

磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合 对冷榨菜籽油脱胶的影响

马云睿¹, 周力¹, 高盼^{1,2}, 胡传荣^{1,2}, 罗质^{1,2}, 何东平^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品学院, 武汉 430000; 2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023)

摘要: 为了提高脱胶效率, 以冷榨菜籽原油为原料, 磷脂含量为指标, 采用磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合酶法对冷榨菜籽油进行脱胶。采用单因素试验考察磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间、磷脂酶 C 反应时间、加水量、磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量、磷脂酶 C 添加量、柠檬酸溶液添加量对脱胶油磷脂含量的影响, 并通过响应面法优化脱胶条件。对优化的脱胶条件下所得到的脱胶油的理化指标进行了检测, 并与国标一级压榨菜籽油进行了比较。结果表明: 磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 对冷榨菜籽油进行酶法脱胶的最佳工艺条件为磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量 33 mg/kg, 磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间 90 min, 磷脂酶 C 添加量 65 mg/kg, 磷脂酶 C 反应时间 60 min, 加水量 33 mL/kg, 柠檬酸溶液添加量 1.2 mL/kg; 在优化条件下脱胶, 脱胶油中磷脂含量为 2.3 mg/kg, 脱胶油的过氧化值和酸值均达到一级压榨菜籽油的国家标准。综上, 磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合脱胶效果较好, 所优化的工艺条件可用于菜籽油的脱胶。

关键词: 磷脂酶 Lecitase Ultra; 磷脂酶 C; 冷榨菜籽油; 脱胶

中图分类号: TS225.1; TS224.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)08-0013-06

Enzymatic degumming of cold pressed rapeseed oil with phospholipase Lecitase Ultra and phospholipase C

MA Yunrui¹, ZHOU Li¹, GAO Pan^{1,2}, HU Chuanrong^{1,2},
LUO Zhi^{1,2}, HE Dongping^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430000, China;
2. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil of Education, Wuhan 430023, China)

Abstract: In order to improve the degumming efficiency, using crude cold pressed rapeseed oil as raw material, phospholipid content as an indicator, the degumming of cold pressed rapeseed oil with complex enzyme of phospholipase Lecitase Ultra and phospholipase C was investigated. The effects of phospholipase Lecitase Ultra reaction time, phospholipase C reaction time, water dosage, phospholipase Lecitase Ultra dosage, phospholipase C dosage, and citric acid dosage on the phospholipid content were studied with single factor experiment, and the degumming conditions were optimized by response surface methodology. The physicochemical indicators of the degummed oil obtained under the optimized degumming conditions were tested and compared with the national standard first-class pressed rapeseed oil. The results showed that the optimal conditions for the enzymatic degumming of cold pressed rapeseed oil with phospholipase Lecitase Ultra and phospholipase C were obtained as follows: phospholipase

Lecitase Ultra dosage 33 mg/kg, phospholipase Lecitase Ultra reaction time 90 min, phospholipase C dosage 65 mg/kg, phospholipase C reaction time 60 min, water dosage 33 mL/kg, citric acid dosage 1.2 mL/kg. Under the optimal conditions, the phospholipid content was 2.3 mg/kg, and the

收稿日期: 2021-10-31; 修回日期: 2022-05-20

基金项目: 大宗粮油精深加工教育部重点实验室开放课题 (DZLY202101)

作者简介: 马云睿(1997), 男, 硕士研究生, 研究方向为油脂及植物蛋白 (E-mail) 1012007610@qq.com。

通信作者: 高盼, 讲师, 博士 (E-mail) gaopan925@163.com。

peroxide value and acid value of the degummed oil reached the national standard of first - class pressed rapeseed oil. In conclusion, the compound degumming effect of phospholipase Lecitase Ultra and phospholipase C is better, and the optimized process conditions can be used for rapeseed oil degumming.

