

# 渔业技术与健康养殖

(2015—2016)

Fishery Technology and Healthy Culture

郭 文 主编

中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

# 渔业技术与健康养殖

（2015—2016）

郭　文　主编

中国海洋大学出版社

·青岛·

## 内容简介

本书收录了山东省海洋生物研究院科研人员在2015—2016年期间发表在中文核心期刊和英文期刊的55篇论文，涵盖基础生物学及生理生态、繁育生物学与种质繁育、健康养殖技术、营养生理与水产品安全、水生动物病害防治和附录六部分。本书作为山东省海洋生物研究院阶段性成果的总结，可供高校学生、科研院所及海洋渔业科技人员、企业技术人员参考、查阅和收藏。

**图书在版编目(CIP)数据**

渔业技术与健康养殖. 2015—2016/ 郭文主编. —
青岛：中国海洋大学出版社，2017. 12
ISBN 978-7-5670-1664-4

Ⅰ. ①渔… Ⅱ. ①郭… Ⅲ. ①渔业—文集②水产养殖—文集 Ⅳ. ① S9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 327137 号

| | | | |
|---|---|---|---|
| 出版发行 | 中国海洋大学出版社 | | |
| 社　　址 | 青岛市香港东路 23 号 | 邮政编码 | 266071 |
| 出 版 人 | 杨立敏 | | |
| 网　　址 | http://www.ouc-press.com | | |
| 电子信箱 | 1193406329@qq. com | | |
| 订购电话 | 0532-82032573(传真) | | |
| 责任编辑 | 孙宇菲 | 电　　话 | 0532-85902342 |
| 装帧设计 | 青岛汇英栋梁文化传媒有限公司 | | |
| 印　　制 | 蓬莱利华印刷有限公司 | | |
| 版　　次 | 2017 年 12 月第 1 版 | | |
| 印　　次 | 2017 年 12 月第 1 次印刷 | | |
| 成品尺寸 | 185 mm × 260 mm | | |
| 印　　张 | 28.25 | | |
| 字　　数 | 687 千 | | |
| 印　　数 | 1—1000 | | |
| 定　　价 | 98. 00 元 | | |

发现印装质量问题，请致电 0535-5651533，由印刷厂负责调换。

## 编委会


主　编　郭　文

副主编　刘洪军　吴海一

编　委　雷西娟　宋爱环　李天保　邱兆星　李成林

王　颖　官曙光　刘广斌　胡发文　于道德

王　娟　潘　雷　赵旭东

# 前言 Preface

“十三五”开年以来，山东省海洋生物研究院坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，主动适应海洋经济发展新常态，加快法人治理结构改革，成为山东省内首家成立理事会的省属科研院所。作为“第一个吃螃蟹的人”，我院充分发挥开拓创新、勇于担当的优良传统，主动适应新的管理体制、创新模式和治理结构变化，充分调动积极性、主动性和创造性，积极投身科技创新、科技兴海战略，面向产业，服务基层，不断提高核心竞争力。全院职工特别是科技工作者，顺应国家机制体制创新创业发展的大好形势，激发出了更大的科研热情、更强的科研活力；涌现出了深入基层、久居一线、卧薪尝胆、勇闯难关的一大批科技工作者。“海生·河口”“海生·滨州”渔业科技精准对接启动会以来，围绕“海上粮仓”“海洋牧场”建设，针对当地渔业发展瓶颈问题，依托我院游泳生物、底栖生物、良种繁育和藻类等多个研究中心的科研团队，与大型渔业企业开展“一对一”的科企精准对接，成效显著，成绩斐然。

为了更好地促进海洋渔业技术交流与推广，我们收集和整理了本院科技人员在2015—2016年期间发表在中文核心期刊和英文期刊的55篇论文，编写了《渔业技术与健康养殖(2015—2016)》一书。本书涵盖了海洋生物苗种选繁育、增养殖、疫病防控与病害防治、渔业设施与工程、海洋牧场构建及渔业资源修复等内容；涉及国家科学技术进步二等奖、山东省科学技术进步二等奖、海洋工程科学技术二等奖等多项科技成果。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本书作为我院阶段性成果的总结，可供海洋渔业科研工作者、企业技术人员、高校学生等相关人员参考、查阅和收藏，以期为推动山东省“海上粮仓”建设贡献一分力量。

