

东海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究*

王 克 王 荣 高尚武

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 于 1994 年 4 月(春季)和 11 月(秋季)在东海 410 站($124^{\circ} 59' E$, $29^{\circ} 32' N$, 水深 85m)对浮游动物的昼夜垂直移动变化规律进行 24h 定点连续观测。结果表明,春季和秋季浮游动物总数量的昼夜垂直移动变化均不明显,其数量主要分布在 0—10m 的表层水域;在桡足类的优势种中,个体较大的中华哲水蚤第 V 期和成体、精致真刺水蚤,以及磷虾类的中华假磷虾和太平洋磷虾等,其昼夜垂直移动比较明显。而一些个体较小的种类,如小拟哲水蚤、近缘大眼剑水蚤和其他种类的幼体、被囊类的优势种长尾住囊虫等,无论是在春季还是在秋季,它们的昼夜垂直移动均不明显,主要集中在 0—10m 的表层水域。

关键词 东海 浮游动物 昼夜垂直移动

中图分类号 Q958.885.3

浮游动物的昼夜垂直移动变化是一个复杂的过程,受到很多的内、外因素的影响。关于此方面的研究已经有许多报道(郑重等, 1984; 郑重, 1986; 陈清朝等, 1978; 许振相等, 1985)。近来的研究又把它与海洋 C 通量及浮游动物的种群变动和摄食节律等紧密地结合起来(王荣等, 1997; 李超伦等, 2000; 张武昌等, 2000; Wang *et al.*, 1998), 为今后的深入研究提供了一条新的途径。本文以东海 410 站浮游动物的主要优势种为代表, 研究浮游动物的昼夜垂直移动, 以期了解其基本规律, 并为研究东海陆架边缘海洋碳通量的垂直变化及生物生产过程提供参考。

1 材料与方法

1994 年 4 月 19—20 日(春季)和 11 月 10—11 日(秋季), 在执行 JGOFS 中国计划“东海陆架边缘海洋通量研究”中, 由“科学 1 号”调查船在东海进行了两个航次的调查, 在 410 站($124^{\circ} 59' E$, $29^{\circ} 32' N$, 水深 85m) 漂泊 24h, 用标准大网(网口直径为 80cm, 网全长 270cm, 筛绢网目为 36GG), 严格按照海洋调查规范进行垂直分层拖网(国家海洋局, 1975; 我国专属经济区和大陆架勘测专项生物资源调查项目技术专家组, 1997)。水层分别为 0—10、10—25、25—50、50—85m, 每隔 3h 进行一次。采集的浮游动物标本用甲醛溶液固定(最后浓度 5%), 在实验室进行样品分析。每瓶样品取样 10%—100%, 视标本浓度而定, 放于计数槽中, 在解剖镜下分类鉴定计数, 然后进行统计和作图。作图采用相对数量来表示浮游动物各水层的昼夜垂直移动变化, 即全水柱的总

* 国家自然科学基金重点资助项目, 49636210 号。王 克, 男, 出生于 1958 年 9 月, 工程师, E-mail: ke. wang@yeah.net

个数为 100%, 以便比较和讨论。另外, 在 410 站进行定点连续观测时, 虽系漂泊作业, 但船仍不时开动主机保持站位, 因此浮游动物不均匀分布造成的偏差是可能存在的, 这也是

本文采用相对数量的原因。数量密度分布中心用 d (单位: m) 表示, $d = \frac{\sum d_i \times S_i}{\sum S_i}$, 其

中, d_i 为水层 i 的中间深度, S_i 为该层相对数量。

2 结果

2.1 浮游动物总数量的昼夜垂直移动

从图 1a 中可以看出, 春季浮游动物总数量 (ind/m^3) 主要分布在 25m 以上, 且有明显的垂直移动, 其总数量的 50% 以上在大部分时间里密集于 0—10m 的表层水域。从计数及统计结果可以看出, 它的数量密度分布中心恰恰就在 10—25m 水层(图 2a), 其垂直移动过程为上午 9:00 左右开始上升, 中午至 15:00 逐渐达到最高峰, 约有 65% 的数量集中于 0—10m 的表层水域, 傍晚数量开始稍微下降, 21:00 后又重新回升。这一上移过程可一直持续到次日凌晨 3:00, 以后则迅速开始下降, 且下降幅度相对较大。需要说明的是, 在底层浮游动物的个体一般比较大。在秋季, 浮游动物总数量的昼夜垂直移动变化规律不是十分明显(图 1b), 但从图 2a 中可以看出其秋季数量密度分布中心的变化, 其昼夜垂直移动规律与春季略有不同。因此, 浮游动物总数量的昼夜垂直移动, 在春季和秋季的 24h 里出现了两次时间相反的升降过程。

