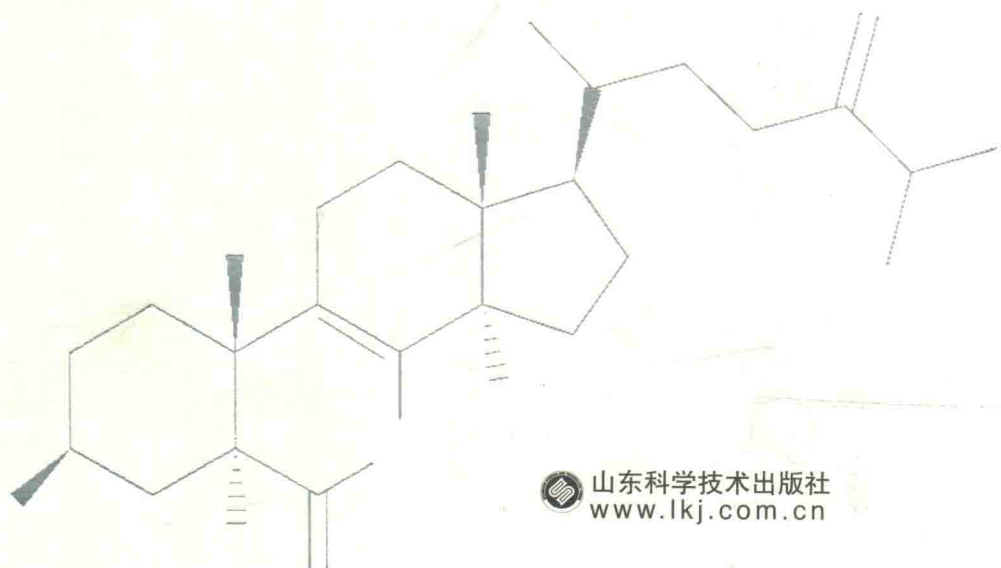


山东泰山科技专著出版基金资助出版

秦 松 主编

海岸带生物 活性物质

BIOACTIVE SUBSTANCES
FROM COASTAL ZONE



 山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

山东泰山科技专著出版基金资助出版

秦 松 主编 ○

海岸带生物 活性物质

BIOACTIVE SUBSTANCES
FROM COASTAL ZONE

图书在版编目(CIP)数据

海岸带生物活性物质 / 秦松主编. — 济南: 山东科学技术出版社, 2018.2

ISBN 978-7-5331-9264-8

I. ①海… II. ①秦… III. ①海岸带—海洋生物—生物活性 IV. ①Q178.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第026933号

山东泰山科技专著出版基金资助出版

海岸带生物活性物质

秦松 主编

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印 刷 者: 山东新华印务有限责任公司

地址: 济南市世纪大道2366号

邮编: 250104 电话: (0531) 82079112

开本: 787mm × 1092 mm 1/16

印张: 20

字数: 500千

印数: 1~1000

版次: 2018年2月第1版 2018年2月第1次印刷

ISBN 978-7-5331-9264-8

定价: 180.00元

主 编 秦 松

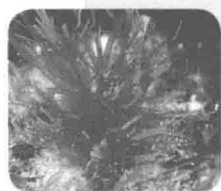
副主编 唐志红 李文军 张宏宇 谢则平

编 者 闫鸣艳 李 杰 娄婷婷 张 莹

刘正一 李成城 刘 琪 史文军

宫智君 王明超 韩 涵 张 超

郭 琳



序 言



海岸带是地球陆圈与水圈的交汇地带，也是生命演化、人类经济活动及社会发展的重要区域。海岸带生物类群多样性的形成、物质和能量的循环利用，成为生物典型的生活方式，支撑着生物多样性的不息繁衍。大量研究发现，海岸带生物生活环境的特殊性，使其在进化过程中，形成了独具特色的代谢系统、机体防御系统，产生了许多有益于人类的、特殊的活性物质。这些活性物质在医药、保健食品等领域深受科技界和医药界的重视。据不完全统计，目前全球已经开发上市的新药产品中，约有30%来自天然产物，其中有的来自海岸带生物活性物质，它们在治疗心脑血管疾病、增强免疫力、抗癌、抗感染药物中占有突出的地位；海岸带生物活性物质，在保健食品领域中的开发利用，更是广泛受到世人的关注。

