

北部湾海域秋、冬季毛颚类的种类组成与数量分布

杜飞雁^{1,2}, 李纯厚¹, 贾晓平¹

(1. 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;
2. 上海水产大学, 上海 200090)

摘要:为了解和掌握北部湾渔场生态环境的动态变化规律, 于2001年11月至2002年1月对北部湾海域进行了2个航次的调查。结果表明, 该海域毛颚类种类组成较为简单, 样品中共鉴定出13种, 其组成无明显季节变化。调查期间毛颚类栖息密度、生物量和多样性指数的变化范围分别为0.76~45.70/m³、2.00~70.04 mg/m³和0.18~1.99; 秋、冬季平均值分别为12.03/m³、23.19 mg/m³、0.81和6.29/m³、19.61 mg/m³、0.90。主要优势种为肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、小箭虫(*Sagitta neglecta*)和百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)。三者栖息密度分别占毛颚类总栖息密度的10.4%、3.1%和1.8%。栖息密度和生物量的分布总体呈现北高南低、西高东低的趋势, 不同季节表现略有差异。多样性指数以湾口较高、湾顶较低, 呈湾口向湾内西北方向递减趋势。此外, 本研究对毛颚类的种类组成、数量分布与水系、水团、水温及盐度等环境因子的关系进行了初步的探讨。

关键词:毛颚类; 种类组成; 数量分布; 北部湾
中图分类号:S932 **文献标识码:**A

文章编号:1005-8737-(2003)03-0235-07

毛颚类是浮游动物的一个重要类群, 种类不多, 但数量较大, 是重要的饵料生物类群之一。研究其种类组成和数量分布, 对了解海洋次级生产力水平, 合理开发、利用海洋生物资源具有重要意义。

北部湾是南海西北部的一个半封闭海湾, 资源丰富, 盛产多种具经济价值的鱼类及贝类, 是我国的优良渔场之一。为了调查北部湾饵料生物水平, 在1961~1962年开展的中越合作资源调查^[1]、1982年全国海岸带和海涂资源调查^[1]及1997~1999年国家海洋勘测专项调查^[2]等工作中, 对浮游动物进行了专题研究, 但公开报道资料则较少。1989年孙耀强^[2]对广西沿岸20 m以浅海域毛颚类组成及数量进行了初步分析。本研究根据2001年11月至2002

年1月期间在北部湾进行的2个航次调查资料, 对毛颚类的种类组成、数量分布进行探讨, 以进一步确定毛颚类在北部湾海域浮游动物中的地位和作用。

1 材料及方法

1.1 材料来源

2001年11月至2002年1月期间, 对北部湾海区进行了2个航次生态环境的综合调查, 每航次设置32个站位(图1)。样品按照《海洋调查规范》用大型浮游生物网(网长280 cm、网口内径80 cm, 网口面积0.5 m², 网筛绢规格0.507 mm), 从底至表垂直拖取, 加5%(质量分数)福尔马林溶液固定, 带回实验室, 进行挑样、分类鉴定、计数和称重(湿重), 根据滤水量换算出栖息密度和生物量。

1.2 分析方法

优势度^[3]、多样性指数^[4]参照以下公式进行计算:

$$(1) \text{优势度: } Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, n_i 为第 i 种的个体数量, f_i 为该种在各站出现的频率; N 为每个种出现的总个体数。

收稿日期: 2002-09-30; 修订日期: 2002-12-09.

基金项目: 国家海洋勘测专项资助(126-02-07-03); 广东省重大科技兴海项目资助(A200099E01).

作者简介: 杜飞雁(1974-), 女, 硕士生, 从事海洋渔业资源与生态环境研究.

1) 中国水产科学研究院南海水产研究所. 中越北部湾渔业资源联合调查报告[R]. 1961.

2) 中国水产科学研究院南海水产研究所. 生物资源栖息环境调查报告[R]. 2001.

