

东海水母类丰度的动力学特征^{*}

徐兆礼^{**}

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 本文根据 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, 探讨了东海水母类数量变化特征和相应的动力学。结果表明: 水母类是东海浮游动物的第三大类群, 其丰度仅次于桡足类和海樽类; 其数量有明显的季节变化, 春季丰度最高 (5.37 ind./m³), 秋季次之 (2.23 ind./m³), 冬季 (1.82 ind./m³), 夏季最低 (0.88 ind./m³); 其平面分布特征为近海高于外海; 其数量变化首先来自优势种大西洋五角水母 (*Muggiaea atlantica*) 和双生水母 (*Diphyes chamissonis*) 的贡献, 前者是近岸暖温种, 后者是近岸暖水种; 春季丰度变化与表层和底层盐度二元线性相关, 夏季与底层水温相关, 秋季与底层盐度相关, 冬季与表层盐度相关, 4 季总丰度与 10 m 层盐度相关。盐度是影响水母类数量变化的主要环境动力学因子, 水温是次要因子; 水母类高丰度区往往位于台湾暖流与长江径流交汇处偏冲淡水水团一侧。长江冲淡水在不同季节入海后的流向是决定高丰度分布区位重要的动力学因子。该类浮游动物对沿海海域生物安全、生态安全和环境安全都有重要的影响, 引起全球的普遍关注 [动物学报 52 (5): 854–861, 2006]。

关键词 浮游动物 水母类 数量分布 因果分析 东海

Dynamics of medusa abundance in the East China Sea^{*}

XU Zhao-Li^{**}

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

Abstract Based on data from four seasonal oceanographic cruises in the East China Sea (23°30′–33°N, 118°30′–128°E) in 1997–2000, distribution and the seasonal changes of medusa abundance and their dynamics are discussed in this paper using qualitative and quantitative methods such as stepwise regression. Results show that the medusa represent the third largest group, following after Copepoda and Thaliacea for its total abundance, in zooplankton of the East China Sea. Medusa abundance peaked in spring (5.37 ind./m³), and it was the second highest in autumn (2.23 ind./m³), then in winter (1.82 ind./m³) and the lowest in summer (0.88 ind./m³) with the distribution of abundance in nearshore being larger than offshore. Medusa abundance was due to the contribution of two dominant species, *Muggiaea atlantica* and *Diphyes chamissonis*, as these neritic species occur in conditions of low salinity. It was found that the medusa abundance in spring showed a linear correlation with surface and bottom salinity. Salinity is the main dynamical factor affecting the medusa abundance, while water temperature acts as a subordinate factor. The area of highest abundance was located at the edge of the coastal waters, in the area of convergence of the Taiwan Warm Current and Changjiang Diluted Waters. Medusa play an important role in the ecosystem and fisheries in nearshore regions of the East China Sea, including seasonal fluctuations in Zooplankton abundance [Acta Zoologica Sinica 52 (5): 854–861, 2006].

Key words Zooplankton, Medusae, Abundance distribution, Causal analysis, East China Sea

2006-03-28 收稿, 2006-05-28 接受

^{*} 国家自然科学基金重大研究计划“全球变化及其区域响应”(No.90511005)和国家重点基础研究发展规划“973”项目(No.2001CB409707)资助 [This research was founded by the grants from Major Research Plan of the National Natural Science Foundation of China (No.90511005) and the National Key Science Foundation Research “973” Project of the Ministry of Science and Technology of China under contract (No.2001CB409707)]

^{**} 通讯作者 (Corresponding author). E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

© 2006 动物学报 Acta Zoologica Sinica

本文所研究的水母类是包括腔肠动物门 (Coe-lenterata) 和栉水母动物门 (Ctenophora) 的小型浮游动物水母类群, 这类动物绝大部分海产, 营浮游生活, 种类多、分布广、数量大。虽然有些种类的水母有饵料价值 (Purcell et al., 2001), 但大量而高密度的水母集群对鱼卵和浮游动物有捕杀作用 (Purcell, 2005), 甚至使饵料浮游动物的密度显著降低, 形成一定的海洋灾害 (Purcell et al., 2001)。虽然上述的水母类属于不同的门类, 但这两类浮游动物在海洋生态系统中的作用和变化相近, 本研究将其数量变化作为一个共同的对象关注。

