

超声处理花生红衣对水酶法花生油提取率及品质的影响

刘粤龙, 刘 伟, 陈复生

(河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要:为解决水酶法提取花生油工艺清油提取率较低的问题,向花生仁中添加少量花生红衣,采用细胞壁水解酶(纤维素酶与果胶酶质量比1:1)以水酶法提取花生油。以清油提取率为指标,优化花生红衣与花生仁混合方式,通过单因素试验考察酶解pH、酶解温度、加酶量、料液比、酶解时间、花生红衣添加量对清油提取率的影响,并对花生油的基本理化指标、多酚含量、脂肪酸组成和色泽进行分析。结果表明:花生红衣与花生仁的混合方式为采用将花生红衣脱脂后与水混合并在195 W下超声5 min,然后加入花生仁粉;水酶法提取花生油的最佳工艺条件为酶解pH 4.5、酶解温度55℃、加酶量1%(以反应物总质量计)、料液比1:3、酶解时间2 h、花生红衣添加量3%(以花生仁质量计),在此条件下清油提取率为79.70%,与未添加花生红衣工艺相比,提高了7.12个百分点;与未添加花生红衣相比,添加花生红衣水酶法所得花生油的含水量、酸值、过氧化值略高,但均符合国标要求,多酚含量明显提高,色泽与脂肪酸组成没有明显差异。综上,少量花生红衣的加入可提高水酶法提取花生油的清油提取率,同时明显提高花生油中多酚含量,且不影响其基本食用品质和脂肪酸组成。

关键词:水酶法;花生油;细胞壁水解酶;花生红衣

中图分类号:TS224.2;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2025)08-0020-07

Effect of ultrasonic treated peanut skin on yield and quality of peanut oil extracted by aqueous enzymatic method

LIU Yuelong, LIU Wei, CHEN Fusheng

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to solve the problem of low yield of free oil in the extraction process of peanut oil with aqueous enzymatic method, a small amount of peanut skin was added into peanut kernel, and the combination of cellulase and pectinase (mass ratio 1:1) was used as enzyme species to extract peanut oil. With the yield of free oil as the index, the mixing method of peanut skin and peanut kernel was optimized, and the effects of enzymatic hydrolysis pH, enzymatic hydrolysis temperature, dosage of enzyme, ratio of solid to liquid, enzymatic hydrolysis time and dosage of peanut skin on the yield of free oil were investigated by single factor experiment. The basic physicochemical indicators, polyphenol content, fatty acid composition, and color of peanut oil were analyzed. The results showed that the mixing method of peanut skin and peanut kernel involved defatting the peanut skin, mixing it with water, and ultrasonication at 195 W for 5 min, followed by adding peanut kernel. The optimal process conditions for

extracting peanut oil by aqueous enzymatic method was obtained as follows: enzymatic hydrolysis pH 4.5, enzymatic hydrolysis temperature 55℃, dosage of enzyme 1% of the mass of reactant, ratio of solid to liquid 1:3, enzymatic hydrolysis time 2 h and dosage of peanut skin 3% of the peanut kernel. Under these conditions, the yield of free oil was 79.70%, improving 7.12

收稿日期:2024-04-11;修回日期:2025-02-26

基金项目:国家自然科学基金——联合基金重点项目(U21A20270)

作者简介:刘粤龙(2000),男,硕士研究生,研究方向为油脂化学与深加工技术(E-mail)13253372584@163.com。

通信作者:刘 伟,教授,硕士生导师(E-mail)liuwei820307@126.com。

percentage point compared with that without peanut skin. Compared with the method without adding peanut skin, the moisture content, acid value and peroxide value of peanut oil obtained by adding peanut skin were slightly higher, but all of them met the national standard requirements, with no significant difference in color and fatty acid composition, and the polyphenol content significantly increased. In conclusion, the addition of a small amount of peanut skin can increase the yield of free oil and the polyphenol content in peanut oil, and does not affect the edible quality and fatty acid composition of peanut oil extracted by aqueous enzymatic method.

