

甘油二酯对可可脂类油脂结晶和巧克力起霜的影响研究进展

陈昕玥, 顾晓霞, 王雨昕, 刘周颖, 朱云, 金俊, 金青哲, 王兴国

(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:可可脂类油脂富含对称型单不饱和甘油三酯, 通过科学调控可可脂类油脂中的甘油二酯, 可优化巧克力的调温工艺, 控制其起霜行为。综述了可可脂类油脂中甘油二酯的含量与种类(包括脂肪酸饱和度、链长和位置分布), 探讨其对油脂结晶行为的作用规律, 进而分析其对巧克力抗霜性能的影响。在适宜含量下, 1,3-甘油二酯可促进油脂形成巧克力需要的V型晶体结构, 而1,2-甘油二酯则倾向于使油脂形成II~IV型晶体结构, 且作用程度受脂肪酸链长的影响。然而, 高含量甘油二酯无法使油脂形成V型晶体结构。当甘油二酯含量在3%~5%时, 油脂虽可形成V型晶体结构, 但需根据具体含量对结晶参数进行调整。因此, 有必要通过分提、复配等技术对可可脂类油脂的甘油二酯进行调控。

关键词:甘油二酯; 对称型单不饱和甘油三酯; 脂肪酸链长; 结晶; 起霜

中图分类号: TS225.6; TQ641 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)04-0046-05

Effects of diglycerides on crystallization of cocoa butter analogues and bloom of chocolates: a review

CHEN Xinyue, GU Xiaoxia, WANG Yuxin, LIU Zhouying,
ZHU Yun, JIN Jun, JIN Qingzhe, WANG Xingguo

(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 analogues are rich in symmetrical monounsaturated triacylglycerols. Scientific regulation of diglycerides in cocoa butter analogues contributes to optimization process of tempering and bloom control of chocolates. Contents and species (including saturation degree, chain length and distribution of fatty acids) of diglycerides in cocoa butter analogues were concluded in the present review, followed by discussing their effects on crystallization behaviors of fat matrix as well as bloom resistance of chocolates. V crystal structure could be found in the fat matrix formulating with 1,3-diglycerides at their suitable content, whereas II-IV crystal structures were observed in the fats containing 1,2-diglycerides, and the effect degree was impacted by chain length of their fatty acids. However, high levels of diglycerides failed to form V crystal structure in fat matrix. Although the V crystals structure could be found with 3% -

5% content of diglycerides, which also required adjustable crystallization parameters based on different contents. Therefore, it is necessary to control diglycerides of cocoa butter analogues in making chocolates through fractionation and physical blending.

Key words: diglyceride; symmetrical monounsaturated triacylglycerols; fatty acid chain length; crystallization; bloom

收稿日期: 2022-01-24; 修回日期: 2022-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(32001653); 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(2021021Z)

作者简介: 陈昕玥(2001), 女, 在读本科, 研究方向为油脂加工(E-mail) 1012190708@stu.jiangnan.edu.cn。

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

可可脂类油脂富含对称型单不饱和甘油三酯 (Symmetrical monounsaturated triacylglycerols, SUS - TAG), 如 1, 3 - 二棕榈酸 - 2 - 油酸甘油三酯 (POP)、1 - 棕榈酸 - 2 - 油酸 - 3 - 硬脂酸甘油三酯 (POSt) 和 1, 3 - 二硬脂酸 - 2 - 油酸甘油三酯 (StOSt), 代表性油脂包括可可脂和类可可脂 (如芒果仁油、乳木果油、棕榈油分提物等)。可可脂和类可可脂是中高端巧克力的主要用油, 其中以可可脂为主, 部分耐热型巧克力产品中会配以类可可脂^[1]。在以我国为代表的新兴巧克力市场, 相关产品通常置于室温流通, 常因温度波动或储存条件不当出现起霜。据统计, 全球年均巧克力销售规模为千亿美元, 而因起霜造成的损失高达百亿美元^[2-3]。巧克力起霜严重影响产品的外观, 降低消费品质, 属于严重的质量问题。

