

原料肉脂肪比例对培根加工过程中安全性的影响

姜 皓¹, 陈媛媛¹, 杨 璐¹, 徐文怡¹, 杨 华², 马俪珍^{1,*}

(1.天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津市农副产品深加工技术工程中心, 天津 300384;

2.天津农学院动物科学与动物医学学院, 天津 300384)

摘 要: 为了解原料肉中所含脂肪比例对培根加工过程中安全品质的影响, 以脂肪占总肉量的比例分别为0% (F_0 组)、10% (F_{10} 组)、20% (F_{20} 组)、30% (F_{30} 组)为原料, 经过绞碎、腌制、成型、蒸煮、干燥、烟熏和煎烤工序加工培根产品, 分别在蒸煮、烟熏3 h、烟熏7 h和煎烤环节取样测定样品的pH值、亚硝酸盐残留量、硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) 值、生物胺以及N-亚硝胺 (N-nitrosoamines, NAs) 等指标, 分析脂肪比例对培根加工过程中各项理化指标变化的影响。结果表明: 随着原料肉中脂肪比例的增加, 培根中pH值、亚硝酸盐残留量、TBARS值和NAs呈现显著增加趋势 ($P < 0.05$), 其值从高到低的顺序依次为 $F_{30} > F_{20} > F_{10} > F_0$ 。4组培根在蒸煮、烟熏等加工过程中, 亚硝酸盐残留量和TBARS值呈现降低趋势, 生物胺和NAs总量呈现升高趋势 ($P < 0.05$), NAs总量中变化最显著的是N-二甲基亚硝胺, 4组样品在烟熏7 h均达到最高值。煎烤后, NAs总量出现下降, 但N-亚硝基吡咯烷 (N-nitrosopyrrolidine, NPYR) 的含量仍在升高, 特别是脂肪比例较高的 F_{20} 和 F_{30} 组NPYR含量分别达到最高值1.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和1.85 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。相关性分析表明, 原料肉的脂肪比例与烟熏7 h与煎烤结束后NAs形成量之间的相关系数较高。结果表明, 培根加工过程中控制原料肉适宜的肥瘦肉比例对培根产品的安全品质尤为重要。

关键词: 猪肉; 脂肪; 培根; N-亚硝胺; 安全品质

Effect of Fat Ratio in Raw Meat on Safety Indicators during Processing of Bacon

JIANG Hao¹, CHEN Yuanyuan¹, YANG Lu¹, XU Wenyi¹, YANG Hua², MA Lizhen^{1,*}

(1. Tianjin Agricultural and Sideline Products Deep Processing Technology Engineering Center,

College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China;

2. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to understand the effect of different proportions of fat in raw meat on safety indicators of bacon during processing, bacons with 0 (F_0 group), 10% (F_{10} group), 20% (F_{20} group) and 30% (F_{30} group) fat were processed by sequential mincing, curing, molding, cooking, drying, smoking and roasting, and sampling was performed at the end of cooking, 3 h and 7 h of smoking, and the end of roasting to measure pH value, nitrite residue, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value, biogenic amine and N-nitrosamines (NAs). The effects of different fat ratios on the changes in these physicochemical indicators during the processing of bacon were analyzed. The results showed that the pH, nitrite residue, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value and NAs content of bacon were significantly increased with the increase in fat content in raw meat ($P < 0.05$), and each value in the four groups of bacon was in the decreasing order $F_{30} > F_{20} > F_{10} > F_0$. During the processes of cooking and smoking, nitrite residue and TBARS value showed a decreasing trend, whereas the contents of biogenic amines and NAs significantly increased ($P < 0.05$). Among all tested NAs, N-nitrosodimethylamine (NDMA) changed most significantly, reaching the highest value at 7 h of smoking for all four groups. After roasting, the total amount of NAs decreased, but the content of N-nitrosopyrrolidine (NPYR) still increased. In particular, NPYR contents in the F_{20} and F_{30} groups reached the highest values (1.27 and 1.85 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectively). Correlation analysis showed that there was a high correlation coefficient between the fat ratio of raw meat and the amount of NAs formed after smoking for 7 h or after

收稿日期: 2019-06-05

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0401200)

第一作者简介: 姜皓 (1995—) (ORCID: 0000-0003-0065-4998), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉制品安全控制。

E-mail: 915741979@qq.com

*通信作者简介: 马俪珍 (1963—) (ORCID: 0000-0003-2744-7171), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品科学与技术。

E-mail: Malizhen-6329@163.com

roasting. The results from this study show that controlling appropriate fat to lean ratio of raw meat used for the processing of bacon is particularly important for the safety of bacon products.

Keywords: pork; fat; bacon; *N*-nitrosoamines; safety

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190605-048

中图分类号: TS251.51

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2020)20-0300-07

引文格式:

姜皓, 陈援援, 杨璐, 等. 原料肉脂肪比例对培根加工过程中安全性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 300-306.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190605-048. <http://www.spkx.net.cn>

JIANG Hao, CHEN Yuanyuan, YANG Lu, et al. Effect of fat ratio in raw meat on safety indicators during processing of bacon[J]. Food Science, 2020, 41(20): 300-306. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190605-048. <http://www.spkx.net.cn>

重组培根是由畜肉经腌制、真空滚揉、装入有网孔不锈钢磨具中蒸煮成型、干燥、烟熏等工艺制作而成的一种西式腌制低温肉制品^[1]。烟熏是培根加工中最重要的工艺环节, 熏烟中的酚类物质可以使培根形成特殊的烟熏风味; 促进产品色泽的形成; 抗氧化还可以抑制微生物的繁殖^[2]。