Key words: aqueous enzymatic extraction; peanut oil; plant cell wall hydrolases; peanut skin

水酶法提油是一种条件温和的绿色提油技术^[1],其原理是植物油料(如花生)经破碎预处理,油料细胞壁被初步破坏,然后采用酶对油料细胞壁以及油脂复合体进行降解处理以使油游离,再利用油水互不相溶的性质,通过离心等方法将油脂分离出来,在提油的同时可得到非油组分如蛋白质。水酶法提油具有操作安全、污染少、能耗低,所得清油质量较高,常不再需要精炼处理等优点^[2-3]。

水酶法提取花生油工艺中,主要加入蛋白酶以辅助破坏细胞壁和脂蛋白等来提高花生清油得率^[4],但蛋白酶的加入导致花生蛋白质水解成小分子肽,会影响花生蛋白的完整性和功能性,水解程度过高还会产生苦味肽,不利于花生蛋白在食品工业的应用^[5]。采用细胞壁水解酶可以有效解决花生蛋白被水解的问题,但清油提取率较低^[6-7]。邓博心^[8]采用水酶法提取花生油,发现单独使用纤维素酶和果胶酶时清油提取率均低于 65%。Haji Heidari 等^[9]将花生粉置于正己烷中超声波处理 33.23 min,然后在纤维素酶添加量 1.47%、pH 4.61、温度 56℃、时间 120 min 条件下提取花生油,提取率为 73.56%。Rosenthal 等^[10]采用水酶法提取花生油,发现单独使用纤维素酶、果胶酶时花生油提取率分别为 74% 和 75%。

花生红衣占整粒花生质量的 3.0%~3.6%^[11],其含有 37%~42% 的纤维素^[12],对油脂具有吸附作用,可能具有一定的阻碍乳状液形成的作用,从而有利于提高水酶法制油的清油提取率。华娣^[13]使用碱性蛋白酶,采用水酶法提取花生油,发现带红衣花生的清油提取率比去红衣花生的高 0.56 百分点。曾广镇等^[14]在利用水代法提取花生油体时却发现带红衣不利于花生油体的提取,这可能是提取方式及提取目标物不同造成的。此外,花生红衣中多酚类物质含量约为 150 mg/g^[15]。绝大多数多酚类化合物存在于植物细胞的液泡中,并与糖结合成糖

苷^[16]。细胞壁水解酶也能水解与多糖结合的多酚复合物,从而有效释放更多的游离多酚^[17]。然而,在使用细胞壁水解酶处理时,花生红衣对水酶法提取花生油清油提取率影响的报道较少。

综上,本文以纤维素酶和果胶酶(质量比 1:1)为酶种,在水酶法提取花生油过程中添加少量花生红衣,探究其对花生油提取率及品质的影响,以期在水酶法提取花生油提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

远杂 6 号花生(去红衣花生仁粗脂肪含量 51.88%),郑州鹏讯种业有限公司;花生红衣,南京同仁堂;纤维素酶(酶活 10 000 U/g)、果胶酶(酶活 30 000 U/g)、没食子酸标准品,麦克林生化科技有限公司(上海);三氯甲烷、异丙醇,分析纯,科密欧化学试剂有限公司(天津);石油醚、乙醚,分析纯,洛阳市化学试剂厂;冰乙酸,分析纯,永大化学试剂股份有限公司(天津)。

1.1.2 仪器与设备

DZF6050 真空干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;Trace 1600 Series 气相色谱仪,赛默飞世尔(上海)仪器有限公司;FM200 高速万能粉碎机,北京永光明医疗仪器有限公司;ST-528 超微粉碎机,瑞安市塞特机电有限公司;DH92-II N 超声波细胞破碎仪,上海狄昊实业发展有限公司;BSA224S 分析天平,北京赛多利斯科学仪器有限公司;RCT 基本型数显加热恒温磁力搅拌器,艾卡(IKA)仪器设备公司;XW-80A 涡旋振荡混匀器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;WGL-125B 电热鼓风干燥箱,河南泰斯特仪器有限公司;LD5-10 离心机,北京京立离心机有限公司;OS20-S 顶置式搅拌器,北京大龙仪器有限公司;CS-821N 台式分光测色仪,杭州彩谱科技有限公司;UV-5100 型紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限责任公司。

1.2 试验方法

1.2.1 花生红衣和花生仁的预处理

将花生红衣用超微粉碎机粉碎后过 0.150 mm (100 目) 筛, 按料液比 1:10 加入正己烷, 在常温下脱脂 24 h, 5 000 r/min 下离心 5 min, 取出下层花生红衣, 在 50 ℃ 烘箱中烘烤 1 h, 置于干燥处备用。

