

“粮油食品品质提升与安全控制” 特约专栏文章之二

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.02.002

核桃油与棕榈硬脂复配体系在 涂抹脂基料油中的应用

毛琳璐¹, 李冰¹, 张霞¹, 焦文娟¹, 李琳^{1,2}

- (1. 华南理工大学 食品科学与工程学院, 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室, 淀粉与植物蛋白深加工教育部工程研究中心, 广东广州 510640;
2. 东莞理工学院 化学工程与能源技术学院, 广东 东莞 523808)

摘要: 对棕榈硬脂与核桃油复配体系的相容性及结晶性质变化进行探究, 考察复配体系在涂抹脂基料油中的应用。结果表明, 当核桃油含量达到 20% 以上时, 复配体系的固体脂肪含量 (Solid Fat Content, SFC) 变化趋势符合涂抹脂的最佳 SFC 曲线特征, 适合用作涂抹脂基料油; 在温度高于 33.3 °C 时, 核桃油与棕榈硬脂在复配比例 (1:9、2:8、3:7、4:6) 下可以完全相容; 在核桃油比例达到 3:7 以上时, 复配体系的屈服值符合涂抹脂的最佳屈服值范围; 在温度低于 30 °C 时, 棕榈硬脂及复配体系具有较强的晶体网络结构, 能在运输和贮藏过程中维持稳定的形态, 在接近体温时也能快速熔化, 产生涂抹脂类似的口感, 复配体系中晶体以 β' 晶型为主。该结果为棕榈硬脂及核桃油复配体系在涂抹脂中的应用奠定基础。

关键词: 棕榈硬脂; 核桃油; 涂抹脂; 硬度; 流变性质; β' 晶型

中图分类号: TS222 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2020)02-0007-07

网络出版时间: 2020-03-03 16:45:10

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200303.1518.001.html>

Application of blends of walnut oil and palm stearin in soft spread base oil

MAO Lin-lu¹, LI Bing¹, ZHANG Xia¹, JIAO Wen-juan¹, LI Lin^{1,2}

- (1. School of Food Sciences and Engineering, Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, Ministry of Education Engineering Research Center of Starch & Protein Processing, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China;
2. School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan, Guangdong 523808, China)

Abstract: To study the application of palm stearin and walnut oil blends in the base oil of soft spreads, the compatibility and crystalline properties of blends were determined. The results show that the SFC curves of blends changed in accordance with the characteristics of best SFC curve of soft spread when the content of walnut oil reached 20%, indicating the blends are suitable for soft spread base oil. At different temperatures, there were different compatibility between walnut oil and palm stearin. And the compatibility gradually became better with the increase of temperature. When the temperature was higher than 33.3 °C, walnut oil

收稿日期: 2019-12-23

基金项目: 国家自然科学基金 (U1501214、31871758); 华南理工大学中央高校基本业务费 (2019ZD41)

作者简介: 毛琳璐, 1995 年出生, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为油脂化学与营养、功能油脂开发。

通讯作者: 李琳, 1962 年出生, 男, 博士, 教授, 研究方向为食品加工学基础、碳水化合物修饰及多糖生物安全。

and palm stearin can be completely compatible at all ratios. The yield value of palm stearin was much higher than the optimal yield value of soft spread, which means poor spread ability. The yield value of blends decreased upon addition of walnut oil. When the content of walnut oil was higher than 30%, the yield values of blends were in the range of soft spreads. Rheological temperature scanning results show that a strong crystal network existed in PST and the blends when the processing temperature was lower than 30 °C, and can maintain a stable form during transportation and storage; it can also quickly melt near body temperature to give a similar taste to soft spread. The crystals in the blends are mainly β' form. The results laid the foundation for the application of blends of palm stearin and walnut oil in soft spread.

