

微生物亚硝化抑制剂对新型培根品质的影响

李佳怡¹, 吴卓倩¹, 曲畅¹, 孙旭阳¹, 索朗次仁¹, 刘璐璐¹, 郑引瑜¹, 杨华^{1,2*}

(1. 天津农学院 动物科学与动物医学学院, 天津 300384; 2. 和田职业技术学院, 新疆 和田 848000)

摘要: 为明确由商业复合菌 PRO-MIX5(木糖葡萄球菌+清酒乳杆菌+类植物乳杆菌)的菌体碎片制备的微生物亚硝化抑制剂(microbial nitrosation inhibitor, MNI)与抗氧化剂对培根品质及安全性的影响, 该研究选择将 MNI 和 3 种抗氧化剂(茶多酚、迷迭香和维生素 E)以不同比例添加在培根中, 经预处理、腌制、压模等加工工艺制得新型培根, 测定其 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-亚硝胺含量等指标, 结合感官评定, 探究 MNI 与抗氧化剂对新型培根品质及安全性的影响。综合各项理化指标以及感官评价结果, 提升新型培根品质及安全性的效果为 MNI>茶多酚>迷迭香>维生素 E。与对照组相比, MNI 组 TBARS 值降低 37.5%, 亚硝酸盐残留量降低 8.1%, N-二甲基亚硝胺(N-nitrosodimethylamine, NDMA)降低 41.8%。

关键词: 微生物亚硝化抑制剂; 抗氧化剂; 新型培根; 亚硝酸盐; 生物胺; N-亚硝胺

Influence of Microbial Nitrosation Inhibitor on the Quality of New Bacon

LI Jia-yi¹, WU Zhuo-qian¹, QU Chang¹, SUN Xu-yang¹, Suolangciren¹,

LIU Lu-lu¹, ZHENG Yin-yu¹, YANG Hua^{1,2*}

(1. College of Animal Science Specialty, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Hetian Polytechnic, Hetian 848000, Xinjiang, China)

Abstract: This study aims to determine the effects of microbial nitrosation inhibitor (MNI) and antioxidants prepared from the bacterial fragments of commercial compound bacteria PRO-MIX5 (*Staphylococcus xylosus* + *Lactobacillus sake* + *Lactobacillus plantarum*) on the quality and safety of bacons. In this study, MNI and three antioxidants (tea polyphenols, rosemary and vitamin E) were added to bacon in different proportions. A new type of bacon was prepared by pretreatment, pickling, and compression molding. The content of pH, nitrite residue, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value, biogenic amine, N-nitrosamine, and other indexes were determined. Combined with sensory evaluation, this study explored the effects of MNI and antioxidants on the quality and safety of the new bacon. Based on the results of physical and chemical indexes and sensory evaluation, the effects of improving the quality and safety of the new bacon were MNI>tea polyphenols>rosemary>vitamin E. Compared with the blank control (CK) group, TBARS value, nitrite residue, and N-nitrosodimethylamine (NDMA) in the MNI group decreased by 37.5%, 8.1%, and 41.8%, respectively.

Key words: microbial nitrosation inhibitor; antioxidants; new bacon; nitrite; biogenic amine; N-nitrosamine

引文格式:

李佳怡, 吴卓倩, 曲畅, 等. 微生物亚硝化抑制剂对新型培根品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5):42-47.

LI Jiayi, WU Zhuoqian, QU Chang, et al. Influence of Microbial Nitrosation Inhibitor on the Quality of New Bacon[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5):42-47.

培根作为欧洲三大主要西式肉制品之一, 备受消费者喜爱, 但其生产过程中需要添加亚硝酸盐达到抑

菌、发色、抗氧化以及提高产品风味的效果, 然而亚硝酸盐又会与肉中蛋白质降解的二级胺类物质发生反

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2022D01A11); 天津市高等学校大学生创新创业训练计划项目(202110061123)

