

东海海樽类数量分布及与环境的关系*

徐兆礼¹ 林 茂² 张金标²

(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. 国家海洋局第三海洋研究所 厦门 361005)

提要 根据 1997—2000 年东海 23°30′—33°00′N、118°30′—128°00′E 海域 4 个季节海洋调查资料, 采用方差贡献和逐步回归分析方法探讨东海海樽类的数量变化和相应的动力学。结果表明, 海樽类是东海浮游动物第二大类群, 在数量上仅次于桡足类, 其丰度春季最高, 夏季次之, 冬季最低; 冬、春和夏季的东方双尾纽鳃樽(*Thalia orientalis*)和冬、秋季的小齿海樽(*Doliolum denticulatum*)是影响海樽类数量分布的主要优势种; 海樽类高丰度区常位于暖流与各水团交汇处的偏暖流一侧, 其数量变化的动力主要来自暖流势力的消长。海樽类在东海出现率较低, 集群性强, 较高丰度的分布仅局限在暖流势力范围内, 其高丰度水域是东海暖流锋面的一个重要标志。

关键词 东海, 浮游动物, 海樽类, 数量分布

中图分类号 S932.8

海樽类属尾索动物亚门(Urochordata)海樽纲(Thaliacea)。该生物营浮游生活, 分布广, 数量大, 具有集群性。研究证实(郑重等, 1984), 海樽类有一定的饵料价值, 有利于渔业资源的生长, 但是大量而高密度的海樽类集群对鱼卵有捕杀作用。另外, 海樽类分布与海流的关系十分密切, 常作为水团或海流的指示种。

国外对海樽类的研究相当重视, 并有不少的报道。Soest 等(1975)研究了百慕大群岛梭形纽鳃樽的数量变化和集群行为; Amara 等(1997)研究了巴西南部大陆架水域的海樽类生态学, 其中涉及分布、丰度、垂直移动以及与水团关系等多个方面; Godeaux(1972)系统地介绍了对印度洋海樽类的研究结果; 还有其他一些关于海樽类的研究报告(Daponte *et al.*, 1993; Madin *et al.*, 1996; Paffenhofer *et al.*, 1995)。我国对海樽类数量变化的专门研究, 以往主要集中在局部海域, 主要有张金标等(2003)和林茂(1988)对台湾海峡海樽类分布、林茂(1990)对大亚湾海樽类生态学和高尚武

(1990)在分析东黄海浮游动物的垂直分布时包含了海樽类的研究内容。本文作者在对东海海樽类优势种数量变化和生态适应分析的基础上(徐兆礼等, 2006), 从海樽类数量分布、季节变化及相应的动力学方面进行研究, 并探讨海樽类数量变化与水团和渔场的关系。所得的结果有助于提高对海樽类生物生态特征较为完整的认识, 也可作为全球气候变化、近海环流变异对海洋生物的影响及海洋渔业饵料基础研究的重要参考依据。

1 资料来源及样品处理

1997—2000 年, 在东海 23°30′—33°00′N、118°30′—128°00′E 海域, 分别进行春(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 个季节调查。浮游动物样品(508 个)用大型浮游生物网(口径为 80cm、网目孔径为 0.505mm)由底层至表层垂直拖曳采集。按个体计数法在立体显微镜下计数浮游动物样品中的海樽类丰度(ind/m³), 并鉴定到种。台湾海峡冬季没有调查, 为了详细分析东海海樽类与

*国家自然科学基金重大研究计划资助项目, 90511005 号; 中国近海海洋综合调查与评价(908)资助项目, 908-02-01-03 号。徐兆礼, 研究员, E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

收稿日期: 2006-02-09, 收修改稿日期: 2006-06-17

栖息环境的关系,依据我国渔业区划分(农业部水产局,1987),将东海上述调查区分成如下5个海区(徐兆礼,2006):北部近海(29°30′—33°00′N、123°30′—125°00′E)、—北部外海(29°30′—33°00′N、125°00′—128°00′E)、—南部近海(25°30′—29°30′N、120°30′—125°00′E)、—南部外海(25°30′—29°30′N、125°00′—128°00′E)和—台湾海峡(23°30′—25°30′N、118°00′—121°00′E)。

