

2000~2001 年柘林湾浮游动物的群落结构及时空分布

姜 胜^{1,2}, 黄长江^{2,1*}, 陈善文², 周 凯¹, 董巧香³

(1. 暨南大学水生生态研究所, 广州 510632; 2. 汕头大学海洋生物重点实验室, 汕头 515063; 3. Aquaculture Research Station, Louisiana State University, LA 70820, USA)

摘要:2000 年 7 月至 2001 年 7 月的周年调查结果表明, 粤东柘林湾浮游动物有桡足类 29 属 57 种, 枝角类 3 属 3 种, 及端足类、磷虾、糠虾、多毛类、毛颚类、被囊类、水母和各种浮游幼体。其中, 强额拟哲水蚤 *Paracalanus crassirostris*、短角长腹剑水蚤 *Oithona brevicornis* 和鸟喙尖头 *Penilia avirostris* 为优势种, 合计占浮游动物总个体数的 62.7%。浮游动物的种类数、生物量和总个体数都表现为湾外大于湾内的平面分布格局, 周年变化基本上为单峰型, 高峰期位于 6~10 月份, 最低谷位于冬季 1 月份。因此, 总个体数与水温成显著正相关关系。柘林湾是一个浮游动物相对丰富的海湾, 年均生物量为 $115.7 \text{ mg} \cdot \text{dw} / \text{m}^3$, 总个体数达 $6.8 \times 10^3 \text{ ind} / \text{m}^3$, 但群落结构的小型化趋势比较明显。回归分析结果表明, 浮游动物总个体数与浮游植物密度成显著正相关关系。

关键词:柘林湾; 浮游动物; 群落结构; 时空分布

Community Structure and Temporal and Spatial Distribution of Zooplankton in Zhelin Bay, China (2000~2001)

JIANG Sheng¹, HUANG Chang-Jiang^{2,1*}, CHEN Shan-Wen², ZHOU Kai¹, DONG Qiao-Xiang³ (1. Institute of Aquatic Ecoscience, Ji'nan University, Guangzhou, 510632, China; 2. Marine Biology Lab, Shantou University, Shantou, 515063, China; 3. Aquaculture Research Station, Louisiana Agricultural Experiment Station, Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, Louisiana 70803, USA). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 828~840.

Abstract: Zhelin Bay is one of the most important bays for marine culture in Guangdong Province of China. Due to the increasing human population and mariculture in the last 10 years, the ecological environment has changed dramatically. Although *Phaeocystis* blooms of 1997 and 1999 had brought the serious economic loss and ecological damage to this area, few studies were followed. To understand why *Phaeocystis* blooms frequently hit this area and how the increased marine culture affects this ecosystem, we have investigated the temporal and spatial distribution of phytoplankton, zooplankton, nutrients, and other biochemical parameter since May 2000. This paper describes an annual (7/2000~7/2001) variation of the community structure and temporal and spatial distribution of zooplankton in Zhelin Bay.

Water samples were collected from eight stations weekly (March to November) or biweekly (December to February). Sampling was scheduled to cover the period around high tide ($\pm 1.5 \text{ h}$). In each station, water samples for zooplankton analysis was collected by double vertical hauls of a JP-2 net ($200 \mu\text{m}$) from the bottom to the surface. Two batch samples were collected each time. One batch was

基金项目: 广东省重大科技兴海资助项目(A200005F02); 国家自然科学基金“九五”重大资助项目(39790110); 国家教育部骨干教师资助计划(2000(23)号)

收稿日期: 2001-10-18; 修订日期: 2002-03-14

作者简介: 姜胜(1975-), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生。主要从事海洋浮游动物和海洋生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: cjhuang@stu.edu.cn

fixed immediately with formalin (5% in the samples) *in situ* and then transferred to laboratory for species identification and biomass analysis. Thereinto, copepod, and cladocera were identified to species, others such as hyperiidea, euphausiacea, mysidacea, polychaeta, chaetognotha, tunicata, medusa were identified to genus. The other batch was used for dry weight measurement. Samples were filtrated through GF without fixation, rinsed with 6.5‰ isoosmotic ammonium formate, desiccated with the vacuum pump, and dried in the oven at 60°C for 24 h. Then they were cooled to indoor temperature in the desiccator, and measured with OHAUS analytical balance.

Our investigation found 57 copepods, three cladocera, and others such as hyperiidea, euphausiacea, mysidacea, polychaeta, chaetognotha, tunicata, medusa, and planktonic shrimps. In terms of individual biomass, copepod accounted for 66.3%, planktonic larvae accounted for 13.1%, cladocera accounted for 10.7%, and the rest accounted for 9.9%. The dominant species in the Zhelin Bay are *Paracalanus crassirostris*, *Oithona brevicornis*, *Penilia avirostris*, *Calocalanus pavoninus* and *Eutерpe acutifrons*. Based on their ecological and distributional characteristics, copepod and cladocera can be classified into four ecotypes: estuarine species, nearshore and warm-water species, nearshore and warm-temperature species, and offsea extensive species.

Based on the data of copepod and cladocera only, species abundance increased from 26 species in the inner bay (Station 4) to 47 at the outer bay (Station 7). Temporally, the highest abundance was found in August (38 species) and the lowest was in January (17 species). In all identified copepod and cladocera, there were 45 species with body length smaller than 1.3 mm, which accounted for 75.0% of the total species abundance. Particularly, the body lengths of most dominant species were less than 0.6 mm. Therefore, micro-zooplankton dominated the zooplankton community in Zhelin Bay.

The annual average dry weight increased from the inner bay (47.3 mg/m^3 at Station 4) to the outer bay (211.8 mg/m^3 at Station 7). Monthly average dry weight ranged from 19.4 mg/m^3 in January to 264.1 mg/m^3 in May with the annual mean of 115.7 mg/m^3 . It also exhibited two peaks during our investigation period: the biomass was low in January (19.4 mg/m^3), but increased from February with water temperature and phytoplankton abundance, and it reached the first peak in May (264.1 mg/m^3), which was associated with the biomass of *Noctiluca scientillans*, then it decreased until reaching the second peak in September (224.4 mg/m^3).

Biomass expressed as individual number increased from $2.4 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ in the inner bay (Station 4) to $13.4 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ at the outer bay (Station 7). The large-scale filter-feeding oyster culture and marine fish culture were suspected to be the reason for the low density of zooplankton in the inner bay. Monthly average varied significantly. It peaked in September ($17.8 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$) and decreased to the lowest in January ($0.63 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$). It was also found to be positively correlated to water temperature ($P < 0.0001$, $r = 0.696$). The annual average was $6.8 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$.

Individual numbers of *Paracalanus crassirostris* accounted for 51.1% of total copepod, 33.8% of total zooplankton, and its site distribution were positively correlated to total zooplankton ($P < 0.0001$, $r = 0.903$). Therefore, the horizontal and seasonal distribution patterns of *Paracalanus crassirostris* implied the distributional patterns of zooplankton. The phytoplankton data in this investigation suggested a positive correlation between *Skeletonema costatum* and the total phytoplankton. Whether there is feeding preference for *Skeletonema costatum* of *Paracalanus crassirostris* requires further study.

