

东海海樽类生态类群统计分析

徐兆礼¹, 孙 军², 林 茂³

(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. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071; 3. 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

摘要:依据 1997~2000 年在东海 23°30'~33°00'N、118°30'~128°00'E 4 个季节的海洋调查资料, 采用曲线拟合, 构造数学模型和极大值分析等数学方法, 研究海樽类最适温度和盐度, 籍此进一步分析其生态类群。结果表明, Yield Density 模型可以应用于大多数海樽类最适温度和盐度的统计推断。依据物种分布的最适温度和盐度值, 并参考其地理和季节分布特征, 认为梭形纽鳃樽(*Salpa fusiformis*)属暖温带外海种; 羽环纽鳃樽长柄亚种(*Cyclosalpa pinnata polae*)和安纽鳃樽(*Ritteriella amboinensis*)为热带大洋种; 双尾纽鳃樽东方亚种(*Thalia decocratica orientalis*)、小齿海樽(*Doliolum denticulatum*)和软拟海樽(*Dolioetta gegenbauri*)等其余 13 种为亚热带外海种。海樽类多数物种可以作为水团的指示种。梭形纽鳃樽往往出现在沿岸水和外海水混合水团偏高盐一侧。羽环纽鳃樽长柄亚种高丰度分布在台湾暖流控制的水域, 是台湾暖流的指示种。双尾纽鳃樽东方亚种高丰度水域, 能够较为准确地反映黑潮入侵陆架水团和沿岸水交汇的位置。

关键词:东海; 浮游动物; 海樽类; 生态类群

文章编号: 1000-0933(2008)11-5698-08 中图分类号: Q958.15 文献标识码: A

Statistical analysis to ecological group of Thaliacea in the East China Sea

XU Zhao-Li¹, SUN Jun², LIN Mao³

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 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

3 Third Institute of oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5698 ~ 5705.

Abstract: Ecological adaptation and ecological group of Thaliacea were examined in the East China Sea (23°30'—33°00' N, 118°30'—128°00'E), in relation to temperature and salinity. The data were collected in 4 surveys conducted from 1997 to 2000. The Yield Density Model was used to predict optimum temperature and salinity of water for Thaliacea occupations. Furthermore, the optimum temperature (salinity), average appearance temperature (salinity), and scatter diagrams of temperature-abundance for the species of Thaliacea were used to predict the distribution of the species. Then coupling the biogeographical information, the ecological group of Thaliacea were identified as follows: *Salpa fusiformis* was thought as a offshore and temperate warm water species, *Cyclosalpa pinnata polae* and *Ritteriella amboinensis* are oceanic and tropical species, the other 13 species, *Thalia decocratica orientalis*, *Doliolum denticulatum*, *Dolioetta gegenbauri*, *Weelia*

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(No. 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)

收稿日期:2008-01-11; **修订日期:**2008-09-16

作者简介:徐兆礼(1958~), 女, 浙江温岭人, 研究员, 从事海洋浮游动物和海洋生态学研究. E-mail: xiaomin@sh163.net

致谢:参加本项目工作的还有沈晓民、陈渊泉、王云龙、陈华、高倩和陈佳杰等, 张金标研究员帮助鉴定样品, 谨致谢忱。

Foundation item: The project was financially supported by Major Research Plan of NNSF of China(No. 90511005) and the grants from China 908-Project under Grant(No. 908-02-01-03)

Received date: 2008-01-11; **Accepted date:** 2008-09-16

Biography: XU Zhao-Li, Professor, mainly engaged in marine biology and marine ecology. E-mail: xiaomin@sh163.net

cylindrica, *Cyclosalpa pinnata*, *Thalia decocratica*, *Ritteriella picteti*, *Brooksia rostrata*, *Cyclosalpa pinnata* f. *quadriluminis*, *Doliolum nationalis*, *Thalia rhomboides*, *Cyclosalpa floridana* and *Pyrosoma atlanticum* are offshore and subtropical water species. *Salpa fusiformis* was common found in side of higher salinity (32.06—34.77) where East China Sea Coast Current met and ECS Mixed water mass. *Cyclosalpa pinnata polae* tends to distribute along the waters between 100m and 200m isobath, where the Taiwan Warm Current locates so that the species can acts as an indicator species of the Taiwan Warm Current. The high abundance areas of *Thalia decocratica orientalis* can indicate the location where the coastal water mixed with Kuroshio when it intrudes into continental shelf water in the East China Sea.

