

# 裂片石莼营养价值的评价及其多糖制备的初步研究

叶方方<sup>1,2</sup>, 吴后波<sup>1</sup>, 向文洲<sup>1</sup>, 吴华莲<sup>1</sup>, 戴世赬<sup>1</sup>, 贾其坤<sup>1,2</sup>, 陈灿坤<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 南海海洋研究所, 中国科学院 热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广东 广州 510301; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 福建海兴保健食品有限公司, 福建 福州, 350325)

**摘要:** 对采自福建的野生裂片石莼(*Ulva fasciata*)进行了分类学鉴定和营养价值评估; 采用微波加热新方法, 进一步研究了裂片石莼多糖提取工艺。研究表明, 裂片石莼的总糖、粗蛋白质、总氨基酸和总脂含量分别为 34.38%、27.60%、25.20%、11.70%; 其必需氨基酸含量为 10.0%, 氨基酸比值系数分(SRC)=79.77; 裂片石莼的重金属元素含量达到国家海藻制品的限量标准。研究结果还表明, 通过正交实验优化微波加热提取工艺, 与传统加热提取工艺相比, 裂片石莼多糖的得率提高了 21.35%, 而耗能降低了 58.51%。

**关键词:** 大型海藻; 裂片石莼(*Ulva fasciata*); 分子鉴定; 营养组分; 正交实验优化

中图分类号: Q599 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)-03-0033-09

doi: 10.11759/hyxx20140320003

石莼又名海白菜、海菠菜、海莴苣等, 属于绿藻门石莼目石莼科, 常见种类有孔石莼、菜石莼、砺菜、裂片石莼等。其中菜石莼(*Ulva lactuca*)与孔石莼(*U. pertusa*)广泛分布于温带至亚热带海洋中, 是我国野生海藻类中极为丰富的资源<sup>[1]</sup>。石莼营养丰富、味道鲜美, 具有很高的药用价值<sup>[2]</sup>。石莼多糖(石莼聚糖, Ulvan)具有降血脂、降胆固醇、抗凝血<sup>[3]</sup>、抗病毒<sup>[4-5]</sup>、抗肿瘤活性<sup>[6]</sup>等功能, 开发价值极高。目前, 国内对石莼藻类的研究主要集中在孔石莼和菜石莼, 研究内容主要包括其生长繁殖、渔业饲料养殖<sup>[7]</sup>、能源化利用<sup>[8]</sup>、生物净化、营养保健<sup>[9]</sup>、生物制品开发<sup>[10-11]</sup>等方面, 而有关裂片石莼的营养价值及其多糖提取方面的研究还未见报道。

本研究对裂片石莼进行了分类鉴定及营养价值分析评估, 并对其多糖的提取工艺进行了研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料的采集与前期处理

样品于 2013 年 3 月采集于福建省福清市福州元洪投资区, 采集的海藻先用自来水冲洗泥沙和其他附着物, 再用无菌水清洗多次。将海藻分成两份, 一份于-20℃下保存, 另一份放入 60℃干燥 6 h, 粉碎过 160 目筛, 置于干燥器内备用。实验共分 3 批, 文中数据均为 3 批结果的平均值。

### 1.2 分子鉴定

取储存于-20℃的海藻样品, 研磨后用 CTAB 法提取 DNA<sup>[12]</sup>, 1%琼脂糖凝胶电泳检测, 检查结果于 Genius 凝胶成像系统中观察。根据 NCBI 数据库中相关海藻 ITS 保守区设计引物 F: TCT TTG AAA CCG TAT CGT GA 和 R: GCT TAT TGA TAT GCT TAA GTT CAG CGG GT<sup>[13]</sup>, 扩增目的基因, PCR 产物经 1%琼脂糖凝胶电泳检测后, 将目的条带送上海美吉生物医药科技有限公司测序。

序列分析: 将整理好的 ITS 序列在 NCBI(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)服务器上 用 BLAST 进行同源检测, 以便确认所得的序列为 ITS, 使用 clustalx1.83 进行序列比对。然后用 MEGA5.4 软件中的 Kimura 双参数模型计算碱基的组成、种间的遗传距离和序列的比值差异。再运用 MEGA5.4 软件中的邻接法(neighbor-joining method)计算不同物种间的关系获得系统进化树, 并通过 Bootstrap 作置信检测(1 000 次)。

收稿日期: 2014-03-20; 修回日期: 2014-05-22

基金项目: 海洋公益项目(No.201305018-3); 国家科技计划项目(No.2013BAD10B04-1); 广东海洋渔业推广专项(A201101104)

作者简介: 叶方方(1986-), 女, 湖北随州人, 硕士研究生, 主要从事海洋藻类与微生物学分子研究, E-mail: 839203478@qq.com; 向文洲, 通信作者, 电话: 020-89023223, E-mail: xwz@sesio.ac.cn; 陈灿坤, 通信作者, 电话: 0591-85558555, E-mail: 2302108448@qq.com

### 1.3 裂片石莼营养组分分析方法

#### 1.3.1 水溶性总糖、粗蛋白、水分的测定

利用比色法测定样品中水溶性总糖的含量; 采用凯氏定氮法测定粗蛋白的含量; 参考药典干燥恒重法测定水分的含量<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.2 氨基酸含量的测定及蛋白质营养评价