由于水母类与全球和区域变化密切相关, 国际上对海洋水母类的摄食行为和生命周期 (Daphne et al., 2003)、分布和数量变化 (Paffenhoefer et al., 1995; Dumont, 1994)、与渔业的关系 (Jennifer et al., 2001)、在生态系统中的作用 (Mills, 1995, 2001) 等相当重视。近来, Kideys (2002) 发现浮游水母暴发使黑海生态系统退化, Dennis (2003) 描述了深海中的水母的行为。在水母类数量变动的环境动力学方面, 大型水母与气候变化的研究也有报道 (Lynam et al., 2005), 但小型水母类报道并不多见, Purcell et al. (2005) 发现, 由于不同的温盐适应习性, 以及海域温盐的年间变化, 美国切萨皮克湾栉水母和水螅水母优势在不同年份交替显现, 栉水母大量出现对鱼类和浮游动物数量有不利的影响。我国对水母类的研究, 早期多关注分类学的方面, 近来有一些生态学研究, 如林茂 (1989)、林茂、张金标 (1991)、张金标等 (2003) 对台湾海峡水母类分布的研究, 马喜平、高尚武 (2000) 对渤海水母数量变化的分析, 高尚武 (1982) 对东海近海水母类的研究, 徐兆礼等 (2003a, b) 对东海水螅水母和管水母种类组成等的描述。到目前为止, 对水母类生态学的研究, 几乎都停留在描述阶段, 少有统计计算和因果分析的内容。本研究利用 1997–2000 年海洋调查资料, 对东海水母类从数量分布、季节变化及相应的动力学方面进行研究, 探讨东海水母类的数量变化内在和外部的原因。所得的结果对于东海近海饵料生物安全、赤潮发生机制和渔场分布变化等研究均有重要的参考价值。

1 材料与方法

1.1 调查时间、范围和方法

1997–2000 年利用“北斗号”调查船, 在东

海 $23^{\circ}30' - 33^{\circ}00'N$ 、 $118^{\circ}30' - 128^{\circ}00'E$ 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 个航次的海洋综合调查, 站位设置见图 1。台湾海峡海域冬季没有调查; 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 80 cm、筛绢 GG36、网目孔径 0.505 mm) 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水母类丰度 (单位: ind./ m^3), 并鉴定到种。温盐度采用 SBE-19 型 CTD 测定。为了详细分析水母类与栖息环境的关系, 依据区划的有关约定 (农业部水产局, 1987), 将东海上述调查水域划分成如图 1 所示的 5 个海区。

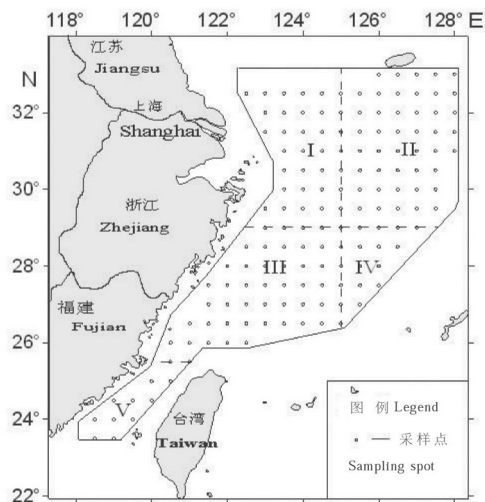


图 1 东海浮游动物采样站位分布

I: 东海北部近海. II: 东海北部外海. III: 东海南部近海. IV: 东海南部外海. V: 台湾海峡. ○: 调查站位。

Fig.1 Location of zooplankton sampling station

I: North nearshore ($29^{\circ}30' - 33^{\circ}N$, $122^{\circ}30' - 125^{\circ}E$). II: North offshore ($29^{\circ}30' - 33^{\circ}N$, $125^{\circ} - 128^{\circ}E$). III: South nearshore ($25^{\circ}30' - 29^{\circ}30'N$, $120^{\circ}30' - 125^{\circ}E$). IV: South offshore ($25^{\circ}30' - 29^{\circ}30'N$, $125^{\circ} - 128^{\circ}E$). V: The Taiwan Strait ($23^{\circ}30' - 25^{\circ}30'N$, $118^{\circ} - 121^{\circ}E$). ○stands for sampling station.

1.2 生态指标计算与数据处理

优势种的优势性用优势度 (Y) 表示, $Y \geq 0.02$ 的种为优势种, 优势度计算公式和优势种的确定参见 (徐兆礼、陈亚瞿, 1989)。

对水母类丰度变化的动力学分析从两个方面进行。一是分析优势种对水母类丰度变化的影响。先以水母类丰度为因变量, 各优势种丰度为自变量,

采用逐步回归分析方法，根据 t 值筛选出对水母类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)。标准回归系数作为水母类丰度贡献指数值可用于衡量各优势种对水母类丰度变化的影响程度。二是分析环境因子变化对水母类丰度变化的影响。用同步观测到的资料，取水温 ($^{\circ}\text{C}$)，表层 (t_0)、10 m 层 (t_{10})、底层 (t_b) 和盐度，表层 (S_0)、10 m 层 (S_{10})、底层 (S_b) 6 个因子作自变量，水母类丰度为因变量，采用逐步回归分析方

法分析，上述分析具体的计算方法参见文献（中国科学院计算中心概率论统计组，1979）。

2 结 果

2.1 水母类丰度的平面分布

春季水母类出现率为 85.60%，仅次于冬季。从图 2a 可见，水母类丰度大于 5.00 ind./m³ 的密集区出现在 27°30′–30°30′N、122°00′–126°00′E 海域，密集中心位于 27°30′N，122°30′E，丰度达

