

水酶法提取樱桃籽油的工艺及理化性质

Optimization on extraction of cherry seed oil by aqueous enzymatic method and analysis of its physical-chemical properties

何林枫^{1,2} 王 静¹ 李利钦¹ 肖 迪¹ 李尚泽¹ 胡 渝¹

HE Lin-feng^{1,2} WANG Jing¹ LI Li-qin¹ XIAO Di¹ LI Shang-ze¹ HU Yu¹

(1. 南充文化旅游职业学院, 四川 阆中 637400; 2. 四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625000)

(1. Nanchong Vocational College of Culture and Tourism, Langzhong, Sichuan 637400, China;

2. School of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625000, China)

摘要:目的:优化水酶法提取樱桃籽油工艺,提高樱桃籽利用率。方法:在单因素试验基础上,运用混料设计对混合酶的混合比例进行优化,以确定最佳提取工艺条件,再对樱桃籽油的理化性质进行检测。结果:混合酶法提取樱桃籽油的最优酶解条件为:混合酶(*m*纤维素酶:*m*果胶酶:*m*酸性蛋白酶)为0.67:0.10:0.23)添加量2.0%,液料比(*V*蒸馏水:*m*樱桃籽粉)10:1(mL/g),酶解温度45℃,pH 4.0,酶解4.0 h,樱桃籽油回收率达到93.18%,实际提取率为28.66%。所得樱桃籽油符合食用油安全标准。结论:混料设计辅助水酶法提取樱桃籽油的工艺具有可行性。

关键词:樱桃籽油;水酶法;混料设计;混合酶;脂肪酸组成;理化性质

Abstract: Objective: To improve the availability of cherry seed, cherry seed oil was extracted by the aqueous enzymatic method.

Methods: the ratio of mixed enzymes was optimized by mixture design on the basis of single factor experiment. The basic indexes of oil such as fatty acid composition and physical and chemical properties were detected. **Results:** the optimum extraction conditions were a 2.0% addition of mixed enzyme comprising cellulase, pectinase and acid protease (0.67:0.10:0.23), liquid to material ratio of 10:1 (mL/g), enzymolysis temperature of 45℃, pH of 4.0 and time of 4.0 h. The recovery of oil was 93.18% and the actual extraction rate was 28.66%. The oil from aqueous enzymatic technology was rich in oleic acid and linoleic

acid, with the color of oil light-colored and transparent. Acid value and peroxide value conformed to the hygiene standard for edible vegetable oil. **Conclusion:** The mixture design assisted aqueous enzymatic extraction of cherry seed oil is feasible.

Keywords: cherry seed oil; aqueous enzymatic method; mixture design; mixed enzymes; fatty acid composition; physicochemical properties

樱桃质地较嫩,营养价值高,但不易贮运,通常将其加工成罐头或者果汁,由此产生大量的樱桃籽废弃物。研究^[1-2]表明,樱桃籽含油量较高,不饱和脂肪酸尤为丰富,可以预防心脏病、调节血压、防止动脉硬化,因而具有较高的药食两用价值。通常采用索氏提取法、微波辅助溶剂提取法、超声波辅助溶剂提取法以及超临界二氧化碳提取法提取樱桃籽油^[3-6]。但索氏提取法提取时间较长,微波辅助提取过程中温度较难控制,超声波辅助提取过程中的热效应较差,且这3种方法均使用到了有机溶剂,会对提取效果和油的品质产生一定影响^[7]。超临界二氧化碳提取设备昂贵,操作复杂,很难在工业化中广泛推广。水酶法提取油脂是一种环保友好型的油脂提取技术,它是以为水为溶剂,提取条件温和,能同时分离出油和蛋白质,所得油脂质量较高^[8]。但单一酶水解油料的细胞壁作用有限,提取率普遍较低。Mwaurah等^[9]认为采用混合酶可显著提高提油率;王丽波等^[10]将水酶法用于南瓜籽油提取,发现将纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶按比例混合后进行酶解提取,回收率明显高于单一酶;如何确定混合酶中各酶的具体组成比例,以达到最优提取率和降低成本是研究重点。研究拟采用混料设计优化水酶法提取时混合酶的最适混合比例,以确定混合酶提取樱桃籽油的最优工艺参数,旨在提高樱桃籽资源的综合开发利用。

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(编号:2020YFN0147);南充文化旅游职业学院校级科研课题(编号:NCWL2022Q011)

作者简介:何林枫,女,南充文化旅游职业学院助教,硕士。

通信作者:王静(1980—),女,南充文化旅游职业学院副教授,硕士。E-mail:459381865@qq.com

收稿日期:2022-01-12 **改回日期:**2022-10-17

1 材料与方法

1.1 材料

樱桃籽:品种滨库,购于雅安市汉源县九襄镇;

