

浓香菜籽油 SiO₂ 脱胶工艺优化及品质分析

曾诗琴¹, 梁强^{2,3}, 李云成¹, 赵玲², 徐霞²,
熊伟^{2,3}, 宣朴^{2,3}, 姚英政^{1,2,3}

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 成都 610106; 2. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 成都 610066; 3. 四川省农业科学院食物与营养健康研究所, 成都 610066)

摘要:为进一步验证 SiO₂ 脱胶工艺的可行性, 以浓香菜籽原油为研究对象, 以磷脂脱除率为评价指标, 采用单因素实验和响应面实验对 SiO₂ 脱胶工艺进行优化, 并对比分析了 SiO₂ 脱胶工艺与传统水化脱胶工艺得到的脱胶浓香菜籽油品质。结果表明: 在 SiO₂ 添加量 2.25%、脱胶温度 35℃、脱胶时间 22 min、搅拌速度 107 r/min 条件下, 脱胶效果最优, 此时脱胶油中磷脂含量为 1 719.61 mg/kg, 磷脂脱除率达到 86.1%; SiO₂ 脱胶油与水化脱胶油的酸值、过氧化值、水分及挥发物含量均无显著差异 ($p > 0.05$), 而 SiO₂ 脱胶油中总酚及 Canolol 含量均显著低于水化脱胶油的 ($p < 0.05$), SiO₂ 脱胶油的亮度和磷脂脱除率均显著高于水化脱胶油的 ($p < 0.05$)。对于非水化磷脂比例较高的浓香菜籽油, SiO₂ 脱胶相比于传统水化脱胶可能具有更好的脱胶效果, 可以作为传统水化脱胶方法的补充。

关键词: 浓香菜籽油; SiO₂; 脱胶; 磷脂; Canolol

中图分类号: TS224.6; TQ644.46 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)04-0021-06

Optimization and quality analysis of SiO₂ degumming process for fragrant rapeseed oil

ZENG Shiqin¹, LIANG Qiang^{2,3}, LI Yuncheng¹, ZHAO Ling², XU Xia²,
XIONG Wei^{2,3}, XUAN Pu^{2,3}, YAO Yingzheng^{1,2,3}

(1. College of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China;
2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 3. Institute of Food and Nutrition Health, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract: To further verify the feasibility of SiO₂ degumming process, the crude fragrant rapeseed oil was taken as the object of study, and the phospholipid removal rate was used as the evaluation index to optimize the degumming process using single factor experiment and response surface methodology. The quality of the degummed fragrant rapeseed oil obtained by SiO₂ degumming process was compared with that obtained by the traditional hydration degumming process. The results showed that the optimal phospholipid removal rate reached 86.1% when the SiO₂ dosage was 2.25%, the degumming temperature was 35℃, the degumming time was 22 min, and the stirring speed was 107 r/min, and the phospholipid content in the degummed oil was 1 719.61 mg/kg. There was no significant difference in acid value, peroxide value, and moisture and volatile content between SiO₂ - degummed oil and hydration - degummed oil ($p > 0.05$). The contents of total phenols and Canolol in the SiO₂ - degummed oil was significantly lower

收稿日期: 2022-05-07; 修回日期: 2023-02-02

基金项目: 四川省科技计划项目 (2020YFQ0049, 2020YFN0148, 2021YFN0096); 四川油菜创新团队项目 (sccxttd-2022-03); 四川省农业科学院自主创新专项 (2022YXLW006)

作者简介: 曾诗琴 (1995), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全 (E-mail) zengsq1010@126.com。

通信作者: 姚英政, 副研究员, 博士 (E-mail) doctoroil@126.com。

than that in the hydration - degummed oil ($p < 0.05$), while the phospholipid removal rate and lightness of SiO_2 - degummed oil were significantly higher than those of hydration - degummed oil ($p < 0.05$). SiO_2 degumming technique may have a better degumming effect than the traditional hydration degumming for fragrant rapeseed oil with a high proportion of non - hydrated phospholipids, and it can be used as a supplement to the traditional hydration degumming method.

