杜仲叶茶与蓝锭果提取物的体外抗氧化性研究

徐文泱[1], 唐小兰[1*], 余 婧[1], 马东兴[2], 王亮亮[1], 贺 燕[1]

(1. 湖南省食品质量监督检验研究院 食品安全监测与预警湖南省重点实验室, 长沙 410017;
2. 山东临沂市检验检测中心，临沂 276000)

摘 要: 目的 比较和探讨杜仲叶茶和蓝锭果提取物的体外抗氧化能力。**方法** 以清除率和抑制率为主要评价指标, 对样品进行自由基清除、还原力以及抗油脂和抗脂质过氧化能力的测定, 并以维生素 C 为对照实验进行比较。**结果** 随着浓度的增加, DPPH·自由基、羟自由基及超氧自由基的清除率、抗脂质氧化抑制率均逐步提高。杜仲叶茶的还原能力明显优于蓝锭果提取物和维生素 C。2 种植物提取物及维生素 C 对 $ABTS^+$自由基的清除率普遍低于对其他自由基的清除作用, 蓝锭果提取物在清除 $ABTS^+$自由基方面效果最优, 当杜仲叶茶和蓝锭果提取物提取液浓度为 0.5 mg/mL 时, 其抗油脂氧化能力均弱于维生素 C。**结论** 杜仲叶茶和蓝锭果提取物均有一定的抗氧化作用, 该研究可为杜仲和蓝锭果的功能性产品开发提供一定的指导思路。

关键词: 杜仲叶茶; 蓝锭果提取物; 体外抗氧化

Study on *in-vitro* antioxidant activity of *Eucommia ulmoides* leaves tea and honeysuckle extracts

XU Wen-Yang[1], TANG Xiao-Lan[1*], YU Jing[1], MA Dong-Xing[2], WANG Liang-Liang[1], HE Yan[1]

(1. *Hunan Institute of Food Supervision Inspection and Research*, *Hunan Provincial Key Laboratory of Food Safety Monitoring and Early Warning*, *Changsha* 410017, *China*; 2. *Linyi Inspection and Testing Center*, *Linyi* 276000, *China*)

ABSTRACT: Objective To compare and discuss the *in-vitro* antioxidant activity of the *Eucommia ulmoides* leaves tea and honeysuckle extracts. **Methods** The scavenging effects and inhibition rate were used as evaluation indicators to determine the free radical scavenging, reducing capability, and anti-oil and anti-lipid peroxidation capabilities. Vitamin C was used as a control experiment for comparison. **Results** As the concentration increased, the scavenging rate of DPPH· free radicals, hydroxyl free radicals and superoxide free radicals and the inhibition rate of anti-lipid oxidation were gradually increased. The reducing ability of *Eucommia ulmoides* leaves tea was significantly better than that of honeysuckle extract and vitamin C. The scavenging effects of two kinds of plant extracts and vitamin C on $ABTS^+$ free radicals were generally lower compared with those of other free radicals. Honeysuckle extract had the best effect in scavenging $ABTS^+$ free radicals. When the concentration of *Eucommia ulmoides* leaves tea and honeysuckle extract reached 0.5 mg/mL, the anti-oxidation ability to oil was weaker than that

基金项目: 食品安全国家标准制定项目(spaq-2019-007)、湖南创新型省份建设专项社会发展领域重点研发项目(2018NK2034、2019SK2121)、湖南省市场监督管理局科技计划项目(2019KJJH53)

Fund: Supported by the National Food Safety Standard Formulation Project (spaq-2019-007), Hunan Key Research and Development Project for Innovative Province Construction Special Social Development (2018NK2034、2019SK2121), Hunan Science and Technology Project of Market Supervision Administration (2019KJJH53)

***通信作者:** 唐小兰, 正高级工程师, 主要研究方向为食品安全质量分析。E-mail: 627952852@qq.com

***Corresponding author:** TANG Xiao-Lan, Professor, Hunan Institute of Food Supervision Inspection and Research, No.238, Times Sunshine Road, Changsha 410017, China. E-mail: 627952852@qq.com

of vitamin C. **Conclusion** The extracts of *Eucommia ulmoides* leaf tea and Blue ingotta fruit have certain antioxidant effects. This study can provide some guidance for the development of functional products of *Eucommia ulmoides* and honeysuckle.

