

迷迭香提取物对自由基诱导蛋白质、油脂及DNA氧化的抑制作用

刘胜男^{1,2}, 余敏敏^{1,2}, 郭晓莉^{1,2}, 潘菁菁^{1,2}, 相启森^{1,2,*}

(1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 食品生产与安全河南省协同创新中心, 河南 郑州 450001)

摘要: 分别采用 $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 、2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐[2,2'-azobis (2-amidinopropane) hydrochloride, AAPH]诱导牛血清白蛋白 (bovine serum albumin, BSA) 氧化和羰基化; Fe^{2+} 、偶氮二异庚腈 [2,2'-azobis (2,4-di-methylvaleronitrile), AMVN]诱导亚油酸 (linoleic acid, LA) 氧化及 AAPH 诱导鲱鱼精 DNA (herring sperm DNA, hsDNA) 氧化损伤, 研究迷迭香提取物对蛋白质、油脂以及 DNA 在自由基攻击下发生氧化损伤的抑制作用。结果表明: 25 $\mu\text{g/mL}$ ~500 $\mu\text{g/mL}$ 的迷迭香提取物能显著抑制自由基诱导的 BSA 羰基化和 LA 氧化产物丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 的生成 ($p < 0.05$); 100 $\mu\text{g/mL}$ ~500 $\mu\text{g/mL}$ 的迷迭香提取物能有效降低 AMVN 诱导的 LA 共轭二烯产物的生成; 25 $\mu\text{g/mL}$ ~500 $\mu\text{g/mL}$ 的迷迭香提取物能显著抑制 AAPH 诱导的 hsDNA 氧化产物的生成。结论: 迷迭香提取物能够有效抑制自由基诱导的蛋白质、油脂及 DNA 的氧化, 其抑制作用随添加浓度的升高而增强。

关键词: 迷迭香; 提取物; 氧化损伤; 羰基化; 抗氧化

Inhibition Effect of Rosemary Extract Against Oxidation of Protein, Lipid and DNA Induced by Free Radicals

LIU Sheng-nan^{1,2}, YU Min-min^{1,2}, GUO Xiao-li^{1,2}, PAN Jing-jing^{1,2}, XIANG Qi-sen^{1,2,*}

(1. College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, Henan, China; 2. Henan Collaborative Innovation Center of Food Production and Safety, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: Oxidative damage was induced using several different systems to study the inhibition effect of rosemary extract (RE). Oxidation and carbonylation of bovine serum albumin (BSA) was induced by copper ions/hydrogen peroxide and 2, 2'-azobis (2-amidinopropane) hydrochloride (AAPH), respectively. Oxidation of linoleic acid (LA) was induced by ferrous iron and 2, 2'-azobis (2, 4-di-methylvaleronitrile) (AMVN), and oxidative damage to herring sperm DNA (hsDNA) was induced by AAPH. The results showed that 25 $\mu\text{g/mL}$ ~500 $\mu\text{g/mL}$ of RE could significantly inhibit the oxidative cleavage and carbonylation of protein as well as formation of malondialdehyde (MDA) during LA oxidation ($p < 0.05$); and 100 $\mu\text{g/mL}$ ~500 $\mu\text{g/mL}$ of RE could effectively reduce conjugated of LA induced by AMVN. Meanwhile, 25 $\mu\text{g/mL}$ ~500 $\mu\text{g/mL}$ of RE could also significantly inhibit hsDNA oxidative cleavage induced by AAPH. It concluded that RE had a strong effect against oxidative damage of protein, lipid, and DNA caused by free radical, and the inhibitory effect is enhanced with the increase of added concentration.

基金项目: 国家自然科学基金(31501491); 河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2017GGJS095)

作者简介: 刘胜男(1993—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养。

* 通信作者: 相启森(1984—), 男(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 食品化学与营养。

Key words: rosemary; extract; oxidative damage; carbonylation; antioxidant activity

引文格式:

刘胜男,余敏敏,郭晓莉,等.迷迭香提取物对自由基诱导蛋白质、油脂及DNA氧化的抑制作用[J].食品研究与开发,2020,41(14):22-27

LIU Shengnan, YU Minmin, GUO Xiaoli, et al. Inhibition Effect of Rosemary Extract Against Oxidation of Protein, Lipid and DNA Induced by Free Radicals[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14): 22-27

