

热带东北印度洋海域毛颚类的群落结构特征*

李开枝, 柯志新, 李刚, 尹健强, 黄良民

中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广东 广州 510301

摘要: 毛颚类(Chaetognaths)是海洋浮游动物中的一个特殊类群, 其种类和数量分布对探索海流和水团变化以及海洋食物链中能量传递具有重要意义。文章根据 2011 年 4~5 月在印度洋东北海域(80°E~98.5°E, 5°S~6°N)29 个站的调查资料, 分析了毛颚类种类组成、丰度分布和群落结构特征。共鉴定毛颚类 14 种, 以暖水大洋广布种为主, 其中肥胖箭虫 *Sagitta enflata*、太平洋箭虫 *Sagitta pacifica*、飞龙翼箭虫 *Pterosagitta draco* 和凶形箭虫 *Sagitta ferox* 是调查海域的优势种。依据调查站位设置及环境特征, 将调查海域分东部断面、赤道断面和西部断面。种数变化范围为 5~14 种, 种数分布不均匀, 东部断面每站一般低于 10 种, 而赤道断面及西部断面的种数相对较丰富。毛颚类平均丰度为 $5.35(\pm 2.82)\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$, 分布亦不均匀, 西部断面的丰度比赤道和东部断面均高。群落结构分析表明, 调查海域毛颚类可分 3 个组群(相似度水平 50%), 组群 I 包括 11 种, 是调查海域的主要种类, 分布较广, 而另外两个组群仅 3 种, 主要出现在东部和西部断面的少数调查站; 调查站之间的相似度较高, 特别是西部断面站位之间的相似度>70%。西部断面受沿岸水和涌升水的影响, 出现较高的物种多样性和丰度。

关键词: 浮游动物; 毛颚类; 种类; 丰度; 印度洋;

中图分类号: Q959.27 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2014)04-0040-07

Community structure of chaetognaths in the tropical northeastern Indian Ocean

LI Kai-zhi, KE Zhi-xin, LI Gang, YIN Jian-qiang, HUANG Liang-min

Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

Abstract: Chaetognaths, a unique group of marine zooplankton, play an important role in the trophic web of the pelagic realm. This study examined the species composition, abundance distribution and community structure of chaetognaths based on the data obtained from the tropical northeastern Indian Ocean in April–May, 2011. A total of 14 species of chaetognath were identified, characterized by the ecological groups with widespread tropical species. The dominant species were mainly represented by *Sagitta enflata*, *Sagitta pacifica*, *Pterosagitta draco*, and *Sagitta ferox*. The study area could be divided into three transects: eastern, equatorial and western transects based on the locations of sampling stations and marine environment. The range of species richness was from five to 14, with the high diversity at the equatorial and western transects, and below 10 at the eastern transect. An average of chaetognath abundance was $5.35(\pm 2.82)\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$, with an uneven distribution characterized by high values at the western transect and low values at the equatorial and eastern transects. Results of species cluster analysis showed that the species of chaetognaths in the study area could be divided into three groups at the similarity level of 50%, with one group including 11 species and the other two groups only including three species each. The similarity percentage of community structure at the western transect was higher than at the other transects. The high diversity and abundance of chaetognaths at the western transect could be due to the influence of both coastal waters and upwelled waters.

收稿日期: 2013-10-08; 修订日期: 2014-03-04。林强编辑

基金项目: 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目(SQ201307); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA11020203); 国家自然科学基金项目(31101619、41276159、41130855)

作者简介: 李开枝(1977~), 女, 河南省信阳市人, 副研究员, 从事浮游动物系统分类和生态学研究。E-mail: likazhi@scsio.ac.cn

*感谢“实验一号”科学考察船及其全体船员的帮助; 感谢中国科学院南海海洋研究所物理海洋研究室提供温度、盐度数据; 感谢靳少非在浮游动物拖网中的帮助。

Key words: Zooplankton; chaetognaths; species; abundance; Indian Ocean

毛颚类(Chaetognaths)是无脊椎动物的一个特有门类,分类地位尚不确定。毛颚类是海洋浮游动物的重要类群,现约 100 种左右,全部生活在海洋,分布范围较广,栖息于两极到热带海域的不同水层(萧贻昌, 2004; Casanova, 1999)。不同深度的水层,其种类组成和数量分布不同,通常 200m 水层以上的种类和数量最多;不同水层的代表种不同,如多变箭虫 *Sagitta decipiens* 和寻觅箭虫 *Sagitta zetesios* 等是大洋中层种,而深海真纡虫 *Eukrohnia bathypelagica* 和钩状真纡虫 *Eukrohnia fowleri* 等是典型深层种(萧贻昌, 2004; 张谷贤 等, 1983; Alvarino, 1967; Casanova, 1999)。毛颚类在不同水团交汇区出现聚集现象,丰度较高(Bohata, 2013; Pierrot-Bilts, 2008; Pierrot-Bilts, et al, 2010)。