巧克力起霜的原因主要包括油基从 V 型向 VI 型转变、复配油基的相容性欠佳、融化液油由产品内部向表层迁移等, 不同的起霜原因所形成的霜斑也各异^[4]。上述原因既可能是同一类组分引起, 也可能是多类组分共同作用的结果。例如, POP、POSt 和 StOSt 的比例不恰当, 会导致相容性问题, 并出现晶型转换差异, 这些作用共同导致了巧克力起霜的发生^[5-6]。在可可脂类油脂中, 已基本探明了上述 3 种主要甘油三酯的合理配比, 但仍会出现起霜问题, 这与其中所含的微量组分密切相关^[7-8]。可可脂类油脂通过精炼、分提等处理, 游离脂肪酸、磷脂、甘油一酯等微量组分含量已降低至低水平, 对起霜行为的影响很小; 但仍普遍存在 1% ~ 5% 的甘油二酯, 这是因为无论是油脂精炼还是传统改性 (如分提), 很难去除甘油二酯, 而甘油二酯对油脂结晶网络结构的形成和稳定有不可忽视的影响^[9-10]。

本文综述了可可脂类油脂中甘油二酯的含量与种类, 探讨了甘油二酯如何作用于 SUS - TAG 体系, 进而如何对巧克力结晶和起霜行为产生影响, 以期科学调控巧克力用油中的甘油二酯含量提供参考。

1 可可脂类油脂中甘油二酯的含量与种类

可可脂类油脂根据 SUS - TAG 种类分为三类^[11-12]: 以 POP、POSt 和 StOSt 为特征的甘油三酯, 如可可脂和雾冰草脂; 以 StOSt 为特征的甘油三酯, 如婆罗双树脂、乳木果油、烛果油、芒果仁油等; 以 POP 为特征的甘油三酯, 如棕榈油分提物、乌柏脂

等。几种代表性的可可脂类油脂的甘油二酯含量见表 1。

表 1 几种代表性的可可脂类油脂的甘油二酯含量

油脂	甘油二酯含量/%	参考文献
可可脂	0.6 ~ 2.5	[13]
婆罗双树脂	2.2 ~ 7.2	[14]
乳木果油	2.2 ~ 3.8	[15]
雾冰草脂	1.0 ~ 2.9	[16]
芒果仁油	0.9 ~ 5.8	[17 - 18]
棕榈油分提物	0.3 ~ 4.7	[19]

由表 1 可见, 几种可可脂类油脂的甘油二酯含量不同, 甘油二酯含量与产地、品种、提油方式等密切相关。例如, 目前商业流通的芒果品种多达百种, 桂热芒仁油的甘油二酯含量接近 6%, 而台农芒、贵妃芒、粤西芒的仁油甘油二酯含量不足 3%^[17]。从甘油二酯的种类来看, 可可脂中的甘油二酯主要为 PO - 甘油二酯、StO - 甘油二酯和 PSt - 甘油二酯, 三者各约占 25%, 且 1, 3 - 甘油二酯和 1, 2 - 甘油二酯含量比为 7:3^[20]。由于可可脂和类可可脂的脂肪酸种类接近, 包括硬脂酸、油酸和棕榈酸, 因此其他可可脂类油脂的甘油二酯也主要由这 3 种脂肪酸组成。例如, 乳木果油的甘油二酯中硬脂酸占 50%、油酸占 41%、棕榈酸占 3%^[15]。然而, 上述油脂中甘油二酯的位置异构体组成差异大。例如, 在芒果仁油中, 因品种和地域而异, 1, 3 - 甘油二酯与 1, 2 - 甘油二酯含量的比例从 1:10 至 6:1 不等^[18]。甘油二酯种类的不同会显著影响巧克力用油的结晶行为。

