

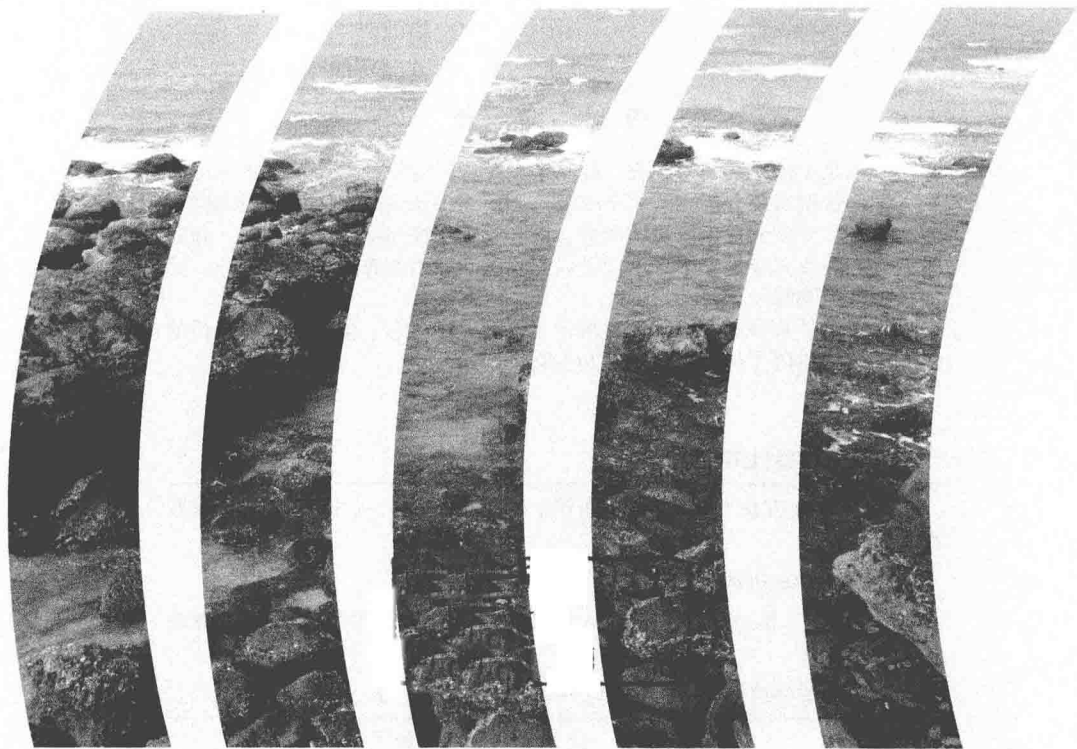
The Investigation Method and Practice
of Intertidal Zone

潮间带调查方法与实践

刘东艳 韩秋影 主编

 科学出版社

资助项目 科技部科技基础性工作专项“我国典型潮间带沉积物本底及
质量调查与图集编研”（2014FY210600）



The Investigation Method and Practice
of Intertidal Zone

潮间带调查方法与实践

刘东艳 韩秋影 主编

 科学出版社

内 容 简 介

本书是中国在潮间带调查、样品采集及分析方面的专著,书中详细介绍了潮间带调查及分析方法。全书共8章,分别介绍了潮间带基本情况、生物调查、水质调查、沉积物调查、重金属和有机污染物分析方法、潮间带调查工具及安全等。本书不仅可以为我国潮间带调查提供理论指导,同时可以推进潮间带学科的发展。

本书可供从事潮间带研究与教学工作的地理科学、生态学、海洋科学等相关学科科研人员及高等院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

潮间带调查方法与实践 / 刘东艳, 韩秋影主编. —北京: 科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-048982-1