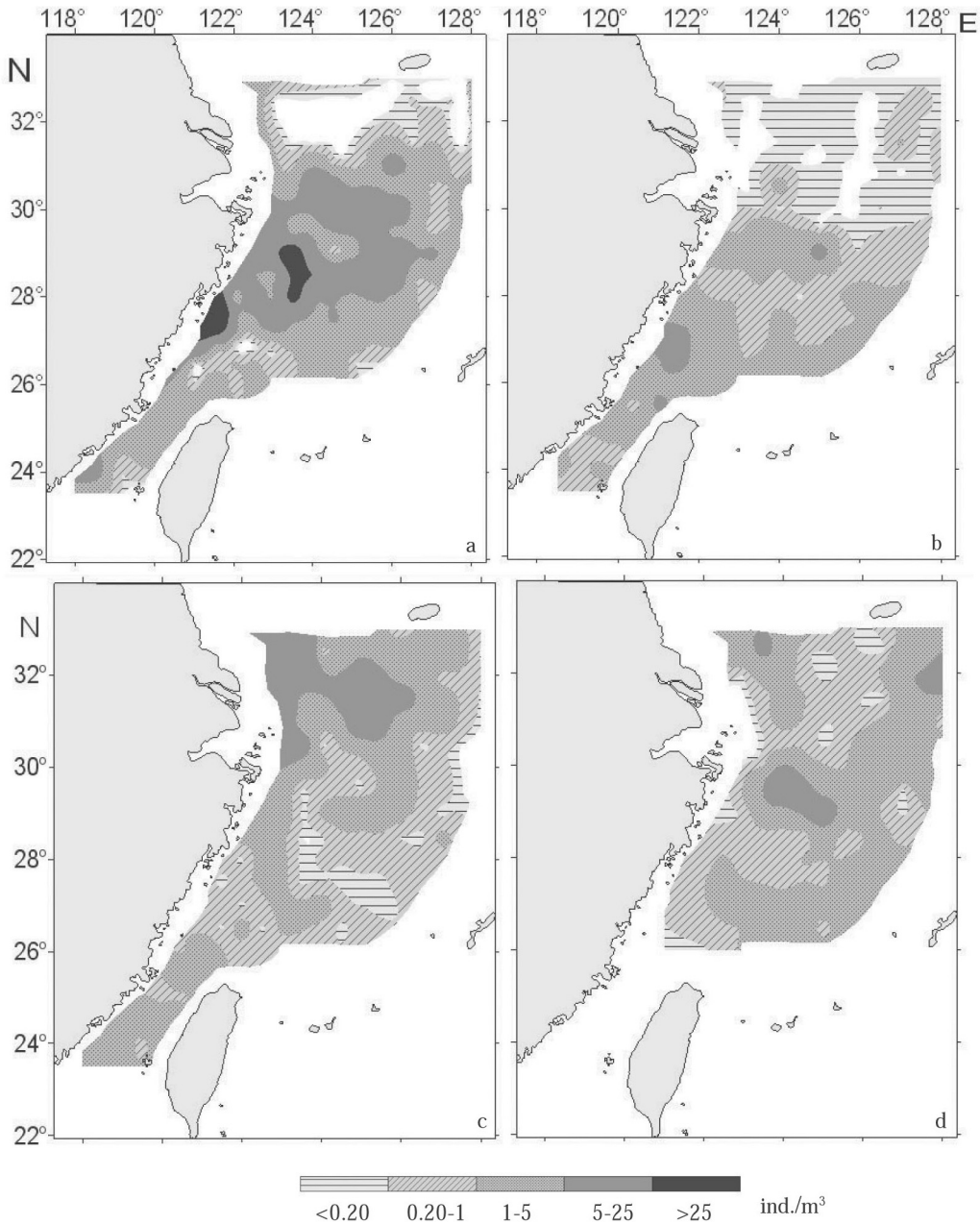


图 2 东海水母类丰度平面分布
a. 春, b. 夏, c. 秋, d. 冬。

Fig.2 Horizontal distribution of medusa abundance in the East China Sea
a. Spring. b. Summer. c. Autumn. d. Winter.

92.91 ind./m³，水温 19.8℃，盐度 28.0，主要由大西洋五角水母（*Muggiaea atlantica*）高度聚集所致。在台湾海峡南部上升流区附近也有一小范围的密集区，峰值 8.79 ind./m³，由多种非优势的种组成。31°00′N 以北（Ⅰ）海域丰度很低。

夏季分布特征与春季相近，但数量相对较高的区域更偏向南部，并比春季数量有明显的下降（图 2b）。夏季北部近海极少分布，相对较高丰度区位于 25°00′N–29°00′N，120°00′–125°00′E 海域，分为南北两块，北部峰值 8.61 ind./m³，水温 24.6℃，盐度 29.6，主要由大西洋五角水母构成；南部峰值 9.51 ind./m³，水温 27.5℃，盐度 33.5，主要有半口壮丽水母（*Aglaurea hemistoma*）、拟双生水母（*Diphyes bojani*）和拟细浅室水母（*Lensia subtiloides*）。另外，在东南南部外海（Ⅳ）也有一定的数量，东海北部近海数量很少。夏季出现率为 78.05%，较春季明显降低。