Key words: palm stearin; walnut oil; soft spread; hardness; rheological properties; β' form

涂抹脂是一类脂肪含量低,在常温下呈固态,但同时也具有良好的延展性、涂抹性的食品专用油脂^[1],其中含有大量人体必需脂肪酸,营养价值高,具有与传统人造奶油相似的外观、气味与口感。涂抹脂既可直接涂抹于面包、饼干、水果、蔬菜等食物表面以增添风味,也可用作焙烤、油炸、膨化类专用油脂,它的品质功能与其基料油性质直接相关。因此,深入了解基料油特性,对涂抹脂的工业生产具有重要意义。

目前,涂抹脂的基料油主要包括氢化植物油、酯交换油脂及复配油脂^[2-3]。氢化植物油在生产过程中易产生大量反式脂肪酸,而摄入反式脂肪酸会增加患心血管疾病、糖尿病、癌症的风险^[4]。酯交换油脂不含反式脂肪酸,但是酯交换油脂用作涂抹脂基料油的成本较高。复配油脂不需氢化,不含或仅有微量反式脂肪酸,同时原料成本、工艺成本低,是理想的涂抹脂基料油。

棕榈硬脂因其产量大、价格低且具有良好的机械性能而成为食品专用油脂复配基料油中常见的脂质,但在实际应用中由于其熔点较高,在用作基料油时一般与其他低熔点油脂进行复配共混使用^[5]。核桃油是一种含有不饱和脂肪酸 90%以上,且有较多生物活性成分的营养价值很高的低熔点油脂^[6]。对于以不同熔点油脂复配制得的基料油所制备的涂抹脂,基料油脂间的相容性及结晶性质将直接影响其涂抹性等品质^[7],而棕榈硬脂与核桃油之间分子组成及结晶性质相差较大^[8-9],因此,为更好应用核桃油及棕榈硬脂复配制备涂抹脂,有必要对二者的相容性及结晶性质进行研究。

本文拟对核桃油及棕榈硬脂按照不同比例复配得到混合体系的相容性及结晶行为进行研究,同时考察复配体系的固体脂肪含量、硬度与晶型等结晶性质以及流变学性质,并与市售涂抹脂样品进行对比,以期对以核桃油和棕榈硬脂复配体系为基料油的涂抹脂性质有更进一步地了解,并为其生产制备及品质保障提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

优贝健冷榨核桃油:菏泽中禾健元生物科技有限公司;棕榈硬脂:益海嘉里有限公司;市售涂抹脂:上海高夫食品有限公司;吐温 80 等:国药集团化学试剂有限公司,均为分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

RO15 型水浴磁力搅拌器:德国 IKA 仪器设备有限公司;T18 Digital Ultra Turrax 高速细胞破碎仪:德国 IKA 仪器设备有限公司;DC3006 低温恒温槽:宁波新芝仪器设备有限公司;FYL-YDS-C 恒温箱:北京福意联医疗设备有限公司;Minispecmq-one 固体脂肪含量测定仪:德国 Bruker 仪器设备有限公司;TA-XT Plus 质构仪:英国 Sable Micro System 仪器设备有限公司;MCR101 流变仪:德国 Antonpar 仪器设备有限公司;D8 Advance X 射线衍射仪:德国 Bruker 仪器设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 核桃油与棕榈硬脂复配体系的制备

将 80 °C 融化后的核桃油 (Walnut Oil, WO) 与棕榈硬脂 (Palm Stearin, PST) 按 1 9、2 8、

3、7、4、6 进行复配,获得核桃油与棕榈硬脂复配体系,分别命名为 WO10、WO20、WO30、WO40。

1.2.2 固体脂肪含量 (Solid Fat Content, SFC) 测定及相容性分析

根据文献^[10]中的方法稍作修改,使用固体脂肪测定仪测定复配体系的 SFC。修改后的测试方法如下:测定复配样品在 0 °C 稳定 90 min 后的 SFC,然后将样品于 5.0、10.0、21.1、33.3、40.0 °C 稳定 30 min 后测定其 SFC。用原料油 WO 与 PST 的 Δ SFC 曲线来评价基料油的相容性^[11]。

1.2.3 硬度测定

根据文献^[12]使用质构仪测定复配体系的硬度。使用 P45C 锥形探头穿刺测定样品硬度,探头下行 10 mm,下行速度 2 mm/s,每个样品测定三次,取平均值作为样品硬度。