采用 50 ℃ 烘箱烘烤花生仁 8 h, 手工脱除花生红衣后, 先用高速万能粉碎机破碎去红衣花生仁 1 次, 再用超微粉碎机粉碎 4 次, 每次 10 s, 得到去红衣花生仁粉。

1.2.2 花生红衣与花生仁的混合

采用两种方式将花生红衣与花生仁进行混合。方式一: 按一定比例将花生红衣与水混合, 设置液面浸没超声波细胞破碎仪变幅杆 2 cm, 在室温、一定功率下超声一定时间后, 向红衣-水混合物中加入 20 g 去红衣花生仁粉, 均匀分散。方式二: 取一定量花生红衣与 20 g 去红衣花生仁粉, 按一定比例与水混合均匀, 设置液面浸没超声波细胞破碎仪变幅杆 2 cm, 在室温、一定功率下超声一定时间。

1.2.3 水酶法提取花生油

参考王艺帆^[18]的方法, 并进行修改。水酶法提取花生油过程中, 花生蛋白的溶出可以提高游离油的得率, 因此在酶解前有必要进行碱提处理^[19]。利用 2 mol/L 氢氧化钠调节花生红衣-花生仁-水混合物 pH 至 9.5, 55 ℃ 下搅拌碱提 30 min。碱提结束后, 用 2 mol/L 盐酸调节体系 pH, 加入一定量细胞壁水解酶(纤维素酶与果胶酶质量比 1:1), 在一定温度下搅拌酶解一定时间, 酶解结束后升温至 90 ℃, 灭酶 10 min, 趁热在 5 000 r/min 下离心 15 min 后得到清油层、乳化层、水层和渣层。收集最上层清油, 水洗并真空干燥后置于 4 ℃ 冷藏备用。参考王瑛瑶等^[20]的方法对乳化层进行破乳, 在 -16 ℃ 冻结乳状液 20 h, 40 ℃ 解冻 2 h, 3 500 r/min 离心 20 min, 收集上层油层, 水洗并真空干燥后得花生油, 置于 4 ℃ 冷藏备用。

1.2.4 花生油基本理化指标测定

含水量参照 GB 5009.236—2016 采用电热干燥箱法测定; 酸值参照 GB 5009.229—2016 采用冷溶剂指示剂滴定法测定; 过氧化值参照 GB 5009.227—2023 采用指示剂滴定法测定。

1.2.5 花生油多酚含量的测定

多酚的提取: 称取 3 g 油样(精确至 0.000 1 g)于 10 mL 离心管中, 加入 3 mL 体积分数 80% 的甲醇水溶液, 涡旋 3 min, 6 000 r/min 离心 6 min, 保留下层溶液, 重复提取 2 次, 合并 3 次提取液, 定容至 9 mL。

采用 Folin-Ciocalteu 法测定多酚含量。吸取 0.5 mL 提取液于 10 mL 离心管中, 加入 0.5 mL 福林酚, 摇匀反应 3 min。再加入 2 mL 质量浓度为 7.5 g/100 mL 碳酸钠溶液和 6.5 mL 蒸馏水, 摇匀反应 1 min, 避光反应 1 h。用紫外可见分光光度计在 765 nm 波长处测定吸光度, 同时做空白试验。以没食子酸标准品制作的标准曲线计算油样中多酚含量。

1.2.6 花生油脂脂肪酸组成测定

参照 GB 5009.168—2016, 采用三氟化硼甲酯化方法对花生油脂脂肪酸进行甲酯化, 然后采用气相色谱法对其脂肪酸组成进行测定。通过对比标准品保留时间鉴定相应脂肪酸, 采用峰面积归一化法定量。

气相色谱条件: Agilent HP-88 石英毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 进样口温度 260 ℃; 柱温 140 ℃; 氢火焰离子化检测器(FID), 检测器温度 260 ℃; 分流比 50:1; 氮气流速 40 mL/min; 氢气流速 40 mL/min; 空气流速 350 mL/min; 进样量 1 μL。

1.2.7 花生油色泽测定

采用台式分光测色仪分析花生油的色泽: 样品的明亮度用“L*”表示, 数值(0~100)越大代表样品越透亮; 样品的红绿色用“a*”表示, 正值表示红色, 负值表示绿色; 样品的黄蓝色用“b*”表示, 正值表示黄色, 负值表示蓝色。以不加花生红衣制取的花生油为参比, 对比添加花生红衣制取的花生油色泽, 并计算色差(ΔE , $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$)。

