

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240426009

基于不同包装材料和杀菌方式的糟辣椒贮藏品质变化及货架期预测

王 梅¹, 潘 牧^{1*}, 刘 辉¹, 何方国², 罗玉坤³, 王 辉¹

(1. 贵州省农业科学院生物技术研究所, 贵阳 550006; 2. 贵州茂云农业科技有限公司, 贵阳 550006;
3. 贵州百味津农业发展有限公司, 贵阳 550006)

摘 要: 目的 研究不同包装材料和杀菌方式对糟辣椒贮藏品质的影响, 并对糟辣椒的货架期进行预测。

方法 以花溪新鲜红辣椒制作的糟辣椒为研究对象, 探索高温蒸煮袋、铝箔袋、聚丙烯(polypropylene plastic, PP)塑料瓶、聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)塑料瓶、玻璃瓶 5 种包装材料和巴氏杀菌、蒸汽灭菌、微波杀菌、超高压杀菌、辐照杀菌 5 种杀菌方式对糟辣椒贮藏品质的影响, 通过加速货架期测试法(accelerated shelf life testing, ASLT)和 Q10 货架期预测模型对糟辣椒的货架期进行预测。

结果 糟辣椒袋装材料以铝箔袋包装效果较好, 瓶装以玻璃瓶包装效果较好; 糟辣椒经 5 种杀菌方式处理后, 硬度和咀嚼性略有减小, 菌落总数显著降低。随着贮藏时间的延长, 不同杀菌处理可降低糟辣椒亚硝酸盐峰值, 保持色泽, 维持质地特性, 延缓微生物的生长。整体上, 冷杀菌效果优于热杀菌, 但超高压杀菌对糟辣椒感官品质有影响(产生异味), 因此, 辐照杀菌较适合用于糟辣椒的杀菌。通过 ASLT 法和 Q10 货架期预测模型得到优化后糟辣椒在 25℃的货架期约为 219 d。**结论** 玻璃瓶包装的糟辣椒经辐照冷杀菌处理, 与未杀菌的玻璃瓶包装糟辣椒相比, 货架期延长了 121 d, 该研究可为提升糟辣椒贮藏品质提供参考。

关键词: 糟辣椒; 包装材料; 热杀菌; 冷杀菌; 货架期

Changes in storage quality of fermented pepper based on different packaging materials and sterilization methods and its shelf life prediction

WANG Mei¹, PAN Mu^{1*}, LIU Hui¹, HE Fang-Guo²,
LUO Yu-Kun³, WANG Hui¹

(1. Biotechnology Institute, Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang 550006, China; 2. Guizhou Maoyun Agricultural Technology Co., Ltd., Guiyang 550006, China; 3. Guizhou Baiweifeng Agricultural Development Co., Ltd., Guiyang 550006, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of different packaging materials and sterilization methods on the storage quality of dried pepper, and to predict the shelf life of optimized fermented pepper. **Methods** The fermented pepper made from Huaxi fresh red pepper was studied. The storage qualities of fermented pepper packed with high temperature cooking bag, aluminium foil bag, polypropylene plastic (PP) plastic bottle, polyethylene terephthalate

基金项目: 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2022]3-16 号)

Fund: Supported by the Guiyang Science and Technology Plan Project (Zhuke Contract [2022]3-16)

*通信作者: 潘牧, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: 275857864@qq.com

*Corresponding author: PAN Mu, Ph.D, Associate Professor, Biotechnology Institute, Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang 550006, China. E-mail: 275857864@qq.com

(PET) plastic bottle, glass bottles 5 kinds of packaging materials and sterilized with pasteurization, steam sterilization, microwave sterilization, ultra-high pressure sterilization, irradiation sterilization 5 kinds of sterilization methods were explored. And the shelf life was predicted by accelerated shelf life testing (ASLT) and Q10 model.

Results The effects of aluminum foil bag and glass bottle packaging were better. After 5 kinds of sterilization treatment, the hardness and chewiness of fermented pepper were slightly reduced, and the total bacterial count was significantly reduced. With the extension of storage time, different sterilization treatments could reduce the peak value of nitrite, maintain color and texture characteristics, and delay the growth of microorganisms. On the whole, the cold sterilization effect was better than the hot sterilization, but the ultra-high pressure sterilization had an impact on the sensory quality of fermented pepper (produce odor), therefore, irradiation sterilization was more suitable for the sterilization of fermented pepper. It was predicted by ASLT and Q10 model that the optimized fermented pepper shelf life at 25°C was about 219 days. **Conclusion** The shelf life of fermented pepper treated with glass bottle and irradiation sterilization is extended 121 d compared with unsterilized bottle packed fermented pepper. This study can provide reference for improving the storage quality of fermented pepper.

KEY WORDS: fermented pepper; packaging material; hot sterilization; cold sterilization; shelf life

0 引言

贵州作为辣椒强省, 辣椒种植面积和产量位居全国第一^[1]。其中花溪辣椒、遵义朝天椒、大方皱椒、虾子辣椒等 10 种辣椒被列为国家地理标志产品。花溪辣椒肉质肥厚, 具有辣味适中、香味有余的特点。以新鲜花溪红辣椒为原料, 生姜、大蒜、食盐等为辅料, 剁碎后发酵而成的糟辣椒集酸、辣、鲜、香为一体, 是黔菜必不可少的部分, 也是西南地区特别是贵州老百姓餐桌上的必备调味品。

一直以来, “无添加”糟辣椒的货架期是糟辣椒生产流通中的瓶颈问题。糟辣椒为发酵食品, 微生物含量丰富, 既有益生菌, 也有腐败菌、产毒菌等菌群^[2], 生产流通中容易产生胀袋、产气、产膜生花、褐变、质地软化、皮肉分析、异味等问题。目前, 市售糟辣椒几乎都添加了防腐剂、保鲜剂、甚至着色剂等^[3-4], 传统自然发酵制作的“无添加”糟辣椒一般存放 3 个月左右品质劣变严重^[5], 货架期较短, 不利于产品贮藏流通。目前消费者更青睐于无添加、原生态、绿色健康食品。因此, “无添加”糟辣椒货架期延长技术成为糟辣椒加工中急需解决的问题。

孟淑真^[6]从品种筛选、原料减菌预处理、发酵工艺优化、接种强化发酵等方面控制糟辣椒产气问题, 结果表明, 以满分 215 品种鲜椒为原料, 用 8% 盐水浸泡 1 h 进行减菌预处理, 接种植物乳杆菌 5-1, 添加 0.2% 的乳酸, 在 15°C 的温度下进行纯种强化发酵, 发酵 30 d 的糟辣椒, 其产气体积比自然发酵的糟辣椒少 88.3%; 殷勇等^[7]研究得出 0.2% 山苍子油可有效保持糟辣椒的贮藏品质; 王雪雅等^[8]研究天然抑菌剂对糟辣椒“生花”菌株及常见食源菌的抑菌活性, 得到最佳复合天然抑菌剂为山苍子油 0.2%、大蒜油 0.025% 及生姜油 0.025%, 此复合天然抑菌剂处理的糟辣

