



我国近海海洋综合调查与评价专项成果
“十二五”国家重点图书出版规划项目



HUANGHAI
LÜCHAO DIAOCHA
YU YANJIU

黄海绿潮调查与研究

宋文鹏 李继业 冷 宇 刘 霜 等 编著



海洋出版社



我国近海海洋综合调查与评价专项成果
“十二五”国家重点图书出版规划项目

黄海绿潮调查与研究

宋文鹏 李继业 冷 宇 刘 霜 等 编著



海洋出版社

2013 年 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

黄海绿潮调查与研究/宋文鹏等编著. —北京: 海洋出版社, 2013. 3

ISBN 978 - 7 - 5027 - 8492 - 8

I. ①黄… II. ①宋… III. ①黄海 - 海水污染 - 灾害防治 - 研究 IV. ①X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 015689 号

责任编辑: 张 荣

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 11.25

字数: 280 千字 定价: 68.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《黄海绿潮调查与研究》

承担单位：国家海洋局北海环境监测中心

协作单位：上海海洋大学

日照市海洋与渔业局

任务负责人：宋文鹏 李继业 冷 宇 刘 霜

任务组成员：张洪亮 张爱君 孙蓓蓓 丁元孙 丁增明 王 娟
张 琦 齐衍萍 王泰森 李钦亮 马兆党 王 丽
刘一霆 赵 升 谭深发 王 东 陈长银 杨成禄
刘启学 彭贵荣 王鑫平 曲 亮 姜独祯 徐子钧
张晓理 邹 洁 唐 伟 孙玉忠 魏邦福 侯和要
张瑞通

编写人员：宋文鹏 李继业 刘 霜 冷 宇 齐衍萍 王泰森
孙蓓蓓 张 琦 张所祥 王 丽 刘一霆 赵 升
曲 亮 姜独祯

前言

Foreword

2007年7月份和2008年5月底,青岛近海分别出现了大规模的绿藻漂浮聚集,漂浮范围分布于黄海西部的大部分水域。2008年6月下旬,绿藻区靠近青岛近海浮山湾奥运赛场海域附近,覆盖面积增大至800 km²,密集区主要集中在青岛—崂山近海海域,参赛运动员的赛前训练已无法正常进行,直接影响了海洋渔业和船舶航运等海上活动,严重影响了沿岸的生态景观,引起社会各界的高度关注。党中央、国务院高度重视,随着青岛市对突发的浒苔事件的紧急处理,经过107天的紧张工作,至7月中旬赛区及附近海域浒苔已明显减少,最终保障了奥帆赛的顺利开展,但由于事先没有相应的应急预案,没有浒苔防控的业务化体系,缺乏有效的科技支撑和决策支持,使得各项保障工作措手不及。

绿潮 (Green tide) 是世界沿海各国普遍发生的生态异常现象,在欧洲、亚洲、北美洲和澳大利亚均有记录,主要发生在河口、内湾、盐湖和城市密集的沿海 (Morand et al., 2004)。根据国内外有关资料显示,形成绿潮的生物主要是绿藻门 (Chlorophyta) 石莼科 (Ulvaceae) 的石莼属 (*Ulva*)、浒苔属 (*Enteromorpha*)、硬毛藻属 (*Chaetomorpha*) 以及刚毛藻属 (*Cladophora*) 等大型海藻。其中石莼属和浒苔属是常见绿潮种,以石莼居多 (Callow et al., 1997; Pihl et al., 1996)。绿潮暴发会带来一系列的次生环境危害,如藻体腐败散发难闻气味,污染空气;藻类堆积可能为有害昆虫提供繁殖条件,引起害虫暴发;藻类沉积在海底,会引起缺氧和底质腐败,改变沉积物的理化性质,导致水生生物缺氧死亡,对底栖生态系统产生重要影响等 (Hiraoka et al., 2004)。

