

学校编码: 10384
学号: 22320141151345

密级_____

廈門大學

硕士学位论文

长江口邻近海域夏季浮游动物群落结构年
际比较研究

Interannual Comparative Study on the Zooplankton
Community Structure in the Adjacent Area of Yangtze River
Estuary in Summer

李伟巍

指导教师姓名: 郑连明 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(郑连明 副教授)课题(组)的研究成果,获得(长江口及邻近海域海洋生物与生态野外实习基地, J1310037)课题(组)经费或实验室的资助,在(浮游生物生理与生态实验)实验室完成。

声明人(签名):

2017年5月10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）：

2017 年 5 月 10 日

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 浮游动物及其主要类群.....	1
1.2 浮游动物在海洋生态中的作用.....	3
1.3 海洋浮游动物研究历史.....	4
1.4.1 国际海洋浮游动物研究历史.....	4
1.4.2 中国海洋浮游动物研究历史.....	6
1.4 浮游动物与环境之间的相互作用.....	6
1.5 河口区浮游动物的研究进展.....	8
1.6 长江口邻近海域的概况与研究进展.....	10
1.6.1 长江口邻近海域概况.....	10
1.6.2 长江口浮游动物研究概况.....	12
1.7 选题依据及研究内容.....	13
1.7.1 选题依据.....	13
1.7.2 研究内容.....	13
第二章 长江口邻近海域环境特征概况	14
2.1 环境数据采集与处理方法.....	14
2.1.1 调查海区及站位.....	14
2.1.2 温、盐度数据采集与分析.....	14
2.1.3 叶绿素数据采集与分析.....	14
2.1.4 浮游植物采集方法及分析.....	15
2.1.5 其他环境因子采集与分析.....	15
2.2 结果与讨论.....	16
2.2.1 海区温度概况.....	16
2.2.2 海区盐度概况.....	18
2.2.3 海区浮游植物分布概况.....	19
2.2.4 海区叶绿素 a 概况.....	21
2.2.5 溶解氧概况.....	22
2.2.6 三氮平面分布特征.....	24
2.2.7 台风对海区环境的影响.....	28
第三章 长江口邻近海域大、中型浮游动物群落结构及年际变化	31
3.1 材料与方法.....	31
3.1.1 调查海区及站位设置.....	31
3.1.2 样品采集及保存.....	31
3.1.3 样品分析.....	31
3.1.4 数据处理方法.....	31

3.2 结果与分析.....	32
3.2.1 大、中型浮游动物种类组成及平面分布.....	32
3.2.2 大、中型浮游动物丰度及生物量平面分布.....	36
3.2.3 大、中型浮游动物优势种组成及年际更替.....	38
3.2.4 大、中型浮游动物优势种丰度平面分布.....	39
3.2.5 大、中型浮游动物群落划分.....	46
3.2.6 生物多样性.....	49
3.3 讨论.....	53
3.3.1 大、中型浮游动物群落年际变化.....	53
3.3.2 优势种的年际变化及与历史资料比对.....	55
第四章 长江口邻近海域中、小型浮游动物群落结构及年际变化.....	58
4.1 材料与方法.....	58
4.1.1 调查海区及站位设置.....	58
4.1.2 样品采集、分析及数据处理.....	58
4.2 结果与分析.....	58
4.2.1 中、小型浮游动物种类组成及平面分布.....	58
4.2.2 中、小型浮游动物丰度平面分布.....	61
4.2.3 中、小型浮游动物优势种组成及年际更替.....	63
4.2.4 中、小型浮游动物优势种丰度平面分布.....	64
4.2.5 中、小型浮游动物群落划分.....	72
4.2.6 生物多样性.....	71
4.2.7 两种网型分析结果的单因素方差分析.....	75
4.3 讨论.....	77
4.3.1 中、小型浮游动物群落的年际变化.....	76
4.3.2 两种浮游动物网数据结果比较.....	77
第五章 环境对浮游动物群落的影响.....	81
5.1 数据采集及处理方法.....	81
5.1.1 采样站位.....	81
5.1.2 浮游动物分层采样及鉴定.....	81
5.1.3 环境数据采集及处理方法.....	82
5.2 结果与分析.....	83
5.2.1 温、盐变化规律与潮汐的关系.....	83
5.2.2 潮汐对浮游动物丰度的影响.....	83
5.2.3 潮汐对浮游动物种类数的影响.....	91
5.2.4 环境对大、中型浮游动物群落的影响.....	92
5.2.5 环境对中、小型浮游动物群落的影响.....	94
5.3 讨论.....	97
5.3.1 潮汐对浮游动物群落的影响.....	97
5.3.2 DCCA 排序图对群落物种生态适应性的解释.....	99
5.3.3 浮游动物群落结构年际变化与环境的关系.....	102
第六章 总结与展望.....	1122