秋季高丰度区（5–25 ind./m³）主要位于 30°30′–32°30′N、123°00′–126°00′E（Ⅰ）的长江口海域（图 2c），范围小于春季，峰值 19.41 ind./m³，水温 22.5–24.5℃，盐度 31.7–33.4，主要由双生水母（*Diphyes chamissonis*）构成，个别站位也有一定数量的大西洋五角水母，其次是半口壮丽水母。其他海域丰度低。秋季出现率为 81.08%，略小于春季。

冬季出现率是 4 季中的最高值，为 95.38%。29°00′–30°0′N、124°00′–125°30′E 海域有高丰度区，峰值为 15.34 ind./m³，水温 13–15℃，盐度 31.8–34.4，范围不大，主要由大西洋五角水母构成（图 2d）。济州岛东南外海也有较高的数量，峰值为 9.24 ind./m³，主要由双生水母构成。

2.2 水母类丰度的季节变化

本文所述水母类经鉴定共有 112 个种（郑元甲等，2003）。从表 1 可见，东海水母类丰度有明显的季节变化。以东海Ⅰ–Ⅳ海区计，春季丰度最高，均值为 5.37 ind./m³，秋季次之（2.23 ind./m³），冬季再次（1.82 ind./m³），夏季最低（0.88 ind./m³）。春秋两季丰度明显高于夏冬季。就不同海区比较，无论近海（Ⅰ，Ⅲ）还是外海（Ⅱ，Ⅳ），春夏季南部（Ⅲ，Ⅳ）高于北部（Ⅰ，Ⅱ），秋冬季相反。无论南部还是北部，近海高于外海的趋势明显。台湾海峡丰度介于东海近海和外海之间。

表 1 东海各海区水母类平均丰度的季节变化

Table 1 Seasonal variation of medusa abundance in the East China Sea (ind./m³)

季节 Season	Ⅰ *	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅰ–Ⅳ	平均 Mean
春 Spring	5.77	1.54	8.57	5.58	2.16	5.37	4.73
夏 Summer	0.30	0.12	2.21	0.90	0.70	0.88	0.84
秋 Autumn	6.06	1.55	0.85	0.46	1.14	2.23	2.02
冬 Winter	2.20	2.09	1.51	1.48	*	1.82	*
平均 Mean	3.58	1.33	3.28	2.10	*	2.57	*

* 表示海区。* shows marine zones.

2.3 不同优势种对水母类丰度变化的贡献

依据对东海水母种类优势度分析结果，表 2 列出了优势度 $Y \geq 0.02$ 的种。春季仅有大西洋五角水母和半口壮丽水母是优势种，夏季拟双生水母、拟细浅室水母、半口壮丽水母、双生水母、大西洋五角水母和四叶小舌水母（*Liriope tetraphylla*）是优势种，秋季拟细浅室水母、双生水母、大西洋五角水母和半口壮丽水母是优势种，冬季巴斯水母（*Bassia bassensis*）、双生水母、大西洋五角水母和半口壮丽水母是优势种。丰度最低的夏季，优势种种数明显多于其他季节，而丰度最高的春季，优势种种数最少。

春季，对水母类丰度有贡献的仅仅是大西洋五角水母，贡献率接近 1；夏季有贡献的优势种较多，其中大西洋五角水母和半口壮丽水母的贡献较大，其 β 值分别是 0.431 和 0.516，其次是拟双生水母和拟细浅室水母。秋季贡献率较大的仅仅是双生水母。冬季主要有双生水母和大西洋五角水母（表 2）。

2.3.1 水温和盐度因子对水母类丰度变化的影响

利用多元逐步回归方法筛选水文环境中对水母类丰度影响显著的因子。结果表明（表 3）：4 个季节中，春季水母类丰度的变化与表层和底层盐度二元线性显著相关；夏季与底温显著相关；秋季与底层盐度显著相关；冬季与表层盐度相关；4 季合计与 10 m 层盐度显著相关。

2.4 水母类在东海浮游动物中的地位

根据调查结果，东海水母类 4 季平均丰度为 2.60 ind./m³，占同期浮游动物总丰度的 5.59%，在东海浮游动物 20 个类群中居第 3 位，仅次于桡足类（24.26 ind./m³，55.53%）和海樽类（3.67 ind./m³，8.39%）。

表 2 优势种的优势度及其对水母类丰度的贡献

Table 2 Dominance and contribution of dominant species to medusa abundance

优势种 Dominant species	春 Spring				夏 Summer			
	Y	β	t	P	Y	β	t	P
拟双生水母 <i>Diphyes bojani</i>	—	—	—	—	0.03	0.299	19.29	0.000
拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	—	—	—	—	0.10	0.260	16.51	0.000
半口壮丽水母 <i>Aglaura hemistoma</i>	0.02	—	—	—	0.12	0.516	66.91	0.000
双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	—	—	—	—	0.03	0.105	6.906	0.000
四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i>	—	—	—	—	0.03	—	—	—
大西洋五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>	0.48	0.968	37.14	0.000	0.03	0.431	32.63	0.000

