

# 龙须菜琼胶的提取方法研究

薛志欣<sup>1,2,3</sup>, 杨桂朋<sup>3</sup>, 王广策<sup>2</sup>

(1. 青岛大学, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 中国海洋大学 山东 青岛 266003)

**摘要:**采用多种方法提取了龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 中的琼胶, 并研究了碱处理、微波处理、超声波处理等方法对龙须菜的琼胶提取率、硫酸基质量分数和多糖质量分数的影响。结果表明:当碱质量分数由 2.5% 增加到 10% 时, 琼胶产率由 15% 降低到 9.8%, 硫酸基质量分数由 2.66% 降低到 2.06%, 同时, 多糖质量分数由 98.3% 增加到 102.6%; 微波和超声波处理在不同程度上增加了琼胶的提取率和多糖质量分数, 同时降低了硫酸基质量分数。另外, 还从宏观和微观两个角度考察了龙须菜碱处理前后藻体的变化。

**关键词:**龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*); 琼胶; 提取; 碱处理; 微波; 超声波

**中图分类号:** Q539.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3096(2006)08-0071-07

琼胶在食品、工业、医药和生物工程中具有不可取代的地位。随着社会的发展, 琼胶的需求量不断增加。琼胶的原料主要是石花菜属和江蓠属等海藻。

龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 是江蓠属的一个重要养殖物种, 属红藻门 (Rhodophyta)、红藻纲 (Rhodophyceae)、真红藻亚纲 (Florideae)、杉藻目 (Gigartinales)、江蓠科 (Gracilariaceae) 江蓠属 (*Gracilaria*)。野生龙须菜在我国主要分布在山东沿海潮间带<sup>[1,2]</sup>。它分枝多, 生长快, 单茬 667 m<sup>2</sup> 产 (1000 m 绳长) 干品 1.5 t 以上, 最适生长温度为 15 ~ 25 °C<sup>[3,4]</sup>。龙须菜琼胶质量分数高达 20% 以上, 所产琼胶经改性后是江蓠中质量最好的<sup>[5]</sup>, 正逐渐取代石花菜成为琼胶生产的主要原料<sup>[6]</sup>。目前, 龙须菜在我国已经成为继海带、紫菜、裙带菜之后的第四大栽培海藻。但该物种在原产地不能渡夏和越冬, 更不能有效地积累生物量。实现龙须菜的南移栽培后, 该物种可秋冬春三季连续生长。据不完全统计, 龙须菜琼胶产量已占我国琼胶产量的 80% 左右, 成为沿海地区重要的经济海藻。

龙须菜琼胶的提取方法一般多采用碱处理后再加热的方法, 但经碱处理后往往会大大降低琼胶的产率。作者对龙须菜中琼胶的提取方法进行了多种尝试, 并对影响琼胶产率和质量的提取温度、碱处理的浓度和碱处理的温度等因素进行了考察, 旨在找

到一条更为经济合理的提取琼胶的方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料采集与预处理

龙须菜采于青岛崂山曲家庄养殖区, 将刚采来的新鲜龙须菜用海水洗净沙土及其表面的浮游生物, 再用蒸馏水清洗 2 次, 铺成薄层晾干表面水分, 于 60 °C 干燥箱中烘干, 取出放密封袋中保存备用。

### 1.2 龙须菜琼胶的提取方法

#### 1.2.1 高压锅提取法

按照文献<sup>[7]</sup>的方法略加修改:称取 5.00 g 干龙须菜, 加 200 mL 一定浓度的 NaOH 溶液放恒温水浴中加热碱处理 2 h。用 4 层纱布过滤, 蒸馏水洗涤 3 次, 用 0.1 mol/L 盐酸中和至 pH 6.5 左右, 用去离子水洗 2 次。将水洗后的龙须菜放在锥形瓶中, 加 300 mL 蒸馏水, 用棉花塞塞住瓶口放高压锅中, 控制温度在 120 ~ 125 °C 下煮 2 h。降温后, 取出锥形瓶用 8

收稿日期: 2006-01-20; 修回日期: 2006-03-28

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2004AA603220); 中国科学院海洋研究所前沿方向性项目 (2002-2005)

作者简介: 薛志欣 (1973-), 女, 山东海阳人, 博士生, 讲师, 研究方向为海洋天然产物, E-mail: mypaperboxes@yahoo.com.cn;