目 录

6.1 主要研究成果.....	1122
6.2 创新与特色.....	1133
6.3 研究不足与展望.....	1133
附录.....	114
硕士期间参与项目.....	132
致谢.....	134

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Chapter I Introduction	7
1.1 Zooplankton and its main group	1
1.2 The role of zooplankton in marine ecology	3
1.3 History of marine zooplankton research	4
1.3.1 History of international marine zooplankton research.....	4
1.3.2 History of Chinese marine zooplankton research.....	6
1.4 The interaction between zooplankton and environment	6
1.5 Research progress of zooplankton in estuary	8
1.6 Summary of the adjacent area of Yangtze River estuary	10
1.6.1 Overview of the Yangtze River estuary adjacent sea areas.....	10
1.6.2 Survey of zooplankton in the Yangtze River estuary.....	12
1.7 Basis and main research of this study	13
1.7.1 Basis.....	13
1.7.2 Main research of this study.....	13
Chapter II Environmental characteristics of Yangtze River estuary and adjacent Sea Area	14
2.1 Environmental data collection and processing method	14
2.1.1 Sea area and station.....	14
2.1.2 Temperature and salinity data collection and analysis.....	14
2.1.3 Chlorophyll data collection and analysis.....	14
2.1.4 Phytoplankton collection methods and analysis.....	15
2.1.5 Other environmental factors collection and analysis.....	15
2.2 Results and discussion	16
2.2.1 Overview of temperature in the sea area.....	16
2.2.2 Overview of salinity in the sea area.....	18
2.2.3 Distribution of phytoplankton in sea area.....	19
2.2.4 Overview of chlorophyll a in sea area.....	21
2.2.5 Overview of dissolved oxygen in sea area.....	22
2.2.6 Distribution of DIN.....	24
2.2.7 Effects of typhoon on the environment of the sea area.....	28
Chapter III Community structure of macro-mesozooplankton and its interannual variation	31

3.1 Materials and methods	31
3.1.1 Sea area and station.....	31
3.1.2 Sample collection and preservation.....	31
3.1.3 Sample analysis.....	31
3.1.4 Data processing methods.....	31
3.2 Results and analysis	32
3.2.1 Composition and spatial distribution of macro-mesozooplankton species.....	32
3.2.2 Spatial distribution of macro-mesozooplankton abundance and biomass.....	36
3.2.3 Composition and interannual variation of macro-mesozooplankton dominant species.....	38
3.2.4 Spatial distribution of macro-mesozooplankton dominant species abundance.....	39
3.2.5 Macro-mesozooplankton community division.....	46
3.2.6 Biodiversity.....	49
3.3 Discussion	53
3.3.1 Interannual variation of macro-mesozooplankton community.....	53
3.3.2 Interannual variation of dominant species and comparison with historical date.....	55
Chapter IV Community structure of meso-microzooplankton and its interannual variation	58
4.1 Materials and method	58
4.1.1 Sea area and station.....	58
4.1.2 Sample collection, analysis and data processing.....	58
4.2 Results and analysis	58
4.2.1 Species composition and spatial distribution of meso-microzooplankton.....	58
4.2.2 Spatial distribution of meso-microzooplankton abundance.....	61
4.2.3 Composition and interannual variation of meso-microzooplankton dominant species.....	63
4.2.4 Spatial distribution of dominant species abundance.....	64
4.2.5 Meso-microzooplankton community division.....	72
4.2.6 Biodiversity.....	71
4.2.7 One-Way ANOVA of the result of 2 types plankton net.....	75
4.3 Discussion	77
4.3.1 The interannual variation of meso-microzooplankton communities.....	76
4.3.2 Comparison of the results of two kinds of zooplankton net.....	77
Chapter V The effect of environment on zooplankton community	81
5.1 Data collection and processing method	81
5.1.1 Sampling station.....	81

