

乐清湾、三门湾养殖生态和 养殖容量研究与评价



宁修仁等 著



海洋出版社

67.1
0503

乐清湾、三门湾养殖生态 和养殖容量研究与评价

宁修仁等 著

海洋出版社

2005年·北京

图书在版编目(CIP)数据

乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价 / 宁修仁等著. —北京:
海洋出版社, 2005.3

ISBN 7-5027-6298-1

I. 乐… II. 宁… III. ① 海港-海水养殖-生态学-研究-浙江省
② 海港-海水养殖-容量-研究-浙江省 IV. S967.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 016938 号

责任编辑: 刘亚军

责任印制: 严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

天津蓟县宏图印务有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17.875

字数: 450 千字 印数: 1~800 册

定价: 80.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

由于海洋渔业捕捞过度和资源的严重衰退,我国海洋生物资源开发的重点正在从传统的捕捞业向养殖业转化。近几年来,海水养殖业的规模急速扩大,产量大幅度增长,形势很好。继海带和对虾养殖产业发展高潮之后,贝类养殖已发展成为世界最大规模的养殖产业,年产量近1 000万 t(2003年为985万 t);而网箱养鱼也正在高速发展;海水养殖业已成为极其庞大而重要的产业,在沿海经济的发展和渔民的生计中起着重大作用。但是,由于渔民群众发展养殖生产的热情和积极性无度发挥,政府有关部门又缺乏严格与科学的管理,生产者片面追求高产,忽视了长远的生态效益,致使不少海域发展过度,养殖自身污染加重,导致环境恶化,破坏了生态系统的结构与功能,严重影响到海水养殖业的持续、稳定发展。因此,研究、评价养殖海域生态特征和养殖容量、为健康养殖与环境和资源的协调及可持续发展的管理提供科学依据已成为水产养殖业亟待解决的重大问题。令人欣慰的是,这些方面出现的问题已经引起科技界、海洋环境和渔业资源管理部门与广大养殖人员的高度重视,开始采取各种措施、手段,寻求科学依据和技术支撑来控制养殖生产规模和调整养殖业的布局。

在海域养殖生态和养殖容量的研究与评价方面,目前对维持自然水体物质供需平衡进行浅海生物(如贝、藻类)养殖容量的研究与评价已有报道,但对滩涂贝类、尤其是舔食性贝类(如浙江著名特产泥螺)养殖容量的研究与评价则尚未见有成果报道,对海湾人工投饵网箱养鱼系统养殖容量的研究与评价也极少见到。宁修仁教授继2003年主编出版《象山港水域养殖生态与主要鱼类养殖容量研究与评价》一书之后,又出色地完成内容更加丰富的专著《乐清湾、三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价》。该专著紧密联系养殖生产,涉及的研究项目和学科内容更加丰富,以多学科联合攻关方式,通过对浙江省重要养殖区乐清湾和三门湾养殖环境及生态特点(包括水体温、盐结构、潮汐变化、水交换等水文特征,水质和底质化学环境,水域和滩涂初级生产力,浮游植物、浮游动物和底栖生物生态特征,季节与空间变化及其与水产养殖的关系)等诸多领域的综合与系统研究、主要养殖生物与其生存环境的相互作用——养殖生物对栖息环境的影响及对环境变化的响应研究、主要养殖生物生态生理和能量代谢与收

支研究等,采用营养动态学方法和数值模拟手段来测定和评价投饵网箱养鱼、筏式和滩涂养贝的养殖容量以及大型藻类对养殖动物污染的纠正容量。结合两湾水交换、更新与自净能力,饵料生物的丰度与分布,氮、磷等污染物的浓度与分布,并通过遥感对岸线和地形的测量来评价该两湾养殖业的合理布局,为该两湾网箱投饵养鱼业和贝、藻养殖业可持续发展的管理及其决策提供了科学依据和技术支撑,并为其养殖生态结构优化技术的开发打下基础。该专著可为我国其他海湾的同类研究和海水养殖业的科学管理提供借鉴,具有重要的科学意义和很高的应用价值。总之,该著作的出版标志着我国在该领域研究的又一重要进展,它将为推动全国各海湾生态学研究和养殖生产的健康与持续发展作出更大的贡献。



