水生蔬菜提取物的抗氧化活性分析及其对菜籽油的抗氧化作用

徐筱莹[1]，胡晓潇[2]，单恬恬[2]，易阳[1,3]，王宏勋[2,3]，王丽梅[2,3]

（1.武汉轻工大学食品科学与工程学院，湖北武汉 430023）（2.武汉轻工大学生物与制药工程学院，湖北武汉 430023）（3.湖北省生鲜食品工程技术研究中心，湖北武汉 430023）

摘要：研究七种常见水生蔬菜不同部位提取物的抗氧化活性以及对油脂抗氧化的效果。采用 ABTS 自由基清除法、DPPH 自由基清除法检测菱角、芡实、莲藕、水芋头、茭白、荸荠和慈姑不同部位的醇提物、水提物的抗氧化活性，烘箱法测定对菜籽油过氧化值的影响。在 30 种提取物中 DPPH 自由基清除能力较强的三种提取物 IC_{50} 值分别为：芡实壳醇提物（0.03 mg/mL）<芡实壳水提物(0.04 mg/mL)=菱角壳醇提物（0.04 mg/mL）；ABTS 自由基清除能力较强的三种提取物 Trolox 含量分别为芡实壳醇提物（1.42 g/g）>芡实壳水提物(1.41 g/g)>菱角壳醇提物(1.15 g/g)；添加 0.1%浓度的五种提取物第 7 d 的 POV 值分别为 23.86 meq/kg、24.06 meq/kg、23.53 meq/kg、24.43 meq/kg、22.40 meq/kg，五种提取物的油脂抗氧化效果均不如 0.1%浓度的 BHA。30 种水生蔬菜提取物中，芡实壳和菱角壳的醇提物、水提物 DPPH 自由基清除能力最强，芡实壳醇提物、水提物 ABTS 自由基清除能力最强；芡实壳水提物、芡实壳醇提物、菱角壳水提物、菱角壳醇提物以及藕节醇提物对菜籽油有一定抗氧化的效果，但效果弱于相同剂量的 BHA。

关键词：水生蔬菜提取物；抗氧化活性；烘箱法

文章篇号：1673-9078(2020)07-113-119 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.7.1235

Analysis of Antioxidant Activity of Aquatic Vegetable Extracts and Its Role in Antioxidation of Rapeseed Oil

XU Xiao-ying[1], HU Xiao-xiao[2], SHAN Tian-tian[2], YI Yang[1,3], WANG Hong-xun[2,3], WANG Li-mei[2,3]

(1. College of Food Science and Engineering Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

(2.College of Biology and Pharmaceutical Engineering Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

(3.Hubei Engineering Research Center for Fresh Food, Wuhan 430023, China)

Abstract: The antioxidative activities of extracts from different parts of seven common aquatic vegetables and their antioxidative effects on oil were studied. ABTS free radical scavenging and DPPH free radical scavenging were used to determine the antioxidant activity of alcohol extracts and water extracts from different parts of *Water chestnut, Citronella, Lotus root, Taro, Water chestnut, and Arrowhead*, and oven method was used to determine their effect on rapeseed oil. The IC_{50} values of the three extracts with stronger DPPH free radical scavenging ability among 30 kinds of extracts were as follows: the alcohol extract of *Gordon euryale* (0.03 mg/mL) < the water extract of *Gordon euryale* (0.04 mg/mL) = the water extract of water caldron (0.04 mg/mL). The trolox contents of the three extracts with stronger ABTS free radical scavenging ability were: ethanol extract of *Gordon euryale* seed shell (1.42 g/g) > water extract of *Gordon euryale* seed shell (1.41 g/g) > ethanol extract of water caltrop shell (1.15 g/g). The POV values on the seventh day of the five extracts with 0.1% concentration were: 23.86 meq/kg, 24.06 meq/kg, 23.53 meq/kg, 24.43 meq/kg and 22.40 meq/kg, respectively. The results showed that the antioxidant effects of the five

引文格式：

徐筱莹,胡晓潇,单恬恬,等.水生蔬菜提取物的抗氧化活性分析及其对菜籽油的抗氧化作用[J].现代食品科技,2020,36(7):113-119

XU Xiao-ying, HU Xiao-xiao, SHAN Tian-tian, et al. Analysis of antioxidant activity of aquatic vegetable extracts and its role in antioxidation of rapeseed oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 113-119

收稿日期：2019-12-16

基金项目：国家重点研发计划项目(2018YFD0400603)

作者简介：徐筱莹（1996-），女，硕士研究生，研究方向：食品加工与安全

通讯作者：王丽梅（1980-），女，副教授，研究方向：营养生物学

extracts on oil were not as good as 0.1% BHA. The determination of the antioxidant activity of extracts from different parts of 7 aquatic vegetables indicated that DPPH free radical scavenging ability of alcohol extract, water extract of *Gordon euryale* seed shell and water chestnut shell were the strongest, ABTS free radical scavenging ability of alcohol extract and water extract of *Gordon euryale* seed shell were the strongest. Gordon euryale seed shell aqueous extract and alcohol extract, water chestnut shell water extract and alcohol extract and lotus root section alcohol extract had certain antioxidant effect on rapeseed oil, but the effects were weaker than the same dose of BHA.

