

油脂加工

薄荷种子油超声辅助提取工艺及其脂肪酸组成、理化性质与急性毒性分析

闫荣玲,毛龙毅,廖 阳,唐小妹,付建梅,何福林

(湖南科技学院 化学与生物工程学院,湘南优势植物资源综合利用湖南省重点实验室,湖南 永州 425199)

摘要:以正己烷为提取剂,采用单因素实验及正交实验优化得到超声辅助提取薄荷种子油的最佳工艺,并对所得薄荷种子油进行脂肪酸组成、理化性质及急性毒性分析。结果表明:薄荷种子油的最佳提取工艺为料液比 1:10、超声时间 50 min、超声功率 300 W、超声温度 50 ℃,此条件下薄荷种子油得率为 25.6%;薄荷种子油经 GC-MS 分析共检测到 4 种脂肪酸,分别是软脂酸(5.44%)、油酸(13.83%)、亚油酸(23.85%)、亚麻酸(56.88%),不饱和脂肪酸含量达到 94.56%,约为饱和脂肪酸含量的 17.4 倍;薄荷种子油的密度、折光指数(n_D^{20})、碘值(I)、酸值(KOH)、皂化值(KOH)分别为 0.908 g/mL、1.511、148.6 g/100 g、0.87 mg/g、182.7 mg/g;薄荷种子油对 DPPH 自由基表现出显著清除效应,清除率随体积分数增加而增加但增幅逐渐减小;急性毒性实验发现,小鼠在实验期内未出现行为、体征、脏器异常及死亡现象。薄荷种子油是一种不饱和脂肪酸含量高、不表现急性毒性、开发潜质大的优质植物油脂资源。

关键词:薄荷;种子油;超声辅助;提取工艺;理化性质;脂肪酸组成;急性毒性

中图分类号:Q646;TS225

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)05-0016-06

Ultrasound-assisted extraction of seed oil from *Mentha haplocalyx* and its fatty acid composition, physicochemical properties and acute toxicity analysis

YAN Rongling, MAO Longyi, LIAO Yang, TANG Xiaomei,
FU Jianmei, HE Fulin

(Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Dominant Plant Resources in Southern Hunan, College of Chemistry and Bioengineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, Hunan, China)

Abstract: The optimal ultrasound-assisted extraction process of seed oil from *Mentha haplocalyx* was obtained through single factor experiment and orthogonal experiment with *n*-hexane as extraction solvent, then the fatty acid composition, physicochemical properties and acute toxicity of *Mentha haplocalyx* seed

oil were analyzed. The results showed that the optimal extraction process of seed oil from *Mentha haplocalyx* was obtained as follows: ratio of material to liquid 1:10, ultrasonic time 50 min, ultrasonic power 300 W and ultrasonic temperature 50 ℃. Under these conditions, the yield of seed oil could reach 25.6%. GC-MS analysis revealed that there were four kinds of fatty acids in *Mentha haplocalyx* seed oil, which were palmitic acid (5.44%), oleic acid (13.83%), linoleic acid (23.85%) and linolenic acid (56.88%).

收稿日期:2017-09-18;修回日期:2017-10-18

基金项目:湖南省教育厅科研项目(17C0676);湘南优势植物资源综合利用湖南省重点实验室研究项目(XNZW15C10, XNZW15C18);湖南省大学生研究型学习与创新性实验项目(湘教通[2016]283号);永州市科技局科研课题(永科发[2017]41号);湖南科技学院校级重点科研项目(17XKY007,17XKY010)

作者简介:闫荣玲(1982),女,讲师,硕士,主要从事天然产物开发与利用研究工作(E-mail) yanrongling809214@163.com。

通信作者:廖 阳,副教授,硕士(E-mail) liaoyang1127@163.com;何福林,教授,硕士(E-mail) hefulin0012@163.com。

The unsaturated fatty acids accounted for 94.56%, which was about 17.4 times of saturated fatty acid content. The density, refractive index (n_D^{20}), iodine value, acid value and saponification value of the seed oil were 0.908 g/mL, 1.511, 148.6 gI/100 g, 0.87 mgKOH/g and 182.7 mgKOH/g, respectively. *Mentha haplocalyx* seed oil showed a significant scavenging effect on DPPH radical, and the scavenging rate increased with the rising of oil volume fraction while the increase degree decreased gradually. Acute toxicological test found that the mice did not show any behavior, signs, organ abnormalities and death during the experimental period. *Mentha haplocalyx* seed oil was a good vegetable oil resource with high content of unsaturated fatty acids and great development potential, and it did not exhibit acute toxicity.