培根加工过程中添加亚硝酸盐或硝酸盐, 主要目的是赋予肉制品特有的色泽、提高风味、降低脂肪和蛋白质的氧化, 更主要的是抑制肉毒梭状芽孢杆菌的生长, 提高肉制品的生物安全性^[3]。但是, 在腌肉制品加工的弱酸性条件下, 亚硝酸盐易与胺类物质经过亚硝基化作用生成一种强致癌物*N*-亚硝胺(*N*-nitrosoamines, NAs)^[4]。在已检测的300种亚硝基化合物中, 已证实有90%可以诱导动物不同器官的肿瘤, 其中*N*-二甲基亚硝胺(*N*-nitrosodimethylamine, NDMA)、*N*-二乙基亚硝胺(*N*-nitrosodiethylamine, NDEA)至少对20种动物具有致癌活性^[5]。腌肉制品中NAs的形成是一个复杂的过程, 国内外学者在其产生机理、形成过程、控制措施和毒性等方面作了大量的研究工作, 研究显示, 加热温度、pH值、加工条件、微生物作用、添加剂(如亚硝酸盐)、蛋白质的分解与氧化等都对NAs的形成有影响^[5-9]。

此外, 有研究显示, 脂肪也是影响亚硝化反应的重要因素。Motttram等^[10]研究发现NDMA和*N*-亚硝基吡咯烷(*N*-nitrosopyrrolidine, NPYR)主要在培根的脂质中生成。Herrmann等^[11]研究表明当脂肪质量分数由12%上升到25%时, 腊肠中NDMA和NPYR的含量有明显升高。Honikel^[12]研究表明培根中的脂肪经油炸后, NAs含量升高, 并发现脂肪参与了亚硝化反应。Skrypec等^[13]报道不饱和脂肪酸在肉中的比例越大, 制成的腊肠NPYR含量越高。另外, 熊凤娇等^[14]报道, 在模拟体系中脂肪的添加种类和比例与NDMA、NDEA和NPYR的形成有相关关系。以上研究表明, 脂肪在一定程度上会促进亚硝化反应。

近年来, 西式培根或重组培根作为一种腌制肉制品越来越受到消费者的青睐, 国内市场上培根的生产和消

费量以16%的速度剧增, 但培根中的安全品质问题仍未得到足够重视, 影响培根中NAs形成的因素是多方面的, 本研究重点探讨脂肪比例对培根中NAs形成量及相关品质的影响, 以期对培根的安全生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜猪背部肉、猪肥膘 天津市康宁肉制品有限公司; 食盐、白糖、鸡蛋、味精、白酒、葡萄糖 天津市红旗农贸综合批发市场; 复合磷酸盐、卡拉胶 郑州凯之裕食品添加剂有限公司; 亚硝酸钠、抗坏血酸钠、烟酰胺、大豆分离蛋白粉(均为食品级) 郑州裕和食品添加剂有限公司。

二氯甲烷、乙腈(均为色谱纯), 氯化钠、无水硫酸钠(均为分析纯) 天津市风船化学试剂科技有限公司; 高氯酸、丙酮、丹磺酰氯、硼砂、亚铁氰化钾、乙酸锌、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、硫代巴比妥酸(thiobarbital acid, TBA)、三氯乙酸、硫酸、氯化钾 国药集团化学试剂有限公司; 9种NAs标准品: NDMA、NDEA、NPYR、*N*-甲基乙基亚硝胺(*N*-nitrosomethylethylamine, NMEA)、*N*-二丁基亚硝胺(*N*-nitrosodibutylamine, NDBA)、*N*-二丙基亚硝胺(*N*-nitrosodipropylamine, NDPA)、*N*-亚硝基哌啶(*N*-nitrosopiperidine, NPIP)、*N*-亚硝基吗啉(*N*-nitrosomorpholine, NMOR)、*N*-亚硝基二苯胺(*N*-nitrosodiphenylamine, NDPheA), 8种生物胺标准品: 色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、精胺及亚精胺 美国Sigma公司; 聚乙烯薄膜 三江塑料制品有限公司。

1.2 仪器与设备

7890A气相色谱仪(配备氮磷检测器)、1200高效液相色谱仪(配备紫外吸收检测器) 美国安捷伦公司; PB-10酸度计 德国赛多利斯科学仪器有限公司;

RE-2000A 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂；
DW-5120 低温泵 上海振捷实验设备有限公司；
LLJ-A10T1 搅拌机 广东小熊电器有限公司；HS07-314
恒温水浴锅 天津华北实验仪器有限公司；BJRJ-82 绞
肉机、BVBj-30F 真空搅拌机、BYXX-50 烟熏炉、不锈钢
网状模具 浙江嘉兴艾博实业有限公司；ST 40R 离心机
美国 Thermo 公司；18Basic 匀浆机 德国 IKA 公司；
FA2004 精密电子天平 上海精科仪器公司；TU-1800
紫外分光光度计 日本 Hmdzu 公司。

1.3 方法

1.3.1 培根的制作

1.3.1.1 腌制液配制

以 5 kg 原料肉计，配制腌制液：在 1 kg 香料水（五香风味）中，添加食盐 90.0 g、复合磷酸盐 15.0 g、亚硝酸钠 0.6 g、抗坏血酸钠 2.5 g、白糖 50.0 g、大豆分离蛋白粉 8.0 g 等。配制好在 0~4 °C 冷库中事先冷却。

