

不同提取方法对辣木籽原油和精炼油品质的影响

王标诗^{1,2}, 杜京蔚¹, 刘淑敏^{1,2}, 张世奇^{1,2}, 胡小军^{1,2}, 彭元怀^{1,2}, 江敏^{1,2}, 张卫国^{1,2}

(1. 岭南师范学院 食品科学与工程学院, 广东 湛江 524048; 2. 广东省辣木资源开发与利用工程技术研究中心, 广东 湛江 524048)

摘要:为探索辣木籽油的高效提取方法,以辣木籽为原料,分别采用索氏抽提法、乙醇水法和水酶法提取辣木籽原油,通过脱胶、脱酸工艺制备辣木籽精炼油,测定辣木籽原油和精炼油的理化指标、叶绿素和类胡萝卜素含量及脂肪酸组成,分析不同提取方法对辣木籽原油和精炼油品质的影响。结果表明:乙醇水法对辣木籽油的气味有一定影响,3种提取方法对辣木籽原油和精炼油的色泽和透明度影响不大;3种提取方法中,水酶法辣木籽原油的酸值,其原油和精炼油的碘值、水分及挥发物含量均最大,氧化诱导时间最长,叶绿素和类胡萝卜素含量最低;3种提取方法对辣木籽油的脂肪酸组成及相对含量无显著影响($p > 0.05$)。综上,3种提取方法中水酶法提取的辣木籽油的品质总体上较优。

关键词:辣木籽油;索氏抽提法;乙醇水法;水酶法;脱胶和脱酸;精炼油

中图分类号:TS224;TQ644 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)06-0024-06

Effect of different extraction methods on the quality of crude oil and refined oil from *Moringa oleifera* seed

WANG Biaoshi^{1,2}, DU Jingwei¹, LIU Shumin^{1,2}, ZHANG Shiqi^{1,2}, HU Xiaojun^{1,2}, PENG Yuanhuai^{1,2}, JIANG Min^{1,2}, ZHANG Weiguo^{1,2}

(1. School of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, Guangdong, China; 2. Guangdong Engineering Technology Research Center of Development and Utilization of *Moringa oleifera*, Zhanjiang 524048, Guangdong, China)

Abstract: To explore the efficient extraction method of *Moringa oleifera* seed oil, *Moringa oleifera* seed crude oil was extracted by Soxhlet extraction method, ethanol-water method and aqueous enzyme method, respectively, and *Moringa oleifera* seed refined oil was prepared by degumming and deacidification process. The physicochemical indexes, chlorophyll and carotenoid contents and fatty acid composition of *Moringa oleifera* seed crude oil and refined oil were determined to analyze the effects of different extraction methods on the quality of *Moringa oleifera* seed crude oil and refined oil. The results showed that the color and transparency of the crude oil and refined oil were not significantly affected by the three extraction methods, and the ethanol-water method had some effect on the odor of the crude oil and refined oil. Among the three extraction methods, the acid value of the crude oil extracted by aqueous enzyme method, iodine value, moisture and volatile matter contents of the crude oil and refined oil extracted by aqueous enzyme method were the largest, the oxidation induction time was the longest, and the chlorophyll and carotenoid contents were the lowest. The fatty acid composition and relative content of *Moringa oleifera* seed oil were not significantly affected by the three extraction methods ($p > 0.05$). In conclusion, the quality of *Moringa*

oleifera seed oil extracted by aqueous enzyme method is generally superior among the three extraction methods.

Key words: *Moringa oleifera* seed oil; Soxhlet extraction method; ethanol-water method; aqueous enzyme method; degumming and deacidification; refined oil

收稿日期:2022-02-14;修回日期:2023-04-30

基金项目:广东省自然科学基金项目(2022A1515010360);
湛江市科技发展专项资金竞争性分配项目(2022A01056)

作者简介:王标诗(1980),男,副教授,博士,研究方向为热带特色农副产品深加工及高值化综合利用、食品加工及安全
(E-mail)hang_kong2002@163.com。

