

春季和秋季东、黄海陆架区大型网采 浮游动物群落划分

左涛¹, 王荣², 陈亚瞿³, 高尚武², 王克²

1. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学院黄海水产研究所, 青岛 266071;
2. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071;
3. 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室 中国水产科学院东海水产研究所, 上海 200062)

摘要: 根据 2000 年秋季和 2001 年春季对黄、东海大面调查中浮游生物大网(孔径 500 μm)采集的浮游动物样品, 运用多元分析方法对陆架区内的浮游动物组成、分布、群落进行了研究。结果表明, 春、秋两季陆架区浮游动物均可划分为 5 个群落: i 黄海沿岸群落; ii 黄海中部群落; iii 黄、东海交汇水混合群落; iv 东海近岸混合水群落; v 东海外陆架高温高盐群落。各群落的种类组成及地理分布存在一定的季节差异。

关键词: 浮游动物; 群落; 多元分析; 东海; 黄海

文章编号: 1000-0933(2005)07-1531-10 中图分类号: Q178 文献标识码: A

Net macro-zooplankton community classification on the shelf area of the East China Sea and the Yellow Sea in spring and autumn

ZUO Tao¹, WANG Rong², CHEN Ya-Qu³, GAO Shang-Wu², WANG Ke² (1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200062, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1531~1540.

Abstract: The Yellow Sea (YS) and the East China Sea (ECS) are typical mid-latitude marginal seas of the northwest Pacific Ocean, and contain the highly productive shelf ecosystems. It's important to learn their zooplankton species distributions and community structures in these areas. In autumn 2000 and spring 2001, two cruises were carried out by R/V "Beidou" and covered extensively most of the continental shelf area of YS and ECS. Zooplankton samples were collected by means of an 80 cm diameter plankton net with mesh size of 500 μm , from 77 stations in spring and 71 stations in autumn. After being collected, all samples were preserved in 5% neutral formalin seawater solution, identified and counted under the dissecting microscope in the lab. Number of species was converted into abundance as individuals per square meter (ind/m^2) for each station. Based on the data of these cruises, zooplankton species composition and community classifications were analyzed using multivariate analyses, such as cluster analysis and metric multidimensional scaling analysis. Prior to numerical analyses, the species occurring in less than 2 stations were neglected, and original abundance was transformed by $\log_{10}(x+1)$ to scale down the scores of abundant species. Cluster analyses were performed using Ward's minimum variance method. Stations were

基金项目: 国家重点基础研究发展资助项目(G1999043707); 国家自然科学基金重大研究资助项目(30490233); 黄海水产研究所博士后基金资助项目

收稿日期: 2004-11-07; **修订日期:** 2005-01-24

作者简介: 左涛(1976~), 女, 江西抚州人, 博士, 主要从事海洋生态学研究。E-mail: zuotao@tom.com

Foundation item: High priority research program of Science and Technology Department of China(No. G1999043707); Major Research Plan of National Natural Science Foundation of China(No. 30490233); Postdoctoral fellowship of Yellow Sea Fisheries Research Institute

Received date: 2004-11-07; **Accepted date:** 2005-01-24

Biography: ZUO Tao, Ph. D., mainly engaged in marine ecology. E-mail: zuotao@tom.com

Acknowledgements: We thank R/V "Beidou" for field sampling. E-mail: zuotao@tom.com

grouped according to the Bray-Curtis similarity matrix calculated based on species abundance compositions of each station. Based on the same dissimilarity matrix, stations were plotted on 2-dimensional maps by metric multidimensional scaling (MDS) methods to verify the cluster analyses.

Based on the results, total 210 species with occurrence >2 were identified. There were 112 common species to occur in both of seasons. The most common species in autumn were *Sagitta nageae*, *Calanus sinicus* and *Sagitta enflata*, *Euchaeta concinna*; in spring were *C. sinicus*, *Sagitta crassa*, *S. nageae*, *Paracalanus parvus* and *Euphausia pacifica*, they all occurred in more than 75% stations investigated. In autumn, the average abundance was 6018 ind/m², and the most abundant species were *C. sinicus*, *S. nageae* and *Paracalanus aculeatus*. In spring, the average abundance was 9 271 ind/m², and the most abundant species was *C. sinicus*, which accounted for 87% of total abundance. Cluster and MDS analysis showed in the ECS and YS, five communities can be distinguished: (i) Yellow Sea Neritic Community with representative species of *Labidocera euchaeta*, *Centropages mcmurrichi*; (ii) the Yellow Sea Central Community with representative species of *Themisto gracilipes*; (iii) the Yellow Sea and East China Sea Mixed Water Community; (iv) the East China Sea Inshore Mixed Water Community (v) the East China Sea Shelf Mixed Water Community with representative species *Rhincalanus cornutus* and *Pterosagitta draco*. Communities classification results were similar with previous works in general, except the (iii) and (iv) communities. The two communities were both composed of species belonging to diverse ecotypes and located in the zone where various waters meet. According to Chen (1985), they cannot be defined to be a strictly independent community owing to their indistinct habitats ecotypes. But in terms of their representative species compositions, (iii) community were dominant with temperate species and (iv) community had more wide-distributed warm species. It would be useful to distinguish these two groups from each other for facilitate the study of the seasonal variations on zooplankton composition and water masses configuration.

Key words: zooplankton; community; multivariate analysis; East China Sea, Yellow Sea

黄海和东海为西太平洋陆架边缘海,受大陆和季风影响,水环境复杂多变,因而栖息着生态特性各不相同的浮游动物种类。而在海洋生态系统中,浮游动物在海洋物质循环中起着承上启下的作用,是对能量、物质循环起调控作用的关键功能群;另外,浮游动物还对许多重要海流、水团分布以及气候变化具有“生物指示”作用,通过对浮游动物的分布以及季节、年间变化进行研究,可以为海洋生境各个要素、物理环境变化提供有力的生物证据。再有,大多数的浮游动物是许多经济鱼类的饵料来源,掌握浮游动物的数量分布和变动可为探索鱼群和寻找渔场提供科学依据。因此查明黄、东海不同水系中浮游动物群落结构、数量分布特点及其时空变化,对进一步了解黄、东海生态系统的动力学机制和渔业资源动态变化有着重要的意义。