王广策, 通讯作者, E-mail: gcwang@ms.qdio.ac.cn

层纱布过滤,向滤渣中再加 150 mL 蒸馏水,同样条件下煮 1 h,过滤,合并两次滤液。滤液经冻-融除水后,冷冻干燥。

### 1.2.2 沸水冷凝回流提取法

碱处理步骤同 1.2.1。加 300 mL 蒸馏水于盛有龙须菜的圆底烧瓶中,冷凝回流,100 ℃沸水提取。其余步骤同高压锅法。

### 1.2.3 微波辅助高压锅提取法和超声辅助高压锅提取法

用高压锅提取前,先用微波炉或超声波清洗器进行微波或超声波处理一定时间,其余步骤同 1.2.1 高压锅法。

### 1.2.4 微波提取法

碱处理和提取后的处理和高压锅提取法一样,提取时采用微波炉代替高压锅加热。

### 1.2.5 恒温水浴提取法

碱处理后,用 90 ℃恒温水浴提取琼胶。提取时间和加水量同高压锅提取法。

## 1.3 琼胶性能测定

### 1.3.1 琼胶红外光谱分析

取琼胶 1 mg, KBr 压片,红外扫描 1 000 ~ 4 000  $\text{cm}^{-1}$  区间(NICOLET Magna 750 傅立叶红外转换光谱仪)。

### 1.3.2 琼胶紫外光谱分析

取 0.01 % 琼胶溶液在 200 ~ 800 nm 区间用 UV-757CRT 紫外分光光度计(上海精密仪器有限公司)进行扫描。

### 1.3.3 硫酸基质量分数的测定

琼胶样品加 2 mol/L 的 HCl,封管后在 100 ~ 105 ℃条件下水解 2 h,用活性炭脱色,滤液加  $\text{BaCl}_2$ ,按 Verma 的比浊法测定<sup>[8]</sup>。

### 1.3.4 总糖质量分数测定

总糖质量分数测定采用苯酚-硫酸法<sup>[9]</sup>,以 D-半乳糖作为标准物。

## 1.4 提胶过程中龙须菜藻体的宏观与微观变化

取相应龙须菜分别用肉眼和在显微镜下观察龙须菜藻体于碱处理前后及提胶前后的变化情况。

## 2 结果

### 2.1 高压锅提取法

等量的试样,用同样的方法,不同条件下提取的

琼胶的结果如下(表 1 ~ 表 3,未加注明,提胶条件均为 NaOH 质量分数 2.5 %,碱处理温度 85 ℃,提取时间 2 h)。

表 1 碱质量分数对提胶率和硫酸基质量分数的影响

Tab.1 Influence of alkaline concentration on the agar yield, sulfate content and polysaccharide content

| NaOH (%) | 产胶率 (%) | 硫酸基质量分数 (%) | 总糖质量分数 (%) |
|----------|---------|-------------|------------|
| 0        | 30.4    | 6.60        | 92.3       |
| 2.5      | 15.0    | 2.66        | 98.3       |
| 5.0      | 12.6    | 2.20        | 99.1       |
| 7.5      | 11.2    | 2.16        | 101.8      |
| 10       | 9.8     | 2.06        | 102.6      |

表 2 提取时间对提胶率的影响

Tab.2 Influence of extraction time on the agar yield, sulfate content and polysaccharide content

| 提取时间 (h) | 产胶率 (%) | 硫酸基质量分数 (%) | 总糖质量分数 (%) |
|----------|---------|-------------|------------|
| 0.5      | 7.0     | 2.78        | 98.7       |
| 1        | 9.0     | 2.72        | 96.8       |
| 2        | 15.0    | 2.66        | 98.3       |
| 4        | 16.2    | 2.61        | 99.4       |

碱处理时温度为 80 ℃时琼胶的产率为 15.3 %,硫酸基质量分数为 2.76 %,总糖质量分数为 98.4 %,85 ℃和 90 ℃时琼胶的产率分别为 15.0 %和 14.8 %,硫酸基质量分数为 2.66 %和 2.55 %,总糖质量分数为 98.3 %和 99.2 % (表 3)。

