

食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS



## 《食品工业科技》网络首发论文

题目：不同种类凝胶因子对芝麻油基凝胶油特性的影响  
作者：陈飞雪，胡茂芩，董平，吕秋冰，王敏，钟秋  
网络首发日期：2020-07-21  
引用格式：陈飞雪，胡茂芩，董平，吕秋冰，王敏，钟秋. 不同种类凝胶因子对芝麻油基凝胶油特性的影响. 食品工业科技.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200720.1617.016.html>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 不同种类凝胶因子对芝麻油基凝胶油特性的影响

陈飞雪<sup>1</sup>, 胡茂琴<sup>2</sup>, 董平<sup>1</sup>, 吕秋冰<sup>1\*</sup>, 王敏<sup>1</sup>, 钟秋<sup>1</sup>

(1. 四川旅游学院食品学院, 四川 成都 610100; 2. 成都大学药学与生物工程学院, 四川 成都 610100)

**摘要:** 以芝麻油为原料, 通过添加虫胶 (Shellac, LAC)、单硬脂酸甘油酯 (Monoacylglycerol, MAG)、乙基纤维素 (Ethyl Cellulose, EC) 三种不同种类凝胶因子制备出构型不同的凝胶油, 并对凝胶油的持油能力、硬度、热力学性质、结晶形态等特性, 做了初步研究。结果表明, 凝胶因子种类及添加比例对凝胶油临界成胶有一定影响, 添加比例不小于 5% 时, LAC、MAG 能形成凝胶, 添加比例为 3% 时, EC 能形成凝胶油; 凝胶因子种类对持油性 (Oil Binding Capacity, OBC) 有重要影响, 在凝胶因子添加比例为 9% 时, LAC 凝胶油的 OBC 值最小, 为 55.3%; 凝胶因子对硬度的影响中, 三种不同凝胶油的硬度都随着凝胶因子添加比例增加而增大; 在 DSC 曲线中, LAC 凝胶油呈单峰、MAG 凝胶油呈双峰、EC 凝胶油峰度不明显; 通过偏光显微镜观察, 发现三种凝胶油的晶体形态结构及分散情况差别较大, LAC 凝胶油晶体颗粒较小, 呈细丫状; MAG 凝胶油晶体颗粒偏大, 先呈小球状后随添加量增大呈针状, 表明凝胶油的微观结构受到凝胶因子种类的影响。

**关键词:** 凝胶油, 芝麻油, 凝胶因子种类, 凝胶油特性

## Effects of Different Gel Factors On the Properties of Sesame Oil-based Oleogels

CHEN Fei-xue<sup>1</sup>, HU Mao-qin<sup>2</sup>, DONG Ping<sup>1</sup>, LÜ Qiu-bing<sup>1\*</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, ZHONG Qiu<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, Sichuan, China; 2. College of Pharmacy and Bioengineering, Chendu University, Chengdu 610100, Sichuan, China)

**Abstract:** With sesame oil as material, three different kinds of oleogels in different configurations were prepared by adding shellac (LAC), monoglyceride (MAG), ethyl cellulose (EC). The characterizations of oil holding capacity, hardness, thermodynamic properties and crystalline form

**基金项目:** 1. 四川省教育厅研究中心项目 (CC18Z22); 2. 四川省教育厅自科项目 (17ZB0324); 3. 地方高校校级大学生创新创业训练计划项目 (201911552160; 201911552201); 4. 四川旅游学院 2019 年度科研创新团队项目 (19SCTUTP04); 5. 四川旅游学院大学生科研项目 (2020XKZ10)

**作者简介:** 陈飞雪 (1999), 女, 四川旅游学院在读本科生, 食品科学与工程专业, E-mail: Chenfeixue17@163.com

**\*通讯作者:** 吕秋冰 (1988), 男, 讲师, 研究方向: 食品加工与检测, E-mail: lvqiubing@126.com

of oleogels were studied preliminarily. The results showed that the types of gel factors and the proportion of addition had a certain influence on the critical gelation of oleogels. When the addition ratio is not less than 5%, LAC, MAG can form the oleogels, and when the addition ratio is 3%, EC can form the oleogel. The type of gel factors had an important effect on OBC. When the ratio of gel factor addition is 9%, the OBC value of LAC oleogel is the smallest, which is 55.3%. In the effect of gel factors on hardness, the hardness of three different oleogels increased with the increase of gel factor addition. In the DSC curve, LAC oleogel showed single peak, MAG oleogel showed double peak, and EC oleogel had no obvious peak. By means of polarizing microscope, the crystal morphology and dispersion of the three kinds of oleogels are different, LAC oleogels crystal particles are small and fine, while MAG oleogels crystal particles are larger and leaf like, indicating that the microstructure of oleogel is affected by the type of gel factor.

