

山桐子鲜果干燥方式对山桐子油品质的影响

尚祖飞,徐甜甜,邹康,马立志

(贵阳学院食品与制药工程学院,贵阳550005)

摘要:旨在为山桐子干燥方式的选择提供参考,分别采用热风干燥(HD)、微波真空干燥(VMD)、真空冷冻干燥(VFD)对山桐子鲜果进行干燥处理并采用溶剂浸提法提取山桐子油,测定山桐子油得率、酸值、过氧化值、脂肪酸组成、角鲨烯含量及挥发性物质组成,探究3种干燥方式对山桐子油品质的影响。结果表明,3种干燥方式制取的山桐子油得率大小顺序为VFD>HD>VMD,山桐子油酸值、过氧化值大小顺序均为VMD>HD>VFD(均未超出国标要求),山桐子油脂肪酸组成无差异,角鲨烯含量大小顺序为VFD>VMD>HD,主要挥发性物质均为烷类。综合比较,VFD方式制取的山桐子油品质最佳,适合少量实验;VMD方式干燥效率高,适用于快速干燥;HD方式制取的山桐子油品质介于二者之间,但此法操作简单,适合大批量处理物料时使用。

关键词:干燥方式;山桐子;山桐子油;油脂品质;挥发性物质

中图分类号:TS224.2;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)01-0011-05

Effect of drying method of *Idesia polycarpa* fresh fruit on the quality of *Idesia polycarpa* oil

SHANG Zufei, XU Tiantian, ZOU Kang, MA Lizhi

(Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University, Guiyang 550005, China)

Abstract: Aiming to provide a reference for the selection of suitable drying methods for *Idesia polycarpa*, hot air drying (HD), vacuum microwave drying (VMD), vacuum freeze drying (VFD) were used respectively to dry the *Idesia polycarpa* fresh fruit and the oil was prepared by solvent extraction. The yield, acid value, peroxide value, fatty acid composition, squalene content and volatile substances composition of *Idesia polycarpa* oil (IPO) were determined to investigate the effects of three drying methods on the quality of IPO. The results showed that the order of the oil yield of the three drying methods was VFD > HD > VMD, the order of the acid value and peroxide value of IPO was VMD > HD > VFD (none of them exceeded the requirements of the national standard), there was no differences in fatty acid composition of IPO of the three drying methods, the order of the squalene content was VFD > VMD > HD, and the major volatile substances were alkanes of the three drying methods. By comprehensive comparison, IPO extracted after drying by VFD has the best quality and VFD is suitable for a few experiments. The drying efficiency of VMD is high, which is suitable for rapid drying. The quality of IPO extracted after drying by HD is between VMD and VFD, but HD is simple and suitable for processing materials in large quantities.

Key words: drying method; *Idesia polycarpa*; *Idesia polycarpa* oil; oil quality; volatile substance

山桐子是大风子科山桐子属植物,属落叶乔木,又名椅桐、水冬瓜、油葡萄等,是一种优质高产的木

本油料作物^[1],主要分布在我国西南地区。山桐子浆果成熟时为鲜红色或橙黄色,果实含油率高,其中果肉含油率高达37.01%,种子含油率可达到21.49%^[2]。山桐子油中不饱和脂肪酸含量较高,其主要脂肪酸为亚油酸、硬脂酸、棕榈酸、棕榈油酸、油酸、亚麻酸,其中亚油酸含量高达60%以上^[3]。山桐子油具有较强的抗氧化性^[4],且对大鼠运动后

收稿日期:2022-08-27;修回日期:2023-09-19

作者简介:尚祖飞(1996),男,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全(E-mail)542830353@qq.com。

通信作者:马立志,教授,硕士(E-mail)418829419@qq.com。

心肌线粒体具有保护作用^[5]。作为新兴油料作物,山桐子油已于2020年9月被国家卫生和健康委员会列为普通食品^[6]。发展山桐子产业可以为我国增添一种新型食用油,同时对于缓解市场压力和促进经济发展具有积极作用,但目前对于山桐子油的研究报道仍然较少。

