

胶州湾毛颚类生态学研究*

王倩^{1,2} 孙松³ 霍元子⁴ 杨波³

(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; 3.中国科学院海洋研究所胶州湾海洋生态系统研究站 青岛 266071;

4.上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 根据 2006 年 9 月—2007 年 8 月胶州湾浅水 I 型浮游生物网的调查资料, 分析了胶州湾毛颚类的种类组成、数量分布、摄食、生物量、生产力情况。结果表明, 本次调查共出现毛颚类 3 种: 强壮箭虫(*Sagitta crassa*)、拿卡箭虫(*Sagitta nagae*)和百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)。其中强壮箭虫全年出现, 在数量上占有绝对优势, 年平均密度达到 45.3 ind/m³; 拿卡箭虫和百陶箭虫在秋、冬、春季出现, 年平均密度分别为 0.17 ind/m³ 和 0.35 ind/m³。通过推算得到胶州湾毛颚类年平均生物量为 107.92 mg/m², 年平均生产力为 1.47 mg C/(m²·d), 占浮游动物总生产力的 11.6%。毛颚类对浮游动物生物量和生产力的摄食压力在冬季达到全年最大值, 分别为 5.71%和 83.47%, 在春季、夏季、秋季毛颚类对浮游动物生物量的摄食压力分别为 0.67%、0.08%、6.48%, 对生产力的摄食压力分别为 27.00%、2.48%和 48.88%。由此可见, 在冬季毛颚类的摄食对浮游动物群落结构等可能会产生重要影响。

关键词 箭虫, 密度, 生物量, 生产力, 摄食, 胶州湾

中图分类号 Q518.4

胶州湾位于黄海西岸, 是一个暖温带半封闭型海湾, 胶州湾毛颚类种类组成较为简单, 以往调查研究曾记录到毛颚类 4 种(黄世玫, 1983; 高尚武等, 1995; 孙松等, 2008), 其中强壮箭虫占有绝对优势。根据泡状组织大小强壮箭虫可分为 4 种型(弘田礼一郎, 1959), 这四种型在胶州湾历史调查中都曾出现过。本研究中作者采用 Nagasawa(1991)的方法, 根据毛颚类体长、温度等参数推算了其摄食及生物量、生产力, 并与黄海水域毛颚类组成进行对比, 为胶州湾生态系统动力学研究提供了新的基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2006 年 9 月—2007 年 8 月在胶州湾进行为期 1 年的调查, 共选取 13 个考察站(图 1)。其中, 湾内包括 A1 站、A3 站、A5 站、B2 站、C1 站和 Y1 站, 湾中包括 C3 站、C4 站、D1 站和 D3 站, 湾外包括 D5

站、D6 站和 D7 站。

样品使用浅水 I 型浮游生物网(网口直径为 50 cm, 网长 145 cm, 网孔为 500 μm), 由底到表垂直拖网采集, 用 5%的福尔马林溶液固定。温度和盐度资

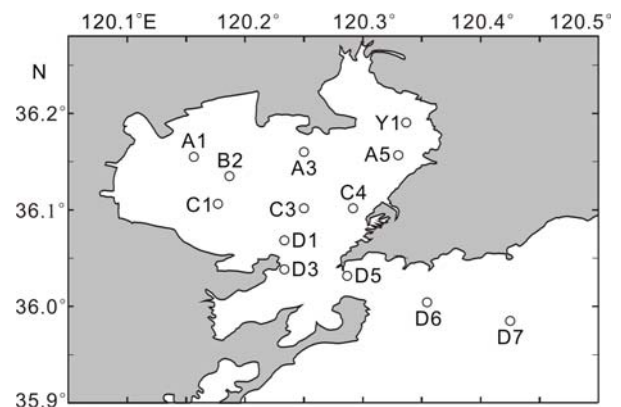


图 1 胶州湾调查站位

Fig. 1 Sampling stations in the Jiaozhou Bay

* 国家重点基础研究规划 973 项目, 2006CB400606 号; 国家自然科学基金重点项目, 40631008 号。王倩, E-mail: wangqian055@163.com

