

东海水母类多样性分布特征

徐兆礼^{1*} 林 茂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)

摘要: 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, 从环境因素与优势种的聚集强度等不同侧面探讨了东海水母类多样性指数(H')的分布特征及其成因。东海4季共发现水母类103种, 主要分布在东海南部和北部外海。大部分水域水母物种多样性较高, 且冬夏季高于春秋季节, 南部高于北部, 外海高于近海。分析成因如下: (1)多样性指数与物种数密切相关, 但与丰度相关性不显著。优势种的聚集导致个别海区物种多样性降低。春季五角水母(*Muggiaea atlantica*)在浙江近海、秋季双生水母(*Diphyes chamissonis*)在长江口海域聚集, 导致春秋季节东海近海水母类多样性指数较低。(2)水温是影响多样性指数分布的主要环境因子, 盐度是次要因子。冬春季多样性指数与10 m层水温相关, 夏季与表层水温相关, 秋季与10 m层盐度相关。(3)多样性指数的分布还受不同水团的影响。春季、夏季和冬季多样性指数(H')等值线分布全面反映了东海海流走向和水团的变化, 是分析东海水团的良好指标。

关键词: 浮游动物, 水母类, 多样性, 因果分析, 东海

Causal analysis on diversity of medusa in the East China Sea

Zhaoli Xu^{1*}, Mao Lin²

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, China

2 The Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

Abstract: Based on the maritime data collected from 23°30′–33°00′ N and 118°30′–128°00′ E of the East China Sea in four seasons during 1997–2000, we analyzed the dynamics of medusa diversity and the causes. A total of 103 medusa species were observed, which were mainly distributed in southern and northern offshore of the East China Sea. Higher species diversity indices (H') of medusa occurred, respectively, in the southern part of the sea, offshore, and in summer and winter. The number of species was closely correlated with H' value, whereas the abundance was not correlated with it significantly. The lower H' value nearshore in spring and autumn resulted from the aggregation of *Muggiaea atlantica* nearshore of Zhejiang Province and *Diphyes chamissonis* at the Yangtze River estuary. Water temperature, followed by salinity, was main environmental factor influencing the distribution of species diversity. H' value was related to the water temperature of 10 m layer in winter and spring, while it is associated with surface water temperature in summer and with 10 m-salinity-layer in autumn. The isoline distribution of H' value reflected the direction of currents and changes in water masses in the East China Sea, the H' isoline was a good indicator for analyzing the East Sea cold masses.

Key words: East China Sea, zooplankton, medusa, diversity, causal analysis

水母类能大量捕食饵料浮游生物和鱼卵、仔鱼, 直接破坏渔业资源或与渔业经济动物争夺饵料, 作

为海洋生态系统的重要组成部分, 水母类爆发往往引起海洋灾害(Dumont, 1994), 因而是科学界关注

收稿日期: 2006-03-28; 接受日期: 2006-09-25

基金项目: 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(G2001CB409700)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

的焦点。以往的国内外水母类生态学研究大多对某一水域水母的生态特征进行描述(张金标等, 2003), 而对于水母类多样性特征形成的原因, 目前尚未见到报道。

科学发展到今天, 随着研究手段的丰富, 特别是在生物学领域广泛地采用了多元分析手段, 人们已经不满足于简单的描述, 而需要了解事件发生的原因和结果。但是, 在自然生态学研究中, 由于因果分析需要收集和掌握较大尺度范围的海洋学调查资料, 这类研究报道并不多见。本研究利用1997-2000年东海海域23°30'-33°00' N、118°30'-128°00' E大面积海洋调查资料, 研究东海水母类多样性指数(H')分布和变化的特征。期望通过运用定量分析方法, 从水母类数量、物种数、优势种空间聚集特征等相关生态学指标入手, 进行环境动力学分析, 探讨东海水母类多样性特征成因及其在水团分析中的应用, 为我国海洋生物多样性研究提供一个实例。

1 研究区域与方法

1.1 调查区域和取样方法

1997-2000年间在东海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, 调查站位设置见图1。为了详细分析水母类种类数与栖息环境的关系, 本文将东海调查区分成5个海区, 即: (I)东海北部近海(29°30'-33°00' N、123°30'-125°00' E)、(II)东海北部外海(29°30'-33°00' N、125°00'-128°00' E)、(III)东海南部近海(25°30'-29°30' N、120°30'-125°00' E)、(IV)东海南部外海(25°30'-29°30' N、125°00'-128°00' E)和(V)台湾海峡(23°30'-25°30' N、118°00'-121°00' E)。台湾海峡冬季没有调查。东海海流分布见图2。

