

张秋会, 孟高歌, 王晗, 等. 特色腊肉源细菌发酵剂对发酵牛肉品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 151-157. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040222

ZHANG Qiuhui, MENG Gao, WANG Han, et al. Effects of Bacterias from Local Cured Meat on the Qualities of Fermented Beef[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(8): 151-157. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040222

· 生物工程 ·

特色腊肉源细菌发酵剂对发酵牛肉品质的影响

张秋会¹, 孟高歌¹, 王 晗¹, 曹淑萍², 崔文明¹, 祝超智^{1,*}, 赵改名^{1,*}, 李付强³
(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002;
2. 荥阳市市场监管综合行政执法大队, 河南荥阳 450100;
3. 涟源综合试验站, 湖南娄底 417000)

摘要:目的: 研究特色腊肉源细菌对发酵牛肉品质的影响。方法: 将来自于湖南湘西腊肉的马葡萄球菌和来自信阳腊肉的肠膜明串珠菌作为发酵菌株, 生产发酵牛肉, 并将其与地方特色产品及空白组进行对比, 分析产品的水分含量、水分活度、pH、蛋白质含量、色泽、质构及感官评价、N-亚硝胺类物质含量等品质指标的差异性。结果: 两菌株单菌株发酵产品亚硝胺含量, 显著低于传统腊肉制品 ($P < 0.05$); 弹性显著高于传统产品 ($P < 0.05$); 肠膜明串珠菌发酵产品咀嚼性和四川腊肉没有显著性差异 ($P > 0.05$); 马葡萄球菌发酵产品的硬度显著低于其他处理组 ($P < 0.05$), 且马葡萄球菌发酵产品的整体接受性最高, 但四川绵阳腊肉及湖南湘西腊肉的整体现接受性没有显著差异性 ($P > 0.05$)。结论: 两种菌株对发酵产品品质影响不同, 但都可以作为发酵剂应用于肉制品加工, 未来可以考虑将两种菌株进行复配发酵, 综合改善产品品质, 提高产品安全性。

关键词: 腌腊肉制品, 发酵菌株, 牛肉, 发酵肉制品

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)08-0151-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040222

本文网刊:



Effects of Bacterias from Local Cured Meat on the Qualities of Fermented Beef

ZHANG Qiuhui¹, MENG Gao¹, WANG Han¹, CAO Shuping², CUI Wenming¹, ZHU Chaozhi^{1,*}, ZHAO Gaiming^{1,*}, LI Fuqiang³

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Integrated administrative and enforcement team, Market regulatory authority of Xinyang, Xinyang 450100, China;

3. Comprehensive Test Station of Lianyuan, Loudi 417000, China)

Abstract: Objective: In order to study the effect of bacteria from special cured meat on the quality of fermented beef. Methods: *Staphylococcus equi* from Hunan cured meat and *Leuconostoc mesenteric* from Xinyang cured meat were used as fermentation strains to produce fermented beef. The changes of water content, water activity, pH, protein contents, texture and sensory evaluation of fermented beef were analyzed, compared with the local specialty products and blank groups without starter. Results: The two fermented meats inoculated with *Pichia diba* and *Baryces hensonensis* had the lower nitrosamine contents and the higher elasticity than the local specialty ones ($P < 0.05$). The chewability of fermented products

收稿日期: 2023-04-24

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-37); 河南省科技攻关计划: 地方特色乳酸菌发酵剂的筛选构建及发酵乳制品的研发 (202102110131); 发酵剂的可控构建及发酵牛肉制品的研发 (192102110099); 河南省科技研发计划联合基金 (应用攻关类) 项目: 基于定向筛选发酵菌株的肉制品绿色制造技术研发 (222103810019)。

作者简介: 张秋会 (1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 低温肉制品加工与质量安全控制, E-mail: Zhang-qiuhui@163.com。

* **通信作者:** 祝超智 (1985-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 肉品加工与营养调控, E-mail: zhuchaozhi66@163.com。

赵改名 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉品加工及品质控制, E-mail: gmzhao@126.com。

from *Leuconostoc mesenteric* had no significantly differences with Sichuan cured meat ($P>0.05$). The hardness of fermented products from *S. equi* was significantly lower than other ones, and which had the highest total acceptability ($P<0.05$), without significantly difference with Sichuan and Hunan cured ones ($P>0.05$). Conclusion: The both bacteria had differences on the qualities and safety characteristics of fermented beef, and they could be used as starters to produce fermented products. In the future, it is possible to develop the compound starters with two strains of bacteria to comprehensively improve product quality and enhance product safety.