通讯作者: 孙松, 博士, 研究员, E-mail: sunsong@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2009-06-04, 收修改稿日期: 2010-04-08

料用 CTD 同步测得。

1.2 计数方法

样品均采用个体计数法,在解剖镜下对全样品进行鉴定计数。其中强壮箭虫根据泡状组织不同分为 A、B、C、D 四种型,每种型分别计数。计数完毕将数量换算为单位水体的毛颚类个数,即:密度(ind/m³)。毛颚类体长测定参考 Uye(1982)的方法,从头的前端量至尾鳍末端,精确至 0.1 mm。

1.3 浮游动物生物量、生产力计算方法

浮游动物用孔径为 500 μm 的筛绢过滤,用感量为 0.01 mg 的电子天平称量得到湿重,取干重约为湿重的 20% (Omori, 1969),换算为单位水柱浮游动物生物量(mg/m³)。

浮游动物生产力采用 Ikeda-Motoda 等(1978)生理学方法计算,将浮游动物生物量(mg/m³)除以密度(ind/m³),求得浮游动物平均个体重量;根据干重与水温的复回归方程计算浮游动物的呼吸率 Ro_2 :

$$\ln Ro_2 = 0.7886 \ln DW + 0.0490T - 0.2512$$

其中, Ro_2 为以氧计的呼吸率[μl O₂/(ind·h)], DW 为浮游动物生物量(干重), T 为水温。

将呼吸率 Ro_2 换算为以 C 计的呼吸率 [Rc , mg C/(ind·d)]:

$$Rc = 0.8 \times 12 \times 24 \times Ro_2 / 22.4 = 10.286 Ro_2$$

根据 McNeill 等(1970)提出的经验公式,通过呼吸率估算浮游动物生产力 [P , mg C/(ind·d)]:

$$\lg P = 0.8262 \lg Rc + 0.0948$$

1.4 毛颚类生物量、生产力、摄食及摄食压力计算方法

毛颚类的生物量采用体长-体重回归方程的方法获得(Nagasawa, 1984):

$$W = 0.197 L^{3.01}$$

其中, L 为毛颚类体长(mm), W 为干重(μg)。

生产力和摄食率的计算采用 Nagasawa(1991)的经验关系式: $P = 0.46R$, $F = 1.6R$, 其中, P [mg C/(m²·d)] 为生产力, F [mg C/(m²·d)] 为摄食率, R [mg C/(m²·d)] 为呼吸率; R 的计算应用 Ikeda 等(1975)的公式: $R = aW^b$, 其中, $a = 10^{0.025387T - 0.1259}$, $b = -0.1089T + 0.8918$, T 为水温。

将计算所得的毛颚类摄食率分别除以浮游动物群落的生物量 and 生产力,得到毛颚类对浮游动物群落生物量的摄食压力和对生产力的摄食压力。

2 结果

2.1 温度和盐度的季节变动

图 2 是 2006 年 9 月—2007 年 8 月与浮游动物取

样同步测得的温度和盐度数据(各月份的温度和盐度系各站位表层温度和盐度的平均值)。从该图可以看出,胶州湾海域海水温度 2 月份最低(4.5 °C),8 月达到最高(25.5 °C)。温度从春季开始缓慢上升,8 月份升至最高,秋季水温开始下降,1—2 月份降到最低。胶州湾海水表层盐度在 26.5—31.7 之间,最低值在 8 月,1—5 月盐度值较稳定,均在 31.6 左右。

