

长江口强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度变化 对环境变暖的响应

李 云, 徐兆礼*, 高 倩

(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 1959 年和 2002 年在长江口 $28^{\circ}00' \sim 32^{\circ}00'N$, $122^{\circ}00' \sim 123^{\circ}30'E$ 海域 4 个季节 8 个航次海洋调查资料, 分析强壮箭虫 (*Sagitta crassa*) 和肥胖箭虫 (*Sagitta enflata*) 丰度的平面分布和季节变化特征, 并结合同步的温度资料分析不同生态类群的强壮箭虫和肥胖箭虫对环境变暖的响应。结果表明: 长江口水域春、夏、秋 3 季强壮箭虫平均丰度均小于 $1.00 \text{ ind}/\text{m}^3$, 出现率低, 无集群性。1959 年冬季平均丰度达 $3.24 \text{ ind}/\text{m}^3$, 出现率较高, 有明显的集群性, 而 2002 年冬季平均丰度锐减为 $0.001 \text{ ind}/\text{m}^3$, 几无分布。肥胖箭虫夏季平均丰度、出现率和集聚强度明显高于其它季节。2002 年夏季平均丰度达 $16.06 \text{ ind}/\text{m}^3$, 较 1959 年增加 $3.71 \text{ ind}/\text{m}^3$, 且分布区明显扩大。可见, 暖温种强壮箭虫和暖水种肥胖箭虫对长江口海域变暖的响应不同, 可作为长江口海洋变暖长期变化的重要指示种。

关键词:强壮箭虫; 肥胖箭虫; 全球变暖; 指示种; 长江口

文章编号: 1000-0933 (2009) 09-4773-08 中图分类号: Q142, Q178 文献标识码: A

Effects of global warming on *Sagitta crassa* and *Sagitta enflata* (Chaetognatha) in the Changjiang Estuary during different years

LI Yun, XU Zhao-Li*, GAO Qian

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

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4773 ~ 4780.

Abstract: Based on the data from eight seasonal oceanographic censuses in the Changjiang Estuary ($28^{\circ}00' - 32^{\circ}00'N$, $122^{\circ}00' - 123^{\circ}30'E$) in 1959 and 2002, this paper discussed temporal-spatial distributions of *Sagitta crassa* and *Sagitta enflata* and effects of global warming on them in the Changjiang Estuary. The results show that the average abundance of *S. crassa* was less than $1.00 \text{ ind}/\text{m}^3$, and its occurrence frequency was lower, had no aggregate feature during spring, summer and autumn. In the winter of 1959 the average abundance was $3.24 \text{ ind}/\text{m}^3$, and the occurrence frequency and aggregation intensity were higher, while in winter, 2002, the average abundance sharply decreased to $0.001 \text{ ind}/\text{m}^3$, and almost disappeared. The average abundance, occurrence frequency and aggregation intensity of *S. enflata* were much higher in summer than in other seasons. The average abundance was as high as $16.06 \text{ ind}/\text{m}^3$ in the summer of 2002, increasing by $3.71 \text{ ind}/\text{m}^3$ compared to the same season in 1959, and the distribution area clearly expanded. It is obvious that responses of *S. crassa* and *S. enflata* to water temperature warming are different in the Changjiang Estuary, and both species could be awarded as important indicators of global warming.

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90511005); 中国近海海洋综合调查与评价(908)专项资助项目(908-02-01-03); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2008M13)

收稿日期: 2009-03-29; 修订日期: 2009-05-31

致谢:温度资料由海洋二所朱德弟研究员提供; 浮游动物样品由马名玄先生帮助采集, 胡剑和陈佳杰等同学做了部分工作, 沈晓民先生在论文构思中提供有益的建议, 特此一并致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaomin@sh163.net

Key Words: *Sagitta crassa*; *Sagitta enflata*; global warming; indicator; Changjiang Estuary

毛颚动物强壮箭虫(*Sagitta crassa*)主要生活在黄渤海域,自近岸到外海均有分布,但一般在盐度大于 32 的外海数量较少,是该海域大型浮游动物的终年优势种类^[1, 2]。冬季黄海沿岸流南下势力增强,该种可随着黄海沿岸流南下,向南扩布到长江口近岸水域,并在东海北部至南黄海水域形成密集区^[3]。肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)为东海区毛颚类最重要种类,其数量的季节变化明显,夏季达到最高峰并遍布全海区,由于长江口外和浙江近海饵料丰富,该种可以形成密集分布^[4, 5]。夏、秋季随着暖流的向北推进而进入黄渤海^[6]。在南海,肥胖箭虫的优势度更加明显,终年数量都很多^[2, 7]。研究表明,强壮箭虫和肥胖箭虫都是渔业资源动物重要的饵料基础,它们的数量分布和变化在渔场的形成中具有重要意义^[2, 8, 9]。