Key words: cured meat products; fermented strains; beef; fermented meat products

腊肉是中国传统的腌制品^[1],以四川、湖南、云南最广为人知^[2]。但市面上的腌腊肉制品多为手工作坊制作生产,无法通过科学的方式对产品中的微生物生长进行有效调控,会导致产品质量参差、货架期不稳定,甚至部分有害菌的生长,引起产品质量与安全问题^[3]。而我国各地腊肉都具有其独特的风味、色泽,这都与其发酵微生物息息相关^[4],为肉制品发酵剂的开发及应用提供了无限的可能性。因此,寻找能够满足国人对风味要求的发酵肉制品微生物发酵剂,成为肉制品的重要发展方向之一^[5-6]。

发酵剂是指活的或休眠状态的微生物制剂,是用于提高发酵效率的精选微生物制剂^[7]。在促进肉制品发酵的同时,还起到抑菌防腐、保证质量的作用,且能产生良好的代谢活性,从而改善发酵肉制品的感官品质^[8-10]。在发酵肉制品中,大量的微生物作为发酵剂被用来确保生产安全和高质量的商品^[11],包括乳酸菌^[12-13]、酵母菌^[14-15]、霉菌^[16]、葡萄球菌等。这些微生物的存在对于腌腊肉制品风味、质地、口感以及贮藏时间等均会产生直接影响^[17]。相关研究表明,不同种类的菌株具有不同的发酵性能,赋予腌制品不同的品质特性。如,葡萄球菌属于微球菌属,在发酵肉制品的成熟过程中通过释放脂肪酶和蛋白酶,改善产品色泽,增强肉制品风味^[18],并且在产品成熟过程中,具有缩短成熟时间、加快发色以及控制病原菌和腐败菌生长等作用^[19]。Chen等^[5]使用从地方发酵猪肉中分离出来的木糖葡萄球菌与乳酸菌复配发酵,改善香肠的感官特性以及风味特性。Li等^[20]从贵州发酵肉制品中分离出凝固酶阴性葡萄球菌作为发酵剂,可以抑制不良菌生长,改善产品质量以及营养特性。Kanjan等^[21]从发酵鱼中分离出葡萄球菌具有足够的安全性以及功能特性,可以用于开发发酵剂。

本研究基于前期研究结果,将具有较高耐盐性、耐亚硝酸盐性、耐酸性的农家自制腊肉源肠膜明串珠菌和马葡萄球菌,创新应用于发酵牛肉中,以未接种菌株发酵牛肉为空白组,农家购买的自制腊肉为对照组,对比分析产品的水分含量、水分活度、pH、蛋白质含量、质构、色泽、N-亚硝胺类物质及感官评价等指标差异性,探寻各菌种对发酵肉制品品质及安全特性的影响,探讨腊肉源细菌对发酵牛肉产品品质的影响,为发酵肉制品发酵剂开发及其规模化加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

牛肉(牛腩) 购于河南伊赛公司;四川腊肉、湖南腊肉、信阳腊肉 均为农家自制,放置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存,待测;盐酸萘乙二胺、亚铁氰化钾、冰乙酸、硼酸钠、对氨基苯磺酸、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、氢氧化钠、95%乙醇(以上均为分析纯)、NAs混合标准溶液 购自Sigma公司。

BYXX-50型烟熏炉 中国爱博公司;AIR-TECH-SW-CJ-2FD超净工作台、BINDER可编程低温培养箱、HI99163便携pH计 德国Hanna公司;AL104电子天平 梅特勒托利多仪器(上海)有限公司;AQUALAB水分活度仪、DMART System5 美国CEM公司。

1.2 实验方法

1.2.1 发酵牛肉制作基础配方 本实验共设置24个处理组,其中牛肉均切成 $30\times 20\times 2\text{ cm}$ 的块状,发酵牛肉加工的基础配方为(以1 kg原料肉计):花椒0.1 g、食盐50 g、亚硝酸钠0.1 g、八角0.05 g、高度酒10 g、白砂糖20 g、小茴香粉2 g、姜粉0.5 g、大蒜粉2 g、白胡椒粉0.5 g。

1.2.2 工艺流程及操作要点 发酵牛肉的工艺参考高伟^[22]的方法,并加以修改:牛腩→修整(切条大小均一)→初腌→复腌→发酵→风干→包装。

操作要点:原料修整:将牛肉切成大小切成 $30\times 20\times 2\text{ cm}$ 的块状,大小要均一。初腌:将食盐5%和花椒0.01%,八角0.005%混匀,放入锅内炒制;将牛肉条放入无菌盆里,将炒制好的盐5%撒在牛肉条上,揉搓均匀,盖上盖子,腌制1 d($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)。复腌:加入高度白酒1%、白砂糖2%、小茴香粉0.2%、姜粉0.05%、大蒜粉0.2%、白胡椒粉0.05%、亚硝酸钠0.01%,每隔半天翻倒一次,使其腌透($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)。发酵:将腌制好的肉放入新的无菌盆里,接种所目标细菌发酵剂,接种量为 10^6 CFU/g (发酵剂制备:在无菌条件下挑取单菌落接种于含50 mL TSB液体培养基的250 mL摇瓶中, $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、200 r/min、培养48 h,将得液体种子培养物(即菌液)离心(4500 r/min)去除培养基,并用生理盐水对菌体进行洗涤,直至洗涤清澈,取离心管菌体沉淀,备用)。风干: $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 发酵48 h后将发酵好的肉放入烟熏炉中, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干48 h, $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干12 h。

