

东海亚强真哲水蚤种群生态特征

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°N、118°30'~128°E海域4个季节海洋调查资料,运用多种生态学指标和方差贡献等统计方法对东海亚强真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)自然种群特征及动力学进行了研究,并与1979~1980年资料进行比较。结果表明:东海亚强真哲水蚤丰度和优势度有明显的季节变化,丰度均值分别为秋季5.40 ind/m³ > 夏季2.09 ind/m³ > 冬季0.93 ind/m³ > 春季0.17 ind/m³。该种在东海的优势性主要表现在夏秋季。春季该种丰度占桡足类总丰度的百分比仅为2.46%,秋季为9.32%,冬季为8.42%,夏季(9.94%)是四季中的最高值。秋季该种在东海有很高的出现率(98.22%),春季较低,仅为49.62%。该种群聚集强度从生指标(*I*)均为正值,其中秋季最高,有明显的聚集现象。亚强真哲水蚤对桡足类总丰度的贡献,在夏冬季仅次于中华哲水蚤(*Calanus sinicus*),秋季仅次于精致针刺水蚤(*Euchaeta concinna*)。比较20a前同水域的调查结果,该种在东海浮游桡足类中的重要性近年有所提高,尤其在秋冬季特别显著,这可能与全球变暖相关。底层水环境的变化是影响东海亚强真哲水蚤种群数量变化的主要因子,该种数量变化与暖流势力有密切的关系,是一个暖水种。

关键词:东海;浮游动物;浮游桡足类;亚强真哲水蚤

文章编号:1000-0933(2006)04-1151-08 **中图分类号:**Q959.223+.61,Q178,S931 **文献标识码:**A

Ecological characters of the *Eucalanus subcrassus* population 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*, 2006, 26(4): 1151~1158.

Abstract: Data presented in this paper were obtained during four cruises conducted in the East China Sea (23°30'~33°N, 118°30'~128°E) during four different seasons from 1997 to 2000. Ecological characters of the population of a copepod, *Eucalanus subcrassus* in the East China Sea was analyzed using different methods, such as ecological index and the variance contribution analysis, and further compared with the historical data of 1979~1980. Results show a clear seasonal pattern of the *E. subcrassus* with an abundance on average: autumn (5.40 ind/m³) > summer (2.09 ind/m³) > winter (0.93 ind/m³) > spring (0.17 ind/m³). The dominance of *E. subcrassus* also changed seasonally with the same tendency as its abundance, autumn (0.10) > summer (0.08) > winter (0.07) > spring (0.01). As a dominant species of copepods in the East China Sea, *E. subcrassus* predominated in summer and autumn. The percentages of the *E. subcrassus* in total abundance of copepods were 9.94% in the summer and 9.32% in the autumn, respectively, compare to the lowest (2.46%) in the spring. Occurrence was the highest (98.22%) in the autumn, then the winter (84.62%) and the lowest (49.62%) in the spring. *E. subcrassus* was the second dominant species in copepods in the summer, fall and winter. Its contributions to total abundance of copepods (β) in summer and winter were 0.39 and 0.27, respectively, following *Calanus sinicus* (0.88 and 0.45), and 0.46 in autumn that was only lower than *Euchaeta concinna* (0.56). In the spring, the occurrence was very low. Another character, indices of clumping (*I*) of *E. subcrassus* in four seasons were positive. The index was higher in autumn and summer. In spring, *E. subcrassus* mainly

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90511005);国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB409700-07)

收稿日期:2005-06-15; **修订日期:**2006-10-20

作者简介:徐兆礼(1958~),女,浙江温岭人,研究员,从事海洋浮游动物学和海洋生态学研究. E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

致谢:参加本项目工作的还有王云龙、陈渊泉、袁骥、蒋玫、何德华、杨关铭、杨元利、洪波、沈晓民等,谨致谢忱

Foundation item: The project was supported by Major Research Plan of the National Natural Science Foundation of China (No. 90511005) and National Key Science Foundation Research "973" Project of the Ministry of Science and Technology of China Under Contract (No. 2001CB409700-07)

Received date: 2005-06-15; **Accepted date:** 2006-10-20

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

distributed at the Taiwan Strait where water temperature was higher than other zones. As water temperature rose, *E. subcrassus* moved toward north and distributed widely in waters where water temperature and salinity were higher than 24.0°C and 32.5‰, respectively, from summer to autumn. The variation of its abundance was associated to bottom water temperature, which was only temperature-dependent in spring and summer, surface and bottom salinity as well as bottom temperature related in autumn, and neither temperature nor salinity associated in winter. Comparison between the data presented in this paper and the data obtained from 1979 ~ 1980 indicates that the average abundance of *E. subcrassus* in 1997 was 10 times higher than in 1979; the dominance and percent in total abundance of copepods in 1997 was higher than in the autumn, winter and summer of 1979; the occurrence in the winter and autumn of 1997 also was higher than in 1979, but in the spring. This phenomenon might be related to global warming, because the bottom water temperature and salinity, the key environmental factors that affect the abundance of *E. subcrassus* was closely related to warm current. The close relationship between the abundance variation of *E. subcrassus* and warm current in the sea suggests that *E. subcrassus* is a warm water species in the East China Sea.