自 20 世纪 50 年代以来,我国学者对东、黄海陆架区内浮游动物进行了不同层次的研究,其中也包括群落结构、地理区划分^[1-5]。2000 年秋末(10~11 月份)与 2001 年早春(3~4 月份),由国家重点基础研究发展规划项目“黄、东海生态系统动力学研究”资助,考察船“北斗号”对黄、东海进行了两次较大范围的综合调查,调查区域扩大至整个陆架,覆盖了大部分的经济专属区。本文依据此两次调查中所获大型浮游生物网样品,借鉴前人的工作基础,对海区的浮游动物种类组成、群落结构进行了再次分析,并采用目前相对实用、灵敏的且应用非常广泛的多元统计方法^[6-9],如聚类(Cluster analysis)、多维定标分析(Mutidimensional scale analysis)等,从而更为有效、直观地表现海区内不同浮游动物种类分布的聚集模式、群落特征。

1 材料与方法

1.1 调查海区概况

东、黄海面积大约 $1.23 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中 70% 为陆架区,在陆架海域,水深一般不超过 200m^[10]。组成的水团主要包括黑潮水、东海陆架混合水和黄、东海混合水、东海沿岸水、黄海混合水以及黄海表层水、黄海底层冷水团,受气温、东亚季风、沿岸流(特别是长江冲淡水)不同程度的影响,海区内水团组成、水文结构存在明显的地域差异和季节变化^[11-13]。本文调查秋季航次中,整个海区水温相对比较均匀,大多在 19~22℃ 间,仅在南黄海的中部底层 $<10^\circ\text{C}$,为黄海底层冷水团蛰伏区域;盐度分布,受长江冲淡水和沿岸水影响的长江口、杭州湾附近,相对低盐,而在东海陆架区黑潮水影响较大的区域,相对高温高盐。春季航次,海区内水文垂直混匀,底、表的温、盐度相差不大,水平差异明显,水温介于 8~24℃ 间,南高北低;盐度的水平变化梯度较秋季小,介于 31~33psu 间。

1.2 站位设置和样品采集

于 2000 年秋季 10 月 18 日~11 月 21 日和 2001 年春季 3 月 25 日~4 月 28 日,对 $25^\circ00'\text{N} \sim 37^\circ00'\text{N}$, $120^\circ00'\text{E} \sim 127^\circ00'\text{E}$ 进行两次大面调查,调查船为黄海水产研究所“北斗号”渔业资源综合考察船。两航次中设置的调查断面共 10 条,总站位数略有不同,秋季航次站位数为 71,春季为 77(见图 1)。

采集样品均用标准大型浮游生物网(网口直径 80 cm,网孔直径 500 μm)^[14]从底至表垂直拖网,保存于 5%福尔马林海水溶液中,实验室内镜检计数。各种类的丰度(abundance)以每平方米水柱内的个体数(ind/m²)表示。

温度、盐度和氧浓度为调查船配置的 SBE19 型 CTD 现场测定,营养盐(NH⁴⁺、NO³⁻、SiO³⁻及 PO⁴⁻)为国家海洋局第二海洋研究所林以安提供,叶绿素资料由国家海洋局第一海洋研究所吕瑞华提供。

1.3 数据处理

1.3.1 数据转换 为降低浮游动物数据的极化程度,浮游动物丰度采用对数转化, $Y_i = \log(X_i + 1)$, X_i 为原始丰度, Y_i 为转换后数值^[6]。出现次数小于 2 的浮游动物种类数据不列入多元分析。由于各环境因子的度量标准不同,原始数据经无量纲标准化 ($Y_i = (X_i - X_{aver}) / X_{aver}$, X_i 为原始值, X_{aver} 为均值, Y_i 为转换后数值)处理以消除度量单位不同而造成的影响。

1.3.2 多元分析 计算站位间的 Bray-Curtis 相似性指数^[15]。将得到的相似矩阵,分别进行聚类和 MDS 排序分析。聚类分析采用 Ward's minimum variance method 法得到树状图。MDS 即将相似性系数转变为 N 维(一般为二维)坐标图,直观了解样本间的相似程度,检验聚类结果的可信性,确定聚类组群间的相似程度。MDS 图的可解释程度根据其压力系数(stress)来确定,一般来说, $stress < 0.2$ 时,该图具有一定可信度^[16,17]。采用多元回归法(Multi-regression analysis)确定各环境因子对浮游动物组群分布的重要程度,回归方法为将标准化后的所有站位环境因子数据与 MDS 分析中所获得不同主轴值进行双向回归,从而得到各环境因子对 MDS 不同主轴(Axis I, Axis II)的矢量值,以及它们分别可解释站位总变异性(R^2)。回归分析前,为避免环境因子间强相关而对结果影响,先对其进行两两 Pearson 相关分析。

因此,秋季,表层盐度、磷酸盐浓度和底层硝酸盐浓度,及春季底层温度、盐度和底表氧浓度未列入回归分析。上述多元分析计算过程均用 Statistica 6.0 (Statsoft, Inc)软件完成。

1.3.3 多样性分析和指标种 种类多样性指数采用香农-威纳指数(Shannon-Weaner index)^[18],公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i) (\log_2 P_i)$$

式中, H' 为群落多样性指数; P_i 为第 i 种占总样品量的个体比例,如样品总个体为 N ,第 i 种个体数为 n_i ,则 $P_i = n_i / N$; S 为种数。均匀度计算公式为:

$$J' = H' / \log_2(S), H' \text{ 和 } S \text{ 同上式。}$$

指标种的确定根据各种类在组群中出现频率 f_i 及该种类在各组群数量百分比进行。种类的数量百分比计算式为:

$$Y_{ij} = 100X_{ij} / \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

式中, X_{ij} 为第 i 种种类组群 j 中的数量, n 为组群数, Y_{ij} 为所得数量百分比。 $100 \times f_i$ 和 Y_{ij} 大于 50 定为该组群的指标种。

2 结果

2.1 种类组成

浮游动物标本中鉴定到种、且出现两次以上有 210 种(见表 1),其中原生动物 1 种,栉水母 2 种,腔肠动物 38 种,枝角类 1 种,桡足类 103 种,端足类 10 种,磷虾类 9 种,十足类 5 种,糠虾类 6 种,涟虫类 2 种,介形类 4 种,翼足类 6 种,毛颚类 13 种,被囊类 10 种。两航次共有种为 112 种。秋季出现频率 > 80% 的种类有海龙箭虫 *Sagitta naga*、中华哲水蚤 *Calanus sinicus* 和肥胖箭虫 *Sagitta enflata*、精致真刺水蚤 *Euchaeta concinna*。春季,出现频率 > 78% 的种类依次为中华哲水蚤、强壮箭虫 *Sagitta crassa* 和小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*、海龙箭虫、太平洋磷虾 *Euphausia pacifica*。

2.2 总丰度

秋季海区浮游动物平均丰度为 6018 ind/m²,数量最多的种为中华哲水蚤(996ind/m²)占总数量的 16%,其次为海龙箭虫(430 ind/m²)及针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*(426ind/m²)。春季平均丰度较秋季高,为 9 271 ind/m²,中华哲水蚤数量微

