

海洋生物系列



# 海洋藻类生态学

HAIYANG ZAOLEI SHENGTAIXUE

赵淑江 编著

藻类是一群最简单、最古老的低等的孢子植物，但包含的物种繁多，分布的地域极广，从热带到两极，从淡水水体到海洋，大凡潮湿的地区，都可找到它们的踪迹。



海洋出版社

海洋生物系列

# 海洋藻类生态学

赵淑江 编著

海洋出版社

2014年·北京

**图书在版编目 (CIP) 数据**

海洋藻类生态学/赵淑江编著. —北京: 海洋出版社, 2014. 5

ISBN 978 - 7 - 5027 - 8873 - 5

I. ①海… II. ①赵… III. ①海藻 - 植物生态学 IV. ①Q949. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 101008 号

责任编辑: 方 菁

责任印制: 赵麟芬

**海洋出版社 出版发行**

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 16

字数: 380 千字 定价: 48.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 前 言

原始生命大约诞生于 38 亿年前，至约 34 亿年前进化出了原始的能够进行光合作用的单细胞藻类——蓝藻和绿藻。光合蓝藻和绿藻的出现，在生物进化史上具有特殊的意义，它们能够借助光合作用将原始大气中的二氧化碳固定，并还原成糖类等有机物质，为异养生物的出现提供物质基础。同时，光合蓝藻和绿藻的生命活动改善了海洋环境，氧气的产生促进了单细胞动物的进化。此后伴随着单细胞藻类不断进化，至约 18 亿年前出现了多细胞的大型海洋藻类，大型藻类的生命活动，进一步改善了海洋环境，提供了更多的有机物质，为大型海洋动物的出现提供了更为坚实的物质基础。

根据生态演替理论，演替早期物种的生命活动为后续物种的建立提供了基础。地球环境中海洋藻类出现后，通过其生命活动改变了海洋环境，使环境更适宜于更高级的生命生存，因此海洋藻类的生命活动为海洋环境中更高级的生命形式的进化提供了环境支持和物质基础。可见海洋藻类的存在对于海洋环境的稳定、对于海洋动物的生存具有重要意义。

但从 20 世纪中叶以来，伴随着社会经济的迅速发展，人类活动对海洋环境的影响越来越严重，地球海洋环境日趋恶化，海洋生态系统严重退化，海洋生物灭绝速度加快。对此，海洋科学工作者进行了多方位研究，从环境因子的变化、生物种群的变动规律、捕捞压力和人类其他影响、气候变化等各方面进行了大量研究，取得了诸多研究成果，也采取了许多措施。但严峻的现实仍然摆在人类面前，海洋生物灭绝的速度非但没有减缓，反而有加快的趋势，更有学者已经提出“海洋物种灭绝浪潮”已经到来。这个灭绝的过程尽管没有陆地动物灭绝的那么明显，但据研究，位于食物链顶端的肉食鱼类中 90% 以上已经在海洋中消失。

大型海洋藻类为海洋生物提供了生存的物质基础。它们不仅进行初级生产，为海洋动物提供食物来源；同时，海洋藻类作为海洋特殊生境的构建者和塑造者，也为众多海洋动物提供了栖息空间，为海洋动物摄食、繁殖、孵育、隐藏提供了场所。海洋藻类的生命活动不仅为海域水质的改善和海洋环境质量的提高起到了重要作用，它们代谢活动产生的某些活性物

质也为其他海洋生物的生活起到了重要的调节作用。海洋藻类可以减缓海流流速，消解波能，促进悬浮物沉降，还为海洋生态系统的发育、生态平衡和海洋环境调节起到了重要的基础作用，因此海洋藻类对海洋生态系统具有重要意义。同时，海洋藻类的生命活动通过对物质循环的调节，对整个地球生态系统的稳定也起到了重要作用，可见海洋大型藻类对于海洋生态系统的健康，特别是沿岸浅海海洋生态系统的健康至关重要。而沿岸浅海海洋生态系统又在全球海洋生态系统中具有重要地位。