KEY WORDS: *Eucommia ulmoides* leaves tea; honeysuckle extracts; *in-vitro* antioxidant activity

0　引　言

随着生命科学的飞速发展, 英国人HARMAN[1]于1956年提出自由基学说。该学说认为, 自由基攻击生命大分子造成了组织细胞损伤, 是引起机体衰老的根本原因, 也诱发了肿瘤等恶性疾病。抗氧化性可有效抑制自由基的氧化反应, 具有抗氧化活性的物质延缓机体衰老, 增强免疫力, 对人体健康至关重要[2], 而植物提取物中由于含有大量的活性成分[3−5], 使得其抗氧化性研究[6−8]受到人们的格外关注。

杜仲属杜仲科, 仅一属一种, 多分布于华中、华南、西南及西北各地, 是我国特有的名贵珍稀树种, 享有“植物黄金”的美誉[9]。文献研究表明, 杜仲叶拥有丰富的活性成分[10−12], 包括木脂素类、环烯醚萜类、黄酮类、苯丙素类、甾醇类及矿物元素等。抗氧化性优于杜仲皮及杜仲雄花, 近年来成为功能性食品的开发热点[13−14]。

目前对于杜仲不同部位的活性成分组成及抗氧化性研究较多[15−17], 但对于杜仲产品与其他具有抗氧化性的植物提取物的横向比较较少。蓝锭果是忍冬科的落叶小灌木[18], 多见于东北三省, 提取物的主要活性成分为多酚类化合物如花色苷、黄烷-3-醇、酚酸、黄烷醇和黄酮[19−22]等, 并有少量环醚烯萜类化合物如鼠李酸、马钱苷、当药苷和断马钱子苷[23]以及极微量的不饱和脂肪酸[24]。其中花色苷是一种天然的抗氧化剂, 因此它的提取物以其优越的抗氧化性常用于保健食品的生产。对这 2 种植物提取物抗氧化性的比较研究可进一步了解产品功效区别, 为产品的功能定位和精准靶向开发提供参考。

本研究以杜仲叶茶、蓝锭果提取物为研究对象, 采用不同抗氧化性实验分别测定其抗氧化性, 考察不同测定原理下抗氧化性的区别, 以期得到活性可预期、特定功能精准的植物提取物产品, 促进天然原料产业发展。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

T9CS 紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); DZKW-4 水浴锅(北京中兴伟业仪器有限公司); KQ-500 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); CP214 分析天平[奥豪斯仪器(上海)有限公司]; RE-2000A 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)。

硫酸亚铁(纯度为 98%)、水杨酸(纯度为 98%)、1, 1-二苯基苦基苯肼(纯度为 98%)、双氧水、六氰合铁酸钾(纯度为 98%)、三氯乙酸(纯度为 99%)、三氯化铁(纯度为 98%)、硫代巴比妥酸(纯度为 98%)、盐酸(纯度为 37%)、磷酸(纯度为 98%)、核黄素(纯度为 98%)、蛋氨酸(纯度为 98%), 氮蓝四唑(纯度为 98%)、乙二胺四乙酸(纯度为 98%)、维生素 C(纯度为 99%)(国药集团化学试剂有限公司); 乙醇(色谱纯, 德国 Merck 集团)。实验用水为去离子水。

杜仲叶茶由张家界茶坤缘杜仲生物开发有限公司提供。生产工艺流程为: 杜仲鲜叶经 180 ℃炒青 30 min, 揉捻 30 min 后发酵 48 h, 自然晒干, 蓝锭果红由河南中大恒源生物科技股份有限公司制备, 生产工艺流程为: 蓝锭果以酸性乙醇水溶液提取, 经过大孔吸附树脂净化后浓缩干燥制得成品。

1.2　样品的制备

称取经粉碎的杜仲叶茶和蓝锭果提取物各 0.5 g, 用 50%乙醇水溶液超声提取 30 min, 重复提取 3 次后, 过滤, 合并滤液, 滤液浓缩至 5~15 mL。取不同体积的提取液用 50%乙醇水溶液稀释至 10 mL 得到不同质量浓度的提取液以测抗氧化性。

