

桉叶多酚的体外抗氧化活性及其改善肉鸡腿肌肉的品质

李伟, 陈榕, 张小英, 孟天梦, 陈运娇, 曹庸

(华南农业大学食品学院, 广东省功能食品活性物重点实验室, 广东省天然活性物工程技术研究中心, 广东广州 510642)

摘要: 为开发桉叶功能成分, 实验以桉叶多酚为研究对象, 研究其总多酚含量及组成、体外抗氧化活性及改善肉鸡腿肌肉品质的作用。结果表明: 低温连续相变提取桉叶多酚的得率为 25.78%, 总多酚含量 312.55 mg/g; HPLC 分析结果表明桉叶多酚以月见草素 B 为主, 含有没食子酸、1,2,3,6-四没食子酰基- β -D-吡喃葡萄糖、没食子酸乙酯及金丝桃苷。桉叶多酚具有较强的清除超氧阴离子 ($O_2^{\cdot-}$) 能力、总抗氧化能力及还原能力, 呈量效关系。此外, 体内实验表明 0.9 g/kg 桉叶多酚显著提高肉鸡腿肌肌红蛋白 6.53 mg/g 和鸟苷酸含量 0.34 mg/g ($p < 0.05$), 且 1.2 g/kg 桉叶多酚提高肌肉苯丙氨酸含量 4.47 mg/g ($p < 0.05$), 具有显著改善肉质品质的作用。这表明桉叶多酚是一种具有高效活性的新型多酚, 具有重要的研究前景和应用价值。

关键词: 桉叶; 多酚; 抗氧化; 肉质

文章编号: 1673-9078(2020)04-105-112

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.014

In vitro Antioxidant Activity of Eucalyptus Leaf Polyphenols and Improvement of Broiler Thigh Muscle Meat Quality

LI Wei, CHEN Rong, ZHANG Xiao-ying, MENG Tian-meng, CHEN Yun-jiao, CAO Yong

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, Guangdong Natural Active Object Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to develop the functional components from eucalyptus leaves, the polyphenols in eucalyptus leaves (PE) were used as the research object. The total content, composition and *in vitro* antioxidant activity of the polyphenols, and their abilities to improve broiler thigh muscle meat quality were investigated. The results showed that low temperature continuous phase extraction led to the yield of PE as 25.78%, and the total polyphenol content as 312.55 mg/g. The results of HPLC analysis indicated that PE had oenothien B as the major component, along with gallic acid, 1,2,3,6-tetragalloyl- β -D-glucopyranose, ethyl gallate and hyperoside. PE exhibited relatively high *in vitro* superoxide anion ($O_2^{\cdot-}$) scavenging ability, total antioxidant capacity and reducing ability, with a dose-effect relationship. In addition, *in vivo* experiments also showed that 0.9 g/kg PE treatment significantly increased the contents of myoglobin 6.53 mg/g and guanylate 0.34 mg/g in the broiler thigh muscle ($p < 0.05$), while 1.2 g/kg PE treatment enhanced the phenylalanine content 4.47 mg/g ($p < 0.05$), indicating that the PE treatment significantly improved meat quality. Thus, it can be concluded that PE are novel and highly active polyphenols and have important research prospects and application value.

Key words: eucalyptus leaf; polyphenols; antioxidant; meat quality

引文格式:

李伟,陈榕,张小英,等.桉叶多酚的体外抗氧化活性及其改善肉鸡腿肌肉品质的研究[J].现代食品科技,2020,36(4):105-112

LI Wei, CHEN Rong, ZHANG Xiao-ying, et al. *In vitro* antioxidant activity of eucalyptus leaf polyphenols and improvement of broiler thigh muscle meat quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 105-112

收稿日期: 2019-09-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0600806); 广东省现代农业产业技术体系创新团队项目 (2019KJ117); 国家自然科学基金项目 (31700501)

作者简介: 李伟 (1991-), 男, 博士研究生, 研究方向: 天然活性物提取、分离、鉴定及活性评价; 共同第一作者: 陈榕 (1999-), 女, 本科, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 曹庸 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 天然活性物提取、分离、鉴定及活性评价

植物多酚是植物体内一类重要的次生代谢产物,广泛存在于植物的皮、叶、茎、果实及根等部位^[1]。植物多酚的提取方法有溶剂提取、超声波提取及微波提取等方式。目前已有 8000 多种多酚类化合物被报道,其结构上含有较多羟基(-OH),主要分为三大类:黄酮类、酚酸类和非黄酮类;此外,多酚类物质具有清除自由基和调节细胞内抗氧化防御系统、抗炎、抗肿瘤及降血糖等活性^[2]。目前,茶多酚、白藜芦醇、苹果多酚及葡萄多酚等已经在畜禽行业得到初步应用,已证实多酚类具有提高畜禽机体抗氧化水平和改善肉质作用^[3-5]。

