

油脂化学

甘油三酯组成对花生油产生凝固现象影响

赵丽红,孟宗,李进伟,刘滢,刘元法

(江南大学食品学院,食品科学与技术国家重点实验室,江苏无锡214122)

摘要:为探究花生油自然放置在温度变化范围较大的环境中底部出现沉降物,加热后沉降物消失的原因,对底部沉降物的热特性、甘油三酯组成进行分析,初步得出沉降物可能会导致花生油凝固,继续对花生油进行分提,并对固脂进行甘油三酯组成分析和晶型分析,研究发现分提后液脂不易凝固,说明花生油发生凝固的主要原因是受其甘油三酯组成影响;花生油放置温度低于7℃,以SU₂、S₂U型甘油三酯为主导,形成β、β'晶体裹挟周围液态油至凝固,因此在储存过程中由于温度波动,花生油一些高熔点的甘油三酯(以S₃、S₂U为主)析出沉降导致了沉淀物的产生。

关键词:花生油;凝固;甘油三酯

中图分类号:TS225.1;TQ641

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)09-0035-05

Effect of triglycerides composition on solidification phenomenon of peanut oil

ZHAO Lihong, MENG Zong, LI Jinwei, LIU Ying, LIU Yuanfa

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

Abstract: Peanut oil will appear small amount of sediment at the bottom when placed at a ambient temperature fluctuated greatly, while the sediment can disappear after heating. In order to the study the reason, DSC and TAG analysis of the sediment were performed. The preliminary experiment results showed that the sediment would cause the solidification of peanut oil. Then liquid fraction and solid fraction of peanut oil were separated by fractionation, and the triglyceride composition and crystal of solid fraction were analyzed by TAG and XRD. The results showed that the liquid fraction was difficult to coagulate, indicating that the solidification of peanut oil was mainly affected by triglyceride composition in peanut oil. When peanut oil placed at temperature below 7℃, the SU₂, S₂U triglycerides formed β form and β' form, and wrapped liquid oil around to solidify, so due to temperature fluctuations during storage, some high-melting point triglycerides, mainly were S₃, S₂U triglycerides, precipitated out, and sediment produced.

Key words: peanut oil; solidification; triglyceride

花生是使用最广泛的油料作物之一,在世界主要油料作物中,尤其在我国占有重要地位^[1]。花生油在0~3℃条件下放置会凝固^[2],目前对这一现象的解释主要是大量的饱和脂肪酸可能导致花生油凝

固^[3-4],然而大豆油同样含有较多的饱和脂肪酸^[5-6],在相同条件下却不会产生凝固现象,并且在实际生产过程中发现,经过精炼的花生油储藏过程中底部会出现沉淀,而目前国内外对产生该现象的原因及花生油凝固的原因还没有很好的解释。

花生油经过加热后沉降物消失,本研究通过对花生油底部沉降物进行热分析、甘油三酯组成分析,初步发现沉降物可能会导致花生油凝固,继续对花生油进行分提,对固脂部分做甘油三酯分析和XRD晶型分析,并对分提后液脂进行了储藏试验,旨在进一步探究花生油在中低温环境下凝固现象产生的原因,为解释花生油在市场中可能存在的自然沉淀及

收稿日期:2017-11-17;修回日期:2018-06-06

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFD0401404);国家自然科学基金项目(31772008, 31471678)

作者简介:赵丽红(1993),女,硕士研究生,研究方向为食品专用油的研究与开发(E-mail)zlhleon@foxmail.com。

通信作者:刘元法,教授,博士生导师(E-mail)foodscilyf@163.com。

凝固现象提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

精炼花生油(山东鲁花);正己烷、异丙醇、丙酮等,均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

多点磁力搅拌器,德国 Ika 有限公司;DSC8500 差示扫描量热仪,美国 PERKIN ELMER 公司;Acquity 超高效液相色谱仪、SynaptQ - TOF - MS 质谱仪,美国 Waters 公司;D8 X 射线衍射仪,德国布鲁克 AXS。

