

广式腊肠超滤产物对牛肉糜保鲜效果研究

张大磊¹, 蒋爱民¹, 夏列¹, 栗俊广², 程伟伟¹

(1. 华南农业大学畜产加工与质量安全控制实验室, 广东广州 510642)

(2. 广东省畜禽产品加工工程技术研究开发中心, 广东广州 510642)

摘要: 本文旨在研究广式腊肠中的小分子肽($M_w < 5$ ku)对牛肉糜货架期及其感官特性的影响。首先通过 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除率, Fe²⁺ 螯合能力及脂质体氧化抑制率来研究了广式腊肠中小分子肽的抗氧化活性, 然后将不同添加量的小分子肽应用到牛肉糜中对其在 4 °C 冷藏期间的脂肪氧化值, 蛋白氧化值, 高铁肌红蛋白含量, 微生物及 pH 进行了测定, 最后对贮藏期结束时的牛肉饼感官特性进行评估。结果显示广式腊肠的小分子肽具有很好的清除自由基能力、Fe²⁺ 螯合能力及脂质体氧化抑制能力; 与对照组相比, 肽处理组能够减缓牛肉糜氧化反应且在一定程度上能够减少微生物数目, 随着添加量的增大, 这种效果越明显。另外肽处理组与对照组相比呈现出更高的感官评分, 其中以添加 0.6% 的肽效果最佳。这些结果表明广式腊肠中的小分子肽是一种极具潜力的抗氧化物质。

关键词: 肽; 广式腊肠; 抗氧化; 牛肉糜

文章编号: 1673-9078(2015)3-235-241

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.039

Effect of Ultrafiltration Product of Cantonese Sausage on the Preservation of Ground Beef

ZHANG Da-lei¹, JIANG Ai-min¹, XIA Lie¹, LI Jun-guang², CHEN Wei-wei¹

(1. South China Agricultural University Livestock Processing and the Quality and Safety Control Laboratories, Guangzhou 510642, China) (2. The Center of Livestock and Poultry Products Processing and Development of Engineering Technology Research, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The aim of the current investigation was to examine the inclusion of the peptide fraction of Cantonese sausage (PFCS) and its effect on the shelf-life and sensory characteristics of ground beef. First, the antioxidant properties of PFCS ($M_w < 5$ ku) were studied using four different antioxidant assays (DPPH and ABTS⁺ radical-scavenging activity, Fe²⁺ chelating activity, and liposome oxidation inhibition rate). Next, the changes in TBARS value, pH, carbonyl and metmyoglobin content, as well as psychrophilic and mesophilic microorganisms in ground beef with different levels of added PFCS were determined during refrigerated storage at 4 °C for up to 7 days. Finally, the sensory quality of beef patties was evaluated. The results indicated that the PFCS ($M_w < 5$ ku) had very good radical scavenging activity, Fe²⁺ chelating activity, and protection against oxidation in the liposome model system. The addition of PFCS to ground beef could delay oxidation reactions and reduced microorganisms than that in the control, and the effect showed a dose-dependent response. Furthermore, the sensory quality was also improved when ground beef patties were treated with PFCS. Addition of 0.6% PFCS resulted in the highest quality in terms of overall acceptance. Therefore, this study provided evidence that PFCS has great potential to inhibit the oxidation of ground beef.

Key words: peptide; cantonese sausage; antioxidant; ground beef

新鲜的肉制品通常在 2~5 °C 的冷藏温度下销售。但是在冷藏期间会由于微生物的生长和脂肪的氧化引起令人不愉快的变化, 从而导致品质下降, 带来经济损失。脂肪氧化是肉品品质劣变的一个主要因素, 食品中脂肪氧化会产生自由基从而导致游离脂肪酸分解

收稿日期: 2014-08-09

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303082) 2013-2016; 广东省重大科技专项(2011A020102001)

作者简介: 张磊(1990-), 男, 硕士, 研究方向为畜产品加工与安全控制

通讯作者: 蒋爱民(1957-), 男, 教授, 研究方向为畜产品加工与安全控制

和酸败风味的形成, 而且自由基还会氧化血红素色素变为高铁肌红蛋白引起肉品色泽褐变。铁离子和其它的一些金属离子在许多食品体系里是促氧化剂, 因为它们会促进氢过氧化物的分解形成活性的脂质烷氧自由基。在所有的肉制品中, 绞肉制品如牛肉糜是加工和贮藏期间最易受到微生物污染和脂肪氧化的, 因为斩磨不仅暴露了更多的表面积与空气中, 而且还会引起血红蛋白和肌红蛋白中的血红素铁和非血红素铁及破损细胞中磷脂这些氧化促进剂的释放, 同时也加剧肌肉内部还原性物质的损失。而且食用这些氧化了的