桉树是桃金娘科桉树属植物,热带及亚热带地区的一种常绿阔叶树种,我国主要种植于广东、广西及海南等地^[6]。目前,我国桉树砍伐主要用作木材、纸浆等用途,大量的桉树叶被堆积焚烧,资源浪费且造成环境污染。现代研究指出桉叶除了可以提取精油外,其含有大量多酚类物质,具有潜在的研究和应用价值。本实验室前期采用自主知识产权的低温连续相变技术提取桉叶中的多酚类物质,初步得出多酚类物质是桉叶提取物的主要抗氧化活性成分,称之为桉叶多酚^[7,8]。研究指出桉叶多酚具有清除 DPPH·和 ABTS·⁺自由基的能力^[9,10]。桉叶多酚作为一种新型天然活性多酚,具有生物活性高和生物量广泛等特点,但桉叶资源利用仍面临利用率低下、基础研究不足等问题。目前,国内关于桉叶多酚的研究较少,而桉叶多酚生物量大且生理活性优异。为了进一步研究桉叶多酚的生物活性及拓展其应用范围,本文旨在评价桉叶多酚体外抗氧化活性,并以桉叶多酚作为动物饲料添加剂初步研究其对动物腿肌肉品质品质的影响。本文旨在初步探究桉叶多酚的活性及应用,为桉树资源的开发利用提供研究和应用基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

桉叶购于广东省茂名市宝圩镇;肉鸡由惠州兴泰现代农业有限公司提供。

试剂:1 mol/L 福林-酚试剂,没食子酸,无水碳酸钠,无水乙醇,铁氰化钾,磷酸钠,三氯乙酸,三氯化铁,硫酸亚铁,邻苯三酚,水杨酸钠,钼酸铵等均为分析纯。胶原蛋白试剂盒购于南京建成试剂有限公司;肌苷酸、鸟苷酸及氨基酸标准品购于 sigma。

仪器:AL104 电子天平,梅特勒-托利多;R204B3 型旋转蒸发器,上海申生科技;高效液相色谱仪 LC-10ATVP plus,日本岛津公司;MK-3 酶标仪 Thermo

Labsystems 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 桉叶多酚制备

称取 18kg 桉叶粉末(阴干、粉碎),于实验室自主研发 50 L 低温连续相变萃取装置^[11],75 °C 提取 2 h,减压浓缩,喷雾干燥备用,实验重复三次,计算得率及桉叶多酚含量(福林酚法)^[12]。

采用高效液相色谱法对桉叶多酚特征组分进行定性定量分析。高效液相色谱条件: Diamonsil C18 色谱柱(250×4.6 mm, 5 μm);流动相:10%~90%甲醇梯度洗脱 1 h;检测波长:270 nm;流速为 1 mL/min;进样量:10 μL。

$$\text{桉叶多酚得率}(\%) = \frac{\text{提取物质量} / \text{g}}{\text{原料重量} / \text{g}} \times 100\%$$

1.2.2 桉叶多酚体外抗氧化活性评价

1.2.2.1 清除超氧阴离子能力

参考 Giese^[13]等方法,取 1 mL 不同浓度桉叶多酚(0.16 mg/mL、0.32 mg/mL、0.64 mg/mL、1.28 mg/mL、2.56 mg/mL),加入 4.5 mL 0.1 mol/L Tris-HCL、1 mL 3 mmol/L 邻苯三酚,混匀后 25 °C 水浴 4 min;再加入 0.5 mL 8 mol/L HCL 终止反应,320 nm 下测定吸光值 A1;以不加样品,用去离子水代替样品在 320 nm 处测得的吸光值为 A3;以去离子水代替 3 mmol/L 邻苯三酚测得吸光值 A2;每个样品三平行,以相同浓度维生素 C 作为阳性对照;

$$\text{超氧阴离子清除率}(\%) = \left[1 - \frac{A1 - A2}{A3} \right] \times 100\%$$

1.2.2.2 总抗氧化能力

参考周方^[14]等方法并进行适当调整。钼酸铵反应体系:6.516 g H₂SO₄、0.919 g Na₃PO₄ 及 0.988 g 钼酸铵溶于 200 mL 溶液中,混匀待用。取 0.1 mL 不同浓度桉叶多酚(0.16 mg/mL、0.32 mg/mL、0.64 mg/mL、1.28 mg/mL、2.56 mg/mL),再加 1 mL 钼酸铵反应体系,95 °C 水浴 90 min,溶液冷却后于 695 nm 处测定吸光值;每个样品三平行,以相同浓度维生素 C 作为阳性对照。

1.2.2.3 还原能力

参考陈秋娟^[15]等方法,取 1 mL 不同浓度桉叶多酚(0.16 mg/mL、0.32 mg/mL、0.64 mg/mL、1.28 mg/mL、2.56 mg/mL),加入 2.5 mL 1%铁氰化钾和 2.5 mL 0.2 mol/L 磷酸钠溶液,50 °C 水浴 20 min 后加入 2.5 mL 10%三氯乙酸。再 3000 r/min 离心 10 min,取 2.5 mL 上清液、2.5 mL 双蒸水及 0.5 mL 0.1%三氯化铁,混匀静置后于 700 nm 下测定吸光值;每个样品