椒贮藏至 180 d, 菌落总数降低了 58.7 倍, 总酸含量降低 0.22%。以上工艺虽未添加化学防腐剂或保鲜剂, 但盐水浸泡可能会对糟辣椒的质地特性产生影响, 而山苍子油、大蒜油、生姜油等的添加可能会影响糟辣椒的风味, 且未对糟辣椒的货架期进行预测。本研究以花溪新鲜红辣椒为原料, 实验室自制直投式发酵剂进行强化发酵, 对糟辣椒包装材料和杀菌方式进行优化, 并通过加速货架期测试法 (accelerated shelf life testing, ASLT) 法和 Q_{10} 货架期预测模型^[9]对优化后糟辣椒的货架期进行预测。旨在通过物理保鲜方法提升糟辣椒贮藏品质, 延长糟辣椒货架期, 为工厂实际生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜花溪红辣椒: 采自贵阳花溪辣椒种植基地; 生姜、大蒜、小黄豆、食盐等辅料: 购于本地农贸市场; 乳酸菌和酵母菌复合直投式发酵剂: 实验室自制。

PCA 培养基(生物试剂, 上海博微生物科技有限公司); 无水碳酸钠、无水对氨基苯磺酸、六偏磷酸钠、亚铁氰化钾、乙酸锌、盐酸萘乙二胺、硼酸钠、酚酞、氢氧化钠等(分析纯, 西陇科学股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

HPP600MPa 超高压食品处理装置(包头科发高压科技有限责任公司); ^{60}Co - γ 静态辐照源(贵州省农业科学院辐照中心); M1-L201B 美的微波炉(广东美的厨房电器制造有限公司); 1000 型仿手工剁椒机(清镇市顺成机械厂); TMS-Pro 物性分析仪(美国 FTC 公司); NH310 色差仪(深圳市三恩时科技有限公司); L5S 紫外可见分光光度计(上海仪电分析

器有限公司); RXZ 型智能人工气候箱(宁波江南仪器厂制造); KG-SX-700 蒸汽灭菌锅(日本多美股份有限公司); VS-840-1 型净化工作台(上海博迅实业有限公司); MJX-260HS 恒温恒湿光照贮藏箱(宁波杨辉仪器有限公司); PHS-2F pH 计(雷磁仪器有限公司); TGL-16M 医用离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)。

1.3 方 法

1.3.1 糟辣椒的制备

新鲜红辣椒去蒂, 生姜去泥, 大蒜剥皮, 洗净、晾干, 一起放进剁椒机中, 边翻边剁, 直到剁成 5.0 mm 左右均匀小块, 倒入干净无水、未粘过动物油的盆中, 再倒入黄豆、白酒、盐, 加入已活化的实验室自制发酵剂, 其中生姜、大蒜、黄豆、白酒、盐、发酵剂添加量分别为新鲜红辣椒质量的 12.50%、12.50%、2.50%、2.00%、6.00%、0.75%。所有原辅料搅拌均匀后装入洗净晾干的土坛中, 加盖, 注入坛沿水, 密封, 装坛前后使用紫外线对坛表面照射 1 h, 放置过程中实时添加坛沿水, 防止水蒸发后气体进入土坛中, 放置发酵 30 d, 备用。

1.3.2 糟辣椒包装材料的筛选

发酵好的糟辣椒分别采用透明高温蒸煮袋和不透明高温铝箔袋进行真空包装, 每袋净重约 250 g; 分别采用 PP 塑料瓶、PET 塑料瓶和玻璃瓶对糟辣椒进行普通包装, 每瓶净重约 250 g, 留出五分之一顶隙, 所有包装材料使用前均需紫外线照射 1 h。包装好的样品于 25℃、相对湿度 (RH)75%、光照条件下贮藏, 每 2 d 对糟辣椒感官进行评价并检测菌落总数, 筛选合适的包装材料。

1.3.3 不同杀菌方式对糟辣椒贮藏品质的影响

以不杀菌发酵好的糟辣椒为对照(玻璃瓶包装, CK), 研究巴氏杀菌(玻璃瓶包装, 85℃、10 min)、蒸汽灭菌(铝箔袋包装, 121℃、2 min)、微波杀菌(透明高温蒸煮袋包装, 700 W、20 s)、超高压杀菌(PET 塑料瓶包装, 400 MPa、10 min)和辐照杀菌(玻璃瓶包装, 4 kGy)对糟辣椒贮藏品质的影响, 以上杀菌工艺参数通过预实验获得。所有包装材料使用前均需紫外线照射 1 h。处理好的样品贮藏条件为温度 40℃、相对湿度 75%、光照, 每 7 d 对糟辣椒的亚硝酸盐、质构、色差、菌落总数和感官品质进行检测, 贮藏 49 d, 筛选合适的杀菌方式。

1.3.4 糟辣椒货架期的预测

在大多数的食品反应中, 贮藏温度每上升 10℃, 食品相关反应速度会加倍^[10]。将食品贮藏在 2 个相差为 10℃ 的温度条件下分别进行实验, 以计算出准确的 Q_{10} 。因此, 本研究以自然发酵 30 d 后玻璃瓶包装的糟辣椒为对照组, 前期实验筛选的包装材料和杀菌方式处理的发酵剂发酵的(发酵 30 d)糟辣椒为实验组。对照组于常温 25℃、相对湿度 75%、光照条件下贮藏; 实验组分别于 30℃、相对湿度

75%、光照和 40℃、相对湿度 75%、光照条件下贮藏。每 7 d 对糟辣椒贮藏期间的感官进行评价并对菌落总数进行检测, 因现行有效的贵州省地方标准 DB52/T 982—2015《发酵辣椒酱及糟辣椒加工技术规程》中没有对糟辣椒感官和菌落总数作出要求, 根据最新发布的团体标准 T/QLY 190—2023《生态黔菜伴侣 贵州糟辣椒》对糟辣椒感官的要求, 制定了感官评分标准, 见表 1, 产品有褐变、霉花、风味变差、有杂味即感官评分低于 48 分, 则失去商品价值; 前述 2 个标准均未对糟辣椒菌落总数作出要求, 菌落总数仅作为糟辣椒贮藏期间微生物变化情况的参考。通过感官评分的变化确定产品不可接受值, 即该贮藏温度下产品的货架期终点, 计算 Q_{10} 值, 预测货架期。 Q_{10} 值和货架期计算如公式(1)~(2)^[11-12]。

$$Q_{10} = \frac{T \text{ 温度下货架期}}{(T+10) \text{ 温度下货架期}} \quad (1)$$

$$S_2 = S_1 Q_{10}^{(T_1 - T_2)/10} \quad (2)$$

其中, S_1 — T_1 温度下货架期; S_2 — T_2 温度下货架期。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 菌落总数

平板计数法参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》。

1.4.2 亚硝酸盐

分光光度法参照 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》。

1.4.3 质构特性

采用质构仪进行检测, 选择 TPA 质构分析, P/5 柱形探头, 量程 250 N, 测前速度=测试速度=测后速度=1 mm/s, 压缩形变量 40%, 回升到样品表面的高度 20 mm, 每个样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

