

莲子钻芯粉中甲基莲芯碱的抗氧化性研究

Study on antioxidant of neferine from lotus powder

任 美 夏延斌

REN Mei XIA Yan-bin

(湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128)

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:以甲基莲芯碱为研究对象,通过总还原力测定及 $\cdot\text{OH}$ 、 O_2^- 及 DPPH $\cdot$ 清除能力试验和 Schaal 烘箱试验对莲子钻芯粉中甲基莲芯碱的体外抗氧化活性及对油脂的抗氧化作用进行研究。结果表明:以 V_C 为对照时,甲基莲芯碱表现出良好的总还原能力和体外抗氧化活性,其对 $\cdot\text{OH}$ 、 O_2^- 和 DPPH $\cdot$ 的最大清除率分别达 62.79%, 76.23%, 93.57%;甲基莲芯碱的不同添加量对菜籽油的抗氧化效果均有剂量效应关系,且 0.1% 甲基莲芯碱 $>0.02\%$ TBHQ $>0.05\%$ V_E ,与 V_C 、柠檬酸的复配对菜籽油的抗氧化具有一定的协同增效作用,且与柠檬酸复配效果最佳, V_C 次之。

关键词:莲子钻芯粉;甲基莲芯碱;抗氧化性

Abstract: Neferine was studied as object in this study. Using total reducing power, hydroxyl radical system, superoxide radical system, DPPH system, and schaal oven-storage test to study the antioxidant activities and antioxidant activity in rapeseed oil of neferine from lotus powder, which prepared by HSCCC. The results showed: compared with V_C , neferine showed better total reducing power and scavenging effect in free radical system, which its maximum scavenging rate of hydroxyl radical, superoxide radical and DPPH radical was 62.79%, 76.23%, 93.57%, respectively. In addition, different neferine dosage had both dose-effect on the relationship with the antioxidant effect of rapeseed oil. The study showed that 0.1% neferine had better effect than 0.02% TBHQ and 0.05% V_E , and 0.05% V_E got the worst effect. Moreover, combination of V_C , citric acid with neferine had a certain synergy effect to rapeseed oil, and citric acid's complex effect was the best, V_C followed.

Keywords: lotus powder; neferine; antioxidant activity

湘潭作为全国莲子种植基地最大的区域,每年的壳莲有

近 20 万 t 的产出。莲子肉主要制成罐头、八宝粥等类似产品,手工剥成的莲子心用作药材。而莲子钻芯粉是机械钻头从莲子的果蒂到果尖钻孔去芯形成的粉末,作为壳莲深加工时的副产物,利用率低。莲子钻芯粉中主要包括莲子皮和莲子心,其中的活性成分以生物碱类物质为主,主要包括莲芯碱、异莲心碱、甲基莲芯碱等双苄基异喹啉类生物碱。甲基莲心碱在莲子钻芯粉中大约占有 0.7%,是其中含量最高的生物碱^[1],具有较强的生理活性:如扩张血管^[2]、降压作用^[3]、抗心律失常作用^[4]、抗血小板聚集和抗血栓形成作用^[5-6],抗氧化作用^[7]等。

以往,对于甲基莲芯碱的作用一直局限于对抗机体疾病方面,近年来,其抗氧化作用也成为学者研究的焦点。甲基莲芯碱作为一种具有多种生理功能的生物碱,其降血压、抗心肌缺血、治疗心律失常等方面的功效受到众多学者的关注,但有关于甲基莲芯碱的体内外抗氧化活性的研究还未见报道。本试验拟对甲基莲芯碱对 3 种自由基的体外抗氧化性进行研究,并采用烘箱试验法,以油脂的过氧化值(POV 值)为测定指标,研究甲基莲芯碱在菜籽油油脂体系中的抗氧化作用,及其与 V_E 和 V_C 、柠檬酸等天然抗氧化进行复配后的抗氧化性能,以期对甲基莲芯碱作为新型天然抗氧化剂的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

莲子钻芯粉(湘莲品种副产物):2014 年 6 月加工于湘潭宏兴隆公司,贮藏于 $-10\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱冷冻室;