1.2.3 指标测定方法

1.2.3.1 pH 产品 pH 测定采用《GB 5009.237-2016 食品安全国家标准 食品 pH 值测定》。

1.2.3.2 水分含量 产品水分活度使用 AQUALAB 水分活度仪进行测量,将产品粉碎后,把产品均匀平铺至测量纸上,放入水分含量仪进行测定。

1.2.3.3 水分活度 使用 AQUALAB 水分活度仪进行测量,将产品粉碎后,取部分样品置于样品池中,使样品均匀平铺于样品池中,水分活度仪进行校准后,放入待测样品进行测量。

1.2.3.4 蛋白质含量 参照国标《GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定。

1.2.3.5 亚硝酸盐含量 参照国标《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》中盐酸萘乙二胺法测定。

1.2.3.6 颜色的测定 产品色泽测定选用 CR-300 色差仪进行测量,将产品切成大小厚度均匀的圆片,仪器使用标准比色板校准后进行测定。

1.2.3.7 质构特性测定 将发酵牛肉切成 1 cm×1 cm×1 cm 大小的方块,使用 P50 探头进行测定,TPA 参数为:初始力 5 N,压缩比 50%,测试速度:60 mm/min。测定项目:硬度(N)、内聚性(Ratio)、弹性(mm)、咀嚼性(mJ)。

1.2.3.8 N-亚硝胺类物质含量 参考国标《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》,利用分散固相萃取(d SPE)-GC-MS/MS 方法进行,具体方法如下:

GC 条件:进样量为 10 μL;色谱柱为 DB-WAX (60 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度为 250 ℃;升温程序:初始 40 ℃,保持 3 min,首先以 10 ℃/min 从 40 ℃升至 110 ℃,随后以 15 ℃/min 从 110 ℃升至 200 ℃,最后以 40 ℃/min 从 200 ℃升至 240 ℃。载气为高纯度氦气(99.999%),流速为 25 mL/min;质谱连接线路温度为 250 ℃。MS/MS 条件:扫描模式为多反应检测扫描(MRM);离子源为 EI 源,电子能量为 70 eV,离子源温度为 230 ℃。

N-亚硝胺类物质主要有硝基二甲胺(N-Nitrosodimethylamine, NDMA)、N-亚硝基甲乙胺(N-nitrosomethylethylamine, NMEA)、N-亚硝基二乙胺(N-nitrosodiethylamine, NDEA)、N-亚硝基吡咯烷(N-Nitrosopyrrolidine, NPYR)、N-亚硝基吗啉(N-nitrosomorpholine, NMOR)、N-亚硝基二丙胺(N-Nitrosodi-n-propylamine, NDPA)、N-亚硝基哌啶(N-Nitrosopiperidine, NPIP)、N-亚硝基二丁胺(N-Nitrosodibutylamine, NDBA)含量相对较高,存在安全风险^[23]。亚硝胺具有较强的致癌性^[24],其中常见的有如 N-二甲基亚硝胺(NDMA)和 N-二乙基亚硝胺(NDEA)^[25]。各 NAs 的保留时间、定量及定性指标如表 1 所示。

表 1 八种 N-亚硝胺的保留时间、定量和定性离子
Table 1 Parameters of eight VNAs and two internal standards determined by GC-MS

化合物	保留时间(min)	定量离子	定性离子
NDMA	9.233	74	42,43
NMEA	10.349	42	88,43
NDEA	11.048	102	42,44
NDPA	15.082	70	43,42
NDBA	19.026	84	57,41
NPIP	19.302	42	114,56
NPYR	19.763	100	41,42
NMOR	20.418	56	86,116

1.2.4 感官评价 邀请食品专业 20 名学生,组成评定小组,在参与感官评价之前,先讲述本次感官评价标准及评价要点,从发酵牛肉的滋味、色泽、风味、咀嚼性和总体可接受度进行评估。在感官评价过程中要求,每品尝一个样品,进行漱口,以免样品之间进行干扰,评定小组成员在评定过程中禁止交流。评定参考标准《DB31 2004-2012》,具体如下,见表 2 所示。

1.3 数据处理

所有实验组均做 3 组平行,实验结果用平均数±标准差表示。采用 SPSS 22 统计软件进行统计学分析,数据间的分析采用单因素方差分析,显著性水平均设定为 $P<0.05$ 。使用 Origin 2018 进行作图。

