

大豆油抗冻性的影响因素

吕瑞¹,冯坤²,罗梦阳²,卢美娟¹,楚屹然¹,杨会芳¹,刘海荣³

(1. 中储粮油脂(新郑)有限公司,河南新郑451100; 2. 河南工业大学粮油食品学院,郑州450001;
3. 中国储备粮管理集团有限公司浙江分公司,杭州310013)

摘要:抗冻性是成品一级大豆油质量指标之一,评价方式为冷冻试验。受油料、原油品质以及加工情况等的影 响,有时一级大豆油的抗冻效果会有很大差异。因此,对大豆油抗冻性的影响因素进行了研究。首先,考察了不同精炼工序大豆油的抗冻性;其次,选取5种市售一级大豆油,使其在低温条件下结晶,比较分析结晶成分与非结晶成分的脂肪酸组成以及甘油酯组成差异,并分析其理化指标差异,考察大豆油脂肪酸、甘油酯组成及理化指标对抗冻性的影响;另外,通过反添磷脂与白土探究其对一级大豆油抗冻性的影响。结果表明:不同精炼工序大豆油表现出不同的抗冻性,随着精炼程度的加深,大豆油抗冻性逐渐变差。一级大豆油中饱和脂肪酸、甘一酯、甘二酯含量为影响其抗冻性的重要因素;磷脂会提高一级大豆油的抗冻性,但磷脂含量过高,其抑制油脂结晶的效果降低;大豆油的抗冻性随着白土残余量的增加而降低。

关键词:大豆油;抗冻性;精炼工序;脂肪酸;甘油酯;磷脂;白土

中图分类号:TS225.1;TS201.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)08-0025-06

Factors affecting freezing resistance of soybean oil

LÜ Rui¹, FENG Kun², LUO Mengyang², LU Meijuan¹,
CHU Yiran¹, YANG Huifang¹, LIU Hairong³

(1. Sinograin Oils & Fats (Xinzheng) Co., Ltd., Xinzheng 451100, Henan, China; 2. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 3. Zhejiang Branch of China Cereals Management Group Co., Ltd., Hangzhou 310013, China)

Abstract: The freezing resistance is one of the quality indexes of the first grade soybean oil, which is evaluated by freezing experiment. Affected by the quality of oilseed and crude oil and the processing conditions, sometimes the freezing resistance of first grade soybean oil varies greatly. Therefore, the factors affecting the freezing resistance of soybean oil were studied. First of all, the freezing resistance of soybean oil in different refining processes was studied. Secondly, five kinds of commercial first grade soybean oil were crystallized at low temperature. The differences of the physicochemical indexes of soybean oil, the composition of fatty acids and glyceride of the crystalline and non-crystalline components were evaluated. Finally, the effect of phospholipid and clay on the freezing resistance of the first grade soybean oil was studied. The results showed that the freezing resistance of soybean oil in different refining processes was different and it gradually decreased with the deepening of refining. The contents of saturated fatty acids, monoglyceride and diglyceride were the important factors affecting the freezing resistance of the first grade soybean oil. Phospholipid could improve the freezing resistance of the first grade soybean oil, but with the increase of phospholipid content, the effect of inhibiting oil crystallization decreased; the freezing resistance of the soybean oil decreased with the increase of residual clay content.

Key words: soybean oil; freezing resistance; refining process; fatty acid; glyceride; phospholipid; clay

收稿日期:2021-04-08;修回日期:2021-06-22

作者简介:吕瑞(1984),男,主要从事油脂企业的生产技术与品质管理工作(E-mail)lvru@sinograin.com.cn。

随着人们生活水平的提高,消费者不仅对食用油的品质安全以及营养价值要求越来越高,对油脂

的外观品质也有更高的要求。因此,抗冻性成为成品一级大豆油质量指标之一。GB/T 1535—2017《大豆油》关于一级大豆油冷冻试验要求为:将油样置于0℃条件下储藏5.5 h 观察是否澄清、透明。我国中原及黄河以北区域冬季气温低,尤其夜间经常会有低于0℃情况,大豆油在运输和储存过程中容易呈结晶浑浊状态,不仅影响包装油的感观质量,而且会给消费者以掺假的错觉,怀疑油品品质,最终影响油脂生产厂家的信誉。