优势种 Dominant species	秋 Autumn				冬 Winter			
	Y	β	t	P	Y	β	t	P
巴斯水母 <i>Bassia bassensis</i>	—	—	—	—	0.03	—	—	—
拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	0.06	0.157	15.89	0.000	—	—	—	—
双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	0.43	0.720	71.49	0.000	0.18	0.446	23.17	0.000
半口壮丽水母 <i>Aglaura hemistoma</i>	0.06	0.108	13.02	0.000	0.04	0.151	7.346	0.000
大西洋五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>	0.02	0.271	31.90	0.000	0.18	0.528	28.61	0.000

β : 标准回归系数。t: t 检验值。Y: 优势度。—: 贡献不显著。
 β : Standard regression coefficient. t: t value. Y: Dominance. —: not significant.

表 3 水母类丰度与温盐度的相关性分析

Table 3 Regression analysis between medusa abundance and temperature and salinity

季节 Season	回归方程 Regression equation	n	r	F	P
春 Spring	$Y = -4406 - 3.99 S_0 + 5.37S_b$	127	0.509	23.40	0.0001
夏 Summer	$Y = -2.37 + 0.17t_b$	131	0.397	25.28	0.0001
秋 Autumn	$Y = 103.48 - 2.98 S_b$	105	0.570	51.08	0.0001
冬 Winter	$Y = -23.76 + 0.76S_0$	63	0.216	4.025	0.0492
四季合计 Four seasons	$Y = 36.29 - 1.0279 S_{10}$	427	0.215	20.51	0.0001

3 讨 论

3.1 水母类丰度平面分布和季节变化特征

东海水母类丰度在春季最高，出现率在冬季最高，这两个季节都是一年中水温相对较低的季节。与东海海樽类（徐兆礼等，2006）不同，海樽类在春季虽然也有较高丰度，但其主要分布在水温和盐度较高的黑潮暖流区，相反水母类却分布在水温和盐度都较低的近海海域。水母类高丰度区的水温 14–20℃，盐度 28–32。秋季是东海水母类的另一高峰期，冬季其有最广泛的分布。依据作者（徐兆礼等，2003c；徐兆礼，2005a, b；徐兆礼、李春鞠，2005）对同步资料中其他浮游动物季节变化研究的结果，水母类分布特征与其他浮游动物类群基本不同。

从表 1 可见，水母类丰度变化的另一个特征是近海数量显著高于外海。水母是一类具有集群行为的浮游动物类群。由图 2 所示，高丰度或较高丰度往往聚集在个别海区，数量分布的不均匀性是东海水母类的重要特征。除了冬季在济州岛东南海域有较小范围的高丰度（5–25 ind./m³）区外，4 个季节水母类集群位置基本上都分布在近海。水母类主要优势种的生态适应，东海水团的季节变化和水文环境的季节变化是使东海水母类丰度变化规律有别于其他浮游动物的重要原因。

3.2 水母类丰度变化与优势种生态适应的分析

从结果 2.3 可以认为，春季大西洋五角水母和秋季双生水母的数量变动，是影响东海水母类数量变动的重要原因，特别是大西洋五角水母在冬春两季和双生水母在冬秋季的变动。可见，东海水母类

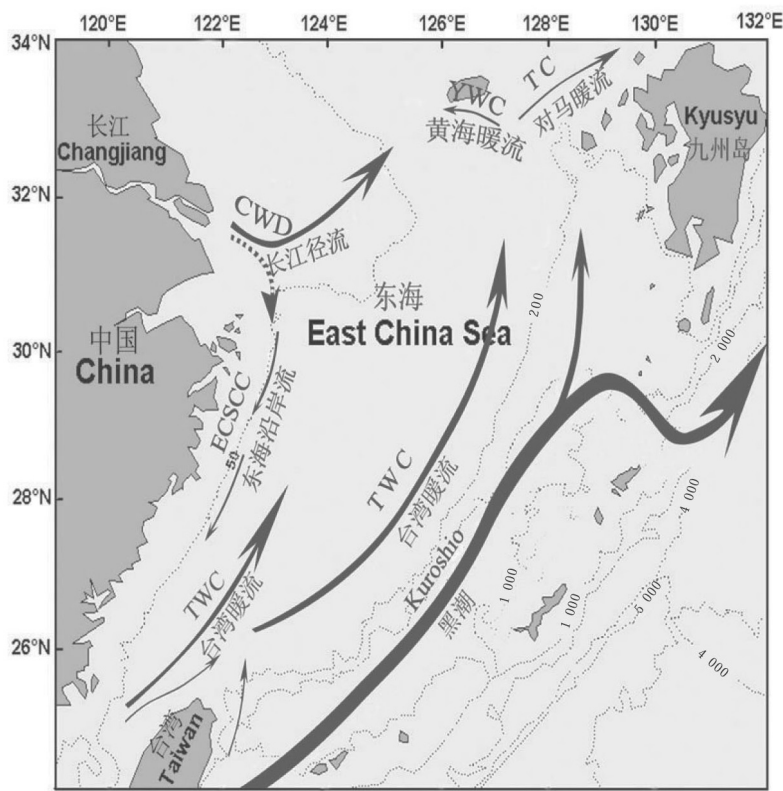


图 3 东海海流示意图（农业部水产局，1987）
.....为冬半年流向，——为夏半年流向。

Fig.3 Circulation pattern in the East China Sea (Fishery Bureau of Ministry of Agriculture, 1987)
.....: Winter current. ——: Summer current.