油料加工中常用的干燥方法有红外干燥^[7]、热风干燥^[8]、微波干燥^[9]、真空干燥^[9]等,而真空冷冻干燥技术,作为一种获得高质量产品的干燥方式,在果蔬领域有着大量应用^[10-11]。山桐子鲜果在每年九月份左右成熟^[12],由于鲜果不易储存,采收季节会有大量山桐子鲜果需要干燥处理。目前关于山桐子鲜果干燥方法的应用以及干燥方法对山桐子油品质^[13]影响的相关报道都较少。

本文选用实际生产中常用的2种高温干燥(热风干燥、微波真空干燥)和1种低温干燥(真空冷冻干燥)方式对山桐子鲜果进行干燥处理,溶剂浸提法提取山桐子全果油(以下简称山桐子油),对山桐子油理化指标进行测定,并分析其脂肪酸组成、角鲨烯含量以及主要挥发性物质的变化情况,以期选择适宜的山桐子干燥方式提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

山桐子鲜果,产自贵州仁怀(水分含量62.02%)。

苯、石油醚、三氯甲烷、丙酮、乙醚、异丙醇、邻苯二甲酸氢钾、硫代硫酸钠、氢氧化钠、氢氧化钾、无水乙醇,均为分析纯;正己烷(色谱纯);37种脂肪酸甲酯混标(色谱纯),上海安谱实验科技有限公司;角鲨烯标准品(色谱纯),上海阿拉丁化学试剂公司;可溶性淀粉,分析纯。

1.1.2 仪器与设备

YL500 粉碎机,金坛区水北友联仪器厂;DF-101S 恒温磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;SCIENTZ-18 冷冻干燥机,宁波新芝生物科技股份有限公司;WBZ-10PLC 智能静态微波干燥机,贵阳新奇微波工业有限公司;SM705EE 电热风炉,新麦机械有限公司;OSB2200 旋转蒸发仪,上海爱朗仪器有限公司;GC-2014 气相色谱仪,日本岛津仪器有限公司;HS-54P 全自动顶空进样器、AMD10 气相色谱质谱联用仪,常州磐诺仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 山桐子鲜果的干燥处理

热风干燥(HD):称取一定量山桐子鲜果置于电热风炉中于85℃烘干7.5 h,至干果水分含量低于6%。

真空冷冻干燥(VFD):称取一定量山桐子鲜果于-45℃预冻4 h后,保持真空干燥40 h至干果水分含量低于6%。

微波真空干燥(VMD):称取一定量山桐子鲜果,保持真空度0.06 MPa,分段式微波加热至干果水分含量低于6%,具体微波加热条件:微波功率2 kW加热121 min,500 W加热10 min,300 W加热5 min。

1.2.2 山桐子油的制取

将一定量山桐子干果粉碎,以固液比1:10加入石油醚,在45℃下磁力搅拌提取60 min后抽滤,旋蒸制得山桐子油。

1.2.3 理化指标测定

过氧化值,参照GB 5009.227—2016;酸值,参照GB 5009.229—2016。

1.2.4 脂肪酸组成分析

甲酯化处理:准确称取30 mg油样于试管中,加入2 mL苯-石油醚(体积比1:1),再加入2 mL 0.4 mol/L氢氧化钾-甲醇溶液,涡旋振荡混匀,43℃恒温水浴反应35 min,加入5 mL蒸馏水,静置分层后取上层清液,加入10倍体积正己烷稀释,加入无水硫酸钠去除残留水分,稀释液过0.4 μm有机滤膜,所得滤液进气相色谱仪分析测定。

气相色谱条件:SH-Rt-2560毛细管柱(100 m×0.25 mm×0.20 μm);FID检测器;升温程序为初始温度130℃,保持5 min,以4℃/min升高至240℃,保持20 min;载气为氮气,流量3.0 mL/min;分流比20:1,进样量1 μL。

1.2.5 角鲨烯含量测定

标准曲线制作:称取角鲨烯标准品,用正己烷(色谱级)分别配制成质量浓度分别为0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL的角鲨烯标准溶液。取不同质量浓度梯度的标准溶液,进气相色谱仪测定,制作峰面积与角鲨烯质量浓度的线性回归方程($y = 30\ 237x + 263.1, R^2 = 0.993$)。

气相色谱条件:SH-Rt-2560毛细管柱(100 m×0.25 mm×0.20 μm);FID检测器,温度250℃;升温程序为初始温度160℃,保持5 min,以15℃/min升高至240℃,保持20 min;载气为氮气,流量2.0 mL/min;柱内压力399.9 kPa,进样口温度250℃;分流比20:1;进样量1 μL。

