

东海浮游磷虾类的生态类型

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 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 ,运用磷虾类物种丰度和同步的温、盐度资料 ,进行曲线拟合 ,构造数学模型 ,计算各种磷虾分布的最适温度和盐度 ,并参考其地理和季节分布特征 ,对东海浮游磷虾类生态类型进行定量分析。结果表明 ,在磷虾优势种中 ,太平洋磷虾 (*Euphausia pacifica*) 是温带外海种 ,小型磷虾 (*E. nana*) 是暖温带外海种 ,中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*) 是亚热带近海种 ,宽额假磷虾 (*P. latifrons*) 是热带大洋种。这些物种的高丰度区依次代表黄海冷水团 ,冬春季的混合水团 ,夏秋季的混合水团和暖流水团的位置 ,是良好的水团指示种。柔弱磷虾 (*E. tenera*)、隆柱螯磷虾 (*Stylocheiron carinatum*)、长额磷虾 (*E. diomedae*)、近缘柱螯磷虾 (*S. affine*)、*Nematoscelis* sp.、瘦线脚磷虾 (*N. gracilis*)、长线脚磷虾 (*N. atlantica*)、*Stylocheiron* sp.、三晶柱螯磷虾 (*S. suhmii*) 和二晶柱螯磷虾 (*S. microphthalma*) 是热带大洋种。娇嫩线脚磷虾 (*Nematoscelis tenella*)、三刺燧磷虾 (*Thysanopoda tricuspidata*)、大眼磷虾 (*E. sanzoi*)、拟磷虾 (*E. similis*)、鸟喙磷虾 (*E. mutica*)、短磷虾 (*E. brevis*)、卷叶磷虾 (*E. recurva*) 和 *Euphausia* sp. 是亚热带外海种。在确定磷虾类生态类型过程中 ,最适温度具有更好的参考价值。

关键词 浮游动物 磷虾类 生态类型 温度 盐度 东海

文章编号 :1000-0933 (2007)09-3678-09 中图分类号 :Q178 Q179 Q959.223+.61 S931 文献标识码 :A

Distribution patterns of pelagic euphausiids 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

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (9) 3678 ~ 3686.

Abstract : Distribution patterns and abundance of the euphausiids 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 from 1997 to 2000. The Density or Yield Density model was used to predict optimum temperature and salinity of water for euphausiids occupations , thereafter , distribution patterns of euphausiids were determined based on the predicted parameters. Of 23 species , *Euphausia pacifica* , *E. nana* , *Pseudeuphausia sinica* , and *P. latifrons* were numerically dominant. The analyses indicate that *Euphausia pacifica* is an offshore temperate water species , *E. nana* is an offshore temperate warm water species , *P. sinica* is a coastal subtropical water species , and *P. latifrons* is an oceanic tropical water species. The four species occupied four different water masses , respectively , cold water mass , transitional zone where cold and warm water masses are mixed in the winter and spring , transitional zone where cold and warm water masses are mixed in the summer

基金项目 :中国近海海洋综合调查与评价 (908)专项资助项目 (908-02-01-03) ;国家自然科学基金重大研究计划资助项目 (90511005) ;
收稿日期 2006-09-04 ;修订日期 2007-03-28
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@ public4. sta. net. cn
致谢 :参加本项目工作的还有沈晓民、陈渊泉、王云龙、何德华、杨关铭、杨元利、陈华、高倩和陈佳杰等 ,谨致谢忱

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

Received date 2006-09-04 ; **Accepted date** 2007-03-28

Biography XU Zhao-Li , Professor , mainly engaged in marine biology and marine ecology. E-mail :xiaomin@ public4. sta. net. cn

and fall , as well as warm water. These could be the designator of individual water masses , respectively. The predicated optimal temperatures for *E. tenera* , *S. carinatum* , *E. diomedae* , *Stylocheiron affine* , *Nematoscelis* sp. , *N. gracilis* , *N. atlantica* , *Stylocheiron* sp. and *S. suhmii* are all > 25°C. These species are mainly distributed in southern Kuroshio in the winter and spring , the Kuroshio , the Taiwan Warm Current and Tsushima Warm Current during the summer and autumn , and the equatorial waters of Pacific Ocean and the eastern waters of Taiwan. They are designated as oceanic tropical water species. *Nematoscelis tenella* and *T. tricuspidata* are referred to as offshore subtropical water species according to their geographic distributions , even if they are halobionts. *Euphausia sanzoi* is considered as a typical offshore subtropical water species , which inhabited waters below 25°C. *Stylocheiron microphthalma* , occupied warm current waters where temperature and salinity is nearly 25°C , 34 ppt in the summer and autumn , is designated as oceanic tropical water species. In the same way , *E. similis* , *E. mutica* , *Euphausia* sp. , *E. brevis* and *E. recurva* are classified into offshore subtropical water species in accordance with the optimum temperature and salinity of waters , as well as locations and seasons of their occurrence. Optimum temperature , rather than salinity is a better parameter in determining the distribution patterns of euphausiids.