取样品依据 GB/5009.124-2003 测定样品中氨基酸的含量; 以世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出的必需氨基酸模式为标准进行以下计算: 必需氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA), 氨基酸比值系数分数(ratio of coefficient of amino acid, RC)和氨基酸比值系数分(Score of RC, SRC)<sup>[15]</sup>。计算公式分别为:

$$RAA = \frac{\text{评价的蛋白质中某种必需氨基酸含量 (mg/g 蛋白质)}}{\text{每克标准蛋白质中某种必需氨基酸的含量 (mg/g 蛋白质)}}$$

$$RC = RAA / RAA \text{ 之均数}; SRC = 100 - CV \times 100$$

其中: CV 为 RC 的变异系数, CV=标准差/均数

氨基酸比值系数法就是在氨基酸平衡理论基础上的评价蛋白质营养的方法, RC 越分散, 在氨基酸平衡生理作用方面所提供的贡献越小; 氨基酸比值系数分(SRC)用于评价蛋白质营养价值, SRC 值越接近 100, 蛋白质的营养价值越高。

#### 1.3.3 总脂的测定

采用有机溶剂提取法测定总脂<sup>[16]</sup>。30 mg 的藻粉研磨后加入 2 mL DMSO 与甲醇混合物(DMSO: 甲醇=1:9), 50℃水浴和冰水浴各 1 h。离心收集上清液后再加入 4 mL 乙醚正己烷混合液, 冰水浴 1 h, 离心收集上清液, 合并两次收集的上清液后加入 2 mL 去离子水, 静止分层, 取上清与另外一支试管烘烤至恒重, 得出样品总脂的含量。

#### 1.3.4 脂肪酸组分分析

参照陈陶静等<sup>[17]</sup>方法测定样品中脂肪酸组分。将 10 μg 的藻粉放入试管中加入 90 μL 浓度为 2g/L C17:0 作为内标物, 加入 1 mL NaOH-CH<sub>3</sub>OH (0.5mol/L) 并于 75℃水浴皂化 1 h, 加入 2 mL BF<sub>3</sub>-CH<sub>3</sub>OH 溶液水浴 75℃甲酯化 1 h。冷却至室温后加入 3 mL 正己烷及 1 mL 去离子水, 分层取上层正己烷层, 0.22 μm 滤膜过滤后用气质联分析脂肪酸组分。

气象色谱条件: 色谱柱, Omegawax 250(30 m×250 μm×0.25 μm); 载气, He; 恒定流量, 1.5 mL/min 恒流; 升温程序, 130℃保持 1 min, 5℃/min 升温至

250℃, 保持 10 min; 进样量, 1 μL; 分流比, 5:1; 进样口温度, 250℃; 检测器温度为 250℃。

质谱条件: 离子化能量, 70 eV; 离子源温度, 230℃; 扫描范围, 33~500 amu。各峰型的鉴定采用 NIST05a 谱库自动检索。

#### 1.3.5 矿质元素和重金属元素的测定

样品用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 混合酸消解至无色透明后, 用原子吸收光谱仪分别测定 Ca、K、Fe、Sr、Mn、Zn、Li、Co 元素。根据 GB2762-2012 分别测定 Pb、As、Hg 污染物含量。

#### 1.3.6 裂片石莼水溶性多糖的提取及水溶性多糖中硫酸根含量测定

称取 10 g 的藻粉, 经 85%乙醇脱脂, 然后依次采用冷水、热水、NaOH 稀碱溶液反复提取, 提取液经离心、浓缩、乙醇沉淀后得粗多糖, 测定粗多糖中多糖的含量即为裂片石莼净多糖的含量, 采用硫酸钡比浊法在 360 nm 波长下测定粗多糖中硫酸根的含量<sup>[18]</sup>。

#### 1.3.7 裂片石莼多糖的提取工艺

提取工艺的实验中裂片石莼多糖得率都为裂片石莼净多糖得率。传统加热方法: 单因素实验, 分别研究提取温度(45, 55, 65, 75, 85, 95℃)、提取时间(1, 2, 3, 4, 5, 6 h)、加水量(10, 20, 30, 40, 50, 60 倍)对裂片石莼多糖得率的影响; 在单因素实验的基础上选取提取温度、加水量、提取时间三个因素设计正交实验, 结合苯酚硫酸法测定多糖得率, 确定传统加热的最佳提取工艺。

微波加热法: 单因素实验, 分别研究微波处理时间(40, 60, 80, 100, 120, 140 s)、提取次数(3, 4, 5, 6, 7, 8 次)、加水量(10, 20, 30, 40, 50, 60 倍)分别对裂片石莼多糖得率的影响; 在单因素实验的基础上选取微波时间、微波次数、加水量三个因素并设计正交实验, 结合苯酚硫酸法测定多糖的含量和得率, 确定微波提取的最佳工艺。

## 2 结果

### 2.1 分类学的鉴定

采集的样品形态学观察结果如图 1 所示。新鲜样品的叶片为嫩绿色, 幼体浅黄绿色。藻体条状, 藻体基部较硬, 测量叶片的长约 10~40 cm, 厚约 72~80 μm, 叶片不规则二叉分裂, 边缘不规则波状或锯齿状。显微镜观察叶片由双层细胞构成, 细胞为多



