

张佳敏, 张李智桐, 王卫, 等. 酿酒酵母对腊肉理化性质及微生物特性的影响研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(14): 145–153. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090234

ZHANG Jiamin, ZHANG Lizhitong, WANG Wei, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on Physicochemical Properties and Microbial Characteristics of Cured Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(14): 145–153. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090234

· 生物工程 ·

酿酒酵母对腊肉理化性质及微生物特性的影响研究

张佳敏¹, 张李智桐¹, 王 卫¹, 白 婷¹, 吉莉莉¹, 唐 春²

(1. 肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106;

2. 四川高金实业集团股份有限公司, 四川遂宁 629000)

摘要: 为研究酿酒酵母对腊肉贮藏品质的影响, 本实验以相同工艺制作对照组 (CK) 和添加酿酒酵母 0.3% 试验组 (SC) 川式腊肉, 测定其在贮藏过程中的理化和微生物特性指标。结果表明, SC 组 pH 和水分含量分别为 5.98 和 25.88%, 较 CK 组低, 两组 a_w 差异不明显; 在氧化指标方面, SC 酸价 (AV) 为 1.85 mg/g、过氧化值 (POV) 为 0.024 g/100 g, 硫代巴比妥酸值 (TBA) 为 0.241 mg/kg, 均显著性低于 CK 组的 2.13 mg/g、0.043 g/100 g 和 0.314 mg/kg ($P < 0.05$)。此外, 可溶性蛋白 (SP) 和游离氨基酸 (FAA) 含量在 CK 组中明显升高。对风干和贮藏两阶段亚硝酸钠含量的检测结果显示, 亚硝酸钠在整个过程中持续降低, 在贮藏第 29 d 时, CK 组中的含量为 19.06 mg/kg, 而 SC 组为 10.48 mg/kg, 降低了 38.22%。随着贮藏时间的延长, 两组产品酵母菌数量均呈下降趋势, 而乳酸菌数量增加, SC 组产品微生物指标整体上均高于 CK 组。主成分分析结果揭示, 酵母菌的量与 a_w 、SP 呈显著正相关 ($P < 0.05$), 而与 AV、TBA、乳酸菌含量及菌落总数 (TPC) 呈负相关。综上, 添加酿酒酵母对腊肉的脂类物质抗氧化能力、蛋白质分解能力有提升作用。

关键词: 酿酒酵母, 四川腊肉, 理化性质, 微生物特性, 主成分分析

中图分类号: TS251.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)14-0145-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090234



本文网刊:

Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on Physicochemical Properties and Microbial Characteristics of Cured Meat

ZHANG Jiamin¹, ZHANG Lizhitong¹, WANG Wei¹, BAI Ting¹, JI Lili¹, TANG Chun²

(1. Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610106, China;

2. Sichuan Gaojin Industrial Co., Ltd., Suining 629000, China)

Abstract: The study was conducted to explore the effects of *Saccharomyces cerevisiae* on the quality changes of bacon during storage. The blank control group (CK) and *Saccharomyces cerevisiae* 0.3% case group (SC) Sichuan-style bacon were prepared by the same process, and whose physicochemical and microbiological properties were determined during storage. The results showed that the pH and moisture content of the products from SC were 5.98 and 25.88%, which were lower than those of CK, whereas the difference of a_w between groups was not observed. For oxidation indexes, the acid value (AV), peroxide value (POV) and thiobarbituric acid value (TBA) of the SC was 1.85 mg/g, 0.024 g/100 g, and 0.241 mg/kg, which were significantly lower than those of the CK of 2.13 mg/g, 0.043 g/100 g, and 0.314 mg/kg ($P < 0.05$), respectively. In addition, the soluble protein (SP) and free amino acid (FAA) contents were significantly higher in CK group. The sodium nitrite content at both air-drying and storage stages continued to decrease throughout the process, with

收稿日期: 2022-09-23

基金项目: 四川省科技计划“川猪产业链提质增效关键技术研究及集成示范”(2020YFNO147); 国家现代农业产业技术体系四川生猪创新团队 (scxctd-2022-08); 四川省科技成果转化示范项目“生物发酵技术提升板鸭等传统特色肉制品质量应用示范”(2021ZHCG0050)。

作者简介: 张佳敏 (1982-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程, E-mail: cdusp@qq.com。

19.06 mg/kg in CK and 10.48 mg/kg in SC at 29 d, with a significant decrease of 38.22%. Furthermore, the number of yeasts in both groups showed a decreasing trend whereas lactic acid bacteria was increased through storage. However, the overall microbiological indexes in SC were higher than those in CK. The principal component analysis showed that the amount of yeast was significantly and positively correlated with a_w and SP, but was negatively correlated with AV, TBA, lactic acid bacteria content and total colony count (TPC). In summary, adding *Saccharomyces cerevisiae* was beneficial to enhancing the antioxidant capacity of lipids and proteolytic capacity of bacon.

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*; Sichuan-style bacon; physicochemical properties; microbial characteristics; principal component analysis

腊肉是一种国内传统腌腊肉制品,它集肉的香味、咸鲜味以及特有的腌腊风味于一体,风味独特、色泽鲜明,深受人们喜爱。各地区的腊肉产品各具特色,四川腊肉产品更是远近闻名。传统自然风干加工的腊肉产品往往存在盐含量较高、产品风味参差不齐、亚硝酸盐残留超标、杂菌污染、品质不可控等问题^[1],阻碍了腊肉这一传统特色肉制品的发展。

近年来,不少研究表明,部分微生物发酵对于改善腌腊肉制品感官品质,提升风味,抑制有害物生成,提高产品安全性等方面具有良好的作用^[2]。王卫等^[3]使用戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)、木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosus*)、肉色葡萄球菌(*Staphylococcus carnosus*)、清酒乳杆菌(*Lactobacillus sakei*)、汉逊德巴利酵母菌(*Debaryomyces hansenii*)混合菌制作腊肉,发现复合菌能延缓腊肉在贮藏过程中的氧化,同时增加游离氨基酸含量,提升腊肉安全性和风味;王传花^[4]通过筛选具有抑菌能力的微生物得到一种植物乳杆菌,发现乳杆菌能提升腊肉的整体感观以及抑制有害菌生长;杜宝^[5]将自然发酵肉干中提取的植物乳杆菌,戊糖片球菌接种到香肠后发现亚硝酸钠含量较对照组有所降低;Olesen等^[6]将汉逊德巴利酵母菌应用在香肠的制作中,起到增香作用。微生物发酵提升传统腊肉、香肠等产品品质是目前的研究热点之一,且应用较多的微生物发酵剂有植物乳杆菌、清酒乳杆菌、木糖葡萄球菌、产黄青霉和纳地青霉及汉逊德巴利酵母菌等^[7]。