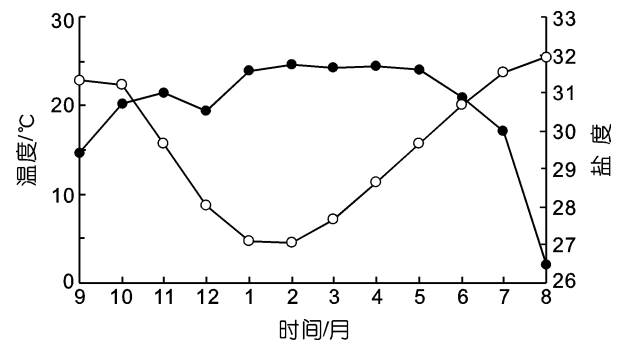


图 2 各月份表层平均温度和盐度

Fig.2 Monthly average temperatures and salinities of surface waters

—○— 温度; —●— 盐度

2.2 毛颚类种类组成及时空分布

从 2006 年 9 月到 2007 年 8 月,胶州湾海区共出现毛颚类 3 种:强壮箭虫(*Sagitta crassa*)、拿卡箭虫(*Sagitta nagae*)和百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)。

调查期间,强壮箭虫全年出现,并且在数量上占有绝对优势(图 3),其密度在全年出现两个峰值,最高峰出现在 8 月,密度达到 99.03 ind/m³;次高峰出现在 3 月,密度为 86.48 ind/m³。强壮箭虫 4 种型在不同季节的密度分布如图 4 所示,冬季 A 型占优势,密度达到 56.00 ind/m³,占强壮箭虫总密度的 90%;夏季 D 型占有绝对优势,密度达到 58.60 ind/m³,占强壮箭虫总密度的 94%;B 型和 C 型仅为过渡类型,全年密度都不高。拿卡箭虫和百陶箭虫密度最高值都出现在 11 月份,分别为 0.62 ind/m³ 和 1.63 ind/m³,其年平均密度分别为 0.17 ind/m³ 和 0.35 ind/m³。

强壮箭虫在整个胶州湾年平均密度为 45.27 ind/m³,其最高值出现在 A1 站位,为 70.64 ind/m³,其后依次为 C3 站、D5 站、D7 站和 D6 站,这些站位主要分布在湾西部及湾外,而湾东北部的 Y1 站位强壮箭虫密度最小,仅为 6.95 ind/m³。拿卡箭虫和百陶箭虫的密度都是从湾外到湾内逐渐降低。