Key words: aquatic vegetable extract; antioxidant activity; oven method

水生蔬菜是指生长在淡水中，可作为蔬菜食用的维管束植物，其中大部分都原产于我国[1]，学者们研究较多的抗氧化物质是黄酮类物质[2,3]和酚类物质[4]，它们的含量对蔬菜的抗氧化性呈线性关系[5,6]。抗氧化性主要是通过清除自由基、螯合金属离子和本身的还原能力来实现的，而水生蔬菜清除自由基的能力和还原性大都是是与酚类物质有关，因为酚类物质中含有一个叫作酚羟基的物质，它可以清除溶液中有害的自由基并且可以防止物质发生脂质过氧化，使得许多氧化酶类和过氧化酶类不能发挥其原本的作用，从而具有较强的抗氧化性[7,8]；陈玉霞等[9]比较了常见的 25 种蔬菜的体外抗氧化活性，发现 25 种蔬菜中，抗氧化活性以藕最强，芹菜、黄瓜、南瓜最弱；李鹏婧等人[10]采用清羟基自由基、DPPH·法测定菱角壳提取物的抗氧化能力，发现菱角壳提取物对自由基有较好的清除能力，且抗氧化性良好水生蔬菜的天然抗氧化物质也可以有效减少油脂的氧化；食用含有过氧化物脂肪的食品，会诱发多种生理异常而引起的疾病发生[11,12]，防止油脂及食品中油脂的氧化关系到人们的健康[13]，目前天然的抗氧化剂已经成为新的研究热点[14]。

本文研究菱角、芡实、莲藕、水芋头、茭白、荸荠和慈姑 7 种我国常见的水生蔬菜的不同部位的醇提物及水提物共 30 种提取物的抗氧化活性，选择不易受到水生蔬菜提取物的光谱干扰，操作简单、快速、准确性好的 ABTS 和 DPPH 自由基清除测定法进行抗氧化能力的测定，并考察其对菜籽油的氧化的抑制作用，为天然油脂抗氧化剂的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

菱角（二角菱）、芡实、荸荠、莲藕、茭白、芋头、慈姑，均购于一号店；菜籽油，购于常青花园武商量贩；1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH）、2,2-联氮-二（3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸）二铵盐（ABTS）、过硫酸钾、无水甲醇、盐酸、Vc、过氧化氢、三氯甲烷、还原铁粉、氯化亚铁、硫氰酸钾，国药集团公司。

1.2 仪器与设备

SB-5200DTN 超声波清洗器，宁波新芝生物科技股份有限公司；RE-2000A 旋转蒸发仪，上海亚荣生化仪器厂；A360 紫外可见分光光度计，翱艺仪器上海有限公司；电子分析天平，奥豪斯国际贸易上海有限公司；101-A 电热鼓风干燥箱，上海一恒科技有限公司；DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器，上海恒艺仪器设备有限公司；SCIENT2-12N 冷冻干燥机，宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 七种水生蔬菜不同部位的提取

将七种水生蔬菜分为 15 种部位，其中菱角分为菱角壳和菱角肉，芡实分为芡实壳和芡实肉、茭白分为茭白叶和茭白肉，芋头分为芋头皮和芋头肉、莲藕分为藕节、藕皮和藕可食（即藕可食部位），慈姑分为慈姑芽和慈姑肉，荸荠分为荸荠皮和荸荠肉，将以上部位分别进行水提物和醇提物的制备，总计得 30 种提取物。

（1）水提物制备：将水生蔬菜用料理机粉碎。过 60 目筛，精确称量 200 g 粉末样品,，放入锥型瓶中，加入 2 L 蒸馏水，恒温水浴 60 ℃后搅拌提取 30 min，50 ℃超声提取 45 min，再次恒温水浴 60 ℃搅拌提取 30 min。真空抽滤，60 ℃减压浓缩至浸膏状，冷冻干燥，得到水提物。

（2）醇提物制备：将水生蔬菜用料理机粉碎。过 60 目筛，精确称量 200 g 粉末样品，放入锥型瓶中，加入 2 L 体积分数为 70%乙醇，恒温水浴 60 ℃搅拌提取 30 min，50 ℃超声提取 45 min，再次恒温水浴 60 ℃搅拌提取 30 min。真空抽滤，60 ℃减压浓缩至浸膏状，冷冻干燥得到醇提物。

1.3.2 DPPH 自由基清除能力的测定

参考孙文凯、熊双丽等[15,16]将提取的 30 种样品溶液做合适稀释后，吸取 1 mL 样液，移入试管中，加 1 mL 0.1 mmol/L DPPH·的甲醇溶液，室温避光静置 30min，于 525 nm 波长测定吸光度，平行测定 3 次，