Mann 教授曾经说过：The role of large marine algae in coastal productivity is far more important than has been suspected (1973)。研究表明，实际上海洋大型藻类的生态作用不仅体现在初级生产方面，它们对于近海沿岸海域的海洋生态系统健康的贡献都远比想象的要多。尽管引起近几十年以来海洋生物灭绝的原因很多（如海洋捕捞），但许多研究证明，海洋环境质量的退化在控制海洋生物丰富度和分布方面起了重要作用。在海洋渔业生物资源管理主要基于单一物种管理模式时期，对于某种生物的灭绝消失可以归于外界捕捞压力等因素，但当将海洋生物资源管理转移到基于海洋生态系统管理的机制上，海洋生物的灭绝与海洋环境质量退化之间的联系就变得清晰起来。可以说，海洋藻类在海洋生态系统中的生态作用没有被充分关注。在此背景下，关注海洋大型藻类生态系统生态学就变得非常有意义。

鉴于单细胞藻类和大型海洋藻类在形态结构、生长和生态特性等各方面的巨大差异，本书在论述一般海洋藻类生物学等方面的知识时将二者一并考虑，但在论述海洋藻类生态学相关理论时只针对大型海洋藻类。

本书由浙江海洋学院教材出版基金资助出版，在此表示感谢！同时，对于吴常文教授在本书编撰过程中给予的建议表示诚挚的谢意，吴教授的建议使该书的结构和内容更加完善。

本书的出版，将为海洋生物专业的研究生和本科学生进一步提高海洋生态学知识提供一本有价值的专业教材，对于海洋科学、海洋技术、海洋环境、海洋管理等相关专业的学生和科研人员也是一本很好的参考书。希望本书的出版，为我国海洋藻类学的发展和海洋环境保护起到推进作用。

由于作者水平所限，书中不足与谬误之处敬请读者批评指正。

作者

2014年3月

## 目 次

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
<b>第一节 海洋藻类概述</b> .....	(1)
一、海洋植物的组成 .....	(1)
二、海洋藻类概述 .....	(1)
三、海洋藻类的开发利用 .....	(5)
四、海洋藻类在海洋环境中的作用 .....	(9)
<b>第二节 海洋藻类的分布</b> .....	(9)
一、海洋藻类的生态分布 .....	(9)
二、海洋藻类的地理分布 .....	(10)
三、海洋藻类的垂直分布 .....	(13)
四、海洋藻类的区系 .....	(14)
<b>第三节 海洋藻类生态学</b> .....	(17)
一、海洋藻类生态学的发展 .....	(17)
二、海洋藻类生态学的研究内容 .....	(20)
<b>第二章 海洋藻类生物学</b> .....	(21)
<b>第一节 海洋藻类的一般特征</b> .....	(21)
一、海洋藻类的形态特征 .....	(21)
二、海洋藻类的结构特征 .....	(24)
三、海洋藻类的色素体和色素 .....	(25)
<b>第二节 海洋藻类的生长与繁殖</b> .....	(27)
一、海洋藻类的生长方式 .....	(27)
二、海洋藻类的繁殖 .....	(28)
<b>第三节 海洋藻类的生活史</b> .....	(32)
一、单世代型生活史 .....	(33)
二、二世代型生活史 .....	(34)
三、三世代型生活史 .....	(35)
<b>第四节 海洋大型藻类主要类别</b> .....	(36)
一、海洋藻类的分类 .....	(36)
二、海洋大型藻类的主要类别 .....	(37)

<b>第三章 海洋藻类与海洋环境中的生态因子</b> .....	(69)
<b>第一节 太阳辐射</b> .....	(69)
一、海洋光学基础 .....	(70)
二、太阳辐射在大气中的传播 .....	(71)
三、太阳辐射在海面上的水平分布 .....	(72)
四、太阳辐射在海-气界面的反射与吸收 .....	(72)
五、太阳辐射在海水中的传播与衰减过程 .....	(73)
六、太阳辐射对海洋水体结构和物质循环的影响 .....	(76)
七、太阳辐射对海洋大型藻类的影响 .....	(77)
<b>第二节 海水温度</b> .....	(79)
一、海水温度与海水热量的收支 .....	(79)
二、海水温度的变化 .....	(80)
三、海水温度对大型海洋藻类的影响 .....	(81)
<b>第三节 海水盐度</b> .....	(83)
一、海水的盐度 .....	(83)
二、海水盐度的变化 .....	(83)
三、海水盐度对大型海洋藻类的影响 .....	(84)
<b>第四节 海水中的营养盐</b> .....	(85)
一、海水的化学组成 .....	(85)
二、海水中的营养元素 .....	(86)
三、海洋藻类对营养盐的吸收与营养盐限制 .....	(91)
<b>第五节 海水中的溶解气体与二氧化碳体系</b> .....	(93)
一、海水中的溶解气体 .....	(93)
二、海-气界面的气体交换 .....	(93)
三、海水中的二氧化碳体系 .....	(94)
四、海水中的二氧化碳体系与海水的 pH 值 .....	(94)
五、海水中的二氧化碳体系与海水的缓冲容量 .....	(95)
六、海水中的二氧化碳体系与温室效应 .....	(95)
七、海洋酸化对海洋藻类的影响 .....	(96)
<b>第六节 潮汐、海流与波浪</b> .....	(97)
一、潮汐 .....	(97)
二、海流 .....	(100)
三、波浪 .....	(104)
<b>第七节 海洋底质</b> .....	(109)