活性氧(reactive oxygen species, ROS)是一类含有不成对电子的氧原子及原子团,包括超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)、羟自由基($\cdot OH$)和过氧化氢(H_2O_2)等^[1]。研究显示,机体过量产生的ROS会引发蛋白质氧化、脂质过氧化和DNA氧化损伤等,进而诱发人体多种疾病^[2-3]。例如,胡静等^[4]研究发现氧化应激可能会诱发天疱疮,Ram等^[5]发现ROS诱导的DNA氧化损伤与阿尔兹海默症等神经退行性疾病的发生密切相关。为了降低氧化应激对机体造成的损伤,一些天然抗氧化剂受到研究者的广泛关注。研究证实,儿茶素、没食子酸、植物多酚等具有较强的清除自由基能力及抗衰老、抗癌、消炎及抗氧化等功能^[6-8],能够有效预防和减缓氧化应激反应的发生。

迷迭香(*Rosmarinus officinalis* L.)是一种原产于地中海沿岸的天然香料植物,是目前广泛应用的食物添加剂^[9]。迷迭香含有的迷迭香酸、迷迭香酚、鼠尾草酸和鼠尾草酚等已被证实具有抗氧化、抗菌、消炎和抗肿瘤等生理活性功能,但是在生物大分子和油脂氧化损伤抑制作用方面的研究却相对较少^[9-12]。因此本研究通过 Cu^{2+}/H_2O_2 、2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐[2,2'-azobis(2-amidinopropane) hydrochloride, AAPH]诱导牛血清白蛋白(bovine serum albumin, BSA)氧化损伤,FeSO₄、偶氮二异庚腈[2,2'-azobis(2,4-di-methyl-valeronitrile), AMVN]诱导亚油酸(linoleic acid, LA)氧化损伤以及AAPH诱导鲱鱼精DNA(herring sperm DNA, hsDNA)氧化,研究在此过程中迷迭香提取物对氧化损伤的抑制作用,为迷迭香在抗氧化功能食品中的应用提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

迷迭香提取物:食品营养与安全实验室自制;亚油酸(linoleic acid, LA)、2,2'-偶氮二异丁基脒二盐酸盐(AAPH)和偶氮二异庚腈(AMVN):阿拉丁试剂(上海)有限公司;牛血清白蛋白(BSA)、鲱鱼精DNA(hsDNA)、考马斯亮蓝R-250:北京索莱宝科技有限公司;

β -巯基乙醇、十二烷基磺酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)、丙烯酰胺、N,N'-亚甲双丙烯酰胺、甘氨酸、N,N,N',N'-四甲基二乙胺(TEMED)、异丙醇、三羟甲基氨基甲烷、溴酚蓝、过硫酸铵和二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO):上海麦克林生化科技有限公司;三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)、2,4-二硝基苯肼(2,4-dinitrophenylhydrazine, DNPH):北京百灵威科技有限公司;CuSO₄·5H₂O、30%双氧水、冰乙酸和FeSO₄·7H₂O:天津市大茂化学试剂厂;丙二醛(malondialdehyde, MDA)试剂盒:南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

PowerPac™ 通用电泳仪电源、Mini-PROTEAN® Tetra 电泳槽、ChemiDoc™ XRS+化学发光成像系统:美国Bio-Rad公司;5427R型高速冷冻离心机:德国Eppendorf公司;Multiskan GO型全波长酶标仪:美国Thermo Fisher Scientific公司;2450型紫外-可见分光光度计:日本Shimadzu公司;HH-8J型恒温水浴锅:常州润华电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 迷迭香提取物对 Cu^{2+}/H_2O_2 诱导蛋白氧化和羰基化的影响

在终浓度为2 mg/mL的BSA溶液(pH6.0, 0.2 mol/L PBS溶解)中加入100 μ L不同浓度(0、25、50、100、200、500 μ g/mL)的迷迭香提取物溶液,混匀后依次加入终浓度为400 μ mol/L和10 mmol/L的CuSO₄溶液和H₂O₂溶液,反应总体积为1 mL,封口后置于37℃水浴反应90 min。反应结束后,采用10%分离胶进行SDS-PAGE分离蛋白,考马斯亮蓝R-250染色法进行染色,检测BSA氧化损伤程度,采用DNPH比色法检测BSA羰基含量。

