

野生柳叶蜡梅籽油理化性质、脂肪酸组成 及抗氧化活性研究

陈向阳¹, 毕淑峰¹, 李艳², 吕奎³, 吴永祥¹

(1. 黄山学院 生命与环境科学学院, 安徽 黄山 245041; 2. 黄山荷琇生物科技有限公司, 安徽 黄山 245000;
3. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:以成熟的野生柳叶蜡梅种子为材料,采用超声波辅助法提取籽油,测定籽油的理化性质、维生素E含量和脂肪酸组成,并以ABTS自由基清除作用和金属离子螯合作用为指标评价籽油的抗氧化活性。结果表明:野生柳叶蜡梅籽油酸价(KOH)为2.28 mg/g、碘值(I)为109.47 g/100 g、过氧化值为2.03 mmol/kg、皂化值(KOH)为185.81 mg/g、水分及挥发物为0.82%、相对密度(20℃)为0.927 5、折光指数(20℃)为1.467 3、维生素E含量为109.27 mg/kg;从野生柳叶蜡梅籽油中共鉴定出22种脂肪酸,包括8种饱和脂肪酸(24.28%)和14种不饱和脂肪酸(75.37%),含量较高的脂肪酸有亚油酸(55.60%)、棕榈酸(20.26%)、油酸(8.08%)、10,13-十八碳二烯酸(8.02%);野生柳叶蜡梅籽油具有良好的抗氧化活性,对ABTS自由基清除效果优于葡萄籽油,对金属离子螯合作用弱于葡萄籽油。

关键词:柳叶蜡梅籽油;脂肪酸;理化性质;抗氧化活性

中图分类号:TS225.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)06-0115-05

Physicochemical properties, fatty acid composition and antioxidant activities of wild *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil

CHEN Xiangyang¹, BI Shufeng¹, LI Yan², LÜ Kui³, WU Yongxiang¹

(1. College of Life and Environment Science, Huangshan University, Huangshan 245041, Anhui, China; 2. Huangshan Heasure Biotechnology Co., Ltd., Huangshan 245000, Anhui, China; 3. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: With the mature seed of wild *Chimonanthus salicifolius* Hu as raw material, the seed oil was obtained by ultrasound-assisted extraction. The physicochemical properties, V_E content and fatty acid composition of wild *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil were determined. The antioxidant activities of wild *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil were also evaluated by scavenging capacity against ABTS free radical and metal ions chelating ability. The results showed that the acid value, iodine value, peroxide value, saponification value, moisture and volatiles, relative density (20℃), refractive index (20℃) and vitamin E content of wild *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil were 2.28 mgKOH/g, 109.47 g/100 g, 2.03 mmol/kg, 185.81 mgKOH/g, 0.82%, 0.927 5, 1.467 3 and 109.27 mg/kg, respectively.

Twenty-two kinds of fatty acids were identified from wild *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil including eight kinds of saturated fatty acids (24.28%) and fourteen kinds of unsaturated fatty acids (75.37%). The main fatty acids were linoleic acid (55.60%), palmitic acid (20.26%), oleic acid (8.08%), and 10,13-octadecadienoic acid (8.02%). The wild *Chimo-*

收稿日期:2019-11-27;修回日期:2020-02-20

基金项目:安徽省留学回国人员创新项目择优资助计划重点项目(2017srst1);黄山曼迪药业有限公司合作项目(hxkt20190001);黄山荷琇生物技术有限公司合作项目(hxkt20190039)

作者简介:陈向阳(1970),男,副教授,硕士,研究方向为生物资源及其综合开发利用(E-mail)cxy@hsu.edu.cn。

通信作者:毕淑峰,教授,博士(E-mail)bsfhs@aliyun.com。

nanthus salicifolius Hu seed oil had good antioxidant activities, and its scavenging capacity against ABTS free radical was better than that of grape seed oil, while the metal ions chelating ability was weaker than that of grape seed oil.

