



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和讨论,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

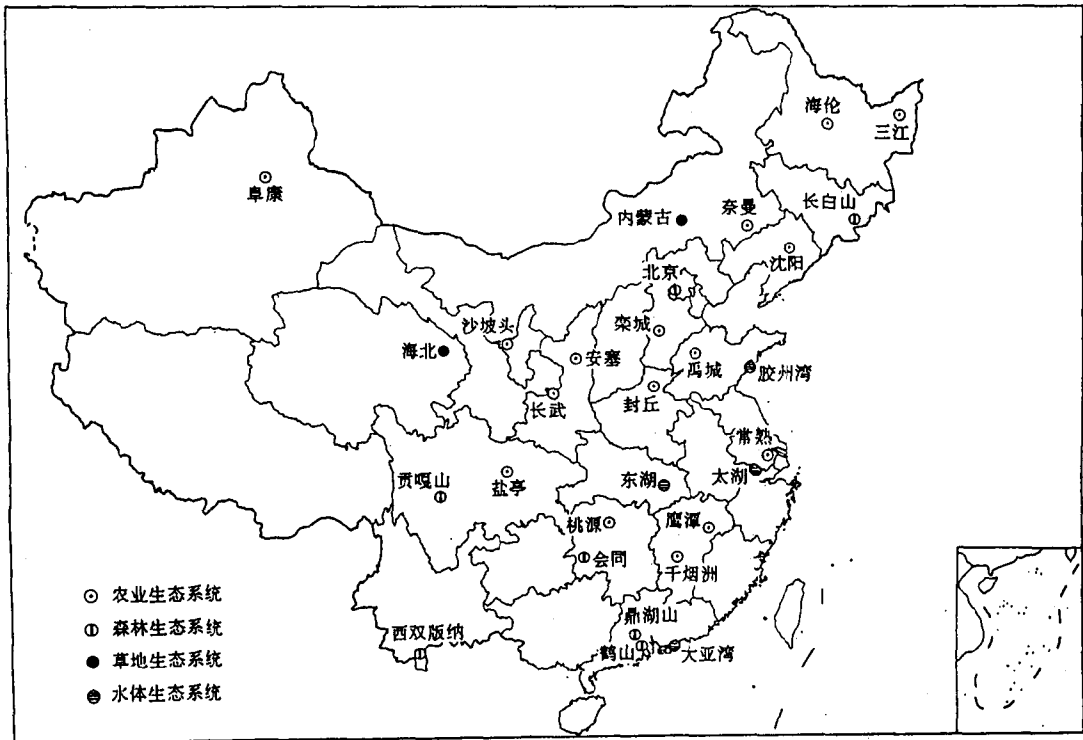
副主编:徐恭昭 潘金培

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互结合外,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

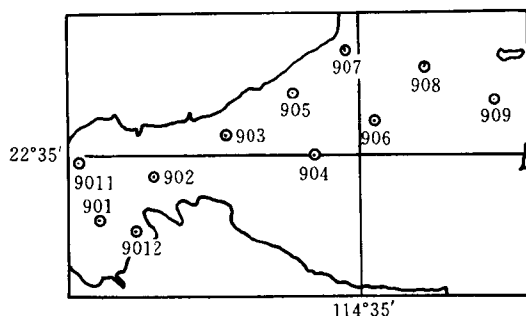


图 1 大亚湾西南部水域生态调查站位示意图

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。表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。表泥中共检出 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 $7200\text{个}/\text{m}^2$ 。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 $11.7\text{kcal}^{\text{①}}$ 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 $16.94\sim 30.33^{\circ}\text{C}$, 最低的水温出现在 1 月, 为 12°C 左右, 最高的水温在 8 月。盐度的变化范围为 $25.48\sim 33.14$, 最高的月份在 11 月, 最低的月份在 8 月。溶解氧为 $4.01\sim 5.74\mu\text{mol/L}$, 溶解氧的饱和度为 $97.90\%\sim 123.61\%$, pH 为 $8.07\sim 8.45$, 碱度为 $1.77\sim 2.23\text{nmol/L}$, 硝酸盐-氮为 $0.00\sim 5.44\mu\text{mol/L}$, 亚硝酸盐-氮为 $0.00\sim 1.03\mu\text{mol/L}$, 氨-氮为 $0.24\sim 1.09\mu\text{mol/L}$, 磷酸盐为 $0.07\sim 0.87\mu\text{mol/L}$, 硅酸盐为 $12.00\sim 28.06\mu\text{mol/L}$ 。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°C , 5 月份为以上贝类的繁殖高峰期, 当时的水温为 25°C , 核电站的热排放将提高周围水域水温的理论值为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ (即为 27°C), 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°C , 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 $6.5\sim 9^{\circ}\text{C}$, 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°C , 1994 年度已上升为 23.87°C , 升高 0.5°C , 1991 年度 1 月份的表温为 16.94°C , 1995 年 1 月份上升为 19.23°C , 在核电站排水口附近水域, 由 1991 年的 17.52°C 上升为 21.80°C , 特别是夏季, 水温高达 35.00°C , 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°C ; 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 $185.7\text{mg}/\text{m}^3$; 底栖生物的年平均生物量为 $72.34\text{g}/\text{m}^2$ 。作为主要增殖区, 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。淤泥中异养细菌的数量为 $19 \times 10^4 \sim 5100 \times 10^4$ 个/ml。其中大鹏澳淤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。