重要组成部分, 是多种鱼类的产卵场、育幼场和索饵场,

然而有关其浮游动物的研究鲜有报道。国外对近海浮游动物及其与鱼卵仔鱼关系的研究较频繁, Uriarte 等^[18]研究了污染对巴斯克海岸(比斯开湾)两河口处浮游动物丰度和分布的影响, Khan 等^[19]研究了亚丁湾中仔鱼与浮游动物生物量的关系, Fortier 等^[20]就冬季冰雪覆盖下浮游动物饵料的变化导致海洋鱼类幼体转移至佐吕阁湖(日本北海道)进行了阐述, Kean-Howie 等^[21]分析了刺鱼捕食鲭幼鱼及将浮游动物替代幼鱼作为饵料。

本研究选取北部湾西北部广西近海作为研究水域, 分析了该水域浮游动物丰度季节变化及其与环境因子的关系, 优势种组成和鱼卵、仔稚鱼的丰度等, 以期分析产卵场与饵料环境季节变化的关系提供依据, 也为完善北部湾近岸环境保

收稿日期: 2014-12-12; 修订日期: 2015-02-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41176131); 国家 973 计划项目(2010CB428705).

作者简介: 阙江龙(1988-), 男, 研究实习员, 从事海洋生态学研究. E-mail: quejianglong@163.com

通信作者: 徐兆礼, 研究员. Tel: 021-65680798; E-mail: 1074527784@qq.com

护治理措施提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 样品的采集与分析

2012 年 1 月(冬)、4 月(春)、8 月(夏)和 11 月(秋)在北部湾西北部广西近海布设 12 个站(图 1)进行浮游动物及鱼卵、仔稚鱼调查。浮游动物及鱼卵、仔稚鱼样品采集用浅水 I 型浮游生物网,自海底至海面垂直拖拽获得。浮游动物及鱼卵、仔稚鱼采集方法及标本处理等均按《海洋调查规范》进行。所获标本均经 5%福尔马林溶液固定带回实验室进行鉴定、称重和统计,本研究个体丰度单位为 ind/m³。

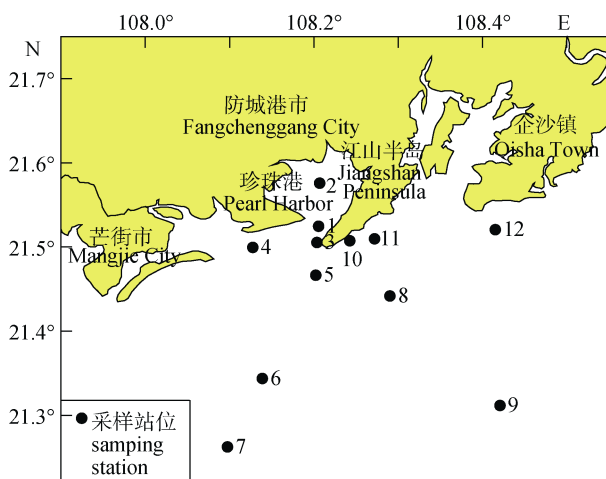


图 1 北部湾西北部浮游动物及鱼卵、仔稚鱼调查站位示意图

Fig.1 Sampling stations of zooplankton and fish eggs and larvae in northwest Beibu Gulf

1.2 数据处理与方法

浮游动物丰度计算公式如下:

$$C_B = \frac{N_B}{V}$$

式中, C_B 为浮游动物丰度; N_B 为浮游动物个数, 单位为个(ind); V 为滤水量, 单位为 m³。

优势种确定采用以下公式:

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, n_i 为第 i 种的丰度, f_i 是该种在各站位中出现的频率, N 为总丰度。取浮游动物优势度

$Y \geq 0.02$ 的种为本研究优势种^[22]。

参考方差贡献分析方法, 运用 DPS 数据处理系统来进行浮游动物变化的动力学分析, 以浮游动物总丰度为因变量, 各优势种丰度为自变量, 根据 $P < 0.05$ 值筛选出对丰度回归方差贡献显著的优势种, 然后计算其标准回归系数(β), 标准回归系数值即可反映出优势种对丰度变动贡献的大小, 分析其对浮游动物丰度变化的影响, 上述分析具体的计算方法参考 Christensen^[23]。

为了便于比较和分析, 将北部湾西北部广西近海海域的 1-2 号站称为珍珠港湾内水域, 8 号站位在冬春季盐度高于, 而在秋冬季略低于 9 号站位, 所以将外侧的 6-9 号站位称为近海水域。3 号、4 号、5 号、10 号、11 号、12 号站位称为沿岸水域。

2 结果与分析

2.1 北部湾西北部广西近海水域浮游动物总丰度分布特征

2012 年四季浮游动物总丰度的调查中, 冬、春、夏、秋季丰度的均值分别为 337.35 ind/m³、280.01 ind/m³、4.32 ind/m³ 和 14.78 ind/m³。

