

文章编号: 1000-0615(2017)06-0854-07

DOI: 10.11964/jfc.20170310771

微波法提取龙须菜琼胶及其理化性质的研究

王连杰¹, 沈照鹏^{2,3}, 穆惠敏¹, 崔欣¹, 江晓路^{1,3,4*}

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003;

2. 中国海洋大学医药学院, 山东 青岛 266003;

3. 青岛海洋生物医药研究院, 山东 青岛 266071;

4. 青岛明月海藻集团有限公司, 海藻活性物质国家重点实验室, 山东 青岛 266400)

摘要: 为探究微波提取法在龙须菜琼胶提取中的提取条件以及对琼胶理化性质的影响, 实验以山东威海地区养殖的龙须菜为研究对象, 在实验室条件下利用微波提取法进行龙须菜琼胶的提取, 重点研究了不同微波功率(160、480和800 W)和微波时间(2、4、6、8和10 min)对龙须菜出胶率、琼胶凝胶强度、硫酸基含量、3,6-内醚-L-半乳糖含量、凝固温度和融化温度等理化性质的影响。结果显示, 微波法提取琼胶的最佳条件为料液比1:60(W/V), 微波功率480 W、微波时间6 min, 在此条件下出胶率为16.20%, 凝胶强度为1003.6 g/cm²。微波功率和微波时间对琼胶理化性质影响显著, 随着功率的提高和时间的增加, 龙须菜出胶率和凝胶强度均呈倒U型曲线关系变化, 且在最佳提取条件下有最大值; 3,6-内醚-L-半乳糖含量先增加后减少, 而硫酸基含量则一直减少, 且在一定范围内硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量呈负相关关系; 凝固温度和融化温度均呈现先上升后下降的趋势, 在微波功率480 W的条件下提取6 min, 二者出现最大值, 分别为30.0和97.4 °C。研究表明, 微波功率及时间是龙须菜琼胶微波法提取的重要因素, 且对琼胶理化性质具有显著的影响。

关键词: 龙须菜; 琼胶; 微波提取; 理化性质

中图分类号: TS 254.1

文献标志码: A

微波提取技术作为一种新型的提取技术, 正被应用到越来越多的领域。该提取技术是靠微波电子管发出的电磁波感应生电而发热^[1], 具有快速、高效、安全的特点^[2]。采用该技术提取的成分已涉及生物碱类、萜醌类、黄酮类、皂苷类、多糖、挥发油、色素等^[3]。在多糖提取方面, 微波频率高, 透入物体程度深, 对藻类细胞的结构有较大的破碎作用, 能够提高多糖的提取率^[4]。

琼胶具有良好的胶凝性和稳定性, 在食品、医药、日用化工、生物工程等领域有着广泛应用^[5]。龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)是生产琼胶的重要海藻原料, 其养殖范围广、产量

大、生长速率快、价格低廉^[6], 且经碱处理后提取的琼胶质量较好, 正逐渐取代石花菜(*Gelidium amansii*)成为生产琼胶的主要原料^[7]。近年来, 利用微波法提取龙须菜多糖已有大量文献报道, 杨华等^[8]、黄芳芳等^[9]分别对台湾龙须菜和福建龙须菜进行微波法提取多糖的研究, 利用正交试验和响应面试验优化得出微波法提取龙须菜多糖的最佳工艺条件。但在龙须菜琼胶提取上却鲜有报道, 薛志欣等^[10]在2006年首次采用微波辅助法对龙须菜琼胶进行了提取, 通过与传统方法比较, 发现采用微波辅助法可明显提高琼胶产率, 比单纯蒸汽压力提胶产率提高6%, 而对于微波辅助法提取琼胶的工艺步骤未作具体

收稿日期: 2017-03-29 修回日期: 2017-05-08

资助项目: 山东省科技攻关项目(2015GSF115002)

通信作者: 江晓路, E-mail: jiangxl@ouc.edu.cn

说明。本实验在龙须菜碱处理的基础上单独利用微波法进行琼胶提取工艺条件的研究, 并着重分析了微波提取过程中功率和时间两个因素对龙须菜琼胶理化性质的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