目前为止,国内外有关强壮箭虫和肥胖箭虫等毛颚动物的研究,主要涉及地理分布^[10, 11]、季节变化^[12]、昼夜垂直移动^[13]、与温度^[4]、盐度^[14, 15]、密度环流^[7]、水系海流关系^[3, 16]等自然生态方面,以及食性^[17]、摄食率^[18, 19]、温盐耐受性^[20]、肠细胞的组织和超微结构^[21]、体内柠檬酸盐合成酶活性和代谢率^[22]等实验生态和生理、生化方面。此外,国外还开展了秀箭虫(*Sagitta elegans*)和毛箭虫(*Sagitta setosa*)^[23, 24]、微型箭虫(*Sagitta minima*)和海龙箭虫(*Sagitta nage*)^[25]等毛颚动物对全球气候变暖的响应和适应性研究。然而,国内关于在长周期气候变化过程中,毛颚动物的分布和丰度的变化尚未见报道。为此,本研究拟通过两个不同地理分布区域的代表种,即黄渤海的强壮箭虫和东海的肥胖箭虫,在不同年间的分布和数量特征,来探讨全球变暖对不同生态类群浮游动物的影响。长江口水域是位于黄海和东海的交错水域,在长江口,强壮箭虫和肥胖箭虫地理分布重叠,数量消长此起彼伏,研究不同年间长江口强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度变化,可以为全球变暖的区域响应研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究海域及取样方法

1959 年和 2002 年在长江口 28°00′~32°00′N, 122°00′~123°30′E 海域,分别进行春(5 月份)、夏(8 月份)、秋(11 月份)和冬(2 月份)4 个季节 8 个航次的调查。调查站位见图 1。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(网目孔径 0.505 mm)由底至表层垂直拖曳采集,所获样品经 5% 福尔马林溶液固定后,按个体计数法在立体显微镜下鉴定到种,并计数浮游动物样品中强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度(ind/m³)。

1.2 数据处理

本研究分析采用的指标主要是平均丰度、出现率和丛生指标。出现率指调查海域强壮箭虫或肥胖箭虫出现的站位数占总站位数的百分数。丛生指标用于分析聚集强度,采用以下公式:

$$I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1$$

式中, $\bar{X}$ 为强壮箭虫或肥胖箭虫的平均丰度, S 为方差。该指标是从不同的侧面估计种群空间格局非随机程度的统计量。 I 正值数值越大,其聚集强度越高^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同年间水温的变化

长江口水域 2002 年四季水温相对于 1959 年四季水温都有一定程度的上升,但不同季节上升幅度不同

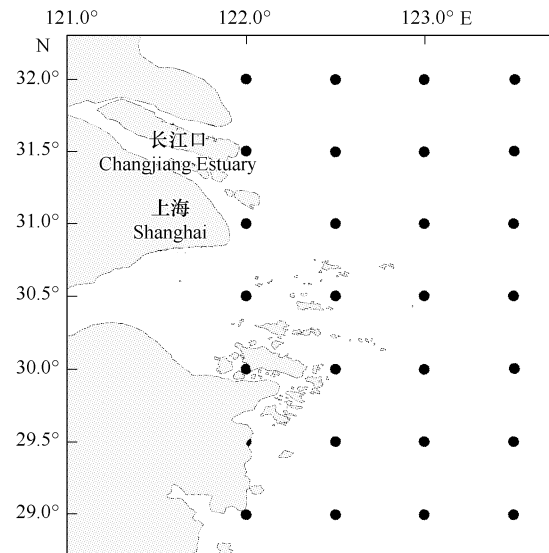


图 1 调查站位图

Fig. 1 Map of sampling stations

(表 1)。平均表层水温冬季上升幅度最大,达 1.18°C ,秋季次之,上升 0.70°C ,随后是夏季,上升 0.44°C ,春季最小,为 0.21°C 。平均底层水温上升幅度与表层水温相似,依次是冬季(1.39°C) > 春季(0.80°C) > 秋季(0.63°C) > 夏季(0.34°C)。可见,水温变暖趋势在冬季表现的更加明显。

