

美藤果油体外抗氧化性能研究

王肖行¹, 余旭亚¹, 耿树香², 马 婷², 宁德鲁², 韩本勇¹

(1. 昆明理工大学 生命科学与技术学院, 昆明 650500; 2. 云南省林业和草原科学院, 昆明 650204)

摘要:以美藤果油为研究对象, TBHQ 为阳性对照, 采用典型的体外抗氧化试验体系测定了美藤果油对 DPPH·、·OH、O₂⁻· 的清除能力, Fe²⁺ 的螯合能力以及还原能力, 用于评价美藤果油的体外抗氧化性能。结果表明: 美藤果油的体外抗氧化性能与其质量浓度之间存在良好的剂量效应关系; 在试验质量浓度范围内, 美藤果油 5 种体外抗氧化指标的最大值分别为 DPPH· 清除率 75.24%、·OH 清除率 95.26%、O₂⁻· 清除率 92.57%、Fe²⁺ 螯合率 92.17% 和还原能力 1.22; 在质量浓度相同的情况下, 美藤果油对 O₂⁻· 的清除能力和 Fe²⁺ 的螯合能力优于 TBHQ; 美藤果油对 DPPH·、·OH 和 O₂⁻· 的清除能力以及 Fe²⁺ 螯合能力的 IC₅₀ 分别为 2.96、<0.01、0.20、2.77 mg/mL。研究结果表明美藤果油具有较强的体外抗氧化性能。

关键词: 美藤果油; 自由基清除率; 还原能力; 抗氧化活性

中图分类号: TS225.1; TS201.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2021)04-0063-05

In vitro antioxidant activity of Sacha Inchi oil

WANG Xiaohang¹, YU Xuya¹, GENG Shuxiang², MA Ting²,
NING Delu², HAN Benyong¹

(1. Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2. Yunnan Academy of Forestry and Grassland Science, Kunming 650204, China)

Abstract: In order to investigate in vitro antioxidant activity of Sacha Inchi oil, the typical in vitro antioxidant test system was used to determine the scavenging ability of Sacha Inchi oil on DPPH·, ·OH, O₂⁻·, capacity of chelating Fe²⁺ and reducing capacity, with TBHQ as positive control. The results indicated that there was a good dose-response relationship between the in vitro antioxidant properties and the mass concentration of Sacha Inchi oil. Within the range of the test mass concentration, the maximum values of the five in vitro antioxidant indexes of Sacha Inchi oil were DPPH· scavenging rate 75.24%, ·OH scavenging rate 95.26%, O₂⁻· scavenging rate 92.57%, capacity of chelating Fe²⁺ 92.17% and reducing capacity 1.22, respectively. In the case of the same mass concentration, the O₂⁻· scavenging ability and capacity of chelating Fe²⁺ of Sacha Inchi oil were better than those of TBHQ. The IC₅₀ of DPPH· scavenging ability, ·OH scavenging ability, O₂⁻· scavenging ability and capacity of chelating Fe²⁺ of Sacha Inchi oil were 2.96, below 0.01, 0.20, 2.77 mg/mL, respectively. The above results showed that Sacha Inchi oil had stronger in vitro antioxidant activity.

Key words: Sacha Inchi oil; free radical scavenging rate; reducing capacity; antioxidant activity

收稿日期: 2020-06-16; 修回日期: 2020-12-25

基金项目: 云南省重大科技专项计划(2018ZG003)

作者简介: 王肖行(1996), 男, 硕士研究生, 研究方向为油脂资源开发(E-mail) 18838978856@163.com。

通信作者: 韩本勇, 副教授, 博士(E-mail) xmcx668@126.com。

美藤果(*Plukenetia volubilis* Linneo.) 为大戟科(Euphorbiaceae)的一种木质藤本植物, 原生长于海拔 80~1 700 m 的南美洲安第斯(Andes)山脉的热带雨林, 已有上千年的食用历史^[1]。美藤果是一种优质的食用油原料, 具有成熟周期短、单位面积产量高等优点^[2]。美藤果油中含有丰富的不饱和脂肪

