

马泡瓜籽油成分分析及氧化稳定性研究

江 聪¹, 李心怡¹, 姜青山², 王小三¹, 陈徽岳², 马宗新², 陈金良²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 安徽有机良庄农业科技股份有限公司, 安徽 阜阳 236633)

摘要:采用溶剂浸出法提取马泡瓜籽油, 对马泡瓜籽油的理化性质和营养组分进行了分析, 通过Rancimat加速氧化实验对其氧化稳定性进行测定。结果表明: 马泡瓜籽的粗脂肪含量为 $(27.96 \pm 2.15)\%$; 马泡瓜籽油的酸值(KOH)(0.24 mg/g)、过氧化值(0.036 g/100 g)均达到了食品安全国家标准; 马泡瓜籽油中共检测出8种脂肪酸和7种甘油三酯, 主要是亚油酸(68.56%)和三不饱和甘油三酯(66.50%); 马泡瓜籽油中植物甾醇(总含量619.21 mg/100 g, 其中粘霉烯醇140.83 mg/100 g)、角鲨烯(38.01 mg/100 g)和生育酚(546.60 mg/kg)的含量较高; 马泡瓜籽油的氧化稳定性优于葵花籽油, 运用外推法计算出25℃条件下马泡瓜籽油的氧化诱导时间为582.43 h。研究证明马泡瓜籽油具有很好的应用前景。

关键词:马泡瓜籽油; 氧化稳定性; 亚油酸; 生育酚; 植物甾醇; 角鲨烯; 粘霉烯醇

中图分类号: TS225.1; TQ641 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)02-0109-06

Composition analysis and oxidative stability of *Cucumis melo* var. *agrestis* seed oil

JIANG Cong¹, LI Xinyi¹, JIANG Qingshan², WANG Xiaosan¹,
CHEN Huiyue², MA Zongxin², CHEN Jinliang²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;

2. Anhui Organic Liangzhuang Agricultural Technology Co., Ltd., Fuyang 236633, Anhui, China)

Abstract: The oil was extracted from *Cucumis melo* var. *agrestis* seed by solvent leaching. The physicochemical characteristics and nutrient components of the oil were investigated, and the oxidative stability of the oil was determined by Rancimat accelerated oxidation test. The results showed that the crude oil content of *Cucumis melo* var. *agrestis* seed was $(27.96 \pm 2.15)\%$. The acid value (0.24 mgKOH/g) and peroxide value (0.036 g/100 g) of the oil met the national standard for the quality of edible oils. Eight different fatty acids and seven different triglycerides, mainly linoleic acid (68.56%) and tri-unsaturated triglycerides (66.50%), were detected in the oil. The oil contained high contents of phytosterol (619.21 mg/100 g, in which 140.83 mg/100 g of glutinol), squalene (38.01 mg/100 g) and tocopherol (546.60 mg/kg). The oxidative stability of *Cucumis melo* var. *agrestis* seed oil was superior to that of sunflower seed oil, and its oxidation induction time at 25℃ was 582.43 h calculated using the extrapolation method. The *Cucumis melo* L. var. *agrestis* seed oil has a high application prospect as edible vegetable oil.

Key words: *Cucumis melo* var. *agrestis* seed oil; oxidative stability; linoleic acid; tocopherol; phytosterol; squalene; glutinol

收稿日期: 2021-03-02; 修回日期: 2021-09-17

作者简介: 江 聪(1996), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学与工程(E-mail)6190112046@stu.jiangnan.edu.cn。

通信作者: 陈金良, 助理农艺师(E-mail) a9689998@126.com。

马泡瓜(*Cucumis melo* L. var. *agrestis*)为葫芦科甜瓜属, 又名甜马宝、小野瓜等^[1]。马泡瓜原产于非洲, 在印度和苏丹野生马泡瓜在未成熟时作为蔬菜食用, 在成熟期作为水果食用^[2]。马泡瓜在我国主要分布于山东单县、江苏、安徽、河南等地, 普遍为野生。

