

海藻化学

纪明侯 编著

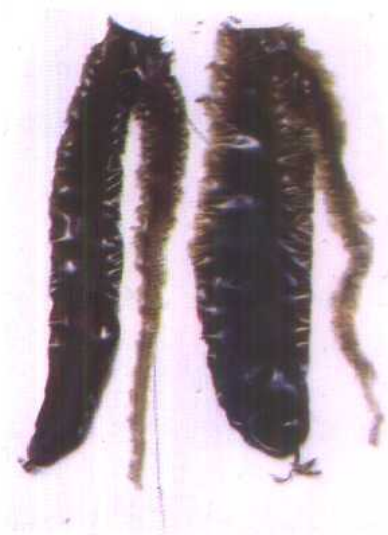
DF 21/07

科学出版社

1997



孔石莼 *Ulva pertusa* (绿藻)



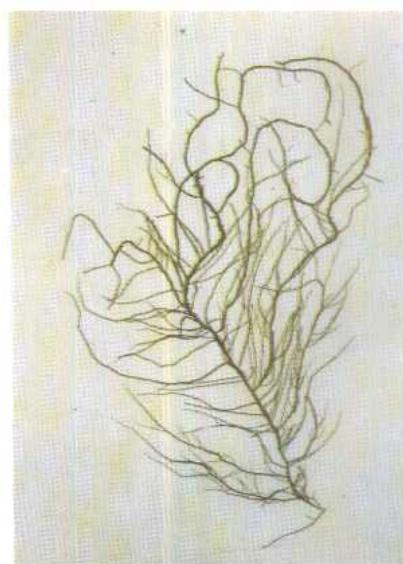
海带 *Laminaria japonica* (褐藻)



海黍子 *Sargassum kjellmanianum* (褐藻)



铜藻 *Sargassum horneri* (褐藻)



真江藻 *Gracilaria asiatica* (红藻)



琼枝 *Eucheuma gelatiniae* (红藻)

SEAWEED CHEMISTRY

Edited by
Ji Minghou

Science Press

1 9 9 7

序

新中国成立以来,我国海藻事业发展很快。随着海藻栽培业的蓬勃开展,海藻的加工事业也取得了空前的发展。大力开展的海带综合利用工业每年生产出大量褐藻胶、甘露醇和碘,为纺织、医药、食品等方面提供了必需的产品。红藻资源如石花菜、江蓠、琼枝等也得到充分的利用,生产出为食品工业所需要的琼胶和卡拉胶。海藻化学的研究在开展海藻的工业利用中起到了先导作用。

国际间近20年来,在海藻化学方面的研究尤快,涉及的面很广。研究成果表明,海藻中除了含有较多量的有经济价值的胶质外,还含有种类繁多、含量虽少但具特殊结构和生理活性的有机物质,引起各国科学家的兴趣,进行着深入的研究,并取得了丰硕的成果。

各种研究成果分散在各国学术期刊上,国内外迄今还没有一本完整而全面地介绍海藻各种化学成分的专门书籍出版。本书编著者长年从事海藻化学的研究,积累了丰富的有关各种海藻化学成分研究的实际经验和国内外文献,现将其编写成《海藻化学》一书出版,是有重要的现实意义的。我相信《海藻化学》的出版,对国内从事海藻化学研究和海藻加工的科技人员,以及水产大专院校加工专业师生和研究生会有一定裨益,对深入开展海藻化学成分的研究和利用颇有参考价值。