从1980年开始,美洲的美国、加拿大,欧洲的丹麦、荷兰、法国、意大利,亚洲日本和菲律宾等国家,均持续暴发了石莼科海藻引起的绿潮。近年来,其频率和发生地理范围呈增长趋势。2007年,中国黄海北部和中部局部海域首次发现了由浒苔大量增殖发生的绿潮。2008年3月以来,在黄海北部和东海南部近岸局部海域也发生了孔石莼 (*Ulva pertusa*)、浒苔大量增殖聚集的情况。2008年6月初,黄海中南部海域暴发大面积绿潮,经鉴定认为,造成本次绿潮的种类属于同一种浒苔属浒苔 (张晓雯等, 2008)。

与国外绿潮生物主要是石莼属海藻不同, 中国近两年来发生的绿潮生物则主要是以浒苔为主。浒苔属于绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科和浒苔属, 学名为 *Enteromorpha prolifera* (Tseng, 1983; Yoshida, 1998)。关于此种浒苔, 过去我国已有多位学者对其进行过报道 (Tseng et al., 1935; Tseng, 1936, 1983; 曾呈奎等, 1959, 1962, 1964, 曾呈奎, 1962; 董美龄, 1963; Chiang, 1960; 李茹光, 1964; 杭金欣等, 1983; 周贞英等, 1983; 栾日孝, 1989)。

浒苔属主要有条浒苔、肠浒苔、扁浒苔、浒苔和小管浒苔 5 种, 是海洋野生植物中极为丰富的大型经济藻类, 它广泛地分布在世界范围的海洋中, 有的分布在半咸水或江河中, 常生长在潮间带岩石上或石沼中, 或泥沙滩的石砾上, 有时也可附生在大型海藻的藻体上 (Tan et al., 1999)。全世界目前已经知道的浒苔种类约有 80 余种 (Guiry et al., 2002), 中国约有 11 种。

到目前为止, 国内外对绿潮生物大规模增殖发生的环境机制尚无直接的证据。当前主要将其归结为海水富营养化、春夏季水温变化和增殖海域水动力交换缓慢导致局部种群密度增大等因素 (Leskine et al., 2004)。对其的防控暂时除人工捞除和机械采收外, 尚缺乏有效的对策和手段。尽管在水产养殖中, 硫酸铜、生石灰、次氯酸钙等可有效杀除浒苔等敌害绿藻, 但对于大规模漂浮聚集的绿潮而言, 其处理成本巨大, 且存在着破坏生态环境的风险。

黄海绿潮灾害是必然事件还是偶然事件, 到底是由人为因素还是自然因素主导, 如何科学准确的进行绿潮监测与预测预警, 为解决这一系列问题, 必须开展绿潮藻类生活史和环境条件变化的相关性研究, 确定绿潮成灾条件和临界状态; 为进一步深化对黄海绿潮暴发生物生态要素的时空分布、变化规律、形成机制、制约因素等的认识, 进一步查明黄海绿潮暴发生物生态状况, 国家海洋局北海环境监测中心和日照市于 2009 年 4—8 月对黄海绿潮暴发区进行了 4 次黄海绿潮背景调查, 6—8 月进行了黄海绿潮的跟踪监测, 8 月开展了黄海下沉绿潮调查; 为研究该海域的温、盐、溶解氧和营养盐的分布特征, 及其与绿潮发生的关系, 和黄海中南部大面积绿潮发生机理及相关研究提供了必要的基础数据, 为今后绿潮的监视监测、预测预警、治理评估及资源化利用奠定了重要的科学基础。

黄海绿潮调查与研究工作是在资料收集、室内研究和现场监测的基础上, 基本查明黄海绿潮暴发生物生态状况, 较全面更新基础资料和图件, 进一步深化对黄海绿潮暴发生物生态要素的时空分布、变化规律、