1.4.4 色差的测定

采用色差仪进行测定, L^* 代表亮度, 其值越大, 亮度越好, 褐变越轻, 反之褐变越重。每个样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

1.4.5 感官评分标准

由 10 名食品专业背景的人员组成感官评价小组, 评价方法: 取 20 g 左右糟辣椒放在白色器皿中, 在自然光下观察其色泽形态, 闻其风味, 用温水漱口后尝其口感, 每个样品品评结束需漱口间隔 2 min 再进行下一个样品的评定。得分为各项评分之和, 满分为 100 分, 得分低于 48 分则失去商品价值。感官评定标准见表 1。

1.5 数据处理

所有实验均重 3 次, 采用 SPSS Version 20.0 对数据进行描述统计分析, 结果以平均值±标准偏差表示。采用 Origin 2021 进行图的绘制。采用方差分析在 $P < 0.05$ 水平进行 Duncan 检验, 以判定显著性差异。

表 1 糟辣椒感官评定标准
Table 1 Standard for sensory evaluation of fermented pepper

评分项目	评分标准	分值/分
色泽 (20 分)	色泽为均匀的鲜红色, 鲜亮且有光泽	15~20
	色泽为红色, 有光泽	10~14
	暗红色, 表层有褐变或褪色	5~9
	褐变严重, 呈现暗灰色, 无光泽	0~4
形态 (20 分)	汁液少, 流动性差, 黏稠适中, 组织均匀, 无分层, 无霉花	15~20
	汁液少, 稍可流动, 组织均匀, 无分层, 无霉花	10~14
	汁液多, 可流动, 稍有分层, 有霉花	5~9
	汁液较多, 流动性非常好, 分层严重, 有大量霉花	0~4
风味 (30 分)	发酵香气扑鼻, 气味协调, 风味浓郁	24~30
	发酵香气明显, 气味协调性一般, 风味一般	16~23
	发酵香气较差, 气味协调性差, 滋味较差, 风味较差	8~15
	气味不正常, 有异味	0~7
口感 (30 分)	酸辣味纯正, 味道柔和, 咸淡适宜, 滋味鲜美	24~30
	酸辣度适中, 味道柔和, 滋味略淡	16~23
	有粗糙感, 无鲜味, 酸味过重, 稍有杂味	8~15
	非常粗糙, 无鲜味, 酸辣甜咸味失调, 有杂味	0~7

2 结果与分析

2.1 不同包装材料对糟辣椒感官品质的影响

包装材料的透气性、透光性、厚度等特性对糟辣椒贮藏期间的色泽形态、风味质构、“生花”胀袋等品质影响较大。如表 2 所示, 5 种包装材料包装的糟辣椒贮藏期间感官评分不断降低, 其中 PP 塑料瓶包装的糟辣椒感官评分下降较快, 贮藏的 2~8 d, 其感官评分与高温蒸煮袋、铝箔袋、PET 塑料瓶、玻璃瓶相比差异显著($P<0.05$); 贮藏的 10~18 d, PET 塑料瓶包装的糟辣椒感官评分下降也较快, 贮藏至

18 d, PP 塑料瓶和 PET 塑料瓶包装的糟辣椒褐变严重、汁液变多、可流动、质地变软、气味协调性差、口感下降、稍有杂味, 感官评分分别为 46.9 分和 46.7 分, 低于 48 分, 已失去商品价值; 瓶装糟辣椒以玻璃瓶包装的样品感官评分较高。从贮藏 0 d 的感官评分可知, 瓶装糟辣椒外观形态优于高温蒸煮袋和铝箔袋包装的糟辣椒, 故感官评分略低, 但从整个贮藏过程可看出, 高温蒸煮袋和铝箔袋包装的糟辣椒感官评分整体高于瓶装糟辣椒, 贮藏至 18 d, 袋装糟辣椒均还有商品价值, 其中铝箔袋包装的糟辣椒感官评分略高于高温蒸煮袋, 主要是因为铝箔袋可避光, 能较好地保持糟辣椒红亮的色泽。

表 2 不同包装材料包装的糟辣椒贮藏期间感官评分的变化(分)
Table 2 Changes in sensory scores of fermented pepper packaged with different packaging materials during storage

贮藏时间/d	高温蒸煮袋	铝箔袋	PP 塑料瓶	PET 塑料瓶	玻璃瓶
0	99.0±1.2 ^a	98.9±1.9 ^a	99.3±1.5 ^a	99.4±1.9 ^a	99.5±1.4 ^a
2	96.7±1.7 ^b	96.8±0.7 ^b	94.6±2.8 ^a	96.5±1.0 ^b	96.5±1.4 ^b
4	91.4±1.4 ^b	91.3±2.4 ^b	87.8±2.4 ^a	91.5±1.2 ^b	92.7±1.0 ^c
6	88.3±1.0 ^c	88.0±0.8 ^c	80.0±0.9 ^a	84.7±1.6 ^b	85.1±1.9 ^b
8	84.6±1.6 ^c	83.6±2.1 ^d	76.9±2.1 ^a	79.3±2.1 ^b	81.7±0.7 ^c
10	79.1±2.2 ^c	79.9±2.0 ^c	70.8±3.0 ^a	71.8±3.2 ^a	76.0±1.9 ^b
12	78.6±1.6 ^d	78.5±1.4 ^d	67.4±2.1 ^a	69.1±2.5 ^b	72.4±1.4 ^c
14	76.7±2.6 ^c	77.5±1.5 ^c	65.2±2.0 ^a	65.6±2.4 ^a	69.9±1.2 ^b
16	74.5±2.7 ^c	74.8±2.0 ^c	50.4±1.8 ^a	51.1±1.4 ^a	67.3±2.6 ^b
18	73.0±1.9 ^c	73.2±2.7 ^c	46.9±2.6 ^a	46.7±2.0 ^a	64.4±2.0 ^b

注: 同一行不同字母表示差异显著($P<0.05$), 表 2~5 同。

2.2 不同包装材料对糟辣椒菌落总数的影响

不同包装材料包装的糟辣椒贮藏期间菌落总数的变化如表 3 所示, 由表 3 可知, 糟辣椒初始菌落总数均为 10^3 数量级, 产品卫生安全状况良好。随着贮藏时间的延长, 菌落总数不断增加, 贮藏至 6 d, 高温蒸煮袋和铝箔袋包装的糟辣椒菌落总数分别为 3.93 lg(CFU/g)和 3.86 lg(CFU/g), 而 PP 塑料瓶、PET 塑料瓶和玻璃瓶包装的糟辣椒微生物繁殖相对较快, 分别增长为 4.11 lg(CFU/g)、4.32 lg(CFU/g)和 4.15 lg(CFU/g); 贮藏至 12 d, PP 塑料瓶和 PET 塑料瓶包装的糟辣椒菌落总数较高, 分别增长为 5.32 lg(CFU/g)和 5.04 lg(CFU/g); 贮藏至 18 d, PET 塑料瓶包装的糟辣椒菌落总数最高, 为 6.08 lg(CFU/g), 铝箔袋包装的糟辣椒菌落总数最低, 为 5.41 lg(CFU/g), 说明铝箔袋的抑菌效果相对较好, 主要是因为铝箔袋较厚、气密性较好, 有利于隔绝氧气, 减缓需氧型微生物的生长^[13]。因此, 结合感官评分来看, 铝箔袋更适合用于包装糟辣椒。但铝箔袋透视性差、不利于摆放、影响产品美观、开袋取用后剩余糟辣椒不便存放。实际生产中以 PP 塑料瓶和玻璃瓶较为常见, 综合考虑感官评分和菌落总数的变化, 瓶装以玻璃瓶包装效果较好。

