



国家自然科学基金重点项目

渤海底栖生物次级生产力 与生物多样性

Secondary Production and Biological Diversity of
Marine Benthos in the Bohai Sea

张志南 刘素美 周红等 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金

渤海底栖生物次级生产力 与生物多样性

Secondary Production and Biological Diversity of Marine Benthos in the Bohai Sea

张志南 刘素美 周 红 等 著

国家自然科学基金重点项目

国家海洋公益性行业科研专项

资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以水层-底栖耦合的学术思考和研究思路贯穿始终,全书共分 12 章。以绪论和渤海的自然环境作为开头两章,4~9 章是本书的核心,即生物生产力和生物多样性,既显示了大型底栖动物和小型底栖动物的同步观测和综合分析,将粒径谱应用于次级生产力,也体现了传统生物多样性与现代分子多样性的交叉和融合。第 3 章和最后 3 章生源要素的底-水交换过程、摄食过程、生物扰动过程以及水层-底栖耦合模式的建立,展示了多学科交叉,属于水层-底栖耦合的关键生态学过程。本书对于渤海生态系统健康评估和管理及生物多样性保护和可持续利用具有重要的理论意义和实践价值。

本书可供从事海洋科学、水产科学、环境科学、生命科学研究的科技人员、管理人员和高校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

渤海底栖生物次级生产力与生物多样性/张志南等著. —北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-051557-5

I. ①渤… II. ①张… III. ①渤海-海洋底栖生物-生物生产力-研究
②渤海-海洋底栖生物-生物多样性-研究 IV. ①Q178.535

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 014461 号

责任编辑:万 峰 / 责任校对:张小霞 郭瑞芝

责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 1 月第一次印刷 印张:26 1/2

字数:628 000

定价:189.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

海洋底栖生物是生活在海洋底表和底内的动物，是海洋生物三大生态类群之一，数量巨大、物种繁多、多样性之高为三大类群之冠。海洋底栖生物在海洋生态系统的能量流动和物质循环中，发挥着重要的作用，许多种类是养殖和采捕的对象，更多的种类是经济鱼虾的饵料生物，许多种类还具有药用价值。国际上，海洋底栖生物的研究已有 100 余年的历史，新中国成立以来，海洋底栖生物的研究先后经历了 20 世纪 50 年代的群落定性描述阶段，80 年代改革开放后的群落动态定量分析阶段，以及 90 年代海洋生态动力学阶段，进入 21 世纪以来，与海洋生物多样性交叉融合并使用 DNA 条形码技术，使海洋底栖生物的研究跨入分子生物多样性研究的新时代。

渤海为深入中国大陆的近封闭型海湾，以黄河为主的 42 条大大小小的江河携带的多种营养盐使渤海具有较高的初级生产力，为多种鱼、虾、蟹提供了优良的产卵场、育幼场和养成场。然而，近几十年来，由于气候、水文条件的变化，各种形式人类活动的影响，导致渤海基础生产力的变动和下降，渔业资源处于全面过度开发利用状态。

自 20 世纪 50 年代末全国海洋普查以来，有关渤海的水文物理、化学、生物、渔业资源和环境污染调查已积累了不少资料，其中应特别提到的是国家自然科学基金委员会启动和资助的国家基金重大研究计划：“渤海海洋生态系统动力学研究”（CHINESE GLOBEC I, 1997~2001 年），该项目在中国首次从水层-底栖耦合（benthic-pelagic coupling）的角度，深入探讨了渤海生态系统的结构和功能，取得了一批令人瞩目的成果，其中成果之一就是成功地模拟并预测渤海初级生产量在水层和向底层转移的规律。

这本书是国家自然科学基金委员会资助重点项目“渤海中南部底栖生物生产过程和生物多样性的集成研究”（No.40730847）一系列成果的概括，也包括了作者近几十年来承担的国家自然科学基金委员会资助的多个面上项目及“中-英”渤海和胶州湾合作（1995~1997 年，1997~2000 年）的部分成果，为了集成的需要，也引用了部分已发表的相关资料。该书以水层-底栖耦合的思路贯穿始终，全书共分 12 章，以绪论、渤海的自然环境和渤海生源要素的地球化学循环作为开头 3 章，而最后 3 章是水层-底栖耦合的两个关键过程：摄食过程和生物扰动过程，以及模式的建立，显示了多学科交叉，中间的 6 章则是本书的核心，即生物生产力和生物多样性，既展示了大型底栖动物和小型底栖动物的同步观测和综合分析、粒径谱应用于次级生产力，也看到了传统生物多样性与现代分类学多样性以及与分子多样性的交叉和融合。实际上，该书可看成是“渤海生态系统动力学（1997~2001 年）”水层-底栖耦合部分的延续和拓展，特色明显，亮点突出，特此推荐并作序。