纤维素酶(≥ 400 U/mg)、果胶酶(≥ 500 U/mg)、半纤维素酶(≥ 5 U/mg)、中性蛋白酶(≥ 100 U/mg)、碱性蛋白酶(≥ 200 U/mg)、酸性蛋白酶(≥ 50 U/mg):上海源叶生物科技有限公司;

石油醚(60~90 °C)、碘化钾、三氯甲烷等:分析纯,国药化学试剂集团有限公司;

集热式磁力搅拌器:DF-101S 型,上海羌强实业发展有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,上海仪电仪器有限公司;

全自动凯氏定氮仪:KDN-1 型,上海雷磁科技有限公司;

离心机:KH19A 型,湖南凯达科学仪器有限公司;

气相色谱仪:7890A 型,安捷伦科技(中国)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 樱桃籽油的提取方法 樱桃籽去壳,置于 100 °C 烘箱中恒温干燥至质量恒定,粉碎后过 80 目筛,称取 20 g 樱桃籽粉置于三角瓶,加入一定体积蒸馏水,调节适宜的 pH,按照原料樱桃籽粉质量加入混合酶(纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶的混合物)在一定的酶解条件下酶解提油。酶解结束后,将酶解液在沸水浴中加热 10 min 以灭酶,再转移到离心管中,4 000 r/min 离心 20 min,取上层游离油,在 105 °C 下干燥后称量,按式(1)计算油脂提取率,按式(2)计算回收率。再将水解液真空干燥后测定其中蛋白质含量,按式(3)计算水解蛋白得率。

$$E = \frac{m_0}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

E ——提取率,%;

m_0 ——游离油质量,g;

m_1 ——原料质量,g。

$$R = \frac{m_0}{m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R ——回收率,%;

m_0 ——游离油质量,g;

m_2 ——原料脂肪质量,g。

$$H_{pp} = \frac{m_3}{m_4} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

H_{pp} ——水解蛋白得率,%;

m_3 ——水解液中蛋白质质量,g;

m_4 ——原料中蛋白质质量,g。

1.2.2 樱桃籽脂肪测定 按 GB/T 5009.6—2016 中索氏提取法执行。

1.2.3 樱桃籽蛋白质测定 按 GB 5009.5—2016 中凯氏定氮法执行。

1.2.4 樱桃籽油脂脂肪酸组成测定 按 GB 5009.168—2016 执行。

1.2.5 樱桃籽油理化指标的测定

(1) 水分及挥发物含量:按 GB 5009.236—2016 执行。

(2) 相对密度:按 GB/T 5526—1985 执行。

(3) 皂化值:按 GB/T 5534—2008 执行。

(4) 碘值:按 GB/T 5532—2008 执行。

(5) 酸价:按 GB 5009.229—2016 执行。

(6) 过氧化值检测:按 GB 5009.227—2016 执行。

1.2.6 混合酶酶解条件确定 以回收率为指标,研究不同类别的酶、混合酶($m_{\text{纤维素酶}} : m_{\text{果胶酶}} : m_{\text{酸性蛋白酶}}$ 为 0.33 : 0.33 : 0.34,)添加量(以樱桃籽粉质量计)、料液比($V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}}$)、温度、pH 及酶解时间对回收率的影响,以确定混合酶的最适酶解条件。

(1) 酶的种类:取 20 g 樱桃籽仁粉,分别研究纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶和酸性蛋白酶各自在其适宜条件下的回收率。纤维素酶:添加量 2%、pH 4.5、 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 50 °C、酶解时间 4 h;果胶酶:添加量 2%、pH 4.5、 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 45 °C、酶解时间 4 h;半纤维素:添加量 2%、pH 4.5、 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 45 °C、酶解时间 4 h;碱性蛋白酶:添加量 2%、pH 8.0、 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 50 °C、酶解时间 4 h;中性蛋白酶:添加量 2%、pH 7.0、 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 50 °C、酶解时间 4 h;酸性蛋白酶:添加量 2%、pH 4.0、 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 50 °C、酶解时间 4 h。

(2) 液料比:在 pH 4.5、温度 50 °C、时间 4 h、混合酶添加量 2%条件下,研究液料比[$V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}}$ 分别为 10 : 1, 6 : 1, 8 : 1, 10 : 1, 12 : 1, 14 : 1 (mL/g)]对回收率的影响。