Key words: phospholipase Lecitase Ultra; phospholipase C; cold pressed rapeseed oil; degumming

菜籽油是我国主要食用植物油之一,每年产量约 520 万 t,占国产植物油总量的 47%^[1]。冷榨制油是指在低于 85℃ 的温度下借助机械外力将未经炒制的油料中的油脂挤压出来,此方法可以有效保留油脂中的特殊风味与营养物质^[2-5]。但油菜籽在经过冷榨后获得的菜籽原油,含有磷脂、糖、蛋白质等胶质混合物,且主要是磷脂^[6-10]。油脂中的磷脂含量高时,加热后会产生絮状沉淀物,并使油色变深,因此须进行脱胶处理以去除磷脂^[11-12]。常用的水化脱胶和酸法脱胶一般只能去除油脂中的水化磷脂^[13],并且容易造成中性油乳化,增加油耗和皂脚量;而酶法脱胶具有操作条件温和、能耗低、基本无污染的优点。磷脂酶 Lecitase Ultra (A_1) 与磷脂酶 C 作为目前应用较为广泛的两种脱胶酶,对于其单一应用于油脂脱胶已有较多研究,如单一使用磷脂酶 Lecitase Ultra,对苹果籽油(3 h,磷含量降至 7.8 mg/kg)^[14]、葵花籽油(3 h,磷含量降至 3.02 mg/kg)^[15]、大豆油(6.3 h,磷含量降至 10.38 mg/kg)^[16] 等进行脱胶,虽然大多数研究可将磷含量降至较低的水平,脱胶效果显著,但一般需要超过 3 h 的酶解时间,降低了工业化生产的效率;也有单一使用磷脂酶 C 对菜籽油^[17]、葵花籽油^[18] 等进行脱胶的研究,在最优条件下分别在 90 min 和 3 h 内将磷含量降至 7.85、8.2 mg/kg,脱胶效果较好,有研究者使用从地衣芽孢杆菌 MTCC 7445 提取的新型磷脂酶 C 对高品质植物油在 40℃、5 h 条件下进行脱胶,可使磷含量降至 4 mg/kg 以下^[19],虽然磷含量降至较为理想的水平,但仍然存在酶解时间过长的问題。有研究者使用磷脂酶 C 和磷脂酶 A_1 复合用于大豆原油的脱胶,在 2 h 内将磷含量降至 10 mg/kg^[20]。目前,针对菜籽油的复合酶法脱胶条件的优化鲜有报道。本文采用磷脂酶 Lecitase Ultra 与磷脂酶 C 复合对冷榨菜籽油进行脱胶处理,在单因素试验的基础上,利用 Box - Behnken 响应面法优化得到冷榨菜籽油脱胶的工艺条件,以期对冷榨菜籽油的高效脱胶提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

冷榨菜籽原油,实验室自制。磷脂酶 C,华中农

业大学生命科学技术学院;磷脂酶 Lecitase Ultra,丹麦诺维信公司;磷脂酰胆碱标准品(纯度 $\geq 99\%$)、磷脂酰乙醇胺标准品(纯度 $\geq 98\%$)、磷脂酰肌醇标准品(纯度 $\geq 99\%$),西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;乙腈、甲醇均为色谱纯,天津科密欧化学试剂有限公司;超纯水、双蒸水,实验室自制;柠檬酸、氢氧化钠等均为分析纯,天津市东丽区天大化学试剂厂。

1.1.2 仪器与设备

Agilent1260 型高效液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;Milli - Q Integral 超纯水系统,美国 Millipore 公司;DF - 101S 型集热式恒温磁力搅拌器,巩义市英峪予华仪器厂;XHF - D 高速分散器,宁波新芝生物科技股份有限公司;SHA - CA 数显水浴恒温振荡器,江苏东鹏仪器制造有限公司;TD5A 台式离心机,湖南凯达科学仪器有限公司;PHS - 3C 型 pH 计,上海仪电科学仪器股份有限公司;SZ - 93 自动双重纯水蒸馏器,上海亚荣生化仪器厂;AB204 - E 型电子分析天平,梅特勒 - 托利多有限公司;HH - 6 型数显恒温水浴锅,常州市国华电器有限公司;101 - 1 - S 型数显鼓风干燥箱,上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 试验方法

1.2.1 磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 酶活力测定
参照文献[17],采用 NPPC 法测定酶活力。

