

# 南黄海中华哲水蚤昼夜垂直分布

张芳, 孙松, 张永山, 张武昌

(中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071)

**摘要:** 在南黄海定点研究了中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)各个发育期的昼夜垂直分布, 分析了该种 2000 年 6 月的昼夜垂直分布规律。结果表明, 中华哲水蚤雌体在后半夜上升到表层产卵, 形成卵的高密集区; 随后, 卵在大约 20 h 内边沉降边孵化成 NI 期无节幼体, 导致相应时间内卵的密度减少; NIII 到 CV 期幼体的垂直分布规律基本相同, 其密集群的平均深度主要分布在 30 m 的温、盐跃层。讨论了温、盐跃层, 叶绿素 a, 捕食者等因素对它们垂直分布的影响。

**关键词:** 中华哲水蚤(*Calanus sinicus*); 垂直分布; 跃层

**中图分类号:** 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2005)09-0009-05

中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)分布在中国近海和日本沿岸水域<sup>[1]</sup>。就其巨大的丰度和较大的体长来讲, 该种被认为是近海水域浮游动物桡足类中最重要的种类, 在物质从初级生产向肉食性鱼类传递过程中起了重要的作用<sup>[2]</sup>。垂直移动是浮游动物尤其是哲水蚤类的一种普遍行为<sup>[3]</sup>, 也是影响垂直分布的一个重要因素。它的类型主要包括显著型和不显著型, 但垂直移动的类型会随着发育期和季节的变化而变化。这种变化是和本身生物学因素、外界环境因子的变化分不开的。外界环境因子主要包括光度、温度、盐度、食物因子等; 本身生物学因素包括代谢率、激素、内部节率、生殖等。以往对有关中华哲水蚤在黄海垂直移动的研究已有一些报道, 如 1991 年刘晓丹<sup>[4]</sup>对北黄海该种各发育期的昼夜垂直移动规律进行了探讨。同年 Morioka<sup>[5]</sup>研究了黄海在温跃层比较明显的情况下, 中华哲水蚤昼夜垂直移动情况。2002 年王克<sup>[6]</sup>等研究了南黄海鲉鱼产卵场浮游动物 8 个优势种的昼夜垂直移动, 他们都旨在获得与环境因子相关的垂直移动规律。由于较全面地获得同步环境与生物因子的数据比较困难, 因此对垂直移动规律的推测或多或少都存在些欠缺。作者分析了 2000 年 6 月一个站位该种各个发育期的昼夜垂直分布情况, 并与 Huang<sup>[7]</sup>等研究的该种在日本濑户内海季节垂直移动规律做比较, 为更好地理解该种的自然生态习性、鱼类和浮游动物种群补充机制提供参考资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 标本的采集

所用的标本系 2000 年 6 月“北斗号”科学考察船

在南黄海的 A 站(35.47°N, 122.47°E, 平均深度 55m)采用大容量采水器(天津国家海洋局海洋技术所制造, 容积为 59 L)在 24h(6 月 21 日 00:00—6 月 22 日 00:00)内每隔 3 h 采水一次, 每次分别在 0, 5, 10, 20, 30, 55 m 处分 6 层采水。温度、盐度的观测时间与大容量采水器同步。图 1 给出 A 观测站的位置。

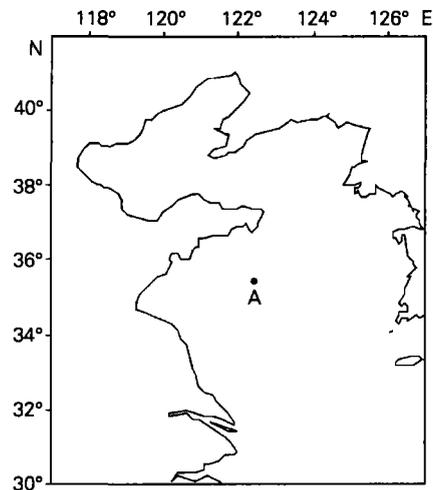


图 1 观测站位

Fig. 1 Position of the sampling station

收稿日期: 2004-06-28; 修回日期: 2005-03-10

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(G1999043708); 国家自然科学基金项目(40106016, 40106017)

作者简介: 张芳, (1977-), 女, 助研, 山西临汾人, 从事浮游动物生态学研究, E-mail: zhangfang@ms.qdio.ac.cn

## 1.2 数据的获得和处理

对采集的浮游动物样品在解剖镜下鉴定计数。对中华哲水蚤的卵、无节幼体(文中 NI~NVI 分别代表无节幼体 I 到 VI 期幼体)、桡足幼体(文中 CI~CV 分别代表桡足幼体 I 到 V 期幼体)成体的计数都采用个体计数法,并把所得数据转换成为个/m<sup>3</sup>,其中 NI 和 NII 的鉴定困难,鉴于它们都处于非摄食阶段<sup>[8]</sup>,所以把它们放在一起计数。该种的垂直分布图