制作曲线，以甲醇为空白对照，Vc 作为阳性对照。按下式计算 DPPH 自由基清除率：

DPPH 自由基清除率(%)=[1-(A_i-A_j)/A_0]×100%

式中：A_0 为甲醇与 DPPH·溶液的混合液在 525 nm 处的吸光度值；A_i 为样品溶液与 DPPH·溶液的混合液在 525 nm 处的吸光度值；A_j 为样品溶液与甲醇的混合液在 525 nm 处的吸光度值。

根据待测液 DPPH 自由基清除率，绘制 DPPH 自由基清除率对待测液浓度标准曲线，通过线性方程计算出 DPPH 自由基清除率为 50%时所需样品浓度，即 IC_{50} 值。

1.3.3 ABTS 自由基清除能力的测定

ABTS 自由基储备液：将 7 mmol/L ABTS·水溶液与 2.45 mmol/L 过硫酸钾水溶液（终浓度）混匀后避光保存于室温条件下 12~16 h。

参考 Floegel[17]将 ABTS 自由基储备液与无水乙醇按照 1:50(*v/v*)的比例混合，调整其吸光度在 734 nm 下为 0.700±0.020，得到 ABTS·混合液，于 30 ℃下预热备用。将样品提取液稀释到合适的浓度，取 50 μL 样品稀释液加入 1 mL ABTS·混合液中混匀，在室温条件下避光反应 30 min，在波长 734 nm 下测吸光值，以甲醇作为空白。以 Trolox 为标准品，建立以 Trolox 浓度（x，μg/mL）为横坐标、吸光值(y)为纵坐标的标准曲线，其回归方程为 y=-0.0032x+0.6751，R^2=0.9991。30 种提取物 ABTS 自由基清除能力以每 1 g 提取物中所含 Trolox 当量来表示（g/g）。测定重复 3 次。

1.3.4 油脂抗氧化实验

根据 2.1 和 2.2 的实验结果，取抗氧化效果较好的几种提取物，进行油脂抗氧化实验，用 BHA 做阳性对照。通过检测提取物是否可以在储藏期抑制油脂 POV 值上升，来判断其是否有油脂抗氧化效果。

采用 Schaal 烘箱法[18]，取 50 g 菜籽油样，放入 100 mL 烧杯中，敞口，按浓度比例 0.01%、0.1%加入样液，混合均匀，将油样放入 60±0.5 ℃恒温箱中强化保存，每隔 24 h 搅拌一次，并交换它们在恒温箱中的位置，定期（0、1、2、3、4、5、6、7 d）测定油样的过氧化值(POV)。过氧化值的测定按 GB/T 5009.37-2003[19]比色法进行测定。

1.3.5 数据处理

实验数据统计分析采用 Microsoft Excel 2007、SPSS4.0 进行，数值表示为 Mean±SD。

2 结果与讨论

2.1 DPPH 自由基清除能力的比较

对 30 种提取物进行 DPPH 自由基清除能力进行测定并比较其抗氧化能力的强弱。由表 1 可以看出，大部分醇提物 DPPH 自由基抗氧化能力要略高于相应的水提物，如藕皮醇提物为 0.42 mg/mL，藕皮水提物为 0.94 mg/mL；但慈姑肉醇提物为 10.90 mg/mL，比慈姑肉水提物 10.00 mg/mL 略高。芡实壳醇提物、芡实壳水提物、菱角壳醇提物、菱角壳水提物、藕节醇提物、藕节水提物、芡实肉水提物的 DPPH 自由基清除能力较强，IC_{50} 均小于 0.2 mg/mL，其中芡实壳醇提物、水提物 DPPH 自由基清除能力最强，IC_{50} 值分别为 0.03 mg/mL、0.04 mg/mL，它们的 DPPH 自由基清除能力与阳性对照 Vc 的 IC_{50} 值接近。其次为菱角壳醇提物、水提物，IC_{50} 值分别为 0.04 mg/mL、0.07 mg/mL，略高于 Vc 的 IC_{50} 值。在 7 种水生蔬菜中，芡实和菱角的不同部位的提取物的 DPPH·清除能力最强，其次是莲藕提取物，其它水生蔬菜提取物的 DPPH·清除能力较弱，IC_{50} 均大于 0.2 mg/mL，与裴刚所做的研究结果基本相似。裴刚[20]等比较了二角菱壳和四角菱壳不同提取物的抗氧化能力，二角菱壳醇提物和水提物的 IC_{50} 值分别为 0.05 mg/mL、0.06 mg/mL，四角菱壳醇提物和水提物的 IC_{50} 值分别为 0.03 mg/mL、0.04 mg/mL，且四角菱壳提取物清除 DPPH 自由基的能力均强于二角菱壳提取物。