陈竞适等^[8]在传统湘西腊肉中分离出酵母菌;张秋会等^[9]在信阳腊肉和湖南腊肉中提取了假丝酵母、毕赤酵母、汉逊德巴利酵母。目前没有在传统腊肉中提取酿酒酵母的报道。酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)是一种和人类关系最广泛的酵母,常用于酿酒和面点制作,在酿酒、面点制作等加工中具有分解高级醇并结合酸类物质生产酯类提升风味,以及改善质构的作用^[10-11]。王宁^[12]将酿酒酵母、乳酸菌、肉葡萄球菌复配后腌制肉干发现复配菌能促进不饱和脂肪酸的生成和蛋白质的分解。本试验以酿酒酵母为微生物发酵剂,将其接种到四川腊肉中,以不接种发酵剂的腊肉为对照,研究腊肉在贮藏期间的理化及微生物性质的变化,以及酿酒酵母对腊肉安全性的影响,以期分析研究酿酒酵母对四川腊肉品质的影响,为酿酒酵母运用于腊肉提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪五花肉 由四川高金实业集团股份有限公司提供;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) 安琪酵母股份有限公司;三氯乙酸、乙酸锌、亚铁氰化钾、石油醚、三氯甲烷、冰乙酸、氯化钾、石油醚、无水硫酸钠、磷酸缓冲溶液、乙醚、异丙醇、氢氧化钠、硫代硫酸钠均为分析纯 成都科龙化学制品有限公司;考马斯 G-250 染料、茚三酮染料 上海源叶生物科技有限公司;食盐、白酒(酒精度:52%vol)、五香粉(由八角、小茴香、花椒、桂皮、丁香五种香料粉复配) 大连闻达食品配料有限公司;乙基麦芽酚 北京味胜隆食品有限公司。

智能调控风干发酵装置(BFJX-500)、滚揉机(BVBJ-60L) 浙江嘉兴艾博实业股份有限公司;电热恒温水浴锅(HHS-11-4) 上海博迅实业有限公司;冷冻离心机(TGL-20M) 长沙湘仪离心机仪器有限公司;快速水分测定仪(WL-30RL) 深圳冠亚科技技术有限公司;手提式压力蒸汽灭菌器(YX-18HDD) 江阴滨江医疗设备有限公司;旋转蒸发仪(RV10-DS96) 德国 IKA 集团;水浴恒温振荡器(SHA-B) 金坛市金南仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 产品制作 产品配方参考张佳敏等^[13]的方法并做一定修改:猪肉 1000 g、五香粉 50 g、白酒 20 g、酿酒酵母 3 g、乙基麦芽酚 0.4 g、亚硝酸钠 0.15 g。

制作工艺:把猪五花肉整形分割为 5 cm 宽的肉条,使用白酒均匀涂抹猪肉表面,将腊肉分为两组,分别为对照组(CK 组)和添加发酵剂组(SC 组),肉条置于真空滚揉机中,加入辅料,于 4 ℃ 条件下滚揉 30 min(滚揉 5 min,静置 10 min),在 25 ℃ 无氧条件下静腌 12 h,整形后晾挂于风干发酵装置内,调节温度为 10.0 ℃、气流速度 1.0 m/s、湿度 65%,风干 8 d。真空包装后于常温贮藏。

1.2.2 试验分组及采样 对照组(CK 组):不添加酿酒酵母;

添加发酵剂组(SC 组):按原料肉质量的 0.3% 添加直投式酿酒酵母。

在腊肉贮藏期间,分别于 1、2、3、4、5、6 月取样,测定腊肉在贮藏过程中 pH、水分、脂肪氧化、蛋

白质分解、微生物等指标的变化;在风干过程及贮藏第一个月中采样测定亚硝酸钠残留量。每组样本取三个平行样,结果取平均值。

1.3 测定方法

1.3.1 pH 参照 GB 5009.237-2016 测定。

1.3.2 水分活度(Water activity, a_w) 参照 GB 5009.238-2016《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》中水分活度仪扩散法测定。

1.3.3 水分含量 参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》中直接干燥法测定。

1.3.4 酸价(Acid value, AV) 参照 GB 5009.229-2016《食品中酸价的测定》中冷溶剂指示剂滴定法测定。

1.3.5 过氧化值(Peroxide value, POV) 参照 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准食品中过氧化值的测定》中滴定法测定。

1.3.6 硫代巴比妥酸值(TBA) 参照 GB 5009.181-2016《食品中丙二醛的测定》中分光光度法测定。

1.3.7 可溶性蛋白质(Soluble protein, SP) 参照祝连彩等^[14]的方法测定。精确称取样品 3 g, 加入 30 mL 水, 放入离心机中。使用 3000 r/min 的转数离心 10 min。离心结束后过滤, 精确吸取滤液 1 mL 到比色管中, 加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液后静置 2 min, 在 595 nm 下进行测量吸光度。标曲方程: $y=0.0396x+0.329$, 决定系数: $R^2=0.9974$ 。其中, x 是蛋白质含量($\mu\text{g/mL}$), y 是吸光度(nm)。

$$\text{可溶性蛋白含量}(\mu\text{g/g}) = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{式(1)}$$

式中: n_1 是通过标准曲线查到的样品可溶性蛋白含量(g); n_2 是样品质量(g)。

1.3.8 游离氨基酸(Free amino acid, FAA) 参照刘慧燕等^[15]的茚三酮比色法测定。称取 5 g 样品, 加入 50 mL 水和 5 g 活性炭, 加热到沸腾后趁热过滤, 并使用 40 mL 热水冲洗容器。过滤完毕后吸取 4 mL 滤液于 25 mL 具塞比色管中, 添加 1 mL 茚三酮试剂和缓冲溶液, 水浴加热 15 mL, 冷却后定容, 静置 15 min, 在 570 nm 下测量吸光度。标曲方程: $y=0.0096x-0.0145$, 决定系数: $R^2=0.9953$ 。其中, x 是氨基酸含量($\mu\text{g/mL}$), y 是吸光度(nm)。

$$\text{游离氨基酸含量}(\text{mg}/100\text{ g}) = \frac{m_1}{m_2 \times 10} \quad \text{式(2)}$$

式中: m_1 是通过标准曲线得到的样品游离氨基酸含量(mg); m_2 是样品质量(g)。

1.3.9 亚硝酸钠 参照 GB 5009.33-2016《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》中分光光度法进行测定。

1.3.10 微生物指标 参照 GB 4789.2-2016《菌落总数测定》计数方法, 分别使用 PCA 培养基、MRS 培养基以及麦芽汁培养基, 测定菌落总数(TPC)、乳酸菌、酵母菌数量。

1.4 数据处理

数据统计使用 Excel 2016, 显著性分析、主成分分析采用 SPSS Statistics 26.0 进行处理分析, 图片制作使用 Origin 2021。

