



Bioturbation Effects of Benthic Animals

底栖动物的生物扰动效应

孙刚 房岩 ⊙ 著

 科学出版社

长春师范学院学术著作出版基金资助

底栖动物的生物扰动效应

Bioturbation Effects of Benthic Animals

孙刚 房岩 著

科学出版社

北京



内 容 简 介

本书是作者在多年定位定量观测、室内模拟实验的基础上,总结已取得的系列成果,结合其他学者的相关成果写成的。本书重点阐述底栖动物对水生生态系统的生物扰动效应,同时介绍了底栖动物研究进展、底栖动物与人类生活的关系、底栖动物的分类、底栖动物生存的影响因素,论述了底栖动物在水体物质循环和能量流动中的作用、底栖动物对水体生态环境的指示作用、底栖动物对受损水体的修复作用、底栖动物在沉积物-水界面耦合中的扰动作用、底栖动物作为水生生态系统关键种的作用,详细分析了底栖动物对沉积物、上覆水和界面耦合的影响,探讨了生物扰动效应的应用、底栖动物研究展望等。

本书可供从事生态学、环境科学、农学、生物学研究和教学人员参考,作为相关专业本科生和研究生的参考书,也可供资源环境管理、农业开发和规划等政府部门的工作人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

底栖动物的生物扰动效应/孙刚,房岩著. —北京:科学出版社,2013.3

ISBN 978-7-03-036923-9

I. ①底… II. ①孙…②房… III. ①底栖动物—研究 IV. ①Q958.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 042265 号

责任编辑:李秀伟/责任校对:胡小洁

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2013年3月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:320 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书相关研究工作受以下项目资助：

国家自然科学基金项目

教育部留学回国人员科研启动基金项目

人力资源和社会保障部留学人员科技活动择优资助项目

吉林省人才开发基金项目

吉林省科技发展计划项目

吉林省自然科学基金项目

吉林省环境保护科技项目

吉林省教育厅科学技术研究项目

长春师范学院自然科学基金项目

东北师范大学自然科学青年基金项目

作者简介

孙刚，男，1969年3月出生，汉族，辽宁大连人，博士（后），三级教授，吉林省有突出贡献的中青年专业技术人才、吉林省拔尖创新人才、吉林省新世纪优秀人才、吉林省人才开发基金获得者、长春市百名优秀科技工作者。1991年7月毕业于东北师范大学环境科学系，获理学学士学位；1994年7月毕业于东北师范大学环境科学系，获理学硕士学位；1997年7月毕业于东北师范大学生命科学学院，获理学博士学位。1997~1999年在东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室、2000~2002年在吉林大学生物与农业工程学院、2002~2004年在东京农工大学做博士后研究。1999~2005年在东北师范大学生命科学学院、植被生态科学教育部重点实验室担任副教授，2005年起作为长春师范学院引进人才，担任生态学专业教授、生命科学学院生态学教研室主任、研究生部副主任。兼任国家自然科学基金评审专家、教育部留学回国基金评审专家、全国中文核心期刊评审专家、中国生态学会数学生态专业委员会委员、吉林省科技信息评估专家、吉林省生态学会理事和副秘书长、吉林省泥炭学会常务理事、吉林省昆虫学会理事、吉林省社会主义新农村建设指导员、振兴长春经济行动计划百名专家学者、长春博士联合会常务理事和副秘书长等。

长期从事生态学、环境科学科研和教学工作，致力于界面生态学、环境生态学、理论生态学研究，主持国家自然科学基金项目、教育部留学回国人员科研启动基金项目、人力资源和社会保障部留学人员科技活动择优资助项目、博士后基金项目、吉林省发改委科研项目、吉林省人才开发基金项目、吉林省科技发展计划项目、吉林省自然科学基金项目、吉林省环境保护科技项目、吉林省教育厅科技计划项目等各级课题20余项，发表论文100余篇，获吉林省科学技术进步奖、吉林省高校优秀科研成果奖、吉林省自然科学学术成果奖、吉林省高等学校优秀课程、吉林省教育科学优秀成果奖、吉林省高等教育学会优秀高教科研成果奖等。

