

类可可脂原料油中低熔点甘油三酯的组成、 含量调控与综合利用

刘陈钰, 甄 钺, 郑小宇, 王颖琪, 王雨昕, 金 俊, 金青哲, 王兴国

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:为了实现类可可脂在巧克力中更为高效的应用,降低其对产品品质的影响,综述了类可可脂原料油中低熔点甘油三酯的组成与熔化性质,概括了不同种类甘油三酯对巧克力霜变行为的作用特征;进一步讨论了控制低熔点甘油三酯含量的技术方法,包括基因工程和分提;最后,总结了经分提获得的低熔点成分的再利用。类可可脂原料油中低熔点甘油三酯可能对巧克力的制造(尤其是调温)和质量控制(如软化、起霜等)产生不利影响。通过分提选择性降低低熔点甘油三酯含量是制备高品质类可可脂的优选路径。

关键词:类可可脂;低熔点甘油三酯;巧克力;结晶;分提

中图分类号:TS225.6;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)10-0033-07

Composition, content regulation and comprehensive utilization of low-melting triglycerides in cocoa butter equivalent raw oils

LIU Chenyu, ZHEN Cheng, ZHENG Xiaoyu, WANG Yingqi, WANG Yuxin, JIN Jun, JIN Qingzhe, WANG Xingguo

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: In order to achieve a more efficient application of cocoa butter equivalent in chocolate and to reduce their impact on product quality, the composition and melting properties of low-melting triglycerides in cocoa butter equivalent raw oils were reviewed, and the effects of different types of triglycerides on the frosting behavior of chocolate were summarized. The technological methods for controlling the content of low-melting triglycerides were further discussed, including genetic engineering and fractionation, and the reuse of low-melting triglycerides obtained by fractionation was summarized. Low-melting triglycerides in cocoa butter equivalent raw oils may have negative effects on chocolate manufacture (especially tempering) and quality control (softening, and blooming, etc). Reducing the content of low-melting triglycerides by fractionation is the best way to prepare high quality cocoa butter equivalent.

Key words: cocoa butter equivalent; low-melting triglycerides; chocolate; crystallization; fractionation

巧克力是一款广受欢迎的休闲食品,拥有令人愉悦、清爽的口感^[1-2]。在过去十年中,全球巧克力

市场不断增长,预计到2028年将达到2000亿美元^[3]。其中,以我国为代表的新兴巧克力市场的销售规模增长率高于全球平均水平,尤其在中高端市场表现出了强劲的发展势头^[4]。可可脂作为巧克力的连续相,赋予巧克力独特的质构、口融性与光泽感,全球对可可豆及其制品的需求持续增长^[5]。然而,受气候、病虫害等因素影响,可可豆产量和价格出现波动^[6]。仅在2019年,可可脂成本在全球范围内增长了4%~5%^[7]。类可可脂作为可可脂的替

收稿日期:2022-07-06;修回日期:2023-07-10

基金项目:国家自然科学基金(32001653);中国博士后科学基金面上资助(2021M691291)

作者简介:刘陈钰(2001),女,在读本科,食品科学与工程专业(E-mail)1022190210@stu.jiangnan.edu.cn。

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

代品,与可可脂的主要甘油三酯种类一致,两者的相容性较好,且价格相对较低,因此市场对类可可脂原料油的需求日益增大。目前,类可可脂原料油的主要品类包括乳木果油、棕榈油中间分提物、婆罗双树脂、烛果油、芒果仁油等^[8]。

可可脂主要由对称型单不饱和甘油三酯(SUS,其中S为饱和脂肪酸,U为不饱和脂肪酸)组成,其含量约占总甘油三酯的80%^[9-10],主要包括1,3-硬脂酸-2-油酸甘油三酯(StOSt)、1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油三酯(POSt)和1,3-棕榈酸-2-油酸甘油三酯(POP)。类可可脂原料油除了含有SUS外还含有一定量的二不饱和甘油三酯(SUU)与三不饱和甘油三酯(UUU),含量可达10%~60%,主要包括1-硬脂酸-2,3-油酸甘油三酯(StOO)、1-棕榈酸-2,3-油酸甘油三酯(POO)、1,2,3-油酸甘油三酯(OOO)^[11]。SUU和UUU的熔化、结晶性质与SUS存在显著差异,被认