2 结果与分析

2.1 酿酒酵母对腊肉 pH、 a_w 及水分含量的影响

2.1.1 酿酒酵母对腊肉 pH 的影响 pH 是评价肉制品产品质量、控制风味的关键因素。贮藏期间 CK 组的 pH 持续上升, SC 组的 pH 先降后增。SC 组 pH 在 1~3 月间呈现下降趋势, 从 5.9 降低至 5.8(图 1), 这可能与乳酸菌等产酸微生物活动有关^[16], 酿酒酵母与乳酸菌的生长起到互促进作用^[17], 也有可能是酵母菌在厌氧条件下生成 CO_2 使得环境 pH 降低, 以及酵母菌促使蛋白质、脂肪等发生降解产生了酸性物质^[18]。CK 组和 SC 组的 pH 整体呈上升趋势, 分别从 5.8 升至 6.3、5.9 升至 6.2, 在 2~5 月时 CK 组显著($P<0.05$)高于 SC 组, 导致腊肉 pH 在贮藏过程中升高是因为部分酶的作用, 使蛋白质发生降解, 产生胺、氨等碱性含氮物质^[19]。肉的 pH 在贮藏期可视为影响保藏品质的指标之一, pH 越低, 霉菌等有害菌的生长越慢^[20], 在贮藏过程中, SC 组的 pH 整体低于 CK 组, 表面酵母菌在一定程度上抑制了腊肉 pH 的升高, 对腊肉的贮藏起到促进作用。

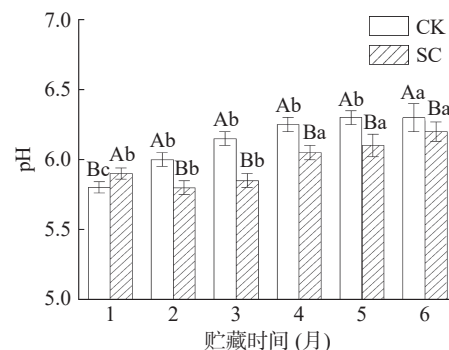


图 1 酿酒酵母对腊肉 pH 的影响

Fig.1 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on pH of cured meat during storage

注: 不同大写字母表示相同时间的组间差异显著($P<0.05$); 不同小写字母表示同组不同时间差异显著($P<0.05$); 图 2~图 9 同。

2.1.2 酿酒酵母对腊肉 a_w 的影响 通过对不同处理腊肉的 a_w 测定, 结果见图 2。发现 a_w 随着贮藏时间的延长而降低。腊肉 a_w 的变化主要来源于蛋白质的分解、pH 的降低和微生物的作用, 是一种反映水分在产品中游离程度的指标^[21], a_w 低于 0.9 时, 可视为较好保存条件。由图 2 可见, 在贮藏过程中, CK 组的 a_w 范围在 0.814~0.858 之间, SC 组的 a_w 在 0.809~0.874 之间, 两组的 a_w 均低于 0.9, 产品具有较好的可贮藏性。在 1~4 月间 SC 组的 a_w 高于 CK 组, 贮藏至 5、6 月时 a_w 显著降低, 且 SC 组低于 CK 组($P<0.05$)。SC 组的 a_w 高于 CK 组的原因可能是

由于添加的酵母菌促进了蛋白质的分解,使一部分游离水变成自由水,以及酵母菌自身代谢产生游离水所导致^[21],1~4月时酵母菌生长繁殖较为旺盛,故而 a_w 更高。但整体来看,两组之间的差异不明显。

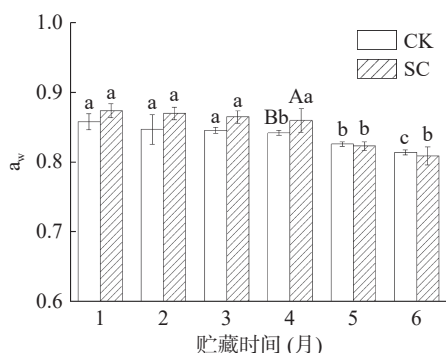


图2 酿酒酵母对腊肉 a_w 的影响

Fig.2 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on water activity of cured meat during storage

2.1.3 酿酒酵母对腊肉水分含量的影响 由图3可见,在贮藏过程中两组的水分含量出现降低,分别降低16.72%和14.94%,造成水分含量随贮藏时间降低的原因推测是真空包装袋的阻隔性较低,使得在贮藏过程中存在水分溢出现象^[22]。CK组的水分含量由31.22%降低至26.00%,SC组的水分含量从28.70%降低至24.41%,两组的平均值分别是27.69%、25.88%,整体比较来看,SC组在的水分含量显著低于CK组($P<0.05$),且两组在1、3、6月存在显著差异($P<0.05$)。水分是微生物代谢活动的必要条件,是部分理化反应的必要介质^[23],SC组中添加了酿酒酵母,而酿酒酵母的生长繁殖消耗了肉中的水分,是造成SC组中水分更低的原因。

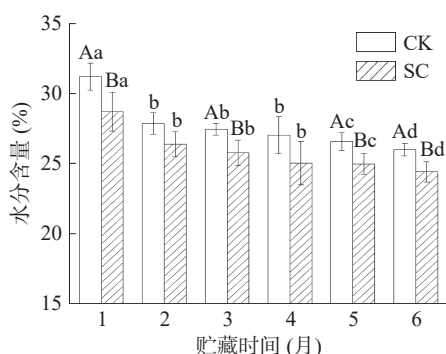


图3 酿酒酵母对腊肉水分含量的影响

Fig.3 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on moisture content of cured meat during storage

2.2 酿酒酵母对脂肪氧化的影响

2.2.1 酿酒酵母对腊肉AV的影响 腊肉贮藏过程中AV的变化如图4所示,随着贮藏期延长AV整体呈现上升的趋势,CK组从0.66 mg/g增长至3.68 mg/g,SC组由0.77 mg/g增长至2.67 mg/g,整个过程平均值分别为2.13和1.85 mg/g,SC组显著低于CK组($P<0.05$)。腊肉的贮藏过程中,脂肪会在

自身氧化、内源酶及微生物等因素的作用下发生分解。1~2月时,SC组AV大于CK组,可能是因为酵母代谢活动会加速脂肪的分解,产生大量游离脂肪酸;3~6月CK组AV增加速率加快,可能是随着游离脂肪酸的增多,脂肪会水解速率会增快^[24],此时酵母菌起到抑制脂肪氧化并清除氧化产物的作用^[25],导致SC组的AV低于CK组。AV标志着脂肪中游离脂肪酸的含量,可以视为推测油脂水解的重要指标^[21],SC组中酵母菌残留的酶会抑制脂肪的氧化水解。