辣木(*Moringa oeifera*),为辣木科、辣木属多年生植物,是印度北部喜马拉雅山南麓的速生树种,又称“鼓槌树”“奇迹之树”^[1]。辣木有“植物面包”之称,其根、茎、叶、种子等既可作为蔬菜食用,又极具药用价值。辣木叶中活性成分如黄酮、多酚类物质具有抗炎、抗氧化以及抗肿瘤等生理功效^[2-3]。辣木籽中含有40%左右的油脂,辣木籽油脂脂肪酸组成类似于橄榄油^[4],已被证实是安全无毒的可食用油脂^[5]。同时,辣木籽油黏度较低,可广泛应用于香料、化妆品和防腐剂的制作^[6]。在国外,辣木籽油也被作为生物能源加以开发利用^[7]。

机械压榨法和有机溶剂浸出法是传统的油脂提取方法,随着人们生活水平的提高和现代科技的发展,油脂提取新工艺逐渐被开发出来并应用到油脂加工过程中,如超声波辅助有机溶剂法^[8]、超临界流体萃取法^[9-10]、水酶法^[11-14]及乙醇水法^[15]等。综合来看,不同提取方法对辣木籽原油品质的影响不同。此外,原油品质存在差异,也会影响精炼油的品质。

本实验以辣木籽为原料,分别通过索氏抽提法、乙醇水法和水酶法提取得到辣木籽原油,并对其进行脱胶和脱酸处理制备精炼油,考察不同提取方法对辣木籽原油和精炼油感官特性,酸值,碘值,氧化稳定性,叶绿素、类胡萝卜素、水分和挥发物含量及脂肪酸组成的影响,以期为高品质辣木籽油提取方法的选择提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

辣木籽,湛江市旭昇南药种植专业合作社。

中性蛋白酶(最适 pH 5.5~7.5,最适温度 45~55℃,活力 6 万 U/g)、碱性蛋白酶(最适 pH 8.5~10.5,最适温度 50~60℃,活力 20 万 U/g),北京奥博星生物技术有限责任公司;盐酸、NaOH、无水乙醇、无水乙醚、三氯甲烷、环己烷、冰乙酸、碘化钾、硫代硫酸钠、氢氧化钾,均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

FA2204B 电子天平,上海精科天美科学仪器有限公司;DFY-800 万能粉碎机,温岭山林大机械有限公司;HZS-HA 水浴振荡器,广州市德科生物科技有限公司;TGL16M 高速冷冻离心机,盐城市凯特实验仪器有限公司;TU-1810DASPC 紫外-分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;BAO-50A 精密鼓风干燥箱,施都凯仪器设备(上海)有限公司;892 专业型 Rancimat 油脂氧化稳定性测定仪,瑞

士万通中国有限公司;DFD-700 电热恒温水浴锅,天津泰斯特仪器有限公司;SXT-06 索氏提取器,上海洪纪仪器设备有限公司;JK1652 双向磁力加热搅拌器,北京精凯达仪器有限公司;RE-2000B 旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂;Agilent7890 气相色谱仪,美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

选择色泽均匀、无虫蛀、无霉变的辣木籽,置于 55℃ 干燥箱中烘干 72 h,冷却后用万能粉碎机破碎,过 0.178 mm (80 目)分样筛,备用。

1.2.2 辣木籽油的提取

索氏抽提法:参考魏红等^[16]的方法,称取 2 g 辣木籽仁粉于滤纸筒中,置于索氏提取器中,用无水乙醚抽提 6 h,温度控制在 45℃ 左右,抽提结束后回收乙醚,所得油脂即为索氏抽提法辣木籽原油。

水酶法:参考王标诗等^[14]的方法,分别称取 0.5 g 中性蛋白酶和碱性蛋白酶于 250 mL 烧杯中,加入 120 mL 蒸馏水及 20 g 辣木籽仁粉,调节 pH 至 5.0,用保鲜膜封住瓶口,放置于 50℃ 水浴振荡器中振荡提取 8 h,灭酶(90℃、10 min),离心(8 000 r/min、30 min),用滴管吸取上层油脂,即为水酶法辣木籽原油。

乙醇水法:参考任燕勤^[15]的方法,量取 100 mL 体积分数为 45% 的乙醇溶液于 250 mL 烧杯中,加入 20 g 辣木籽仁粉,用保鲜膜封口,放置于 25℃ 水浴振荡器中振荡提取 2 h,离心(8 000 r/min、30 min),用滴管吸取上层油脂,再通过旋转蒸发仪除去乙醇,即为乙醇水法辣木籽原油。