曾呈奎

1993年6月

前 言

58 872-1
2

广阔的海洋占地球总面积的 71%。其中蕴藏着巨量的生物资源——脊椎动物、无脊椎动物、海藻和微生物。海藻主要由蓝藻、绿藻、红藻和褐藻四大类组成。世界海洋中估计生长有 8000 多种海藻。蓝藻为最低级的海藻,种类较少。绿藻中的浮游植物种类繁多,为单细胞植物,广泛地分布在世界大洋的浅水层(主要在 50m 以浅的真光层)海域,是海洋食物链中的一级生产者,是食植动物的必需饵料。海藻中除浮游植物外,绝大多数种类的绿藻、红藻和褐藻都是底栖的,主要生长于潮间带和低潮线以下 10 余米以浅深度,即水深 20m 以浅的沿岸地带的礁石上。极少数种类可生长在 200m 深度。一般说来,红藻的生长地盘最深,绿藻最浅,褐藻位于其间。海藻因系低等植物,没有像高等植物那样,叶、茎、根有明显分工,而且整个藻体都可以从周围海水中吸收无机物和低分子量有机物质作养料,同时也可从藻体向周围海水分泌出其无机和有机物废物。生长在化学组分极为复杂的海水中的海藻,其代谢产物与代谢特点,与陆地植物是有相当大差异的。

近代,各种海藻已成为人类在食品、工业和药用方面的重要来源。海藻工业在沿海各国迅速得到扩大和发展。与此相适应,海藻工业原料的养殖事业,在沿海各国也蓬勃兴起。如智利对江蓠,菲律宾和印度尼西亚对麒麟菜,日本对裙带菜、紫菜、海带等进行着大面积养殖。在我国,继 50 年代试验成功人工养殖海带以来,在紫菜、江蓠、琼枝等的养殖方面也取得了好的效益。台湾的江蓠养殖年产量也是较高的。

海藻化学是伴随着海藻资源的利用而发展丰富起来的一门学科。海藻化学在于阐明各种海藻中各种化学成分的组成、结构、含量变化、物理化学性质、生物合成以及对其分析、分离、提取原理等,为海藻的养殖和海藻资源的开发利用提供必要的基础资料和理论依据。从过去看,海藻化学的研究成果,为海藻的食用、药用及其产品的分离、提取和应用,确实起到了指导性作用,而在海藻的利用、产品加工和应用过程中出现的问题又给海藻化学提出了新的研究内容。由此可知,海藻化学与海藻的利用两者是相辅相成的。由于海藻所含化学成分的复杂性,海藻化学的研究涉及的学科也就很多,如有机化学、生物化学、无机化学、物理化学、药物化学、分析化学等。因此,海藻化学是由多学科科学家辛勤劳动,不断以新的成果丰富和充实起来的。随着分析仪器、分析技术和测试方法日新月异地发展,海藻化学工作者也就不断地运用这些新手段取得了新的研究成果,进一步丰富了海藻化学的内容。因而,人们对海藻的化学资源有了新的认识,对其开发利用寄予了更大的期望。

海藻化学的研究可追溯到 17 世纪末叶。当时在法国开始生产玻璃,需要钠原料,人们曾将海带等褐藻烧成灰,从中制取钠碱。1720 年,海藻灰工业从法国传到英国、爱尔兰、荷兰、丹麦、挪威等国。从此,海藻灰工业在欧洲很快发展起来。同时从海藻灰中还得到了钾盐。至 1811 年法国的 B. Courtois 在海藻灰浸出液中加硝酸钙制造硝酸钾过程中发现了碘元素。1829 年,法国开始生产碘,随后传到欧洲的有海藻灰工业的国家,并相继也开始了碘的生产。于是,海藻灰工业达到了极盛期,海藻一跃而成为重要的化工资源。直至 19 世纪初,出现了从食盐制造钠,1825 年从智利硝石制取钾盐,并从其母液生产碘的方法以

后,至19世纪末,欧洲的海藻灰工业才逐渐衰退下去。

1837年,在爱尔兰,从角叉菜分离出多糖提取物,即卡拉胶。1844年,英人Stenhouse从褐藻中发现甘露醇。1881年,英人Stanford从褐藻发现褐藻胶。1885年德人Schmiedeborg从褐藻发现海带淀粉。1913年瑞典人Kylin从褐藻分离出褐藻糖胶。在第一次世界大战中,1916年美国用发酵法以褐藻为原料生产出丙酮及其他多种有机物质。1926年美国正式用巨藻大规模生产褐藻胶。1946年丹麦用叉红藻生产出叉红藻胶。在从海藻中发现了这一系列有机化合物的同时,海藻化学工作者对它们的组成、结构及物理化学性质进行了连续的研究工作,每年都有相当数量的论文发表,使人们逐渐弄清了琼胶、卡拉胶、褐藻胶等多糖的化学结构与性质,从而推动了海藻工业的发展。