图 1 裂片石莼形态学观察  
Fig.1 Morphological observation of *Ulva fasciata*

角形, 从形态学观察来看, 采集样品形态特征与文献[19]记载的裂片石莼相似。

为了确定样品的分类学定位, 对采集的样品进一步开展 ITS 分析, BLAST 分析显示, 采集的样品与 *Ulva fasciata* 的 ITS1, 5.8S, ITS2 有最大的相似性; 通过 MEGA5.4 软件分析, 计算得到种间的遗传距离(图 2), 采集样品(SC130320)与 *Ulva fasciata* 的遗传距离较小, 亲缘关系最近。因此经形态学观察和 ITS 序列比对, 确定采集样品的物种为绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科、石莼属的裂片石莼。

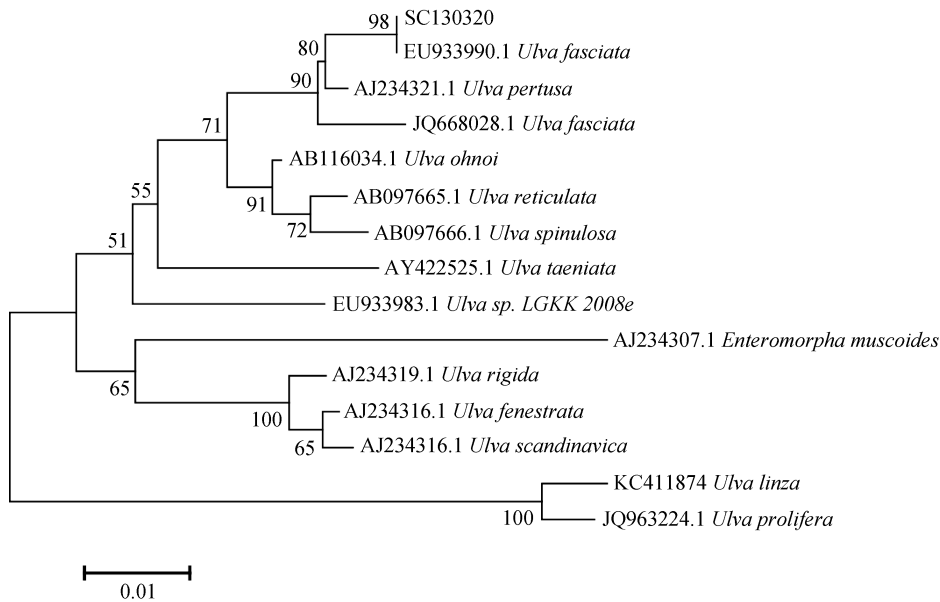


图 2 裂片石莼的 ITS 序列的系统进化树  
Fig.2 Phylogenetic tree of ITS sequences of *Ulva fasciata* constructed by Neighbor-Joining Method

### 2.2 裂片石莼的各组分含量

裂片石莼干品中主要成分有蛋白质、糖类、脂类, 含量如表 1 所示, 其中裂片石莼的可溶性糖含量高, 达到 34.38%。

表 1 裂片石莼的主要组成含量

Tab.1 Contents of main components of *Ulva fasciata*(%)

| 海藻成分  | 含量(%) |
|-------|-------|
| 粗蛋白   | 27.60 |
| 总脂    | 11.70 |
| 可溶性总糖 | 34.38 |
| 水分    | 13.60 |
| 灰分    | 8.50  |

### 2.3 裂片石莼的氨基酸分析

表 2 为裂片石莼的 18 中氨基酸含量。总氨基酸含量为 25.2 g/100g, 其中天冬氨酸(30.8 mg/g)含量最高, 其次是谷氨酸(27.5 mg/g), 丙氨酸(22.9 mg/g)。表 2 的结果还显示裂片石莼含有的 8 种人体必需氨基酸, 必需氨基酸总含量为 100.8 mg/g, 占总氨基酸含量的比例为 40.24%。

表 3 为裂片石莼的氨基酸与 WHO、FAO 提出的必需氨基酸模式谱比较的氨基酸比值系数(RC), 计算出氨基酸比值系数分(SRC)为 79.77, 氨基酸比值系数(RC)的范围 0.7 ~ 1.23。

表 2 裂片石莼的氨基酸组分

Tab.2 Amino acids of *Ulva fasciata*

| 氨基酸  | 含量(mg/g) | 氨基酸  | 含量(mg/g) |
|------|----------|------|----------|
| 色氨酸  | 4.2      | 丝氨酸  | 11.5     |
| 苏氨酸  | 14       | 谷氨酸  | 27.5     |
| 缬氨酸  | 17.3     | 脯氨酸  | 11.3     |
| 甲硫氨酸 | 5.9      | 苯丙氨酸 | 15.1     |
| 异亮氨酸 | 11.7     | 天冬氨酸 | 30.8     |
| 亮氨酸  | 19.6     | 甘氨酸  | 17.3     |
| 赖氨酸  | 13       | 酪氨酸  | 6.9      |
| 丙氨酸  | 22.9     | 组氨酸  | 4.4      |
| 胱氨酸  | 1.4      | 精氨酸  | 17.2     |