菜籽油:金龙鱼股份有限公司;

磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、铁氰化钾、三氯乙酸、三氯化铁、邻二氯菲、硫酸亚铁、过氧化氢、硫代硫酸钠、重铬酸钾、可溶性淀粉、碘化钾、甲硫氨酸、核黄素、氮蓝四唑(NBT):分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

三氯甲烷、冰醋酸:分析纯,衡阳市凯信化工试剂有限公司;

基金项目:湘莲加工技术集成产业化示范项目(编号:2013GA770001)

作者简介:任美,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:夏延斌(1952—),男,湖南农业大学教授。

E-mail:xy520523@aliyun.com

收稿日期:2016-01-09

1,1-二苯基-2 三硝基苯肼(DPPH);纯度 99.5%,美国 Sigma 公司;

叔丁基对苯二酚(TBHQ):纯度 98%,上海阿拉丁试剂有限公司;

V_E:纯度 99.9%,郑州永帅商贸有限公司;

V_C:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

恒温水浴锅:B-260 型,上海亚荣生化仪器厂;

可见分光光度计:722S 型,上海精密科学仪器有限公司;

电热恒温培养箱:DHP-9082 型,上海飞越实验仪器有限公司;

电子天平:CP214 型,上海奥豪斯仪器有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,上海奥豪斯仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 甲基莲芯碱的制备 称取一定量的莲子钻芯粉,以 1:20(g/mL)的料液比加入原料重量 3.1(g/100 g)的纤维素酶—水溶液,在 pH 4.8,50 ℃的水浴条件下酶解 100 min。酶解液于 3 500 r/min 离心机中离心 15 min,滤渣用 70%乙醇以 1:15(g/mL)的比例混合均匀,在 70 ℃的水浴条件下提取 90 min,重复提取两次,合并滤液,离心(3 500 r/min,15 min)后于 40 ℃下减压蒸馏浓缩至浸膏状,得到莲子钻芯粉粗提物。粗提物用 1.5%盐酸溶解并调节 pH 至 1~2,过滤,取滤液用 10%氨水调节 pH 至 8~9,冷冻干燥后得莲芯总碱的粗提物。采用高速逆流色谱对粗提物进行分离^[8],得到甲基莲芯碱,冷冻干燥后为白色粉末。

1.2.2 液相色谱分析

(1) 色谱条件:色谱柱:Agilent ZORBAX SB-C₁₈ 柱(4.6 mm×150 mm,5 μm);流动相:甲醇与 0.1%三乙胺水溶液体积比为 64:36;检测波长:282 nm,流速:1.0 mL/min,柱温:25 ℃,进样量:10 μL;配 VWD 检测器。

(2) 标准品配制:准确称取一定量的甲基莲芯碱标准品于 25 mL 容量瓶中,用纯甲醇进行溶解,准确称重,超声 30 min,以使标准品全部溶解,取出冷却至室温,用甲醇补足质量,摇匀,即得甲基莲芯碱对照品母液。精密吸取甲基莲芯碱对照品母液 0.5,1,2,4,6,10 mL 于 10 mL 容量瓶中,用甲醇定容后,摇匀,制成浓度分别为 10,20,40,80,120,200 μg/mL 的甲基莲芯碱对照品子液。用 0.22 μm 的微孔滤膜对其进行过滤,精密吸取 10 μL 续滤液依次注入高效液相色谱仪中,以峰面积 Y 为纵坐标,以甲基莲芯碱对照品不同浓度 X 为横坐标,制作甲基莲心碱标准曲线。

(3) 样品配制:将上述制备而成的白色粉末溶于 10 mL 甲醇后,根据 1.2.2 中“标准品配制”法进行溶解,注入 LC-20A型高效液相色谱仪中进行定量分析,检测发现甲基莲芯碱得率为 89.3%。

1.2.3 甲基莲芯碱的体外抗氧化活性试验

(1) 甲基莲芯碱的总还原能力测定:参照文献[9],修改如下:配制 0.1,0.2,0.4,0.6,1.0 mg/mL 的甲基莲芯碱乙醇溶液,取 1 mL 不同浓度的样液,依次加入 pH 6.6 磷酸缓冲

