金华火腿加工过程中美拉德反应产物的形成与初探

周一鸣，贺利庆，嵩婷凤，王宏，周小理

（上海应用技术学院香料香精技术与工程学院，上海 201418）

摘要：以金华火腿为研究对象，采用高效液相色谱（HPLC）和气质联用（GC-MS）等分析技术，对金华火腿主要加工过程（腌制、晾晒、发酵）中美拉德反应产物的形成，及其对金华火腿独特风味的影响和抗氧化作用进行了研究。实验结果明：金华火腿加工过程中发生明显的美拉德反应，尤其是发酵工序，其中，蛋白质和糖含量分别降低 9.97%、0.65%，色泽和褐度不断加深，同时，金华火腿在加工过程中醛类（40%）、酮类（20%）以及吡啶类、吡嗪类、呋喃类等美拉德反应产物不断增加，并生成了 5-羟基糠醛（HMF）、丙烯酰胺、吡嗪等美拉德反应标志性产物，成品中含量分别达到 0.16 mg/g、0.09 μg/g 和 0.025 μg/g，对金华火腿独特风味的形成具有重要贡献。此外，通过体外抗氧化实验和 Caco-2 细胞实验，表明金华火腿具有良好的抗氧化活性并对 Caco-2 细胞的生长具有促进作用。

关键词：金华火腿；美拉德反应；美拉德反应产物；风味物质；抗氧化活

文章篇号：1673-9078(2016)07-170-175 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.7.027

Formation and Exploration of Maillard Reaction Products during Jinhua Ham Production

ZHOU Yi-ming, HE Li-qing, HAO Ting-feng, WANG Hong, ZHOU Xiao-li

(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: Jinhua ham was chosen as the study object to analyze the formation of Maillard reaction products during the processes in Jinhua ham production (salting, sun-drying, ripening), and to study the effects of the Maillard reaction products on the unique flavor and antioxidant activity of Jinhua ham by high performance liquid chromatography (HPLC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that Maillard reactions occurred during the production of Jinhua ham, in particular during fermentation, in which the contents of protein and sugar decreased by 1.17% and 0.65%, respectively. Meat became darker in color, and the degree of browning continuously increased. In addition, during Jinhua ham production, the contents of aldehydes (40%), ketones (20%), and the Maillard reaction products (pyridine, pyrazine, and furans) are increased. Additionally, 5-(hydroxymethyl)furfural (HMF), acrylamide, pyrazine, and other typical Maillard reaction products were produced; the corresponding contents in the end product were 0.16 mg/g, 0.09 μg/g, and 0.025 μg/g, respectively, and they made important contributions to the unique flavor of Jinhua ham. *In vitro* antioxidant activity assays and Caco-2 cell tests indicated that Jinhua ham can promote the growth of Caco-2 cells and has a high antioxidant activity.

Key words: Jinhua ham; Maillard reaction; Maillard reaction products; flavor substance; antioxidant activity

金华火腿富含蛋白质和大量的游离氨基酸等成分，是我国传统的干腌肉制食品，其风味独特，多年来深受国内外消费者的青睐。金华火腿制作工艺流程主要包括：原料选择、腌制、脱水、发酵成熟、后熟，整个过程从冬季开始至秋季完成，需时 8~10 个月，其中发酵成熟过程长达 6 个月，温度达 35 ℃，有助于美拉德反应的发生。

美拉德反应（Maillard 反应）是广泛存在于食品工业的一种非酶褐变，是羰基化合物（还原糖类）和氨基化合物（氨基酸和蛋白质）间的反应，又称羰氨反应。它具有特殊的物理、化学、生物以及色泽特征，通常美拉德反应产物主要包括醛类、酮类及其吡啶类、吡嗪类、呋喃类化合物等。随着食品加工中美拉德反应研究的不断深入，美拉德反应的标志性产物也逐渐被人们所鉴定，主要包括丙烯酰胺、吡嗪、5-羟基糠醛（HMF）等[1]。同时，色泽变化也是反映美拉德反应程度的显著标志，通常以色差的变化作为判断依据[2]。褐度变化虽被认为是美拉德反应发展的非特殊性

