

夏季南黄海浮游动物的垂直分布与昼夜垂直移动

左 涛^{1,2}, 王 荣¹, 王 克¹, 高尚武¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100038)

摘要:对 2001 年 8 月南黄海青岛外海至济州岛断面, 浮游动物的日垂直变化、断面垂直分布及其与海区水文特征的关系进行了研究。共鉴定浮游动物 40 种。断面浮游动物的平均丰度为 1362 ind/m^3 ; 种类丰富度与暖水种数呈正相关, 分布趋势为测区东部高、西部低; 优势种为中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、拟长腹剑水蚤(*Oithona similis*)、强壮箭虫(*Sagitta crassa*)、近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)。在不同水层, 浮游动物丰度分布不同, 随水深增加而减少, 表层丰度最高 (3221 ind/m^3), 温跃层和底层分别为 743 ind/m^3 、 438 ind/m^3 ; 种类组成也不相同, 表层数量最多的种类为乌喙尖头(*Penilia avirostris*)、温跃层及其以下水体为中华哲水蚤, 其它主要种类亦表现不同水层取向。在连续观测站, 根据浮游动物主要种类的昼夜垂直移动与温跃层关系, 将之分为表层分布, 近温跃层分布, 底层分布及全水层分布 4 种类型。

关键词:浮游动物; 垂直分布; 昼夜垂直移动; 黄海

Vertical distribution and diurnal migration of zooplankton in the southern Yellow Sea in summer

ZUO Tao^{1,2}, WANG Rong¹, WANG Ke¹, GAO Shang-Wu¹ (1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100038, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 524~530.

Abstract: The objective of the present study was to investigate the vertical distribution and diurnal migration of zooplankton and their relation with the hydrographic conditions in the southern Yellow Sea in summer. In August 2001, vertical zooplankton hauls at different layers were made by a closing zooplankton net (mouth diameter 0.8 m, mesh size $330 \mu\text{m}$) at ten stations on a transect from Qingdao to Cheju Island. In summer the research area is characterized by the existence of the Yellow Sea Cold Bottom Water, a bottom pool of the remnant Yellow Sea Winter Water resulting from summer stratification, and a very intense thermocline. The sampling layers were not exactly the same at different stations but determined by the water depth and the position of the thermocline of the individual station. The interval of the sampling layers was about 10–15 m. To find the thermocline, CTD observation was first made at each station. At the 24 hr time-series station vertical hauls at different layers were made every three hours to observe the diurnal vertical migration. All samples were preserved in 5% neutralized formalin seawater solution. Zooplankton species were identified and counted under a dissecting microscope in the lab and their abundance was expressed as individuals per cubic meter.

Forty species were identified. On the transect, zooplankton average abundance was 1362 ind/m^3 , and its species richness increased eastward, and correlated positively with tropical species. *Calanus sinicus*, *Oithona similis*, and *Sagitta crassa*, *Paracalanus parvus*, *Corycaeus affinis* were the most dominant species. Zooplankton density decreased with depth, with a peak (3221 ind/m^3) occurring in the upper layer, in the thermocline (743 ind/m^3) and bottom (438 ind/m^3). *Penilia avirostris* was predominant in the upper layers; and *Calanus sinicus* was dominant below the thermocline. Other species showed different preference for water layers, *Evadne tergestina*, *Doliolum denticulatum*, *Sagitta enflata*, *Lucifer intermedius* occurred at highly

基金项目: 国家科技部重大基础研究(973)资助项目(G1999043707)

收稿日期: 2003-04-01; 修订日期: 2003-07-15

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@ms.qdio.ac.cn

Foundation item: High Priority Research Program(973 Program) of Science and Technology Department of China (No. G1999043707)

Received date: 2003-04-01; Accepted date: 2003-07-15

Biography: ZUO Tao, Ph.D., mainly engaged in marine ecology.

Acknowledgement: We thank Dr. DJ Huang for providing CTD data.

density in the upper layer, but were absent from layers below the thermocline; *Themisto gracilipes* and *Euphausia pacifica* occurred at high density below thermocline, but were absent in the upper layer. At the time-series station, zooplankton were distinguished into four diel vertical migration types on the basis of thermocline location: *D. denticulatum*, *P. avirostris* and *L. intermedius*, *S. enflata* weakly migrating in the upper layer; *S. crassa*, *P. parvus* and *O. similis* migrating near the thermocline; *C. sinicus*, *T. gracilipes* and *E. pacifica* migrating only below the thermocline; *Muggiaea atlantica* migrating in large numbers to the whole water column. From all those results above, the thermocline was suggested to be the most important influence on zooplankton vertical distribution in summer in the Yellow Sea.