Key words: *Chimonanthus salicifolius* Hu seed oil; fatty acid; physicochemical property; antioxidant activity

柳叶蜡梅(*Chimonanthus salicifolius* Hu)为我国特有蜡梅科蜡梅属半常绿灌木,仅分布于安徽东南部、江西西北部、浙江中南部等山区^[1],具有药用、饮用、食用等多种应用价值,以柳叶蜡梅叶为材料制成的“脾胃舒胶囊”、香风茶、食凉茶、黄金茶等已在市场销售。柳叶蜡梅叶味微苦、辛、性凉,具有解表祛风、清热解毒等功能,临床上可用于治疗寒湿困脾、肝胃不和引起的肠胃不适、腹部胀痛、泄泻等消化道疾病,也可用于预防感冒、流行性感、治疗慢性气管炎等,还能增强人体免疫力^[2]。柳叶蜡梅叶香味浓郁,富含挥发性成分,以单萜、倍半萜及其含氧衍生物为主^[3-4],同时还含有生物碱^[5]、黄酮^[6-7]、香豆素^[2,8]、萜类^[9]等非挥发性成分。研究表明,柳叶蜡梅具有多种生物活性,柳叶蜡梅叶挥发油具有抗氧化活性^[3,10]和抗肿瘤活性^[11],从柳叶蜡梅叶中分离得到的生物碱单体化合物对人结直肠癌细胞株 SW-1116、胃癌细胞株 SGC-7901、人结直肠癌细胞株 HCT-116 均具有中等抑制活性^[5];不同极性柳叶蜡梅叶萃取物对绿脓杆菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌及金黄色葡萄球菌均有抑制作用,其中低极性的二氯甲烷萃取物的抑菌活性最强^[12]。

柳叶蜡梅已被收入新食品原料名单,人们对这一新的食品资源愈加重视。目前,对柳叶蜡梅研究主要集中于人工种植和柳叶蜡梅叶的化学成分、生物活性等方面,而对其籽油的提取、成分等研究未见报道。本文采用超声波辅助法提取柳叶蜡梅籽油,测定其理化性质、维生素 E 含量和脂肪酸组成,并以 ABTS 自由基的清除作用和金属离子的螯合作用为指标评价其抗氧化活性,为柳叶蜡梅籽油的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

野生成熟柳叶蜡梅果实,采自安徽省黄山市休宁县齐云山山区,经去除果皮、晒干、剥去种皮后得种仁,种仁粉碎后过 20 目筛,混匀后装于棕色瓶中,储存于 4℃ 冰箱,备用。

菲洛嗪,东京化成工业株式会社;2,2-联氮

基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二氨盐(ABTS),瑞格生物科技有限公司;葡萄籽油,河南晶森油脂有限公司;石油醚(沸程 30~60℃)、酚酞、甲醇、氯化钠、氢氧化钾、正己烷、无水硫酸钠等均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

HP7890-5975C 型气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司;SCQ-8201C 型超声波清洗仪,上海声彦超声仪器有限公司;UV756 紫外可见分光光度计,上海元素仪器有限公司;N-1001 型旋转蒸发器,日本东京理化公司;DHG-905385-III 电热恒温鼓风干燥箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;AE224 电子天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 超声波辅助法提取野生柳叶蜡梅籽油

称取野生柳叶蜡梅种仁粉 15.00 g,用脱脂滤纸包好,置于索氏提取器的圆底烧瓶中,向圆底烧瓶中加入 320 mL 石油醚,放入超声波清洗仪中间断超声 5 次,每次超声 5 min,两次超声间隔 10 min。超声结束后将包有样品的滤纸包放入索氏提取器的提取管中,在 52℃ 水浴中加热提取 5.0 h,回收石油醚,得到浅黄色透明油状液体,即为野生柳叶蜡梅籽油,共提取 5 批次。油存放于 4℃ 冰箱,备用。