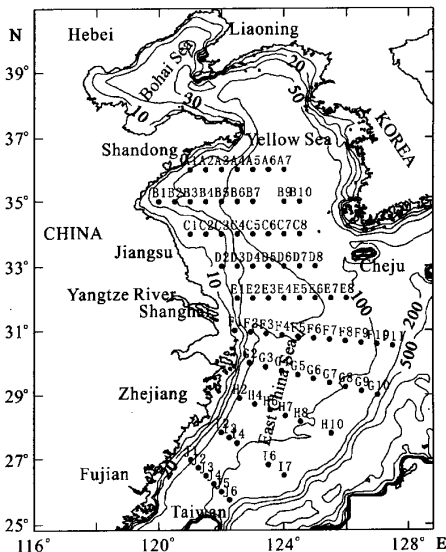


图 1 调查海区及站位分布

Fig. 1 Map of study area showing the location of stations sampled and isobath contours

增,达7 030ind/m²,占总数量的87%,其次为精致真刺水蚤、强壮箭虫和海龙箭虫,其数量分别占总数量的5.2%、4.5%和4.2%。

2.3 群落结构分析

表1 种类名录及其出现频率,各集群指标种

Table 1 Species list and occurrence, representative groups of cluster analysis

种类 Species	出现次数 Occurrence	指示组群 Indicated group	种类 Species	出现次数 Occurrence	指示组群 Indicated group
Protozoa			<i>Eucalanus attenuatus</i> (Dana)	18/2	Ea
<i>Nociluca scintillans</i> (Suriray)	/5	YNs	<i>E. pseudattenuatus</i> Sewell	13/14	EaEs
Coelenterate			<i>E. elongatus</i> (Dana)	3/6	
<i>Amphinema dinema</i> (Peron et Lesueur)	2/		<i>E. crassus</i> Giesbrecht	22/5	Ea
<i>Leuckartiara octona</i> (Fleming)	/3		<i>E. subcrassus</i> Giesbrecht	37/13	EaEs
<i>Euphysora bigelowi</i> Maas	2/7		<i>E. subtenius</i> Giesbrecht	25/17	EaEs
<i>Euphysa aurata</i> Forbes	/3		<i>Rhincalanus cornutus</i> Dana	25/20	EaEs
<i>Aequorea conica</i> Browne	2/		<i>R. nasutus</i> Giesbrecht	15/7	Ea
<i>Blackfordia manhattensis</i> Mayer	/4		<i>Mecynocera clausi</i> Thompson	1/3	
<i>B. virginica</i> Mayer	/3		<i>Paracalanus parvus</i> (Claus)	1/62	
<i>Phialidium chengshanensis</i> (Ling)	/14	Ms	<i>P. aculeatus</i> Giesbrecht	51/4	Ea
<i>Eirene ceylonensis</i> Browne	3/		<i>P. crassirostris</i> Dahl	1/5	
<i>Clytia hemisphaerica</i> (Linne)	6/18		<i>P. gracilis</i> Chen et Zhang	/2	
<i>Proboscidactyla flavicirrata</i> Brandt	2/7	YNs	<i>Calocalanus pavo</i> (Dana)	2/1	
<i>Liriope tetraphylla</i> (Chamisso et Eysenhardt)	17/22	EaEs	<i>C. plumulosus</i> (Claus)	/2	
<i>Aglaura hemistoma</i> Peron et Lessueur	14/18	EaEs	<i>Acrocalanus gracilis</i> Giesbrecht	46/5	Ea
<i>Amphogona apicata</i> Kramp	2/		<i>A. gibber</i> Giesbrecht	2/14	Es
<i>Rhopalonema velatum</i> Gegenbaur	1/2		<i>Clausocalanus arcuicornis</i> (Dana)	25/11	Ea
<i>Solmundella bitentaculata</i> (Quoy et Gaimard)	28/25	EaEs	<i>C. furcatus</i> (Brady)	2/9	
<i>Agalma elegans</i> (Sars)	2/3		<i>C. pergens</i> Farran	1/2	
<i>Nanomia bijuga</i> (Chiaje)	17/14	YEaEs	<i>Euaetideus giesbrechti</i> (Claus)	5/4	
<i>Physophora hydrostatica</i> Forskal	/14	Es	<i>Chiridius poppei</i> Giesbrecht	3/1	
<i>Sulculeolaria chuni</i> (Lens et Van Riemsdijk)	3/3		<i>Euchirella amoena</i> Giesbrecht	2/1	
<i>S. quadrivalvis</i> Blainville	2/7		<i>Euchaeta marina</i> (Prestandrea)	21/8	Ea
<i>Diphyes bojani</i> (Eschscholtz)	10/6	Ea	<i>E. concinna</i> Dana	58/19	Es
<i>D. chamissonis</i> Huxley	29/13	EaEs	<i>E. plana</i> Mori	41/50	EaEs
<i>D. dispar</i> Chanisso et Eysenhardt	7/7		<i>Paraechaeta russelli</i> (Farran)	13/9	Ea
<i>Lensia campanella</i> (Moser)	2/2		<i>Phaenna spinifera</i> Claus	1/2	
<i>L. cossack</i> Totton	2/1		<i>Scolecithrix danae</i> Lubbock	17/9	Ea
<i>L. subtilis</i> (Chun)	2/		<i>S. nicobarica</i> Sewell	33/23	EaEs
<i>L. subtiloides</i> (Lens et Van Riemsdijk)	15/7	Ea	<i>Scolecithricella bradyi</i> (Giesbrecht)	9/3	
<i>Muggiaea atlantica</i> Cunningham	25/37	Ms	<i>S. longispinosa</i> Chen et Zhang	/9	
<i>Chelophyes appendiculata</i> (Eschscholtz)	5/5		<i>Temora turbinata</i> (Dana)	19/10	Ea
<i>Ch. contorta</i> (Lens et Van Riemsdijk)	15/9	Ea	<i>T. discaudata</i> Giesbrecht	16/11	Ea
<i>Eudoxoides mitra</i> (Huxley)	4/2		<i>T. styliifera</i> (Dana)	12/13	EaEs
<i>E. spiralis</i> (Bigelow)	/4		<i>Pleuromamma xiphias</i> (Giesbrecht)	3/	
<i>Sphaeronectes gracilis</i> (Claus)	/3		<i>P. abdominalis</i> (Lubbock)	9/1	
<i>Abylopsis eschscholtzi</i> (Huxley)	8/6		<i>P. robusta</i> (Dahl)	18/3	Ea
<i>A. tetragona</i> Otto	4/17	Es	<i>P. boraalis</i> (Dahl)	3/	
<i>Bassia bassensis</i> (Quoy et Gaimard)	11/10	Ea	<i>P. gracilis</i> (Claus)	16/12	Ea
<i>Nausithoe punctata</i> Kolliker	2/5		<i>Centropages mcmurrichi</i> Willey	/22	YNs
Ctenophora			<i>C. dorsispinatus</i> Thompson et Scott	10/	
<i>Beroe cucumis</i> Fabricius	13/6	YNa	<i>C. gracilis</i> (Dana)	1/4	
<i>Pleurobrachia globosa</i> Moser	11/18	YNaMs	<i>C. calaninus</i> (Dana)	4/2	
Cladocera			<i>C. furcatus</i> (Dana)	8/5	
<i>Evadne tergestina</i> Claus	/2		<i>Lucicutia flavicornis</i> (Claus)	16/12	Ea
Copepoda			<i>L. clausi</i> (Giesbrecht)	/2	
<i>Calanus sinicus</i> Brodsky	65/76	YCa	<i>Heterorhabdus papilliger</i> (Claus)	8/3	
<i>Neocalanus gracilis</i> (Dana)	10/6		<i>Haloptilus longicornis</i> (Claus)	4/4	
<i>N. tenuicornis</i> (Dana)	/4		<i>H. ornatus</i> (Giesbrecht)	2/	
<i>Canthocalanus pauper</i> (Giesbrecht)	22/9	Ma	<i>Paracandacia truncata</i> (Dana)	9/9	
<i>Nannocalanus minor</i> (Claus)	25/8	Ea	<i>Candacia curta</i> (Dana)	3/	
<i>Undinula vulgaris</i> (Dana)	46/5	Ea	<i>C. pachydactyla</i> (Dana)	5/5	
<i>U. darwinii</i> (Lubbock)	29/9	Ea	<i>C. catula</i> Giesbrecht	4/11	
<i>C. bipinnata</i> (Giesbrecht)	/5		<i>E. nana</i> Brinton	5/	
<i>C. aethiopica</i> (Dana)	10/		<i>E. tenera</i> Hansen	6/	
<i>C. discaudata</i> A. Scott	13/4	Ea	<i>Nematoscelis gracilis</i> Hansen	3/	