Key Words: East China Sea; zooplankton; Thaliacea; ecological group

海樽类是海洋浮游动物的一个重要类群。这类动物营浮游生活,分布广,数量大,且具有极强的集群性,在环境条件适宜时,能够迅速地繁殖,形成水华^[1]。以往对海樽类生态学的研究,国内曾有报道^[2,3],例如,徐兆礼等^[4~6]对东海海樽类生物量、多样性和优势种的分析。国际上,海樽类优势种的研究较多,如 Esnal 等^[7],Daponte 等^[8]分别对西太平洋热带水域和西南大西洋水域纽鳃樽的研究;Deibel^[9]在实验条件下对双尾纽海樽(*Thalia decocratica*)死亡率、繁殖力和生长速率进行了分析;Iguchi 和 Kidokoro^[10]对日本海 *Thetys vagina* 分布进行了研究。在试验条件下,Gibson 和 Paffenhofer^[11]研究了软拟海樽(*Dolioletta gegenbauri*)摄食和生长,发现该种在 16.5~26.5℃ 范围内,生长率随温度升高而增加,但他们的研究并未给出软拟海樽分布的最适温度。海樽类分布的温、盐度最适值数量统计研究,目前尚未见到报道。本研究计算海樽类最适温度和盐度,并参考其地理和季节分布特征,进一步分析其生态类群。这对海洋浮游动物环境生理学、生物海洋学和生物多样性等学科的发展,对海洋水团指示种的筛选、渔场位置指示种界定、海洋环境变化分析和对全球变暖的响应等多个领域的研究都具有重要的理论和实践意义。

1 研究区域与方法

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°30′~33°00′N、118°30′~128°00′E 分别进行春(1998-03~05)、夏(1999-06~08)、秋(1997-10~11)和冬(2000-01~02)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 80cm、网目孔径 0.505mm)由底至表层垂直拖曳采集,按个体计数法在体视显微镜下鉴定到种,并计数测定浮游动物样品中海樽类丰度(ind/m³)。

为了详细分析海洋浮游海樽类与栖息环境的关系,将上述东海调查区分成如下 5 个海区^[7,8]: I——北部近海(29°30′~33°N、123°30′~125°E)、II——北部外海(29°30′~33°N、125°~128°E)、III——南部近海(25°30′~29°30′N、120°30′~125°E)、IV——南部外海(25°30′~29°30′N、125°~128°E)和 V——台湾海峡(23°30′~25°30′N、118°~121°E)。

1.2 计算方法

首先统计物种分布温、盐度区间的最大值、最小值和平均值。由于海樽类营随波逐流的升华方式,其最适温度和盐度的计算,以同步调查资料中的表层温度(*t*)或表层盐度(*S*)值为自变量 *X*,种类丰度为因变量 *Y*,作 *X-Y* 散点分布图进行初步的图形分析。选择合适的数学模型,对散点图中的自变量和因变量进行拟合曲线,用麦夸特(Marquardt)^[12]非线性最小二乘法估计拟合曲线数学模型的参数。在此基础上,对函数极值点进行分析,依据 Rolle 中值定理原理^[13],求导。设导函数为零,解方程。导函数为零点所对应的自变量值,即为最适温度或最适盐度值。有关计算方法和数学原理参考文献^[14]。

1.3 生态类群的界定

东海东部由于黑潮暖流的存在,是夏秋季东海热带大洋种分布所在。东海西部和东海东北部夏秋季具有亚热带海区特征。在西北风盛行的冬春季节,东海北部近海和南部近海的一部分水域呈现暖温带的海洋环境

特征。尽管国内外对海洋生物生态类群划分没有普遍认可的标准,本文基于东海以上不同季节和海区的水文特征,借鉴有关文献^[15],将浮游动物生态类群中温度界限定为:热带种($\geq 25^{\circ}\text{C}$),亚热带种($20 \sim 25^{\circ}\text{C}$),暖温带种($15 \sim 20^{\circ}\text{C}$)和温带种($10 \sim 15^{\circ}\text{C}$)。对盐度界限定为:近海种($28 \sim 32$),外海种($32 \sim 34$)和大洋种(> 34)。确定某一物种生态类群,除上述最适温盐度值以外,还应充分考虑物种分布的地理和季节特征,例如确定大洋种,除了最适盐度外,在东海是否夏、秋季分布,是否分布在暖流控制的水域也是需要考虑的因素。

2 结果

2.1 东海海樽类温度和盐度分布区间

本次调查,海樽类鉴定到种的有 16 种,表 1 是调查样本中各物种的出现次数和分布的温、盐度区间和平均温盐度值。从表 1 可见,小齿海樽(*Doliolum denticulatum*)、软拟海樽(*Dolioetta gegenbauri*)和双尾纽樽东方亚种(*Thalia democratica orientalis*)出现次数明显多于其它物种。其次是,双尾纽樽(*Thalia democratica*)和韦氏纽樽(*Weelia cylindrica*)。从表 1 还可见,小齿海樽、双尾纽樽东方亚种、软拟海樽、双尾纽樽和韦氏纽樽等出现次数较多的物种具有较宽的温、盐度分布区间。而梭形纽樽(*Salpa fusiformis*)和大西洋火体虫(*Pyrosoma atlanticum*)仅具较宽的分布温度区间。其它种温、盐度分布区间明显较窄。