表 1 1959 年和 2002 年长江口水温及强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度和分布特征之变化

Table 1 Changes in abundances and distribution characteristics of *Sagitta crassa* and *Sagitta enflata* with temperature in the Changjiang Estuary in 1959 and 2002

季节 Season	年份 Year	表温($^{\circ}\text{C}$) Surface temperature	底温($^{\circ}\text{C}$) Bottom temperature	最大丰度(ind/ m^3) Maximum abundance		平均丰度(ind/ m^3) Average abundance	
				强壮箭虫 <i>S. crassa</i>	肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>	强壮箭虫 <i>S. crassa</i>	肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>
春 Spring	1959	17.32	16.78	0.50	0.50	0.06	0.19
	2002	17.53	17.58	0.45	5.49	0.03	0.51
夏 Summer	1959	26.82	22.74	0.50	130.00	0.02	12.35
	2002	27.26	23.08	0.73	63.33	0.03	16.06
秋 Autumn	1959	19.14	19.43	2.00	11.00	0.12	1.69
	2002	19.84	20.06	0.65	10.87	0.04	3.67
冬 Winter	1959	9.18	9.6	33.00	0.50	3.24	0.17
	2002	10.36	10.99	0.04	2.08	0.001	0.07

季节 Season	年份 Year	表温($^{\circ}\text{C}$) Surface temperature	底温($^{\circ}\text{C}$) Bottom temperature	丛生指标 Clumping index		出现率(%) Occurrence frequency	
				强壮箭虫 <i>S. crassa</i>	肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>	强壮箭虫 <i>S. crassa</i>	肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>
春 Spring	1959	17.32	16.78	-1.00	-1.00	11.11	37.04
	2002	17.53	17.58	-0.99	3.83	7.41	18.52
夏 Summer	1959	26.82	22.74	-1.00	56.33	3.70	81.48
	2002	27.26	23.08	1.13	11.92	7.69	80.77
秋 Autumn	1959	19.14	19.43	2.50	2.51	13.79	72.41
	2002	19.84	20.06	-0.25	2.03	10.34	76.21
冬 Winter	1959	9.18	9.60	28.55	-1.00	58.62	34.48
	2002	10.36	10.99	-1.00	1.30	3.45	24.14

2.2 不同年间强壮箭虫的丰度和分布变化

无论是 1959 年还是 2002 年,长江口水域春、夏、秋 3 季强壮箭虫数量少,平均丰度小于 $1.00 \text{ ind}/\text{m}^3$,出现率低,无集群性,呈零星分布(表 1,图 2A ~ C 和 2a ~ c)。而 1959 年冬季平均丰度达 $3.24 \text{ ind}/\text{m}^3$,出现率较高,有明显的集群性,在长江口东北部和舟山群岛东部出现两个明显的高值区($> 20 \text{ ind}/\text{m}^3$)(图 2D),最大丰度达 $33.00 \text{ ind}/\text{m}^3$ (表 1)。2002 年冬季强壮箭虫几乎消失,平均丰度锐减为 $0.001 \text{ ind}/\text{m}^3$,仅在舟山群岛东部出现(图 2d),最大丰度仅为 $0.04 \text{ ind}/\text{m}^3$ (表 1)。2002 年冬季强壮箭虫丰度减少趋势十分显著。

2.3 不同年间肥胖箭虫的丰度和分布变化

长江口水域肥胖箭虫丰度的季节变化总体上表现为夏季远远高于其它季节,秋季略高于春季,冬季最低(表 1)。除冬季外,2002 年平均丰度相对于 1959 年均有所上升,但夏季上升幅度最大,达 $3.71 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。夏季肥胖箭虫丰度增加趋势十分明显。

平面分布上(图 3),冬春季,肥胖箭虫出现在舟山群岛东南部,数量较少。夏季,肥胖箭虫数量显著增加,1959 年和 2002 年在长江口东北部和舟山群岛南部水域均出现高值区($> 20 \text{ ind}/\text{m}^3$),最大丰度分别达 $130.00 \text{ ind}/\text{m}^3$ 和 $63.33 \text{ ind}/\text{m}^3$,不同的是,2002 年长江口门区也出现一高值区($> 20 \text{ ind}/\text{m}^3$),而 1959 年该水域无分布。秋季,数量明显较少,分布区域逐步向外移,但 2002 年 $5 \sim 10 \text{ ind}/\text{m}^3$ 峰值区较 1959 年向长江口接近。

