

文章编号:2095-7386(2024)01-0009-08

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2024.01.002

酸法脱胶对大豆油品质的比较研究

潘保辉^{1,2},高盼^{1,2},陈哲^{2,3},曾仕林¹,殷娇娇^{1,2},胡传荣^{1,2},何东平^{1,2}

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院,武汉 430023;2. 国家市场监管重点实验室(食用油质量与安全),武汉 430023;

3. 武汉食品化妆品检验所,武汉 430012)

摘要:本研究旨在为大豆油酸法脱胶工艺提供参考,分别采用磷酸和柠檬酸对大豆油进行酸法脱胶,在单因素试验的基础上,利用正交试验进行工艺优化,并对两种不同酸处理的脱胶油的理化指标和脱胶率进行比较分析。结果表明:最佳的磷酸酸法脱胶工艺条件为脱胶时间 55 min、酸加入量 0.6%、加水量 4.0%、脱胶温度 85 °C。在此条件下,大豆油的脱胶率为 97.1%、水分为 0.1%、过氧化值为 0.084 mmol/kg、碘值为 139.1 g/100g、酸价为 2.54 mg/g;最佳的柠檬酸酸法脱胶工艺条件为:加水量 2.0%,酸加入量 0.8%,脱胶时间 20 min,脱胶温度 80 °C,酸浓度 10.0%。此条件下大豆油的脱胶率为 95.4%、水分为 0.08%、过氧化值为 0.039 mmol/kg、碘值为 134.2 g/100g、酸价为 2.31 mg/g。磷酸处理的脱胶油具有更好的脱胶率,但柠檬酸处理的脱胶油酸价、过氧化值、水分、碘值和成本的结果更加理想。本实验为大豆油酸法脱胶中酸种类的选择提供了理论依据。

关键词:磷酸;柠檬酸;酸法脱胶;单因素试验;正交试验;成本

中图分类号:TS 213

文献标识码:A

Comparative study on the quality of soybean oil by acid degumming

PAN Baohui^{1,2},GAO Pan^{1,2},CHEN Zhe^{2,3},ZENG Shilin¹,

YIN Jiaojiao^{1,2},HU Chuanrong^{1,2},HE Dongping^{1,2}

(1. School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Key Laboratory of Edible Oil Quality and Safety for State Market Regulation, Wuhan 430023, China;

3. Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430012, China)

Abstract: The purpose of this study is to provide guidance for the degumming process of soybean oil. Soybean oil was degummed using phosphoric acid and citric acid, respectively. Based on single factor experiments, the process was optimized using orthogonal experiments. The physiochemical indicators and the rate of oil discharge by two different acids were compared and analyzed. The results showed that the optimal conditions were 55 min, 0.6% acid content, 4.0% water, and 85 °C, in which the degumming rate of soybean oil is 97.1%, water content is 0.1%, peroxide value is 0.084 mmol/kg, iodine value is 139.1 g/100g, and acid value is 2.54 mg/g. The optimal citric acid degumming technology conditions are: 0.8% acid addition, 10.0% acid concentration, 20 min degumming duration, 2.0% water content, and 80 °C degumming temperature. The degumming rate of soybean oil is 95.4%, water content is 0.08%, the peroxide value is

收稿日期:2023-12-13.

作者简介:潘保辉(2000—),男,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全,E-mail:pbb12345@126.com.

通信作者:高盼(1990—),女,讲师,博士,研究方向:油脂及植物蛋白,E-mail:gaopan925@163.com.

0.039 mmol/kg, the iodine value is 134.2g/100g, and the acid value is 2.31mg/g. The phosphoric acid treated gel oil has better gel removal efficiency. The acid value, peroxide value, water content, iodine value and cost are better. This experiment provides a theoretical basis for selecting the type of acids in soybean oil degumming.