Key words: Zhelin Bay; zooplankton; community structure; temporal and spatial distribution

文章编号:1000-0330(2006-08)28-13 中图分类号:P714+.5, X145 文献标识码:A

浮游动物在海洋生态系统的结构和功能中起着重要的调控作用,它通过摄食控制浮游植物的数量,同时又是许多经济海产动物的饵料,因而其数量变化可以直接影响渔业资源量^[1,2]。为此,浮游动物的群落构成及数量分布等调查数据是了解近岸海域生态系统结构和功能的重要内容之一。粤东饶平县柘林湾毗邻福建省,是广东省 12 个重要海湾之一^[3]。因其良好的避风条件使其海水增养殖渔业从 20 世纪 80 年代起得到迅猛的发展,并由此导致了海湾富营养化的加剧和生态条件的持续恶化。1997 年底和 1999 年 7 月,该湾曾发生过两次大规模棕囊藻赤潮,使增养殖渔业和海域生态环境受到了严重的破坏^[4,5]。本文通过对柘林湾及湾外附近海域浮游动物群落的种类组成、数量分布及季节变化的周年调查,旨在从生态学角度评价和分析该湾生态系统的现状和未来可能的变化趋势,为研究和制定粤东海水增养殖业可持续发展和海湾生态保护策略提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查海域概况

柘林湾位于闽粤两省交界处,东经 $116^{\circ}58' \sim 117^{\circ}05'$,北纬 $23^{\circ}31' \sim 23^{\circ}37'$ 。内湾如平放的葫芦状,东西轴长,南北窄(图 1)。东西北三面为陆地所包围,湾口朝南,面临南海。北依饶平县黄冈镇,有黄冈河流入该湾,该河全长 88km,流域面积 1317.5 km^2 ;南有汎洲、西澳两岛相伴;东起柘林港;西至海山岛,与三百门港相邻。该湾水域面积宽阔,达 $68 \sim 70 \text{ km}^2$ 。底质为泥沙,水深 $3 \sim 12 \text{ m}$,平均 4.8 m 。以汎洲为界,其西部水域深于东部。该湾的潮汐为典型的不规则半日潮,平均潮差为 1.69 m ,月最大潮差过 $3.06 \sim 3.33 \text{ m}$,涨潮历时大于落潮历时,落潮流速大于涨潮流速。西部三百门港是粤东最大的港口之一。

1.2 站位的布设与样品的采集与处理

调查海区及采样站位布设如图 1。 S_1 位于黄冈河口, S_2 站位于养殖面积为 15 km^2 的太平洋牡蛎养殖区中心, S_4 和 S_6 站分别位于养殖规模为 1.7 万格和 1 万格的网箱鱼排增养殖区中心, S_3 站位于牡蛎(0.5 km^2)和网箱鱼排增养殖(1.2 万格)的混养海域中间的空处, S_5 站位于养殖规模为 0.6 万格的网箱鱼排养殖海域, S_7 位于湾口外侧, S_8 位于湾外。站位定点和养殖面积的测定采用 Garmin 公司生产的 GPS12 型全球卫星定位系统。网箱鱼排规模的计算采用现场计数及抽样平均推测。

2000 年 7 月至 2001 年 7 月,在柘林湾及湾外布设的 8 个站位(图 1),进行浮游动植物和理化因子的现场调查。冬季每月调查 2 次,其余季节每月 3~4 次,每次调查于高潮前后 1h 内完成。浮游动物的现场采样用浅水 II 型浮游生物网(内径 31.6 cm , JP_{36} 筛绢,网目直径为 $200 \mu\text{m}$)^[6] 由底至表垂直拖曳,每月采样每站位有一次采两份平行样品,一份加入福尔马林(最终浓度为 5%),带回实验室进行种类鉴定和个体计数。其中桡足类和枝角类鉴定到种,其它浮游动物如端足类、磷虾、糠虾、多毛类、毛颚类、被囊类和水母类等只鉴定到类。另一份不加福尔马林,带回实验室立即用玻璃纤维过滤筛绢(GF)过滤,再用 6.5% 的等渗甲酸铵溶液漂洗,然后用真空泵抽干,接着把标本放入 60°C 的烘箱中烘 24h,后于干燥器中冷却至室温,冷却后的样品用 OHAUS 分析天平(精确到 0.1 mg)称其干重^[7]。其余的每次每站位只采一份样品用于种类鉴定和计数。

文中提及的物种数为桡足类和枝角类的种类数,生物量和个体数则包括所有类别。

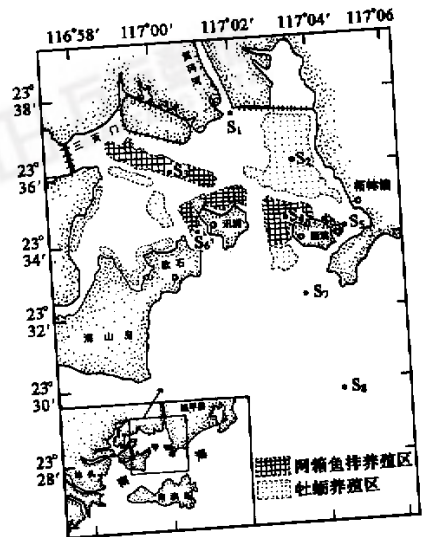


图 1 调查站位的分布
Fig. 1 The map of sampling stations
■ Cage mariculture areas of fish
▨ Mariculture areas of oysters

2 结果

2.1 水温与盐度的时空特征

调查海区水温年平均值湾内略高于湾外(图 2),黄冈河口 S₁ 站水温最高(16.1~30.3℃),年均值为 23.6℃,湾外 S₈ 站最低(15.4~27.1℃),年均值为 22.1℃。柘林湾水温的季节变化非常明显(图 3),年变化范围在 15.4~30.3℃之间,年均值为 23.0℃。2001 年 1 月最低,平均值为 16.4℃,2000 年 7 月最高,平均值为 27.9℃。

调查海区由于受黄冈河的影响,盐度由湾内向湾外递增的趋势非常明显(图 2)。黄冈河口 S₁ 站盐度最低(5.1~24.3),年均值只有 19.5,而湾外 S₈ 站则最高(23.6~34.6),年平均值达 29.6。由于离柘林湾约 10 公里处横卧着面积为 108km² 的南澳岛(图 1),从而减弱了外海水对该湾的影响,使得其海水盐度低于一般大洋海水的 35.0。调查海区盐度周年变化范围在 5.1~34.6(图 3),年均值 26.6。由于受雨季及地表径流的影响,调查海区盐度的季节变化比较明显(图 3)。夏季盐度相对较低,最低的 2000 年 7 月平均值为 24.7,秋季较高,最高的 11 月平均值为 31.4。

