

文章编号: 1004-7271(2004)03-0203-06

东海毛颚类数量分布与环境关系

徐兆礼¹, 戴一帆², 陈亚瞿¹

(1. 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,
2. 复旦大学生命科学学院, 上海 200433)

摘要 根据 1997-2000 年东海 23°30' ~ 33°N, 118°30' ~ 128°E 海域 4 个季节海洋调查资料, 对东海毛颚类的数量分布, 优势种丰度对总丰度变化的回归贡献进行了研究。结果表明: 毛颚类总丰度有明显的季节变化, 4 季平均丰度(不含台湾海峡水域)为秋季(540 ind/10² m³) > 夏季(322 ind/10² m³) > 冬季(235 ind/10² m³) > 春季(33 ind/10² m³)。毛颚类高丰度区的移动和变化与带鱼渔场的移动和变化基本一致。春、秋季毛颚类总丰度与表层水温线性相关关系非常显著。肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、海龙箭虫(*Sagitta nagae*)和百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)是构成东海毛颚类总丰度变化的最主要种类, 其中肥胖箭虫具有较广泛的空间与时间分布的适应性, 海龙箭虫分布的水温偏低, 是影响冬、春季总丰度变化的主要优势种, 百陶箭虫分布的水温偏高, 是影响夏、秋季总丰度变化的主要优势种。

关键词 东海; 浮游动物; 毛颚类; 数量分布; 回归贡献

中图分类号 S932.8 文献标识码: A

Relationship between Chaetognatha abundance and environmental factors in the East China Sea

XU Zhao-li¹, DAI Yi-fan², CHEN Ya-qu¹

(1. Key and Open Laboratory of Marina and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China;
2. School of Life Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Based on the data of four seasonal investigation in the East China Sea (23°30' ~ 33°N, 118°30' ~ 128°E) in 1997-2000, this paper deals with the approach for abundance distribution of Chaetognatha and regression contribution of abundance of dominant species to total abundance. Results showed that there was clearly seasonal change for average abundance of Chaetognatha that was autumn (540 ind/10² · m³) > summer (322 ind/10² · m³) > winter (235 ind/10² · m³) > spring (33 ind/10² · m³). The highly abundant area of Chaetognatha corresponded with fisheries ground of Largehead hairtail. The variation of Chaetognatha abundance was related remarkably with surface temperature in autumn. *Sagitta enflata*, *Sagitta nagae* and *Sagitta bedoti* were the most important dominant species that effected the changes of abundance of Chaetognatha in the East China Sea. *Sagitta enflata* can widely be distributed in different environment at the East China Sea in different seasons. *Sagitta nagae* distributed at the lower temperature was the mainly dominant species that affected variation of total abundance in the spring and

收稿日期 2004-06-04

基金项目 国家重点基础研究发展规划 973 项目(G1999043707)和国家海洋勘测专项(126)

作者简介: 徐兆礼(1958-), 女, 浙江温岭人, 研究员, 主要从事海洋浮游动物及海洋生态学的研究。Tel: 021-65686991, E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

winter. *Sagitta bedoti* distributed at the warmer temperature was the mainly dominant species that affected variation of total abundance in the autumn and summer.

Key words :East China Sea Zooplankton ;Chaetognatha ;abundance ; regression contribution

毛颚类是海洋浮游动物的主要类群之一,种类虽然不多,其数量在东海仅次于桡足类和海樽类居第三位。毛颚类为肉食性海洋动物,主要捕食小型浮游动物,有时也以鱼卵、仔鱼等为食物,本身又是鱼类的优质饵料^[1]。海洋渔业捕捞作业中,毛颚类的数量分布常被用来判断鱼群的大小和渔场的位置^[2],因而在渔业生产实践中具有重要的意义。