Key words: zooplankton; vertical distribution; diurnal migration; Yellow Sea

文章编号:1000-0933(2004)03-0524-07 中图分类号:Q958 文献标识码:A

浮游动物是海洋生态系统中物质、能量转换的关键环节,其种类组成和数量分布均有明显的垂直分层现象。这种垂直分层现象在海洋生源要素循环(如海洋垂直碳通量传递)中起着重要作用。了解、掌握浮游动物垂直分布规律,是海洋生态系统动力机制研究中不可缺少的组成部分。

对浮游动物的垂直分布研究国外已开展很多工作,但针对黄海浮游动物的相关研究不多。已有相关报道中,也以北海黄居多^[1~4],南海黄相应的报道较少^[5]。由于浮游动物的垂直分布具有时间(如昼夜、季节)和空间差异,其分布规律不仅与本身的生态习性和生理变化(如种类、发育期)有关,而且还受外界环境(如饵料、光照、温度和水团)的变化影响^[1],因此,不同海区、季节的浮游动物的组成、垂直分布都有所不同。

本文根据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”2001年8月对黄、东海专项调查所获的资料,对夏季南黄海浮游动物种类组成、垂直分布进行了分析,并探讨了其与海区水文特征的关系,以期能深入了解海区浮游动物垂直分布模式,为黄、东海生态系统的研究提供基本的数据资料。

1 材料与方法

1.1 海域概况

黄海,是太平洋西部的边缘海,平均水深 44m,海区内水团配置复杂,且具有明显的季节性消长。夏季黄海最为突出的水文现象是底层冷水团已形成并处于鼎盛期,水温垂直层化非常明显。除沿岸浅水区外,大部分区域出现了强盛的温跃层。海区内存在多种水团,主要有表层水、底层冷水团、长江冲淡水以及济州岛邻近海域存在的暖流^[6]。

1.2 站位设置和样品采集

2001年8月11~15日黄海水产研究所“北斗”号渔业资源综合考察船,对青岛外海至济州岛断面(东经 121°00′~125°30′,北纬 33°~36°)进行调查。该断面共设 10 个站位(图 1),每个站位均先用 SBE19 型-CTD 垂直测定温、盐等水文后,再进行生物采样。测站水深变化范围为 30~85m,断面底表温、盐度差分别为 10.9~17.8℃、1.1~7.4psu。根据温度梯度 $>0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$,确定各站位温跃层^[7],如图 2 所示。其中站位 1-7(124°00′E,34°15′N)底、表温差大(图 3),温跃层位于水深 16~38m 处,该站生物种类、数量较丰富,设为浮游生物连续观测站,24h 内每隔 3h 进行一次生物采集。浮游动物样品是用改进过的大型浮游动物网(网长 2.8m,网目 330 μm ,网口面积 0.5m²,附闭锁装置)在每个站位垂直分层拖网采集获得。采集水层基于标准水层^[8]设置,部分站位依据现场测定的温度垂直分布情况进行了适当调整。获取的浮游动物样品立即固定(5% 甲醛海水溶液)、保存。

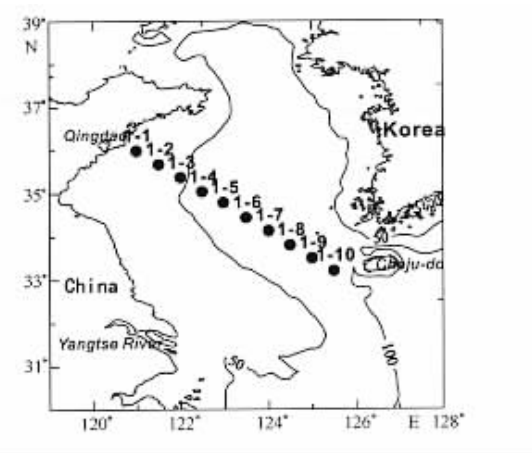


图 1 调查海区及站位分布图

Fig. 1 Map of research area and the sampling stations

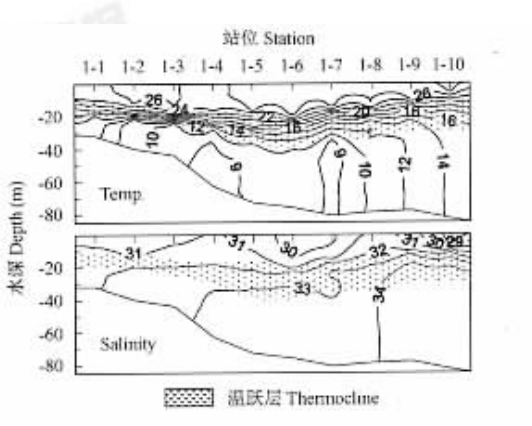


图 2 断面温度(℃)和盐度(psu)垂直分布

Fig. 2 Temperature (°C) and salinity (psu) profiles along the transect

1.3 数据处理

样品在实验室内镜检、分类、计数,换算为各种类的丰度值(abundance, ind/m³)。浮游动物丰度分布水层中心位置计算公式: $\Sigma(A_i D_i) / \Sigma A_i$, A_i 为第 i 水层浮游动物丰度; D_i 为水层水深^[9]。本文 D_i 取各采集水层的水深中点值。