(2) Shannon - Weaver 多样性指数 (H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

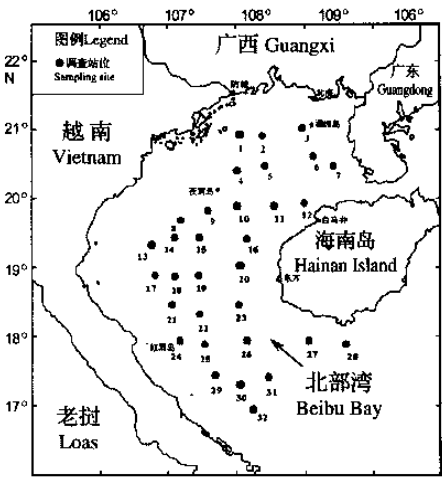


图 1 北部湾调查站位设置示意图
Fig. 1 Sketch map of sampling stations in Beibu Bay, South China Sea

式中, P_i 为第 i 种生物所占该站位总个体数量的比率, S 为总种数。

2 结果

2.1 种类组成与生态类型

调查期间, 共记录毛颚类 13 种(表 1), 其中 9 种为秋、冬季共有种, 占出现种类数的 69.3%; 其余 30.7% 的种类在秋、冬季交替出现, 但这些种类的栖息密度及出现频率均较低。

出现种类中除仅在秋季少量出现的暖温带种强壮箭虫(*Sagitta enflata*)外, 其他均为暖水种。其中以暖水广布种肥胖箭虫的栖息密度和出现频率最高, 秋、冬季的平均栖息密度和出现频率分别为 1.44/m³、0.57/m³ 和 93.8%、96.9%; 其次是暖水近岸种小箭虫(*S. neglecta*)和百陶箭虫(*S. bedoti*), 平均栖息密度和出现频率分别为 0.65/m³、43.8% 和 0.30/m³、54.7%; 太平洋橈虫(*Krohnitta pacifica*)、六鳍箭虫(*S. hexaptera*)亦有较多数量出现。此外, 凶形箭虫(*S. ferox*)、粗壮箭虫(*S. robusta*)和纤细橈虫(*K. subtilis*)等种类较为常见, 其余种类则较少见。

表 1 毛颚类个体平均栖息密度和出现频率

Table 1 Average density and occurrence frequency of Chaetognatha in Beibu Bay, South China Sea

种名 Species	秋季 Autumn		冬季 Winter		生态类型 Type of ecology
	栖息密度/m ⁻³ Density	出现频率/% Occurrence frequency	栖息密度/m ⁻³ Density	出现频率/% Occurrence frequency	
肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	1.44	93.8	0.57	96.90	No. 1
太平洋橈虫 <i>Krohnitta pacifica</i>	0.33	40.6	0.17	34.40	No. 1
凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i>	0.13	18.8	0.06	31.30	No. 1
规则箭虫 <i>Sagitta regularis</i>	0.18	6.3	0.08	3.10	No. 1
粗壮箭虫 <i>Sagitta robusta</i>	0.13	9.4	0.04	3.10	No. 1
六鳍箭虫 <i>Sagitta hexaptera</i>	0.13	12.5	0.15	40.60	No. 2
纤细橈虫 <i>Krohnitta subtilis</i>	0.11	12.5	0.17	6.25	No. 2
太平洋箭虫 <i>Sagitta pacifica</i>	/	/	0.18	6.30	No. 2
飞龙翼箭虫 <i>Pterosagitta draco</i>	/	/	0.19	3.10	No. 2
小箭虫 <i>Sagitta neglecta</i>	0.97	53.1	0.14	34.40	No. 3
百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	0.24	50.0	0.36	59.40	No. 3
美丽箭虫 <i>Sagitta pulchra</i>	0.24	3.1	/	/	No. 3
强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	0.03	3.1	/	/	No. 4

注: No. 1 - 暖水广布种; No. 2 - 暖水近岸种; No. 3 - 大洋性暖水种; No. 4 - 暖温带种。
Note: No. 1 - Warm-water eurytopic species; No. 2 - Warm-water coastal species; No. 3 - Ocean warm-water species; No. 4 - Temperate-water species.