酸,还含有维生素 E、多酚、甾醇和黄酮类化合物等多种抗氧化活性物质^[3],有“森林深海鱼油”的美誉^[4],能够降低肥胖、糖尿病和冠心病等多种疾病的发生率,还具有护肤保健的功效,被广泛应用于保健品和化妆品等行业^[5]。吴俏瑾等^[6]报道了美藤果油对 DPPH· 的清除率随质量浓度的增加而增大,其半数抑制率(IC₅₀)为 1.148 mg/mL;刘颖等^[7]研究了美藤果油对 DPPH·、ABTS⁺· 的清除能力以及对 Fe³⁺-TPTZ 的还原能力,并与其他 10 种植物油的体外抗氧化活性进行了比较,结果显示美藤果油表现出较好的抗氧化活性;李清清等^[8]证明添加 20% 的美藤果油后,核桃油的体外抗氧化活性有一定的提升,但其机理尚不明确。

生物体内新陈代谢过程中产生的自由基及其诱导的氧化反应会导致机体内生物膜、蛋白质、酶及活细胞功能过氧化损伤,从而导致多种疾病的发生及加速机体衰老,抗氧化剂的添加能有效清除自由基、预防疾病、延缓机体衰老^[9-10]。叔丁基对苯二酚(TBHQ)是油脂中常用的抗氧化剂^[11]。为了进一步明晰美藤果油的体外抗氧化性能,本试验以 TBHQ 为阳性对照,研究美藤果油对 DPPH·、羟自由基(·OH)和超氧自由基(O₂⁻·)的清除能力以及 Fe²⁺ 的整合能力和还原能力,旨在为美藤果油的进一步开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

美藤果油,西双版纳印奇生物资源开发有限公司;氯化铁、无水乙醇、磷酸二氢钠、氢氧化钠、硫酸亚铁、三氯乙酸、铁氰化钾等均为分析纯,北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司;菲啰嗪一钠盐、1,1-二苯基-2-苦基肼自由基(DPPH·),上海蓝季科技发展有限公司;邻苯三酚,上海贤鼎生物科技有限公司;氯化亚铁、TBHQ,上海麦克林生化科技有限公司;试验用水为去离子水。

FA2004N 分析天平;DHG-9053A 真空干燥箱;DS.85 10DTH 超声波微波组合体系,上海生析超声仪器有限公司;Ultrospec 2100pro 紫外可见分光光度计,Amersham Biosciences;5804R 高速低温离心机,德国 Eppendorf 公司;HHw-D6 水浴锅。

1.2 试验方法

1.2.1 DPPH· 清除能力的测定

依据 Lee 等^[12]的方法并改进。用无水乙醇将美藤果油稀释成质量浓度分别为 1、2、3、4、5、6 mg/mL 的溶液,分别取 2 mL 上述溶液于具塞试管

中,加入等体积 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液,摇匀,4 000 r/min 离心 6 min,静置 30 min,以无水乙醇为参比组调零,在 517 nm 波长处测定其吸光度(A_i);用无水乙醇替代美藤果油稀释液作为空白对照,测其吸光度(A₀);用无水乙醇替代 DPPH 溶液加入美藤果油稀释液中,测其吸光度(A_j),以相同浓度的 TBHQ 为阳性对照,平行测定 3 次,取平均值。DPPH· 的清除率(Q₁)按式(1)计算。

$$Q_1 = [1 - (A_i - A_j)/A_0] \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2 ·OH 清除能力的测定