1.3.1.2 工艺流程

原料的选择→绞碎→腌制→压膜→蒸煮→脱模→干燥→烟熏→冷却→速冻→切片→真空包装→食用前煎烤

1.3.1.3 操作要点

原料选择：选取猪背部的纯精瘦肉，剔除筋膜、碎肉等，用绞肉机绞碎（3 mm 筛板），猪背膘用切片机切片。

腌制：将配制好的腌制液与绞碎的猪瘦肉和肥肉片在真空搅拌机中搅拌均匀，放入 0~4 °C 的冷库中腌制 24 h。

压膜：在清洗干净的锈钢网孔模具上铺一层 PE 薄膜，将腌制好的肉馅装入，固定好磨具盖的卡扣。

蒸煮、脱模：将压模完成的培根放入烟熏炉中 85 °C 蒸煮 90 min，取出、冷却、脱模。

干燥、烟熏、冷却：将脱模后的培根再次放入烟熏炉中 65 °C 干燥 60 min，然后 55 °C 烟熏 7 h，取出冷却。

速冻、切片：将加工好的培根再 -35 °C 速冻箱中速冻 1 h，取出用冻肉切片机切成 2 mm 的薄片，真空包装。

烤制：将切好的培根薄片放烤盘中，放入烤炉，200 °C 煎烤 5 min。

1.3.2 实验设计方案

实验分为 4 组，每组总肉量为 6 kg，肥肉占总肉量（肥肉片+绞碎瘦肉）的比例分别为 0%（F₀组）、10%（F₁₀组）、20%（F₂₀组）、30%（F₃₀组），按照 1.3.1 节培根的制作方法加工出 4 组培根，分别在培根加工的各工艺点取样，具体包括蒸煮工序完成点（A 点）、烟熏 3 h（B 点）、烟熏 7 h（C 点）、煎烤完成点（D 点），取样后立即真空包装，-35 °C 速冻箱中速冻 1 h，在 -18 °C 冷库中贮存，1 个月内完成测定。考察 pH 值、亚

硝酸盐残留量、硫代巴比妥酸反应物（thiobarbituric acid reactive substances, TBARS）值、8 种生物胺及 9 种 NAs 含量等所有指标，分析培根加工的原料肉中不同脂肪比例对培根理化特性的影响。

1.3.3 指标测定

1.3.3.1 pH 值测定

参照 GB 5009.237—2016《食品 pH 值的测定》^[15]。

1.3.3.2 亚硝酸盐测定

参照 GB 5009.33—2016《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》^[16]。

1.3.3.3 TBARS 值测定

参考 Faustman 等^[17]的方法。

1.3.3.4 生物胺测定

参照杜智慧^[18]的方法测定样品中的 8 种生物胺。

1.3.3.5 NAs 测定

参照 GB 5009.26—2016《食品中 N-亚硝胺类化合物的测定》^[19]对样品中的 NAs 进行提取、萃取净化、浓缩后过滤膜（0.45 μm）。气相色谱条件：不分流进样量 1 μL；进样口温度 250 °C；柱箱升温梯度：50 °C 保持 4 min，10 °C/min 升至 180 °C 保持 2 min，20 °C/min 升至 220 °C 保持 10 min，后运行以 235 °C 保持 2 min；氮磷检测器温度 330 °C；氢气流速 2 mL/min，空气流速 60 mL/min，载气（N₂）流速 6 mL/min。过滤膜后的样品用上述气相色谱条件测定 9 种 NAs 含量，同时进行外标法分析定量。用甲醇将 9 种 NAs 混合标准储备液（200 μg/mL）配制成质量浓度为 20、10、8、5、2、1、0.8、0.5、0.2 μg/mL 的混合标准溶液，根据保留时间定性，以 9 种 NAs 混合标准溶液质量浓度为横坐标，峰面积为纵坐标，绘制标准曲线。根据标准曲线得到样品中 NAs 的含量。9 种 NAs 标准品的色谱图见图 1。

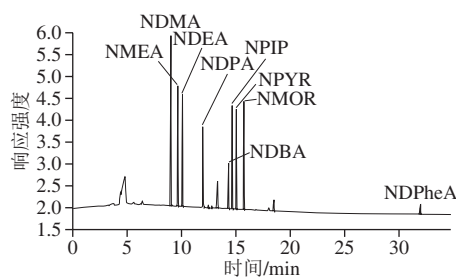


图 1 9 种 NAs 标准品的色谱图

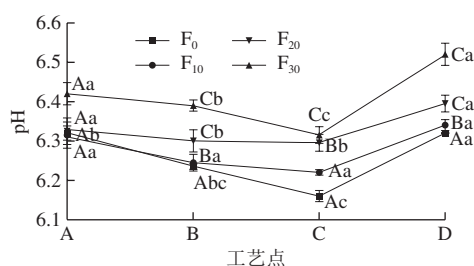
Fig. 1 GC chromatograms of mixture of nine nitrosamine standards

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件计算结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示，用 Statistix 8.1 软件中 Tukey HSD 程序进行显著性分析，SigmaPlot 10.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点pH值的变化



A.蒸煮工序完成点; B.烟熏3 h; C.烟熏7 h; D.煎烤熟制完成点。大写字母不同表示含脂肪比例不同的4组原料肉之间差异显著 ($P<0.05$); 小写字母不同表示加工培根的4个工艺点之间差异显著 ($P<0.05$)。图3同。

图2 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点pH值的变化
Fig. 2 Changes in pH of bacons with different fat contents during processing