为是类可可脂原料油中的低熔点成分。然而,SUU和UUU在一定含量范围内会影响巧克力的制造(尤其是调温)与品质稳定(如软化、起霜、粘连包装、影响口感)^[12]。此外,不同来源类可可脂原料油中的SUU与UUU种类及含量不尽相同,为巧克力的标准化制造及其品质的控制增加了难度^[13-14]。

本文总结了不同类可可脂原料油中低熔点甘油三酯的种类与含量,分析了它们影响巧克力起霜的作用机制,提出了其适宜含量的调控方案,为标准化利用类可可脂原料油制造中高端巧克力提供理论支撑;此外,讨论了SUU和UUU潜在的综合利用途径,为其应用开拓场景。

1 类可可脂原料油中低熔点甘油三酯的组成与熔化性质

不同类可可脂原料油中SUU及UUU组成及含量见表1。

表1 类可可脂原料油中低熔点甘油三酯的组成及含量

类可可脂原料油	SUU			UUU		%
	StOO	POO	StOL	OOO	OLO	
乳木果油 ^[11]	26.0~34.0	-	5.0	6.0	-	
芒果仁油 ^[11,15-17]	14.6~23.0	4.0~10.8	<2.5	2.5~5.7	1.2	
烛果油 ^[11,18-21]	12.1~21.0	1.3~3.0	-	2.1	-	
婆罗双树脂 ^[22]	16.0	-	-	3.0	-	
雾衣草脂 ^[11,20-21]	6.0	2.2	-	-	-	
猪油果脂 ^[23-24]	35.1~55.2	0.2~1.5	-	-	-	
长叶雾冰藜脂 ^[21,25]	6.7	12.6	-	-	-	
<i>Simarouba glauca</i> 脂 ^[21,25-26]	29.5	12.2	-	-	-	
改性藻油 ^[27]	10.8~12.3	0.6~1.1	-	0.4~0.6	-	
棕榈油中间分提物 ^[15]	1.2	13.4	-	2.8	-	
高硬脂酸-油酸葵花籽油 ^[28]	37.7	6.2	7.7	14.3	4.0	

注:St.硬脂酸;P.棕榈酸;O.油酸;L.亚油酸。下同

由表1可知,相较于可可脂(StOO含量为3.9%,POO含量为2.4%,StOL含量为2.1%,OOO含量为0.6%^[15]),类可可脂原料油中StOO含量较高,在乳木果油、猪油果脂、*Simarouba glauca*脂中含量分别可达26.0%~34.0%、35.1%~55.2%、29.5%,在烛果油、芒果仁油、改性藻油中的含量也分别达12.1%~21.0%、14.6%~23.0%、10.8%~12.3%。POO的含量次之,在长叶雾冰藜脂、*Simarouba glauca*脂、棕榈油中间分提物中含量较高,分别可达12.6%、12.2%、13.4%。类可可脂原料油中的UUU以OOO为主,含量一般低于15%,大多数类可可脂原料油中不含OLO。

不同类型甘油三酯分子可形成不同晶型, β 晶型时相应的熔点与焓值见表2。

表2 β 晶型甘油三酯的熔点与焓值

甘油三酯	熔点/°C	焓值/(kJ/mol)	参考文献
StOO	23.7	-	[29-30]
POO	18.5	-	[29]
OOO	4.8	100	[29]
OLO	-9.5	-	[29]
POP	45.3	140	[29,31]
POSt	37.6	150	[29,31]
StOSt	41.2	154	[29,31]

由表2可知,SUU和UUU在 β 晶型时,StOO的熔点为23.7°C,POO的熔点为18.5°C,OOO的熔点为48°C,OLO的熔点为-9.5°C。相比而言,可可脂主要成分SUS在 β 晶型时,StOSt的熔点高达41.2°C,POSt的熔点为37.6°C,POP的熔点为45.3°C^[31],均显著高于SUU和UUU的熔点。因

此,当巧克力用油中 SUU 和 UUU 等熔点相对较低的甘油三酯含量达到一定水平时,会显著干扰主成分的结晶行为,降低晶体结构的完整性,从而影响巧克力及其制品的口感与品质。

2 低熔点甘油三酯对巧克力霜变行为的作用特征

在巧克力的储存和运输过程中,其表面出现不均匀的灰色、黄色或白色斑点的现象,即为起霜,属于巧克力严重的质量问题之一^[32]。目前,引起巧克力起霜的主要因素包括温度波动导致液油迁移与重结晶^[33],晶型转换形成多晶型共存^[34],巧克力用油体系相容性降低^[35]。SUU、UUU 与上述三大致霜因素均密不可分。

