

# 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油三酯对巧克力霜变行为的影响机制及其酶法制备研究进展

史宸宇, 陈其刚, 彭楚翘, 李玲, 林鹏, 金俊

(江南大学食品学院, 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 国家功能食品工程技术研究中心, 江苏无锡214122)

**摘要:**类可可脂具备与可可脂一致的甘油三酯类型, 以单不饱和对称型甘油三酯为主要组成, 合理开发类可可脂资源可解决可可脂供不应求的困境, 然而目前关于类可可脂的理解、制备和应用还存在诸多问题。介绍了具备工业化开发前景的类可可脂资源, 论述了在单不饱和对称型甘油三酯体系中缺乏1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油三酯(POST)易引发巧克力起霜的机制, 指出该问题已成为类可可脂应用的一大瓶颈; 进而基于不同的脂质底物, 提出酶法酯交换制备富含POST类可可脂的技术路径。

**关键词:**类可可脂; 起霜; POST; 晶型; 酶法酯交换

中图分类号: TS201.2; TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)12-0044-07

## Progress in mechanism of 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl-glycerol triglyceride on bloom behavior of chocolates and its enzymatic preparation

SHI Chenyu, CHEN Qigang, PENG Chuqiao, LI Ling, LIN Peng, JIN Jun

(National Engineering Research Center for Functional Food, Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

**Abstract:** Cocoa butter equivalents (CBEs) have the same type of triglycerides as cocoa butter, symmetrical monounsaturated triacylglycerols, which solves the dilemma of increasing demands for cocoa butter. However, there are still many problems in the understanding, preparation, and application of these equivalents. The CBE-resources with industrial development prospects were systematically introduced, and it was pointed out that lack of 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl-glycerol (POST) in the symmetrical monounsaturated triacylglycerol-system was the bottleneck problem in the application of CBEs. Lack of POST in CBEs was highly connected with chocolate bloom. To solve this defect, POST-rich CBEs were suggested to be produced by enzymatic transesterification, which were also discussed in detail based on the different lipid substrates.

**Key words:** cocoa butter equivalent; bloom; 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl-glycerol; crystal form; enzymatic transesterification

收稿日期: 2021-01-19; 修回日期: 2021-07-30

基金项目: 国家自然科学基金(32001653); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(JUSRP12004); 中国博士后科学基金面上资助(2021M691291); 江南大学大学生创新训练计划项目(2020534X)

作者简介: 史宸宇(2000), 男, 在读本科, 专业为油脂加工(E-mail)1012180222@stu.jiangnan.edu.cn; 陈其刚(2000), 女, 在读本科, 专业为油脂加工(E-mail)1012180414@stu.jiangnan.edu.cn。史宸宇、陈其刚共同为第一作者。

通信作者: 金俊, 副研究员, 博士(E-mail)junjin@jiangnan.edu.cn。

可可脂是从可可豆中提取的一类植物脂肪, 含有特殊的甘油三酯, 主要包括 13.6%~15.5% 的 1,3-棕榈酸-2-油酸甘油三酯(POP, 其中 P 为棕榈酸, O 为油酸)、33.7%~40.5% 的 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油三酯(POST, 其中 St 为硬

脂酸)和23.8%~31.2%的1,3-硬脂酸-2-油酸甘油三酯(StOSt)<sup>[1-2]</sup>,这类甘油三酯在油脂化学上称为单不饱和对称型甘油三酯,塑性范围非常窄,在室温下呈固态,但在体温附近可快速融化,可赋予巧克力只融于口而不融于手的经典特性<sup>[3-4]</sup>。然而,目前可可豆的生产受到种植园退化、气候变化和病虫害等因素的影响,产量已远远不能满足全球巧克力市场高速发展的需要<sup>[5]</sup>。我国是新兴的巧克力消费大国,市场潜力巨大,2014年可可豆进口量约为3.4万t<sup>[6]</sup>;与此同时,我国巧克力年需求量约为17万t,换算为年需求可可豆为5.8万t,至少有2.4万t的可可豆缺口,由此也带来可可脂的缺口逐年增大。截至目前,可可脂的售价已经超过6000美元/t,且价格还在继续增长。因此,寻求合适的可可脂替代品成为了自20世纪50年代以来糖果行业发展的重要任务。

