

复合发酵剂对发酵牛肉干理化品质及安全性能的影响

梁蕊芳, 张邦建, 高丽霞, 梁国良, 李瑛, 王德宝, 徐龙

Effects of Starter Cultures Combination on Physicochemical Quality and Safety of Fermented Beef Jerky

LIANG Ruifang, ZHANG Bangjian, GAO Lixia, LIANG Guoliang, LI Ying, WANG Debao, and XU Long

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050370>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

超声时间对牛肉干品质及其肌原纤维蛋白结构的影响

Effect of Ultrasonic Time on Quality Characteristics and Myofibrillar Protein Structure of Beef Jerky

食品工业科技. 2023, 44(20): 36-42 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110216>

发酵剂对鸭肉发酵香肠亚硝酸盐及生物胺的抑制作用

Inhibition of Starter Culture on Nitrite and Biogenic Amines in Fermented Duck Sausage

食品工业科技. 2023, 44(10): 116-122 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070213>

特色腊肉源细菌发酵剂对发酵牛肉品质的影响

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

食品工业科技. 2024, 45(8): 151-157 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040222>

动物双歧杆菌联合传统发酵剂对发酵牛乳、牦牛乳品质的影响

Effects of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Combined with Traditional Starter Culture on the Quality Characteristics of Fermented Cow Milk and Yak Milk

食品工业科技. 2023, 44(18): 181-192 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110167>

接种乳酸菌发酵剂对风干肠加工过程中理化性质及安全品质的影响

Effect of Inoculating Lactic Acid Bacteria Starter on Physicochemical Properties and Safety Quality of Air-dried Sausage During Air Drying

食品工业科技. 2022, 43(8): 148-156 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080168>

不同发酵剂对发酵猪肉香肠品质的影响

Effect of Different Starters on the Quality of Fermented Pork Sausage

食品工业科技. 2022, 43(1): 101-109 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030382>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

梁蕊芳, 张邦建, 高丽霞, 等. 复合发酵剂对发酵牛肉干理化品质及安全性能的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 43-49. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050370

LIANG Ruifang, ZHANG Bangjian, GAO Lixia, et al. Effects of Starter Cultures Combination on Physicochemical Quality and Safety of Fermented Beef Jerky[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(7): 43-49. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050370

· 研究与探讨 ·

复合发酵剂对发酵牛肉干理化品质及安全性能的影响

梁蕊芳, 张邦建, 高丽霞, 梁国良, 李 瑛, 王德宝, 徐 龙*
(内蒙古包头职业技术学院, 内蒙古包头 014035)

摘要:以清酒乳杆菌、戊糖片球菌及木糖葡萄球菌为复合发酵剂(1:2:2)制作发酵牛肉干,通过色差计及高效液相等仪器测定不同阶段牛肉干的pH、水分活度、色泽及生物胺含量等指标的变化,旨在探究复合发酵剂对发酵牛肉干理化品质和生物胺组成的影响。结果表明:接种上述复合发酵剂促使肉干中乳酸菌快速成为优势菌群,加快产品酸化速率,发酵结束时清酒乳杆菌+戊糖片球菌+木糖片球菌复合发酵剂组(LSS组)pH降为4.43,显著低于对照组(CO组)($P < 0.05$);pH的快速下降促进肉干中水分快速蒸发和 A_w 的降低,显著抑制了肉干中肠杆菌的数量,使得LSS中肠杆菌数量降低到2.04 CFU/g。复合发酵剂的快速繁殖抑制了肉干中腐胺和尸胺的积累,LSS组尸胺和腐胺含量显著低于CO组($P < 0.05$)。随着加工温度和优势菌群数量的变化,对组胺产生较大抑制作用,使添加复合发酵剂的LSS组组胺含量(22.56 mg/kg)仅为CO组的1/2。因此,添加上述复合发酵剂有利于缩短发酵牛肉干加工周期、提高产品品质和安全性能。

关键词:发酵牛肉干,理化品质,生物胺,优势菌群,复合发酵剂

中图分类号:TS251.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2021)07-0043-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050370



本文网刊:

Effects of Starter Cultures Combination on Physicochemical Quality and Safety of Fermented Beef Jerky

LIANG Ruifang, ZHANG Bangjian, GAO Lixia, LIANG Guoliang, LI Ying, WANG Debao, XU Long*

(Inner Mongolia Baotou Vocational and Technical College, Baotou 014035, China)

Abstract: The fermented beef jerky was prepared using *Lactobacillus sakei*, *Pediococcus pentosaceus* and *Staphylococcus xylose* as the starter (1:2:2), and the pH, water activity, color and biological amine content of the beef jerky at different stages were measured by color difference meter and high-performance liquid phase instruments, all which aims to explore the effect of starter cultures combination on the physical and chemical quality and the composition of biological amines of fermented beef jerky. The results showed that the lactic acid bacteria in the beef jerky were rapidly transformed into the dominant bacteria group by inoculation with the compound starter, and the acidification rate was accelerated, the pH value of the LSS group was reduced to 4.43, significantly lower than that of CO ($P < 0.05$) at the end of fermentation. The rapid decrease of pH value promoted the rapid evaporation of water and the decrease of A_w in the beef jerky, which significantly inhibited the number of Enterobacterium and reduced it to 2.04 CFU/g in LSS. The rapid propagation of the compound starter inhibited the accumulation of putrescine and cadaverine in the beef jerky, and the contents of putrescine and cadaverine in the LSS group were significantly lower than those in the CO group ($P < 0.05$). With the change of processing temperature and the number of dominant bacteria, histamine was inhibited greatly, and the content of histamine