1.2.8 数据处理

所有试验均进行 3 次重复, 结果以“平均值 ± 标准差”表示; SPSS 软件用于数据统计分析; Origin 2021 用于绘制图表。使用单因素方差分析和 Duncan 多重比较对试验数据进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示具有显著差异。

2 结果与讨论

2.1 花生红衣与花生仁混合方式的选择

由于超声波在液体中会产生空化作用, 产生的高强度剪切力有助于细胞壁的破碎, 细胞内物质(油脂、多酚等)更容易释放出来^[21]。在酶解 pH 4.5、花生红衣添加量 3% (以花生仁质量计)、料液比 1:5、酶解温度 55 ℃、加酶量 1% (以反应物总质量计)、酶解时间 2 h 条件下, 比较了花生红衣与花生仁的混合方式(即花生红衣单独超声处理、花生红衣与花生仁一起超声处理)对水酶法提取花生油

清油提取率的影响,结果如表 1 所示。

表 1 花生红衣与花生仁混合方式对清油提取率的影响

Table 1 Effect of mixing method of peanut skin and peanut kernel on extraction rate of free oil				
方式	超声条件	清油质量/g	破乳油质量/g	总油提取率/%
一	195 W,5 min	6.43 ± 0.04 ^a	0.81 ± 0.04 ^b	69.68 ± 0.00 ^a
二	195 W,5 min	0.00 ± 0.00 ^d	1.84 ± 0.08 ^a	17.73 ± 0.82 ^d
二	195 W,5 s	3.56 ± 0.18 ^c	0.33 ± 0.15 ^c	37.44 ± 2.93 ^c
二	65 W,5 s	4.63 ± 0.04 ^b	0.92 ± 0.05 ^b	53.44 ± 0.07 ^b

注:同列不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)。下同
Note: Different letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$). The same below

由表 1 可知,采用方式二,将花生仁与花生红衣一同在 195 W 下超声处理 5 min,总油提取率为 (17.73 ± 0.82)%,195 W 下超声处理 5 s,总油提取率为 (37.44 ± 2.93)%,65 W 下超声处理 5 s,总油提取率为 (53.44 ± 0.07)%。相较于 195 W 下单独超声处理花生红衣 5 min(方式一)时的总油提取率 (69.68 ± 0.00)%,花生红衣与花生仁一同在 195 W 下超声处理 5 min 时的总油提取率下降。此时,花生清油得率为 0,且乳状液稳定性较强,进一步使用冷冻-解冻破乳也仅有 (17.73 ± 0.82)% 的总油提取率。这可能是因为超声处理改变了花生蛋白的结构,使得蛋白质疏水性基团暴露,显著提高了花生蛋白的乳化性能,同时也一定程度上提高了花生蛋白的乳化稳定性^[22]。因此,在后续试验中,采用 195 W 下单独超声处理花生红衣 5 min,然后与花生仁混合的方式(方式一)。

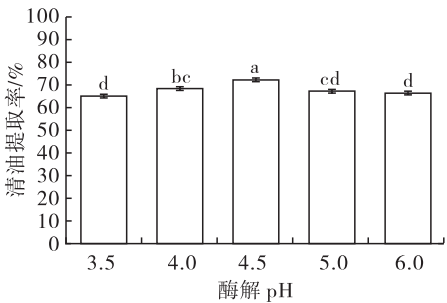
2.2 水酶法提取花生油工艺条件优化

2.2.1 酶解 pH 对清油提取率的影响

水相 pH 不仅影响酶的活力,还与花生蛋白的溶解度紧密相关。在花生红衣添加量 3%、料液比 1:5、酶解温度 55℃、加酶量 1%、酶解时间 2 h 条件下,研究酶解 pH 对清油提取率的影响,结果如图 1 所示。

由图 1 可知,当酶解 pH 在 3.5~4.5 之间时,清油提取率随着酶解 pH 的增大而增加,由最初的 (65.20 ± 0.62)% 增加到 (72.38 ± 0.95)%,酶解 pH 超过 4.5 后,清油提取率下降。这是因为 pH 4.5 是纤维素酶和果胶酶联合使用时的最适 pH,其他 pH 条件下,酶活力降低,进而减弱了对花生细胞壁的降解作用。此外,pH 4.5 也是花生蛋白的等电点,此时花生蛋白溶解度低,起到了一定的破乳作