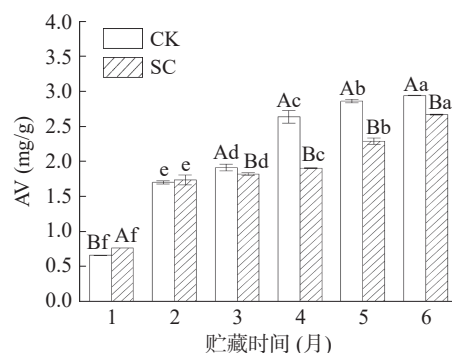


图4 酿酒酵母对腊肉AV的影响

Fig.4 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on acid value of cured meat during storage

2.2.2 酿酒酵母对腊肉POV的影响 腊肉贮藏过程中POV的变化如图5所示。POV的变化呈现先升高后降低的规律,且在5月时达到峰值,SC组显著低于CK组($P<0.05$)。CK组的POV从0.023 g/100 g增长至0.035 g/100 g,SC组的POV由0.002 g/100 g增长至0.012 g/100 g,整个过程的平均值分别为0.043和0.024 g/100 g。POV出现先增大后减小的现象,是因为当油脂的氧化程度变大时,初级氧化产物会进一步的发生分解^[26],形成小分子物质如脂肪酸等,部分产物并不稳定,会被氧化成过氧化物,随后继续氧化分解成如丙二醛(MDA)、戊醛、以及小分子物质如酮、酸、醇等,导致POV降低。脂肪产生适度的氧化且过氧化值低于0.2 g/100 g时,会对产品的独特风味形成产生积极的作用^[27],添加SC组腊肉在贮藏期POV值低于CK组,说明酿酒酵母能抑制腊肉的氧化。

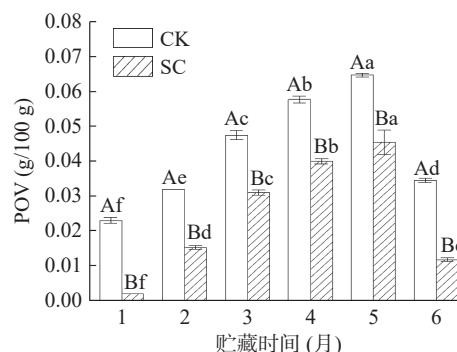


图5 酿酒酵母对腊肉POV的影响

Fig.5 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on peroxide value of cured meat during storage

2.2.3 酿酒酵母对腊肉 TBA 的影响 腊肉贮藏过程中 TBA 的变化如图 6 所示。在贮藏过程中, TBA 持续上升。整体比较, SC 组显著低于 CK 组 ($P<0.05$)。小分子的丙二醛会随着贮藏时间的增长而增加, 并与硫代巴比妥酸反应生产有色化合物。通过测量硫代巴比妥酸值可以反应出丙二醛的含量, 其中 CK 组的 TBA 从 0.067 mg/kg 增长至 0.549 mg/kg, SC 组 TBA 值从 0.065 mg/kg 增长至 0.402 mg/kg, 整个过程的平均值分别为 0.314 和 0.241 mg/kg。肉品中 TBA 如果超过 0.5 mg/kg^[28], 该产品会出现酸败味, 意味着产品已经腐败变质, CK 组的腊肉在 6 月时候 TBA 已经超过 0.5 mg/kg, 说明 CK 组已经变质, SC 组的 TBA 值依然在限定值内, 证明酿酒酵母能抑制脂肪氧化。

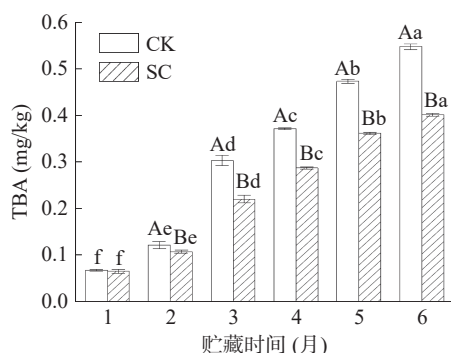


图 6 酿酒酵母对腊肉 TBA 的影响

Fig.6 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on TBA of bacon during storage

2.3 酿酒酵母对腊肉蛋白质降解的影响

2.3.1 酿酒酵母对腊肉 SP 的影响 腊肉贮藏过程中 SP 的变化如图 7。在腊肉的贮藏期间, 其 SP 处于下降的趋势, CK 组 SP 的范围为 1.52~2.21 $\mu\text{g/g}$, SC 组的范围为 1.61~2.52 $\mu\text{g/g}$, 两组产品 SP 的平均值分别为 1.83 和 1.99 $\mu\text{g/g}$, 两组均具有显著性差异 ($P<0.05$)。肉中的 SP 主要由肌浆蛋白这类小分子蛋白质组成, 酿酒酵母的生长和繁殖产生大量外源蛋白酶^[29], 会加速纤维蛋白质等不溶于水的大分子蛋白基团的降解, 造成 SC 组 SP 的含量高于 CK 组。在贮

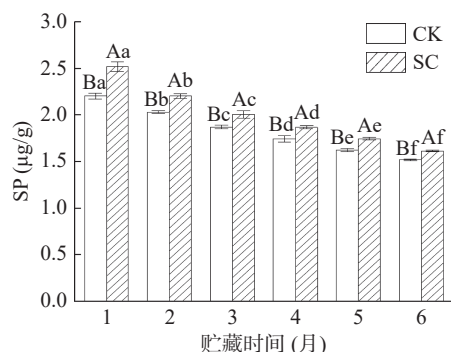


图 7 酿酒酵母对腊肉 SP 的影响

Fig.7 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on soluble protein of cured meat during storage

藏后期时, SP 逐渐降低, 标志着肉品中的大分子蛋白质分解活动变弱, 身为中间产物的小分子蛋白继续被分解成氨基酸。蛋白质水解过程主要发生在贮藏前期, 并且 SC 组的大分子蛋白质分解活动较 CK 组更活跃。

2.3.2 酿酒酵母对 FAA 的影响 腊肉贮藏过程中 FAA 的变化如图 8。腊肉的 FAA 在 1~4 月呈现快速上升的趋势, 在 5~6 月出现放缓或下降。在 1~4 月间, CK 组的 FAA 由 131.86 增长至 210.68 $\mu\text{g/g}$, SC 组的 FAA 由 178.79 $\mu\text{g/g}$ 增长至 214.49 $\mu\text{g/g}$, 6 月间两组 FAA 平均值分别为 183.58 和 201.55 $\mu\text{g/g}$, SC 组显著高于 CK 组 ($P<0.05$)。FAA 大量产生于贮藏初期, 这是由于酵母菌在前 4 个月生长较为旺盛, 分解蛋白质和肽类聚合物生成游离氨基酸^[30]。5~6 月时, SC 组中 FAA 显著降低, 且低于 CK 组 ($P<0.05$), 可能是由于此时酵母菌的生长停滞或衰亡, 且部分已生成的游离氨基酸会进一步结合生成其他风味物质^[31]。FAA 作为一种风味活性物质, 是部分构成风味的特征基团的前体物质和衡量蛋白水解程度的定量指标^[32], 蛋白质分解生成 FAA 有助于风味的形成, 且还可与蛋白质氧化生成的羰基化合物发生 Strecker 降解反应并生成醛类物质, 而醛类物质是腌腊肉制品中重要的风味物质, 因此, 酵母菌促进 FAA 生成的作用可使腊肉风味得到改善。