2 甘油二酯对可可脂类油脂结晶行为的影响

2.1 甘油二酯种类对可可脂类油脂晶体成核、生长和晶型转换的作用规律

研究表明, 对油基结晶进行稳态化处理, 提高甘油三酯分子间的相容性 (尤其对于 SUS - TAG 体系), 可降低因相分离导致的产品起霜问题^[21]。在巧克力制造中, 调温是重要工段。通过调温, 油基可从不稳定的晶型向巧克力需要的 V 型转变。

甘油二酯的种类对于巧克力调温的影响不容忽视^[22]。饱和脂肪酸甘油二酯的空间构象较小, 会参与 SUS - TAG 体系的成核和晶体生长, 但由于与甘油三酯的分子结构存在差异, 在一定程度上降低了晶体的生长速率, 而这一干扰正好给予了晶体顺序排列的时间, 使得整体的结晶结构较为有序; 与之相反, 不饱和脂肪酸甘油二酯也会参与甘油三酯成核, 但不同步参与晶体的生长, 且在结晶后期影响晶体的顺序排列^[23]。基于上述特性, 有专用油脂制造商

将饱和脂肪酸甘油二酯开发为抗霜剂^[24]。

甘油二酯分子中脂肪酸位置分布的不同主要影响油脂晶体的生长速率和晶型转换。在 SUS-TAG 体系中,甘油二酯虽总体上降低了晶体的生长速率,但相比于 1,3-甘油二酯,1,2-甘油二酯的降低作用较小,且易使油基形成 II~IV 型结晶^[9,25]。通常,当甘油二酯的脂肪酸链长与 SUS-TAG 的脂肪酸链长相近时,对晶体生长速率的影响程度最大:当链长较短,如为 MM-甘油二酯(M 为肉豆蔻酸)时,晶体生长速率降低 1/3;而链长相近,如为 PP-甘油二酯时(与 SUS-TAG 的脂肪酸链长相同/近),晶体生长速率降低最大,达 2/3;当链长更长时,晶体生长速率降低幅度在 1/3~2/3 之间^[26]。晶体生长到一定程度后,进入晶型转换阶段,此时相比于 1,2-甘油二酯,1,3-甘油二酯更易促使 SUS-TAG 晶体向吉布斯自由能更低的方式排列,使油基结晶呈现 V 型^[9]。

2.2 甘油二酯含量对可可脂类油脂晶型转换的作用规律

在可可脂和类可可脂中,甘油二酯的存在虽会影响晶体排列的有序性,延缓油基晶体晶型的转换,但含量低时不影响晶体从较稳定的晶型向更稳定的晶型转换。例如,在乳木果油硬脂(StOSt 体系)中,相比于无甘油二酯的试验组,0.7% 含量的甘油二酯可以延缓油脂晶体从 II 型向 III 型或 IV 型转换,但不影响进一步转化为 V 型^[27]。在婆罗双树脂(StOSt 体系)中,更高含量的甘油二酯(2%~3%)会显著影响油脂晶体的排列行为,使体系处于 II 型的时间由 7 min 延长至 25~37 min^[28]。另有研究发现,在甘油二酯含量低于 5% 的婆罗双树脂中,通过促结晶技术尚可使体系形成 V 型^[15]。在类似的改性葵花籽油硬脂基 StOSt 脂肪中,发现甘油二酯含量低于 0.9% 的体系可在 7 d 内转化为 V 型,而甘油二酯含量为 3.9%~5.6% 的体系已不能形成 V 型^[29]。当甘油二酯含量更高,达 10%~15% 时,在多种促结晶作用下均无法使 StOSt 脂肪形成 V 型^[15]。甘油二酯影响晶体排列有序性的机制推测是由于甘油二酯与少量高熔点甘油三酯形成晶核,但这一晶核空间构象较大,无法有效吸附其他甘油三酯分子,从而影响油脂结晶网络结构的有序构建^[30-31]。

甘油二酯含量对油脂结晶和晶型转换的延缓作用也进一步体现在油脂的熔化行为中,并影响巧克力的质构^[32]。在婆罗双树脂中,当甘油二酯含量增至 2%~5% 时,对固体脂肪指数的影响不明显;而当甘油二酯含量进一步增至 10% 时,虽不影响 20~