一、浅海海底的地貌特征 .....	(109)
二、浅海海域的沉积物及其迁移 .....	(109)
三、海洋藻类对底质质地的特殊需求 .....	(110)
四、海洋底质结构和质地变化对海洋藻类的影响 .....	(111)
<b>第四章 海洋藻类的生长与初级生产力 .....</b>	<b>(112)</b>
第一节 海洋藻类的生长策略 .....	(112)
一、海洋藻类的生态适应性 .....	(112)
二、海洋藻类的生长策略 .....	(114)
三、海洋藻类群落发展 .....	(115)
第二节 海洋藻类的初级生产 .....	(116)
一、海洋藻类的初级生产 .....	(116)
二、大型海洋藻类生长的生理基础——光合作用 .....	(116)
三、大型海洋藻类初级生产力 .....	(117)
四、大型海洋藻类初级生产力的去向 .....	(119)
五、大型海洋藻类初级生产力的测定 .....	(119)
<b>第五章 海洋藻类与其他海洋生物的关系 .....</b>	<b>(120)</b>
第一节 共生共栖 .....	(120)
一、大型底栖藻类之间的共栖 .....	(120)
二、大型底栖藻类与附生生物共栖 .....	(121)
三、大型底栖藻类与动物共栖 .....	(122)
第二节 营养联系 .....	(123)
一、牧食食物链 .....	(123)
二、碎屑食物链 .....	(124)
三、可溶性有机物质被微生物利用 .....	(125)
第三节 种间竞争 .....	(126)
一、大型海洋藻类之间的竞争 .....	(126)
二、大型藻类与浮游植物之间的竞争 .....	(126)
三、大型藻类与海草的竞争 .....	(127)
四、大型藻类与固着(附着)动物的竞争 .....	(127)
<b>第六章 海洋藻类化学生态 .....</b>	<b>(129)</b>
第一节 海洋藻类的次级代谢产物 .....	(129)
一、次级代谢产物的概念 .....	(129)



二、次级代谢产物的类别 .....	(130)
三、海洋藻类的次级代谢产物 .....	(133)
第二节 温带海域大型藻类化学防御与群落结构形成 .....	(138)
一、温带大型藻类生物群落内部生物之间的相互作用 .....	(138)
二、温带海域大型藻类的防御策略 .....	(139)
三、藻食性防御的结果 .....	(141)
四、空间竞争和抗附着作用中的化感作用 .....	(142)
第三节 热带海域大型藻类化学防御与群落结构形成 .....	(145)
一、热带海域海洋群落结构特点 .....	(145)
二、热带海域大型藻类天然产物 .....	(146)
三、热带海域大型藻类化学防御 .....	(147)
四、热带海域大型藻类化学防御与群落结构形成 .....	(147)
第四节 大型藻类次生代谢产物对致病菌和污损生物的防御 .....	(151)
一、大型藻类对污附生物定居附着过程中的防御 .....	(152)
二、大型藻类对污附生物的定向防御 .....	(154)
<b>第七章 海藻场生态</b> .....	(158)
第一节 海藻场的地理分布 .....	(158)
一、海藻场 .....	(158)
二、海藻场形成的海域条件 .....	(158)
三、海藻场藻类的生长特点 .....	(159)
四、海藻场的地理分布 .....	(159)
第二节 海藻场生物群落组成及其生态意义 .....	(160)
一、海藻场群落的物种组成 .....	(160)
二、海藻场群落特点 .....	(161)
三、海藻场的生态意义 .....	(164)
<b>第八章 大型海洋藻类的生态系统服务功能</b> .....	(166)
第一节 海洋生态系统服务功能及其形成 .....	(166)
一、供给服务 .....	(167)
二、调节服务 .....	(168)
三、支持服务 .....	(168)
四、文化服务 .....	(169)
第二节 大型海洋藻类的生态系统服务功能 .....	(169)
一、初级生产为生态系统提供物质基础 .....	(169)