由图2可以看出,在利用含脂肪比例不同的4组原料肉加工培根的过程中,pH值均呈现先降低(A点到C点)后升高(C点到D点)的变化趋势($P<0.05$),烟熏7 h(C点)时pH值明显降低的原因可能是熏烟组分中含有1~10个碳原子的简单有机酸类(如甲酸、乙酸、丁酸、异丁酸等)的影响所致^[20],在从B点到C点的烟熏过程中,有机酸类不断产生逐渐附着在培根表面,所以导致pH值随着烟熏过程的进行而逐渐降低。当进入煎烤阶段,各组pH值又有微弱回升,这有可能是因为在高温煎烤过程中,肉中的蛋白质与脂肪发生高温氧化与分解形成某些胺类物质所影响。从图1还可观察到,脂肪比例对pH值影响较大,脂肪比例越高,pH值也越高,pH值由高到低的顺序依次为 $F_{30}>F_{20}>F_{10}>F_0$ ($P<0.05$),出现这一现象的原因可能是肉组织中的脂肪与蛋白发生相互作用,如脂肪的氧化会促进蛋白的氧化,反之亦然^[21],当脂肪比例高时,这种蛋白-脂肪之间的氧化程度会增大,脂肪和蛋白的氧化、降解会产生一些小分子碱性物质^[22],从而导致含脂肪比例高的培根pH值相对较高。由此可见,加工培根的原料肉中脂肪比例的不同以及加工

2.2 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点亚硝酸盐残留量的变化

由图3可以看出,在利用含脂肪比例不同的4组原料肉加工培根过程中,各组亚硝酸盐残留量均呈现显著下降趋势($P<0.05$),至D点时, F_{30} 、 F_{20} 、 F_{10} 和 F_0 4组的亚硝酸盐残留量分别降为17.43、14.67、11.32 mg/kg和11.70 mg/kg。这是因为亚硝酸盐在热处理过程中参与了某种化学反应,如发色、抑菌、抗氧化等作用会消耗部

分亚硝酸盐,邵利君等^[23]在研究腌制肉糜中发现,腌制肉糜中的亚硝酸盐含量在加热之后显著降低,本研究与其报道一致。研究发现随着脂肪比例的增加,培根中亚硝酸盐残留量也增加,亚硝酸盐残留量从高到低的顺序依次为 $F_{30}>F_{20}>F_{10}>F_0$ ($P<0.05$),其原因是亚硝酸盐在腌肉制品中与肌红蛋白发生反应^[24],促进肉制品形成良好的色泽,脂肪比例越高,肌红蛋白含量相对较低,所消耗的亚硝酸盐量越少,所以脂肪比例高的样品中亚硝酸盐残留量相对高。由此可见,加工培根的原料肉中脂肪比例的不同以及加工的各工艺点都会影响到培根中亚硝酸盐残留量。

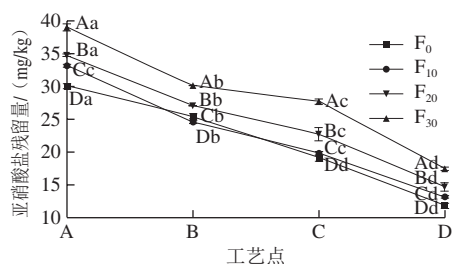


图3 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点亚硝酸盐残留量的变化
Fig. 3 Changes in nitrite residues in bacons with different fat contents during processing

2.3 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点TBARS值的变化

表1 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点TBARS值的变化
Table 1 Changes in TBARS values of bacons with different fat contents during processing

组别	TBARS值/(mg/kg)			
	F ₀	F ₁₀	F ₂₀	F ₃₀
A	0.16±0.00 ^{Da}	0.28±0.01 ^{Ca}	0.32±0.00 ^{Ba}	0.40±0.03 ^{Aa}
B	0.16±0.01 ^{Dab}	0.17±0.00 ^{Cc}	0.20±0.00 ^{Bc}	0.23±0.01 ^{Ab}
C	0.15±0.00 ^{Db}	0.20±0.01 ^{Cb}	0.25±0.01 ^{Bb}	0.26±0.00 ^{Ab}
D	0.15±0.00 ^{Db}	0.26±0.01 ^{Ca}	0.33±0.02 ^{Ba}	0.43±0.03 ^{Aa}

注:大写字母不同表示含脂肪比例不同的4组原料肉之间差异显著 ($P<0.05$);小写字母不同表示加工培根的4个工艺点之间差异显著 ($P<0.05$)。表2、3同。

TBARS值通过脂肪氧化形成的次级产物丙二醛的量表示脂肪氧化程度。由表1可以看出,蒸煮环节结束(A点)时,TBARS值从高到低依次为 $F_{30}>F_{20}>F_{10}>F_0$ ($P<0.05$),说明原料肉中的脂肪比例越高,产品中丙二醛的形成量越高,脂肪含量与丙二醛的形成量呈正相关。烟熏过程中,除 F_0 之外, F_{30} 、 F_{20} 、 F_{10} 三组均呈现先降低(B点)后升高(C点)的变化趋势($P<0.05$),这是因为在烟熏前3 h的过程中,熏烟组分中不断形成酚类(4-甲基愈创木酚、愈创木酚、2,5-二甲氧基酚等)物