**Key words:** oleogels; sesame oil; gel factor type; oleogel characterization;

有机凝胶是凝胶体系中的一种，是有机凝胶因子通过自组装或者结晶的方式，形成的具有固化亲脂性液体（植物油）的多种结构<sup>[1]</sup>。芝麻，属胡麻科一年生植物，是我国重要的油料作物之一，芝麻中脂肪含量丰富，其中油酸和亚油酸占 85%左右<sup>[2]</sup>，除此之外，还含有大量的油酸、亚油酸、花生酸等人体必需的脂肪酸<sup>[3]</sup>，经常食用可改善人体血液循环，能有效预防心血管疾病<sup>[4]</sup>。

虫胶（LAC）是一种新兴的天然有机材料，其成膜性能和热性能良好<sup>[5]</sup>，添加到油脂中形成三维网状结构来束缚油脂<sup>[6]</sup>。蒸馏单硬脂酸甘油酯(MAG)化学名为单十八烷酸丙三醇酯，简称单甘酯，是表面活性剂中的一种<sup>[7]</sup>，添加到植物油中通过自组装先形成片状微结构，最终形成连续的三维网络结构<sup>[8]</sup>。乙基纤维素（EC）是纤维素醚中的一种，不溶于水，无毒且稳定性好<sup>[9]</sup>，添加到油脂中能形成高分子网络结构，从而防止油脂结构坍塌<sup>[10]</sup>。Zetzl<sup>[11]</sup>等把乙基纤维素凝胶油作为动物油脂的替代，添加到法兰克福香肠中，不仅保证了香肠的感官品质，同时还提高了产品的健康性。Jang<sup>[12]</sup>、Mert<sup>[13]</sup>等将凝胶油作为新型起酥油应用于饼干等焙烤食品的制作中。

本实验选用芝麻油为基料油，通过添加 LAC、MAG、EC 三种凝胶因子使其形成凝胶油，并探讨了三种凝胶因子对所形成凝胶油的凝胶性质的影响，为凝胶类油脂在食品产业中的研发提供一定的理论依据。

# 1 材料与amp;方法

## 1.1 材料与仪器

南方纯芝麻油 湖南省长康责任有限公司; 虫胶、乙基纤维素(粘度值 90~110 mPa·s)、单硬脂酸甘油酯 所有试剂均来自成都润泽本土化工有限公司; 所有试剂均为食品级。

AB135-S 型电子分析天平 Mettler Toledo 公司; DSC Q100 型热分析仪 美国 TA 公司; BCD-226K50 型冰箱 美的集团股份有限公司; DF-101S 电热恒温磁力搅拌器 巩义市予华仪器责任有限公司; H2050R 台式高速冷冻离心机 长沙湘仪离心机仪器有限公司; XP-201 型透射偏光显微镜 上海宙山精密光学仪器有限公司; TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 芝麻油基凝胶油样品制备

分别向芝麻油中加入 3%、5%、7%、9% (以芝麻油质量计)虫胶、乙基纤维素、单硬脂酸甘油酯,用 50 mL 圆底烧瓶盛装,瓶口用一层保鲜膜遮盖,然后放在恒温磁力搅拌器中搅拌加热,加热搅拌条件分别为:虫胶,80 °C 下搅拌 20 min,转速为 170 r/min;乙基纤维素,135 °C 下搅拌 20 min,转速 170 r/min;单硬脂酸甘油酯,80 °C 下搅拌 20 min,转速为 170 r/min,加热完成后,得到三种凝胶油,在室温下静置 24 h 备用<sup>[14-15]</sup>。

### 1.2.2 凝胶油结晶形成时间 (Crystal Formation Time, CFT)

取 1 mL1.2.1 中制备好的凝胶油于 2 mL 离心管中,将离心管放在 90 °C 热水中,用温度计准确测量,保持 1 h 以消除结晶记忆,然后取出置于室温下,倒置离心管,开始计时,直到完全形成凝胶油 (正放离心管无液体流动),结束记时<sup>[16]</sup>。