I. ①潮… II. ①刘…②韩… III. ①潮间带-海洋调查-调查方法
IV. ①P737-31

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第141075号

责任编辑: 林 剑 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 耕者工作室

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2016年8月第一次印刷 印张: 11 1/2

字数: 230 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

编委会名单

主编：刘东艳 韩秋影

编委：（按汉语拼音顺序排列）

陈令新 陈振楼 丰爱平 高茂生

侯国华 鹿文慧 孙西艳 王东启

夏 鹏 张 璐

前 言

在地球系统中，海岸带是陆地—海洋—大气强烈交互作用的地带。陆地系统大量的地表物质以径流方式，通过海岸线向海洋输送；同时，海洋的波浪与潮汐作用在海岸带形成强大的动力系统，使其成为物质循环与能量流动的重要交汇带。我国海岸线长约 18 000 km，跨越三个气候带，拥有丰富的生态资源（珊瑚礁、红树林、海草床、滨海湿地等）、大量的海洋空间与能源资源（潮汐能、波浪能、港口、油气和砂矿等），提供着包括海水资源、渔业资源、生物栖息地、岸线保护、运输、旅游休闲等生态系统服务功能，具有十分重要的自然和社会经济属性。

然而，随着中国经济的快速发展，沿海人口不断积聚、城市面积大幅扩张。仅占全国陆地国土面积 14% 的海岸带，集中了全国 50% 以上的大城市、40% 的中小城市、50% 左右的人口，创造了约 60% 的国内生产总值，成为带动我国经济社会发展的重要地带（国家海洋公报，2013）。为解决经济发展、人地矛盾突出等问题，我国已成为世界上每年围填海最多的国家，岸线人工化趋势十分惊人。据不完全统计，截至 2009 年，中国已在 18 000 km 的海岸线上建设了 13 800 km 的海堤，构成了世界上仅次于荷兰的最完善的海堤防御体系，海岸带的湿地面积因此减少了 21 900 km²，相当于 50% 的海岸带总面积（朱高儒和许学工，2011）。高强度的人类活动改变了海岸带的水文、生物地球化学和生态过程，导致生物栖息地大量丧失、水质恶化、生物多样性锐减、次生灾害增多等严峻的环境与生态问题，给国家造成巨大经济损失，对资源的可持续性利用造成深远影响。因此，当前迫切需要理解我国海岸带生态系统的脆弱性，保障海岸带生态系统的健康发展，增强海岸带生态系统对经济社会发展的长久支撑能力。

潮间带是海岸带上最典型的区域，通常指海水涨潮所达到的最高线到退潮所达到的最低线之间的区域，广义潮间带还包括浪花水雾所及的潮上

带及喜光藻类能生长的潮下带。目前,我国沿海的人类活动主要集中在潮间带区域,如大面积水产养殖、高强度围填海活动、港口和码头建设等。我国潮间带的调查研究活动,大体分为三大阶段。第一阶段为20世纪50~60年代,国家实施了全国海洋综合普查,侧重于生物资源、滨海砂矿、水资源、油气资源等方面的调查研究。第二阶段为80~90年代,开展了全国海岸带和海涂资源综合调查,整理出《调查资料汇编》130卷、《综合调查报告》10卷、各省专业调查报告130卷。基本摸清了北起鸭绿江口,南至北仑河口的海岸带自然环境、资源状况及社会经济状况。第三个阶段从2000年至今,先后启动了“我国重点海岸带滨海环境地质调查”与“我国近海海洋综合调查与评价专项”(908专项)等重大科研项目,系统开展了重点海岸带地区的环境地质调查和评价,包括海水入侵、海岸带侵蚀、风暴潮等专题灾害调查。以上三个阶段,体现了从自然资源调查到环境地质灾害调查的发展过程,为了解我国海洋灾害防治、海水资源利用、可再生能源和沿海社会经济等分布状况、合理开发利用海洋资源、推动沿海经济可持续发展提供了重要基础数据。