(3) 酶解温度:在 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、pH 4.5、混合酶添加量 2%、酶解时间 4 h 条件下,研究酶解温度(35, 40, 45, 50, 55 °C)对回收率的影响。

(4) pH:在 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 45 °C、酶解时间 4 h、混合酶添加量 2%条件下,研究 pH(3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5)对回收率的影响。

(5) 混合酶添加量:在 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 45 °C、pH 4.0、酶解时间 4 h 条件下,研究混合酶添加量(1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%)对回收率的影响。

(6) 酶解时间:在 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)、酶解温度 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH 4.0、混合酶添加量 2% 条件下,研究酶解时间(2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 h)对回收率的影响。

1.2.7 混合酶适宜配比的优化 在单因素试验基础上,通过 Design-Expert 11.0 软件中混料设计原理,对混合酶(纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶)中不同酶的混合比例进行优化。选择纤维素酶占比(A)、果胶酶占比(B)和酸性蛋白酶占比(C)为自变量,以回收率为响应值,按照软件中的 D-最优试验设置下限和上限约束条件进行试验设计,3 种酶占比的限定条件设置为 $0.1 \leq A < 1$, $0.1 \leq B < 1$, $0.1 \leq C < 1$,且 $A + B + C = 1$ 。

2 结果与分析

2.1 酶的种类对回收率的影响

由图 1 可知,不同酶提取获得的回收率存在差异,回收率最高的是纤维素酶,可能是不同类别的酶会有针对性地降解油料中不同组分,使得油脂回收率出现差异性。植物细胞壁主要由纤维素和果胶组成,纤维素作为骨架与果胶、结构蛋白等大分子结合,单酶分子作用有限无法充分水解细胞壁。另一方面,樱桃籽仁细胞中的部分油脂以脂蛋白的形式存在,脂蛋白的结构会对油脂产生一定包埋作用,从而阻碍油脂浸出^[11]。因此,多种酶混合酶解可使细胞壁降解更彻底、效果更好。Yusoff 等^[12]认为混合酶的选择应尽量选择酶解 pH 范围相近的酶类,这样可以避免酶解 pH 的大幅波动对酶解效果的影响。而纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶的适宜酶解 pH 都是酸性,而且回收率均较高。因此,为了提高回收率,将纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶按一定比例混合后对樱桃籽油进行酶解提取。

2.2 液料比对回收率的影响

由图 2 可知,油脂回收率随液料比的增加呈先上升后下降的趋势。当 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} = 10 : 1$ (mL/g)时,回收率最高,说明此时混合酶对底物的酶解程度最大。当 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} < 10 : 1$ (mL/g)时,樱桃籽浆液较黏稠,体系流动性差,不利于酶分子迁移,混合酶作用受到抑制;当 $V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}} > 10 : 1$ (mL/g)时,底物浓度和

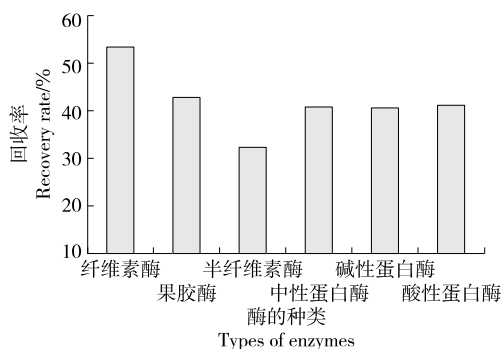


图 1 不同种类酶对回收率的影响

Figure 1 Effects of different enzyme on recovery rate

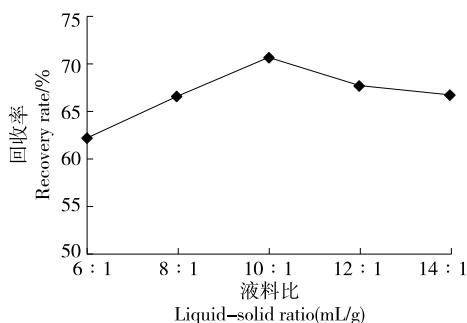


图 2 液料比对回收率的影响

Figure 2 Effects of the solvent/material ratio on recovery rate

酶浓度被稀释,底物和酶分子之间的碰撞程度减弱,酶解不充分,回收率下降,与 Kumar 等^[13]研究结果一致。

综上,适宜的液料比($V_{\text{蒸馏水}} : m_{\text{樱桃籽粉}}$)为 $10 : 1$ (mL/g)。

2.3 酶解温度对回收率的影响

由图 3 可知,回收率随着反应温度的增加呈先上升后下降的趋势,与 Sui 等^[14]的研究结论一致。当酶解温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,回收率最高。当酶解温度较低时,酶活性低,不利于酶解反应的进行,随着反应体系温度的升高,反应速度加快,酶解效果越来越好^[15]。如果反应体系温度比酶的最适温度高,酶分子会因为吸收过多能量使维持其分子结构的次级键解体,使酶蛋白分子结构破损,发生变性,酶解效果降低。因此,适宜的酶解温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 pH 对回收率的影响