水母类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, 孔径0.505 mm, 筛绢GG36)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./100 m³), 并鉴定到种。

1.2 数据处理与分析

取表层水温(t_0)、10 m层(t_{10})和底层水温(t_b)(°C),

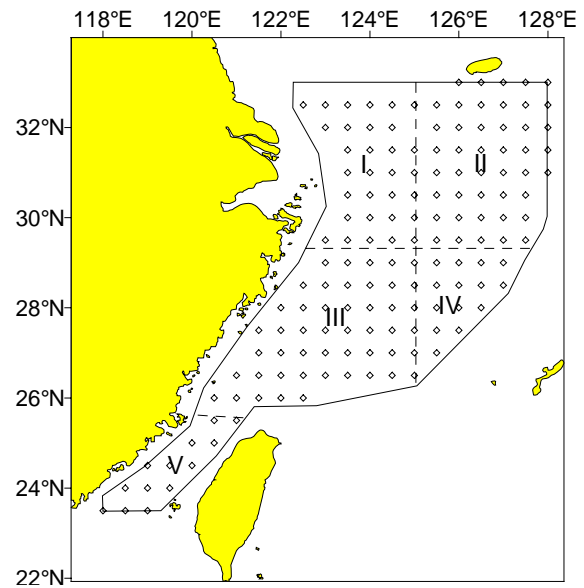


图1 东海浮游动物采样站位分布

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. ◇ stands for sampling station.

I, North nearshore (29°30'-33°00' N, 122°30'-125°00' E)

II, North offshore (29°30'-33°00' N, 125°00'-128°00' E)

III, South nearshore (25°30'-29°30' N, 120°30'-125°00' E)

IV, South offshore (25°30'-29°30' N, 125°00'-128°00' E)

V, The Taiwan Strait (23°30'-25°30' N, 118°00'-121°00' E)

表层盐度(S_0)、10 m层(S_{10})和底层盐度(S_b)6个因子, 以及水母类丰度和物种数为自变量, Shannon-Wiener多样性指数(H')值为因变量, 采用逐步回归分析方法筛选出影响 H' 值的主要环境因子, 并给出线性方程。所有上述计算均用SPSS统计软件完成(郭志刚, 1999)。

以优势度 $Y \geq 0.02$ (徐兆礼和陈亚瞿, 1989)作为筛选优势种的依据。采用丛生指标(I)分析优势种空间分布的聚集强度, 公式如下:

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

其中, S^2 是该优势种各站位丰度值的方差, \bar{X} 是均值。

丛生指标(I)作为一种聚集强度测度, 显示了种群空间格局的非随机程度。 I 值在0以下为随机分布, $0 < I < 5$ 时为非随机分布, $I \geq 5$ 时为聚集性分布。

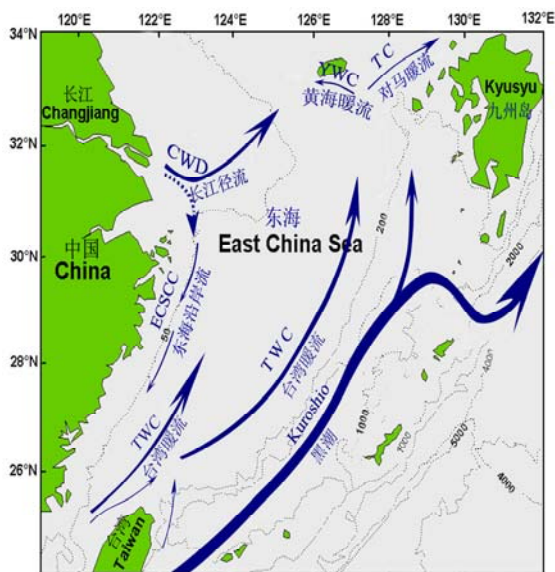


图2 东海海流示意图(根据农业部水产局, 1987)
为冬半年流向; ——为夏半年流向

Fig. 2 Circulation pattern in the East China Sea (based on Fishery Bureau of Ministry of Agriculture, 1987). Winter current; —— Summer current; ECSCC, East China Sea Coastal Current; CWD, Changjiang Dilute Water; TC, Tsushima Current; TWC, Taiwan Warm Current; YWC, Yellow Sea Warm Current.