1.3.2 迷迭香提取物对AAPH诱导蛋白氧化和羰基化的影响

在终浓度为2 mg/mL的BSA溶液中加入100 μ L不同浓度的迷迭香提取物溶液,混匀后加入终浓度为

100 mmol/L 的 AAPH 溶液(pH 7.4, PBS 溶解), 反应总体积为 1 mL, 封口置于 37 °C 水浴反应 4 h。反应结束后, 测定 BSA 的氧化损伤程度和羰基含量。

1.3.3 BSA 氧化损伤程度测定

取 50 μ L 反应样品, 分别加 50 μ L 5 $\times$ 上样缓冲液混匀后沸水浴 5 min, 采用 10 % 分离胶分离蛋白, 经考马斯亮蓝 R-250 溶液(1 g/L)染色 30 min, 脱色液脱色过夜, 采用 ChemiDoc™ XRS⁺化学发光成像系统进行成像并使用 Image Lab 软件对蛋白条带进行半定量分析。

1.3.4 BSA 羰基含量测定

取 1 mL 反应液加入 3 mL 0.01 mol/L DNPH 溶液, 混匀后于室温(25 °C)下避光反应 30 min。反应结束后加入 4 mL、20 % TCA 溶液, 混匀后 4 000 r/min 离心 10 min。弃上清液后, 加入 3 mL 乙醇-乙酸乙酯混合液(体积比 1:1)进行洗涤, 重复 3 次。最后一次离心后弃上清液, 加入 2 mL、6 mol/L 盐酸胍溶液, 混匀后采用紫外-可见分光光度计测定其在 370 nm 处吸光值。蛋白羰基含量(nmol/mg)使用摩尔吸光系数 22 000 mol/(L·cm)来计算。

1.3.5 迷迭香提取物对 FeSO₄ 诱导亚油酸氧化的影响

在终浓度为 1 mmol/L 的 LA(乙醇溶解)中, 加入 100 μ L 不同浓度的迷迭香提取物溶液, 混匀后再加入终浓度为 100 μ mol/L 的 FeSO₄ 溶液, 反应总体积为 1 mL, 封口后于 37 °C 水浴避光反应 24 h。反应结束后, 以共轭二烯和 MDA 含量表示亚油酸脂质氧化水平。参照 Esterbauer 等报道的方法检测共轭二烯含量^[13]。用紫外-可见分光光度计测定样品在 233 nm 处的吸光度, 并根据共轭二烯的摩尔吸光系数 2.8×10^4 L/(mol·cm) 计算共轭二烯含量, 结果以 μ mol/L 表示。采用 MDA 试剂盒测定样品中 MDA 含量, 结果表示为 nmol/mL。

1.3.6 迷迭香提取物对 AMVN 诱导亚油酸氧化的影响

在终浓度为 1 mmol/L 的 LA 中, 加入 100 μ L 不同浓度的迷迭香提取物溶液, 混匀后再加入终浓度为 1 mmol/L 的 AMVN 溶液(甲醇溶解), 反应总体积为 1 mL, 封口后于 37 °C 水浴避光反应 12 h。反应结束后, 以共轭二烯和 MDA 含量为指标评价亚油酸脂质氧化水平。

1.3.7 迷迭香提取物对 AAPH 诱导 DNA 氧化损伤的影响

在终浓度为 2 mg/mL 的 hsDNA (pH 6.0、0.2 mol/L PBS 溶解)中, 加入 100 μ L 不同浓度的迷迭香提取物溶液, 再加入终浓度为 40 mmol/L 的 AAPH 溶液, 反应总体积为 1 mL, 混匀后于 37 °C 恒温水浴 12 h。采用南京建成研究所 MDA 试剂盒测定 hsDNA 氧化损伤水

平, 并根据公式(1)计算迷迭香提取物对 AAPH 诱导 MDA 生成的抑制率:

$$\text{抑制率}/\% = 1 - \frac{A_2 - A_1}{A_1 - A_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: A_0 为空白组(不加诱导剂和迷迭香提取物)的吸光度; A_1 为诱导组的吸光度; A_2 为同时加入迷迭香提取物和诱导剂后的吸光度。

1.3.8 统计学分析

所有试验重复 3 次, 结果表示为平均值 $\pm$ 标准差。采用 SPSS21.0 统计软件进行数据处理, 最小显著差异法(least significant difference, LSD)进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示差异显著, 采用 GraphPad Prism 7.0 绘图软件进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 迷迭香提取物对 Cu²⁺/H₂O₂ 诱导蛋白氧化的影响