可可脂替代品主要分为代可可脂和类可可脂两大类。其中,代可可脂又可分为月桂酸型代可可脂和非月桂酸型代可可脂两种。月桂酸型代可可脂(CBS)主要来源于棕榈油和椰子油,以三月桂酸甘油三酯为主要甘油三酯组成<sup>[7]</sup>;而非月桂酸型代可可脂主要通过部分氢化棉籽油、棕榈油和大豆油等植物油制备,存在反式脂肪酸超标的风险。两者在制备巧克力时无需调温,方便快捷;但两者的甘油三酯组成与可可脂完全不同,仅熔点等少数指标接近可可脂,与可可脂不相容,在口感和风味上均显著异于可可脂基巧克力<sup>[8-9]</sup>。与之不同,类可可脂(Cocoa Butter Equivalents, CBE)在甘油三酯类型和物理性质上与可可脂非常接近,在应用上也可使巧克力具备“只融于口,不融于手”的经典特性,成为了部分替代可可脂制备中高档巧克力的理想原料<sup>[10]</sup>。

目前,学术研究和工业生产中对于类可可脂的理解有一定出入,通常有狭义和广义的概念之分。

狭义的类可可脂,特指这种脂肪的甘油三酯主要包含POP、POSt和StOSt,且它们各自的含量与可可脂的接近;而广义的类可可脂,更多的是想突出这类脂肪含有单不饱和对称型甘油三酯,且这类甘油三酯的总和占比普遍高达70%~85%。

在可制备类可可脂的天然油脂中,通常分为富含POP的油脂和富含StOSt的油脂,唯独缺乏可可脂中含量最多的POSt这一组分。因此,许多制备的类可可脂在甘油三酯组成上与可可脂存在一定区别。一些研究已发现这类类可可脂会加速巧克力的起霜,其原因可能是因为POP、POSt和StOSt3种甘油三酯的结晶性能不同,相互组合后的熔化结晶特性也有所区别,进而在晶型和感官上表现出区别<sup>[11-14]</sup>。目前,针对这一问题尚无系统的论证及相应的解决方案。

本文详细阐述了目前有工业化前景的几种类可可脂加工资源,基于甘油三酯组成对其进行分类,分析了类可可脂POSt对巧克力霜变行为的影响机制,进而提出酶法酯交换制备富含POSt类可可脂的主要技术路径,为类可可脂的高效开发和针对性应用提供参考。

## 1 类可可脂的来源油脂

在自然界中可作为类可可脂的油脂,其油料主要生长在亚热带和热带地区,见表1。其中,婆罗双树脂、烛果油、芒果仁油、乳木果油、雾冰草脂和棕榈油中间分提物是欧盟 Directive 2000/36/EC 和印度溶剂浸出协会(Solvent Extractors' Association of India)指定的类可可脂来源油脂,在东南亚已有较为成熟的精炼油成品,目前主要销往欧洲进行食品和化妆品的制造;改性藻油主要提取自经基因改造的藻类 *Prototheca moriformis* (S7737),已有在巧克力和焙烤产品中的应用研究<sup>[15]</sup>;而长叶雾冰藜脂、Pentadesma、Aceituno 等尚处于油脂理化性质的研究阶段。

表1 可可脂与类可可脂油料及油脂

油料拉丁文名称	油脂		主要产地	甘油三酯组成/%			
	英文名称	中文名称		POP	POSt	StOSt	低熔点甘油三酯
<i>Theobroma cacao</i> L. <sup>[1]</sup>	Cocoa butter	可可脂	中南美洲、西非及东南亚	15.1~15.7	38.0~39.6	27.3~28.1	5.7~7.1
<i>Shorea robusta</i> Gaertn. <sup>[16]</sup>	Sal oil	婆罗双树脂	印度	4.8	16.0	36.3	21.6
<i>Garcinia hanburyi</i> Hook. f. <sup>[17]</sup>	Kokum butter	烛果油	印度	0.5	7.4	72.3	18.5
<i>Mangifera indica</i> L. <sup>[18]</sup>	Mango kernel oil	芒果仁油	中国、印度等	6.89~8.90	5.50~14.76	29.4~40.0	14.2~31.3

续表 1

油料拉丁文名称	油脂		主要产地	甘油三酯组成/%			
	英文名称	中文名称		POP	POSt	StOSt	低熔点甘油三酯
<i>Butyrospermum parkii</i> K. [19]	Shea butter	乳木果油	马里、加纳、乌干达等	tr ~ 3	6	21 ~ 42	37 ~ 45
<i>Pentadesma butyracea</i> S. [20]	Pentadesma	-	非洲西部	-	1.1	61.4	36.0
<i>Prototheca moriformis</i> (S7737) [15,21]	Algal butter	改性藻油	-	1.4	8.5	69.8	11.7
<i>Simarouba glauca</i> D. [22]	Acetituno	-	美国南部、南美洲、印度	2.6	15.5	21.1	60.8
<i>Elaeis guineensis</i> [23]	Palm mid fraction	棕榈油中间分提物	马来西亚、印度尼西亚等	43.8 ~ 67.1	8.1 ~ 13.1	-	4.0 ~ 26.5
<i>Shorea stenoptera</i> [24]	Illipe butter	雾冰草脂	印度尼西亚、马来西亚等	9.9 ~ 13.1	40.4 ~ 43.2	35.0 ~ 41.2	2.7 ~ 7.8
<i>Madhuca longifolia/latifolia</i> (J. Konig ex L.) J. F. Macbr. [25]	Mowrah	长叶雾冰藜脂	印度	17.0 ~ 12.0	12.0 ~ 16.0	4.0 ~ 7.0	33.7