Key words: degumming; deacidification; single factor test; orthogonal test; price

0 引言

大豆油是我国主要的食用植物油,2022 年我国食用油消费量为 3700 wT,其中大豆油消费量约占一半。成品大豆油需经过精炼工序^[1],其中脱胶是为了除去毛油中以磷脂为主的胶溶性杂质^[2],在大豆油精炼过程中极为重要。脱胶工艺中常见的水化脱胶方法仅仅能去除原油中的水化磷脂,但无法去除非水化磷脂^[3],相比之下,酸法脱胶通过向原油中添加酸,将毛油中的非水化磷脂转化为水化磷脂,进而再转移到水相中去除^[4],此法不仅可以脱除非水化磷脂,还可以除去与磷脂相结合的钙、镁、铁等金属离子,同时也能够中和胶体分散相质点的表面电荷点,使之聚集沉降^[5],明显提高脱胶质量。在酸法脱胶过程中,不同酸对脱胶效果的影响也不同,磷酸和柠檬酸是酸法脱胶中最常用的两种酸。张良成^[6]和王诗瀚^[7]等分别研究了大豆油和葵花籽油磷酸法脱胶过程中的影响因素,确定了磷酸法脱胶工艺的最佳参数;王菊华^[8]、吴云静等^[9]分别对小桐子油和冷榨芝麻油进行柠檬酸法脱胶的研究;史云东等^[10]通过对比普洱茶水化脱胶、柠檬酸脱胶和磷酸脱胶后得出磷酸脱胶对金属脱除效果最好。目前大豆油酸法脱胶的研究大多集中在单一酸脱胶的工艺优化方面,或者以脱胶效率为主要目标,对于磷酸和柠檬酸在酸法脱胶中的比较研究鲜有报道,同时在食用油加工企业中,生产成本核算也极为重要,选择一种合适的酸进行脱胶,既提高效率又降低成本,对脱胶精炼工艺具有十分重要的意义。

因此,本试验选择磷酸和柠檬酸分别对大豆毛油进行脱酸处理,并对其工艺条件分别进行优化,对其最佳工艺条件下脱胶效果以及各项理化指标和成本进行对比,综合评判两种酸在酸法脱胶中的性价比,以期工业化油脂酸法脱胶精炼提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

大豆毛油,防城港澳加粮油工业有限公司;磷

酸、柠檬酸、硫代硫酸钠、三氯甲烷、浓硫酸、碘化钾、氢氧化钾、冰乙酸、无水硫酸钠、盐酸、乙醚、乙醇、酚酞、硫酸联氨及其他试剂均为分析纯,国药集团有限公司;蒸馏水,实验室自制。

实验室 pH 计,上海奥豪斯仪器有限公司;HZ-124/35 电子天平,华志电子天平有限公司;马弗炉,泰瑞炉业有限公司;集热式恒温磁力搅拌器(FS-1),巩义市英峪予华仪器厂;YS60 型紫外分光光度计,昆明纳瑞科技有限公司;TDSZ 台式离心机,湖南凯达科学仪器有限公司;数显鼓风干燥箱(101-1-S),上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 实验方法

1.2.1 酸法脱胶工艺

称取 200 g 的大豆毛油放入 250 mL 锥形瓶中,再将锥形瓶放入设定好的水浴锅中加热,使锥形瓶始终保持恒温状态,然后向锥形瓶中加入一定量的水,再加入一定量的酸(磷酸或柠檬酸),并放入转子匀速搅拌一定时间后,将锥形瓶取出静置,在 8 000 r/min 条件下离心 15 min,过滤得到脱胶油。

1.2.2 基本指标的测定方法

酸价测定参照 GB/T 5009.229-2016;水分的测定参照 GB/T 5009.3-2016;过氧化值测定参照 GB/T 5009.227-2016;磷脂的测定参照 GB/T 5537-2008;碘值的测定参照 GB/T 5532-2008。