肉品（含有过氧化物和游离自由基）还会在人体里引发脂肪氧化，从而产生更多的自由基损坏人体蛋白和DNA，而DNA的损伤通常是癌症引发的一个因素^[1]。

因此控制牛肉糜中的氧化反应和微生物的生长就显得至关重要。许多物质已经被证实是一种潜在的抗氧化剂可以阻止食物发生氧化。这些物质里包括一些化学合成的如BHA和BHT。然而这些化学合成的抗氧化剂现在已经受到使用的限制，因为它们会引发癌症。基于消费者对食品越来越高的健康需求，已经迫使研究者去探索天然的抗氧化剂用于抑制食品氧化。现在已有花生皮酚类提取物^[1]，天然中草药提取物^[2]和植物提取物^[3]等其它一些具备抗氧化能力的物质应用于牛肉糜中。而近年来被广泛研究的一些食物肽引起了人们的注意，它除了具备一定的营养价值外还被证实具有许多生物功能，如抗氧化能力、抑制ACE能力，降低胆固醇能力等，因此作为一种新型的抗氧化物质近年来已经慢慢开始用于肉制品中^[4]。

广式腊肠作为一种半干香肠因其独特的风味、色泽和质构而闻名于世，近年来对分离自广式腊肠中的肽也有一些报道，证实具有很强的清除DPPH自由基能力^[5]，因此可能是一种潜在的抗氧化剂。因此本研究首先从广式腊肠中肽的抗氧化能力出发，然后将其应用于牛肉糜中，探讨牛肉糜冷藏期间的品质变化，以期广式腊肠肽在肉制品中的应用提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

鲜牛肉：来源于广州肉联厂；2,2'-氨基-二(3-乙基-苯并噻唑啉磺酸-6)铵盐（ABTS），二苯代苦味基肼自由基（DPPH），菲洛嗪均购置Sigma公司。其它试剂均购置于广州成硕试剂公司。

1.2 主要仪器设备

UV-1800型紫外可见分光光度计，岛津仪器有限公司；Labscale小型切向流超滤系统，密理博中国有限公司；冷冻高速离心机5804R，德国艾本德仪器有限公司；电热恒温水浴锅HH-4，常州澳华仪器有限公司；PHS-3精密pH计，上海精密科学仪器有限公司；BPC-250F生化培养箱，上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 肽的提取

参照Sun的方法^[5]。将烘烤72h后的腊肠先冷却至室温，然后去除肥丁，绞碎，称40g左右（精确到0.001g），加入140mL缓冲液（50mmol/L，柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液，pH 6.0），在冰浴中用高速匀浆3次（22000 r/min，每次10s，间隔10s），于4℃下放置2h后，再于4℃下12000×g离心15min，快速滤纸过滤后，用缓冲液定容至200mL。然后滤液过0.22μm微孔滤膜，之后利用赛多利斯膜分离包（5ku，德国）进行膜分离，获得广式腊肠超滤产物（PFCS）。

1.3.2 牛肉处理

参考陈景宜的方法^[6]，处理过程稍加变动。取牛背最长肌第11~13肋骨间分割下的厚约20cm的肉块作为研究对象，去除筋膜及多余脂肪，碎成肉糜，平均分成5组，分别向每组加入肉重1.5%的氯化钠。然后分别向每组加入肉重的0、0.3、0.6、0.9%的PFCS（5mg/mL），0.02% BHA作为阳性对照。混合均匀后置于统一灭过菌（以保证贮藏期间测定微生物数目的准确性）的9cm的玻璃平皿中塑形，制成肉饼状，用保鲜膜封好，编号，立即放置4±1℃的冷库内贮藏7d，在第0、1、3、5、7d分别测定各项指标。其中以4℃冷藏2h后测定算作第0天。

1.3.3 测定方法

1.3.3.1 清除DPPH自由基

参照Sun的方法^[5]，略加修改。将样品配置成一定的质量浓度，向2mL样品溶液中加入2mL 0.16mM的DPPH溶液，于25℃水域中放置15min后，在517nm下测得试样吸光度（ A_1 ），取2mL蒸馏水代替样品测得空白吸光度（ A_0 ），以2mL样品中加入2mL蒸馏水测得样品本底吸光度（ A_2 ），其中每个样品质量浓度做三个平行，取平均值。以 V_C 作阳性对照，按下列公式计算清除率。

$$\text{清除率}(\%) = [A_0 - (A_1 - A_2)] / A_0 \times 100\%$$

1.3.3.2 清除ABTS⁺自由基

参考Durak的方法^[7]略加修改。将5mL 7mmol/L ABTS和88μL 140mmol/L过硫酸钾混合，在室温、避光的条件下静置过夜，形成ABTS自由基储备液。然后按1:50的比例用蒸馏水稀释为ABTS⁺工作液，使其在30℃、734nm波长处的吸光度为0.7±0.02。将0.04mL不同质量浓度的样品溶液与1.8mL ABTS溶液混合，于室温下避光放置10min后在734nm下测样品吸光度（ A_{sample} ），蒸馏水代替样品作为空白（ A_{control} ）。 V_E 作为阳性对照。ABTS⁺自由基清除率由下列公式计算。

$$\text{清除率}(\%) = [1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}})] \times 100\%$$

