

文章编号:1000 - 0615(2005)03 - 0373 - 06

## 东海浮游磷虾类的数量分布

徐兆礼, 李春鞠

(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°N、118°30' ~ 128°E 海域 4 个季节海洋调查资料, 运用定量、定性分析方法, 探讨了东海浮游磷虾类总丰度的平面分布、季节变化, 相应的动力学及与渔场的关系。结果表明, 东海磷虾类总丰度秋季最高, 春季次之, 冬季最低; 冬、春、夏季的小型磷虾 (*Euphausia nana*) 和秋季的中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*) 对总丰度的贡献较大, 是影响磷虾类总丰度变化的主要优势种; 冬、春和秋季总丰度与水文环境因子的线性相关性不显著, 夏季总丰度与底层温度和 10 m 层盐度的二元线性相关关系非常显著。秋季磷虾高丰度区位于台湾暖流与各水团的交汇处。磷虾类总丰度的变化动力来自水团的影响和主要优势种对总丰度变化的回归贡献, 后者与优势种的生态习性有关。磷虾类秋季高丰度区的分布与带鱼、小黄鱼和日本鲭索饵场的位置基本一致。

**关键词:**东海; 浮游动物; 磷虾类; 数量分布

**中图分类号:** S932.5<sup>+</sup>1; Q179.1 **文献标识码:** A

## Abundance distribution of Euphausiids in the East China Sea

XU Zhao-li, LI Chun-ju

(Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Based on the data of four seasonal investigations in the East China Sea (23°30' - 33°N, 118°30' - 128°E) from 1997 to 2000, the distribution and the seasonal changes of Euphausiids abundance and the relation between its abundance dynamics and fish ground were discussed in this paper through qualitative and quantitative methods. Results showed that the total abundance of Euphausiids peaked in autumn, and declined to the lowest in winter. The abundance in spring was the second highest in four seasons. Since *Euphausia nana* in winter, spring, summer and *Pseudeuphausia sinica* in autumn contributed more to the total abundance, they actually dominated the variations of the total abundance. Moreover, it was found that the total abundance in summer showed linear correlation with bottom water temperature and 10m salinity, while the abundance in other three seasons did not show significant correlation with hydrographic factors. High abundance area of Euphausiids was located in the converging area of Taiwan warm current and other water masses in autumn, suggesting that the variation of the total abundance was dependent on water masses and the dominant species. The latter was also related to their ecological features. It was also found that the high abundance area nearly overlapped the grazing areas of some economic fishes such as *Trichiurus lepturus*, *Scomber japonicus* and *Larimichthys polyactis*.

**Key words:** East China Sea; zooplankton; Euphausiids; abundance distribution

磷虾类是海洋浮游动物的一个类群, 属甲壳纲 (Crustacea)、真虾部 (Eucarida)、磷虾目 (Euphausiacea)。磷虾类营浮游生活, 分布广, 数量大, 具有集群性。作为鱼类的优质饵料, 磷虾类在渔业上有重要的意义。

我国早期对磷虾类的研究, 大多集中于分类和地理分布方面<sup>[1-5]</sup>, 20 世纪 90 年代起, 对中国沿海磷虾类的研究转向生态学方面<sup>[6-9]</sup>。近年来, 对东海 23°30' ~ 33°00' N、118°30' ~ 128°00' E 海域 4 季较大尺度范围磷虾类数量分布、季节变化

收稿日期: 2004-08-30

资助项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2001CB409700 - 07)

作者简介: 徐兆礼 (1958 - ), 女, 浙江温岭人, 研究员, 主要从事海洋生物学和海洋生态学研究。Tel: 021 - 65684690 - 8063, E-mail:

xiaomin @sh163.net

及相应的动力学的研究,尚未见报道。本文利用 1997 - 2000 年东海区海洋调查资料,用生物和环境动力学分析方法,对东海磷虾类数量的变化及与渔场形成的关系进行了研究,拟为东海生态系统动力学、我国海洋生物多样性以及近海海洋生物食物网等研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究海域及取样方法