1.2.3 数据统计及分析

利用 Excel 对数据进行处理,结合 SPSS 软件进行统计分析。本实验的所有数据均为 3 次平行实验获得。

2 结果与分析

2.1 磷酸脱胶工艺优化

2.1.1 单因素试验

(1)脱胶温度对脱胶率的影响

在加水量为 8.0%、脱胶时间为 35 min 以及磷酸的添加量为 0.6%的条件下,考察脱胶温度对大豆油脱胶率的影响,结果见图 1。

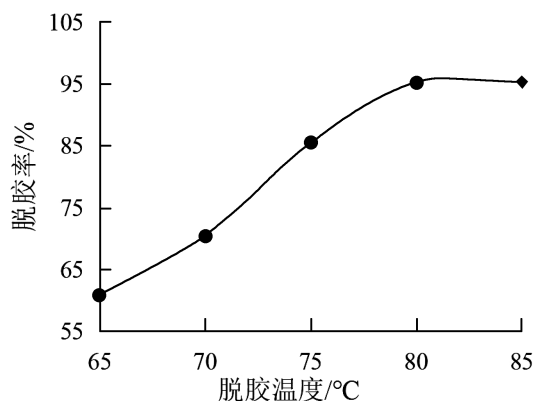


图1 脱胶温度对脱胶率的影响

Fig. 1 Influence of degumming temperature on degumming rate

由图1可知,在65℃~80℃时脱胶率随着脱胶温度的升高而显著提高,脱胶率从60.9%提高到95.2%。这是由于温度与油的黏度在某一范围内成反比例关系,磷脂的水合能力随着油脂黏度的降低而提高,从而更容易在油脂中团聚成胶体继而更容易被脱除^[11]。但是,磷脂生成胶体的过程具有可逆性,当温度过高时,已经生成的胶体油可能再次重新离解分散,从而导致磷脂含量增加而脱胶率降低^[12]。所以最佳脱胶温度是80℃。

(2) 加水量对脱胶率的影响

在磷酸的添加量为0.6%,脱胶时间为35 min以及脱胶温度为80℃的条件下,考察加水量对大豆油脱胶率的影响,结果见图2。

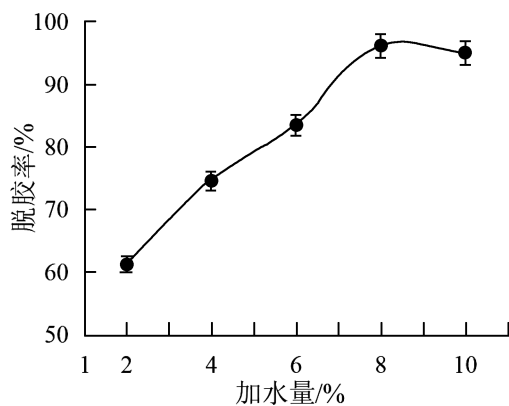


图2 加水量对脱胶率的影响

Fig. 2 Influence of water addition on degumming rate

由图2可知,在大豆毛油的脱胶过程中,随着加水量的增加,脱胶率先升高后降低。当加水量为8.0%时,脱胶率效果最佳,最高达96.2%。这是因为在适量加水的情况下,磷脂吸收水分发生膨胀,使

其更容易被捕捉并利于离心分离。但是,一旦超出特定量,多余的水分会使磷脂变成乳化剂,反而促进油的乳化,从而降低脱胶率^[13]。所以最佳的加水量是8.0%。

(3) 脱胶时间对脱胶率的影响

在磷酸的添加量为0.6%,脱胶温度为80℃以及加水量为8%的条件下,考察脱胶时间对大豆油脱胶率的影响,结果见图3。

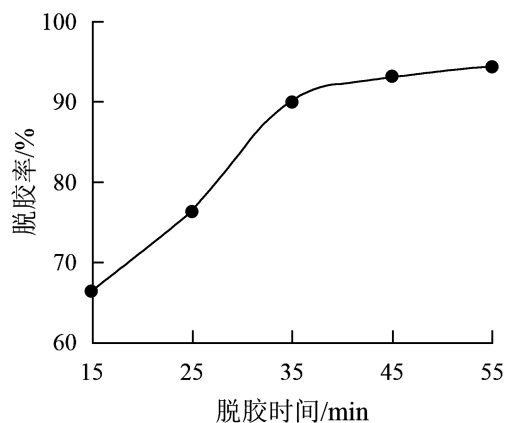


图3 脱胶时间对脱胶率的影响

Fig. 3 Influence of degumming time on degumming rate

由图3可知,随着脱胶时间的增加,脱胶率呈现快速上升,在35 min时,脱胶率达到90.1%,随后缓慢增加,这可能是因为胶体的体积和密度在其充分吸水膨胀后无显著变化,这时脱胶时间不再起决定性作用^[1]。所以脱胶的最佳时间为35 min。