中国水产科学研究院黄海水产研究所
中国工程院院士



前 言

渤海是西太平洋最小的一个边缘海，也是我国最大和唯一的近乎封闭的内海。渤海生态系统以其独有的水文环境特色、资源优势和地缘优势，支撑着环渤海地区快速发展的经济。然而，近几十年来，在全球变化和人类扰动的大趋势下，渤海生态系统的生态功能和服务功能明显衰退，赤潮频发，生物多样性锐减，优质渔业资源濒临枯竭，由此对渤海生态系统结构、功能、变化过程和衰退机制的了解，已构成渤海生态系统可持续发展的一项重大科学问题。

正是在上述背景下，“渤海中南部底栖生物生产过程和生物多样性的集成研究”得到国家自然科学基金委员会重点项目的资助(No. 40730847)。本书是该项目成果的全面总结和论述。绝大部分是该项目野外观测和实验室分析的第一手资料。同时，本着集成和综合的思路，对作者过去几十年来有关渤海的工作进行了回顾、比较和分析，其中，所涉及的重要项目有，“中-美”黄河口沉积动力学(1985~1987年)，分别于1985年、1986年和1987年使用“东方红1号”开展了大型底栖动物和小型底栖动物的3个航次综合调查，面上基金“生物扰动对浅海沉积-海水界面的通量效应和机制”(No. 49676300)、“渤海小型底栖生物多样性的研究”(No. 39770145)，教育部博士点基金“渤海海洋线虫群落的生态多样性”(No. 97042300)，“中-英”合作-英国环境部项目达尔文行动计划(Darwin initiative)：“渤海小型底栖生物多样性对环境改变和人类扰动的响应”。此外，刘光兴教授和陈洪举博士应邀撰写第4章渤海浮游动物部分(No. 40876066, No. 41076085)，邓可博士参编生物扰动部分内容。应特别提出的是，由国家自然科学基金委员会资助的重大项目“渤海生态系统动力学生物资源可持续利用”(No. 497901001-2)，先后在“科学1号”和“东方红2号”开展的3个航次的现场观测(1997年6月、1998年9月和1999年4月)为本项目开展10年际比较分析提供了十分宝贵的资料，此外，作者还借鉴和引用了其他项目相关的资料，分别在引用处有标注。

“水层-底栖耦合”的学术思想和研究思路贯穿本书，这源自欧洲的区域模型(ERSEM I、II, 1990~1995年)的启迪和带动，ERSEM强调多学科交叉的现场观测、过程研究，更强调大尺度、系统建模分析和预测研究。20世纪90年代中期，原国家教育委员会启动了“九五”重大项目预研究，由文圣常院士领导的团队率先在胶州湾开展了生态动力学研究，并与英国Plymouth研究所合作，引进了ERSEM模型，建立了我国第一个水层-底栖耦合模型。其后，分别在我国的渤海和黄海、东海、(GLOBEC I、II)中建立了渤海和南黄海的“水层-底栖耦合”模型，本书遵照这一思路，在渤海再次开展了与生物海洋学相关的摄食过程、生物沉降和再悬浮、生物扰动过程并改进了新的水层-底栖耦合模式，为进一步开展渤海生态系统结构、功能、建模和预测，以及渤海生态系统健康评估提供了借鉴和参考。

本书的编写分工如下:

第 1 章: 绪论 (张志南);

第 2 章: 渤海的自然环境 (张志南、华尔);

第 3 章: 渤海生源要素的地球化学循环 (刘素美、李玲伟);

第 4 章: 渤海的浮游生物 (李正炎、刘光兴、陈洪举、刘晓收);

第 5 章: 渤海大型底栖动物群落结构与次级生产力 (刘晓收、周红);