续表 1

<i>C. bradyi</i> A. Scott	4/6		<i>Stylocheiron carinatum</i> G. O. Sars	3/	
<i>Calanopia thompsoni</i> A. Scott	4/1		<i>S. elongatum</i> G. O. Sars	6/	
<i>C. elliptica</i> (Dana)	4/6		Decapoda		
<i>Labidocera bipinata</i> Tanaka	7/		<i>Acetes chinensis</i> Hansen	8/2	
<i>Labidocera euchaeta</i> Giesbrecht	25/14	YNaYEs	<i>Lucifer hansenii</i> Nobili	8/	
<i>Labidocera acuta</i> (Dana)	3/1		<i>L. intermedius</i> Hansen	28/29	EaEs
<i>L. kroyeri</i> (Brady)	2/		<i>L. typus</i> H. Milne-Edwards	7/	
<i>Pontellina plumata</i> (Dana)	9/6	Ea	<i>Leptochela gracilis</i> Stimpson	26/14	Ea
<i>Acartia clausi</i> Giesbrecht	13/		Mysidacea		
<i>Acartia bifilosa</i> (Giesbrecht)	/25	YEs	<i>Siriella trispina</i> Li	6/	
<i>A. pacifica</i> Steuer	35/	YNa	<i>Hemisirella pulchra</i> Hansen	9/	YEa
<i>A. erythraea</i> Giesbrecht	6/1		<i>Gastrosaccus pelagicus</i> Li	16/13	YEa
<i>A. danae</i> Giesbrecht	5/4		<i>Erythrope minuta</i> Hansen	/4	
<i>A. negligens</i> Dana	5/9		<i>Acanthomysis longirostris</i> Li	/22	
<i>Acartiella sinensis</i> Shen et Lee	/2		<i>A. sinensis</i> Li	17/1	
<i>Tortanus forcipatus</i> (Giesbrecht)	2/		Cumacea		
<i>Oithona similis</i> Claus	40/41	YCaYCs	<i>Iphinoe tenera</i> Lomakina	2/6	
<i>O. fallax</i> Farran	2/		<i>Diastylis tricincta</i> (Zimmer)	/5	
<i>Oncaea venusta</i> Phillippi	11/15	Es	Ostracoda		
<i>O. conifera</i> Giesbrecht	/3		<i>Cypridina dentata</i> (Muller)	11/	
<i>O. media</i> Giesbrecht	/4		<i>Euconchoecia aculeata</i> (Scott)	35/	Ma
<i>O. mediterranea</i> Claus	21/6	Ea	<i>E. chierchiai</i> Muller	2/	
<i>Lubbockia squillimana</i> Claus	/2		<i>Disocochoecia elegans</i> (Sars)	/4	
<i>Sapphirina angusta</i> Dana	/2		Thecosomat	/	
<i>S. gemma</i> Dana	/2		<i>Limacina trochiformis</i> (d'Orbigny)	33/	
<i>S. darwini</i> Haeckel	/4		<i>Agadina sympsi</i> A. Adams	25/	
<i>S. stellata</i> Giesbrecht	/4		<i>Creseis acicula</i> Rang	10/	
<i>S. auronitens</i> Claus	7/		<i>Hyalocyliz striata</i> (Rang)	16/	
<i>S. metallina</i> Dana	2/		<i>Desmopterus papilio</i> Chun	6/	
<i>S. nigromaculata</i> Claus	/6		<i>Paraclione longicaudata</i> (Souleyet)	6/	
<i>Copilia mirabilis</i> Dana	/6		Chaetognatha		
<i>Corycaeus speciosus</i> Dana	14/13	Es	<i>Pterosagitta draco</i> (Krohn)	12/12	EaEs
<i>C. crassiusculus</i> Dana	/2		<i>Sagitta inflata</i> Grassi	64/31	Es
<i>C. viretus</i> Dana	/2		<i>S. hexaptera</i> d'Orbigny	4/	
<i>C. lautus</i> Dana	/3		<i>S. ferox</i> Doncaster	5/	
<i>C. furcifer</i> Claus	/2		<i>S. pacifica</i> Tokioka	/8	
<i>C. affinis</i> McMurrichi	40/54	Ms	<i>S. pseudoseratodentata</i> Tokioka	2/	
<i>C. erythraeus</i> Cleve	/4		<i>S. crassa</i> Tokioka	30/63	YNaYCs
<i>C. catus</i> F. Dahl	1/8		<i>S. bedoti</i> Beranek	12/	Ma
Amphipoda			<i>S. nagae</i> Alvarino	69/59	YCa
<i>Monoculodes limnophilus</i> sp. Tattersall	6/		<i>S. decipiens</i> Fowler	4/	
<i>Themisto gracilipes</i> Guerin	27/43	YCaYCs	<i>S. robusta</i> Doncaster	19/3	Ea
<i>Lestrignus Schizogeneios</i> sp. 1 (Stebbing)	4/		<i>S. neglecta</i> Aida	24/2	Ea
<i>Lestrignus Macrophthalmus</i> sp. 2 (Vosseler)	18/	Ea	<i>S. regularis</i> Aida	5/	
<i>Primno macropa</i> Guerin-Meneville	4/		Tunicata		
<i>Lycæopsis Zamboanngae</i> sp. (Stebbing)	3/		<i>Oikopleura longicauda</i> (Vogt)	23/35	
<i>Oxycephalus clausi</i> Bovallius	/4		<i>O. rufescens</i> Fol	30/5	
<i>Streetsia porcella</i> (Claus)	/3		<i>Megalocercus huxleyi</i> (Ritter)	/5	
<i>Tetrathyrus forcipatus</i> Claus	7/		<i>Doliolletta gegenbauri</i> Uljanin	18/26	
<i>Hemiaegina minuta</i> Mayer	2/		<i>Doliolum denticulatum</i> Quoy et Gamard	25/27	EaEs
Euphausiacea			<i>O. dioica</i> Fol	16/	Ea
<i>Pseudeuphausia latifrons</i> (S. O. Sars)	24/	Ea	<i>Cyclosalpa pinnata</i> (Forsk.)	5/	
<i>P. sinica</i> Wang et Chen	32/26	YEaYEs	<i>Brooksia rostrata</i> (Traustedt)	1/2	
<i>Euphausia diomedea</i> Ortmann	7/2		<i>Thalia democratica</i> (Forsk.)	15/5	Ea
<i>E. pacifica</i> Hansen	24/60	YCaMs	<i>Salpa fusiformis</i> Cuvier	5/1	