2 结果

2.1 水母类多样性指数(H')的分布特征

从图3可以明显看出: 春季台湾海峡和邻近的东海南部近海(III)、南部外海(IV)和北部外海(II)水母类多样性指数较高, 并呈现由南向北、外海向近海逐渐降低的趋势; 夏季以 $29^{\circ}00' N$ 为界分南北两个部分, 北部多样性指数普遍低于2, 南部大都高于2.5, 由南向北逐渐降低, 其中在 $29^{\circ}00' N$ 附近变化非常明显; 秋季变化规律不如春季明显, 但也有由东南向西北逐渐降低的趋势, 台湾海峡南部和东海外海 H' 值稍高; 冬季分布趋势与夏季相似。

多样性指数的平面分布可归纳为3种类型: (1) 冬夏季南部明显高于北部, 外海高于近海, 两个季节在东海中部都有等值线密集分布, 夏季密集分布带靠北, 冬季偏南; (2) 春季多样性指数由东南向西北逐渐降低, 等值线密集带沿东海大陆架200 m等深线由西南至东北走向; (3) 秋季虽与春季分布趋势相似, 但缺少走向一致的等值线, 更多地呈现出交错状分布。

整体而言, 东海水母类多样性指数冬夏季高于春秋季节, 春季最低(表1)。就不同海区比较, 南部高于北部, 外海高于近海, 但东海南部近海(III)大于外海(IV), 东海北部冬春夏3个季节外海(IV)高于近海(III), 秋季则相反。

2.2 水母类丰度分布特征

春季水母类高丰度区($>500 \text{ ind./100m}^3$)位于 $27^{\circ}30' - 30^{\circ}30' N$ 、 $122^{\circ}00' - 126^{\circ}00' E$ 。近海(I, III)高于外海(II, IV), 南部(III, IV)高于北部(I, II), 其中近海高于外海的趋势更加明显。夏季分布特征与春季相近, 但南部高于北部的趋势更加明显。秋季, 高丰度区主要在东海北部近海(I)的长江口水域, 北部高于南部, 近海高于外海。冬季北部仍然高于南部, 但近海和外海差别不大。

以各站位水母类丰度(X)为自变量, 该站位多样性指数(H')为因变量进行相关分析。结果显示4季水母类多样性指数值和丰度间的线性关系不显著。

2.3 优势种丰度和种群聚集强度

对优势种的聚集强度进行分析表明, 仅五角水母(*Muggiaea atlantica*)在春夏秋3个季节显示出较高的聚集强度(表2)。小方拟多面水母(*Abylopsis eschscholtzi*)在春季、双生水母在夏季也有较高的聚集强度。其他优势种多为均匀分布或非随机分布。

2.4 物种数与多样性指数(H')的关系

本研究水域共鉴定水母类103种(表3)。表1和表3显示, 东海水母类物种数的季节变化不如 H' 值明显, 不同海区间差异较大。在近海(I, III), 南部(III)物种数高于北部(I), 在外海(II, IV), 除了夏季, 其他季节均是北部(II)高于南部(IV)。同一季节物种数分布也不尽相同。春季, 除东海北部近海(I), 其他海区物种数均较多。夏季东海北部外海(II)物种数明显减少。秋季除东海北部近海(I), 其他海区都有明显减少。冬季分布趋势与春季相同。

以各站位水母类物种数(x)为自变量, H' 值为因变量进行线性模型拟合, 表达式如下:

$$H' = 0.3604 + 0.1708x \quad (n=453, r=0.8653, P=0.0001)$$

2.5 多样性指数(H')与环境因子的关系

根据逐步回归分析的结果(表4), 冬春季 H' 值均与10 m层水温相关; 夏季与表层水温相关。秋季与10 m层盐度相关。

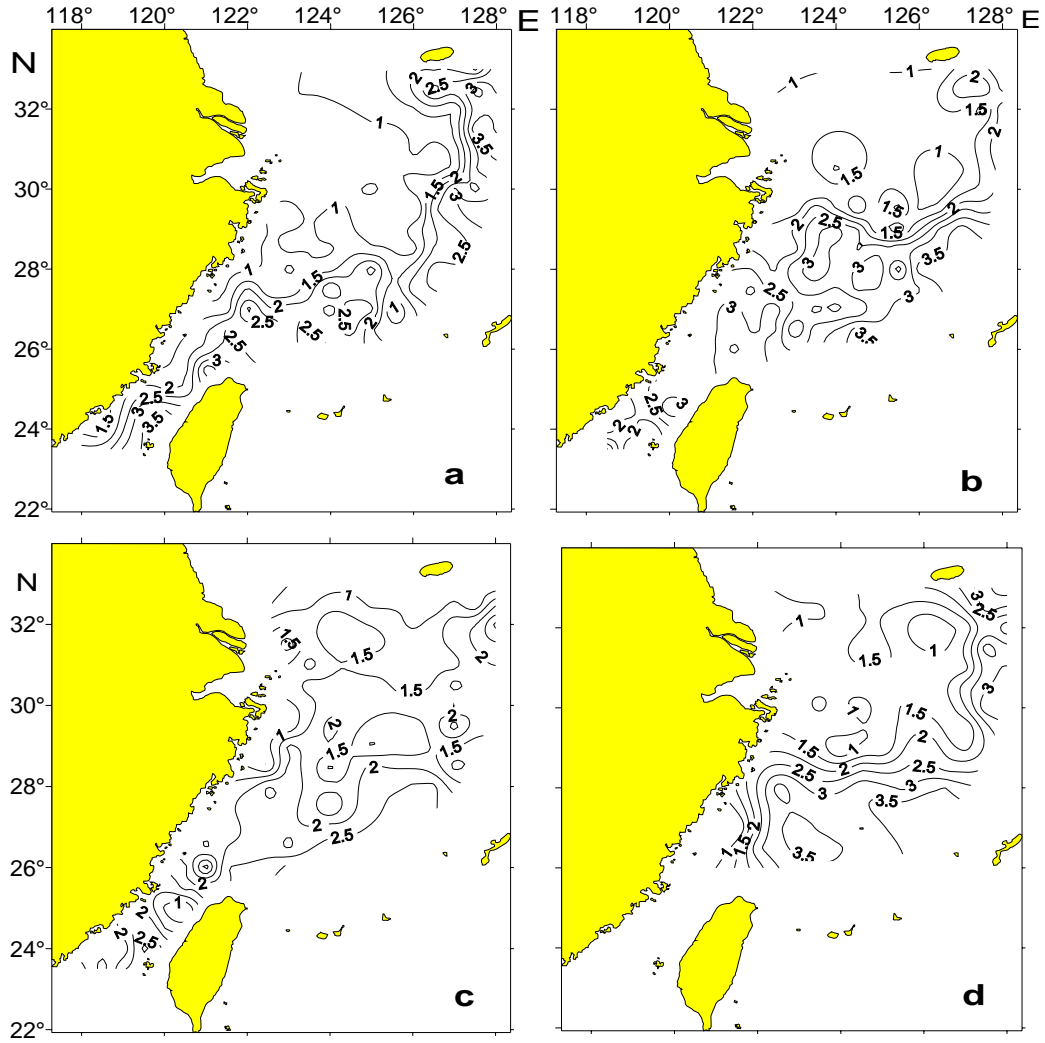


图3 东海区水母类多样性指数(H')的平面分布

a: 春季; b: 夏季; c: 秋季; d: 冬季

Fig. 3 Horizontal distribution of medusa diversity (H') in the East China Sea. a, Spring; b, Summer; c, Autumn; d, Winter

表1 东海水母类多样性指数(H')和物种数的季节变化

Table 1 Seasonal change of Shannon-Wiener index (H') and species number of medusa in the East China Sea

季节 Season	Shannon-Wiener index (H')						物种数 Species number					总计 Total
	I	II	III	IV	V	均值 Mean	I	II	III	IV	V	
春季 Spring	1.17	2.00	1.72	1.66	3.23	1.95	11	46	40	32	34	60
夏季 Summer	2.23	3.03	3.82	3.93	3.73	3.35	13	20	58	33	36	69
秋季 Autumn	1.83	1.64	2.97	2.59	3.02	2.41	18	28	34	20	26	47
冬季 Winter	2.28	2.96	3.22	3.96	-	-	14	45	36	33	-	58
平均和总计 Mean and Total	1.88	2.41	2.93	3.04	-	-	32	66	77	52	53	103

表2 东海水母类优势种丰度(\bar{X})和丛生指标(I)Table 2 Abundance (\bar{X}) and index of clumping (I) of dominant medusa species (ind./100 m³)

