

学校编码: 10384  
学号: 22320141151327

密级\_\_\_\_\_

廈門大學

硕士学位论文

**2015 年春夏秋三季台湾海峡浮游动物  
功能群研究**

**Study on the Zooplankton Functional Groups in Taiwan  
Strait during Spring, Summer and Autumn of 2015**

陈志颖

指导教师姓名: 郭东晖 副教授  
专业名称: 海洋生物学  
论文提交日期: 2017 年 5 月  
论文答辩时间: 2017 年 5 月

2017年5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( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

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：

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。

（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 日

## 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪 论.....	1
1.1 浮游动物的研究意义.....	1
1.2 浮游生物模型研究方法.....	3
1.3 浮游生物功能群研究概述.....	3
1.4 台湾海峡概况.....	6
1.5 研究目的与内容.....	9
1.5.1 研究目的及意义.....	9
1.5.2 主要研究内容.....	9
第二章 台湾海峡浮游动物组成和分布.....	10
2.1 材料与方法.....	10
2.1.1 采样时间、区域与方法.....	10
2.1.2 样品分析和数据处理.....	11
2.2 结果.....	12
2.2.1 浮游动物种类组成.....	12
2.2.2 优势种.....	12
2.2.3 丰度、生物量和主要种类平面分布.....	14
2.2.4 生物多样性.....	17
2.3 讨论.....	19
2.3.1 浮游动物种类组成.....	19
2.3.2 浮游动物数量与分布.....	21

第三章 台湾海峡浮游动物功能群时空分布 .....	23
3.1 材料与方法 .....	23
3.1.1 采样方法 .....	23
3.1.2 样品分析 .....	23
3.2 结果 .....	24
3.2.1 水母类 (Med) .....	24
3.2.2 大型甲壳类 (GC) .....	25
3.2.3 植食性小型甲壳类 (HMC) .....	27
3.2.4 肉食性小型甲壳类 (CMC) .....	28
3.2.5 毛颚类 (CH) .....	30
3.2.6 被囊类 (Tu) .....	31
3.3 讨论 .....	33
3.3.1 功能群的划分 .....	33
3.3.2 浮游动物功能群的时空变化 .....	34
3.3.3 浮游动物功能群的生态功能 .....	37
第四章 浮游动物功能群数量的影响因素 .....	38
4.1 材料与方法 .....	38
4.1.1 采样时间、区域与方法 .....	38
4.1.2 数据处理 .....	38
4.2 结果 .....	39
4.2.1 环境变量的时空变化 .....	39
4.2.2 Pearson 相关分析 .....	44
4.2.3 冗余分析 .....	47
4.3 讨论 .....	48

第五章 结 语 .....	50
5.1 主要成果 .....	50
5.2 创新点 .....	51
5.3 不足与展望 .....	51
参考文献 .....	52
附 录 .....	59
在学期间科研情况 .....	67
致 谢 .....	68

厦门大学博硕士论文摘要库

## Content

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English .....	III
Chapter 1: Introduction.....	1
1.1 Significance of zooplankton research .....	1
1.2 Plankton modeling method.....	3
1.3 Brief introduction of zooplankton functional groups .....	3
1.4 Brief introduction of Taiwan Strait .....	6
1.5 Objectives, significance and contents of the study .....	9
1.5.1 Objectives and significance .....	9
1.5.2 Main contents .....	9
Chapter 2: Composition and distribution of zooplankton in Taiwan Strait .....	10
2.1 Materials and methods .....	10
2.1.1 Sampling time, region and preservation .....	10
2.1.2 Data analysis.....	11
2.2 Results .....	12
2.2.1 Composition of zooplankton .....	12
2.2.2 Dominant species.....	12
2.2.3 Distribution of abundance, biomass and main species .....	14
2.2.4 Biodiversity .....	17
2.3 Discussion .....	19
2.3.1 Composition of zooplankton .....	19