2.3 毛颚类总生物量、生产力和摄食率

如图 5 所示,推算得到的胶州湾毛颚类年平均生

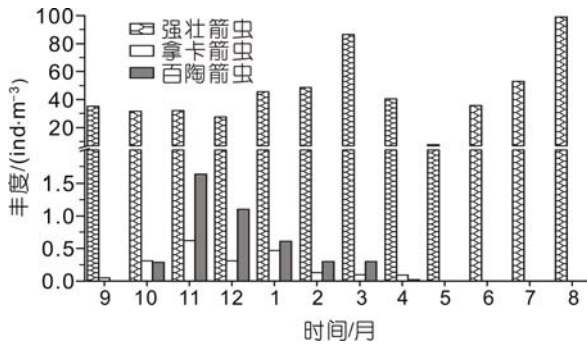


图 3 毛颚类周年月平均密度

Fig.3 Monthly average abundance of Chaetognaths

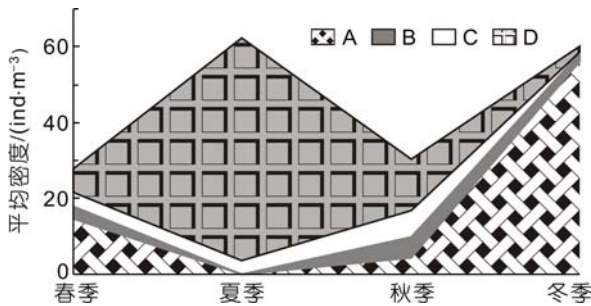


图 4 强壮箭虫四种型季节平均密度

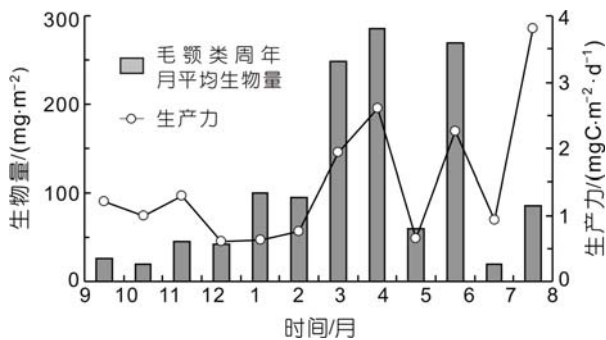
Fig.4 Seasonal average abundances of four types of *Sagitta crassa*

图 5 毛颚类周年月平均生物量、生产力

Fig.5 Seasonal variations in biomass and production of Chaetognaths

生物量为 107.92 mg/m^2 , 在 4 月份达到最高值为 285.59 mg/m^2 。毛颚类在湾中部的 C3 站、湾口的 D5 站和湾外的 D6、D7 站形成 3 个高生物量区, 年平均最高生物量出现在 D6 站, 为 392.8 mg/m^2 。

胶州湾毛颚类年平均摄食率为 $5.07 \text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 年平均生产力为 $1.47 \text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 占浮游动物总生

产力的 11.6%, 生产力在 8 月份达到最高值 $3.80 \text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 4 月份为次高值 $2.60 \text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

3 讨论

3.1 历史变动与海区比较

胶州湾浮游动物历史调查中曾记录到毛颚类 4 种: 强壮箭虫、拿卡箭虫、百陶箭虫和肥胖箭虫 (*Sagitta enflata*) (黄世玫, 1983; 高尚武等, 1995; 孙松等, 2008), 本次调查仅记录到毛颚类 3 种: 强壮箭虫、拿卡箭虫¹⁾ 和百陶箭虫。从上世纪 70 年代到现在, 整个胶州湾毛颚类的密度变化不大, 分布的密集区域也基本一致, 以往 3 次调查与本次调查中, 周年月平均密度最高值都在 100 ind/m^3 左右。

胶州湾位于黄海西岸, 与黄海相通 (叶思源等, 2009), 但其毛颚类组成与黄海却有所不同。在胶州湾, 强壮箭虫全年为优势种, 其生物量占毛颚类总生物量的 98.9%; 黄海春季和冬季毛颚类组成与胶州湾相似, 强壮箭虫生物量分别占毛颚类总生物量的 98.8% 和 80.6%, 拿卡箭虫和百陶箭虫有少量分布, 夏季和秋季, 拿卡箭虫生物量占到黄海毛颚类总生物量的 50% 以上, 胶州湾很少出现的肥胖箭虫在黄海夏季大量出现, 其生物量占黄海毛颚类总生物量的 40.1% (本课题组未发表资料)。

3.2 优势种强壮箭虫分布与环境因子关系

胶州湾属暖温带季风气候, 海况具有明显的季节变化, 强壮箭虫的分布与这些变化也有很大的关系。强壮箭虫属于近岸低盐种, 主要分布在盐度 <32 的水域 (黄世玫, 1983), 胶州湾海水盐度较低, 年平均约为 31, 适合强壮箭虫生存, 因此盐度不成为限制毛颚类分布的因素。强壮箭虫密度在温度较低的 3 月和温度最高的 8 月出现两个峰值, 3 月份胶州湾强壮箭虫主要由 A 型组成, 8 月份主要为 D 型。强壮箭虫 A 型在冬、春季较多, 5 月数量剧减, 其他型数量相对增加, 以 D 型数量增加最大, 夏季 D 型占主要地位, 12 月份 A 型又开始增多。A 型、D 型数量变化与温度呈较好的相关性 ($r_A = -0.78$, $r_D = 0.90$, 图 6)。