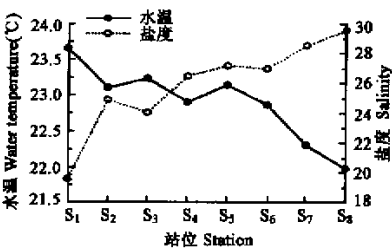


图 2 各调查站位水温和盐度的周年平均值

Fig. 2 Annual averages of water temperature and salinity in each station

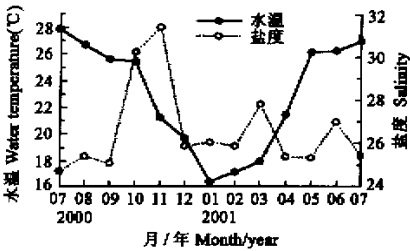


图 3 水温和盐度月平均值的周年变化

Fig. 3 Annual variation of monthly averages of water temperature and salinity

2.2 种类组成及分布

本调查共鉴定桡足类 29 属 57 种,枝角类 3 属 3 种,其它浮游动物有端足类、磷虾、糠虾、多毛类、毛颚类、被囊类、水母和多种浮游幼体等。其中,强额拟哲水蚤、短角长腹剑水蚤、锦丽哲水蚤 *Calocalanus pavoninus*、尖额真猛水蚤 *Eutерpe acutifrons*、鸟喙尖头 等为常见种。表 1 列出一一年四季主要代表月份各类浮游动物在总个体数中所占的百分比。其中,桡足类所占的比例最大,年平均值为 66.25%,浮游幼体 13.13%居次,然后是枝角类,被囊类、毛颚类、多毛类和浮游虾类比较稀少。

表 1 调查海区不同季节代表月份浮游动物个体数的百分比组成(%)

Table 1 Percentages of zooplankton individuals in different seasons in the investigated areas

时间(年-月) Time(year-month)	桡足类 Copepod	枝角类 Cladocera	被囊类 Tunicata	毛颚类 Chaetognotha	多毛类 Polychaeta	浮游虾类 Planktonic shrimps	浮游幼体 Planktonic larvae	其它 Others
2000-08	54.60	14.59	11.53	0.63	0.62	0.37	15.60	2.06
2000-11	69.06	16.93	2.52	1.36	0.78	1.42	7.79	0.14
2001-02	82.38	2.77	0.78	2.73	3.14	3.54	3.64	1.02
2001-05	58.95	8.43	1.88	1.78	1.36	0.48	25.47	1.65
年平均值 AMP	66.25	10.68	4.18	1.63	1.48	1.45	13.13	1.22

* 浮游虾类包括糠虾、磷虾、樱虾和毛虾,其它包括水母类、端足类和轮虫。Planktonic shrimps refers to euphausiacea, mysidacea, sergestidae and acetes. Others included medusa, hyperiidea and rotatoria. AMP Annual mean percentage

桡足类和枝角类种类的平面分布表现为湾外多于湾内的格局(图 4)。其中,湾内大规模网箱养殖区 S₄ 站的种类数最少,全年累计出现种类数为 26 种,年平均只有 9 种。湾口外侧 S₇ 站累计出现的种类最多,

为 47 种,但年平均出现种数的最高值却位于湾外 S₈ 站,为 19 种,是 S₄ 站的两倍多。

调查海区浮游动物种类数的季节变化比较明显(图 5),整体表现为春夏多,秋冬少的格局。调查期间,2000 年夏季 8 月累计出现种类数最多,达 38 种,但海区平均出现种数则是 2001 年春季 5 月最高,为 19 种。累计出现种数和平均出现种数的最低值都为冬季 1 月,分别为 17 种和 7 种。调查海区优势种的季节更替非常明显,如小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus* 在冬春季为优势种,而夏季则几乎完全绝迹。此外,鸟喙尖头 在一年大部分时间里为优势种,但在 3、4 月份却只见极微分布。

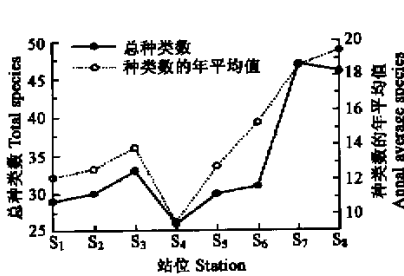


图 4 各调查站位浮游动物出现种类数的周年累加值和周年平均值

Fig. 4 Annual total numbers and annual averages of zooplankton taxa in the investigated stations

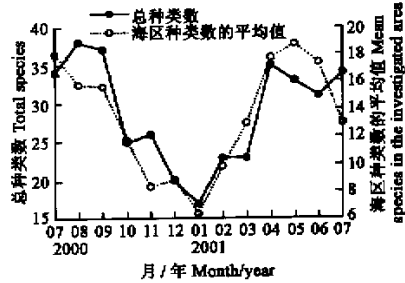


图 5 调查海区浮游动物出现种类数月累加值和月平均值的周年变化

Fig. 5 Annual variation of monthly total numbers and monthly averages of zooplankton taxa in the investigated areas

调查海区浮游动物桡足类和枝角类的体长组成明显偏小。虽然所有种类的体长分布范围为 0.4~3.5mm,但峰值位于 1.1mm,而且体长分布曲线呈明显的单峰型(图 6)。在已鉴定的 57 种桡足类和 3 种枝角类中,体长小于 1.3mm 的有 45 种,占总种数的 75.0%。其中,体长介于 0.9~1.1mm 的种类最多,为 20 种,占总种数的 33.3%。体长大于 2.0mm 的仅有 5 种,且均为外海种。此外,主要优势种强额拟哲水蚤、短角长腹剑水蚤和鸟喙尖头 的体长均小于 0.6mm。

2.3 生态类群的划分

根据生态习性及其分布特点^[8,9],调查海区浮游动物桡足类和枝角类可分为以下几个生态类群:

(1)河口类群 主要由广温低盐的种类组成。该类群种类极少,主要分布于受黄冈河河水影响的小区。主要代表种有中华异水蚤 *Acartiella sinensis*(图 7)和近海伪镖水蚤 *Pseudodiaptomus marinus* 等。

(2)近岸暖水类群 种类多、分布广,是柘林湾最重要的生态类群,许多优势种属于该类群,并常见大量出现于高温季节。主要代表种有强额拟哲水蚤(图 7)、鸟喙尖头 、短角长腹剑水蚤、歪尾宽水蚤 *Temora discaudata* 和小长足水蚤 *Calanopia minor* 等。

(3)近岸暖温带类群 适温较低,种类也少,具明显的季节性分布特点,主要出现于冬季,春秋季可少量出现,夏季则向湾外退缩,且数量甚微或完全消失。主要代表种有小拟哲水蚤(图 7)、中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、史氏圆囊 *Podon schmackeri* 和瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiremis* 等。

(4)外海广布类群 种类出现率低,个体数量也少,一般仅在外海水影响强盛的春夏少量分布于盐度较高的湾外,代表种有欧氏后哲水蚤 *Metacalanus aurivillii*(图 7)、长角隆哲水蚤 *Acrocalanus longicornis*、羽丽哲水蚤 *Calocalanus plumulosus* 和帽形真哲水蚤 *Eucalanus pileatus* 等。