1997 - 2000 年,利用“北斗号”调查船在东海 23°30' ~ 33°00' N、118°30' ~ 128°00' E 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<sup>[10]</sup>。用标准浮游动物大网(口径 80 cm、筛绢 GG 36、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浮游动物样品中磷虾类的丰度(单位:  $\text{ind} \cdot 10^{-2} \text{m}^{-3}$ ),并鉴定到种。

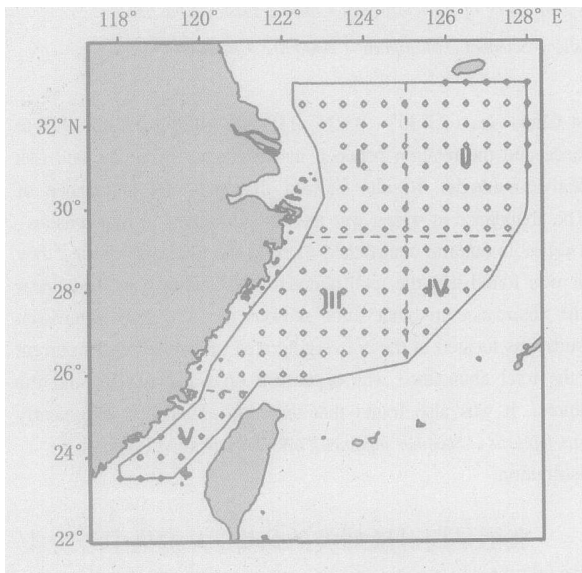


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

为了详细分析东海浮游磷虾类与栖息环境的关系,将上述调查区分成 5 个海区<sup>[11]</sup>,即:

- 北部近海(29°30' ~ 33°N、123°30' ~ 125°E)
- 北部外海(29°30' ~ 33°N、125° ~ 128°E)
- 南部近海(25°30' ~ 29°30' N、120°30' ~ 125°E)
- 南部外海(25°30' ~ 29°30' N、125° ~ 128°E)

- 台湾海峡(23°30' ~ 25°30' N、118° ~ 121°E)

### 1.2 数据处理

对总丰度变化动力学的分析从两个方面进行。一是分析优势种对总丰度变化的影响,先以总丰度为因变量,各优势种为自变量,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( $\beta$ )。标准回归系数作为总丰度贡献指数值用于衡量各优势种对总丰度变化的影响,具体计算参考文献<sup>[12]</sup>。

二是分析环境因子变化与总丰度变化之间的相关性,用同步观测到的资料,取表层( $t_0$ )、10 m 层( $t_{10}$ )、底层( $t_{底}$ )水温( $T$ )和表层( $S_0$ )、10 m 层( $S_{10}$ )、底层盐度( $S_{底}$ )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,进行自变量对因变量回归方差的贡献分析,具体方法参见参考文献<sup>[10]</sup>。上述计算均应用 SPSS 统计软件<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷虾类总丰度的平面分布

从图 2 可见,春季总丰度较低,东海北部近海磷虾分布较少,高丰度( $> 500 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{m}^{-3}$ )区成斑块状分布,主要位于东海外海 31°30' N、127°00' E 和东海南部 28°30' N、124°00' E 和 26°30' N、124°00' E 海域。主要由小型磷虾(*Euphausia nana*)组成。

夏季,仅济州岛西南 31°00' ~ 33°00' N、125°30' ~ 128°00' E 海域出现一个大于  $500 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{m}^{-3}$  的高丰度区,主要由小型磷虾构成。同步获得的水文资料显示,该高丰度区海域底部有个冷水团,系黄海冷水团的一部分,具有低水温,高盐度的特征。海区底层水温 15℃,盐度 33.5 ~ 34.5;表层水温 24 ~ 26℃,盐度 30 左右,跃层特征十分明显。位于 32°30' N、125°30' E 水域的高丰度区,表、底层温差 11.7℃,表、底层盐度差 3.5,是跃层最明显的水域。另外,在 32°30' N、123°00' E、28°00' N、122°00' E 和 31°00' N、126°00' E 海域有 3 个小范围的  $100 \sim 250 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{m}^{-3}$  丰度区,主要由中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)构成。

