



中国生态系统研究网络丛书

大亚湾生态系统研究

(一)

中国科学院
大亚湾海洋生物综合实验站

气象出版社

大亚湾生态系统研究

(一)

中国科学院
大亚湾海洋生物综合实验站

气象出版社

内 容 简 介

本书系大亚湾生态系统调查研究的系列丛书之一,书中汇集了1990~1991年逐月对大亚湾西南部——大鹏澳邻近水域进行的13个月生态系统调查的研究报告。全书对海湾的理化环境、海湾初级生产力和各生物类群以及养殖示范区等的分布特点进行了较深入的分析 and 讨论,系统地综述了大亚湾西南部水域在核电站运转前该水域生态结构特征的概况。

本书为即将运转的大亚湾核电站提供较系统的资料,可供海洋研究、大专院校师生以及有关科技人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

大亚湾生态系统研究(一)/中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站编. —北京:
气象出版社,1999.4

(大亚湾生态系统调查研究系列丛书)

ISBN 7-5029-2687-9

I. 大… II. 中… III. ①海湾,大亚湾-生态系-研究 ②
海洋生态学-广东 IV. Q178.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07338 号

大亚湾生态系统研究 (一)

中国科学院

大亚湾海洋生物综合实验站

责任编辑:潘根娣 终审:纪乃晋

封面设计:王群力 责任技编:陈 红 责任校对:李 新

气象出版社出版

(北京海淀区白石桥路46号 邮编:100081)

北京市宏远兴旺印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:9.25 字数:240千

1999年4月第一版 1999年4月第一次印刷

印数:1—500 定价:20.00元

ISBN 7-5029-2687-9/X·0025

《中国生态系统研究网络丛书》编辑委员会

主任:孙鸿烈

委员:(以下按姓氏笔画为序)

王明星 孙鸿烈 孙九林

陈宜瑜 沈善敏 陆亚洲

张新时 赵士洞 赵其国

钱迎倩 唐登银

秘书:王群力

《大亚湾生态系统研究(一)》编委会

主编:金启增

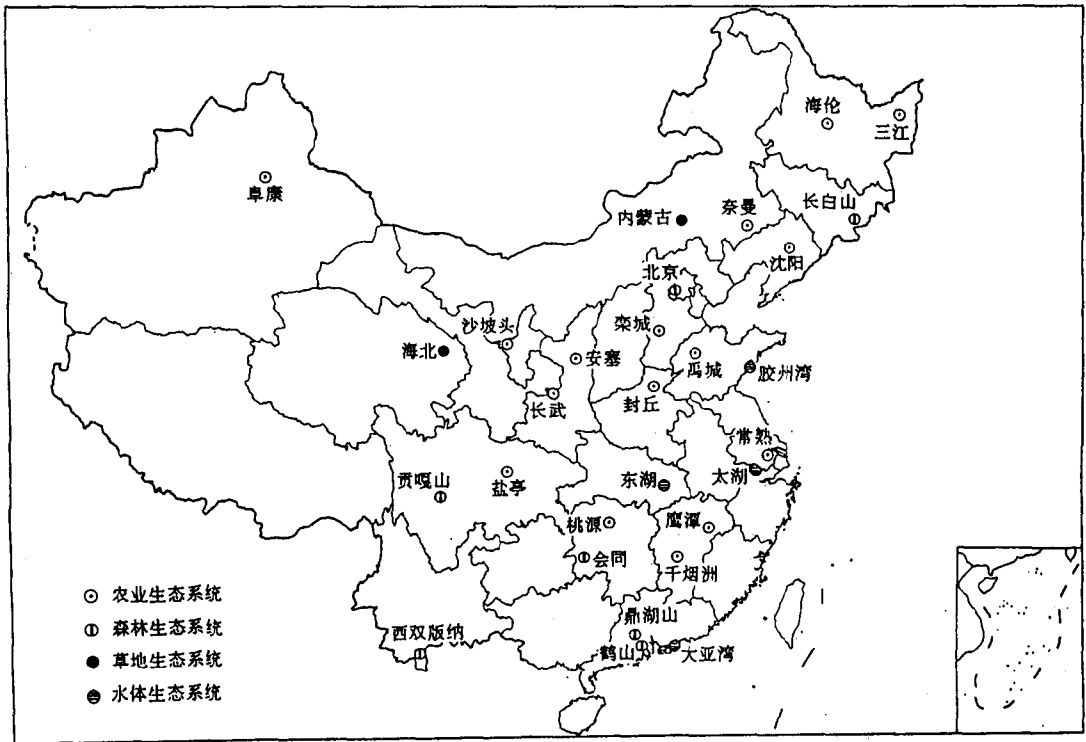
副主编:徐恭昭 潘金培

编委:黄西能 徐梅春 林永水

《中国生态系统研究网络丛书》序

中国科学院自 1949 年建院以来,陆续在全国各重要生态区建立了 100 多个以合理利用资源,促进当地农业、林业、牧业和渔业发展,以及观测和研究诸如冰川、冻土、泥石流和滑坡等一些特殊自然现象为目的的定位研究站。在过去几十年中,这些站无论在解决本地区资源、环境和社会经济发展所面临的问题方面,还是在发展生态学方面,都发挥了重大的作用。

自本世纪 80 年代以来,一方面由于地球系统科学的出现与发展,特别是由于国际地圈-生物圈计划(IGBP)的提出与实施;另一方面,由于日益严重的全球性资源、环境问题所造成的压力,使生态学家们提出了以从事长期、大地域尺度生态学监测和研究为目的的国家、区域乃至全球性网络的议题。就是在这种背景下,中国科学院从已有的定位研究站中选出条件较好的农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统定位研究站 29 个(见中国生态系统研究网络生态站分布图),并新建水分、土壤、大气、生物和水域生态系统 5 个学科分中心及 1 个综合研究中心,于 1988 年开始了筹建“中国生态系统研究网络(英文名称为 Chinese Ecosystem Research Network, 缩写为 CERN)”的工作。目前,中国科学院所属 21 个研究所的千余名科技人员参与了该网络的建设与研究工作。



中国生态系统研究网络生态站分布图

网络筹建阶段的中心任务,是完成CERN的总体设计。1988~1992年的5年间,在中国科学院、国家计委、财政部和国家科委的领导与支持下,来自我院各有关所的科技人员,详细研究了生态学的最新发展动向,特别着重研究了当代生态学对生态系统研究网络所提出的种种新的要求;了解了世界上已有的或正在筹建的各个以长期生态学监测和研究为目标的网络的设计和执行情况;特别是分析了“美国长期生态学研究网络(英文名称为 U. S. Long-Term Ecological Research Network, 缩写为 U. S. LTER Network)”的发展过程,注意吸取了它的经验和教训;同时,结合我国的具体情况,经过反复推敲,集思广益,于1992年底完成了网络的设计工作,并开始建设。

与其他网络相比较,CERN的设计有如下特征:在整个网络的目的性方面,强调网络的整体性和总体目标,强调直接服务于解决社会、经济发展与资源、环境方面的问题;在观测方面,强调观测仪器、设备和观测方法和标准化,以便取得可以互比的数据;在数据方面,强调数据格式的统一和数据质量的控制、数据共享和数据的综合与分析;在研究方法上,强调包括社会科学在内的多学科参与的综合研究,强调按统一的目标和方法进行的,有多个站参与的网络研究。

几年来,通过国内、外专家的多次评议,肯定了上述设计的先进性和可行性,这为CERN的总体目标和各项任务的实现奠定了可靠的基础。

CERN的长期目标是以地面网络式观测、试验为主,结合遥感、地理信息系统和数学模型等现代生态学研究手段,实现对我国各主要类型生态系统和环境状况的长期、全面的监测和研究,为改善我国的生存环境,保证自然资源的可持续利用及发展生态学做贡献。它的具体任务是:

1. 按统一的规程对我国主要类型农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统的重要生态学过程和水、土壤、大气、生物等生态系统的组分进行长期监测;
2. 全面、深入地研究我国主要类型生态系统的结构、功能、动态和持续利用的途径和方法;
3. 为各站所在的地区提供自然资源持续利用和改善生存环境的优化经营样板;
4. 为地区和国家关于资源、环境方面的重大决策提供科学依据;
5. 积极参与国际合作研究,为认识并解决全球性重大资源、环境问题做贡献。

为了及时反映该网络所属各生态站、分中心和综合研究中心的研究成果,CERN科学委员会决定从1994年起设立出版基金,资助出版《中国生态系统研究网络丛书》。我们希望该丛书的问世,将对认识我国主要类型生态系统的基本特征和合理经营的途径,对促进我国自然资源的可持续利用和国家、地区社会经济的可持续发展,以及对提高生态学的研究水平发挥积极作用。



1995年4月16日

前 言

大亚湾生态系统调查是中国科学院“八五”重大基础研究项目之一，为“典型湖泊、海湾水体生物生产力合理开发及环境优化模式研究”课题，本项的专题名为“大亚湾生态系统结构、功能及其优化模式示范研究”，专题编号为院 KJ-85-06-02。该专题研究总目标及年度目标是研究大亚湾的海湾生态系统结构、功能及其特点，以及大亚湾生态系统的食物链网及其能量流动与生产力的关系，并进行大亚湾核电站热排放对海湾生态系统的影响等等。

大亚湾为半封闭式的海湾，是广东省较大的海湾之一，位于粤东西部、珠江口东侧，其西为大鹏湾，东邻红海湾，水域面积达 600km²，岸线长约 92km，水质清澈，一般水深达 14m，生物资源丰富，是广东省主要的水产资源保护区。80 年代初，随着改革开放，大亚湾的工农渔业迅速发展，网箱养殖面积的迅速扩大，码头的建立，运输业的拓展，大亚湾水域环境随之受到影响，特别是大亚湾核电站的建立，于 1993 年运转后冷却水的排放，对大亚湾西南部水域的生态系统是否会产生热效应的影响，为此，于 1990 年底便重点对大亚湾西南部进行了大亚湾核电站运转前的本底调查，开展了为期一年的海洋理化环境、生物群落结构以及贝类等增殖区高产示范及优化模式的研究，并对大亚湾西南部水域生态系统中的 C、N、P 等物质循环规律及其对生产力的影响等均开展了探讨研究。

大亚湾生态系统研究是大亚湾生态网络站一项长期的研究任务，因此《大亚湾生态系统研究》亦定为该站不定期的系列专集，本书为第一集，内容包括：1990～1991 年调查的海湾水文要素、化学要素、初级生产力、各类群海洋生物以及示范区水域养殖贝类立体式结构等实测资料的分析研究；结合历史资料探讨了近年来大亚湾海湾生态的某些结构差异；如实反应大亚湾西南部水域当前生态系统结构的实况；阐明大亚湾核电站即将运转前的该水域生态系统结构的发展趋势，为今后大亚湾生态系统研究提供基础资料。专集的编写中难免有所参差，不到之处敬祈多多批评指正。

沈寿彭

1998 年 12 月

目 录

《中国生态系统研究网络丛书》序

前 言	沈寿彭
大亚湾西南部生态研究总论	金启增 沈寿彭 (1)
物理环境	李飞永 (9)
pH 和碱度	徐梅春 朱卓洪 (13)
溶解氧	徐梅春 朱卓洪 (18)
磷酸盐和硅酸盐	朱卓洪 (25)
无机氮	陈金斯 (30)
叶绿素 a 和初级生产力	黄西能 (36)
微生物	沈鹤琴 蔡创华 周毅频 (46)
大亚湾核电站邻近水域浮游植物研究	林永水 (59)
大亚湾西南部浮游动物的分布特点	沈寿彭 陈雪梅 李楚璞 尹健强 (73)
大亚湾西南部的底栖生物分布	沈寿彭 李楚璞 (101)
大亚湾西南部的浮游幼虫	沈寿彭 李楚璞 陈雪梅 尹健强 (117)
大亚湾养殖示范区内养殖贝类的结构	金启增 (124)

大亚湾西南部生态研究总论

金启增 沈寿彭

海湾生态系统的研究是一项多学科相互渗透的综合性学科,除自然生态学和实验生态学需相结合外,同时要加强环境科学的研究,系统地进行长期的监测,掌握不同时期的生物和理化特点,收集和积累有关资源、生态和环境各领域静态和动态基础资料,因此,在大亚湾水体生态系统调查的总体设计中,在大亚湾整个水面共设 5 条横断面,共 12 个测站,其中湾内 10 个,湾口 2 个。为了于核电站运转前能较系统地掌握核电站邻近水域的环境概况,在大鹏澳及核电站周围设置呈放射状断面 3 个,9 个测站,并在大鹏澳示范区设立 2 个测站(见图 1),以便

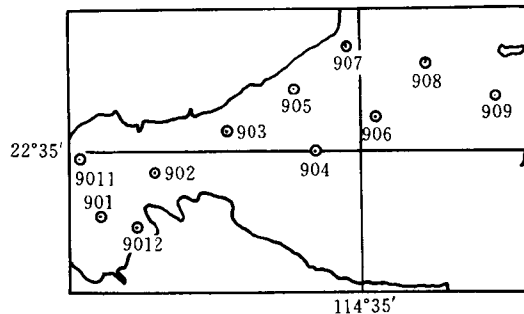


图 1 大亚湾西南部水域生态调查站位示意图

了解和掌握大亚湾营养盐及有机物的循环规律以及生产力的转化率;研究海洋生物食物链,掌握各级能流的转换率;大亚湾生物群落及种群生物学和生态结构特性;主要经济动物、植物的生长、发育规律,以及种质资源的培育在现阶段以及在不同环境条件下的生长发育规律。因此,进行了大亚湾海湾生态系统结构、功能和特点的研究,开展大亚湾生态系统的食物链结构,能量流动与生产力的关系以及核电站热污染对海湾生态系统影响的研究。本集目标主要是进行核电站运转前后的大亚湾大鹏澳邻近水域生态系统功能、结构的影响及优化模式的研究。

一、研究简况

本阶段主要开展核电站周围水域的生态系统调查和增养殖优化示范研究。

1. 自然生态调查

“核电站运转前大亚湾大鹏澳邻近水域生态系统结构、功能及其优化模式”等的调查研究,从 1990 年 10 月起进行准备,1990 年 12 月便按计划开始正式的逐月调查,共进行 13 个航次,于 1991 年 12 月调查结束。增养殖优化示范研究于 1991 年前便开展,着重经济贝类和海胆类。贝类中,进行了饵料的配制和筛选、贝苗的培育和幼虫生物学的研究等,以及病虫害防治和在吊养过成中的环境生态的研究等。

大亚湾生态系统结构调查按月/年进行,调查海域共设 11 个测站,1990 年 12 月~1991 年 12 月,共进行 13 个航次,共收集了 187 站次的资料样品。调查观测项目有海湾水文要素:水深、水温、水色、盐度、透明度、混浊度;海湾化学要素:溶解氧、氧的饱和度、pH、碱度、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、活性硅酸盐、叶绿素;生物生产力、初级生产力、微生物、浮游植物、浮游动物、浮游幼虫、底栖生物。N 循环研究于 1992 年 5 月开始,设 8 个测站,共进行 5 个航次的野外调查。进行了海水中的总氮、无机氮、颗粒氮,以及浮游植物、浮游动物和底泥中的有机质、总氮等的调查,共收集了 40 站次 1200 个各类有关的资料数据。

2. 优化模式

包括两部分:环境和高产示范优化模式。

a. 示范区 大鹏澳水质清澈,并有较宽阔的滩涂和岩礁等多样潮下带生境,为贝类和鱼类的重要养殖基地,故以大鹏澳为示范水域,并在滩涂围定 20 亩^①为滩涂生物生长区。养殖生物种采用立体式结构,潮下带岩礁为大型藻类的繁殖区,进行了海胆的人工放养;潮间带滩涂为贝类的自然繁殖区;大鹏澳水域为贝类立体养殖和鱼类网箱养殖区。

b. 养殖高产示范

以华贵栉孔扇贝为主,同时开展合浦珠母贝和翡翠贻贝的养殖,其中华贵栉孔扇贝经一周年的养殖,成活率约为 38%,1~1.5 年的亩产约合 3100~4000kg;海胆放流养殖,在 1990 年人工育苗成功后,1992 年便放流了 2 万个幼苗,但由于放流的数量较少,效果不太明显。

二、研究结果

1. 海洋生物的结构

a. 海洋微生物的结构 表水中异养细菌的年平均数量约为 0.06×10^4 个/ml。数量的季节变化中春季最低,夏季最高。异养细菌种类约为 1 科 19 属,全年均出现的有 8 属,而肠杆菌科除春季未发现外,其它三个季度多有出现,常见的优势种群为弧菌属、气单胞菌属和发光杆菌属等,其它尚有葡萄球菌属、假单胞菌属、土壤杆菌属、邻单胞菌属、屈挠杆菌属等 8 个属。淤泥中异养细菌的年平均数量约为 46×10^4 个/ml,约为表水中的 800 倍,亦是夏季为最高峰,生物量高达 117×10^4 个/ml,冬季最低。淤泥中共检出 1 科 20 属,优势菌群亦为弧菌属和气单胞菌属、棒状杆菌属,全年均出现的种群除肠杆菌科外,尚有发光杆菌属、假单胞菌属、土壤杆菌属、不动细菌属、屈挠杆菌属、黄杆菌属和芽胞杆菌属等 10 属。

b. 海洋浮游生物的结构 浮游植物年平均值为 1375×10^4 个/ m^3 ,冬末为高峰期,数量可达 7424×10^4 个/ m^3 ,春末为低峰期,最低仅 56×10^4 个/ m^3 ,浮游植物有 5 门 58 属 223 种,硅藻类最多,其中以暖水性种为主,约占 50%,其次为广温性种,约占 37.5%,因此,本水域以暖水性种为主。浮游动物年平均数量为 521 个/ m^3 ,夏和秋季的数量最高,分别为 851.8 个/ m^3 和 802.8 个/ m^3 ,春季最低,仅 111.2 个/ m^3 。共有浮游动物 145 种,桡足类占 35.9%,共有 52 种;全年数量最大的有枝角类的鸟喙尖头蚤,10 月份最高,共获 972 个/ m^3 ,数量超过 100 个/ m^3 的尚有桡足类的红纺锤水蚤、中华哲水蚤、微刺哲水蚤、次厚真哲水蚤,樱虾类的韩森萤虾和中型萤虾,毛额类的肥胖箭虫、娇嫩箭虫和小形箭虫以及被囊类的软拟桶海樽、

^① 1 亩 = 666.6 m^2 ,下同。

异体住囊虫、长尾住囊虫等。

c. 底栖生物的结构 大亚湾的大型底栖藻类的种类较多,如哑铃湾和范和港等有较多的江篱,大、小辣甲以及岩礁等均较普遍地生长有鹿角海萝等,马尾藻为大鹏澳近岸的优势类群,主要有半叶马尾藻、瓦氏马尾藻、展枝马尾藻、亨氏马尾藻和郝氏马尾藻等 10 种。其中半叶马尾藻为主要的优势种,马尾藻类湿重的最大生物量可达 $75\text{kg}/\text{m}^2$,而半叶马尾藻便约占 70%。底栖动物年平均生物量高达 $320\text{g}/\text{m}^2$,栖息密度最高达 7200 个/ m^2 。共拖获底栖生物 22 万个标本,240 种,其中软体动物的种类最多,占 30.4%,其次为甲壳动物,为 21.7%,鱼类和多毛类分别为 17.6% 和 14.2%。数量最大的为软体动物,占 99%,其中粗糙秀蛤 (*Veremolpa scabra*) 的数量便占 96.5%,为本水域的优势种群。

d. 养殖贝类的结构 其中有华贵栉孔扇贝、合浦珠母贝的结构和翡翠贻贝的结构等。

2. 大亚湾食物网结构

a. 鱼类食物网结构 以 118 种鱼类食性分析,基本为 7 种食性类型:

- ① 以浮游生物为主,兼食部分底栖生物和稚鱼的种类有 39 种,占 33%,占主导位置。
- ② 以底栖动物为主,兼食小型鱼类和游泳动物的种类有 19 种,占 16%。
- ③ 以游泳动物为主,兼食底栖动物和浮游动物的种类有 16 种,占 14%。
- ④ 以浮游生物为主,兼食底栖生物和小型游泳动物的种类有 14 种,占 9%。
- ⑤ 以游泳动物为主,兼食浮游生物和部分底栖生物的种类有 17 种,占 14%。
- ⑥ 以游泳生物为主,兼食游泳动物和部分底栖生物的种类有 7 种,占 6%。
- ⑦ 以底栖生物为主,兼食腐屑性和部分游泳动物的种类有 6 种,占 5%。

综上所述,以浮游生物为主要食物的约有 53 种,以底栖动物为主要食物的共有 25 种,以游泳生物为主要食物的共有 40 种,但底栖生物则为各类食性鱼类的兼食性饵料。从现有大亚湾鱼类的资料可见,其利用浮游植物和有机碎屑作为食物的较少,而利用游泳生物和底栖动物为主要食物源的种类比率较大。

b. 贝类食物网结构 以 87 种底栖贝类分析,约有四类食性类型:

- ① 以游泳植物为主,兼食浮游动物和有机碎屑的种类有 41 种,占 47%。
- ② 以底栖动物为主的种类有 40 种,占 46%。
- ③ 以游泳生物为主,兼食底栖动物的种类有 5 种,占 6%。
- ④ 以底栖植物为主的种类只有 1 种,占 1.1%。

从以上数据可见,在大亚湾水域的底栖贝类中,主要利用浮游植物和有机碎屑为其饵料,正好与鱼类的食性相反,在食物网中达到交叉的利用。但从贝类食物网来看,以大型底栖藻类的种类较少,这正好为海胆类提供了饵料基础。

3. 生态系统的功能

a. 大鹏澳水域的初级生产力

大鹏澳初级生产力的估算采用叶绿素法。调查的结果表明,大鹏澳初级生产力的变化范围在 $73\sim 833\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,年平均为 $348\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,季节的含量变化为夏季最高,含量为 $462\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,冬季最低,为 $212\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。初级生产力年变化较大。垂直分布,除 10 月份航次底层高于表层外,其余的 4、8 和 12 月航次都是表层高于底层,而且 8 月份垂直变化大,表层底层差值达 $5\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,12 月垂直分布均匀,表层底层差值为 $1.15\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。

大亚湾的初级生产力年生产为 $127\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$,比渤海湾 $90\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$ 高,同时,冬季仍保持比较高的水平。

b. 大鹏澳的氮循环

海洋中氮主要以 NH^+ , NO_3 , NO_2 和有机氮的形式存在。氮及其化合物作为浮游植物饵料进入食物链,并在各个营养级之间传递、转化,最后又被生物分解回到环境中。所以氮及其化合物在生物和非生物环境之间不断地交换、转化和循环之中。在这些交换和循环过程中受到了化学的、生物的和物理的各种因子的影响。例如, NH_4 氧化为 NO_2 过程,有光化学氧化、化学氧化和微生物氧化等作用。藻类细胞对氮的吸收率,取决于氮的浓度。在沉积物中有机氮,矿化释放出 NH^+ 的速率与温度密切相关。有机氮转化为 NH^+ 过程的速度与分解有机氮的速度成正比。1992年5月、10月和1993年1月、4月和7月在大鹏澳水域进行了5个航次有关氮循环内容的调查,有关水体、沉积物和生物体中氮的存在形式和含量及其变化分述如下:

水体 DON占海水中总氮的大多数(81%),其次为悬浮颗粒有机氮(占11%),而无机三氮占8%。DON包含有氨基酸、脲、肌酸和甲基胺等一系列含氮化合物。这些含氮有机物来自浮游生物代谢产物及其残骸分解产物,这些溶解有机氮有少部分被浮游植物直接吸收,而大部分则被细菌分解成无机氮。

沉积物 大亚湾一年沉积物的厚度增加1cm,大鹏澳一年沉积物的厚度应与大亚湾相似。大鹏澳表层沉积物有机氮含量是表层干泥重的0.066%~0.21%,平均0.113%,极差0.144%,季节变化很小。

生物体 底栖生物有机氮含量与生物种类有关,与季节变化影响不大。如夏季赤虾和扇贝的有机氮含量分别为干生物重的8.66%和10.765%,而秋季扇贝含氮量为干生物重的10.75%,夏、秋季扇贝含氮量都近似。

c. 能量流动

培养殖生物的能量流动 主要以养殖贝类进行能量流动的研究。贝类的饵料以浮游植物为主,同时也摄取一些幼小的浮游动物,这些贝类对饵料的种类没有选择性,是滤食性的种类。在能量流动的测定中,对养殖水体的浮游植物、浮游动物、养殖的贝类和其它贝类,以及海底沉积物均进行了能值测定,同时也对大型植物、海胆和海胆粪便进行了饵料转化率和能值的测定。

叶绿素估算 大鹏澳的初级生产力采用叶绿素法估算为 $127\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$,按每克碳的能量含量为 11.7kcal ^①计,则初级生产量为 $1485.9\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ 。其中包含了浮游植物网获得的部分($29.56\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$,约占初级生产量2%)以及所有粒度在 $0.45\mu\text{m}$ 以上的含叶绿素的生产者。假定大鹏澳生态系中只有浮游动物、底栖动物和养殖贝类为第一营养级的消费者,根据林德曼的“十分之一效率”,即在水生生态系能量传递过程中,大致有10%的能量转变为下一营养级的生产量,其余90%被消耗掉,则大鹏澳的初级生产量中有 $5.416\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ 被浮游动物捕食,约占初级生产量的0.36%;有 $14.027\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ 被养殖的扇贝、珍珠贝和贻贝所采食,约占初级生产量的0.94%;有 $405.8\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ 被底栖动物采食,约占初级生产量的27.31%;余下的71.39%,约 $1061\text{kcal}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ 。

4. 环境要素

a. 水温要素 大鹏澳邻近水域的年平均值为 23.37°C ,月平均值最低为1月份,为 17.53°C ,最高为7月份,为 29.53°C ,幅差为 10°C 。表温高于底温,7月份最高可达 30.66°C ,

^① $1\text{cal} = 4.1868\text{J}$,下同。

1 月份最低为 17.53℃, 底温最高为 6 月, 为 28.03℃, 底表温差 2.63℃。

b. 盐度要素 本水域的年平均值为 32.11, 月平均的最低值出现在 8 月, 为 30.10, 最高出现在 11 月, 可达 33.21, 幅差 3.11。盐度一般为底层高于表层, 表层最高为 33.20, 底层最高为 33.21, 均出现于 11 月份。

c. 营养盐类 包括硝酸盐-氮、亚硝酸盐-氮、氨-氮、磷酸盐和硅酸盐等, 它们的年平均值分别为 0.75 $\mu\text{g/L}$, 0.25 $\mu\text{g/L}$, 1.08 $\mu\text{g/L}$, 0.38 $\mu\text{g/L}$ 和 21.40 $\mu\text{g/L}$ 。月平均最高值硝酸盐-氮出现在 3 月份, 为 1.21 $\mu\text{g/L}$, 亚硝酸盐-氮在 1 月份为 0.72 $\mu\text{g/L}$, 氨-氮在 9 月份, 为 1.72 $\mu\text{g/L}$, 磷酸盐在 12 月份, 为 0.73 $\mu\text{g/L}$, 硅酸盐在 10 月份, 为 30.77 $\mu\text{g/L}$, 最低值硝酸盐-氮在 10 月份, 为 0.11 $\mu\text{g/L}$, 亚硝酸盐-氮在 9 月份, 为 0.04 $\mu\text{g/L}$, 氨-氮在 2 月份, 为 0.46 $\mu\text{g/L}$, 磷酸盐在 4 月份, 为 0.21 $\mu\text{g/L}$, 硅酸盐在 3 月份, 为 9.88 $\mu\text{g/L}$ 。

由此可见, 提供大亚湾浮游植物和底栖藻类生长的营养盐(包括硝酸盐-氮, 亚硝酸盐-氮, 氨-氮, 磷酸盐, 硅酸盐)含量都比较低, 这是同其它海湾的不同之处, 这可能与大亚湾水体的交换较慢有关。大亚湾营养盐类的补充, 除了湾内的死亡生物和动物粪便, 经过海洋微生物的分解予以补充外, 在调查水域的东部, 即辣甲岛西部有一股低温高盐的外海水(主要在夏季), 由底层入侵, 影响的范围较大, 使底层水呈现低温高盐的特征, 大亚湾的这股外海入侵水, 使部分营养盐得到补充, 另一方面, 在洪水期, 大量的陆源物质随山水流入, 补充水体的营养盐。

5. 增养殖示范研究

a. 华贵栉孔扇贝

1993 年 1 月开始进行华贵栉孔扇贝养殖, 由 9 万只左右的出池苗, 经过两个月培育的种苗, 有 3 万左右的稚贝进行养殖, 共经 12 个月的放养, 壳高达到 5.0cm 左右, 平均体重达到 46g, 成活率为 37.8%, 总重量为 573.8kg, 折合平均亩产 3981kg。经 1 年半时间养殖, 壳高达到 6.5cm 左右, 平均体重达到 53g, 总重量为 435.4kg, 折合平均亩产 3021kg。

b. 珍珠贝及珍珠

1993 年开始进行珍珠贝的养殖, 5 月开始进行人工育苗, 6 月获 11 万只左右的出池苗, 进行一年的养殖, 壳高达到 2.76cm 左右, 平均体重为 30.6g。经 2 年的养殖, 壳高达到 6.0cm 左右, 平均体重达到 35g, 总重量 560kg, 折合平均亩产 3000kg 左右。并于 1995 年 6 月 21 日~7 月 9 日进行插核育珠中, 使用我们最新的研究成果——珍珠生长激素, 进行新技术育珠试验后, 于 1995 年 10 月的珍珠开采时, 获得了一定量的优质正圆珍珠, 其中白色的珍珠占 78.34%, 平均珍珠重量为 467mg, 平均珍珠的直径 6.79mm, 平均珍珠层厚度 258 μm , 相当于常规育珠 7 个月的时间, 缩短了近 1/2 的育珠时间。

c. 翡翠贻贝

1990 年 12 月开始翡翠贻贝的养殖, 养殖 1 周年壳高达到 4.6cm; 养殖 2 周年, 壳高增长到 7.94cm 左右, 体重为 34.7g, 年净增长为 24.9g。

d. 紫海胆放流增殖示范

大型海藻是海胆类的主要饵料, 大亚湾海藻的种类多, 数量大, 海胆类生长良好, 本区盛产紫海胆, 冬季水温在 20℃ 以下, 是马尾藻的生长季节, 为海胆提供了丰富的饵料基地。1993 年便进行了海胆人工育苗, 并进行放流, 共放流紫海胆 2 万多粒。放流点 2 个, 一个在大鹏澳西部的礁石下, 已形成一个小的群体; 另一个在大鹏澳南部岩礁下面, 原是一个野生海胆区, 由于放流数量比较少以及捕捞过度, 海胆资源在数量上没见到有所增加。

6. 核电站热排放的影响

a. 示范区的环境

自 1990 年 12 月至 1991 之间进行了一周年的生态环境要素的调查。示范区的水温为 16.94~30.33℃,最低的水温出现在 1 月,为 12℃左右,最高的水温在 8 月。盐度的变化范围为 25.48~33.14,最高的月份在 11 月,最低的月份在 8 月。溶解氧为 4.01~5.74μmol/L,溶解氧的饱和度为 97.90%~123.61%,pH 为 8.07~8.45,碱度为 1.77~2.23nmol/L,硝酸盐-氮为 0.00~5.44μmol/L,亚硝酸盐-氮为 0.00~1.03μmol/L,氨-氮为 0.24~1.09μmol/L,磷酸盐为 0.07~0.87μmol/L,硅酸盐为 12.00~28.06μmol/L。总的来看,大亚湾示范区营养盐的含量比较低。

b. 对贝类幼虫的影响

华贵栉孔扇贝、合浦珠母贝和翡翠贻贝幼虫正常发育的最高临界温度均为 29℃,5 月份为以上贝类的繁殖高峰期,当时的水温为 25℃,核电站的热排放将提高周围水域水温的理论值为 1~2℃(即为 27℃),因此,对以上贝类幼虫正常发育的影响可能不大。但 7~9 月份,大鹏澳的水温可达 29℃,对以上贝类的正常发育是否有负面影响,尚需进一步分析研究。

c. 对养殖贝的影响

从当前养殖的贝类——华贵栉孔扇贝和合浦珠母贝壳高和体重的对比分析所显示,其在核电站运转前、后的差异并不明显,这可能与核电站机组尚处在运转初期有关,待“九五”期间进一步研究。

三、讨论

1. 大亚湾水域面积宽阔、水质清澈、生物资源丰富,曾被广东省政府划为水产资源保护区。近年来,随着经济开发,大亚湾的工、农、渔和旅游业等不断地发展,对大亚湾的生态环境产生了各种不同程度的影响。大亚湾核电站的运转,根据国外有关资料报道,其进、排水的水温温差可达 6.5~9℃,对周围水域必定有一定的影响。因此,核电站冷却水的排放,将带入大量的热排放水,影响其邻近水域,核电站的热污染,对该海区的影响实际上已有所显示。本调查水域的年平均温度,于 1991 年度为 23.37℃,1994 年度已上升为 23.87℃,升高 0.5℃,1991 年度 1 月份的表温为 16.94℃,1995 年 1 月份上升为 19.23℃,在核电站排水口附近水域,由 1991 年的 17.52℃上升为 21.80℃,特别是夏季,水温高达 35.00℃,水面常漂浮许多白色泡沫,曾发现局部水域有赤潮的出现。环境的这种变化,亦是引发赤潮的重要因素。

大鹏澳养殖区及附近水域已有较明显的水温上升的迹象。与 1991 年度的环境要素相比,调查水域的年平均水温约升高 0.5℃;年平均盐度约差 -0.97,pH 年平均相差约为 +0.07,现有的生态系统有演变的可能。有关海湾生态系统的持续和演替,是一项多学科的进行长期监测的分析研究工作,因此,对环境和生物的影响尚需继续进一步调查和监测。

2. 大亚湾为半封闭的内湾,海岸线长而曲折多小湾,湾内岛屿众多,生境多样,资源丰富,1984 年度的浮游植物月平均生物量为 6300×10^4 个/ m^3 ;浮游动物年平均生物量为 185.7 mg/ m^3 ;底栖生物的年平均生物量为 72.34g/ m^2 。作为主要增养殖区,一般均分布在周围各小湾,大鹏澳则是其中之一。但各小湾(哑铃湾、范和港和大鹏湾等)的各类生物量年平均值

均变化较大,尤其是大鹏澳,如浮游植物月平均生物量最高可达 7400×10^4 个/ m^3 ,而在雨季的生物量可低至 56×10^4 个/ m^3 ,1994年7月份测得的最低盐度仅 25.72,与最高时的盐度差 -8.19,由此看出各小湾与整个大亚湾的生态环境有其独特的性状,因此,全面开展大亚湾生态系统的调查很有必要。

大亚湾的营养盐(包括硝酸盐-氮、亚硝酸盐-氮、氨-氮、磷酸盐、硅酸盐)的含量都较低,可能由于大亚湾为半封闭的内湾,并注入湾内的河流又较少,除了仅在洪水期注入大量淡水外,亦为水体带入周围山区的大量有机物质。营养盐的主要来源则由细菌分解有机碎屑予以补充,而大亚湾与外海水的水体交换以及夏季在底层注入的一般低温高盐水,亦为大亚湾维持其低营养盐的因素。因此,大亚湾这种低营养盐高生物量的状况,具有较大的研究意义。

3. 增养殖示范研究

a. 大亚湾属于亚热带的海湾,常年水温比较高,对贝类的生长有利,养殖的贝类生长速度快,同时大亚湾具有贝类优良的天然饵料,海洋微生物和浮游植物丰富。贝类适宜的生物饵料硅藻类便有 127 种,占浮游植物总数量的 77.40%,为贝类生长提供丰富的物质基础。因此,大鹏澳是增养殖优化模式示范研究基地的较佳水域。

b. 大亚湾养殖动物的死亡问题

大亚湾的养殖贝类,在通常情况下,死亡率都较低,但在我们试验期间,贝类亦有死亡现象,其主要原因有:

大鹏澳虽然没有大的河流入湾,盐度一般都比较稳定,但由于大鹏澳三面环山,在每年的雨季或台风登陆时下的暴雨,会汇集流入湾内,导致养殖区水质淡化使养殖贝类死亡。如 1994 年华南大暴雨时期,大亚湾盐度大幅度下降,致使扇贝死亡率高达 100%,合浦珠母贝死亡率为 30%左右,翡翠贻贝的死亡率为 0%。1995 年台风在当地登陆,大亚湾被淡水控制,大亚湾养殖的华贵栉孔扇贝、合浦珠母贝、翡翠贻贝,在大量雨水的影响下,死亡率最高的是华贵栉孔扇贝,其次是珍珠贝,翡翠贻贝的影响最小。

黑壳病。由于养殖区的自身污染,黑壳病为引起死亡的主要病害之一,其中华贵栉孔扇贝最高,其次是珍珠贝,翡翠贻贝基本没有出现。

四、研究结论

1. 大亚湾海洋微生物丰富,海水中异养细菌的数量为 $0.5 \times 10^4 \sim 57104 \times 10^4$ 个/ml。数量的季节变化比较明显,秋季为生物量高的季节,数量达到 57104×10^4 个/ml。其中大鹏澳的异养细菌的年平均数量为 8.9×10^4 个/ml,秋季为生长高峰,数量达到 24.5×10^4 个/ml。大亚湾的异养细菌共有 12 属,它们分别为葡萄球菌属、微球菌属、弧菌属、气单胞菌属、黄杆菌属、芽胞杆菌属、短杆菌属、棒状杆菌属等,全年均出现的有 6 属。表泥中异养细菌的数量为 $19 \times 10^4 \sim 5100 \times 10^4$ 个/ml。其中大鹏澳表泥中异养细菌的年平均数量为 620×10^4 个/ml,夏季为最高峰,生物量高达 1000×10^4 个/ml。冬季最低也有 80×10^4 个/ml。

2. 大亚湾浮游植物丰富,据调查资料分析,大亚湾的浮游植物月平均为 6300×10^4 个/ml,以春季为高峰,其数量高达 10302×10^4 个/ml,大亚湾的浮游植物 47 属 164 种,其中贝类适宜的生物饵料硅藻有 127 种,占 77.40%。

3. 大亚湾的大型底栖藻类,为海胆放流提供丰富的饵料。放流在大亚湾的紫海胆,经两年时间,达到商品开采规格,这同大亚湾的野生马尾藻资源丰富分不开。大亚湾西侧有马尾藻10种,其中优势种为半叶马尾藻、瓦氏马尾藻、展枝马尾藻、亨氏马尾藻和郝氏马尾藻。马尾藻的最大生物量为 $53.3\text{kg}/\text{m}^2$ 。在水温 20°C 以上未见马尾藻的幼芽,水温在 20°C 以下是马尾藻的生长季节。底栖动物年平均生物量高达 $320\text{g}/\text{m}^2$,栖息密度最高达 7200 个/ m^2 ,为鱼类提供了丰富的饵料。

4. 提供大亚湾浮游植物和底栖藻类生长的营养盐(包括硝酸盐-氮、亚硝酸盐-氮、氨-氮、磷酸盐、硅酸盐)含量比较低,这是同其它海湾的不同之处。大亚湾四周的植被好,覆盖率高又没有大的河流入湾,由此可见,大亚湾营养盐的补充来自陆源的可能不大。大亚湾有外海水入侵,可通过入侵水的作用,使部分营养盐得到补充。另一部分是湾的死亡生物和动物粪便,经过海洋微生物的分解,再补充水体中营养盐的不足部分。

因此,大亚湾大鹏澳是一个良好的增养殖优化模式的示范基地,增养殖的华贵栉孔扇贝、珍珠贝和翡翠贻贝以及紫海胆等,都已获较理想的效果,但增养殖受自然环境的影响较大,同时,由于核电站的建立,据了解,核电站反应堆机组还将要增加,热污染对该水域的影响亦将必定增强,所以有关运转后必需对环境进行长期的监测分析。

物 理 环 境

李飞永

1. 温度和盐度

温度和盐度是两个海洋学基本参数,一般的海洋调查常列为必测项目。在水文学研究中,这两个参数可以用于鉴别水团,在海洋化学和海洋生物研究中其应用更为普遍。温度和盐度对物理过程、化学过程和生物过程有重要影响,与水质和海洋生物的生长繁殖息息相关。

根据1990年12月~1991年12月对大鹏澳海区11个观测站的环境调查(每月进行一次,共进行13次),总结出该海区水温盐度的年变化,如图1。从图中可以看出,大鹏澳海区的水温和盐度,有明显的季节性变化,夏季水温最高,冬季水温最低,丰水期盐度最低,枯水期盐度最高。水温的年度变化幅度较大,变化范围为 17.53°C (1月)到 30.66°C (7月)。盐度的年度变化幅度较小,变化范围为 $30.14\sim 33.21$ 。

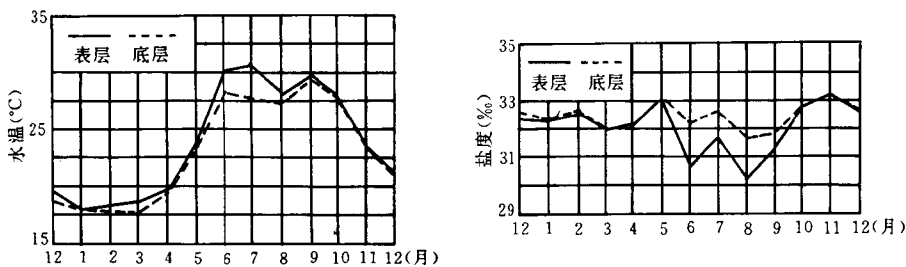


图1 水温与盐度年变化

夏季的水温和盐度随水的深度变化增大,其它季节与水深度的变化小。例如,6月份表层水温度为 30.44°C ,底层水温为 28.03°C ,相差 2.01°C ,表层水的盐度为 30.72 ,底层水盐度为 32.14 ,相差 1.42 ;而1月份的表层、底层水温均为 17.53°C ,表层水盐度为 32.31 ,底层水盐度为 32.33 ,相差也只有 0.02 ,这说明在夏季,调查海区的水体分层明显,底层为海水,表层为冲淡水;而在冬季,由于风浪大,潮汐作用强,上、下层水体混合均匀,分层现象即行消失。

调查海区温度和盐度的水平分布(见图2),由图可见,大鹏澳湾1月份表层水温水平分布从湾顶至湾口逐渐增加,增加幅度约为 1°C 。湾顶受大陆气温影响较大,水温较低,湾口受海洋气温影响较大,水温较高。底层水温的变化规律与表层水温的变化规律相同,只是温差稍小,温度稍高。7月份水温的水平分布,从湾顶至湾口也符合客观规律地逐渐减小。湾顶表层水温约为 31.5°C ,至湾口则约为 29.5°C ,变化幅度约为 2°C 。湾顶的底层水温大于 30°C ,湾口的底层水温小于 24°C ,变化幅度很大,相差 6°C 以上。由于水体分层,表层水温也明显高于相应底层水温。湾口附近中央,温度变化有点特殊。1月份的底层水温稍为低于周围水温,7月份的表层水温则稍高于周围水温。这与这一带水域周围是潮汐涨落通道而中间水体则呈滞流状态有关。冬季,外来海水水温较高,滞流海水水温较低;夏季,外来海水水温较低,滞流海水水温较高。

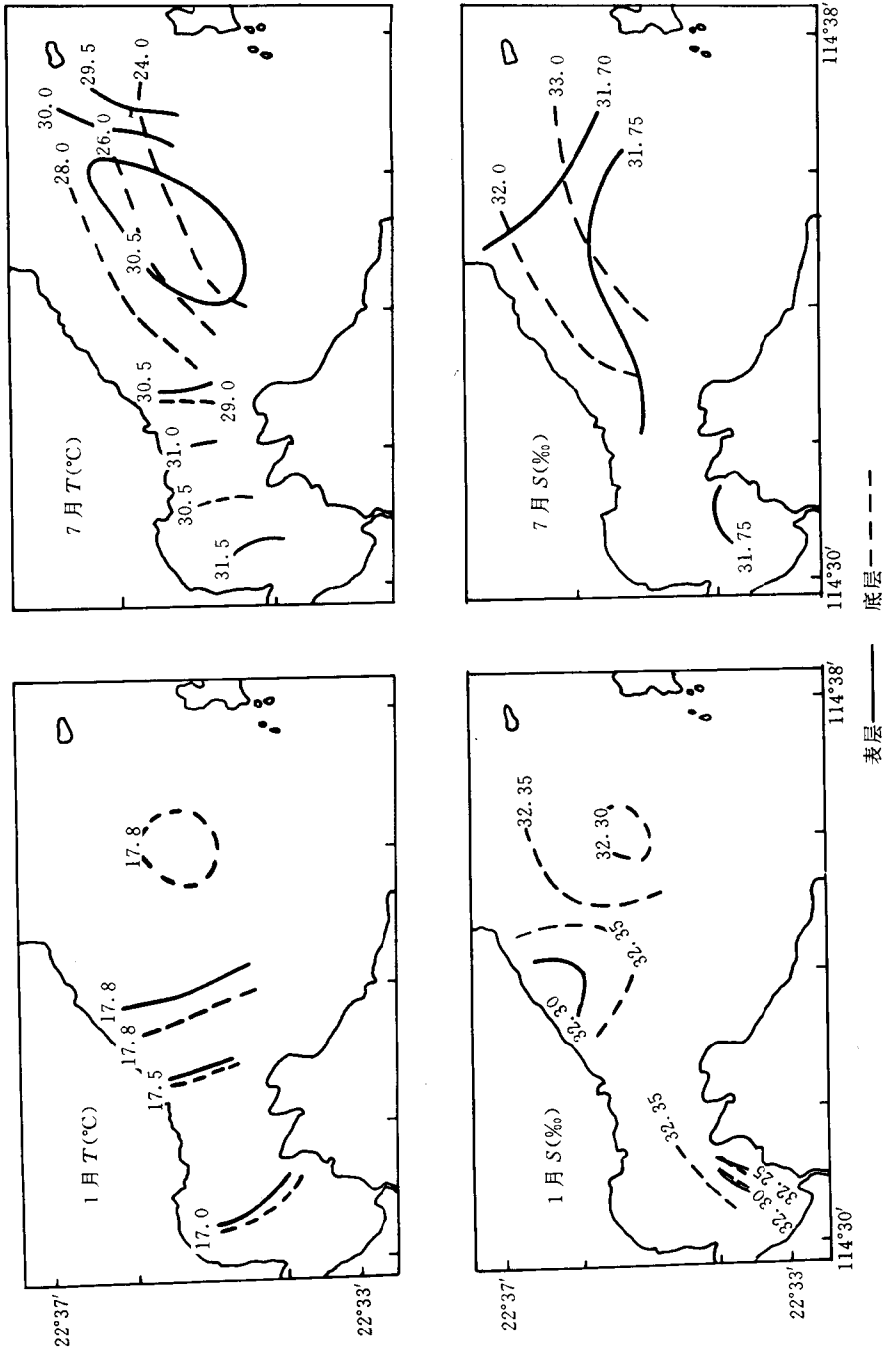


图2 水量和盐度分布

1 月份, 大鹏澳湾盐度的水平分布相当均匀。绝大部分地区的表层盐度都大于 32.30, 底层盐度都大于 32.35。只是沿岸有两处由于受到陆上排水的影响, 表、底层盐度略低于 32.25 或 32.30。此外, 同温度的水平分布一样, 湾口附近中央的底层盐度也低于 32.35。但是, 上述三处较低盐度的影响范围都不大, 整个海湾的盐度大体上是一致的。

7 月份盐度的水平分布跟 1 月份的分布相类似, 也是在湾顶的南部和在湾的东北部表层、底层水的盐度都较低, 其它地方分布较均匀。说明这两个地方的盐度经常受到陆上排水的稀释。但由于在湾的东北部外侧, 表层水域盐度也低 (可能受夏季局部阵雨或径流影响), 因此, 这一带地方受淡水影响的范围比 1 月份的大, 同时由于水体分层, 这一带地方的表层、底层盐度水平分布也不相互对应。

上述说明, 大鹏澳湾的温度和盐度在一年中的变化很大, 了解和阐明这种变化显然具有重要的海洋化学、海洋生物学意义。笼统地应用年平均温度和盐度, 对海洋生物显然是十分危险的, 因为不同生长阶段的海洋生物, 对温度和盐度的适应能力不同, 在某一生长阶段是适应的, 但在另一生长阶段可能是致死的。温度和盐度的变化范围对大多数的随潮生物水面生物较为适用。不同的海洋生物也有不同的温度和盐度适应范围, 珍贵的经济鱼类和海洋生物对温度和盐度的适应范围往往很狭窄。另外, 温度和盐度的变化并不与所有海洋生物的耐受性相一致, 能耐受的生物也不一定能够繁殖, 例如, 某种鱼类能够生存, 但其卵却不一定能存活。特别是温度还直接影响到水体中溶解氧饱和度, 从而影响海洋生物。温度、盐度与溶解氧、污染物之间有着互相影响的复杂关系, 在耐受温度、盐度上、下限的生物对溶解氧消耗和毒物的抵抗能力也显著降低, 也是值得注意的。大鹏澳湾是大亚湾核电站所在地, 固定的污染源热水排放和其它有害物质排放, 其生物生态效应亟待研究。总之, 为保护海区水产资源, 发展海区水产养殖和增殖, 必须高度重视海区温、盐度变化, 掌握海区温度变化规律, 以便因地制宜, 为海洋生物的生长繁殖创造最佳环境条件, 形成繁荣的生境。

2. 水色、浑浊度和透明度

水色、浑浊度和透明度, 是反映水体光学性质的物理参数, 三者之间互有区别而又互相联系, 透明度是由水色和浑浊度决定的。浑浊的水色透明度低, 并常发出异味, 给旅游的人们以不愉快之感, 更影响海洋生物的光合作用、呼吸作用和生长繁殖。

水色

水本身无色, 水层浅薄的天然水是透明的; 水层深厚的天然水则为浅蓝绿色。水体存在杂质或受到污染, 则将出现各种不同的颜色。腐殖质产生黄至棕色, 铁则产生淡黄色……。水色也常常由藻类引起, 茂盛的藻类繁殖, 使水呈绿色, 赤潮使水呈红色。这样的水色伴随有异味, 并使水中溶解氧大量消耗, 海区呈缺氧状态, 鱼类等大量死亡。因此, 水色是一个重要的海洋学参数, 能提供生物活动和水质污染的信息。大鹏澳是旅游区, 从美学观点出发, 水色的测定也很必要。

水色用海水水色计比色测定。

大鹏澳水色年变化范围在 6~14 号之间。但绝大多数月份水色都在 10 号以下, 因此, 水色较好。大体说来, 冬季风大浪大, 水中所含泥沙较多, 水色匹配号数较高, 即较为接近径流河水水色; 春季风和日丽, 浮游植物繁殖, 水色匹配号数较低, 即较为接近大洋海水色 (详见图 3), 而水色的空间变化不明显, 整个海区水色基本上一致, 呈未受污染状态。

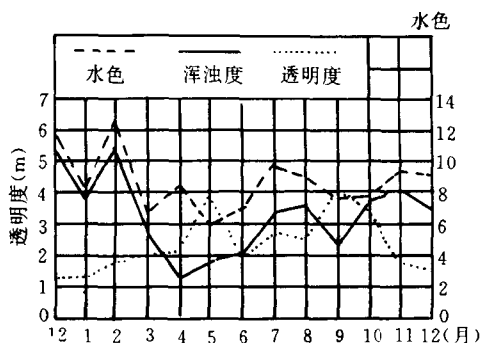


图3 水色、浑浊度和透明度年变化

浑浊度

浑浊度是水的光学性质的一种表达方式,是水中悬浮颗粒对透射光的吸收和散射量度;是由水中悬浮的或胶体的无机、有机物质决定的,除污泥颗粒外,还可能有硅酸、氢氧化铁、氢氧化铝有机胶体等;海水中若有细菌、藻类和浮游生物存在,浑浊度也提高。

浑浊度用光度法比浊测定,标度为 mg/L SiO_2 。

浑浊的水降低了光的透射,使藻类生长受到妨碍。受生活污水或工业废水污染而引起的水体浑浊,害处很大。由细菌和藻类高度密集而引起的水体浑浊,常伴随发出异味,并大量消耗水中溶解氧,其害处已如上述。但悬浮颗粒物质也往往是某些海洋生物的重要饵料;并能通过吸附和解吸作用控制和调节水中溶解微量金属成分和营养成分的含量。因此一般的天然水浑浊没有什么害处,还有好处。

大鹏澳湾年浑浊度变化见图3。由图可见,浑浊度的变化范围为 $0.91 \sim 5.51$;但绝大多数月份的浑浊度值在4以下,因此水质不浑浊。最大浑浊度出现在冬季(12~2月),最小浑浊度出现在春夏季之间(4~6月)。冬季,大鹏澳湾风浪大,加之潮汐的规律又是冬强夏弱,因此海岸易受冲蚀,海底沉积物有可能再悬浮,造成浑浊度较高。春夏之间,水体开始分层,较为稳定,径流泥沙的影响又甚少,因而浑浊度较低。

大鹏澳湾浑浊度的水平分布较均匀,除个别近岸或浅水站位有时浑浊度较大外,其它各站位差别不大,变化不明显。垂直分布上,除水层稳定,浑浊度最低和较低的4、5月份外,其它月份表层水的浑浊度,都明显低于底层水的浑浊度。这显然也是海底沉积物再悬浮作用的结果。

透明度

海洋透明度用直径为20cm的白色圆盘——Secchi圆盘测定。用这样的圆盘测定的深度也叫能见度,并可用于代表浑浊度,用米表示。

透明度也是一个重要的海水光学参数,有重要的海洋学意义。太低的透明度影响光通量,从而影响海洋生物生长。高的透明度景色迷人,但往往也意味着水体贫瘠,缺乏海洋生物赖以生存的某些有机和无机物质,如Fe、Cu、Cr等等,初级生产力较低。

大鹏澳湾水体透明度较好,其年变化范围为 $0.5 \sim 4.0\text{m}$,但通常的透明度为 $2 \sim 3\text{m}$ 。冬天的透明度较低,其它季节的透明度变化趋势不明显,主要取决于测定时的气象条件和海况,详见图3。透明度的水平变化和垂直变化与浑浊度相似。

透明度与水色、浑浊度密切相关。从图3中,大体上可以看到,透明度低,水色和浑浊度就高,透明度高,水色和浑浊度就低。

pH 和 碱 度

徐梅春 朱卓洪

海洋是一个巨大的 pH 缓冲体系, 水体 pH 和 ALK 与碳酸盐体系的平衡有直接关系。水体中碳酸钙的溶解或沉淀都影响 pH 和 ALK 的值。在远洋或大洋中 pH 和 ALK 都保持在一个变化很小的范围内, 但在河口、港湾和沿岸水由于受到诸多因素如降雨、河流径流、生物活动、生活排污及工业排污等的影响, pH 和 ALK 会产生较大的变化。曾经有过由于工业排污, 使水体碱度高达 $12.66(\text{nmol}\cdot\text{dm}^{-3})$ 的报导^[1]。因此, 通过 pH 和 ALK 的变化也可粗略地估计该水域环境质量的变化程度。

