

麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的体外抗氧化活性

王 钰,周一萍,汤运嘉,余莉莉,牛丽亚

(江西农业大学 食品科学与工程学院,南昌 330000)

摘要:为了提高麻疯树种子的开发利用价值,采用体外抗氧化实验对麻疯树籽仁/壳乙醇提取物抗氧化活性进行了研究。分别以麻疯树种子中的籽仁和籽壳为原料,经75%乙醇提取,在对提取物主要成分进行分析的基础上,以 V_E 为阳性对照,测定两种提取物对自由基(DPPH自由基、ABTS⁺自由基、羟自由基和超氧自由基)的清除能力、还原能力以及抑制亚油酸自氧化能力。结果表明:麻疯树籽仁/壳乙醇提取物中多糖类物质总含量分别为47.67%和52.21%,酮类物质总含量分别为0.774%和4.22%,麻疯树籽壳乙醇提取物中还含有0.30%的多酚类物质;麻疯树籽仁/壳乙醇提取物均具有一定的抗氧化活性,其中籽壳乙醇提取物对DPPH自由基、ABTS⁺自由基、羟自由基、超氧自由基的清除效果较好;麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的还原能力和对亚油酸自氧化的抑制能力相对较弱。麻疯树籽壳乙醇提取物的抗氧化活性优于籽仁乙醇提取物,可能与籽壳乙醇提取物中含有较多的黄酮类和多酚类物质有关。

关键词:麻疯树种子;壳;仁;乙醇提取物;抗氧化活性

中图分类号:TS299;TS201.2

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2022)07-0083-06

In vitro antioxidant activity of ethanol extracts of *Jatropha curcas* seed kernel and shell

WANG Yu, ZHOU Yiping, TANG Yunjia, YU Lili, NIU Liya

(College of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330000, China)

Abstract: In order to improve the exploitation value of *Jatropha curcas* seed, the antioxidant activities of ethanol extracts of *Jatropha curcas* seed kernel and shell were investigated using in vitro antioxidant assays. The kernel and shell of *Jatropha curcas* seed were extracted by 75% ethanol respectively, and based on the analysis of the main components of the extracts, vitamin E was used as positive control, the scavenging ability on free radical (DPPH radical, ABTS⁺ radical, hydroxyl radical and superoxide radical), reducing power and inhibition ability for linoleic acid autoxidation of the two extracts were determined. The results showed that the total content of polysaccharides in the ethanol extract of *Jatropha curcas* seed kernel/shell was 47.67% and 52.21%, and the total content of ketones was 0.774% and 4.22%, respectively. The ethanol extract of *Jatropha curcas* seed shell also contained 0.30% polyphenols. The two extracts had certain antioxidant activity, and the extract of seed shell was more effective in scavenging DPPH radical, ABTS⁺ radical, hydroxyl radical and superoxide radical than that of the extract of seed kernel. The reducing ability and inhibitory ability of linoleic acid autoxidation of the two extracts were relatively weak. The antioxidant activity of the ethanol extract of

Jatropha curcas seed shell was better than that of the ethanol extract of *Jatropha curcas* seed kernel, which may be related to the rich content of flavonoids and polyphenols in the ethanol extract of shell.

Key words: *Jatropha curcas* seed; shell; kernel; ethanol extract; antioxidant activity

收稿日期:2021-04-30;修回日期:2022-04-08

基金项目:江西省教育厅一般项目(GJJ170282)

作者简介:王 钰(1998),女,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全(E-mail)wy_227667@163.com。

通信作者:牛丽亚,副教授,博士(E-mail)nly8483@163.com。

麻疯树为大戟科,属半肉质小乔木或大灌木,主要分布于广东、广西、云南、贵州等省区^[1]。麻疯树种子主要含有脂肪、蛋白质、多糖等物质,其中:籽仁中含油量约为50%,可作为理想的生物柴油原料^[2];籽壳中含有较高的多糖及黄酮类物质^[3]。此外,麻疯树种子中含有毒素,主要为毒蛋白和佛波酯^[3]。研究发现,麻疯树种子不仅具有清热解毒、消肿散淤等作用,还具有显著的抗癌活性,在工业用油、新药开发、生物病虫害防治等方面的潜在应用价值很大^[4]。传统应用是将麻疯树种子的籽壳用作燃料、籽仁用来制油,此方法附加值低,经济效益差,不仅造成资源浪费,还会污染环境。目前为止,有关麻疯树种子的生物活性研究仍较少。