秋季,最高丰度区分布范围明显扩大,北部出现了 3 个大于  $500 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{m}^{-3}$  的高丰度区,其中长江口外海 31°30' N、124°00' E 主要由中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)构成;北部外海 30°00' N、126°00' E 主要由宽额假磷虾(*Pseudeuphausia latifrons*)

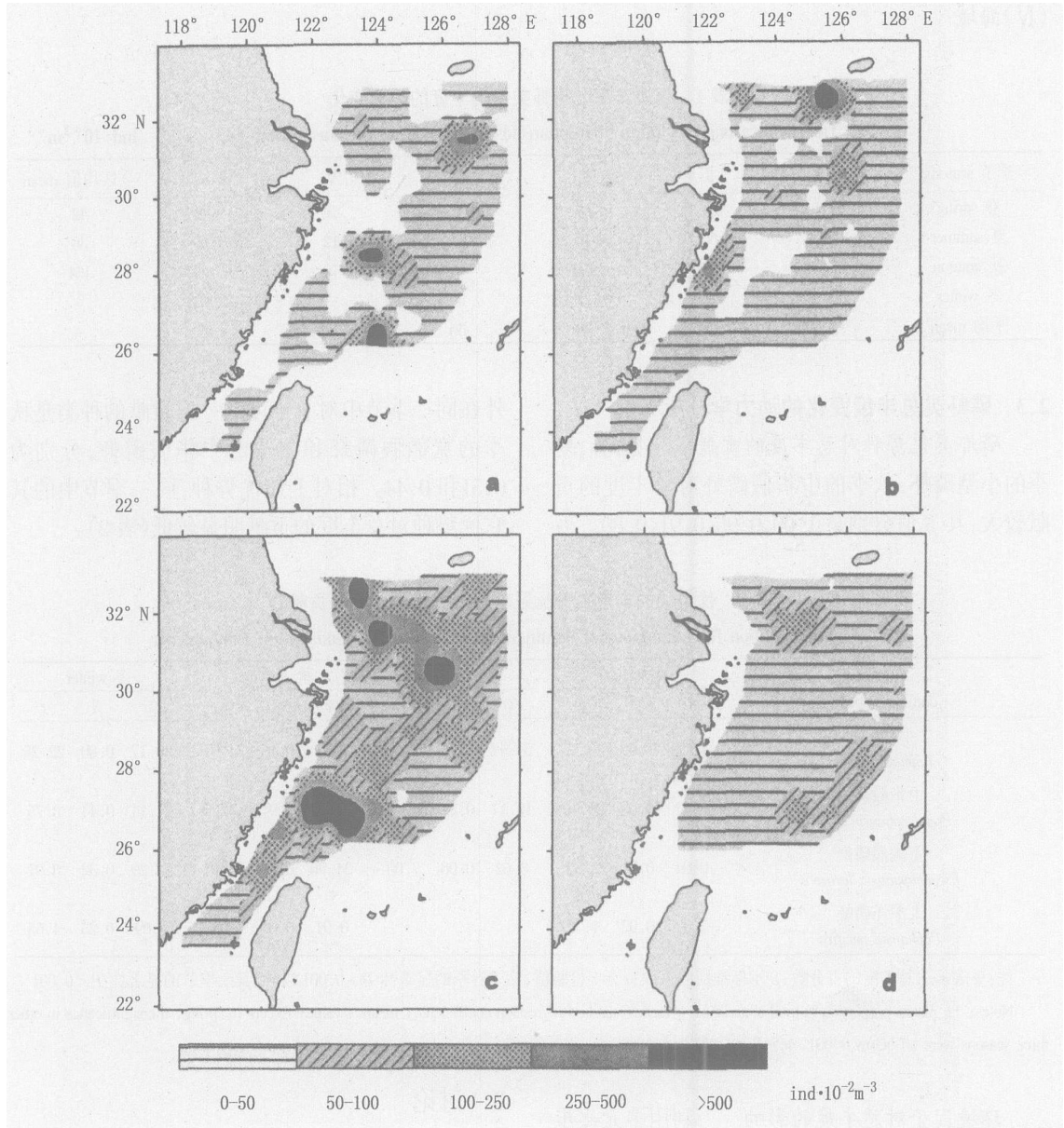


图 2 东海浮游磷虾类丰度平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of Euphausiids abundance in the East China Sea

a. 春; b. 夏; c. 秋; d. 冬

a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter

构成。东海南部近海 26°30' ~ 27°00' N、122°00' ~ 123°00' E 出现了一个大范围、最高丰度的磷虾分布区,其中心密度高达  $1636 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-3}$ , 主要由中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*) 构成。

冬季,东海南部近海几乎没有分布,而东海北部近海有一片较高丰度分布区主要由中华假磷虾,太平洋磷虾 (*Euphausia pacifica*) 构成。另外东海南部外海也有一片由小型磷虾构成的较高丰度分布区。

### 2.2 磷虾类总丰度的季节变化

从表 1 可见,东海磷虾类分布有明显的季节变化。以东海主要海区 I ~ 海区计,秋季总丰度达到最高峰,均值为  $160 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-3}$ ,春季次之 ( $46 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-3}$ ),冬季最低 ( $31 \text{ ind} \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-3}$ )。除秋季明显高出平均值外,其它 3 季在同一个数量水平上。就不同海区比较,在东海北部,秋冬季是近海 (I) 高于外海 (II),夏春季反之;在东海南部,近海 (I) 总丰度均值明显高于外海

