

黄河口及邻近海域 海洋生物物种多样性

Marine Biodiversity in the Yellow River Estuary and
Adjacent Waters

冷宇 张继民 刘霜
刘旭东 张洪亮 张爱君
◎ 著

 中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS





黄河口及邻近海域海洋 生物物种多样性

◎ 冷宇 张继民 刘霜 刘旭东 张洪亮 张爱君 著

中国海洋大学出版社

·青岛·

图书在版编目(CIP)数据

黄河口及邻近海域海洋生物物种多样性 / 冷宇等著.
—青岛: 中国海洋大学出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-5670-0451-1

I. ①黄… II. ①冷… III. ①黄河—河口—海域—海洋生物—生物多样性—研究 IV. ① Q178. 532

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 256230 号



出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出版人	杨立敏	
网 址	http://www.ouc-press.com	
电子信箱	dengzhike@sohu.com	
订购电话	0532-82032573 (传真)	
责任编辑	邓志科	电 话 0532-85901040
印 制	日照日报印务中心	
版 次	2013 年 11 月第 1 版	
印 次	2013 年 11 月第 1 次印刷	
成品尺寸	185 mm × 260 mm	
印 张	16.31	
字 数	300 千字	
定 价	68.00 元	

前言

Preface



生物多样性是指一定时空范围内生物的多样化和变异性以及物种生境的生态复杂性,一般意义上的生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性三个层次。生物多样性作为人类生存和实现社会可持续发展的物质基础,在维持自然界的生态平衡方面起着非常重要的作用。然而,由于人类开发活动的日益增强,生物多样性受到严重威胁,随着多个国家加入了《生物多样性公约》,生物多样性保护也受到全人类的日益关注。物种多样性(Species diversity)是指物种水平上的生物多样性,它是用一定空间范围物种数量和分布特征来衡量的。作为生物多样性的一个重要组成部分,开展物种多样性研究,掌握物种多样性的分布和变化趋势,对于全面研究和保护生物多样性具有重要的科学意义。

黄河是中华民族的母亲河,每年向海洋输入大量的淡水、泥沙和各种营养盐类,并在河口及邻近海域形成了适宜于海洋生物生长、发育的良好生态环境。然而,20世纪80年代至21世纪初,由于陆源排污、黄河入海径流减少、海洋捕捞、油田开发建设及不合理的海洋或海岸工程建设等因素影响,黄河口及邻近海域生态系统的基础环境发生重要变化,生态受到严重威胁,海洋生物物种多样性降低。目前,黄河口及邻近海域的主要生态问题包括大部分潮间带生境丧失或景观破碎化较重、海水无机氮污染严重、氮磷比失衡、渔业资源严重衰退、生态系统健康处于亚健康等,陆源排污、黄河水入海量和人类开发活动依然是影响黄河口生态系统健康的主要因素。

黄河口及邻近海域一直是我国海洋生物资源与环境综合调查和研究的重点区域之一,并且是各级海洋行政主管部门关注的重点生态保护区。自2004年起,国家海洋局建立了黄河口生态监控区,通过对黄河口及邻近海域生态实施连续多年的监测,基本上掌握了监控区内生态环境变化趋势,掌握了黄河水入海量、海洋资源开发对黄河口湿地和海洋生态系统产生的影响程度。2008年建立了东营黄河口生态国家级海洋特别保护区,保护区总面积为92 600公顷,保护对象为黄河口水域生态环境和河口海区海洋生物资源,保护区的建立对于黄河口区域的生物多样性保护具有重要的意义。此外,我们承担了海洋公益性行业科研专项经费项目“黄河口及邻近海域生态系统管理关键技术研究及应用”(项目编号:201105005)、“黄河口生物多样性图谱技术研究”(项目编号:201002015-6)和“基于生态系统的环渤海区域开发集约用海研究”(项目编号:201005009)等课题及2013年度国家海洋局北海分局科研项目基金“渤海常见底栖和潮间带动物图谱研究及编制”研究。