Key words: *Mentha haplocalyx*; seed oil; ultrasound – assist; extraction process; physicochemical property; fatty acid composition; acute toxicity

植物油脂作为人类重要的食用油来源及工业原料,与人们的日常生活及国家的粮油保障密切相关。我国食用油自给率明显不足,每年均需大量进口且缺口在逐年增加^[1]。有限的油脂产量与急剧增加的消耗量间的矛盾,要求人们挖掘与开发新的植物油脂资源。因此,近年来植物种子油的提取及应用越来越受到人们的关注,也取得了丰硕的成果^[2-3]。

薄荷(*Mentha haplocalyx*)为唇形科薄荷属多年生草本植物,在我国种植广泛且产量巨大。一直以来,人们对薄荷的利用主要集中在其叶片等器官次生代谢所产生的具清凉、提神、消炎等功效的精油上^[4],对薄荷种子的关注与应用不多见,主要用于种质保藏与育苗。与其他大部分植物一样,薄荷种子在成熟过程中也会累积和富集油脂,是一种潜在的植物油脂资源。目前,关于薄荷种子油的相关研究报道几乎为空白。

提取获得植物种子油是对其进行开发利用的前提,因此摸索建立针对特定植物种子油的高效可行提取工艺具有重要意义。人们常用的植物油脂提取方法有压榨法、浸提法、超临界萃取法、水酶法等。近年来,超声波由于具备良好的穿透与细胞破碎效果,且操作简单、提取温度低、不破坏物质结构而被人们广泛应用到植物活性物质的提取中^[5]。已有的研究^[6-8]表明,超声在植物种子油的提取中确实可以发挥显著的积极效应。基于此,本研究优化构建了超声辅助提取薄荷种子油的工艺。需要指出的是,提取所获植物种子油需进行通过系列检测以确定其组成成分、营养价值及安全性,从而衡量和评价其作为新型食用油资源的开发潜质。其中,组成成分以及理化性质的指标可以很好地反映其营养价值与保健功效;急性毒性实验则可初步确定其是否会对人体产生毒性损伤^[8-9]。因此,本研究在构建薄荷种子油超声辅助提取工艺基础上,对提取所获薄

荷种子油的脂肪酸组成、理化性质及急性毒性效应进行了测试,以期对薄荷种子油的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

薄荷种子置 60℃ 干燥箱中烘干至恒重,用高速万能粉碎机粉碎得到薄荷种子干粉,过 60 目筛后置塑料密封袋中备用。

硫酸、氢氧化钾、氯化钠、无水硫酸钠等均为分析纯;甲醇、正己烷为色谱纯。

恒平 AE124J 分析天平,Scientz – IID 超声波细胞破碎仪,岛津 QP2010S GC – MS,RE – 2000B 旋转蒸发仪,722 型分光光度计。

1.2 实验方法

1.2.1 薄荷种子油提取

称取 10 g 薄荷种子粉末,加一定体积正己烷并充分搅拌后持续浸提 12 h,之后在一定的超声功率、超声时间、超声温度下进行辅助提取,真空抽滤得澄清液再经旋转蒸发仪回收溶剂并浓缩油脂,最后置 70℃ 干燥箱中 2 h 去除残留溶剂,冷却至室温后称重并计算得率^[2,9]。

1.2.2 单因素实验及正交实验优化

分别考察了超声时间、超声功率、料液比、超声温度 4 个因素对薄荷种子油得率的影响。单因素实验分别设置料液比 1:2、1:4、1:6、1:8、1:10、1:15,超声时间 20、30、40、50、60、70 min,超声功率 150、200、250、300、350、400 W,超声温度 20、30、40、50、60、70℃ 各 6 个梯度水平。进行某一单因素实验时,其他 3 个因素的取值保持固定,分别为料液比 1:8、超声时间 50 min、超声功率 300 W、超声温度 50℃。根据单因素实验结果,按照 $L_9(3^4)$ 进行正交实验,优化得到最佳超声辅助提取薄荷种子油工艺。所有单因素实验及正交实验中,超声频率为仪器的固定