用,使得原本乳化的油脂释放出来从而提高了花生清油提取率。因此,选择酶解 pH 4.5 作为后续试验条件。



注:不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)。下同
Note: Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). The same below

图 1 酶解 pH 对清油提取率的影响
Fig.1 Effect of enzymatic hydrolysis pH on extraction rate of free oil

2.2.2 酶解温度对清油提取率的影响

在花生红衣添加量 3%、料液比 1:5、酶解 pH 4.5、加酶量 1%、酶解时间 2 h 条件下,研究酶解温度对清油提取率的影响,结果如图 2 所示。

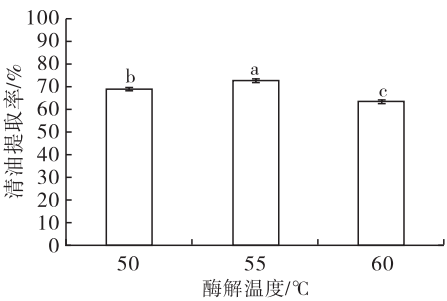


图 2 酶解温度对清油提取率的影响
Fig.2 Effect of enzymatic hydrolysis temperature on extraction rate of free oil

由图 2 可知,酶解温度在 50~60℃之间时,清油提取率呈先上升后降低的趋势,从 (68.72 ± 0.54)% 增加到 (72.38 ± 0.95)%,再下降至 (63.29 ± 0.72)%,酶解温度为 55℃时,清油提取率最高,表明 55℃为纤维素酶和果胶酶联用的最适温度,此时酶活力得以充分释放,有效地降解了花生细胞壁释放油脂。这与 Niu 等^[23]使用纤维素酶-果胶酶(质量比 1:1)制取花生油体的研究结论一致。因此,选择酶解温度 55℃作为后续试验条件。

2.2.3 加酶量对清油提取率的影响

在花生红衣添加量 3%、料液比 1:5、酶解 pH 4.5、酶解温度 55℃、酶解时间 2 h 条件下,研究加酶量对清油提取率的影响,结果如图 3 所示。

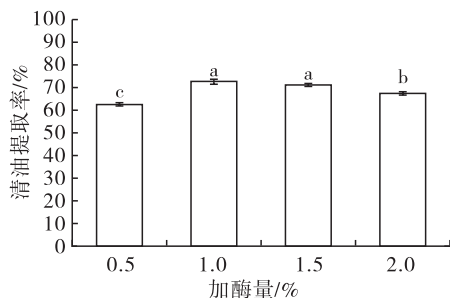


图3 加酶量对清油提取率的影响

Fig. 3 Effect of enzyme dosage on extraction rate of free oil

由图3可知,加酶量在0.5%~1%时,清油提取率随着加酶量的增加而上升,从 $(62.46 \pm 0.54)\%$ 增加到 $(72.38 \pm 0.95)\%$ 。此时,加酶量越高,酶与底物作用越充分,细胞壁被酶解的程度越高,油脂体和蛋白质体的释放越充分。在加酶量1%和1.5%时,清油提取率无显著差异($p > 0.05$)。当加酶量为2%时,清油提取率为 $(66.69 \pm 0.69)\%$,较加酶量1%时的有所下降,但高于加酶量0.5%时的。这表明1%的加酶量足以充分降解花生细胞壁释放出油脂。因此,选择加酶量1%作为后续试验条件。

2.2.4 料液比对清油提取率的影响

反应体系的整体流动性也是影响破壁酶作用效果的主要因素之一,因此不同料液比下清油提取率可能会有所不同。在花生红衣添加量3%、酶解 pH 4.5、酶解温度 55℃、加酶量1%、酶解时间2 h条件下,研究料液比对清油提取率的影响,结果如图4所示。

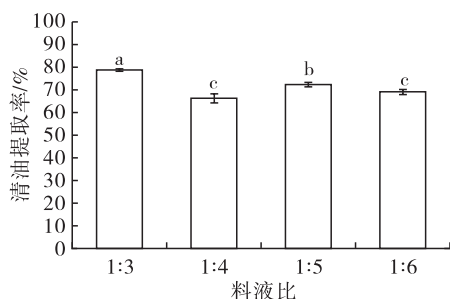


图4 料液比对清油提取率的影响

Fig. 4 Effect of ratio of solid to liquid on extraction rate of free oil

由图4可知,将料液比从1:3逐渐调整到1:6时,清油提取率呈先下降,再上升,随后又下降的趋势,在料液比1:3时清油提取率最高,为 $(78.90 \pm 0.06)\%$ 。这可能是因为存在少量花生红衣(3%)存在情况下,料液比1:3时,反应体系的整体流动性最为合适,此时酶与底物的接触较为充分。随着加