本文通过测定麻疯树种子(籽仁、籽壳)乙醇提取物体外对自由基(DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基、羟自由基和超氧自由基)的清除能力,以及其还原能力和抑制亚油酸自氧化能力,分析麻疯树种子乙醇提取物的抗氧化效果,为麻疯树种子乙醇提取物的进一步研究和开发利用提供理论参考,同时为多途径开发利用麻疯树种子提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

麻疯树种子,购自江苏启尚种业。

无水乙醇、硫酸亚铁,西陇科学股份有限公司;水杨酸、邻苯三酚、三氯化铁、硫氰酸铵、氯化亚铁、过氧化氢、磷酸盐缓冲液,天津市大茂化学试剂厂;维生素 E(V_E) 标准品(纯度 99.7%)、亚油酸,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;Tris-HCl 缓冲液、ABTS 试剂、铁氰化钾、DPPH 试剂,北京索莱宝科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

RE-52AA 旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;AR2440 型电子天平,奥豪斯国际贸易有限公司;V-5600 型可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;DD5 型台式大容量离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;HH-4 数显恒温水浴锅,国华电器有限公司;Thermo Vanquish UHPLC 超高效液相色谱仪、Thermo Q Exactive Plus 轨道离子阱高分辨质谱仪,赛默飞世尔(苏州)仪器有限公司;超声波清洗机,广东固特超声股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料的预处理

取 1.5 kg 麻疯树种子,将其籽仁和籽壳进行分离,并丢弃腐烂物及其他杂质,然后用干净的袋子将

籽仁、籽壳分别打包,密封保存。

1.2.2 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的制备

麻疯树籽仁/壳→浸提(料液比 1:5,75% 乙醇,均质转速 90 r/min,50℃ 提取 48 h)→抽滤→旋蒸(70℃ 水浴,转速 90 r/min)→麻疯树籽仁/壳乙醇提取物→密封保存。

1.2.3 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物成分测定

采用液质联用进行分析。将 10 g 麻疯树籽仁乙醇提取物以 20% 甲醇溶液稀释 10 倍后过 0.22 μm 有机系滤膜后上机分析。取 1.0 g 麻疯树籽壳乙醇提取物,加入 20% 甲醇溶液 30 mL,超声萃取 30 min 后定容至 50 mL,离心取上清液过 0.22 μm 有机系滤膜后上机分析。

液相色谱条件:Hypersil Gold Vanquish 色谱柱(2.1 mm×100 mm×1.9 μm);流速 0.30 mL/min;进样量 10 μL;流动相 A 相为 0.1% 甲酸水溶液,B 相为 0.1% 甲酸乙腈溶液。质谱条件:HESI 离子源,电离电压 3.8 kV(+)/3.5 kV(+),鞘气流量 15 L/min,辅助气流量 5 L/min,离子传输管温度 300℃,汽化温度 300℃,采集模式 FULL MASS/DD-MS2(TOPN)。

1.2.4 DPPH 自由基清除能力的测定

参考李珊珊等^[5]的方法加以改动。将 DPPH 溶于无水乙醇配成 0.004% 溶液避光放置备用。取 1 mL 不同质量浓度(1、2、3、4 mg/mL)的样品溶液于试管中,分别加入 4.0 mL 0.004% DPPH 无水乙醇溶液,混合摇匀后室温下避光反应 30 min,用无水乙醇调零,在 517 nm 下测吸光度(A₁)。用无水乙醇替代 DPPH 无水乙醇溶液与 1 mL 样品溶液混合均匀后,在 517 nm 处测吸光度(A₂)。用无水乙醇溶液替代样品溶液与 4.0 mL DPPH 无水乙醇溶液混合均匀后,在 517 nm 处测吸光度(A₃)。每组平行测定 3 次,结果取平均值。V_E作阳性对照。按下式计算 DPPH 自由基清除率(Y₁)。

$$Y_1 = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \times 100\% \quad (1)$$