收稿日期: 2020-06-01

基金项目: 内蒙古传统发酵牛肉干加工与安全关键技术研究项目(内蒙古自治区科技计划项目,201802049);食品与生物技术产学研科技创新平台(内蒙古自治区高等学校产学研科技创新平台项目,NJCXY-19-07)

作者简介: 梁蕊芳(1975-),女,博士,副教授,研究方向:食品营养与检测,E-mail: liangrf@btqy.com.cn

*通信作者: 徐龙(1977-),男,博士,副教授,研究方向:农产品加工与贮藏,E-mail: xul@btqy.com.cn

in LSS group (22.56 mg/kg) added with the compound starter was only 1/2 of that in the CO group. Therefore, adding the compound starter is beneficial to shorten the processing period of fermented beef jerky and improve the product quality and safety.

Key words: fermented beef jerky; physicochemical quality; biogenic amine; dominant bacterial; starter cultures

牛肉是世界上仅次于猪肉、家禽的第三大肉类消费产品,其含有丰富的蛋白质、氨基酸,可提高机体抵抗防御能力,中医认为牛肉具有补中益气、滋养脾胃、强健筋骨等保健功效。牛肉产量较高,但深加工产品种类较少,结合高新技术加工而成的牛肉产品更少。随着微生物益生菌研究与应用逐渐深入,微生物发酵技术与肉制品融合的新产品逐渐被消费者所认同。肉制品加工过程中,接种发酵剂会使肉中蛋白质与脂质发生氧化降解生成小分子营养素和特征风味物质^[1];发酵剂在加工过程中快速繁殖促进产品酸化,降低肉制品 pH 和水分活度(A_w),可抑制致病菌及腐败菌生长繁殖,提高产品安全性和延长货架期^[2]。由于肉制品发酵期间温度处于 20~30 ℃,易促进原料肉中从空气或加工器具上混入的肠杆菌、肠球菌及其他有害杂菌的生长繁殖, Xie 等^[3]研究表明肠杆菌等杂菌与发酵香肠中生物胺的形成具有一定相关关系。近年来,由前体氨基酸经微生物的氨基酸脱羧酶脱羧后形成具有芳香族(腐胺、尸胺、精胺、亚精胺)、脂肪族(β -苯乙胺、酪胺)及杂环结构(色胺、组胺等)的生物胺^[4-5]引起的食品安全问题成为了一大研究热点。少量生物胺存在对机体具有重要生理功能,可以促进生长、清除自由基及增强代谢和提高免疫力^[6-7];摄入过量生物胺则会引起血管扩张、头疼、呼吸紊乱、心悸、腹泻等不良反应,甚至会造成机体中毒^[8]。李思宁等^[9]在自然发酵及人工接种发酵剂的牦牛肉香肠中均检测到酪胺、亚精胺等生物胺。孙钦秀等^[10]研究表明,复合香辛料提取物可以有效抑制脂质氧化、生物胺的积累。Baka 等^[11]通过接种清酒乳杆菌制作发酵香肠,表明其可显著降低香肠中生物胺的含量。Zhang 等^[12]研究发现接种 ZY-40 植物乳杆菌可有效控制发酵鲢鱼香肠中生物胺水平。王德宝等^[13]研究不同复合发酵剂对发酵香肠中生物胺形成的影响,结果表明植物乳杆菌与肉葡萄球菌复合发酵剂相对单一发酵剂可降低香肠中生物胺整体含量水平。Van 等^[14]研究发现,肉葡萄球菌和清酒乳杆菌复合发酵剂可降低发酵香肠中的腐胺与酪胺含量。近年来对于发酵牛肉干的研究,仅局限于牛肉干的工艺和基础理化品质变化方面^[15-16]。目前,发酵牛肉干研究热度逐渐扩大,成为消费者追求的一种发酵肉制品,而有关牛肉干中生物胺形成及含量变化对其食品安全性影响的报道甚少。

本文选择清酒乳杆菌、戊糖片球菌、木糖葡萄球菌为发酵剂,制作发酵牛肉干,探究复合发酵剂对发酵牛肉干理化品质及安全性能的影响,以期与实际生产应用提供理论依据及数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原料肉:精选牛后腿肉 源自包头市博克食品有限责任公司巴西进口牛肉;肠衣 30~32 mm 胶原蛋白肠衣;发酵剂:清酒乳杆菌(*Lactobacillus sakei*, XR-1) 自行分离鉴定;戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*, BNCC 192624)和木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosus*, BNCC 337469) 标准菌株,北京北纳创联生物技术研究院;木瓜蛋白酶 10 万酶活力单位,美国 Sigma-Aldrich 公司;单磺酰氯 色谱级,衍生试剂,美国 Sigma-Aldrich 公司;组胺、 β -苯乙胺、酪胺、尸胺 色谱级,标准品,美国 Sigma-Aldrich 公司;1,7-二氨基庚烷 色谱级,美国 Sigma-Aldrich 公司;甲醇、正己烷、丙酮 色谱级,上海安谱实验科技股份有限公司。