冬季沿岸水域及湾内站位的丰度值较高, 近海水域站位丰度低, 10 号站丰度(1272.50 ind/m³)最高, 主要种类有鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*) (833.75 ind/m³) 和 汉森莹虾 (*Lucifer hansenii*) (308.75 ind/m³), 另外, 沿岸侧的 11 号(733.75 ind/m³)、4 号(695.00 ind/m³)和湾内的 2 号站位(560.00 ind/m³)也有一个较大的丰度值。近海水域的 6、7 和 9 号站位丰度值很低, 为 78.67 ind/m³、97.78 ind/m³ 和 18.16 ind/m³, 它们的主要种类也为鸟喙尖头蚤。

春季, 珍珠湾内的 2 号站(840.00 ind/m³)有一个较大的丰度值, 中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)占总丰度比例最高, 达到了 755.00 ind/m³。8 号站位丰度值最低, 为 47.08 ind/m³。沿岸侧的 3 号、4 号、10 号和 11 号站位的丰度主要集中在 100~200 ind/m³。

夏季浮游动物含量最低, 近海水域的丰度值高于沿岸侧及湾内水域, 丰度最高的外侧 7 号站仅 19.76 ind/m³, 其次为 8 号站 16.00 ind/m³, 肥胖

软箭虫(*Flaccisagitta enflata*)占总丰度比例最高, 在7号站为 15.00 ind/m^3 , 亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)亦有一定数量, 丰度最高值在8号站, 为 7.00 ind/m^3 。其余站位小于 10 ind/m^3 。

秋季丰度也较低, 但略高于夏季, 总体由高到低依次为近海水域、沿岸水域、湾内水域, 外侧的9号站位丰度最高, 为 45.36 ind/m^3 , 主要种类为肥胖软箭虫(31.07 ind/m^3), 2号站位(33.75 ind/m^3)也有一个较高的丰度值。丰度最低值出现在沿岸水域的12号站位, 为 2.50 ind/m^3 。

2.2 优势种丰度对浮游动物总丰度的贡献

2012年北部湾西北部广西近海海域四季共鉴定出优势种6种, 其中肥胖软箭虫在全年为优势种, 从优势度上看, 乌喙尖头蚤(0.65)和中华哲水蚤(0.75)分别为冬春季的绝对优势种, 夏秋季各优势种的优势度相对均匀, 肥胖软箭虫优势度在夏秋季均为最高, 分别为0.23和0.41。

冬季出现5种优势种, 其中乌喙尖头蚤和汉森莹虾的优势度(0.65和0.15)较高, 对总丰度的贡献率 β (0.69和0.26)相关性极显著($P<0.01$), 其余3种的优势度贡献不明显($P>0.05$)。春季, 中华哲水蚤的贡献率 β (0.89)最高, 乌喙尖头蚤(0.09)和肥胖软箭虫(0.08)有一定量贡献。夏季出现3种优势种, 对优势种的贡献均为极显著, 肥胖软箭虫(0.66)和亚强次真哲水蚤(0.42)贡献率 β 较大; 秋季有3种优势种, 肥胖软箭虫(0.66)和汉森莹虾(0.42)的贡献率极显著, 亚强次真哲水蚤优势度(0.02)较低, 贡献率不显著。

2.3 不同区域浮游动物优势种丰度

将优势度非常明显, Y 值大于0.1的优势种称为主要优势种, 冬季主要优势种为乌喙尖头蚤和汉森莹虾, 春季为中华哲水蚤, 夏季为肥胖软箭虫和亚强次真哲水蚤, 秋季为肥胖软箭虫和汉森莹虾。

冬季, 乌喙尖头蚤主要集中在沿岸侧水域及湾内水域, 近海水域含量较少, 而汉森莹虾在沿岸侧站位的均值丰度远高于湾内及近海水域。春季, 主要优势种在3个区域的分布相对均匀, 分布趋势表现为湾内高于近海高于沿岸水域。夏季, 区域之间差异显著, 湾内水域没有主要优势种的

分布, 沿岸侧也很低。与夏季一致, 秋季仍以近海水域丰度高, 各区域丰度略有升高, 尤其是湾内及沿岸的肥胖软箭虫。

2.4 鱼卵、仔稚鱼丰度季节变化

鱼卵、仔稚鱼丰度季节变化趋势与浮游动物一致, 由高到低依次为冬季、春季、秋季、夏季。

冬季, 鱼卵丰度为 3.67 ind/m^3 , 仔稚鱼丰度也很高, 为 3.16 ind/m^3 , 致使鱼卵、仔稚鱼总丰度为 6.83 ind/m^3 , 达到最高。春季, 北部湾西北部广西近海海域鱼卵、仔稚鱼丰度有所降低, 为 3.09 ind/m^3 , 其中鱼卵和仔稚鱼分别为 2.23 ind/m^3 和 0.86 ind/m^3 。夏季, 鱼卵、仔稚鱼丰度 0.15 ind/m^3 , 降至最低, 其中鱼卵丰度为 0.10 ind/m^3 , 仔稚鱼为 0.05 ind/m^3 。秋季, 没有采集到仔稚鱼, 相比于夏季, 鱼卵丰度有所上升, 为 0.20 ind/m^3 。根据相关性分析可知, 四季鱼卵、仔稚鱼丰度与浮游动物丰度呈正相关关系($R^2=0.87$, $P<0.05$)。