近年来，全球对于海岸带生物活性物质的研究、开发和利用，已经成为海岸带生物学研究领域的热点。我国科技界，不仅在海岸带生物活性物质的理论研究上取得了骄人业绩，而且在应用方面也取得了大量成果。我国的海岸带生物活性物质资源非常丰富，研究工作者在海岸带资源中不断发现大量的新化学成分，并在药物和保健功能食品的应用上取得了许多实际成效。我国关于海岸带生物活性物质的研究报告很多，大量见诸国内专业期刊和专利文献中，也有许多发表于国际顶级杂志上。但是迄今为止，国内尚无一部全面系统论述海岸带生物活性物质的专业书籍。

以秦松为首的科研团队，针对我国海岸带生物活性物质立项研究，积数十年的基础理论与应用研究经验，顺应我国当前产业发展的迫切需求，对国内外海岸带活性物质的研究、开发与应用成果进行了梳理和凝练，编纂成《海岸带生物活性物质》专著。该书将有助于读者全面系统了解海岸带生物活性物质的研究与发展现状，对提升我国海岸带生物活性物质的科学研究和生产技术水平，促进海岸带生物资源的开发利用，具有重要的社会经济意义和学术价值。

中国工程院院士

中国水产科学研究院黄海水产研究所研究员

Handwritten signature of Lei Ninglin in black ink, consisting of three characters: 雷, 霖, 霖.

本序言为雷霖霖院士生前撰写。

雷霖霖(1935年5月24日—2015年12月16日)福建省宁化县人，畲族，中国工程院院士。中国水产科学研究院黄海水产研究所研究员，中国海洋大学兼职教授、博士生导师，我国著名的海水鱼类养殖学家，工厂化育苗与养殖产业化的主要奠基人和学科带头人。1992年首先从英国引进冷温性鱼类良种——大菱鲆，自主创新突破工厂化育苗关键技术，为我国第四次海水养殖产业化浪潮的兴起和“三农”的发展做出了重要贡献，被誉为“中国大菱鲆之父”。获何梁何利基金科学与技术创新奖等多项奖励。

目 录



第一章 导论	1
第一节 海岸带生态系统及其特点	2
第二节 海岸带生物活性物质研究概况	7
第二章 海岸带生物活性多糖	16
第一节 海岸带植物活性多糖	17
第二节 海岸带动物活性多糖	72
第三节 海岸带微生物活性多糖	84
第三章 海岸带生物活性脂类化合物	87
第一节 海岸带多不饱和脂肪酸	87
第二节 糖脂类活性物质	116
第三节 磷脂类活性物质	137
第四节 海岸带来源的甾体化合物	143
第四章 海岸带生物活性蛋白、肽及氨基酸	161
第一节 海岸带植物蛋白、肽及氨基酸	161
第二节 海岸带动物蛋白、肽及氨基酸	182
第五章 海岸带生物活性烃类、生物碱类及其他生物活性物质	242
第一节 生物碱类	242
第二节 大环内酯类	263



第三节 蒽醌类	274
第六章 海岸带生物活性物质的研究与开发利用	281
第一节 海岸带生物活性物质的研究	281
第二节 海岸带生物活性物质的开发利用	283
参考文献	285