表 2 发酵牛肉感官评分标准

Table 2 Sensory scoring standard of fermented beef

评价标准 (分)	感官评定				
	肉色(20)	口感(20)	气味(20)	滋味(20)	组织状态(20)
19~20	脂肪透明,瘦肉呈粉红色,皮呈现金黄色	鲜嫩爽口,硬度适中,有弹性	腊香味浓郁	无哈喇味,咸味、鲜味适口,无膻味	组织紧密,肌丝保持原有状态
17~18	脂肪较透明,瘦肉较红,皮较金黄色	鲜嫩较爽口,硬度较适口,弹性良好	腊香味较浓郁	无哈喇味,咸味、鲜味较适口,无膻味	组织较紧密,肌丝保持原有状态
15~16	脂肪透明度一般,瘦肉浅红,皮呈现暗黄色	鲜嫩爽口性、弹性一般,硬度稍大	腊香味一般	无哈喇味,咸味较重,鲜味较淡,无膻味	组织紧密度一般,肌丝保持原有状态一般
13~14	脂肪透明度较暗,瘦肉呈暗红,皮呈现暗灰色	鲜嫩爽口性、弹性较差,硬度较大	腊香味较淡	轻微哈喇味,咸味较重,鲜味较淡,轻微膻味	组织紧密度、肌丝保持原有状态较差
<12	脂肪浅黄色,瘦肉呈暗灰色,皮发白	入口较柴,较硬,无弹性	无腊香味	哈喇味较重,有膻味	组织疏松,成型性差

2 结果与分析

2.1 发酵牛肉产品指标

2.1.1 水分活度和水分含量 水分活度是肉制品的安全指标之一,低水分活度会抑制微生物生长,有效抑制肉制品的腐败变质,从而延长货架期^[26]。由图1可知,菌株发酵组的发酵牛肉水分含量显著低于空白组($P<0.05$),其中,肠膜明串珠菌组发酵的牛肉水分含量最低,为34.27%,其次是马葡萄球菌组发酵的牛肉,含量为35.32%;与农家自制的腊肉对比,农家腊肉的水分含量明显高于发酵牛肉。这表明与农家腊肉相比,经单一菌株发酵后的牛肉更易于贮藏。两株菌株发酵组的发酵牛肉水分活度也存在显著性差异,且都显著低于其对照组牛肉的水分活度($P<0.05$)。同样发现,空白组牛肉的水分活度显著低于腊肉($P<0.05$),有研究证明,不同的加工工艺与加工参数,会影响香肠的水分含量^[27]。这说明通过两株菌株发酵能够显著降低产品的水分含量,延长产品货架期,同时完善产品加工工艺以及产品加工环境,可以有效阻止细菌生长,延长产品的保质期。

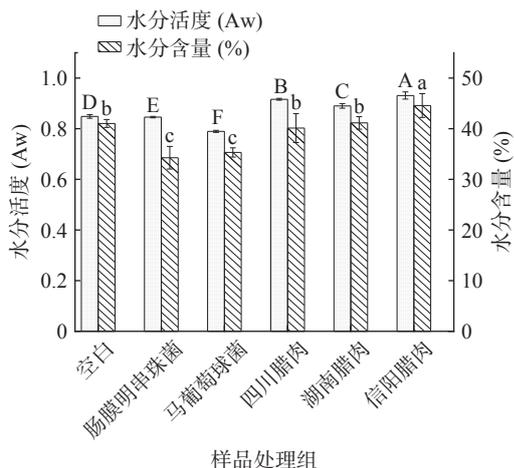


图1 发酵牛肉及农家腊肉的水分活度和水分含量

Fig.1 Water activity and water content of fermented beef and farm cured meat

注:同一指标不同组之间上标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 pH 由表3可知,空白组与马葡萄球菌发酵组牛肉的pH没有显著性差异且高于其他处理组,而与

表3 不同发酵菌株处理组及农家腊肉的理化指标比较

Table 3 Physical and chemical data of different fermentation strains and farm bacon

组别	pH	蛋白质含量(%)	亚硝酸盐含量(mg/kg)
肠膜明串珠菌	4.95±0.01 ^c	23.67±1.94 ^{bc}	21.36±0.34 ^b
马葡萄球菌	5.6±0.02 ^a	22.76±2.42 ^c	26.84±0.15 ^a
空白	5.69±0.01 ^a	25.42±0.11 ^b	28.61±0.15 ^a
四川腊肉	5.44±0.02 ^b	25.11±1.35 ^b	5.44±0.22 ^c
信阳腊肉	4.80±0.02 ^e	29.89±0.17 ^a	4.76±0.37 ^c
湖南腊肉	4.89±0.01 ^e	25.72±0.59 ^b	4.89±0.43 ^c