二、海洋生境构建与动物栖息环境形成 .....	(170)
三、海洋生态系统发育与海洋生态平衡 .....	(171)
四、生态控制与环境调节 .....	(171)
五、海洋生物多样性维护 .....	(172)
六、大型藻类碳汇与气候调节 .....	(172)
七、大型海洋藻类暴发的生态影响 .....	(173)
第三节 人类活动对海藻生态系统的影响 .....	(175)
一、生境丧失 .....	(175)
二、海水富营养化影响 .....	(176)
三、海洋藻类资源开发利用活动的影响 .....	(177)
四、人类其他海洋开发利用活动的影响 .....	(178)
<b>第九章 海洋藻类与海洋生态修复</b> .....	(179)
第一节 海洋大型底栖藻类生态调查 .....	(179)
一、海洋大型底栖藻类生态调查的目的 .....	(179)
二、海洋大型底栖藻类生态调查的方法 .....	(179)
三、海洋大型底栖藻类生态分析评估 .....	(181)
四、海洋藻类标本的制作方法 .....	(181)
五、海洋藻类标本的保存 .....	(183)
第二节 海洋生态系统健康与退化 .....	(183)
一、海洋生态系统健康 .....	(183)
二、海洋生态系统健康评价方法 .....	(183)
三、海水水质分类及海水水质标准 .....	(184)
四、海洋沉积物质量标准 .....	(186)
五、海洋生物质量标准 .....	(187)
六、海洋生态系统退化及其表现 .....	(188)
七、大型海洋底栖藻类生态系统退化 .....	(189)
第三节 海洋生态系统退化诊断 .....	(190)
一、海洋生态修复的工作程序 .....	(190)
二、退化海洋生态系统诊断原理 .....	(190)
三、退化海域生态调查与相关资料收集 .....	(192)
四、海洋生态系统退化诊断 .....	(193)
五、近岸海洋生态健康评价 .....	(196)
六、海洋生态退化原因分析 .....	(198)
第四节 退化海洋生态系统修复 .....	(199)

一、确定修复目标 .....	(199)
二、选取参照系统 .....	(200)
三、修复方案制定 .....	(201)
四、修复措施制定 .....	(202)
五、生态修复影响分析 .....	(205)
六、生态修复实施 .....	(206)
七、生态修复监测与修复成效评估 .....	(206)
八、海洋生态修复应注意的问题 .....	(210)
第五节 退化海洋藻类生态系统修复 .....	(211)
一、海藻场生态系统退化诊断 .....	(211)
二、海藻场生态修复目标确定 .....	(212)
三、海藻场生态修复模式 .....	(212)
四、海藻场生态修复措施 .....	(212)
五、海藻场生态修复监测与评估 .....	(215)
六、海藻场生态修复案例 .....	(215)
<b>第十章 海洋藻类养殖 .....</b>	<b>(219)</b>
第一节 海洋藻类养殖概述 .....	(219)
一、海洋藻类养殖种类 .....	(219)
二、海洋藻类养殖基本方式 .....	(220)
三、海洋藻类养殖的基本程序 .....	(221)
四、海洋藻类养殖的生态意义 .....	(223)
第二节 海洋藻类养殖 .....	(223)
一、海带养殖 .....	(224)
二、紫菜养殖 .....	(230)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(235)</b>