表 3 裂片石莼蛋白质的氨基酸比值系数

Tab.3 RAA and RC of essential amino acids in *Ulva fasciata*

| 氨基酸      | 比值系数 |
|----------|------|
| 异亮氨酸     | 1    |
| 亮氨酸      | 0.93 |
| 蛋氨酸+胱氨酸  | 0.7  |
| 苯丙氨酸+酪氨酸 | 1.23 |
| 苏氨酸      | 1.17 |
| 缬氨酸      | 1.17 |
| 赖氨酸      | 0.8  |

## 2.4 石莼的脂肪酸分析

裂片石莼含有 8 种脂肪酸组分(表 4), 脂肪酸总含量为 21.38 mg/g, 其中含有较丰富的人体必需脂肪酸亚麻酸(3.2 mg/g)和亚油酸(2.4 mg/g), 此外还含有少量的 EPA(0.9 mg/g)。

表 4 裂片石莼的各脂肪酸含量

Tab.4 Contents of fatty acids in *Ulva fasciata*

| 脂肪酸组分         | 含量(mg/g) | 相对含量(%) |
|---------------|----------|---------|
| 棕榈酸(16: 0)    | 9.91     | 46      |
| 十六烯酸(16: 1)   | 0.63     | 3       |
| 亚油酸(18: 2)    | 2.40     | 11      |
| 二十二烷酸(22: 0)  | 0.61     | 3       |
| 十八(烷)酸(18: 0) | 0.82     | 4       |
| 油酸(18: 1)     | 2.90     | 14      |
| 亚麻酸(18: 3)    | 3.21     | 15      |
| EPA(20: 5)    | 0.90     | 4       |
| 总脂肪酸          | 21.38    | 100     |

## 2.5 矿物质和重金属元素分析

由表 5 可知, 裂片石莼中含量最高的元素是

K(4.55 g/kg), 其次是 Ca(3.07 g/kg), 微量元素 Zn(0.09 g/kg)元素含量也较高。

表 5 裂片石莼的矿物质含量

Tab.5 Mineral contents of *Ulva fasciata*

| 金属元素 | 含量(g/kg) | 金属元素 | 含量(g/kg) |
|------|----------|------|----------|
| Ca   | 3.07     | K    | 4.55     |
| Zn   | 0.09     | Mn   | 0.014    |
| Fe   | 0.55     | Sr   | 0.023    |

从表 6 看出, 裂片石莼总砷含量为 3.1 mg/kg, 其中绝大部分(93.5%)为有机砷, 而无机砷含量只有 0.2 mg/kg, 远低于藻类制品卫生标准的限量(GB19643-2005), 海藻石莼中污染物铅和汞的含量也都低于藻类制品卫生标准的限量。

表 6 裂片石莼重金属元素含量

Tab.6 Contentsof heavy metals in *Ulva fasciata*

| 重金属 | 含量(mg/kg) | 国家标准 <sup>[20]</sup> ( mg/kg) |
|-----|-----------|-------------------------------|
| Hg  | ≤0.1      | 0.5                           |
| Pb  | 0.49      | 1.0                           |
| 无机砷 | 0.20      | 1.5                           |
| 总砷  | 3.10      | -                             |

## 2.6 裂片石莼水溶性多糖的提取及水溶性多糖中硫酸根含量的测定

依次采用冷水、热水和稀碱液充分提取裂片石莼的粗多糖, 如表 7 所示。冷水提取粗多糖的得率为 11.01%, 粗多糖中糖含量为 48.11%, 硫酸根含量为 14.12%; 热水(100℃)的得率为 15.05%, 粗多糖中糖含量为 60.32%, 硫酸根含量为 20.20%; 稀碱(100℃)提取粗多糖的得率为 2.04%, 粗多糖中多糖和硫酸根含量都为 0; 其中冷水、热水提取净多糖得率总和为 14.61%。

表 7 裂片石莼粗多糖的得率及多糖中硫酸根含量

Tab.7 Yield of polysaccharides in *Ulva fasciata* and contents of sulfate radical in polysaccharides

| 提取步骤<br>与方法 | 粗多糖<br>得率(%) | 净多糖<br>含量(%) | 粗多糖中硫酸根<br>的含量(%) |
|-------------|--------------|--------------|-------------------|
| 冷水          | 11.01        | 48.11        | 14.12             |
| 热水          | 15.15        | 60.32        | 20.20             |
| 稀碱          | 2.00         | 0            | 0                 |

## 2.7 石莼多糖提取工艺研究

### 2.7.1 传统加热提取裂片石莼多糖的正交实验

图 3 为单因素(提取温度、时间、加水量)分别对

裂片石莼多糖得率的影响, 图 3a 中裂片石莼多糖的得率, 随着温度的升高而增大, 当增加至 95℃后, 升高温度对多糖得率的影响较小, 故设定正交实验中温度三水平为 75, 85, 95℃; 图 3b 中裂片石莼多糖的得率, 随着时间的延长而增大, 超过 4 h, 得率增加趋于平缓, 故正交实验中设定提取时间三水平为 3, 4, 5 h; 图 3c