三平行,以相同浓度维生素C作为阳性对照。

1.2.3 桉叶多酚对肉鸡腿肌肉质改善作用

1.2.3.1 实验设计

动物实验选取体重相近、健康状况良好的黄羽肉鸡216只(90日龄),平均分成4个处理组,每个处理组6个重复,每个重复9只鸡:对照组(基础日粮^[12])和实验组(基础日粮中分别添加0.6 g/kg、0.9 g/kg及1.2 g/kg桉叶多酚)。实验日粮养分含量均达或超过NRC(1998)标准。

1.2.3.2 饲养管理

实验黄羽肉鸡采用笼养,每笼3只鸡,各组环境条件一致。肉鸡自由采食和饮水,日常管理和免疫程序按照鸡场常规进行。实验期40d,记录饲料消耗情况。

1.2.3.3 样品采集

40d后(130日龄),每个处理组随机选取生长状况相近的黄羽肉鸡,左颈静脉采血后屠宰致死,倒挂10min,迅速采集整条腿肌,置于液氮下保存,用于后续指标测定。

1.2.3.4 腿肌肉质指标测定方法

胶原蛋白:按南京建成生物工程研究所试剂盒的使用方法进行新鲜肌肉中羟脯氨酸含量的测定;

肌红蛋白含量及组成部分测定:称取新鲜肌肉约1g,加入8mL磷酸钠溶液(0.04 mol/L、pH 6.8),在20℃条件下匀浆20s,冰浴中放置1h,然后在低温(10~15℃)下离心(10000 r/min)30min,取其上清液,用Whatman滤纸过滤,补足同种缓冲液至15mL,用0.25 μm微孔滤纸过滤后取滤液,分别测定在525 nm处、545 nm处、565 nm处和572 nm处的吸光值。按下式计算:

肌红蛋白总量(mL/L)=-0.166A₅₇₂+0.086A₅₆₅+0.088A₅₄₅+0.099A₅₂₅

脱氧肌红蛋白(%)=(0.0369 R₁+1.140 R₂-0.941 R₃+0.015)×100%

氧和肌红蛋白(%)=(0.882 R₁-1.267 R₂+0.809 R₃-0.361)×100%

高铁肌红蛋白(%)=(-2.541 R₁+0.777 R₂+0.800 R₃+1.098)×100%

式中R₁、R₂和R₃分别是吸光比值A₅₇₂/A₅₂₅、A₅₆₅/A₅₂₅和A₅₄₅/A₅₂₅。

肌苷酸和鸟苷酸测定样品前处理:准确称取1.50g新鲜肌肉,加10mL 5%高氯酸溶液匀浆后提取5min,3500 r/min离心10min,上清液滤于100mL烧杯中,残渣再用10mL 5%高氯酸溶液振荡提取5min后离心,合并上清液并调节pH为6.8,转至50mL容

量瓶中,超纯水定容后用0.22 μm滤膜过滤,得待测液。

选用高效液相色谱仪LC-15C VP Plus仪器,反相Diamonsil C18色谱柱。检测波长:254 nm,流动相:A泵,0.05 mol/L pH 6.8磷酸盐缓冲液92%;B泵:8%甲醇溶液(V/V)混匀,流速1 mL/min。样品进样量10 μL,外标法定量。

游离氨基酸:称取自然解冻肌肉样品1.0g(除去可见筋膜及脂肪),采用组织破碎仪处理后加入20mL 10%磺基水杨酸,混匀后4℃静置20h,调节pH至6(1 mol/L NaOH),定容至50mL,以0.22 μm滤膜过滤后,待用。以17种氨基酸标准品为对照,采用氨基酸分析仪(L-8800,日本日立)分析样品中游离氨基酸的含量。

1.3 数据分析与统计

实验结果以GraphPad Prism 5和Excel软件作图,SPSS 18.0软件进行方差分析,采用Duncan多重比较,显著水平设置为p<0.05。

2 结果与分析

2.1 桉叶多酚制备

采用实验室自制50L低温连续相变装置提取桉叶多酚的得率为25.78%,福林酚法测得其总多酚含量为312.55 mg/g。采用高效液相色谱法检测桉叶多酚,通过标准品比对保留时间可得重要成分与本实验室前期研究一致^[16],包括月见草素B、没食子酸、1,2,3,6-四没食子酰基-β-D-吡喃葡萄糖、没食子酸乙酯及金丝桃苷。有研究指出桉叶多酚含有黄酮类、酰基间苯三酚衍生物、萜类及其苷类等活性物质,此外还有一些高活性的不稳定物质^[17]。作为新型活性多酚类,后续研究以此为原料开展实验。