3 讨论

3.1 浮游动物丰度的季节变化规律与鱼汛的关系

由图2可知, 调查海域浮游动物的丰度的季节分布呈现出一定的规律性。浮游动物丰度在冬季最高, 达到 337.35 ind/m^3 ; 至春季, 有所降低, 为 280.01 ind/m^3 ; 随着夏季温度的上升, 春季优势性的暖温带近海种中华哲水蚤未出现, 浮游动物的丰度也急剧降落至 4.32 ind/m^3 ; 秋季回升至 14.78 ind/m^3 。可见, 北部湾西北部广西近海海域浮游动物的丰度在春夏及秋冬之交变化较大, 而在冬春季和夏秋季较为平稳。

从平面分布上来看, 浮游动物在冬春季呈现出分布规律相近, 即大体上都表现为在沿岸及湾内水域丰度值高于外海水域。冬季, 沿岸侧的10号、11号站位丰度值非常高, 分别达到了 1272.5 ind/m^3 和 733.75 ind/m^3 , 春季湾内的2号站位丰度为 840.00 ind/m^3 , 达到最高; 而在近海水域, 丰度值降低, 冬季最外侧的9号站丰度仅为 18.16 ind/m^3 , 春季外侧的7号和8号站位丰度值均不足 100 ind/m^3 。夏秋季, 浮游动物的分布特征却相反, 外海站位丰度高于沿岸及湾内站位, 夏季, 此时外海的7号

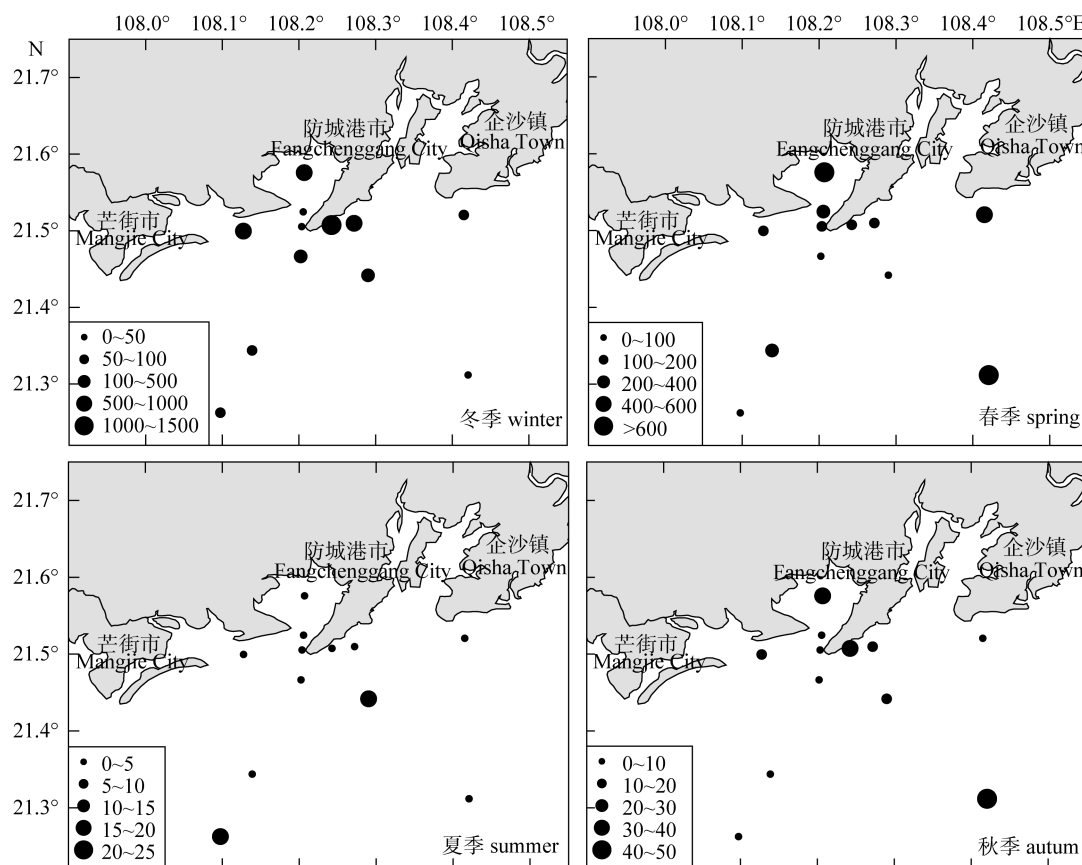


图 2 北部湾西北部广西近海浮游动物总丰度(ind/m³)平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of zooplankton abundance (ind/m³) in the northwest Beibu Gulf of Guangxi offshore waters

和 8 号站位为最高的 19.76 ind/m³ 和 16.00 ind/m³, 秋季最外侧的 9 号站位达到了最高的 45.36 ind/m³; 而沿岸侧的 5 和 12 号站位在夏秋季丰度均不超过 5.00 ind/m³。