龙须菜由威海正洋海洋生物技术研究院提

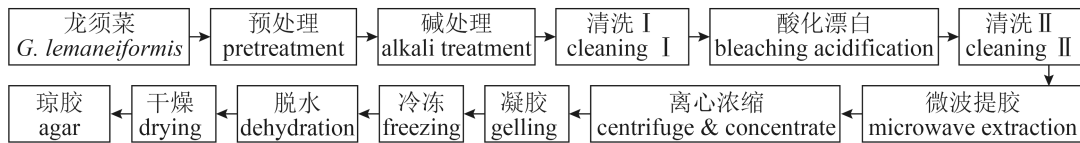


图 1 龙须菜琼胶微波提取工艺流程图

Fig. 1 Extraction process chart of agar from *G. lemaneiformis* by microwave

原料前处理 称取龙须菜原料10.00 g, 浸泡清洗; 按料液比1:15(W/V), 参照文献[12]的方法处理; 按料液比1:20(W/V), 分别在一定浓度下进行原料的漂白及酸化^[13-14], 清洗至中性备用。借鉴文献[13-14]方法综合考虑提取率和节能等因素, 按料液比1:60(W/V)进行龙须菜琼胶的微波提取, 着重研究微波功率和微波时间对琼胶理化性质的影响。

微波功率对琼胶理化性质的影响 前处理原料按料液比1:60(W/V)分别在微波功率为160、480和800 W的条件下, 微波提取8 min; 提取液离心(4000 r/min, 6 min), 上清液浓缩至1:20(W/V), 冷却凝固, 脱水干燥, 测定产品相关指标。

微波时间对琼胶理化性质的影响 前处理原料按料液比1:60(W/V)在微波功率为480 W的条件下, 分别微波提取2、4、6、8和10 min; 后续操作同上处理。

1.3 产品指标测定

龙须菜出胶率^[15]计算公式: $Y(\%) = X/X_0 \times 100$ (式中, X 为琼胶样品质量, X_0 为龙须菜原料质量), 琼胶凝胶强度使用凝胶强度测定仪进行测定^[16], 硫酸基含量采用硫酸钡比浊法^[17], 3,6-内醚-L-半乳糖含量采用间苯二酚法^[18], 凝固温度和融化温度使用流变仪进行测定^[19]。

供(含水量为12.1%), 将其烘干、粉碎, 过60目筛备用。

1.2 琼胶提取方法

原理及amp;工艺流程 龙须菜提取琼胶的基本原理是琼胶不溶于冷水, 而在90℃以上的热水中可形成溶胶^[11]。龙须菜需经碱处理后微波提取, 离心浓缩, 冷凝成胶, 脱水干燥等步骤得到琼胶成品。基本工艺流程如图1。

2 结果

2.1 微波功率对出胶率和凝胶强度的影响

出胶率和凝胶强度是龙须菜琼胶提取工艺中非常重要的参数, 随着微波功率的逐步提高, 出胶率和凝胶强度均先增加后减少, 呈倒U型曲线关系(图2)。微波功率160 W条件下出胶率为13.05%, 功率增加到480 W时出胶率超过16%, 而在800 W时出胶率有所下降; 在三档微波功率下, 琼胶的凝胶强度均超过600 g/cm², 且微波功率为800 W时的凝胶强度比160 W时凝胶强度小。从图中可明显看出, 在微波功率为480 W时, 有最大出胶率(16.11%)和最高凝胶强度(814.3 g/cm²)。