### 1.2.3 芝麻油基凝胶油的持油性 (Oil Binding Capacity, OBC)

用持油性来表征芝麻油与凝胶因子的结合能力,准确称取 1 g (精确到 0.001 g)凝胶油样品放入 2 mL 离心管中,在 20 °C 下以 10 000 r/min 转速离心 15 min,随后将离心管倒置 10 min,确保油能完全从凝胶油中分离出。具体步骤参考文献<sup>[17]</sup>。

$$OBC = \frac{\text{样品质量} - \text{分离油质量}}{\text{样品质量}} \times 100\%$$

#### 1.2.4 凝胶油的硬度

将芝麻油基凝胶油样品用 50 mL 小烧杯盛装，保持样品均匀且表面平整，在室温下静置 24 h 后备用，硬度测定条件：探针 P5，测前速度 2 mm/s，测试中的速度 1 mm/s，测后速度 2 mm/s，下压深度 10 mm。各组样品均在 20 °C 下测验 3 次，取平均值<sup>[18]</sup>。

#### 1.2.5 凝胶油的融化结晶性质和固体脂肪含量（Solid Fat Content, SFC）

准确称量 6~8 mg 芝麻油基凝胶油样品，然后置于 DSC Q100 型热分析仪中，进行程序控温，采用 30 °C/min 的速率快速将其从室温加热至 90 °C，并保持 10 min 以消除结晶记忆，再以 10 °C/min 的速率降至-20 °C，并保持 20 min 使其充分结晶，再升温至 90 °C，升温速率为 5 °C/min，氮气流量为 100 mL/min，记录结晶及熔化过程中的热变化线<sup>[19]</sup>。

利用 DSC 计算 SFC，对 DSC 热图中结晶初始温度和终止温度进行积分计算<sup>[20]</sup>，数据采用 TA 软件以及 OriginPro9 软件进行数据处理。

#### 1.2.6 凝胶油的晶体形态分析

采用偏光显微镜对晶体微观结构变化进行观察研究，先制片，用毛细管取一定量凝胶油放在载玻片上，从一个方向盖上盖玻片，防止气泡残留，置于载物台上，观察凝胶油中结晶形态<sup>[21]</sup>。

### 1.3 数据处理

本实验所涉及到的单因素试验测量3次，所得数据用SPSS21.0软件进行平均值及标准差分析，比较数据的显著性，不同的字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ），并用 OriginPro9.0进行基础数据处理并绘制图形。

## 2 结果与分析

### 2.1 凝胶因子种类对凝胶油结晶形成时间的影响

表 1 凝胶油的形成时间  
Table 1 The formation time of oleogel

项目	添加比例 3%	添加比例 5%	添加比例 7%	添加比例 9%
LAC 凝胶油 (min)	—	—	9.0 ± 0.5	7.0 ± 0.5
MAG 凝胶油 (min)	—	5.0 ± 1.5	4.0 ± 0.5	2.0 ± 0.5

EC 凝胶油 (min)	13.0 ± 1.5	10.0 ± 0.5	7.0 ± 0.5	5.0 ± 0.5
--------------	------------	------------	-----------	-----------

注：结果为三测定的平均值。LAC 为虫胶；MAG 为单硬脂酸甘油酯；EC 为乙基纤维素；“-”表示无法形成凝胶油。

对基料油(芝麻油)、凝胶因子(虫胶、单硬脂酸甘油酯、乙基纤维素)形成时间进行分析，结果如表 1 所示。由表 1 可知，随着凝胶因子添加量的增加，三种不同凝胶油形成结晶所需要的时间逐渐减少，但 3% 的 LAC 凝胶油、MAG 凝胶油、以及 5% 的 LAC 凝胶油、均无法完全形成结晶，低速离心后，基料油几乎全部析出；而 3% 的 EC 凝胶油能形成结晶，因此可以初步判断，在三种凝胶因子中，EC 凝胶油在较低添加比例下也拥有较好的结晶能力；通过比较三种不同凝胶因子结晶形成时间可以发现，当添加比例≥5%时，在相同添加比例下，MAG 凝胶油结晶所需时间最短，可能与饱和 MAG 在植物油中形成凝胶油的方式是自组装有关。综上所述，可以初步说明 MAG 的结晶能力最强，LAC 的结晶能力最弱。