2.3 不同杀菌方式对糟辣椒亚硝酸盐含量的影响

亚硝酸盐含量是评价发酵食品食用安全性的重要指标, 糟辣椒发酵过程中亚硝酸盐的含量受 pH、温度、食盐添加量等多种因素的影响^[14]。如图 1 所示, 发酵好的糟辣椒经不同杀菌方式处理贮藏期间亚硝酸盐含量呈先上升后下降的变化趋势, 此变化趋势与相关研究结果一致^[15-17]。贮藏初期, 糟辣椒中亚硝酸盐含量增长较快, 于贮藏的 14 d 达到峰值, 其中以对照组亚硝酸盐峰值较高, 为 4.08 mg/kg; 辐照杀菌处理组亚硝酸盐峰值较低, 为 3.35 mg/kg, 与对照组相比, 亚硝酸盐含量降低了 17.9%。贮藏的 14~49 d, 亚硝酸盐含量整体呈下降趋势, 略有起伏。贮藏初期, 主要是因为乳酸菌产生的硝酸还原酶不断将硝酸盐还原为亚硝酸盐, 导致亚硝酸盐含量增加; 而后微生物代谢产生的乳酸、柠檬酸等有机酸含量增多, 抑制了硝酸还原酶的活

性, 且环境 pH 降低, 乳酸菌分解亚硝酸盐的能力增强, 使得亚硝酸盐含量降低^[18-19]。整个贮藏过程, 对照组和处理组亚硝酸盐含量均低于最高限值 20 mg/kg, 符合 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的要求, 在安全食用范围内。

2.4 不同杀菌方式对糟辣椒硬度和咀嚼性的影响

糟辣椒的质构特性受辣椒品种、水分分布、食盐浓度、微生物菌群分布等因素的影响。如图 2、3 所示, 糟辣椒贮藏期间硬度和咀嚼性不断降低, 0~21 d, 未经杀菌处理的对照组硬度和咀嚼性比杀菌处理组高, 说明糟辣椒经热杀菌或冷杀菌处理后质构不同程度地受损, 其中以热杀菌对糟辣椒质构损失较大。对照组糟辣椒在温度 40℃、相对湿度 75%、光照条件下贮藏 21 d 后, 硬度和咀嚼性下降速度加快; 贮藏至 49 d, 对照组硬度下降为 2.76 N, 与初始硬度相比, 下降了 79.9%, 与各处理组相比差异显著($P<0.05$), 此时以超高压杀菌组和辐照杀菌组硬度较高, 与热杀菌巴氏杀菌、蒸汽灭菌和微波杀菌相比差异显著($P<0.05$), 说明从长期贮藏来看, 冷杀菌可有效延缓糟辣椒质地软化。与硬度变化趋势相同, 贮藏至 49 d, 对照组咀嚼性下降为 7.89 mJ, 与其他处理组相比差异显著($P<0.05$); 贮藏至 49 d, 以超高压杀菌组和辐照杀菌组咀嚼性较高, 分别是对照组的 1.617 倍和 1.608 倍, 说明超高压杀菌和辐照杀菌有助于保持糟辣椒的咀嚼性。糟辣椒贮藏过程中, 质地软化的原因: 一方面, 食盐水通过渗透作用使细胞组织失水, 细胞膨压下降, 导致组织软化, 脆度降低^[20]; 另一方面, 来源于原组织的内源性果胶酶和微生物代谢产生的外源性果胶酶作用于细胞壁和胞间层结构, 分解果胶, 导致组织软化^[21-22]。ALIMARDANI-THEUIL 等^[23]研究表明, 毕赤酵母属是产果胶酶的主要酵母属, 而糟辣椒贮藏至中后期导致“生花”现象的酵母菌主要为毕赤酵母属^[24]。结合实验过程中, 对照组糟辣椒于贮藏的 35 d 开始有零星霉花现象推测, 对照组糟辣椒贮藏后期, 硬度和咀嚼性快速下降, 可能主要是因为毕赤酵母属代谢产生的外源性果胶酶对果胶的分解作用。

表 3 不同包装材料包装的糟辣椒贮藏期间菌落总数的变化 [lg(CFU/g)]

Table 3 Changes in total bacterial count of fermented pepper packaged with different packaging materials during storage [lg(CFU/g)]

贮藏时间/d	高温蒸煮袋	铝箔袋	PP 塑料瓶	PET 塑料瓶	玻璃瓶
0	3.32±0.02 ^c	3.11±0.03 ^a	3.34±0.05 ^c	3.18±0.06 ^b	3.32±0.07 ^c
2	3.59±0.06 ^c	3.54±0.07 ^b	3.48±0.09 ^a	3.66±0.03 ^d	3.71±0.04 ^c
4	3.68±0.04 ^b	3.66±0.12 ^a	3.80±0.11 ^c	3.90±0.07 ^d	3.91±0.08 ^c
6	3.93±0.25 ^b	3.86±0.32 ^a	4.11±0.17 ^c	4.32±0.21 ^c	4.15±0.12 ^d
8	4.04±0.15 ^b	3.99±0.14 ^a	4.66±0.31 ^c	4.75±0.23 ^d	4.68±0.16 ^c
10	4.61±0.51 ^b	4.08±0.26 ^a	4.84±0.41 ^c	4.91±0.19 ^d	4.94±0.24 ^c
12	4.88±0.22 ^b	4.40±0.63 ^a	5.32±0.67 ^c	5.04±0.33 ^d	4.96±0.42 ^c
14	4.98±0.61 ^b	4.75±0.34 ^a	5.57±0.43 ^d	5.69±0.70 ^c	4.99±0.81 ^c
16	5.67±0.42 ^b	4.91±0.50 ^a	5.75±0.52 ^c	5.85±0.35 ^c	5.76±0.47 ^d
18	5.86±0.68 ^b	5.41±0.72 ^a	5.94±0.46 ^d	6.08±1.02 ^c	5.93±0.91 ^c

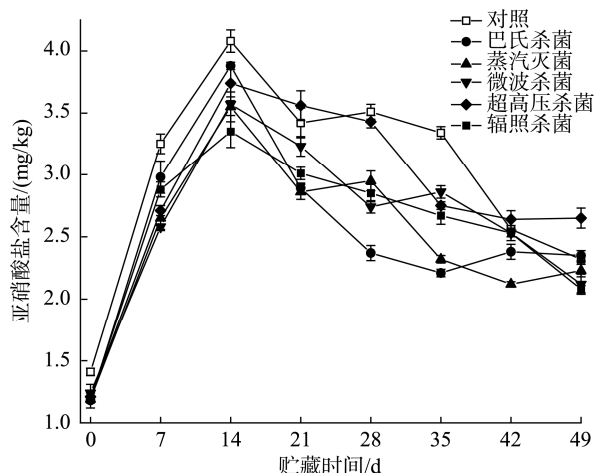


图1 不同杀菌方式处理的糟辣椒贮藏期间亚硝酸盐含量的变化

Fig.1 Changes in nitrite content of fermented pepper treated with different sterilization methods during storage