中裂片石莼多糖的得率, 随着加水量的增加而升高, 当超过 40 倍后, 得率变化趋于平缓, 故正交实验中设定加水量三水平为 30 倍, 40 倍, 50 倍。通过单因素实验分析, 选取提取裂片石莼多糖的温度、加水量、时间为影响因素, 设计  $L_9(3^3)$  正交表(表 8)。采用极差分析和方差分析, 确定裂片石莼多糖提取的最佳工艺。

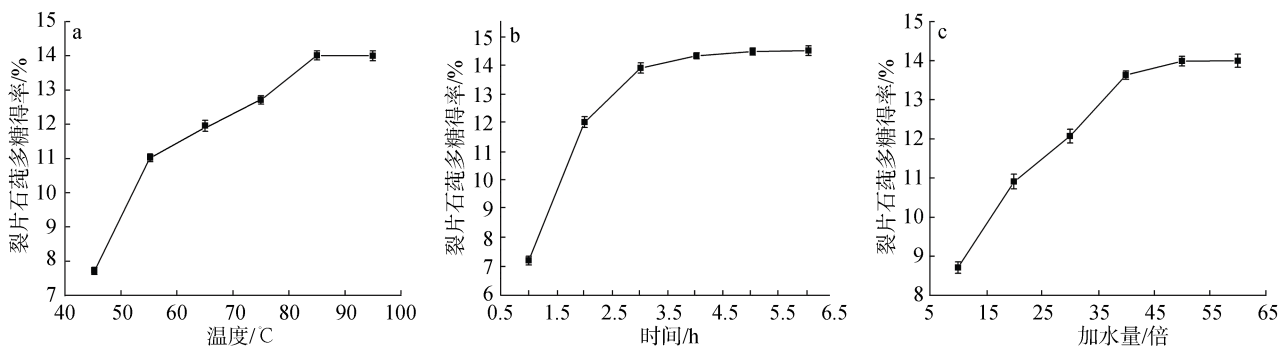


图 3 温度、时间、加水量对裂片石莼多糖得率的影响  
Fig.3 Effect of temperature, time and water on extraction rate

表 8 正交实验的因素水平表

Tab. 8 Factors and levels of the orthogonal experiment

| 水平 | 因素      |          |         |
|----|---------|----------|---------|
|    | A 温度( ) | B 加水量(倍) | C 时间(h) |
| 1  | 75      | 30       | 3       |
| 2  | 85      | 40       | 4       |
| 3  | 95      | 50       | 5       |

由表 9 的结果可以看出, 提取温度、加水量、时间三因素中, 影响裂片石莼多糖得率的主次顺序为  $A(\text{温度}) > B(\text{加水量}) > C(\text{时间})$ , 综合以上因素分析和比较, 多糖提取的最佳工艺为  $A_3B_2C_3$ , 裂片石莼多糖的最大得率为 14.10%, 为 2.6 结果中裂片石莼多糖最大得率(14.61)的 96.51%, 说明优化方案和优化数据是可行、可靠的。

表 9 正交实验设计表及结果

Tab.9 Designs and results of orthogonal test

| 试验号  | 因素      |          |         | 裂片石莼多糖的得率(%) |
|------|---------|----------|---------|--------------|
|      | A 温度( ) | B 加水量(倍) | C 时间(h) |              |
| 1    | 1(75)   | 1(30)    | 1(3)    | 12.34        |
| 2    | 1       | 2(40)    | 2(4)    | 12.53        |
| 3    | 1       | 3(50)    | 3(5)    | 13.32        |
| 4    | 2(85)   | 1        | 2       | 12.49        |
| 5    | 2       | 2        | 3       | 13.47        |
| 6    | 2       | 3        | 1       | 13.76        |
| 7    | 3(95)   | 1        | 3       | 13.49        |
| 8    | 3       | 2        | 1       | 13.66        |
| 9    | 3       | 3        | 2       | 14.10        |
| 均值 1 | 12.73   | 13.33    | 13.25   |              |
| 均值 2 | 13.24   | 13.77    | 13.04   |              |
| 均值 3 | 13.75   | 13.727   | 13.43   |              |
| 极差   | 1.56    | 0.95     | 0.387   |              |

2.7.2 微波处理提取裂片石莼多糖

图 4 为单因素(时间、加水量、次数)分别对提取裂片石莼多糖得率的影响, 图 4a 中, 在提取初期, 裂片石莼多糖的得率, 随着时间的延长而增加, 120 s 时多糖的得率最大, 但 140 s 时, 得率反而下降, 分析原因可能是因为 140 s 时, 溶液沸腾, 微波时间过长, 影响多糖的结构从而影响了得率; 图 4b 中裂片石莼多糖的得率, 随着加水量的增加而升高, 超

过 50 倍后, 得率变化趋于平缓, 故正交实验中设定加水量为 40 倍, 50 倍, 60 倍; 图 4c 中, 裂片石莼多糖的得率, 随着微波次数的增加而增大(每次 2min), 超过 6 次时, 得率趋于平缓(图 4c), 故正交实验中设定提取次数为 5 次, 6 次, 7 次; 通过单因素实验分析, 选取提取裂片石莼多糖的时间、加水量、微波次数为影响因素, 设计  $L_9(3^4)$  正交表, 如表 10 所示。采用极差分析和方差分析, 确定裂片石莼多糖提取的最佳工艺。