20世纪以来,随着石油、化工、医药和农药等产业的迅猛发展,重金属(铅、铬、镉、汞、砷等)与有机污染物(多环芳烃、有机氯农药、多溴联苯醚等)的种类和数量空前增长,通过陆源输入途径进入潮间带,并在生物体与沉积物中富集,极难通过降解消除。它们不但能够通过食物链传递,对潮间带和近海生态环境造成严重毒害,甚至可能通过洋流和大气进行长距离迁移,进而污染更加广阔的地区。目前,发达国家的海岸带环境状况调查,包括对潮间带沉积物多种重金属与有机污染物的浓度和毒性分析;我国海洋环境公报近年来也开始陆续发布主要沿海地区水体与沉积物中重金属与有机污染物的污染水平,但还缺乏潮间带的环境信息。因此,深入开展潮间带环境与生态调查,重视重金属与有机污染物环境数据长期积累十分重要且符合社会生态文明的发展需求。

借助于科技部基础性工作专项“我国典型潮间带沉积物本底及质量调查与图集编研”项目的支持,集合中国科学院烟台海岸带研究所、华东师范大学、国家海洋局第一海洋研究所及国土资源部青岛海洋地质研究所相关专家,共同编著了这本潮间带调查方法综合性介绍的工具书,供科研工

作者与学生参考。

参与本书写作的作者有：前言及第1章，刘东艳（中国科学院烟台海岸带研究所）；第2章，韩秋影（中国科学院烟台海岸带研究所）、刘东艳（中国科学院烟台海岸带研究所）；第3章，陈振楼（华东师范大学）、王东启（华东师范大学）；第4章，高茂生（国土资源部青岛海洋地质研究所）、侯国华（国土资源部青岛海洋地质研究所）；第5章，丰爱平（国家海洋局第一海洋研究所）、夏鹏（国家海洋局第一海洋研究所）；第6章，陈令新（中国科学院烟台海岸带研究所）、鹿文慧（中国科学院烟台海岸带研究所）；第7章，孙西艳（中国科学院烟台海岸带研究所）；第8章，张璐（中国科学院烟台海岸带研究所）。

受编著者能力及学术水平所限，本书的疏漏与不足之处在所难免，对已有文献的介绍也不够全面，恳请广大读者批评指正。

编 者

2016年3月

目 录

1	潮间带基本情况	1
1.1	潮间带定义与类型	1
1.2	潮间带生物的分布特征	3
1.3	潮间带的重要生物群落	5
	主要参考文献	11
2	潮间带生物调查	14
2.1	调查设计	14
2.2	采样方法	20
2.3	样品储存	22
2.4	样品室内分析	24
	主要参考文献	29
3	潮间带水质调查分析	31
3.1	调查要素	31
3.2	现场采样方法	33
3.3	样品的存放	34
3.4	室内分析	35
	主要参考文献	55
4	潮间带沉积物调查方法	56
4.1	调查目的及意义	56
4.2	沉积物采集	57
4.3	沉积物分析	65
	主要参考文献	74
5	潮间带沉积物污染重金属分析方法	75
5.1	重金属样品的采集与保存	75

5.2	重金属分析样品的制备	77
5.3	重金属样品的检测方法	77
5.4	小结	92
	主要参考文献	93
6	潮间带沉积物有机污染物分析方法	94
6.1	潮间带沉积物有机污染物	94
6.2	沉积物样品前处理技术	109
6.3	沉积物样品检测方法	126
	主要参考文献	130
7	潮间带调查工具	141
7.1	潮间带常用调查工具介绍	141
7.2	潮间带采样辅助工具	147
	主要参考文献	152
8	潮间带野外调查安全	154
8.1	潮间带采样安全	154
8.2	海上采样安全	157
	主要参考文献	163
	附表	165

1 潮间带基本情况

1.1 潮间带定义与类型

潮间带 (intertidal zone 或 littoral zone) 是海洋与陆地之间的过渡带, 在海洋环境中具有独特的生态特征 (李太武, 2013), 作为浅海区的一部分 (冯士筭等, 1999), 通常是指从海水涨潮所达到的最高线, 到退潮时所及的最低线之间的区域, 广义潮间带还包括浪花水雾所及的潮上带及喜光藻类能生长的潮下带 (图 1.1)。

