

超声波辅助提取燕麦麸油工艺优化 及其体外抗氧化性研究

孙学茹¹, 刘静², 王昭润¹, 吴晓彤¹

(1. 内蒙古大学 生命科学学院, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古商贸职业学院 食品工程系, 呼和浩特 010070)

摘要:采用超声波辅助提取燕麦麸油, 并对其体外抗氧化性进行研究。在单因素实验基础上, 采用响应面实验优化超声波辅助提取燕麦麸油工艺条件。结果表明: 最佳提取工艺条件为超声波功率 400 W、超声温度 57℃、提取时间 49 min、正己烷与无水乙醇体积比 72:28, 在此工艺条件下, 燕麦麸油提取率为 96.25%; 燕麦麸油对·OH、O₂⁻·、DPPH·清除能力都随着质量浓度的升高而增大, 清除效果明显, 当燕麦麸油质量浓度为 5.0 mg/mL 时, 其对·OH、O₂⁻·、DPPH·清除率分别达 46.03%、47.28%、54.87%。燕麦麸油具有较强的体外抗氧化性。

关键词:燕麦麸油; 超声波辅助提取; 抗氧化

中图分类号: TS225.1; O426.9 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2018)03-0017-04

Optimization of ultrasound – assisted extraction of oat bran oil and its antioxidant activity

SUN Xueru¹, LIU Jing², WANG Zhaorun¹, WU Xiaotong¹

(1. College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China;

2. Department of Food Engineering, Inner Mongolia Business & Trade Vocational College, Huhhot 010070, China)

Abstract: The ultrasound – assisted extraction of oat bran oil and its antioxidant activity were studied. The results showed that the optimal ultrasound – assisted extraction conditions of oat bran oil were obtained by response surface methodology based on single factor experiment as follows: ultrasonic power 400 W, ultrasonic temperature 57℃, extraction time 49 min, volume ratio of *n* – hexane to anhydrous ethanol 72:28. Under the optimal conditions, the extraction rate of oat bran oil was 96.25%. The scavenging ability of oat bran oil on ·OH, O₂⁻· and DPPH· increased with the increase of mass concentration of oat bran oil. When the mass concentration of oat bran oil was 5.0 mg/mL, the scavenging rates on ·OH, O₂⁻· and DPPH· were 46.03%, 47.28% and 54.87%, respectively, which indicated that the oat bran oil had strong antioxidant activity in vitro.

Key words: oat bran oil; ultrasound – assisted extraction; antioxidation

燕麦(*Avenasativa* L.)即莜麦, 又称油麦、玉麦, 其作为一类高蛋白、低脂的产品广受人们喜爱^[1-2]。

燕麦中含有多种对人体极为重要的营养物质, 如水溶性膳食纤维、蛋白质、脂类等成分^[3-4], 其中脂肪含量在 4%~6%, 在燕麦麸油中不饱和脂肪酸占比多达 82.17%, 燕麦麸油具有降低血脂、血压以及提高机体免疫力, 清除机体自由基, 抗衰老等功能^[5-6]。目前研究提取燕麦麸油主要应用正己烷浸提法等^[7]。超声波法具有提取效率高、安全、卫生等优点^[8-10]。本研究采用超声波辅助提取燕麦麸油, 采用单因素实验和响应面实验优化提取工艺, 并

收稿日期: 2017-05-10; 修回日期: 2017-12-04

基金项目: 内蒙古大学高层次人才引进科研启动基金

作者简介: 孙学茹(1992), 女, 在读硕士, 研究方向为生物化学与分子生物学(E-mail)1320507375@qq.com。

通信作者: 吴晓彤, 副教授, 博士(E-mail)wuxiaotongnm@gdx@sina.com。

研究其体外抗氧化性,为燕麦麸综合利用开发提供一定的技术参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

燕麦麸,河北聚康食品有限公司; NaNO_2 (98%)、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ (分析纯)、 NaOH (99.9%)、正己烷、无水乙醇,南通众凯化工有限公司;芦丁(纯度 >95%),上海广锐生物科技有限公司。

