

两种调味基料对提高重组培根品质的效果研究

徐文怡, 陈文静, 任小青, 梁丽雅, 马俪珍*

(天津农学院 食品科学与生物工程学院, 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(天津), 天津 300384)

摘要: 研究牛骨调味基料(beef flavorings, BF)和发酵牛骨调味基料(fermented beef flavorings, FBF)替代亚硝酸盐对重组培根感官、理化和安全品质的作用效果。试验在腌制环节设置不添加 NaNO_2 和调味基料的阴性对照组(NC)、添加 0.12 g/kg NaNO_2 的阳性对照组(PC)、添加 2% BF 的试验组(BF)和添加 2% FBF 的试验组(FBF)制作重组培根, 对加工的 4 组成品进行感官评价, 测定红度 a^* 值、pH 值、硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid value, TBARs)、亚硝酸盐残留量、*N*-亚硝胺、生物胺等理化指标, 并通过加速试验预测 4 组产品的货架期(27、32、37 °C)。结果表明: BF 组和 FBF 组在感官评定、红度 a^* 值显著优于 NC 组($P < 0.05$), 与 PC 组相当, 对 pH 值没有显著影响, 亚硝酸盐残留量低至 0.27 mg/kg ~ 0.29 mg/kg, *N*-亚硝基二甲胺形成量小于 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 与 NC 组差异不显著($P > 0.05$), 但显著低于 PC 组($P < 0.05$), 毒性最强的组胺均未检出, 但 FBF 组的 *N*-亚硝胺和生物胺总量均显著高于 NC 组和 PC 组。通过加速试验预测货架期, NC 组在 4 °C 下货架期为 239.47 h, 在 25 °C 下货架期为 55.39 h; PC 组、BF 组和 FBF 组在 4 °C 下的货架期均为 518.48 h, 均比 NC 组延长了 279.01 h。25 °C 下的货架期均为 88.10 h, 比 NC 组延长了 32.71 h, 在 37 °C 加速试验过程中 4 组产品的 TBARs 值大小为 $\text{PC} < \text{FBF} < \text{BF} \approx \text{NC}$ 。综上所述, BF 和 FBF 在重组培根中应用具有抑菌、防腐、抗氧化、提高风味的作用, 但在控制 *N*-亚硝胺和生物胺总量的形成以及抑制脂肪氧化方面效果不及亚硝酸盐。

关键词: 重组培根; 牛骨调味基料; 发酵牛骨调味基料; 亚硝酸盐; *N*-亚硝胺

The Effect of Two Kinds of Seasoning Based on Improving the Quality of Recombinant Bacon

XU Wen-yi, CHEN Wen-jing, REN Xiao-qing, LIANG Li-ya, MA Li-zhen*

(College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agriculture University, National Research and Development Sub-center of Freshwater Fish Processing Technology (Tianjin), Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to study the seasoning bases prepared by beef flavorings (BF) and fermented beef flavorings (FBF) instead of nitrite on the sensory, physical and chemical and safe quality of recombinant bacon effect. In this experiment, negative control group (NC), positive control group (PC) with 0.12 g / kg NaNO_2 , 2% BF group (BF) and 2% FBF group (FBF) were set up, and sensory evaluation of the processed 4 groups of recombinant bacon, determination of redness value, pH, TBARs value, residual nitrite, *N*-nitrosamine, biogenic amine, and accelerated testing to predict shelf life (27, 32, 37 °C). The results showed that the sensory evaluation and redness value of the BF group and the FBF group were significantly better than those of the NC group ($P < 0.05$), which was equivalent to the PC group and had no significant effect on pH, the nitrite residue was as low as 0.27 mg/kg-0.29 mg/kg, *N*-nitrosodimethylamine (NDMA) formation was less than 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, not significantly different from the NC group ($P > 0.05$), but significantly lower than the PC group ($P < 0.05$), the most toxic histamine was not detected, but the total amount of nitrosamines and biogenic amines in the FBF group was significantly higher than those of NC group and PC group. Accelerated testing predicts shelf life. The shelf life of NC group was 239.47 h at 4 °C and 55.39 h at 25 °C; the shelf life of PC group, BF group and FBF group at 4 °C was 518.48 h, which was 279.01 h longer than that of NC group, the shelf life at 25 °C was 88.10 h,

作者简介: 徐文怡(1998—), 女(汉), 本科, 食品科学与工程专业。

* 通信作者: 马俪珍(1963—), 女, 教授, 博士, 研究方向: 肉品科学与技术。

which was 32.71 h longer than the NC group. During the 37 °C accelerated test, the TBARs of the four groups of products from low to high were PC<FBF<BF≈NC. In summary, the application of BF and FBF in recombinant bacon could play a certain role in bacteriostasis, preservative, anti-oxidation and flavor enhancement of nitrite, but it could control the formation of total *N*-nitrosamine and biogenic amine and the effect of inhibiting the oxidation of fat was not as strong as that of nitrite.