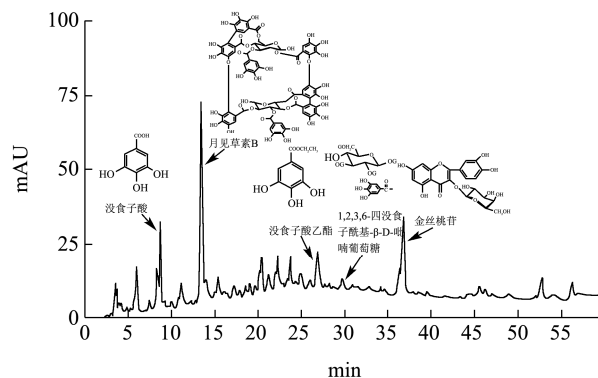


图1 桉叶多酚高效液相色谱图

Fig.1 HPLC diagram of EPE

2.2 桉叶多酚体外抗氧化活性评价

2.2.1 不同浓度桉叶多酚对超氧阴离子清除能力的影响

由于体外抗氧化评价方法反应机理的不同,选用合适的评价体系对研究桉叶多酚活性具有重要意义。基于桉叶多酚水溶性的特点,本次实验选用的评价方法均在水溶液体系中进行,能够最大程度反映桉叶多酚抗氧化性能。首先选用超氧阴离子自由基清除率作为评价方法之一, $O_2^{\cdot-}$ 本身不具有很强的自由基特性,它不会诱导生物大分子氧化,但与金属离子相遇时易产生 OH^{\cdot} , 引发芬顿反应^[18]。因此,本实验以邻苯三酚自氧化法测定桉叶多酚的清除 $O_2^{\cdot-}$ 能力。图 2 表明,桉叶多酚清除 $O_2^{\cdot-}$ 能力呈现明显的量效关系,在 0.16 mg/mL 时 $O_2^{\cdot-}$ 清除率为 14.24%,而 2.56 mg/mL 时 $O_2^{\cdot-}$ 清除率为 41.16%,略高于 0.32 mg/mL 维生素 C 清除率。这提示桉叶多酚具有较高的潜在清除 $O_2^{\cdot-}$ 能力。

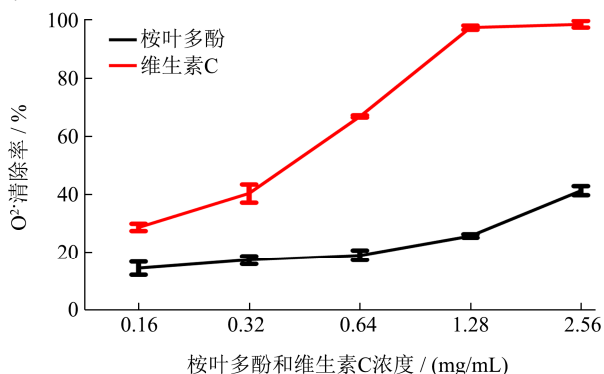


图 2 不同浓度桉叶多酚的超氧阴离子清除率

Fig.2 Superoxide radical-scavenging activity of different concentration of EPE

2.2.2 不同浓度桉叶多酚对总抗氧化能力的影响

采用钼酸铵法测定桉叶多酚总抗氧化能力,原理是抗氧化类物质将 $Mo(IV)$ 还原成 $Mo(V)$, 酸性条件下形成绿色的磷酸盐。本次实验以吸光值评价桉叶多酚的总抗氧化能力^[19]。图 3 所示,随着浓度增大,桉叶多酚总抗氧化能力也逐渐增大,2.56 mg/mL 桉叶多酚总抗氧化能力相当于 0.64 mg/mL 维生素 C。由此可知桉叶多酚是一种具研究潜力的抗氧化剂。

表 1 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌胶原蛋白的影响

Table 1 Effects of different EPE on collagen content of chicken

	对照组	0.6 g/kg 桉叶多酚组	0.9 g/kg 桉叶多酚组	1.2 g/kg 桉叶多酚组
腿肌/(mg/g)	1.74±0.61	1.73±0.27	1.74±0.56	1.80±0.34

注: 相同条件下进行不同组别间单因素方差分析,同一指标中不同组别肩标不同表示差异显著 ($p < 0.05$),同一指标中不同组别没有肩标表示差异不显著 ($p > 0.05$)。

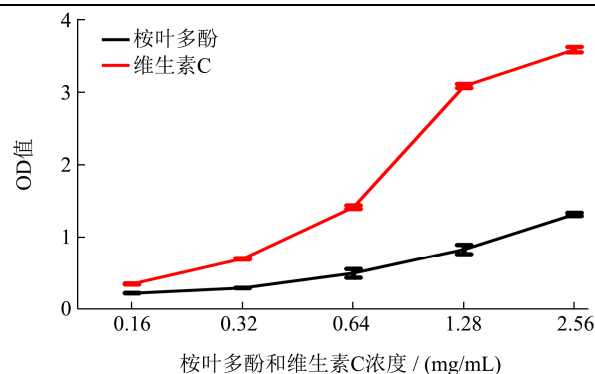


图 3 不同浓度桉叶多酚的总抗氧化能力

Fig.3 Total antioxidant capacity of different concentration of EPE

2.2.3 不同浓度桉叶多酚对铁离子还原能力的影响

铁离子还原法测定桉叶多酚总还原能力,随着还原能力提高,溶液颜色由黄色逐渐变成不同程度的蓝色溶液^[20]。由图 4 可得,实验浓度范围内桉叶多酚还原能力对着浓度增大而上升,桉叶多酚呈现良好的剂量-效应关系,但还原能力低于同浓度的其维生素 C。本课题组前期研究指出桉叶提取物的抗氧化作用主要与多酚类物质有关,这表明提高桉叶多酚中多酚含量具有潜在改善其体外抗氧化能力的作用,为后续桉叶多酚的分离纯化工作提供了新思路。