1.2 试验方法

1.2.1 热分析

将自然放置的花生油底部沉淀物抽滤,液脂、固脂部分和原先未出现沉淀物的花生油分别用 DSC 测定其熔融特性。精确称取样品 5 ~ 8 mg,密封在一个铝盘,空的密封盘作为参考。为消除其热历史影响,样品在 70 °C 下 5 min,接着温度由 70 °C 降到 -50 °C,降温速率为 5 °C/min,保持 5 min 后,从 -50 °C 上升至 70 °C,升温速率 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曲线。

1.2.2 甘油三酯组成分析

甘油三酯的组成采用超高压高效液相色谱串联四级杆飞行时间质谱法(UPLC - Q - TOF),参考 Zhang 等^[7]的方法。UPLC 色谱条件:使用带有 BEH C18 色谱柱(2.1 mm × 50 mm, 1.9 μm)的超高效液相色谱系统;柱温 45 °C;流动相 A 相为乙腈 - 异丙醇(1:9),B 相为乙腈 - 水(4:6);洗脱条件为 1 min,70% A;2 ~ 30 min,87% A;31 ~ 35 min,70% A;流速 0.3 mL/min;进样量 1 μL。Q - TOF 质谱条件:ESI 电离源,正离子 DDA 模式;毛细管电压 3.0 kV;锥孔电压 30 V;碰撞电压 35 V;离子源温度 100 °C,脱溶剂温度 400 °C;碰撞气体为氩气,去溶剂化气体为氮气,流速 700 L/h;扫描时间间隔为 0.2 s;相对分子质量扫描范围(m/z)200 ~ 1 500。

1.2.3 固脂分提

在反应釜(500 mL)中进行花生油甘油三酯的分提,反应釜用于温度控制。称取 80 g 花生油在 60 °C 水浴 30 min,冷却后将其与 400 mL 丙酮混合,然后倒入反应釜,反应 12 ~ 24 h,取固相在低温下进行高速离心分离。液脂部分旋转蒸发,然后将液脂和固脂分别进行氮吹。分提的固脂用于分析甘油三酯组成和熔融结晶性能。

1.2.4 XRD 晶型分析

将经过抽滤得到的沉淀和分提固脂利用 X 射线衍射仪测定其晶型,其参数设定:铜靶管放射源($\lambda = 1.541 84 \text{ \AA}$),电压 40 kV,电流 40 mA,扫描角度 2θ 为 3° ~ 30°,扫描步长 0.02°,步时 1.6 s,扫描速度 2(°)/min,扫描温度为室温。使用 JADE 5.0 软件对扫描谱图进行分析。