5.1.2 Stratification sampling and identification of zooplankton.....	81
5.1.3 Environmental data collection and processing methods.....	82
5.2 Results and analysis	83
5.2.1 Relationship between salinity ,temperature and tide.....	83
5.2.2 Effects of tide on abundance of zooplankton.....	83
5.2.3 Effects of tide on species number of zooplankton.....	91
5.2.4 Effects of environment on macro-mesozooplankton community.....	92
5.2.5 Effects of environment on meso-microzooplankton community.....	94
5.3 Discussion	97
5.3.1 Effects of tide on zooplankton community.....	97
5.3.2 Interpretation of ecological adaptability of community species by DCCA rank.....	99
5.3.3 Relationship between the interannual variation of zooplankton and environment.....	102
Chapter VI Summary and prospect	112
6.1 Major research results.....	112
6.2 Innovation and characteristics.....	113
6.3 Research shortcomings and prospects.....	113
Appendix	114
Master degree study	132
Acknowledgements	134

摘要

海洋浮游动物 (Marine Zooplankton) 是指被动漂浮于水层中的异养型生物群, 在海区中有数量大、种类多、分布广的特点, 是海洋生物的重要组成部分。本文根据 2014 至 2016 年每年 7 月在长江口邻近海域的综合调查资料, 分析了该海区夏季浮游动物的种类组成、丰度和优势种等群落结构特征, 并综合多元统计方法、聚类、MDS 标序和 DCCA 分析, 探讨浮游动物群落结构与环境因子的关联性及其年际变化的驱动因素, 并且利用连续分层采样数据与潮汐数据结合, 探讨了潮汐涨落对浮游动物群落的影响。主要获得的成果如下:

1) 本研究共鉴定大、中型浮游动物 161 种, 浮游幼体 47 种, 合计 208 个种类; 中、小型浮游动物 124 种, 浮游幼体 47 种, 合计 171 个种类; 其中二者共有的浮游动物种类有 77 种 (不包含幼体)。桡足类为该海区种类最多的浮游动物。调查区浮游动物种类分布大致呈现近岸低、远岸高且南部高于北部的特征。大、中型浮游动物种类数没有明显的年际更替, 但中、小型浮游动物年际更替显著。

2) 2014—2016 年大、中型浮游动物平均丰度分别为 $732.53\text{ind}/\text{m}^3$ 、 $572.63\text{ind}/\text{m}^3$ 和 $818.23\text{ind}/\text{m}^3$, 中、小型浮游动物平均丰度为 $2911.82\text{ind}/\text{m}^3$ 、 $5024.63\text{ind}/\text{m}^3$ 和 $6597.58\text{ind}/\text{m}^3$ 。总丰度大致呈现近岸高、远岸低的平面分布情况, 但在特定年份会出现某一站位浮游动物大量聚集而导致丰度增加的现象, 两种类型浮游动物总丰度年际间更替均不明显。

3) 2014—2016 年中, 大、中型浮游动物优势种各有 6、7 和 9 种, 中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 在三年中均为优势种, 2014 至 2015 年间大、中型浮游动物优势种更替率为 81.8%, 2015 至 2016 年更替率为 76.9%。中、小型浮游动物优势种各有 8、5 和 8 种, 哲水蚤幼体 (*Calanoida larva*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*) 和长腹剑水蚤 (*Oithona spp.*) 在三年均为优势种, 其中哲水蚤幼体在三年中均为第一优势种, 2014 至 2015 年间中、小型浮游动物优势种年际更替率为 50.0%, 2015 至 2016 年更替率为 70.0%, 三年中浮游动物优势种存在明显的年际更替现象。