优势种 Dominant species	春季Spring		夏季Summer		秋季Autumn		冬季Winter	
	\bar{X}	I	\bar{X}	I	\bar{X}	I	\bar{X}	I
拟双生水母 <i>Diphyes bozani</i>	4.0	-0.5	8.0	1.0	1.0	-0.6	3.0	-0.9
拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	2.0	-0.7	10	1.3	51.0	3.4	1.0	-0.9
巴斯水母 <i>Bassia bassensis</i>	3.0	-0.8	2.0	-0.8	1.0	-1.0	9.0	0.2
双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	3.0	-0.4	7.0	-0.3	130.0	5.3	51.0	2.9
五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>	308.0	12.6	10.0	10.6	16.0	9.1	49.0	3.2
半口壮丽水母 <i>Aglaura hemistoma</i>	13.0	-0.6	2.0	-0.08	21.0	0.2	15.0	0.2
四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i>	5.0	-0.8	4.0	-0.6	3.0	-0.1	4.0	-0.7
小方拟多面水母 <i>Abylopsis eschscholtzi</i>	17.0	44.8	3.0	-0.3	1.0	-0.9	6.0	-0.8

3 讨论

东海水母类多样性指数总体表现为冬夏季较高, 春秋季较低, 与翼足类(徐兆礼, 2005a)、磷虾类(Xu & Li, 2005)和十足类(徐兆礼, 2005b)分布相同, 而与毛颚类不同(徐兆礼等, 2004)。尽管调查在不同年份进行, 但调查结果基本反映了近年来水母类多样性指数平面分布和季节变化的现状, 不妨碍对东海水母类多样性变化趋势的探讨, 因而仍具有一定的科学价值。

3.1 物种数对多样性指数(H')分布特征的影响

水母类物种数和多样性指数的季节变化并不同步。如春季物种数大于秋季, 但 H' 值明显低于秋季。根据Shannon-Wiener多样性指数生态含义分析, 在物种数较多, 但种类间分布极不均匀的情况下, 多样性指数偏小。某些优势种在个别海区的聚集, 使这些站位个体数量在不同种间分配差异加大, 导致多样性降低。如春季五角水母和小方拟多面水母有明显的聚集强度, 它们在个别站位形成较高的数量, 降低了该海区水母类物种多样性。

相关分析结果表明, 物种数和 H' 值具有非常明显的相关关系, 物种数是决定东海大多数站位 H' 值高低的主要因素。

3.2 丰度对多样性分布特征的影响

水母类丰度和多样性的关系可分为以下3种类型:

一是丰度和 H' 值均较低。如春夏两季东海北部(I, II)部分水域物种数较少(表1), 丰度较低(徐兆礼, 2006), 物种多样性指数也较低。

二是丰度和 H' 值均较高。如台湾海峡南部春、夏、秋3季出现的物种数较多, 且种间分布均匀, 该水域物种多样性指数较高。

三是 H' 值分布与丰度变化趋势相反。如外海 H' 值较高、丰度较低, 近海相反。这种情况的形成, 与种间分布的不均匀性, 优势种在某一区域的高度聚集有关, 造成春秋季东海近海多样性较低。相反, 在东海外海, 由于物种数较多, 优势种聚集特征不明显, 种间分布均匀, 物种多样性较高。

水母类丰度和多样性关系较为复杂, 这是两者相关关系不显著的原因。

3.3 海流对水母类多样性指数(H')分布的影响

东海水母类多样性与海流流向和分布特征有非常密切的关系。

春季, 台湾暖流势力较弱, 其在台湾海峡和台湾北部海域形成后, 沿着大陆架200 m等深线由西南向东北方向流动, 最终汇入对马暖流。同时在济州岛以南, 黄海暖流向西北运动(图2)。从图3可见黄海暖流西北向锋面, 多样性指数等值线密集分布带沿着台湾暖流由西南向东北伸展, 西侧的多样性明显较低而东侧较高, 泾渭非常分明。

夏季, 台湾暖流势力增强, 除了向东北方向伸展, 还沿着东海近海向长江口海域推进。夏季多样性指数(H')等值线密集分布带呈东西走向, 分布带南侧处于台湾暖流势力控制范围, 暖流带来丰富的物种, 形成较高的多样性, 南部近海(III)物种数达77种(表1)便是例证。而在北侧, 是长江冲淡水、黄海冷水团和台湾暖流形成的混合水团(图2), 混合水团中水母类多样性明显低于南侧(图3)。

