

蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分流变性的比较研究

郭守军, 杨永利, 许桂旋, 马瑞君
(韩山师范学院生物系, 广东 潮州 521041)

摘 要: 研究了冷水和热水提取法所得蜈蚣藻多糖的流变特性。结果表明: 冷水浸提法蜈蚣藻粗多糖得率高于热水浸提法; 蜈蚣藻多糖冷水溶部分和热水溶部分均具有良好的流变性能, 其中冷水溶部分的流变性能稍优于热水溶部分。

关键词: 蜈蚣藻; 多糖; 流变性; 冷水溶部分; 热水溶部分

Study on Rheological Properties of *Grateloupia filicina* Polysaccharide Extracted in Hot Water or Cold Water

GUO Shou-jun, YANG Yong-li, XU Gui-xuan, MA Rui-jun
(Department of Biology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China)

Abstract: In the paper, the rheological properties of *Grateloupia filicina* polysaccharide extracted in cold water or hot water were discussed comparatively. The results showed that the extraction rate of coarse polysaccharide of *Grateloupia filicina* extracted in cold water is higher than that extracted in hot water. *Grateloupia filicina* polysaccharide dissolved in both cold water and hot water shows favorable rheological properties, but the rheological property of the cold water dissolved section excels that of the hot water dissolved section.

Key words *Grateloupia filicina* (Wulf.) C. Agardh polysaccharide; rheological property; dissolved in cold water section and in hot water section

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)06-0098-06

蜈蚣藻(*Grateloupia filicina* (Wulf.) C. Agardh.) 别名冬家烂、膏菜, 为红藻门蜈蚣藻科蜈蚣藻属植物, 多生在潮间带的石沼中或泥沙碎石上, 是红藻中具有重要经济价值的种类^[1]。全藻药用, 有清热解毒和驱虫之功效, 也可与其他中药配伍, 用于治疗风热喉炎和肠炎, 亦作清凉饮料^[2], 因颜色鲜艳在日本人用其做海藻色拉和天然色素。

不同的研究人员研究了蜈蚣藻的离体再生^[3]、建立了蜈蚣藻的丝状体繁殖系, 并用于采苗进行海上养殖^[4-5]、蜈蚣藻生殖器官的研究^[6-7]、蜈蚣藻的室内人工育苗可行性研究^[8]等, 而有关蜈蚣藻化学成分、性质测定及药理作用等方面的研究较少。

蜈蚣藻多糖主要由硫酸脂化多糖组成, 属于食品胶中的红藻胶。在多糖胶的许多实际应用领域中, 都要涉及到胶液的流变性质问题^[9], 流变性是指在适当外力的作用下, 物质所具有的流动和变形的性能。不同来

源的胶体其流变特性各不相同, 而这种流变特性对于被应用的食品来说至关重要, 会直接影响到该食品的感官品质。所以在开发食品要选择一种胶体时, 该胶体的流变特性是需要首先考虑的因素, 而测定体系粘度是研究胶液流变学最基本的方法。为了进一步开发利用当地蜈蚣藻植物资源, 本研究对蜈蚣藻多糖的流变特性进行了研究。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蜈蚣藻采于澄海, 在日光下将其色素褪去, 晒干, 粉碎后, 依次分别在 85% 丙酮、85% 乙醇、100% 乙醇中回流处理 2 h, 烘干后备用^[4]。

SNB-1 数字式黏度计; AUW-120 电子天平; HH-8 恒温水浴锅; AJ-6A 恒温磁力搅拌器; TGL-16G 离心机; HF-2.0B 超声波循环提取器; DJ-10A 粉碎机; UV-

收稿日期: 2006-06-21

基金项目: 韩山师范学院青年基金项目

作者简介: 郭守军(1965-), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为天然产物化学。

2800 型紫外可见分光光度计; 404-1 型红外线干燥箱; RE-52D 旋转蒸发器; 微波炉; 酸度计等。

1.2 蜈蚣藻多糖的提取

1.2.1 冷水提取法^[10-11]

