南黄海强壮箭虫(Sagitta crassa)的生活史特征*

霍元子^{1,2} 孙 松^{1,①} 杨 波¹

(1. 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; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提要 根据对胶州湾外一站位连续 1 年逐月采样所获得的资料,研究报道了南黄海强壮箭虫 (Sagitta crassa)的生活史特征。南黄海强壮箭虫共有 5 个世代:(1)春季世代(2—5 月),生长率为 0.0066/d;(2)夏季世代(6—8 月),生长率为 0.0038/d;(3)夏季世代(6—9 月),生长率为 0.0090/d;(4)夏 季-秋季世代(7—11 月),生长率为 0.0152/d;(5)秋季-春季世代(10—5 月),生长率为 0.0160/d。强壮箭 虫的生产力和摄食率分别为 0.67 g C/(m²·a) 和 2.33 g C/(m²·a)。本研究结果表明,南黄海强壮箭虫 5 个世代中的夏-秋世代和秋-春 2 个世代的生长率较高;南黄海强壮箭虫的全年平均生产力显著低于 东京湾,但对南黄海浮游动物的摄食压力却与东京湾相当。

关键词 强壮箭虫,南黄海,世代

中图分类号 Q518.4

毛颚动物是黄海浮游动物的一个重要的功能群, 它们与高营养层次(主要是鱼类)之间竞争摄食浮游动 物(Mills, 1995)。强壮箭虫(*Sagitta crassa*)是黄海毛颚 类的优势种,其生物量可占到黄海毛颚类总生物量 的43%—88%,因此研究强壮箭虫的生活史特征对于 了解其在黄海生态系统中的功能作用至关重要。以往 关于黄海强壮箭虫的研究仅限于分布(Zhang, 1995)、 指示种(郑执中等, 1964)以及摄食生态(杨纪明等, 1995)等方面。国外关于强壮箭虫的研究较为深入, Hirota (1959)对其形态变化、 Nagasawa(1984, 1985) 对其消化速率和产卵、Murakami(1959)和 Nagasawa (1991)对其生活史特征等方面进行了研究。

作者在国家重点基础研究发展计划"我国近海生 态系统食物产出的关键过程及其可持续机理"中,将 毛颚类确定为黄海浮游动物一个重要的功能群,并 将强壮箭虫确定为毛颚类的关键种。本文作者利用对 胶州湾外一站位连续1年逐月调查所获得的资料,对 强壮箭虫的生活史特征以及摄食率和生产力进行了 研究报道,以期为强壮箭虫种群动力学和黄海浮游 动物功能群模型的建立提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

对浮游动物生活史的研究, 需要在较长的一段时 间内进行较短时间间隔的连续采样观察, 这在黄海的 外海区域不易做到。因此, 选择在胶州湾常规调查的 D7站(水深 18 m)进行 2006 年连续 1 年的逐月调查采 样来进行强壮箭虫生活史特征的研究, 样品的采集在 每月的中旬进行, 调查站位如图 1 所示, 具体参见张 芳等(2005)。据王荣等(2003)的报道, 标准大型浮游生 物网(网孔大小为 500 μm)对强壮箭虫的捕获效率要显 著高于中型浮游生物网(网孔大小为 160 μm)。因此, 强壮箭虫样品是应用浮游生物网浅水 I 型网(网口直 径为 50 cm, 网长 145 cm, 网孔为 500 μm)由底到表垂 直拖网获得, 用 5%的甲醛溶液固定。温、盐资料用小 型 minipack 同步测定。

1.2 样品计数与生物量计算

于解剖镜下对强壮箭虫样品全部计数并测量其体长,准确至 0.1 mm。强壮箭虫的生物量采用体长-体重回归方程的方法获得(Nagasawa, 1984):

 ^{*} 国家重点基础研究发展计划 973 项目, 2006CB400606 号。霍元子,博士研究生, E-mail: yuanzi1979-11@163.com
通讯作者:孙松,博士,研究员, E-mail: sunsong@ms.qdio.ac.cn
收稿日期: 2008-10-08,收修改稿日期: 2009-12-05