2.1 SUU、UUU 与 SUS 的相互作用

在巧克力调温过程中,SUU 和 UUU 的存在会增加油脂体系的结晶诱导时间,降低结晶速率^[9]。源自巴西的可可脂中含 StOO 6.7%、POO 5.8%、OOO 0.7%,其结晶诱导时间为 300 min;源自多米尼加的可可脂中含 StOO 4.4%、POO 3.8%、OOO 0.6%,结晶诱导时间缩短至 277 min;而源自马来西亚的可可脂低熔点甘油三酯含量更低,仅为 3.0% (其中 StOO 为 1.8%,POO 为 1.1%,OOO 为 0.1%),结晶诱导时间只需 78 min,即随着可可脂中低熔点甘油三酯含量的降低,结晶诱导时间大幅缩短^[36]。当结晶发生时,首先由高熔点的 SUS 形成晶核,随后熔点较低的 SUU 与 UUU 会附着在晶核表面,开始干扰 SUS 分子的顺序排列^[37]。在该过程中,StOO、POO 和 OOO 会与待结晶的 SUS 竞争,通过它们较大的空间构型(由油酸形成)阻碍 SUS 的有序结晶^[38-39];且 SUU 和 UUU 在一定含量时会局部形成 β' 晶型而不是可可脂、类可可脂需要的 β 晶型^[40]。因而 SUU 和 UUU 不仅降低了晶体结构的致密性和稳定性,还可能导致体系存在混合晶型^[41-42]。

在制成巧克力后,产品在储藏期间由于温度波动(如夏季)低熔点甘油三酯熔化,同时低熔点甘油三酯还会部分溶解附近的高熔点 POSt 和 POP,这些熔化后的甘油三酯会向巧克力表面迁移,当温度下降时再次结晶,导致巧克力起霜^[43]。有研究表明,在某一起霜的巧克力样品中,霜斑中 OOO 的含量高达 10%^[44]。

2.2 不同 SUU 的差异化结晶行为

在 Ghazani 等^[27]的研究中,分别以改性藻油和乳木果油硬脂为类可可脂,前者 StOO 含量为 10.8%~12.3%,POO 含量为 0.6%~1.1%,后者 StOO 含量为 6.1%,POO 含量为 1.7%,对照可可脂的 StOO 含量为 3.2%,POO 含量为 2.2%,在加速起霜试验中(温度由 20℃ 升至 30℃),改性藻油基巧克力的白度指数在第 20 天显著升高,随后逐渐稳定

在 35~38,而乳木果油硬脂基巧克力、可可脂基巧克力的白度指数均较低,约为 30。进一步分析发现,当温度升高至 30℃ 时,参考表 2 各低熔点甘油三酯的熔点可知,3 种巧克力中的 StOO、POO 均会出现部分熔化,同时也会溶解周围部分的高熔点 SUS;而改性藻油中的 StOO 含量较高,导致较多的液油迁移到巧克力表面;当温度降低至 20℃ 时,恰好低于 StOO 的熔点并开始结晶,而 POO 此时尚未到达结晶温度。因此,含有较多 StOO 的改性藻油基巧克力最快出现了明显的霜斑。

在另一项研究中,以 SUU 和 UUU 含量分别为 3.7% 和 5.1% 的芒果仁油基巧克力用油为油脂原料制备巧克力时,两者起霜程度均显著低于对照组可可脂基巧克力(SUU 和 UUU 含量达 10% 以上)^[45]。

3 类可可脂原料油中低熔点甘油三酯的调控技术

3.1 借助基因工程调控低熔点甘油三酯的含量

由于类可可脂原料油中低熔点甘油三酯含量较高,通过设计微生物、藻类来生产需要的油脂将在未来食用油市场长期占据一席之地^[46]。Konzock 等^[47]提出经基因改造的产油酵母 *Yarrowia lipolytica* 可生产类可可脂。近年来,通过诱变和定向遗传修饰改性藻 *Prototheca moriformis* S7737,可产出熔点高达 46℃ 的油脂,其脂肪酸组成和甘油三酯组成见表 3^[48]。2016 年,该改性藻油通过美国食品药品监督管理局(FDA) GRAS(Generally Recognized as Safe)的认定(GRN No. 673),可作为类可可脂、面包用油、涂抹脂等专用油脂^[48]。然而,该类藻油的 SUU 和 UUU 含量仍存在显著差距。例如:SUU 含量低者为 11.3%~13.4%,而高者则可达 33.3%;UUU 含量低者为 0.4%~0.6%,高者则可达 7.4%^[27,49]。由 2.2 分析可知,相对于可可脂,SUU 含量高于 10% 的类可可脂更易导致巧克力起霜。为解决这一问题,在改性藻油基础上进一步降低这些低熔点甘油三酯的含量是有必要的^[27]。