1.3　抗氧化性的测定方法

1.3.1　DPPH·自由基

配制 2 mL 0.04 mg/mL 的 DPPH·乙醇溶液, 加入 2 mL 不同浓度的提取物溶液, 振荡摇匀后避光反应 30 min, 将反应液置于 517 nm 处测量吸光度值 A_i, 测定 4 mL 乙醇的吸光度值 A_0(以乙醇为对照), 将 2 mL 乙醇溶液和 2 mL 不同浓度的杜仲叶茶或蓝锭果红提取液混合并测吸光度值 A_j。将维生素 C 取代不同浓度的提取液作为比对实验。

$$\text{清除率}(\%)=(1-\frac{A_i-A_j}{A_0})\times 100$$

1.3.2　OH·自由基

将 0.5 mL 提取液, 6 mmol/L $FeSO_4$, 8.8 mmol/L 双氧水各 1 mL 混合后静置 10 min, 加入 1 mL 6 mmol/L 水杨酸混合静置 30 min。不同浓度的提取液吸光度记为 C_i, 将提取液替换成相同体积的水, 测得吸光度值为 C_j, 水取代提取液测得的空白为 C_0, 将维生素 C 取代不同浓度的提取液作为比对实验。

清除率按下式进行计算:

$$\text{清除率}(\%)=(1-\frac{C_i-C_j}{C_0})\times 100$$

1.3.3　超氧阴离子的测定

将 0.2 mL 的磷酸缓冲液(pH=7.8), 0.06 mmol/L 核黄素,

蛋氨酸, 1.125 mol/L 氮蓝四唑和 0.1 mL 0.003 mol/L 乙二胺四乙酸混合后加入样品提取液, 反应 25 min 后于 560 nm 处测定吸光度值记为 D_i, 将缓冲液取代样品测得吸光度值为 D_0, 将氮蓝四唑替换样品后测得吸光度值为 D_j。将维生素 C 取代不同浓度的提取液作为比对实验。

$$清除率(\%)=(1-\frac{D_i-D_j}{D_0})\times 100$$

1.3.4 $ABTS^+$自由基的清除

将 7 mmol/L 的 ABTS 溶液与 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液混合, 避光放置 20 h。将样品与生成的 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸 [2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), $ABTS^+$]溶液混匀, 室温下静置 10 min。不同浓度的提取液吸光度记为 E_i, 将提取液替换成相同体积的水, 测得吸光度值为 E_j, 水取代提取液测得的空白为 E_0, 将维生素 C 取代不同浓度的提取液作为比对实验。

$$清除率(\%)=(1-\frac{E_i-E_j}{E_0})\times 100$$

1.3.5 总还原力的测定

将 2 mL 不同浓度提取液和 2 mL 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲液和 2 mL 1%六氰合铁酸钾溶液混合, 50 ℃下水浴 30 min 后快速冷却。加入 2 mL 10%三氯乙酸, 混匀离心, 取 2 mL 上清液与 2 mL 水和 0.5 mL 三氯化铁溶液混合, 静置 10 min, 在 700 nm 处测其吸光度值。将维生素 C 取代不同浓度的提取液作为比对实验。

1.3.6 抗脂质过氧化能力的测定

配制脂质体 PBS 分散系, 将 200 mg 卵磷脂溶解于 20 mL 10 mmol/L, pH=7.4 的磷酸缓冲液, 冰浴振荡 60 min。配制三氯乙酸-硫代巴比妥酸-盐酸-水溶液, 其中三氯乙酸为 15 g, 硫代巴比妥酸为 0.37 g, 浓盐酸为 2.1 mL。取 1 mL 样品, 加入 1 mL 卵磷脂溶液, 0.4 mmol/L 硫酸亚铁, 在 37 ℃下避光反应 60 min, 再加入 2 mL 前述的三氯乙酸-硫代巴比妥酸-盐酸-水溶液, 于 90 ℃±5 ℃下水浴 15 min 后冷却取上清液于 535 nm 处进行测定吸光度值 B_i。以去离子水取代样品同样操作, 获得的空白值为 B_0, 以去离子水代替卵磷脂的测定结果记为 B_j。