近来,各国科学家大力开展从海洋开发新药物的研究计划。对海藻的次级代谢产物,如萜类、酚类、各种含卤和含硫化合物开展了大规模的化学分离、结构确定及生物活性的筛选研究。至今,已从各种海藻中分离出数百种新的代谢产物,经化学和光谱分析,搞清了它们的结构。其中大多数是在陆地生物中未曾发现过的。而且,很多代谢产物,特别是含卤化合物具有抗菌、抗肿瘤,甚至个别的有抗癌的药物活性。这些产物的结构骨架为人们研制新药提供了珍贵的启示。

当今,在海藻化学方面研究工作做的比较多的国家有日本、美国、英国、加拿大、挪威等。近几年俄罗斯、法国在某几方面也发表了很多有价值的论文。其他如印度、巴西、智利、南非、意大利、澳大利亚等国家,近年来也陆续地发表了不少研究论文。

在我国,海藻化学的研究在建国以前仅有几篇关于海藻的化学成分分析的文章。当时只有几家手工作坊以土法生产石花菜琼胶。只是在1950年在青岛建立了中国科学院海洋研究所(当时为研究室)以后,才开始系统地开展了海藻化学的研究。首先,为了建立我国的褐藻工业,于50年代初研究了对野生马尾藻的褐藻胶提取条件,1954年在青岛建成一个以马尾藻为原料生产褐藻胶的车间,产品褐藻胶在纺织印染厂用作印花浆。同时,海洋研究所对我国各种经济海藻的化学成分(主要的和微量的)进行了大量的系统分析,得到了很有参考价值的资料。1958年,因为海带人工养殖获得成功,该研究所及时地开展了海带综合利用的研究,提出了从海带同时生产褐藻胶、甘露醇和碘的综合利用流程。其后经过多方面的努力,对工艺做了改进,70年代才正式开始了海带综合利用的大规模工业生产。中国科学院海洋研究所从60年代起还同时开展了对红藻多糖(如江蓠琼胶),70年代对沙菜、琼枝卡拉胶的提取研究。80年代以来,进一步深入地开展了对褐藻胶的化学组成和红藻多糖结构的研究,取得了一系列研究成果,对阐明我国海藻所含多糖的化学结构特征做出贡献。70—80年代,上海、青岛等地的其他单位和院校在海藻多糖的药用方面的研究中取得了良好效果。

国际学术活动对我国海藻化学研究的发展起到了一定的推动作用。自1952年在英国首次召开了国际海藻学术讨论会(International Seaweed Symposium)以来,每隔3年召开一次,至1989年已召开过13届,与会的代表逐届增多。1980年中国科学院海洋研究所首次派3名代表(曾呈奎、吴超元和纪明侯3位教授)参加了在瑞典哥德堡召开的第10届讨论会,并都在会上宣读了论文,引起了与会者很大兴趣。1983年第11届讨论会在我国青岛召开,参加的各国代表达400多名,是一次盛大的集会。每一届讨论会上,都有相当数量的关于海藻化学和海藻产品应用方面的论文宣读。这对于提高海藻化学的研究水平和

推进海藻产品的生产,促进各国特别是发展中国家的科学工作者之间的友谊和学术交流,都起到了积极的作用。

第二次世界大战后,海藻化学的研究,在国外发展迅速,发表的研究论文逐年大量增加。除了对主要的海藻化学成分多糖类继续作深入研究,并取得了新的成就外,还增加了大量关于海藻次级代谢产物,尤其是含卤有机化合物的研究成果,给海藻化学增添了新的内容。遗憾的是,至今在国外还没有出版一本全面而系统地介绍上述有关海藻化学的主要研究成果,包括海藻中各种化学成分的含量分布、结构、性质、生物合成等的参考书。本书的编写旨在填补这一空白。随着国内海藻事业的飞快发展,本书的出版很有意义,也很及时。