测站的多样性水平采用 Margalef 丰富度指数^[10]来确定,丰富度指数公式 $D = S - 1/(\log N)$, S 为种数, N 为总丰度。

比较不同种类的优势程度采用等级指数(rank),即将浮游动物按照其丰度排定等级,计算各自等级均值后进行排序^[11, 12]。等级值越大,说明该种类出现率及丰度水平越高,优势度也较高。

2 结果

2.1 测区物种组成

共鉴定 40 种,隶属于 6 门、11 纲、14 目、25 科。表 1 列出主要的 10 类浮游动物(尾索动物又称被囊动物)以及各类中数量较

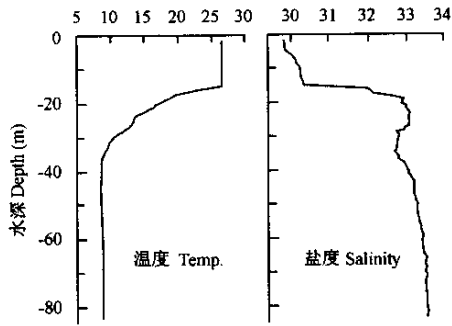


图 3 连续站 1-7 温度(°C)和盐度(psu)垂直分布

Fig. 3 Vertical profiles of temperature (°C) and salinity (psu) at time-series station 1-7

表 1 浮游动物种类组成

Table 1 Abundance and species number of zooplankton taxa and its dominant species along the transect			
类群 Taxa	种类数 Species	丰度 Abundance	代表种类 Dominant species
原生动物门 Protozoa	1	284	夜光虫 <i>Noctiluca scintillans</i>
刺胞动物门 Coelenterata	2	0.43	五角水母 <i>Muggiaca atlantica</i> , 四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i>
栉水母动物门 Ctenophora	2	0.02	球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> , 瓜水母 <i>Beroe cucumis</i>
节肢动物门 Arthropoda			
甲壳纲 Crustacea			
枝角类 Cladocera	2	221	肥胖三角 <i>Evadne tergestina</i> , 鸟喙尖头 <i>Penilia avirostris</i>
桡足类 Copepoda	24	362	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> , 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> , 拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i>
端足类 Amphipoda	1	0.37	细长脚 <i>Themisto gracilipes</i>
磷虾类 Euphausiacea	1	3.14	太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>
十足类 Decapoda	1	1.9	中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>
毛颚动物门 Chaetogantha	3	31	强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i> , 肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>
尾索动物门 Urochorda	3	457	小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>

多(相对丰度>1%)的种。出现种中,除常见的温带种如中华哲水蚤,强壮箭虫,太平洋磷虾外,还包括许多暖水种,如芦氏真刺水蚤(*Pareuchaeta russelli*)、尖刺唇角水蚤(*Labidocera acuta*)、角锚真哲水蚤(*Rhincalanus cornutus*)、肥胖箭虫。但暖水种数量较少,仅在济州岛附近的站位出现。

2.2 断面浮游动物垂直分布

2.2.1 总丰度和多样性分布 断面浮游动物平均丰度为 1362 ind/m³。被囊类、原生动物和桡足类、枝角类占浮游动物总丰度的 90%,是浮游动物数量组成的主要类群。其它类群数量稀少,不超过 10%。从断面丰度分布图(图 4)来看,数量密集区大多位于各站位表层,且随水深增加丰度逐渐减少。各水层丰度依次为:表层 3221 ind/m³,温跃层 743 ind/m³,底层 438 ind/m³。不同水层间,浮游动物丰度差异显著(多元方差分析, $F = 5.09$, $P = 0.006 < 0.05$),不同站位间、种类间的丰度差异不显著。

种类丰富度是反映种类多样性的指标。浮游动物种类丰富度分布与丰度分布走向,东部近济洲岛的站位丰富度较高,西部则偏低(图 4)。站位间的种类丰富度差异显著($F = 5.05$,