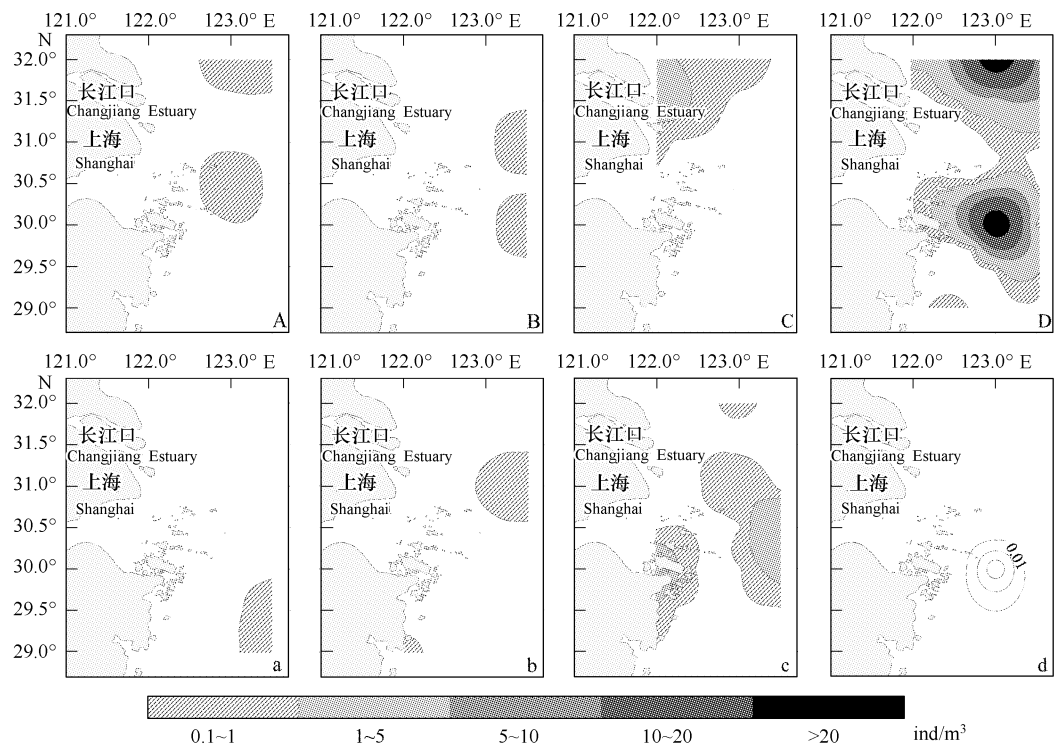


图2 1959 年和 2002 年长江口强壮箭虫丰度的平面分布之季节性变化

Fig. 2 Seasonal changes in spatial distributions of *Sagitta crassa* abundance in the Changjiang Estuary in 1959 and 2002

1959 年: A. 春季 Spring; B. 夏季 Summer; C. 秋季 Autumn; D. 冬季 Winter; 2002 年: a. 春季 Spring; b. 夏季 Summer; c. 秋季 Autumn; d. 冬季 Winter

肥胖箭虫出现率往往夏秋季较高,达 80% 左右,冬春季较低,小于 40% (表 1)。但从丛生指标看,肥胖箭虫夏季集聚强度明显高于其它季节,特别是 1959 年 (表 1)。

2.4 水温升高对两种毛颚类丰度的影响

水温升高对强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度影响显著 (表 2)。1959 年 2 月至 8 月,长江口水域平均表层水温由 8.11 °C 上升到 27.82 °C,平均底层水温从 8.71 °C 升高到 22.85 °C。随着水温上升,强壮箭虫丰度明显减少,肥胖箭虫丰度显著增加。

表 2 1959 年和 2002 年长江口水温升高对强壮箭虫和肥胖箭虫丰度的影响

Table 2 Effects of water temperature increasing on the abundances of *Sagitta crassa* and *Sagitta enflata* in the Changjiang Estuary in 1959 and 2002

年-月 Year-Month	表温 (°C) Surface temperature	底温 (°C) Bottom temperature	最大丰度 (ind/m ³) Maximum abundance		平均丰度 (ind/m ³) Average abundance	
			强壮箭虫 <i>S. crassa</i>	肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>	强壮箭虫 <i>S. crassa</i>	肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>
1959-02	8.11	8.71	9.00	2.00	0.94	0.15
1959-03	9.08	9.41	33.00	5.00	2.43	0.11
1959-04	12.40	12.75	3.00	0.50	0.45	0.16
1959-05	17.19	16.74	0.50	0.50	0.07	0.16
1959-06	20.25	18.96	0.50	2.00	0.03	0.24
1959-07	25.69	20.71	2.00	12.00	0.05	1.72
1959-08	27.82	22.85	0.00	130.00	0.00	19.82