表 3 改性藻 *Prototheca moriformis* S7737 的油脂组成

组分	含量/%
脂肪酸	
棕榈酸	4.2~4.4
硬脂酸	54.6~55.5
油酸	34.8~35.0
亚油酸	1.2~1.3
花生酸	1.3~1.4
甘油三酯	
SSS	4.4~4.8
SUS	79.4~80.4
其中,StOSt	76.4~77.4

3.2 基于分提选择性去除低熔点甘油三酯

除了可以通过基因工程调控低熔点甘油三酯的含量,也可以采用分提的方法去除低熔点甘油酯。通常采用溶剂分提法在 SUS 中结晶分离出 SUU、UUU,常用的分提溶剂有极性较强的丙酮和弱极性的异己烷等。

以高油酸-高硬脂酸葵花籽油为例,通过干法分提获得硬脂后与丙酮按 1:4 混合,随后在 10 °C 下结晶,可将 SUU 和 UUU 含量从原料中的 84% ~

91% 降至 28% ~ 29%^[50] (见表 4)。以芒果仁油为原料油、丙酮为分提溶剂,分别在 13、15、18 °C 连续进行 3 次结晶,获得的硬脂中 SUU 和 UUU 含量可从近 38% 降至不足 5%^[16];若以正己烷和异己烷为分提溶剂,则结晶温度通常需降低 10 ~ 15 °C (见表 4)。类似地,以富含 POP 的棕榈油中间分提物为原料,经选择性结晶进一步富集 POP,其中的 SUU 和 UUU 含量可分别从 19.7% ~ 22.6%、1.6% ~ 2.9% 降至 3.7%、0.3%^[51] (见表 4)。

表 4 分提前后类可可脂原料油 SUU 及 UUU 型甘油三酯组成及含量

类可可脂原料油	状态	含量/%						
		StOO	POO	OOO	StOL	OLO	SUU	UUU
高油酸-高硬脂酸葵花籽油 ^[50]	分提前	26.2~35.8	5.5~8.7	23.3~31.9	3.9~5.2	3.5~6.3	42.0~57.2	27.0~38.2
	分提后	11.0~14.2	2.0~2.8	7.1~9.2	1.0~1.1	1.0~1.7	17.0~21.5	7.9~10.9
芒果仁油 ^[16]	分提前	21.0	4.0	5.7	2.4	1.2	27.4	6.9
	分提后	2.2	0.2	1.8	0.1	0.3	2.5	2.1
棕榈油中间分提物 ^[51]	分提前	-	16.7	2.9	-	-	19.7~22.6	1.6~2.9
	分提后	-	3.0	0.3	-	-	3.7	0.3

4 低熔点甘油三酯的再利用路径

原料油经分提后,作为巧克力用油的馏分中 SUU 及 UUU 含量显著降低,这些甘油三酯进入未结晶的液相中。例如:在芒果仁油的多级分提中,各级液油汇总后可含 60% 的 SUU 和 13% 的 UUU,具有多元化的利用价值^[16]。

4.1 烹调用油

一般而言,熔点低于 18 °C 的油脂在热带地区适合作为家用烹调用油,而熔点低于 8 °C 的油脂可在更为广阔的地域作为烹调用油。由分提高油酸-高硬脂酸葵花籽油得到的液油,富含 StOL、OOO、OOL 等甘油三酯,其中 StOL 和 OOO 的熔点均相对较低,不足 5 °C,适合开发为烹调用油^[50]。目前,市场上已有分提自棕榈油的超级液油(熔点低于 -10 °C)作为小包装用油,其烟点最高可达 240 °C。

此外,将 SUU 和 UUU 与特定油脂/脂肪酸进行酯交换,是获得功能性油脂的重要技术路径。将芒果仁油与癸酸酯交换,可制得中长碳链甘油三酯含量接近 20% 的酯交换油,酯交换温度从 10 °C 升高至 20 °C,固体脂肪含量从不足 30% 降至不足 10%,在室温下可保持液态,是理想的功能性烹调用油^[52]。