收稿日期：2015-08-14

基金项目：国家自然科学基金中德科学基金项目（GZ727）；上海市“化学工程与技术（香料香精技术与工程）”高原学科资助

作者简介：周一鸣（1981-），博士，讲师，研究方向：功能食品开发，食品加工与工艺

通讯作者：周小理（1957-），教授，研究方向：食品新资源深度开发与利用

标志，但根据美拉德反应的三个阶段[3]，即早期产物、中间产物和终产物所具有的特征吸收进行褐度的测定，也可反映美拉德反应进行的程度。

以往对于金华火腿的研究，重点关注其风味物质的组成，赵改名等[4]研究发现金华火腿风味物质的形成大多源自其制作过程中脂肪氧化和蛋白质降解，田怀香等[5]研究发现醛类、酮类、吡啶、吡嗪、呋喃酮等化合物是火腿风味形成的重要组成。并且对于美拉德反应的研究大多采用模式反应方法，而直接通过对美拉德反应标志性产物以及色差、褐变、抗氧化等特征指标的检测与分析，进行金华火腿中美拉德反应产物形成的研究鲜有报道。

本研究依据 Maillard 反应自身所具有的物理、化学、生物以及色泽变化等特性[6]，通过采用 HPLC、GC-MS 等分析技术，针对金华火腿在加工过程（腌制、晾晒、发酵）中主要成分的变化，对金华火腿进行 Maillard 反应产物及标志性产物的表征及抗氧化活性和体外细胞实验，对 Maillard 反应物的安全性进行初步评价，为进一步优化金华火腿传统经典工艺，使之更加符合现代健康要求提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要试剂、仪器

试剂：乙腈，甲醇，5-甲基糠醛，吡嗪，丙烯酰胺，6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman -2-carboxylic Acid (Trolox)以上试剂均为色谱纯，购自 Sigma。

仪器：LC20AD 高效液相色谱仪、UV-2600 紫外可见分光光度计、QP2010 GC-MS（岛津企业管理（中国）有限公司）；NH310 比色计（深圳 3NH 科技有限公司，LTD）；Infinite 200 多功能酶标仪（瑞士 TECAN 公司）等。

1.2 金华火腿加工过程中主要工序样品制备

金华火腿的制作工艺如下：

原料腿→腌制（温度 2.0~4.5 ℃，湿度 65~85.70%，50 d）→晾晒（温度 12~26 ℃湿度 70~95%，7 d）→成熟（温度 24~36 ℃，湿度 60~90%，80 d）→后熟（成品）

分别取工艺点：原料、腌制结束、晾晒结束、发酵成熟、后熟，每个工艺点取火腿样品各 50 g，并分别标记为 1#~5#样品，粉碎后真空封口，立即于-25 ℃冻藏，待用。

1.3 试验方法

1.3.1 金华火腿主要成分及色泽变化分析

1.3.1.1 主要成分分析

取 1#~5#样品参照 GB 5009.3-2010 直接干燥法测其水分；参照 GB/T9695.35-2008 分光光度法测其总糖；参照 GB/T5009.6-2003 的方法测其脂肪；采用高温灼烧法测其灰分；参照赵改名[7]金华火腿的处理方法对金华火腿进行处理后再采用 GB5009.5-2010 凯氏定氮法测定其蛋白质。

1.3.1.2 色差分析

取 1#~5#样品和对照组样品，采用色差计参照孟岳成[8]测定方法进行色差测定。L*值、a*值、b*值表征颜色，以$\Delta E^*=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$ 的大小来衡量样品的色泽的变化程度。

