

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2026.80080

协同保鲜技术对肉包常温贮藏品质及货架期的影响

李淑敏¹ 于 新¹ 杜 婷¹ 吴懿娜² 杜欣军¹

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 2. 狗不理集团股份有限公司, 天津 300040)

摘要: [目的] 探究一种兼顾安全性与品质稳定性的肉包协同保鲜技术方案, 以期实现肉包在常温下贮藏 7 d 的安全货架期目标。[方法] 以高温高压灭菌或炖煮作为前处理核心步骤, 在面皮中添加丙酸钙 (0.15 g/kg), 在肉馅中复配添加双乙酸钠 (1.5 g/kg)、山梨酸钾 (0.060 g/kg) 与 ϵ -聚赖氨酸 (0.20 g/kg), 结合气调包装与保鲜卡的协同作用, 构建持续抑制微生物再生长与延缓氧化的贮藏环境。[结果] 经高温高压灭菌和炖煮预处理, 再通过复配化学防腐剂、气调包装与保鲜卡的协同作用处理的肉包, 在常温下贮藏 7 d 后, 菌落总数均符合国家标准 (≤ 100 CFU/g), 感官评分为 36.8~38.1, 第 7~10 天各项指标均呈现严重腐败现象。[结论] 采用肉馅前处理以及添加防腐剂、气调、保鲜卡可以将肉包常温货架期延长至 7 d。

关键词: 肉包; 高温高压灭菌; 前处理; 协同保鲜; 化学防腐剂; 货架期; 保鲜剂; 常温贮藏

Effects of synergistic preservation technology on quality and shelf life of meat buns under room temperature storage

LI Shumin¹ YU Xin¹ DU Ting¹ WU Yina² DU Xinjun¹

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. Go Believe Group Co., Ltd., Tianjin 300040, China)

Abstract: [Objective] To develop a synergistic preservation scheme for meat buns that balances safety and quality stability, thereby achieving a 7-day safe shelf life during room temperature storage. [Methods] High-temperature high-pressure sterilization or stewing is adopted as the core pretreatment procedure. The wrapper is added with calcium propionate (0.15 g/kg), while the meat filling is incorporated with compound preservatives including sodium diacetate (1.5 g/kg), potassium sorbate (0.060 g/kg), and ϵ -polylysine (0.20 g/kg). Combined with the synergistic effects of modified atmosphere packaging and preservation pads, a storage environment is constructed to continuously inhibit microbial regrowth and delay oxidation. [Results] The meat buns are pretreated by high-temperature high-pressure sterilization or stewing before the synergistic treatment of compound chemical preservatives, modified atmosphere packaging, and preservation pads. After 7 days of storage at room temperature, the total bacterial count remains compliant with the national standard (≤ 100 CFU/g), with sensory scores ranging from 36.8 to 38.1. Severe spoilage of all indicators is observed during storage from day 7 to day 10. [Conclusion] The room-temperature shelf life of meat buns can be extended to 7 days through the integrated application of meat filling pretreatment, preservatives, modified atmosphere packaging, and preservation pads.

Keywords: meat bun; high-temperature high-pressure sterilization; pretreatment; synergistic preservation; chemical preservative; shelf life; preservation agent; room temperature storage

基金项目: 天津滨海黄南高原医学研究所科技项目 (编号: 2024GYTSYX02); 京津冀食品营养健康与安全创新平台建设 (编号: TSBICIP-PTJJ-010)

通信作者: 杜欣军 (1978—), 男, 天津科技大学教授, 博士。E-mail: xjd@tust.edu.cn

吴懿娜 (1985—), 女, 狗不理集团股份有限公司高级工程师, 硕士。E-mail: 376818594@qq.com

收稿日期: 2026-01-26 **改回日期:** 2026-04-14

引用格式: 李淑敏, 于新, 杜婷, 等. 协同保鲜技术对肉包常温贮藏品质及货架期的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(5): 132-141.

Citation: LI Shumin, YU Xin, DU Ting, et al. Effects of synergistic preservation technology on quality and shelf life of meat buns under room temperature storage[J]. Food & Machinery, 2026, 42(5): 132-141.

肉包为酵母醒发面皮、包馅蒸制的美食^[1]。速冻加工是其常用技术,能延长供应期、保留色泽风味并减少营养流失,但会降低其口感。肉包因带馅含油脂,常温下易滋生微生物而腐败,难以实现常温贮藏与售卖^[2-3]。

为解决肉类及面制品的保鲜难题,行业已开发多种保鲜技术,添加防腐剂是肉制品保鲜的常用方式,如山梨酸钾、双乙酸钠、乳酸链球菌素等。张卫斌等^[4]将 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐应用于大黄鱼的防腐,发现其能破坏波罗的海希瓦氏菌和荧光假单胞菌细胞壁,抑制生长和影响致病能力。李坤^[5]将丁香油、肉桂油、聚赖氨酸盐酸盐优化的复合抑菌剂保鲜青菜馅包子,实现了良好的抑菌效果。此外,保鲜卡、气调包装、高温高压等技术也被用于食品保鲜。王正荣等^[6]研究证实,鲜度保持卡能较好地维持冰温贮藏鸡胸肉的品质,将其保质期延长至24 d;王德生等^[7]研究发现,保鲜气体比例为 $V_{\text{氮气}}:V_{\text{二氧化碳}}=65:35$ 时,对包子的抑菌效果明显。单一保鲜技术已难以满足高水分、多组分带馅面制品的常温贮藏需求,相关研究也逐步向协同保鲜方向发展。郑瑞生等^[8]通过鉴定脆肠中的主要残留菌,采用高温和添加防腐剂复合保鲜手段实现了即食脆肠产品在 $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下保藏30 d。徐元柳等^[9]探讨了天然植物提取物作为防腐剂与新兴食品保存技术结合应用于肉类保鲜时的增效作用。

研究聚焦“前期基础杀菌—后期协同抑菌”的技术路径,兼顾工业化应用的成本可行性,拟将前处理(炖煮/高温杀菌)与后续协同保鲜技术(气调包装、保鲜卡、复配防腐剂)作为核心研究变量,系统探究各环节的协同作用机制,探究复配保鲜方案对肉包的保鲜效果,以期明确该技术方案的经济可行性与产业应用价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦粉:五得利面粉集团有限公司;
高活性干酵母粉:安琪酵母股份有限公司;
猪后腿肉:市售鲜肉,于试验当日绞制成肉馅;
双乙酸钠、山梨酸钾、丙酸钙、 ϵ -聚赖氨酸:食品级,南通奥凯生物技术开发区有限公司;
磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、氯化钾、氯化钠、冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾:分析纯,天津市化学试剂一厂;
石油醚(沸程 $30\sim 60^{\circ}\text{C}$):分析纯,山东科源生化有限公司;
无水硫酸钠、硫代硫酸钠、可溶性淀粉:分析纯,山东星菲化学有限公司;
菌种:金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*),天津科技大学食品科学与工程学院菌种保藏室;
717 高效脱氧剂:食品级,南京署辉食品保鲜有限