前 言

底栖动物是指生活史的全部或部分时间生活于水体底部的水生动物群。底栖动物的种类繁多，包括绝大多数的动物门类，如原生动物、海绵动物、腔肠动物、扁形动物、纽形动物、颚口动物、线形动物、轮形动物、腹毛动物、环节动物、动吻动物、须腕动物、软体动物、节肢动物、缓步动物、苔藓动物、腕足动物、帚虫动物、棘皮动物、半索动物、脊索动物等。底栖动物的数量惊人，分布广泛，群落结构复杂，种间关系多样，其个体大小、起源、生境、摄食方式、生活史、生活方式、耐污能力、营养类型、繁殖方式、对氧气的喜好等各有不同，是一个庞大的生态学类群，在食物网中起到生产者、消费者和分解者的多重角色，对水体物质循环、能量流动、营养结构、生态系统平衡和稳定起到重要作用。

底栖动物与人类生活的关系密切。作为优质的蛋白质来源，许多底栖动物是重要的水产资源、渔业捕捞和养殖对象，具有很高的经济价值。一些底栖动物是多种医药和工业原料。小型甲壳类、软体动物、多毛类等是经济鱼类及其他动物的天然饵料，其繁殖生长影响到水产资源的补充、丰歉与数量变动。有些种类的底栖动物对人类有直接或间接的危害，如海港、码头、船底及水下设施的污损和钻蚀生物严重危害港务建设、交通运输及石油井架等勘探开发作业，可能造成严重损失与破坏，影响生产，有些底栖动物是经济鱼、虾、贝、藻类的敌害生物。部分底栖动物具有观赏和收藏价值。底栖动物还是重要的科学研究对象和仿生设计模板。

底栖动物特别是沉积食性大型动物由于摄食、爬行、建管、避敌、筑穴等活动，对沉积物初级结构造成改变，称为生物扰动（bioturbation）。水生生态系统通过能流和物流的传递将水层系统与底栖系统融为一体的过程称作水层与底栖的耦合。水层-底栖界面耦合过程是构成河口、近岸和浅海水域的关键生态过程，而生物扰动正是这一关键生态过程中至关重要的环节和枢纽。国际上早在 20 世纪五六十年代就已开展了生物扰动的研究工作。在有关国际研究计划（如全球海洋生态系统动态研究、全球海洋通量联合研究、沿岸带陆海相互作用研究等）的影响下，大型底栖动物在水层-底栖耦合及生物地化循环中的作用也被纳入了海洋生态动力学的研究范围。作为水生生态学的热点研究内容之一，生物扰动研究是更加深入系统地了解水生生态系统结构与功能的启动点，也是在区域尺度上或更大时空尺度上开展水生生态动力学和生物资源补充机制研究的核心内容之一。进一步揭示生物扰动的机理和变化规律，可对水层-底栖生态系统的耦合过程获得更加透彻的了解，从而更全面、更详细、更精确地掌握水域中各种物质的生物地球

化学循环的全过程，对正确认识水体的内源负荷特点、理解水华爆发机制、生态建模和水体修复等具有重要意义，展现出非常广阔的前景。

人类从公元前已经开始研究底栖动物，近一个世纪不断取得新的成果。随着水体生态调查范围的不断扩大、计算机技术和现代统计方法的广泛应用，底栖动物生态学研究逐步由单纯的野外观测转入实验生态，由定性描述阶段跃入定量解析阶段。在研究内容上，注重过程、机制、动态规律的研究；在研究思路，强调多学科交叉、渗透与综合；在研究方法上，大量应用高新技术，如系统建模等；在信息交流上，突出数据资料的标准化和可比性。随着人类加大对水域的利用、进一步走向海洋以及科学技术的创新，水域生态学的研究进展将愈加迅速，底栖动物的理论、应用与开发研究将越来越受到各国的重视。