( ) 海域。

表 1 东海各海区磷虾类平均丰度的季节变化

Tab. 1 Seasonal variation of Euphausiids abundance in the East China Sea

ind  $10^{-2} m^{-3}$

季节 seasons	~						全区均值 mean
春 spring	11	51	68	6	5	46	42
夏 summer	27	60	16	11	12	32	30
秋 autumn	177	139	191	69	70	160	151
冬 winter	37	26	22	59	-	31	-
平均 mean	63	69	74	36	-	67	-

### 2.3 磷虾类总丰度变化的动力学分析

磷虾类优势种对总丰度的贡献 冬,春,夏季的小型磷虾,秋季的中华假磷虾对总丰度的贡献较大,其 值分别是 1.00,0.95,0.91,0.80。另

外在同一季节中对总丰度有一定贡献的种类是秋季的宽额假磷虾和冬季的中华假磷虾,分别为 0.51和 0.44。相对上述优势种,同一季节中的其它优势种对总丰度的贡献明显较低(表 2)。

表 2 优势种的丰度百分比及其对磷虾类总丰度的贡献

Tab. 2 Contribution for abundance of dominant species to total abundance of Euphausiids

优势种 dominant species	春 spring			夏 summer			秋 autumn			冬 winter		
	%	<i>t</i>		%	<i>t</i>		%	<i>t</i>		%	<i>t</i>	
小型磷虾 <i>Euphausia nana</i>	85.52	1.00	265.7	54.47	0.95	82.73	5.59	0.15	21.91	39.17	0.80	22.25
中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	5.47	0.08	20.30	15.17	0.31	26.88	54.13	0.91	132.9	21.14	0.44	8.75
宽额假磷虾 <i>Pseudeuphausia latifrons</i>	0.04	0.01	2.60	8.62	0.08	7.08	24.96	0.51	73.91	12.29	0.32	8.97
太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	5.07	0.02	4.72				0.91	0.04	5.46	9.09	0.23	4.65