注:同列小写字母不同,表示差异显著($P<0.05$),字母相同表示差异不显著($P>0.05$),表4-表7同。

肠膜明串珠菌组发酵牛肉的pH存在极显著差异($P<0.01$),由于菌株在发酵过程中,产生酸性物质,使牛肉的pH下降,在前期试验中发现,肠膜明串珠菌在产酸能力的测定中明显高于马葡萄球菌,故这种菌株发酵的牛肉pH明显偏低。同时对比农家自制腊肉,发现信阳腊肉的pH最低,是由于肠膜明串珠菌来自于信阳腊肉中,产品在生产时受菌株影响,较低的pH有利于提高产品的微生物安全性。

2.1.3 蛋白质含量 如表3所示,添加发酵菌株发酵牛肉与对照组牛肉的蛋白质含量存在显著差异($P<0.05$)。发现菌株发酵组发酵牛肉的蛋白质含量低于其他实验组,且两组发酵组发酵牛肉的蛋白质含量不存在显著性差异。这是因为在发酵过程中,菌株会产生蛋白酶,使蛋白质降解产生氨基酸等小分子物质^[19]。在发酵过程中肠膜明串珠菌和马葡萄球菌会产生蛋白酶,从而催化蛋白质分解成小分子的多肽和游离氨基酸。与农家自制腊肉相比,经过单一菌株发酵的牛肉蛋白质含量显著降低($P<0.05$),这说明微生物发酵剂具有较强降解蛋白质的能力。而空白组蛋白质含量高的原因可能是在自然发酵时有益菌需要与杂菌进行竞争,数目较少,活性较低。

2.1.4 亚硝酸盐的含量 随着人们对健康生活的追求,现在越来越排斥亚硝酸盐含量过高的肉制品,因为其可能形成能够致癌的亚硝胺,对人体造成损害,甚至死亡。但目前也有研究认为硝酸盐的摄入对人体健康会产生有益影响^[28]。如表3所示,与实验组相比,农家腊肉中亚硝酸盐的含量低,这是因为其在制作过程中,没有额外添加亚硝酸盐,其亚硝酸盐主要来自于生产过程中所产生的,其中信阳腊肉中亚硝酸盐含量最低,这与肠膜明串珠菌的存在有着极大的关联。对比发酵组,发现肠膜明串珠菌发酵组牛肉的亚硝酸盐含量显著低于未发酵组牛肉($P<0.05$)。这可能是由于肠膜明串珠菌经过发酵,产生乳酸,降解了亚硝酸盐,从而降低了产品中亚硝酸盐含量;马葡萄球菌发酵组牛肉亚硝酸盐含量也不同程度的低于未发酵组牛肉,说明发酵剂的添加可以有效的降低产品中亚硝酸盐的残余^[29]。

2.1.5 质构特性 肉制品的质构影响产品在食用时的口感。由表4所示,不同发酵组牛肉的质构数据存在显著性差异。对比空白未发酵组产品,肠膜明串珠菌发酵组产品的硬度显著提升($P<0.05$),马葡萄球菌发酵组硬度略微下降;单一菌株发酵组产品的内聚力与咀嚼性均显著下降($P<0.05$);弹性数据与未发酵组没有明显差异。这可能是在发酵过程中产酸降低了产品的pH,使蛋白质变性,导致产品的保水性降低,从而使结构更加紧密、咀嚼性降低。从数据显示,较空白组以及自制腊肉,马葡萄菌发酵组发酵牛肉品质得到一定的改善,硬度降低,内聚力适中,具有适度的咀嚼性与更高的弹性,能够更好的满足消费者对产品口感的需求。

表 4 不同发酵菌株对牛肉质构影响及农家腊肉的质构

Table 4 Effects of different fermentation strains on the texture of beef and farm cured meat

组别	硬度(N)	内聚力(Ratio)	弹性(mm)	咀嚼性(mJ)
肠膜明串珠菌	20470.96±288.73 ^b	0.61±0.01 ^{bc}	0.63±0.03 ^{ab}	6171.19±87.65 ^d
马葡萄球菌	16779.03±156.35 ^c	0.62±0.04 ^{bc}	0.68±0.05 ^a	7375.46±135.73 ^b
空白	17043.89±186.31 ^{de}	0.69±0.03 ^a	0.63±0.03 ^{ab}	8381.52±141.28 ^a
四川腊肉	21932.43±144.95 ^a	0.53±0.02 ^d	0.58±0.01 ^{bc}	6187.94±175.28 ^d
湖南腊肉	17310.55±189.61 ^d	0.58±0.01 ^{cd}	0.45±0.04 ^d	5183.12±92.17 ^e
信阳腊肉	19499.63±173.48 ^c	0.58±0.05 ^{cd}	0.56±0.02 ^c	7050.87±134.35 ^e