Key Words : zooplankton ; euphausiids ; distribution patterns ; temperature ; salinity ; East China Sea

浮游磷虾类是鱼类的重要饵料浮游动物。已有的研究表明 , 磷虾类优势种有明显的集群性^[1]。在东海 , 不同种类磷虾分布在不同的海区^[2] , 由此形成不同海区磷虾类的区系特征。东海磷虾类数量变化 , 同海域水环境条件有关^[3] , 也同磷虾类物种对水环境适应的生态类型有关。

我国有关磷虾类的研究有不少报道 , 如国内王荣^[4,5]、蔡秉及^[6,7]、张金标^[8]等的研究。近年来比较重要的是王荣等^[4]对黄海磷虾类的研究和徐兆礼等^[1~3]对东海磷虾类的系列研究。以往的研究很少涉及磷虾生态类型分析。有些报告描述了磷虾种类的生态类型^[5] , 但没有提供定量分析依据。依据作者对 ASFA 文献库查询的结果 , 到目前为止 , 国内外现有的研究均未涉及浮游动物生态类型的数学定量分析。分析海洋浮游动物数量动力学 , 其所在海洋环境变化是外部条件 , 浮游动物生态适应特征是内在因素 , 对动物生理生态研究而言 , 生态类型、最适温度和最适盐度如同繁殖力 , 食性等 , 是海洋浮游动物物种固有和重要的参数。因此对东海磷虾类生态类型的研究 , 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 材料与方法

为了保证数据的代表性和样本的有效性 , 本研究采用 1997 ~ 2000 年在东海 23°30' ~ 33°00'N、118°30' ~ 128°00'E 海域 , 进行的春 (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 , 按个体计数法在立体显微镜下鉴定到种 , 并计数测定浮游动物样品中磷虾类丰度 (ind/m³)。

为了详细分析海洋浮游磷虾类与栖息环境的关系 , 将上述东海调查区分成 5 个海区^[1] , 即 : I 为北部近海

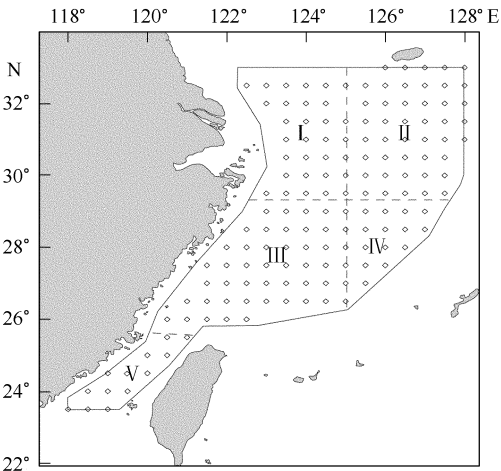


图 1 采样站位
Fig. 1 Sampling stations

($29^{\circ}30' \sim 33^{\circ}\text{N}$, $123^{\circ}30' \sim 125^{\circ}\text{E}$)、II 为北部外海 ($29^{\circ}30' \sim 33^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ} \sim 128^{\circ}\text{E}$)、III 为南部近海 ($25^{\circ}30' \sim 29^{\circ}30'\text{N}$, $120^{\circ}30' \sim 125^{\circ}\text{E}$)、IV 为南部外海 ($25^{\circ}30' \sim 29^{\circ}30'\text{N}$, $125^{\circ} \sim 128^{\circ}\text{E}$)和 V 为台湾海峡 ($23^{\circ}30' \sim 25^{\circ}30'\text{N}$, $118^{\circ} \sim 121^{\circ}\text{E}$)。

本研究从主要物种丰度和表层温、盐度的关系入手,构造数学模型,得出其分布的最适温度和盐度,据此分析种类生态适应的类型。并根据其地理和季节分布特征,分析用以辅证数学分析的结果。

研究磷虾类分布最适温度和盐度,以同步调查的表层温度 ($^{\circ}\text{C}$)或表层盐度值为自变量,磷虾种类个体丰度为因变量,作 X - Y 散点分布图进行分析。考察磷虾类分布的最适温、盐度估计值,采用拟合曲线方法,选择合适的数学模型,用麦夸特 (Marquardt)非线性最小二乘法估计模型参数^[9]。在此基础上,对函数极值点进行分析,依据 Rolle 中值定理原理^[10]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,即为最适温度和最适盐度点。部分磷虾物种丰度与温、盐度模型的函数没有中值定理意义上的极值点,但在本文所研究的温、盐度数值区间上单调连续上升,根据闭区间上升连续函数的基本性质,最佳值位于闭区间右端,以区间表示。有关计算方法^[9]和数学原理参考文献^[11]。