公司;

30 型食品脱氧剂:食品级,温州市盒记食品有限公司;

Wise Fresh 鲜度保鲜卡:食品级,上海威胜科技发展有限公司;

30 型保鲜卡:食品级,温州市盒记食品有限公司;

硅胶干燥剂、食品干燥剂:食品级,禾一诚品防潮科技有限公司。

1.2 仪器与设备

手持式搅拌机:MQ535R 型,德国博朗公司;

超净工作台:SW-CJ-2FD 型,苏州净化设备有限公司;

高压灭菌锅:HVA-85 型,日本 Hirayama 公司;

电热恒温培养箱:DHP-2042BS 型,美国 Thermo 公司;

冰箱:SHB-III 型,郑州长城科工贸有限公司;

超纯水系统:Millipore Super-Q 型,美国 Millipore 公司;

外抽式真空抽气包装机:DQW360/2B 型,上海青葩包装机械有限公司;

精密色差仪:3nh-NR10QC 型,深圳市三恩时科技有限公司;

自动水分测定仪:HB43-S 型,常州市幸运电子设备有限公司;

台式酸度计:FE28-CN 型,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;

旋转蒸发器:DS/RE-501A 型,郑州东晟仪器设备有限公司;

天平:BT25S 型,美国 Sartorius 公司;

真空冷冻干燥机:CTFD-10S 型,青岛永合创信电子科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 复配防腐剂的研制 取大肠杆菌、金黄色葡萄球菌对数期菌液,离心(4°C , 5 000 r/min, 5 min)收集菌体并梯度稀释至 10^3 CFU/mL,将菌悬液分别与不同质量浓度的双乙酸钠(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mg/mL)、山梨酸钾(0.015, 0.030, 0.045, 0.060, 0.075 mg/mL)、丙酸钙(0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 mg/mL)、 ϵ -聚赖氨酸(0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 mg/mL)混合,以磷酸盐缓冲生理盐水(PBS)为对照, 37°C 孵育1 h后取50 μL 涂布LB琼脂平板, 37°C 过夜培养并单菌落计数。

根据单因素试验结果,对化学防腐剂进行正交试验,试验因素水平见表1~表2。

1.3.2 单一保鲜因子对肉包常温保鲜效果的研究 肉馅经绞碎后进行调味,100 g 肉馅中添加1 g 盐、5 g 酱油、6 g 耗油、0.3 g 五香粉并搅拌均匀。300 g 面粉加3 g 酵母粉、

表 1 大肠杆菌的复配防腐剂 $L_9(3^4)$ 正交因素水平表

Table 1 Orthogonal factors and levels of compound preservative $L_9(3^4)$ for *Escherichia coli*

水平	A 双乙酸钠/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	B 山梨酸钾/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	C 丙酸钙/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	D ϵ -聚赖氨酸/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)
1	0.5	0.015	0.15	0.05
2	1.0	0.030	0.20	0.10
3	1.5	0.045	0.25	0.25

150 mL 纯净水拌匀,面团 37℃醒发 3 h,取 10 g 面团搭配 15 g 肉馅包制,100℃蒸制 20 min。复配防腐剂按比例添加:丙酸钙 0.15 g/kg 入面皮,双乙酸钠 1.5 g/kg、山梨酸钾 0.060 g/kg、 ϵ -聚赖氨酸 0.20 g/kg 入肉馅。肉包蒸制后开盖冷却 45 min,装入 12 cm×18 cm 无菌采样袋(每袋 1 个),于 25℃、相对湿度 60% 条件下贮藏。设空白对照

表 2 金黄色葡萄球菌的复配防腐剂 $L_9(3^4)$ 正交因素水平表

Table 2 Orthogonal factors and levels of compound preservative $L_9(3^4)$ for *Staphylococcus aureus*

水平	A 双乙酸钠/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	B 山梨酸钾/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	C 丙酸钙/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	D ϵ -聚赖氨酸/ ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)
1	1.0	0.015	0.05	0.20
2	1.5	0.030	0.15	0.25
3	2.0	0.060	0.25	0.30

组,考察不同脱氧剂、保鲜卡作用,每组 3 个平行,试剂信息见表 3。样品标记:O 为空白组;A 为防腐剂组;B 为纯 CO_2 组;C 为纯 N_2 组;D 为 717 高效脱氧剂组;E 为 30 型食品脱氧剂组;F 为 Wise Fresh 鲜度保鲜卡组;G 为 30 型保鲜卡组;H 为硅胶干燥剂组;I 为食品干燥剂组。

表 3 脱氧剂、保鲜卡基本信息

Table 3 Basic information of oxygen absorber and preservation pads

名称	主要成分	作用机理	产品尺寸	使用数量
717 高效脱氧剂	铁粉	铁粉与包装内的氧气反应,使包装内好氧微生物因无氧而无法存活	30 mm×37 mm	1 包
30 型食品脱氧剂	铁粉	还原铁粉与包装内的氧气反应	30 mm×39 mm	1 包
WiseFresh 鲜度保鲜卡	酒精	在食品周围形成气相保护层,抑制多种霉菌、细菌;同时可降低食品水分活度	50 mm×50 mm×1 mm	1 片
30 型保鲜卡	酒精	保鲜气体可在食品周围形成气相保护层,抑制多种霉菌、细菌,同时降低水分活度	25 mm×25 mm	1 片
硅胶干燥剂	食品级硅胶	吸附潮湿水汽,防止食品变质	30 mm×40 mm	1 包
食品干燥剂	硅胶	吸附潮湿水汽,防止食品变质	30 mm×40 mm	1 包

1.3.3 复合保鲜因子对肉包常温保鲜效果的研究 在单一因子研究基础上,探究防腐剂、保鲜卡与气调包装的复合保鲜效果,包子制备及防腐剂添加方法同 1.3.2。包子冷却后与指定保鲜卡放入无菌采样袋(每袋 1 个),用气调包装机充入食品级纯 CO_2 或纯 N_2 (纯度 $\geq 99.99\%$)封装,包装参数为真空压力-0.08 MPa、真空 20 s、充气 5 s、热封 150℃。设空白对照组,每组 3 个平行。样品标记:O 为空白组;A 为防腐剂+WiseFresh 鲜度保鲜卡+ CO_2 ;B 为防腐剂+WiseFresh 鲜度保鲜卡+ N_2 ;C 为防腐剂+30 型保鲜卡+ CO_2 ;D 为防腐剂+30 型保鲜卡+ N_2 。

