

东海浮游十足类数量分布与环境的关系

徐兆礼

(农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 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、定性方法, 探讨东海浮游十足类(Decapoda)总丰度的平面分布、季节变化以及变化的动力学机制。结果表明, 浮游十足类总丰度有明显的季节变化, 夏季最高为451 ind/(100 m³), 秋季次之为71 ind/(100 m³), 春季最低为24 ind/(100 m³)。北部近海(29°30′~33°N, 123°30′~125°E)水域春季几乎没有分布, 除冬季外, 总丰度基本呈近海高于外海的分布趋势。中型莹虾(*Lucifer intermedius*)是影响总丰度变化最主要的种类; 夏季与秋季及四季总丰度的变化同水温有非常显著的线性相关关系, 与盐度的相关关系不显著; 冬季则仅仅与盐度有关, 春季则与温度和盐度相关。从春季到夏季, 高丰度区随台湾暖流向北扩展, 并在闽浙沿岸水团与台湾暖流交汇处形成高丰度分布区[>2 500 ind/(100 m³)]; 从夏季到秋季, 浮游十足类随着台湾暖流继续向北, 在与长江冲淡水交汇处形成较高丰度区。水温和海流是影响东海浮游十足类总丰度分布的主要环境因子。

关键词:东海; 浮游动物; 浮游十足类; 数量分布

中图分类号: S932.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2005)05-0614-07

浮游十足类属甲壳纲(Crustacea), 软甲亚纲(Malacostraca), 十足目(Decapoda)。浮游十足类种类虽然不多, 但在海洋中丰度较高, 是经济鱼类的主要饵料生物。有些种类, 例如毛虾(*Acetes*)又是直接捕捞对象^[1]。因此, 十足类海洋浮游动物在海洋渔业上具有一定的意义。

对十足类的研究, 以往多集中在经济动物对虾科(Penaeidae)方面, 对属于海洋浮游动物的其他十足类, 特别是樱虾科(Sergestidae)的大型浮游动物国内研究不多见, 且偏重于分类方面, 例如20世纪50年代郑重^[1-2], 60年代蔡秉及等^[3]对东南沿海樱虾科莹虾和毛虾属的分类研究。在生态学研究方面, 刘瑞玉^[4]、蔡秉及^[5-6]、黄美珍等^[7]、黄加祺等^[8]、张锦标等^[9]和马兆党等^[10]对黄、渤海和东海莹虾类和毛虾类进行过相关研究。国外相关方面的研究也不多见, Kensley^[11]对南非周围海域的樱虾科进行了总结, 但主要偏重于分类方面; Hendrickx^[12]对加利福尼亚湾一种莹虾(*Lucifer typus*)对温度与分布关系进行研究, 发现该种在水体中出现与温度相关。在西北太平洋, 韩国科学家^[13]研究

了朝鲜西海岸黄海水域中国毛虾种群动态。目前有关东海浮游十足类生态学的研究尚未见专门报道。本研究利用1997~2000年东海区(23°30′~33°N, 118°30′~128°E)较大尺度海洋调查资料, 在对东海浮游十足类多样性和优势种研究的基础上^[1], 探讨总丰度的变化特征, 旨为中国海洋生物资源可持续利用及近海海洋生物食物网等的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究海域及取样方法

调查区为东海23°30′~33°00′N, 118°30′~128°00′E海域。1997~2000年利用“北斗号”调查船, 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, 调查站位设置见图1, 台湾海峡海域冬季没有调查; 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。用标准浮游动物网(口径80 cm, 筛绢GG36, 网目孔径0.505 mm)由底至表层垂直拖曳采

收稿日期: 2005-01-06; 修订日期: 2005-03-20。

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展规划项目(2001CB409700); 国家生物栖息环境调查与研究专题(HY-126-02)。

作者简介: 徐兆礼(1958-), 女, 研究员, 从事海洋浮游动物和海洋生态学的研究。Tel: 021-65686991。E-mail: xiaozhaili@sh163.net

1) 徐兆礼. 东海浮游十足类(Decapoda)多样性研究. 2005, 海洋环境科学, 待刊。

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十足类总丰度[单位:ind/(100 m³)],并鉴定到种。为了详细分析浮游十足类与栖息环境的关系,将东海调查区分成5个海区^[14],即: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)。