2 结果

2.1 磷虾类物种的分布

东海磷虾主要优势种,小型磷虾 (*Euphausia nana*)、中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*)、宽额假磷虾 (*P. latifrons*)的分布见文献详细的叙述^[2]。另从表 1 可见,东海磷虾类常见种中,太平洋磷虾 (*E. pacificashi*)冬春季出现在北部,长额磷虾 (*E. diomedae*)、瘦线脚磷虾 (*Nematoscelis gracilis*)、螯磷虾 (*Stylocheiron* sp.)、近缘柱螯磷虾 (*S. affine*)、*Nematoscelis* sp. 和柔弱磷虾 (*E. tenera*)主要分布在东海外海和东海南部水域;

表 1 东海浮游磷虾类的分布

种名 Species	Table 1 Distribution of pelagic euphausiids species in the East China Sea																			
	春 Spring					夏 Summer					秋 Autumn					冬 Winter				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	+	+				+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		
宽额假磷虾 <i>P. latifrons</i>			+			+	+	+	+	+	+	+						+	+	+
小型磷虾 <i>Euphausia nana</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+
太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i>	+	+														+	+			
柔弱磷虾 <i>E. tenera</i>			+	+			+	+	+	+		+	+	+				+	+	+
乌喙磷虾 <i>E. mutica</i>			+	+	+															
拟磷虾 <i>E. similis</i>												+	+							
长额磷虾 <i>E. diomedae</i>			+	+		+	+	+	+	+				+				+	+	+
大眼磷虾 <i>E. sanzoi</i>					+				+					+	+	+				
磷虾 <i>Euphausia</i> sp.					+															
卷叶磷虾 <i>E. recurva</i>						+														
短磷虾 <i>E. brevis</i>														+						
瘦线脚磷虾 <i>Nematoscelis gracilis</i>		+				+	+	+	+									+	+	+
线脚磷虾 <i>Nematoscelis</i> sp.		+	+	+			+	+		+								+	+	+
长线脚磷虾 <i>N. atlantica</i>														+						
娇嫩线脚磷虾 <i>N. tenella</i>														+						
三晶柱螯磷虾 <i>Stylocheiron suhmii</i>		+				+	+					+	+							
隆柱螯磷虾 <i>S. carinatum</i>							+	+				+	+	+				+	+	+
近缘柱螯磷虾 <i>S. affine</i>		+					+		+			+	+	+	+					
二晶柱螯磷虾 <i>S. microphthalma</i>							+					+	+	+						
螯磷虾 <i>Stylocheiron</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							+	+	+	
有刺燧磷虾 <i>Thysanopoda aequalis</i>		+					+													
三刺燧磷虾 <i>T. tricuspidata</i>				+								+	+	+						

大眼磷虾 (*E. sanzoi*) 主要出现在南部。二晶柱螯磷虾 (*S. microphthalma*)、隆柱螯磷虾 (*S. carinatum*)、三晶柱螯磷虾 (*S. suhmii*) 主要出现在北部外海和南部近海;鸟喙磷虾 (*E. mutica*) 春季出现在外海和南部;有刺燧磷虾 (*Thysanopoda aequalis*) 仅出现在北部外海;卷叶磷虾 (*E. recurva*) 仅夏季出现在长江口海域;其它稀有种较多地出现在南部近海。

2.2 磷虾类物种温、盐度适应分析

图 2 显示磷虾物种丰度与表层水温的对应关系。从图 2 可见,小型磷虾、中华假磷虾、柔弱磷虾、*Stylocheiron* sp.、隆柱螯磷虾、有刺燧磷虾和瘦线脚磷虾具有较大的温度分布区间。其余种适温范围比较狭窄。狭温性种类可分为 2 类,仅鸟喙磷虾和太平洋磷虾分布在相对较低水温,其它种类一般在 20℃ 以上的水温中才有出现,主要分布在 22℃ 水温以上的水域中。

图 3 显示不同种类丰度与表层盐度的对应关系。小型磷虾、中华假磷虾、太平洋磷虾、*Nematoscelis* sp.、*Stylocheiron* sp.、鸟喙磷虾,长额磷虾和瘦线脚磷虾有较为广泛的盐度适应,其它种类仅适应较高的盐度。

2.3 磷虾类物种生态适应数学模型和特征值

表 2 是对 433 个站位种类丰度和温、盐度曲线拟合计算结果。其中太平洋磷虾丰度与盐度统计意义不显著,其最佳盐度值依据图 3 估计形成。拟合结果显示,仅 *Nematoscelis* sp. 丰度与温度、隆柱螯磷虾和三刺燧磷虾丰度与盐度关系符合负指数模型,长额磷虾丰度与温度符合 Density 模型,其它物种均符合 Yield Density 模型。负指数模型和 Density 模型没有中值定理意义上的极值点,依据闭区间上连续且单调上升函数的性质,结合图 2 和图 3 可以估计出这些种类最适温盐度所在的区间。