1.2.4 屈服值 (Yield Value, YV) 分析

根据文献^[13-14]计算样品屈服值,公式如下:

$$YV = \frac{KW}{P^{1.6}} \quad (1)$$

式中:YV—屈服值, g/cm²; K—锥形探头常数, 45°锥形探头的常数为 4 700; W—穿刺测定的触发力, g; P—探头下行深度的十倍, mm;

1.2.5 流变性质分析

采用流变仪测定复配体系及市售涂抹脂样品 (SP) 的流变性质^[15]。线性粘弹区测试条件:应变扫描范围 0.001%~100%, 频率 1 Hz, 温度为 25 °C。频率扫描测试条件:应变 0.01%, 频率扫

描范围 1~100 Hz, 温度为 25 °C。温度扫描测试条件:应变 0.01% 频率 1 Hz 温度扫描范围 5~37 °C。

1.2.6 晶型分析

采用 X 射线衍射仪测定复配体系的晶型^[16]。

测试条件:扫描角度范围 1~30°, 步长 0.02°, 扫描速度 2°/min。

1.2.7 数据统计分析

所有实验均重复三次,结果使用 SPSS 22.0 进行统计分析, Origin 2017 作图,应用单因素和双因素 ANOVA 分析各组结果间的显著性差异 ($P < 0.05$)。结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 核桃油与棕榈硬脂复配体系 SFC 及相容性分析

研究表明,为保证在储藏温度及室温下能以固态形式存在且具有最佳口感,涂抹脂需要具有一定的 SFC,如在 10 °C 时 SFC 不低于 7.6%,且在人体温度范围内 SFC 不高于 10%^[17]。因此,对 PST、WO 及其复配体系 (WO10、WO20、WO30 及 WO40) 在不同温度下的 SFC 进行测试,WO 在整个测试条件下 SFC 为 0, PST 及复配体系的 SFC 结果如表 1 所示。由表 1 可知, PST、WO10、WO20、WO30、WO40 在 0 °C 时具有最高的 SFC,在 10 °C 时所有样品的 SFC 均大于 30%,在 40 °C 时 SFC 均不高于 10%,所有样品均符合涂抹脂的 SFC 要求。

表 1 棕榈硬脂及其与核桃油复配体系的 SFC

%

温度/°C	PST	WO10	WO20	WO30	WO40
0	78.52±0.22 ^{Aa}	69.27±0.16 ^{Ba}	60.25±0.19 ^{Ca}	51.00±0.08 ^{Da}	43.37±0.16 ^{Ea}
5	70.82±0.27 ^{Ab}	60.66±0.19 ^{Bb}	51.69±0.07 ^{Cb}	43.46±0.07 ^{Db}	35.65±0.02 ^{Eb}
10	70.05±0.17 ^{Ac}	60.29±0.12 ^{Bc}	51.35±0.09 ^{Cc}	43.16±0.07 ^{Dc}	35.75±0.16 ^{Eb}
21.1	34.25±0.12 ^{Ad}	28.52±0.13 ^{Bd}	23.40±0.09 ^{Cd}	18.91±0.12 ^{Dd}	14.92±0.07 ^{Ec}
33.3	13.06±0.16 ^{Ae}	10.86±0.10 ^{Be}	9.27±0.08 ^{Ce}	7.90±0.06 ^{De}	7.02±0.16 ^{Ed}
40	5.06±0.10 ^{Af}	5.06±0.09 ^{Af}	4.53±0.03 ^{Bf}	3.75±0.07 ^{Cf}	3.08±0.10 ^{De}

注:不同大写字母 (A-E) 表示同一温度点时不同样品间的差异显著 ($P < 0.05$); 不同小写字母 (a-f) 表示同一样品在不同温度点时的差异显著 ($P < 0.05$)

Silow 等^[17]指出涂抹脂应具有最佳的 SFC 曲线,其特征为:在 10~33.3 °C 范围内 SFC 快速下降,在 33.3 °C 时 SFC 降至 10% 以下。由表 1 可