注:低熔点甘油三酯主要包括 POO、StOO、OOO 等;tr 代表微量。

基于甘油三酯组成对表 1 中各类油脂进行主成分分析,结果如图 1 所示。由图 1 可知,这些油脂总体上可分为 3 类:第一类是以芒果仁油、乳木果油和改性藻油等为代表的 StOSt 脂肪,StOSt 含量一般为 30% ~ 80%,而 POSt 含量一般为 5% ~ 15%,其余主要为 StOO 和 POO 等低熔点甘油三酯,这些油脂在潜在产量上都有实现工业化的基础,也获得了相关政策的支持,如乳木果油已于 2017 年被我国批准为新食品原料<sup>[26]</sup>,改性藻油于 2016 年被美国食品药品监督管理局批准作为糖果脂<sup>[21]</sup>;第二类是以棕榈油中间分提物为代表的 POP 脂肪,POP 含量为 40% ~ 75%,POSt 含量为 5% ~ 15%,其余主要为 POO 等低熔点甘油三酯,这类油脂分提自棕榈油,产量大,目前在食品工业中应用广泛;第三类是雾冰草脂和长叶雾冰藜脂,它们的 POP 与 POSt、StOSt 比值接近可可脂,通过分提可以直接制得类可可脂,但是这两类油脂的潜在产量均很小。

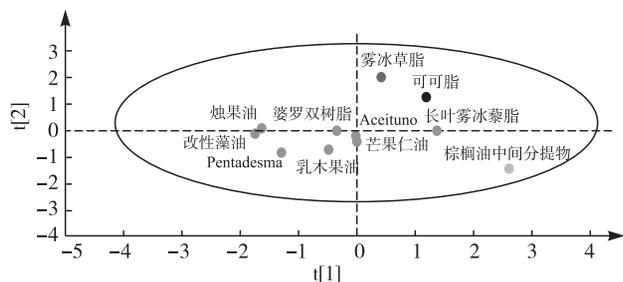


图 1 基于甘油三酯组成的类可可脂原料油脂分类

因此,为了制备类可可脂,通常将 StOSt 脂肪和

POP 脂肪复配,这类复配脂肪在固体脂肪含量曲线、熔化-结晶行为等热学性质上接近可可脂,但在化学组成和结晶学性质上存在一定差距(主要是 POSt 含量偏低),这也可能导致巧克力加速起霜。

## 2 类可可脂 POSt 对巧克力霜变行为的影响机制

巧克力起霜包括脂霜和糖霜,而目前给糖果加工业和消费者造成困扰的主要为脂霜,也即目前行业中提到的起霜多为脂霜。因此,巧克力的起霜问题与所用的油脂密切相关。目前已经探明的巧克力霜变机制包括:复配油脂的相容性欠佳(如共晶),低熔点油脂的迁移、重结晶与晶型的转换等<sup>[13]</sup>。在类可可脂体系中,经精炼和分提处理后单不饱和对称型甘油三酯含量通常占 85% ~ 90%,此时 POP、POSt 和 StOSt 3 种甘油三酯的结晶差异可能会变成霜变的主导因素,若三者比例不恰当将会表现出与可可脂显著不同的结晶行为,在宏观上表现为油脂相光泽的不均匀。通常情况下,通过物理复配制备类可可脂是最为经济和便捷的方案,也是欧盟 Directive 2000/36/EC 推荐制备巧克力的技术路径之一<sup>[27]</sup>。然而,由于天然来源的油脂普遍 POSt 含量不足 20%,相互之间通过物理复配难以接近可可脂约 40% 的 POSt 含量,这一差异可能是影响巧克力霜变进程的关键。

Sonwai 等<sup>[28]</sup>将芒果仁油和棕榈油中间分提物按 80:20 复配制得类可可脂,其 POP、POSt 和 StOSt 含量分别为 12.7%、6.7% 和 26.9%,而该研究中可可脂中这 3 种甘油三酯的含量分别为 13.8%、26.3% 和