3.3 毛颚类与桡足类和浮游幼体密度变动关系

毛颚类密度与桡足类和浮游幼体密度变动情况如图 7 所示, 春季桡足类和浮游幼体数量增多, 毛颚

1) 在东海等海区调查研究资料中, 也曾出现 *Sagitta nagae*, 但其中文名翻译为海龙箭虫。《中国动物志》(肖贻昌, 2004) 中提出将出现在中国海域的 *Sagitta nagae* 定为新种: 中华箭虫 (*Sagitta sinica*), 但目前还存在一些争议。本文为方便与本海区历史调查研究对比, 暂将其记作拿卡箭虫

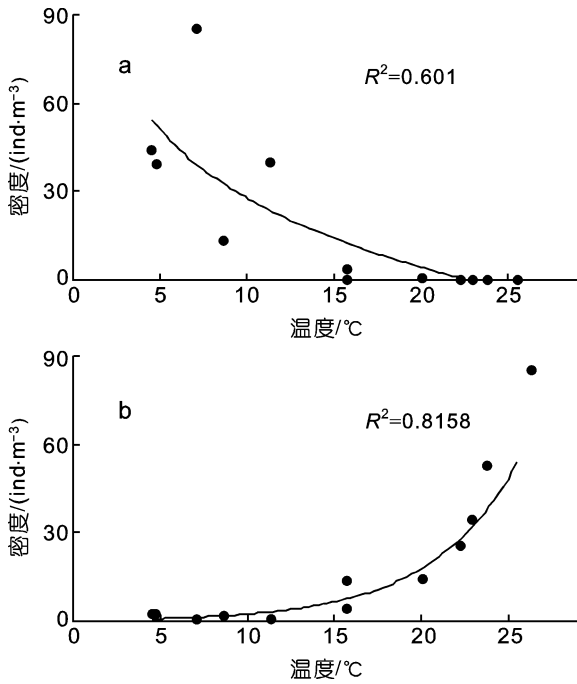


图6 强壮箭虫 A 型密度与温度关系(a); 强壮箭虫 D 型密度与温度关系(b)

Fig.6 Relationship between the abundance of *Sagitta crassa* type A (a) or *Sagitta crassa* type D (b) and temperature

类数量也随之增多; 桡足类和浮游幼体密度在 7 月份达到最高值, 毛颚类密度随后在 8 月份达到最高值; 秋季桡足类和浮游幼体数量下降, 毛颚类数量也开始减少; 冬季, 毛颚类与桡足类和浮游幼体数量均维持在较低水平。

相关性分析(图 8)显示, 桡足类和浮游幼体密度与次月毛颚类密度的相关系数 r 为 0.56, 说明毛颚类与桡足类和浮游幼体之间呈现出一定的捕食关系。

3.4 毛颚类对浮游动物群落的摄食压力

毛颚类的摄食是构成小型浮游动物捕食压力的重要来源之一(Pearre, 1980)。胶州湾毛颚类对浮游动

物生物量和生产力的摄食压力分别为 40.46%和 3.24%, 与其他海区的研究结果对比可知, 胶州湾毛颚类对浮游动物的摄食压力是比较高的(表 1)。

毛颚类的摄食对桡足类群落的影响在其次级生产力较低的时期最为严重(Baier *et al*, 1997)。Sameoto (1973)在 Bedford Basin 的研究结果表明, *Sagitta elegans* 对桡足类生产力年平均摄食压力为 1%, 但对冬季桡足类生产力的摄食压力可以到达 50%。胶州湾毛