1.3.4 肉馅高温高压灭菌处理对肉包常温保鲜效果的研究 肉馅调味后,于 0.1 MPa、121℃高温灭菌 20 min,用于制作肉包。包子蒸制冷却后,表面均匀喷洒 75% 酒精,静置 1~3 min 后与 WiseFresh 鲜度保鲜卡一同装入 12 cm×18 cm 无菌采样袋(每袋 1 个),充 CO_2 气调封装。设空白对照组,每组 3 个平行。样品标记:O 为空白组;A 为防腐剂+WiseFresh 鲜度保鲜卡+ CO_2 ;B 为防腐剂+

WiseFresh 鲜度保鲜卡+ CO_2 +75% 酒精。

1.3.5 肉馅炖煮处理对肉包常温保鲜效果的研究 肉馅调味后炒制,加足量清水浸没,煮沸后炖煮 30 min,冷却后作馅料,后续气调包装步骤同 1.3.3。设空白对照组,每组 3 个平行样品。样品标记:O 为空白组;A 为防腐剂+WiseFresh 鲜度保鲜卡+ CO_2 ;B 为防腐剂+WiseFresh 鲜度保鲜卡+ CO_2 +75% 酒精。

1.3.6 微生物指标测定

(1) 菌落总数:按 GB 4789.2—2022 执行。

(2) 霉菌总数:按 GB 4789.15—2016 执行。

1.3.7 色差测定 根据 Li 等^[10]的方法修改如下:从每组样品中随机抽取 1 个肉包,使用色差计在包子皮表面随机选取 3 个点进行测定,记录 L^* (亮度)、 a^* (红绿度)、 b^* (黄蓝度)值,取平均值作为该样品的色度值。

1.3.8 面皮水分含量测定 根据高蓝洋^[11]的方法修改如下:取各组包子皮,经搅拌机粉碎后,准确称取约 3.0 g 样品,采用自动水分测定仪,于 105℃条件下直接测定其水

分含量。

1.3.9 面皮pH测定 根据贾晓昱^[12]的方法修改如下:取各组包子皮,粉碎后平铺于玻璃培养皿中,用保鲜膜覆盖并扎孔,置于-80℃冷阱的真空冷冻干燥机中干燥至恒重。将冻干样品研磨成粉末,准确称取1.0 g于100 mL锥形瓶中,加入15 mL超纯水,涡旋振荡2 min混匀后,用台式pH计测定其上清液的pH。

1.3.10 馅料过氧化值测定 按GB 5009.227—2023中的滴定法执行。

1.3.11 感官评价 选取30名评价员,评价员经20 min统一培训后,在光线充足、无异味的感官评价室开展评分,每个评价项目采用10分制,样品随机三位数编码,评样间隙用清水漱口^[12],评定标准见表4。

表4 感官评价标准		
Table 4 Sensory evaluation criteria		
评价项目	评价标准	分数
外观形态	外形无塌陷、无皱缩,面皮表皮完整,面皮表皮干燥	7~10
	外形轻微塌陷或皱缩,面皮表皮较完整,面皮表皮少有水浸突起	4~6
	外形塌陷或皱缩明显,面皮表皮脱落严重,面皮表皮呈水浸状	1~3
组织状态	切面平整,无明显孔洞,用手指按压有弹性,不粘手	7~10
	切面基本平整,有少量细小孔洞,用手指按压有一定弹性,轻微粘手	4~6
	切面粗糙,孔洞大且多,用手指按压无弹性,严重粘手	1~3
滋味	面皮、馅料气味正常,风味良好	7~10
	面皮、馅料稍有轻微不良气味	4~6
	面皮、馅料有腐败气味	1~3
整体口感	面皮软硬适中,馅料口感、多汁性、嫩度好,风味接近新鲜肉包	7~10
	面皮咀嚼性稍好,馅料口感、多汁性、嫩度适中,风味稍好	4~6
	面皮咀嚼性较差,馅料有异味,风味欠佳	1~3
整体可接受度	复蒸后肉包整体细腻,可接受性好	7~10
	复蒸后肉包整体一般,可接受性一般	4~6
	复蒸后肉包整体差,可接受性差	1~3

1.4 数据处理

所有试验均独立重复3次。采用SPSS Statistics 22.0软件进行单因素方差分析等显著性检验,结果以“平均值±标准差”表示,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。使用GraphPad Prism 8软件进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 复配保鲜剂的研制

2.1.1 大肠杆菌复配保鲜剂的研制 由表5~表6可知,防腐剂抑制大肠杆菌的因素主次为双乙酸钠>ε-聚赖氨酸>山梨酸钾>丙酸钙,双乙酸钠的抑制作用显著。分析其原因,双乙酸钠对革兰氏阴性菌的抑制效果通常优于革兰氏阳性菌,其作用机制在于解离出的乙酸分子可穿透细胞膜,在胞内解离并降低胞内pH,干扰细菌代谢。ε-聚赖氨酸作为阳离子型抑菌剂,可通过静电吸附破坏细胞膜结构,二者协同增强了对大肠杆菌的抑制作用。初筛最佳组合为A₃B₁C₂D₁,经验证该组合下的抑菌率为94.50%,低于A₃B₃C₂D₁组合下的。因此以A₃B₃C₂D₁为最优组合,即双乙酸钠质量浓度1.5 mg/mL、山梨酸钾质量浓度0.045 mg/mL、丙酸钙质量浓度0.20 mg/mL、ε-聚赖氨酸质量浓度0.05 mg/mL。

2.1.2 金黄色葡萄球菌复配保鲜剂的研制 由表7~表8可知,防腐剂抑制金黄色葡萄球菌的因素主次为山梨酸钾>双乙酸钠>丙酸钙>ε-聚赖氨酸,4种防腐剂的抑制

表5 复配保鲜剂对大肠杆菌的抑制效果					
Table 5 Inhibition effect of compound preservation agents on <i>Escherichia coli</i>					
试验号	A	B	C	D	抑菌率/%
1	1	1	1	1	85.97±0.85
2	1	2	2	2	73.13±1.63
3	1	3	3	3	70.75±1.77
4	2	1	2	3	97.32±0.16
5	2	2	3	1	95.54±0.27
6	2	3	1	2	89.48±0.64
7	3	1	3	2	95.36±0.28
8	3	2	1	3	89.48±0.64
9	3	3	2	1	98.75±0.08
k ₁	76.62	92.88	88.31	93.42	
k ₂	94.11	86.05	89.73	85.99	
k ₃	94.53	86.33	87.22	85.85	
R	17.91	6.83	2.52	7.57	

表6 复配保鲜剂对大肠杆菌抑菌效果的方差分析表					
Table 6 Analysis of variance of antibacterial effect of compound preservation agents on <i>Escherichia coli</i>					
因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
双乙酸钠	627.19	2	65.64	19.00	显著
山梨酸钾	89.76	2	9.39	19.00	
丙酸钙	9.56	2	1.00	19.00	
ε-聚赖氨酸	112.53	2	11.78	19.00	
误差	9.55	2			