见随着 WO 添加量的升高,所有复配体系的 SFC 值逐渐降低,且复配体系的 SFC 随着温度的升高均下降且在 10~3.3 °C 范围内快速下降,而当 WO

添加量达到 20%以上时,WO20、WO30 及 WO40 体系在 33.3 °C时 SFC 降至 10%以下,这一变化趋势符合涂抹脂的最佳 SFC 曲线特征。而所有体系在 10~33.3 °C温度范围内 SFC 显著下降,这与在体系内主要甘油三酯的快速熔化有关^[18]。

表 2 棕榈硬脂与核桃油复配体系的 Δ SFC

温度/°C	WO10	WO20	WO30	WO40
0	-1.40±0.22	-2.56±0.26	-3.96±0.24	-3.75±0.26
5	-3.08±0.28	-4.97±0.15	-6.12±0.14	-6.85±0.18
10	-2.76±0.06	-4.69±0.05	-5.87±0.18	-6.29±0.07
21.1	-2.31±0.02	-4.00±0.18	-5.06±0.05	-5.63±0.12
33.3	-0.89±0.12	-1.18±0.06	-1.24±0.13	-0.82±0.08
40	0.50±0.18	0.48±0.11	0.20±0.11	0.04±0.06

为了清楚地描述核桃油与棕榈硬脂之间的相容性,对 WO10、WO20、WO30、WO40 在不同测试温度下的 Δ SFC 进行计算,结果如表 2 所示。研究表明, Δ SFC 的绝对值小于 1.5%,可视为完全相容^[19-20]; Δ SFC 越接近零,则表明体系的相容性越好^[10-11]。而在表 2 中,在不同的温度范围,复配体系 Δ SFC 有所不同,表明在不同温度下核桃油与棕榈硬脂之间的相容性存在差异。在 0~21.1 °C时,所有复配体系(除 WO10 以外) Δ SFC 绝对值均大于 1.5% ($P<0.05$),表明此时所有比例的棕榈硬脂与核桃油为部分相容,这应该是二者热力学性质差异和分子大小差异的共同结果^[21]。WO10 在 0 °C时的 Δ SFC 绝对值为 1.4%±0.22%,在 10~21.1 °C时的 Δ SFC 绝对值均大于 1.5% ($P<0.05$),表明 0 °C下含有 10%WO 的复配体系介于完全相容和部分相容之间,在 10~21.1 °C时含有 10%WO 的复配体系为部分相容。当温度高于 21.1 °C时,随着温度的升高,复配体系 Δ SFC 逐渐减小;在 33.3~40 °C温度区间内,复配体系 Δ SFC 趋近于 0,表明温度升高后,二者的相容性逐渐变好,在温度高于 33.3 °C时,在本研究的复配比例下棕榈硬脂与核桃油是可以完全相容。

同时,研究表明,如果体系的 Δ SFC 为正值,则表明体系存在偏晶现象;如果体系的 Δ SFC 为负值,则表明体系存在共晶现象^[22],因此可见,在 0~33.3 °C时,所有复配体系 Δ SFC 为负值,表

明这些复配体系中存在共晶现象,且随着温度升高,共晶现象逐渐减弱,这与体系内甘油三酯组成有关。PST 的主要甘油三酯包括 1,2-棕榈酸-3-油酸甘油三酯(1,2-dipalmitoyl-3-oleoyl-glycerol, PPO)/1,3-棕榈酸-2-油酸甘油三酯(1,3-palmitoyl-2-oleoyl-glycerol, POP) 1-棕榈酸-2,3-油酸甘油三酯(1-palmitoyl-2,3-dioleoyl-glycerol, POO)和三棕榈酸甘油三酯(Tripalmitin, PPP),而 PPO/POP、POO 及 PPP 在晶型最稳定时的熔点依次为 35~36.7 °C、18~19 °C及 65~70 °C^[23]。在 0~33.3 °C时,核桃油为完全液态,此时复配体系内存在的主要甘油三酯为 PPO/POP、POO 及 PPP,而 PPO/POP、POO 及 PPP 在同一温度下的结晶性质有所不同,导致生成多种性质不同的晶体,从而使得复配体系呈现共晶的状态。随着温度升高,低熔点的甘油三酯晶体逐渐融化,共晶现象减弱;当温度高于 33.3 °C达到 40 °C时,复配体系内主要晶体为甘油三酯 PPP 形成的,因此呈现偏晶现象,所有复配体系 Δ SFC 为正值。此时随着 WO 含量增加,体系内 PPP 含量逐渐减少,复配体系的晶体逐渐减少,从而导致偏晶现象逐渐减弱,当 WO 添加量达到 40%时,复配体系中 Δ SFC 接近于零。