Key words: recombinant bacon; beef flavorings; fermented beef flavorings; nitrite; *N*-nitrosamine

引文格式:

徐文怡,陈文静,任小青,等.两种调味基料对提高重组培根品质的效果研究[J].食品研究与开发,2021,42(7):152-158,176.

XU Wenyi, CHEN Wenjing, REN Xiaoqing, et al. The Effect of Two Kinds of Seasoning Based on Improving the Quality of Recombinant Bacon[J]. Food Research and Development, 2021, 42(7): 152-158, 176.

培根是低温西式肉制品重要的一类,其风味浓郁、咸味适口、食用方便。重组培根是经过真空腌制、灌装压模、蒸煮、烟熏、冷却制成。重组培根加工中以添加亚硝酸盐来达到发色及抑制微生物生长的目的,但亚硝酸盐会与其中的二级胺类物质发生反应形成致癌物 *N*-亚硝基化合物,危害人体健康^[1]。降低肉制品中亚硝酸盐残留量可以降低亚硝胺的形成。因此,应尽可能限制亚硝酸盐在肉制品加工中的使用。控制肉制品中 *N*-亚硝胺形成常添加天然抗氧化剂,如抗坏血酸、 V_E 、茶多酚等^[2-3]。WANG 等^[4]将植物多酚和 α -生育酚添加到干腌培根中,发现植物多酚特别是绿茶多酚 (green tea polyphenols, GTP) 可以用于加工干腌培根来提高产品质量、保质期及安全性。本研究前期以冷冻牛骨肉末为原料,开发出两种调味基料^[5-6]:一种是以冷冻牛骨肉末为原料,经过高压浸提、酶解、美拉德反应得到牛骨调味基料 (beef flavorings, BF), 另一种是在 BF 的基础上为了增香而增加了发酵工艺环节,得到的发酵牛骨调味基料 (fermented beef flavorings, FBF)^[7]。

目前 FBF 在牛肉肠、牛肉饼、红肠^[8-10]上的应用已表明 FBF 具有增强产品的抗氧化、抑菌效果以及提高风味的作用,可以起到降低亚硝酸盐使用量的目的。本研究将前期研制的 BF 和 FBF 两种调味基料应用于重组培根的加工中,通过测定各组培根的理化指标、贮藏过程中菌落总数和硫代巴比妥酸值 (thiobarbituric acid value, TBARs) 的变化以及货架期预测加速试验,研究 BF 和 FBF 对重组培根理化特性和贮藏品质的影响,分析 BF 和 FBF 是否具有抑制微生物生长及抗氧化的效果,是否可以部分替代亚硝酸盐的作用,为 FBF、BF 在重组培根生产加工中的应用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜猪背部肉(背最长肌)、猪肥膘:天津市康宁肉制品有限公司;食盐、复合磷酸盐、亚硝酸钠、抗坏血酸钠、烟酰胺、鸡蛋、白糖、葡萄糖、卡拉胶、大豆分离蛋白粉、白酒、味精、辣椒、花椒、胡椒、生姜(均为食品级):天津市红旗农贸批发市场;VHI-41 发酵剂(木糖葡萄糖球菌+戊糖片球菌+植物乳杆菌):意大利萨科公司;冷冻牛骨肉末、木糖、葡萄糖、半胱氨酸、甘氨酸、丙氨酸、维生素 B_1 (均为食品级):顶兴(天津)食品科技发展有限公司;高氯酸、丙酮、丹磺酰氯(分析纯):国药集团化学试剂有限公司;氯化钠、乙腈、无水硫酸钠、硼酸(分析纯):天津市风船化学试剂科技有限公司;二氯甲烷(色谱纯):天津科密欧化学试剂有限公司;8种生物胺标品(色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、精胺及亚精胺)、9种 *N*-亚硝胺标品 [*N*-亚硝基二甲胺 (*N*-nitrosodimethylamine, NDMA)、*N*-亚硝基二乙胺 (*N*-nitrosodiethylamine, NDEA)、*N*-亚硝基吡咯烷 (*N*-nitrosopyrrolidine, NPYR)、*N*-亚硝基二丁胺 (*N*-nitrosodibutylamide, NDBA)、*N*-亚硝基哌啶 (*N*-nitrosopiperidine, NPIP)、*N*-亚硝基二丙胺 (*N*-nitrosodipropylamine, NDPA)、*N*-亚硝基甲乙胺 (*N*-nitrosomethylethylamine, NMEA)、*N*-亚硝基吗啉 (*N*-nitrosomorpholine, NMOR)、*N*-亚硝基二苯胺 (*N*-nitrosodiphenylamine, NDPheA)];美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