1.2.5 ABTS⁺ 自由基清除能力的测定

参考那吉等^[6]的方法并略作修改。取 0.8 mL ABTS⁺ 工作液于试管中,分别加入质量浓度为 1、2、3、4 mg/mL 的样品溶液各 0.2 mL,振摇 10 s 以充分混匀。静置反应 6 min,于 734 nm 处测定吸光度(A)。以 0.2 mL 95% 乙醇溶液代替样品溶液测定吸光度(A₀)。V_E作阳性对照。每组平行测定 3 次,结果取平均值。按下式计算 ABTS⁺ 自由基清除率(Y₂)。

$$Y_2 = (A_0 - A) / A_0 \times 100\% \quad (2)$$

1.2.6 羟自由基清除能力的测定

参考岳超颖等^[7]的方法并略作修改。分别取2 mL质量浓度为1、2、3、4 mg/mL的样品溶液于试管中,再分别依次加入6 mmol/L FeSO₄溶液、6 mmol/L H₂O₂溶液和6 mmol/L水杨酸溶液各2 mL,混匀,于37℃水浴中反应30 min,以5 000 r/min下离心5 min,取上清液,用蒸馏水调零,在510 nm处测定吸光度(A)。同等条件用蒸馏水代替样品溶液测定吸光度(A₀),用蒸馏水代替H₂O₂溶液测定吸光度(A₁)。V_E作阳性对照。每组平行测定3次,结果取平均值。按下式计算羟自由基清除率(Y₃)。

$$Y_3 = [1 - (A - A_1) / A_0] \times 100\% \quad (3)$$

1.2.7 超氧自由基清除能力的测定

参考曹菲菲等^[8]的方法并略作修改。取4.5 mL 50 mmol/L pH 8.2的Tris-HCl缓冲液,加入2.0 mL蒸馏水,混合均匀后于37℃水浴加热20 min,加入2.0 mL不同质量浓度(1、2、3、4 mg/mL)的样品溶液,再加入37℃已预热好的0.5 mL 25 mmol/L邻苯三酚,混合均匀后于37℃水浴6 min,立即滴加1 mL 10 mmol/L的盐酸终止反应,在325 nm下测定其吸光度(A)。用0.5 mL蒸馏水代替邻苯三酚作为本底对照,测定吸光度(A₁);用2.0 mL蒸馏水代替样品溶液作为空白对照,测定吸光度(A₀)。V_E作阳性对照。每组平行测定3次,结果取平均值。按下式计算超氧自由基清除率(Y₄)。

$$Y_4 = [1 - (A - A_1) / A_0] \times 100\% \quad (4)$$

1.2.8 还原能力的测定

参考陈英等^[9]的方法。取2.0 mL不同质量浓度(1、2、3、4 mg/mL)的样品溶液,加入2.5 mL 0.2 mol/L pH 6.6磷酸盐缓冲液和2.5 mL 1%的铁氰化钾溶液,混合均匀后于50℃水浴中反应20 min,快速冷却后加入2.0 mL 10%三氯乙酸溶液,混合均匀后以4 000 r/min离心10 min,取2.5 mL上清液,加入0.5 mL 0.1%的三氯化铁溶液、2.5 mL蒸馏水,在常温下反应5 min,700 nm处测定其吸光度(A)。用蒸馏水调零,各组平行测定3次,取平均值。V_E作阳性对照。

1.2.9 亚油酸自氧化抑制能力的测定

参考宋家乐等^[10]的方法并略作修改。分别取2 mL质量浓度为1、2、3、4 mg/mL的样品溶液于试管中,加入2 mL 2.5%的亚油酸溶液、4 mL 0.05 mol/L pH 7.0的磷酸盐缓冲液和2 mL蒸馏水。将试管用硅胶塞密封,混合均匀后于40℃恒温避光反应1周。取0.5 mL反应后的上清液于试管

中,加入3.5 mL 75%乙醇、0.5 mL 30%的硫氰酸铵和0.5 mL 0.02 mol/L的FeCl₂溶液,混合均匀并反应3 min,在500 nm下测定吸光度(A)。同等条件下用2 mL蒸馏水替代样品溶液,测定500 nm处的吸光度(A₀)。V_E作阳性对照。每组平行测定3次,结果取平均值。按下式计算亚油酸自氧化抑制率(Y₅)。

$$Y_5 = (A_0 - A) / A_0 \times 100\% \quad (5)$$

1.2.10 数据统计与分析

利用SPSS软件进行数据统计分析,并借助Origin 2018进行作图。

2 结果与分析

2.1 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物主要成分(见表1)