25 °C 时的熔化行为,但在 30~35 °C 时的固体脂肪指数会下降约 15 百分点,体系软化明显^[28]。在以可可脂为油基的研究中,亦可见相似效果,即当甘油二酯添加量达到油基的 12.5% 和 25.0% 时,体系的熔化初温和熔化峰值降低^[20]。

3 甘油二酯对巧克力起霜行为的影响

巧克力起霜通常归因于油脂的熔化、迁移和重结晶,或油脂晶体从理想的 V 型向更稳定的 VI 型转变,其结果都可能形成混合晶型,导致巧克力表面色泽暗淡,出现不同颜色和形状的斑块^[5,33-34]。甘油二酯会影响油脂晶体网络结构的致密性或液油迁移后的重结晶行为,导致巧克力起霜。

乳脂是巧克力的常用配方之一,乳脂中微量组分本底值为 2.0%~2.6%,其中约 50% 为甘油二酯。将含两倍本底值微量组分(约 5%)、本底值微量组分和无微量组分的乳脂分别用于制造巧克力,并在 19 °C ⇌ 29 °C (变温频率 6 h) 条件下进行加速起霜试验^[35]。结果显示:试验初始所有巧克力中 80% 的油脂晶体为理想的 V 型,仅 20% 晶体为 VI 型,4 d 后添加无微量组分乳脂的巧克力中有 80% 晶体已转为 VI 型,并在 10 d 后全部转为 VI 型,而此时含微量组分乳脂的巧克力,60% 的晶体为 VI 型,可见一定含量的甘油二酯可延缓巧克力油基向 VI 型转变;巧克力起霜试验显示,添加无微量组分乳脂的巧克力起霜最严重,其次为添加两倍本底值微量组分乳脂的巧克力,而添加本底值微量组分乳脂的巧克力抗霜性最好。

若在巧克力油基中直接添加分离自可可脂的甘油二酯(其中,单不饱和型占 51%、二饱和型占 38%、二不饱和型占 11%),当添加量从 0 增至 7.5% (以油基质量为基准)时,不会显著改变巧克力的起霜行为^[20]。由此也证实,甘油二酯的种类对其在 SUS-TAG 体系中的适宜添加量至关重要。

4 可可脂类油脂中甘油二酯的调控

合理的甘油二酯水平可以提高油基晶体排列的有序性,从而提高巧克力的抗霜性能。由以上分析可知,当甘油二酯含量为 3%~10% 时,易出现混合晶型,当甘油二酯含量极高(如高于 10%)时甚至无法形成所需的 V 型。天然可可脂中甘油二酯含量为 0.6%~2.5%,对晶型转变无明显影响,抗霜性能良好;而其他可可脂类油脂中的甘油二酯含量通常会高于 3% 且含量波动范围大,不利于生产中的标准化控制。可采用结晶分提、硅胶吸附等手段控制甘油二酯水平,其中前者相对而言更易实现工业化。

在芒果仁油-丙酮体系中,13~18 °C 下结晶可

获得甘油二酯含量降低的硬脂,其中一级分提可将硬脂中甘油二酯含量从4.4%降至2.6%(降低约40%),基本达到天然可可脂中的甘油二酯水平,而通过三级分提可获得基本不含甘油二酯的硬脂^[36]。在芒果仁油-异己烷体系中,0~3℃下一次分提可获得甘油二酯含量接近2.0%的硬脂,而经三级分提,硬脂中甘油二酯水平可降至1.0%以内^[21]。可见,极性较高的丙酮相对于弱极性的异己烷,更有利于去除硬脂中的甘油二酯。此外,相比于丙酮分提,己烷类分提一般需要较低温度(一般低10~15℃),若在室温操作,硬脂中甘油二酯含量可能无法有效降低。例如,婆罗双树脂-正己烷体系中,在26~28℃下分提,硬脂中甘油二酯含量反而从2.3%提高至3.2%^[37]。