水量的增大,酶和底物的浓度也越来越小,在一定程度上限制了酶与底物的有效反应。因此,选择料液比1:3作为后续试验条件。

2.2.5 酶解时间对清油提取率的影响

在花生红衣添加量3%、料液比1:3、酶解 pH 4.5、酶解温度 55℃、加酶量1%条件下,研究酶解时间对清油提取率的影响,结果如图5所示。

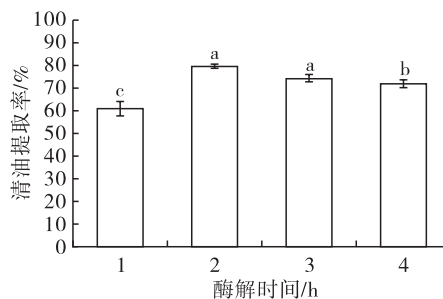


图5 酶解时间对清油提取率的影响

Fig. 5 Effect of enzymatic hydrolysis time on extraction rate of free oil

由图5可知,随着酶解时间的延长,清油提取率先增加后降低,在酶解2 h时达到最大,为 $(78.90 \pm 0.06)\%$ 。这可能是因为酶解2 h足以使纤维素酶和果胶酶对花生细胞壁进行充分降解。酶解1 h时清油提取率为 $(60.80 \pm 3.15)\%$,说明酶解1 h不足以使花生细胞壁降解完全。酶解4 h时清油提取率为 $(71.76 \pm 1.70)\%$,较2 h时显著降低,这可能是因为酶解时间的延长伴随着机械搅拌作用导致稳定乳状液的形成,降低了清油提取率。因此,选择酶解时间2 h作为后续试验条件。

2.2.6 花生红衣添加量对清油提取率的影响

在料液比1:3、酶解 pH 4.5、酶解温度 55℃、加酶量1%、酶解时间2 h条件下,研究花生红衣添加量对清油提取率的影响,结果如图6所示。

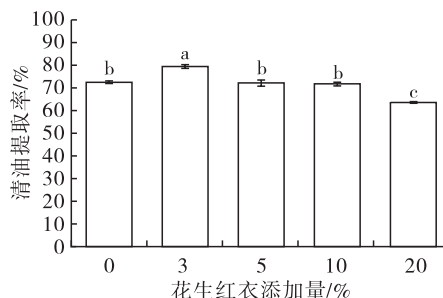


图6 花生红衣添加量对清油提取率的影响

Fig. 6 Effect of peanut skin dosage on extraction rate of free oil

由图6可知,不添加花生红衣时清油提取率为 $(72.86 \pm 0.41)\%$,花生红衣添加量为3%时清油提取率达到最高,为 $(78.90 \pm 0.06)\%$ 。花生红衣添

加量为 5%、10% 时清油提取率与不添加花生红衣时无显著差异 ($p > 0.05$)。当花生红衣添加量为 20% 时,清油提取率显著下降,可能是因为此时较多花生红衣的加入,吸收较多水分,导致体系的流动性降低,酶与底物无法充分接触,无法对细胞壁进行充分降解,并且此时大部分纤维素酶可能会被用于降解花生红衣纤维素,仅有少部分作用于花生细胞壁,从而降低了清油提取率。因此,选择最佳花生红衣添加量为 3%。

综上,水酶法提取花生油的最佳工艺条件为花生红衣添加量 3%、酶解 pH 4.5、酶解温度 55℃、加酶量 1%、料液比 1:3、酶解时间 2 h。在最佳条件下进行验证试验,并与不添加花生红衣的工艺进行对比,结果表明,添加花生红衣的清油提取率为 $(79.70 \pm 1.09)\%$,比不添加花生红衣的 $[(72.58 \pm 0.55)\%]$ 提高了 7.12 百分点。

2.3 花生油的基本理化指标与多酚含量

对最佳工艺条件下制取的花生油的基本理化指标和多酚含量进行分析,结果见表 2。

表 2 花生油的基本理化指标及多酚含量

Table 2 Basic physicochemical indexes and polyphenol content of peanut oil

项目	不加红衣	添加红衣
含水量/%	0.057 ± 0.070	0.076 ± 0.090
酸值(KOH)/(mg/g)	0.85 ± 0.10	1.06 ± 0.08
过氧化值/(mmol/kg)	3.67 ± 0.08	3.84 ± 0.04
多酚含量/(mg/kg)	67.53 ± 4.24	165.44 ± 18.25