$$抑制率(\%)=(1-\frac{B_i-B_j}{B_0})\times 100$$

1.3.7 抗油脂氧化能力的测定

将 2 mL 0.5 mg/mL 的杜仲叶茶和蓝锭果红提取液及维生素 C 加入 20 g 猪油中, 均质后于 60 ℃中烘箱静置。每隔 1 d 测定并记录过氧化值, 共测试 3 d。油样最初的过氧化值记为 P_0, 添加了提取液后油样的过氧化值记为 P_i, 过氧化值的检测方法参考 GB 5009.227—2016[25]。

$$油脂氧化抑制率(\%)=\frac{P_0-P_i}{P_0}\times 100$$

1.3.8 数据统计与分析

每个测定实验重复 3 次, 采用 EXCEL 对结果进行数据统计分析, Origin 2019b 制图。

2 结果与分析

2.1 DPPH·自由基清除的测定结果

DPPH·是一种稳定的、以 N 为中心的自由基, 反应体系中的自由基清除剂可与 DPPH 电子结合, 使得其原有的紫色褪色为浅黄色或无色。图 1 为杜仲叶茶与蓝锭果提取物对 DPPH·自由基的清除效果。

由图 1 可知, 随着质量浓度的提高, 杜仲叶茶、蓝锭果提取物以及维生素 C 清除 DPPH·自由基的能力明显提高, 两者浓度在 40 mg/L 时 DPPH·自由基可达到 90%以上, 它们对 DPPH·自由基的 IC_{50} 均大于维生素 C, 这说明它们的清除能力优于维生素 C, 这可能是由于它们的酚羟基可提供更多可利用的氢, 还原性更高, 从而使得抗氧化活性较为显著。

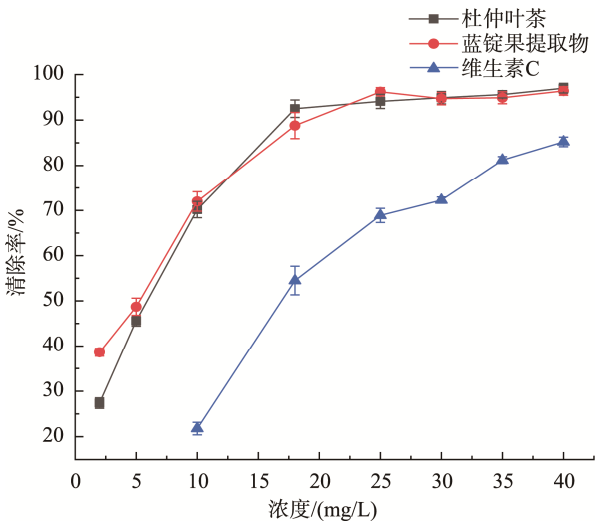

图 1 杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 对 DPPH·自由基的清除情况(n=3)

Fig.1 Scavenging capacity of free radical DPPH· by *Eucommia ulmoides* leaves tea, honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

2.2 羟自由基清除的测定结果

羟自由基是一种非常活泼的自由基, 极易与体内的蛋白质发生反应而使得 DNA 发生变化, 从而有较强的致癌性及致突变性。由图 2 可知, 2 种植物提取物均可有效降低羟自由基产生。其中杜仲叶茶和蓝锭果提取物对羟自由基的清除效果优于维生素 C, 后者浓度在低于 70 mg/L 时尚未发挥清除羟自由基的作用。这可能是因为杜仲叶茶提取物中的功效成分在与水杨酸竞争羟自由基的能力更强, 而维生素 C 在氧化过程中生成的过氧化氢反而提高了显色程度, 因而羟自由基的数量上升了。

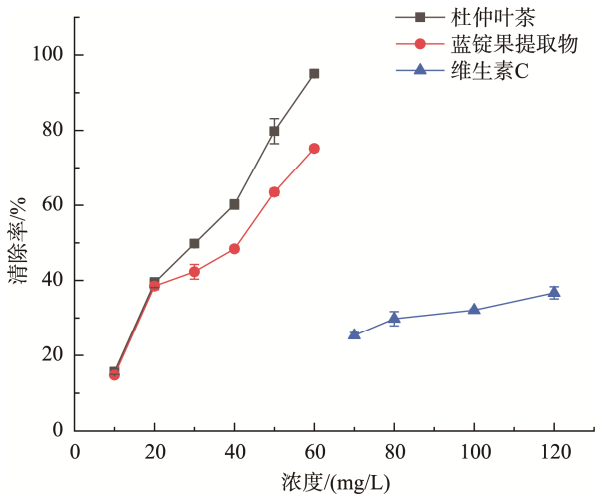

图 2　杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 对 OH·自由基的清除情况(n=3)