根据上述毛颚类的分布特点, 以及自身的生态习性^[5-10], 将调查中出现的种类分为 4 个生态类型。

(1) 暖水广布型, 北部湾的主要类群, 其种类

多、数量大、出现频率高、分布广。肥胖箭虫、太平洋橈虫为主要代表种, 以外还包括凶形箭虫、规则箭虫及粗壮箭虫。

(2)大洋性暖水型,为较典型的热带大洋性种类,在我国海域可作为外海高温高盐的指示种,出现种类较多,但数量少,冬季数量高于秋季。六鳍箭虫为主要代表种,此外还有纤细纡虫、太平洋箭虫和飞龙翼箭虫。

(3)暖水近岸型,种类较少,但数量较大,主要分布在盐度相对较低的近岸水域和混合水域。秋季数量较高,主要代表种为百陶箭虫和小箭虫,还有数量较少的美丽箭虫。

(4)暖温带型,本次调查中只有强壮箭虫1种,仅在秋末零星出现。

2.2 丰度变化

2.2.1 栖息密度 调查期间各站栖息密度变化为 $0.76 \sim 45.70 / m^3$, 平均 $9.16 / m^3$; 以秋季数量明显高于冬季, 变化范围为 $1.90 \sim 45.70 / m^3$, 平均 $12.03 / m^3$; 主要以肥胖箭虫和小箭虫数量最高, 分别占秋

季总数的 11.3% 、 4.3% 。冬季数量急剧下降, 变化范围为 $0.76 \sim 30.87 / m^3$, 平均为 $6.29 / m^3$, 以肥胖箭虫和百陶箭虫数量最高, 分别占冬季总数的 8.8% 和 3.4% 。

毛颚类总栖息密度的分布虽随季节不同而有差异, 但其总分布趋势为北高南低, 高值区一般出现于湾北部和中西部海域, 而湾中、南部海域数量较低 (图2)。秋季, 数量由东北向西南方向递减。分别在湾东北和中西处形成2个密集中心, 其中以东北处的密集度较高, 密集中心最高栖息密度分别达到 $45.70 / m^3$ 和 $28.48 / m^3$, 主要由毛颚类幼虫、肥胖箭虫、小箭虫等组成。冬季, 高值分布区域向湾西北处岸段回缩, 仅在湾顶西北部形成1个密集中心, 并向东南及湾口方向急剧下降, 湾中、南部大部分海域数量均低于 $5.00 / m^3$ 。密集中心主要由毛颚类幼虫、肥胖箭虫及百陶箭虫大量出现形成。

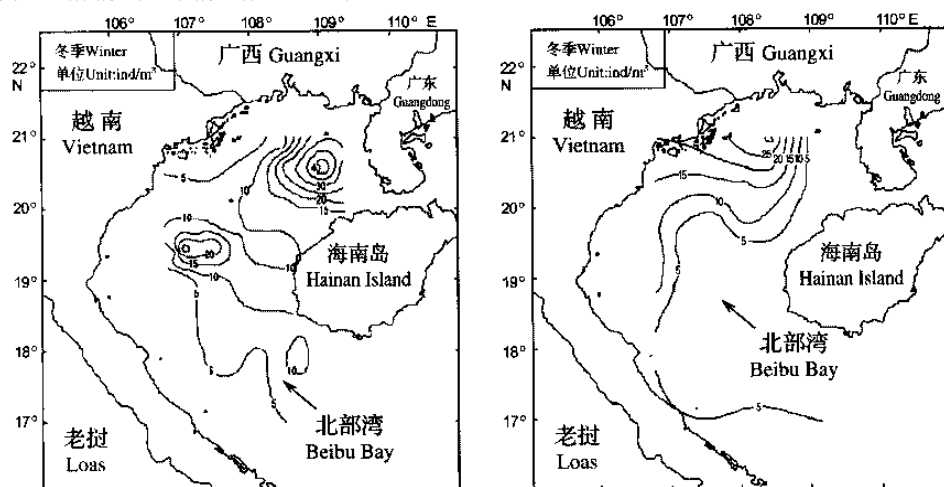


图2 北部湾毛颚类总栖息密度平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of total density of Chaetognatha in Beibu Bay