马泡瓜提取物及其馏分可降低血糖水平,可以用作抗糖尿病和降血脂药^[3]。Pandey 等^[4]对 39 种甜瓜进行分析,发现马泡瓜的营养性状值最高。

马泡瓜籽是马泡瓜的种子,呈淡黄色,长椭圆形,表面光滑,种仁白色。纪佳璐等^[5]通过压榨法对马泡瓜籽的油脂进行提取,出油率达到 25%,研究发现马泡瓜籽油的脂肪酸主要为不饱和脂肪酸,不仅可作为新型功能性油脂,也有潜力成为 γ -生育酚和亚油酸的良好来源。Hao 等^[6]研究发现马泡瓜籽油含有 71.3% 的多不饱和脂肪酸,动物实验表明马泡瓜籽油通过调节肠道菌群来降低血浆胆固醇含量。另外,马泡瓜籽油还具有抗氧化、抗真菌和抗炎活性^[7]。

《全国大宗油料作物生产发展规划(2016—2020 年)》指出,我国已成为世界上最大的食用植物油和大豆进口国,食用植物油自给率不到 40%,因此迫切需要进一步提高国内油料生产能力。马泡瓜籽含油率高,营养价值高,并且国内一些省份已经开始种植马泡瓜,其可作为一种新油源进行开发,但是目前有关马泡瓜籽油的研究报道很少。因此,本研究以马泡瓜籽为原料,采用溶剂浸出法提取马泡瓜籽油,对马泡瓜籽油的理化性质、营养组分及氧化稳定性进行研究,以期为开发利用马泡瓜提供一定的理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

马泡瓜籽,产自安徽省阜阳市。大豆油、葵花籽油,市售。

脂肪酸甲酯标准品(37 种脂肪酸甲酯混标)、 5α -胆甾烷- 3β -醇、N,O-双(三甲基硅基)三氟乙酰胺(BSTFA)、三甲基氯硅烷(TMCS)、角鲨烷、甘油三酯标准品, Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司;正己烷、无水碳酸钠、无水乙醇、碘化钾、氢氧化钾、三氯甲烷、冰乙酸等均为分析纯,上海国药试剂公司;正己烷、异丙醇为色谱纯,百灵威科技有限公司。

SER148 索氏抽提仪、Agilent 7820A 气相色谱仪,安捷伦科技有限公司;单重四级杆气相色谱质谱联用仪,美国 Thermo 公司;1200 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;Re-52 型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;743 型 Rancimat 氧化酸败仪,瑞士万通公司;PFX 880 比色计,德国罗维朋公司。

1.2 实验方法

1.2.1 马泡瓜籽粗脂肪含量的测定

参照 GB 5009.6—2016 中索氏抽提法对马泡瓜

籽粗脂肪含量进行测定。

1.2.2 马泡瓜籽油的提取

参考鲍赛^[8]的方法,将马泡瓜籽去除肉眼可见杂质,烘干至恒重后进行机械粉碎,将粉碎后的马泡瓜籽粉全部转移至烧杯中,加入正己烷,浸泡数小时后,抽滤,将所得含油溶液全部转移至旋蒸瓶,于 45℃ 真空旋转蒸发除去溶剂,即得马泡瓜籽油。

1.2.3 酸值、过氧化值、色泽的测定

酸值按照 GB 5009.229—2016 的方法进行测定;过氧化值按照 GB 5009.227—2016 的方法进行测定;色泽按照 GB/T 22460—2008 的方法进行测定。

1.2.4 脂肪酸组成的测定

采用气相色谱法对马泡瓜籽油的脂肪酸组成进行测定。

样品前处理:称取 25 mg 油样溶于 2 mL 正己烷中,加入 500 μ L 氢氧化钾甲醇溶液(2 mol/L)。使用旋涡振荡器振荡 2 min,取上层有机相转移至 2 mL 离心管中,加入无水硫酸钠,振荡 3 min,在 8 000 r/min 的转速下离心 5 min,过 0.22 μ m 有机相滤膜。