表 1 30 种提取物 DPPH 自由基清除能力 IC_{50} 值

Table 1 IC_{50} alue of DPPH radical scavenging capacityconcentration from 30 kinds of extracts（mg/mL）

样品名	IC_{50}	样品名	IC_{50}
菱角壳醇提物	0.04±0.00^{a}	菱角壳水提物	0.07±0.00^{b}
菱角肉醇提物	1.71±0.07^{f}	菱角肉水提物	2.00±0.01^{f}
芡实壳醇提物	0.03±0.00^{a}	芡实壳水提物	0.04±0.00^{a}
芡实肉醇提物	0.20±0.00^{b}	芡实肉水提物	11.56±0.01^{n}
茭白叶醇提物	7.91±0.04^{i}	茭白叶水提物	6.31±0.14^{j}
茭白肉醇提物	9.23±0.07^{j}	茭白肉水提物	11.37±0.15^{m}
芋头皮醇提物	1.12±0.03^{e}	芋头皮水提物	2.57±0.12^{g}
芋头肉醇提物	3.01±0.04^{g}	芋头肉水提物	7.00±0.03^{k}
藕节醇提物	0.20±0.00^{b}	藕节水提物	0.20±0.00^{c}
藕皮醇提物	0.42±0.01^{c}	藕皮水提物	0.94±0.04^{d}
藕可食醇提物	0.85±0.01^{d}	藕可食水提物	0.99±0.02^{e}
慈姑芽醇提物	4.98±0.07^{h}	慈姑芽水提物	5.22±0.23^{i}
慈姑肉醇提物	10.90±0.01^{l}	慈姑肉水提物	10.00±0.07^{l}
荸荠皮醇提物	1.69±0.00^{f}	荸荠皮水提物	4.96±0.00^{h}
荸荠肉醇提物	10.59±0.02^{k}	荸荠肉水提物	11.56±0.01^{n}
Vc	0.03±0.00^{a}	Vc	0.05±0.00^{a}

注：同一列数据后不同字母表示差异显著（p<0.05），同一列数据后相同字母表示差异不显著（p>0.05）。

2.2 ABTS 自由基清除能力的比较

对 30 种提取物进行 ABTS 自由基清除能力的测定比较其抗氧化能力。由表 2 可知，常见水生蔬菜的 30 种提取 ABTS 自由基清除能力中，大部分醇提物 ABTS 自由基清除能力要略高于相应的水提物，如藕节醇提物为 0.43 g/g，藕节水提物为 0.26 g/g；但慈姑肉醇提物为 0.02 g/g，低于慈姑肉水提物 0.06 g/g。30 种提取物中，芡实壳醇提物、水提物和菱角壳醇提物、水提物清除能力较强，测定的 Trolox 含量均大于 0.6 g/g；芡实壳醇提物、水提物清除能力最强，Trolox 含量分别为：相当于每克样中含有水溶性 Vc（Trolox）1.42 g/g、1.41 g/g；其次是菱角壳醇提物、水提物，藕节醇提物、水提物，分别为：相当于水溶性 Vc（Trolox）含量为 1.15 g/g、0.85 g/g、0.43 g/g、0.26 g/g。其它的提取物则相对 ABTS 自由基清除能力较低，测定的 Trolox 含量均小于 0.2 g/g。张海芬等人[21]对 8 种水生蔬菜清除水溶性 ABTS 自由基能力的进行比较，得到清除能力依次为莲藕>水芋>水芹菜>荸荠>海菜>慈姑，与本实验结果基本一致。

表 2 30 种提取物 ABTS 自由基清除能力（g/g）

Table 2 The ABTS radical scavenging capacity of 30 kinds of extracts

样品名	每克样中 Trolox 含量	样品名	每克样中 Trolox 含量
菱角壳醇提物	1.15±0.01^{k}	菱角壳水提物	0.85±0.01^{g}
菱角肉醇提物	0.05±0.01^{de}	菱角肉水提物	0.03±0.01^{b}
芡实壳醇提物	1.42±0.06^{l}	芡实壳水提物	1.41±0.01^{h}
芡实肉醇提物	0.12±0.00^{h}	芡实肉水提物	0.01±0.00^{a}
茭白叶醇提物	0.04±0.00^{cd}	茭白叶水提物	0.04±0.00^{bc}
茭白肉醇提物	0.03±0.00^{bc}	茭白肉水提物	0.01±0.00^{a}
芋头皮醇提物	0.08±0.01^{f}	芋头皮水提物	0.05±0.00^{cd}
芋头肉醇提物	0.05±0.00^{de}	芋头肉水提物	0.01±0.00^{a}
藕节醇提物	0.43±0.01^{j}	藕节水提物	0.26±0.00^{f}
藕皮醇提物	0.19±0.01^{i}	藕皮水提物	0.09±0.00^{e}
藕可食醇提物	0.09±0.00^{f}	藕可食水提物	0.04±0.00^{bc}
慈姑芽醇提物	0.01±0.00^{a}	慈姑芽水提物	0.01±0.00^{a}
慈姑肉醇提物	0.02±0.00^{ab}	慈姑肉水提物	0.06±0.00^{d}
荸荠皮醇提物	0.04±0.00^{cd}	荸荠皮水提物	0.01±0.00^{a}
荸荠肉醇提物	0.06±0.00^{e}	荸荠肉水提物	0.01±0.00^{a}