我国有关毛颚类生态学研究曾有过不少报道。如林雅蓉^[3]、戴燕玉^[4-7]、张谷贤等^[8]、陈栩等^[9]、杜飞雁等^[10]、蒋玫等^[11]等对东海陆架区、台湾海峡、南海中部、南沙群岛、北部湾等海域毛颚类的生态特征进行了研究。本文主要对东海中尺度范围,即 23°30' ~ 33°N、118°30' ~ 128°00'E 海域毛颚类数量从平面分布、季节变化、优势种丰度对总丰度变化的回归贡献及其与水文环境和渔业资源间的关系等方面进行了探讨。为东海浮游动物种群动力学研究提供重要的基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究海域及取样方法

1997 - 2000 年在东海 23°30' ~ 33°00' N、118°30' ~ 128°00' E 海域进行春(1998 年 3 - 5 月)、夏(1999 年 6 - 8 月)、秋(1997 年 10 - 11 月)和冬(2000 年 1 - 2 月) 4 个航次的海洋综合调查;调查站位设置及分海区范围见图 1。因台湾海峡海域冬季没有调查,季节变化资料不包括台湾海峡海域;调查期间共采集浮游动物样品 508 个。浮游动物样品采集和室内处理均按照“海洋调查规范”进行,用大型浮游生物网(口径 80cm、筛绢 GG36、孔径 0.505mm)由底至表层垂直拖曳采集,按个体计数法在立体显微镜下计数测定浮游动物样品中毛颚类丰度(单位:ind/10²m³),并鉴定到种。

为了详细分析毛颚类与栖息环境的关系,依据东海区渔业资源调查和区划^[12],将东海调查区分成 5 个海区,即:东海北部近海(I)、东海北部外海(II)、东海南部近海(III)、东海南部外海(IV)和台湾海峡(V)。

1.2 数据处理

取毛颚类优势度 $Y \geq 0.02$ 的种类为优势种^[13]。

优势度计算公式: $Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$,

上式中, 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。

计算各优势种对总丰度的回归贡献,先以总丰度为因变量,各优势种为自变量,根据 t 值筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种,然后计算标准回归系数(β)。标准回归系数作为优势种丰度对总丰度回归贡献指数值用于研究各优势种对总丰度变化的影响,具体计算参考文献[14]。

分析总丰度与环境因子之间的相关性,用同步观测到的资料,取表层(t_0)、10m 层(t_{10})水温(°C)和表层(S_0)、10m 层盐度(S_{10}) 4 个因子作自变量,总丰度为因变量,采用逐步回归分析方法计算,具体计算

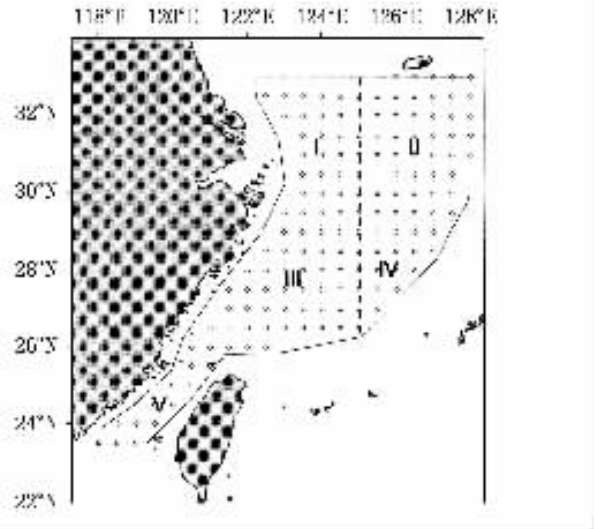


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

过程参考文献 [15]。

2 结果

2.1 总丰度的变化

2.1.1 季节变化

东海调查区(不含台湾海峡)4季毛颚类平均丰度较高,为 $282 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$,仅次于桡足类和海樽类,居第三位,占东海浮游动物总丰度的 6.84% [16]。由表1可见,毛颚类分布有明显的季节变化,秋季达到4季最高峰,夏、冬季次之,春季极低。除东海北部外海(II)冬季丰度($511 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$)最高外,其余4个分海区丰度的季节变化与全海区变化规律基本一致,均以秋季最高。5个分海区中东海北部近海(I)毛颚类平均丰度最高,东海南部近海(III)次之。