2.2 核桃油与棕榈硬脂复配体系的硬度及屈服值变化

油脂的硬度大小可以用于表征引起油脂大形变的难易程度,对于涂抹脂则可以用于描述其涂抹性能,屈服值的大小可以更直观表征油脂的涂抹性质^[14]。PST 及其复配体系(WO10、WO20、WO30 及 WO40)的硬度和屈服值如图 1 所示。

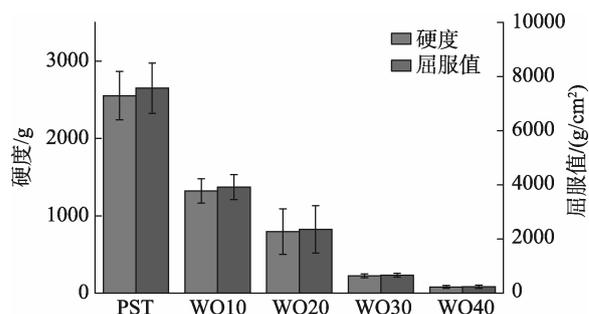


图 1 棕榈硬脂及其与核桃油复配体系的硬度和屈服值

由图 1 可知,当 WO 添加量为 10% 时,硬度为 $(1\ 320.97 \pm 155.99)$ g ($P < 0.05$),比空白 PST 的硬度 $(2\ 552.08 \pm 312.60)$ g 降低 49.24% ($P < 0.05$)。随着 WO 添加量的继续增大,复配体系硬度和屈服值逐渐降低 ($P < 0.05$)。研究表明,油脂的硬度与油脂晶体网络结构强度有关,油脂的晶体网络结构越强则硬度越大^[24]。在复配体系中,核桃油含量的增加将会导致复配体系中高熔点甘油三酯含量的减少,从而降低复配体系中脂肪晶体的含量并导致晶体网络结构变弱,从而引起硬度降低,提高涂抹性。对于油脂产品而言,屈服值在 $1\ 500$ g/cm² 以下即可涂抹^[17];而对于具有良好的塑性和涂抹性的涂抹脂产品而言,其屈服值应在 $200 \sim 800$ g/cm² 之间。由图 1 可见,PST 的屈服值为 $(7\ 568.18 \pm 927.02)$ g/cm² ($P < 0.05$),远高于涂抹脂的屈服值,表明其涂抹性较差。而随着核桃油比例的增加,复配体系屈服值逐渐下降,在添加量达到 30% 以上时,复配体系的屈服值均在涂抹脂的屈服值范围之内,其中 WO30 的屈服值为 (660.20 ± 74.21) g/cm² ($P < 0.05$),WO40 的屈服值为 (237.04 ± 54.64) g/cm² ($P < 0.05$),表明,WO30 及 WO40 这两个复配体系可形成具有良好涂抹性的涂抹脂产品。

2.3 核桃油与棕榈硬脂复配体系的流变性质

油脂的流变性质主要受脂肪结晶程度、晶体形态及其空间分布影响^[25]。流变性质除了可以表明产品品质外,还可以指示产品加工操作性^[26]。市售涂抹脂、PST 及其复配体系(WO10、WO20、WO30 及 WO40) 的流变行为如图 2 所示。