1.3.1.3 褐度分析

按照 Kim 和 Lee 的方法[9]，各取 1#~5#样品，加入 20 mL 50%乙醇，在高速均质机作用下，冰浴中提取 10 min。提取液于 4 ℃、10000 g 条件下离心 10 min，过滤脱脂，收集滤液。沉淀加入 10 mL 50%乙醇重复提取两次，合并所有滤液。分别在 280、360 和 420 nm 条件下测定滤液的吸光值。采用紫外可见分光光度计分别在 280、360 和 420 nm 条件下测定滤液的吸光值。

1.3.2 金华火腿挥发性风味物质及美拉德反应产物变化分析

取 1#~5#样品，采用静态顶空固相微萃取的方法进行金华火腿挥发性风味成分提取。气相色谱条件：色谱柱 60 m×0.25 mm×0.25 μm HP-INNOWax；检测器：火焰离子化检测仪（FID）。

柱温升温程序：起始温度 40 ℃，保持 10 min，然后以 5 ℃/min 的升温速率升温到 200 ℃，最后以 20 ℃/min 的速率升温到 250 ℃，保持 5 min。载气为氮气，流速为 1 mL/min，进样方式为不分流进样。

质谱条件：电子轰击离子源（EI），电子能量 70eV，离子源温度 200 ℃，接口温度 250 ℃，质量扫描范围：20~450 u。载气为 N 2，流速 0.8mL/min；不分流进样。气质结果分别与 Wiley7n.l（320,000 种化合物）、W8N08.L 和 NIST05a.L（107,000 种化合物）数据库相匹配，选择匹配度大于 80%的鉴定结果予以确认。

1.3.3 金华火腿美拉德反应标志性产物的测定

准确称取 1#~5#样品各 5 g，脱脂后加入 5 mL 甲醇溶解后离心，上清液经 0.45 μm 滤膜过滤，备用。HPLC 条件根据 Gökmen V 等人[10]的 HPLC 方法稍作修改，具体如下：

液相分离条件：色谱柱岛津 ODS-SP 系列反相 C18 柱（4.6×250 mm, 5 μm）；流动相：乙腈(B)-水(A)，洗脱梯度为：0 min(5% B)-4 min(14% B)-10 min(30% B)

-20 min(0% B)-40 min(stop)；流速：0.6 mL/min，进样量：10 μL；检测波长：280 nm；温度：32 ℃。

1.3.4 金华火腿 Caco-2 细胞效应分析

1.3.4.1 金华火腿水提物的制备

将 1#~5#样品经乙醚脱脂后加入适量的水，进行搅拌、均质、沉淀、过滤，离心。并将上清液进行超滤分离，截留相对分子质量<5000 的组分，再经冷冻干燥后待用。

1.3.4.2 金华火腿细胞效应分析

Caco-2 细胞按 Juan C 等[11]的方法进行细胞存活率的测定。用苏木素-伊红染色法（HE 染色）后，在光学显微镜下观察看细胞的形态变化。

1.3.5 金华火腿抗氧化活性分析

取 1#~5#样品按照 1.3.4.1 的方法处理之后参照 Tuanjai Noipa 等[12]的方法进行 DPPH 自由基清除率的测定；参照 Yu XY 等的方法进行 ABTS 自由基清除率的测定[13]；按照 Fenglin Gu 等[14]的方法进行还原力的测定。

另分别以不同浓度的 trolox 清除 DPPH 自由基的能力，trolox 清除 ABTS 的能力，trolox 还原力的大小做标准曲线，计算 2mg/mL 的待测样品的 trolox 当量抗氧化能力。

1.3.6 数据统计分析

实验数据均以平均值±标准差（x±s）表示，采用 SPSS19.0 软件进行统计学分析，组间比较采用方差齐性检验和单因素方差分析（One Way ANOVA），以 $p<0.05$ 为差异有统计学意义，并运用 origin 9.0 软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 金华火腿主要成分及色泽变化分析