19.2%, POPSt 含量相差近 20 个百分点,但在滑动熔点和熔化-结晶行为等热学性能上两者接近。在抗霜性能方面,当它与可可脂按质量比 1:5.64 复配(即在巧克力中约占 5% 的质量)时,在 25℃ 贮藏 6 个月与可可脂表现出相近的霜变稳定性;然而,若在制备巧克力时仅使用该类可可脂而不额外添加可可脂,贮藏至第 2 个月就可观察到霜变,起霜速率明显提高。

Bootello 等<sup>[29]</sup>通过分提和物理复配制得改性葵花籽油-棕榈油基类可可脂或改性葵花籽油基类可可脂,其 POPSt 含量为 8.3%~8.8%,远低于可可脂 38.3% 的 POPSt 水平。将该类可可脂分别以低添加量(与可可脂的质量比为 1:3.8)和高添加量(与可可脂的质量比为 2.7:1)制备巧克力,并设置 21~37℃ 的循环变温 5 轮加速起霜试验,相对于对照组可可脂巧克力,低添加量组始终表现出更慢的霜变进程,而高添加量组在第 3 轮起霜程度超过对照组。

对 POP、POPSt 和 StOSt 3 种甘油三酯的结晶学研究发现,POP 的结晶温度最低, $\alpha$  晶型在 15.2℃ 即可形成,POPSt 和 StOSt 的  $\alpha$  晶型分别在 19.5、23.5℃ 形成;而到稳定的  $\beta$  晶型时,POPSt 的熔点却最低(35.5℃),POP 的熔点为 35.1~36.7℃,StOSt

的熔点可达 41.0~43.0℃,这一变化过程说明 POPSt 的结晶机制相对独特<sup>[30-31]</sup>。进一步的研究表明,POP 和 StOSt 各自都可形成 2 种 3 倍长的排列方式,从  $\beta_2$  晶型直接转变为  $\beta_1$  晶型;而 POPSt 可排列成 3 种 3 倍链长结构,即从  $\beta_3$  晶型逐渐向更稳定的  $\beta_1$  晶型发展,这一过程与可可脂从 V 晶型向 VI 晶型转变高度对应<sup>[32]</sup>。在巧克力加工中, $\beta_2$  或 V 晶型是一种理想的状态,可赋予巧克力光滑的质地,是巧克力调温工段的目标晶型;而  $\beta_1$  或 VI 晶型是比  $\beta_2$  更稳定(熔点更高)的晶型,是  $\beta_2$  结晶经缓慢发展后形成的,被认为与起霜密切相关<sup>[33]</sup>。因此,较高的 POPSt 含量有助于延缓巧克力起霜,正如可可脂的 3 种甘油三酯中 POPSt 的含量最高,可以在巧克力货架期内延缓其油脂从  $\beta_2$  晶型向  $\beta_1$  晶型的自然发展。

鉴于天然类可可脂来源油脂 POPSt 含量不足的困境,酶法定向酯交换成为了具有较高应用前景的技术方案。

### 3 富含 POPSt 类可可脂的酶法制备

根据类可可脂来源油脂的特点,可将酶法制备富含 POPSt 类可可脂的技术分为 3 类,见表 2。

表 2 酶法酯交换制备类可可脂的主要技术参数及产物组成

底物 I	底物 II	酶	反应条件	甘油三酯组成/%			参考文献
				StOSt	POPSt	POP	
以 POP 脂肪与富含硬脂酸的脂质为底物							
棕榈油中间分提物	硬化大豆油	<i>Thermomyces lanuginosus</i> ,	温度 68~70℃, 时间 4 h, R=1:2	26.0	37.7	9.5	[34]
棕榈油中间分提物	棕榈酸和硬脂酸混合物	<i>R. miehei</i>	温度 60℃, 时间 3 h, R=1:2	30.7	44.9	18.7	[35]
棕榈油中间分提物	雾衣草脂	Lipozyme RM IM	温度 60℃, 时间 0.5 h, R=10:3	29.9	42.7	19.1	[36]
棕榈油	棕榈酸和硬脂酸混合物	<i>Rhizomucor miehei</i>	温度 60℃, 时间 3 h, R=1:3	31.6	44.8	18.3	[37]
以富含 OOO 的油脂与富含棕榈酸/硬脂酸的脂质为底物							
高油酸葵花籽油	棕榈酸和硬脂酸混合物	<i>R. miehei</i>	温度 65℃, 时间 8 h, R=7.99:1	27.7	36.9	21.5	[38]
橄榄油	棕榈酸和硬脂酸混合物	<i>R. miehei</i>	温度 60℃, 时间 5 h, R=1:3	31.5	44.7	18.2	[39]
精制橄榄渣油	棕榈酸和硬脂酸	<i>R. miehei</i>	温度 45℃, 时间 3 h, R=1:2(棕榈酸):6(硬脂酸)	11.7	20.0	11.0	[40]
以富含 StOO/POO 的油脂与富含棕榈酸/硬脂酸的脂质为底物							
StOSt 脂肪液油	POP 脂肪液油	Lipozyme RM IM 或 Lipozyme TL IM	温度 65~75℃, 时间 4~6 h, R=1:2~2:1	-	42.2~44.7	-	[41]
棕榈液油	棕榈酸和硬脂酸混合物	Lipozyme IM	温度 60℃, 时间 3 h, R=1:3	18.0	42.1	26.6	[37]