由图 4 可知,当 pH 值为 $3.0 \sim 4.0$ 时,回收率不断升高;当 pH 为 4.0 时,回收率达到最高;当 $\text{pH} > 4.0$ 后,回收率逐步下降,这是因为生物催化反应中存在一个适宜的 pH 范围使酶活性达到最大,在最适 pH 下酶解产物回收率最高。Mohammad 等^[16]研究结果也证实了这一说法。综上,选择 pH 4.0 为体系的最适酶解 pH。

2.5 混合酶添加量对回收率的影响

由图 5 可知,回收率随混合酶添加量的增加而增加,但酶添加量达到 2% 后,回收率随混合酶添加量的增加而

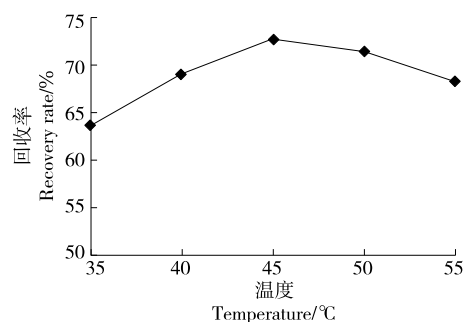


图 3 酶解温度对回收率的影响

Figure 3 Effects of the temperature on recovery rate

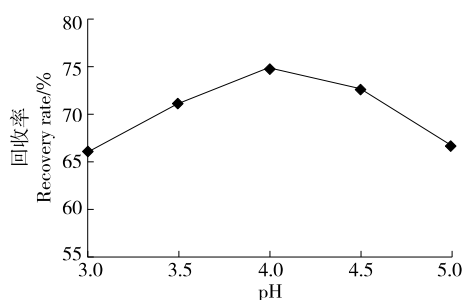


图4 pH对回收率的影响

Figure 4 Effects of the pH on recovery rate

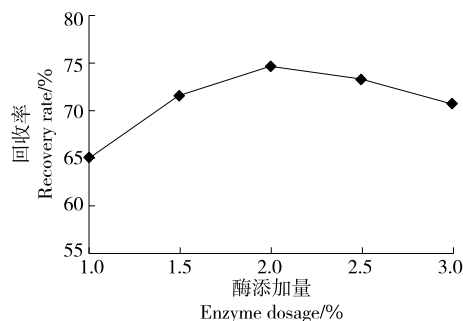


图5 混合酶添加量对回收率的影响

Figure 5 Effects of the dosage of mixed enzyme on recovery rate

逐渐降低。这是由于混合酶中的纤维素酶和果胶酶可分别降解樱桃籽细胞壁中的纤维素、果胶等物质,而酸性蛋白酶不仅能降解细胞中与油脂结合的脂蛋白,还能对乳化油产生破乳作用,即将乳化油外层由磷脂与蛋白质结合形成的蛋白膜水解,使油脂游离出来^[17],所以随着酶用量加大,酶与底物作用更加充分,回收率增加。但酶添加过量时,酶分子间产生竞争抑制作用而降低回收率。因此,最适宜的混合酶添加量为2%。

2.6 酶解时间对回收率的影响

由图6可知,当酶解时间为2.5~4.0 h时,回收率显著增加;当酶解时间超过4.0 h后,回收率增加趋缓,与Li等^[18]的研究结果一致。主要原因是在酶解反应初期,底物过量,存在的零级反应会使产物回收率快速上升,随着酶解时间

