

学校编码: 10384

密级_____

学 号: 22620100153612

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

近岸水域微型浮游生物与水母暴发的交互影响

Studies on the interaction of medusa blooms and
microplankton in coastal waters

黄旭光

指导教师姓名: 黄邦钦教授
李顺兴教授

专 业 名 称: 环 境 科 学

论文提交日期: 2014 年 11 月

论文答辩时间: 2014 年 12 月

2014 年 12 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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的其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以明确方式标明，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，该学位论文为厦门大学环境与生态学院海洋环境生态学研究组的研究成果，获得国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2011CB403603)课题经费的资助，在海洋环境生态学研究组(CEG)完成。

声明人(签名)：

年 月 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：

() 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。

() 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	IV
缩略语中英文对照表	VII
第 1 章 绪 论	1
1.1 水母的生物学特征	1
1.2 水母暴发的危害及成因	3
1.3 微型浮游生物对水母暴发的影响.....	9
1.3.1 微型浮游动物对水母暴发影响.....	10
1.3.2 浮游植物对水母暴发的影响.....	11
1.4 水母暴发的生态效应	12
1.4.1 水母暴发对浮游生物的影响.....	15
1.4.2 水母暴发对碳循环的影响.....	15
1.5 中国近海水母暴发的研究	16
1.6 本论文的科学问题和主要内容	18
第一篇 浮游植物对海月水母不同生活史阶段的影响	20
第 2 章 浮游植物对海月水母水螅体的行为、生长和繁殖的影响 ..	20
2.1 前言	20
2.2 材料和方法	21
2.2.1 浮游植物和海月水母水螅体.....	21
2.2.2 海月水母水螅体对浮游植物的捕食反应	21
2.2.3 混合饵料生物培养下海月水母水螅体胃含物分析.....	22
2.2.4 不同喂食环境下, 海月水母水螅体的存活和无性繁殖	24
2.2.5 统计分析	24
2.3 结果与分析	26

2.3.1 海月水母水螅体对浮游植物的摄食行为.....	26
2.3.2 混合饵料生物培养下海月水母水螅体胃含物分析.....	28
2.3.3 水螅体的存活和无性繁殖.....	29
2.4 讨论.....	33
2.5 小结.....	35
第 3 章 浮游植物对海月水母碟状幼体行为及生长的影响.....	36
3.1 前言.....	36
3.2 实验材料和方法.....	37
3.2.1 实验材料.....	37
3.2.2 不同饵料生物对海月水母水螅体行为的影响.....	37
3.2.3 几种浮游植物和丰年虫对海月水母碟状幼体生长的影响.....	38
3.2.4 数据处理与统计分析.....	39
3.3 结果与分析.....	39
3.3.1 不同饵料生物对海月水母水螅体行为的影响.....	39
3.3.2 几种浮游植物和丰年虫对海月水母碟状幼体生长的影响.....	41
3.4 讨论.....	45
3.5 小结.....	47
第二篇 河口区小型水母暴发过程中浮游生物生态特征研究.....	49
第 4 章 九龙江河口小型水母暴发过程中浮游植物和微型浮游动物的变化.....	49
4.1 前言.....	49
4.2 研究区域与方法.....	51
4.2.1 研究站位与采样方法.....	51
4.2.2 环境参数的测定.....	52
4.2.3 分粒级 Chl a 的采集与分析.....	52
4.2.4 微型浮游动物和浮游植物的采集与处理.....	53
4.2.5 小型水母的采集与分析.....	54