Key words: zooplankton; pelagic copepod; *Eucalanus subcrassus*; East China Sea

亚强真哲水蚤 (*Eucalanus subcrassus* Giesbrecht, 1888) 是东海重要的浮游桡足类优势种之一。有关其种群生态问题曾在一些海洋浮游动物的研究中有所涉及。例如早期 Gueredrat^[1] 对太平洋赤道流系统桡足类种群动力学研究, Fernandez^[2] 对墨西哥特万特佩克湾桡足类群落研究, Ramaiah^[3] 对印度西海岸污染区桡足类分布和丰度研究, 黄加祺等^[4] 对福建罗源湾桡足类分布研究, 以及徐兆礼等^[5,6] 对东海浮游桡足类的研究中都涉及该种类的内容。陈钢等^[7] 则报道了台湾海峡中华哲水蚤 *Calanus sinicus* 和亚强真哲水蚤摄食行为。对这种桡足类的种群生态学的研究, 国内外均未见专门的报道。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, 并比较 1979 ~ 1980 年同期资料, 探讨东海亚强真哲水蚤种群数量的变化、长周期变动对全球变化的响应、环境因子对该种群数量变动的影响; 评价该种对浮游桡足类数量变动的贡献。所得结果对于推动海洋浮游生物种群生态学发展有一定的学术意义。

1 材料与方法

1.1 研究海域及取样方法

本研究采用 1997 ~ 2000 年在东海 23°30' ~ 33°00'N、118°30' ~ 128°00'E 海域获得的调查资料, 该调查分别进行了春 (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, 150 个采样站 (图 1), 台湾海峡冬季没有调查, 期间共分析浮游动物样品 508 个。

比较的历史资料采用 1979 ~ 1980 年在东海 28°00' ~ 32°00'N、122°00' ~ 127°00'E 海域获得的调查资料, 该调查分别进行了春 (1979 年 5 月)、夏 (1979 年 8 月)、秋 (1979 年 11 月) 和冬 (1980 年 2 月) 4 个航次。所获得的数据与同水域, 同季节 1997 ~ 2000 年的数据比较。

浮游动物样品的采集和室内处理均按照国家“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计数测定浮游动物样品中亚强真哲水蚤丰度 (单位: ind/m³)。

为了分析比较东海亚强真哲水蚤数量与栖息环境的关系, 对 1997 ~ 2000 年的调查资料, 沿着 29°30'N 和 125°E 将东海分成 5 个海区^[8], 即: I 为北部近海 (29°30' ~ 33°N, 123°30' ~ 125°E)、II 为北部外海 (29°30' ~ 33°N, 125° ~ 128°E)、III 为南部近海 (25°30' ~ 29°30'N, 120°30' ~ 125°E)、IV 为南部外海 (25°30' ~ 29°30'N, 125° ~ 128°E)。

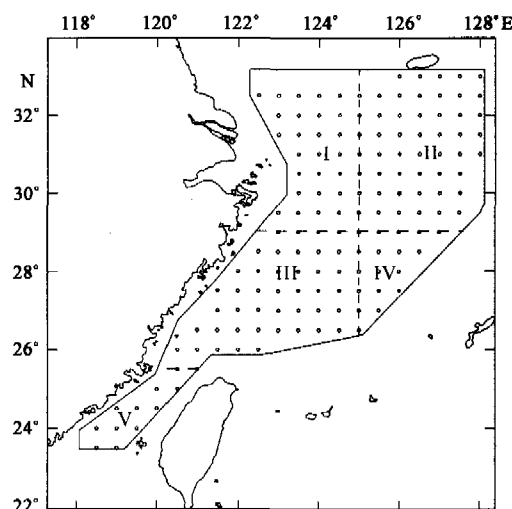


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

E)。V 为台湾海峡(23°30' ~ 25°30'N, 118° ~ 121°E)。

1.2 数据处理

出现频率是指该种出现的站位数占总站位数之比的百分数。优势度和种群聚集强度用自编程序采用如下公式计算:

$$\text{优势度(dominance)} \quad Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, n_i 为第 i 种的丰度, f_i 是该种在各站位中出现的频率, N 为浮游桡足类总丰度。取浮游动物优势度 $Y \geq 0.02$ 的种为本海区优势种^[9]。