5 结束语

可可脂类油脂的甘油二酯含量与种类波动较大,影响巧克力制造时的调温工艺及成品质量。从甘油二酯含量而言,合理的水平可提高油基晶体排列的有序性与巧克力的抗霜性能。尤其当甘油二酯含量在3%~5%时,SUS-TAG体系虽也可形成巧克力需要的V型晶体结构,但需根据原料油脂的甘油二酯含量对结晶参数进行动态调整。从甘油二酯种类来看,1,3-甘油二酯可延缓SUS-TAG晶体的生长但促进晶型转换,倾向于形成V型晶体结构,而1,2-甘油二酯延缓晶体生长的作用较小,易形成II~IV型晶体结构,当甘油二酯的脂肪酸链长与SUS-TAG的脂肪酸链长接近时,上述作用强度最大。为实现调温工段的高效和稳定,有必要对原料油脂的甘油二酯含量与种类进行稳定化处理。通过分提、复配等技术调控甘油二酯种类及含量,有望简化巧克力调温过程,控制成品中油脂的晶型转换程度以降低起霜。

参考文献:

[1] JIN J, JIN Q Z, AKOH 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 Technol, 2021, 118: 418-430.

[2] 2020年全球及中国巧克力行业市场分析:全球市场规模稳步增长,国内市场规模较小[EB/OL]. (2020-03-16)[2022-01-24]. <https://bg.qianzhan.com/trends/detail/506/200316-a178d1d0.html>.

[3] BRIONES V, AGUILERA J M. Image analysis of changes in surface color of chocolate [J]. Food Res Int, 2005, 38(1): 87-94.

[4] 华聘聘. 巧克力制品起霜的主要原因[J]. 食品科学, 1994, 19(2): 48-51.

[5] GHAZANI S M, MARANGONI A G. The triclinic polymorphism of cocoa butter is dictated by its major molecular species, 1-palmitoyl, 2-oleoyl, 3-stearoyl glycerol (POS) [J]. Cryst Growth Des, 2019, 19(1): 90-97.

[6] GHAZANI S M, MARANGONI A G. The ternary solid state phase behavior of triclinic POP, POS, and SOS and its relationship to CB and CBE properties [J]. Cryst Growth Des, 2019, 19(2): 704-713.

[7] GHAZANI S M, MARANGONI A G. Molecular origins of polymorphism in cocoa butter [J]. Annu Rev Food Sci Technol, 2021, 12: 567-590.

[8] 史宸宇, 陈其刚, 彭楚翘, 等. 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造技术研究进展 [J]. 中国油脂, 2021, 46(12): 44-49, 78.

[9] TAVERNIER I, MOENS K, HEYMAN B, et al. Relating crystallization behavior of monoacylglycerols-diacylglycerol mixtures to the strength of their crystalline network in oil [J]. Food Res Int, 2019, 120: 504-513.

[10] 徐亚元. 棕榈油基甘油二酯的性质研究及其塑性脂肪贮藏稳定性的评价 [D]. 江苏无锡: 江南大学, 2017.

[11] 金俊, 郑立友, 谢丹, 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.

[12] 池娟娟, 陈云波, 张亚飞, 等. 纯脂巧克力用脂及其分析、应用研究进展 [J]. 中国油脂, 2021, 46(8): 131-139.

[13] LEHRIAN D W, KEENEY P G. Changes in lipid components of seeds during growth and ripening of cacao fruit [J]. J Am Oil Chem Soc, 1980, 57(2): 61-65.

[14] YELLA REDDY S, PRABHAKAR J V. Study on the polymorphism of normal triglycerides of sal (*Shorea robusta*) fat by DSC. I. Effect of diglycerides [J]. J Am Oil Chem Soc, 1986, 63(5): 672-676.

[15] BADIFU G I O. Lipid composition of nigerian *Butyrospermum paradoxum* kernel [J]. J Food Compos Anal, 1989, 2(3): 238-244.