1.3.3.3 Fe²⁺螯合能力测定

参考 Durak 的方法^[7]。将样品配置成一定的质量浓度，向 0.5 毫升样品溶液中加入 0.2 毫升 2 mM 的 FeCl₂ 溶液和 0.2 毫升 5 mM 的菲啰啉溶液。混合物在室温下强烈震荡培养 10 min。然后在 562 nm 下测吸光度 (A_{sample})。以蒸馏水代替样品测得空白吸光度 (A_{control})。EDTA 作阳性对照，Fe²⁺螯合能力依据下列公式计算。

$$\text{螯合率}(\%) = [1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}})] \times 100\%$$

1.3.3.4 抑制脂质过氧化实验

参照 Farvin 的方法^[8]。于样品管中依次加入 1 mL 卵磷脂溶液(LLS)、1 mL 400 μmol/L 三氯化铁溶液、1 mL 400 μmol/L 抗坏血酸和 1 mL 样品，混匀。避光于 37 °C 水浴 60 min，再加入 2 mL TCA-TBA-HCl 混合液，90~100 °C 水浴 15 min，迅速冷却，以 2000 r/min 转速离心 10 min，取上清液在 535 nm 测吸光值 A_s 。空白管以 1 mL 水代替 1 mL 样品，操作方法同样品，测得空白管的吸光度 A_c 。BHT 作为阳性对照。按下列公式计算抑制率。

$$\text{抑制率 IC}(\%) = (A_c - A_s) \times 100 / A_c$$

1.3.3.5 pH 测定

称取 5 g 样品，置于小烧杯中，加入 10 mL 蒸馏水，研磨均匀后静置浸泡 30 min，用纱布过滤后取其滤液测定 pH，样品重复测定 3 次取其平均值。

1.3.3.6 硫代巴比妥酸反应物测定

准确称取研磨均匀的样品 10 g，置于 100 mL 具塞三角瓶中，加入 40 mL 7.5% 的三氯乙酸溶液（含 0.1% EDTA），振摇 30 min，用双层滤纸过滤，重复用双层滤纸过滤 1 次，准确移取上述滤液 5 mL 置于 25 mL 比色管内，加 5 mL 氯仿，摇匀，静置，分层，吸出上清液分别在 532 nm 和 600 nm 波长，记录消光值，并用以下公式计算 TBA 值。

$$\text{TBA 值}(\text{mg/kg}) = (A_{532} - A_{600}) / 155 \times (1/10) \times 72.6 \times 100$$

1.3.3.7 高铁肌红蛋白含量的测定

取肉样 20 g，加入 20 mL 浓度为 0.04 mol/L，pH6.8 的磷酸钠缓冲剂，用匀浆器在室温下以转速 10800 r/min 均质 25 s。置均质液于冰浴中放置 1 h，然后于（1000×g 10~15 °C 下）离心 30 min 将上清通过滤纸过滤，用同样的缓冲液补足至 25 mL 使用分光光度计测定在 525、545、565、572 nm 处的吸光值。

$$\text{MetMb}(\%) = (-2.541R_1 + 0.777R_2 + 0.800R_3 + 1.098) \times 100$$

$$\text{这里 } R_1 = A_{572} / A_{525}, R_2 = A_{565} / A_{525}, R_3 = A_{545} / A_{525}$$

1.3.3.8 羰基衍生物含量检测

参考 Jung 的方法^[9]进行测定。

1.3.3.9 微生物数量的测定

参考 Stelzleni 的方法^[10]稍加修改进行测定。取 10 g 样品加入 90 mL 含 0.1% 的蛋白胍水溶液稀释，振摇 1 min，然后以 10 倍稀释法稀释溶液，取合适梯度的 1 毫升溶液滴到 PCA 平板上，分别在 32 °C 培养 48 h 测定嗜温微生物，4 °C 培养 7 d 测定嗜冷微生物。

1.3.3.10 感官评定

参考 Ali 的方法^[11]。将牛肉饼放于 75 °C 的水域中煮制 30 min 使得内部中心温度达到 75 °C，然后将其冷却至室温供感官评估。随机挑选 39 位食品学院的研究生，不分性别和年龄，先经过一段时间的专业训练并普及相关的专业知识，然后进行感官评定实验。评分采取 9 分制：1，极不喜欢；2，非常不喜欢；3，比较不喜欢；4，有点不喜欢；5，即不喜欢也不厌恶；6，有点喜欢；7，比较喜欢；8，非常喜欢；9，极其喜欢。不同处理组之间品尝评价时要用水漱口以保持评价的准确性。

1.4 数据处理

采用 Origin 8.6 和 SPSS16.0 软件及相关方法进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 超滤产物 ($M_w < 5 \text{ ku}$) 对 DPPH 自由基和