第 6 章: 底栖细菌、小型底栖动物群落结构及生物多样性 (华尔、慕芳红、杜宗军、张志南);

第 7 章: 底栖生物粒径谱与次级生产力 (华尔、邓可、张志南);

第 8 章: 底栖动物的分类学多样性及其对环境的指示 (周红);

第 9 章: 底栖动物的分子生物多样性及系统演化 (周红);

第 10 章: 底栖动物的摄食过程 (慕芳红);

第 11 章: 底栖动物的生物扰动过程 (张志南、于子山、邓可、刘素美);

第 12 章: 渤海生态动力学水层-底栖耦合模式的研究 (李杰、吴增茂)。

附录 1: 2008~2009 年渤海大型底栖动物种名录 (刘晓收);

附录 2: 渤海自由生活海洋线虫种名录 (张志南、华尔);

附录 3: 渤海底栖桡足类种属名录 (慕芳红);

附录 4: 多元统计软件 PRIMER 在底栖群落生态学中的应用 (周红);

附录 5: 海洋底栖动物的分子鉴定 (周红)。

本书作者衷心感谢中国科学院院士、中国海洋大学文圣常教授、冯士筭教授, 国家海洋局第二海洋研究所苏纪兰院士, 中国水产科学研究院黄海水产研究所唐启升院士对海洋生态动力学工作的开拓、支持, 对“水层-底栖耦合”概念和思路的理解、海纳和支持, 感谢英国普里茅斯海洋研究所 (PML) R.M. Warwick 教授及其团队通过英国环境部达尔文计划 (Darwin initiative) 对渤海底栖生物多样性研究的资助和对年青一代人的培养, 感谢 PML J. Widdow 博士对“AFS”生物扰动实验系统提供的支持和协助, 感谢法国巴黎自然历史博物馆 Guy Boucher 教授对底栖生物水下测试系统的引进安装和现场实验指导。十分感谢“东方红 1 号”、“东方红 2 号”、“科学 1 号”和“向阳红 9 号”全体船员及参与出海的所有师生所付出的劳动。特别的感谢应给予国家自然科学基金委员会和教育部提供的持续不断的项目支持。最后, 我永远不会忘记我的所有学生 (本科生、硕士研究生、博士研究生), 他们在不同的时期以不同的形式, 为本书的内容贡献了自己的一份力量。

本书的出版获得了 2015 年度国家科学技术学术著作出版基金、国家自然科学基金重点项目 (No. 40730847)、海洋公益性行业科研专项 (No. 201505004)、泰山学者工程专项 (No.20151101) 和国家自然科学基金 (No. 41376146) 的资助。

张志南
2016 年 5 月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 海洋底栖生物的主要类群	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 按系统分类划分的门类	1
1.1.3 按生活方式底栖生物可划分为以下 5 类	3
1.1.4 按照体型大小的不同划分的类群	4
1.1.5 按摄食类型划分的类群	4
1.2 海洋底栖生物的研究历史	5
1.2.1 早期开始	5
1.2.2 底栖生物群落定量分析研究	5
1.2.3 进入海洋生态系统动力学研究阶段	6
1.2.4 底栖生物与生物多样性	6
1.3 我国底栖生物研究历史及现状	7
1.3.1 群落定性描述阶段	7
1.3.2 群落动态研究阶段	7
1.3.3 海洋生态动力学研究阶段	7
1.4 海洋底栖生物研究意义	8
1.4.1 在海洋生态系中的作用	8
1.4.2 研究意义	9
1.5 当今底栖生物生态学研究热点	9
1.5.1 全球变化对海洋生态系统结构与功能的影响	9
1.5.2 海洋生态系统对全球变化的响应	9
1.5.3 海洋生物多样性生态功能的考虑	10
1.5.4 深海或极端条件下化能合成生态系统 (ChEss)	10
1.5.5 大尺度的水层-底栖耦合过程的研究	11
1.5.6 海洋底栖动物的 DNA 条形编码和分子生物多样性	11
参考文献	11
第 2 章 渤海的自然环境	14
2.1 渤海的物理环境特征	15
2.2 渤海的生态环境特征	16

