

响应面法优化铜藻中岩藻黄素的提取工艺

韩典峰¹, 邹荣婕², 宫向红¹, 李佳蔚¹, 刘小静¹, 罗晶晶¹, 徐英江^{1*}

(1. 山东省海洋资源与环境研究院, 烟台 264006; 2. 烟台市福山区农业农村局, 烟台 265500)

摘要: **目的** 采用响应面法优化铜藻中岩藻黄素的乙醇溶液提取工艺。**方法** 用乙醇溶液作提取溶剂, 采用超声法提取铜藻中的岩藻黄素, 研究乙醇浓度、料液比、提取温度、提取时间对岩藻黄素提取的影响, 在单因素试验的基础上, 用 Box-Behnken 中心组合试验设计进行 4 因素 3 水平的响应面分析, 以岩藻黄素的提取量为响应值, 优化提取工艺参数。**结果** 响应面试验得到超声提取最佳条件: 料液比 1:100、起始温度 60 °C、超声时间 40 min、乙醇浓度 70%。在优化的条件下, 超声提取岩藻黄素提取量为 1092 µg/g, 和预测值 1183 µg/g 基本一致。**结论** 通过响应面优化, 得到了乙醇溶液超声提取铜藻中岩藻黄素的最好条件, 提高了岩藻黄素的提取量。

关键词: 铜藻; 岩藻黄素; 提取工艺; 响应面

Optimization of extraction process for fucoxanthin from *Sargassum horneri* by response surface methodology

HAN Dian-Feng¹, ZOU Rong-Jie², GONG Xiang-Hong¹, LI Jia-Wei¹, LIU Xiao-Jing¹,
LUO Jing-Jing¹, XU Ying-Jiang^{1*}

(1. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China; 2. Yantai Fushan District Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Yantai 265500, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the extracting conditions of fucoxanthin from *Sargassum horneri* by response surface methodology (RSM). **Methods** Fucoxanthin was extracted from *Sargassum horneri* with ethanol as solvent by ultrasonication. The effects of ethanol concentration, solid-liquid ratio, extraction temperature and time on the extraction of fucoxanthin from *Sargassum horneri* were studied. Based on the results of single factor experiments, Box-Behnken design center combination method of 4 factors and 3 levels experimental design was applied to further optimize the extraction conditions using the extraction yield as response value. **Results** The response surface interaction analysis showed that the optimum extraction conditions for ultrasonic extraction were solid-liquid ratio at 1:100, initial temperature at 60 °C, extraction time at 40 min and ethanol concentration at 70%. Under the optimized conditions, the extraction yield of fucoxanthin from *Sargassum horneri* by ultrasonic extraction was up to 1092 µg/g, which was highly consistent with the predictive value of 1183 µg/g. **Conclusion** By response surface optimization, the optimum conditions for ultrasonic extraction of fucoxanthin from *Sargassum horneri* by ethanol solution were

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SF1805301301)、山东省现代农业产业技术体系藻类创新团队加工与质量控制岗(SDAIT-26-05)

Fund: Supported by Agricultural Major Applied Technology Innovation Project in Shandong Province (SF1805301301) and Modern Agro-industry Technology Research System in Shandong Province (SDAIT-26-05)

*通讯作者: 徐英江, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: xuyingjiang@yeah.net

*Corresponding author: XU Ying-Jiang, Master, Associate Professor, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China. E-mail: xuyingjiang@yeah.net

obtained, which increased the extraction amount of fucoxanthin.

KEY WORDS: *Sargassum horneri*; fucoxanthin; extraction process; response surface methodology

1 引言

岩藻黄素, 又称岩藻黄质或褐藻素, 是胡萝卜素的含氧衍生物, 属于类胡萝卜素中的叶黄素类, 其结构式见图1。岩藻黄素是一种对人类十分有利的活性物质, 研究表明其具有抗肥胖、抗肿瘤、调节血糖含量、抗氧化清除自由基等作用, 还能抑制脂多糖诱导的炎症反应, 因此对人的眼部、骨骼、皮肤、脑血管、肝脏等具有保护作用^[1,2]。在自然界中, 岩藻黄素广泛存在于藻类和无脊椎动物细胞中, 尤其是褐藻纲和硅藻纲的藻类含量更为丰富, 褐藻中岩藻黄素的含量占自然界中类胡萝卜素总产量的10%以上^[3], 褐藻是岩藻黄素的潜在来源^[4]。