液 2.5 mL,1% K₃[Fe(CN)₆]溶液 2.5 mL,在 50 ℃的水浴条件下反应 20 min 后,取出加入 10%三氯乙酸 2.5 mL,摇匀,取此混合液 2.5 mL,加入蒸馏水 2.5 mL 和 0.1% FeCl₃ 2.5 mL,混匀后在 700 nm 处测定吸光度。文献资料^[10]指出,吸光度的高低反映了甲基莲芯碱的总还原能力的强弱。并以不同浓度的 V_C作为对照组。

(2) 清除·OH 能力:采用邻二氮菲—Fe²⁺法^[11]。配制 0.5,1.0,2.0,3.0,4.0,5.0 mg/mL 的甲基莲芯碱乙醇溶液,按表 1 分别加入试剂,用重蒸水定容至 10 mL,并于 37 ℃水浴条件下保温 60 min,536 nm 处测定吸光度,并与 V_C进行对比。·OH 清除率按式(1)计算:

$$I = \frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1} \times 100\%,$$

(1)

式中:

I——清除率,%;

A₂——加入样品后反应液的吸光度;

A₁——加入 H₂O₂后反应液的吸光度;

A₀——未加样品 H₂O₂反应液的吸光度。

表 1 ·OH 清除能力试验加样量

Table 1 Experimental protocol for hydroxyl radical scavenging capacity

吸光度	加样量
A ₀	1 mL 5 mmol/L 邻二氮菲溶液+2 mL pH 7.4 PBS+1 mL 7.5 mmol/L FeSO ₄ 溶液
A ₁	1 mL 5 mmol/L 邻二氮菲溶液+2 mL pH 7.4 PBS+1 mL7.5 mmol/L FeSO ₄ 溶液+1 mL 0.1% H ₂ O ₂ 溶液
A ₂	1 mL 5 mmol/L 邻二氮菲溶液+2 mL pH 7.4 PBS+1 mL7.5 mmol/L FeSO ₄ 溶液+1 mL 0.1% H ₂ O ₂ 溶液+1 mL 样液

(3) 清除 O₂⁻·能力:采用核黄素—光—氮蓝四唑体系^[12]对甲基莲芯碱中 O₂⁻·的清除能力进行测定。样管中依次加入 0.2 mol/L Na₂HPO₄ 2.5 mL,核黄素 0.4 mL,甲硫氨酸 0.4 mL,50 μL 甲基莲芯碱乙醇样液,浓度分别为 0.00,0.05,0.10,0.20,0.40,0.60,1.00,2.00 mg/mL,NBT 0.2 mL,混匀,于 20 W 白炽灯的照射下照射 20 min,并且每根样管距白炽灯均为 20 cm 距离。于 560 nm 处测定吸光度。O₂⁻·清除率按式(2)计算:

$$I = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%,$$

(2)

式中:

I——清除率,%;

A₀——未加样品反应液的吸光度;

A₁——加入样品反应液的吸光度。

(4) DPPH·清除能力测定:参照文献[13],修改如下:取 2 mL 浓度分别为 25,50,75,100,200,400 μg/mL 的甲基莲心碱乙醇溶液进行清除能力试验,并以无水乙醇作空白,加入浓度 2×10⁻⁴ mol/L DPPH 无水乙醇溶液,试验^[14]证明加入 DPPH 溶液的乙醇溶液呈现深紫色,暗处反应 20 min 后

于 517 nm 处测定吸光度,采用浓度为 5,10,20,30,40,50 μg/mL 的 V_C作对照组。DPPH·清除率按式(2)计算。

1.2.4 甲基莲芯碱对油脂的抗氧化性试验

(1) 不同甲基莲芯碱添加量对菜籽油的抗氧化性能研究:以 20 g 油脂的重量计,准确称取不同量的甲基莲芯碱(0.025%,0.05%,0.075%,0.100%),溶于少量的无水乙醇中,分别添加到 20 g 未加抗氧化剂的菜籽油中,搅拌均匀后,敞口置于(62±2)℃的恒温烘箱中做强化试验,同时做无添加组空白试验。每天搅拌油样并交换其位置,隔 2 d 测一次样,直至空白油样过氧化值超过 100 meq/kg,停止测定。每个样品重复 3 次,取平均值。参照 GB/T 5009.37—2003 测定过氧化值。