ZLKBD-070W 型超声波反应系统,UV1800PC 型紫外可见分光光度计,ALH-C 电子计数秤,DZF6051 型真空干燥箱。

1.2 实验方法

1.2.1 超声波辅助提取燕麦麸油工艺

称取 1 000 g 燕麦麸,用流动水漂洗,洗净后放进烘箱中烘干,粉碎,过 140 目筛,得燕麦麸粉。将 20 g 燕麦麸粉与正己烷-无水乙醇(料液质量比为 1:40)混匀后放入超声波发生器进行提取,提取完成后离心,将上清液旋蒸,得燕麦麸油。

1.2.2 燕麦麸油体外抗氧化性测定

还原力测定参照铁氰化钾还原法, $\cdot\text{OH}$ 清除率测定采用邻二氮菲法,DPPH \cdot 清除率测定参照 DPPH 法, O_2^- 清除率测定采用邻苯三酚自氧化法^[11-12]。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 超声波功率对燕麦麸油提取率的影响

在超声温度 55 °C、提取时间 50 min、正己烷与无水乙醇体积比 70:30 的条件下,超声波功率对燕麦麸油提取率的影响见图 1。

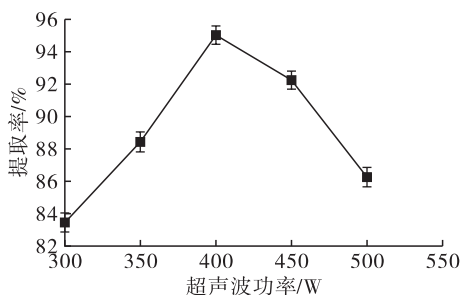


图 1 超声波功率对燕麦麸油提取率的影响

由图 1 可知,随着超声波功率的增加,提取率先增大后下降,当超声波功率达到 400 W,提取率最高。原因可能是超声波功率较小时,不能使植物细胞壁破裂完全,导致燕麦麸油不能被完全释放出来,而当超声波功率过高后,会对燕麦麸油产生破坏作用导致提取率下降^[13-14]。因此,选择超声波功率 350、400、450 W 为响应面研究水平。

2.1.2 超声温度对燕麦麸油提取率的影响

在超声波功率 400 W、提取时间 50 min、正己烷与无水乙醇体积比 70:30 的条件下,超声温度对燕麦麸油提取率的影响见图 2。

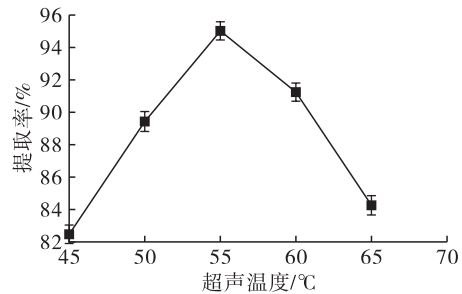


图 2 超声温度对燕麦麸油提取率的影响

由图 2 可知,随着超声温度的升高,提取率先逐渐增大后降低,当超声温度为 55 °C 时达到最大。因此,选择超声温度 50、55、60 °C 为响应面研究水平。

2.1.3 提取时间对燕麦麸油提取率的影响

在超声波功率 400 W、超声温度 55 °C、正己烷与无水乙醇体积比 70:30 的条件下,提取时间对燕麦麸油提取率的影响见图 3。

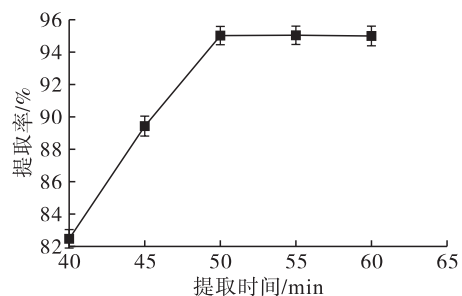


图 3 提取时间对燕麦麸油提取率的影响

由图 3 可知,随着提取时间延长,提取率先逐渐增大后基本不变,当提取时间为 50 min 时提取率达到最大,说明此时燕麦麸油已经几乎被完全提取,再延长提取时间效果不大^[15]。因此,选择提取时间 45、50、55 min 为响应面研究水平。

2.1.4 正己烷与无水乙醇体积比对燕麦麸油提取率的影响

在超声波功率 400 W、超声温度 55 °C、提取时间 50 min 的条件下,正己烷与无水乙醇体积比对燕麦麸油提取率的影响见图 4。

由图 4 可知,随着正己烷与无水乙醇体积比的增大,提取率先逐渐增大后降低,当正己烷与无水乙醇体积比为 70:30 时提取率达到最大。因此,选择正己烷与无水乙醇体积比为 65:35、70:30、75:25 为响应面研究水平。

