

# 海带中岩藻聚糖硫酸酯提取工艺评价模型的建立与探讨

曲桂燕<sup>1,2</sup>, 刘旭<sup>3,2</sup>, 汪东风<sup>1</sup>, 袁毅<sup>2</sup>, 韩丽君<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 安徽农业大学 茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036)

**摘要:** 采用均匀设计从海带中热水提取岩藻聚糖硫酸酯, 以粗多糖提取率( $Y_w$ )、岩藻糖提取率( $Y_f$ )和硫酸根提取率( $Y_s$ )为评价指标, 并采用综合加权评分法综合考虑各试验因素对以上三个指标的影响。利用 Minitab 软件分析加权值  $Y$  与各因素的相关性, 再通过回归方程优化岩藻聚糖硫酸酯的工艺参数。建立了加权值  $Y$  与提取温度( $X_1$ )、提取时间( $X_2$ )和液料比( $X_3$ )之间的二次回归模型, 即  $Y = 65.2 + 0.555x_1 + 1.73x_2 + 0.587x_3 + 0.0236x_1^2 + 0.0939x_3^2 - 0.110x_1x_2$ 。优化后获得最佳提取工艺参数。

**关键词:** 海带; 岩藻聚糖硫酸酯; 均匀设计; 回归方程; 热水提取; 加权评分

中图分类号: P714.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)11-0044-06

岩藻聚糖硫酸酯(fucoidan), 又名岩藻多糖或褐藻糖胶, 是一种水溶性的硫酸杂多糖, 普遍存在于褐藻和一些棘皮动物中。研究发现岩藻聚糖硫酸酯具有抗凝血<sup>[1]</sup>、抗氧化<sup>[2]</sup>、抗肿瘤<sup>[3-4]</sup>、抗病毒<sup>[5-7]</sup>等多种生物学活性, 并且随着其应用价值的不断提升, 需求量也在增加。因此如何提高岩藻聚糖硫酸酯中主要成分的提取率是对其进行产业化利用的关键。

岩藻聚糖硫酸酯的主要成分除了  $L$ -岩藻糖和硫酸根外, 还含有半乳糖、木糖、甘露糖、葡萄糖、糖醛酸、蛋白质等, 越来越多的研究表明, 其活性与硫酸根含量和位置<sup>[2, 5]</sup>密切相关。不同的提取方法、提取工艺条件对岩藻聚糖硫酸酯得率有很大影响, 而且对其多糖含量与硫酸根含量的影响不同。虽然刘红英等<sup>[8]</sup>和李兆新等<sup>[9]</sup>对岩藻聚糖硫酸酯的含量测定进行了一些探讨, 但由于其组成复杂还没有标准方法。因此在提取纯化过程中, 评价指标也各不相同, 大部分用粗多糖质量<sup>[10-18]</sup>、粗多糖中多糖含量<sup>[19-22]</sup>来表示。其他的评价方法有: 根据刘红英的方法测定岩藻多糖的含量<sup>[23-24]</sup>; 根据多糖和硫酸根的总质量分数<sup>[25]</sup>来评价; 对多个单独指标<sup>[23-24, 26-31]</sup>进行综合考虑。为了得到合理的优化结果, 需要恰当的评价指标, 但很少有人关心评价指标对因素选择的影响。

由于岩藻多糖主要由岩藻糖和硫酸根组成, 这两者的成分含量对岩藻多糖的活性起很重要的作用, 本文以粗多糖提取率(%), 岩藻糖提取率(%)和硫酸根提取率(%)的加权评分为指标通过均匀设计试验

来优化提取工艺并系统分析各实验因素对不同指标的影响, 从而有目的地指导生产。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和仪器

#### 1.1.1 试验材料与试剂

海带由山东日照洁晶集团提供, 于 2011 年 8 月在山东荣成采集。将海带洗净、40 烘干、磨碎、过 100 目筛后, 贮存于密闭玻璃瓶中备用。

95%乙醇;  $K_2SO_4$ 、 $BaCl_2$ 、明胶、浓盐酸;  $L$ -半胱氨酸盐酸盐、浓硫酸以上试剂均为国产分析纯。标准品:  $L$ -岩藻糖(Fuc)(Sigma)。