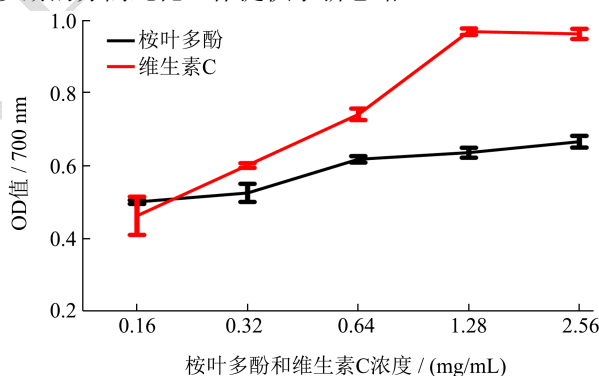


图 4 不同浓度桉叶多酚的铁离子还原能力

Fig.4 Ferric-reducing antioxidant power effects of different concentration of EPE

2.3 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌肉品质的影响

2.3.1 桉叶多酚对腿肌胶原蛋白含量的影响

胶原蛋白含量是肌肉衡量品质的重要指标之一,其含有大量的甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸,后两者在其他蛋白不含有或含量极少,因此,常通过测定羟脯氨酸的含量来确定胶原蛋白含量^[21]。由表1可得,与对照组相比,0.6 g/kg、0.9 g/kg及1.2 g/kg 桉叶多酚组黄羽肉鸡腿肌胶原蛋白含量无显著变化($p>0.05$)。本次实验没有显著改善腿肌中胶原蛋白含量,但有一定的提高趋势,这可能与桉叶多酚或者饲养时间等因素有关,需要进一步研究。

2.3.2 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌肌红蛋白组成的影响

肌肉色泽主要由肌红蛋白、血红蛋白以及细胞色素等组成。动物宰杀完毕后肌肉肉色主要受肌红蛋白

含量以及形态影响,而肌红蛋白主要是脱氧肌红蛋白、氧合肌红蛋白以及高铁肌红蛋白三个状态下的转变,直接影响肌肉的感官^[22,23]。本次动物实验结果表明桉叶多酚能显著提高腿肌中肌红蛋白含量且改善肌红蛋白还原状态。由表2可得,0.9 g/kg 桉叶多酚组肌肉肌红蛋白含量6.53 mg/g显著高于对照组5.22 mg/g,提高25.10%($p<0.05$)。此外,腿肌中氧合肌红蛋白相对比例随着桉叶多酚添加量增大而提高($p>0.05$),相对比例越大肉色呈现鲜红色,这也解释了前期实验中肉色红度值(a^* 值)增大的原因^[12]。此外,桉叶多酚各组氧合肌红蛋白相对比例均有一定程度提高、高铁肌红蛋白呈现下降趋势,这说明桉叶多酚具有延缓氧合肌红蛋白转变成高铁肌红蛋白作用,具有显著改善肉色作用。

表2 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌肌红蛋白组成的影响

Table 2 Effects of different EPE on myohemoglobin redox of chicken

	对照组	0.6 g/kg 桉叶多酚组	0.9 g/kg 桉叶多酚组	1.2 g/kg 桉叶多酚组
脱氧肌红蛋白/%	20.91±1.06	21.27±3.39	20.66±1.45	21.33±1.03
氧合肌红蛋白/%	48.95±2.87	49.01±2.41	49.59±2.30	51.48±6.01
高铁肌红蛋白/%	22.32±3.34	20.98±2.66	22.58±3.86	20.01±1.97
肌红蛋白/(mg/g)	5.22±0.33 ^b	6.04±0.91 ^{ab}	6.53±1.30 ^a	5.81±1.06 ^{ab}

注:相同条件下进行不同组别间单因素方差分析,同一指标中不同组别肩标不同表示差异显著($p<0.05$),同一指标中不同组别没有肩标表示差异不显著($p>0.05$)。

2.3.3 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌肌苷酸和鸟苷酸含量的影响

氨基酸和核苷酸是对肉类及其制品鲜味最大的两类物质,其中氨基酸以谷氨酸和甘氨酸最明显,核苷酸中鲜味最强的是肌苷酸和鸟苷酸^[24,25]。李慧芳^[26]等研究蛋用罗曼鸡、石岐杂鸡等五个鸡种肌苷酸含量变化,随着鸡龄增长,肌肉中肌苷酸含量不断提高。由表3可得0.9 g/kg 桉叶多酚组腿肌中鸟苷酸含量显著