注:R 为底物 I 与底物 II 的比。

由表 2 可知:第一类以 POP 脂肪与富含硬脂酸的脂质为底物;第二类以富含 OOO 的油脂(如高油

酸葵花籽油、油茶籽油、橄榄油等)与富含棕榈酸/硬脂酸的脂质为底物;第三类以富含 StOO/POO 的

油脂(如芒果仁油和乳木果油的分提液油)与富含棕榈酸/硬脂酸的脂质为底物。

### 3.1 以 POP 脂肪与富含硬脂酸的脂质为底物

POP 脂肪主要来源于棕榈油,棕榈油是仅次于大豆油的第二大食用植物油,可实现充足供应。在这一类反应的原料选择中,棕榈油中间分提物含 40% ~ 60% 的 POP,将其与硬脂酸(通常来自油脂脱酸脱臭副产物)或三硬脂酸甘油酯(如极度氢化大豆油)进行酯交换制备类可可脂,所得油脂甘油三酯组成与可可脂接近。例如: Mohamed<sup>[37]</sup> 以棕榈油和混合脂肪酸(硬脂酸与棕榈酸)为底物,以非固定化脂肪酶 *Rhizomucor miehei* 为催化剂,在 60 °C 反应 3 h,制得的类可可脂 POP 含量为 18.3%, POS<sub>t</sub> 含量为 44.8%, StOS<sub>t</sub> 含量为 31.6%; Bahari 等<sup>[36]</sup> 以非固定化脂肪酶 Lipozyme RM IM 为催化剂,以棕榈油中间分提物和雾衣草脂为底物,在 60 °C 反应 0.5 h,最终得到的类可可脂 POP 含量为 19.1%, POS<sub>t</sub> 含量为 42.7%, StOS<sub>t</sub> 含量为 29.9%。在后续应用研究中,该类可可脂与可可脂在 20 ~ 32 °C 的加速起霜试验中表现出与可可脂一样的霜变行为,即未加速巧克力的起霜<sup>[12]</sup>。

### 3.2 以富含 OOO 的油脂与富含棕榈酸/硬脂酸的脂质为底物

高油酸葵花籽油、高油酸-高硬脂酸葵花籽油均是由基因改造葵花籽提油获得的,其特点是含有大量的 StOO、OOO 与少部分的 StOS<sub>t</sub>,目前这类油脂已实现工业化生产,因此是制备 POS<sub>t</sub> 脂肪的理想原料之一。这类反应的另一部分酰基受体可选自油脂脱酸脱臭的混合脂肪酸馏分,富含棕榈酸和硬脂酸,以实现油脂加工副产物的充分利用。例如: Lynn<sup>[38]</sup> 以高油酸葵花籽油和棕榈酸与硬脂酸混合物为底物,在底物比 7.99:1 的条件下,利用脂肪酶 *R. miehei* 为催化剂,于 65 °C 下反应 8 h,制得的类可可脂 POP 含量为 21.5%, POS<sub>t</sub> 含量为 36.9%, StOS<sub>t</sub> 含量为 27.7%; Mohamed<sup>[39]</sup> 以橄榄油和棕榈酸与硬脂酸混合物为底物,在底物比 1:3 的条件下,利用脂肪酶 *R. miehei* 为催化剂,于 60 °C 下反应 5 h,制得的类可可脂 POP 含量为 18.2%, POS<sub>t</sub> 含量为 44.7%, StOS<sub>t</sub> 含量为 31.5%。

### 3.3 以富含 StOO/POO 的油脂与富含棕榈酸/硬脂酸的脂质为底物

富含 StOO 和 POO 的油脂主要为芒果仁油、乳木果油和棕榈油等的分提产物,这些油脂的硬脂通常用于制造塑性脂肪或高熔点糖果脂,而液油熔点一般为 15 ~ 20 °C,适合作为食品加工中的油脂原