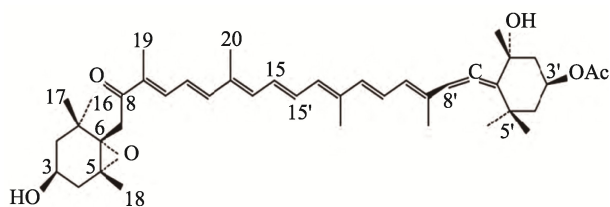


图1 岩藻黄素的结构式
Fig.1 Molecular structure of fucoxanthin

铜藻(*Sargassum horneri*), 属褐藻门、圆子纲、墨角藻目、马尾藻科。是中国暖温带海域浅海区海藻场的主要连片大型褐藻物种, 生长盛期3~5月^[5]。主要分布在北太平洋西部海域, 不连续分布于我国沿海, 不仅可用于提取褐藻胶, 而且因富含有益的生物活性物质而被广泛应用到医药、食品、饲料和有机肥料方面; 同时由于生长速度快、生物量大, 及其在浅海生态环境中的重要作用, 铜藻被列为藻床重建、海洋生态生物修复的首选物种之一^[6]。然而最近几年, 由于气候等综合原因, 铜藻已经出现了爆发性增殖, 形成了有害的金潮^[7-9], 因此有效利用铜藻资源, 不仅是海藻综合利用的重要课题, 对改善海洋环境也有重要意义。

本文通过响应面法优化铜藻中岩藻黄素提取条件, 并采用液相色谱法测定铜藻及其提取液中的岩藻黄素, 以期对铜藻活性产物的开发提供参考数据。

2 材料与方法

2.1 实验材料

新鲜铜藻(*Sargassum horneri*), 2017年10月购自山东荣成俚岛。新鲜铜藻于阴凉通风处晾1d, 于烘箱中60℃烘干, 粉碎后过20目筛备用。

2.2 主要仪器与试剂

UltiMate 3000 高效液相色谱仪(美国 Thermo Fisher 公司); Milli-Q Gradient 超纯水仪(法国 Millipore 公司); TGL-10C 高速离心机(上海安亭科学仪器厂); KQ-600E 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); XW-80A 漩涡混合器(上海医科大学仪器厂)等。

甲醇、乙腈(色谱纯, 德国 Merck 公司); 无水乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 岩藻黄素标准品(HPLC 级≥98%, 美国 Sigma 公司); 实验用水均为超纯水。

2.3 岩藻黄素的液相色谱测定条件

2.3.1 色谱条件

色谱柱: Develosil C30-UG-5(日本 GL Sciences 公司, 250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇-乙腈溶液(49:51, V:V); 流速: 1.0 mL/min; 检测波长: 450 nm; 柱温: 30℃; 进样体积: 20 μL。

2.3.2 岩藻黄素标准曲线

准确称取0.0100 g(精确至0.0001 g)岩藻黄素标准品, 用甲醇溶解并定容至100 mL, 配成浓度为100 μg/mL的标准贮备液, 配制全程避光操作, 置4℃冰箱保存, 保存期不超过3个月。临用时用甲醇稀释成0.020、0.100、0.400、1.00、5.00、10.0 mg/L的系列标准溶液, 取20 μL进样, 将测得的岩藻黄素质谱峰面积与相对应的浓度进行直线回归, 求得标准曲线回归方程。

2.3.3 岩藻黄素提取量的计算

岩藻黄素提取量(μg/g)=液相色谱法测得岩藻黄素质量(μg)/铜藻粉末质量(g)。

2.4 岩藻黄素提取溶剂的选择

准确称取0.4 g铜藻粉末, 加入40 mL提取溶剂, 超声提取20 min, 离心, 取上清液用0.45 μm微孔滤膜过滤, 液相色谱法检测岩藻黄素浓度, 每组3平行。

2.5 岩藻黄素提取的单因素试验

2.5.1 料液比对岩藻黄素提取量的影响

准确称取0.4 g铜藻粉置于螺盖离心管中, 以1:40、1:50、1:60、1:80、1:100、1:150、1:200(g:mL)的料液比加入60%乙醇, 置于初始温度为20℃的超声波清洗器中, 避光超声提取30 min。取出, 4000 r/min离心10 min, 上清液转入50 mL容量瓶中定容, 过滤, 上机, 每组3平行。

2.5.2 超声温度对岩藻黄素提取量的影响

准确称取0.4 g铜藻粉置于螺盖离心管中, 加入60%乙醇40 mL, 分别置于初始温度为20、30、40、50、60℃的超声波清洗器中, 避光超声提取30 min。取出, 4000 r/min