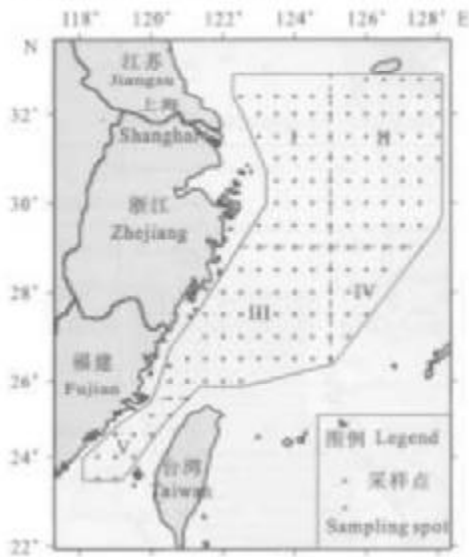


图1 东海区采样站位

Fig.1 Sampling stations in the East China Sea

1.2 数据处理

1.2.1 分析优势种对总丰度变化的影响 对总丰度变化动力学的分析从两个方面进行。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(β)。标准回归系数作为总丰度贡献指数值用于研究各优势种对总丰度变化的影响,具体计算参考文献[15~16]。

1.2.2 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(℃)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,也进行自变量对因变量回归方差的贡献分析,具体方法参考文献[17]。上述计算均应用 SPSS 统计软件^[17]。

2 结果与分析

2.1 总丰度的平面分布

从图 2a 可见,春季浮游十足类总丰度较低,东海北部近海几乎没有出现,外海出现频率高,但丰度低,分布较均匀。东海南部近海 28°00′N、122°30′E 和 26°00′N、120°30′E 水域有较多的分布,水温 16.5~21.2℃,前者由中型莹虾(*Lucifer intermedius*)组成,后者主要是刷状莹虾(*L. penicillifer*)。台湾海峡丰度最高,主要位于台湾浅滩近海(118°00′E、23°50′N),以中型莹虾为主,其次是汉森莹虾(*L. hanseni*)。

夏季,大于 2 500 ind/(100 m³)的高丰度区位于东海南部近海 26°00′N~29°00′N、121°30′~124°00′E 和台湾海峡南部近岸水域。东海南部近海最高丰度 7 520 ind/(100 m³),水温 25~27.5℃,盐度 33 左右,主要由中型莹虾和刷状莹虾组成,细螯虾和汉森莹虾也有较高的丰度。台湾海峡南部近岸高丰度区主要由刷状莹虾和中型莹虾组成。另外在济州岛以南外海 31°30′N、127°00′E 水域出现丰度值为 1 678 ind/(100 m³)较高丰度区(图 2b)。

秋季,总丰度主要分布在近海水域,在长江口以东出现了丰度 250~500 ind/(100 m³)的分布区,水温 23~24℃,盐度 31.5~33.5。其中最高值出现在 31°50′N、123°E 海域,丰度 594 ind/(100 m³),全由中型莹虾构成,该丰度也是该季节东海区的最高值。另外在台湾海峡近台湾岛一侧,也有丰度 250~500 ind/(100 m³)的分布区。其他海区丰度低,一般在 100 ind/(100 m³)左右,但分布均匀(图 2c)。

冬季,十足类分布于整个东海调查水域,但丰度很低[小于 100 ind/(100 m³)],分布均匀。仅东海北部外海有 2 个站丰度值在 100~250 ind/(100 m³)之间,水温 19.2℃左右,盐度 34.6,主要是中型莹虾,其次是细螯虾(图 2d)。

2.2 总丰度的季节变化

从表 1 可见,总丰度分布有非常明显的季节变化。夏季总丰度达到 4 季最高峰,均值为 451 ind/(100 m³),秋季次之,为 71 ind/(100 m³),春季最低,为 24 ind/(100 m³)。夏秋季东海近海(I区和III区)高于外海(II区和IV区)。春季北部近海几乎没有分布。冬季东海北部外海(II区)明显高于其他水域,其他季节均以台湾海峡水域最高。