(2) 甲基莲芯碱与其他抗氧化剂对菜籽油的抗氧化性能研究对比:准确称取 20 g 未添加抗氧化剂的菜籽油,以 20 g 油脂的重量计,分别加入油重量 0.025% 甲基莲芯碱,0.1% 甲基莲芯碱,0.05% V_E,0.02% TBHQ(最大使用量),步骤同 1.2.4(1)。

(3) 甲基莲芯碱与其他天然抗氧化剂对菜籽油的抗氧化性协同作用:准确称取 20 g 未添加抗氧化剂的菜籽油,以 20 g 油脂的重量计,根据预试验的试验结果,分别加入不同添加物(0.025% 甲基莲芯碱+0.025% V_C,0.025% 甲基莲芯碱+0.025% V_E,0.025% 甲基莲芯碱+0.025% 柠檬酸),步骤同 1.2.4(1)。

(4) 过氧化值的测定:按 GB/T 5009.37—2003 执行。

2 结果与讨论

2.1 标准曲线绘制及测定结果

将不同浓度的甲基莲芯碱标准溶液注入高效液相色谱仪中,根据对照品峰面积与浓度之间的关系,得到线性关系式:

$$y=3\,634.95x+0.28(R^2=0.999\,9), \tag{3}$$

式中:

y——甲基莲芯碱对照品峰面积;

x——甲基莲芯碱浓度,μg/mL。

将甲基莲芯碱分离后经高效液相色谱分析定量后,得到其得率为 89.3%。

2.2 甲基莲芯碱的总还原能力

物质的总还原能力在一定程度上可以反应出抗氧化性的强弱,在 700 nm 处,其吸光度越高,代表物质的总还原能力越强^[15]。甲基莲芯碱的总还原能力见图 1。

由图 1 可知,甲基莲芯碱的总还原能力随着质量浓度的升高而逐渐增强,且呈现一定的线性关系,其线性方程为 $y=0.726\,8x+0.000\,3,R^2=0.996\,6$ 。当甲基莲芯碱含量达到 1 mg/mL 时,其吸光度为 0.72,而对照组 V_C 浓度为 200 μg/mL 时,其吸光度接近 1,说明甲基莲芯碱在总还原能力方面较弱于 V_C,但仍具有一定的还原能力。

2.3 甲基莲芯碱清除·OH 能力

由图 2 可知,甲基莲芯碱对·OH 的清除能力随着浓度的增大而逐渐增强,当甲基莲芯碱质量浓度为 4 mg/mL 时,

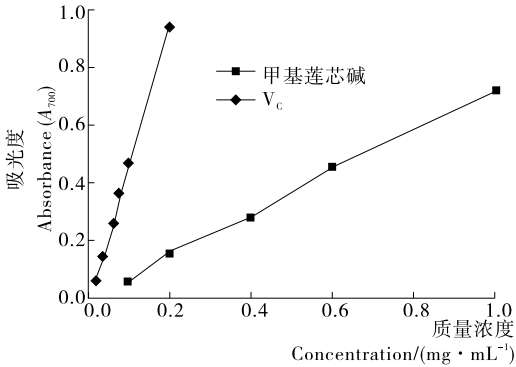


图 1 甲基莲芯碱对总还原能力的测定曲线
Figure 1 Reducing power from neferine and V_C as positive control

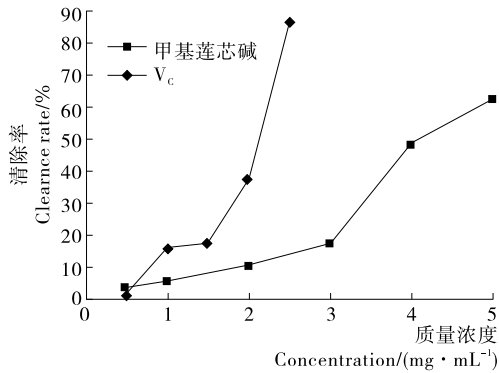


图 2 甲基莲芯碱对·OH 的清除能力曲线
Figure 2 Hydroxyl radical scavenging capacity from neferine and V_C as positive control