---

2.3.2 Number and distribution of zooplankton.....	21
<b>Chapter 3: Temporal and spatial distribution of zooplankton fuctional groups in Taiwan Strait.....</b>	<b>23</b>
3.1 Materials and methods .....	23
3.1.1 Sampling methods .....	23
3.1.2 Sample analysis .....	23
3.2 Results .....	24
3.2.1 Medusae (Med).....	24
3.2.2 Giant crustacean (GC) .....	25
3.2.3 Herbivorous micro-crustacea (HMC).....	27
3.2.4 Carnivorous micro-crustacea (CMC) .....	28
3.2.5 Chaetognath (CH).....	30
3.2.6 Tunicata (Tu) .....	31
3.3 Discussion .....	33
3.3.1 Classification of fuctional groups.....	33
3.3.2 Spatial and temporal varriation of zooplankton fuctional groups .....	34
3.3.3 Ecological fuctions of the groups .....	37
<b>Chapter 4: Affecting factors of zooplankton fuctional groups .....</b>	<b>38</b>
4.1 Materials and methods .....	38
4.1.1 Sampling time, area and methods.....	38
4.1.2 Data analysis.....	38
4.2 Results .....	39
4.2.1 Temporal and spatial varriation of environmental variables .....	39
4.2.2 Pearson correlation analysis .....	44



4.2.3 Redundancy analysis .....	47
4.3 Discussion .....	48
Chapter 5: Summary .....	50
5.1 Main results .....	50
5.2 Innovation.....	51
5.3 Inadequacy and prospect .....	51
Reference.....	52
Appendix .....	59
Research projects involed in the period of study .....	67
Acknowledgments.....	68

## 摘要

本文根据 2015 年春季 (3 月~4 月)、夏季 (6 月~7 月)、秋季 (11 月) 三个航次对台湾海峡南、北两块区域的调查数据, 对台湾海峡浮游动物的种类组成、优势种、数量分布和生物多样性的季节变化及区域性差异进行了研究。同时依照浮游动物的粒径大小和摄食习性, 将其划分为水母类 (Medusae, Med)、大型甲壳类 (Giant crustacean, GC)、植食性小型甲壳类 (Herbivorous micro-crustacea, HMC)、肉食性小型甲壳类 (Carnivorous micro-crustacea, CMC)、毛颚类 (Chaetognath, CH) 和被囊类 (Tunicata, Tu) 六大功能群, 分析和讨论了各功能群数量的时空变化, 并根据结果提出台湾海峡主要的营养结构模式。运用 Pearson 相关分析和冗余分析 (Redundancy Analysis, RDA), 探究各浮游动物功能群数量与表层水温 (Sea surface temperature, SST)、表层盐度 (Sea surface salinity, SSS)、叶绿素 a 浓度 (Chlorophyll-a, Chl.a) 和溶解氧含量 (Dissolved oxygen, DO) 四个环境因子及与其它浮游动物功能群数量之间的相关关系, 为研究浮游动物对台湾海峡生态系统物质输运和能量流动过程中起到的作用、相关模型的建立和数值模拟提供参考。

主要研究成果如下:

### 1) 台湾海峡浮游动物的种类组成与数量分布

三个航次共记录了浮游动物 274 种, 幼虫 33 类, 各季节均以桡足类种类数最多, 其次是水母类。在优势种的组成上, 呈现出明显的季节和区域性差异, 春季北部海区以中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 优势度最高, 其次是嵯山秀氏水母 (*Sugiura chengshanense*); 夏季北部海区以肥胖软箭虫 (*Flaccisagitta enflata*) 最具优势, 南部海区则以小齿海樽 (*Doliolum denticulatum*) 为最主要的种类; 秋季北部海区精致真刺水蚤 (*Euchaeta concinna*) 数量最高, 南部海区则以亚强次真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*) 为主。浮游动物总丰度介于 28.03~2468.25 ind./m<sup>3</sup>, 总生物量介于 79.44~1260.40 mg/m<sup>3</sup>, 均以夏季为最高。浮游动物数量除台湾浅滩西北侧海域较高外, 总体呈现近岸高远岸低的趋势, 相同季节, 南部海区浮游动物平均数量高于北部海区。