离心 10 min, 上清液转入 50 mL 容量瓶中定容, 过滤, 上机, 每组 3 平行。

2.5.3 超声时间对岩藻黄素提取量的影响

准确称取 0.4 g 铜藻粉置于螺盖离心管中, 加入 60% 乙醇 40 mL, 置于初始温度为 20 ℃ 的超声波清洗器中, 避光超声提取, 分别于 10、20、30、40、50、60、90、120、150、180 min 取出, 4000 r/min 离心 10 min, 上清液转入 50 mL 容量瓶中定容, 过滤, 上机, 每组 3 平行。

2.6 响应面优化岩藻黄素提取工艺

在单因素实验结果的基础上, 采用 Box-Behnken 中心组合试验设计原理优化岩藻黄素的提取工艺。以岩藻黄素提取量为响应值 Y , 以料液比、温度、提取时间、乙醇浓度为自变量, 超声提取实验因素和水平见表 1。

表 1 超声提取岩藻黄素响应面因素和水平
Table 1 Factors and levels in response surface methodology for ultrasonic extraction

水平	因素			
	料液比(X_1)	温度(X_2)/℃	提取时间(X_3)/min	乙醇浓度(X_4)/%
-1	1:40	20	10	50
0	1:70	40	25	65
1	1:100	60	40	80

3 结果与分析

3.1 岩藻黄素的液相色谱法测定

取岩藻黄素标准溶液, 对其进行紫外光谱扫描, 结果在 450 nm 处具有较强信号, 且干扰小。在本实验条件下, 岩藻黄素标准曲线回归方程 $Y=1.7725X-0.0633$, 相关系数为 0.9995。

3.2 提取溶剂的选择

根据岩藻黄素的结构特点, 按照相似相容原理选择有一定极性的溶剂作为提取剂, 分别用乙酸乙酯、乙醇、甲醇、丙酮、80% 甲醇、90% 乙醇、80% 乙醇、60% 乙醇等进行提取试验, 实验结果表明: 乙醇溶液的提取效果明显优于甲醇、乙酸乙酯、丙酮和纯乙醇, 见图 2, 这与文献报道裙带菜^[10]、海带^[11]、鼠尾藻^[12]、铜藻^[13,14]中岩藻黄素提取溶剂一致。本实验中经液相色谱法测定 90%、80% 和 60% 乙醇提取液中岩藻黄素浓度没有显著差异, 但提取的总色素有差别, 见图 3, 图中从左到右乙醇浓度依次为 90%、80% 和 60%。由图 3 可以看出 60% 乙醇提取的绿色色素较少。虽然绿色色素对岩藻黄素的测定没有干扰, 但减少杂质可保护分析系统, 同时对后续的岩藻黄素分离纯化有利, 所以提取液选择较低浓度乙醇。

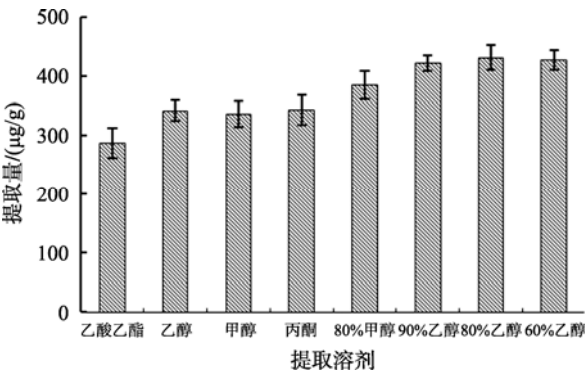
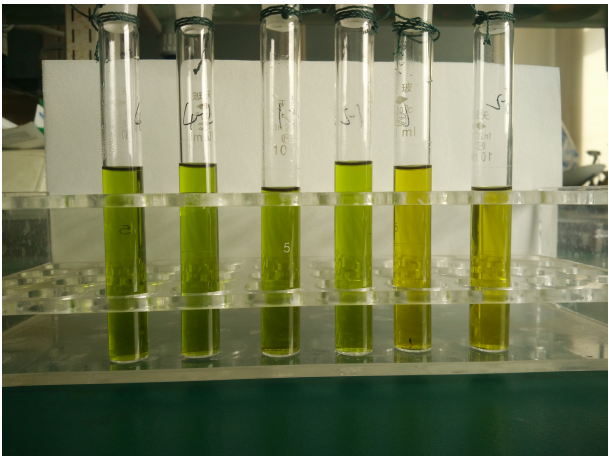