表 3 碱处理温度对提胶率和硫酸基质量分数的影响

Tab.3 Influence of extraction temperature of alkali solution on the agar yield, sulfate content and polysaccharide content

| 碱处理温度 (°C) | 产胶率 (%) | 硫酸基质量分数 (%) | 总糖质量分数 (%) |
|------------|---------|-------------|------------|
| 80         | 15.3    | 2.76        | 98.4       |
| 85         | 15.0    | 2.66        | 98.3       |
| 90         | 14.8    | 2.55        | 99.2       |

## 2.2 沸水冷凝回流及 90 °C 恒温水浴提取法

采用沸水冷凝回流和 90 °C 恒温水浴提取法旨在考察温度和动力学条件对琼胶提取的影响。在通常情况下,沸水的温度为 100 °C,在冷凝回流条件下,由表 4 沸水冷凝回流及 90 °C 恒温水浴法提取琼胶

于水沸腾过程所产生气泡的作用,相当于对提取液进行了搅拌。冷凝回流及 90 °C 恒温水浴提取法琼胶产率及硫酸基质量分数如表 4 所示。

Tab. 4 The agar extracted by boiling water and constant temperature water of 90

| 参数          | 提胶条件 |                 |                |                  |
|-------------|------|-----------------|----------------|------------------|
|             | 沸水无碱 | 沸水<br>2.5 %NaOH | 沸水<br>10 %NaOH | 90 °C 恒温<br>水浴提取 |
| 产胶率 (%)     | 24.4 | 9.2             | 5              | 2.4              |
| 硫酸基质量分数 (%) | 5.90 | 2.56            | 2.01           | 3.13             |
| 总糖质量分数 (%)  | 93.5 | 97.8            | 102.3          | 95.8             |

沸水提取法琼胶产率由无碱处理时的 24.4 % 下降为 10 % NaOH 处理时的 5 %,硫酸基质量分数由无碱处理的 5.90 % 下降为 10 % NaOH 处理时的 2.01 %,总糖质量分数由无碱处理时的 93.5 % 上升为 10 % NaOH 处理时的 102.3 %; 90 °C 恒温水浴提取法琼胶的产率仅为 2.4 %,而硫酸基质量分数为 3.13 %,总糖质量分数为 95.8 %。

热提取琼胶。在加热提取过程中,为防止暴沸喷出,可采用间歇式加热方式,表 7 为微波提取琼胶的结果。

表 7 功率对微波法提胶的影响

Tab. 7 Influence of power of microwave on the agar yield, sulfate content and polysaccharide content

| 参数          | 微波提胶条件      |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             | 高火<br>2-8-6 | 中火<br>2-8-6 | 中火<br>5-5-2 | 中火<br>5-5-4 |
| 产胶率 (%)     | 8.0         | 6.4         | 5.6         | 9.6         |
| 硫酸基质量分数 (%) | 1.81        | 1.87        | 1.78        | 1.75        |
| 总糖质量分数 (%)  | 108.2       | 107.9       | 107.5       | 108.0       |

注:2-8-6,即加热 2 min,停 8 min,重复 6 次,其余类同

## 2.3 微波辅助高压锅提取法和超声辅助高压锅提取法

微波和超声波是近年来逐渐被人们所采用的两种提供能量的形式,在多糖的提取方面也有不少尝试<sup>[11,12]</sup>。在微波和超声波处理不同时间后,辅佐以高压锅提取的琼胶产率、硫酸基质量分数及总糖质量分数如表 5、表 6 所示。

表 5 微波辅助高压锅法提取琼胶

Tab. 5 The agar extracted by microwave and autoclave treatment

| 参数          | 微波处理时间 (min) |       |       |       |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|
|             | 5            | 10    | 15    | 20    |
| 产胶率 (%)     | 16           | 17.6  | 19.2  | 21    |
| 硫酸基质量分数 (%) | 2.30         | 2.15  | 2.23  | 2.37  |
| 总糖质量分数 (%)  | 105.3        | 104.1 | 106.8 | 104.3 |

注:微波采用中火

表 6 超声辅助高压锅法提取琼胶

Tab. 6 The agar extracted by supersonic and autoclave treatment

| 参数          | 超声波处理时间 (min) |       |       |       |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|
|             | 5             | 10    | 15    | 20    |
| 产胶率 (%)     | 15.6          | 16.0  | 17.0  | 17.6  |
| 硫酸基质量分数 (%) | 2.52          | 2.70  | 2.43  | 2.38  |
| 总糖质量分数 (%)  | 103.8         | 104.2 | 104.1 | 104.7 |