2 数据处理

海樽类总丰度变化的动力学分析从两个方面进行。一是分析优势种(优势度 $Y > 0.02$)对总丰度变化的影响。先以总丰度为因变量,各优势种丰度为自变量,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()。标准回归系数作为总丰度贡献指数值可用于衡量各优势种对总丰度变化的影响程度。二是分析环境因子变化对总丰度变化的影响。用同步观测到的资料,取表层(t_0)、10m层(t_{10})、底层(t_b)水温()和表层(S_0)、10m层(S_{10})、底层盐度(S_b)6

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,同时进行自变量对因变量回归方差的贡献分析,具体方法参见文献(中国科学院计算中心概率论统计组,1979)。

3 结果

3.1 海樽类总丰度的平面分布

从图1可见,海樽类春季总丰度较高,但出现率低,为59%,北部近海几乎没有分布,高丰度区($>10 \text{ ind/m}^3$)位于27°00′N—29°00′N水域,外海高于近海,中心区最高峰值为231.17 ind/m^3 ,主要由东方双尾纽鳃樽(*Thalia orientalis*)、小齿海樽(*Doliolum denticulatum*)、软拟海樽(*Dolioetta gegenbauri*)构成。该水域表层水温为(19±3) ,表层盐度为32.1—34.1。

夏季分布与春季几乎相同,北部近海极少分布,出现率为66%,高丰度区仍位于27°00′N—29°00′N水域,但范围明显缩小,呈狭带状,西北至东南走向,峰值为39 ind/m^3 ,优势种组成与春季相同。另外,在台湾海峡有较大范围的高丰

