

酸热预处理辅助水酶法提取牡丹籽油

盖晴晴¹, 杨瑞金¹, 张文斌², 华 霄², 赵 伟²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:以脱壳牡丹籽为原料, 研究牡丹籽经柠檬酸溶液浸泡、烘干及水酶法提取条件等对牡丹籽油提取率的影响。结果表明, 牡丹籽油最佳提取条件为: 牡丹籽经 0.3 mol/L 的柠檬酸溶液浸泡 6 h, 100 °C 烘干; 在复合酶添加量 0.5%、料液比 1:5、pH 4.5、50 °C 的条件下酶解 1 h, 再于 pH 9、50 °C 下提取 1 h, 离心收集清油后, 在 pH 9、50 °C 条件下水相重复提取渣相 1 h; 选择木瓜蛋白酶破除乳状液。在上述条件下, 牡丹籽清油提取率为 55.31%, 破乳率为 96.31%, 总油提取率为 90.81%, 所得牡丹籽油酸值、过氧化值等指标均达到牡丹籽油标准。通过激光共聚焦显微镜发现, 牡丹籽经酸热预处理导致细胞壁变薄, 蛋白质皱缩, 油滴聚集。因此, 酸热预处理辅助水酶法提取工艺在牡丹籽油的提取方面具有广阔的发展前景。

关键词:牡丹籽油; 酸热预处理; 水酶法; 微观结构

中图分类号: TS225.1; TS227 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)06-0010-06

Acid – heat pretreatment assisted aqueous enzymatic extraction of peony seed oil

GE Qingqing¹, YANG Ruijin¹, ZHANG Wenbin², HUA Xiao², ZHAO Wei²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: With dehulled peony seed as raw material, the effects of soaking peony seeds in citric acid solution, drying, and aqueous enzymatic extraction conditions on the extraction rate of peony seed oil were studied. The results showed that the optimal extraction conditions were obtained as follows: soaking peony seeds in 0.3 mol/L citric acid solution for 6 h and drying at 100 °C, and enzymolysis for 1 h at solid – liquid ratio 1:5, 50 °C and pH 4.5 with 0.5% complex enzyme, then extraction for 1 h at pH 9 and 50 °C, repeated extraction of slag phase in the same condition with water phase after collecting free oil by centrifugation, breaking emulsion with papain. Under these conditions, the demulsification rate was 96.31%, and the extraction rates of free oil and total oil were 55.31% and 90.81% respectively. The acid value and peroxide value of peony seed oil could meet the standard of peony seed oil. The laser confocal microscopy revealed that acid – heat pretreatment caused cell walls thinning, protein shrinkage, and oil droplet aggregation. So, acid – heat pretreatment assisted aqueous enzymatic extraction of peony seed oil had broad development prospects in the peony seed oil extraction.

Key words: peony seed oil; acid – heat pretreatment; aqueous enzymatic method; microstructure

收稿日期: 2019-12-12; 修回日期: 2021-02-27

基金项目: 国家食品与工程一流学科建设项目 (JUFSTR 20180202)

作者简介: 盖晴晴 (1994), 女, 在读硕士, 研究方向为食品加工与配料 (E-mail) geqing1@qq.com。

通信作者: 杨瑞金, 教授 (E-mail) yjr@jiangnan.edu.cn。

牡丹 (*Paeonia suffruticosa* Andr.) 属芍药科芍药属牡丹组, 在我国各地广泛种植。油用牡丹是一种新型的油料作物, 2011 年 3 月 22 日卫生部批准牡丹籽油为新资源食品。研究表明^[1-3], 牡丹籽的营养价值很高, 其油脂含量 29% ~ 34%, 蛋白质含量 18% ~ 22%, 油脂中不饱和脂肪酸含量达 90% 以上, 主要为油酸、亚油酸和亚麻酸。