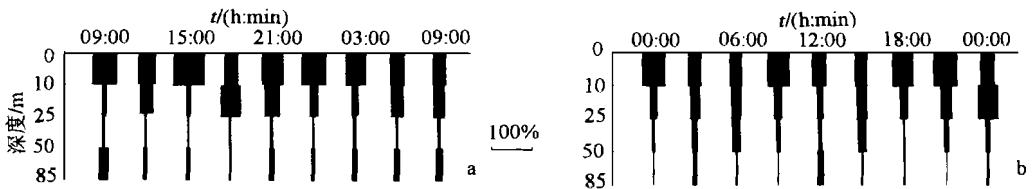


图 1 东海 410 站浮游动物总数量的昼夜垂直移动

Fig. 1 Diurnal vertical migration of total zooplankton at station 410 in the East China Sea

a. 春季 (spring); b. 秋季 (autumn)

2.2 桡足类的昼夜垂直移动

单从种类上看, 哲水蚤为我国近海浮游桡足类中的优势种(陈清朝, 1964), 如: 中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 的第 V 期和成体, 精致真刺水蚤 (*Euchaeta concinna*) 等个体较大、游泳能力相对较强的种类, 其昼夜垂直移动规律比较明显。从图 3a 中可以看出, 中华哲水蚤在春季以上层水域分布为主, 也是呈现白天上升, 中午至 15:00 数量达到最高峰, 且大量密集在 0—10m 的表层水域, 傍晚则部分下降, 晚上 21:00 重新回升, 午夜后表层水域分布数量可达 70% 左右, 凌晨 6:00 又重复下降, 上午 9:00 以后再次回升。从图 2b 上看, 在春季, 它的数量密度分布中心相对稳定在 10—25m 水层; 而在秋季, 它的垂直移动明显, 数量较少, 其数量密度分布中心从 0—50m 水层均有出现, 它的昼夜垂直移动变化幅度要远远大于春季, 结果是从 9:00 至 15:00 大量分布在 0—10m 的表层水域, 而底层没有分布(图 3b), 中午垂直上移的数量达全天最高峰, 约占 86%, 傍晚则迅速下降, 凌晨 3:00 相对

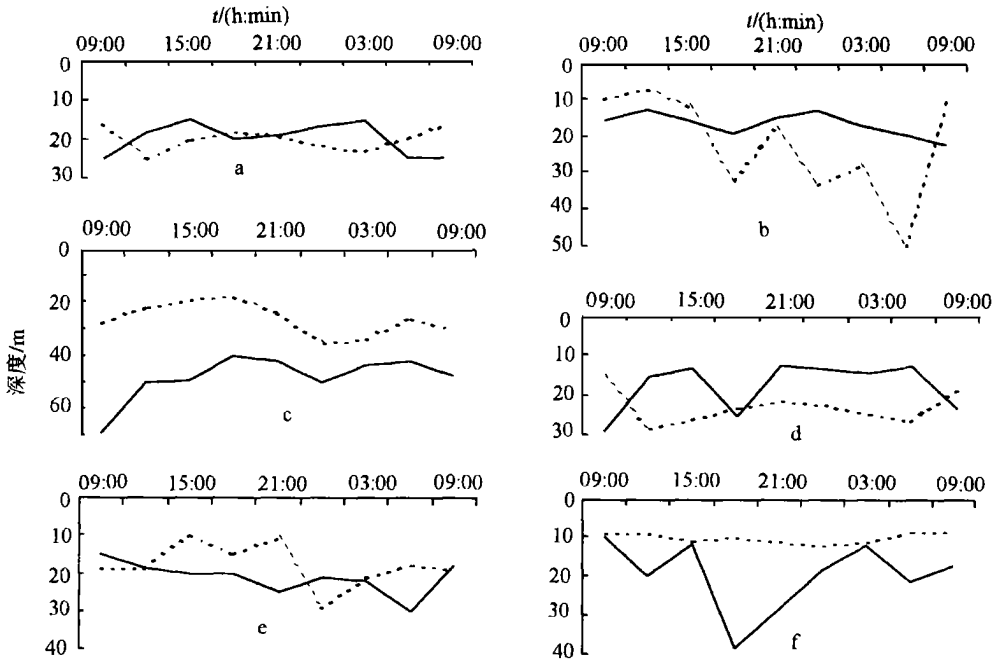


图 2 东海 410 站浮游动物数量密度分布中心(ind/m³)