质,具有很强的抗氧化作用^[25],所以出现B点的TBARS值反而比A点的TBARS值降低的现象。但随着烟熏过程的继续进行, F₀组TBARS值出现降低现象, F₃₀、F₂₀、F₁₀三组呈现升高趋势 ($P<0.05$), 且 $F_{30}>F_{20}>F_{10}>F_0$, 这说明原料肉中脂肪的氧化程度在这一阶段强于烟熏成分中的抗氧化作用, 脂肪比例越大, 有更多的氧化底物参与到生成丙二醛的过程中^[26], TBARS值越高, F₀组中脂肪含量极少 (人为添加猪背膘的比例为0%, 只含有瘦肉中少量的肌肉脂肪), 所以烟熏7 h F₀组的TBARS值仍然很低 (0.15 mg/kg)。从培根煎烤熟制过程 (D点) 看, 各组的TBARS值再次显著升高 ($P<0.05$), F₂₀组和F₃₀组的TBARS值分别达到最高值0.33 mg/kg和0.43 mg/kg, 且此阶段TBARS值从高到低的顺序依次是 $F_{30}>F_{20}>F_{10}>F_0$ ($P<0.05$), 这说明高温下会加速脂肪的氧化变化。由此说明, 加工培根的原料肉中脂肪比例的不同会显著影响培根产品中的脂肪氧化程度, 脂肪比例越高, TBARS值越大, 烟熏过程可以在一定程度抑制脂肪的氧化进程。

2.4 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点生物胺形成量的变化

表2 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点生物胺形成量的变化

Table 2 Changes in biogenic amines contents of bacons with different fat contents during processing

组别	工艺点	含量/(mg/kg)						
		色胺	苯乙胺	尸胺	组胺	亚精胺	精胺	总胺
F ₀	A	/	/	/	32.90±0.84 ^{ab}	/	126.01±1.36 ^{bc}	162.05±2.23 ^{cd}
	B	/	/	18.83±1.04 ^{ab}	81.14±0.11 ^{ac}	4.65±0.04 ^{ab}	186.00±1.34 ^{ab}	298.63±7.37 ^{ac}
	C	23.08±0.08 ^{ab}	/	16.11±0.05 ^{ca}	86.23±1.97 ^{ab}	5.08±0.41 ^{ab}	195.96±7.35 ^{ab}	326.46±9.70 ^{ab}
	D	16.36±0.33 ^{ab}	131.74±2.40 ^f	17.08±0.57 ^{ab}	85.67±0.69 ^{ab}	5.84±0.32 ^{ab}	212.08±1.22 ^{ab}	468.78±5.54 ^{ab}
F ₁₀	A	/	/	/	15.27±0.28 ^{bc}	/	92.99±1.82 ^{bc}	108.26±2.10 ^{bd}
	B	/	/	16.42±1.38 ^{ab}	84.98±1.55 ^{ab}	4.25±0.29 ^{ab}	172.89±1.12 ^{ab}	278.54±4.34 ^{bc}
	C	24.31±1.68 ^{ab}	/	17.30±0.03 ^{ab}	85.07±0.10 ^{ab}	4.31±0.05 ^{ab}	180.79±3.76 ^{ab}	311.78±2.20 ^{ab}
	D	17.27±0.38 ^{ab}	129.55±0.81 ^f	17.52±1.44 ^{ab}	79.92±0.64 ^{ab}	4.45±0.13 ^{ab}	175.82±1.25 ^{ab}	424.53±0.53 ^{ab}
F ₂₀	A	/	/	/	24.50±0.70 ^{ca}	/	76.99±1.02 ^{ca}	101.49±1.32 ^{cb}
	B	/	/	17.57±0.37 ^{ab}	84.11±0.32 ^{ab}	4.58±0.09 ^{ab}	160.22±1.13 ^{ab}	265.10±0.21 ^{bc}
	C	21.34±2.60 ^{ab}	/	18.36±0.32 ^{ab}	84.25±1.35 ^{ab}	4.03±0.02 ^{ab}	164.56±3.00 ^{ab}	292.54±2.04 ^{cb}
	D	18.77±0.58 ^{ab}	117.28±2.06 ^f	17.73±0.48 ^{ab}	78.71±0.99 ^{ab}	4.11±0.05 ^{ab}	169.06±0.60 ^{ab}	405.65±3.46 ^{ca}
F ₃₀	A	/	/	/	30.19±1.11 ^{bd}	/	76.14±0.07 ^{ca}	106.33±1.04 ^{cd}
	B	/	/	16.70±0.20 ^{ab}	86.27±3.33 ^{ab}	3.60±0.01 ^{bc}	123.59±3.74 ^{ab}	230.15±7.26 ^{ca}
	C	35.11±1.48 ^{ab}	/	18.63±0.29 ^{ab}	91.99±0.48 ^{ab}	3.09±0.07 ^{ca}	124.97±0.19 ^{ab}	273.89±0.96 ^{ab}
	D	19.42±0.59 ^{ab}	105.64±4.05 ^f	16.12±0.53 ^{ab}	80.83±1.66 ^{bc}	3.79±0.30 ^{ca}	156.28±5.82 ^{ca}	382.08±11.76 ^{ab}

注: 腐胺、酪胺均未检出; / 未检出, 表3同。

生物胺是一类含氮的脂肪族或杂环类低分子化合物^[27]。由表2可以看出, 随着培根加工过程的进行, 4组样品中的总胺含量均逐渐增加, 差异达显著水平 ($P<0.05$), 而同一个加工工艺点, 除A工艺点外, 4组样品之间比较, 脂肪比例越高, 总胺含量却越低,

4组总胺含量的变化趋势从低至高的顺序依次是 $F_0>F_{10}>F_{20}>F_{30}$, 比如在煎烤阶段, F₀、F₁₀、F₂₀和F₃₀组的总胺含量分别为468.78、424.53、405.65 mg/kg和382.08 mg/kg, 这是因为生物胺的前体物为蛋白质分解产物游离氨基酸在氨基酸脱羧酶作用下形成的, 本实验中F₀组的瘦肉比例 (蛋白质) 含量最高, 故总胺含量也最高。从表2还发现, 组胺存在于加工过程中的各个环节, 组胺被认为是生物胺中毒性最强的一种^[28], 美国食品和药物管理局 (FDA2002, 74-79) 规定食品中组胺小于500 mg/kg是比较安全的含量范围。从表2可以看出, 4组样品的组胺含量在加工过程中均呈现显著上升的趋势 ($P<0.05$), 但组胺含量没有超过500 mg/kg的安全范围, 不会对人体造成危害。