中国科学院院士
中国海洋与湖沼学会名誉理事长
中国科学院海洋研究所前所长

2004年11月4日于青岛

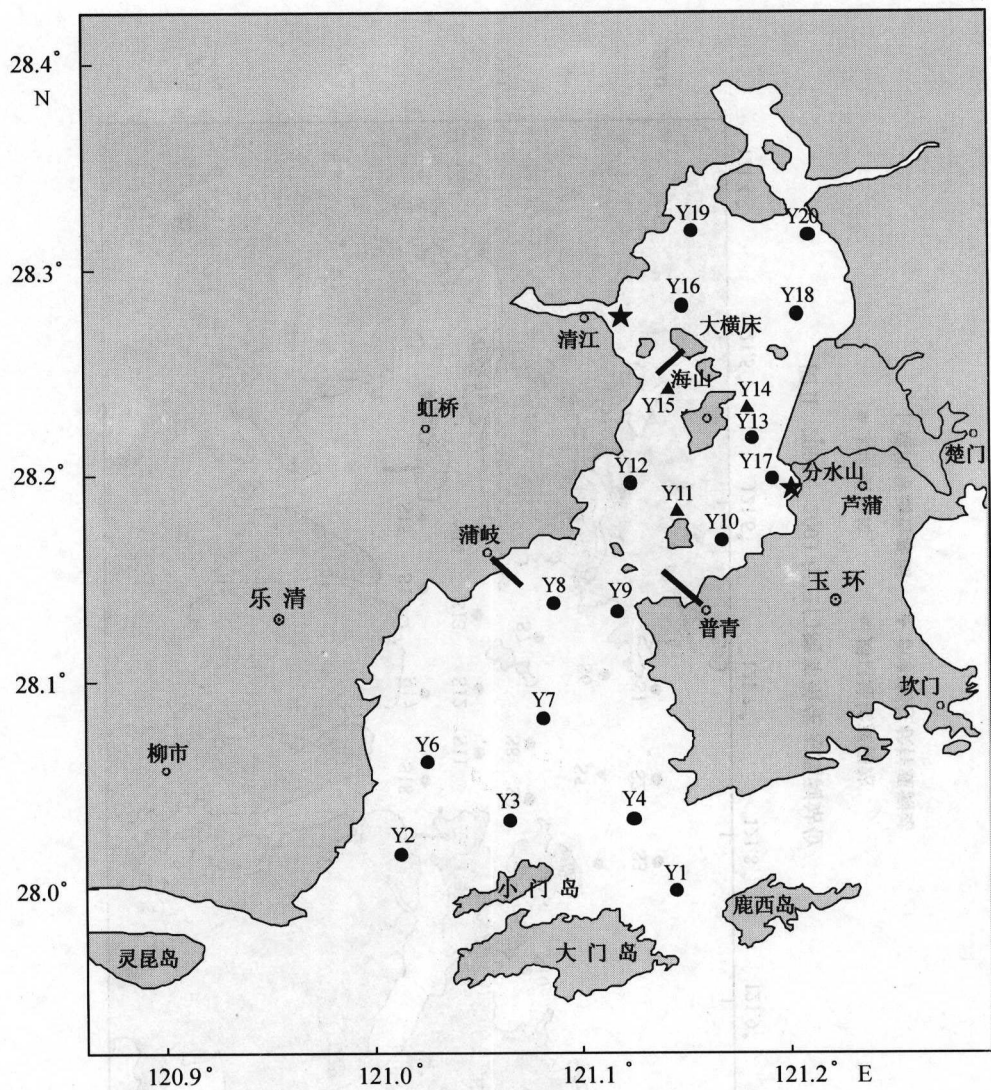


图 I 2002~2003 年乐清湾养殖生态观测站位

- 大面观测站 ▲ 周日连续观测站
- | 潮间带调查断面 ★ 沉积物柱状样观测站

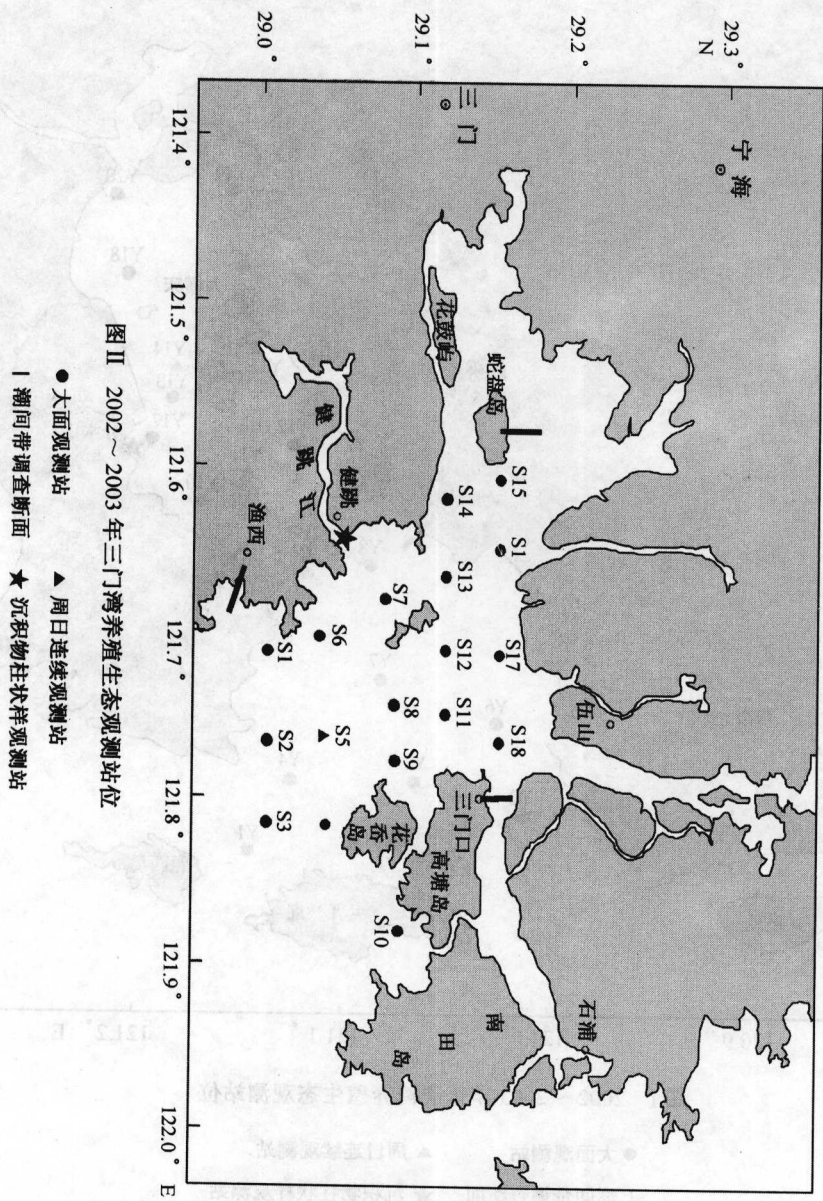


表 I 2002~2003 年乐清湾、三门湾养殖生态观测站位经纬度表

站号	乐清湾		站号	乐清湾	
	北纬(N)	东经(E)		北纬(N)	东经(E)
Y1	27°59'53"	121°08'41"	S1	29°00'17"	121°42'45"
Y2	28°00'56"	121°00'47"	S2	29°00'17"	121°46'00"
Y3	28°01'55"	121°03'55"	S3	29°00'17"	121°48'57"
Y4	28°01'58"	121°07'30"	S4	29°02'35"	121°49'01"
Y6	28°03'38"	121°01'33"	S5 ▲	29°02'30"	121°45'47"
Y7	28°04'55"	121°04'53"	S6	29°02'17"	121°42'11"
Y8	28°08'14"	121°05'13"	S7	29°04'50"	121°40'50"
Y9	28°08'01"	121°07'05"	S8	29°05'12"	121°44'39"
Y10	28°10'06"	121°10'05"	S9	29°05'14"	121°46'40"
Y11 ▲	28°10'59"	121°08'49"	S10	29°05'25"	121°52'50"
Y12	28°11'45"	121°07'28"	S11	29°07'09"	121°45'00"
Y13	28°13'04"	121°11'00"	S12	29°07'09"	121°42'39"
Y14 ▲	28°13'59"	121°10'51"	S13	29°07'09"	121°40'00"
Y15 ▲	28°14'31"	121°08'35"	S14	29°07'10"	121°37'09"
Y16	28°16'56"	121°09'00"	S15	29°09'15"	121°36'28"