油脂结晶是指在环境温度较低(通常 $\leq 0^{\circ}\text{C}$)且长时间存放下,油脂出现微量结晶析出,且随着温度的继续下降,析出物越来越多,慢慢形成胶体状态,流动性变差^[1]。油脂结晶分为3个阶段,即熔融油脂的过冷却、过饱和阶段,晶核的形成阶段(其中高熔点的三饱和脂肪酸甘油酯先结晶)以及脂晶的生长阶段。油脂结晶析出物为油脂中天然存在的物质,其析出过程为正常的物理现象。影响大豆油结晶的因素错综复杂,除环境因素外,最主要的为油脂中的微量成分,如磷脂、游离脂肪酸、甘一酯、甘二酯、无机杂质等^[2-3]。周秀娟^[4]从大豆种类、产地,大豆油脂脂肪酸组成和结构、精炼过程和品质等方面对一级大豆油的抗冻性进行研究,结果发现影响油品抗冻性的因素较多,往往是多种因素共同作用。Wang 等^[5]研究了不同脂肪酸类型对油脂结晶的影响,认为油脂的结晶主要与其甘三酯组成有关,甘三酯组成的差异影响其流变性,从而影响其结晶过程。Alfutimie 等^[6]研究了饱和、不饱和甘一酯对油脂结晶行为的影响,结果发现饱和甘一酯(单硬脂酸甘油酯,GMS)的存在使得棕榈油 α 结晶、 β' 结晶转化为 β 结晶,而不饱和甘一酯(单油酸甘油酯,GMO)对棕榈油的结晶几乎没有影响。Ana 等^[7]通过研究酯交换前后大豆油的结晶行为发现,甘三酯的组成与含量直接影响大豆油的结晶性质。此外,Noraini 等^[8]将不同比例的棕榈油酸添加至大豆油中,研究其低温下结晶状况,发现高碘值油样的抗冻性要比低碘值油样的抗冻性好。而Smith 等^[9]则认为游离脂肪酸、甘一酯、甘二酯、磷脂等少量组分在不同脂质中对晶体产生不同的影响。一级大豆油除了高含量的甘三酯之外,还有含量很少却很复杂的非甘三酯成分,例如甘一酯、甘二酯、游离甾醇、色素、磷脂等,因此大豆油的低温结晶可能是这些混合物的综合表现。

本文比较不同精炼工序大豆油的抗冻性,评价市售一级大豆油样的抗冻性差异,并对其在低温条件下结晶的影响因素进行探讨,同时研究微量成分

对一级大豆油抗冻性的影响,以期科学认识大豆油结晶以及大豆油在生产、仓储物流和销售等营运活动中的结晶行为提供一定指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用油样一部分为公司精炼车间各工序样品,另一部分为市售不同品牌的一级大豆油。市售的大豆油均为进口转基因大豆油,分别以大豆油A、大豆油B、大豆油C、大豆油D、大豆油E表示。大豆卵磷脂(纯度80%),陕西林洲生物科技有限公司;活性白土,安吉高超活性白土有限公司。

R-PTH-150B 程式恒温恒湿箱,德国 IKA 磁力搅拌器,SK20G 超声波清洗机,AL204 分析天平,Allegra X-15R 台式冷冻离心机,FOSS DS-2500 近红外分析仪,电热鼓风干燥箱,C20S 卡式水分仪,7890A 气相色谱仪,DMA 4500M 实验室密度仪。

1.2 实验方法

1.2.1 大豆油的冷冻试验

取油样 250 mL 于透明 PET 样品瓶中,于一定温度下冷冻,观察油样,记录出现浑浊的时间。

1.2.2 一级大豆油的结晶分离

在油样初结晶时,将其置于提前预冷的冷冻离心机中,于转速 8 000 r/min、温度 -3°C 条件下离心 5 min,分为上层液和下层结晶。

1.2.3 不同磷脂和白土添加量油样的制备

取油样 250 mL,分别加入一定量的大豆卵磷脂或活性白土,置于恒温磁力搅拌器 80°C 下搅拌 10 min,再于超声波清洗机中超声 10 min,后置 300 mL PET 样品瓶中,待用。

1.2.4 脂肪酸组成分析

参考 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》,将大豆油进行甲酯化后进气相色谱仪分析。

气相色谱条件:HG-88 色谱柱(60 m \times 0.25 mm \times 0.2 μm);进样口温度 240°C ;氢火焰离子化检测器温度 300°C ;柱温 140°C ;载气为高纯氮气,流速 1.2 mL/min;氢气流速 30 mL/min;空气流速 400 mL/min;分流比 20:1;进样量 1 μL 。