取蜈蚣藻样品 10g, 加入 400ml 蒸馏水, 在冷水中搅拌提取 2h, 离心, 残渣再用 200ml 蒸馏水分别在冷水中提取两次, 各 1h, 操作同前, 合并滤液, 浓缩, 加入五倍体积 95% 乙醇沉淀, 离心, 烘干, 粉碎过 100 目筛, 得冷水溶部分蜈蚣藻多糖, 备用。

1.2.2 热水提取法

取蜈蚣藻样品 10g, 加入 400ml 蒸馏水, 在沸水中搅拌提取 2h, 离心, 残渣再用 200ml 蒸馏水分别在沸水中搅拌提取两次, 各 1h, 操作同前, 合并滤液, 浓缩, 加入五倍体积 95% 乙醇沉淀, 离心, 烘干, 粉碎过 100 目筛, 得热水溶部分蜈蚣藻多糖, 备用。

1.2.3 多糖含量的测定方法及粗多糖提取率的计算公式

多糖含量的测定方法采用苯酚-硫酸比色法^[10]。

$$\text{粗多糖得率}(\%) = \frac{\text{粗多糖重量}(\text{g})}{\text{蜈蚣藻原料重量}(\text{g})} \times 100$$

1.3 蜈蚣藻多糖的流变性测定

1.3.1 浓度对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响^[19]

分别配制 0.1%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液, 60℃ 恒温水浴搅拌 30min。冷却至室温后, 在 60r/min 下测定其黏度。

1.3.2 剪切力变化对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

分别配制 0.1%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1% 蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液, 60℃ 恒温水浴搅拌 30min。冷却至室温后, 测定其在 6、12、30、60r/min 时的黏度。

1.3.3 温度对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液, 分别在 30、50、70、80、100℃ 下预水化 30min 后冷却至室温, 在 60r/min 下测定其黏度。

1.3.4 pH 值对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液若干份, 分别用稀酸和稀碱调节其 pH 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11, 在 60r/min 下测定不同 pH 值时溶液的黏度

1.3.5 加热时间对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液

黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液, 在 80℃ 恒温水浴中分别加热 0.5、1、1.5、2h, 冷却至室温, 在 60r/min 下测定其黏度。

1.3.6 冻融变化对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液, 分别在 4℃ 和 -20℃ 冷藏和冷冻 24h, 在室温下解冻, 在 60r/min 下测定其黏度变化。

1.3.7 耐盐稳定性实验

在室温下配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液各两份, 分别在多糖溶液中加入一定量的 NaCl, 使溶液中 NaCl 浓度分别为 5% 和 11%, 搅拌均匀测定黏度。加入食盐后, 胶溶液体系不稳定, 黏度有波动, 待其基本稳定, 再测定, 然后隔 1d 测一次, 直至其黏度不再下降为止, 得耐盐特性曲线; 并测定起始黏度、稳定后的黏度、稳定天数及黏度下降幅度。

1.3.8 防腐剂对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液, 加入 0.001%、0.01%、0.1% 的苯甲酸钠, 在 60℃ 加热搅拌 30min, 冷却至室温, 测定 60r/min 时的黏度。

1.3.9 抗降解性能^[10]

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液, 在室温放置 3、6、24、48、72、96h, 在 60r/min 下分别测定胶液黏度。

1.3.10 微波处理对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液, 在微波炉中分别用微火(20% 火力)处理 1、2、3、4min, 冷却至室温, 测定 60r/min 时的黏度。

1.3.11 超声波处理对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度的影响

配制 0.6% 的蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液, 在 60℃、100W 下分别处理 5、10、15、20min, 冷却至室温, 测定 60r/min 时的黏度。

1.3.12 在冷水中的溶解度测定^[11]

准确称取样品, 用蒸馏水配制 100ml 质量分数为 1% 的多糖溶液, 在 60℃ 下, 先低速搅拌 15s, 再高速搅拌 2min, 稳定 1h 后将溶液移入离心试管, 于 4000r/min 转速下离心 15min, 将上层清液倒入已称重的蒸发皿中, 90℃ 将水分蒸干, 再将烘箱温度调至 130℃, 干燥至蒸发皿恒重, 其冷水溶解性计算公式如下:

$$\text{CWS}(\%) = \frac{\text{上清液中固体质量(g)}}{\text{样品质量(g)}} \times 100$$

1.3.13 溶液透明度测定^[11]