本文根据 1990 年 12 月~1991 年 12 月对该水域每月一次的一周年较为完整的调查资料, 探讨本水域 pH 和 ALK 的含量变化范围, 它们的分布特征以及影响它们分布变化的原因, 为评价核电站运转前后水域环境质量的变化状况提供科学依据。

一、方法

按“海洋调查规范”规定的方法进行采样和分析。pH 采用 pH 计电测法; ALK 采用过量酸中和, pH 计电测法。

二、水域 pH 和 ALK 的分布变化特征

1. 年变化特征

pH 的年变化范围表层为 8.06~8.46, 极差值 0.40, 平均值 8.20; 底层的变化范围为 7.93~8.41, 极差值 0.48, 平均值 8.20。占总数 88.4% 的数据落在 8.00~8.30 的范围内, 超过 8.30 的数据占 11.3%, 而低于 8.00 的数据只占 0.3%。开阔大洋的表层水, pH 值的变化大约从 7.8 到 8.4^[2], 本水域的 pH 基本上都在此范围内。

调查水域 pH 月均值的年变化(见图 1), 一年中有三个高峰期, 最高值出现在 1991 年 6 月, 其次是 4 月, 再次之是 9 月。低值出现在 1991 年的 1 月、2 月和 8 月, 10 月的值也比较低。

水域的 pH 与浮游植物的活动有较大的关系。最高值出现的 6 月是浮游植物量较高的月份(2186×10^4 个/ m^3), 浮游植物生长旺盛期光合作用强烈, 大量吸收水中的 CO_2 , 碳酸盐体系的平衡发生变化, 水体的 pH 值升高。pH 最低值出现的 8 月是浮游植物量较少(月均值为 511×10^4 个/ m^3) 的月份, 光合作用的减弱, 使水体中 CO_2 量增加, 因而 pH 降低, 此外, 8 月份降雨量较大, 淡水的加入也是使 pH 降低的原因之一。

全年中表、底层呈现完全一致的变化趋势, 且表、底层的差值极小, 差值最大的是 7 月份, pH 也仅差 0.1。另外, 从图中还可看到, 1990 年 12 月、1991 年 12 月以及 1991 年 1 月, 底层的 pH 稍高于表层, 2~4 月表层、底层值一致, 6 月至 11 月底层值稍低于表层, 呈现出一定的规律性。

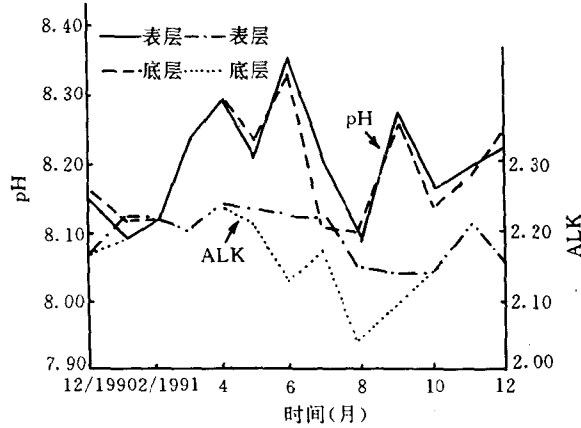


图1 pH和ALK的年变化

ALK的年变化范围表层为1.77~2.43,极差值0.55,均值2.17;底层变化范围为1.96~2.33,极差值0.37,均值2.18。在2.1~2.3范围内的数据占总数据的97.9%,超过2.3的数据占0.7%,低于2.1的占1.4%,变化范围很小。

ALK的年变化也绘于图1。图中表层曲线表明一年中ALK有两个增值期。第一个增值期是1990年12月~1991年4月,增值幅度很小,仅为0.07;第二个增值期在1991年8~11月,增幅较第一个增值期大,为0.17。而1991年的4~8月为减值期,从全年表层月平均值的最高点4月的2.24降至月平均值的最低点8月的2.04,降幅为0.2。底层大致上有与表层相同的变化趋势,只是ALK的变化幅度比表层小得多。比如,4~8月降幅最大,但也只有0.1。大多数月份底层的值与表层一样,4月至9月底层的值高于表层。

2. 季节分布特征

pH和ALK的季节变化曲线绘于图2。从图2可以看到pH和ALK的变化曲线较平缓,季节变化不大。

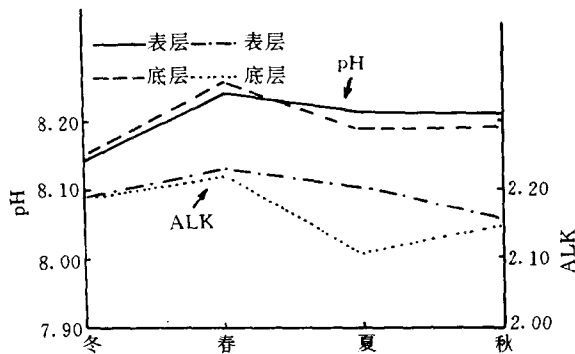


图2 pH和ALK的季节变化

表层pH以春季为最高,平均为8.24;夏、秋次之,为8.21;冬季最低,为8.14。底层的变化与表层完全一样,春季的pH值高达8.25;夏、秋为8.19;冬季最低,为8.15。

表层 ALK 以春季为最高, ALK 值达 2.22, 最低为夏季, 为 2.11, 高、低之差为 0.11。底层的变化小于表层, 高、低二极值之差仅为 0.06。此外, 表、底层除夏季数值相差较大(为 0.09)外, 冬、春季时表、底层值相同, 秋季只差 0.01。

水域 pH 值的高低与生物的活动有很大的关系, 从 pH 的季节变化与浮游植物的生长情况可以看到这一点。一般来说, 冬季是浮游植物生长的缓慢期, 此时水体中由于垂直对流的加强, 水体表底层水混合较好, 富含营养盐的底层水被带到表层, 使表层被消耗的营养盐得到补充, 为春季浮游植物的繁殖提供充足的养分。此时水体的 pH 处于最低点。春季, 水温开始回升, 适合浮游植物生长, 浮游植物繁殖加强, 光合作用增强, 生物合成吸取 CO₂, 消耗磷酸盐和其它营养物质。CO₂ 的被消耗, 导致了 pH 的升高。夏季水体温度升至 27℃ 以上, 已不适合某些藻类的繁殖, 浮游植物量相对比春季低了许多, 光合作用的减弱, CO₂ 被利用的量减少, pH 值呈下降的趋势, 秋季的情况与夏季相似, 因此该两季节的 pH 处于较低值。

3. 平面分布特征

调查水域测站各季节的 pH 和 ALK 的变化范围、极差值及季均值列于表 1。从表 1 可以看到水域各季节 pH 的平面分布有如下几个特征:

表 1 各测站间不同季节 pH、ALK 的变化范围、极差值及平均值

季节	层次	pH			ALK(nmol·dm ⁻³)		
		变化范围	极差值	均值	变化范围	极差值	均值
冬	s	8.11~8.16	0.05	8.14	2.15~2.21	0.06	2.19
	b	8.12~8.18	0.06	8.16	2.17~2.21	0.04	2.19
春	s	8.21~8.30	0.09	8.25	2.18~2.23	0.05	2.22
	b	8.21~8.30	0.09	8.25	2.12~2.27	0.15	2.22
夏	s	8.21~8.25	0.04	8.23	2.02~2.20	0.18	2.13
	b	8.12~8.23	0.11	8.18	2.11~2.25	0.14	2.19
秋	s	8.19~8.22	0.03	8.21	2.11~2.18	0.07	2.15
	b	8.17~8.22	0.05	8.29	2.11~2.19	0.08	2.17

① pH 各测站季均值的变化范围小, 除了夏季底层的极值超过 0.1 外, 其余季节表层或底层的极差值均小于 0.1。因此, 各季节 pH 的平面分布都呈均匀型。

② 底层的分布与表层相同, 且表层、底层差别小, 各季节不论是 pH 的变化范围还是平均值, 表层、底层都非常接近。四个季节中, pH 差值最大的夏季也相差 0.05, 夏季底层值低于表层值可能与粤东上升流有关。从 6 月和 7 月靠近湾口及受到粤东上升流影响的 4[#]、6[#] 及 5[#]、7[#]、8[#]、9[#] 站的底层水与其它测站和表层水比较, 它们除了具有高盐、低温和低氧的特点外, 还具有低 pH 和高 ALK 的特征(见表 2)。

表 2 上升流影响水域与非上升流影响水域底层水中各要素的比较

要素	上升流影响水域 底层水变化范围	平均值	其它水域底层水 变化范围	平均值
T(℃)	23.80~28.87	26.18	28.83~30.47	29.61
S(‰)	31.73~33.92	33.04	31.73~31.88	31.79
DO(%)	2.30~3.65	2.80	3.60~4.46	4.23
pH	7.93~8.13	8.07	8.12~8.20	8.17
ALK	2.21~2.29	2.25	2.15~2.18	2.16

ALK的平面分布有与pH的相似之处,即每个季节调查水域ALK的平面分布都非常均匀,各测站之间的差值不大,只有春季的底层和夏季各测站间的差值超过0.1。

③ 垂直分布

从图1和图2可以看到,表层、底层pH的曲线变化几乎有完全一致的趋势,垂直变化很小,即便是夏季因水层的密度差而形成了分层现象时,水体表层、底层仍然非常一致,只有在粤东上升流影响较大的7月,表层、底层才造成0.09的差值。

ALK的垂直分布与pH极为相似,即表层、底层的变化趋势非常接近,垂直变化小。从1990年12月~1991年5月以及1991年10~12月,表层、底层的值基本一致,而1991年6~9月,也即春末至秋初,表层、底层才有较大的差别,且底层值高于表层值,估计这也是粤东上升流的影响,从湾口潜入的上升流使底层水具有较高的ALK值。

三、pH、ALK 与水温、盐度及浮游植物的关系

表3是pH、ALK与水温、盐度及浮游植物数量(对数值)及pH与ALK之间的相互关系。

表3 pH、ALK与其它环境要素的关系

相互关系	pH			ALK		
	回归方程	r	n	回归方程	r	n
pH、ALK-T	$pH = 8.1214 + 0.003166T$	0.1981	13	$ALK = 2.3034 - 0.005187T$	-0.5817	13
pH、ALK-S	$pH = 8.5917 - 0.01231S$	-0.1170	13	$ALK = 0.9722 + 0.0376S$	0.6407	13
pH、ALK-phy	$pH = 8.1607 + 0.005089phy$	0.0387	13	$ALK = 2.2690 - 0.0127phy$	-0.1731	13
pH -ALK	$pH = 7.6164 + 0.2653ALK$	0.1479	13			

从表4可知pH与上述参数没有明显的相关关系,它们的相关系数很小,而碱度则与水温、盐度有一定的相关性,与温度呈负相关,与盐度呈正相关。

水域pH与碳酸盐体系的平衡有关。pH与生物活动通常的关系在前面pH的季节变化作过论述,而调查水域pH的季节变化也确实按照比较典型的pH与生物活动相互关系的模式进行变化。然而,从表3中所列的pH与浮游生物数量的对数值的线性方程来看,二者并无明显的相关关系。探究其原因,可能是因为这周调查所得浮游植物数量的季节变化的规律性不够明显。四个季节浮游植物数量列于表4。从表4可知,调查水域浮游植物的季节变化的量正好与通常的变化相反(通常浮游植物的数量为冬季低,春季高)。

表4 浮游植物数量($\times 10^4$ 个/ m^3)的季节变化

冬	春	夏	秋
2637	708.6	978	756

此外,从表3也可看出,pH与水温和盐度也没有明显的相关关系,这表明本水域影响pH的因素是比较复杂的,是各种影响因素综合作用的结果。

四、ALK 与盐度的关系及比碱度

图 3 是以图示形式表示的 ALK 与盐度的关系。从图 3 和表 3 均可以看出 ALK 与盐度有

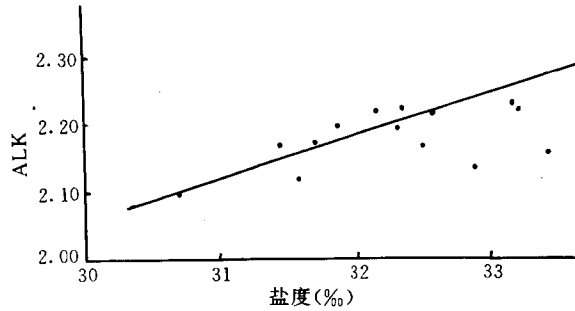


图 3 ALK 与盐度的关系

一定的正相关关系。它们的线性回归方程为：

$$ALK = 0.9722 + 0.0376S \quad (r = 0.6407 \quad n = 13)$$

这种近似线性的关系，说明碱度具有一定的保守性，这与众多文献报道的结果是一致的。

大部分大洋水的比碱度(碱氯比)的值为 0.126，它的变化范围为 0.119~0.130。当水中发生碳酸钙的溶解时，就会在环境中出现对海洋平均值来说的特大偏差。本调查水域比碱度月平均值的变化范围表层为 0.118~0.126，其中有 92.31% 的值落在 0.120~0.126 的范围内(13 个月中只有 10 月份的值低于此范围，为 0.118)，底层的变化范围为 0.117~0.125，与表层一样，也只有 10 月份的值低于大洋比碱度变化范围的下限。

调查水域比碱度的变化范围，基本上在大洋比碱度的变化范围之内，说明本水域碳酸盐的平衡体系没有异常的变化，碳酸钙的溶解和沉淀没有受到异常因素的影响。

五、结 论

1. 水域 pH、ALK 和比碱度变化的范围都在开阔大洋的变化范围之内，说明本水域尚未受到特别的污染物的影响，水质还是干净的。

2. pH 和 ALK 的平面分布及垂直分布都比较均匀，变化很小。

参 考 文 献

- [1] Gaines, A. G. and Pilson, M. E. Q. 1972. Limnol. Oceanology, 17, 42
- [2] J.P. 赖利等主编(1975), 崔清晨等译. 1982. 化学海洋学. 海洋出版社, 1~200
- [3] 彭云辉、陈浩如、李少芬. 1991. 珠江河口水体的 pH 和碱度. 热带海洋. 10(4): 49~55
- [4] 杨绪琳、王伟强. 1987. 海水碱度. 台湾海峡. 6(4): 377~388
- [5] Wang George, T. F., 1979. Alkalinity and pH in the Southern Chesapeake Bay and the James River Estuary. Limnol. Oceanology., 24:970~977

溶 解 氧

徐梅春 朱卓洪

海水中的溶解氧(DO)是评价海区环境质量的重要指标之一。在大亚湾核电站运转前的环境生态调查中,把它列为一个监测项目,有其重要意义。

海水中溶解氧的含量和分布与海区的水气交换、水温、盐度、氧本身的生化循环过程(与浮游植物的光合作用和海洋生物的呼吸作用直接有关)以及水中的营养盐等因素密切相关,它的含量高低、分布变化可以直接反映出海域水环境的质量状况,可以作为评价该水域生态环境质量的一个指标。

1990年12月~1991年12月对大亚湾大鹏澳核电站邻近水域每月一次的全年性调查资料,讨论本水域溶解氧的含量和分布以及影响含量和分布的因素,并以溶解氧作为探讨大鹏澳水域在核电站运转前的生态环境状况的一个指标,以期对核电站运转后,核电站排污、排废对本水域的影响提供科学依据。

一、方法

溶解氧调查的站位设置和调查时间与其它项目的调查完全一致。

溶解氧的测定方法采用“海洋调查规范”(国家海洋局,1975)海水化学要素测定中规定的Winkler碘量法。

二、溶解氧的年变化

调查水域全年溶解氧的变化范围表层为 $4.07\sim 6.43\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,最高值出现在1991年12月的1[#]站,最低值出现在1991年10月的11[#]站,变幅为 $2.36\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。底层由于夏季贫氧区的存在,变化幅度大大地超过表层,它的变化范围为 $2.30\sim 6.16\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,最高值出现在1991年12月的1[#]站,最低值出现在1991年7月的4[#]站,二极值之差为 $3.86\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。1991年溶解氧的含量及变化范围与1986年12月~1987年12月大亚湾海洋生态零点调查的资料差别不大(见表1),只是底层的最小值较后者为大,这可能是因为1990年12月~1991年12月观测范围较小,最小值出现的4[#]站离湾口的距离较远,因而相对来说受粤东上升流的影响较小之故。

以溶解氧的月均值来讨论它的年变化。本水域表层DO年变化的幅度不大,表层的变化范围为 $4.26\sim 5.71\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,均值为 $5.15\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,变幅为 $1.45\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。底层的变化范围为 $2.93\sim 5.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,均值为 $4.79\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,变幅为 $2.67\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,较表层大。表层最高值出现在1991年3月,最低值出现在1991年7月。底层的最高值在1991年1月观察到,最低值与表层一样,在1991年7月观察到。底层DO变幅较大的原因是夏季底层贫氧区的存在。

表1 1991年与1987年大亚湾溶解氧含量的比较

时间	层次		DO	极差值	均值	DO	均值
			(cm ³ /dm ³)			(%)	
1986年12月 ~	s	最大	6.15	2.14	5.11	118.4	103.2
		最小	4.01				
1987年12月	b	最大	6.22	4.76	4.73	91.1	94.0
		最小	1.46				
1990年12月 ~	s	最大	6.43	2.36	5.15	119.3	104.5
		最小	4.07				
1991年12月	b	最大	6.16	3.86	4.83	31.1	96.3
		最小	2.30				

溶解氧的周年变化绘于图1, 从图1可以很明显地看到1990年12月~1991年3月, DO的量几乎没有变化, 除了1990年12月以外, 其余月份均在5.5cm³·dm⁻³以上。3~7月是DO

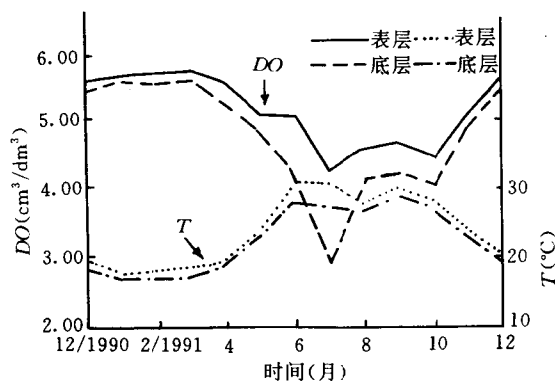


图1 DO和温度的年变化

的下降期, 月下降速率表层平均为0.36cm³·dm⁻³, 底层为0.67cm³·dm⁻³, 几乎是表层的一倍。下降速度最快的是6~7月, 表层和底层分别下降0.81和1.28cm³·dm⁻³。1991年下半年, 从7月到12月是氧的增值期, 增值最大的月份是7~8月和10~11月, 前者表层、底层分别增加0.31和1.20cm³·dm⁻³, 后者表、底层分别增加0.64和0.82cm³·dm⁻³。8~10月为相对稳定期, 表层在0.45cm³·dm⁻³左右波动, 最大变幅仅为0.28cm³·dm⁻³, 底层在4.2cm³·dm⁻³左右波动, 最大变幅为0.12cm³·dm⁻³。

图2为溶解氧饱和度(DO%)的年变化曲线, 比较图1和图2可以看到, 表层的氧含量和饱和度的变化有比较大的区别, 二者的变化趋势, 1990年12月~1991年5月和1991年10~12月比较一致, 而在这两段时间的中间, 即1991年5~8月变化趋势正好相反。二者底层的变化趋势则比较一致。

表层DO%的最高和最低值分别出现在6月和8月, 为114.05%和97.39%, 差值为16.66%; 底层的最高和最低值分别出现在1990年12月和1991年7月, 分别为108.37%和91.23%, 差值达17.14%, 与表层的相差无几。

本水域溶解氧的含量是比较丰富的, 从DO%的月均值来看, 表层除8月份外, 其余都在100%以上, 达到饱和或过饱和。而底层从4~10月为氧的不饱和期, 12~3月则为氧的饱和期或过饱和期。

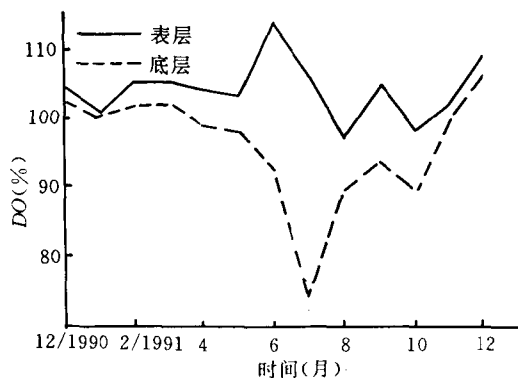


图2 溶解氧饱和度(DO%)的年变化曲线

三、溶解氧的季节变化

本水域 DO 的季节变化比较明显,它直接受到各季节水温、盐度及浮游生物生长情况变化的影响,呈现出冬季均值最高,春季次之,夏季最低以及秋季与夏季相当的变化趋势。季均值的变化范围,表层为 $4.63 \sim 5.64 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$, 底层变化范围为 $3.75 \sim 5.54 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 。表层、底层的变化趋势基本一致。

DO 在海水中的含量主要与它在海水中的溶解度有关。水温低,溶解度就高;水温高,溶解度就低。冬季是一年中水温最低的季节(表层、底层水温季均值分别为 19.01°C 和 18.72°C),因此,氧在水中的溶解度最大,决定了冬季的氧具有高值。相反,夏季水温最高(表层、底层水温季均值分别为 29.55°C 和 27.54°C),因此,水中的氧具有最低值。春季和秋季则介于二者之间。图 3 是溶解氧和水温的季节变化图,从图中可以看到,DO 的季节变化正好与温度相反。二者呈现极明显的负相关关系。而 DO% 只是底层与水温的负相关性密切,表层则关系不显著。DO 和水温的负相关性将在后面再进一步讨论。

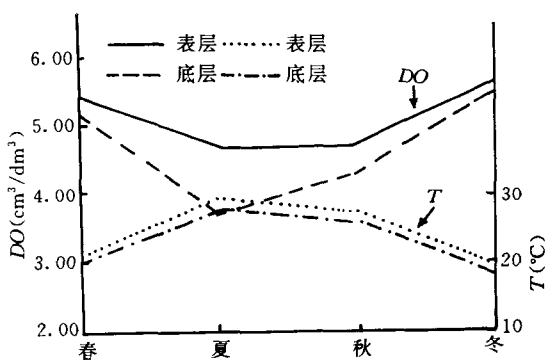


图3 溶解氧和水温的季节变化

此外,浮游植物的光合作用和生物的呼吸作用也影响氧的含量。春季随着水温的上升,浮游植物的繁殖开始茂盛,生物的呼吸作用也加强,但浮游植物光合作用产生的氧补充了生物消耗的氧,因此,春季 DO 的量并不会随着生物的大量消耗而急剧减少。

四、溶解氧的平面分布

本调查水域 DO 的平面分布比较均匀。四个季度等值线的分布都比较稀疏。虽然如此,区域性和季节性的差别还是存在的。

冬季,很明显以 2[#]站处南北向断面为界,大鹏澳湾内表层 DO 的含量均在 $5.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 以上,最高的值出现在 1[#]站,达 $5.85\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,最低的值是在 12[#]站,为 $5.62\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,差值只有 $0.23\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。而湾外至小辣甲,DO 量均低于 $5.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,在 $5.49\sim 5.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 之间,高、低值仅差 $0.11\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。底层具有相似的变化规律,湾内 DO 大于 $5.5\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,变化范围为 $5.52\sim 5.75\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$;湾外小于 $5.5\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,变化范围为 $5.42\sim 5.50\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。从变化的幅度和等值线密度来看,不论是表层还是底层,冬季溶解氧的分布都是湾外比湾内均匀(见图 4a)。冬季影响溶解氧含量和分布的主要因素是水温,它的分布特征是与水温的分布特征密切相关的。冬季湾内四个站(1[#]、2[#]、11[#]、12[#])的水温表层在 $18.43\sim 18.87^\circ\text{C}$,底层在 $18.34\sim 18.75^\circ\text{C}$,而湾外各站的水温均高于 19°C ,在 $19.0\sim 19.35^\circ\text{C}$,因此,湾内 DO 含量比湾外高就不足为奇。此外冬季水温的变幅不大,故而 DO 的量值变化也不大。

春季 DO 的分布仍然比较均匀,在表层呈 S 形分布的等值线,将整个调查水域分成两部分,等值线以北和以西,DO 的量均小于 $5.40\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,其余水域均大于 $5.40\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。底层与表层稍有不同,两条 $5.20\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 的等值线将水域分成三个部分,除两条线的中间部分(包括 7[#]、4[#]和 12[#]站)小于 $5.20\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 外,其余水域的 DO 值都大于 $5.20\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。底层春季 DO 的变化范围为 $5.10\sim 5.35\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。

春季本水域 DO 的分布仍以水温的影响为主。表层 DO 值小于 $5.40\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 的几个站(1[#]、11[#]、3[#]和 5[#]站)水温的值都较其它站高,而底层 DO 与水温的关系则不明显。

夏季:在四个季节中,夏季 DO 等值线的分布是最复杂的。夏季 DO 分布的一个比较明显的特点是它的含量从大鹏澳湾内向湾外逐渐降低,表层的等值线从 $5.00\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 下降到 $4.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,表层具最低值($4.56\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$)的 4[#]站是在呈舌状分布的 $4.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 等值线的中间部位。而在等值线的外围,DO 的值均大于 $4.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 而小于 $4.80\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。底层和表层略有不同,DO 量从湾内向湾外降低后,在湾外形成两个以 4[#]站和 6[#]站为中心的低氧中心,这两个站 DO 的季均值分别为 3.01 和 $3.00\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。该两个站在 6 月和 7 月达到的最低值 4[#]站为 2.55 和 $2.30\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,6[#]站为 2.71 和 $2.34\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,同时,这两个站的水温却是所有站中最低的,盐度是最高的。6 月份 4[#]站和 6[#]站底层的水温分别为 24.43°C 和 24.11°C ,7 月份分别为 23.96°C 和 23.80°C ;6 月份 4[#]站和 6[#]站的盐度分别为 33.20 和 33.56 ,7 月份则为 33.92 。而其它站的水温均高于 28°C ,盐度则低于 32 。

这两个站所具有的低温、低氧和高盐的特征很显然是受到粤东上升流的影响和南海高盐水的影响⁽¹⁾。夏季,由于表层、底层水的水温差大而形成的水体分层现象使得以上两股水从底层潜入,只对两个站的底层水产生影响。从调查资料来看,1991 年测站底层的贫氧现象是从 6 月开始的,随着时间的推移至 7 月,底层的贫氧现象表现得越来越明显,且波及的范围也越来越广。6 月只有靠近湾口的 4[#]、6[#]站底层表现出贫氧现象,氧含量分别从 5 月的 $4.52\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 和 $4.60\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 下降到 2.55 和 $2.71\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$,氧饱和度分别从 91.31% 和 92.54% 下降

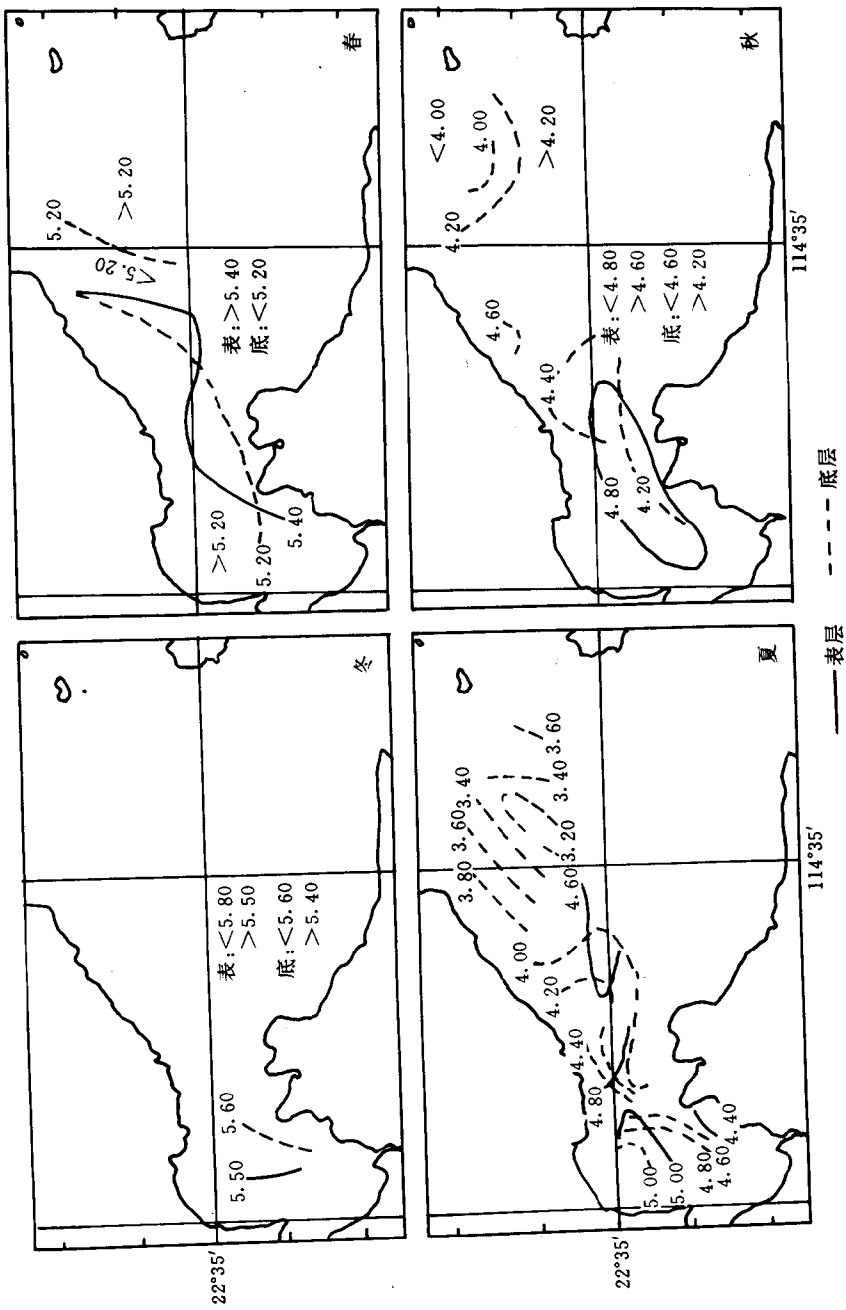


图 4 DO 的平面分布

到 52.90% 和 56.22%，呈现明显的贫氧特征。其它测站尚未出现贫氧现象，但已表现出 DO 的量从北面向湾口降低的特征，比如在北面的 7# 站就比稍靠近湾口的 8# 站高 $1.06\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 。到 7 月，4# 和 6# 站的氧饱和度已降至 50% 以下，其它各站包括 5#、7#、8#、9# 站都受到外海水不同程度的影响，DO% 都下降至 60% 左右。8 月份贫氧现象基本消失，各站的 DO 都回复到 $4\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 左右，DO% 上升到 80% 以上。此时底层的值仍然比表层低，各站底层大约比表层低 $0.6\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 左右，这时可能是底层有机物的分解耗氧在起着主要作用。

秋季，表层 DO 的分布非常均匀，除大鹏澳内 $4.80\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 等值线包围的范围内 DO 大于 $4.80\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 外，其它站的 DO 都小于 $4.80\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 而大于 $4.60\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ，底层的变化稍大于表层，DO 的值从大鹏澳湾内向偏东北方向降低。

五、溶解氧的垂直变化

从 DO 的周年变化曲线图和季节变化图可以看到，表层的月均值始终高于底层，但表层、底层的差值有很大的差别，从冬季到春初(3 月)由于水温较低，表层、底层的水温和盐度比较一致，不存在水温跃层和盐度跃层，水体上、下对流较好，水体没有分层现象，DO 与其它参数一样，表层、底层基本上均匀一致，差异很小，这段时间内表层和底层最大差值为 $0.13\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 。从 4 月开始，表层水温逐渐升高，水体垂直交流逐渐减弱，水体分层慢慢形成。底层由于有机物的消耗得不到补充，再加上夏季粤东上升流的影响，表层、底层差值逐渐增大，至 7 月份差值达到最大，为 $1.33\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ 。8 月份以后差值又减小，直至冬天水体分层现象消失，DO 含量又趋于上、下一致。

六、溶解氧与其它环境参数的关系

一般来说，氧在水体中的含量和分布与水温、盐度、水生生物的活动以及水体中其它环境参数等多种因子有关。对 DO 的月均值与环境理化因子的月均值作线性回归处理，得到的结果列于表 2。

表 2 DO 与环境理化因子的相关性

相关关系	线性回归方程		n
DO - T	$\text{DO} = 7.9901 - 0.1292T$	-0.9256	13
DO - S	$\text{DO} = -0.4517 + 0.1687S$	0.1836	13
DO - TIN	$\text{DO} = 4.6237 + 0.1689\text{TIN}$	0.2609	13
DO - PO ₄ - P	$\text{DO} = 4.5669 + 1.0535\text{PO}_4 - \text{P}$	0.2396	13
DO - SiO ₃ - Si	$\text{DO} = 5.3579 - 0.0178\text{SiO}_3 - \text{Si}$	-0.1762	13
DO - phy	$\text{DO} = 4.8217 + 0.0001123\text{phy}$	0.3281	13
DO - Chl - a	$\text{DO} = 4.3713 + 0.0787\text{Chl} - \text{a}$	0.1465	7

从表 2 可知，在众多的参数中 DO 与水温(T)有最好的相关性，相关系数的绝对值高达 0.9256，与其它参数的相关性则很差。因此，在大鹏澳及核电站邻近水域，影响 DO 含量及

分布的最主要的因素是水温。从前面分析 DO 的年变化和季节变化中冬春水温低, DO 含量高;夏秋水温高, DO 含量低就充分说明了这二者所呈现的负相关性。

DO 含量与浮游生物量及营养盐均呈现正的相关性,但相关系数低,相关性不够显著。

七、调查水域溶解氧的质量情况

与海水水质标准^[2]相比较,本水域表层水的 DO 都符合一类水质标准($>3.57\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$),底层大部分月份属于一类水质,只有夏季的贫氧区属于三类水质($2.86\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}>\text{DO}>2.14\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$)。

八、结论

1. 1990 年 12 月~1991 年 12 月对大鹏澳及核电站邻近水域所作的周年调查期间,调查水域 DO 的含量变化范围为表层 $4.07\sim 6.43\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$, 底层为 $2.30\sim 6.16\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$ 。

DO 的年变化于 1990 年 12 月~1991 年 3 月为 DO 的高峰期, 3~7 月为 DO 的下降期,最低值在 7 月出现, 7~12 月是 DO 的增值期。

DO 的季节变化为冬季最高, 春季次之, 夏秋相对较低。

DO 的平面分布比较均匀, 但除春季外, 其它季节都呈现出大鹏澳内高于大鹏澳外的现象。底层的分布与表层相似。

DO 的垂直分布为冬春上下基本一致;夏秋分层, 表层高于底层。

2. 夏季粤东上升流从底层潜入, 使靠近湾口的测站呈现贫氧现象, 且由于夏季存在的水体分层现象, 使整个夏季底层水的贫氧现象得不到改善。

3. 对 DO 与其它环境因子和浮游生物所作的线性回归分析, 表明了影响调查水域 DO 含量和分布的最主要的因素是水温。

4. 调查期间 DO 的含量和变化范围与 1986 年至 1987 年的零点调查近似, 且用海水水质标准来衡量, 除夏季贫氧区 DO 属于三类水质外, 其余水域都属于一类水质, 因此, 以 DO 作为评价环境污染的一个指标, 则在大亚湾核电站运转前的 1991 年, 大鹏澳及核电站邻近水域的水质还是洁净的。

参 考 文 献

- [1] 王伟强、黄尚高、卢美鸾、吴成基、陈 砚. 1990. 大亚湾水中的溶解氧, 大亚湾海洋生态文集(II), 141~151. 海洋出版社
- [2] 国务院环境保护领导小组. 1982. 中华人民共和国国家标准(GB 3097—82). 海水水质标准. 海洋出版社

磷酸盐和硅酸盐

朱卓洪

磷酸盐、硅酸盐是海洋浮游植物生长的必需营养成分。磷、硅含量分布状况是关系到海区水质营养指标和环境污染程度的重要依据。

多年来,已对大亚湾海域进行过环境调查,积累些可贵资料。本次在原有的基础上,为了更全面、更深入地了解该海区水质变化结构特征,以1990年12月~1991年12月,全年在大亚湾西南部海域布设11个调查站,每月按时调查、采样和分析。现进行综合讨论该海区全年磷酸盐、硅酸盐含量的年分布状况和评价该海区水质变化结构特征。

一、磷酸盐、硅酸盐的年变化

磷酸盐 大亚湾西南部水域磷酸盐年含量变化范围在 $0.0\sim 1.2\mu\text{mol/L}$ 之间,表层平均值是 $0.31\mu\text{mol/L}$,底层是 $0.41\mu\text{mol/L}$,年平均值为 $0.36\mu\text{mol/L}$ 。11个调查站,磷酸盐的月平均含量变化见表1和图1。从图和表中看出,磷酸盐含量最低的月份为4月份,只有 $0.21\mu\text{mol/L}$,最高是7月和12月份,为 $0.51\mu\text{mol/L}$,且7月份表层与底层的差异最大。

表1 磷酸盐和硅酸盐的月平均值

项目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
磷酸盐 ($\mu\text{mol/L}$)	表层	0.50	0.38	0.41	0.14	0.22	0.15	0.36	0.27	0.19	0.32	0.21	0.48
	底层	0.48	0.50	0.45	0.28	0.32	0.39	0.66	0.28	0.28	0.49	0.27	0.53
硅酸盐 ($\mu\text{mol/L}$)	表层	25.94	19.58	9.65	10.98	10.22	13.40	20.96	19.87	17.63	29.17	23.84	29.28
	底层	28.14	20.83	10.10	12.78	14.74	20.00	30.27	17.97	21.90	32.38	25.24	30.84
温度	表层	17.53	18.13	18.57	19.57	23.87	30.04	30.66	27.97	29.80	28.01	23.56	20.76
	底层	17.53	17.64	17.83	19.15	23.28	28.03	27.62	26.96	29.26	27.87	23.43	20.86
溶解氧 (mg/L)	表层	5.64	5.70	5.71	5.51	5.05	5.07	4.26	4.57	4.46	4.47	5.11	5.67
	底层	5.60	5.17	5.59	5.28	4.85	4.21	2.93	4.13	4.21	4.09	4.91	5.54

硅酸盐 年含量的变化范围在 $6.10\sim 41.48\mu\text{mol/L}$ 之间,表层平均值是 $19.84\mu\text{mol/L}$,底层是 $22.2\mu\text{mol/L}$,全年平均值是 $21.02\mu\text{mol/L}$ 。全年硅酸盐月均值含量变化可见表1和图2。从图中看出,硅酸盐含量最低月份是3月,只有 $10\mu\text{mol/L}$,最高是10月和12月份,月均值分别为 $30.70\mu\text{mol/L}$ 和 $30.10\mu\text{mol/L}$ 。

综上所述,大亚湾西南部海域磷酸盐和硅酸盐的月均值含量变化趋势是,3月和4月份分别是含量最低的月份,7月和12月份的磷酸盐含量最高,10月和12月份则是硅酸盐的含量最高,表层和底层磷酸盐和硅酸盐含量差异最大的月份为7月份。其余各月份磷酸盐和硅酸盐含量变化趋势各有差异,这与气候影响和陆源输入有关,不同季节、月份对于各种生物和浮

游植物消耗磷酸盐和硅酸盐不同,其本身有机质的分解速率也不同。为了进一步了解它们之间影响因素,我们以季节性逐月讨论磷酸盐、硅酸盐含量的变化趋势。

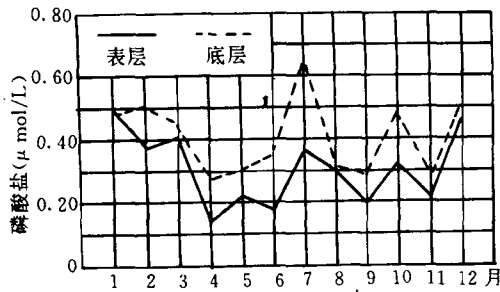


图1 磷酸盐年变化

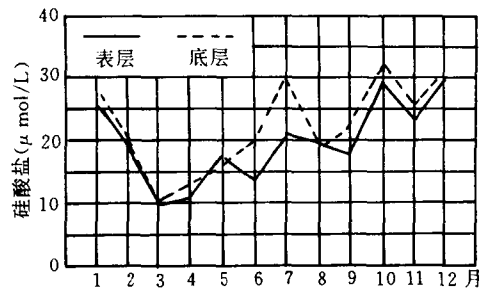


图2 硅酸盐年变化

二、磷酸盐、硅酸盐的季节变化

把全年各月的磷酸盐、硅酸盐含量变化以季节性划分,讨论它们之间的变化因素。

春季(3~5月)水温变化范围为17~23.8℃,是浮游动物和浮游植物大量繁殖的最好季节,因而需要大量吸收营养盐,相应消耗较多的磷酸盐、硅酸盐。且季节雨量较少,形成的地表径流输入有限,如盐度较高,为32左右,由于营养盐来源有限,再加上浮游植物在繁殖生长期,对磷和硅的需求量不同,所以出现了3月和4月份分别是硅酸盐和磷酸盐含量为全年的最低值。

夏季(6~8月)水温变化范围在27~31℃,由于该季节6月和8月份常下暴雨,地表径流大量流入该海域,从而得到营养盐补充。然而,6月和8月份叶绿素a含量很高,在5.5mg/L左右,相应消耗大量磷、硅酸盐,况且雨水较多,使整个区域水体受到稀释,如盐度是全年最低值(为30),因而6月和8月份磷酸盐和硅酸盐含量略偏低。7月份有所不同。雨水较少,气温升高,表层水温高达31℃,浮游植物生长受到抑制,如表层叶绿素a出现最低值,只有1.3mg/L,由于得到外来营养盐补充,况且消耗较少,因而磷酸盐和硅酸盐含量升高。另外由于该月份光照时间长,表层和底层水温相差3℃,海水垂直对流较弱,形成磷酸盐和硅酸盐表层和底层含量差异最大。

秋季(9~11月)水温在23~29℃,雨量较少,外海水势侵入和海水垂直对流逐渐增强,盐度相应较高,浮游植物开始出现不同程度的衰退,如10月份的叶绿素a只有1.6mg/L,9月和11月份均值为2.3mg/L,而磷酸盐和硅酸盐相应地在10月份较高,9月和11月偏低,由此看出,除环境因素影响外,叶绿素a跟磷酸盐和硅酸盐含量密切相关。

冬季(12~2月)温度下降,平均水温在17~20℃,浮游动物和浮游植物出现衰退和死亡,其体内磷酸盐和硅酸盐重新溶解在水中,从而得到营养盐补充,使得该季节磷酸盐和硅酸盐含量较高。

综合上述磷酸盐和硅酸盐各月的含量变化,得出一年四季该区域磷酸盐和硅酸盐的季均值,见图3和图4。从图中看出,硅酸盐表层和底层含量是从春季到冬季逐渐升高,而磷酸盐是春季和秋季偏低,夏季和冬季较高。

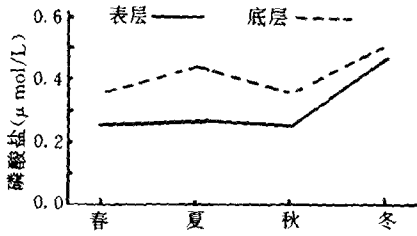


图3 磷酸盐季变化

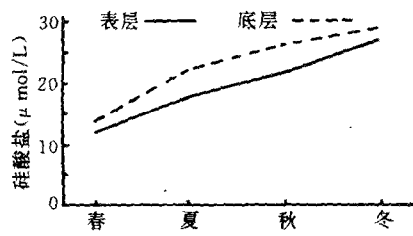


图4 硅酸盐季变化

三、平面分布

大亚湾西南部全年 11 个调查站的磷酸盐、硅酸盐表层、底层含量见表 2，整个区域平面分布见图 5 和图 6。

表 2 全年 11 个调查站的磷酸盐、硅酸盐表底层平均含量

站位/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
水深 (m)	4.5	10.0	8.5	14.0	11.5	14.0	12.5	13.0	13.0	6.5	4.0
磷酸盐 表层	0.32	0.27	0.27	0.26	0.35	0.35	0.34	0.26	0.30	0.31	0.31
(μmol/L) 底层	0.41	0.38	0.39	0.41	0.43	0.46	0.44	0.38	0.40	0.33	0.36
硅酸盐 表层	21.30	20.48	18.71	20.41	19.77	17.38	20.22	17.38	18.62	21.47	21.91
(μmol/L) 底层	22.22	24.36	22.08	22.64	21.33	20.46	21.29	20.46	22.20	24.32	25.64

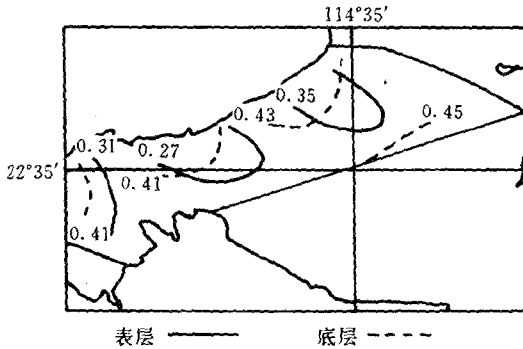


图5 磷含量(μmol/L)的平面分布

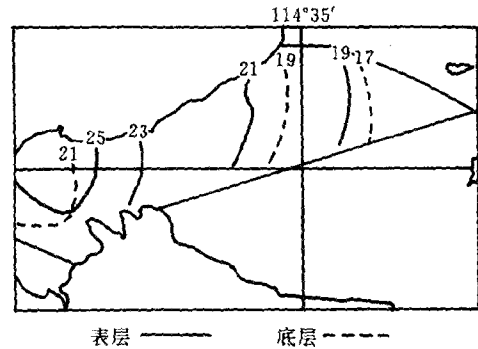


图6 硅含量(μmol/L)的平面分布

从图、表中可看出，硅酸盐含量最高在 11 号和 12 号站，水深 5m 左右，其含量变化趋势是从沿岸湾口海区逐渐向西北深水区递减。而磷酸盐不同，其含量最高在 5 号、6 号和 7 号站，水深范围在 11~14m，在湾口中部较深的水域，其含量变化趋势不很明显。磷酸盐和硅酸盐在平面分布上存在这种趋势，这表明在大亚湾西部地表输入主要以硅酸盐为主，而磷酸盐很少。

四、垂直分布

本调查区域水深范围在 4~14m，由于受环境因素的影响，磷酸盐和硅酸盐表层含量一般

都低于底层。全年 11 个调查站的磷酸盐、硅酸盐垂直分布,见图 7 和图 8。从图中看出,有明显分层现象。特别是磷酸盐,其浓度随着深度递增而增加,造成这种变化现象是多方面的,如与海水垂直对流作用大小、光照时间长短、水温差异以及植物光合作用强弱等有关。我们发现水温和溶解氧表层与底层的差值恰恰与磷酸盐和硅酸盐表层及底层的差值相反,不同季节或月份其影响也不一样。从表 1 中可以看出,最明显是 7 月份,水温表层和底层相差 3℃,溶解氧相差 1.3mg/L,¹而磷酸盐表层与底层相差 0.3μmol/L,硅酸盐相差 10μmol/L。经综合分析,用直线回归方程算出,该水域全年磷酸盐和硅酸盐表层与底层含量的差值,跟水温和溶解氧的表层与底层的差值关系(见表 3),从表中看出,它们之间呈负相关显著,其中 99% 都落在置信水平上,这就是该区域磷酸盐和硅酸盐垂直变化的一个特征。

表 3 磷酸盐、硅酸盐表层、底层差值跟水温和溶解氧表层差值关系

相互关系	回归方程	相关系数	显著水平	n
PO ₄ - T	$y = -0.053 - 0.06T$	-0.69	0.01	12
SiO ₃ - T	$y = -0.055 - 0.39T$	-0.68	0.01	12
PO ₄ - DO	$y = -0.042 - 0.20DO$	-0.84	0.01	12
SiO ₃ - DO	$y = -0.149 - 6.61DO$	-0.78	0.01	12

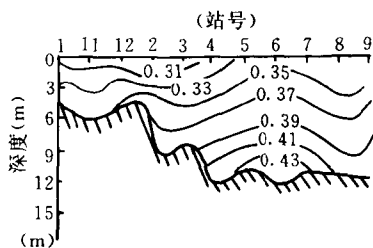


图 7 磷酸盐含量(μmol/L)断面分布

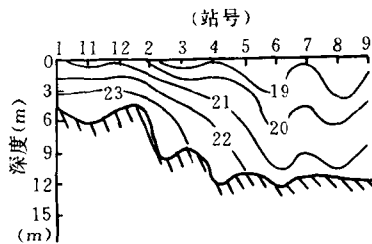


图 8 硅酸盐含量(μmol/L)断面分布

五、磷酸盐、硅酸盐与各组分关系

根据大亚湾西部全年磷酸盐和硅酸盐含量测定结果,分析该海区磷酸盐和硅酸盐月平均含量与水温、盐度、溶解氧、叶绿素 a 和三氮的相互关系(见表 4),同时评价该海区水质营养指标和污染程度。

表 4 全年磷硅酸盐月均含量跟其他组分关系

回归方程	相关系数	显著水平	n
$PO_4 = 0.531 - 0.007t$	-0.30	不显著	12
$SiO_3 = 14.33 + 0.277t$	0.20	不显著	12
$PO_4 = 0.42 - 0.002S$	-0.01	不显著	12
$SiO_3 = -36.08 + 1.77S$	0.19	不显著	12
$PO_4 = 0.25 + 0.22 DO$	0.13	不显著	12
$SiO_3 = 32.46 - 0.23 DO$	-0.23	不显著	12
$PO_4 = 0.48 - 0.052 chl - a$	-0.51	0.05	12
$SiO_3 = 31.90 - 3.31 chl - a$	-0.70	0.05	12

从表中看出,全年该海区磷酸盐和硅酸盐含量除跟叶绿素 a 有密切的负相关外,跟其他三种要素都不呈现相关性,这可能同周围生态环境有关。

本调查该水域 $\text{NO}_3 - \text{N}$, $\text{NO}_2 - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 年平均值分别为 $0.83\mu\text{mol/L}$ 、 $0.23\mu\text{mol/L}$ 和 $0.83\mu\text{mol/L}$, 其中 P: ΣN :Si 比值为 1:5:58, 相应对比 86 年调查的 P: ΣN :Si 为 1:2:48 略有差异,同南海中部 SiO_3 : PO_4 的比值为(52~54)较接近。根据水质营养指标划分,磷酸盐:过营养为 $0.7\sim 5\mu\text{mol/L}$, 中营养为 $0.06\sim 0.7\mu\text{mol/L}$, 该海区全年磷酸盐平均值为 $0.36\mu\text{mol/L}$, 属中营养范围。又根据海水水质标准,一类海水磷酸盐为 $0.46\mu\text{mol/L}$, 该海区磷酸盐属于一类水质范围。

综合一年在大亚湾西南部的调查,可以得出以下几点看法:

1. 大亚湾西南部全年磷酸盐和硅酸盐平均含量分别为 $0.36\mu\text{mol/L}$ 和 $21.02\mu\text{mol/L}$ 。磷酸盐含量最高月份在 7 月和 12 月份,硅酸盐在 10 月和 12 月份,而磷酸盐和硅酸盐含量最低的月份分别在 4 月和 3 月。

2. 该水域平面分布是硅酸盐从沿岸湾口内逐渐向深水区递减,而磷酸盐变化没有此种现象,说明该海区地表径流输入主要是硅酸盐,而磷酸盐很少。

3. 该水域磷酸盐和硅酸盐表层及底层含量有明显的分层现象,其磷酸盐和硅酸盐表、底层含量差值恰恰跟水温与溶解氧表层及底层的差值相反,呈负相关显著。

4. 该水域磷酸盐和硅酸盐含量跟叶绿素 a 密切相关,P: ΣN :Si 比值为 1:5:48,属于一类水质范围。

参 考 文 献

- [1] 徐恭昭等. 大亚湾环境与资源. 1989. 安徽科学技术出版社, 23~102
- [2] 林值青. 1983. 南海中部海域的营养盐类——磷酸盐、硅酸盐的分布特征. 南海海洋科学集刊, 4: 121~126
- [3] 王小平等. 1994. 大鹏湾南澳水域氮磷及溶解氧的分析研究. 海洋通报, 45~49

无机氮

陈金斯

三种形态无机氮($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$)含量调查于1990年12月~1991年12月进行,每月观测一次,分表、底层观测。观测站位如前述。样品分析方法参照《海洋调查规范》,即 $\text{NH}_4\text{-N}$ 用次溴酸钠氧化法, $\text{NO}_3\text{-N}$ 用铈—镉还原偶氮比色法, $\text{NO}_2\text{-N}$ 用重氮—偶氮比色法。

一、三种形态无机氮含量比较

无机氮是浮游生物生长的必要元素之一,浮游植物通过光合作用吸收无机氮转化为有机氮,浮游动物消化有机氮,部分转为废物排泄出体外,部分合成自身机体,而死亡后分解亦释放出无机氮,如此循环往复。此外,水—气交换亦使表层海水溶解部分空气中的氮气,径流、降雨等亦改变水体氮含量变化。因此,不同的海区无机氮的含量是不同的。大鹏澳湾各种形态无机氮含量都不高,它们含量的大小顺序一般为 $\text{NH}_4\text{-N} > \text{NO}_3\text{-N} > \text{NO}_2\text{-N}$,见表1。

氮在海洋的循环过程中,各种形式氮发生相互转化,它们的转化过程为:

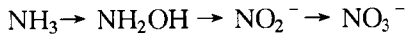


表1 三种形态无机氮含量($\mu\text{mol/L}$)