图 2 不同有机溶剂对岩藻黄素提取量的影响
Fig.2 Effects of different organic solvents on the extraction of fucoxanthin



注: 从左到右乙醇浓度依次为 90%、90%、80%、80% 和 60%、60%。
图 3 不同浓度乙醇提取液提取效果
Fig.3 Extraction effect of different ethanol concentrations

3.3 岩藻黄素提取单因素试验结果与分析

3.3.1 料液比对岩藻黄素提取量的影响

由图 4 可见, 随着液料比的增加, 岩藻黄素提取量略有增加的趋势, 但变化不明显。说明料液比达到 1:40 已能充分提取铜藻中的岩藻黄素。

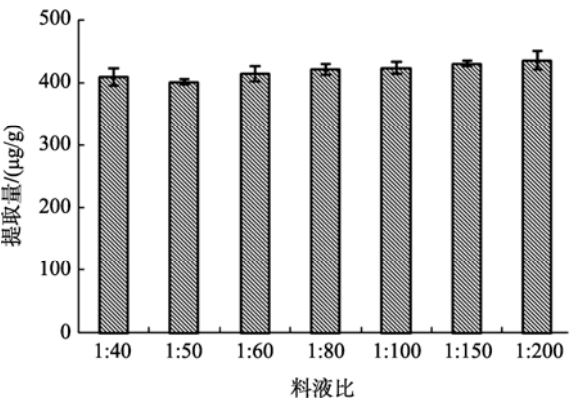


图 4 料液比对岩藻黄素提取量的影响($n=3$)
Fig. 4 Effect of solid-liquid ratio on the extraction of fucoxanthin ($n=3$)

3.3.2 超声温度对岩藻黄素提取量的影响

测定结果见图 5，随着提取温度的升高，岩藻黄素提取量呈明显增加的趋势。但本实验室预实验发现超过 60 ℃ 岩藻黄素不稳定，所以本实验未设置更高的提取温度。

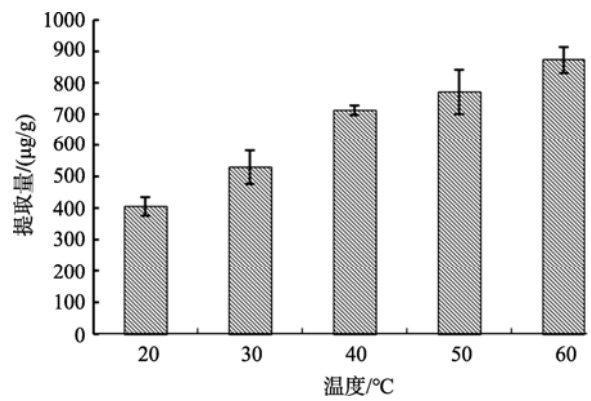


图 5 温度对岩藻黄素提取量的影响(n=3)
Fig. 5 Effect of temperature on the extraction of fucoxanthin (n=3)

3.3.3 超声时间对岩藻黄素提取量的影响

由图 6 可见，超声 20~40 min 提取量最高，继续延长超声时间，岩藻黄素提取量略有下降，可能与超声后水温升高，岩藻黄素不稳定有关。

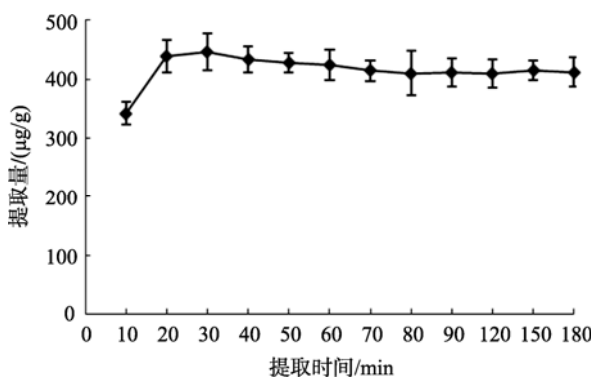


图 6 提取时间对岩藻黄素提取量的影响(n=3)
Fig. 6 Effect of time on the extraction of fucoxanthin(n=3)

3.4 响应面优化岩藻黄素提取工艺的结果

在单因素实验的基础上，以液料比、超声起始温度、超声时间、乙醇浓度为考察因素，以岩藻黄素提取量为实验指标，根据 Box-Behnken 组合试验设计原理，设计 4 因素 3 水平响应面实验，结果如表 2 所示。