高于对照组25.93% ($p<0.05$),1.2 g/kg 桉叶多酚组中肌苷酸含量比对照组也提高了8.78% ($p>0.05$)。大量研究表明肌苷酸和鸟苷酸的含量是影响鸡肉鲜味和口感的重要因素^[27],并且本次研究结果与姜贺^[28]、高艳敏^[29]等一致。这说明桉叶多酚具有提高肌肉鲜味物质含量的作用,有效提高肌肉中风味成分含量,改善肌肉品质。

表3 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌肌苷酸和鸟苷酸含量的影响

Table 3 Effects of different EPE on inosine and guanylic acid content of chicken

	对照组	0.6 g/kg 桉叶多酚组	0.9 g/kg 桉叶多酚组	1.2 g/kg 桉叶多酚组
肌苷酸/(mg/g)	1.48±0.12	1.50±0.23	1.58±0.09	1.61±0.10
鸟苷酸/(mg/g)	0.27±0.03 ^b	0.27±0.01 ^b	0.34±0.04 ^a	0.31±0.06 ^{ab}

注:相同条件下进行不同组别间单因素方差分析,同一指标中不同组别肩标不同表示差异显著($p<0.05$),同一指标中不同组别没有肩标表示差异不显著($p>0.05$)。

2.3.4 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌氨基酸组成的影响

肌肉中含有大量的氨基酸,它们既是肌肉的营养价值成分,又是产生香味的重要物质,某些氨基酸被认为具有呈味作用^[30,31]。由表4可得:相比于对照组,1.2 g/kg 桉叶多酚组腿肌苯丙氨酸含量显著提高了8.50%($p<0.05$),其他各类游离氨基酸含量无显著变化

($p>0.05$)。有研究^[32]指出适量添加苯丙氨酸能提高肌肉持水能力,提升机体抗氧化水平,以改善肉质。此外,0.9 g/kg、1.2 g/kg 桉叶多酚组腿肌中必需氨基酸和总游离氨基酸含量具有一定程度的提升($p>0.05$),0.9 g/kg 桉叶多酚组中鲜味氨基酸呈现增大趋势。实验结果说明桉叶多酚能改善肉中游离氨基酸组成,提高滋味物质含量。

表4 桉叶多酚对黄羽肉鸡腿肌游离氨基酸含量的影响 (mg/g)

Table 4 Effects of different EPE on free amino acid content of chicken (mg/g)

	对照组	0.6 g/kg 桉叶多酚组	0.9 g/kg 桉叶多酚组	1.2 g/kg 桉叶多酚组
天冬氨酸	7.79±0.29	7.41±0.49	7.74±0.47	7.68±0.42
苏氨酸	3.73±0.19	3.57±0.19	3.82±0.15	3.68±0.23
丝氨酸	3.08±0.15	2.95±0.18	3.14±0.08	3.08±0.17
谷氨酸	12.68±0.77	11.77±0.89	12.81±0.32	12.51±0.38
甘氨酸	3.61±0.08	3.68±0.41	3.77±0.24	3.65±0.10
丙氨酸	4.79±0.19	4.68±0.29	4.86±0.11	4.77±0.29
胱氨酸	1.52±0.17	1.48±0.22	1.51±0.68	1.37±0.33
缬氨酸	6.40±0.30	6.27±0.14	6.45±0.10	6.55±0.18
蛋氨酸	2.30±0.06	2.24±0.10	2.35±0.12	2.45±0.09
异亮氨酸	3.96±0.11	3.95±0.11	3.93±0.21	4.01±0.27
亮氨酸	6.64±0.14	6.75±0.18	6.81±0.18	6.80±0.47
酪氨酸	2.89±0.06	2.82±0.28	3.04±0.15	2.96±0.20
苯丙氨酸	4.12±0.10 ^b	4.27±0.12 ^{ab}	4.30±0.08 ^{ab}	4.47±0.08 ^a
赖氨酸	7.08±0.20	6.99±0.37	7.62±0.23	7.31±0.51
组氨酸	2.96±0.10	2.94±0.20	3.16±0.16	3.12±0.21
精氨酸	5.17±0.09	5.33±0.01	5.24±0.16	5.10±0.35
脯氨酸	2.34±0.12	2.40±0.15	2.24±0.55	2.37±0.46
鲜味氨基酸	34.05±1.30	32.88±1.78	34.43±0.86	33.72±1.49
必需氨基酸	34.22±0.98	34.04±0.93	35.30±0.54	35.28±1.21
总氨基酸	81.07±2.73	79.50±3.55	82.83±1.73	81.91±3.15

注: 相同条件下进行不同组别间单因素方差分析, 同一指标中不同组别肩标不同表示差异显著 ($p < 0.05$), 同一指标中不同组别没有肩标表示差异不显著 ($p > 0.05$)。

3 结论

采用低温连续相变装置提取得到的桉叶多酚具有较强体外抗氧化作用, 具体体现在清除超氧阴离子能力、总抗氧化能力及还原能力, 呈量效关系。体内实验发现桉叶多酚能显著改善肉鸡腿肌肉质, 具体表现在提高腿肌中肌红蛋白含量、鸟苷酸含量及苯丙氨酸含量。作为一种新型活性多酚, 桉叶多酚具有深远的研究价值, 一方面是其巨大的生物资源量, 另一方面是其良好的生物活性。总体来说, 桉叶多酚是一种极具研究和应用前景的天然活性多酚类物质。