7890A 气相色谱仪(配备氮磷检测器)、1260 高效液相色谱仪: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 旋转蒸发器: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:浙江嘉兴艾博实业有限公司;ST40R 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 SHIMADZU 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 重组培根的制备

共设置 4 组产品,每组 5 kg,按如下的设计方案进行加工。

1.3.1.1 工艺流程

腌制液配制→原料解冻→分割→绞肉→腌制→灌装压模→蒸煮→烟熏→脱模→冷却、速冻→切片→包装→成品。

1.3.1.2 操作要点

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

2)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,置于 0℃~4℃的冷库中腌制 24 h。

3)压模:在清洗干净的不锈钢网孔模具上铺一层聚乙烯薄膜,将腌制好的肉馅装入,固定好模盖的卡扣。

4)蒸煮、脱模:将压模完成的培根放入烟熏炉中在 85℃的条件下蒸煮 90 min,取出、冷却、脱模。

5)干燥、烟熏、冷却:将脱模后的培根再次放入烟熏炉中在 65℃条件下干燥 60 min,然后在 55℃的条件下烟熏 7 h,取出冷却。

6)速冻、切片:将加工好的培根在-35℃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。

1.3.2 试验设计方案

按照 1.3.1 重组培根的工艺流程加工培根,试验设计 4 组:阴性对照组(NC),腌制液配方为:猪肉 5 kg、食

盐 90 g、复合磷酸盐 15 g、抗坏血酸钠 2.5 g、烟酰胺 1 g、鸡蛋液 2 g、白糖 50 g、葡萄糖 20 g、卡拉胶 5 g、大豆分离蛋白 8 g、白酒 10 mL、味精 7.0 g、香料水 1 000 g(辣椒 2 g、花椒 2 g、胡椒 1 g、生姜 6 g);阳性对照组(PC)、添加 BF 的试验组(BF)和添加 FBF 的试验组(FBF)分别在 NC 腌制液配方的基础上,添加 0.12 g/kg NaNO₂(0.6 g/5 kg)、2%BF(100 g BF/5 kg)和 2%FBF(100 g FBF/5 kg)。

1.3.3 重组培根货架期加速试验预测货架期公式

将 4 组重组培根分别置于 27、32、37℃下贮藏,并在不同时间间隔下测定菌落总数变化,具体方法参照 GB 4789.2—2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》具体计算方法如下。

$$t_2 = t_1 Q_5^{\Delta T/5}$$

式中: t_1 为最高试验温度 37℃下每次测试的时间间隔,h; Q_5 为温度相差 5℃时货架寿命的比值; t_2 为所求较低试验温度下每次测试的最大时间间隔,h; ΔT 为两个温度的差值,℃。

综合实际试验条件,将 27℃下的样品每 12 h 测定 1 次菌落总数,将 32、37℃下的样品每 8 h 测定一次菌落总数。当菌落总数超过 10⁵ CFU/g,可视为达到货架期终点,停止测定,绘制贮藏期间菌落总数增长曲线^[11]。根据产品在特定温度下的货架期时间计算 Q_5 ,计算公式如下。

$$Q_5 = f_T \div f_{T+5}$$

式中: T 为温度,℃; f_T 为在温度 T 下的货架期,h; f_{T+5} 为在温度 $T+5$ 的货架期,h。

1.4 指标测定的方法

1.4.1 感官评定

挑选 10 名人员组成感官评价小组,对 4 组产品的进行感官评价。用加权平均法从重组培根的色泽、气味、滋味和质地 4 个方面进行综合评分,满分 5 分,色泽、气味、滋味和质地 4 个因素的级别权重依次为 0.4、0.3、0.2、0.1^[12]。感官评价标准见表 1。

表 1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

指标	得分			
	4分~5分	3.5分~3.9分	3分~3.4分	3分以下
色泽	切面光泽,肌肉部分呈玫瑰红,脂肪白色	切面光泽,肌肉呈灰红色,脂肪略黄	光泽不亮,肌肉暗红色,脂肪发黄	无光泽,肌肉暗灰色,脂肪发黄
气味	具有产品应有的熏烟香味,无酸败味	熏烟气味较香	熏烟香味较淡	无熏烟香味
滋味	具有产品应有的味道,咸味适口	较具有产品应有的味道	略有异味	异味浓
质地	紧密坚实,有弹性	较坚实,较有弹性	质地较疏松	质地疏松