第一章

导 论

海岸带，亦称为水陆交界带或海陆交界带，是陆地与海洋之间的过渡地带，即陆地和海洋相互作用的地带。它是以海岸线为基准，向海陆两侧扩展，具有一定延展度的地带。

目前，海岸带还没有一个特别明确的定义，其在学术上还存在一些争议。1979年国务院批准的全国海岸带和海涂资源调查计划规定：海岸带陆地边界为自岸线向陆地延伸10 km，海岸带海洋边界为自岸线向海洋延伸至海水深度为15 m处的海域。1995年国际地圈生物圈计划(IGBP)对海岸带进行了新规定，其大陆侧的上限为200 m等高线，其海洋侧的下限为大陆架的边缘海域。联合国2001年6月《千年生态系统评估项目》将海岸带定义为“海洋与陆地的界面，向海洋延伸至大陆架的中间，在大陆方向包括所有受海洋因素影响的区域；具体边界为位于平均海深50 m与潮流线以上50 m之间的区域，或者自海岸向大陆延伸100 km范围内的低地，包括珊瑚礁、高潮线与低潮线之间的区域、河口、滨海水产作业区，以及水草群落”。海岸带由于其特殊的环境条件、丰富的自然资源和良好的地理位置，成为区位优势最明显、人类社会与经济活动最活跃的地带，同时它又是海岸带生物资源的储藏地(秦松等，2013)。

生物活性物质是指生物体内所含有的对生命现象及生理过程等具有影响的微量或少量物质，主要包括药用物质、生物信息物质、生物毒素、生物功能材料等。海岸带中的生物种类繁多，资源丰富，由于生活环境特殊，海岸带生物在进化过程中产生了独特的代谢系统和机体防御能力。海岸带生物中蕴藏着许多种类的生物活性物质，包括多糖类、蛋白、肽类、生物碱类、大环聚酯类、萜类、多烯类、不饱和脂肪酸等化合物。海岸带生物活性物质的研究及利用与国民经济发展和人类健康事业息息相关，在医药、保健

食品等领域一直受到重视。在全球已经开发上市的新药中,大约30%来自天然产物,其中有些就来源于海岸带生物活性物质,如头孢类化合物合成的结构骨架,在抗癌、抗感染、提高免疫力及治疗心脑血管疾病中地位尤为突出,在保健食品领域更是受到人们的关注。近年来,海岸带生物活性物质的研究、开发及利用成为海岸带生物学领域的重要组成部分和研究热点,经过国内外研究人员的努力,在理论研究及应用开发方面都取得了许多重要的成果。

第一节 海岸带生态系统及其特点

海岸带生态系统由多种类型的生态系统复合而成,在生态学上属于过渡型生态系统。典型的海岸带生态系统包括盐沼生态系统、河口生态系统、海滨泥地生态系统、红树林生态系统、海草生态系统、珊瑚礁生态系统等。这些生态系统既保持着相对的独立性和完整性,又通过彼此之间的物质循环和能量流动而构成一个联系紧密的大系统——海岸带生态系统,它具有多样性、复杂性和脆弱性的特点,特别是人类不合理的开发逐步降低了海岸带生态系统的自我恢复能力和服务功能。

一、海岸带生态系统

(一) 盐沼生态系统

盐沼是季节性积水、土壤盐渍化以及地表过湿且长有盐生植物的区域,于海滨、河口等区域广泛分布。盐沼具有抵御风暴潮灾害、净化污染物、固沙促淤、为野生动植物提供适宜生境等多种重要的生态功能。

盐沼生境不利于植物生长,故植物种类少,群落结构简单;多为单层,类型也较少。在滨海盐沼中常有蟹、贝类和软体动物。在较低潮面生活的种类就有很多,最常见的有筑穴的趁机食物者招潮蟹、摄食底栖硅藻的腹足类软体动物以及生活于泥内或者泥上的双壳类软体动物。