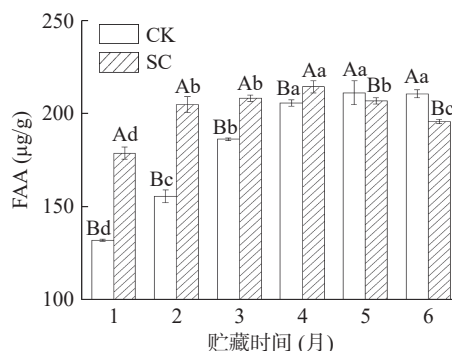


图 8 酿酒酵母对腊肉 FAA 的影响

Fig.8 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on free amino acids of cured meat during storage

2.4 酿酒酵母对腊肉风干和贮藏过程中亚硝酸钠残留量的影响

腊肉在风干和贮藏过程中亚硝酸钠含量的变化如表 1 所示。国家标准规定腌腊肉制品中亚硝酸钠残留量为 30 mg/kg, 两组样品均符合限量要求。由表 1 可见, 在风干过程中 SC、CK 组的亚硝酸钠降低率分别为 85.84% 和 83.08%, 并且在贮藏过程中, 亚硝酸钠含量在前半个月快速下降, 而后趋于稳定。在贮藏的前一个月, SC 组显著低于 CK 组 ($P<0.05$)。贮藏第 1 d 时, SC 组中亚硝酸钠残留量就已显著低于 CK 组, 这是由于在风干阶段时 SC 组中的亚硝酸钠降解更快有关。CK 组的亚硝酸钠含量在贮藏 1 d 时为 26.97 mg/kg, 而后随着贮藏时间的增

表 1 酿酒酵母对腊肉亚硝酸钠含量的影响

Table 1 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on nitrite content of cured meat during storage

亚硝酸钠含量 (mg/kg)	风干(d)					贮藏(d)									
	0	2	4	6	8	1	3	5	7	9	13	17	21	25	29
SC	215.51±2.76 ^{Ba}	117.83±2.86 ^{Bb}	76.15±1.21 ^{Bc}	46.47±1.80 ^{Bd}	30.51±1.41 ^{Be}	16.47±0.57 ^{BF}	14.54±0.55 ^{Bb}	13.20±0.61 ^{Bb}	12.17±0.47 ^{Bb}	11.18±0.51 ^{Bb}	10.48±0.32 ^{Bb}	10.13±0.39 ^{Bb}	10.06±0.36 ^{Bb}	9.66±0.44 ^{Bb}	9.59±0.42 ^{Bb}
CK	246.63±2.81 ^{Aa}	164.36±3.21 ^{Ab}	104.71±4.72 ^{Ac}	76.94±3.55 ^{Ad}	41.74±2.90 ^{Ac}	26.97±1.20 ^{AF}	25.35±0.93 ^{AF}	23.62±1.00 ^{AF}	22.36±1.00 ^{AF}	20.61±0.69 ^{Ab}	19.86±0.42 ^{Ab}	19.02±0.56 ^{Ab}	15.16±0.48 ^{Ab}	14.05±0.67 ^{Ab}	13.88±0.55 ^{Ab}

注: 不同大写字母表示相同时间的组间差异显著($P<0.05$); 不同小写字母表示同组不同时间差异显著($P<0.05$); 表2同。

加逐渐降到至 29 d 的 13.88 mg/kg, SC 组亚硝酸钠从贮藏 1 d 时的 16.47 mg/kg, 随后逐渐降低至 9.59 mg/kg, SC 组的亚硝酸钠含量相比 CK 组降低了 41.77 %。造成亚硝酸钠降低的原因有以下几点: 大部分的亚硝酸钠通过和血红、肌红蛋白发生反应从而形成稳定的络合物; 部分亚硝酸钠会被肉中具有还原性的化合物还原; 部分亚硝酸钠会和微生物发酵时候产生的巯基物质反应^[33]。试验结果显示, 在风干和后期贮藏过程中, SC 组中的亚硝酸钠残留量均显著低于 CK 组, 证明添加酿酒酵母降解亚硝酸钠含量, 减少其残留, 有利于提升腊肉安全性。

2.5 酿酒酵母对微生物特性的影响

两组的微生物差异如表 2 所示。由表 2 可见, CK 组酵母菌数量呈现持续下降的趋势, SC 组的酵母菌呈先上升后下降的趋势, 两组变化均呈现极显著性差异($P<0.01$)。SC 组酵母菌变化趋势可以从侧面印证水分含量、TBA 等指标的变化趋势, 证明酿酒酵母在腊肉贮藏期间有降低水分含量、抑制脂肪氧化等功能。CK 组中能检测出酵母菌可能是因为在腊肉的生产过程中, 微生物的残留或者在加工过程中的二次污染^[34]导致。酵母菌逐渐消失的原因可能是当 a_w 降低到 0.85 后, 会抑制酵母菌等真菌的生长^[35], 也有可能是酵母菌的快速繁殖的条件是需要接触氧气, 腊肉真空保存后氧气会逐渐被消耗, 导致酵母菌的繁殖速率降低。

表 2 酿酒酵母对腊肉微生物的影响
Table 2 Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on microorganisms of cured meat during storage

微生物指标	组别	贮藏时间(月)					
		1	2	3	4	5	6
酵母菌 lg(CFU/g)	CK	3.198 ^{Ba}	2.598 ^{Bb}	2.168 ^{Bc}	1.944 ^{Bd}	1.689 ^{Be}	1.139 ^{Bf}
	SC	4.147 ^{Ac}	4.447 ^{Ab}	4.674 ^{Aa}	3.715 ^{Ad}	3.336 ^{Ac}	2.932 ^{AF}
乳酸菌 lg(CFU/g)	CK	2.515 ^{Bf}	2.983 ^{Bc}	3.406 ^{Bd}	3.475 ^{Bc}	3.734 ^{Bb}	4.338 ^{Ba}
	SC	3.944 ^{AF}	4.198 ^{Ac}	4.431 ^{Ad}	4.566 ^{Ac}	4.671 ^{Ab}	4.868 ^{Aa}
菌落总数 lg(CFU/g)	CK	2.503 ^{Bf}	2.839 ^{Bc}	3.362 ^{Bd}	3.661 ^{Bc}	3.976 ^{Bb}	4.163 ^{Ba}
	SC	3.616 ^{AF}	3.992 ^{Ac}	4.198 ^{Ad}	4.363 ^{Ac}	4.538 ^{Ab}	4.834 ^{Aa}