在椒江口^[24]和福建中部^[25]等高纬度的东海近海海域, 春季为浮游动物丰度值最高季节, 夏季次之, 秋冬季很低。相较于东海, 本海域所处的南海浮游动物数量高峰季节提前了一个季节, 与以往调查结果基本一致^[26]。

在调查海域, 二长棘鲷为主的经济鱼类渔获率呈明显的季节分布特征, 冬春季的渔获率高于夏秋季^[27], 与浮游动物的季节变化特征一致, 该海域浮游动物在冬春季的高数量能为鱼类补充群体提供充足饵料, 更利于该海域鱼类的繁殖生长和资源的合理利用。

3.2 浮游动物数量与水团之间的关系

在北部湾整个海域, 全年都以亚强次真哲水

蚤、肥胖软箭虫和中型莹虾等亚热带暖水种为主^[28], 本调查海域位于北部湾北部沿岸海域, 各季节种类组成与全湾基本相似, 水团在该海域的特殊性致使其主要优势种组成又有一定变化。

调查海域水团的变化主要影响着浮游动物优势种的演替。根据文献, 北部湾西北部广西近海主要受沿岸水、外海水和混合水的影响^[29-30], 沿岸水为广西沿岸江河入海径流冲淡水, 由湾口进入北部湾的南海表层高盐水为外海水, 外海水与沿岸水在陆架区的混合构成了混合水。

春季为沿岸水由弱变强的过渡时期, 外海水也在湾口处加强, 但还未到达调查海域^[29], 低温、低盐的沿岸水成为主要水团, 该海域的优势种以中华哲水蚤为代表的暖温性种类, 丰度远高于其他各种类(表 1)。

夏秋季, 沿岸江河入海径流很强, 沿岸水向外扩张^[29], 外海水也从海南岛西侧向南扩展, 在

表 1 浮游动物优势种类对总丰度的贡献
Tab. 1 The contribution of dominant zooplankton species to total abundance

优势种 dominant species	冬季 winter				春季 spring			
	Y	A	β	P	Y	A	β	P
肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	0.02	9.73	—	0.053	0.04	11.98	0.08	0.02
汉森莹虾 <i>Lucifer hansenii</i>	0.15	59.95	0.26	0.00				
鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	0.65	219.62	0.69	0.00	0.02	9.56	0.09	0.00
钳形歪水蚤 <i>Tortanus forcipatus</i>	0.03	10.41	—	0.69				
亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	0.03	11.74	—	0.14				
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>					0.75	209.44	0.89	0.00

优势种 dominant species	夏 summer				秋 autumn			
	Y	A	β	P	Y	A	β	P
肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	0.23	1.98	0.66	0.00	0.41	6.61	0.66	0.00
汉森莹虾 <i>Lucifer hansenii</i>					0.20	3.59	0.42	0.00
鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	0.05	0.50	0.17	0.00				
亚强次真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	0.11	1.17	0.42	0.00	0.02	1.02	—	0.13

注: Y—优势度; A—丰度; β —对总丰度的贡献率; P—显著性。
Note: Y—dominance index; A—abundance; β —contribution rate to the total abundance; P—significance.

北部湾口占据了一定范围的海区,二者在调查海域汇合形成了相对高温的混合水,受此高温水团的影响,夏秋季浮游动物的优势种主要为肥胖软箭虫、汉森莹虾、亚强次真哲水蚤等暖水种。

冬季,外海水完全消失^[29],沿岸入海径流有限,北部湾西北侧广西近海优势种仍然有肥胖软箭虫、汉森莹虾、亚强次真哲水蚤等暖水性种类,该海域距离陆地较近,出现了高数量的鸟喙尖头蚤,为冬季的绝对优势种。

以上分析显示,在北部湾广西近海海域,浮游动物在各季节的分布特征受该海域沿岸水、外海水和混合水的季节性变化的影响,由此形成优势种由春季的沿岸暖温种到夏秋季的外海暖水种到冬季的沿岸暖水种周年演替的过程。

3.3 优势种贡献率

优势种对总丰度的回归贡献反映了优势种丰度变化与总丰度变化的相关程度。某物种贡献率 β 值的大小,可以衡量该种的分布对总丰度分布特征影响的高低,贡献率 β 值越高的种类,其对总丰度分布特征的影响也越大。

冬季,出现 5 种优势种(表 1),仅鸟喙尖头蚤和汉森莹虾的贡献率明显($P<0.05$),分别为 0.69 和 0.26,由表 2 也可得知,鸟喙尖头蚤和汉森莹

虾丰度在沿岸侧及湾内水域很高,而近海水域却明显降低,这和总丰度的平面分布特征一致(图 2),因此,冬季浮游动物总丰度的分布特征由优势种的分布特征引起的。

春季,出现 4 种优势种且对总丰度存在一定量的贡献,然而中华哲水蚤贡献率 β 高达 0.89,远大于其他各种。在湾内丰度最高的 2 号站位,中华哲水蚤占有很大的比例(图 2),可见在春季,中华哲水蚤对浮游动物总丰度的分布特征起了最主要的影响。