(4) 磷酸的加入量对脱胶率的影响

在脱胶时间为35 min、加水量为8%以及脱胶温度为80℃的条件下,考察磷酸的加入量对大豆油脱胶率的影响,结果见图4。

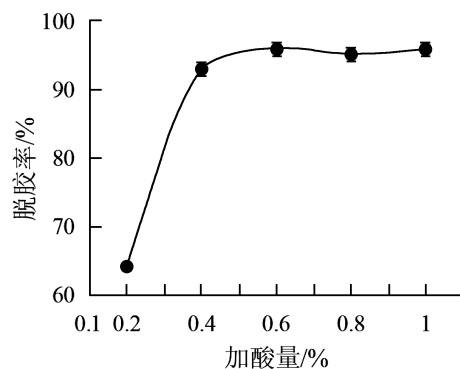


图4 磷酸的加入量对脱胶率的影响

Fig. 4 Influence of the amount of phosphoric acid added on the degumming rate

由图 4 可知,在大豆毛油的处理过程中,随着磷酸添加比例的增加,脱胶效果最初提高然后降低。当磷酸添加比例达到 0.6%时,获得最佳的脱胶效果,为 96.0%。这是因为磷酸的添加量增多,水化磷脂的转化率提高,如果进一步增加磷酸用量,就会导致脱胶率下降,其原因是已团聚的磷脂胶体可能会被过量的游离磷酸所破坏^[14]。因此,磷酸的最佳添加量为 0.6%。

2.1.2 正交试验优化

在单因素试验结果的基础上,设计了脱胶温度、磷酸添加量、加水量和脱胶时间四个因素的不同水

平并进行了正交试验,正交实验因素水平如表 1 所示,正交实验结果和分析如表 2 所示。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Level table of orthogonal test factors				
水平	(A)脱胶 温度/℃	(B)加水 量/%	(C)脱胶 时间/min	(D)磷酸 添加量/%
1	65	2.0	15	0.2
2	70	4.0	25	0.4
3	75	6.0	35	0.6
4	80	8.0	45	0.8
5	85	10.0	55	1.0

表 2 正交试验方案及试验结果分析

Table 2 Orthogonal test scheme and analysis of test results

实验号	A	B	C	D	空列	空列	脱胶率/%
1	1	1	1	1	1	1	58.5
2	1	2	2	2	2	2	86.3
3	1	3	3	3	3	3	85.4
4	1	4	4	4	4	4	90.4
5	1	5	5	5	5	5	93.4
6	2	1	2	3	4	5	94.8
7	2	2	3	4	5	1	95.4
8	2	3	4	5	1	2	95.1
9	2	4	5	1	2	3	84.5
10	2	5	1	2	3	4	87.9
11	3	1	3	5	2	4	75.9
12	3	2	4	1	3	5	71.5
13	3	3	5	2	4	1	96.7
14	3	4	1	3	5	2	90.4
15	3	5	2	4	1	3	91.7
16	4	1	4	2	5	3	81.9
17	4	2	5	3	1	4	93.6
18	4	3	1	4	2	5	87.6
19	4	4	2	5	3	1	93.7
20	4	5	3	1	4	2	89.7
21	5	1	5	4	3	2	81.7
22	5	2	1	5	4	3	84.7
23	5	3	2	1	5	4	70.8
24	5	4	3	2	1	5	93.7
25	5	5	4	3	2	1	96.7
K ₁	414.0	392.8	409.1	375	432.6	441.0	
K ₂	457.7	431.5	437.3	446.5	431	443.2	
K ₃	426.2	435.6	440.1	460.9	420.2	428.2	
K ₄	446.5	452.7	435.6	446.8	456.3	418.6	
K ₅	427.6	459.4	449.9	442.8	431.9	441.0	
k ₁	82.8	78.6	81.8	75.0	86.5	88.2	
k ₂	91.5	86.3	87.5	89.3	86.2	88.6	
k ₃	85.2	87.1	88.0	92.2	84.0	85.6	
k ₄	89.3	90.5	87.1	89.4	91.3	83.7	
k ₅	85.5	91.9	90.0	88.6	86.4	88.2	
极差 R	8.7	13.3	8.2	17.2	7.2	4.9	
因素主到次	D>B>A>C						
最佳方案	D ₅ B ₅ A ₂ C ₅						