形成机制、制约因素等的认识状。由于受调查时间和空间方面的局限，在报告的编写过程中，肯定会存在一些问题和不足之处，恳请领导和专家指正。

此次调查工作得到上海海洋大学、日照市海洋与渔业局、中国海洋大学、中国科学院海洋所等单位领导和专家的大力支持和配合，在此深表谢意！

CONTENTS 目次

黄海绿潮调查与研究

1 概 述	(1)
1.1 项目来源	(1)
1.2 主要工作内容	(1)
1.3 调查工作概况	(1)
1.4 调查内容和方法	(2)
1.5 完成工作量及成果	(7)
2 绿潮发生海域自然条件	(9)
2.1 青岛近岸观测资料	(9)
2.2 日照近岸观测资料	(12)
3 黄海北部绿潮分布调查	(16)
4 绿潮发生海域环境现状	(23)
4.1 海水水质	(23)
4.2 沉积物	(88)
4.3 海洋生物	(92)
5 绿潮分布特征与跟踪监测	(103)
5.1 绿潮来源	(103)
5.2 绿潮分布特征	(103)
5.3 绿潮跟踪监测	(104)
6 绿潮消亡期环境调查	(121)
6.1 绿潮藻体分解调查与研究概况	(121)
6.2 绿潮消失区水环境调查	(121)
7 绿潮藻类生物生态学研究	(124)
7.1 绿潮藻生物学特征	(124)
7.2 绿潮藻类生长繁殖特征研究	(127)
7.3 重要绿潮海藻生理生态学的研究	(130)
7.4 绿潮成灾条件研究	(158)
7.5 2009 年度绿潮发生过程研究	(158)

7.6 绿潮藻类分子生物地理研究	(159)
8 绿潮发展趋势预测	(161)
8.1 绿潮发展趋势预测主要依据	(161)
8.2 绿潮发展趋势预测	(161)
9 主要结论	(163)
9.1 2009 年绿潮来源及发生过程	(163)
9.2 绿潮分布调查	(163)
9.3 绿潮发生区环境调查	(163)
9.4 绿潮发生期跟踪监测	(164)
9.5 绿潮消亡期环境监测	(165)
9.6 绿潮发展趋势预测	(165)
9.7 绿潮藻类生物生态学研究	(166)
9.8 存在问题和建议	(167)
参考文献	(168)
附录 1	(171)
附录 2	(173)

1 概述

本书是在“908”专项 908-01-BC25 生物生态调查（绿潮调查）研究成果的基础上编写的。

1.1 项目来源

根据《生物生态调查（绿潮调查）合同书》（国家海洋局，2008 年 12 月）的总体要求，国家海洋局“908”专项办公室委托国家海洋局北海分局（以下简称分局）承担生物生态调查（绿潮调查）工作；并依据《我国近海海洋综合调查与评价专项技术规程》（国家海洋局，2006 年 2 月）等有关技术文件，编制“生物生态调查（绿潮调查）实施方案”（以下简称“实施方案”）并实施。

1.2 主要工作内容

根据《实施方案》，工作期限为 2009 年 1 月 1 日至 2010 年 9 月 30 日，其中，2009 年 2 月至 2009 年 10 月完成外业调查工作和室内研究工作，2010 年底至 2011 年初完成绿潮生物生态调查成果整理工作，并做好验收准备工作。

主要工作内容包括 2009 年黄海海域绿潮暴发的生物生态补充调查和研究成果报告、图集、航次报告和研究报告编写等工作。

生物生态补充调查（绿潮调查）外业调查时间自 2009 年 2 月起，截止到 2009 年 10 月外业结束，2010 年完成数据存档和整理工作。

2011 年完成了资料汇交、报告整编、项目自验收、质量评估等工作，并结题验收。

1.3 调查工作概况

1) 绿潮背景调查

为查明黄海绿潮暴发生物生态状况以及海洋环境背景特征，根据 2008 年绿潮的分布和漂移路径选择黄海中部海域，于 2009 年在绿潮暴发前、暴发中和暴发后选取 3~4 个时段，使用船舶监测方法开展 3~4 次黄海海域绿潮生物生态背景调查。调查内容包括水文气象、水质、沉积物环境状况以及绿潮生物的生长分布情况。