## 2.2 凝胶因子种类对凝胶油持油性的影响

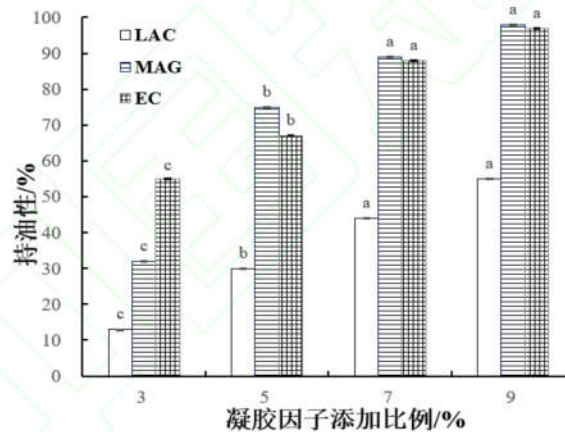


图 1 不同种类凝胶因子及添加比例对凝胶油持油性的影响

Fig.1 The effects of different gel factors and adding Proportion on OBC of oleogel

注：同一指标字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

由图 1 可知，当凝胶因子添加比例相同时，虫胶凝胶的持油性 (OBC) 值最小，添加比例≥5%时，MAG 凝胶油的 OBC 值最大，但与 EC 凝胶油差异不大，这与表 1 中 MAG 在添加比例≥5%时开始形成凝胶的结果一致，MAG 添加比例<5%时无法完全形成结晶。因此，MAG 凝胶油的 OBC 值偏小，表明凝胶因子种类及添加比例对凝胶油的 OBC 有重要影响；在同一种油基 (芝麻油) 中，凝胶油的 OBC 值随着凝胶因子添加比例的增大而逐渐增大，出现这种情况是因为凝胶因子含量越高，凝胶油中的网络结晶体系就越牢固，对液

态油迁移的抑制能力也就越强；在添加比例为 7%和 9% 时，MAG 和 EC 凝胶油的 OBC 差别较小，说明这两种凝胶因子在此时的凝胶结晶能力相差不大，同时 MAG 凝胶油和 EC 凝胶油的 OBC 差异都不显著，可能是因为其结晶已经相对饱和。在整体来看，在相同添加比例下，虫胶的 OBC 值最小，表明其持油能力最弱。

### 2.3 凝胶因子种类对凝胶油硬度的影响

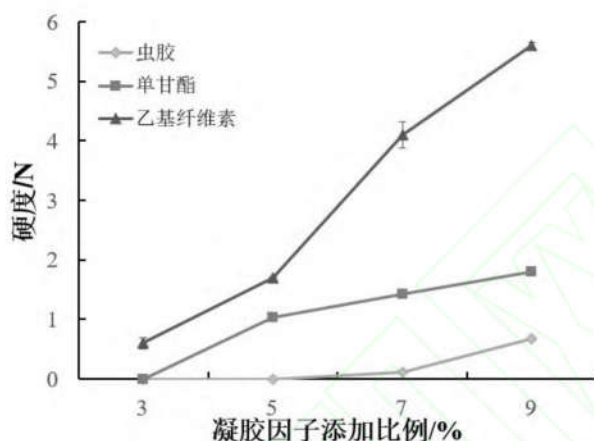


图 2 不同种类凝胶因子及同添加比例对凝胶油硬度的影响

Fig.2 The effects of different gel factors and the same proportion on hardness of oleogel

凝胶油的硬度是凝胶因子对液体油迁移抑制能力的重要体现，硬度越大的凝胶油，其内部的网络结构也就越紧密，对液体油的约束能力就越强。由图 2 可知，三种凝胶因子形成的油脂凝胶在添加比例为 5%时硬度差异开始变大，其中硬度值 EC 凝胶油>MAG 凝胶油>LAC 凝胶油。在添加比例为 3%时，LAC 凝胶油、MAG 凝胶油硬度值为零，添加比例为 5%时 LAC 凝胶油硬度值为零，这与表 1 凝胶油的形成时间中 3%时 LAC 与 MAG 无法形成凝胶油、5%时 LAC 无法形成凝胶油的结果一致。三种凝胶油的硬度值都随着凝胶因子添加比例增加明显提高，因此，可认为凝胶因子添加比例对油凝胶硬度的影响效果明显。此外许多研究表明，凝胶因子的油脂兼容性也会影响凝胶油的硬度，由此推测三种凝胶因子与芝麻油的兼容性也是影响硬度的因素之一<sup>[22]</sup>。