注：同一列数据后不同字母表示差异显著（p<0.05），同一列数据后相同字母表示差异不显著（p>0.05）。

2.3 油脂抗氧化能力的比较

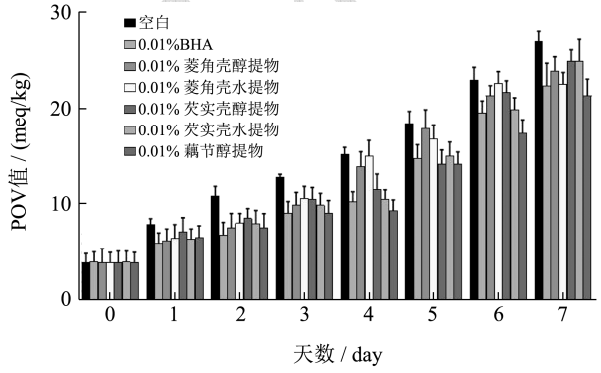


图 1 添加 0.01%浓度提取物对油脂 POV 值的影响

Fig.1 Effect of 0.01% extract on POV value of oil

取前五种抗氧化活性强的提取物，即菱角壳醇提物、菱角壳水提物、芡实壳醇提物、芡实壳水提取、藕节醇提物，将其加入菜籽油中对其进行应用，了解其抗氧化功效。其实验结果如图 1。

由图 1 可知，五组提取物的 POV 值随着测试时间的延长不断升高，添加 0.01%浓度的五种提取物随着天数的增加对空白试验组的 POV 值都有显著的减小趋势（p<0.05）。在五种提取物中，藕节醇提物与空白试验组的 POV 值相比有最显著的降低（p<0.05），在第 4 d 和第 7 d POV 值分别为空白试验组的 61.82%、79.20%；其次是芡实壳水提物，对空白试验组的 POV 值也有显著降低（p<0.05），从第 3 d 到第 4 d，这两组提取物的 POV 值增幅很小，抑制油脂氧化的效果最好，菱角壳醇提物、水提物和芡实壳醇提物对空白实验组的 POV 值均有显著降低（p<0.05），但油脂抗氧化效果不如藕节醇提物和芡实壳水提物；随着天数的增加，空白试验组的的 POV 值从 4.02 meq/kg 升至 26.97 meq/kg，到第 7 d 时，菱角壳醇提物、菱角壳水提物、芡实壳醇提物、芡实壳水提物和藕节醇提物的

的 POV 值分别为 23.92 meq/kg、22.52 meq/kg、24.87 meq/kg、21.36 meq/kg，在第 7 d 时均有明显的降低，与空白试验组的 POV 值有显著差异（p<0.05）；与添加 0.01%BHA 的组相比，五组提取物均有显著性差异（p<0.05），加入 0.01%BHA 的组第 7 d 的 POV 值为 22.41 meq/kg，为空白试验组 POV 值的 83.09%，与空白组也有显著差异（p<0.05），抗氧化效果稍弱于 0.01%藕节醇提物，相比其他四种提取物有较为显著的差异（p<0.05）；五组提取物之间从第 1 d 开始 POV 值均有显著性差异（p<0.05），且藕节醇提物抗氧化效果最优。