作者简介: 李佳怡(1999—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 动物性食品生产与安全。

* 通信作者: 杨华(1979—), 女(汉), 教授, 博士, 研究方向: 畜禽健康养殖。

应而形成危害人体健康的N-亚硝胺^[1]。目前,国内外控制N-亚硝胺在肉制品中的生成主要从原料肉的选择^[2]、加工方式^[3]以及外源抑制物^[4]等方面展开,实际生产中通常添加亚硝化抑制剂(抗坏血酸钠,又称维生素C钠、V_C钠盐)控制N-亚硝胺,其价格适宜、制作成本低,但V_C钠盐溶于水,仍可以在腌肉产品中检测到亚硝酸盐、生物胺及N-亚硝胺,说明V_C钠盐并不是最理想的亚硝化抑制剂。茶多酚作为人工半天然材料是合成有机食品原料的最重要天然抗氧化剂,常用于生物合成有机油脂、肉制品香精等食品中,在加工肉制品中添加0.1%茶多酚可以减缓其氧化速度,从而达到延长产品保质期和保护色值的双重效果。迷迭香作为一种安全、高效、耐热且有极强抗氧化能力的天然抗氧化剂,对纯油脂食物的抗氧化作用强于其他非纯油脂食物,它有延长保质期、提高产品风味的效果。维生素E属脂溶性维生素,是迄今为止发现的唯一无毒的油脂类食品的天然抗氧化剂,对于提高肉制品安全性效果最佳。研究发现,多种抗氧化剂复配后抑制N-亚硝胺生产的效果优于单独添加抗氧化剂的效果。因此,开发有效的亚硝化抑制剂,探究不同种类的抗氧化剂对肉制品中N-亚硝胺的影响具有重要的现实意义。

在商业复合菌PRO-MIX5(木糖葡萄糖球菌+清酒乳杆菌+类植物乳杆菌)的菌体碎片所制得的微生物亚硝化抑制剂(microbial nitrification inhibitor, MNI)应用到红肠^[5]和培根^[6]的研究中发现:0.05% MNI可使红肠中N-二甲基亚硝胺(N-nitrosodimethylamine, NDMA)含量由2.61 μg/kg降低至1.23 μg/kg,9种N-亚硝胺总量由32.16 μg/kg降低至18.96 μg/kg,对亚硝酸盐降解率达18.90%;添加0.05% MNI可以很好地抑制西式培根产品中NDMA(抑制率为59.46%)和N-亚硝基哌啶(N-nitrosopiperidine, NPIP)(抑制率为68.08%)的产生。

综上所述,MNI及天然抗氧化剂均可在一定程度上降低N-亚硝胺的产生,本研究以实际生产中使用的V_C钠盐作为对照组,将抑制N-亚硝胺效果较好的茶多酚、迷迭香、维生素E以及自主研发的微生物亚硝化抑制剂进行比较,探究这4种物质在培根中的降硝效果,以期寻找一种较为合理且有效的降硝手段,并为后续寻找与MNI复配效果更佳的天然抗氧化剂提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

迷迭香、维生素E(vitamin E, V_E)、去皮五花肉、精碎肉、味精、白酒等辅料:市售;大豆分离蛋白粉、茶多酚、烟酰胺、抗坏血酸钠(食品级):苏州福莱生物科技

有限公司;复合磷酸盐(三聚磷酸钠24%,焦磷酸钠21%,六偏磷酸钠14%):徐州添安食品添加剂有限公司;卡拉胶粉:河南雪川食品配料有限公司;8种生物胺(色胺、腐胺、苯乙胺、酪胺、精胺、组胺、尸胺及亚精胺)标准品(纯度≥99%)、9种N-亚硝胺标准品[NDMA、N-二乙基亚硝胺(N-nitrosodiethylamine, NDEA)、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-亚硝基吡咯烷(N-nitrosopyrrolidine, NPYR)、N-亚硝基吗啉(N-nitrosomorpholine, NMOR)、N-亚硝基二苯胺(N-nitrosodiphenylamine, NDpHeA)]:美国Sigma公司;9种N-亚硝胺混合标准品(纯度≥99%)、亚硝酸钠标准品(纯度≥99%):美国Supelco公司;二氯甲烷(色谱纯)、氯化钠、无水硫酸钠(均为分析纯):广东翁江化学试剂有限公司;丙酮、高氯酸、丹磺酰氯(纯度≥98%):国药集团化学试剂有限公司;MRS培养基:西亚化学科技(山东)有限公司;商业复合菌PRO-MIX5(木糖葡萄糖球菌+清酒乳杆菌+类植物乳杆菌):意大利萨科公司;0.22 μm有机滤膜:海宁市永恒膜过滤设备有限公司。