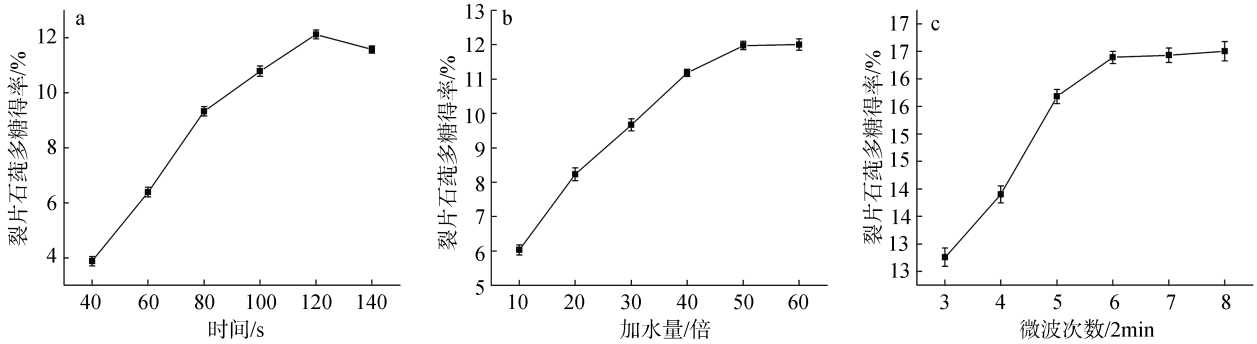


图 4 时间、加水量、微波次数对裂片石莼多糖的得率的影响

Fig.4 Effect of time, water, times on extraction rate

在微波处理实验中, 由表 11 的结果可以看出, 微波时间、微波次数、加水量三因素中, 影响多糖得率的主次顺序为  $A(\text{微波时间}) > B(\text{微波次数}) > C(\text{加水量})$ , 综合以上因素分析和比较, 多糖提取的最佳工艺为  $A_2B_2C_3$ 。

表 10 正交实验的因素水平表

Tab.10 Factors and levels of the orthogonal experiment

| 水 | 因素      |                |          |
|---|---------|----------------|----------|
|   | A 时间(s) | B 微波次数(次/2min) | C 加水量(倍) |
| 平 |         |                |          |
| 1 | 100     | 5              | 40       |
| 2 | 120     | 6              | 50       |
| 3 | 140     | 7              | 60       |

表 11 正交实验设计表及结果

Tab.11 Designs and results of orthogonal test

| 试验号  | 因素      |                |          | 裂片石莼多糖的得率(%) |
|------|---------|----------------|----------|--------------|
|      | A 时间(s) | B 微波次数(次/2min) | C 加水量(倍) |              |
| 1    | 1(100)  | 1(5)           | 1(40)    | 13.1         |
| 2    | 1       | 2(6)           | 2(50)    | 14.78        |
| 3    | 1       | 3(7)           | 3(60)    | 14.84        |
| 4    | 2(120)  | 1              | 2        | 16.47        |
| 5    | 2       | 2              | 3        | 17.11        |
| 6    | 2       | 3              | 1        | 16.74        |
| 7    | 3(140)  | 1              | 3        | 15.90        |
| 8    | 3       | 2              | 1        | 15.99        |
| 9    | 3       | 3              | 2        | 16.01        |
| 均值 1 | 14.24   | 15.16          | 15.28    |              |
| 均值 2 | 16.77   | 15.96          | 15.75    |              |
| 均值 3 | 15.97   | 15.86          | 15.95    |              |
| 极差   | 2.53    | 0.80           | 0.67     |              |

### 3 讨论

#### 3.1 裂片石莼的分类鉴定

本研究在考察调研裂片石莼资源的基础上,采集福建福清丰富的野生资源——裂片石莼,借助于分类学确定分类地位,ITS 与 18S、5.8S 和 28S 的基因组序列相比较,承受的物种进化选择压力相对较小<sup>[21]</sup>,所以 ITS 序列被广泛应用于藻类鉴定工作中<sup>[22]</sup>,在本实验中,ITS 序列很好地区分了样品与同属内其他绿藻,使本实验顺利鉴定出采集样品的物种——裂片石莼,为裂片石莼这一新资源的开发和利用提供依据。

#### 3.2 裂片石莼的营养保健价值

表 2 的结果显示,必需氨基酸占总氨基酸含量的 40.24%,符合联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(FAO/WTO)提供的参考蛋白模式值。裂片石莼氨基酸与模式氨基酸谱比较可知,限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸,氨基酸的 RC 的范围为 0.7~1.23,比较集中,接近氨基酸模式谱,氨基酸比值系数分(SRC)越大,蛋白质的营养价值越高,裂片石莼的氨基酸比值系数分 SRC=79.77(表 3),高于其他谷类和蔬菜类,略小于鸡蛋的氨基酸比值系数分(81.22),裂片石莼蛋白质的营养价值高。