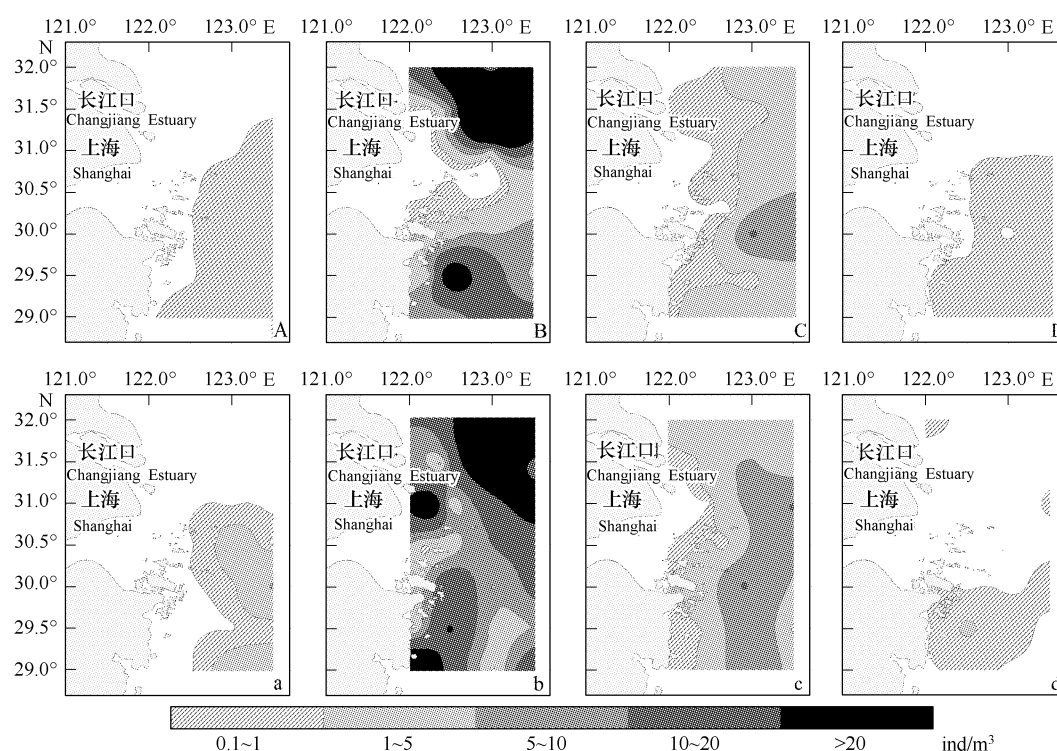


图3 1959年和2002年长江口肥胖箭虫丰度的平面分布之季节性变化

Fig. 3 Seasonal changes in spatial distributions of *Sagitta enflata* abundance in the Changjiang Estuary in 1959 and 2002

1959年:A.春季 Spring; B.夏季 Summer; C.秋季 Autumn; D.冬季 Winter; 2002年:a.春季 Spring; b.夏季 Summer; c.秋季 Autumn; d.冬季 Winter

3 讨论

3.1 强壮箭虫的温度适应分析

水温是影响强壮箭虫丰度季节变化的主要因素。长江口水域 1959 年冬季强壮箭虫最大丰度达 33.00 ind/m^3 (图 2), 出现率和平均丰度显著高于其它季节(表 1)。2 月至 8 月, 随着水温上升, 强壮箭虫丰度明显减少(表 2)。此外, 杨纪明等^[17]发现强壮箭虫的摄食强度与水温呈负相关的趋势, 在夏季水温高时最低, 在冬季水温低时最高。刘青等^[20]亦观察到在 0°C 的海水中强壮箭虫能正常生存, 并指出其温幅的下限应在零度或零度以下。可见, 强壮箭虫具有喜冷水性。然而, 强壮箭虫并非严格意义上的冷水种。在强壮箭虫的主要分布区黄渤海域研究证实, 与长江口水域不同, 强壮箭虫数量高峰期出现在温度最高的 8、9 月份^[3, 7, 12, 26]。且有报道^[27], 在南海的北部湾海域, 秋冬季表层水温 24.2°C , 水层均值 22.4°C 时, 有强壮箭虫零星出现。