1260 型高效液相色谱仪 美国安捷伦公司;TG16-WS 型台式高速离心机 湖南离心机仪器有限公司;LRH-250-HS 型恒温恒湿培养箱 沈阳亮衡天平仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 发酵牛肉干的制作

1.2.1.1 实验配方 牛肉 100 g,食盐 2.5%,白糖 0.56%,生抽 2%,黄酒 1.5%,味精 0.2%,姜粉 0.1%,黑胡椒 0.15%,鲜洋葱片 5%,安息香酸钠 0.05%,木瓜蛋白酶 0.04%,发酵剂(清酒乳杆菌:戊糖片球菌:木糖葡萄球菌为 1:2:2) 10^7 CFU/g。

1.2.1.2 制作工艺 原料肉修整:选取牛后腿肉,剔除筋膜和脂肪,切成宽 \times 厚 \times 长为 2 cm \times 2 cm \times 18 cm 肉条。

嫩化:将切好的肉条与木瓜蛋白酶按照比例搅拌均匀后,置于 50 ℃ 恒温恒湿(90%)中嫩化 2 h。腌制:嫩化结束后,将肉条与辅料、发酵剂等搅拌均匀置于 4 ℃ 条件下腌制 24 h。灌装:将腌制好的肉条在紫外杀菌后无菌环境中灌入直径为 20~25 mm 胶原蛋白肠衣中,排气后两端扎好。发酵:挂入恒温恒湿培养箱中,在 30 ℃、90%~95%湿度条件下发酵 2 d。成熟:成熟第一阶段:牛肉干在温度 14~15 ℃、湿度为 75%~85%条件下成熟 3 d;成熟第二阶段在 12~13 ℃、湿度为 60%~75%条件下再成熟 4 d。成熟结束后去除肠衣,将发酵好的牛肉干切成 5 cm 长度后进行无菌包装。

1.2.2 实验分组 通过添加清酒乳杆菌、戊糖片球菌及木糖片球菌,将本试验分为发酵剂组(简称为 LSS)及对照组(不添加外源发酵剂,简称为 CO)。经腌制、发酵、成熟加工而成发酵牛肉干,将腌制结束

(0 d)、发酵结束(2 d)、成熟第一阶段(5 d)、成熟第二阶段(9 d)的四个阶段牛肉干进行取样,然后保存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$,测定肉干理化品质及生物胺组成。

1.2.3 菌相的测定 菌落总数、乳酸菌数、肠杆菌及葡萄球菌参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定》、GB 4789.35-2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 乳酸菌检验》、GB 4789.41-2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 肠杆菌科检验》等方法进行测定^[17-19],肉干中木糖葡萄球菌利用 MSA 培养基 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 48 h 后进行计数。

1.2.4 理化指标的测定 参照 GB 5009.237-2016《食品 pH 值的测定》^[20]、使用 HD-3A 型智能水分活度仪、CR-410 型色差计测定香肠 pH、 A_w 、红度值(a^*)。

1.2.5 生物胺含量的测定 参照 GB 5009.208-2016 测定发酵牛肉干中生物胺含量^[21]。

色谱条件: C_{18} 色谱柱(250 mm \times 4.6 mm, 5 μm), 流速 0.8 mL/min, 紫外检测波长 254 nm, 进样量 10 μL , 柱温 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 流动相 A 为 90% 乙腈+10% 含 0.1% 乙酸的 0.01 mol/L 乙酸铵溶液, B 为 90% 含 0.1% 乙酸的 0.01 mol/L 乙酸铵溶液 + 10% 乙腈, 梯度洗脱程序见表 1。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution procedure

组成	时间(min)					
	0	22	25	32	32.01	37
流动相A(%)	60	85	100	100	60	60
流动相B(%)	40	15	0	0	40	40

1.2.6 感官评价 通过对牛肉干进行感官评价,确定发酵剂接种对最终产品质量的影响。外观、颜色、味道、质地和整体质量属性用 9 分制(1 分=非常差, 9 分=非常好)进行评估。感官小组由 9 名训练有素、来自于包头轻工职业技术学院食品专业的小组成员组成。实验是在通风良好的房间里在 $20\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行。将样品切成 4 mm 厚,装入直径 5 mm

有盖的塑料容器中,样品随机编号。为小组成员提供了水和面包,以清洗和清洁评价成员口腔。感官数据使用非参数 Mann Whitney 检验进行分析。

1.3 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 19.0 对生物胺数据进行统计和显著性处理,利用 Sigmaplot 12.5 制作柱形图。