迷迭香提取物对 Cu²⁺/H₂O₂ 诱导 BSA 氧化的影响见图 1。

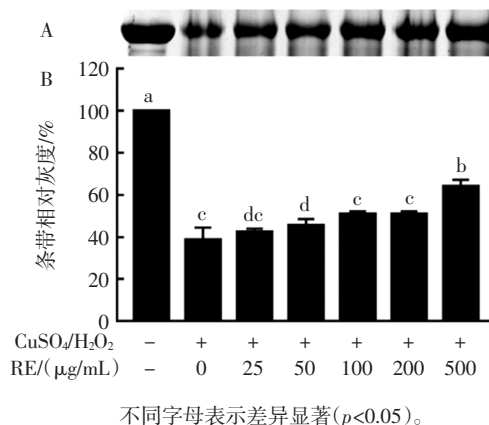


图1 迷迭香提取物对 Cu²⁺/H₂O₂ 诱导 BSA 氧化的影响

Fig.1 Effect of rosemary extract on oxidative damage of BSA induced by Cu²⁺/H₂O₂

由图 1A 可知, 与对照组相比, 经 Cu²⁺/H₂O₂ 诱导后, 试验组 BSA 条带颜色明显变浅; 与模型组相比, 随着迷迭香提取物浓度的增加, BSA 条带颜色明显变深。由图 1B 可知, 与对照组相比, 经 Cu²⁺/H₂O₂ 诱导后, 试验组 BSA 条带相对灰度显著降低($p < 0.05$); 与模型组相比, BSA 条带相对灰度随迷迭香提取物浓度的增加而显著升高($p < 0.05$), 该结果与张月等^[14]研究结果相一致。出现该结果的原因可能是, Cu²⁺/H₂O₂ 能够通过 Fenton 反应产生羟自由基诱导 BSA 发生氧化降解, 从而造成蛋白条带灰度降低, 而迷迭香提取物含有的多酚类物质能够清除羟自由基, 从而抑制蛋白氧化降解^[15]。

2.2 迷迭香提取物对 AAPH 诱导蛋白氧化的影响

迷迭香提取物对 AAPH 诱导 BSA 氧化的影响见图 2。

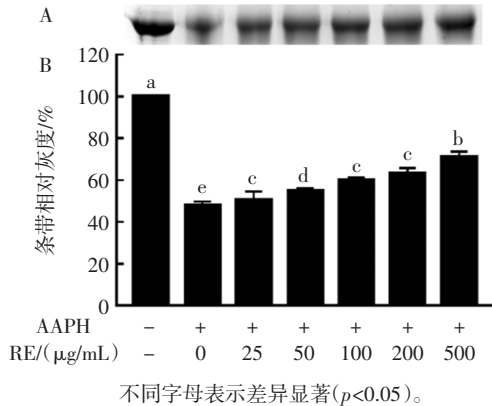


图 2 迷迭香提取物对 AAPH 诱导 BSA 氧化的影响

Fig.2 Effect of rosemary extract on oxidative damage of BSA induced by AAPH

如图 2 所示,与对照组相比,AAPH 处理组 BSA 条带颜色变浅,BSA 条带相对灰度显著降低($p < 0.05$);与模型组相比,BSA 条带相对灰度随提取物浓度的升高而显著升高($p < 0.05$),这与 $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 诱导蛋白氧化损伤的结果相一致。以上结果表明,迷迭香提取物能够有效抑制 AAPH 诱导的 BSA 氧化降解。