2.1.6 色泽 肉制品颜色是消费者对肉色质量的第一印象,也是消费者对肉品质量进行评价的主要依据,对消费者购买欲影响很大。不同组的腊肉的 L^* 值(亮度), a^* 值(红度), b^* 值(黄度)值如表 5 所示。未发酵组牛肉的亮度值显著高于菌株发酵组牛肉亮度值($P<0.05$),这可能是因为肠膜明串珠菌和马葡萄球菌在发酵过程中引起发酵肉的水分含量与水分活度减小,从而导致发酵肉变得干燥,因而导致发酵肉亮度降低、色泽消失;而四川腊肉和湖南腊肉的红绿值(a^*)显著低于其他组,四川腊肉的黄蓝值(b^*)显著高于其他组($P<0.05$),可能是因为所使用原料、发酵以及干燥方式的不同造成的。与自然发酵的腊肉相比,两株菌株发酵组发酵牛肉的色泽显著接近空白组

牛肉,说明肠膜明串珠菌和马葡萄球菌作为发酵剂用于发酵肉制品,可以使产品拥有更接近鲜牛肉的色泽。

2.1.7 N-亚硝胺含量 不同的发酵牛肉制品的 N-亚硝胺化合物含量如表 6 所示,可以看出,所有样品中均未发现 NDMA、NMEA、NPYR、NMOR、NDPA、NPIP、NDBA,只检测出 NDEA。如表 6 所示,菌株发酵牛肉中 NDEA 含量显著低于未发酵牛肉中 NDEA 含量($P<0.05$),其中肠膜明串珠菌发酵牛肉中 NDEA 含量最少,为 34.45 $\mu\text{g}/\text{kg}$;对比表 6 发现,农家自制腊肉中,亚硝酸盐含量明显低于发酵组的亚硝酸盐含量,但是亚硝胺含量明显高于发酵牛肉,这可能是因为发酵过程中,发酵菌株发酵可以直接抑制亚硝胺的生成,并抑制亚硝酸盐分解,生成前体物质,从而提高产品的安全性。湖南腊肉和信阳腊肉中的 NDEA 的含量明显高于实验制作的发酵牛肉,归因于传统的热烟加工过程中进行的热处理(60~80 $^{\circ}\text{C}$),以及在腌制和干制过程中操作不当,从而使 NDEA 含量高。规范化操作和良好的生产环境会影响产品的品质。

表 5 不同发酵菌株对牛肉色泽影响及农家腊肉的色泽

Table 5 Effects of different fermentation strains on the color of beef and the color of farm cured meat

组别	L^*	a^*	b^*
肠膜明串珠菌	44.21±0.54 ^{cd}	9.76±0.31 ^a	8.43±0.21 ^{bc}
马葡萄球菌	45.65±0.68 ^c	9.85±0.48 ^a	8.26±0.16 ^c
空白	47.01±0.41 ^a	9.56±0.22 ^a	8.54±0.13 ^{bc}
四川腊肉	43.87±0.55 ^d	8.54±0.21 ^b	9.24±0.20 ^a
湖南腊肉	44.92±0.66 ^{bc}	8.38±0.09 ^b	8.61±0.14 ^{bc}
信阳腊肉	40.57±0.14 ^e	9.69±0.11 ^a	8.76±0.23 ^b

2.2 感官评价

由表 7 可知,单菌株发酵牛肉肉色、口感和气味

表 6 不同发酵牛肉的 N-亚硝胺化合物含量

Table 6 Content of N-nitrosamine compounds in different fermented beef

组别	NDMA($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NMEA($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NDEA($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NPYR($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NMOR($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NDPA($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NPIP($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NDBA($\mu\text{g}/\text{kg}$)
肠膜明串珠菌	-	-	34.45±1.35 ^e	-	-	-	-	-
马葡萄球菌	-	-	41.40±1.14 ^d	-	-	-	-	-
空白	-	-	49.00±0.09 ^c	-	-	-	-	-
四川腊肉	-	-	49.15±4.95 ^c	-	-	-	-	-
湖南腊肉	-	-	65.55±0.75 ^b	-	-	-	-	-
信阳腊肉	-	-	72.60±1.80 ^a	-	-	-	-	-