乳酸菌、菌落总数呈现持续上升的趋势, 并两组存在极显著差异($P<0.01$)。在贮藏过程中, 乳酸菌逐渐取代酵母菌成为四川腊肉的优势菌种这和文开勇等^[36]的研究一致, SC 组的乳酸菌增长速率大于 CK 组, 可能与酵母菌能促进乳酸菌生长有关^[37]。

2.6 PCA 多元变量分析

为反映实验组腊肉贮藏过程中的样本差异, 对

所有贮藏期的指标进行 PCA 多元变量统计分析。指标参数分别为: pH(Z_1)、 a_w (Z_2)、水分含量(Z_3)、AV(Z_4)、POV(Z_5)、TBA(Z_6)、SP(Z_7)、FAA(Z_8)、酵母菌(Z_9)、乳酸菌(Z_{10})、TPC(Z_{11})。将原始数据进行标准化(Z-score 法)处理后进行 KOM 检验, KMO 指标为 0.712。KMO 统计量越接近于 1, 变量间的相关性越强, 偏相关性越弱, 因子分析的效果越好; 当 KMO 值 >0.7 时, 可以用于实际分析。通过 Bartlett 球体检验得知主成分显著性小于 0.05, 证明所有数据的关联性较高, 做出的主成分分析结果理想^[38]。根据特征值大于 1、累计贡献率大于 85% 为标准提取到 2 个主成分, 包含 81.084% 的 PCA1 和 14.637% 的 PCA2, 累计贡献率达 95.721%。

两个主成分公式如公式(3)、(4)所示。

$$\text{PCA1} = -0.005Z_1 + 0.241Z_2 + 0.054Z_3 - 0.11Z_4 + 0.245Z_5 - 0.147Z_6 + 0.112Z_7 + 0.183Z_8 + 0.196Z_9 - 0.132Z_{10} - 0.148Z_{11} \quad \text{式(3)}$$

$$\text{PCA2} = -0.217Z_1 + 0.231Z_2 - 0.126Z_3 + 0.027Z_4 + 0.388Z_5 - 0.038Z_6 - 0.030Z_7 + 0.453Z_8 + 0.133Z_9 - 0.007Z_{10} - 0.036Z_{11} \quad \text{式(4)}$$

当因子载荷数在 0.8 以上时, 代表这些变量与主成分之间相关性高于其他变量^[39], 指标越离散, 对整个 PCA 的影响越大。由表 3 可知, PCA1 在 a_w 、AV、TBA、SP、酵母菌、乳酸菌及 TPC 上的因子载荷均 >0.8 , 主要表征了腊肉水分活度、脂肪氧化程度、蛋白质降解程度及微生物方面的特性, 且酵母菌含量与 a_w 、SP 呈正相关, 而与 AV、TBA、乳酸菌及 TPC

表 3 特征向量与载荷矩阵
Table 3 Eigenvectors and loading matrix

指标	PCA1		PCA2	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量
pH(Z_1)	0.65	0.072878125	-0.729	-0.452795031
a_w (Z_2)	0.978	0.109653549	0.031	0.019254658
水分含量(Z_3)	0.784	0.087902231	-0.605	-0.375776398
AV(Z_4)	-0.864	-0.096871847	0.441	0.273913043
POV(Z_5)	-0.198	-0.022199798	0.874	0.542857143
TBA(Z_6)	-0.922	-0.103374818	0.334	0.207453416
SP(Z_7)	0.888	0.099562731	-0.457	-0.283850932
FAA(Z_8)	-0.14	-0.015696827	0.98	0.608695652
酵母菌(Z_9)	0.97	0.108756587	-0.164	-0.101863354
乳酸菌(Z_{10})	-0.914	-0.102477856	0.395	0.245341615
TPC(Z_{11})	-0.936	-0.104944501	0.345	0.214285714

呈负相关,酵母菌促进了蛋白质的降解,生成了较多的可溶性蛋白,并使得结合水变成自由水,从而使 a_w 升高,同时又抑制了脂肪的酸败。PCA2 在 POV 和 FAA 上的因子载荷>0.8,主要表征了腊肉氧化程度和游离氨基酸含量,适度的氧化有利于腊肉特征风味的形成,而游离氨基酸能为腊肉风味形成提供基础物质^[40],二者对腊肉风味形成均起重要作用,PCA2 与产品风味形成有关。

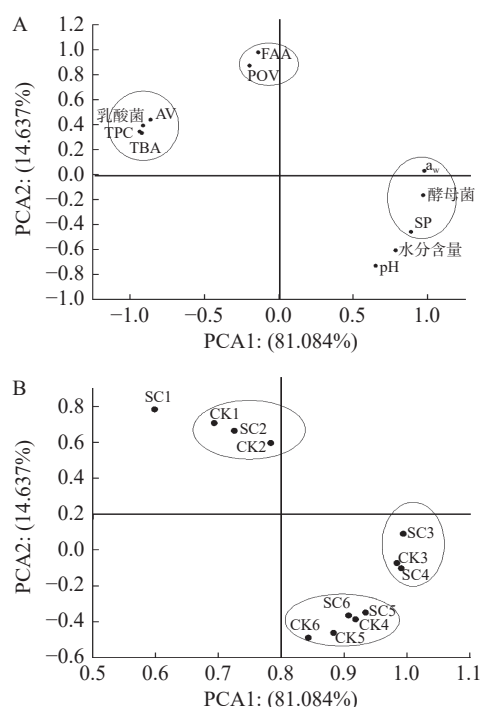


图 10 基于 PCA 解析酿酒酵母发酵腊肉特性
Fig.10 PCA analysis of the properties of fermented bacon products with *Saccharomyces cerevisiae*
注: A: 主成分得分图; B: 主成分载荷图。

3 结论

在四川腊肉中添加酿酒酵母,在腊肉贮藏过程中,试验组(SC组)的酸价(AV)显著降低 12.19% ($P<0.05$),过氧化值(POV)显著降低 65.71% ($P<0.05$),硫代巴比妥酸值(TBA)显著降低 12.29% ($P<0.05$),可溶性蛋白(SP)显著增加 4.54% ($P<0.05$),游离氨基酸含(FAA)显著增加 26.25% ($P<0.05$)。贮藏时间的增加,SC组水分含量降低,水分活度(a_w)增加,两组腊肉的酵母菌数量均呈现下降趋势,乳酸菌数量及菌落总数(TPC)呈现上升趋势,同时添加了酿酒酵母的试验组微生物指标变化趋势均高于对照组,SC组亚硝酸钠含量极显著降低($P<0.01$)。通过主成分分析显示,酿酒酵母与 a_w 、SP呈显著正相关($P<0.05$),而与AV、TBA、乳酸菌含量及菌落总数(TPC)呈负相关,酵母菌可促进蛋白质降解成可溶性蛋白和游离氨基酸,并抑制脂肪氧化酸败,添加酵母菌有利于促进腊肉风味的形成。