依据表 2 的结果,有太平洋磷虾最适温度低于 15℃;小型磷虾在 15 ~ 20℃ 之间,柔弱磷虾,长额磷虾,瘦线脚磷虾, *Stylocheiron* sp.、三晶柱螯磷虾, *Nematoscelis* sp.、隆柱螯磷虾,长线脚磷虾和瘦线脚磷虾最适温度高于 25℃。其余物种最适温度在 20 ~ 25℃ 之间。对最适盐度分析结果表明,盐度低于 30 的物种有小型磷虾和中华假磷虾,隆柱螯磷虾、柔弱磷虾、近缘柱螯磷虾、娇嫩线脚磷虾、三刺燧磷虾、长额磷虾和 *Nematoscelis* sp. 最适盐度高于 34,其余物种在 30 ~ 34 之间。

拟磷虾、鸟喙磷虾、*Euphausia* sp.、短磷虾和卷叶磷虾出现站位很少,难以用数学模型表示丰度和温、盐度的关系。但就其出现温、盐度而言,拟磷虾出现在水温 22 ~ 25℃,盐度 33 ~ 34 水域,鸟喙磷虾在 21.07℃ 和 30.62,短磷虾在 25.5℃ 和 33.98。*Euphausia* sp. 春季出现在台湾海峡,水温 22.98℃,盐度 32.14,卷叶磷虾夏季出现在浙江北部近海 (25.90℃, 32.42)。

3 讨论

3.1 关于生态类型划分的界限

海水温度对东海浮游动物分布有重要的影响,从地理上讲,东海东部属于热带海区,强大的黑潮暖流可以将太平洋赤道水域的热带种带到这一水域,是东海热带大洋种分布所在。而在夏秋季,东海西部、东海东北部都是亚热带海区。而在西北风盛行的冬春季,东海北部和南部近海的一部分呈现暖温带的海洋环境特征。

基于以上不同海区的水温特征,根据东海浮游动物适温现状,参考有关文献^[12],本研究将浮游动物生态类型中温度界限定为:热带种 ($\geq 25^{\circ}\text{C}$),亚热带种 (20 ~ 25℃),这两类也称为暖水种。另外还有暖温带种 (15 ~ 20℃)和温带种 (10 ~ 15℃),盐度界限定为:近海种 (28 ~ 32),外海种 (32 ~ 34)和大洋种 (≥ 34)。

在东海浮游动物中,热带大洋种仅指那些随黑潮暖流从赤道带来的种,因而应同时具备热带种 ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) 和大洋种 (≥ 34) 的适应特征。由此可见,对磷虾物种生态类型的划分,除了最适温、盐度外,还应充分考虑种类分布的地理和季节特征,加以甄别。

从以下本文 3.2 分析可见,最适温度往往与地理环境分析的结果一致,因而温度指标在磷虾生态类型分析中具有更好的参考价值。最适盐度是次要的参考指标。东海海洋环境变化,水温的变化幅度远大于盐度的变化幅度。温度是影响浮游动物分布的主要环境因子,盐度是次要因子。

3.2 东海磷虾类的生态类型

依据表 1、表 2、图 2 和图 3 分析的结果,对本文所涉及的东海磷虾类物种进行生态类型划分,结果如下:

小型磷虾 从最适温、盐度讲,该种是低盐暖温种。但已有报道显示^[1],该种夏季主要分布在东海北部受长江冲淡水影响较为明显的海区,从栖息地的表层盐度而言,该种作为低盐种是无可厚非的。然而,这一水域底层水为高盐低温性质的黄海冷水团控制,表层受长江冲淡水影响,有明显的跃层,小型磷虾有可能生活在高盐低温的底层^[1]。在冬春季,小型磷虾高丰度和较高丰度分布基本在东海北部外海,水温低于 20℃,盐度高于 32。综合地理分布的实际情况。作者认为东海小型磷虾仍应作为暖温带外海种。

中华假磷虾 该种的最适盐度 (29.54)与最适温度 (22.59℃)基本反映了该种高丰度分布区域属于近海和亚热带海域的环境地理特征。以往文献^[1]显示,在夏秋季,长江口和东海沿海是该种高丰度分布区域所在,因此该种应该是一个亚热带近海种。而不是以往文献^[1]认为的是暖温带近海种。