时间 (年-月)	层 次	$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		$\text{NO}_2\text{-N}$	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
1990-12	表层	0.40~2.14	0.96	0.06~2.04	0.94	0.18~0.95	0.46
	底层	0.36~2.27	1.08	0.01~1.70	0.96	0.21~1.03	0.67
1991-1	表层	0.58~1.55	1.07	0.00~1.70	1.03	0.20~1.23	0.74
	底层	0.70~3.63	1.45	0.16~1.41	0.94	0.09~1.07	0.69
1991-2	表层	0.14~0.81	0.43	0.05~0.38	0.17	0.05~0.39	0.18
	底层	0.20~0.82	0.49	0.12~0.66	0.36	0.11~0.64	0.25
1991-3	表层	0.38~2.63	1.37	0.00~2.53	1.13	0.00~0.34	0.15
	底层	0.45~3.53	1.43	0.00~2.86	1.29	0.00~0.49	0.18
1991-4	表层	0.24~0.90	0.48	0.03~0.76	0.33	0.00~0.13	0.04
	底层	0.45~1.56	0.67	0.18~1.29	0.55	0.00~0.17	0.07
1991-5	表层	0.21~0.73	0.41	0.06~0.48	0.18	0.00~0.15	0.04
	底层	0.29~8.60	1.46	0.08~0.98	0.32	0.00~0.11	0.05
1991-6	表层	0.31~0.96	0.66	0.06~1.59	0.29	0.00~0.27	0.10
	底层	0.41~2.45	1.38	0.06~0.61	0.35	0.02~2.07	0.62
1991-7	表层	0.37~1.69	0.73	0.00~0.56	0.18	0.04~0.21	0.09
	底层	0.03~4.98	1.30	0.00~3.10	1.20	0.06~1.39	0.64
1991-8	表层	0.18~4.41	1.55	0.00~5.44	1.34	0.00~0.30	0.11
	底层	0.34~2.27	1.57	0.06~1.28	0.56	0.00~0.23	0.11
1991-9	表层	1.38~2.32	1.80	0.14~0.39	0.23	0.00~0.02	0.01
	底层	0.83~2.27	1.64	0.11~0.39	0.23	0.00~0.23	0.06
1991-10	表层	0.26~1.17	0.90	0.00~0.20	0.08	0.00~0.11	0.07
	底层	0.63~1.69	0.97	0.00~0.45	0.14	0.00~0.74	0.16
1991-11	表层	0.76~1.69	1.09	0.00~1.09	0.30	0.00~0.29	0.10
	底层	0.70~1.98	1.15	0.00~1.40	0.36	0.00~0.29	0.13
1991-12	表层	0.55~1.54	1.06	0.00~5.11	2.88	0.04~0.76	0.45
	底层	0.56~1.82	1.33	0.00~5.14	3.09	0.11~0.74	0.43

在不同的区域,各种形态无机氮相互转化程度是不一样的。大鹏澳湾各月份各种形态无机氮占总无机氮(TN)的百分比值见表2。

表2 三种形态无机氮月平均值及其在 TN 中所占百分比

月 份	TN ($\mu\text{mol/L}$)	NH ₄ -N		NO ₃ -N		NO ₂ -N	
		月均值 ($\mu\text{mol/L}$)	占 TN (%)	月均值 ($\mu\text{mol/L}$)	占 TN (%)	月均值 ($\mu\text{mol/L}$)	占 TN (%)
1	2.97	1.26	43	0.99	33	0.72	24
2	0.95	0.46	48	0.27	29	0.22	23
3	2.78	1.40	50	1.21	44	0.17	6
4	1.07	0.58	54	0.44	40	0.06	6
5	1.23	0.94	76	0.25	20	0.05	4
6	1.70	1.02	60	0.32	19	0.36	21
7	2.07	1.02	49	0.69	33	0.37	18
8	2.62	1.56	60	0.95	36	0.11	4
9	1.99	1.72	86	0.23	12	0.04	2
10	1.16	0.94	81	0.11	10	0.12	10
11	1.57	1.12	72	0.33	20	0.12	8
12	4.62	1.20	26	2.99	65	0.44	9
年均	2.06	1.10	59	0.73	30	0.23	11

表2数据表明各月份三种形态无机氮所占 TN 百分比值变化较大, NH₄-N 占 TN 百分比值较大, NO₂-N 百分比值较小。1~4 月和 12 月份 NH₄-N 占 TN 的百分率相对较低, 均在年均值(59%)以下, 6 月、8 月、9 月和 10 月份较高, 9 月份高达 86%; NO₃-N 占 TN 的百分比值状况则与 NH₄-N 相反, 1~4 月和 12 月份均较高, 12 月份的百分比值为年均值(30%)的 2 倍多。NO₂-N 占 TN 的百分比值都低, 变化范围在 2%~24%, 年平均仅为 11%。

海洋各种形式氮的相互转化过程中, 在达到热力学平衡时, 氮基本上以 NO₃-N 存在。从分析结果看, 大鹏澳湾水域的 NO₃-N, 除 12 月份占 TN 的 65% 外, 其余月份均不到 50%, 而 5 月、6 月和 9~11 月份均在 20% 以下, 平均值也只有 30%。这说明大鹏澳湾的无机氮之间远未达热力学平衡状态。

二、三种形态无机氮的年分布

图 1、图 2 和图 3 是 NH₄-N、NO₃-N 和 NO₂-N 的年变化图。

NH₄-N 含量 8 月、9 月份最高, 分别达 1.56 $\mu\text{mol/L}$ 和 1.72 $\mu\text{mol/L}$, 年平均值为 1.1 $\mu\text{mol/L}$ 。夏季陆源物质随雨水进入湾内, 以及受珠江高营养盐的河口水的影响, 使 NH₄-N 含量逐渐增加。且从春季到夏秋季, 浮游植物生长由繁盛到衰亡, 其消耗的 NH₄-N 必然渐少, 而浮游植物死亡后其体内所含的蛋白质、氨基酸、脲和胺等一系列有机氮化合物分解可产生 NH₄-N, 使 8 月、9 月份水体 NH₄-N 含量达到最大值。

NO₃-N 含量随月份的周年变化关系图呈锯齿形, 最大值(2.99 $\mu\text{mol/L}$)出现在 12 月份, 而且比其它月份 NO₃-N 含量高得多。这是因为 12 月份浮游植物繁殖弱, 消耗营养盐较少, 同时, 进入冬季后, 跃层屏蔽效应逐渐消失, 沉积物表层再生氮经水体垂直对流进入水体, 使

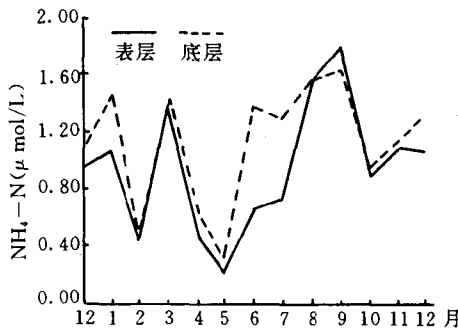


图1 氨氮年变化

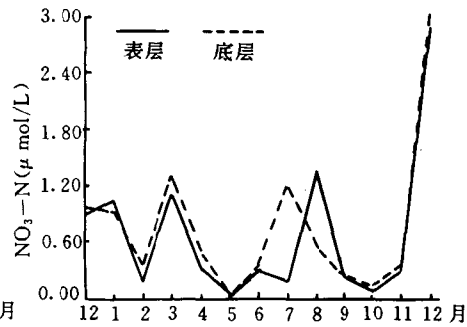


图2 硝酸盐年变化

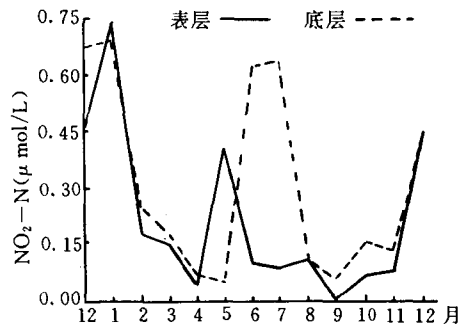


图3 亚硝酸盐年变化

NO_3-N 含量升高。春季4月~6月份的 NO_3 含量均较低,季平均值为 $0.33\mu\text{mol/L}$,而周年的平均值为 $0.72\mu\text{mol/L}$ 。春季是浮游植物繁盛高峰期,浮游植物的光合作用消耗水中的氮,使 NO_3-N 含量降低。

NO_2-N 含量在12月和1月份的表层和底层水都较高,6月和7月份的底层水也较高,最大值为 $0.58\mu\text{mol/L}$,其余月份含量均较低,最小值为 $0.04\mu\text{mol/L}$,年平均值为 $0.23\mu\text{mol/L}$ 。冬季的 NO_2-N 含量最高,这是由于浮游植物大量死亡后分解产生多的 NO_2-N ,水体垂直对流使表层沉积物再生氮带进水体,而且冬季水温低, NO_2-N 转化成 NO_3-N 的速率慢,致使冬季 NO_2-N 含量高。6月和7月份是浮游植物繁盛期,表层氮被消耗;又由于水体分层,底层氮保持较高的浓度。

总无机氮年变化范围在 $0.95\sim 4.62\mu\text{mol/L}$,年平均值为 $2.06\mu\text{mol/L}$ 。海洋浮游植物对无机氮最佳浓度要求的下限为 $5.71\mu\text{mol/L}$,大鹏澳湾总的无机氮终年都低于此值。磷、氮、硅的年平均比值为1:5:55,而植物对营养盐吸收同化的最佳比例 $\text{P:N:Si} = 1:16:32^{(1)}$ 。说明大鹏澳湾是个贫氮海区,氮成为该海区海洋生产力的限制因子,适当补充氮对提高水域的生产力有其实际意义。

三、三种形态无机氮的平面分布和垂直分布

水平分布 大鹏澳湾水域三种形态的无机氮(表层)平面分布见图4~图6。

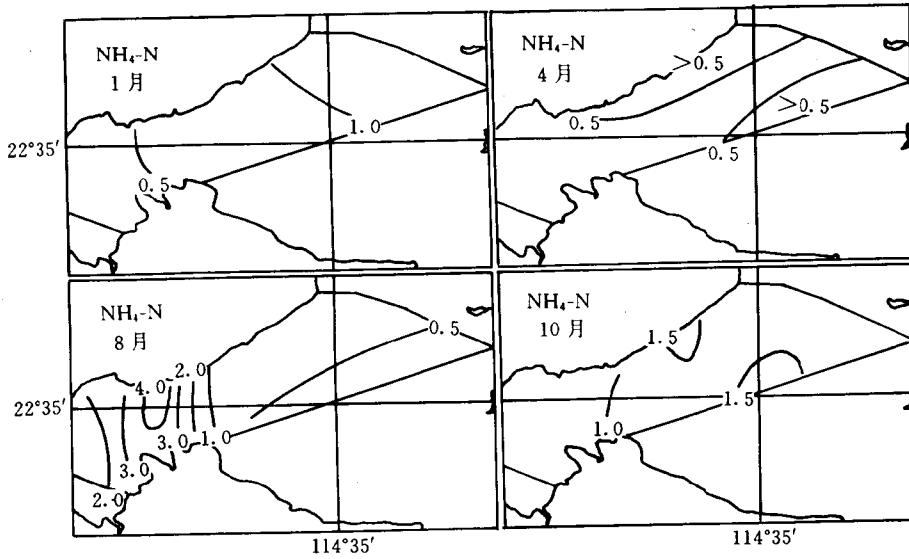


图4 氨氮的平面分布

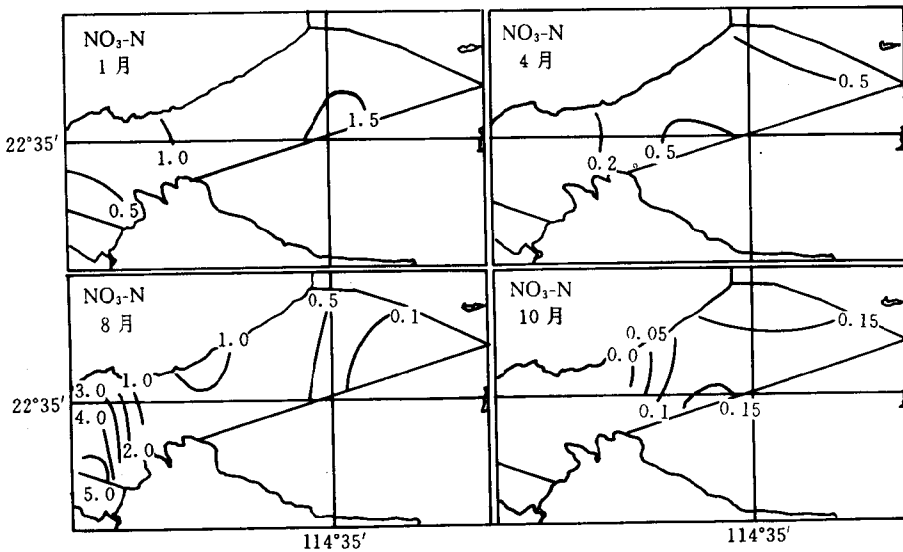


图5 硝酸盐的平面分布

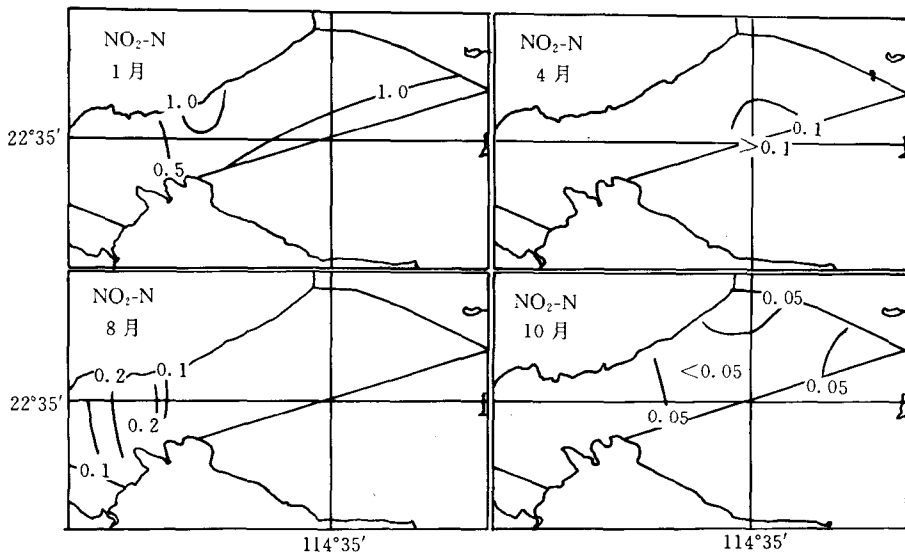


图6 亚硝酸盐的平面分布

由图中可以看出,三种形态无机氮的平面分布有一定的规律性,1月、4月和10月湾口水域的含量一般高于湾内水域的含量(10月的 NO_2-N 含量很低,分布趋势不太明显,属例外)。这与大鹏澳湾靠近珠江口,受富含营养盐的珠江河口水的影响有关。8月份三种形态无机氮的平面分布,则大鹏澳湾顶水域含量明显高于湾口水域,尤其是 NO_3-N 和 NO_2-N 。这与8月份是雨季,径流携带入农田的肥料和居民的生活污水有关。

大鹏澳水域底层水中三种形态无机氮平面分布状况大体与表层相似,但含量比表层高。

垂直分布 从图1~3可以看到,三种形态无机氮含量底层高于表层。大鹏澳水流平稳,海水更新时间长^[2],湾内的海水交换较差,富含营养盐的湾外的珠江口海水不易进入湾内;加之表层水的氮被浮游植物光合作用消耗后,底层沉积物再生氮由于跃层屏蔽效应,水体垂直对流较弱而难于迁移扩散表层水中,结果表层水的无机氮得不到及时补充,并使底层水无机氮含量较高。

四、无机氮与溶解氧和叶绿素的关系

海水中营养元素和溶解氧含量的变化和分布,具有一定规律性和相关性,这与它们在海洋中直接受生物活动影响密切相关。而本海区总无机氮与溶解氧之间相关性较差,有时出现正相关,有时出现负相关,见图7(图中数据均为月平均值)。这是由于本海区的氮除受生物过程影响外,还受人类活动、降雨径流等过程的影响。

以硝酸氮和溶解氧作图8,可发现这两者仍存在着较好的直线关系。即硝酸氮随着溶解氧的含量增加而增加。这一关系说明溶解氧在无机氮的相互转化过程中起着关键作用,溶解氧含量高,各种形式的无机氮转化为 NO_3-N 较完全。

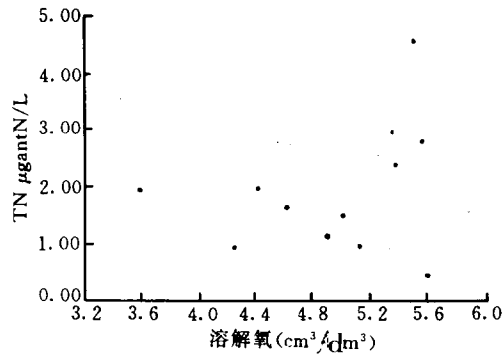


图7 总无机氮与溶解氧的关系

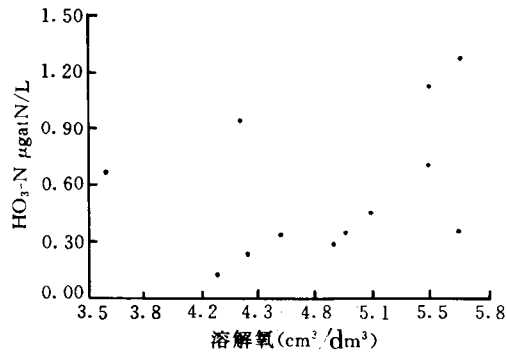


图8 硝酸氮与溶解氧

根据无机氮和浮游植物的紧密关系,我们作了叶绿素 a 与总氮的变化(叶绿素只进行 7 个月的调查)。从图 9 可见,总氮随叶绿素 a 含量增加而减少,大体上呈负相关。

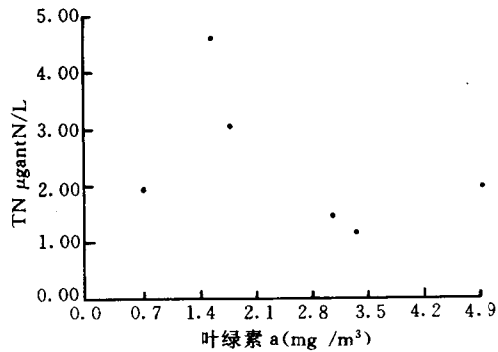


图9 总无机氮与叶绿素 a 的关系

参考文献

- [1] Kaplan, W. A. 1983. Niyfication, in :Nitrogen in the Marine Eavironment. Carpenter, E, J, & D.G. Capone (Editors), Academic Press, 139~190
- [2] 徐恭昭等. 1989. 大亚湾环境与资源. 安徽科学技术出版社
- [3] Payne, W. J. 1973. Bacteriol, 409~452

叶绿素 a 和初级生产力

黄西能^①

叶绿素 a 值反映水域生产者的现存量。初级生产力反映水域初级生产者借助于太阳光摄取营养盐和把无机碳转化为有机碳的能力。叶绿素 a 是海洋物质转化和能量循环中的重要环节,为海洋中一切生物提供其赖以生存的物质基础。根据叶绿素含量,可估算水域初级生产力,还可以间接推算出海洋渔业资源的潜力。因此,对水域叶绿素 a 和初级生产力研究都被列为海洋生物资源的开发和海洋生态学研究的重要内容^(1~2)。

海洋初级生产力的分布,不同纬度的海区初级生产力不同,而同一纬度海区还存在季节变化。Ryther (1969) 把世界海洋分为大洋区、沿岸区和上升流区三种类型,估计他们的平均产量分别为 $50\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $100\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ ⁽³⁾。我国有渤海、黄海、东海和南海四大海区,从近年来所取得的资料,总的看来,上升流出现的海区生产力最高,如浙江沿海上升流夏季生产力可达 $1.25\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ (宁修仁等, 1985)⁽⁴⁾;其次沿海浅水区,如台湾海峡西部和福建海岸初级生产力分别达 $121\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $101\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ (国家海洋局第三研究所, 1987, 1988)。渤海区生产力为 $90\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ (吕培顶等, 1984)⁽⁵⁾。南海生产力水平较低,其中部年均值最低,仅 $73\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{a}^{-1}$ (国家海洋局第三研究所, 1987)。这些变化趋势与世界其它同类海区的情况是一致的⁽³⁾。

叶绿素的测定通常采用联合国教科文组织(UNESCO)1966年推荐的分光度法或荧光分析法⁽⁶⁾,目前遥感技术也被应用于叶绿素的测定。初级生产力的测量有测氧法,叶绿素估算法和放射性¹⁴C法,目前多采用后两种方法;此外还有磷酸盐法、硝酸盐法、浮游植物计数法和CO₂变化测定法,但这些方法实际应用较少⁽²⁾。

目前对海洋叶绿素和初级生产力的研究,无论在方法上或研究范围方面都有了很大进展,但在深度和广度等方面今后还需继续努力,在我国有些海域和港湾至今还是个空白。

我们在 1991 年夏季至 1992 年春季研究了大亚湾大鹏澳水域中叶绿素 a 和初级生产力含量、分布及它们与水域理化要素的关系。1984~1987 年,国内有些单位先后在大亚湾(包括大鹏澳海域)进行了叶绿素和初级生产力的调查。我们在大亚湾大鹏澳海域调查的布点数量及调查范围都比以往的调查布点要多,范围也宽;同时全面描述本海域的叶绿素 a 和初级生产力。

一、项目观测及样品分析方法

观测站位见图 1,测站 8~12 个。

用分光光度计测定叶绿素含量,计算公式引用 Jeffrey - Humphrey(1975)的三色方程⁽⁹⁾;同时初级生产力的估算采用叶绿素法,按 Cadee 和 Hegeman(1974)提出的简化公式进行计算⁽⁸⁾(同化系数取 3.7)。

^① 参加本课题调查的还有徐梅春、陈金斯、朱卓洪。

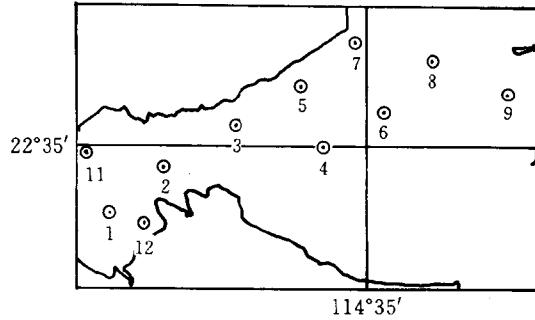


图1 调查站位示意图

海水透明度利用 Secchi 圆盘作同步观测,盐度是用 WUS 型感应式盐度计测量,水温和化学环境要素按 1975 年版的“海洋调查规范”中的方法测定。叶绿素 a 和初级生产力的单位分别为 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

二、结果

(一) 水域叶绿素 a 的含量与分布

1. 叶绿素 a 含量与变化

调查结果表明,本海区表层和底层的叶绿素 a 含量范围于 $0.33\sim 5.75\text{mg}/\text{m}^3$ 之间,年总平均值为 $2.15\text{mg}/\text{m}^3$,表层和底层的年均值分别为 $2.38\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $1.29\text{mg}/\text{m}^3$,表层略高于底层。表层的季平均值中,1992 年 5 月(春季)和 1992 年 8 月(夏季)的值较接近,分别为 $3.03\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $3.05\text{mg}/\text{m}^3$,1991 年 10 月(秋季)最低为 $1.41\text{mg}/\text{m}^3$;底层叶绿素 a 含量值最大为 $2.29\text{mg}/\text{m}^3$,出现在 1992 年 5 月,其余各季较接近,分别为 $1.72\sim 1.87\text{mg}/\text{m}^3$ (见表 1)。调查水域的平均值,即表层和底层的季平均值相对较均匀,其中春季和夏季的均值分别为 $2.66\sim 2.46\text{mg}/\text{m}^3$,1992 年 5 月(春季)高于 1991 年 8 月(夏季),1991 年 10 月(秋季)和 1991 年 12 月(冬初)的值为 $1.72\sim 1.80\text{mg}/\text{m}^3$,1991 年 10 月最低,为 $1.72\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 1 各季度叶绿素 a 含量 mg/m^3

项目	1991 年			1992 年
	8 月	10 月	12 月	5 月
表层	3.05	1.41	2.03	3.03
底层	1.87	1.80	1.72	2.29
表 + 底层平均	2.46	1.61	1.88	2.66
表 - 底层差值	1.18	-0.39	0.31	0.74
表层含量极差	4.08	1.56	3.92	3.52
底层含量极差	3.56	3.97	3.28	4.78

在各季的平均值中,除 10 月份的底层均值高于表层外,其它各月的含量都是表层高于底层。全年叶绿素含量垂直变化最大的是 8 月,表层与底层之间的差值达 $1.18\text{mg}/\text{m}^3$,分层较明显(图 2a);12 月和 1992 年 5 月的差值较小,为 $0.31\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $0.74\text{mg}/\text{m}^3$,表层与底层相对较均匀。10 月较特殊,除在大鹏澳邻近的局部水域能看出分层外,其余水域的分布都较均匀(图 2b)。

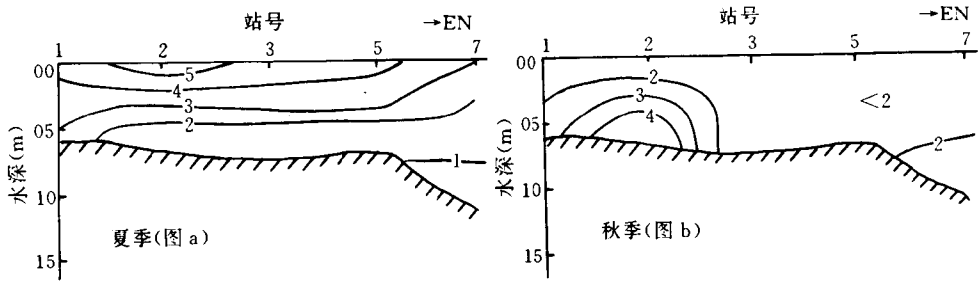


图 2 断面 A 叶绿素 a 的垂直分布

一般情况下,海水垂直混合均匀,上、下层较相近,因而表层和底层叶绿素 a 相近,特别是秋冬季,近岸水域受陆地气候变化的影响,上、下层海水扰动大,因此,表层和底层的叶绿素 a 含量幅差小;而春季和夏季,尤其是夏季,出现温度、密度较大的跃层,海水稳定性较好,上、下水层的水质性状差别大,使得表层和底层叶绿素 a 含量幅差大,分层明显。

2. 叶绿素 a 含量的分布特征

本水域叶绿素 a 的年总均值含量为 $2.15\text{mg}/\text{m}^3$,其中表层略高于底层,分别为 $2.54\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $2.36\text{mg}/\text{m}^3$,各测站表层叶绿素 a 含量的年平均值在 $1.88\sim 4.16\text{mg}/\text{m}^3$ 之间,极差为 $2.28\text{mg}/\text{m}^3$,叶绿素 a 含量最高的有 7 号站和 2 号站,分别达 $4.16\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $4.10\text{mg}/\text{m}^3$,最低的测站是 4 号和 6 号站,分别为 $1.93\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $1.88\text{mg}/\text{m}^3$,其余各测站较均匀,在 $2.07\sim 2.56\text{mg}/\text{m}^3$ 之间,因此,分布中心分别出现在大鹏澳口和东北部水域(见图 3)。底层叶绿素 a 的分布基本与表层相近似,其量值在 $1.16\sim 3.96\text{mg}/\text{m}^3$ 之间,2 号站和 5 号站的含量最高,分别为 $3.96\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $3.60\text{mg}/\text{m}^3$,含量在 $1.16\sim 1.70\text{mg}/\text{m}^3$ 的测站有四个,其中 6 号站最低,为 $1.16\text{mg}/\text{m}^3$,其余测站均在 $2.28\sim 2.67\text{mg}/\text{m}^3$ 之间,分布中心除了大鹏澳口外,再则便是北部近岸水域(见图 4)。

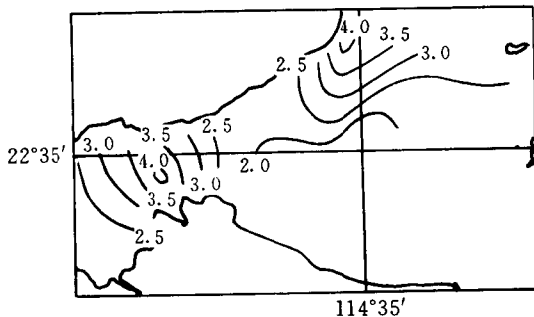


图 3 表层叶绿素 a 年平均值分布(mg/m^3)

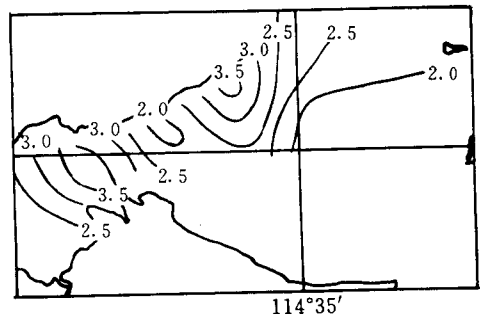


图 4 底层叶绿素 a 年均值分布(mg/m^3)

图 5 分别表示大鹏澳海域各季表层和底层叶绿素 a 的平面分布。

1991 年 8 月 表层和底层的叶绿素 a 相差较大,表层的叶绿素 a 最大值 $> 5.5\text{mg}/\text{m}^3$,而底层的最大值则 $< 4.5\text{mg}/\text{m}^3$,表层和底层的密集区均出现在大鹏澳及其邻近水域,东部水域普遍较低(见图 5a 及图 5a')。

1991年10月叶绿素a的分布较8月不同,底层的叶绿素a含量大于表层,底层的最大值 $>4.0\text{mg}/\text{m}^3$,而表层 $<2.5\text{mg}/\text{m}^3$,底层的密集区仍在大鹏澳邻近水域,东部水域偏低。而表层的叶绿素a含量除东南部较高外,大部分水域的含量均偏低,一般都 <2.0 (见图5b和图5b')。

1991年12月表层的叶绿素a明显地回升,最大值达 $4.96\text{mg}/\text{m}^3$,集中地出现在大鹏澳邻近水域,低值区呈斑块状地散布在调查水域,底层的叶绿素a含量变化不大,除大鹏澳附近是高密区外,其余地区呈斑块状的分布(见图5c和图5c')。

1992年5月表层和底层的最高值均较高,而底层高于表层,底层的最大值近 $6.0\text{mg}/\text{m}^3$,表层则近 $5.0\text{mg}/\text{m}^3$,底层的密集区主要出现在北部近岸水域,表层的密集区主要分布在中至西部水域,东部水域普遍较低(见图5d和图5d')。

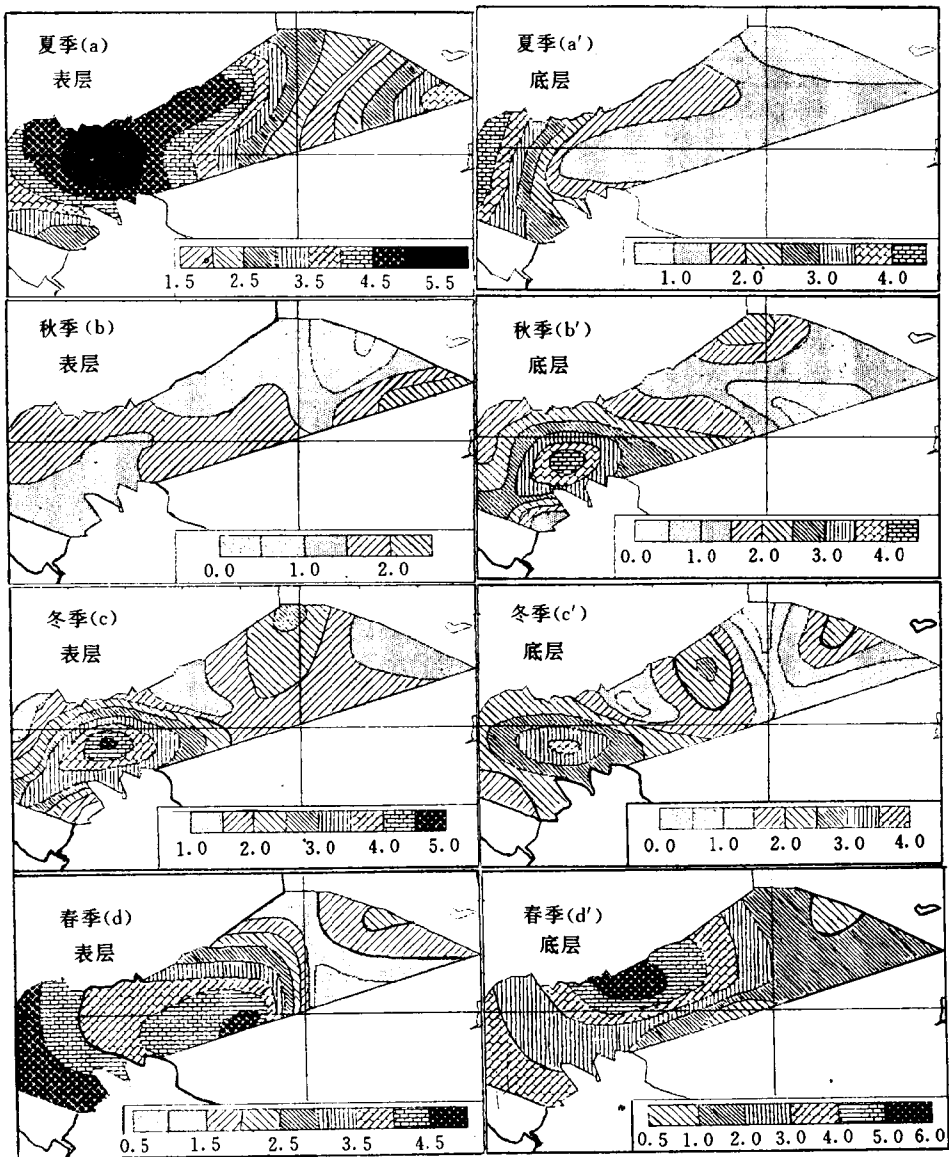


图5 叶绿素a(mg/m^3)各季水平分布

由此可见,本水域叶绿素 a 的含量,无论是表层或底层,大鹏澳及其邻近水域是其主要的密集区,10月(秋季)是表层叶绿素 a 含量的低值期,水平差值小,分布较均匀。

(二) 初级生产力变化及其分布特征

观测结果表明,大鹏澳水域的初级生产力的变化范围在 $73 \sim 833 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,年平均为 $348 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。季节含量变化,夏季最高,达 $462 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,冬季最低,为 $212 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,年变化较大(见表 2)。从表 2 中还可看出初级生产力的垂直变化,除 10 月外,其余都是表层高于底层。在表层,8 月和 5 月的量值较接近。全年 8 月最高,10 月最低;底层,5 月的量值最高,其余各月均较接近。8 月的表层、底层差值大,达 $5 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$,5 月次之,10 月和 12 月航次差值接近,12 月差值最小,为 $1.15 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。

表 2 各航次的平均初级生产力

调查时间	表层、底层初级生产力 ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)		水域初级生产力 ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	
	表层	底层	含量范围	平均值
夏季 (1991-8)	11.29	6.29	234~751	462
秋季 (1991-10)	5.22	6.66	83~833	375
冬季 (1991-12)	7.51	6.36	102~606	212
春季 (1992-5)	11.21	8.47	73~570	359

图 6 是四个航次水域生产力含量的分布,其中 8 月和 12 月(见图 6-1 和图 6-3)分别与对应叶绿素 a 的 8 月和 12 月(见图 5a 和图 5c)相似,生产力含量的高值区也是叶绿素 a 的高值区,反之亦然;受测站水深和透明度不同的影响,10 月和 5 月生产力的分布(见图 6-2 和图 6-4)与叶绿素 a 对应的 10 月和 5 月分布不相符(见图 5b 和图 5d),叶绿素的含量和分布在这两个月的差别大,而生产力在该两航次的含量接近,分布又相似,并都是近湾口外最高,而口外的东北面最低。

三、讨论

1. 海水透明度的变化及其与叶绿素 a 的关系

海水透明度是海洋光学参数之一,其量值与叶绿素含量密切相关(杨生光等, 1987)。大鹏澳海水透明度季节平均变化范围为 $1.7 \sim 4.2 \text{m}$,年平均为 2.6m ,夏、秋季(分别为 2.5m 和 4.2m)比冬、春季(分别为 1.7m 和 1.9m)大,其中冬季最小,秋季最大。春季和秋季的透明度与叶绿素 a 成负相关,根据 1991 年 10 月和 1992 年 5 月资料,相关分析结果表明,它们相关性较好,相关系数绝对值都大于 5。它们的相关模式分别为:

$$\text{Chl-a} = 3.3089 - 0.4711T, r = -0.5837, n = 9 \text{ (1991, 10)}$$

$$\text{Chl-a} = 6.0961 - 1.5781T, r = -0.5052, n = 9 \text{ (1992, 5)}$$

夏、冬季相关性较小。由图 7a 得知,春季透明度的分布呈内湾沿岸低,而湾中部水域高;秋季分布与春季有些相似。而夏、冬季分布近似,呈内湾沿岸稍高,并逐渐向湾中部降低(图 7b),把 5 月表层叶绿素 a 平面分布(图 5d)与对应月份透明度分布(图 7a)对照分析可知,表层

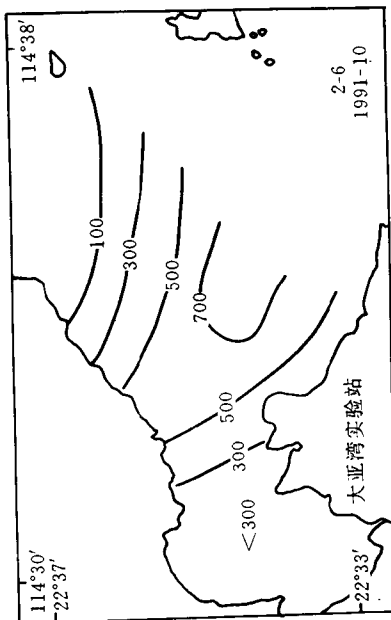
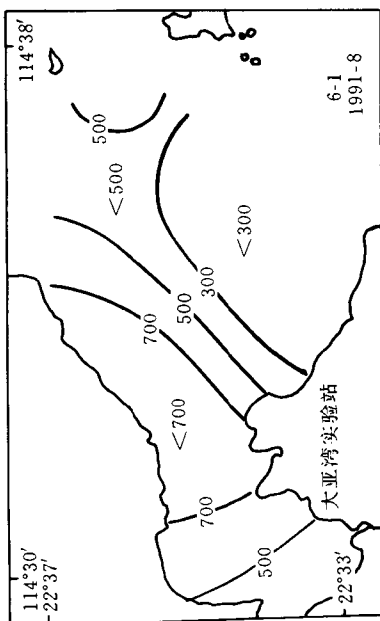
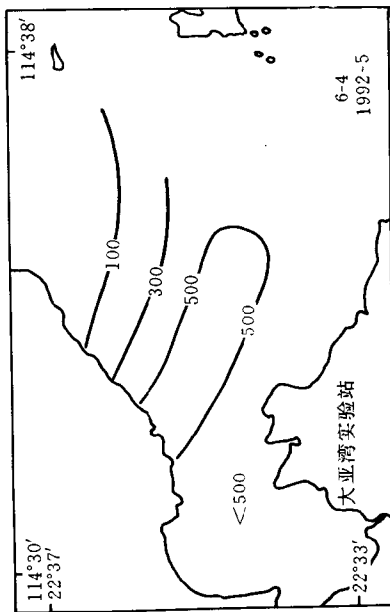
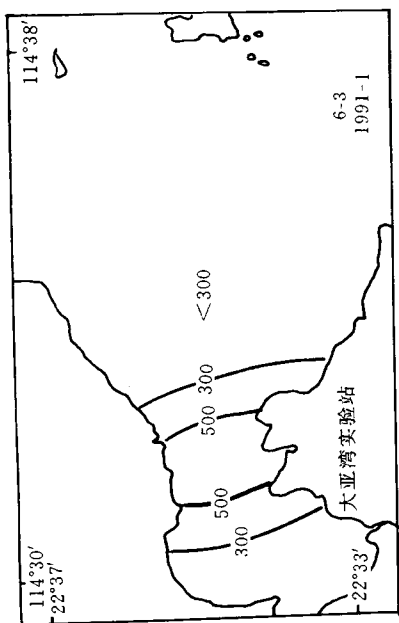


图 6 初级生产力($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)平面分布

叶绿素 a 含量低的地方,其透明度值大,否则就小;10 月透明度值是全年中最大,为 4.2m,而对应月份叶绿素 a 值最小,为 1.14,两者之间成相反关系。在 1992 年 5 月,在调查区是浮游植物繁殖高峰期,水体叶绿素 a 高,悬浮颗粒多,透明度降低;而 10 月,营养盐含量低,影响浮游植物生长,叶绿素 a 低,透明度大,从 12 月份透明度分布(图 7b)与同月的叶绿素 a 的对照分析可知,叶绿素 a 与透明度分布趋势近似,8 月也有类似分布。这种分布的相似性可能是受风浪大影响而引起;在 8 月观测时间刚好是台风之后;12 月份亦正是盛行东北季风时期。在浅海海区,风浪可影响底层沉积物再悬浮,从而降低海水透明度,所以 8 月和 12 月叶绿素 a 与透明度的相关性也降低。

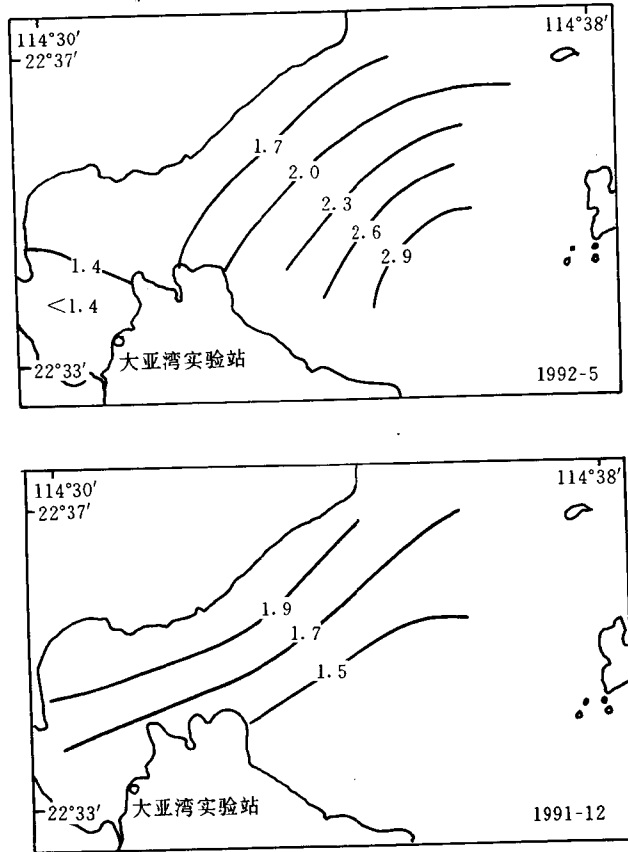


图 7 透明度分布

2. 叶绿素 a 与营养盐的关系

观测资料(表 3)表明,大鹏澳水域营养盐月平均表层、底层含量为春季最低,其次是夏季,冬季最高,与叶绿素 a 含量的季节变化成负相关。叶绿素含量高,说明浮游植物繁殖旺盛,从而营养盐消耗大。通过相关分析得知, $\text{SiO}_3 - \text{Si}$, $\text{PO}_4 - \text{P}$ 和总无机氮都与叶绿素 a 成一定负相关关系,它们的相关系数都为负值,叶绿素 a 不断升高,而营养盐不断降低(见图 8a、b、c)。从表 3 还可看出,秋季的表层无机氮是全年中最低,而该季节的叶绿素 a 也是全年中最低;因无机氮低,与浮游植物的供求关系比较紧张,因此可能是浮游植物生长繁殖的限制因子。由上

可知,水域中含氮的营养盐缺乏,将不利于浮游植物生长,从而导致叶绿素 a 含量降低。若能根据不同时期浮游植物的生态特点及其对营养盐的需求量,通过人为改善大鹏澳水质条件,增加水体中含氮量,促使饵料生物的繁殖生长加快,将可望进一步提高水域的生产力。

表 3 营养盐含量($\mu\text{mol/L}$)

项目	1991 年				1992 年			
	8 月		10 月		12 月		5 月	
	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层
$\text{SiO}_3 - \text{Si}$	19.91	18.82	29.21	32.40	29.33	30.81	8.29	11.00
$\text{PO}_4 - \text{P}$	0.30	0.31	0.32	0.41	0.48	0.53	0.18	0.17
总无机氮	3.00	2.24	1.05	1.27	4.39	4.85	1.45	1.70
各项营养盐之和	23.21	21.37	30.58	34.08	34.20	36.19	9.29	12.87

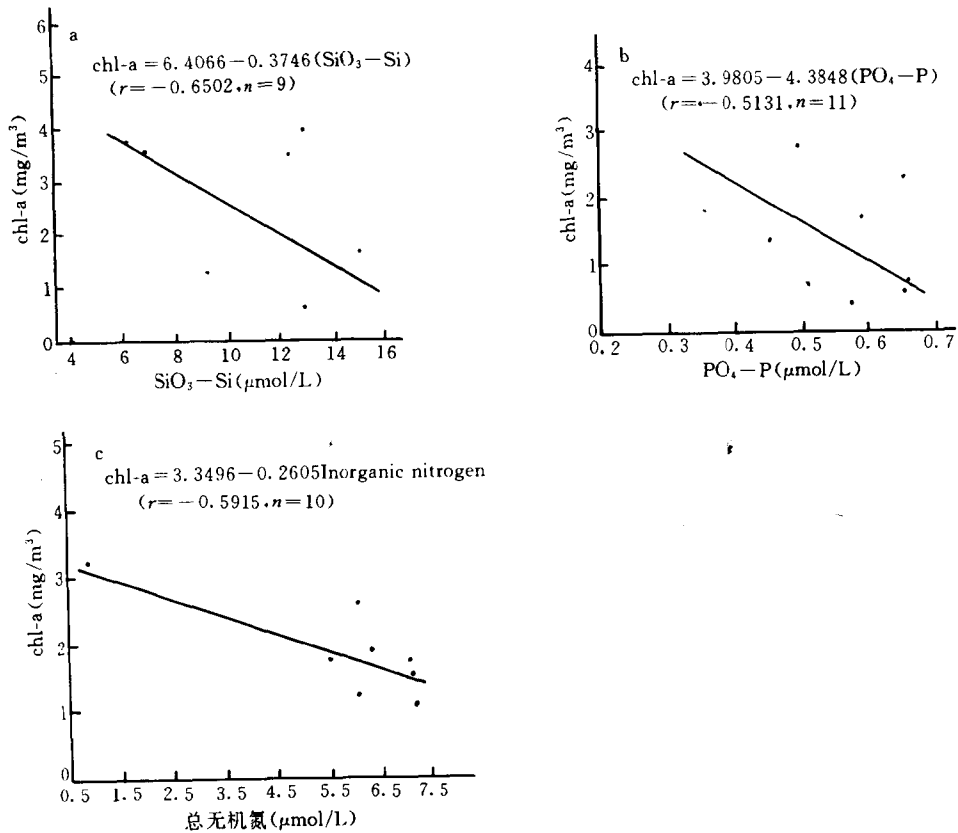


图 8 叶绿素 a 与营养盐的关系

- (a. 5 月 $\text{SiO}_3 - \text{Si}$ 的底层各站观测值,
 b. 12 月 $\text{PO}_3 - \text{P}$ 的底层各站观测值,
 c. 12 月总无机氮各站观测值)

3. 叶绿素 a 与溶解氧及其它因子关系

从调查结果表明,本海域氧的浓度是冬季和春季较高,分别为 5.60ml/L 和 4.97ml/L,其中冬季最高;夏、秋较低,分别为 4.36ml/L 和 4.28ml/L,秋季最低;除秋季叶绿素 a 与表层氧分布不一致外,其余三个季节叶绿素 a 分别与对应季节的表层氧分布相似,氧含量也是从湾内向湾外逐渐降低,两者成正相关。根据 1991 年 12 月资料,相关分析结果表明,两者之间相关性显著,相关模式为:

$$\text{Chl-a} = -13.3261 + 2.79840a, r = 0.7391, n = 9$$

春季叶绿素 a 高,说明浮游植物光合作用强,放出氧多,所以春季含氧高;冬季含氧量最高,除受到叶绿素影响外,还与水温比其它季节都低有关;秋季叶绿素 a 最低,而且水温为各季节中最高,所以含氧量也最低。

大鹏澳海水中盐度年变化范围为 24.79~33.21。季节变化为春季和夏季较低(分别为 30.79 和 30.90),秋季和冬季较高(分别为 32.89 和 31.69)。盐度的季节变化与叶绿素 a 相反;同时,盐度的分布与叶绿素 a 含量的变化分布趋势也相反,各季节都是湾外高于湾内。根据 1991 年 8 月底层、12 月表层及 1992 年 5 月底层资料进行的相关分析表明,两者都成显著的负相关,其相关模式分别为:

$$\text{Chl-a} = 40.7980 - 1.2294S, r = -0.9495, n = 11 \text{ (1991 年 8 月底层)}$$

$$\text{Chl-a} = 209.8063 - 7.8124S, r = -0.6439, n = 11 \text{ (1991 年 12 月表层)}$$

$$\text{Chl-a} = 147.6743 - 4.6639S, r = -0.7125, n = 9 \text{ (1992 年 5 月底层)}$$

大鹏澳海水温度的月平均,10 月份最高,为 29.11°C,12 月份最低,为 20.00°C,5 月和 8 月分别为 24.98°C 和 27.40°C。从相关分析得知,温度与叶绿素 a 除 8 月的底层有一定正相关($r = 0.5763$)外,其余月份各层都无相关性, $|r| < 0.4$ 以下。

4. 生产力

从表 4 中可看出,大鹏澳水域的年生产量与邻近的范和港接近,比近邻的亚铃湾和渤海湾高些,说明本水域生产力含量高,对发展水产养殖有较好有利条件。从表 4 还看出,表层叶绿素 a 含量及透明度较小的水域,其生产力就高,反之亦然。

表 4 各海区叶绿素 a、初级生产力和透明度比较

海区	表层叶绿素 a (mg/m ³)	初级生产力 (mg/(m ³ ·d))	海水透明度 (m)	年生产量 (g/(m ³ ·a))
范和港	2.55	340	2.7	124
亚铃湾	2.16	305	3.3	115
大鹏澳	2.38	348	2.5	127
渤海湾	0.91	40~360		90

三、小结

从以上分析可归纳如下几点认识:

1. 大亚湾大鹏澳水域叶绿素 a 含量范围在 0.33~5.75mg/m³,年平均为 2.15mg/m³,季节变化是春季最高,平均为 2.66mg/m³,秋季最低,为 1.61mg/m³;叶绿素 a 值一般均为表层

高于底层,春、夏季垂直变化大,分层明显,而秋、冬季分布较均匀;除秋季水平分布较均匀外,其余三个季节水平差值大,分布不均匀,都是湾内和湾口含量高,并逐渐向湾外递降。可能是湾内受生活污水或冲淡水带进有利于浮游植物生长的营养物较多,使得湾内叶绿素 a 含量高于湾外水体。

2. 大鹏澳水域生产力,年变化范围在 $73\sim 833\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,年平均为 $348\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$;季节变化是夏季最高为 $462\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,冬季最低为 $212\text{mg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$;垂直变化与叶绿素 a 分布相似,也是春季和夏季表层、底层差值大,秋季和冬季分布较均匀;水平分布,夏季和冬季分别与叶绿素 a 的夏季和冬季分布相似,而春季和秋季与叶绿素 a 分布不同,都在靠近湾口外侧最高,口外东北面最低。本海域初级生产力的年生产量为 $127\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$,与邻近范和港接近 ($124\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$),比近邻亚铃湾和渤海湾分别为 $115\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$ 和 $90\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$ 要大些,说明本水域生产力高,对发展水产养殖有较好有利条件。

参 考 文 献

- [1] 杨 尧,张 帆,高素华.1991.闽南—台湾浅滩渔场叶绿素 a 含量及分布.闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究.北京:科学出版社,341~345
- [2] 范洁伟.1985.初级生产力,南海海区综合调查研究报告(二).北京:科学出版社,317-331
- [3] 陈其焕等.1989.大亚湾叶绿素 a 与初级生产力.大亚湾海洋生态文集(II),北京:海洋出版社,148~152
- [4] 徐恭昭等.1988.大亚湾环境与资源.合肥:安徽科学技术出版社,115~143
- [5] 高素华等.1988.叶绿素 a 的分布和初级生产力的估算.台湾海峡中、北部海洋综合调查研究报告.北京:科学出版社,244~258
- [6] 黄良民.1987.叶绿素 a 含量的时空分布及初级生产力的估算.曾母暗沙—中国南疆综合调查研究报告.北京:科学出版社,106~114

微生物

沈鹤琴 蔡创华 周毅频

海洋微生物以其自养、异养和兼性营养方式生存于海水和海洋沉积物中,是海洋有机物的主要生产者和分解者,并在有机物转化过程中引起海洋的生物、化学、物理、地质甚至水文特征性的变化,因此,海洋微生物在海洋物质循环和能量转变过程中起着重要作用,尤其是港湾微生物的分布对港湾生产力及其环境评价都有重要意义。本文仅叙述用培养法对大亚湾西南部 11 个测站的表层海水和表层沉积物中的异养细菌分布。

一、表层海水中的异养细菌

(一) 异养细菌数量(含菌量)

1. 表水异养细菌的数量变化

大亚湾西南部表层水中,异养细菌全年的含菌量变化较大,含量在 $0.0 \sim 48.7 \times 10^2$ 个/ml 之间,年平均含菌量为 6.1×10^2 个/ml,其中 1 号、3 号和 12 号三个测站即位于大鹏澳(除 11 号站外)和北部近岸水域的含菌量超过 8.0×10^2 个/ml,以大鹏澳口北部沿岸的 3 号站和大鹏澳东南部沿岸水域的 12 号站最高,分别为 9.7×10^2 个/ml 和 9.2×10^2 个/ml,小辣甲岛西部水域的 8 号站最低,仅 2.3×10^2 个/ml,幅差约 4 倍,位于同一数量级内。

表 1 异养细菌的数量变化

月份	含菌量 ($\times 10^2$ 个/ml)	标准差	数量范围	测站
1	0.27	1.2	0.0~4.0	11
2	1.30	0.6	0.5~2.5	10
3	1.96	1.4	0.1~4.3	11
4	1.90	1.0	0.2~2.8	6
5	3.90	3.3	0.3~9.7	10
6	10.40	11.5	1.2~37.9	11
7	16.00	13.9	5.4~48.7	10
8	7.70	6.4	0.6~18.5	11
9	3.20	1.1	1.8~5.7	11
10	7.50	4.2	2.5~13.8	11
11	14.40	10.8	4.8~34.0	10
12	3.40	5.5	0.4~19.1	11
	6.10	5.1	0.0~48.7	123

月平均含菌量以 1 月最低(0.72×10^2 个/ml),1~5 月呈平稳上升趋势,6~7 月则大幅上升至峰值(16.0×10^2 个/ml),11 月出现次峰值(14.0×10^2 个/ml),大、小峰值块后的含菌量