印度洋(Indian Ocean)是世界第三大洋,根据环境特征分赤道(10°S 以北)、中部(10°S~40°S)和亚南极(40°S 以南)3 个海域(Wyriki, 1973)。印度洋不同海区温度和盐度差异影响浮游生物的分布(Andreu, et al, 1989)。已有阿拉伯海和孟加拉湾以及安达曼海域等北印度洋沿岸海域毛颚类的生态研究(Andreu, et al, 1989; Balamurugan, et al, 2011; Nair, et al, 2002; Nair, et al, 2010),而赤道附近海域的毛颚类群落结构特征未见报道。

2011 年 4~5 月中国科学院南海海洋研究所“实验一号”科学考察船对东北印度洋赤道附近海域进行了浮游动物等学科综合调查。本文通过鉴定浮游动物样品中的毛颚类标本,对调查海域毛颚类种类组成、丰度分布和群落结构等进行了分析,并根据环境数据,对其分布与环境因子进行了初步探讨,为该海域毛颚类在海洋食物链中的生态作用和生物过程研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域和采样方法

2011 年 4 月 12 日至 5 月 24 日,“实验一号”考察船在印度洋 80°~98.5°E 和 5°S~6°N 的海域进行了浮游动物调查。共 29 个调查站,其中东部沿岸有 5 个站,简称为东部断面(I1~I5),赤道断面 16 个站(I6~I21),斯里兰卡南部和东部附近海域 8 个站(I22~I29),称为西部断面(图 1)。调查站平均水深在 4000m 左右。采用大型浮游生物网(网长 270cm,网口内径 80cm,网衣筛绢孔径 505μm)从 200m 至表层垂直拖网,样品立即用 5%左右的甲醛溶液固定。实

验室内进行毛颚类种类鉴定和计数,鉴定种类依据主要参考文献(萧贻昌, 2004; 张谷贤 等, 1983; Casanova, 1999),种类以萧贻昌(2004)为主。网口内系有 Hydro-Bios 型流量计,以计算滤水量(单位: m³),毛颚类的丰度单位为 ind·m⁻³。

水温、盐度环境参数使用 Seabird CTD 测定。使用 5 L Niskin 采水器在 0、25、50、75、100、150 和 200m 采集测定叶绿素 a 水样。叶绿素 a 水样先通过孔径为 200μm 的筛绢滤去大型生物,再经 Whatman GF/F 滤膜过滤,保存在-20°冰箱,回到实验室后,将滤膜放入 90%丙酮,超声 15min,萃取 24h,离心后取上清液用荧光计(Turner-10-AU)测定叶绿素 a 浓度(Parsin, et al, 1984)。

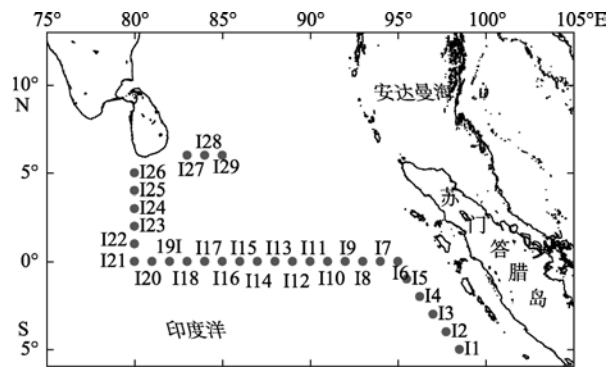


图 1 调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in the northeastern Indian Ocean

1.2 分析方法

调查海域毛颚类优势种的确定由优势度(Y)决定,计算公式如下(徐兆礼 等, 1989):

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

式中, n_i 为第 i 种的个体数, N 为总个体数, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率。

依据分析获得的毛颚类数据,种类聚类时数据是以 presence/absence 进行数据转换,站位聚类时将这些种类的丰度以 $\lg(x+1)$ 转换,利用 PRIMER6.0 软件,采用 Bray-Curtis 相似性系数进行等级聚类(CLUSTER)和非参数多维标度(nMDS)分析调查海区毛颚类群落结构特征,应用相似性分析(Analysis of Similarities, ANOSIM)检验三个断面之间相似性。并应用相似性百分比分析(Similarity Percentages, SIMPER)找出造成不同断面毛颚类群落结构差异的主要种类(Clarke, et al, 2006)。