表1 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物中主要成分及含量%

主要成分	籽仁乙醇提取物	籽壳乙醇提取物
多糖类		
α,α-海藻糖	33.67	16.67
半乳糖醇	7.84	7.81
δ-葡萄糖酸δ-内酯	1.97	0.69
葡萄糖酸	0.72	22.42
西伯利亚糖 A3	0.17	0.66
双(甲基亚苄基)山梨糖醇	2.51	1.85
α-乳糖	0.60	2.01
双(4-乙基亚苄基)山梨糖醇	0.13	0.10
榭皮素-3β-D-葡萄糖苷	0.06	-
酮类		
3-甲氧基-5,7,3',4'-四羟基黄酮	-	0.83
3',5'-二甲氧基-4'-羟基苯乙酮	-	0.62
庚酸鞣酮	0.31	0.37
麝香酮	0.20	0.11
异佛尔酮	0.08	0.01
N-辛基-2-吡咯烷酮	0.06	0.05
环丙酸鞣酮	0.05	0.01
4-甲基二苯甲酮	0.05	0.03
4-甲基伞形酮	0.01	0.04
苯乙酮	0.01	1.59
2,3-二氢-1H-吡啶-7-基(苯基)甲酮	0.003	0.03
5'-(咪喃-3-基)-4a-羟基-2,5-二甲基-3,4,4a,7,8,8a-六氢-2H-螺环[萘-1,3'-噁唞烷]-2',7'-二酮	0.001	0.23
(3R,6aR,7S,12aS)-5,6,6a,7,8-五羟基-3-甲基-1,2,3,4,5,6,6a,7,12,12a-十氢丁苯-1,12-二酮	-	0.19

续表 1

主要成分	籽仁乙醇提取物	籽壳乙醇提取物
4,6-二甲基-2(1H)-嘧啶酮	-	0.04
6-丁基-4-[2-氧代-2-(3-苯基-5-异噁唑基)乙基]-2-苯基-6,7-二氢-4H-吡唑并[1,5-a]吡咯并[3,4-d]嘧啶-5,8-二酮	-	0.04
鱼藤酮	-	0.03
多酚类		
5-[4-(3-羟基-4-甲氧基苯基)-六氢咪喃[3,4-c]咪喃-1-基]-2-甲氧基苯酚	-	0.21
4-[3-(4-羟基-3-甲氧基苯甲酰基)-2,3-二甲氧基环氧乙烷-2-羰基]-2-甲氧基苯酚	-	0.09

注：-表示未检出

由表 1 可知：麻疯树籽仁乙醇提取物中多糖类物质总含量为 47.67%，酮类物质总含量为 0.774%；麻疯树籽壳乙醇提取物中多糖类物质总含量为 52.21%，酮类物质总含量为 4.22%，多酚类物质总含量为 0.30%。两种提取物中虽然多糖类物质总含量相差不大，但是含量最高的多糖种类不同，在麻疯树籽仁乙醇提取物中 α, α -海藻糖含量最高，而在麻疯树籽壳乙醇提取物中葡萄糖酸含量最高。此外，在麻疯树籽仁乙醇提取物的酮类物质中属于甾体的庚酸甾酮、麝香酮含量较高，而在麻疯树籽壳乙醇提取物的酮类物质中苯乙酮、3-甲氧基-5,7,3',4'-四羟基黄酮含量较高。尤为重要的是，籽壳乙醇提取物中抗氧化成分较为丰富，并含有几种籽仁乙醇提取物中没有的物质，如黄酮类抗氧化物质中的 3-甲氧基-5,7,3',4'-四羟基黄酮、3',5'-二甲氧基-4'-羟基苯乙酮和多酚类抗氧化物质 5-[4-(3-羟基-4-甲氧基苯基)-六氢咪喃[3,4-c]咪喃-1-基]-2-甲氧基苯酚和 4-[3-(4-羟基-3-甲氧基苯甲酰基)-2,3-二甲氧基环氧乙烷-2-羰基]-2-甲氧基苯酚。

综上，可以预测麻疯树籽仁/壳乙醇提取物中抗氧化物质种类和含量的不同，可能导致两种提取物的抗氧化性有显著差异。

2.2 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除 DPPH 自由基的能力(见图 1)