夏季,不同于春季,各优势种对总丰度的贡献率 β 值相对更平均,其中肥胖软箭虫的贡献率 β 值为 0.66,亚强次真哲水蚤为 0.42,这两个种类由近海水域至湾内水域递减(表 2),在湾内甚至没有出现。同于总丰度的平面分布特征(图 2),夏季优势种分布特征决定了总丰度的分布特征。

秋季,肥胖软箭虫仍为主要优势种,贡献率仍达到了最高的 0.66,汉森莹虾贡献也较高,为 0.42,亚强次真哲水蚤贡献率不明显(表 1)。肥胖软箭虫丰度由近海海域—沿岸水域—湾内水域逐渐降低(表 2),与浮游动物总丰度季节变化相同(图 2),所以肥胖软箭虫对总丰度的分布特征起了最主要的影响。

以上分析显示,在北部湾广西近海海域,该

表 2 不同水域主要浮游动物优势种丰度
Tab. 2 Abundance of main dominant zooplankton species in various waters

季节 season	优势种 dominant species	区域 area			ind·m ⁻³
		湾内水域 gulf waters	沿岸水域 coastal waters	近海水域 inshore waters	
冬 winter	鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	214.11	332.78	52.65	
	汉森莹虾 <i>Lucifer hansen</i>	10.00	110.31	9.37	
春 spring	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	460.00	130.90	201.96	
夏 summer	肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	0.00	0.70	4.88	
	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	0.00	0.13	3.32	
秋 autumn	肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	3.33	4.82	10.94	
	汉森莹虾 <i>Lucifer hansen</i>	5.00	4.32	1.81	

海域冬春季主要优势种鸟喙尖头蚤和中华哲水蚤为沿岸种,夏秋季主要优势种肥胖软箭虫、亚强次真哲水蚤和汉森莹虾为外海性种类。各季节优势种的分布规律,决定着总丰度的分布特征。

3.4 主要优势种的生态适应性

依据同步调查的水体温度资料,在冬、春、夏、秋季的平均温度分别为(12.72±0.14)℃、(19.96±0.25)℃、(28.64±0.38)℃、(22.38±0.15)℃。

东海鸟喙尖头蚤春季在水温较高的浙江福建附近的海域出现,夏季在东海北部近海和长江口外水域有较多数量,因而有较广的适温范围^[31],在北部湾西北部广西近海海域浮游动物调查中可以映证,鸟喙尖头蚤在 4 个季节均有出现,且为冬春夏三季的优势种,尤其在冬季,为绝对优势种(表 1)。同时,它也是一种沿岸低盐性种类^[32],在北部湾西北部广西近海的沿岸及湾内水域较大数量出现,而近海水域平均丰度明显降低(表 2)。

中华哲水蚤为典型的沿岸暖温种,适应于低温低盐的沿岸水团中,春季是其生殖活动最旺盛的时期,秋季次之,冬季和夏季相对不利于中华哲水蚤产卵生殖^[33],主要限制因子为温度^[34],解释了北部湾西北部广西近海海域中华哲水蚤只在春秋季节出现,且春季优势度最高(表 1)。

肥胖软箭虫是对温度具有较广泛适应性的外海暖水种^[35],在北部湾西北部广西近海附近海域 4 个季节都是优势种,在水温较高的夏秋季优势度均为最高(表 1),与鸟喙尖头蚤相反,在近海水域-沿岸水域-湾内水域丰度逐渐递减(表 2)。

由此可见,主要优势种类的生态适应性决定了该种季节及平面分布,这些种类的分布状况决

定了浮游动物的分布特征,所以,北部湾西北部广西近海海域浮游动物的分布变化的内在因素为主要优势种的生态适应性,外在因素为该水域水团季节性变化,内在因素通过外在因素的作用表现出来,形成这一水域浮游动物群落周年变化的规律。

3.5 浮游动物与鱼卵仔鱼关系

北部湾西北部广西附近海域为二长棘鲷^[27]、蓝圆鲹^[36]等多种经济鱼类的主要产卵场、育幼场,是北部湾渔场的重要组成部分。

浮游动物是鱼类的重要饵料,多数鱼类在仔鱼期摄食浮游动物^[37],浮游动物的分布与数量变动,可以直接或间接影响鱼类摄食、洄游乃至渔获量,特别在索饵期间更为明显。

本次调查中,鱼卵、仔稚鱼丰度与浮游动物的丰度均在冬春季较高,夏秋季较低,由高到低依次为冬季、春季、秋季、夏季(图 3),冬春季,饵料浮游动物丰富,此时期仔鱼丰度也非常高。在