其清除能力增加明显,清除率达到 48.23%。高浓度时,甲基莲芯碱的清除能力在同等浓度下略低于 V_C,原因可能是:生物碱结构中的酚羟基可以和 Fe²⁺、Cu²⁺ 等金属离子结合,形成络合物,减少了自由基的产生,从而使活性氧的数量减少^[16],但同等质量浓度的甲基莲芯碱酚羟基数少于 V_C,因此甲基莲芯碱的清除·OH 的能力弱于 V_C。

2.4 甲基莲芯碱清除 O₂⁻· 能力

由图 3 可知,在 560 nm 处测定甲基莲芯碱溶液加入显色剂后的吸光度,并对其进行抗氧化性评价。在 0.05~2.00 mg/mL 时,随着甲基莲芯碱质量浓度的提高,O₂⁻· 的清除率也逐渐增强,且在 0.20~2.00 mg/mL 的浓度范围内,清除率随浓度的变化呈现一定的线性相关性,其线性方程可表示为: $y=17.925x+41.403,R^2=0.984\,5$,说明甲基莲芯碱具有良好的 O₂⁻· 自由基清除能力。此外,在试验过程中,发现采用 V_C 做阳性对照时,其对 O₂⁻· 的清除率随着 V_C 浓度的增加而逐渐降低,究其原因可能是:① 在核黄素—NBT 体系中,会产生少量 H₂O₂;② 在主反应中,光照下产生的 O₂⁻· 与 NBT 反应,将 NBT 还原为蓝紫色物质 formazane (甲脎),蓝色甲脎被 H₂O₂ 氧化,失去蓝色;③ V_C 的加入能与 H₂O₂ 反应,抑制 H₂O₂ 与蓝色甲脎的氧化,使得反应体系的蓝色加深。在预试验中,采用 V_C 做阳性对照时,其对 O₂⁻· 的清除率与浓度呈负相关。甲基莲芯碱相较于 TBHQ(阳性

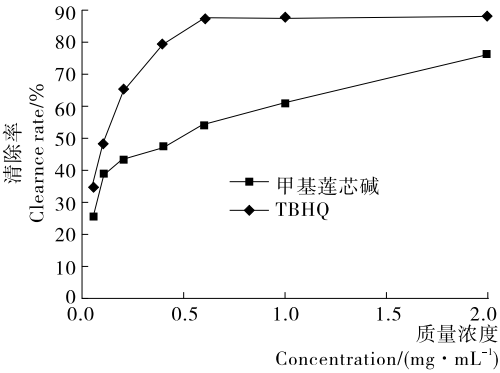


图 3 甲基莲芯碱对 $O_2^- \cdot$ 的清除能力曲线

Figure 3 Superoxide anion free radical scavenging capacity from neferine and TBHQ as positive control

对照),清除 $O_2^- \cdot$ 效果略差,是因为:甲基莲芯碱杂环上氮原子部分“裸露”在基团外面^[17],该结构增加了整个基团与活性氧的接触机率,使之具有良好的抗氧化性。同时甲基莲芯碱中含有的酚羟基数少于 TBHQ,导致 $O_2^- \cdot$ 与金属离子共存时,甲基莲芯碱清除 $O_2^- \cdot$ 的能力弱于 TBHQ^[18]。

2.5 甲基莲芯碱清除 DPPH · 能力

由图 4 可知,甲基莲芯碱对 DPPH · 的清除能力在 25~200 $\mu\text{g/mL}$ 的质量浓度范围内呈现显著升高的趋势,并在 200 $\mu\text{g/mL}$ 后逐渐趋于平稳,且清除率稳定于 93.57%,而 Vc 在低浓度时即表现出了良好的 DPPH · 清除能力,由此可见,甲基莲芯碱清除 DPPH · 的效果良好。