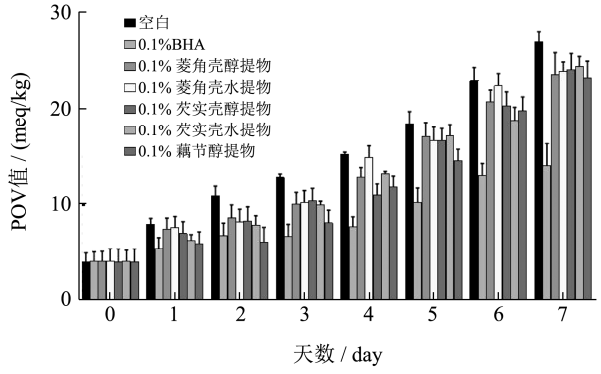


图 2 添加 0.1%浓度提取物对油脂 POV 值的影响

Fig.2 Effect of 0.1% extract on POV value of oil

由图 2 可知，随着测试时间的延长，五组提取物的 POV 值不断升高，添加 0.1%浓度的五种提取物随着天数的增加对空白试验组的 POV 值都有显著的减小趋势（p<0.05）。五种提取物中，藕节醇提物对空白试验组的 POV 值有最为显著的降低（p<0.05），在第 4 d 和第 7 d POV 值分别为空白试验组的 77.93%、86.17%，其次是芡实壳水提物，对空白试验组的 POV 值也有显著降低（p<0.05），在第 4 d 和第 7 d POV 值分别为空白试验组的 86.84%、90.58%，菱角壳醇提物、水提物和芡实壳醇提物对空白实验组的 POV 值均有显著降低（p<0.05），降低的程度各不相同，但都对提高菜籽油的抗氧化性起到一定的作用；随着天数的增加，空白试验组的 POV 值从 4.02 meq/kg 升至 26.97 meq/kg，在第 7 d 时，菱角壳醇提物、菱角壳水提物、芡实壳醇提物、芡实壳水提物和藕节醇提物的 POV 值分别为 24.43 meq/kg、23.53 meq/kg、24.06 meq/kg、23.86meq/kg、22.40 meq/kg，相比空白试验组的的 POV 值均有显著的降低（p<0.05），表明添加五种提取物都可以有效降低菜籽油的 POV 值，不同程度的提高菜籽油的抗氧化性能；五组提取物与加入 0.01% BHA 的组相比均有显著性差异（p<0.05），加入 0.1%BHA 的组第 7 d 的 POV 值为 14.06 meq/kg，为空白试验组 POV 值的 52.13%，显著低于其他五组提取物（p<0.05），对菜籽油的抗氧化效果最好，且效果明显优于同等剂量的其他五种提取物；五组提取物之间，从第 1 d 开始 POV 值均有显著性差异（p<0.05），藕节醇提物油脂抗氧化效果优于其余四种。

选取藕节醇提物和芡实壳水提物这两种油脂抗氧化性好的提取物，探究不同浓度的相同提取物是否对油脂抗氧化效果有显著性差异。

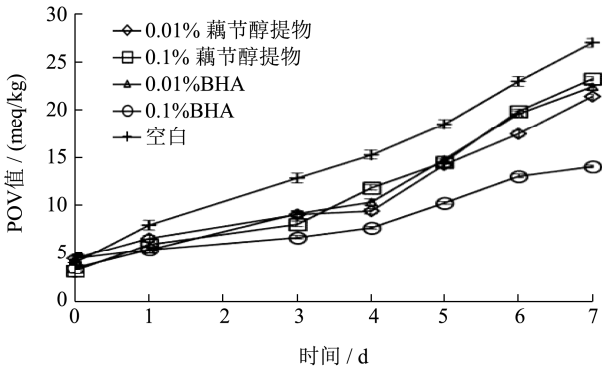


图 3 藕节醇提物对菜籽油抗氧化效果

Fig.3 the antioxidant effect of alcohol extract of rhizoma nelumbinis to rapeseed oil

由图 3 可知，五个组的 POV 值随着测试时间的延长不断增加，添加 0.01%藕节醇提物、0.1%藕节醇提物和 0.01% BHA 的菜籽油 POV 值上升趋势基本相似，且上升趋势比空白组要慢，添加 0.01%和 0.1%两种浓度的藕节醇提物均对菜籽油有一定的抗氧化效果，但两种浓度间无显著性差异（p>0.05）；除空白组外，其余四组前 3 d 的抗氧化效果均好于后 4 d，而添加 0.1% BHA 的菜籽油随时间的增加 POV 值上升的较平缓，抗氧化效果最佳，添加 0.1% BHA 的抗氧化效果优于添加 0.01% BHA，表明在一定范围里，添加的 BHA 浓度越高，抗氧化效果越好。藕节醇提物对菜籽油有一定的抗氧化作用，但效果不如 0.1% BHA。

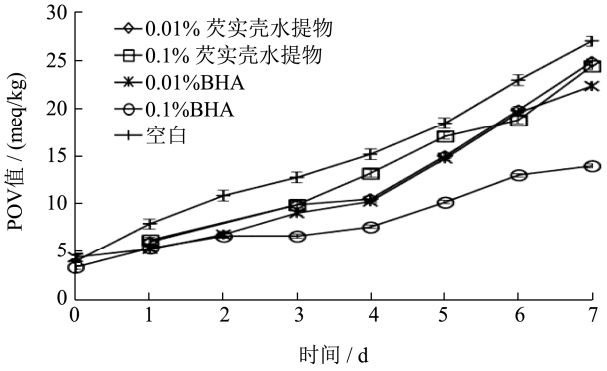


图 4 芡实壳水提物对菜籽油抗氧化效果

Fig.4 The antioxidant effect of water extract of euryale shell to rapeseed oil

由图 4 可知，五个组的 POV 值随着测试时间的延长不断升高，添加 0.01%芡实壳水提物、0.1%芡实

壳水提物和 0.01% BHA 的菜籽油 POV 值上升趋势相似；添加 0.01%和 0.1%两种浓度的芡实壳水提物均对菜籽油有不同程度的抗氧化作用，但两种浓度之间没有显著性差异（p>0.05）；0.01%芡实壳水提物和 0.01% BHA 这两组从第 3 d 到第 6 d 上升趋势基本一致，除空白组外，其余四组前 4 d 的抗氧化效果均好于后 3 d；添加 0.1% BHA 的菜籽油组 POV 值上升趋势最为平缓，对提高菜籽油抗氧化能力效果明显。其他三种提物两种浓度之间均没有显著性差异（p>0.05），表明这两种浓度的添加对油脂抗氧化效果没有明显影响，可能是浓度太低或者两个浓度之间的差距太小，可能选取更高的浓度或者浓度差才有会显著性差异。