均为密度分布图,单位均使用个/m<sup>3</sup>。

平均密度深度  $D_m$  通过以下公式计算得到:

$$D_m = \left( \sum_{i=1}^n A_i \times D_i \right) / \sum_{i=1}^n A_i$$

其中,  $A_i$  为第  $i$  采样层的丰度;  $D_i$  为第  $i$  采样层的深度(采样层数见 1.1)。

## 2 结果

### 2.1 水文条件

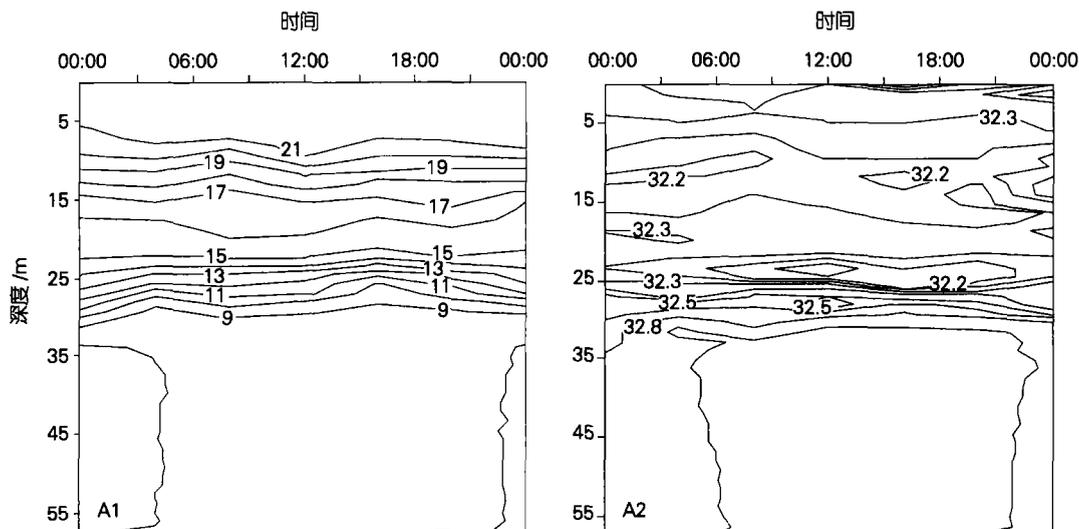


图 2 温度和盐度的昼夜垂直变化(A1 温度, A2 盐度)

Fig. 2 Diel vertical variation of temperature and salinity at station A (A1 Temperature, A2 Salinity)

从图 2 可以看出, A 站的温度在 20~30 m 之间有明显的跃层, 温度从 8℃ 突跃到 15℃, 30 m 以下为低温区, 温度稳定在 7~8℃; 同样 A 站的盐度在 20~30 m 之间有明显的跃层, 盐度从 31.95 突跃到 32.80, 30 m 以下为高盐区域, 盐度稳定在 32.80 左右, 因此 A 站在 30 m 以下是低温高盐区。

### 2.2 昼夜垂直分布

从图 3 可以看出: (1) 卵在各深度层都有分布, 但大都分布在 0~20 m 层, 在时间上高密度的卵主要集中在凌晨 03:00 和 06:00, 09:00 次之, 到 21:00, 0:00 密度明显减少; 同时, 卵分布的平均深度随着时间的推移除个别外有逐渐增加的趋势。(2) NI, NII 期在 10~30 m 内有分布, 表层和底层几乎没有分布, 在 0:00 时, 有大量的 NI, NII 出现, 该期所在的平均密度深度, 从 12 m 到 30 m, 变化范围较大。(3) 从 NIII 到 CV, 垂直分布规律基本相同, 它们密

集群的平均深度主要分布在 30m, 有个别发育期, 在个别时间内平均密度深度向上或向下移动。(4) 雌性成体在各深度层都有分布, 凌晨 03:00, 6:00 时, 它们大量分布在 0~10 m; 另外, 它的平均深度变化很大。