结合黄河口生态监控区的监测工作并根据上述海洋公益性科研项目及国家海洋局北海分局科研项目基金研究成果,本书较为系统地阐明了黄河口及邻近海域海洋生物物种多样性现状和栖息环境及其变化趋势,以期为更好地开展海洋生物多样性监测与评价及海洋环境保护管理提供科学依据和技术支撑。

全书共分8章,第一章阐述了该书所引用的数据来源与分析方法;第二章开展了海洋生物环境因子评价,分析了海洋水文要素、海水化学要素和海洋沉积物要素时空分布与变化趋势;第三章开展了浮游植物生物多样性研究,阐明了浮游植物种类组成、个体密度、群落特征和优势种时空分布与变化,并探讨了其与环境因子的关系;第四章开展了浮游动物生物多样性研究,阐明了浮游动物种类组成、个体密度、群落特征和优势种的时空分布与变化;第五章开展了大型底栖生物多样性研究,阐明了大型底栖生物的种类组成、生物密度、群落特征和优势种的时空分布与变化;第六章开展了潮间带生物种类组成及各断面生物数量分布特征研究;第七章开展了鱼类浮游生物研究,阐明了鱼卵和仔(稚)鱼的种类组成、数量分布特征,探讨了其时空分布与环境因子和优势种营养层次的关系;第八章对黄河口及邻近海域生物环境分布及群落特征变化等进行了综合分析和总结。

本书各章节的协作分工如下:

- 第1章 张继民、冷宇、鞠莲
- 第2章 刘霜、张继民、杜明、徐丛亮
- 第3章 刘旭东、李钦亮、赵升、徐丛亮
- 第4章 齐衍萍、刘旭东、马兆党
- 第5章 冷宇、张洪亮、刘旭东
- 第6章 刘一霆、张爱君、宋帅
- 第7章 刘霜、张继民、冷宇
- 第8章 冷宇、张继民、刘霜

冷宇、张继民负责全书统稿工作,刘霜、刘旭东进行校核,杜明、单春芝进行图件绘制。

本书在写作过程中特别感谢国家海洋局北海环境监测中心崔文林主任、孙培艳副主任、宋文鹏副主任和同事们对此项工作的大力支持。感谢所有参与、关心此项工作的同仁们!

由于时间关系以及笔者对本前沿领域研究认识水平有限,书中可能存在一些不足和错误之处,敬请各界人士批评指正!同时期待相关研究领域的人们加入到我们的行列中,共同探讨黄河口海洋生物多样性研究的相关课题。

作者

2013年1月

目录

Contents



第①章 自然环境与研究方法	1
1.1 地理位置与自然条件	1
1.2 调查站位与调查时间	5
1.3 调查要素与分析方法	6
第②章 生物环境要素	10
2.1 海水盐度	10
2.2 海水 pH	12
2.3 海水营养盐	15
2.4 海水溶解氧	20
2.5 海洋底质环境及变化	21
第③章 浮游植物物种多样性	31
3.1 种类组成	31
3.2 数量分布与季节变化	32
3.3 浮游植物群落特征	36
3.4 浮游植物优势种类及其分布	52
第④章 浮游动物物种多样性	78
4.1 种类组成	78
4.2 数量分布与季节变化	79
4.3 浮游动物生物量及分布	81
4.4 浮游动物幼虫幼体	83
4.5 浮游动物群落特征	85
4.6 浮游动物优势种及其分布	101

第5章 大型底栖生物物种多样性	115
5.1 种类组成	115
5.2 大型底栖生物生物量组成与分布	117
5.3 数量分布与季节变化	120
5.4 大型底栖生物群落特征	123
5.5 大型底栖生物优势种及其分布	141
第6章 潮间带生物物种多样性	158
6.1 种类组成	158
6.2 HC01 断面	160
6.3 HC02 断面	166
6.4 HC04 断面	173
6.5 HC06 断面	179
6.6 HC07 断面	184
6.7 HC08 断面	189
6.8 HC09 断面	196
第7章 鱼类浮游生物种类多样性	203
7.1 种类组成	203
7.2 数量分布	204
7.3 季节变化	205
7.4 与环境因子的关系	205
7.5 变化原因分析	205
7.6 鱼类优势种营养层次变化	207
第8章 生物群落及其变化	208
8.1 浮游植物	208
8.2 浮游动物	212
8.3 大型底栖生物	216
8.4 潮间带生物	221
8.5 鱼卵和仔(稚)鱼	225