表3 东海水母类种名录

Table 3 Medusa species directory in the East China Sea

种名 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	种名 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
水螅水母类 <i>Hydroidomedusae</i>					细颈和平水母 <i>Eirene menoni</i>	+			
扁胃高手水母 <i>Bougainvillia platygaster</i>			+	+	细腺和平水母 <i>E. tenuis</i>		+		
束状高手水母 <i>B. ramosa</i>		+	+		和平水母 <i>Eirene sp.</i>	+			+
纵芽高手水母 <i>B. niobe</i>		+			真瘤水母 <i>Eutima levuka</i>		+		
双叉八束水母 <i>Koellikerina diforficulata</i>	+				印度感棒水母 <i>Laodicea indica</i>	+	+	+	+
刺胞水母 <i>Cytaeis tetrastyla</i>				+	多手毒水母 <i>Toxorthis polynema</i>			+	
顶突介穗水母 <i>Podocoryne apicata</i>		+			两手拟触丝水母 <i>Paralovenia bitentaculata</i>				+
小介穗水母 <i>P. minima</i>				+	黑球真唇水母 <i>Eucheilota menoni</i>			+	
简单介穗水母 <i>P. similex</i>		+			真唇水母 <i>Eucheilota sp.</i>		+		
热带伪帽水母 <i>Pseudotiara tropica</i>		+			四手触丝水母 <i>Lovenella assimilis</i>	+	+		
八瓣隔膜水母 <i>Leuckartiara octona</i>	+				单囊美螅水母 <i>Clytia folleata</i>	+	+	+	+
顶突潜水母 <i>Merga tergestina</i>	+	+		+	半球美螅水母 <i>C. hemisphaerica</i>	+			
潜水母 <i>Merga sp.</i>	+				美螅水母 <i>Clytia sp.</i>	+	+		
日本长管水母 <i>Sarsia nipponica</i>	+				双叉藪枝螅水母 <i>Obelia dichotoma</i>			+	
真囊水母 <i>Euphysora bigelowi</i>	+	+	+	+	藪枝螅水母 <i>Obelia spp.</i>	+	+		+
端粗范氏水母 <i>Vannuccia forbesi</i>	+	+	+		真拟杯水母 <i>Phialucium mbenga</i>			+	
粗海笔螅水母 <i>Halocordyle grandis</i>		+			芽口枝管水母 <i>Proboscidactyla ornate</i>	+			+
玻璃海笔螅水母 <i>H. vitrea</i>		+			四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i>	+	+	+	+
耳状囊水母 <i>Euphysa aurata</i>	+				异距小帽水母 <i>Petasiella asymmetrica</i>	+	+	+	+
宽外肋水母 <i>Ectopleura latitaeniata</i>	+	+			高华丽水母 <i>Aglantha elata</i>		+		
双手外肋水母 <i>E. minerva</i>				+	半口壮丽水母 <i>Aglaura hemistoma</i>	+	+	+	+
嵴状蠓螅水母 <i>Zanclaea costata</i>	+				墓形棍手水母 <i>Rhopalonema funerarium</i>	+	+		+
澳洲多管水母 <i>Aequorea australis</i>		+			宽膜棍手水母 <i>R. velatum</i>	+	+	+	+
大型多管水母 <i>A. macrodactyla</i>		+			两手筐水母 <i>Solmundella bitentaculata</i>	+	+	+	+
卡玛拉水母 <i>Malagazzia carolinae</i>		+			八手筐水母 <i>Aeginura grimaldii</i>	+	+	+	+
弯管玛拉水母 <i>M. curvductum</i>			+		太阳水母 <i>Solmaris leucostyla</i>	+			+
嵯山秀氏水母 <i>Sugiura chengshanense</i>	+				马氏嗜阳水母 <i>Solmissus marshalli</i>			+	
管叉水母 <i>Dichotomia cannoides</i>		+			八囊摇篮水母 <i>Cunina octonaria</i>			+	+
六辐和平水母 <i>Eirene hexanemalis</i>		+	+		异摇篮水母 <i>C. peregrina</i>			+	

表3 (续) Table 3 (continued)