表1 东海各海区毛颚类平均丰度的季节变化

Tab.1 Seasonal variation of Chaetognatha abundance in the East China Sea

$\text{ind}/10^2\text{m}^3$

季节	丰度					I ~ IV 平均值	全区均值 \pm SE
	I	II	III	IV	V		
春	20	18	57	35	100	33	42 ± 5
夏	371	348	344	226	296	322	337 ± 31
秋	667	234	707	552	740	540	571 ± 86
冬	205	511	97	127		235	
平均	316	278	301	235	282	299	

2.1.2 平面分布

春季,大部分水域丰度在 $50 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$ 以下,最高值($400 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$)位于温州近海 $27^{\circ}30'N$, $121^{\circ}30'E$ 水域(图2a),主要由海龙箭虫组成。东海北部水温较低,毛颚类总丰度也明显偏低;东海南部水域虽然平均水温较高,但毛颚类总丰度无明显增加。台湾海峡水域丰度最高。

夏季,总丰度明显高于春季,大于 $500 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$ 的分布区位于浙江北部近海及长江口外海 $124^{\circ}30'E$ 以东水域;大于 $1000 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$ 的分布区主要位于舟山渔场、浙江北部和浙江南部近海(图2b)。长江口外 $31^{\circ}N$, 东经 125° 的密集区主要由美丽箭虫(*Sagitta pulchra*)、百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)和海龙箭虫(*Sagitta nagae*)组成,而舟山渔场($29^{\circ}30'N$, 东经 $123^{\circ}30'E$)附近的密集区主要由肥胖箭虫组成,浙江南部近海水域的密集区主要由肥胖箭虫及海龙箭虫组成。

秋季, $500 \sim 1000 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$ 的高值区位于长江口外 $31^{\circ} \sim 32^{\circ}30'N$, $123^{\circ}E$ 以西及浙江北部 $123^{\circ}E$ 以西水域,呈块状分布(图2c),密集中心最高丰度达 $8492 \text{ ind} \cdot 10^{-2}\text{m}^{-3}$,位于温州近海,主要由百陶箭虫构成。

冬季,大部分水域丰度在 $250 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$ 左右,大于 $500 \text{ ind}/10^2\text{m}^3$ 的密集区主要出现在 $31^{\circ}30' \sim 32^{\circ}00'N$, $124^{\circ}E$ 以西水域,中心丰度为 $1290 \text{ ind} \cdot 10^{-2}\text{m}^{-3}$ (图2d),主要由海龙箭虫组成。

2.2 优势种对总丰度的贡献

从表2可见,春季优势种对总丰度变化的贡献均十分显著,其中百陶箭虫优势度最低,对总丰度的贡献最大;夏季贡献率的变化趋势与优势度相同,肥胖箭虫 Y 值最高,同时其对总丰度变化的贡献也最大,海龙箭虫次之;秋季优势种种数最多(5种),除美丽箭虫外,其它4个对总丰度变化的贡献均极其显著,肥胖箭虫和百陶箭虫 Y 值和 β 值都相近,太平洋箭虫(*Sagitta pacifica*)和凶形箭虫(*Sagitta ferox*)的 Y 值相同,但前者的 β 值明显大于后者;冬季3种优势种中2个对总丰度的变化有显著的贡献,其中狭长箭虫(*Sagitta bruani*)对总丰度变化的贡献不显著。此外,尽管肥胖箭虫 Y 值是海龙箭虫的1倍多,但其 β 值仅为海龙箭虫的一半。