附录 生物种名录	226
I 浮游植物种名录	226
II 浮游动物种名录	231
III 大型底栖生物种名录	233
IV 潮间带生物种名录	240
参考文献	245

自然环境与研究方法

1.1 地理位置与自然条件

1.1.1 地理位置及形成

黄河入海口位于山东省东营市垦利县境内,地处渤海与莱州湾的交汇处,自 1855 年至今,黄河河口尾间经过多次改道。1986~1995 年,黄河口水沙过程变异,黄河口来水来沙急剧减少,此阶段黄河口海岸线整体变动较大,期间 1986 年、1987 年海岸线普遍发生蚀退,直接造成土地资源流失,使胜利油田海上油气开发变为陆上开发的战略难以实现。为了满足胜利油田垦东 12 油区油气开发需要,将石油的海上开采变为陆地开发的发展战略要求,利用黄河泥沙淤海造陆,1996 年汛期前实施了人工出汙,黄河口流路走清 8 汙河入海。

黄河发源于青藏高原青海省,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南及山东 9 个省,最后流入渤海。由于河流中段流经中国黄土高原地区,因此夹带了大量的泥沙,所以它也被称为世界上含沙量最高的河流。据三门峡水文站多年统计,黄河每年输沙量大约为 16 亿吨,其中的 4 亿吨淤积于下游河道,8 亿吨淤积于河口一带填海造陆,4 亿吨输入深海。黄河口属于弱潮河口,海洋动力相对较弱,潮差小,感潮段短,同时,渤海水深较浅,坡降平缓,这些成为黄河入海泥沙在河口和口外海滨沉积和三角洲发展的有利条件。黄河每年挟带到河口的大量泥沙,在河口三角洲上不断地造陆,诞生新的土地,河口每年向海域淤积延伸速度快,平均约为 2.6 km/a ,使湿地面积不断扩大且向海方向蔓延。近几十年来进入黄河口的沙量减少达 5 亿吨以上。近期淤积速率趋缓,约为 1.1 km/a 。

以前黄河经常出现断流现象,特别是 1992 年以来,下游河道连年发生断流,至 1998 年利津站多年平均断流时间达到了 121 天,其中 1997 年黄河下游断流是有资料记录以来最为严重的一年,利津站共断流 226 天。自 2002 年起我国开始对黄河口进行人为的调水调沙,从而改变了其断流现象,并使大量泥沙集中而不是在分散状态下注入渤海。

1.1.2 自然条件

(1) 气候

黄河三角洲地处中纬度,位于暖温带,背陆面海,受欧亚大陆和太平洋的共同影响,属于暖温带半湿润大陆性季风气候区。基本气候特征为:冬寒夏热,四季分明。春季干旱多风,早春冷暖无常,常有倒春寒出现,晚春回暖迅速,常发生春旱;夏季,炎热多雨,温高湿大,有时受台风侵袭;秋季,气温下降,雨水骤减,天高气爽;冬季,天气干冷,寒风频吹,雨雪稀少,主要风向为北风和西北风。

(2) 水文

黄河口附近海域存在一个 M_2 分潮的无潮点,受无潮点影响,神仙沟至五号桩为日潮区,两侧为不规的半日潮区,再外围为不正规半日潮区。黄河口区的潮波,是以 M_2 分潮无潮点($38^{\circ}09'N$, $119^{\circ}04'E$)为中心的旋转潮波系统,同潮时线绕无潮点做逆时针方向旋转,其中,渤海湾的潮时是由西向东逆时针递增,进展急速;而莱州湾的潮时是由东向西顺时针方向推迟,但差别很小。