Key words: fragrant rapeseed oil; SiO_2 ; degumming; phospholipid; Canolol

磷脂对植物油的精炼工艺、储存稳定性、感官品质和烹调品质都有负面影响:在碱炼过程中,磷脂作为乳化剂易造成碱液与油形成乳液,导致油损失增加;在脱色过程中,磷脂会增加过滤设备的负担;在储存期间,植物油中的磷脂易氧化分解使植物油回色和产生异味,且磷脂沉淀后影响产品感官品质^[1-2];在高温烹饪时,过高的磷脂含量会使植物油产生泡沫和烟雾,并在锅底形成黑色聚合物^[3-4]。因此,磷脂被认为是植物油中的杂质,需通过脱胶工艺将其脱除。

目前油脂加工企业常采用水化法对原油进行脱胶,但水化法通常在较高温度下进行,有时还需添加酸、盐等辅助成分,且难以去除非水化磷脂,存在能耗较高、操作复杂和废水排放等问题^[5]。因此,研发低能耗、高效率的油脂脱胶技术成为油脂加工业的必然趋势。 SiO_2 是一种常见的吸附材料且具有多孔隙结构^[6],已被应用于啤酒去浊^[7]和食盐抗凝结^[8]等加工工艺中,同时有研究表明其对菜籽油也具有较好的脱胶效果,且无废水排放^[9]。虽然 SiO_2 吸附脱胶效果与酶法脱胶^[10] 还存在一定差距,但其作为一种低能耗、零废水排放的脱胶技术仍具有广阔的应用前景。目前,关于油脂 SiO_2 脱胶工艺优化的研究较少。

本文以浓香菜籽原油为研究对象,以磷脂脱除率为评价指标,利用单因素实验和响应面实验优化 SiO_2 脱胶工艺,并对脱胶油品质进行评价,以期为 SiO_2 脱胶在浓香菜籽油实际生产中的应用提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

浓香菜籽原油,成都市赋油坊粮油有限责任公司;食品级 SiO_2 (纯度 $\geq 99\%$),青岛博瑞特硅能科技有限公司;芥子酸标准品,上海 Sigma - Aldrich 公司;Canolol 标准品,美国纽约 BOC Sciences 公司;其他试剂均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

1.1.2 仪器与设备

PFXi880L 自动色度仪,英国 Lovibond 公司;BioTek 酶标仪、1260 型高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;BSA224S 分析天平,德国 Sartorius 有限公司;5810R 冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司;DF - 101S 集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;RWD50 顶置式电动搅拌器,上海沪析实业有限公司;SX4 - 10 箱式电阻炉,上海树立仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 脱胶工艺

SiO_2 脱胶:将储存于 4°C 的浓香菜籽原油摇匀,称取 100 g 于 250 mL 烧杯中,油浴搅拌 10 min 加热达到预设温度,添加一定量的 SiO_2 于烧杯中,在一定搅拌速度下反应一定时间。待样品冷却后于 4°C 、4 000 r/min 离心 10 min,取上清待测。

传统水化脱胶:参考文献[11]的方法并略有修改。称取 100 g 浓香菜籽原油于 250 mL 烧杯中,油浴加热到 70°C 保持 10 min 后,加入 80°C 纯水(水的添加量与 SiO_2 脱胶工艺中 SiO_2 添加量一致),油浴搅拌(搅拌速度 107 r/min)脱胶 22 min。待样品冷却后于 4°C 、4 000 r/min 离心 10 min,取上清待测。

1.2.2 理化指标检测

磷脂含量参考 GB/T 5537—2008《粮油检验 磷脂含量的测定》中钼蓝比色法测定;酸值参考 GB 5009. 229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》测定;过氧化值参考 GB 5009. 227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》测定;水分及挥发物参考 GB 5009. 236—2016《食品安全国家标准 动植物油脂水分及挥发物的测定》中第二法测定;总酚含量采用 Folin - Ciocalteu 法^[12]测定,结果以芥子酸含量表示;Canolol 含量参考文献[13]的方法测定;色度值使用自动色度仪测定,将 10 mL 样品放入 25.4 mm 比色皿中进行测量^[14]。

