

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.01.003

### 3种核桃副产物多酚提取液的体外抗氧化活性分析

郑渝川,黄仲华,黄伊嘉,杨凌,吴斌\*

(四川省林业科学研究院,四川成都 610066)

**摘要:**以核桃青皮、核桃粕和核桃壳为原料,用水和不同比例的甲醇、乙醇超声提取,测定了多酚提取率、还原力和提取物对DPPH自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基的清除率。结果表明:使用40%乙醇为提取剂,多酚提取率最高,纯水的提取率最低。3种核桃副产物多酚醇提取物都具有体外抗氧化能力,强弱顺序为:核桃青皮>核桃粕>核桃壳。核桃青皮醇提取物具有良好的抗氧化性能,可作为抗氧化剂。

**关键词:**核桃副产物;多酚;提取试剂;提取率;抗氧化活性

中图分类号:S792.13

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)01-0015-05

### A Study of Antioxidant Activity in Vitro of Three Kinds of Walnut By-product Polyphenol Extracts

ZHENG Yu-chuan HUANG Zhong-hua HUANG Yi-jia YANG Lin WU Bin\*

(Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

**Abstract:**In order to compare the antioxidant properties of three walnut by-product polyphenol extracts, walnut green skin, walnut protein and walnut shells were used as raw materials, the extraction rate of polyphenols and the reducing power were measured together with the removal rate of DPPH free radicals, hydroxyl radicals and superoxide anion radicals, by ultrasonic extraction with water and different proportions of methanol and ethanol. The results showed that the extraction rate of polyphenols was the highest by using 40% ethanol as the extracting agent. The three kinds of walnut by-product polyphenol extracts had anti-oxidation ability in vitro, and the order showed as walnut green skin > walnut protein > walnut shell. The alcohol extract of the walnut green skin had good antioxidant properties and thus could be an antioxidant.

**Key words:**Walnut by-product, Polyphenol, Extracting solvent, Extraction rate, Antioxidative activity

食品抗氧化剂是指延滞因氧化而引起的食品劣变、酸败或变色的物质。合成抗氧化剂如BHT、BHA和TBHQ长期以来一直垄断着食品抗氧化剂的市场。但人工合成的抗氧化剂具有一定的毒性和致癌作用,因此天然抗氧化剂日益受到人们的重视。天然抗氧化剂大部分从植物中提取,以多酚和黄酮

类为主。现已有迷迭香提取物、茶多酚、甘草抗氧化物、竹叶抗氧化物等天然抗氧化剂已经广泛地应用于高脂食品中。天然抗氧化剂除了防止食品氧化,还有利于身体健康,流行病学表明,人类患慢性疾病的风险与摄入多酚含量丰富的食品数量呈显著负相关<sup>[1]</sup>,能减少心血管疾病和癌症的发病率<sup>[2]</sup>。因

收稿日期:2018-10-08

基金项目:四川省重点研发计划项目(2017NZ0078)

作者简介:郑渝川(1991-),女,四川成都人,硕士,主要研究方向为林产品加工与利用,e-mail:zhengyc01@126.com。

\* 通讯作者:吴斌(1982-),男,湖南常德人,硕士,高级工程师,主要研究方向为天然产物化学与利用,e-mail:37649533@qq.com

此,以天然抗氧化剂取代合成抗氧化剂是食品抗氧化剂发展的趋势,同时寻找更廉价、高效的多酚提取原料也具有极大的意义。

核桃是世界著名的“四大干果”,核桃仁中含有丰富的多酚类物质,不仅对人体起到了积极的抗氧化作用,而且对核桃仁本身防止氧化也起到了很好的保护作用<sup>[3]</sup>。核桃仁本身具有较高的经济价值,直接提取多酚较浪费,而部分核桃副产物,如核桃青皮、核桃粕、核桃壳等也含有丰富的多酚<sup>[4-6]</sup>,这部分资源通常当做饲料或丢弃,利用价值较低或得不到利用。现有报道仅研究了单一核桃副产物或单一提取试剂对多酚提取率和抗氧化性的影响,不同提取试剂以及不同核桃副产物的多酚提取率和抗氧化活性的比较还未见报道,本研究使用水、甲醇和乙醇提取核桃青皮、核桃粕、核桃壳的多酚成分,比较提取率,并对其醇提物进行体外抗氧化试验,明确其抗氧化性能,以期对核桃副产物的加工和利用提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 原料