频率 25 kHz。

1.2.3 薄荷种子脂肪酸组成的 GC-MS 分析

1.2.3.1 样品的酸碱结合甲酯化处理

称取 0.1 g 样品于 25 mL 容量瓶中,加入 1 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液 2 mL,45℃ 水浴 45 min,之后利用旋转蒸发仪水浴蒸干,并加入 2 mL 的 5% 硫酸-甲醇溶液,70℃ 水浴 60 min 后,往样品中滴加 2 mL 饱和氯化钠溶液,摇匀,再加入 2 mL 正己烷,振荡,静置 10 min,分层。取 0.1 mL 上层正己烷清液,稀释 100 倍后,加入少量(10 g)无水硫酸钠脱水,取上清于气质联用仪中进行脂肪酸组成分析^[10]。

1.2.3.2 GC-MS 分析条件

采用石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);载气为 He,流量 2 mL/min;升温程序为初始温度 150℃,保持 3.5 min,以 20℃/min 的速度升温至 200℃,保持 5 min,以 5℃/min 的速度升温至 280℃,保持 20 min;进样量 0.5 μL;离子源为 EI,温度为 200℃,电子能量 70 eV,扫描周期 0.5 s,界面温度 250℃,溶剂切除时间 3 min。采用与质谱图库检索比较,取最优匹配者进行脂肪酸定性鉴定,峰面积归一化法进行脂肪酸相对含量的确定^[11]。

1.2.4 薄荷种子油理化性质分析

1.2.4.1 基础理化指标测定

密度:GB/T 5526—1985;折光指数:GB/T 5527—2010;酸值:GB/T 5530—2005;碘值:GB/T 5532—2008;皂化值:GB/T 5534—2008。

1.2.4.2 抗氧化性测定

参考文献[12]进行抗氧化性测定。吸取 10 mL 6.5 mol/L 的 DPPH 溶液定容至 100 mL,摇匀后室温下避光静置 30 min。分别取 1、2、4、6、8 mL 薄荷种子油,溶解于丙酮并定容至 100 mL,配制成为不同体积分数的待测油样。分别量取制备以下混合液并在 514 nm 下测定各自吸光值:2 mL DPPH 溶液 + 2 mL 丙酮混合液,吸光值记为 A_0 ;2 mL DPPH 溶液 + 2 mL 油样,吸光值记为 A_i ;2 mL 油样 + 2 mL 丙酮混合液,吸光值记为 A_j 。在此基础上计算各油样对 DPPH 自由基的清除率,计算公式为:清除率 = $[1 - (A_i - A_j)] / A_0 \times 100\%$ 。

1.2.5 薄荷种子油急性毒性实验

将健康的昆明小鼠分为实验组与对照组,每组 20 只,雌雄各半且分笼饲养,所有小鼠饲养环境、食物、饮水等均保持一致。实验组每天分别于中午 12 时和晚上 7 时进行两次灌胃处理,每次 0.5 mL 薄荷种子油;对照组则在每天的相同时间灌以同体积的蒸馏水。连续观察并记录小鼠 3 周的日常活动、体

重及死亡情况^[13]。

1.2.6 数据处理

所有实验均重复 3 次,数据经 Excel2003、SPSS19.0 以及 Sigmaplot10.0 等软件进行整理、分析与作图。

2 结果与讨论

2.1 薄荷种子油提取工艺

2.1.1 单因素实验(见图 1)