目前,牡丹籽油的提取方法有压榨法、溶剂浸出法、超临界 CO₂萃取法以及水酶法。其中:压榨法能耗较高,油脂提取率低;溶剂浸出法提取率高,工业应用广泛,但存在溶剂残留问题。赵优萍等^[4]比较了压榨法和正己烷浸出法对牡丹籽油品质的影响,其中正己烷浸出法因氧化而使油脂酸值过高,油脂品质较差。史国安等^[5]采用超临界 CO₂萃取牡丹籽油,结果表明超临界萃取油清除 DPPH 自由基的能力优于压榨油,且经 Fe²⁺ 诱导的脂质过氧化程度低于压榨油,但超临界 CO₂萃取法对设备要求较高,成本高。水酶法是一种安全无污染的提油方法,操作简单,条件温和,能较好地保证油脂的品质^[6],而且提取油脂的同时得到蛋白质,对油料综合利用意义重大,具有良好的开发前景。彭瑶瑶^[7]采用三步酶解结合两步破乳的方法提取牡丹籽油,总油得率为 25.47%;张娟等^[8]在最优水酶法提取工艺条件下,牡丹籽油提取率仅为 42.08%;王青等^[9]采用纤维素酶和果胶酶复合酶对牡丹籽酶解预处理,再经碱性蛋白酶酶解,牡丹籽油提取率为 85%;宋媛媛等^[10]研究了乙醇辅助水酶法提取牡丹籽油的工艺,提取率高达 90% 以上,但是提取过程应用了乙醇,提高了成本,带来了安全问题。

从现有的研究发现,水酶法提取牡丹籽油存在提取率低、酶用量大、成本高、工艺复杂等问题,因而限制了水酶法的发展。为解决上述问题,本研究对牡丹籽采用柠檬酸溶液浸泡、烘干预处理,初步破坏牡丹籽细胞中油脂和蛋白质间的相互联系,并利用激光共聚焦显微镜分析酸热预处理对牡丹籽的影响,确定该条件下水酶法提取牡丹籽油的最佳酶添加量、pH、料液比等条件,以简化提油工艺、提高牡丹籽油提取率和保证油品质量,从而为牡丹籽的开发利用提供技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

脱壳丹凤牡丹籽,产自山东菏泽。牡丹籽商品油 A,超临界萃取油。牡丹籽商品油 B,压榨油。

尼罗红、异硫氰酸荧光素酯(FITC)染色剂,美国 Sigma 公司;木瓜蛋白酶、中性蛋白酶 7L、碱性蛋白酶 2709、碱性蛋白酶 2.4L、风味蛋白酶 50FP;复合酶,实验室提供;其余试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

DFY-500 型高速中药粉碎机,浙江林大机械公司;LXJ-IIIB 型大容量低速离心机,上海安亭科学仪器厂;CT14D 台式高速离心机,上海天美生化

仪器设备工程有限公司;MP-501A 超级恒温循环槽,上海一恒科学仪器有限公司;SZC-101 型自动脂肪测定仪,上海纤检仪器有限公司;84-1 型磁力搅拌器,上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;FE20 实验室 pH 计、BS2202S 精密天平、BS224S 精密天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;LSM880 型高分辨率激光共聚焦显微镜,德国卡尔蔡司公司。

1.2 实验方法

1.2.1 牡丹籽的酸热预处理

取脱壳后的牡丹籽 3 000 g,置于大烧杯中,按料液比 1:1.5,分别在一定浓度的柠檬酸溶液中浸泡 6 h,在一定温度下烘干(保证不同温度烘干后,牡丹籽的水分含量在 3.50%~4.00% 范围内)。

1.2.2 激光共聚焦显微镜(CLSM)观察细胞中油脂和蛋白质的分布

参照 Zhang^[11]、Li^[12] 等的的方法,采用尼罗红和 FITC 作为油脂和蛋白质的荧光染料。选取颗粒饱满的牡丹籽样品,在冷藏条件下,置于 2% 的戊二醛-多聚甲醛溶液中浸泡过夜,用于细胞的固定。再用 0.2 mol/L 的磷酸盐缓冲液冲洗 3~5 次,包埋液包埋,-80℃ 快速固定。使用冷冻切片机将其切成 20 μm 左右的薄片并置于载玻片上,滴加染色剂进行染色,置于激光共聚焦显微镜中,采用 20× 物镜进行图像观察。