综上可知，在 7 d 内，添加五种提取物对菜籽油均有一定的抗氧化性，藕节醇提物效果最好，其次是芡实壳水提物，但油脂抗氧化性效果均不如 0.1% BHA，且 0.1%和 0.01%两个提取物浓度对抗氧化效果没有显著性差异（p>0.05）。孙文凯[22]研究了芡实壳提取物对小鼠的血糖的影响，结果表明芡实壳提取物可以降低血脂中 MDA 的水平，减轻高血糖给小鼠胰岛带来的损伤；李湘利[23]等发现芡实多糖具有清除自由基的能力，通过研究得到芡实多糖对油脂有一定的抗氧化作用，但效果不如 Vc，与本实验结论类似。

3 结论

在 30 种提取物中 DPPH 自由基清除能力较强的五种提取物 IC_{50} 值分别为：芡实壳醇提物（0.03±0.00 mg/mL）<芡实壳水提物（0.04±0.00 mg/mL）=菱角壳醇提物（0.04±0.00 mg/mL）<菱角壳水提物（0.07±0.00 mg/mL）<藕节醇提物（0.20±0.00），芡实壳醇提物和芡实壳水提物的抗氧化活性最强，与阳性对照 Vc 的 IC_{50} 无显著差异；ABTS 自由基清除能力较强的五种提取物 Trolox 含量分别为（相当于每克样中含有 Trolox）：芡实壳醇提物（1.42±0.06 g/g）>芡实壳水提物（1.41±0.00 g/g）>菱角壳醇提物（1.15±0.01 g/g）>菱角壳水提物（0.85±0.01 g/g）>藕节醇提物（0.43±0.01 g/g）；芡实肉醇提物、藕节水提物、藕皮醇提物均具有一定的抗氧化活性，但抗氧化活性较弱。芡实壳水提物、芡实壳醇提物、菱角壳水提物、菱角壳醇提物和藕节醇提物对菜籽油有一定抗氧化的效果，0.01%和 0.1%的提取物两种浓度间没有显著差异（p>0.05），添加 0.1%BHA 的抗氧化效果优于添加 0.01% BHA。添加 0.1%浓度的五种提取物第 7 d 的 POV 值分别为 23.86 meq/kg、24.06 meq/kg、23.53 meq/kg、24.43 meq/kg、22.40 meq/kg，添加 0.1%浓度的 BHA 的 POV 值为 14.04 meq/kg，五种提取物的油脂抗氧化效果均不如 0.1%浓度的 BHA。

参考文献

[1] 柯卫东,黄新芳, 李建洪,等.我国水生蔬菜科研与生产发展概况[J].长江蔬菜,2015,14:33-37
KE Wei-dong, HUANG Xin-fang, LI Jian-hong, et al. Research and production development of aquatic vegetables in China [J]. The Yangtze River Vegetable, 2015, 14: 33-37

[2] 江解增.植物抗氧化性的主要活性成分研究[J].安徽农业科学,2017,45(25):8-10
JIANG Jie-zeng. Study on main active ingredients of antioxidant activity in plants [J]. Agricultural Science of Anhui Province, 2017, 45(25): 8-10

[3] 潘国庆,梁永欣.黄酮类化合物结构与抗氧化活性关系研究[J].青海科技,2005,12(3):28-30
PAN Guo-qing, LANG Yong-xin. Study on the relationship between flavonoids structure and antioxidant activity [J]. Qinghai Science and Technology, 2005, 12(3): 28-30

[4] Kris-Etherton P M, Hecker K D, Bonanome A, et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer [J]. American Journal of Medicine , 2002, 113(9): 71-88

[5] Peschel W , Ferran Sánchez-Rabaneda, Diekmann W, et al. An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes [J]. Food Chemistry, 2016, 97(1): 137-150

[6] Ohr, L M. Dientary antioxidant [J]. Food Technology , 2004, 58: 67-74

[7] Min Zhang, Huizhi Chen, Arun S Mujumdar, et al. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(6): 1239-1255

[8] Haiping W, Xixiang L I, Jiangping S. Vegetable genetic resources in China [J]. Horticultural Plant Journal, 2018, 4(2): 83-88

[9] 陈玉霞,郭长江,杨继军,等.常见 25 种蔬菜抗氧化活性的比较研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2007,28(5):37-41
CHEN Yu-xia, GUO Chang-jiang, YANG Ji-jun, et al. Comparative study on antioxidant activity of 25 common vegetables [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2007, 28(5): 37-41

[10] 李鹏婧,柳旭光,龙海荣,等.超声波辅助提取菱角壳总黄酮及抗氧化性研究[J].食品科技,2011,1:167-171
LI Peng-jing, LIU Xu-guang, LONG Hai-rong, et al.