1.4.2 菌落总数的测定

按照 GB/T 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的方法测定^[13]。

1.4.3 pH 值测定

按照 GB/T 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》的方法测定^[14]。

1.4.4 亚硝酸盐残留量测定

参考 GB/T 5009.33—2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》亚硝酸盐含量测定中的分光光度法进行测定^[15]。

1.4.5 TBARs 值的测定

参考 FAUSTMAN 等^[16]的方法。

1.4.6 N-亚硝胺测定

按照 GB/T 5009.26—2016《食品安全国家标准 食品中 N-亚硝胺类化合物的测定》中的气相色谱-质谱法进行测定^[17]。

1.4.7 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。样品处理:称取 5 g 待测样品加入 20 mL 高氯酸

(0.4 mol/L)进行匀浆,4 ℃、4 000 r/min 条件下离心 10 min,重复离心两次,合并上清液,用 0.4 mol/L 高氯酸定容至 50 mL。

标准溶液和样品的衍生化:分别称取 1 mL 上述标准混合溶液和样品溶液,依次加入 0.2 mL 的 2 mol/L NaOH、0.3 mol/L 饱和碳酸氢钠溶液进行缓冲,2 mL 10 mg/mL 的丹黄酰氯溶液,40 ℃水浴避光反应 30 min。反应结束后加入 100 μL 水终止反应,取出残留丹黄酰氯溶液。用乙腈定容至 5 mL,4 ℃、3 000 × g 条件下离心 5 min,上清液过膜,待上机检测;色谱条件:波长 254 nm 下检测,流速为 1 mL/min,进样量 20 μL,柱温 30 ℃。

1.5 数据处理

用 WPS Excel 2019 计算各指标的平均值和标准差,用 Sigmaplot 13.0 进行绘图,Statistix 8.1 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 感官评价结果

4 组重组培根感官评价结果见表 2。

表 2 感官评价结果

Table 2 The results of sensory evaluation

组别	因素(权重)				总分
	色泽(0.4)	气味(0.3)	滋味(0.2)	质地(0.1)	
NC	3.29±0.14 ^D	3.43±0.09 ^C	3.52±0.21 ^C	4.32±0.12 ^B	3.48
PC	4.35±0.14 ^A	4.06±0.13 ^B	4.52±0.09 ^A	4.49±0.09 ^A	4.31
BF	3.52±0.11 ^C	4.32±0.08 ^A	4.26±0.13 ^B	4.44±0.12 ^{AB}	4.00
FBF	3.85±0.11 ^B	4.43±0.11 ^A	4.38±0.09 ^{AB}	4.46±0.13 ^{AB}	4.19

注:同列字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。

从感官评价总分可以看出,PC 组得分最高,为 4.31;FBF 和 BF 组次之,分别为 4.19 和 4.00,NC 组得分最低,为 3.48。其中 FBF 组气味评分最高,为 4.43±0.11,这是因为 FBF 调味基料的加工中增加了发酵环节,其中含硫化物和醛类化合物,特别是 2-甲基-3-呋喃硫醇和双(2-甲基-3-呋喃基)二硫及壬醛^[9]含量增加,从而使 FBF 组培根香味浓郁。4 组产品的色泽得分依次为 PC>FBF>BF>NC,4 组之间差异显著($P < 0.05$)。由此说明调味基料可明显改善产品色泽,而发酵工艺的引入对培根色泽的改善有增强作用,这是因为乳酸菌可在不添加亚硝酸盐的条件下,将高铁肌红蛋白转化,生成具有红色色泽的肌红蛋白衍生物——氧合肌红蛋白或亚硝基肌红蛋白,替代亚硝酸盐起呈色作用^[19]。SEN 等^[20]报道精氨酸能够提高发酵乳杆菌体内一氧化氮合酶的活性,使精氨酸转化为一氧化氮,以促进肉制品中肌红蛋白转化为亚硝基色素的反应,最终提高肉制品的 a^* 。感官评价的结果表明,调味基料

BF 和 FBF 应用于重组培根的加工中,可以起到类似亚硝酸盐的作用,改善产品风味,FBF 的改善效果更佳。

2.2 对理化指标的影响

各组理化指标的变化见表 3。

表 3 重组培根理化指标结果

Table 3 The results of physical and chemical indexes of recombinant bacon

组别	pH 值	色差值(a^*)	亚硝酸盐残留量/(mg/kg)
NC	5.70±0.05 ^B	4.38±0.42 ^D	0.45±0.07 ^B
PC	5.89±0.14 ^A	8.03±1.24 ^A	14.59±0.08 ^A
BF	5.76±0.03 ^{AB}	4.77±0.48 ^C	0.29±0.04 ^C
FBF	5.74±0.006 ^{AB}	5.15±0.26 ^B	0.27±0.03 ^C