黄河口附近海域的潮流以半日潮流为主,流速一般为 $(0.5 \sim 1.0)m/s$ 左右,自黄河口往南,流速明显减弱,至莱州湾顶部为一弱流区,仅为 $0.5 m/s$ 左右。受河口非线性效应影响,黄河口附近海域表层潮汐余流约 $4 cm/s$,在渤海海域仅次于老铁山水道海域。

黄河口附近海域的波浪以风浪为主,涌浪较少,常浪向为 NE 向,次常浪向为 SE 向,强浪向为 NE 向。冬季波浪主要为偏北向浪,春季总的趋势多为偏东向浪,夏季以 ESE 向浪占优势,秋季偏北向浪频率增多。

(3) 海水温盐

黄河三角洲附近海域,温、盐度变化具有季节性、径流性和年变幅大 3 个基本特征。

春季(3~5月),气温上升,海水处于吸热过程。表层水温日较差显著增大,一般为 $2^{\circ}C$,底层水温变化很小。5月份开始出现温度跃层。注入渤海的淡水量有所增多,海水的盐度开始减小。

夏季(6~8月),气温升到全年最高,径流量最大,表层水温变幅亦最大(日较差达 $3^{\circ}C$ 以上)。由于风浪、海流等扰动掺混作用,形成上均匀层,其下是较强的温度跃层,同时出现下均匀层。温度极大值出现在 7 和 8 月份。随着海区水深的增大,下层极值出现时间逐渐错后,量值也逐渐减小。

盐度的垂向分布与温度相类似,跃层现象显著,年变化周期明显。由于 7 和 8 月份是黄河的伏汛期,入海径流量比较大,黄河口附近沿岸海域淡水堆积较多,因此,盐度的日变化也比较明显,

秋季(9~11月),水温逐渐下降,垂向对流混合活跃起来,水温日较差变小,温度跃层消失,垂向趋于均匀。9月份是黄河的秋汛期,但是洪水量比伏汛小,黄河水量已经处于减少阶段,10月份入海径流量迅速减少。

冬季(12~2月),2月份水温为全年最低,表层最低水温在 $-1^{\circ}C \sim 0.5^{\circ}C$ 之间。其日较差最小,一般为 $0.5^{\circ}C$ 左右。此季节大陆径流较少,黄、渤海水交换的结果,使外海高盐水范围增大,冲淡水仅散布于较窄的沿岸带,因此,该海区盐度的最高值($28 \sim 32$)出现

在1和2月份。同时,冬季气温低,季风强烈,陆地冷却比较快,加之海域水深较浅,从而造成黄河三角洲沿岸每年都有结冰现象。

(4) 地质地貌

区域地质构造单元位于华北地台新生代拗陷的东南部,属华北地台区辽冀台向斜部分后经以黄河为主的泥沙充填形成的黄泛平原。区域为第四系覆盖,其特征是新生界及其发育,无基岩出露。

浅海水域海底地形平缓,是典型的低平粉砂质特征。自海岸向深海渐深,水深变化缓慢,水浅滩广,其沉积物类型主要有:粉砂质黏土、黏土质粉砂、粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂等。

受海洋动力和入海径流及携沙沉积的共同作用,地貌类型较为复杂,结合所在区域水深和地貌形态特征,一级地貌为大陆地貌,二级地貌单元为海岸带地貌,三级地貌主要为粉砂淤泥质潮滩、现代河口水下三角洲,四级地貌单元主要发育有潮沟、塌陷洼地、塌陷陡坎等。

粉砂淤泥质潮滩广泛发育,宽窄不一,黄河入海口附近较窄,孤东海堤和老黄河口附近较宽。永丰河到老黄河口一线岸滩可见大型潮水沟发育。

孤东海堤附近为废弃的水下三角洲,塌陷洼地、塌陷陡坎普遍发育。废弃三角洲的水下岸坡海底地形较为平坦。

现行的黄河口水下三角洲前缘斜坡向海推进,略向东南方向偏转。老黄河口水下三角洲前缘斜坡上多处发育冲蚀洼坑,水下岸坡区域海底地形较为平坦。

不论是新黄河口还是老黄河口,都处于水下三角洲改造时期,新黄河口三角洲不断向海推进,老黄河口三角洲不断被侵蚀,坡面变缓。

(5) 入海河流

黄河口附近海域入海河流主要有神仙沟、孤北水库泄洪河、黄河、大汶流泄洪河、小岛河、荆条沟、永丰河、广利河、淄脉沟、小清河,除黄河外,其他多数为季节性河流,非汛期时河水入海量较少。这些河流维系着沿岸海域的低盐环境,对维护河口生态起到了重要作用。