1.2 仪器与设备

LC2-0A高效液相色谱仪:日本岛津公司;JC-7890气相色谱分析仪:聚环创保有限公司;20/20R台式高速离心机:美国Microfuge公司;RE-2000B旋转蒸发仪:郑州科达机械仪器有限公司;690004 pH酸度计:锐能工具有限公司;7230G可见分光光度计:济宁市裕怎工业科技有限公司;MJX-80霉菌培养箱:浙江苏珀仪器设备有限公司;S20-LA599碎肉机:九阳厨房电器有限公司;BVB-30F商用真空搅拌机:广州柯喜卡厨房设备有限公司;XZ-YXL-50A全自动烟熏炉:旭众食品机械有限公司;BY-70不锈钢压肉模具:百耐尔厨具有限公司;BX-02速冻箱:江苏江凯设备有限公司;AH-20SC冷冻式干燥机:广州艾玛压缩机有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 新型培根加工的操作要点

1)原料准备:质量比为1:1的去皮五花肉与精碎肉。

2)盐水注射:注射5 kg盐水(注射率20%),注射2遍,剩余盐水可在真空滚揉开始时加入(盐水添加量≤4%)。

3)真空滚揉:正转20 min,反转20 min,中间停20 min,滚揉总时间为2 h,全过程转速8 r/min,温度6℃~8℃,真空度达到90%以上。

4)压膜:在模具中放置聚乙烯(polyethylene, PE)保护膜将修好的五花肉平铺在底部,保持肉干净、伸

展,并将精碎肉放置上层。完成后,真空处理约 30 min。

5)预煮:多功能烟熏炉于 $(78\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 蒸煮 90 min,喷淋自来水冷却 20 min。

6)冷却、脱膜、整形:中心温度冷却至 20°C 以下,轻拿轻放脱膜,修剪不规则边角。

7)烟熏、冷却:置于多功能烟熏炉内, 65°C 干燥 1 h,热熏法 $(55\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 至产品表面呈金黄色(约 6 h)。

8)冷冻、切片、包装:冷冻至中心温度为 $-4^{\circ}\text{C}\sim -2^{\circ}\text{C}$ 后进行切片。切成质量匀称的片(20 g~24 g),真空包装。

9)装箱、入库:标注产品名称、时间等信息,装箱入库。

1.3.2 MNI 的制备方法

MNI 的制备参照李秀明等^[9]的方法,在其方法基础上,将所得沉淀使用冷冻干燥机进行冷冻干燥处理,于 -80°C 保存。

1.3.3 试验设计

试验分为 5 组,分别为对照(control check,CK)组、微生物亚硝化抑制剂(microbial nitration inhibit,MNI)组、茶多酚(tea polyphenols,TP)组、迷迭香(rosemary,RM)组、维生素 E(vitamin E, V_E)组。腌制液添加量为 20 mL/100 g 肉,其中 CK 组腌制时使用的是基础腌制液,其余组别分别添加 0.05% MNI、0.25% TP、0.06% RM、0.06% V_E 。分别按照 1.3.1 所描述的方法加工出 5 组培根产品,测定 5 组培根的 pH 值、感官评分、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-亚硝胺含量等指标,以评价 4 种亚硝化抑制剂对培根品质的影响。

1.3.4 指标测定

1.3.4.1 感官评定

选择 10 位专业感官分析评定检测人员,对添加 MNI 和抗氧化剂的新型培根成品就气味、滋味、组织状态和整体可接受度方面进行评分,评分标准参照表 1。

表 1 新型培根的感官评定标准

Table 1 The new bacon sensory evaluation criteria

项目	评价标准	感官评分
气味	无异味、香气浓郁	7~10
	略有异味、香气一般	4~6
	有异味	1~3
滋味	无酸败味、味道鲜美、肉质细嫩、口味适中	7~10
	有微酸败味、味道一般、口感一般	4~6
	酸败味强烈、味道较差、口感不好	1~3
组织状态	无汁液渗出、紧实且平整光滑、表面湿润	7~10
	有少部分汁液渗出、气孔不明显、紧实性稍差	4~6
	气孔较多、表面松散粗糙、紧实性差	1~3
整体可接受度	外观、咀嚼度等接受度较高	7~10
	外观、咀嚼度等接受度一般	4~6
	外观、咀嚼度等接受度低	1~3

1.3.4.2 pH 值的测定

根据 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》中的方法进行测定。

1.3.4.3 TBARS 值的测定

参考 Faustman 等^[7]的方法进行测定。

1.3.4.4 亚硝酸盐含量的测定

根据 GB 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》中的方法进行测定。

1.3.4.5 生物胺含量的测定

根据 GB 5009.208—2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》中的方法进行测定。

1.3.4.6 N-亚硝胺含量测定

根据 GB 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》中的方法进行测定。

1.3.5 数据处理

试验均重复 3 次,使用 SPSS 软件自动分析计算平均值及标准差,采用 Statistix 8.1 软件中的 Tukey HSD 程序对数据平均值进行显著性分析($P<0.05$),采用 SigmaPlot 10.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 MNI 与抗氧化剂对培根感官品质的影响