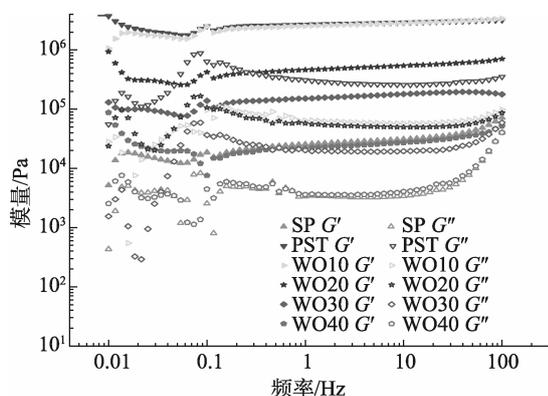


图 2 棕榈硬脂及其与核桃油复配体系的频率扫描 (SP 为对照用市售涂抹脂)

由图 2 可知,在整个测试频率范围 $0.01 \sim 100$ Hz 内,市售涂抹脂、PST 及其复配体系的弹性模量 G' 始终大于粘性模量 G'' ,且 G' 和 G'' 没有交点,表明所有样品的弹性特征强于粘性特征,且在剪切过程中未发生相变。同时,PST 的弹性模量 G' 及粘性模量 G'' 最高,复配体系的 G' 及 G'' 随 WO 添加量增加逐渐减少,表明 WO 的添加降低了复配体系弹性及粘性,这与 WO 添加量的增加降低体系的晶体含量且改变晶体形状有关^[27],与上述硬度、屈服值结果一致。市售涂抹脂 SP 的 G' 和 G'' 最低,WO40 具有接近市售涂抹脂 SP 的 G' 和 G'' ,此时样品具有相对较低的弹性和粘性,更容易涂抹。

温度扫描测试的流变行为可用来分析油脂在该扫描温度范围内的脂肪结晶网络强度变化。本研究模拟涂抹脂在食用过程中的温度变化,设定起始温度为冰箱温度 $5\ ^\circ\text{C}$,终止温度为人体体温 $37\ ^\circ\text{C}$,考察棕榈硬脂、核桃油与棕榈硬脂复配体系在这个过程中 G' 和 G'' 的变化,结果如图 3 所示。

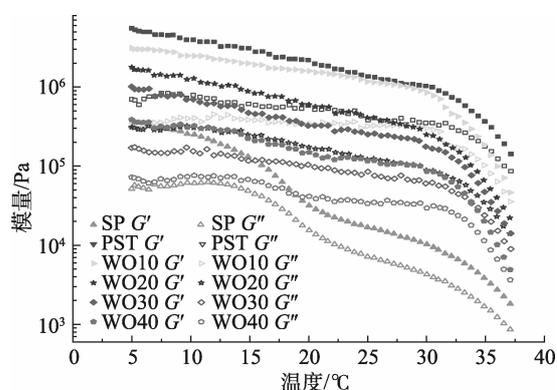


图 3 棕榈硬脂及其与核桃油复配体系的温度扫描 (SP 为对照用市售涂抹脂)

对于 PST 及其复配体系而言,当温度低于 $30\ ^\circ\text{C}$ 时,随着温度升高, G' 和 G'' 平缓下降,表明体系内的脂肪结晶网络结构强度逐渐下降,这与体系中低熔点甘油三酯晶体的熔化有关,当温度高于 $30\ ^\circ\text{C}$ 时,所有样品的 G' 和 G'' 快速下降,这是由于大量晶体的快速熔化造成结晶网络结构崩塌引起。对于市售涂抹脂而言,当温度高于 $10\ ^\circ\text{C}$ 时,体系的 G' 和 G'' 即发生快速下降,表明市售涂抹脂的低熔点甘油三酯晶体含量较高。在处理温

度低于 30 °C 时, 与市售涂抹脂相比, PST 及其复配体系表现出较强的脂肪结晶网络结构, 有利于产品的储藏及运输; 在 30~37 °C 时的升温过程中, PST 及其复配体系与市售涂抹脂呈现相似快速下降曲线, 表明此时体系在接近人体温时也能迅速熔化, 形成涂抹脂类似的口感。