2.2.2 生物量 秋、冬季毛颚类生物量的变化范围分别为 $2.00 \sim 70.04 \text{ mg}/m^3$ 和 $1.90 \sim 88.40 \text{ mg}/m^3$, 平均值分别是 $23.19 \text{ mg}/m^3$ 和 $19.61 \text{ mg}/m^3$ 。生物量平面分布与栖息密度基本一致, 但变化趋势更为复杂。秋季, 生物量整体上以湾东部海域高于西部, 在湾中西部海域有 $20.00 \text{ mg}/m^3$ 的高密中心出现。冬季, 湾北部毛颚类数量由西北向东南方向递减; 湾中部海域毛颚类数量以东部低于西部, 并在西部海域形成 $30.00 \text{ mg}/m^3$ 以上的高密区; 南部海域数量较低且无明显的密集中心 (见图3)。

2.3 多样性指数 (H')

对秋、冬季毛颚类多样性指数 (Shannon - Weaver H') 进行了分析, 变化在 $0.27 \sim 1.99$, 全海域秋、冬季的指数分别为 0.99 、 0.93 。平面分布总趋势表现为, 由湾内西北沿岸处及湾口以东海域向湾内东南部海域逐渐升高, $H' > 1.5$ 的高值区位于湾口附近。秋、冬季基本一致, 冬季 $H' > 1.0$ 的区域有所扩大。秋季, $H' > 1.5$ 的区域由位于海南岛西南处向西北、东南方向递减。冬季, $H' > 1.5$ 区域则由位于湾口处向湾内东北方向递减, 见图4。

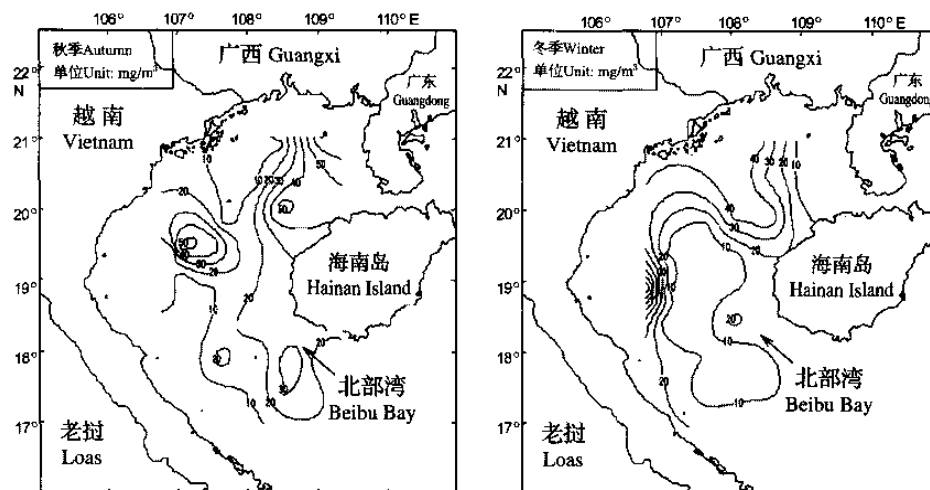


图3 北部湾毛颚类生物量平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of biomass of Chaetognatha in Beibu Bay