ABTS⁺ 自由基的清除作用

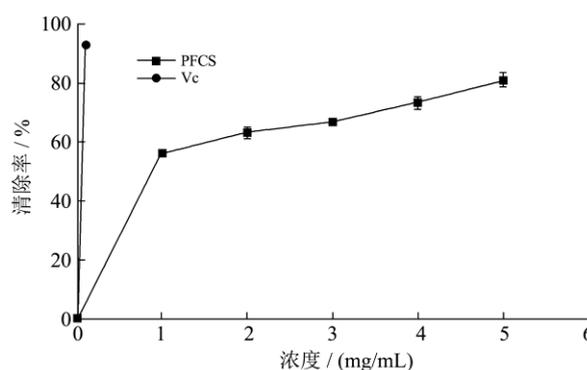


图 1 清除 DPPH 自由基作用

Fig.1 The capacity of DPPH radical-scavenging

DPPH 自由基是一种稳定的自由基，在有机溶剂中呈紫色，在 517 nm 波长有较大吸收，当加入抗氧化剂一部分自由基被清除，使得在该波长下吸收减弱，借此来评价物质的抗氧化活性。由图 1 可以看出各样品对 DPPH 自由基表现出清除作用，并在实验浓度范围内呈一定的量效关系，当样品浓度达到 5 mg/mL 时，清除率达 81.2%，但各样品的清除作用均弱于维生素 C。这些结果表明广式腊肠的小分子肽可以提供

氢原子因此可以将游离自由基转换成更稳定的物质。

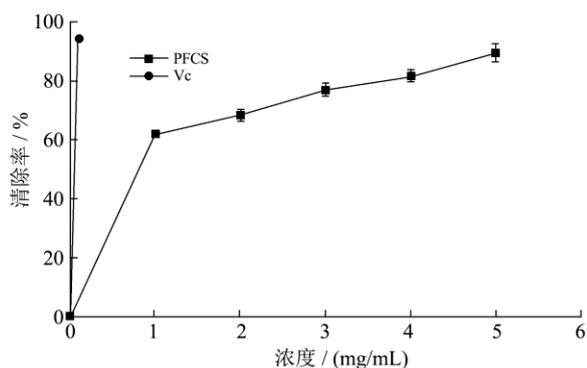


图2 清除 ABTS⁺自由基作用

Fig.2 The capacity of ABTS⁺ radical-scavenging

ABTS⁺在有过氧化物或过硫化物存在的情况下，ABTS⁺能够被氧化成绿色的 ABTS⁺自由基，在 734 nm 处有吸收。当有抗氧化物质存在的时候，能够提供氢供体，能够和 ABTS⁺自由基发生反应后使其溶液退色，退色越明显表明该物质的抗氧化能力越强。由图 2 所见 ABTS⁺自由基清除率与 DPPH 自由基清除率趋势一样，也呈一定的剂量关系，所不同的是对肽对 ABTS⁺自由基清除率都要高于 DPPH 自由基，这与 Hong 的结果类似^[12]。当样品浓度达到 5 mg/mL 时，清除率达 89.6%。

这两种自由基清除能力的不同在一定程度上归因于自由基在不同溶液中的溶解性和扩散性。尽管 DPPH 自由基清除率是一种广泛用来测抗氧化能力的方法，但是它存在一个很大的局限性，因为 DPPH 只溶于有机溶剂中，但在水溶液中不溶。相比之下，ABTS⁺既能溶于水溶液又能溶于有机溶剂中，因此亲水性和疏水性的抗氧化物质都能清除 ABTS⁺自由基^[12]，这或许是本研究中肽更易清除 ABTS⁺自由基的原因所在。

2.2 超滤产物 (M_w<5 ku) 对 Fe²⁺的螯合作用

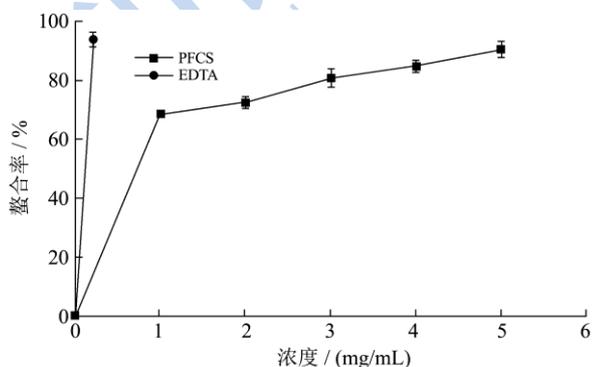


图3 肽对 Fe²⁺的螯合率

Fig.3 Iron-chelating ability of peptide

一些过渡金属，如 Fe²⁺和 Cu²⁺可以催化引起一些

活性氧物质的产生，如羟基自由基和超氧阴离子。尤其是 Fe²⁺，它是所有金属离子中最强的促氧化剂，它会与氢过氧化物通过 Fenton 反应形成活性氧，从而引起脂质氧化的启动并起到促进作用。此外，Fe²⁺还会催化过氧化物的分解，导致活性的烷氧基自由基的形成和异味的产生。一些特定的肽与 Fe²⁺螯合可以抑制脂肪过氧化，从而起到间接抗氧化的作用，以阻止食物酸败。