山桐子油样品的测定:称取2 g山桐子油样品于烧瓶中,加入50 mL 1 mol/L氢氧化钾-乙醇溶液,沸水浴回流50 min后停止加热,加入50 mL水冷却至室温。将烧瓶中液体移至分液漏斗中,用50 mL正己烷分两次洗涤烧瓶,一并装入分液漏斗,

摇动 1 min, 去塞静置分层, 下层转移至另一分液漏斗, 重复操作, 将两次正己烷提取液置于同一分液漏斗中, 用 100 mL 10% 乙醇溶液洗涤两次, 使下层洗涤液呈中性。漏斗中加入 3 g 无水硫酸钠除水, 过滤, 得中性提取液, 再用 30 mL 正己烷冲洗无水硫酸钠及分液漏斗, 洗涤与提取液一同旋蒸, 将瓶中浓缩物用正己烷定容至 10 mL 试管中, 涡旋振荡混匀, 过 0.45 μm 有机滤膜, 进气相色谱仪测定, 将测定结果代入线性回归方程中, 计算角鲨烯含量。

1.2.6 挥发性成分分析

样品处理: 将样品于室温下混匀, 准确吸取 1 mL 样品置于顶空进样瓶中, 铝盖密封并加热样品瓶富集挥发性物质, 通入 GC-MS 对其挥发物进行检测。

顶空进样条件: 平衡时间 30 min, 平衡温度 70 $^{\circ}\text{C}$, 振荡时间 30 s, 加压时间 5 s, 进样时间 40 s, 阀箱温度 80 $^{\circ}\text{C}$, 管路温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 。

GC 条件: DB-5 毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm); MSD 检测器, 检测器最高温度 300 $^{\circ}\text{C}$; 进口温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 升温程序为初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min, 以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 180 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min; 载气为氦气, 流量 1 mL/min; 分流比 10:1。

MS 条件: 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$, 电子能量 70 eV, 扫描范围 (m/z) 40 ~ 500 u。

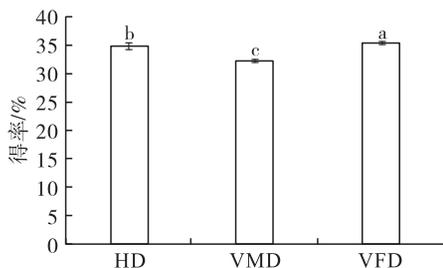
1.2.7 数据分析

每组实验进行 3 次平行, 并计算平均值, 采用 Excel 与 Origin 软件分析并作图。

2 结果与讨论

2.1 干燥方式对山桐子油得率的影响

图 1 为 3 种干燥方式下山桐子油得率。



注: 不同小写字母表示不同处理组间差异显著 ($p < 0.05$)。下同

图 1 3 种干燥方式下山桐子油得率

由图 1 可知, 3 种干燥方式制取的山桐子油得率从高到低依次为 VFD (35.8%) > HD (34.3%) > VMD (32.5%)。VFD 是将山桐子鲜果经过预冻处理后在真空条件下将固态的冰直接升华的干燥方式, 具

有油脂氧化速度慢, 有害物生成量少, 挥发物保留多等优点, 对油脂的保留度较高^[14]。HD 和 VMD 都是通过加热使山桐子鲜果中的水分挥发, 达到干燥的目的, 2 种方式都会随着时间延长, 山桐子果中的油脂氧化、分解增多^[15], 所以对油脂的保留稍差于 VFD 方式, 且 VMD 对油脂的破坏更为严重, 原因可能为 VMD 存在受热不均的问题, 当物料局部过热时, 油脂氧化会更加剧烈。实验过程发现, 当物料较少时, VMD 会导致部分山桐子果发生炸裂, 原因可能为山桐子鲜果水分含量高, 在微波加热过程中果实中的水分积蓄热量过大, 而果皮吸收微波的能力较弱, 随着内部热量增大, 最终导致果实破裂^[16]。