1.2.2 野生柳叶蜡梅籽油理化性质和维生素 E 含量的测定

酸价,参照 GB/T 5510—2011 测定;水分及挥发物,参照 GB/T 5528—2008 测定;碘值,参照 GB/T 5532—2008 测定;过氧化值,参照 GB 5009.227—2016 测定;折光指数,参照 GB/T 5527—2010 测定;皂化值,参照 GB/T 5534—2008 测定;相对密度,参照 GB/T 5526—1985 测定;透明度,参照 GB/T 5525—2008 测定;维生素 E,参照 GB 5009.82—2016 测定。

1.2.3 野生柳叶蜡梅籽油脂肪酸组成的测定

甲酯化:参考文献[13]的方法,并进行适当修改。将 50 μL 野生柳叶蜡梅籽油置于 20 mL 带盖试管中,加 4 mL 正己烷与 2 mL 0.5 mol/L 的 KOH-CH₃OH 溶液,混匀,置于 55℃ 恒温水浴加热 30 min,加热过程中,间断取出振荡混匀。加热结束后,

向试管中加入 12 mL 蒸馏水和 2 mL 饱和 NaCl 溶液,混匀,静置,将上层有机相在 8 000 r/min 离心 10 min,取上清液,加适量无水硫酸钠干燥,过滤后进行气相色谱-质谱分析。

气相色谱条件:HP-5 MS 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度 250℃;柱升温程序为 130℃保持 5 min,以 5℃/min 升到 285℃,保持 5 min;载气为高纯氦气(纯度>99.99%),流速为 1.0 mL/min;不分流进样,进样量 0.5 μL。

质谱条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量 70 eV;溶剂延迟 3.50 min;离子源温度 230℃;四级杆温度 150℃;全扫描采集方式;质量扫描范围(m/z) 50~550;质谱数据库 NIST08。

1.2.4 野生柳叶蜡梅籽油抗氧化活性的测定

1.2.4.1 野生柳叶蜡梅籽油对 ABTS 自由基清除作用的测定

参考文献[14]的方法,并适当修改。将 2.45 mmol/L 过硫酸钾与 7 mmol/L ABTS 自由基等量混合,混匀后静置于暗处 12 h。用甲醇稀释 ABTS 自由基溶液,使稀释液在 734 nm 处的吸光值为 0.70 ± 0.02 。取不同体积(10~50 μL)野生柳叶蜡梅籽油加入 2 mL ABTS 自由基溶液中,6 min 后在 734 nm 处测吸光值(A_i);将 2 mL ABTS 自由基溶液与不同体积(10~50 μL)的甲醇混合,6 min 后在 734 nm 处测吸光值(A_0);将 2 mL 甲醇溶液与不同体积(10~50 μL)野生柳叶蜡梅籽油混合,6 min 后

在 734 nm 处测吸光值(A_j)。上述试验中加入 10~50 μL 野生柳叶蜡梅籽油时,体积少于 50 μL 时,用甲醇补至 50 μL。用葡萄籽油作为对照,重复上述试验操作。计算 ABTS 自由基清除率,清除率 = $[(A_0 - A_i + A_j)/A_0] \times 100\%$ 。

1.2.4.2 野生柳叶蜡梅籽油对金属离子螯合作用的测定

参考文献[15]的方法,并适当修改。取不同体积(10~50 μL)野生柳叶蜡梅籽油于 5 mL 试管中,加入 2.8 mL 蒸馏水、2 mmol/L 的 $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 50 μL 和 5 mmol/L 的菲洛嗪 150 μL,振荡混匀,静置 10 min,在 562 nm 处测吸光值(A_i),以相同体积甲醇代替野生柳叶蜡梅籽油作为空白对照,测其吸光值(A_0)。上述试验中加入 10~50 μL 野生柳叶蜡梅籽油时,体积少于 50 μL 时,用甲醇补至 50 μL。用葡萄籽油作为对照,重复上述试验操作。计算金属离子螯合率,螯合率 = $(1 - A_i/A_0) \times 100\%$ 。