2 结果

2.1 环境因子

表层温度变化范围为 29.22~30.68℃, 随着深度增加, 温度逐渐降低(表 1), 100m 水层以下温度渐低于 20℃, I22 至 I26 调查站在 150m 水层温度至 14.78~16.57℃, 而 I6~I21 站和其他调查站在 150m 温度稍高, 在 15.60~17.60℃ 之间。200m 水层调查站温度一般在 12~14℃ 之间。调查站之间表层盐度范围为 34.01‰~34.82‰, 而 I22 至 I29 站的表层盐度

相对较低, 特别是斯里兰卡附近海域的站位如 I25、I26、I27 和 I28 站的表层盐度低于 34.00‰。盐度随着深度增加而升高, 一般在 100m 升高至 35.00‰, 而在 I22 至 I29 调查站在 50m 处盐度已高达 35.00‰。叶绿素 a 浓度最大值一般在 50~75m 水层, 表层和 100m 以下水层较低(表 1)。叶绿素最大值出现在 I21 站, 67.5m 的叶绿素 a 达 $0.44\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 西部断面 50~100m 叶绿素 a 浓度波动范围大($0.06\sim 0.44\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), 比其他两个断面相对较高。

表 1 调查海域东部断面(I1~I5)、中部断面(I6~I21)和西部断面(I22~I29)温度、盐度、叶绿素 a 浓度(平均值±SD)在 0、25、50、75、100、150 和 200m 水层的分布

Tab. 1 Mean values of temperature, salinity and Chl a concentration (Mean±SD) at 0, 25, 50, 75, 100, 150, and 200 m in the northeastern Indian Ocean

水层/m	温度/℃			盐度/‰			叶绿素 a 浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)		
	东部	赤道	西部	东部	赤道	西部	东部	赤道	西部
0	29.51±0.28	29.80±0.29	29.73±0.25	34.50±0.33	34.60±0.60	34.17±0.39	0.09±0.09	0.08±0.03	0.07±0.02
25	29.12±0.24	29.42±0.19	29.44±0.28	34.66±0.21	34.62±0.24	34.38±0.51	0.10±0.07	0.10±0.05	0.09±0.03
50	29.00±0.29	29.34±0.19	28.81±0.73	34.71±0.15	34.71±0.17	35.08±0.35	0.12±0.04	0.14±0.05	0.17±0.06
75	28.78±0.17	26.44±2.27	27.11±0.95	34.71±0.14	34.90±0.27	35.25±0.14	0.20±0.02	0.25±0.07	0.20±0.06
100	22.72±3.35	21.12±0.62	23.64±1.07	34.97±0.16	35.28±0.06	35.09±0.46	0.11±0.02	0.11±0.02	0.06±0.01
150	15.03±0.90	16.46±0.54	16.04±1.17	35.02±0.16	35.17±0.03	34.39±0.07	0.02±0.01	0.02±0.01	0.01±0.00
200	13.35±0.49	13.79±0.33	13.32±0.30	35.07±0.07	35.12±0.01	34.95±0.23	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

2.2 种类组成和分布

调查海域共鉴定毛颚类 14 种, 隶属 3 科 3 属。肥胖箭虫 *Sagitta enflata* 和太平洋箭虫 *Sagitta pacifica* 在每个调查站均出现, 其次是飞龙翼箭虫 *Pterosagitta draco* 和凶形箭虫 *Sagitta ferox*, 出现频率大于 90%。出现频率 >60% 的种类有太平洋撬虫 *Krohnitta pacifica*、纤细撬虫 *Krohnitta subtilis*、琴形箭虫 *Sagitta lyra*、粗壮箭虫 *Sagitta robusta*。双斑箭虫 *Sagitta bipunctata* 和六翼箭虫 *Sagitta hexaptera* 的出现频率在 50% 左右, 而规则箭虫 *Sagitta regularis*、美丽箭虫 *Sagitta pulchra*、多变箭虫 *Sagitta decipiens* 和新多变箭虫 *Sagitta neodecipiens* 的出现频率较低。种类聚类分析结果表明, 调查海域出现的毛颚类种类在 50% 的相似度水平上可分 3 个组群, 组群 主要是出现频率较高的种类组成, 而组群 (多变箭虫) 和组群 (美丽箭虫和新多变箭虫) 仅出现在西部断面的调查站(图 2)。