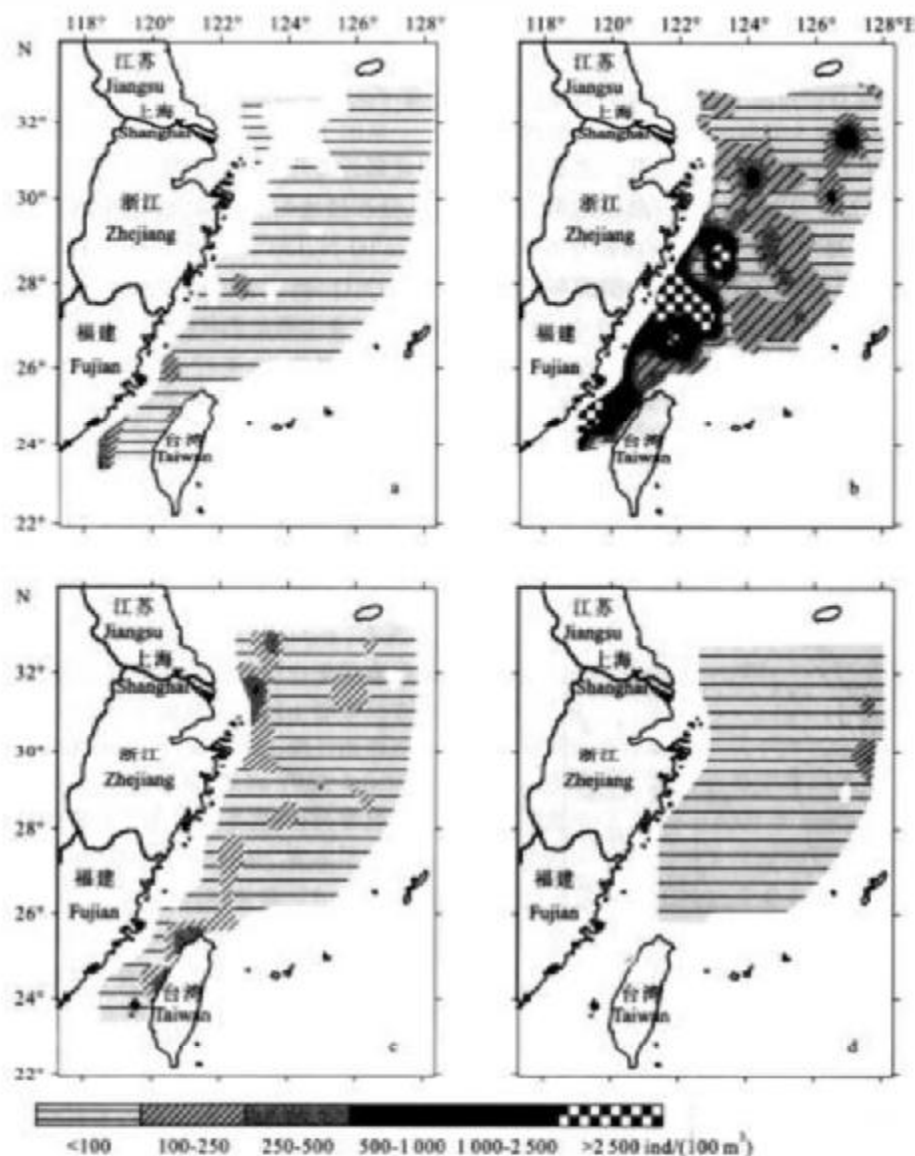


图2 东海十足类丰度平面分布

a:春季; b:夏季; c:秋季; d:冬季

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

a:Spring; b:Summer; c:Autumn; d:Winter

2.3 总丰度变化的动力学分析

2.3.1 优势种对总丰度的贡献 东海调查水域共出现浮游十足类9种¹⁾,其中优势种有4种²⁾。从表2可见,春季主要由中型莹虾构成,优势度和标准系数远高于同一季节其他优势种。夏季中型莹虾的优

势度和 β 值较高,扇状莹虾尽管优势度不高,仅为中型莹虾的1/4,但标准系数 β 值为中型莹虾的1/2。秋季基本上以中型莹虾为主。冬季虽然中型莹虾优势度几乎是细螯虾的1倍,但细螯虾的标准系数大于中型莹虾。

1) 徐亮礼. 东海浮游十足类(Decapods)多样性研究. 海洋环境科学, 待刊.

2) 徐亮礼. 东海浮游十足类优势种环境适应的研究. 水产学报, 待刊.

表1 东海各海区十足类平均丰度的季节变化

Tab.1 Seasonal variation of pelagic Decapods abundance in the East China Sea (ind/(100 m³))

季节 Season	丰度 Abundance					I-IV区均值 Zones I-IV Mean	全区均值 Overall mean
	I	II	III	IV	V		
春 Spring	3	5	27	16	109	14	24
夏 Summer	150	97	897	127	1 036	398	451
秋 Autumn	93	46	54	41	176	59	71
冬 Winter	10	39	16	14	-	22	-
平均 Mean	64	47	248	49	-	123	-

注:“-”表示没有出现。

Note:“-” no data available.