4.2 食品专用油脂

经分提获得富含 StOO 和 POO 的液油熔点为 15 ~ 18 °C,在室温下为半固态,具备作为起酥油、涂抹脂、人造奶油、粉末油脂、稀奶油等原料的潜质。在以油脂为连续相的制品中,饱和甘油三酯通过形成晶核而为结晶提供刚性框架,而 SUU 等可以提供

润滑性,赋予产品不同的使用性能,因此将 SUU 与全氢化油脂复配可作为零反式脂肪酸起酥油、人造奶油制造的方案之一^[51,53]。乳木果油液油与棕榈仁油硬脂经化学酯交换可制得熔点适宜的粉末油脂芯材,所得粉末油脂包埋率高、溶解性好,经冷水就可实现 99% 以上的溶解^[54]。

由于 StOO 和 POO 等的 sn-2 位脂肪酸为油酸,sn-1/sn-3 位为棕榈酸、硬脂酸,将这类甘油三酯进行酶法定向酯交换,即可获得 POST 组分^[55],这是可可脂中含量高而类可可脂中最为缺少的甘油三酯,可作为巧克力领域专用油。

4.3 护肤品、化妆品用油

护肤品、化妆品等皮肤用油需要对皮肤有一定的亲和力、良好的氧化稳定性和润滑性^[56]。类可可脂经分提后获得的 SUU 和 UUU 组分中油酸为主要不饱和脂肪酸,是皮肤用油的常用原料^[57-58]。茶叶籽油中油酸含量可高达 60%,具有良好的滋润效果,也可协同溶解配方中其他油脂成分^[59-60]。乳木果油、婆罗双树脂、雾冰草脂及其分提液油常被添加至护肤品、防晒制品中,添加量一般为 5% ~ 20%^[61-62]。

5 结束语

类可可脂原料油中的 SUU (以 StOO 和 POO 为主) 和 UUU (以 OOO 为主) 会显著干扰主要成分 SUS 的结晶,进而对巧克力的调温带来不利影响,同时也会导致巧克力的品质缺陷。借助基因工程可获得高 SUS 含量的油料,但将 SUU 和 UUU 含量降至理想水平(如低于 10%) 仍较难。采用分提的方法

可以有效降低 SUU 和 UUU 的含量,且经分提后的 SUU 和 UUU 组分拥有多元化的利用途径,包括作为烹调用油、食品专用油脂和护肤品、化妆品用油等。因此,通过分提选择性降低 SUU 和 UUU 含量是制备高品质类可可脂的优选路径。

参考文献:

- [1] AUGUSTO P P C, BOLINI H M A. The role of conching in chocolate flavor development: a review [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2022, 21(4): 3274 – 3296.
- [2] EWENS H, METILLI L, SIMONE E. Analysis of the effect of recent reformulation strategies on the crystallization behaviour of cocoa butter and the structural properties of chocolate [J]. *Curr Res Food Sci*, 2021, 4:105 – 114.
- [3] HERRERA – ROCHA F, FERNÁNDEZ – NIÑO M, CALA M P, et al. Omics approaches to understand cocoa processing and chocolate flavor development: a review [J]. *Food Res Int*, 2023, 165(3): 112555 – 112567.
- [4] 玛雅 (MARIIA M). A. Korkunov 公司巧克力产品拓展中国市场关键问题研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [5] SUH N N, MOLUA E L. Cocoa production under climate variability and farm management challenges: some farmers' perspective [J]. *J Agric Food Res*, 2022, 8:100282 – 100290.
- [6] SHAVEZ BEG M, SAMEER A, KULSUM J, et al. Status, supply chain and processing of cocoa: a review [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2017, 66:108 – 116.
- [7] 李琳琳. 基于不同结构化机制的油脂凝胶对巧克力品质的影响及调控机理研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2021.
- [8] 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.
- [9] FOUBERT I, VANROLLEGHEM P, THAS O, et al. Influence of chemical composition on the isothermal cocoa butter crystallization [J]. *J Food Sci*, 2004, 69(9): E478 – E487.
- [10] NORAZLINA M R, JAHURUL M H A, HASMADI M, et al. Trends in blending vegetable fats and oils for cocoa butter alternative application: a review [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2021, 116:102 – 114.
- [11] 金俊, WARDA M P, 郑立友, 等. 5 种亟待开发的类可可脂本本油料脂肪 [J]. *中国油脂*, 2017, 42(4): 1 – 7.
- [12] LONCHAMPT P, HARTEL R W. Fat bloom in chocolate and compound coatings [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2004, 106(4): 241 – 274.
- [13] JIN J, JIN Q, AKOH C C, et al. StOSt – rich fats in the manufacture of heat – stable chocolates and their potential impacts on fat bloom behaviors [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2021, 118(Part A): 418 – 430.
- [14] JIN J, WARDA P, MU H, et al. Characteristics of mango kernel fats extracted from 11 China – specific varieties and their typically fractionated fractions [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(8): 1115 – 1125.
- [15] 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*, 2012, 51(10): 2357 – 2369.
- [16] 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*, 2016, 94(2): 201 – 213.
- [17] JIN J, ZHENG L, MWINYI P W, et al. Production of sn – 1,3 – distearoyl – 2 – oleoyl – glycerol – rich fats from mango kernel fat by selective fractionation using 2 – methylpentane based isohexane [J]. *Food Chem*, 2017, 234(1): 46 – 54.
- [18] JEYARANI T, REDDY S. Heat – resistant cocoa butter extenders from mahua (*Madhuca latifolia*) and kokum (*Garcinia indica*) fats [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1999, 76(12): 1431 – 1436.
- [19] SRIDHAR R, AKSHMINARAYANA G, KAIMAL T. Modification of selected Indian vegetable fats into cocoa butter substitutes by lipase – catalyzed ester interchange [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1991, 68(10): 726 – 730.
- [20] SOON W. Speciality fats versus cocoa butter [M]. Subang Jaya: Atlanto Sendirian Berhad, 1991.
- [21] TALBOT G. Specialty oils and fats in food and nutrition: properties, processing and applications [M]. 3rd ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015: 90, 97, 105 – 106.
- [22] JAHURUL M H A, ZAIDUL I S M, NORULAINI N A N, et al. Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics [J]. *J Food Eng*, 2013, 117(4): 467 – 476.
- [23] TCHOBO F P, NATTA A K, BAREA B, et al. Characterization of *Pentadesma butyracea sabine* butters of different production regions in Benin [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2007, 84(8): 755 – 760.
- [24] TCHOBO F, ALAIN A G, JEAN – PIERRE N, et al. Evaluation of the chemical composition of *Pentadesma butyracea* butter and defatted kernels [J]. *Int J Biosci*, 2013, 3(1): 101 – 108.
- [25] JEYARANI T, REDDY S Y. Cocoa butter extender from *Simarouba glauca* fat [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2001, 78(3): 271 – 276.
- [26] LOGNAY G, WATHELET J P, SEVERIN M. Chemical composition of the seed of *Simarouba glauca* D. C. determination of the triglyceride structure [J]. *Rev Fr Corps Gras*, 1981, 28(2): 67 – 70.
- [27] 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]. *J Am Oil Chem Soc*, 2018,95(10):1239–1251.
- [28] FERNANDEZ – MOYA V, MARTINEZ – FORCE E, GARCES R. Oils from improved high stearic acid sunflower seeds[J]. *J Agric Food Chem*, 2005,53(13):5326–5330.