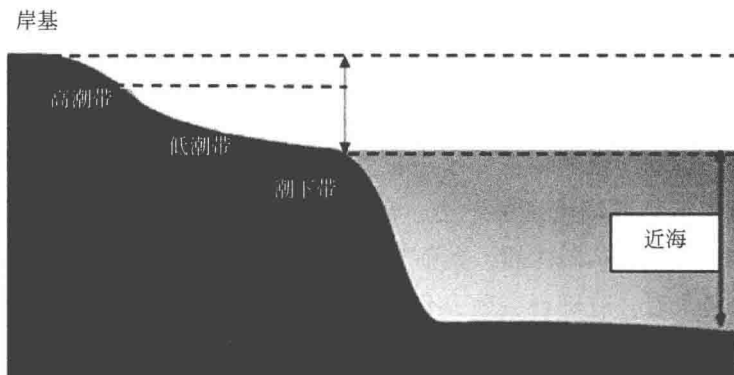


图 1.1 潮间带示意图 (Dudley et al., 2012)

根据潮水水位参数《海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007), 可以将潮间带划分为以下三类。

(1) 半日潮类型

高潮区 (带): 最高高潮线至小潮高潮线之间的地带;

中潮区 (带): 小潮高潮线至小潮低潮线之间的地带;

低潮区 (带): 小潮低潮线至最低低潮线之间的地带。

(2) 日潮类型

高潮区(带): 回归潮高潮线至分点潮高潮线之间的地带;

中潮区(带): 分点潮高潮线至分点潮低潮线之间的地带;

低潮区(带): 分点潮低潮线至回归潮低潮线之间的地带。

(3) 混合潮类型

高潮区(带): 最高高潮线至低高潮线之间的地带;

中潮区(带): 低高潮线至高低潮线之间的地带;

低潮区(带): 高低潮线至低潮线之间的地带。

根据潮间带的生境特点,可将其分为基岩性潮间带、沙滩、河口潮间带等类型。在各种类型中,潮间带生态分化最完备的是基岩海岸,这些地区多岩石,没有海浪直接作用引起的泥沙堆积,这里的动物为适应环境,抵抗海浪冲击,多呈现出坚硬的外骨骼和矮圆的体形。相较而言,沙滩潮间带的沉积物不巩固,通常由不规则的石英颗粒、贝壳类(如牡蛎)的碎壳组成,沙粒里还含有来源于陆地或海洋的各种碎屑。沙滩沉积物的粒度主要取决于波浪作用的程度,在波浪和海流的作用下,不同粒径的颗粒缓缓地向外海运动,粗颗粒在海水中首先下沉,较细的颗粒则处于悬浮状态并被继续搬运到离岸较远的地方。因此,在水平方向上形成近岸沙粒粗、远岸细的分布特征;同样的,在垂直方向上形成底部粗、上部细的沉积层;从大的分类来看,有砾石→砂→粉砂→黏土几个等级,并且它们还可以细分。沙滩沉积物的通气性较泥滩的好,但由于微生物呼吸作用以及化学物质氧化耗氧,其含氧量也随深度增加而减少,最终出现还原层,还原层的深度取决于有机质的含量。

河口,简单地说是地球上海水和淡水之间的交汇处。河口常与泥沼、潟湖等术语混乱使用,滨海湿地也许是一个比较合适的概括性术语。河口环境条件通常复杂多样,盐度与温度变化幅度大,具有沉积速率高,软质底泥的地理特征。河口区通常生长着两大类植物群落,温带区域的盐沼草群落与热带、亚热带的红树林群落。根据河口的水循环和盐度梯度,可分为三大类型。