# 第一章 绪论

## 第一节 海洋藻类概述

### 一、海洋植物的组成

海洋植物是海洋初级生产者，它们通过光合作用生产有机物，通过海洋食物链为各种海洋动物提供能源，维持着海洋生物物种的多样性和海洋生态系统的发展。

海洋植物包括属于低等植物的海洋藻类和海洋高等植物。

海洋藻类是海洋植物中的主要组成部分，种类繁多，分布广泛，包括单细胞的微型藻类和多细胞藻类。

海洋高等植物是对生长在潮间带和浅海海域的蕨类植物、裸子植物和被子植物的总称，主要包括三大群落，即盐沼植物群落、红树林群落和海草群落。盐沼植物群落主要分布在温带和亚热带的潮间带；红树林群落分布在热带和亚热带海岸潮间带；海草群落则广泛分布在热带至温带的低潮带和潮下带。海洋高等植物由于海洋环境的光学特性、深度、盐度和海流等环境条件的限制，不可能像陆地植物一样广泛分布，真正能够在海洋中生活的高等植物种类数量很少，并且仅仅局限于滨海湿地、浅海、河口、海湾、潮间带等特殊海域。例如只能在暖温带、热带海域潮间带、浅海、河口生长的红树类植物，如红树 *Rhizophora* sp.、木榄 *Bruguiera* sp.、秋茄 *Kandelia* sp. 和卤蕨 *Acrostichum* sp. 等，分布相对较广的大米草 *Saccharum* sp.、大叶草 *Zostera* sp. 和二药藻 *Halodule* sp. 等，以及伴随红树林生长的喜盐草 *Halophila* sp. 等。

与海洋藻类相似，海洋高等植物在海洋生态系统中也起到非常重要的生态作用，特别是海草场的存在。

### 二、海洋藻类概述

#### (一) 藻类

藻类是一群最简单、最古老的低等的孢子植物，但包含的物种繁多，分布的地域极广，从热带到两极，从淡水水体到海洋，大凡潮湿的地区，都可找到它们的踪迹。

藻类植物是具有叶绿素、能进行光合作用，营自养生活的无维管束、无胚的低

等植物。

藻类植物多数个体微小，小的几微米，但大的个体长达几米甚至百米以上。藻类植物个体形态多种多样，有单细胞、多细胞群体、丝状体、膜状体、叶状体和管状体等。某些种类具有叶、柄和固着器的分化，但均不具备高等植物那样的根、茎、叶的分化。

藻体除固着器外，表层细胞都能进行光合作用，释放氧气，相当于高等植物的叶的功能，所以，藻类植物的藻体亦被统称为“叶状体”，故多细胞藻类也被称为叶状体植物。

多数藻类内部结构简单，无明显的组织分化，但褐藻种类有表皮层、皮层和髓的分化。

多数藻类有细胞壁，但细胞壁的结构和化学成分各不相同。

藻类体细胞具有形态多种多样的色素或色素体，藻类的光合色素有三大类：① 叶绿素类，包括叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 c、叶绿素 d 等；② 类胡萝卜素，包括 5 种胡萝卜素和多种叶黄素；③ 藻胆素，也称为藻胆蛋白。藻细胞内含有的光合色素的差异，使不同种类的藻类呈现不同颜色，是藻类分门的最重要依据之一。

藻类植物的有性生殖器官一般都为单细胞，有的可以是多细胞的，但缺少一层包围的营养细胞，所有细胞都直接参与生殖作用。

根据藻类分布空间差异，将藻类分为 7 个类别。

(1) 淡水藻类 (freshwater algae)：指分布在各种淡水水体的藻类，例如分布在湖泊、池塘、溪水、河流、沟渠等淡水水域的各种藻类。

(2) 土壤藻类 (terrestrial algae)：指分布在土壤的藻类，如黄藻的拟气球藻、黄丝藻。

(3) 海洋藻类 (marine algae)：分布在海洋中的藻类，如褐藻、红藻的绝大部分。

(4) 气生藻类 (aerophytic algae)：指分布在空气中，所需水分从雨水或蒸汽中获得的藻类，多见于热带温暖而潮湿的气候。如绿藻的肋球藻，硅藻的直链藻以及黄藻类的无根拟气球藻等。

(5) 共生藻 (symbiotic algae)：指与其他生物共生的藻类，如与真菌共生的蓝藻念珠藻或绿藻小球藻等。

(6) 寄生藻类 (parasitic algae)：指寄生在其他生物或非生物体上的藻类，如寄生在热带茶叶上的某些绿藻和红藻。

(7) 其他藻类：指生活在一些特殊环境中的藻类，如温泉藻类 (thermal algae)，许多硅藻可活在 40℃ 水中；冰生藻类 (cryohytes algae)，如衣藻属的种类，蓝藻中的念珠藻；植物内生藻类 (endophytic algae)，生于其他植物的组织内，如满江红鱼腥藻生在满江红的叶子内；动物内生藻类 (endozoic algae)，生活于动物体