根据保留时间定性,采用面积归一法定量。

1.2.5 甘油酯组成分析

取 3 滴油样置于试管中,加入 3 mL 正己烷溶解,经膜过滤后进入气相色谱仪分析。

气相色谱条件:CP-TAP CB 色谱柱(25 m \times 0.25 mm \times 0.2 μm);进样口温度 210°C ;氢火焰离

子化检测器温度 300 ℃;载气为高纯氮气,流速 1.2 mL/min;氢气流速 30 mL/min;空气流速 400 mL/min;分流比 20:1;进样量 1 μL;升温程序为起始温度 210 ℃,保持 2 min,然后以 10 ℃/min 的速度升温至 330 ℃,保持 2 min,再以 2 ℃/min 的速度升温至 350 ℃,保持 10 min。

根据保留时间定性,采用面积归一化法定量。

1.2.6 理化指标的测定

酸值的测定参照 GB/T 5530—2005;过氧化值的测定参照 GB/T 5538—2005;磷脂含量的测定参照 GB/T 5537—2008;密度和水分分别采用密度仪和卡式水分仪进行快速测定;碘值采用近红外仪进行快速测定,具体为取 2 mL 油样于直径 0.8 cm 圆柱形玻璃比色管中,置于加热板 39 ℃ 保持 5 min,仪器平衡 30 s 后开始扫描,扫描时间为 103 s,扫描次数为 128 次。

1.2.7 数据处理

每组实验至少有两个平行样,用 SPSS 16.0 Duncan 软件进行显著性分析, $P < 0.05$ 差异显著。

2 结果与讨论

2.1 不同精炼工序大豆油的抗冻性比较

收集了车间两批次大豆原油,其常规理化指标见表 1。对这两批次大豆原油在精炼过程中 0 ℃ 下抗冻性的变化进行分析,结果见表 2。

表 3 5 种市售一级大豆油低温下出现浑浊的时间

温度/℃	出现浑浊的时间/h				
	大豆油 A	大豆油 B	大豆油 C	大豆油 D	大豆油 E
0	16.0 ± 0.2	18.0 ± 0.2	20.0 ± 0.2	24.0 ± 0.2	26.0 ± 0.2
-2	5.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	7.0 ± 0.1	7.5 ± 0.1	8.0 ± 0.1

由表 3 可知,5 种市售一级大豆油在 0 ℃ 出现浑浊的时间均大于等于 16 h,均符合国家标准规定的冷冻试验要求(0 ℃ 储藏 5.5 h,澄清透明),但出现浑浊的时间相差较大($P < 0.05$):在 0 ℃ 时最先出现浑浊现象的是大豆油 A,其次为大豆油 B、大豆油 C,其出现浑浊的时间相差 2 h,大豆油 C 和大豆油 D、大豆油 E 出现浑浊的时间分别相差 4、6 h,由于

表 1 两批次大豆原油常规理化指标

批次	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	磷脂含量/ (mg/kg)
2020-09-14	2.90 ± 0.02	2.66 ± 0.09	129 ± 2
2020-09-17	2.43 ± 0.01	2.89 ± 0.10	132 ± 3

表 2 不同精炼工序大豆油的抗冻性比较

批次	出现浑浊的时间/h		
	脱胶、脱酸后 干燥油	脱色油	脱臭油
2020-09-14	40.0 ± 0.3	28.0 ± 0.3	19.5 ± 0.2
2020-09-17	14.0 ± 0.2	13.0 ± 0.2	8.0 ± 0.1

由表 1、表 2 可知,两批次大豆原油理化指标不同,且精炼加工过程中工艺控制参数略有差异,各工序的大豆油抗冻性存在较大的差异($P < 0.05$)。批次 2020-09-14 抗冻性整体较好。随着精炼程度的加深,两批次大豆油的抗冻性呈逐渐降低的趋势($P < 0.05$)。抗冻性差异可能是油脂在精炼加工过程中游离脂肪酸、磷脂、甘一酯、甘二酯等微量成分的含量发生变化所导致^[2,10]。