由图 1 可知， V_E 对 DPPH 自由基的清除能力较为显著，在测定的质量浓度范围内其 DPPH 自由基清除

率均在 90% 左右。麻疯树籽仁/壳乙醇提取物对 DPPH 自由基的清除能力随着其质量浓度的增加而增强。当质量浓度为 4 mg/mL 时，籽仁/壳乙醇提取物对 DPPH 自由基的清除率分别为 74.60%、75.59%，其 IC_{50} 分别为 1.70 mg/mL 和 1.68 mg/mL。这可能与籽壳乙醇提取物中存在多酚类化合物，籽仁/壳乙醇提取物中含有黄酮类化合物有关^[11-12]。

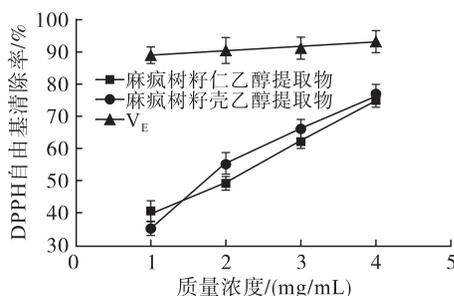


图 1 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除 DPPH 自由基的能力

2.3 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除 ABTS⁺ 自由基的能力(见图 2)

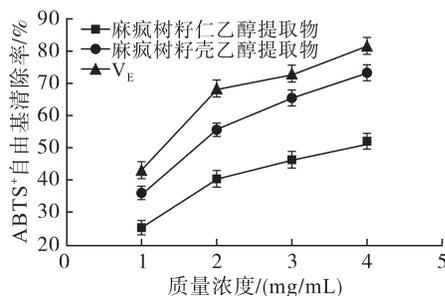


图 2 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除 ABTS⁺ 自由基的能力

由图 2 可知，在测定的质量浓度范围内，麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除 ABTS⁺ 自由基的能力随着其质量浓度的增加而显著增高，这可能是由于随其质量浓度的增加，抗氧化成分的含量越高，清除 ABTS⁺ 自由基的能力越强。当质量浓度为 4 mg/mL 时， V_E 对 ABTS⁺ 自由基的清除率为 81.49%，其 IC_{50} 为 1.2 mg/mL。当质量浓度为 4 mg/mL 时，麻疯树籽仁/壳乙醇提取物对 ABTS⁺ 自由基的清除率分别达到 52.01%、73.40%，其 IC_{50} 分别为 3.49 mg/mL 和 1.64 mg/mL。可见，麻疯树籽壳乙醇提取物清除 ABTS⁺ 自由基的能力高于籽仁乙醇提取物的，这与其含有较为丰富的抗氧化物质有关。

2.4 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除羟自由基的能力(见图 3)

由图 3 可知，麻疯树籽仁/壳乙醇提取物在测定的质量浓度范围内清除羟自由基的能力随其质量浓

度的增加而逐渐增强。当质量浓度为4 mg/mL时, V_E 对羟自由基的清除率为77.45%, 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物对羟自由基的清除率分别为60.90%、69.31%。可见, 麻疯树籽壳乙醇提取物具有较强的清除羟自由基能力。

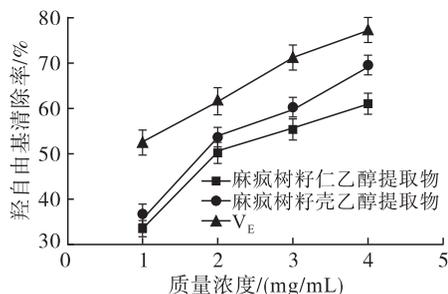


图3 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除羟自由基的能力

2.5 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除超氧自由基的能力(见图4)

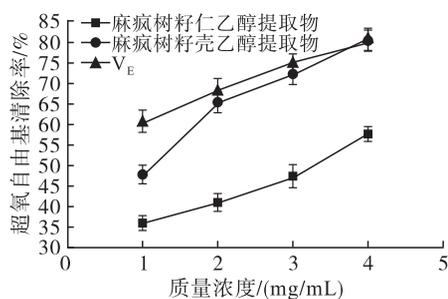


图4 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物清除超氧自由基的能力

由图4可知, 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物对超氧自由基的清除能力在测定的质量浓度范围内随其质量浓度的增加而逐渐增强。当质量浓度为4 mg/mL时, 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物对超氧自由基的清除率分别为58.10%、80.93%, 此时 V_E 对超氧自由基的清除率(80.32%)远大于籽仁乙醇提取物的, 而与籽壳乙醇提取物的相近。在实验范围内, 麻疯树籽壳乙醇提取物对超氧自由基的清除率一直高于麻疯树籽仁乙醇提取物的。这可能与麻疯树籽壳乙醇提取物相比麻疯树籽仁乙醇提取物含有更多黄酮类活性物质和多酚类物质有关^[13-14]。