调查海域毛颚类种数变化范围 5(I7 站)~14(I25 和 I26 站), 各站平均值为 $8(\pm 2.3)$ 站/种, 大多数站的种数在 6~10 种之间。各站之间种数分布不均匀, 赤道断面的几个站和斯里兰卡南部附近的站种数相对较高(图 3)。毛颚类种数的分布与表层温度 ($r=0.162$, $p>0.05$) 和盐度 ($r=-0.056$, $p>0.05$) 无显著的相关性。

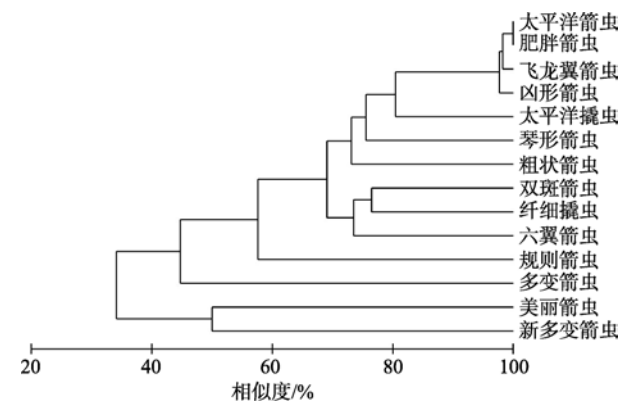


图 2 调查海域毛颚类种类间聚类分析

Fig. 2 The cluster analysis of chaetognath species in the northeastern Indian Ocean

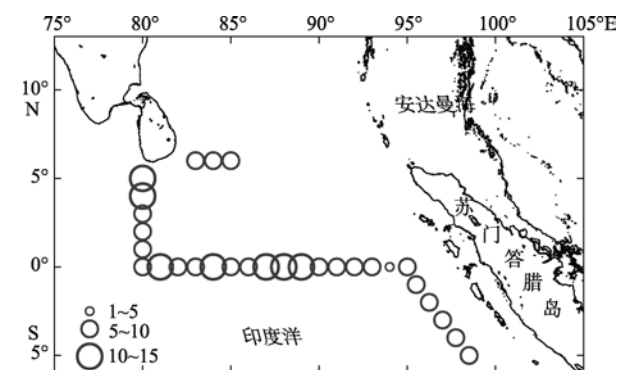


图 3 调查海域毛颚类种数分布

Fig. 3 Distribution of species richness of chaetognaths in the northeastern Indian Ocean

2.3 丰度分布

毛颚类丰度平均值为 $5.35(\pm 2.82)\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ ，丰度范围为 $2.56(118\text{ 站})\sim 12.63(125\text{ 站})\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ ，82.75%调查站的丰度低于 $8.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 。箭虫属(*Sagitta*)丰度占总丰度的 85.98%，决定整个毛颚类丰度的分布。

毛颚类丰度分布不均匀(图 4)。东部断面和赤道断面丰度较低，一般均在 $5.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下，而西部断面丰度相对较高，如 I24 站至 I28 站的丰度多达 $8.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上，其中 I24 和 I25 站的高于 $12.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 。毛颚类丰度与表层温度($r=0.064$, $p>0.05$)和叶绿素 a 浓度($r=0.091$, $p>0.05$)无显著相关性，与表层盐度呈显著负相关($r=-0.621$, $p<0.01$)。

2.4 优势种

根据 $Y\geq 0.02$ 来确定毛颚类优势种 4 种(表 2)，这些优势种丰度占总丰度的 88.64%。肥胖箭虫是调查海域出现频率和丰度最高的优势种，除 I25 至 I28 的 4 个站丰度高于 $5.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 外，其余调查站均在

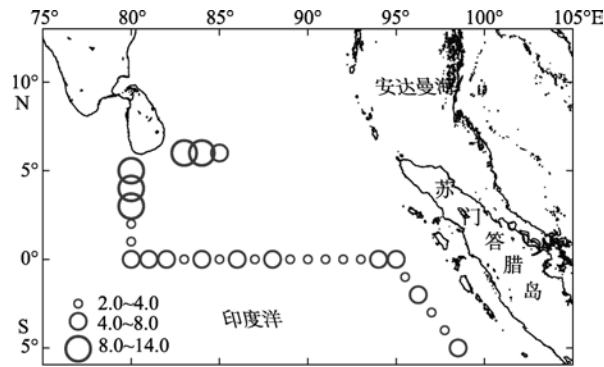


图 4 调查海域毛颚类丰度(单位: $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)分布
Fig. 4 Distribution of chaetognath abundance ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$) in the northeastern Indian Ocean