2.2 大豆油抗冻性的影响因素

2.2.1 市售一级大豆油冷冻试验

5 种市售一级大豆油低温下出现浑浊的时间如表 3 所示。

影响油脂冻结结晶的因素较多,因此造成这种结果的原因可能是多种因素的协同作用。5 种市售一级大豆油在 -2 ℃ 时出现浑浊的时间为 5 ~ 8 h,其抗冻规律与 0 ℃ 下的结果一致。

2.2.2 脂肪酸组成对大豆油抗冻性的影响

5 种市售一级大豆油的主要脂肪酸组成及含量见表 4。

表 4 5 种市售一级大豆油的主要脂肪酸组成及含量

脂肪酸	大豆油 A	大豆油 B	大豆油 C	大豆油 D	大豆油 E
棕榈酸	11.07 ± 0.33	10.80 ± 0.01	10.66 ± 0.05	10.93 ± 0.17	10.77 ± 0.18
硬脂酸	4.45 ± 0.03	4.38 ± 0.02	4.48 ± 0.00	4.16 ± 0.01	4.39 ± 0.00
油酸	25.24 ± 0.33	25.77 ± 0.15	24.99 ± 0.03	22.57 ± 0.18	24.21 ± 0.01
亚油酸	51.45 ± 0.05	51.23 ± 0.12	51.74 ± 0.02	53.36 ± 0.25	52.08 ± 0.13
亚麻酸	5.76 ± 0.08	5.52 ± 0.05	6.31 ± 0.00	6.86 ± 0.16	5.94 ± 0.01
饱和脂肪酸	16.44 ± 0.28	16.27 ± 0.03	15.97 ± 0.05	16.01 ± 0.11	16.38 ± 0.16
不饱和脂肪酸	82.71 ± 0.31	82.74 ± 0.02	83.33 ± 0.05	82.89 ± 0.11	82.51 ± 0.15
反式脂肪酸	0.66 ± 0.20	0.99 ± 0.02	0.70 ± 0.00	1.10 ± 0.00	1.12 ± 0.01

由表 4 可知,5 种市售一级大豆油的脂肪酸组成均符合国家标准中大豆油的脂肪酸组成特征。5 种市售一级大豆油中主要脂肪酸为亚油酸和油酸,占总脂肪酸的 77% 左右,其次为棕榈酸、亚麻酸和硬脂酸。根据各脂肪酸含量,未发现与其抗冻性有一定的关联。但通过饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量分析发现,大豆油 A 中饱和脂肪酸含量最高,达到 16.44%,除大豆油 D、E 外,其他大豆油的饱和脂肪酸含量总体呈现依次递减的趋势,符合其初始结晶时间依次递增的规律,大豆油 D、E 不符合该规律,推测是其反式脂肪酸含量较高(为 1.1% 左右),影响了油脂的结晶。

将 5 种市售一级大豆油进行冷冻离心,仅大豆油 A 可有效分离出固、液两相。大豆油 A 上层液与下层结晶的脂肪酸组成与含量见表 5。

由表 5 可知,大豆油 A 经冷冻离心分离后的脂肪酸组成中,上层液中饱和脂肪酸含量(15.94%)相比常温液态状态下(16.44%)明显

减少,且下层结晶中饱和脂肪酸含量(17.19%)较常温液态状态明显增加,这与文献[11]报道的饱和脂肪酸会使油脂抗冻性能降低一致。由此可推测,大豆油中饱和脂肪酸含量是影响油脂抗冻性的因素之一。

表 5 大豆油 A 上层液与下层结晶的脂肪酸组成与含量

脂肪酸	组成与含量			%
	大豆油 A	上层液	下层结晶	
饱和脂肪酸	16.44 ± 0.28	15.94 ± 0.10	17.19 ± 0.07	
不饱和脂肪酸	82.71 ± 0.31	83.24 ± 0.10	81.93 ± 0.07	
反式脂肪酸	0.66 ± 0.20	0.82 ± 0.00	0.88 ± 0.00	

2.2.3 甘油酯组成对大豆油抗冻性的影响

油脂的主要成分是甘三酯,甘三酯的性质很大程度上会影响油脂抗冻性;但油脂中的一些非甘三酯成分,如甘一酯、甘二酯以及磷脂等会在某种程度上对油脂抗冻性造成一定的影响。表 6 为 5 种市售一级大豆油及大豆油 A 经离心后下层结晶的甘油酯组成。