2.1.1 基本成分变化分析

由表 1 可知金华火腿在加工过程中水分含量不断降低，尤其在金华火腿腌制、晾晒后变化较大，水分分别降低 25.19%、11.01%；糖、蛋白质和脂肪（以干基计）质量分数均呈下降趋势。蛋白质与糖类物质的减少主要是因蛋白质在金华火腿的长期制作过程中发生降解生成氨基酸后和糖类相互发生了美拉德反应生成挥发性风味物质。同时脂肪呈现先增高后降低的趋势，这与皮下组织的脂肪在腌制和晾晒后不断浸入肌间，在发酵期又发生脂肪氧化有关[15]。灰分仅在腌制后增加显著，主要是由于食盐的加入。

表 1 加工过程中金华火腿基本成分的变化

Table 1 Changes in the chemical composition of Jinhua ham during processing

样品号	水分/%	蛋白质/%	脂肪/%	总糖/%	灰分/%
1#	71.61±0.80	69.84±0.31	23.95±0.31	1.47 ±0.04	5.04 ±0.06
2#	46.42±1.00	52.83 ±0.33	30.28 ±0.37	1.32±0.06	14.78 ±0.03
3#	35.41±0.78	48.33 ±0.70	36.41±0.42	1.17 ±0.03	14.48±0.05
4#	33.63±0.50	38.36±0.42	32.68 ±0.44	0.52±0.03	14.15±0.03
5#	31.92±0.70	36.91 ±0.53	31.58 ±0.71	0.48 ±0.08	14.07±0.04

注：ND 表示未检测出。

2.1.2 色泽变化分析

2.1.2.1 色差分析

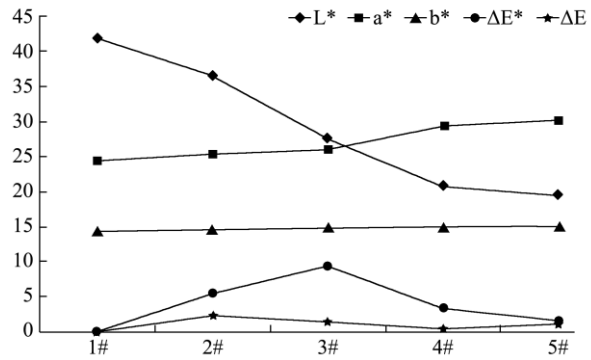


图 1 金华火腿色差变化图

Fig.1 Color changes during Jinhua ham processing

注：△E 为对照组颜色的变化值。

图 1 为金华火腿不同加工过程的色差变化图，颜色参数（L*、a*和 b*）作为表征参数，以判断美拉德反应的发生程度。由图 1 可知△E*呈先增加后减少的趋势，L*值呈减小趋势，由 41.86 减小至 19.45，其中晾晒、发酵两个阶段减幅较大，分别减少 9.92、7.7；a*，b*均呈增加趋势，分别增加，结果表明：随着金华火腿加工时间的延长，其黑色、红色、黄色均不断加深，说明在金华火腿的加工过程中美拉德反应产物在不断累积。

2.1.2.2 褐度分析

图 2 为金华火腿不同加工过程的褐度变化图，Pino-Garc Á R D 等[3]人研究表明 280 nm、360 nm 以及 420 nm 的吸光度值通常用于反映美拉德反应不同阶段的反应程度。其中，280 nm 的吸光度值用于表征

早期美拉德反应产物，360 nm 的吸光度值用于表征中间美拉德反应产物，420 nm 的吸光度值用于表征末期美拉德反应产物。由图 2 可知在 280 nm、360 nm、420 nm 处的吸光值呈现增加趋势，尤其是在发酵后（4#样品），较发酵前（3#样品）吸光值分别增加 10.2%、153.3%、100%，由此可初步判断金华火腿在发酵过程中发生了美拉德反应。