由表 2 可知:不添加花生红衣工艺制备的花生油含水量为 $(0.057 \pm 0.070)\%$,酸值(KOH)为 (0.85 ± 0.10) mg/g,过氧化值为 (3.67 ± 0.08) mmol/kg;添加花生红衣工艺制备的花生油含水量为 $(0.076 \pm 0.090)\%$,酸值(KOH)为 (1.06 ± 0.08) mg/g,过氧化值为 (3.84 ± 0.04) mmol/kg。两种花生油含水量、过氧化值和酸值均符合 GB/T 1534—2017《花生油》中对压榨一级花生油的要求。

不添加花生红衣工艺制备的花生油中多酚含量为 (67.53 ± 4.24) mg/kg,而添加花生红衣工艺制备的花生油中多酚含量为 (165.44 ± 18.25) mg/kg,约为不添加花生红衣时的 2.45 倍,表明在水酶法制油过程中加入花生红衣可以明显提高花生清油中多酚含量。这可能是因为超声波细胞破碎仪的作用下,花生红衣中的多酚化合物被释放出来,同时纤维素酶和果胶酶的降解作用可释放出更多的游离多酚,在搅拌作用下部分脂溶性的多酚转移至花生清油当中,提高了花生油中多酚含量。

2.4 花生油的脂肪酸组成

最佳工艺条件下制取的花生油的脂肪酸组成见表 3。

表 3 花生油的脂肪酸组成

Table 3 Fatty acid composition of peanut oil %

脂肪酸	不加红衣	添加红衣
棕榈酸(C16:0)	11.42 ± 0.02	11.47 ± 0.01
硬脂酸(C18:0)	3.77 ± 0.03	3.87 ± 0.08
油酸(C18:1)	35.82 ± 0.05	36.00 ± 0.02
亚油酸(C18:2)	42.83 ± 0.07	42.52 ± 0.05
花生酸(C20:0)	1.57 ± 0.02	1.57 ± 0.08
花生一烯酸(C20:1)	0.85 ± 0.07	0.85 ± 0.03
山嵛酸(C22:0)	2.46 ± 0.03	2.46 ± 0.02
木焦油酸(C24:0)	1.27 ± 0.04	1.25 ± 0.07

由表 3 可知,两种花生油的主要脂肪酸均为亚油酸、油酸和棕榈酸,另外还含有硬脂酸、山嵛酸、花生酸、木焦油酸和花生一烯酸。本文水酶法制取的花生油中主要的脂肪酸组成与其他文献报道^[24-25]基本一致。以上结果表明,添加少量花生红衣对花生油的脂肪酸组成不会产生影响。

2.5 花生油色泽

研究表明,当 $\Delta E > 3$ 时,视觉可明显识别颜色的差异^[26]。最佳工艺条件下制取的花生油的色泽见表 4。

表 4 花生油的色泽

Table 4 Color of peanut oil

项目	不加红衣	添加红衣
L^*	96.04	95.54
a^*	-2.68	-2.53
b^*	12.89	12.00
ΔE		1.03

由表 4 可知,与不添加花生红衣制取的花生油相比,添加花生红衣工艺制取的花生油的 L^* 减小,表明不添加花生红衣制取的花生油更加澄清透亮。 ΔE 为 1.03,小于 3,表明添加花生红衣前后所得花生油色泽无明显差异,即 3% 花生红衣的加入不会给花生油色泽带来明显变化。

3 结 论

本文在水酶法提取花生油过程中添加少量花生红衣,先将花生红衣脱脂后与水混合进行超声处理,再加入花生仁粉,以纤维素酶和果胶酶(质量比 1:1)为酶种进行花生油的提取。通过单因素试验获得水酶法提取花生油最佳工艺条件为花生红衣添加量 3%、料液比 1:3、酶解温度 55℃、酶解 pH 4.5、加酶量 1%、酶解时间 2 h。在最佳工艺条件下,与

不添加花生红衣工艺相比,花生清油得率从72.58%提高至79.70%,同时,少量花生红衣的引入并不影响水酶法花生油的基本食用品质和脂肪酸组成,且可以明显提高花生油中多酚含量。