## 3 讨论

根据野外现场中华哲水蚤产卵节律的研究, 发现它们在后半夜开始产卵, 拂晓时几乎停止产卵<sup>[12]</sup>。与中华哲水蚤的产卵节律相似, 很多哲水蚤类都在夜间上升到表层产卵, 这样卵就停留在表层, 而孵化出来的幼体能保证在饵料浓度比较丰富的浅水层出现<sup>[8]</sup>, 这样能保证初摄食期 NIII 幼体的开口摄食。因此不难解释在本次调查的结果 2.2 中(1)和(4)中的现象: 03:00 和 6:00 时表层都出现卵的高密度分布。相应地在此期间, 雌体也大量出现在表层。对于

雌体在产卵后离开表层这一现象, Uye<sup>[8]</sup> 认为因为中 华哲水蚤雌体摄食自己的卵, 如果雌体和卵在同一水

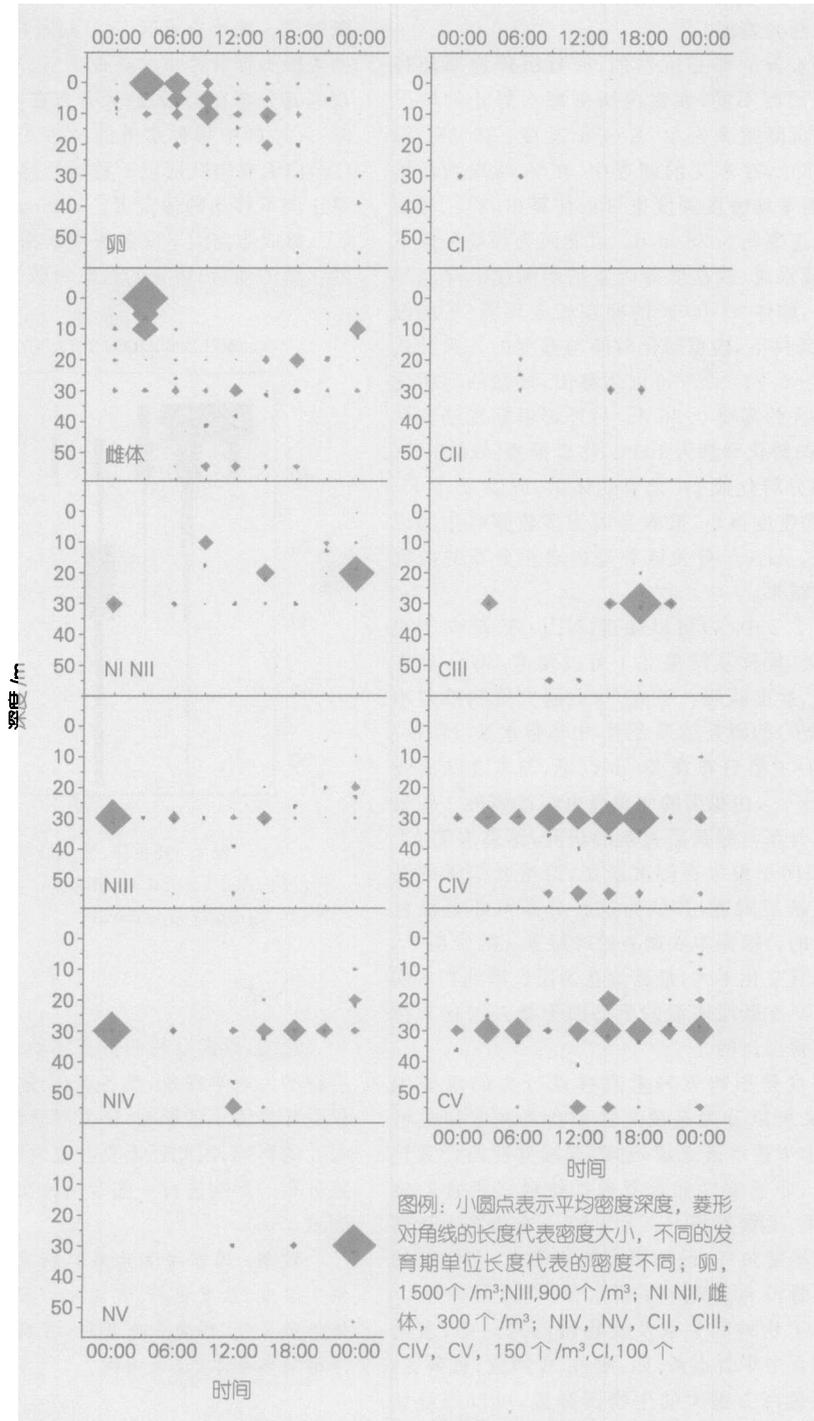


图 3 中华哲水蚤卵、各期幼体及雌体昼夜垂直分布

Fig. 3 Diel vertical distribution of eggs, nauplii (NI to NV), copepodite (CI to CV) and female adult of *Calanus sinicus*.