## 2.4 凝胶因子种类对凝胶油热力学性质的影响

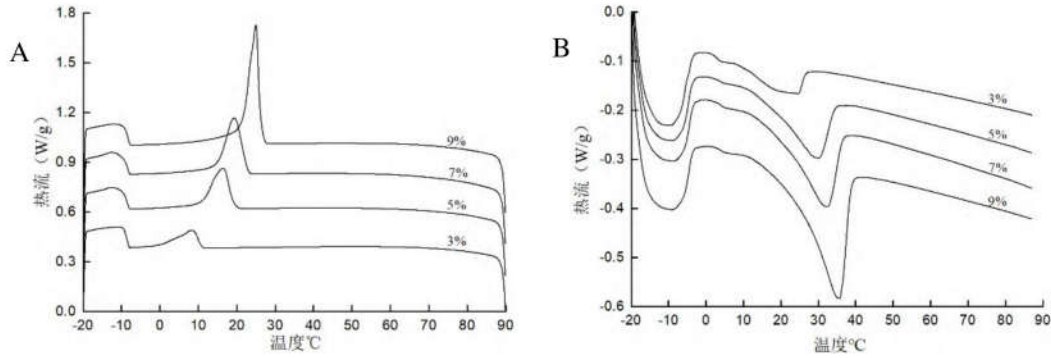


图3 不同 LAC 含量凝胶油结晶 (A) 和融化(B)曲线

Fig.3 The crystallization (A) and melting curves(B) of oleogel with different LAC content

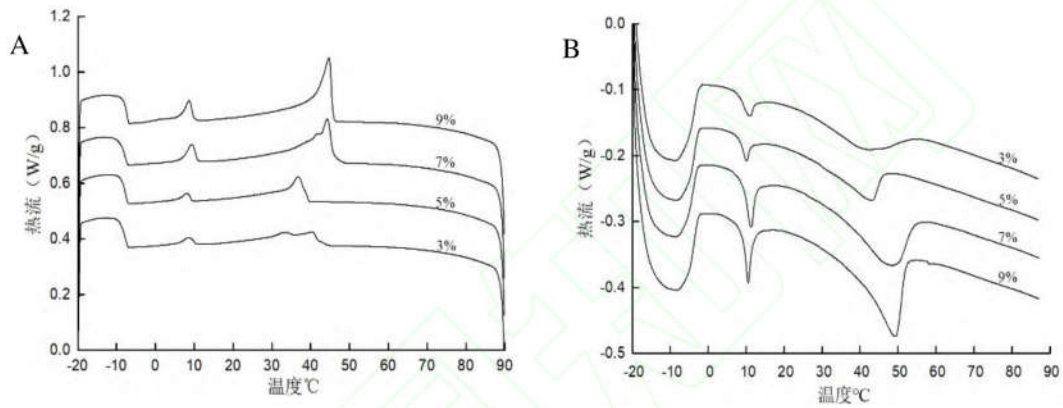


图4 不同 MAG 含量凝胶油结晶 (A) 和融化 (B) 曲线

Fig.4 The crystallization (A) and melting curves(B) of oleogel with different MAG content

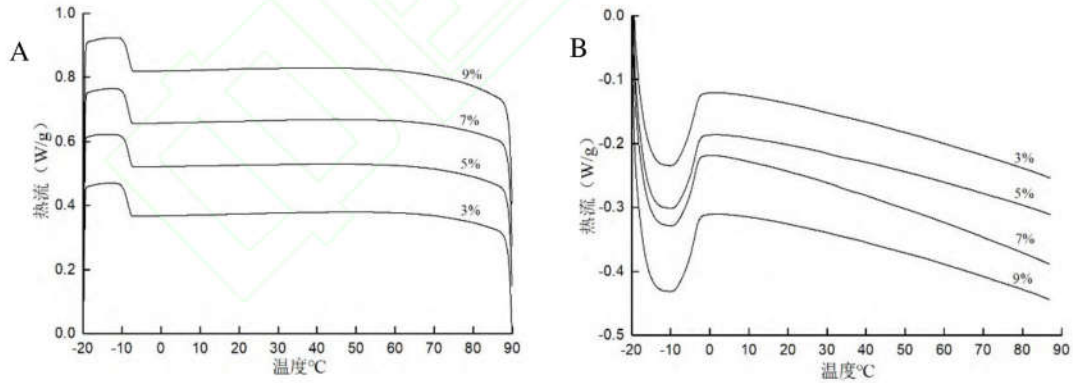


图5 不同 EC 含量凝胶油结晶 (A) 和融化 (B) 曲线

Fig.5 The crystallization (A) and melting curves(B) of oleogel with different EC content