“志之所趋，无远弗届，穷山距海，不能限也。”我们将凭借永不停息的奋斗精神，迈步在新时代的海洋科技研发浪潮中，为山东省“海上粮仓”建设助力，为实现“两个一百年”奋斗目标、实现海洋强国而奉献我们的青春和智慧！

山东省海洋生物研究院院长 

2016年12月20日

# 目 录
# Contents

## 第一章 基础生物学及生理生态


3 种马尾藻的营养组成分析 ……3
裙带菜(*Undaria pinnatifida*)配子体对氨态氮和硝态氮的吸收利用比较 ……10
不同氮源加富对海带生长、光合固碳和氮吸收特性的影响 ……19
浒苔的营养盐吸收及生长研究 ……28
硝氮和紫外辐射对龙须菜碳氮利用的影响 ……33
不同氮浓度下盐胁迫对坛紫菜(*Pyropia haitanensis*)生长和光合作用的影响 ……45
薄荷醇麻醉剥离参苗与玻璃海鞘分离的研究 ……55
硫酸镁对仿刺参幼参麻醉效果的研究 ……64
薄荷醇对仿刺参幼参的麻醉效果 ……71
低盐环境对 3 种规格刺参(*Apostichopus japonicus*)幼参生长与消化酶活力的影响 ……79
斑点鳟(*Oncorhynchus mykiss*)稚鱼消化道组织学观察 ……86
Isolation and characterization of novel polymorphic microsatellite loci in *Perinereis aibuhitensis* ……92
Phenological study of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyta) at Lidao Bay, Rongcheng of China ……95


## 第二章 繁育生物学与种质繁育


鼠尾藻群体的有性生殖力影响因素研究 ……109
海黍子有性生殖相关形态建成因子分析 ……114
水动力条件对鼠尾藻幼苗生长的影响 ……122
沙蚕类性信息素研究进展 ……129
MS-222 麻醉黑鲷幼鱼的初步研究 ……139

大泷六线鱼精子的超微结构观察……145
大泷六线鱼全人工繁育技术研究……151
源核苷酸对大菱鲆幼鱼生长和溶菌酶活力的影响……158
Improvement of the zygote utilization and reduction of the seedling loss in the early stage of seedling production of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyta) ……166

## 第三章 健康养殖技术

芽孢杆菌组合对海水养殖水体 COD 的降解效果……177
一株刺参养殖池塘降解菌的鉴定及其发酵条件的优化……185
海黍子对仿刺参生长及水环境因子的影响……192
鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)对刺参生长及水环境的影响……197
海黍子(*Sargassum muticum*)池塘养殖及对氮磷去除效果的研究……204
龙须菜池塘养殖及对氮磷去除效果的研究……211
鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)增殖技术初步研究……215
人工养殖溢值空间——渔光互补……221
鲑鳟鱼类(降海型)陆海接力养殖技术……223
Habitat suitability of *Scapharca subcrenata* (Lischke) in the shallow water of Xiaoheishan Island……228

## 第四章 营养生理与水产品安全

多棘海盘车体壁酸法脱钙工艺及体壁变化……245
响应面法优化罗氏海盘车生殖腺皂甙脱除技术研究……254
两种甘薯饲料原料营养成分及其对仿刺参(*Apostichopus japonicus*)摄食与生长的影响……262
海星棘皮作为仿刺参饲料添加成分的可行性研究……271
海星棘皮投喂仿刺参(*Apostichopus japonicas* Selenka)的效果……279
几种陆、海生植物源对仿刺参幼参生长指标的影响……288
无机镉对魁蚶(*Scapharca broughtonii*)毒性效应及其安全性评价……297
魁蚶养殖水体中 As、Pb、Cd 安全限量的研究……306
生态化池塘养殖模式下凡纳滨对虾与日本囊对虾营养成分的比较……314
浒苔虾丸配方的优化……323
大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)鱼皮的营养成分分析……331