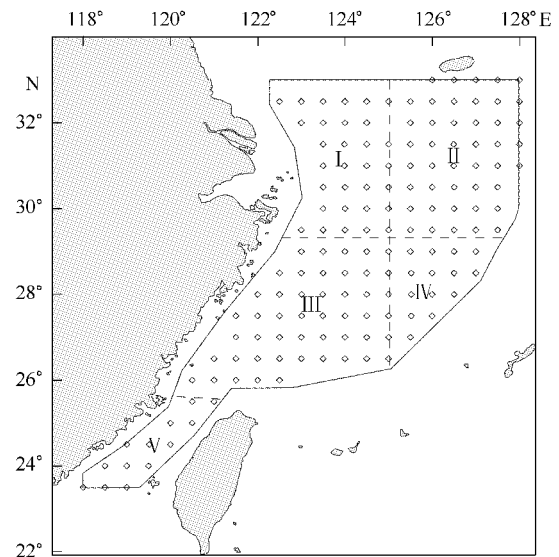


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

表 1 东海海樽类栖息地的水文环境

Table 1 Hydrography environment of Thaliacea habitat in the East China Sea

种名 Species	出现次数 Occurred time	水温 Temperature ($^{\circ}\text{C}$)		盐度 Salinity	
		平均 Mean	区间 Interval	平均 Mean	区间 Interval
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	232	22.9	13.77 ~ 28.38	33.38	28.02 ~ 34.82
双尾纽樽东方亚种 <i>Thalia democratica orientalis</i>	157	23.29	14.23 ~ 28.38	33.14	27.94 ~ 34.82
软拟海樽 <i>Dolioetta gegenbauri</i>	120	22.72	12.8 ~ 28.38	32.77	27.94 ~ 34.82
双尾纽樽 <i>Thalia democratica</i>	35	23.48	16.1 ~ 28.28	33.78	29.59 ~ 34.82
韦氏纽樽 <i>Weelia cylindrica</i>	30	25.19	17.6 ~ 28.38	33.4	31.14 ~ 34.56
佛环纽樽 <i>Cyclosalpa floridana</i>	19	24.03	17.93 ~ 28.38	33.59	32.26 ~ 34.57
邦海樽 <i>Doliolum nationalis</i>	16	23.08	17.37 ~ 25.65	34.18	33.24 ~ 34.82
羽环纽樽 <i>Cyclosalpa pinnata</i>	13	27.23	26.35 ~ 28.24	33.76	33.02 ~ 34.1
梭形纽樽 <i>Salpa fusiformis</i>	12	18.65	12.0 ~ 26.2	34.15	32.06 ~ 34.77
长吻纽樽 <i>Brooksia rostrata</i>	11	26.39	22.67 ~ 28.28	33.71	32.88 ~ 34.14
羽环纽樽长柄亚种 <i>Cyclosalpa pinnata polae</i>	11	25.94	24.1 ~ 27.61	33.8	33.18 ~ 34.14
双尾纽樽多刺亚种 <i>Thalia democratica echinata</i>	7	22.92	20.62 ~ 25.85	33.91	32.69 ~ 34.57
大西洋火体虫 <i>Pyrosoma atlanticum</i>	7	24.6	16.15 ~ 27.83	33.86	33.11 ~ 34.56
羽环纽樽四光器型 <i>Cyclosalpa pinnata f. quadriluminis</i>	1	27.3	33.78		
多肌纽樽 <i>Ritteriella picteti</i>	1	27.75	33.84		
安纽樽 <i>Ritteriella amboinensis</i>	1	26.92	34.04		

2.2 东海海樽类最适温度和盐度

表 2 是不同海樽类物种丰度和温、盐度曲线拟合计算结果。凡是符合 Yield Density 模型,能够计算出最适温度和最适盐度值的物种列于表 2,另外大西洋火体虫和软拟海樽丰度与温、盐度关系的拟合曲线不符合

Yield Density 模型,小齿海樽与盐度关系也不符合 Yield Density 模型。羽环纽鳃樽四光器型、多肌纽鳃樽和安纽鳃樽仅仅出现 1 次,其最佳值由表 1 相应数值决定。

表 2 数学模型和生态适应特征值*

Table 2 Mathematical models and optimum of ecological adaptation of different species