干核桃青皮 购于中药店,产地安徽,生产日期2017年11月;核桃粕 购于甘孜州祥瑞生态食品开发有限公司,核桃粕经液压榨油工艺产出,生产日期2018年1月;核桃壳,采集于盐亭县金土地农林发展有限公司,生产日期2017年11月。

### 1.2 试剂

甲醇,乙醇,硫酸亚铁,过氧化氢,水杨酸,维生素C,磷酸氢二钾,磷酸二氢钾,邻苯三酚,铁氰化钾,三氯乙酸,以上分析纯购于成都科龙试剂有限公司;2,2-联苯基-1-苦基肼基(DPPH),购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

### 1.3 仪器

UV-1800 分光光度计,日本岛津仪器有限公司;ML204 电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;AS3120 超声清洗机,天津奥特赛恩斯仪器有限公司;HH-2 恒温水浴锅,常州国华电器有限公司;R-215 旋转蒸发仪,瑞士步琦有限公司。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 多酚提取液的制备

将干燥的核桃青皮、核桃粕和核桃壳粉碎,过60目分级筛备用。称取100g样本置于500mL锥

形瓶中,按1:5的料液比加入水、70%甲醇、40%甲醇、70%乙醇、40%乙醇,在30℃条件下浸泡12h,放入超声清洗仪,在30kHz频率下超声2h,每30min震荡一次,双层滤纸减压抽滤。收集残渣,按以上步骤反复提取3次,合并过滤液。过滤液在旋转蒸发仪中减压浓缩,用蒸馏水复溶至20mL,测定多酚含量。

#### 1.4.2 多酚的提取率

多酚的测定使用Folin-Ciocalteu比色法<sup>[7]</sup>。分别吸取1mL 0.1mg·mL<sup>-1</sup>,0.2mg·mL<sup>-1</sup>,0.4mg·mL<sup>-1</sup>,0.6mg·mL<sup>-1</sup>,0.8mg·mL<sup>-1</sup>,1mg·mL<sup>-1</sup>没食子酸标准溶液于离心管中,再吸取1mL多酚提取液于离心管中,在标准品和试样离心管中依次加入1.5mL福林酚试剂,1mL 0.2g·mL<sup>-1</sup>碳酸钠,定容至10mL,60℃避光水浴1h后,在波长765nm处测定吸光度。计算公式为:多酚提取率(以没食子酸计,mg·g<sup>-1</sup>)=(a1×v1)/(v2×w),a1:样液中多酚的含量;v1:提取样液的体积;v2:测定取样液的体积;w:核桃副产物称样量。

#### 1.4.3 样本的稀释

通过预实验确定了样本稀释浓度,选择合理的测试浓度范围的依据是:DPPH 自由基、羟自由基和对超氧阴离子自由基清除率在10~100%之间,还原力样品OD值在0.1~1之间。将各试验组多酚提取液稀释至10μg·mL<sup>-1</sup>,30μg·mL<sup>-1</sup>,50μg·mL<sup>-1</sup>,70μg·mL<sup>-1</sup>,90μg·mL<sup>-1</sup>,110μg·mL<sup>-1</sup>测定DPPH自由基清除能力;稀释至0.1mg·mL<sup>-1</sup>,0.2mg·mL<sup>-1</sup>,0.3mg·mL<sup>-1</sup>,0.4mg·mL<sup>-1</sup>,0.6mg·mL<sup>-1</sup>,0.8mg·mL<sup>-1</sup>测定羟自由基清除能力;稀释至0.1mg·mL<sup>-1</sup>,0.2mg·mL<sup>-1</sup>,0.4mg·mL<sup>-1</sup>,0.6mg·mL<sup>-1</sup>,1.2mg·mL<sup>-1</sup>,1.8mg·mL<sup>-1</sup>测定超氧阴离子自由基清除能力;稀释至20mg·mL<sup>-1</sup>,40mg·mL<sup>-1</sup>,80mg·mL<sup>-1</sup>,160mg·mL<sup>-1</sup>,320mg·mL<sup>-1</sup>,640mg·mL<sup>-1</sup>测定还原力。