料。例如, Mohamed<sup>[37]</sup> 以棕榈液油(POO 含量 46.1%)和来自棕榈油精炼过程中的副产物混合脂肪酸(主要含棕榈酸和硬脂酸)为底物,在两者配比 1:3 条件下,通过脂肪酶 Lipozyme IM 在 60 °C 下反应 3 h,制得的类可可脂 POP 含量为 26.6%, POS<sub>t</sub> 含量为 42.1%, StOS<sub>t</sub> 含量为 18.0%,甘油三酯组成和熔化-结晶行为与可可脂接近。随着芒果仁油、乳木果油的研究成熟和工业化开发,通过分提获得的富含 StOS<sub>t</sub> 的硬脂可直接作为可可脂改良剂,而剩余近 50% 的液油则富含 StOO(约 45%),可以作为合成 POS<sub>t</sub> 的理想原料<sup>[42]</sup>。

## 4 结束语

类可可脂资源的开发是弥补可可脂供不应求难题的优选方案,它与可可脂复配作为巧克力的连续相,在理论上可维持巧克力的品质和口感,是生产中高档巧克力的理想原料。然而,类可可脂的来源油脂通常缺乏 POS<sub>t</sub>,被认为是引起巧克力加速起霜的关键所在。POS<sub>t</sub> 与可可脂类似,可从  $\beta_3$  晶型逐渐向  $\beta_1$  晶型(起霜相关晶型)发展,可较长时间使油脂体系稳定在巧克力需要的  $\beta_2$  晶型;而 POP 和 StOS<sub>t</sub> 则会从  $\beta_2$  晶型直接转变为  $\beta_1$  晶型,这一过程较快,因而以这 2 种甘油三酯主导的脂肪在结晶学上与可可脂有一定差异,这可能是导致缺乏 POS<sub>t</sub> 类可可脂易起霜的原因。据此,本文进一步综述了富含 POS<sub>t</sub> 类可可脂的酶法制备方法,根据反应原料不同可分为以 POP 脂肪为底物、以富含 OOO 的油脂(如高油酸葵花籽油、油茶籽油、橄榄油等)为底物和以富含 StOO/POO 的油脂(如芒果仁油、乳木果油、棕榈油的分提液油)为底物。通过酶法酯交换制得的类可可脂在甘油三酯组成、热学和结晶学特征上与可可脂接近,并具备与可可脂基本一致的霜变行为。

## 参考文献:

- [1] SAEED M G, ALEJANDRO G M. Molecular origins of polymorphism in cocoa butter[J]. Annual Rev Food Sci Technol, 2021(3): 1-24.
- [2] GARTI N, SATO K. Crystallization and polymorphism of fats and fatty acids[M]. New York: Marcel Dekker, 1988: 363-393.
- [3] 池永清,徐学兵,毕艳兰,等. 制备类可可脂原料用油的研究进展[J]. 中国油脂, 2017, 42(5): 48-53.
- [4] 谢元. 巧克力专用设备油脂的应用技术(上)[J]. 食品工业, 1994(6): 5-8.
- [5] LIPP M, SIMONEAU C, ULBERTH F, et al. Composition of genuine cocoa butter and cocoa butter equivalents[J]. J Food Compos Anal, 2001, 14: 399-408.
- [6] 刘昱希,刘明学. 可可的种植·加工与产品发展[J].