2 结果与分析

2.1 发酵剂对发酵牛肉干菌相组成的影响

发酵剂对发酵牛肉干中菌相组成的影响如表 2。腌制结束,牛肉干中总菌数量处于 8.22~8.53 CFU/g;随着牛肉干进入发酵成熟过程,总菌数数量快速增加,发酵结束时 CO 与 LSS 两组总菌数数量分别达到 8.99、9.38 CFU/g;5 d 末 LSS 组增加到 9.85 CFU/g,高于 CO 组的 9.36 CFU/g;进入 5~9 d 的成熟第二阶段,CO、LSS 组分别下降了 0.29、0.72 个单位。总菌数的快速增长期为 0~5 d 的发酵和成熟初期,2~5 d 总菌数增长幅度小于 0~2 d 的发酵期。其中牛肉干中乳酸菌数量与总菌数变化相一致,腌制结束时 LSS 组乳酸菌数量(8.18 CFU/g)高于 CO 组(6.36 CFU/g),这可能是发酵剂组添加乳酸菌发酵剂对这一差异起到主要作用。在成熟第一阶段结束(5 d)时,乳酸菌数量达到最高,显著高于其他阶段($P<0.05$)。且乳酸菌数量高于葡萄球菌数量较高,说明接种的乳酸菌对肉环境具有较强的适应能力,乳酸菌也有助于改善发酵香肠的理化品质,如质地、风味、感官等特性^[22]。牛肉干中葡萄球菌数量同样呈现先上升后下降的变化趋势,在 5 d 末时数量达到最高。造成这一结果的原因可能是由于进入成熟过程中环境温度、湿度急剧下降及香肠内部水分的散失,致使 5~9 d 成熟过程中乳酸菌和葡萄球菌数量逐渐降低^[2,22]。在整个加工过程中,CO 组大肠杆菌数量变化微小,LSS 组肠杆菌数量由 0 d 的 5.84 CFU/g 下降到 2.04 CFU/g,说明肉干中肠杆菌受到了接种的发酵剂的强烈抑制作用。降低香肠中肠杆菌数量可以减少更多有害物质如生物胺^[3]的生成。

2.2 发酵剂对发酵牛肉干 pH 的影响

发酵剂对发酵牛肉干 pH 变化的影响如图 1。

表 2 发酵剂对发酵牛肉干发酵成熟过程菌相变化的影响

Table 2 Effect of starter cultures on microbial phase composition of fermented beef jerky in fermentation and ripening process

指标	组别	时间(d)			
		0	2	5	9
总菌数(CFU/g)	CO	8.53 \pm 0.25 ^{Aa}	8.99 \pm 0.27 ^{Aa}	9.36 \pm 0.01 ^{Aa}	9.07 \pm 0.16 ^{Aa}
	LSS	8.22 \pm 0.10 ^{Aa}	9.38 \pm 0.08 ^{Ab}	9.85 \pm 0.01 ^{Bc}	9.13 \pm 0.13 ^{Bb}
乳酸菌数(CFU/g)	CO	6.36 \pm 0.03 ^{Aa}	8.96 \pm 0.04 ^{Ab}	9.49 \pm 0.01 ^{Ac}	8.97 \pm 0.10 ^{Ab}
	LSS	8.18 \pm 0.04 ^{Ba}	8.53 \pm 0.53 ^{Aa}	9.78 \pm 0.00 ^{Bb}	9.25 \pm 0.02 ^{Aa}
葡萄球菌数(CFU/g)	CO	7.07 \pm 0.02 ^{Aa}	7.11 \pm 0.04 ^{Aa}	8.07 \pm 0.23 ^{Ab}	7.45 \pm 0.01 ^{Aa}
	LSS	7.23 \pm 0.16 ^{Aa}	8.12 \pm 0.83 ^{Bb}	8.83 \pm 0.08 ^{Bb}	8.42 \pm 0.13 ^{Bb}
大肠杆菌数(CFU/g)	CO	5.86 \pm 0.01 ^{Aa}	5.68 \pm 0.04 ^{Ba}	5.04 \pm 0.06 ^{Aa}	5.00 \pm 0.01 ^{Ba}
	LSS	5.84 \pm 0.06 ^{Ab}	4.91 \pm 0.05 ^{Ab}	5.59 \pm 0.16 ^{Bb}	2.04 \pm 0.06 ^{Aa}

注:同一指标同行(列)不同小(大)写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由图1可知,牛肉起始pH较高,近为6.20。在0~2 d,随着发酵期间乳酸菌和葡萄球菌等菌种数量的大幅增加,促使CO和LSS组pH大幅下降,Lorenzo、Wang、Nie等^[23-25]研究结果表明发酵期间乳酸菌等发酵剂数量快速增加促使肉中碳水化合物分解为乳酸等小分子有机酸,且发酵剂组因清酒乳杆菌等发酵剂的添加,促进LSS组pH(4.43)显著低于CO组(5.03)($P < 0.05$)。在2~5 d成熟初期,因菌种仍有小幅上升,引起发酵牛肉干pH保持持续下降的趋势。5~9 d成熟过程,菌株活性受到低温、低pH、低湿度的强烈抑制,菌种数量大幅下降,此时酸度下降的速率可能小于蛋白质分解产生氨、三甲胺等碱性物质速率^[26],致使牛肉干pH在此阶段呈现小幅回升的现象。低pH有利于改善香肠色泽、口感、改变蛋白质与水分结合能力和抑制肉干中肠杆菌等一类有害及致病菌生长繁殖。成熟结束后牛肉干pH低于发酵肉制品安全酸度要求5.3^[27]。