表 7 复配保鲜剂对金黄色葡萄球菌的抑制效果
Table 7 Inhibition effect of compound preservation agents on *Staphylococcus aureus*

试验号	A	B	C	D	抑菌率/%
1	1	1	1	1	14.50±2.91
2	1	2	2	2	20.92±2.69
3	1	3	3	3	25.00±2.56
4	2	1	2	3	22.55±2.63
5	2	2	3	1	26.34±2.50
6	2	3	1	2	27.92±2.45
7	3	1	3	2	7.97±3.13
8	3	2	1	3	8.67±3.11
9	3	3	2	1	25.82±2.52
k_1	20.14	15.01	17.03	22.22	
k_2	25.60	18.64	23.10	18.94	
k_3	14.15	26.25	19.78	18.74	
R	11.45	11.24	6.07	3.48	

表 8 复配保鲜剂对金黄色葡萄球菌抑菌效果的方差分析表
Table 8 Analysis of variance of antibacterial effect of compound preservation agents on *Staphylococcus aureus*

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
双乙酸钠	196.79	2	8.58	19.00	
山梨酸钾	197.37	2	8.61	19.00	
丙酸钙	55.38	2	2.42	19.00	
ϵ -聚赖氨酸	22.93	2	1.00	19.00	
误差	22.93	2			

作用均不显著。初筛最佳组合为 $A_2B_3C_2D_1$ ，经验证该组合下的抑菌率为 32.89%，高于上述正交试验组，确定其为最优组合，即双乙酸钠质量浓度 1.5 mg/mL、山梨酸钾质量浓度 0.06 mg/mL、丙酸钙质量浓度 0.15 mg/mL、 ϵ -聚赖氨酸浓度 0.20 mg/mL。

肉包腐败菌以金黄色葡萄球菌为代表的革兰氏阳性菌为主，故选取其最佳复配防腐剂配方添加至肉包，配方为双乙酸钠 1.5 g/kg、山梨酸钾 0.060 g/kg、丙酸钙 0.15 g/kg、 ϵ -聚赖氨酸 0.20 g/kg。

2.2 单一保鲜因子对肉包常温保鲜效果的评价

如图 1 所示，经过 7 d 常温贮藏，各处理组细菌、霉菌总数均超标，其中复配保鲜剂、WiseFresh 鲜度保鲜卡及 30 型保鲜卡的抑菌效果相对更优，因此选取三者用于后续复合保鲜试验。

分析其原因，单一保鲜因子作用路径较为单一：复配防腐剂主要依赖化学抑菌，但对芽孢和耐热菌的杀灭能力有限；保鲜卡通过释放酒精或吸附氧气发挥作用，但酒

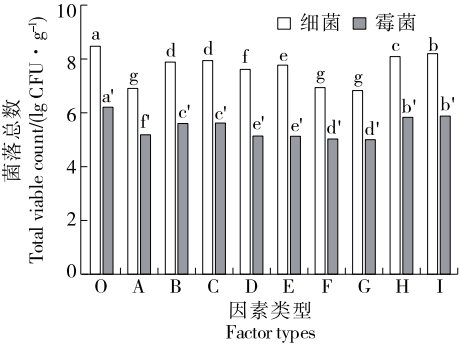


图 1 肉包经单一保鲜处理后贮藏第 7 天的菌落总数
Figure 1 Total bacterial count of meat buns at day 7 of storage under single preservation treatment

精易挥发、脱氧剂对包装密封性要求高；气调包装虽可改变微环境气体组成，但无法消除原料初始携带的微生物。这与王正荣等^[6]的研究结论一致，即单一保鲜技术难以实现高水分、高蛋白食品的常温长期贮藏，需通过“栅栏技术”协同增效。

2.3 复合保鲜处理对微生物的抑制效果

如图 2 所示，在细菌抑制方面：A 组（防腐剂 + WiseFresh + CO_2 ）菌落总数为 1.8×10^4 CFU/g；B 组（防腐剂 + WiseFresh + N_2 ）为 1.6×10^4 CFU/g；C 组（防腐剂 + 30 型保鲜卡 + CO_2 ）为 2.2×10^5 CFU/g；D 组（防腐剂 + 30 型保鲜卡 + N_2 ）则高达 5.4×10^6 CFU/g。所有复合处理组在贮藏期内均未检出霉菌，符合霉菌卫生安全标准。分析其原因， CO_2 和 N_2 气调包装可通过置换包装内氧气，钝化需氧微生物的代谢活性，同时抑制脂肪氧化酶活性，达到协同抑菌效果。对比 A、C 组与 B、D 组可知，WiseFresh 保鲜卡的抑菌效果优于 30 型保鲜卡，这可能与 WiseFresh 保鲜卡中酒精释放速率更稳定、抑菌持效期更长有关。而对比 C、D 组则表明，充入 CO_2 的气调环境抑菌效果优于 N_2 ，这与周向辉^[13]的研究结果一致， CO_2 在微

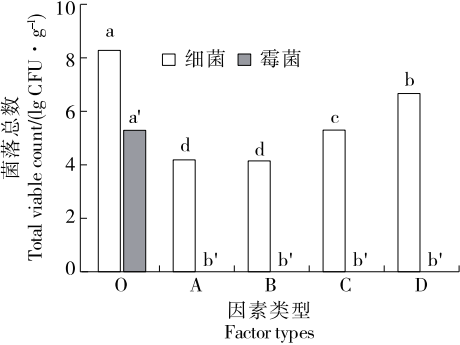


图 2 肉包经复合保鲜处理后贮藏第 7 天的菌落总数
Figure 2 Total viable count of meat buns on day 7 of storage after compound preservation treatment

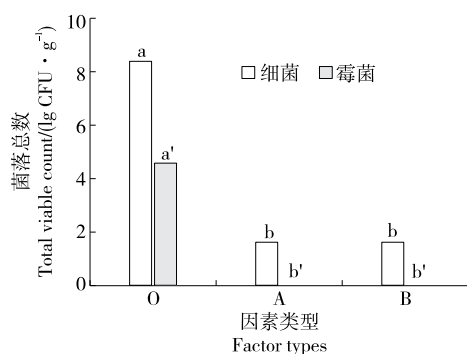
生物细胞内可形成碳酸,降低胞内pH,同时干扰细胞膜通透性,其抑菌效果通常优于单纯惰性气体置换。