响应面法优化狭鳕鱼鱼皮酸溶性胶原蛋白质的提取工艺……339
明胶-壳聚糖可食膜的制备及性能表征 ……348
水产品生物保鲜技术研究进展……359
不同饲料配方下浒苔添加量对大菱鲆生长性能的研究……367

## 第五章 水生动物病害防治

间接 ELISA 快速检测副溶血弧菌方法的研究……379
免疫增强剂党参对仿刺参肠道菌群的影响……386
免疫增强剂对仿刺参肠道微生物的影响……396
Expression of immune-related genes in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) during bacterial challenge ……404
仿刺参养殖病害预警体系探究……412
中国对虾与日本对虾对白斑综合征病毒(WSSV)耐受力的比较 ……418
Immunopotentiating effect of small peptides on primary culture coelomocytes of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* ……422

## 附 录

牡蛎常见病害初诊速查检索表……435
鲆鲽鱼类常见病害初诊速查检索表……438

# 第一章

# 基础生物学及生理生态



需要全本请访问 www.ertongbook.com

# 3 种马尾藻的营养组成分析

鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)、海黍子(*Sargassum muticum*)及铜藻(*Sargassum horneri*)等是一类具有较高经济价值的褐藻,它们不仅是藻胶工业的优质原料,也是制备医药、食品、饲料、有机肥等的优质原料。这类褐藻在我国近海分布广泛,是海藻场及海底森林的主要组成部分。大部分的马尾藻一般不直接食用,但可以广泛应用于饲料、藻胶和医药行业。每种马尾藻的营养组成有着较大的差异,因此我们需要对其进行研究,进而更合理地利用。目前已有报道研究大连海黍子[1]、海南马尾藻[2]、广东亨氏马尾藻[3]、浙江一种马尾藻(羊栖菜)[4]的基本营养成分,如氨基酸、微量元素、维生素等,但有关马尾藻中褐藻胶、岩藻黄素、褐藻多酚这些活性成分分析资料较少。本文采集山东荣成自然资源量较大的三种马尾藻,对其主要营养组成及功能活性成分物质进行测定及分析。扩大马尾藻这一大型经济藻类的应用范围,提高其开发利用价值,可为充分开发利用海藻资源提供一定的科学理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 海藻采集与处理

2015 年 6 月采集荣成俚岛湾海洋科技有限公司附近潮间带生长的鼠尾藻,潮下带生长的海黍子,以及筏架上漂浮生长的铜藻。所有采集的海藻用过滤海水洗刷后,60℃烘干,装入自封袋中,置于冰箱中冷冻保存。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 一般组分测定

粗蛋白的含量测定采用经典的凯氏定氮法;粗脂肪的含量测定采用索氏抽提法;粗纤维的含量测定采用重量法;灰分的测定采用 560℃煅烧法;不溶性膳食纤维的含量测定根据中华人民共和国国家标准 GB 12394—90。

#### 1.2.2 氨基酸测定

采用氨基酸自动分析仪法测定。样品用 2 mL 5 mol·$L^{-1}$ 盐酸 110℃水解 24 h 后,过滤后,用真空泵 40℃抽干,再加 pH 5.5 的磷酸缓冲液稀释到一定体积,摇匀,取一定量的水解样品用氨基酸自动分析仪进行测定。

1.2.3 微量元素以及维生素测定

微量元素的测定：海藻样品用 $HNO_3$-$HClO_4$ 混酸消解至无色透明，用蒸馏水定容至一定体积，备用。用原子吸收光谱仪测定微量元素 Cu、Fe、Zn，用荧光分光光度法测定元素 Se（海洋监测规范生物体分析 GB 17378.6—1998）。

维生素 $B_1$ 采用国标 GB/T 5009.84—2003 方法测定，维生素 $B_2$ 采用 GB/T 14701—2002 方法测定。

1.2.4 海藻多糖测定

1.2.4.1 褐藻胶的含量测定。

准确称取 1.0 g 海藻干样品，加 2.0 mol·$L^{-1}$ 盐酸 30 mL 浸泡过夜，然后用蒸馏水洗至无氯离子为止；再用 0.1 mol·$L^{-1}$ 醋酸钙溶液 30 mL 浸泡 2 h，用 0.1 mol·$L^{-1}$ 氢氧化钠溶液滴定含有海藻的醋酸钙溶液[5]。