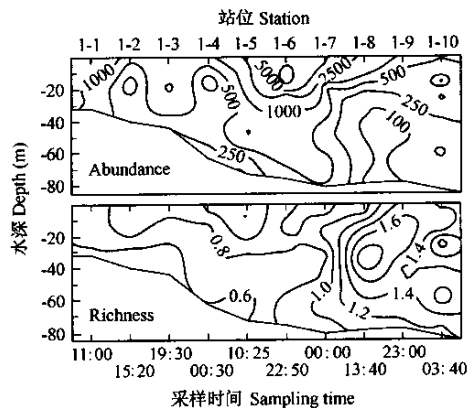


图 4 浮游动物种类丰度(ind/m³)和丰富度在断面上的垂直分布
Fig. 4 Vertical profile of zooplankton species abundance(ind/m³) and richness along the transect

$P=0.002<0.05$), 水层间差异不显著 ($F=0.16, P=0.85>0.05$)。种类丰富度与暖水种数呈正相关 ($R=0.71, P<0.001$)。

2.2.2 不同水层浮游动物组成 表2列出了根据等级指数大小排序, 得到各水层的前10种优势种类。各种类中, 中华哲水蚤、小拟哲水蚤和近缘大眼剑水蚤、拟长腹剑水蚤、强壮箭虫虽在不同水层中等级指数有所差异, 但仍为各水层共有的优势种。另外, 表层水体优势种还包括鸟喙尖头蚤 (*Penilia avirostris*)、肥胖三角蚤 (*Evadne tergestina*) 及小齿海樽 (*Doliolum denticulatum*)、肥胖箭虫、中型莹虾 (*Lucifer intermedius*) 等, 以鸟喙尖头蚤等级指数最高。温跃层与温跃层以下水体种类组成相似, 等级指数最高为中华哲水蚤, 另有双刺纺锤水蚤 (*Acartia bifilosa*)、海龙箭虫 (*Sagitta nage*) 和太平洋磷虾, 温跃层内优势种还包括鸟喙尖头蚤、小齿海樽。

浮游动物不同类群在各水层的数量分布不尽相同。比较各主要种类在不同水层的数量百分比组成 (图5), 可发现: 夜光虫、瓜水母 (*Boreoe cucumis*)、鸟喙尖头蚤和中型莹虾、小齿海樽以及肥胖箭虫主要分布于温跃层以上水体, 少量出现在温跃层; 太平洋磷虾和细长脚蚱则主要分布于温跃层以下水体, 表层未有出现; 其它种类在整个水体中都有出现, 但密集区的分布水层随种类而异, 小拟哲水蚤的密集区为表层, 五角水母则位于温跃层, 中华哲水蚤、拟长腹剑水蚤为位于温跃层以下水体, 强壮箭虫在整个水层分布相对均匀, 但温跃层百分比略高。

2.2.3 暖水种在断面分布 海区出现较多暖水种, 但数量少, 平均丰度为 0.02 ind/m^3 , 仅占断面浮游动物总数的2.5%, 数量最多的种为肥胖箭虫 (总丰度 15 ind/m^3)。断面暖水种总体分布趋势可归为: 自东向西种类数逐渐减少 (最西可至1-5站), 分布的水层也逐渐趋向表层; 邻近济州岛的站位 (1-10、1-9和1-8) 暖水种呈全水层分布, 数量也较多, 偏黄海中部的1-5及1-6站种类和数量较少, 且只在表层出现; 站位1-5以东则无暖水种出现 (图6)。分析各站位的暖水种类组成, 发现狭高温高盐暖水种芦氏真刺哲水蚤、角锚真哲水蚤和普通波水蚤 (*Undinula vulgaris*) 等多出现于1-10、1-9和1-8站, 1-7站也有个别种类出现。站位1-5和1-6暖水种仅由肥胖箭虫和宽水蚤属的种类组成。