参考文献

- [1] 黄莉, 丁波. 植物多酚的抗氧化机理及其在动物生产中的应用[J]. 中国畜牧兽医, 2018, 45(9): 2471-2477
HUANG Li, DING Bo. Antioxidant mechanism of plant polyphenols and its application in animal production [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2018, 45(9): 2471-2477
- [2] 郭爱伟, 刘莉莉, 杨亚晋, 等. 植物多酚的生物活性及其在家禽

生产中的应用[J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 491-499

GUO Ai-wei, LIU Li-li, YANG Ya-jin, et al. Biological activity of plant polyphenols and its application in poultry production [J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2019, 31(2): 491-499

- [3] Chamorro S, Romero C, Brenes A, et al. Impact of a sustained consumption of grape extract on digestion, gut microbial metabolism and intestinal barrier in broiler chickens [J]. Food Funct, 2019, 10(3): 1444-1454
- [4] Zhang C, Yang L, Zhao X, et al. Effect of dietary resveratrol supplementation on meat quality, muscle antioxidative capacity and mitochondrial biogenesis of broilers [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(3): 1216-1221
- [5] Farahat M, Abdallah F, Abdel-Hamid T, et al. Effect of supplementing broiler chicken diets with green tea extract on the growth performance, lipid profile, antioxidant status and immune response [J]. British Poultry Science, 2016, 57(5): 1-9
- [6] Ashraf A, Sarfraz R A, Mahmood A, et al. Chemical composition and *in vitro* antioxidant and antitumor activities of

- Eucalyptus camaldulensis* Dehn. leaves [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 74(15): 241-248
- [7] 王俊亮,肖苏尧,陈运娇,等.广林9号桉叶多酚抗氧化活性研究[J].食品科学,2012,33(1):20-24
WANG Jun-liang, XIAO Su-yao, CHEN Yun-jiao, et al. Antioxidant activity of polyphenol extracts from leaves of *E. grandis* × *E. urophylla* Guanglin No.9 [J]. Food Science, 2012, 33(1): 20-24
- [8] 杨小斌,周爱梅,王爽,等.低温连续相变萃取蓝圆鲈鱼油及其脂肪酸组成分析[J].食品工业科技,2016,37(23):291-297
YANG Xiao-bin, ZHOU Ai-mei, WANG Shuang, et al. Study on the extract of fish oil from *Decapterus maruadsi* by low-temperature continuous phase transition and analysis on fatty acid composition [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(23): 291-297
- [9] 陈运娇,李伟,陈洪璋,等.桉叶抗氧化物分离纯化及其抗氧化活性的研究[J].桉树科技,2016,33(2):25-32
CHEN Yun-jiao, LI Wei, CHEN Hong-zhang, et al. The isolation and purification of compounds from eucalyptus leaves and their antioxidant activity [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 33(2): 25-32
- [10] Chen Y J, Wang J L, Ou Y, et al. Cellular antioxidant activities of polyphenols isolated from eucalyptus leaves (*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* GL9) [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 7: 737-745
- [11] 谭荣威,曹庸,利嘉城.桉叶多酚连续相变提取工艺的优化[J].食品与机械,2015,31(4):183-186
TAN Rong-wei, CAO Yong, LI Jia-cheng. Optimizati of continuous phase transition extraction progress for eucalyptus polyphenol [J]. Food and Machinery, 2015, 31(4): 183-186
- [12] 李伟,陈运娇,谭荣威,等.桉叶多酚对胡须鸡肌肉抗氧化性能和肉质品质影响的研究[J].现代食品科技,2017,33(8):58-65
LI Wei, CHEN Yun-jiao, TAN Rong-wei, et al. Effect of eucalyptus polyphenols on the antioxidant activity and meat quality of beard chicken [J]. Modern Food Science & Technology, 2017, 33(8): 58-65
- [13] Giese E C, Gascon J, Anzelmo G, et al. Free-radical scavenging properties and antioxidant activities of botryosphaeran and some other β -D-glucans [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 125-130
- [14] 周方,赵宏飞,杨洋,等.高丛蓝莓品种花青素含量与抗氧化能力比较[J].西南林业大学学报,2011,31(5):53-57
ZHOU Fang, ZHAN Hong-fei, YANG Yang, et al. Comparitive study on anthocyanin level and antioxidant activity among the tall-stemmed blueberry cultivars [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31(5): 53-57
- [15] 陈秋娟,谢微,苏辉兰,等.马蹄皮多酚提取及抗氧化活性研究[J].中国食品添加剂,2017,12:113-118
CHEN Qiu-juan, XIE Wei, SU Hui-lan, et al. Extraction and antioxidant activity of polyphenols from eleocharis tuberosa peel [J]. China Food Additives, 2017, 12: 113-118
- [16] Chen Y J, Chen H Z, Li W, et al. Polyphenols in eucalyptus leaves improved the egg and meat qualities and protected against ethanol-induced oxidative damage in laying hens [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2018, 102(1): 214-223
- [17] 肖苏尧,王俊亮,陈运娇,等.桉叶中2种没食子单宁结构鉴定及其抗氧化研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2012,39(5):73-76
XIAO Su-yao, WANG Jun-liang, CHEN Yun-jiao, et al. Two tautomerizing gallotannins from eucalyptus leaves: purification, structure characterization and their antioxidant activity [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2012, 39(5): 73-76
- [18] 王鸣.橄榄水提物的抗氧化性及其应用[D].福州:福建农林大学,2016
WANG Ming. Research on antioxidant properties of *Canarium album* aqueous extract and its application [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016
- [19] 范金波,蔡茜彤,冯叙桥,等.咖啡酸体外抗氧化活性的研究[J].中国食品学报,2015,15(3):65-73
FAN Jin-bo, CAI Qian-tong, FENG Xu-qiao, et al. Study on antioxidant activity of caffeic acid *in vitro* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(3): 65-73
- [20] 赵玉红,师帅帅,张立钢.‘鲁赫’刺蔷薇叶不同溶剂提取物的活性成分及抗氧化性比较[J].现代食品科技,2019,35(5):159-166
ZHAO Yu-hong, SHI Shuai-shuai, ZHANG Li-gang. Bioactive compounds extracted by different solvents from *Rosa acicularis* ‘Luhe’ leaves and their antioxidant activity [J]. Modern Food Science & Technology, 2019, 35(5): 159-166
- [21] 李晓波.肌肉胶原蛋白特性及其对肉食用品质的影响研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008
LI Xiao-bo. Effects of the characteristics of collagen in muscle on meat quality [D]. Huhehaote: Inner Mongolia Agricultural University, 2008
- [22] 陈景宜.冷却牛肉褪色的生化因素分析及肉色稳定性研究[D].南京:南京农业大学,2012
CHEN Jing-yi. Analysis of bio-factors affecting discoloration