骤降。因此,年内含菌量的月变化呈大、小双峰型,幅差两个数量级,离散度 $SD = 5.1 \times 10^2$ 。

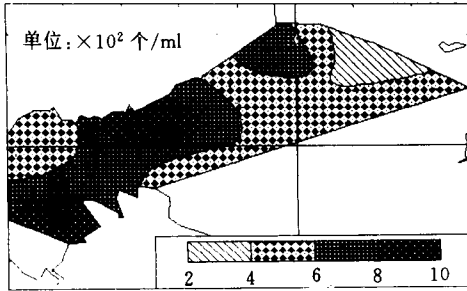


图1 表水异养细菌数量年均分布

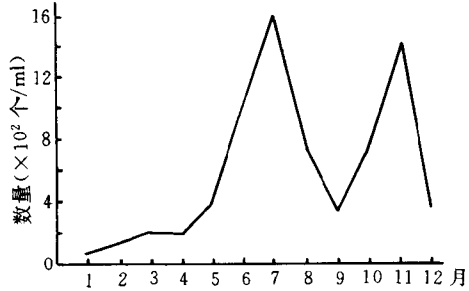


图2 表水异养细菌数量年变化

含菌量的季节分布(各季三月的平均值)呈单峰型。以夏季最高(11.2×10^2 个/ml),秋季次之(8.2×10^2 个/ml),冬季(2.8×10^2 个/ml)略高于春季(2.4×10^2 个/ml),四季含菌量都在同一数量级内,幅差约4倍,与各测站年平均含菌数量幅差一致。

2. 表水含菌量的平面分布

1月 月均含菌量为全年最低,仅 0.7×10^2 个/ml,且有近半数的测站未检出,其中1号、11号和12号三站的含菌量均超过 1.3×10^2 个/ml,以大鹏澳东南沿岸水域的12号站为最高,达 4.0×10^2 个/ml,北部近岸的5号和7号站以及小辣甲岛西部的8号站和9号站,都未检出。离散度(SD)为 1.2×10^2 (图3a)。

2月 月均含菌量在 1.3×10^2 个/ml,其中1号、3号和12号三站的含菌量超过 1.5×10^2 个/ml,以大鹏澳水域的12号站最高,为 2.5×10^2 个/ml,东北部沿岸的7号站及其南部的6号站水域,其含菌量最低,分别为 0.8×10^2 个/ml~ 0.9×10^2 个/ml,幅差一个数量级,离散度小,为 0.6×10^2 ,平均值 $> 2SD$ (图3a)。

3月 月均含菌量为 2.0×10^2 个/ml,其中1号、3号和7号三个站的含菌量较高,均超过 2.9×10^2 个/ml,本月沿岸水域的含菌量均高于其它水域,以东北部沿岸的7号站和大鹏澳水域的1号站最高,分别为 $4.3 \times 10^2 \sim 3.9 \times 10^2$ (图3a)。

4月 本月份仅有6个测站资料。月均含菌量为 9×10^2 个/ml,其中1号、2号和12号三个站的含菌量均超过 2.3×10^2 个/ml,以大鹏澳南部水域的1号和12号站最高,分别为 2.8×10^2 和 2.7×10^2 个/ml,小辣甲岛西部水域的8号站最低,仅 0.2×10^2 个/ml,幅差1个数量级,离散度大,为 1.0×10^2 (图3a)。

5月 月均含菌量为 3.9×10^2 个/ml,其中含菌量超过 5.0×10^2 个/ml的有2号、3号、5号、6号和12号五个测站,以东南部水域的6号站最高,达 9.7×10^2 个/ml,东北部水域的7号站最低,仅 0.3×10^2 个/ml。幅差1个数量级,离散度大,为 3.3×10^2 (图3a)。

6月 含菌量较5月有大幅增加,月均为 10.9×10^2 个/ml,其中沿岸水域的含菌量均高于其它水域。含菌量超过 26.4×10^2 个/ml的为3和12号两个站,以大鹏澳近岸水域的12号站最高,为 37.9×10^2 个/ml,小辣甲岛西部水域最低,仅 1.2×10^2 个/ml,幅差一个数量级,离散度很大,达 11.5×10^2 ,平均值 $< SD$ (图3a)。

7月 月均含菌量为全年最高,达 16.0×10^2 个/ml,近岸水域的含菌量普遍大于其它水域,超过 30.0×10^2 个/ml的有1号和2号站。大鹏澳口水域的2号站为全年最高的站区,高达 48.7×10^2 个/ml,辣甲岛西部的9号站区水域最低,仅 5.4×10^2 个/ml,级差1个数量级,离散度大,为 13.9×10^2 (图3a)。

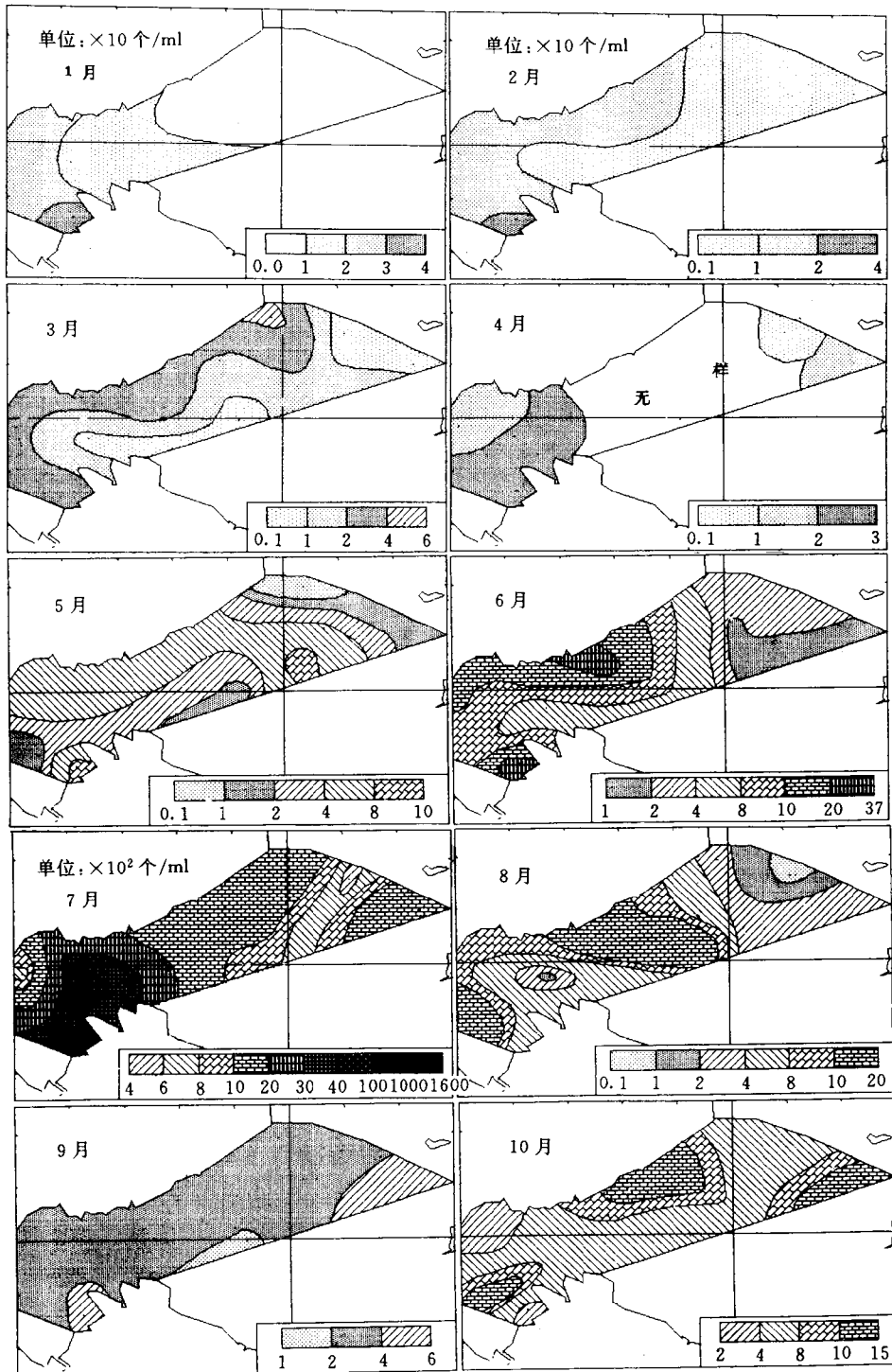


图 3a 表水异养细菌数量各月平面分布

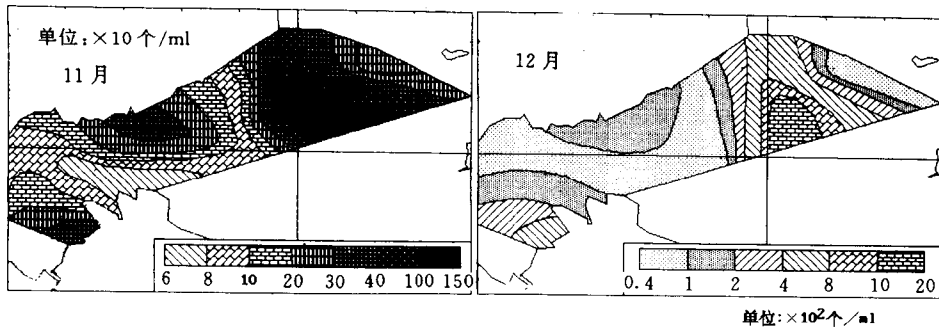


图 3b 表水异养细菌数量各月平面分布

8月 含菌量骤降至7月的一半,月均为 7.7×10^2 个/ml,其中1号、3号和4号三站的含菌量均超过 15.0×10^2 个/ml,位于调查水域中南部的4号站最高,达 18.5×10^2 个/ml,小辣甲岛西部水域的8号站最低,仅 0.6×10^2 个/ml。幅差2个数量级,离散度大,为 6.4×10^2 (图 3a)。

9月 月均含菌量为 3.2×10^2 个/ml,含菌量超过 4.3×10^2 个/ml有9号和12号两个站区,其中以辣甲岛西部的9号站为最高,达 5.7×10^2 个/ml,位于调查水域南中部的4号站最低,仅 1.8×10^2 个/ml。幅差约为同一数量级的三倍,离散度较小,为 1.1×10^2 ,均值 $> 2SD$ (图 3)。

10月 月均含菌量再度上升为 7.5×10^2 个/ml,含菌量超过 9.0×10^2 个/ml的有3号、5号和9号站,其中以大鹏澳的1号站最高,达 $13.1 \sim 13.8 \times 10^2$ 个/ml,但位于大鹏澳东南近岸水域的12号站则为本月含菌量最低的水域,仅 $2.5 \sim 2.9 \times 10^2$ 个/ml,幅差一个数量级,离散度较大,为 4.2×10^2 (图 3)。

11月 月均含菌量继续上升到 14.0×10^2 个/ml,为全年的次高峰期月,含菌量超过 26.2×10^2 个/ml的有3号、7号和12号站,其中以东北部近岸水域的7号站最高,有 34.0×10^2 个/ml,大鹏澳口水域的2号站为 4.8×10^2 个/ml,为本月最低的水域,幅差1个数量级,离散度较大,为 10.4×10^2 (图 3b)。

12月 月均含菌量再度回落到 3.4×10^2 个/ml,含菌量最高的水域位于东南部的6号站为 19.1×10^2 个/ml,最低的含菌量为小辣甲岛西部的8号站,仅 0.4×10^2 个/ml,幅差两个数量级,离散度为 5.5×10^2 (图 3b)。

综上所述,大亚湾西南部表水中的含菌量不高,月均仅2个数量级,各测站的季均值和年均值,其含菌量都在同一数量级内,幅差不大。在年均含菌量中,沿岸各测站(除11号测站外)均高于其余测站。其中位于小辣甲岛西部8号站的含菌量全年均低于平均值外,大鹏澳东南部沿岸的12号站有9个月低于平均含菌量,大鹏澳湾内的1号站和澳口北部近岸的3号站则有7个月,6号站和9号站仅有2个月,其他沿岸各站分别为3~5个月。

(二) 种类组成与季节分布

由于温、盐度等诸多环境因素均影响异养细菌的代谢率,因此其种类组成和分布存在着季节和区域性差异。

1. 种类组成

本调查区表水中的G-杆菌占绝对优势,共检出1科19属,以及6株未知种属。各季的菌种数较均匀,冬季最多,共有1科18属,夏季偏少,仅1科12属。全年的优势菌组成有差

异。春季(3月)弧菌属占绝对优势,占54.5%,其次为气单胞菌属占9.9%;夏季(7月)的主要菌属株数相近,弧菌属占27%,假单胞菌属占23.0%和土壤杆菌属占21.6%,总计为71.6%;秋季(10月)和冬季(12月)的优势菌相似,均以发光杆菌属、弧菌属和气单胞菌属为优势,其中发光杆菌属为主要优势类群,分别占29.7%和28.4%,其余属则在19.5%和22.4%之间,它们分别共占总数的69.5%和72.4%。年优势菌为弧菌属,其次为发光杆菌属和气单胞菌属(见表2)。

表2 表水中异养细菌种类组成与数量分布

类群	春		夏		秋		冬		年计	
	株数	%	株数	%	株数	%	株数	%	株数	%
弧菌属	55	54.5	20	27.0	24	20.3	29	21.6	28	30.0
发光杆菌属	3	3.0	4	5.4	35	29.7	38	28.4	80	18.8
气单胞菌属	10	9.9	7	9.5	23	19.5	30	22.4	70	16.4
假单胞菌属	5	5.0	17	23.0	7	5.9	7	5.2	36	8.5
土壤杆菌属	4	4.0	16	21.6	1	0.8	2	1.5	23	5.4
莫拉氏菌属	5	5.0					7	5.2	12	2.8
不动杆菌属	3	3.0			5	4.2	2	1.5	10	2.3
邻单胞菌属	3	3.0	2	2.7	2	1.7	1	0.8	8	1.4
屈挠杆菌属	1	1.0	1	1.4	3	2.5	2	1.5	7	0.9
肠杆菌科			2	2.7	3	2.5	1	0.8	6	1.4
黄单胞菌属	2	2.0					1	0.8	3	0.7
噬纤维菌属			1	1.4	1	0.8	1	0.8	3	0.7
黄杆菌属	1	1.0	1	1.4			2	1.5	4	0.9
发酵单胞菌属							1	0.8	1	0.2
色杆菌属							1	0.8	1	0.2
棒状杆菌属	3	3.0	1	1.4	3	2.5			7	1.6
节杆菌属			1	1.4	2	1.7	1	0.8	4	0.9
葡萄球菌属	2	2.0	1	1.4	7	5.9	5	3.7	15	3.5
微球菌属	1	1.0			1	0.8			2	0.5
动性球菌属							1	0.8	1	0.2
未知	3	3.0			1	0.8	2	1.5	6	1.4
合计	14属		1科与12属		1科与14属		1科与18属		1科与19属	

2. 种类分布

春季:共检出14属和3株未知种属,检出率最高的有弧菌属,除小辣甲岛西部的8号测站未检出外,其它10个测站均有出现,其次为气单胞菌属,有5个测站被检出,为本季的常见菌类,屈挠杆菌属、黄杆菌属和葡萄球菌数仅在个别站中出现,辣甲岛西部的9号站是本季种类最多的水域,共有6属(见表3)。

表 3 春季各站表水异养细菌的种类分布

类 群	st.											站次
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>	+	+							+	+	+	5
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>	+	+	+									3
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>	+				+							3
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>	+											2
黄单胞菌属 <i>Xanthomonas</i>		+				+						2
不动杆菌属 <i>Acinetobacter</i>		+							+	+		3
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>				+			+				+	3
莫拉氏菌属 <i>Moraxella</i>				+			+	+				3
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>					+							1
微球菌属 <i>Micrococcus</i>						+						1
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>									+			1
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>									+		+	2
邻单胞菌属 <i>Plesiomonas</i>										+	+	2
未知							+			+	+	3
合 计	5	5	2	3	3	4	3	5	5	3	6	

夏季:共检出 1 科与 12 属,共 13 个类群。检出率最高的为弧菌属,除大鹏澳口的 2 号站未检出外;其余均有出现,其次为假单胞菌属,有 7 个站检出。本季以大鹏澳西南部的 12 号站种类最多,有 6 属,其次是大鹏澳西北部的 11 号测站和北部近岸的 5 号站,均检出 5 属,肠杆菌、黄杆菌属和噬纤维菌属仅出现于大鹏澳西北部沿岸的 11 号站。但各站平均种类为最少的季节(见表 4)。

表 4 夏季各站表水异养细菌的种类分布

类 群	st.											站次
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>		+										1
节杆菌属 <i>Arthrobacter</i>		+										1
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>		+			+		+			+		4
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>		+		+	+	+	+		+		+	7
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+			+	+	+	+	+	+	+	9
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>	+	+							+			3
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>	+											1
噬纤维菌属 <i>Cytophaga</i>	+											1
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>	+											1
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>				+		+	+		+			4
邻单胞菌属 <i>Plesiomonas</i>							+					1
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>						+						1
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>									+			1
合 计	5	6	1	2	3	4	5	2	4	2	2	

秋季:共检出 1 科与 14 属,检出率最高的有弧菌属、气单胞菌属和发光杆菌属,其中弧菌属(除核电站沿岸的 5 号站)、发光杆菌属(除大鹏澳口东北部的 3 号站)和气单胞菌属(除大鹏澳北部的 4 号站)分别存在 10 个站中,其次为不动细菌和葡萄球菌属,分别在 5 个站被检出,本季种类最多的是调查区中南部水域的 4 号站,有 8 个属。仅在大鹏澳检出的有土壤杆菌

属, 肠杆菌属分别出现在大鹏澳的 11 号站和中南部的 7 号站(见表 5)。

表 5 秋季各站表水异养细菌的种类分布

类 群	st.											站次
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
不动杆菌属 <i>Acinetobacter</i>		+			+		+	+	+			5
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	10
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	10
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>	+				+		+				+	4
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>	+									+		2
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>			+			+	+	+			+	5
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>			+								+	2
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>			+									1
邻单胞菌属 <i>Plesiomonas</i>				+		+						2
噬纤维菌属 <i>Cytophaga</i>						+						1
节杆菌属 <i>Arthrobacter</i>						+				+		2
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>						+					+	2
未知	+											1
合 计	5	4	6	4	4	8	5	5	6	5	6	

冬季:共检出 1 科与 17 属,为种类检出最多的季节,检出率最高的有弧菌属、发光杆菌属和气单胞菌属,其中发光杆菌属在各站均被检出,弧菌属和气单胞菌属分别在 10 个站中被检出,其次为假单胞菌属和莫拉氏菌属,前者在 7 个站中被检出,后者有 5 个测站检出。本季种类最多的水域位于大鹏澳的 1 号站,共有 8 个属,其中噬纤维菌属和发酵单胞菌仅出现在本水域。肠杆菌被发现于东北部水域的 7 号站(见表 6)。

表 6 冬季各站表水异养细菌的种类分布

类 群	st.											站次
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
噬纤维菌属 <i>Cytophaga</i>			+									1
发酵单胞菌 <i>Zymomonas</i>			+									1
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>			+	+						+	+	4
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>			+	+		+	+	+	+		+	7
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	10
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	11
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		10
莫拉氏菌属 <i>Moraxella</i>	+	+			+			+			+	5
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>	+		+									2
动性球菌属 <i>Planococcus</i>	+											1
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>				+	+							2
节杆菌属 <i>Arterobacter</i>				+								1
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>						+		+				2
色杆菌属 <i>Chromobacterium</i>							+					1
不动杆菌属 <i>Acinetobacter</i>								+		+		2
邻单胞菌属 <i>Plesiomonas</i>								+				1
黄单胞菌属 <i>Xanthomonas</i>										+		1
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>										+		1
未知	+					+						2
合 计	7	4	8	6	6	6	6	6	7	4	5	

综上所述,大亚湾西南部表水中的异养细菌种类较多,各站的平均种类以含菌量最高的夏季种类最少,其分布为冬>秋>春>夏。肠杆菌于夏季和秋季主要出现在大鹏澳西北部近岸11号站,秋季和冬季则在东北部近岸的7号站被发现。说明大亚湾西南部沿岸水域已受到一定程度的人为污染。

二、表层沉积物中的异养细菌

(一) 底泥异养细菌数量分布

调查测站分布与表水相同,据四季资料齐全的7个测站统计,大亚湾西南部表层沉积物(表泥)的年平均含菌量为 41.0×10^4 个/g,小辣甲岛西部的8号站最高,达 89.2×10^4 个/g;大鹏澳口的2号站次之,为 63.7×10^4 个/g,大鹏澳内的1号站最低,仅有 21.6×10^4 个/g,幅差在同一数量级内,约4倍,离散度为 10.0×10^4 个/g(见图4)。

1. 含菌量季节变化

大亚湾西南部表泥中的含菌量季节分布为夏>秋>冬>春,其中夏季为 129.0×10^4 个/g,春季为 11.7×10^4 个/g,幅差一个数量级。季节变化与表水相同呈单峰型(见图5),调查结果与1982年(沈鹤琴)1987年(姚瑞梅)基本一致。

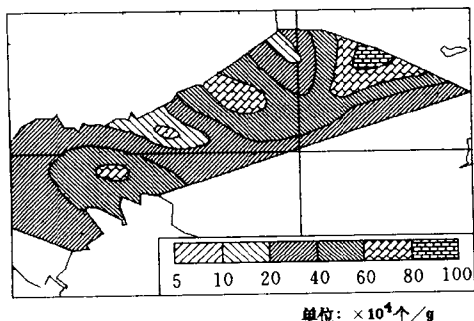


图4 表泥异养细菌年均值分布

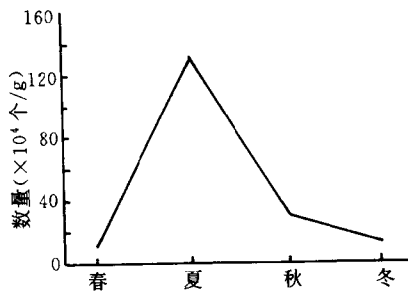


图5 表泥异养细菌数量的季节变化

2. 含菌量平面分布

春季(3月):本季表层泥的平均含菌量最低,仅 11.7×10^4 个/g,北部近岸水域的5号站最高,为 23.1×10^4 个/g,辣甲岛西部的9号站为最低,仅 5.7×10^4 个/g,幅差1个数量级,离散度大($SD=6.1 \times 10^4$)(见图6)。

夏季(7月):据8个测站统计,本季表层泥的平均含菌量最高,为 129×10^4 个/g,小辣甲岛西部的8号站的含菌量最高,达 304×10^4 个/g,其次为2号站,其含菌量超过 170×10^4 个/g,大鹏澳的1号站最低,仅 45×10^4 个/g,幅差一个数量级,离散度大($SD=8.0 \times 10^4$)(见图6)。

秋季:本季的平均含菌量为 29.7×10^4 个/g,其中2号、4号和12号三个测站的含菌量> 40×10^4 个/g,以大鹏澳口的2号站最高,达 60.6×10^4 个/g,而与2号站相邻的3号测站则最低,仅 5.0×10^4 个/g,幅差一个数量级,离散度大,有 18.5×10^4 (见图6)。

冬季:据10个测站统计,本季表层泥的平均含菌量为 13.4×10^4 个/g,其中1号、11号和12号三个站的含菌量均超过 18.5×10^4 个/g,以大鹏澳西北的11号站最高,为 24.3×10^4 个/g,小辣甲岛西部的9号站含菌量最低,仅 5.0×10^4 个/g,幅差1个数量级,离散度大,

为 6.9×10^4 (见图 6)。

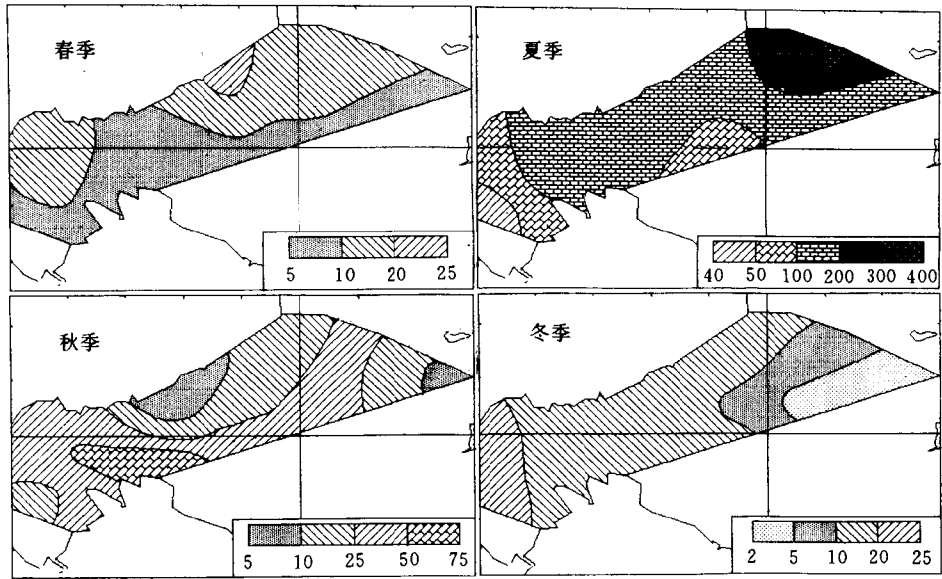


图 6 表泥异养细菌各季的数量分布

综上所述,大亚湾西南部表泥含菌量的季节变化不大,幅差仅一个数量级。但各测站的含菌量,个别测站的幅差较大,如 2 号站的春、夏两季以及 6 号和 8 号两站在冬、夏两季,它们幅差均达 2 个数量级。含菌量分布与表水有所不同,在同一时期内,表水含菌量高的近岸水域,表泥的含菌量则较低。大鹏澳的表泥相对为异养细菌的低含量区,除冬季的含量较高外,秋季次之,春季和夏季均较低。

(二) 种类组成与季节分布

1. 种类组成

大亚湾西南部的表泥中, G^+ 菌的比例略有升高(约 25%),但仍以 G^- 菌占绝对优势。共检出 1 科与 20 属以及 7 株未定的属种,其中春季种类最多,共有 1 科与 19 属,秋季偏少。优势菌主要为弧菌属,占年均值的 28.8%,其次分别为气单胞菌属和 G^+ 菌的棒状杆菌属,分别占 15.6% 和 10.2%,春季的优势类群为弧菌属和棒状杆菌属,分别占 33.6% 和 10.7%;夏季为弧菌属和假单胞菌属,分别占 22.7% 和 12.1%;秋季的弧菌属占 20.6%,气单胞菌属占 19.6% 和棒状杆菌属占 18.7%,分别为秋季的优势菌类,冬季以弧菌属和气单胞菌属为优势,各占 34.1% 和 22.2%。四季都被检出的有肠杆菌科、弧菌属、气单胞菌属、假单胞菌属、不动杆菌属、发光杆菌属、土壤杆菌属、屈挠杆菌属、黄杆菌属、棒状杆菌属和芽胞杆菌属等,共 1 科与 11 属(表 10)。

2. 种类分布

春季共检出 1 科与 18 属以及 1 株未定的属种,其中检出率最高的为弧菌属,除了大鹏澳西北部的 11 号测站未检出外,普遍存在于其他 10 个站区,其次为棒状杆菌属,有 9 个站检出,肠杆菌科检出率较低,仅在大鹏澳口的 2 号站被检出。本季以小辣甲岛西部的 9 号测站种类最多,共有 10 属,其次为大鹏澳西北部的 11 号测站(表 11)。

表 10 表泥异养细菌的组成与数量分布

类 群	春		夏		秋		冬		年平均	
	株数	%	株数	%	株数	%	株数	%	株数	%
弧菌属	41	33.6	15	22.7	22	20.6	46	34.1	124	28.8
气单胞菌属	10	8.2	6	9.1	21	19.6	30	22.2	67	15.6
假单胞菌属	9	7.4	8	12.1	9	8.4	1	0.7	27	6.3
不动细菌属	5	4.1	5	7.5	2	1.9	8	5.9	20	4.7
发光杆菌属	2	1.6	4	6.1	5	4.7	7	5.2	18	4.2
发酵单胞菌属	0	0	2	3.0	0	0	15	11.1	17	4.0
土壤杆菌属	5	4.1	2	3.0	6	5.6	1	0.7	14	3.3
屈挠杆菌属	5	4.1	2	3.0	5	4.7	2	1.5	14	3.3
黄单胞菌属	7	5.7	3	4.5	0	0	1	0.7	11	2.6
肠杆菌科	1	0.8	3	4.5	4	3.7	2	1.5	10	2.3
莫拉氏菌属	5	4.1	0	0	4	3.7	0	0	9	2.1
黄杆菌属	2	1.6	6	9.1	1	0.9	1	0.7	10	2.3
噬纤维菌属	2	1.6	0	0	2	1.9	3	2.2	7	1.6
产碱菌属	2	1.6	1	1.5	0	0	0	0	3	0.7
射光杆菌属	0	0	1	1.5	1	0.9	0	0	2	0.5
邻单胞菌属	1	0.8	0	0	0	0	0	0	1	0.2
棒状杆菌属	13	10.7	3	4.5	20	18.7	8	5.9	44	10.2
芽孢杆菌属	2	1.6	3	4.5	1	0.9	7	5.2	13	3.0
纤维单胞菌属	7	5.7	0	0	0	0	2	1.5	9	2.1
节杆菌属	1	0.8	1	1.5	0	0	0	0	2	0.5
微球菌属	1	0.8	0	0	0	0	0	0	1	0.2
未知	1	0.8	1	1.5	4	3.7	1	1.5	7	1.6
合 计	122		66		107		135		430	

表 11 春季各站表泥异养细菌的种类分布

类 群	st.											站次
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
弧菌属 Vibrio			+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
棒状杆菌属 Corynebeacterium	+	+	+	+			+	+	+	+	+	9
气单胞菌属 Aeromonas	+		+		+		+		+	+	+	7
假单胞菌属 Pseudomonas	+		+	+	+					+	+	6
黄单胞菌属 Xanthomonas	+	+	+			+					+	5
土壤杆菌属 Agrobacterium	+		+					+			+	4
不动细菌属 Acinetobacter	+	+			+							3
发光杆菌属 Photobacterium	+			+								2
芽孢杆菌属 Bacillus	+							+				2
噬纤维菌属 Cytophaga	+								+			2
纤维单胞菌属 Cellulomonas		+					+					2
邻单胞菌属 Plesiomonas			+									1
莫拉氏菌属 Morexella				+				+	+	+	+	5
肠杆菌科 Enterobacteriaceae				+								1
产碱菌属 Alcaligenes					+						+	2
屈挠杆菌属 Flexibacter								+	+		+	4
黄杆菌属 Flavobacterium										+	+	2
节杆菌属 Arthrobacter										+		1
微球菌属 Micrococcus							+					1
未知							+		*			1
合 计		9	6	6	6	5	4	5	6	7	6	10

夏季 本季共检出 1 科与 15 属及 1 株未定属种, 其中检出率最高的为弧菌属, 除中南部水域的 4 号站未检出外, 较普遍存在于其他 7 个站, 其次为气单胞菌属和黄杆菌属, 分别有 5 个站被检出。肠杆菌科出现在东南部水域的 6 号站和大鹏澳东南侧的 12 号站, 本季的种数最多的是大鹏澳东南侧的 12 号测站, 共测出 1 个科和 8 个属, 其次为大鹏澳的 1 号站, 测得 8 属(表 12)。

表 12 夏季各站表泥异养细菌的种类分布

类 群	st.									站次
	12	01	02	04	05	06	08	09		
发酵单胞菌属 <i>Zymomonas</i>		+								1
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>		+							+	2
不动细菌属 <i>Acinetobacter</i>		+							+	3
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>		+		+	+	+			+	5
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>	+			+						2
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>	+	+		+	+					4
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>	+	+	+	+					+	5
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+	+		+	+	+	+	+	7
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>	+	+								2
黄单胞菌属 <i>Xanthomonas</i>	+									1
产碱菌属 <i>Alcaligenes</i>	+									1
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>	+						+			2
节杆菌属 <i>Arthrobacter</i>	+									1
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>				+	+					2
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>					+		+			2
射光杆菌属 <i>Lucibacterium</i>								+		1
未知				+						1
合 计	9	8	4	6	4	4	2	5	42	

秋季 本季在 9 个测站中共检出 1 科和 14 属, 其中气单胞菌属的检出率为 100%, 其次为弧菌属和棒状杆菌属, 分别于 8 个测站中检出, 肠杆菌科的检出率升高, 分别在东部水域的 8 号站和 9 号站以及大鹏澳东南侧的 12 号站中检出。本季种类最多的水域分别出现在小辣甲岛西部水域的 8 号和 9 号站区, 分别检出 1 科 8 属和 1 科 7 属(表 13)。

表 13 秋季各站表泥异养细菌的种类分布

类 群	st.									站次
	01	02	04	06	08	09	11	12		
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>		+			+	+			+	4
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>		+	+	+	+			+		5
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>		+	+			+	+	+	+	6
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	9
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	8
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	8
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>	+		+		+	+				4
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>	+									1
不动细菌属 <i>Acinetobacter</i>			+							1
噬纤维菌属 <i>Cytophaga</i>				+			+			2
莫拉氏菌属 <i>Moraxella</i>					+	+		+	+	4
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>						+	+		+	3
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>							+			1
射光杆菌属 <i>Lucibacterium</i>								+		1
未知						+	+			2
合 计	5	6	5	5	7	9	8	7	7	

冬季 本季共获 10 个测站样品, 共检出 1 科与 14 属及 1 株未定属种, 其中弧菌属检出率为 100%, 其次为气单胞菌属, 有 9 个测站被检出, 再次则为不动细菌属、发酵单胞菌属和棒状杆菌属, 检出率均达 60%。肠杆菌科分别出现在东南部水域的 6 号站和大鹏澳东南侧的 12 号站。本季异养细菌种类最多的区域分别在大鹏澳及其邻近水域和调查区的东部水域, 即 1 号、2 号和 9 号站, 均有 8 属(表 14)。

表 14 冬季各站表泥异养细菌的分布

类 群	st.										站次
	11	12	01	02	03	04	06	07	08	09	
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>	+			+		+				+	4
不动细菌属 <i>Acinetobacter</i>	+		+				+	+	+	+	6
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>	+	+				+		+	+	+	6
弧菌属 <i>Vibrio</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
气单胞菌属 <i>Aeromonas</i>	+	+	+	+	+	+	+		+	+	9
发酵单胞菌属 <i>Zymomonas</i>		+	+	+	+	+				+	6
发光杆菌属 <i>Photobacterium</i>		+	+		+	+	+				5
屈挠杆菌属 <i>Flexibacter</i>		+	+								2
纤维单胞菌属 <i>Cellulomonas</i>		+	+								2
噬纤维菌属 <i>Cytophaga</i>				+	+						2
肠杆菌科 <i>Enterobacteriaceae</i>					+		+				2
土壤杆菌属 <i>Agrobacterium</i>					+						1
黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>					+						1
黄单胞菌属 <i>Xanthomonas</i>						+					1
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>										+	1
未知										+	1
合 计	5	7	8	8	5	6	5	3	4	8	

综上所述, 大亚湾西南部表泥中的异养细菌种类较多, 共检出 1 科与 20 属以及 7 株未定的属种, 全年四个季度均出现的科或属有 12 种(含未知种类), 约占被检出种类的 50%。种类的季平均值为春 > 冬 > 秋 > 夏。其中种类最多的有小辣甲岛西部水域的 9 号和大鹏澳东南侧的 12 号站, 各有 1 科与 14 属, 肠杆菌科在四季的表泥中都被检出, 且分布较普遍。较稀见的异养菌类如发酵单胞菌属, 在冬季较普遍地出现, 特别在调查区的西部水域, 且数量亦较大, 在冬季列为第三, 仅次于气单胞菌属。

三、小结

1. 本调查区表水和表泥的含菌量不高, 表水月含菌量为 6.1×10^2 个/ml, 月平均含菌量以 1 月最低(0.72×10^2 个/ml), 1~5 月呈平稳上升趋势, 6~7 月则大幅上升至峰值(16.0×10^2 个/ml), 11 月出现次峰值(14.0×10^2 个/ml), 大、小峰值块后的含菌量骤降。因此, 年内含菌量的月变化呈大、小双峰型, 幅差两个数量级。表泥含菌量的均值为 41.0×10^4 个/g, 与 1988~1989 年的调查结果基本一致, 与 1982~1983 年的调查相比含菌量呈下降趋势, 幅差 2 个数量级。含菌量的季节分布为夏 > 秋 > 冬 > 春, 其中夏季为 129.0×10^4 个/g, 春季为 11.7

$\times 10^4$ 个/g, 幅差一个数量级, 与表水相同呈单峰型。

2. 本水域表水和表泥的异养细菌种类均较多, 表水中各站的平均种类以含菌量最高的夏季种类最少, 其分布为冬>秋>春>夏。表泥中的异养细菌种类较多, 共检出 1 科与 20 属以及 7 株未定的属种, 全年四季均出现的种类有 12 种(含未知种类), 约占被检出种类的 50%。种类的季节平均值为春>冬>秋>夏。其中种类最多的有小辣甲岛西部水域的 9 号和大鹏澳东南侧的 12 号站, 各有 1 科与 14 属,

3. 表水中肠杆菌科于夏季和秋季主要出现在大鹏澳西北部近岸 11 号站, 秋季和冬季则在东北部近岸的 7 号站被发现。肠杆菌科的时空分布都比 1982~1983 年增加; 表泥中, 肠杆菌科在四季都被检出, 且分布较普遍。较稀见的异养菌类如发酵单胞菌属, 在冬季较普遍地出现, 特别在调查区的西部水域, 且数量亦较大, 在冬季列为第三, 仅次于气单胞菌属。

参 考 文 献

- [1] 沈鹤琴, 蔡创华, 周毅频. 1989. 海洋微生物. 见: 徐恭昭等, 大亚湾环境与资源. 合肥: 安徽科学技术出版社, 144~161
- [2] 沈鹤琴等. 1988. 海洋微生物 — 异养细菌. 广东省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社, 204~205
- [3] 林燕顺等. 1990. 大亚湾水体中微生物量的分布特征. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 281~265
- [4] 姚瑞梅等. 1989. 大亚湾沉积物中异养细菌的分布. 大亚湾生态文集(I). 北京: 海洋出版社, 46~52

大亚湾核电站邻近水域浮游植物研究

林永水

大亚湾水域浮游植物,以往进行过多次调查研究,主要有中科院南海海洋研究所 1984~1986 年进行的大亚湾生态本底调查^[1];1987 年 1~12 月和 1988 年 9 月~1989 年 8 月,国家海洋局第三海洋研究所进行的大亚湾生态零点调查^{[2][3]}。我所于 1990 年 12 月~1991 年 12 月对核电站邻近水域作了周年生态调查,以了解核电站即将运转前的生态状况,为核电站运转后的生态状况提供可比较的基础资料。

浮游植物采样站位的设置见课题总体设计,不再赘述。采样网具则采用全国海岸带调查规定的浮游生物 III 型网。本文就核电站邻近水域浮游植物的种类组成、优势种及季节更替、数量变化,时空分布等进行研究,并就其功能进行初步评价。

一、种类组成

浮游植物种类繁多,初步鉴定到种(下同)有 223 种(含变种变型)(详见种类名录),分别隶属域 5 门 58 属,硅藻门 149 种,甲藻门 63 种,蓝藻门 5 种,绿藻门 4 种,金藻门 2 种。其中角刺藻属(*Chaetoceros*)种类最多,39 种;根管藻属(*Rhizosolenia*)23 种;角藻属(*Ceratium*)22 种;圆筛藻属(*Coscinodiscus*)16 种。以 12 月出现的种类数多(最多达 60 种),5 月的种类数量少(仅 20 种)。浮游植物种类数的周年变化呈现一定的规律(图 1),则冬季和夏季种类数呈逐月减少的趋势,冬季减少的幅度明显,而夏季减少的幅度小。秋季种类数呈逐月增加的趋势。春季出现的种类规律不明显,3 月、5 月种类数少,4 月的种类数突然增加。

浮游植物种类以暖水性种类为主,占 49.8%,其次为广温性种类,占 37.5%,说明本调查水域的浮游植物种类明显属于亚热带生物区系范畴,上述结果与杨清良^[4]报道的结果相似。就其季节分布而言,秋冬季暖水性种所占比例高于广温性种,春夏季则反之(图 1)。

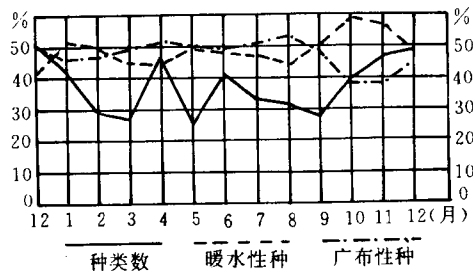


图 1 种类的变化及暖水性和广布数种的百分比

二、优势种及其季节更替

核电站邻近水域浮游植物优势种类多,主要有角刺藻(*Cheatoceros sp.*)、窄隙角刺藻(*Cheatoceros affinis*)、旋链角刺藻(*Cheatoceros curvisetus*)、扁面角刺藻(*Cheatoceros compressus*)、洛氏角刺藻(*Cheatoceros lorenzianus*)、远距角刺藻(*Cheatoceros distans*)、翼根管藻纤细变型(*Rhizosolenia alata f. gracillima*)、钝棘根管藻半刺变型(*Rhizosolenia hebetata f. semispina*)、菱形藻(*Nitzschia sp.*)、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)、伏思海毛藻(*Thalassiothrix frauenfeldii*)、笔尖形根管藻(*Rhizosolenia styliiformis*)、异角角刺藻(*Cheatoceros diversus*)、密聚角刺藻(*Cheatoceros coarctatum*)、掌状冠盖藻(*Stephanopyxis palmeriana*)、透明辐杆藻(*Bacteriastrum hyalinum*)等。除此之外,锤状中鼓藻(*Bellerophon malleus*)、叉状角藻(*Ceratium furca*)、短角藻平行变种(*Ceratium breve v. parallelum*)、波状角藻(*Ceratium trichoceros*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、亚历山大藻(*Alexandrium spp.*)等,有时也是该水域的优势种类。

调查区浮游植物优势种类逐月变化大,交替频繁。

冬季:冬初(12月)浮游植物种类组成复杂,优势种类多,且呈现年份和区域的差异。1990年12月大鹏澳及邻近水域(901~903站)浮游植物以角刺藻属的数量占优,主要种类为窄隙角刺藻、窄隙刺藻等角毛变种(*Chaffinis v. willei*)、扁面角刺藻、秘鲁角刺藻(*Ch. peruvianus*)、异角角刺藻、尚有中肋骨条藻、尖刺菱形藻。其余测站明显受外海水影响,优势种类不明显,细弱海链藻、掌状冠盖藻和尖刺菱形藻的数量稍微占优。1991年12月的优势种类有所变化,最主要种类为旋链角刺藻。此外,大鹏澳尚有菱形海线藻、扁面角刺藻、窄隙角刺藻、洛氏角刺藻、中肋骨条藻等优势种类。其余测站优势种类则有伏思海毛藻、透明辐杆藻、及甲藻类的亚历山大藻。1月份优势种类很明显,主要是细弱海链藻和翼根管藻纤细变型。2月以翼根管藻纤细变型的数占绝对优势。以往大亚湾的有关研究中^[1,4,5],本种大量增殖在冬季,至春季则为绝对优势种,而本次调查,其数量高峰则提前出现在冬季。

春季:各月份优势种类变化大,几乎无迭加。3月的优势种很明显,仅两种,则冬季延续下来的翼根管藻纤细变型,另有旋链角刺藻。4月优势种类较多,主要种类有菱形藻(*Nitzschia spp.*)、尖刺菱形藻、角刺藻(*Chaetoceros spp.*)、钝棘根管藻半刺变型。5月浮游植物以甲藻类为主,其中叉状角藻、短角藻平行变种和梭角藻(*Ceratium fusus*)是优势种。大鹏澳内则以窄隙角刺藻等角毛变种为优势种。

夏季:尖刺菱形藻和窄隙角刺藻是整个夏季的优势种类。除此之外,各月份优势种仍有不同。6月份以角刺藻为主,优势种洛氏角刺藻、远距角刺藻、扁面角刺藻和双突角刺藻(*Cheatoceros didymus*)。另外,中肋骨条藻和菱形海线藻也是优势种类。丹麦细柱藻是7月份最主要的优势种。8月份中肋骨条藻为主。菱形海线藻也是优势种类。此外,波状角藻在一些测站也是优势种之一。

秋季:各月份优势种类变化大。该季节束毛藻(*Trichodesmium*)大量出现,主要有铁氏束毛藻(*Tri. thiebaultii*)和红海束毛藻(*Tri. erythraeum*),前者应是9月份的优势种(无具体计数)。9月份以菱形藻(未定种)为主,波状角藻也是优势种类。10月份最主要的优势种是笔

尖形根管藻,此外,优势种尚有密聚角刺藻和伏思海毛藻。11月份大鹏澳内及邻近水域(901~903站)的优势种与其它测站有所不同,前者以中肋骨条藻和菱形海线藻为优势种类。后者的优势种是掌状冠盖藻、细弱海链藻、锤状中鼓藻、透明辐杆藻等。甲藻类的夜光藻和具尾鳍藻(*Dinophysis caudata*)在一些测站也成为优势种类。

三、浮游植物数量变化

1. 总数量变化

核电站邻近水域浮游植物数量年平均值为 1375×10^4 个/ m^3 。浮游植物数量呈明显的单周期型(图2),与大亚湾生态零点调查的结果一致^[4]。图2可见,数量高峰期出现在2月份,低峰期在5月份。浮游植物数量月变化很大,1990年12各测站平均值(下同)为 1720×10^4 个/ m^3 ,而1991年1月数量下降,2月数量急剧上升,为高峰期,数量高达 7424×10^4 个/ m^3 ,3月大量减少,4~5月以一个数量级逐渐减少,以致5月份出现全年数量的最低峰(仅 56×10^4 个/ m^3),6月份的数量大幅度增加,出现一次小高峰(2000×10^4 个/ m^3),7~9月数量较低,稍有波动,但呈上升的趋势,至10月数量超过 1500×10^4 个/ m^3 ,而11月数量还不及10月份数量的1/10,12月数量大大增加,为11月的10倍以上。

2. 硅藻、甲藻数量变化

浮游植物数量以硅藻为主、甲藻次之,但各月份的变化不同。

硅藻数量的周年变化与浮游植物数量的变化相一致(图3),不再赘述。说明硅藻的数量对浮游植物数量起决定性作用。

甲藻的数量高峰出现在3月份,低峰期在8月份。1990年12月~1991年2月份数量少,但呈增加的趋势,3月数量大大增加,出现高峰期,数量达 59×10^4 个/ m^3 。4月份至8月份数量虽有起伏,但呈减少的趋势,8月数量仅 4×10^4 个/ m^3 。9~12月呈增加的趋势,其中11月稍有波动(图3)。

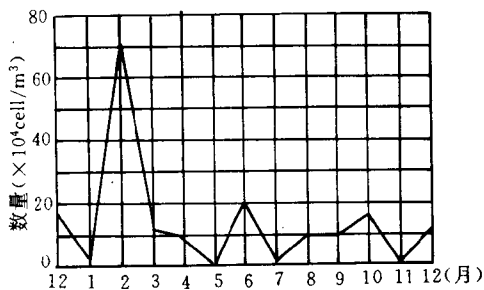


图2 浮游植物数量年变化

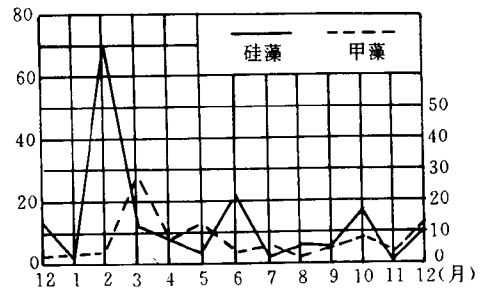


图3 硅藻、甲藻数量年变化

3. 主要属、种数量变化

调查期间,浮游植物数量主要受角刺藻属和根管藻属的影响。此外,骨条藻属(*Skeletonema*)和菱形藻属(*Nitzschia*)在某种程度上也影响浮游植物数量的变化。但由于每个月浮游植物主要种类不相同,就是同一月份,不同区域,影响浮游植物数量的主要种类也不相同。

1990年12月,整个调查区主要种类为中骨条藻和尖刺菱形藻,数量较高,分别为 142×10^4 个/ m^3 和 116×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的8.3%和6.8%。除此之外,在901~903测

站,窄隙角刺藻数量达 2127×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 46.4%。而 904~909 测站,细弱海链藻和掌状冠盖藻数量占优,分别为 43×10^4 个/ m^3 和 37×10^4 个/ m^3 ,占 15%和 12.9%。

1991 年 1 月,浮游植物主要种类是翼根管藻纤细变型,数量为 80×10^4 个/ m^3 ,细弱海链藻次之(77×10^4 个/ m^3),分别占浮游植物数量的 34.1%和 32.7%。

2 月:翼根管藻纤细变型数量大幅度增加,平均值达 7229×10^4 个/ m^3 ,在浮游植物数量中占绝对优势,高达 97.8%,其中 909 站数量最高($>10^8$ 个/ m^3)。

3 月:旋链角刺藻是最主要的种类,数量达 856×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 73.1%。翼根管藻纤细变型的数量骤减为 173×10^4 个/ m^3 ,但仍为主要种类,占 15.2%。

4 月:浮游植物主要种类有菱形藻(*Nitzschia* sp.),数量为 299×10^4 个/ m^3 ,占 33.3%。钝棘根管藻半刺变型次之,为 137×10^4 个/ m^3 ,占 15.2%,为本种数量的 73.7%,集中分布于 901~903 测站,平均数量达 302×10^4 个/ m^3 。尖刺菱形藻数量为 64×10^4 个/ m^3 ,占 7.1%,也是主要种类之一。另外,在 908 站和 909 测站,距端根管藻(*Rhizosolenia calcar avis*)数量较高(105×10^4 个/ m^3),占浮游植物数量的 15.3%。

5 月:甲藻类的某些种类数量较高,如叉状角藻($>10^5$ 个/ m^3)、短角藻平行变种(7×10^4 个/ m^3)和梭角藻(3×10^4 个/ m^3)。在浮游植物数量中占有一定的比例,分别占 18.7%、13.2%和 5.8%。而在 901 站和 902 测站,窄隙角刺藻等角毛变种数量为 50×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 34.7%。

6 月:角刺藻属的四个种是主要种类,其中洛氏角刺藻数量最高,达 422×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 19.3%。其次是窄隙角刺藻,数量为 344×10^4 个/ m^3 ,占 15.7%。扁面角刺藻和远距角刺藻数量均超过 230×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 10%以上。另外,中肋骨条藻和尖刺菱形藻的数量也超过 190×10^4 个/ m^3 ,占 8.8%以上。

7 月:丹麦细柱藻数量最高(94×10^4 个/ m^3),占浮游植物数量的 39%。尖刺菱形藻和窄隙角刺藻的数量低于 6 月份,而在浮游植物数量中所占比例却高于 6 月份,分别为 22%和 14.4%。

8 月:浮游植物数量中,中骨条藻占了 54.9%,数量达 281×10^4 个/ m^3 。窄隙角刺藻数量高于 7 月份(64×10^4 个/ m^3),占 12.6%。除此之外,菱形海线藻和尖刺菱形藻分别占浮游植物数量的 9.9%和 8.3%。

9 月:菱形藻(*Nitzschia* spp.)数量最高($>450 \times 10^4$ 个/ m^3),在浮游植物数量中占绝对优势,高达 91.4%。但在 905~909 测站,浮游植物数量较多的还有波状角藻,其数量占 7.3%。

10 月:笔尖形根管藻的数量高达 1425×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 85.8%。在 906 站~909 测站中,浮游植物数量受笔尖形根管藻所支配外,还受伏恩海毛藻数量(占 27.9%)的影响。

11 月:中肋骨条藻数量为 37×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 31.8%。本种 96.8%的数量集中分布于 901~903 测站,该范围内中肋骨条藻数量达 106×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 58.6%。菱形海线藻在 901 站~905 测站,掌状冠盖藻和细弱海链藻分别占 29.8%和 27%。

12 月:旋链角刺藻数量达 336×10^4 个/ m^3 ,占浮游植物数量的 28.8%,尤其是 908 站,其数量占浮游植物数量的 63%以上。在 901~905 测站,菱形海线藻数量比 11 月份高 40 多倍,达 570×10^4 个/ m^3 ,占 35.3%。另外,在 904~909 测站浮游植物数量中,透明辐杆藻占 6.8%。

4. 浮游植物数量时空分布

浮游植物数量的年均值分布相对较均匀, 较密集的区域主要出现在大鹏澳和东北部水域, 最低位于北部近岸水域, 大部分水域在 1000×10^4 个/ m^3 之间, 大鹏澳西南角的密度最高(图 4)。

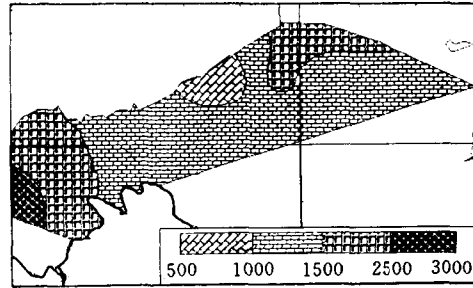


图 4 浮游植物数量年均值分布图

由于环境因子和浮游植物种类的变化, 各月份浮游植物数量的空间分布有所不同。

12月: 浮游植物数量的空间分布存在着年度差异。1990年12月根据浮游植物数量分布, 基本上以 $114^{\circ}35'E$ 为界线划为东、西两区。西区则是大鹏澳及邻近水域, 其数量较东区高 1 个数量级, 以大鹏澳为中心 ($>9000 \times 10^4$ 个/ m^3), 并向大鹏澳外逐渐减少, 数量差异大。而东区则由东向西减少, 数量差异很小。1991年12月其数量分布有别于1990年同期。浮游植物数量密集中心位于大鹏澳内至澳口, 数量 $>3000 \times 10^4$ 个/ m^3 。在小辣甲岛西部另有一密集中心 ($>1000 \times 10^4$ 个/ m^3), 而近岸和小辣甲岛西南则为浮游植物稀疏区(图 5a)。