在微波功率为480 W时, 随着微波时间的增加, 出胶率和凝胶强度均呈现先增加后减少的

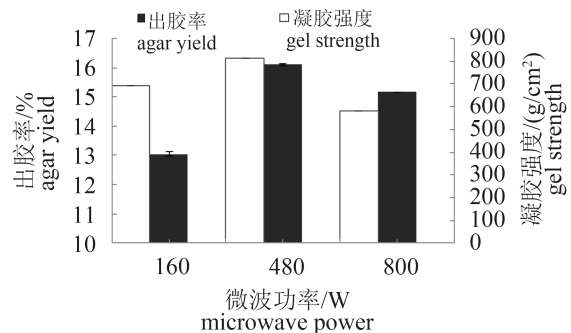


图 2 微波功率对出胶率和凝胶强度的影响

Fig. 2 Effects of microwave power on agar yield and gel strength

趋势(图3)。在提取时间为6 min时,有最大出胶率(16.20%),之后随着时间的延长出胶率略有下降;就凝胶强度而言,微波时间在2~6 min时,凝胶强度逐渐增大,在6 min时有最大值(1003.6 g/cm²),随后凝胶强度逐渐减小,在提取时间10 min时,凝胶强度降低至778.4 g/cm²。

2.2 微波功率对硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量的影响

随着微波功率的逐步提高,硫酸基含量逐渐减少,3,6-内醚-L-半乳糖含量则呈现先增加后减少的趋势(图4)。当微波功率为480 W时,3,6-内醚-L-半乳糖含量最高为45.40%;微波功率从480~800 W的过程中,硫酸基的含量相当,只有0.04%的减少量,而3,6-内醚-L-半乳糖含量下降明显,含量由45.40%减少到42.05%。

微波时间对硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量的影响同微波功率的影响相似。随着微波时间的延长,硫酸基含量逐渐减少,3,6-内醚-L-

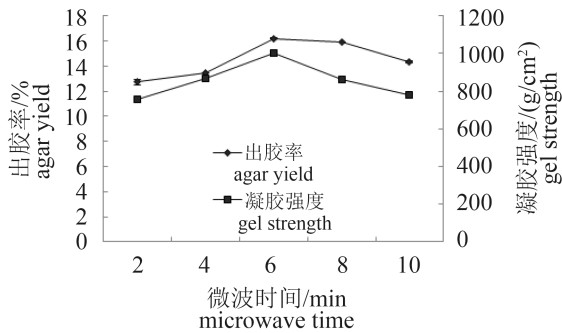


图3 微波时间对出胶率和凝胶强度的影响
Fig. 3 Effects of microwave time on agar yield and gel strength

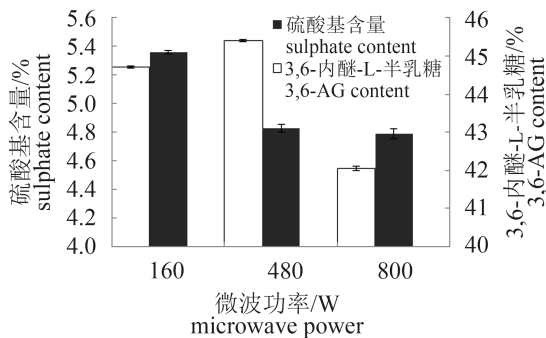


图4 微波功率对硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量的影响
Fig. 4 Effects of microwave power on sulphate content and 3,6-AG content

半乳糖含量则先增加后减少(图5)。当微波时间为6 min时,有最大3,6-内醚-L-半乳糖含量(45.63%);当微波时间大于6 min时,硫酸基含量进一步减少,3,6-内醚-L-半乳糖含量也随之减少,尤其当时间超过8 min时,3,6-内醚-L-半乳糖含量急剧下降,提取10 min时,其含量仅为39.70%。

2.3 微波功率对凝固温度和融化温度的影响

凝固温度和融化温度也是衡量琼胶质量的重要理化指标,随着微波功率的提高,凝固温度和融化温度均先上升后下降(图6)。在微波功率为480 W时,凝固温度和融化温度同时出现最大值,分别为30.0和98.2 °C。凝固温度和融化温度在800 W时,均比对应的160 W时的温度要低,分别减少1.5 °C和0.8 °C。

随着微波时间的延长,凝固温度和融化温度均呈现先上升后下降的趋势,当微波时间为6 min时,凝固温度和融化温度出现最大值,分别为30.0和97.4 °C(图7)。微波时间对二者的影响较为显