长江口强壮箭虫平面分布受到苏北沿岸流的影响。苏北沿岸流沿着江苏沿海终年向南流动, 与长江径流在启东外海和长江口北支外侧的门口海域交汇。苏北沿岸流能够将黄海的强壮箭虫带到长江口海域^[3, 11], 尤其在长江径流最弱的冬季, 西北风盛行, 苏北沿岸流实力最强, 这是调查区 1959 年冬季出现强壮箭虫高丰度区的原因。强壮箭虫在长江口的分布趋势与苏北沿岸流的推移和消长密切相关。

依据以上强壮箭虫平面分布和季节变化的分析, 可认为强壮箭虫是较喜低温的暖温种。

3.2 肥胖箭虫的温度适应分析

水温是影响肥胖箭虫丰度季节变化的主要因素。长江口水域 1959 年逐月调查数据显示(表 2), 随着水温上升肥胖箭虫丰度显著增加, 丰度高峰期出现在夏季, 最大丰度达 130.00 ind/m^3 (表 2)。2002 年四季调查结果也显示, 夏季肥胖箭虫平均丰度、出现率和集聚强度明显高于其它季节(表 1)。徐兆礼等^[4]亦发现东海肥胖箭虫的丰度随着表层水温升高而增长并符合线性关系, 当水温超过 13°C 时, 肥胖箭虫开始有较密集分

布,随着水温增高,密集程度上升。在东海区毛颚类中占优势的肥胖箭虫,在南海的优势度更为明显。在南海水温最低的 2 月份,肥胖箭虫数量最少,5 月份以后随着水体的升温,其数量也开始逐渐增多,10 月份达到全年的最高峰,11 月后逐月开始减少^[1]。

在长江口水域,肥胖箭虫丰度的季节变化十分明显。从图 3 和表 1 可见,冬季肥胖箭虫数量稀少,分布范围也较窄,春季随台湾暖流势力增强数量开始增多,夏季随水体快速升温其数量成倍增加,达到最高峰并在长江口外和浙江近海形成密集区,主要密集在台湾暖流与浙江沿岸流交汇处、台湾暖流与苏北沿岸流交汇处偏暖水的一侧^[4]。秋季数量逐渐下降,密集区消失,分布区也随台湾暖流的流动方向逐渐外移。

以上所述的肥胖箭虫丰度与水温的关系及其季节变化证实,肥胖箭虫是典型的暖水种。

3.3 强壮箭虫和肥胖箭虫对环境变暖的响应

长江口水域 2002 年水温较 1959 年明显上升,特别是冬季,平均表层水温和底层水温分别上升 1.18 °C 和 1.39 °C (表 1)。长江口海域变暖的态势已经影响到强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度和分布。与 1959 年相比(表 1,图 2),2002 年冬季强壮箭虫的平均丰度、出现率和集聚强度显著减小,在长江口调查水域几乎消失。冬季强壮箭虫丰度减少趋势十分显著,而其它季节变化不明显。与强壮箭虫不同的是,肥胖箭虫的丰度和分布变化最显著的是夏季。2002 年夏季肥胖箭虫平均丰度较 1959 年增加 3.71 ind/m³,分布区明显扩大,遍布整个调查区域,长江口门区甚至出现了大于 20 ind/m³ 的高值区。秋季 5 ~ 10 ind/m³ 峰值区向长江口逼近许多。不同生态类群的强壮箭虫和肥胖箭虫对环境变暖的响应不同,可作为长江口海洋变暖长期变化的重要指示种。

3.4 全球变暖对不同生态类群浮游动物的影响

长江口水域环境变暖,暖水种肥胖箭虫夏季丰度明显上升,暖温种强壮箭虫冬季丰度显著下降。英吉利海峡冷水种秀箭虫和暖水种毛箭虫的年代际研究表明^[23],“冷水年”秀箭虫是优势种,“暖水年”毛箭虫取代秀箭虫成为优势种。北大西洋东部和北海的两种主要桡足类浮游动物,冷温性的飞马哲水蚤(*Calanus finmarchicus*)和暖温性海岛哲水蚤(*Calanus helgolandicus*)在 1962 ~ 1992 年之间的时空变动显示^[28],随着水温增高,飞马哲水蚤生物量降低,而主要居于南部海域的海岛哲水蚤生物量上升,且侵入了北部发展。Stenseth 等^[29]和 Walther 等^[30]也指出,气候的波动影响了海洋环境,致使海洋生物的丰度和地理分布产生明显的变化,出现暖性生物分布区扩大,冷性生物分布区缩小以及物种北移等现象。全球气候变暖对不同生态类群浮游动物的影响不同。