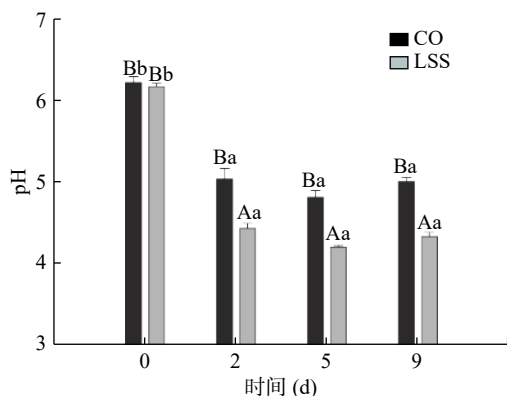


图1 发酵剂对发酵牛肉干发酵成熟过程pH变化的影响
Fig.1 Effect of starter cultures on pH value of fermented beef jerky in fermentation and ripening process
注:组内(间)不同小(大)写字母表示差异显著($P < 0.05$);图2~图4同。

2.3 发酵剂对发酵牛肉干 A_w 值的影响

水分活度值(A_w)高低是衡量香肠保质期的一个重要栅栏技术因子。 A_w 低于0.9时,食品中腐败菌生长受到抑制;低于0.85时,酶活性大幅下降;低于0.6时,霉菌及耐盐菌活性降到最低^[28-29]。

腌制结束,两组水分活度值(A_w)均为0.91;发酵过程中,CO组 A_w 值没有变化,LSS组仅下降0.1个单位。2~5 d成熟第一阶段,发酵牛肉干 A_w 值下降幅度增大,5 d末CO、LSS两组分别降为0.81、0.84。而在5~9 d成熟第二阶段,CO、LSS两组 A_w 值下降幅度分别为13.67%、15.53%,LSS组下降幅度高于CO,但差异不显著($P > 0.05$)。成熟结束,两组 A_w 值差异不明显,说明发酵剂对牛肉干 A_w 值变化影响较小。牛肉干水分活度及pH均显著下降,低 A_w 值、pH有利于抑制肉干中可产生致癌物亚硝胺的肠杆菌等有害菌及致病菌生长繁殖,从而可提高产品品质和安全性,延长产品货架期^[30]。

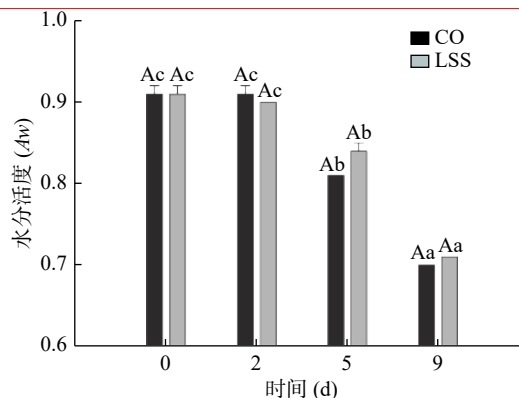


图2 发酵剂对发酵牛肉干发酵成熟过程水分活度变化的影响

Fig.2 Effect of starter cultures on water activity of fermented beef jerky in fermentation and ripening process

2.4 发酵剂对发酵牛肉干红度值的影响

发酵剂对发酵牛肉色泽的影响如图3。发酵牛肉干的红度值呈现先上升后下降的变化趋势。在0~2 d发酵过程中,两组红度值均上升,发酵结束后CO与LSS组红度值(a^*)分别为20.41、22.34。此时红度值的增加可能与发酵剂快速产酸、促使亚硝酸盐在酸性条件下与肌红蛋白结合形成呈现玫瑰红的亚硝肌红蛋白有关^[31-33]。成熟过程中,牛肉干红度值大幅下降,与肉干在成熟过程中水分大量蒸发、肉色进而变为暗红色有关,也可能与微球菌数量降低,致使产生可破坏由乳酸菌类形成的过氧化氢(H_2O_2)的过氧化氢酶数量和活性的下降,未能阻断 H_2O_2 对血红素色素的氧化所致^[11]。成熟结束,CO、LSS两组红度值相差1.90个单位,差异较小。说明,发酵剂对肉干的色泽在发酵和成熟第一阶段影响较大。

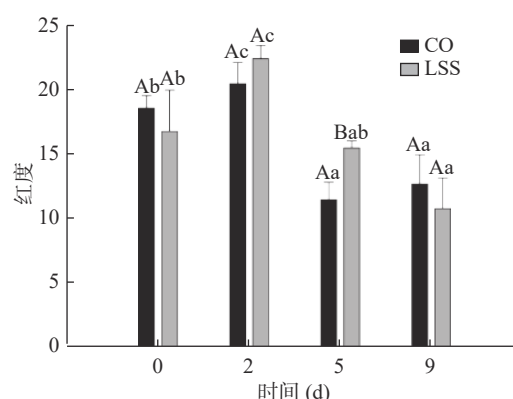


图3 发酵剂对发酵牛肉干发酵成熟过程红度变化的影响
Fig.3 Effect of starter cultures on red color of fermented beef jerky in fermentation and ripening process

2.5 发酵剂对发酵牛肉干生物胺组成的影响

发酵剂对发酵牛肉干中生物胺的影响如图4,共检出苯乙胺、色胺、腐胺、尸胺、组胺及酪胺六种生物胺。其中苯乙胺是一种芳香胺,会被单胺酶氧化分解,可有效防止其在人体脑部集中。由图4A可知,发酵肉干中苯乙胺含量呈现先上升后下降的变化趋