2.4 肉馅高温高压灭菌和炖煮处理肉包的保鲜效果

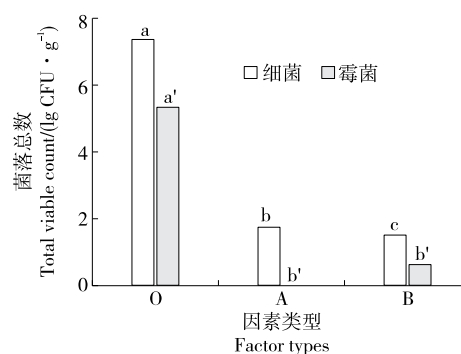
2.4.1 高温高压灭菌处理对肉馅的保鲜效果 如图3(a)所示,贮藏7 d后,空白组细菌总数高达 2.6×10^8 CFU/g,而A、B处理组为50 CFU/g,符合细菌卫生标准。空白组霉菌总数为 4.1×10^4 CFU/g,而A、B组均未检出。分析其原因,高温高压处理能有效灭活肉馅中绝大部分微生物,包括耐热芽孢和真菌孢子,从源头大幅降低了初始菌载量;同时后续的复配防腐剂与气调包装构建了持续的抑菌环境,有效抑制了残存微生物的复苏与增殖。崔燕等^[14]发现超高压处理可提升大黄鱼风味,孙梦等^[15]也证实超高压处理能延缓腊肉脂肪氧化并抑制微生物。试验结果与上述报道一致,进一步证实高温高压预处理在肉制品保鲜中的有效性。贮藏7 d后,A、B两组菌落总数仍

保持在极低水平(50 CFU/g),表明高温高压处理与后续协同保鲜技术存在显著的“栅栏叠加效应”。

2.4.2 炖煮处理对肉馅的保鲜效果 如图3(b)所示,贮藏7 d后,空白组细菌总数为 2.5×10^7 CFU/g,A、B处理组分别为64,40 CFU/g,符合细菌标准。空白组霉菌总数为 2.7×10^5 CFU/g,A组未检出,B组为10 CFU/g,均符合卫生标准。分析其原因,炖煮处理(100 °C,30 min)虽不及高温高压灭菌彻底,但足以杀灭肉馅中大部分营养体微生物,大幅降低了初始菌载量;后续的复配防腐剂与气调包装进一步抑制了残存微生物的生长,实现了与高温高压灭菌组相近的保鲜效果。炖煮处理组的最终菌落总数(40~64 CFU/g)略高于高温高压灭菌组(50 CFU/g),但差异无统计学意义,表明在满足7 d常温贮藏目标的前提下,炖煮处理作为一种能耗更低、操作更简便的前处理方式,具备更好的工业化应用潜力。



(a) 高温高压灭菌处理



(b) 炖煮处理

字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图3 肉馅经高温高压灭菌和炖煮处理后的肉包贮藏第7天的菌落总数

Figure 3 Total viable count of meat buns on day 7 of storage with meat filling treated by high-temperature high-pressure sterilization and stewing

2.5 贮藏期间菌落总数动态变化

各处理组在贮藏期间的菌落总数动态变化如图4所示。所有样品的菌落总数均随贮藏时间延长而增加。贮藏初期(第0天)所有样品均未检出细菌,但从第1天起菌落开始生长。空白组的菌落总数始终高于各处理组,且增长迅速,在第1天即已超标,失去食用价值;而各处理组在贮藏7 d后菌落总数仍符合标准。在霉菌方面,各处理组在整个贮藏期内均未检出。

分析这一动态变化规律:空白组因无任何保鲜处理,初始微生物在适宜温度(25 °C)和高水分活度条件下呈对数生长,24 h内即可超标,这与高水分制品微生物快速增殖的特性相符。而处理组在贮藏初期(前3 d)菌落总数增长极为缓慢,表明高温高压/炖煮处理有效消除了初始微生物,复配防腐剂和气调环境则持续抑制了残存微生物的复苏;贮藏后期(3~7 d)菌落总数有所上升,可能与防腐剂因被吸附或降解而浓度下降、气调环境逐渐破坏有

关。这一动态趋势与贾晓昱^[12]研究中包子常温保鲜的微生物变化规律一致,且菌落总数在前7 d均符合国家标准(≤ 100 CFU/g),证实前处理与协同保鲜的联合应用可将肉包常温货架期延长至7 d。

2.6 不同处理对肉包理化及感官品质的影响

2.6.1 不同处理对肉包面皮色泽的影响 如图5(a)和图5(d)所示,肉馅经高温高压灭菌处理的肉包中,A组 L^* 值从第0天的46.97降至第10天的44.81;B组从47.21降至45.99;空白组从48.72降至43.12。肉馅经炖煮处理的肉包中,A组 L^* 值从47.97降至46.00;B组从47.97降至45.99;空白组从48.38降至44.92。如图5(b)和图5(e)所示,肉馅经高温高压灭菌的肉包中,A组 a^* 值从第0天的4.64上升至第10天的4.99;B组从4.44上升至4.95;空白组从4.36上升至5.57。在肉馅炖煮处理的肉包中,A组 a^* 值从4.18上升至5.41;B组从3.99上升至5.97;空白组从4.05上升至5.36。如图5(c)和图5(f)所示,肉馅经高温

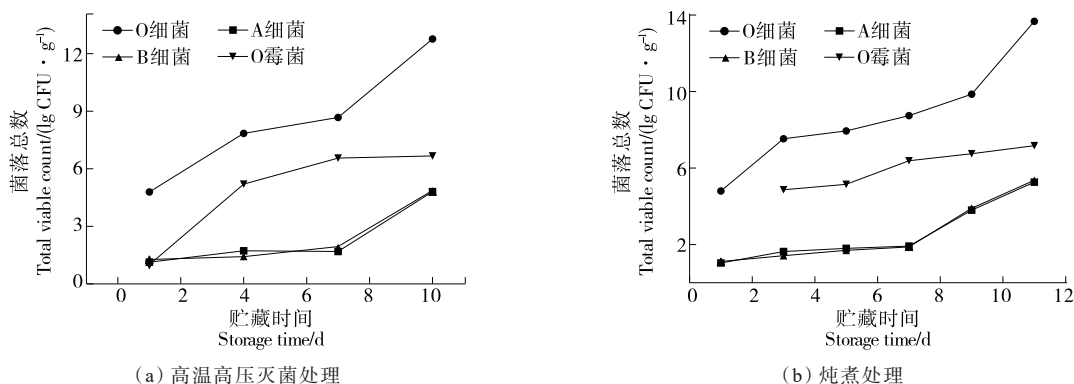


图 4 肉馅经高温高压灭菌和炖煮处理后的肉包贮藏期间的菌落总数

Figure 4 Total viable count of meat buns during storage with meat filling treated by high-temperature high-pressure sterilization and stewing

高压灭菌的肉包中,A组 b^* 值从第 0 天的 19.65 上升至第 10 天的 20.80;B 组从 19.50 上升至 20.79;空白组从 19.55 上升至 21.55。肉馅经炖煮处理的肉包中,A 组 b^* 值从 17.49 上升至 20.02;B 组从 17.39 上升至 20.54;空白组从 17.94 上升至 21.70。