1.2.3 水酶法提取牡丹籽油

将酸热预处理后的牡丹籽经粉碎机研磨粉碎后,按照 1:7 的料液比与去离子水混合,加入 0.5% 的复合酶,在 pH 4.5、50℃ 条件下酶解 1 h,再将 pH 调至 9,继续提取 1 h,提取结束后,5 000 r/min 离心 15 min,收集清油及乳状液,同时分离渣相,将其与离心后得到的水相混合,于 50℃、pH 9 条件下搅拌 1 h 使其充分混合,5 000 r/min 二次离心 15 min,合并两次离心得到的清油和乳状液,并收集剩余水相和渣相。将乳状液用木瓜蛋白酶破乳,得到的油脂与清油合并。采用 GB 5009.6—2016 测定原料和烘干后渣相中含油率;采用 Rose-Gottlieb 法测定乳状液及水相含油率。清油提取率按式(1)计算,总油提取率按式(2)计算,水相、渣相、乳状液残油率按式(3)计算。

$$Y_1 = \frac{m_1}{M} \times 100\% \quad (1)$$

$$Y = \frac{m_1 + m_2}{M} \times 100\% \quad (2)$$

$$Y_i = \frac{m_i}{M} \times 100\% \quad (3)$$

式中: Y_1 为清油提取率; Y 为总油提取率; Y_i 为水相、渣相、乳状液残油率; m_1 为清油质量, g; m_2 为乳状液破乳所得油脂质量, g; m_i 为水相、渣相、乳状液中残留油脂质量, g; M 为原料中油脂质量, g。

1.2.4 牡丹籽油脂脂肪酸组成分析

脂肪酸组成测定参考倪双双^[13]的方法,脂肪酸发生甲酯化反应生成脂肪酸甲酯,再利用气相色谱仪进行测定。通过标准品定性和峰面积归一化法定量。

1.2.5 牡丹籽油理化指标测定

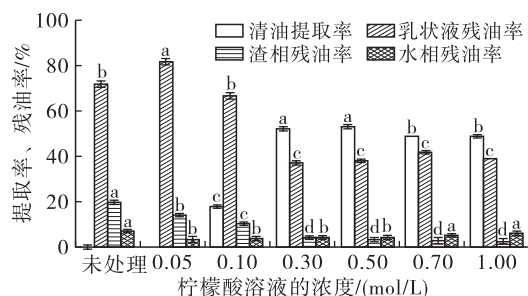
酸值的测定根据 GB 5009. 229—2016;过氧化值的测定根据 GB 5009. 227—2016;碘值的测定根据 GB/T 5532—2008;皂化值的测定根据 GB/T 5534—2008。

2 结果与分析

2.1 牡丹籽的酸热预处理条件优化

2.1.1 柠檬酸溶液浓度对牡丹籽油提取效果的影响

牡丹籽在不同浓度的柠檬酸溶液中浸泡 6 h 后,100℃烘干,按 1.2.3 采用水酶法提取牡丹籽油,考察柠檬酸溶液浓度对牡丹籽油提取效果的影响,结果如图 1 所示。



注:图中相同指标的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同

图 1 柠檬酸溶液浓度对牡丹籽油提取效果的影响

由图 1 可知,未预处理情况下,油脂主要以乳状液的形式存在,随着柠檬酸浓度的增加,清油提取率增大,乳状液残油率降低。这是由于经过较高浓度的柠檬酸溶液浸泡,牡丹籽细胞壁变薄,油脂体聚集,蛋白质皱缩,故而乳状液的量减少,有利于油脂提取。当柠檬酸浓度为 0.3 mol/L 时,清油提取率最高,乳状液残油率最低,同时渣相和水相中的残油率仅为 7.56%。因此,选用 0.3 mol/L 的柠檬酸溶液浸泡牡丹籽。