References:

- [1] Comprehensive Survey Office of Ocean Group of Committee of Science and Technology of the People Republic of China. Report on Comprehensive investigation of ocean (Volume 8), Studies on offshore plankton of China, 1964. 48 — 51, 113 — 117.
- [2] Du F Y, Li C H, Jia X P. The situation and development trend of the study on Chaetognatha in China. Journal of Shanghai Fisheries University, 2003, 12(1): 65 — 71.
- [3] Dai Y Y. Study on the ecological characteristics of Chaetognatha in waters of southern Huanghai Sea and East China sea I. The characteristics of quantitative distribution. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(6): 106 — 111.
- [4] Xu Z L, Chen Y Q. Relationships between dominant species of Chaetognatha and environmental factors in the East China Sea. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(1): 76 — 82.
- [5] Yuan Q, Wang Y L. On the parametric features of the spatial distribution of *Sagitta enflata* and *Sagitta bedoti* in the northern part of the East China Sea. Marine Fisheries, 2007, 29(3): 240 — 244.
- [6] Xiao Y C. Preliminary studies on the ecological characteristics of the zooplankton of the Yellow Sea. Transactions of Oceanology and Limnology, 1979, 2: 51 — 55.
- [7] Dai Y Y. Ecological study on Chaetognatha in the middle part of the South China Sea. Acta Oceanologica Sinica, 1996, 18(4): 131 — 136.
- [8] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea. Journal of Ecology, 1989, 8(4): 13 — 15.
- [9] Wang Y L, Yuan Q. Ecological study on Chaetognatha in the East China Sea I. Species composition and quantity distribution. Marine Fisheries,

- 2004, 26(1): 29—34.
- [10] Xu Z L, Dai Y F, Chen Y Q. Relationship between Chaetognatha abundance and environmental factors in the East China Sea. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2004, 13(3): 203—208.
- [11] Dai Y Y. A study on the species diversity of Chaetognaths in China seas. *Chinese Biodiversity*, 1995, 3(2): 69—73.
- [12] Bi H S, Sun S, Gao S W, Zhang G T, Zhang F. The characteristics of zooplankton community in the Bohai Sea III. The distribution of abundance and seasonal dynamics of major taxa except copepoda. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(4): 513—521.
- [13] Diurnal vertical migration of Chaetognath around Nansha Islands waters southern South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, 21(1): 48—56.
- [14] Xu Z L, Dai Y F, Chen Y Q. Study on species composition and diversity of Chaetognatha in the East China Sea. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2004, 13(4): 304—309.
- [15] Dai Y Y, Lin M. Study on the ecological characters of Chaetognatha in waters of southern Huanghai Sea and East China Sea II. Community characteristics. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(3): 90—97.
- [16] Bi H S, Sun S, Gao S W, Zhang F. The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai Sea I. Species composition and community structure. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 716—721.
- [17] Yang J M, Li J. Study on the feeding of the Bohai Sea *Sagitta crassa*. *Marine Sciences*, 1995, 6: 38—42.
- [18] Froneman P W, Pakhomov E A, Perissinotto R, Meaton V. Feeding and predation impact of two chaetognath species, *Eukrohnia hamata* and *Sagitta gazellae*, in the vicinity of Marion Island (Southern Ocean). *Marine Biology*, 1998, 131: 95—101.
- [19] Liu Q, Qu H, Zhang S, Wei J. Experimental study on the feeding ecology of *Sagitta crassa*. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(6): 767—772.
- [20] Liu Q, Qu H, Zhang S. Preliminary studies on the tolerance to temperature and salinity in *Sagitta crassa*. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2007, 1: 113—118.
- [21] Perez Y, Casanova J P, Mazza J. Degrees of vacuolation of the absorptive intestinal cells of five *Sagitta* (Chaetognatha) species: possible ecophysiological implications. *Marine Biology*, 2001, 138: 125—133.
- [22] Thuesen E V, Childress J J. Enzymatic activities and metabolic rates of pelagic Chaetognaths: Lack of depth-related declines. *Limnology and Oceanography*, 1993, 38(5): 935—948.
- [23] Southward A J. Fluctuations in the 'indicator' chaetognaths *Sagitta elegans* and *Sagitta setosa* in the western Channel. *Oceanologica Acta*, 1984, 7: 229—239.
- [24] Hawkins S J, Southward A J, Genner M J. Detection of environmental change in a marine ecosystem—evidence from the western English Channel. *The Science of Total Environment*, 2003, 310: 245—256.
- [25] Nagai N, Tadokoro K, Kuroda K, Sugimoto T. Occurrence characteristics of chaetognath species along the PM transect in the Japan sea during 1972—2002. *Journal of Oceanography*, 2006, 62(5): 597—606.
- [26] Bai X E, Zhuang Z M. Studies on the fluctuation of zooplankton biomass and its main species number in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research*, 1991, 12(12): 71—97.
- [27] Du F Y, Li C H, Jia X P. Species composition and quantity distribution of Chaetognatha in Beibu Bay in autumn and winter. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(3): 235—241.
- [28] Fromentin J M, Planque B. Calanus and the environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. f. inmarcticus* and *C. helgolandicus*. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 134: 111—118.
- [29] Stenseth N C, Mysterud A, Ottersen G, Hurrell J W, Chan K S, Lima M. Ecological effects of climate fluctuation. *Science*, 2002, 297: 1292—1296.
- [30] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416: 389—395.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室编. 全国海洋综合调查报告第八册, 中国近海浮游生物的研究. 1964, 48—51, 113—117.
- [2] 杜飞雁, 李纯厚, 贾晓平. 我国毛颚类的研究状况与展望. *上海水产大学学报*, 2003, 12(1): 65—71.
- [3] 戴燕玉. 南黄海和东海毛颚类生态特征的研究 I. 数量分布的特征. *海洋学报*, 2006, 28(6): 106—111.
- [4] 徐兆礼, 陈亚盟. 东海毛颚类优势种及与环境的关系. *中国水产科学*, 2005, 12(1): 76—82.
- [5] 袁骥, 王云龙. 东海北部肥胖箭虫和百陶箭虫空间分布参数的特征. *海洋渔业*, 2007, 29(3): 240—244.