整体来看,所有样品的面皮色差均随贮藏时间发生规律性变化,表现为 L^* 持续下降、 a^* 与 b^* 呈上升趋势,这是面制品贮藏过程中褐变反应的典型特征。分析其原因,面皮色泽变化主要由两方面因素驱动:① 美拉德反应持续进行,还原糖与氨基酸在贮藏过程中继续反应生成类黑精色素;② 脂肪氧化产物(如醛类)与氨基化合物发生

非酶褐变。空白组因微生物大量繁殖,代谢产生的碱性物质提高了面皮 pH,加速了美拉德反应速率,因此色泽变化幅度最大。而试验组经高温高压灭菌或炖煮处理后,初始酶活显著降低,后续协同保鲜体系有效抑制了微生物生长和脂肪氧化,从而延缓了褐变进程。这与涂超逸等^[16]关于面制品色泽稳定性的研究结论一致,表明控制微生物增殖和脂肪氧化是延缓面皮褐变的关键。

2.6.2 不同处理对肉包面皮 pH 的影响 如图 6 所示,贮藏初期(第 0 天),所有样品面皮 pH 约为 5.8,呈弱酸性,这主要源于发酵过程中酵母菌等微生物产生的有机酸。随着贮藏时间延长,各组 pH 均呈上升趋势,但对照组(A、B

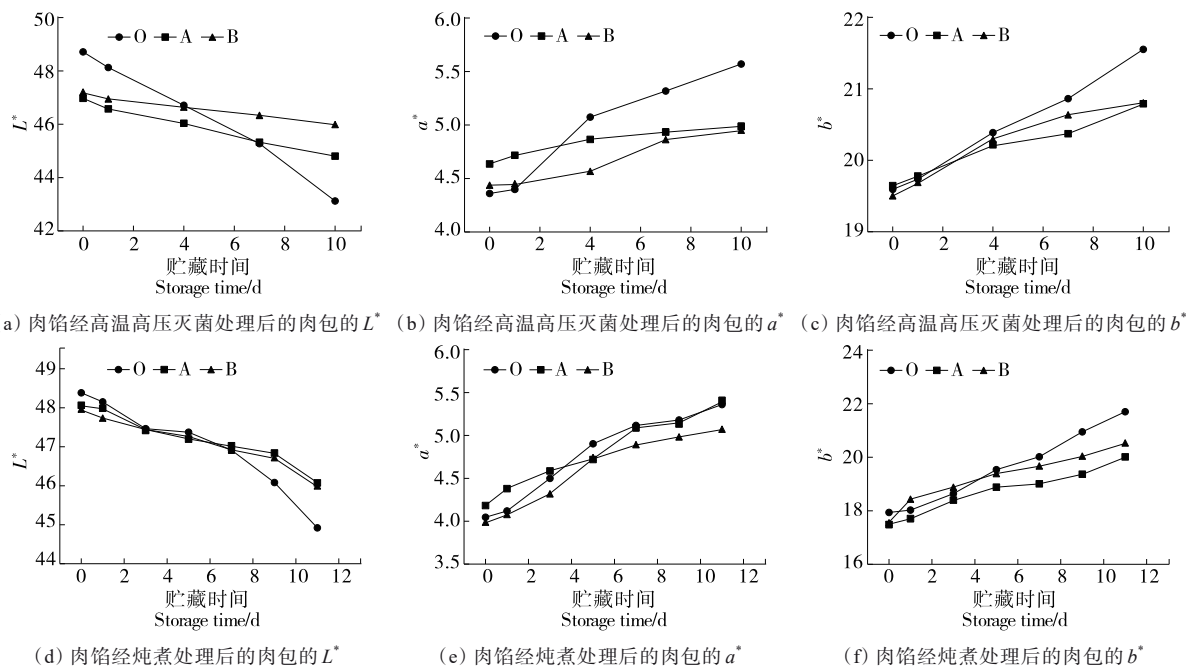


图 5 肉馅经高温高压灭菌和炖煮处理后的肉包贮藏期间的面皮色差

Figure 5 Wrapper color difference of meat buns during storage with meat filling treated by high-temperature high-pressure sterilization and stewing

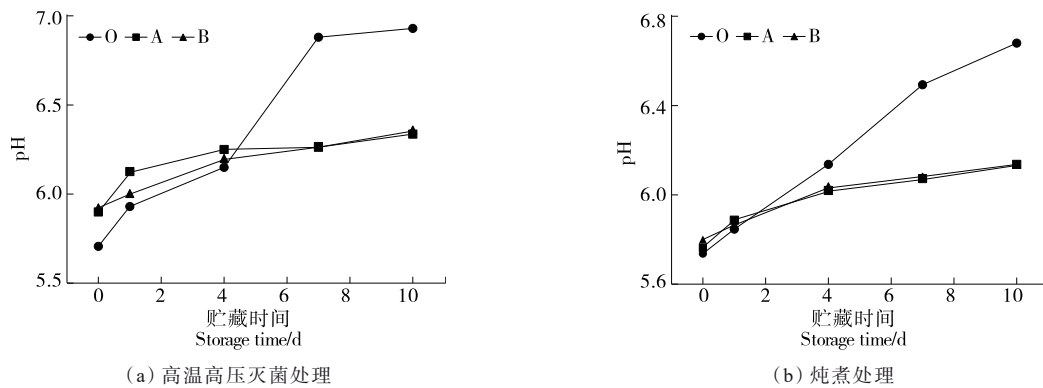


图6 肉馅经高温高压灭菌和炖煮处理后的肉包贮藏期间面皮的pH

Figure 6 Wrapper pH of meat buns during storage with meat filling treated by high-temperature high-pressure sterilization and stewing

组)的增幅显著低于空白组。对于肉馅高温灭菌的肉包,空白组pH从第0天的5.71上升至第7天的6.87;而A、B组仅分别从5.90和5.93上升至6.28。对于肉馅炖煮处理的肉包,空白组pH从5.74升至6.49,而A、B组仅分别升至6.07和6.08。

分析pH上升的原因:空白组由于无保鲜处理,微生物大量繁殖,其代谢过程中消耗有机酸并产生碱性含氮物质(如氨、胺类),导致pH快速上升;而A、B组经前处理与协同保鲜,大幅抑制了微生物代谢,有机酸消耗和碱性物质生成减少,因此pH仅小幅上升。这与微生物动态变化规律相呼应,进一步印证了保鲜处理对微生物的抑制作用。值得注意的是,pH上升幅度与微生物增殖速率呈正相关,可将pH变化作为评价肉包贮藏过程中微生物活性的间接指标。

2.6.3 不同处理对肉包面皮水分含量的影响 如图7所示,不同处理组肉包面皮水分含量呈现出明显差异。肉馅经高温灭菌的肉包中,贮藏初期(第0天),A、B组水分含量(分别为48.15%和49.85%)均高于空白组(42.97%)。