2.5 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点NAs形成量的变化

表3 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点NAs形成量的变化

Table 3 Changes in NAs contents of bacons with different fat contents during processing

组别	工艺点	含量/(μg/kg)							
		NDMA	NMEA	NDEA	NDPA	NDBA	NPIP	NPYR	NMOR
F ₀	A	3.18±0.10 ^{bc}	0.34±0.01 ^{ab}	0.45±0.02 ^{cd}	0.36±0.02 ^{cd}	1.51±0.10 ^{ab}	1.98±0.20 ^{ab}	0.99±0.08 ^{ab}	0.53±0.02 ^{bc}
	B	3.18±0.10 ^{bc}	1.20±0.04 ^{ab}	0.71±0.01 ^{ca}	1.56±0.02 ^{ca}	1.85±0.15 ^{ab}	2.76±0.01 ^{ab}	0.68±0.00 ^{ca}	1.57±0.02 ^{ab}
	C	6.32±0.46 ^{ab}	1.10±0.03 ^{ab}	1.18±0.00 ^{ca}	1.86±0.01 ^{ca}	1.94±0.01 ^{ab}	2.90±0.04 ^{ca}	1.17±0.19 ^{ab}	1.64±0.00 ^{ab}
	D	2.03±0.03 ^{cd}	/	0.96±0.05 ^{ab}	/	0.73±0.09 ^{bc}	1.09±0.09 ^{ca}	1.14±0.01 ^{ab}	/
F ₁₀	A	4.70±0.28 ^{ab}	0.62±0.02 ^{ab}	0.75±0.01 ^{ab}	1.29±0.02 ^{ab}	1.69±0.07 ^{ab}	0.95±0.01 ^{ab}	0.93±0.01 ^{ab}	0.70±0.01 ^{ab}
	B	4.62±0.07 ^{ab}	0.95±0.06 ^{ab}	0.76±0.02 ^{ab}	2.55±0.02 ^{ab}	1.97±0.18 ^{ab}	2.98±0.31 ^{ab}	0.68±0.06 ^{ca}	1.44±0.03 ^{ca}
	C	6.28±0.11 ^{ab}	0.89±0.13 ^{ab}	0.84±0.01 ^{ab}	2.76±0.13 ^{ab}	2.76±0.02 ^{ab}	3.01±0.04 ^{ca}	1.13±0.19 ^{ab}	1.66±0.04 ^{ab}
	D	2.18±0.12 ^{cd}	/	1.07±0.09 ^{ab}	/	1.07±0.18 ^{ab}	1.45±0.07 ^{ab}	1.27±0.04 ^{ab}	/
F ₂₀	A	4.80±0.01 ^{ab}	0.71±0.09 ^{ab}	0.76±0.03 ^{bc}	1.06±0.03 ^{bc}	1.20±0.06 ^{ab}	0.83±0.04 ^{ca}	0.97±0.03 ^{ab}	0.86±0.11 ^{ca}
	B	5.20±0.39 ^{ab}	0.58±0.03 ^{ca}	0.80±0.01 ^{bc}	1.10±0.02 ^{ab}	1.42±0.01 ^{ab}	1.56±0.00 ^{ab}	0.82±0.04 ^{ca}	1.33±0.03 ^{ab}
	C	6.02±0.32 ^{ab}	1.28±0.38 ^{ab}	1.42±0.02 ^{ab}	2.91±0.05 ^{ab}	2.67±0.03 ^{ab}	3.21±0.06 ^{ab}	1.04±0.04 ^{ab}	1.66±0.08 ^{ab}
	D	2.31±0.01 ^{bc}	/	1.02±0.03 ^{ab}	/	1.12±0.02 ^{ab}	1.81±0.20 ^{ab}	1.27±0.09 ^{ab}	/
F ₃₀	A	4.25±0.35 ^{ab}	0.38±0.10 ^{ca}	1.36±0.06 ^{ab}	1.93±0.17 ^{ab}	1.96±0.03 ^{ab}	0.55±0.03 ^{ca}	1.05±0.02 ^{ca}	0.76±0.05 ^{ab}
	B	4.90±0.30 ^{ab}	1.02±0.02 ^{ab}	1.30±0.02 ^{ab}	2.91±0.17 ^{ab}	2.24±0.02 ^{ab}	3.05±0.06 ^{ab}	0.98±0.01 ^{ca}	1.65±0.03 ^{ab}
	C	7.43±0.10 ^{ab}	2.05±0.02 ^{ab}	1.65±0.01 ^{ab}	3.40±0.02 ^{ab}	2.85±0.18 ^{ab}	3.42±0.08 ^{ab}	1.51±0.11 ^{ab}	1.73±0.07 ^{ab}
	D	2.56±0.08 ^{ca}	/	1.27±0.20 ^{ab}	/	1.14±0.12 ^{ca}	1.98±0.09 ^{ab}	1.85±0.13 ^{ab}	/