表 6 5 种市售一级大豆油的甘油酯组成

项目	%					
	大豆油 A	大豆油 B	大豆油 C	大豆油 D	大豆油 E	大豆油 A 下层结晶
甘一酯	0.27 ± 0.01	0.33 ± 0.00	0.34 ± 0.00	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.02	0.26 ± 0.00
甘二酯	1.85 ± 0.01	2.76 ± 0.00	1.92 ± 0.02	2.15 ± 0.03	1.98 ± 0.01	2.91 ± 0.04
甘三酯	97.34 ± 0.05	96.20 ± 0.04	97.07 ± 0.05	96.83 ± 0.04	97.08 ± 0.03	96.00 ± 0.05
游离脂肪酸	0.50 ± 0.00	0.68 ± 0.00	0.64 ± 0.00	0.66 ± 0.02	0.58 ± 0.00	0.81 ± 0.01

由表 6 可知,5 种市售一级大豆油的甘油酯组成在常温状态下并无显著性规律可循,但值得注意的是,大豆油 A 经冷冻离心分离后的下层结晶中,其甘三酯的含量(96.00%)显著低于常温状态下的甘三酯含量(97.34%),且甘一酯、甘二酯总含量增

加约 1 个百分点。由此可以推测,甘一酯、甘二酯的含量为影响油脂抗冻性的因素之一,与文献[12]报道一致。

2.2.4 理化性质对一级大豆油抗冻性的影响

表 7 为 5 种市售一级大豆油的理化性质。

表 7 5 种市售一级大豆油的理化性质

油样	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	碘值(I) / (g/100 g)	密度/ (g/cm ³)	水分/ (mg/kg)
大豆油 A	0.06 ± 0.00	1.53 ± 0.02	124 ± 1	0.919 5 ± 0.000 1	286.1 ± 0.7
大豆油 B	0.08 ± 0.01	1.31 ± 0.02	124 ± 0	0.919 6 ± 0.000 0	282.5 ± 0.5
大豆油 C	0.06 ± 0.00	0.96 ± 0.01	126 ± 1	0.919 7 ± 0.000 1	266.1 ± 0.9
大豆油 D	0.09 ± 0.01	1.80 ± 0.02	129 ± 1	0.920 0 ± 0.000 1	260.5 ± 0.9
大豆油 E	0.08 ± 0.01	1.14 ± 0.03	127 ± 0	0.920 2 ± 0.000 0	251.5 ± 0.7

由表 7 可知,5 种市售一级大豆油的酸值(KOH)均在 0.50 mg/g 以下,符合国家标准。大豆油 A 作为最易结晶的油样,酸值(KOH)仅为 0.06 mg/g,而大豆油 D、E 作为抗冻性较好的油样,酸值较高。但 5 种大豆油酸值相比较并没有发现明显的规律。因此,游离脂肪酸含量与一级大豆油的抗冻

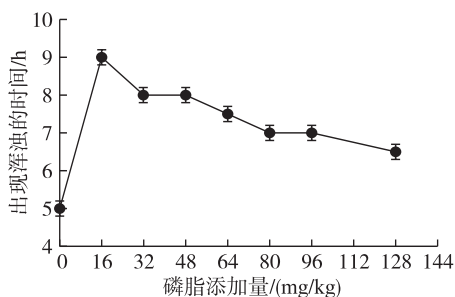
性并无直接相关性。该结果与已有研究认为适量的游离脂肪酸能起到晶种的作用,有利于油脂的结晶^[13]有差异。过氧化物会增大油脂的黏度^[13],从而延缓油脂的结晶。5 种市售一级大豆油的过氧化值均符合国家标准,且差异不大,所以过氧化值与油脂抗冻性并无直接的相关性。碘值反映的是油脂中

不饱和脂肪酸的含量,碘值越小,油脂中饱和脂肪酸含量越高。大豆油 A 等易出现浑浊的油样其不饱和程度较低,而大豆油 C 等抗冻性较好的油样(除大豆油 D、E)其不饱和程度较高。由此可推测,油脂的不饱和程度越高,其抗冻性越好。这与之前饱和脂肪酸影响油脂抗冻性的结论相一致。对比 5 种市售一级大豆油的密度和水分,推测密度与大豆油抗冻性无显著的相关性;5 种市售一级大豆油水分含量依次降低,与 5 种大豆油抗冻性大小相反,可推测油脂水分含量可能是影响大豆油抗冻性的因素之一。