应用 Design Expert 8.0.6.1 软件对表 2 中实验结果进行多元回归拟合分析，建立二次响应模型，以岩藻黄素提取量为优化指标，得到多元二次回归模型： $Y=-130.27778+2.25102A+31.89417B-34.37870C-4.32796D-9.87500E-003AB+0.16000AC-0.12500AD+0.039167BC-0.010833BD+0.61556CD+0.011102A^2-0.14908B^2-0.20765C^2+0.027352D^2$ 。

为检测超声提取工艺的回归方程有效性，对回归方程进行方差分析和显著性检测，结果见表 3。

表 2 超声提取岩藻黄素的响应面设计及试验结果
Table 2 Response surface design and experimental results of ultrasonic extraction of fucoxanthin

试验号	因素水平				岩藻黄素 /(µg/g)
	料液比 (A)	温度(B) /℃	提取时间 (C)/min	乙醇浓度 (D)/%	
1	1:100	20	25	65	79.7
2	1:70	40	25	65	579
3	1:40	20	25	65	155
4	1:100	40	25	50	651
5	1:70	40	10	50	682
6	1:100	40	40	65	790
7	1:100	40	10	65	312
8	1:70	60	40	65	1056
9	1:100	40	25	80	802
10	1:70	40	40	50	494
11	1:70	20	25	50	144
12	1:70	40	40	80	829
13	1:70	40	10	80	463
14	1:100	60	25	65	1049
15	1:70	40	25	65	810
16	1:70	20	25	80	318
17	1:70	60	25	50	866
18	1:70	60	10	65	734
19	1:40	40	25	50	471
20	1:70	40	25	65	617
21	1:40	40	25	80	847
22	1:70	20	40	65	383
23	1:40	40	10	65	565
24	1:70	60	25	80	1027
25	1:70	40	25	65	488
26	1:40	40	40	65	755
27	1:70	20	10	65	108
28	1:70	40	25	65	800
29	1:40	60	25	65	1148

表 3 超声提取方差分析结果
Table 3 Variance analysis for ultrasonic extraction

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	2.244E+006	14	1.603E+005	10.14	< 0.0001
A	5516.94	1	5516.94	0.35	0.5640
B	1.835E+006	1	1.835E+006	116.13	< 0.0001
C	1.735E+005	1	1.735E+005	10.98	0.0051
D	79707.00	1	79707.00	5.04	0.0414
AB	140.42	1	140.42	8.888E-003	0.9262
AC	20736.00	1	20736.00	1.31	0.2712
AD	12656.25	1	12656.25	0.80	0.3859
BC	552.25	1	552.25	0.035	0.8544
BD	42.25	1	42.25	2.674E-003	0.9595
CD	76729.00	1	76729.00	4.86	0.0448
A ²	647.57	1	647.57	0.041	0.8425
B ²	23066.82	1	23066.82	1.46	0.2469
C ²	14158.94	1	14158.94	0.90	0.3599
D ²	245.67	1	245.67	0.016	0.9025
残差	2.212E+005	14	15799.30		
失拟项	1.411E+005	10	14110.35	0.70	0.7031
纯误差	80086.80	4	20021.70		
总和	2.465E+006	28			

注: $P<0.0100$ 表示该指标极显著; $P<0.0500$ 表示该指标显著; $P>0.0500$ 表示该指标不显著。

由表 3 可知, 该回归模型高度显著($P<0.01$)、失拟项不显著($P=0.7031>0.05$)、模型相关系数较高($r^2=91.03\%$)、 $r^2_{Adj}=82.05\%$ 。表明该回归模型拟合程度良好, 实验误差小, 可据此预测提取岩藻黄素提取量。由表 4 可知, B 、 C 、 D 影响显著($P<0.05$), 其中 B 、 C 影响极显著($P<0.01$)。这表明, 3 个因素与岩藻黄素提取量有直接的关系, 是主要的限制因素, 其较小变化都会引起提取量显著的变化。由 P 值的大小比较可得提取的影响因素的顺序为: 温度>超声时间>乙醇浓度>料液比。

通过 Design-Expert 8.0.6.1 软件得到两因素间交互效应的响应面和等高线图(图 7~12)。根据响应面实验的设计原理及分析, 三维响应面图弯曲度越大, 表示两因素间的交互效应越显著, 由此能有效反映出各因素之间的交互作用对岩藻黄素提取量的影响。比较图 7~12 可知, 超声时间和乙醇浓度之间的交互作用对岩藻黄素提取的影响显著, 其余两两因素之间的交互作用对岩藻黄素提取的影响不显著。