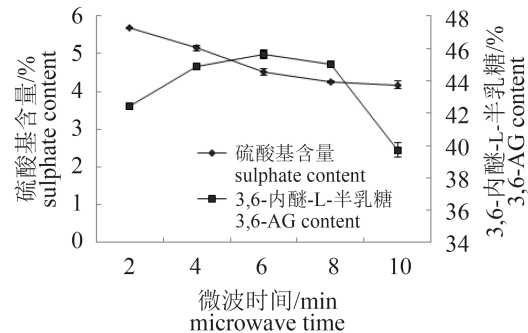


图5 微波时间对硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量的影响

Fig. 5 Effects of microwave time on sulphate content and 3,6-AG content

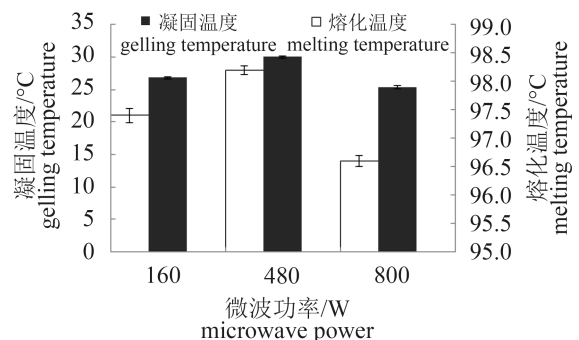


图6 微波功率对凝固温度和融化温度的影响
Fig. 6 Effects of microwave power on gelling and melting temperatures

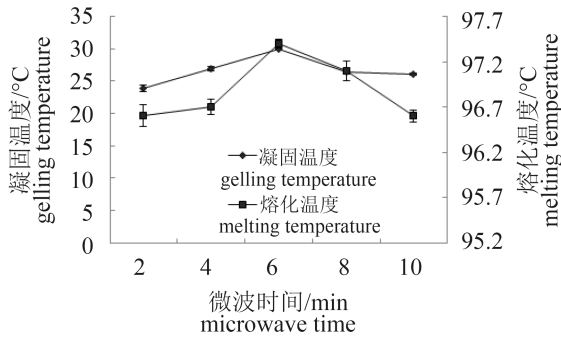


图7 微波时间对凝固温度和熔化温度的影响

Fig. 7 Effects of microwave time on gelling and melting temperatures

著, 微波提取2~6 min过程中, 凝固温度的变化尤为明显, 从23.8℃上升至30.0℃, 增长幅度超过26%, 提取时间在6~10 min时, 凝固温度下降了3.9℃; 相比之下, 熔化温度在此过程中的变化幅度较小(96.6~97.4℃), 同样在长时间的微波作用下出现熔化温度下降的趋势。

3 讨论

3.1 微波功率对琼胶理化性质影响

微波功率是微波法提取龙须菜琼胶过程中的关键因素之一, 本研究结果表明, 随着微波功率的逐步提高, 出胶率和凝胶强度均先增加后减少。刘青梅等^[2]研究微波技术在紫菜(*Porphyra yezoensis*)多糖提取中的应用时, 也出现多糖提取率随微波功率提高先增加后减少的现象, 具体原因没有深入分析; 杨华等^[8]、黄芳芳等^[9]在对龙须菜多糖的微波辅助提取过程中也出现这种现象。本研究结果表明, 随着微波功率的增加, 龙须菜细胞壁的破坏程度增加, 利于琼胶的溶出, 进而增加琼胶的出胶率。而过高的微波功率除了破坏原料细胞壁外, 还同时破坏琼胶的分子结构, 在凝胶、冻融过程中被破坏的琼胶损失, 导致出胶率的减少。对于凝胶强度而言, 随着微波功率的增加, 琼胶分子链上的硫酸基团脱除, 形成的内醚含量增加^[20], 使得琼胶分子结构稳定, 凝胶强度增加。而当微波功率过高时, 分子结构的破坏导致琼胶分子量的减少, 内醚结构的破坏使内醚半乳糖含量减少, 琼胶分子量和内醚半乳糖含量的减少共同导致凝胶强度的降低^[21]。