4.2.6 浮游植物特征光合色素样品的采集和测定.....	54
4.2.7 数据分析.....	60
4.3 结果与分析.....	60
4.3.1 环境参数变化.....	60
4.3.2 小型水母总丰度和弗洲指突水母丰度的时空分布.....	62
4.3.3 TChl a 和分粒径 Chl a 的含量.....	65
4.3.4 浮游植物种类组成及类群变化.....	67
4.3.5 微型浮游动物的组成.....	70
4.3.6 小型水母种类与环境因子的关系.....	72
4.4 讨论.....	76
4.5 小结.....	80
第 5 章 南湖公园水域浮游植物和微型浮游动物对弗洲指突水母暴发过程的响应	81
5.1 前言.....	81
5.2 研究位置与方法.....	82
5.2.1 调查研究时间与站位.....	82
5.2.2 环境参数的测定.....	82
5.2.3 分粒级 Chl a 的采集与分析.....	83
5.2.4 微型浮游动物和浮游植物的采集与处理.....	83
5.2.5 小型水母和中型浮游动物的采集与分析.....	83
5.2.6 稀释法测定微型浮游动物的摄食压力.....	83
5.2.7 微型浮游动物摄食率和浮游植物生长率的计算.....	83
5.3 结果与分析.....	84
5.3.1 采样期间温、盐特征及变化.....	84
5.3.2 采样期间弗洲指突水母丰度及浮游生物丰度和生物量变动.....	84
5.3.3 稀释实验结果.....	91
5.4 讨论.....	94

5.4.1 南湖公园水域弗洲指突水母数量与营养盐、TChl a 和浮游植物 优势种类的变动.....	94
5.4.2 南湖公园弗洲指突水母数量与浮游动物生物量变动.....	96
5.4.3 厦门南湖公园水体中浮游植物生长与微型浮游动物的摄食.....	97
5.5 小结.....	99
第 6 章 弗洲指突水母对浮游生物影响	101
6.1 前言.....	101
6.2 实验部分.....	101
6.2.1 实验材料.....	101
6.2.2 实验设计.....	102
6.2.3 样品采集与分析.....	102
6.2.4 数据处理与统计分析.....	103
6.3 结果与分析	103
6.3.1 营养盐的变化.....	103
6.3.2 TChl a 和分粒径 Chl a 的变化.....	103
6.3.3 微型和中型浮游动物的变化.....	106
6.4 讨论.....	107
6.5 小结.....	111
第 7 章 弗洲指突水母暴发对细菌代谢特征的影响	113
7.1 前言.....	113
7.2 材料与方法.....	114
7.2.1 弗洲指突水母的采集和保存方法.....	114
7.2.2 溶解态有机质、有机和无机营养盐的释放.....	114
7.2.3 弗洲指突水母对细菌生长效率的影响.....	115
7.2.4 细菌群落结构的测定.....	117
7.2.5 2012 年春季九龙江河口弗洲指突水母对细菌生长效率的影响估算	118
7.3 结果与分析.....	119

7.3.1 弗洲指突水母有机和无机营养盐释放速率.....	119
7.3.2 弗洲指突水母对细菌代谢的影响.....	120
7.3.3 弗洲指突水母对浮游细菌群落结构的影响.....	123
7.3.4 2012年春季九龙江河口弗洲指突水母对细菌生长效率的影响估 算.....	124
7.4 讨论.....	125
7.5 小结.....	127
第 8 章 总结与展望	130
8.1 主要结论.....	130
8.1.1 浮游植物对海月水母不同生活史阶段(水螅体和碟状幼体)的影 响.....	130
8.1.2 河口区小型水母暴发过程中浮游生物生态特征研究.....	131
8.1.3 弗洲指突水母对细菌代谢特征的影响.....	133
8.2 本研究的特色与创新.....	133
8.3 本研究的不足之处.....	134
8.4 今后的工作内容和展望.....	135
参考文献.....	137
致 谢.....	158
附录 1.....	160
附录 2.....	161
附录 3.....	163