1.2.2 菜籽油的酶法脱胶

参考文献[21]的方法,对冷榨菜籽原油进行酶法脱胶,具体工艺流程:称取 100 g 冷榨菜籽原油→水浴加热至 40℃→加 50% 柠檬酸溶液酸化→加 NaOH 溶液调节 pH 至 4.8→以 500 r/min 搅拌→滞留反应 3 min→加入磷脂酶 Lecitase Ultra→加入蒸馏水→以 10 000 r/min 高速均质→酶解反应一定时间→水浴加热至 55℃→加 NaOH 溶液调节 pH 至 5.3→加入磷脂酶 C→以 10 000 r/min 高速均质→酶解反应一定时间→于 85℃ 水浴灭酶 10 min→以 4 000 r/min 离心分离→取上层即为脱胶菜籽油。

1.2.3 磷脂含量测定

菜籽油中磷脂主要有磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)和磷脂酰肌醇(PI)^[22],因此通过测定 PC、PE、PI 含量对菜籽油磷脂含量进行定量分析。

参考 GB 5009.272—2016, 采用反相高效液相色谱法测定菜籽油中 PC、PE 和 PI 含量。测定条件: Extend-C18 色谱柱(5 μm , 4.6 mm \times 250 mm); 柱温 25 $^{\circ}\text{C}$; 流动相为乙腈-甲醇(体积比 6:4), 流速 1.0 mL/min; 紫外检测波长 205 nm。

1.2.4 基本指标的测定

酸值测定, 参照 GB 5009.229—2016; 过氧化值测定, 参照 GB 5009.227—2016; 水分及挥发物含量测定, 参照 GB 5009.236—2016; 碘值测定, 参照 GB/T 5532—2008; 皂化值测定, 参照 GB/T 5534—2008。

1.2.5 数据统计分析

采用 Excel 2019 对数据进行整理和分析, 使用 SPSS 17.0 软件对数据进行显著性分析, 使用 Design 8.0.6 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 原料指标

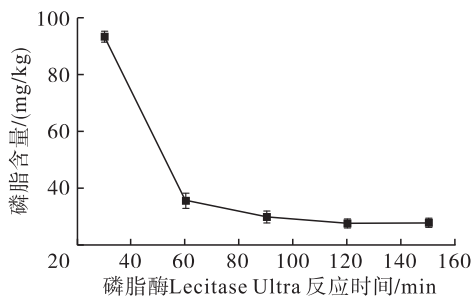
经测定, 冷榨菜籽原油磷脂含量为 693 mg/kg, 磷脂酶 C 的酶活力为 9 000 U/g, 磷脂酶 Lecitase Ultra 的酶活力为 10 000 U/g。

2.2 菜籽油酶法脱胶单因素试验

2.2.1 反应时间的确定

2.2.1.1 磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间

在柠檬酸溶液添加量 1.2 mL/kg、磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量 30 mg/kg、加水量 30 mL/kg、不加磷脂酶 C 条件下, 研究磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间对冷榨菜籽油脱胶效果的影响, 结果见图 1。



注: 磷脂含量为 PC、PE、PI 三者总和。下同

图1 磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间对冷榨菜籽油脱胶效果的影响

由图 1 可知, 随着磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间从 30 min 延长到 90 min, 磷脂含量由 93.11 mg/kg 降至 27.47 mg/kg, 可见在前 90 min 磷脂酶 Lecitase Ultra 的酶解反应迅速, 随着磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间的继续延长, 磷脂含量趋于稳定。在工业生产中, 脱胶时间对生产效率影响较大, 故磷脂酶 Lecitase Ultra 脱胶时间初步定为 90 min。

2.2.1.2 磷脂酶 C 反应时间

在磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间 90 min, 磷脂酶

C 添加量 60 mg/kg, 改变磷脂酶 C 的反应时间, 其他参数同 2.2.1.1 的条件下, 研究磷脂酶 C 反应时间对冷榨菜籽油脱胶效果的影响, 结果如图 2 所示。