贮藏第1天,空白组与A组水分因包装密封作用略有上升,而B组因酒精挥发作用出现下降。随后,A组水分从第1天的48.54%降至第10天的42.53%,B组从49.30%降至41.25%,表明面皮随水分流失逐渐硬化。与此相反,空白组水分从42.97%持续上升至49.38%,推测是因微生物繁殖代谢产生水分及细菌黏液所致。肉馅经炖煮处理的肉包也呈现类似的规律。

分析水分变化机制:初始水分差异可能与预处理过程有关,高温高压灭菌/炖煮处理使肉馅水分部分迁移至面皮,导致试验组初始水分略高。A组(无酒精)水分在贮藏前期因包装密封而略有上升,后期因水分向馅料迁移及表面蒸发而下降;B组(含酒精保鲜卡)在贮藏初期因酒精挥发带走部分水分,水分下降更显著。空白组水分持续上升的主要原因在于:微生物大量繁殖代谢产生水分,同时细菌胞外多糖形成黏液层,增强了面皮的持水能力。这与贾晓昱^[12]的研究结论一致,即微生物增殖是导致面皮水分异常升高的关键因素,而协同保鲜处理可通过抑制微生物生长来调控水分变化。

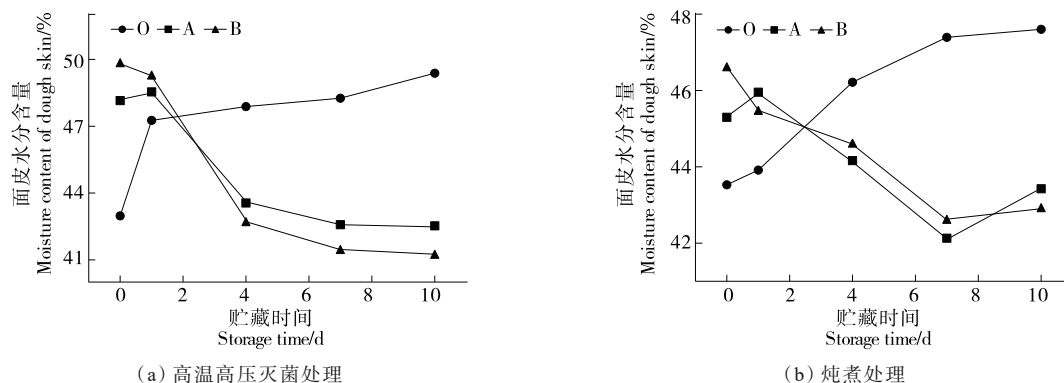


图7 肉馅经高温高压灭菌和炖煮处理后的肉包贮藏期间面皮的水分含量

Figure 7 Wrapper moisture content of meat buns during storage with meat filling treated by high-temperature high-pressure sterilization and stewing

2.6.4 不同处理对肉包馅料过氧化值的影响 如图 8 所示,所有样品的过氧化值均随贮藏时间延长而上升,但对对照组上升幅度显著低于空白组。肉馅经高温高压灭菌的肉包组中,空白组的过氧化值从第 0 天的 0.029 g/100 g 升至第 7 天的 0.24 g/100 g;而 A、B 组分别从 0.031,0.033 g/100 g 升至 0.16,0.13 g/100 g,均未超过安全限值。肉馅经炖煮处理的肉包组中,空白组从 0.028 g/100 g 升至 0.18 g/100 g,而 A、B 组分别从 0.032,0.033 g/100 g 升至 0.15,0.11 g/100 g,且 A、B 组均符合安全标准。

空白组无保鲜处理,油脂氧化链式反应持续推进致过氧化值骤升;A、B 组前处理钝化氧化酶,结合协同保鲜隔氧

抑菌,大幅放缓过氧化值上升。分析过氧化值上升的原因:油脂氧化是自由基链式反应,在氧气存在下持续进行。空白组由于无保鲜处理,氧气可自由接触馅料表面,同时微生物分泌的脂肪酶加速了脂肪水解,为氧化反应提供了更多游离脂肪酸底物,因此过氧化值快速上升。而试验组通过高温高压灭菌/炖煮处理钝化了内源脂肪氧化酶,后续气调包装(N₂或 CO₂)有效隔绝了氧气,复配防腐剂抑制了微生物脂肪酶的产生,从而大幅减缓了油脂氧化进程。这与周向辉^[13]关于气调包装抑制米糠油脂氧化的研究结论一致,也与孙梦等^[15]报道的超高压处理延缓腊肉脂肪氧化的结果相符。证实协同保鲜可有效抑制肉包馅料的脂质氧化。

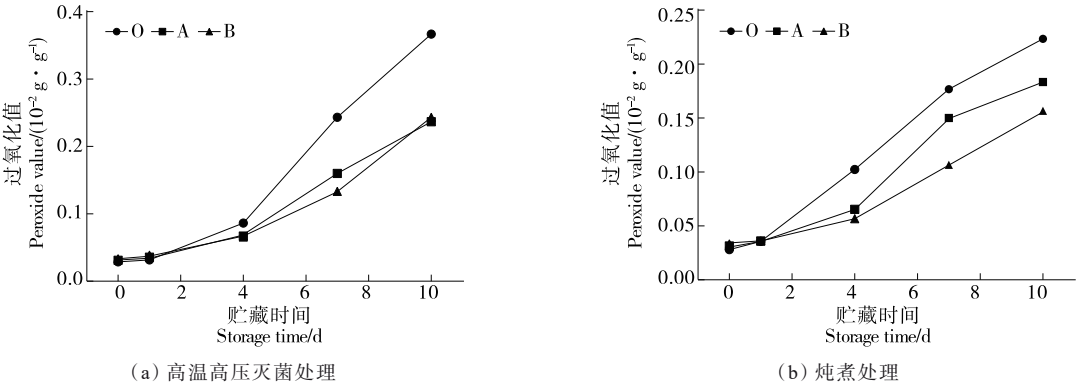


图 8 肉馅经高温高压灭菌和炖煮处理后的肉包贮藏期间馅料的过氧化值

Figure 8 Peroxide value of fillings in meat buns during storage with meat fillings treated by high-temperature high-pressure sterilization and stewing

2.6.5 不同处理组肉包的感官品质 表 9 显示,肉馅高温高压灭菌包与炖煮包感官指标无显著差异,感官品质均可接受,总分为 36.8~38.1 且前者各项评分略高,更受评价人员认可。分析其可能原因:高温高压灭菌处理(121 ℃, 20 min)对肉馅的杀菌效果更彻底,同时也使肉馅蛋白质部分变性,形成了更稳定的凝胶结构,在贮藏期

内保水性更佳,因此口感评分略高;而炖煮处理(100 ℃, 30 min)能杀灭大部分微生物,且对肉馅蛋白质的改性程度较低,但在贮藏后期口感略有下降。从工业化应用角度来看,两种处理方式均能满足 7 d 常温贮藏的感官品质要求,炖煮处理因能耗更低、设备投资更小,在成本控制方面更具优势。