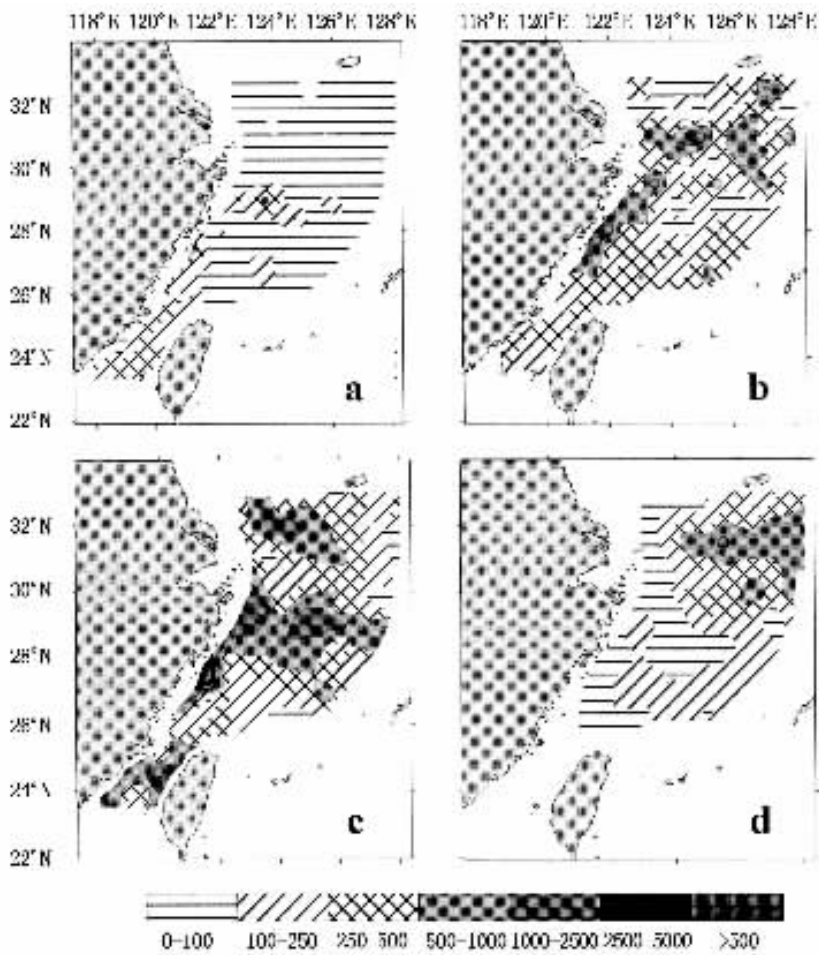


图 2 东海毛颚类总丰度平面分布

Fig.2 Horizontal distribution of Chaetognatha abundance in the East China Sea

a. 春; b. 夏; c. 秋; d. 冬; 单位为 ind/10²m³

表 2 优势种丰度对毛颚类总丰度的贡献

Tab.2 Contribution of abundance of dominant species to total abundance of Chaetognatha

优势种	春					夏				
	Y	\bar{X}	β	t	显著性	Y	\bar{X}	β	t	显著性
肥胖箭虫	0.15	11	0.42	17.30	***	0.45	166	0.74	37.31	***
海龙箭虫	0.17	12	0.39	11.62	***	0.13	62	0.42	19.22	***
百陶箭虫	0.05	7	0.47	13.46	***	0.07	42	0.22	9.87	***
优势种	秋					冬				
	Y	\bar{X}	β	t	显著性	Y	\bar{X}	β	t	显著性
肥胖箭虫	0.38	225	0.98	50.17	***	0.50	143	0.34	10.80	***
海龙箭虫						0.21	63	0.69	15.89	***
百陶箭虫	0.42	259	1.00	204.98	***					
太平洋箭虫	0.02	21	0.75	11.68	***					
凶形箭虫	0.02	13	0.50	5.94	***					
美丽箭虫	0.02	12	0.12	1.19	--					
狭长箭虫						0.02	17	0.03	0.94	--

注: Y 为优势度; \bar{X} 为平均丰度(ind/10²m³); β 为标准回归系数; t 为 t 检验值; "--" p > 0.05; "***" P < 0.001;