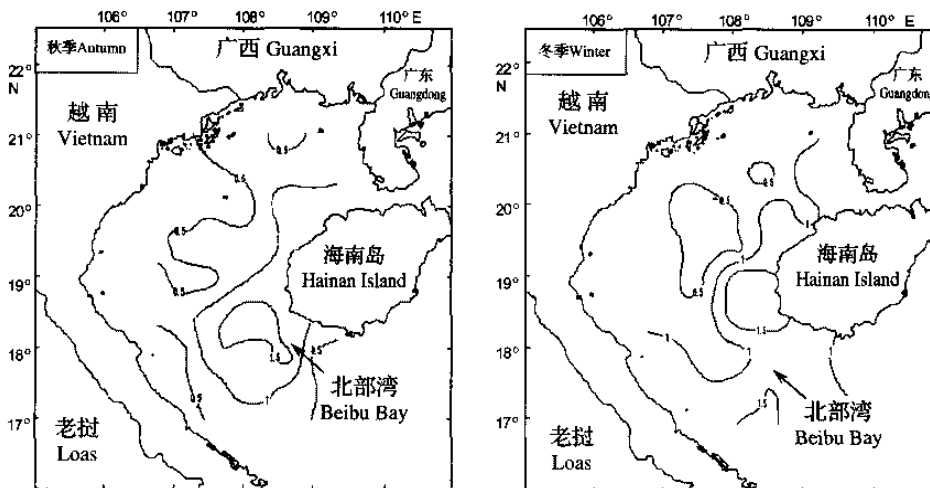


图4 北部湾毛颚类多样性指数的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of diversity index of Chaetognatha in Beibu Bay

2.4 优势种

以优势度 $Y \geq 0.015$ 为划分标准,秋季毛颚类的优势种为肥胖箭虫和小箭虫,优势度分别为 0.11、0.02;冬季为肥胖箭虫和百陶箭虫,优势度分别为 0.09、0.02。

2.4.1 肥胖箭虫 我国东南沿海习见种,北部湾秋、冬季的第1优势种,其数量变化及分布对毛颚类总量的变化产生显著影响。秋季,其平均栖息密度为 $1.44 / m^3$,变化范围为 $0.07 \sim 11.38 / m^3$,出现频

率高达 93.8%。密度 $1.00 / m^3$ 以上高值区主要分布于湾东北部雷州半岛、海南岛沿岸和中西侧,其余海域数量较低。冬季,平均栖息密度急剧下降为 $0.57 / m^3$,变化范围为 $0.06 \sim 2.40 / m^3$,但出现频率提高到 96.9%。密度 $0.80 / m^3$ 以上的高值分布区较秋季分散,分别出现在湾西北部沿岸、海南岛西部沿岸、中西侧海域及湾口以西的海域,仅湾中心和东北部栖息密度低于 $0.80 / m^3$ 。

2.4.2 小箭虫 暖水近岸种,调查期间平均栖息密

度达 $0.65/\text{m}^3$,仅次于肥胖箭虫而处第2位,主要出现于秋季。秋季,变化范围为 $0.13 \sim 4.82/\text{m}^3$,平均栖息密度为 $0.97/\text{m}^3$,出现频率53.1%。主要集中在分布于北部湾东部的沿岸海域,并在海南岛西南沿岸和外海水交汇处形成1个 $2.50/\text{m}^3$ 以上的高密区。冬季由于水温降低和外海水势力的增强,百陶箭虫及大洋性暖水种六鳍箭虫大量出现,平均栖息密度和出现频率急剧下降(分别为 $0.14/\text{m}^3$ 、34.4%),而退出优势种的行列,分布区域也向海南岛西南沿岸的小范围海域收缩,变化范围为 $0.03 \sim 0.53/\text{m}^3$ 。

2.4.3 百陶箭虫 暖水近岸种,秋、冬两季均有较高的出现频率,分别为50.0%、59.4%。秋季,平均栖息密度为 $0.24/\text{m}^3$,数量较低,但分布较广。在湾东北雷州半岛近岸、西北越南近岸和海南岛西南近岸这3处,分布较为集中、数量较高,其余海域数量较低,湾中部数量几近于零。冬季,百陶箭虫大量出现,成为第2大优势种,平均栖息密度上升为 $0.36/\text{m}^3$ 。随水团的运动, $0.40/\text{m}^3$ 以上的高值区推