注: %表示占总丰度的百分数; 示标准回归系数; *t* 示 *t* 检验值;除了春季的显著性  $P > 0.001$  以外,其余季节的显著性  $P < 0.001$

Notes: % means proportion in total abundance; means standard regression coefficient; *t* means *t* value; Except in spring, the significance in other three seasons were all below 0.001, ie.  $P < 0.001$

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表层、10 m 层、底层水温和盐度对总丰度影响显著的因子。结果表明,4 个季节中,只有夏季磷虾类总丰度的变化与底温、10 m 层盐度的二元线性相关关系显著,方程式为:  $Y = 6.4909 - 0.0515 t_{底} - 0.1583 S_{10}$  ( $n = 131$ ,  $r = 0.3125$ ,  $F = 6.64$ ,  $P < 0.001$ )。其它 3 个季节的总丰度与水文环境因子的线性相关关系不显著 ( $P > 0.05$ )。进一步进行非线性回归拟合计算,磷虾总丰度与水文环境因子均不符合有关文献<sup>[4,6]</sup>的模式。自变量对因变量的回归贡献分析表明,夏季底温的标准系数为 -0.18,  $P < 0.01$ , 10 m 盐度的标准系数为 -0.22,  $P < 0.01$ 。夏季温度与盐度这两个因子对磷虾总丰度的影响几乎相等,均为负相关。

## 3 讨论

### 3.1 总丰度平面分布和季节变化特征

磷虾是一类具有集群行为的浮游动物。从磷虾的平面分布(图 2)看,除了个别站位有较高或者高丰度分布,大部分站位丰度较低或没有磷虾分布,高丰度或较高丰度的磷虾往往在个别海区形成集群,磷虾平面分布的不均匀性是东海磷虾平面分布的重要特征。

从表 1 和图 2 还可见,磷虾丰度的季节变化与东海水域温度和盐度的季节变化规律不一致。冬,春,夏 3 季磷虾类总丰度在同一个数量水平上。这一点与东海其它浮游动物大类总丰度的季节变化规律不同<sup>[14-16]</sup>。对磷虾高丰度区(图 2)种类构成的分析可见,中华假磷虾、小型磷虾、宽额假磷虾和太平洋磷虾是 4 个主要优势种。这些

优势种所适应的生长环境各不相同<sup>[17]</sup>,例如,太平洋磷虾是外海温水种,小型磷虾是外海暖温种,宽额假磷虾是外海暖水性种类以及中华假磷虾是近海广温种。由于不同的磷虾种类适应不同的温度和盐度,水温和盐度不是影响东海磷虾类总丰度季节变化的主要水文因子。这是磷虾丰度的季节变化与东海水域温度和盐度的季节变化规律不一致的重要原因。

### 3.2 总丰度平面分布与海流的关系

影响磷虾类总丰度平面分布的一个重要因素是东海水团的变化。东海大陆架海区受长江径流、大陆沿岸流、黄海冷水团、黄海暖流、台湾暖流和黑潮等的影响,水文状况复杂多变<sup>[18]</sup>。根据已有的研究结果<sup>[17]</sup>,秋季台湾暖流与黄海冷水团、长江径流、浙闽沿岸流交汇,因此,秋季磷虾高丰度分布区位于台湾暖流与各水团的交汇处(图2)。例如东海北部近海的中华假磷虾高丰度区位于苏北沿岸流,长江径流和台湾暖流的交汇区,与同步资料中的浮游动物总丰度高分布区<sup>[16]</sup>、桡足类高分布区<sup>[14]</sup>、管水母<sup>[15]</sup>以及毛颚类高分布区<sup>[16]</sup>重叠。东海北部外海的宽额假磷虾高分布区位于黄海冷水团和台湾暖流的交汇区。此外,东海南部近海的中华假磷虾高分布区位于闽浙沿岸流和台湾暖流的交汇区,与桡足类高分布区<sup>[16]</sup>和毛颚类由百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)所构成的高分布区重叠<sup>[16]</sup>。这些都表明磷虾类的集群性以及由此形成的高丰度区与海流有密切的关系。