#### 1.1.2 仪器

ADVENTURER™ 系列电子天平, 奥豪斯仪器(上海)有限公司; DF-101 集热式恒温加热磁力搅拌器, 郑州长城科工贸有限公司; SC-3610 低速离心机, 安徽中科中佳科学仪器有限公司; RE-2000 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; LGJ-12 冷冻干燥机, 北京松源华兴科技发展有限公司; UV-2000 型分光光度计, 尤尼柯(上海)仪器有限公司; 数显恒温水浴锅 HH-4 国华电器有限公司。

收稿日期: 2012-01-05; 修回日期: 2012-03-09

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201105029-9)

作者简介: 曲桂燕(1987-), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事海藻中多糖研究, 电话: 0532-82898741, E-mail: qugy2006@163.com; 汪东风, 通信作者, E-mail: wangdf@ouc.edu.cn; 韩丽君, 通信作者, E-mail: ljhan@qdio.ac.cn

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 提取工艺流程

干海带经热水浸提后,再经离心、浓缩、醇析、冷冻干燥,得到岩藻聚糖硫酸酯粗品,称重后计算得率,并测定岩藻糖和硫酸根含量。其工艺流程如图1所示。

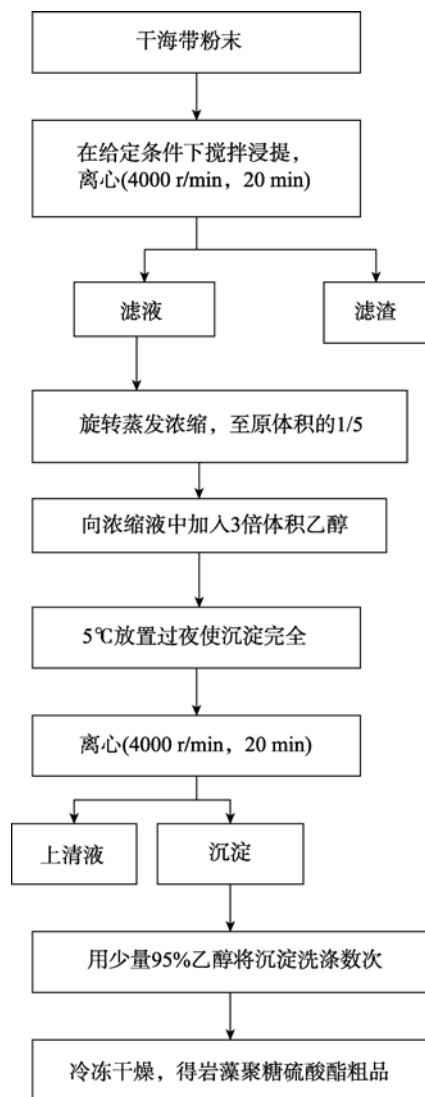


图1 海带岩藻聚糖硫酸酯提取工艺流程图

Fig. 1 The flow chart of hot water extracting process of fucoidan from *Laminaria japonica*

表1 因素水平表

Tab. 1 The factor-level list for uniform design

因素	水平					
	1	2	3	4	5	6
X1( )	50	60	70	80	90	100
X2(h)	1	2	3	4	5	6
X3(mL/g)	10	15	20	25	30	35

$Y_w$ : 粗多糖提取率(%)=粗多糖的质量/藻粉的质量 × 100%

$Y_f$ : 岩藻糖提取率(%)=(粗多糖的质量 × 岩藻糖的百分含量)/藻粉的质量 × 100%

$Y_s$ : 硫酸根提取率(%)=(粗多糖的质量 × 硫酸根的百分含量)/藻粉的质量 × 100%

### 1.2.2 测定方法

岩藻糖含量测定<sup>[32]</sup>: 采用 Gibbons 比色法测定多糖中 L-岩藻糖含量。得回归方程:  $y=0.0009x-0.0015$ ,  $R^2=0.9934$ 。