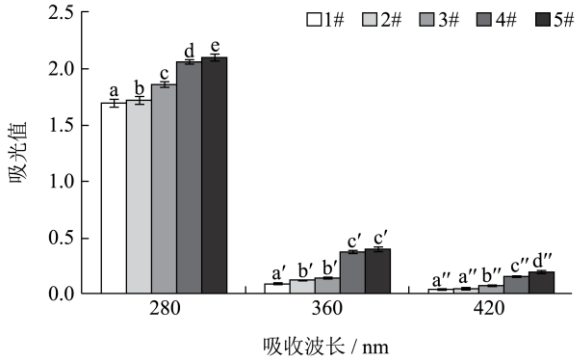


图 2 金华火腿褐度变化图

Fig.2 Change in degree of Jinhua ham browning

注：不同的字母表示 $p<0.05$ 的显著性差异，字母右上角标不同是不同类别，下文同。

2.2 金华火腿挥发性风味物质及美拉德反应产物变化分析

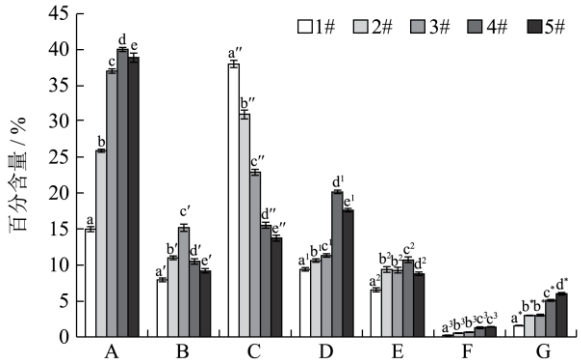


图 3 火腿气质结果分析图

Fig.3 Results of GC-MS analysis on ham

注：图中 A-醛类，B-烯烃，C-醇类，D-羧酸，E-酮类，F-脂类，G-含 N、S、O 类化合物。

图 3 为金华火腿挥发性风味化合物气质分析图，由图 3 可知，醛类物质作为美拉德产物中的主要成分，其含量随着加工过程增加显著，尤其经发酵后，醛类物质的含量占 40%。其中苯甲醛、己醛和壬醛的含量增加最快，分别增加了 5.31%、2.07%、2.53%，从而再次验证了美拉德反应的发生。醛类物质由于其阈值很低，对火腿的风味影响较大。酮类物质是美拉德反应的中间产物（包括丙酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2,3-丁二酮等），在金华火腿制作过程中也呈不断增加趋势，在发酵过程后达 10.57%，其中丙酮所占比重较大，达到 2.14%。此外，C、N、O 化合物在金华火腿中的含量不高，在 1.5%~6%之间，但其中吡啶类、吡嗪类、呋喃类作为重要的美拉德反应产物所占比重达到 60%，并且，主要在金华火腿发酵过程中产生，然而，田怀香[6]等人研究表明 C、N、O 化合物对金华火腿的风味有着重要贡献。

2.3 金华火腿中美拉德反应标志性产物的分析

上述气质结果表明金华火腿加工过程中发生了美拉德反应，并生成了一些挥发性的美拉德反应产物，但一些不挥发或挥发性不高的美拉德反应产物如 HMF 等尚未被检出。需联用 HPLC 测定实现。图 4 为样品 5 中 HMF、吡嗪和丙烯酰胺的 HPLC 检测结果。由图 4 可知，金华火腿成品中，检出三个美拉德反应标志性产物。