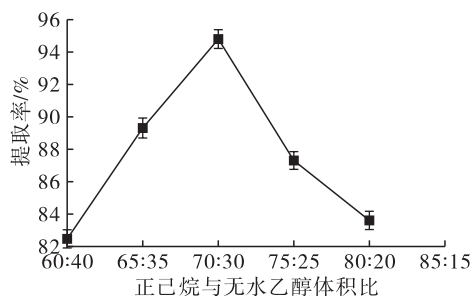


图4 正己烷与无水乙醇体积比对燕麦麸油提取率的影响

2.2 响应面实验

根据单因素实验结果,进行超声波功率(A)、超声温度(B)、提取时间(C)、正己烷与无水乙醇体积比(D)对燕麦麸油提取率(Y)影响的响应面实验,响应面实验因素水平见表1,响应面实验设计及结果见表2。

表1 响应面实验因素水平

| 水平 | A/W | $B/^{\circ}C$ | C/min | D |
|----|-------|---------------|---------|-------|
| -1 | 350 | 50 | 45 | 65:35 |
| 0 | 400 | 55 | 50 | 70:30 |
| 1 | 450 | 60 | 55 | 75:25 |

表2 响应面实验设计及结果

| 实验号 | A | B | C | D | $Y/\%$ |
|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 81.65 |
| 2 | 1 | -1 | 0 | 0 | 89.76 |
| 3 | -1 | 1 | 0 | 0 | 91.65 |
| 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 90.16 |
| 5 | 0 | 0 | -1 | -1 | 92.26 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | -1 | 89.00 |
| 7 | 0 | 0 | -1 | 1 | 92.14 |
| 8 | 0 | 0 | 1 | 1 | 89.18 |
| 9 | -1 | 0 | 0 | -1 | 84.57 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | -1 | 92.88 |
| 11 | -1 | 0 | 0 | 1 | 92.54 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 1 | 92.83 |
| 13 | 0 | -1 | -1 | 0 | 88.25 |
| 14 | 0 | 1 | -1 | 0 | 90.79 |
| 15 | 0 | -1 | 1 | 0 | 86.60 |
| 16 | 0 | 1 | 1 | 0 | 88.09 |
| 17 | -1 | 0 | -1 | 0 | 88.53 |
| 18 | 1 | 0 | -1 | 0 | 91.13 |
| 19 | -1 | 0 | 1 | 0 | 87.40 |
| 20 | 1 | 0 | 1 | 0 | 86.90 |
| 21 | 0 | -1 | 0 | -1 | 87.44 |
| 22 | 0 | 1 | 0 | -1 | 88.20 |
| 23 | 0 | -1 | 0 | 1 | 86.60 |
| 24 | 0 | 1 | 0 | 1 | 93.47 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94.03 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.09 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.05 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.24 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 96.16 |

采用 Design - Expert 8.0.6 软件对表2数据进行多元回归拟合,得到以燕麦麸油提取率为目标函数的二次回归方程: $Y = 95.10 + 1.44A + 1.84B - 1.33C + 1.03D - 2.40AB - 0.78AC - 2.01AD - 0.26BC + 1.53BD + 0.075CD - 3.06A^2 - 3.98B^2 - 3.02C^2 - 1.67D^2$ 。