表2 优势种对浮游十足类总丰度的贡献

Tab.2 Contribution for abundance of dominant species to total abundance of pelagic Decapods

优势种 Dominant species	春 Spring				夏 Summer			
	Y	β	t	P	Y	β	t	P
中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	0.24	0.92	77.42	<0.001	0.46	0.67	60.09	<0.001
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.04	0.11	9.58	<0.001				
副状莹虾 <i>Lucifer penicillifer</i>					0.11	0.34	29.50	<0.001
汉森莹虾 <i>Lucifer hanseni</i>	0.02	0.17	13.78	<0.001	0.02	0.16	17.71	<0.001
优势种 Dominant species	秋 Autumn				冬 Winter			
	Y	β	t	P	Y	β	t	P
中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	0.74	0.97	538.94	<0.001	0.20	0.51	19.63	<0.001
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.07	0.25	138.69	<0.001	0.11	0.57	22.13	<0.001
汉森莹虾 <i>Lucifer hanseni</i>					0.05	0.22	10.79	<0.001

注: β —标准回归系数;t—t检验值;Y—优势度。Note: β —standard regression coefficient β value; t—t value; Y—Dominance

2.3.2 环境因子对总丰度的影响 多数浮游十足类具有表层分布特点^[18]。利用多元逐步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环境因子。表3结果表明,浮游十足类四季总丰度与温度有非常显著的相关关系,方程为 $Y = -6.2653 + 0.3685t_{10}$ ($F = 23.92$, $P < 0.001$)。四季中,春季总丰度的变化与底温、底盐相

关关系显著,其中底温标准系数(β)为0.34,底盐标准系数(β)为-0.21;夏季总丰度与底层水温(25~29℃)的相关关系显著;秋季总丰度的变化与表温和底温相关关系显著,其中表温标准系数(β)为-0.21,底盐标准系数(β)为0.23;冬季总丰度的变化则与盐度相关关系显著。

表3 浮游十足类总丰度与温度和盐度的相关性

Tab.3 Regression analysis among pelagic Decapods abundance, temperature and salinity

季节 Season	回归方程 Regression equation	n	r	F	P
春 Spring	$Y = 4.6754 + 0.0723 t_{10} - 0.1700 S_{10}$	127	0.397	11.62	<0.001
夏 Summer	$Y = -11.6161 + 0.8675 t_{10}$	131	0.256	9.02	<0.001
秋 Autumn	$Y = 3.1134 - 0.1960 t_0 + 0.1046 t_{10}$	105	0.34	6.63	<0.01
冬 Winter	$Y = -4.0669 + 0.1267 S_0$	63	0.277	5.05	<0.05

3 讨论

3.1 总丰度平面分布和季节变化特征

除了春季,无论在水温较低的冬季,还是在水温较高的夏季和秋季,浮游十足类都有较高的出现率。各季的出现率分别是春(64.8%)、夏(97.4%)、秋(92.0%)、冬(89.4%)。尽管出现率较高,但四季中,平均丰度较高的仅仅是夏季和秋季,特别是夏季,平均丰度远高于其他季节。不同地区比较,台湾海峡的平均丰度最高。另外,从平面分布上(图2)可见,高丰度分布区几乎是沿着大陆岸线移动。春季较高丰度在台湾海峡及邻近的东海南部近海水域,夏季高丰度分布区向北发展,并在从台湾海峡到东海南部的近海水域形成一条狭长的高丰度分布带,带的两头,台湾浅滩和温台渔场平均丰度极高。秋季相对较高丰度区继续向北扩展,在长江口和杭州湾外侧形成南北带状分布。十足类浮游动物丰度的季节变化与作者观测到的其他浮游动物类群特征不同。其最高丰度出现在夏季,其他一些浮游动物主要出现在秋季^[19-23],高丰度分布区主要在东海南部而不是出现在东海北部^[19-23]。这些特征说明浮游十足类高丰度的形成需要的水温条件比其他浮游动物物种高,夏季东海南部较大范围高丰度区水温为26.0~27.8℃^[24],秋季水温不足以形成较大范围的高丰度分布区都说明了这一点。