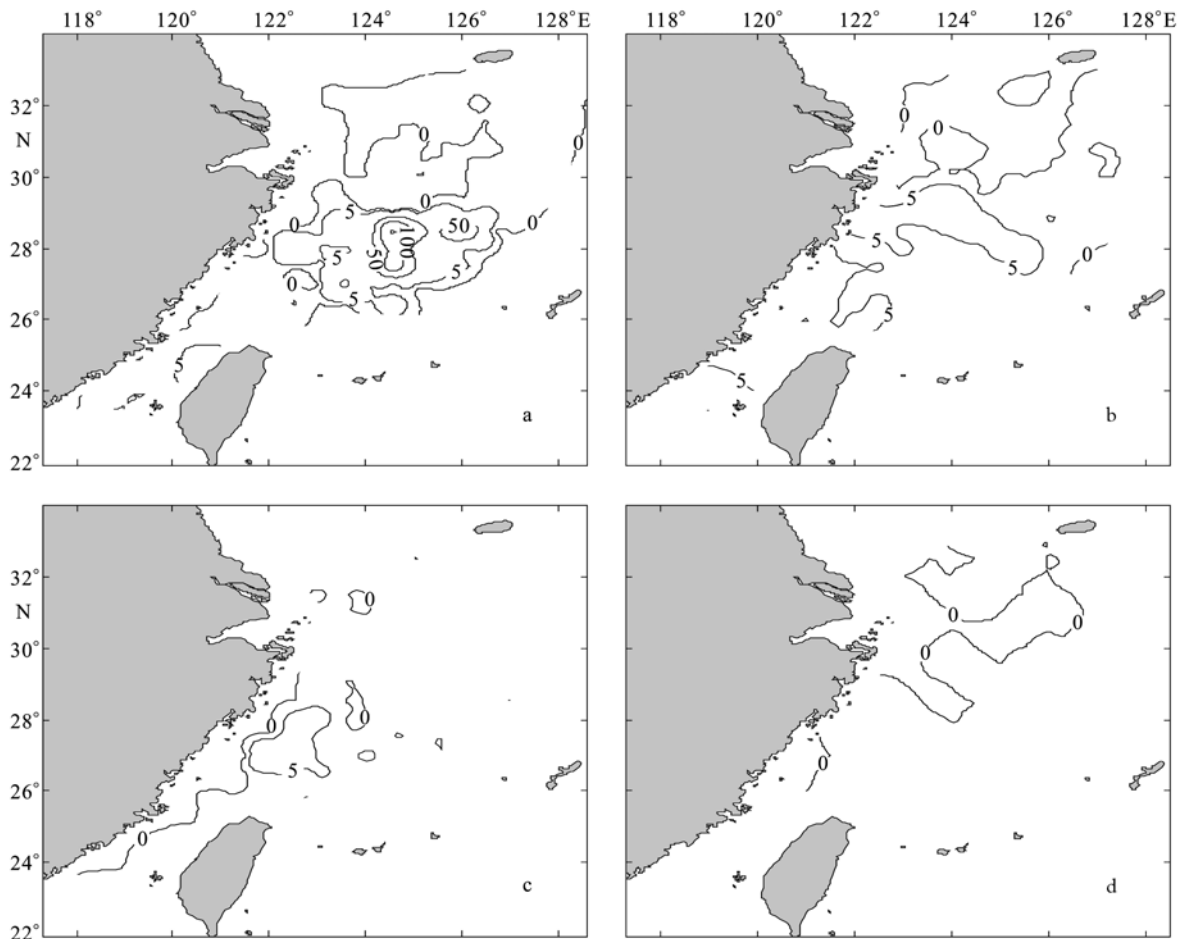


图1 东海海樽类丰度平面分布

Fig.1 Horizontal distribution of Thaliacea abundance in the East China Sea

度区, 峰值为 53.29 ind/m^3 , 主要由软拟海樽和 *Doliolum sp.* 构成。

秋季, 高丰度区仅存于 $27^\circ 00' \text{ N}$ 、 $122^\circ 00' \text{ E}$ 水域, 范围很小, 峰值为 47.07 ind/m^3 , 主要由小齿海樽和邦海樽(*Doliolum nationalis*)构成。其他水域丰度低。长江口 $31^\circ 30' \text{ N}$ 、 $123^\circ 00' \text{ E}$ 个别水域丰度为 6.84 ind/m^3 , 主要由小齿海樽和 *Doliolum sp.* 构成。与其他 3 个季节相反, 海樽类在秋季出现较为普遍, 出现率达 77%, 而且在东海北部大部分站位都有出现。

冬季, 出现率低(57%), 北部近海很少分布, 在南部近海有峰值为 2.45 ind/m^3 数量分布, 范围不大, 主要由东方双尾纽鳃樽和小齿海樽构成。

3.2 海樽类总丰度的季节变化

从图 2 可见, 海樽类分布有明显的季节变化。以 I—V 海区计, 春季总丰度最高, 均值为 8.13 ind/m^3 , 夏季次之, 冬季最低。从春季到冬季,

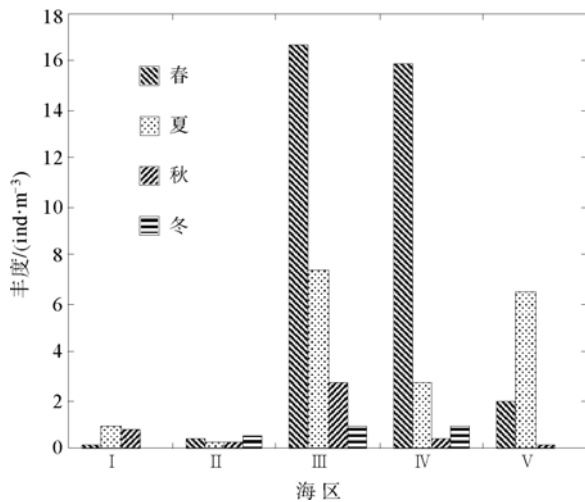


图 2 东海各海区海樽类平均丰度的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of Thaliacea abundance in the East China Sea

海樽类数量呈逐季下降的趋势。就不同海区比较, 南部高于北部的趋势十分明显。同在东海南部, 近海()大于外海()。在东海北部, 夏秋季近海()总丰度均值明显高于外海()海域。冬春季相反。

3.3 海樽类总丰度变化的动力学分析

3.3.1 海樽类优势种对总丰度的贡献 冬、春季的东方双尾纽鳃樽、夏季的软拟海樽、秋季的邦海樽对总丰度的贡献较大, 其值分别是 0.59、0.85、0.54、0.55。另外, 在同一季节中对总丰度有一定贡献的物种是夏季的东方双尾纽鳃樽和秋、冬季的小齿海樽, 分别为 0.44、0.45 和 0.52。表 1 优势种中, 除了以上主要优势种, 同一季节中的其他优势种对总丰度的贡献往往也有较高的数值。