对回归方程进行显著性检验,方差分析见表3。

表3 回归方程方差分析

| 方差来源 | 平方和 | 自由度 | 均方差 | F | P | 显著性 |
|-------|--------|-----|--------|-------|----------|-----|
| 模型 | 314.60 | 14 | 22.47 | 12.74 | <0.000 1 | ** |
| A | 25.00 | 1 | 25.00 | 14.17 | 0.002 1 | ** |
| B | 40.55 | 1 | 40.55 | 22.99 | 0.000 3 | ** |
| C | 21.15 | 1 | 21.15 | 11.99 | 0.003 8 | ** |
| D | 12.83 | 1 | 12.83 | 7.28 | 0.017 3 | * |
| AB | 23.04 | 1 | 23.04 | 13.06 | 0.002 8 | ** |
| AC | 2.40 | 1 | 2.40 | 1.36 | 0.262 7 | |
| AD | 16.08 | 1 | 16.08 | 9.12 | 0.009 2 | ** |
| BC | 0.28 | 1 | 0.28 | 0.16 | 0.698 6 | |
| BD | 9.33 | 1 | 9.33 | 5.29 | 0.037 3 | * |
| CD | 0.02 | 1 | 0.02 | 0.01 | 0.911 7 | |
| A^2 | 60.65 | 1 | 60.65 | 34.38 | <0.000 1 | ** |
| B^2 | 102.51 | 1 | 102.51 | 58.11 | <0.000 1 | ** |
| C^2 | 59.32 | 1 | 59.32 | 33.63 | <0.000 1 | ** |
| D^2 | 18.07 | 1 | 18.07 | 10.24 | 0.006 4 | ** |
| 残差 | 24.69 | 14 | 1.76 | | | |
| 失拟项 | 22.41 | 10 | 2.24 | 3.91 | 0.100 2 | |
| 纯误差 | 2.29 | 4 | 0.57 | | | |
| 总离差 | 339.29 | 28 | | | | |

注: * 差异显著($P < 0.05$); ** 差异极显著($P < 0.01$)。

由表3可知,模型 P 值远小于0.01,模型差异极显著,能够用此模型代替真实值对燕麦麸油提取率进行分析。对回归模型的可信度分析可知,复相关系数92.72%,修正相关系数85.44%,变异系数1.47%,实验值与理论值相关性高,此模型可靠性高。在回归模型中, A 、 B 、 C 、 AB 、 AD 、 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对燕麦麸油提取率影响极显著, D 与 BD 对燕麦麸油提取率影响显著。影响燕麦麸油提取率主次因素依次为超声温度>超声波功率>提取时间>正己烷与无水乙醇体积比。

对拟合的回归方程分析得到最佳工艺条件为超声波功率398.90 W、超声温度56.68 $^{\circ}C$ 、提取时间48.88 min、正己烷与无水乙醇体积比72.36:27.64,在此条件下,燕麦麸油提取率为96.17%。考虑到易操作性,将工艺条件修正为超声波功率400 W、超声温度57 $^{\circ}C$ 、提取时间49 min、正己烷与无水乙醇体积比72:28,在此工艺条件下做3次平行实验,燕麦麸油平均提取率为96.25%。

2.3 燕麦麸油的体外抗氧化性(见图6~图9)