层出现,遭遇率是非常高的,所以在破晓之前雌体要离开表层向下层移动,避免上述情况的发生也是一种生态适应性的表现。

中华哲水蚤的卵是沉性的,而且沉降速率随环境条件的不同而不同,在室内所测海水静止的情况下该种卵的沉降速率为 50.8 m/d(盐度: 29.85, 温度: 13~18℃),在本文的调查中,在 A 站现场环境下,根据卵的平均密度深度也可以估算出,卵在现场海水中沉降速率约为 28 m/d。可能因为现场条件下海水动荡、或水流、或盐度等因素的影响使沉降速率减小。同时,雌体 03:00 产的卵在相应环境(平均温度 18.9℃)条件下,根据孵化时间与温度的关系公式  $D_h = 545(T + 5.7)^{-2.05}$  可以估算出,该站的卵孵化成无节幼体大约需要 0.76 d。另外再根据现场该站所测得的卵的孵化率都为 100%,作者推测:雌体 3:00 产的卵大部分孵化成 NI 无节幼体了,所以 21:00, 0:00 时卵的密度很小,推测是因为多数卵孵化成无节幼体所致。Uye<sup>[8]</sup> 有关该种昼夜垂直分布的研究也有同样的结果。

从结果 2.2 中(3)可以知道,NIII-CV 倾向于集中在 30 m 处,同样从结果 2.1 可以知道,30 m 处在 A 站的温度、盐度跃层。王克<sup>[6]</sup>(此研究资料恰与本研究资料同步)的研究结果表明,中华哲水蚤(所有桡足幼体的和)主要分布在 20 m 以下,与本文结果吻合。Morioka<sup>[5]</sup>, 在我国北黄海也作过该种一些发育期的垂直分布与温跃层关系的研究,结果表明 CI-II、CIV 也倾向于聚集在温度跃层,恰恰叶绿素的高值就分布在跃层附近,并认为这种分布可能是摄食节律所驱使的。根据本次调查的叶绿素 a 的资料<sup>[6]</sup>, 叶绿素的垂直变化不大,最高值在表层。因此在本实验中 NIII-CV 在跃层停留的驱动因子是否摄食节律所驱使是值得探讨的。

逃避捕食是影响该种垂直移动行为的重要因素,捕食者又可以分为有视觉性捕食者和非视觉性捕食者,对中华哲水蚤来说,它的有视觉性捕食者包括各种鱼类,非视觉性捕食者包括接触式摄食的桡足类、磷虾类、毛颚类等<sup>[7]</sup>。孟田湘<sup>[13]</sup>在山东半岛南部鳀鱼产卵场鳀鱼仔、稚鱼摄食的研究中,在鳀鱼的消化道中尽管没有发现中华哲水蚤,但邓景耀等<sup>[11]</sup>对渤海主要生物种间关系及食物网的探讨中,表明很多鱼类摄食中华哲水蚤,如:鳀鱼、青鳞鱼、黄鲫等。鉴于鳀鱼在黄海有很大的生物资源量,可以把鳀鱼作为一个重要的捕食因子。根据同步的鳀鱼仔、稚鱼昼夜垂直分布资料(图 4)可知,鳀鱼仔、稚鱼的密集分布 9:00 以后有向中层,或近底层移动的趋势,夜

间主要分散于 0~10 m。因受跃层的影响,鳀鱼常常分布于跃层之上,无论白天还是夜间它们一般不穿越跃层进入底层冷水区<sup>[10]</sup>。同时根据本航次同步调查的毛颚类强壮箭虫的昼夜垂直分布规律<sup>[6]</sup>,我们知道夜间其分布在上层,白天分布在中下层。因此可以推测:A 站的中华哲水蚤的一些发育期(如:CIII, CIV, CV)白天有向跃层以下移动的趋势,有可能是为了躲避正向下移动的捕食者。Huang 等<sup>[7]</sup>的研究也表明 CV、雌成体白天下降的平均水深与捕食鱼类(鳀鱼和沙丁鱼的幼鱼)数量的自然对数有负相关的关系。