$1.00\sim 5.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间，该种丰度分布决定着整个毛颚类丰度的分布特征(图 5a)。太平洋箭虫和飞龙翼箭虫分布不规则，80%调查站的丰度在 $1.00\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下(图 5b、c)。尽管凶形箭虫出现频率较高，但其丰度比其他三种优势种低(图 5d)。

表 2 调查海域毛颚类优势种的优势度、出现频率、丰度和占总丰度的百分比

Tab. 2 Dominant species with dominance, frequency, abundance ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$), and percentage to the total abundance

优势种	优势度	出现频率/%	平均丰度/($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)	占总丰度百分比/%
肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	0.598	100	3.20 ± 0.49	59.85
太平洋箭虫 <i>Sagitta pacifica</i>	0.124	100	0.66 ± 1.86	12.57
飞龙翼箭虫 <i>Pterosagitta draco</i>	0.106	97	0.59 ± 1.94	10.95
凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i>	0.053	97	0.29 ± 0.48	5.47

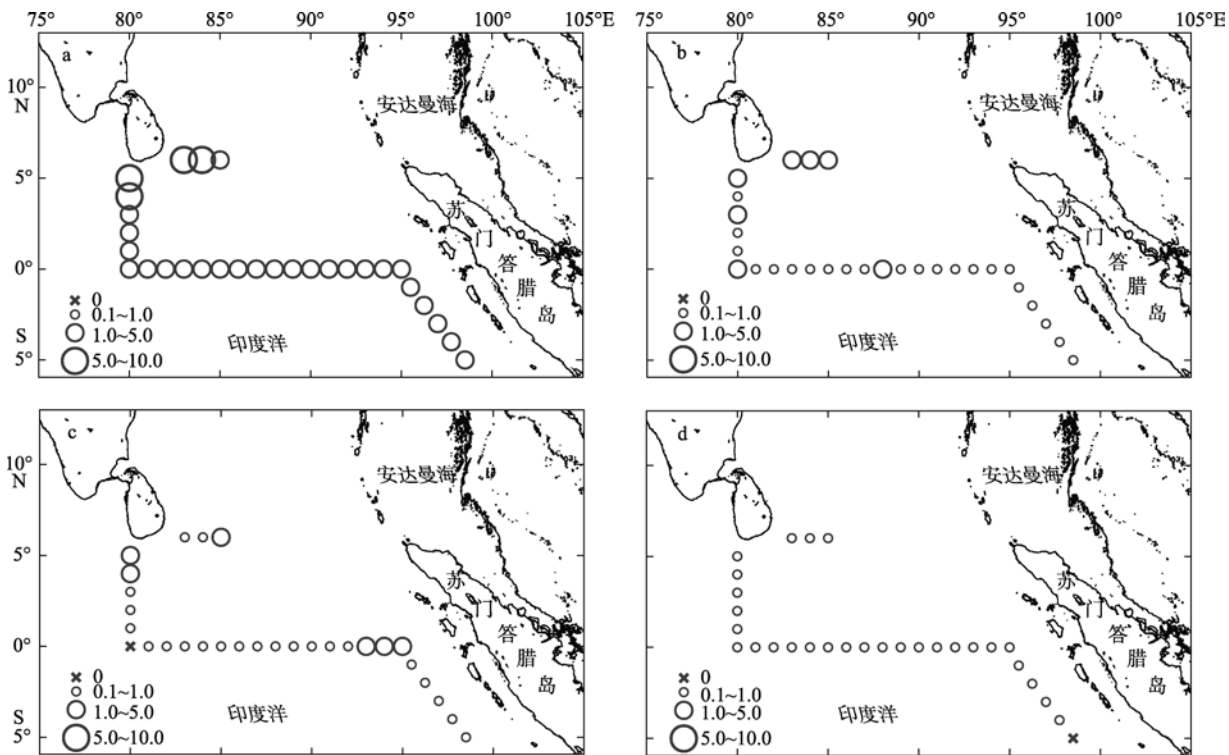


图 5 调查海域毛颚类优势种的丰度分布

a. 肥胖箭虫; b. 太平洋箭虫; c. 飞龙翼箭虫; d. 凶形箭虫

Fig. 5 Distribution of abundance ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$) of dominant species in the northeastern Indian Ocean

a. *Sagitta enflata*; b. *Sagitta pacifica*; c. *Pterosagitta draco*; d. *Sagitta ferox*