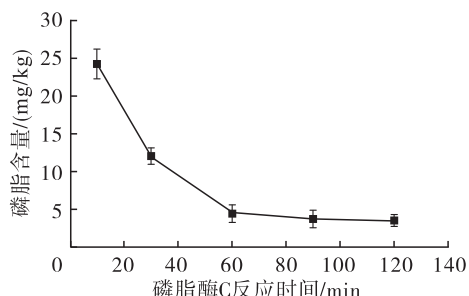


图2 磷脂酶 C 反应时间对冷榨菜籽油脱胶效果的影响

由图 2 可知, 将经过磷脂酶 Lecitase Ultra 脱胶后的菜籽油用磷脂酶 C 进行二次脱胶, 磷脂含量进一步降低, 当磷脂酶 C 反应时间超过 60 min 后, 磷脂含量趋于稳定, 故磷脂酶 C 反应时间可以初步定为 60 min。

2.2.2 加水量的确定

在磷脂酶 C 反应时间 60 min, 改变加水量, 其他参数同 2.2.1.2 的条件下, 研究加水量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响, 结果如图 3 所示。

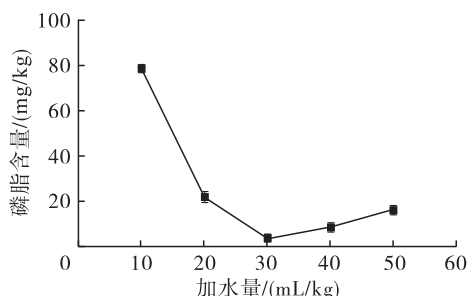


图3 加水量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响

由图 3 可见: 随着加水量由 10 mL/kg 增加到 30 mL/kg, 磷脂含量由 78.41 mg/kg 降至 3.50 mg/kg, 这是因为油中胶体分散相的质点粒度随加水量的增多而增大^[21], 有利于酶解反应的进行; 之后, 随着加水量的继续增加, 磷脂含量反而升高, 这可能是因为加水量过多导致菜籽油乳化, 不利于磷脂的脱除^[6]。因此, 加水量初步定为 30 mL/kg。

2.2.3 柠檬酸溶液添加量的研究

在磷脂酶 C 反应时间 60 min, 改变柠檬酸溶液添加量, 其他参数同 2.2.1.2 的条件下, 研究柠檬酸溶液添加量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响, 结果如图 4 所示。

由图 4 可见: 柠檬酸溶液添加量对磷脂含量的影响曲线与加水量的相似, 柠檬酸溶液添加量由 0.8 mL/kg 增加到 1.2 mL/kg 时, 磷脂含量由 78.38 mg/kg 降至 4.59 mg/kg, 这是因为柠檬酸溶液的添

加可以一定程度上与菜籽油中的金属离子螯合,使非水化磷脂转化为水化磷脂^[23-24];之后,随着柠檬酸溶液添加量的继续增加,磷脂含量升高,这可能是因为柠檬酸的添加量过多改变了酶解环境的 pH,超过了磷脂酶的最适 pH,从而导致磷脂含量上升。因此,柠檬酸溶液添加量宜取 1.2 mL/kg。

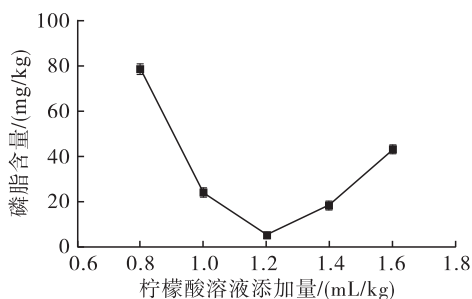


图4 柠檬酸溶液添加量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响

2.2.4 加酶量的确定

2.2.4.1 磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量

在磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间 90 min, 改变磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量, 其他参数同 2.2.1.1 的条件下, 研究磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响, 结果如图 5 所示。

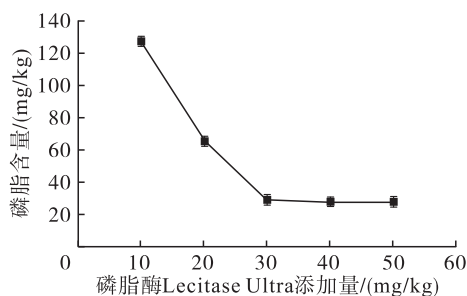


图5 磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响

由图 5 可见, 随着磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量的增加, 磷脂含量逐渐降低, 在添加量达到 30 mg/kg 时, 下降趋势趋于平缓, 这主要是因为随着磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量的增多, 酶解反应逐渐完全。从经济方面考虑, 磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量取 30 mg/kg。