1.2.3 数据处理

所有实验设置 3 次独立重复实验,结果表示为“平均值 \pm 标准偏差”。采用 Design - Expert 8.0.6.1

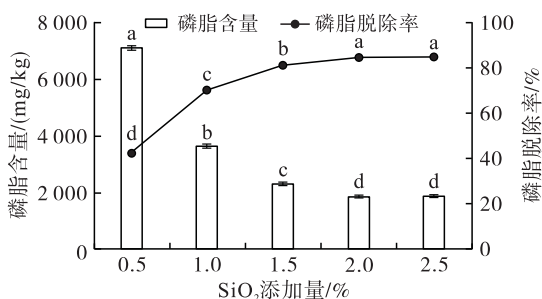
软件设计响应面实验,并对响应面实验数据进行统计分析,采用SPSS 26.0进行显著性统计分析($p < 0.05$ 表示差异显著),采用GraphPad 8.0.2绘制图表。

2 结果与分析

2.1 SiO₂ 脱胶单因素实验

2.1.1 SiO₂添加量的影响

在搅拌速度 150 r/min、脱胶时间 30 min、脱胶温度 45 °C 的条件下,研究 SiO₂添加量对脱胶浓香菜籽油中磷脂含量和磷脂脱除率的影响,结果如图 1 所示。



注:图中同一指标不同字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

图1 SiO₂添加量对脱胶效果的影响

由图 1 可知,随着 SiO₂添加量增加,磷脂脱除率显著提高。当 SiO₂添加量从 0.5% 增加到 2.0% 时,磷脂脱除率从 42.54% 显著提高到 84.57% ($p < 0.05$),磷脂含量从 7109.35 mg/kg 显著降低到 1909.15 mg/kg ($p < 0.05$),表明 SiO₂添加量与磷脂脱除率呈正相关。但当 SiO₂添加量从 2.0% 增加到 2.5% 时,磷脂脱除率无显著变化($p > 0.05$),可能是因为吸附剂与油脂之间的吸附已达到平衡^[15],进一步加大 SiO₂添加量不会使磷脂脱除率继续提升。另外,过量添加 SiO₂不仅会提高工业生产成本,同时会造成部分油脂损失^[16]。因此,选择 SiO₂添加量为 2.0%。

2.1.2 搅拌速度的影响

在 SiO₂添加量 1.5%、脱胶时间 30 min、脱胶温度 45 °C 的条件下,研究搅拌速度对脱胶浓香菜籽油中磷脂含量和磷脂脱除率的影响,结果如图 2 所示。

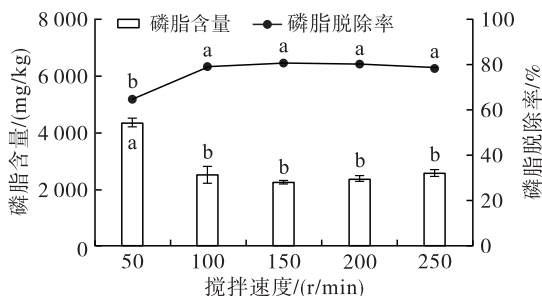


图2 搅拌速度对脱胶效果的影响

由图 2 可知,搅拌速度由 50 r/min 增加到 100 r/min 时,磷脂脱除率显著提升($p < 0.05$),随后搅拌速度从 100 r/min 提升至 250 r/min 时,磷脂脱除率无显著变化($p > 0.05$)。在实验过程中发现,当搅拌速度过低时,添加的 SiO₂无法均匀分散于浓香菜籽油中,可能导致磷脂脱除率不高,而当搅拌速度提升到 100 r/min 时,磷脂脱除率出现明显增长。因此,选择搅拌速度为 100 r/min。

2.1.3 脱胶时间的影响

在脱胶温度 45 °C、SiO₂添加量 1.5%、搅拌速度 150 r/min 的条件下,研究脱胶时间对脱胶浓香菜籽油中磷脂含量和磷脂脱除率的影响,结果如图 3 所示。