- [6] 肖贻昌. 黄海浮游动物的基本生态特点. 海洋湖沼通报, 1979, 2: 51~55.
- [7] 戴燕玉. 南海中部毛颚类的生态研究. 海洋学报, 1996, 18(4): 131~136.
- [8] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13~15.
- [9] 王云龙, 袁骐. 东海毛颚动物的生态研究 I. 种类组成和数量分布. 海洋渔业, 2004, 26(1): 29~34.
- [10] 徐兆礼, 戴一帆, 陈亚瞿. 东海毛颚类数量分布与环境关系. 上海水产大学学报, 2004, 13(3): 203~208.
- [11] 戴燕玉. 中国海毛颚类物种多样性的研究. 生物多样性, 1995, 3(2): 69~73.
- [12] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 张光涛, 张芳. 渤海浮游动物群落生态特点 III. 部分浮游动物数量分布和季节变动. 生态学报, 2001, 21(4): 513~521.
- [13] 张谷贤, 尹建强. 南沙群岛海区毛颚动物的昼夜垂直移动. 热带海洋学报, 2002, 21(1): 48~56.
- [14] 徐兆礼, 戴一帆, 陈亚瞿. 东海毛颚类种类组成和多样性. 上海水产大学学报, 2004, 13(4): 304~309.
- [15] 戴燕玉, 林茂. 南黄海和东海毛颚类生态特征的研究 II. 群落特征. 海洋学报, 2007, 29(3): 90~97.
- [16] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 张芳. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构. 生态学报, 2000, 20(5): 716~721.
- [17] 杨纪明, 李军. 渤海强壮箭虫摄食的初步研究. 海洋科学, 1995, 6: 38~42.
- [19] 刘青, 曲哈, 张硕, 魏杰. 强壮箭虫摄食生态的实验研究. 水产学报, 2006, 30(6): 767~772.
- [20] 刘青, 曲哈, 张硕. 强壮箭虫对温度、盐度的耐受性研究. 海洋湖沼通报, 2007, 1: 113~118.
- [26] 白雪娥, 庄志猛. 渤海浮游动物生物量及其主要种类数量变动的研究. 海洋水产研究, 1992, 12(12): 71~97.
- [27] 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与数量分布. 中国水产科学, 2003, 10(3): 235~241.