本书《海藻化学》共分十编,24章。第一、二、三编分别介绍红藻、褐藻和绿藻碳水化合物,它们是海藻的主要组分,研究内容较多,占的篇幅也较多一些。第四编为海藻含氮化合物,也是近代研究较多的一类海藻成分,尤其对次级代谢产物游离氨基酸和肽类的研究。第五编为藻类色素,为了比较起见,其中包括了部分淡水藻和浮游植物内容。第六编为海藻脂类物质、第七编的海藻萜类与非异戊二烯化合物和第八编的海藻酚类化合物,都是当代研究成果丰硕的属于海藻次级代谢产物的。关于这些物质的分离方法有多样,光谱分析数据繁多,因本书篇幅所限,除个别地提到分离方法外,只能提纲性地综述其重要研究成果。第九编为海藻维生素与海藻药物。第十编为海藻无机成分。在维生素一章中分出一节介绍了海藻粉和海藻提取液于农业和园艺中的应用价值。

本书适于从事海藻化学、海藻加工利用、海藻生理学等科研、技术人员及有关高等院校师生作参考。

海藻化学所涉及的内容很广,限于编著者的水平,在书的内容上不免会有遗漏、不妥,甚至错误之处,恳请读者提出批评指正。

书中海藻拉丁学名的中文译名,除部分从《藻类名词及名称》(科学出版社,1979)一书查译外,大部分海藻种类在我国尚未发现或没有,特请中国科学院海洋研究所张峻甫教授代译(个别是暂译),并对书中列出的海藻分类系统做了校正。本书稿请副编审王森等同志作了全面审阅和修改。陆保仁和吴超元两教授分别为本书插图和封面提供了海藻彩色照片。在编写过程中蒙恩师曾呈奎教授给予热情的关心和鼓励,并在百忙中为本书写了序言,对其出版意义做了评述。著者谨此一并向他们表示衷心的感谢。

编著者 纪明侯

1993年1月

AN INTRODUCTION TO "SEAWEED CHEMISTRY"

Nowadays, the attention to exploitation of marine resources was highly attracted by the coastal countries. Seaweed resource is an important constituent part of marine resources. The studies on the chemistry and application of seaweeds attained prosperous development especially after the Second World War, and a large number of literature concerned have been published. Although several reference books had been published since forties of this century relating phycocolloids, algal biochemistry and physiology, so far it seemed no a specific book fully introducing the chemical composition of seaweeds has come out. In order to fill the gap in this field, the author first attempts to compile the main articles on seaweed chemistry published up to now at home and abroad to a book with the name of "Seaweed Chemistry".

The book "Seaweed Chemistry" fully describes the components, structure, content and its seasonal variation, physico-chemical properties, biosynthesis, principle of extraction and application of different compositions in various seaweeds. This book is composed of 10 Parts and 24 chapters, and mainly comprises (1) carbohydrates of red and brown seaweeds (Part 1 and 2, Chapter 1—9), including agar, carrageenan, floridean starch, algin, laminaran, fucoidan, cellulose and low-molecular carbohydrates, being the major composition in red and brown seaweeds, published with more contributions and occupied more space than the others in the book; (2) carbohydrates of green seaweeds and seagrasses (Part 3, Chapter 10—11); (3) nitrogenous compounds of seaweeds (Part 4, Chapter 12—13), being the secondary metabolites studied widely recently and some of them exhibiting physiological activities; (4) algal pigments (Part 5, Chapter 14—16), including the pigments of some phytoplankton and freshwater algae besides seaweed pigments; (5) lipids of seaweeds (Part 6, Chapter 17—18), including lipids, hydrocarbons and steroid compounds; (6) terpenoids and nonisoprenoids of seaweeds (Part 7, Chapter 19—20), being another kind of secondary metabolites in a great variety, some of them possessing physiological activities; (7) phenolic compounds of seaweeds (Part 8, Chapter 21), including simple phenols and polyphenolic compounds, studied actively since seventies; (8) seaweed vitamins and seaweed drugs (Part 9, Chapter 22—23), the latter being the important content of the exploitation of marine resources; and (9) inorganic constituents of seaweeds (Part 10, Chapter 24).

Behind the book are attached the Latin-Chinese and Chinese-Latin bilingual seaweed names including a few species of marine and freshwater unicellular algae.

