

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22420081151506

廈門大學

硕士学位论文

广西铁山港和福建深沪湾分粒级浮游植物
生物量与初级生产力的比较研究

Comparative studies on size-fractionated biomass and
primary productivity of phytoplankton between Tieshan
Harbor, Guangxi and Shenhu Bay, Fujian

张建平

指导教师姓名: 曹文清 教授

专业名称: 海洋生物学

论文提交日期: 2011年5月

论文答辩时间: 2011年6月

2011年6月

厦门大学学位论文原创性声明

本人提交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为国家海洋公益性项目“北部湾典型生态区生态系统评价技术集成及其在渔业生境保护中的应用研究”(课题编号:200905019-6)课题和“福建省重点海湾环境质量监测(深沪湾)”课程的研究成果,获得该课题经费资助,在海洋浮游生物生态实验室完成。

声明人(签名): 张建平

2011年05月19日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

声明人（签名）： 张建平

2011 年 05 月 19 日

目 录

缩略词中英文对照表	A
中文摘要.....	a
英文摘要.....	c
第 1 章 绪 论	1
1.1 浮游植物的生态地位.....	1
1.2 浮游植物的粒级结构研究.....	2
1.3 初级生产的碳流途径.....	9
1.4 浮游植物初级生产的影响因素.....	10
1.4.1 光照.....	10
1.4.2 温度.....	10
1.4.3 盐度.....	11
1.4.4 营养盐.....	11
1.4.5 浮游动物的摄食.....	12
1.4.6 其他因素.....	13
1.5 铁山港和深沪湾的生态环境.....	13
1.5.1 铁山港的生态环境.....	13
1.5.2 深沪湾的生态环境.....	14
1.6 本研究的主要内容及拟解决的科学问题.....	15
第 2 章 材料和方法	17
2.1 调查站位及采样时间.....	17
2.1.1 铁山港调查站位及采样时间.....	17
2.1.2 深沪湾调查站位及采样时间.....	18
2.2 样品采集和分析.....	19
2.2.1 浮游植物的采集和分析.....	19
2.2.2 叶绿素 α 的采集和测定	19

2.2.3 初级生产力样品的采集、培养和测定.....	19
2.2.4 碳流途径与输出潜力的分析方法.....	20
2.3 数据处理与计算.....	21
2.3.1 数据处理.....	21
2.3.2 数据计算.....	21
第 3 章 研究结果	23
3.1 铁山港.....	23
3.1.1 浮游植物种类组成及时空分布.....	23
3.1.2 浮游植物数量的时空分布.....	25
3.1.3 总叶绿素 α 浓度的时空分布.....	26
3.1.4 叶绿素 α 的粒级结构和时空分布.....	28
3.1.5 初级生产力的时空分布特征.....	33
3.1.6 初级生产力的粒级结构.....	34
3.1.7 浮游植物丰度、叶绿素 α 浓度与环境因子的相关性分析.....	35
3.1.8 浮游植物的丰度与叶绿素 α 浓度的关系.....	38
3.1.9 讨论.....	39
3.2 深沪湾.....	44
3.2.1 浮游植物种类组成及时空分布.....	44
3.2.2 浮游植物丰度的时空分布.....	46
3.2.3 总叶绿素 α 浓度的时空分布.....	47
3.2.4 叶绿素 α 的粒级结构和时空分布.....	50
3.2.5 初级生产力的分布特征.....	56
3.2.6 初级生产力的粒级结构.....	56
3.2.7 浮游植物丰度、叶绿素 α 浓度与环境因子的相关性分析.....	57
3.2.8 浮游植物的丰度与叶绿素 α 浓度的关系.....	61
3.2.9 讨论.....	62
第 4 章 铁山港和深沪湾分粒级浮游植物生物量与初级生产力的比较	66

4.1 浮游植物种类组成和丰度.....	66
4.2 叶绿素 α 的粒级结构	66
4.3 浮游植物的初级生产及其碳流途径.....	67
4.4 讨论.....	67
结语.....	70
1. 主要结果.....	70
2. 创新之处.....	70
3. 不足之处.....	70
4. 展望.....	71
参考文献.....	72
在学期间参加的科研项目及成果	85
一 参加的主要科研与调查项目.....	85
二 发表论文情况.....	85
致谢.....	86