由表 2 可知,影响因素的优先级顺序是:磷酸添加量>加水量>脱胶温度>脱胶时间。最优的反应组合是 $D_3B_5A_2C_5$ 。即反应的磷酸添加量为 0.6%,加水量为 4.0%,脱胶温度为 85℃,脱胶时间为 55 min。依据此最佳方案进行的验证实验表明,处理后的大豆油的脱胶率分别为 98.1%、96.2%、97.0%,平均得率为 97.1%,这超过了实验组的最佳得率 96.7%。因此,此种脱胶工艺为处理大豆毛油中磷酸脱胶提供了一个理想的选择。

2.2 柠檬酸法脱胶工艺优化

2.2.1 单因素试验

(1) 脱胶温度对脱胶率的影响

在柠檬酸的浓度为 8.0%、脱胶时间为 20 min、加水量为 1.0%以及柠檬酸的添加量为 0.8%的条件下,考察脱胶温度对大豆油脱胶率的影响,结果见图 5。

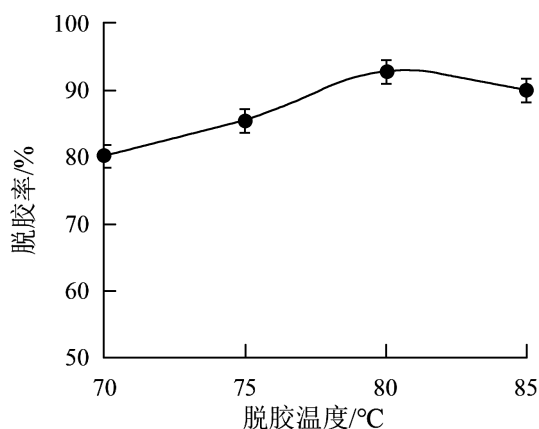


图 5 脱胶温度对脱胶率的影响

Fig. 5 Influence of degumming temperature on degumming rate

由图 5 可知,随着脱胶温度的上升,脱胶率明显上升,在 70℃~80℃时表现出较好的状态;但当温度超过 80℃时,脱胶率略微下降。此现象与磷酸法脱胶类似。因此柠檬酸最佳脱胶温度为 80℃。

(2) 加水量对脱胶率的影响

在柠檬酸的添加量为 0.8%、脱胶时间为 20 min、脱胶温度为 80℃以及柠檬酸的浓度为 8.0%的条件下,考察加水量对大豆油脱胶率的影响,结果见图 6。

由图 6 可知,脱胶率随着加水量的增加呈现先上升后下降的变化趋势。当加水量为 1%时,脱胶率达到最高值 78.2%。加水量较少时则脱胶率较低是由于磷脂水化程度低和油中磷脂多造成的,但当加入过多的水分会使磷脂变成乳化剂而引起油脂