This book attaches importance to the basic and practical basis on seaweed chemical resources. Although it briefly mentioned some processing and application techniques of seaweeds, the readers should consult other materials on seaweed industry if they want to understand them in more details, since the detailed description of seaweed industry is beyond the scope of this book.

Having both the basic and the practical contents, this book is suitable to the scientists and technicians, engaged in the studies on seaweed chemistry, seaweed processing, algal

physiology and pharmacology as well as to the teachers and students in the ocean and fishery colleges and universities as an issential reference book.

目 录

序

前言

目录(英文) (xvii)

内容简介(英文) (xxvii)

第一编 红藻碳水化合物

第1章 琼胶	(5)
§ 1.1 前言	(5)
§ 1.2 琼胶原藻及其化学成分分析	(6)
1.2.1 琼胶原藻	(6)
1.2.2 琼胶原藻的化学成分分析	(7)
§ 1.3 琼胶的一般化学成分分析及其含量季节变化	(10)
1.3.1 琼胶的一般化学成分分析	(10)
1.3.2 琼胶中一般化学成分含量的季节变化	(11)
1.3.3 琼胶的提取及其主要化学成分测定法	(16)
§ 1.4 琼胶的化学成分与结构	(19)
1.4.1 琼胶的主要组成	(19)
1.4.2 琼胶糖的分离与结构确定	(27)
1.4.3 琼胶酶在琼胶糖结构研究中的应用	(29)
1.4.4 其他琼胶类型多糖	(32)
§ 1.5 琼胶的碱处理	(33)
§ 1.6 琼胶的生物合成	(37)
§ 1.7 琼胶的分级及其各级分的化学成分分析	(39)
§ 1.8 琼胶结构的核磁共振(NMR)光谱分析	(48)
1.8.1 琼胶寡糖的 ¹ H-NMR 光谱分析	(49)
1.8.2 琼胶多糖的 ¹ H-NMR 光谱分析	(55)
1.8.3 琼胶寡糖的 ¹³ C-NMR 光谱分析	(58)
1.8.4 琼胶多糖的 ¹³ C-NMR 光谱分析	(68)
1.8.5 琼胶的固态 ¹³ C-NMR 光谱分析	(87)
§ 1.9 琼胶的红外(IR)光谱分析	(89)
1.9.1 琼胶的红外吸收特征峰	(89)
1.9.2 琼胶中硫酸基含量的相对比较	(92)
§ 1.10 琼胶的物理性质	(93)
1.10.1 溶解性	(93)
1.10.2 凝固温度与融化温度	(94)
1.10.3 凝胶化机理	(96)
1.10.4 凝胶强度	(96)

1.10.5	泌水性	(101)
1.10.6	粘度与分子量	(101)
§ 1.11	琼胶的应用与生产	(104)
§ 1.12	琼胶糖的制备与应用	(105)
1.12.1	制备琼胶糖的原藻	(105)
1.12.2	琼胶糖的制备	(105)
1.12.3	琼胶糖的应用	(108)
参考文献		(109)
第2章 卡拉胶		(117)
§ 2.1	前言	(117)
§ 2.2	卡拉胶原藻及其化学成分	(117)
2.2.1	卡拉胶原藻	(117)
2.2.2	卡拉胶原藻的化学成分分析	(118)
2.2.3	卡拉胶及其化学成分含量的季节变化	(118)
2.2.4	卡拉胶的提取及其化学成分测定法	(120)
§ 2.3	卡拉胶的化学成分与结构	(121)
2.3.1	早期的研究	(121)
2.3.2	卡拉胶的KCl分级,各种类型卡拉胶的分离及其结构确定	(122)
2.3.3	卡拉胶酶在卡拉胶结构研究中的应用	(128)
2.3.4	琼胶-卡拉胶中间多糖	(129)
2.3.5	卡拉胶原藻不同生长世代所含卡拉胶化学成分及卡拉胶的碱改性	(131)
2.3.6	卡拉胶的免疫化学	(135)
§ 2.4	卡拉胶的生物合成	(136)
§ 2.5	卡拉胶结构的核磁共振(NMR)光谱分析	(138)
2.5.1	卡拉胶的 ¹ H-NMR光谱分析	(138)
2.5.2	卡拉胶寡糖的 ¹³ C-NMR光谱分析	(139)
2.5.3	卡拉胶多糖的 ¹³ C-NMR光谱分析	(143)
2.5.4	琼胶-卡拉胶中间多糖的 ¹³ C-NMR谱图	(160)
2.5.5	卡拉胶的固态 ¹³ C-NMR光谱分析	(163)
§ 2.6	卡拉胶的红外吸收光谱分析	(165)
2.6.1	卡拉胶的红外吸收特征峰	(165)
2.6.2	卡拉胶中硫酸基含量的相对比较	(170)
§ 2.7	卡拉胶的性质	(171)
2.7.1	卡拉胶的基本性质	(171)
2.7.2	卡拉胶的粘度与分子量	(171)
2.7.3	卡拉胶的凝胶化机理	(175)
2.7.4	卡拉胶与蛋白质的作用	(179)
§ 2.8	卡拉胶的应用	(180)
§ 2.9	卡拉胶的生产	(181)
参考文献		(182)
第3章 红藻中红藻淀粉、木聚糖与甘露聚糖		(188)