依据朱淑云等^[13]的方法并改进。用无水乙醇将美藤果油稀释成质量浓度分别为 1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0 mg/mL 的溶液,分别取 2 mL 上述溶液于具塞试管中,依次加入 6 mmol/L 的 FeSO₄ 溶液和 H₂O₂ 溶液各 2 mL,摇匀后静置 10 min,再加入 6 mmol/L 的水杨酸 2 mL,摇匀后室温避光静置 30 min,在 510 nm 波长处测其吸光度(A_i),用蒸馏水替代美藤果油稀释液测其吸光度(A₀),用蒸馏水替代水杨酸测其吸光度(A_j),以相同浓度的 TBHQ 为阳性对照,平行测定 3 次,取平均值。·OH 的清除率按式(1)计算。

1.2.3 O₂⁻· 清除能力的测定

依据程德竹等^[14]的方法并改进。用无水乙醇将美藤果油稀释成质量浓度分别为 1、2、3、4、5、6、7 mg/mL 的溶液,分别取 1 mL 上述溶液于具塞试管中,加入 50 mmol/L 的 Tris-HCl 缓冲液(pH 8.2) 4.5 mL 和 25 mmol/L 邻苯三酚溶液 0.4 mL,反应 5 min 后加入 1 mL 8 mmol/L 的 HCl 溶液终止反应,在 299 nm 波长处测其吸光度(A₁),用蒸馏水替代美藤果油稀释液作空白对照按上述操作测其吸光度(A₀),以相同质量浓度的 TBHQ 为阳性对照,平行测定 3 次,取平均值。O₂⁻· 的清除率(Q₂)按式(2)计算。

$$Q_2 = (1 - A_1/A_0) \times 100\% \quad (2)$$

1.2.4 Fe²⁺ 整合能力的测定

依据李清清等^[8]的方法并改进。用无水乙醇将美藤果油稀释成质量浓度分别为 1、2、3、4、5、6、7 mg/mL 的溶液,分别取 1 mL 上述溶液于具塞试管中,依次加入蒸馏水 3.7 mL、2 mmol/L 的 FeCl₂ 溶液 0.1 mL 和 5 mmol/L 的菲啰嗪溶液 0.2 mL,振荡摇匀,室温避光静置 10 min 后,5 000 r/min 离心 10 min,取上清液在 562 nm 波长处测其吸光度(A_i),用蒸馏水替代美藤果油稀释液作为空白对照测其吸光度(A₀),用蒸馏水替代反应体系中的 FeCl₂ 测其吸

光度(A_j),以相同质量浓度的TBHQ为阳性对照,平行测定3次,取平均值。 Fe^{2+} 螯合率按式(1)计算。

1.2.5 还原能力的测定

依据徐丹萍等^[15]的方法并改进。用无水乙醇将美藤果油稀释成质量浓度分别为0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mg/mL的溶液,分别取2.5 mL上述溶液于具塞试管中,依次加入磷酸盐缓冲液(pH 6.6)和质量分数为5%的铁氰化钾溶液各2.5 mL,摇匀后于50℃下水浴20 min,再加入质量分数为10%的三氯乙酸溶液2.5 mL,充分摇匀后以3 000 r/min离心10 min,取上清液2.5 mL,加入等体积的蒸馏水和质量分数为0.1%的 $FeCl_3$ 溶液,摇匀后静置10 min,在700 nm波长处测其吸光度(A_i),用无水乙醇替代美藤果油稀释液作为空白对照测其吸光度(A_0),以相同质量浓度的TBHQ为阳性对照,平行测定3次,取平均值。还原能力(R)按式(3)计算。

$$R = A_i - A_0 \quad (3)$$

1.2.6 数据分析

所有试验均重复3次,利用OriginPro 9.4和SPSS 25.0统计软件对试验数据进行处理分析,结果以“平均值±标准差”表示,以 $\alpha = 0.05$ 作为检验标准, $p < 0.05$ 认为具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 美藤果油对DPPH·的清除能力

DPPH·稳定性强,其乙醇溶液呈紫色,在517 nm波长处具有强吸收,可用于反映物质的抗氧化能力。当存在抗氧化物质时,会与DPPH·的单电子配对,降低DPPH·的含量,从而改变 A_{517} 值^[16]。美藤果油对DPPH·的清除率如图1所示。