硫酸根含量测定<sup>[33]</sup>: 采用 Dodgson 比浊法测定多糖中硫酸根含量。得回归方程:  $y=2.6999x+0.0062$ ;  $R^2=0.9969$ 。

### 1.2.3 提取试验设计

在前期预实验和参考文献<sup>[11, 13, 15, 17, 21, 25]</sup>的基础上,选择影响提取效果的 3 个主要因素: 浸提温度( $X_1$ )、浸提时间( $X_2$ )、液料比( $X_3$ )进行考察,并以粗多糖提取率( $Y_w$ )、岩藻糖提取率( $Y_f$ )和硫酸根提取率( $Y_s$ )为评价指标。

各因素分别选择 6 个水平,因素水平见表 1。根据表 1 的因素及水平,选用均匀设计表 U12\*(12<sup>3</sup>),并通过拟水平法适当改造,依据规定<sup>[34-35]</sup>使用,其均匀性  $D=0.1838$ 。

### 1.2.4 数据处理

采用 Minitab 软件对实验数据进行逐步回归分析,筛选显著变量,建立回归方程,并通过回归方程进行规划求解,从而得到优化的海带岩藻多糖提取条件。

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验方案及分析结果

采用水提法从海带中提取岩藻聚糖硫酸酯,以粗多糖提取率( $Y_w$ )、岩藻糖提取率( $Y_f$ )和硫酸根提取率( $Y_s$ )为评价指标,并采用综合加权评分法综合考虑各试验因素对以上三个指标的影响。综合加权评分法是在多指标的优化试验中,根据每个指标优

选的条件可能会相互矛盾,对某一指标的有利的条件可能对其他指标不利,因此试验中引入一个综合指标,来考察指标的综合效果。根据各指标的重要性,将粗多糖提取率(%)、岩藻糖提取率(%)、硫酸根提取率(%)的权重系数分别设定为 0.1, 0.45, 0.45。为在统一标准下加权评分,分别将最好的试验结果定为 100,其他试验结果采用适宜的公式酌情记分。根据选定的均匀设计表,在各组条件下进行实验,结果见表 2。

表 2 热水提取岩藻聚糖硫酸酯均匀设计试验方案及分析结果

Tab. 2 Conditions and analysis results of hot water extracting process of fucoidan from *Laminaria japonica* by uniform design

实验号	$X_1$ ( )	$X_2$ (h)	$X_3$ (mL/g)	$Y_w$ (%)	$Y_f$ (%)	$Y_s$ (%)	加权值 $Y$
1	50	3	30	4.47	2.07	0.69	77.12
2	50	6	25	5.13	1.83	0.73	75.91
3	60	3	15	4.37	1.41	0.65	62.27
4	60	6	10	4.48	2.15	0.71	79.10
5	70	2	35	5.28	1.84	0.77	77.69
6	70	5	25	4.28	1.61	0.73	67.71
7	80	2	20	4.05	1.59	0.54	62.31
8	80	5	10	4.94	1.90	0.92	80.58
9	90	1	35	6.06	2.00	1.47	98.86
10	90	4	30	6.24	1.99	1.31	96.32
11	100	1	20	6.22	2.14	1.35	100.00
12	100	4	15	4.98	2.15	0.96	86.75

表 3  $Y_w$ 、 $Y_f$ 和 $Y_s$ 的回归方程及其显著性检验

Tab. 3 Results and significance tests of quadratic polynomial stepwise regression of significance tests of  $Y_w$ 、 $Y_f$  and  $Y_s$

模型	回归方程	复相关系数 $r$	决定系数 $R^2$	$F$	$p$
1	$Y_w=4.916+0.026x_1+0.038x_3-0.009x_1x_2$	0.811	0.658	5.122	0.029
2	$Y_f=1.618+0.001x_1^2-0.011x_2x_3+0.005x_1$	0.867	0.751	8.062	0.008
3	$Y_s=0.977+0.013x_1+0.012x_3-0.027x_1x_2+0.004x_3^2-0.259x_2^2$	0.942	0.887	9.383	0.008