CONTENTS

List of abbreviation	A
Abstract in Chinese	a
Abstract in English	c
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Ecological significance of phytoplankton	1
1.2 Study on size structure of phytoplankton	2
1.3 The carbon flow from phytoplankton	9
1.4 Influence factors of phytoplankton primary productivity	10
1.4.1 Light	10
1.4.2 Temperature	10
1.4.3 Salinity.....	11
1.4.4 Nutrient.....	11
1.4.5 Ingestion of zooplankton.....	12
1.4.6 Other factors	13
1.5 Geographics of Tieshan Harbor and Shenhu Bay	13
1.5.1 Tieshan Harbor	13
1.5.2 Shenhu Bay.....	14
1.6 Purpose and the scientific questions to be solved in this study	15
Chapter 2 Materials and methods	17
2.1 Sampling stations and dates	17
2.1.1 Sampling stations and dates of Tieshan Harbor.....	17
2.1.2 Sampling stations and dates of Shenhu Bay.....	18

2.2 Sampling and analytical methods	19
2.2.1 Sampling and analytical methods of phytoplankton.....	19
2.2.2 Sampling and analytical methods of chlorophyll α	19
2.2.3 Sampling, culture and analytical methods of primary productivity.....	19
2.2.4 Analytical method of potential export of phytoplankton primary productivity.....	20
2.3 Data processing and calculating	21
2.3.1 Data processing.....	21
2.3.2 Data calculating	21
Chapter 3 Results	23
3.1 Tieshan Harbor	23
3.1.1 The species composition, temporal and spatial distribution of phytoplankton	23
3.1.2 Temporal and spatial distribution of phytoplankton abundance	25
3.1.3 Temporal and spatial distribution of total chlorophyll α concentration ..	26
3.1.4 Size structure, temporal and spatial distribution of chlorophyll α	28
3.1.5 Distribution characteristics of primary productivity.....	33
3.1.6 Size-fractionated primary productivity	34
3.1.7 Relative analysis of phytoplankton abundance, chlorophyll α concentration and ecological factors	35
3.1.8 Relationship between phytoplankton abundance and chlorophyll α concentration	38
3.1.9 Discussions	39
3.2 Shenhu Bay	44
3.2.1 The species composition, temporal and spatial distribution of	

phytoplankton	44
3.2.2 Temporal and spatial distribution of phytoplankton abundance	46
3.2.3 Temporal and spatial distribution of total chlorophyll α concentration ..	47
3.2.4 Size structure, temporal and spatial distribution of chlorophyll α	50
3.2.5 Distribution characteristics of primary productivity	56
3.2.6 Size-fractionated primary productivity	56
3.2.7 Relative analysis of phytoplankton abundance, chlorophyll α concentration and ecological factors	57
3.2.8 Relationship between phytoplankton abundance and chlorophyll α concentration	61
3.2.9 Discussions	62
Chapter 4 Comparative studies on size-fractionated biomass and primary productivity of phytoplankton between Tieshan Harbor and Shenhu Bay	66
4.1 The species composition and abundance of phytoplankton	66
4.2 Size structure of chlorophyll α	66
4.3 Primary productivity of phytoplankton and carbon flow	67
4.4 Discussions	67
Summary	70
References	72
Research projects involved and achievements obtained in the period of Master Degree study	85
Acknowledgements	86

缩略词中英文对照表

缩略词	英文	中文
CO ₂	carbon dioxide	二氧化碳
Chl- α	chlorophyll α	叶绿素 α
d	day	天
DIN	dissolved inorganic nitrogen	溶解无机氮
DMS	dimethyl sulphide	二甲基硫
DOC	dissolved organic carbon	溶解有机碳
HNLC	high nutrient low chlorophyll	高营养盐低叶绿素
micro	microplankton	小型浮游生物
mg	microgram	毫克
N ₂	nitrogen	氮气
nano	nanoplankton	微型浮游生物
NH ₄ ⁺	ammonium	铵盐
NO ₃ ⁻	nitrate	硝酸盐
NO ₂ ⁻	nitrite	亚硝酸盐
P	phosphorus	磷
pico	picoplankton	微型浮游生物
POC	particulate organic carbon	颗粒有机碳
SiO ₃ ²⁻	silicate	硅酸盐
SRP	soluble reactive phosphorus	活性磷酸盐
t	ton	吨
T	water temperature	水温
μm	micro meter	微米
μM	micro mol/L	微摩尔/升