2.6 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的还原能力(见图5)

由图5可知, 在测定的质量浓度范围内, 3种物质还原能力由大到小依次为 V_E > 麻疯树籽壳乙醇提取物 > 麻疯树籽仁乙醇提取物。麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的还原能力随着其质量浓度的增加而增强, 表现出良好的量效关系。麻疯树籽壳乙醇提取物还原能力远超过籽仁乙醇提取物, 这可能与其黄酮和多酚含量较多有关^[15]。

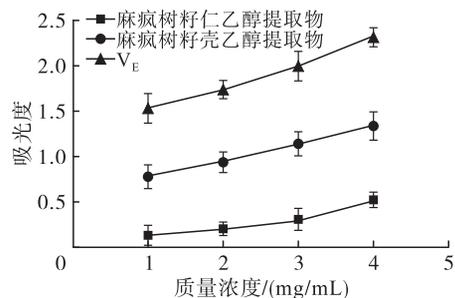


图5 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的还原能力

2.7 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物抑制亚油酸自氧化能力(见图6)

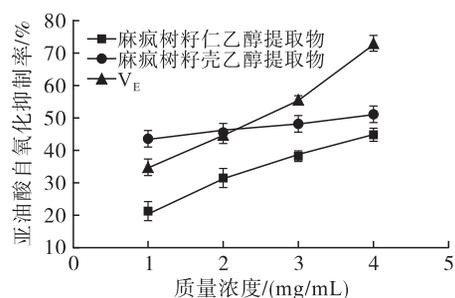


图6 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物抑制亚油酸自氧化能力

由图6可知, 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物抑制亚油酸自氧化能力在测定的质量浓度范围内呈上升趋势。当质量浓度为4 mg/mL时, 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物对亚油酸自氧化的抑制率分别为44.84%、50.80%, V_E 对亚油酸的自氧化抑制率为72.62%。产生差异的原因可能是麻疯树籽壳乙醇提取物相较于籽仁乙醇提取物含有的黄酮类成分较多, 并且含有一定量的多酚类化合物, 使其具有较强的抑制亚油酸自氧化能力^[16]。

3 结论

麻疯树籽壳乙醇提取物中的抗氧化物质种类较多、含量较高, 尤其是含有一定量的多酚类物质, 导致在测试范围内麻疯树籽壳乙醇提取物的抗氧化能力均强于麻疯树籽仁乙醇提取物。其中麻疯树籽壳乙醇提取物在 DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基、羟自由基和超氧自由基清除率方面表现较为优异。但在所测指标中, 麻疯树籽仁/壳乙醇提取物的还原能力和对亚油酸自氧化的抑制能力相对较弱。

参考文献:

- [1] 张明生, 樊卫国, 尹杰, 等. 麻疯树资源概况及其开发利用[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(6): 97-99.
- [2] 邓志军, 程红焱, 宋松泉. 麻疯树种子的研究进展[J]. 云南植物研究, 2005, 27(6): 605-612.

(下转第108页)