种名 Species	方程 Equation	最适值 Optimum	R	F	p
小齿海樽	$y = 1/(4347.91 - 426.10t + 10.44t^2)$	20.41	0.59	113.7	0.0001
<i>Doliolum denticulatum</i>	—	33.40 *	—	—	>0.05
双尾纽樽东方亚种	$y = 1/(520.84 - 54.84t + 1.44t^2)$	18.99	0.38	35.71	0.0001
<i>Thalia decocratica orientalis</i>	$y = 1/(6932.47 - 431.82S + 6.72S^2)$	32.10	0.25	14.76	0.0001
双尾纽鳃樽	$y = 1/(14691.06 - 1156.38t + 22.85t^2)$	25.30	0.12	3.26	0.0394
<i>Thalia decocratica</i>	$y = 1/(4213313.18 - 249164.65S + 3683.76S^2)$	33.82	0.19	8.37	0.0003
韦氏纽鳃樽	$y = 1/(39966.33 - 2886.91t + 52.13t^2)$	27.69	0.49	68.81	0.0001
<i>Weelia cylindrica</i>	$y = 1/(221219.15 - 13027.34S + 191.79S^2)$	33.96	0.26	15.05	0.0001
佛环纽鳃樽	$y = 1/(112942.19 - 9884.62t + 216.28t^2)$	22.85	0.35	29.29	0.0001
<i>Cyclosalpa floridana</i>	$y = 1/(255029.33 - 15814.65S + 245.17S^2)$	32.25	0.28	18.52	0.0001
邦海樽	$y = 1/(29246.61 - 2630.77t + 59.16t^2)$	22.23	0.4	40.66	0.0001
<i>Doliolum nationalis</i>	$y = 1/(5581.02 - 314.33S + 4.42S^2)$	35.52	0.26	15.81	0.0001
羽环纽鳃樽	$y = 1/(32150.04 - 2279.59S + 40.49S^2)$	28.15	0.23	12.37	0.0001
<i>Cyclosalpa pinnata</i>	$y = 1/(5310169.40 - 314632.09t + 4660.61t^2)$	33.75	0.23	11.76	0.0001
梭形纽鳃樽	$y = 1/(3174.41 - 340.06t + 9.32t^2)$	18.24	0.12	3.34	0.0364
<i>Salpa fusiformis</i>	$y = 1/(2301515.14 - 132351.51S + 1902.77S^2)$	34.78	0.18	7.45	0.0007
长吻纽鳃樽	$y = 1/(299767.73 - 21438.17S + 383.30S^2)$	27.97	0.53	81.81	0.0001
<i>Brooksia rostrata</i>	$y = 1/(3024946.70 - 179156.83t + 2652.72t^2)$	33.77	0.18	7.34	0.0007
羽环纽鳃樽长柄亚种	$y = 1/(29288.39 - 2143.13t + 39.35t^2)$	27.23	0.17	6.38	0.0019
<i>Cyclosalpa pinnata polae</i>	$y = 1/(5170911.25 - 303291.19S + 4447.31S^2)$	34.1	0.17	6.12	0.0024
双尾纽鳃樽多刺亚种	$y = 1/(1356126.29 - 131457.47t + 3185.75t^2)$	20.63	0.48	64.54	0.0001
<i>Thalia democratica echinata</i>	$y = 1/(7504577.20 - 441190.41S + 6484.38S^2)$	34.02	0.16	5.41	0.0048

* 是依据图 2 的估计值

2.3 丰度——温、盐度散点图分析

从图 2 可见,有些种类散点图难以显示出相应的最适温度或最适盐度值,如,软拟海樽盐度和大西洋火体虫的温、盐度都没有明显的最适值,这也是采用 Yield Density 模型无法找到这些物种最适值的原因。此外依据图 2 可以估计出小齿海樽最适盐度约为 33.4,软拟海樽最适温度约为 22.0℃。

2.4 种类分布的海区和季节特征

从表 1 可见,除小齿海樽、双尾纽樽东方亚种、软拟海樽和双尾纽鳃樽外,大多物种仅在个别季节或个别海区出现。值得注意的是韦氏纽鳃樽、羽环纽鳃樽、长吻纽鳃樽和羽环纽鳃樽长柄亚种较高丰度区往往位于东海南部和外海海域;梭形纽鳃樽冬春季在东海北部近海、东海南部近海和东海北部外海出现;一些稀有种,如羽环纽鳃樽四光器型、安纽鳃樽和多肌纽鳃樽在东海北部外海和南部近海较多出现。

3 讨论

3.1 海樽类最适温、盐度的统计分析和确定

以上分析可知,最适温、盐度统计分析的第一步,首先要通过丰度与温、盐度值的散点图分析其函数关系。对于具有最适温、盐度值的种类,采用曲线拟合方法构建函数。通常拟合所用的函数方程必需在闭区间上连续且存在极大值^[13],这样的模型,在可统计拟合方程中并不多见,依据作者的研究实践,Yield Density 模型符合东海大多数浮游动物种群数量变化和温、盐度适应规律,具有较好的可拟合性。