2.3 昼夜垂直移动

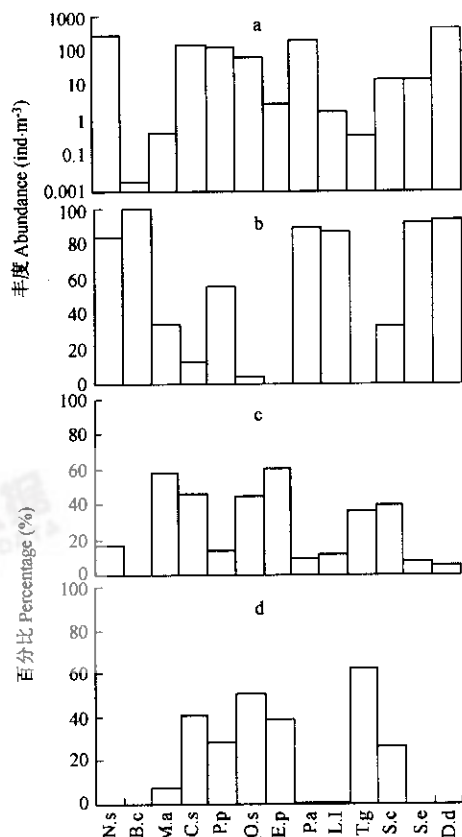
2.3.1 总丰度的昼夜分布 连续站1-7浮游动物平均丰度为 1986 ind/m 。图7为不同时间浮游动物在各水层相对丰度分布。由图可见, 无论白天、夜晚, 浮游动物的数量主要集中于20m以上水层, 该水层浮游动物丰度占站位总丰度的70%以上; 浮游动物在各水层数量日变化为: 在表层 ($>10\text{m}$), 3:00和18:00数量百分比最高, 正午和入夜后时数量较低 ($<65\%$); 温跃层附近水层则以入夜后浮游动物相对数量最高; 40~60m水层浮游动物相对数量最少, 其平均百分比仅为2.8%; 但60m以下水层, 浮游动物的数量在正午和午夜时有所增加, 数量百分比可达10%左右。

2.3.2 浮游动物的昼夜垂直移动 图8为1-7站出现的浮游动

表2 不同水层浮游动物主要种类平均等级 (rank)

Table 2 Average ranks of dominant zooplankton species in the different water layers

种类 Species	表层 Upper layer	温跃层 Thermocline	底层 Bottom layer
鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	7.90	1.90	0.00
肥胖三角蚤 <i>Evadne tergestina</i>	2.85	0.00	0.00
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	7.55	9.90	9.55
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	7.50	7.50	8.13
双刺纺锤水蚤 <i>Acartia bifilosa</i>	0.00	4.75	4.78
拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i>	0.30	6.10	7.03
近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i>	2.70	0.85	2.83
太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	0.00	0.40	1.45
中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	0.50	0.00	0.00
强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	3.70	7.55	7.12
肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	2.85	0.00	0.00
海龙箭虫 <i>Sagitta nage</i>	0.00	0.00	0.45
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	3.65	1.20	0.00



N.s *N. scintillans*; B.c *Boreoe cucumis*; M.a *M. atlantica*; C.s *C. sinicus*; P.p *P. parvus*; O.s *O. similis*; E.p *E. pacifica*; L.i *L. intermedius*; T.g *T. gracilipes*; S.c *S. crassa*; S.e *S. enflata*; D.d *D. denticulatum*

图5 浮游动物主要种类在不同水层数量百分比组成

Fig. 5 Percentage compositions of zooplankton dominant species abundance in different water layers

a 总丰度 total abundance; b 表层 upper layer; c 温跃层 thermocline; d 底层 bottom layer

物主要类群代表种类的分布中心日垂直变化。栉水母、夜光虫仅个别时间采到,数量极少,故未列出。

根据浮游动物昼夜垂直移动的分布中心与温跃层的相对位置变化,将出现的主要种分为 4 类:第 1 类型移动幅度小,分布中心主要位于表层或温跃层以上水层。有小齿海樽、鸟喙尖蚤、中型莹虾和肥胖箭虫。其中肥胖箭虫移动幅度较大,可至水深 26m。

第 2 类型浮游动物主要分布于温跃层及其附近水层,但其分布中心主要位于跃层上、下限内。如强壮箭虫、小拟哲水蚤和拟长腹剑水蚤。强壮箭虫和拟长腹剑水蚤主要分布于 30~40m,有时可穿过温跃层下限。小拟哲水蚤主要位于 30m 水层,黄昏上升幅度大可至表层 10m 处。

第 3 类型为主要位于底层或温跃层以下的浮游动物,包括细长脚蚰、太平洋磷虾和中华哲水蚤。细长脚蚰分布的平均水深为 57m,移动节律为午后、夜晚下沉,黄昏和黎明时上升,可至温跃层下限。太平洋磷虾白天(午时未采集到)和夜间分布水层分别为 70m、55m 左右,其昼夜间水层的转换主要是通过入夜前(18:00~21:00)上升来实现的。中华哲水蚤分布中心则主要位于 60m 以下水层,黄昏时上升近温跃层下限,入夜后又开始回落。

第 4 类型为全水层分布,仅有五角水母。该类浮游动物表现较明显的“昼出夜伏”移动节律,白天从温跃层上升至表层,夜晚穿过温跃层下降至水深 46m,黎明时再升至温跃层。