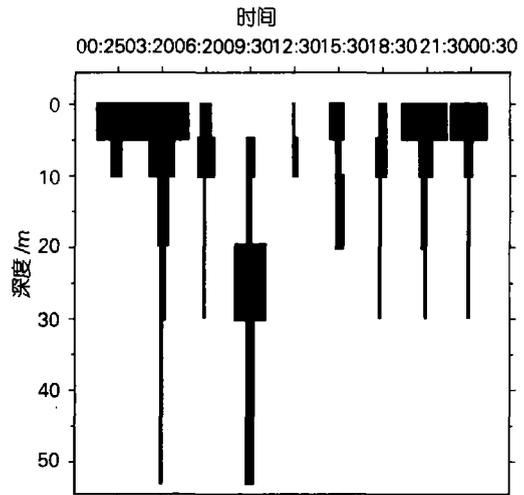


图 4 鳀鱼仔、稚鱼昼夜垂直分布

Fig. 4 Diel vertical distribution of post-larvae of *Engraulis japonicus*

#### 4 小结

总之,浮游动物的垂直移动是一种非常复杂而又广泛的生态学现象,是各种因子共同作用的结果,不仅受环境因子的影响,还受浮游动物各种类本身生态习性的影响,因此还需要在室内就各个单因子对其垂直分布的影响进行一些专门的实验,验证一些争论和假设。

致谢:国家海洋局第二研究所黄大吉研究员提供了温度、盐度资料,黄海水产研究所万瑞景先生提供了鳀鱼仔、稚鱼分布资料,吉鹏、张光涛计数了部分浮游动物标本,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Brodsky K A. Variability and systematics of the species of the genus *Calanus* Copepoda. I *Calanus pacificus* K Brodsky, 1984, and *Calanus sinicus* Brodsky sp. n. Issled[J]. *Fauna Morei*, 1965, 3:22-71.
- [2] 林元烧,李松. 厦门港中华哲水蚤生活周期的初步研究[J]. 厦门大学学报自然科学版, 1984, 23(1): 111-117.
- [3] Russell R S. The vertical distribution of plankton in the sea [J]. *Biology Review*, 1927, 2: 213-262.
- [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[J]. 海洋学报, 1991, 13(2): 247-253.
- [5] Morioka Y, Shinohara F, Nakashima J, et al. A diel vertical migration of the copepod *Calanus sinicus* in relation to well-developed thermocline in the Yellow Sea, October 1987[J]. *Bulletin Seikai National Fishery Research Institute*, 1991, 69: 79-85.
- [6] 王克,王荣,左涛. 南黄海鳀鱼产卵场浮游动物昼夜垂直移动研究[J]. 海洋与湖沼, 2002, 浮游动物研究专辑, 129-136.
- [7] Huang C, Uye S, Onbé T. Ontogenetic diel vertical migration of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in the inland Sea of Japan III. Early summer and overall seasonal pattern [J]. *Marine Biology*, 1993, 117: 289-299.
- [8] Uye S, Huang C, Onbé T. Ontogenetic diel vertical migration of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in the inland Sea of Japan [J]. *Marine Biology*, 1990, 104: 389-396.
- [9] Uye S. Temperature-dependent development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory [J]. *Hydrobiologia*, 1988, 167/168: 285-293.
- [10] 朱德山. 黄、东海鳀鱼及其他经济鱼类资源声学评估的调查研究,“北斗号”1984年11月到1989年1月调查研究报告[J]. 海洋水产研究, 1990, 11: 1-55.
- [11] 邓景耀,杨纪明. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究[J]. 中国水产科学, 1997, 4(4): 1-7.
- [12] 张光涛,孙松,孙晟. 中华哲水蚤的昼夜产卵节律以及温度对产卵量和孵化率的影响[J]. 海洋与湖沼, 2002, 浮游动物研究专辑: 71-77.
- [13] 孟田湘. 山东半岛南部鳀鱼产卵场鳀鱼仔、稚鱼摄食的研究[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(2): 21-25.

## Ontogenetic diel vertical distribution of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in Southern Yellow Sea

ZHANG Fang, SUN Song, ZHANG Yong-shan

(Institute of Oceanography, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Jun. , 28, 2004

**Key words:** *Calanus sinicus*; vertical distribution; thermocline

**Abstract:** Ontogenetic diel vertical distribution of planktonic copepod *Calanus sinicus* was studied at a station in southern Yellow Sea, in June 2000. Results showed that female adults floated up to surface layer to lay eggs after midnight. The maximum egg abundance occurred at this period. The eggs hatched into NI as they sank to the deeper water within about 20 hours, resulting in decreasing of egg density in the same time. The nauplii and copepodite from NIII to CV preferred to stay at thermocline and halocline layers. Effects of environmental factors such as temperature, salinity, chlorophyll a, and predators on the pattern of vertical distribution of *Calanus sinicus* was also discussed in this paper.

(本文编辑:张培新)