2 结果与讨论

2.1 野生柳叶蜡梅籽油的理化性质和维生素 E 含量

采用超声波辅助法提取野生柳叶蜡梅籽油,得到的野生柳叶蜡梅籽油为浅黄色、澄清透明,有淡淡的油脂芳香,得率为 23.83%,低于湘西地区蜡梅籽油的含量^[16]。野生柳叶蜡梅籽油理化性质和维生素 E 含量见表 1。

表 1 野生柳叶蜡梅籽油的理化性质和维生素 E 含量

| 酸价(KOH)/ (mg/g) | 碘值(I)/ (g/100 g) | 过氧化值/ (mmol/kg) | 皂化值(KOH)/ (mg/g) | 水分及 挥发物/% | 相对密度 (20℃) | 折光指数 (20℃) | 维生素 E/ (mg/kg) | 透明度 |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|-------|
| 2.28 | 109.47 | 2.03 | 185.81 | 0.82 | 0.927 5 | 1.467 3 | 109.27 | 透明、澄清 |

由表 1 可见,野生柳叶蜡梅籽油的酸价(KOH)较低(2.28 mg/g),符合食用植物油酸价的国家标准(≤ 4 mg/g),说明野生柳叶蜡梅籽油中的游离脂肪酸含量较低,品质较好。碘值是判断油脂脂肪酸不饱和程度的重要指标,碘值越大,不饱和脂肪酸含量越高。野生柳叶蜡梅籽油的碘值(I)为 109.47 g/100 g,在 100~130 g/100 g 之间,说明野生柳叶蜡梅籽油为半干性油,其碘值高于湘西和上海采集蜡梅籽油的碘值^[16-17]。过氧化值是衡量油脂氧化程度的指标,数值越大,油脂氧化程度越高。野生柳叶蜡梅籽油的过氧化值为 2.03 mmol/kg,符合食用植物油过氧化值的国家标准,表明试验得到的野生柳叶蜡梅籽油氧化程度较低。油脂的皂化值与油脂中脂肪酸相对分子质

量有关,油脂的皂化值越大,油脂的脂肪酸相对分子质量越小、碳链越短。野生柳叶蜡梅籽油皂化值(KOH)为 185.81 mg/g,低于常见食用油皂化值(200 mg/g)^[18]。此外,野生柳叶蜡梅籽油的水分及挥发物、相对密度、折光指数分别为 0.82%、0.927 5 和 1.467 3。维生素 E 是一种广泛存在于植物油中的脂溶性维生素。野生柳叶蜡梅籽油维生素 E 含量为 109.27 mg/kg,低于核桃油、橄榄油、葵花籽油,高于花生油和棕榈油^[19]。

2.2 野生柳叶蜡梅籽油的脂肪酸组成

GC-MS 分析结果表明,从野生柳叶蜡梅籽油中共分离出 27 种脂肪酸,鉴定出 22 种脂肪酸,占脂肪酸总量的 99.65%,具体脂肪酸种类及相对含量见表 2。

表2 野生柳叶蜡梅籽油的脂肪酸组成及相对含量 %

| 脂肪酸 | 相对含量 | 脂肪酸 | 相对含量 |
|---------------------------|-------|-------------------|-------|
| 肉豆蔻酸 | 0.19 | 花生烯酸 | 2.59 |
| 十五碳酸 | 0.04 | 10,13-二十 碳二烯酸 | 0.09 |
| 棕榈油酸 | 0.14 | 花生酸 | 0.83 |
| 棕榈酸 | 20.26 | 蓖麻油酸 | 0.02 |
| 十七碳酸 | 0.07 | 13-二十二碳烯酸 | 0.25 |
| 亚油酸 | 55.60 | 11-二十二碳烯酸 | 0.03 |
| 10,13-十八碳 二烯酸 | 8.02 | 山嵛酸 | 0.62 |
| 油酸 | 8.08 | 15-二十四碳烯酸 | 0.05 |
| 硬脂酸 | 2.08 | 木蜡酸 | 0.19 |
| 亚麻酸 | 0.42 | 饱和脂肪酸(SFA) | 24.28 |
| 9-cis,11-trans- 十八碳二烯酸 | 0.03 | 单不饱和脂肪酸 (MUFA) | 11.21 |
| trans-10-十九 碳烯酸 | 0.02 | 多不饱和脂肪酸 (PUFA) | 64.16 |
| 10-十九碳烯酸 | 0.03 | | |