参考文献:

- [1] 李杨, 齐宝坤, 隋晓楠, 等. 水酶法提取花生油高压蒸汽破乳工艺研究[J]. 大豆科技, 2019(S1): 425-428.
- [2] CAMPBELL K A, GLATZ C E, JOHNSON L A, et al. Advances in aqueous extraction processing of soybeans[J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(4): 449-465.
- [3] LATIF S, ANWAR F, HUSSAIN A I, et al. Aqueous enzymatic process for oil and protein extraction from *Moringa oleifera* seed[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113(8): 1012-1018.
- [4] JIANG L, HUA D, WANG Z, et al. Aqueous enzymatic extraction of peanut oil and protein hydrolysates[J]. Food Bioprod Process, 2010, 88(2/3): 233-238.
- [5] 李鹏飞. 水酶法提取花生油及蛋白质[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2017.
- [6] LAMSAL B P, MURPHY P A, JOHNSON L A. Flaking and extrusion as mechanical treatments for enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybeans[J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 83(11): 973-979.
- [7] LAMSAL B P, JOHNSON L A. Separating oil from aqueous extraction fractions of soybean[J]. J Am Oil Chem Soc, 2007, 84(8): 785-792.
- [8] 邓博心. 预烘烤对花生水酶法制油油脂释放行为及品质的影响[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2018.
- [9] HAJI HEIDARI S, TAGHIAN DINANI S. The study of ultrasound-assisted enzymatic extraction of oil from peanut seeds using response surface methodology[J/OL]. Eur J Lipid Sci Tech, 2018, 120(3): 1700252 [2024-04-11]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700252>.
- [10] ROSENTHAL A, PYLE D L, NIRANJAN K. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction[J]. Enzyme Microb Tech, 1996, 19(6): 402-420.
- [11] 杨伟强, 李鹏, 王凤舞. 碱法提取花生红衣中白藜芦醇的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 250-251, 254.
- [12] 童愈元, 何东平. 花生红衣中红色素、原花色素的提取工艺研究[J]. 农业机械, 2011(2): 116-119.
- [13] 华娣. 水酶法从花生中提取油与水解蛋白的研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2007.
- [14] 曾广镇, 赵志浩, 周鹏飞, 等. 去红衣与超声处理对花生油体提取及其乳化特性的影响[J/OL]. 中国油脂: 1-10 [2024-04-11]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220874>.
- [15] 刘翠, 石爱民, 刘红芝, 等. 超声辅助法制备花生红衣的多酚类物质[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 141-150.
- [16] LOU H, YUAN H, MA B, et al. Polyphenols from peanut skins and their free radical-scavenging effects[J]. Phytochemistry, 2004, 65(16): 2391-2399.
- [17] VIERHUIS E, SERVILI M, BALDIOLI M, et al. Effect of enzyme treatment during mechanical extraction of olive oil on phenolic compounds and polysaccharides[J]. J Agric Food Chem, 2021, 49(3): 1218-1223.
- [18] 王艺帆. 富含多酚花生油的绿色制备工艺研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- [19] 王瑛瑶, 王璋. 水酶法从花生中提取蛋白质与油: 碱提工艺研究[J]. 食品科技, 2002, 27(7): 6-8.
- [20] 王瑛瑶, 王璋. 水酶法提油中乳状液的特性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(1): 112-115.
- [21] 李杨, 江连洲, 齐宝坤, 等. 超声波辅助水酶法提取花生油工艺[J]. 大豆科技, 2019(S1): 238-240, 246.
- [22] 邵悦, 张琪, 张程, 等. 超声波对花生蛋白功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 130-133.
- [23] NIU R, CHEN F, LIU C, et al. Composition and rheological properties of peanut oil bodies from aqueous enzymatic extraction[J]. J Oleo Sci, 2021, 70(3): 375-383.
- [24] 刘晨. 水酶法提取花生油过程中油体组成、结构及稳定机制研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
- [25] 赵宇辉. 水酶法同步分离花生油和蛋白过程中乳液体系特性及破乳机制研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- [26] BRÜHI L, UNBEHEND G. Precise color communication by determination of the color of vegetable oils and fats in the CIELAB 1976 ($L^*a^*b^*$) color space[J/OL]. Eur J Lipid Sci Tech, 2021, 123(7): 2000329 [2024-04-11]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000329>.