丰度的变化动力主要来自于这两个优势种的回归贡献。

根据以上分析可以推断出，东海水母类丰度变化的空间特征和时间特征与其主要优势种的生态适应有密切的关系。根据主要优势种的生态特征，可以了解东海水母类数量时空变化与环境变化之间的因果关系。

大西洋五角水母是东海水母类最主要的优势种。依据表 2 可见，大西洋五角水母广泛分布在冬春季节，在水温为 14 – 20℃ 的环境下聚集并形成很高的丰度，而在水温较高的夏秋季数量反而明显减少，优势度明显下降。大西洋五角水母的这些生态特征与东海暖温种中华哲水蚤（*Calanus sinicus* Brodsky）相同，因而该种具有暖温种生态特征。由于大西洋五角水母丰度在春季有明显的优势，而春季水母类丰度占四季水母类总丰度的一半以上，因而，春季水母类丰度分布呈现出暖温种的特征。

从表 2 还可见，双生水母在夏季开始成为优势种，秋季在长江口高度聚集，并成为该季最主要的水母类优势种。到了冬季，双生水母高丰度区位于

水温较高的东海北部外海。双生水母的这些变化特征与一些典型的暖水种，如精致针刺水蚤（*Euchaeta concinna* Dana）（徐兆礼，2006a）和亚强真哲水蚤（*Eucalanus subcrassus* Giesbrecht）（徐兆礼，2006b）基本相似。因而该种具有暖水种生态特征。在秋季，双生水母在水母类中占有绝对的优势，秋季水母类丰度分布主要取决于该种的变化。这也是为什么秋季水母类丰度分布具有暖水种特征的原因。

冬夏两季是两类不同生态类群的优势种的过渡季节，在这些季节中，水母类中没有单一优势性非常突出的优势种（表 2），在过渡季节里，尽管已经有了适合特定优势种生长的环境，例如，夏季水温较高，冬季水温较低。但种群生长并形成较大的数量需要时间过程。冬夏两季，由于适宜环境形成的时间尚短，不同生态类群优势种种群尚未充分发展，因而数量较少。这也是冬夏两季水母类丰度远远低于春秋季的原因。

3.3 水母类丰度变化与海流的关系

除了季节变化和优势种的生态适应特征以外，

影响东海水母类数量分布特征的另一个重要因素是东海水团的变化。春季, 由于长江径流量较低, 长江径流进入东海后, 在盛行偏北风和南下的沿岸流作用下, 长江冲淡水沿大陆岸线南下流向浙江沿海。与此同时, 台湾暖流势力增强并由南向北扩展, 北上的台湾暖流和南下的长江径流在浙江沿海交汇(胡方西等, 2002)。同时台湾暖流也与混合水团在东海中部交汇(农业部水产局, 1987)。比较图 2 和图 3, 水母类高丰度分布海域位于台湾暖流和沿岸流交汇处偏沿岸流一侧, 或台湾暖流和混合水团交汇处偏混合水团一侧。从夏季到秋季, 台湾暖流势力明显增强, 在盛行偏南风 and 台湾暖流的共同作用下, 长江冲淡水舌的主轴约在东经 $122^{\circ}30'$ 附近转向东和东北方向。台湾暖流和长江径流在东海北部近海的长江口海域交汇(胡方西等, 2002)。秋季双生水母的高丰度分布区正好位于长江冲淡水的势力范围内。

台湾暖流和长江冲淡水的势力消长对东海水母类高丰度分布区形成有重要的意义。决定水母类丰度分布的大西洋五角水母和双生水母都趋向于在近海分布, 尽管这两个种具有很不相同的温度适应。但由于它们的高丰度区均在受长江水团势力影响范围内, 在外海数量不多, 因而都可视为近岸种。这就是水母类丰度具有近海高于外海, 北部高于南部平面分布特征的原因。主要优势种的低盐适应性, 长江冲淡水在不同季节的入海扩展方向是决定东海水母类高密度聚集区位置的主要因素。

3.4 水母类丰度变化与水文环境因子的关系

除了夏季, 水母类丰度均与盐度因子关系较为密切(表 3), 这显示出, 水母类丰度变化对盐度因子更加敏感。前已分析, 高丰度分布区的形成与长江冲淡水走向密切相关, 高丰度往往分布于长江冲淡水势力范围, 或是受长江径流影响明显的海域内。因而春季水母也有较高的数量, 这也说明盐度对高丰度海域的分布有重要的影响。本文逐步回归的计算结果与海流分析所得到的结果相吻合。通过不同结果间的相互印证, 上述事实得到确证后, 可以认为, 在水文环境因子影响方面, 盐度是影响东海水母类丰度变化的主要动力学因子, 水温是次要因子。