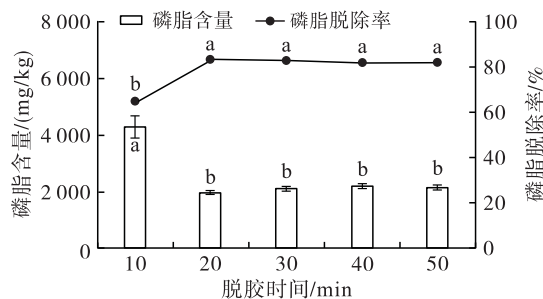


图3 脱胶时间对脱胶效果的影响

由图 3 可知,当脱胶时间从 10 min 延长到 20 min 时,磷脂脱除率显著提高($p < 0.05$)。脱胶时间为 20 min 时,磷脂脱除率最高,达 84.18%,脱胶时间从 20 min 延长到 50 min 时,磷脂脱除率无显著变化($p > 0.05$),说明脱胶时间并非越长越好,而且过度延长脱胶时间可能会使磷脂分子与吸附剂已经达到的平衡点被破坏,造成脱胶浓香菜籽油中磷脂含量增加。因此,选择脱胶时间为 20 min。

2.1.4 脱胶温度的影响

在 SiO₂添加量 1.5%、脱胶时间 30 min、搅拌速度 150 r/min 的条件下,研究脱胶温度对脱胶浓香菜籽油中磷脂含量和磷脂脱除率的影响,结果如图 4 所示。

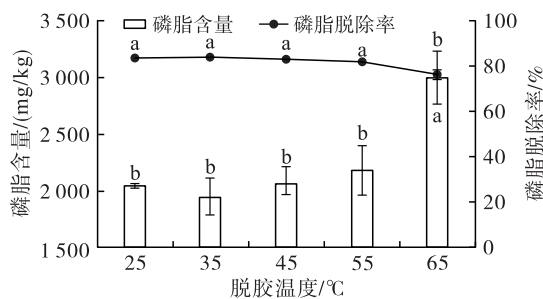


图4 脱胶温度对脱胶效果的影响

由图 4 可知,随着脱胶温度从 25 °C 升高到 55 °C,磷脂脱除率无显著差异($p > 0.05$),当脱胶温

度从 55℃ 升高到 65℃ 时, 磷脂脱除率显著降低 ($p < 0.05$)。可能是在较低的温度范围内, 吸附剂更容易与磷脂分子结合, 吸附剂与磷脂分子之间的作用力随着温度的升高而增大^[17]; 但随着温度进一步升高, SiO₂ 中水分被蒸发, 吸附剂的孔隙收缩, 吸附力开始减小^[18], 同时被吸附于 SiO₂ 孔隙中的磷脂分子也在进行剧烈运动, 从而导致已结合的磷脂分子从吸附剂中被释放出来^[19]。从生产能耗与经济成本的角度考虑, 选择脱胶温度为 35℃。

2.2 SiO₂ 脱胶响应面实验

2.2.1 响应面实验结果

根据单因素实验结果, 固定脱胶温度为 35℃, 选取 SiO₂ 添加量 (X_1)、搅拌速度 (X_2)、脱胶时间 (X_3) 为因素, 以磷脂脱除率 (R) 作为响应值, 利用 Design - Expert 8.0.6.1 软件设计响应面实验, 响应面实验因素及水平见表 1, 响应面实验设计及结果见表 2。

表 1 响应面实验因素及水平

水平	SiO ₂ 添加量/ %	搅拌速度/ (r/min)	脱胶时间/ min
-1.68	1.60	58	11.6
-1	1.75	75	15.0
0	2.00	100	20.0
1	2.25	125	25.0
1.68	2.40	142	28.4

表 2 响应面实验设计及结果

实验号	X_1	X_2	X_3	$R/\%$
1	-1.68	0	0	82.59 ± 0.75
2	0	1.68	0	85.00 ± 0.04
3	-1	1	-1	82.75 ± 0.10
4	0	0	0	85.44 ± 0.11
5	0	0	0	85.55 ± 0.79
6	1	1	-1	85.80 ± 0.38
7	1	-1	1	85.95 ± 0.13
8	-1	-1	-1	81.73 ± 0.21
9	1	-1	-1	84.96 ± 0.82
10	0	0	0	85.55 ± 0.30
11	0	0	0	85.55 ± 0.50
12	0	0	-1.68	83.36 ± 0.02
13	0	0	0	85.46 ± 0.66
14	1.68	0	0	86.58 ± 0.70
15	0	0	1.68	85.76 ± 0.04
16	-1	-1	1	84.31 ± 0.12
17	0	0	0	85.60 ± 0.25
18	1	1	1	86.17 ± 0.15
19	0	-1.68	0	84.06 ± 0.16
20	-1	1	1	84.42 ± 0.22