表 2 主要物种数学模型和生态适应特征值*

Table 2 Mathematical models and optimum of ecological adaptation					
种名 Species	方程 Equation	Optimum	R	F	p
中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	$y = 1 / (746.9037 - 64.0198t + 1.4604t^2)$	22.59	0.27	16.3	0.00
	$y = 1 / (-364.0593 + 24.11004S - 0.4176S^2)$	29.54	0.17	6.31	0.00
宽额假磷虾 <i>P. latifrons</i>	$y = 1 / (28397.1291 - 2339.8316t + 48.1995t^2)$	24.27	0.34	27.6	0.00
	$y = 1 / (24905.0111 - 1478.9011S + 21.9578S^2)$	33.68	0.12	3.25	0.04
小型磷虾 <i>Euphausia nana</i>	$y = 1 / (1366.1909 - 158.6276t + 4.6057t^2)$	17.22	0.18	6.95	0.00
	$y = 1 / (1537.3485 - 102.8393S + 1.7204S^2)$	29.89	0.23	11.4	0.00
太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i>	$y = 1 / (48882.6268 - 7312.0655t + 273.4514t^2)$	13.37	0.31	21.8	0.00
	—	32-33*	—	—	>0.05
柔弱磷虾 <i>E. tenera</i>	$y = 1 / (180730.7168 - 13046.4663t + 235.4753t^2)$	27.7	0.25	17.6	0.00
	$y = 1 / (104644.9690 - 6083.8170S + 88.5043S^2)$	34.37	0.19	7.86	0.00
长额磷虾 <i>E. diomedea</i>	$y = (24024982.74 - 839413.98t)^{-1/2.58}$	>25	0.19	8.36	0.00
	$y = 1 / (6863343.2492 - 398805.181S + 5793.3389S^2)$	34.42	0.17	6.14	0.00
大眼磷虾 <i>E. sanzoi</i>	$y = 1 / (1239823.3601 - 115691.1033t + 2698.8585t^2)$	21.43	0.8	385	0.00
	$y = 1 / (4002317.8743 - 239053.9518S + 3569.6563S^2)$	33.48	0.15	4.93	0.01
螯磷虾 <i>Stylocheiron</i> sp.	$y = 1 / (10641.3886 - 773.6860t + 14.1142t^2)$	26.92	0.22	11.1	0.00
	$y = 1 / (4611847.8253 - 271610.0013S + 3999.0571S^2)$	33.96	0.28	18.5	0.00
隆柱螯磷虾 <i>S. carinatum</i>	$y = 1 / (2397520.8084 - 187183.7881t + 3653.5545t^2)$	25.62	0.36	30.3	0.03
	$y = 0.32e^{0.86S}$	>34	0.15	8.75	0.01
近缘柱螯磷虾 <i>S. affine</i>	$y = 1 / (106658.4002 - 8645.7119t + 175.2557t^2)$	24.67	0.15	4.87	0.01
	$y = 1 / (2060653.1250 - 120098.0566S + 1749.8909S^2)$	34.32	0.23	11.6	0.00
三晶柱螯磷虾 <i>S. suhmii</i>	$y = 1 / (198313.2106 - 14595.6150t + 268.5970t^2)$	27.17	0.23	11.6	0.00
	$y = 1 / (425874.8991 - 26874.0813S + 424.0094S^2)$	31.69	0.15	4.84	0.01
二晶柱螯磷虾 <i>S. microphthalma</i>	$y = 1 / (3546907.8450 - 285288.2334t + 5736.7008t^2)$	24.87	0.43	46.4	0.00
	$y = 1 / (4446026.9344 - 261852.0919S + 3855.6872S^2)$	33.96	0.21	9.82	0.00
瘦线脚磷虾 <i>Nematoscelis gracilis</i>	$y = 1 / (2548654.7711 - 198967.2018t + 3883.2367t^2)$	25.63	0.27	17.1	0.00
	$y = 1 / (2521879.5653 - 159455.3950S + 2520.5432S^2)$	31.63	0.51	74.2	0.00
长线脚磷虾 <i>N. atlantica</i>	$y = 1 / (3504778.4785 - 274379.0928t + 5370.0912t^2)$	25.55	0.66	164	0.00
	$y = 1 / (3403683.3764 - 200369.7535S + 2948.8696S^2)$	33.97	0.34	26.8	0.00
娇嫩线脚磷虾 <i>N. tenella</i>	$y = 1 / (1977898.6851 - 180456.5203t + 4116.0726t^2)$	21.92	0.3	20.9	0.00
	$y = 1 / (5932746.6634 - 342625.0940S + 4946.8572S^2)$	34.63	0.19	7.77	0.00
线脚磷虾 <i>Nematoscelis</i> sp.	$Y = -0.01134e^{-1.16t}$	>25	0.18	13.2	0.00
	$y = 1 / (583199.7817 - 33740.1516S + 488.1173S^2)$	34.56	0.19	8.17	0.00
三刺缝磷虾 <i>Thysanopoda tricuspidata</i>	$y = 1 / (84014.0723 - 7121.2430t + 151.2679t^2)$	23.54	0.14	4.36	0.01
	$y = 80046183e^{\frac{-819.86}{S}}$	>34	0.14	8.12	0.00

依据图 3 的估计值 The value estimated by Fig. 3, t : 表层温度 surface temperature (℃) S : 表层盐度 surface salinity