3.5 水母类丰度变化在渔业和海洋生态学上的意义

就数量而言, 东海水母类仅次于桡足类和海樽类, 是浮游动物第三大类群。水母类本身饵料价值

相对较低, 但由于水母大多数以浮游动物和鱼卵为主要食物, 其对渔业的危害不容忽视。

春季, 高丰度区位于长江径流与台湾暖流交汇区中偏长江径流的一侧。这一带海域是东海赤潮高发海域, 从每年的 3 月到 6 月, 东海赤潮高发区由浙江南部近海向长江口海域移动, 与本文所提到的水母高丰度区重叠。有文献显示(Purcell et al., 2001), 水母能够大量吞食浮游桡足类, 结合该季节东海近海浮游动物群落结构特有的脆弱性(徐兆礼, 2004), 可以认为, 春季水母类在东海近海高度聚集, 可能使该海域浮游桡足类数量下降, 从而减弱了浮游动物对浮游植物数量的抑制。因此, 春季东海近海水母类的聚集, 可能是赤潮频频发生的原因之一。

秋季, 长江口海域是东海主要暖水性浮游动物分布的海域, 双生水母能够在长江口区的聚集并形成较高的数量, 该海域具有丰富的饵料浮游动物也是一个重要的原因(Xu et al., 2004; 徐兆礼、李春鞠, 2005)。

致谢 陈渊泉和王云龙研究员、洪波、袁骐、蒋玫、韩金娣等同志在海上样品采集、室内样品处理、数据统计、绘图等做了大量的工作, 谨致谢忱。特别感谢我国著名海洋生物学家[张金标]研究员帮助鉴定样品; 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。

参考文献 (References)

- Daphne GF, Jane AW, Paulyn C, Marymegan D, Charles RD, 2003. Trends in Research on Cnidaria and Ctenophora. Kluwer Academic Publisher, 12–32.
- Dumont HJ, 1994. The distribution and ecology of the fresh-and brackish-water jellyfishes of the world. *Hydrobiologia* 272 (1–3): 1–12.
- Dennis C, 2003. Marine biology: close encounters of the jelly kind. *Nature* 426: 12–14.
- Fishery Bureau of Ministry of Agriculture, 1987. Investigation and division of fisheries resource of the East China Sea. Shanghai: East China Normal University Press, 3–22 (In Chinese).
- Gao SW, 1982. Study on jellyfish in the East China Sea. *Studia Mariana Sinica* 19: 43–50 (In Chinese).
- Hu FX, Hu H, Gu GC, 2002. Studies of Fronts in the Changjiang Estuary. East China Normal University Press, 27–28 (In Chinese).
- Kideys AE, 2002. Fall and rise of the Black Sea ecosystem. *Science* 297: 1 482–1 484.
- Lin M, 1989. Ecological studies on the Siphonophores from the western Taiwan Strait, China. *Mari. Sci. Bull.* 8 (3): 65–71 (In Chinese).
- Lin M, Zhang JB, 1989. Ecological studies of the Hydromedusae and Ctenophores in the western Taiwan Strait. *Acta Oceanologica Sinica* 11 (5): 621–628 (In Chinese).
- Lynam CP, Hay SJ, Brierley AS, 2005. Jellyfish abundance and climatic variation: contrasting responses in oceanographically distinct