1) 高度分层的河口湾：在大江的入口处，河水流动大大超过潮汐而起主要作用，淡水容易充溢在较重的盐水上面。这种分层或两层现象使河口湾呈现明显的盐度剖面。

2) 局部混合或适度分层的河口湾：淡水和潮汐的流入量大致相等，这类河口湾的盐度剖面不明显。

3) 完全混合或垂直均质的河口湾：当潮汐作用强烈而明显占有优势，水由表层到底层充分混合而盐度相当高，盐度和温度的变化主要体现为水平梯度。

1.2 潮间带生物的分布特征

潮间带作为海陆过渡地带，是海洋生态系统中生产力较高的区域（黄雅琴等，2010），同时也是最为敏感的区域之一（王宝强等，2011）。潮间带的环境复杂多变，由于交替地暴露于空气和淹没于水中，光照、温度与盐度的变化（包括日变化和季节变化）剧烈。同时，受波浪、潮汐、河流的冲刷作用，其底质的沉积物也会发生变化。复杂的生境使生活在潮间带的生物种类能耐受恶劣环境条件的考验，它们不仅对温度、盐度、光照的变化有较大的适应性，而且对于干燥有很大的耐受力，这是潮间带生物的主要特征，也是生物垂直分带形成的主要原因。

由于生物群落受到纬度高低、地质类型、外海、内湾、盐度梯度、向浪、背阴、向阳等复杂环境因素的影响，因此，很难提供一个统一模式。一般而言，在岩石岸基大体分为滨螺带、藤壶-牡蛎带与海藻带（图 1.2）。大型海藻是沿岸区的重要种类，包括绿藻类、褐藻类和红藻类等。在北温带和温带潮下带的硬质底部，常生长着繁盛的褐藻类大型海藻（称大型海藻场），如加利福尼亚沿岸巨藻床；而在热带或亚热带区域，则有珊瑚礁群落的出现。岩岸潮上带常可见到海藻与真菌结合的呈藻壳状的黑色地衣和蓝绿藻。

从外观上看，沙滩似乎是缺乏生物栖息的环境，这是因为生活在这里的很多生物个体很小，隐蔽在沙粒里，即使大型的生物种类，也多为穴居生活，不易被肉眼直接观察到。实际上，沙质海底也可分出潮上带、潮间带和潮下带，且各垂直带上都有优势种类（图 1.3）。沙滩的潮上带主要栖

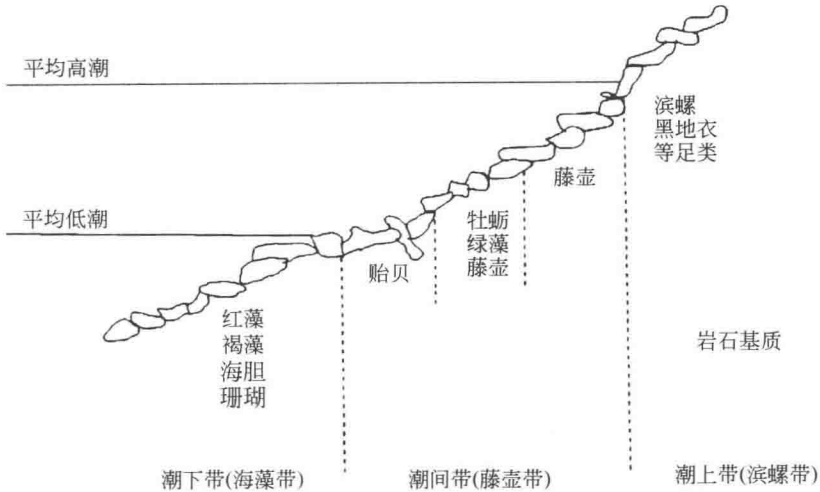


图 1.2 岩石岸基潮间带生物的垂直分布特征 (沈国英和施并章, 2002)

息一些甲壳类动物，在温带多为端足类和等足类，它们白天穴居，夜间在沙滩上摄食海藻碎屑；在沙滩的中、低潮带，软体动物中的蛤类常占优势，通常摄食沉积物中的有机质颗粒与底栖微藻；而在低潮区，还生活着各种类型的棘皮动物，如海参和海胆；甚至还有一些穴居鱼类，如沙鳗鲷。沙滩的主要藻类是生活于沙粒表面层的底栖硅藻、甲藻和蓝绿藻，它们生产力很低，比岩岸或泥滩的初级生产力至少低一个数量级，然而底栖甲藻有时也能够形成相当大的密度，从而使成片的海沙改变颜色。