在对硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量影

响的研究中, 随着微波功率的增加, 琼胶分子中硫酸基团在微波的作用下脱除形成3,6-内醚-L-半乳糖, 使得硫酸基含量减少和3,6-内醚-L-半乳糖含量增加, 这与Sousa等^[16]发现的在一定范围内硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量呈负相关的结论是一致的。当微波功率过高时, 微波作用破坏琼胶的分子结构及前期生成的内醚结构, 导致硫酸基含量进一步减少和3,6-内醚-L-半乳糖含量减少。

关于微波功率对琼胶凝固温度和熔化温度影响的研究未见报道, 本研究结果表明凝固温度和熔化温度的高低可能与凝胶强度的高低有关。Sousa等^[22]在提取工艺对琼胶结构和流变学特性影响的研究中发现, 琼胶的凝胶能力和琼胶的分子量以及3,6-内醚-L-半乳糖含量有关。凝胶强度较高时, 琼胶分子中内醚结构较多, 其分子量和复杂程度相对较高, 其胶液在较高的温度下便可交联形成凝胶; 同样, 凝胶需要更多的热量才能破坏分子间的交联形成胶液, 即琼胶的凝固温度和熔化温度均较高; 反之, 凝胶强度较低时, 琼胶的凝固温度和熔化温度均较低。

3.2 微波时间对琼胶理化性质影响

微波时间是微波法提取龙须菜琼胶过程中的又一关键因素, 在一定范围内, 随着微波时间的延长, 原料细胞壁的破坏程度增加, 利于提高琼胶的出胶率。当微波提取时间过长时, 微波作用会导致琼胶多糖与杂质结合, 离心除杂造成琼胶损失^[1]; 同时, 微波对琼胶分子的破坏作用^[8-9], 使得凝胶、冻融过程中小分子琼胶损失, 导致出胶率的减少。就凝胶强度而言, 在过长时间的微波作用下, 琼胶分子结构的破坏以及内醚半乳糖含量的减少共同导致凝胶强度的降低^[21]。

同时, 微波时间对琼胶硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量的影响较为明显。在一定提取时间范围内, 硫酸基含量和3,6-内醚-L-半乳糖含量呈负相关关系^[16], Souza等^[21]对真江蓠(*G. asiatica*)进行微波辅助提取琼胶时也出现此规律, 并予以分析: 一定提取时间内, 琼胶分子中硫酸基团因微波作用脱除转化为内醚结构, 使得内醚半乳糖含量升高; 长时间微波作用导致了内醚结构的破坏, 使其含量减少, 从而引

起琼胶凝胶强度的降低。微波提取时间对凝固温度和熔化温度也有一定的影响。Yarnpakdee等^[17]研究了碱处理过程对凝固温度和熔化温度的影响,采用的提胶方式是传统的常压热水提取法,平均凝固温度和熔化温度分别为36.0和99.6℃,与本研究结果相比均偏高。可以认为,微波法提取的龙须菜琼胶在凝固温度和熔化温度上均偏低,利于速溶产品的开发。

此外,利用微波法提取龙须菜琼胶与传统加工工艺相比具有较大优势。传统工艺中提取方式多采用蒸汽压力提胶法,在120~125℃的高温高压下提取2 h,对设备的要求高,且耗能耗时。微波法提取琼胶设备较简单,提取时间仅需6 min左右,可明显缩短生产周期,加大生产批次。分别利用微波法和传统蒸汽压力法对同一批次龙须菜原料进行琼胶提取时发现,微波法出胶率较传统蒸汽压力提胶法低3.13%,凝胶强度等其他理化性质无明显差距。综合考虑加工成本、琼胶产率及品质等多方面因素,微波法提取龙须菜琼胶与传统工艺相比优势明显,具有潜在的应用价值。

参考文献:

- [1] 杨华, 庄陈丰. 响应面法优化微波辅助提取龙须菜多糖的工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 79-83.
Yang H, Zhuang C F. *Gracilaria lamaneiformis* polysaccharides: optimization of microwave-assisted extraction by response surface methodology and antioxidant properties[J]. Food Science, 2011, 32(20): 79-83(in Chinese).
- [2] 刘青梅, 杨性民, 邓红霞, 等. 采用微波技术提取紫菜多糖的工艺研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 153-156.
Liu Q M, Yang X M, Deng H X, et al. Technology for extraction of polysaccharide by using microwave technology from *Porphyra yezoensis*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(2): 153-156(in Chinese).
- [3] 姚菁华, 杜莹, 肖雷. 微波技术在活性物质提取中的应用[J]. 生物学杂志, 2007, 24(6): 61-63.
Yao J H, Du Y, Xiao L. Application of microwave-assisted for active substances extraction[J]. Journal of Biology, 2007, 24(6): 61-63(in Chinese).
- [4] 杨文杰, 黄惠华, 李琳, 等. 螺旋藻多糖的水提与微波辅助提取的比较[J]. 食品工业科技, 2003, 24(8): 40-42.
Yang W J, Huang H H, Li L, et al. A study on extraction of polysaccharide from *Spirulina platensis* with water bath assisted by microwave[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(8): 40-42(in Chinese).
- [5] 纪明候. 海藻化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 33-37.
Ji M H. Chemistry of seaweed[M]. Beijing: Science Press, 2004: 33-37 (in Chinese).
- [6] 许加超. 海藻利用化学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006: 118-124.
Xu J C. Algae chemistry and technology[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2006: 118-124 (in Chinese).
- [7] Marinho-Soriano S, Bourret E. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*)[J]. Bioresource Technology, 2003, 90(3): 329-333.
- [8] 杨华, 杨震峰. 微波技术提取台湾种龙须菜多糖的工艺研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(6): 53-57.
Yang H, Yang Z F. Study on extraction of polysaccharide in Taiwan *Gracilaria lemaneiformis* by microwave technique[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(6): 53-57(in Chinese).
- [9] 黄芳芳, 杨君, 裴亚萍, 等. 龙须菜多糖微波辅助提取结合超滤纯化及其保湿应用研究[J]. 食品工业, 2014, 35(8): 74-78.
Huang F F, Yang J, Pei Y P, et al. Microwave-assisted extracting combined with ultrafiltration technology to purify *Gracilaria verrucosa* polysaccharide and its moisture retentive research[J]. Food Industry, 2014, 35(8): 74-78(in Chinese).
- [10] 薛志欣, 杨桂朋, 王广策. 龙须菜琼胶的提取方法研究[J]. 海洋科学, 2014, 35(8): 71-77.
Xue Z X, Yang G P, Wang G C. Study on extraction method of agar from *Gracilaria lemaneiformis*[J]. Marine Sciences, 2014, 35(8): 71-77(in Chinese).
- [11] 戚勃, 杨贤庆, 李来好, 等. 冷碱处理条件与龙须菜琼胶强度的关系[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 23-26.
Qi B, Yang X Q, Li L H, et al. Effect of cold alkaline treatment on gel strength of agar from *Gracilaria sjoestedtii* Kylin[J]. Food Science, 2009, 30(22): 23-26(in Chinese).