表 2 为 MNI 与抗氧化剂对培根感官评分的影响结果。

表 2 MNI 与抗氧化剂对培根感官品质的影响

Table 2 Effects of MNI and antioxidants on the sensory quality of bacon

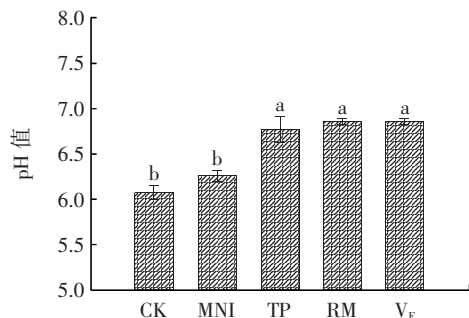
组别	气味	滋味	组织状态	整体可接受度
CK	7.51 $\pm$ 0.18 ^a	7.32 $\pm$ 0.29 ^b	8.51 $\pm$ 0.34 ^a	7.51 $\pm$ 0.12 ^c
MNI	8.18 $\pm$ 0.19 ^b	8.56 $\pm$ 0.21 ^a	8.42 $\pm$ 0.23 ^a	8.42 $\pm$ 0.22 ^{ab}
TP	8.42 $\pm$ 0.15 ^a	8.71 $\pm$ 0.45 ^a	8.40 $\pm$ 0.27 ^a	8.81 $\pm$ 0.44 ^a
RM	8.62 $\pm$ 0.12 ^a	8.37 $\pm$ 0.12 ^a	8.54 $\pm$ 0.27 ^a	8.33 $\pm$ 0.12 ^b
V_E	8.42 $\pm$ 0.12 ^a	8.41 $\pm$ 0.12 ^a	8.30 $\pm$ 0.23 ^a	8.40 $\pm$ 0.12 ^{ab}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 2 可知,5 组的组织状态差异不显著($P>0.05$),由于 MNI 的添加使肉制品略酸,导致 MNI 的气味显著低于 TP、RM、 V_E 组($P<0.05$)。与 CK 组相比,MNI 组的气味提高了 8.9%,滋味提高了 16.9%,整体可接受度提高了 12.1%;TP 组气味提高了 12.1%,滋味提高了 19.0%,整体可接受度提高了 17.3%;RM 组气味提高了 14.8%,滋味提高了 14.3%,整体可接受度提高了 10.9%; V_E 组气味提高 12.1%,滋味提高了 14.9%,整体可接受度 11.9%。由此可知,MNI 与抗氧化剂均可提高培根的感官品质,其中 TP 组效果最佳。总体的感官评价结果为 TP 组>RM 组> V_E 组>MNI 组>CK 组。

2.2 MNI与抗氧化剂对培根pH值的影响

MNI与抗氧化剂对培根pH值的影响如图1所示。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 MNI与抗氧化剂对培根pH值的影响

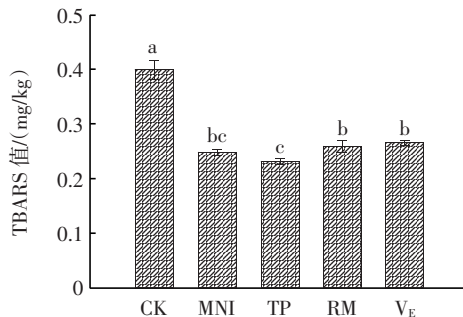
Fig.1 Effects of MNI and natural antioxidants on pH bacon

由图1可知,与CK组相比,MNI对培根pH值的影响不显著($P>0.05$),由于MNI本身为弱酸性(pH6),所以MNI对于pH值的直接影响系数与CK组相比,差异不显著($P>0.05$)。但TP组、RM组、V_E组中培根的pH值显著升高($P<0.05$),且TP、RM、V_E三组之间差异不明显。这可能是因为茶多酚含有60%~80%儿茶素类化合物,并且儿茶素类化合物具有酚羟基,会导致培根的pH值升高^[8]。研究发现,迷迭香抗氧化的关键在于其能有效通过阻断由类脂自身的自动协调氧化反应产生出的一系列氧化连锁反应,清除氧自由基,猝灭单重态氧,整合金属离子的氧化效应^[9],因此RM组可能在清除自由基的同时,减少了酸类物质,从而导致pH值上升。