2.1.2 烘干温度对牡丹籽油提取效果的影响

温度越低,烘干湿润样品所需时间越长。采用 0.3 mol/L 的柠檬酸溶液浸泡牡丹籽,不同温度烘干后按 1.2.3 采用水酶法提取牡丹籽油,考察烘干温度对牡丹籽油提取效果的影响,结果见图 2。

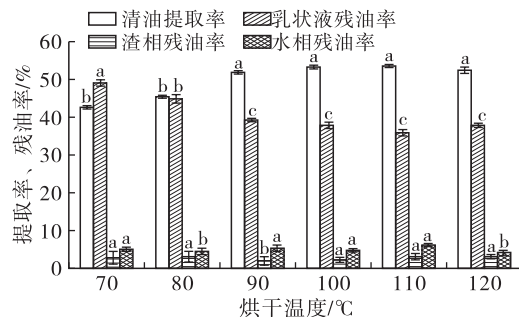


图 2 烘干温度对牡丹籽油提取效果的影响

由图 2 可知,随着烘干温度升高,清油提取率逐渐增加,当烘干温度达到 90℃ 以后,继续升高烘干温度,清油提取率未发生显著变化。原因可能是在较高温度下,蛋白质发生变性,乳化能力下降,提取过程中,形成的乳状液较少,清油提取率提高,这和 Li 等^[12]的研究结果相似。牡丹籽油中不饱和脂肪酸较多,而温度越高,易引起油脂氧化^[14],同时成本也增高。综合考虑,选择 100℃ 作为牡丹籽浸泡后的烘干温度。在此条件下,清油提取率达到 55.29%,乳状液残油率为 38.03%,渣相和水相的残油率分别为 2.39% 和 4.94%。

2.2 柠檬酸溶液浸泡对牡丹籽微观结构的影响

图 3 为未处理的牡丹籽及经 0.3 mol/L 柠檬酸溶液浸泡后 100℃ 烘干的牡丹籽在 20× 物镜下观察得到的 CLSM 图。

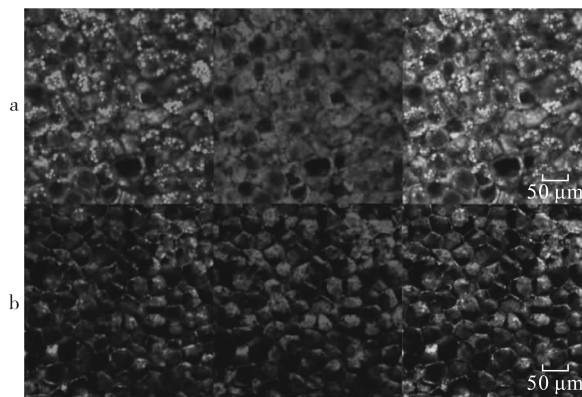


图 3 未预处理 (a) 及酸热预处理 (b) 牡丹籽的 CLSM 图

由图 3a 可以看出,细胞结构完整,层次分明,细胞直径在 50 μm 左右,其中油脂体完全被蛋白质包裹,经过粉碎后,油脂不易从植物细胞中游离出来,而和蛋白质等其他细胞碎片紧密结合,导致清油提取率不高。而图 3b 中的样品经柠檬酸溶液浸泡烘干后,细胞略有皱缩,细胞壁变薄,此时的蛋白质缩小,油脂体不再被蛋白质包裹,而油脂体聚集,有利于后续粉碎过程中的细胞破裂释放油脂。因此,通过 CLSM 分析可以看出,柠檬酸浸泡烘干预处理方式有利于牡丹籽油的提取。