2 结果与讨论

2.1 花生油自然沉降抽滤上下层 DSC 热特性比较

采用 DSC 分析花生油结晶熔融过程中的转变温度和熔化温度。图 1、图 2 分别显示了抽滤液、固脂及未经过抽滤的花生油热特性。

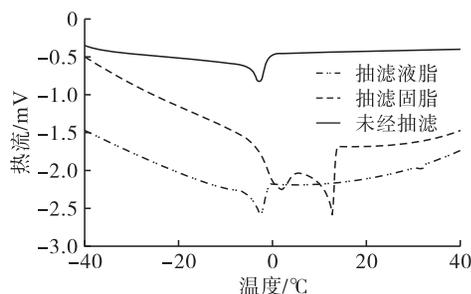


图 1 花生油经抽滤后上下层 DSC 放热曲线

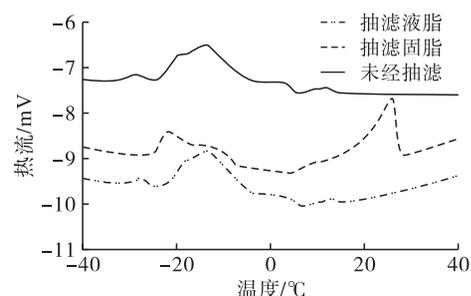


图 2 花生油经抽滤后上下层 DSC 吸热曲线

对于抽滤固脂,吸热放热过程中在较高温区存在 1 个很明显的峰。由图 1 可知,放热过程中,抽滤液脂与未经过抽滤的花生油相比,起始温度和峰值温度向较低值转移,但差异不显著;抽滤固脂与未经过抽滤的花生油比,起始温度和峰值温度向更高值转移,起始温度分别为 18.1、-1.07 °C,未抽滤花生油峰值温度为 -2.02 °C,抽滤固脂的双峰峰值温度分别为 16.9、1.6 °C。固脂的焓值显著增加,表明抽滤固脂含有较多的高熔点物质。由图 2 可知,吸热曲线规律与图 1 相同。曲线所示花生油含高熔点和低熔点两部分,由于仅有很少量的沉淀析出,说明抽滤对液脂的影响不明显,而沉淀部分高温峰热性质差异显著,因此会析出。经过预试验发现,液脂部分和未抽滤部分的磷脂、水分等基本指标含量无显著差异。由于固脂存在显著的热特性,为了进一步探究析出部分,对其甘油三酯的组成进行分析。

2.2 花生油自然沉降下层和分提后甘油三酯分析

表1是经抽滤的花生油自然沉降下层甘油三酯组成。

表1 花生油自然沉降下层甘油三酯组成

类型	TAGs	含量/%
S ₃	SSP	1.49 ± 0.07
	PPS	0.36 ± 0.04
	PPAd	0.57 ± 0.03
	BePP	1.07 ± 0.02
S ₂ U	SOP	10.41 ± 0.07
	SSO	1.60 ± 0.10
	PPO	6.46 ± 0.23
	SOAd	3.38 ± 0.14
	OPAd	10.92 ± 0.26
	BeOP	5.70 ± 0.14
	LgOP	2.65 ± 0.07
	SU ₂	LLS
MOO		2.02 ± 0.04
SOO		1.85 ± 0.16
OPO		1.30 ± 0.06
OOAd		0.49 ± 0.03
POG		1.59 ± 0.07
OLAd		0.69 ± 0.03
OPEr		6.83 ± 0.21
OOLg		6.60 ± 0.20
BeOO		1.12 ± 0.04
LgOL		2.14 ± 0.09
BeOG		8.08 ± 0.23
LgOG		2.17 ± 0.11
U ₃	OOO	1.71 ± 0.13
	PoOO	0.45 ± 0.03
	LLG	4.01 ± 0.15
	OLG	3.16 ± 0.14
	LLEr	0.38 ± 0.02
	OOG	2.62 ± 0.11
	OLEr	0.17 ± 0.01
	OOEr	0.16 ± 0.00
U ₃		12.67 ± 0.12
SU ₂		42.72 ± 0.12
S ₃ + S ₂ U		44.61 ± 0.26
S ₃ + S ₂ U + SU ₂		87.33 ± 0.29

注:M,肉豆蔻酸;P,棕榈酸;Po,棕榈油酸;L,亚油酸;O,油酸;Ln,亚麻油酸;S,硬脂酸;Ad,花生酸;G,花生一烯酸;Be,二十二碳酸;Er,二十二碳一烯酸;Lg,二十四碳酸;下同。

由表1可知,经抽滤的沉淀部分(下层)主要甘油三酯是OPAd、SOP、BeOG、LLS、OPEr、OOLg,含量分别为10.92%、10.41%、8.08%、7.85%、6.83%、6.60%,沉淀部分U₃型甘油三酯含量仅约12%,而

正常花生油主要甘油三酯是OOO、POL、OLO和OLL等多不饱和型甘油三酯^[8-9],脂肪含饱和或长链脂肪酸甘油三酯往往呈现较高的熔化特性^[8],这和DSC热特性结果相吻合。由DSC曲线可知,花生油含有部分高熔点的甘油三酯,其中有些差异较大,由于温度波动会析出,并且高熔点部分的存在出现导致凝固现象。于是为了进一步研究,对未经抽滤的花生油进行了不同温度分提试验,对分提得到的固脂进行甘油三酯组成分析,结果见表2。