## 2.4 微波法提取琼胶

龙须菜试样用 2.5 % NaOH 处理 2 h 后用微波炉加

## 2.5 紫外光谱

碱处理和未碱处理提取的琼胶的紫外扫描曲线如图 1 所示,在无碱处理提取的琼胶的扫描曲线 A 中在 230 nm 和 280 nm 处有两个紫外吸收峰。该吸收峰的存在表明在未碱处理的多糖中有蛋白存在。

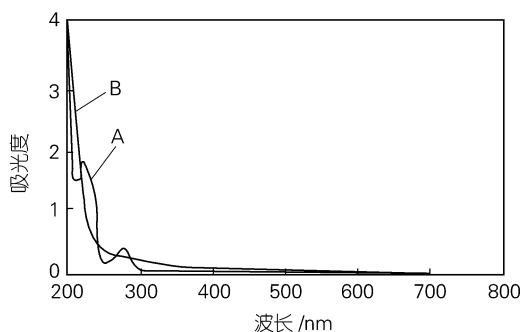


图 1 碱处理前后龙须菜琼胶的紫外扫描曲线

Fig. 1 The UV-spectra of agar extracted from *Gracilaria lemaneiformis* without and with alkali treatment

A: 无碱处理, B: 碱处理

A: without alkali treatment; B: with alkali treatment

## 2.6 红外光谱

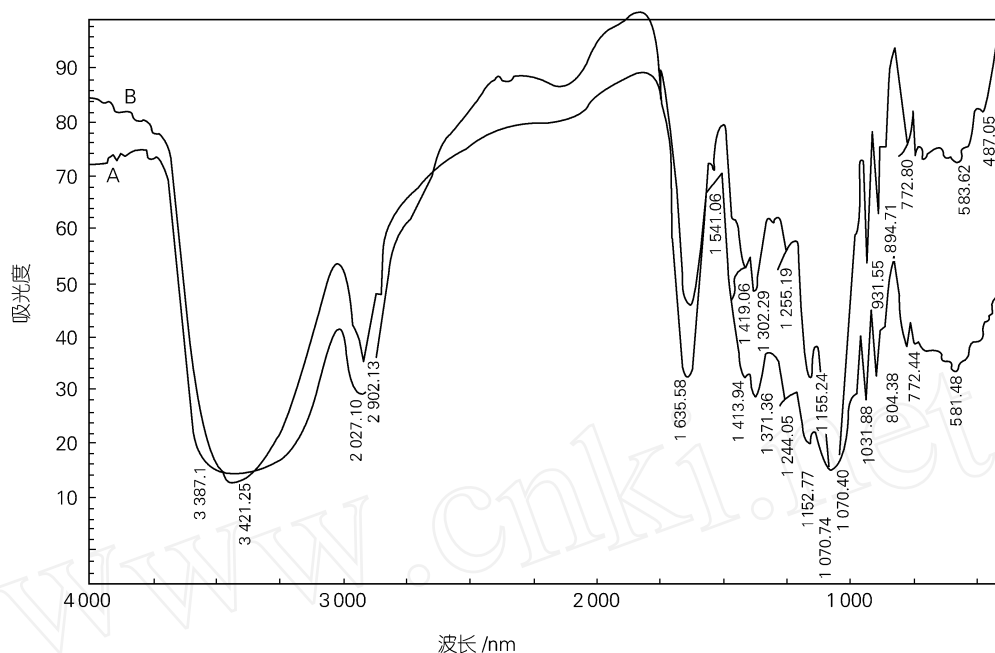


图2 碱处理和未碱处理提取的琼胶的红外光谱

Fig.2 The FT-IR spectra of agar extracted from *Gracilaria lemaneiformis* without and with alkali treatment

A:未碱处理;B:碱处理

A: without alkali treatment ; B: with alkali treatment

碱处理与未碱处理的琼胶的谱图中最大的区别在于 1076/1073 nm,931 nm 吸收峰的强弱,这两个峰均代表 3,6-内醚半乳糖<sup>[13]</sup>。其他吸收峰二者基本相同。

## 2.7 提胶过程中龙须菜藻体的变化

龙须菜经碱处理后,藻体在外观结构方面发生了很大变化,如图3所示:

碱处理前(图3A),龙须菜藻体内部的细胞排列较紧密,颜色深,含有大量的细胞色素,细胞完整,排列有序,外表还有一层胶质,较平整,手摸有软滑感;高压提胶时(图3B),细胞结构遭到破坏,胶质流出,藻体颜色变浅,说明藻红蛋白等色素蛋白在高温下分解破坏。

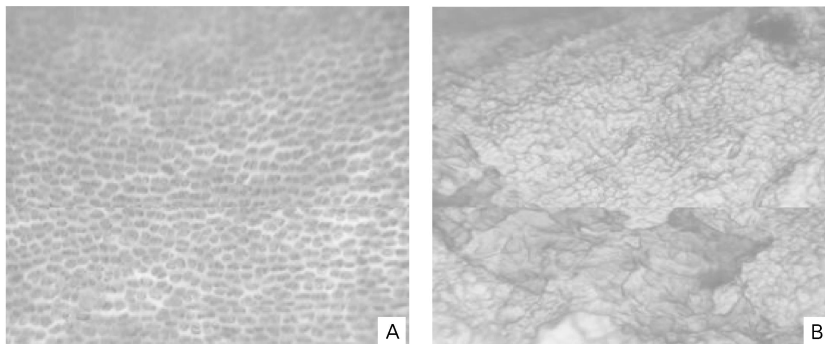


图3 未经碱处理龙须菜藻体的显微结构

Fig.3 The microscopic structure of the *Gracilaria lemaneiformis* algal body without alkali treatment

A. 水浸泡后(16 ×4);B. 高压提胶后(16 ×4)

A. after dip in water (16 ×4) ; B. after extraction with an autoclave (16 ×4)

碱处理后(图 4A)皮层明显变薄,颜色变浅,髓部细胞由于细胞壁细胞膜被碱部分破坏或溶掉,变得形状不一,排列混乱、松散,同时也看不到完整的细胞

结构,外皮胶质层已溶解掉,外表变得凹凸不平,藻体从里到外出现一些裂缝,因此手摸时有涩手感<sup>[10]</sup>;高压提胶时,有大量藻胶流出(图 4B)。

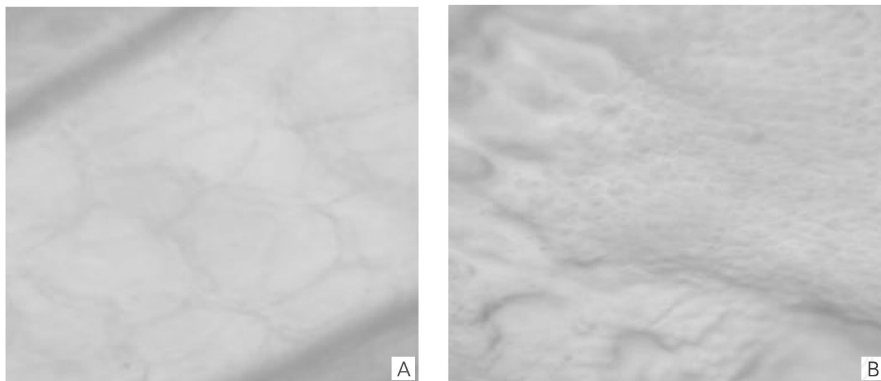


图 4 碱处理后龙须菜藻体的显微结构

Fig. 4 The microscopic structure of the *Gracilaria lemaneiformis* algal body

A. 碱处理 2 h 后(16 ×4); B. 碱处理高压提胶后(16 ×4)

A. after treatment with alkali for 2 h (16 ×4);

B. by alkali treatment and after agar extraction with an autoclave (16 ×4)

### 3 讨论

无碱处理的龙须菜琼胶产率、硫酸基质量分数远远高于经过碱处理过的,而多糖质量分数前者则低于后者,并且随 NaOH 质量分数的增高,琼胶的产率、硫酸基质量分数逐渐降低,多糖质量分数逐渐升高,这与赵谋明等人<sup>[14]</sup>“随碱质量分数的升高,出胶率先升高再降低”的实验结果有所不同,但与 Freile-Pelegrin 等<sup>[15]</sup>的结果基本一致。碱质量分数越高,硫酸基的质量分数越低(无碱处理时,硫酸基的质量分数高达 6.60%,而经 10% NaOH 处理后,硫酸基的质量分数降到 2.06%)。碱处理后琼胶中的  $\alpha$ -硫酸基组分较多地转变为 3,6-内醚半乳糖,使得所提取的琼胶中硫酸基质量分数降低,同时,由琼胶的紫外扫描光谱可以看出,碱处理也破坏了与琼胶共存的蛋白,致使琼胶产率降低,多糖质量分数升高。