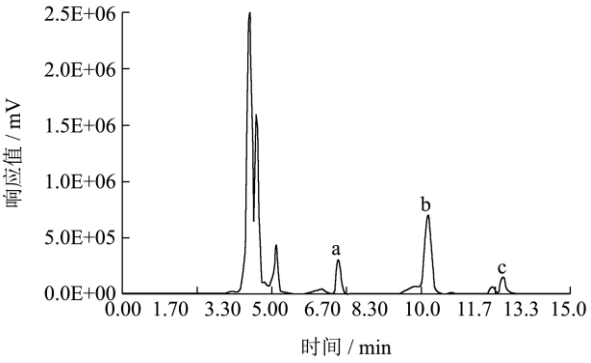


图 4 样品 5 的色谱图

Fig.4 Chromatogram of the extract from sample No. 5

注：a-丙烯酰胺、b-吡嗪、c- HMF。

表 2 不同加工工序样品中 HMF、吡嗪及丙烯酰胺含量

Table 2 Acrylamide, pyrazine, and HMF contents in ham samples from different processes

	丙烯酰胺/(mg/g)	吡嗪/(μg/g)	HMF/(μg/g)
1	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND
3	0.06±0.01	ND	0.018±0.005
4	0.14±0.02	0.086±0.003	0.022±0.007
5	0.16±0.01	0.090±0.004	0.025±0.006

表 2 为金华火腿不同加工过程中美拉德标志性产物（丙烯酰胺、吡嗪和 HMF）的含量变化。从表 2 知，生腿与腌制好的火腿样品中均未检测出美拉德标志性产物，但经晾晒后检测出丙烯酰胺及 HMF，发酵后检测出吡嗪，且上述三种美拉德反应标志性产物的

含量随着加工过程的进行均不断增加，在最终成品中含量分别达到 0.16 mg/g、0.09 μg/g 和 0.025 μg/g，由此表明，美拉德反应在金华火腿加工中持续进行，对金华火腿的特殊风味形成起到重要作用。

2.4 金华火腿水提物对 Caco-2 细胞的影响

采用细胞试验对金华火腿中美拉德产物进行测定。图 5 为 HE 染色处理后 Caco-2 细胞的组织形态变化。由图 5 可知，金华火腿水提物可促使细胞的组织形态发生变化。图 6 为不同加工过程金华火腿水提物对细胞生长率的影响，由图 6 可知，发酵前，其样品对细胞的影响不显著，但在发酵结束后，其影响显著。由图 5、图 6 可知，金华火腿中美拉德产物使细胞组织形态发生了变化，对细胞的生长起到了促进作用。

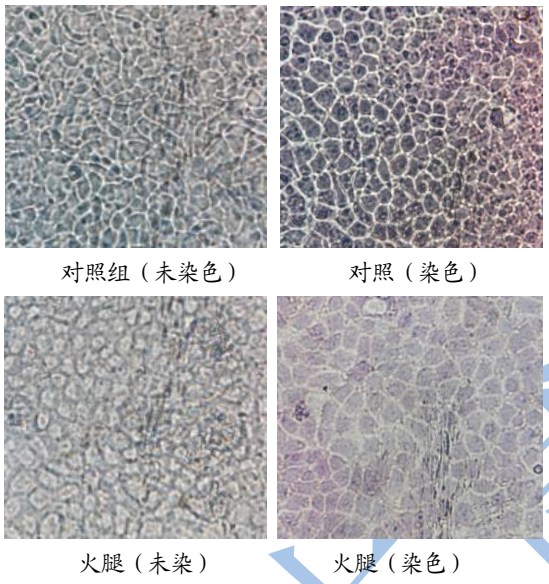


图 5 样品 5 对 Caco-2 细胞形态变化图

Fig.5 Morphological changes in the Caco-2 cells by sample no. 5

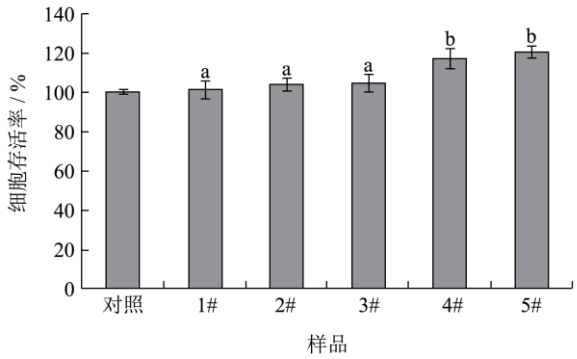


图 6 不同加工过程金华火腿美拉德产物对细胞生长率的影响

Fig.6 Effect of Maillard reaction products from different production processes of Jinhua ham on cell growth rate