其中  $x_1=X_1-75.0$ ,  $x_2=X_2-3.5$ ,  $x_3=X_3-22.5$ 。

在上述模型中  $P$  值都小于 0.05,说明回归方程在  $\alpha=0.05$  水平上显著,模型方程具有统计学意义,整体拟合效果不错。但模型  $Y_w$  的显著性  $P=0.029$  比模型  $Y_f$  和  $Y_s$  要小,同时模型  $Y_w$  的复相关系数  $r=0.811$ ,决定系数  $R^2=0.658$ ,说明模型方程预测精度较低。由于本实验没有进一步纯化,存在褐藻胶的干扰,所以单纯以沉淀物干重计算得率会有很大偏差。而以岩藻糖和硫酸根含量计算提取率得到的回归模型拟合较好,说明评价指标对优化工艺上有很

## 2.2 各实验因素对单个评价指标 $Y_w$ 、 $Y_f$ 和 $Y_s$ 的影响

### 2.2.1 优化数学模型的建立

利用 Minitab 16 统计软件分别对粗多糖提取率( $Y_w$ )、岩藻糖提取率( $Y_f$ )和硫酸根提取率( $Y_s$ )进行回归分析,采用二次型回归模型,自变量  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  采用中心化处理<sup>[35]</sup>,并采用逐步回归的方法筛选变量,得到回归方程及其显著性检验如表 3 所示。

大影响。

### 2.2.2 因素效应分析

通过  $t$  检验得到各相关系数的显著性检验结果如表 4 所示。从表中可以看出各实验因素对评价指标的影响大小。

从表 4 中可以看出各试验因素对  $Y_w$  的影响大小为  $X_1>X_3>X_1X_2$ ,其中  $X_1$  提取温度对粗多糖得率影响最显著,其次是  $X_3$  液料比,而  $X_2$  提取时间影响效果不显著,且与温度的交互作用对其有负面影响;对

$Y_f$  的影响大小为  $X_1^2 > X_2X_3 > X_1$ , 其中  $X_1^2$  提取温度的二次项对岩藻糖提取率的影响最显著, 其次是  $X_2X_3$  的交互作用, 而  $X_2$ 、 $X_3$  单独影响效果不显著; 对  $Y_s$  的影响大小为  $X_1 > X_3^2 > X_1X_2 > X_2^2 > X_3$ , 其中  $X_1$  提取温度对硫酸根得率的影响最显著, 其次是  $X_3$  液料比的二次项, 而  $X_2$  提取时间影响效果不显著。

表 4  $Y_w$ 、 $Y_f$  和  $Y_s$  偏回归系数的显著性检验  
Tab. 4 Significance tests of regression coefficients obtained by the quadratic polynomial regression models of  $Y_w$ ,  $Y_f$  and  $Y_s$

响应值	变量	t	p
$Y_w$	$x_1$	2.888	0.02
	$x_3$	2.121	0.067
	$x_1x_2$	-1.694	0.129
$Y_f$	$x_1x_1$	3.96	0.004
	$x_2x_3$	-3.339	0.01
	$x_1$	1.94	0.088
$Y_s$	$x_1$	5.278	0.002
	$x_3$	2.428	0.051
	$x_1x_2$	-2.884	0.028
	$x_3x_3$	3.02	0.023
	$x_2x_2$	-2.529	0.045

经上述分析发现, 提取温度( $X_1$ )对粗多糖提取率(%)、岩藻糖提取率(%)、硫酸根提取率(%)影响都最显著, 液料比( $X_3$ )对粗多糖提取率(%)和硫酸根提

表 5 加权值  $Y$  偏回归系数的显著性检验  
Tab. 5 Significance tests of regression coefficients obtained by the quadratic polynomial regression model of  $Y$

自变量	系数	系数标准误	t	P
$x_1$	0.012162	0.002786	4.36	0.007
$x_1x_1$	0.000516	0.000185	2.78	0.039
$x_3x_3$	0.002056	0.000705	2.92	0.033
$x_3$	0.012833	0.005573	2.3	0.07
$x_1x_2$	-0.00243	0.001566	-1.55	0.182
$x_2$	0.03769	0.03132	1.2	0.283