移至湾顶、湾中西部处,主要密集分布于湾顶处。在海南岛东南侧海域也有一小的密集区出现,其余海域数量很低。

3 讨论

毛颚类对海洋环境变化敏感,与水系、海流依存性较强。现结合北部湾水系、水团的情况,依据现场实测的水温、盐度(各水层均值)数据,对北部湾毛颚类分布规律进行初步的探讨。

北部湾受广西和越南沿岸江河入海径流冲淡水及经湾口以东入湾的外海水的影响,加上由琼州海峡入湾的南海北部沿岸流进入湾后变性而形成的混合水的影响,水文状况较为复杂。其中冲淡水形成的沿岸水团主要分布在雷州半岛至越南沿岸一带,是北部湾的优势水团;由湾口进入北部湾的外海水,以高温、高盐为特征,其势力稍次于沿岸水;混合水相对与外海水呈低温、低盐性质,主要分布于湾中部沿岸水团和外海水之间的大面积海域^[11],如图5所示。

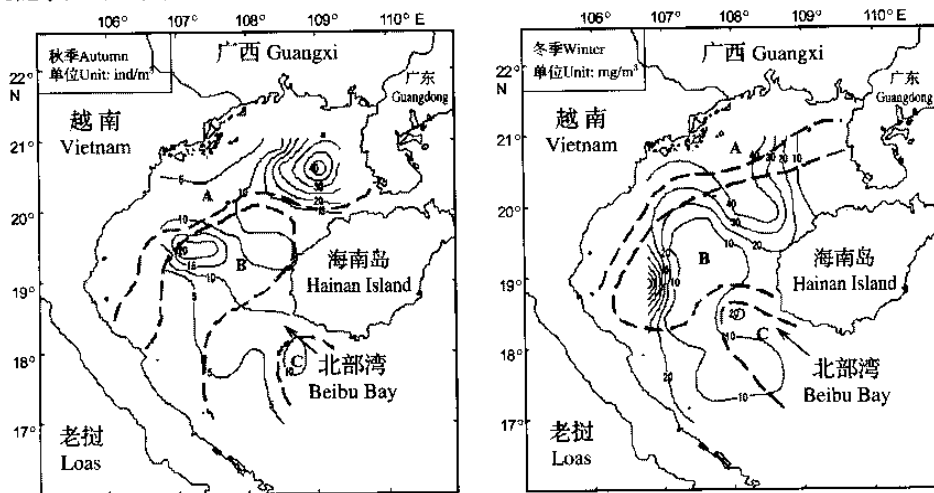


图5 北部湾水团分布区域与栖息密度(秋)、生物量(冬)分布复合图

(A 沿岸水;B 混合水;C 外海水)

Fig. 5 Sketch map of water mass and density (Autumn), biomass (Winter) in Beibu Bay

(A: the coastal water mass; B: the blending water mass; C: the open sea water mass)

秋季,大风江、红河等江河入海径流增大,沿岸水势力增强,向湾内推进势头猛烈,控制了湾北部和西部的大部分海域,从 H' 值分布看,该区域较低;而外海水势力则相对较弱,湾内控制区域较小,主要分布在 $107^{\circ}20'E$ 、 $19^{\circ}00'N$ 东南部海域,同时 H' 值在

该区相对较高(见图4、5)。冬季,沿岸水势力减弱,外海水势力增强,在外海水向湾内推进作用下沿岸水向湾西北部回缩,毛颚类的栖息密度和生物量的密集区也相应呈现出向湾西北部退缩的趋势,近岸种的栖息密度、出现频率及种类数均减少,而外海高