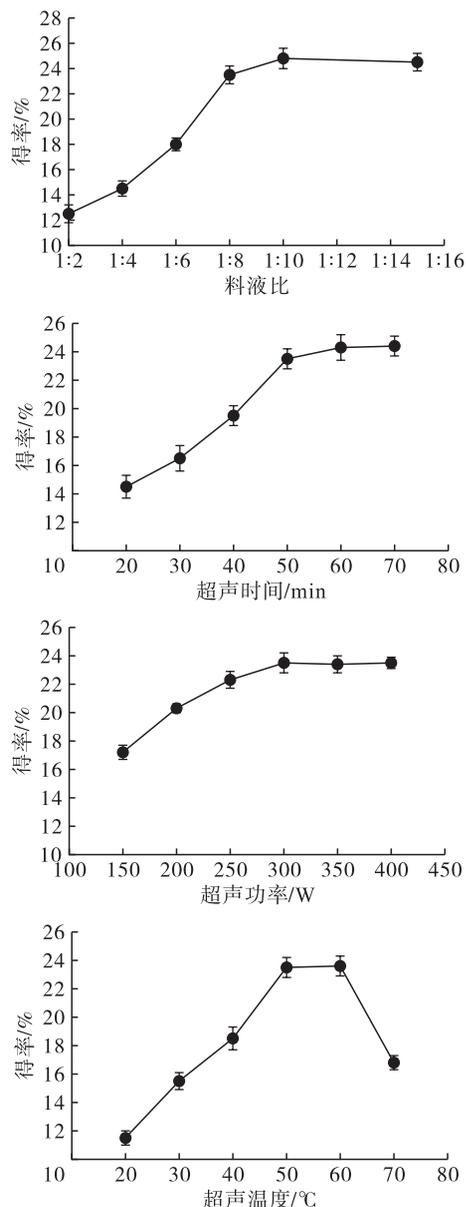


图 1 超声辅助提取各因素对薄荷种子油得率的影响

由图 1 可知,料液比、超声时间、超声功率、超声温度均对薄荷种子油得率有明显影响,但各因素下得率的变化规律各有差异。超声辅助条件下,薄荷种子油得率随料液比、超声时间、超声功率的增加而逐渐增加,且分别在料液比 1:10、超声时间 60 min、超声功率 300 W 时达最大值,之后维持稳定;随超声温度的升高,薄荷种子油得率也呈逐渐增加趋势,

50℃达到最大值后维持稳定,60℃后急剧下降。基于得率与成本两方面的考虑,确定料液比1:6、1:8、1:10,超声时间40、50、60 min,超声功率200、250、300 W,超声温度30、40、50℃进行正交实验。

2.1.2 正交实验

正交实验设计及结果见表1。

表1 正交实验设计及结果

实验号	A 料液比	B 超声时间/min	C 超声功率/W	D 超声温度/℃	得率/%
1	1:6	40	200	30	17.7
2	1:6	50	250	40	19.8
3	1:6	60	300	50	22.1
4	1:8	40	250	50	18.6
5	1:8	50	300	30	23.5
6	1:8	60	200	40	20.2
7	1:10	40	300	40	21.7
8	1:10	50	200	50	24.9
9	1:10	60	250	30	22.2
k_1	19.9	19.3	20.9	21.1	
k_2	20.8	22.7	20.2	20.6	
k_3	22.9	21.5	22.4	21.9	
R	3.0	3.4	2.2	1.3	

由表1可知,各因素对超声辅助提取薄荷种子油得率的影响大小顺序为超声时间>料液比>超声功率>超声温度,最佳提取工艺为 $A_3B_2C_3D_3$,即料液比1:10,超声时间50 min,超声功率300 W,超声温度50℃。验证实验表明,在最佳提取条件下薄荷种子油得率为25.6%。可见,利用超声辅助进行薄荷种子油的提取切实可行,且条件温和、成本低、耗时短、得率高,通过中试放大后可规模化生产。超声波的强烈振动与空化效应使其表现出的优异穿透力与细胞破碎效果在提取中发挥了重要作用^[12]。

2.2 薄荷种子油脂肪酸组成

薄荷种子油经GC-MS分析得到如图2所示的总离子流图。经与NIST05质谱数据库比对检索后,确定薄荷种子油脂肪酸组成及相对含量列于表2。

由图2及表2可知,薄荷种子油含4种脂肪酸,分别是软脂酸(5.44%)、油酸(13.83%)、亚油酸(23.85%)、亚麻酸(56.88%),这与同为唇形科的一串红种子油脂肪酸组成类似(也仅含有软脂酸、硬脂酸、亚油酸、亚麻酸4种脂肪酸)^[13]。除软脂酸为十六碳饱和脂肪酸之外,其余均为十八碳不饱和脂肪酸;不饱和脂肪酸含量达到94.56%,约是饱和脂肪酸含量的17.4倍。结果表明,薄荷种子油是一种不饱和脂肪酸含量极高的植物油脂。值得注意的是,薄荷种子油所含有的高比例亚麻酸与亚油酸均

为人体不能合成的必需脂肪酸,且二者具有降低血液胆固醇、预防动脉粥样硬化、提高脑细胞活力、增强免疫力等多种生理活性,因此二者高达80.73%的总含量极大地增加了薄荷种子油的利用潜质与价值^[14]。需要指出的是,样本中未检出植物油脂中常见的硬脂酸这一成分,由于之前有研究者在油茶籽油与一串红种子油成分检测中发现硬脂酸含量极低(分别为0.99%、1.87%)^[11,13],推测可能薄荷种子油中的硬脂酸含量也极低以至未被检测出。