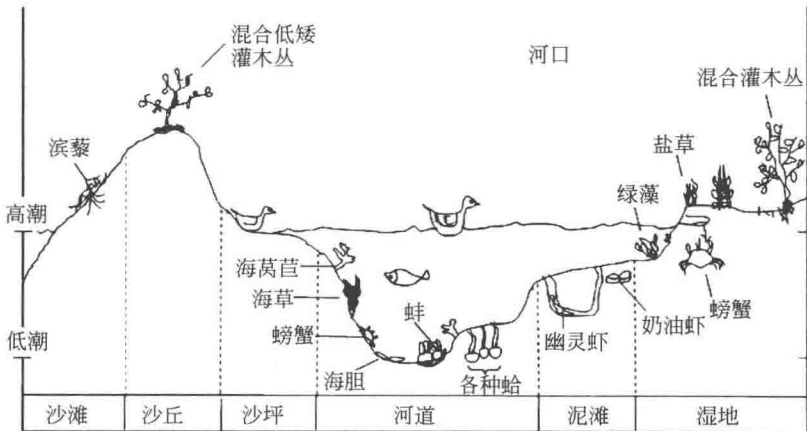


图 1.3 沙滩潮间带生物的垂直分布特征 (沈国英和施并章, 2002)

河口生物群落的特征之一是种类多样性较低，这是因为河口的温度、盐度等环境条件比较严酷，能适应的种类较少。生活在河口区的生物多是广盐性种类，能忍受较大范围的盐度变化（图 1.4）。例如，鲱科鱼类在全世界的河口湾中都有发现，沙蚕、泥蚶、牡蛎、蛤和蟹等主要经济种类都是在河口湾生活的，许多端足类和沙蚕原来就是半咸水种。只有少数游泳生物会终生生活在河口区，如鲱科鱼类，而多数鱼类只是阶段性地生活在河口，将河口区作为索饵育肥的过渡场所，特别是许多海洋经济动物的产卵场和幼年期（幼鱼、幼虾）的索饵育肥场都在河口附近水域，如鳗鲡等降河洄游鱼类和梭鱼、对虾、大黄鱼、小黄鱼等在河口区进行生殖。河口湾有利于各种各样的植物生长，整年内都能进行光合作用，它们包括浮游植物、底栖微藻、海草、盐沼草和海藻等大型水生植物，在热带沿岸，盐沼草则被红树林所取代。

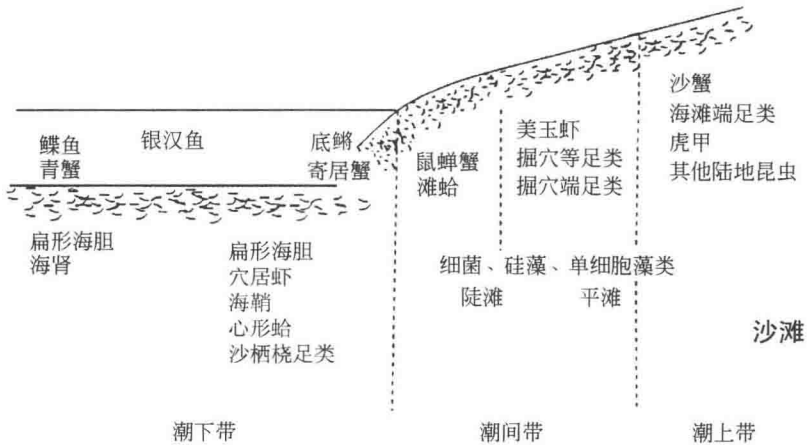


图 1.4 河口潮间带生物的垂直分布特征 (Dudley et al., 2012)