2.3 水酶法提取牡丹籽油工艺条件优化

2.3.1 复合酶添加量对牡丹籽油提取效果的影响

复合酶添加量对牡丹籽油提取效果的影响如图4所示。

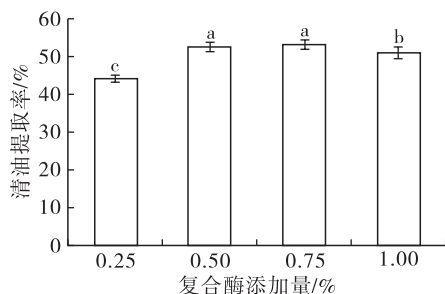


图4 复合酶添加量对牡丹籽油提取效果的影响

由图4可知,随着复合酶添加量的增加,清油提取率呈现先增后降的趋势。复合酶添加量为0.5%时,清油提取率最高,为53.64%,此时乳状液残油率最低,为37.47%。产生这种现象的原因是当酶添加量较低时,复合酶无法与体系中的样品完全接触,导致酶解不充分,大量油脂无法溶出;而当酶添加量过多时,会降低酶的催化效率^[15],另外,原料中的多糖以及水解产生的小分子糖会与蛋白质发生交互作用,提高蛋白质的乳化能力,反而会使乳状液增多。因此,综合考虑经济成本及后期破乳的难度,选择复合酶添加量为0.5%。

2.3.2 pH对牡丹籽油提取效果的影响

大部分油料作物中的蛋白质等电点较低,并且可溶于碱性环境,因此提高溶液pH,可以增大蛋白质溶解性,提高蛋白质溶出率,从而使得油脂更容易被分离^[15-16]。水酶法提取过程pH对牡丹籽油提取效果的影响如图5所示。

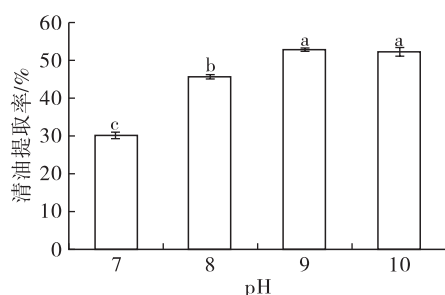


图5 pH对牡丹籽油提取效果的影响

由图5可知,pH 7~10,清油提取率有显著变化。pH 9时,清油提取率达到54.91%,继续提高pH,清油提取率变化不显著。可能是溶液pH过高时,蛋白质发生变性聚合,从而包裹油脂,使得乳状液残油率增大。此外,蛋白质的大量溶出也会导致体系增稠,不利于后续的离心分离。因此,综合考虑,选择水酶法提取过程的最佳pH为9。

2.3.3 料液比对牡丹籽油提取效果的影响

料液比对牡丹籽油提取效果的影响见图6。

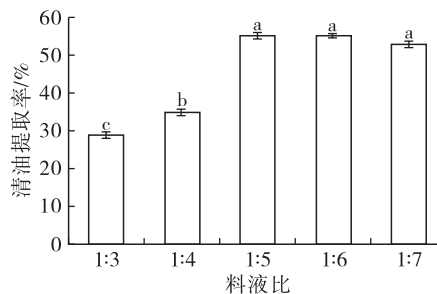
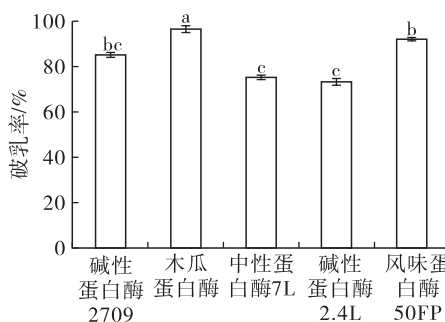


图6 料液比对牡丹籽油提取效果的影响

由图6可知,料液比从1:3增加到1:5,清油提取率明显提高,而继续增大料液比,清油提取率变化不显著。主要原因是料液比较小时,反应体系较浓稠,搅拌不充分导致原料无法充分与酶接触,同时蛋白质溶出率也低,因而无法有效提取油脂,最终残留在渣相中。而料液比提高,原料与溶液的接触面增大,能有效提高清油提取率。料液比1:5时,清油提取率达到最高,为52.6%。但继续增大料液比,会降低复合酶与原料的碰撞概率,使蛋白质溶解增加,提高游离油被重新乳化的可能性。因此,综合考虑,选取料液比为1:5。