Y17	28°11'54"	121°11'34"	S16	29°09'15"	121°39'00"
Y18	28°16'41"	121°12'17"	S17	29°09'15"	121°42'50"
Y19	28°19'08"	121°09'16"	S18	29°09'15"	121°46'00"
Y20	28°19'01"	121°12'39"			

注：带▲符号的站位既是大面观测站又是周日连续观测站。

目 次

第一章 乐清湾和三门湾养殖生态与鱼、贝、藻类养殖容量总论	(1)
第二章 乐清湾养殖生态	(30)
第一节 乐清湾水动力环境及水交换数值模拟	(30)
第二节 乐清湾水化学环境特征和水产养殖对富营养化的影响	(40)
第三节 乐清湾沉积化学环境及养殖区沉积物氮磷释放模拟	(47)
第四节 乐清湾网箱养殖区水质变化	(54)
第五节 乐清湾潮间带有机碳、总氮、总磷和硫化物的分布	(59)
第六节 乐清湾浮游植物生物量和生产力的分布特征及其粒级结构	(63)
第七节 乐清湾底栖微型藻类现存量 and 生产力	(72)
第八节 乐清湾浮游植物季节变化特征	(79)
第九节 乐清湾浮游动物的分布和季节变化	(89)
第十节 乐清湾大型底栖生物初步研究	(97)
第三章 三门湾养殖生态	(111)
第一节 三门湾水动力环境及水交换数值模拟	(111)
第二节 三门湾海域环境质量现状及其年际变化	(120)
第三节 三门湾健跳网箱养殖区水环境的研究	(129)
第四节 三门湾潮间带有机碳、总氮、总磷和硫化物的分布	(133)
第五节 三门湾浮游植物生物量和生产力的分布特征及其粒级结构	(136)
第六节 三门湾底栖微型藻类现存量 and 生产力	(145)
第七节 三门湾浮游植物季节变化特征	(151)
第八节 三门湾浮游动物的分布和季节变化	(160)
第九节 三门湾大型底栖生物初步研究	(168)
第四章 乐清湾和三门湾主要养殖生物生态生理	(178)
第一节 网箱养殖大黄鱼、美国红鱼的耗氧率和氮排泄率	(178)
第二节 网箱养殖大黄鱼的摄食率、排粪率和氮收支	(183)
第三节 缢蛏、泥蚶摄食生理及其季节变化	(188)
第四节 太平洋牡蛎摄食生理和能量收支	(192)
第五节 乐清湾、三门湾主要滤食性养殖贝类的碳收支	(197)
第六节 泥螺呼吸和排泄的初步研究	(205)
第七节 不同氮源及浓度对条斑紫菜叶状体生长的影响	(208)