4) 2014—2016 年中, 各年间大、中型浮游动物各生物多样性指数无明显的差异; 中、小型浮游动物各生物多样性指数存在显著的差异。

5) 2014 年大、中型浮游动物可划分为 3 个组群：外海组群、近岸组群及混合组群；2015 年划分为 2 个组群：外海组群和近岸组群；2016 年划为三个组群：外海组群、近岸组群以及受到黑潮影响的组群。中小型浮游动物在 2014 及 2015 年均可划分为近岸及外海 2 个组群，但 2016 年组群划分结果并不显著。

6) 根据 Pearson 相关性以及 DCCA 排序结合的方法，探讨了环境因子对浮游动物群落分布及年际变化的影响。结果表明盐度是长江口海区对浮游动物群落分布及年际变化的主要影响因子，其次为温度，此外台风的影响及潮汐的作用也是浮游动物群落年际变化的重要影响因素。

7) 通过对长江口大 (I)、中 (II) 型网浮游动物样品结果进行单因素方差分析，结果表明两种网型所采集的浮游动物结果有显著的差异：大型网采得浮游动物种类数大于中型网，丰度则远小于中型网，中型网中体型较小的物种丰度显著大于大型网结果；本文通过两种网型结果的比对分析，较为完整的反映出调查区浮游动物群落的特征。

8) 通过对定点站分层采样的分析鉴定，结合潮汐的数据，研究发现在调查区潮汐的涨落对浮游动物丰度和垂直分布存在明显影响，浮游动物丰度随涨落潮有周期性的增减，而潮汐对浮游动物的种类数无明显的影响。

关键词：浮游动物 群落结构 长江口邻近海域 年际变化 环境因子 潮汐

Abstract

Marine zooplankton is a group of heterotrophic biota which floated in seawater. It's characterized by large quantity and wide distribution in ocean. This research analyzed the community structure, which includes species composition, abundance and dominant species of zooplankton based on the comprehensive survey data at the Yangtze River estuary and adjacent waters in every July from 2014 to 2016. In order to discuss the relevance between zooplankton community structure and environmental factors and its interannual variability, we used an integrated approach which combined of comprehensive multivariate statistical method, CLUSTER analysis, MDS sequence and DCCA rank. Besides it, we discussed the effects of tidal fluctuation on zooplankton community based on the continuous stratified sampling data and tidal data. The main results are as follows:

1) A total of 208 macro-mesozooplankton taxa were identified, include 161 species and 47 kinds of larva. The taxa of meso-microzooplankton is 171, which included 124 species and 47 kinds of larva. There were 77 species were belongs to both of them (except larva). The copepod was the most species of zooplankton. The distribution of zooplankton in the survey area appeared that more species in off-shore and less in near-shore, and the distribution change and replacement of macro-mesozooplankton species in three years was not significant, but meso-microzooplankton was.

2) The average abundance of macro-mesozooplankton in 2014-2016 was 732.53 ind/m³, 572.63 ind/m³ and 818.23 ind/m³. The average abundance of meso-microzooplankton was 2911.82 ind/m³, 5024.63 ind/m³, 6597.58 ind/m³. The abundance of zooplankton appears that less in off-shore and more in near-shore, but there were part of station had a phenomenon of large increased abundance of zooplankton in some years. The distribution change and replacement of zooplankton abundance in 3 years was not significant.

3) There were 6, 7 and 9 dominant species of macro-mesozooplankton in 2014-2016. *Calanus sinicus* was the only dominant species in all the 3 years. The

replacement rate of dominant species was 81.8% between 2014 and 2015, and 76.9% between 2015 and 2016. The dominant species of meso-microzooplankton were 8, 5 and 8. Calanoida larva, *Paracalanus parvus* and *Oithona spp.* were the dominant species in both 3 years. The replacement rate of dominant species was 50.0% between 2014 and 2015, and 70.0% between 2015 and 2016. The dominant species of zooplankton had obviously interannual change in 3 years.