本项研究工作受到国家自然科学基金项目（31070421）、教育部留学回国人员科研启动基金项目（教外司留 2005-546）、人力资源和社会保障部留学人员科技活动择优资助项目（人社厅发 2008-86）、吉林省人才开发基金项目（吉财行指 2007-259）、吉林省科技发展计划项目（20060577）、吉林省自然科学基金项目（201115163）、吉林省环境保护科技项目（吉环科字第 2010-19 号）、吉林省教育厅科学技术研究项目（2012218；2010150；2009435；2007169；2006113）、长春师范学院自然科学基金项目（2009002）、东北师范大学自然科学青年基金项目（20050406）等资助，获吉林省科学技术进步奖、吉林省高校优秀科研成果奖、吉林省自然科学学术成果奖等。本书是著者在已取得的系列成果基础上，结合其他学者的相关成果写成，内容包括底栖动物研究进展、底栖动物与人类生活的关系、底栖动物的分类、底栖动物生存的影响因素、底栖动物在水体物质循环和能量流动中的作用、底栖动物对水体生态环境的指示作用、底栖动物对受损水体的修复作用、底栖动物在沉积物-水界面耦合中的扰动作用、底栖动物作为水生生态系统关键种的作用、底栖动物对沉积物的生物扰动效应、底栖动物对上覆水的生物扰动效应、底栖动物对沉积物-水界面耦合的生物扰动效应、生物扰动效应的应用等。最后，展望了底栖动物的研究热点及前景，包括底栖动物的生物扰动效应研究、底栖动物的生态服务功能研究、底栖动物的功能群研究、底栖动物的环境指示作用研究、极端环境中的底栖动物研究、底栖动物的仿生学研究、底栖动物的开发利用研究。

由于著者学术水平有限，本书难免有一些疏漏和不足之处，恳请专家、学者和读者批评指正。

著 者

2013 年 1 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 底栖动物的定义	1
1.2 底栖动物研究进展	1
1.2.1 国际底栖动物研究进展	1
1.2.2 国内底栖动物研究进展	6
1.3 底栖动物与人类生活的关系.....	10
1.3.1 重要的食品和药品来源	10
1.3.2 重要的天然饵料	11
1.3.3 重要的科学研究对象	11
1.3.4 不可忽视的有害生物	12
第二章 底栖动物的分类	15
2.1 按个体大小分类.....	15
2.1.1 大型底栖动物	15
2.1.2 小型底栖动物	15
2.1.3 微型底栖动物	15
2.2 按生境分类.....	15
2.2.1 海洋底栖动物	15
2.2.2 陆水底栖动物	16
2.3 按起源分类.....	16
2.3.1 原生底栖动物	16
2.3.2 次生底栖动物	16
2.4 按摄食方式分类.....	16
2.4.1 滤食性底栖动物	16
2.4.2 沉积物食性底栖动物	17
2.4.3 肉食性底栖动物	17
2.4.4 寄生性底栖动物	17
2.5 按栖息方式分类.....	17
2.5.1 固着型	18

2.5.2	底埋型	18
2.5.3	钻蚀型	19
2.5.4	表栖型	19
2.5.5	自由移动型	19
2.6	按耐污能力分类	19
2.7	按营养类型分类	20
2.7.1	异养生物	20
2.7.2	自养生物	20
2.8	按对氧气的喜好分类	21
2.8.1	需氧生物	21
2.8.2	厌氧生物	21
2.9	按扰动方式分类	21
2.9.1	生物扩散者	21
2.9.2	上行搬运者	21
2.9.3	下行搬运者	21
2.9.4	再生者	22
2.9.5	管路扩散者	22
第三章	底栖动物生存的影响因素	23
3.1	物理因素	23
3.1.1	底质	23
3.1.2	水流	25
3.1.3	水深	26
3.1.4	悬浮物与透明度	26
3.1.5	栖息地多样性	27
3.1.6	物理扰动	27
3.2	化学因素	29
3.2.1	水温	29
3.2.2	溶解氧	29
3.2.3	有机物与生化需氧量	30
3.2.4	pH	31
3.2.5	盐度	32
3.2.6	重金属	32
3.2.7	其他有毒物质	33