本实验通过添加酿酒酵母来研究腊肉的理化性质变化,为酿酒酵母成为四川腊肉的新式微生物发酵

剂提供理论基础。研究过程中,尚未详细研究酿酒酵母对腊肉中蛋白质的降解和游离氨基酸生成的机制和途径,也没有研究酿酒酵母对腊肉的具体风味的影响,所以后续的研究可以通过以上几点进行进一步的研究。

参考文献

- [1] 李晓燕,王卫,张佳敏,等.发酵微生物提升传统腌腊肉制品风味和安全性研究进展[J].食品工业,2018,39(5):275-279. [LI X Y, WANG W, ZHANG J M, et al. Research progress on fermentation microorganisms to enhance flavor and safety of traditional cured meat products[J]. Food Industry, 2018, 39(5): 275-279.]
- [2] B Q C A, A B K, A Q H, et al. The role of bacterial fermentation in lipolysis and lipid oxidation in Harbin dry sausages and its flavour development[J]. LWT, 2017, 77: 389-396.
- [3] 王卫,刘洋,王新惠,等.微生物发酵剂对四川腊肉可贮性和风味特性的影响[J].食品科技,2014,39(9):159-164. [WANG W, LIU Y, WANG X H. Effect of microbial starter on storability and flavor characteristics of Sichuan bacon[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(9): 159-164.]
- [4] 王传花.腊肉中抑菌微生物的分离及其应用研究[D].长沙:湖南农业大学,2017. [WANG C H. Isolation and application of bacteriostatic microorganisms in bacon[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.]
- [5] 杜宝.不同发酵剂和贮藏温度对发酵羊肉香肠品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018. [DU B. Effects of different fermenters and storage temperatures on the quality of fermented mutton sausage[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018.]
- [6] OLESEN P, STAHNKE L. The influence of *Debaryomyces hansenii* and *Candida utilis* on the aroma formation in garlic spiced fermented sausages and model minces[J]. Meat Science, 2000, 56(4): 357-368.
- [7] 李珊珊,祝超智,崔文明,等.发酵肉制品中微生物发酵剂分离筛选及应用研究进展[J].肉类研究,2019,33(7):61-66. [LI S S, ZHU C Z, CUI W M, et al. Research progress on the isolation screening and application of microbial fermenters in fermented meat products[J]. Meat Research, 2019, 33(7): 61-66.]
- [8] 陈竞远,刘静,任海蛟,等.湘西陈年腊肉微生物群落分析及高产脂肪酶菌的筛选[J].肉类研究,2017,31(3):1-6. [CHEN S J, LIU J, REN H J, et al. Microbial community analysis and screening of high-yield lipase bacteria of aged bacon in western Hunan[J]. Meat Research, 2017, 31(3): 1-6.]
- [9] 张秋会,王晗,祝超智,等.自然发酵腊肉中酵母菌的分离鉴定及其发酵特性研究[J].食品与发酵工业,2022,48(14):113-117. [ZHANG Q HWANG H, ZHU C Z, et al. Isolation and identification of yeast from naturally fermented bacon and its fermentation characteristics[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(14): 113-117.]
- [10] 李园子,田伏锦,王凤寰,等.白酒酿造中适产高级醇酿酒酵母菌株选育研究进展[J].食品与发酵工业,2022,48(15):316-324. [LI Y Z, TIAN F J, WANG F H, et al. Research progress on the breeding of *Saccharomyces cerevisiae* strains suitable for high alcohol production in liquor brewing[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(15): 316-324.]
- [11] 吴佳静,张娟,李江华,等.天然复合面包发酵剂的制备与性能分析[J].食品与发酵工业,2018,44(6):43-50. [WU J J, ZHANG J, LI J H, et al. Preparation and performance analysis of