### 2) 台湾海峡浮游动物功能群的时空分布

Med 功能群以春夏季数量较高, 最高可达  $340.46 \text{ ind./m}^3$ , 呈现近岸密集分布趋势, 至秋季则数量急剧下降, 呈斑块状分布。GC 功能群主要出现在夏季, 南部海区以台湾浅滩西北侧 A3 站数量最高, 北部海区则集中分布在近岸, 春秋数量较少, 分布也较为均匀。HMC 功能群在各季节都占比较高的优势, 以春夏季数量较高, 其中: 春季 HMC 功能群与 Med 功能群的平面分布趋同; 夏季主要集中在南部海区 A3 站, 北部海区数量相对较少; 秋季数量明显下降, 分布更向南集中, 南部海区与夏季相比多了一个分布中心, 位于调查区域西部近岸 B1 站。CMC 是时空分布最为均匀的功能群, 在秋季浮游动物总数量下降的情况下占据较高的优势。CH 功能群数量仅次于 HMC 和 Med 功能群, 同样以夏季数量最高, 其在北部海区的平面分布趋势与 Med 功能群十分类似。Tu 功能群数量的季节波动很大: 在春季数量很少, 以致在海坛岛附近区域出现了分布空白; 至夏季数量急剧升高, 并呈现向南集中分布的趋势, 成为南部海区数量最高的功能群; 至秋季数量再度回落, 仅集中分布在远岸站位。

### 3) 浮游动物功能群的影响因素

由浮游动物功能群的时空变化情况, 结合 SSS 和 SST 的各季节的平面分布和数据分析结果, 可以看出台湾海峡浮游动物功能群数量受沿岸流和台湾暖流季节性消长的控制, 总体上, Med 和 HMC 功能群在沿岸水团控制区域分布更为集中, Tu 功能群的数量则可作为暖流强弱的指示。CMC 功能群多数情况下以精致真刺水蚤为代表种, 偏向于分布在沿岸水控制的区域, 但在夏季南部海区远岸站位受上升流影响, 芦氏拟真刺水蚤 (*Pareuchaeta russelli*) 大量出现, 成为 CMC 功能群的代表种。Tu 功能群在夏季比例很高, 分布主要受 SSS 的影响。在 Tu 功能群分布的高值区, Chl.a 的数量明显下降, 这体现了该功能群对浮游植物具有很强的胁迫作用。DO 同样对功能群的数量具有一定的影响, 这主要体现在春季北部海区 DO 与 Med 和 CMC 功能群的平面分布十分相近。此外, 数据分析还显示出不同功能群之间具有一定的相关性, 且均表现为正相关, 这体现了浮游动物功能群数量主要受上行控制, 由低营养级生物决定。

关键词: 台湾海峡; 浮游动物; 功能群

## Abstract

Three oceanographic surveys were conducted in Taiwan Strait (TS) during spring (March to April), summer (June to July) and autumn (November) of 2015. The study area was geographically divided into two regions: the north and the south. Based on the data collected from those cruises, the seasonal and regional variations of species composition, dominant species, horizontal distribution and biodiversity of zooplankton in Taiwan Strait were studied in this paper. According to the size spectrum and feeding habits, the main zooplankton were classified into six functional groups: medusae (Med), giant crustacean (GC), herbivorous micro-crustacean (HMC), carnivorous micro-crustacean (CMC), chaetognath (CH) and tunicata (Tu). The horizontal distributions of the six groups in three seasons were illustrated respectively, and the main trophic structures of zooplankton in Taiwan Strait were outlined based on the results. Pearson correlation and redundancy analysis revealed correlations between functional groups and environmental variables, and between different groups. The investigated environmental variables included sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), chlorophyll-a (Chl.a) and dissolved oxygen (DO). The purpose of this study was to improve the understanding of the function of zooplankton to marine ecosystem and to accumulate reference data for further ecosystem modeling.

The main results are as follows:

1) The composition and distribution of zooplankton in TS

274 zooplankton species and 33 groups of planktonic larvae were recorded from the samples collected on all the three cruises. Copepod and medusa were the two most dominant taxa in all seasons. Dominant species were seasonally and regionally varied: *Calanus sinicus* was most dominant species during spring in the north region, followed by *Sugiura chengshanense*; during summer, *Flaccisagitta enflata* had highest dominance in the north region while in the south region there was mainly *Doliolum denticulatum*; during autumn, the number of *Euchaeta concinna* was the highest in the north region while *Subeucalanus subcrassus* dominated in the south region. The abundance of zooplankton was from 28.03 to 2468.25 ind./m<sup>3</sup>, and the

biomass was from 79.44 to 1260.40 mg/m<sup>3</sup>. Both of abundance and biomass reached the highest in summer and were basically higher in coastal areas except that the abundance nearby the Taiwan Shoal was always high. The average abundance and biomass of zooplankton in the south region were higher than that in the north.