图 1 调查站位图 Fig.1 Sampling station in the Southern Yellow Sea

 $W = 0.197 L^{3.01}$

其中, L 为强壮箭虫的体长(mm), W 为干重(μ g)。以每 平方米海面下所有强壮箭虫的生物量, 来表示该站 位强壮箭虫的生物量, 即: mg/m²。

1.3 世代数和生产力、摄食率的估算

根据体长分布频度,应用 Harding(1949)的方法, 对强壮箭虫的世代结构进行推测:当强壮箭虫的体长 频度呈1个正态分布时,其累积频度在概率纸上应为 一条直线,即表示该种群是由一个世代的个体组成, 并且该直线在概率为 50%时的体长即为该世代种群 体长的平均值;当体长频度呈2个正态分布时,其累 积频度在概率纸上应为两条直线,即表明种群是由 两个世代的个体组成;当体长频度呈3个正态分布时, 表明种群由三个世代的个体组成,依此类推。将各调 查月份的不同世代个体体长的平均值转化成干重, 并以对数坐标表示,即可得到不同世代强壮箭虫的 生长方程。

强壮箭虫的呼吸率 *R*[μl O₂/(ind·h)]是干重(*W*, mg/ind)和栖息环境的水体温度(*T*, °C)的函数, 可以表示成如下的关系式(Ikeda, 1985):

ln R = -0.2512 + 0.7886 ln W + 0.0490T 根据 RQ=0.97(Gnaiger, 1983),可将呼吸率转化成以 碳含量表示的单位,那么强壮箭虫的摄食率和生产 力就可以应用下面的公式进行计算(Nagasawa, 1991):

F = 1.6 R, P = 0.46 R

其中, *F*[mg C/(ind·h)]为摄食率, *P*[mg C/(ind·h)]为生 产力。用所得到的 *F* 值和 *P* 值乘以 24 h, 再将所有强 壮箭虫的摄食率和生产力求和, 即可得到强壮箭虫 种群在单位水体内每天的摄食率和生产力。

2.1 水温与强壮箭虫的体长

图 2、图 3 是 2006 年 1—12 月 D7 站海水平均温 度与强壮箭虫的平均体长图。从图 2 可知,海水温度 在 2 月最低(3.46 °C),从 4 月份开始缓慢上升,到 9 月达到全年最高值(23.5 °C),然后从 11 月开始迅速下 降,至次年 2 月又达全年最低。强壮箭虫平均体长的 变化趋势与海水温度相反,呈显著的负相关关系(P = 0.02),如图 3 所示。

2.2 南黄海强壮箭虫的世代特征

图 4 为南黄海强壮箭虫各月份的体长频度分布。 根据体长频度分布图,南黄海的强壮箭虫可被划分 为 5 个世代,如图 5 所示。因此,根据(lnW_{t+1}-lnW_t)/ (T_{t+1}-T_t)即可求出每一世代强壮箭虫的日生长率。 世代 4(7—11 月)和世代 5(10—5 月)分别为夏季-秋 季和秋季-春季世代,这两个世代强壮箭虫的生长率 最大,分别为 0.0152 和 0.0160/d;世代 1(2—5 月)和





Fig.2 Average water temperature $(-\Box -)$ and body length of Sagitta crassa $(-\odot -)$ in different months



图 3 强壮箭虫体长与温度的回归关系

Fig.3 Relationship between body length of *Sagitta crassa* and average water temperature



世代 3(6—9 月)分别为春季和夏季世代,这两个世代 强壮箭虫的生长率接近,分别为 0.0066 和 0.0090/d;

世代 2(6—8 月)仍为夏季世代, 其生长率最低, 仅为 0.0038/d。

图 4 南黄海强壮箭虫在不同月份体长的频度分布(x 轴:体长 mm, x 上限; y 轴:强壮箭虫的个数) Fig.4 Length frequency distribution of *Sagitta crassa* in different months in the Southern Yellow Sea (x-axis: length in millimeter, x ≤ boundary; y-axis: numbers of *Sagitta crassa*)



图 5 南黄海强壮箭虫的 5 个世代,每一世代的回归方程为: (1)log y = 0.087x - 0.068;(2)log y = 0.051x - 1.24; (3)log y = 0.119x - 2.20;(4)log y = 0.197x - 3.33;(5)log y = 0.163x - 3.30Fig.5 Five subpopulations of *Sagitta crassa* in the Southern Yellow Sea. Regression equations of each subpopulation are as followed: (1) log y = 0.087x - 0.068; (2) log y = 0.051x - 1.24; (3) log y = 0.119x - 2.20; (4) log y = 0.197x - 3.33; (5) log y = 0.163x - 3.30