大丰盐沼滩涂

(二) 河口生态系统

入海河口是一个半封闭的沿岸水体,同海洋自由连通,在其中河水与海水交混。河水的洪枯与潮汐的涨落使得河口水流经常处于动荡之中,而河口特性影响着近海水域和

河流终段。

河口生物一般都能忍受温度的剧烈变化。但是在盐度适应方面存在较大的差异，这影响它们在河口区的分布。河口生物可划分为：①狭盐性海洋种，适应生活于盐度33.0~34.5的河口区。随着外海高盐水的入侵，偶见于河口区或季节性分布到河口。②广盐性海洋种，适于在26~34的盐度范围内生活，适应幅度较大，可分布于河口，也可在外海见到。③低盐度种类，适应生活于15~32的盐度下，如浅水海草群落、盐沼红树林、大腿伪镖水蚤、蓝蛤、偏顶蛤等甲壳动物和软体动物。④贫盐性种类，适应在5的盐度以下生活，因此仅见于河口内段，接近正常淡水环境。

由于河口是海水和淡水交汇的区域，一些上溯入河川进行生殖洄游的鱼类，如鳟、鲑、银鱼、刀鲚等，一些下行入海进行生殖洄游的动物，如日本鳗鲡、中华绒螯蟹等，以及在河口区营生殖洄游和索饵洄游的动物，如梭鲈鱼类、鲈鱼、江豚、白海豚等，它们在进入河口区之后，不管是暂时作为活动区域还是通道，都会作短暂的停留，调节身体的渗透压，以适应河川、海洋或河口的环境。



东营河口

(三) 海滨泥地生态系统

海滨泥地又称“泥滩”，在淤泥质海岸的潮间带、河口、潟湖及海湾顶部等细粒物质来源丰富或波浪作用较弱的地方有诸多分布，故也称“淤泥质海滩”。相对于石质海滩的坡度，淤泥海滩的坡度要平缓很多，滩面低平而宽阔，其宽度可达到几十千米。

海滨泥地中的初级生产者种类较少。大型藻类如绿藻中的石莼、浒苔和红藻中的江蓠，它们大多生长在贝壳上。底栖硅藻多生长在泥中，并且由于经历了长时间繁殖期，常形成金黄色的一簇。在海滨泥地中占优势的动物多为能挖掘洞穴的底内动物，以沉积

物和 水体中的碎屑为食，大多数食物来源于河流和潮水。很少有海滨泥地动物被归类为底上动物，它们或是栖息于沉积物的表面，或是附着于固着物的表面。原生生物、线虫和其他小动物构成较小型底栖生物。一些较大的挖洞或底内动物包括多毛类动物。泥滩中，双壳类动物种类和数量很多，许多是滤食动物，它们也栖息于河口区外的泥滩或沙质海岸，如泥蚶、菲律宾蛤仔等。

在泥滩生物群落中，最重要的捕食者是鱼类和鸟类，尤其是海岸鸟类，它们多以多毛类、蛤类和螺类为食。

（四）红树林生态系统

红树林又被称为海岸森林，是海洋向陆地过渡出现的一种独特的森林生态系统，生长在海洋和陆地交界处的海滩上，是亚热带、热带滩涂特有的常绿木本植物群落。红树林具有消耗风浪能量和固滩护堤的作用。另外，红树林所在区域具有非常丰富的生物资源，红树林能过滤陆源入海污染物、防止污染，从而减少赤潮的发生。红树林湿地还具有“三高”特性，即高生产力、高归还率、高分解率，是世界上四大高生产力海洋生态系统之一，在全球生态平衡中起着不可替代的重要作用。

红树林湿地含有陆地生态体系、淡水生态体系及海洋生态体系，是一种极为特殊的生态交错带，养育着特殊的动植物群落，栖息着各种各样的生物。因此，红树林湿地既有红树植物群落物种多样性，也显示出丰富的生物多样性。红树植物有许多不同的生态幅度和生长型，各自分布在一定的空间，给生物群落中的各级消费者提供了觅食和栖息场所，同时也成为咸淡水交迭环境中生存的微生物、动植物丰富的基因库。红树林生态系统的生物量绝大多数储存在红树植物中，其他生物类群如甲壳类、多毛类、软体类等生物量很小，硅藻等浮游低等植物的生物量更是微不足道。红树林生物量有随其林龄增加而增长的趋势。据报道，在中国红树林湿地 239 km 的狭长地带，繁衍生息着至少 2 854 种生物，红树林湿地单位面积的物种丰度是海洋平均水平的 1 766 倍。红树林湿地生态系统至少包括 55 种大型藻类、96 种浮游植物、26 种浮游动物、300 种底栖动物、142 种昆虫、10 种哺乳动物、7 种爬行动物。