Fig. 2 The density distribution center of zooplankton at station 410 in the East China Sea

- a. 浮游动物总数量(Total number of zooplankton); b. 中华哲水蚤(*Calanus sinicus*); c. 精致真刺水蚤(*Euchaeta coronata*); d. 小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*); e. 中华假磷虾(*Pseudaphausia sinica*)和太平洋磷虾(*Ephausia pacifica*); f. 长尾住囊虫(*Oikopleura longicauda*)
- 春季 (spring);秋季 (autumn)

密集于 10—50m 水层,早晨 6 00 前后全部下降到 25m 以下的水层,其下降幅度最大,底层数量分布也最多,它的数量密度分布中心可到达 50m 水层(图 2b)。

精致真刺水蚤属暖水性的广温性近岸种(郑重, 1987),因其个体较大,故游泳能力较强。在春季,由于水温较低,它以底层分布为主,除午夜外,在 0—10m 的表层水域几乎没有出现(图 3c),上午大量分布于 50m 以下水域,可占总数的 95% 以上,中午前后稍微上升,傍晚逐渐上升到 10—25m 的表层水域,而大部分则下降到 50m 以下水域,从凌晨 3: 00 至 6: 00,则主要分布在 25—50m 的中层水域,上午再重新下降回到底层。从图 2c 中可以看出,精致真刺水蚤在春季里的数量密度分布中心相对来说要比其他种类所处的水层要深,在 35m 以下水层,最深可达近 70m。在秋季,它的数量密度分布中心相对上移,在约 15—35m 之间,其昼夜垂直移动变化规律在时间上类似春季,即上午开始上移,下午至傍晚大量密集在 25m 以上水层,晚 21: 00 开始迅速下降,午夜以后大量分布在 25m 以下水层,且 50m 以下的底层数量分布较大,早晨 6 00 又重新回升,上午继续上移。需要指出的是:在秋季里,由于水温较高且上下水层温度变化很小,精致真刺水蚤在 0—10m 的表层水域均有分布(图 3d),这一点与春季有所不同,但它们的 24h 昼夜垂直移动升降过程均为 2 次。

有些小型桡足类,如:小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus cf-finis*)及其他种类的幼体,由于游泳能力相对较弱,故其昼夜垂直移动幅度变化较小。小拟哲水蚤就是这种以上层分布为主的典型代表。在春季,它的数量多密集在 0—10m 的