- [J]. *J Food Sci*, 2005, 70(7): 433–440.
- [23] VELASCO J, ANDERSEN M L, SKIBSTED L H. Evaluation of oxidative stability of vegetable oils by monitoring the tendency to radical formation. A comparison of electron spin resonance spectroscopy with the Rancimat method and differential scanning calorimetry[J]. *Food Chem*, 2004, 85(4): 623–632.
- [24] DI GIORGIO L, SALGADO P R, MAURI A N. Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying[J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 87: 891–901.
- [25] FRUEHWIRETH S, EGGER S, KURZBACH D, et al. Ingredient – dependent extent of lipid oxidation in margarine [J/OL]. *Antioxidants*, 2021, 10(1): 105 [2021 – 01 – 10]. <https://doi.org/10.3390/antiox10010105>.
- [26] STELIZER E T. Evaluation of chemical assays for determining hydroperoxides levels in oxidized lipids[D]. New Jersey: Rutgers University – New Brunswick, 2012.
- [27] HU M, JACOBSEN C. Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats [M]. Amsterdam: Elsevier, 2016.
- [28] LABUZA T P, SCHMIDL M K. Accelerated shelf – life testing of foods[J]. *Food Technol*, 2005, 39(9): 57–64.
- [29] CALLIGARIS S, MANZOCCO L, ANESE M, et al. Shelf – life assessment of food undergoing oxidation: a review [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2016, 56(11): 1903–1912.
- [30] BUFFO R A, REINECCIUS G A. Shelf – life and mechanisms of destabilization in dilute beverage emulsions [J]. *Flavour Frag J*, 2001, 16(1): 7–12.
- [31] 蔡程晨, 朱式业, 熊武国, 等. 猕猴桃籽油微乳液的制备及货架期预测[J]. *食品与机械*, 2019, 35(4): 127–132.
- [32] YOON J W, AHN S I, KIM H N, et al. Qualitative characteristics and determining shelf – life of milk beverage product supplemented with coffee extracts [J]. *Korean Food Sci Anim Resour*, 2017, 37(2): 305–312.
- [33] NOORANNISA S, EKANTARI N. Stability of *Spirulina platensis* ice cream and shelf life prediction using accelerated shelf life test method based on physical and antioxidant analysis [C/OL]// The 3rd International Symposium on Marine and Fisheries Research. France: EDP Sciences, 2020: 03007 [2021 – 01 – 10]. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703007>.
- [34] HAUSHEY L A, MOUSSA N. The shelf life of vitamin C in a W/O emulsion according to the Q_{10} method[J]. *Int J Phar Sci Rev Res*, 2015, 30: 33–39.
- [35] KARGAR M, SPYROPOULOS F, NORTON I T. Microstructural design to reduce lipid oxidation in oil – in – water emulsions [J]. *Procedia Food Sci*, 2011, 1: 104–108.
-
- (上接第 87 页)
- [3] 马博, 张婷婷, 黎远成, 等. 麻疯树籽壳总黄酮的提取及其羟基自由基清除作用 [J]. *食品与机械*, 2014(5): 196–199.
- [4] 李玲, 李晓帆, 吴慧星, 等. 麻疯树种子中抗氧化活性成分的研究 [J]. *中草药*, 2010, 41(12): 1932–1936.
- [5] 李珊珊, 祁玉丽, 曲迪, 等. 西洋参果多糖的纯化及 DPPH 自由基清除活性研究 [J]. *特产研究*, 2019, 41(3): 8–11.
- [6] 那吉, 马娇, 张海芬, 等. 三种云南产鲜花醇提液对 ABTS 自由基的清除作用 [J]. *化学与生物工程*, 2019, 36(2): 47–50.
- [7] 岳超颖, 吴彝, 周君, 等. 红参多糖体外抗氧化的研究 [J]. *实验室科学*, 2019, 22(1): 49–52, 56.
- [8] 曹菲菲, 康鹏玲, 甄润英, 等. 紫甘蓝色素提取工艺及其抗氧化活性研究 [J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(15): 75–79.
- [9] 陈英, 朱科学, 彭伟, 等. 小麦胚活性肽体外抗氧化活性研究 [J]. *中国油脂*, 2010, 35(12): 16–19.
- [10] 宋家乐, 顾廉洁, 李雪梅, 等. 韩国产炒紫苏子甲醇提取物体外抗氧化及抗突变效果 [J]. *食品工业科技*, 2016(5): 76–79.
- [11] 周强. 甜茶鱼腥草多糖提取工艺、性质及活性研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [12] 严敏, 李崎, 顾国贤. 利用 DPPH 自由基清除率评价啤酒内源性抗氧化能力 [J]. *食品工业科技*, 2005, 26(8): 82–83, 87.
- [13] 陈炳阳, 岳荣彩, 刘芳, 等. 耳叶牛皮消中的苯乙酮类化合物及其抗氧化活性研究 [J]. *药学实践杂志*, 2013, 31(5): 351–354.
- [14] 卞伟明, 刘蓉飞, 杨帆, 等. 罗汉果花黄酮和多糖的提取与活性研究 [J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(10): 121–124.
- [15] 林为艺, 颜美秋, 吕圭源, 等. 铁皮石斛茎非多糖与粗多糖体内抗氧化活性的比较 [J]. *中药药理与临床*, 2016, 32(2): 138–141.
- [16] 韩娅婷, 谢惠, 邵佩兰, 等. 红枣色素的抗脂质过氧化作用 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39(2): 35–39.