2.2.1	地形、地貌与沉积环境.....	16
2.2.2	营养盐浓度和营养盐结构.....	17
2.2.3	生物群落特征.....	17
2.2.4	渤海的渔业资源.....	18
2.3	渤海底栖环境因子的分布特征.....	18
2.3.1	方法概述.....	18
2.3.2	渤海海域水深的分布特征.....	20
2.3.3	渤海海域底层水温与盐度分布的变化趋势.....	20
2.3.4	渤海海域沉积物的粒度特征与类型.....	22
2.3.5	沉积物有机质分布及变化趋势.....	22
2.3.6	沉积物叶绿素 a 和脱镁叶绿酸分布及变化趋势.....	24
2.3.7	渤海海域底栖环境的主成分分析.....	27
2.3.8	各环境因子间的相关性.....	27
2.3.9	渤海底栖环境因子的分布特征及影响因子.....	29
2.3.10	与历史资料的比较.....	30
2.3.11	小结.....	31
	参考文献.....	31
第 3 章	渤海生源要素的地球化学循环.....	33
3.1	样品采集及预处理.....	33
3.2	渤海营养盐的组成特征.....	35
3.2.1	渤海营养盐的组成特征.....	35
3.2.2	渤海营养盐比例分布规律.....	38
3.3	渤海沉积物中营养盐的再生及其关键调控因素.....	38
3.3.1	沉积物间隙水中营养盐的垂直分布.....	38
3.3.2	沉积物-水界面营养盐交换通量的估算.....	41
3.3.3	沉积物-水界面营养盐交换通量的影响因素.....	54
3.3.4	实验室培养法与扩散通量法所得结果的比较.....	59
3.4	渤海不同来源营养盐的对比分析.....	63
3.4.1	近年来渤海中部营养盐浓度及相对比值的变化.....	63
3.4.2	渤海不同来源营养盐的对比分析.....	63
3.5	小结.....	64
	参考文献.....	65
第 4 章	渤海的浮游生物.....	67
4.1	渤海的浮游植物.....	67
4.1.1	渤海水体的叶绿素含量.....	67
4.1.2	渤海浮游植物的种类组成.....	69
4.1.3	渤海浮游植物的细胞丰度.....	70

4.1.4 渤海浮游植物的多样性.....	70
4.2 渤海的初级生产力.....	70
4.2.1 海洋初级生产力及其测定方法.....	70
4.2.2 渤海海域初级生产力.....	72
4.3 渤海的浮游动物.....	74
4.3.1 渤海浮游动物的种类组成.....	74
4.3.2 渤海的浮游动物生物量.....	81
4.3.3 渤海浮游动物丰度的平面分布.....	82
4.4 黄河口及邻近水域浮游动物生态特征.....	83
4.4.1 种类组成和优势种.....	85
4.4.2 浮游动物丰度的平面分布.....	86
4.4.3 生物多样性.....	87
4.4.4 群落划分.....	89
4.5 浮游动物的摄食及食物网结构.....	93
4.5.1 微型浮游动物对浮游植物的摄食.....	94
4.5.2 浮游桡足类摄食及营养级.....	96
4.6 渤海浮游桡足类的分类学多样性.....	99
4.6.1 研究方法.....	100
4.6.2 渤海浮游桡足类的种类组成.....	100
4.6.3 渤海浮游桡足类平均分类差异指数与等级差异变异指数.....	100
4.7 两种浮游动物采样网具的比较.....	102
4.7.1 两种网型采集浮游动物的种类组成和丰度的比较.....	103
4.7.2 两种网型采集浮游动物生物多样性的比较.....	106
4.7.3 群落结构分析比较.....	109
参考文献.....	110
第5章 渤海大型底栖动物群落结构与次级生产力.....	115
5.1 渤海的大型底栖动物群落结构.....	115
5.1.1 2008年夏季渤海大型底栖动物的群落结构.....	116
5.1.2 2009年6月莱州湾大型底栖动物的群落结构.....	130
5.2 渤海大型底栖动物群落结构的年代际变化.....	139
5.2.1 研究方法.....	139
5.2.2 结果.....	140
5.2.3 讨论和结论.....	147
5.3 渤海大型底栖动物次级生产力.....	149
5.3.1 大型底栖动物的次级生产力计算公式.....	150
5.3.2 2008年8月夏季渤海大型底栖动物的次级生产力和P/B值.....	150
5.3.3 2009年6月莱州湾大型底栖动物的次级生产力.....	150