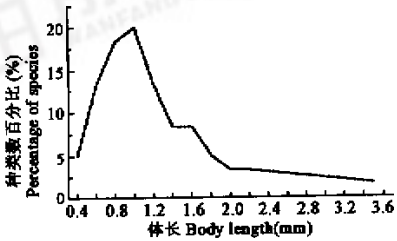


图 6 调查海区浮游桡足类和枝角类的体长分布图

Fig. 6 The distribution of body lengths of copepods and cladocerans in the investigated areas

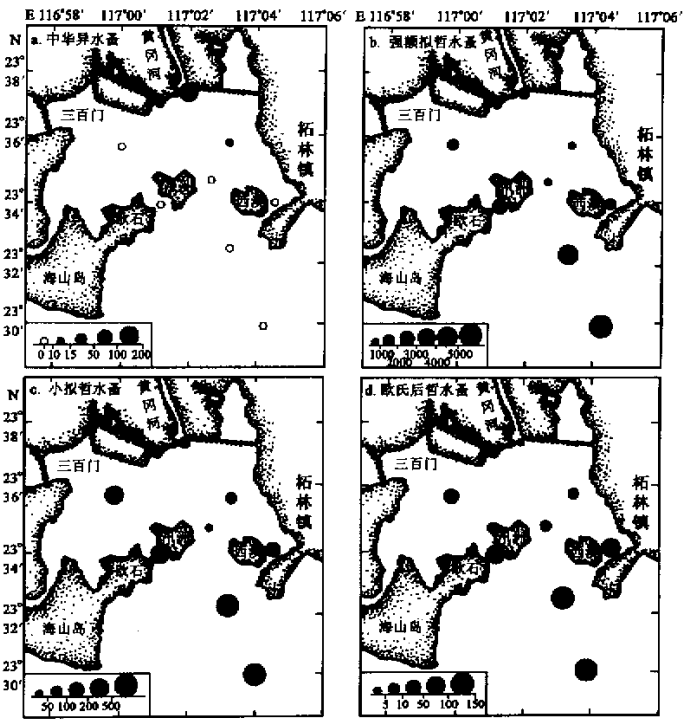


图 7 不同生态类群浮游动物主要代表种个体数周年平均值的平面分布

Fig. 7 Horizontal distribution of annual average individuals of the typical species in different ecological assemblages of zooplankton

调查海区浮游动物虽 4 种生态类群共存,但以近岸暖水类群居主导地位。河口低盐类群也有一定的优势,常在受黄河河水直接影响的湾顶低盐区形成优势。

2.4 生物量的时空分布

2.4.1 平面分布 调查期间浮游动物生物量的平面分布整体表现为湾外高于湾内的格局(图 8)。其中,大规模网箱养殖区 S₄ 站的生物量最低,周年变动范围为 10.3~110.0mg dw/m³,年平均值为 47.3mg dw/m³。湾口外侧 S₇ 站最高,周年变化范围为 27.1~551.3mg dw/m³,年平均值为 211.8mg dw/m³,是 S₄ 站的 4.5 倍。

春夏两季(分别以 5 月和 8 月为代表月份),调查海区浮游动物生物量较高,变化范围分别为 86.9~551.3mg dw/m³ 和 108.6~319.6 mg dw/m³,海区平均值分别为 264.1 mg dw/m³ 和 196.0mg dw/m³。生物量最高值春夏两季都位于湾口外侧 S₇ 站,分别达到 551.3mg dw/m³ 和 319.6mg dw/m³。但最低值,春季为大规模网箱养殖区 S₄ 站的 86.9mg dw/m³,夏季则为大规模牡蛎养殖区 S₂ 测站的 108.6 mg dw/m³。春夏两季,最高和最低生物量相差分别达到 6.3 和 2.9 倍。

秋冬两季(分别以 11 月份和 2 月份为代表月份),调查海区浮游动物的生物量较低,变化范围分别为 17.1~51.4mg dw/m³ 和 10.2~37.3 mg dw/m³,海区平均值分别为 36.6 mg dw/m³ 和 25.2mg dw/m³,比春夏两季整整小了一个数量级。秋季,最高值出现在湾口外侧 S₇ 站,生物量为 51.4 mg dw/m³,最低值是湾内大规模网箱养殖区 S₄ 站的 17.1mg dw/m³。冬季,最高值出现在湾外 S₈ 站,生物量为 37.3mg dw/m³,最低值则是湾内 S₃ 站的 10.2 mg dw/m³。

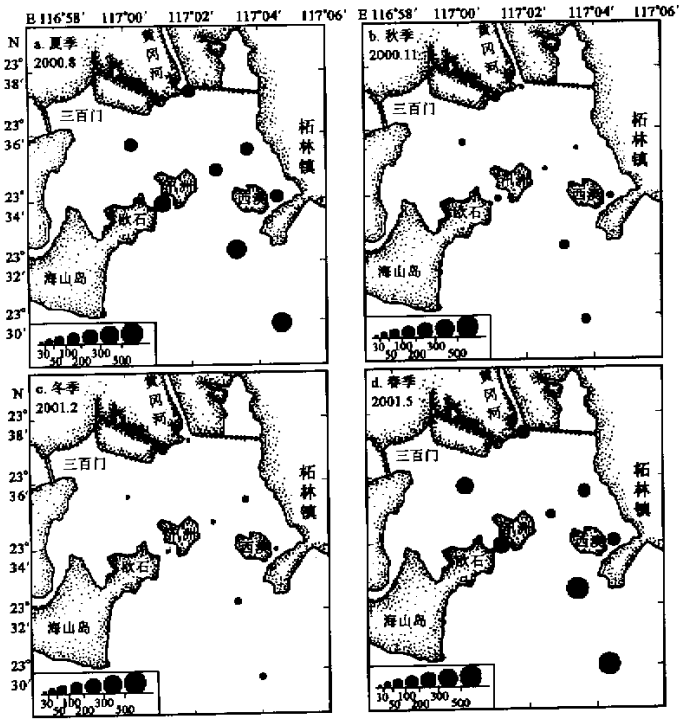


图 8 不同季节主要代表月份浮游动物生物量的平面分布

Fig. 8 Horizontal distributions of zooplankton biomasses in different seasons, represented by each typical month

2.4.2 季节变化

调查海区浮游动物生物量的周年变化模式为双峰型(图 9),变化范围为 $10.2 \sim 551.3 \text{ mg dw/m}^3$, 年均值为 115.7 mg dw/m^3 。春季随着水温和浮游植物丰度的上升,海区浮游动物生物量开始回升。于 5 月份达到全年第一个高峰的 264.1 mg dw/m^3 。此后,生物量略有下降,于盛夏 7 月份(2000 年)降至 130.6 mg dw/m^3 的较低水平。秋季,浮游动物生物量有所回升,并于 9 月份达到全年第二高峰的 224.4 mg dw/m^3 。生物量全年最低谷出现在冬季 12~2 月份,月平均值只有 $19.4 \sim 32.7 \text{ mg dw/m}^3$ 。