## 2) Spatial and temporal distribution of zooplankton functional groups in TS

Med were much more abundant during the spring and the summer, basically aggregating in coastal areas, the abundance of which could reach as high as 340.46 ind./m<sup>3</sup>. Med declined sharply in autumn, distributed as patch pattern. Compared with the other two seasons, the abundance of GC was remarkable higher during summer, at which time the aggregation areas of GC was located in the west side of Taiwan Shoal in the south region (around station A3) and in coastal area in the north region. The ratios of HMC were high in all the three seasons, and this group was more abundant in spring and summer, similar with Med. The horizontal distribution of HMC varied with the seasons switching: during spring, HMC was fairly similar to that of Med, while it aggregated in station A3 during summer and the trend of aggregation toward south was promoted during autumn, at which time another high-abundance zone of HMC showed up in station B1, nearshore in the west of studied area. CMC was the most stable functional group, especially in autumn when the total abundance of zooplankton decreased. CH was the third dominant functional group following HMC and Med, abundant during summer too. The distribution pattern of CH was similar to Med especially in the north region. Tu fluctuated widely: it was so rare during the spring that an blank area was observed near Haitan Island, but the abundance of Tu dramatically increased in summer, aggregating south forward, dominating all the other functional groups in the south region. In autumn, Tu drops again, aggregates in off-shore area.

## 3) Influence factors to zooplankton functional groups

Base on the spatial and temporal variations of zooplankton functional groups, horizontal distribution of SSS and SST, and the results of statistic analysis, it was inferred that zooplankton functional groups were related to the shift of two main water masses, the Zhejiang-Fujian Coastal Water (ZFCW) and the Strait Warm

Current Water (SWCW). Basically, Med and HMC preferred to aggregate in the region controlled by ZFCW while Tu was a good indicator of the strength of the warm current. In most cases, *Euchaeta concinna* was the typical species of CMC, tending to distribute in cold water. The exception occurred in the south area in summer where *Pareuchaeta russelli* aggregated in the Taiwan Shoal upwelling region. The proportion of Tu was high in summer, and the distribution of this functional group was mainly influenced by SSS. The amount of Chl.a decreased dramatically in high-abundance zone of Tu, which indicated strong stress effect of that group on phytoplankton. The high synchronization of Med, CMC and DO in the north region in spring illustrated that DO was also an important factor to zooplankton functional groups. Additionally, positive correlation between different functional groups revealed the abundance of zooplankton functional groups was principally controlled by lower trophic level.

Key words: Taiwan Strait; Zooplankton; Functional groups

## 第一章 绪论

### 1.1 浮游动物的研究意义

浮游动物泛指生活史的全部或部分阶段在水中度过, 缺乏发达的运动器官, 不具有或仅具有微弱的运动能力, 不足以抵抗水流力量, 在水中随波逐流的一类异养型生物(郑重等, 1984)。海洋浮游动物的主要类群包括刺胞动物、栉板动物、浮游甲壳动物、毛颚动物、浮游软体动物、浮游被囊动物、仔稚鱼和各类无脊椎动物及低等脊索动物的浮游幼体等, 其中种类数量比较多的类群根据生态学研究需要可作进一步的划分, 如浮游甲壳动物又可分为枝角类、桡足类、介形类、糠虾类、端足类、磷虾类和十足类等。据 Lenz (2000) 估计, 将浮游幼体计算在内, 世界范围内海洋浮游动物超过 36000 个种类。