- [29] MOORTHY A S, LIU R, MAZZANTI G, et al. Estimating thermodynamic properties of pure triglyceride systems using the triglyceride property calculator[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016,94(2):187–199.
- [30] WIDLAK N, HARTEL R W, NARINE S. Crystallization and solidification properties of lipids [M]. Illinois: American Oil Chemists Society Press, 2001:225–235.
- [31] GHOTRA B S, DYAL S D, NARINE S S. Lipid shortenings: a review[J]. *Food Res Int*, 2002,35(10):1015–1048.
- [32] LONCHAMPT P, HARTEL W. Fat bloom in chocolate and compound coatings[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2004,106(4):241–274.
- [33] DA SILVA T L T, GRIMALDI R, CALLIGARIS G A, et al. Crystallinity properties and crystallization behavior of chocolate fat blends[J]. *J Food Sci Tech*, 2017,54(7):1979–1989.
- [34] GHOSH V, ZIEGLER G R, ANANTHESWARAN R C. Fat, moisture, and ethanol migration through chocolates and confectionary coatings[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2002,42(6):583–626.
- [35] DAVIS T R, DIMICK P S. Lipid composition of high – melting seed crystals formed during cocoa butter solidification[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1989,66(10):1494–1498.
- [36] CHAISERI S, DIMICK P S. Dynamic crystallization of cocoa butter. I. Characterization of simple lipids in rapid – and slow – nucleating cocoa butters and their seed crystals[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1995,72(12):1491–1496.
- [37] RAMEL P R, CAMPOS R, MARANGONI A G. Effects of shear and cooling rate on the crystallization behavior and structure of cocoa butter: shear applied during the early stages of nucleation [J]. *Cryst Growth Des*, 2018,18(2):1002–1011.
- [38] CHAISERI S, DIMICK P. Lipid and hardness characteristics of cocoa butters from different geographic regions[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1989,66(12):1771–1776.
- [39] SILVA T L T, COOPER Z, LEE J, et al. Tailoring crystalline structure using high – intensity ultrasound to reduce oil migration in a low saturated fat[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2020,97(2):141–155.
- [40] BECKETT S T. The science of chocolate[M]. 2nd ed. London: Royal Society of Chemistry Press, 2008:46.
- [41] LOISEL C, KELLER G, LECQ G, et al. Phase transitions and polymorphism of cocoa butter[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1998,75(4):425–439.
- [42] ZHANG L, UENO S, SATO K, et al. Thermal and structural properties of binary mixtures of 1,3 – distearoyl – 2 – oleoyl – glycerol (SOS) and 1,2 – dioleoyl – 3 – stearoyl – sn – glycerol (sn – OOS)[J]. *J Therm Anal Calorim*, 2009,98(1):105–111.
- [43] ARISHIMA T, MCBRAYER T. Applications of speciality fats and oils[J]. *Manuf Confect*, 2002,82:65–76.
- [44] ZIEGLER G, GEIER – GREGUSKA J, GRAPIN J. HPLC – analysis of bloom[J]. *Fett Wiss Technol*, 1994,96(10):390–394.
- [45] 顾晓霞. 芒果仁油基巧克力的抗霜性能研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2022.
- [46] GHAZANI S M, MARANGONI A G. Microbial lipids for foods [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2022,119(6):593–607.
- [47] KONZOCK O, MATSUSHITA Y, ZAGHEN S, et al. Altering the fatty acid profile of *Yarrowia lipolytica* to mimic cocoa butter by genetic engineering of desaturases [J/OL]. *Microb Cell Fact*, 2022,21(1):25 [2022 – 07 – 06]. <https://doi.org/10.1186/S12934-022-01748-X>.
- [48] Algal fat derived from *Prototheca moriformis* (S7737): notice 673 [S]. South San Francisco: Food and Drug Administration, 2016.
- [49] GHAZANI S M, MARANGONI A G. Novel cocoa butter equivalent from microalgal butters [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2020,97(10):1095–1104.
- [50] BOOTELLO M A, GARCES R, MARTINEZ – FORCE E, et al. Effect of solvents on the fractionation of high oleic – high stearic sunflower oil[J]. *Food Chem*, 2015,172:710–717.
- [51] JIN J, JIE L, ZHENG L, et al. Characteristics of palm mid – fractions produced from different fractionation paths and their potential usages[J]. *Int J Food Prop*, 2018,21(1):58–69.
- [52] SNEHA R, JEYARANI T. Lipase – catalysed acidolysis of mango kernel fat with capric acid to obtain medium – and long – chain triacylglycerols[J]. *J Food Sci Tech*, 2018,53(6):1527–1534.
- [53] WIEDERMANN L. Margarine and margarine oil, formulation and control[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1978,55(11):823–829.
- [54] 徐振波. 冷溶型低饱和、低反式脂肪酸粉末油脂的研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2016.
- [55] 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: 201810199497.2 [P]. 2018 – 03 – 12.