由表2可知,未经分提花生油主要甘油三酯是OLO/OOL、OOO、LOP/LPO和OOP,大多数的甘油三酯为双不饱和及三不饱和甘油三酯。为了便于分析花生油的组成差异,将甘油三酯分为4类:S₃、S₂U、SU₂和U₃。花生油中S₃ + S₂U、SU₂、U₃总和分别为12.79%、48.32%、34.04%。根据热分析结果,与抽滤的固脂甘油三酯相比,未分提花生油U₃型甘油三酯含量较高,在右侧中高温区域的峰很小,U₃型甘油三酯含量与热分析结果成负相关,S₃、S₂U和SU₂的总含量与热分析结果成正相关,也就是说花生油这种特殊现象可能与S₃、S₂U、SU₂的总含量有关。由表2可知,分提得到的固脂的甘油三酯SU₂含量最高,S₂U和U₃含量相近,与未经分提的花生油相比,U₃型甘油三酯有略微下降,S₂U含量明显增加;随着分提温度下降,U₃型甘油三酯略微增加,S₂U含量略微下降,这是因为分提温度降低,有些熔点比较低的甘油三酯也会沉降下来,所以S₂U型甘油三酯比例会略微降低,还有些高熔点甘油三酯由于含量较少,并没有检出。未经分提花生油和分提花生油固脂的S₂U和U₃型甘油三酯含量有显著性差异($P < 0.05$)。SU₂型甘油三酯含量虽然差异不明显,但是其含量接近50%。与其他常用植物油如大豆油相比,两者的饱和脂肪酸含量相近^[5],但花生油具有高含量(>12%)的长链脂肪酸,长链饱和脂肪酸构成了特殊的非对映异构体结构的甘油三酯,从而碳原子数(CN)大于54的甘油三酯含量较高,甘油三酯CN从56到60主要由2个C₁₈和1个C₂₀~C₂₄这样的长链脂肪酸组合^[10]。这些甘油三酯中所含饱和脂肪酸大多为花生油所特有的脂肪酸(Ad、G)及一些长链饱和脂肪酸,C₂₀~C₂₄这样的长链脂肪酸是几乎都被限制在sn-3位,而C₁₆、C₁₈更主要是在sn-1和sn-3位,油酸几乎均匀地分布在3个位置,亚油酸优先在sn-2位^[8],这样构成的不对称性长链脂肪酸具有一定的高熔点性。花生油中较高含量的SU₂型甘油三酯,协同S₃和S₂U型甘油三

酯在凝固过程中起了重要作用。因此,花生油这些特有的长链脂肪酸以及特殊的甘油三酯位点分布,导致其形成的甘油三酯也较特殊,从而影响其热特性的特异性表现,这和目前将花生油中低温(低于7℃)凝固及可能的沉淀现象简单解释为饱和脂肪酸含量过

多不一致。同时,将分提的液脂进行低温储藏试验,发现-8℃以下提取液脂的并未出现凝固现象。为了初步探究高熔点部分甘油三酯凝固机制,又对分提固脂部分进行了XRD晶型分析。