1.2.4.2 褐藻淀粉和硫酸多糖的含量测定。

采用硫酸苯酚法检测褐藻淀粉和硫酸多糖含量。取 10 g 海藻干粉，加 20 mL 甲醇脱色 3 次后，用 80℃热水提取 2 h。5 000×g 离心后，收集上清液旋转浓缩。然后加入 10 mL 50%乙醇，离心收集的沉淀物为褐藻淀粉。上清液中再加入 10 mL 80%乙醇沉淀，收集的沉淀物，即为硫酸多糖。

1.2.5 其他生物活性物质含量测定

1.2.5.1 甘露醇含量测定。

采用硫代硫酸钠滴定法：海藻用蒸馏水浸泡 24 h，将提取液浓缩沉淀，置于碘瓶中，加入 3.2 g·$L^{-1}$ 高碘酸钠溶液及 1:20（水：硫酸）硫酸溶液，置 50℃水浴中加热 15 min，放冷。加入 16.5%碘化钾溶液，放置 5 min，用 0.1 mol·$L^{-1}$ 硫代硫酸钠滴定液滴定，至近终点时，加 1%淀粉溶液 1.0 mL 滴定，每 1.0 mL 硫代硫酸钠滴定液（0.1 mol·$L^{-1}$）相当于 1.821 8 mg 甘露醇。

1.2.5.2 岩藻黄素含量测定。

准确称取 1.05 g 马尾藻干粉，用 20 mL 甲醇在 60℃的条件下避光静置，浸提 2 次，每次 1 h。浸提液冷冻离心后取上清液，将得到的类胡萝卜素提取液转入液漏斗中，逐渐加入正己烷，充分震荡，放置分层，类胡萝卜素保留在上层的正己烷中，再用正己烷对下层甲醇水溶液进行萃取 3 次，直至不能再从下层中萃取出岩藻黄素物质为止，最后舍掉下层，合并所得类胡萝卜素正己烷溶液。在岩藻黄素特定吸收波长 450 nm 下测吸光度值，按下式算出岩藻黄素的含量。

$$\text{岩藻黄素}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}) = (A_{455} \times n \times 1\,000) / (A_{1\,\text{cm}}^{1\%} \times M \times 100)$$

式中，$A_{455}$ 为样品在 445 nm 处的吸光值；$(A_{1\,\text{cm}}^{1\%} \times M)$ 为在 1 cm 光程长的比色皿中 1 g·$L^{-1}$ 浓度岩藻黄素的理论吸收值，即 1 600；$n$ 为稀释倍数；$V$ 为提取液总体积（mL）；$M$ 为样品重量（g）。

1.2.5.3 褐藻多酚含量测定。

准确称取 2 g 干样品，加 50 mL 蒸馏水，于高压锅内 121℃提取 15 min。提取液 3 000 r·$min^{-1}$ 离心 20 min，用蒸馏水将上清液定容至 50 mL，得到热水提取的褐藻多酚溶液。然后加入 3

倍体积的95%乙醇溶液进行沉淀，静置10 min后离心，旋转蒸发出上清液中的乙醇，浓缩液加蒸馏水定容至50 mL，得到褐藻多酚溶液。取1 mL此褐藻多酚溶液置于15 mL试管中，加水稀释至7 mL，混合均匀，加入1 mL Folin-Denis试剂摇匀，3 min后加入2 mL饱和碳酸钠溶液，充分混合，3 h后于710 nm测定吸光值。用1%间苯三酚标准液按上述方法做出标准曲线，样品测得的710 nm处吸光值代入标准曲线公式中即可求得褐藻多酚含量。

Folin-Denis试剂为磷酸钨铝复合物，将20 g钨酸钠、80 g钼酸钠、50 mL（85%）磷酸及750 mL水混合，加热回流2 h，冷却后加水定容至1 L。