数学模型构建形成后,可采用本文材料与方法中的极值计算法求取函数的极大值,即为理论上浮游动物

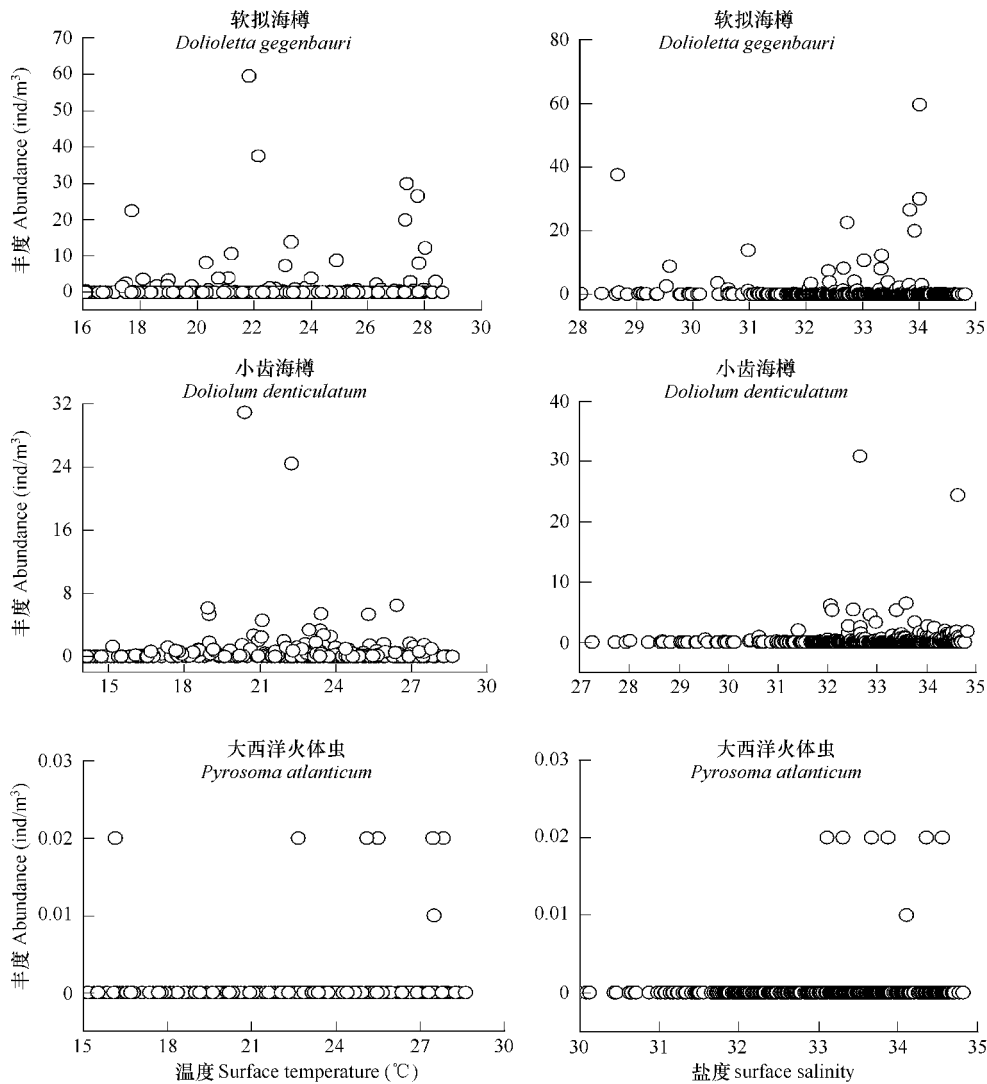


图2 丰度-表层温、盐度散点图

Fig. 2 Relationship between abundance and surface temperature, surface salinity

的最佳温、盐度值。在实践中,最佳温、盐度值的确定,还要依据浮游动物分布的季节特征、地理分布和散点图特征对数学计算所得的结果进行验证。

在本研究结果 2.2 和 2.3 中,依据表 2 计算,表 1 和图 2 估计的东海海樽类不同物种的最适温度和最适盐度是有效的,可以作为这些浮游动物对温、盐度适应的生物学参数。

3.2 生态类群分析——以东海海樽类为例

在初步确定本文所涉及的海樽类物种最适温度和最适盐度基础上,进一步依据表 1 ~ 表 3 和图 2,还可以对东海海樽类进行生态类群划分,如下:

暖温带外海种 仅有梭形纽鳃 1 种,该种最适温度在 20℃ 以下,属于暖温种适温范围。最适盐度超过 34,显示出具有较高的盐度适应。在东海,该种主要出现在盐度较高的冬春季,从地理分布上讲,其地理分布与暖流有密切联系(表 3),因而不属于大洋性种。在东北太平洋沿岸,该种曾被认为是加利福尼亚寒流的指示种^[18]。在爱尔兰西部外海,该种在水温较低的春季爆发^[17]。由此可见,该种应定为暖温带外海种。