摘要

浮游植物是海洋生态系统中最主要的初级生产者，通过光合作用将 CO_2 固定为有机碳，浮游植物作为海洋动物直接或间接的饵料，在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着十分重要的作用。不同粒级浮游植物具有不同的物质循环和能量流动途径，研究不同海域浮游植物生物量和初级生产力的粒级结构特征及时空分布对于认识该海域生态系统动力过程及其微食物环的作用具有重要意义，对海域生物资源开发利用亦有指导作用。

2010年4月（春季）和8月（夏季），对广西铁山港和福建深沪湾分别进行两个航次的浮游植物种类组成、丰度，叶绿素 α 和初级生产力粒级结构的调查研究，探讨浮游植物丰度和生物量的时空分布、粒级结构特征、初级生产力水平及其环境调控机制，估算海域固碳能力与富营养化物质的吸收能力，并初步分析浮游植物初级生产的碳流途径和输出潜力。

主要结果如下：

1. 铁山港共采集到浮游植物 54 属 124 种，其中，硅藻（Bacillariophyta）为最优势类群，共 41 属 102 种，占总种数的 82.26%；甲藻（Pyrrophyta）10 属 19 种，占总种数的 15.23%；其他浮游植物类群 3 属 3 种；日本星杆藻（*Asterionella japonica*）和角毛藻属（*Chaetoceros*）是两个季节的主要优势种。深沪湾共鉴定浮游植物 63 属 140 种。其中，硅藻 47 属 116 种，占总种数的 82.86%；甲藻 12 属 20 种，占总种数的 14.29%；其他浮游植物 3 属 4 种；中肋骨条藻（*Skeletonema costatum*）是春、夏两季的绝对优势种。
2. 铁山港浮游植物平均丰度为 50.53×10^4 cell/L，深沪湾浮游植物平均丰度为 16.87×10^5 cell/L，两个海湾的浮游植物丰度都存在明显的季节变化。
3. 铁山港浮游植物总叶绿素 α 平均浓度 1.23 mg/m^3 ，春季明显高于夏季，浓度分别为 2.06 mg/m^3 和 0.39 mg/m^3 。铁山港是典型的贫营养水域，DIN 营养盐限制是夏季浮游植物生物量显著降低的主要因素。不同粒级浮游植物对总叶绿素 α 和初级生产力的贡献存在明显的季节变化；春季，微型和微微型浮游植物（ $<20 \mu\text{m}$ ）占优势，对总叶绿素 α 和初级生产力的

贡献较大；夏季，对总叶绿素 α 和初级生产力的主要贡献者是小型浮游植物 ($>20 \mu\text{m}$)。

4. 深沪湾浮游植物总叶绿素 α 的平均浓度为 3.66 mg/m^3 ；春季，总叶绿素 α 的平均浓度为 6.98 mg/m^3 ，明显高于夏季 (0.34 mg/m^3)。深沪湾浮游植物粒级结构的一个显著特点是以微型和微微型浮游植物 ($<20 \mu\text{m}$) 占优势，对总叶绿素 α 的贡献较大。夏季，微型浮游植物是初级生产力的主要贡献者。温度、盐度和营养盐等生态因子对浮游植物丰度和叶绿素 α 浓度的分布模式起着重要的调控作用。
5. 铁山港，夏季浮游植物光合作用的固碳量和对氮、磷的吸收量要高于春季。深沪湾，夏季浮游植物的固碳量约为 7.37 t C/d ，对氮和磷营养盐的吸收量约为 1.30 t N/d 和 0.20 t P/d ；浮游植物初级生产的有机碳以不同的碳流途径输出，微食物环在近岸海域生态系统占有重要地位。

关键词：浮游植物；叶绿素 α ；初级生产力；粒级结构；碳流途径

ABSTRACT

Phytoplankton is the main component of primary producers in the marine ecosystem, which photosynthesizes to turn carbon dioxide into organic carbon. Phytoplankton is ingested by marine animals directly or indirectly, which plays a significant role in energy flow and nutrient cycling. Different size-fractionated structure of phytoplankton has different nutrient cycling and energy flow. Studies on biomass of phytoplankton, size-fractionated phytoplankton primary production and temporal and spatial distribution are significant to recognize marine ecosystem dynamic processes and the action of microbial food loop, are conducive to exploitation and utilization of marine biological resources.