将质量分数为0.3%的溶液, 常温下稳定15min。以蒸馏水为空白(透光率为100%), 用UV-2800紫外分光光度仪在620nm处测定溶液的透光率。

1.3.14 与其他多糖的协同性^[12]

配制0.6%蜈蚣藻多糖与魔芋胶, 卡拉胶、刺槐豆胶(质量比为1:1)的复配胶溶液, 在60℃加热搅拌30min, 冷却至室温, 在60r/min下测定黏度, 并与其单溶液黏度进行对比。

2 结果与分析

2.1 冷水和热水浸提法蜈蚣藻粗多糖的得率

表1 不同提取方法蜈蚣藻粗多糖的提取率

Table 1 Extraction rate of *Groteloupia filicina* polysaccharide extracted in cold water and hot water

方法	冷水浸提	热水浸提
粗多糖提取率(%)	25.78	20.73
多糖含量(%)	21.52	24.14

从表1可以看出, 冷水浸提法蜈蚣藻粗多糖得率为25.78%, 高于热水浸提法; 而热水浸提法所得粗糖中的总糖含量高于冷水浸提法。

2.2 浓度对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

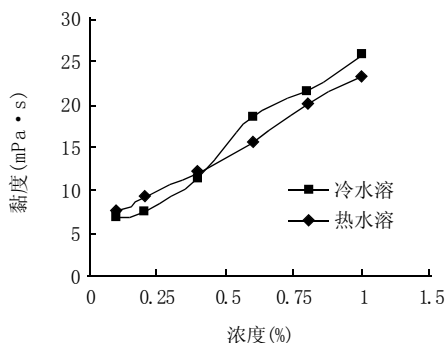


图1 浓度对冷水溶和热水溶蜈蚣藻多糖溶液黏度的影响

Fig.1 Effects of different concentrations on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water

从图1可以看出, 蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度均随着浓度的升高而升高, 冷水溶部分升高的幅度较大, 热水溶部分升高的幅度较小。其中当浓度低于0.3%热水溶部分的黏度高于冷水溶部分, 当浓度高于0.3%时, 冷水溶部分黏度高于热水溶部分。

2.3 剪切力变化对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

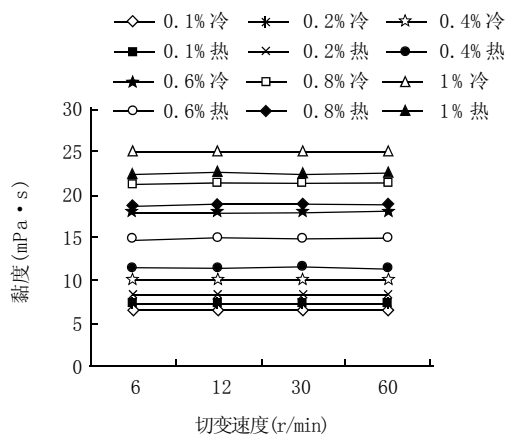


图2 剪切力变化对冷水溶和热水溶蜈蚣藻多糖溶液黏度的影响

Fig.2 Effects of shearing force on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water, respectively

实验表明, 蜈蚣藻多糖胶为“牛顿流体”(如图2所示), 随切变速度的增加, 蜈蚣藻溶液的黏度不发生改变。

2.4 温度对溶蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

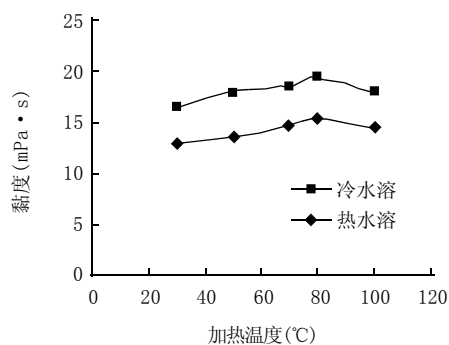


图3 加热温度对冷水溶和热水溶蜈蚣藻多糖溶液黏度的影响

Fig.3 Effects of heating temperature on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water