2.5 总个体数的时空分布

2.5.1 平面分布 调查海区浮游动物总个体数的平面分布也呈湾外高于湾内的特点(图 10)。其中,大规模网箱养殖区 S_4 站的总个体数最低,周年变动范围为 $0.12 \sim 6.3 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$, 年平均值为 $2.4 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ 。湾口外侧 S_7 站最高,周年变化范围为 $1.2 \sim 30.2 \times 10^3 \text{ 个/m}^3$, 年平均值为 $13.4 \times 10^3 \text{ 个/m}^3$, 是 S_4 站的 5.5 倍。

春夏两季(分别以 5 月和 8 月为代表月份),调查海区浮游动物总个体数月平均分别高达 $8.7 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ 和 $11.8 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ 。最高值均出现在湾口外侧 S_7 站,月平均值分别为 $14.9 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ 和

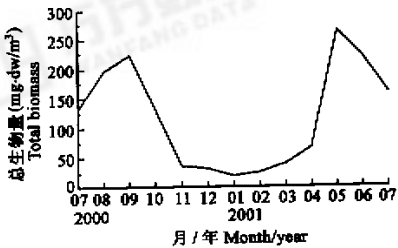


图 9 调查海区浮游动物生物量的周年变化

Fig. 9 Annual variation of zooplankton biomass in the investigated areas

$26.7 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$, 主要优势种均为强额拟哲水蚤和阶段性浮游幼体, 其个体数在总个体数中所占百分比为春季 48.0% 和 21.1%, 夏季 58.4% 和 30.3%。最低值区均位于 S_4 站, 总个体数的月平均值分别为 $2.1 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 和 $2.8 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 。

秋冬两季(分别以 11 月和 2 月为代表月份), 调查区浮游动物总个体数月平均值分别为 $1.8 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 和 $0.79 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 。最高值仍位于湾口外侧 S_7 站, 月平均分别为 4.3×10^3 个 $\text{ind.} / \text{m}^3$ 和 $1.2 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$, 主要优势种仍为强额拟哲水蚤。最低值区仍出现在 S_4 站, 月平均值分别只有 $0.42 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 和 $0.12 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 。

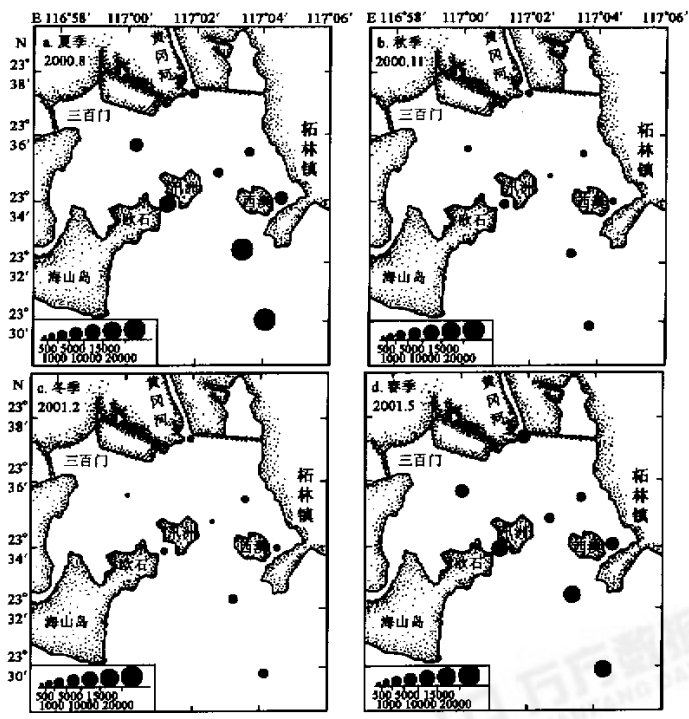


图 10 不同季节代表月份浮游动物总个体数的平面分布

Fig. 10 Horizontal distributions of total zooplankton individuals in different seasons, represented by each typical month

2.5.2 季节变化 与生物量不同, 调查海区浮游动物总个体数的周年变化模式基本上可视为单峰型(图 11), 周年变动范围为 $0.12 \sim 30.2 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ (站点实测值), 年均值为 $6.8 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 。2000 年 9 月为全年最高值, 海区月平均值为 $17.8 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$, 优势种为强额拟哲水蚤、鸟喙尖头 和短角长腹剑水蚤等, 分别占浮游动物总个体数的 41.7%、24.1% 和 16.4%。此外, 阶段性浮游幼体的大量出现(12.4%)也是该月浮游动物总个体数达到年高峰的重要因素。此后, 浮游动物总个体数逐减, 在 1 月降至全年最低谷, 海区月平均值为 $0.63 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 。入春以后又逐步回升, 至 2001 年 6 月, 浮游动物总个体数月平均值升至 $14.8 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$, 优势种为鸟喙尖头 、强额拟哲水蚤和短角长腹剑水蚤, 分别占浮游动物总个体数的 35.1%、24.0% 和 20.7%。调查海区浮游动物总个体数在 6~9 月一直维持在较高水平, 月平均值变化范围为 $10.7 \sim 17.8 \times 10^3 \text{ ind.} / \text{m}^3$, 而其余月份均未超过 $10^4 \text{ ind.} / \text{m}^3$ 数量级。

2.5.3 浮游动物总个体数与水温、浮游植物丰度的回归分析 浮游动物总个体数与浮游植物总细胞数的

回归分析表明(图 12),调查海区浮游动物总个体数与浮游植物数量呈显著的正相关关系($p<0.0001$),相关系数为 0.664。

浮游动物总个体数与水温的回归分析表明(图 12),调查海区浮游动物总个体数与水温也呈显著的正相关关系($p<0.0001$),相关系数为 0.696。

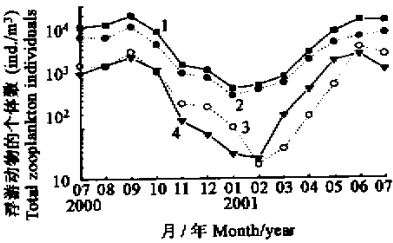


图 11 调查海区浮游动物及其主要类别总个体数月平均值的周年变化

Fig. 11 Annual variation of monthly average individuals of zooplankton and its important groups in the investigated areas

1. 总个体数 Total individuals number, 2. 桡足类数量 Copepods number, 3. 枝角类数量 Cladocera number, 4. 阶段幼体数量 Larvae number

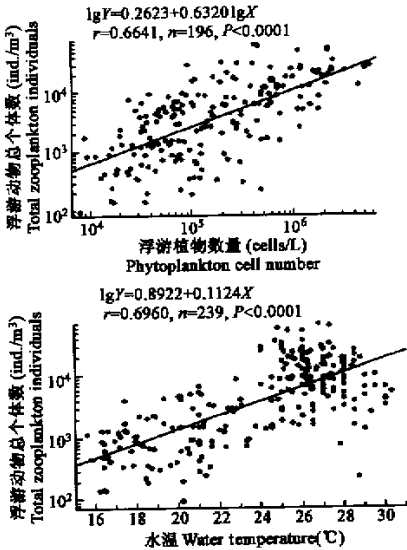


图 12 调查海区浮游动物总个数与浮游植物数量丰度、水温的相关关系

Fig. 12 Correlation between total zooplankton individuals and total phytoplankton abundances, water temperatures in the investigated areas