#### 1.4.4 DPPH 自由基清除能力

DPPH 自由基清除率的测定使用延莎等人的方法<sup>[8]</sup>。用无水乙醇稀释多酚提取物配成5种浓度梯度的待测液,在10mL试管中分别加入1mL待测液,60%乙醇溶液2mL,100μmol·L<sup>-1</sup>的DPPH乙醇溶液4mL,混匀30s放在暗处反应30min。用60%乙醇调零,测定在波长515nm处的吸光值A1。同时,测定待测液1mL与3mL60%乙醇混合液在波长515nm处的吸光度A0,再测定4mL DPPH 溶液

与 3 mL 60% 乙醇在 515 nm 处的吸光度  $A_2$ 。用 Vc 作为对照组。计算公式为: DPPH 自由基清除率 =  $[A_2 - (A_1 - A_0) / A_2] \times 100\%$ 。

#### 1.4.5 羟自由基清除能力的测定

羟自由基清除能力的测定使用刘荣等人的方法<sup>[9]</sup>。分别取浓度为  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的硫酸亚铁溶液 1.0 mL, 不同浓度的样品溶液 1.0 mL,  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的过氧化氢 1.0 mL 于具塞试管中, 摇匀, 静置 10 min, 再加入浓度为  $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的水杨酸溶液 2.0 mL, 摇匀后静置 30 min, 于波长 510 nm 处测定吸光度  $A_2$ ; 使用上述同样的步骤, 使用蒸馏水替代样品溶液, 测定吸光度  $A_0$ , 使用蒸馏水替代水杨酸, 测定吸光度  $A_1$ 。以维生素 C 为对照组, 以蒸馏水调零。计算公式为: 羟自由基清除能力 =  $[A_0 - (A_2 - A_1)] / A_0 \times 100\%$ 。

#### 1.4.6 超氧阴离子自由基清除能力的测定

超氧阴离子自由基清除能力的测定使用邻苯三酚法<sup>[8]</sup>。取不同浓度的多酚溶液 1.0 mL,  $50 \text{ mmol/L}$  Tris-Hcl 溶液 (pH 值 = 8.0) 5.0 mL 于具塞试管中,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  恒温水浴 20 min, 取该混合溶液 3.0 mL 于比色皿中, 加入浓度为  $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的邻苯三酚溶液 1 mL, 摇匀, 准确反应 3 min, 测定其在波长 325 nm 处的吸光度, 记录在 1 s, 30 s, 60 s, 90 s, 120 s, 150 s 读数。另外, 以无水乙醇代替样品测定邻苯三酚的自氧化程度, VC 溶液为对照。计算公式为:  $(A_0 - A_1) / A_1 \times 100\%$ 。  $A_1$  表示小米多酚提取物溶液与邻苯三酚混合液的氧化速率, 每 30 s 的吸光值拟合直线取其斜率,  $A_0$  表示邻苯三酚的自身氧化速率, 每 30 s 的吸光值拟合直线取其斜率所得。

#### 1.4.7 还原力的测定

还原力的测定采用普鲁士蓝法<sup>[10]</sup>。分别取不同浓度样品溶液 1 mL,  $0.2 \text{ mol/L}$  的磷酸缓冲液 (PBS, pH 值 6.6) 1 mL 和 1% 铁氰化钾溶液 1 mL 于具塞试管中,  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  水浴保温 20 min, 快速冷却, 再加入质量分数为 10% 的三氯乙酸溶液 1 mL, 混合后以转速  $5000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 10 min。取上部清液 1 mL, 依次加入蒸馏水 1 mL,  $0.1\%$  三氯化铁溶液 0.2 mL, 充分混匀, 静置 10 min 后, 在波长 700 nm 下测定其吸光度, 以蒸馏水调零, 维生素 C 作为对照组。