注:同列字母不同,表示差异显著($P < 0.05$)。

由表 3 可以看出,PC 组的 pH 值最高,NC 组最低,BF 组、FBF 组与对照组差异不显著($P > 0.05$),说明 BF 或 FBF 的添加对产品的 pH 值影响不大。分析 4 组产品

a^* 值的差异, a^* 值从高到低依次为 PC>FBF>BF>NC, 与感官评价结果一致。PC 组含有 (14.59 ± 0.08) mg/kg 的亚硝酸盐残留量, 而其它 3 组的亚硝酸盐残留量均处于极低的水平, 说明 BF、FBF 的添加可以部分取代亚硝酸盐, 改善重组培根色泽, 显著降低产品亚硝酸盐残留量, 其中, FBF 对色泽的改善作用效果更好 ($P<0.05$)。

2.3 对产品中生物胺含量的影响

生物胺是一类含氮的脂肪族、芳香族或杂环类有机化合物, 肉制品中生物胺的形成主要是氨基酸在氨基酸脱羧酶的作用^[21-22]。肉制品中的产胺菌属主要由

乳酸菌、肠杆菌、假单胞菌组成, 且肠杆菌具有极高的脱羧酶活力^[9]。乳酸杆菌中的植物乳杆菌、弯曲乳杆菌和清酒乳杆菌的部分菌株具有氨基酸脱羧酶活性。国际上对食品中的生物胺尚无统一限量标准, 现有的各项法规只限定鱼类及其制品中的组胺含量。美国食品药品监督管理局规定金枪鱼、鬼头刀及相关鱼类组胺含量 <50 mg/kg。酪胺和苯乙胺含量建议上限分别为 100 mg/kg ~ 800 mg/kg 和 30 mg/kg^[23]。

培根中生物胺的含量变化见表 4。

由表 4 可以看出, 4 组中均未检测到毒性最强的

表 4 各组培根中生物胺的含量变化

Table 4 Changes in the content of biogenic amine in each group

组别	mg/kg						
	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	酪胺	精胺	总量
NC	23.75±24.60 ^A	81.84±73.80 ^A	6.82±3.94 ^A	-	4.91±6.95 ^A	287.23±88.25 ^B	397.62±124.67 ^B
PC	30.21±6.91 ^A	27.74±12.38 ^A	-	-	15.39±8.09 ^A	348.98±81.16 ^B	422.32±82.63 ^B
FBF	31.08±9.12 ^A	-	7.42±12.38 ^A	52.37±45.88 ^A	-	483.09±62.89 ^A	573.96±212.9 ^A
BF	27.52±20.74 ^A	40.10±16.49 ^A	10.26±12.38 ^A	25.98±26.3 ^A	36.72±16.35 ^A	280.16±65.87 ^B	377.68±80.51 ^B

注: 同列字母不同, 表示差异显著 ($P<0.05$); - 表示未检测到。

组胺, 亚精胺也未检测到。毒性较强的酪胺、苯乙胺在 FBF 组中未检测出, 而具有一定的生理作用的精氨酸产物精胺含量在 FBF 组最高, 与其它 3 个处理组差异显著 ($P<0.05$), 这可能是因为 FBF 的加工过程中增加了 VHI-41 发酵剂 (木糖葡萄球菌+戊糖片球菌+植物乳杆菌) 进行发酵, 由于部分植物乳杆菌具有氨基酸脱羧酶活性导致精氨酸含量升高^[2]。整体上看, FBF 的添加对除精胺和总量外的生物胺影响与其它处理组差异不显著 ($P>0.05$), 组胺、酪胺、苯乙胺都没有形成,

说明添加 FBF 加工的重组培根是安全的。

2.4 各组培根中 N-亚硝胺含量变化

根据 GB 2762—2017《食品安全标准 食品中污染物限量》中对 NDMA 限量的规定, 肉及肉制品 (肉制罐头除外) 中 NDMA 含量不得超过 3.0 μ g/kg。N-亚硝胺中毒性较大的分别是 NDMA、NDEA 和 NPYR^[24]。在加工、贮藏过程中, 肉中蛋白质的降解产物^[25]可为 N-亚硝胺的生成提供前体物。各组重组培根中 N-亚硝胺的含量变化见表 5。