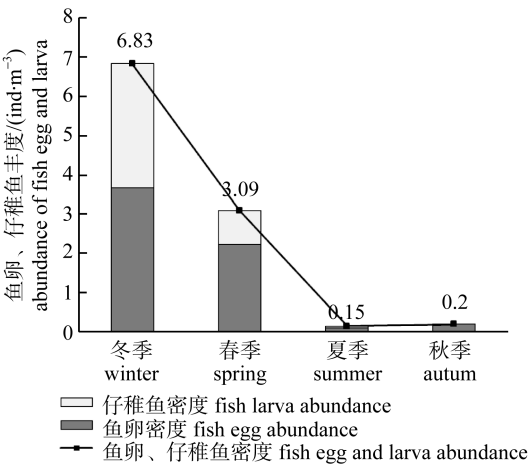


图 3 鱼卵、仔稚鱼丰度季节变化
Fig. 3 Seasonal change of fish egg and larva abundance

夏秋季,尤其是夏季浮游动物丰度较低,鱼卵、仔稚鱼的丰度也非常低,显示出浮游动物高峰期与鱼类产卵高峰期一致。

本研究中鱼卵、仔稚鱼的数量分布随着浮游动物丰度的增加而逐渐增加,两者较强的正相关关系表明了食物饵料的保证对鱼卵仔鱼的发育具有促进作用。Pedersen 等^[38]在西格陵兰海域也证实了仔稚鱼数量与浮游动物丰度有强烈的关联,这种相关性高于它与水文特征之间的联系。

致谢: 参加海上样品采集的有康伟、田伟和陈渊戈等,沈晓民先生和高倩在论文的构思和写作过程中给予很大的帮助,在此一并致以谢忱。

参考文献:

- [1] Xu Z L. Character of zooplankton community and its variation in the water near the Yangtze River estuary [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(7): 780–784.[徐兆礼. 长江口邻近水域浮游动物群落特征及变动趋势[J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 780–784.]
- [2] Gao Q, Xu Z L, Zhuang P. Comparison of mesozooplankton communities in North Channel and North Branch of Yangtze River estuary [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(9): 2049–2055.[高倩, 徐兆礼, 庄平. 长江口北港和北支浮游动物群落比较[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2049–2055.]
- [3] Xu Z L, Shen X Q. Zooplankton biomass and its variation in water near Changjiang estuary[J]. Resources and Environment In The Yangtze Basin[J]. 2005(3): 282–286.[徐兆礼, 沈新强. 长江口水域浮游动物生物量及其年间变化[J]. 长江流域资源与环境, 2005(3): 282–286.]
- [4] Xu Z L. Zooplankton in north branch waters of Changjiang Estuary[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1341–1345.[徐兆礼. 长江口北支水域浮游动物的研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1341–1345.]
- [5] Xu Z L, Shen X Q, Ma S W. Ecological characters of zooplankton dominant species in the waters near the Changjiang estuary in spring and summer[J]. Marine Sciences, 2005, 29(12): 13–19.[徐兆礼, 沈新强, 马胜伟. 春、夏季长江口邻近水域浮游动物优势种的生态特征[J]. 海洋科学, 2005, 29(12): 13–19.]
- [6] Zhang F Y, Tang J L, Li D J, et al. Zooplankton distribution and variation in the Yangtze estuary and its adjacent waters in summer and autumn[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(6): 1219–1225.[章飞燕, 唐静亮, 李道季, 等. 夏、秋季长江口及毗邻海域浮游动物的分布与变化[J]. 水生生物学报, 2009, 33(6): 1219–1225.]
- [7] Xu R, Li Y H, Li Z E. Quantitative comparison of zooplankton in different habitats of the Changjiang Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1688–1696.[徐韧, 李亿红, 李志恩, 等. 长江口不同水域浮游动物数量特征比较[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1688–1696.]
- [8] He D H, Yang G M, Shen W L, et al. Ecological study on zooplankton in upwelling area along the coast of Zhejiang—II. Zooplankton species distribution and diversity[J]. Journal of Oceanography: Chinese version, 1987, 9(5): 617–626.[何德华, 杨关铭, 沈伟林, 等. 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究——II. 浮游动物种类分布与多样性[J]. 海洋学报: 中文版, 1987, 9(5): 617–626.]
- [9] He D H, Yang G M, Fang S J, et al. Ecological study on zooplankton in upwelling area along the coast of Zhejiang—I. Biomass and abundance of the main groups[J]. Journal of Oceanography, 1987, 9(1): 79–92.[何德华, 杨关铭, 方绍锦, 等. 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究——I. 生物量及主要类群丰度[J]. 海洋学报: 中文版, 1987, 9(1): 79–92.]
- [10] Xu X Q, Zeng J N, Chen Q Z, et al. Spatial niches of dominant zooplankton species in Sanmen Bay, Zhejiang Province of East[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(3): 818–824.[徐晓群, 曾江宁, 陈全震, 等. 浙江三门湾浮游动物优势种空间生态位[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 818–824.]
- [11] Sun L F, Ke C, Xu Z L, et al. The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1811–1821.[孙鲁峰, 柯昶, 徐兆礼, 等. 上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1811–1821.]
- [12] Zhu C S, Wan W L, Chen X, et al. The features of zooplankton species composition and distribution in Dongshan Bay of Fujian [J]. Tropic Oceanology, 1993, 12(3): 10–16.[朱长寿, 万伟龙, 陈栩, 等. 福建东山湾浮游动物的种类组成和分布特点[J]. 热带海洋, 1993, 12(3): 10–16.]
- [13] Zhu C S, Chen X. Distribution of biomass and abundance of zooplankton off south Fujian[J]. Tropic Oceanology, 1990, 9(4): 83–87.[朱长寿, 陈栩. 福建南部沿海浮游动物量的平面分布和季节变化[J]. 热带海洋, 1990, 9(4): 83–87.]
- [14] Qi Y P, Chen H J, Zhu Y Z, et al. Characteristics of zooplankton community in Luoyuan Bay, Fujian[J]. Journal of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2010, 40(1): 39–46.[齐衍萍, 陈洪举, 朱延忠, 等. 福建罗源湾浮游动物群落特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(1): 39–46.]