第八节 海洋红藻坛紫菜叶状体的氮营养动力学研究·····	(213)
第五章 乐清湾和三门湾养殖容量及养殖业的合理布局·····	(219)
第一节 乐清湾、三门湾海水养殖状况分析·····	(219)
第二节 虾塘中紫菜栽培实验及其氮磷纠正效应·····	(227)
第三节 坛紫菜栽培引起的环境效应与氮吸收·····	(231)
第四节 不同放养密度对泥螺生长的影响·····	(239)
第五节 乐清湾网箱养鱼养殖容量及合理布局数值模拟·····	(243)
第六节 三门湾网箱养鱼养殖容量及合理布局数值模拟·····	(250)
第七节 乐清湾、三门湾贝类养殖容量和合理布局研究·····	(256)
参考文献·····	(265)
后记·····	(274)

第一章 乐清湾和三门湾养殖生态 与鱼、贝、藻类养殖容量总论

一、引言

在我国,由于长期以来的过度捕捞导致传统的、优质的和高营养阶层的海洋渔业资源衰竭,加之1996年《联合国海洋法公约》生效后我国近海渔业作业范围的缩小,传统的捕捞渔业已无法满足市场对海洋水产品需求的增长。为保护渔业资源,1999年农业部提出海洋捕捞产量实行“零增长”的目标,目前已基本实现。进入20世纪90年代以来,海水养殖业迅猛发展,产量从1987年的192.6万t增加到1998年的860万t,占海洋渔业产量的比重从27%上升到36.5%(陈宜瑜,2000),预计到21世纪初将超过50%。我国已成为世界海水养殖大国,海水养殖产量约占全球海水养殖总产量的80%以上(陈宜瑜,2000)。

然而,在海水养殖业的发展过程中也出现了一些新的问题,产业的发展和布局缺乏统一规划管理,养殖活动无序无度,忽视长远的生态效益和社会效益。目前我国海水养殖业仍主要采用粗放的养殖方式,养殖自身污染严重。在一些过度开发、养殖量过大的海区,已出现海域生态系统的失衡,海域环境富营养化程度加剧;养殖环境的恶化反过来使得养殖生物自身也面临病害蔓延、死亡率升高、产品品质下降、产量降低等问题。2002年,我国由于环境污染造成的渔业经济损失达36.2亿元(国家农业部,国家环保总局,2003),按目前污染情况加剧的趋势,渔业损失还将继续增大。沿岸海域环境污染和养殖业自身污染对渔业的影响及危害日趋严重,已经对我国浅海养殖业的健康发展造成了严重威胁。

乐清湾和三门湾分别位于浙江省南部和中部沿海,该两湾水交换较好,且口门有众多岛屿作屏障,可大大减小外海风浪对湾内的影响,加之湾内水质肥沃,涂面平坦稳定且柔软,饵料生物丰富,非常适于进行海水养殖活动,均为浙江省历史悠久的重点养殖海湾,2002年两湾合计养殖面积76.6万亩^①,占当年全省海水养殖总面积175.35万亩的43.5%。经过20世纪八九十年代的快速发展,水产养殖业已成为两湾周边县市农业经济的支柱产业。如玉环县2000年渔业总产值24.5亿元,占农业总产值的86.7%,其中水产养殖产量占渔业总产量的37%,达11.02万t,居全国首位。但由于一味追求产量和产值,养殖业在缺乏科学规划的情况下无序无度地发展,使外源污染物大量输入,加上陆源排放的影响,已对海湾环境造成严重污染,致使养殖生物病害蔓延、死亡率升高,养殖业发展速度已逐步放缓甚至出现倒退。特别是乐清湾海域在2000年养殖产量达到15.28万t历史最高值后,在此后两年内虽然养殖面积继续增加,产量却大幅回落。

针对浙江省重点养殖海湾养殖业面临的问题,2002年浙江省海洋与渔业局下达了重大科技攻关项目“乐清湾和三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价”(No. 02-01);之后,在浙