由图 3(A)可知 LAC 凝胶油在 0~25 °C 有一个结晶峰, 其结晶焓随着凝胶因子添加量增加而增大, 从 3.737 J/g 增加到 13.97 J/g, 初始结晶温度从 10.82 °C 上升 26.22 °C, 说明凝胶油中 LAC 含量越大, 越有利于凝胶油的结晶; 由图 3(B)可知, LAC 凝胶油融化过程与结晶行为相似, 均呈单峰, 且随着添加量增加, 融化温度从 19.41 °C 上升 35.46 °C, 说明 LAC 添加量对所形成的凝胶油在结晶和融化过程的温度有着关键的作用。



由图 4(A)可知, MAG 凝胶油在 0~50 °C 有两个结晶峰, 在 0~20 °C 有一个不明显的结晶峰, 在 30~50 °C 有一个尖峰, 结晶过程中峰值温度、初始温度随着大豆油基凝胶油中 MAG 含量的降低而降低, 但其对映的放热峰宽度范围逐渐变大, 这与 Meng<sup>[23]</sup>关于 MAG 凝胶油等温和非等温结晶动力学的研究中得出凝胶因子会影响晶体形成结果的结论一致。图 4(B)中, MAG 的高熔点峰因添加量增加而逐渐向高温移动, 说明随着添加量增加, 凝胶油的融化范围变宽。

由图 5 可知, EC 凝胶油没有表现出明显的结晶放热峰, 随着添加量增加, 其结晶焓从 1.800 J/g 增加到 2.273 J/g, 放热焓从 6.636 J/g 上升到 7.606 J/g, 在这个相变过程中, 热量变化十分缓慢, 这可能是 DSC 图中 EC 凝胶油峰度不明显的原因。

## 2.5 凝胶因子种类对凝胶油固体脂肪酸含量的影响

表 2 不同种类凝胶因子及添加比例对 SFC 的影响

Table 2 The effects of different gel factors and addition ratio on SFC

温度 (°C)	SFC%							
	3% (LAC)	5%	7%	9%	3%(MAG)	5%	7%	9%
5	61.4±0.1	66.1±0.0	76.9±0.3	96.3±0.3	51.7±0.0	70.5±0.1	72.3±0.1	76.5±0.5
10	51.6±0.1	57.8±0.0	71.0±0.0	9.0±0.2	48.2±0.1	66.8±0.1	66.9±0.1	75.4±0.1
15	0	12.7±0.0	56.4±0.0	81.5±0.6	43.6±0.0	65.1±0.5	65.3±0.1	74.6±0.1
20		0	13.7±0.0	70.3±0.2	35.6±0.3	53.5±0.1	58.5±0.1	65.9±0.1
25			0	6.20±0.2	26.5±0.1	40.1±0.1	50.1±0.1	58.2±0.1
30				0	17.7±0.1	25.9±0.1	40.4±0.1	47.1±0.4
35					5.9±0.0	9.6±0.1	30.8±0.4	38.1±0.1
40					0	0	16.0±0.1	25.0±0.0
45							10.7±0.1	7.7±0.1
50							0	0

注: EC 凝胶油因无明显峰值, 无法积分计算, 故未列入表中。

固体脂肪含量 (SFC) 能表明脂肪的熔化和结晶特性, 而 DSC 是一种用于分析晶体在熔融过程中的过渡的有用技术, 结果如表 2 所示。固体脂肪酸 (SFC) 含量影响凝胶油的感官特性, 如口感和硬度, 由表 2 可知, 在 5 °C 时, LAC(3%)、LAC(5%)、LAC(7%)、LAC (9%) 的 SFC 含量分别为 61.4%、66.1%、76.9%、96.3%, 呈现逐渐增大的趋势, 同时 MAG 凝胶油

的SFC值也逐渐增大，可以说明，凝胶因子的含量增加，相应的SFC值也会增大，其体系中的饱和度也就越高<sup>[24]</sup>；当温度上升到10℃时，LAC(3%)、LAC(5%)、LAC(7%)、LAC(9%)的SFC含量分别为51.6%、57.8%、71.0%、90.0%，与5℃相比，SFC值均下降，但添加量为9%的凝胶油SFC值仍最大，说明该种凝胶油有较高的融化温度，这对于凝胶油脂来说是一个优良特点，意味着在高温烘烤下不容易融化；同时可以发现，在同一温度和添加比例下，MAG凝胶油的耐高温能力比LAC凝胶油更强，这也与DSC图中两种凝胶因子结晶峰的差异相关，LAC凝胶油的结晶峰范围在0~25℃，MAG凝胶油的结晶峰范围在0~50℃，所以在25℃时，LAC添加量为9%时，其凝胶油SFC值为0；在50℃时，MAG添加量为9%时，其凝胶油的SFC值为0，表明完全融化。综上所述，MAG凝胶油比LAC凝胶油具有更理想的宽温度范围，更适于作为可塑性油脂应用到食品工业中。