内,如虫黄藻生活于珊瑚体内;浮水藻类(neuston):指分布在水体表面的藻类,在水面常形成有颜色的被膜,如罗氏金光藻在水面形成金色或灰褐色的被膜。

## (二) 海洋藻类

海洋藻类就是指生活在海洋水体中具有上述藻类特征的各种藻类。

海洋藻类种类繁多,据估计,全世界的海洋藻类近万种。海洋藻类分布广泛,具有重要的生态价值和经济价值。

海洋藻类结构简单,藻体柔软,即使长度可达60 m左右的巨藻 *Macrocystis pyrifera*,仍然可以凭借其柔软的藻体随水流而摆动,以抵御海流、海浪、潮汐的冲击;海洋藻类大多呈宽叶片状,可以保证接受足够的光线,吸收更多的营养盐;不同门的海藻具有不同的色素组成,生存在不同光强、光质的水层中。

海洋藻类以其简单的个体结构,繁衍后代的特殊方式和能力以及其对海洋环境特有的适应性,成为海洋植物的主要类群。

## (三) 海洋藻类的生活方式

海洋藻类不仅形态构造各异,它们的生活方式也多种多样,其生活方式可分为5个类型。

### 1. 浮游生活型

常见于单细胞海洋藻类和少数群体种类,它们不具有或仅有微弱的游泳能力,悬浮于海水水体中并随水流被动移动。如隐藻、甲藻、金藻、硅藻、黄藻、裸藻和绿藻中具鞭毛的种类,可在海水中凭借鞭毛而缓慢游动;不具鞭毛的种类,也能漂浮在海水中生活,特别是辐射硅藻类和羽纹硅藻中的许多无纵沟种类,借胶质形成各种群体,从而有利于增加它们的漂浮能力。浮游生活的单细胞藻类被称为浮游植物(phytoplankton)。浮游生活的单细胞藻类虽然个体微小、生长周期短,但繁殖快、生物量大、分布广,是生活在辽阔的大洋水体中次级生产者(浮游动物、鱼和虾的幼期和其他动物的幼虫等)的直接饵料。

### 2. 附生生活型

常见于一些底栖性的单细胞和群体的硅藻类,如菱形藻属 *Nitzschia* 和舟形藻属 *Navicula* 的一些种类。蓝藻、绿藻、红藻和褐藻也有少数种类营附生生活。

### 3. 漂流生活型

有些多细胞的海洋藻类,在海面上漂流生活。如马尾藻类在海面上漂流形成大型的漂流藻区。如北大西洋中部百慕大附近的马尾藻海区(Sargasso Sea)的海面上,漂流着一种无固着器、营断枝生殖的马尾藻 *Sargassum natans*,为各种鱼类栖息的天然场所。

### 4. 固着生活型

一般多细胞的大型海洋藻类都营固着生活,又称定生海藻(benthic algae)。它

们的基部有固着器，借以固着在各种硬质的基质上生活。这类海藻的生长基质主要是岩石、砂砾或其他坚硬的附着物，如石莼属 *Ulva*、紫菜属 *Porphyra*、海带属 *Laminaria* 等种类均营固着生活。褐藻门的巨藻 *Macrocystis* 被认为是海藻中个体最大的种类。

#### 5. 共生和寄生型

大部分的造礁珊瑚体内都共生着微小的单细胞海藻虫黄藻 *Zooxanthellae*，这些共生藻会将光合作用产物传送给宿主珊瑚；动物小球藻 *Zoochlorella* 与水螅 *Hydra* 共生。寄生藻类如绿藻类的一些单细胞种类常寄生于紫菜体中，淡水绿点藻 *Chorochytrium lemuea* 寄生于浮萍体内。