从图3可以看出, 随着加热温度的升高, 蜈蚣藻多糖胶溶液的黏度稍有升高, 当温度高于80℃时, 溶液黏度均有所下降, 因此蜈蚣藻多糖的最佳溶解温度为80℃。

2.5 pH 值对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分溶液黏度的影响

实验结果表明, 冷水溶部分蜈蚣藻多糖溶液 pH 为 6.37, 热水溶的蜈蚣藻多糖溶液的 pH 为 7.21。从图4可以看出, 蜈蚣藻多糖胶热水溶部分和冷水溶部分的黏度, 在酸性和碱性溶液中都有所下降, 但下降的幅度

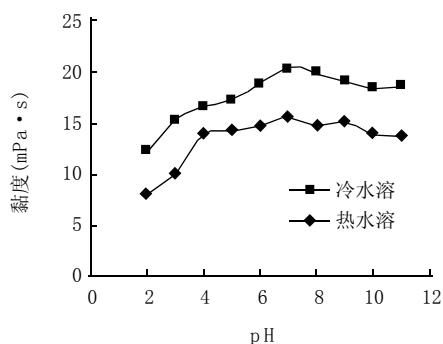


图4 pH值对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶溶液黏度的影响

Fig.4 Effects of pH on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water hot water influence

较小, pH 7 时黏度最高, 说明蜈蚣藻多糖在酸和碱 (pH4~11) 中较为稳定。

2.6 加热时间对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度的影响

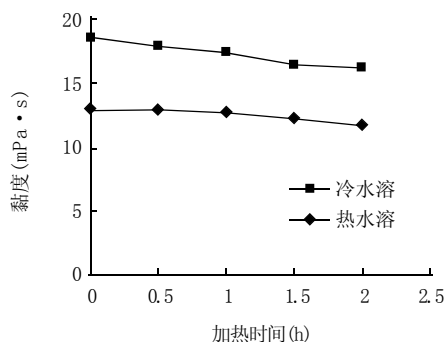


图5 加热时间对冷水溶和热水溶蜈蚣藻多糖溶液黏度的影响

Fig.5 Effects of heating time on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water

从图5可以看出, 蜈蚣藻多糖热水溶部分和冷水溶部分, 随着加热时间的增加溶液黏度都有所下降, 但下降的幅度较小。

2.7 冻融变化对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度的影响

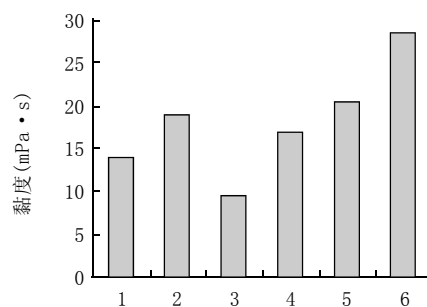
从图6可以看出, 冷藏处理使蜈蚣藻多糖冷水溶部分和热水溶部分的黏度降低, 而冷冻处理则会使两者的黏度明显的增加。

2.8 耐盐性实验

蜈蚣藻多糖胶的冷水溶部分和热水溶部分在加入 NaCl 后, 黏度有所波动, 24h 后溶液趋于稳定。从图7可以看出, NaCl 对蜈蚣藻多糖溶液的黏度没有影响, 因此蜈蚣藻多糖可用于高盐食品中。

2.9 抗降解性能

从图8可以看出, 随着放置时间的增加, 蜈蚣藻多糖胶溶液的冷水溶部分和热水溶部分黏度均有所下降, 冷水溶部分下降的幅度较小。



1. 热水溶溶液冷冻前黏度; 2. 冷水溶溶液冷冻前黏度; 3. 热水溶溶液解冻后黏度 (4℃); 4. 冷水溶溶液解冻后黏度 (4℃); 5. 热水溶溶液解冻后黏度 (-20℃); 6. 冷水溶溶液解冻后黏度 (-20℃)。

图6 冻融变化对溶液黏度的影响

Fig.6 Effects of freezing-thawing changing on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water

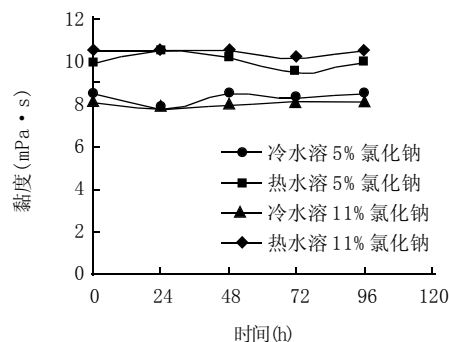


图7 蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶的耐盐曲线

Fig.7 Salty curve of *Grateloupia filicina* gum dissolved in cold water and hot water