* 出现次数栏中,“/”左侧为秋季出现站位数,右侧为春季出现站位数 in column of occurrence, occurring stations of species in autumn were showed on the left “/”, those in spring were showed on the right “/”

2.3.1 聚类分析 如图 2a 和 b,以 22%相异性水平为割点,秋、春两季调查站位均可分为 5 个组群。分析两季各组群分布(图 2c,d),可知:黄海南部划分为沿岸组群(秋季为 YNa,春季为 YNs)和中部组群(秋季为 YCa,春季为 YCs),黄、东海交汇处——长江口至济州岛邻近海域可归为另一组群(秋季为 YEa,春季为 YEs)。春秋两季东海南部均可分为两组群,但存在季节差异,秋季可大致以等深线 100 为界,分为近岸 Ma 和陆架外缘 Ea,而春季,则可以杭州湾为界,南侧为组群 Es,北侧为组群 Ms。Es 包括秋季 Ea 所有站位和 Ma 的部分南侧站位,Ms 主要包括 Ma 北侧站位。

2.3.2 多维定标分析和多元回归分析 图 3a, b 为各站位的多维定标散点图,压力系数值,秋季为 0.122,春季为 0.118。为直

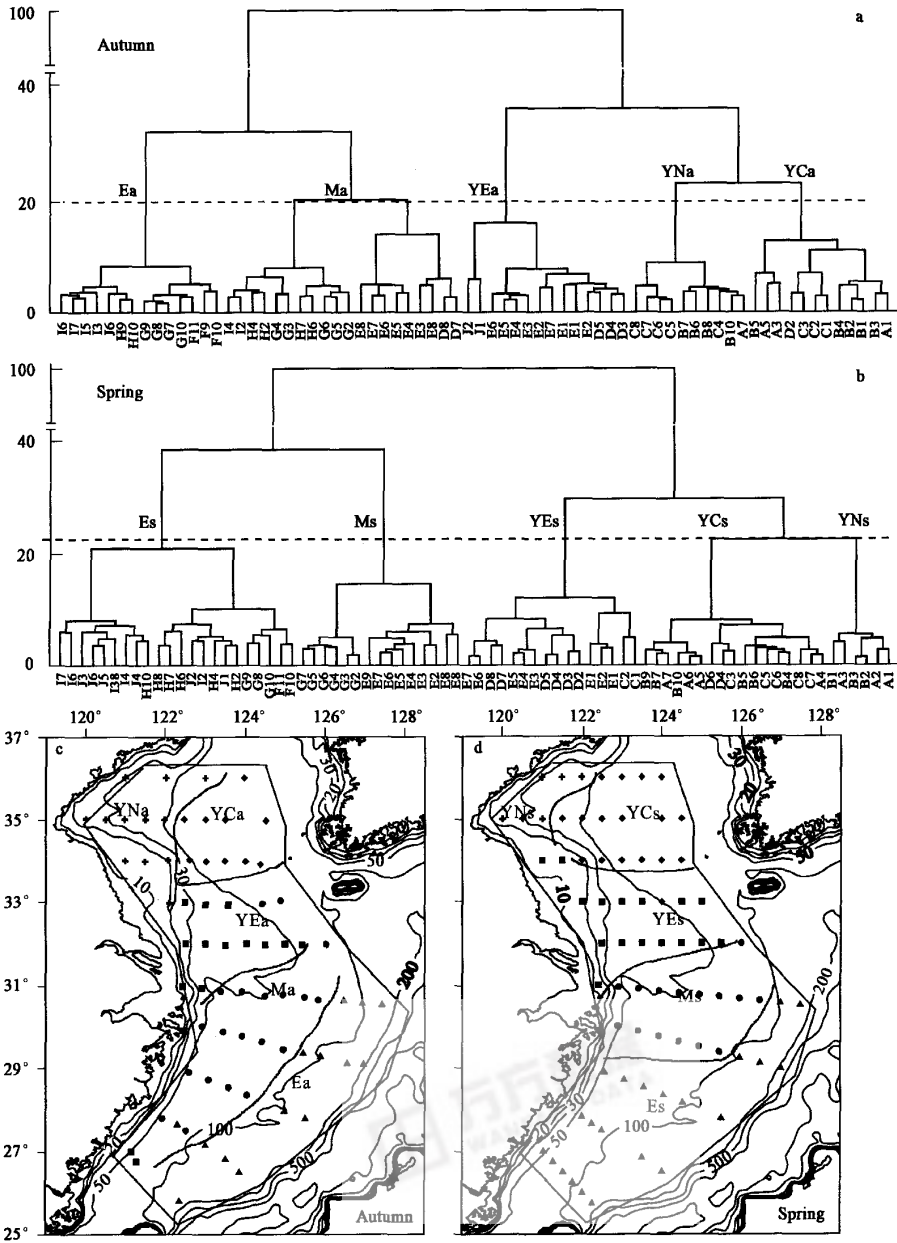


图 2 春、秋两季站点聚类分析组群树状图(a, b)及其地理分布(c, d)