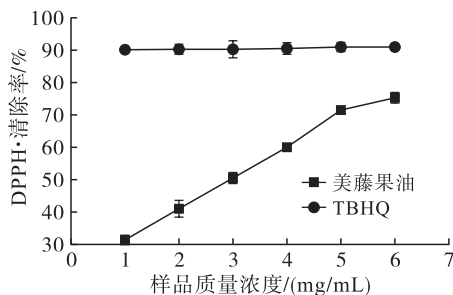


图1 美藤果油对DPPH·的清除能力

由图1可以看出,在试验质量浓度范围内,美藤果油对DPPH·具有清除作用,且随着其质量浓度的增加而增强,呈现一定的线性增长关系。当样品质量浓度从1 mg/mL增加到6 mg/mL时,美藤果油对DPPH·的清除率从31.43%增加到75.24%,但始终低于TBHQ的(清除率在90%以上)。通过计

算可得美藤果油对DPPH·清除率的 IC_{50} 为2.96 mg/mL,与桂桑优12种子油相近(IC_{50} 为2.11 mg/mL)^[17],远低于水飞蓟油(IC_{50} 为33.68 mg/mL)和莲子胚芽油(IC_{50} 为48.90 mg/mL)^[13]。研究表明,植物油中生育酚、多酚和甾醇类化合物含量越高,则对DPPH·的清除能力越强,尤其生育酚含量的影响较大^[18]。生育酚的抗氧化作用主要是作为氧清除剂和自由基清除剂^[19],美藤果油中生育酚的含量高达2.130 g/kg(秘鲁)^[20],这可能是美藤果油具有较强的DPPH·清除能力的主要原因。

2.2 美藤果油对·OH的清除能力

以 Fe^{2+} 为还原剂催化 H_2O_2 产生的·OH可与水杨酸反应,生成在510 nm波长处有强吸收的有色物质,抗氧化剂的加入会减少·OH的含量,从而降低有色物质的 A_{510} 值^[21]。美藤果油对·OH的清除率如图2所示。

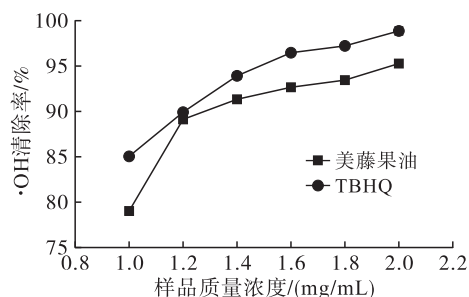


图2 美藤果油对·OH的清除能力

由图2可知,在1.0~2.0 mg/mL的质量浓度范围内,随着质量浓度的增加,美藤果油和TBHQ对·OH的清除能力逐渐增强,当质量浓度为2.0 mg/mL时,TBHQ对·OH的清除率为98.88%,而美藤果油对·OH的清除率则略低于TBHQ,为95.26%。美藤果油对·OH清除率的 IC_{50} 小于0.01 mg/mL,说明美藤果油对·OH的清除能力较优,这可能是因为美藤果油中含有大量的多酚类物质。Fanali等^[20]通过HPLC-PDA/ESI-MS从美藤果油中检测出21种酚类物质,含量为62 mg/mL,主要为类二萜化合物、苯乙醇、木酚素、类黄酮等。

2.3 美藤果油对 $O_2^-·$ 的清除能力

邻苯三酚在碱性条件下发生自氧化,反应过程中生成的 $O_2^-·$ 的量与中间产物半醌呈正相关,半醌在299 nm波长处有强烈的吸收,添加抗氧化剂后会与 $O_2^-·$ 反应,随着 $O_2^-·$ 量的减少,半醌的量减少,从而导致 A_{299} 值发生变化^[14]。美藤果油对 $O_2^-·$ 的清除率如图3所示。