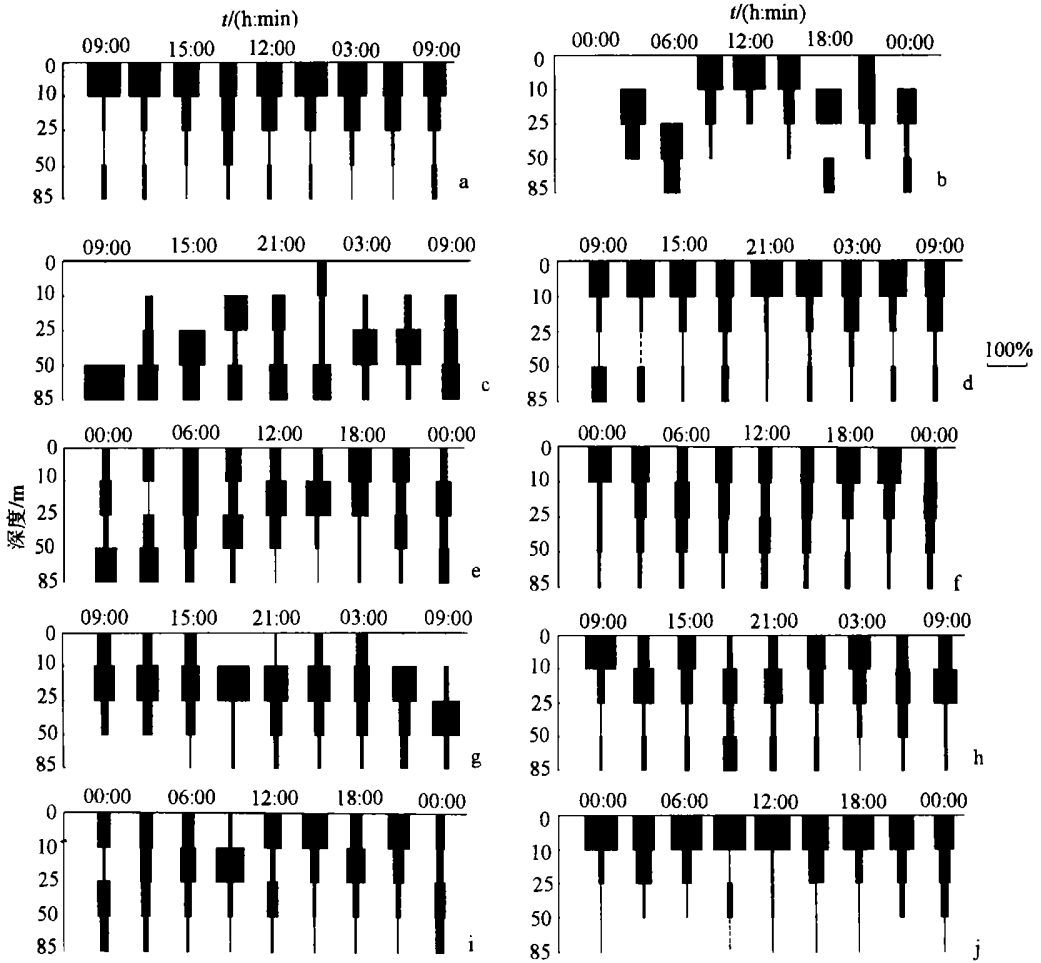


图 3 桡足类、磷虾类和被囊类的昼夜垂直移动

Fig.3 Diurnal vertical migration of *Copepods*, *Euphausiacea* and *Tunicata*

- a. 中华哲水蚤(春季); b. 中华哲水蚤(秋季); c. 精致真刺水蚤(春季); d. 精致真刺水蚤(秋季);
- e. 小拟哲水蚤(春季); f. 小拟哲水蚤(秋季); g. 中华假磷虾和太平洋磷虾(春季);
- h. 中华假磷虾和太平洋磷虾(秋季); i. 长尾住囊虫(春季); j. 长尾住囊虫(秋季)

表层水域(图 3e), 上午呈上升趋势, 中午表层数量达到最高峰, 傍晚则迅速下降, 晚上 21:00 又重新回升到 0—10m 的表层水域, 出现第二个数量高峰, 持续到凌晨 3:00 再次下降, 早晨 6:00 又再次回升, 形成一天中的第三个数量高峰后则大幅度下降; 它的数量密度分布中心一般在 > 10—25m 水层(图 2d)。而秋季, 它的数量密度分布中心大约比春季平均要深 10m, 呈现出白天下降, 中午达最低值, 其中约有 20% 左右的数量可下降到 50m 以

下的底层水域(图 3f),傍晚开始迅速上升,午夜大量上升到 0—10m 的表层水域,而后半夜开始重新下降,早晨 6:00 至上午 9:00 前后又形成第二个数量高峰。从图 2d 中看,小拟哲水蚤春秋季节昼夜垂直移动变化规律基本相反。

2.3 磷虾类的昼夜垂直移动

磷虾类的优势种主要是中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)和太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*),它们以中层分布为主,因其游泳摄食能力较强,故其昼夜垂直移动变化最为明显(图 3g)。在春季,其数量的 70% 以上稳定在 10—30m 水层,且白天 30m 以下的底层几乎没有分布,傍晚,其 85% 左右的数量密集在 10—25m 水层,晚上 21:00 开始下降,极少数上升,午夜至凌晨稍有一点回升,早晨 6:00 则继续下降,且 30m 以下的底层数量增多,而在 0—10m 的表层水域几乎没有分布,从上午 9:00 开始逐渐回升,其数量密度分布中心出现第二个数量高峰(图 2e),它的 24h 昼夜垂直移动升降过程为 2 次。在秋季,磷虾类的数量为全年最高,其数量密度分布中心略高于春季,一般在 10—30m 水层之间,呈现趋势为上午大量密集在 10—25m 水层,约占总数量的 90%,表层和底层只有零星分布,中午至 15:00 大量上升到 0—10m 的表层水域,其中 15:00 表层数量可达 70% 以上,傍晚开始下降,晚上 21:00 第二次回升,午夜又迅速下降,其下降幅度最大,底层数量也增大,而后半夜又逐渐开始第三次回升,早晨 6:00 左右出现第三次数量高峰(图 3h)。