表2 分提花生油下层固脂甘油三酯组成

类型	TAGs	未分提花生油	-4℃分提固脂	-8℃分提固脂	-12℃分提固脂	-16℃分提固脂	-20℃分提固脂
U ₃	LLL	1.80 ± 0.16 ^a	0.72 ± 0.01 ^d	1.47 ± 0.10 ^c	2.21 ± 0.12 ^b	2.66 ± 0.13 ^a	2.66 ± 0.11 ^a
	OLO/OOL	10.85 ± 0.25 ^b	4.52 ± 0.16 ^d	8.48 ± 0.19 ^c	11.02 ± 0.20 ^a	10.22 ± 0.20 ^b	10.22 ± 0.20 ^b
	OPoPo	Nd	0.33 ± 0.03 ^a	0.31 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.02 ^d	0.32 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.02 ^b
	OLL	5.47 ± 0.18 ^b	3.16 ± 0.19 ^d	1.01 ± 0.07 ^c	0.98 ± 0.07 ^e	4.89 ± 0.15 ^c	6.20 ± 0.21 ^a
	OOO	12.85 ± 0.34 ^a	2.63 ± 0.13 ^b	1.91 ± 0.10 ^c	1.11 ± 0.09 ^d	1.03 ± 0.02 ^d	1.00 ± 0.01 ^d
	OLG/OGL	1.21 ± 0.09 ^e	2.77 ± 0.13 ^a	2.23 ± 0.09 ^b	1.98 ± 0.10 ^c	1.92 ± 0.11 ^d	1.92 ± 0.10 ^d
	OOG	0.93 ± 0.09 ^e	4.03 ± 0.15 ^d	6.32 ± 0.21 ^b	7.71 ± 0.26 ^a	6.00 ± 0.21 ^b	4.47 ± 0.16 ^c
	GLL	0.93 ± 0.01 ^d	1.36 ± 0.06 ^c	1.43 ± 0.05 ^c	1.71 ± 0.07 ^b	1.81 ± 0.16 ^a	1.81 ± 0.13 ^a
SU ₂	LOP/LPO	16.06 ± 0.61 ^a	7.89 ± 0.26 ^b	4.56 ± 0.16 ^c	2.35 ± 0.11 ^d	0.32 ± 0.02 ^e	0.42 ± 0.03 ^c
	OOP	14.56 ± 0.34 ^a	5.34 ± 0.14 ^c	5.32 ± 0.17 ^c	5.22 ± 0.16 ^c	5.76 ± 0.14 ^b	5.89 ± 0.18 ^b
	SOO/OSO	6.16 ± 0.21 ^a	1.67 ± 0.16 ^b	1.45 ± 0.03 ^c	1.23 ± 0.06 ^d	0.94 ± 0.03 ^e	0.95 ± 0.02 ^c
	SLL	Nd	Nd	Nd	Nd	1.30 ± 0.03 ^b	1.45 ± 0.02 ^a
	OPG/OGP	2.71 ± 0.13 ^c	3.40 ± 0.19 ^d	7.76 ± 0.26 ^c	8.64 ± 0.19 ^b	11.90 ± 0.23 ^a	11.99 ± 0.20 ^a
	LLBe	3.85 ± 0.16 ^c	4.70 ± 0.16 ^d	8.89 ± 0.20 ^a	7.44 ± 0.26 ^b	6.05 ± 0.20 ^c	5.98 ± 0.18 ^c
	OPEr/OOAd	1.54 ± 0.09 ^b	Nd	Nd	Nd	4.66 ± 0.16 ^a	4.76 ± 0.16 ^a
	BeLO/BeOL	Nd	Nd	Nd	7.83 ± 0.25 ^b	8.13 ± 0.19 ^a	8.11 ± 0.16 ^a
	LLLg	1.62 ± 0.14 ^c	10.01 ± 0.23 ^a	8.20 ± 0.19 ^b	7.95 ± 0.25 ^c	6.62 ± 0.21 ^d	6.70 ± 0.20 ^d
	OObE	1.02 ± 0.02 ^e	4.57 ± 0.16 ^a	4.21 ± 0.15 ^b	3.45 ± 0.18 ^d	3.81 ± 0.17 ^c	3.64 ± 0.16 ^c
	LgOL	0.80 ± 0.01 ^d	10.00 ± 0.23 ^a	8.01 ± 0.19 ^b	5.12 ± 0.14 ^c	Nd	Nd
	S ₂ U	SPO/SOP	1.42 ± 0.12 ^d	5.99 ± 0.17 ^c	5.93 ± 0.16 ^c	6.23 ± 0.21 ^b	6.47 ± 0.19 ^a
SSO		1.84 ± 0.10 ^e	7.44 ± 0.26 ^a	6.88 ± 0.21 ^b	6.34 ± 0.19 ^c	5.18 ± 0.18 ^d	5.03 ± 0.20 ^d
AdPO		0.57 ± 0.01 ^b	Nd	0.88 ± 0.70 ^a	0.50 ± 0.02 ^c	0.30 ± 0.02 ^d	0.20 ± 0.01 ^c
PPO		3.27 ± 0.19 ^a	0.73 ± 0.06 ^b	0.65 ± 0.05 ^c	0.53 ± 0.07 ^e	0.56 ± 0.04 ^e	0.45 ± 0.06 ^d
BeOS/BeSO		2.34 ± 0.12 ^c	9.44 ± 0.25 ^a	8.32 ± 0.21 ^b	6.59 ± 0.19 ^c	5.49 ± 0.21 ^d	5.21 ± 0.17 ^d
BePO		0.51 ± 0.02 ^d	Nd	Nd	2.34 ± 0.13 ^b	3.37 ± 0.14 ^a	2.97 ± 0.12 ^b
LgPO/LgOP		0.57 ± 0.05 ^c	Nd	Nd	Nd	0.84 ± 0.09 ^a	0.76 ± 0.06 ^b
LgSO/LgOS		0.69 ± 0.03 ^a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
S ₃	SSP	1.28 ± 0.13 ^a	0.49 ± 0.02 ^b	0.45 ± 0.03 ^b	0.38 ± 0.01 ^c	0.22 ± 0.01 ^d	0.23 ± 0.00 ^d
	SSS	0.30 ± 0.01 ^a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
U ₃		34.04 ± 0.43 ^a	19.52 ± 0.21 ^{cd}	23.16 ± 0.19 ^d	27.01 ± 0.28 ^c	28.85 ± 0.35 ^b	28.60 ± 0.26 ^b
SU ₂		48.32 ± 0.67 ^d	47.58 ± 0.41 ^d	48.40 ± 0.51 ^c	49.23 ± 0.39 ^b	49.49 ± 0.42 ^a	49.89 ± 0.51 ^a
S ₂ U		11.21 ± 0.11 ^d	23.60 ± 0.21 ^a	22.66 ± 0.19 ^b	22.53 ± 0.23 ^b	22.20 ± 0.18 ^b	21.10 ± 0.31 ^c
S ₃		1.58 ± 0.06 ^a	0.49 ± 0.03 ^b	0.45 ± 0.30 ^b	0.38 ± 0.01 ^c	0.22 ± 0.04 ^d	0.23 ± 0.00 ^d