浮游动物多数个体微小, 但分布极为广泛, 几乎分布于所有适宜生物生存的海洋、湖泊、河流等自然水体中。在海洋环境中, 浮游动物是海洋生态系统中的消费者, 多数处于第二或第三营养级, 一部分以水体中的浮游植物、碎屑和微生物为食, 一部分以个体较小的其它浮游动物为食, 同时, 浮游动物又是游泳生物的食物(张其永等, 1981; Möllmann *et al.*, 2005, 刘恩生, 2008), 从而成为了物质和能量沿食物链和食物网传递过程中连接初级生产力和高营养级生物之间重要的一环, 通过下行和上行控制影响着生产者和高营养级生物的种类组成和数量分布, 因此, 浮游动物对于生态系统的物质循环和能量流动及维系生态系统结构稳定具有十分重要的意义。作为重要的饵料生物, 特别是作为鱼类的开口饵料(Cushing, 1990), 浮游动物的组成和数量变动直接决定了鱼类的饵料供应。对特定种类浮游动物丰度时空变化的跟踪调查, 可以帮助寻找鱼类索饵洄游的路线, 确定渔场和渔期, 为海洋渔业的科学管理提供依据(朱清澄等, 2008)。另外, 浮游动物中的部分种类如毛虾、磷虾、海蜇等本身也是海洋渔业的捕捞对象(李星颢等, 1986; 王荣和孙松, 1995; 董金和, 2013), 轮虫、枝角类、桡足类富含蛋白质、碳水化合物和鱼类生长所必须的氨基酸等营养物质, 经室内培养可作为养殖渔业的饵料(刘卓, 1989; 成永旭, 2005)。因此, 浮游动物研究既是海洋生态学研究的重要内容, 同时也对海洋渔业发展起着至关重要的作用。

浮游动物的种类分布和数量变化还对海洋中的理化因子、水团运动及全球气候变化都具有良好的指示作用(Robinson, 2005)。浮游动物对海洋环境中理化因

子的变化十分敏感，每个种类都有适合其生存的环境条件，因此，特定的种类的数量或浮游动物总体的组成结构对环境具有指示作用，如：某些种类的箭虫可用于指示水体的运动（Russell, 1935），小红糠虾（*Erythroops minuta*）可作为黑潮暖流向东海流入的指示种（徐兆礼和沈盎绿, 2007）；Hooff & Peterson (2006) 发现，浮游动物群落结构、生物量、丰富度指数和多样性指数与厄尔尼诺现象密切相关等。Walther *et al.* (2002) 提出，浮游动物作为指示生物，区别于其它生物的优势在于：1) 受限于运动能力，浮游动物主动选择环境的能力较弱，群落的物种组成往往直接反映环境对生物作用的结果，因此可能因环境快速变化和极端气候现象的出现而改变；2) 浮游动物生命周期短，所构成的群落结构几乎不受若干年前环境的影响，因而对于气候变化的响应快速而准确；3) 绝大多数海洋浮游动物（除上述毛虾等）不具有商业捕捞价值，其组成和数量变动在短时间内受人为干扰的影响较小，因而不同于很多游泳生物，将浮游动物作为环境变化的指示更为科学可靠。

浮游动物同时也是海洋生物泵的重要组成部分。浮游植物利用大气向海洋中溶解的二氧化碳和营养盐，经光合作用合成制造有机物，其中一部分经摄食作用向浮游动物传递，生源物质在食物链和食物网中层层传递，除生物自身代谢消耗分解以溶解物的形式向水体释放的部分外，最终都以粪块、蜕皮或动物尸体的形式形成碎屑向环境释放，碎屑在沉降过程中在生物和非生物作用下或被重新溶解，或被分解成无机物质，或被生物重新利用，剩余部分则沉降于海底形成沉积物（Ducklow *et al.* 2001）。一些浮游动物，如有孔虫，也可直接利用海洋中钙离子和碳酸离子合成钙质外壳，这些生物死亡后沉降于海底，使得碳以碳酸盐形式迁出（Ma *et al.*, 2015）。一些浮游动物具有昼夜垂直移动的习性，虽然浮游动物的运动能力微弱，但相对于碎屑的自然沉降，这个过程在一定程度上促进了海洋环境中物质在垂直方向上的输运（Noji, 1991）。浮游动物通过有选择性地摄食等途径直接影响物质在颗粒态与溶解态之间的流动，如通过消化作用将食物打包成快速沉降的粪块。长期以来，浮游动物粪块被视作海洋生态系统中沉积物迁出的主要成分，但也有学者提出了不同观点，如Turner (2002) 根据上世纪八十年代至本世纪初二十多年利用沉积物捕集器收集到的研究数据，提出浮游动物粪块往往只占沉积物迁出的一小部分，更大比例的迁出在于各种来源的有机物粘液团



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库