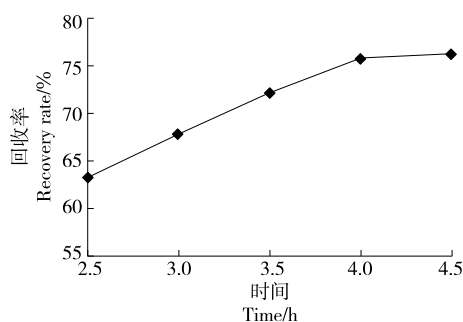


图6 酶解时间对回收率的影响

Figure 6 Effects of the time on recovery rate

增加,底物逐渐减少,酶解反应速度逐渐变小直至为零^[19]。此外,酶解时间过长不仅增加生产成本,还会对油脂品质产生负面影响。综上,确定适宜酶解时间为4.0 h。

2.7 混料试验

2.7.1 混料试验模型的建立 经过 Design-expert 11.0 软件自动优化生成不同配比的试验方案,试验结果见表1。

表1 混料设计试验方案及结果

Table 1 Experiment design and results of mixture design

试验号	A 纤维素酶/%	B 果胶酶/%	C 酸性蛋白酶/%	Y 回收率/%
1	0.22	0.22	0.57	69.61±0.67
2	0.10	0.80	0.10	65.54±0.83
3	0.45	0.10	0.45	80.47±0.75
4	0.57	0.33	0.10	84.28±0.88
5	0.45	0.10	0.45	81.11±0.82
6	0.10	0.80	0.10	65.48±0.59
7	0.57	0.10	0.33	89.93±0.98
8	0.34	0.33	0.33	75.53±0.70
9	0.33	0.57	0.10	73.39±0.47
10	0.33	0.34	0.33	75.72±0.53
11	0.45	0.45	0.10	79.34±0.84
12	0.10	0.45	0.45	67.73±0.52
13	0.80	0.10	0.10	86.34±0.76
14	0.22	0.57	0.22	69.17±0.81
15	0.33	0.33	0.34	75.82±0.69
16	0.34	0.33	0.33	75.62±0.72
17	0.10	0.10	0.80	74.05±0.54

采用 Design-Expert 11.0 软件对表1中数据进行拟合优化分析,得到了回收率与纤维素酶占比、果胶酶占比和酸性蛋白酶占比的回归模型:

$$Y = 56.35A + 68.76B + 97.08C + 56.10AB + 18.69AC - 47.24BC - 37.96ABC + 74.39(A - B) + 273.74(A - C) + 22.48(B - C) \quad (1)$$

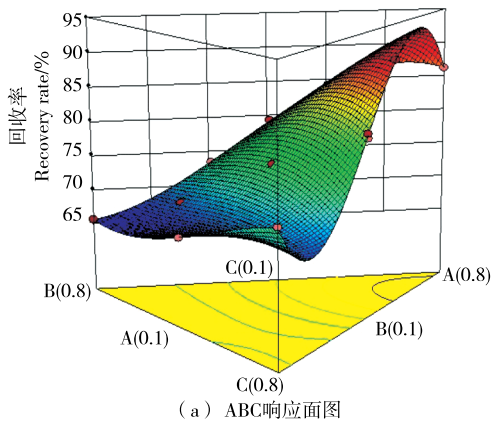
对混料回归模型进行方差分析和可信度分析,结果见表2。

由表2可知,该回归模型极显著($P < 0.01$),失拟项不显著($P > 0.05$),表明该回归模型的拟合度高,误差较小。 R^2 (相关系数)为0.999 5, R_{adj}^2 (校正决定系数)为0.998 9, R_{pred}^2 (预测复相关系数)为0.961 9, AP(信噪比)为135.184 > 4,且 CV(变异系数)为0.31%,表明响应值变化的99.95%可以用该模型来解释,模型的可信度高。通过 P 值可知,任意两因素间存在显著或极显著的交互作用,尤其是 A、B、C 3 种酶在酶解提取过程中存在显著的交互作用。

表 2 回归方程方差分析结果[†]
Table 2 The results of ANOVA

变异原因	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	812.53	9	90.28	1 647.00	<0.000 1	**
AB	13.53	1	13.53	246.91	<0.000 1	**
AC	0.41	1	0.41	7.53	0.028 8	*
BC	2.95	1	2.95	53.76	0.000 2	**
ABC	0.35	1	0.35	6.45	0.038 6	*
A—B	7.17	1	7.17	130.71	<0.000 1	**
A—C	43.43	1	43.43	792.38	<0.000 1	**
B—C	0.22	1	0.22	4.01	0.085 3	
剩余	0.38	7	0.06			
失拟	0.12	2	0.06	1.97	0.395 9	
纯误差	0.26	5	0.05			
总误差	812.91	16				

[†] * 表示差异显著, $P < 0.05$; ** 表示差异极显著, $P < 0.01$ 。



由图 7 可知,当纤维素酶用量较高,果胶酶和酸性蛋白酶用量较低时,回收率较高。而当酸性蛋白酶或果胶酶用量较高时,回收率相对较低。这表明混合酶在酶解过程中,纤维素酶起到了主导作用,其主要原因是植物细胞壁主要由纤维素组成,因此需要较大量的纤维素酶水解植物细胞壁。其次是酸性蛋白酶,酸性蛋白酶主要水解脂蛋白和水化油外层的蛋白膜。此外,果胶酶对提取率也有贡献,果胶酶主要水解植物细胞壁中的果胶。由于果胶在细胞壁中所占比例较低,因此果胶酶用量较少。由于响应面图出现了倾斜曲面,表明存在极大值。因为 3 种酶之间存在明显的交互作用,可将 3 种酶适宜配比后进行酶解提取,能产生协同作用而提高回收率。