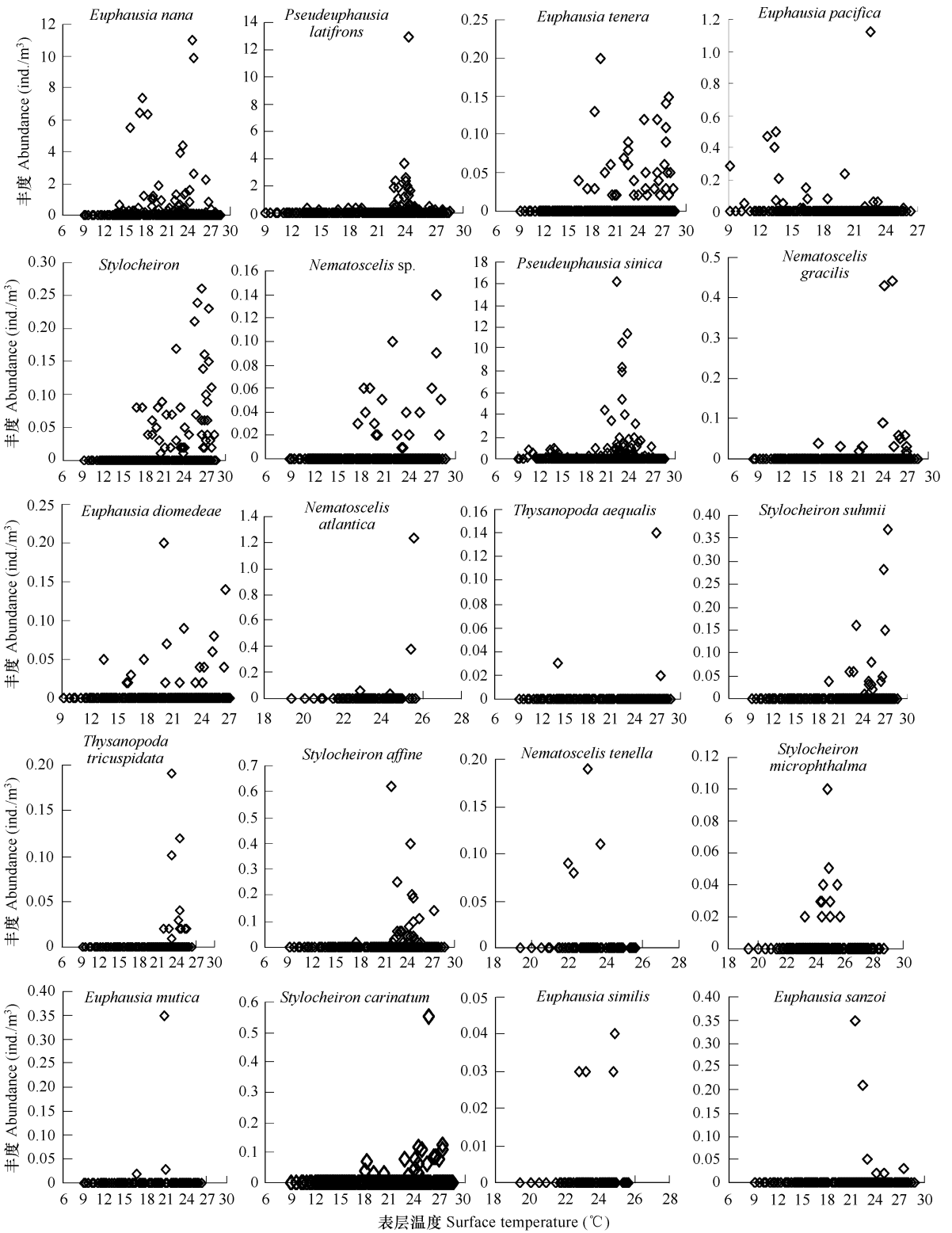


图2 丰度-表层温度(℃)散点图

Fig.2 Relationship between abundance and surface temperature

宽额假磷虾 该种的最适盐度与最适温度指标接近热带大洋种特征,这从该种在东海主要以外海暖流分布上得到印证,而在太平洋,该种主要栖息在赤道水域^[3],本文认为,该种可以定为热带大洋种。