^① 亩为非法定计量单位,沿用习惯使用,1公顷=15亩。

江省科学技术厅的支持下,该项目又被列为省科技厅配套项目“浙江重点海湾养殖容量研究与应用”(No. 2003C23025)。本项研究的目的在于了解浙江省最重要的海水养殖基地—乐清湾和三门湾近年来的生态环境,特别是水动力状况、化学环境、基础生产力等的变化,探讨其影响因素,为养殖业的合理布局提供科学依据;研究与确定该两湾网箱养鱼的养殖容量和滩涂贝类的养殖容量,即在不造成对环境健康有害影响前提下的最大养殖生物量,为浙江省上述重点海水养殖基地投饵网箱养鱼业和滩涂贝类养殖业的可持续发展的管理提供科学依据和技术支撑。

二、研究内容

研究内容包括乐清湾和三门湾养殖生态与环境调查研究、养殖鱼类生态生理与养殖容量研究与评价、养殖贝类生态生理与养殖容量研究与评价和主要养殖大型藻类生态生理与养殖容量研究与评价。

1. 乐清湾、三门湾养殖生态与环境调查研究

- 水动力特征和污染物的扩散运移机制

观测参数:水深、水温、盐度、流速流向、浊度、风速、风向、气温、气压等。

- 化学环境特征,污染物的来源与通量及其与水产养殖的关系

观测参数:① 水体: pH、DO、COD、化学营养盐($\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4 - \text{P}$)、非离子氨($\text{NH}_3 - \text{N}$)、颗粒有机碳(POC)、总有机碳(TOC)等;② 沉积物: 硫化物、TOC、总氮、总磷等。

- 水域基础生产力及其环境调控机制

观测参数:Chl a、初级生产力及其粒级结构,透明度,现场光强度等。

- 浮游植物种类组成、丰度与生物量分布、增长率及其与养殖环境的关系
- 浮游动物种类组成、丰度与生物量分布、摄食率及其与养殖环境的关系
- 底栖动物种类组成、栖息密度与生物量分布及其与养殖环境的关系
- 大型藻类生长与代谢特征及其对养殖环境和养殖生物的影响

2. 乐清湾和三门湾投饵网箱养鱼区的环境负荷与养殖容量研究

- 网箱养鱼区水交换特征及其对物质运移扩散的作用

观测参数:温、盐、流和浊度。

- 网箱养鱼区水体污染负荷物水平及其对养殖鱼类的影响

观测参数:总悬浮物、温度、盐度、pH、DO、COD、三氮、磷、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 等。

- 网箱养鱼区沉积物污染负荷物水平、在海底的积累速率和再释放速率

观测参数:沉积物的色、嗅、TOC、总氮、总磷、硫化物等。

- 主要养殖鱼类的生态生理特征和能量收支及其对不同污染负荷水平的反应

观测参数:养殖鱼类的摄食率(饵料利用率)、排粪率、氨氮排泄率、呼吸率、增长率、饵料系数、成活率等。

- 养殖鱼排的合理布局和养殖容量的数值模拟

3. 乐清湾和三门湾养殖贝类生态生理与养殖容量的研究

- 滩涂养殖生态系沉积环境特征评价

观测参数:潮汐、沉积物的温度、盐度(间隙水)、TOC、总氮、总磷、硫化物等。

- 滩涂养殖生态系底栖微型藻类生物量和生产力
观测参数:叶绿素 a 和脱镁色素、初级生产力等。
 - 主要滤食性养殖贝类(包括水域和滩涂)的生态生理特征和能量收支
观测参数:主要滤食性养殖贝类滤食率、排粪率、氨氮排泄率、呼吸率和生长率。
 - 滩涂养殖生态系主要非滤食性养殖贝类的生态生理特征和适宜养殖密度
观测参数:① 室内模拟实验:摄食率、排粪率、氨氮排泄率、呼吸率和生长率;② 现场不同养殖密度的增长率。
 - 滩涂贝类和浅海养殖贝类养殖容量的数值模拟
4. 乐清湾和三门湾大型藻类生态生理与养殖容量的研究
- 大型藻类对减轻水域营养负荷的贡献
观测参数:① 大型藻类对营养盐的摄取率和藻类增长率;② 虾塘紫菜混养实验。
 - 水域营养盐收支
 - 大型藻类养殖容量的研究与评价

三、站位布设、观测频率及实验方法

1. 观测站位与采样层次的设置

(1) 海域养殖生态观测站位布设

① 乐清湾

在乐清湾内共设大面观测站 19 个(兼顾主水道、网箱密集区和筏式养贝区),周日连续观测站 3 个(图 I,表 I)。观测层次除 TOC 和 POC 按表、底两层观测外,其他参数按水深 3~10 m,采表、底两层;水深大于 10 m,采表、5 m 和底三层;水深浅于 3 m,只采表层。周日连续观测站设在潮流主轴区 2 个、筏式养贝区 1 个(图 I),观测层次为表、底两层。

表层沉积物的化学分析样和底栖动物样品同步采集,采集站位共 15 个,其中夏、冬航次在分水网箱密集区的鱼排内侧、外侧和筏式牡蛎养殖区沉积物采取柱状样,进行分层分析。