2.7.2 验证实验 采用 Design-Expert 11.0 软件预测出理想的混合酶配比为 $m_{\text{纤维素酶}} : m_{\text{果胶酶}} : m_{\text{酸性蛋白酶}} = 0.67 : 0.10 : 0.23$,此条件下回收率为 93.40%。为验证该条件的可靠性,在该工艺条件下进行 3 次重复试验,回收率的平均值为 93.18%,与理论预测值基本一致。这表明

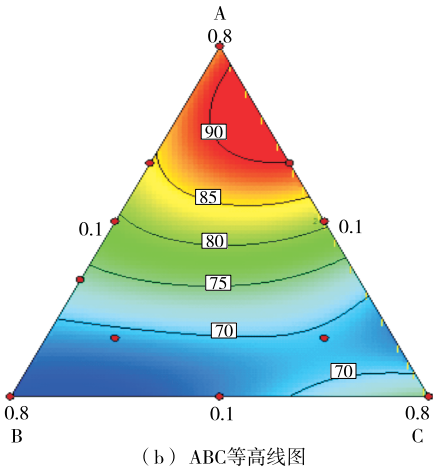


Figure 7 Response surface and equivalent linear of mutual-influence of three factors on recovery rate

将 3 种酶按适宜比例混合后进行酶解,其回收率明显高于单酶。由于纤维素酶的价格远高于酸性蛋白酶和果胶酶,3 种酶复配后纤维素酶用量减少,成本降低,这为下一步的放大试验提供了经济上的可行性。

2.8 水解蛋白得率的测定结果

通过凯氏定氮法测得水解蛋白得率的平均值为 41.37%。这表明水酶法不仅能提取油脂,还能获得大量水溶性蛋白质,增加了原料的利用率。

2.9 樱桃籽油的脂肪酸组成

由表 3 可知,两种方法提取的樱桃籽油的主要脂肪酸组成及含量较为相似,表明水酶法提取樱桃籽油的过程中未对油脂脂肪酸组成产生负面影响,与姚宏亮等^[20]、张玲丽等^[21]的研究结果一致。樱桃籽油中脂肪酸组成较为合理,其中不饱和脂肪酸含量丰富,尤其油酸高达

54.02%,亚油酸含量为 36.98%。而油酸和亚油酸是功能性的脂肪酸,使得樱桃籽油具有开发成为高营养价值食用油的潜力。

2.10 樱桃籽油的理化指标

由表 4 可知,两种方法提取的樱桃籽油的水分及挥发物含量较低,表明油脂纯度较高。水酶法提取的樱桃籽油相对密度值为 0.91,在植物油相对密度的正常范围(0.90~0.97)之内;皂化值为 188.47 mg KOH/g,说明樱桃籽油分子质量中等;碘值为 118.46 g I₂/100 g,属于半干性油脂,这与樱桃籽油的脂肪酸组成中不饱和脂肪酸含量较高相一致。尤其水酶法提取油脂的酸价(≤ 4 mg KOH/g)和过氧化值(≤ 0.25 g/100 g)指标符合均符合 GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》,表明试验获得的樱桃籽油新鲜程度高,品质较好,具有基本的食用油脂特性。

表 3 两种方法提取樱桃籽油的主要脂肪酸组成及含量

Table 3 Fatty acids composition and content of cherry seed oil from two methods							%
方 法	棕榈酸	棕榈一烯酸	十七烷酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
索氏提取法	5.92±0.18	0.93±0.04	0.14±0.01	0.98±0.05	54.15±0.78	36.90±0.54	0.23±0.01
水酶法	5.81±0.20	0.90±0.02	0.15±0.01	1.03±0.03	54.02±0.83	36.98±0.49	0.21±0.01

表 4 两种方法提取樱桃籽油的理化指标结果

Table 4 The physics and chemistry characteristic of cherry seed oil from two methods						
方 法	水分及挥发物 含量/%	相对密度 D ₂₀ ⁴	酸价/ (mg KOH · g ⁻¹)	过氧化值/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)	皂化值/ (mg KOH · g ⁻¹)	碘值/ (10 ⁻² g I ₂ · g ⁻¹)
索氏提取法	0.08±0.01	0.91±0.05	5.18±0.45	0.29±0.02	188.41±1.85	118.52±1.54
水酶法	0.09±0.01	0.91±0.04	3.37±0.29	0.23±0.01	188.47±1.77	118.46±1.28