为了考察亚强真哲水蚤在东海分布非均匀性, 本文引入丛生指标(I)作为种群聚集强度测度:

$$\text{丛生指标(index of clumping)} \quad I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1$$

式中, S^2 是样本的方差, $\bar{X}$ 是样本的均值。从统计意义上讲, 聚集强度指标是显示种群空间格局非随机程度的统计量。当聚集强度指数为正值时, 说明该种空间格局非随机程度较大, 即有一定聚集。正值数值越大, 聚集强度越高。但从聚集强度指数的实际意义上看, 指数均为正值时, 说明该种有聚集分布特征。

亚强真哲水蚤丰度对桡足类总丰度变化的贡献, 仅计算该种作为优势种季节时的贡献值。贡献值计算过程是先以总丰度为因变量, 亚强真哲水蚤和同期其它桡足类优势种丰度为自变量, 根据 t 值筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种, 然后计算其标准回归系数(β)。标准回归系数作为亚强真哲水蚤的贡献指数值与其它优势种比较用于研究该种对桡足类总丰度变化的影响。

分析环境因子变化与亚强真哲水蚤丰度变化之间的相关性, 用同步观测到的资料, 取表层(t_0)、底层水温(t_b)(°C)和表层(S_0)、底层盐度(S_b)等 4 个因子作自变量, 丰度为因变量, 采用逐步回归分析方法计算^[10]。

2 结果

2.1 数量的平面分布

由图 2a 可见, 春季亚强真哲水蚤分布区范围狭窄, 绝大部分站位丰度低, 东海北部近海几无分布。台湾海峡出现率和丰度相对较高, 如 25°00'N、120°00'E, 24°00'N、119°30'E 附近, 最高丰度分别为 4.46 ind/m³ 和 4.90 ind/m³。前者表层水温 22.8°C, 盐度 31.0, 后者 24.5°C 和 32.9。

夏季分布趋势与春季基本相同, 东海 29°00'N 以南水域丰度明显高于以北水域, 但数量明显增多, 一般在 1 ~ 5 ind/m³ 之间。高分布区(5 ~ 25 ind/m³)主要位于东海南部近海(26°00' ~ 28°00'N, 121°00' ~ 123°00'E), 中心最高丰度高达 73.96 ind/m³, 表层水温 26.00 ~ 27.8°C, 盐度 33.0 ~ 34.5。台湾海峡最高值(5.52 ind/m³)位于 24°00'N、118°30'E, 表层水温 26.59°C, 盐度 33.74。长江口水域丰度有所增多, 最高值 2.17 ind/m³, 水温 26.45°C, 盐度 31.72(图 2b)。

秋季高丰度(5 ~ 25 ind/m³)和较高丰度区(1 ~ 5 ind/m³)范围比夏季明显扩大。东海北部外海, 长江口近海和东海 28°00' ~ 30°00'N, 都是高丰度的分布区。其中大于 25 ind/m³ 峰值有两处, 其一位于舟山渔场附近(30°30'N, 123°30'E), 丰度为 48.57 ind/m³, 表温 24.17°C, 盐度 32.00。东海北部外海的高丰度区峰值为 41.72 ind/m³(31°30'N, 128°00'E), 表温 24.90°C, 盐度 33.66。台湾海峡北部也有较高分布区, 峰值 7.90 ind/m³(25°00'N, 120°30'E)(图 2c)。

冬季东海北部外海丰度较高, 一般在 1 ~ 5 ind/m³ 之间, 最高峰值(5.47 ind/m³)位于 31°00'N、128°00'E 水域, 表温 19.62°C, 盐度 34.65。近海海域丰度较低, 分布均匀, 没有密集区形成(图 2d)。

2.2 生态特征值的季节变化和区域变化

从表 1 可见, 亚强真哲水蚤丰度有非常明显的季节变化, 秋季丰度达到四季最高峰, 均值为 5.40 ind/m³, 夏季次之, 冬春季最低均小于 1.00 ind/m³。春夏季南部高于北部趋势明显, 秋冬季相反。冬春季外海高于近海, 夏季相反, 秋季北部近海高于外海, 南部相反。