- 安徽农业科学, 2014, 42(22): 7541-7544.
- [7] 王风艳. 月桂酸类代可可脂巧克力起霜机理及品质改善[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2012.
- [8] 刘伟雄, 魏东芝, 袁勤生. 可可脂代用品的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 1998(4): 55-59, 79.
- [9] 孙晓洋, 毕艳兰, 杨国龙. 代可可脂、类可可脂、天然可可脂的组成及性质分析[J]. 中国油脂, 2007, 32(10): 38-42.
- [10] XU X B. Production of specific-structured triacylglycerols by lipase-catalyzed reactions: a review[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2000, 102(4): 287-303.
- [11] 刘梅森. 类可可脂同质多晶衍变与巧克力起霜及香菇茶叶抗霜研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2001.
- [12] BAHARI A, AKOHO C C. Texture, rheology and fat bloom study of 'chocolates' made from cocoa butter equivalent synthesized from illipe butter and palm mid-fraction[J]. LWT - Food Sci Technol, 2018, 97: 349-354.
- [13] 华聘聘. 巧克力制品起霜的主要原因[J]. 中国油脂, 1994, 19(2): 48-51.
- [14] 任雁, 张惟广. 巧克力起霜问题探讨[J]. 粮食与油脂, 2005(11): 36-39.
- [15] GHAZANI S M, ZOU L, RAKITSKY W G, et al. Algal butter, a novel cocoa butter equivalent: chemical composition, physical properties, and functionality in chocolate[J/OL]. J Am Oil Chem Soc, 2018, 95(10): 1239 [2021-01-10]. <https://doi.org/10.1002/aocs.12127>.
- [16] SRIDHAR R, LAKSHMINARAYANA G. Triacylglycerol compositions of some vegetable fats with potential for preparation of cocoa butter equivalents by high-performance liquid chromatography[J]. J Oil Technol Assoc India, 1991, 23(3): 42-43.
- [17] JEYARANI T, REDDY S Y. Heat-resistant cocoa butter extenders from mahua (*Madhuca latifolia*) and kokum (*Garcinia indica*) fats[J]. J Am Oil Chem Soc, 1999, 76: 1431-1436.
- [18] WARDA M P. Physicochemical characteristics of mango kernel fats and its production of cocoa butter equivalents[D]. Jiangsu Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [19] 金俊, PEMBE W M, 郑立友, 等. 5种亟待开发的类可可脂木本油料脂肪[J]. 中国油脂, 2017, 42(4): 1-7.
- [20] TCHOBO F P, PIOMBO G, PINA M, et al. Enzymatic synthesis of cocoa butter equivalent through transesterification of *Pentadesman butyracea* butter[J]. Food Lipids, 2009, 16: 605-617.
- [21] GRAS Notice (GRN) 673. Algal fat derived from *Prototheca moriformis* (S7737) [EB/OL]. [2021-01-10]. <https://www.fda.gov/media/101695/download>.
- [22] JEYARANI T, YELLA R. Cocoa butter extender from *Simarouba glauca* fat[J]. J Am Oil Chem Soc, 2001, 78(3): 271-276.
- [23] JIN J, JIE L, ZHENG L Y, et al. Characteristics of palm mid-fractions produced from different fractionation paths and their potential usages[J]. Int J Food Prop, 2018(1): 73-84.
- [24] ULLA B M. Borneo Illipe, a fat product from different *Shorea* spp[J]. Econ Bot, 1994, 48(3): 231-242.
- [25] Solvent Extractors' Association of India. Cocoa butter equivalents (CBE) from vegetable fats[EB/OL]. [2021-01-10]. <http://www.seaofindia.com/images/67/Knowledge%20Area%202021.pdf> (accessed 28.01.14).
- [26] 深圳市卫生健康委员会. 解读《乳木果油等10种新食品原料的公告》[EB/OL]. (2017-06-20) [2021-01-10]. [http://wjw.sz.gov.cn/xxgk/zcjd/content/post\\_4165521.html](http://wjw.sz.gov.cn/xxgk/zcjd/content/post_4165521.html).
- [27] Directive 2000/36/EC of the European Parliament and of the Council: relating to cocoa and chocolate products intended for human consumption [S]. Strasbourg, Germany: European Parliament and the Council of the European Union, 2000.
- [28] SONWAI S, KAPHUEAKNGAM P, FLOOD A. Blending of mango kernel fat and palm oil mid-fraction to obtain cocoa butter equivalent[J]. J Food Sci Tech, 2014, 51(10): 2357-2369.
- [29] BOOTELLO M A, CHONG P S, MÁÑEZ A, et al. Characterization of sunflower stearin-based confectionary fats in bulk and in compound coatings[J]. J Am Oil Chem Soc, 2018, 95: 1139-1150.
- [30] ARISHIMA T, SAGL N, SATO K. Polymorphism of POS. I. Occurrence and polymorphic transformation[J]. J Am Oil Chem Soc, 1991, 68(10): 710-715.
- [31] SATO K, ARISHIMA T, WANG Z H, et al. Polymorphism of POP and SOS. I. Occurrence and polymorphic transformation[J]. J Am Oil Chem Soc, 1989, 66(5): 664-674.
- [32] GHAZANI S M, MARANGONI A G. The triclinic polymorphism of cocoa butter is dictated by its major molecular species, palmitoyl, oleoyl, stearoyl glycerol (POS)[J]. Cryst Growth Des, 2019, 19: 90-97.
- [33] GARTI N, WIDLAK N R. Cocoa butter and related compounds[M]. Urbana: AOCS Press, 2012.
- [34] SOEKOPITOJO S, HARIYADI P, MUCHTADI T R, et al. Enzymatic interesterification of palm oil midfraction blends for the production of cocoa butter equivalents[J]. Asian J Food Agro Ind, 2009, 2(4): 807-816.