盐种向湾内渗透,其种类数和栖息密度、出现频率有所升高,表现为湾口附近的 H' 值普遍升高。由此可见,毛颚类生物量、栖息密度和 H' 的平面分布及其季节变化受水团、水系影响显著,与其消长密切相关。沿岸水团控制区域 H' 值一般较低,受外海水影响其海域 H' 值较高;水团交汇区域,毛颚类栖息密度和生物量均较高,而混合水团中心所在海域数量最低。

温度、盐度也对毛颚类的分布具有明显的影响,表 2 列出了秋、冬季毛颚类生物量、栖息密度及多样性指数与各水层温、盐均值的相关系数,从表中可以看出,秋、冬季栖息密度与水温、盐度显著相关($P < 0.05$);秋季生物量与盐度和冬季多样性指数与水温的相关性非常显著($P < 0.01$)。表明水温和盐度对毛颚类的分布具明显影响。

表 2 秋、冬季毛颚类各参数与环境因子的相关系数表

Table 2 Correlative coefficient between three parameters of Chaetognatha and environmental factors in different seasons

项目 Item	秋季 Autumn			冬季 Winter		
	生物量 Biomass	栖息密度 Density	多样性指数 Diversity(H')	生物量 Biomass	栖息密度 Density	多样性指数 Diversity(H')
水温 Temperature	0.267	0.403 **	-0.246	-0.289	-0.485 **	0.511 **
盐度 Salinity	-0.379 *	-0.595 **	0.339	-0.218	-0.468 **	0.039

* $-P < 0.05$; ** $-P < 0.01$. $n = 32$

北部湾秋、冬季以暖水广布种占绝对优势,同时还有适盐较低的暖水近岸种和高温、高盐的外海暖水种。3 种优势种,除肥胖箭虫为暖水广布种外,小箭虫、百陶箭虫皆为暖水近岸种,反映了秋、冬两季北部湾均以沿岸水势力为强的特征。与孙耀强对广西沿岸水域研究结果一致,肥胖箭虫为北部湾海域主要优势种^[2]。

强壮箭虫在调查区零星出现,该种为暖温带近岸表层种,具有典型喜冷水性和低盐性特点,是黄、渤海区大型浮游动物的终年优势种类,一般作为黄海水团和日本内海低盐水的指标种^[12]。在我国一般分布于 30°N 以北、盐度低于 32 的沿海区域^[11]。在北部湾出现区域的表层温度、盐度分别为 24.2°C 和 33.8 ;各水层温度和盐度均值为 22.4°C 和 33.6 ,与文献报道强壮箭虫的适应范围有一定差异,其原因有待进一步探讨。

致谢:中国水产科学研究院南海水产研究所章淑珍研究员协助指导样品鉴定,孙典荣、钟智辉、黄梓荣、谭永光、陈国宝、梁新、王雪辉、舒黎明、杨美兰等同志协助海上调查、样品采集和环境要素分析。此外,黄洪辉、蔡文贵、甘居利同志在写作过程中提出许多宝贵意见,特致谢忱。

参考文献:

[1] 余勉余主编. 中国浅海滩涂渔业资源[M]. 杭州:浙江科技

术出版社,1990. 36-38.

- [2] 孙耀强. 北部湾广西沿岸毛颚类组成及数量初步分析[J]. 热带海洋,1989,5(4):39-45.
- [3] 陈清潮,黄良民,尹健强,等. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究[A]. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I [C]. 北京:海洋出版社,1994. 42-50.
- [4] 国家技术监督局. 海洋调查规范[M]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [5] 林雅蓉. 东海陆架区毛颚动物的分布[J]. 海洋科学集刊,1982,19:51-63.
- [6] 戴燕玉. 台湾海峡西部毛颚类的生态研究[J]. 海洋学报,1989,1(4):486-492.
- [7] 陈 棚,黄加祺,朱长寿,等. 闽南-台湾浅滩渔场毛颚类的生态研究[A]. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究 [C]. 北京:科学出版社,1991. 504-513.
- [8] 戴燕玉. 中国海毛颚类物种多样性的研究[J]. 生物多样性,1995,3(2):69-73.
- [9] 戴燕玉. 中太平洋西部毛颚类的分布[J]. 海洋学报,1995,7(4):101-106.
- [10] 戴燕玉. 南海中部毛颚类的生态研究[J]. 海洋学报,1996,18(4):131-136.
- [11] 农牧渔业部水产局,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.
- [12] 郑执中,肖貽昌. 毛颚动物作为中国海及其邻近水域海流指标种的初步探讨[A]. 中国海洋湖沼学会 1963 年学术年会论文摘要汇编[C]. 北京:科学出版社,1964. 84-86.