② 三门湾

在湾内设大面观测站 17 个,周日连续观测站 1 个。布站原则和观测层次与乐清湾相同(图 II,表 I)。

表层沉积物的化学分析样和底栖动物样品同步采集,采集站位共 14 站,另于夏、冬季航次在健跳港鱼排区网箱中部和边沿采集柱状泥样,按层分析。

(2) 实验鱼排网箱区的实验观测

在乐清湾分水网箱养鱼密集区设置水质监测点,其中鱼排四周设 4 个点,采集表层(0.5m)和底层(离底约 0.5 m)水样;在鱼排内选择 6 个试验网箱,采集 1 m 深处水样。同时,以新设立的青山网箱养鱼区作为对照区,同样在鱼排外侧和网箱内设点采集水样。所有采样均在网箱两次投饵之间进行。此外,于 8 月和 2 月在分水网箱养殖区的涨、落潮方向设 2 个 24 h 连续观测点,每 3 h 一次采集表、底层水样,分析网箱养殖对水质的影响。并在实验鱼排取养殖最多的代表性鱼种——大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)和美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)进行养殖鱼类的生态生理和能量收支实验。

(3) 滤食性贝类生态生理实验

在乐清湾和三门湾分别选择主要代表性滤食性养殖贝类(太平洋牡蛎 *Crassostrea gigas*、僧帽牡蛎 *Saccostrea* sp.、泥蚶 *Tegillarca granosa*、缢蛏 *Sinonovacula constricta*)进行生态生理和能量收支实验。

(4) 主要滩涂贝类养殖区的实验观测

在乐清湾和三门湾各选择滩涂贝类养殖比较集中的三个滩涂区(乐清湾的普青、大横床和蒲岐,图 I;三门湾的蛇盘岛、渔西和三门口,图 II),垂直于岸线各设一条测线,选其高、中和低潮区三个测点采集表层泥样和间隙水进行化学参数和温度、盐度测定,同时采集柱状泥样供叶绿素 a 和脱镁色素(取平行双柱)、光合作用速率(取平行 3 柱)的现场测定。

选择滩涂非滤食性养殖贝类(如泥螺 *Bullacta exarata* 等)进行不同养殖密度贝类的增长实验,并结合进行室内生态生理和能量收支模拟实验。

(5) 大型藻类实验

在乐清湾和三门湾采集大型藻类(如坛紫菜 *Porphyra haitanensis* 等)进行增长率与代谢特征、对营养盐的摄取速率和对养殖环境及养殖生物的影响实验,并进行虾塘紫菜混养实验。

2. 观测频率

大面观测均按季度代表月(2、5、8 和 11 月)进行 4 个航次调查,周日连续观测于 2 月和 8 月在大潮汛进行。

在连续站,水文观测每小时一次,化学和生物观测每 3 h 一次(底栖生物只做一次)。表层泥样采集按季度代表月进行;柱状泥样的采集于 2 月和 8 月进行。

在实验网箱群附近的两个水质连续观测点,于 2 月和 8 月各进行一次周日观测,观测频率为每 3 小时一次。网箱水质及污染负荷物测定(包括 5 个水质监测点和实验与对照网箱)除 1 月和 12 月外每月进行一次;主要养殖鱼类生态生理学测定于 2、4、6、8 和 11 月进行;沉积物中污染物(N、P)释放速率模拟测定于 8 月进行。

养殖贝类生态生理和能量收支测定在放苗 1 个月后、生长中期和收获前进行;大型藻类生态生理实验于生长期内进行 3 次(放苗 1 个月后、生长中期和收获前)。

3. 使用船只

大面站和连续站观测所使用船只均为 70 t 钢制机轮,装手摇绞车三部。在大面站,一部绞车供水文参数测量,一部供采集水样,一部供采网和采泥;在连续站,两部绞车供水文测量,一部供采集水样、网样和泥样。当天作业完毕,样品送就近海滨实验室进行处理和分析。

4. 实验和分析方法

水质参数的测定,除使用经标定过的 YSI-6000/6920 型多参数水质检测仪或经典的海洋学方法测定水温、盐度、深度、浊度、pH 值和溶解氧外,流速流向、透明度、悬浮物、营养盐(三氮和磷)、非离子氨、硫化物、COD、POC、叶绿素 a 浓度、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物等的测定以及沉积物有关参数(包括 TOC、总氮、总磷、硫化物等)的测定均按国内有关规范和国际有关通用标准进行样品的采集、贮存、运输、分析、数据处理和质量控制(国家技术监督局,1992、1998;Parsons *et al.*,1984;Strickland & Parsons,1972;SCOR,1996),潮滩底栖微型藻类叶绿素 a 和脱镁色素和光合作用速率的现场测定方法按宁修仁等(1999)。底栖生物多样性指数(H')采用 Shannon-Wiener 公式计算,均匀度(J)采用 Pielou