2.3 总丰度与环境的关系

用逐步回归分析各个季节毛颚类总丰度与水环境因子的关系。结果表明,夏季和冬季毛颚类总丰度与表层和10m层水温、表层和10m层盐度等水文环境因子线性相关关系不显著。春季毛颚类总丰度与表层水温、10m层水温二元线性相关关系非常显著,回归方程为 $y = -0.26 + 0.42t_0 - 0.38t_{10}$, F 值 = 20.55, $P < 0.0001$ 。盐度指标因为线性相关关系不显著已从回归方程中剔除。秋季毛颚类总丰度与表层温度一元线性相关关系非常显著, $y = -80.36 - 3.21 t_0$, F 值 = 21.44, $P < 0.0001$ 。

3 讨论

3.1 毛颚类数量分布与渔场的关系

从图2可见,从春季到秋季,毛颚类高丰度分布区逐渐扩大。夏季在浙江北部、南部近海以及长江口外渔场形成3个密集区。秋季密集区继续向北向外海发展,在长江口以北及舟外渔场又形成两个高密度区,前者是由肥胖箭虫构成,后者则以肥胖箭虫为主,百陶箭虫为次。而原有的分布区密度继续增高,浙江北部近海的高密度区由百陶箭虫为主,肥胖箭虫为次构成。浙江南部近海由百陶箭虫(7989 ind/10²m³)构成一个4季最高的密集区(8494 ind/10²m³)。从秋季再到春季,毛颚类高丰度区向外海、向南漂移,范围逐渐缩小,随着水温逐渐降低,毛颚类高丰度分布区逐渐向台湾海峡南部集中。

东海带鱼(*Largehead hairtail*)是一种肉食性凶猛鱼类,毛颚类是其幼鱼主要的摄食对象。每年的春、夏之交,带鱼在浙江近海,舟山渔场产卵,产卵后的带鱼及其幼鱼形成索饵群体在夏、秋之交游向长江口渔场,长江口以北的江苏近海,大沙渔场索饵。秋季,随水温降低,肥育后的带鱼形成越冬群体在冬、秋之交沿长江口渔场,舟山渔场向南洄游,并在浙江北部近海折向东北及东南的124°E以东的江外,舟外和鱼外渔场越冬^[12]。

由以上分析可知,毛颚类高丰度区的移动和变化与带鱼渔场的移动和变化基本一致,这种一致,不但表现在分布区空间上的一致,也表现为时间上的一致。由此可以认为,毛颚类数量的变化,无论在时间上,还是在空间上都是带鱼渔场的一个良好的标志。

3.2 东海毛颚类数量分布与水文环境的关系

逐步回归分析计算结果显示,毛颚类总丰度与表层和10m层盐度的线性相关关系不显著;夏季和冬季毛颚类总丰度与水文环境因子的线性关系不显著;春季总丰度与表层水温呈正相关关系,与10m层水温呈负相关。由于受气温影响,春、秋季表层水温动态变化较为频繁,在水温较低的环境下,东海的毛颚类是对水温较为敏感的浮游动物类群。除强壮箭虫(*Sagitta crassa*)等极少数种为分布在北方的温带种,东海水域中绝大多数毛颚类都是暖水种。从表1可见,春季东海北部水域中毛颚类总丰度为4季中最低,这可能是该水域近海表层水温较低(平均14.58℃, 8.43~21.34℃)的缘故。而东海南部因表层水温较高,东海北部外海则受黑潮和对马暖流影响水温也较高,这些水域毛颚类总丰度明显高于东海北部近海。秋季毛颚类总丰度与表层水温呈显著的负相关性。东海秋季水温普遍较高,表层水温19.40~25.65℃,在水温较高的情况下,水温本身已不是限制毛颚类总丰度数量增长的因素。在东海北部近海和浙江近海,该处水域水温虽然低于东海外海,但由于水团交汇,岛屿众多,有上升流,营养盐丰富,基础生产力高,饵料生物丰富^[16],出现了多个毛颚类高密度区。由此,秋季在表观上显示出总丰度与表层水温呈负相关关系。