1) 中华人民共和国科学技术委员会海洋综合调查办公室. 全国海洋综合调查报告(第八册)[R]. 中国近海浮游生物的研究[C], 1964.

Species composition and quantity distribution of Chaetognatha in Beibu Bay in autumn and winter

DU Fei-yan^{1,2}, LI Chun-hou¹, JIA Xiao-ping¹

(1. Key Laboratory of Marine Fishery Ecology Environment and Pollution Monitoring & Control Techniques, Chinese Academy of Fishery Sciences, South China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Two cruises were carried out for ecological survey on zooplankton in Beibu Bay (South China sea) from November 2001 to January 2002. Thirteen species of Chaetognatha were identified, and the species composition in the collected specimens was simple. No obvious seasonal variation was observed. During the survey, the density of Chaetognatha ranged from 0.76 to 45.7 ind/m³ with the average of 12.03 ind/m³ in autumn and 6.29 ind/m³ in winter, and the biomass ranged from 2.00 to 70.04 mg/m³ with the average of 23.19 mg/m³ in autumn and 19.61 mg/m³ in winter, while the diversity index ranged from 0.18 to 1.99 with the average of 0.81 in autumn and 0.90 in winter. The Chaetognatha were mainly dominated by *Sagitta enflata* (in both seasons), *S. neglecta* (in autumn) and *S. bedoti* (in winter), which accounted for 10.4%, 3.1% and 1.8% of the total density, respectively. From north to south and west to east, the distributions of Chaetognatha density and biomass showed decreasing tendency, but varied slightly in different seasons. The diversity index was high in the mouth and low in the top of the bay, and showed an decreasing trend from the bay mouth to the northwest inside the bay. The relationships between the species composition and quantity distribution of Chaetognatha and the environmental factors, such as aquatic system, water mass, water temperature and salinity, etc., are also discussed.

Key words: Chaetognatha; species composition; quantity distribution; Beibu Bay

(page 245 continued)

Treatment of cultivating wastewater by three types of filter media

HE Jie, LIU Chang-Fa, WANG Hai, ZHAO Bing-Hai

(School of Life Science and Technology, Dalian Fisheries College, Dalian 116023, China)

Abstract: The cultivating wastewater of Japanese flounder was treated by biological purifying devices with the filter media of sand, activated carbon granule and ziolite, respectively. The initial body length of the flatfish was 10–15 cm and the salinity was 30, pH 8.0–8.1 and water temperature (20 ± 1) °C, when the apparent ammonia accumulating ratio of the flatfish was 0.248 g/(kg · d), and the phosphor accumulating ratio was 0.537 g/(kg · d), the resolvable organism accumulating ratio was 1.406 g/(kg · d). For the three types of biological purifying devices, the average removing ratios of ammonia were 34.79 g/(m³ · d), 35.60 g/(m³ · d) and 36.17 g/(m³ · d), respectively, and the average degradative ratios of resolvable organism (on COD basis) were 1.760 g/(m³ · d), 2.134 g/(m³ · d) and 2.420 g/(m³ · d), respectively. The purification effects were obvious with the three types of filter media in treating cultivating wastewater, and ziolite has the best treating effect.

Key words: biological purifying device; sand; activated carbon; ziolite; cultivating wastewater purification