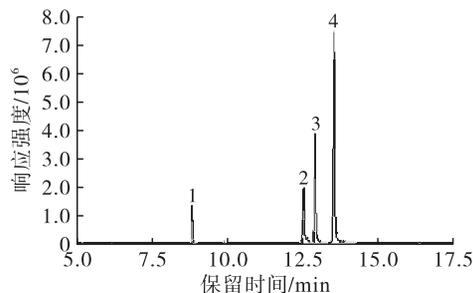


图2 薄荷种子油总离子流图

表2 薄荷种子油脂肪酸组成及相对含量

峰号	保留时间/min	脂肪酸	相对含量/%
1	8.848	软脂酸	5.44
2	12.555	油酸	13.83
3	12.946	亚油酸	23.85
4	13.583	亚麻酸	56.88

对薄荷种子油与花生油、菜籽油以及木本油料油茶籽油等常用植物油的脂肪酸组成进行了横向对比,结果见表3。

表3 薄荷种子油与常用植物油脂肪酸组成的比较

脂肪酸	薄荷种子油	花生油 ^[14]	菜籽油 ^[15]	油茶籽油 ^[16]
软脂酸	5.44	7.95	5.50	8.13
硬脂酸	0	3.11	3.76	2.01
油酸	13.83	31.74	11.99	80.64
亚油酸	23.85	53.05	14.82	8.07
亚麻酸	56.88	0	6.67	0.26
总不饱和脂肪酸	94.56	85.21	81.20	89.63

由表3可知,薄荷种子油的总不饱和脂肪酸含量高于其他3种食用油,尤其是多不饱和脂肪酸亚麻酸含量远高于其他几种常用植物油类^[14-16]。基于薄荷种子油中亚麻酸的含量最高,对其同样亚麻酸含量高的牡丹籽油、亚麻籽油进行了不饱和脂肪酸的横向比较,结果见表4。由表4可知,薄荷种子油的亚油酸含量、总不饱和脂肪酸含量在三者中最高,而牡丹籽油与亚麻籽油则分别为亚麻酸、油酸的含量最高。这些基础数据的积累与比较为后续对

上述种子油的开发利用提供了条件。

表 4 几种高亚麻酸含量植物种子油

脂肪酸	不饱和脂肪酸的比较			%
	薄荷种子油	牡丹籽油 ^[17]	亚麻籽油 ^[18]	
油酸	13.83	0	20.18	
亚油酸	23.85	23.25	16.22	
亚麻酸	56.88	61.36	53.06	
总不饱和脂肪酸	94.56	84.61	89.46	

2.3 薄荷种子油理化性质

薄荷种子油的理化性质见表 5,薄荷种子油对 DPPH 自由基的清除效应见图 3。

表 5 薄荷种子油理化性质

密度/ (g/mL)	折光指数/ (n_D^{20})	碘值(I)/ (g/100 g)	酸值(KOH)/ (mg/g)	皂化值(KOH)/ (mg/g)
0.908	1.511	148.6	0.87	182.7

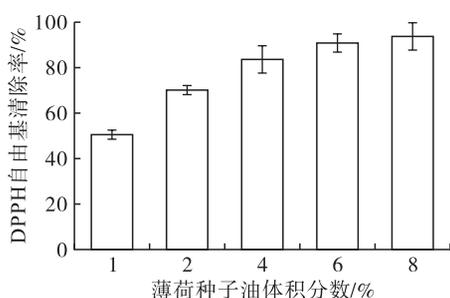


图 3 薄荷种子油对 DPPH 自由基的清除效应

由表 5 可知,薄荷种子油的密度为 0.908 g/mL;折光指数(n_D^{20})、碘值(I)分别为 1.511、148.6

表 6 薄荷种子油急性毒性实验

组别	性别	数量	初始体重/g	第 20 天体重/g	死亡数	活动规律性	内脏解剖观察
实验组	雄	10	17.4 ± 0.2	38.1 ± 0.4	0	正常	无异常
	雌	10	17.2 ± 0.4	38.2 ± 0.6	0	正常	无异常
对照组	雄	10	17.5 ± 0.2	38.4 ± 0.6	0	正常	无异常
	雌	10	17.2 ± 0.3	38.3 ± 0.3	0	正常	无异常