Fig.2　Scavenging capacity of free radical OH· by *Eucommia ulmoides* leaves tea, honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

2.3　超氧阴离子的测定结果

抗氧化剂可减弱超氧阴离子还原氮蓝四唑的能力，用分光光度法测定超氧阴离子和氮蓝四唑产生的蓝紫色物质含量可反映出其抗氧化物质的活性。

由图 3 可知，杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 均可减少超氧阴离子的含量。随着浓度的提高，清除率也有所增加。相同质量浓度的蓝锭果提取物超氧阴离子的清除率最低，这可能是由于反应受 pH 影响较大，而蓝锭果提取物的成分中包括了花色苷，花色苷在 pH > 4 后会转换为其他结构，影响超氧阴离子的清除效果。

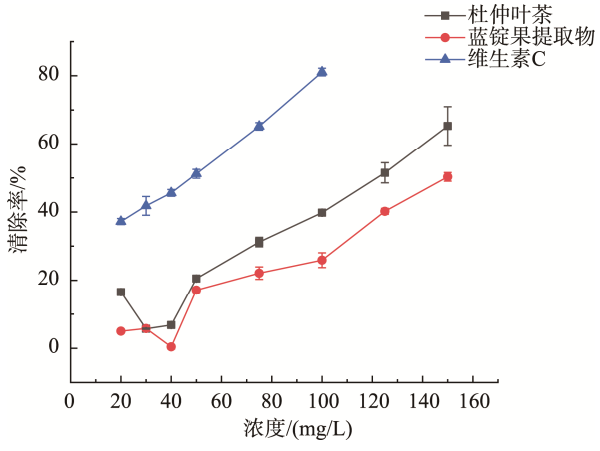

图 3　杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 对 O_2^-的清除情况(n=3)

Fig.3　Scavenging capacity of free radical O_2^- by *Eucommia ulmoides* leaves tea, honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

2.4　ABTS$^+$自由基的测定结果

抗氧化剂可将绿色的 ABTS$^+$还原为无色，测定有色的 ABTS$^+$的吸光度值即可判断自由基的还原效果。

由图 4 可知，杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 对 ABTS$^+$均有一定的清除能力。但清除率均小于 70%，且当浓度增加到 80 mg/L 时，清除率的上升趋势较为平缓。在相同的质量浓度时，蓝锭果提取物的清除效果均高于其他 2 组。

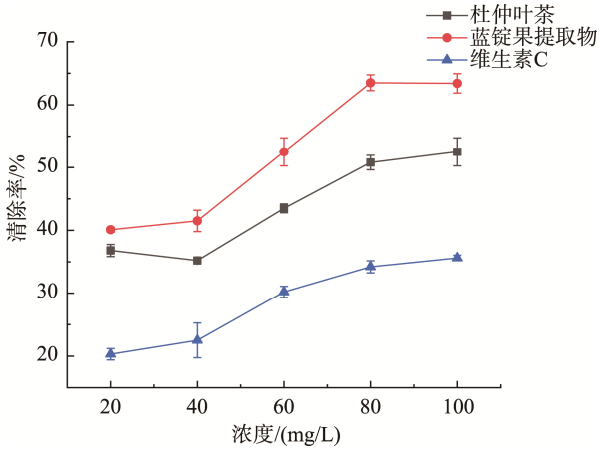

图 4　杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 对 ABTS$^+$的清除情况(n=3)

Fig.4　Scavenging capacity of free radical ABTS$^+$ by *Eucommia ulmoides* leaves tea, honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

2.5　还原力的测定结果

还原力也可在一定程度上反映抗氧化活性的大小。从图 5 可以看出，2 种植物提取物的吸光度值均随着质量浓度的增加而上升。在质量浓度相同的情况下，维生素 C 反应后的吸光度值大于蓝锭果提取物而小于杜仲叶茶反应后的吸光度值。这说明杜仲叶茶的还原力较强，这可能是由于杜仲叶茶中的活性成分可以提供更多电子，与六氰合铁酸钾生成的显色物质更多，使得吸光度值变大。