由图3可以看出,在1~7 mg/mL的质量浓度范围内,美藤果油和TBHQ对 $O_2^-·$ 的清除率均随

着质量浓度的增加而逐渐增强,表现出良好的剂量效应关系,其中在1~2 mg/mL的质量浓度范围内,TBHQ对 $O_2^- \cdot$ 的清除率急剧增加,比美藤果油变化的幅度明显,随着样品质量浓度继续增加,美藤果油和TBHQ对 $O_2^- \cdot$ 的清除率增长趋势相近且逐渐稳定。在相同质量浓度的情况下,美藤果油对 $O_2^- \cdot$ 的清除率始终比TBHQ的强,当美藤果油质量浓度为7 mg/mL时,对 $O_2^- \cdot$ 清除率可达92.57%,其 IC_{50} 为0.20 mg/mL,低于林蛙卵油(IC_{50} 为1.69 mg/mL)^[22]和红葱头精油的(IC_{50} 为2.19 mg/mL)^[23]。研究表明,植物油中甾醇类化合物侧链上的烯丙基参与了自由基清除反应,使得其具有清除 $O_2^- \cdot$ 的能力^[24-25],美藤果油中甾醇含量为2.47 g/kg(秘鲁)^[20],这可能是美藤果油对 $O_2^- \cdot$ 的清除能力强于TBHQ的主要原因。

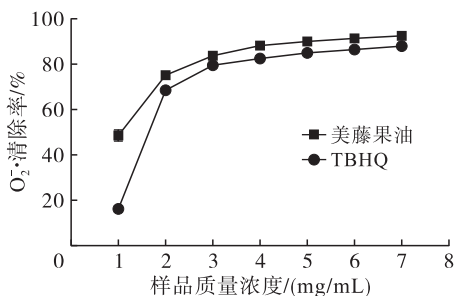


图3 美藤果油对 $O_2^- \cdot$ 的清除能力

2.4 美藤果油对 Fe^{2+} 的螯合能力

生物体内过量的 Fe^{2+} 通过Fenton反应生成 $\cdot OH$ 损伤细胞进而影响机体的生理功能,而抗氧化剂具有螯合 Fe^{2+} 的能力, Fe^{2+} 在pH为2~9的范围内可以和菲啰啉反应生成一种稳定的、在562 nm波长处有最大吸收峰的紫红色络合物, Fe^{2+} 的减少导致紫红色络合物含量减少,进而造成 A_{562} 值的改变^[26]。美藤果油对 Fe^{2+} 的螯合率如图4所示。

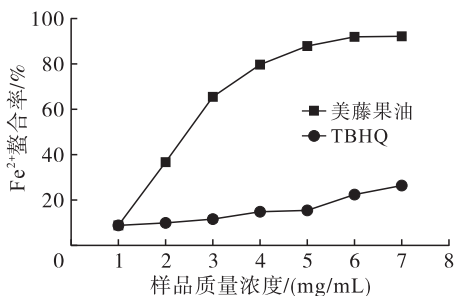


图4 美藤果油对 Fe^{2+} 的螯合能力

由图4可以看出,在1~4 mg/mL的质量浓度范围内,美藤果油对 Fe^{2+} 的螯合率由 $(8.81 \pm 1.32)\%$ 增加至 $(79.69 \pm 0.05)\%$,增长显著($p < 0.05$),之后随质量浓度的增加美藤果油对 Fe^{2+} 的螯合率趋于平缓,当美藤果油质量浓度为7 mg/mL

时, Fe^{2+} 螯合率可达92.17%,然而,TBHQ在1~7 mg/mL的质量浓度范围内对 Fe^{2+} 的螯合率由8.87%增加至26.47%,增长比较缓慢。美藤果油对 Fe^{2+} 螯合率的 IC_{50} 为2.77 mg/mL,远低于TBHQ的 IC_{50} 值(15.77 mg/mL),说明美藤果油对 Fe^{2+} 的螯合能力强于TBHQ。多酚类化合物具有提供电子的能力,易与 Fe^{2+} 形成配位键而起到螯合 Fe^{2+} 的目的^[27],美藤果油中含量丰富的多酚类化合物^[16],使其具有较强的 Fe^{2+} 螯合能力。