## 2 结果分析

### 2.1 3种马尾藻的一般组成含量

从表1可以看出，鼠尾藻与海黍子的蛋白质含量相对较高，粗纤维含量相对较低；铜藻的蛋白质含量最低，粗纤维含量最高；3种海藻的脂肪含量都比较低。总体来说，海黍子与鼠尾藻的基本营养成分组成比较接近。

**表1 3种马尾藻的主要成分组成（$g \cdot 100^{-1} \cdot g^{-1}$干重）**

| 藻 类 | 粗蛋白 | 粗脂肪 | 粗纤维 | 不溶性膳食纤维 | 灰 分 | 维生素$B_1$（$\mu g \cdot g^{-1}$） | 维生素$B_2$（$\mu g \cdot g^{-1}$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 鼠尾藻（*S. thunbergii*） | 19.1 | 2.3 | 5.4 | 19.6 | 27.0 | 0.22 | 4.2 |
| 海黍子（*S. muticum*） | 19.3 | 2.5 | 6.2 | 14.7 | 25.9 | 0.33 | 5.7 |
| 铜藻（*S. horneri*） | 14.4 | 1.8 | 9.6 | 18.5 | 24.8 | 0.22 | 2.8 |

已报道的海藻中蛋白质含量一般在20%以下，本试验中3种海藻的粗蛋白含量为14.1%～19.1%，高于海带（6.4%）[6]；其中，鼠尾藻与海黍子中粗蛋白含量比较高，与羊栖菜（15.3%）及裙带菜（17.2%）的粗蛋白含量[4]接近，而铜藻中粗蛋白含量在3种海藻中最低。

粗纤维仅包含部分纤维素、半纤维素、木质素及少量含氮化合物，而膳食纤维包含纤维素、半纤维素、戊聚糖、木质素、果胶、树胶等，因此膳食纤维比粗纤维更能客观、准确地反映食物的可利用率。鼠尾藻、铜藻的不溶性膳食纤维含量比较高，可作为强化纤维配方食品的添加剂。

海藻中含有丰富的维生素，如脂溶性维生素A、D的前体，维生素E、K，水溶性维生素$B_1$、$B_2$、$B_3$、$B_{12}$以及维生素C等。受试验条件限制，我们只测定3种海藻中维生素$B_1$、$B_2$的含量，结果显示3种海藻中维生素$B_2$的含量较高（表1）。

### 2.2 蛋白质的氨基酸组成含量

由表2可知，马尾藻含有17种氨基酸，缺少色氨酸。鼠尾藻、海黍子、铜藻氨基酸总量分别是16.5 $g \cdot 100^{-1} \cdot g^{-1}$，15.4 $g \cdot 100^{-1} \cdot g^{-1}$，16.95 $g \cdot 100^{-1} \cdot g^{-1}$，必需氨基酸含量分别是

5.27 g·100$^{-1}$·g$^{-1}$, 5.70 g·100$^{-1}$·g$^{-1}$, 5.30 g·100$^{-1}$·g$^{-1}$; 必需氨基酸占总氨基酸含量分别为31.9%, 37.0%, 31.3%。WHO推荐的理想蛋白质模式是必需氨基酸占总氨基酸的40%左右,海黍子的氨基酸组成比较接近这一要求。

表2 3种马尾藻蛋白质的氨基酸组成及含量(g·100$^{-1}$·g$^{-1}$)