2.5 群落结构

聚类分析结果表明, 调查站之间的相似率较高, 约 65%水平上分两个群落: 赤道断面、东部断面和西部断面的 I22、I23 站共聚为一类; 西部断面 I25 至 I29 站为一类(I13 站除外), 并且相似度达 70%以上(图 6a)。nMDS 分析结果表明: 调查站相似度较高, 基本上属于同一群落; 压力系数(Stress)为 0.14, 能较好地解释站位间的相似关系, 说明毛颚类群落结构稳定单一(图 6b)。应用 ANOSIM 进行三个断面之间的相似性分析, $R=0.264$, $p(\text{level}\%)=0.3\%$, 说明

断面之间的相似性显著。

SIMPER 结果显示 3 个断面之间差异性(Dissimilarity)的程度不同, 西部断面与赤道断面(36.98%)和东部断面(34.89%)群落结构差异较大, 而赤道断面和东部断面之间的差异性较低(28.62%)。导致断面之间差异贡献的种类不同(表 3), 双斑箭虫、六翼箭虫和纤细纡虫是西部断面与赤道、东部断面差异性贡献的主要种类, 太平洋纡虫和粗壮箭虫等是赤道断面和东部断面差异的主要贡献种类。

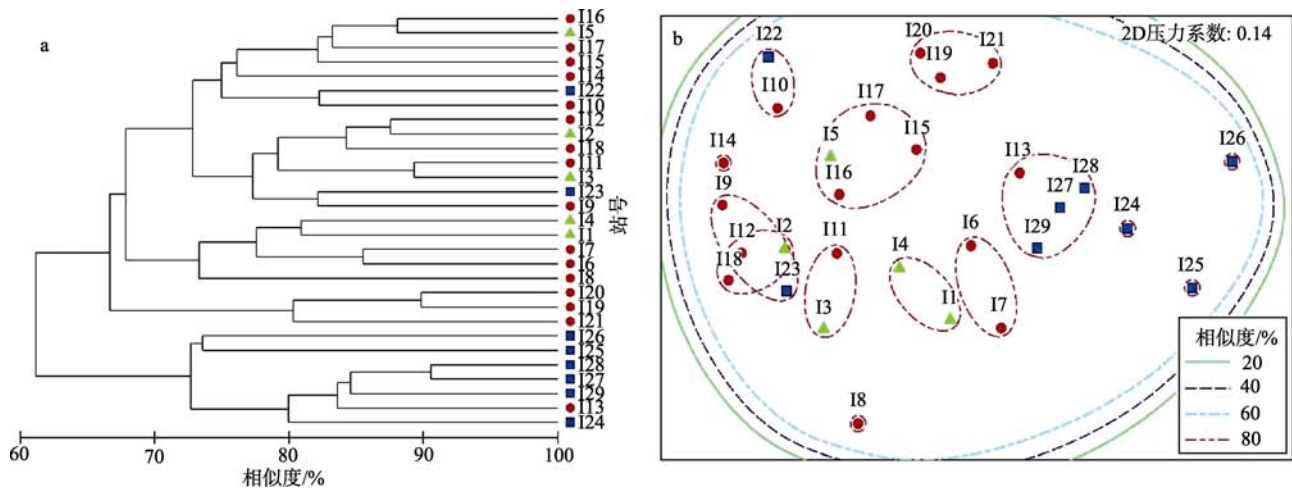


图 6 调查海域毛颚类的等级聚类分析和 MDS 排序图

a. 等级聚类分析; b. MDS 排序图。I1-I5 为东部断面, I6-I21 为赤道断面, I22-I29 为西部断面

Fig. 6 Cluster dendrogram and MDS ordination of chaetognath community among 29 sampling stations

a. cluster analysis; b. nMDS analysis

表 3 SIMPER 分析种类在不同断面的平均丰度

Tab. 3 Average abundance of chaetognath species at the three transects by similarity percentage analysis in the northeastern Indian Ocean

种类	平均丰度/(ind·m ⁻³)		
	东部	中部	西部
肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	1.15	1.30	1.62
飞龙翼箭虫 <i>Pterosagitta draco</i>	0.38	0.32	0.63
太平洋箭虫 <i>Sagitta pacifica</i>	0.39	0.34	0.73
凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i>	0.16	0.32	0.14
太平洋纡虫 <i>Krohnitta pacifica</i>	0.13	0.07	0.15
粗壮箭虫 <i>Sagitta robusta</i>	0.02	0.10	0.05
琴形箭虫 <i>Sagittella lyra</i>	0.06	0.10	0.02
双斑箭虫 <i>Sagitta bipunctata</i>	0.04	0.03	0.22
六翼箭虫 <i>Sagitta hexaptera</i>	0.02	0.04	0.15
纤细纡虫 <i>Krohnitta subtilis</i>	0.02	0.00	0.09