气相色谱条件:DB-Fast FAME 色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);升温程序为 80℃ 保持 0.5 min,以 40℃/min 升温至 165℃,保持 1 min,以 4℃/min 升温至 230℃,保持 4 min;检测器和进样口温度均为 250℃;进样量 1.0 μ L;分流比 100:1;载气为高纯氮气(体积分数为 99.99%),流速 1.2 mL/min;程序运行时间 23.875 min。根据脂肪酸甲酯混标的保留时间进行脂肪酸定性,采用峰面积归一化法进行脂肪酸定量。

1.2.5 甘油三酯组成的测定

参考高亮^[9]的方法,采用配有蒸发光检测器的反相高效液相色谱仪(RP-HPLC)分析马泡瓜籽油的甘油三酯组成。取 20 mg 油样溶于 1.2 mL 色谱纯正己烷中,过 0.22 μ m 有机相滤膜后,经反相高效液相色谱仪进行检测分析。

高效液相色谱条件:Lichrospher C18 色谱柱(250 mm \times 4.6 mm \times 5 μ m),蒸发光检测器温度 55℃,空气流速 1.8 mL/min,增益值 1,洗脱流速 0.8 mL/min,进样量 20 μ L,进样质量浓度 20 mg/mL。对于有标准品的甘油三酯,采用标准品对产物进行定性,对于未有标准品的甘油三酯,采用当量碳原子数(ECN)结合 RP-HPLC 出峰的规律(ECN 越大,出峰时间越长;ECN 相同时,不饱和度越小的甘油三酯,出峰时间越长)对产物进行定性。采用

峰面积归一化法进行定量。

1.2.6 植物甾醇含量的测定

采用气相色谱质谱联用法(GC-MS)检测马泡瓜籽油中的植物甾醇含量,样品前处理和测定方法参考毛家辉^[10]的方法。

样品前处理:准确称取马泡瓜籽油0.2~0.3 g(精确到0.001 g),加入0.5 mL 5 α -胆甾烷-3 β -醇(0.5 mg/mL)内标和3 mL 氢氧化钾乙醇溶液(2 mol/L),于85℃水浴1 h,冷却后加入2 mL 蒸馏水和5 mL 正己烷,离心取上清液,下层用5 mL 正己烷再提取2次,合并上清液并用2 mL 蒸馏水洗涤至中性,有机相用氮气吹干,加入200 μ L BSTFA-TMCS(体积比99:1)硅烷化试剂,置于75℃水浴中30 min,冷却,过0.22 μ m 有机相滤膜。

气相色谱条件:DB-5 毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);进样量1.0 μ L;分流比100:1;载气为99.99% 氮气,流速1.2 mL/min;检测器和进样口温度均为280℃;升温程序为200℃保持1 min,以10℃/min 升温至300℃,保持18 min。质谱条件:离子化模式为EI,离子源温度280℃,传输线温度250℃,扫描范围(m/z)50~500。

采用NIST 谱库(2017)确定植物甾醇种类,通过内标5 α -胆甾烷-3 β -醇与样品峰面积比计算植物甾醇含量。

1.2.7 角鲨烯含量的测定

内标为0.5 mL 角鲨烷(0.5 mg/mL),具体测定方法与植物甾醇含量的测定方法相同。

1.2.8 生育酚含量的测定

按照GB/T 26635—2011《动植物油脂 生育酚及生育三烯酚含量测定 高效液相色谱法》测定生育酚含量。

1.2.9 Rancimat 加速氧化实验

称取3.0 g 待测油样于反应管中,每个电池中加入70 mL 超纯水,空气流量为20 L/h,预先将加热池的温度加热到实验温度后放置反应管,同时开始记录。实验曲线采用仪器自动积分分析,以诱导时间突变点为反应终点^[11]。