注:Nd,未检测出。

2.3 分提固脂 XRD 晶型分析

试验分析得到两种形态的甘油三酯,即 β 和 β' 形式。在短间距3.80 Å和4.20 Å附近有强衍射峰,即为 β' 晶型,而 β 晶型的短间距特征峰出现在4.60 Å处附近,且为强的单衍射峰^[11]。经抽滤后得到的下层少量沉淀和分提得到的固脂都衍射出典型的 β 和 β' 形式的峰,分别为4.6、4.2 Å和3.8 Å。

由于晶型种类相差不大,此处只列出了经抽滤的沉淀甘油三酯晶型衍射图(见图3)。由图3可知,固脂中主要存在 β' 晶型,还存在 β 晶型。酯类的结晶行为会显著影响脂肪结构,并且会影响其宏观性质^[12-13]。研究表明,S₃和S₂U通常以 β 结晶形式存在,SU₂通常以 β' 结晶形式存在^[14]。花生油含有高熔点部分和低熔点部分,低温下S₃和S₂U转换为 β

形式、SU₂转换为β'形式,裹挟周围液态油至凝固。

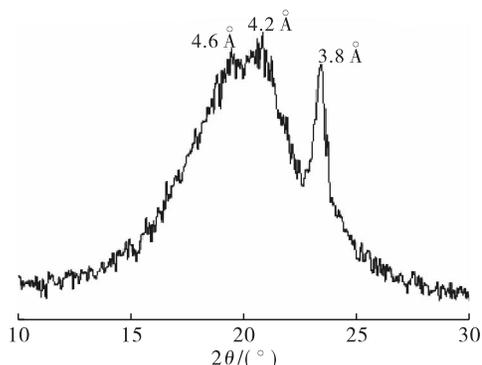


图3 晶型衍射图

3 结论

研究表明,花生油产生凝固的原因主要受其特有脂肪酸(Ad、G)及其他长链脂肪酸所形成的甘油三酯影响,花生油放置温度低于7℃,以SU₂、S₂U型甘油三酯为主导,形成β、β'晶体裹挟周围液态油,分散在花生油中独特的长链高熔点甘油三酯开始相互作用,通过范德华力随着温度降低,形成细小的晶体,并结合导致系统的固定化。自然储存过程中由于温度波动(如秋季放置到冬季或者冬季放置到春季数月)一些高熔点的甘油三酯析出沉降导致沉淀的产生。本研究有助于进一步理解花生油在中低温环境下出现凝固现象的原因,为解决花生油在市场中可能存在的自然沉淀及凝固现象提供研究基础。