- [15] Zhu Y Z, Chen H J, Liu G X. The characteristics and influence factors of zooplankton communities in Shacheng harbor Fujian[J]. Journal of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2008, 38(6): 943–950. [朱延忠, 陈洪举, 刘光兴. 福建沙埕港浮游动物群落特征及影响因子[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2008, 38(6): 943–950.]
- [16] Zhen B W, Cao W Q, Lin Y S, et al. Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf I. The temporal and spatial variation of species composition on zooplankton[J]. Journal of Oceanography: Chinese Version, 2013, 35(6): 154–161. [郑白雯, 曹文清, 林元烧, 等. 北部湾北部生态系统结构与功能研究 I. 浮游动物种类组成及其时空变化[J]. 海洋学报: 中文版, 2013, 35(6): 154–161.]
- [17] Ma L, Cao W Q, Zhang W J, et al. An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 546–554. [马璐, 曹文清, 张文静, 等. 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 546–554.]
- [18] Uriarte I, Villate F. Effects of pollution on zooplankton abundance and distribution in two estuaries of the Basque coast (Bay of Biscay)[J]. Mar Poll Bull, 2004, 49: 220–228.
- [19] Khan J A, Hempel G. Relation of fish larvae and zooplankton biomass in the Gulf of Aden[J]. Mar Biol, 1974, 28: 311–316.
- [20] Fortier M, Fortier L. Transport of marine fish larvae to Saromako Lagoon (Hokkaido, Japan) in relation to the availability of zooplankton prey under the winter ice cover[J]. J Mar Syst, 1997, 11: 221–234.
- [21] Kean-Howie J C, Jr Pearre S, Dickie L M. Experimental predation by sticklebacks on larval mackerel and protection of fish larvae by zooplankton alternative pery[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1988, (124)3: 239–259.
- [22] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Ecology 1989, 8(4): 13–15. [徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13–15.]
- [23] Christensen R. Analysis of variance, design and regression: Applied statistical methods[M]. New York: Chapman and Hall, 1996.
- [24] Sun L F, Xu Z L, Xing X L, et al. Relationship between Phytoplankton and Eutrophication in Jiaojiang Estuary[J]. Chin J Appl Environ Biol, 2012, 18(2): 170–176. [孙鲁峰, 徐兆礼, 邢小丽, 等. 椒江口海域浮游植物与富营养化的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(2): 170–176.]
- [25] Tian F G, Xu Z L. Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 93–100. [田丰歌, 徐兆礼. 福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 93–100.]
- [26] Li C H, Jia X P, Cai W G. Diversity of marine zooplankton in the north of South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(2): 139–146. [李纯厚, 贾晓平, 蔡文贵. 南海北部浮游动物多样性研究[J]. 中国水产科学, 2004, 11(2): 139–146.]
- [27] Chen Z Z, Qiu Y S. Ecological distribution of *Paragryrops edita* Tanaka in the Beibu Gulf[J]. Marine Fisheries Research, 2005, 26(3): 16–21. [陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷的生态分布[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(3): 16–21.]
- [28] Guo D H, Huang J Q, Li S Q, et al. Ecological study of zooplankton in winter and summer of Beibu Gulf. I. Species composition and abundant distribution. marine science research papers (first series)[C]. BeiJing: Ocean Press, 2008: 222–236. [郭东晖, 黄加祺, 李少菁, 等. 北部湾夏、冬两季浮游动物生态学研究 I. 种类组成与数量分布北部湾海洋科学研究论文集(第 1 辑)[C]. 北京: 海洋出版社, 2008: 222–236.]
- [29] Chen B. Preliminary study of stream formation and its properties in Beibu Gulf[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 1986, 2(2): 92–95. [陈波. 北部湾水系形成及其性质的初步探讨[J]. 广西科学院学报, 1986, 2(2): 92–95.]
- [30] Ministry of Agriculture Animal Husbandry and Fisheries Zone in the South China Sea Fishery Command. Investigation and Division of Fisheries Resources in South China Sea[M]. Guan Zhou: Guangdong Science And Technology Press, 1989: 25–26. [农牧渔业部南海区渔业指挥部. 南海渔业资源调查和区划[M]. 广州: 广东科技出版社, 1989: 25–26.]
- [31] Xu Z L, Wang Y L, Yuan Q. Ecological characters of pelagic Cladocera in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 635–639. [徐兆礼, 王云龙, 袁骥. 东海浮游枝角类生态学研究[J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 635–639.]
- [32] Zheng Z, Cao W Q. Research in China marine Cladocera II. distribution[J]. Journal of Oceanography: Chinese version, 1982, 4(6): 731–742. [郑重, 曹文清. 中国海洋枝角类的研究——II. 分布[J]. 海洋学报: 中文版, 1982, 4(6): 731–742.]
- [33] Zhang G T. Reproductive strategy of *Calanus sinicus* in the southern yellow sea[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2003. [张光涛. 中华哲水蚤在南黄海的生殖策略研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.]
- [34] Uye S. Why does *Calanus sinicus* prosper in the shelf ecosystem of the Northwest Pacific Ocean[J]. ICES Mar Sci, 2000, 57(6): 1850–1855.
- [35] Xu Z L, Chen Y Q. Relationships between dominant species of Chaetognatha and environmental factors in the East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(1):