2.6 主要优势种

2.6.1 强额拟哲水蚤 强额拟哲水蚤是调查海区最优势的浮游动物(图 13a),种群数量年平均值达 $2.3 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$,占浮游动物群落总个体数的 33.8%,桡足类总个体数的 51.1%。其高峰期出现在 9 月份($7.4 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$),低谷出现在翌年 1 月($0.13 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$)。调查期间,该种在调查海区的各站位都有出现,高值区位于湾口外侧。在其高峰期 9 月份,湾口外侧 S_7 站的密度高达 $17.6 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$,而湾内 S_2 站位仅为 $1.0 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$,相差达 17.6 倍。强额拟哲水蚤数量与浮游

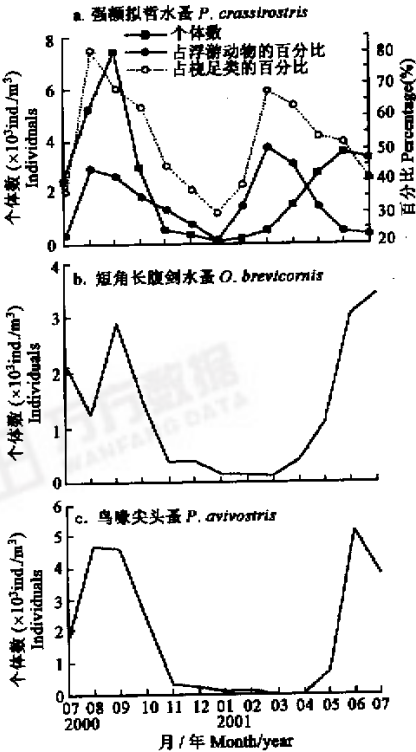


图 13 调查海区浮游动物主要优势种个体数月平均值的周年变化

Fig. 13 Annual variation of monthly average individuals of dominant zooplankton species in the investigated areas

动物总个体数、桡足类个体数的回归分析表明(图 14),调查海区强额拟哲水蚤数量与浮游动物总个体数、桡足类个体数均呈显著的正相关关系,相关系数分别为 0.930 和 0.961。这表明,调查海区浮游动物和桡足类总个体数的时空分布模式在很大程度上由强额拟哲水蚤所左右。

2.6.2 短角长腹剑水蚤 该种分布广,数量大,是调查海区的重要优势种(图 13b),其年平均值为 $1.3 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$,约占浮游动物总个数的 18.5%,占桡足类总个体数的 27.9%。该种的数量高峰出现在气温较高的 6~10 月份。与强额拟哲水蚤相似,该种的密集区亦位于湾口外侧 S_7 站,如 2000 年 7 月,湾口外侧 S_7 站的密度为 $7.1 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$,而湾顶河口处 S_1 站仅为 $0.87 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ 。

2.6.3 鸟喙尖头 鸟喙尖头 个体数的年均值为 $0.73 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ (图 13c),约占浮游动物总个体数的 10.4%,占枝角类个体数的 97.5%。其数量高峰也是出现在水温较高的夏秋两季,在 2000 年 9 月($4.6 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$)和翌年 6 月份($5.2 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$)两次形成高峰,而在 1~4 月份间则几乎完全绝迹,仅在河口处少量出现。该种呈现湾内多于湾外的平面分布特点。2001 年 6 月,河口 S_1 站的个体数高达 $7.4 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$,而湾外 S_8 站位只有 $0.86 \times 10^3 \text{ ind./m}^3$ 。

3 讨论

3.1 柘林湾浮游动物的分布特征及其影响因素

柘林湾及湾外附近海域浮游动物的种类数、生物量和总个体数的平面分布都表现为湾外高于湾内的基本格局,这与浮游植物的平面格局大致相似^[10]。浮游植物总细胞数与浮游动物总个体数的显著正相关关系(图 12)充分说明了调查海区作为饵料的浮游植物的丰度对摄食者浮游动物群落数量的重要调控作用^[11]。然而,柘林湾湾内各站浮游植物与浮游动物的平面分布却存在着明显的差异。湾内浮游植物的低值区为湾顶的 S_1 站和柘林湾内的 S_5 站^[10]。这主要是因为 S_1 站和 S_5 站水深(分别平均为 2.1m 和 3.5m)较浅且悬浮颗粒较多,不利于浮游植物的光合作用所致。但浮游动物种类数、生物量和总个体数的最低值区都位于大规模网箱养殖区 S_4 站,分析其原因可能有两个。其一,网箱养殖动物(主要是各种经济鱼类)可能对浮游动物存在一定的摄食压力^[12,13],但同样为大规模网箱养殖区的 S_6 站的浮游动物种类数和总个体数为何不比湾内其它站位的低呢?这是否与 S_6 站更靠近湾口有关?其二,从桡足类和枝角类种类数的严重偏低(平均出现种数只有 9 种)来看,大规模网箱增殖养殖区造成的环境恶化^[14]①是否已到了不利于某些浮游动物,尤其是一些外海性种类,生存的严重状况?同样,这种情况为何没出现在 S_6 站?要合理地解释 S_4 站的浮游动物低种类数和低生物量的原因还需今后的深入、细致的调查。

与其它站位相比,大规模牡蛎养殖区 S_2 站浮游动物的种类数虽然没有明显偏低,但总个体数却明显较低。浮游植物总细胞数在 S_2 站也有偏低的情况,分析其原因应该与贝类的滤食作用有关^[10]。一般来说,贝类滤食作用对浮游动物的影响应该较小。但调查海区浮游动物的群落结构明显以小型浮游动物为主。共占浮游动物总个体数达 62.7% 的 3 个主要优势种强额拟哲水蚤、短角长腹剑水蚤和鸟喙尖头 的体长都

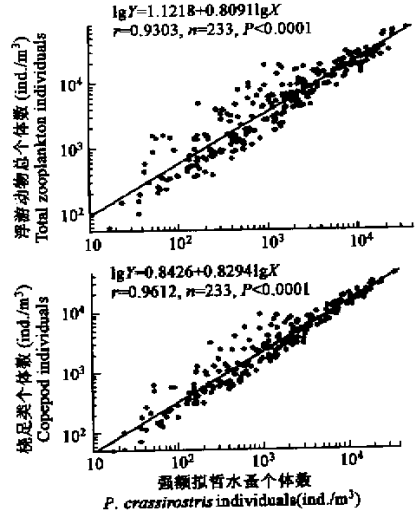


图 14 调查海区强额拟哲水蚤个体数与浮游动物及桡足类总个体数的相关关系

Fig. 14 Correlation between the numbers of *Paracalanus crassirostris* and total individuals of zooplankton, total individuals of copepods in the investigated areas

① 周凯,黄长江,姜胜,等.生态学报待发

小于 0.6mm,它们的幼体的粒级与大型浮游植物(>0.2 mm)相差无几,有的可能甚至与小型浮游植物(0.02~0.2mm)相同,因而被挂养于水中的贝类大量滤食的可能性完全存在,从而无法排除养殖贝类对调查海区小型浮游动物生物量可能存在的重要影响^[15~17]。但贝类的滤食作用却无法对种类数构成直接的影响,因为只有单纯滤食是无法将某一种浮游动物完全排除的。