由表2可知,野生柳叶蜡梅籽油的脂肪酸种类较多,碳链长度为 $C_{14} \sim C_{24}$,均为长链脂肪酸,包括7种 C_{18} 脂肪酸(74.25%)、2种 C_{16} 脂肪酸(20.40%)、3种 C_{20} 脂肪酸(3.51%)、3种 C_{22} 脂肪酸(0.90%)、2种 C_{24} 脂肪酸(0.24%)、2种 C_{19} 脂肪酸(0.05%)、1种 C_{14} 脂肪酸(0.19%)、1种 C_{17} 脂肪酸(0.07%)、1种 C_{15} 脂肪酸(0.04%)。野生柳叶蜡梅籽油主要以 C_{18} 和 C_{16} 脂肪酸为主,两者占脂肪酸总量的94.65%。 C_{18} 脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,含有6种不饱和脂肪酸,占脂肪酸总量的72.17%; C_{16} 以饱和脂肪酸为主,棕榈酸占脂肪酸总量的20.26%。

野生柳叶蜡梅籽油包括8种饱和脂肪酸、9种单不饱和脂肪酸、5种多不饱和脂肪酸,分别占脂肪酸总量的24.28%、11.21%和64.16%,单不饱和脂肪酸含量最低,多不饱和脂肪酸含量最高,不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸含量分别为75.37%和24.28%,两者的比值为3.10;不饱和脂肪酸以顺式不饱和脂肪酸为主,反式双键不饱和脂肪酸的含量只有0.05%。野生柳叶蜡梅籽油中含量较高的脂肪酸有亚油酸(55.60%)、棕榈酸(20.26%)、油酸(8.08%)、10,13-十八碳二烯酸(8.02%)、花生烯酸(2.59%)和硬脂酸(2.08%),这6种主要脂肪酸总含量为96.63%,含量最高的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸分别为棕榈酸和亚油酸;其他16种脂肪酸含量较低,总含量只有3.02%。野生柳叶蜡梅籽油不饱和脂肪酸和油酸含量高于蜡梅籽油,蜡梅籽油

中也鉴定出花生酸、花生烯酸、山嵛酸、肉豆蔻酸,但未鉴定出13-二十二碳烯酸、11-二十二碳烯酸、15-二十四碳烯酸和木蜡酸^[16-17]。

野生柳叶蜡梅籽油中亚油酸含量高达55.60%,与大豆油和玉米油中亚油酸含量相近^[20]。亚油酸为必需脂肪酸,胆固醇必须与亚油酸结合后才能在体内进行正常的运转和代谢。因此,亚油酸具有预防动脉粥样硬化和心脑血管疾病作用,有“血管清道夫”的美誉。亚油酸对小鼠的急性和慢性炎症均有治疗效果^[21],能调节脂肪代谢,具有减肥作用^[22]。因此,野生柳叶蜡梅籽油在功能性食用油方面具有较好的开发价值。