1.3 潮间带的重要生物群落

1.3.1 大型海藻群落

大型海藻是一类能依靠基部固着器固着在水底基质上生活，含有叶绿

素 a, 能进行光合作用的孢子植物, 是海洋植物中的重要组成成分, 约占海洋初级生产力的 10% (Smith, 1981)。其主要包括红藻、绿藻和褐藻三大纲, 广泛地分布于潮上带、潮间带及潮间带以下的透光层, 一般沿潮上带至潮下带依次分布绿藻、褐藻和红藻, 也具有混杂或过渡分布区。

红藻纲有 650 ~ 700 个属和 4000 个以上的种 (曾呈奎, 2008)。除少数单细胞种类外, 绝大多数的红藻都是多细胞的大型藻类, 包括由单列细胞所组成的简单无分枝或具有分枝的丝状体, 由单轴的或多轴的丝状体组成的具有分枝的大型丝状体, 以及具有薄壁组织状结构、皮层及髓层的分化复杂藻体。

褐藻纲约有 250 个属, 1500 个种 (曾呈奎, 2008)。藻体均具有多细胞结构, 包括单列细胞组成的分枝丝状体, 以及类似根、茎和叶分化且内部一般有表皮、皮层和髓部组织分化的高级种类。光合作用产物为褐藻淀粉及甘露醇。无性繁殖产生游孢子和不动孢子, 游动的生殖细胞都具有两条侧生不等长的鞭毛, 有性繁殖的配子有同配、异配和卵配生殖。

绿藻纲已知有 600 多种 (高坤山, 2014)。其光合作用色素为叶绿素 a 和叶绿素 b, 光合作用产物为淀粉 (曾呈奎, 2008)。藻体有游动的单细胞、群体、丝状体等类型, 细胞单核或多核。繁殖方式为营养繁殖、无性生殖和有性生殖。有性生殖为同配、异配及卵式生殖。无性生殖包括动孢子、不动孢子、似亲孢子和厚壁孢子等。营养繁殖包括细胞分裂及营养体的裂断。

我国沿海岸线从南到北, 分布着热带、亚热带、暖温带及少数冷温带和极少数北极的大型海藻, 估计有 1300 余种 (丁兰平等, 2002)。大型海藻作为潮间带生态系统中重要的初级生产者, 不仅可以为多种生物提供栖息地和食物来源, 而且可以利用海水中的营养物质, 对水体的生物地球化学循环起到调节作用。同时, 大型海藻在食品、工业、农业、医药、美容和保健方面也显示出巨大的应用潜力。然而, 水质的恶化可以引起大型海藻群落结构和生态功能的变化, 引起爆发性生长, 形成大型藻华灾害。

1.3.2 盐沼植物

滨海盐沼处于海洋与陆地两大生态系统的过渡地区, 规则或不规则地

被潮汐淹没。盐沼植物广泛地存在于世界各地的中高纬度地区，多为草本或低灌木植被，沿环境梯度表现出十分显著的带状分布特征。如黄河口盐沼湿地中盐地碱蓬占据低潮滩盐沼和陆缘两个带区，高潮滩盐沼以稀疏、生长受抑的柽柳为主，而在高地中的分布以斑块状的芦苇 (*Phragmites australis*)、罗布麻 (*Apocynum venetum*)、白茅 (*Imperata cylindrica*) 等群落为主。

盐沼植被不仅可以为大量河口海岸生物提供栖息地，而且可产生大量有机质，为河口与海岸的消费者提供食物来源 (袁兴中等, 2002)。盐沼的上部是海洋—陆地过渡区，温度和盐度变化很大，永久在这里生活的动物种类很少，主要是一些不时侵入的陆地动物，如浣熊、鼠类和蛇类以及昆虫和鸟类种群；较低潮面生活的动物种类也很少，最常见的大型动物包括筑穴的沉积物摄食者招潮蟹、摄食底栖硅藻的腹足类软体动物 (如织纹螺、滨螺等) 以及能生活于泥内或泥上的双壳类软体动物 (如偏顶蛤)。盐沼植物的叶片和茎部有许多小型生物附着，在沉积表层和内部栖息着各种微型和小型生物。沉积物中的细菌密度可达 10^9 个/mL，成为原生动物和小型生物的重要食物来源 (沈国英等, 2010)。此外，盐沼植物具有抵御风暴潮灾害、净化污染物、固沙促淤等重要的生态功能。