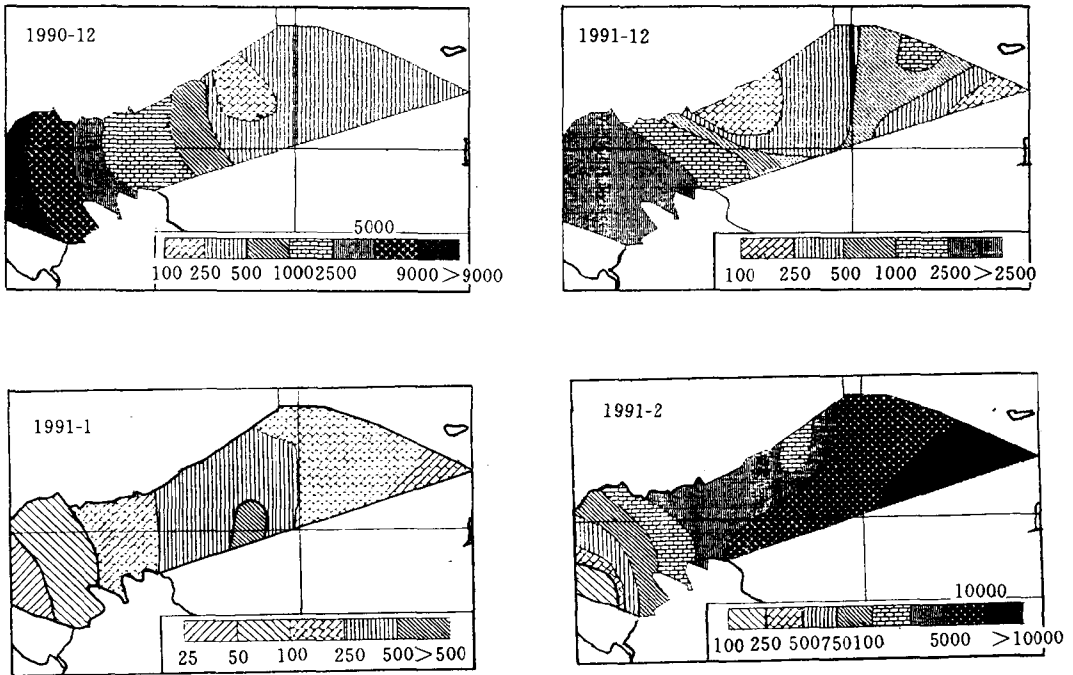


图 5a 浮游植物数量(12~2月)分布图

1月: 浮游植物大致以调查区中部数量较高, 904 站数量密集, 其数量 $>500 \times 10^4$ 个/ m^3 , 呈向东向西减少的趋势(图 5a)。

2月: 浮游植物数量高度密集于小辣甲岛西南 ($>10000 \times 10^4$ 个/ m^3), 向西北、向西逐渐减少, 大鹏澳内为稀疏区 (200×10^4 个/ m^3) (图 5a)。

3月：由小辣甲岛西部至大鹏澳口有一浮游植物数量密集带($>1000 \times 10^4$ 个/ m^3)，并在澳口成为密集中心($>2000 \times 10^4$ 个/ m^3)，而澳内为稀疏区。近岸则东北向西南逐渐增加(图 5b)。

4月：浮游植物数量密集中心($>2000 \times 10^4$ 个/ m^3)位于大鹏澳内，澳口骤然下降。澳外和调查区东北的近岸站数量也较高($>1000 \times 10^4$ 个/ m^3)，向外呈减少的趋势(图 5b)。

5月：浮游植物数量以大鹏澳内稍高($>200 \times 10^4$ 个/ m^3)，向外逐渐减少，904 站数量最少(图 5b)。

6月：浮游植物数量于小辣甲岛的西部和西南形成一舌状密集中心($>4000 \times 10^4$ 个/ m^3)，向西和近岸基本上呈减少的趋势(图 5b)。

7月：大鹏澳外的近岸测站数量稍高，澳内减少。小辣甲岛西南向西北和向西数量逐渐增加(图 5b)。

8月：由调查区的东部至西部的近岸，浮游植物数量呈增加的趋势，大鹏澳内为浮游植物密集中心($>3000 \times 10^4$ 个/ m^3)(图 5b)。

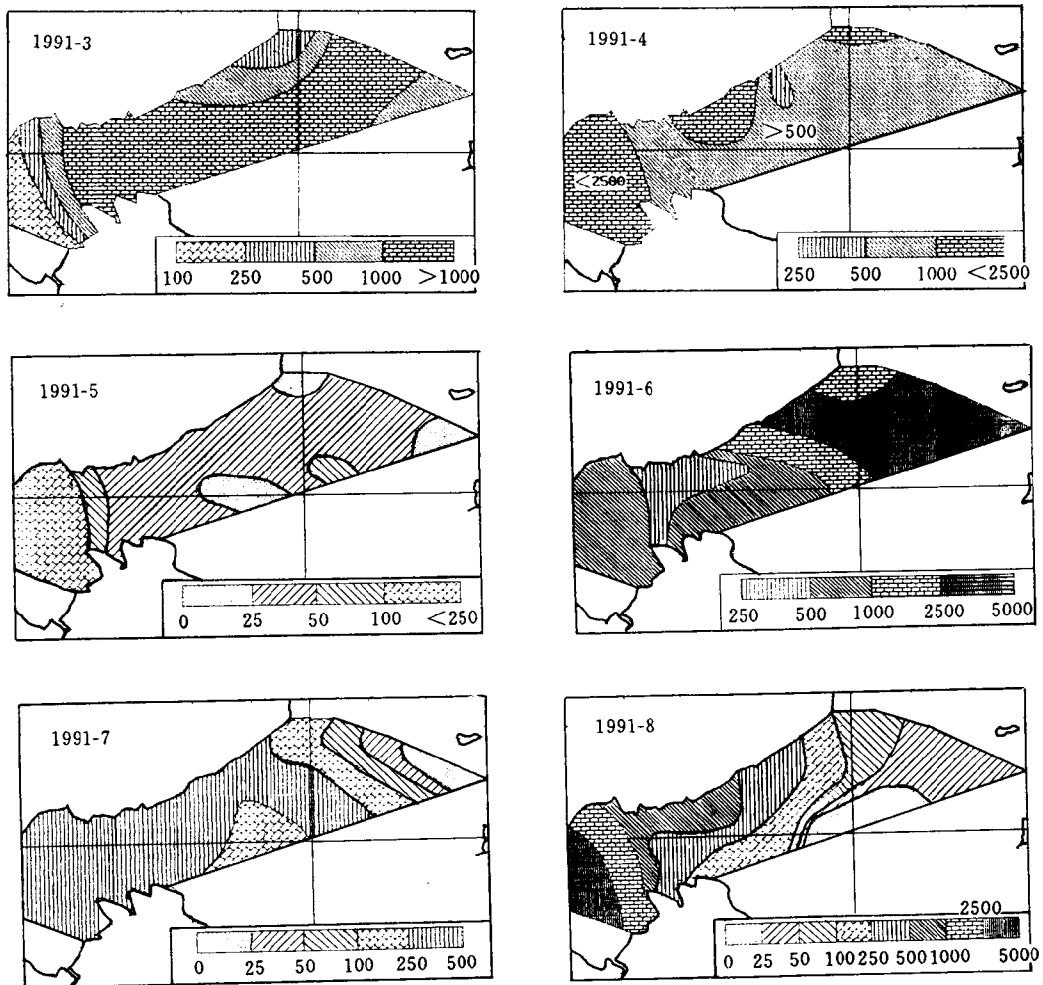


图 5b 浮游植物数量(3~8月)分布图

9月:浮游植物数量由东向西明显呈增加的趋势,大鹏澳内为密集中心($>2000 \times 10^4$ 个/ m^3)(图5c)。

10月:浮游植物数量由小辣甲岛西南向近岸和向西呈增加的趋势,大鹏澳内浮游植物数量高度密集($>9000 \times 10^4$ 个/ m^3)(图5c)。

11月:由小辣甲岛西南向近岸和向西,以及由大鹏澳口向澳内和澳外,浮游植物数量呈减少趋势(图5c)。

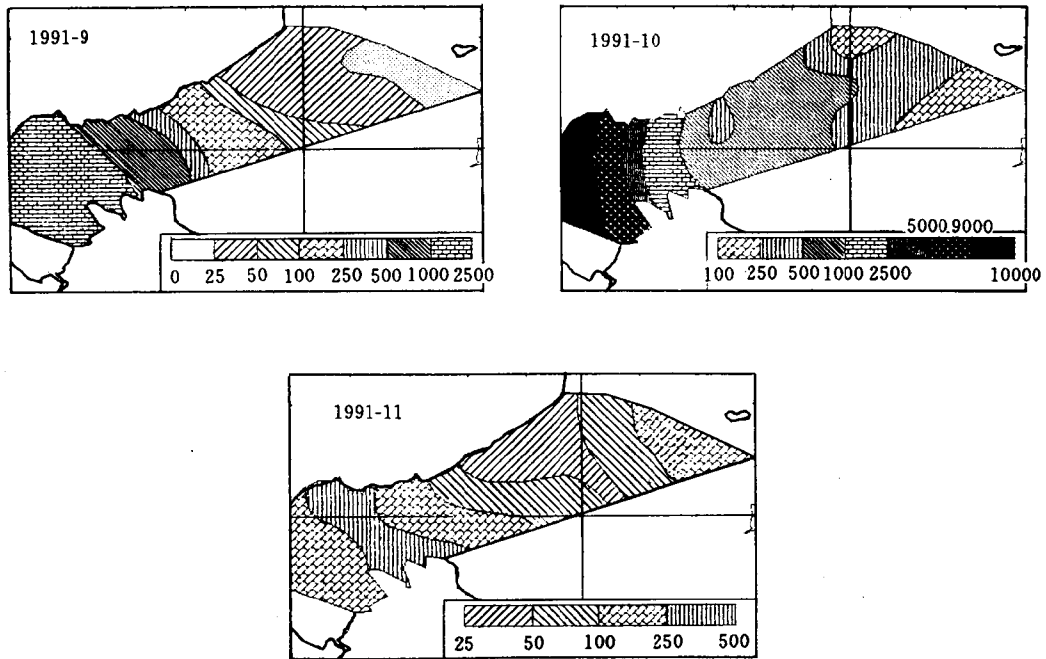


图5c 浮游植物数量(9~11月)分布图

四、评价

1. 大亚湾地处亚热带,调查区浮游植物具有亚热带生物的共同特点:种类繁多,其组成以暖水性种类和广布性种类为主,且暖水性种类多于广布性种类;优势种类交替频繁,有时其优势种类多,数量优势不明显,有时则单一类数量占绝对优势;浮游植物的多样性指数和均匀度一般较高(除春季外)^[4,5];浮游植物数量变化呈单一周期型。

2. 大亚湾鱼类资源较丰富,其鱼类以浮游生物食性占主导地位,这些鱼类也是生物量占优势的种类,主要是鲱科等经济鱼类和优质名贵的鲷鱼^[1],可见,大亚湾有充足的饵料基础。种类多、数量高的浮游植物不仅为浮游动物和浮游幼虫提供饲料,还直接为一些鱼类所摄食,从鱼类食性分析发现,金色小沙丁鱼食料中,浮游藻类的出现率达33.3%,而鲷鱼也有24.3%^[1]。大鹏澳是贝类养殖区,澳内浮游植物丰富,经常为数量密集区,这无疑为贝类繁殖、生长、发育提供丰富的饵料。浮游植物优势种类中的中肋骨条藻、角刺藻、菱形藻等都是良好的饵料生物。

3. 浮游植物中不少种类不仅是饵料生物,同时,某些种类在一定条件下可成为有害的赤

潮生物,如中肋骨条藻、尖刺菱形藻、旋链角刺藻、窄隙角刺藻、翼根管藻纤细变型,笔尖形根管藻、夜光藻、叉状角藻、梭角藻、波状角藻、具尾鳍藻、多纹膝沟藻(*Gonyaulax polygramma*)反曲原甲藻(*Prorocentrum sigmoides*)、海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)、微小原甲藻(*Prorocentrum minimum*)、裸甲藻(*Gymnodinium* sp)、亚历山大藻、束毛藻等,都是调查区常见的赤潮生物。

大亚湾浮游植物频繁交替的优势中,翼根管藻纤细变型是极为稳定的一环,它在冬季开始大量繁殖,至冬末春季形成数量高峰($>10000 \times 10^4$ 个/ m^3),占浮游植物绝对优势,持续时间很长。这一特征表面上生产力很高,但实际上是很不利的因素,易于导致赤潮发生,由于其个体长,不易为其它生物所利用,大量反会堵塞鱼鳃,使之窒息死亡,并恶化环境。如1983年3~4月大亚湾、大鹏湾水域发生大面积翼根管藻纤细变种赤潮,持续时间达三周左右,造成渔业生产损失严重^[1]。

夜光藻、叉状角藻、梭角藻、短角藻等甲藻赤潮生物在冬末春季数量较高,存在着发生赤潮的可能性。

据调查,夏季大亚湾外海高盐冷水直逼调查区,李立等人^[6]也曾报道过,并认为这一入侵冷水属粤东上升流水系。杨清良报道1988~1989年度夏季出现甲藻总量的数量年高峰^[4],这可能与上升流密切相关。由此可见,受上升流影响,夏季发生赤潮的可能性也很大,1994年7月19日调查区发生大面积赤潮便是一例证。

某些甲藻会产生毒素,毒化鱼、虾、贝类,通过食物链传递,危害人体健康和生命安全,沿海国家关于贝类中毒事件的报道屡见不鲜。广东大亚湾也不例外,简洁莹等人报道过食用大亚湾栉江珧引起中毒的事件^[7]。调查区水域浮游植物种类分析可见,主要的有毒浮游植物藻类有亚历山大藻(*Alexandrium* spp.)、短裸甲藻(*Gymnodinium breve*)、裸甲藻(*Gymnodinium* spp.)、微小原甲藻、具尾鳍藻等,它们都是导致贝类中毒的主要种类,必须给予充分的重视,为保护贝类养殖业和人体健康,应该加强养殖水域有害浮游藻类、藻毒和贝毒的研究。

参 考 文 献

- [1] 徐恭昭等. 1989. 大亚湾环境与资源. 合肥: 安徽科学技术出版社
- [2] 国家海洋局第三海洋研究所. 1989. 大亚湾海洋生态文集(I). 海洋出版社
- [3] 国家海洋局第三海洋研究所. 1990. 大亚湾海洋生态文集(II). 海洋出版社
- [4] 杨清良. 1990. 大亚湾浮游植物群落的生态特征. 大亚湾海洋生态文集(II). 海洋出版社, 266~273
- [5] Lin Yong shui et al. 1988. The Ecological Characteristics of the Red Tide Occurring in Daya Bay of Guangdong in Spring. China Ocean Press. 241~248
- [6] 李立等. 1990. 大亚湾1987年夏季冷水的入侵现象. 大亚湾海洋生态文集(II). 海洋出版社. 95~99
- [7] 简洁莹等. 1991. 一起由栉江珧引起的食物中毒分析, 南海研究与开发, 4: 42~45

浮游植物名录

硅藻门 BACILLAROPHYTA

- 洛氏辐环藻 *Actinocyclus roperi*
三舌辐衲藻 *Actinoptychus trilingulatus*
波状辐衲藻 *A. undulatus*
翼茧形藻 *Amphiprora alata*
茧形藻 *Amphiprora* spp.
日本星杆藻 *Asterionella japonica*
克里星脐藻 *Asteromphalus cleveanus*
扇形星脐藻 *A. flabellatus*
丛毛辐杆藻 *Bacteriastrum comosum*
丛毛辐杆藻具棘变种 *B. comosum* V. *hispida*
长辐杆藻 *B. elongatum*
透明辐杆藻 *B. hyalinum*
地中海辐杆藻 *B. mediterraneum*
变异辐杆藻 *B. varians*
锤状中鼓藻 *Bellerochaete malleus*
活动盒形藻 *Biddulphia mobiliensis*
钝头盒形藻 *B. obtusa*
高盒形藻 *B. regia*
网纹盒形藻 *B. reticulum*
中华盒型藻 *B. sinensis*
施氏盒形藻 *B. schroderiana*
托氏盒形藻 *B. tuomeyi*
布氏马鞍藻 *Campylodiscus brightwellii*
柏古角管藻 *Cerataulina bergonii*
紧密角管藻 *C. compacta*
异常角刺藻 *Chaetoceros abnormis*
窄隙角刺藻 *C. affinis*
窄隙角刺藻等角毛变种 *C. affinis* v. *willei*
桥联角刺藻 *C. anastomosans*
大西洋角刺藻 *C. atlanticus*
大西洋角刺藻那不勒斯变种 *C. atlanticus* v. *neapolitana*
短孢角刺藻 *C. brevis*
密聚角刺藻 *C. coarctatus*
扁面角刺藻 *C. compressus*
缢缩角刺藻 *C. constrictus*
中肋角刺藻 *C. costatus*

施链角刺藻 *C. curvisetus*
并基角刺藻 *C. decipiens*
密连角刺藻 *C. densus*
齿状角刺藻 *C. dentioulatus*
齿状角刺藻狭面变型 *C. denticulatus f. angusta*
双突角刺藻 *C. didymus*
双突角刺藻英国变种 *C. didymus v. anglica*
双突角刺藻隆起变种 *C. didymus v. protuberans*
远距角刺藻 *C. distans*
异角角刺藻 *C. diversus*
爱氏角刺藻 *C. eibenii*
印度角刺藻 *C. indicum*
垂缘角刺藻 *C. lacinosus*
罗氏角刺藻 *C. lauderi*
洛氏角刺藻 *C. lorenzianus*
短刺角刺藻 *C. messanensis*
日本角刺藻 *C. nipponica*
奇异角刺藻 *C. paradoxus*
秘鲁角刺藻 *C. peruvianus*
拟旋链角刺藻 *C. pseudocurvisetus*
放射角刺藻 *C. radians*
根状角刺藻 *C. radicans*
咀状角刺藻 *C. rostratus*
暹罗角刺藻 *C. siamense*
聚生角刺藻 *C. socialis*
细弱角刺藻 *C. subtilis*
范氏角刺藻 *C. vanheurckii*
威氏角刺藻 *C. weissflogii*
角刺藻 *Chaetoceros* spp.
佛朗梯形藻 *Climacodium frauenfeldianum*
小环毛藻 *Corethron hystrix*
安氏圆筛藻 *Coscinodiscus angstii*
蛇目圆筛藻 *C. argus*
星脐圆筛藻 *C. asteromphalus*
有翼圆筛藻 *C. bipartitus*
中心圆筛藻 *C. centralis*
离心列圆筛藻 *C. excentricus*
巨圆筛藻 *C. gigas*
琼氏圆筛藻 *C. jonesianus*
宽缘翼圆筛藻 *C. latimarginatus*

小眼圆筛藻 *C. oculus*
虹彩圆筛藻 *C. oculus - iridis*
孔圆筛藻窄隙变种 *C. perforatus v. pavillardi*
辐射圆筛藻 *C. radiatus*
细弱圆筛藻 *C. subtilis*
苏里圆筛藻 *C. thorii*
威利圆筛藻 *C. walesii*
圆筛藻 *Coscinodiscus* spp.
地中海指管藻 *Dactyliosolen mediterraneus*
布氏双尾藻 *Ditylum brightwellii*
太阳双尾藻 *D. sol*
长角弯角藻 *Eucampia cornuta*
短角弯角藻 *E. zoodiacus*
锯齿几内亚藻 *Guinardia blavyana*
菱软几内亚藻 *G. flaccida*
霍克半管藻 *Hemialus hauckii*
薄壁半管藻 *H. membranacus*
中华半管藻 *H. sinensis*
楔形半盘藻 *Hemidiscus cuneiformis*
哈德半盘藻 *H. hardmannianus*
北方劳德藻 *Lauderia borealis*
丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus*
短纹楔形藻 *Licmohora abbreviata*
拟银币直链藻 *Melosira nummuloides*
具槽直链藻 *M. sulcata*
膜状舟形藻 *Navicula membranacea*
柔弱菱形藻 *Nitzschia delicatissima*
长菱形藻 *N. longissima*
长菱形藻弯端变种 *N. longissima v. reversa*
洛伦菱形藻 *N. loronziana*
奇异菱形藻 *N. paradoxa*
尖刺菱形藻 *N. pungens*
菱形藻 *Nitzschia* spp.
太阳漂流藻 *Planktoniella sol*
近缘斜纹藻 *Pleurosigma affine*
海洋斜纹藻 *P. pelagicum*
斜纹藻 *Pleurosigma* spp.
渐尖根管藻 *Rhizosolenia accuminata*
翼根管藻 *R. alata*
翼根管藻模式变型 *R. alata f. genuina*

翼根管藻纤细变型 *R. alata f. gracillim*
翼根管藻印度变型 *R. alata f. indica*
伯戈根管藻 *R. bergonj*
距端根管藻 *R. calcar - avis*
卡氏根管藻 *R. castracanei*
克氏根管藻 *R. clevei*
粗刺根管藻 *R. crassispina*
圆柱根管藻 *R. cylindrus*
柔弱根管藻 *R. delicatula*
脆根管藻 *R. fragilissima*
钝棘根管藻半刺变型 *R. hebetata f. semispina*
覆互根管藻 *R. imbricata*
覆互根管藻斯鲁变种 *R. imbricata v. schrubsolei*
粗根管藻 *R. robusta*
刚毛根管 *R. setigera*
中华根管藻 *R. sinensis*
斯托根管藻 *R. stoltzerfothii*
笔尖形根管藻 *R. styliformis*
笔尖形根管藻粗径变种 *R. styliformis v. latissima*
笔尖形根管藻长棘变种 *R. styliformis v. longispina*
优美施罗藻 *Schroederella delicatula*
中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*
掌状冠盖藻 *Stephanopyxis palmeriana*
塔形冠盖藻 *S. turris*
扭鞘藻 *Streptothecha thamesis*
菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides*
密连海链藻 *Thalassiosira condensata*
圆海链藻 *T. rotula*
细弱海链藻 *T. subtilis*
优恩海毛藻 *Thalassiothrix fraenfeldii*
长海毛藻 *T. longissigma*
地中海海毛藻太平洋变种 *T. mediterranea v. pacifica*
三角藻 *Triceratium spp.*

甲藻门 PYRROPHYTA

链状亚历山大藻 *Alexandrium catenella*
塔马拉亚历山大藻 *A. tamarens*
A. cohorticula
亚历山大藻 *Alexandrium spp.*
二齿双管藻 *Amphisolenia bidentata*

双管藻 *Amphisolenia* spp.
羊角藻纤细变种 *Ceratium arietimum* v. *gracilentum*
二裂角藻 *C. biceps*
短角藻原变种 *C. breve* v. *breve*
短角藻平行变种 *C. breve* v. *parallelum*
扭角藻原变种 *C. contortum* v. *contortum*
偏转角藻 *C. deflexum*
镰角藻 *C. falcatum*
叉角藻 *C. farca*
梭角藻 *C. fusus*
梭角藻针状变种 *C. fusus* v. *seta*
瘤壁角藻 *C. gibberum*
小角藻 *C. kofoidii*
线纹角藻 *C. lineatum*
新月角藻 *C. lunula*
大角角藻 *C. macroceros*
马西里亚角藻 *C. massiliense*
五角形角藻 *C. pentagonum*
对称角藻拢角变种 *C. symmetricum* v. *coarctatum*
波状角藻 *C. trichoceros*
仿锚角藻 *C. tripodides*
三角角藻 *C. tripus*
兀鹰角藻日本变种粗状变型 *C. vultur* v. *japonica* f. *robusta*
大角甲藻 *Ceratocorys magna*
具尾鳍藻 *Dinophysis caudata*
具尾鳍藻迪奇变种 *D. caudata* v. *digensis*
勇士鳍藻印度变种 *D. miles* v. *indica*
鳍藻 *Dinophysis* spp.
屋甲藻 *Goniodoma* spp.
多边膝沟藻 *Gonyaulax polyedra*
多纹膝沟藻 *G. polygramma*
膝沟藻 *Gonyaulax* spp.
短裸甲藻 *Gymnodinium breve*
链状裸甲藻 *G. catenatum*
血红裸甲藻 *G. sanguineum*
裸甲藻 *Gymnodinium* spp.
夜光藻 *Noctiluca scintillans*
堂皇鸟尾藻 *Ornithocercus magnificus*
美丽鸟尾藻 *O. splendidus*
中距鸟尾藻 *O. thumii*

扁形多甲藻 *Peridinium depressum*
魅多甲藻长角变种 *P. diabolus* v. *longipes*
歧散多甲藻 *P. divergens*
优美多甲藻 *P. elegans*
大洋多甲藻 *P. oceanicum*
P. sourniai
多甲藻 *Peridinium* spp.
单刺足甲藻 *Podolampas spinifera*
海洋原甲藻 *Prorocentrum micans*
微小原甲藻 *P. minimum*
反曲原甲藻 *P. sigmoides*
三角棘原甲藻 *P. triestinum*
原甲藻 *Prorocentrum* spp.
梭梨甲藻 *Pyrocystis fusiiformis*
浅弧梨甲藻 *P. gerbaulti*
夜光梨甲藻 *P. pseudonociluca*
扁甲藻 *Pyrophacus horologicum*
锥状施克里普藻 *Scrippsiella trochoidea*

蓝藻门 CYANOPHYTA

胞内植生藻 *Richelia intracellularis*
扭束毛藻 *T. contortum*
红海束毛藻 *Trichodesmium erythraeum*
汉氏束毛藻 *T. hildebrandtii*
铁氏束毛藻 *T. thiebaultii*

绿藻门 CHLOROPHYTA

龙骨栅藻 *Scenedesmus cavinatus*
二形栅藻 *S. dinorplus*
爪哇栅藻 *S. javaensis*
四尾栅藻 *S. quadricauda*

金藻门 CHRYSOPHYTA

小等刺硅鞭藻 *Dictyocha fibula*
六异刺硅鞭藻 *Distephanus speculum*

大亚湾西南部浮游动物的分布特点

沈寿彭 陈雪梅 李楚璞 尹健强

浮游动物是海水中重要的生物类群,其生物种类多,分部范围广,繁殖力强,世代交替周期短,在水域中,除部分种类如水母类等体型较大、活动较缓慢外,大部分类群的体型都较小,且活跃地分布在整体水体。由于浮游动物运动缓慢或体型小等,大范围迁移的能力较差,因而主要依赖水团和海流进行扩散和分布。随着种类对不同环境的适应与否,在其栖息的水域便发生种的延续或更替,因此,浮游动物亦是一个复杂的生态类群。浮游动物的食性有植食性、肉食性和杂食性等,在食物链中,多样的食性,使其在自然群落的食物网中组成了捕食者和被捕食者之间的复杂关系。所以,在生态系统的调查研究中,进行浮游动物的组成、分布以及时、空动态的研究是重要的必测项目。

1990年,结合当前大亚湾的开发利用,重点对大亚湾西南部水域进行了浮游动物的调查,自1990年12月~1991年12月,对9个测站进行了13个航次的调查,均按常规方法进行采样和分析。自1980年以来,各种类型的大亚湾海湾调查对本水域都进行了有关浮游动物的报导,本研究报告则作为对生物环境近年来的一种参考和比较。

一、结 果

(一) 浮游动物生物量

1. 生物量季节变化

本调查水域浮游动物生物量的年平均值为 $71.1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,月平均值分布在 $21\sim 147.1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间,最高值出现在2月份,次高值分别出现在10月和1月,月均值分别为134和 $129\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$;最低值则出现在5月份,低于 $50\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的尚有3月和4月,其它各月在 $59\sim 75\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间。因此,该水域生物量的高值期为冬、秋季节,量值分别为 $97.8\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $92.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,为生物量的高峰期,低谷期则为春季,仅 $30.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,夏季为 $58.7\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,因此,本区浮游动物生物量的季节变化为典型的单峰型(见图1)。

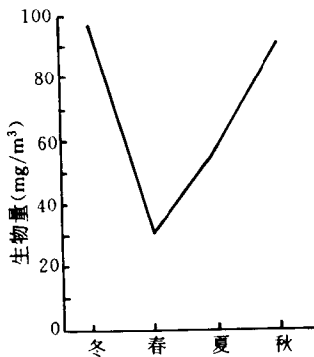


图1 浮游动物生物量季节变化

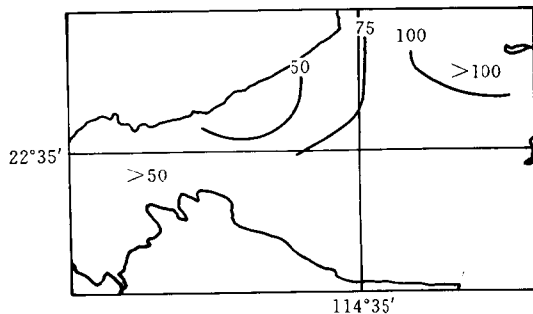


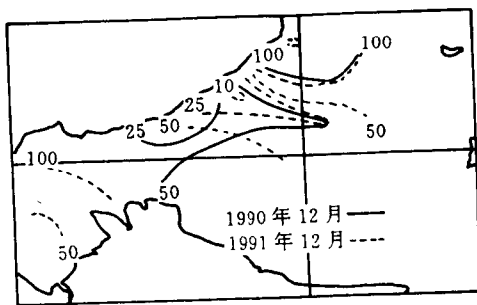
图2 浮游动物年均生物量分布图

2. 生物量的平面分布

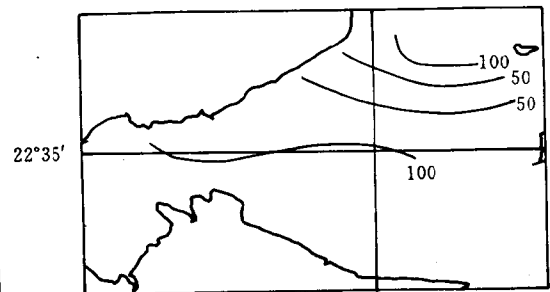
调查结果显示,该水域年均生物量的分布较均匀,而且其量值呈现出由西向东逐渐递增的规律性。在调查水域的北部近岸和大鹏澳及其邻近水域为生物量的低值区,年均值一般在 $50\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右,在调查区的东部及南部,即大、小辣甲西部水域的生物量均较高,年平均生物量一般 $>100\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (图2)。同时,从表1中可以看到,有62.4%测站的生物量分布在 $11\sim 50\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间,较集中地出现在低生物量分布区内,分布在 $51\sim 300\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 范围内的测站占33.5%,其中分布在 $>151\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 测站,除了st.1为大鹏澳水域外,其余各站均分布在调查区东部水域。

冬季:本季为全年生物量的高峰期,量值为 $97.8\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。12月的平均值最低(1990年12月为 $61\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,1991年12月 $64\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$),到2月份,月均值上升为全年的最高值,达 $147\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。本季的最低生物量仅有 $6\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,出现在1991年12月的st.5,最高为 $311\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,出现在2月的st.4,这量值也全年的最高值。本季量值在 $101\sim 300\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站占44%,低于 $25\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站占13.9%。

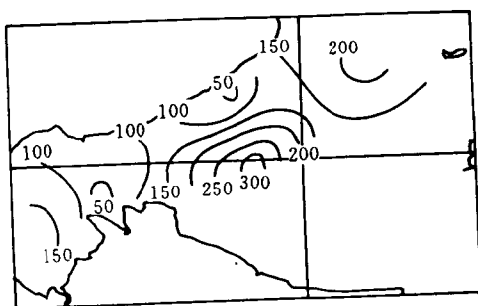
春季:春季的生物量仅 $30.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,是全年的低谷期。月平均值由2月的全年最高值下降至3月份的 $40\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,并逐渐递减至5月的最低值的(仅为 $21\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$),也是全年最低的低谷月。本季的生物量在 $5\sim 161\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间,最低值和最高值均出现在3月,分别位于调查区北部近岸的st.5和东北部的st.8,由于5月是低值月,故其生物量的分布显得较均匀,各站的量值幅差最小,最大的仅为 $34\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,最低为 $9\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。本季高量值区在大、小辣甲西部,而西部均低于 $25\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。



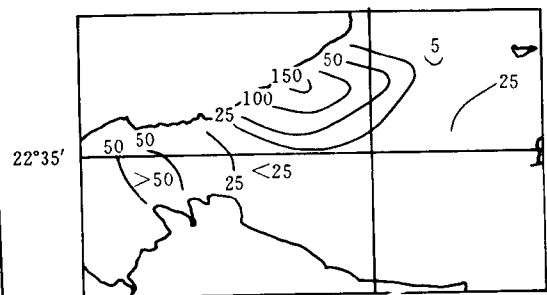
12月生物量分布



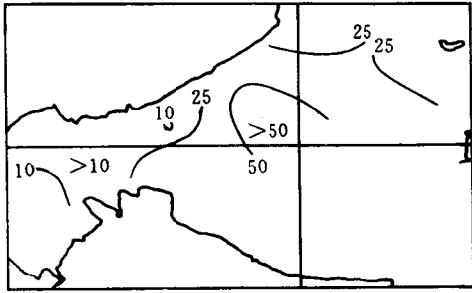
1月生物量分布



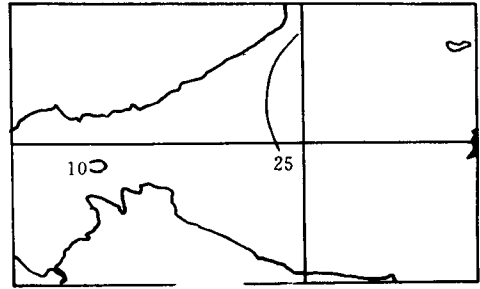
2月生物量分布



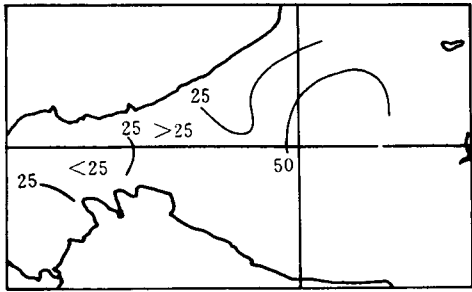
3月生物量分布



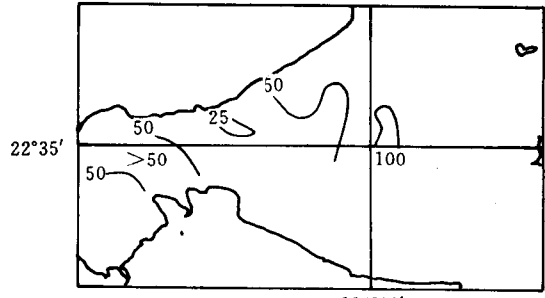
4 月生物量分布



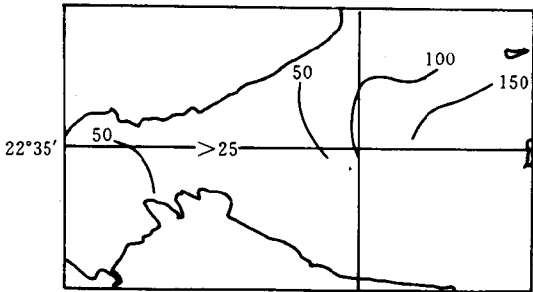
5 月生物量分布



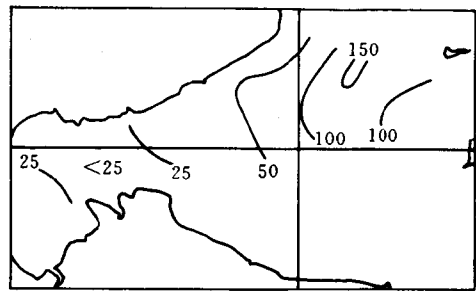
6 月生物量分布



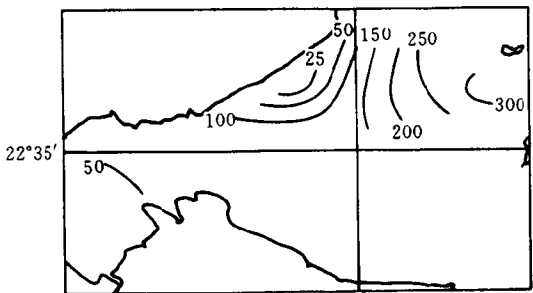
7 月生物量分布



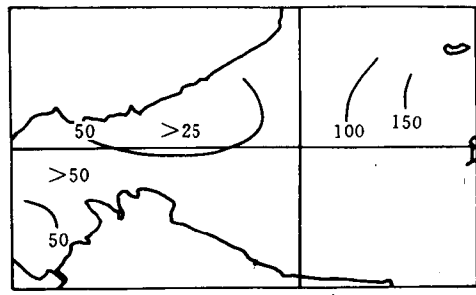
8 月生物量分布



9 月生物量分布



10 月生物量分布



11 月生物量分布

图 3 各月生物量分布图

夏季: 本季的生物量已上升为 $56.7\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。月平均值由 5 月的 $21\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 上升为 $36\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 到 8 月份便上升至 $75.1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 这种上升趋势为本季的特点。本季的生物量在 $12\sim 167\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间, $>100\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的有 3 个站, 分别分布在 7 月份的 st. 6 和 8 月份的 st. 6 和 st. 9, 最高值为 $167\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 均出现在调查区的东南部水域。6 月的月均值最低, 其量值的级差也较小, 本季的最低值亦在本月, 出现在北部近岸水域的 st. 5。从表 1 中可以发现, 6、7、8 月的测站已逐渐移向 $26\sim 75\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 量区, $<25\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的站次减少, $75\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上量值区的站次明显地比春季增多, 而这些测站主要都分布在调查区东部水域, 为本季度的高分布区。

秋季: 本季生物量上升为次高峰期, 为 $92.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。月平均值在 $63\sim 134\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间, 9 月份最低, 10 月份最高。本季的最低值为 $17\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 分布在 9 月份的 st. 2, 最高为 $321\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; 分布在 10 月份的 st. 9。本季生物量 $<25\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站只有二个, 而 $>76\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站增加到 12 个, 其中 $>151\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站 5 个, 均分布在辣甲岛西侧水域(见表 1)。

由此可见, 本调查区的基本特点为北部近岸水域和大鹏湾是生物量的低分布区, 东部和中部水域的生物量均较高, 为生物量的高分布区。

表 1 生物量逐月分布

月 份	量 级 (mg·m ⁻³)								
	5~10	11~25	26~50	51~75	76~100	101~150	151~200	201~300	>300
1990-12		3	1, 2, 5, 6	9	8	4, 7			
1991-01				3	5, 6	1, 2, 4, 9	7	8	
1991-02		2, 5				3, 6, 9	1, 7	8	4
1991-03	8	3, 4, 6, 7	1, 9	2		5			
1991-04	1, 3	2, 7, 9	5, 8	4, 6					
1991-05	2	1, 3, 4, 5, 7	6, 8, 9						
1991-06		2, 5, 7	1, 3, 4, 8, 9	6					
1991-07		3	1, 4	2, 5, 7, 8	9	6			
1991-08			2, 3, 4, 5	1, 7	8	6	9		
1991-09		2	1, 3, 4, 5, 7		9	6	8		
1991-10		5	7	1		2, 3, 4	6	8	9
1991-11			1, 3, 5	2, 4, 6	7, 8	9			
1991-12	5	6	1, 8	3, 4	9	2, 7			
合计	5	22	33	18	9	18	7	3	2
%	4.3	18.8	28.2	15.4	7.7	15.4	6.0	2.7	1.7

注: 表中的数字为测站号

(二) 浮游动物的数量

1. 分布密度的季节变化

本海区浮游动物数量的年平均值为 $494.2\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$, 秋季的数量值最高, 为 $795.1\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$, 其次为夏季, 为 $684.8\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$, 春季的数量值最低, 仅 $123.3\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ (见表 2), 因此, 浮游动物分布密度的季节变化相同于生物量, 亦为典型的单峰型, 不同的是分布密度的高峰期在秋、夏季, 低谷期为春季(见图 4), 而生物量的高峰期则是在冬、秋季, 春季同样为低谷期。

本区浮游动物各站的季平均密度在 $59\sim 1701\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间, $<100\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站有三个, 占 8.3%, 均出现在春季的大鹏澳及北部近岸, $>1000\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 的有四个测站(占 11.1%), 分别出现在秋季和夏季的东部水域, 最高为 $1701\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 。数值在 $101\sim 250\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 的测站占 30.6%, $251\sim 500\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 的为 22.2%, $501\sim 1000\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ 的为 27.8%, 其中秋、夏季的数量级差较大, 最低值和最高值几乎相差 10 倍, 冬、春季则比较均匀(见表 2)。

表 2 各测站浮游动物数量的季节变化 (单位:个·m⁻³)

季 节	站 号									\bar{X}
	901	902	903	904	905	906	907	908	909	
冬	393	308	232	484	243	246	867	314	273	373.3
春	59	139	89	213	73	150	133	100	154	123.3
夏	141	511	565	391	464	1249	558	841	1444	684.8
秋	280	709	533	522	184	975	878	1701	1374	795.1
总	218.3	417.0	354.8	402.5	241.0	655.0	609.0	739.0	811.3	494.2

2. 数量的平面分布

本海域浮游动物密度的年分布也较均匀和具规律,各站的年平均值中最低的测站为 st. 1 和 st. 5, 平均值分别为 218.3 个·m⁻³和 241.0 个·m⁻³, 分别出现在大鵬澳内和北部近岸水域, 最高的有 st. 9 和 st. 8, 分别达 811.3 个·m⁻³和 739.0 个·m⁻³, 分布在辣甲岛西部水域, 东北部的 st. 7 和南部的 st. 6, 其量值亦 >600 个·m⁻³, 与 st. 8 和 st. 9 共同组成了高数量分布区, 形成了东高西低, 南高北低的格局(见图 5), 因此, 本水域浮游动物数量年均值的平面分布相对较为均匀, 其分布规律且与生物量较相似。

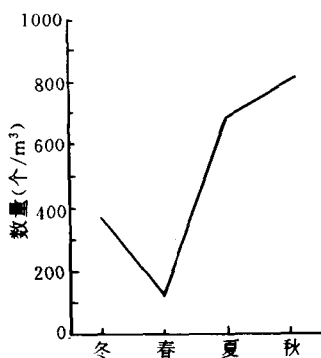


图 4 浮游动物数量的季节变化

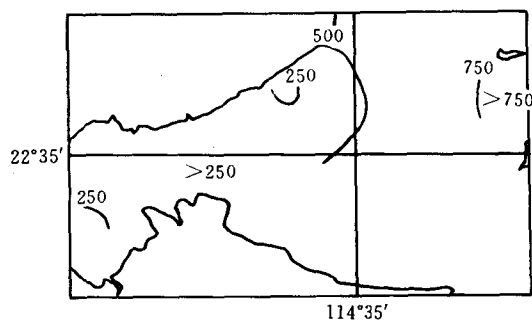


图 5 浮游动物数量年平均分布图

本海区浮游动物季单值密度的最低值仅有 10 个·m⁻³, 最高的可达 3536 个·m⁻³, 次高值为 3327 个·m⁻³, 分别出现在 10 月份的 st. 8 和 8 月份的 st. 9, 为本海域的高密分布站, 季均值最低为 59 个·m⁻³, 最高值为 1701 个·m⁻³, 级差的幅度较大(见表 3)。

表 3 浮游动物数量季度极值表 (单位:个·m⁻³)

季 度	季 均 值				季 单 值				
	均值	最高	站号	最低	站号	最高	站号	最低	站号
冬	373	867	07	231	03	2768	07	29	05
春	121	213	04	59	01	306	04	10	01
夏	685	1445	09	141	01	3327	09	54	07
秋	794	1701	08	184	05	3536	08	45	03

冬季: 本季浮游动物数量的均值为 373.3 个·m⁻³, 除 1991 年 12 月外, 季均值由 1990 年 12 月的 132 个·m⁻³逐月上升到 2 月份的 350 个·m⁻³。本季最高值为 867 个·m⁻³, 出现在 1991 年 12 月的 st. 7, 即在调查区的东北部水域, 为本季的高密区, 其余各测站季均值的级差

较小,均小于 $500 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,大鹏澳及其邻近水域 $>250 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,北部近岸和东南部为 $<250 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的低分布区。

春季:其季均值为四季中最低,仅 $121 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 。本季的月均值由2月份的 $350 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 下降至3月份的 $71 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,到5月份又渐升至本季的最高值 $168 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 。3月最低,除 st.2 测站为 $219 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 外,其余各站均 $<100 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,其密度值在 $32 \sim 83 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间。全季中密度 $<25 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的低测站出现在4月份,最高 $306 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的高密测站也出现在4月份,其分别出现在大鹏澳和大坑外的近岸水域,因此4月份的级差也较大。本季最高均值为 st.4 的 $213 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,st.6 和 st.9 均 $>150 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 为次高值,其与东南部水域的 st.4 站区形成 $>150 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的高分布区,北部近岸水域和大鹏湾内为低于 $100 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的低分布区。

夏季:季平均值为 $685 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,为全年的次高峰值。6月份的均值已递升至 $307 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,几乎为5月份均值的一倍,7月和8月分别为 $578 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $1170 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,8月的均值又成倍增长,为浮游动物数量的主要增长期。本季分布密度 $>1000 \cdot \text{m}^{-3}$ 的最高测站有 st.9 和 st.6,分别为 $1444 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $1249 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,分布于调查区东南部,低分布区的大鹏湾内仅 $141 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,密度低于 $500 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的水域在调查区的中部,其余水域在 $500 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3} \sim 1000 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间,所以本季为高密度分布期。

秋季:本季为浮游动物数量分布的高峰期,季均值为 $795.1 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 。10月份的均值为 $1551 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,也是全年密度最高的月份,可是9月和11月仅为 $385 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $475 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,所以本季的均值级差较大。本季 $>850 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的测站有四个,主要分布在东部水域,其中 st.8 和 st.9 的数值分别为 $1701 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $1374 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,即位于辣甲岛西侧水域形成高密度的分布站区,除北部近岸的 st.5 为低于 $250 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 和大鹏澳为 $280 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的低值区外,其它水域均 $>500 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,由此可看到本季为高密度的分布期。

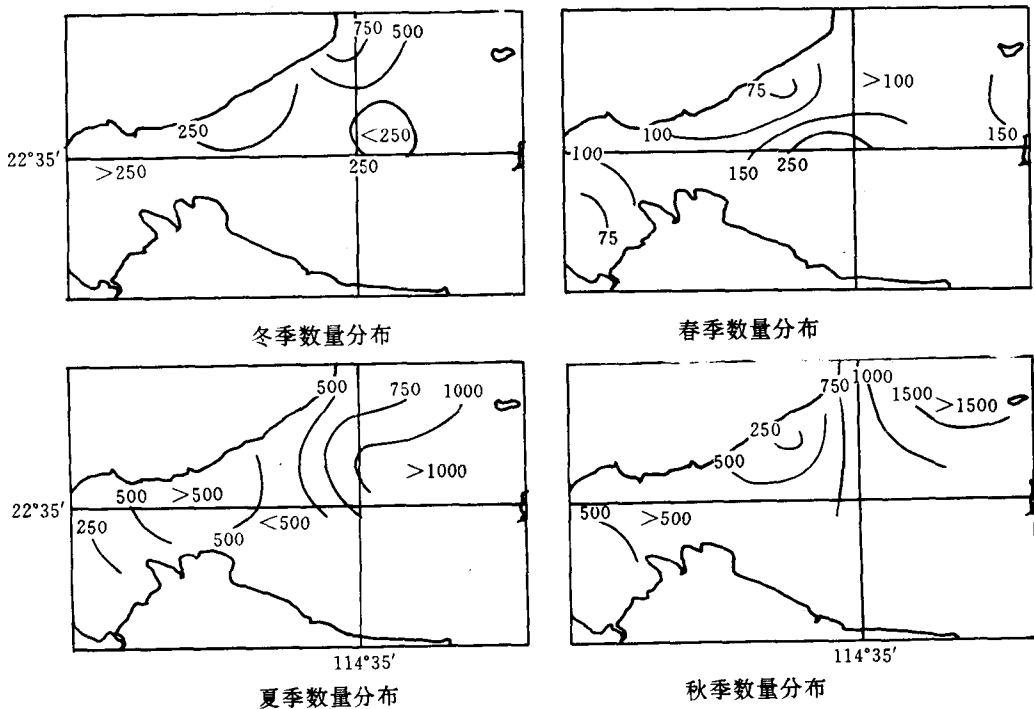


图6 浮游动物密度分布图

本季密度分布较均匀的是9月份,最低为 $186 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,最高为 $635 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$,差幅较小;密度值 $>1000 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的测站均出现在10月份,量值在 $1327 \sim 3536 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 的测站便有6个,而全年的最高值亦分布在本月,成为全年浮游动物大量出现的高密度月。

(三)浮游动物种类的组成及其分布

1. 类群组成

本调查水域共拖获浮游动物145种,分别属11大类,其中桡足类的种类最多,有52种,占总种数的35.9%,其次为水母类,共35种,占24.1%,幼虫类20种,为13.8%,毛额类和被囊类各有9种和8种,分别占6.2%和5.5%,其它尚有枝角类、介形类、樱虾类、糠虾类、软体动物和磷虾类等,这些种类的数量均较少,一般均 $<5\%$,此外,偶然出现的种类尚有端足类动物,因此桡足类和水母类为浮游动物常见的类群。

冬季共出现111种,占总种数的76.6%,种类最多的有桡足类,有27种,占33.3%,其次为水母类,有27种,占24.3%,幼虫类占14.4%,共16种,其它各类均少于7种。其中12月份的种类最多,1990年和1991年的12月分别为80种和76种(见表4)。

表4 各月浮游动物的种类组成

类 群	9012	9101	9102	9103	9104	9105	9106	9107	9108	9109	9110	9111	9112
桡足类	30	19	21	13	14	21	17	25	13	25	25	26	24
枝角类	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	3
介形类	2	1	1		1					1	1	2	1
樱虾类	2	2	1		1	2	2	2	2	2	2	2	1
糠虾类	3	3	4		1	1	1				1	1	3
软体动物	1	2				1	1	2	1	4	3	1	1
磷虾类	1		1										1
毛额类	7	6	6	5	3	5	5	5	7	7	6	5	5
被囊类	4	4	4	3	4	3	7	5	7	8	6	5	7
幼虫类	11	7	10	10	13	7	11	10	12	13	14	16	13
水母类	18	13	15	9	5	8	13	18	15	16	12	17	17
合 计	80	58	65	42	44	49	69	69	54	78	72	76	76

春季的种类下降至全年最低,只有75种,桡足类仍为优势,共有31种,占41.3%,其次为幼虫类,占20.0%,水母类降为第三位,为16.0%,3月的种类最少,也是全年种类最少的月份,只有42种,浮游动物大类也最少,只有六大类,为12个大类的一半。而优势类群的数量也下降。

夏季的种类开始回升,达95种,为36.8%,水母类和幼虫类分别为23种和15种,各占22.9%和15.6%。6月和7月份的种类最多,8月份最少,分别为69种和54种,同时,8月份的桡足类只有13种,与3月份相同,但是3月的桡足类为该月的主要类群,占30.9%,而8月份仅占24.0%,低于水母类,占第二位,所以8月是桡足类全年种类最少的月份。

秋季回升到109种,占总种数的75.2%,桡足类的种类是全年最高的季节,有39种,占35.4%。水母类有26种,占23.9%,毛额类为7种,占其总种数的77.8%,出现率较高。各月种数较均匀,分别在72~78种之间。

2. 各类群数量的季节更替

年拖获量出现率中,种类较稀少的枝角类占了优势,为总量的37.4%,类群中种类占绝对优势的桡足类的数量则退居为第二位,仅占14.9%,再则便是毛额类和被囊类,分别为14.0%

和 12.2%，幼虫类占 10.1%，出现率 5.6% 和 4.2% 的为水母类和樱虾类，其余各类均低于 1%，为出现率偏低的类群。因此，枝角类则为本区主要的优势类群，再则以次为桡足类、毛额类和被囊类以及幼虫类等(见表 5)。

表 5 各类群数量的季节更替

类群	冬		春		夏		秋		年计
	数量	%	数量	%	数量	%	数量	%	
桡足类	2531	29.8	295	3.5	2097	24.7	3564	42.0	8487
枝角类	4503	21.2	881	4.1	5807	27.3	10048	47.3	21239
介形类	97	64.7	1	0.7			52	34.7	150
樱虾类	171	7.2	74	3.1	1929	80.7	217	9.1	2391
糠虾类	38	77.5	3	6.1	1	2.0	7	14.2	49
软体动物	8	1.2	3	0.4	78	11.2	605	87.2	694
磷虾类	31	100.0							31
毛额类	2317	29.0	1056	13.2	2501	31.3	2106	26.4	7980
被囊类	2171	31.4	340	4.9	3319	48.0	1089	15.7	6919
幼虫类	697	12.2	503	8.8	1171	20.5	3343	58.5	5714
水母类	1262	39.6	469	14.7	1004	31.5	454	14.2	3189
合计	13837	24.3	3625	6.4	17907	31.5	21485	37.8	56844

桡足类:秋季的出现率最高,为 42.0%,其次为冬季和夏季,分别为 29.8% 和 24.7%,春季最低,只有 3.5%。主要的常见种类有红纺锤水蚤(*Acartia erythraea*)、微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)、次厚真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)和锥形宽水蚤(*Temora tubinata*)等。10 月和 8 月、9 月份是桡足类的盛期,前者出现率占其总数量的 16.9%,后二个月各为 12.4% 和 12.3%,其次的 2、7、11 和 12 月,出现率均 > 11%,最低在 4 月和 3 月份,为 0.58% 和 0.85%,所以下半年度为其盛期。

毛额类:毛额类也是优势类群之一,出现率占浮游动物总量的 14.0%,最高为夏季和冬季,分别为 31.3% 和 29.0%,春季最低,为 13.2%。主要的常见种类有肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、娇嫩箭虫(*S. delicata*)和小形箭虫(*S. neglecta*)。全年出现率最高的 10 月、2 月、7 月和 8 月份,出现率均 > 10%,出现率最低的为 3 月份,仅 1.65%,由此可见该类的分布盛期可为 7 月~10 月份。

枝角类:其是本水域在数量上占绝对优势的类群,占浮游动物总量得 37.4%,由于出现的种类少,优势种明显,全年鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*)占 96.4%,其大量出现在 7~12 月(1991 年),高峰期为 10 月(41.2%),其次为 8 月和 12 月(21.2%, 18.9%),1990 年 12 月、2 月、3 月和 6 月为低值月,均 > 0.2%,尤其是 1990 年 12 月,其出现率几乎为零,仅为 0.02%。所以枝角类的分布盛期为秋季(47.3%)和夏季(27.3%),由于冬季含 1991 年的 12 月而为第三位,春季最低。

被囊类:被囊类的高峰期为夏季和冬季,分别为其总量的 48.0% 和 31.4%,秋季为 15.7%,春季最低,仅 4.9%。常见的主要种类有软拟桶海樽(*Dolioletta gegenbauri*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)和长尾住囊虫(*O. longicauda*)等。出现量最高的有 8 月、12 月(1991 年,1990 年 12 月仅 1.3%)和 6 月份,数量均 > 12%,特别是 8 月,便占其总量的 27.1%,2 月和 4 月最低,仅 0.6% 和 1.1%。因此 8 月、1991 年 12 月和 6 月为其分布盛期。