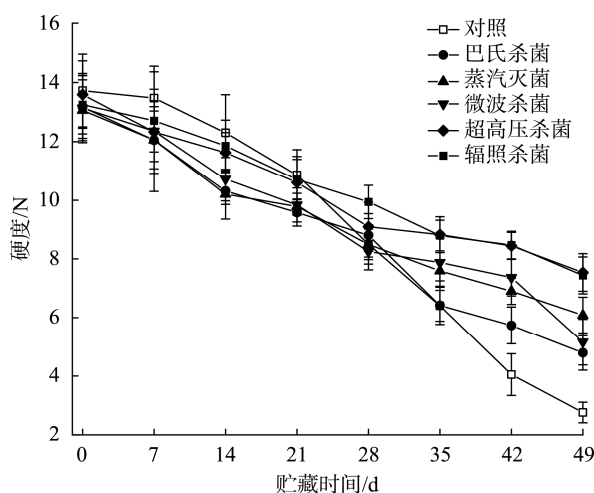


图2 不同杀菌方式处理的糟辣椒贮藏期间硬度的变化

Fig.2 Changes in hardness of fermented pepper treated with different sterilization methods during storage

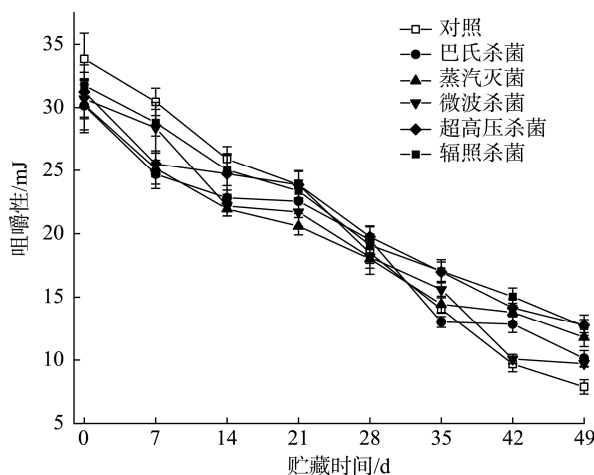
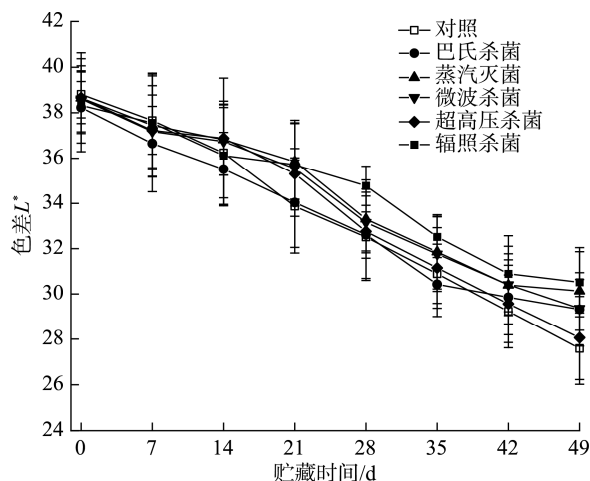


图3 不同杀菌方式处理的糟辣椒贮藏期间咀嚼性的变化

Fig.3 Changes in chewiness of fermented pepper treated with different sterilization methods during storage

2.5 不同杀菌方式对糟辣椒色泽的影响

辣椒色素是一种具有共轭多烯烃结构的天然色素^[25], 主要分为红、黄两大类, 辣椒的红色主要由辣椒红素和辣椒玉红素组成, 辣椒红素是辣椒色素的主要成分, 约占辣椒总色素的 50%, 辣椒玉红素是辣椒红素的氧化产物, 具有良好的热稳定性和活性氧稳定性^[26-27]。糟辣椒贮藏过程中色泽的变化主要与辣椒色素组成及其含量、光照、温度等因素相关^[28]。如图 4 所示, 糟辣椒贮藏过程中色差 L^* 不断降低, 色泽变暗, 影响产品商品性。由图 4 可知, 贮藏前期对照组和各杀菌组色差 L^* 相差不大, 从贮藏的 21 d 开始, 对照组 L^* 下降较快, 贮藏至 49 d, 对照组色差 L^* 与初始值相比下降了 28.9%; 贮藏的 21~49 d 以辐照杀菌组色差 L^* 较高, 说明辐照冷杀菌可较好地维持糟辣椒贮藏过程中的色泽, 同时随着贮藏时间的推移, 不同杀菌处理一定程度上可钝化多酚氧化酶和过氧化物酶活性, 从而减缓酶促褐变的发生; 另一方面, 杀菌处理可抑制腐败微生物的快速生长繁殖, 防止环境中的氧化还原电势增长过快, 也可减缓褐变的发生^[29]。

图4 不同杀菌方式处理的糟辣椒贮藏期间 L^* 的变化Fig.4 Changes in L^* of fermented pepper treated with different sterilization methods during storage

2.6 不同杀菌方式对糟辣椒菌落总数的影响

糟辣椒发酵过程中的微生物多种多样, 发酵好的糟辣椒经不同杀菌方式处理后贮藏期间菌落总数的变化见表 4。由表 4 贮藏 0 d 的菌落总数值可知, 糟辣椒经不同杀菌方式处理后菌落总数显著降低 ($P < 0.05$), 但不能完全杀灭微生物, 未做杀菌处理的对照组初始菌落总数最高, 为 3.00 lg(CFU/g), 辐照杀菌处理可将初始菌落总数降低为 1.08 lg(CFU/g)。随着贮藏时间的延长, 对照组和处理组菌落总数不断增加, 对照于贮藏的 21 d 菌落总数增长为 4.34 lg(CFU/g), 贮藏至 49 d, 菌落总数增长为 5.75 lg(CFU/g), 增长速度较快;

表 4 不同杀菌方式处理的糟辣椒贮藏期间菌落总数的变化[lg(CFU/g)]
Table 4 Changes in total bacterial count of fermented pepper treated with different sterilization methods during storage [lg(CFU/g)]