1.2.3 辣木籽油的精炼

脱胶:取一定量辣木籽原油于 250 mL 烧杯中,按液料比 1:100 加入 80% 的磷酸溶液,于 60℃ 水浴条件下振荡 3 min 后,以 8 000 r/min 离心 20 min,取上层油脂即为脱胶油。

脱酸:取一定量的脱胶油均匀滴加 4 mol/L NaOH 溶液(碱液用量以 $7.13 \times 10^{-4} \times \text{油质量} \times \text{酸值} \times 102\%$ 计算,超碱量 2%),于 60℃ 水浴中保温 30 min,以 5 000 r/min 离心 15 min,收集上层油脂,用热蒸馏水洗涤 2 次,以除去残余皂化物和多余的碱液,再以 5 000 r/min 离心 15 min,收集上层油脂即为精炼油。

1.2.4 辣木籽油感官特性的测定

参照 GB 5009.37—2003 对辣木籽油色泽进行测定,参照 GB/T 5525—2008 对辣木籽油气味、透明度进行测定。

1.2.5 辣木籽油酸值、碘值的测定

参照 GB 5009.37—2003 测定酸值,参照 GB/T 5532—2008 测定碘值。

1.2.6 辣木籽油氧化稳定性的测定

通过 Rancimat 法测定辣木籽油的氧化稳定性,测试参数:空气流量 15.0 L/h,测试温度 160 °C。

1.2.7 辣木籽油中叶绿素和类胡萝卜素含量的测定

参考 Minguéz - Mosquera 等^[17]的方法测定辣木籽油中叶绿素和类胡萝卜素含量。

1.2.8 辣木籽油中水分及挥发物含量的测定

参照 GB 5009.236—2016 测定辣木籽油中的水

分及挥发物含量。

1.2.9 辣木籽油中脂肪酸组成的测定

参照 GB 5009.168—2016 测定辣木籽油脂肪酸组成及相对含量。

1.2.10 数据分析

实验数据经 Excel 初步统计后用 SPSS 13.0 进行分析,所有实验平行 3 次,结果以“平均值 ± 标准差”表示, $p < 0.05$ 被认为有显著差异。

2 结果与分析

2.1 辣木籽油的感官特性

不同提取方法对辣木籽原油和精炼油感官特性的影响见表 1。

表 1 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油感官特性的影响

感官特性	索氏抽提法		乙醇水法		水酶法	
	原油	精炼油	原油	精炼油	原油	精炼油
气味	特有芳香味	特有芳香味	芳香味,微弱酒精味	芳香味,微弱酒精味	特有芳香味	特有芳香味
色泽	黄色	橙黄色	黄色	橙黄色	黄色	橙黄色
透明度	略浊	澄清	微浊	澄清	略浊	澄清

由表 1 可知,乙醇水法、索氏抽提法和水酶法辣木籽原油比较,乙醇水法可能由于残留微量乙醇而带有微弱酒精味,其他 2 种方法提取的辣木籽原油有辣木籽油特有的芳香味,精炼前后 3 种方法提取的辣木籽油气味变化不大。色泽是评价辣木籽油感官特性的关键指标之一,3 种方法提取的辣木籽原油精炼后色泽均由黄色变为橙黄色。就透明度而言,索氏抽提法和水酶法辣木籽原油有少许浑浊,乙

醇水法辣木籽原油澄清度相对较高,但也有微浊现象,精炼后,3 种方法所提辣木籽油的透明度均有所改善,变为澄清。综上可知,3 种方法提取的辣木籽油精炼后其色泽和透明度均提升,而气味没有明显变化。

2.2 辣木籽油的酸值、碘值

不同提取方法对辣木籽原油和精炼油酸值、碘值的影响见表 2。

表 2 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油酸值和碘值的影响

指标	索氏抽提法		乙醇水法		水酶法	
	原油	精炼油	原油	精炼油	原油	精炼油
酸值(KOH)/(mg/g)	1.55 ± 0.02 ^a	ND	1.56 ± 0.02 ^a	ND	3.46 ± 0.02 ^b	ND
碘值(I)/(g/100 g)	61.56 ± 0.22 ^a	65.87 ± 0.31 ^b	61.71 ± 0.18 ^a	65.95 ± 0.26 ^b	65.64 ± 0.32 ^b	68.12 ± 0.21 ^c