#### 1.4.8 分析方法

结果采用平均值  $\pm$  标准差表示, 使用 SPSS 19 进行单因素方差分析和 Duncan 差异显著性分析,  $p < 0.05$  表示差异显著,  $p > 0.05$  表示差异不显著。

使用 Origin 2017 软件作图, 对体外抗氧化数据进行多项式拟合, 根据方程计算  $IC_{50}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 多酚提取率

不同提取试剂对核桃粕、核桃青皮和核桃壳的多酚提取率的影响见表 1。核桃青皮多酚提取率最高, 其次是核桃粕, 核桃壳最低, 这与核桃副产物自身的多酚含量呈正相关。试剂种类和浓度影响多酚的提取率, 乙醇的效果优于甲醇, 水的提取效果最差,  $40\%$  乙醇浓度的提取率优于  $70\%$ 。虽然, 有报道称, 多酚的提取率与试剂的极性呈正相关, 但本试验的结果没有呈现上述规律, 极性最大的水提取率最低, 极性最低的乙醇提取率最高, 这可能是因为提取物中多酚种类不同, 不同试剂对不同种类的多酚提取率有差异, 从而导致总提取率不同。另一方面, 多酚类化合物在植物体内通常与蛋白质、多糖以氢键或疏水键形式形成稳定的分子复合物, 因此提取试剂不仅要求对多酚类物质有很好的溶解性, 而且必须具有氢键断裂的作用, 有机溶液和水的混合溶液最适合多酚物质的提取<sup>[11]</sup>。水的提取率较低, 因此不使用多酚水提物进行体外抗氧化试验。

表 1 不同提取试剂对核桃副产物多酚提取率的影响  
单位 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )

试剂	核桃粕	核桃青皮	核桃壳
水	$0.85 \pm 0.05^d$	$2.7 \pm 0.04^d$	$0.31 \pm 0.05^d$
40% 甲醇	$1.29 \pm 0.08^c$	$3.53 \pm 0.09^b$	$0.75 \pm 0.07^c$
70% 甲醇	$1.75 \pm 0.07^b$	$3.2 \pm 0.12^c$	$0.92 \pm 0.05^b$
40% 乙醇	$2.07 \pm 0.15^a$	$3.74 \pm 0.11^a$	$1.06 \pm 0.09^a$
70% 乙醇	$1.93 \pm 0.08^a$	$2.87 \pm 0.1^d$	$0.94 \pm 0.06^b$

注: 同一列字母不同表示不同提取试剂对多酚提取率差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.2 DPPH 自由基

不同提取试剂对核桃粕、核桃青皮和核桃壳醇提取的 DPPH 自由基清除率的影响见图 1。WGSM、WGSE、WSM、WSE、WPM、WPE 的 DPPH 自由基清除率的  $IC_{50}$  (半数抑制浓度) 分别为:  $16.41 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $19.91 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $33.42 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $35.80 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $23.31 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $27.22 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。结果显示: 核桃青皮醇提物对 DPPH 自由基的清除效果最好, 甲醇提取效果比乙醇好; 核桃壳醇提物的 DPPH 自由基清除效果最差; 3 种核桃副产物醇提物对 DPPH 自由基的清除能力均低于维生素 C。DPPH 自由基是一种稳定的以氮为中心的自由基, 若受试

物能够清除它,则提示受试物具有清除羟基自由基、烷基自由基或过氧自由基的能力和打断脂质过氧化链反应的作用,因此广泛用于评价天然或合成物质的抗氧化特性<sup>[12,13]</sup>。影响 DPPH 自由基的清除因素很多,例如 Scalzo 发现有机酸能显著增加维生素 C 的 DPPH 自由基清除效果,而有机酸自身没有任何清除作用<sup>[14]</sup>,而核桃青皮中的有机酸含量高于核桃粕和核桃壳,这对 DPPH 的清除可能产生协同作用。