种名 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	种名 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
海盔水母 <i>Haliscera</i> sp.				+	小体浅室水母 <i>Lensia hotspur</i>	+	+	+	+
侧管水母 <i>Dipleurosoma pacificum</i>			+		细浅室水母 <i>L. subtilis</i>	+	+	+	+
管水母类 Siphonophorae					拟细浅室水母 <i>L. subtiloides</i>	+	+	+	+
华丽盛装水母 <i>Agalma elegans</i>	+	+		+	五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>	+	+	+	+
盛装水母 <i>A. okeni</i>	+	+	+	+	爪室水母 <i>Chelophyes appendiculata</i>	+	+	+	+
性辄小型水母 <i>Nanomia bijuga</i>	+	+	+	+	扭歪爪室水母 <i>C. contorta</i>	+	+	+	+
海冠水母 <i>Halistemma rubrum</i>		+	+	+	尖角水母 <i>Eudoxoides mitra</i>	+	+	+	+
气囊水母 <i>Physophora hydrostatica</i>	+	+	+	+	螺旋尖角水母 <i>E. spiralis</i>	+	+	+	+
翼钟水母 <i>Forskalia</i> sp.		+			大真光水母 <i>Eudoxia macra</i>	+	+	+	+
尖囊双钟水母 <i>Amphicaryon acaule</i>	+	+			小球泳水母 <i>Sphaeronectes gracilis</i>	+	+	+	+
双钟水母 <i>Amphicaryon</i> sp.	+				四角舟水母 <i>Ceratocymba leuckarti</i>				+
褶玫瑰水母 <i>Rosacea plicata</i>			+	+	横棱多面水母 <i>Abyla haeckeli</i>	+	+		+
马蹄水母 <i>Hippopodius hippopus</i>	+	+		+	顶大多面水母 <i>A. schmidti</i>				+
光滑拟蹄水母 <i>Vogtia glabra</i>	+	+			三角多面水母 <i>A. trigona</i>				+
宽板无棱水母 <i>Sulculeolaria bigelowi</i>		+		+	多面水母 <i>Abyla</i> sp.		+		
长囊无棱水母 <i>S. chuni</i>	+	+	+	+	小方拟多面水母 <i>Abylopsis eschscholtzi</i>	+	+	+	+
四齿无棱水母 <i>S. quadnvalvis</i>	+	+			方拟多面水母 <i>A. tetragona</i>	+	+	+	+
膨大无棱水母 <i>S. turgida</i>		+		+	巴斯水母 <i>Bassia bassensis</i>	+	+	+	+
拟双生水母 <i>Diphyes bojani</i>	+	+	+	+	晶莹九角水母 <i>Enneagonum hyalinum</i>	+	+		+
双生水母 <i>D. chamissonis</i>	+	+	+	+	链钟水母 <i>Desmophyes annectens</i>		+		+
异双生水母 <i>D. dispar</i>	+	+	+	+	钵水母类 Scyphomedusae				
拟铃浅室水母 <i>Lensia campanella</i>	+	+	+	+	四脊翼水母 <i>Tetraplatia volitans</i>				+
锥体浅室水母 <i>L. conoidea</i>	+		+	+	红斑游船水母 <i>Nausithoe punctata</i>	+	+		
微脊浅室水母 <i>L. cossack</i>	+	+	+	+	夜光游水母 <i>Pelagia noctiluca</i>		+		

“+”表示该种出现

“+” means appearance

表4 水母类多样性指数(H')与温度、盐度的相关性分析Table 4 Regression analysis between medusa diversity (H') and temperature/salinity

季节 Season	回归方程 Regression equation	n	r	F	P
春季 Spring	$H' = -1.3056 + 0.1520 t_{10}$	124	0.624	79.02	0.000
夏季 Summer	$H' = -8.6102 + 0.3862 t_0$	134	0.410	28.06	0.000
秋季 Autumn	$H' = -7.0159 + 0.2503 S_{10}$	104	0.216	6.06	0.015
冬季 Winter	$H' = -3.0724 + 0.2890 t_{10}$	63	0.682	54.85	0.000

秋季,台湾暖流已经持续一段时间。由表1可见,秋季不同海区物种数差异较小。依据作者对东海其他浮游动物类群研究的结果(Xu *et al.*, 2004),秋季暖水种在东海北部种群有较大的发展。例如秋季长江淡水东北转向,暖流持续形成适宜的温度环境,使双生水母在长江口高度聚集,也使北部近海多样性较夏季有所降低(表1)。