3.2 总丰度的变化与海流的关系

浮游十足类总丰度变化与海流有密切的关系。有关研究表明,台湾暖流形成受两股暖水势力推动,其一是来自黑潮暖流,其二是来自台湾海峡北上的暖水^[25]。如上所述,较高分布区在春夏季北上扩展,与台湾海峡北上的暖水加入台湾暖流有关。除了台湾暖流外,影响浮游十足类丰度分布的另一水团因子是大陆江河径流。从图2可见,近岸的高丰度区几乎与注入东海的大陆径流有密切的关系。夏季位于台湾海峡的高丰度区出现在九龙江口外侧,而在浙江中南部高丰度区则台湾暖流与浙江沿岸水的交汇处^[26],该水域有椒江和甌江等径流带来的丰富营养盐。同步资料显示,该水域也是东海夏季初级生产力较高的水域^[24]。秋季高丰度区北移到浙江北部近海的台湾暖流和长江冲淡水交汇处,但丰度和范围明显缩小。冬季不同,北部外海丰度较高的水域在受黑潮暖流、对马暖流和黄海暖流影响的水域。可见,浮游十足类丰度分布与海流有密切的关系。

3.3 总丰度变化和优势种的关系

浮游十足类优势种对总丰度回归的方差贡献分析结果显示(表2),中型莹虾是东海最主要的优势种,其丰度的变化决定了十足类总丰度的变化。这从各季中型莹虾的优势度和对总丰度变化的贡献值可看出。该种也是东海浮游十足类中惟一个四季均是优势种的重要种类。春季汉森莹虾影响大于细螯虾,而冬季细螯虾影响甚至大于中型莹虾。夏季刷状莹虾对总丰度变化有较大的作用,其优势度并不高,主要是出现率不高的缘故,但在大部分十足类丰度较高的水域,刷状莹虾都有较高的丰度;此外汉森莹虾对总丰度变化有一定的影响。秋季十足类的丰度仍由中型莹虾决定,细螯虾影响相对较小。

上述研究显示,中型莹虾对东海浮游十足类总丰度变化的影响最重要,其余顺序是细螯虾、汉森莹虾和刷状莹虾。

3.4 总丰度变化与环境因子的关系

浮游十足类总丰度与环境因子关系比较复杂。从四季讲,影响总丰度的主要环境因子是水温,这一点可以从四季总丰度与温度有非常显著的相关关系可以看出,也从对总丰度的季节变化的分析得到印证。但不同季节情况有所不同,春季到夏季是水温变化的季节。因此总丰度变化与水温有关,但是由于高丰度区离河口较为接近,因此,春季总丰度变化也与盐度呈负相关关系。秋季较高分布区主要在长江口外侧东海近海,随着气温下降,浮在表层的长江冲淡水温度相对较低,这是该季节总丰度与表层水温负相关的原因。冬季较高丰度均位于东海南部盐度较高的黑潮水域,这就是冬季总丰度与盐度有显著性相关的原因。尽管本研究没有分层取样的数据,但是,回归分析的结果仍可以说明,浮游十足类的丰度变化与某些水环境因子有密切的联系。

3.5 总丰度变化与渔场的关系

夏季,东海浮游十足类在东海南部沿海形成较高的丰度,这在渔业上有重要的意义。每年夏季,东海浙江中南部河口水域和台湾海峡九龙江口是多种渔业资源生物的产卵场,例如带鱼、银鲷、刺鲷、剑尖枪乌贼、太平洋褶柔鱼和虾类^[7,24],产卵后的幼体就在附近水域索饵,十足类夏季高丰度区存在为这些渔业资源生物提供了饵料基础。另外秋季十足类在长江口、杭州湾外侧的舟山渔场形成较高丰度,在渔业上也有一定的意义,因为该水域是带鱼越冬洄游经过的水域。

致谢:同步温、盐度资料由陈湖泉研究员提供;王云龙、袁斌、蒋政等研究人员在海上样品采集、室内样品处理、数据统计等做了大量的工作;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提供了大量建设性的建议。

参考文献:

- [1] 郑重. 厦门海洋浮游甲壳类的研究(一)毛虾[J]. 厦门大学学报, 1953(2): 37-44.
- [2] 郑重. 厦门海洋浮游甲壳类的研究(二)蚤虾[J]. 厦门大学学报, 1954(3): 1-12.
- [3] 蔡秉及, 郑重. 中国东南沿海蚤虾类的分类研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1965, 12(2): 112-122.
- [4] 刘瑞玉. 黄海和渤海毛虾[J]. 动物学报, 1956, 8(1): 29-40.
- [5] 蔡秉及. 厦门港蚤虾的组成、个体大小和性比率[J]. 台湾海峡, 1986, 5(2): 193-196.
- [6] 蔡秉及. 台湾海峡西部蚤虾类的分布[J]. 海洋通报, 1988, 7(4): 60-65.
- [7] 黄美珍, 方金钢. 台湾海峡和邻近海域蚤虾类的分布及其与渔业的关系[J]. 台湾海峡, 1987, 6(2): 107-113.
- [8] 黄加祺, 朱长寿, 陈 耀, 等. 闽南-台湾浅滩渔场大型浮游甲壳动物[A]. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 487-495.
- [9] 张锦标. 渤海、黄海、东海海洋浮游生物[M]. 北京: 海洋出版社, 147-150, 184-185.
- [10] 马兆党, 宋庆云. 东海黑潮区蚤虾类的初步研究[J]. 黄渤海海洋, 1992, 10(4): 53-62.
- [11] Kereley-BF. The family Sergestidae in the waters around southern Africa (Crustacea, Decapoda, Natantia) [J]. Ann S Afr Mus, 1971, 57(10): 215-264.
- [12] Hendrickx-ME, Estrada-Navarrete-FD. Temperature related distribution of *Lucifer typus* (Crustacea: Decapoda) in the Gulf of California[J]. Rev Biol Trop, 1994, 42: 579-584.
- [13] Oh C W, Joong I J. Reproduction and population dynamics of *Acetes chinensis* (Decapoda: Sergestidae) on the western coast of Korea, Yellow Sea[J]. J Crust Biol, 2003, 23(4): 827-835.
- [14] 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.
- [15] 中国科学院计算中心概率论统计组. 概率统计计算[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 105-144.
- [16] 陈希孺, 王松桂. 近代回归分析[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1987. 212-217.
- [17] 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.
- [18] 郑重, 李少青, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984. 448-451.
- [19] Xu Z-L, Chao M, Chen Y-Q. Distribution of acoplanton biomass in the East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 23(2): 337-346.
- [20] 徐兆礼, 崔雪森, 陈卫忠. 东海浮游桡足类的种类组成及优势种[J]. 水产学报, 2004, 27(1): 35-40.
- [21] 徐兆礼, 蒋 政, 吴 敏, 等. 东海浮游桡足类丰度分布[J]. 水产学报, 2003, 27(3): 258-264.
- [22] 徐兆礼, 张金标, 蒋 政. 东海管水母类(Siphonophora)生态研究[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 82-90.
- [23] 徐兆礼, 陈亚耀. 东海毛蟹类丰度分布与环境关系的研究[J]. 上海水产大学学报, 2004, (4): 1-8.
- [24] 郑元甲, 陈雪中, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 30-65.

Relationship between pelagic Decapods and environmental factors 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 Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: Based on the data of four seasonal censuses in the East China Sea ($23^{\circ}30' - 33^{\circ}N, 118^{\circ}30' - 128^{\circ}E$) during 1997–2000, the distribution and the seasonal changes of pelagic Decapods abundance, regression contribution of dominant species abundance to total abundance and environmental effects on pelagic Decapods abundance were studied with qualitative and quantitative methods. The results showed clear seasonal changes of pelagic Decapods abundance, which peaked in summer (451 ind/100 m³) and autumn (71 ind/100 m³), but dropped to the lowest in spring (24 ind/100 m³). In spring, there was nearly no pelagic Decapods in the northern shallow waters of the East China Sea ($29^{\circ}30' - 33^{\circ}N, 123^{\circ}30' - 125^{\circ}E$). Except for winter, pelagic Decapods showed a higher abundance in the offshore than in the off-sea in the rest three seasons. Based on the results of dominance and regression contribution analysis, the pelagic Decapods abundance was mainly governed by the abundance of *Lucifer intermedius*. Their abundance in summer and autumn, and the overall abundance in 4 seasons were remarkably related with water temperature, but not with salinity. In winter, the abundance was only related with salinity whereas in spring it was related with both water temperature and salinity. The high distribution area of pelagic Decapods gradually expanded northwards with the movement of Taiwan warm current from spring. In summer, a distribution area with abundance over 2 500 ind/100 m³ was observed in the converged areas by Taiwan warm current and the Fujian-Zhejiang coastal waters. In autumn, a high abundance area was formed in the converged area of Taiwan warm current and the Changjiang dilute waters. Water temperature and marine currents were found to be the most important environmental factors affecting the changes of pelagic Decapods abundance in the East China Sea.

Key words: East China Sea; zooplankton; pelagic Decapods; abundance distribution