2.4 核桃油与棕榈硬脂复配体系的晶型研究

油脂的晶型与其品质及口感息息相关, 对 PST 及其复配体系的晶型进行测定, 结果见图 4。

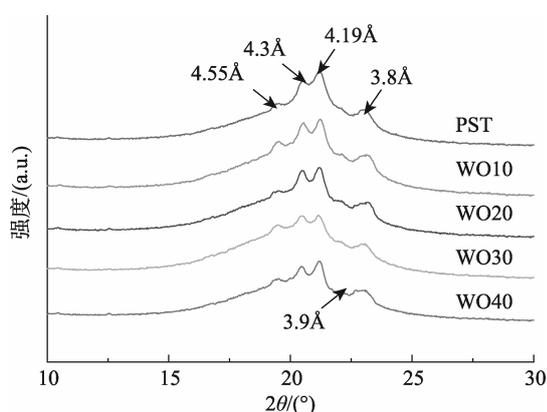


图 4 棕榈硬脂及其与核桃油复配体系的 XRD 图

由图 4 可知, PST 及其复配体系在短间距 3.8 Å、4.19 Å、4.3 Å、4.55 Å 均有较强衍射峰。研究表明, 短间距 3.8 Å、4.2 Å 为 β' 晶型的特征衍射峰, 4.6 Å 为 β 晶型的特征衍射峰^[28], 而 4.3 Å 处的衍射峰是 β' 晶型的亚型^[29], 4.55 Å 为烷烃链折叠的甘油三酯分子形成的 β 晶型特征衍射峰^[30], 因此, 可以认为 PST 及其复配体系中以 β' 晶型为主, 同时存在少量的 β 晶型。随着 WO 含量增加, 复配体系在 3.90 Å 处出现新的峰, 3.90 Å 也是 β' 晶型的衍射峰^[30], 表明 WO 含量增加并未引起体系晶型变化, 仍然以 β' 晶型为主。 β' 晶型的脂肪结晶颗粒尺寸较小, 可赋予涂抹脂细腻的口感。

3 结论

以棕榈硬脂与核桃油混合的二元复配体系制备基料油, 考察复配体系的相容性及结晶性质变化。结果表明, 当核桃油含量达到 20% 以上时,

复配体系适合用作涂抹脂基料油。在不同温度下, 核桃油与棕榈硬脂之间的相容性存在差异。在 0~21.1 °C 时, 复配体系是部分相容的。随着温度升高, 二者的相容性逐渐变好, 在温度高于 33.3 °C 时, 核桃油与棕榈硬脂在复配比例 (1 9、2 8、3 7、4 6) 下可以完全相容。复配体系的屈服值随着核桃油比例的增加而逐渐下降, WO30 及 WO40 这两个复配体系可形成具有良好涂抹性的涂抹脂产品。流变学温度扫描结果表明, 复配体系中的低熔点甘油三酯少于市售涂抹脂, 在处理温度低于 30 °C 时具有较强的晶体网络结构, 能在运输和贮藏过程中维持涂抹脂的形态; 复配体系在接近体温时也能快速熔化, 产生类似涂抹脂的口感。复配体系中晶体以 β' 晶型为主。本研究为核桃油在涂抹脂中的应用提供基础数据, 有助于推动健康营养油脂产业的发展。

参考文献:

- [1] 马云肖, 王建新. 软质型人造奶油的性质及生产[J]. 农业机械, 2013(26): 45-47.
- [2] 赵金利. 大豆油和极度氢化棕榈油酯交换制备人造奶油油基料的研究[D]. 暨南大学, 2015.
- [3] 王炎. 酶促酯交换制备速冻食品专用油脂的研究[D]. 华南理工大学, 2014.
- [4] IRENA B. KING A R K S. Serum trans-fatty acids are associated with risk of prostate cancer in β -carotene and retinol efficacy trial[J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2005, 14(4): 988-992.
- [5] KELLENS M, GIBON V, HENDRIX M, et al. Palm oil fractionation[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2007, 109(4): 336-349.
- [6] 赵声兰, 陈朝银, 葛锋, 等. 核桃油功效成分研究进展[J]. 云南中医学院学报, 2010(6): 71-74.
- [7] 周胜利. 牛油基起酥油品质缺陷及其改善的研究[D]. 江南大学, 2011.
- [8] 张卓青, 王兴国, 胡鹏, 等. 不同硬度棕榈油基人造奶油组成及结晶行为研究[J]. 中国油脂, 2009(9): 30-34.
- [9] 刘梦颖. 脂肪酸及微量组分对核桃油氧化稳定性的影响[D]. 陕西科技大学, 2015.
- [10] 张华, 南阳, 方昭西, 等. 椰子油与棕榈硬脂油物理混合及其