由图 3 可以看出广式腊肠中的小分子肽具有很强螯合亚铁离子能力，但没有 EDTA 效率高。当样品浓度达到 5 mg/mL 时，螯合率达 90.1%，这么高的螯合率与肽的氨基酸组成有关。Sun 报道广式腊肠的小分子肽含有 48%左右的组氨酸^[5]，而组氨酸具有螯合铁离子的能力^[13]。

2.3 超滤产物 (M_w<5 ku) 对脂质体氧化抑制作用

细胞膜含有丰富的不饱和脂类，例如卵磷脂，它是自由基进攻的主要靶物质，会诱导脂质过氧化而引起细胞膜的破坏，例如改变膜的流动性和通透性等。肉制品中的脂类氧化主要就发生于肌肉亚细胞膜中的不饱和磷脂。因此脂质体的使用似乎是一种最具说服力的评价抗氧化特性的方法，卵磷脂通常被用来模拟生物细胞模型而进行体外的脂质过氧化研究。

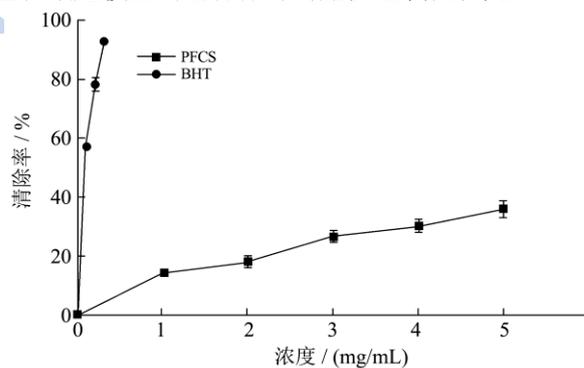


图4 肽对脂质体的氧化抑制率

Fig.4 Inhibition of lipid peroxidation in liposome model system

由图 4 可见，随着样品浓度的增大，抑制率逐渐升高，当样品浓度达 5 mg/mL 时，抑制率达 36.1%，高于 Farvin 的报道^[8]，其研究报道鳕鱼的超滤产物 (M_w<5 ku，浓度为 4.25 mg/mL) 对脂质体的氧化抑制率为 28.5%。以上研究表明广式腊肠中的小分子

肽是一种不错的抗氧化物质。

2.4 超滤产物 (M_w<5 ku) 对牛肉糜冷藏期间

TBARS 的影响

脂肪过氧化会诱导细胞膜的破坏, 初级和终极氧化产物的形成。反过来, 这些氧化产物积聚过多的话会对细胞产生毒性。它们会破坏细胞膜的结构, 急剧提高细胞膜的可渗透性, 而且还会引起与细胞膜结合的酶活力降低。尤其值得注意得是丙二醛, 不仅具有致癌作用, 还有致突变特性。因此控制食物中的脂肪氧化显得尤其重要。

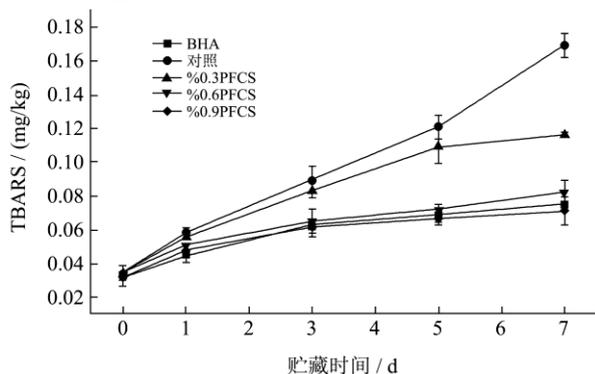


图 5 肽对牛肉糜贮藏期间 (4 °C) TBARS 值的影响

Fig.5 Effect of peptide on TBARS value of ground beef during storage at 4 °C

由图 5 可以看出, 随着冷藏时间的延长, TBARS 值都呈增大趋势, 但添加肽的牛肉糜在 3 天后 TBARS 值开始低于对照组, 到贮藏期结束时, 对照组与各处理组之间差异显著 ($p < 0.05$)。因为自由基和金属离子攻击会引起脂肪氧化, 而广式腊肠中的小分子肽具有很强的抗氧化能力和金属离子螯合能力, 从而使得肽能够抑制牛肉糜中的脂肪氧化。另外从图中可以看出随着肽液添加量的增大, 抑制脂肪氧化效果越明显, 其中 0.6% 与 0.9% 的处理组与 0.3% 处理组之间差异显著 ($p < 0.05$)。另外发现添加 0.9% 的处理组其抑制效果在后期还略好于 BHA。这可能是因为加盐牛肉糜中主要的氧化促进剂是金属离子, 本研究中的肽具有很强的螯合金属离子能力, 而 BHA 的抗氧化是通过提供氢原子来发挥作用的; 另一方面, BHA 是一种脂溶性物质, 不能够清除肌肉水相中的自由基和水溶性的脂肪氧化催化剂^[14], 这可能是添加 0.9% 处理组的 TBA 值低于 BHA 组的原因。