注:每一行上标不同字母表示差异显著($p < 0.05$);ND 表示未检出

酸值表示油脂中游离脂肪酸的含量,酸值越高,油脂品质越差。由表 2 可知,水酶法辣木籽原油酸值显著高于乙醇水法和索氏抽提法的,这可能是由于水酶法提取辣木籽油时,辣木籽内源脂肪酶未失活,促进了油脂的水解和氧化,从而导致辣木籽油酸值较高。吕秋冰等^[18]报道了水酶法提取的辣木籽油酸值(KOH)为 4.46 mg/g,Sánchez - Machado 等^[19]采用正己烷萃取的辣木籽油酸值(KOH)为 2.58 mg/g,均高于本实验结果,这可能与原料产地和处理方法有关。精炼后 3 种辣木籽油酸值均未检出,可见精炼可去除辣木籽油中的游离脂肪酸,提升辣木籽油的品质。

碘值表示油脂的不饱和度,碘值越高,则该油脂越容易被氧化。由表 2 可知,水酶法辣木籽原油碘

值显著高于索氏抽提法和乙醇水法的。3 种方法提取的辣木籽原油精炼后碘值均显著增加,索氏抽提法、乙醇水法和水酶法的碘值分别增加了 7.00%、6.87% 和 3.78%,增幅均不超过 7%。吕秋冰等^[18]报道了水酶法提取的辣木籽油碘值(I)为 64.29 g/100 g,Sánchez - Machado 等^[19]采用溶剂萃取法得到的辣木籽油碘值(I)为 63.94 g/100 g,而 Bhutada 等^[20]采用溶剂萃取法提取的辣木籽油碘值(I)为 75.06 g/100 g,与本实验结果有一定差异,这可能与原料产地不同有关。

2.3 辣木籽油的氧化稳定性

不同提取方法对辣木籽原油和精炼油氧化诱导时间的影响见表 3。

表3 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油氧化诱导时间的影响

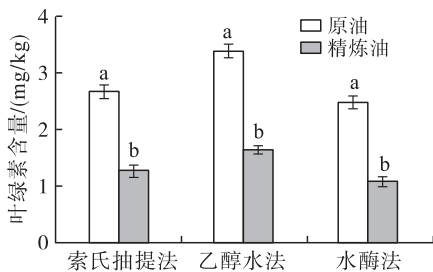
h

索氏抽提法		乙醇水法		水酶法	
原油	精炼油	原油	精炼油	原油	精炼油
1.57 ± 0.02	1.98 ± 0.02	1.82 ± 0.02	2.36 ± 0.01	2.15 ± 0.01	3.02 ± 0.02

由表3可知,不同方法提取的辣木籽原油相比,水酶法的氧化诱导时间最长,乙醇水法次之,索氏抽提法的最短。精炼后,3种方法提取的辣木籽油的氧化诱导时间均延长,其中:索氏抽提法辣木籽油的氧化诱导时间由1.57 h延长到1.98 h,延长了26.11%;乙醇水法辣木籽油的氧化诱导时间由1.82 h延长到2.36 h,延长了29.67%;水酶法辣木籽油的氧化诱导时间由2.15 h延长到3.02 h,延长了40.47%。综上,3种提取方法中,水酶法提取的辣木籽油的氧化诱导时间最长,氧化稳定性最好。

2.4 辣木籽油中叶绿素和类胡萝卜素含量

不同提取方法对辣木籽油中叶绿素和类胡萝卜素含量的影响分别见图1、图2。



注:不同字母表示同一提取方法的油样间存在显著差异($p < 0.05$)。下同

图1 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油中叶绿素含量的影响

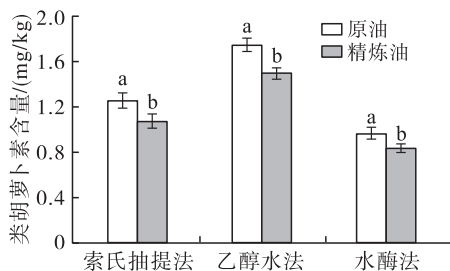


图2 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油中类胡萝卜素含量的影响

由图1可知,3种提取方法中乙醇水法辣木籽原油和精炼油中叶绿素含量最高,索氏抽提法次之,水酶法最低。索氏抽提法、乙醇水法和水酶法辣木籽原油中叶绿素含量分别为2.69、3.39 mg/kg和2.48 mg/kg,精炼油的分别为1.28、1.65 mg/kg和1.09 mg/kg,较原油中叶绿素含量均显著下降($p < 0.05$),分别下降了52.42%、51.33%和56.05%,下降幅度