柘林湾是一个位于亚热带的内湾,按一般规律,在浮游植物与水温的双重调控下,其数量的周年变动应为双峰型,即紧随浮游植物的夏季低谷,浮游动物在盛7~8月份应有一个低谷。但柘林湾浮游动物不仅没有这个夏季低谷,而且其总个体数在夏季有增无减,并在初秋9月份达到全年最高峰。这种周年变化模式在很大程度上与柘林湾浮游植物丰度的周年变化模式有关,因为柘林湾浮游植物丰度的周年变化模式也是单峰型,高峰期同样位于水温高温季节的6~10月份,并在盛夏7月份达到全年最高峰^[10]。虽然柘林湾浮游动物数量周年变化模式不是双峰型,但其受控于浮游植物与水温的基本特征却毫不例外,其数量与浮游植物、水温之间的显著正相关关系是最好的说明(图12)。

然而,柘林湾浮游动物生物量的周年变动曲线却是双峰型的,主要是2001年5月份的高生物量低个体数所致。这一个体数与生物量相背离的原因与2001年5月份调查海区夜光藻大量出现有关。因为在本调查中夜光藻被作为浮游植物,计数时没被包括在浮游动物总个体数里面,但是个体直径达0.8mm以上的夜光藻^[18]极易被浅海II型浮游动物网所采集,因而测生物量时不可避免地被计算在内,由此导致了个体数与生物量之间的误差。这种误差在夜光藻数量高峰的春季^[19]尤为明显。同时,春季柘林湾夜光藻的高值区主要分布在湾外,因而与总个体数相比,2001年5月份湾外S₇和S₈两站浮游动物的生物量明显偏大(图8、10)。

3.2 浮游动物群落结构的评价

调查期间柘林湾共发现浮游桡足类57种,与毗邻的福建省的4个海湾相比(表3),略高于东山湾的50种,但比三沙湾、兴化湾和旧镇湾的多1.5倍左右。与国外3个海湾的调查结果(30~46种)相比,柘林湾的桡足类的种类数也明显较多。虽然这些调查所使用的网目大小不一,但其无论网目比柘林湾的大还是小(表3),这些海湾桡足类的种类数都比柘林湾的少。由此可见,柘林湾海域浮游桡足类的种类组成还是比较丰富的。当然,海域的调查范围大小不一也会对浮游动物种类数产生一定的影响。如本调查海域的盐度变化范围为5.1~34.6,浮游动物的种类组成包括了从河口(如中华异水蚤和近海伪镖水蚤等)到外海(如欧氏后哲水蚤和帽形真哲水蚤等)的大多主要生态类群,浮游动物种类相对丰富也在情理之中。

表3 柘林湾浮游动物群落结构与其它海湾的比较

Table 3 Comparison of community structure of zooplankton between Zhelin Bay and other bays						
海 域 Location	调查时间 Investigated time	网目直径 Net diameter (μm)	桡足类种数 Copepod species	总个体数 Total individuals (ind./m ³)	总生物量 Total biomass * (mg/m ³)	文献来源 Abstracted from
东山湾 Dongshan Bay	1988-05~1989-02	~450	50	80.5	147.00	朱长寿等 ^[20]
三沙湾 Sansha Bay	1988-05~1989-02	—	36	89.1	116.52	林景宏等 ^[21]
兴化湾 Xinghua Bay	1988-05~1989-02	—	37	—	116.75	林景宏等 ^[21]
旧镇湾 Jiuzhen Bay	1988-03~1989-11	—	35	185.5	310.0	林茂等 ^[22]
Gulf of Aqaba	1994-07~1995-05	55	31	4.0×10 ³	—	T. Khalil ^[23]
Bombay Harbor	1985-08~1986-10	300	46	2.1×10 ³	—	N. Ramaiah ^[24]
Mediterranean coast	1984-01~1985-12	200	30	1.5×10 ³	—	I. Siokou ^[25]
柘林湾 Zhelin Bay	2000-07~2001-07	200	57	6.8×10 ³	115.67	

* 其它海湾的总生物量是指湿重,而柘林湾的总生物量是指干重(干重约为湿重的20%^[13])。The biomass in other bays refers to wet zooplanktonic weight, but that in Zhelin Bay refers to dry zooplanktonic weight (the dry zooplanktonic weight was about 20 percent of its wet weight^[13])。

柘林湾浮游桡足类和枝角类的体长分布范围为0.4~3.5mm(图6),但体长小于1.3mm的占到总种数的75.0%。而浮游动物群落总个体数达62.7%的3种主要优势种强额拟哲水蚤、短角长腹剑水蚤和鸟喙尖头的体长均小于0.6mm。相比之下,与柘林湾毗邻的东山湾的主要优势种为中华哲水蚤、太平洋

纺锤水蚤 *Acartia pacifica* 和瘦尾胸刺水蚤, 它们的体长均大于 1.5mm。虽然东山湾调查所用的网具的网目直径较大(表 3), 能更有效地采集到大型浮游动物, 而漏掉一些小型浮游动物。虽然柘林湾中华哲水蚤和瘦尾胸刺水蚤的年平均个体数只有 5.3 ind./m³ 和 5.4 ind./m³, 合计相当于东山湾浮游动物总个体数的 13.3%。然而, 即使柘林湾的大型浮游动物的总个体数能达到东山湾浮游动物总个体数的 80.5 ind./m³, 其在柘林湾浮游动物总个体数中所占的百分比也只不过 1.2%。Mediterranean Coast 调查的网目与本调查的相同, 但前者的主要优势种为小拟哲水蚤、叉柯哲水蚤 *Clausocalanus furcatus* 和杆状宽水蚤 *Temora stylifera*, 体长介于 0.8~1.4mm 之间, 明显比柘林湾的大。网目直径只有 55μm 的 Gulf of Aqaba 的主要优势种(*P. parvus*, *Acrocalanus gibber* 和 *Centropages elongatus*) 的体长也均大于 0.8mm。由此可见, 柘林湾浮游动物群落构成小型化的趋势比较明显。其原因显然与调查期间小型硅藻中肋骨条藻 *Skeletonema costatum* (细胞直径: 6~7μm) 在柘林湾浮游植物群落细胞数中所占的比例高达 58.6% 有关^[10]。这种因富营养化和营养盐结构变化导致的浮游植物小型化, 进而导致浮游动物小型化情况在世界许多海域都有发生, 已属生态环境全球变化中的一个典型事例^[26~29]。

柘林湾浮游动物总个体数和生物量年均值分别为 6.8×10^3 个/m³ 和 115.67 mg/m³。与邻近几个海湾相比较(表 3), 柘林湾浮游动物总个体数约为它们的 37~80 倍, 但生物量只有它们的 1.9~5.0 倍。与国外几个海湾相比, 柘林湾浮游动物总个数也明显较高。由此可见, 尽管小型化对柘林湾浮游动物生物量有明显的负面影响, 但柘林湾是一个浮游动物比较丰富的海湾。这当然与该湾具有丰富的浮游植物(年均密度: 3.6×10^5 cell/L)密切相关^[10], 因为两者呈显著的正相关关系(图 12)。