1.2.10 数据统计与分析

使用SPSS 23 和 Excel 2016 软件分析统计数据,Origin 2018 软件作图。

2 结果与分析

2.1 马泡瓜籽的粗脂肪含量

采用索氏抽提法得到马泡瓜籽的粗脂肪含量为(27.96 \pm 2.15)%,比大豆(18.90%~21.67%)粗脂

肪含量高^[12],说明马泡瓜籽有潜力作为新兴油料。

2.2 马泡瓜籽油的理化性质

马泡瓜籽油的理化性质如表1所示。

表1 马泡瓜籽油的理化性质

色泽 (罗维朋29 mm 槽)	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (g/100 g)
红0.6,黄3.3	0.24 \pm 0.01	0.036 \pm 0.001

马泡瓜籽油在室温下为浅黄色、透明的液体,具有独特的油脂清香。由表1可知,马泡瓜籽油的色泽为红0.6、黄3.3,酸值和过氧化值均满足GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中的相关规定。

2.3 马泡瓜籽油的脂肪酸组成及相对含量

马泡瓜籽油的脂肪酸组成及相对含量如表2所示。

表2 马泡瓜籽油的脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	相对含量/%
C16:0	8.84 \pm 0.05
C16:1	0.10 \pm 0.01
C18:0	5.34 \pm 0.04
C18:1	16.49 \pm 0.02
C18:2	68.56 \pm 0.10
C18:3	0.25 \pm 0.02
C20:0	0.22 \pm 0.01
C20:1	0.14 \pm 0.00
SFA	14.40 \pm 0.02
MUFA	16.73 \pm 0.04
PUFA	68.81 \pm 0.11

注:SFA为饱和脂肪酸,MUFA为单不饱和脂肪酸,PUFA为多不饱和脂肪酸。

从表2可看出,马泡瓜籽油中共检测到8种脂肪酸,主要的脂肪酸为亚油酸(C18:2),其次是油酸(C18:1)。亚油酸是n-6系不饱和脂肪酸,在人体中可以转变为 γ -亚麻酸,并继而生成花生四烯酸^[13]。马泡瓜籽油中多不饱和脂肪酸的含量在68%以上,高于常见植物油(大豆油、葵花籽油、花生油、芝麻油、菜籽油、棉籽油等)中多不饱和脂肪酸含量(最高为61.34%)^[14]。可见,马泡瓜籽油可作为优质食用植物油脂资源开发利用。

2.4 马泡瓜籽油的甘油三酯组成及相对含量

马泡瓜籽油的甘油三酯组成及相对含量如表3所示。

由表3可以看出,马泡瓜籽油中共检测到7种甘油三酯,主要由三不饱和甘油三酯(UUU)和一饱

和二不饱和甘油三酯(SUU)构成,其含量分别为66.50%和33.14%,与马泡瓜籽油中单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量高的总脂肪酸组成相对应。

表3 马泡瓜籽油的甘油三酯组成及相对含量

甘油三酯	相对含量/%
LLL	40.51 ± 0.10
OLL	24.61 ± 0.06
PLL	21.33 ± 0.05
OOL	1.38 ± 0.02
POL	11.29 ± 0.03
PPL	0.36 ± 0.01
StOL	0.52 ± 0.01
SSU	0.36 ± 0.01
SUU	33.14 ± 0.11
UUU	66.50 ± 0.14

注: P为C16:0, St为C18:0, O为C18:1, L为C18:2; S为饱和脂肪酸, U为不饱和脂肪酸; 表中甘油三酯仅代表组成, 不代表位置分布。

2.5 马泡瓜籽油的植物甾醇和角鲨烯含量

马泡瓜籽油的植物甾醇和角鲨烯含量见表4。

表4 马泡瓜籽油的植物甾醇和角鲨烯含量

项目	含量/(mg/100 g)
豆甾醇	12.92 ± 0.61
粘霉烯醇	140.83 ± 7.01
麦角甾-7,22-二烯-3 β -醇	453.88 ± 22.77
其他甾醇	11.58 ± 0.60
植物甾醇总量	619.21 ± 41.33
角鲨烯	38.01 ± 2.65