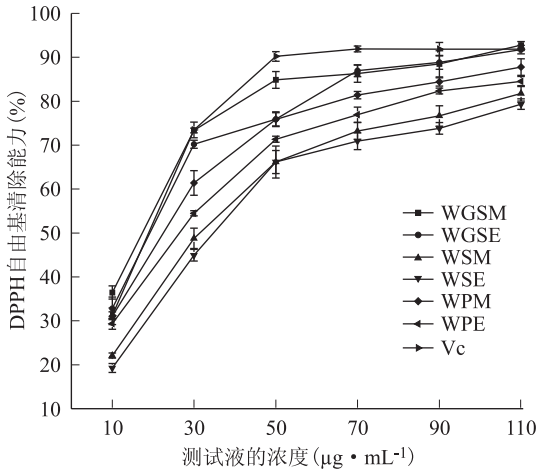


图1 不同浓度多酚提取液对 DPPH 自由基的清除能力  
注:WGSM:核桃青皮甲醇提取物;WGSE:核桃青皮乙醇提取物;WSM:核桃壳甲醇提取物;WSE:核桃壳乙醇提取物;WPM:核桃粕甲醇提取物;WPE:核桃粕乙醇提取物。下同。

### 2.3 羟自由基清除能力

羟自由基是目前所知活性氧中对生物体毒性最强、危害最大的自由基,多余的自由基会引起体内蛋白质、酶、脂质和核酸的氧化损伤,还与衰老、肿瘤、辐射损伤和细胞吞噬有关<sup>[15]</sup>。3种核桃副产物的醇提取物对羟自由基清除能力见图2。6种多酚醇提取物对羟自由基的清除能力从大到小排序为:WGSM > WGSE > WSE > WSM > WPM > WPE。WGSM、WGSE、WPM、WPE 羟自由基清除率的 IC<sub>50</sub> 分别为:0.17 mg · mL<sup>-1</sup>,0.21 mg · mL<sup>-1</sup>,0.28 mg · mL<sup>-1</sup>,0.24 mg · mL<sup>-1</sup>。6种多酚溶液的浓度与羟自由基清除能力呈正比,当多酚溶液浓度达到 0.3mg/mL 时,上升趋势趋于平缓。当测试液浓度为 0.3 mg · mL<sup>-1</sup>,0.4 mg · mL<sup>-1</sup>,0.6 mg · mL<sup>-1</sup>,0.8 mg · mL<sup>-1</sup>时,六组试验组差异显著( $p < 0.05$ ),当测试液浓度为 0.1 mg · mL<sup>-1</sup>时,WGSM、WGSE 和 WPE 的羟自由基清除率显著高于 WSM、WSE 和 WPM( $p < 0.05$ )。在多酚浓度 0.1 ~ 0.8 mg · mL<sup>-1</sup>时,WGSM 对羟自由基清除能力强于维生素 C;多酚浓度在 0.1 ~

0.3 mg · mL<sup>-1</sup>时,三种多酚醇提取物的羟自由基清除能力高于维生素 C,但随浓度升高,多酚醇提取物的清除率趋于平缓,而维生素 C 呈线性上升。