2.11 不同方法提取率比较

由表 5 可知,相比于索氏提取法,水酶法的提取率略低。但是索氏提取法耗时较长,温度较高,且需要有机溶剂,能耗大。水酶法提取温度较低,提取时间较短,能耗低;而且提取溶剂为水,无有机溶剂残留。因此,水酶法提取樱桃籽油具有较大优势。

表 5 不同提取方法提取率的比较

Table 5 Comparisons of extraction rate of two methods				
方法	溶剂	时间/h	温度/℃	提取率/%
索氏提取法	石油醚	6	80	30.76±0.52
水酶法	水	4	45	28.66±0.34

3 结论

在单因素试验基础上,通过混料试验确定了水酶法提取樱桃籽油的最优酶解条件,即混合酶添加量 2.0% ($m_{\text{纤维素酶}}:m_{\text{果胶酶}}:m_{\text{酸性蛋白酶}}$ 为 0.67:0.10:0.23),在液料比($V_{\text{蒸馏水}}:m_{\text{樱桃籽粉}}$)10:1 (mL/g)、45℃、pH 4.0 条件下,酶解 4.0 h,回收率为 93.18%,油脂实际提取率为 28.66%。此外,还得到了 41.37%的水解蛋白质,这也提高了原料的综合利用率。试验获得的樱桃籽油透明澄清,品质良好,其中酸价、过氧化值均符合 GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》,表明水酶法提取樱桃籽油的品质较好。尽管水酶法提取樱桃籽油的提取率低于索氏提取法,但其反应条件温和,无有机溶剂残留,而且还可对水解液中的蛋白质进行回收,提高了原料的综合利用。在后续研究中,应着力于通过提高原材料的利用率进行放大试验,尤其是试验中的酶解条件的稳定性还需要深入研究。

参考文献

[1] GUO P, QI Y J, ZHU C H, et al. Purification and identification of

antioxidant peptides from Chinese cherry (*Prunus pseudocerasus* Lindl.) seeds[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 19:394-403.

[2] YLMAZ E, KESKIN O, Ok S. Valorization of sour cherry and cherry seeds: Cold press oil production and characterization [J]. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2020, 26(3): 228-240.

[3] 王瑞元. 2019 年我国粮油生产及进出口情况 [J]. *中国油脂*, 2020, 45(7): 1-4.

WANG R Y. China's grain and oil production, import and export in 2019[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(7): 1-4.

[4] 阙金涛, 袁雷, 钟政昌. 光核桃仁油和蛋白质同步提取工艺优化及油脂品质分析[J]. *食品与机械*, 2020, 36(1): 210-215, 236.

KAN J T, YUAN L, ZHONG Z C. Study on synchronous extraction process of oil and protein from *Prunus mira* nut and the oil quality analysis[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(1): 210-215, 236.

[5] SIANO F, STRACCIA M C, PAOLUCCI M, et al. Physico-chemical properties and fatty acid composition of pomegranate, cherry and pumpkin seed oils [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(5): 1 730-1 735.

[6] 韩小存. 刀豆油脂提取工艺优化与脂肪酸成分分析[J]. *食品与机械*, 2022, 38(2): 186-189, 209.

HAN X C. Optimal extraction and fatty acid analysis of oil from *Canavalia gladiata* [J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(2): 186-189, 209.

[7] BALVARDI M, REZAEI K, MENDIOLA J A, et al. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of oil from iranian wild almond[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2015, 92: 985-992.

[8] CHEMAT F, ABERT-VIAN M, FABIANO-TIXIER A S, et al. Green extraction of natural products origins, current status, and future challenges[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2019, 118: 248-263.

[9] MWAURAH P, KUMAR S, KUMAR N, et al. Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19: 3-20.