2) 绿潮跟踪监测

2009 年发现大面积绿潮后, 组织分局技术力量和沿海地市海洋渔业局使用船舶监测法开展全程绿潮跟踪调查。调查站位根据绿潮暴发海域现场情况设定, 调查内容包括水文气象、水质和绿潮生物。同时使用航空和卫星遥感监测绿潮分布范围和面积。

3) 下沉绿潮调查

在绿潮暴发后期, 海面上漂浮绿潮藻类明显减少的情况下, 为查明老化、死亡绿潮藻类的去向, 使用船舶拖网的方式在绿潮影响海域开展下沉绿潮调查。调查站位根据绿潮暴发海域现场情况设定, 调查内容包括水文气象、沉积物以及绿潮生物。

1.4 调查内容和方法

1.4.1 绿潮发生区环境调查

1) 调查要素

A. 水文气象和水质

必测项目: 水深、水温、水色、透明度、风速、风向、云量、盐度、pH、溶解氧、化学需氧量、磷酸盐、亚硝酸盐—氮、硝酸盐—氮、氨—氮、硅酸盐、叶绿素 a。

选测项目: 总有机碳、钙、铬、锌、铜、铅。

B. 沉积物

有机碳、硫化物。

C. 绿潮生物

绿潮生物的种类与简易分布特征。

2) 调查站位

根据 2008 年绿潮分布范围以及漂移路线, 选择 $34^{\circ} \sim 36^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ} \sim 122.5^{\circ}\text{E}$ 黄海海域作为绿潮背景调查范围。调查站位具体见表 1.1、图 1.1。

表 1.1 绿潮发生区环境调查站位表

断面	测站	纬度 (N)	经度 (E)	调查要素
Y ₂	Y ₂ 001	36°00′	120°30′	水文气象、水质、绿潮生物
	Y ₂ 002 *	36°00′	120°45′	水文气象、水质、沉积化学、绿潮生物
	Y ₂ 003	36°00′	121°00′	水文气象、水质、绿潮生物
	Y ₂ 004 *	36°00′	121°30′	水文气象、水质、沉积化学、绿潮生物
	Y ₂ 005	36°00′	122°00′	水文气象、水质、绿潮生物
	Y ₂ 006	36°00′	122°30′	水文气象、水质、绿潮生物

续表

断面	测站	纬度 (N)	经度 (E)	调查要素
HT1	HT001	35°00′	120°16′	水文气象、水质、绿潮生物
	HT002	35°00′	120°30′	水文气象、水质、绿潮生物
	HT003 *	35°00′	121°00′	水文气象、水质、沉积化学、绿潮生物
	HT004	35°00′	121°30′	水文气象、水质、绿潮生物
	HT005 *	35°00′	122°00′	水文气象、水质、沉积化学、绿潮生物
Y ₃	Y ₃ 001	34°00′	120°52′	水文气象、水质、绿潮生物
	Y ₃ 002 *	34°00′	121°00′	水文气象、水质、沉积化学、绿潮生物
	Y ₃ 003	34°00′	121°30′	水文气象、水质、绿潮生物
	Y ₃ 004 *	34°00′	122°00′	水文气象、水质、沉积化学、绿潮生物
	Y ₃ 005	34°00′	122°30′	水文气象、水质、绿潮生物