### 3.3 磷虾类数量变动和优势种的关系

磷虾类优势种对总丰度回归的方差贡献分析结果显示(表2),春季主要优势种中,小型磷虾平均丰度和 值远大于其它优势种,说明春季总丰度变化几乎由小型磷虾数量变化左右。夏季的小型磷虾平均丰度和 值也有很大的优势,因而是夏季影响磷虾类总丰度变化的最主要优势种。秋季中华假磷虾和宽额假磷虾是重要的优势种,都有较高的方差贡献值,相比较而言,中华假磷虾数值大于宽额假磷虾近一倍,因而是导致秋季磷虾类总丰度变化最重要的优势种,宽额假磷虾是次要优势种。小型磷虾在冬季的平均丰度占总丰度的百分比和值明显高于中华假磷虾,是冬季最重要的优势种。从上述分析可见,小型磷虾在冬、春、夏3个季节中无论从其平均丰度占磷虾总丰

度的百分比,还是从对总丰度的回归贡献( )都是东海最主要的优势种。中华假磷虾在秋季是最主要优势种,在其它季节是次要优势种。宽额假磷虾是夏季的优势种,太平洋磷虾是春季的优势种。东海磷虾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,与优势种的生态习性有关。

### 3.4 总丰度变化与环境因子的关系

利用逐步回归方法对东海磷虾类总丰度变化与环境因子的关系进行筛选,结果表明总丰度在冬、春、秋3个季节的变化与水温和盐度相关关系不显著。夏季总丰度的变化与底温和10 m层盐度线性相关关系显著。东海夏季磷虾总丰度高分布区主要由小型磷虾构成,与张金标等<sup>[7]</sup>所述水域位置接近。本文研究结果显示,东海夏季磷虾总丰度高分布水域温跃层明显。表层水为高温低盐水,底层水为低温高盐水。小型磷虾是冬春季的主要优势种,集群地水温一般低于20,并有较高的盐度。可以推测,该水域底层的低温高盐水符合小型磷虾栖息和集群的环境条件。上层的高温低盐水不是小型磷虾生活的最适条件。这也是夏季磷虾总丰度的变化与底温和10 m层盐度负相关的原因。

### 3.5 总丰度的分布与渔场的关系

磷虾类是鱼类最优质的饵料之一,陈敦隆等<sup>[19]</sup>曾对带鱼鱼群追逐太平洋磷虾进行了报道。食性分析结果显示,东海带鱼(*Trichiurus lepturus*)、日本鲈(*Scomber japonicus*)和黄海(*Larimichthys polyactis*)均以磷虾为重要饵料<sup>[20-23]</sup>。每年夏、秋之交,产卵后的带鱼及其幼体所形成索饵群体游向长江口渔场,长江口以北的江苏近海渔场和大沙渔场索饵,同时小黄鱼也以该水域为主要的索饵场,带鱼和小黄鱼的索饵场与图2所示秋季东海北部磷虾集群区的位置一致<sup>[19]</sup>,夏季磷虾的高丰度区与日本鲈索饵场的位置基本相近<sup>[19]</sup>。磷虾类的集群性在东海主要渔场形成中具有重要的意义,磷虾集群区是渔场判断的一个重要的指示。

同步的温、盐度资料由陈渊泉研究员提供;王云龙、袁 骐、蒋 玫、韩金娣、朱江兴等同志在海上样品采集、室内样品处理、数据统计等做了大量的工作;国家海洋局何德华、杨关铭研究员和杨