2.3 野生柳叶蜡梅籽油的抗氧化活性

2.3.1 野生柳叶蜡梅籽油对 ABTS 自由基的清除作用

人体正常代谢会产生强氧化性的自由基,易对蛋白质、脂质和核酸等产生伤害,从而引起机体的损伤^[23]。野生柳叶蜡梅籽油的 ABTS 自由基清除作用见图1。

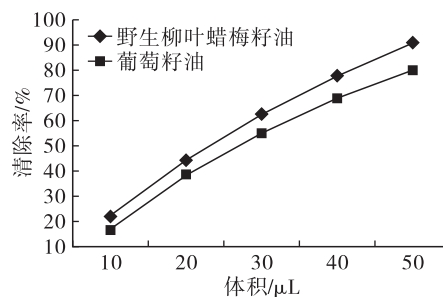


图1 野生柳叶蜡梅籽油对 ABTS 自由基的清除作用

由图1可知,野生柳叶蜡梅籽油对 ABTS 自由基有很好的清除作用,且清除效果强于葡萄籽油,当野生柳叶蜡梅籽油体积为50 μL 时,清除率达到91.53%。在测试的体积范围内,野生柳叶蜡梅籽油对 ABTS 自由基的清除率与样品量呈正相关,野生柳叶蜡梅籽油体积(X)与 ABTS 自由基清除率(Y)间的回归方程为 $Y = 1.7307X + 7.8572$ ($R^2 = 0.9897$),野生柳叶蜡梅籽油对 ABTS 自由基清除作用的 ED_{50} (清除率为50%时的样品体积)为24.35 μL 。

2.3.2 野生柳叶蜡梅籽油对金属离子的螯合作用

金属离子(如铁、铜离子)被认为是生物体中非正常性氧自由基产生的主要参与者,而且大多数生物分子与分子氧作用产生活性氧自由基的反应速度在无金属离子参与时是非常缓慢的,金属离子可以催化此类反应使其加快进行^[24]。野生柳叶蜡梅籽油对金属离子的螯合作用见图2。

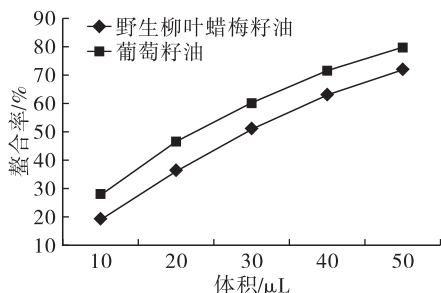


图2 野生柳叶蜡梅籽油对金属离子的螯合作用

由图2可知,野生柳叶蜡梅籽油对金属离子有较好的螯合作用,当野生柳叶蜡梅籽油体积为50 μL 时,螯合率达到72.59%,但其螯合效果弱于葡萄籽油。在测试体积范围内,随着样品体积的增加,野生柳叶蜡梅籽油对金属离子的螯合率逐渐增加,两者存在量效关系,野生柳叶蜡梅籽油体积(X)与螯合率(Y)间的回归方程为 $Y = 1.3346X + 8.6643$ ($R^2 = 0.9850$),野生柳叶蜡梅籽油对金属离子螯合作用的 ED_{50} (螯合率为50%时的样品体积)为30.97 μL 。

3 结论

野生柳叶蜡梅籽油的酸价、过氧化值均符合食用植物油的国家标准,皂化值低于常见食用油皂化值,根据碘值判断其为半干性油,可以作为开发食用油的潜在资源。从野生柳叶蜡梅籽油中共鉴定22种脂肪酸,包括8种饱和脂肪酸和14种不饱和脂肪酸,不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸含量分别为75.37%和24.28%,两者的比值为3.10,含量最高的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸分别为棕榈酸和亚油酸。野生柳叶蜡梅籽油对ABTS自由基的清除效果优于葡萄籽油,对金属离子的螯合作用弱于葡萄籽油,其 ED_{50} 分别为24.35、30.97 μL ,具有较好的抗氧化活性。

参考文献:

[1] 安徽植物志协作组. 安徽植物志:第2卷[M]. 北京:中国展望出版社,1987:267.
 [2] 潘心禾,史小娟,张新风,等. 柳叶蜡梅化学成分及其抗氧化活性研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(1): 99-101.
 [3] 周婧,钱超,宋莹莹,等. 野生柳叶蜡梅叶挥发油成分的GC-MS分析及其抗氧化活性[J]. 华西药理学杂志, 2013, 28(3):238-240.
 [4] 欧阳婷,麦曦,夏红英,等. 柳叶蜡梅挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 南昌大学学报(理科版),2010, 34(1):78-80.
 [5] MA G L, YANG G X, XIONG J, et al. Salicifoxazines A and B, new cytotoxic tetrahydro-1, 2-oxazine-containing tryptamine-derived alkaloids from the leaves of *Chimonanthus salicifolius*[J]. Tetrahedron Lett,2015,56:4071-4075.
 [6] WANG X X, ZHANG H J, LI D, et al. Coumarin and flavone constituents of *Chimonanthus salicifolius* with antioxi-