- 76–82.[徐兆礼, 陈亚瞿. 东海毛颚类优势种及与环境的
关系[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 76–82.]
- [36] Shi D K. Biological research on *Decapterus maruadsii* in Beibu
gulf[J]. Chinese Journal of Zoology, 1984(3): 2–6.[石大康. 北
部湾蓝圆鲹生物学的研究[J]. 动物学杂志, 1984(03): 2–6.]
- [37] Chen X J. Fishery Resources and Fishing Grounds[M]. Bei-
Jing: Ocean Press, 2004: 136–137.[陈新军. 渔业资源与渔
场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 136–137.]
- [38] Pedersen S A, Rice J C. 5 Dynamics of fish larvae, zoo-
plankton, and hydrographical characteristics in the West
Greenland large marine ecosystem 1950–1984[J]. Large Mar
Ecosyst, 2002(10): 151–193.

Seasonal variation in zooplankton characteristics and their relationship with fish eggs and larvae in the Northwest Beibu Gulf

QUE Jianglong, XU Zhaoli, SUN Lufeng

Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai, 200090, China

Abstract: This paper addresses the spatiotemporal distribution characteristics of zooplankton abundance and seasonal changes in fish egg and larval density based on data from four oceanographic surveys in Guangxi offshore waters in the Northwest Beibu Gulf during the winter, spring, summer, and autumn of 2012. Additionally, the relationships between environmental factors, water masses, and, in particular, zooplankton were explored. The results revealed that zooplankton abundances were 337.35 ind/m³, 280.01 ind/m³, 4.32 ind/m³, and 14.78 ind/m³ in the winter, spring, summer, and autumn, respectively. The zooplankton numbers between spring and summer, and between autumn and winter significantly changed, but remained steady between winter and spring, and summer between and autumn. The peak zooplankton abundance period in this water body was winter, which occurs a season before that in the East China Sea. In the investigation area, *Evyinnis cardinalis*, an economically important fish species, exhibited obvious seasonal distribution characteristics: Capture rates in winter and spring were higher than those in summer and autumn, which was consistent with the seasonal variation characteristics of zooplankton. High quantities of zooplankton in the winter and spring provided sufficient food to supplement fish populations and therefore provide a valuable resource for fish reproduction and growth. Northwest Beibu Gulf is mainly affected by coastal water, offshore current and mixed water. Coastal water is composed of sea water and mixed water that is diluted by terrestrial runoff to the sea. A high salinity offshore current that is composed of offshore water runs into the Beibu Gulf from the bay mouth. Mixed water composed of coastal and offshore water converges in the continental shelf area. In the winter and spring, zooplankton distribution characteristics were similar; higher numbers of zooplankton were recorded in gulf and coastal waters than in inshore waters. However, zooplankton abundance in inshore waters was significantly higher than those in gulf and coastal waters during the summer and autumn. Sea water and mixed water in this area are affected by seasonal changes in coastal waters; the dominant species succession consisted of warm temperate neritic species in spring, warm water offshore species in summer and autumn, and warm water neritic species in winter. The dominant species were *Penilia avirostris*, *Calanus sinicus*, and *Flaccisagitta enflata* in the winter, spring, and summer and autumn, respectively. The ecological adaptability of the main dominant species determined the spatial and temporal distribution of these species, which in turn determined the zooplankton distribution characteristics. The combination of internal (ecological adaptation) and external (seasonal environmental change) factors resulted in the zooplankton distribution variation observed in this study. These factors also likely drove seasonal species succession in this area. Zooplankton are a vital food source for most fish species during their larval periods. Variations in zooplankton distribution and quantity can be either directly or indirectly affected by fish ingestion, migratory and catch behavior, and feeding period. Fish egg and larval densities were 6.83 ind/m³, 3.09 ind/m³, 0.05 ind/m³, and 0.20 ind/m³ from winter to autumn; seasonal trends were highly consistent with those of zooplankton. A strong positive correlation indicates that rich food sources of zooplankton facilitate both fish egg and larval development.

Key words: Beibu Gulf; zooplankton; seasonal variation; water masses; fish eggs; fish larvae

Corresponding author: XU Zhaoli. Tel: 021-65680798; E-mail: 1074527784@qq.com