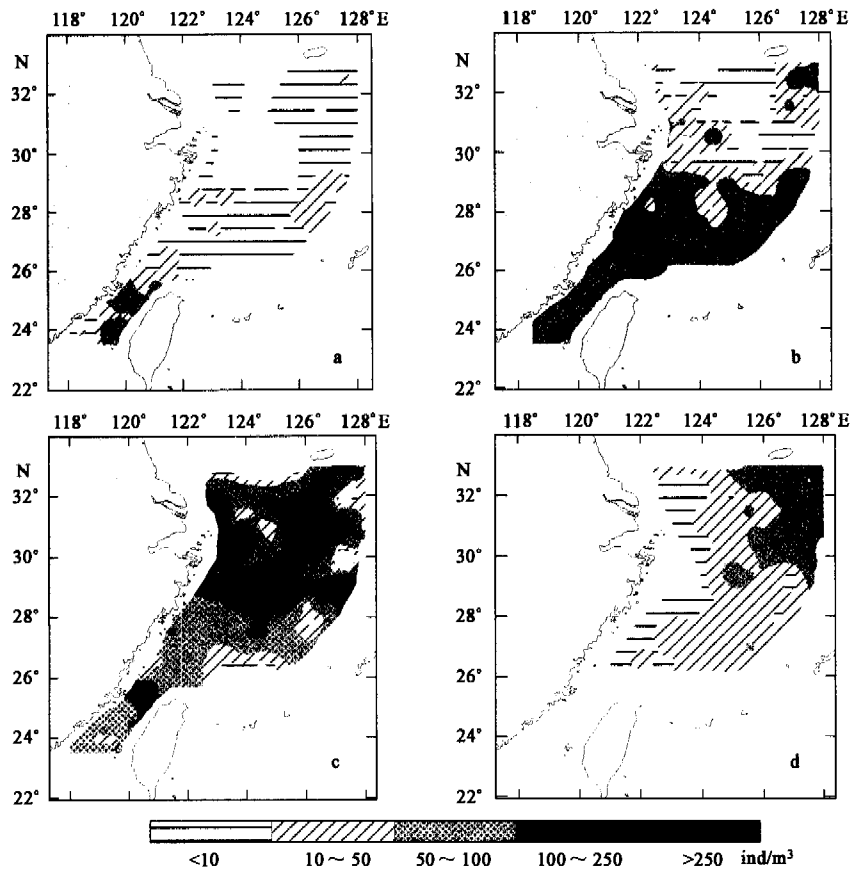


图 2 东海亚强真哲水蚤丰度平面分布
Fig.2 Horizontal distribution of *Eucalanus subcrassus* abundance in the East China Sea
(a) 春 Spring; (b) 夏 Summer; (c) 秋 Autumn; (d) 冬 Winter

表 1 东海亚强真哲水蚤生态特征值

Table 1 Ecological indices value of <i>Eucalanus subcrassus</i> in the East China Sea										
海区 Zone	春 Spring					夏 Summer				
	$\bar{x}$ Mean	百分比(%) Percent age	γ	出现频率(%) Occurrence	I	$\bar{x}$ Mean	百分比(%) Percent age	γ	出现频率(%) Occurrence	I
I	0.01	0.09	0.00	4.17	-1.00	0.24	0.86	0.00	51.61	0.91
II	0.06	1.47	0.01	54.05	-0.90	0.34	1.62	0.01	65.12	0.49
III	0.11	1.17	0.01	60.87	-0.72	4.73	23.76	0.24	100	22.80
IV	0.19	1.54	0.01	54.55	-0.82	1.99	15.35	0.15	100	0.15
V	1.04	10.35	0.08	76.92	1.86	2.67	14.36	0.14	100	-0.37
东海区 Overall	0.17	2.46	0.01	49.62	2.82	2.09	9.94	0.08	79.45	23.29
海区 Zone	秋 Autumn					冬 Winter				
	$\bar{x}$ Mean	百分比(%) Percent age	γ	出现频率(%) Occurrence	I	$\bar{x}$ Mean	百分比(%) Percent age	γ	出现频率(%) Occurrence	I
I	6.46	10.37	0.10	100	16.08	0.33	8.78	0.05	60.00	-0.19
II	5.46	12.30	0.12	96.30	13.75	2.07	11.75	0.12	100.00	-0.11
III	4.76	7.36	0.07	97.44	8.22	0.31	3.19	0.03	85.00	-0.63
IV	5.59	11.30	0.10	90.91	9.66	0.48	4.70	0.04	87.50	-0.76
V	4.49	9.32	0.09	100	6.69					
东海区 Overall	5.40	9.69	0.10	98.22	11.47	0.93	8.42	0.07	86.15	0.57