#### (四) 海洋藻类的生态类型

根据海洋藻类整个生命周期中繁殖后代的次数及其生命周期经历的时间和过程来划分，可将它们分为下列4种类型。

##### 1. 1年生型

指藻体的生命周期短于1年，1年中可繁殖两代以上的海洋藻类。如我国南方生长的浒苔、石莼等，每年10月它们的幼体开始生长，至11月底已长成数厘米长的藻体，并成熟产生游孢子或配子，孢子或配子再萌发生长，至12月底又成熟。故1年中可繁殖两代以上。

##### 2. 多年生型

指生命周期超过两年的海洋藻类。如海带在夏天水温升高时，分生细胞以上的叶片腐烂，下端分生细胞与叶柄部分保留，至秋、冬季水温下降时，再继续分裂生长出叶片。马尾藻也是多年生海藻，一般在每年的秋冬季萌发，春天或初夏成熟。夏季水温高时，藻体上部腐烂，剩下基部，等秋天水温逐渐下降时又萌发长出新藻体。

多年生海藻生长的地区不同，它们的生长与生殖的季节也会有所差异。如海南产的马尾藻一般每年的7—8月开始萌发，12月至翌年2月成熟，4—5月因水温升高而逐渐腐烂；湛江地区的马尾藻则在每年9—10月开始萌发，翌年3—5月成熟，6—7月开始腐烂。

##### 3. 丝状体过渡型

成熟的藻体产生孢子，并萌发成为丝状体，以丝状体度过炎热的夏季或严寒的冬季，之后当环境条件适宜时萌发长成新藻体，这种类型的海藻称丝状体过渡型，如紫菜。

##### 4. 休眠过渡型

有些海藻生殖过程中产生的合子能渡过不良环境，当环境条件适宜时再萌发生

成新藻体,这种类型的海藻称休眠过渡型,如羽藻等。

### 三、海洋藻类的开发利用

全世界定生海洋藻类物种大约有 4 500 种,可利用的经济藻类主要包括大型藻类中的蓝藻门、绿藻门、红藻门和褐藻门等类别的种类。

#### (一) 海洋藻类的食用价值

全世界可供食用的海洋藻类有 100 多种,我国沿岸分布有 50 多种。海藻的主要成分包括蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素、色素和各种无机元素等。其中碳水化合物是海藻体内的主要成分,占干质量的 30%~60%。海藻体中的脂肪含量低,一般仅为 0.1%~1%,其中不饱和脂肪酸含量较高,红藻和绿藻的脂肪含量明显低于褐藻。海藻体内蛋白质含量一般为 10%~20%,某些海藻如蜈蚣藻、多管藻等蛋白质含量高达 20% 以上。海藻的无机元素含量丰富,有微量元素宝库之称,尤其是碘的含量非常高,但在不同海藻中的含量变化幅度很大,达 5%~40%。此外,海洋藻类还含有甘露醇、褐藻酸、各种氨基酸,如蛋氨酸和胱氨酸等成分。

由于海藻的营养价值很高,很多大型海藻被人们直接食用,如条斑紫菜 *Porphyra yezoensis*、海带 *Laminaria japonica*、裙带菜 *Undaria pinnatifida*、羊栖菜 *Hizikia fusiforme* 等。

#### (二) 海洋藻类的药用价值

海洋藻类是最古老而又原始的低等植物,在其进化过程中,形成了一些独特的代谢特点,在其生活过程中产生了各种各样有生物活性或医学功效的物质。现代研究发现,它们含有的一些蛋白质、氨基酸、维生素、脂类、藻胶、甘露醇、糖类、甾醇类化合物、萜类、丙烯酸、脂肪酸、维生素和大量无机盐等成分中,许多为医学上的有效物质,表现出抗肿瘤、抗病毒、抗菌、抗氧化剂、免疫调节作用、酶抑制作用等诸多生理活性。

我国人民将海藻作为药用历史悠久,古代的《神农本草经》、《本草纲目》、《名医别录》和《植物名实图考长编》等书中都先后详细记载了海带、昆布、石莼、紫菜和琼枝等海藻的药用疗效。从公元前 300 年起,中国和日本就直接用海藻来治疗甲状腺肿大和其他腺体病。罗马人用海藻来治疗外伤、烧伤和皮疹。英国人用紫菜预防长期航海中易患的坏血病。不少海藻性味属咸、寒,有清热解毒、软坚散结、消肿利水以及化淤痰的功效。许多海藻提取物对病毒、伤风感冒、肿瘤、子宫癌、肺癌、支气管病、心血管病及放射性碘病等都有一定的预防与治疗作用。