公式。

在实验鱼排区选择主要养殖鱼种(大黄鱼和美国红鱼)的试验网箱,进行不同养殖密度情况下水质和污染负荷及生长与代谢的测定,以及沉积物中污染物释放速率的现场模拟测定,将水动力、化学环境、养殖鱼类的生态生理特征紧密结合、综合分析和找出规律,以模拟和确定养殖容量。

采集有代表性的筏式养殖贝类(牡蛎)和滩涂养殖贝类(牡蛎、泥蚶、缢蛏、泥螺)进行现场模拟生态生理和能量收支实验,将其结果与水动力、化学环境和颗粒食物的丰度(浮游植物生物量和颗粒有机碳的浓度与分布)结合分析,考虑浮游动物与养殖贝类对浮游植物摄食的竞争(小型浮游动物摄食率实验采用 Landry 和 Hassett(1982)的稀释培养法),通过营养动力学模式的计算确定浅海贝类养殖容量及优化布局。依据实测的潮间带滩涂微型藻类初级生产力来评估滩涂贝类的养殖容量,通过研究舔食性贝类——泥螺的生态生理特征和不同养殖密度对其生长的影响,获得最佳养殖密度。

主要养殖鱼类和贝类生态生理和能量收支的实验原理相同,均需测定摄(滤)食率、排粪率、氨氮排泄率、呼吸率,计算生长率和能量收支,方法按 Valiela(1995)。

根据养殖紫菜对营养盐吸收速率的测定和二湾养殖污染对营养盐浓度的贡献,计算出该二湾的利用藻类来消除动物养殖所带来的过剩氮,从而提高动物养殖容量所需种植的紫菜面积——藻类纠正容量(correction capacity)。

5. 所使用的主要仪器设备(表 1.1.1)

表 1.1.1 本项目实施所使用的主要仪器设备

序号	仪器名称	用途
1	YSI 6920/6600 多参数水质检测仪 2 台	现场测定水温、电导、水深、浊度、pH 和 DO
2	Nortek ADP、Sontek ADP 声学多普勒流速剖面仪(美国产)	流速、流向测定
3	YSI-MCTD 多功能水质监测仪(美国产)	温度、盐度测定
4	YSI 55 溶氧仪(美国产)	溶解氧测定
5	μ Mac-1000 营养盐自动分析仪(意大利产)	营养盐测定
6	Shimadzu 1206 型分光光度计(日本岛津公司产)	营养盐测定
7	实验室盐度计(SYA2-1 型,国产),1 台	盐度校正
8	Olympus-VANOX-AHB;LB-2 显微镜(日本产)	鉴定浮游生物样品
9	Opton-Wild 体视显微镜,2 台	鉴定底栖生物样品
10	雷磁 PHB-4 pH 计(国产)	测定 pH
11	1/10 000 分析天平(日本岛津公司产)	分析称量用
12	电子天平(0.01g)	称量生物样品
13	唐纳荧光计,10 型	测定叶绿素
14	光量子计,LI-COR 1000 型	测定光合作用可利用光
15	元素分析仪	测 POC
16	液体闪烁分析仪	测 ^{14}C 丰度
17	GPS-75 定位仪,2 台	定位
18	曙光采泥器、涡旋分选器、套筛等 2 套	采集沉积物、底内底栖生物
19	柱状取样器	采集柱状沉积物样
20	浅水 I 型浮游生物网,2 顶	采集浮游动物样

续表

序号	仪器名称	用途
21	浅水Ⅲ型浮游生物网,2顶	采集浮游植物和赤潮生物样
22	网流量计,3只	测定网滤水量
23	透明度盘,2只	测透明度
24	采水器,8只	采集水样和浮游植物样
25	水样抽滤装置,6台	水样处理
26	蠕动泵	滩涂底栖藻类样品研磨
27	真空泵,6台	水样处理
28	现场光合作用测定培养器	光合作用实验
29	手摇绞车,4台	现场采集与观测
30	冰箱,低温冰柜	保存样品
31	手持风速风向仪2台	测风速风向
32	气温计	测气温
33	气压计	测气压
34	贝类生态生理实验装置	养殖贝类生态生理实验
35	鱼类生态生理实验装置	养殖鱼类生态生理实验
36	大型藻类生态生理实验装置	大型藻类生态生理实验

四、结果与讨论

1. 乐清湾生态环境

(1) 水文特征

① 温、盐结构

乐清湾内全年实测最高水温为 29.57°C , 最低水温 6.00°C , 两者温差可达 23.57°C 。季节变化十分明显, 分布次序由高至低依次为夏、春、秋、冬。影响温度平面分布的因素主要有三个: 瓯江北口径流、乐清湾东北部的湾顶水团以及来自横扯山东南的外海水, 其中乐清湾东北部存在一个明显的低温区。