2.4 乳状液的破乳

牡丹籽含有18%~22%的蛋白质,在水酶法提取过程中易与油脂结合生成乳状液,必须经过破乳才能使其中的油脂游离出来,因此乳状液破乳对提高水酶法总油提取率至关重要。考察了不同蛋白酶对乳状液的破乳率,结果见图7。



注:酶添加量均为1.0%,破乳时间均为2h;碱性蛋白酶2709 pH 8.5、温度50℃,木瓜蛋白酶pH 7.5、温度60℃,中性蛋白酶7L pH 7.0、温度50℃,碱性蛋白酶2.4L pH 8.0、温度50℃,风味蛋白酶50FP pH 4.5、温度50℃。

图7 不同蛋白酶对乳状液的破乳率

由图7可知,木瓜蛋白酶的破乳效果最好,破乳率可达96.31%,可能是木瓜蛋白酶将吸附在油滴上的蛋白质酶解成小分子肽,导致包裹油滴的蛋白层变薄,发生破裂使得油滴聚集^[17],油脂游离出来。风味蛋白酶50FP的效果次之,破乳率为92.1%,该

酶的最适 pH 为 4.5,接近牡丹籽蛋白的等电点 pH 3.9,此时乳状液的稳定性较差^[18]。因此,选择木瓜蛋白酶破乳。

综上所述,水酶法提取牡丹籽油的最佳条件为:牡丹籽经 0.3 mol/L 的柠檬酸溶液浸泡 6 h,100 °C 烘干,在复合酶添加量 0.5%、料液比 1:5、pH 4.5、50 °C 的条件下酶解 1 h,再于 pH 9、50 °C 下反应 1 h,离心收集清油、乳状液后,再于 50 °C、pH 9 条件下水相重复提取渣相 1 h,选择木瓜蛋白酶破除乳状液。在最佳条件下实验,清油提取率为 55.31%,破乳率为 96.31%,总油提取率为 90.81%。

2.5 牡丹籽油的脂肪酸组成及理化指标

2.5.1 牡丹籽油的脂肪酸组成

本实验所得牡丹籽油以及牡丹籽商品油 A 和 B 的脂肪酸组成如表 1 所示。由表 1 可知,牡丹籽油中不饱和脂肪酸含量达 92% 以上,主要为亚麻酸、亚油酸和油酸,其中亚麻酸含量最高。亚麻酸是评价油脂价值的重要指标,是必需脂肪酸。总体来看,

3 种牡丹籽油的脂肪酸组成大致相同,说明水酶法提取不会对牡丹籽油的脂肪酸组成造成显著影响。

表 1 牡丹籽油的脂肪酸组成及相对含量 %

脂肪酸	本实验 牡丹籽油	牡丹籽 商品油 A	牡丹籽 商品油 B
十四碳以下脂肪酸	0.062	0.062	0.066
棕榈酸 C16:0	5.473	5.275	5.280
棕榈一烯酸 C16:1	0.089	0.088	0.098
硬脂酸 C18:0	1.502	1.505	1.498
油酸 C18:1	22.830	22.975	22.796
亚油酸 C18:2	25.589	26.562	26.483
亚麻酸 C18:3	44.053	43.121	44.522
花生酸 C20:0	0.077	0.078	0.079
花生一烯酸 C20:1	0.182	0.181	0.179
山嵛酸 C22:0	0.012	0.012	0.013

2.5.2 牡丹籽油的理化指标(见表 2)