注: NDPhEA未检出。

由表3可以看出, NAs在蒸煮阶段已经形成, F₀、F₁₀、F₂₀和F₃₀组的NAs总量分别9.34、11.63、11.19 μg/kg和12.24 μg/kg。随着烟熏过程的进行各组的NAs总量呈现一定的上升趋势, 在煎烤结束后 (D点) NAs总量又显著降低, 可能是烘烤过程中的高温使一部分NAs发生挥发现象^[29]。分析NAs不同种类的形成量时发现, 4组样品在各工艺点中NDMA的变化均呈现先升高 (A→C点) 然后降低 (D点) 的变化趋势, C点时NDMA含量达到最高值, 即F₀、F₁₀、F₂₀和F₃₀组的NDMA含量分别为6.32、6.28、6.02 μg/kg和7.43 μg/kg。煎烤结束后, 各组NDMA含量又显著下降 ($P<0.05$), F₀、F₁₀、F₂₀和F₃₀

组的NDMA含量在D点时分别为2.03、2.18、2.31 $\mu\text{g/kg}$ 和2.56 $\mu\text{g/kg}$, 4组之间NDMA的含量差异达显著水平($P<0.05$)。分析4组样品在各工艺点中NPYR的变化时发现,当原料肉含脂肪比例较低(F_0 和 F_{10})时,NPYR的含量没有随工艺点(A→D点)的进行显著升高,甚至从A点到C点还略有降低,但当原料肉脂肪比例升高(F_{20} 和 F_{30})时,NPYR的含量变化随工艺点(B→D点)的进行而显著升高($P<0.05$),特别是D点经过高温煎烤处理,NPYR达到最高点, F_{20} 和 F_{30} 组的NPYR含量分别为1.27 $\mu\text{g/kg}$ 和1.85 $\mu\text{g/kg}$,这是因为NPYR的生成被认为与高温有关^[10],脂肪在高温煎烤过程中实际受热温度相比瘦肉更高,故 F_{30} 组的NPYR含量相比其他组(F_0 、 F_{10} 、 F_{20})要高,这与Herrmann等^[11]在腊肠中研究结果一致。Yurchenko等^[30]也报道,含有脂肪的羊肉中NAs含量高于纯瘦肉中的含量。Hotchkiss等^[31]研究显示,脂质与亚硝酸盐的反应产物在加热过程中会形成一种亚硝化剂 NO_x ,会与肉中的二级胺类物质形成NAs。由此可以看出,脂肪中确实存在某种物质可以促进NAs的形成,但关于脂肪参与亚硝化反应的机制亟待研究。

2.6 含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点各指标相关性分析

表4 脂肪比例不同的4组原料肉在培根加工烟熏7 h各指标相关性分析
Table 4 Correlation analysis among various indexes of bacons with different fat contents at 7 h of smoking

指标	脂肪比例	pH值	亚硝酸盐残留量	TBARS值	组胺	总胺	NDMA	NPYR	NAs总量
脂肪比例	1								
pH值	0.978*	1							
亚硝酸盐残留量	0.950*	0.881	1						
TBARS值	0.968*	0.997**	0.85	1					
组胺	0.607	0.437	0.804	0.390	1				
总胺	-0.996**	-0.968*	-0.971*	-0.951*	-0.649	1			
NDMA	0.633	0.460	0.807	0.421	0.994**	-0.666	1		
NPYR	0.584	0.406	0.775	0.363	0.996**	-0.621	0.998**	1	
NAs总量	0.941	0.851	0.985*	0.827	0.838	-0.954*	0.857	0.824	1

注: *在 $P<0.05$ 水平上显著相关, **在 $P<0.01$ 水平上显著相关, 表5同。

表5 脂肪比例不同的4组原料肉在培根加工煎烤结束各指标相关性分析
Table 5 Correlation analysis among various indexes of bacons with different fat contents at the end of roasting

指标	脂肪比例	pH值	亚硝酸盐残留量	TBARS值	组胺	总胺	NDMA	NPYR	NAs总量
脂肪比例	1								
pH值	0.947*	1							
亚硝酸盐残留量	0.986*	0.986*	1						
TBARS值	0.997**	0.938	0.983*	1					
组胺	-0.666	-0.393	-0.542	-0.686	1				
总胺	-0.981*	-0.880	-0.948	-0.990*	0.779	1			
NDMA	0.988*	0.979*	0.999**	0.988*	-0.566	-0.957*	1		
NPYR	0.866	0.959*	0.934*	0.875	-0.286	-0.813	0.931	1	
NAs总量	0.988*	0.953*	0.989*	0.995**	-0.632	-0.978*	0.994*	0.916	1

由表4、5可以看出,脂肪比例与pH值、亚硝酸盐残留量、TBARS值均呈显著正相关;与总胺含量呈负相关,C点和D点相关系数分别为-0.996($P<0.01$)、-0.981($P<0.05$),由此可见,当总肉量一定时,含脂肪比例越高的培根瘦肉中蛋白质含量相对较低,生物胺是蛋白质分解的产物,故生物胺含量越低。NAs与脂肪比例的相关性也较高,相关系数分别为0.941($P>0.05$)、0.988($P<0.05$),NAs与TBARS值在C点和D点相关系数分别为0.827($P>0.05$)、0.995($P<0.05$),可见脂肪在一定程度上确实会促进NAs的形成,但脂肪参与亚硝化反应的机理亟待深入研究。