水母类:水母类也是种类较多的大类,但其出现率较低,仅 5.6%,冬季和夏季最高,分别

为 39.6% 和 31.5%，春季和秋季为低值期。常见的主要种类有双生管水母 (*Diphyes chamissonis*)、拟细浅室水母 (*Lensia subtiloidea*)、五角水母 (*Muggiaea atlantica*) 和班芮氏水母 (*Rathkea octopunctata*) 等。出现率最高的是 2 月和 7 月，分别为 21.6% 和 20.0%，出现率 < 2.8% 的月份有 4 月、8 月、11 月和 12 月，1991 年 12 月最低，仅 2.3%。

幼虫类：幼虫类也是数量较大的类群，高峰期明显地出现在 10 月和 11 月份，特别是 11 月份，其出现率占总数量的 31.9%，10 月为 21.7%，高峰有突发的现象，9 月份的仅为 4.97%，到 10 月剧升到 21.7%，数量急增达四倍；低谷期在冬季的 1 月份，出现率为总量的 0.64%，其余各月份一般低于 8%。

3. 主要种的季节更替

本海区主要的常见种类有红纺锤水蚤 (*Acartia erythraea*)，中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)，微刺哲水蚤 (*Canthocalanus pauper*)，次厚真哲水蚤 (*Eucalanus subcrassus*) 等；枝角类中主要为鸟喙尖头蚤 (*Penilia avirostris*)；樱虾类中有韩森莹虾 (*Licefer hansenii*)，中型莹虾 (*L. intermedius*)；毛额类中主要有娇嫩箭虫 (*Sagitta delicata*)，肥胖箭虫 (*S. enflata*)；被囊类有软拟桶海樽 (*Doliioletta gegenbauri*)，异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*) 和长尾住囊虫 (*Oikopleura longiformis*)；幼虫类中有海胆类幼虫 (*Echinopluteus larva*) 和蛇尾类幼虫 (*Ophiopluteus larva*) 等，以上这些种类基本为全年性出现的常见种类，但也有个别种类则为季节性的优势类群，例如五角水母 (*Muggiaea atlantica*) 以及二手筐水母 (*Solmundella bitentaculata*) 等仅出现在某些月份，明显地成为季节性的种类。

桡足类：

冬季 本季数量最多的主要种为中华哲水蚤，其次有红纺锤水蚤、微刺哲水蚤、次厚真哲水蚤、小型唇角水蚤 (*Labidocera minuta*)、精致真刺水蚤 (*Euchaeta concinna*) 和普通波水蚤 (*Undinula vulgaris*) 和小拟哲水蚤和锥形宽水蚤等，此外尚有刺尾纺锤水蚤 (*A. spinicauda*)、驼背隆哲水蚤 (*Acrocalamus gibber*)、瘦歪水蚤 (*Tortanus gracilis*)，瘦尾胸刺水蚤 (*Centropages tenuiremis*) 等，其中主要出现在冬季的有中华哲水蚤，精致真刺水蚤 (52.7%)，瘦尾胸刺水蚤 (68.8%)，小拟哲水蚤 (60.4%) 等，尤其是中华哲水蚤有 93.0% 出现在本季，集中地出现在 2 月 (71.6%) 和 1 月 (21.2%)。

春季 桡足类的数量和种类均较少，数量较多的主要有红纺锤水蚤、中华哲水蚤、瘦尾胸刺水蚤、瘦歪水蚤以及近缘大眼剑水蚤，但数量均较少，例如红纺锤水蚤仅集中地出现在 5 月份，其量值便占该月桡足类总数的 60.5%，所以该季为桡足类的低谷期。

夏季 桡足类的种类和数量开始回升，优势的主要种有红纺锤水蚤、刺尾纺锤水蚤、瘦歪水蚤、微刺哲水蚤、锥形宽水蚤和次厚真哲水蚤等，其中红纺锤水蚤和刺尾纺锤水蚤分别有 66.2% 和 73.4% 出现在本季，主要出现在本季的尚有锥形宽水蚤 (49.3%)。

秋季 本季的优势种为次厚真哲水蚤和微刺哲水蚤以及瘦歪水蚤等，其分别占季总数量的 23.0%、21.1% 和 9.7%，其次尚有锥形宽水蚤和红纺锤水蚤等，主要在本季出现的种类有驼背隆哲水蚤、奥氏胸刺水蚤 (*Centropages orsinii*)、小型唇角水蚤 (*Labidocera minuta*) 和普通波水蚤 (*Undinula vulgaris*) 等，它们的出现率均多于其总量的 70%，最高的如普通波水蚤达 94.0%。数量最多的是 10 月，为桡足类的高峰月。

枝角类：

该类在本海区只是个小类群，只有三个种，鸟喙尖头蚤是主要种类，其既是该类的优势种，也是调查水域的优势种群，其全年均有出现，但大量出现在 7~12 月，高峰月在 10 月

(42.7%),其次是8月和12月(1991年),分别占22.0%和19.6%,以及7月的6.2%,1990年12月和6月最低,不超过0.1%,其它各月均低于3.5%。另一种肥胖三角蚤(*Evadna tergestina*),虽然各季均有出现,但数量都很少。

毛额类:

冬季 出现率占其总量的29.0%,肥胖箭虫为本期的主要优势种,占53.3%,其次为娇嫩箭虫(22.0%),再则尚有百陶箭虫、圆囊箭虫(*Sagitta johorensis*)和小形箭虫(*Sagitta neglecta*)。2月的分布密度最高,出现率最高的除肥胖箭虫(26.2%)外,尚有娇嫩箭虫和小形箭虫,其次是1月,12月则最低,其中除1991年12月份的优势种为娇嫩箭虫外,其余月份仍为肥胖箭虫。

春季 本季是毛额类密度最低的时期,而肥胖箭虫仍为优势种,占总量的86.2%,其次为娇嫩箭虫、百陶箭虫和圆囊箭虫,三个月均有出现,其中除百陶箭虫主要分布于4月外,其余二种主要出现在5月份,3月的出现率均较低。

夏季 毛额类分布密度上升到最高,出现率占全年总量的31.3%,肥胖箭虫降到全年最低,占优势的是娇嫩箭虫,占季总量的59.9%,其次是小形箭虫(13.2%)和肥胖箭虫(12.5%),再则为圆囊箭虫(6.8%)。7月的密度最高占季总量的40.4%,主要种为娇嫩箭虫和小形箭虫,其次为8月,主要种为娇嫩箭虫和圆囊箭虫,6月最低,主要种有娇嫩箭虫和肥胖箭虫。

秋季 为毛额类的次高峰期,占总量的26.4%。本季种类的分布较均匀,出现率最高的是肥胖箭虫,其次有小形箭虫、娇嫩箭虫、百陶箭虫和圆囊箭虫。10月的出现率最高,占总量的12.2%,为本季的61.2%,优势种除有肥胖箭虫和小形箭虫外,其次为百陶箭虫和圆囊箭虫,11月的主要种有肥胖箭虫和娇嫩箭虫,9月则为肥胖箭虫。

被囊类:

冬季 为被囊类出现率的次高峰期,占年总量的31.4%,优势种主要有软拟桶海樽,占季总量的47.6%,其次为长尾住囊虫和异体住囊虫。1991年12月出现率最高,占季总量的59.7%,长尾住囊虫为主要优势种,其次有软拟桶海樽和异体住囊虫,1月的种类较单纯,软拟桶海樽的出现率占该月被囊类总量的96.5%,1990年12月和2月的数量较少且无明显的优势种类。

春季 本季为被囊类的低谷期,出现量仅为总量的4.9%,异体住囊虫占明显优势。6月的出现率较高,其次为3月,异体住囊虫为优势,其次为长尾住囊虫,4月最低,异体住囊虫和软拟桶海樽的数量最多。

夏季 为被囊类的高峰期,其出现率为总量的48.0%,其中63.6%为软拟桶海樽,其次为异体住囊虫(21.3%)和长尾住囊虫(8.3%)。8月份是被囊类的高峰月,出现率为总量的31.2%,软拟桶海樽的出现率也是全年最高,占该月总量的87.6%,年出现率较低的小齿桶海樽也较多见,出现率为其年总量的36.4%,占第二位;6月份的数量次之,异体住囊虫(63.7%)和长尾住囊虫(26.1%)相继为该月的主要种;7月为本季最低,除软拟桶海樽(88.7%)外,其它种类均较稀少。

秋季 被囊类的数量开始下降,占全年总量的15.7%,该季的优势的种类较均匀,出现率最高的长尾住囊虫占28.7%,软拟桶海樽和异体住囊虫分别为26.9%和21.7%,小齿桶海樽也是该季的主要种,占16.3%。9月和10月的出现量较相近,种类组成也较相似,但优势种不同,9月的主要种为异体住囊虫和长尾住囊虫,10月则是小齿桶海樽和软拟桶海樽,本月为小齿桶海樽的高峰月,出现率接近其总量的60%;11月最低,占优势的主要是软拟桶海樽,占71.8%,其次为长尾住囊虫。

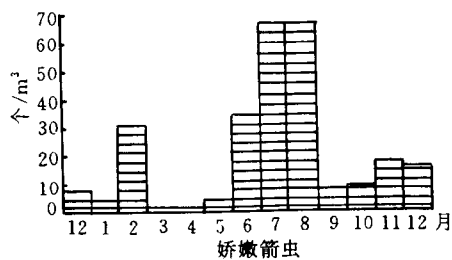
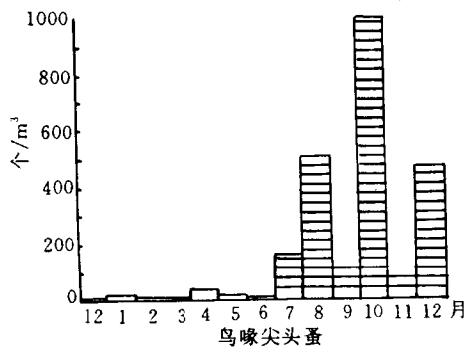
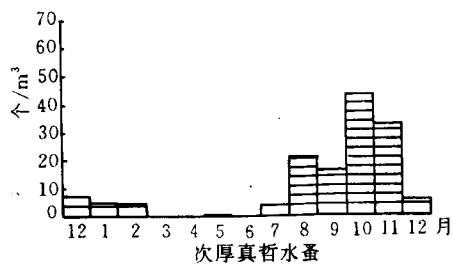
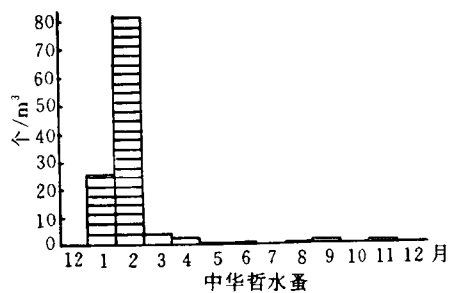
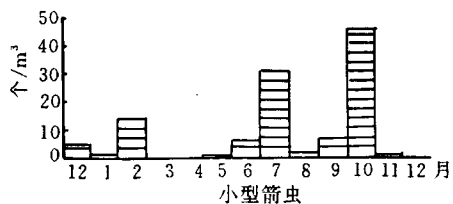
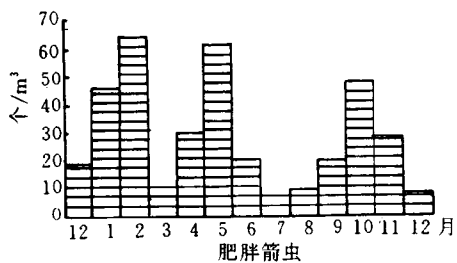
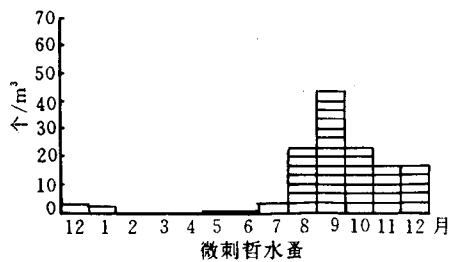
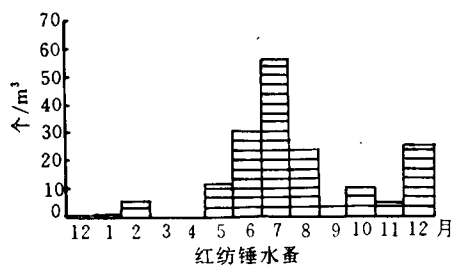


图 7a 主要种数量的季节更替

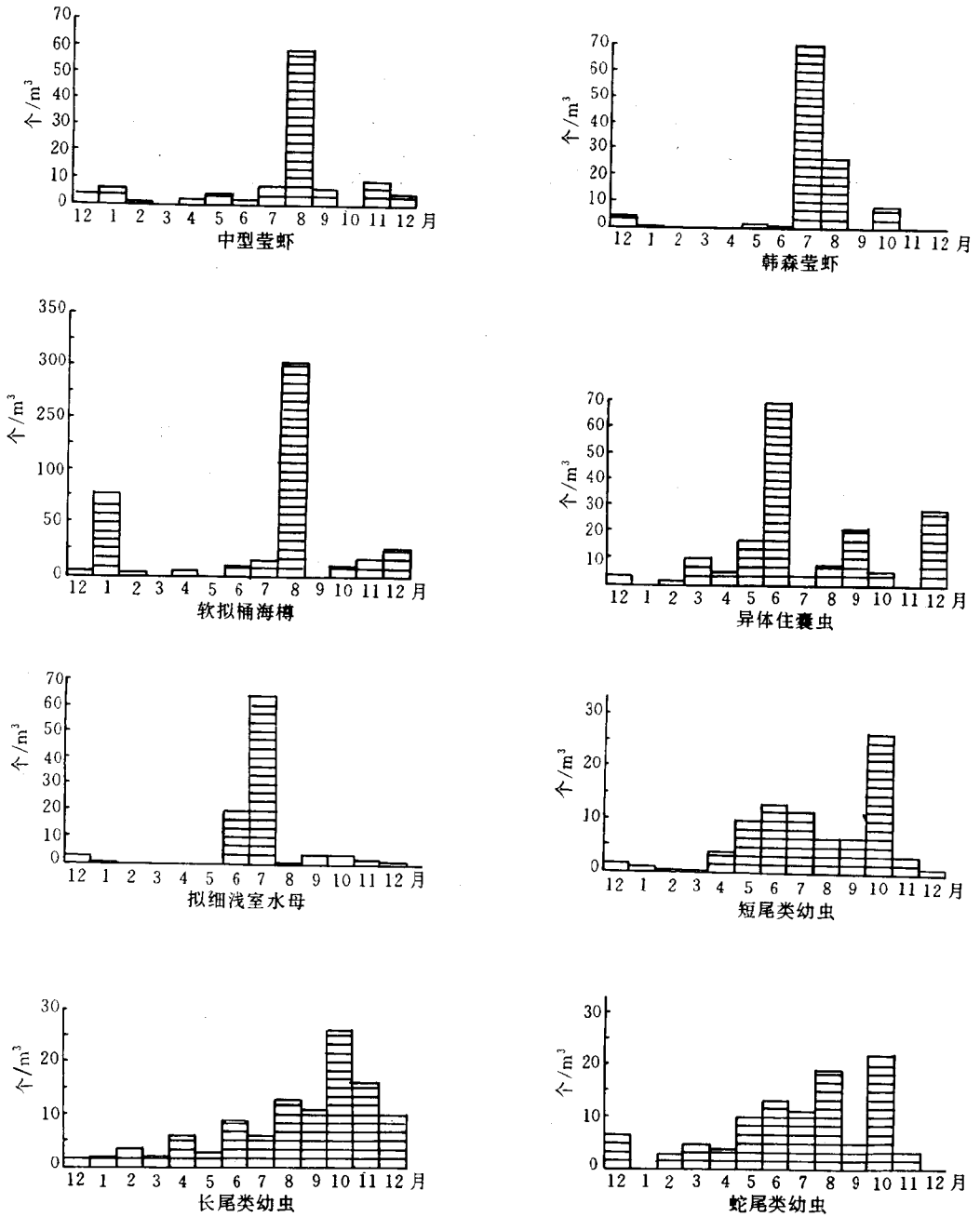


图 7b 主要种数量的季节更替

水母类:

该类的种类虽多,但数量较少,且种类和数量均有较明显的季节性,数量较大的有拟细浅室水母、班芮氏水母和五角水母等。冬季,主要有二手筐水母、半口状丽水母、细颈和平水母、四叶小舌水母等,其中除班芮氏水母(99.5%)几乎仅出现在2月份外,其余各种在冬季各月均有出现;春季的种类和数量均少,主要有五角水母和四叶小舌水母等,其中五角水母仅出现在本季,其它各月均未发现;夏季的主要种为拟细浅室水母,秋季的优势是双生管水母、拟细浅室水母以及球形侧腕水母等。

4. 主要种的分布

桡足类:

红纺锥水蚤 在桡足类中其出现量最高,除3月和4月未发现外其它各月都有出现,5~8月和1991年12月的出现率较高,6月和7月为其旺期。冬季,仅1991年12月的数量较大外,其余各月出现率均较低,大鹏澳及其邻近水域的分布密度较高,3月和4月没有出现,5月和6月,主要分布区为大鹏澳口及其东部邻近水域,7月后的密集区东移,密集区位于北部近岸的st.7和小辣甲西的st.8水域,10月后在东部水域常见较密集的区域(见图8a)。

微刺哲水蚤 其全年均有出现,出现量仅次于红纺锥水蚤,1990年12月~1991年7月的出现率低,尤其是2~6月仅零星出现,1991年8~12月为旺期。大鹏澳是低分布区,仅7月发现零星个体;大鹏澳邻近水域及北部近岸的出现率也很低,在秋冬季有少量分布;大辣甲西部即调查区东南部水域为夏秋季的主要分布区,8月主要出现在东南外缘的st.9和st.6水域,分别占该月总量的50.1%和42.7%,9月较集中地出现在st.8和st.6水域,分别占48.7%和32.4%,10月的分布较均匀,仅大鹏澳口较高,11月集中出现在st.9的大辣甲西部水域,分布量占该月总量的66.7%。因此,该种主要分布在东南部水域(见图7)。

次厚真哲水蚤 该种在3月、4月和6月均无出现,8~11月是其高密期,10月份的出现率最高,为其总量的43.1%。大鹏澳为低分布区,仅8月和10月零星出现,再则是北部近岸的st.5水域;东南部水域为高密区,11月份大辣甲的st.9水域,分布率占月总量的81%,10月则在东北的st.7水域,占月总量的30%,8月和9月的数量次于10月和11月,较高的分布区分别在东南外缘的st.6和st.4(见图8a)。

中华哲水蚤 该种出现率的季节性较强,高峰期在1月和2月,1990年12月和7月、10月均未发现,其它各月均为低分布期,出现率低,分布分散。1月、2月的出现率为21.2%和71.6%,2月的密布区较明显,st.4占42.1%,st.6和st.8分别占14.9%和21.1%,1月的分布较均匀,各站的级差较小。所以,冬季的1月和2月是该种的主要分布期。

其余出现量较大的种尚有锥形宽水蚤和瘦歪水蚤等,主要在下半年较大量的出现,它们的分布参见图8a。

樱虾类:

韩森莹虾 该种的季节性较明显,7月和8月为大量出现期,分别占月总量的62.2%和24.0%,2~5月以及90年12月未发现,其余各月出现率均较低。大鹏澳是低分布区,仅个别月发现有少量个体,高密期的7月,东南部水域的st.9和st.6、st.8分别为高密度分布区,各占月总量的35.1%、20.7%和19.2%,其次是东北部的st.7;8月的分布量明显下降,但仍占第二,分布密度较高的分别有st.2(30.4%)、st.9(27.1%)和st.6(20.2%)站区,显示密集区较分散不明显。

中型莹虾 除3月、5月未出现外,全年的数量也不高,但分布的季节性较强,大量出现的

时间主要在8月,占总量的56.7%,集中地分布在东部的大、小辣甲西部水域,出现率达月总量的85.2%,为年总量的48.3%。其余月份的出现量虽然较少,但该区的出现率仍比较高,如除7月份为st.6的密度较高外,1月和9月在st.7和st.8,11月在st.7、st.4和st.6水域,由此显示东南部水域为该种的主要分布区(参见图8a)。

枝角类:

鸟喙尖头蚤是枝角类的优势种,也是本水域的主要优势种,全年各月均有出现,高峰期在7~12月,其次为1月、4月和5月,1990年12月和其余月较低。除1990年12月少数站区只发现个别标本外,1~6月的分布较均匀,密集区不明显,7月密集度增高,在北部近岸的st.5以及其南部水域的st.4和st.6,形成该月的三角形密集区,8月密集区东移,特别在其东南侧形成高密分布区,分别为月出现量的41.5%和18.1%,密度由东向西渐低,大鹏澳内最低,仅偶有出现;9月的密集区西移至大鹏澳口的st.2水域,分布率为其51.0%;10月是全年出现量的最高月,除北部近岸的st.5的数量较少外,密集度均较高,高密区有二个,东部南侧水域的密集度较高,月总量68.2%的个体分布在本区,次高密区于大鹏澳口邻近水域的st.2和st.3,出现率占月总量的21.4%;11月的出现量有所下降,该种集中地密集于东南部水域,该区的出现率占其月总量的91.2%;1991年12月的数量又回升,为其分布的次高峰月,st.7(东北部水域)为该月的高密区,分布率占48.9%,次密区在st.4,大鹏澳最低,其余各站较均匀。

毛额类:

肥胖箭虫 本种出现量仅次于鸟喙尖头蚤,是本海区的主要优势种之一。该种全年均有出现,分布范围广,冬季的出现率最高,占年总量的36.3%,夏季最低,仅占9.2%,春、秋季相近,各占27.5%和26.9%。分布率最低为大鹏澳水域,仅在冬季的1月和2月有少量出现,北部近岸的st.5水域,除1月的出现量稍多外,全年的出现率均较低,调查区南中部水域的st.4和st.6为高密度的分布区,出现率均>19%。月分布量最高的2月和5月,前者除高分布的st.3(占月总量的20.6%)水域外,东南部水域为分布密度较高的区域,后者则较集中地分布在中部南侧的st.4(30.4%)和st.6(21.3%),7月和8月为低分布月,9月的数量开始回升,但分布较分散(见图8b)。

娇嫩箭虫 其出现量仅次于肥胖箭虫。该种全年均有出现,春季的分布率最低,仅占2.3%。夏季的出现率最高,占年总量的64.1%,7月和8月为高分布期,前者分别在大鹏澳口的st.2(39.4%)和东部的st.8(22.4%),后者分别为st.2和东北部的st.7,虽然冬季的数量较稀少,但各月的较密集的水域区均在大鹏澳水域。因此,娇嫩箭虫逐月的高密区主要分布在西部水域。

被囊类:

软拟桶海樽 该种全年均有出现,但其密集期较集中,分别出现在8月和2月,分别占总量的55.1%和20.3%,其中8月密集范围较大,在东南部水域为高密度的分布区,2月则密集于北部近岸的st.5水域,占该月总量的70.9%;1991年12月主要密集在东北的st.7,出现率占月总量的54.5%,除3月和9月的出现率最低,仅有个别站偶然出现外,其余各月的出现量较少,但分布量较多的水域一般出现在东部。由此显示,该种的主要分布区是调查区东南水域,但北部近岸在个别时期也可形成局部地区的高分布区。

异体住囊虫 本种除1月未出现外,其余各月均有出现,其中6月出现率最高,占其总量40.8%,其次是5月、9月和1990年12月,其余各月均低于总量的5%。该种的高密分布区

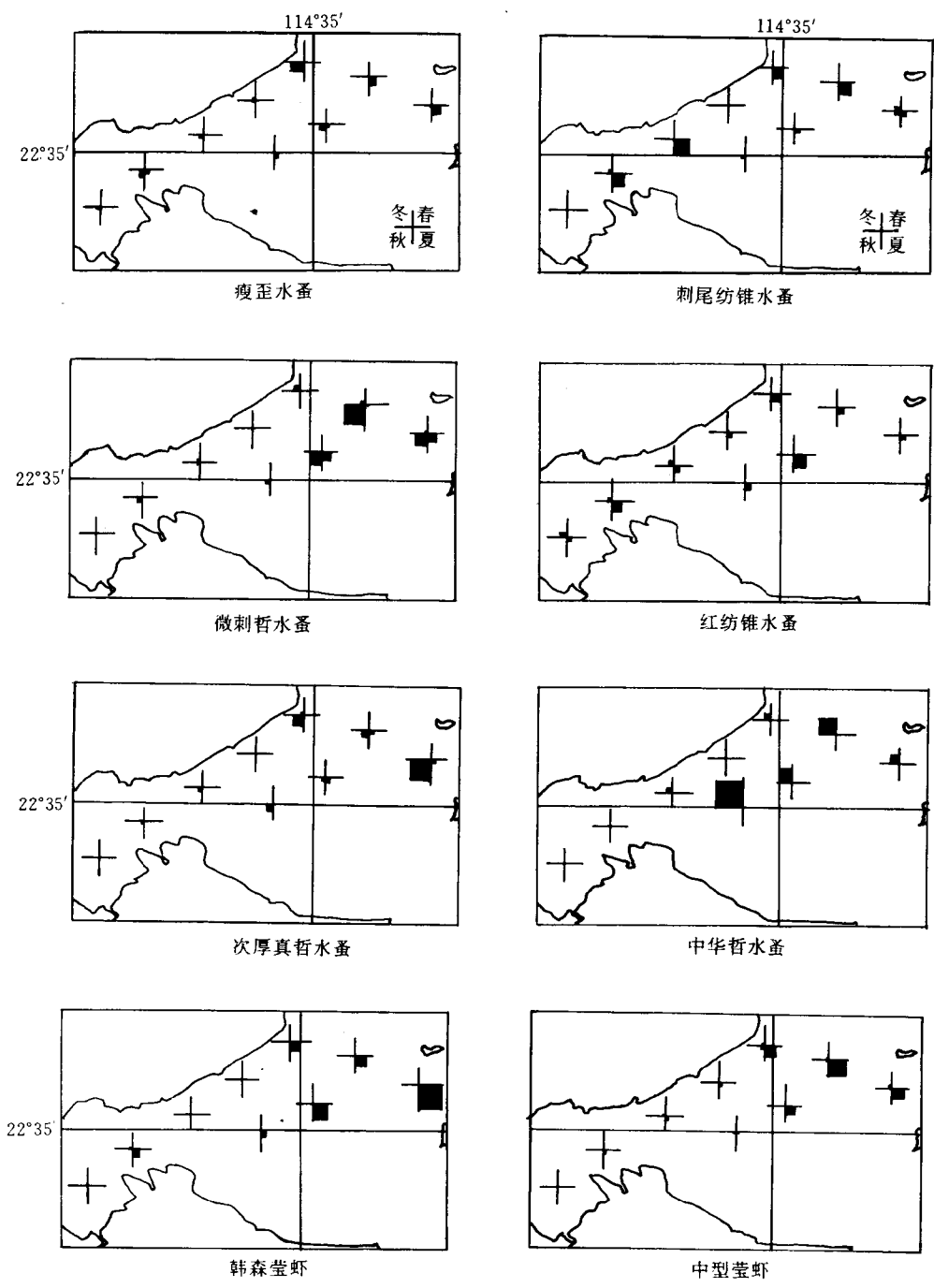


图 8a 主要种分布图(单位:%)

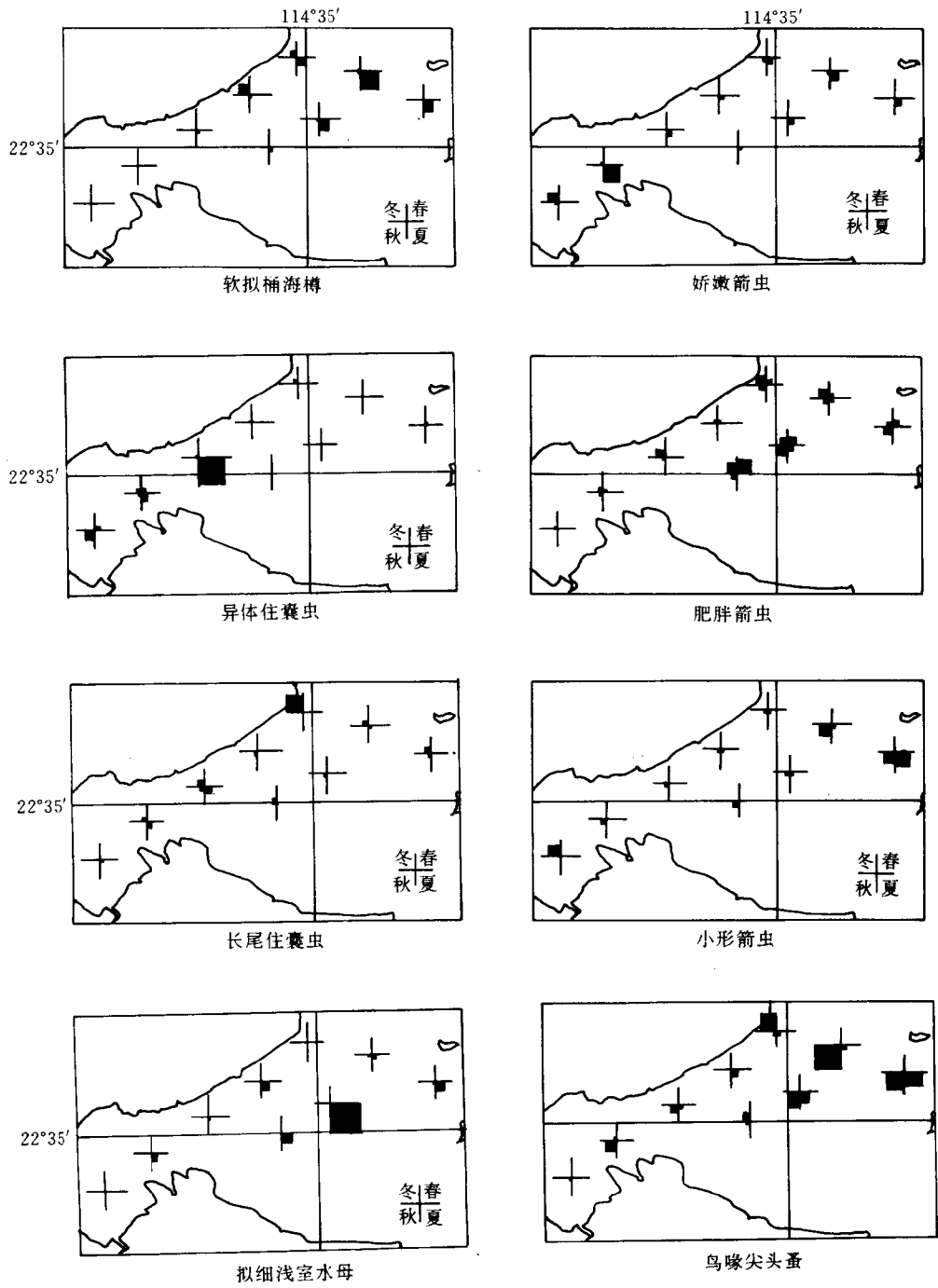


图 8b 主要种分布图(单位: %)

主要在西部水域,如6月的st.2和st.3水域的出现率占月总量的89.3%,5月和9月的st.1站区分别占68.3%和63.5%,其余月份的出现率虽较低,但该区的分布量仍较高。

水母类:

拟细浅室水母为水母类中数量最大亦较常见的种,但季节性亦较强。7月的出现率最高,占其年总量的65.3%,6月占20.8%;7月份主要分布在st.2和st.4~st.6,以及st.9,即在调查区的中部和南部水域,其中st.6水域的出现率占其月总量的42.7%,其次是其西部的st.4和st.5,分别为15.7%和14.3%,这三个站区为该月形成了三角形的高分布区,再则为辣甲岛西和大鹏澳口,而st.1和st.7均未发现;6月仅次于7月,为次高峰期,分布较均匀是该月的特点,全区均有分布,密集区不明显,聚集区主要有st.6、st.9和st.4,即在东南部水域。

其它种类如五角水母、斑芮氏水母和二手筐水母等,但季节性较强,如五角水母其仅出现在3~5月,分布较均匀,除4月份在大鹏澳内未发现外均有分布。斑芮氏水母的密集度更高,仅在2月和3月份出现,只分布在大鹏澳内,其中2月的密集度特高,出现率为其重量的99.5%。二手筐水母仅出现在11~2月份。

(四) 浮游动物的结构组成

1. 种类组成

尽管浮游动物的分布随着季节的转换而有所变动,但从以上结果可以看到浮游动物的分布在各季有如下的组成特点:

冬季 本季虽是种类最多的时期之一,但数量并不占优势,形成优势的种类主要有枝角类的鸟喙尖头蚤、毛额类的肥胖箭虫、娇嫩箭虫、被囊类的软拟桶海樽和桡足类的中华哲水蚤等,其次有红纺锥水蚤、微刺哲水蚤、锥形宽水蚤、瘦歪水蚤等,毛额类的小形箭虫和圆囊箭虫,被囊类的异体住囊虫、长尾住囊虫以及水母类的球形侧腕水母、四叶小舌水母等,此外,有些种类仅主要在本季内出现,例如有水母类的斑芮氏水母和二手筐水母等,其中的斑芮氏水母集中在1月和2月份大量出现。所以枝角类和毛额类是本季主要的组成成员。以上的主要种类有其密集区,如东南部水域为中华哲水蚤的密集区,北部近岸是软拟桶海樽,大鹏澳及其邻近水域则为娇嫩箭虫和红纺锥水蚤,本季的主要优势种鸟喙尖头水蚤和肥胖箭虫,前者主要集中在1990年12月,除密集在东北水域外,分布较均匀,后者的分布则较均匀。

春季 是全年种类数量最少的时期,优势种类有毛额类的肥胖箭虫、枝角类的鸟喙尖头蚤和被囊类的异体住囊虫,水母类的五角水母大量出现在该季,其他月份均未发现,此外,如数量虽少但各月均可见的有桡足类的中华哲水蚤、瘦尾胸刺水蚤和近缘大眼水蚤,毛额类的娇嫩箭虫和百陶箭虫,被囊类有软拟桶海樽和长尾住囊虫,水母类有四叶小舌水母和藪枝水母等。优势种中除五角水母均匀分布外,鸟喙尖头蚤在中部水域的出现率比较高,而异体住囊虫则在大鹏澳及其邻近水域较密集。

夏季 是数量的次高峰期,优势种除枝角类的鸟喙尖头蚤外,尚有桡足类的红纺锥水蚤,毛额类的娇嫩箭虫,被囊类的软拟桶海樽以及水母类的拟细浅室水母和樱虾类的中型莹虾等,其次常见的尚有刺尾纺锥水蚤、微刺哲水蚤、普通波水蚤、瘦歪水蚤、韩森莹虾、小形箭虫、肥胖箭虫、异体住囊虫、长尾住囊虫等。其中软拟桶海樽主要密集在东南部,相似的有如毛额类的小形箭虫和肥胖箭虫以及韩森莹虾等,仅出现在本季的是精美莹虾,集中分布在东南水域,尤其是辣甲岛西部。

秋季 该季为密集期,大量出现在本季的主要有桡足类的次厚真哲水蚤和微刺水蚤,枝角类有鸟喙尖头蚤、毛额类的肥胖箭虫和小形箭虫等,其次有软体动物的棒笔帽螺、桡足类的瘦歪水蚤、驼背隆哲水蚤和奥氏胸刺水蚤以及韩森莹虾和中型莹虾等。主要出现在本季的种类有普通波水蚤、小齿桶海樽以及尖刺唇角水蚤和小型唇角水蚤等。其中鸟喙尖头蚤为主要优势种,全海域均有分布,其除了密集在东部水域外,西部大鹏澳及邻近水域其分布量也较密。

2. 种类结构

尽管枝角类在本海区是一个小类群,但其优势的数量为其与毛额类、被囊类以及桡足类等在本区形成了优势的主体架构,在上述中已谈及各季的组成,但从表6可更清晰直观地看到各季度基本均以枝角类、毛额类和被囊类的种为主体,在不同季节分别有桡足类、樱虾类或水母类等组成季度的主体结构,而主要种类在各季则有所不同,特别是水母类的动物种类,经常在某时期较集中地出现,成为该期的优势或常见种,如五角水母集中在春季出现,为该季的主要种,二手筐水母和班芮氏水母,则为较常见于冬季或冬末春初,又如在桡足类中,红纺锤水蚤在夏季大量出现而为优势种;微刺哲水蚤和次厚真哲水蚤的密集期出现在秋季,组成该季的优势种之一,因此,本区种类组成的结构特征是以枝角类、毛额类和被囊类为主体,组成各期不同的主体结构。

表6 主要种的季节分布及属性

种 类	冬	春	夏	秋	属 性
鸟喙尖头蚤	+++	+++	+++	+++	沿岸热带亚热带种
肥胖箭虫	+++	+++	++	+++	外海高温高盐广布种
软拟桶海樽	+++	++	+++	+	广温盐广布种
娇嫩箭虫	+++	+	+++	++	沿岸暖水性种
中华哲水蚤	+++	++			沿岸暖温带低盐种
异体住囊虫	++	+++	++	++	沿岸暖水性种
五角水母		+++			沿岸暖温带低盐种
韩森莹虾			+++	++	沿岸热带亚热带低盐种
红纺锤水蚤	+	+	+++	+	热带亚热带
拟细浅室水母			+++	+	热带亚热带种
中型莹虾	+	+	+++	++	高温广盐种
小形箭虫	++		++	+++	沿岸热带亚热带暖水种
微刺哲水蚤	++		++	+++	沿岸暖温带种
次厚真哲水蚤	++		+	+++	暖温带种
长尾住囊虫	++		++	++	沿岸暖水性种
瘦歪水蚤	++		++	++	沿岸暖温带种
圆囊箭虫	++		++	+	沿岸暖水性种
锥形宽水蚤	++		++		沿岸热带亚热带种
班芮氏水母	++				沿岸暖水性种
精致真刺水蚤	++				暖温带
二手筐水母	++				沿岸暖温带种
球形侧腕水母	++		+	+	沿岸暖水性种
四叶小舌水母	++	+			沿岸暖温带种
刺尾纺锤水蚤	+		++		河口内湾
双生管水母	+			++	沿岸低盐种
棒笔帽螺			+	++	高温低盐种
百陶箭虫	+			++	沿岸暖水性种
驼背隆哲水蚤				++	沿岸暖温带种
奥氏胸刺水蚤				++	沿岸暖水性种
瘦尾胸刺水蚤	+	+			沿岸暖温带种
细颈和平水母	+				沿岸暖温带种

3. 个体结构

生物量的年均值为 $71.2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，数量的年均值为 $484.2\text{个}\cdot\text{m}^{-3}$ ，浮游动物个体重量的年平均量则为 $0.328\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ 。全年各月均值在 $0.064\sim 0.563\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ 之间，均值的级差较大，5月以后下半年的均值 $< 0.200\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ ，其中 $< 0.100\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ 的分别为8月、10月和1991年12月，均值在 $0.100\sim 0.200\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ 的有5~7月和9月以及11月； $> 0.200\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ 均出现在1990年12~4月，3月份的均值最高，达 $0.933\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ ，其后均值急降至8月的 $0.092\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ ，由此看到浮游动物上半年的体形较大，而下半年的体形则较小(见图9)。各站浮游动物个体重量的年均值则较均匀，除 st. 1 和 st. 5 外，其余各站的均值在 $0.200\sim 0.300\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ 之间，st. 1 为 $0.0364\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ ，st. 5 最高，达 $0.767\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ ，特别是3月份，个体均值高达 $5.031\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ ，2月和4月的平均值也 $> 1.000\text{mg}\cdot\text{个}^{-1}$ (见图10)。所以本海区的浮游动物个体以小型的为主，例如优势种群中枝角类的鸟喙尖头蚤、桡足类的微刺哲水蚤等均为小型的浮游动物，冬、春季节的浮游动物体形较大的类群增多，并较集中地分布在北部近岸水域。

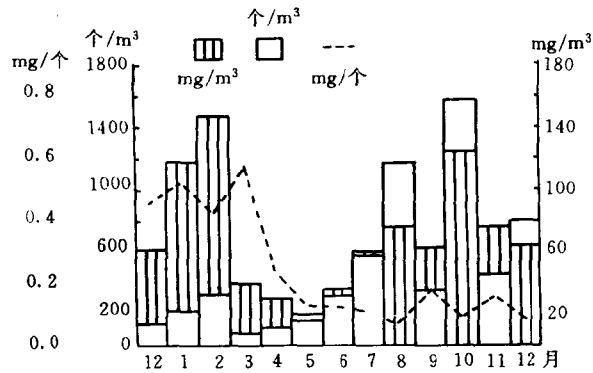


图9 浮游动物体形的季节变化

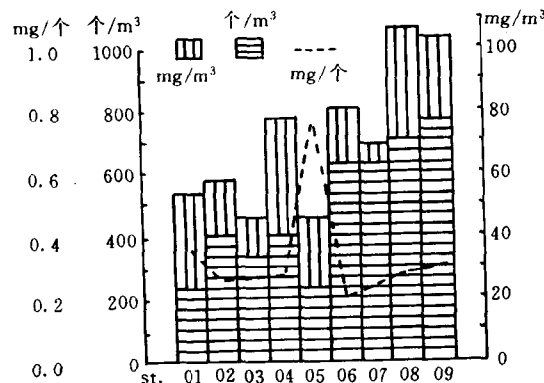


图10 浮游动物体形的站区变化

4. 食性结构

浮游动物的食性主要可分为四类：肉食性、植食性、滤食性和杂食性。在浮游动物中的水母类和毛颚类为较典型的肉食性类群，而在桡足类有部分类群亦以动物饵料为主。例如有唇角水蚤、长足水蚤以及剑水蚤等，此外，尚有磷虾类和樱虾类等，以及在约占浮游动物重量

10%幼虫类中,有部分种类为阶段性的肉食性类型。较典型的例如有甲壳类的长尾类短尾类和歪尾类等幼虫,在前期以植食性为主,而中期甚至在前中期便以动物性饵料为主,因此,加上偏肉食性的类群如唇角水蚤(*Labidocera*)、长腹剑水蚤(*Oithona*)等,以消耗动物性饵料的浮游动物类群便占相当的比例,成为调查水的重要类群。植食性方面,较典型的类群主要有鸟喙尖头蚤以及住囊虫等,这些种类实是以滤食器捕食,所以也可属滤食性类群。由此在滤食小型的浮游藻类的同时,细菌及微小有机颗粒亦成为其滤食的饵料,异体住囊虫便属此类型,此外,在桡足类中例如拟哲水蚤和隆哲水蚤等亦为植食性的类群。在本海区,枝角类是全年的优势类群,数量占浮游动物总量的37.4%,被囊类占12.2%,二者便约占总量的50%,并未含桡足类及幼虫类等的植食性类群,因此本水域的食性结构是以植食性为主,其次是肉食性。

5. 属性结构

桡足类、枝角类、毛额类、被囊类和水母类等是本水域主要的五大类群,现将其在我国沿海分布北限的种数列表7,其中分布到黄海以北的有67种,东海以南的37种,显示本调查区的种类以广布于我国近海的种为主,其种类的分布与外部密切相关。这里的黄海水域包括南黄海的暖水区,东海包括台湾海峡,特别是水母类,有许多种(约有10种)仅北布至台湾海峡(见表8),为暖水性较强的种类。同时,表6中罗列的31种常见和主要种类,其中属性为暖温性的有11种,暖水性以及热带亚热带的种类共17种,也呈现了本水域浮游动物以暖水性种为主体,在总体上组成了热带亚热带群落的结构特性。

表7 主要类群的向北分布种数

分布	桡足	枝角	毛额	被囊	水母	总计
南~渤海	16	2		1	10	29
南~黄海	19	1	6	5	7	38
南~东海	11		1		5	17
南~福建	1		2		8	11
大亚湾					2	2
合计	47	3	9	6	32	97

表8 北布至福建水域的部分种出现期

种 类	月 份												
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
顶突介穗水母			+	+	+	+	+			+			
双高手水母	+				+	+		+					
真瘤水母	+				+	+			+				
中华异水蚤	+				+								
异短小帽水母					+				+				
黑点叶剑水蚤		+			+				+				
大腺真唇水母					+								
印度感棒水母					+								
波状感棒水母								+					
热带真唇水母			+										
合计	3		1		2	1	8	3	2	3	1	2	

在表 8 中有些种是本区的稀见种,例如,桡足类的中华异水蚤(*Acartiella sinensis*)和水母类的热带真唇水母(*Eucheilota tropica*)以及印度感棒水母(*Laodicea indica*)和波状感棒水母(*L. undulata*)等,但值得注意的是这些稀见种进入大亚湾在大鹏澳水域出现的时间较集中地在夏季,尤其是在 7 月,这是否显示该时期尚有暖水性海流进入大亚湾,这尚待今后进一步研究。

二、讨论

本海区的优势种明显,但形成优势的并不是在种类上占优势的类群,如桡足类和水母类等,其仅有个别种在全年的某时期占次要的优势,例桡足类中的红纺锥水蚤(*Acartia erythraeae*)和水母类的细拟浅室水母(*Lensia subtiloidea*)则主要密集在夏季,秋季主要有桡足类的微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)和次厚真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)等。而全年占优势的则分别为本海区不占优势的小类群,例如,枝角类的鸟喙尖头水蚤(*Penilia avirostris*)以其数量大于浮游动物总量的 37% 而占绝对优势,尽管春季是浮游动物的低谷期,但其仍占月总量的 24% 以上,成为各季的优势种,再则便是毛额类的肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、娇嫩箭虫(*S. delicata*)和小形箭虫(*S. neglecta*)和被囊类的软拟桶海樽(*Dolioletta gegenbauri*)以及异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)和长尾住囊虫(*O. longicauda*)等,这两类的种常交替地形成季节的优势类群,如肥胖箭虫在夏季为低谷期,此时娇嫩箭虫的数量上升成了该季的优势,小形箭虫和圆囊箭虫的数量也逐渐上升,至秋季成该二种的高峰期。所以本海区的主要优势种明显,其它优势种有季节性的变动,这结果与 1990 年前有所变化,前期对本海区被列为常见优势种类的小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、肥胖三角蚤(*Evadna tergestina*)和小长腹剑水蚤(*Oithonana*)等,于本次调查中则为稀见种或未发现的种类。

全年均为优势的鸟喙尖头蚤,以及毛额类的肥胖箭虫、娇嫩箭虫和被囊类的软拟桶海樽等,是南海陆架水域常见的优势种。例如,鸟喙尖头蚤在南海陆架区为优势种,在近岸水域经常形成高密区,如在夏季,该种与锥形宽水蚤(*Temora turbinata*)和次厚真哲水蚤等密集在粤东近岸水域,秋季,大亚湾东邻的红海湾也常形成鸟喙尖头蚤的高密区,伴随出现的主要种类尚有微刺哲水蚤、锥形宽水蚤等,除次以外,在南海东北部水域常形成优势的种类如有:桡足类的普通波水蚤、次厚真哲水蚤等,毛额类的有肥胖箭虫和粗壮箭虫和陆架近岸有百陶箭虫等。这些种类与大亚湾大鹏澳水域常见种类极其相似,同时从表 9 中看到,南海东北部水域在冬春季和夏秋季某些常见的主要种与调查水域相比较,无论调查水域在种类或出现期均有较强的相似度。

尽管表 9 中涉及的某些种类在数量上并不占优势,但其出现期与东北部水域的非常吻合冬春季即东北季风期,南海东北部水域出现的主要种,表 9 中也相应地显示出其有出现,其它则未出现或少见。例如中华哲水蚤和拟哲水蚤在该季大量出现,其它时期则少见或未见,又如瘦尾胸刺水蚤和中华假磷虾仅在这时期出现等;夏秋季同样如此,例如南海东北部的主要种的锥形宽水蚤、韩森莹虾、中型莹虾和棒笔帽螺等,调查水域在同期也大量出现,在这些种内甚至为某时期的优势类群之一(见表 9);肥胖箭虫是南海东北部水域的主要优势种之一,本调查水域亦是优势之一。优势种和季节性的相似性显示了和南海的相关性,因此,除了东北风盛行期有沿岸流进入大亚湾外,西南盛风期可能仍有较强的外海水进入大亚湾。

表9 种类及其出现期对照表

南海东北部水域		调查水域												
季节	主要种	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
冬 春	肥胖箭虫	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅
	中华哲水蚤		卅	卅	+	+	+	+		+	+		+	+
	拟哲水蚤	+	+	卅	+	+	+	+		+	+		+	卅
	瘦尾胸刺水蚤	+	+	+	+	+	+		+					
	中华假磷虾	+		+						+				
	粗壮箭虫									+				
夏 秋	肥胖箭虫	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅	++	++	卅	卅	卅	卅
	锥形宽水蚤	+	+	+			+		+	卅	+	卅	+	+++
	韩森莹虾	+	+				+	+	卅	卅	+	卅	+	
	中型莹虾	+	卅	+		+	+	+	卅	卅	卅	+	卅	+
	棒笔帽螺	+					+		卅	+	+	卅	+	+
	异尾宽水蚤	+	+			+	+	+			+	+	+	+
	椭圆形长足水蚤										+	+	+	+
	厚真哲水蚤		+	+							+			
	尖刺唇角水蚤	+									+	+		
	小哲水蚤													+

注：“+”为1~49；“卅”为50~100；“卅”为>100。 单位：个·m⁻³

三、小结

1. 本调查水域共拖获浮游动物 145 种，分别属 11 大类，桡足类有 52 种，占 35.9%，水母类 35 种，占 24.1%，幼虫类 20 种，为 13.8%，毛颚类和被囊类各有 9 种和 8 种，分别占 6.2% 和 5.5%，其它各类均 < 5%。

2. 浮游动物生物量的年平均值为 71.1mg·m⁻³，月平均最高值出现在 2 月份，最低值在 5 月份，因此，生物量的高峰期为冬、秋季节，低谷期则为春季。数量的年平均值为 494.2 个·m⁻³。秋季的数量值最高，为 795.1 个·m⁻³。春季的数量值最低，仅 123.3 个·m⁻³。浮游动物分布密度的季节变化相同于生物量，亦为典型的单峰型，不同的是分布密度的高峰期在秋、夏季，低谷期为春季，而生物量的高峰期则是在冬、秋季，春季同样为低谷期。

3. 本海区的优势的主要种为鸟喙尖头水蚤 (*Penilia avirostris*)，其次有软拟桶海樽 (*Doliolotta gegenbauri*)、肥胖箭虫 (*Sagitta enflata*) 和娇嫩箭虫 (*S. delicata*) 等；调查区东南部为主要分布水域，为大部分主要种的密集区，西部及北部水域密集的种类较少，年分布呈现出东高西低、南高北低的规律性。

4. 该水域浮游动物组成以热带亚热带种为主，呈优势的和常见种有较明显的季节性，种类的变动、结构和组成的变化均受外海海流所制约。

参考文献

- [1] 陈清潮. 1985. 浮游动物. 南海海区综合调查研究报告(二). 北京: 科学出版社, 357~378
- [2] 张谷贤, 陈清潮. 1991. 南沙群岛海区春夏期间的毛颚类, 南沙群岛及其临近海区海洋生物研究论文集(2), 北京: 科学出版社, 102~122
- [3] 章淑珍. 1992. 红海湾—碣石湾浮游动物的数量分布和群落结构. 广东海岛调查研究文集(I). 广东科学出版社, 119~128
- [4] 连光山、林玉辉等. 1990. 大亚湾浮游动物群落的特征. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 1990. 274~281
- [5] 林茂. 1990. 大亚湾海樽类的生态. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 390~396
- [6] 戴燕玉. 1987. 大亚湾毛颚类的分布. 大亚湾海洋生态文集(I). 北京: 海洋出版社, 117~122
- [7] 黄加琪, 朱长寿等. 1991. 闽南—台湾浅滩渔场浮游动物的种类组成和数量分布. 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 432~439
- [8] 朱长寿, 黄加琪. 1991. 闽南—台湾浅滩渔场浮游桡足类的生态研究. 闽南—台湾浅滩渔场上升流生态系研究. 北京: 科学出版社, 440~455
- [9] 陈栩, 黄加琪, 朱长寿等. 1991. 闽南—台湾浅滩渔场毛颚类的生态研究. 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 504~513
- [10] 陈雪梅, 尹健强等. 1989. 浮游动物. 大亚湾环境与资源. 见, 徐恭昭, 合肥, 安徽科学技术出版社, 175~192
- [11] 黄加琪, 陈钢, 许振祖. 1996. 大亚湾浮游动物食性研究, 研究年报, 第1期大亚湾海洋生物综合实验站), 北京: 科学出版社, 93~100

浮游动物名录

一、桡足类

- 红纺锤水蚤 *Acartia erythraea*
小纺锤水蚤 *Acartia negligica*
太平纺锤水蚤 *Acartia pacifica*
刺尾纺锤水蚤 *Acartia spinicauda*
中华异水蚤 *Acartiella sinensis*
驼背隆哲水蚤 *Acrocalanus gibber*
微驼隆哲水蚤 *Acrocalanus gracilis*
中华哲水蚤 *Calanus sinicus*
椭圆形长足水蚤 *Calanopia elliptica*
匙形长足水蚤 *Calanopia thompsoni*
伯氏平头水蚤 *Candacia bradyi*
微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper*
叉胸刺水蚤 *Centropages furcatus*
奥氏胸刺水蚤 *Centropages orsinii*
瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiremis*
近缘大眼剑水蚤 *Corycaeus affinis*
平大眼剑水蚤 *Corycaeus dahli*
红大眼剑水蚤 *Corycaeus erythraeus*
美丽大眼剑水蚤 *Corycaeus speciosus*
大眼剑水蚤 *Corycaeus* spp.
厚真哲水蚤 *Eucalanus crassus*
次厚真哲水蚤 *Eucalanus subcrassus*
精致真刺水蚤 *Euchaeta concinna*
尖额谐猛水蚤 *Euterpina acutifrons*
尖刺唇角水蚤 *Labidocera acuta*
双刺唇角水蚤 *Labidocera bipinnata*
后截唇角水蚤 *Labidocera detrucata*
真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*
小型唇角水蚤 *Labidocera minuta*
开屏唇角水蚤 *Labidocera pavo*
小毛猛水蚤 *Microsetella norvegica*
小哲水蚤 *Nanocalanus minor*
纤细小哲水蚤 *Nanocalanus parvus*
短角长腹剑水蚤 *Oithona brevicornis*
羽长腹剑水蚤 *Oithona plumifera*
竖长腹剑水蚤 *Oithona rigida*

筒长腹剑水蚤 *Oithona simplex*
长腹剑水蚤 *Oithona* spp.
隆剑水蚤 *Oncaea* spp.
针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*
厚额拟哲水蚤 *Paracalanus crassirostris*
瘦拟哲水蚤 *Paracalanus gracilis*
小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*
阔节角水蚤 *Pontella fera*
瘦尾筒角水蚤 *Pontellopsis tenuicauda*
叶剑水蚤 *Sapphirina nigromaculata*
叶剑水蚤 *Sapphirina* spp.
异形宽水蚤 *Temora discaudata*
柱形宽水蚤 *Temora stylifera*
锥形宽水蚤 *Temora turbinata*
瘦歪水蚤 *Tortanus gracilis*
普通波水蚤 *Undinula vulgaris*

二、枝角类

肥胖三角蚤 *Evadne tergestina*
鸟喙尖头蚤 *Penilia avirostris*
球形圆囊蚤 *Podon schmackeri*

三、介形类

齿形海萤 *Cupridima dentata*
亨氏海萤 *Cupridima hanseni*
针刺真浮萤 *Euconchoecia aculeata*

四、磷虾类

中华假磷虾 *Pseudeuphausia sinica*

五、樱虾类

红毛虾 *Acetes erythraeus*
日本毛虾 *Acetes japonicus*
韩森莹虾 *Lucifer hanseni*
中型莹虾 *Lucifer infermedius*
精美莹虾 *Lucifer larrae*

六、糠虾类

乳白刺糠虾 *Acanthomysis laticauda*
四刺刺糠虾 *Acanthomysis quadrispinosa*

齿突菲糠虾 *Afromysis dentisinus*
刺尾狼糠虾 *Lycomysis spinicauda*
东方棒眼糠虾 *Rhopalophthalmus orientali*
东方浅水糠虾 *Tenagomysis orientalis*

七、软体动物

尖笔帽螺 *Creseis acicula*
棒笔帽螺 *Creseis clava*
蝴蝶螺 *desmopterus papilio*
大口明螺 *Ailanta lesueuri*
明螺 *Atlanta* spp.