贮藏时间/d	对照	巴氏杀菌	蒸汽灭菌	微波杀菌	超高压杀菌	辐照杀菌
0	3.00±0.52 ^f	2.51±0.11 ^e	2.45±0.62 ^d	1.51±0.07 ^c	1.38±0.05 ^b	1.08±0.03 ^a
7	3.54±0.42 ^f	3.04±0.09 ^e	2.88±0.21 ^d	2.32±0.12 ^c	1.72±0.04 ^b	1.52±0.02 ^a
14	3.86±0.64 ^f	3.75±0.41 ^e	3.30±0.17 ^d	2.86±0.20 ^c	2.45±0.11 ^b	2.20±0.08 ^a
21	4.34±0.63 ^f	4.08±0.61 ^e	3.71±0.36 ^d	3.49±0.27 ^c	2.65±0.34 ^b	2.51±0.20 ^a
28	4.45±0.51 ^f	4.36±0.24 ^e	4.32±0.22 ^d	3.76±0.31 ^c	2.87±0.12 ^b	2.70±0.13 ^a
35	4.80±0.72 ^f	4.63±0.33 ^e	4.53±0.09 ^d	3.88±0.24 ^c	3.41±0.43 ^b	2.95±0.22 ^a
42	5.15±1.00 ^f	4.95±0.92 ^e	4.72±0.66 ^d	4.15±0.41 ^c	3.81±0.61 ^b	3.15±0.30 ^a
49	5.75±1.12 ^f	5.15±0.71 ^e	4.91±0.72 ^d	4.49±0.42 ^c	3.96±0.53 ^b	3.53±0.27 ^a

其次,巴氏杀菌处理组菌落总数增长也较快,贮藏至 49 d,菌落总数增长为 5.15 lg(CFU/g)。由表 4 可知,热杀菌处理以微波杀菌处理效果较好;冷杀菌效果整体优于热杀菌,特别以辐照杀菌效果最好。

2.7 不同杀菌方式对糟辣椒感官评分的影响

感官评分是评价糟辣椒贮藏期间外观口感等品质变化的直观指标。由表 5 可知,糟辣椒经不同杀菌方式处理后在温度 40℃、相对湿度 75%、光照条件下贮藏,感官品质下降较快。从贮藏 0 d 的感官评分可看出,不同杀菌方式对糟辣椒的外观形态、风味口感均有不同程度的影响,特别是超高压杀菌,糟辣椒经超高压处理后稍有异味,因此感官评分较低,与其他组相比差异显著($P<0.05$),分析其原因:糟辣椒中的异味物质主要由微生物代谢产生^[30-31],超高压可能会改变微生物的基因表达,从而改变微生物代谢特点^[32],导致异味的产生,也有可能是高压状态加速了食品组分间的化学反应所致;辐照杀菌对糟辣椒外观形态、色泽风味影响不大,感官评分较高,为 99.6 分;热杀菌对糟辣椒的形态质地有影响,糟辣椒经热处理后,感官评分略有降低。由表 5 可知,未经杀菌处理的对照组感官评分下降最快,贮藏至 28 d,感官评分下降为 48.9 分,主要是微生物的作用导致产品产气、产生异

味、流动性变大、风味失调、色泽变暗等,随着贮藏时间的推移甚至产生分层、霉花、皮肉分离等现象,对照组贮藏至 35 d,感官评分为 36.8 分,低于 48 分,已失去商品价值。热杀菌以巴氏杀菌感官评分偏低,贮藏至 35 d,感官评分下降为 48.1 分,达到商品可销售临界点;蒸汽灭菌和微波杀菌均于贮藏的 42 d 达到商品可销售临界点。冷杀菌中超高压杀菌因为有异味的产生,特别随着贮藏时间的延长,异味越来越重,故感官评分下降较快,贮藏至 28 d,感官评分为 50.3 分,贮藏至 42 d,感官评分为 39.2 分,已失去商品价值;辐照杀菌则能较好地保持糟辣椒的外观形态、质地口感及风味,从贮藏的第 7 d 开始,与其他处理组相比差异显著($P<0.05$),贮藏至 49 d,感官评分为 48.9 分,还具有商品价值。因此,从感官评分来看,辐照杀菌较适合用于糟辣椒杀菌。

2.8 糟辣椒 Q10 货架期预测模型的构建

由表 6 可知,自然发酵糟辣椒在 25℃、相对湿度 75%、光照条件下贮藏至 105 d,感官评分为 43.2 分,低于 48 分,失去商品价值,到达货架期终点,此时菌落总数较高(暂无糟辣椒菌落总数限量标准),为 4.2×10^6 CFU/g。因此,确定自然发酵糟辣椒在 25℃条件下的货架期为 98 d,此时菌落总数为 3.8×10^6 CFU/g,感官评分为 48.3 分。

表 5 不同杀菌方式处理的糟辣椒贮藏期间感官评分的变化
Table 5 Changes in sensory scores of fermented pepper treated with different sterilization methods during storage

贮藏时间/d	对照	巴氏杀菌	蒸汽灭菌	微波杀菌	超高压杀菌	辐照杀菌
0	99.7±2.2 ^d	98.5±1.2 ^b	99.1±1.8 ^{bcd}	98.9±1.3 ^{bc}	94.2±1.5 ^a	99.6±2.0 ^d
7	80.2±1.9 ^a	83.6±2.4 ^b	84.3±1.6 ^b	85.7±2.0 ^c	80.4±1.4 ^a	87.4±3.2 ^d
14	65.3±1.5 ^b	72.7±1.0 ^c	78.3±0.8 ^d	80.5±2.0 ^e	64.5±1.0 ^a	82.6±0.7 ^f
21	56.5±1.6 ^a	61.2±2.4 ^b	72.8±1.3 ^d	71.8±0.7 ^c	57.2±3.0 ^a	76.7±2.5 ^e
28	48.9±2.4 ^a	54.4±1.6 ^c	65.9±1.0 ^d	65.3±2.6 ^d	50.3±1.6 ^b	69.3±1.8 ^e
35	36.8±1.7 ^a	48.1±2.2 ^c	58.4±1.1 ^d	57.7±0.6 ^d	45.4±2.1 ^b	61.4±1.9 ^e
42	28.2±1.0 ^a	40.3±1.8 ^c	49.3±3.0 ^e	48.4±1.7 ^d	39.2±0.8 ^b	56.1±3.5 ^f
49	21.4±1.7 ^a	37.6±0.8 ^c	39.2±1.4 ^d	39.5±1.8 ^d	31.6±0.5 ^b	48.9±1.2 ^e

表 6 自然发酵糟辣椒在 25℃时菌落总数和感官评分的变化
Table 6 Changes in total bacterial count and sensory scores of natural fermented pepper at 25℃

贮藏时间/d	菌落总数/(CFU/g)	感官评分/分
0	3.4×10^3	98.7±2.3
7	6.2×10^3	96.3±1.3
14	7.1×10^3	91.4±2.4
21	9.9×10^3	88.8±1.5
28	1.6×10^4	83.7±1.0
35	3.4×10^4	80.4±1.0
42	4.7×10^4	76.8±1.0
49	6.9×10^4	74.7±1.6
56	8.4×10^4	71.5±2.1
63	1.2×10^5	68.2±1.4
70	3.6×10^5	65.9±1.5
77	7.2×10^5	60.6±2.0
84	8.5×10^5	56.5±1.0
91	1.4×10^6	52.9±1.6
98	3.8×10^6	48.3±1.7
105	4.2×10^6	43.2±1.8

由表 7 和表 8 可知, 优化工艺制作的糟辣椒菌落总数得到有效控制, 整体增长速度较慢, 感官品质保持较好。在 30℃时, 贮藏至 140 d 感官评分为 47.1 分, 到达货架期