2.3 MNI与抗氧化剂对培根TBARS值的影响

肉制品具有较好的口感及较高的营养价值,由于肉制品中含有丰富的蛋白质和脂肪,可以补充人体所需、减少脂肪氧化,从而提高风味。过度氧化会使肉制品产生酸败等情况,严重还会涉及健康问题^[10]。Sun等^[11]经研究还发现猪肉糜块中NDEA的异常形成主要与蛋白、脂质共同氧化过程有关,脂质共同氧化反应能间接促进NDEA的异常形成且主要与脂肪蛋白共氧化呈正相关。TBARS值是通过测定脂肪在氧化分解时产生的次级反应产物丙二醛的含量,来客观衡量脂肪被氧化破坏程度的肉品质检测指标,可以有效地检测出肉中氧化程度。MNI与抗氧化剂对培根TBARS值的影响如图2所示。

由图2可以看出,与CK组相比,TP组、RM组、V_E组、MNI组的TBARS值分别降低了40.0%、35.1%、32.5%、37.5%,并显著低于CK组($P<0.05$)。表明添加抗氧化剂或MNI均可显著降低新型培根中的TBARS值,有效减少培根中脂肪的氧化。另外,TP组显著低于CK组、RM组、V_E组($P<0.05$),并与MNI组差异不显著



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

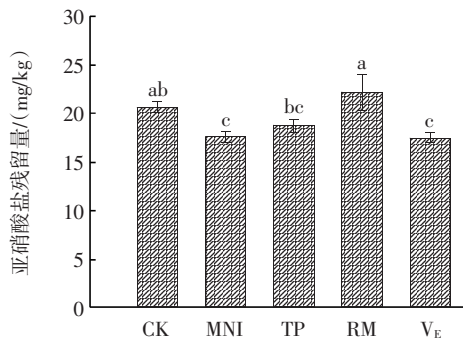
图2 MNI与抗氧化剂对培根TBARS值的影响

Fig.2 Effects of MNI and natural antioxidants on the TBARS value of recombinant bacon

($P>0.05$)。有研究显示,茶多酚中由于含有比较丰富的二酚类化合物,可以通过与电子螯链的选择性合作而直接对抗氧化过渡性金属离子,尤其是茶多酚对铁离子和铜离子的结合反应最为敏感,使氧化自由基分子间不能结合,抑制氧化自由基结合反应,从而达到有效抑制人体脂质过度氧化和形成的双重目的^[12]。此外,茶多酚还可以通过抑制人体内多种主要致病原细菌病毒等的快速生长或增殖等,来有效降低人细胞脂肪质素氧化降解过程中的氧化反应速率。因此,茶多酚TBARS值较低。闫利娟^[13]研究发现,MNI可有效抑制腐败菌的生长繁殖,并在一定程度上延迟培根脂肪氧化。所以在后续试验中可以选择将茶多酚与MNI进行复配研究。

2.4 MNI与抗氧化剂对培根亚硝酸盐残留量的影响

亚硝酸盐作为食品防腐剂和食品抗氧化剂等添加在某些腌、腊肉类制品生产中,但亚硝酸盐并没有完全被消耗,腌肉制品中仍有大量的残留。GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中规定腌肉酱制品亚硝酸盐残留量不可以超过30 mg/kg,人体摄入过量硝酸盐往往会导致中毒死亡^[14]。MNI与抗氧化剂对培根亚硝酸盐残留量的影响如图3所示。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图3 MNI与抗氧化剂对培根亚硝酸盐残留量的影响

Fig.3 Effects of MNI and natural antioxidants on nitrite of bacon

由图3可知,与CK组相比, V_E 组和MNI组的亚硝酸盐残留量均显著降低($P<0.05$),其中 V_E 组降低了7.8%,MNI组降低了8.1%,且两组差异小。维生素E属于乙酰氨基酚类化合物,由于其能够同时使亚硝酸及亚硝酸盐发生氧化分解,使活性氢基团直接分解,释放部分活性碳氢,减少自由基的产生,从而完全地阻断了氧化自由基所生成的氧化还原链式碳反应。因此,维生素E可以有效地阻止N-亚硝胺生成^[8-9,15]。与CK组相比,迷迭香对消除亚硝酸盐残留量并没有效果,可能是作为抗氧化剂的迷迭香浓度未能达到清除亚硝酸盐的程度,从而使该试验结果受到影响。李秀明等^[5]发现在红肠中添加一定浓度的微生物亚硝化抑制剂可以降低亚硝酸盐含量,其效果与添加量成正比。由图3可知, V_E 组和MNI组的亚硝酸盐含量显著降低,因此后续可以选择将维生素E与MNI进行复配试验。