2.3 迷迭香提取物对自由基诱导蛋白羰基化的影响

迷迭香提取物对自由基诱导 BSA 羰基化的影响见图 3。

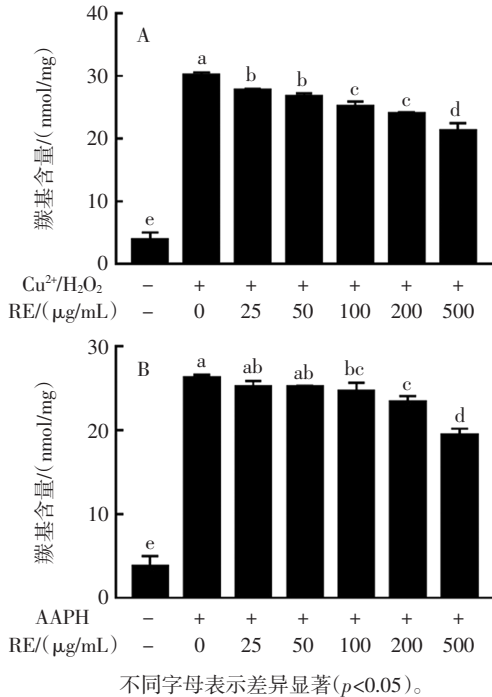


图 3 迷迭香提取物对自由基诱导 BSA 羰基化的影响

Fig.3 Effect of rosemary extract on carbonylation of BSA induced by free radicals

蛋白羰基化是衡量蛋白质氧化损伤的一个重要指标^[16]。从图 3A 可知,对照组 BSA 中羰基含量很低,为 3.80 nmol/mg;经 $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 处理 90 min 后,BSA 羰基含量显著升高至 30.09 nmol/mg($p < 0.05$)。迷迭香提取物能有效抑制 $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 诱导 BSA 中羰基含量的升高($p < 0.05$),其抑制作用随提取物添加浓度的升高而增强。由图 3B 可知,AAPH 处理组 BSA 羰基含量较对照组显著升高($p < 0.05$);迷迭香提取物能有效抑制 AAPH 诱导 BSA 中羰基含量的升高($p < 0.05$),其抑制作用随添加浓度的升高而增强,与 $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 诱导下的结果相类似。

迷迭香提取物中含有的迷迭香酸、迷迭香酚、鼠尾草酸和鼠尾草酚等多种多酚类物质^[10,17],能够通过清除 $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ 及 AAPH 反应体系产生的羟自由基、烷氧自由基等抑制 BSA 羰基化修饰。

2.4 迷迭香提取物对 FeSO_4 诱导亚油酸氧化的抑制作用

迷迭香提取物对 FeSO_4 诱导亚油酸氧化的影响见图 4。

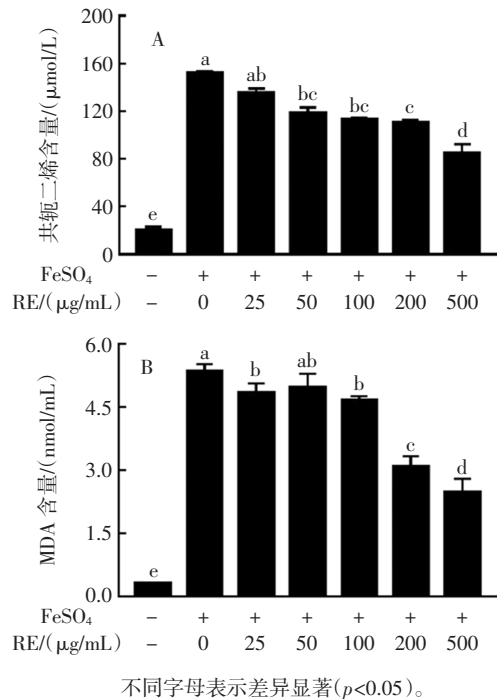


图 4 迷迭香提取物对 FeSO_4 诱导亚油酸氧化的影响

Fig.4 Effect of rosemary extract on LA oxidation induced by FeSO_4

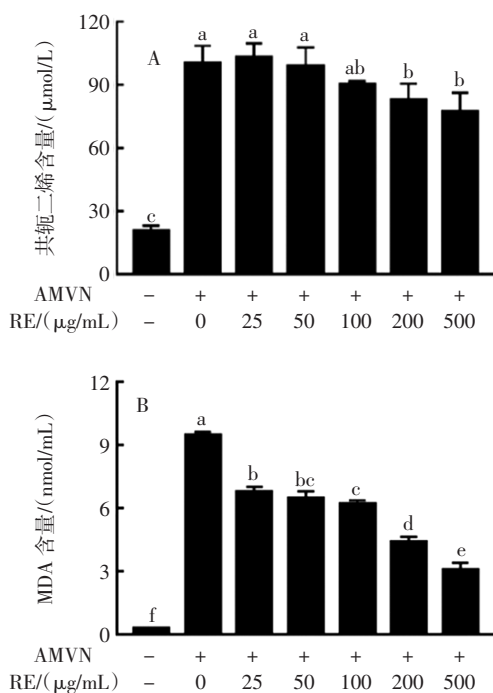
LA 是一种常见的多不饱和脂肪酸且极易发生脂质氧化^[18]。如图 4A 所示, FeSO_4 处理组中 LA 共轭二烯含量为 152.20 $\mu\text{mol/L}$,显著高于对照组($p < 0.05$);迷迭香提取物能够有效抑制 FeSO_4 诱导 LA 共轭二烯含量的升高($p < 0.05$),其抑制作用随添加浓度的升高而