Two cruises were carried out to study on the species composition and abundance of phytoplankton and size-fractionated structure of chlorophyll α concentration and primary productivity in Tieshan Harbor and Shenhu Bay in April (spring) and August (summer) 2010. The relationships between phytoplankton and environmental factors were discussed. Also the fixed carbon amount *via* the phytoplankton photosynthesis and the purification capacity due to the nitrogen and phosphate intake by the phytoplankton were estimated, the carbon flow in the gulf was established primarily.

The main results are as follows:

1. The results show that there were 124 species in total, representing 54 genera in Tieshan Harbor. Among these, diatoms (102 species, representing 41 genera) were predominant group, accounted for 82.26%, followed by dinoflagellates, with 19 species, representing 10 genera, accounted for 15.23%. *Asterionella japonica* and *Chaetoceros* were the dominant species in spring and summer. The results show that there were 140 species in total, representing 63 genera in Shenhu Bay. Among these, diatoms (116 species, representing 47 genera) were predominant group, accounted for 82.86%, followed by dinoflagellates, with 20 species, representing 12 genera, accounted for 14.29%. *Skeletonema costatum* was the dominant species in spring and summer.

2. The abundance of phytoplankton were 50.53×10^4 cell/L in average in Tieshan Harbor and 16.87×10^5 cell/L in average in Shenhu Bay, with a seasonal variations in two gulves.
3. The total chlorophyll α concentration of Tieshan Harbor was 1.23 mg/m^3 in average, with a seasonal variation as spring > summer. Tieshan Harbor is the typical sterile nutrition water. Biomass of phytoplankton decreased in summer was due to nutrient limitation. Seasonal variations occurred for the relative contributions of different size fractions of phytoplankton. In spring, nanophytoplankton (NANO) and picophytoplankton (PICO) dominated the phytoplankton productivity and biomass. In summer microphytoplankton (MICRO) was higher than NANO and PICO.
4. The total chlorophyll α concentration of Shenhu Bay was 3.66 mg/m^3 in average, with a seasonal variation as spring > summer. As a whole, the notable characteristic of phytoplankton in size-fractioned structure was the NANO and PICO occupied comparatively significant portion in Shenhu Bay. NANO dominated the phytoplankton productivity in summer. Ecological factors such as temperature, salinity and nutrients took an important regulation in the distribution pattern of the abundance and biomass of phytoplankton.
5. In Tieshan Harbor, the daily fixed-carbon amount *via* the phytoplankton photosynthesis, the nitrogen and phosphate intakes in summer were higher than spring. In summer, the daily fixed-carbon amount *via* the phytoplankton photosynthesis was 7.37 t/d, the nitrogen and phosphate intakes were 1.30 t/d and 0.20 t/d respectively in Shenhu Bay. The organic carbon of phytoplankton productivity had different carbon flows. The microbial food loop played an important role in the carbon cycle of the offshore marine ecological system.

Key Words: Phytoplankton; Chlorophyll α ; Primary Productivity; Size-fractioned structure; Carbon Flow

第 1 章 绪论

1.1 浮游植物的生态地位

浮游植物是海洋生态系统中最主要的初级生产者,通过光合作用利用太阳能将CO₂固定为有机碳,浮游植物作为海洋动物直接或间接的饵料,开启了海洋食物链(网),在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着十分重要的作用(Lalli & Parsons, 1993)。大气中CO₂浓度不断增加所带来的全球气候变暖是人类面临的重要环境问题,浮游植物通过光合作用降低了真光层中CO₂浓度,驱使大气CO₂向海洋转移,从而对全球气候变化起着重要的调节作用,对研究海洋生态系统的结构与功能和全球碳循环具有重要的理论意义(Bates *et al.*, 1998; Arrigo *et al.*, 1998; Nelson *et al.*, 1996; Arrigo *et al.*, 2000)。