冬季,海流特征与夏季有很大的差别,尽管多样性指数(H')等值线密集分布带形如夏季呈东西走向(图3),但这一格局形成的机制不同于夏季。冬季南海南部近海(III)多样性较高的原因是什么?苏纪兰等(1987)证实,黑潮暖流进入东海后,有部分黑潮表层水入侵东海大陆架。冬季水母类多样性等值线锋面由黑潮主流区向西北伸展,直至浙江近海(图3),与黑潮表层水对陆架东部的入侵在时间和空间上基本一致。正是黑潮表层水入侵东海陆架,丰富了东海南部近海(III)的种类,使该区域多样性较高,表1所示冬季南部近海(III)较高的物种数也证实了这一点。

3.4 影响水母类多样性指数(H')分布的水文因子

冬春两季多样性特征为东海南部高于北部,外海高于近海。冬春季水温较低,制约着暖水种在近海广泛的分布和多样性的增长。夏季水温较高,但东海北部有黄海冷水团存在,使那里的水温明显低于周围水域,同步观察到的水温资料也证实了这一现象存在(郑元甲等, 2003),夏季多样性较低的水域与此重叠。秋季长江口盐度较低的海域聚集了大量的双生水母,使该海域多样性下降。上述多样性与水文环境关系计算,印证了水团分析的结果。还说明,水温是影响东海水母类多样性分布的主要环境因子,盐度是次要因子。

3.5 水母类多样性指标作为水团分析标志的意义

东海水母类多样性指数(H')的变化与海流和水

温差异有密切的联系。从图3可见,冬、春和夏3季东海水母类多样性指数(H')等值线密集分布,表征了台湾暖流走向和位置,全面反映东海海流走向和水团的变化,是分析东海水团的良好指标。

致谢: 陈渊泉和王云龙研究员、洪波、袁骥、蒋玫、韩金娣等同志在海上样品采集、室内样品处理、数据统计方面做了大量的工作,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水母类样品;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

- Dumont HJ (1994) The distribution and ecology of the fresh- and brackish-water medusae of the world. *Hydrobiologia*, **272**, 1–12.
- Fishery Bureau of Ministry of Agriculture (农业部水产局) (1987) *Investigation and Division of Fisheries Resource of the East China Sea* (东海区渔业资源调查和区划), pp.3–22. East China Normal University Press, Shanghai. (in Chinese)
- Guo ZG (郭志刚) (1999) *Social Statistical Analysis Methods: Manual of SPSS Software* (社会统计分析方法: SPSS软件应用), pp.18–83. China Renmin University Press, Beijing. (in Chinese)
- Xu ZL (徐兆礼), Chen YQ (陈亚瞿) (1989) Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **8**(4), 13–15. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL (徐兆礼), Dai YF (戴一帆), Chen YQ (陈亚瞿) (2004) Study on species composition and diversity of Pteropoda in the East China Sea. *Journal of Shanghai Fisheries University* (上海水产大学学报), **13**, 304–309. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL, Chao M, Chen YQ (2004) Distribution characteristics of zooplankton biomass in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, **23**, 337–346.
- Xu ZL (徐兆礼) (2005a) Study on species composition and diversity of Pteropoda in the East China Sea. *Biodiversity*

- Science* (生物多样性), **13**, 168–173. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL (徐兆礼) (2005b) Species composition and diversity of Pelagic Decapoda in the East China Sea. *Marine Environmental Science* (海洋环境科学), **24**(4), 1–5. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL, Li CJ (2005) Species composition and diversity of Pelagic Euphausiids in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, **24**(5), 98–106.
- Xu ZL (徐兆礼) (2006) Dynamics on medusa in the East China Sea. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **52**, 854–861. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JB (张金标), Lian GS (连光山), Wang YL (王云龙), Xu ZL (徐兆礼) (2003) Distribution of jellyfish (Tunicata) in eastern Taiwan Strait. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **22**, 279–285. (in Chinese with English abstract)
- Zheng YJ (郑元甲), Chen XZ (陈雪忠), Cheng JH (程家骅), Wang YL (王云龙), Shen XQ (沈新强), Chen WZ (陈卫忠), Li CS (李长松) (2003) *The Biological Resources and Environment in Continental Shelf of the East China Sea* (东海大陆架生物资源与环境), pp. 30–65. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. (in Chinese)

(责任编辑: 江锦祥 责任编辑: 闫文杰)