红树林

(五) 海草场生态系统

海草生长于温带和热带的海岸附近的浅海中，常在潮下带海水中形成海草场，在世界上的分布很广。目前全世界各海域的海草有12属49种，其中2属产于温带，7属见于热带，大多数种类分布于西太平洋和印度洋。中国沿海已发现8属：海龟草、二药藻、海神草、针叶藻、海菖蒲和喜盐草等6属产于广东、海南和广西三省区的热带沿海；虾形藻属和大叶藻属主要分布于山东、河北、辽宁等省温带沿海，其中日本大叶藻的产地延伸至福建、广东、广西、香港和台湾等省(市、区)沿海。

海草场为大量海洋生物提供栖息地，包括底栖动植物、浮游生物、附生生物、寄生生物和深海动植物。海草场是浅海水域食物网的重要组成部分，直接食用海草的生物包括海胆、马蹄蟹、鱼类、海马、绿海龟、儒艮等。死亡的海草场又是复杂食物链形成的基础，细菌分解海草腐殖质，为蟹类、沙虫和一些滤食性动物如海鞘和海葵类提供食物。大量腐殖质分解释放出氮、磷等营养元素，溶解于水中会被浮游生物和海草重新利用。浮游动物和浮游植物又可作为鱼类、幼虾及其他滤食性动物的食物来源。



海草场

(六) 珊瑚礁生态系统

珊瑚礁是分布于热带海洋的石珊瑚及生活于其中的造礁生物、藻类、附礁生物等经历了长期生活、死亡后的骨骼堆积而成的。珊瑚礁必须在水温 20°C 、盐度28以上、清洁无污浊的海水中才能生存并得到发展，生活在其中的众多热带动植物群落，构成富有热带特色而又相当特殊的生态系统。我国的珊瑚礁主要分布于北回归线南的热带海岸和海洋中。散布于南海中的岛礁绝大部分由珊瑚礁构成，礁体厚达2 000 m。

珊瑚礁是资源丰富的场所，生活在其中的数千种石珊瑚、海绵、多毛类、瓣鳃类、马蹄类、宝贝(软体动物中的一个科)、海龟、甲壳动物、海胆、



珊瑚礁

海星、海参、珊瑚藻和鱼类等构成一个生物多样性极高的生物群落。珊瑚礁底栖生物以石珊瑚、角珊瑚、柳珊瑚、软珊瑚、软体动物、棘皮动物、多毛类、甲壳类和藻类为主。

二、海岸带生态系统的特点

海岸带生态系统是具有多层结构的复合系统。海岸带生态系统的结构包括两个方面，即水平结构和垂直结构。在水平方向上由多种子系统组成，这些子系统也有等级层次的不同。就类型而言，河口、滨海湿地等都是不同的海岸带生态系统。从区域的角度看，一个自然地理单元、一块湿地、一个港口都属于不同的海岸带生态系统。这些生态系统又包含着大小、多种多样的更次一级的子系统。在垂直方向上，海岸带生态系统的陆源部分包括从植被的冠层至土壤的母质层，水源部分在垂直方向上从海底沉积物至水面。它是地球表层岩石圈、水圈、生物圈与大气圈相互交接、物质与能量交换活跃、各种因素作用影响最为频繁、变化极为敏感的场所，是各种物理过程、化学过程、生物过程、物质与能量的交换与转换过程最活跃的地带，是人类活动的重要场所。

海岸带生态系统是一个动态开放系统，具有自身的发生、发展规律。海岸带生态系统通过外部与内部能量和物质的交换，显示出动态的演替过程，该过程包括人工演替过程和天然演替过程。