1.1.3 资源开发与生态保护

黄河三角洲油藏构造是以断环、断鼻岩性油藏为主多类型的复合式油气藏,并具有富集、高产、多层系、多类型和油质差异大的特点。1992年以来,胜利油田勘探开发已由内陆向北部沿海滩涂扩展,沿海及近海区域成为油田增产、增储的主要基地。近年来因油田开采需要,在河口周围建造了大量的海防工程和油井平台工程,在潮间带湿地上新建了大量的油井装置和配套设施,油井和道路开辟,漫水路、人工岛、防波堤等筑堤填海建设项目,改变了使用海域的自然属性及水动力条件,对黄河入海流路及海岸线造成长远的影响。而突发性溢油等污染事件,则对海域生态环境造成了直接损害。

滩涂增养殖是黄河口区海洋开发的主要产业之一。黄河口附近海滩几乎全部开辟为贝类增养殖区,这里贝类资源品种齐全、蕴藏量丰富,随着海洋渔业不断由猎捕型向增殖

养殖型转变,实施封滩育贝战略,滩涂贝类确权护养面积已达 145 万亩,实行轮捕轮养,严格限制采捕量,滩涂贝类生产开始步入良性循环的发展轨道。泥螺是黄河口滩涂养殖的主要经济种类之一,自 2001 年引入后,在养殖户的移苗和生物自然扩散的双重作用下,迅速遍布于河口区各滩涂,而且成为中、低潮带的主要优势种。泥螺的引种虽然提高了滩涂的经济价值,但对原有的生态环境产生了较大影响。

黄河三角洲地区是生物的天然基因库,要让自然界物种尽可能多地保存下来,就要保护现有生态系统的多样性(包括物种多样性和遗传多样性)。但是由于该区环境条件多变,自然灾害频繁,生态系统发育时间短、成分简单、极易受到破坏,生态系统非常脆弱;再者黄河三角洲正处于大规模综合开发的起步阶段,当地人发展经济的愿望强烈,石油开采又是国家的迫切需要和三角洲经济发展的支柱和依托,保护与开发的矛盾突出。

地处黄河入海口的黄河三角洲自然保护区是以保护新生湿地生态系统以及珍稀、濒危鸟类为主体的自然资源保护区。该保护区于 1990 年 12 月经东营市人民政府批准建立,1992 年 10 月经国务院批准为国家级自然保护区。保护区地处黄河入海口,位于山东省东北部的渤海之滨。地理坐标为东经 $118^{\circ}33' \sim 119^{\circ}20'$,北纬 $37^{\circ}35' \sim 38^{\circ}12'$ 之间,包括黄河入海口和 1976 年以前引洪的黄河故道两部分。这片区域是黄河挟带的大量泥沙填充渤海凹陷陆地的海相沉积平原。保护区总面积约 15.3 万公顷,其中核心区面积约 7.9 万公顷。保护区地理位置优越,生态类型独特,拥有大面积的浅海滩涂和沼泽,具有中国暖温带最完整、最年轻的湿地生态系统,为鸟类的繁衍生息、迁徙越冬,提供了优良的栖息环境。保护区的建立具有显著的社会效益和生态效益。它保护着世界上增长最快的河口湿地生态系统,重点保护河口及滨海湿地生态系统和珍稀、濒危鸟类,恢复和重建退化的生态系统,融保护、科研、教育、利用于一体,使其成为生态系统完整、科研价值独特的世界重要的湿地类型自然保护区。