参考文献:

- [1] 周垂钦,祝清俊,段友臣,等. 我国花生油产业发展现状与前景[J]. 中国油脂,2009,34(10):5-8.
- [2] SHAMIM A, NAUMAN K, IFTIKHAR A, et al. Physico-chemical characteristics, functional properties, and nutritional benefits of peanut oil: a review[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2014,54(12):1562-1575.
- [3] HUI Y H. Bailey's industrial oil and fat products: vol. 1, edible oil and fat products[M]//GUNSTONE F D. Gener-

al applications. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

- [4] O'BRIEN R D. Fats and oils: formulating and processing for applications[M]. New York: Crc Press, 1998.
- [5] 李红艳,邓泽元,李静,等. 不同脂肪酸组成的植物油氧化稳定性的研究[J]. 食品工业科技,2010,31(1):173-182.
- [6] 巫森鑫,邬国英,韩瑛,等. 6种食用植物油及其生物柴油中脂肪酸成分的比较研究[J]. 中国油脂,2003,28(12):65-67.
- [7] ZHANG T, LOU F, TAO G, et al. Composition and structure of single cell oil produced by schizochytrium limacinum, SR31 [J]. J Am Oil Chem Soc, 2016, 93(10):1-10.
- [8] CARRÍN M E, CARELLI A A. Peanut oil: compositional data[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2010,112(7):697-707.
- [9] 管方方,何卓琼,方燕,等. GC-MS分析食用油中甘油三酯的研究进展[J]. 中国油脂,2014,39(5):76-80.
- [10] MARANGONI A G, ACEVEDO N, MALEKY F, et al. Structure and functionality of edible fats[J]. Soft Matt, 2012,8(5):1275-1300.
- [11] HUI Y H. Bailey's industrial oil and fat products: vol. 3 [M]// YOUNG T. Peanut oil. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 1996:377-392.
- [12] RIBEIRO A P B, BASSO R C, GRIMALDI R, et al. Influence of chemical interesterification on thermal behavior, microstructure, polymorphism and crystallization properties of canola oil and fully hydrogenated cottonseed oil blends. [J]. Food Res Int, 2009,42(8):1153-1162.
- [13] MENG Z, YANG L J, GENG W X, et al. Kinetic study on the isothermal and nonisothermal crystallization of mono-glyceride organogels[J]. Sci World J, 2014(2):1-7.
- [14] SATO K. Crystallization behaviour of fats and lipids — a review[J]. Chem Eng Sci, 2001, 56(7):2255-2265.

(上接第34页)

- [11] 齐善厚. 茵陈黄酮的抗氧化及镇痛作用研究[J]. 现代食品科技, 2003, 13(19): 501-504.
- [12] 廖莉, 张婧萱, 唐贞荣, 等. 茵陈中总黄酮的提取及对羟自由基的清除作用[J]. 科技创新导报, 2008(9): 202, 205.
- [13] 李娟, 马占强. 茵陈黄酮类化合物体外抗氧化性研究[J]. 农产品加工, 2009(8): 74-75.
- [14] FU B Q, LI H, WANG K R, et al. Isolation and identification of flavonoids in licorice and a study of their inhibitory effects on tyrosinase [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(19): 7408-7414.

- [15] 高愿军, 王晶晶, 周婧琦, 等. 秋葵中总黄酮提取工艺探讨[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 213-217.
- [16] 史娟, 李江, 葛红光. 秦巴杜仲雄花总黄酮的提取及抗氧化稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 252-256.
- [17] 霍文兰, 刘步明, 曹艳萍. 陕北红枣总黄酮提取及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2006, 31(10): 45-47.
- [18] 文良娟, 王维, 王斌, 等. 芒果叶中黄酮和多酚含量及抗氧化性研究[J]. 食品工业, 2013(1): 144-147.
- [19] 许海棠, 赵彦芝, 张金彦, 等. 响应面法提取瓶尔小草总黄酮及其抗氧化活性[J]. 食品科技, 2017, 42(2): 215-220.