势, CO 组在 5 d 末含量显著高于其他阶段($P<0.05$), LSS 组整个过程中含量变化微小, 且均未超过 1 mg/kg。色胺是色氨酸经氨基酸脱羧酶脱羧后形成, 其具有血管收缩的作用, 整个过程含量变化均未超过 2 mg/kg; 对于色胺的变化, 2~9 d LSS 组含量均高于 CO 组, 说明添加清酒乳杆菌、戊糖片球菌及木糖葡萄糖球菌有利于色胺的小幅积累。尸胺和腐胺被用作衡量红肉和食品卫生的重要指标^[34], 最终含量均低于美国食药局毒性最高限量指导标准(100 mg/kg)^[35]。由图 4C~D 可知, 腌制结束 0 d 肉中腐胺、尸胺含量较低, 说明原料肉比较新鲜; 随着进入发酵和成熟过程, CO 组中腐胺和尸胺含量急剧增加, 各阶段含量差异显著($P<0.05$), 特别是腐胺含量在成熟结束时增长到 95.92 mg/kg, 显著高于同期的 LSS 组腐胺含量 19.05 mg/kg($P<0.05$); LSS 组中尸胺和腐胺含量

变化为先上升后下降, 在发酵结束时含量达到最高, 均低于 40.00 mg/kg。据 Baka 等^[11]报道称, 尸胺和腐胺的形成与肠杆菌科和假单胞菌的脱羧酶活性有关, Suzzi 等^[36]研究报道称肠杆菌科是腐胺和尸胺的形成和积累的主要微生物, 具有较高脱羧酶活性。综合表明, 接种的清酒乳杆菌、戊糖片球菌及木糖葡萄糖球菌复合发酵剂可强烈抑制肠杆菌等产胺菌活性, 进而可大幅控制肉干中尸胺和腐胺含量变化, 对提高肉干卫生质量具有重要的贡献作用。从毒性角度看, 组胺是毒性最高的生物胺, 尸胺、腐胺、酪胺等胺类的存在对其毒性具有辅助作用, 可增强其毒性^[24,37]。0~9 d, 两组肉干中酪胺含量变化微小, 且成熟结束时 LSS 组含量低于 CO 组。而肉干中组胺含量大幅上升, 发酵结束时 CO、LSS 组分别为 60.62、50.50 mg/kg; 后期成熟过程中, 两组组胺含量大幅下降, 说明产组胺