由表 2 可知,3 种牡丹籽油的各项指标都在 LS/T 3242—2014 标准范围内。

表 2 牡丹籽油的理化指标

项目	本实验牡丹籽油	牡丹籽商品油 A	牡丹籽商品油 B	LS/T 3242—2014
酸值(KOH)/(mg/g)	1.51 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.01 ^b	0.56 ± 0.04 ^b	≤2
过氧化值/(mmol/kg)	1.55 ± 0.03 ^c	2.29 ± 0.05 ^b	4.43 ± 0.03 ^a	≤6
碘值(I)/(g/100 g)	165.8 ± 0.1 ^a	163.3 ± 0.2 ^a	164.5 ± 0.2 ^a	162 ~ 190
皂化值(KOH)/(mg/g)	194.0 ± 0.1 ^a	194.7 ± 0.4 ^a	195.3 ± 0.3 ^a	158 ~ 195

注:表中同行数据的不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 结论

通过激光共聚焦显微镜结果分析可以确定柠檬酸溶液浸泡、烘干有助于牡丹籽油的提取,最佳条件为牡丹籽经 0.3 mol/L 的柠檬酸溶液浸泡 6 h,在 100 °C 下烘干后,采用复合酶酶解,在酶添加量 0.5%、pH 4.5、料液比 1:5、50 °C 的条件下酶解 1 h,再于 pH 9、50 °C 下反应 1 h,离心收集清油和乳状液,再于 pH 9、50 °C 条件下,水相重复提取渣相 1 h,选择木瓜蛋白酶破除乳状液。在上述条件下,清油提取率为 55.31%,总油提取率为 90.81%。实验所得牡丹籽油的酸值、过氧化值等指标均达到牡丹籽油的标准。但应注意到,酸热辅助水酶法提取牡丹籽油虽然降低了酶的用量,但柠檬酸溶液浸泡、烘干的预处理增加了一定的成本,因此下一步在保证油脂提取率的基础上,研究降低预处理中柠檬酸的用量,进一步降低水酶法提取牡丹籽油的成本。

参考文献:

[1] GAO L L, LI Y Q, WANG Z S, et al. Physicochemical characteristics and functionality of tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) seed protein[J]. Food Chem, 2018,

240(2): 980 - 988.

- [2] 易军鹏,朱文学,马海乐,等.牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J].农业机械学报,2009,40(6):109-116.
- [3] SONG Y Y, ZHANG W B, WU J, et al. Ethanol - assisted aqueous enzymatic extraction of peony seed oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2019, 96(5): 595 - 606.
- [4] 赵优萍,张沙沙,张婷,等.不同提取方法对牡丹籽油品质与抗氧化性的影响[J].食品工业科技,2019,40(1):11-16,22.
- [5] 史国安,郭香凤,金宝磊,等.牡丹籽油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及抗氧化活性的研究[J].中国粮油学报,2013,28(4):47-50,107.
- [6] LIU J J, GASMALLA M A A, LI P F, et al. Enzyme - assisted extraction processing from oilseeds: principle, processing and application [J]. Innov Food Sci Emerg, 2016, 35(6): 184 - 193.
- [7] 彭瑶瑶.牡丹籽油脂和蛋白的提取、精制和性能研究[D].江苏无锡:江南大学,2014.
- [8] 张娟,代鑫鹏,周研,等.水酶法提取牡丹籽油的工艺条件优化[J].食品研究与开发,2018,39(18):51-56.

(下转第 32 页)

表4 葵花籽油脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	未脱蜡葵花籽油	脱蜡葵花籽油
月桂酸	ND	ND
豆蔻酸	0.072	0.071
棕榈酸	4.445	4.448
棕榈一烯酸	0.110	0.109
十七烷酸	0.043	0.045
十七碳一烯酸	0.022	0.021
硬脂酸	2.752	2.684
油酸	79.442	79.404
亚油酸	11.760	12.039
亚麻酸	0.099	0.095
花生酸	0.265	0.231
花生一烯酸	0.205	0.198
山嵛酸	0.784	0.654
芥酸	ND	ND
木焦油酸	ND	ND

注:ND表示未检出。

3 结论

以高油酸葵花籽原油为原料,在单因素试验的基础上进行响应面试验以优化添加硅藻土的葵花籽油冷冻脱蜡工艺。结果表明,当养晶时间16 h、养晶温度11℃、硅藻土添加量1.5%、搅拌速率8 r/min时,脱蜡效果最优,脱蜡葵花籽油蜡质含量降至22.50 mg/kg。对脱蜡前后葵花籽油脂肪酸组成的分析表明,脱蜡不影响葵花籽油的脂肪酸组成。

参考文献:

[1] 张莹,张雯丽.世界葵花籽生产、贸易结构变迁及趋势分析[J].世界农业,2018(9):119-126.