表 7 优化工艺制作的糟辣椒在 30℃时菌落总数和感官评分的变化
Table 7 Changes in total bacterial count and sensory scores of optimized fermented pepper at 30℃

贮藏时间/d	菌落总数/(CFU/g)	感官评分/分
0	1.1×10^1	99.7±3.2
7	2.3×10^1	94.4±1.9
14	6.9×10^1	91.3±1.7
21	9.2×10^1	89.5±1.0
28	2.0×10^2	87.6±2.0
35	3.6×10^2	84.7±3.1
42	5.4×10^2	81.6±2.2
49	7.3×10^2	78.2±1.7
56	8.8×10^2	76.3±2.0
63	9.3×10^2	75.8±0.9
70	1.8×10^3	72.2±2.1
77	2.6×10^3	70.8±1.3
84	4.2×10^3	67.6±2.0
91	6.5×10^3	65.4±1.5
98	7.9×10^3	62.3±1.0
105	9.4×10^3	60.4±1.5
112	2.2×10^4	57.1±2.4
119	5.7×10^4	55.4±3.0
126	8.6×10^4	52.2±1.3
133	1.4×10^5	49.4±2.1
140	3.7×10^5	47.1±1.0

表 8 优化工艺制作的糟辣椒在 40℃时菌落总数和感官评分的变化
Table 8 Changes in total bacterial count and sensory scores of optimized fermented pepper at 40℃

贮藏时间/d	菌落总数/(CFU/g)	感官评分/分
0	1.2×10^1	99.6±2.2
7	3.2×10^1	88.6±3.0
14	1.7×10^2	81.9±1.7
21	3.8×10^2	76.2±1.6
28	6.5×10^2	70.3±1.4
35	9.0×10^2	62.6±3.0
42	1.2×10^3	56.4±2.6
49	4.1×10^3	48.3±1.7
56	7.8×10^3	45.4±1.8

终点, 此时菌落总数为 3.7×10^5 CFU/g, 因此, 优化工艺制作的糟辣椒在 30℃条件下的货架期为 133 d, 此时菌落总数为 1.4×10^5 CFU/g, 感官评分为 49.4 分。在 40℃时, 糟辣椒贮藏至 56 d 感官评分为 45.4 分, 到达货架期终点, 此时菌落总数为 7.8×10^3 CFU/g, 因此, 优化工艺制作的糟辣椒在 40℃条件下的货架期为 49 d, 此时菌落总数为 4.1×10^3 CFU/g, 感官评分为 48.3 分。通过公式(1)计算出优化工艺制作的糟辣椒的 Q_{10} 为 2.71; 通过公式(2)计算出优化工艺制作的糟辣椒在常温 25℃下的货架期为 219 d, 与自然发酵糟辣椒在 25℃下的货架期 98 d 相比, 延长了 123%, 显著延长糟辣椒货架期。

3 结 论

在不添加任何添加剂的条件下, 本研究从包装材料和杀菌方式上筛选有助于提升糟辣椒贮藏品质的技术方法, 并将优化后的方法应用于糟辣椒, 对其货架期进行预测。结果表明, 糟辣椒袋装材料以铝箔袋包装效果较好, 瓶装以玻璃瓶包装效果较好, 相比之下, 铝箔袋和玻璃瓶包装可延缓微生物的生长, 保持感官品质。不同杀菌方式对糟辣椒的品质影响不同, 糟辣椒经杀菌处理后, 硬度和咀嚼性略有减小, 菌落总数显著降低。随着贮藏时间的延长, 不同杀菌处理可降低糟辣椒亚硝酸盐峰值, 保持亮度, 维持质地特性, 延缓微生物的生长。整体上, 冷杀菌效果优于热杀菌, 但超高压杀菌对糟辣椒感官品质有影响(产生异味), 因此, 辐照杀菌较适合用于糟辣椒的杀菌。通过 ASLT 法和 Q_{10} 货架期预测模型对优化工艺制作的糟辣椒货架期进行预测, 得到糟辣椒在 25℃下的货架期约为 219 d, 与自然发酵糟辣椒在 25℃下的货架期 98 d 相比, 延长了 121 d, 说明玻璃瓶包装、辐照杀菌处理可明显延长糟辣椒货架期, 研究结果可为工厂生产无添加、绿色健康食品提供有力支撑。