3.3 生物因素	34
3.3.1 植物	34
3.3.2 动物	36
3.3.3 种群间相互作用	37
3.4 人为因素	37
3.4.1 土地利用	37
3.4.2 生境破碎化	38
3.4.3 工程建设	38
3.4.4 富营养化	39
3.5 地理因素	40
3.5.1 纬度	40
3.5.2 海拔	40
3.6 实例研究：长春南湖底栖动物群落特征与环境因子的关系	41
3.6.1 研究地点	41
3.6.2 研究方法	41
3.6.3 研究结果	41
第四章 底栖动物在水体中的生态功能	44
4.1 底栖动物在水体物质循环和能量流动中的作用	44
4.2 底栖动物对水体生态环境的指示作用	46
4.3 底栖动物对受损水体的修复作用	48
4.3.1 过滤作用	49
4.3.2 降解作用	50
4.3.3 同化吸收	51
4.3.4 富集作用	54
4.3.5 转移作用	56
4.3.6 “生态岛”效应	57
4.4 底栖动物在水层-底栖界面耦合中的扰动作用	57
4.5 底栖动物作为水生生态系统关键种的作用	60
第五章 底栖动物对沉积物的生物扰动效应	62
5.1 底栖动物对沉积物物理性质的扰动效应	62
5.1.1 地形地貌	62
5.1.2 含水率	64
5.1.3 渗透性	65
5.1.4 容重和孔隙度	68

5.1.5	粒度组成	68
5.1.6	沉积物颗粒垂直分布	69
5.1.7	强度	74
5.1.8	稳定性	75
5.2	底栖动物对沉积物化学性质的扰动效应	80
5.2.1	有机质	81
5.2.2	生源要素	83
5.2.3	氧化还原特征	97
5.2.4	污染物	99
5.3	底栖动物对沉积物生物性质的扰动效应	110
5.3.1	土壤呼吸	110
5.3.2	土壤酶活性	112
5.3.3	土壤微生物	114
5.3.4	土壤动物	119
第六章	底栖动物对上覆水的生物扰动效应	123
6.1	底栖动物对上覆水氮素浓度的扰动效应	123
6.1.1	泥鳅扰动	123
6.1.2	水丝蚓扰动	126
6.1.3	河蚬扰动	128
6.2	底栖动物对上覆水磷素浓度的扰动效应	129
6.2.1	总磷	129
6.2.2	溶解性磷	129
6.2.3	颗粒磷	130
6.2.4	DTP/TP、PP/TP、DIP/DTP 和 DOP/DTP	130
6.3	底栖动物对上覆水 pH 的扰动效应	131
6.4	底栖动物对上覆水浊度的扰动效应	132
6.5	底栖动物对上覆水重金属浓度的扰动效应	133
6.5.1	长春南湖	133
6.5.2	新开河	136
6.5.3	伊通河	137
第七章	底栖动物对沉积物-水界面耦合的生物扰动效应	138
7.1	底栖动物对间隙水的扰动作用	138
7.1.1	氮	139
7.1.2	磷	140

7.1.3 铁	141
7.2 底栖动物对沉积物-水界面营养盐交换的扰动作用	142
7.2.1 沉积物-水界面营养盐通量的测定方法	142
7.2.2 底栖动物对沉积物-水界面氮素交换的扰动作用	143
7.2.3 底栖动物对沉积物-水界面磷素交换的扰动作用	145
第八章 生物扰动在水田生态系统中的应用	148
8.1 水田生态系统的服务功能	148
8.1.1 物质生产	148
8.1.2 调节区域气候	148
8.1.3 蓄水调洪	148
8.1.4 净化环境	149
8.1.5 保持大气平衡	149
8.1.6 维持生物多样性	149
8.1.7 贮存营养物质	149
8.1.8 社会功能	149
8.2 水田立体开发研究动态	150
8.3 水田立体开发的生物学和生态学机制	152
8.3.1 物种互利共生	152
8.3.2 实现多级利用	152
8.3.3 循环再生	153
8.3.4 增加多样性和稳定性	153
8.3.5 优化环境条件	153
8.3.6 提高资源和能量利用率	154
8.3.7 化害为利	154
第九章 底栖动物研究展望	156
9.1 底栖动物的生物扰动效应研究	156
9.2 底栖动物的生态服务功能研究	156
9.3 底栖动物的功能群研究	157
9.4 底栖动物的环境指示作用研究	158
9.5 底栖动物修复受损水体的研究	159
9.6 极端环境中的底栖动物研究	162
9.6.1 热泉	162
9.6.2 深海	162
9.6.3 极地	165