2.5 美藤果油的还原能力

抗氧化物质通过自身的还原作用给出电子而清除自由基,还原能力越强表示其具有的抗氧化性越强^[12]。样品中的抗氧化物质可将 Fe^{3+} (铁氰化钾)还原成 Fe^{2+} (亚铁氰化钾),进一步再与 $FeCl_3$ 反应生成在700 nm波长处有最大吸收的普鲁士蓝,因此通过测定700 nm处的吸光度可以间接地反映样品的还原能力,吸光度越大,还原能力越强^[28]。美藤果油的还原能力如图5所示。

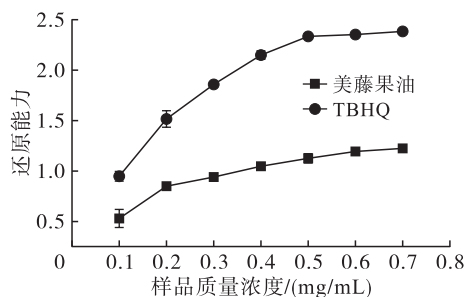


图5 美藤果油的还原能力

由图5可知,在0.1~0.7 mg/mL的质量浓度范围内,美藤果油的还原能力明显弱于TBHQ,随着样品质量浓度的增加,样品的还原能力逐渐增强,呈现一定的线性增长关系,在质量浓度为0.7 mg/mL时,美藤果油的还原能力为1.22。美藤果油中含有的多酚和类胡萝卜素等多种脂质活性成分不仅增加了其稳定性,而且使得其具有天然抗氧化特性。有报道称,石榴籽多酚类化合物和柿皮类胡萝卜素的还原能力优于相同浓度下的抗坏血酸,其中多酚通过自身提供的电子可使 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ,而类胡萝卜素凭借自身的共轭双键体系通过得失电子在基态和激发态之间的转化^[29],从而使得美藤果油具有一定的还原能力。

3 结论

以TBHQ为阳性对照,通过5种典型的体外抗氧化试验研究美藤果油对DPPH \cdot 、 $\cdot OH$ 和 $O_2^- \cdot$ 的清除能力, Fe^{2+} 的螯合能力及还原能力。结果表明:美藤果油的体外抗氧化性能与其质量浓度之间