太平洋磷虾 由于该种主要在冬春季低温水域出现,分布在黄海沿岸流向南与东海水团交汇的锋面处,

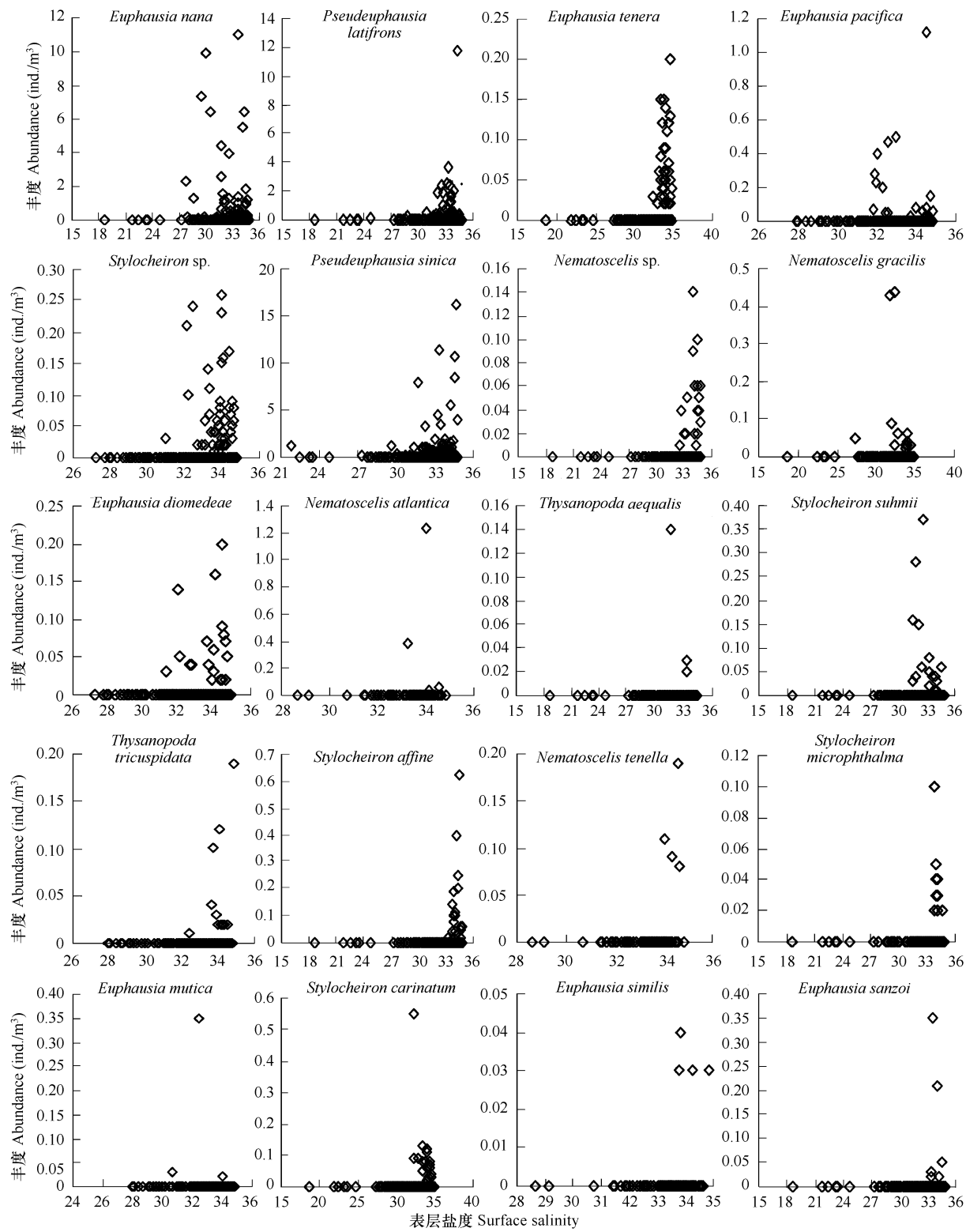


图3 丰度-表层盐度散点图

Fig. 3 Relationship between abundance and surface salinity

夏秋季分布在受黄海冷水团影响的底层水域^[5],其最适盐度与最适温度与该水域水文特征一致^[5],另外依据试验研究,Iguchi 和 Ikeda^[4]认为太平洋磷虾的最适温度为 11.4℃,与本研究结果 13.37 接近。本文最佳温度偏高反映了东海实际状况。由此可以认为该种是东海唯一的一个温带外海种。

柔弱磷虾、隆柱螯磷虾、长额磷虾和 *Nematoscelis* sp. 在东海磷虾中,它们的最适盐度与最适温度都是热带大洋种。在东海以外,这些种在台湾东部、太平洋、印度洋和大西洋赤道水域都有出现^[14]。在东海,它们分布特征相似,冬春季主要出现在黑潮暖流水域,夏秋出现在台湾北部台湾暖流的源地水域,或对马暖流的源地水域。长额磷虾在台湾海峡和南部近海也有出现。在东海,尽管有些种有较为广泛的分布,但丰度较高的主要是东海南部外海,其次是东海北部外海,在南部近海则主要位于台湾暖流与大陆沿岸流交汇水域偏暖流一侧。因此这些种是典型的热带大洋种。

瘦线脚磷虾、长线脚磷虾、*Stylocheiron* sp. 和三晶柱螯磷虾适温大于 25℃、适盐低于 34,其中瘦线脚磷虾和三晶柱螯磷虾分布与柔弱磷虾等热带种相似,长线脚磷虾仅秋季分布在台湾暖流水域,螯磷虾 sp. 主要出现在夏季,在高温水域有广泛的分布,而冬春季分布在外海黑潮暖流水域。除东海以外,上述 4 个种在台湾以东及太平洋中部热带水域都有出现^[14],因而可以认为他们都是热带大洋种。

而娇嫩线脚磷虾和三刺燧磷虾适温小于 25℃,适盐高于 34。虽然具有较高的盐度适应,但地理分布特征显示(表 1),该种仅秋季出现在东海中部水温较低的海区。因而是亚热带外海种。