- and study on color stability of chilled beef [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural College, 2012
- [23] 翁航萍. 荣昌烤乳猪工艺优化及其颜色变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009
- WONG Hang-ping. Study on the improving technology of roast pig and color changes [D]. Chongqing: Southwest University, 2009
- [24] 陈国宏, 侯水生, 吴信生, 等. 中国部分地方鸡肌肉肌苷酸含量研究[J]. 畜牧兽医学报, 2000, 31(3): 211-215
- CHEN Guo-hong, HOU Shui-sheng, WU Xin-sheng, et al. Study on muscle inosinic acid content in some local chickens in China [J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2000, 31(3): 211-215
- [25] Cimmino R, Barone C M A, Claps S, et al. Effects of dietary supplementation with polyphenols on meat quality in Saanen goat kids [J]. BMC Veterinary Research, 2018, 14(1): 181
- [26] 李慧芳, 陈宽维. 不同鸡种肌肉肌苷酸和脂肪酸含量的比较[J]. 扬州大学学报, 2004, 25(3): 9-11
- LI Hui-fang, CHEN Kuan-wei. Comparison of inosinic acid and fatty acid contents of muscle in different chicken [J]. Journal of Yangzhou University, 2004, 25(3): 9-11
- [27] 王子龙, 张庆桥, 呼秀智. 发酵中草药、抗生素及日龄对肉鸡屠宰性能和肉品质的影响[J]. 中国家禽, 2016, 38(20): 33-36
- WANG Zi-long, ZHANG Qing-qiao, HU Xiu-zhi. Effects of fermental Chinese herbal medicine, antibiotics and age on slaughter performance and meat quality of broilers [J]. China Poultry, 2016, 38(20): 33-36
- [28] 姜贺. 中草药添加剂对林下鸡生长性能、肉质性状及血液指标的影响[D]. 延吉: 延边大学, 2015
- JIANG He. Effects of Chinese herbal medicine on growth performance, meat quality traits and serum index in forests chicken [D]. Yanji: Yanbian University, 2015
- [29] 高艳敏, 边连全, 刘显军. 中草药复方制剂对桂香鸡生长性能和肉品质的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(3): 72-76
- GAO Yan-min, BIAN Lian-quan, LIU Xian-jun. Effect of Chinese herbal medicine compound preparation on growth performance and meat quality of cinnamon chicken [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2015, 51(3): 72-76
- [30] 乔云芳. 谷氨酰胺对肉仔鸡生长性能和肉质的影响及其机理研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2006
- QIAO Yun-fang. Effects of glutamine on growth performance and meat quality of broilers and approach to the mechanism [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2006
- [31] Mazur-Kusnerek M, Antoszkiewicz Z, Lipinski K, et al. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens exposed to high temperature [J]. Archives of Animal Nutrition, 2019, 73(2): 111-126
- [32] 李文. 苯丙氨酸对生长中期草鱼生长性能、肌肉品质和肠道黏膜免疫功能的影响研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2014
- LI Wen. The effect of dietary phenylalanine supplement on growth, flesh quality parameters, antioxidant capacity and intestine immune function of young grass carp [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2014