八、毛颚类

太平洋橈虫 *Krohnitta pacifica*
百陶箭虫 *Sagitta bedoti*
娇嫩箭虫 *Sagitta delicata*
肥胖箭虫 *Sagitta enflata*
凶形箭虫 *Sagitta ferox*
圆囊箭虫 *Sagitta johorensis*
小形箭虫 *Sagitta neglecta*
正型箭虫 *Sagitta regularis*
粗壮箭虫 *Sagitta robusta*

九、被囊类

长吻布氏纽海樽 *Brooksia rostrata*
软拟桶海樽 *Dolioletta gegenbauri*
小齿桶海樽 *Doliolum denticulatum*
褶囊类 *Fritillaria* spp.
异体住囊虫 *Oikopleura dioica*
梭形住囊虫 *Oikopleura fusiformis*
长尾住囊虫 *Oikopleura longicauda*
红住囊虫 *Oikopleura rufescens*
住囊虫 *Oikopleura* spp.
双叉贫肌纽海樽 *Pegea confoederata*
梭形纽海樽多刺亚种 *Salpa fusiformis aspera*
双尾萨利亚 *Thalia democratica*
双尾萨利亚多刺亚种 *Thalia democratica echinata*

十、幼虫类

辐轮幼虫 *Actinotrocha* larva
耳状幼虫 *Auricularia* larva
海虾蛄幼虫 *Alima* larva
藤壶类幼虫 *Balanus* larva
双壳类幼虫 *Bipinnaria* larva
短尾类幼虫 *Brachyura* larva
桡足类幼虫 *Copepoda* larva
双囊幼虫 *Cyphonautes* larva
海胆类幼虫 *Echinopluteus* larva
磷虾类幼虫 *Euphausiacea* larva
腹足类幼虫 *Gastropoda* larva
瓣鳃类幼虫 *Lamellibranchia* larva
舌状幼虫 *Lingula* larva
长尾类幼虫 *Macruran* larva
糠虾类幼虫 *Mysidacea* larva
蛇尾类幼虫 *Ophiopluteus* larva
毛蟹类幼虫 *Pilidium* larva
多毛类幼虫 *Polychaeta* larva
磁蟹类幼虫 *Porcellana* larva
口足类幼虫 *Stomatopoda* larva

十一、水母类

半口壮丽水母 *Aglaura hemistoma*
双高手水母 *Bougainvillia bitentaculata*
束状高手水母 *Bougainvillia ramosa*
扭歪爪室水母 *Chelophyes contorta*
双生管水母 *Diphyes chamissonis*
短腺和平水母 *Eirene breviigona*
锡兰和平水母 *Eirene ceylonensis*
六幅和平水母 *Eirene hexanemalis*
细颈和平水母 *Eirene menoni*
和平水母 *Eurene* spp.
大腺真唇水母 *Eucoilota macrogona*
黑球真唇水母 *Eucoilota menoni*
奇异真唇水母 *Eucoilota paradoxia*
热带真唇水母 *Eucoilota tropica*
真唇水母 *Eucoilota* spp.
耳状囊水母 *Euphysa aurata*
贝氏真囊水母 *Euphysora bigelowi*
真瘤水母 *Eutima levuka*

印度感棒水母 *Laodicea indica*
波状感棒水母 *Laodicea undulata*
拟细浅室水母 *Lensia subtiloides*
四叶小舌水母 *Liriope tetraphylla*
五角水母 *Muggiaea atlantica*
蕺枝水母 *Obelia* spp.
松伞形水母 *Petasila asymmetrica*
半球杯水母 *Phialidium hemisphaericum*
卡拟杯水母 *Phialucium carolinae*
球形侧腕水母 *Pleurobranchia globosa*
芽介穗水母 *Podocoryne apicata*
小介穗水母 *Podocoryne minima*
细小介穗水母 *Podocoryne minuta*
芽口枝管水母 *Proboscidactyla ornata*
八班芮氏水母 *Rathkea octopunctata*
二手筐水母 *Solmundella bitentaculata*
峭状镰螅水母 *Zanclaea costata*

大亚湾西南部的底栖生物分布

沈寿彭 李楚璞

底栖生物包括底栖动物和底栖植物,底栖植物中除微型底栖植物如底栖硅藻类等较普遍地分布在水底外,大型底栖植物包括海藻类和海草类,均以潮间带或潮下带为主要生长分布区,在底栖生物常规调查中属少见的类群,一般进行专题调查,底栖动物则为大量出现的类群,所以进行底栖生物调查的分析研究时,底栖动物是探讨的主要研究对象,因此,所谓底栖生物调查,明确地应称为底栖动物调查。

底栖生物根据其体形的大小,可分为微型底栖生物(*Microbenthos*)、小型底栖生物(*Meiobenthos*)、中型底栖生物(*Mesobenthos*)和大型底栖生物(*Macrobenthos*)等。常规的底栖生物调查常采用采泥和拖网两种取样手段,采泥器所得的样品以中型底栖生物为主,大部分为定居型种类,拖网获取的标本则以大型的底栖生物为主,除了定居型的种类外,常拖获漫游于底表的种类和活动能力较强的如虾、蟹类以及某些鱼类等类群。在样品分析过程中,常常由于采泥器有较确切的取样面积,而将其作为生物量和栖息密度的定量样品进行分析处理,对拖网样品,则由于拖曳面积的不易确定性,常作为定性资料进行分析处理,作为底栖生物生态学研究时,这二种取样方法应视为两者不可缺一的手段。

本文的材料来源于采泥和拖网,采泥器为“大洋50”型,底拖网为阿氏拖网,采泥样品除作量的分析外,拖网样品并与采泥样品的种类共同进行有关生态学的分析。调查按季度月进行,全年四次,采泥在调查海区共设9个测站,拖网只进行4个站区的拖曳。

一、结果

在底栖生物调查的采泥取样中,由于受地形变化而影响到某些测站的取样效果,例如st.03站为岩石区,由此致使该测站常成为无取样记录,亦有个别测站由于采得石珊瑚类而亦为无量记录,因此在分析中均按未取样处理。

(一) 采泥样品

1. 生物量的季节变化及分布

本调查水域底栖生物的生物量年平均值为 $317.9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。全年各测站的生物量变化幅度较大,最低仅 $0.4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,最高达 $1651.2\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。季平均值最高的为春季,达 $589.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,夏季7月份的生物量最低,为 $121.6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,秋季和冬季的量值相近似,于 $260.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右,基本为单峰型的季节变化。

各测站的年平均生物量在 $22.3\sim 714.4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间, $<60.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 的测站有三个,分别为st.01、st.03和st.09,其余各站均 $>250.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,其中有三测站的量值 $>500.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,分别为 $551.8\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (st.02)、 $642.9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (st.05)和 $714.4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (st.08),为年均值最高的站区(见图1)。

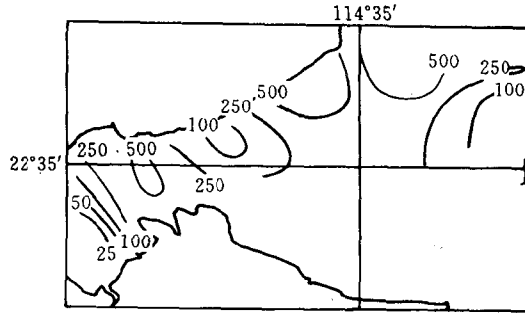


图1 年均生物量分布图

冬季 生物量的变化幅度在 $29.0 \sim 818.2 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, $< 35 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的测站为 st.01 和 st.04、st.09 等三个站, 分别位于大鹏澳和调查区中南部和大辣甲北部水域, 最高的为 st.05 站, 即北部近岸水域, 量值达 $818.2 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其余各站则在 $175 \sim 440 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间。所以, 位于调查区偏北水域的生物量较高, 为该季的高生物量区, 见表1。

表1 栖息密度与生物量

季 度	项 目	st.									均值
		901	902	903	904	905	906	907	908	909	
冬	密度	200	920		200	6980	220	1640	1100	520	1472
	数量	32.8	229.0		31.8	818.2	29.0	439.6	336.0	174.0	260.4
春	密度	400	1660	120	2280	740	1320	340	6120	100	1453
	数量	23.6	560.0	120.0	688.8	500.6	663.4	1058.2	1651.2	35.6	589.0
夏	密度	100	360		380	1440	640	60	400	100	435
	数量	10.2	284.6		69.0	190.8	259.4	0.4	155.8	3.0	121.6
秋	密度		100	100		40		20		80	68
	数量		1133.6	1.0		66.2				1.8	300.7
总计	密	233	760	110	953	2300	723	515	2540	200	857
年均	量	22.3	551.8	60.5	263.2	642.9	317.3	496.0	714.4	55.8	317.9

春季 本季为高生物量期, 生物量幅度在 $23.6 \sim 1651.2 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, $< 35 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的测站有 st.01 和 st.09, 此外, 除 st.03 站为 $120.0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 外, 其余各测站的生物量均在 $> 500.0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中 $> 1000.0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的测站有 st.07 和 st.08, 因此本季除了大鹏澳和辣甲岛西部水域为低生物量区外, 其余各测站的生物量均较高。高值区出现在东北部水域。

夏季 本季为低生物量期, 变化幅度在 $0.4 \sim 284.6 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, $> 250 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的有 st.02 和 st.06 站, 其次为 st.05 和 st.08, 均约 $180.0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右, $< 10 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 的测站有 st.01、st.07 和 st.09, 为本区的低生物量水域。

秋季 本季的生物量很不均匀, 最高达 $1133.6 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, 最低的几乎为零, 如 st.07 仅采得石珊瑚类, 并无其它生物, 由于其不称量而为无量记录。本季除 st.02 的生物量最高外, 其余的均低于 $100 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, st.3 和 st.9 的生物量则在 $1.0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \sim 2.0 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间。

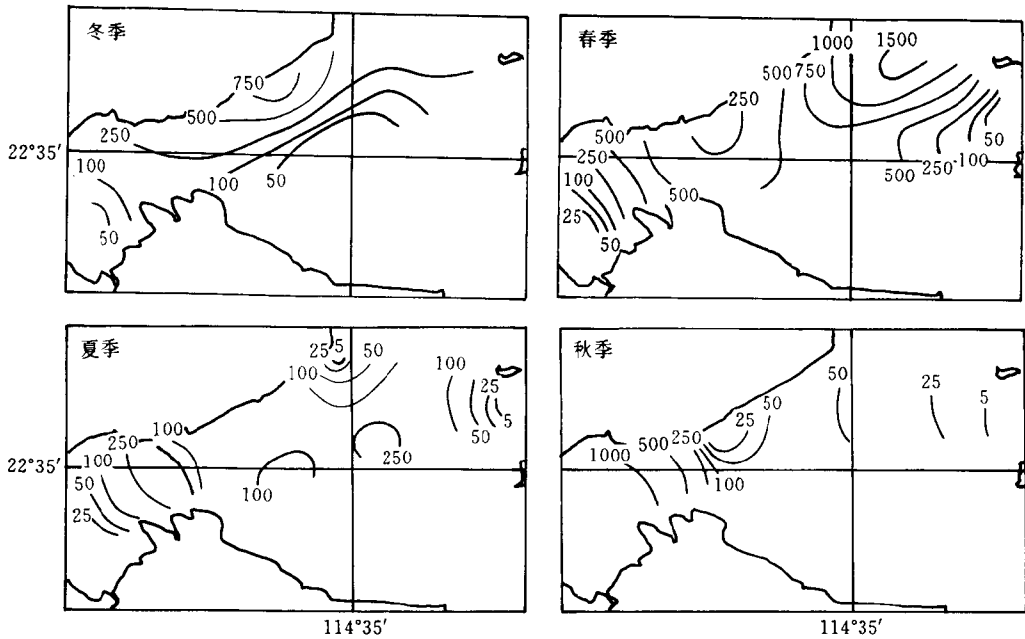


图2 生物量季节分布图

2. 栖息密度的季节变化和分布

本水域底栖生物栖息密度的年变化较大, 季平均值在 $68 \sim 1472 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 年平均值为 $855 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 显示本区的栖息密度较大。冬季和春季的栖息密度最高, 均 $>1400 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 夏季和秋季的数量急降, 低于 $500 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 秋季更甚, 栖息密度 $<100 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 所以, 夏、秋季为栖息密度的低值期(图3)。

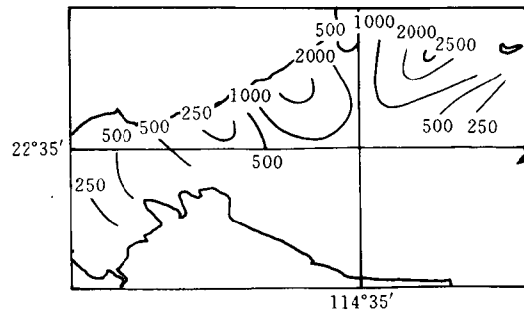


图3 年平均栖息密度分布

在各测站栖息密度的年平均值中, 除个别站如 st.08 和 st.05 均 $>2000 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 外, 其余各测站则比较均匀, 分别在 $110 \sim 1000 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 其中 $<250 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 的测站有 st.01、st.03 和 st.09 三个测站, 为本水域的低密区。

冬季 季平均密度为 $1472 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 为高密度期, 各测站中除 st.03 未取到样品外, 栖息密度最高的为 st.05, 达 $6980 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 亦是全年栖息密度最高的站区, 最低为 $200 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 共有三个测站, 分别为 st.01、st.04 和 st.06, 分别在大鹏澳和调查区中南部水域; 高密站位于东北部水域的 st.07 和 st.08, 其数值均 $>1000 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ (图4)。

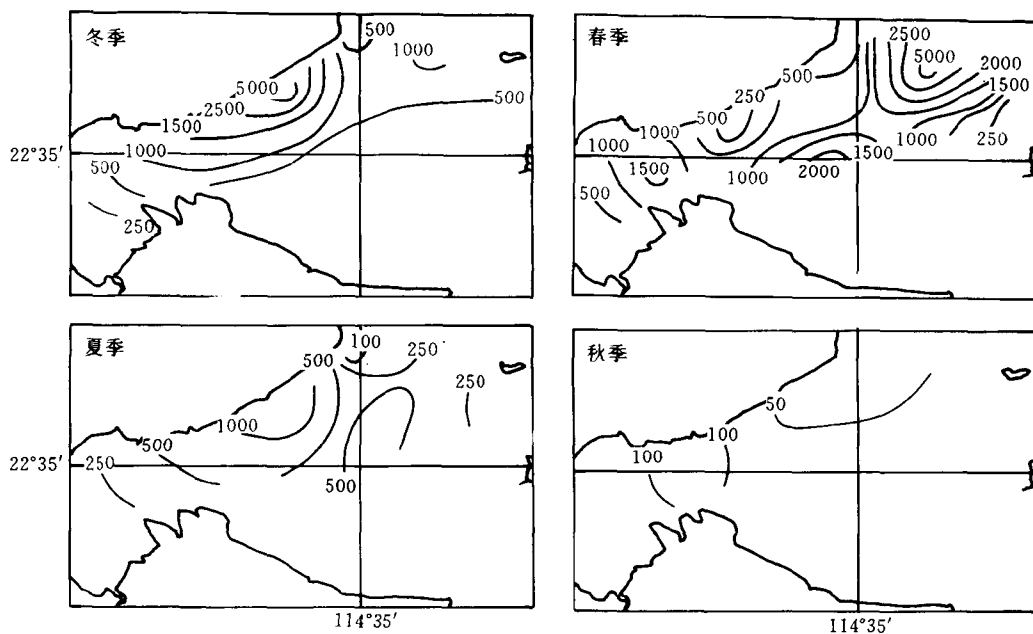


图4 底栖生物各季栖息密度分布图

春季 为本海区的次高密期，季平均密度仅次于冬季，达 $1453.0 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。本季位于北中部近岸水域的 st.08，其栖息密度最高，达 $6120.0 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ；密度在 $1000 \sim 2000 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 的测站有 st.04、st.02 和 st.06，其余各站均低于 $400.0 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，栖息密度最低的是 st.03，仅 $120 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

夏季 该季的栖息密度激降为 $435 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，栖息密度最高的 st.05 测站，即位于北中部近岸水域，其密度亦仅为 $1440 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，但仍为该季度的高密区。其余各站的密度值均低于 $640 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，最低仅 $60 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ (st.07)，大鹏澳内和辣甲岛西部水域均为 $100 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，其与 st.07 组成本季的低分布区。

秋季 本季样品的密度值为全年的低极，栖息密度最高的 st.02 也仅为 $100 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，在其它各季节栖息密度均较高的 st.05 站区，本季亦仅为 $40 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ ，密度值最低的站区仅 $20 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3. 生物类群的组成及分布

在本调查水域全年采集的样品中，出现的生物类群共有 11 个大类，包括腔肠动物、海绵动物、苔藓动物、蠕虫类、星虫类、多毛类动物、软体动物、甲壳类动物、棘皮动物、鱼类以及其它类群等，但这些类群的量值的差幅极大，11 个类群量值的百分率在 $0.07\% \sim 57.79\%$ 之间，其中量值最高的是软体动物和棘皮动物，分别占 57.79% 和 25.44% ，其次分别为多毛类和腔肠动物，各占 2.64% 和 1.95% ，其它各类别均低于 0.9% ，四大类群中的甲壳类动物其量值亦只占 0.36% ，因此，该水域的生物量中以软体动物和棘皮动物为主要类群。

采泥样品中的底栖生物组成，常见的种类有：多毛类的双鳃内卷齿蚕 (*Aglaophamus dibranchis*)、弦毛内卷齿蚕 (*A. lyrochaeta*)、利波巢沙蚕 (*Diopatra neapolitana*)、岩虫 (*Marphysa purcellana*)、梳鳃虫 (*Terebellides stroemii*)、树蛭虫 (*Pista cristata*) 等；软体动物中的假奈拟塔螺 (*Tarricula nelliae*)、棒锥螺 (*Turritella bacillum*)、西格织纹螺 (*Nassarius siquijorensis*)、粗糙秀蛤 (*Veremolpa scabre*)、美叶雪蛤 (*Chione calophylla*)、布纹蚶 (*Arca decussata*) 等；甲壳类动物中有豆形短眼蟹 (*Typhlocarcinus villosus*)、毛盲蟹 (*Xenophtabmus pin-*

netheroides)等;棘皮动物有光滑倍棘蛇尾(*Amphioplus laevis*)、长腕双鳞蛇尾(*Ampioipholis loripes*)、凹裂星海胆(*Schizaster lacunosus*)等。在种类组成中多毛类占优,但在数量上则以软体动物为主,特别是双壳类的粗糙秀蛤和美叶雪蛤,其在数量上占了绝对优势,成为该区组成中的主要成员,但这类软体动物在采泥样品中的个体均较小,如粗糙秀蛤的平均重量为 $0.10\sim 0.23\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间。

表2 主要生物类群的出现率

类群	9012		9103		9107		9110		总	
	量	%	量	%	量	%	量	%	量	%
多毛	96.2	1.8	52.2	2.5	36.4	3.7	67.4	5.6	252.2	2.64
		38.2		20.7		14.4		26.7		
软体	4001.8	75.5	1855.4	89.1	614.4	63.1	9.4	0.8	6481.0	57.79
		61.7		28.6		9.5		0.1		
甲壳	16.2	0.3	11.8	0.6	5.2	0.5	1.2	0.1	34.4	0.36
		38.4		34.3		15.1		3.5		
棘皮	906.6	17.1	116.6	5.6	284.2	29.2	1124.6	93.5	2432.0	25.44
		37.3		4.8		11.7		46.2		
合计	2083.2	21.8	5301.8	55.5	973.2	10.2	1202.6	12.6	9559.8	

以下按四大类进行分述。

多毛类动物 其虽然出现率占第三位,但在总生物量中仅占2.64%,量值很小。在各季度中,秋季占生物量的比率最大,为5.6%,其次为夏季,占3.7%,冬季的比率最低,仅1.8%。但在出现率中,多毛类动物生物量的量值在冬季最高,占其年总量的38.2%,主要出现在大鹏澳,占其季总量的62.8%,其次是秋季,占26.7%,集中地出现在北部近岸水域的st.05站区,占其季总量值的95%以上,再则为春季,主要分布区为中部水域的st.04和东部的st.08站区,分别占其总量的31%和46%,夏季最低,仅为14.4%,主要分布区为中部水域的st.04和st.06,分别占总量值的35%和32%。

软体动物 该类的生物量占年总生物量的一半以上,在全年中,1991年10月的生物量最低,在底栖生物组成中仅占0.8%,而其余各季均较高,春季最高,占该季生物量的89.1%,其次为冬季和夏季,分别为75.5%和63.1%。虽然在底栖生物的组成中春季所占的比率最高,但在全年的分布中,出现率最高的则是冬季,占其年总量的61.7%,大量出现在北东部的st.05和st.07以及st.08水域,分布率在40%~20%之间,几乎为其总量的80%,其后出现率则逐季下降。春季的主要分布区为东北水域的st.08和st.07站区,分布率分别占40%和20%;夏季主要出现在st.06和st.08、st.05,分布率在30%~24%之间,秋季最低,仅占0.1%。由此显示出该主要分布区位于东北部水域的st.05、st.07和st.08站区。

甲壳类动物 其出现率仅为年总生物量的0.36%,但其各季度均有出现。其各季出现率分别以冬—春—夏—秋逐级下降,由38.4%→35%。该类各季的出现相差较大,大多时期仅少数测站有出现,冬季仅四个站有出现,但分布较均匀,几乎各占25%,春季的出现率较高,主要分布在中部的st.03和st.04站区,分别占其该季总量的41%和22%,夏季,在其分布的测站中量值最高的为北部近岸的st.05和辣甲岛西部水域的st.09站区,分布率各占35%,秋季仅在st.09站有发现。

棘皮动物 其总生物量占第二位,秋季的生物量最高,占该季生物量的93.5%,其次为夏季,占生物量的29.2%,春季最低,仅占5.6%。出现率最高的仍为秋季,占其年总量的

46.2%，其生物量的90%以上出现在大鹏澳的st.01站区，其次则为冬季，占总量的37.3%，分别出现在大鹏澳口和北部近岸的st.02和st.05，各占47%和34%；夏季的主要分布区在大鹏澳的st.01和东南部水域的st.06，各占65%和24%，春季仍为最低，仅占4.8%，其本季的生物量集中地分布在大鹏澳的st.01。

(二) 拖网样品

1. 种类组成

本海区全年仅进行四个航次的拖网，经初步鉴定约有250种，共有12个大类，包括拖获的瓦氏马尾藻(*Sargassum vachellianum*)、囊藻(*Colpomenin sinuosa*)和茎苔(*Caulibugula* spp.)等四种海藻，其中种类较多的主要有多毛类(34种)、软体动物(73种)、甲壳动物(52种)、棘皮动物(19种)和鱼类(34种)等五大类，这五大类的种数便占总种数的84.4%，其余的尚有腔肠动物、苔藓类动物、星虫、缢虫以及头索类的柱头虫等。因此，以上五大类为拖网样品生物组成的主要类群。

多毛类 在拖网中该类在数量上所占比例不大，种类也较少，但随网而上的多毛类的泥管数量不少，较常见的种类除了采泥样品中出现的利波巢沙蚕和梳鳃虫的数量较多外，尚有缨鳃沙蚕、蛰龙介(*Trichobranchas glacialis*)以及海稚虫类等。

软体动物 本类动物为本海区的主要类群，其种类多数量大，其中数量最大的为双壳类的粗糙秀蛤，年获量高达13万个以上，其次有假奈拟塔螺、美叶雪蛤，它们的年获量均超过1000个，再则有联珠蚶(*Mabellarca cousoniata*)、西格织纹螺、纹斑巴非蛤(*Paphia lirata*)、白带三角口螺(*Trigonaphera bocageana*)、棒锥螺和牡蛎(*Ostrea* spp.)等，其它如比那蚶(*Arca binakayanensis*)、山黛豆螺(*Latirus* spp.)、中国小铃螺(*Minolia chinensis*)、泥蚶(*Arca granosa*)、毛蚶(*Arca suquinjocensis*)、双层笋螺(*Diplomerina duplicata*)、浅缝骨螺(*Murex trepa*)以及红带织纹螺(*Na. succi-nctus*)等，这些种的数量虽少，但仍为较常见的种类。

甲壳类动物 该类出现的种类数量仅次于软体动物，其中数量较大出现率亦较高的种类主要有长尾类的宽突赤虾(*Metapenaeopsis palminsis*)和短尾类中的大亚湾梭子蟹(*Portunus dayawanensis*)、伪装关公蟹(*Dorippe facchino*)和藤壶(*Balanus* spp.)类等，其年数量均>100个，其次，常见的种类有矛形梭子蟹(*Po. hastatoides*)和毛盲蟹(*Typhlocarrinus villocus*)以及蜉类中的如异齿蜉(*Charybdis anisidon*)变态蜉(*Ch. vaviagata*)疾进蜉(*Ch. vadorum*)和细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*)以及毛虾类(*Acetes* spp.)等。

棘皮动物 该类出现的种类较少，总获量亦较低，其中数量较大的常见种类主要有翘棘真蛇尾(*Ophiura pteracantha*)、扁拉文海胆(*Lovenia subcarinata*)和凹裂星海胆(*Schizaster tacunosus*)，再则，尚有较常见的种类例如有细五角瓜参(*Leptopentacta imbricata*)、哈氏砂海星(*Luidia hardwicki*)和海地瓜(*Acaudina molpadioides*)等。

鱼类 本类是游泳能力较强的类群，本次拖网共获34种，其中数量较大的常见种类主要有触角沟鰕虎鱼(*Oxyurochthys tentacularis*)、四线天竺鲷(*Apogon quadri-fasciatus*)和卵鲷(*Solea ovata*)等，其次，常见的种类尚有六丝矛尾鰕虎鱼(*Chaetu-richthys hexanema*)、斑鳍白姑鱼(*Argyrosomus pawak*)、拟矛尾鰕虎鱼(*Parachea-turichthys polynema*)、黑尾舌鲷(*Cyneglossus melampetalus*)和黄班兰子鱼(*Siganus oramin*)等。

2. 分布

在以上的主要种类中，粗糙秀蛤为本海区较特殊的种类，其数量大，栖息密度高，其密度

最高达 $6020 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 生物量高达 $1392 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 该种除了在大鹏澳未发现外, 较普遍地出现在其余的调查水域, 为本水域明显的优势种。在整个调查水区内, 密度最高的水域出现在辣甲岛西北部, 例如于 st.07 和 st.09 站区, 最大捕获量一网可高达 10 万个以上, 其它水域的拖获量均小于本水域, 因此, 调查区的东部为粗糙秀蛤的密集分布区, 经常与其同时出现的软体动物有美叶雪蛤、假奈拟塔螺和联珠蚶等, 它们为东部水域的主要种类, 相伴出现的软体动物种类尚有比那蚶、方班东风螺、中国小铃螺、山黛豆螺、玉螺和壳蛞蝓等, 甲壳类动物中主要有伪装关公蟹和拳蟹类的长螯拳蟹、杂粒拳蟹、豆形拳蟹以及蚌类的香港蚌、直额蚌、疾进蚌等, 棘皮动物中的扁拉文海胆和翅棘真蛇尾等在拖网中较少拖获, 但其仅在东部水域出现, 在本水域出现的鱼类主要有卵鳎、黑尾舌鳎、黄斑兰子鱼以及拟矛尾虾虎鱼等。在调查区中部水域, 底栖动物数量较大的仍为粗糙秀蛤、美叶雪蛤和假奈拟塔螺等, 但其与东部水域的数量分布相比则急剧地下降, 优势减弱, 其余较为优势的种类主要有牡蛎类 (*Ostrea* spp.)、棒锥螺、纹班巴非蛤、毛蚶以及四角细带螺等, 甲壳类中较优势的种类有宽突赤虾、大亚湾梭子蟹以及异齿蚌等, 棘皮动物中常见的有凹裂星海胆、细五角瓜参以及倍棘蛇尾等, 鱼类中出现的主要有四线天竺鲷、触角沟虾虎鱼、六丝矛尾虾虎鱼和短鳍衔等, 它们在中部水域形成了中部地区的群落。大鹏澳与其外部水域的种类有所不同, 其以多毛类为主要类群, 例如有岩虫、齿吻沙蚕、树蛭虫等, 软体动物主要有蟹守螺科的桑椹螺和蟹守螺以及甲壳类的毛盲蟹和蛇尾类等。

由此看到, 本调查水域基本可分为三区, 即东部水域为粗糙秀蛤、美叶雪蛤和假奈拟塔螺群落; 中部水域的宽突赤虾、大亚湾梭子蟹和牡蛎群落; 大鹏澳则为多毛类的岩虫、齿吻沙蚕、树蛭虫群落(见图 5)。

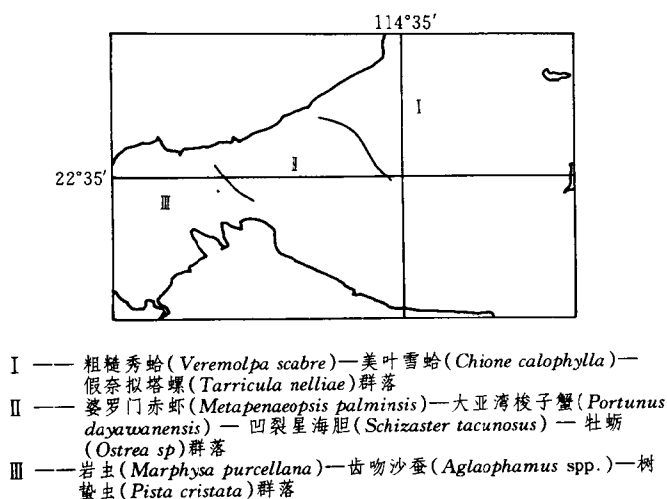


图 5 底栖生物群落分区图

二、讨论

1. 底质与底栖生物结构

栖息于水底的海洋生物群总称为底栖生物, 所以底质的类型是底栖生物的基本栖息环境。本调查区基本分为三种类型, 北部近岸以沙质为主, 中部较普遍地为沙质软泥, 而在大

鹏湾为软泥底质其含沙量则略少于外部水域。在这些底质中,砂质底的生物量和种类等明显的不同,例如东北部近岸的 9m 以浅基本为砂质底, > -9m 则为泥质底,调查时定位的误差便会取得不同的结果, st.07 站便如此,全年的取样结果相差极大,生物量最大达 $1058.2\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 栖息密度最高 $1640\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$, 而最低的生物量和栖息密度几乎为零,形成这结果的主要原因即由于站位的偏差,前者位于 > -10m, 底质为软泥,后者则为砂质底,而生物类群亦发生较大的变化,以腔肠动物为主,例如有柳珊瑚类等;大鹏澳水域虽然受洪水期山水的影响,但调查水域的底质环境较为稳定,基本为软泥底,该区的生物量虽然较低,可其全年的量值相差不大,生物类群基本以多毛类为主(见表 3),在 st.03 站区,由于底质的变化(因修堤筑坝而投入大量石块所致),致使采样的失误,因此,底栖生物调查时的定位要求显得较为严格,特别在海湾底质环境变化较大的区域。

表 3 调查区底栖动物与底质的相互关系

底质	砂质		沙质软泥		软泥		单位
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	
生物量	0.4	0.0	1651.2	1.8	32.8	10.2	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$
栖息密度	60	0.0	6120	40	400	100	$\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$
主要类群	腔肠动物		软体动物		多毛类动物		

表 3 可以清楚地看到不同底质的结构组成,砂质底的生物量和栖息密度均最低,沙质软泥最高,软泥底则居中。根据以往的研究结果,颗粒较细,含沙量适中,即在 35% ~ 55% 之间,粒度中值约在 6~8 之间,底栖生物的产量比较高,包括种类的多样度和丰度等^[6]。本次调查虽然没有进行底质的粒度分析,但从这次调查分析所获的结果仍可以看到与以往的研究结果较相吻合。

2. 水平结构分布特征

大亚湾的调查于 1980 年以来比较频繁,如海岸带调查、海岛调查、资源调查、环境调查以及环境监测和综合性生态调查等,积累了大量的宝贵资料。1980 年初,大亚湾曾被划为水产资源自然保护区,但随着经济开发和发展的,大亚湾也进入了经济发展的开发期,如大亚湾北部的深水码头,工业基地的设立,旅游业的发展以及西南部的核电站的建立等都一一的开始建设。虽然如此,由于各项建设尚处初始期,调查区的底质环境基本仍处原始状态,因此,底栖动物主要类群在这段时期内未出现多大的变动,这从表 4 中可以看到,本海区的主要种类与 1980 年代初的基本相似(见表 4)。

另一方面从本调查区的群落结构亦反映这现象。本区命为群落 I 的主要种为粗糙秀蛤、美叶雪蛤和假奈拟塔螺;群落 II 的主要种为宽突赤虾、大亚湾梭子蟹、牡蛎和凹裂星海胆;群落 III 的主要种为岩虫、齿吻沙蚕和树蛭虫,这与 1986~1990 年有关调查报告的报道^[3]亦较类同。该报道的群落中,被命为群落 III 区的水域即为本次调查的 I 区,其对该区以小鳞帘蛤(即本报告的粗糙秀蛤)为该群落典型的主导种,与本报告相一致;II 区虽然不太相似,其被定为该群落的代表种如光滑倍棘蛇尾和凹裂星海胆,亦是本次在 II 区的主要常见种类(见表 4),在大鹏澳水域,其明显地亦是以多毛类为主体的群落区,由此可从底栖生物的种类组成和其结构现状中基本认为:本调查水域的底质环境尚未因随着经济的发展和建设而受明显的影响。但这并非无任何影响,例如在 st.03 站区,前期调查本区是底栖生物较丰富的水域,种类较多,生物量高,是软体动物的粗糙秀蛤密集区,底质为沙质软泥,这次调查则为石砾砂泥底,

采样的成功率仅为 40%，种类主要为营固着生活的类群。

表 4 主要底栖动物类群各期出现概况对照

类 群	1990-1992	1986-1990	1980-1985
双鳃内卷齿蚕	+++	++	++
多 岩虫	+++	+++	-+
毛 梳鳃虫	+++	++	-+
类 巢沙蚕	++	++	+++
海稚虫	++	++	++
软 粗糙秀蛤	+++	+++	+++
体 假奈拟塔螺	+++	++	+++
动 美叶雪蛤	++	++	++
物 联珠蚶	++	+++	++
牡蛎	+++	++	+++
甲 细巧仿对虾	++	++	++
壳 宽突赤虾	+++	+	+
动 盲蟹类	++	++	++
物 大亚湾梭子蟹	+++	—	++
蜆类	++	++	++
伪装关公蟹	+++	—	+++
棘 光滑倍棘蛇尾	+++	+++	+++
皮 凹裂星海胆	+++	+++	+++
类 翅棘真蛇尾	+++	+++	+++

注：+ — 常见较少； ++ — 常见较多； +++ — 常见优势； — 未见报道

3. 区系特点

大亚湾位于北回归线以南，地处南亚热带，这区域性特点在底栖生物中也明显的显示，例如本调查区南部的杨梅坑附近水底便有一片生长良好的石珊瑚群区，同样，在底栖动物的主要种内，暖水性种类如有棘皮动物的倍棘蛇尾类，凹裂星海胆，扁拉文海胆等，甲壳类动物中的大亚湾梭子蟹是大亚湾的特有种，属暖水性种，特矶沙蚕科的种类，到目前也仅在暖水区出现，大亚湾是其分布的主要水域之一，软体动物的粗糙秀蛤和联珠蚶等主要出现在暖水性海域，其它种类尚有翅棘真蛇尾、宽突赤虾、美叶雪蛤等均为暖水性的类群，因此，大亚湾群落结构主要由具热带亚热带性较强的底栖动物类群组成。

三、小结

1. 本调查区经初步鉴定的底栖生物约有 250 种，底栖生物种类较丰富，共 12 大类，其中软体动物的种类最多(73 种)，其余种类较多的尚有多毛类(34 种)、甲壳动物(52 种)、棘皮动物(19 种)和鱼类(34 种)等五大类，它们共占总种数的 84.4%。

2. 年均生物量和年均栖息密度分别为 $317.9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $855\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中均以软体动物最大，主要是粗糙秀蛤，其生物量和栖息密度最高可分别达 $1392\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $6020\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$ ，为底栖生物生产量较高的水域。

3. 粗糙秀蛤分布范围较广，除大鹏澳内外几乎都有出现，但其主要分布于调查区东部水

域, 其与美叶雪蛤、假奈拟塔螺和联珠蚶等组成东部水域的群落; 中部主要以牡蛎类、宽突赤虾以及凹裂星海胆组成中部水域群落, 大鹏澳则以多毛类为主要类群, 例如有岩虫、齿吻沙蚕、树蛭虫等为大鹏澳水域的群落。

4. 本调查水域的底栖动物的群落结构基本仍保持 1980 年初期的结构特征。底质环境 尚未发现受经济建设开发的影响。

5. 大亚湾群落结构主要由具热带亚热带性较强的底栖动物类群组成, 具有明显的暖水性区系特征。

参 考 文 献

- [1] 吕小梅. 1991. 闽南一台湾浅滩渔场棘皮动物的分布. 闽南一台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 590~594
- [2] 江锦祥等. 1990. 大亚湾底栖动物的种类组成和数量分布. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 237~247
- [3] 江锦祥等. 1990. 大亚湾底栖动物群落结构的分析. 大亚湾海洋生态文集(II), 北京: 海洋出版社, 380~385
- [4] 沈寿彭. 1982. 南海海盆底栖生物分布初步分析, 南海海区综合调查研究报告(一). 北京: 科学出版社, 231~240
- [5] 沈寿彭. 1985. 底栖生物. 南海海区综合调查研究报告(二). 北京: 科学出版社, 403~426
- [6] 沈寿彭等. 1989. 底栖生物. 见: 徐恭昭等. 大亚湾环境与资源. 合肥: 安徽科学技术出版社, 193~208
- [7] 沈寿彭. 1985. 珠江口浅海区中、小型饵料底栖生物的数量分布. 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究报告文集(三). 广州: 广东科学出版社, 23~29
- [8] 沈寿彭. 1985. 珠江口底栖生物量和栖息密度的初步分析. 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究报告文集(三). 广州: 1985. 广东科学出版社, 30~37
- [9] 李楚璞, 沈寿彭, 李映萍. 珠江口潮下带软体动物的分布. 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究报告文集(三). 广州: 广东科学出版社, 44~55
- [10] 严颂凯, 黄宗国. 1990. 大亚湾核电站附近海域中华管鞭虾种群的初步报导. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 386~389
- [11] 陈必达、吕小梅等. 1990. 闽南一台湾浅滩渔场底栖生物的数量分布和种类组成的初步分析, 闽南一台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 581~589.
- [12] 吴萍茹. 1991. 闽南一台湾浅滩渔场软体动物的若干生态特点. 闽南一台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 595~602
- [13] 钟惠桃, 沈寿彭. 1995. 珠江口水域洪水期虾类的分布特点, 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究报告文集(三). 广州: 广东科学出版社, 38~43
- [14] 黄宗国, 严颂凯. 1990. 大亚湾核电站附近海域细巧仿对虾和扁足异对虾的生态生物学. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 274~281
- [15] 徐惠州. 1989. 大亚湾棘皮动物的种类组成和数量分布. 大亚湾海洋生态文集(I). 北京: 海洋出版社, 148~152
- [16] 黎国珍. 1985. 珠江口海区的棘皮动物. 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究报告文集(三). 广州: 广东科学出版社, 30~37

底栖动物名录

海藻类

瓦氏马尾藻 *Sargassum vachellianum*

马尾藻 *Sargassum* spp.

囊藻 *Colpomenia sinuosa*

茎苔 *Caulibugula* spp.

多毛类

双腮内卷齿蚕 *Aglaophamus dibranchis*

弦毛内卷齿蚕 *Aglaophamus lyrochaeta*

双节虫 *Amphicteis gunneri*

日本边帽虫 *Amphicten japonica*

锥稚虫 *Aonides* spp.

鳞沙蚕 *Aphrodita* spp.

扇毛虫 *Bradabyssa* spp.

金毛丝鳃虫 *Cirratulus chrysoderma*

须鳃虫 *Cirriformia tentaculata*

柯素虫 *Cossurella aciculata*

巢沙蚕 *Diopatra neapolitana*

特矾沙蚕 *Euniphysa unicus*

特矾沙蚕 *Euniphysa* spp.

白色吻沙蚕 *Glycera alba*

光突齿沙蚕 *Leonnates paersica*

扁执虫 *Loima medusa*

岩虫 *Marphysa purcellana*

饭岛全刺沙蚕 *Nectoneanthes ijimai*

米列虫 *Melinna cristata*

类矾沙蚕 *Paraeuiophysa* spp.

南方帚虫 *Phoronis australis*

叶须虫 *Phyllodoce* spp.

树蛭虫 *Pista cristata*

百叶树蛭虫 *Pista macrolobate*

太平洋拟节虫 *Praxillella pacifica*

海蛹 *Raricirus* spp.

缨鳃虫 *Sabella* spp.

棘刺帚毛虫 *Sabellaria spinulosa*

角板虫 *Sternaspis forssora*

角板虫 *Sternaspis sculata*

蛭龙介 *Trichobranchas glacialis*

螫龙介 *Trichobranchas* spp.
棘梳鳃虫 *Terebellides fenusetis*
梳鳃虫 *Terebellides stroemii*

柱头虫

苔藓类

Bugula spp.
Caberea spp.

腔肠动物

黄海葵 *Anthopleurd* spp.
刺柳珊瑚 *Acanthogorgia* spp.
单体石珊瑚 *Heterocyathus* spp.
棘海腮 *Peroeides* spp.
硬棘软珊瑚 *Stereonephthya* spp.

软体动物

比那蚶 *Arca binakayanensis*
布纹蚶 *Arca decussata*
泥蚶 *Arca granosa*
毛蚶 *Arca suquinjovensis*
蚶 *Arca* spp.
大轮螺 *Architectonica maxima*
轮螺 *Architectonica* spp.
弧樱蛤 *Arcopagia* spp.
方班东风螺 *Babylonia areolata*
东风螺 *Babylonia* spp.
Bedevina birileffi
日本短齿螺 *Brachydontes japonicus*
黄短口螺 *Brachytoma flavidalus*
杰夫短口螺 *Brachytoma jeffreysi*
粒蛙螺 *Bursa granularis*
蛙螺 *Bursa rana*
多节心蛤 *Cardita nodulosa*
鸟咀尖帽螺 *Capulus dilatatus*
条肋鸟蛤 *Cardium costatum*
鸟蛤 *Cardium* spp.
珠带拟蟹手螺 *Cerithidea cingulata*
桑椹螺 *Clypenorusb* spp.

杓蛤 *Cuspidaria* spp.
尾嵌线螺 *Cymatium caudatum*
环沟嵌线螺 *Cymatium ciagulatum*
嵌线螺 *Cymatium* spp.
角贝 *Dentalium* spp.
双层笋螺 *Diplomerina duplicata*
Discors spp. (鸟蛤)
四角细带螺 *Fassiolaria tilamentosa*
滑顶薄壳鸟蛤 *Fuivia mulica*
黄短口螺 *Inquistter flavidula*
山黧豆螺 *Latirus* spp.
白龙骨乐飞螺 *Lophiotoma eucotropis*
联珠蚶 *Mabellarca consoniata*
中国小铃螺 *Minolia chinensis*
偏顶蛤 *Modiolus* spp.
不等蛤 *Monia* spp.
单齿螺 *Monodonya lobio*
浅缝骨螺 *Murex trepa*
节织纹螺 *Nassarius nodiferus*
方格织纹螺 *Nassarius clathratus*
西格织纹螺 *Nassarius siquinjorensis*
红带织纹螺 *Nassarius succinctus*
玉螺 *Natica* spp.
饰线鸟蛤 *Nemocardium* spp.
日本台秣螺 *Ocenebra japonica*
牡砺 *Ostrea* spp.
纹班巴非蛤 *Paphia lirata*
巴非蛤 *Paphia* spp.
江珧 *Pinna* spp.
卵蛤 *Pitar* spp.
梨形红螺 *Rapana rapitormis*
脉红螺 *Rapan a venosa*
Damacar strabo pacifica
不等舟形蚶 *Scapharea inaequivalvis*
荚蛭 *Siliqua* spp.
竹蛭 *Solen* spp.
波纹截蛭 *Solenocurtus exaratus*
海菊蛤 *Spondylus* spp.
古琴拟口螺 *Stomatella lyrata*
杖沟角贝 *Striodentaliun rhabdotum*

金钢螺 *Sydaphera spengleirana*
樱蛤 *Tellina* spp.
分层笋螺 *Terebra dimidiata*
中国鹌螺 *Tonna chinensis*
夹毛蚶 *Tosarca vellicata*
白带三角口螺 *Trigonaphera bocageana*
假奈拟塔螺 *Turricula nelliae*
棒锥螺 *Turritella bacillum*
美叶帘蛤 *Venus calophylla*
粗糙秀蛤 *Veremolpa (micra) scabra*

甲壳动物

红毛虾 *Acetes erythraeus*
日本毛虾 *Acetes japonicus*
菜花银杏蟹 *Actaea savignyi*
条尾近虾蛄 *Anchisquilla fasciata*
白脊藤壶 *Balanus albicostatus*
窄翼藤壶 *Balanus krugeri*
藤壶 *Balanus* spp.
异齿蛄 *Charybdis anisodon*
香港蛄 *Charybdis hongkongensis*
直额蛄 *Charybdis truncata*
疾进蛄 *Charybdis vadorum*
变态蛄 *Charybdis variegata*
干练平壳蟹 *Conchoecetes artificiosus*
伪装关公蟹 *Dorippe faccnino*
隆线强蟹 *Euclate creneta*
磷虾 *Euphaus*
铠甲虾 *Galathea* spp.
五角暴蟹 *Halimede ochtodes*
健全异毛刺蟹 *Heteropilumnus subinteger*
齿异背蟹 *Heteroplax dentata*
颗粒六足蟹 *Hexapus granuliferus*
斜方玉蟹 *Leucosia rhomboidalis*
拉氏大眼蟹 *Macrophthalmus latreillei*
须赤虾 *Metapenaeopsis barbata*
婆罗门赤虾 *Metapenaeopsis palmensis*
刀额新对虾 *Metapenaeus ensis*
周氏新对虾 *Metapenaeus joyneri*
近亲长臂蟹 *Myra affinis*

模糊新短眼蟹 *Neoxenophthalmus obscurus*
 口虾蛄 *Oratosquilla oratoria*
 细巧仿对虾 *Parapenaeopsis tenella*
 强壮菱蟹 *Parthenope validus*
 墨吉对虾 *Penaeus merguensis*
 短沟对虾 *Penaeus semisulcatus*
 隆线拳蟹 *Philyra carinata*
 球形拳蟹 *Philyra globulosa*
 杂粒拳蟹 *Philyra heterograna*
 豆形拳蟹 *Philyra pisum*
 长螯拳蟹 *Philyra platycheira*
 紫斑拟瓷蟹 *Porcellanella picta*
 大亚湾梭子蟹 *Portunus dayawanensis*
 矛形湾梭子蟹 *Portunus hastatoides*
 红星梭子蟹 *Portunus sanguinolentus*
 绒毛细足蟹 *Raphidopus cilliatus*
 刺足掘沙蟹 *Scalopidia spinosipes*
 中华管鞭虾 *Solenocera sinensis*
 弯虾 *Spirontocaris* spp.
 假鼓虾 *Synalpheus* spp.
 双额短桨蟹 *Thalamita sima*
 毛盲蟹 *Typhlocarcinus villosus*
 豆形短眼蟹 *Xenophthalmus pinnotheroides*
 (端足类) *Pseudocrangonys* spp.