植物甾醇是植物油中广泛存在的不皂化物,具有降低胆固醇、抗炎和抗癌等生理活性^[15]。由表4可知,马泡瓜籽油中检测出豆甾醇、粘霉烯醇和麦角甾-7,22-二烯-3 β -醇,其中粘霉烯醇的含量为140.83 mg/100 g,粘霉烯醇作为一种植物油中不常见的植物甾醇,具有抗炎和镇痛活性。Adebayo等^[16]首次从非洲黄柏叶中分离出粘霉烯醇,并且研究发现非洲黄柏叶正己烷分提物具有良好的抗炎活性。马泡瓜籽油中植物甾醇总量为619.21 mg/100 g。薛莉^[17]调查发现大豆油中植物甾醇的平均含量为359.25 mg/100 g,花生油中植物甾醇的平均含量为233.00 mg/100 g,葵花籽油中植物甾醇的平均含量为253.95 mg/100 g,马泡瓜籽油中植物甾醇的含量均高于这3种食用植物油。

角鲨烯是一种对人体有益的不饱和烃类化合物,由于其良好的生物活性被广泛用于食品和化妆

品等领域^[18]。朱琳等^[19]采用气相色谱法测定植物油中角鲨烯含量,发现葵花籽油、米糠油和芝麻油中角鲨烯含量分别为46.02、18.28 mg/kg和14.74 mg/kg。廖杰等^[20]研究发现,菜籽油、茶籽油、大豆油和花生油中角鲨烯含量分别为17.18、17.56、51.81 μ g/mL和66.31 μ g/mL。马泡瓜籽油中角鲨烯含量为380.1 mg/kg,明显高于大宗油脂,证明马泡瓜籽油具有较高的营养价值。

2.6 马泡瓜籽油的生育酚含量

马泡瓜籽油的生育酚含量见表5。

表5 马泡瓜籽油的生育酚含量

生育酚	含量/(mg/kg)
α -生育酚	31.25
γ -生育酚	515.35
总量	546.60

由表5可知,马泡瓜籽油中含有31.25 mg/kg的 α -生育酚和515.35 mg/kg的 γ -生育酚, γ -生育酚含量较高。刘慧敏^[21]调查了13种植物油的生育酚含量,总生育酚含量在173.21~2 573.69 mg/kg,其中花生油、芝麻油、茶籽油和橄榄油总生育酚含量分别为372.66、510.64、198.51 mg/kg和205.80 mg/kg,小麦胚芽油总生育酚含量最高,为2 573.69 mg/kg,但是其 γ -生育酚含量仅有167.68 mg/kg。可见,马泡瓜籽油具有较高的生育酚含量。

2.7 马泡瓜籽油的氧化稳定性

2.7.1 马泡瓜籽油 Rancimat 加速氧化实验

油脂的氧化稳定性是衡量油脂品质的重要指标。Rancimat法可快速、准确、直观地测定油脂氧化稳定性。分别在110、120、130、140 $^{\circ}$ C下测定马泡瓜籽油、市售大豆油和市售葵花籽油的氧化诱导时间,结果如表6所示。

表6 温度对植物油氧化诱导时间的影响

温度/ $^{\circ}$ C	氧化诱导时间/h		
	大豆油	葵花籽油	马泡瓜籽油
110	6.16 ± 0.04	3.42 ± 0.03	6.36 ± 0.05
120	3.23 ± 0.03	1.91 ± 0.01	3.08 ± 0.01
130	1.61 ± 0.01	1.00 ± 0.00	1.74 ± 0.02
140	1.07 ± 0.01	0.94 ± 0.01	1.26 ± 0.01