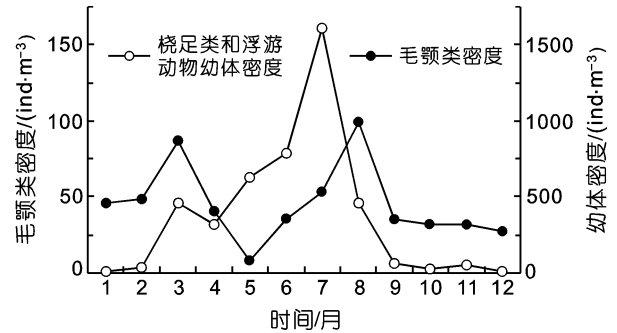


图7 毛颚类与桡足类和浮游幼体密度变动情况

Fig.7 Seasonal variation between the abundance of Chaetognaths or copepoda and lava of zooplankton

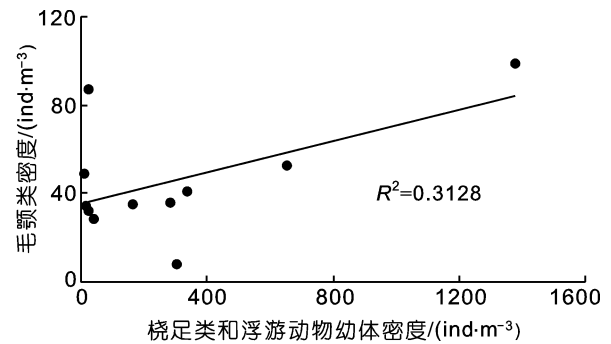


图8 桡足类和浮游幼体次月密度与毛颚类密度相关性分析

Fig.8 Relationship between the abundance of copepoda or lava of zooplankton and the abundance of Chaetognaths in the next month

表 1 不同海区毛颚类对浮游动物现存量和生产力的摄食压力

Tab.1 Feeding pressure of chaetognaths on standing stocks and production rates of zooplankton in different seas

种类	海区	摄食压力		文献
		生物量(%)	生产力(%)	
<i>Sagitta crassa</i>	Tokyo Bay		10	Nagasawa, 1991
<i>Sagitta elegans</i>	Bedford Basin		36	Sameoto, 1973
Chaetognathse	Kaneohe Bay	4—12		Kimmerer, 1984
<i>Sagitta setosa</i>	Black Sea	0.3—6		Drits <i>et al</i> , 1988
<i>Sagitta tenuis</i>	Chesapeake Bay	1—4	5—15	Canino <i>et al</i> , 1985
<i>Sagitta enflata</i>	Gulf Stream		6.1	Feigenbaum, 1977
<i>Sagitta enflata</i>	Zanzibar Channel	1		Øresland, 2000

颚类对浮游动物的摄食压力季节变化非常明显, 春、夏季, 浮游动物数量较大, 毛颚类对浮游动物的摄食压力较小; 冬季, 浮游动物的现存量和生产力仅为 $77 \text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $5.27 \text{ mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 毛颚类的摄食压力达到了全年最大值, 为 5.71% 和 83.47%。因此, 在冬季, 毛颚类的摄食可能对浮游动物群落结构、生物量和生产力等造成重要的影响。