从表 5 可知,裂片石莼的钙(3.07 g/kg)、锌(0.09 g/kg)、铁(0.55 g/kg)含量都高于孔石莼<sup>[23]</sup>的钙(0.8 g/kg)、锌(0.021 g/kg)、铁(0.36 g/kg)的含量。根据中国营养学会推荐的每日膳食营养素供给量,裂片石莼可望作为优良的铁、钙、锌的营养补充剂<sup>[24]</sup>。

无机砷的含量是水产品质量检测中主要的安全卫生指标,裂片石莼无机砷为 0.2 mg/kg(表 6),远低于藻类制品卫生标准的限量,海藻石莼中污染物铅和汞的含量也都低于藻类制品卫生标准的限量,说明裂片石莼具有良好的食用安全性。

#### 3.3 裂片石莼的多糖提取工艺优化

石莼多糖主要是含有硫酸基等极性基团组成的水溶性杂多糖即石莼聚糖(Ulvan),具有降血脂、抗肿瘤、抗氧化、抗氧化等多种生物活性<sup>[25-26]</sup>。本文对传统热水和微波加热提取裂片石莼多糖进行了正交实验研究,得率分别为 14.10%、17.11%。与常规热水提取的优化工艺相比,微波提取优化工艺的得率提高了 21.35%,能耗成本降低了 58.51%,邵平等<sup>[27]</sup>采取超声波处理提取裂片石莼多糖,得率接近于传统热水提取,能耗成本为微波加热提取多糖的两倍,

原因可能是超声提取多糖时温度较低,多糖未能充分溶解,微波处理中导致裂片石莼结构组织发生变化,传统加热中不溶解的部分多糖溶解出来。微波处理提取技术有了初步了解,还需进一步的深入研究其作用机制。

从本文研究的结果可以看出,裂片石莼含有丰富的蛋白质、多糖、矿物质等营养物质,营养价值高;微波加热提取裂片石莼多糖技术为其石莼聚糖制品的开发与利用奠定基础。作为新型海藻资源,裂片石莼具有巨大的开发潜力,开发前景广阔。

参考文献:

- [1] 王艳梅,李智恩,徐祖洪.孔石莼化学组分和药用活性研究进展[J].海洋科学,2000,24(3):25-28.
- [2] 康凯,王长云,王斌贵,等.大型海藻孔石莼化学组分和生物活性研究新进展[J].海洋湖沼通报,2007,3:155-159.
- [3] Yu P Z, Li N. Polysaccharides from *Ulva perutsa* (Chlorophyta) and Preliminary studies on their hyperlipidemia activity [J]. Pharmacological Research, 2003, 48: 543-549.
- [4] 罗先群,王新广,杨东升.海藻多糖的结构、提取和生物活性研究新进展[J].中国食品添加剂,2006,4:100-101.
- [5] Frank E K, Sarath F G, Sue S C, et al. An unusual deterrent aldehyde from the marine alga tuna [J]. Tetrahedron Letters, 1991, 32(2): 169-172.
- [6] Mahnaz Khanavi, Maryam Nabavi, Nargess Sadati, et al. Cytotoxic activity of some marine brown algae against cancer cell lines [J]. Biological Research, 2010, 43: 31-37.
- [7] 毕庶万,时吉营,刘爱东.石莼的开发和利用[J].现代渔业信息,1993,8(11):21-23.
- [8] 滕利平,关春江,林凤翔.日本对大型海藻发酵制取乙醇的研究[J].现代渔业信息,2009,24(9):23-24.
- [9] Marc L, Audrey R. Structure and functional properties of Ulvan- a polysaccharide from green seaweeds [J]. Bio macromolecules, 2007, 8(6): 1765-1774.
- [10] 苏秀榕,李太武,常少杰.孔石莼营养成分的研究[J].中国海洋药物,1997,1:33-35.
- [11] 张起信.浅谈石莼资源的开发与利用[J].海洋科学,1998,3:1-2.