2-基)-乙酮。之后是醛类物质,包括5-甲基呋喃醛、2-吡咯甲醛和3-糠醛,其中5-甲基呋喃醛又称5-甲基糠醛,其可以作为一种食用香料,在GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中被列入了允许使用的食品用合成香料名单,2-吡咯甲醛具有咖啡的风味。再是醇类物质,包括(1S,2S)-1,2-二(吡啶-4-基)乙烷-1,2-二醇和3-呋喃甲醇。最后是吡咯类物质,其是由糖的降解物与氨基酸 Strecker 降解物作用的结果^[12]。

本实验仅选取10个不同品牌芝麻油进行检测,数据有限,后续实验中将继续选取其他品牌芝麻油进行检测,以期扩大样品量,从而建立芝麻油中挥发性风味物质的特征指纹图谱谱库,使得实验结果和结论更加准确。本实验发现,不同品牌芝麻油中含有共有挥发性成分,这些共同成分可以作为芝麻油的特征标志物,根据这些特征标志物,可为芝麻油掺伪鉴别提供技术支持。

3 结论

7个品牌压榨加工工艺生产的芝麻油中检测出49种风味物质,其中16种为共有成分。3个品牌水代法加工工艺生产的芝麻油中检测出61种风味物质,其中30种为共有成分。两种工艺生产的芝麻油中含有13种共有挥发性成分,分别是酚类、吡嗪类、醛类、酮类、吡咯类、醇类物质。本研究分析的芝麻油样本量较少,未能排除芝麻原料产地和品种不同带来的差异,后续可用此方法对不同产地、不同品种芝麻加工的芝麻油进行分析,以期更好地为芝麻油

掺伪鉴别提供数据支撑。同时,对各成分的气味活性进行分析,以确定各成分对香味总体贡献的大小。

参考文献:

- [1] 赵赛茹. 高温焙炒对芝麻主要成分及芝麻油风味的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2015.
 - [2] 赵赛茹,张丽霞,黄纪念,等. 焙炒时间对芝麻油风味及芝麻氨基酸含量的影响[J]. 中国粮油学报,2016,31(8):30-38.
 - [3] 尹文婷,马雪停,汪学德. 不同工艺芝麻油的挥发性成分分析和感官评价[J]. 中国油脂,2019,44(12):8-13.
 - [4] 刘乾坤,周瑞宝. 芝麻香油挥发性风味成分研究[J]. 郑州工程学院学报,1993,14(1):1-14.
 - [5] 刘鑫,李睿,徐漪沙,等. 不同加工处理方式对芝麻油风味的影响研究[J]. 保鲜与加工,2020,20(6):148-156.
 - [6] 万茵,宋莹蕾,白丽霞,等. 基于香气强度的芝麻油特征香气成分分析[J]. 粮食与油脂,2016,29(11):31-34.
 - [7] 李萍萍. 芝麻油香气成分检测及其在香气形成机制与质量评价中的应用[D]. 北京:中国农业科学院,2010.
 - [8] 芝麻油:GB/T 8233—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
 - [9] 乔青莲. 芝麻酚对高脂高果糖诱导的肥胖及胰岛素抵抗的调控作用与机制研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2017.
 - [10] 肖新生,周旭,蒋黎艳. 植物油加工工艺对风味物质影响的研究进展[J]. 中国油脂,2021,46(9):51-56,70.
 - [11] 魏超昆. 亚麻籽源肉味美拉德反应产物的风味形成机理及安全评价[D]. 合肥:合肥工业大学,2020.
 - [12] 艾萍. 芝麻油挥发性风味成份的研究[C]//2006年全国芝麻及芝麻制品新技术论坛会刊. 上海:中国粮油学会油脂专业分会,2006.
-
- (上接第38页)
- [56] AZIZ A A, NORDIN F N M, ZAKARIA Z, et al. A systematic literature review on the current detection tools for authentication analysis of cosmetic ingredients[J]. J Cosmet Dermatol, 2022,21(1):71-84.
 - [57] AGARWAL S, ARYA D, KHAN S. Comparative fatty acid and trace elemental analysis identified the best raw material of jojoba (*Simmondsia chinensis*) for commercial applications[J]. Ann Agric Sci, 2018,63(1):37-45.
 - [58] ZEMSTOV A, GADDIS M, MONTALVO-LUGO V M, et al. Moisturizing and cosmetic properties of emu oil: a pilot double blind study[J]. Australas J Dermatol, 1996, 37(3):159-162.
 - [59] 刘国艳,王兴国,金青哲,等. 不同地区茶叶籽油理化指标及脂肪酸组成的比较分析[J]. 中国油脂,2013, 38(7):85-88.
 - [60] 刘纲勇. 化妆品配方设计与生产工艺[M]. 北京:化学工业出版社,2019:22.
 - [61] TOMASZKIEWICZ - POTEPA A, SLIWA K, LASON E, et al. Shea butter (beurre de karite). Part 3. Use of shea butter in food, cosmetics and pharmaceutical industry [J]. Przem Chem, 2015,94(7):1099-1103.
 - [62] 董银卯. 化妆品配方工艺手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005:134.