乳化,导致脱胶率下降^[15]。因此,水添加量为 1.0%时最为合适。

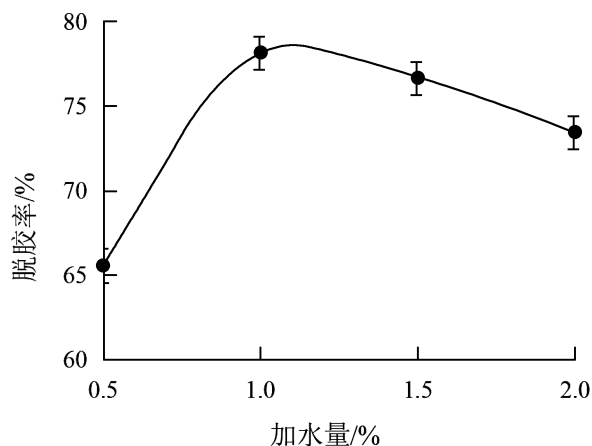


图 6 加水量对脱胶率的影响

Fig. 6 Influence of water addition on degumming rate

(3) 脱胶时间对脱胶率的影响

在柠檬酸的添加量为 0.8%、加水量为 1.0%、脱胶温度为 80℃以及柠檬酸的浓度为 8.0%的条件下,考察脱胶时间对大豆油脱胶率的影响,结果见图 7。

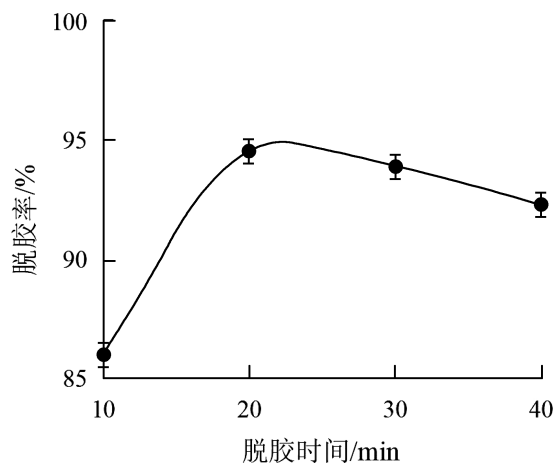


图 7 脱胶时间对脱胶率的影响

Fig. 7 Influence of degumming time on degumming rate

由图 7 可知,大豆毛油的脱胶率随脱胶时间的增加呈先增后减的趋势。增加脱胶时间,磷脂能更好地凝结形成胶体,从而提高脱胶效率^[16]。当脱胶时间为 20 min 时,磷脂与柠檬酸的结合达到最优状态,此时脱胶效率达到最高,为 94.6%。当脱胶时间过长时会破坏这种最佳状态,磷脂含量也就会随之上升,降低了脱胶率^[17]。所以,最佳脱胶时间为

20 min。

(4) 柠檬酸的加入量对脱胶率的影响

在加水量为 1.0%、脱胶温度为 80℃、柠檬酸的浓度为 8.0%、脱胶时间为 20 min 的条件下,考察柠檬酸的加入量对大豆油脱胶率的影响,结果见图 8。

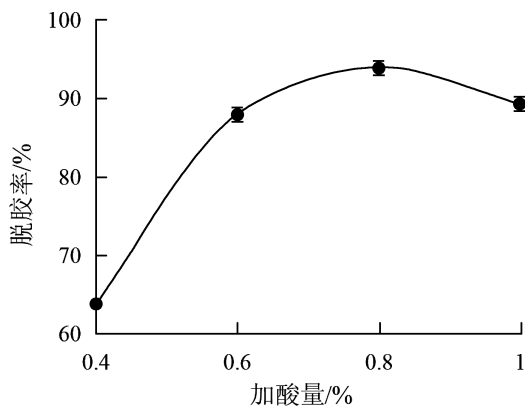


图 8 柠檬酸的加入量对脱胶率的影响

Fig. 8 Effect of the amount of citric acid added on the degumming rate

从图 8 可知,大豆毛油的脱胶率随着柠檬酸加入量的不断增加呈现先上升后下降的趋势,在柠檬酸的添加量达到 0.8% 时,脱胶效率达到最高点,为 93.9%。这一现象的原因在于大豆毛油中原本不可水化的磷脂被加入的柠檬酸转化为水化磷脂,从而更容易被脱除,提高了脱胶率^[17],但当加入的柠檬酸过量后,脱胶率下降。因此,在生产过程中柠檬酸的最佳添加量为 0.8%。

(5) 柠檬酸的浓度对脱胶率的影响

在加水量为 1.0%、脱胶温度为 80℃、柠檬酸的添加量为 0.8%、脱胶时间为 20 min 的条件下,考察柠檬酸的浓度对大豆油脱胶率的影响,结果见图 9。

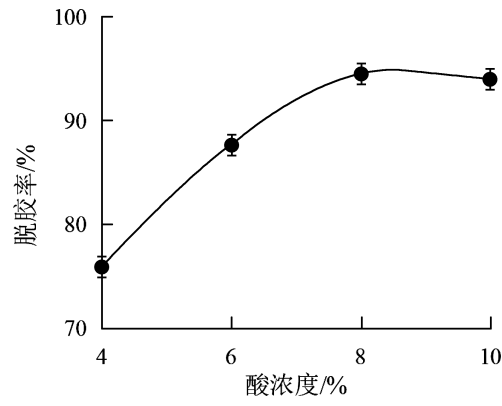


图 9 柠檬酸浓度对脱胶率的影响

Fig. 9 Effect of citric acid concentration on degumming rate

从图 9 可知,脱胶率随着柠檬酸浓度的增加而增加,在柠檬酸浓度为 8.0% 时,脱胶率最高为 94.5%,但是,如果柠檬酸浓度继续升高,脱胶率则会开始下降。其原因是当柠檬酸的浓度过高时,大豆毛油中的氨基便会和柠檬酸中的羧基产生反应生成多肽类物质而降低脱胶率^[18]。综上所述,柠檬酸的最佳浓度为 8.0%。