9.6.4 洞穴	165
9.7 底栖动物的仿生学研究	166
9.8 底栖动物的开发利用研究	168
主要参考文献	169
主题词索引	206

第一章 绪 论

1.1 底栖动物的定义

底栖动物 (zoobenthos; benthic animal) 是指生活史的全部或部分时间生活于水体底部的水生动物群。底栖动物是一个庞杂的生态类群, 涉及原生动物 (Protozoa)、海绵动物 (Spongia)、腔肠动物 (Coelenterata)、扁形动物 (Platyhelminthes)、纽形动物 (Nemertinea)、颚口动物 (Gnathostomulida)、线形动物 (Nemathelminthes)、轮形动物 (Rotatoria)、腹毛动物 (Gastrotricha)、环节动物 (Annelida)、动吻动物 (Kinorhyncha)、须腕动物 (Pogonophora)、软体动物 (Mollusca)、节肢动物 (Arthropoda)、缓步动物 (Tardigrada)、苔藓动物 (Bryozoa)、腕足动物 (Brachiopoda)、帚虫动物 (Phoronida)、棘皮动物 (Echinodermata)、半索动物 (Hemichordata)、脊索动物 (Chordata) 等绝大多数的动物门类, 其个体大小、起源、隶属关系、生境、摄食方式、生活史、生活方式、耐污能力、营养类型、繁殖方式、对氧气的喜好等各有不同。在分类地位越低等的门中, 底栖动物类群越多, 体现了生物起源于海洋、由水生到陆生的进化趋势。底栖动物营水体底层生活, 是不同生物的空间生态位 (spatial niche) 分异的一种表现。不同垂直层次的食物种类不同, 也造成了营养生态位 (trophic niche) 分异。这种生态位分异 (ecological niche differentiation) 是生物长期演化的结果, 对空间、时间、资源等环境因子的趋异利用使得不同物种可以共存于同一水域, 有利于提高生境空间利用效率、减小种间竞争强度。

底栖动物是水域中的重要生态类群, 是水生生物群落中举足轻重的组成部分, 从各种类型的淡水水域到海洋 (自沿岸带到万米洋底深处) 均有生存。由于底栖动物的分类、构造和生态复杂多样, 在水域生态系统中具有不可替代的地位和作用, 且与人类生活的关系密切, 因此, 随着人类加大对水域的利用、进一步走向海洋及研究手段的更新, 水域生态学的研究进展愈加迅速, 底栖动物的理论、应用与开发研究越来越受到各国的重视。

1.2 底栖动物研究进展

1.2.1 国际底栖动物研究进展

底栖动物的研究首先起源于海洋。公元前 4 世纪, 古希腊亚里士多德 (Aristotle)

在《动物志》(*Historia Animalium*)中记述了170多种海洋生物,按现代生物学分类隶属于海绵动物、腔肠动物、蠕虫、软体动物、节肢动物、棘皮动物、原索动物、鱼类、爬行类、海鸟、海洋哺乳动物等10多个主要动物类群,包括110多种。公元初古罗马普利尼乌斯(Plinius)的《自然历史志》(*Natural History*)中,记录了170多种海洋生物(陶磊,2010)。