§ 3.1 红藻淀粉	(188)
3.1.1 红藻淀粉的化学成分与结构	(188)
3.1.2 红藻淀粉的 ¹³ C-NMR 光谱分析	(189)
3.1.3 红藻淀粉的分离	(192)
§ 3.2 木聚糖	(192)
3.2.1 木聚糖的化学组成与结构	(192)
3.2.2 木聚糖的 ¹³ C-NMR 光谱分析	(193)
§ 3.3 甘露聚糖	(195)
参考文献	(195)
第4章 红藻低分子量碳水化合物	(197)
§ 4.1 红藻糖苷	(197)
4.1.1 红藻糖苷的化学成分与结构	(197)
4.1.2 红藻糖苷的含量分布与生物合成	(200)
§ 4.2 甘露糖苷、多糖苷与糖醇	(203)
4.2.1 甘露糖苷	(203)
4.2.2 多糖苷	(204)
4.2.3 糖醇	(205)
4.2.4 红藻糖苷与甘露糖苷的测定	(205)
参考文献	(206)

第二编 褐藻碳水化合物

第5章 褐藻胶	(208)
§ 5.1 前言	(208)
§ 5.2 褐藻胶的原藻及其化学成分分析	(209)
5.2.1 褐藻胶原藻	(209)
5.2.2 褐藻胶原藻的化学成分分析	(209)
5.2.3 褐藻胶含量的季节变化	(222)
5.2.4 褐藻胶含量的测定法	(229)
§ 5.3 褐藻胶的化学成分与结构	(231)
5.3.1 组成糖的确定	(231)
5.3.2 基本结构的确定	(232)
5.3.3 古罗糖醛酸的发现	(234)
5.3.4 各种褐藻中褐藻胶的 M/G 比值	(235)
5.3.5 M/G 比值的测定法	(239)
5.3.6 糖醛酸的连接方式	(241)
5.3.7 糖醛酸的排列顺序	(242)
5.3.8 褐藻胶的立体化学结构	(244)
5.3.9 褐藻胶的分级	(245)
5.3.10 细菌褐藻胶	(250)
5.3.11 差向异构作用	(250)
§ 5.4 褐藻胶的生物合成	(251)