海岸带生态系统是全球具有代表性的生态脆弱带之一，因为其自身范围相对狭窄，海岸带环境的容量和资源的蕴含量是相对有限的；并且在陆—海—气耦合力的作用下，海岸带的反应性极度灵敏。

海平面上升和气候变化是海岸带生态系统的外部压力，海岸带生态系统内部的主要驱动力是人类活动，两者相互影响、相互关联、相互耦合，使海岸带生态系统脆弱性增强。

海岸带生态系统位于陆地、海洋和大气交互作用的地带，是人类活动最为集中的区域，优越的地理位置和丰富的自然资源，使海岸带成为人类经济社会活动最集中的地带。自20世纪70年代末以来，中国海岸带地区，包括渤海经济区、珠江三角洲经济区和长江三角洲经济区的海岸带，成为改革开放的前沿，在约占全国陆地13%的国土面积上，集中了大约50%的人口、55%的国民收入及全国70%以上的大城市，是中国经济活力最为充沛的黄金海岸。

中国海岸带生态系统存在明显的南北差异。我国自北向南拥有18 000 km的海岸带，横跨22个纬度，气候具有显著的南北分带性。一般而言，海南岛属于热带，长江以南地区属于亚热带，长江以北地区属于温带，而青藏高原及漠河以北的地区属于寒温带（秦松等，2013）。

第二节 海岸带生物活性物质研究概况

海岸带生物中蕴藏着许多新颖的生物活性物质,包括多糖类、蛋白、肽类、生物碱类、大环内酯类、萜类、多烯类、不饱和脂肪酸等。近年来海岸带生物活性物质的研究、开发及利用成为海岸带生物学研究的热点和重要应用领域。

一、海岸带生物活性多糖

糖类是继蛋白质、核酸之后生命科学研究领域的又一最重要的生物大分子。近年来,研究人员在海岸带生物中发现了大量结构特殊、活性独特的多糖,在医药、食品、材料科学等领域有广泛的应用。海岸带多糖资源丰富,海岸带动物、海藻和微生物是其最重要的来源。

(一)海岸带微生物多糖

海岸带微生物种类繁多,生长环境复杂多样,是海岸带物质和能量循环的主要贡献者。近年来研究者从海岸带细菌、真菌分离到结构类型十分多样的多糖,从中发现了具有抗氧化、抗肿瘤、抗病毒等生物活性多糖。海岸带微生物多糖主要来源于海岸带细菌和真菌,有葡聚糖、肽聚糖和脂多糖等多种类型。早在1983年,Boyle等就对筛选的两种潮间带细菌的胞外多糖进行了研究,发现两者均由葡萄糖、半乳糖和甘露糖构成,后者还含有丙酮酸。苏文金等(2001)对厦门海岸潮间带的多株海洋放线菌产生的胞外多糖进行了体内免疫增强活性的研究,发现在多糖高产菌株中有3株菌的胞外多糖在体内均具有显著的免疫增强活性,其中链霉菌(*Streptomyces* sp.2305)的胞外多糖表现出较好的非特异性、细胞及体液免疫增强活性。郭甜甜等(2015)从黄河三角洲表面盐层泥土的耐盐真菌 *Cladosporium cladosporioides* OUCMDZ-2713 发酵液中分离得到胞外多糖,在体外表现出显著的抗氧化活性。

(二)海岸带海藻多糖

大型海藻主要包括大型绿藻、褐藻、红藻和蓝藻,目前发现的大型海藻有15 000余种。我国大型海藻有1 200多种,包括200多种绿藻、大约300种褐藻、600多种红藻、160多种蓝藻。

近年来,人们对来自孔石莼、礁膜、浒苔、刺松藻等绿藻的多糖研究较多。绿藻多糖多为存在于细胞间质的硫酸化的水溶性多糖,常见的有 Xyl-Ara-Gal 聚合物和 GlcA-Xyl-Rha 聚合物。通过酸和碱破坏细胞壁也可得到组分较为单一的葡聚糖、甘露