## 2.6 不同种类凝胶因子及添加比例对凝胶油微观形态的影响

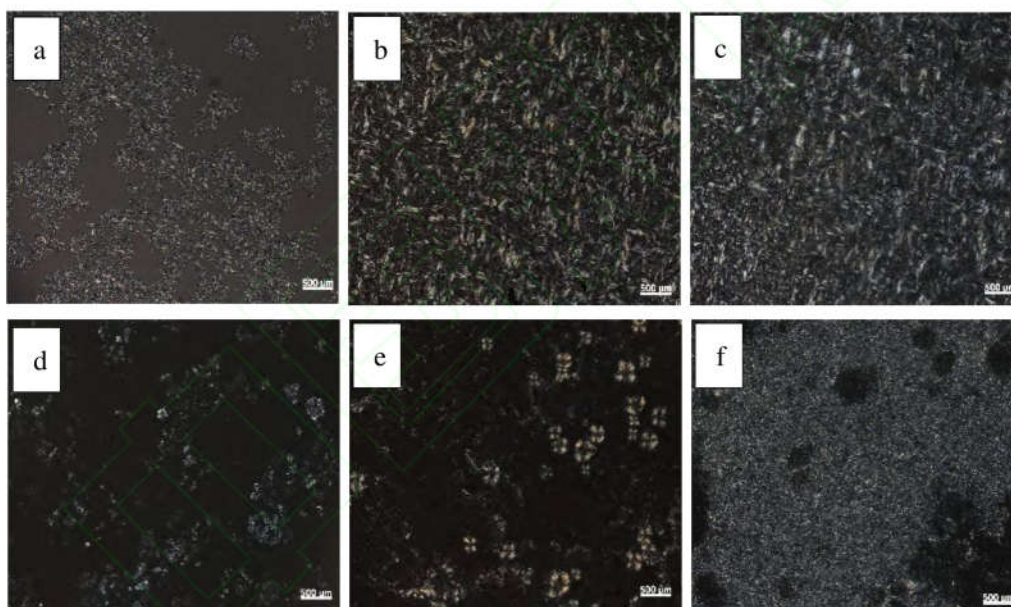


图6 不同凝胶因子及添加比例凝胶油的偏光图像

Fig.6 The PLM images of different gel factors and adding proportional oleogel

注：a~c 分别为 5%、7%、9%虫胶(LAC)、d~f 分别为 5%、7%、9% 单硬脂酸甘油酯(MAG)、乙基纤维素(EC)凝胶油样品未测出明显偏光图片，故未列出。

如图6所示，LAC凝胶油的晶体主要为树丫状，晶体大小较均匀且网络结构也较为紧密，并随着添加比例增加其分布越发密集；MAG凝胶油的晶体呈小球状，在添加比例为9%时，其晶体呈现细小针状并交联成密集片状，更加牢固，这也与这与Mustafa等<sup>[25]</sup>观察到的不同浓度MAG凝胶油的结构类似，因此，推测这些球状结构可能是单甘酯的添加量较少，不能够形成针状结晶时而形成的一种过渡结构；EC凝胶油在偏光检测下未拍出偏光

照片，可能是由于其成胶后晶体较少或没有晶体，故未能拍到明显图片。综上所述，凝胶因子的种类及添加比例对凝胶油晶体结构有重要作用，不同比例的 LAC、MAG、添加到芝麻油中，制备的凝胶油晶体形态和规模均发生了相应的变化。

### 3 结论

实验结果说明，三种凝胶因子中，EC 对油脂的束缚能力较强，其临界成胶的质量分数最小，不大于 3%，且其形成凝胶油的硬度在同质量分数下，均比 LAC、MAG 的凝胶油大；从 DSC 热图中发现，随着 LAC、MAG 添加比例增加，其高温熔峰向高温处移动，说明其融化范围变宽；这与 SFC 表中凝胶因子在高添加比例下，其 SFC 值为 0 时的温度越高的结果一致；通过偏光显微镜观察发现，凝胶因子的种类和添加比例会明显影响凝胶油的晶体结构和分布状况。