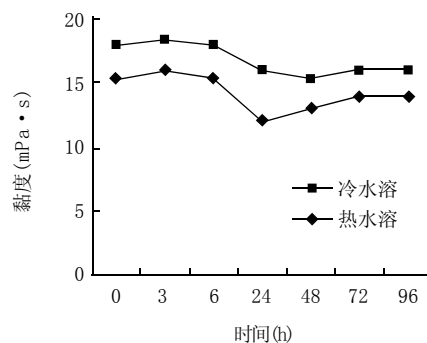


图8 蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶溶液热降解性能曲线

Fig.8 Degeneration curve of *Grateloupia filicina* gum dissolved in cold water and hot water

2.10 腐剂对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度的影响

从图9可以看出, 加入 0.001% 苯甲酸钠对蜈蚣藻多糖溶液的黏度几乎没有影响, 加入 0.1% 苯甲酸钠使蜈蚣藻多糖冷水溶部分和热水溶部分的溶液黏度略有降低。

2.11 微波处理对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液

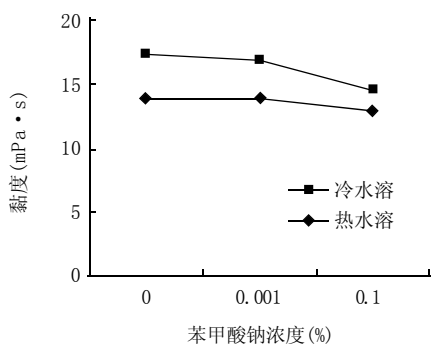


图9 苯甲酸钠对溶液黏度的影响

Fig.9 Effects of sodium benzoate on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water influence

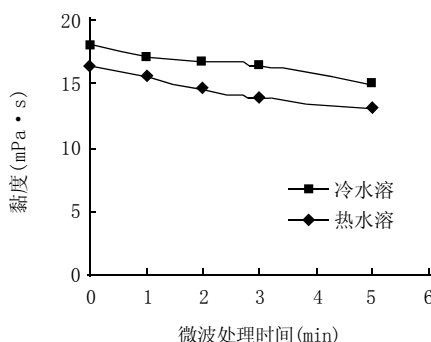


图10 微波处理对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶溶液黏度的影响

Fig.10 Effects of microwave processing on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water

黏度的影响

从图10可以看出,随着微波处理时间的增加,蜈蚣藻多糖胶溶液的冷水溶部分和热水溶部分黏度均有所下降,下降幅度较小,因此蜈蚣藻多糖具有良好的抗降解性能。

2.12 超声波处理对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶部分胶溶液黏度的影响

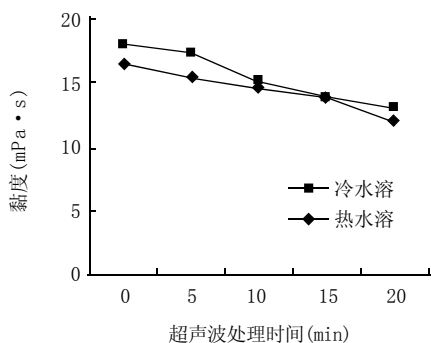


图11 超声波处理对蜈蚣藻多糖冷水溶和热水溶溶液黏度的影响

Fig.11 Effects of ultrasonic wave processing on viscosity of *Grateloupia filicina* gum which dissolved in cold water and hot water

从图11可以看出,超声波处理使蜈蚣藻多糖胶冷水溶部分和热水溶部分的溶液黏度均有所下降,其中超声波处理5min,对二者黏度影响较小,超声波处理时间超过5min溶液黏度下降的幅度较大。