3 结论

薄荷种子油的最佳超声辅助提取工艺为料液比 1:10、超声时间 50 min、超声功率 300 W、超声温度 50℃,此条件下薄荷种子油得率可达 25.6%。提取获得的薄荷种子油中含软脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸 4 种脂肪酸,其中亚麻酸含量最高,且除软脂酸外均为不饱和脂肪酸,不饱和脂肪酸含量达 94.56%,高于花生油、菜籽油、油茶籽油等国内常用植物油,也高于牡丹籽油、亚麻籽油亚麻酸含量高的植物种子油。薄荷种子油的密度、酸值、皂化值较低,而折光指数、碘值、抗氧化性较高且不表现急性毒性。综上,简单高效的提取工艺、较高的油脂得率、良好的

理化特征值、较优的脂肪酸组成与含量、良好的抗氧化能力及不含有毒有害物质,均表明薄荷种子油是一种具有显著开发潜力的植物油脂资源。

g/100 g;酸值(KOH)与皂化值(KOH)分别为 0.87、182.7 mg/g。薄荷种子油的密度较低,折光指数与碘值较高,再次印证了成分分析所发现的含有丰富不饱和脂肪酸尤其是多不饱和脂肪酸这一特征;而酸值与皂化值较低,则说明脂肪酸主要以甘油酯等形式存在,而以游离形式存在的脂肪酸比例较低^[7,9]。

由图 3 可知,薄荷种子油对 DPPH 自由基具有显著的清除效应,且清除率随体积分数的增加而迅速增加,但当体积分数达到一定值后增幅降低,清除率趋于稳定,在实验所设体积分数范围内,最大清除率可达 93.7%。可见,薄荷种子油对 DPPH 自由基具有显著的清除效应,表现出良好的抗氧化性。提示薄荷种子油中除了主要成分脂肪酸外,可能还含有多酚、黄酮、脂溶性维生素等抗氧化性物质,这为薄荷种子油的日常保存提供了良好条件^[19]。

2.4 薄荷种子油急性毒性实验(见表 6)

急性毒性实验发现,在时长 3 周的实验期内,所有实验组小鼠与对照组小鼠一样表现正常,日常活动规律性强,食欲正常、反应灵敏、行动敏捷,未出现死亡现象。第 20 天时称重发现,实验组与对照组小鼠体重无显著差异(t -test, $P > 0.05$)。实验跟踪观察结束后,解剖学观察与对照未发现小鼠体内主要器官(肝、肺、胃、肠、肾等)出现明显异常。说明薄荷种子油中不含有对受试个体产生急性毒性的有毒有害物质^[9,13],这为薄荷种子油在食品工业等领域的应用提供了良好条件。

参考文献:

- [1] 王永刚. 中国油脂油料供求、贸易、政策的现状与前景[J]. 中国油脂, 2010, 35(2):1-5.
- [2] 刘举, 陈继富. 木兰科四种植物种子油的提取及脂肪酸成分分析[J]. 广西植物, 2013, 33(2):208-213.
- [3] TENG H, LEE W Y. Antibacterial and antioxidant activities and chemical compositions of volatile oils extracted from *Schisandra chinensis* Baill. seeds using simultaneous distillation extraction method, and comparison with Soxhlet

(下转第 27 页)

参考文献:

- [1] 杨柳, 吴翠蓉, 朱杰丽, 等. 顶空-气质联用法鉴别油茶籽油真伪[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(11): 105-109, 113.
- [2] 黄江艳, 李秀娟, 潘思轶. 固相微萃取技术在食品风味分析中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 289-298.
- [3] 吴君章, 赵盛翹, 韩冰, 等. 基于 Flash GC 电子鼻全色谱数据的卷烟类型快速判别的研究[J]. 分析测试学报, 2017, 36(1): 80-85.
- [4] 周春丽, 刘伟, 陈冬, 等. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析不同南瓜品种中的挥发性风味物质[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 293-301.
- [5] ZHENG H, WANG J. Detection of adulteration in camellia seed oil and sesame oil using an electronic nose [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2006, 108: 116-124.
- [6] 石文婷, 伍贤进, 王玺, 等. 气相色谱-质谱联用结合化学计量学方法分析光照对鱼腥草挥发性成分的影响[J]. 分析测试学报, 2014, 33(2): 127-132.
- [7] 李琦, 李春艳, 徐畅, 等. 低温冷冻液液萃取/GC-MS 结合保留指数分析香蕉中的挥发性成分[J]. 分析测试学报, 2017, 36(4): 457-463.
- [8] ZHONG H Y, BEDGOOD D R, BISHOP A G, et al. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils [J]. Food Chem, 2007, 100(4): 1544-1551.
- [9] ZHONG H Y, BEDGOOD D R, BISHOP A G, et al. Effect of added caffeic acid and tyrosol on the fatty acid and volatile profiles of camellia oil following heating [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(25): 9551-9558.
- [10] 孙月娥. 基于电子鼻的植物油脂品质评价[J]. 粮油加工, 2010(6): 10-12.
- [11] 罗凡, 费学谦, 李康雄, 等. 预处理条件对油茶籽液压榨油效率和品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(4): 94-99.
- [12] 龙奇志, 黄永辉, 钟海雁, 等. 茶油挥发性成分的固相微萃取-气相色谱-质谱分析[J]. 中国食品学报, 2009, 9(3): 187-194.
- [13] 孙红梅, 李侠, 张春晖, 等. 鸡骨素及其酶解液的美拉德反应产物挥发性风味成分比较分析[J]. 分析测试学报, 2013, 32(6): 661-667.
- [14] LIU X J, JIN Q Z, LIU Y F, et al. Changes in volatile compounds of peanut oil during the roasting process for production of aromatic roasted peanut oil [J]. J Food Sci, 2011, 76(3): C404-C412.
- [15] 李丽, 高彦祥, 袁芳. 坚果焙烤香气化合物的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 164-169.
- [16] 闫虹. 狭鳕鱼排美拉德反应制备肉香型风味物及其抗氧化活性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- (上接第 20 页)
- and microwave-assisted extraction [J]. Biosci Biotech Biochem, 2014, 78(1): 79-85.
- [4] 于清跃, 朱新宝. 薄荷种植与薄荷精油提取研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(13): 7911-7913.
- [5] 马亚琴, 叶兴乾, 吴厚玖, 等. 超声波辅助提取植物活性成分的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 459-463.
- [6] 许晖, 孙兰萍, 李善菊, 等. 超声波辅助提取亚麻籽油的工艺条件优化[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(7): 64-68.
- [7] 严小平, 李成平, 金建昌. 超声波提取西瓜籽油的最佳工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(3): 53-56.
- [8] 唐萍, 鲜欣言, 胡怀容, 等. 超声波辅助提取黄秋葵籽油及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2014, 39(8): 14-17.
- [9] 刘世彪, 谭秀梅, 彭小列, 等. 绞股蓝种子油的提取、成分分析和急性毒性实验[J]. 广西植物, 2014, 34(1): 130-134.
- [10] 伍新龄, 王凤玲, 关文强. 植物油脂脂肪酸甲酯化方法比较与含量测定[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(4): 84-87.
- [11] 吴帆, 韩琴, 于勇杰. 香榧与油茶籽中脂肪酸成分的 GC-MS 分析[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(1): 36-39.
- [12] 瞿晓晶, 彭芳芳, 尹楹富, 等. 构树种子油的超声强化提取及其抗氧化性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(10): 1685-1689.
- [13] 刘世彪, 吕江明, 刘祝祥, 等. 一串红种子油的提取、成分分析及其急性毒性研究[J]. 广西植物, 2011, 26(9): 56-59.
- [14] 胡彦, 沈清清, 张铁, 等. 花生油与紫苏种子油脂脂肪酸组分的比较研究[J]. 文山学院学报, 2014, 27(3): 17-20.
- [15] 刘家欣, 朱苗力, 黄诚, 等. 气相色谱/质谱法分析菜籽油中脂肪酸[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 1997, 18(3): 52-54.
- [16] 汤富彬, 沈丹玉, 刘毅华, 等. 油茶籽油和橄榄油中主要化学成分分析[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(7): 108-113.
- [17] 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 103-110.
- [18] 任海伟, 李雪, 唐学慧. 亚麻籽粒及其油脂的特性分析与营养评价[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 143-145.
- [19] 刘晓娇, 李彬, 何鸿举, 等. 粗榧种子油脂抗氧化性及其脂肪酸组成分析[J]. 西北农业学报, 2016, 25(3): 429-434.