增强。

MDA 是油脂中不饱和脂肪酸氧化分解所产生的次级氧化产物^[9]。由图 4B 可知,对照组 LA 氧化所产生的 MDA 含量很低,而在模型组中,FeSO₄ 单独处理后,LA 发生脂质氧化,导致其产生的 MDA 含量显著升高($p<0.05$);随着处理组中迷迭香提取物浓度的升高,LA 氧化所产生的 MDA 含量逐渐降低。这说明迷迭香提取物能够有效抑制 LA 氧化,且抑制作用随其浓度的升高而增强。这与姚雯等^[20]研究血根碱对 FeSO₄ 诱导 LA 氧化影响的结果相一致。

2.5 迷迭香提取物对 AMVN 诱导亚油酸氧化的抑制作用

迷迭香提取物对 AMVN 诱导亚油酸氧化影响见图 5。



不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

图 5 迷迭香提取物对 AMVN 诱导亚油酸氧化影响

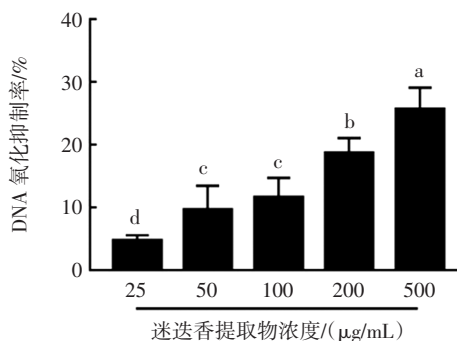
Fig.5 Effect of rosemary extract on LA oxidation induced by AMVN

AMVN 在热分解条件下会产生烷氧自由基,从而引发 LA 脂肪氧化的链式反应,加速油脂氧化。由图 5A 可知,处理组中较低浓度的迷迭香提取物未能显著抑制共轭二烯产物的生成,而其浓度为 100 μg/mL~500 μg/mL 时,LA 脂质氧化显著得到抑制($p<0.05$);由图 5B 可知,在 AMVN 作用下,模型组 LA 发生脂质氧化,而对照组 LA 氧化程度较低;从处理组中可以得出,迷迭香提取物可以显著($p<0.05$)抑制 MDA 的生成,且其抑制效果随提取物浓度(25 μg/mL~500 μg/mL)的升

高而逐渐增强。

2.6 迷迭香提取物对 AAPH 诱导 DNA 氧化损伤的影响

迷迭香提取物对 AAPH 诱导 DNA 氧化损伤的抑制作用见图 6。



不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

图 6 迷迭香提取物对 AAPH 诱导 DNA 氧化损伤的抑制作用

Fig.6 Inhibitory effects of rosemary extract on AAPH-initiated DNA oxidative damage

DNA 是机体遗传信息的载体,AAPH 产生的自由基会攻击 DNA,引发 DNA 氧化损伤,通过测定 DNA 氧化产物在 532 nm 处的吸光度可判断其氧化损伤的程度。由图 6 可知,迷迭香提取物能够有效抑制 AAPH 诱导 hsDNA 氧化,其抑制率随添加浓度的升高而显著升高($p<0.05$)。

3 结论

本试验表明迷迭香提取物对不同自由基引发的蛋白质氧化降解、羰基化修饰,脂质氧化和 DNA 氧化损伤均有显著的抑制作用,且抑制作用随其浓度的升高而增强;出现这一结果的原因可能是迷迭香提取物阻断了 Cu²⁺/H₂O₂、AAPH、FeSO₄ 和 AMVN 等诱导剂引发的自由基链式反应从而抑制生物大分子及 LA 的氧化损伤。该研究为迷迭香提取物预防某些与蛋白氧化损伤有关的疾病及功能性食品的开发提供了一定的理论依据。在今后的试验中应采用动物试验进一步评价迷迭香提取物对自由基诱导蛋白质、油脂及 DNA 氧化的抑制作用及机制。