2.2.2 正交试验优化

根据单因素试验的结果,设计(A)脱胶温度、(B)加水量、(C)脱胶时间、(D)柠檬酸的添加量、(E)柠檬酸的浓度五个因素的不同水平进行正交试验,正交实验因素水平如表 3 所示,正交实验结果和分析如表 4 所示。

表 3 正交试验因素水平表

Table 3 Level table of orthogonal test factors					
水平	A/℃	B/%	C/min	D/%	E/%
1	65	2.0	15	0.2	2.0
2	70	4.0	25	0.4	4.0
3	75	6.0	35	0.6	6.0
4	80	8.0	45	0.8	8.0
5	85	10.0	55	1.0	10.0

表 4 正交试验方案及试验结果分析

Table 4 Orthogonal test scheme and analysis of test results

试验号	A	B	C	D	E	脱胶率/%
1	1	1	1	1	1	61.2
2	1	2	2	2	2	67.6
3	1	3	3	3	3	83.9
4	1	4	4	4	4	82.3
5	2	1	2	3	4	90.1
6	2	2	3	4	1	83.9
7	2	3	4	1	2	71.0

						续表
试验号	A	B	C	D	E	脱胶率/%
8	2	4	1	2	3	87.0
9	3	1	3	4	1	83.2
10	3	2	4	1	2	75.5
11	3	3	1	2	3	89.4
12	3	4	2	3	4	92.8
13	4	1	4	1	2	70.5
14	4	2	1	2	3	83.2
15	4	3	2	3	4	95.3
16	4	4	3	4	1	88.9
K ₁	295.1	305.0	320.7	278.2	317.2	
K ₂	331.9	310.2	345.8	327.1	284.6	
K ₃	340.9	339.6	340.0	362.2	343.4	
K ₄	337.9	351.1	299.4	338.4	360.6	
k ₁	73.8	76.2	80.2	69.6	79.3	
k ₂	83.0	77.5	86.5	81.8	71.2	
k ₃	85.2	84.9	85.0	90.5	85.9	
k ₄	84.5	87.8	74.8	84.6	90.1	
极差 R	11.5	11.5	11.6	21.0	19.0	
因素主→次	D>E>C>B>A					
优方案	D ₃ E ₄ C ₂ B ₁ A ₃					

由表 4 可知,五种因素的主次关系为:加酸量>酸的浓度>脱胶时间>加水量>脱胶温度。最佳反应组合为 D₃E₄C₂B₁A₃。即反应的柠檬酸添加量为 0.8%,柠檬酸的浓度为 10.0%,脱胶时间为 20 min,加水量为 2.0%以及脱胶温度为 80 ℃。根据上述最佳方案进行验证实验,得到的大豆油脱胶率的平均得率为 95.4%,高于实验组的最高得率 95.3%。因此,该脱胶工艺可为柠檬酸脱胶处理大豆毛油提供最佳选择。

2.3 不同酸法脱胶效果对比

表 5 两种酸法脱胶的指标

Table 5 Indexes of degumming by two acid methods

指标	磷酸脱胶	柠檬酸脱胶
脱胶率/%	97.1	95.4
水分/%	0.10	0.08
酸价/mg/g	2.54	2.31
过氧化值/mmol/kg	0.084	0.039
碘值/g/100g	139.1	134.2
成本/元	10.70	3.10