3.3.2 水文环境因子对总丰度的影响 利用多元逐步回归和非线性回归分析方法筛选水文环境因子中对总丰度影响显著的因子。统计结果表明, 4 个季节中, 春季海樽类总丰度变化与 10m 层和底层盐度的二元线性相关关系显著, 方程式为 $Y = -142.3830 + 4.6835S_{10} + 9.0934S_b$ ($n = 127, r = 0.229, F = 3.43, P = 0.011$); 夏季总丰度与底温和表盐相关, 方程式为 $Y = -30.7624 + 0.8197t_b + 0.5701S_0$ ($n = 131, r = 0.456, F = 16.84, P < 0.000$), 方差贡献分析结果显示, 底温标准系数()为 0.41, 而表盐()为 0.20, 底温影响明显大于表盐; 秋季和 4 季合计总丰度与水文环境因子线性关系不显著。冬季仅与 10m 层温度相关($Y = -2.3928 + 0.1699t_{10}, n = 63, r = 0.533, F = 24.19, P < 0.000$)。

3.4 海樽类在东海浮游动物中的比重

根据调查结果, 东海海樽类 4 季平均总丰度为 3.67 ind/m^3 , 占同期浮游动物总丰度的 8.39%, 在东海浮游动物 20 个类群中居第 2 位, 仅次于桡足类($24.26 \text{ ind/m}^3, 55.53\%$)。

表 1 优势种对海樽类总丰度的贡献

Tab.1 Contribution to total abundance from dominant species of Thaliacea

优势种	春			夏				
	Y	t	P	Y	t	P		
东方双尾纽鳃樽 <i>Thalia orientalis</i>	0.34	0.85	170.34	<0.001	0.12	0.44	38.98	<0.001
软拟海樽 <i>Dolioetta gegenbauri</i>	0.11	0.27	54.92	<0.001	0.07	0.54	51.72	<0.001
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	0.04	0.11	22.91	<0.001	0.06	0.19	17.32	<0.001
<i>Doliolum sp.</i>	0.02	—	—	—	0.20	0.31	31.12	<0.001
优势种	秋			冬				
	Y	t	P	Y	t	P		
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	0.24	0.45	20.34	<0.001	0.30	0.52	72.07	<0.001
<i>Doliolum sp.</i>	0.05	0.09	8.06	<0.001	0.03	0.09	13.88	<0.001
邦海樽 <i>Doliolum nationalis</i>	0.05	0.55	25.53	<0.001	—	—	—	—
东方双尾纽鳃樽 <i>Thalia orientalis</i>	—	—	—	—	0.11	0.59	90.80	<0.001

注: Y 为标准回归系数, t 为 t 检验值, Y 为优势度, “—” 表示不是优势种

4 讨论

4.1 海樽类总丰度平面分布与暖流的关系

从图 1 看,海樽类在东海分布极不均匀,个别站位有很高的数量,大部分站位丰度较低或没有分布。海樽类集群分布在个别海区,是其平面分布的重要特征。

从图 1 和图 2 还可看出,海樽类丰度季节变化与调查海域温度和盐度季节变化规律不一致,如:水温较低的春季丰度最高,以至于 4 季总丰度与温、盐度线性关系不明显。这一特征与东海其他浮游动物类群的总丰度季节变化规律不同(徐兆礼等, 2003; 徐兆礼, 2005a, b; Xu *et al.*, 2005)。根据郑重等(1984)报道,海樽类大多数是大洋性种,适温性基本一致。以下对图 1 分析可知,海樽类在东海的数量分布与暖流的位置密切相关。在东海,暖流势力的区域性存在,暖流势力消长与季节变化不同步是海樽类数量季节分布特征和集群性形成的重要原因。

春季,长江径流南下形成江浙沿岸流、黑潮水入侵大陆架和台湾暖流势力由南向北逐步走强是东海水团运动的重要特征。由于黑潮水入侵大陆架,暖流水团沿着陆架海底由东南向西北移动。由图 1a 可见,高丰度的位置正好与黑潮入侵水团位置在空间上和时间上吻合,即东海中部偏外的水域,高丰度区由东南向西北指向,与入侵水团扩展方向一致。春季海樽类丰度与 10m 层和底层盐度正相关,前已分析,春季高丰度区位于具有较高盐度的暖流水域。在东海,黑潮暖流和台湾暖流的高盐水正是沿着大陆架底部由东向西、由南向北涌升,由此形成了春季总丰度变化与底层盐度正相关的现象。由此认为,春季海樽类较高的数量,与大量海樽类随暖流携带由大洋进入东海有关,此时海樽类仅仅局限在暖流势力水域内,虽然范围较小,但数量很大,其他海域较少分布,这是春季海樽类数量最多,但出现率最低的原因之一。因此春季海樽类分布显示出极为明显的集群性特征。