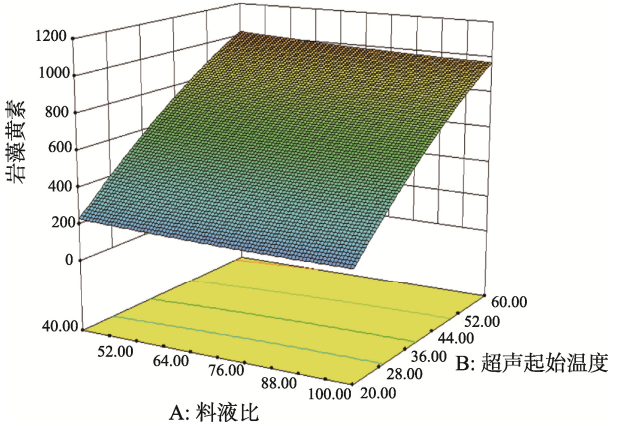


图 7 料液比和超声起始温度对岩藻黄素提取量交互影响的响应面图

Fig. 7 Response surface plot of the interaction between material-liquid ratio and initial temperature of ultrasonic extraction

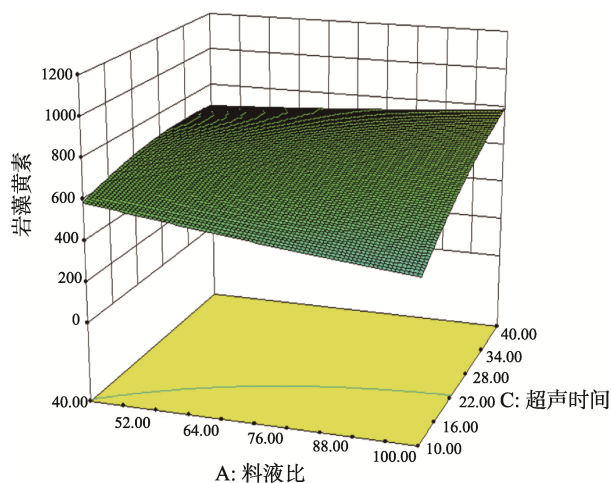


图 8 料液比和超声时间对岩藻黄素提取量交互影响的响应面图
Fig. 8 Response surface plot of the interaction between material-liquid ratio and time of ultrasonic extraction

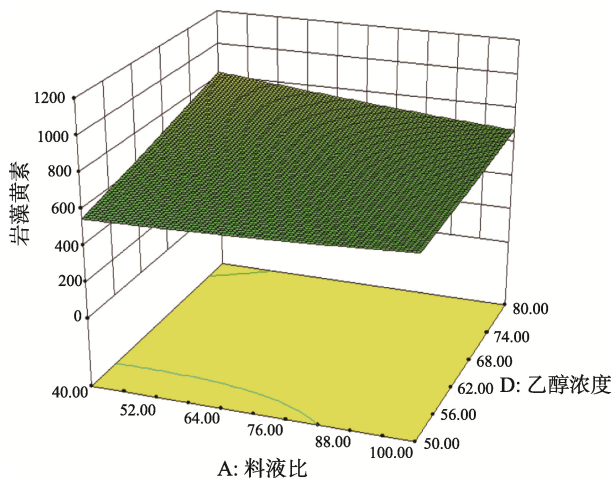


图 9 料液比和乙醇浓度对岩藻黄素提取量交互影响的响应面图
Fig. 9 Response surface plot of the interaction between material-liquid ratio and ethanol concentration

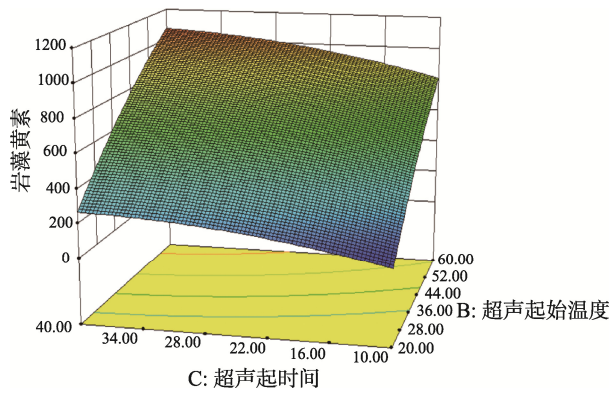


图 10 超声起始温度和时间对岩藻黄素提取量交互影响的响应面图
Fig. 10 Response surface plot of the interaction between initial temperature and time of ultrasonic extraction