| 氨基酸 | 鼠尾藻 (*S. thunbergii*) | 海黍子 (*S. muticum*) | 铜藻 (*S. horneri*) |
|---|---|---|---|
| 天门冬氨酸(Asp)(Thr)(Thr)(Asp) | 1.37 | 1.26 | 1.41 |
| 苏氨酸*(Thr) | 0.59 | 0.53 | 0.65 |
| 丝氨酸(Ser) | 0.54 | 0.49 | 0.59 |
| 谷氨酸(Glu) | 5.36 | 4.59 | 1.58 |
| 脯氨酸(Pro) | 0.59 | 0.74 | 0.58 |
| 甘氨酸(Gly) | 0.66 | 0.66 | 0.76 |
| 丙氨酸(Ala) | 1.88 | 1.13 | 0.85 |
| 胱氨酸*(Cys) | 0.55 | 1.13 | 0.02 |
| 缬氨酸*(Val) | 0.72 | 0.74 | 0.82 |
| 蛋氨酸*(Met) | 0.20 | 0.19 | 0.24 |
| 异亮氨酸*(Ile) | 0.58 | 0.58 | 0.69 |
| 亮氨酸*(Leu) | 0.94 | 0.97 | 1.12 |
| 酪氨酸*(Tyr) | 0.39 | 0.30 | 0.35 |
| 苯丙氨酸*(Phe) | 0.64 | 0.60 | 0.71 |
| 赖氨酸*(Lys) | 0.66 | 0.66 | 0.70 |
| 组氨酸(His) | 0.22 | 0.22 | 0.21 |
| 精氨酸(Arg) | 0.61 | 0.61 | 0.67 |
| 氨基酸总量(TAA) | 16.5 | 15.40 | 16.95 |
| 必需氨基酸(EAA) | 5.27 | 5.70 | 5.30 |

注:*. 必需氨基酸。

## 2.3 微量元素及维生素含量

海藻中含有海水中所有的无机元素,其中K、Na、Mg、Ca、Cl含量很高,是无机元素的宝库,这些无机元素在人体内参与生命的过程中,起着非常重要的作用。海藻有将海水中元素浓缩的能力,比如铁在海水中含量一般为0.01 mg·kg$^{-1}$,而本试验所测得的3种马尾藻中铁含量为110～426 mg·kg$^{-1}$。铜是许多生物必需的元素,元素硒存在于细胞色素及一些酶中,具有很强的生理活性。从表3可以看出,3种海藻的微量元素含量比较丰富,特别是铁的含量远高于海带的(39 mg·kg$^{-1}$)[7],但低于报道的亨氏马尾藻(500 mg·kg$^{-1}$),硒的含量比亨氏马尾藻高(30 μg·kg$^{-1}$)[3]。

表3 3种马尾藻的微量元素及维生素含量

| 样 品 | 铜 ($mg \cdot kg^{-1}$) | 铁 ($mg \cdot kg^{-1}$) | 锌 ($mg \cdot kg^{-1}$) | 硒 ($\mu g \cdot kg^{-1}$) | 维生素 $B_1$ ($\mu g \cdot g^{-1}$) | 维生素 $B_2$ ($\mu g \cdot g^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 鼠尾藻 (*S. thunbergii*) | 6.8 | 132 | 36 | 410 | 0.22 | 4.2 |
| 海黍子 (*S. muticum*) | 14.9 | 110 | 26 | 300 | 0.33 | 5.7 |
| 铜藻 (*S. horneri*) | 11.7 | 426 | 30 | 369 | 0.22 | 2.8 |

## 2.4 褐藻多糖含量

褐藻多糖主要分为细胞间质多糖及细胞内贮藏多糖，细胞间质多糖包括褐藻胶及硫酸多糖，细胞内贮藏多糖多为淀粉类物质。

### 2.4.1 褐藻胶及硫酸多糖含量

褐藻胶是褐藻细胞间质多糖的主要成分，具有高分子阴离子化合物的特性，是维持褐藻生命活动所必需的基础物质，其主要成分为多聚甘露糖醛酸(M)和多聚古罗糖醛酸(G)所构成的高分子化合物。褐藻胶主要用作食品、纺织、橡胶、医药等工业的助剂。本试验海藻中褐藻胶含量为12.4%～26.2%，其中鼠尾藻的褐藻胶含量最高，鼠尾藻及铜藻中的褐藻胶含量与海带褐藻胶含量(24.5%)[7]接近(表4)。从马尾藻提取的褐藻胶与从海带中提取的褐藻胶在分子量、凝胶强度等特征上有很大的差异，用途不尽相同，目前从马尾藻提取的褐藻胶在市场上比较紧缺。

表4 3种马尾藻中的褐藻胶含量

| 样 品 | 褐藻胶含量(%) |
|---|---|
| 鼠尾藻(*S. thunbergii*) | 26.2±2.5 |
| 海黍子(*S. muticum*) | 12.4±1.8 |
| 铜藻(*S. horneri*) | 22.1±2.2 |