Ultrasonic assisted extraction of total flavonoids and antioxidant properties of water chestnut shell [J]. Food Science and Technology, 2011, 1: 167-171

[11] Lucía Redondo-Cuevas, Gloria Castellano, Vassilios Raikos. Natural antioxidants from herbs and spices improve the oxidative stability and frying performance of vegetable oils [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(11)

[12] Temple N J. Antioxidants and disease: more questions than answers [J]. Nutrition Research, 2010, 20: 449-459

[13] Ness. Diet, Nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. [J]. International Journal of Epidemiology, 2004, 33(4): 914-915

[14] Romina M Bodoira, María C Penci, Pablo D. Ribotta chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: study of the effect of natural antioxidants [J]. LWT- Food Science and Technology, 2017, 75: 107-113

[15] 孙文凯.芡实壳提取物抗氧化作用与降血糖功效初探[D].安徽:合肥工业大学,2012
SUN Wen-kai. Preliminary study on antioxidant effect and hypoglycemic effect of *Gordon euryale* seed shell extract [D]. Anhui: Hefei University of Technology, 2012

[16] 熊双丽,卢飞,史敏娟,等.DPPH 自由基清除活性评价方法在抗氧化剂筛选中的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(8):380-383
XIONG Shuang-li, LU Fei, SHI Min-juan, et al. Advances in the evaluation of DPPH free radical scavenging activity in antioxidant screening [J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 33(8): 380-383

[17] Floegel A, Dae-Ok Kim, Sang-Jin Chung, et al. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2011, 24(7): 1043-1048

[18] 杨惠芬.食品卫生理化检验标准手册[M].中国标准出版社,1998
YANG Hui-fen. Manual of Standards for Physical and Chemical Inspection of Food Hygiene [M]. China Standard Press, 1998

[19] GB-T 5009.37-1996,食用油脂卫生标准的标准分析方法[S]
GB-T 5009.37-1996, Standard Analytical Method for Hygienic Standards for Edible Oils and Fats [S]

[20] 裴刚,胡乔铭,向德标,等.二角菱壳和四角菱壳不同提取物抗氧化能力比较研究[J].中国药物经济学,2013,z1:225-226
PEI Gang, HU Qiao-ming, XIANG De-biao, et al. Comparative study on antioxidant capacity of different extracts of dichorned rhombohedron and tetragonal rhombohedron [J]. Chinese Pharmacoeconomics, 2013, z1: 225-226

[21] 张海芬,高云涛,那吉,等.8 种水生蔬菜清除水溶性 $ABTS^+$ 自由基活性研究[J].食品研究与开发,2019,40(6):8-13,18
ZHANG Hai-fen, GAO Yun-tao, NA Ji, et al. Scavenging activities of water-soluble $ABTS^+$ free radicals from eight species of aquatic vegetables [J]. Food Research and Development, 2019, 40(6): 8-13, 18

[22] 孙文凯,袁怀波,许卫,等.芡实壳提取物抗氧化能力研究[J].食品工业科技,2011,4:100-102
SUN Wen-kai, YUAN Huai-bo, XU Wei, et al. Research on antioxidant capacity of *Gordon euryale* seed shell extract [J]. Food Industry Science and Technology, 2011, 4: 100-102

[23] 李湘利,刘静,燕伟,等.芡实多糖的抗氧化性及抑菌特性[J].食品与发酵工业,2014,11:108-112
LI Xiang-Li, LIU Jing, YAN Wei, et al. The antioxidant and antibacterial properties of *Gordon euryale* polysaccharides [J]. Food and Fermentation Industry, 2014, 11: 108-112

（上接第 74 页）

[17] 方靖.乳酸菌发酵剂在面包发酵工艺中的应用[D].广州:华南理工大学,2013
FANG Jing. Application of lactic acid bacteria starter in bread fermentation process [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013

[18] Plessas S, Bekatorou A, Gallanagh J, et al. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus or *Lactobacillus helveticus* [J]. Food Chemistry, 2008, 107(2): 883-889

[19] Gerasi E, Litopoulou Mil Zanetaki E, Tzanetakis N. Microbiological study of Manura, a hard cheese made from raw ovine milk in the Greek island Sifnos [J]. International Journal of Dairy Technology, 2010, 56(2): 117-122

[20] Díez L, Rojo B. Antimicrobial activity of pediocin PA-1 against *Oenococcus oeni* and other wine bacteria [J]. Food Microbiology, 2012, 31(2): 167-172

[21] Woraprayote W, Malila Y, Sorapukdee S, et al. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products [J]. Meat Science, 2016, 120: 118-132