2.5 金华火腿水提物抗氧化活性分析

大量的研究表明[16]，美拉德产物具有一定的抗氧化活性，本实验选用 DPPH 自由基、ABTS 自由基以及 FRAP 自由基三种抗氧化测定体系。其中，DPPH 为乙醇体系，ABST 为乙醇-水体系，FRAP 为水体系，以综合考察不同体系与金华火腿抗氧化活性的关系。图 7 为金华火腿各加工过程总抗氧化活性当量图。由图 7 可知金华火腿加工过程中其抗氧化活性显著增加，尤其经发酵后抗氧化活性增幅最大，其中 DPPH 体系中火腿样品从 41.01 μmol Trolox/mg 增加至 98.12 μmol Trolox/mg，其中在发酵阶段增加 30.00%；ABTS 体系中火腿样品从 43.03 μmol Trolox/mg 增加至 65.23 μmol Trolox/mg，其中在发酵阶段增加 14.28%；FRAP 体系中火腿样品从 20.01 μmol Trolox/mg 增加至 49.5 μmol Trolox/mg，其中在发酵阶段增加 27.27%。

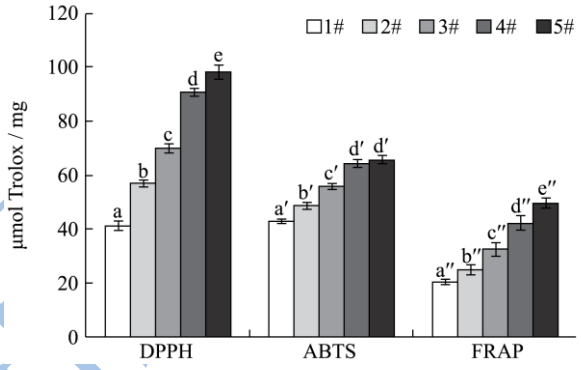


图 7 金华火腿各加工过程总抗氧化活性当量（μmol Trolox/g）

Fig.7 Total equivalent antioxidant capacity of Jinhua ham from each process

3 结论

3.1 依据 Maillard 反应自身所具有的物理、化学、生物以及色泽变化等特性[7]，通过采用 HPLC、GC-MS 等分析技术，揭示了金华火腿在主要加工过程中美拉德反应的发生，并生成了美拉德反应产物，并通过实验表明美拉德反应产物对金华火腿独特风味的形成以及抗氧化等具有重要作用。

3.2 金华火腿经腌制、晾晒、发酵加工过程，其蛋白质和糖含量明显减少，色泽显著加深。且经 HPLC、GC-MS 联用技术分析，不仅醛类、酮类以及吡啶类、吡嗪类、呋喃类美拉德反应产物不断增加，并且检测出美拉德反应标志性产物—HMF，丙烯酰胺，吡嗪，成品中美拉德标志性产物的含量分别达 0.16 mg/g、0.09 μg/g 和 0.025 μg/g。同时，实验还表明发酵工序是金华火腿发生美拉德反应的最重要过程，从而揭示了金华火腿美拉德反应的形成过程。

3.3 通过 GC-MS 分析比对，表明金华火腿制作过程所发生的美拉德反应及其所生成的美拉德反应产物如：醛类化合物从 15%增加至 40%，和酮类化合物从

6.38%增加至 10.57%，它们是金华火腿的特征风味物质，对金华火腿独特风味的形成具有重要贡献。

3.4 通过抗氧化实验和 Caco-2 细胞实验，表明金华火腿制作过程中生成了对 Caco-2 细胞的生长具有促化活性的物质，并且抗氧化活性增加显著。

参考文献

[1] Wang H Y, Qian H, Yao W R. Review melanoidins produced by the maillard reaction: structure and biological activity [J]. Food Chemistry, 2011, 128:573-584