18世纪,欧洲科学家对海岸带的底栖动物进行了观察和研究。19世纪,随着自然科学和航运事业的发展,海洋生物学进入到科学的研究阶段,西欧各国也都陆续开展了多次大规模的海洋生物调查(陶磊,2010)。1831~1836年,英国人达尔文(Darwin)在“贝格尔”(Beagle)号航海中采集了蔓足类和珊瑚类,进行了出色研究。19世纪中期,英国海洋生物学家福布斯(Forbes)在爱琴海用底拖网采集并观察海洋底栖动物,发现底栖动物的种类组成随水深而变化,提出了海洋生物的垂直分带现象,包括潮间带(littoral zone)、昆布带(laminarian zone)、珊瑚带(coralline zone)和深海珊瑚带(deep sea coral zone);后来,他根据底栖动物的种类组成和地理分布特点,将欧洲海域划分为若干个动物地理省(animal geographic province),出版了《英国海洋动物调查》(*Investigation of British Marine Zoology*, 1850年)和《欧洲海的自然史》(*The Natural History of the European Seas*, 1859年),被誉为海洋生态学的奠基人(蔡立哲,2006)。19世纪下半叶开始,各国竞相派出海洋考察船,设立滨海生物研究机构,海洋生物的研究工作日益兴盛。1860年,弗莱明(Fleming)在曾铺设于地中海2160m深处的海底电缆上发现了水螅纲(Hydrozoa)、腹足纲(Gastropoda)、双壳纲(Bivalvia)、八放珊瑚亚纲(Octocorallia)的某些动物和一些蠕虫(helminth),引起了学术界极大的兴趣与关注,促进了海洋底栖动物的调查研究。1872~1876年,由英国皇家学会组织、汤姆逊(Thomson)领导的“挑战者”(Challenger)号环球海洋调查被认为是海洋科学研究的一座重要里程碑,标志着始于中世纪海洋探险时代的结束以及海洋调查时代的开始。历时3年半之久的航行遍布世界三大洋,调查项目主要包括水温、密度、海洋地质、海洋动植物以及海水化学等方面,发现了大量海底动物。经过20多年的整理,汇聚成50多卷巨型海洋调查报告,记载的生物新种达4400多个,使当时已知的海洋生物种数增加数倍,其中对海洋生物的形态描述、分类鉴定以及对相关环境因素的记载被誉为海洋调查的经典工作(陶磊,2010)。1872年成立、1874年正式开放的意大利那不勒斯海洋研究所(Naples Marine Institute),是最早的海洋生物研究机构。1888年,英国海洋生物学会成立了普利茅斯海洋实验室(Plymouth Marine Laboratory)。1888年,美国在大西洋沿岸成立了伍兹霍尔海洋生物学实验室(Woods Hole Marine Biological Laboratory)。1891年,美国在太平洋沿岸成立了斯克里普斯海洋研究所(Scripps Institution of Oceanography)。它们至今仍是世界上最活跃的海洋生物研究中心,特别是伍兹霍尔海洋生物学实验室的工作,对海洋生物学的发展起了重要

的推动作用。1891年,德国人赫克尔(Haeckel)提出了游泳动物(nekton)和底栖生物(benthos)两个概念。

20世纪初,底栖生物的研究主要包括群落结构组成、群落演替、能量传递等基础内容。现代底栖生物生态研究奠基人之一、丹麦人彼得森(Pettersson)于1908~1913年对北欧海域的底栖动物进行了定量研究,划分了生物群落,估算了该海域的生物量,并首先使用了彼得森采泥器(蔡立哲,2006)。此后,各国海洋生态学家陆续使用了各种类型的采泥器,对不同硬底(岩底)和软底(泥底、沙底)的底栖动物群落作了大量的调查研究,积累了丰富的世界海洋底栖动物分布资料。瑞典人埃克曼(Ekman)的《海洋动物地理学》(*Zoogeography of the Sea*, 1935年、1953年)、美国人赫奇佩斯(Hedgpeth)主编的《海洋生态学和古生态学论文集》(*Treatise on Marine Ecology and Paleocology*, 1957年)和穆尔(Moore)的《海洋生态学》(*Marine Ecology*, 1958年)等,都促进了海洋生物学的发展。经过20世纪50年代以前半个多世纪调查成果的积累,绘出了广大海域及重要经济区的底栖生物生物量分布图(陶磊,2010)。底栖动物研究逐渐进入定量分析、生物多样性与稳定性分析阶段,并通过对底栖动物群落结构进行长期的生态调查以进行相关的环境监测(陶磊,2010),主要包括两种方法:一种是对长期的文献数据进行比较研究(Whittaker *et al.*, 1967),另一种则是利用长期的实测数据进行综合分析研究(Sardá *et al.*, 1996)。

20世纪60年代以前,底栖动物的研究对象主要是体径超过1mm或体重超过1g的大型种类。20世纪60年代以来,对沿岸和沉积物颗粒间生存的、体径为0.4~1.0mm的小型底栖动物(也称沙间动物、间隙动物)和体径小于0.4mm的微型底栖动物的调查研究受到较大重视,包括底栖的原生动物、线虫类、甲壳动物、腹毛动物、动吻动物、缓步动物、顎口动物和一些小型多毛类、纽虫类、腹足类、腕足类、棘皮动物等,它们的数量远远超过大型底栖动物,个体虽小,但其生物量却与大型底栖动物相当;它们的世代寿命较短,生产力与生物量的比率(P/B值)显著高于大型底栖动物。它们在一定水域是大型底栖动物的主要食物来源,在水生食物链中占有相当重要的地位。