棘皮动物

海地瓜 *Acaudina molpadioides*
 弓盾倍棘蛇尾 *Amphioplus difficilis*
 洼颚倍棘蛇尾 *Amphioplus depressus*
 光滑倍棘蛇尾 *Amphioplus laevis*
 光辉倍棘蛇尾 *Amphioplus lucidus*
 长腕双鳞蛇尾 *Amphipholis loripes*
 薄阳遂足 *Amphiura tennis*
 阳遂足 *Amphiura* spp.
 细五角瓜参 *Leptopentacta imbricata*
 扁拉文海胆 *Lovenia subcarinata*
 哈氏砂海星 *Luidia hardwicki*
 砂海星 *Luidia quinaria*
 粒棘大刺蛇尾 *Macrophiolithrix schmidti*
 二色桌片参 *Mensamaria intercedens*

辐蛇尾 *Ophiactis savighyi*
翅棘真蛇尾 *Ophiura pteracantha*
棘刺锚参 *Protankyra bidentata*
凹裂星海胆 *Schizaster lacunosus*

鱼类

四线天竺鲷 *Apogon quadrifasciatus*
白边天竺鱼 *Apogonichthys albomarginatus*
斑鳍天竺鱼 *Apogonichthys carinatus*
黑边天竺鱼 *Apogonichthys ellioti*
四条天竺鱼 *Apogonichthys lineatus*
斑鳍白姑鱼 *Argyrosomus parwak*
纤羊舌鲷 *Arnoglossus tenuis*
绒纹线鳞鲷 *Arotrolepis sulcatus*
东方箬鲷 *Brachirus orientalis*
麦氏犀鲷 *Bregmaceros maccllellandii*
六丝矛尾虾虎鱼 *Chaeturichthys hexanema*
中华须鳗 *Cirhimuraena chinensis*
短鳍鲬 *Callionymus kitaharae*
李氏鲬 *Callionymus richardsoni*
鲬 *Callionymus* spp.
丽叶鲷 *Caranx kalla*
斑鲷 *Clupanodon punctatus*
黑尾舌鲷 *Cynoglossus melampetalus*
少鳞舌鲷 *Cynoglossus oligohepis*
纹鳍长颌鲷 *Gnathypops evermanhi*
龙头鱼 *Harpodon nehereus*
皮氏叫姑鱼 *Johnius belengerii*
短吻鲷 *Leiognathus brevirostris*
鹿斑鲷 *Leiognathus ruconius*
海鳗 *Muraenesox cinereus*
日本金线鱼 *Nemipterus japonicus*
银牙鲷 *Otolithes argenteus*
小鳞沟鲷虎鱼 *Oxyurichthys microlepis*
触角沟鲷虎鱼 *Oxyurichthys tentacularis*
拟矛尾鲷虎鱼 *Parachaeturichthys polynema*
六指马鲛 *Polynemus sextarius*
鲷 *Platycephalus indicus*
黄斑蓝子鱼 *Siganus oramin*
卵鲷 *Solea ovata*

大亚湾西南部的浮游幼虫

沈寿彭 李楚璞 陈雪梅 尹健强

浮游幼虫是各类海洋动物世代交替的衍生体,其包括浮游动物和底栖动物等在繁殖时期的各阶段性幼体。浮游幼虫种类与水域中的海洋动物的类群密切相关,其种类繁多,形态各异,为浮游动物中的一个大类群,是浮游生物生态研究的重要组成部分。

有关鱼类在繁殖时期的鱼卵及仔、稚鱼,已较普遍地进行研究,浮游幼虫的专题性的研究较少,大亚湾水域的研究工作更少,仅见有少量的研究报告^[4]。在海洋动物的繁殖时期,大量的浮游幼虫不仅是生命的延续,同时亦丰富了该水体的生物饵料,组成食物链中的重要环节。因此,本报告将浮游动物中的浮游幼虫列为专题进行研究,意在加强对浮游幼虫的研究,探讨其发生的规律以及环境对其的影响,为今后的生态系研究提供较原始的报告和基础资料。

一、结 果

本次调查共拖获浮游幼虫约 6000 个(单位:个·m⁻³,下同),经初步鉴定共有 20 种,分隶帚虫动物的辐轮幼虫(*Actinotroch larva*);苔藓动物的双壳幼虫(*Cyphonautes larva*);腕足类的舌状幼虫(*Lingula larva*);多毛类动物幼虫(*Polychaeta larva*);软体动物的腹足类幼虫(*Gastropoda larva*)和瓣鳃类幼虫(*Lamellibranchia larva*);甲壳动物的桡足类幼虫(*Copepoda larva*)、糠虾类幼虫(*Mysidacea larva*)、磷虾类幼虫(*Euphausiacea larva*)、短尾类幼虫(*Brachyura larva*)、长尾类幼虫(*Macruran larva*)、藤壶幼虫(*Balanus larva*)、毛蟹类幼虫(*Pilidium larva*)、磁蟹幼虫(*Porcellana larva*)、口足类幼虫(*Stomatopoda larva*)和阿利玛幼虫(*Alima larva*);以及棘皮动物的海星类羽腕幼虫(*Bipinnaria larva*)、蛇尾类幼虫(*Ophiopluteus larva*)、海胆类幼虫(*Echinopluteus larva*)以及海参类的耳状幼虫(*Auricularia larva*)等,其中甲壳动物的幼虫种类最多。

1. 浮游幼虫数量的时空分布

本水域浮游幼虫拖获量的月平均值为 632 个,全年各月的拖获量相差较大,其量值分别在 37~1761 之间,10 月和 11 月的拖获量均 >1000,为浮游幼虫的高峰期,<100 的为 1 月份和 2 月份,为浮游幼虫的低峰期,冬季最低,为 159,春季和夏季分别为 173 和 407,秋季的拖获量最高,达 1090,呈较典型的单峰型季节变化(见图 1)。

本水域浮游幼虫的数量分布较为均匀,9 个测站的分布率在 5%~20.3% 之间,<10% 的测站有 st.1、st.3、st.4 和 st.5,位于调查区的中和西部水域,其中 st.3 和 st.5 最低,仅占 5% 左右;其它各测站分布率均 >10%,除了测站 st.2 的分布率为 10.4% 外,其它各测站均 >12%,最高的测站分别为 st.7(20.3%)和 st.8(17.7%),st.6 和 st.9 为次之,分别为 13.4% 和 12.6%,这些测站均位于本调查区的东部水域,显示该水域为高分布区的特性,中、西部则普遍较低(见图 2)。

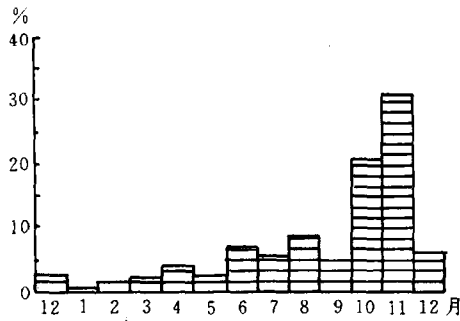


图1 浮游幼虫数量年变化

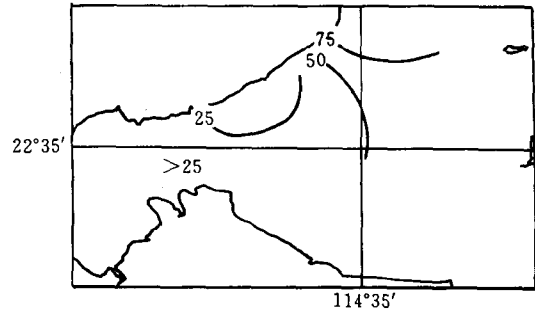


图2 浮游幼虫年均值分布图

2. 浮游幼虫的组成与变化

本次发现的浮游幼虫共有 20 种, 分属 7 大类别, 即扁形动物有辐轮幼虫 1 种, 苔藓动物有双壳幼虫, 腕足类动物为舌状幼虫 1 种; 多毛类动物的幼虫种类较多, 约有 18 种; 软体动物初步鉴定的有腹足类幼虫和瓣鳃类幼虫 2 种; 甲壳动物的幼虫种类也较多, 有桡足类幼虫、糠虾类幼虫、磷虾类幼虫、长尾类幼虫、短尾类幼虫、藤壶幼虫、毛蟹类幼虫、磁蟹类幼虫、口足类幼虫和阿利玛幼虫等 10 种; 棘皮动物幼虫中有海星类的羽腕幼虫、蛇尾类幼虫、海胆类幼虫以及海参类的耳状幼虫等 4 种, 在浮游幼虫组成中数量最大的是棘皮动物幼虫, 其占浮游幼虫总获量的 47.8%, 其次为甲壳动物幼虫, 占 43.4%, 其余各大类的数量均较少, 除多毛类动物占 6.0% 外, 其它均 < 1.0%, 包括软体动物。

各类浮游幼虫的数量变化如下:

多毛类动物 年总获量仅占总量的 6.0%, 10 月和 11 月的数量最高, 分别占其拖获量的 27.7% 和 23.6%, 次之为 12 月和 8 月、9 月, 其他各月的数量均较少(见图 3)。全年出现最多的是海稚虫类, 10 月和 11 月是其出现的高峰期。

软体动物 该类幼虫的数量较少, 只有发现 2 种, 即腹足类幼虫和瓣鳃类幼虫, 其中瓣鳃类幼虫的数量便占 88.6%, 6 月份的数量较多, 其次是 8 月和 11 月, 1 月和 2 月份仅发现个别标本, 腹足类幼虫仅在 6 月和 8 月份发现个别个体, 其它时间均未出现(见图 4)。

甲壳类动物 该类的幼体数量仅低于棘皮动物, 本类种数亦仅次于多毛类的幼体。下半年为该幼虫高峰期, 10 月份的数量最高(见图 5)。该类幼虫中长尾类幼虫和短尾类幼虫数量最大, 分别占本类总数量的 39.5% 和 32.1%, 其次是藤壶幼虫, 占 14.5%, 其余各类均低于 10%。下半年是长尾类幼虫盛期, 特别是 10 月份为长尾类幼虫出现的高峰期; 短尾类幼虫的高峰期亦在 10 月份, 但次高峰期较长尾类早, 出现在 5~7 月, 长尾类出现在 8 月份, 藤壶幼虫的高峰期较前两者迟, 出现在 11 月和 12 月份, 3 月份可能是其的次高峰期, 毛蟹类幼虫和磁蟹类幼虫在夏秋季为较常见的类群, 此外, 其余各类别的数量均较少, 出现另星。

棘皮动物 出现的类别虽少, 但数量大, 为各类之首, 11 月份为高峰月(见图 6)。蛇尾类幼虫和海胆类幼虫二者便占棘皮动物总量的 96% 以上, 海胆类幼虫的数量最大, 10 月和 11 月为其高峰期, 其中 11 月份出现的数量最高, 数量占海胆类幼虫总获量的 80%, 10 月份占 12.5%, 其它月份均较少, 其数值还不到 8%, 其中 2 月、5 月和 6 月份均未发现棘皮动物类的幼虫。

其它各类幼虫 包括扁形动物的辐轮幼虫、苔藓动物的双壳幼虫, 和腕足类动物的舌状幼虫, 这三类幼虫的数量较少, 其中辐轮幼虫的最多, 占该类总数量的 60%, 其次为舌状幼虫, 苔藓动物的双壳幼虫最少, 仅占 12%。它们主要出现在秋季, 特别是 10 月份, 其出现的数量占总量的 64%, 其它月份仅偶有发现(见图 7), 特别是苔藓动物的双壳幼虫, 10 月份以前几乎没有出现。

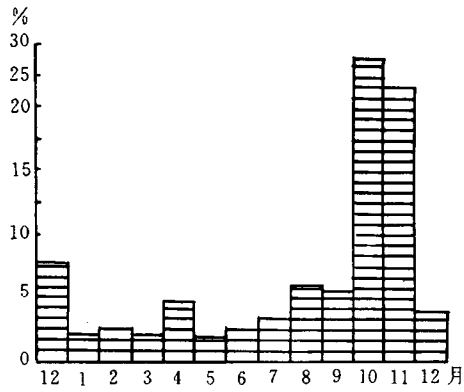


图3 多毛类幼虫各月出现率

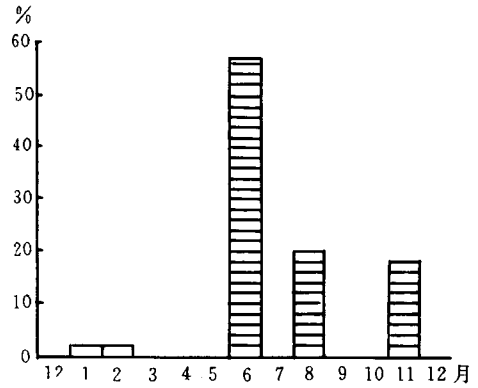


图4 软体动物幼虫各月出现率

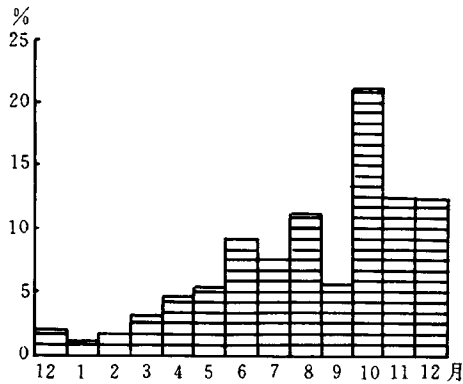


图5 甲壳类幼虫各月出现率

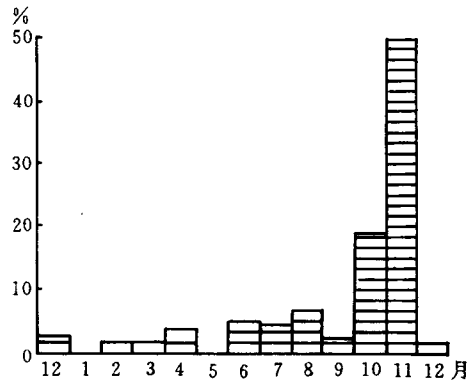


图6 棘皮动物幼虫各月出现率

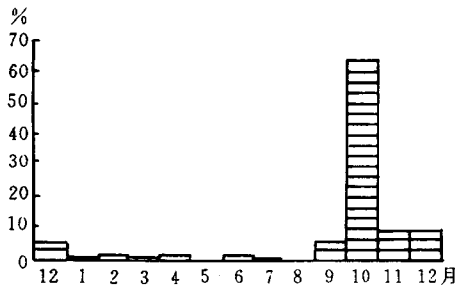


图7 其它类幼虫各月出现率

综上所述,本区的浮游幼虫主要有7大类组成,除多毛类外,甲壳类动物的类别最多,数量最多的为棘皮动物类的幼虫,占47.3%,甲壳类幼虫为第二,占43.4%。10月和11月为幼虫出现的高峰期,棘皮动物的蛇尾类幼虫和海胆类幼虫为本海区的优势种,甲壳动物的长尾类幼虫和短尾类幼虫次之。

3. 浮游幼虫主要种类的分布与变化

从以上可以看到,浮游幼虫中数量较多的类群分别有棘皮动物的蛇尾类幼虫、海胆类幼虫,甲壳动物有长尾类幼虫、短尾类幼虫和藤壶类幼虫,以及多毛类幼虫等,分别叙述如下。

多毛类幼虫 年拖获量较集中的水域位于东北部(见图 8),其余水域均低于 50,北部近岸最低, <15 。其大量出现于 10 月和 11 月份,占其总量的 51.3%,其余时期的拖获量均较低,除 1990 年 12 月的 st.06 和 8 月份的 st.01 测站的数量 >10 外,其余时期各测站的数量大部分均 <3 ,有许多站次未发现多毛类幼虫,因此,该类幼虫的出现期和分布区均较集中。

长尾类幼虫 该类幼虫是甲壳动物幼虫中数量最大的类别,北部近岸为较低分布区外,其数量分布较为均匀(见图 9)。6~12 月的出现率较高,其中 10 月份的数量最大,除 st.5 和 st.6 的数量较少外,其它各站的数量较均匀,8 月和 11 月为次高峰期,8 月份出现在 st.06,而 11 月份的 st.01 和 st.07 为其主要分布区,由此可见,该类幼虫的分布特点是随机性较大。

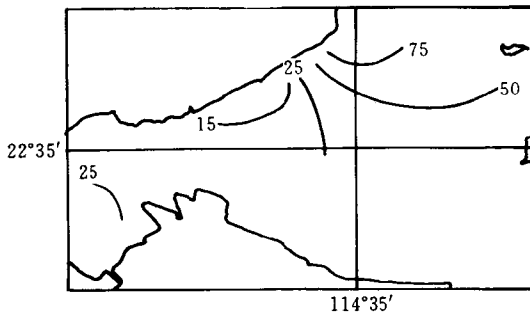


图 8 多毛类幼虫数量分布

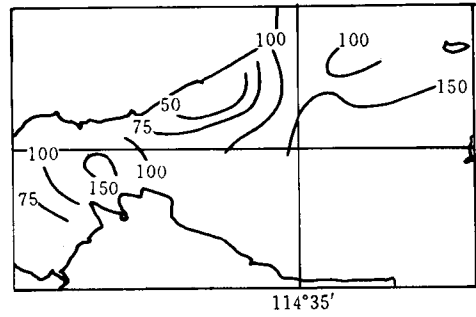


图 9 长尾类幼虫数量分布

短尾类幼虫 该类甲壳类幼虫数量仅次于长尾类,其数量分布与长尾类略为相似,但高密度分布区较明显,位于东及东北部水域,北部近岸水域为低分布区(见图 10)。5~10 月的出现率较高,其中 10 月份为高峰期,次峰期是 6 月和 7 月份,密集区基本位于东北部和大鹏澳口水域,数量 <10 的有 1991 年 1~3 月和 12 月,其数量分布亦较分散,并常出现无幼虫样本的测站。

藤壶类幼虫 该类幼虫的数量仅略多于多毛类,其年均值分布的密集区出现在西部的大鹏澳附近水域,中部水域为 <5 的低分布区(见图 11)。出现的高峰期为 1991 年 11 月和 12 月,其量值约占总量的 71%,次峰期在 3 月份,它们的密集区都出现在西部部的 st.01 和 st.02 站区。除 1 月份未发现外,其余月份的量值一般均 <10 ,所以该类为唯一密集于西部水域的幼虫。

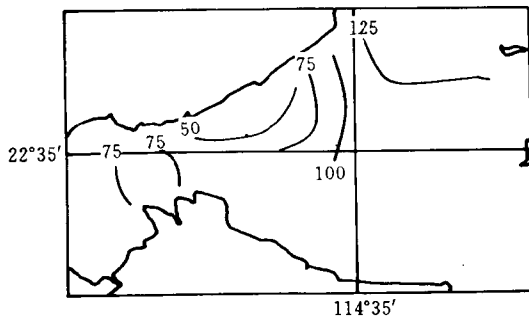


图 10 缺尾类幼虫数量分布

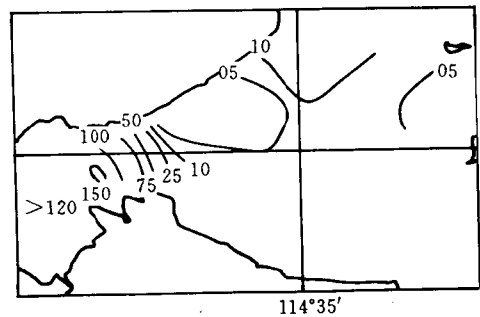


图 11 藤壶类幼虫数量分布

海胆类幼虫 本类为幼虫中数量最大的类群,其出现率为幼虫总量的 26.8%,东部水域为其密集区(见图 12)。高峰期在 11 月,本月的拖获量便约占其总量的 80%,除 st.01~st.03

站区的数量 <10 外,中和东部水域均较高,为其高密度区,10月份是其次高峰期,但数量的级差极大,仅占总量的13.7%,主要分布在辣甲岛东部水域,其余各月的数量较少,除2月和5月、6月份未出现外,其它各月均为零星地出现。

蛇尾类幼虫是在数量上占第二的类群,占幼虫总量的19.2%,其除了大鹏澳的密度较高外,水域东部为主要的密集区,特别在东北部的密度最高(见图13)。该类各月的出现率相对较为均匀,除1991年1月、5月和12月的个别站发现有少量个体外,10月份是出现的高峰月,密集区在东北部,4月和6~8月份为次峰期,其中8月份大量地密集在大鹏澳水域,较密集于中北部近岸的是在1990年12月和4月份,因此,该类的出现期和分布区域于长尾类幼虫较相似,幼虫期长和随机性较大。

由此可见,作为幼虫类组成的主要类群,除了有些种类的出现期较长,密集区较分散外,大部分种类的高峰期都在10月和11月份,东及东北部水域为它们的主要密集区。

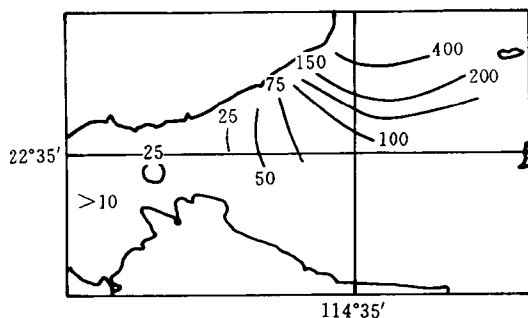


图12 海胆类幼虫数量分布

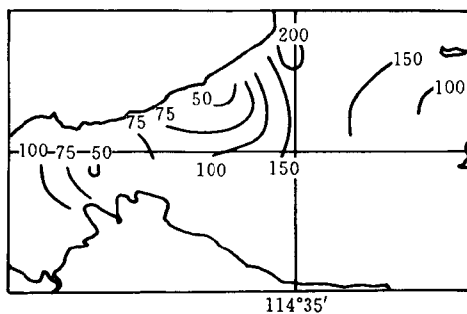


图13 蛇尾类幼虫数量分布

二、讨 论

1. 浮游幼虫数量分别以海胆类幼虫、蛇尾类幼虫、长尾类幼虫、短尾类幼虫、蔓足类幼虫和多毛类幼虫为本次调查的主要组成成员,形成本次调查水域的优势类群,这些类群在以往的有关报导中亦为浮游幼虫中的优势类群,如1982年的大亚湾调查中,当时幼虫类的优势类群为甲壳类幼虫,序列见表1,同样,1986年调查的资料显示棘皮动物和甲壳类动物为主要的优势类群^[3],这些种类均是本次调查的优势群,显示该水域历年来浮游幼虫类群结构的延续性和相似性。

表1 1980年以来有关报导的优势浮游幼虫

调查时间:	1982	1986~1990	1991
主要类群	1: 长尾类幼虫	蛇尾类幼虫	海胆类幼虫
	2: 短尾类幼虫	短尾类幼虫	蛇尾类幼虫
	3:	蔓足类幼虫	长尾类幼虫
	4:	长尾类幼虫	短尾类幼虫
	5:		蔓足类幼虫

但是,从表1中同时显示出这10年内,浮游幼虫组成中的主要类群似乎有所变化,如

1982年的记载是以甲壳类的长尾类幼虫和短尾类幼虫为架构的主体,至1986年的报导已由棘皮动物的蛇尾类幼虫为主要优势类群,甲壳类的短尾类幼虫、蔓足类幼虫和长尾类幼虫相继为次优类群,即棘皮动物类的幼虫开始增加,而甲壳类幼虫则被列为第二,本次调查中棘皮动物类的幼虫明显地占了主导地位,特别是海胆类幼虫,在本次调查中的数量跃为首位,蛇尾类幼虫名列第二,再则为甲壳类的幼虫,这种变化似乎表明营底栖生活类型的类群有增强的趋势,而游泳类型的甲壳动物则显示有逐步退居的迹象。

当然,这三次调查的范围有所差异,前二者的调查范围较广,而后者则仅在大亚湾的西南部水域,因此是否由于在空间和时间上所形成的差异,尚待进一步探讨研究。

2. 浮游幼虫的调查结果是在棘皮动物和甲壳类动物的幼虫为本水域浮游幼虫的主体,但是在图14中看到13个航次的调查中,大部分时间是由甲壳类动物的幼虫为主体,而棘皮动物幼

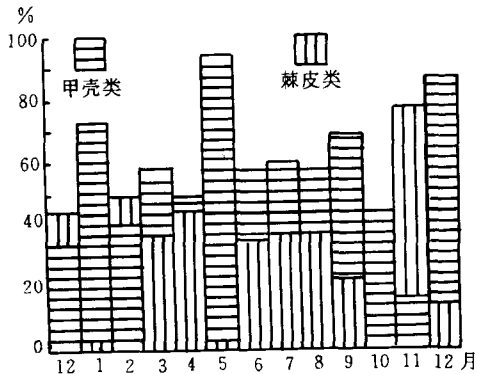


图14 甲壳类和棘皮类幼虫各月出现率图

虫仅于秋冬时期占明显的优势,特别于1991年1月、5月和12月份棘皮动物类幼虫在组成的比率都较低。这现象主要由于海胆类幼虫集中地于11月份大量出现有关,其它优势类群其高峰期在10月份外,幼虫出现的时期较长,如长尾类为8~12月,短尾类和蛇尾类则可由5~10月份,而海胆类幼虫的大量出现是前几次调查未发现的现象。长尾类、短尾类幼虫和蛇尾类幼虫在全年内能较长时间地大量出现,而且密集区的分布也较分散等现象,与海胆类幼虫以及藤壶类幼虫有较明显的差异,例如海胆类幼虫,无论在高峰期或次高峰期,其密集区较稳定的出现在本调查区的东部水域,特别在辣甲岛西部。营固着生活的藤壶类幼虫,其高峰期和次高峰期分别在11月、12月和3月份,密集区也较稳定地在大鹏澳及其邻近水域。因此,在浮游幼虫中的长尾类幼虫、短尾类幼虫和蛇尾类幼虫高密期的频频出现,似乎显示了繁衍期延长的现象,特别对于分布比较分散等情况,除了与种类差异有关外,与湾内外海水的交流是否相关,因为据有关调查报告报导,粤东沿岸浮游幼虫的密集度亦较高,其优势类群与本调查区的类群又及相似,依次为短尾类幼虫、长尾类幼虫和蛇尾类幼虫等⁽¹⁾,可能并非单纯地由于温、盐因子所决定。

3. 大鹏澳除了近年兴起的大量网箱养鱼的鱼排外,该水域为海水贝类养殖历史较长的养殖基地,但在本次调查中,有关软体动物类的幼虫却很少发现,是值得提出研究的现象。尽管如此,其幼虫出现的时期和分布区域仍较有规律,无论是腹足类幼虫或瓣鳃类幼虫,它们的出现期较集中地出现在6月、8月或11月份,并较集中地分布在大鹏澳及其临近水域,但其数量之少,是否由于软体动物幼体的浮游期较短有关。

三、小结

1. 浮游幼虫共有 20 种, 分属 7 大类别, 年平均值为 49 个, 其中甲壳动物幼虫的种类最多, 共有 10 种, 数量最多的是棘皮动物的浮游幼虫, 占总获量的 47.8%, 甲壳类幼虫次之, 占 43.4%。

2. 浮游幼虫数量的季节变化为单峰型, 1 月和 2 月份的数量最低, 为低谷期, 10 月和 11 月份为浮游幼虫的高峰期。

3. 浮游幼虫的主要分布区在东及东北部, 仅少数种类以大鹏澳及其临近水域为其主要分布区, 例如藤壶类和软体动物类的幼虫等。

4. 在占优势的为棘皮动物中海胆类和蛇尾类幼虫数量最高, 分别占浮游幼虫总量的 26.8% 和 19.2%, 甲壳类动物中长尾类幼虫和短尾类幼虫次之, 分别占总量值的 17.1% 和 13.9%。

5. 本区的优势类群和高峰期与以往的记录略有差异, 有营底栖生活类型的幼虫类群增强的趋势, 而游泳类型的甲壳动物幼虫则逐步退居的迹象。

6. 长尾类幼虫、短尾类幼虫和蛇尾类幼虫密集期较频的出现, 可能与湾内外海水的相互交换有关, 增强了与粤东沿岸浮游幼虫优势类群的相似度。

参考文献

- [1] 章淑珍. 1992. 红海湾—碣石湾浮游动物的数量分布和群落结构, 广东海岛调查研究文集(I), 广东科学出版社, 119~128
- [2] 连光山、林玉辉等. 1990. 大亚湾浮游动物群落的特征. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 274~281
- [3] 陈雪梅, 尹健强等. 1989. 见: 徐恭昭等. 浮游动物. 大亚湾环境与资源. 合肥: 安徽科学技术出版社, 175~192
- [4] 蔡秉及. 1990. 大亚湾浮游幼虫的丰度. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 232~236

大亚湾养殖示范区内养殖贝类的结构^①

金启增

示范区的选择:

以大亚湾大鹏澳作为示范区。大鹏澳位于大亚湾西南部,北纬 22°32′~22°35′,东经 114°29′~114°32′,面积 17.2km²,水深 4~7m,年平均气温 22℃左右,湾口北部为广东省大亚湾核电站,装机容量为 180 万 kW。

示范区的水温为 16.94~30.33℃,盐度为 25.48~33.14,溶解氧为 4.01~5.74mol/L, pH 为 8.07~8.45,碱度为 1.77~2.23mol/L,硝酸盐-氮为 0.00~5.44μg/L,亚硝酸盐-氮为 0.00~1.03μg/L,氨-氮为 0.24~1.09μg/L,磷酸盐为 0.07~0.87μg/L,硅酸盐为 12.00~28.06μg/L。总之,大亚湾营养盐含量比较低,但是由于在粤东上升流的作用下,大亚湾的营养盐可以得到部分补充。

根据大鹏澳现在生境的特点,可以进行下列的示范:

水域生态系统可以进行鱼、虾、贝的高产示范,现已进行贝类养殖。

核电站热水区生态系统可以进行热带海洋生物的养殖示范。

藻场生态系统可以进行海胆放流增养殖示范。

滩涂生态系统可以进行贝类增养殖示范。

“八五”期间以贝类养殖和海胆增殖为主,其理由如下:

1. 食物链短。贝类主要是双壳类,它们主要以海洋微生物、海洋浮游植物为饵料,其次为有机碎屑。海胆主要以底生植物,主要是马尾藻为饵料。

2. 饵料基础优良,首先为养殖贝类提供了海洋微生物,其中异养细菌的含量为 57×10^4 个/ml。大鹏澳的生物量最高,年平均为 8.7×10^4 个/ml^[5]。同时也为养殖贝类提供了丰富的浮游植物。大亚湾共有浮游植物 58 属 223 种,其中贝类优良饵料——浮游硅藻 124 种,占 77.40%。月平均生物量为 6300×10^4 个/ml^[2]。第三为放流增殖的海胆提供大量的底栖植物。大鹏澳及其邻近水域有马尾藻 10 种,其中主要的种类为 *Sargassum hemiphyllum*,平均湿重为 53.3kg/m²^[17]。

本章只介绍华贵栉孔扇贝,合浦珠母贝和翡翠贻贝的结构。

一、华贵栉孔扇贝的结构

华贵栉孔扇贝 *Chlamys nobilis* (Reeve) 是产于亚热带的一种双壳类,它是养殖周期短,产量高,效益比较显著的一种贝类。近几年在这方面有比较多的研究:人工育苗的初步研究(张丹,1984),生产性育苗高产试验(金启增等,1991),人工育苗的工艺流程(金启增等,1995),幼虫的食性分析(陈柏云等,1985),异胶藻在幼虫和稚贝培养中的应用(蔡友义等,1986),幼虫饵料生物培养水体及育苗水体的环境动态研究(徐梅春等,1995),幼虫和幼苗的摄食性及摄食节

^① 执笔:金启增、徐梅春、郭澄联、黎辉。

率(黎辉等, 1995), 幼虫对环境的适应性(黎辉等, 1995), 以及育苗水体中敌害生物动态(黎辉等, 1995), 大亚湾华贵栉孔扇贝的生长和养殖(金启增等, 1995)和综合生长模型(金启增等, 1995)。

1. 性别结构

华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)在多数情况下为雌、雄异体。在个别情况下为雌雄同体。同时还具有雄性先熟和性转换现象。根据外观特征不能区别华贵栉孔扇贝雌雄性别, 只能根据生殖腺表面的颜色才能区分, 雌性性腺表面颜色为桔红色, 雄性为乳白色。以 1 年的标本分析得出雌:雄 = 39:61。雄性多于雌性。从 1 月到 12 月中雌性或雄性的出现率为 50% 左右, 少数情况下偏出 50% 比较大的距离(图 1)。

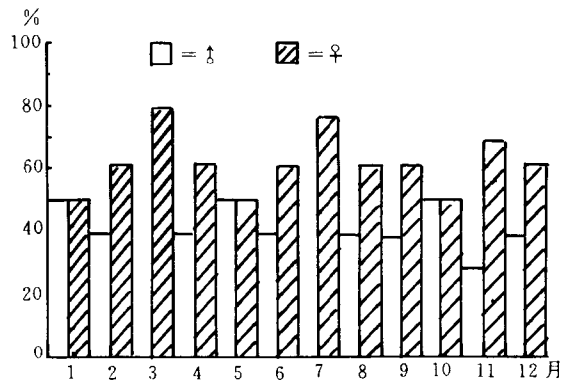


图 1 华贵栉孔扇贝的性别结构

2. 个体大小结构

华贵栉孔扇贝的个体大小由壳高、壳长和壳宽, 分别表示向三个不同方向生长的情况。

壳高处在 5.0~8.0cm 范围内, 其中壳高从 6.0~6.5cm 之间出现率为 34%, 占绝对优势; 其次在壳高 5.5~6.0cm 和 6.5~7.0cm 之间, 出现率分别为 20% 和 28%。出现率比较低为 14%, 处在壳高 7.0~7.5cm 的位置, 出现率最低为 2% 和 3%, 它们分别处在壳高 5.0~5.5cm 和 7.5~8.0cm 之间的位置(图 2)。

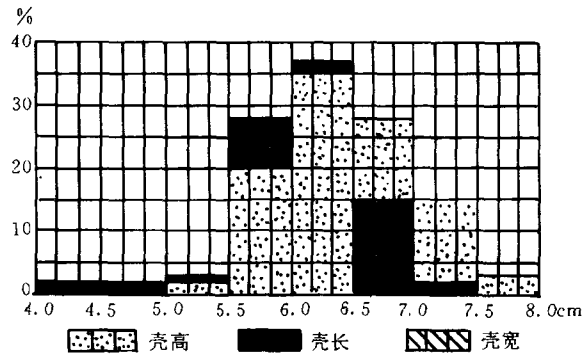
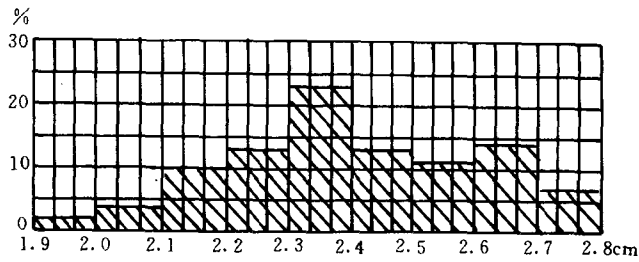
壳长处 在 4.0~7.5cm 范围内, 其中出现率最高为 36%, 处在 6.0~6.5cm 的位置上, 其次出现率分别为 28% 和 14%, 它们分别处在壳长 5.5~6.0cm 和 6.5~7.0cm 之间的位置上, 出现率比较低为 6%, 处在壳长 5.0~5.5cm 的位置上, 出现率最低为 2%, 2.5% 和 3%, 它们分别处在壳长 4.0~4.5cm, 4.5~5.5cm 和 7.5~8.0cm 之间的位置(图 2)。

壳宽在 1.9~2.8cm 范围内, 其中出现率最高为 23%, 处在壳宽 2.3~2.4cm 的位置上, 其次出现率为 16%, 处在壳宽 2.2~2.3cm 位置上。出现率比较高为 10%, 12%, 10% 和 12%, 它们分别处在壳宽 2.1~2.2cm, 2.4~2.5cm, 2.5~2.6cm 和 2.6~2.7cm 的位置上, 出现率比较低为 4% 和 6%, 它们分别处在壳宽 2.0~2.1cm 和 2.7~2.8cm 的位置上, 最低的出现率为 2%, 处在壳宽 1.9~2.0cm 的位置(图 2)。

3. 壳宽系数的结构

壳宽系数表示双壳类软体动物双壳隆起程度, 由下面的公式计算:

$$\text{壳宽系数} = \left[\frac{\text{壳宽}}{\text{壳高} + \text{壳长} + \text{壳宽}} \right] \times 100$$



壳高 壳长 壳宽

图2 华贵栉孔扇贝个体大小结构

华贵栉孔扇贝的壳宽系数在 12.5~17.5 范围内,其中出现率最高为 34%,处在壳宽系数 15.5~16.0 的位置上,其次出现率分别在 14%, 16% 和 14%,它们分别处在壳宽系数 15.0~15.5, 16.0~16.5 和 16.5~17.0 的位置上。出现率比较低为 6%, 6% 和 4%,它们分别处在壳宽系数 14~14.5, 14.5~15 和 17~17.5 的位置上。壳宽系数出现率最低为 2%, 2% 和 2%,它们分别处在壳宽系数 12.5~13, 13~13.5 和 13.5~14 的位置(图 3)。

4. 体重结构

华贵栉孔扇贝的体重在 20~80g 范围内。其中出现率最高为 38%,处在体重 40~50g 的位置上,其次出现率分别在 28%,处在体重 50~60g 的位置上。出现率比较低为 8%, 12% 和 12%,它们分别处在体重 30~40g, 60~70g 和 70~80g 的位置上。出现率最低为 2%,处在体重 20~30g 的位置(图 4)。

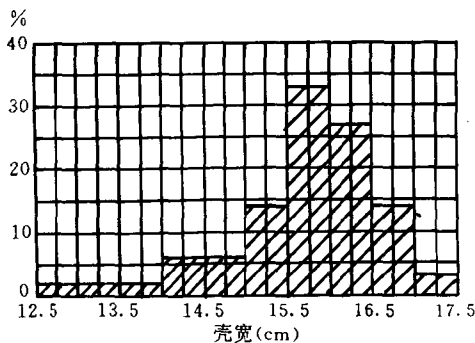


图3 华贵栉孔扇贝壳宽系数结构

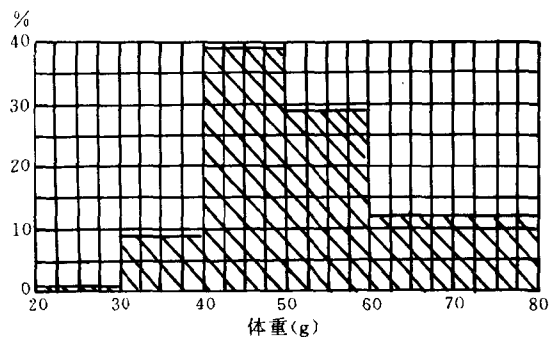


图4 华贵栉孔扇贝的体重组成

5. 生长率结构

个体大小的生长以壳高生长为代表,以体重的生长代表重量的生长。生长率由下面公式计算:

生长率 = [月增长/年增长] × 100

在 1~12 月间,华贵栉孔扇贝的生长率,其中 5 月出现率比较高为 15.09%,形成了全年的第一次生长高峰。在此之前的 2 月,生长率为 14.44%,形成了 1 个小峰。1 月份和 3~4 月生长率分别为 12.8%,11.53%和 5.86%,6~8 月生长速度下降,分别为 5.32%,0.61%和 0%,9~10 月生长率逐步上升,分别为 1.32%和 5.56%。11 月形成第二个生长高峰,生长率达到 19.69%,这个高峰的生长率,很显然大于第一个生长高峰。到 12 月生长率下降,为 6.78%(图 5)。

体重的生长率在 1~12 月间,体重的生长率最高为 32.43%,落在 5 月份,形成了第一个生长高峰。在此之前的 2 月份也有较大的生长率,为 13.96%,是生长高峰之前的 1 个小峰。1 月份的生长率比较低,为 4.0%,3~4 月生长率逐步上升,分别为 6.98%和 9.91%,6~9 月生长速度逐步下降,分别为 9.66%,6.52%,1.28%和 0.44%。10~11 月生长率又逐步上升,分别为 5.08%和 7.89%,而 11 月形成了第二个生长高峰,这个生长高峰同 5 月份相比,是一个很小的峰,这同壳高生长情况不一至(图 5)。无论是壳高的生长或体重的生长,在 8~9 月都有一个高温生长抑制期。

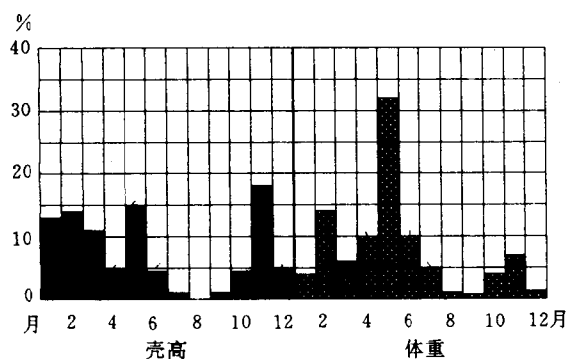


图 5 华贵栉孔扇贝生长率结构

二、合浦珠母贝结构

合浦珠母贝 (*Pinctada martensi*) 是养殖珍珠的重要贝类,日本和我国进行了较多的研究。日本主要养殖三重五个所湾(全国珍珠编辑委员会,1962),我国在防城珍珠港、北海市、合浦营盘近海、雷州半岛、大亚湾和南海等地。我国珍珠研究大致上分为四个阶段(金启增等,1992)。

(1)插核育珠期。利用野生的资源进行插核育珠,并获得批量有核正圆形珍珠。

(2)人工育苗期。在人工控制条件下,培育大量的合浦珠母贝幼苗,并进行广泛的引种,使一些没有野生珍珠贝资源的地方,可以进行珍珠养殖。

(3)病害防治期。针对我国珍珠贝大量死亡的实际情况,开展了珍珠贝黑壳病的防治工作,同时进行了附着生物生物防除研究。

(4)品种改良期。由于多代的近亲交配生活力下降,而采用选择育种、杂交育种和多倍体育种等。

1. 性别结构

合浦珠母贝在多数情况下为雌、雄异体,同时存在雌、雄同体现象。其次还存在雄性先熟和性转换现象。合浦珠母贝是根据生殖腺表面的颜色来区分雌雄性别,通常雌性性腺表面颜色为蛋黄色,雄性为桔红色。以养殖1周年的标本分析中得出雌:雄为51:49,两者比例相近。雌性或雄性的出现率在每个月中为50%左右(图6)。

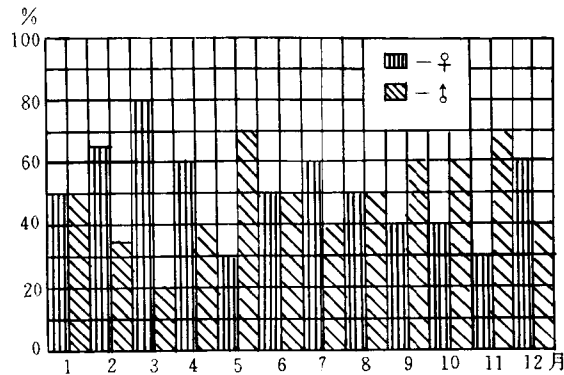


图6 合浦珠母贝的性别结构

2. 个体大小结构

壳高、壳长和壳宽分别代表合浦珠母贝三个不同方向生长的情况。合浦珠母贝的壳高处在4.3~6.7cm范围内。其中出现率最高为26%,处于壳高5.8~6.1cm的位置上;其次出现率分别为22%和24%,它们分别处在壳高5.5~5.8cm和6.1~6.4cm的位置上。出现率比较低为14%,处在壳高5.2~5.8cm的位置,出现率比较低为6%和4%,它们分别处在壳高4.9~5.2cm和6.4~6.7cm的位置,出现率最低为2%和2%,它们分别处在壳高4.3~4.6cm和4.6~4.9cm的位置(图7)。

合浦珠母贝的壳长在3.8~6.2cm范围之间。其中出现率最高为24%,落在壳长5.3~5.6cm的位置上,其次出现率分别为22%和18%,它们分别落在壳长5.0~5.3cm和5.6~5.9cm的位置上。比较高的出现率为14%和16%,它们分别落在壳长4.4~4.7cm和4.7~5.0cm的位置上,出现率最低为2%,2%和2%,它们分别处在壳长3.8~4.1cm,4.1~4.4cm和5.9~6.2cm之间的位置(图7)。

合浦珠母贝的壳宽在1.8~2.7cm范围内。其中出现率最高为24%和24%,它们分别处在壳宽2.1~2.2cm和2.3~2.4cm的位置上,其次出现率为16%,落在壳宽2.4~2.5cm位置上,出现率比较高为12%,落在壳宽2.2~2.3cm的位置上,出现率比较低为6%和6%,它们分别处在壳宽2.0~2.1cm和2.6~2.7cm的位置上,最低的出现率为2%,处在壳宽1.8~2.0cm的位置(图7)。

3. 壳宽系数的结构

合浦珠母贝的壳宽系数在15~20之间的范围内。其中出现率最高为24%,落在壳宽系数17.5~18.0的位置上,其次出现率18%和16%,它们分别处在壳宽系数16.5~17和17~17.5的位置上。比较高的出现率为12%和12%,它们分别处在壳宽系数16~16.5和18~18.5的位置上。壳宽系数出现率比较低为6%和6%,它们分别处在壳宽系数16~16.5和18.5~19的位置,壳宽系数出现率最低为2%,2%和2%,它们分别处在壳宽系数15~15.5,19~19.5和19.5~20的位置(图8)。

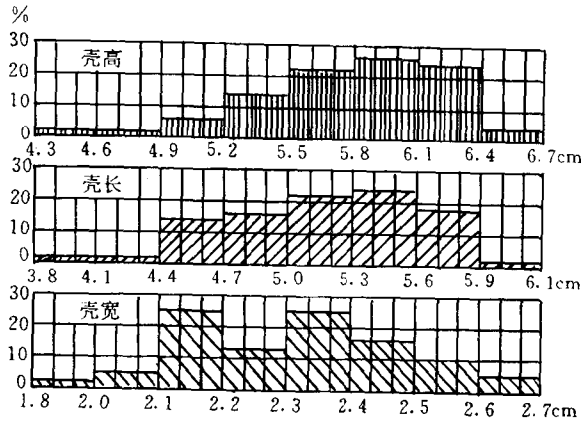


图7 合浦珠母贝个体大小组成

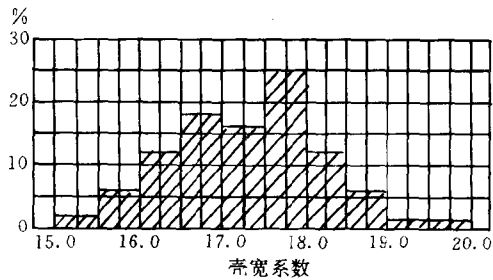


图8 合浦珠母贝的壳宽系数组成

4. 体重结构

合浦珠母贝的体重分布在 15~50g 范围内。其中出现率最高为 28%，落在体重 30~35g 的位置上，其次出现率为 22% 和 20%，它们分别处在体重 25~30g 和 35~40 的位置上。比较高的出现率为 18%，落在体重 40~45g 的位置上。出现率比较低为 4% 和 6%，它们分别处在体重 15~20g 和 45~50g 的位置上。出现率最低为 2%，处在体重 20~25g 的位置(图 9)。

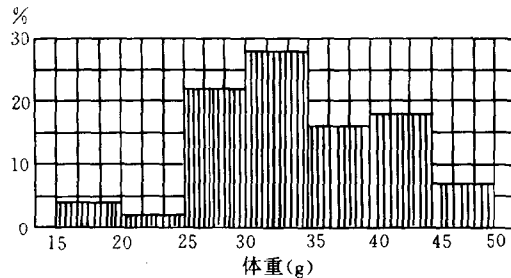


图9 合浦珠母贝体重组成

5. 生长率结构

以壳高的生长率代表合浦珠母贝个体大小的生长，并以体重的生长率代表合浦珠母贝个体重量的增长。

合浦珠母贝的壳高自 1 月开始增长，生长率为 5.48%，2 月生长速度加快，生长率为 9.20%，3 月生长达到高峰，生长率为 14.41%，4~6 月生长率仍然保持在较高水平，分别为 11.68%，11.88% 和 12.86%。7~11 月生长都处在比较低的水平，生长率分别为 6.88%，

5.79%, 5.97% 和 6.56%。12 月是全年生长率最低的 1 个月, 生长率为 3.48% (图 10)。

合浦珠母贝体重的增长, 自 1~3 月增长速度缓慢, 生长率分别为 3.95%, 4.06% 和 3.86%。4~6 月增长速度加快, 生长率分别为 8.32%, 10.10% 和 10.36%, 其中 6 月份形成第一个生长高峰。到 7 月增长速度下降, 生长率为 5.41%。8~9 月增长速度有逐步上升, 分别为 14.58% 和 19.86%, 其中 9 月为第二次生长高峰, 同时也是全年最大的生长高峰。10~12 月是增长速度逐步下降的过程, 生长率分别为 7.64%、7.29% 和 4.84% (图 10)。

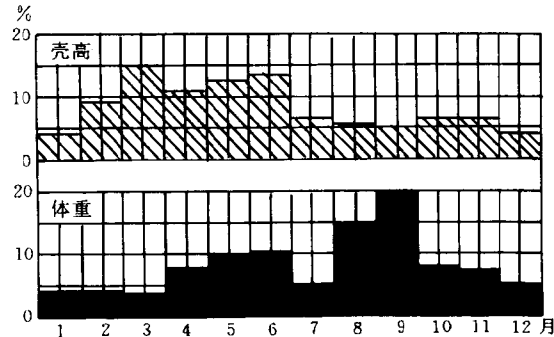


图 10 合浦珠母贝贝壳生长率结构

三、翡翠贻贝的结构

翡翠贻贝 (*Perna viridis*) 是大亚湾近几年开始养殖的贝类, 由于这种贝采苗容易, 养殖技术简单, 产量高的特点, 在广东养殖贝类中排名第三, 去年在广西开始养殖。我国对翡翠贻贝的研究比较少, 有翡翠贻贝亲贝室内培育 (陈新祥等, 1977), 翡翠贻贝的人工育苗 (广东海丰水产养殖等, 1974), 翡翠贻贝幼虫饲料研究 (魏贻尧等, 1983) 和大亚湾核电站邻近水域翡翠贻贝的生长 (金启增等, 1995) 以及生长模型的初步研究 (练建生等, 1995), 翡翠贻贝异速生长的关系 (蔡立哲等, 1988)。

1. 性别结构

翡翠贻贝通常属于雌、雄异体, 有时也存在雌、雄同体现象。同时还存在雄性先熟和性转换现象。雌性性腺表面颜色为桔红色, 雄性为乳白色。根据养殖翡翠贻贝 1 周年后的资料分析得出雌: 雄为 48:52。雄性稍多于雌性。雌性或雄性的出现率在 50% 左右波动 (图 11)。

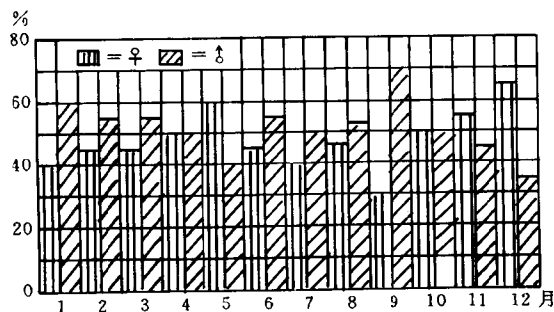


图 11 翡翠贻贝的性别结构

2. 个体大小结构

以壳高、壳长和壳宽分别代表翡翠贻贝三个不同方向生长的情况。

翡翠贻贝的壳长在 6.0~10.0cm 范围之间。其中出现率最高为 28%，落在壳长为 8.0~8.5cm 的位置上，其次出现率分别为 16%，18% 和 22%，它们分别落在壳长 7.0~7.5cm，7.5~8.0cm 和 8.5~9.0cm 的位置上。出现率比较低为 4%，6% 和 6%，它们分别处在壳长 6.0~6.5cm，6.5~7.0 和 9.0~9.5cm 的位置，出现率最低为 2%，处在壳长 9.5~10.0cm 的位置(图 12)。

翡翠贻贝的壳高在 2.8~4.0cm 范围内。其中出现率最高为 36%，处于壳高 3.4~3.6cm 的位置上，其次出现率分别为 20% 和 32%，它们分别处在壳高 3.2~3.4cm 和 3.6~3.8cm 的位置上。出现率比较低为 4% 和 6%，它们分别处在壳高 2.8~3.0 和 3.8~4.0cm 的位置，出现率最低为 2%，处在壳高 3.0~3.2cm 的位置(图 12)。

翡翠贻贝的壳宽在 1.8~2.8cm 范围内。其中出现率最高为 30%，处在壳宽 2.2~2.3cm 的位置上，其次出现率为 16%，18% 和 14%，它们分别落在壳宽 2.0~2.1cm，2.1~2.2cm 和 2.3~2.4cm 位置上。出现率比较低为 4%，落在壳宽 1.8~1.9cm 的位置上，最低的出现率为 2%，2% 和 2%，它们分别处在壳宽 2.4~2.5cm，2.5~2.6cm 和 2.7~2.8cm 的位置(图 12)。

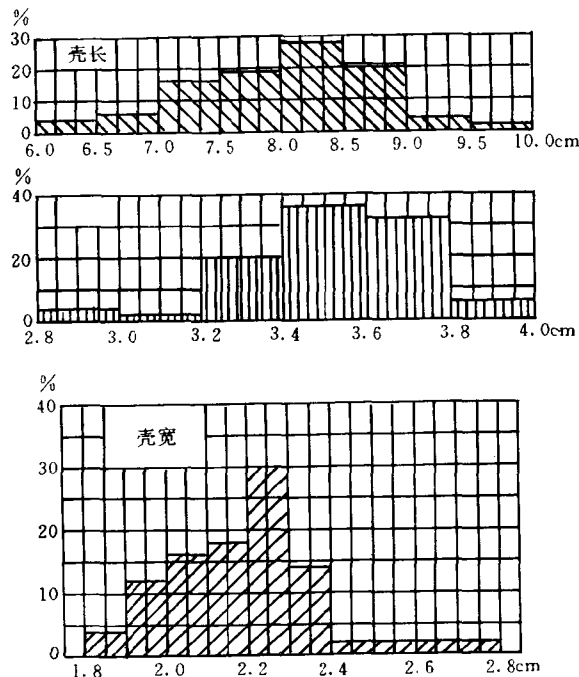


图 12 翡翠贻贝个体大小结构

3. 壳宽系数的结构

翡翠贻贝的壳宽系数在 14.0~19.0 的范围内。其中出现率最高为 24%，落在壳宽系数 15~15.5 的位置上，其次出现率分别为 16%，14% 和 14%，它们分别处在壳宽系数 15.5~16，16~16.5 和 16.5~17 的位置上。比较高的出现率为 10% 和 8%，它们分别处在壳宽系数 14~14.5 和 17.5~18 的位置上。壳宽系数出现率最低为 2% 和 2%，它们分别处在壳宽系数 18~18.5 和 18.5~19 的位置(图 13)。

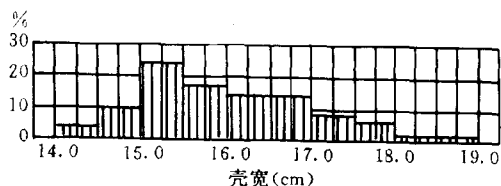


图 13 翡翠贻贝的壳宽系数结构

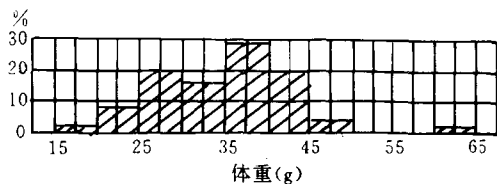


图 14 翡翠贻贝的体重结构

4. 体重结构

翡翠贻贝的体重分布在 15~65g 范围内。其中出现率最高为 28%，落在体重 25~30g 的位置上，其次出现率为 20%，16% 和 20%，它们分别处在体重 25~30g、30~35g 和 40~45g 的位置上。出现率比较低为 8% 和 4%，它们分别处在体重 20~25g 和 40~45g 的位置上。出现率最低为 2% 和 2%，它们分别处在体重 15~20g 和 60~65g 的位置(图 14)。

5. 生长率结构

以壳长的生长率代表翡翠贻贝个体大小的生长，并以体重的生长代表翡翠贻贝个体重量的生长。

在 1~12 月期间，翡翠贻贝的壳长生长率结构月际之间呈有规律的变化，自 1~4 月生长速度都比较低，生长率分别为 4.83%，6.78%，4.12% 和 6.33%，5~7 月生长速度加快，生长率分别为 11.07%，13.83% 和 17.97%。其中 7 月份为第一个长高峰，而且是全年最大的生长高峰。8~9 月生长率呈下降趋势，生长率分别为 8.37% 和 4.92%，10~11 月生长率有开始上升，生长率分别为 8.13% 和 8.64%。其中 11 月份是第二个生长高峰。12 月生长率有开始下降，生长率为 5.01% (图 15)。

翡翠贻贝在 1~12 月期间的体重生长率结构月际之间呈有规律的变化，自 1~4 月生长速度比较低，生长率分别为 3.13%，2.44%，4.14% 和 4.08%，5~7 月生长速度加快，生长率分别为 7.83%，10.71% 和 18.71%，其中 7 月为第一个长高峰。8~9 月生长率呈下降趋势，生长率分别为 19.04% 和 6.78%，10~11 月生长率有开始上升，生长率分别为 11.00% 和 14.41%。其中 11 月份是第二个生长高峰。12 月生长率有开始下降，生长率为 7.73% (图 15)。

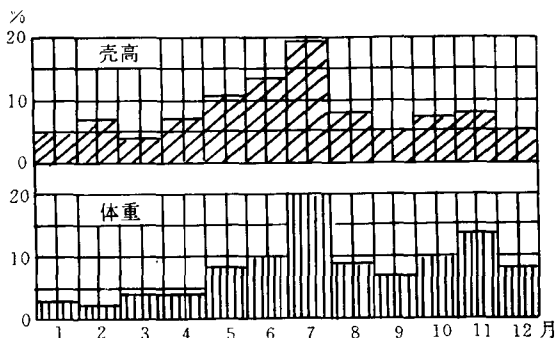


图 15 翡翠贻贝的生长率

参考文献

- [1] 广东省海丰市海水养殖场. 1974. 翡翠贻贝人工附苗的初步研究. 水产科技情报, 6: 5~11
- [2] 林永水, 袁文彬. 1989. 浮游生物(一)浮游植物. 见: 徐恭昭等. 大亚湾环境与资源. 合肥: 安徽科学技术出版社, 162~175
- [3] 陈柏云, 蔡友义. 1985. 华贵栉孔扇贝浮游幼虫食性的研究. 厦门大学学报, 24(3): 387
- [4] 陈新祥, 林向阳, 黄智才等. 1977. 翡翠贻贝亲贝室内饲料的初步研究. 动物学报, 23(1): 14~23
- [5] 沈鹤琴, 蔡创华, 周毅频. 1989. 海洋微生物. 见: 徐恭昭等. 大亚湾环境与资源. 合肥: 安徽科学技术出版社, 162~175
- [6] 金启增, 郭澄联, 胡建兴等. 1991. 华贵栉孔扇贝生产性育苗高产试验. 热带海洋, 10(3): 8~15
- [7] 金启增等. 1993. 珍珠贝种苗生物学. 北京: 海洋出版社
- [8] 金启增. 1995. 华贵栉孔扇贝育苗和养殖生物学. 北京: 科学出版社
- [9] 练建生, 金启增, 郭澄联等. 1995. 翡翠贻贝生长模型的初步研究. 见: 邹仁林. 大亚湾生物资源持续利用. 科学出版社, 1~6。
- [10] 蔡友义, 陈维敬. 1986. 扇贝浮游幼虫和稚贝的饵料异胶藻应用研究. 福建水产, (2): 26~32
- [11] 黄宗国, 李传燕, 郑东强. 1990. 大亚湾西侧近岸马尾藻的种群动态. 见: 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾生态文集. 北京: 海洋出版社, 79~81
- [12] 魏贻尧, 金启增, 谢玉坎等. 1983. 翡翠贻贝幼虫饲料的初步研究. 水产学报, (1): 33~41
- [13] 真珠养殖全书编辑委员会. 1965. 全国真珠养殖渔业协同组合联合会. 东京
- [14] Cai Lizhe and Li Fuxue. 1988. On the several fundamental allometries of the green mussel, *Perna viridis*. Proceedings on the Marine Biology of the South China Sea. China Ocean Press, Beijing, China