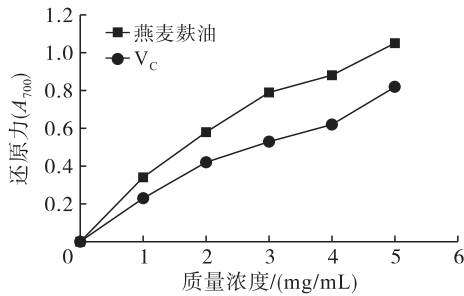


图6 燕麦麸油的还原力

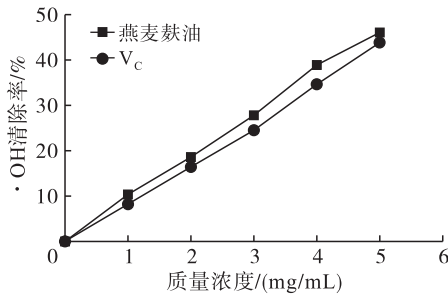


图7 燕麦麸油的·OH清除率

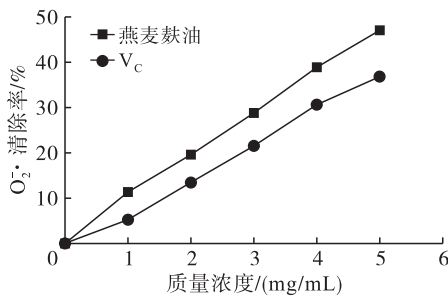


图8 燕麦麸油的O₂⁻清除率

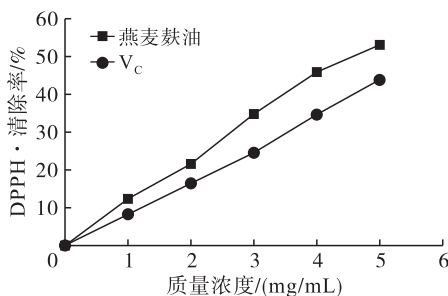


图9 燕麦麸油的DPPH·清除率

由图6~图9可知,在实验质量浓度范围内,燕麦麸油和V_c的还原力都随着质量浓度升高而提高,具有较好的线性关系。燕麦麸油对·OH、O₂⁻·、DPPH·清除能力都随着质量浓度的升高而增大,清除效果明显,当燕麦麸油质量浓度为5.0 mg/mL时,其对·OH、O₂⁻·、DPPH·清除率分别达46.03%、47.28%、54.87%,说明燕麦麸油抗氧化性较好。

3 结论

采用超声波辅助提取燕麦麸油,并采用Box-Behnken响应面法优化燕麦麸油提取工艺条件。结果表明:最佳提取工艺条件为超声波功率400 W、超

声温度57℃、提取时间49 min、正己烷与无水乙醇体积比72:28,在此条件下,燕麦麸油提取率为96.25%。燕麦麸油对·OH、O₂⁻·、DPPH·清除能力都随着质量浓度的升高而增大,清除效果明显,当燕麦麸油质量浓度为5.0 mg/mL时,其对·OH、O₂⁻·、DPPH·清除率分别达46.03%、47.28%、54.87%,说明燕麦麸油抗氧化性较好。本课题组将通过提取燕麦麸油中的具体成分深入研究其抗氧化活性,并与其他品种油比较,为进一步开发利用燕麦麸油作参考。

参考文献:

- [1] 韩舜愈,宋雪梅,祝霞,等. 超临界CO₂萃取燕麦麸油及其脂肪酸分析[J]. 食品科学,2010,31(16):253-257.
- [2] 魏决,韩静,郭玉蓉,等. 燕麦麸油对香肠抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技,2009,30(4):83-85.
- [3] 何文兵,韩舜愈,祝霞,等. 燕麦麸油及其混合脂肪酸的抗氧化性评价[J]. 食品工业科技,2007,28(4):97-99.
- [4] 邓洋,许秀举,孙治,等. 燕麦麸油的氧化稳定性及对大鼠血脂与血糖影响的实验研究[J]. 食品科技,2016,37(8):169-172.
- [5] 袁汝玲,王韧,王莉,等. 复合溶剂提取燕麦麸油工艺优化及其抗氧化活性物质分析[J]. 食品与机械,2016,37(3):149-153,164.
- [6] 何文兵,韩舜愈,祝霞,等. 燕麦麸油不饱和脂肪酸富集后的分析比较[J]. 中国油脂,2013,38(6):90-92.
- [7] SUI X,LI X H,DUAN M H,et al. Investigation of the anti-glioma activity of *Oviductus ranae* protein hydrolysate[J]. Biomed Pharmac,2016,81(4):176-181.
- [8] 刘云宏,孙悦,王乐颜,等. 超声波强化热风干燥梨片的干燥特性[J]. 食品科学,2015,36(9):1-6.
- [9] 尹晓婷,赵葵儿,蒋星仪,等. 超声波处理结合纳米包装对鲜切生菜品质的影响[J]. 食品科学,2015,36(2):250-254.
- [10] 隋思瑶,张宁,王亚静,等. 超声波微波协同改性乳清蛋白/壳聚糖可食膜工艺优化[J]. 农业工程学报,2014,30(10):254-261.
- [11] YANG G C,LIANG C,LI S G,et al. Neoclerodane diterpenoids from aerial parts of *Scutellaria barbata* [J]. Phytochem Lett,2017,19(3):1-6.
- [12] 彭金龙,毛健,黄桂东,等. 黄酒多糖体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2012,33(20):94-97.
- [13] 余海霞,杨水兵,杨志坚,等. 超声波技术嫩化鱿鱼的研究[J]. 中国食品学报,2013,13(11):6-14.
- [14] 马亚琴,叶兴乾,吴厚玖,等. 超声波辅助提取植物活性成分的研究进展[J]. 食品科学,2010,31(21):459-463.
- [15] 彭杰. 燕麦麸脂肪替代品的研究[D]. 江苏 无锡:江南大学,2008.