2.2.2 方差分析和显著性检验

根据表 2 数据拟合得到回归方程: $R = 25.034 + 31.777X_1 + 0.156X_2 + 1.414X_3 - 1.304X_1X_2 - 0.289X_1X_3 - 1.533X_2X_3 - 5.266X_1^2 - 5.593X_2^2 - 0.013X_3^2$ 。

对回归方程进行方差分析, 结果见表 3。

表 3 方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F	p
模型	32.98	9	3.66	1116.40	<0.0001**
X_1	19.66	1	19.66	5987.67	<0.0001**
X_2	1.04	1	1.04	317.35	<0.0001**
X_3	6.80	1	6.80	2070.26	<0.0001**
X_1X_2	5.32×10^{-4}	1	5.32×10^{-4}	0.16	0.6958
X_1X_3	1.04	1	1.04	318.21	<0.0001**
X_2X_3	0.29	1	0.29	89.45	<0.0001**
X_1^2	1.56	1	1.56	475.61	<0.0001**
X_2^2	1.76	1	1.76	536.52	<0.0001**
X_3^2	1.65	1	1.65	503.14	<0.0001**
残差	0.03	10	3.28×10^{-3}		
失拟项	0.01	5	2.57×10^{-3}	0.64	0.6799
净误差	0.02	5	4.00×10^{-3}		
总离差	33.02	19			

注: ** 表示差异极显著, $p < 0.01$

由表 3 可知, 该回归模型 p 值小于 0.0001, 表明该回归模型极显著, 而失拟项 p 值为 0.6799 ($p > 0.05$), 不显著, 表明响应面拟合模型是可行的。3 个因素对磷脂脱除率的影响大小顺序为 $X_1 > X_3 > X_2$, 即 SiO₂ 添加量 > 脱胶时间 > 搅拌速度。3 个因素交互作用中 X_1X_2 无显著影响, X_1X_3 、 X_2X_3 均具有显著影响, 表明在设计工艺条件内磷脂脱除率存在最大值^[20]。

2.2.3 最优工艺验证

采用响应面拟合分析最优工艺条件, 在 SiO₂ 添加量 2.25%、搅拌速度 106.61 r/min、脱胶时间 22.16 min 时, 磷脂脱除率最高, 此时磷脂脱除率预测值为 86.5%。

根据实际操作情况将工艺条件调整为 SiO₂ 添加量 2.25%、搅拌速度 107 r/min、脱胶时间 22 min, 在此工艺条件下进行验证实验, 结果磷脂含量为 1719.61 mg/kg, 磷脂脱除率为 86.1%, 与模型预测值的误差为 0.4 百分点, 说明运用响应面优化得到的模型参数准确可靠, 能够较好地预测该脱胶工艺的磷脂脱除率。

2.3 脱胶油品质分析

将 SiO₂ 脱胶工艺与传统水化脱胶工艺得到的脱胶油进行品质评价, 结果见表 4。

表4 SiO₂脱胶油与水化脱胶油的品质比较

指标	浓香菜籽原油	SiO ₂ 脱胶油	水化脱胶油
磷脂含量/(mg/kg)	12 372.67 ± 12.34 ^a	1 719.61 ± 31.27 ^c	4 668.47 ± 85.39 ^b
磷脂脱除率/%	—	86.1 ^a	62.3 ^b
酸值(KOH)/(mg/g)	2.93 ± 0.01 ^a	1.78 ± 0.05 ^b	1.81 ± 0.01 ^b
过氧化值/(g/100 g)	0.59 ± 0.01 ^a	0.57 ± 0.04 ^a	0.53 ± 0.03 ^a
总酚含量/(mg/kg)	1 012.26 ± 2.10 ^a	807.92 ± 2.33 ^c	847.43 ± 0.85 ^b
Canolol 含量/(mg/kg)	527.60 ± 1.94 ^a	497.70 ± 0.25 ^b	517.70 ± 14.46 ^a
水分及挥发物含量/%	0.07 ± 0.03 ^a	0.04 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.01 ^a
L* 值	0.18 ± 0.00 ^c	33.68 ± 0.02 ^a	30.25 ± 0.10 ^b
a* 值	3.42 ± 0.04 ^b	3.44 ± 0.00 ^b	4.31 ± 0.00 ^a
b* 值	8.58 ± 0.02 ^c	57.60 ± 0.04 ^a	51.72 ± 0.20 ^b