表 5 各组重组培根中 N-亚硝胺的含量

Table 5 Changes in the content of N-nitrosamine in each group

组别	NDMA	NMEA	NDEA	NDPA	NDBA	NPIP	NPYR	NMOR	总量
NC	2.39±0.10 ^B	0.50±0.03 ^{AB}	1.63±0.07 ^{AB}	3.39±0.09 ^C	1.01±0.02 ^B	0.32±0.02 ^C	1.08±0.07 ^{AB}	0.17±0.01 ^B	10.48±0.07 ^C
PC	2.74±0.97 ^A	0.48±0.02 ^{AB}	1.88±0.17 ^A	3.38±0.29 ^C	1.99±0.16 ^A	0.38±0.01 ^B	1.24±0.13 ^A	1.27±0.14 ^A	13.37±1.22 ^B
BF	2.65±0.07 ^B	0.53±0.03 ^A	1.38±0.07 ^B	10.91±0.49 ^B	0.78±0.1 ^{BC}	0.47±0.03 ^A	1.09±0.08 ^A	1.27±0.03 ^A	17.25±0.38 ^A
FBF	2.11±0.08 ^B	0.44±0.03 ^B	1.44±0.05 ^B	13.40±0.27 ^A	0.68±0.07 ^C	0.37±0.01 ^B	0.98±0.04 ^B	1.24±0.05 ^A	20.64±0.25 ^A

注: 同列字母不同, 表示差异显著 ($P<0.05$)。

由表 5 可以看出, PC 组中的 NDMA 含量为 (2.74 ± 0.97) μ g/kg, 显著高于 NC 组、BF 组和 FBF 组 ($P<0.05$), 这是因为 PC 组中添加了 NaNO₂ 的缘故, 但 4 组重组培根中的 NDMA 含量均未超过 3.0 μ g/kg, 符合国标限量要求。各组重组培根中除了 NDPA 外, 其余 8 种 N-亚硝胺均有检测到, BF 组和 FBF 组的 NDPA 含量分别达到 (10.91 ± 0.49) 、 (13.40 ± 0.27) μ g/kg, 这是导致 BF 组和 FBF 组 N-亚硝胺总量显著高于 NC 组和 PC 组的

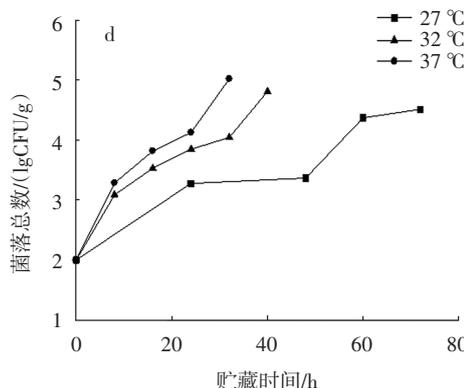
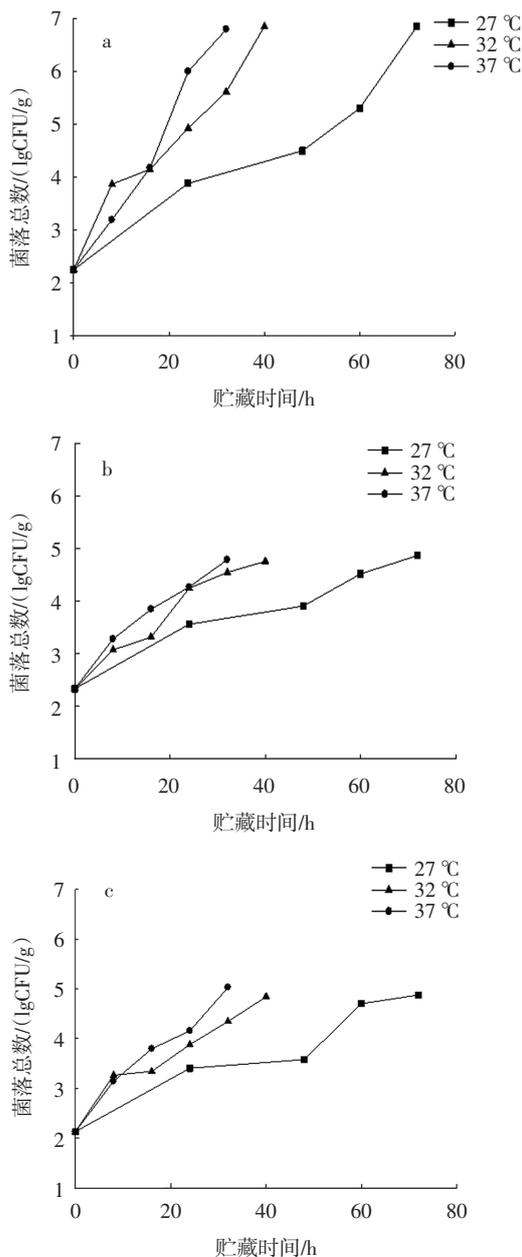
主要原因。NDPA 形成可能是因为 BF、FBF 的制备是牛骨肉经过高压浸提、酶解、发酵或不发酵、美拉德反应等工序, 底物中的蛋白质分解形成小分子肽、氨基酸或胺类物质, 成为 NDPA 形成的前体物。本实验室对市售 10 种西式培根品牌产品营养及安全品质分析中, 10 种培根品牌产品的 NDMA 含量在 1.98 μ g/kg~4.85 μ g/kg, N-亚硝胺总量在 20.89 μ g/kg~33.60 μ g/kg。相比较而言, 本试验的 BF 组和 FBF 组的 NDMA 含量