呈正相关,且表现出良好的剂量效应关系;在试验浓度范围内,所测得的美藤果油的5种体外抗氧化指标的最大值分别为 DPPH·清除率 75.24%、·OH 清除率 95.26%、 O_2^- ·清除率 92.57%、 Fe^{2+} 螯合率 92.17% 和还原能力 1.22;在质量浓度相同的情况下,美藤果油对 O_2^- ·的清除能力和 Fe^{2+} 的螯合能力优于 TBHQ;美藤果油对 DPPH·、·OH 和 O_2^- ·的清除能力以及 Fe^{2+} 的螯合能力的 IC_{50} 分别为 2.96、 <0.01 、0.20、2.77 mg/mL。研究结果说明美藤果油具有较强的体外抗氧化性能,这为美藤果油在食品、保健品和化妆品等领域的应用提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] GUTIERREZ L, ROSADA L M, JIMENEZ A, et al. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction [J]. *Grasas Aceites*, 2011, 62(1): 76–83.
- [2] CAI Z Q. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants [J]. *Ind Crop Prod*, 2011, 34(1): 1235–1237.
- [3] 韩本勇,周志梅,赵鹏,等.美藤果油的组成、性质及功能特性研究进展[J]. *中国野生植物资源*, 2019, 38(3): 59–64.
- [4] 王彦武.美藤果油功效与毒理学研究进展[J]. *毒理学杂志*, 2019, 33(6): 496–499.
- [5] 杨小敏,张亚飞,胡鹏.美藤果油的研究开发进展[J]. *粮食与食品工业*, 2015, 22(3): 37–41.
- [6] 吴俏瑾,张嘉怡,杜冰,等.适宜提取方法提高美藤果油提取率及油品质[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(21): 277–284.
- [7] 刘颖,刘晓谦,梁曜华,等.11种植物油的脂肪酸组成与抗氧化活性比较[J]. *中国油脂*, 2020, 45(10): 52–56, 61.
- [8] 李清清,余旭亚,耿树香,等.复合核桃油的体外抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(24): 31–36.
- [9] 陈安徽,巫永华,刘恩岐,等.山楂叶多酚的酶法提取及抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2017, 42(2): 203–208.
- [10] 吕培霖,李成义,彭文化,等.红花籽油抗氧化活性实验研究[J]. *西北国防医学杂志*, 2017, 38(7): 439–441.
- [11] 陈华凤.油脂中抗氧化剂 BHT、TBHQ 及其转化产物的研究[J]. *质量技术监督研究*, 2018(4): 16–19.
- [12] LEE J, CHUNG H H, CHANG P, et al. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) [J]. *Food Chem*, 2007, 103(2): 662–669.
- [13] 朱淑云,周越,肖香,等.水飞蓟油的体外抗氧化活性及对氧化损伤小鼠的保护作用[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 234–238.
- [14] 程德竹,杜爱玲,李成帅,等.生姜提取物对邻苯三酚自氧化生成超氧自由基的清除[J]. *中国调味品*, 2014, 39(11): 35–39.
- [15] 徐丹萍,蒲彪,叶萌,等.藤椒冷榨油饼粕中多酚的纯化及体外抗氧化活性[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(11): 1690–1700.
- [16] YOU L, ZHAO M, CUI C, et al. Effect of degree of hydrolysis on the antioxidant activity of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) protein hydrolysates [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2009, 10(2): 235–240.
- [17] 吴婧婧,梁贵秋,陆春霞,等.桂桑优 12 种子油提取的响应面工艺优化及其抗氧化分析[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(1): 144–150.
- [18] 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.
- [19] 程强.生育酚在油脂中的抗氧化应用[J]. *粮食与食品工业*, 2016, 23(1): 20–23.
- [20] FANALI C, DUGO L, CACCIOLA F, et al. Chemical characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil [J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(24): 13043–13049.
- [21] 陈思榕,钟嘉欣,陈钧浩,等.蜂胶精油皂的制备及其抗氧化能力的探究[J]. *轻工科技*, 2019, 35(4): 20–23.
- [22] 韩子晗,孙尧,杨富雅,等.林蛙卵油的提取、成分分析及抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(11): 60–65.
- [23] 刘艳灿,袁杨,翁艾慧,等.红葱头精油体外抗氧化及抑菌效果研究[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(11): 246–252.
- [24] 刘晓飞,宋洁,王薇,等.发芽糙米植物甾醇的提取优化及抗氧化性研究[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2019, 35(1): 48–52.
- [25] 田丹丹,李艳,梅晓宏.牛油果中植物甾醇的鉴定及抗氧化、抑菌活性[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 39–44.
- [26] 殷春雁,刘自单,马瑞菊,等.辣木果胚油的体外抗氧化活性研究[J]. *中国新技术新产品*, 2019(10): 22–23.
- [27] 刘荣,王蕾,栾淑莹,等.樟子松树皮多酚螯合亚铁制备工艺[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(18): 5969–5973.
- [28] 范三红,王娇娇,白宝清,等.响应面法优化辣椒油树脂提取工艺及其抗氧化和抑菌性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(7): 89–97.
- [29] 米雪,刘树兴,曾桥,等.响应面法优化超声辅助提取柿皮类胡萝卜素及其体外抗氧化性研究[J]. *中国调味品*, 2019, 44(11): 26–31.