表 7 不同发酵牛肉的感官评价

Table 7 Sensory evaluation of different fermented beef

组别	肉色	口感	气味	滋味	组织状态	总体可接受性
肠膜明串珠菌	14.62±0.72 ^{bcd}	14.35±0.54 ^{bc}	15.61±0.92 ^{bcd}	16.83±0.92	17.84±0.35	79.25±0.91 ^{de}
马葡萄球菌	15.84±0.45 ^a	15.84±0.67 ^a	16.74±0.53 ^a	17.43±0.68	17.56±0.45	83.41±0.98 ^a
空白	14.28±0.39 ^d	14.12±0.50 ^c	14.89±0.14 ^d	17.12±0.67	17.46±0.34	77.87±0.36 ^e
四川腊肉	15.73±0.67 ^a	15.21±0.74 ^{abc}	16.21±0.61 ^{abc}	17.32±0.57	17.63±0.64	82.1±0.41 ^{ab}
湖南腊肉	15.64±0.52 ^{ab}	15.31±0.52 ^{ab}	16.33±0.51 ^{bc}	17.53±0.47	17.21±0.61	82.02±1.6 ^{ab}
信阳腊肉	15.57±0.72 ^{abc}	14.33±0.49 ^{bc}	15.94±0.27 ^{abc}	17.04±0.48	17.64±0.48	80.52±0.59 ^{bcd}

有着显著性差异($P<0.05$)。其中,马葡萄球菌的总体可接受性最高,而且和四川腊肉、湖南腊肉总体可接受性没有显著差异性。有研究报道,葡萄球菌具有出色的脂肪分解和蛋白水解能力,有助于发酵食品的香气化合物产生和感官质量改善^[30-31],这可能是由于该菌分解蛋白质成小分子氨基酸,使其产生独特的风味。所有处理组产品的口感与表4质构特性分析结果相符,肠膜明串珠菌发酵组在口感上,明显小于其他发酵组,这可能是由于乳酸菌发酵过程中产酸,使产品的口感下降。对于各处理组产品的滋味和组织状态,菌株发酵组和未发酵组的差异性不明显。因此,两种腊肉源细菌发酵产品在感官品质总体接受度上和传统腊肉制品差异性不大,两种细菌均可以作为发酵剂应用到发酵肉制品生产中。

3 结论

通过对比研究两种腊肉源细菌发酵牛肉产品和传统腊肉产品品质的差异性,发现两株菌株单菌株发酵产品亚硝酸盐含量,显著低于传统腊肉制品;弹性显著高于传统产品;肠膜明串珠菌发酵产品咀嚼性和四川腊肉没有显著差异性;马葡萄球菌发酵产品的硬度显著低于其他处理,而且马葡萄球菌发酵产品的整体接受性最高,和四川腊肉及湖南腊肉没有显著差异性。因此,两株细菌都可以作为发酵剂应用于肉制品加工,未来可以考虑将两种菌株进行复配发酵,综合改善产品品质,提高产品安全性。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] WANG Y, WANG Z M, HAN Q L, et al. Comprehensive insights into the evolution of microbiological and metabolic characteristics of the fat portion during the processing of traditional Chinese bacon[J]. *Food Research International*, 2022, 155: 110987.
- [2] GUO X, HUANG F, ZHANG H, et al. Classification of traditional Chinese pork bacon based on physicochemical properties and chemometric techniques[J]. *Meat Science*, 2016, 117: 182-186.
- [3] 叶翠, 张香美, 卢涵, 等. 肉制品发酵剂研究现状与趋势[J]. *食品科技*, 2019, 44(12): 290-294. [YE C, ZHANG X M, LU H, et al. Research status and trend of meat starter[J]. *Food Technology*, 2019, 44(12): 290-294.]
- [4] 王正莉, 王卫, 陈林, 等. 传统腌腊肉制品中微生物多样性研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(8): 202-206. [WANG Z L, WANG W, CHEN L, et al. Research progress on microbial diversity in traditional cured meat products[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(8): 202-206.]
- [5] CHEN X, MI R F, QI B, et al. Effect of proteolytic starter culture isolated from Chinese Dong fermented pork (Nanx Wudl) on microbiological, biochemical and organoleptic attributes in dry fermented sausages[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2020, 10: 13-22.
- [6] BIS S, BARBA, LORENZO, et al. New strategies for the development of innovative fermented meat products: A review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers[J]. *Food Reviews International*, 2019, 35(5): 1-18.
- [7] LARANJO M, POTES M E, ELIAS M. Role of starter cultures on the safety of fermented meat products[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10.
- [8] PEREIRA G V D M, NETO D P D C, JUNQUEIRA A C D O, et al. A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry[J]. *Food Reviews International*, 2019, 36(2): 135-167.
- [9] HAMMES W, HERTEL C. New developments in meat starter cultures[J]. *Meat Science*, 1998, 49: 125-138.
- [10] MACEDO R, LUCIANO F, CORDEIRO R, et al. Sausages and other fermented meat products[J]. *Starter Cultures in Food Production*, 2017: 324-354.
- [11] FRANCIOSA I, ALESSANDRIA V, DOLCI P, et al. Sausage fermentation and starter cultures in the era of molecular biology methods[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2018, 279: 26-32.
- [12] MARCO M, HEENEY D, BINDA S, et al. Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond[J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2017, 44: 94-102.
- [13] ABARQUERO D, RENES E, COMBARROS-FUERTE P, et al. Evaluation of technological properties and selection of wild lactic acid bacteria for starter culture development[J]. *LWT*, 2022, 171: 114-121.
- [14] ZHAO D D, CHONG Y Q, HU J, et al. Proteomics and metagenomics reveal the relationship between microbial metabolism and protein hydrolysis in dried fermented grass carp using a lactic acid bacteria starter culture[J]. *Current Research in Food Science*, 2022: 2316-2328.
- [15] MEFTAH S, ABID S, DIAS T, et al. Mechanisms underlying the effect of commercial starter cultures and a native yeast on ochratoxin: A production in meat products[J]. *LWT*, 2020, 117: 108611-108611.
- [16] COPETTI V M. Yeasts and molds in fermented food production: an ancient bioprocess[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2019(25): 57-61.
- [17] 张乐. 微生物发酵剂对发酵肉制品安全性的影响[J]. *中国食品*, 2021(21): 110-112. [ZHANG L. Effects of microbial starter on the safety of fermented meat products[J]. *Food of China*, 2021(21): 110-112.]
- [18] 陈亚杰, 张香美, 卢涵, 等. 有益葡萄球菌对发酵肉制品品质影响[J]. *肉类工业*, 2019(2): 40-43. [CHEN Y J, ZHANG X M, LU H, et al. The effect of beneficial staphylococcus on the quality of fermented meat products[J]. *Meat Industry*, 2019(2): 40-43.]
- [19] 田媛, 吕重阳, 张玲玲, 等. 发酵肉制品中葡萄球菌的分离、鉴定及其对肉蛋白的降解能力[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(7): 300-306. [TIAN Y, LÜ C Y, ZHANG L L, et al. Isolation and identification of staphylococcus from fermented meat products and its ability to degrade meat protein[J]. *Chinese Journal of Food*, 2021, 21(7): 300-306.]
- [20] LI H Y, ZHU Q J, CHEN X, et al. Isolation and characterization of coagulase negative staphylococci with high proteolytic activity from dry fermented sausages as a potential starter culture[J]. *Food Research International*, 2022, 162: 111957.
- [21] KANJAN P, SAKPETCH P. Functional and safety assessment of *Staphylococcus simulans* PMRS35 with high lipase activity isolated from high salt-fermented fish (Budu) for starter development[J]. *LWT*, 2020(124): 109183.