- 结构脂熔融特性的比较研究[J]. 现代食品科技, 2016(4): 46-51.
- [11] 张婷, 金青哲, 王兴国. 棕榈仁油与五种油脂相容性的研究[J]. 中国油脂, 2006(11): 26-29.
- [12] OLIVEIRA P D, RODRIGUES A M C, BEZERRA C V, et al. Chemical interesterification of blends with palm stearin and patawa oil[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 369-376.
- [13] BEZERRA C V, RODRIGUES A M D C, DE OLIVEIRA P D, et al. Technological properties of amazonian oils and fats and their applications in the food industry[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 1466-1473.
- [14] HAIGHTON A J. The measurement of the hardness of margarine and fats with cone penetrometers[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1959, 36(8): 345-348.
- [15] RAMAMIRTHAM S, SHAHIN A, BASAVARAJ M G, et al. Phase behavior and micro-structure of fat-oil mixtures: engineering the shape of fat clusters[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2017, 94(1): 121-132.
- [16] SILOW C, ZANNINI E, ARENDT E K. Impact of low-trans fat compositions on the quality of conventional and fat-reduced puff pastry[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(4): 2117-2126.
- [17] LUMOR S E, KIM B H, AKOH C C. Optimization of solid fat content and crystal properties of a trans-free structured lipid by blending with palm midfraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(19): 9294-9298.
- [18] SHIN J, AKOH C C, LEE K. Enzymatic interesterification of anhydrous butterfat with flaxseed oil and palm stearin to produce low-trans spreadable fat[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 1-9.
- [19] 施参, 常明, 刘睿杰, 等. 巴沙硬脂与 6 种油脂相容性的研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 21-25.
- [20] 池娟娟, 孟宗, 李进伟, 等. 棕榈油基料油相容性及结晶形态的研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(5): 16-21.
- [21] 华聘聘. 甘油三酯间和油脂间相容性[J]. 粮食与油脂, 1993.
- [22] ORNLA-IED P, SONWAI S, LERTTHIRASUNTORN S. Trans-free margarine fat produced using enzymatic interesterification of rice bran oil and hard palm stearin[J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25(3): 673-680.
- [23] MIURA S, YAMAMOTO A, KONISHI H. Effect of agglomeration of triacylglycerols on the stabilization of a model cream[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2002, 104(4): 222-227.
- [24] 徐杭蓉, 郑远荣, 刘振民, 等. 不同植物油脂对涂抹再制干酪品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 78-82.
- [25] PÉREZ-MARTÍNEZ D, ALVAREZ-SALAS C, CHARÓ-ALONSO M, et al. The cooling rate effect on the microstructure and rheological properties of blends of cocoa butter with vegetable oils.[J]. Food Research International, 2007, 40(1): 47-62.
- [26] KILCAST D, CLEGG S. Sensory perception of creaminess and its relationship with food structure.[J]. Food Quality and Preference, 2002, 13(7): 609-623.
- [27] RYAN WEST D R. Regression modelling of the impact of confectioner's sugar and temperature on palm oil crystallization and rheology[J]. Food Chemistry, 2019(274): 194-201.
- [28] 张霞. 贮藏过程中棕榈油基塑性脂肪结晶网络结构与宏观物理性能变化研究[D]. 华南理工大学, 2013.
- [29] YAP P H, MAN J M, MAN L. Polymorphism of palm oil and palm oil products[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1989, 66(5): 693-697.
- [30] D'SOUZA V, DEMAN J M, DEMAN L. Short spacings and polymorphic forms of natural and commercial solid fats: A review[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1990, 67(11): 835-843. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网(<http://lspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

(审核: 伍松陵)