- [12] Kumar V, Fotedar R. Agar extraction process for *Gracilaria cliftonii* [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78(4): 813-819.
- [13] 蔡鹰, 黄家康, 吴湛霞. NaClO法漂白江蓠时不同工艺对氯气浓度及漂白效果的影响[J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22(6): 15-18.
Cai Y, Huang J K, Wu Z X. Influence of different techniques of bleaching *Gracilaria* on the density of chlorine and bleaching effect with NaClO[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2002, 22(6): 15-18(in Chinese).
- [14] 蔡鹰, 黄家康, 吴湛霞. 草酸在江蓠藻漂白中的应用研究[J]. 研究与探讨, 2002, 23(11): 25-27.
Cai Y, Huang J K, Wu Z X. Study on the application of oxalic acid in bleaching of *Gracilaria*[J]. Research and Discussion, 2002, 23(11): 25-27(in Chinese).
- [15] 黄婷婷, 叶李艺, 沙勇, 等. 龙须菜提取琼胶碱处理工艺条件优化[J]. 化学工程与装备, 2010(10): 12-15.
Huang T T, Ye L Y, Sha Y, et al. Optimization of alkali treatment technological conditions for agar prepared from *Gracilaria lemaneiformis*[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2010(10): 12-15(in Chinese).
- [16] Sousa A M M, Alves V D, Morais S, et al. Agar extraction from integrated multitrophic aquacultured *Gracilaria vermiculophylla*: evaluation of a microwave-assisted process using response surface methodology[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(9): 3258-3267.
- [17] Yarnpakdee S, Benjakul S, Kingwascharapong P. Physico-chemical and gel properties of agar from *Gracilaria tenuistipitata* from the lake of Songkhla, Thailand[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 217-226.
- [18] Matsuhiro B, Zanlungo A B. Colorimetric determination of 3,6-anhydrogalactose in polysaccharides from red seaweeds[J]. Carbohydrate Research, 1983, 118: 276-279.
- [19] 张莉. 龙须菜琼胶多糖的制备技术及流变学特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Zhang L. The preparation and rheological properties of *G. lemaneiformis* agar polysaccharide[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009 (in Chinese).
- [20] Rees D A. Estimation of the relative amounts of isomeric sulphate esters in some sulphated polysaccharides[J]. Journal of the Chemical Society, 1961, 71: 5168-5171.
- [21] Souza K S H, Sousa A M M, Gómez J, et al. Complexation of WPI and microwave-assisted extracted agars with different physicochemical properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 89(4): 1073-1080.
- [22] Sousa A M M, Borges J, Silva A F, et al. Influence of the extraction process on the rheological and structural properties of agars[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 96(1): 163-171.

Extraction of agar from *Gracilaria lemaneiformis* based on microwave method and its physico-chemical properties

WANG Lianjie¹, SHEN Zhaopeng^{2,3}, MU Huimin¹, CUI Xin¹, JIANG Xiaolu^{1,3,4*}

(1. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. College of Medicine and Pharmacy, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. Qingdao Marine Biomedical Research Institute, Qingdao 266071, China;

4. State Key Laboratory of Bioactive Seaweed Substances, Qingdao Brightmoon Seaweed Group Co. Ltd, Qingdao 266400, China)

Abstract: In order to find the optimal conditions of microwave extraction method in the extraction process of agar from *Gracilaria lemaneiformis* and investigate microwave's effects on the physico-chemical properties of agar, we extracted agar from *G. lemaneiformis* (cultivated in Weihai, Shandong) under laboratory conditions by microwave extraction procedure. The effects of the different microwave power (160, 480, 800 W) and microwave time (2, 4, 6, 8, 10 min) on agar yield, gel strength, sulfate content, 3,6-AG content, gelling temperature, melting temperature and other physico-chemical properties were investigated. The results showed that the optimal conditions of the extraction method were as follows: solid-liquid ratio was 1 : 60 (*W/V*), microwave power was 480 W, microwave time was 6 min. The agar yield was 16.20% and the gel strength was 1003.6 g/cm² under these conditions. The effects of microwave power and microwave time on physico-chemical properties of agar were significant, with the increase of the power and the time, the growth of agar yield and gel strength displayed inverted U type changes, and maximum value appeared in the best extraction conditions. 3,6-AG content increased at first and then decreased, while the sulfate content had been declining, and there was a negative correlation between sulphate content and 3,6-AG content in a certain range. Both gelling temperature and melting temperature demonstrated a trend of increasing at first and then decreasing, and the respective maximum values of 30.0 and 97.4 °C appeared in the conditions of 480 W and 6 min. The test results showed that the microwave power and time were important factors in microwave extraction of agar from *G. lemaneiformis* and they both had significant effects on the physico-chemical properties of agar. In conclusion, this research provided a theoretical evidence for the microwave extraction of agar from *G. lemaneiformis*.

Key words: *Gracilaria lemaneiformis*; agar; microwave extraction; physico-chemical properties

Corresponding author: JIANG Xiaolu. E-mail: jiangxl@ouc.edu.cn

Funding projects: Science and Technology Research Projects of Shandong Province (2015GSF115002)