在我国，盐沼植物群落曾达到 $14.2 \times 10^5 \text{ hm}^2$ (Yang and Chen, 1995)，广泛地分布于杭州湾以北的北方沿海地区，包括长江三角洲、黄渤海沿岸 (Yang and Chen, 1995；中国湿地植被编辑委员会, 1999)。近 30 年来，由于围垦、水体污染等因素，盐沼植物群落大面积减少，目前较为完整的盐沼植物群落仅存在长江口、黄河口、双台子河口等地区的自然保护区 (贺强等, 2010)。此外，生物入侵也是我国盐沼群落变化的原因之一。例如，长江河口盐沼曾以芦苇和海三棱藨草 (或藨草, *Scirpus triqueter*) 为主，互花米草 (*Spartina alterniflora*) 的入侵迅速取代土著的芦苇和海三棱藨草，在崇明岛北岸，互花米草几乎完全取代了位于低潮滩盐沼的海三棱藨草和中潮滩盐沼的芦苇，成为盐沼的绝对优势种，芦苇和海三棱藨草仅在少数地区残存 (贺强等, 2010)。互花米草入侵崇明东滩改变了一些鱼类和大型无脊椎动物的食源构成，以藻类为主的食物基础转变为以互花米草碎屑和藻类的混合有机碳为主，影响了昆虫、底栖动物、鸟类和鱼类的多样性及

分布,对潮间带地区的生物多样性产生了显著影响。

1.3.3 海草群落

海草是生长在浅海中的单子叶被子植物,单种或多种海草植物构成海草床。全世界热带和温带海草共有4科12属:大叶藻科(*Zosteraceae*)、海王草科(*Posidoniaceae*)、水鳖科(*Hydrocharitaceae*)和丝粉草科(*Cymodoceae*) (Hogarth, 2007)。全世界海草可分为九大区系,包括北温带大西洋、东温带太平洋、西温带太平洋、南温带大西洋、地中海、加勒比海、印度洋-太平洋、南澳大利亚和新西兰(Hogarth, 2007)。我国现有海草22种,隶属于10属4科,约占全球海草种类的30%,可以划分为南海海草分布区和黄渤海海草分布区(郑凤英等, 2013)。南海海草分布区包括海南、广西、广东、香港、台湾和福建沿海,共有海草9属15种;黄渤海海草分布区包括山东、河北、天津和辽宁沿海,分布有3属9种,以大叶藻(*Zostera marina*)分布最广(郑凤英等, 2013)。

海草床是地球上生产力最高的生态系统之一,可以稳定沉积物,为其他生物提供栖息地和食物来源,在全球碳和氮循环中发挥着重要意义(Hemminga and Duarte, 2000; Orth et al., 2006; Duarte et al., 2010)。生活于海草场的生物种类很多,在其叶片上生活着很多硅藻和绿藻等附生植物以及原生动、线虫、水螅、苔藓虫等,很多鱼类的幼鱼也可暂时停留在海草床中(Hogarth, 2007)。海草需要光照进行光合作用,其生长深度与水体浊度有关。在透明度较好海域,海草最大生长深度可达到90m,地中海沿岸的波喜荡草(*Posidonia oceanica*)生长深度可达到50m;相反,在透明度较差海域,海草生长深度只有1m(Hogarth, 2007)。

近年来,世界范围内海草床衰退严重,尤其是自20世纪90年代以来,全球海草消失率达到每年7%(Orth et al., 2006; Waycott et al., 2009; 范航清等, 2011)。人类活动引起的近岸水体富营养化以及围填海等是造成海草衰退最主要的原因。疏浚和挖沙对海草也会形成影响,包括对海草个体的物理去除和掩埋,以及增加海水的浑浊度和悬浮物的沉降(Cunha et al., 2005; Vonk et al., 2008; Han et al., 2012)。