除黄河三角洲自然保护区外,近年来国家在黄河口海域设立了山东东营黄河口生态国家级海洋特别保护区、东营利津底栖鱼类生态国家级海洋保护区、山东东营利津国家级底栖鱼类生态海洋特别保护区、东营河口浅海贝类国家级生态海洋特别保护区、东营广饶沙蚕类生态海洋特别保护区、东营莱州湾蛭类生态国家级海洋特别保护区。

这些保护区建立后,将通过一系列的保护和管理措施,使资源量有所恢复和增加,生物栖息环境得到恢复和改善,从而使海洋特别保护区的开发利用价值达到一个较高的可持续发展水平,获得较高的经济效益,实现有效保护海洋环境,科学开发海洋资源,海洋保护与开发相协调的目标。

山东省海洋功能区划将黄河口与山东半岛西北部海域主要功能定为海洋保护、农渔区、旅游休闲娱乐、工业与城镇用海。黄河口海域主要发展海洋保护和海洋渔业,加强以海洋生物自然保护区、国家地质公园、海洋特别保护区、黄河入海口、水产种质资源保护区、重要湿地资源等为核心的海洋生态建设与保护,维护滨海湿地生态服务功能,维护生物多样性,促进渤海生态环境改善,控制沿岸工业区建设,严格限制发展重化工业,禁止高耗能、高污染的工业建设。2009 年国务院正式批复《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》,黄河三角洲地区的发展上升为国家战略,成为国家区域协调发展战略的重要组成部分。

1.2 调查站位与调查时间

调查区域范围为 $37^{\circ}20'00'' \sim 38^{\circ}02'00''\text{N}$ 、 $119^{\circ}03'24'' \sim 119^{\circ}31'00''\text{E}$ ，共设 33 个浅海调查站位，7 条潮间带生物调查断面(图 1.2-1 和表 1.2-1)。调查时间为 2004 年~2010 年春季和夏季，其中，2008 年~2010 年在 H03、H05、H07、H09、H17、H21、H22、H23、H29 站位未采集生物样品。2010 年春季未进行浅海大面调查。2010 年夏季未进行潮间带生物调查，2010 年春季未进行潮间带 HC06、HC07 和 HC09 断面调查。鱼卵仔鱼为 2009 年春季和夏季航次数据。

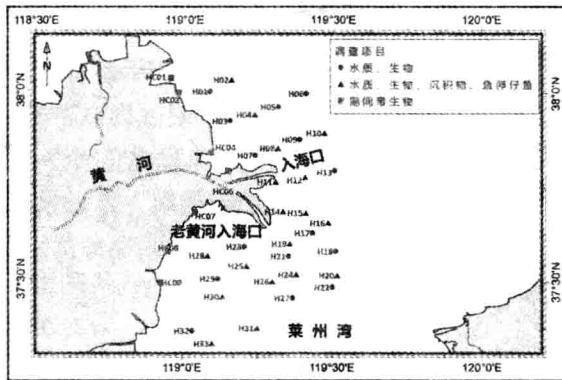


图 1.2-1 调查站位设置示意图

历年底质环境调查共进行了 21 个站次，每年与生物项目同步调查 1 次，其中，2004 年和 2006 年于春季取样调查，其他年份则于夏季。H03、H05 和 H06 站仅于 2007 年进行了调查，而 H15、H24 和 H25 站在 2007 年未进行取样分析。2010 年仅进行了 H02、H04、H08、H10、H11、H14、H16、H19、H20、H24、H25、H28、H30、H31 站调查。2004 年未进行沉积物有机碳和硫化物分析。

表 1.2-1 调查站位表

站号	经度	纬度	调查项目
H01	$119^{\circ}05'17''$	$38^{\circ}00'06''$	水质、生物
H02	$119^{\circ}09'36''$	$38^{\circ}02'00''$	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H03	$119^{\circ}09'22''$	$37^{\circ}55'27''$	水质、生物、沉积物
H04	$119^{\circ}14'17''$	$37^{\circ}56'30''$	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H05	$119^{\circ}19'05''$	$37^{\circ}57'44''$	水质、生物、沉积物、
H06	$119^{\circ}24'40''$	$37^{\circ}59'53''$	水质、生物、沉积物、
H07	$119^{\circ}14'28''$	$37^{\circ}50'01''$	水质、生物
H08	$119^{\circ}19'01''$	$37^{\circ}51'10''$	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H09	$119^{\circ}23'24''$	$37^{\circ}52'36''$	水质、生物
H10	$119^{\circ}28'19''$	$37^{\circ}53'39''$	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H11	$119^{\circ}18'32''$	$37^{\circ}45'51''$	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼

续表

站号	经度	纬度	调查项目
H12	119°24'29"	37°46'34"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H13	119°30'28"	37°47'40"	水质、生物
H14	119°20'06"	37°41'07"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H15	119°24'40"	37°40'55"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H16	119°29'10"	37°39'20"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H17	119°26'03"	37°37'44"	水质、生物
H18	119°30'43"	37°34'50"	水质、生物
H19	119°21'30"	37°36'00"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H20	119°31'00"	37°31'00"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H21	119°21'16"	37°34'00"	水质、生物
H22	119°30'04"	37°29'07"	水质、生物
H23	119°12'22"	37°35'29"	水质、生物
H24	119°22'49"	37°31'06"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H25	119°12'50"	37°32'25"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H26	119°18'00"	37°30'00"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H27	119°22'05"	37°27'23"	水质、生物
H28	119°05'00"	37°34'00"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H29	119°07'05"	37°30'22"	水质、生物
H30	119°08'00"	37°27'30"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H31	119°15'00"	37°22'30"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
H32	119°02'00"	37°22'00"	水质、生物
H33	119°06'00"	37°20'00"	水质、生物、沉积物、鱼卵、仔鱼
HC01	118°56'51"	38°02'13"	
HC02	118°58'31"	37°59'55"	
HC04	119°05'11"	37°50'23"	
HC06	119°09'18"	37°47'48"	潮间带生物
HC07	119°02'03"	37°40'52"	
HC08	118°56'52"	37°34'33"	
HC09	118°56'51"	38°02'13"	

1.3 调查要素与分析方法

1.3.1 环境要素调查

环境要素调查项目包括盐度、pH、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐、硅酸盐、溶解氧

等, 2004 年~2007 年样品调查与分析方法执行《海洋监测规范》(GB17378. 4-1998), 2008 年~2010 年样品调查与分析方法执行《海洋监测规范》(GB17378. 4-2007)。

相关数据处理利用 SPSS10. 0 统计软件进行, 采用软件包 pearson 进行相关性分析。各要素利用软件 surfer 7. 0 中的 kring 方法绘制平面分布。

1.3.2 海洋生物调查

(1) 调查要素

调查要素包括浮游植物、大型浮游动物、大型底栖生物、鱼卵和仔(稚)鱼。

(2) 调查方法

浮游植物样品用浅水Ⅲ型浮游生物网, 由底(距海底 2 m)至表垂直拖网取得, 样品采集后立即用 5% 福尔马林溶液固定保存。室内鉴定分析按《海洋监测规范》中规定的个体计数法进行, 浮游植物生物密度换算成 ind/m³ 作为调查水域的现存量指标。

大型浮游动物样品用浅水Ⅰ型浮游生物网, 自底(距海底 2 m)至表垂直拖网取得, 样品采集后立即用 5% 福尔马林溶液固定保存。室内鉴定分析按《海洋监测规范》中规定的方法进行, 浮游动物的个体数换算成 ind/m³、生物量换算成 mg/m³ 作为调查水域的现存量指标。

大型底栖生物调查深水区(水深大于 10 米)定量样品选用 0. 1 m² 曙光型采泥器, 每个测站采泥 2 次; 浅水区(水深 10 米以内)定量样品选用 0. 05 m² 曙光型采泥器, 每个测站采泥 4~5 次; 所获泥样经最细孔径为 0. 5 mm 的套筛冲洗, 挑选出全部底栖生物作为一个样品, 固定保存于 70% 的酒精溶液中。底栖生物量根据酒精标本重量计算, 称重有感量为 0. 001 g 的电子天平上进行。