3 讨论

综上所述,夏季南黄海浮游动物垂直分布的总体特征为:随水深的增加,浮游动物数量和种类减少,表层水体浮游动物无论数量还是种类的多样性均高于其它水层;海区主要优势种为中华哲水蚤、小拟哲水蚤和拟长腹剑水蚤、强壮箭虫;测区的东部站位,还出现许多暖水种类。各种类在海区垂直分布格局为:小齿海樽、夜光虫和鸟喙尖头蚤、中型莹虾以及栉水母类主要分布于表层,其它水层很少甚至没有;细长脚蚰和太平洋磷虾则主要位于底层,表层基本不出现;刺胞类水母、毛颚类和桡足类在各水层均有分布,前两类在上、中层水体数量较多,后者在各水层的分布依其具体种类而异。上述浮游动物垂直分布模式与海区水文特征有密切的关系。

浮游动物具有昼夜垂直移动的特点,分布的水层因时间而异,断面各站位采样时间不同(图 4)可能会对本文研究结果带来不确定的影响。但从结果“2.3.2”可看出大多数浮游动物类群垂直移动幅度不大、分布的水层较为稳定,同一水层中,浮游动物种类组成与数量分布昼、夜间的差异并不显著。因此调查中站位采样时间的不一致,对了解浮游动物在断面垂直分布并不会造成负面影响。另外,从结果“2.2.1”来看,浮游动物种类间、站位间的数量差异并不显著,而主要是表现在不同水层间的差异。总体上来看,各类群在断面的分布水层与其昼夜垂直移动分布的水层也是基本一致的。

影响浮游动物昼夜垂直移动的因素很多,对其类型的划分依据也各异,主要有移动幅度大小、移动时间^[1]和分布的水层^[13,14],也有综合以上因素进行划分。本文主要参照 Hansen^[13]的方法,对所出现的主要类群进行划分,以便于更好地理解浮游动物垂直移动与温跃层的关系。

文中“1.1”曾指出夏季南黄海存在着强盛的温跃层,而众多研究证实,温跃层对浮游动物的垂直分布具有阻隔作用^[1]。温跃层的水温变化梯度太大,很少种类能穿过温跃层上下移动^[15]。以中华哲水蚤为例,在夏季,南黄海中华哲水蚤无论是昼夜垂直移动,还是断面垂直分布,其密集区都位于温跃层以下水体。而在东海陆架区 4 月份(无温跃层,水深 85m)中华哲水蚤的垂直分布主要分布在上层水域,午时密集区可至 0~10m 水层,秋季则表现为全水层分布^[16]。在昼夜垂直移动中,很多类群分布中心只位于温跃层以上或底层,显然是受了温跃层的阻碍影响所致。

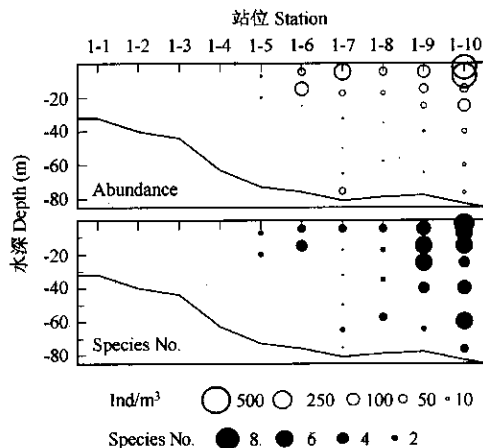


图 6 暖水种丰度(ind/m³)和种数的断面分布

Fig. 6 Abundance (ind/m³) and species number distribution of tropical species along the transect

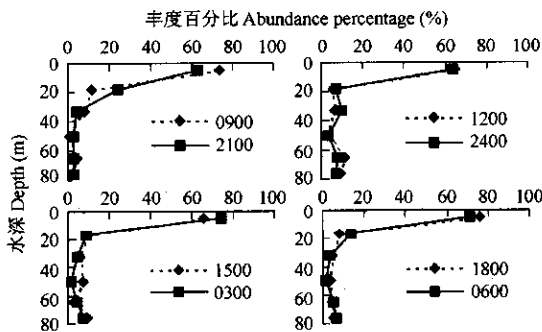


图 7 连续站 1-7 浮游动物相对丰度百分比(水层丰度/总丰度)在不同水层的日变化

Fig. 7 Diel vertical profiles of zooplankton relative abundance percentage at time series station 1-7

在许多海区,温跃层及其跃层以上水层的水体浮游动物种类、数量均较其它水层更为丰富^[15],夏季南黄海也是如此^[17]。这可能与水体温度、叶绿素和溶解氧的分布等有关^[18]。由于温跃层的阻隔作用,上层水体温度高,叶绿素 a、溶解氧在温跃层附近形成“中层最大值”^[19, 20],浮游植物也大多分布于此,而浮游动物以植食性居多,其数量与浮游植物分布有很大关系^[21]。因此,浮游动物趋向于上层饵料丰富的水体中分布,这样也利于种群的数量增加。另外,在温跃层明显的区域,较易形成盐跃层,如站位 1-7(图 3)。Laurence 在实验室中培养不同种类浮游动物时,发现盐跃层的存在对小型的浮游动物垂直分布具有较大的影响^[22]。因此,在夏季南黄海,浮游动物的垂直分布还可能受到盐跃层的影响。