符合国标限量要求, BF组和 FBF组的 *N*-亚硝胺分别为 $(17.25 \pm 0.38) \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $(20.64 \pm 0.25) \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

2.5 加速试验预测货架期

利用 ASLT 构建的 Q_5 预测公式, 预测得到 PC、FBF、BF 组在 4 °C 下货架期均为 518.48 h, 在 25 °C 下货架期均为 88.10 h; NC 组在 4 °C 下货架期为 239.47 h, 在 25 °C 下货架期为 55.39 h。试验说明, PC 组、BF 组和 FBF 组在 4 °C 下的货架期比 NC 组延长了 279.01 h, 25 °C 下的货架期比 NC 组延长了 32.71 h。由此说明, BF、FBF 和亚硝酸盐的抑菌效果类似, 可以抑制产品中微生物生长, 延长成品的货架期。

图 1 是各组重组培根在 27、32、37 °C 下的菌落总数变化情况。



a、b、c、d 分别为 NC 组、PC 组、FBF 组、BF 组的重组培根在贮藏期间的菌落总数变化。

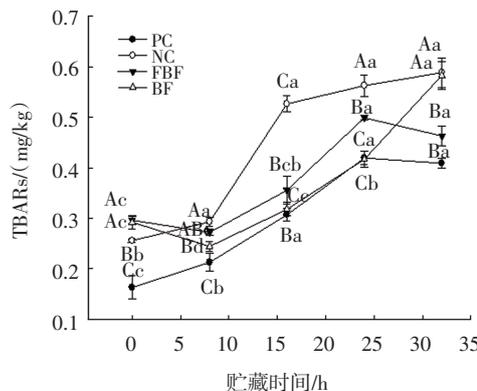
图 1 4 组重组培根在 27、32、37 °C 贮藏期间菌落总数变化

Fig.1 Changes of aerobic bacterial count of four groups during storage at 27, 32 °C and 37 °C

由图 1 可得, 随着温度升高, 4 组重组培根的货架期缩短; FBF 组、BF 组与 PC 组结果接近, 均比 NC 组的货架期延长。这是因为调味料的制作过程中酶解、发酵、美拉德反应都会产生抑菌物质。发酵过程中使用的 VHI-41 发酵剂中含有乳杆菌, 其生长过程中可以影响有害微生物的生长繁殖。美拉德反应可以改善食品的色泽和风味, 产生了大量的抗氧化和抑菌物质^[26]。美拉德反应后期会形成一种棕黑色物质——类黑精^[27], 这类物质有一定的抗氧化、抗诱变功能, 对某些微生物也具有较好的抑菌活性^[28]。

2.6 4 组重组培根在 37 °C 加速氧化试验中 TBARs 值变化

为了解 BF、FBF 对重组培根的抗氧化效果, 试验对 4 组重组培根在 37 °C 下贮藏期间 TBARs 值的变化进行监控, 如图 2 所示。



大写字母不同表示重组培根不同组间差异显著 ($P < 0.05$); 小写字母不同表示同组间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 4 组重组培根在 37 °C 加速试验中 TBARs 值的变化

Fig.2 Changes of TBARs value of four groups in the acceleration experiment at 37 °C

由图2可以看出,4组重组培根的TBARs值在前8h变化缓慢,8h后迅速增加。8h~24h贮藏期间,NC组的TBARs值显著高于其它3组($P<0.05$)。贮藏32h时TBARs值从低到高的顺序依次为:PC(0.409 mg/kg) $<$ FBF(0.463 mg/kg) $<$ BF(0.583 mg/kg) \approx NC(0.589 mg/kg)。PC组TBARs值始终较低,这是因为PC组中添加了亚硝酸盐,亚硝酸盐具有强的抗氧化性。亚硝酸钠和碳酸双键发生复杂反应,从而影响了肉质;与血红素蛋白中的铁发生反应,生成络合物,从而间接阻止了血红素蛋白与过氧化氢的结合,发生契合反应;与肉中的某些物质产生反应,生成类似抗氧化活性的物质,如亚硝基和亚硝酰基化合物,从而发挥作用^[29]。试验说明,FBF可以提高重组培根的抗氧化性,这是因为在FBF的制备过程中,牛骨肉未经过高压浸提可以提高蛋白浸出率,再经过酶解、发酵,可以得到抗氧化肽,加之美拉德反应产物也具有一定的抗氧化性^[30],可通过自身发生氧化还原反应来抑制其它物质的氧化;然而,FBF的制备过程中也会产生游离脂肪酸导致脂肪的氧化,所以,FBF组可以提高产品的抗氧化能力,但效果不及添加亚硝酸盐的PC组。