表 9 不同处理组肉包贮藏第 7 天的感官品质

Table 9 Sensory quality of meat buns in different treatment groups on day 7 of storage

组别	外观形态	组织状态	滋味	整体口感	整体可接受度	总分
肉馅高温高压灭菌的肉包	8.0±0.7	7.8±0.7	7.3±0.6	7.5±0.4	7.5±0.5	38.1±1.0
肉馅炖煮处理的肉包	7.7±0.6	7.4±0.5	7.0±0.5	7.4±0.3	7.3±0.5	36.8±1.3

3 结论

该研究系统探究了肉馅预处理(高温高压灭菌、炖煮)与复合保鲜剂的协同作用对肉包常温贮藏特性的影响。结果表明,内馅经高温高压灭菌和炖煮预处理,再通过复配防腐剂、气调包装与保鲜卡的协同处理可有效延长肉包货架期、保障微生物安全并维持产品品质。经上述协同处理的肉包,常温贮藏 7 d 后细菌与霉菌菌落总数

均未超过 100 CFU/g,馅料过氧化值低于 0.15 g/100 g,符合 GB 29921—2021《食品安全国家标准 预包装食品中致病菌限量》标准要求;面皮色差、pH 及水分含量变化幅度显著小于空白组,可有效延缓褐变、抑制微生物繁殖与脂肪氧化,将肉包常温贮藏货架期延长至 7 d。但复合保鲜剂中防腐剂的迁移、转化规律及动态残留量变化,亟待后续深入探究。

参考文献

- [1] LUANGSAKUL N, KEERATIPIBUL S, JINDAMORAKOT S, et al. Lactic acid bacteria and yeasts isolated from the starter doughs for Chinese steamed buns in Thailand[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1 404-1 412.
- [2] 伍景琼, 黄嘉博, 高东金, 等. 速冻果蔬冷冻链技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2024, 45(16): 462-473.
WU J Q, HUANG J B, GAO D J, et al. Research progress on frozen chain technology of quick-frozen fruits and vegetables [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 462-473.
- [3] 唐雨暄, 朱向荣, 刘伟, 等. 速冻技术在果蔬保鲜方面的研究进展[C]// 中国食品科学技术学会第二十届年会论文摘要集. 长沙: [出版者不详], 2023: 515.
TANG Y X, ZHU X R, LIU W, et al. Research progress of quick-freezing technology in fruits and vegetables preservation [C]// Abstracts of the 20th Annual Conference of Chinese Institute of Food Science and Technology. Changsha: [s. n.], 2023: 515.
- [4] 张卫斌, 陈帅, 石双妮, 等. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对大黄鱼优势腐败菌的抑制作用[J]. 食品与机械, 2025, 41(1): 133-139.
ZHANG W B, CHEN S, SHI S N, et al. The antibacterial effects of ϵ -polylysine hydrochloride against predominant spoilage bacteria from large yellow croaker[J]. Food & Machinery, 2025, 41(1): 133-139.
- [5] 李坤. 青菜馅扬州包子抑菌及减脂研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 64.
LI K. Study on antimicrobial control and fat reduction of Yangzhou steamed buns with Bok choy fillings[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 64.
- [6] 王正荣, 康壮丽, 朱明明, 等. 食品鲜度保持卡对冰温贮藏鸡胸肉品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(19): 273-279, 290.
WANG Z R, KANG Z L, ZHU M M, et al. Influence of food antistaling agents on quality of fresh chicken breast during controlled freezing-point storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(19): 273-279, 290.
- [7] 王德生, 杨文冰, 苏会, 等. 生物气调保鲜狗不理包子的工艺[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(10): 92-94.
WANG D S, YANG W B, SU H, et al. Process study on fresh-keeping Goubuli stuffed bun with biological gas modified atmosphere[J]. Food Research and Development, 2012, 33(10): 92-94.
- [8] 郑瑞生, 袁思慧, 黄依林, 等. 即食脆肠中主要残留菌的鉴定及联合调控[J]. 食品与机械, 2024, 40(9): 116-122.
ZHENG R S, YUAN S H, HUANG Y L, et al. Identification and co-regulation of main residual bacteria in ready-to-eat duck esophagus[J]. Food & Machinery, 2024, 40(9): 116-122.
- [9] 徐元柳, 刘迪迪, 王兆丹, 等. 植物提取物抑菌机理及联合现代新兴技术在肉类保鲜中的应用进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(11): 238-244.
XU Y L, LIU D D, WANG Z D, et al. Research progress on the antibacterial mechanism of natural plant extracts and its application in meat preservation by combining with modern emerging technologies[J]. Food & Machinery, 2024, 40(11): 238-244.
- [10] LI M, ZHU K X, GUO X, et al. Effect of water activity(*aw*) and irradiation on the shelf-life of fresh noodles[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 526-530.
- [11] 高蓝洋. 单甘酯和硬脂酰乳酸钙钠对馒头和扬州包子品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2007: 24.
GAO L Y. Effects of monoglyceride and calcium stearoyl lactylate on the quality of steamed bread and Yangzhou steamed buns[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2007: 24.
- [12] 贾晓昱. 包子多元介质调控褐变机理与常温保鲜研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 31.
JIA X Y. Regulation mechanism of browning through the multiple atmosphere media and technology of normal temperature preservation in steamed stuffed bun[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015: 31.
- [13] 周向辉. 不同气调包装对米糠贮藏期间油脂氧化的影响[J]. 包装与食品机械, 2023, 41(4): 13-19.
ZHOU X H. Effects of different modified atmosphere packaging on oil oxidation of rice bran during storage[J]. Packaging and Food Machinery, 2023, 41(4): 13-19.
- [14] 崔燕, 刘韩欣, 朱麟, 等. 超高压杀菌对大黄鱼理化性质及滋味、风味的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(5): 44-55.
CUI Y, LIU H X, ZHU L, et al. Effect of high hydrostatic pressure sterilization on the physicochemical properties, taste, and flavor of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(5): 44-55.
- [15] 孙梦, 冉佩灵, 黄业传, 等. 超高压杀菌对低盐切片腊肉风味及理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 101-109.
SUN M, RAN P L, HUANG Y C, et al. Effect of ultra-high-pressure sterilization on flavor and physicochemical properties of low-salt sliced bacon[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(2): 101-109.
- [16] 涂超逸, 邹思瑾, 袁方. 美拉德反应中间体对代糖面包风味和色泽品质改善效果评价[J]. 食品科学, 2025, 46(12): 84-91.
TU C Y, ZOU S J, YUAN F. Effects of Maillard reaction intermediates on improving the flavor and color quality of sugar-substituted breads[J]. Food Science, 2025, 46(12): 84-91.