#### 参考文献：

- [1]Co E D,Marangnoi A G.Organogels:An alternative edible oil-structuring method[J].Journal of the American Oil Chemists Society,2012,89(5):749-780.
- [2]宋国辉,芦鑫,孙强,等.芝麻组分对芝麻酱贮藏稳定性的影响[J].食品工业科技,2017,38(18):25-29,35.
- [3]白亮,陶永清,赵辉,等.亚临界 CO<sub>2</sub> 提取黑芝麻油渣中的芝麻油及其品质研究[J].食品工业科技,2017,38(4):247-252.
- [4]刘莹,刘会昌,石建新.反油酸处理对人 HepG2 细胞代谢组的影响[J].食品工业科技,2016,37(11):332-337.
- [5]黄雪,张慧,彭舒悦,等.天然可食性壁材虫胶在功能组分微囊研究进展[J].食品科学,2019,40(17):317-324.
- [6]Patel A R,Rajarethinem P S,Gredowska A,et al.Edible applications of shellac oleogels:spreads,chocolate paste and cakes[J].Food&function,2014,5(4).
- [7]豆康宁,赵永敢,王飞,等.蒸馏单硬脂酸甘油酯对面粉品质的改良研究[J].现代面粉工业,2016,30(6):27-29.
- [8]Terec H P,Wiess R G.Low Molecular Mass Gelators of Organic Liquids and the Properties of Their Gels[J].Cheminform,1997,97(8):3133.

- [9]Alper A.Covalent immobilization of urease to modified ethyl cellulose[J].Fibers and polymers,2013,14(1):22-27
- [10]Laredo T,Barbut S,Marangoni A.G.Molecular interactions of polymer oleogelation[J].Soft Matter,2011,7(6):2734-2743
- [11]Zetzi A K,Marangoni A G,Barbut S.Mechanical properties of thylcelluloseoleogels and their potential for saturated fat reduction in frankfurters[J].Food&Function,2012,3(3):327-337.
- [12]Jang A,Bae W,Hwang H S,et al.Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods[J].Food Chemistry,2015,187:525-529.
- [13]Mert B,Demirkesen I.Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product[J].LWT-Food Science and Technology,2016,68:477-484.
- [14]高宁宁,赵晨伟,唐年初.大豆油基凝胶油储藏过程中结晶结构及物理性能变化研究[J].中国粮油学报,2017,32(6):69-73+78.
- [15]宋曙辉,赵霖,邹海明,等.乙基纤维素凝胶化油脂对大鼠营养生理功能的影响[J].中国食品学报,2017,17(7):17-24.
- [16]Yilmazi E,Ogutcu M.Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride[J].Journal of the American Oil Chemists Society,2014,91(6):1007-1017.
- [17]高宁宁,唐年初,赵晨伟.玉米蜡含量对大豆油基凝胶油性质的影响[J].中国油脂,2016,41(8):31-36.
- [18]李丹,赵月,李婷婷,等.油脂品种对肉桂酸基油脂凝胶形成及性质的影响[J].食品科学,2018,39(12):9-14.
- [19]赵月,邹德智,李婷婷,等.米糠蜡对稻米油基凝胶油形成的影响及动力学[J].食品科学,2017,38(23):59-64.
- [20]Andres L M, Maria P P ,Jorge R W.Solid Fat Content Estimation by Differential Scanning Calorimetry: Prior Treatment and Proposed Correction[J].Journal of the American Oil Chemists' Society,2013,90(4):467-473
- [21]陈琼,杨雪,赵金利,等.酶法制备甘油二酯与甘油三酯的结晶特性研究[J].中国油脂,2015,40(11):48-53.
- [22]Yilmazi E,Ogutcu M.Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride[J].Journal of the American Oil Chemists Society,2014,91(6):1007-1017.
- [23]Meng Z,Yang L J,Geng W X,et al.Kinetic study on the isothermal and nonisothermal crystallization of monoglyceride organogels[J].The Scientific World

Journal,2014,2014.

[24]王晓晨.高熔点甘油二酯和单甘酯在大豆油基有机凝胶油中的特性研究[D].暨南大学,2017.

[25]Ogutcu M,Temizkan R,Arifoglu N,et al.Structure and stability of fish oil organogels prepared with sunflower wax and monoglyceride[J].Journal of Oleo Science,2015,64(7):713-720.

中国知网