注:同行不同字母表示差异显著, $p < 0.05$

由表4可知:当SiO₂与水的添加量一致时, SiO₂脱胶油的磷脂含量显著低于水化脱胶油的($p < 0.05$), 磷脂脱除率分别为86.1%和62.3%; SiO₂脱胶油与水化脱胶油中总酚保留率分别为79.8%和83.7%;浓香菜籽原油中Canolol含量占总酚的52.1%,表明Canolol是浓香菜籽油中的主要酚类物质, SiO₂脱胶油中的Canolol含量显著低于水化脱胶油的($p < 0.05$)。浓香菜籽油中非水化磷脂比例较高可能是本研究中水化脱胶效果不佳的原因。Yao等^[9]的研究中SiO₂脱胶后总酚保留率达到96%,而本研究的总酚保留率仅为79.8%,原因可能是油菜籽品种、烘焙条件与压榨处理方式不同,导致菜籽原油中酚类物质结构和性质出现差异,从而使得脱胶过程中酚类物质保留率不同^[21]。油菜籽品种对脱胶油中磷脂含量与多酚含量有重要影响,因此针对不同油菜籽品种采用不同脱胶方式对菜籽油脱胶效果及保留高含量多酚具有重要意义。

由表4还可知,2种脱胶油酸值相对于浓香菜籽原油均显著降低($p < 0.05$),而SiO₂脱胶油与水化脱胶油之间无显著差异($p > 0.05$),表明2种脱胶方式均可以部分去除浓香菜籽原油中游离脂肪酸。2种脱胶方式均对浓香菜籽油的过氧化值无显著影响,与姚英政等^[22]的研究结果一致。脱胶油与浓香菜籽原油中的水分及挥发物含量无显著差异($p > 0.05$),均符合GB/T 1536—2021中规定。

文献^[23]报道, SiO₂应用于植物油脱色,效果良好。由表4可知,脱胶油亮度(L*值)相对于浓香菜籽原油显著提高,其中SiO₂脱胶油的亮度比水化脱胶油的高($p < 0.05$);由a*值可知, SiO₂脱胶油与水化脱胶油存在显著差异($p < 0.05$),水化脱胶油更“红”;由b*值可知,与浓香菜籽原油相比,脱胶油的黄色显著提高,且SiO₂脱胶油比水化脱胶油

更“黄”。由此可知,脱胶后浓香菜籽油色泽得到显著改善,而SiO₂脱胶比水化脱胶对浓香菜籽油色泽的改善效果更佳。

综上所述, SiO₂脱胶相对于水化脱胶具有一定的优势:一是针对非水化磷脂比例较高的浓香菜籽原油可能具有更好的脱胶效果,磷脂脱除率可达86.1%;二是对浓香菜籽油具有更好的色泽改善效果。

3 结论


经单因素实验和响应面优化实验得到浓香菜籽油SiO₂脱胶最优工艺条件为SiO₂添加量2.25%、脱胶温度35℃、脱胶时间22 min、搅拌速度107 r/min,在此条件下磷脂脱除率达到86.1%。通过对比分析SiO₂脱胶工艺与传统水化脱胶工艺的浓香菜籽油品质发现, SiO₂脱胶油与水化脱胶油的酸值、过氧化值、水分及挥发物含量均无显著差异($p > 0.05$),而SiO₂脱胶油中Canolol含量显著低于水化脱胶油($p < 0.05$), SiO₂脱胶油的亮度和磷脂脱除率均显著高于水化脱胶油的($p < 0.05$),表明对于非水化磷脂比例较高的浓香菜籽油, SiO₂脱胶相比于传统水化脱胶可能具有更好的脱胶效果,可以作为传统水化脱胶方法的补充。

参考文献:

- [1] ZHOU Q, JIA X, YAO Y Z, et al. Characterization of the aroma-active compounds in commercial fragrant rapeseed oils via monolithic material sorptive extraction[J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(41): 11454-11463.
- [2] 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.
- [3] 赵军. 脱胶效果对油脂精炼影响[J]. 粮食与油脂, 2002(6): 40-42.