热带大洋种 这类海樽仅有羽环纽鳃樽长柄亚种和安纽鳃樽 2 种,前者最适温度和最适盐度分别为 27.23℃ 和 34.10,后者为 26.90℃ 和 34.04。在东海,该种夏季分布在东海南部等台湾暖流势力控制的水域(表 3),秋季偶见北部外海,冬春季没有出现。在大西洋,羽环纽鳃樽长柄亚种出现低纬度热带海域^[18],在百

慕大海域也有较多的数量^[19]。安纽鳃樽则在孟加拉湾^[20]和红海^[21]有一定的数量,这些都是热带海域。依据最适温、盐度和地理分布特征,这两个种都属于热带大洋种。

表 3 东海海樽类物种的地理分布

Table 3 Geographical distribution of Thaliacea species in the East China Sea

种名 Species	春 Spring				夏 Summer				秋 Autumn				冬 Winter			
	I*	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
邦海樽 <i>D. nationalis</i>		+								+	+	+				
双尾纽鳃樽东方亚种 <i>Thalia decocratica orientalis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
双尾纽鳃樽 <i>T. democratica</i>		+				+	+	+	+	+	+	+		+		+
双尾纽鳃樽多刺亚种 <i>Thalia democratica echinata</i>					+					+	+				+	
韦氏纽鳃樽 <i>Weelia cylindrica</i>		+	+	+			+	+			+					
佛环纽鳃樽 <i>Cyclosalpa floridana</i>							+		+	+	+			+		
羽环纽鳃樽 <i>C. pinnata</i>								+	+			+				
羽环纽鳃樽长柄亚种 <i>C. pinnata polae</i>							+	+			+	+				
羽环纽鳃樽四光器型 <i>C. pinnata f. quadriluminis</i>						+	+									
梭形纽鳃樽 <i>Salpa fusiformis</i>	+	+	+				+							+	+	
长吻纽鳃樽 <i>Brooksia rostrata</i>							+	+	+		+	+				
软拟海樽 <i>Dolioletta gegenbauri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+			+		+
多肌纽鳃樽 <i>Ritteriella picteti</i>											+					
安纽鳃樽 <i>R. amboinensis</i>						+	+									
大西洋火体虫 <i>Pyrosoma atlanticum</i>		+				+	+	+								+

* I: 北部近海 Zone I; II: 北部外海 Zone II; III: 南部近海 Zone III; IV: 南部外海 Zone IV

亚热带外海种 除了上述海樽类以外,东海其余海樽类都是亚热带外海种,也是东海海樽类的主要类群。依据最适温、盐度和地理分布特征细分,这些海樽类可以分为 4 个亚群:

低温低盐适应亚群 该亚群仅双尾纽鳃樽东方亚种 1 种。表观上看,该种最适温度为 18.99℃,最适盐度仅 32.1,分别属于暖温带种和外海种。对其分布规律研究表明,在春季水温较低时,该种在东海中部的黑潮暖流入侵陆架锋与沿岸水交汇处形成极高的数量,高丰度区位于盐度相对较低的沿岸水一侧,表层水温 19℃,表层盐度 32 左右,表观上显示出具有较低的温度适应和盐度适应(表 2)。实际上,该种具有广泛的分布温、盐度区间(表 1),对温、盐变化具有一定适应能力。表观显示该种分布特征与受海流携带的影响。分布不均匀,春季在个别站位形成很高的数量有关^[5]。研究还显示,该种夏季在东海南部近海和台湾海峡有广泛分布和很高的数量^[5],其中地理分布和季节特征与东海浮游动物中典型的暖温种——梭形纽鳃樽、海龙箭虫(*Sagitta nage*)^[22]和太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)^[23]等分布规律明显不同。另外,其他研究显示,该种在台湾高屏沿海^[24],日本太平洋沿海也大量出现^[25]。据此,本文认为,该种是亚热带外海种。

高温适应亚群 这类海樽类有韦氏纽鳃樽、羽环纽鳃樽、双尾纽鳃樽、多肌纽鳃樽、长吻纽鳃樽和羽环纽鳃樽四光器型等 6 种,是海樽类亚热带外海种的主要部分。这些种最适温度都超过 25℃,盐度在 33.7~34.0 之间。最佳温、盐适应值特征接近热带大洋种。但在东海,这些种高丰度的季节主要是夏秋季,高丰度水域主要是东海南部近海,较高的温、盐适应是因为该水域夏秋季较高的水温和受台湾暖流的影响的结果,但这些种分布与黑潮暖流关系不大。不能视为地理分布意义上的热带种。这些种广泛分布于世界中纬度沿海和大洋中^[26,27]。因此本文也将他们归属为亚热带外海种。