由表 5 可知,两种酸的脱胶率均在 95.0%以

上。相比之下磷酸法脱胶率更好,可能是由于大豆毛油中的金属离子与磷酸相互作用的时候形成的化合物的溶解度相对较低^[19]。油脂中水分不利于其安全贮藏。柠檬酸处理的脱胶油水分含量更低,更有利于限制亲水物质的变质腐败。柠檬酸处理的脱胶油酸价和过氧化值更加理想。柠檬酸可以脱除与胶体结合在一起的金属离子,是一种优良的金属钝化剂,它还能促使钙、镁复盐式磷脂变成亲水性磷脂,从而提高油脂的氧化稳定性^[20]。磷酸处理的脱胶油可能是由于在脱胶的过程中,磷脂发生焦化进而产生黑色物质,导致脱胶油的颜色变深、酸值上升,从而给脱胶效果带来了一些影响^[21]。碘值表示油脂脂肪酸的不饱和程度,碘值越高,越容易被氧化变质。磷酸处理的脱胶油碘值更高,说明其不饱和程度更高,更容易酸败变质。市场上磷酸的成本比柠檬酸的成本要低,但当柠檬酸的浓度达到一定程度时,其羧基便会与油的氨基发生反应生成多肽类物质,从而导致脱胶率下降。因此,在使用柠檬酸的时候要先稀释,以至于实验中柠檬酸的用量比较少,成本也就比磷酸要低。

综上,磷酸处理的脱胶油在脱胶率方面效果最佳,与脱胶率不同,酸价、过氧化值、水分、碘值和成本的结果显示:柠檬酸处理的脱胶油效果更好。

3 结论

本研究以大豆毛油为原料,进行酸法脱胶精炼处理,采用单因素试验与正交试验分别获得磷酸和柠檬酸法脱胶的最佳工艺条件。酸法脱胶中,磷酸脱胶率更高,柠檬酸的理化性质更好,然而在实际生产过程中,柠檬酸比磷酸的成本更高。柠檬酸和磷酸具有各自的特点,然而磷酸的高脱胶率具有十分重要的作用,更有利于后续的精炼过程。随着精炼工艺的不断发展,磷酸脱胶油的理化性质也将得到改善。本研究对大豆油酸法脱胶工艺的发展提供了技术支持。

参考文献:

- [1] 李亚萍. 基于低酸法优化核桃油脱胶工艺参数[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(13): 236-239.
- [2] 李世磊, 程倩, 黄昭先, 等. 酶法脱胶在大豆油脱胶中的应用[J]. 中国油脂, 2021, 46(10): 1-5.
- [3] 李奕, 宋嘉欣, 李昊辰, 等. 油莎豆油的脱胶和脱酸工艺[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17): 158-165.
- [4] 赵光辉, 董平, 姜伟, 等. 油脂脱胶技术现状及发展方向[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(11): 14-16.
- [5] 张良成, 杨坤, 王凤霞, 等. 影响大豆毛油酸法脱胶因素的研究[J]. 云南化工, 2020, 47(5): 37-38, 42.
- [6] 王诗瀚, 杨坤, 李文飞, 等. 影响葵花毛油酸法脱胶因素的研究[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(5): 14-16, 21.
- [7] 王菊华, 陈玉保, 杨顺平, 等. 响应面法优化小桐子油酸法脱胶预处理工艺[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 14-18.
- [8] 吴云静, 张勋, 宋国辉, 等. 冷榨芝麻油酸法脱胶工艺[J]. 食品工业科技, 2014(17): 206-209.
- [9] 史云东, 李祥, 贾琳, 等. 脱胶方法对普洱茶籽油中金属含量的影响[J]. 中国油脂, 2009, (10): 13-15.
- [10] Costa E, Fonseca A M, Alvim-Ferraz M D C, et al. Effect of *Crambe abyssinica* oil degumming in phosphorus concentration of refined oil and derived biodiesel[J]. Renewable Energy, 2018, 124: 27-33.
- [11] Paisan S, Chetpattananondh P, Chongkhong S. Assessment of water degumming and acid degumming of mixed algal oil[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017, 5(5): 5 115-5 123.
- [12] 张红, 王凤霞, 刘美霞, 等. 影响油菜籽毛油脱胶因素的研究[J]. 云南化工, 2019, 46(10): 39-41.
- [13] 王凤霞, 杨坤, 李文飞, 等. 湿法净化磷酸在植物毛油脱胶过程中的应用研究[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(4): 1-4.
- [14] 杨佳佳, 鹿保鑫. 青豆油脱胶工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 74-79.
- [15] 孙赫一, 宋春丽, 任健, 等. 冷榨油莎豆油柠檬酸辅助水化脱胶工艺优化及品质变化分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(2): 1-5.
- [16] 沈淇元, 易雪平, 倪穗. 牡丹籽油精炼工艺技术研究[J]. 中国野生植物资源, 2020, 39(3): 25-32.