参考文献

- [1] 李照青. 全产业链视角下贵州辣椒产业高质量发展探究[J]. 现代营销, 2023, (1): 62–64.
LI ZQ. Study on the high-quality development of Guizhou pepper industry from the perspective of the whole industry chain [J]. Mod Mark, 2023, (1): 62–64.
- [2] 向婧姝, 周黎, 周倩, 等. 贵阳市市售糟辣椒微生物污染状况调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9371–9376.
XIANG JS, ZHOU L, ZHOU Q, *et al.* Investigation and analysis on microbial contamination status of sold Zao pepper in Guiyang City [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(24): 9371–9376.
- [3] 谢田, 赖萍, 赖立惠, 等. 脱氢醋酸钠对糟辣椒发酵及保藏品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(2): 151–154.
XIE T, LAI P, LAI LH, *et al.* The effect of sodium dehydroacetate on fermentation and preservation quality of pickling pepper [J]. Guizhou Agric Sci, 2008, 36(2): 151–154.
- [4] 陈明珍, 谭书明. 糟辣椒复合防腐剂配方的优化[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(1): 107–112, 118.
CHEN MZ, TAN SM. Optimization of composite preservative on pickling pepper products [J]. Food Ferment Ind, 2014, 40(1): 107–112, 118.
- [5] 张东亚, 胡伯凯, 李伟岸, 等. 两种加工方法对糟辣椒风味及产品质量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(3): 168–175.
ZHANG DY, HU BK, LI WAN, *et al.* Effects of two processing methods on flavor and product quality of Zao-peppers [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(3): 168–175.
- [6] 孟淑真. 糟辣椒产气控制技术及应用[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
MENG SZ. Research and application of gas production control technology of fermented pepper [D]. Guiyang: Guizhou University, 2022.
- [7] 殷勇, 王雪雅, 蓬桂华, 等. 山苍子油对糟辣椒贮藏期品质的影响[J]. 中国酿造, 2021, 40(6): 81–86.
YIN Y, WANG XY, PENG GH, *et al.* Effect of *Litsea cubeba* oil on the quality of fermented pepper during the storage [J]. China Brew, 2021, 40(6): 81–86.
- [8] 王雪雅, 陆宽, 蓬桂华, 等. 天然抑菌剂对贵州糟辣椒“生花”菌株及常见食源菌的抑菌活性及应用[J]. 中国酿造, 2022, 41(1): 149–154.
WANG XY, LU K, YIN GH, *et al.* Antibacterial activity and application of natural bacteriostatic agents to the strains caused “Shenghua” phenomenon of Guizhou fermented pepper and foodborne microbes [J]. China Brew, 2022, 41(1): 149–154.
- [9] 唐家振. 抹茶贮藏过程中品质变化规律及货架期预测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
TANG JZ. Study on the change of storage quality and shelf-life prediction of matcha [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [10] HAOUET MN, TOMMASINO M, MERCURI ML, *et al.* Experimental accelerated shelf-life determination of ready-to-eat processed food [J]. Ital J Food Saf, 2018, 7(4): 189–192.
- [11] 赵长青, 张益卓, 冉光雨, 等. 添加天然复配防腐剂的猪肉干货架期预测[J]. 中国调味品, 2023, 48(11): 31–36.
ZHAO CQ, ZHANG YZ, RAN GY, *et al.* Prediction of shelf life of pork jerky with natural compound preservatives [J]. China Cond, 2023, 48(11): 31–36.
- [12] 吴辟典, 夏玉娥, 马阳瑜, 等. 茶味山核桃加工工艺优化及茶多酚涂膜保鲜方法研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(3): 256–264.
WU SD, XIA YE, MA YY, *et al.* Processing technology optimization and preservation with tea polyphenols coating of tea flavored *Carya cathayensis* Sarg [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(3): 256–264.
- [13] 王梅, 刘永翔, 吕都, 等. 不同材料包装袋对泡椒鲜切马铃薯片储藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(11): 1–8.
WANG M, LIU YX, LV D, *et al.* Effects of different materials packaging bags on storage qualities of fresh-cut potato chips with pickled pepper [J]. Storage Process, 2021, 21(11): 1–8.
- [14] 郑桂富, 徐晖, 武杰. 亚硝酸盐在雪里蕻腌制过程中规律的研究[J]. 四川大学学报, 2000, 32(3): 85–87.
ZHENG GF, XU H, WU J. Study on the forming of nitrite in the process of pickling of potherb mustard [J]. J Sichuan Univ, 2000, 32(3): 85–87.
- [15] HUANG Y, JIA X, YU J, *et al.* Effect of different lactic acid bacteria on nitrite degradation, volatile profiles, and sensory quality in Chinese traditional paocai [J]. LWT, 2021, 147: 111597.
- [16] 王雪雅, 吴华丽, 丁筑红, 等. 纯种乳酸菌接种发酵辣椒综合品质特性研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(9): 119–124.
WANG XY, WU HL, DING ZH, *et al.* Comprehensive quality characteristics of fermented chili by pure lactic acid bacteria [J]. China Brew, 2016, 35(9): 119–124.
- [17] CHEN Z, KANG J, ZHANG Y, *et al.* Differences in the bacterial profiles and physicochemical between natural and inoculated fermentation of vegetables from Shanxi Province [J]. Ann Microbiol, 2020. DOI: 10.1186/s13213-020-01605-5.
- [18] AN F, LI M, ZHAO Y, *et al.* Metatranscriptome-based investigation of flavor-producing core microbiota in different fermentation stages of Dajiang, a traditional fermented soybean paste of Northeast China [J]. Food Chem, 2021, 343: 128509.
- [19] 何玲, 张祖德. 不同条件下辣椒发酵过程硝酸还原酶活性和亚硝酸盐含量变化[J]. 中国酿造, 2012, 31(1): 125–129.
HE L, ZHANG ZD. Changes of nitrate reductase activity and nitrite contents in pepper under different fermentation conditions [J]. China Brew, 2012, 31(1): 125–129.
- [20] 吴旋, 阚晓波, 徐怀德, 等. 植物乳杆菌发酵的不同地区辣椒品质分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(7): 319–327.
WU X, KAN XB, XU HD, *et al.* Quality analysis of pepper from different regions fermented by lactobacillus plantarum [J]. J Chin Food Sci, 2022, 22(7): 319–327.
- [21] 乔永祥, 谢晶, 雷昊, 等. 酸性电解水联合气调包装对鲜切生菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 111–115.
QIAO YX, XIE J, LEI H, *et al.* Effect of acidic electrolytic water combined with modified atmosphere packing on the quality of fresh-cut lettuce [J]. Food Mach, 2017, 33(2): 111–115.
- [22] WANG D, ZHAO L, SU R, *et al.* Effects of different starter culture combinations on microbial counts and physico-chemical properties in dry fermented mutton sausages [J]. Food Sci Nutr, 2019, 7(6): 1957–1968.
- [23] ALIMARDANI-THEUIL P, GAINVORS-CLAISSE A, DUCHIRON F. Yeasts: An attractive source of pectinases—from gene expression to potential applications: A review [J]. Process Biochem, 2011, 46: 1525–1537.
- [24] 王雪雅, 陆宽, 殷勇, 等. 贵州不同地区“生花”糟辣椒中微生物多样性研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(8): 46–53.

- WANG XY, LU K, YIN Y, *et al.* Microbial diversity of “Shenghua” fermented pepper indifferent areas of Guizhou [J]. *China Brew*, 2021, 40(8): 46–53.
- [25] AYAKO K, NORIYUKI F, YASUHIRO M, *et al.* Detection of quantitative trait loci for capsanthin content in pepper (*Capsicum annuum* L.) at different fruit ripening stages [J]. *Breed Sci*, 2019, 69(1): 30–39.
- [26] 张超, 马静静, 刘青, 等. 天然食用色素-辣椒红色素的制备及其应用方式[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(7): 225–231.
- ZHANG C, MA JJ, LIU Q, *et al.* Preparation and application of capsicum red pigment [J]. *China Food Addit*, 2022, 33(7): 225–231.
- [27] AZUSA N, HIROYUKI Y, TAKASHI M. Reaction of *Paprika carotenoids*, capsanthin and capsorubin, with reactive oxygen species [J]. *Food Chem*, 2016, 64(23): 4786–4792.
- [28] 彭昱竹. 糟辣椒发酵贮藏中红色素变化及其稳定控制技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- PENG YZ. Study on the change of red pigment and its stability control during fermentation and storage of fermented pepper [D]. Guiyang: Guizhou University, 2023.
- [29] 陆宽, 王雪雅, 孙小静, 等. 电子鼻结合顶空 SPME-GC-MS 联用技术分析贵州不同品种辣椒发酵后挥发性成分[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 199–205.
- LU K, WANG XY, SUN XJ, *et al.* Analysis of the volatile components of fermented hot pepper from different varieties grown in Guizhou by electronic nose combined with SPME-GC-MS [J]. *Food Sci*, 2018, 39(4): 199–205.
- [30] 王斌. 发酵型腌制蔬菜生花病害微生物研究及控制[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- WANG B. Researching and controlling the disease microbion leading to albuginea in fermented pickled vegetables [D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [31] 辛易燃, 武俊瑞, 安飞宇, 等. 传统发酵食品不良风味调控研究进展[J]. *中国酿造*, 2022, 41(12): 15–21.
- XIN YR, WU JR, AN FY, *et al.* Research progress in regulation of undesirable flavor of traditional fermented foods [J]. *China Brew*, 2022, 41(12): 15–21.
- [32] 王岁楼, 吴晓宗, 郝莉花, 等. 超高压在工业微生物诱变选育中的应用初探[J]. *中国生物工程杂志*, 2005, 25(6): 7–9.
- WANG SL, WU XZ, HAO LH, *et al.* Mutation effect of ultra high pressure on industrialized microbe [J]. *China Biotech*, 2005, 25(6): 7–9.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介

王 梅, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: 1375898692@qq.com

潘 牧, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: 275857864@qq.com