秋季优势度最高达 0.10,其次是夏季和冬季,春季除了台湾海峡优势度达 0.08,其它海区优势度低,均未达到优势种指标值($\gamma \leq 0.02$)。

春季东海亚强真哲水蚤占桡足类总丰度百分比仅为 2.46%,其中台湾海峡最高。夏季为 9.94%,东海南

部近海最高。秋季为 9.32%,不同海区间差异较小。冬季为 8.42%,东海北部外海较高,其次是南部外海亚强真哲水蚤在秋季有很高的出现率,全区出现率达 98.22%,其中东海北部近海和台湾海峡为 100%。其它海区出现率都在 90% 以上。冬季有较高的出现率(86.15%),其中外海出现率高于近海,夏季整个东海亚强真哲水蚤出现率 79.45%,南部和台湾海峡出现率均为 100%,外海高于近海,南部高于北部。春季出现率最低为 49.62%,其中台湾海峡最高,东海北部近海几乎没有出现。

东海亚强真哲水蚤丛生指标(*I*)均为正值。而夏季丛生指标最高,其中东海南部近海达 22.80,秋季东海亚强真哲水蚤有明显的聚集现象。冬季分布较为均匀。

由上述可见,亚强真哲水蚤在东海浮游动物中的优势性主要表现在秋季。

2.3 生态特征的年间变化

从表 2 可见,与 20a 前比较,本次调查,秋冬季亚强真哲水蚤平均丰度高于往年,尤其秋季特别显著,是 1979 年数量的 10 多倍;春夏季相反。秋冬夏 3 季亚强真哲水蚤本次调查优势度和占桡足类总丰度的百分比均高于往年,其中秋季特别明显。出现率本次调查夏秋冬季高于往年,春季相反。

表 2 东海亚强真哲水蚤生态特征的年间变化的对比分析

Table 2 Comparison of ecological characters of *Eucalanus subcrassus* in different years

年份 Years	春 Spring				夏 Summer			
	$\bar{x}$	百分比(%)	<i>Y</i>	出现频率(%)	$\bar{x}$	百分比(%)	<i>Y</i>	出现频率(%)
	Mean	Percent		Occurrence	Mean	Percent		Occurrence
1979 ~ 1980	0.33	0.38	0.00	51.22	1.71	3.22	0.02	61.90
1997 ~ 2000	0.07	0.83	0.00	34.92	0.79	3.84	0.03	69.33
年份 Years	秋 Autumn				冬 Winter			
	$\bar{x}$	百分比(%)	<i>Y</i>	出现频率(%)	$\bar{x}$	百分比(%)	<i>Y</i>	出现频率(%)
	Mean	Percent		Occurrence	Mean	Percent		Occurrence
1979 ~ 1980	0.57	0.85	0.02	63.16	0.32	1.07	0.01	50.00
1997 ~ 2000	7.80	11.81	0.12	100	0.69	8.34	0.06	76.32

2.4 亚强真哲水蚤优势度和对桡足类总丰度变化贡献分析

与桡足类其它主要优势种比较,春季亚强真哲水蚤不是优势种。夏冬季亚强真哲水蚤对桡足类总丰度的贡献值(β)分别是 0.39 和 0.27,仅次于中华哲水蚤 *Calanus sinicus*(β 为 0.88 和 0.45)^①而明显大于同一季节的其它桡足类优势种。秋季亚强真哲水蚤对桡足类总丰度的贡献值(β)为 0.46,仅次于同一季节的精致针刺水蚤 *Euchaeta concinna*(β 为 0.56)^②,大于同一季节的普通波水蚤 *Undinula vulgaris*(β 为 0.31)和中华哲水蚤(β 为 0.15)^[11],上述计算中 β 值置信度均大于 99.99%。

2.5 环境因子对亚强真哲水蚤数量变化的影响

利用多元逐步回归筛选表层、底层水温和盐度对亚强真哲水蚤丰度影响显著的因子。结果表明(表 3):春夏季和 4 季平均丰度的变化与温度相关关系,与盐度相关性不显著。秋季丰度的变化与底温、底盐和表盐相关,冬季与温度和盐度均没有显著的关系。4 季丰度合计与底层温度有显著的正相关。

表 3 东海亚强真哲水蚤丰度与水环境因子的相关性分析

Table 3 Regression analysis between *Eucalanus subcrassus* abundance and temperature and salinity