3 种干燥方式中, 虽然 VMD 方式制取的山桐子油得率最低, 但相比 VFD、HD, 干燥时间却大幅缩短, 干燥效率提高。

2.2 干燥方式对山桐子油酸值的影响

图 2 为 3 种干燥方式下山桐子油的酸值。

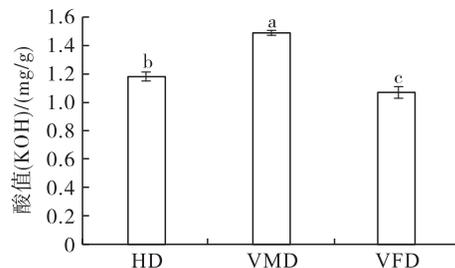


图 2 3 种干燥方式下山桐子油的酸值

由图 2 可知, HD、VMD 两种干燥方式制取的山桐子油酸值高于 VFD 的, 原因是前两者的加热作用促进了山桐子油的水解, 使游离脂肪酸含量增加。VMD 方式制取的山桐子油酸值最高, 可能是因为微波加热对油脂水解的影响更大^[17]。VFD 过程中山桐子果处于较低温度, 降低了油脂的水解速率, 故 VFD 方式制取的山桐子油酸值相对较低。3 种干燥方式下山桐子油酸值均低于 GB 2716—2018 中植物原油酸值 (KOH) 不超过 4.0 mg/g 的要求。

2.3 干燥方式对山桐子油过氧化值的影响

过氧化值表示油脂初级氧化的反应程度, 油脂中不饱和脂肪酸含量越高, 越容易发生氧化。图 3 为 3 种干燥方式下山桐子油的过氧化值。

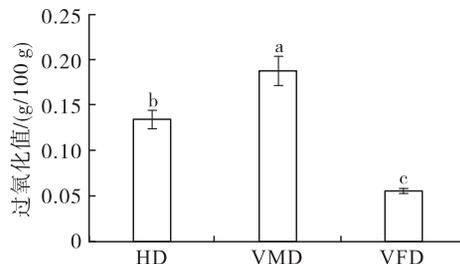


图 3 3 种干燥方式下山桐子油的过氧化值

由图3可知,3种干燥方式制取的山桐子油过氧化值大小顺序为VFD < HD < VMD。VMD方式制取的山桐子油过氧化值最高,原因可能是其加速了山桐子鲜果中油脂氧化酸败^[18]。而VFD方式下,鲜果在预冻过程中一直处于低温、避光状态,真空干燥将水分直接升华,延缓了油脂的氧化酸败,可以保持较低过氧化值。3种干燥方式制取的山桐子油过氧化值均符合GB 2716—2018中植物原油过氧化值不超过0.25 g/100 g的要求。

2.4 干燥方式对山桐子油脂肪酸组成及角鲨烯含量的影响

表1为3种干燥方式下山桐子油的脂肪酸组成及角鲨烯含量。

表1 3种干燥方式下山桐子油的脂肪酸组成及角鲨烯含量

项目	HD	VMD	VFD
脂肪酸/%			
棕榈酸	14.51 ± 0.12 ^a	12.95 ± 0.14 ^c	13.42 ± 0.11 ^b
棕榈油酸	2.49 ± 0.06 ^b	2.07 ± 0.09 ^c	3.20 ± 0.04 ^a
硬脂酸	1.48 ± 0.01 ^a	1.19 ± 0.01 ^b	1.13 ± 0.02 ^c
油酸	4.16 ± 0.05 ^b	4.84 ± 0.06 ^a	4.83 ± 0.05 ^a
亚油酸	76.80 ± 0.28 ^b	76.89 ± 0.22 ^b	78.45 ± 0.28 ^a
亚麻酸	0.53 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.01 ^c	0.56 ± 0.01 ^a
角鲨烯/(mg/100 g)	97.38 ± 0.17 ^c	101.25 ± 0.11 ^b	105.37 ± 0.21 ^a

从表1可以看出,山桐子油主要由亚油酸、棕榈酸、油酸、棕榈油酸、硬脂酸、亚麻酸组成,饱和脂肪酸以棕榈酸含量最高,不饱和脂肪酸以亚油酸含量最高。3种干燥方式制取的山桐子油脂肪酸组成无差异,但各脂肪酸含量存在一定差异。其中:VFD方式制取的山桐子油亚油酸含量最高,为78.45%,显著高于HD和VMD方式的,原因可能是VFD的真空及低温对亚油酸结构破坏较少;HD方式制取的山桐子油中饱和脂肪酸含量较高。3种干燥方式制取的山桐子油中角鲨烯含量大小顺序为VFD > VMD > HD,且存在显著差异。3种干燥方式中VFD的干燥温度较VMD、HD的低,对角鲨烯的保留能力更强。