Fig. 2 Cluster dendrogram of sampling stations (a, b) and their geographical distributions (c, d) in autumn, 2000 and spring, 2001

观起见,图 2 中属同一聚类组群的站点在图 3 中用相同的符号表示。图 3 中不同组群间的相对距离显示了各组群的生物组成相似程度。从图中可知,两季节,同一组群的站点的对应散点具有较强的聚集性,且他们间的相对距离与其地理分布具有相似性。由表 2 回归分析结果可得,纬度可解释聚类组群的变异量最大,均为 80% 以上,其次,秋季为盐度、春季为温度所占可解释变量较大。将各环境因子轴标于对应的多维定标散点图上(图 3c, d),各个组群与环境因子轴的矢量距离表示他们间的关系,据此可得各个组群环境特征分别为,东海组群 Es, Ea 和 Ms, Ma 表现为水深、高温、高盐和低营养盐,而黄海组群 YNs, YNa 和 YCs, YCa, 以及东、黄海交界区组群 YEs 和 YEa 则表现为高纬度、浅水、低温、低盐和高营养盐和叶绿素 a 浓度。

2.3.3 聚类组群种类组成及季节变化 由图 4,秋、春季数量均以东、黄海交汇处组群 YEa 和 YEs 最低,种类数以东海南部(外侧)组群 Ea 和 Es 最多;春季,除东海南侧组群 Ea 和黄海中部 YCa 外,其他组群较秋季相应组群而言,其数量增加,种类数、

多样性和均匀度则有所降低。另外,秋季,东海陆架外缘 Ea 和黄海中部 YCa 组群数量最多,东海南部组群多样性水平较高,黄海中部组群最低;而春季,组群 Ms 数量最多,黄海中部组群 YCs 多样性水平和均匀度较高。

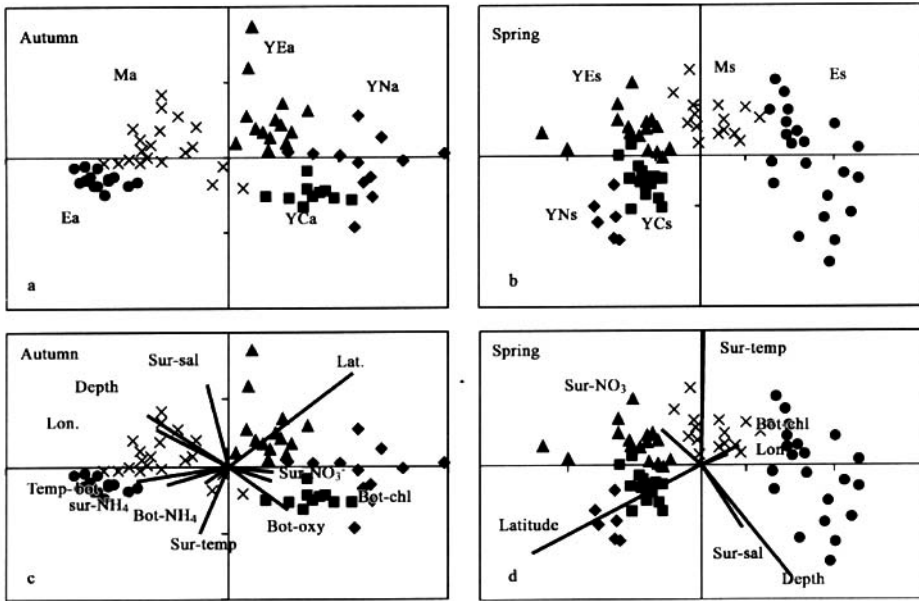


图 3 各站位二维定标分析序列图

(a)(b)标明各组群分布;(c)(d)加载环境因子

Fig. 3 MDS Ordination of sampling stations in 2-dimensions with the clusters groups indicated (a, b) and environmental variables superimposed (c, d)

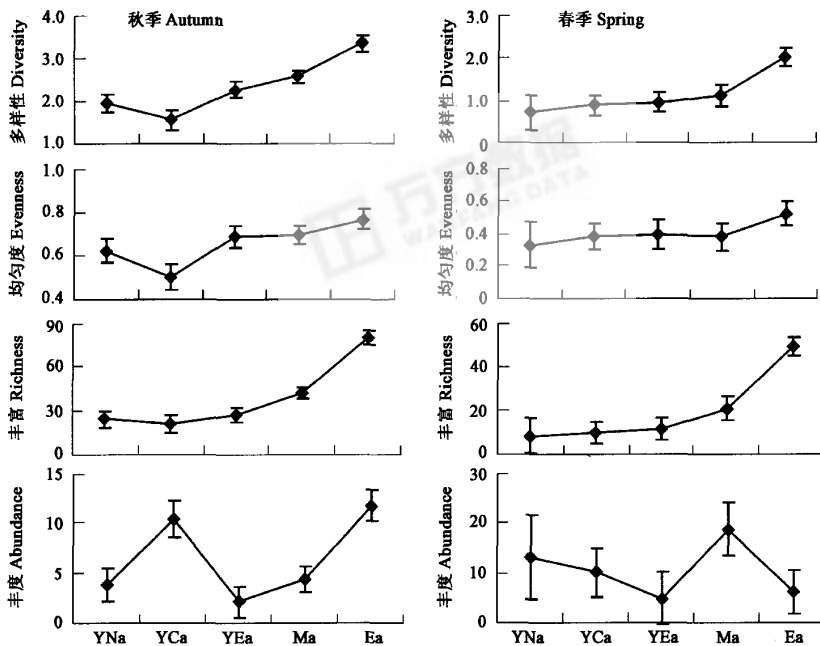


图 4 春、秋两季海区各聚类组群的丰度($\times 10^3 \text{ ind/m}^2$)、多样性和均匀度、丰富度

Fig. 4 Abundance($\times 10^3 \text{ ind/m}^2$), diversity and evenness, richness of the station groups from cluster analysis

表 2 多元回归分析及各聚类群间环境因子方差分析

Table 2 Results of multiple-regression analysis and ANOVA of environmental variables among cluster groups