- [12] 孙国华, 张秀珍, 宋秀凯, 等. 烟台套子湾 5~8 月份大型绿藻优势种变迁及分子鉴定[J]. 海洋环境科学. 2011, 30(4): 504-507.
- [13] 孙东, 孙存华, 段维军, 等. 宁波地区石莼属绿藻形态学观察及分子生物学鉴定[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(12): 6936-6938, 6942.
- [14] 陈钧辉, 李俊, 张冬梅, 等. 生物化学实验[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 20-22.
- [15] 吴晓, 王振宇, 郑洪亮, 等. 红松仁蛋白氨基酸组分分析及营养评价[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 267-270.
- [16] Khozin-Goldberg I, Shrestha, Cohen Z, et al. Mobilization of arachidonyl moieties from triacylglycerols into chloroplastic lipids following recovery from nitrogen starvation of the microalga *parietochlorisincisa* [J]. *Biochimica et Acta*, 2005, 1738, 63-71.
- [17] 陈陶静, 赵景婵, 蓝春波, 等. 陕南桐油中脂肪酸组成的气质联用分析[J]. 中国林副特产. 2012, 6(12), 13-15.
- [18] 藏笑雪. 2006. 孔石莼多糖的分离和结构研究[D]. 青岛: 中国海洋大学: 1-94.
- [19] 曾呈奎, 张德瑞, 张峻甫, 等. 中国经济海藻志[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 31-50.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 19643-2005 藻类制品卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [21] Lin Z h, Shen S D, Chen W Z, Phylogenetic analyses of four species of *Ulva* and *Monostromagrevillei* using ITS, *rbcL* and 18S, rDNA sequence data [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2013, 31(1): 97-105.
- [22] Blomster J, Back S, Fewer D P, et al. Novel morphology in *Enteromorpha* (*Ulvophyceae*) forming green tides [J]. *American Journal of Botany*, 2002, 89(11): 1756-1763.
- [23] 姚勇, 孟庆勇, 揭新明. 中国南海 22 种海藻微量元素分析[J]. 微量元素与健康研究. 2009, 26(3): 46-49.
- [24] 王尔茂. 食品营养与卫生[M]. 北京: 轻工业出版社, 1995. 303-309.
- [25] Costa C, Alves A, Sousa R A, et al. Characterization of ulvan extracts to assess the effect of different steps in the extraction procedure[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012 (88) 537-546.
- [26] Anabela A, Rui A S, Rui L Reis, et al. A practical perspective on ulvan extracted from green algae [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2013, 25: 407-424.
- [27] 邵平, 裴亚萍, 陈晓晓, 等. 裂片石莼多糖的超声波辅助提取优化及其理化性质[J]. 食品与发酵工业. 2013, 39(10): 239-244.

## Nutritional evaluation of *Ulva fasciata* and polysaccharide extraction from *U. fasciata*

YE Fang-fang<sup>1, 2</sup>, WU Hou-bo<sup>1</sup>, XIANG Wen-zhou<sup>1</sup>, WU Hua-lian<sup>1</sup>, DAI Shi-kun<sup>1</sup>, JIA Qi-kun<sup>1, 2</sup>, CHEN Can-kun<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; Fujian Haixing Health Food Co., Ltd, Fuzhou 350325, China)

**Received:** Mar., 20, 2014

**Key words:** Large algae; *Ulva fasciata*; Molecular identification; Nutritional components; orthogonal experiment optimization

**Abstract:** Seaweeds, as an excellent raw material for renewable energy, feed, nutritional health food, cosmetics and pharmaceutical products, possess numerous advantages such as fast growth, high yield, rich in nutrition, and no acquisition of arable land. *Ulva fasciata* is very rich in Southern China, but few studies on its nutritional value and polysaccharide extraction have been reported in China. Taxonomic identification and nutritional value on the *U. fas-*



*ciata* collected from Fujian Province, and a new approach to improve the polysaccharide extraction by microwave heating were carried out in this study. The results showed that (i) *U. fasciata* consists of 34.8% the total sugars, 27.6% protein, 25.2% amino acids and 27.6% fatty acids; (ii) the content of essential amino acids and score of ratio coefficient of amino acids (SRC) in *U. fasciata* are 10.1% and 79.77 respectively; (iii) it was proved that the heavy metals contents in *U. fasciata* meet the requirement of the national standard of seaweed products. Meanwhile, compared with the traditional heating extraction process, the polysaccharide yield of *U. fasciata* was enhanced by 21.35%, and the energy consumption was lowered by 58.51% through the orthogonal experiment optimization of polysaccharide extraction using microwave heating. All the above results revealed that *U. fasciata* as a macroalga with high nutritional value, is expected to become an excellent prospective raw material for food, nutraceutical, feed and other bioproducts.

(本文编辑: 康亦兼)

---

## 《海洋科学》征订启事

《海洋科学》是由中国科学院海洋研究所主办、科学出版社出版的学术性期刊，多次被评为中国精品科技期刊、中国自然科学核心期刊、华东地区优秀期刊、山东省优秀期刊。本刊以密切联系科研生产实际、服务于我国现代化建设为宗旨，及时、快速报道海洋学及其分支学科的新成果、新理论、新观点、新工艺，对重大基础研究和应用性研究成果予以优先报道。主要刊载内容有：物理海洋、海洋生物、海洋地质、海洋化学、海洋工程、海洋水产养殖、海洋活性物质提取、海洋环境保护、海洋仪器研制等方面的学术论文，研究报告，研究简报，专题综述，学术讨论和争鸣，学术动态以及新产品介绍（有偿刊登）等。

本刊为月刊，每月 15 日出版，大 16 开本，每期定价 38 元，全年定价 456 元。本刊国内外公开发行（国际刊号：ISSN1000-3096；国内刊号：CN37-1151/P；国内邮发代码：2-655；国外发行代号：M6666）。全国各地邮局均可订阅。欢迎各科研机构、高等院校、生产厂家和从事该领域研究的科技人员踊跃订阅。邮局订阅不便者可直接向本刊编辑部订购。本刊发行量在同类期刊中名列前茅，订户遍及全国 20 多个省、市、自治区，影响面广，宣传力大，欢迎广大广告客户在本刊刊登广告，价格优惠。

欢迎订阅《海洋科学》 欢迎广告惠顾

《海洋科学》编辑部地址：山东省青岛市南海路 7 号，266071

电话及传真：0532-82898755，82898751，82898953