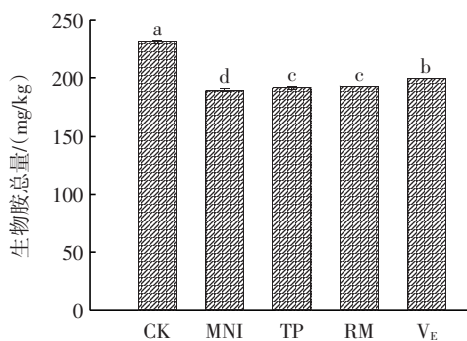
2.5 MNI与抗氧化剂对培根中生物胺含量的影响

MNI与抗氧化剂对培根中生物胺含量的影响如表3、图4所示。

表3 MNI与抗氧化剂对西式培根生物胺含量的影响
Table 3 Effect of MNI and antioxidant on biogenic amine content of bacon

组别	组胺	尸胺	亚精胺	精胺
CK	82.09±0.19 ^a	17.90±0.20 ^a	3.41±0.04 ^b	127.93±0.35 ^a
MNI	50.01±0.13 ^{cd}	15.29±0.40 ^b	4.43±0.12 ^a	120.07±0.96 ^c
TP	51.71±0.10 ^{bc}	14.29±0.28 ^c	3.06±0.05 ^d	122.69±0.56 ^b
RM	51.26±0.14 ^{bc}	14.73±0.11 ^{bc}	3.23±0.08 ^{cd}	123.79±0.25 ^b
V_E	52.78±0.23 ^b	15.27±0.14 ^b	3.25±0.04 ^{bc}	127.82±0.57 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图4 MNI与抗氧化剂对生物胺总量的影响

Fig.4 Effects of MNI and antioxidants on total biogenic amines

由表3可知,试验仅检测到4种生物胺(组胺、尸胺、精胺及亚精胺)。MNI组精胺含量显著低于其他各组($P<0.05$),这是其总量显著低于其他组的原因。其中MNI组中毒性最强的组胺和精胺在5组中含量最低,分别为50.01 mg/kg和120.07 mg/kg。另外,MNI组中亚精胺含量(4.43 mg/kg)显著高于其他组($P<0.05$),这可

能是因为亚精胺是猪肉制品中生物胺的组成元素之一,其相对含量一般不受其他发酵剂浓度影响^[8]。

精胺和亚精胺普遍存在于食品中,主要由腐胺转化而来。尸胺是赖氨酸菌株在脱羧酶直接催化下进行脱羧酶代谢而自然形成的一种转化反应产物,所以尸胺自然形成的量可能与正常肠杆菌形成的产物数量之间存在一定的显著性和相关性^[16]。另外也有研究表明,微生物的生物胺降解活性主要是由于产生了生物胺氧化酶,而产生的生物胺氧化酶种类与降解的生物胺种类相关^[17]。所以推测本试验可能是由于MNI及茶多酚均具有较强的抑菌性,抑制了肠杆菌等的生长使得MNI组、TP组的尸胺含量显著低于CK组($P<0.05$)。相关研究表明,在生物胺中组胺对人类身体健康的危害极大,组胺含量过高可引起肠平滑肌的收缩,导致疾病发生^[18]。与CK组相比,本试验中各抑制剂均显著降低了组胺的含量($P<0.05$)。Saldaña等^[19]研究表明,当食品中生物胺总量超过1000 mg/kg时,会对人体和健康结构造成极大的毒性危害。各组培根中的生物胺平均含量均远低于规定水平,不会对正常人体系统造成危害。

由图4可知,MNI组的生物胺总量显著低于其他4组($P<0.05$)。与CK组相比,MNI组、TP组、RM组、 V_E 组的生物胺总量分别降低了18.0%、17.1%、16.6%、13.9%,综上,MNI抑制生物胺的效果最佳。