[16] BLICHER-MATHIESEN U. Borneo Illipe, a fat product from different *Shorea* spp. (Dipterocarpaceae) [J]. Econ Bot, 1994, 48(3): 231-242.

[17] JIN J, WARDA P, MU H Y, 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.

[18] WARDA M P. Physicochemical characteristics of mango kernel fats and its production of cocoa butter equivalents [D]. Wuxi, Jiangsu: Jiangnan University, 2017.

[19] 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, 21(1): 58 – 69.
- [20] DE CLERCQ N, DEPYPERE F, DELBAERE C, et al. Influence of cocoa butter diacylglycerols on migration induced fat bloom in filled chocolates [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2014, 116(10): 1388 – 1399.
- [21] JIN J, ZHENG L Y, ZHANG J F, 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: 46 – 54.
- [22] WANG H, MALEKY F. Effects of cocoa butter triacylglycerides and minor compounds on oil migration [J]. *Food Res Int*, 2018, 106: 213 – 224.
- [23] FOUBERT I, VANHOUTTE B, DEWETTINCK K, et al. Temperature and concentration dependent effect of partial glycerides on milk fat crystallization [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2004, 106(8): 531 – 539.
- [24] GUNJI H, KIDA H, TASHIRO Y, et al. Bloom – preventing agent and chocolate having excellent bloom resistance; JP 05168412A [P]. 1993 – 07 – 02.
- [25] WÜHNELT S, MEUSEL D, TÜLSNER M. Der einfluß isomerer diglyceride auf phasenumwandlungen von kakaobutter; untersuchungen mittels isothermer DSC [J]. *Lipid/Fett*, 1991, 93(5): 174 – 178.
- [26] SMITH K W, BHAGGAN K, TALBOT G, et al. Crystallization of fats: influence of minor components and additives [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2011, 88(8): 1085 – 1101.
- [27] RAY J, SMITH K W, BHAGGAN K, et al. Crystallisation and polymorphic behaviour of shea stearin and the effect of removal of polar components [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2013, 115(10): 1094 – 1106.
- [28] YELLA REDDY S, PRABHAKAR J V. Effect of diglycerides on the solidification properties of sal (*Shorea robusta*) fat [J]. *Fat Sci Technol*, 1987, 89(10): 394 – 397.
- [29] RAY J, SMITH K W, BHAGGAN K, et al. Characterisation of high 1,3 – distearoyl – 2 – oleoyl – sn – glycerol content stearins produced by acidolysis of high oleic sunflower oil with stearic and palmitic acids [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2014, 116: 532 – 547.
- [30] CHAI X H, MENG Z, JIANG J, et al. Non – triglyceride components modulate the fat crystal network of palm kernel oil and coconut oil [J]. *Food Res Int*, 2018, 105: 423 – 431.
- [31] SMITH P R, FURO I, KEVIN W, et al. The effect of partial acylglycerols on the exchange between liquid and solid tripalmitoylglycerol [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2007, 84(4): 325 – 329.
- [32] 浦上昭久, 立石悌三郎. 溶剤分別法によるハードバター製造技術の開発と工業化[J]. *油化学*, 1986, 35(12): 995 – 1000.
- [33] SOHEI S, HIRONORI H. Fat bloom caused by partial de – oiling on chocolate surfaces after high – temperature exposure [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2021, 98(3): 269 – 280.
- [34] ZHAO H H, JAMES B J. Fat bloom formation on model chocolate stored under steady and cycling temperatures [J]. *J Food Eng*, 2019, 249: 9 – 14.
- [35] TIETZ R A, HARTEL R W. Effects of minor lipids on crystallization of milk fat – cocoa butter blends and bloom formation in chocolate [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2000, 77(7): 763 – 771.
- [36] JIN J, MU H Y, 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.
- [37] YELLA REDDY S, PRABHAKAR J V. Isolation of 9, 10 – dihydroxystearic acid from sal (*Shorea robusta*) fat [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1987, 64(1): 97 – 99.

· 公益广告 ·



节能减排，提质增效！

《中国油脂》宣