在柘林湾, 少数种类在整个浮游动物群落中占居着绝对的优势地位。强额拟哲水蚤种群个体数与桡足类和浮游动物群落总个体数的显著正相关关系有力地说明了这一现象。与其相似, 柘林湾浮游植物群落的时空变动也主要为中肋骨条藻所左右^[10]。强额拟哲水蚤是否特别喜食中肋骨条藻是一个今后值得深入研究的课题。

参考文献

- [1] Barss M A and Fransz H G. Crazing pressure of copepods on the phytoplankton stock of the central North Sea. *Netherland Journal of Sea Research*, 1984, **18**: 120~142.
- [2] Boucherland P R and Dickie L M. Biomass spectra of aquatic ecosystems in relation to fisheries yield. *Canada Journal of Fishery Aquatic Society*, 1992, **49**: 1528~1538.
- [3] Huang W K (黄文魁). Discussion of the development of the fish culture in Shantou from the resource manages of Japan. In: Liu J T (刘锦庭) ed. *The exploitation and utilization of ocean resources in Shantou* (in Chinese). Shantou: Science Press, 1998. 183~190.
- [4] Huang Ch J (黄长江), Dong Q X (董巧香) and Zhen L (郑磊). Taxonomic and ecological studies on a large scale *Phaeocystis pouchetii* bloom in the southeast coast of China during late 1997. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (in Chinese) (海洋与湖沼), 1999, **30**(6): 581~590.
- [5] Huang C, Dong Q-X, Lin J. Two large-scale blooms of harmful algae occurred on Southeast Coast of China and the relationship with meteorological factors. *J. Plankton Res.*, 2002.
- [6] GB/T. *The specification for oceanographic survey* (in Chinese). Beijing: Standard Press, 1992.
- [7] Makoto O (大森信) and Tsutomu I (池田勉). In: Chen Q S (陈青松) and Cao X Zh (曹秀珍) Translator. *Methods in marine zooplankton ecology* (in Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1990. 101~102.
- [8] Zhen Zh (郑重), Li Sh G (李少菁), Xu Zh Z (许振祖). *Marine plankton* (in Chinese). Beijing: Ocean Press, 1984. 139~491.
- [9] Zhen Zh (郑重), Cao W Q (曹文清). *Marine cladocera* (in Chinese). Xiamen: Xiamen University Press, 1987. 20~22.
- [10] Zhai K (翟昆), Huang Ch J (黄长江) and Jiang Sh (姜胜) et al. Annual dynamics of phytoplankton in Zhelin Bay: 2000~2001. *Acta Ecological Sinica* (in Chinese) (生态学报), 2002, **22**(5): 688~698.

- [11] Wang Ch Sh(王春生), Yang G M(杨关铭) and Zhu G H(朱根海), *et al.* Distribution of zooplankton and its relation planktonic algae and nutrients in the waters near Nanji Islands. *Donghai Marine Science*(in Chinese)(*东海海洋*), 1998, **16**(2): 41~48.
- [12] Li P(李平), Miao Zh Q(苗振清) and Shui B N(水柏年). Species composition and quantitative distribution of zooplankton in Zhejiang fishing ground during the fishing seasons of summer and autumn. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*(in Chinese)(*浙江水产学院学报*), 1995, **11**(1): 20~28.
- [13] Shen G Y(沈国英), Shi B Zh(施并章). *Marine Ecology*(in Chinese). Xiamen: Xiamen University Press, 1990. 26~165.
- [14] ICS. *Sea water quality standard of Chinese*(GB3097-1997)(in Chinese). 1997.
- [15] Horsted S J, *et al.* Regulation of zooplankton by suspension-feeding bivalves and fish in estuarine enclosures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1988, **48**: 217~224.
- [16] Huang B Y(黄宝玉), Qiu L Q(邱礼强) and Li Y F(李永凡). The food for raft culture oysters in the Shenzhen Bay. *South China Sea Fisheries Research*(in Chinese)(*南海水产研究文集*), No. 1, 1989, 9~17.
- [17] Yan Q L(闫启仑), Guo H(郭皓) and Wang Zh L(王真良), *et al.* A study on ecological characteristics of zooplankton inside and outside raft mariculture areas of mollusks. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*(in Chinese)(*黄渤海海洋*), 1999, **17**(1): 46~50.
- [18] Huang Ch J(黄长江), Qi S(杞桑) and Qi Y Z(齐雨藻), *et al.* The position and function of *Noctiluca scintillans* in its ecological community in Dapeng Bay, the South China Sea. *Oceanologia et Llimnologia Sinica*(in Chinese)(*海洋与湖沼*), 1997, **28**(4): 348~355.
- [19] Huang C and Qi Y. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J. Plankton Res.*, 1997, **19**(3): 303~318.
- [20] Zhu Ch Sh(朱长寿), Wan W L(万伟龙), Chen L(陈栩), *et al.* The features of zooplankton species composition and distribution in Dongshan Bay of Fujian. *Tropic Oceanology*(in Chinese)(*热带海洋*), 1993, **12**(3): 10~16.
- [21] Lin J H(林景宏), Chen R X(陈瑞祥) and Lin M(林茂), *et al.* Distribution of zooplankton in Sansha Bay and its comparison with that in Xinghua Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*(in Chinese)(*台湾海峡*), 1998, **17**(4): 426~432.
- [22] Lin M(林茂), Lin J H(林景宏) and Dai Y Y(戴燕玉), *et al.* Distribution of zooplankton in Jiuzhen Bay and a comparison it with Dongshan Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*(in Chinese)(*台湾海峡*), 1999, **18**(4): 360~364.
- [23] Magdy T, Khalil H, *et al.* Abundance and diversity of surface zooplankton in the Gulf of Aqaba, Red Sea, Egpty. *J. Plankton Res.*, 1997, **17**(7): 927~936.
- [24] Ramaiah N, *et al.* Distribution and abundance of copepods in the pollution gradient zones of Bombay Harbor-Thana creek-Bassein creek, west coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*. 1997, **26**: 20~25.
- [25] Siokou-Frangou I. Zooplankton annual cycle in a Mediterranean coastal area. *J. Plankton Res.*, 1996, **18**(2): 203~223.
- [26] Suvapenpun S. Long term ecological changes in the Gulf of Thailand. *Environmental management and appropriate use of enclosed coastal seas*—— EMECS, 1991. 213~217.
- [27] Uye S I. Replacement of large copepods by small ones with eutrophication of embayments: cause and consequence. *Hydrobiologia*, 1994, **292/293**: 513~519.
- [28] Pan Y, Rao D. Impacts of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford. *Mar. Pollut. Bull.*, 1997, **34**(12): 1001~1005.
- [29] Dippner J W. Competition between different groups of phytoplankton for nutrients in the Southern North Sea. *J. Mar. Syst.*, 1998, **14**(1~2): 181~198.