2.6 MNI与抗氧化剂对培根中N-亚硝胺的影响

酸性条件下,腌肉制品中大量游离亚硝酸盐与蛋白质被降解产物生成一种含有少量 N_2O 的化合物,被称为N-亚硝胺。N-亚硝胺具有致癌性,极大降低了腌肉制品的安全性^[15],根据GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》可进一步得知,腌肉制品中NDMA含量应在3 μ g/kg以下。MNI与抗氧化剂对培根中N-亚硝胺的影响如表4、图5所示。

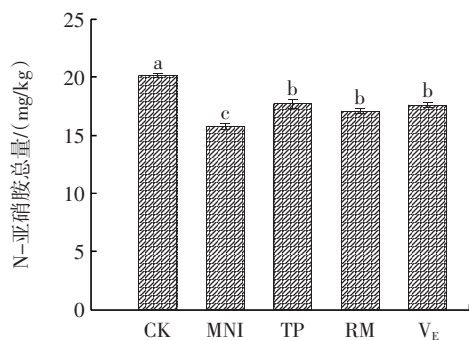
表4 MNI与抗氧化剂对培根中N-亚硝胺的影响

Table 4 Effects of compound antioxidants on the formation of N-nitrosamines in bacon

组别	NDMA	NDEA	NDPA	NDBA	NPIP	NPYP	NMOR
CK	2.37±0.28 ^a	1.97±0.08 ^a	2.66±0.33 ^a	3.07±0.27 ^c	3.98±0.16 ^a	3.85±0.08 ^a	2.25±0.12 ^b
MNI	1.38±0.24 ^c	1.48±0.07 ^c	1.48±0.23 ^c	3.59±0.15 ^{ab}	3.20±0.23 ^{bc}	3.21±0.13 ^{bc}	1.39±0.08 ^d
TP	1.72±0.24 ^{bc}	1.68±0.10 ^{bc}	1.60±0.19 ^c	3.04±0.09 ^c	3.46±0.09 ^{abc}	3.32±0.02 ^{bc}	2.91±0.14 ^a
RM	1.92±0.09 ^{ab}	1.60±0.08 ^{bc}	1.81±0.10 ^{bc}	3.76±0.11 ^a	3.53±0.14 ^{ab}	2.99±0.04 ^c	1.48±0.01 ^{cd}
V_E	2.14±0.16 ^{ab}	1.75±0.13 ^{ab}	2.19±0.14 ^{ab}	3.08±0.20 ^c	3.37±0.18 ^{bc}	3.50±0.17 ^{ab}	1.68±0.07 ^c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表4可知,常见的9种N-亚硝胺中NDPheA与NMEA未被检测到。NDMA在食品中存在较多,具有致肝、肾发生癌变的危害。MNI组N-亚硝胺总量含量最



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图5 MNI与抗氧化剂对N-亚硝胺总量的影响

Fig.5 Effect of MNI and antioxidants on total N-nitrosamines

低,与CK组相比降低了21.9%,说明MNI可以显著减少培根中N-亚硝胺的含量。RM组的NPYP含量低于其他各组,与CK组相比降低了22.3%。MNI组的NDMA、NDEA、NDPA、NPIP、NMOR含量与其他各组相比均最低,与CK组相比分别降低了41.8%、24.9%、44.4%、19.6%、38.2%。由图5可知,与CK组相比,其余各组N-亚硝胺总量均显著低于CK组($P < 0.05$),MNI组N-亚硝胺总量显著低于TP组、RM组、V_E组($P < 0.05$)。

3 结论

MNI与茶多酚、迷迭香、维生素E均能提升新型培根的感官品质,并且与CK组相比,MNI组亚硝酸盐残留量降低了8.1%,组胺、精胺及生物胺总量显著低于其他组($P < 0.05$),N-亚硝胺总量降低了21.9%,NDMA降低了41.8%。综合各项理化指标并且参考感官评价,提升新型培根品质及安全性的效果为MNI组>TP组>V_E组>RM组>CK组。本试验结论说明微生物亚硝化抑制剂能有效降低肉制品中N-亚硝胺的含量,对于新型培根的品质及安全性有着重要意义,为后续寻找MNI复配效果更佳天然抗氧化剂提供参考。

参考文献:

- [1] 李海龙, 盛本国, 柳春光, 等. 培根生产工艺研究[J]. 肉类工业, 2013(1): 15-16.
LI Hailong, SHENG Benguo, LIU Chunguang, et al. Study on processing technique of bacon[J]. Meat Industry, 2013(1): 15-16.
- [2] RYWOTYCKI R. Meat nitrosamine contamination level depending on animal breeding factors[J]. Meat Science, 2003, 65(1): 669-676.
- [3] YURCHENKO S, MÖLDER U. The occurrence of volatile N-nitrosamines in Estonian meat products[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1713-1721.
- [4] 邢必亮, 徐幸莲. 降低腌肉亚硝胺含量的复合抗氧化剂研究[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 104-107.
XING Biliang, XU Xinglian. Effect of simultaneous addition of vitamins C and E and tea polyphenols on N-nitrosodimethylamine residue in salted pork[J]. Food Science, 2011, 32(1): 104-107.
- [5] 李秀明, 常娅妮, 吴晨燕, 等. 微生物亚硝化抑制剂对红肠品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(2): 13-18.
LI Xiuming, CHANG Yanni, WU Chenyan, et al. Effects of microbial

- nitrication inhibitors on the quality of red sausage[J]. Meat Research, 2019, 33(2): 13-18.
- [6] 刘璐璐, 李秀明, 陈媛媛, 等. 微生物亚硝化抑制剂对新型培根品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 1-8.
LIU Lulu, LI Xiuming, CHEN Yuanyuan, et al. Effects of microbial nitrosation inhibitors on the quality of new bacon[J]. Meat Research, 2021, 35(2): 1-8.
- [7] 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.
- [8] 王伟伟, 陈琳, 张建勇, 等. 茶多酚的特性及其在食品中的应用[J]. 中国茶叶, 2020, 42(11): 1-7.
WANG Weiwei, CHEN Lin, ZHANG Jianyong, et al. Characteristics of tea polyphenols and its application in food[J]. China Tea, 2020, 42(11): 1-7.
- [9] 郑秋阁, 范晶晶. 迷迭香提取物的主要成分及其抗氧化作用研究[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(8): 43-46.
ZHENG Qiukai, FAN Jingjing. Research on main components of rosemary extract and its antioxidant effect[J]. Experimental Technology and Management, 2017, 34(8): 43-46.
- [10] KANOKRUANGRONG S, BIRCH J, EL-DIN AHMED BEKHIT A. Processing effects on meat flavor[M]//Encyclopedia of Food Chemistry. Amsterdam: Elsevier, 2019: 302-308.
- [11] SUN W Q, MENG P P, MA L Z. Relationship between N-nitrosodimethylamine formation and protein oxidation in pork protein extracts[J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(4): 679-686.
- [12] 胡秀芳, 沈生荣, 朴宰日, 等. 茶多酚抗氧化机理研究现状[J]. 茶叶科学, 1999, 19(2): 93-103.
HU Xiufang, SHEN Shengrong, Jae il Park, et al. Review on antioxidative mechanism of tea polyphenols[J]. Journal of Tea Science, 1999, 19(2): 93-103.
- [13] 闫利娟. 西式培根中N-亚硝胺形成的影响因素及其阻断效果研究[D]. 天津: 天津农学院, 2019.
YAN Lijuan. Study on the forming factors and blocking effect of N-nitrosamine in western bacon[D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2019.
- [14] 李婷. 正确认识食物中的亚硝酸盐[J]. 现代食品, 2019(14): 96-99.
LI Ting. Correct understanding of nitrite in food[J]. Modern Food, 2019(14): 96-99.
- [15] 黄周梅, 马辉, 李占明, 等. 食品中N-亚硝胺检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(19): 6892-6900.
HUANG Zhoumei, MA Hui, LI Zhanming, et al. Research progress on detection methods of N-nitrosamines in food[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(19): 6892-6900.
- [16] 戴莹, 宋海勇, 吴曦, 等. 肉制品中生物胺的形成、检测和控制研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 89-97.
DAI Ying, SONG Haiyong, WU Xi, et al. Recent progress in the formation, detection and control of biogenic amines in meat products[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 89-97.
- [17] CALLEJÓN S, SENDRA R, FERRER S, et al. Identification of a novel enzymatic activity from lactic acid bacteria able to degrade biogenic amines in wine[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(1): 185-198.
- [18] 张菁. 黄豆酱发酵过程中生物胺形成的影响因素研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
ZHANG Jing. Study on factors influencing the formation of biogenic amines in soybean paste[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015.
- [19] SALDAÑA E, CASTILLO L S, SÁNCHEZ J C, et al. Descriptive analysis of bacon smoked with Brazilian woods from reforestation: Methodological aspects, statistical analysis, and study of sensory characteristics[J]. Meat Science, 2018, 140: 44-50.

加工编辑:张昱

收稿日期:2022-06-15