季节 Season	回归方程 Regression equation	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
春 Spring	$y = -0.8696 + 0.0616 t_b$	127	0.353	17.8	0.000
夏 Summer	$y = -5.5078 + 0.4014 t_b$	131	0.213	6.10	0.015
秋 Autumn	$y = -41.49 + 1.0446 t_b - 2.4633 S_0 + 3.1645 S_b$	105	0.363	5.10	0.003
冬 Winter		63	0.236	3.62	0.062
4 季 Four seasons	$y = -2.3489 + 0.1804 t_b$	426	0.161	11.3	0.001

① XU ZHAO-LI AND CHEN YA-QU. Study on Temporal and Spatial Distribution of *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea) in the East China Sea
② 徐兆礼. 东海精致真刺水蚤(Copepod)种群生态特征. 海洋与湖沼, 2006

3 讨论

3.1 丰度季节变化与环境因子的关系

春季是水温变化的季节,在春季,东海南北不同水域温差较大,亚强真哲水蚤主要集中在水温较高的台湾海峡和其相邻的东海南部近海,显示出丰度与水温呈正相关关系。夏季该种种群向北扩展,高丰度区位于东海南部近海,峰值区水温 27.02°C ,高于其它海区水温,回归分析显示其丰度与水温正相关。但比较夏季高丰度和较高丰度区,台湾海峡(水温 26.59°C)和长江口水域(水温 26.45°C)水温相差不大。从图 2b 可见,高分布区的出现除了受水温影响,与暖流势力向北逐步扩展可能有更为密切的关系。秋季,较高丰度分布区继续往北扩展,其中在长江口和东海外海各有一个高丰度区。在东海北部近海的长江口水域,长江冲淡水基本上浮在东海的表层,这是秋季东海表层盐度与亚强真哲水蚤丰度负相关的原因。此外,秋季大范围的较高丰度区位于东海北部 $126^{\circ}00'\text{E}$ 以东水域,该水域底层水受高温高盐的暖流影响,显示亚强真哲水蚤丰度与底温、底盐呈正相关关系。冬季分布较为均匀,与南北海水温差关系不大,回归分析显示冬季与温盐因子关系不显著。从 4 季变化看,不同季节的水温有明显的差异,该种群数量 4 季变化与水温的季节变化基本一致,这是该种 4 季总丰度的变化与水温有非常显著的相关关系的原因。

亚强真哲水蚤数量的季节变化特征与作者观测到的其它浮游动物暖水种相同^[11-16]。最高丰度也是出现在秋季。秋季高丰度区主要分布在东海北部而不是东海南部。冬季较高数量分布区位于东海北部外海。

3.2 数量分布与水团变化的关系

该种春季仅在台湾海峡澎湖海区有较高丰度分布区出现,范围很小。夏季随水温升高,高丰度分布区往北扩展,在南部近海和外海分别形成两个高丰度分布区,近岸的高丰度区位于浙江中南部台湾暖流与浙江沿岸水的交汇处偏暖流的一侧^[17]。由于有椒江和甬江等径流带来的丰富营养盐,同步资料显示,该水域是东海夏季初级生产力较高的水域^[18]。外海一支高丰度区域很小。因此无论是丰度还是范围,夏季东海南部亚强真哲水蚤数量主要由近海一支构成。秋季高丰度区仍分为两支继续向北扩展,范围明显扩大,近海一支的高丰度区北移到长江口水域台湾暖流和长江冲淡水水团的交汇处,外海的一支北移到 $29^{\circ}00'\text{N}$ 黑潮暖流和混合水团的交汇处,另外在 $28^{\circ}00' \sim 30^{\circ}00'\text{N}$ 之间的整个混合水团均是亚强真哲水蚤较高丰度区。秋季亚强真哲水蚤高丰度区的出现,与东海不同水团的交汇和混合水团的位置有密切的关系,从图 2c 可见,东海南部 $28^{\circ}00'\text{N}$ 以南虽然也有较高的水温,由于不属于混合水团控制,因而没有较高数量的分布。冬季,相对较高丰度区主要位于北部外海在受黑潮暖流、对马暖流和黄海暖流影响的水域。由此,亚强真哲水蚤数量分布与海流有密切的关系。

3.3 亚强真哲水蚤生态特征分析

春季东海亚强真哲水蚤不是优势种,数量不到桡足类的 1%。而在秋夏季是东海主要优势种。夏秋季优势性比较可见,夏季东海南部和台湾海峡的优势性较高,北部较低。尽管在秋季亚强真哲水蚤东海北部的优势度高于南部,但在整个东海调查区都有较高的优势性,显示出亚强真哲水蚤种群数量从夏季到秋季有了较大的发展。冬季优势性表现在东海北部外海,这一点与其它浮游动物暖水种冬季优势特征相同^[11-16]。