产加工企业是食用植物油质量安全的第一主体责任人,企业应从产业链的全过程加强质量安全管理,控制好原辅料的品质与安全,遵循国家标准与规范,严格控制生产加工流程,不断优化加工工艺,降低食用植物油生产加工过程的各种质量安全风险,提高所产食用油的质量安全水平;③加强对消费者的食品安全与营养健康科普宣传与教育,让更多的消费者了解食用植物油质量安全相关知识,逐步养成安全、健康的消费和饮食习惯,例如详细阅读所购食用植物油的标签,尽量不买散装油,家中不储存过多食用植物油,将食用植物油密封保存,避免高温和潮湿等。

#### 参考文献:

- [1] 蔡天舒,卓佳青,张伟爱,等. 广东消费者对食用油和散装压榨食用油认知与消费行为的调查研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(9): 104-108.
- [2] 孟桂元,涂洲溢,詹兴国,等. 我国植物油料油脂生产、消费需求分析及发展对策[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 1-4,27.
- [3] SALAH W A, NOFAL M. Review of some adulteration detection techniques of edible oils[J]. J Sci Food Agric, 2020, 101(3): 811-819.
- [4] 王赛楠,郭立净,智文莉,等. 食用油、油脂及其制品的质量安全风险分析与监管对策研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 38-42,66.
- [5] 康临芳,马超雄. 食品标签民事纠纷的裁判思路[J]. 法律适用, 2016(8): 116-120.
- [6] KASOTE D K, BADHE Y S, HEGDE M V. Effect of mechanical press oil extraction processing on quality of linseed oil[J]. Ind Crops Prod, 2013, 42: 10-13.
- [7] 刘翠玲,刘浩言,孙晓荣,等. 食用油酸价与过氧化值近红外光谱模型转移研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(9): 344-349.
- [8] 刘芳,王超,杨菊,等. 油脂酸价和过氧化值检测方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4478-4482.
- [9] UCHIDA K. Role of reactive aldehyde in cardiovascular diseases[J]. Free Radical Bio Med, 2000, 28(12): 1685-1696.
- [10] 陈同强,李灿,邓鸣,等. 压榨植物油溶剂残留量超标问题研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 104-106,111.
- [11] 金俊,张友峰,陈金平,等. 几种常见食用植物油溶剂残留量检测和残留溶剂组分分析[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(12): 75-78.
- [12] 魏永生,郑敏燕,耿薇,等. 常用动、植物食用油中脂肪酸组成的分析[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 188-193.
- [13] 赵纪莹,孙琳娟,马利杰,等. 2017—2019年河南省市售食用植物油中苯并[a]芘污染调查[J]. 卫生研究, 2020, 49(5): 759-762,794.
- [14] 张威,张文中,郭平,等. 食用油中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 快速测试纸的评价[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 326-331.
- [15] 施元旭,张水锋,潘项捷,等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定菜籽油中乙基麦芽酚残留量的不确定度评定[J]. 中国油脂, 2021, 46(1): 141-145.
- [35] MOHAMED I O. Lipase - catalyzed acidolysis of palm mid fraction oil with palmitic and stearic fatty acid mixture for production of cocoa butter equivalent [J]. Appl Biochem Biotech, 2013(3): 655-666.
- [36] BAHARI A, AKOH C C. Synthesis of cocoa butter equivalent by enzymatic interesterification of illipe butter and palm midfraction[J]. J Am Oil Chem Soc, 2018, 95: 547-555.
- [37] MOHAMED I O. Lipase - catalyzed synthesis of cocoa butter equivalent from palm llein and saturated fatty acid distillate from palm oil physical refinery [J]. Appl Biochem Biotech, 2012, 168(6): 1405-1415.
- [38] LYNN N. Production of cocoa butter equivalent through enzymatic acidolysis[D]. Gent; Ghent University, 2012.
- [39] MOHAMED I O. Enzymatic synthesis of cocoa butter equivalent from olive oil and palmitic - stearic fatty acid mixture [J]. Appl Biochem Biotech, 2015, 175: 757-769.
- [40] CIFTCI O N, KOWALSKI B, GOEGUES F, et al. Effect of the addition of a cocoa butter - like fat enzymatically produced from olive pomace oil on the oxidative stability of cocoa butter[J]. J Food Sci, 2009, 74(4): 184-190.
- [41] 金青哲,金俊,王兴国. 一种 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油三酯脂肪的制备方法: CN201810199497.2[P]. 2018-03-12.
- [42] JIN J, MU H, WANG Y, et al. Production of high - melting symmetrical monounsaturated triacylglycerol - rich fats from mango kernel fat by acetone fractionation[J]. J Am Oil Chem Soc, 2017, 94(2): 201-213.

(上接第 49 页)