2.5 超滤产物 ($M_w < 5$ ku) 对牛肉糜冷藏期间羰基值的影响

蛋白氧化被认为是一种和脂肪氧化类似的自由基链式反应, 但过程更为复杂并且有更多的氧化产物。

蛋白氧化会引起羰基衍生物的形成, 肽骨架的断裂和蛋白质交联现象的发生。特别是一些过度金属离子催化的特定氨基酸侧链的氧化 (如赖氨酸、精氨酸、脯氨酸和苏氨酸等) 也会引起羰基衍生物的形成。这种氧化反应通常发生在 Fe^{2+} 与氨基酸结合时或者由 Fe^{2+} 与 H_2O_2 反应形成羟基自由基引起。

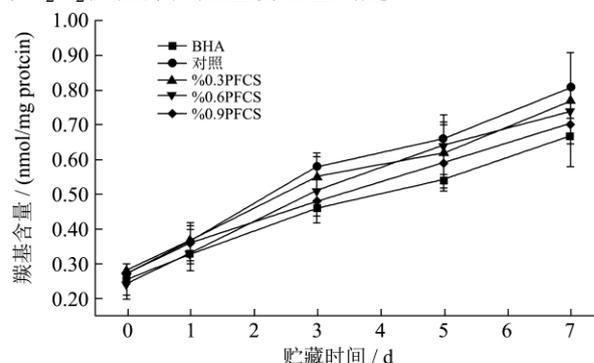


图 6 肽对牛肉糜贮藏期间 (4 °C) 羰基值的影响

Fig.6 Carbonyl content of ground beef treated with peptide during storage at 4 °C

由图 6 所见, 随着冷藏时间的延长, 羰基值都呈增大趋势, 但是 3 天后处理组都低于对照组。且随着肽液添加量的增大, 抑制效果越好, 不过除了 BHA 和添加 0.9% 的处理组之外, 0.3% 和 0.6% 的处理组与对照组之间无显著性差异 ($p > 0.05$)。

Stadtman 报道 EDTA 作为一种金属离子螯合剂, 可以通过阻止 Fe^{2+} 与氨基酸的结合从而抑制由金属离子催化所引起的蛋白氧化^[15], 因此, 广式腊肠中的小分子肽作为一种具有很强亚铁离子螯合能力的物质, 或许是本研究中肽处理组蛋白氧化值略低于对照组的原因。

2.6 超滤产物 ($M_w < 5$ ku) 对牛肉糜冷藏期间 pH 和高铁肌红蛋白含量的影响

影响肉类色泽最重要的因素主要是肌红蛋白含量及其存在形式。其中, 肉品色泽褐变主要归因于表面高铁肌红蛋白的积累, 而高铁肌红蛋白含量的差异主要取决于肉品体系中还原性物质和脂肪氧化程度。由表 1 所见, 在第 0 天和第 1 天所有组别之间含量基本相同 ($p > 0.05$), 从第 3 天开始, 除添加 0.3% 的处理组之外, 其它处理组与对照组之间呈显著性差异 ($p < 0.05$), 到第 7 天时, 0.3% 的处理组也显著低于对照组 ($p < 0.05$), 贮藏期结束时, 0.3%、0.6%、0.9% 处理组与对照组相比高铁肌红蛋白含量分别大约下降了 12.3%、26.9%、29.8%。

表 1 肽对牛肉糜冷藏期间 pH 和高铁肌红蛋白含量的影响

Table 1 pH and metmyoglobin content of ground beef samples treated with peptide and stored for seven days at 4 °C

处理	贮藏时间/d					
	0	1	3	5	7	
pH	BHA	6.03±0.01 ^a	5.88±0.02 ^{abc}	5.76±0.02 ^a	5.84±0.03 ^{ab}	5.89±0.04 ^a
	对照	6.02±0.02 ^a	5.82±0.03 ^a	5.75±0.04 ^a	5.81±0.02 ^a	5.88±0.03 ^a
	0.3%PFCS	6.04±0.03 ^a	5.86±0.02 ^{ab}	5.79±0.03 ^{ab}	5.83±0.03 ^a	5.90±0.04 ^a
	0.6%PFCS	6.06±0.03 ^a	5.89±0.04 ^{bc}	5.86±0.04 ^b	5.87±0.04 ^{ab}	5.91±0.04 ^a
	0.9%PFCS	6.08±0.02 ^a	5.93±0.02 ^c	5.94±0.03 ^b	5.97±0.04 ^c	6.00±0.05 ^b
Met-myoglobin/%	BHA	19.17±1.34 ^a	20.98±1.65 ^a	22.99±1.96 ^c	26.95±0.84 ^c	32.54±0.98 ^d
	对照	20.84±0.55 ^a	23.09±1.13 ^a	30.51±1.59 ^a	41.86±1.64 ^a	52.37±2.01 ^a
	0.3%PFCS	20.83±1.16 ^a	23.02±1.14 ^a	29.22±1.69 ^a	39.59±1.96 ^a	45.97±1.33 ^b
	0.6%PFCS	19.06±1.04 ^a	21.63±0.81 ^a	26.06±0.98 ^b	33.35±1.22 ^b	38.43±1.65 ^c
	0.9%PFCS	19.23±1.34 ^a	21.23±1.75 ^a	24.86±1.89 ^{bc}	30.89±1.16 ^b	36.37±1.41 ^c