注：* 开展沉积化学调查。

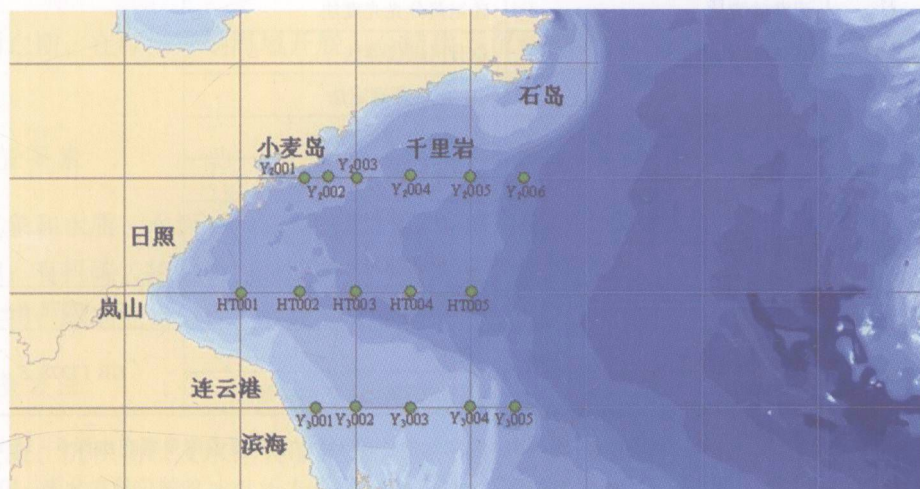


图 1.1 绿潮发生区环境调查站位图

3) 调查方法

绿潮发生区环境调查（背景调查）以船舶调查方式进行，现场调查方法见表 1.2。

4) 调查频率

于 2009 年 2 月、3 月、4 月、5 月开展了 4 个航次的黄海海域绿潮生物生态背景调查。

1.4.2 绿潮跟踪调查

发现大面积绿潮后，开展全程绿潮跟踪调查。调查站位根据现场情况设定。

表 1.2 现场调查与样品分析方法

项目	指标	监测/分析方法	参考标准
绿潮生物生态	绿潮生物的种类鉴定与分布特征描述	目测法	“我国近海绿潮灾害调查”技术规程
水文气象与水质环境*	水深	船载测深仪	GB/T 12763-2007
	水温	表层水温表法	
	盐度	盐度计法	
	pH	pH 计法	GB 17378.4-2007
	溶解氧	碘量法	
	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	
	活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	
	亚硝酸盐	萘乙二胺分光光度法	
	硝酸盐	锌-镉还原法	
	氨	次溴酸盐氧化法	
	活性硅酸盐	硅钼黄分光光度法	
	总有机碳	总有机碳仪器法	
	钙	EDTA 络合滴定法	
	铬	原子吸收分光光度法	
	锌	原子吸收分光光度法	
	铜	原子吸收分光光度法	
	铅	原子吸收分光光度法	
	叶绿素 a	荧光分光光度法	GB 17378.6-2007
沉积物环境	硫化物	碘量法	GB 17378.5-2007
	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	

注：* 溶解氧、水温、盐度、pH、叶绿素 a、营养盐、重金属和总有机碳等水环境监测要素在水深 6~15 m 的站位分表底两层采样分析，表层为水深 0.1~1 m，底层为水深距海底 2 m；在水深大于 16 m 的站位依次分表、10 m、20 m、30 m、40 m 和底层采样分析。

1) 调查要素

A. 水文气象和水质

必测项目：水深、水温、风速、风向、气温、天气现象、盐度、pH、溶解氧。

选测项目：化学需氧量、磷酸盐、亚硝酸盐-氮、硝酸盐-氮、氨-氮、硅酸盐、叶绿素 a、总有机碳、钙、铬、锌、铜、铅。

B. 绿潮生物

绿潮生物的种类、颜色、生长状况、位置、分布、覆盖率等情况记录。

2) 调查站位的布设

调查站位根据绿潮的现场分布情况设定。在绿潮的分布区域内布设站位，同时需在绿潮分布区域之外布设对照站位。

3) 调查方法

(1) 船舶调查方法

同绿潮背景调查的水文气象、水质和绿潮生物调查方法。

(2) 卫星遥感调查方法

针对绿潮暴发期间绿潮的覆盖水域范围/面积、绿潮实际面积等指标,采用卫星遥感的调查方法。使用 MODIS 卫星(上午星、下午星)遥感图片联合 MODIS 和 SAR 数据开展工作,对海域的叶绿素和海洋水色状况进行遥感监测,通过解译卫星图片和数据信息,提取绿潮覆盖水域范围/面积、绿潮实际面积、绿潮坐标、距敏感区距离等重要信息。