dant activities[J]. Chem Nat Comp, 2019, 55(3): 534-537.
 [7] 温慧萍,肖建中,雷伟敏,等. HPLC结合响应面法优化柳叶蜡梅总黄酮提取工艺及其抑菌活性研究[J]. 浙江农业学报,2018,30(2):298-306.
 [8] WANG K W, LI D, WU B, et al. New cytotoxic dimeric and trimeric coumarins from *Chimonanthus salicifolius* [J]. Phytochem Lett, 2016, 16(3):115-120.
 [9] LI D, JIANG Y Y, JIN Z M, et al. Isolation and absolute configurations of diastereomers of 8 α -hydroxy-T-muuranolol and (1 α ,6 β ,7 β)-cadinane-4-en-8 α ,10 α -diol from *Chimonanthus salicifolius*[J]. Phytochemistry, 2016, 122: 294-300.
 [10] 陈向阳,毕淑峰,姚瑶,等. 柳叶蜡梅叶挥发油体外抗氧化活性[J]. 光谱实验室,2013,30(3):1484-1487.
 [11] 陈斐. 柳叶蜡梅提取物抑制HeLa细胞生长及诱导细胞凋亡的研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.
 [12] 吴永祥,王祥,江海涛,等. 不同极性柳叶蜡梅叶萃取物总酚含量及其抗氧化、抑菌能力研究[J]. 食品与机械,2017,33(8):150-154.
 [13] 王静宇,佘莉,任梦影,等. 南天竹籽油的理化性质及脂肪酸组成[J]. 中国油脂,2014,39(9):91-93.
 [14] 朱玉,文飞龙,齐应才,等. 小叶女贞果实挥发油的GC-MS分析及其抗氧化活性[J]. 天然产物研究与开发,2014, 26(4):553-557.
 [15] 毕淑峰,张铃杰,高慧,等. 桂花果实精油化学成分及体外抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6): 238-243.
 [16] 王冰清,张洁,徐亮,等. 湘西地区88种非粮油脂植物籽油理化性质及综合评价筛选[J]. 林产化学与工业, 2018,38(2):94-104.
 [17] 宋洁琼. 蜡梅籽中油及生物碱的提取与分析[D]. 上海:华东理工大学,2013.
 [18] 毕淑峰,张巧云,袁红飞,等. 桂花籽油的理化性质、脂肪酸组成及挥发性成分分析[J]. 中国油脂,2018,43(8):148-151.
 [19] 黄宏南,陈宏靖. 特殊植物油中维生素E的HPLC分析[J]. 食品科学,2000,21(8):36-37.
 [20] 张协光,彭祖茂,张涵,等. 薄层色谱联用气相色谱法研究食用植物油中sn-2位脂肪酸的分布[J]. 中国油脂,2017,42(7):35-39.
 [21] 赵敏. 亚油酸及亚油酸甲酯的抗炎作用研究[D]. 成都:西南交通大学,2012.
 [22] 马宏峰. 亚油酸对高脂小鼠脂质代谢的影响及其机制研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2007.
 [23] KAUFMANN J A, BICKFORD P C, TAGLIALATELA G. Free radical-dependent change in constitutive nuclear factor kappa B in the aged hippocampus [J]. Neuroreport, 2002, 13(15): 1917-1920.
 [24] 哈木拉提·吾甫尔,阿不都热依木·玉素甫,阿布都艾尼·阿布力米提. 羟自由基引发的DNA氧化损伤机理的研究进展[J]. 新疆医科大学学报,2000,23(3): 273-275.