3.3 不同优势种对毛颚类总丰度的回归贡献分析

优势种对总丰度的回归贡献是该优势种与总丰度的变化相关性和本身数量的综合测度。它从另一个侧面说明优势种在该水域生态系统中的重要性。当一个优势种丰度的变化,并能导致总丰度的变化时,可以认为该优势种对总丰度的变化有贡献。

肥胖箭虫为东海4季唯一的优势种,其对总丰度的变化贡献率在春、夏和秋3个季节都较高。可以

认为,肥胖箭虫是东海水域中最重要的优势种。其分布与总丰度的变化有较好的一致性。

海龙箭虫在冬、春和夏 3 个季节内均为优势种,并且它的优势度在水温较低的冬、春季较高,夏季较低,水温较高的秋季是非优势种。特别是冬季,海龙箭虫对总丰度变化的贡献指数(β)值明显超过肥胖箭虫,作为仅有的 3 个优势种,海龙箭虫尽管优势度仅为肥胖箭虫的一半,但其总丰度变化的贡献是后者的一倍。反映出冬季海龙箭虫丰度变化是该季毛颚类总丰度变化的主要原因。

春季百陶箭虫的优势度低,仅为 0.05,但对总丰度的贡献指数(β)值高达 0.47,为该季各优势种中的最大值。在水温较高的秋季,百陶箭虫无论是优势度还是对总丰度变化贡献指数(β)值均最高,并在浙江沿海形成高度聚集。百陶箭虫在水温较低的冬季则是非优势种。

上述分析表明,肥胖箭虫,海龙箭虫,百陶箭虫是构成东海毛颚类总丰度变化的最主要因子。其中,肥胖箭虫具有较广泛的空间与时间的分布适应性,海龙箭虫分布的水温偏低,是冬、春季毛颚类总丰度变化的主导因子。百陶箭虫分布的水温偏高,是夏、秋季总丰度变化的主导因子。

同步的温度和盐度资料由陈渊泉研究员提供;王云龙、袁骥副研究员、蒋玫、朱江兴、韩金娣等同志在海上样品采集、室内样品处理、数据统计等做了大量的工作,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 郑重,李少菁,许振祖.海洋浮游生物学[C].北京:海洋出版社,1984.519-523.
- [2] 陈亚瞿,朱启琴,陈清潮.东海浮游动物量的分布特征[J].海洋学报,1980,2(4):115-121.
- [3] 林雅蓉.东海陆架区毛颚动物的分布[J].海洋科学集刊,第19集,1982,19:51-63.
- [4] 戴燕玉.厦门港毛颚类的分布[J].台湾海峡,1987,1(1):46-52.
- [5] 戴燕玉.台湾海峡西部毛颚类的生态研究[J].海洋学报,1989,31(4):481-486.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张谷贤,陈清潮.南沙群岛海区春夏期间的毛颚类[A].南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集[C].北京:海洋出版社,1991.
- [9] 陈栩,黄加棋,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.
- [10] 杜飞雁,李纯厚,贾晓平.北部湾海域秋冬季毛颚类的种类组成和数量分布[J].中国水产科学,2003,10(3):235-241.
- [11] 蒋玫,王云龙,徐兆礼.台湾海峡毛颚动物分布的初步研究[J].台湾海峡,2003,22(2):150-154.
- [12] 农业部水产局.东海区渔业资源调查和区划[M].上海:华东师范大学出版社,1987.149-150,281-299.
- [13] 徐兆礼,陈亚瞿.东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲳鲆渔场的关系[J].生态学杂志,1989,8(4):13-15.
- [14] 中国科学院计算中心概率论统计编著.概率统计计算[M].北京:科学出版社,1979.105-144.
- [15] 陈希孺.王松桂.近代回归分析[M].合肥:安徽教育出版社,1987.212-217.
- [16] 徐兆礼,陈亚瞿.浮游动物[A].东海大陆架生物资源与环境[C].上海:上海科技出版社,2003.169-205.