- [22] 高伟. 牛肉干发酵香肠加工工艺优化及贮藏特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012. [GAO Wei. Study on processing technology optimization and storage characteristics of beef jerky fermented sage[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.]
- [23] MÓNICA F, LETICIA M, MILAGRO R, et al. Risk assessment of chemical substances of safety concern generated in processed meats[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2019, 8(3): 244–251.
- [24] 魏廷玲, 刘洪岩, 赵彦华. 鱼肉制品中 N-亚硝胺类化合物检测研究进展[J]. *水产养殖*, 2021, 42(11): 35–39. [WEI Y L, LIU H Y, ZHAO Y H. Research progress in the detection of N-nitrosamines in fish products[J]. *Aquaculture*, 2021, 42(11): 35–39.]
- [25] 倪松, 崔颖, 姜涛, 等. 食品中 N-亚硝胺类化合物检测方法研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(6): 215–219. [NI S, CUI Y, JIANG T, et al. Research progress of detection methods of N-nitrosamines in food[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(6): 215–219.]
- [26] 黄晓燕, 刘铨珺, 李长城, 等. 低水分活度食品微生物控制技术研究现状[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(23): 286–292. [HUANG X Y, LIU C J, LI C C, et al. Research status of microbial control technology in low water activity food[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(23): 286–292.]
- [27] ÜLKÜ D, AYLA S. Effect of processing methods and starter culture (*Staphylococcus xylosus* and *Pediococcus pentosaceus*) on proteolytic changes in Turkish sausages (sucuk) during ripening and storage[J]. *Meat Science*, 2008(80): 345–354.
- [28] SAID Abasse Kassim, ESSIEN Eno, ABBAS Muhammad, et al. Association between dietary nitrate, nitrite intake, and site-specific cancer risk: A systematic review and meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2022, 14(3): 666.
- [29] HAMMES W P. Metabolism of nitrate in fermented meats: The characteristic feature of a specific group of fermented foods[J]. *Food Microbiology*, 2012, 29(2): 151–156.
- [30] DO-WON J, SEULHWA H, JONG-HOON, et al. Safety and technological characterization of *Staphylococcus equorum* isolates from jeotgal, a Korean high-salt-fermented seafood, for starter development[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2014, 188.
- [31] LI W W, FAN G S, FU Z L, et al. Effects of fortification of Daqu with various yeasts on microbial community structure and flavor metabolism[J]. *Food Research International*, 2020, 129: 108837.