夏季南黄海不仅出现温跃层,而且还有多种温、盐性质各异的水团存在。这些水团对浮游动物的垂直分布也有着重要影响。如在站位 1-4 至 1-7 底层水温不超过 10℃,盐度<34psu 的区域,可认为是黄海冷水团影响范围^[23],偏冷水性的种类细长脚、中华哲水蚤和双刺纺锤水蚤、太平洋磷虾的数量中心多分布于此域;而一些低盐种类如枝角类、夜光虫以及被囊类等则主要分布于表层水。另有比较重要的现象是,调查断面出现较多的暖水种类,以广布性的暖水种肥胖箭虫数量最多。由于肥胖箭虫的分布与水温有密切关系^[24],而夏季黄海,肥胖箭虫数量增加、分布范围扩展,可至黄海中部表层,这可能是由于夏季黄海表层水温升高,形成了适宜肥胖箭虫的生境,使之在黄海的分布范围有所扩增。而高温高盐性暖水种如芦氏真刺水蚤,分布范围很窄,只在测区东南角出现,如站位 1-9 和 1-10。这可能是由于在夏季,黄海偏北季风弱和水层垂直分化明显情况下,东海的北向暖流在济州岛附近即转向东北、并不能进入黄海,但暖流本身可能会与黄海东南角的海水进行小范围交换、从而带来一些狭布性的高温高盐的暖水种。

References:

[1] Cheng Z, Cheng Z Z, Wang R, et al. Ecological investigations on the zooplankton of the mackerel fishing ground off Yantai-Weihai and adjacent waters. *Oceanologica et Limnologia Sinica*, 1965, 7(4): 329~354.

[2] Li K K, Hwang S M. The vertical distribution of some zooplankton off Cheefoo and Weihai, China. *Acta. Shandong Oceanographica Institute*, 1964, (1): 106~127.

[3] Wang Z L, Liu X D. A preliminary research on the diel vertical migration of zooplankton in North Huang Hai (Yellow Sea). *Journal of oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1989, 7(4): 50~54.

[4] Liu X D, Wang Z L. Preliminary studies on the diel vertical migration of *Calanus sinicus* (nauplius-adult) larvae at every stage in the North Huanghai Sea. *Acta oceanologica sinica*, 1991, 13(2): 247~254.

[5] Wang K, Wang R, Zuo T. Diurnal vertical migration of zooplankton in the spawning ground of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the southern Yellow Sea. *Oceanologica et Limnologia Sinica*, 2002, (supply): 129~136.

[6] Lie Heung-Jae. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghai. *Prog. Oceanogr.*, 1986, 17: 229~242.

[7] Zhao B R. Basic characteristics and forming mechanism of the sharp thermocline in the Bohai Sea, Huanghai Sea and northern East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, 11(4): 401~410.

[8] China State Bureau of Technical Supervision. The specification for oceanographic survey. GB12763. 6-91, 1991. 1~22.

[9] Anderson V, Sarcou J. The diel migrations and vertical distributions of zooplankton and micronekton in the Northwestern Mediterranean Sea 1. Euphausiids, mysids, decapods and fishes. *J. Plankton Res.*, 1992, 14(8): 1129~1154.

[10] Margalef R. Information theory in ecology. *General Systems Yearbook*, 1958, 3: 36~71.

[11] Loya-Salinas, Escofet D H Y. Contribution to the calculation of the Biological Value Index (Sanders, 1960). *Ciencias Marinas*, 1990, 16(2): 97~104.

[12] Fager E W. Determination and analysis of recurrent groups. *Ecology*, 1957, 38(4): 586~595.

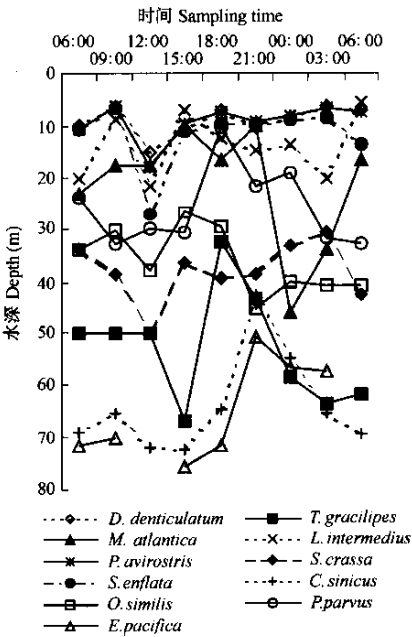


图 8 连续站 1-7 浮游动物分布中心昼夜垂直变化

Fig. 8 Diurnal vertical variations of zooplankton distribution centers at the time series station 1-7

[13] Hansen K V. On the diurnal migration of zooplankton in relation to the discontinuity layer. *Jour. Du. Conseil*,1951,**17**(3):231~241.