2.6 甲基莲芯碱添加量对菜籽油的抗氧化作用

由图 5 可知,添加了不同量甲基莲芯碱的菜籽油的过氧化值均低于空白试样,表明甲基莲芯碱(neferine,NF)对菜籽油具有一定的抗氧化性;随着添加量的增加,其对菜籽油的抗氧化效果也呈现逐渐增强的趋势,且添加初期,各试样之间 POV 值无明显差异。当烘箱试验第 10 天,添加量为 0.025%,0.05%,0.075%,0.100%时,菜籽油的过氧化值分别为 72.855,41.720,28.215,6.711 meq/kg。添加量为 0.100%时,POV 值与空白试样相差最大,且随着时间的增加,POV 值基本保持不变。可能是:油脂初期处于诱导期^[19],过氧化物的生成量较少,甲基莲芯碱的添加量的多少对油脂中过氧

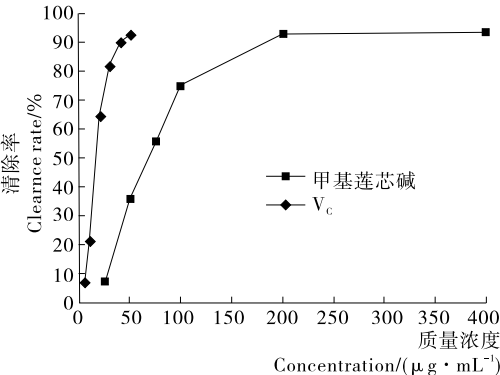


图 4 甲基莲芯碱对 DPPH · 的清除能力曲线

Figure 4 DPPH · radical scavenging capacity from neferine and Vc as positive control

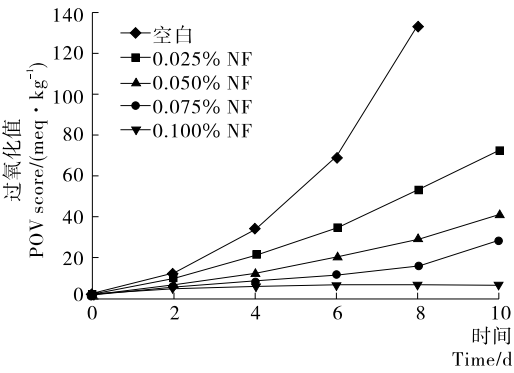


图 5 甲基莲芯碱添加量对菜籽油抗氧化效果

Figure 5 The antioxidant activity effect of nefering dosage on rapeseed oil

化物的清除作用有限,油脂中的 POV 值基本保持不变。当时间不断增加时,油脂与氧气的不断接触使得油脂的氧化进入加速氧化期,这期间将产生大量的过氧化物使得 POV 值升高明显,而甲基莲芯碱可作为活性氧湮灭剂^[20],对过氧化物有清除作用,因此甲基莲芯碱的添加量越多,POV 值的变化率越小。

2.7 甲基莲芯碱与其他抗氧化剂对菜籽油的抗氧化性效果比较

图 6 将甲基莲芯碱与其他抗氧化剂对菜籽油的抗氧化效果做比较,VE 与 TBHQ 在最大限度添加量(0.05%,0.02%)的剂量下,效果均好于 0.025%添加量的甲基莲芯碱,其中 TBHQ 的效果弱于 0.100%添加量的甲基莲芯碱。GB 2760—2014 中规定合成添加剂 TBHQ 在食品中的最大添加量为 0.02%,且大量数据显示,VE 添加到食品中的抗氧化效果随着 VE 量的增加而增强,并在 0.05%添加量时抗氧化效果最优。因此,将 0.05% VE 和 0.02% TBHQ 与不同浓度的甲基莲芯碱作比较。结合图 5 也可看出,0.02% TBHQ 抗氧化效果接近 0.05%甲基莲芯碱,以食品添加剂的最大添加量和建议添加量为基准时,0.1%甲基莲芯碱>0.02% TBHQ>0.05% VE>0.025%甲基莲芯碱,且相比于 TBHQ,VE 对菜籽油的抗氧化效果比较差。