聚糖和木聚糖。于广利等(2010)以刺松藻为原料,用热水、室温水以及 Na_2CO_3 溶液提取得到三种硫酸化多糖,主要由 Gal、Ara 和 Glc 单糖组成,另外还含有 Man 和 Xyl, 三种多糖均表现出抗凝活性。嵇国利等(2009)以爆发期的条浒苔为原料,提取得到的多糖除了含有 Rha 和 GlcA 两种单糖外,还含有少量的 IdoA。孙秋艳等(2017)采用水煮醇沉法提取浒苔多糖,生理活性实验显示,该多糖可以显著提高犬对犬冠状病毒灭活疫苗的免疫作用。

蓝藻中以螺旋藻多糖的研究最多,螺旋藻多糖的组成和结构非常复杂,有些与蛋白质结合形成糖蛋白。研究表明,其组成主要包括 D- 葡萄糖、D- 甘露糖、D- 木糖、D- 半乳糖、L- 鼠李糖、葡萄糖醛酸等单糖或单糖衍生物。螺旋藻多糖分子之间多以 α - 糖苷键相连,常常带有支链结构。如 Lee 等(2001)以钝顶螺旋藻为原料,采用热水提取的方法获得一种多糖,该多糖是由 Rha、3-O- 甲基 -Rha、2, 3- 二甲基 -Rha、3-O- 甲基 -Xyl 和糖醛酸组成的高分子硫酸化杂多糖。螺旋藻多糖具有许多独特的生物学活性和疗效,如调节机体免疫、抗辐射、抗氧化、降血糖、抗病毒、修复 DNA 损伤等一系列作用,这些生物活性物质对人体发挥重要的医疗保健作用,也因此使其成为目前螺旋藻的研究和应用热点之一(崔叶洁, 2010)。于蕾妍等(2017)将螺旋藻多糖(PSP)与银杏叶提取物(GBE)按照不同比例复合,发现 PSP 与 GBE 按 2 : 1 比例复合使用对提高小鼠的抗疲劳能力具有较好的协同增效作用。

常见的褐藻有海带、裙带菜、马尾藻、昆布和巨藻等,种类多,资源丰富。褐藻中的多糖主要有 3 种类型:褐藻糖胶(Fucoxanthin)、褐藻胶(Alginate)和海带淀粉(Laminaran)。褐藻糖胶是指含有褐藻糖和硫酸基的结构复杂的多糖类物质。褐藻糖是由 α -L-1, 4- 古罗糖醛酸(G)和 β -D-1, 4- 甘露糖醛酸(M)组成的二元线型杂多糖。褐藻淀粉主要由 β -D-Glc 组成,主链为 $\beta(1 \rightarrow 3)$ 糖苷键,分枝含有 $\beta(1 \rightarrow 6)$ 糖苷键。台文静等(2010)以海蕴为原料,从中分离得到两种组分:组分 NA1 为褐藻胶, M/G(甘露糖醛酸/古罗糖醛酸)为 0.34; 组分 NA2 为褐藻糖胶, Fuc 的含量大于 80%。王培培等(2009)以选育的羊栖菜和野生羊栖菜为原料,研究发现野生羊栖菜褐藻糖胶中 Glc、Man 和 GlcN 含量以及褐藻胶中 G 含量均显著低于选育羊栖菜。近年来的研究显示,褐藻糖胶具有抗肿瘤、抗病毒、抗血栓、抗凝血活性等多糖的生物学功能。褐藻胶在促进生长、抗肿瘤、预防心血管疾病等药物开发以及医用生物材料的研发等方面已经有广泛的应用。褐藻淀粉具有显著的抗肿瘤和免疫调节活性。Chen 等(2017)从马尾藻中提取的多糖(SFPS)对腺癌 SPC-A-1 细胞的增殖和体内肿瘤的生长具有显著抑制作用,流式细胞术检测发现 SFPS 能够诱导 HUVECs 细胞周期阻滞和细胞凋亡。Fan 等(2017)从马尾藻(*Sargassum fusiforme*)中提取得到的多糖(SFPS)对人 HepG2 移植瘤小鼠体内肿瘤的