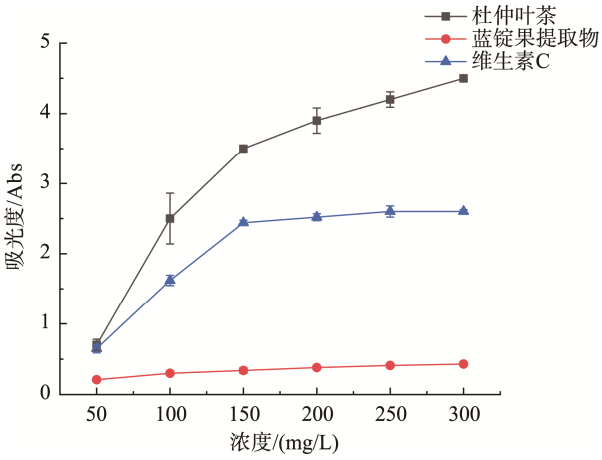

图 5　杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 还原力测定情况(n=3)

Fig.5　Reduction capabilities of *Eucommia ulmoides* leaves tea, honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

2.6 抗脂质过氧化的测定结果

抗脂质过氧化反应主要是考察植物提取物减少多不饱和脂肪酸和脂质反应而降解这一过程的能力。从图 6 中可看出，杜仲叶茶的抗脂质过氧化能力最强，蓝锭果提取物次之，两者在 500 mg/L 时脂质的抑制率已达到 50%以上，而同一浓度下的维生素 C 尚未能发挥抗脂质过氧化的作用。这可能是由于杜仲叶茶和蓝锭果提取物的活性成分中黄酮类物质较多，有多个酚羟基，提供的质子可以有效隔断不饱和脂肪酸和脂质氧自由基发生的反应。

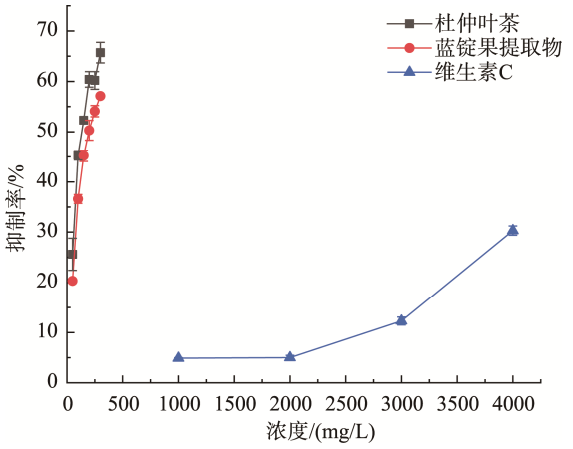

图 6 杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 的抗脂质过氧化情况 (n=3)

Fig.6 Antioxidation capability to lipid by *Eucommia ulmoides* leaves tea , honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

2.7 抗油脂氧化能力的测定结果

油脂中的不饱和脂肪酸影响其品质和风味，也有益于人体健康。但它受到环境影响极易氧化发生自由基链反应。

由图 7 可知，杜仲叶茶和蓝锭果提取物均具备一定的抗油脂氧化能力。相同质量浓度(0.5 mg/mL)下维生素 C 的抗油脂氧化能力始终优于杜仲叶茶和蓝锭果提取物。油脂抑制率随着时间的增加而增加，但当放置时间到 3 d 时，杜仲叶茶和蓝锭果提取物的抗油脂氧化能力均有所下降。