(下转第 216 页)

- research[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 33-55.
- [64] 刘雅琪. 基于机器视觉的鱼头鱼尾定位技术的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 49-54.
- LIU Y Q. Fish head fish tail positioning technology based on machine vision research[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 49-54.
- [65] 李楷模, 文跃兵. 视觉引导淡水鱼自动去头尾系统关键技术[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 141-143.
- LI K M, WEN Y B. Key technology of vision guided automatic decapitation system for freshwater fish[J]. Food & Machinery, 2014, 30(5): 141-143.
- [66] 李晨阳, 单慧勇, 张程皓, 等. 鲢鱼自适应去头加工机设计与实现[J]. 食品与机械, 2022, 38(8): 115-121.
- LI C Y, SHAN H Y, ZHANG C H, et al. Design and implementation of catfish adaptive decapitation processing machine[J]. Food & Machinery, 2022, 38(8): 115-121.
- [67] 李木银. 基于机器视觉的淡水鱼切头去尾装置及控制技术研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 10-30.
- LI M Y. Research on head and tail cutting device and control technology of freshwater fish based on machine vision[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 10-30.
- [68] 黄剑彬, 成芳. 鱼类初加工装备与自动监控技术研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 204-208, 215.
- HUANG J B, CHENG F. Research progress of fish primary processing equipment and automatic monitoring technology [J]. Food & Machinery, 2019, 35(8): 204-208, 215.
- [69] SHI C, QIAN J P, HAN S, et al. Developing a machine vision system for simultaneous prediction of freshness indicators based on tilapia (*Oreochromis niloticus*) pupil and gill color during storage at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 134-140.
- [70] 张超, 黄剑彬, 成芳. 罗非鱼初加工喂入量监测与运行参数在线控制[J]. 农业工程学报, 2021, 37(13): 46-54.
- ZHANG C, HUANG J B, CHENG F. Monitoring and on-line control of tilapia feeding quantity in primary processing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(13): 46-54.
- [71] 许海波, 赵锡和, 陈远辉, 等. 鱼初加工生产线自动化控制系统设计与研发[J]. 现代农业装备, 2022, 43(2): 43-48.
- XU H B, ZHAO X H, CHEN Y H, et al. Design and development of automatic control system for fish primary processing line[J]. Modern Agricultural Equipment, 2022, 43(2): 43-48.
- [72] 张军文, 陈庆余, 欧阳杰, 等. 中国淡水鱼前处理加工技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(21): 25-28, 41.
- ZHANG J W, CHEN Q Y, OUYANG J, et al. Research progress on pretreatment and processing technology of freshwater fish in China [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(21): 25-28, 41.
-
- (上接第 193 页)
- [10] 王丽波, 徐雅琴, 杨昱, 等. 南瓜籽油的水酶法提取工艺及产品的理化性质[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 383-387.
- WANG L B, XU Y Q, YANG Y, et al. Pumpkin seed oil extraction using aqueous enzymatic technology and physicochemical properties of the oil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(10): 383-387.
- [11] NADAR S S, RAO P, RATHOD V K, et al. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review[J]. Food Research International, 2018, 108: 309-330.
- [12] YUSOFF M M, GORDON M H, NIRANJAN K. Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 41(1): 60-82.
- [13] KUMAR S, PRASAD S R, BANERJEE R, et al. Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds[J]. Chemistry Central Journal, 2017, 11(1): 1-7.
- [14] SUI X N, JIANG L Z, LI Y, et al. The research on extracting oil from watermelon seeds by aqueous enzymatic extraction method [J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4 673-4 680.
- [15] 刘艳兰, 刘爽, 林本平, 等. 米糠膳食纤维纤维素酶水解工艺优化及其功能特性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 6-11.
- LIU Y L, LIU S, LIN B P, et al. Optimization of cellulase hydrolysis process of rice bran dietary fiber and its functional properties[J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 6-11.
- [16] MOHAMMAD B, KARAMATOLLAH R, JOSE A, et al. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of oil from iranian wild almond[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2015, 92(7): 985-992.
- [17] LIU J J, GASMALLA M, LI P F, et al. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 35: 184-193.
- [18] LI Y, JIANG L Z, SUI X N, et al. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of pine kernel oil by response surface methodology[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4 641-4 652.
- [19] NESFU N, OSMAN H, MOHAMAD S, et al. The effect of the aqueous enzymatic extraction method towards momordica charantia seed oil and its lignocellulosic biomass [J]. Walailak Journal of Science & Technology, 2021, 18(6): 1-13.
- [20] 姚宏亮, 蒋胜慧, 刘成花, 等. 樱桃仁油的提取工艺研究及其脂肪酸成分分析[J]. 粮食与食品工业, 2012, 19(1): 30-32.
- YAO H L, JIANG S H, LIU C H, et al. Analysis on the extraction of cherry seed oil and compositions of fatty acids[J]. Cereal and Food Industry, 2012, 19(1): 30-32.
- [21] 张玲丽, 卢奎. 樱桃仁油的理化性质及成分分析[J]. 中国油脂, 2009, 34(9): 74-77.
- ZHANG L L, LU K. Physicochemical properties and component analysis of cherry kernel oil[J]. China Oils and Fats, 2009, 34(9): 74-77.