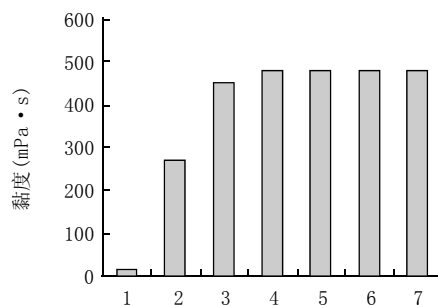
2.13 在冷水中的溶解度测定

根据公式: $CWS(\%) = \frac{\text{上清液中固体质量}(g)}{\text{样品质量}(g)} \times 100$, 冷水溶部分在冷水中的溶解度是: $0.54/1 \times 100 = 54\%$; 热水溶部分在冷水中溶解度是: $0.40/1 \times 100 = 40\%$ 。

2.14 溶液透明度测定

以蒸馏水为空白(透光率为100%),用721型分光光度计在600nm处测得蜈蚣藻多糖溶液冷水溶部分的透光率为65.0%,热水溶部分的透光率为71.5%。

2.15 与其他多糖的协效性



1. 0.6% 蜈蚣藻多糖; 2. 0.6% 卡拉胶; 3. 0.6% 刺槐豆胶; 4. 0.6% 魔芋胶; 5. 与拉胶1比1复配; 6. 与刺槐豆胶1比1复配; 7. 与魔芋胶1比1复配。

图12 热水溶蜈蚣藻多糖与其他多糖的协效性

Fig.12 Synergy of *Grateloupia filicina* gum of hot water dissolved section with other polysaccharides

从图12中可以看出,蜈蚣藻多糖与刺槐豆胶没有协效性,与魔芋胶有轻微协效性,而与卡拉胶有较强的协效性。

2.16 不同配比的热热水溶蜈蚣藻多糖与卡拉胶的协效性

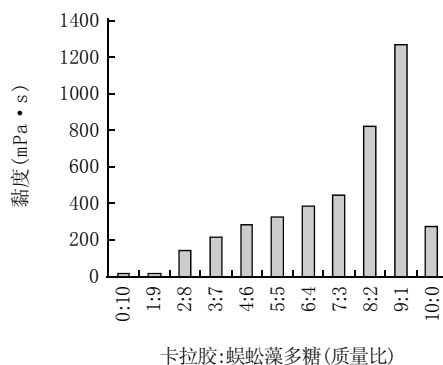


图13 热水溶蜈蚣藻多糖与卡拉胶的协效性实验

Fig.13 Synergy of *Grateloupia filicina* gum of hot water dissolved section with carrageenan

从图 13 可以看出,不同对比对热水溶蜈蚣藻多糖与卡拉胶的协效性影响较大,当卡拉胶与蜈蚣藻多糖以 9:1 复配时,复配胶溶液的黏度是卡拉胶单溶液黏度的 4.6 倍,蜈蚣藻多糖单溶液黏度的 83 倍;因此蜈蚣藻多糖与卡拉胶的最佳配比为 1:9。

3 讨论

3.1 冷水浸提法蜈蚣藻粗多糖得率为 25.78%,高于热水浸提法 20.73%。

3.2 蜈蚣藻多糖胶为“牛顿流体”,冷水溶和热水溶部分溶液黏度均随着浓度的升高而升高,其中冷水溶部分升高的幅度较大;因此蜈蚣藻多糖的最佳溶解温度为 80℃;加热时间对溶液黏度影响较小。

3.3 蜈蚣藻多糖冷水溶部分和热水溶部分在酸和碱(pH4~11)中较为稳定,因此蜈蚣藻多糖可广泛应用于酸性和碱性食品中;冷藏处理使蜈蚣藻多糖冷水溶部分和热水溶部分的黏度降低,而冷冻处理则会使两者的黏度明显的增加。

3.4 蜈蚣藻多糖胶的冷水溶部分和热水溶部分具有良好的耐盐稳定性和抗降解性能,可应用于高盐食品中及需要长期保存的食品中;苯甲酸钠对蜈蚣藻多糖冷水溶部分和热水溶部分的溶液黏度有一定影响,因此应用时,苯甲酸钠浓度不宜过高。

3.5 微波处理和超声波处理均使蜈蚣藻多糖胶冷水溶部分和热水溶部分的溶液黏度有所下降,其中微波处理溶液黏度下降的幅度较小,因此在改进蜈蚣藻多糖的提取工艺时可考虑选用微波处理。