高盐适应亚群 在东海,有邦海樽和双尾纽鳃樽多刺亚种 2 种。他们最适盐度超过 34,这 2 种在水温较高的夏季都没有出现,秋季数量较多。在东海,邦海樽绝大部分数量分布在温州外海受混合水团影响明显的水域,有较高的最适盐度,该种还是大西洋北海海域海樽类优势种之一^[27]。双尾纽鳃樽多刺亚种主要分布在浙江台州外海,冬春季近海也有出现,具有相对较低的最适温度,但是南海中部也有分布^[28]。综合地理分布

分析,这两个种不能视为大洋种。其地理分布主要符合亚热带外海种的特征,属于亚热带外海种。

典型的亚热带外海种 这类海樽类有小齿海樽、佛环纽鳃樽、大西洋火体虫和软拟海樽等 4 种。前已述及,大西洋火体虫和软拟海樽最适温、盐度值不明显,显示出这两个种对温度的敏感性较低。依据已有的研究,在日本,这两个种广泛分布于太平洋近海,包括濑户内海和一些海湾^[10]。在东海,软拟海樽春季分布在东海中部,夏季分布在台湾海峡及东海南部近海^[5],大西洋火体虫主要分布在台湾海峡。由此可见,这两个种是亚热带外海种。佛环纽鳃樽和小齿海樽最适温盐度属于亚热带外海种范围。其中小齿海樽 4 季都有较高的数量,冬春季在东海外海,夏季在中部,秋季在南部近海,在太平洋中纬度海区都有分布^[5,29]。佛环纽鳃樽秋季在东海北部有较多的数量,所以这两个种都是典型的亚热带外海种。

3.3 水团指示种分析——以东海海樽类为例

以上分析可见,东海海樽类物种大多并不具备广泛的分布,尽管有些能够在不同温、盐度环境下生存的特征(表 1)。通过对海樽类物种分布和生态特征分析发现,东海水团的变化对海樽类分布有显著的影响,甚至在一定程度上决定海樽类数量的变化。基于这一理由,海樽类的许多物种可以作为东海水团的指示种。如,在东海近海,梭形纽鳃樽往往出现在沿岸水和外海水混合水团偏高盐水一侧。羽环纽鳃樽长柄亚种较多数量沿着东海等深线 100 m 到 200 m 陆架水域分布,这一水域正是台湾暖流从源地,西南至东北流向,最终汇入对马暖流路径上,因而是台湾暖流的指示种。双尾纽樽东方亚种的高丰度水域,能够较为准确的反映黑潮入侵陆架水团和沿岸水的交汇。

References:

- [1] Zheng Z, Li S J, Xu Z Z. Marine planktology. Beijing: China Ocean Press, 1984. 468—494.
- [2] Lin M. Studies on distribution of Thaliacea in southern of Taiwan Strait. Journal of Marine Science Bulletin, 1988, 7(4): 66—71.
- [3] Zhang J B, Lian G S, Wang Y L, et al. Distribution of Thaliacea (Tunicata) in eastern Taiwan Strait. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003, 22(3): 279—285.
- [4] Xu Z L, Lin M, Zhang J B. Relationship of water environment and abundance distribution of Thaliacea species in the East China Sea. Journal of Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(6): 549—554.
- [5] Xu Z L, Lin M, Zhang J B. Changes in dominant species of Thaliacea in the East China Sea. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52(1): 53—62.
- [6] Xu Z L, Lin M. Species composition and diversity of Thaliacea in the East China Sea. Journal of Marine Fisheries Research, 2007, 28(1): 26—32.
- [7] Esnal G B, Daponte M C, Simone L C. Pelagic tunicates (Appendicularia and Thaliacea) from the tropical western Pacific Ocean. Physis Session, 1993, 48(114/115): 41—48.
- [8] Daponte M C, Capitano L F, Machinandiarena L, et al. Planktonic tunicates (Chordata, Tunicata) of the RTMA Evrika in the southwestern Atlantic Ocean (1988). Iheringia, Serie Zoológica, 1993, 74: 71—80.
- [9] Deibel D. Laboratory determined mortality, fecundity and growth rates of *Thalia democratica* Forskal and *Doliolletta gegenbauri* Uljanin (Tunicata, Thaliacea). Journal of Plankton Research, 1982, 4(1): 537—541.
- [10] Iguchi N, Kidokoro H. Horizontal distribution of *Thetys vagina* Tilesius (Tunicata, Thaliacea) in the Japan Sea during spring 2004. Journal of Plankton Research, 2006, 28(6): 143—153.
- [11] Gibson D, Paffenhofer G A. Feeding and growth rates of the Doliolid, *Doliolletta gegenbauri* Uljanin (Tunicata, Thaliacea). Journal of Plankton Research, 2000, 22(8): 1485—1500.
- [12] Guo Z G. Social statistical analysis methods-Manual of SPSS software. Beijing: Renmin University of China Publishing House, 1999. 18—83.
- [13] Applying mathematical department of Tongji University. High mathematics. Beijing: Higher Education Press, 2002. 59—65, 126—133.
- [14] Christensen R. Analysis of Variance, Design and Regression: Applied Statistical Methods. New York: Chapman and Hall, 1996. 391—408, 414—432.
- [15] Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology. Beijing: Science Press, 2002. 75—80.
- [16] Silver M W. The Habitat of *Salpa fusiformis* in the California Current as Defined by Indicator Assemblages. Limnology and Oceanography, 1975, 20(2): 230—237.
- [17] Bathmann U V. Mass occurrence of *Salpa fusiformis* in the spring of 1984 off Ireland: Implications for sedimentation process. Marine Biology,