5.3.4	影响大型底栖动物次级生产力的环境和生物因素	151
5.3.5	与历史数据的对比	151
	参考文献	152
第 6 章	底栖细菌、小型底栖动物群落结构及生物多样性	157
6.1	细菌多样性	157
6.1.1	山东近海可培养细菌多样性研究	157
6.1.2	拟杆菌的分离及系统分类学分析	160
6.1.3	海洋琼胶降解细菌及其琼胶酶研究	162
6.1.4	本书发现的海洋细菌新物种介绍	165
6.2	小型底栖生物丰度、生物量和次级生产力	169
6.2.1	方法概述	170
6.2.2	渤海海域小型底栖生物类群组成	171
6.2.3	渤海海域小型底栖生物的丰度与分布	171
6.2.4	渤海海域小型底栖生物的生物量和生产量	173
6.2.5	影响小型底栖动物数量分布及类群组成的环境因子	173
6.2.6	渤海十年际小型底栖动物群落数量变化趋势	178
6.2.7	渤海海域分区小型底栖动物群落数量变化趋势	179
6.2.8	渤海海域小型底栖动物次级生产力	181
6.3	渤海自由生活海洋线虫群落结构及生物多样性	182
6.3.1	研究方法概述	182
6.3.2	渤海中南部海洋线虫群落结构	184
6.3.3	渤海中南部海洋线虫多样性	189
6.3.4	渤海中南部海洋线虫群落多样性十年际变化	193
6.4	渤海底栖桡足类群落结构及生物多样性	196
6.4.1	研究方法	196
6.4.2	底栖桡足类的分类和生物多样性	197
6.4.3	底栖桡足类的群落结构	204
6.4.4	结论	210
	参考文献	210
第 7 章	底栖生物粒径谱与次级生产力	215
7.1	概念、图形表达和图形特征	215
7.1.1	概念	215
7.1.2	粒径谱的图形表达方式	215
7.1.3	粒径谱图形的特征	216
7.2	理论基础	217
7.2.1	Kerr 模型	218
7.2.2	Thiebaut-Dickie 模型	218

7.2.3	粒径谱理论与宏生态学幂法则的统一	219
7.3	应用及前景	220
7.3.1	反映群落结构, 研究环境变化的影响	220
7.3.2	构建生态系统动力学模型	221
7.4	渤海水域底栖动物粒径谱	222
7.4.1	研究方法概述	222
7.4.2	环境因子	224
7.4.3	底栖动物丰度和生物量	224
7.4.4	生物量粒径谱	224
7.4.5	标准化生物量粒径谱	227
7.4.6	与黄、东海粒径谱的比较	228
7.5	粒径谱与底栖次级生产力	230
7.5.1	研究方法概述	231
7.5.2	NBSS 计算底栖动物次级生产力	232
7.5.3	次级生产力研究方法的比较	232
7.6	我国粒径谱研究现状和展望	233
	参考文献	234
第 8 章	底栖动物的分类学多样性及其对环境的指示	240
8.1	航次和站位分布	240
8.2	生物多样性的度量方法	241
8.2.1	多样性指数	241
8.2.2	多样性指数及其他群落特征对渤海底栖环境健康状况的指示	243
8.3	结果	244
8.3.1	渤海大型底栖动物多样性的空间分布规律	244
8.3.2	渤海大型底栖动物多样性的十年际变化	247
8.3.3	渤海物种多样性与分类多样性之间的关系	256
8.3.4	大型底栖动物多样性与渤海环境变量之间的关系	256
8.3.5	黄渤海大型底栖动物分类差异度和系统演化多样性总体评估	256
8.3.6	分类差异度和其他群落特征对渤海底栖生态环境的指示	259
	参考文献	262
第 9 章	底栖动物的分子生物多样性及系统演化	264
9.1	多毛类的分子生物多样性及系统演化	264
9.1.1	中国海多毛类和其他底栖无脊椎动物 DNA 条形码参考数据库	264
9.1.2	中国海多毛类隐存物种和分子生物多样性现状	265
9.1.3	多毛类群落生态学与 DNA 条形码和分子系统演化的整合研究	269
9.2	自由生活海洋线虫的分子生物多样性及系统演化	282
9.2.1	海藻附植线虫的分子生物多样性及系统演化	282