§ 5.5 褐藻胶的光谱分析	(255)
5.5.1 褐藻胶的 ¹ H-NMR 光谱分析	(255)
5.5.2 褐藻胶的 ¹³ C-NMR 光谱分析	(260)
5.5.3 褐藻胶的圆二色性分析	(264)
5.5.4 褐藻胶的红外吸收光谱分析	(266)
§ 5.6 褐藻胶的物理化学性质	(267)
5.6.1 褐藻胶的溶解度	(267)
5.6.2 褐藻酸的溶解性质	(268)
5.6.3 褐藻胶的粘度与分子量	(271)
5.6.4 褐藻胶与金属离子的作用	(278)
5.6.5 褐藻胶的凝胶化机理	(281)
§ 5.7 褐藻胶对放射性锶及其他放射性同位素的阻吸作用	(282)
5.7.1 褐藻胶对放射性锶的阻吸作用	(282)
5.7.2 动物试验与人体试验	(283)
5.7.3 褐藻胶对其他放射性同位素的阻吸作用	(284)
5.7.4 富古罗糖醛酸褐藻胶的对锶阻吸作用	(285)
5.7.5 制备高含量古罗糖醛酸褐藻胶的途径	(286)
§ 5.8 褐藻胶的衍生物	(292)
5.8.1 褐藻酸丙二酯	(292)
5.8.2 褐藻酸硫酸盐类及其衍生物	(294)
§ 5.9 褐藻胶的应用与生产	(295)
5.9.1 褐藻胶的应用	(295)
5.9.2 褐藻胶的生产	(296)
5.9.3 海带的综合利用	(297)
参考文献	(297)
第 6 章 海带淀粉	(305)
§ 6.1 海带淀粉的化学成分与结构	(305)
§ 6.2 海带淀粉的分离及其测定	(308)
6.2.1 海带淀粉的分离	(308)
6.2.2 海带淀粉含量的测定法	(309)
§ 6.3 海带淀粉的性质	(310)
§ 6.4 海带淀粉的含量季节变化	(311)
§ 6.5 海带淀粉的生物合成	(314)
§ 6.6 海带淀粉的衍生物及其应用	(315)
参考文献	(316)
第 7 章 褐藻糖胶	(318)
§ 7.1 褐藻糖胶的基本化学成分与结构	(318)
§ 7.2 褐藻糖胶组分的复杂性及分级研究	(320)
§ 7.3 褐藻糖胶的生物合成	(326)
§ 7.4 褐藻糖胶在褐藻中的含量及其变化	(327)
§ 7.5 褐藻糖胶的分离与提纯	(330)

7.5.1 褐藻糖胶的分离	(330)
7.5.2 褐藻糖胶的提纯	(332)
§ 7.6 褐藻糖胶的物理化学性质与应用	(333)
§ 7.7 褐藻糖的分离与测定	(335)
参考文献	(337)
第8章 海藻纤维素	(341)
§ 8.1 海藻纤维素的化学成分	(341)
§ 8.2 海藻纤维素的含量、季节变化、测定法与制备	(341)
参考文献	(344)
第9章 褐藻低分子量碳水化合物	(345)
§ 9.1 糖醇	(345)
9.1.1 甘露醇的含量、季节变化及测定法	(345)
9.1.2 甘露醇的生物合成	(350)
9.1.3 甘露醇的生产与应用	(351)
9.1.4 其他糖醇类	(352)
§ 9.2 糖苷	(353)
参考文献	(354)

第三编 绿藻与海草碳水化合物

第10章 绿藻碳水化合物	(356)
§ 10.1 前言	(356)
§ 10.2 绿藻及所含多糖的一般化学成分分析	(356)
§ 10.3 绿藻多糖的化学成分与结构	(358)
10.3.1 木聚糖	(359)
10.3.2 甘露聚糖	(359)
10.3.3 葡聚糖	(360)
10.3.4 硫酸多糖——木糖-半乳糖-阿拉伯糖聚合物和葡萄糖醛酸-木糖-鼠李糖聚合物	(361)
§ 10.4 绿藻低分子量碳水化合物	(366)
参考文献	(367)
第11章 海草碳水化合物	(369)
§ 11.1 前言	(369)
§ 11.2 大叶藻胶的性质与分离	(369)
11.2.1 大叶藻胶的性质	(369)
11.2.2 大叶藻胶的分离	(370)
§ 11.3 大叶藻胶的化学成分与结构	(370)
参考文献	(373)