3 结论

本实验研究了含脂肪比例不同的4组原料肉在加工培根的4个工艺点品质变化规律,并测定了样品的pH值、亚硝酸盐残留量、TBARS值、生物胺以及NAs等指标。结果表明:随着原料肉中脂肪比例的增加,培根中pH值、亚硝酸盐残留量、TBARS值和NAs总量呈现显著增加趋势($P<0.05$),其值从高到低的顺序依次为 $F_{30}>F_{20}>F_{10}>F_0$,但随着烟熏过程中某些烟熏成分的抗氧化作用,亚硝酸盐残留量和TBARS值出现降低现象,生物胺和NAs呈现升高趋势;煎烤后NAs总量明显降低,但是 F_{20} 组和 F_{30} 组中NPYR显著升高。并且在烟熏7 h和煎烤结束后NAs总量与脂肪比例相关系数较高。结果表明,培根加工过程中脂肪比例会影响到产品的安全品质,所以实际加工中应控制适宜的脂肪比例,提高培根等腌肉制品的品质与安全。

参考文献:

- [1] 王琼,李聪,高磊峰,等.不同类型烟熏香精对西式培根风味的影响[J].现代食品科技,2017,33(7):220-230. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.032.
- [2] 陈建华.肉制品的烟熏[J].肉类工业,1998(3):34-37.
- [3] 杜娟,王青华,刘利强.亚硝酸盐在肉制品中应用的危害分析及其替代物的研究[J].食品科技,2007(8):166-169. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2007.08.019.
- [4] 黄智,程伟伟,张大磊,等.肉制品中亚硝胺形成影响因素和控制措施研究进展[J].食品工业科技,2016,37(21):372-376. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.064.
- [5] 李欣,孔保华,马丽珍.肉制品中亚硝胺的形成及影响因素的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(10):353-357. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.10.091.
- [6] 李木子,孔保华,陈倩,等.肉制品中亚硝胺的形成及控制技术的研究进展[J].食品工业,2014,35(5):185-189.
- [7] 王文勇,张英慧,赖长生.肉及肉制品中亚硝胺的研究进展[J].肉类工业,2017(4):49-53. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2017.04.013.
- [8] 黄智,程伟伟,张大磊,等.肉制品中亚硝胺形成影响因素和控制措施研究进展[J].食品工业科技,2016,37(21):372-376. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.064.

- [9] 马俪珍, 南庆贤, 方长发. *N*-亚硝胺类化合物与食品安全性[J]. 农产品加工, 2005(12): 8-11; 14. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.10.091.
- [10] MOTTRAM D S, PATTERSON L S. The effect of ascorbatereductants on *N*-nitrosamine formation in a model system resembling bacon fat[J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 1977, 28: 352-354.
- [11] HERRMANN S S, GRANBY K, DUEDAHL-OLESEN L. Formation and mitigation of *N*-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages[J]. Food Chemistry, 2015, 174: 516-526. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.11.101.
- [12] HONIKEL K. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products[J]. Meat Science, 2008, 78: 68-76. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.030.
- [13] SKRYPEC D J, GRAY J I, MANDAGERE A K, et al. Effect of bacon composition and processing on *N*-nitrosamines formation[J]. Food Technology, 1985(1): 74-79.
- [14] 熊凤娇, 马俪珍, 王洋, 等. 亚硝化模拟体系中油脂对*N*-亚硝胺形成的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 21-28. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201818004.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. 食品pH值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 卫生部. 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB 5009.33—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] FAUSTMAN C, SPECHT S M, MALKUS L A, et al. Pigment oxidation in ground veal: influence of lipid oxidation, iron and zinc[J]. Meat Science, 1992, 31(3): 351-362.
- [18] 杜智慧. 不同发酵剂对发酵香肠品质影响的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2014: 31-32.
- [19] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中*N*-亚硝胺类化合物的测定: GB 5009.26—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-9.
- [20] 李晓波. 熏烤肉制品熏烟成分及其有害成分的控制[J]. 肉类研究, 2009, 23(6): 37-41. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2009.06.011.
- [21] ESTE'VEZ M, KYLLI P, PUOLANNE E, et al. Oxidation of skeletal muscle myofibrillar proteins in oil-in-water emulsions: interaction with lipids and effect of selected phenolic compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(22): 10933-10940. DOI:10.1021/jf801784h.
- [22] 姜晴晴, 鲁珺, 叶兴乾, 等. 肉制品中蛋白质氧化的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 386-389. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.23.074.
- [23] 邵利君, 郇延军, 甘春生, 等. 热处理对腌制肉糜制品中亚硝酸盐及亚硝胺变化的影响因素分析[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 190-195. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2010.06.029.
- [24] 钟耀广, 南庆贤. 亚硝酸盐的发色机理及安全性问题[J]. 肉类工业, 2001(5): 47-48. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2001.05.018.
- [25] 余爱农, 吴绍艳. 烟熏腊肉香气成分的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(10): 135-138. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2003.10.034.
- [26] 余翔, 张杨萍, 章建浩, 等. 中式培根加工过程中食品品质变化规律研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(7): 1668-1672. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2015.07.035.
- [27] 李志军, 吴永宁, 薛长湖. 生物胺与食品安全[J]. 食品与发酵工业, 2004(10): 84-91. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2004.10.019.
- [28] 王光强, 俞剑荣, 胡健, 等. 食品中生物胺的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 269-278. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601046.
- [29] DRABIK-MARKIEWICZ G, DEJAEGHER B, MEY E D, et al. Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of *N*-nitrosamine in heated cured pork meat[J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1539-1545. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.11.149.
- [30] YURCHENKO S, MOLDER U. The occurrence of volatile *N*-nitrosamines in Estonian meat products[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1713-1721. DOI:10.1002/jsfa.2740281112.
- [31] HOTCHKISS J H, VECCHIO A J, ROSS H D. *N*-Nitrosamine formation in fried-out bacon fat: evidence for nitrosation by lipid-bound nitrite[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1985, 33(1): 5-8. DOI:10.1021/jf00061a002.