2.5 干燥方式对山桐子油挥发性成分的影响

对3种干燥方式制取的山桐子油挥发性成分进行测定,结果如表2所示。

从表2可以看出,3种干燥方式制取的山桐子油中主体挥发性物质成分差别不大。HD、VMD、VFD方式制取的山桐子油中分别检测出13、15个

和10个挥发性物质。其中最主要的挥发性物质是烷类,可能是由于含不饱和键的化合物反应生成饱和的烷烃类成分造成的^[19]。

表2 3种干燥方式下山桐子油的挥发性物质

化合物	组成及相对含量		
	HD	VMD	VFD
烷类			
2-氯己烷	31.23	40.90	60.69
3,3-二甲基戊烷	8.94	8.22	5.26
2-甲基己烷	26.83	27.59	21.05
3-甲基己烷	18.93	16.43	10.53
正戊烷	-	-	0.03
正庚烷	6.03	3.81	1.07
二甲基丁烷	-	-	0.05
正癸烷	0.02	0.03	-
十九烷	-	0.01	-
二十七烷	-	0.06	-
二甲基环戊烷	7.12	-	-
2-氯庚烷	0.03	-	-
醇类			
1-壬醇	-	0.19	-
2-甲基-5-环己醇	0.01	-	-
2-十六烷醇	-	-	0.02
醛类			
正己醛	0.02	0.03	-
醚类			
苄基异戊基醚	0.12	0.06	-
烯类			
1-庚烯	0.28	-	-
角鲨烯	0.44	0.46	1.12
酯类			
对苯二甲酸二辛酯	-	2.28	0.20
邻苯二甲酸双十二酯	-	0.05	-
硬脂酸乙酯	-	0.01	-

注:-表示未鉴定出,部分无法匹配成分以及含量过低成分未列出;表中结果以鉴定出总量为100%计算

HD、VMD、VFD方式制取的山桐子油中检出最多的烷类成分均为2-氯己烷,相对含量分别为31.23%、40.90%、60.69%;3种干燥方式制取的山桐子油中共有的烷类挥发物有5个,分别为2-氯己烷、3,3-二甲基戊烷、2-甲基己烷、3-甲基己烷和正庚烷。

3种干燥方式制取的山桐子油各检出1种醇类物质,其中:HD方式制取的山桐子油中检出2-甲基-5-环己醇;VMD方式制取的山桐子油中检出1-壬醇,具有一定的腥味^[20];VFD方式制取的山桐子油中检出2-十六烷醇。3种干燥方式制取的山桐子油中,HD和VFD的醇类物质相对含量较少,VMD的醇类物质相对含量较高。

HD、VMD方式制取的山桐子油中同时检出1种醚类物质,为苄基异戊基醚,其是制作栀子花香精

的合成原料之一,呈现淡栀子花香^[21]。HD、VMD方式制取的山桐子油中还同时检出少量正己醛,可能为亚油酸氧化产物,呈现青草香味^[22]。

山桐子油中检出2种烯类物质,分别为1-庚烯和角鲨烯,仅HD方式制取的山桐子油中检出1-庚烯,可能是在测定过程山桐子油中亚油酸甲酯化后通过烯烃交叉复分解反应生成的^[23]。

山桐子油中检出3种酯类挥发物,分别为对苯二甲酸二辛酯、邻苯二甲酸双十二酯和硬脂酸乙酯,主要集中在VMD方式制取的山桐子油中,少量对苯二甲酸二辛酯在VFD方式制取的山桐子油中检出。这些酯类物质可能是山桐子油中香气的部分来源^[24]。

3 结论

山桐子鲜果干燥方式对山桐子油的品质有较大影响。综合比较,VFD方式制取的山桐子油品质最佳,适合少量实验;VMD主式干燥效率高,适用于快速干燥;HD方式制取的山桐子油品质介于二者之间,但此法操作简单,适合大批量处理物料时使用。

目前关于采用不同方式联用干燥山桐子鲜果以及干燥过程中山桐子果实内部的水分迁移率等的相关研究未见报道,还需要进一步研究。

参考文献:

[1] 苏上,李振坚,倪建伟,等. 山桐子果穗和果实性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 35-44.