[14] Saltzman J,Wishner K F. Zooplankton ecology in the eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone above a seamount 2. Vertical distribution of copepods. *DEEP-SEA RES. (1 OCEANOGR. RES. PAP.)*. 1997,**44**(6):931~954.

[15] Fragopoulo N,Lykakis J J. Vertical distribution and nocturnal migration of zooplankton in relation to the development of the seasonal thermocline in Patraikos Gulf. *Marine biology*,1990,**104**(3):381~387.

[16] Wang K,Wang R,Gao S-W. Preliminary study on the diurnal vertical migration of zooplankton in the East China Sea. *Oceanologica et Limnologia Sinica*,2001,**32**(5):534~540.

[17] Bao Q H,Cai X Y. Acoustic scattering from thermocline in the Yellow Sea and its relation with the vertical distribution of plankton. *Acta Oceanologica Sinica*,1995,**7**(5):59~64.

[18] Scrope-Howe S,Jones D A. The vertical distribution of zooplankton in the western Irish Sea. *Estuarine,Coastal and Shelf Science*,1986,**22**(6):785~802.

[19] Li B H,Fu K C,Zeng X Q. The distribution characteristics of Chlorophyll-a in later summer in the southern Yellow Sea area. *Oceanologica et Limnologia Sinica*,1999,**30**(3):300~305.

[20] Wang B D. Formation mechanism of maximum value in vertical distribution of dissolved oxygen in the Yellow Sea. *J. Oceanogr. Huanghai Bohai Seas*,1997,**15**(3):10~15.

[21] Harris R P. Interactions between diel vertical migratory behavior of marine zooplankton and the subsurface chlorophyll maximum. *Bulletin of Marine Science*,1988,**43** (3):663~674.

[22] Laurence A L,Stephen M B and Sean R A. The effects of haloclines on the vertical distribution and migration of zooplankton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*,2002,**278** (2):111~134.

[23] Hur H B,Jacobs G A,Teague W J. Monthly variations of water masses in the Yellow and East China Seas, November 6, 1998. *Journal of Oceanography*,1999,**55**(2):171~184.

[24] Lin Y R. Distribution of the chaetognatha over the continental shelf of the east China Sea. *Studia Marina Sinica*,1982,**19**:51~63.

参考文献:

[1] 郑重,郑执中,王荣,等. 烟、威鲈鱼渔场及邻近水域浮游动物生态的初步研究. *海洋与湖沼*,1965,**7**(4):329~354.

[2] 李冠国,黄世玫. 烟、威鲈鱼渔场及邻近水域浮游动物的昼夜垂直分布. *山东海洋学院学报*,1964,(1):106~127.

[3] 王真良,刘晓丹. 北黄海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究. *黄渤海海洋*,1989,**7**(4):50~54.

[4] 刘晓丹,王真良. 北黄海中华哲水蚤各期幼体昼夜垂直移动的初步研究. *海洋学报*,1991,**13**(2):247~254.

[5] 王克,王荣,左涛. 南黄海 鱼产卵场浮游动物昼夜垂直移动研究. *海洋与湖沼*,2002,(增刊):129~136.

[7] 赵保仁. 渤、黄海及东海北部强温跃层的基本特征及形成机制的研究. *海洋学报*,1989, **11**(4):401~410.

[8] 国家技术监督局. 海洋调查规范. GB12763. 6~91, 1991. 1~22.

[16] 王克,王荣,高尚武. 东海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究. *海洋与湖沼*,2001,**32**(5):534~540.

[17] 包青华,柴心玉. 黄海温跃层声散射与浮游生物垂直分布的关系. *海洋学报*,1995, **7**(5):59~64.

[19] 李宝华,傅克付,曾晓起. 南黄海夏末叶绿素 a 的分布特征. *海洋与湖沼*,1999,**30**(3):300~305.

[20] 王保栋. 黄海溶解氧垂直分布最大值的成因. *黄渤海海洋*,1997,**15**(3):10~15.

[24] 林雅蓉. 东海陆架区毛颚动物的分布. *海洋科学集刊*,1982,**19**:51~63.