2.3 强壮箭虫的生物量、生产力和摄食率

强壮箭虫的生物量全年成双峰型的分布特征, 2—5月为一生物量高峰,8月为生物量的另一高峰(图 6)。全年来看,强壮箭虫在 3 月份生物量最高,达 411.10 mg/m²,而在 11月份最低,仅为 21.19 mg/m²。 强壮箭虫的生产力和摄食率的全年分布模式同生物 量,也是在 2—5月和 8月各有一个高峰,但生产力和 摄食率均在 8 月达到全年的最大值,分别为 4.50 和 15.6 mg C/(m²·d)。根据各月份生产力和摄食率的值, 强壮箭虫全年的生产力和所需摄食的碳量分别为 0.67 和 2.33 g C/(m²·a)。





- Fig.6 Biomass (gray bar), production (---) and feeding rate (----) of *Sagitta crassa* in the different months
- 3 讨论

Hirota(1959)根据泡状组织的形态将强壮箭虫分为4个生态型:A型,泡状组织包被全身,个体较大,

又称冬季型; D 型, 泡状组织仅局限于颈部, 个体较小, 又称夏季型; B、C 两种生态型为中间的过度类型。本文中作者虽然没有考虑强壮箭虫生态型的季节变化, 但体长的分布模式与 Hirota(1959)报道的一致, 即冬、春季节体长较大, 夏、秋季节体长较小, 而且回归分析显示南黄海强壮箭虫体长与温度呈显著的负相关关系。

Murakami(1959)根据追踪强壮箭虫产卵时间的 结果, 分别将 Yokoshima 海峡和 Kasaoka 湾的强壮箭 虫的生活史分为 4 个和 5 个世代。而本文的研究方法 与Nagasawa(1991)的研究方法一致,只利用了强壮箭 虫体长频度分布的方法对其世代特征进行研究。而 没有考虑强壮箭虫各发育期的性腺特征。根据图 4 的 结果,将强壮箭虫各世代的特征概括如下:(1)世代1 为强壮箭虫的春季世代(2-5月), 生长率为 0.0066/d; (2)世代2为强壮箭虫的夏季世代(6—8月), 生长率为 0.0038/d; (3)世代3仍为夏季世代(6-9月), 生长率为 0.0090/d; (4)世代 4 为夏季-秋季世代(7-11月), 生长 率为 0.0152/d; (5)世代 5 为秋季-春季世代(10-5 月), 生长率为 0.0160/d。本文的研究结果与 Nagasawa (1991)报道的 Tokyo 湾强壮箭虫至少有 5 个世代的结 果是一致的。据 Hirota(1959)的研究报道, D 型强壮箭 虫仅在 4 月到 11 月间出现, 而 A 型、B 型和 C 型强 壮箭虫在 12 月到次年的 3 月间大量出现,因此各世 代的种群中所包含强壮箭虫的生态类型是有所不同 的。按照 Hirota 的结论、南黄海强壮箭虫 5 个世代种 群中均包含所有生态型的个体。但由于 B 型和 C 型 强壮箭虫的体长与 A 型的接近(Hirota, 1959), 因此各 世代种群中所含有的 D 型强壮箭虫的比例不同、就 会导致各世代种群的生长率之间产生很大的差别。 Nagasawa(1991)指出、种群中含有的 D 型强壮箭虫的 比例越大,其生长率就越低。南黄海强壮箭虫的世代 4 和 5 种群的生长率最高、可能就是含有较低比例的 D型强壮箭虫,而世代2种群的生长率最低(0.0038/d), 可能就是含有较高比例的 D 型强壮箭虫的缘故, 这 与各型强壮箭虫出现的季节月份正吻合。

强壮箭虫在 2—5 月有较高的生物量,这可能与 其较大的个体和较高的种群丰度有关。本文的研究结 果表明,强壮箭虫的年平均摄食率为 2.33 g C/(m²·a), 而南黄海浮游动物年平均次级生产力为 18.9 g C/ (m²·a)¹⁾,因此强壮箭虫对浮游动物的摄食压力约

1) 霍元子, 2008. 黄海浮游动物功能群的研究. 中国科学院海洋研究所博士学位论文

为 12.3%, 这与 Nagasawa(1991)报道的 Tokyo 湾强壮 箭虫对浮游动物生产力的摄食压力约为 13.1%的结 果接近,但强壮箭虫的生产力[0.67 g C/(m²·a)]却远低 于 Tokyo 湾强壮箭虫 3.8 g C/(m²·a) 的结果。然而,本 文中关于强壮箭虫生产力和摄食率的研究报道与 Tokyo 湾强壮箭虫(Nagasawa, 1991)的情况类似,都 只是根据一个站位的研究结果,因而不能代表整个 海区的情况。因此,在从 2006 年 9 月—2007 年 8 月 对南黄海进行的 6 个航次大范围调查中,对南黄海强 壮箭虫生产力和摄食率的时空变化进行了研究,其 结果将另文发表。