Contents

Abstract (in Chinese).....	I
Abstract (in English).....	IV
Abbreviations.....	VII
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Introduction of jellyfish	1
1.2 Harm and reason of jellyfish bloom.....	3
1.3 Influence of microplankton on jellyfish bloom	8
1.3.1 Influence of microzooplankton on jellyfish bloom	10
1.3.2 Influence of phytoplankton on jellyfish bloom	11
1.4 Ecological effect of jellyfish bloom.....	12
1.4.1 Influence of jellyfish bloom on zooplankton	12
1.4.2 Influence of jellyfish bloom on carbon cycle.....	15
1.5 Studies of jellyfish bloom in Chinese coastal water	16
1.6 Objectives and contents of this dissertation.....	18
Section I Effect of phytoplankton on different stages of <i>Aurelia</i> sp.1	20
Chapter 2 Effect of phytoplankton on behavior and survival of <i>Aurelia</i> sp.1 polyps	20
2.1 Introduction.....	20
2.2 Materials and methods	21
2.2.1 Phytoplankton and <i>Aurelia</i> sp.1 polyps	21
2.2.2 Feeding behavior of <i>Aurelia</i> sp.1 polyps on phytoplankton.....	21
2.2.3 Gastric cavity analysis of <i>Aurelia</i> sp.1 polyps under mixed food	22
2.2.4 Surviving and production of buds while feeding on different food type.....	24

2.2.5 Statistical analysis	24
2.3 Results and analysis	26
2.3.1 Feeding responses of <i>Aurelia</i> sp.1 polyps to phytoplankton	26
2.3.2 Gastric cavity analysis of <i>Aurelia</i> sp.1 polyps under mixed food	28
2.3.3 Survival and new production of polyps with time	29
2.4 Discussion	33
2.5 Conclusion	35
Chapter 3 Effect of phytoplankton on behavior and survival of <i>Aurelia</i>	
sp.1 ephyra	36
3.1 Introduction	36
3.2 Materials and methods	37
3.2.1 Materials	37
3.2.2 Influence of food types on <i>Aurelia</i> sp.1 ephyrae behavior	37
3.2.3 Influence of phytoplankton and <i>Aretima</i> sp. on growth of <i>Aurelia</i>	
sp.1 ephyrae	38
3.2.4 Statistical analysis	39
3.3 Results and analysis	39
3.3.1 Influence of food types on <i>Aurelia</i> sp.1 ephyrae behavior	39
3.3.2 Influence of phytoplankton and <i>Aretima</i> sp. on growth of <i>Aurelia</i>	
sp.1 ephyrae	41
3.4 Discussion	45
3.5 Conclusion	47
Section 2 Planktonic ecology in the process of small medusa bloom in	
coastal waters	49
Chapter 4 Variation of phytoplankton and microzooplankton during small	
medusa bloom in Jiulong River estuary	49

4.1 Introduction.....	49
4.2 Materials and methods	51
4.2.1 Sampling sites and methods.....	51
4.2.2 Determination of environmental parameters.....	52
4.2.3 Sampling and analysis of size-fractionated Chlorophyll a.....	52
4.2.4 Sampling and analysis of mirozooplankton and phytoplankton ..	53
4.2.5 Sampling and analysis of small medusa.....	54
4.2.6 Sampling and analysis of pigments	54
4.2.7 Statistical analysis	60
4.3 Results and analysis	60
4.3.1 Variation of environmental parameters	60
4.3.2 Aboundance distribution of total small medusa and <i>Blackfordia</i> <i>virginica</i>	62
4.3.3 Size-fractionated and total chlorophyll a contents.....	65
4.3.4 Variation of phytoplankton group.....	67
4.3.5 Variation of microzooplankton compositions and abundances	70
4.3.6 Relation between small medusa species and enviromental parameters	72
4.4 Discussion.....	76
4.5 Conclusion	80
 Chapter 5 Variation of phytoplankton and microzooplankton during <i>Blackfordia virginica</i> bloom in Nanhu Park, Xiamen	 81
5.1 Introduction.....	81
5.2 Study area and methods	82
5.2.1 Sampling sites and times.....	82
5.2.2 Determination of environmental parameters	82
5.2.3 Sampling and analysis of size-fractionated Chlorophyll a	83
5.2.4 Sampling and analysis of mirozooplankton and phytoplankton ..	83