均超过50%。

由图2可知,3种提取方法中乙醇水法辣木籽原油和精炼油中类胡萝卜素含量最高,索氏抽提法次之,水酶法最低。索氏抽提法、乙醇水法和水酶法辣木籽原油中类胡萝卜素含量分别为1.25、1.74 mg/kg和0.96 mg/kg,精炼油的分别为1.07、1.49 mg/kg和0.83 mg/kg,较原油中类胡萝卜素含量均显著下降($p < 0.05$),分别下降了14.40%、14.37%和13.54%,下降幅度均超过10%。

叶绿素和类胡萝卜素是辣木籽油的主要色素成分,精炼可降低辣木籽油中叶绿素和类胡萝卜素的含量,从而改善辣木籽油色泽^[18]。

2.5 辣木籽油中水分及挥发物含量

不同提取方法对辣木籽原油和精炼油中水分及挥发物含量的影响见图3。

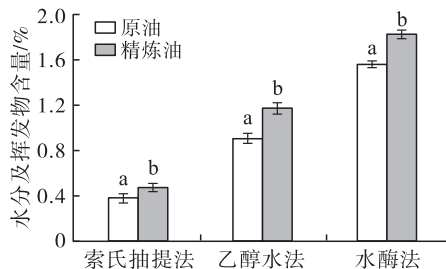


图3 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油中水分及挥发物含量的影响

水分也是评价辣木籽油品质的指标之一,水分含量高会加剧辣木籽油的氧化变质,破坏辣木籽油营养价值,影响其功能活性并缩短其货架期^[21]。由图3可知,3种提取方法中水酶法辣木籽原油和精炼油中水分及挥发物含量最高,乙醇水法次之,索氏抽提法最低。索氏抽提法、乙醇水法和水酶法辣木籽原油中水分及挥发物含量分别为0.38%、0.91%和1.56%,精炼油的分别为0.47%、1.17%和1.83%,较原油中水分及挥发物含量均显著升高($p < 0.05$),分别升高了23.68%、28.57%和17.31%,升高幅度均超过10%,这可能与精炼过程溶液中水等成分混入有关。

2.6 辣木籽油的脂肪酸组成

不同提取方法对辣木籽原油和精炼油脂肪酸组成及相对含量的影响见表4。

表4 不同提取方法对辣木籽原油和精炼油脂肪酸组成及相对含量的影响

%

脂肪酸	索氏抽提法		乙醇水法		水酶法	
	原油	精炼油	原油	精炼油	原油	精炼油
十四烷酸(C14:0)	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01
棕榈酸(C16:0)	6.42 ± 0.04	6.40 ± 0.05	6.34 ± 0.08	6.32 ± 0.09	6.31 ± 0.08	6.29 ± 0.10
棕榈烯酸(C16:1)	1.41 ± 0.04	1.39 ± 0.03	1.39 ± 0.05	1.37 ± 0.03	1.36 ± 0.04	1.34 ± 0.06
十七烷酸(C17:0)	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01
硬脂酸(C18:0)	5.66 ± 0.04	5.69 ± 0.05	5.58 ± 0.06	5.64 ± 0.04	5.64 ± 0.05	5.68 ± 0.06
油酸(C18:1)	69.68 ± 0.32	69.76 ± 0.42	70.13 ± 0.52	70.20 ± 0.45	69.90 ± 0.37	69.96 ± 0.34
亚油酸(C18:2)	0.51 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.49 ± 0.02
α-亚麻酸(C18:3n3)	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02
花生酸(C20:0)	3.48 ± 0.02	3.44 ± 0.04	3.45 ± 0.02	3.42 ± 0.03	3.47 ± 0.04	3.44 ± 0.05
花生一烯酸(C20:1)	2.06 ± 0.02	2.03 ± 0.04	2.08 ± 0.03	2.05 ± 0.04	2.06 ± 0.03	2.03 ± 0.05
花生四烯酸(C20:4)	0.06 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.02
二十一烷酸(C21:0)	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.02
山萘酸(C22:0)	8.52 ± 0.03	8.56 ± 0.05	8.46 ± 0.04	8.50 ± 0.02	8.50 ± 0.06	8.56 ± 0.04
芥酸(C22:1)	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.03	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.02
木焦油酸(C24:0)	1.04 ± 0.04	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.05	1.01 ± 0.03	1.03 ± 0.04	1.02 ± 0.05