乐清湾盐度变化主要受浙江沿岸流以及夏季台湾暖流的制约, 全年实测最高盐度 30.46 (夏季 Y1 站底层), 明显具有外海水入侵的迹象, 最低盐度为 14.54 (夏季 Y20 站表层)。季节分布规律, 乐清湾以南, 夏季盐度最高、春季次之、冬季最低; 而在乐清湾的北部和东北部则出现相反的趋势, 即夏季最低、春季次之、冬季最高。盐度的平面分布规律为各季节均为口门盐度最高, 向湾内盐度逐渐降低, 湾顶最低。

② 潮汐

乐清湾属半日潮流区, 平均潮差为 4 m , 最大潮差可达 6 m , 属强潮海区; 即使是小潮期间, 平均一个潮周期内也有将近 20% 的水体可以与湾外水交换。

湾内潮流明显受地形和边界条件的制约, 除口门处因较为开阔而略带旋转外, 其余水域均属往复流性质, 涨、落潮流基本上与岸线走向平行; 在乐清湾以南, 东岸的涨落潮流速明显大于西岸, 而在乐清湾内, 则是湾西岸的流速大于东岸。潮波由乐清湾东南的鹿西岛两侧传入后分为两支, 一支进入瓯江, 而另一支则传入乐清湾, 潮波从玉环岛最南端的大岩头附近

至湾顶大约需要 29 min。

③ 水交换特征

乐清湾是半封闭、葫芦状的港湾,在乐清澳以南,由于湾口西侧附近受到瓯江北口径流的影响,口门东侧为水深较深的潮汐通道,垂向混合强烈,因而水交换良好;湾中部(乐清澳口)狭窄处形成了乐清澳内外水交换的瓶颈,中部窄处至湾顶,水交换以重力环流和潮震荡的垂向剪切为主要混合形式,纵向混合能力较差,这给乐清澳内水交换带来一定的困难。

数值模拟结果显示:乐清湾从口门到湾顶的水交换速度差别很大。在口门附近 90% 以上的水体被外海水置换掉所需时间不到 10 d,而此时湾顶海水只被交换了 10%;到了 15 d,乐清澳以南的海水被外海水置换的比率达到 90%,而乐清澳内西门岛以南海域的海水 70%~80% 以上被外海水置换;乐清湾内 90% 的湾顶水被置换所需时间大约为 25 d。

(2) 水质和底质状况

① 水质

a. pH、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)

乐清湾水域 pH、DO、COD 四季调查结果尚属正常,绝大多数观测站达到国家海水一类标准(pH 值 7.8~8.5, DO 大于 $6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, COD 大于 $2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) (国家技术监督局,《海水水质标准》,1998)。但少数观测站底层水 COD 超标,主要出现在围塘和滩涂养殖区和受陆地排污口影响的区域。COD 季节变化由高至低依次为春、夏、秋、冬。

pH 值平面分布总的趋势是自湾口向湾内逐步降低,季节变化由高至低依次为冬、秋、夏、春。湾顶 Y20 站 pH 值春季已超标,主要是由于温岭排污隧道大量工业废水和生活污水排放所致。

DO 的分布与 pH 值分布类似,湾口高、湾内低,季节变化由高至低依次为冬、秋、春、夏。其变化受水温影响,即随水温升高,氧的溶解度降低。此外,DO 的高值区主要出现在湾口门水团交汇混合处和浮游植物高增殖水域;DO 低值主要出现在海产动物养殖区的底层水。这与养殖区高浓度有机物(如残饵、粪便、排泄物等)的分解耗氧有关。

b. N、P 营养盐分布与变化特征

乐清湾水域秋、冬季 DIN 浓度均超过四类水质标准($\leq 0.5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$),春、夏季除少数站位达三类海水水质标准($\leq 0.4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)外,90% 以上水域 DIN 浓度高于四类水质标准。DIP 浓度各季 97% 以上测值属四类或劣四类水质,特别是春、夏季分别有 19.4% 和 54.8% 测值属劣四类水质。与 20 年前资料相比,乐清湾水域 DIN 和 DIP 浓度四季平均分别增加了 3 倍和 1 倍以上,说明乐清湾水域外源输入的营养物质日益增多。

DIN、DIP、COD、非离子氨四季平面分布基本表现为自湾口向湾顶逐渐升高,呈现近岸区高于离岸区,浅水区高于深水区,养殖区高于非养殖区的分布格局。湾顶区和湾口区与外界交换能力的差异是造成污染物浓度湾顶区高于湾口区的主要原因。湾北部不仅水体交换能力差,也是人类活动最为频繁和周边人口密度较高的区域,湾顶部的温岭排污隧道接纳两个乡镇工、农业废水和生活污水的排放,并注入湾内。此外,湾北部和中部偏重于鱼排网箱养殖,而南部水域偏重于贝类养殖,也是造成 DIN、DIP 和 COD 浓度湾内水域高于湾口水域的另一重要因素。

c. 水质富营养化评价

根据营养状态指数(E)(邹景忠等,1983)大小来表示该海域的富营养化水平,乐清湾