2.2.4.2 磷脂酶 C 添加量

在磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间 90 min, 磷脂酶 C 反应时间 60 min, 改变磷脂酶 C 添加量, 其他参数同 2.2.1.1 的条件下, 研究磷脂酶 C 添加量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响, 结果如图 6 所示。

由图 6 可见, 随着磷脂酶 C 添加量的增加, 磷脂含量逐渐降低, 在添加量达到 60 mg/kg 后, 下降趋势趋于平缓。从经济方面考虑, 磷脂酶 C 添加量取 60 mg/kg。

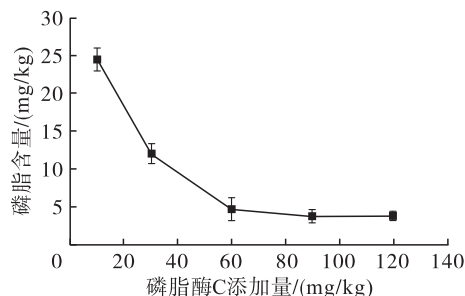


图6 磷脂酶 C 添加量对冷榨菜籽油脱胶效果的影响

2.3 菜籽油酶法脱胶响应面试验

在单因素试验的基础上, 固定磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间为 90 min, 磷脂酶 C 反应时间为 60 min, 以磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量(A)、磷脂酶 C 添加量(B)、加水量(C)、柠檬酸溶液添加量(D)为因素, 以磷脂含量(Y)为响应值, 利用 Design Expert 软件中 Box - Behnken 试验设计原理, 采用四因素三水平的响应面分析方法, 对菜籽油酶法脱胶工艺进行优化, Box - Behnken 试验设计方案及结果见表 1, 方差分析见表 2。

表1 Box - Behnken 试验设计方案及结果

试验号	A/ (mg/kg)	B/ (mg/kg)	C/ (mL/kg)	D/ (mL/kg)	Y/ (mg/kg)
1	25	50	30	1.2	9.3
2	35	50	30	1.2	6.1
3	25	70	30	1.2	5.9
4	35	70	30	1.2	2.8
5	30	60	25	1.1	11.3
6	30	60	35	1.1	7.8
7	30	60	25	1.3	10.7
8	30	60	35	1.3	6.8
9	25	60	30	1.1	10.1
10	35	60	30	1.1	6.8
11	25	60	30	1.3	9.3
12	35	60	30	1.3	6.6
13	30	50	25	1.2	9.3
14	30	70	25	1.2	9.1
15	30	50	35	1.2	5.5
16	30	70	35	1.2	3.1
17	25	60	25	1.2	10.9
18	35	60	25	1.2	9.1
19	25	60	35	1.2	8.4
20	35	60	35	1.2	3.6
21	30	50	30	1.1	9.1
22	30	70	30	1.1	8.4
23	30	50	30	1.3	8.7
24	30	70	30	1.3	7.9
25	30	60	30	1.2	3.6
26	30	60	30	1.2	3.5
27	30	60	30	1.2	3.4
28	30	60	30	1.2	2.4
29	30	60	30	1.2	3.6

表2 回归方程方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F	p
模型	204.18	14	14.58	23.76	<0.000 1 ***
A	29.77	1	29.77	48.49	<0.000 1 ***
B	9.72	1	9.72	15.83	0.001 4 **
C	52.92	1	52.92	86.21	<0.000 1 ***
D	1.02	1	1.02	1.66	0.218 1
AB	2.50E-03	1	2.50E-03	4.07E-03	0.950 0
AC	2.25	1	2.25	3.67	0.076 2
AD	0.09	1	0.09	0.15	0.707 5
BC	1.21	1	1.21	1.97	0.182 1
BD	2.50E-03	1	2.50E-03	4.07E-03	0.950 0
CD	0.04	1	0.04	0.07	0.802 2
A ²	18.47	1	18.47	30.09	<0.000 1 ***
B ²	9.73	1	9.73	15.86	0.001 4 **
C ²	41.36	1	41.36	67.37	<0.000 1 ***
D ²	80.03	1	80.03	130.37	<0.000 1 ***
残差	8.59	14	0.61		
失拟项	7.55	10	0.76	2.91	0.157 8
纯误差	1.04	4	0.26		
总误差	212.77	28			