由表4可以看出,辣木籽油主要由15种脂肪酸组成,其中油酸含量最高,均在69%以上,其次为山萘酸、棕榈酸和硬脂酸,含量均在5%以上,而十七烷酸、花生四烯酸和二十一烷酸含量均低于0.1%。索氏抽提法、乙醇水法和水酶法辣木籽原油中总不饱和脂肪酸含量分别为73.95%、74.40%和74.11%。Sánchez - Machado^[19]、Bhutada^[20]、付晓娜^[22]等采用溶剂萃取法得到的辣木籽油中油酸含量分别为71.09%、73.5%和70.85%,与本实验结果较接近。本研究发现,不同提取方法对辣木籽原油和精炼油中脂肪酸组成及相对含量无显著影响($p > 0.05$)。

3 结论

3种提取方法(索氏抽提法、乙醇水法和水酶法)对辣木籽油的色泽和透明度影响不大。水酶法辣木籽原油酸值,原油和精炼油碘值、水分及挥发物含量和氧化诱导时间最大,其他2种提取方法的整体差异不大。3种方法提取的辣木籽油中叶绿素和类胡萝卜素含量存在差异,3种提取方法对辣木籽原油脂肪酸组成及相对含量无显著影响。综上,3种提取方法中水酶法提取的辣木籽油的品质总体上较优。

参考文献:

- [1] 黄丽娜,程世敏,赵增贤,等. 我国辣木产业发展的现状及前景[J]. 贵州农业科学, 2016,44(7):104-107.
- [2] 刘凤霞,王苗苗,赵有为,等. 辣木中功能性成分提取及产品开发生的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 282-286.
- [3] 谢远红,王瑞芳,王力,等. 辣木多酚研究现状及其应用前景分析[J]. 食品工业, 2018,39(3): 237-241.
- [4] FEBRIANTO N A, YANG T A. Producing high quality

- edible oil by using eco - friendly technology: a review[J]. Adv J Food Sci Technol, 2011, 3(4): 317-326.
- [5] 段琼芬,马李一,王有琼,等. 辣木籽油食用安全性毒理学评价[J]. 中国油脂, 2014, 39(2): 48-52.
- [6] 李业森,易国良,褚观年,等. 辣木籽油在化妆品中的开发优势[J]. 广东化工, 2019,46(12): 85,103.
- [7] AZAD A K, RASUL M G, KHAN M M K, et al. Prospect of *Moringa* seed oil as a sustainable biodiesel fuel in Australia: a review[J]. Procedia Eng, 2015, 105: 601-606.
- [8] 段琼芬,余建兴,马李一,等. 超声波辅助溶剂萃取辣木籽油条件优化[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 92-95.
- [9] ZHAO S W, ZHANG D K. A parametric study of supercritical carbon dioxide extraction of oil from *Moringa oleifera* seeds using a response surface methodology [J]. Sep Purif Technol, 2013, 113: 9-17.
- [10] NGUYEN H N, GASPILLO P D, MARIDABLE J B, et al. Extraction of oil from *Moringa oleifera* kernels using supercritical carbon dioxide with ethanol for pretreatment: optimization of the extraction process [J]. Chem Eng Process, 2011, 50: 1207-1213.
- [11] 马李一,余建兴,张重权,等. 水酶法提取辣木油的工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2010, 30(3): 53-56.
- [12] 刘华勇. 水酶法同时提取辣木籽油和抗氧化肽的研究[D]. 广州: 华南理工大学,2016.
- [13] YUSOFF M M, GORDON M H, EZEH O, et al. Aqueous enzymatic extraction of *Moringa oleifera* oil[J]. Food Chem, 2016, 211: 400-408.
- [14] 王标诗,胡小军,张卫国,等. 湿法超微粉碎结合水酶法提取辣木籽油及其氧化稳定性分析[J]. 中国油脂, 2019,44(6): 19-24.

(下转第31页)