由表6可以看出:在110、130 $^{\circ}$ C和140 $^{\circ}$ C条件下,马泡瓜籽油的氧化诱导时间始终大于大豆油和葵花籽油的氧化诱导时间;在120 $^{\circ}$ C条件下,马泡瓜籽油的氧化诱导时间略低于大豆油的氧化诱导时间,高于葵花籽油的氧化诱导时间,说明马泡瓜籽油的氧化稳定性优于葵花籽油,接近于大豆油。当植物油暴露在高温下时,会发生氧化变质,

氧化诱导时间相对缩短,然而,如果油脂中含有天然抗氧化剂,往往会提高其氧化稳定性。纪佳璐等^[5]研究发现马泡瓜籽油含有73.50%的多不饱和脂肪酸,菜籽油含有21.32%的多不饱和脂肪酸,利用热分析技术(差示扫描量热)研究发现马泡瓜籽油的氧化稳定性优于菜籽油,与理论上高含量的多不饱和脂肪酸会使油脂更容易氧化不符,推测是马泡瓜籽油中的生育酚等抗氧化物质提高了其氧化稳定性。

2.7.2 马泡瓜籽油 25℃ 下的氧化诱导时间

由于油脂氧化诱导时间的自然对数($\ln t$)和目标温度(T)线性相关,根据表6的实验结果,利用外推法对 $\ln t$ 和 T 进行线性回归拟合,推算出马泡瓜籽油、市售大豆油和市售葵花籽油在25℃下的氧化诱导时间,结果见表7。

表7 不同植物油在25℃下的氧化诱导时间

植物油	氧化诱导时间/h
大豆油	925.65
葵花籽油	144.86
马泡瓜籽油	582.43

由表7可知,马泡瓜籽油在未添加任何抗氧化剂的条件下,在25℃下的氧化诱导时间是葵花籽油氧化诱导时间的4倍,大豆油的氧化诱导时间高于马泡瓜籽油,说明马泡瓜籽油在常温条件下的氧化稳定性介于大豆油和葵花籽油之间,这可能与马泡瓜籽油中含有丰富的天然抗氧化物质相关,可以通过添加抗氧化剂进一步提高马泡瓜籽油的氧化稳定性。

3 结论

采用索氏抽提法得到马泡瓜籽的粗脂肪含量为(27.96±2.15)%,该油在室温下为浅黄色、透明的液体,具有独特的油脂清香。马泡瓜籽油的酸值和过氧化值符合GB 2716—2018的规定,亚油酸是马泡瓜籽油中最主要的脂肪酸,相对含量达到68.56%,三不饱和甘油三酯是马泡瓜籽油中最主要的甘油三酯,其中主要为三亚油酸甘油三酯。此外,马泡瓜籽油中植物甾醇(619.21 mg/100 g)、角鲨烯(38.01 mg/100 g)和生育酚(546.60 mg/kg)的含量均高于一般植物油。由于含有植物甾醇、角鲨烯和生育酚等活性物质,马泡瓜籽油具有较强的氧化稳定性。通过Rancimat加速氧化实验,对马泡瓜籽油和市售大豆油与葵花籽油的氧化诱导时间进行了比较,在110、120、130℃和140℃条件下,马泡瓜籽油的氧化诱导时

间分别为6.36、3.08、1.74 h和1.26 h,其氧化稳定性优于葵花籽油,运用外推法对氧化诱导时间和温度进行线性回归拟合,计算出25℃条件下马泡瓜籽油的氧化诱导时间为582.43 h。因此,马泡瓜籽油具有很好的应用前景。马泡瓜籽具有种子的一般结构,由种皮、胚和胚乳三部分组成,在今后的研究中可以就马泡瓜籽不同部位的组分、活性成分提取及功能性产品研发等方面进行进一步的探究,以提高这一新兴野生资源的利用率。

参考文献:

- [1] 马宗新. 一种新型野生植物新食品资源调查研究[J]. 农业与技术, 2020, 40(1): 32-34.
- [2] ARORA R, KAUR M, GILL N S. Antioxidant activity and pharmacological evaluation of *Cucumis melo* var. *agrestis* methanolic seed extract [J]. Res J Phytochem, 2011, 5(3): 146-155.
- [3] SRIVASTAVA A K, MUKERJEE A, TRIPATHI A. Antidiabetic and antihyperlipidemic activities of *Cucumis melo* var. *momordica* fruit extract on experimental animals [J/OL]. Futur J Pharm Sci, 2020, 6(1): 92 [2021-03-01]. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00116-z>.
- [4] PANDEY A, RANJAN P, AHLAWAT S P, et al. Studies on fruit morphology, nutritional and floral diversity in less-known melons (*Cucumis melo* L.) of India [J]. Genet Resour Crop Evol, 2021, 68(4): 1453-1470.
- [5] 纪佳璐, 吴莹, 徐斐然, 等. 马泡瓜籽油理化特性、组成分析及氧化稳定性[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 15-21.
- [6] HAO W, ZHU H, CHEN J, et al. Wild melon seed oil reduces plasma cholesterol and modulates gut microbiota in hypercholesterolemic hamsters [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(7): 2071-2081.
- [7] HUI L C, XU W P, CHEN W, et al. Characterization of the complete chloroplast genome of *Cucun mismelo* L. var. *agrestis* Naud [J]. Mitochondrial DNA B, 2020, 5(3): 2744-2745.
- [8] 鲍赛. 桑葚籽油提取技术及性质研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2019.
- [9] 高亮. 1-油酸-2-棕榈酸-3-亚油酸甘油三酯的酶法合成及高相似性人乳替代脂的制备[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2020.
- [10] 毛家辉. 品种、产地和制油工艺对糠籽油成分的影响[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2017.
- [11] JAIN S, SHARMA M P. Review of different test methods for the evaluation of stability of biodiesel [J]. Renew Sust Energ Rev, 2010, 14(7): 1937-1947.
- [12] 侯欢欢. 大豆含油率与酸值同步方法研究及在谷物检测中的应用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.

(下转第135页)

3 结论

本文用微波消解对蛋黄卵磷脂样品进行前处理,用 ICP-MS 测定其中的 15 种金属元素含量。结果表明,该方法各元素的线性关系良好,相关系数 (R) 均大于 0.999。各元素方法检出限在 0.03 ~ 0.65 ng/mL 之间,定量限在 0.10 ~ 1.97 ng/mL 之间。该方法的仪器精密度良好, RSD ($n = 6$) 在 0.45% ~ 4.67% 之间,重复性 RSD ($n = 6$) 在 1.78% ~ 8.72% 之间,中间精密度 RSD ($n = 12$) 在 2.24% ~ 9.45% 之间。15 种金属元素低、中、高 3 个水平的加标回收率在 92.67% ~ 132.90% 之间, RSD 在 1.42% ~ 7.00% 之间。样品溶液在 2 ~ 8 °C 条件下保存 72 h 稳定性良好, RSD 在 0.56% ~ 3.93% 之间。实验结果符合方法学考察要求,该方法快速、准确、灵敏度高,可用于蛋黄卵磷脂中 15 种金属元素的同时测定。

参考文献:

- [1] 李继荣,唐顺之,牟肖男,等. 蛋黄卵磷脂中鞘磷脂的分离与结构鉴定[J]. 广东化工,2016,43(22):206-207.
- [2] 徐明明,吕晶,方欣欣,等. 蛋黄卵磷脂和蛋黄磷脂酰胆碱的组成与结构分析[J]. 中国药师,2014,17(10):1669-1672.
- [3] 王国财,袁诚,唐顺之,等. 蛋黄卵磷脂中两种溶血磷脂的分离与结构鉴定[J]. 中国油脂,2019,44(3):158-160.
- [4] 朱帅,黄梦玲,吴倩倩,等. 蛋黄卵磷脂的结构、提取、功能与脂质体研究进展[J]. 粮油食品科技,2020,28(3):18-25.
- [5] 常皓,王二雷,宫新统,等. 蛋黄卵磷脂研究概况[J]. 食品工业科技,2010,31(5):414-420.
- [6] 常皓,刘静波. 蛋黄卵磷脂的提取及其铜、铁含量测定

[C]//第十三届中国科协年会“食品营养与健康”国际研讨会论文集. 天津:中国科学技术协会,2011.