5.2.5 Sampling and analysis of small medusa and mesozooplankton ...	83
5.2.6 Dilution experiments	83
5.2.7 Analysis of dilution experiments	83
5.3 Results and analysis	84
5.3.1 Variaton of temperature and salinity.....	84
5.3.2 Variaton of <i>Blackfordia virginica</i> and plankton abundance	84
5.3.3 Results of dilution experiments	91
5.4 Discussion	93
5.4.1 Variation of nutrient regimes, Chlorophyll a, phytoplamlton and <i>Blackfordia virginica</i>	93
5.4.2 Variation of plankton and <i>Blackfordia virginica</i> abundance	96
5.4.3 Phytoplankton growth rate and microzooplankton grazing rate ...	97
5.5 Conclusion	99
Chapter 6 Effect of <i>Blackfordia virginica</i> on plankton community.....	101
6.1 Introduction.....	101
6.2 Materias and methods	101
6.2.1 ExperimentaI materias	101
6.2.2 ExperimentaI design.....	102
6.2.3 Sampling and analysis.....	102
6.2.4 Statistical analysis	103
6.3 Results and analysis	103
6.3.1 Variation of nutrient structure.....	103
6.3.2 Variation of size-fractionated Chlorophyll a and total Chlorophyll a.....	103
6.3.3 Variation of mirozooplankton and mesozooplankton.....	106
6.4 Discussion	107
6.5 Conclusion	111

Chapter 7 Effect of <i>Blackfordia virginica</i> bloom on bacterial metabolism	113
7.1 Introduction	113
7.2 Materias and methods	114
7.2.1 Sampling and pretreatment of <i>Blackfordia virginica</i>	114
7.2.2 Release of DOM, dissolve organic and inorganic nutrients	114
7.2.3 Effect of <i>Blackfordia virginica</i> on bacteria growth rate	115
7.2.4 Determination of bacteria community	116
7.2.5 Estimation of <i>Blackfordia virginica</i> on bacteria growth rate in the Jiulong River Estuary in 2012	118
7.3 Results and analysis	119
7.3.1 Release rate of organic and inorganic nutrients by <i>Blackfordia virgnica</i>	119
7.3.2 Influence of <i>Blackfordia virginica</i> on bacteria metabolism	120
7.3.3 Influence of <i>Blackfordia virginica</i> on bacteria community	123
7.3.4 Estimation of <i>Blackfordia virginica</i> on bacteria growth rate in the Jiulong River Estuary in 2012	124
7.4 Discussion	125
7.5 Conclusion	127
8 Summary	130
8.1 Conclusion	130
8.1.1 Influence of phytoplankton on different life stages (polyps and ephyrae) of <i>Aurelia</i> sp.1	130
8.1.2 The plankton dynamics associated with small medusa blooms in the estuary	131
8.1.3 Effect of <i>Blackfordia virginica</i> on bacteria metabolism	133
8.2 Highlights	133
8.3 Problems and deficiency	134

8.4 Prospect for future work	135
References.....	137
Acknowledgement	158
Appendix 1.....	160
Appendix 2.....	161
Appendix 3.....	163

厦门大学博硕士学位论文摘要

摘 要

水母暴发是当今严峻的生态灾害，已对生态系统造成一定的负面影响，然而其发生机理和生态环境效应尚不清楚。本文采用实验生态和现场跟踪调查等手段研究了浮游植物对海月水母(*Aurelia* sp.1)不同生活史阶段(水螅体和碟状幼体)的行为和生长的影响，探讨了九龙江河口和厦门南湖公园以弗洲指突水母(*Blackfordia virginica*)为优势种的小型水母暴发机制及生态效应；此外，通过培养实验研究了弗洲指突水母暴发对细菌代谢特征的影响，进而探讨了其对九龙江河口区碳流的影响。取得了如下主要结果：