褐藻中岩藻聚糖硫酸酯具有抗凝血、降血脂、抗肿瘤、抗病毒、增强机体免疫机制等多种生理活性，在工业、农业、环保、轻工、食品、医疗等领域有重要的应用价值。比较发现，铜藻的岩藻聚糖硫酸酯含量最高，其次是海黍子，鼠尾藻含量最低。从海藻中岩藻聚糖硫酸酯的单糖组成(表5)中可以看出，海黍子和铜藻中的岩藻糖含量最高，达到27%以上，而鼠尾藻中的岩藻糖含量比较低；鼠尾藻中甘露糖含量最高。海藻岩藻聚糖硫酸酯中同时含有微量的葡萄糖醛酸、氨基葡萄糖、鼠李糖、葡萄糖和木糖。

表5　3种海藻的岩藻聚糖硫酸酯的单糖组成

| 单　糖 | 鼠尾藻（*S. thunbergii*）（%） | 海黍子（*S. muticum*）（%） | 铜藻（*S. horneri*）（%） |
|---|---|---|---|
| 甘露糖 | 36.6 | 21.20 | 29.1 |
| 氨基葡萄糖 | 0.9 | 1.10 | 1.1 |
| 鼠李糖 | 1.1 | 1.30 | 2.5 |
| 葡萄糖醛酸 | 10.3 | 7.10 | 8.2 |
| 葡萄糖 | 2.7 | 6.55 | 3.6 |
| 半乳糖 | 17.8 | 30.95 | 25.9 |
| 木糖 | 6.6 | 2.50 | 2.1 |
| 岩藻糖 | 24.2 | 29.20 | 27.5 |

### 2.4.2 褐藻淀粉

褐藻淀粉是褐藻细胞内储存的多糖。所测得的3种马尾藻中褐藻淀粉含量都很低（表6）。

表6　3种马尾藻褐藻淀粉含量

| 样　品 | 褐藻淀粉含量（%） |
|---|---|
| 鼠尾藻（*S. thunbergii*） | 0.21 |
| 海黍子（*S. muticum*） | 0.38 |
| 铜藻（*S. horneri*） | 0.04 |

## 2.5 其他活性成分含量

岩藻黄素属于类胡萝卜素类的化合物，具有优越的抗氧化作用和抗肥胖、抗肿瘤、调节血糖含量和清除自由基等活性，岩藻黄素易被氧化，对光不稳定。褐藻多酚是海藻体内的化学防御物质，分子量从几百到几十万，褐藻多酚具有多种化学及生物活性，如络合金属离子，可抑制淀粉酶、醋酶、抗血纤维蛋白溶酶活性，抑制微生物生长，抑制附生藻类生长，抑制植食动物摄食，凝集血红细胞[8]。褐藻多酚具有较强的抗氧化作用，在高度不饱和脂肪酸的抗氧化试验中发现，它比目前常用的抗氧化剂BHT的活性高2.5倍[9]。

从表7可以看出，铜藻中岩藻黄素比较高，达到0.74 $mg \cdot g^{-1}$，比文献中报道的海带岩藻黄素（0.556 $mg \cdot g^{-1}$）高，比裙带菜的岩藻黄素（1.21 $mg \cdot g^{-1}$）低。鼠尾藻及海黍子的褐藻多酚含量比较高，3种海藻的甘露醇含量接近，比海带的甘露醇7%以上含量[10]低很多。

表7　3种马尾藻中活性成分含量

| 样品名称 | 岩藻黄素含量（$mg \cdot g^{-1}$） | 多酚总量（$mg \cdot g^{-1}$） | 甘露醇（%） |
|---|---|---|---|
| 鼠尾藻（*S. thunbergii*） | 0.45±0.05 | 6.48±1.02 | 0.44 |
| 海黍子（*S. muticum*） | 0.26±0.05 | 5.33±0.58 | 0.45 |
| 铜藻（*S. horneri*） | 0.74±0.01 | 1.34±0.02 | 0.43 |



需要全本请访问 www.ertongbook.com