## 2.4 工艺条件参数优化

根据加权评分  $Y$  得到的回归方程进行规划求解, 并结合上述分析, 得到岩藻聚糖硫酸酯最佳提取条件为  $x_1=25$ ,  $x_2=-2.5$ ,  $x_3=12.5$ ( $X_1=100$ ,  $X_2=1$ ,  $X_3=35$ ), 即提取温度 100, 提取时间 1h, 液料比 35(mL:g)。

## 2.5 验证试验

按优化后的条件进行优化工艺验证试验, 岩藻聚糖硫酸酯粗多糖得率可达 6.50%, 其中岩藻糖提

取率(%)的影响都较显著, 而提取时间( $X_2$ )影响效果不显著, 且其交互作用都存在负面影响。因此各实验因素对岩藻糖含量与硫酸根含量的影响不同, 需综合考虑。

## 2.3 各实验因素对加权评分的影响

### 2.3.1 优化数学模型的建立

按 2.2.1 对加权值  $Y$  进行回归分析, 得到回归方程:  $Y = 65.2 + 0.555x_1 + 1.73x_2 + 0.587x_3 + 0.0236x_1^2 + 0.0939x_3^2 - 0.110x_1x_2$ ; 其中  $x_1 = X_1 - 75.0$ ,  $x_2 = X_2 - 3.5$ ,  $x_3 = X_3 - 22.5$ 。

模型的复相关系数  $R=0.944$ ;  $F=6.85$ ,  $p=0.026 < 0.05$ , 说明回归方程在  $\alpha=0.05$  水平上显著, 模型方程具有统计学意义, 整体拟合效果不错。模型的决定系数  $R^2=0.892$ , 调整决定系数  $R^2=0.762$ , 说明模型方程具有较高的预测精度。并且通过加权值  $Y$  得到的回归方程与通过  $Y_w$ 、 $Y_f$  和  $Y_s$  得到的回归方程相比其预测精度有了很大的提高, 因此, 该模型预测热水浸提岩藻多糖的工艺参数是可行的。

### 2.3.2 因素效应分析

通过 t 检验得到各相关系数的显著性检验结果如表 5 所示。从表 5 中可以看出对加权值  $Y$  的影响大小为  $X_1 > X_3^2 > X_1^2 > X_3 > X_1X_2 > X_2$ , 其中  $X_1$  提取温度对总提取率的影响最显著, 其次是  $X_3$  液料比的二次项, 而  $X_2$  提取时间的单独影响效果不显著。

取率为 2.65%, 硫酸根提取率为 1.36%。验证试验加权评分  $Y$  实测值为 112.01, 比均匀实验中的 12 组实验结果都高, 与回归模型的预测值 118.38 相对误差为 0.0539。由此表明试验中所设模型是合适的, 能够为海带岩藻聚糖硫酸酯提取工艺提供理论指导。

## 3 结论

采用均匀设计法优化海带岩藻聚糖硫酸酯提取工艺, 首次将粗多糖提取率( $Y_w$ )、岩藻糖提取率( $Y_f$ )

和硫酸根提取率( $Y_s$ )同时作为评价指标,综合考虑各试验因素对以上三个指标的影响。结果表明:

(1)通过加权值  $Y$  得到的回归方程与通过  $Y_w$ 、 $Y_f$  和  $Y_s$  得到的回归方程相比具有较高精度和显著性。

(2)利用加权值  $Y$  得到的回归模型进行规划求解,得到优化提取工艺参数为提取温度 100 , 提取时间 1 h, 液料比 35(mL:g)。

(3)利用回归模型对实验结果进行预测,其相对误差为 5.39%。并且岩藻聚糖硫酸酯粗多糖得率可达 6.50%,其中岩藻糖提取率为 2.65%,硫酸根提取率为 1.36%。