- [7] 陈红,张亿,朱蓉. ICP-MS 法测定蛋黄卵磷脂中微量元素含量[J]. 药物分析杂志,2010,30(7):1279-1281.
- [8] 顾霄,朱思琪,郑金琪. 葡萄糖酸钙注射液中 24 种元素杂质测定方法的建立[J]. 药物分析杂志,2020,40(2):278-284.
- [9] 李旭,吴维吉,刘佳,等. 微波灰化电感耦合等离子体质谱法测定小麦中 6 种金属元素含量[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(4):866-869.
- [10] 孙清海,罗兆亮. 微波消解-ICP-MS 法测定盐酸阿比朵尔中 5 种金属元素残留[J]. 中南药学,2020,18(12):1279-1281.
- [11] 孔维恒,严华,徐姗,等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定橄榄油中的 18 种金属元素[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(11):4330-4335.
- [12] 朱俐,赵瑜,姚尚辰,等. 药物中元素杂质检测技术研究最新进展[J]. 分析测试学报,2020,39(4):547-554.
- [13] 薛梅,邢常瑞,孙梦璐,等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定桃胶中 22 种矿物元素含量[J]. 安徽农业大学学报,2020,47(4):1-7.
- [14] 许雯雯,孙震,周凤梅,等. ICP-MS 法测定盐酸安舒法辛缓释片中 7 个元素杂质含量[J]. 药物分析杂志,2019,39(2):319-327.
- [15] 倪张林,汤富彬,屈明华,等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定油茶籽和核桃中的 8 种金属元素[J]. 中国油脂,2013,38(5):84-87.
- [16] 李耀磊,金红宇,韩笑,等. 电感耦合等离子体质谱测定法中汞元素记忆效应与稳定性研究[J]. 中国药理学杂志,2019,54(1):53-57.

(上接第 113 页)

- [13] TEICHERT S A, AKOH C C. Modifications of stearidonic acid soybean oil by enzymatic acidolysis for the production of human milk fat analogues [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(24):13300-13310.
- [14] 姜波,胡文忠,刘长建,等. 九种植物油中脂肪酸成分的比较研究[J]. 食品工业科技,2015,36(8):108-113,118.
- [15] 周路,徐宝成,尤思聪,等. 植物甾醇生理功能及安全性评估研究新进展[J]. 中国粮油学报,2020,35(6):196-202.
- [16] ADEBAYO S A, SHAI L J, ELOFF J N. First isolation of glutinol and a bioactive fraction with good anti-inflammatory activity from *n*-hexane fraction of

Peltophorum africanum leaf [J]. Asian Pac J Trop Med, 2017, 10(1):42-46.

- [17] 薛莉. 食用植物油特质营养成分组成与分布研究[D]. 北京:中国农业科学院,2018.
- [18] 张光杰,杨利玲,袁超,等. 角鲨烯开发及应用研究进展[J]. 粮食与油脂,2017,30(12):7-10.
- [19] 朱琳,薛雅琳,刘晓辉,等. 气相色谱内标法测定植物油中角鲨烯含量[J]. 中国粮油学报,2017,32(12):117-120.
- [20] 廖杰,赵玉兰,李宁,等. 植物油中角鲨烯的 GC/MS 分析[J]. 现代仪器,2008,3(5):36-37.
- [21] 刘慧敏. 不同植物油微量成分与抗氧化能力的相关性研究[D]. 江苏无锡:江南大学,2015.