近缘柱螯磷虾适温接近热带种,适盐具有大洋种的特征,夏秋季主要外海在出现,秋季在台湾以北台湾暖流源地水域也有分布,所以可以认为是热带大洋种。

大眼磷虾、二晶柱螯磷虾都最适温度盐都属于亚热带外海种。但是二晶柱螯磷虾最适温盐度接近热带种,仅在夏秋季出现,主要分布在外海,因而可以认为是热带大洋种。而大眼磷虾就适温和分布特征而言都是比较典型的亚热带外海种。

拟磷虾、鸟喙磷虾、*Euphausia* sp.、短磷虾和卷叶磷虾由于出现的站位很少,难以用数学模型表示丰度和温盐度的关系,但就其出现地位置、季节和温盐度而言都是亚热带外海种。

3.3 磷虾类水团指标种筛选

海洋浮游动物水团指标种有两类,一类是该种种群有较大的数量,其高丰度分布区可以作为水团的指标,另一类虽然种群数量不大,但该种的出现可作为某一水团的指示。从图 2 和图 3 可见,太平洋磷虾、小型磷虾、中华假磷虾和宽额假磷虾属于种群数量较大的指示种,这些物种高丰度区分布依次代表黄海冷水团、冬春季的混合水团、夏秋季的混合水团和暖流水团的出现。而 *Nematoscelis* sp.、因而,三晶柱螯磷、长线脚磷虾和瘦线脚磷虾种群数量虽小,但是由于分布水域温盐变动范围狭窄,且在暖流水团中,因而能够比较灵敏的反映暖流水团的出现和位置,是暖流指示种。上述种类还是良好的全球气候变化的指标种。

References :

[1] 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.

[2] Xu Z L, Li C J. Species Composition and Diversity of Pelagic Euphausiids in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica* ,2005 ,24 (5) 98—106.

[3] Xu Z L, Li C J. Abundance distribution of Euphausiids in the East China Sea. *Journal of Fisheries of China* ,2005 ,29 (3) :373—378.

[4] Wang R, Chen K Z. Description of a new species of the genus *Pseudeuphausia* (Crustacea)—*Pseudeuphausia sinica* , sp nov. *Oceanol et Limnologia Sinica* ,1963 5 (4) 353—357.

[5] Wang R, Chen Y Q, Wang K. Quantitative distribution of euphausiids in the Yellow Sea and East China Sea in spring and autumn in relation to the hydrographic condition. *Journal of Fisheries of China* ,2003 ,27 (Suppl.) :31—38.

[6] Cai B J. The taxonomy study on the Euphausiacea (Crustacea) from the West of Taiwan Strait. *Acta Oceanologica Sinica* ,1989 ,11 (6) :764—768.

[7] Cai B J, The taxonomy study on the Euphausiacea (crustacean) from the South Yelloe Sea and East China Sea. *Marine Science Bulletin* ,1982 ,1 (4) 68—78.

[8] Chang J B, Ning X R, Jiang J X. *Marine Atlas of Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea (Biology)*. Beijing :Ocean Press ,1991. 1—250.

[9] Guo ,Z. G. Social statistical analysis methods-Manual of SPSS software. Beijing :Renmin University of China Publishing House ,1999. 18 —83.

[10] Applying mathematical department of Tongji University. High mathematics. Beijing :Higher Education Press ,2002. 59 —65 ,126 —133.

[11] Christensen R. Analysis of Variance ,Design ,and Regression :applied statistical methods. Chapman and Hall.

[12] Shen G Y ,Shi B Z. Marine Ecology. Beijing :Science Press ,2002. 75 —80.

[13] Chihara M ,Murano M. An Illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai :Tokai University Press ,1997. 956 —960.

[14] Iguchi N ,Ikeda T. Growth metabolish and growth efficiency of a *Euphausiid pacifica* in the Southern Japan Sea as influenced by temperature. Journal of Plankton Research ,1995 ,17 (9) 1757 —1759.

参考文献：

[1] 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.

[3] 徐兆礼 ,李春鞠. 东海浮游磷虾类数量分布. 水产学报 ,2005 ,29 (3) :373 ~378.

[4] 王荣 ,陈宽智. 假磷虾一新种——中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*)的描述. 海洋与湖沼 ,1963 5 (4) 353 ~357.

[5] 王 荣 ,陈亚瞿 ,王克. 黄、东海春、秋季磷虾的数量分布及其与水文环境的关系. 水产学报 ,2003 27 (增刊) :31 ~38.

[6] 蔡秉及. 台湾海峡西部海域磷虾类的分布. 海洋学报 ,1989 11 (6) 763 ~768.

[7] 蔡秉及. 南黄海和东海磷虾类分类的初步研究. 海洋通报 ,1982 11 (4) 68 ~78.

[8] 张金标 ,宁修仁 ,江锦祥 ,等. 渤、黄、东海海洋图集 (生物). 北京 :海洋出版社 ,1991. 1 ~250.

[9] 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.

[10] 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.

[12] 沈国英 ,施并章. 海洋生态学. 北京 :科学出版社 ,2002. 75 ~85.