2.4 被囊类的昼夜垂直移动

被囊类的主要优势种为长尾住囊虫(*Oikopleura longicauda*),也是以上层分布为主。从图 3i 中可以看出,它在春季,上午大量密集在 0—10m 的表层水域,中午稍微下降,数量多集中在 10—25m 的中层水域,下午又回升到 0—10m 的表层水域,傍晚则迅速大量下降,且下降幅度很大,底层数量为全天中的最大,约占 1/3,晚上 21:00 又再次回升,午夜至凌晨 3:00 达到一天中的第三个数量高峰,早晨 6:00 再次重复下降,上午 9:00 又重新上升到 0—10m 的表层水域。从图 2f 可以看出,它的数量密度分布中心变化幅度较大,移动较显著(陈清朝等,1978)。而在秋季,其数量密度分布中心也仅仅局限在 7—14m 的表层水域,更加趋于表层分布(图 3j),它的昼夜垂直移动为白天上升,下午 15:00 稍微下降,傍晚重新上升,其幅度很小,晚上 21:00 开始继续下降,午夜短时间重新回升后又再次下降,早晨 6:00 第三次上升。特别要指出的是:长尾住囊虫在秋季里,25m 以下水层数量分布极少,有些时候根本没有分布。

3 讨论

综上所述,在东海海区 410 站,浮游动物主要分布在 0—25m 的水层,在这一水层分布着其数量的 70% 以上,各水层的个体数量基本是随深度的增加而递减(林民玉,1989),出现这种现象的原因之一是在这一水层的浮游植物饵料相对比较丰富(表 1),尤其是在春季,浮游植物迅速大量繁殖,浮游动物在这一水层摄食相对来说比较容易和有利,但是互相依存的食物关系可能也是影响垂直分布的重要因素之一(林雅蓉,1985)。另外,从水温变化情况看,温度也是一个影响浮游动物昼夜垂直移动变化规律的重要环境因素(李冠国等,1964;许振祖等,1985);410 站春季平均水温比较低,表层水温一般最高也只有 14℃ 左右,且温差不大;而在中层水温逐渐下降,不同的时间里水温变化范围较大,最大温差可达 1℃ 左右;在 30m 水层水温出现了一个小的上升值,但不是温跃层;而 30m 以下水温又重

新下降,且在不同的时间里温度变化范围很小;底层水温相对稳定,最大温差仅有 0.3°C ,因此,在春季的大部分时间里,除少数暖水种类相对稳定在25m以下水层外,其余大部分种类的浮游动物多分布在0—25m的表层水域,故其昼夜垂直移动规律表现不明显。另外,与水温变化相比,盐度变化范围要大得多,尤其在0—25m水层,盐度变化范围为30—34,最大可相差4;随着水深的增加盐度也逐渐增加,但深水层盐度变化范围很小。盐度变化对浮游动物的昼夜垂直移动有一定的阻碍作用(Arai, 1973),但有些种类能越过盐跃层。

表1 410站春季平均水温、叶绿素 a 浓度的垂直变化

Tab. 1 Vertical variation of average temperature and Chl- a concentration at station 410 in spring

水层(m)	0	10	30	50	70
水温($^{\circ}\text{C}$)	14.3	13.7	14.0	13.6	13.4
Chl- a (mg/m^3)	2.835	3.891	2.748	1.962	2.430

由于受水温和盐度变化的影响,410站的浮游动物在春季常常出现白天上升(表层水温较高),夜晚下降(表层水温迅速散热,温度降低)这样一种昼夜垂直移动现象,由于温跃层的形成,一些种类的移动直接受到限制(Hansen, 1951);这与浮游植物叶绿素 a 的周日垂直变动结果“表层白天高,夜间低”基本吻合,这种现象从另一个侧面反映了浮游动物在春季里开始大量繁殖、摄食以及它的幼体发育阶段表现出的趋光性(从计数看幼体占绝大多数)。另外,某些种类的昼夜垂直移动变化受现场海况及光照强度的影响,如上所说:桡足类在幼体发育阶段表现出趋光性,而到了成体则表现出避光性。410站春季现场海况是:白天阴天,大雾,夜晚无月光,因此,浮游动物的大部分种类白天分布在表层水域活动和摄食。410站秋季平均水温较高,在 23°C 左右,且上下水层温差很小;盐度变化也很小,不到1,平均盐度接近34左右,且光照强度也大于春季,因此,秋季浮游动物的昼夜垂直移动变化规律一般是:白天下降,夜晚上升,且其垂直移动幅度较大。由上可见,桡足类昼夜垂直移动类型的变化与内、外界环境因子的变化有密切关系(郑重等,1992)。