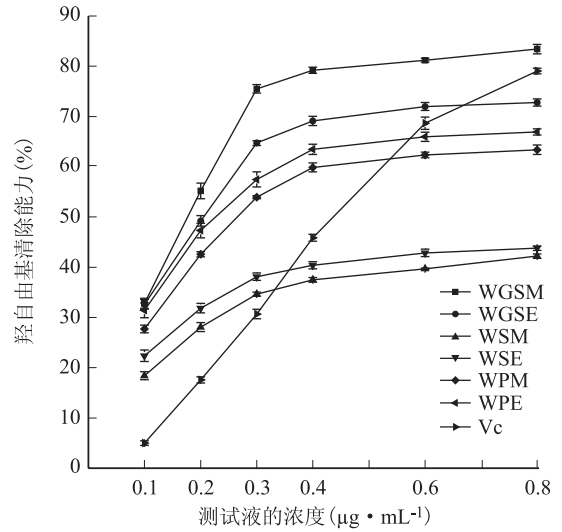


图2 不同浓度多酚提取液对羟自由基的清除能力

### 2.4 超氧阴离子自由基清除能力

氧气在生物体内生成氧自由基时,首先产生超氧阴离子自由基,它不仅自身具有毒性,而且可以经过一系列反应生成其他氧离子自由基,进一步对生物产生损害作用。3种核桃副产物的甲醇、乙醇多酚提取液对超氧阴离子自由基清除能力见图3。WGSM、WGSE、WPM、WPE 羟自由基清除率的 IC<sub>50</sub> 分别为:0.71 mg · mL<sup>-1</sup>,0.65 mg · mL<sup>-1</sup>,1.54 mg · mL<sup>-1</sup>,1.53 mg · mL<sup>-1</sup>。对羟自由基的清除能力从大到小排序为:WGSE > WGSM > WPE > WPM > WSE > WSM。核桃粕甲醇和乙醇提取物的超氧阴

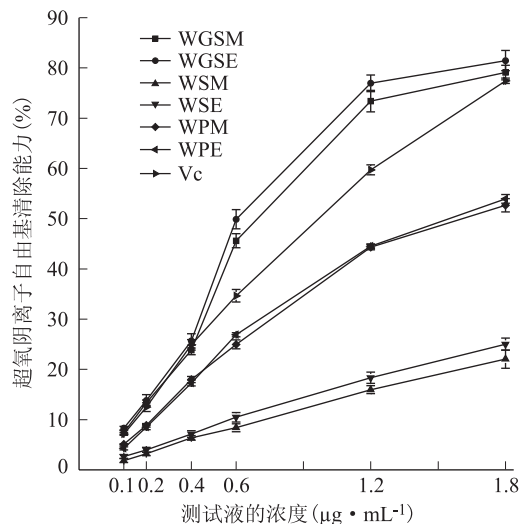


图3 不同浓度多酚提取液对超氧阴离子自由基的清除能力

离子自由基的清除能力差异不显著( $p > 0.05$ ),核桃青皮、核桃壳的甲醇和乙醇提取液浓度在  $0.1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $0.6 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $1.2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  时,差异显著( $p < 0.05$ ),这种差异一定程度上证明了不同试剂提取多酚对抗氧化能力有较大影响,另一方面,提取物中多酚种类也是造成抗氧化能力差异的重要原因。

## 2.5 还原力

还原能力是表示抗氧化物质提供电子能力的重要指标,抗氧化剂自身的还原作用能使自由基变为稳定的分子而失去活性,抗氧化能力与还原力强弱呈正相关<sup>[16]</sup>。3种核桃副产物的甲醇、乙醇多酚提取物的还原力见图4,当醇提物多酚浓度为  $640 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时,WGSM 的还原力最高( $A_{700 \text{ nm}} = 0.93$ ),WSM 还原力最低( $A_{700 \text{ nm}} = 0.51$ )。当多酚浓度为  $40 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $80 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $160 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,  $640 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时,不同核桃副产物多酚醇提物还原力差异显著( $p < 0.05$ ),两种提取试剂对还原力的影响差异不显著( $p > 0.05$ )。核桃青皮醇提物的还原能力与维生素 C 差异不显著( $p > 0.05$ )。