20世纪60年代初期,人们普遍使用底栖动物区系,即种类的存在与否、常见种的丰度和生物量作为主要依据来评价海洋生态环境的状况。20世纪60年代以来,由于电子计算机、信息论、控制论和微量化学元素测定等自然科学新成就、新技术的应用,海洋生物学的研究发展到新的阶段,呈现出新的特点:①上升到生态系统水平的综合研究,如对珊瑚礁生态系统、上升流生态系统的研究;②大力开展海洋实验生物学研究,并与生产实践密切联系,进行水产增殖探索,“海洋水产生产农牧化”成为了重要的发展方向;③开始研究深海和远洋生物的生命活动、代谢和演变规律,如美国等国家的学者在深海海底发现了由独特的化能自养细菌和动物等组成的、与淡水和绝大部分海域迥然不同的海底热泉生物群落,为海洋底栖生物研究提出了新课题;④海洋生物资源开

发的研究兴起,自20世纪50年代后期在柳珊瑚目(Gorgonacea)体内发现了有价值的药用成分后,沿海各国纷纷从海洋生物中寻找药物,目前已知超过1000多种(陶磊,2010)。

从20世纪70年代起,较为广泛地利用现代化仪器、数学手段研究底栖动物群落中各营养级之间的能量传递和物质释放,进而研究该水域的整个生态系统;并开始计算、预测底栖动物群落结构、主要成员特别是经济物种资源数量在环境参数改变后的变化趋势,以及它们与各环境因子之间的动态关系。20世纪70年代中期,随着科技的进步,对底栖动物的研究也取得了重大的突破,底栖动物作为一个重要的变量进入了水生生态系统模型,数理统计方法开始成为群落生态学研究的一项基本方法,包括测定群落物种多样性指标的几个重要指数,如Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数、Margalef丰富度指数、Pielou均匀度指数等(陶磊,2010)。20世纪80年代以后,底栖动物群落研究经常采用绘图-分布的方法,如ABC方法(丰度/生物量比较)和BBS方法(生物量粒径谱),这些方法介于非变量和多变量技术之间。ABC方法基于丰度和生物量分布对不同环境条件参数的响应,可应用于任何样本内种群丰度和生物量分布的比较(陶磊,2010)。Warwick(1986)首先将ABC方法应用于软相大型底栖动物群落,之后该方法被成功地应用于其他多种海洋环境中(Stenton-dozey *et al.*, 1999; Smith and Simpson, 1998; Warwick and Clarke, 1994; Dauer *et al.*, 1993; Craeymeersch, 1991)。国外许多学者在河流和湖泊中广泛开展了底栖动物次级生产力的研究(Casagrande and Boudouresque, 2005; Ramón, 2003; Raburu *et al.*, 2002)。

底栖动物很早就被国外学者用于水环境质量的监测和评价,取得了一系列具有借鉴意义的成果。德国学者Kolkwitz和Marsson(1902)首次把寡毛纲的颤蚓属(*Tubifex*)作为指示生物,评价淡水水域的有机污染。1916年,德国学者Wilhelmi首先提出用小头虫属(*Capitella*)指示海洋污染,开辟了利用生物评估海洋污染的研究领域(李新正等,2010; Warwick, 1986)。1931年,美国学者Farrell指出大型底栖无脊椎动物能指示环境条件的变化(段学花等,2010)。由于贻贝具有分布广、数量大、易采集等优点,而被许多国际组织用于监测海洋水体中的石油烃、氯代烃、重金属等污染物。但随着世界范围内潜在污染物种类的增多以及数量的上升,单个物种分析已经难以满足污染监测要求,许多学者纷纷提出用群落结构、酶学、血液学、微核技术、生态遥感技术等监测环境状况。20世纪70年代以来,水污染生物监测的研究领域更加活跃,提出了多个与底栖动物相关的环境污染评价指数,主要应用于生物监测中的数据处理,如快速生物评价方法(rapid biological assessment protocols, RBAP)、生物沉积物指数(organism-sediment index, OSI)、底栖生物完整性指数(benthic index of biological integrity, B-IBI)、底栖生物质量指数(benthic quality index, BQI)、生物学污