(上接第14页)

[9] 王青,王晓东,成安玮,等.酶解预处理对水酶法提取牡丹籽油提油率的影响[J].中国食物与营养,2019(10):26-29.

[10] 宋媛媛,杨瑞金,张文斌,等.牡丹籽油乙醇辅助水酶法提取工艺优化及品质分析[J].食品与机械,2018,34(4):180-185.

[11] ZHANG W B, XU T, YANG R J. Effect of roasting and grinding on the processing characteristics and organoleptic properties of sesame butter[J/OL]. Eur J Lipid Sci Tech, 2019, 121(7): 1800401 [2019-12-12]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800401>.

[12] LI P F, GASMALLA M A A, ZHANG W B, et al. Effects of roasting temperatures and grinding type on the yields of oil and protein obtained by aqueous extraction processing[J]. J Food Process Eng, 2016, 173(3): 15-24.

[2] RAI A, MOHANTY B, BHARGAVA R. Supercritical extraction of sunflower oil: a central composite design for extraction variables[J]. Food Chem, 2016, 192: 647-659.

[3] 张亚丽,黄庆德,马建国,等.浓香葵花籽油生产技术研究[J].中国油脂,2016,41(12):9-14.

[4] ABEDI E, SAHARI M A. Long-chain polyunsaturated fatty acid sources and evaluation of their nutritional and functional properties[J]. Food Sci Nutr, 2014, 2(5): 443-463.

[5] MORIKI T A. Omega-3 fatty acids and hypertension in humans[J]. Clin Exp Pharmacol Physiol, 2010, 33(9): 842-846.

[6] 金青哲.功能性脂质[M].北京:中国轻工业出版社,2013.

[7] 任健.葵花籽水酶法取油及蛋白质利用研究[D].江苏无锡:江南大学,2008.

[8] 杨会琴,李惠荔,刘月英,等.葵花籽油提取方法的研究[J].河北化工,2007,30(6):26-28.

[9] 许多现,齐晓芬,张旭,等.低温压榨葵花籽油脱蜡工艺条件的优化[J].中国油脂,2016,41(8):11-14.

[10] 柴杰,薛雅琳,金青哲,等.精炼工艺对葵花籽油品质的影响[J].中国油脂,2016,41(2):12-15.

[11] MOULTON K J. Turbidimetric measurement of wax in sunflower oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 1988, 65(3): 367-368.

[12] 唐萍华.葵花籽原油中胶质与蜡含量快速测定方法的探讨[J].粮食与食品工业,2014,21(3):90-92.

[13] 李疆,杨艳彬,李开雄.葵花籽油脱蜡生产实践[J].中国油脂,2008,33(5):74-75.

[13] 倪双双.蒸汽闪爆辅助乙醇水提法提取玉米胚芽油和蛋白质[D].江苏无锡:江南大学,2016.

[14] 侯双瑞,周波,孙亚娟,等.烘焙工艺及杏仁种皮对杏仁油品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(6):62-67,75.

[15] ZHANG S B, WANG Z, XU S Y. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates[J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 84(1): 97-105.

[16] 贾利蓉,俞凌云,张文学.酶法提取植物油脂及回收蛋白质研究进展[J].食品科技,2008(2):121-124.

[17] 杜宇,张文斌,杨瑞金,等.乙醇水提法提取葡萄籽油及其品质分析[J].中国油脂,2019,44(5):8-12,42.

[18] 李鹏飞.水酶法提取花生油和蛋白质[D].江苏无锡:江南大学,2016.