9.2.2 中国海自由生活海洋线虫 DNA 条形码参考数据库	283
参考文献	286
第 10 章 底栖动物的摄食过程	288
10.1 研究进展	288
10.1.1 摄食及营养关系的研究	289
10.1.2 类群层次	291
10.1.3 功能群或营养种层次	292
10.1.4 粒径谱层次	292
10.1.5 生态系统食物网研究	293
10.2 国内研究概况	293
10.3 主要研究方法	294
10.3.1 食性分析法	294
10.3.2 荧光标记技术	295
10.3.3 放射性同位素技术	295
10.3.4 稳定同位素技术	295
10.3.5 特定化合物同位素分析技术	295
10.4 莱州湾小型底栖动物对底栖微藻的摄食研究	296
10.4.1 材料和方法	297
10.4.2 实验结果与讨论	298
参考文献	303
第 11 章 底栖动物的生物扰动过程	309
11.1 生物扰动研究动态、定义	309
11.2 心形海胆的生物扰动对沉积物颗粒垂直分布的影响	310
11.2.1 取样站位、实验生物和实验设计	311
11.2.2 数据处理	311
11.2.3 由于海胆的扰动而悬浮进入水体的示踪沙的量	311
11.2.4 海胆的扰动使示踪沙向下垂埋迁移量	311
11.2.5 心形海胆的生物扰动效应评价	313
11.3 菲律宾蛤仔的生物扰动对沉积物颗粒垂直分布的影响	313
11.3.1 材料与方法	313
11.3.2 结果与分析	314
11.3.3 讨论	316
11.4 应用生物扰动实验系统 (AFS) 研究双壳类生物沉降作用	317
11.4.1 材料与方法	317
11.4.2 数据处理	318
11.4.3 结果	318
11.5 生物扰动与生物地化循环	320

11.5.1 样品采集、培养方法、数据处理	320
11.5.2 结果	322
11.5.3 讨论	324
11.5.4 小结	327
参考文献	328
第 12 章 渤海生态动力学水层-底栖耦合模式的研究	331
12.1 海洋生态系统与动力学模型	332
12.1.1 海洋生态系统	332
12.1.2 海洋生态动力学模型	334
12.2 渤海水层-底栖耦合生态系统多箱模型	339
12.2.1 模型介绍	339
12.2.2 模拟区域的物理环境	349
12.2.3 模式初值	351
12.3 模拟结果分析	353
12.3.1 水层生态系统模拟结果	353
12.3.2 底栖生态系统模拟结果	358
12.3.3 结论	359
参考文献	359
附录 1 2008~2009 年渤海大型底栖动物种名录	365
附录 2 渤海自由生活海洋线虫种名录	382
附录 3 渤海底栖桡足类种属名录	386
附录 4 多元统计软件 PRIMER 在底栖群落生态学中的应用	396
参考文献	404
附录 5 海洋底栖动物的分子鉴定	405
参考文献	408

第 1 章 绪 论

1.1 海洋底栖生物的主要类群

1.1.1 定义

海洋底栖生物 (marine benthos) 是栖息于海洋基底表面或沉积物中的生物。广泛分布于自潮间带直到水深万米以上的超深渊带 (深海沟底), 是海洋生物中物种多样性最高的一个生态类群, 涵盖了大多数海洋动物门类、大型海藻和海洋种子植物。由于海洋底栖生物绝大多数是动物, 且本书所涉及的研究对象是动物, 故底栖生物 (benthos) 一词在本书是指底栖动物。

1.1.2 按系统分类划分的门类

海洋无脊椎动物中大多数门类为底栖生活种类, 共包括 34 个门 (Ruppert et al., 2004; Brusca and Brusca, 2003)。其中, 在我国近海调查中习见大型底栖动物有 8 个门, 小型底栖动物有 15 个门。

1. 大型底栖动物

(1) 多孔动物门 Porifera (海绵动物门 Spongia)

现存种 8000 余种, 属于 4 纲 25 目, 除了 1 科生活于淡水外, 其余全部营海洋底栖生活。

(2) 刺胞动物门 Cnidaria (腔肠动物门 Coelenterate)