[2] 田潇潇,方学智,杜孟浩. 山桐子果不同部位油脂营养品质及抗氧化能力的研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(9): 91-95.

[3] 杨塘榆,闻乐嫣,阚建全. 采收期对毛叶山桐子油脂脂肪酸组成的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(10): 183-187.

[4] 宋明发,杨芸,白冉冉,等. 不同方法提取山桐子油的品质及体外抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(3): 28-32,38.

[5] 潘文文,吴立明,崔洁. 山桐子油对力竭运动大鼠心肌线粒体的保护作用[J]. 中国油脂, 2019, 44(7): 86-89.

[6] 艾前进,艾佳,王利. 油葡萄(山桐子)油被国家列入普通食品管理[J]. 中国林业产业, 2020(10): 40-41.

[7] 余政毫. 油莎豆远红外干燥特性研究[D]. 郑州:河南科技大学, 2022.

[8] 李玉,陈鹏泉,王殿轩,等. 花生干燥过程湿热传递机理研究现状与展望[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(5): 166-174.

[9] 陈鹏泉,郭相毅,陈楠等. 花生荚果干燥技术及设备的研究现状与发展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 221-230.

[10] WANG R, ZHANG M, MUJUMDAR A S. Effects of vacuum

and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices [J]. J Food Eng, 2010, 101(2): 131-139.

[11] 毕金峰,冯舒涵,金鑫,等. 真空冷冻干燥技术与产业的发展及趋势[J]. 核农学报, 2022, 36(2): 414-421.

[12] 方晓璞,李欣,鲁海龙,等. 山桐子产业在我国开发利用情况[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 86-89,98.

[13] 田潇潇,王羚,方学智,等. 不同干燥方式对山桐子油理化性质、脂肪酸组成及微量营养成分含量的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 8-11,55.

[14] LU X, HOU H, FANG D, et al. Identification and characterization of volatile compounds in *Lentinula edodes* during vacuum freeze-drying[J/OL]. J Food Biochem, 2022, 46: e13814 [2022-08-27]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13814>.

[15] 马逸凡,贾亮,熊颖,等. 植物油料热处理影响油脂氧化稳定性机理的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(4): 181-186.

[16] KHATTAK H K, BIANUCCI P, SLEPKOV A D. Linking plasma formation in grapes to microwave resonances of aqueous dimers [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2019, 116(10): 4000-4005.

[17] SHI R, GUO Y, VRIESEKOP F, et al. Improving oxidative stability of peanut oil under microwave treatment and deep fat frying by stearic acid-surfactant-tea polyphenols complex [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2015, 117(7): 1008-1015.

[18] 支敏,陆鑫,李红霞,等. 微波超声波联合技术加速油脂水解[J]. 食品科技, 2013, 38(7): 206-210.

[19] 陈耀兵,李美东,夏兰欣,等. 顶空固相微萃取结合GC-MS对山桐子(油葡萄)香气成分比较分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(3): 163-169.

[20] SHI X D, LI J Y, WANG S M, et al. Flavor characteristic analysis of soymilk prepared by different soybean cultivars and establishment of evaluation method of soybean cultivars suitable for soymilk processing [J]. Food Chem, 2015, 185(4): 422-429.

[21] API A M, BELSITO D, BOTELHO D, et al. RIFM fragrance ingredient safety assessment, benzyl isoamyl ether, CAS Registry Number 122-73-6 [J]. Food Chem Toxicol, 2018, 118: S226-S232.

[22] 邓大川,贺稚非,张东,等. 顶空气相色谱法测定兔肉中挥发性风味物质己醛和己酸[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 235-240.

[23] 舒恒毅,郑志锋,刘守庆,等. 亚油酸甲酯烯烃复分解制备长链终端烯烃化合物[J]. 中国油脂, 2021, 46(10): 51-57.

[24] 才绒草,陈静,任刚,等. GC-MS同时测定藏药贝嘎4种基原药材的挥发油成分[J]. 亚太传统医药, 2022, 18(10): 61-68.