4) 调查频率

绿潮暴发期间,进行了 3 次船舶跟踪监测。

1.4.3 绿潮消亡期调查

绿潮消亡期,在绿潮影响海域开展 1 个航次下沉绿潮调查。调查站位根据绿潮暴发海域设定。

1) 调查要素

水文气象和水质:水深、水温、盐度、pH、溶解氧。

沉积物:有机碳、硫化物。

绿潮生物:绿潮生物的种类和简易分布特征。

2) 调查方法

水文气象、沉积物以及水体表层绿潮生物的调查方法同绿潮背景调查;

水体中绿潮生物使用浅水 I 型浮游生物网拖网采集,采集方法参照 GB 17378.6-2007 中浮游动物拖网采集;

海底绿潮生物使用底拖网采集,采集方法参照 GB 17378.6-2007 中底栖生物底拖网采集。

3) 调查站位和频率

在绿潮即将消亡期间,使用船舶方法进行 8 月份 1 个航次的下沉绿潮调查。下沉绿潮调查站位图和表见图 1.2 和表 1.3。

表 1.3 下沉绿潮调查站位表

测站	纬度 (N)	经度 (E)	调查要素
HT-12	35°30'00"	120°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-01	35°00'00"	120°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-03	35°00'00"	121°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-04	35°00'00"	121°30'00"	水文气象、沉积物、生物

续表

测站	纬度 (N)	经度 (E)	调查要素
HT-06	35°00'00"	122°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-08	35°30'00"	122°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-09	35°30'00"	121°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-10	35°30'00"	121°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-11	35°30'00"	120°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-27	37°00'00"	123°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-28	36°00'00"	121°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-26	36°36'00"	123°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-25	36°36'00"	122°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-24	36°36'00"	122°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-23	36°36'00"	121°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-21	36°18'00"	121°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-20	36°18'00"	121°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-19	36°18'00"	122°00'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-18	36°18'00"	122°30'00"	水文气象、沉积物、生物
HT-17	36°00'00"	122°30'00"	水文气象、沉积物、生物