秋季 Autumn	多元回归分析 Multiple-regression				方差分析 ANOVA		
	轴 I Axis I	轴 II Axis II	Adjusted R^2	F	p	F	p
经度 Longitude	-0.319	0.279	0.42	26.38	***	14.13	***
纬度 Latitude	0.570	0.690	0.89	296.88	***	246.73	***
水深 Depth	-0.360	0.388	0.53	39.87	***	6.52	***
浮游植物 Phytoplankton	-0.008	0.143	0.14	6.67	**	5.65	***
表层叶绿素 Sur-chl. a	-0.026	0.004	0.03	1.93	ns		
底层叶绿素 Bot-chl a	0.199	-0.110	0.23	10.98	***	1.60	ns
表层温度 Sur-temp.	-0.124	-0.506	0.52	38.49	***	19.47	***
底层温度 Bot-Temp.	-0.409	-0.109	0.42	26.29	***	9.10	***
底层盐度 Bot-sal.	-0.091	0.605	0.62	54.17	***	23.91	***
表层氧浓度 Sur-Oxy.	0.368	0.428	0.56	42.42	***	37.17	***
底层氧浓度 Bot-oxy.	0.270	-0.330	0.43	25.85	***	5.59	***
表层氨 Sur-NH ₄	-0.273	-0.135	0.30	15.65	***	9.94	***
底层氨 Bot-NH ₄	-0.099	-0.132	0.16	7.34	***	6.01	***
表层硝酸盐 Sur-NO ₃	0.212	-0.047	0.22	10.28	***	26.38	***
春季 Spring							
经度 Longitude	0.118	0.050	0.13	6.51	*	7.00	***
纬度 Latitude	-0.764	-0.389	0.86	225.68	***	230.90	***
水深 Depth	0.410	-0.498	0.64	68.13	***	8.83	***
浮游植物 Phytoplankton	-0.009	-0.004	0.01	1.35	*	0.94	ns
表层叶绿素 Sur-chl. a	-0.059	0.002	0.06	3.26	*	1.84	ns
底层叶绿素 Bot-chl a	0.171	0.091	0.12	5.87	*	4.80	**
表层温度 Sur-temp.	0.019	0.920	0.92	423.58	***	94.16	***
表层盐度 Sur-sal.	0.184	-0.283	0.34	19.62	***	3.97	*
表层磷酸盐 Sur-PO ₄ ⁻	0.011	0.018	—	0.87	ns		
底层磷酸盐 Bot-PO ₄ ⁻	0.011	0.018	0.02	1.78	ns		
表层氨 Sur-NH ₄	-0.037	-0.001	0.04	2.38	ns		
底层氨 Bot-NH ₄	-0.014	-0.002	0.01	1.53	ns		
表层硝酸盐 Sur-NO ₃	-0.182	0.158	0.24	12.42	***	5.58	***
底层硝酸盐 Bur-NO ₃	0.046	0.014	0.05	2.8	ns		

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.005$, * $p < 0.05$, ns 不显著 not significant

两季各组群的指标种列于表 1 内。从各组群的指标种生态习性来看,温带近岸低盐种,如墨氏胸刺水蚤、真刺唇角水蚤和太平洋纺锤水蚤等,主要分布于黄海沿岸组群(YNa 和 YNs);相对温带近海种如细长脚虫或主要分布于黄海中部组群(YEa 和 YEs),秋季中华哲水蚤、太平洋磷虾的分布中心亦在于此。热带暖水种类特别是一些狭布型种类,如角锚真哲水蚤、飞龙翼箭虫等位于东海陆架外缘(春季为南侧)组群(Ea, Es)居多。黄、东海交汇水组群(YEa 和 YEs)和东海中部组群(Ma 和 Ms)种类的生态类型也表现多样化,温带种和暖水性种并存,但前者温带低盐种类如双刺纺锤水蚤,真刺唇角水蚤较多,后者暖水性的近岸种、广布种如百陶箭虫,嵎山多胃水母等所占比例较大。

3 讨论

与之前研究相比较,本文从研究范围上有所扩大,延及大部分东、黄海陆架区,而之前报道大多限于陆架区内局部海域,因此本文的研究有助于获得对陆架区内浮游动物群落有更为全面、系统的认识;另外,在进行浮游动物群落结构分析中,由于涉及种类多、数据量大,数据间关系复杂,仅依靠过去的人为经验划分和简单的数理统计,具有一定的主观局限性,而本文利用多元统计方法地降低数据矩阵复杂性,对东、黄海陆架区的浮游动物聚集模式进行分析,所得结果也较为直观地表现了其具体特征,体现了该方法的优越性。

在很多学者对黄、东海区浮游动物群落的分析阐述中,中国科学院海洋研究所浮游生物组^[1]和郑执中^[3]、陈清潮等^[4]均提出黄、东海具有稳定性质的群落有南黄海中部群落、沿岸群落和东海外海群落。与上述学者所划分各群落的种类组成及地理分布、环境特征相对比,本文多元分析结果所得的 5 个组群中南黄海中部组群(YCa 和 YCs),沿岸组群(YNa 和 YNs)和东海陆架南部组群(Ea, Es)可以认为与其所述的南黄海中部群落、沿岸群落和东海外海群落是基本对应的。

但是黄、东海水系分布的一个典型特点,即以海区的大部分水域均为混合水系所占据,多种生态类型的浮游动物混居的现

象较为突出。因此陈清潮等^[4]还特别指出在 3 个具有稳定性质群落之间的东海中部,有一个混合群落,它是各种水团交汇的结果,来自不同海流或水团和对环境条件变化适应力较强的种类,扩布至此而形成的,但它并不构成独立的浮游生物群落。本文聚类结果中还分出黄、东海交汇水组群(YEa 和 YE_s)和东海中部组群(Ma 和 Ms),从这两个组群地理分布来看,它们占据了东海中部交汇水区,似应同属于陈氏等提出的混合水群落,但这两个组群表现的生态性质有所差异,前者受黄海沿岸水、冷水团以及长江冲淡水影响较大,以温带低盐种类为主,偏温带型;后者主要位于东海中部,各种水系在此交汇,但其紧邻黑潮主干,黑潮暖流对其影响相对较大,因此暖水性较多,而呈偏亚热带近岸型。此两组群春、秋季节在海区分布位置差异,种类更替变化较大,因此本文建议仍将它们区分开来,因为其季节变化能在某种程度上反映海区不同水团的迁移和更替。