- regions of the North Sea, and possible implications for fisheries. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 85: 435–450.
- Ma XP, Gao SW, 2000. The ecology of medusae in the Bohai Sea-Species composition, quantitative distribution and seasonal variation. Acta Ecologica Sinica 20 (4): 533–540 (In Chinese).
- Mills CE, 1995. Medusae, siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystem. ICES J. Mar. Sci. 52: 575–581.
- Mills CE, 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions. Hydrobiologia 451: 55–68.
- Paffenhöfer GA, Atkinson LP, Lee TN, Verity PG, Bulluck III LR, 1995. Distribution and abundance of mudusans and copepods off the southeastern U.S.A. during winter. Cont. Shelf Res. 15 (2–3): 55–280.
- Purcell JE, Arai MN, Purcell JE, Graham WM, Dumont HJ, 2001. Interaction of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. Hydrobiologia 451: 27–44.
- Purcell JE, Decker MB, 2005. Effects of climate on relative predation by scyphomedusae and ctenophores on copepods in Chesapeake Bay during 1987–2000. Limnol. Oceanogr. 50 (1): 376–387.
- Purcell JE, Graham WM, Dumont HJ, 2001. Jellyfish Blooms: Ecological and Societal Importance. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 27–53.
- Purcell JE, 1985. Predation on fish eggs and larvae by pelagic cnidarians and ctenophores. Bull. Marine Science 37 (2): 739–755.
- The Probability and Statistics Group of Computational Center of the Chinese Academy of Sciences, 1979. The Probability and Statistics Calculation. Beijing: Science Press, 105–144 (In Chinese).
- Xu ZL, Chen YQ, 1989. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. Chinese Journal of Ecology 8 (4): 13–15 (In Chinese).
- Xu ZL, Zhang JB, Chen YQ, 2003a. Ecological study of Siphonophores in the East China Sea. Journal of Fisheries of China 27 (Suppl.): 82–90 (In Chinese).
- Xu ZL, Zhang JB, Chen YQ, 2003b. Ecological study of hydromedusae in the East China Sea. Journal of Fisheries of China 27 (Suppl.): 91–97 (In Chinese).
- Xu ZL, Jiang M, Chao M, 2003c. Quantitative distribution of pelagic copepods in the East China Sea. Journal of Fisheries of China 27 (3): 258–264 (In Chinese).
- Xu ZL, 2004. Relationship between red tide occurrence and zooplankton community structure in the coastal sea of East China Sea in spring. China Environmental Science 24 (3): 257–260 (In Chinese).
- Xu ZL, Chao M, Chen YQ, 2004. Distribution characteristics of zooplankton biomass in the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica 23 (2): 337–346 (In Chinese).
- Xu ZL, 2005a. Studies on distribution of pteropoda abundance in the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica 27 (4): 148–154 (In Chinese).
- Xu ZL, 2005b. Relationship between pelagic decapoda and environmental factors in the East China Sea. Journal of Fishery Sciences of China 12 (5): 594–599 (In Chinese).
- Xu ZL, Li CJ, 2005. Studies on distribution of euphausiids abundance in the East China Sea. Journal of Fisheries of China 29 (3): 373–378 (In Chinese).
- Xu ZL, Lin M, Zhang JB, 2006. Dominant Species of Thaliacea in the East China Sea. Acta Zoologica Sinica 52 (1): 51–62 (In Chinese).
- Xu ZL, 2006a. Ecological characters of the *Euchaeta concinna* (Copepod) in the East China Sea. Oceanol. Limnol. Sinica 37 (2): 97–104 (In Chinese).
- Xu ZL, 2006b. Ecological characters of the *Eucalanus subcrassus* population in the East China Sea. Acta Ecologica Sinica 26 (4): 1151–1158 (In Chinese).
- Zhang JB, Lian GS, Wang YL, 2003. Distribution of Mudusa (Tunicata) in eastern Taiwan Strait. Journal of Oceanography in Taiwan Strait 22 (3): 279–285 (In Chinese).
- Zheng YJ, Chen XZ, Cheng JH, 2003. The Biological Resources and Environment in Continental Shelf of the East China Sea. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 795–798 (In Chinese).
- 高尚武, 1982. 东海水母类的研究. 海洋科学集刊 19: 43–50.
- 胡方西, 胡 辉, 谷国传, 2002. 长江口峰面的研究. 上海: 华东师范大学出版社, 27–28.
- 林 茂, 1989. 台湾海峡西部水域管水母的生态研究. 海洋通报 8 (3): 65–71.
- 林 茂, 张金标, 1989. 台湾海峡西部海域水螅水母类和栉水母类的生态研究. 海洋学报 11 (5): 624–628.
- 马喜平, 高尚武, 2000. 渤海水母类生态的初步研究—种类组成、数量分布与季节变化. 生态学报 20 (4): 533–540.
- 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, 3–22.
- 徐兆礼, 陈亚瞿, 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐渔场的关系. 生态学杂志 8 (4): 13–15.
- 徐兆礼, 张金标, 陈亚瞿, 2003a. 东海管水母类 (Siphonophores) 生态研究. 水产学报 27 (增刊): 82–90.
- 徐兆礼, 张金标, 陈亚瞿, 2003b. 东海水螅水母类 (Hydromedusae) 生态研究. 水产学报 27 (增刊): 91–97.
- 徐兆礼, 蒋 玫, 晁 敏, 2003c. 东海浮游桡足类数量分布. 水产学报 27 (3): 258–264.
- 徐兆礼, 2004. 东海近海春季赤潮发生与浮游动物群落结构的关系. 中国环境科学 24 (3): 257–260.
- 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, 李春鞠, 2005. 东海浮游磷虾类数量分布. 水产学报 29 (3): 373–378.
- 徐兆礼, 林 茂, 张金标, 2006. 东海海樽类优势种的数量变化. 动物学报 52 (1): 51–62.
- 徐兆礼, 2006a. 东海精致真刺水蚤 (Copepod: *Euchaeta concinna*) 种群生态特征. 海洋与湖沼 37 (2): 97–104.
- 徐兆礼, 2006b. 东海亚强真哲水蚤 (*Eucalanus subcrassus*) 种群特征的研究. 生态学报 26 (4): 1151–1158.
- 张金标, 连光山, 王云龙, 2003. 台湾海峡东部水母类 (Tunicata: Mudusa) 的分布. 台湾海峡 22 (3): 279–285.
- 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 2003. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 795–798.