注:同一列数字上不同字母标识代表差异显著 (p<0.05)。

有研究报道肌肽可以使肌红蛋白中的原血红素铁作为氢的受体而处于亚铁状态,从而防止高铁肌红蛋白的形成^[4],或许这也是本研究肽处理组高铁肌红蛋白含量减少的一个原因。另外一方面脂肪氧化是色素氧化的促进剂,且脂肪氧化和色素氧化产物之间可以互相促进对方氧化反应的发生^[6],由于肽处理组脂肪氧化程度低于对照组,从而引起高铁肌红蛋白含量也低于对照组。

另外由表 1 可以看出所有处理组 pH 基本上呈现先下降后升高,可能是刚屠宰后肌肉仍然进行着新陈

代谢,糖元在缺氧条件下酵解,生成乳酸,pH 值迅速降低。随着冷藏时间的延长,蛋白质也开始分解,产生碱性物质,最终使 pH 值上升。肽处理组 pH 略高于对照组,但从整体来看,pH 处于正常牛肉的 pH 范围内。

2.7 超滤产物 (M_w<5 ku) 对牛肉糜冷藏期间微生物增长的影响

表 2 肽对牛肉糜微生物的影响

Table 2 Effect of peptide addition on microbial growth in ground beef

细菌数/ (log ₁₀ CFU/g)	处理	贮藏时间/d				
		0	1	3	5	7
嗜温微生物	BHA	2.43±0.04 ^a	2.76±0.06 ^{ab}	3.43±0.08 ^a	3.73±0.06 ^c	3.96±0.05 ^a
	对照	2.46±0.06 ^a	2.86±0.09 ^b	4.01±0.13 ^b	4.23±0.06 ^b	4.69±0.11 ^b
	0.3%PFCS	2.48±0.09 ^a	2.88±0.07 ^b	3.93±0.07 ^b	4.15±0.13 ^b	4.62±0.09 ^b
	0.6%PFCS	2.43±0.11 ^a	2.89±0.11 ^b	3.89±0.09 ^b	4.10±0.08 ^b	4.58±0.08 ^b
	0.9%PFCS	2.46±0.07 ^a	2.84±0.10 ^b	3.91±0.11 ^b	4.04±0.14 ^a	4.34±0.10 ^c
嗜冷微生物	BHA	4.03±0.11 ^a	4.23±0.06 ^a	4.60±0.08 ^a	6.20±0.17 ^a	6.99±0.12 ^a
	对照	4.02±0.23 ^a	4.47±0.14 ^c	5.23±0.09 ^b	7.15±0.20 ^b	7.86±0.11 ^c
	0.3%PFCS	3.98±0.07 ^a	4.45±0.06 ^{bc}	5.19±0.10 ^b	7.08±0.15 ^b	7.81±0.08 ^c
	0.6%PFCS	4.01±0.04 ^a	4.36±0.06 ^{abc}	5.17±0.07 ^b	6.86±0.10 ^c	7.54±0.10 ^b
	0.9%PFCS	3.99±0.09 ^a	4.37±0.08 ^{abc}	5.02±0.89 ^c	6.84±0.09 ^c	7.51±0.16 ^b

注:同一列数字上不同字母标识代表差异显著 (p<0.05)。

由表 2 所见,牛肉糜贮藏期间,无论是嗜温微生物还是嗜冷微生物都呈逐渐增多趋势。对于嗜温微生物而言,除了第 5 天和第 7 天 0.9% 的处理组之外,其余时间肽处理组与对照组之间微生物数目无显著性差

异 (p>0.05)。对于嗜冷微生物来说,从第 3 天开始到贮藏期结束,0.9% 的处理组微生物数目显著低于对照组 (p<0.05),添加 0.6% 的肽处理到第 5 天时也开始显著低于对照组,不过 0.6% 的肽处理组与 0.9% 的肽

处理组之间无明显差异 ($p>0.05$)。但所有肽处理组均显著低于 BHA 处理组 ($p<0.05$)。有很多研究报道一些肽具有抑菌功能, 因此对于广式腊肠中的肽是否具有抑制病原菌的特性有待于做进一步深究。