3 讨论

调查海域毛颚类共出现 14 种, 其种数与中太平洋西部和南沙群岛海域等典型大洋海域 200m 以上水层采样的种数相当(戴燕玉, 1995; 林强 等, 2010),

但低于印度洋西部海域、北部海域的阿拉伯海和孟加拉湾、安达曼海域以及南海中部海域的种类数(戴燕玉, 1996; Andreu, et al, 1989; Balamurugan, et al, 2011; Nair, et al, 2002; Nair, et al, 2010)。主要原因是一些暖水性沿岸种和中深层种类未出现, 如百陶箭虫 *Sagitta bedoti*、圆囊箭虫 *Sagitta johorensis* 和钩状真纡虫等未出现。调查海域毛颚类平均丰度为 $5.35(\pm 2.82)\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$, 与其他大洋性海域的数量相当(戴燕玉, 1995, 1996; 林强 等, 2010), 但明显低于河口、沿岸水域的毛颚类数量(杜飞雁 等, 2003; 李开枝 等, 2009)。肥胖箭虫是调查海域分布最广、数量最丰富的优势种。从优势种组成来看, 多属于大洋性暖水广布种, 优势种决定了调查海域毛颚类群落结构特征(表 2)。太平洋纡虫、纤细纡虫、飞龙翼箭虫、琴形箭虫、美丽箭虫、太平洋箭虫等是典型的热带大洋种(萧贻昌, 2004; 张谷贤 等, 1983; Alvarino, 1967; Casanova, 1999), 因此调查海区的毛颚类属于比较典型的热带大洋性生物群落。种类和调查站位之间的群落结构分析表明调查海域毛颚类

种类生态习性较单一、稳定, 调查站和不同断面之间的相似度高(图 6), 这也说明调查海区的动力环境条件是相对稳定均匀的。

此次调查时间(4~5 月)正处于东北季风向西南季风的转换时期, 调查海域表层温度的变化范围为 29.22~30.68 , 表层盐度的变化范围为 33.83‰~34.93‰, 属于高温高盐的热带海洋环境。调查海域毛颚类的群落结构表明调查海区环境较稳定, 但从温度和盐度的垂直分布看, 西部断面受沿岸水团和涌升冷水团的影响。西部断面调查站表层盐度比赤道断面和东部断面低, 其原因可能是调查期间处于东北季风向西南季风转换, 孟加拉湾北部沿海水仍然能向南流动, 这些沿岸水对斯里兰卡附近海域的调查站仍有一定的影响(林小刚 等, 2014)。东部断面和赤道断面的盐度随水深增加而不断升高, 而在 I20 至 I26 的站位, 50~100m 温度比赤道断面低 1~2 , 而盐度高 0.5‰~1‰, I22 站的 100m 水层盐度达 36.15‰, 而 200m 的盐度仅为 35.11‰。以上说明西部调查海区在 50~100m 水层可能有一股冷水团入侵。毛颚类种类的分布与水团有一定的关系(Alvarino, 1967)。在安达曼海温跃层以上水层, 肥胖箭虫、小箭虫 *Sagitta neglecta*、太平洋箭虫和飞龙翼箭虫占优势, 在温跃层至 500m 水层, 多变箭虫占优势(Nair,

et al, 2010)。多变箭虫为大洋热带广布中层种, 主要出现在中层水和深层水(萧贻昌, 2004), 本次调查仅出现在 I24 至 I26 站。该中层水种类出现在西部断面, 与 50~100m 出现的高盐涌升水区域一致, 或许可作为涌升水团的指示种。由于本文浮游动物是从 200m 至表层进行浮游生物网垂直拖网, 没有进行分层采样, 难以在垂直尺度上将生物现象与物理过程耦合, 需要今后进行垂直分层拖网时进一步验证。

西部断面调查站毛颚类种数一般都在 10 种以上, 毛颚类丰度与盐度呈显著负相关, 西部断面低表层盐度而呈高丰度, 可能与不同水团的交汇增加了叶绿素 a 含量(Li, et al, 2012), 从而增加了浮游动物中植食性的桡足类等种类的数量, 从而为毛颚类的生存提供了有利条件。聚类分析和 nMDS 分析结果也能证实西部断面的环境与其他两个断面之间有所不同(图 6)。ANOSIM 分析结果表明调查海域的西部断面与赤道断面和中部断面之间的群落结构差异较大, 并且 SIMPER 结果表明, 不同生态习性的种类在三个断面的平均丰度有所差异。一般在不同水团交汇区毛颚类丰度较高(Pierrot-Bilts, 2008; Pierrot-Bilts, et al, 2010), 因此, 调查海域西部断面可能受沿岸水和涌升水团的影响, 毛颚类的物种多样性和丰度与其他两个断面相比相对较高。