夏季暖流势力明显增强,在完全受暖流势力控制的南部外海水域海樽类数量相对较少。而南部近海数量普遍增加,因为夏季该水域受大陆沿岸流、台湾暖流和黑潮的影响,出现不同水团的交汇(刘树勋等, 1993)的缘故。由图 1b 可见,高丰度区和较高丰度区位于暖流和沿岸流,暖流和混

合水团的交汇处中偏暖流一侧的暖流势力范围内。这些水域往往具高温高盐特征,这也正是夏季海樽类丰度与温度和盐度正相关的原因。

秋季和冬季均是暖流势力消退的季节,特别是冬季,东海不同海区水温有所分化,而冬季海樽类分布在东海南部外海温度较高的水域,因而该季丰度与水温相关。在暖流势力消退过程中,海樽类数量逐步减少。这也是从秋季到冬季海樽类数量逐渐减少的原因。

以上分析说明,东海海樽类数量波动,与东海暖流势力消长过程中的携带有密切的联系。在暖流势力逐渐增强的春夏季,数量较多,反之,在暖流势力逐渐减弱的秋冬季,数量较少。总的说来,数量变化与海流有关,而与水温的季节变化关系不明显。因此,4 季总丰度合计分析,海樽类数量与水温和盐度相关性不显著。

4.2 海樽类数量变动和优势种的关系

根据徐兆礼等(2006)对东海海樽类优势种的研究和本文表 1 结果可见,春季主要优势种中,东方双尾纽鳃樽优势度和 λ 值远大于其他优势种,说明春季总丰度变化几乎由东方双尾纽鳃樽数量变化引起。夏季的软拟海樽和东方双尾纽鳃樽都有很大的优势,因而这些物种是夏季影响总丰度变化的最主要优势种。秋季小齿海樽和邦海樽是重要的优势种,有明显高于其他优势种的方差贡献值。东方双尾纽鳃樽和小齿海樽则是冬季最重要的优势种。从上述分析可见,东方双尾纽鳃樽在冬春夏 3 个季节中无论从其优势度,还是 λ 值都是东海最主要的优势种。小齿海樽在冬秋季是最主要优势种,在其他季节是次要优势种。软拟海樽是夏季的主要优势种。总丰度的变化动力来自主要优势种对总丰度变化的回归贡献。

4.3 海樽类数量变化在渔业和海洋生态学中的意义

海樽类仅次于桡足类,是东海浮游动物第二大类群。尽管其饵料价值相对较低,但是仍有报道提及,太平洋西北部海域为海樽类大量密集区域,也是鱼类密集区域(郑重等, 1984)。本研究结果显示,夏季高丰度区位于长江径流、大陆沿岸流、黄海冷水团与台湾暖流、黑潮交汇区偏暖流一侧。同步研究显示(郑元甲等, 2003),夏季江浙沿海也是许多鱼类的产卵场。海樽类在某一水域高密度出现,对鱼类的繁殖有双重作用。首先海樽类本身是成鱼的饵料,但海樽类无选择的滤食,又使大量

鱼卵死亡。海樽类数量与渔场兴衰有一定的关系。

东海海樽类具有明显的集群性,特别是东方双尾纽鳃樽。图 1 和徐兆礼等(2006)研究显示,在春季,该种高丰度区是黑潮水入侵大陆架的一个重要标志,因而是良好的水团指示种。对海樽类数量和种类分布规律的进一步研究,无论在理论上还是实践上都具有重要的意义。