无论是夏季还是秋季,东海亚强真哲水蚤都分为近海和外海两部分,夏季在东海南部,秋季在东海北部。亚强真哲水蚤在近海和外海的平均丰度、出现率和聚集强度等生态指标有所不同。近海春季在台湾海峡平均丰度相对较高而出现率很低,因而有一定的聚集强度。夏季在南部近海出现率虽然有所提高,但平均丰度是春季的 40 多倍,且分布很不均匀,因而该水域聚集强度是 4 季最大值。同期南部外海平均丰度虽然有所上升,但出现率为 100%,分布较为均匀,聚集特征并不明显。秋季东海近海出现率普遍较高,特别是北部近海和台湾海峡,丰度也有明显提高,分布更不均匀,因而聚集强度普遍有所增加。冬季北部外海均值虽然增加到 $2.07 \text{ ind}/\text{m}^3$,出现率却明显提高,呈均匀分布的特征。与桡足类其它优势种相比^[6],春夏季亚强真哲水蚤在东海分布聚集特征相对明显,显示出该种对水环境敏感,难在这些季节形成广泛的高丰度区,但只要环境合适,个别水域仍可以形成较大数量。亚强真哲水蚤种群具有较强的增长能力,其夏季最高丰度值为 $73.96 \text{ ind}/\text{m}^3$

便是例证。秋季近海亚强真哲水蚤的生态特征显示出与其它桡足类暖水种相同的特征。从优势度和对桡足类总丰度变化贡献而言,冬夏秋 3 季该种是东海桡足类的关键种。

3.4 生态特征的年际比较

相隔 20 多年东海同水域调查结果的比较,近年来,东海亚强真哲水蚤的重要性有所提高,春夏季平均丰度有所降低,秋冬季增加。优势度冬夏秋 3 季都有所提高。各季节,特别是秋冬春 3 季,该种在桡足类总丰度中所占比例都有所提高。夏秋冬季的出现率也有提高。由于该种是一个暖水种,其生态特征值的年间变化说明近年来全球变暖对东海浮游动物有一定的影响。特别是冬季东海外海,可能与外海暖流活跃有关。

3.5 环境适应性分析

亚强真哲水蚤具有较为明显的暖水种特征。研究结果显示:水温较低的春季,亚强真哲水蚤数量很少,且集中在水温较高的台湾海峡。夏秋季随着水温升高,较大范围高丰度分布区往往位于盐度大于 32.5,水温大于 24.0℃的海区。另外研究结果还显示:在夏秋冬 3 个季节,亚强真哲水蚤在东海外海都有较高丰度区分布,在东海外海暖流控制的水域有较高的出现率,说明该种能够在暖流经过的外海水域形成较高数量,这一点,与 Gueredrat^[1]太平洋赤道流系统中观测到的现象相同。由此可以认为,亚强真哲水蚤是暖水种。

3.6 与渔场的关系

夏季,东海亚强真哲水蚤形成较高的数量在渔业上有重要的意义。每年夏季,浙江中南部的温州渔场和鱼山渔场是多种渔业资源生物的产卵场,例如带鱼、银鲳、刺鲳、剑尖枪乌贼、太平洋褶柔鱼和虾类^[8,18]。产卵后的幼体就在附近水域索饵。亚强真哲水蚤夏季高丰度存在为这些渔业资源生物提供了饵料。该种浮游动物在东海中南部的海洋渔业上有一定的意义。

秋季,该种在东海北部形成较高的数量,在渔业上也有重要的意义,同精致真刺水蚤一样,该种在东海北部近海较大的种群数量为产卵后的带鱼、大黄鱼和小黄鱼及其幼体所形成索饵群体和越冬洄游群体提供了丰富的饵料。在东海北部外海,亚强真哲水蚤的高丰度区与秋季鲈鱼渔场也处同一水域^[8,9],是秋季东海渔场最重要的桡足类饵料生物之一。

References:

- [1] Gueredrat J A. Evolution of a copepod population in the Pacific Ocean equatorial currents system. Zoogeography, ecology and specific diversity. Mar. Biol., 1971, 9(4):300 ~ 314.
- [2] Fernandez A M A, Sanvicente A L, Alameda D L, Mora G. Copepod assemblages in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Crustaceana, 2000, 73:1139 ~ 1153.
- [3] Ramaiah N. Distribution and abundance of copepods in the pollution gradient zones of Bombay Harbour Thana Creek Bassein Creek, west coast of India. Indian j. Mar. Sci., 1997, 26(1):20 ~ 25.
- [4] Huang J Q, Li S J, Zhu C S. Abundance distribution and species composition of pelagic zooplankton in Luoyuan bay of Fujian. Journal of Xiamen University (Natural Science), 1989, 28(Suppl):85 ~ 95.
- [5] Xu Z L, Jiang M, Chao M. Quantitative distribution of pelagic copepods in the East China Sea. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(3):258 ~ 264.
- [6] Xu Z L, Cui X S, Chen W Z. Species composition and dominant species study on pelagic copepods in the East China Sea. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1):35 ~ 40.
- [7] Chen G, Li S J, Huang J Q. Feeding ecology of two dominant copepods, *Eucalanus subcrassus* and *Calanus sinicus*, in Taiwan Strait. From: Primary productivity and its controlling mechanism in Taiwan Strait Regions, Oceanography in China, Beijing: China Ocean Press, 1997, 7:196 ~ 204.
- [8] Fishery bureau of Ministry of Agriculture. Investigation and division of fisheries resource of the East China Sea. Shanghai: East China Normal University Press. 1987, 149 ~ 150, 281 ~ 299.
- [9] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. Journal of Ecology, 1989, 8(4):13 ~ 15.
- [10] The probability and statistics group of computational center of the Chinese Academy of Sciences. The probability and statistics calculation. Beijing: Science Press, 1979, 105 ~ 144.
- [11] Xu Z L. Relationships between population characters of *Undinula vulgaris* (Copepoda) and environment in the East China Sea. Chinese Journal of Applied

Ecology, 2006, 17(1): 107 ~ 112.

- [12] 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.
- [13] Xu Z L, Li C J. Horizontal distribution and dominant species of heteropods in the the East China Sea. *J. Plankton Res.*, 2005, 27: 373 ~ 382.
- [14] Xu Z L, Chao M, Chen Y Q. Distribution of zooplankton biomass in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 23(2): 337 ~ 346.
- [15] Xu Z L, Chen Y Q. Study on relationship between dominant species of Chaetognatha and environmental factors in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(1): 76 ~ 82.
- [16] Xu Z L. Study on the dominant species of pelagic Decapods in the East China Sea and their ecological adaptability. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(6): 775 ~ 781.
- [17] Liu S X, Shen X Q, Wang Y Q. Preliminary study on mean distribution of water mass and its variation over years in Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1993, 15(4): 1 ~ 11.
- [18] Zhen Y J, Chen X Z, Cheng J H *et al.* The biological resources and environment in continental shelf of the East China Sea. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003, 30 ~ 357.

参考文献:

- [4] 黄加祺, 李少菁, 朱长寿. 福建罗源湾浮游动物的种类组成和数量分布. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1989, 28(增刊): 85 ~ 95.
- [5] 徐兆礼, 蒋玫, 晁敏等. 东海浮游桡足类数量分布. *水产学报*, 2003, 27(3): 258 ~ 264.
- [6] 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. *水产学报*, 2004, 27(1): 35 ~ 40.
- [7] 陈钢, 李少菁, 黄加祺. 台湾海峡两种桡足类优势种亚强真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)和中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)摄食生态学. 台湾海峡区域初级生产力及其调控机制. *中国海洋学文集*, 北京: 海洋出版社, 1997. 7: 196 ~ 204.
- [8] 农业部水产局. 东海区渔业资源调查和区划. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 149 ~ 150, 281 ~ 299.
- [9] 徐兆礼, 陈亚耀. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲱鲐渔场的关系. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13 ~ 15.
- [10] 中国科学院计算中心概率论统计组编著. 概率统计计算. 北京: 科学出版社, 1979. 105 ~ 144.
- [11] 徐兆礼. 东海普通波水蚤种群特征与环境关系研究. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 107 ~ 112.
- [12] 徐兆礼, 陈亚耀. 东海磷虾类优势种的生态适应. *生态学报*, 2005, 25(9): 2227 ~ 2233.
- [15] 徐兆礼, 陈亚耀. 东海毛颚类优势种及与环境的关系. *中国水产科学*, 2005, 12(1): 76 ~ 82.
- [16] 徐兆礼. 东海浮游十足类优势种环境适应的研究. *水产学报*, 2005, 29(6): 775 ~ 781.
- [17] 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. *海洋学报*, 1993, 15(4): 1 ~ 11.
- [18] 郑元甲, 陈雪忠, 程家华, 等. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 2003. 30 ~ 65.