研究浮游植物在不同海域的生态地位和作用,叶绿素 α 浓度和初级生产力水平的观测是一种主要手段。叶绿素 α 是浮游植物进行光合作用的主要色素,海水中叶绿素 α 含量的高低是表征浮游植物现存量 and 反映海水肥瘠程度的良好指标,同时也是估算初级生产力的基础,是评价海区营养水平和评估水域渔业资源潜在生产能力的重要参数之一,海洋中叶绿素 α 浓度的分布与变化情况能较好地反映出水体中浮游植物的丰度及其变化规律(刘子琳等, 2004a)。

海洋初级生产力是指海洋中初级生产者(自养生物)通过光合作用或化学合成制造有机物的速率(沈国英等, 2010),通常以单位时间内单位面积或体积上产生的碳量表示。海洋中的初级生产者主要包括大型藻类、单细胞浮游藻类以及自养细菌等。其中,海洋浮游植物是海洋中主要初级生产者,是物质循环和能量流动的关键过程,是海洋有机物的最初来源,是生态系统食物网结构和功能的基础环节。海洋初级生产力是描述海洋生态系统及其环境特征的重要参数,在碳的生物地球化学循环和气候变化中发挥着重要作用,通过生物泵将碳向海洋深处运输,同时钙化浮游植物产生并维持海水碱度的垂直梯度形成碳酸盐泵,参与调节大气CO₂浓度,进而影响全球气候。固氮浮游植物、固硅浮游植物、产DMS浮游植物在氮、硅、硫等元素的生物地化循环中扮演重要的角色(Hood *et al.*, 2006)。

海洋浮游植物在海洋生态系统中发挥着重要的作用,因此许多重大的国际研

究计划,如全球海洋通量联合研究(JGOFS)、沿岸带陆海相互作用研究(LOICZ)、全球海洋生态系统动力学研究(GLOBEC)和海洋生物地球化学与生态系统整合研究(IMBER)等,都将近海浮游植物研究作为重要的课题(唐启升等,2005)。

1.2 浮游植物的粒级结构研究

过去由于技术手段的限制,人们只能用总生物量、总初级生产力来描述浮游植物的状态和初级生产过程。随着粒级分离技术和同位素示踪法等新技术、新方法的广泛应用,人们对初级生产力的认识发生了重大变化;并提出了“初级生产力结构”这一新概念(焦念志和王 荣,1993),它包括初级生产力的组份结构、粒级结构、产品结构和功能结构4个部分。

Sheldon & Parsons (1967) 提出了粒径谱(size spectrum)理论,并将其用于海洋水层生态系统食物网的研究中。粒径谱理论认为:海洋中的生物,从微生物和单细胞浮游植物到浮游动物、直至鱼类和哺乳类,都可以被看作是水体中的“颗粒”,并以统一的相应球型直径表示其大小,如果将它们相应的球型直径按一定的对数级数排序,则发现各对数粒级上的生物量相近或存在线性关系,粒级结构基本上反映了从低营养级到高营养级之间的生物量和能量等各种关系(Kerr, 1974),这样的划分为定量研究海洋生态系统中的物流和能流,以及浮游生物动力学模型的研究提供了极大的方便(Moloney & Field, 1991)。海洋浮游生物按照粒径谱划分为小型浮游生物(microplankton)(20-200 μm),微型浮游生物(nanoplankton)(2-20 μm)和微微型浮游生物(picoplankton)(0.2-2 μm)(Sieburth *et al.*, 1978)。

自从有了浮游生物的粒径划分,国内外关于浮游植物的粒级研究做了相当多的工作(Suttle *et al.*, 1991; Takahashi *et al.*, 1983; Moloney & Field, 1991; Merrell & Stoecker, 1998; Cermeno *et al.*, 2005; Cermeno *et al.*, 2006)。

Taguchi (1976) 系统研究了不同粒级浮游植物细胞的光合作用速率,发现三角褐指藻(*Phaeodactylum tricomutum*)和中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)等粒级较小的浮游植物具有较高的光合作用速率。Finkel & Irwin (2000) 对浮游植物在光限制条件下细胞粒径在光合作用中的功能进行了研究,指出粒径较大的细胞在给定色素浓度和光照强度的条件下,由于其“包裹效应”(package effect)

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库