从上文分析中可看到,虽然本文采用多元分析方法划分的组群与前人的结果虽有不同,但总体上是相符的,其结果可为今后东、黄海群落划分的研究提供一定的客观依据。

就群落的命名而言,刘红斌等^[19]认为将 24°~30°N 200m 等深线以外的群落命名为黑潮水群落,并将陈清潮提出的沿岸群落中东海南侧部分和混合群落统归为东海沿岸水群落,东海外海群落重命名为东海陆架混合水群落。刘的这种命名方法较好地遵循了生物群落与海区水系相对应的原则。黑潮水在东海的流经左边界一般处于 100m 和 200m 等深线之间,夏、秋季接近 200m 等深线,冬春季接近 100m 等深线^[20],而陆架大部分水域均为多种水系混合的产物。本文调查海区大部分位于 200m 等深线以西,仅在台湾以北小范围区域水深大于 200m(图 1)。林景宏等^[5]根据浮游介形类的分布,亦提出外海群落应为位于 27°N 以南,黑潮主流分布区域,在东海近岸群落与外海群落之间为陆架缘区群落。

综合以上分析结果,本文对所得春、秋两季陆架区浮游动物 5 个组群命名为:南黄海沿岸群落(YNa, YNs),黄海中部群落(YCa, YCs),黄、东海交汇水群落(YEa, YE_s),东海近岸混合水群落(Ma, Ms)及东海陆架高温高盐群落(Ea, Es)。从文中结果还可看到,在秋、春两季,各群落的种类组成及地理分布有所不同,影响它们的重要环境因子也随季节不同而有所差异,这可能受海区内水团的分布及季节推移影响,以及浮游动物不同种类的季节数量变化所致,对此有待于更深入分析环境因子数据及种群变化的规律信息,对陆架区内各群落的季节变化特征进行研究和探讨。

References:

- [1] Section of Planktology, IOCAS, Study on plankton in China Seas. In: *Scientific Reports of "Comprehensive Oceanography Expedition in China Seas"*, Tianjin: Ocean Res. Off. Press, 1977. 8: 1~158.
- [2] Cheng Tsi-Chang and Zheng S Y. Preliminary analysis on the geographical divisions of planktonic Foraminifera of the Yellow Sea and the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1963, 5(3): 207~214.
- [3] Cheng Tsi-chung. The structure of zooplankton communities and its seasonal variation in the Yellow Sea and in the western East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1965, 7(3): 199~204.
- [4] Chen Q C, Chen Y Q and Hu Y Z. Preliminary study on the plankton communities in the southern Yellow Sea and the East China Sea. *Acta. Oceanol. Sin.*, 1985, 2(2): 149~157.
- [5] Lin J H, Chen R X, Guo F F. Ecological of Ostracoda in large-scale range in near seas of China W. Seasonal difference of geographic location community habitat of Ostracoda. *Acta. Oceanol. Sin.*, 1998, 20(5): 109~113.
- [6] Field J G, Clarke K R and Warwick R M. A practical strategy for analysis multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 1982, 8(1): 37~52.
- [7] Burd B J, Nemeč A and Brinkhurst R O. The development and application of analytical methods in benthic marine infaunal studies. *Advances in Marine Biology*, 1990, 26: 169~247.
- [8] Lisa M Kann and Karen Wishner. Spatial and temporal patterns of zooplankton on baleen whale feeding grounds in the southern Gulf of Maine. *Journal of Plankton Research*, 1995, 17(2): 235~262.
- [9] Mouny P and Dauvin J C. Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English Channel). *Oceanologica Acta*, 2002, 25(1): 13~22.
- [10] Ning X, Liu Z and Cai Y. Physicobiological oceanographic remote sensing of the East China Sea; Satellite and in situ observations. *J. Geophys. Res.*, 1998, 103(C10): 21623~21635.
- [11] Su Y S and Weng X C. Watermasses in China Seas. In: Zhou D, et al. ed. *Oceanology of China Seas*. Volume 1. Kluwer Academic Publishers, 1994. 3~16.
- [12] Liu S X, Shen X Q, Wang Y Q, et al. Preliminary analysis of distribution and variation of perennial monthly mean water masses in the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 11(4): 483~498.
- [13] Hur H B, Jacobs G A and Teague W J. Monthly variations of water masses in the Yellow and East China Seas, November 6, 1998. *J. Oceanogr.*, 1999, 55: 171~184.

- [14] China State Bureau of Technical Supervision. *The specification for oceanographic survey*. GB12763. Beijing, China Stand ard press, 6~91, 1991. 1~22.
- [15] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 1957, **27**:325~349.
- [16] Kruskal J B. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a non-metric hypothesis. *Psychometrika*, 1964, **29**(1):1~27.
- [17] Ma Z Y, Liu H, Wang H Q, *et al.* Multivariate analysis of community structure on macrobenthos. *China Environmental Science*, 1997, **17**(4):297~300.
- [18] Shannon C E, Weaver W. *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press, Zhou D, *et al.* ed. 1949. 125.
- [19] Liu H B, He D H, Wang C S. Preliminary study on distributions and communities of zooplankton in the Kuroshio area of the middle-southern East China Sea. In *Essays on the investigation of Kuroshio*, volume 3. Beijing: State Oceanic Adm., 1991, 305~313.
- [20] Miao Y T, Yu H H, He D H, *et al.* Characteristics of water type distribution and seasonal variation in the southern East China Sea. *Marine Science Bulletin*, 1998, **17**(5):1~9.

参考文献:

- [1] 中国科学院海洋研究所浮游生物组. 中国近海浮游生物的研究. 全国海洋综合调查报告, 第八册, 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室编, 1977. 1~158.
- [2] 郑执中, 郑守仪. 黄、东海及邻近水域浮游有孔虫地理区划的初步探讨. *海洋与湖沼*, 1963, **5**(3):207~214.
- [3] 郑执中. 黄海和东海西部浮游动物群落的结构及其季节变化. *海洋与湖沼*, 1965, **7**(3):199~204.
- [4] 陈清潮, 陈亚瞿, 胡雅竹. 南黄海和东海浮游生物群落的初步探讨. *海洋学报*, 1980, **2**(2):149~157.
- [5] 林景宏, 陈瑞祥. 中国近海浮游介形类大尺度生态研究 N. 浮游介形类生态群落与群落结构. *海洋学报*, 1998, **20**(3):109~113.
- [14] 国家技术监督局. 海洋调查规范. GB12763. 北京: 中国标准出版社, 6~91, 1991. 1~22.
- [17] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 等. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析. *中国环境科学*, 1997, **17**(4):297~300.
- [19] 刘红斌, 何德华, 王春生. 东海中南部黑潮区浮游动物分布与群落划分的初步研究. *黑潮调查研究论文选(三)*. 北京: 海洋出版社, 1991. 305~313.
- [20] 苗育田, 于洪华, 何德华, 等. 东海南部水系分布和季节变化特征. *海洋通报*, 1998, **17**(5):1~9.