4) There were no significant differences in biodiversity indices of macro-mesozooplankton in 2014-2016, but there were significant differences in biodiversity indices of meso-micro zooplankton.

5) In 2014, the macro-mesozooplankton community could be divided to 3 groups: off-shore group, in-shore group and the mixed group. In 2015, there were 2 groups: off-shore group and in-shore group. In 2016, there were 3 groups: off-shore groups, in-shore groups, and the groups effected by Kuroshio. The meso-microzooplankton community could be divided to off-shore group and the in-shore group both in 2014 and 2015, but the result of the 2016 group division were not significant.

6) According to the Pearson rank correlation and DCCA rank, we analyzed the effects of environment factors on zooplankton community distribution and interannual variation. The results show that salinity is the main factor of zooplankton community distribution and interannual variation in Yangtze River estuary, the second factor is temperature, and typhoon and tidal effect were also important factors to the interannual variation of zooplankton community.

7) It was proved that there were significant differences between the results of the zooplankton collected by large (I) and medium (II) type of plankton net by the one-way ANOVA analysis. The large type plankton net collected more species but less abundance of zooplankton than medium type plankton net. The abundance of the small body size species in the medium type net was significantly more than that of the large type net. This paper were more completely to reflect the characteristics of zooplankton community through the analysis both of two kinds of net results.

8) We analyzed the stratified sampling of the fixed station and the data of the tide in the survey area, the result showed that the fluctuation of the tide had significant

effect on the abundance and vertical distribution of the zooplankton. The abundance of zooplankton fluctuated periodically with the fluctuation of the tide, while the tide had no obvious effect on the species change of zooplankton.

Key words: zooplankton, community structure, Yangtze River estuary and adjacent area, interannual variation, environmental factors, tide

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 浮游动物及其主要类群

海洋浮游动物 (Marine Zooplankton) 是指在海水运动的作用下, 被动漂浮于水层中的异养型生物群, 浮游动物并不是生物分类界元系统中所划分的生物种类, 而是根据其生活方式而划定的生物类群。浮游动物个体一般较小, 肉眼无法直接观察, 需要凭借显微镜等设备才能对其进行观察鉴定。浮游动物因其自身缺乏发达的运动器官, 在海洋环境中运动能力较弱, 不具备抵抗水流运动的能力, 因此只能随波逐流 (郑重等, 1984)。“浮游生物”一词在 1988 年由德国学者 Hensen 首次提出并开展研究, 截止目前对浮游动物已经有超过一个世纪的研究历史。

海洋浮游动物种类组成复杂, 目前已经定种的终生浮游动物中包括 6000 余原生动物和 4000 余后生动物, 涉及以下 9 个动物门类: 原生动物门 (Protozoa)、刺胞动物门 (Cnidaria)、栉水母动物门 (Ctenophora)、轮虫动物门 (Rotifera)、环节动物门 (Annelida)、节肢动物门 (Arthropoda)、软体动物门 (Mollusca)、毛颚动物门 (Chaetognatha)、以及脊索动物门 (Chordata) (郑重等, 1984; 李少菁, 2001)。依照海洋动物浮游阶段在生活史中所占的比例, 可以将浮游动物分为以下三类: ①永久性浮游动物 (Holozooplankton), 终生营浮游生活, 例如大部分桡足类为终生浮游生活; ②阶段性浮游生物 (Merozooplankton), 仅在生活史某一阶段营浮游生活, 经过发育和变态后进行底栖或游泳生活, 例如多数鱼类在鱼卵仔稚鱼期间营浮游生活, 发育完全后改为游泳生活; ③暂时性浮游动物 (Tycozooplanton), 此类生物原本并非浮游生物, 仅因某些外界因素暂时性营浮游生活, 环境稳定后重新回到原有生活方式。浮游幼体是浮游动物种非常特殊的一类, 为阶段性浮游动物的代表, 它们是底栖动物和游泳动物在生活史中营浮游生活的幼体, 形态多样且种类繁多, 是非常复杂的浮游动物类群, 通常在繁殖季节会大量出现并且构成浮游动物群落中非常重要的一部分, 甚至成为优势种。