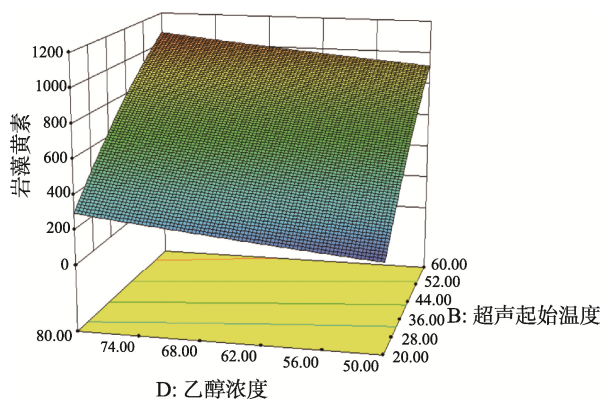


图 11 超声起始温度和乙醇浓度对岩藻黄素提取量交互影响的响应面图
Fig. 11 Response surface plot of the interaction between initial temperature and ethanol concentration on ultrasonic extraction

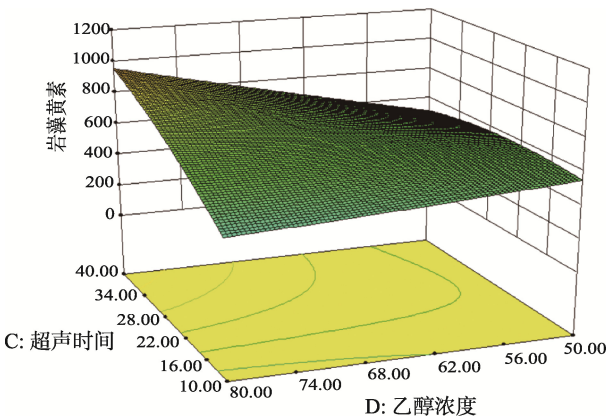


图 12 超声时间和乙醇浓度对岩藻黄素提取量交互影响的响应面图
Fig. 12 Response surface plot of the interaction between time and ethanol concentration on ultrasonic extraction

在所选实验范围内,对响应面实验设计结果进行优化分析,计算得到最佳超声提取条件:料液比 1:98.90、起始温度 60℃、超声时间 40 min、乙醇浓度 70%时,岩藻黄素取得最大值 1183 $\mu\text{g/g}$ 。在料液比 1:100、起始温度 60℃、超声时间 40 min、乙醇浓度 70%的条件下进行验证性实验,得到的岩藻黄素为 1092 $\mu\text{g/g}$,和预测值 1183 $\mu\text{g/g}$ 吻合良好,相对偏差为 4.0%。表明该模型工艺参数准确可靠,能够较好的预测实际情况。

本文验证实验得到岩藻黄素的提取量 1092 $\mu\text{g/g}$,高于胡永东等^[13]报道的 70%乙醇以料液比 1:68.3,于 70℃超声提取 127 min,得到的 720 $\mu\text{g/g}$,可能与提取条件不同有关,也可能与所用铜藻的产地、季节等有关,日本有研究报道,铜藻的岩藻黄素含量会随着空间和季节的变化而不同^[15]。本实验所用铜藻与李红艳等^[14]报道为相同产地、不同季节,本身岩藻黄素含量可能有差异,另一方面,铜藻的干燥方法对其岩藻黄素含量也有影响,这在

李红艳的文章中亦有讨论。

4 结 论

通过对响应面实验设计结果进行优化分析, 计算得最佳条件: 液料比 98.90:1、起始温度 60 °C、超声时间 40 min、乙醇浓度 70%时, 岩藻黄素取得最大值 1183 $\mu\text{g/g}$ 。在液料比 100:1、起始温度 60 °C、超声时间 40 min、乙醇浓度 70%的条件下进行验证性实验, 得到的岩藻黄素提取量为 1092 $\mu\text{g/g}$, 和预测值 1183 $\mu\text{g/g}$ 吻合良好, 相对偏差为 4.0%。表明该模型工艺参数准确可靠, 能够较好地预测实际情况。