参 考 文 献

- 王 荣,范春雷,1997. 东海浮游桡足类的摄食活动及其对垂直碳通量的贡献. 海洋与湖沼,28(6): 579—587
- 许振祖,黄加祺,王文樵,1985. 厦门港水母类昼夜垂直移动的初步研究. 厦门大学学报(自然科学版),24(4): 501—507
- 李冠国,黄世政,1964. 烟、威海区鲎鱼渔场中浮游动物的昼夜垂直分布. 山东海洋学院学报,(1): 106—127
- 李超伦,王 荣,2000. 莱州湾夏季浮游桡足类的摄食研究. 海洋与湖沼,31(1): 15—22
- 张武昌,王 荣,2000. 渤海微型浮游动物及其对浮游植物的摄食压力. 海洋与湖沼,31(3): 252—258
- 陈清潮,1964. 中华哲水蚤的繁殖、性比率和个体大小的研究. 海洋与湖沼,6(3): 272—288
- 陈清潮,陈柏云,张谷贤,1978. 西沙、中沙群岛浅滩浮游动物的昼夜垂直移动. 见:我国西沙、中沙群岛海域海洋生物调查研究报告集. 北京:科学出版社,75—80
- 我国专属经济区和大陆架勘测专项生物资源调查项目技术专家组,1997. 海洋生物资源与环境调查规范,48—53
- 林民玉,1989. 东海浮游端足类 亚目的垂直分布. 海洋科学集刊,30: 277—285
- 林雅蓉,1985. 东海毛颚动物夏季垂直分布. 生态学报,5(2): 175—186
- 国家海洋局,1975. 海洋调查规范,第五分册. 1—26
- 郑 重编著,1986. 海洋浮游生物生态学文集. 厦门:厦门大学出版社,86—95

- 郑 重, 李少菁, 许振祖编著, 1984. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 266—599
- 郑 重, 李少菁, 连光山编著, 1992. 海洋桡足类生物学. 厦门: 厦门大学出版社, 133—138
- 郑 重, 1987. 郑重文集. 我国海洋浮游桡足类的生态习性和分布. 北京: 海洋出版社, 101—133
- Arai M N, 1973. Behavior of the planktonic coelenterates, *Sarsia tubulosa*, *Phialidium gregarium*, and *Pleurobrachia ptilens* in Salinity Discontinuity layers. J Fish Res Board Can, 30: 1105—1110
- Hansen K W, 1951. On the diurnal migration of zooplankton in relation to the discontinuity layer. J Conseil Perm Inter Exploration Mer, 17: 231—241
- Wang R, Li C, Wang K *et al*, 1998. Feeding activities of zooplankton in the Bohai Sea. Fisheries Oceanography, 7: 265—271

PRELIMINARY STUDY ON THE DIURNAL VERTICAL MIGRATION OF ZOOPLANKTON IN THE EAST CHINA SEA

WANG Ke, WANG Rong, GAO Shang- Wu

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract The diurnal vertical migration of zooplankton was studied at the time-series sampling station 410 (124°59' E, 29°32' N) in the East China Sea in April and November 1994. The results show that maximum density of zooplankton mainly distributed in the water layer from surface to 10m depth and the diurnal vertical migration was not very serious either in spring or in autumn. Data analyzed indicates that there are two types of vertical migration pattern:

- 1) Larger copepods such as *Calanus sinicus* and *Euchaeta concinna*, and two species of Euphausiacea, *Pseudoeuphausia sinica* and *Euphausia pacifica* showed a remarkable diurnal vertical migration due to their swimming ability.
- 2) Small copepods such as *Paracalanus parvus* and *Corycaeus affinis* and the nauplius of large copepod species and the predominant species of Tunicate, *Oikopleura longicauda*, did not show obvious diurnal vertical migration. All these species have their maximum density in the 0—10m water layer.

Key words The East China Sea, Zooplankton, Diurnal vertical migration