现存 2 个亚门 4 纲, 约 10000 种, 除 20 个淡水种外, 其他全部海生。

(3) 扁形动物门 Platyhelminthes

现存 20000 种现存种, 属 4 纲 34 目。

(4) 纽形动物门 Nemertea

现存种 1150 种, 属 2 纲 4 目, 大多营海底生活。

(5) 环节动物门 Annelida 中的多毛纲 Polychaeta

约有 10000 种已知种, 属于 80 余科, 大多行底栖生活, 是海洋底栖动物的重要类群。

(6) 软体动物门 Mollusca

现存种类约 100000 种, 其中无板纲 (Aplacophora) 300 种、多板纲 (Polyplacophora) 800 种、单板纲 (Monoplacophora) 20 种深海种类、掘足纲 (Scaphopoda) 500 种和头足纲 (Cephalopoda) 700 种全部海生。双壳纲 (Bivalvia) 8000 种, 其中 6700 种生活

于海洋中,腹足纲(Gastropoda)约60000种,大多数海生底栖生活。

(7) 节肢动物门 Arthropoda 中的甲壳纲 Crustacea

海洋底栖动物的一个重要类群,现存种类42000种,许多种类是海生营底栖生活。

(8) 棘皮动物门 Echinodermata

有6000余种,全部海生,绝大多数行底栖生活,其中现存种类海百合纲(Crinoidea),是比较古老的类群,700种,海参纲(Holothuroidea)1200种,海星纲(Asteroidca)1500种,海胆纲(Echinoidea)950种,海蛇尾纲(Ophiuroidea)2000种(Ruppert et al., 2004)。

2. 小型底栖生物

在近岸浅海,小型底栖生物的丰度往往比大型底栖动物高出1~2个数量级,生物量为大型底栖动物的8%~20%,但由于小型底栖生物高的周转率,其生产量约相当于大型底栖动物的一半甚至相当或超过它,小型底栖生物研究手册中列举了38个大的门类和纲类(Higgins and Thiel, 1988),但在潮间带近岸浅海常见的门类有:

(1) 自由生活海洋线虫 (free living marine nematodes)

已描述的海洋线虫约5000种,分属450属61个科,是小型底栖生物中数量上占绝对优势的类群,也是生物量和生产量的优势类群之一,中国海洋物种和图集(上卷)记录海洋线虫207种(黄宗国和林茂,2012),我国黄渤海已鉴定的海洋线虫约有237种,其中,渤海116种(附录2)(张志南和周红,2003;黄宗国和林茂,2012)。

(2) 底栖猛水蚤 (Copepoda: Harpacticoida)

仅次于海洋线虫的第二个重要类群,数量占小型底栖生物总丰度的10%~30%。已描述有4000余种,分属于55个科,除1000种淡水生活外大部分为海洋种类。中国海洋物种和图集(下卷)记录213种(黄宗国和林茂,2012),我国渤海已记载232种。

(3) 多毛类 (Polychaeta)

小型多毛类和大型多毛类的幼龄个体(temporary meiofauna)是小型底栖生物的重要类群,生物量往往占优势,近岸浅海常见的科有海女虫科Hesionidae、裂虫科Syllidae和小头虫科Capitellidae。

(4) 介形类 (Otracoda)

约5000种,除2000种淡水生活外,其余均海生,广泛分布于从潮间带直到深海底。化石种类很多,在古生物学和古海洋学中占有重要位置。

(5) 动吻类 (Kinorhyncha)

约有2目18属170种,栖息于泥质至细沙海底,为潮间带、浅海习见种类。

(6) 腹毛虫 (Gastrotricha)

2目15科720种,大部分为海洋底栖种类。

(7) 缓步类 (Tardigrada)

2 纲 4 目约 1000 种, 其中的异缓步类 (Heterotardigrada) 300 种, 大部分为海生底栖生活, 广泛分布在潮间带至深海底。

(8) 寡毛类 (Oligochaeta)

750 种, 约 450 种为海洋种类, 其中颤蚓科 Tubificidae 和线蚓科 Enchytraeidae 内大部分种类为海洋底栖生活。

(9) 扁形动物涡虫 (Platyhelminthes, turbellarians)