参考文献

- 王 荣, 王 克, 2003. 两种浮游生物网捕获性能的现场测试. 水产学报, 27(增刊): 98—102
- 张 芳, 孙 松, 杨 波, 2005. 胶州湾水母类生态研究 I. 种类 组成和群落特征. 海洋与湖沼, 36(6):507—517
- 杨纪明, 李军, 1995. 渤海强壮箭虫摄食的初步研究. 海洋科 学, 6:38—42
- 郑执中, 萧贻昌, 1964. 毛颚动物作为中国海及邻近水域海流 指示种的初步探讨. 中国海洋湖沼学会 1963 年学术年会 论文摘要汇编. 科学出版社, 84
- Gnaiger E, 1983. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. In: Gnaiger E, Horstner H ed. Polarographic Oxygen Sensors. Berlin: Springer-Verlag, 337—347

Harding J P, 1949. The use of probability paper for the graphic

analysis of polymodal frequency distributions. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 28: 141–153

- Hirota R, 1959. On the morphological variation of Sagitta crassa. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 15: 191– 202 (in Japanese)
- Ikeda T, 1985. Metabolic rates of epipelagic marine zooplankton as a function of body mass and temperature. Marine Biology, 85: 1-11
- Mills C E, 1995. Medusae, siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystems. ICES Journal Marine Science, 52: 575–581
- Murakami A, 1959. Marine biological study on the planktonic chaetognaths in the Seto Inland Sea. Bulletin Naikai Regional Fishery Research Laboratory, 12: 1—186 (in Japanese)
- Nagasawa S, 1984. Laboratory feeding and egg production in the chaetognath Sagitta crassa Tokioka. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 76: 51—65
- Nagasawa S, 1985. The digestive efficiency of the chaetognath Sagitta crassa Tokioka, with observation on the feeding process. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 87: 271-281
- Nagasawa S, 1991. Vertical distribution, life cycle and production of the chaetognath Sagitta crassa in Tokyo Bay, Japan. Journal of Plankton Research, 13: 1325–1338
- Zhang H Q, 1995. Relationship between zooplankton distribution and hydrographic characteristics of southern Yellow Sea. The Yellow Sea, 1: 50–67

LIFE CYCLE OF THE CHAETOGNATH SAGITTA CRASSA IN THE SOUTHERN YELLOW SEA, CHINA

HUO Yuan-Zi^{1,2}, SUN Song¹, YANG Bo¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing, 100049)

Abstract Based on monthly sampling data at a station in Jiaozhou Bay in 2006, the life cycle and production rate of Sagitta crassa and feeding rate on the other zooplankton in the southern Yellow Sea were studied. We sampled S. crassa by towing with a conical plankton net in mesh size of 500 µm vertically from near the bottom to the surface. In laboratory, the samples were counted, the dry weight measured, and the length-weight relationship built. The life cycle of S. crassa was described in frequency distribution of the body length. The relationships of production (P) and feeding rate (F) with repertory rate (R) were regressed by P = 0.46 R and F = 1.6 R, where R was calculated as a function of dry weight and water temperature. The results show that S. crassa has five generations in the study area: (1) spring generation (Feb.—May) in growth rate of 0.0066 d^{-1} ; (2) summer generation (Jun.—Aug.) in growth rate of 0.0038 d^{-1} ; (3) summer generation (Jun.-Sep.) in growth rate of 0.0090 d^{-1} ; (4) summer-autumn generation (Jul.-Nov.) in growth rate of 0.0152 d^{-1} ; and (5) autumn-spring generation (Oct-May) in growth rate of 0.0160 d⁻¹. The production rate and feeding rate was 0.67 and 2.33 g C/(m²·a), respectively. The results indicate that the growth rate of summer-autumn generation (Jul.-Nov.) and autumn-spring generation (Oct.-May) was significantly higher than others'. In the southern Yellow Sea, the production rate of S. crassa in was much lower than that of the adjacent areas of the Yellow Sea (such as the Tykyo Bay of Japan), while the feeding rate on the other zooplanktons was similar. The findings of present paper may help construct the models of population dynamics of S. crassa and functional groups of zooplankton in the Yellow Sea. Key words Sagitta crassa, Southern Yellow Sea, Life cycle