因此,本文探讨和建立的海带中岩藻聚糖硫酸酯提取工艺评价模型,通过加权评分作为评价指标可综合考虑海带岩藻聚糖硫酸酯的产量和其成分含量,对岩藻聚糖硫酸酯的工业提取提供了理论参考。

#### 参考文献:

- [1] Chandía N P, Matsuhira B. Characterization of a fucoidan from *Lessonia vadosa* (Phaeophyta) and its anticoagulant and elicitor properties[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2008, 42(3): 235-240.
- [2] Wang J, Zhang Q, Zhang Z, et al. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from *Laminaria japonica*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2008, 42(2): 127-132.
- [3] Synytsya A, Kim W, Kim S, et al. Structure and antitumor activity of fucoidan isolated from sporophyll of Korean brown seaweed *Undaria pinnatifida*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 81(1): 41-48.
- [4] Ale M T, Maruyama H, Tamauchi H, et al. Fucoidan from *Sargassum* sp. and *Fucus vesiculosus* reduces cell viability of lung carcinoma and melanoma cells in vitro and activates natural killer cells in mice in vivo[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2011, 49(3): 331-336.
- [5] Sinha S, Astani A, Ghosh T, et al. Polysaccharides from *Sargassum tenerrimum*: Structural features, chemical modification and anti-viral activity[J]. *Phytochemistry*, 2010, 71: 235-242.
- [6] Cimino P, Bifulco G, Casapullo A, et al. Isolation and NMR characterization of rosacellose, a novel sulfated polysaccharide from the sponge *Mixyilla rosacea*[J]. *Carbohydrate Research*, 2001, 334: 39-47.
- [7] Anastuyuk S D, Shevchenko N M, Ermakova S P, et al. Anticancer activity in vitro of a fucoidan from the brown alga *Fucus evanescens* and its low-molecular fragments, structurally characterized by tandem mass-spectrometry[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(1): 186-194.
- [8] 刘红英,薛长湖,李兆杰,等.海带岩藻聚糖硫酸酯测定方法的研究[J].*青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2002(2): 236-240.
- [9] 李兆新,刘晋湘,耿霞,等.刺参岩藻聚糖含量的研究[J].*海洋水产研究*, 2006(4): 44-47.
- [10] 宗虎民,刘长发,韩蕾,等.裙带菜假根中褐藻糖胶的提取[J].*天然产物研究与开发*, 2006(6): 1003-1006.
- [11] 张英慧,曲爱琴,上官国莲,等.溴代十六烷基吡啶法提取海带岩藻半乳聚糖硫酸酯[J].*中国生化药物杂志*, 2003(5): 219-221.
- [12] 李亚娜,赵谋明,彭志英.羊栖菜粗多糖的提取工艺[J].*食品与发酵工业*, 2004(6): 125-130.
- [13] 杨会琴,李敬,戴翠萍.海带中岩藻多糖提取工艺的研究[J].*河北师范大学学报*. 2005(4): 409-411.
- [14] 赖晓芳,沈善瑞,徐士军.裙带菜褐藻糖胶的提取[J].*淮海工学院学报(自然科学版)*. 2006(1): 63-65.
- [15] 鞠国泉,李敬.海带中褐藻糖胶的提取及其对自由基清除能力的研究[J].*食品研究与开发*. 2007(2): 151-154.
- [16] 贾玉翠,杨波,季宇彬.裙带菜中岩藻多糖提取工艺研究[J].*中国当代医药*. 2009(12): 69-84.
- [17] 程仕伟,陈超男,冯志彬,等.海带岩藻多糖的水提制备及其抗氧化活性研究[J].*食品科学*. 2010(6): 101-104.
- [18] 谌素华,王维民,刘辉,等.亨氏马尾藻岩藻聚糖硫酸酯提取工艺的研究[J].*食品工业科技*. 2011(8): 269-272.
- [19] 吴永沛,邱晓燕,张东,等.海带提取岩藻聚糖的研究[J].*食品科学*. 2003(10): 78-80.
- [20] 郝晓敏,谷长生,宋文东,等.酸法江蓠菜岩藻多糖提取工艺及其性质研究[J].*安徽农业科学*. 2007(30): 9704-9705.
- [21] 肖策,李多伟,逢敏洁,等.从海带中提取褐藻糖胶工艺的研究[J].*西北药学杂志*. 2008(4): 212-214.
- [22] 吴元锋,李亚飞,刘士旺,等.裙带菜中褐藻糖胶的提取纯化及其组成的研究[J].*农业工程学报*. 2008(6): 273-276.