时间对龙须菜琼胶的产率的影响也非常明显,随提取时间的加长,琼胶的产率逐渐增高。另外,琼胶的产率还与碱处理温度有关:一般来说,产率和硫酸基质量分数随碱处理温度的升高而降低,但变化并不是太大。提取时间和碱处理温度对多糖质量分数的影响并不明显。

沸水冷凝回流法提取的琼胶的产率普遍不如高压锅法提取的琼胶的产率高,恒温 90 °C 水浴法提取

的琼胶的产率更低,可见提取温度对龙须菜琼胶的产率有比较明显的影响,高温(高压锅法温度为 120 ~ 125 °C,沸水冷凝回流法温度为 100 °C)更有利于龙须菜琼胶的提取,并且温度越高,多糖质量分数越高。另外,由高压、沸水和恒温水浴三种情况看,沸水的气泡搅拌对提高琼胶的提取率还是起了一定作用的。而且碱处理时碱的质量分数对龙须菜琼胶的影响在不同方法中是一致的,既随碱质量分数的升高,琼胶产率、硫酸基质量分数逐渐降低,总糖质量分数逐渐升高。

微波或超声辅助处理能够明显提高琼胶产率、多糖质量分数,同时降低硫酸基质量分数。先经过微波或超声波处理,再用高压锅提取,比单纯使用高压锅法可以显著提高龙须菜琼胶的产率(产率增加 1% ~ 6%)。相比较而言,经过微波加热处理后的效果比超声波处理的效果更好一些(微波处理后的产率可达 21%,而超声波处理后的产率则在 17%左右),这应该是与微波炉和超声波发生器的功率有关系的。在碱质量分数一定的条件下,微波处理的时间和超声波处理的时间对龙须菜琼胶产率的影响总体而言随时间延长产率升高,至 15 min 基本达到稳定。并且微波处理和超声波处理都可不同程度地降低硫酸基质量分数,提高多糖质量分数。

总的看来,各样品的总糖质量分数都比较高。其

中,微波与超声处理能明显提高样品多糖质量分数。除无碱处理样品外,总糖质量分数都在 95%~108% 之间。这一方面说明样品中琼胶的纯度高,主要组分为多糖,另一方面还因为以半乳糖作标准测多糖质量分数时,结果应乘上一个小于 1 的校正系数<sup>[16]</sup>。因为硫酸-苯酚法是利用多糖水解产生还原糖来测定多糖质量分数的。由于多糖水解后除末端糖基外,其余糖基都多了一个水分子而形成单糖,所以用单糖做标准时,算出的多糖质量分数应扣除水解时带进的水量,即要乘以一个校正系数,对于琼胶来说,这一系数应为 0.90<sup>[17]</sup>。

综上所述,作者认为,碱处理是影响琼胶质量的最关键因素,其次,琼胶的产率、硫酸基质量分数和多糖质量分数还受温度、碱质量分数的影响。一般来说,提高琼胶产率的方法,硫酸基质量分数随之升高,由于硫酸基质量分数与琼胶的凝胶强度有密切联系,硫酸基质量分数越高预示其凝胶强度越差<sup>[18]</sup>,而凝胶强度在很多情况下是衡量琼胶质量好坏的一个重要指标,所以提高琼胶产率,往往意味着降低琼胶的质量。作者在实验中采用的微波或超声辅助的方法可以在提高琼胶产率的同时,降低硫酸基质量分数,得到质量较好的琼胶产品。另外,活性实验还表明微波与超声辅助法提取的琼胶具有活性,而其它各琼胶样品均不表现活性(另文发表)。