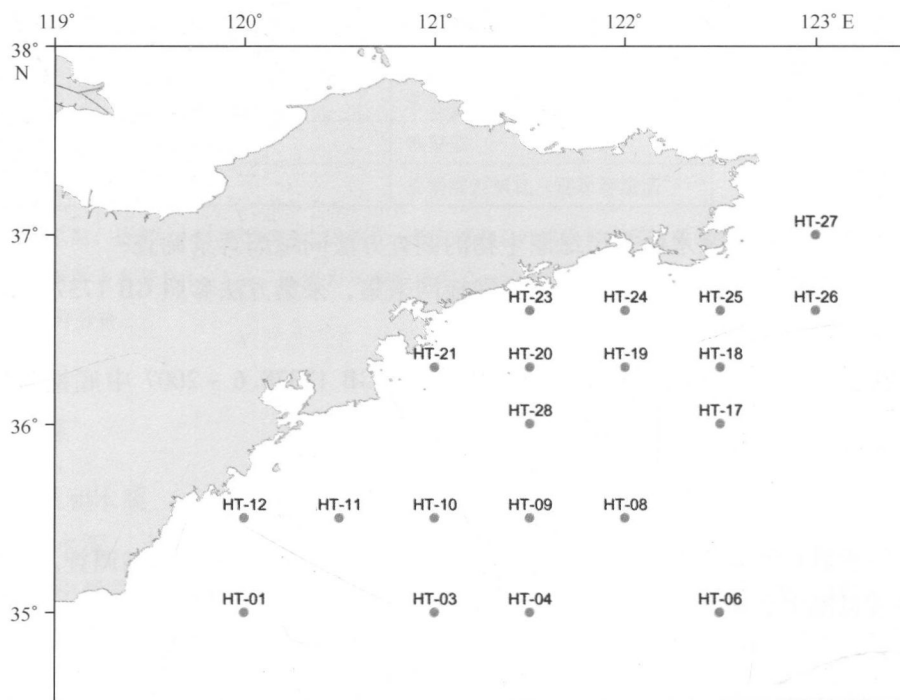


图 1.2 下沉绿潮调查站位图

1.5 完成工作量及成果

1.5.1 完成工作量

本项目共进行了7个航次的外业调查工作，完成了合同要求的各项调查任务，合同完成情况如表1.4所示。

表 1.4 合同完成情况统计表

序号	航次	站位			监测要素			分析数据		
		预计 (个)	实测 (个)	完成率 (%)	预计 (项)	实测 (项)	完成率 (%)	预计 (个)	实测 (个)	完成率 (%)
1	2009年2月份黄海海域绿潮生物生态背景调查	16	16	100	24	26	超额完成	360	480	超额完成
2	2009年3月份黄海海域绿潮生物生态背景调查	16	16	100	24	26	超额完成	360	460	超额完成
3	2009年4月份黄海海域绿潮生物生态背景调查	16	16	100	24	26	超额完成	360	490	超额完成
4	2009年5月份黄海海域绿潮生物生态背景调查	16	16	100	24	26	超额完成	360	470	超额完成
5	2009年6月份黄海海域绿潮跟踪监测	-*	42	100	9	14	100	-	588	100
6	2009年7月份黄海海域绿潮跟踪监测	-*	55	100	9	14	100	-	770	100
7	2009年8月份黄海海域下沉绿潮藻调查	-*	11	100	8	20	100	-	85	100

注：* 根据绿潮发生情况布设站位；- 跟踪监测没有预定站位，根据现场情况设站位，所以没有预计站位数量。

背景调查各航次实测调查站位与预计的调查站位相同，完成率达到100%，各航次的实际监测项目均多于预计监测项目，均超额完成；跟踪监测和下称绿潮调查各航次获得的调查要素均多于预计监测项目，超额完成合同任务。

本项目的资料汇交工作按照“908”专项资料汇交的要求及时完成汇交工作，本项目的资料成果归档工作按照“908”专项资料归档的要求和北海信息中心的安排及时完成归档工作。

1.5.2 成果

1) 数据集

共形成数据集7个。

(1) 2009年2月份黄海海域绿潮生物生态背景调查数据集；

- (2) 2009 年 3 月份黄海海域绿潮生物生态背景调查数据集;
- (3) 2009 年 4 月份黄海海域绿潮生物生态背景调查数据集;
- (4) 2009 年 5 月份黄海海域绿潮生物生态背景调查数据集;
- (5) 2009 年 6 月份黄海海域绿潮跟踪监测数据集;
- (6) 2009 年 7 月份黄海海域绿潮跟踪监测数据集;
- (7) 2009 年 8 月份黄海海域下沉绿潮藻调查数据集。

2) 图集

- (1) 海洋水文图集;
- (2) 海水水质图集;
- (3) 海洋沉积物图集;
- (4) 卫星遥感解译分析图集;
- (5) 航空监测图集;
- (6) 生态实验图集。

3) 报告

形成以下 3 个报告。

- (1) 生物生态补充调查 (绿潮调查) 任务执行情况总结报告;
- (2) 生物生态补充调查 (绿潮调查) 研究报告;
- (3) 绿潮调查航次报告。

生物生态补充调查 (绿潮调查) 工作从准备阶段到成果报告历时约 840 余天, 各项目均完成了《合同书》所规定的调查内容。