参考文献

- [1] 汪曙晖, 薛长湖. 岩藻黄素的化学结构、性质和功能[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 408–410, 407.
Wang SH, Xue CH. Chemical structure, properties and bioactivities of fucoxanthin [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(6): 408–410, 407.
- [2] 张文源, 高保燕, 雷学青, 等. 岩藻黄素的理化与生物学特性、制备技术及其生理活性研究进展[J]. 中国海洋药物, 2015, 34(3): 81–95.
Zhang WY, Gao BY, Lei XQ, et al. Progress on physicochemical and biological properties, preparation techniques and physiological activities of fucoxanthin [J]. Chin J Marine Drugs, 2015, 34(3): 81–95.
- [3] Xia S, Wang K, Wan L, et al. Production, characterization, and antioxidant activity of fucoxanthin from the marine diatom *Odontella aurita* [J]. Mar Drug, 2013, 11(7): 2667–2681.
- [4] Eko S, Akhmad SF, Masayuki A, et al. Lipids, fatty acids, and fucoxanthin content from temperate and tropical brown seaweeds [J]. Aquatic Proc, 2016, (7): 66–75.
- [5] 曾呈奎. 中国常见海藻[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
Zeng CK. Common seaweeds in China [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [6] 孙建璋, 陈万东, 庄定根, 等. 中国南麂列岛铜藻 *Sargassum horneri* 实地生态学的初步研究[J]. 南方水产, 2008, 4(3): 58–63.
Sun JZ, Chen WD, Zhuang DG, et al. In situ ecological studies of the subtidal brown alga *Sargassum horneri* at Nanji island of China [J]. South China Fish Sci, 2008, 4(3): 58–63.
- [7] Lin Q, Hu C, Wang M, et al. Floating algae blooms in the east China sea [J]. Geophys Res Lett, 2017, 44(22): 11501–11509.
- [8] Xing Q, Guo R, Wu L, et al. High-Resolution satellite observations of a new hazard of golden tides caused by floating sargassum in winter in the yellow sea [J]. IEEE Geosci Remote Sensing Lett, 2017, 14(10): 1815–1819.
- [9] Liu F, Liu XF, Wang Y, et al. Insights on the *Sargassum horneri* golden tides in the Yellow Sea inferred from morphological and molecular data [J]. Limnol Oceanogr, 2018, 63(4): 1762–1773.
- [10] 裴钊, 徐小琴, 李强, 等. 超声提取裙带菜中岩藻黄素的工艺研究[J]. 药物评价研究, 2013, 36(4): 285–288.
Chang Z, Xu XQ, Li Q, et al. Optimization of ultrasonic enhanced extraction of fucoxanthin from *Undaria pinnatifida* [J]. Drug Evaluat Res, 2013, 36(4): 285–288.
- [11] 顾晓慧, 陈志兵, 徐梅双, 等. 响应面优化海带岩藻黄素超声提取工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(2): 169–172.
Gu XH, Chen ZB, Xu MS, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction technology of fucoxanthin from kelp by response surface methodology [J]. Food Ind, 2018, 39(2): 169–172.
- [12] 王乐, 李丽, 牟海津. 鼠尾藻岩藻黄素超声辅助提取及其纯化工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 141–146.
Wang L, Li L, Mou HJ. Optimization of ultrasonic assisted extraction and purification of fucoxanthin from *Sargassum thunbergii* [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(8): 141–146.
- [13] 胡永东, 吴柠, 李易珍, 等. 铜藻岩藻黄质的提取工艺优化[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 33(6): 501–505, 510.
Hu YD, Wu N, Li YZ, et al. Study on extraction of fucoxanthin from *Sargassum horneri* [J]. J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci Ed), 2014, 33(6): 501–505, 510.
- [14] 李红艳, 刘天红, 姜晓东, 等. 超声辅助乙醇提取铜藻中岩藻黄素的工艺研究[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(9): 146–153.
Li HY, Liu TH, Jiang XD, et al. Optimization of ultrasonic enhanced extraction of fucoxanthin from *Sargassum horneri* [J]. J Agric Sci Technol, 2018, 20(9): 146–153.
- [15] Masaru T, Chikara K, Atsushi I, et al. Spatial and seasonal variations in the biofunctional lipid substances (fucoxanthin and fucosterol) of the laboratory-grown edible Japanese seaweed (*Sargassum horneri* Turner) cultured in the open sea [J]. Saudi J Biolog Sci, 2017, (24): 1475–1482.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



韩典峰, 研究实习员, 主要研究方向为水产品质量安全。
E-mail: yantgongz@126.com



徐英江, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。
E-mail: xuyingjiang@yeah.net