3 结 论

本文研究了杜仲叶茶与蓝锭果提取物的抗氧化性，并对比了维生素 C 的抗氧化效果。考察了不同浓度的样品的总还原力、自由基的清除能力以及抗脂质和油脂过氧化抑制能力。可以看到，杜仲叶茶和蓝锭果提取物在自由基清除、抗脂质及油脂过氧化抑制方面均表现出优异的效果。随着浓度的增加，DPPH·自由基、羟自由基及超氧自由基的清除率及抗脂质氧化抑制率均逐步提高，对油脂的抑制能力随着浓度的增加先上升后下降。维生素 C 相较于其他产品抗油脂能力较强，但抑制率未超过 60%。而杜仲叶茶、蓝锭果提取物在抗自由基实验中表现出较强的抗氧化能力，杜仲叶茶和蓝锭果提取物在 10 mg/L 时的抗 DPPH·自由基能力可达 70%，同一浓度下对羟自由基和 $ABTS^{+}$自由基的清除率也优于维生素 C，在清除超氧阴离子方面，维生素 C 的效果最佳，当维 C 浓度为 100 mg/L 时，超氧阴离子清除率达 80%，而另外 2 种的清除率不足 50%。综上所述，在此种生产及提取工艺下杜仲叶茶的抗氧化性优于蓝锭果提取物，为杜仲叶茶的功能性成分富集开发及质量控制提供一定的指导思路。

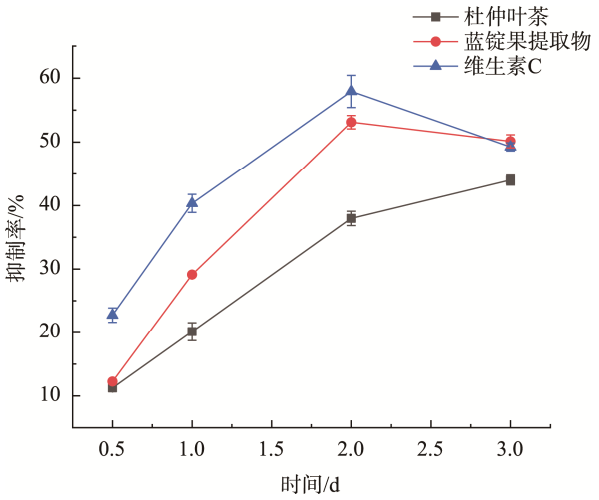

图 7 杜仲叶茶、蓝锭果提取物和维生素 C 对油脂的氧化抑制情况(n=3)

Fig.7 Antioxidation activity to fat by *Eucommia ulmoides* leaves tea, honeysuckle extracts and vitamin C (n=3)

参考文献

[1] DENHAM H. Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry [J]. J Gerontol, 1956, 11(3): 298–300.

[2] CSISZAR A, LABINSKYY N, JIMENEZ R, *et al*. Anti–oxidative and anti–inflammatory vasoprotective effects of caloric restriction in aging: Role of circulating factors and SIRT1[J]. Mechanisms Agng Dev, 2009, 130(8): 518–527.

[3] TANG YX, FU WW, WU R, *et al*. Bioassay–guided isolation of prenylated xanthone derivatives from the leaves of *Garcinia oligantha* [J]. J Nat Prod, 2016, 79(7): 1752.

[4] ITO T, YOKOTA R, WATARAI T, *et al*. Isolation of six isoprenylated biflavonoids from the leaves of *Garcinia subelliptica*. [J]. Chem Pharm Bull, 2014, 44(43): 551–8.

[5] ANDERSEN YM. Chromatographic separation of anthocyanins in cowberry (lingonberry) *Vaccinium vitesdaea* L [J]. J Food Ence, 2010, 50(5): 1230–1232.

[6] DENEV P, CIZ R, AMBROZOVA R, *et al*. Solid–phase extraction of berries' anthocyanins and evaluation of their antioxidative properties [J]. Food Chem, 2010, 123(4): 1055–1061.

[7] BOUDJEKO, THADDÉE, NGOMOYOGOLI JE, *et al*. Partial

characterization, antioxidative properties and hypolipidemic effects of oilseed cake of *Allanblackia floribunda* and *Jatropha curcas* [J]. BMC Complem Altern Med, 2013, 13(1): 352–352.

[8] MOUSAVI M, ZAITER A, LOÏC BECKER, *et al*. Optimisation of phytochemical characteristics and antioxidative properties of *Foeniculum vulgare* Mill. seeds and *Ocimum basilicum* L. leaves superfine powders using new parting process [J]. Phytochem Anal, 2019, (3): 154–163.

[9] 周政贤，郭光典. 我国杜仲类型、分布及引种[J]. 林业科学，1980, 16(zk): 84–91.
ZHOU ZX, GUO GD. The Form, distribution and introduction of *Eucommia ulmoides* in China [J]. Forest Res, 1980, 16(zk): 84–91.