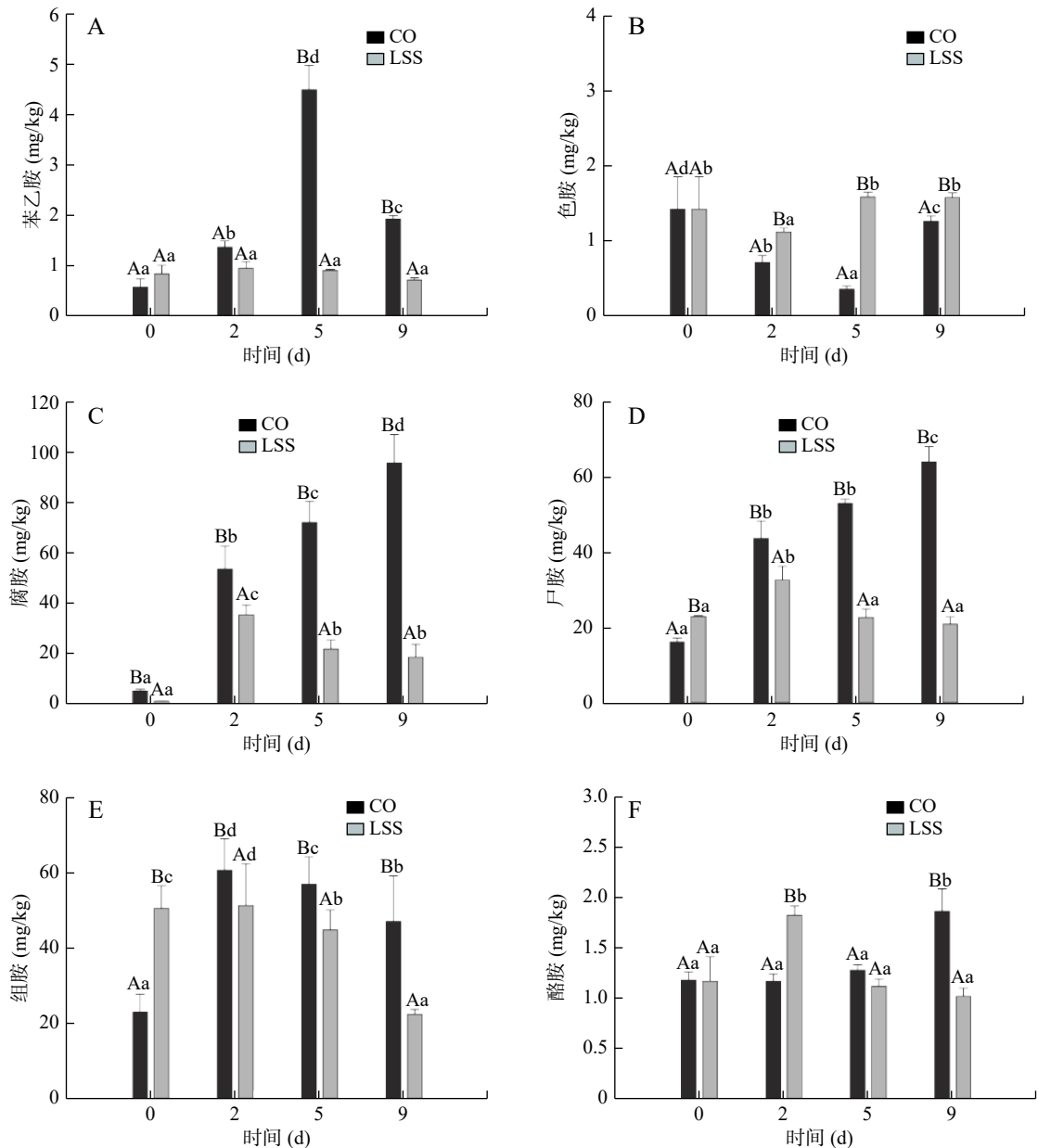


图 4 发酵剂对发酵牛肉干中生物胺组成的影响

Fig 4 Effects of starter cultures on biogenic amine composition in fermented beef jerky

菌受温度变化影响较大,成熟结束 LSS 组含量(22.56 mg/kg)低于 CO 组(47.00 mg/kg)。说明添加上述复合发酵剂对产组胺菌产生较强抑制作用,结合温度的变化,接种上述发酵剂制作发酵肉干可显著提高其安全性能。

2.6 发酵牛肉干感官评定

通过对成熟后发酵牛肉干感官评价,衡量消费者对发酵牛肉干的可接受度,评价结果如表 3 所示。可能由于添加发酵剂促使肉干 pH 的快速下降,改变了肌肉蛋白与水分的结合能力,促进肉干内部水分不断向外部扩散,使得发酵组肉干内外干燥程度一致,使发酵剂组外观优于对照组。随着 pH 的下降,肉干中硝酸盐与肌红蛋白逐渐结合形成呈现鲜红色的亚硝肌红蛋白,使得 LSS 组红度色泽明显高于 CO 组。发酵成熟过程中,牛肉干肌肉和脂质可能被添加的微生物发酵剂分解为小分子物质—游离氨基酸和脂肪酸,这部分氨基酸和脂肪酸在发酵剂和酶的作用下,可生成特殊风味物质,使得肉干在成熟过程中风味物质不断积累。这可能是造成发酵剂组与对照组风味差异的原因。随着肌肉蛋白质的分解,大分子蛋白被分解成多肽,从而改善了肉干的质构。综合以上指标的变化,使得发酵剂组牛肉干的整体可接受度高于对照组。

表 3 感官评价
Table 3 Sensory evaluation

组别	外观	色泽	风味	质构	整体可接受度
CO	6.50 ± 0.25	6.66 ± 0.20	6.21 ± 0.42	6.56 ± 0.32	8.01 ± 0.21
LSS	7.65 ± 0.45	7.69 ± 0.27	7.86 ± 0.26	7.45 ± 0.20	8.33 ± 0.25

3 结论

接种清酒乳杆菌、戊糖片球菌及木糖葡萄球菌复合发酵剂促使肉干中乳酸菌成为优势菌,5 d 时 LSS 组乳酸菌与葡萄球菌数量迅速增加至 9.78、8.83 CFU/g,高于 CO 组;加快产品酸化速率,降低肉干的水分活度,显著抑制了肠杆菌数量,致使成熟结束后 LSS 组肠杆菌数量(2.04 CFU/g)仅占 CO 组的 2/5;接种复合发酵剂降低了肉干中尸胺、腐胺、组胺含量,成熟结束 LSS 生物胺总量为 66.02 mg/kg,远低于 CO 组的 212.14 mg/kg。因而,添加上述复合发酵剂有利于缩短肉干加工周期,改善产品红度色泽,提高产品品质和安全性能。

© The Author(s) 2021. 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] 王德宝,胡冠华,苏日娜,等.发酵剂对羊肉香肠中蛋白、脂质代谢与风味物质的影响[J].农业机械学报,2019,50(3):343-351.
[2] Wang D, Zhao L, Su R, et al. Effects of different starter culture combinations on microbial counts and physico-chemical proper-

ties in dry fermented mutton sausages[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(1): 1957-1968.

[3] Xie C, Wang H H, Nie X K, et al. Reduction of biogenic amine concentration in fermented sausage by selected starter cultures[J]. CyTA - Journal of Food, 2015, 13(4): 491-497.

[4] Hernández-Orte P, Peña A, Pardo I, et al. Amino acids and volatile compounds in wines from cabernet sauvignon and tempranillo varieties subjected to malolactic fermentation in barrels[J]. Food Science and Technology International, 2012, 18: 103-112.

[5] Lu S L, Xu X, Zhou G, et al. Effect of starter cultures on microbial ecosystem and biogenic amines in fermented sausage[J]. Food Control, 2010, 21(4): 444-449.

[6] 景智波,田建军,杨明阳,等.食品中与生物胺形成相关的微生物菌群及控制技术研究进展[J].食品科学,2018,39(15):262-268.