约 3000 种, 部分淡水生活, 大部分为海洋底栖生物。

(10) 颚咽动物 (Gnathostomulida)

包括 25 属 100 种, 其中 6 种为世界性分布。

(11) 海蜘蛛 (Pycnogonida, Pantopoda, sea spider)

属于海蜘蛛纲, 小型海蜘蛛有 10 种, 分属 3 个属, 广泛分布于从潮间带到深海和极地。

(12) 海螨类 (Halacaroidea)

约 700 种, 大部分为海洋种类, 广泛分布于从潮间带到极地海洋。

(13) 异足类 (Tanaidacea)

世界性分布, 多数栖息于泥质中的栖管内, 少数为沙间生活。

(14) 有孔虫 (Foraminifera)

约 4000 种, 分布在浅海至深海底。

(15) 纤毛虫 (Ciliophora, Ciliata)

3000 种以上, 约有 1000 种属于小型种类, 沙质沉积物中物种数、个体数占有相当优势 (Higgins and Thiel, 1988)。

1.1.3 按生活方式底栖生物可划分为以下 5 类

1. 底上动物 (epifauna)

底上动物是匍匐爬行于基底表面的动物, 如软体动物腹足类、海星、寄居蟹等, 也包括固着或附生于岩礁、坚硬物体和沉积物表面的动物, 如海绵动物、苔藓动物、腔肠动物的珊瑚虫类和水螅虫类、软体动物的牡蛎、贻贝和扇贝。

2. 底内动物 (infauna)

底内动物是埋栖于沉积物表面下的动物, 如双壳蛤类、梭子蟹等, 也包括穴居于底内管道中的多毛类、多种蟹类等。

3. 游泳性底栖动物 (nectonic benthos)

游泳性底栖动物是能在近底的沙层中游动,但又沉降于底上活动的某些虾类、鲹形目鱼类等。

4. 海洋污着生物 (marine fouling organisms)

海洋污着生物是附着生长于船底、浮标、水雷或其他水下设施表面的底栖生物,如牡蛎、藤壶、水媳、海鞘和某些藻类等。

5. 海洋钻孔生物 (marine boring organisms)

海洋钻孔生物是穿孔穴居于木材或岩礁内的底栖生物,如船蛆 (*Teredo*)、海筍 (*Pholas*) 和甲壳类的蛀木水虱 (*Limnoria*) 和团水虱 (*Sphaeroma*) 等。

1.1.4 按照体型大小的不同划分的类群

以分选时使用的筛孔大小又可将底栖生物分成三类:

1. 大型底栖动物 (macrofauna, macrobenthos)

大型底栖动物是指分选时能被 0.5 mm 或 1.0 mm 孔径网筛阻留的生物,如多毛类、虾蟹类等。

2. 小型底栖动物 (meiofauna, meiobenthos)

小型底栖动物是指能通过 0.5 mm 或 1.0 mm 网孔但被 0.04 mm (深海适用 0.031 mm) 网筛阻留的生物,如自由生活海洋线虫、底栖桡足类、介形类、动吻类、腹毛类等。

3. 微型底栖生物 (microbenthos)

微型底栖生物是分选时能通过 0.042 mm 孔径网筛的生物,如原生动物 (主要是纤毛虫类) 和细菌 (Higgins and Thiel, 1988)。

1.1.5 按摄食类型划分的类群

1. 滤食性动物 (filter feeders)

滤食性动物也称为悬浮食性动物 (suspension feeders), 依靠各种过滤器官滤取水体中的悬浮有机碎屑或微小生物。例如, 软体动物双壳类通过出入水管系统形成水流, 借助具纤毛的黏液膜获取食物; 甲壳类用肢体活动吸入海水, 用附肢刚毛网获取食物。

2. 沉积食性动物 (deposit feeders)

沉积食性动物吞食沉积物, 在消化道内摄食其中的有机物质, 如棘皮动物门中的海胆类和海参类, 多数种是毫无选择地吞食海底沉积物, 只有少数种类是有选择地摄食。

3. 肉食性动物 (carnivores)

肉食性动物捕食小型动物和动物的幼体, 如对虾、龙虾和鲹形鱼类等, 捕食者一般