[2] Morales F J, van Boekel M A J S. A study on advanced maillard reaction in heated casein/sugar solutions：colour formation [J]. International Dairy Journal, 1998, 8: 907-915

[3] Pino-Garc ÍA R D, GonzÁLez-SanjosÉ M L, Rivero-PÉRez M D, et al. Influence of the degree of roasting on the antioxidant capacity and genoprotective effect of instant coffee: contribution of the melanoidin fraction[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 10530-10539

[4] 赵景丽,赵改名,柳艳霞等.谷氨酸美拉德反应在金华火腿挥发性风味物质形成中的作用[J].中国食品学报，2014, 14(9):110-115
ZHAO JI-li, ZHAO Gai-ming, LIU Yan-xia, et al. The role of Maillard reaction about glutmate in the generation of volatile flavor compounds of Jinhua ham [J]. Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(9): 110-115

[5] 田怀香.金华火腿风味物质研究及其风味基料的研制[D].无锡:江南大学食品学院,2005
TIAN Huai-xiang. Research on flavor components of jinhua ham and preparation of its flavoring base [D]. Wuxi: The School of Food Science and Technology Jiangnan University, 2005

[6] Wang H Y, Qian H, Yao W R. Review melanoidins produced by the maillard reaction: structure and biological activity[J]. Food Chemistry, 2011, 128: 573-584

[7] 赵改名.肌肉蛋白水解酶在金华火腿加工过程中作用的研究[D].南京,南京工业大学,2008
ZHAO Gai-ming. Studies on the effects of muscle proteolytic enzymes in the processing of Jinhua ham [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2004

[8] 孟岳成,郑柏根,陈杰等.三种干燥方式对金华火腿片品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(12):170-175
MENG Yue-cheng, ZHENG Bo-gen, CHEN Jie, et al. Effects of three drying methods on the quality of Jinhua ham slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(12): 170- 175

[9] Kim J S, Lee Y S. Characteristics and antioxidant activity of maillard reaction products from fructose-glycine oligomer [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19: 929-940.

[10] Gökmen V, Kocadağlı T, Göncüoğlu N, et al. Model studies on the role of 5-hydroxymethyl-2-furfural in acrylamide formation from asparagines [J]. Food Chemitry, 2012, 132: 168- 174

[11] Juan C Stockert, Alfonso Bl ázquez-Castro, Magdalena Ca ñete, et al. MTT assay for cell viability:Intracellular localization of the formazan product is in lipid droplets [J]. Acta Histochemica, 2012, 114: 785-796

[12] Tuanjai Noipa, Supalax Srijaranai, Thawatchai Tuntulani, et al. New approach for evaluation of the antioxidant capacity based on scavenging DPPH free radical in micelle systems [J]. Food Research International, 2011, 44: 798-806

[13] Yu XY, Zhao MY, Hu J et al. Correspondence analysis of antioxidant activity and UV -Vis absorbance of Maillard reaction products as related to reactants [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46: 1-9

[14] Yazheng Liu, David D. Kitts. Confirmation that the Maillard reaction is the principle contributor to the antioxidant capacity of coffee brews [J]. Food Research International, 2011, 44: 2418-2424

[15] 陆瑞琪.金华火腿现代工艺中脂质及风味变化[D].无锡,江南大学食品学院,2008
LU Rui-qi. Changing of lipids and flavor compounds during modern Processing of Jinhua ham [D]. Wuxi: The School of Food Science and Technology Jiangnan University, 2008

[16] Jiang Z M, Brodkorb A. Structure and antioxidant activity of Maillard reaction products from α- acta umin and β-lactoglobulin with ribose in an aqueous model system [J]. Food Chemistry, 2012, 133: 960-968