生长有显著抑制作用,并可提高血清中 IL-1, NO, IgM 和 TNF- α 的含量,诱导 HepG2 细胞的凋亡,促进凋亡因子 Bax 的表达,下调 Bcl-2 的表达,表现出抗肿瘤和免疫调节的活性(闫忠辉等,2017)。

红藻在我国海域分布广泛,种类繁多,资源丰富。我国红藻中最常见的有紫菜、角叉菜、石花菜、蜈蚣藻和麒麟菜等,这些红藻不仅是重要的食品来源和食品添加剂,同时含有丰富的多糖类物质。红藻多糖主要有半乳聚糖、木聚糖、葡聚糖(红藻淀粉)和甘露聚糖,其中研究最多的是半乳聚糖。红藻中的半乳聚糖主要分为三种类型:卡拉胶、琼胶及兼具有卡拉胶和琼胶结构特征的半乳聚糖。卡拉胶型多糖的重复二糖单位是(1 \rightarrow 3)- β -D-Gal(1 \rightarrow 4)-3,6-内醚(或无内醚化)- α -D-Gal,琼胶型多糖的重复二糖单位是(1 \rightarrow 3)- β -D-Gal(1 \rightarrow 4)-3,6-内醚(或无内醚化)- α -L-Gal,在半乳糖的不同位置上常有硫酸基、丙酮酸、甲氧基等取代基团。如 Li 等(2012)以细齿麒麟菜为原料,获得的多糖组分 EH 和 EW,其中 EH 属于 ι -carrageenan,EW 为杂合型 $\iota/\kappa/\nu$ -carrageenan 卡拉胶。Hu 等(2012)以海螺藻为原料,制备得到了 GW7 组分,主要成分为 6-硫酸基-琼胶。Liu 等(2017)以紫菜为原料,提取得到硫酸多糖(PHPS),PHPS 可显著增强巨噬细胞 RAW 264.7 的吞噬作用,提高白细胞肿瘤坏死因子 TNF- α , IL-6 和 IL-10 的分泌;在体内 PHPS 可促进小鼠淋巴细胞的增殖并诱导 TNF- α 和 IL-10 的产生。

(三)海岸带动物多糖

海岸带动物也是多糖的重要来源,近年来研究人员从海绵、鲍鱼、海参等多种海岸带动物中提取分离获得了不同结构类型的多糖,这些多糖在抗菌、免疫调节、抗肿瘤药物及医用生物材料的开发等方面有着非常广泛的应用。Yang 等(2013)以牡蛎 *Ostrea talienwhanensis* Crosse 为原料,分离得到了糖原,并采用氯磺酸-吡啶法对该多糖进行硫酸化修饰,所得产物在 C₆ 位连接上了硫酸基,进一步的研究显示修饰化的多糖能促进脾淋巴细胞的增殖。Li 等(2011)以鲍鱼 *Haliotis discus hannai* 为原料,提取得到了硫酸化多糖 AAP,研究表明该多糖能显著延长凝血酶时间(TT)和凝血激酶时间(APTT)。Chen 等(2011)以 *Isostichopus badionotus*, *Holothuria vagabunda*, *Stichopus tremulus* 和 *Pearsonothuria graeffei* 等 4 种海参为研究对象,制备得到了 3 种 Fuc 不同硫酸化修饰的硫酸软骨素类杂多糖,结果显示 2,4-二硫酸化修饰对抗凝血作用的影响最为显著。Liu 等(2012)以海参 *Apostichopus japonicus* 为原料,采用蛋白酶水解,制备了一种多糖 AJP,该多糖以 GalN 和 GlcA 为主,还含有 Man, GlcN, Glc, Gal 和 Fuc 等单糖,体外活性研究显示 AJP 具有降低血浆脂蛋白含量和抗氧化的作用。此外,人们也从贻贝、海