参考文献:

- [1] HUANG YJ, NAN GX. Oxidative stress-induced angiogenesis[J]. Journal of Clinical Neuroscience, 2019, 63: 13-16
- [2] FUKAI T, USHIO-FUKAI M. Superoxide dismutases: Role in redox signaling, vascular function, and diseases[J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2011, 15(6): 1583-1606
- [3] SINHA N, DABLA PK. Oxidative Stress and Antioxidants in Hy-

- pertension – A Current Review[J]. Current Hypertension Reviews, 2015, 11(2): 132–142
- [4] 胡静, 李灵. 氧化应激与天疱疮[J]. 中国皮肤性病学杂志, 2014, 28(4): 418–420
- [5] MADABHUSHI R, PAN L, TSAI LH. DNA damage and its links to neurodegeneration[J]. Neuron, 2014, 83(2): 266–282
- [6] 李维熙, 李怡芳, 何蓉蓉. 儿茶素类化合物抗氧化评价方法及作用机制的研究现状[J]. 中药新药与临床药理, 2016, 27(2): 295–303
- [7] 陈晨, 孙竞, 傅鹤秀, 等. 没食子酸对线粒体氧化应激损伤的保护作用[J]. 国际药学研究杂志, 2018, 45(5): 353–359
- [8] 贺宇佳, 刘明, 伍树松. 植物多酚对氧化应激与炎症信号通路的调控机制[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1554–1563
- [9] SANCHEZ-CAMARGO AD, HERRERO M. Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) as a functional ingredient: recent scientific evidence[J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 14: 13–19
- [10] RAADT PD, WIRTZ S, VOS E, et al. Short review of extracts of rosemary as a food additive[J]. Europe Journal of Nutrition & Food Safety, 2015, 5(3): 126–137
- [11] ULBRICHT C, ABRAMS TR, BRIGHAM A, et al. An evidence-based systematic review of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) by the Natural Standard Research Collaboration[J]. Journal of Nutraceuticals Functional & Medical Foods, 2010, 7(4): 351–413
- [12] 刘胜男, 余敏敏, 潘菁菁, 等. 模拟胃肠道消化过程中迷迭香提取物总酚及抗氧化活性变化规律研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 294–298
- [13] ESTERBAUER H, STRIEGL G, PUHL H, et al. Continuous monitoring of *in vitro* oxidation of human low density lipoprotein[J]. Free Radical Research Communications, 1989, 6(1): 67–75
- [14] 张月, 刘茜, 肖春霞. 辣椒碱对生物大分子氧化损伤的保护作用[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 41–47
- [15] TSAO R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols[J]. Nutrients, 2010, 2(12): 1231–1246
- [16] ESTEVEZ M. Protein carbonyls in meat systems: A review[J]. Meat Science, 2011, 89(3): 259–279
- [17] MEGATELI S, KREA M. Enhancement of total phenolic and flavonoids extraction from *Rosmarinus officinalis* L using electromagnetic induction heating (EMIH) process[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2018, 24(5): 889–897
- [18] TRICO D, DI SESSA A, CAPRIO S, et al. Oxidized derivatives of linoleic acid in pediatric metabolic syndrome: is their pathogenic role modulated by the genetic background and the gut microbiota? [J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2019, 30(2): 241–250
- [19] TSIKAS D. Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges[J]. Analytical Biochemistry, 2017, 524: 13–30
- [20] 姚雯, 杨天衡, 刘学波. 血根碱清除自由基及抑制生物大分子氧化的作用[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 137–141

收稿日期: 2019-08-03

欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办, 国内外公开发行的食品专业科技期刊, 1980 年创刊, 半月刊, 采用国际流行开本大 16 开。其专业突出, 内容丰富, 印刷精美, 是一本既有基础理论研究, 又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、“乌利希期刊指南”、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录, 并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE 中国核心学术期刊(A)。主要栏目有: 基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS; 国际刊号 ISSN 1005-6521; 邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2020 年定价: 30 元/册, 全年 720 元。

本编辑部常年办理邮购, 订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址: 天津市静海县静海经济开发区南区科技路 9 号; 收款人: 《食品研究与开发》编辑部; 邮政编码: 301600。

(2) 银行汇款。开户银行: 工商银行静海支行, 行号: 102110000863。

账号: 0302095119300204171; 单位: 天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-59525671