3.6 蜈蚣藻多糖冷水溶部分在冷水中的溶解度(54%)高

于热水溶部分(40%),而透光率则是热水溶部分(71.5%)高于冷水溶部分的透光率(65.0%)。

3.7 蜈蚣藻多糖与刺槐豆胶没有协效性,与魔芋胶有轻微协效性,而与卡拉胶有较强的协效性,最佳配比为 1:9。

综上所述,蜈蚣藻多糖冷水浸提部分和热水浸提部分均具有良好的流变性能,其中冷水提取部分的流变性能稍优于热水提取部分,因此在生产实践用常规法提取蜈蚣藻多糖时可考虑冷水浸提法。蜈蚣藻多糖可作为增稠剂,广泛应用于食品行业。

参考文献:

- [1] 吴修仁. 广东药用植物简编[M]. 广州: 高等教育出版社, 1989: 1-734.
- [2] 肖树雄, 陈加雄, 林渊液. 汕头市常见海洋药物开发研究概述[J]. 中药材, 2000, 23(11): 725-726.
- [3] 房历生, 肖培华. 蜈蚣藻离体再生的初步观察[J]. 海洋科学, 1985, 9(1): 52-54.
- [4] 江永棉. 台湾海藻养殖之研究发展[C]//两岸水产养殖学术研讨会论文集. 台北: 台湾省水产试验所, 1993: 143-151.
- [5] 林江. 蜈蚣藻的丝状细胞培养[J]. 中国水产(台), 1993(484): 45-47.
- [6] 刘凤贤, 李伟新. 蜈蚣藻和繁枝蜈蚣藻孢子发生类型的研究[J]. 水产学报, 1986, 10(3): 281-287.
- [7] 李伟新, 丁镇芬. 舌状蜈蚣藻生殖器官的研究[J]. 湛江水产学院学报, 1989, 9(1/2): 110-113.
- [8] 马凌波, 王素娟, 何培民. 大型经济海藻——蜈蚣藻类的室内人工育苗[J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(2): 93-98.
- [9] 胡国华. 功能性食品胶[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 2-375.
- [10] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版, 1994: 491-498.
- [11] 王素娟. 海藻生物技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 17-18.
- [12] 杨永利, 张继, 郭守军, 等. 刺槐豆胶的流变性研究[J]. 食品科学, 2001, 22(12): 27-29.



科学家发现治疗肠毒素 B 感染新方法

伊利诺斯大学研究人员最近获得一种治疗肠毒素 B 感染的妙法,这一成果刊登于在线版的《Nature Medicine》中。

肠毒素 B 是一种由金黄色葡萄球菌产生的毒素,是导致食物中毒的常见原因之一。金黄色葡萄球菌肠毒素 B (SEB) 是超级抗原,在人体和其它动物体内发动声势浩大的免疫反应,与 T 细胞受体的可变区结合,刺激一系列级联事件,包括系统性炎症细胞因子释放。有时过度的免疫反应会导致中毒和死亡。

伊利诺斯大学生化教授 David M. Kranz 率领的研究小组利用工程学手段得到一种蛋白,结构与 SEB 靶向的 T 细胞受体结合位点相似。研究人员将蛋白在酵母细胞中表达(“酵母展示”),并制造突变使蛋白与 SEB 的结合更牢固。几轮突变和筛选过后,研究生 Rebecca A. Buonpane 获得一种可溶蛋白,与 SEB 的亲合力达到最开始的一百万倍。

Kranz 说:“毒素和 T 细胞结合是关键。如果阻断毒素与 T 细胞受体结合,就能预防级联反应开始。”

工程蛋白在接触过 SEB 的兔子的体内抑制了中毒症状的发作。与可以抵抗 SEB 感染的抗体相比,工程蛋白既有优势也有劣势。优势在于工程蛋白很小,不到抗体的 1/10,这种体积能够深入到组织深处,激发免疫反应的几率降低,还能被大肠杆菌表达。*E. coli* 是最廉价的蛋白生产系统。另一方面,抗体能够在体内保持数天至数周,新蛋白不到一小时即消失。这也许使抗体在某些情况下应为更好的治疗方案,至今没有发展出任何抗体,无论怎样,抗体对 SEB 都有差不多的亲合力。