3 结论

本试验研究了两种调味料在重组培根中的应用效果。感官评价结果表明FBF可以改善培根风味;4组培根的pH值没有显著差异($P>0.05$), a^* 值、亚硝酸盐残留量结果表明FBF、BF具有发色效果,能降低亚硝酸盐在重组培根中的使用量;FBF、BF组的生物胺总含量、*N*-亚硝胺总量较高,但NDMA含量小于 $3\mu\text{g}/\text{kg}$,符合国标规定的限量要求;加速试验预测货架期的试验结果表明,PC组、BF组和FBF组在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 下的货架期比NC组延长279.01h, $25\text{ }^\circ\text{C}$ 下的货架期比NC组延长32.71h。在 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 加速试验过程中4组产品的TBARs由低到高顺序依次为PC $<$ FBF $<$ BF \approx NC。综上所述,FBF和BF在重组培根中应用可以替代部分亚硝酸盐的使用,但在控制*N*-亚硝胺、生物胺总量的形成和抑制脂肪氧化方面仍需更进一步深入研究。

参考文献:

[1] ALEXANDER D D, WEED D L, MILLER P E, et al. Red Meat and Colorectal Cancer: A Quantitative Update on the State of the Epidemiologic Science[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2015, 34(5): 1-23.

[2] BOZKURT Hüseyin. Utilization of natural antioxidants: Green tea extract and *Thymra spicata* oil in Turkish dry-fermented sausage [J]. Meat Science, 2006, 3(3): 422-450.

[3] CHOW C K, HONG C B. Dietary vitamin E and selenium and toxicity of nitrite and nitrate[J]. Toxicology, 2002, 180(2): 195-207.

[4] WANG Yongli, LI Feng, ZHUANG Hong, et al. Effects of plant polyphenols and α -tocopherol on lipid oxidation, residual nitrites, biogenic amines, and *N*-nitrosamines formation during ripening and storage of dry-cured bacon [J]. Journal of the Food Science and Technology, 2015, 60: 199-206.

[5] 樊晓盼. 天然牛肉调味基料的赋香工艺及应用研究[D]. 天津: 天津农学院, 2018.

[6] 吴晨燕. 不同菌种制备的发酵牛肉调味基料抑菌性和风味研究[D]. 天津: 天津农学院, 2019.

[7] 樊晓盼, 马丽珍, 张伯男, 等. 微生物发酵对牛肉调味基料的增香作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 64-69.

[8] 吴晨燕, 陈月娇, 樊晓盼, 等. 发酵牛肉调味基料对牛肉肠贮藏品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 44(10): 130-137.

[9] 樊晓盼, 马丽珍, 刘一鸣, 等. 发酵牛肉调味基料在牛肉饼中的应用效果[J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 19-23.

[10] 樊晓盼, 刘静静, 李春萌, 等. 发酵牛肉调味基料替代亚硝酸盐在红肠中的应用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 24-33.

[11] 郭梦. 鲟鱼肉品质特性探究及肉肠产品开发[D]. 北京: 中国农业大学, 2019.

[12] 艾萍英, 何彬, 李玉珍. 低温发酵培根工艺技术研究[J]. 中国食物与营养, 2007(7): 34.

[13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB/T 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[15] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 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.

[16] 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.

[17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 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.

[18] 杜智慧. 不同发酵剂对发酵香肠品质影响的研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2014.

[19] 樊晓盼, 郭耀华, 岳兰昕, 等. 蔬菜对发酵香肠中氨基酸、脂肪酸、生物胺和亚硝胺含量的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 108-115.

[20] SEN N P, SEAMAN S W, BADDOO P A, et al. Formation of *N*-nitroso-*N*-methylurea in various samples of smoked/dried fish, fish sauce, seafood, and ethnic fermented/pickled vegetables following incubation with nitrite under acidic conditions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(4): 2096-2103.

[21] 何健, 李艳霞. 发酵肉制品中生物胺研究进展[J]. 肉类工业, 2009(2): 47-50.

[22] 杨春婷, 赵晓娟, 白卫东. 肉类中的生物胺形成及其在肉类新鲜 (下转第176页)