2.8 甲基莲芯碱与其他天然抗氧化剂对菜籽油抗氧化效果的协同作用

由图 7 可知,甲基莲芯碱与其他天然抗氧化剂如 VE、

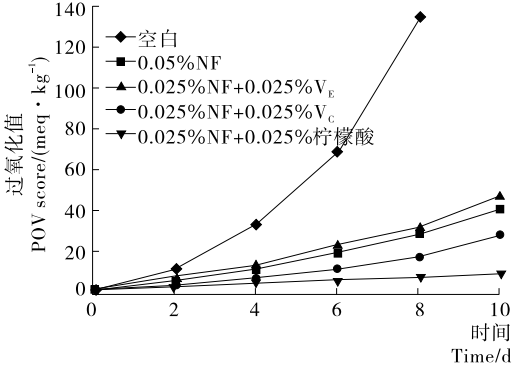


图 6 甲基莲芯碱与其他抗氧化剂的效果比较

Figure 6 The effect of antioxidant activity of neferine compared with other antioxidants

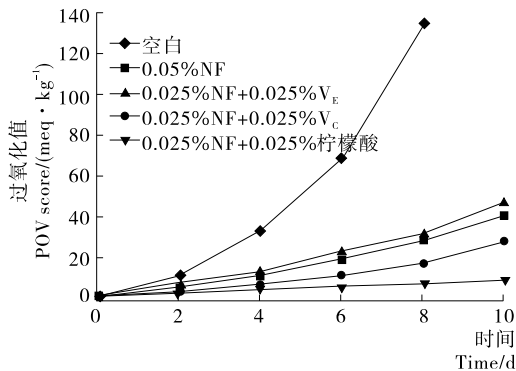


图 7 甲基莲芯碱与天然抗氧化剂的协同作用

Figure 7 The synergistic effect of neferine and natural antioxidants

V_C、柠檬酸进行复配,过氧化值均低于空白值,表明其复配组成对菜籽油具有一定的抗氧化效果,尤其是采用 0.025%甲基莲芯碱与 0.025%柠檬酸复配形成的抗氧化剂,对菜籽油的协同抗氧化效果尤为明显,同时,0.025% V_E对甲基莲芯碱的抗氧化无明显增效效果。第 10 天时,0.025%甲基莲芯碱+0.025%柠檬酸的 POV 值为 10.68 meq/kg,0.025%甲基莲芯碱+0.025% V_C为 29.144 meq/kg,0.05%甲基莲芯碱 41.72 为 meq/kg,柠檬酸、V_C与甲基莲芯碱复配使用时抗氧化效果低于单纯使用甲基莲芯碱作为抗氧化剂时的效果,原因在于环境中含有部分价态不一的金属离子,这些金属离子具有合适的氧化还原电势,在油脂中可缩短链反应引发期的时间,从而加快油脂的氧化。柠檬酸等酸类为金属螯合剂^[21],一方面可以作为络合剂,与金属离子络合,降低油脂反应的氧化还原电势,稳定金属离子的氧化态,有效降低油脂的氧化速度^[22];另外,V_C2,3 位的不饱和键使其具有一定的还原性,同时,能与油脂中的氧结合,生成脱氢类化合物,可清除油脂中的氧,减缓氧化进程,从而起到了一定的抗氧化作用。

3 结论

(1) 甲基莲芯碱具有良好的总还原能力,且对 ·OH、O₂⁻·、DPPH· 存在一定的清除能力,其最大清除率分别为 62.79%,76.23%,93.57%,表明甲基莲芯碱具有一定的体外抗氧化能力。