- [23] 何云海, 汪秋宽, 张婷, 等. 海带岩藻聚糖硫酸酯酶解工艺及分离和纯化研究[J]. 沈阳农业大学学报. 2007(2): 215-219.
- [24] 史永富, 汪秋宽, 张甜翠. 鼠尾藻中岩藻聚糖硫酸酯提取工艺及纯化研究[J]. 现代食品科技. 2009(5): 511-514.
- [25] 姚兰, 蒋文强, 杨海涛. 酸法提取海带中岩藻聚糖硫酸酯的研究[J]. 食品研究与开发. 2006(7): 89-91.
- [26] 郭亚贞, 王慥. 海带中褐藻糖胶的提取与纯化[J]. 上海水产大学学报. 2000(3): 276-279.
- [27] 过菲, 许时婴. 羊栖菜粗多糖的提取研究[J]. 食品工业. 2002(3): 11-13.
- [28] 尤瑜敏, 许时婴. 羊栖菜中褐藻糖胶的提取工艺[J]. 无锡轻工大学学报. 2002(3): 233-238.
- [29] 何云海, 汪秋宽, 刘红丹. 用复合酶酶解提取海带岩藻聚糖硫酸酯的工艺研究[J]. 大连水产学院学报. 2006(1): 55-58.
- [30] 周军明, 崔艳丽, 毛建卫. 褐藻糖胶测定的影响因素及其提取的优化工艺分析[J]. 科技通报. 2007(1): 37-40.
- [31] 张喆迦, 刘雪莲, 许剑锋, 等. 羊栖菜硫酸多糖的提取工艺与最佳提取条件[J]. 食品工业科技. 2008(11): 192-194.
- [32] Gibbons M N. The determination of methylpentoses[J]. Analyst, 1955, 80: 268-276.
- [33] Dodgson K S, Price R G. A note on the determination of the ester sulphate content of sulphated polysaccharides[J]. Biochem J. 1962: 106-110.
- [34] 方开泰. 均匀设计与均匀设计表 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 13-49.
- [35] 王钦德, 杨坚. 食品试验设计与统计分析(第2版)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 349-357.

## Study on evaluation model of extracting process of fucoidan from *Laminaria japonica*

QU Gui-yan<sup>1,2</sup>, LIU Xu<sup>3,2</sup>, WANG Dong-feng<sup>1</sup>, YUAN Yi<sup>2</sup>, HAN Li-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Food Science and Engineering, Ocean University of China Qingdao 266003, China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. College of Tea&Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Received:** Jan.,5,2012

**Key words:** *Laminaria japonica*; fucoidan; uniform design; regression equation; hot water; weighting values

**Abstract:** Fucoidan was extracted from *Laminaria japonica* by hot water through uniform design. To optimize the extraction parameters, the weighting values of the separate yields of crude fucoidan ( $Y_w$ ), fucose ( $Y_f$ ) and sulfate ( $Y_s$ ) were used by Minitab. The results showed that the behavior of system was explained by the following quadratic equation between the weighting values ( $Y$ ) and the factors (extraction temperature, extraction time and the ratio of solution to algae power):  $Y = 65.2 + 0.555x_1 + 1.73x_2 + 0.587x_3 + 0.0236x_1^2 + 0.0939x_3^2 - 0.110x_1x_2$ . Based on that equation, the optimization condition was that extraction temperature 100°C, extraction time 1h and the ratio of solution to algae power 35 (mL:g). Under this condition, the extraction rate of crude fucoidan, fucose and sulfate group was 6.50%, 2.65% and 1.36%, respectively.

(本文编辑: 康亦兼)