元利高工协助样品分析,谨致谢忱。特别感谢沈晓民先生为本论文付出的辛勤劳动。

### 参考文献:

- [1] 王 荣,陈宽智. 假磷虾一新种—中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*, sp nov)的描述[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(4):353 - 357.
- [2] 蔡秉及. 南黄海和东海磷虾类分类的初步研究[J]. 海洋科技, 1978, 8:15 - 38.
- [3] 蔡秉及. 南黄海磷虾类分类的初步研究[J]. 海洋通报, 1982, 1(4):68 - 78.
- [4] 蔡秉及. 台湾海峡西部海域磷虾类的分布[J]. 海洋学报, 1989, 1(6):763 - 768.
- [5] Chen Q C. The marine zooplankton of Hong Kong[A]. Proc. of the first international marine biology workshop: the marine flora & fauna of Hong Kong and Southern China [C], Hong Kong, 1980,789 - 799.
- [6] 王 荣,陈亚瞿,王 克 黄、东海春、秋磷虾的数量分布及其与水文环境的关系[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 31 - 38.
- [7] 张金标,宁修仁,江锦祥,等. 渤、黄、东海海洋图集(生物)[M]. 北京:海洋出版社, 1991. 1 - 250.
- [8] Nemoto T, Hara K, Kamada K. Euphausiids in the East China Sea and its adjacent waters [A]. Proc 2nd CSK Symposium, Tokyo [C], 1970. 73 - 283.
- [9] Yoon W D, Cho S H, Lim D. Spatial distribution of *Euphausia pacifica* (Euphausiacea: Crustacea) in the Yellow Sea [J]. J Plankton Res, 2000, 22 (5): 939 - 949.
- [10] 徐兆礼,晁 敏,陈亚瞿. 东海浮游动物生物量分布特征[J]. 海洋学报, 2004, 23(2):337 - 346.
- [11] 农业部水产局. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海:华东师范大学出版社, 1987. 149 - 150, 281 - 299.
- [12] 中国科学院计算中心概率论统计编写组. 概率统计计算[M]. 北京:科学出版社, 1979. 105 - 144.
- [13] 郭志刚. 社会统计分析方法——SPSS 软件应用[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1999. 18 - 83.
- [14] 徐兆礼,蒋 玫,晁 敏,等. 东海浮游桡足类数量分布[J]. 水产学报, 2003, 27(3): 258 - 264.
- [15] 徐兆礼,张金标,蒋 玫. 东海管水母类(Siphonophores)生态研究[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊):82 - 90.
- [16] 徐兆礼,陈亚瞿. 东海毛颚类数量分布与环境关系的研究[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(4):1 - 8.
- [17] 郑 重,李少菁,许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京:海洋出版社, 1984. 468 - 494.
- [18] 刘树勋,沈新强,王幼琴,等. 渤、黄、东海水团多年平均分布与变化的初步研究[J]. 海洋学报, 1993, 15(4):1 - 11.
- [19] 陈敦隆,孟天翔,周彬彬. 应用生物种群空间概率分布型研究黄海重要饵料生物—太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)的空间分布型[J]. 海洋与湖沼通报, 1981, (1):1 - 10.
- [20] 戴 萍. 台湾海峡鲑鱼食性的初步研究[J]. 海洋与湖沼通报, 1989, (2):50 - 55.
- [21] Bowman R E, Stillwell C E, Michaels W L, et al. Food of northwest Atlantic fishes and two common species of squid[M]. NOAA Tech Memo NMFS-NE, 2003. 155, 138.
- [22] Nicol S, Endo Y. Krill fisheries development, management and ecosystem implications[J]. Aquatic Living Resources, 1999, 12(2):105 - 120.
- [23] Masatoshi M, Kouichi K, Hikaru W, et al. Feeding habits of three dominant myctophid fishes, *Diaphus theta*, *Stenobrachius leucopsarus* and *S. nannochir*, in the subarctic and transitional waters of the western North Pacific [J]. Marine Ecology Progress Series, 2000, 207:129 - 140.