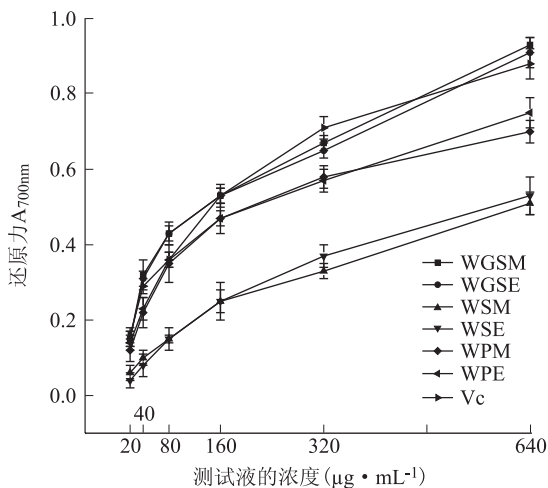


图4 不同浓度多酚提取液对还原力的影响

## 3 结论

不同的多酚提取试剂对3种核桃副产物的多酚提取有显著的差异( $p < 0.05$ ),40%乙醇为提取剂时多酚提取率最高,纯水的提取率最低。核桃青皮、核桃壳、核桃粕的甲醇、乙醇提取物对DPPH自由基、羟自由基和超氧阴离子自由基有一定清除能力和还原力,核桃青皮提取物抗氧化能力最强,各抗氧化性能指标等同或优于维生素C,核桃粕提取物抗

氧化能力次之,核桃壳最差。核桃青皮甲醇提取物对DPPH自由基、羟自由基清除能力和还原能力最好;核桃青皮乙醇溶液对超氧阴离子自由基清除能力最好。甲醇提取物对DPPH自由基和羟自由基的清除能力优于乙醇提取物,乙醇提取物对超氧阴离子自由基清除力和还原能力优于甲醇提取物。本研究对核桃副产物的利用以及其抗氧化活性提供了参考,核桃青皮多酚类物质含量丰富,提取率最高,其醇提物的抗氧化活性和还原力较维生素C强,是较好的天然抗氧化剂制备原料。

## 参考文献:

- [1] Arts, HJ, C W and Peter C H, Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. The American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 81(1):317~325.
- [2] Jaramillo, Sara, et al. The flavonol isorhamnetin exhibits cytotoxic effects on human colon cancer cells[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(20):10869~10875.
- [3] 冯春艳, 荣瑞芬, 刘雪峥, 核桃仁及内种皮营养与功能成分分析研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2):408~411.
- [4] 胡博路, 杭瑚, 核桃壳抗氧化和清除活性氧自由基的研究[J]. 食品工业科技, 2002, 23(3):15~16.
- [5] 梁杏, 张旭, 陈朝银, 等. 核桃饼粕多酚纯化工艺及其抗氧化活性的研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(4):55~61.
- [6] 田平平, 李仁宙, 简永健, 等. 核桃青皮的强抗氧化活性成分及其抗氧化稳定性[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3):543~553.
- [7] 张天财, 陈朝银, 赵声兰, 等. 核桃种皮中多酚的测定及种皮对核桃贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20):65~69.
- [8] 延莎, 祁鹏煜, 张苏慧, 等. 不同米色小米多酚提取物的体外抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10):33~38.
- [9] 刘荣, 姜元松, 何娇等. 樟子松树皮多酚体外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16):149~151.
- [10] 王婷婷, 游金坤, 严明, 等. 4种野生菌多酚的体外抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9):148~152.
- [11] 杨春梅, 影响核桃仁中多酚类物质抗氧化活性因素的研究[D], 2007, 内蒙古农业大学.
- [12] 张海德, 黄玉林, 范燕忠. 槟榔提取物对DPPH自由基的清除作用研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8):74~77.
- [13] 李红, 张元湖. 应用DPPH·法测定苹果提取物的抗氧化能力[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2005, 36(1):35~38.
- [14] Scalzo R L. Organic acids influence on DPPH scavenging by ascorbic acid[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1):40~43.
- [15] 韩鹤友, 何治柯, 曾云鹏. 羟自由基的分析研究进展[J]. 分析科学学报, 2001, 17(1):83~87.
- [16] 刘菲霞, 李红娟, 徐强, 等. 滑菇子实体多糖提取条件优化及抗氧化活性研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(1):117~121.