1988, 97:127—135.

- [18] Vargas C A, Madin L P. Zooplankton feeding ecology: clearance and ingestion rates of the salps *Thalia democratica*, *Cyclosalpa affinis* and *Salpa cylindrica* on naturally occurring particles in the Mid-Atlantic Bight. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26(7): 827—833.
- [19] Madin L P, Kremer P, Hacker S. Distribution and vertical migration of salps (Tunicata, Thaliacea) near Bermuda. *Journal of Plankton Research*, 1996, 18: 747—755.
- [20] Bhavanarayana P V, Ganapati P N. Species groups among pelagic tunicates in the western part of the Bay of Bengal. *Marine Biology*, 1971, 11(2): 173—177.
- [21] Godeaux J. Distribution of Thaliacea on a transect from the Gulf of Aden to the central Red Sea during the winter monsoon (March 1979). *Oceanologica Acta*, 1987, 10(2): 197—204.
- [22] 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.
- [23] XU Z L, Chen Y Q. The dominant species of euphausiids in the East China Sea and their ecological adaptability. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2227—2233.
- [24] Tew K S, Lo W T. Distribution of Thaliacea in SW Taiwan coastal water in 1997, with special reference to *Doliolum denticulatum*, *Thalia democratica*, and *T. orientalis*. *Marine Ecological Progress Series*, 2005, 292:181—193.
- [25] Chihara M, Murano M. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai: Tokai University Press (in Japanese), 1997, 956—960.
- [26] Harbison G R. The parasites and predators of Thaliacea. In: Bone Q ed. *The Biology of Pelagic Tunicates*. Oxford University Press, Oxford, 1998. 187—214.
- [27] Edwards M, John A W G, Hunt H G, et al. Exceptional influx of oceanic species into the North Sea late 1997 Exceptional. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 1999, 79: 737—739.
- [28] Lin M, Lin R C. Seasonal abundance and distribution of pelagic tunicates (Chordata: Thaliacea) in the central South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 25(1): 100—107.
- [29] Xu Z L, Cui X S, Huang H L. Distribution of zooplankton in Ommastrephes batrami fishing ground of the North Pacific Ocean and its relationship with the fishing ground. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(5): 515—521.

参考文献:

- [1] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 1984. 68~494.
- [2] 林茂. 台湾海峡西部海域海樽类的初步分析. 海洋通报, 1988, 7(4): 66~71.
- [3] 张金标, 连光山, 王云龙, 等. 台湾海峡东部海樽类的分布. 台湾海峡, 2003, 22(3): 279~285.
- [4] 徐兆礼, 林茂, 张金标. 东海海樽类数量分布及与环境的关系. 海洋与湖沼, 2007, 38(6): 549~554.
- [5] 徐兆礼, 林茂, 张金标. 东海海樽类优势种的数量变化. 动物学报, 2006, 52(1): 53~62.
- [6] 徐兆礼, 林茂. 东海海樽类种类组成和多样性. 海洋水产研究, 2007, 28(1): 26~32.
- [12] 郭志刚. 社会统计分析方法——SPSS 软件应用. 北京: 中国人民大学出版社, 1999. 18~83.
- [13] 同济大学应用数学系. 高等数学. 北京: 高等教育出版社, 2002. 59~65, 126~133.
- [15] 沈国英, 施并章. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 2002. 75~85.
- [22] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东海毛颚类优势种及与环境关系的研究. 中国水产科学. 2005, 12(1): 76~82.
- [23] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东海磷虾类优势种的生态适应. 生态学报, 2005, 25(9): 2227~2233.
- [29] 徐兆礼, 崔雪森, 黄洪亮. 北太平洋柔鱼渔场浮游动物数量分布及与渔场的关系. 水产学报, 2004, 28(5): 515~521.