注:***表示极显著($p < 0.001$);**表示较显著($p < 0.01$);*表示显著($p < 0.05$)

由表2可知,模型极显著($p < 0.001$),失拟项不显著($p > 0.05$),说明该模型拟合程度较好,可准确预测试验结果。 A 、 C 、 A^2 、 C^2 、 D^2 的影响极显著($p < 0.001$); B 与 B^2 的影响较显著($p < 0.01$);因素影响程度的大小排序为 $C > A > B > D$,即加水量 > 磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量 > 磷脂酶 C 添加量 > 柠檬酸溶液添加量。

表3 脱胶菜籽油与菜籽原油基本理化指标的对比

项目	菜籽原油	脱胶油	一级压榨菜籽油 (GB/T 1536—2021)
磷脂/(mg/kg)	693.00 ± 0.19	2.30 ± 0.07	-
过氧化值/(mmol/kg)	6.50 ± 0.06	2.80 ± 0.03	≤4.93
酸值(KOH)/(mg/g)	3.39 ± 0.15	1.32 ± 0.12	≤1.50
水分及挥发物/%	0.54 ± 0.16	0.26 ± 0.20	≤0.10
皂化值(KOH)/(mg/g)	138.00 ± 0.08	172.00 ± 0.07	-
碘值(I)/(g/100 g)	97.00 ± 0.21	113.00 ± 0.02	-
气味、滋味	带菜籽油香味,较重氧化味和酸败味	带菜籽油香味,少许氧化味	具有菜籽油固有的香味和滋味,无异味
透明度	深黄棕色,较浑浊	较澄清、较透明	澄清、透明

注:-指指标不作要求;磷脂含量为PC、PE、PI三者总和

3 结论

为提高脱胶效率,以冷榨菜籽原油为原料,磷脂含量为指标,在对影响菜籽油磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合脱胶工艺的单因素进行分析的基础上,通过响应面法对复合酶法脱胶工艺参数进行

以磷脂含量(Y)为响应值,拟合所得各因素编码值回归方程为: $Y = 3.3 - 1.58A - 0.9B - 2.1C - 0.29D + 0.025AB - 0.75AC + 0.15AD - 0.55BC - 0.025BD - 0.1CD + 1.69A^2 + 1.23B^2 + 2.52C^2 + 3.51D^2$ 。

用 Design - Expert 8.0.5 软件预测最佳脱胶条件为磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量 32.91 mg/kg、磷脂酶 C 添加量 64.85 mg/kg、加水量 32.77 mL/kg、柠檬酸溶液添加量 1.2 mL/kg,在此条件下预测脱胶油磷脂含量为 2.03 mg/kg。为了方便实际操作,将最佳工艺条件修正为磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量 33 mg/kg、磷脂酶 C 添加量 65 mg/kg、加水量 33 mL/kg、柠檬酸溶液添加量 1.2 mL/kg,在此条件下重复试验 3 次,脱胶油平均磷脂含量为 2.3 mg/kg,与预测值基本吻合,进一步表明了回归模型的有效性。

2.4 脱胶菜籽油理化指标

采用磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合脱胶法,在确定的最佳工艺条件下,对冷榨菜籽原油进行脱胶,对脱胶菜籽油和冷榨菜籽原油的基本理化指标进行测定,结果见表 3。

由表 3 可知,经磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合脱胶法制备的脱胶油其过氧化值、酸值均达到 GB/T 1536—2021 中规定的一级压榨菜籽油标准,皂化值及碘值对于菜籽原油也有明显提升,磷脂含量相对于菜籽原油由 693 mg/kg 降至 2.3 mg/kg,效果显著,气味、滋味与透明度也有明显提升,可为后续精炼提供优质的油品。


优化,最终得到菜籽油磷脂酶 Lecitase Ultra 和磷脂酶 C 复合脱胶的最佳工艺参数为:磷脂酶 Lecitase Ultra 添加量 33 mg/kg,磷脂酶 Lecitase Ultra 反应时间 90 min,磷脂酶 C 添加量 65 mg/kg,磷脂酶 C 反应时间 60 min,加水量 33 mL/kg,柠檬酸溶液添加