- [4] KRALJIĆ K, ŠKEVIN D, BARIŠIĆ L, et al. Changes in 4-vinylsyringol and other phenolics during rapeseed oil refining[J]. *Food Chem*, 2015, 187: 236–242.
- [5] AMBROSEWICZ – WALACIK M, TANSKA M, ROTKIEWICZ D. Phospholipids of rapeseeds and rapeseed oils; factors determining their content and technological significance: a review[J]. *Food Rev Int*, 2015, 31(4): 385–400.
- [6] 郑学斌. 稻壳灰二氧化硅(RHAS)的制备、表征及在菜籽油脱胶中的应用[J]. *中国油脂*, 2020, 45(2): 54–58.
- [7] 侯进飞, 向先长, 王晓媛, 等. 啤酒冷混浊蛋白的分析及硅胶、PVPP 吸附效果比较[J]. *酿酒科技*, 2006(11): 44–47.
- [8] 杨丽梅, 何劲, 荀春, 等. 二氧化硅作为抗结剂在食盐中的应用研究[J]. *中国井矿盐*, 2021, 52(2): 34–36.
- [9] YAO Y, LIU C, XIONG W, et al. Silicon dioxide as an efficient adsorbent in the degumming of rapeseed oil[J/OL]. *J Clean Prod*, 2020, 268: 122344 [2022–05–07]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122344>.
- [10] 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.
- [11] 屈之昊, 张妍, 张旭萍, 等. 不同脱胶工艺对浓香菜籽油品质的影响[J/OL]. *中国油脂*: 1–8 [2022–06–13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220512.1849.002.html>.
- [12] SWAIN T, HILLIS W. The quantitative analysis of phenolic constituents[J]. *J Sci Food Agric*, 1959, 10(1): 63–69.
- [13] ZHENG C, YANG M, ZHOU Q, et al. Changes in the content of canolol and total phenolics, oxidative stability of rapeseed oil during accelerated storage[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2014, 116(12): 1675–1684.
- [14] AKSOY A S, TAŞAN M. Effect of chemical refining steps on the some micro and macro element content and quality parameters in corn oil[J]. *Turk J Agric F*, 2021, 9(6): 982–990.
- [15] 王未君, 李文林, 刘昌盛, 等. 二氧化硅在菜籽油吸附脱磷中的应用及其对酚酸的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2021, 43(4): 683–689.
- [16] ŁASKA – ZIEJA B, MARCINKOWSKI D, GOLIMOWSKI W, et al. Low-cost investment with high quality performance. Bleaching earths for phosphorus reduction in the low-temperature bleaching process of rapeseed oil[J/OL]. *Foods*, 2020, 9(5): 603 [2022–05–07]. <https://doi.org/10.3390/foods9050603>.
- [17] 车会凌, 赵元轶, 冉雄雄, 等. 不同形貌的纳米二氧化硅制备方法及其对高分子复合材料力学性能的影响综述[J]. *材料导报*, 2020, 34(Z2): 484–489.
- [18] 张千千, 葛铁柱, 刘乐璇. 骨料浸渍硅溶胶对矾土基耐火材料性能的影响[J]. *耐火材料*, 2020, 54(2): 98–102.
- [19] WANG L J, YUE P F, ZHAO Y L, et al. Preparation and study of anti-hepatitis B virus activity in vitro of oxymatine phospholipid complex[J]. *J Pharm Sci*, 2007, 16(2): 146–152.
- [20] 胡栋宝, 黄淑佩, 祝晓慧, 等. 响应面优化鸡油菌多酚的超声辅助提取工艺及其抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 177–184.
- [21] YANG M, HUANG F, LIU C, et al. Influence of microwave treatment of rapeseed on minor components content and oxidative stability of oil[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2013, 6(11): 3206–3216.
- [22] 姚英政, 董玲, 梁强, 等. 脱胶与脱酸对菜籽油挥发性组分的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(6): 247–252.
- [23] 王赛, 郭洋, 刘昌树. 二氧化硅作为新型环保吸附剂在食用油中的高效吸附作用[J]. *中国油脂*, 2021, 46(8): 150–152.

· 公益广告 ·



油脂加工精准适度

《中国油脂》宣