2.8 超滤产物 ($M_w<5$ ku) 对牛肉糜感官特性的影响

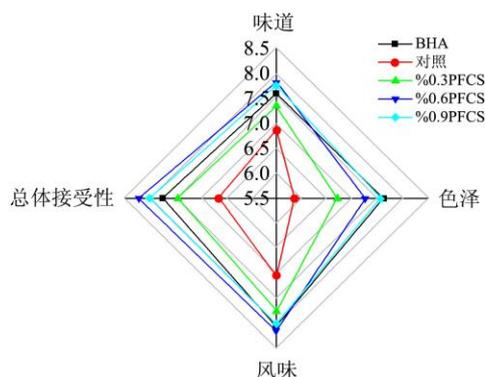


图 7 肽对牛肉饼感官特性的影响

Fig.7 Sensory evaluation of cooked beef patties treated with peptide

由图 7 所见, 肽处理组和 BHA 处理组与对照组相比呈现更高的感官评分, 且差异显著 ($p<0.05$), 这是由于对照组氧化程度高于肽处理组所造成的, 氧化程度过高会引起色泽和风味的劣变。对于不同添加量的肽处理组之间而言, 0.6%和 0.9%的处理组在总体接受性和色泽上要显著高于 0.3%的处理组 ($p<0.05$)。且就总体接受性而言, 0.6%和 0.9%的处理组甚至略好于 BHA 处理组, 但差异不显著 ($p>0.05$)。

3 结论

3.1 广式腊肠中的小分子肽 ($MW<5$ ku) 具有很强的抗氧化能力, 当浓度为 5 mg/mL 时, 其清除 DPPH 自由基和 ABTS⁺自由基能力、螯合 Fe²⁺能力及脂质体氧化抑制率分别为 81.2%、89.6%、90.1%、36.1%。

3.2 将广式腊肠中的肽液 (5 mg/mL) 加入牛肉糜中能够降低牛肉糜的氧化程度, 减少微生物的数目, 且随着添加量的增大, 效果越明显。就感官特性而言, 肽处理组的感官评分也高于对照组, 其中以添加 0.6% PFCS 处理组效果最佳, 略好于 BHA 处理组。

参考文献

[1] Yu J M, Ahmedna M, Goktepe I, et al. Potential of peanut skin phenolic extract as antioxidative and antibacterial agent in cooked and raw ground beef [J]. Food Science and Technology, 2010, 45(7): 1337-1344

[2] Mohamed H M H, Mansour H A, Farag M D E D H, et al. The use of natural herbal extracts for improving the lipid stability and sensory characteristics of irradiated ground beef [J]. Meat Science, 2011, 87(1): 33-39

[3] Kim S J, Min S C, Shin H J, et al. Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef [J]. Meat Science, 2013, 93(3): 715-722

[4] Hogan S, Zhang L, Zhou K Q, et al. Development of antioxidant rich peptides from milk protein by microbial proteases and analysis of their effects on lipid peroxidation in cooked beef [J]. Food Chemistry, 2009, 117(3): 438-443

[5] Sun W Z, Zhao H F, Zhao M M, et al. Structural characteristics of peptides extracted from Cantonese sausage during drying and their antioxidant activities [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(4): 558-563

[6] 陈景宜, 牛力, 黄明, 等. 乳酸钙对牛肉糜色泽稳定性的影响 [J]. 食品科学, 2012, 33(13): 31-35

CHEN Jing-yi, NIU Li, HUANG Ming, et al. Effect of calcium lactate on color stability of minced beef [J]. Food Science, 2012, 33(13): 31-35

[7] Durak A, Baraniak B, Jakubczyk A, et al. Biologically active peptides obtained by enzymatic hydrolysis of Adzuki bean seeds [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2177-2183

[8] Farvin K H S, Andersen L L, Nielsen H H, et al. Antioxidant activity of Cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysates: *In vitro* assays and evaluation in 5% fish oil-in-water emulsion [J]. Food Chemistry, 2014, 149: 326-334

[9] Jung S, Nam K C, Ahn D U, et al. Effect of phosphatidylcholine on lipid and protein oxidation in ground beef treated with high hydrostatic pressure [J]. Meat Science, 2013, 95(1): 8-13

[10] Stelzleni A M, Ponrajan A, Harrison M A, et al. Effects of buffered vinegar and sodium dodecyl sulfate plus levulinic acid On *Salmonella Typhimurium* survival, shelf-life, and sensory characteristics of ground beef patties [J]. Meat Science, 2013, 95(1): 1-7

[11] Ali R F M. Antioxidative effects of pomposia extract on lipid oxidation and quality of ground beef during refrigerated storage [J]. American Journal of Food Technology, 2011, 6(1): 52-62

[12] Hong J, Chen T T, Hu P, et al. Purification and characterization of an antioxidant peptide (GSQ) from Chinese leek (*Allium tuberosum* Rottler) seeds [J]. Journal of Function Foods, 2014, 10: 144-153

[13] Nasri R, Younes I, Jridi M, et al. ACE inhibitory and

- antioxidative activities of Goby (*Zosterisessor ophiocephalus*) fish protein hydrolysates: Effect on meat lipid oxidation [J]. Food Research International, 2013, 54(1): 552-561
- [14] 布冠好.肌肽抗氧化性及其在肉品冷藏中的应用研究[D].河南农业大学,2006
- BU Guan-hao. Antioxidant activity of carnosine and application research in meat cold storage [D]. Henan Agricultural University, 2006
- [15] Stadtman E R. Metal ion-catalyzed oxidation of proteins: Biochemical mechanism and biological consequences [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1990, 9(4): 315-325
- [16] Faustman C, Sun Q, Mancini R, et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 86-94

现代食品科技