致谢 李国民、张永山、吉鹏等同志参加了海上调查取样, 李超伦老师对实验及数据处理给予精心指导, 张芳老师、孙晓红老师对文章的写作提出了宝贵意见, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 孙 松, 周 克, 杨 波等, 2008. 胶州湾浮游动物生态学研究. 海洋与湖沼, 39(1): 1—7
- 弘田礼一郎, 1959. *Sagitta crassa* 的形态变化. 日本海洋学会志, 15(4): 5—9
- 叶思源, 原晓军, 丁喜桂等, 2009. 胶州湾水生系统中 Pb、Zn 的分布特征及其在生物体中的浓缩. 海洋与湖沼, 40(4): 400—406
- 高尚武, 王 克, 1995. 胶州湾的浮游动物数量和分布. 胶州湾生态学研究. 北京: 科学出版社, 151—158
- 黄世玫, 1983. 胶州湾的浮游动物. 山东海洋学院学报, 13(2): 43—59
- Baier C T, Purcell J E, 1997. Trophic interactions of chaetognaths, larval fish and zooplankton in the South Atlantic Bight. Mar Ecol Prog Ser, 146: 43—53
- Canino M F, Grant G C, 1985. The feeding and diet of *Sagitta tenuis* and the lower Chesapeske Bay. J Plankton Res, 7: 175—188
- Drits A V, Utkina S V, 1988. Feeding of *Sagitta setosa* in the layers of daytime phytoplankton accumulation in the Black Sea. Oceanology, 28: 781—785
- Feigenbaum D L, Reeve M R, 1977. Prey detection in the chaetognath: responds to a vibrating probe and experimental determination of attack distance in large aquaria. Limnol Oceanogr, 22: 1052—1058
- Ikeda T, Motoda S, 1975. An approach to the estimation of zooplankton production in the Kuroshio and adjacent regions. The Pacific Science Association, Special Symposium on Marine Science, session 2, Fisheries and Oceanography, 24—28
- Ikeda T, Motoda S, 1978. Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. Fish Bull, 76: 357—367
- Kimmerer W J, 1984. Selective predation and its impact on prey of *Sagitta enflata*. Mar Ecol Prog Ser, 15: 55—62
- McNeill S, Lawton J H, 1970. Annual production and respiration in animal populations. Nature, 225: 472—474
- Nagasawa S, 1984. Laboratory feeding and egg production in the Chaetognath *Sagitta crassa* Tikioka. J Exp Mar Bio Ecol, 76: 51—65
- Nagasawa S, 1991. Vertical distribution, life cycle and production of the chaetognath *Sagitta crassa* in Tokyo Bay, Japan. Journal of Plankton Research, 13(6): 1325—1338
- Omori M, 1969. Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Atlantic Ocean. Mar Biol, 3: 4—10
- Øresland V, 2000. Diel feeding of the chaetognath *Sagitta enflata* in the Zanzibar Channel, western Indian Ocean. Mar Ecol Prog Ser, 193: 117—123
- Pearre S J, 1980. Feeding by Chaetognatha: the relation of prey size to predator size in several species. Mar Ecol Prog Ser, 3: 125—134
- Sameoto D D, 1973. Annual life cycle and production of the chaetognath *Sagitta elegans* in Bedford Basin, Nova Scotia. J Fish Res Bd Canada, 30: 333—344
- Uye S, 1982. Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 38(3): 149—158

THE ECOLOGY OF CHAETOGNATHS IN JIAOZHOU BAY

WANG Qian^{1,2}, SUN Song^{3①}, HUO Yuan-Zi⁴, YANG Bo³

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 4. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306)

Abstract The ecology of Chaetognaths was studied based on the monthly sampling data collected from September, 2006 to August, 2007 at 13 stations in the Jiaozhou Bay. Among the three species existing in the Jiaozhou Bay, *Sagitta crassa* was the dominant species, appearing all year around with its maximal abundance up to 45.3 ind/m³. The other two species were *Sagitta nage* and *Sagitta bedoti*, appearing in autumn, winter and spring, and their abundance were 0.17 ind/m³ and 0.35 ind/m³, respectively. The average biomass of Chaetognaths in the Jiaozhou Bay was 107.92 mg/m². The production was 1.47 mg C/ (m²·d), which accounted for 11.6% of the zooplankton production. The feeding pressures of Chaetognaths on zooplankton biomass and production reached 5.71% and 83.47% in winter. In spring, summer and autumn, the feeding pressure of Chaetognaths on zooplankton biomass were 0.67%, 0.08%, and 6.48%. The feeding pressures of Chaetognaths on zooplankton production were 27.00%、 2.48% and 48.88%. The feeding of Chaetognaths had a significant impact on the community structure of zooplankton in winter.

Key words Chaetognaths, Abundance, biomass, Production, Feeding, Jiaozhou Bay