(2) 甲基莲芯碱对菜籽油的抗氧化性随着甲基莲芯碱的添加量的增加逐渐增强。将甲基莲芯碱与其他抗氧化剂比较时,其对油脂抗氧化能力大小为:0.1%甲基莲芯碱>0.02% TBHQ>0.05% V_E>0.025%甲基莲芯碱。甲基莲芯碱与天然抗氧化剂 V_C、柠檬酸复配后,抗氧化效果明显增强,复配组合(0.025%甲基莲芯碱+0.025%柠檬酸)对菜籽油的抗氧化性能最优。由此得出,甲基莲芯碱可作为一种良好的抗氧化剂和活性氧清除剂投入食品行业使用,具有潜在的研究价值,另外对于甲基莲芯碱对其他油脂的氧化抑制作用,还有待研究。

参考文献

[1] 赵立波,金悠,王嘉陵,RP—HPLC 同时测定莲心总碱中的 3 种生物碱含量[J]. 中国中药杂志,2007,32(17): 1 768-1 770.

[2] 陆曙,龚少愚,张志斌,等. 莲芯碱对高血压大鼠左室肥厚及心肌肌浆网钙泵活力的影响[J]. 江苏中医药,2006,27(2): 59-60.

[3] 谢刚,曾建国. 莲子心的主要成分和药理作用研究进展[J]. 湖南中医药大学学报,2007,27(S1): 384-386.

[4] 王兵. 甲基莲芯碱心血管药理作用的研究进展[J]. 中草药,2000,31(2): 148-150.

[5] 王辉,刘刚,周本宏,等. 甲基莲芯碱对高脂血症模型大鼠的作用研究[J]. 中国药房,2006,17(13): 974-976.

[6] 唐小卿,曹建国. 甲基莲芯碱的药理作用[J]. 中国药理学通报,2004,20(1): 8-10.

[7] 李琴,商品. 甲基莲芯碱的药理作用研究进展[J]. 海峡药学,2012,24(1): 37-39.

[8] Wu Shi-hua, Sun Cui-rong, Cao Xiao-ji, et al. Preparative counter-current chromatography isolation of liensinine and its analogues from embryo of the seed of Nelumbo nucifera gaertn using upright coil planet centrifuge with four multilayer coils connected in series[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1 041 (1/2): 153-156.

[9] 戴晶晶,张静,张鹏,等. 超声提取防风多糖的抗氧化活性研究[J]. 应用声学,2012,31(4): 308-313.

[10] 徐亚民,马越,赵晓燕,等. 紫苏等 4 种天然色素抗氧化能力的比较[J]. 华北农学报,2007,22(2): 187-190.

[11] 赵淑杰,韩忠明,李彦颖,等. 鹿药提取物清除羟基自由基的研究[J]. 华南农业大学学报,2010,31(2): 59-62.

[12] 刘玉鹏,刘梅,刘俊英,等. 30 种中草药的抗氧化活性研究[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版,2000,13(1): 70-73.

[13] Sun T, Ho C. Antioxidant activities of buckwheat extracts[J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 743-749.

[14] 王超,汪江英,时磊,等. 九头芥梅干菜提取物的抗氧化性能研究[J]. 食品与机械,2013,29(3): 116-119.

[15] 曾军,石国荣. 天然产物抗氧化活性的测定方法和原理[J]. 安徽农学学报,2008,14(22): 35-36.

[16] 刘安,王振,刘林峰,等. 辣椒碱体外抗氧化作用研究[J]. 食品与机械,2015,31(6): 179-181.

[17] Hu Wen-wei. Glutaminase 2, a novel p53 target gene regulating energy metabolism and antioxidant function[J]. Proc. Nat. Acad. Sci., 2010, 107(16): 455-460.

[18] 邱书梅. 药食两用植物提取物及抗氧化性能的研究[D]. 青岛: 青岛大学,2014: 36-38.

[19] 张明. 几种体外抗氧化检测方法的评价研究[D]. 西安: 陕西师范大学,2010: 47-51.

[20] 杨念. 金针菇抗氧化的提取及其抗氧化性能的研究[D]. 广州: 华南理工大学,2011: 52-54.

[21] 王忠雷. 天然产物抗氧化活性成分研究进展[J]. 药物评价研究,2012,35(5): 386-390.

[22] 郝晓丽. 七种抗氧化剂单一抗氧化性活性及其协同作用的研究[D]. 青岛: 青岛大学,2002: 58-63.