- natural composite bread starter[J]. Food and Fermentation Industry, 2018, 44(6): 43-50.]
- [12] 王宁. 发酵山黑猪肉干发酵与干燥及品质特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022. [WANG N. Study on dry fermentation, drying and quality characteristics of fermented mountain black pork [D]. Changchun: Jilin University, 2022.]
- [13] 张佳敏, 王卫, 白婷, 等. 烘烤与风干干燥对四川腊肉脂质氧化影响的比较研究[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 115-121. [ZHANG J M, WANG W, BAI T, et al. Comparative study on the effects of baking and air drying on lipid oxidation of Sichuan bacon[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(5): 115-121.]
- [14] 祝连彩, 唐士金, 周丽. 考马斯亮蓝 G250 法测定蛋白质含量的教学实践及方法学探讨[J]. 教育教学论坛, 2020(23): 266-269. [ZHU L, TANG S J, ZHOU L. Teaching practice and methodological discussion on the determination of protein content by Kaumas Brilliant Blue G250 method[J]. Educational Teaching Forum, 2020(23): 266-269.]
- [15] 刘慧燕, 德力格尔桑, 方海田. 茚三酮比色法测定牛肉中游离氨基酸的试验研究[J]. 保鲜与加工, 2006, 6(2): 23-25. [LIU H Y, DELIGERSANG, FANG H T. Experimental study on the determination of free amino acids in beef by colorimetric method with ninhydrin[J]. Preservation and Processing, 2006, 6(2): 23-25.]
- [16] 李馨蕊, 刘力钰, 杨扬, 等. 传统腊肉的理化、微生物与风味特性[J]. 肉类研究, 2020, 34(1): 22-26. [LI X R, LIU L Y, YANG Y, et al. Physicochemical, microbiological and flavor characteristics of traditional bacon[J]. Meat Research, 2020, 34(1): 22-26.]
- [17] 吕雪峰, 闵伟红, 陈历俊, 等. 酿酒酵母对贮存期发酵乳特性的影响[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(7): 20-23. [LV X F, MIN W H, CHEN L J, et al. Effect of brewer's yeast on the characteristics of fermented milk during storage[J]. China Dairy Industry, 2013, 41(7): 20-23.]
- [18] 刘英丽, 于青林, 万真, 等. 发酵剂抗氧化活性对发酵肉制品品质的影响研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 302-312. [LIU Y L, YU Q L, WAN Z, et al. Research progress on the effect of antioxidant activity of ferments on the quality of fermented meat products[J]. Food Science, 2021, 42(1): 302-312.]
- [19] ALONSO V, MUELA E, TENAS J, et al. Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage[J]. European Food Research and Technology, 2016, 40(3): 473-482.
- [20] 刘洋, 王卫, 王新惠, 等. 微生物发酵剂对四川腊肉理化及微生物特性的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(6): 124-129. [LIU Y, WANG W, WANG X H, et al. Effect of microbial fermenters on physicochemical and microbial properties of Sichuan bacon[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(6): 124-129.]
- [21] 李彦虎, 负建民, 赵风云, 等. 陇西腊肉传统制作过程中细菌群落演替对脂肪水解及氧化的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 154-161. [MAO Y H, YUAN J M, ZHAO F Y, et al. Effect of bacterial community succession on fat hydrolysis and oxidation during the traditional production of Longxi bacon[J]. Food Science, 2021, 42(10): 154-161.]
- [22] 郑海英, 朱燕丽, 钟秋夏, 等. 包装材料对紫米贮藏品质的影响[J/OL]. 食品工业科技: 1-17[2022-11-15]. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060141. [ZHENG H Y, ZHU Y L, ZHONG Q X, et al. The impact of packaging materials on the storage quality of purple rice[J/OL]. Science and Technology of Food Industry: 1-17 [222-11-15]. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060141.]
- [23] 刘光宪, 王丽, 李雪, 等. 3 种天然抗氧化剂对腊肉理化性质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(15): 6177-6184. [LIU G X, WANG L, LI X, et al. Effect of three natural antioxidants on the physicochemical properties of bacon[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2021, 12(15): 6177-6184.]
- [24] 李林, 王亚娜, 王晓君, 等. 老腊肉加工过程中脂质水解及氧化的变化研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 252-258. [LI L, WANG Y N, WANG X J, et al. Study on the changes of lipid hydrolysis and oxidation during the processing of old bacon[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(8): 252-258.]
- [25] 郭薇丹, 刘薇丛, 胡作民, 等. 抗鱼肉脂肪氧化的耐冷冻酵母筛选及鉴定[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 166-170. [GUO W D, LIU W C, HU Z M, et al. Screening and identification of freeze resistant yeast resistant to fat oxidation in fish[J]. Food Science, 2019, 40(10): 166-170.]
- [26] 李宇辉, 王俊钢, 刘成江, 等. 不同温度处理的风干牛肉贮藏过程中脂肪变化[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 14-21. [LI Y H, WANG J G, LIU C J, et al. Fat changes during storage of air-dried beef with different temperature treatments[J]. Food Science, 2019, 40(13): 14-21.]
- [27] 白婷, 吉莉莉, 张佳敏, 等. 微生物发酵剂对冷藏四川腊肠特性的影响研究[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 149-155. [BAI T, JI L L, ZHANG J M, et al. Study on the effect of microbial fermenters on the characteristics of frozen Sichuan sausages[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 149-155.]
- [28] WOOD J D, ENSER M, FISHER A V, et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review[J]. Meat Science, 2008, 78(4): 343-358.
- [29] 李娜, 赵永强, 李来好, 等. 冰藏过程中罗非鱼鱼片肌肉蛋白质变化[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 88-94. [LI N, ZHAO Y Q, LI L H, et al. Changes of muscle protein in tilapia fillets during ice storage[J]. Southern Fisheries Science, 2016, 12(2): 88-94.]
- [30] 刘世琳. 不同产蛋白酶乳酸菌对风干牛肉蛋白质的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2021. [LIU S L. Effect of lactic acid bacteria with different protease production on protein of air dried beef[D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.]
- [31] 张旭. 川式酱香腊肠加工过程中内源酶对风味形成的影响[D]. 成都: 成都大学, 2021. [ZHANG X. Influence of endogenous enzymes on flavor formation during the processing of Sichuan soy sausage[D]. Chengdu: Chengdu University, 2021.]
- [32] 甘潇, 李洪军, 王兆明, 等. KCl 部分替代 NaCl 对腊肉蛋白质氧化、降解及质构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(4): 167-173. [GAN X, LI H J, WANG Z M, et al. Effect of partial replacement of NaCl by KCl on protein oxidation, degradation and texture of bacon[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(4): 167-173.]
- [33] 史沁红, 胡雪琴, 段春燕, 等. 不同贮藏条件对四川腊肉亚硝酸盐含量及理化指标的影响[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(15): 3155-3156. [SHI Q H, HU X Q, DUAN C Y, et al. Effects of different storage conditions on nitrite content and physicochemical indexes of Sichuan bacon[J]. Chinese Journal of Health Inspection, 2013, 23(15): 3155-3156.]
- [34] 陈美春. 四川腊肉加工贮藏中理化、微生物特性及产香葡萄球菌筛选的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008. [CHEN M C. Research on physicochemical and microbiological characteristics and screening of aromatic *Staphylococci* in Sichuan bacon processing and storage[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2008.]
- [35] 李杉杉. 传统腌腊肉品加工新工艺及其安全控制研究[D]. 成都: 西华大学, 2015. [LI S S. Research on the new process of traditional cured meat processing and its safety control[D]. Cheng-

du: Xihua University, 2015.]

[36] 文开勇,汪月,文鹏程,等.四川传统腊肉中微生物群落结构研究[J].食品与发酵工业,2020,46(3):36-42. [WEN K Y, WANG Y, WEN P C, et al. Study on microbial community structure in traditional Sichuan bacon[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(3): 36-42.]

[37] 徐伟良,李春冬,雅梅,等.自然发酵牛乳中乳酸菌和酵母菌的活菌动态变化[J].中国酿造,2020,39(10):43-47. [XU W L, LI C D, YA M, et al. Dynamic changes of lactic acid bacteria and yeast in naturally fermented milk[J]. China Brewing, 2020, 39(10): 43-47.]

[38] 张倩,沈舒琳.基于主成分分析的住宅产业化发展影响因素研究[J].工程经济,2021,31(5):76-80. [ZHANG Q, SHEN S L.

Research on the influencing factors of residential industrialization development based on principal component analysis[J]. Engineering Economics, 2021, 31(5): 76-80.]

[39] 汪冬冬,唐焱,陈功,等.不同发酵方式盐渍萝卜挥发性成分动态分析[J].食品科学,2020,41(6):146-154. [WANG D D, TANG Y, CHEN G, et al. Dynamic analysis of volatile components of salted radish by different fermentation methods[J]. Food Science, 2020, 41(6): 146-154.]

[40] 王卫,宋浪,张佳敏,等.腊肠品质形成机理及其调控研究进展[J].肉类研究,2017,31(5):52-55. [WANG W, SONG L, ZHANG J M, et al. Research progress on the formation mechanism and regulation of sausage quality[J]. Meat Research, 2017, 31(5): 52-55.]