第四编 海藻含氮化合物

第12章 海藻中总氮、氨基酸及其他含氮化合物	(374)
-------------------------------------	-------

§ 12.1	前言	(374)
§ 12.2	海藻中氮含量及其分布	(374)
§ 12.3	海藻中的游离氨基酸	(382)
12.3.1	海藻中游离氨基酸的含量	(382)
12.3.2	海藻不同部位中游离氨基酸的含量	(388)
12.3.3	游离氨基酸含量的季节变化	(388)
12.3.4	游离氨基酸的生物合成	(394)
§ 12.4	海藻肽类	(394)
12.4.1	海藻肽类的定性	(394)
12.4.2	海藻肽类的分离	(396)
§ 12.5	海藻总氨基酸	(399)
12.5.1	海藻中总氨基酸的含量	(399)
12.5.2	海藻不同部位中总氨基酸的含量	(405)
12.5.3	海藻总氨基酸含量季节变化	(405)
§ 12.6	海藻蛋白质氨基酸	(406)
§ 12.7	海藻特殊氨基酸与氨基磺酸类	(408)
12.7.1	酸性氨基酸	(409)
12.7.2	碱性氨基酸	(414)
12.7.3	中性氨基酸	(418)
12.7.4	含硫氨基酸	(421)
12.7.5	氨基磺酸类	(423)
§ 12.8	海藻中其他含氮化合物	(425)
12.8.1	季铵碱类	(425)
12.8.2	胺类	(429)
12.8.3	酰胺类	(432)
12.8.4	核酸	(434)
12.8.5	细胞色素 C	(437)
12.8.6	吡啶类化合物	(438)
	参考文献	(441)
第 13 章	海藻酶类	(449)
§ 13.1	糖酶类	(449)
§ 13.2	其他代谢酶类	(451)
§ 13.3	海藻酶的制备与活性测定	(454)
	参考文献	(455)

第五编 藻类色素

第 14 章	藻类中叶绿素	(458)
§ 14.1	藻类叶绿素的种类与性质	(458)
§ 14.2	藻类中叶绿素的分布	(460)
§ 14.3	藻类叶绿素的提取、测定与分离	(466)
14.3.1	叶绿素的提取与测定	(466)

14.3.2 叶绿素的分离	(467)
参考文献	(469)
第15章 藻类中类胡萝卜素	(470)
§ 15.1 类胡萝卜素的化学结构、性质与命名	(470)
15.1.1 胡萝卜素	(470)
15.1.2 叶黄素类	(471)
§ 15.2 藻类中类胡萝卜素的分布	(474)
§ 15.3 海藻中类胡萝卜素的含量与季节变化	(478)
§ 15.4 海藻中类胡萝卜素的分离与测定	(481)
15.4.1 海藻中类胡萝卜素的提取与分离	(481)
15.4.2 类胡萝卜素的测定	(481)
参考文献	(482)
第16章 藻胆蛋白	(485)
§ 16.1 前言	(485)
§ 16.2 藻胆蛋白在海藻中的分布与含量变化	(485)
§ 16.3 藻胆蛋白的性质	(489)
§ 16.4 藻胆蛋白的分离与测定	(493)
§ 16.5 藻胆蛋白的胆色素辅基	(495)
§ 16.6 藻胆色素的分离	(497)
§ 16.7 藻胆蛋白的氨基酸组成	(498)
§ 16.8 藻胆蛋白的分子量与结构	(501)
参考文献	(506)

第六编 海藻脂类化合物

第17章 海藻脂类和烃类	(508)
§ 17.1 海藻总脂类含量及脂类的区分	(508)
17.1.1 海藻中总脂类含量及其变化	(508)
17.1.2 脂类的区分	(510)
§ 17.2 海藻脂肪酸	(511)
17.2.1 饱和和不饱和脂肪酸	(511)
17.2.2 海藻中脂肪酸的分布及其含量季节变化	(512)
17.2.3 海藻中脂肪酸的分布	(526)
§ 17.3 海藻中不同类型酰基脂类	(529)
§ 17.4 海藻中不同类型脂类的分布与测定	(531)
17.4.1 海藻中各类型脂类的分布	(531)
17.4.2 海藻脂类的提取、分离与测定法	(539)
§ 17.5 海藻前列腺素	(541)
§ 17.6 海藻烃类化合物	(542)
17.6.1 海藻中烃类的分布	(542)
17.6.2 几种特殊的海藻烯烃	(548)