2.3 磷脂和白土添加量对大豆油抗冻性的影响

2.3.1 磷脂添加量对大豆油抗冻性的影响

磷脂同时具有亲水和亲油基团,是一种乳化剂。向大豆油 A 中添加一定量的磷脂,在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行冷冻试验,考察磷脂添加量对大豆油抗冻性的影响,结果见图 1。



注:大豆油 A 中的初始磷脂含量为 52.62 mg/kg 。

图 1 磷脂添加量对大豆油抗冻性的影响

由图 1 可知:不添加磷脂时大豆油 A 出现浑浊的时间为 5 h,与表 3 的结果相一致;添加磷脂的油样较不添加磷脂的油样出现浑浊的时间延长,抗冻性提高,当磷脂添加量为 16 mg/kg 时油样的抗冻性最好,出现浑浊的时间为 9 h;随着磷脂添加量的继续增加,其促进油样抗冻性的效果变差,但是均比不添加磷脂的油样抗冻性要好。造成这种现象的原因因为结晶过程中卵磷脂部分吸附在晶体表面,影响晶体的生长,因此表现出一定的抗冻性;但大豆卵磷脂纯度为 80%,随着其添加量的增加,引入其他微量杂质,故油样抗冻性随着大豆卵磷脂添加量的增加呈现降低的变化趋势^[14-15]。

2.3.2 白土添加量对大豆油抗冻性的影响

油脂在脱色工段需要加入脱色剂以脱除色素,一般使用活性白土和凹凸棒黏土。残余的活性白土作为油脂中微量杂质,能吸附在晶核的表面,熔化物中的外界粒子可以使临界形成的自由能减少,成核的速率加快^[16-17]。向大豆油 A 中添

加一定量的活性白土,在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行冷冻试验,考察白土添加量对大豆油抗冻性的影响,结果见图 2。

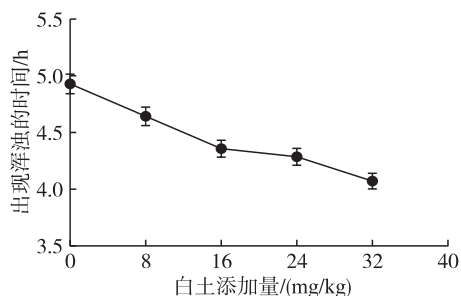


图 2 白土添加量对油样结晶时间的影响

由图 2 可知,未添加白土大豆油 A 出现浑浊的时间为 5 h,与表 3 的结果一致,油样出现浑浊的时间随着白土添加量的增加呈现下降的趋势。

3 结论

通过研究精炼过程中大豆油抗冻性变化,发现随着精炼程度的加深,大豆油的抗冻性逐渐变差。通过对 5 种市售一级大豆油理化指标以及脂肪酸、甘油酯组成分析发现:酸值、过氧化值以及密度与一级大豆油的抗冻性并无显著相关性;油脂中水分含量越高,其抗冻性越差;油脂中甘一酯、甘二酯以及饱和脂肪酸的含量越高,碘值越低,其抗冻性越差。磷脂可以有效延缓一级大豆油的结晶,随着油脂中磷脂含量的增加,对油脂抗冻性效果呈现先强后弱的趋势;随着白土添加量的增加,油脂抗冻性逐渐变差。由于油脂结晶的原因复杂,并且是多种因素共同作用的结果,需要更深层次的研究为企业生产、运输、物流中的大豆油结晶提供更加科学的依据。

参考文献:

- [1] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2005: 20.
- [2] 左青,于学生,董福生,等. 抗冻性一级大豆油生产实践[J]. 中国油脂,2014, 39(1): 94-97.
- [3] 左青. 一级大豆油结晶原因分析[J]. 中国油脂,2011, 36(3): 23-24.
- [4] 周秀娟. 一级大豆油抗冻性能研究[D]. 江苏 镇江:江苏大学,2008.
- [5] WANG T, BRIGGS J L. Rheological and thermal properties of soybean oils with modified FA compositions [J]. J Am Oil Chem Soc, 2002, 79(8): 831-836.
- [6] ALFUTIMIE A, AL-JANABI N, CURTIS R, et al. The effect of monoglycerides on the crystallisation of triglyceride [J]. Colloid Surface A, 2016, 494: 170-179.

(下转第 38 页)