[10] 成军，白焱晶，赵玉英，等. 杜仲叶苯丙素类成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2002, 27(1): 38.
CHENG J, BAI YJ, ZHAO YY *et al*. Studies on the phenylpropanoids from *Eucommia ulmoides* [J]. China J Chin Mater Med, 2002, 27(1): 38.

[11] 成军，赵玉英. 杜仲叶黄酮类化合物的研究[J]. 中国中药杂志，2000, 25(5): 284–286.
CHENG J, ZHAO YY. Studies on flavonoids from leave of *Eucommia ulmoides* oliv [J]. China J Chin Mater Med, 2000, 25(5): 284–286.

[12] 邓勇，彭明. 杜仲叶有效成分的提取[J]. 农业工程学报，1997，13(3): 230–234.
DENG Y, PENG M. The extraction of effective components of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 1997, 13(3): 230–234.

[13] 袁云香. 杜仲在食品加工中的应用[J]. 北方园艺, 2013, (2): 188–190.
YUAN YX. The application of *Eucommia ulmoides* in food processing [J]. North Gard, 2013, (2): 188–190.

[14] 王亮亮，唐小兰，王凯，等. 杜仲的活性成分和保健功效及杜仲在食品加工中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(10): 3074–3080.
WANG LL, TANG XL, WANG K, *et al*. The active ingredient and health–care function of *Eucommia ulmoides* and its development in food processing [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(10): 3074–3080.

[15] ZHANG X, SHAFIULLAH K, ZHANG J, *et al*. Two new antioxidative geniposides (*Ulmoside* C, *Ulmoside* D) and 10–O–acetylgeniposidic acid from *Eucommia ulmoides* [J]. Pharm Chem J, 2018, 52(4): 1–5.

[16] 李旭，刘停. 杜仲叶总黄酮微波辅助提取工艺的优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2013, (4): 243–248.
LI X, LIU T. Optimization of microwave–assisted extraction of flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaf and investigation of their antioxidative effect [J]. Sci Tech Food Ind, 2013, (4): 243–248.

[17] LUO J, TIAN C, XU J, *et al*. Studies on the antioxidant activity and phenolic compounds of enzyme–assisted water extracts from Du–zhong (*Eucommia ulmoides* Oliv.) leaves. [J]. J Enzym Inhib Med Chem, 2009, 24(6): 1280–1287.

[18] FU L. Efficient harvesting of Japanese blue honeysuckle. Engineering in agriculture [J]. Environ Food, 2011, 4(1): 12–17.

[19] JURIKOVA T. Evaluation of polyphenolic profile and nutritional value of non–traditional fruit species in the czech republic—a comparative study [J]. Molecules, 2012. 17: 8968–8981.

[20] KUCHARSKA AZ, ANNA ST, JAN O, *et al*. Iridoids, phenolic compounds and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea var*. *kamtschatica Sevast*) [J]. Molecules, 2017, 22(3): 405.

[21] KUSZNIEREWICZ B. Phenolic composition and antioxidant properties of Polish blue–berried honeysuckle genotypes by HPLC–DAD–MS, HPLC postcolumn derivatization with ABTS or FC, and TLC with DPPH visualization [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(7): 1755–1763.

[22] PALIKOVA I, HEINRICH J, BEDNA RP, *et al*. Constituents and antimicrobial properties of blue honeysuckle: A novel source for phenolic antioxidants [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(24): 11883–11889.

[23] OSZMIANSKI J, KUCHARSKA AZ. Effect of pre–treatment of blue honeysuckle berries on bioactive iridoid content [J]. Food Chem, 2018, 240: 1087–1091.

[24] GOBA M, ANNA ST, KUCHARSKA AZ. Health properties and composition of honeysuckle berry *Lonicera caerulea* L. an update on recent studies [J]. Molecules, 2020, 25(3): 1–14.

[25] GB 5009. 227—2016 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定[S].
GB 5009. 227—2016 National food safety standard–Standard for determination of peroxide value [S].

(责任编辑：王　欣)

作者简介

徐文泱，硕士，高级工程师，主要研究方向为食品安全质量分析。
E-mail: xuwenyang0714@163.com

唐小兰，正高级工程师，主要研究方向为食品安全质量分析。
E-mail: 627952852@qq.com