[7] Galgano F, Caruso M, Condelli N, et al. Focused review: Agmatine in fermented foods[J]. Frontiers in Microbiology, 2012(3): 1-99.

[8] Gomes M B, Pires B A, Fracalanza S A, et al. The risk of biogenic amines in food[J]. Ciencia & Saude Coletiva, 2014, 19(4): 1123-1134.

[9] 李思宁,唐善虎,王柳,等.四川区域自然发酵香肠及人工接种牦牛肉发酵香肠中生物胺含量的研究[J].食品科学,2016,37(11):197-201.

[10] 孙钦秀,杜洪振,李芳菲,等.复合香辛料提取物对哈尔滨风干肠中生物胺形成的抑制作用[J].食品科学,2018,39(1):22-28.

[11] Baka A M, Papavergou E J, Pragalaki T, et al. Effect of selected autochthonous starter cultures on processing and quality characteristics of Greek fermented sausages[J]. LWT- Food Sci Technol, 2011, 44(1): 54-61.

[12] Zhang Q, Lin S, Nie X. Reduction of biogenic amine accumulation in silver carp sausage by an amine-negative Lactobacillus plantarum[J]. Food Control, 2013, 32(2): 496-500.

[13] 王德宝,赵丽华,田建军,等.不同发酵剂对发酵香肠中风味物质释放及有害生物胺控制的影响[J].中国食品学报,2019,19(8):89-96.

[14] Van Ba H, Seo H W, Kim J H, et al. The effects of starter culture types on the technological quality, lipid oxidation and biogenic amines in fermented sausages[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 191-198.

[15] 鹿国强.发酵牛肉干发酵特性与工艺优化研究[D].长春:吉林大学,2019.

[16] 刘兰.不同发酵剂对发酵牛肉干品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.

[17] GB 4789.2-2016 食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定[S].北京:中国标准出版社,2016.

[18] GB 4789.41-2016 食品安全国家标准 食品微生物检验 肠杆菌科检验[S].北京:中国标准出版社,2016.

[19] GB 4789.35-2016 食品安全国家标准 食品微生物检验 乳酸菌检验[S].北京:中国标准出版社,2016.

[20] GB 5009.237-2016 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.

[21] GB 5009.208-2016 食品安全国家标准 食品中生物胺含量测定[S].北京:中国标准出版社,2016.

[22] Essid I, Hassouna M. Effect of inoculation of selected *Staphylococcus xylosus* and *Lactobacillus plantarum* strains on biochemical, microbiological and textural characteristics of a Tunisian dry fermented sausage[J]. Food Control, 2013, 32(2): 707-714.

[23] Lorenzo J M, Gomez M, Fonseca S. Effect of commercial

- starter cultures on physicochemical characteristics, microbial counts and free fatty acid composition of dry-cured foal sausage[J]. *Food Control*, 2014, 46: 382–389.
- [24] Wang X H, Ren H, Wang W, et al. Effects of inoculation of commercial starter cultures on the quality and histamine accumulation in fermented sausages[J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80: 377–384.
- [25] Nie X, Zhang Q, Lin S. Biogenic amine accumulation in silver carp sausage inoculated with *Lactobacillus plantarum* plus *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Food Chemistry*, 2014, 153: 432–436.
- [26] Özyurt G, Kuley E, Özkütük S, et al. Sensory, microbiological and chemical assessment of the freshness of red mullet (*Mullus barbatus*) and goldband goatfish (*Upeneus moluccensis*) during storage in ice[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(2): 505–510.
- [27] 吴满刚, 王小兰, 陈洋洋, 等. 浓缩型冻干发酵剂在鸭肉发酵香肠中的应用[J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 134–140.
- [28] 王俊, 周光宏, 徐幸莲, 等. 发酵香肠成熟过程中理化性质变化研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(10): 63–66.
- [29] Johnson R C, Romans J R, Muller T S, et al. Physical, chemical and sensory characteristics of four types of beef steaks[J]. *Journal of Food Science*, 1990, 55(5): 1264–1273.
- [30] Sun Q X, Chen Q, Li F F, et al. Biogenic amine inhibition and quality protection of Harbin dry sausages by inoculation with *Staphylococcus xylosum* and *Lactobacillus plantarum*[J]. *Food Control*, 2016, 68: 358–366.
- [31] Mac Dougall D B, Mottram D S, Rhodes D N. Contribution of nitrite and nitrate to color and flavor of cured meats[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1975, 26(11): 1743–1754.
- [32] 张春晖, 李侠, 李银, 等. 低温高湿变温解冻提高羊肉的品质[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(6): 267–273.
- [33] 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.
- [34] Chang M, Chang H C. Development of a screening method for biogenic amine producing *Bacillus* spp[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 153(3): 269–274.
- [35] Stratton J E, Hutkins R W, Taylor S L. Biogenic amines in cheese and other fermented foods, a review[J]. *J Food Prot*, 1991, 54(3): 460–470.
- [36] Suzzi G, Gardini F. Biogenic amines in dry fermented sausages: A review[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, 88: 41–54.
- [37] Shalaby A R. Significance of biogenic amines to food safety and human health[J]. *Food Research International*, 1996, 29(7): 675–690.