浮游动物的大小差距悬殊, 从 $50\ \mu\text{m}$ — 1m 不等, 郑重 (1984) 根据体型的大小将浮游动物可以分为小型浮游动物 ($<200\ \mu\text{m}$)、小的中型浮游动物 (200

μm — 1mm)、大的中型浮游动物 ($>1\text{mm}$)、大型浮游动物 (2 — 10cm)。沈国英和黄凌凤等 (2010) 对浮游动物的划分相对简略: 体型介于 20 — $200\ \mu\text{m}$ 为小型浮游动物, $200\ \mu\text{m}$ — 2mm 为中型浮游动物, 2mm — 2cm 为大型浮游动物。Harris(2000)对中型和小型浮游动物大小界定与郑重相同, 但认为大型浮游动物体型应在 2mm — 20cm 之间。本文采集浮游动物所用的网具筛绢孔径为 0.505mm (浅水浮游生物 I 型网、海水浮游生物大型网) 以及 0.160mm (浅水浮游生物 II 型网、海水浮游生物中型网), 两种类型的生物网在浮游动物采集中的目标类群有所不同, I (大) 型网采集的目标是大、中型的浮游动物, 主要用于采集水母、大型桡足类、磷虾类、莹虾类、毛颚类、被囊类以及鱼卵仔稚鱼等; 而 II (中) 型网目标生物是中、小型的浮游动物, 用于采集小型桡足类、枝角类、浮游幼体 (虫) 等。

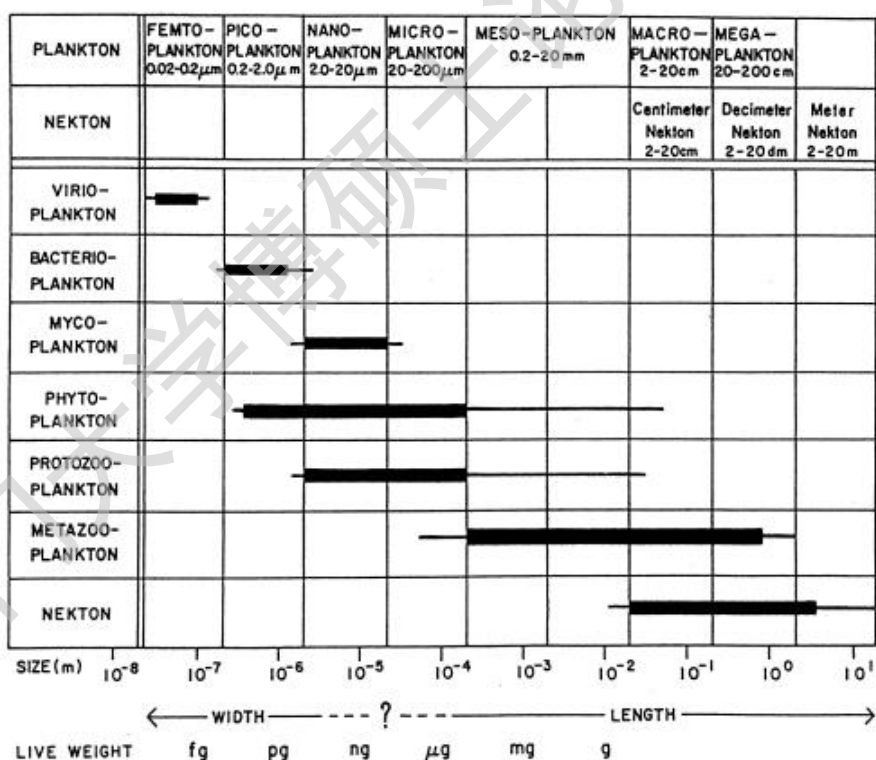


图 1.1 浮游动物个体粒径谱

Fig.1.1 Zooplankton individual size spectrum (Harris, 2000)

我国浮游动物研究主要使用 I (大) 型网进行采样, 主要研究对象为大、中型海洋浮游动物, 而对中、小型浮游动物的研究相对较少, 但在 21 世纪以来学

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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库