1. 浮游植物对海月水母不同生活史阶段(水螅体和碟状幼体)行为和生长的影响

通过室内实验分析了不同浮游植物对海月水母水螅体的捕食行为和生长的影响。结果表明，海月水母水螅体对能运动的甲藻有较显著的摄食行为，而对不能运动的硅藻几乎无反应。同时，海月水母水螅体对甲藻的摄食行为与甲藻的粒径大小和密度呈正相关。虽然在胃含物分析中检测到少量的较大颗粒的甲藻，如血红哈卡藻(*Akashiwo sanguinea*)和链状亚历山大藻(*Alexandrium catenella*)，但与浮游动物相比，浮游植物不是海月水母水螅体主要的捕食饵料生物。浮游植物不能长时间作为饵料生物维持海月水母水螅体的生长和繁殖。而且高浓度的甲藻会导致海月水母水螅体迅速地死亡，也表明现场海区中若甲藻赤潮暴发时会抑制海月水母水螅体的生长和繁殖，进而影响成体海月水母的暴发规模。

海月水母碟状幼体的游动频率和恢复能力也会显著受到浮游植物浓度的影响。低浓度的链状亚历山大藻(0.25×10^5 cells L⁻¹)与海月水母碟状幼体共存，海月水母的游动频率与初始时无差异。但是当浓度 $\geq 0.5 \times 10^5$ cells L⁻¹时，与之共存的碟状幼体游动频率和恢复能力受到显著抑制。而当浓度达到 3.0×10^5 cells L⁻¹时，碟状幼体几乎全部死亡。链状亚历山大藻有毒株(ACDH01)与无毒株(CCMP2023)在浓度 $\geq 0.5 \times 10^5$ cells L⁻¹时，均显著抑制碟状幼体的游动频率和恢复能力。

低浓度的浮游植物(中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)和链状亚历山大藻)在 10 天内可维持海月水母碟状幼体的生长,但是在 20 天内,无法维持其生长。高浓度的浮游植物(藻华水平)对海月水母碟状幼体的生长均是负效应。因此,现场海区中若甲藻赤潮暴发会抑制海月水母碟状幼体的生长和存活率,进而也会影响成体海月水母的暴发规模。

2. 河口区小型水母暴发过程中浮游生物生态特征研究

通过 2011 和 2012 年春季九龙江河口小型水母暴发时期的生态调查研究,分析了浮游植物、微型浮游动物以及小型水母种类组成和数量变动特征,同时还分析了营养盐、温度和盐度等环境参数。春季九龙江河口小型水母的优势种类为弗洲指突水母,其在 2011 和 2012 年的优势度分别为 0.026 和 0.548。对水母暴发站位进行重点分析表明,小型水母暴发期的优势浮游植物为颗粒直链藻(*Melosira granulate*)、针杆藻(*Synedra* spp.),部分时期和站位斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)和微小亚历山大藻(*Alexandrium minutum*)也为优势种类。小型水母暴发期主要特征光合色素为岩藻黄素,其浓度和相对含量与前期和后期均无显著差异。无论是丰度还是生物量,九龙江河口水母暴发区无壳纤毛虫均是绝对优势类群。小型水母暴发前期和非暴发期,微型浮游动物总丰度无显著差异。但是,小型水母的大量增加,特别是弗洲指突水母的数量增加会显著降低较大个体微型浮游动物的比例。

2012 年 3 月~4 月,对厦门南湖公园水域中弗洲指突水母暴发过程进行浮游生物和相关环境参数跟踪调查研究。南湖公园弗洲指突水母出现两次峰值,分别达到 $1095 \pm 381 \text{ ind m}^{-3}$ 和 $759 \pm 158 \text{ ind m}^{-3}$ 。水体中铵氮浓度随弗洲指突水母的丰度增加而增高。Chl *a* 也出现两次峰值,但是其峰值滞后于弗洲指突水母峰值之后 2~4 天。第一次 Chl *a* 峰值浮游植物优势种为角毛藻(*Chaetoceros* sp.),而第二次 Chl *a* 峰值的优势浮游植物为角毛藻和裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)。微型浮游动物的生物量与弗洲指突水母的丰度无显著关系,但是微型浮游动物的个体含碳量与水母丰度呈负相关性。另外,稀释实验结果表明弗洲指突水母的丰度会显著影响微型浮游动物对浮游植物的摄食率及浮游植物的生长率。较高的

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.

廈門大學博碩士論文摘要庫