#### 4 结论

作者探讨了四种提取琼胶的方法,首次采用微波和超声法对这种用途颇广的琼胶进行了提取与性能测定,通过与传统方法的比较,发现用微波和超声辅助法可明显提高多糖的提取率和多糖质量分数,降低硫酸基质量分数。传统方法提高多糖的产率总是不可避免地导致其凝胶强度下降,采用微波和超声法可同时提高琼胶产率和琼胶的凝胶强度。

#### 参考文献:

- [1] 曾呈奎,王素娟,刘思俭,等. 海藻栽培学[M]. 上海:科技出版社,1985. 277.
- [2] 徐永健,钱鲁闽. 水动力条件对龙须菜 N 吸收的影响[J]. 海洋环境科学,2004,23(2)32-35.
- [3] 曾呈奎. 经济海藻种质种苗生物学[M]. 济南:山东科学技术出版社,1999. 155.
- [4] 刘思俭. 我国江蓠的种类和人工栽培[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(3)71-79.
- [5] Craigie J S, Wen Z C, van der Meer J P. Interspecific, intraspecific, and nutritionally-determined variations in the composition of agars from *Gracilaria* spp. [J]. *Bot mar*, 1984, 27(2)55-61.
- [6] Santelices B, Doty M S. A review of *Gracilaria* farming [J]. *Aquaculture*, 1989, 78: 95-133.
- [7] 纪明侯. 海藻化学[M]. 北京:科学出版社,2004. 777.
- [8] Verma B C, Swaminathan K, Sad K C. An improved turbidimetric procedure for determination of sulfate in plants and soils [J]. *Talanta*, 1977, 24: 49-50.
- [9] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. *Anal Chem*, 1956, 28: 350-356.
- [10] 边清泉,杨振萍. 红车轴草中刺芒柄花素的微波法提取工艺[J]. 化学研究与应用,2005,17(3): 431-432.
- [11] Hromadkova Z, Ebringerova A. Ultrasonic extraction of plant materials-investigation of hemicellulose release from buckwheat hulls [J]. *Ultrason Sonochem*, 2003, 10(3): 127-133.
- [12] 纪明侯. 海藻化学[M]. 北京:科学出版社,2004. 90.
- [13] 赵谋明. 江蓠琼胶加工中碱处理的作用及机理[J]. 食品科学,1991,11: 14-17.
- [14] 赵谋明,吴晖,刘通讯,等. 江蓠琼胶加工过程中受碱处理及最佳工艺条件的研究[J]. 食品与发酵工业,1996,4: 33-37.
- [15] Freile-Pelegrin Y, Murano E. Agars from three species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from Yucatán Peninsula [J]. *Bioresource Technol*, 2005, 96(3): 295-302.
- [16] 林颖,吴毓敏,吴雯,等. 天然产物中的糖含量测定方法正确性的研究[J]. 天然产物研究与开发,1996,8(3): 5-9.
- [17] 王璐,刘力,王艳梅,等. 几种红藻琼脂的组分结构及理化性质的比较[J]. 海洋与湖沼,2001,32(6): 658-664.
- [18] Armisen R. World-wide use and importance of *Gracilaria* [J]. *J Appl Phycol*, 1995, 7: 231-243.

## Study on extraction method of agar from *Gracilaria lemaneiformis*

XUE Zhi-xin<sup>1,2,3</sup>, YANG Gui-peng<sup>3</sup>, WANG Guang-ce<sup>2</sup>

(1. College of Chemical Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China; 2. Institutet of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Received:** Jan. ,20 ,2006

**Key words:** *Gracilaria lemaneiformis*; agar; extraction; alkali-treatment; microwave; ultrasonic treatment

**Abstract :** Agar is a polysaccharide complex extracted from the agarophyte members of Rhodophyta and it is widely used in pharmaceutical, cosmetics and food industries. Several experimental methods for agar extraction from *Gracilaria lemaneiformis* were studied in this paper. The effects of alkali, microwave, and ultrasonic treatments on the agar yield, sulfate content and polysaccharide content were investigated. The results obtained showed that the alkali treatment could decrease the agar yield as well as the sulfate content; the agar yield and the sulfate content were negatively affected by the increase of the NaOH concentration; on the contrary, the microwave and ultrasonic treatments could increase the agar yield as well as the sulfate content; the agar yield and the sulfate content were increased with the increasing of microwave and ultrasonic treatment time. Moreover, the states of the alga before and after alkali treatment were observed in microscopical and macroscopical conditions.

(本文编辑:张培新)