致谢 陈渊泉、王云龙研究员等 126 课题组同志在海上样品采集、室内样品处理等做了大量的工作;特别感谢沈晓民先生协助处理数据,并在论文构思中提供了非常有益的建议,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 中国科学院计算中心概率统计组编著, 1979. 概率统计计算. 北京: 科学出版社, 105—144
- 刘树勋, 沈新强, 王幼琴, 1993. 渤、黄、东海水团多年平均分布与变化的初步研究. 海洋学报, 15(4): 1—11
- 农业部水产局, 1987. 东海区渔业资源调查和区划. 上海: 华东师范大学出版社, 68—78, 124—131
- 张金标, 连光山, 王云龙等, 2003. 台湾海峡东部海樽类(Tunicata: Thaliacea)的分布. 台湾海峡, 22(3): 279—285
- 林 茂, 1988. 台湾海峡西部海域海樽类(Thaliacea)的初步分析. 海洋通报, 7(4): 66—71
- 林 茂, 1990. 大亚湾海樽类生态的研究. 见: 国家海洋局第三海洋研究所编. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 390—396
- 郑 重, 李少菁, 许振祖, 1984. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 468—494
- 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅等, 2003. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 206—233
- 徐兆礼, 2006. 东海精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*)种群生态特征. 海洋与湖沼, 37(2): 97—104
- 徐兆礼, 2005a. 东海浮游翼足类(Pteropoda)数量分布的研究. 海洋学报, 27(4): 148—154
- 徐兆礼, 2005b. 东海浮游十足类数量分布与环境的关系. 中国水产科学, 12(5): 594—599
- 徐兆礼, 林 茂, 张金标, 2006. 东海海樽类(Thaliacea)优势种的数量变化和生态适应分析. 动物学报, 52(1): 53—62
- 徐兆礼, 蒋 玫, 晁 敏等, 2003. 东海浮游桡足类数量分布. 水产学报, 27(3): 258—264
- 高尚武, 1990. 东海水母类、浮游贝类及被 类的垂直分布. 海洋科学集刊, 31: 83—92
- Amara W J A, Montu M A, Gloeden I M, 1997. Salpidae (Thaliacea) in the continental shelf of southern Brazil: composition, distribution and abundance (summer, 1990). Atlantica, 19: 51—66
- Daponte M C, Capitanio L F, Machinandarena L *et al*, 1993. Planktonic tunicates (Chordata, Tunicata) of the RTMA Evrika in the southwestern Atlantic Ocean (1988). Iheringia Ser Zool, 74: 71—80
- Godeaux J, 1972. Pelagic tunicates of the Indian Ocean. J Mar Biol Assoc India, 14(1): 263—292
- Madin L P, Kremer P, Hacker S, 1996. Distribution and vertical migration of salps (Tunicata, Thaliacea) near Bermuda. J Plankton Res, 18(5): 747—755
- Paffenhoefer G A, Atkinson L P, Lee T N *et al*, 1995. Distribution and abundance of thaliaceans and copepods off the southeastern U. S. A. during winter. Cont Shelf Res, 15(2—3): 55—280
- Soest R W M Van, 1975. Thaliacea of the Bermuda area. Bull Zool Mus Univ Amsterdam, 5(2): 7—12
- Xu Z L, Li C J, 2005. Horizontal distribution and dominant species of heteropods in the East China Sea. J Plankton Res, 27: 373—382

RELATIONSHIP OF WATER ENVIRONMENT AND ABUNDANCE DISTRIBUTION OF THALIACEA IN THE EAST CHINA SEA

XU Zhao-Li¹, LIN Mao², ZHANG Jin-Biao²

(1. 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; 2. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen, 361005)

Abstract To find out the relationship of Thaliacea in water mass and fishing ground in the East China Sea, dynamic change in abundance of Thaliacea in the East China Sea was studied statistically based on 4 seasonal investigation data obtained in area of 23°30'—33°00' N/118°30'—128°00' E between 1997 to 2000. The result showed that Thaliacea, ranking next to copepods in quantity, was the second largest zooplankton group, with maximum in spring, minimum in winter, and summer-autumn in between. Two species, *Thalia orientalis* in spring and summer, and *Doliolum denticulatum* in autumn and winter, were shown to be dominant in abundance distribution. Stepwise regression showed no clear relationship of the autumn abundance and total abundance to hydrological factors, whereas the spring abundance clearly related to bottom salinity and 10m-salinity; the summer abundance to surface-salinity and bottom-temperature; and the winter abundance to 10m-temperature. High abundance mainly occurred by a warm current to which all water masses converged. The dynamic change in the abundance was mainly forced by warm currents in the area. Thaliacea was an important indicative species for having low concurrency, high aggregation, and special distribution in warm current area with high abundance, which is a good indicator of the front of a warm current. The results will help understand Thaliacea biology and ecology in the sea.

Key words East China Sea, Zooplankton, Thaliacea, Abundance distribution