鱼卵样品采集采用双鼓网水平拖网和浅水Ⅰ型网垂直拖网两种方式。其中, 双鼓网网长 360 cm, 网口内径 60 cm, 网口面积 0. 28 m², 进行水平拖网 10 分钟, 采集到的标本用 5% 的福尔马林溶液固定保存。

1.3.3 数据处理

(1) 平均值

历年春季生物量、生物密度平均值为 2004 年~2009 年春季样品生物量、生物密度平均值。历年夏季生物量、生物密度平均值为 2004 年~2010 年夏季样品生物量、生物密度平均值。

某年优势种类平均值为当年该种密度值累加后除以调查站位数。历年优势种类平均值为该种类各年平均密度值累加后除以调查次数。

图件中引用的多样性指数、均匀度、丰富度、优势度的平均值, 与优势种类计算方法相同。

(2) 未参加平均值统计的异常值

H03、H04、H05 和 H06 站在 2006 年夏季调查时, 因垂缘角毛藻和扁面角毛藻 2 种优势种出现了异常高值, 导致该航次浮游植物平均密度高于其他夏季调查平均值数十倍。

考虑到此区域内 2 种角毛藻优势种有发生赤潮的趋势,属异常生态现象,为此在计算个体数量平均值时,将上述 4 站剔除,而作为调查时的现存量,在进行 2006 年夏季航次优势种分析和单站生态群落特征指数统计时,仍然保留。

H31、H32 和 H33 站在 2007 年春季调查时,中肋骨条藻出现了异常高值,其分布密度已邻近赤潮,属异常生态现象,在计算个体数量平均值时,将上述 3 站剔除,而作为调查时的现存量,在进行 2007 年春季航次优势种分析和单站生态群落特征指数统计时,仍然保留。

1.3.4 群落特征分析方法

在生物群落聚类分析中根据研究海域各站出现的浮游植物、浮游动物及底栖生物种类在不同季节的个体数量累加平均值,采用 PRIMER 5 软件根据物种密度(ind/m²)平方根转换计算 Bray-Curtis 相似性系数矩阵,采用软件包中等级聚类分析(CLUSRER)进行群落结构分析。

依据各站的浮游生物及大型底栖生物种类及密度,计算了样品的多样性指数(H')、均匀度(J)、丰度(d)、优势度等,其公式如下:

(1) 丰度

表示群落(或样品)中种类丰富程度的指数,其计算公式有多种,采用马卡列夫(Margalef, 1958)的计算式:

$$d = (S - 1) / \log_2 N$$

式中: d —— 表示丰度;

S —— 样品中的种类总数;

N —— 样品中的生物个体数。

(2) 多样性指数

反映群落种类多样性的数学模式,采用种类和数量信息函数表示的香农-韦弗(Shannon-Weaver, 1963)多样性指数。

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中: H' —— 种类多样性指数;

S —— 样品中的种类总数;

P_i —— 第 i 种的个体数(n_i)或生物量(w_i)与总个体数(N)或总生物量(W)的比值($\frac{n_i}{N}$ 或 $\frac{w_i}{W}$)。

(3) 均匀度

皮诺(Pielou, 1966)指数,其式:

$$J = H' / H_{\max}$$

式中: J —— 表示均匀度;

H' —— 前式计算的种类多样性指数值;

H_{\max} ——为 $\log_2 S$, 表示多样性指数的最大值, S 为样品中总种类数。

(4) 优势度

① 样品评价优势度:

$$D_2 = (N_1 + N_2) / NT$$

式中: D_2 ——优势度;

N_1 ——样品中第 1 优势种的个体数;

N_2 ——样品中第 2 优势种的个体数;

NT ——样品中的总个体数。

② 单种优势度:

$$Y = (n_i / N) \times f_i$$

式中: Y ——单种优势度

n_i ——为第 i 种的个体数;

f_i ——为该种在各站位出现的频率;

当物种优势度 $Y > 0.02$ 时, 该种认为是研究海域的优势种。