海藻中含有较丰富的海藻多糖,从中提取的海藻淀粉硫酸脂,具有降低胆固醇的作用。在褐藻酸钠分子的羟基和羧基上分别引入磺酰基和丙二醇基而成的藻酸双酯钠,具有降低血液黏度、抗凝血、降血脂、改善微循环等作用。海藻中含有的硒元素,对心脏具有保护作用。海藻中含有的褐藻氨酸,具有降压作用,海藻中的膳



食纤维具有防治便秘的功效。海藻多为碱性，有助于改善现代人的酸性体质，强化人体免疫机能，增强抗病能力。

海洋藻类活性物质研究主要涉及蓝藻门、绿藻门、褐藻门、红藻门4个类群。

蓝藻门的化学成分以蓝藻毒素为代表，同时发现有环肽、内酯化合物等类型的化合物。

绿藻含有丰富的蛋白质、维生素、微量元素、多种氨基酸等营养成分和生物活性物质，特别是因其含有基因生物活性物质绿藻细胞生长促进因子（chlorella growth factor, CGF）而备受关注。绿藻中的化合物以藻红素、甾醇和嘧啶等化合物为代表，还含有多酚、内酯（loloilide）、烯醇（大戟二烯醇，euphol）、叶黄素（zeaxanthin）等化合物。通过进一步研究，还发现了其中的顺式细辛醚（cis-asarone）、反式-细辛醚（trans-asarone）、欧细辛醚（ $\gamma$ -asarone）、植物醇（trans-phytol）、植物醇硬脂酸酯（phytyl-stearate）、植物醇乙酸酯（phytyl-acetate）、异植物醇（isophytol）、蕨藻红素（caulerpin）、蕨藻红素单甲酯（monomethyl caulerpinate）、 $\beta$ -谷甾醇（ $\beta$ -sitosterol）、 $\beta$ -谷甾醇-3-O-硫酸酯（ $\beta$ -sitosterol-3-O-sulfate）、尿嘧啶（uracil）和胸腺嘧啶（thymine）等化合物。

褐藻门的化学成分以萜类、类脂、甾醇、酚类化合物为代表，毛头藻科（Sporochneaceae）褐藻和网地藻科 Dictyotaceae 褐藻含有大量半萜、单萜、倍半萜、苯酚化合物，囊链藻科 Cystoseiraceae 海藻是二萜醌类化合物的丰富来源，昆布科 Laminariophyceae 是分离类脂化合物的重要褐藻。

红藻门中的鹧鸪菜 *Caloglossa leprieurii* 和海人草 *Digenea simplex* 含有的海人草酸是以前常用的驱虫药，石花菜属 *Gelidium*、江蓠属 *Gracilaria*、麒麟菜属 *Eucheuma* 植物中提取的琼胶被广泛应用在医药工业、纺织工业和生物技术产业。红藻门海藻化学成分和生物活性作用研究涉及的种群主要有蜈蚣藻属 *Grateloupia* 等14属海藻植物。从红藻中发现的最有代表性的化学物质是琼胶、卡拉胶、藻红蛋白和藻蓝蛋白，已经发现的主要化合物类型有倍半萜、二萜、三萜、甾醇、脂肪酸、肽类、酚类、醛类、醇类、挥发油、多糖等，有少量生物碱、脂肪烃、糖苷类化合物。其中尤以蜈蚣藻属研究的最为深入，从中得到的化合物已近百个，包括一系列新颖的多糖化合物、溴酚化合物及复杂萜类化合物。药理活性筛选表明，红藻植物中的大量化合物显示抗凝血、抗氧化、抗病毒抗菌、抗肿瘤、增强免疫力、酶抑制、降压、抗菌、杀虫等生物活性。

### （三）利用海洋藻类开发生物燃料

生物燃料乙醇作为第二代生物燃料，生产技术已经成熟，但生物质原料选择是限制生物燃料乙醇开发利用的关键限制因子之一。大型海藻养殖技术成熟，海藻养殖海域广阔，产量巨大，且海藻由于几乎不含有木质素，能量转化效率高，其中海带中可转化为乙醇的褐藻淀粉及甘露醇总含量达到藻体干质量的55%，而且这些物