量 1.2 mL/kg。在最佳条件下脱胶,脱胶油中磷脂含量为 2.3 mg/kg,脱胶效果良好,脱胶油的皂化值、碘值均有明显提升,过氧化值及酸值均达到一级压榨菜籽油的国家标准。说明优化的工艺条件可用于冷榨菜籽油的脱胶。

参考文献:

- [1] 刘成,冯中朝,肖唐华,等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489.
- [2] 赵丹,汪学德,张润阳,等. 制油工艺对油脂品质的影响研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(6):11-15.
- [3] 柴佳,王华,杨继红,等. 油料冷榨在葡萄籽加工中的应用前景[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(12): 224-227.
- [4] 钮琰星,黄凤洪. 油菜籽加工技术研究进展[J]. 中国油脂, 2007, 32(10):7-10.
- [5] 朱文鑫,胡群亮,相海,等. 油菜籽直接冷榨制油工艺的研究与应用[J]. 中国油脂, 2005, 30(3):16-18.
- [6] 徐保国,魏本喜,齐文慧,等. 多频超声波辅助磷脂酶处理对菜籽油脱胶效果及品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(12):1306-1312.
- [7] 毛程鑫,李桂华,薛武军,等. 菜籽油酶法脱胶的研究[J]. 中国粮油学报, 2016,31(8):75-79.
- [8] GIBON V. Removal of gums and waxes: a review [J]. Inform, 2000, 11(5):524-535.
- [9] DIJKSTRA A J, VAN OPSTAL M. The total degumming process[J]. J Am Oil Chem Soc, 1989, 66(7): 1002-1009.
- [10] 许皎皎,孙乐,王强,等. 植物油酶法脱胶技术的研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2021, 28(4):14-17.
- [11] 冯淑忠. 植物油中总磷与磷脂含量测定方法的简介[J]. 粮食储藏, 1986(4):39-41.
- [12] 马传国. 油脂脱胶的理论与实践[J]. 中国油脂, 2002, 27(1):24-26.
- [13] 李军红,姜绍通,杨洋,等. 菜籽油酶法脱胶条件优化[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(25):15776-15778.
- [14] 王志远,李晓,慕鸿雁. 磷脂酶 A₁用于苹果籽油酶法脱胶工艺的研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(6): 40-43.
- [15] LAMAS D L, CONSTENLA D T, RAAB D. Effect of degumming process on physicochemical properties of sunflower oil[J]. Biocatal Agric Biotechnol, 2016, 6: 138-143.
- [16] YU D Y, MA Y, JIANG L Z, et al. Optimization of magnetic immobilized phospholipase A₁ degumming process for soybean oil using response surface methodology [J]. Eur Food Res Technol, 2013, 237(5):811-817.
- [17] 叶展,冉玉兵,胡传荣,等. 菜籽油磷脂酶 C 脱胶工艺优化及效果分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11):87-92.
- [18] 王灵,胡婷婷,闫巧娟,等. 葵花籽油酶法脱胶工艺优化[J]. 中国油脂, 2021, 46(8):12-15.
- [19] BORA L. Characterization of novel phospholipase C from *Bacillus licheniformis* MTCC 7445 and its application in degumming of vegetable oils [J]. Appl Biochem Microbiol, 2013, 49(6): 555-561.
- [20] 蒋晓菲. 磷脂对食用油品质的影响及酶法脱胶技术的研究[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2015.
- [21] 卢萧竹. 磷脂酶 A₁对山茶油脱胶及脱胶产物乳化性能的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2016.
- [22] 赵品贞,陶冠军,刘睿杰,等. 亲水作用色谱串联质谱结合反相色谱串联质谱的油料磷脂轮廓分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(9):85-91.
- [23] 汪增乾,包李林,熊巍林,等. 四级浓香菜籽油酶法脱胶工艺条件优化[J]. 中国油脂, 2019, 44(7): 28-31.
- [24] 韩金志. 大豆油精炼新工艺的研究[D]. 福州:福建农林大学, 2012.

·公益广告·



油脂加工精准适度

《中国油脂》宣