参考文献

- 戴燕玉. 1995. 中太平洋西部毛颚类的分布[J]. 海洋学报, 17(4): 101-106.
- 戴燕玉. 1996. 南海中部毛颚类的生态研究[J]. 海洋学报, 18(4): 131-136.
- 杜飞雁, 李纯厚, 贾晓平. 2003. 北部湾海域秋、冬季毛颚类的种类组成与数量分布[J]. 中国水产科学, 10(3): 235-241.
- 李开枝, 尹健强, 黄良民, 等. 2009. 珠江口毛颚类的生态研究[J]. 海洋环境科学, 28(5): 506-510.
- 林强, 尹健强, 黄良民, 等. 2010. 南沙群岛海区上层毛颚类的种类组成和丰度分布[J]. 海洋学报, 32(5): 100-109.
- 林小刚, 齐义泉, 程旭华. 2014. 3~5 月份东印度洋上层水文要素特征分析[J]. 热带海洋学报, 33(3): 1-9.
- 萧贻昌. 2004. 中国动物志: 无脊椎动物 第三十八卷 毛颚动物门 箭虫纲[M]. 北京: 科学出版社: 1-201.
- 徐兆礼, 陈亚瞿. 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲱鲐渔场的关系[J]. 生态学杂志, 8(4): 13-15.
- 张谷贤, 陈清朝. 1983. 南海北部和中部的毛颚类[M]// 中国科学院南海海洋研究所. 南海海洋生物研究论文集. 北京: 海洋出版社: 17-63.
- ALVARINO A. 1967. The chaetognaths of the Naga expedition (1959-1961) in the South China Sea and the Gulf of Thailand. I. Systematics [J]. Naga Report, 4: 1-197.
- ANDREU P, MARRASE C, BERDALET E. 1989. Distribution of epipelagic Chaetognaths along a transect in the Indian Ocean [J]. J Plankton Res, 11(2): 185-192.
- BALAMURUGAN K, SAMPATHKUNAR P, EZHILARASAN P, et al. 2011. Vertical distribution of chaetognaths along the Arabian Sea and Bay of Bengal, India [J]. Eur J Exp Bio, 2011, 1(3): 49-57.
- BOHATA K, KOPPELMANN R. 2013. Chaetognaths of the Namibian upwelling region: Taxonomy, distribution and trophic position[J]. Plos One, 8(1): e53839.
- CASANOVA J P. 1999. Chaetognaths[C] // BOLTOVSKOY D. South Atlantic Zooplankton, Volume 2. Leiden: Backhuys Publishers: 1353-1374.
- CLARKE K R, GORLEY R N. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial[M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd: 1-142.
- LI G, LIN Q, NI G Y, et al. 2012. Vertical Patterns of Early Summer Chlorophyll a Concentration in the Indian Ocean with Special Reference to the Variation of Deep Chlorophyll Maximum[J]. J Mar Bio: 1-6. doi:10.1155/2012/801248.
- NAIR V R, TERAZAKI M, JAYALAKSHMY K V. 2002.

- Abundance and community structure of chaetognaths in the northern Indian Ocean [J]. *Plankton Bio Eco*, 49(1): 27-37.
- NAIR V R, GIREESH R. 2010. Biodiversity of chaetognaths of the Andaman Sea, Indian Ocean [J]. *Deep-Sea Res II*, 57: 2135–2147.
- PARSIN T R, MAITA Y, LALLI, C M. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analyses [M]. Oxford: Pergamon Press: 173.
- PIERROT-BILTS A C. 2008. A short note on the biogeographic patterns of the Chaetognatha fauna in the North Atlantic[J]. *Deep-Sea Res*, 55: 137–141.
- PIERROT-BILTS A C, NAIR V R. 2010. Horizontal and vertical distribution of Chaetognatha in the upper 1000m of the western Sargasso Sea and the Central and South-east Atlantic[J]. *Deep-Sea Res*, 57: 2189–2198.
- WYRIKI K. 1973. Physical oceanography of the Indian Ocean[C]// ZEITZSHEL B, GERLACH S A. The biology of the Indian Ocean. Berlin: Springer Verlag: 18–36.