

微发酵调理牛排制备工艺优化及品质特性研究

朱丽君¹, 张永东², 陆香楠¹, 余群力^{*1}, 韩广星³, 李航⁴

(1. 甘肃农业大学 食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730030; 2. 张掖市畜牧兽医工作站, 甘肃 张掖 734099; 3. 山东绿润食品有限公司, 山东 临沂 276000; 4. 重庆恒都农业集团有限公司, 重庆 408200)

摘要: 选取牛腿肉为原料, 通过预试验筛选, 确定以戊糖片球菌和乳酸片球菌混合菌为发酵剂, 采用响应面法优化调理牛排制备发酵工艺, 以低温静腌 10.00 h 未发酵调理牛排为对照, 测定不同处理组对牛排 pH、质构、色度和风味的影响, 并采用模糊综合评判法对其感官品质进行评价。结果表明, 微发酵调理牛排最优工艺条件为: 发酵剂添加质量分数 0.015%, 发酵时间 10.00 h, 发酵温度 31.5 °C。与未发酵调理牛排相比, 微发酵调理牛排 pH、硬度和咀嚼性显著降低 ($P < 0.05$), L^* 值、 a^* 值、 b^* 值和感官评分显著升高 ($P < 0.05$), 调理牛排发酵后酯类、醛类、酮类、烯炔类及其他化合物种类分别增加了 0.4%、3.0%、0.7%、0.5% 和 0.7%。综上, 微发酵可以改善牛排嫩度和风味, 提高产品品质, 为牛排嫩化和发酵产品的创新研究提供了依据。

关键词: 微发酵; 调理牛排; 工艺优化; 理化特性; 风味; 感官评价

中图分类号: TS 251 文章编号: 1673-1689(2024)06-0095-09 DOI: 10.12441/spyswjs.20211108004

Study on Optimization of Preparation Process and Quality Characteristics of Mildly-Fermented Conditioned Steak

ZHU Lijun¹, ZHANG Yongdong², LU Xiangnan¹, YU Qunli^{*1}, HAN Guangxing³, Li Hang⁴

(1. School of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730030, China; 2. Animal Husbandry and Veterinary Work Station of Zhangye City, Zhangye 734099, China; 3. Corporation of Green Food in Shandong, Linyi 276000, China; 4. Corporation of Chongqing Hengdu Agricultural Group, Chongqing 408200, China)

Abstract: In the present study, bovine legs were selected as the raw material, and the mixed bacteria of *Pediococcus pentosaceus* and *Pediococcus lactis* were used as the starter based on the pre-experimental screening, and the fermentation process of conditioned steak was optimized by the response surface method. Using the unfermented conditioned beef steak marinated at low temperature for 10.00 h as the control group, the effects of different treatments on the pH value, texture, color, and flavor of the steak were investigated, and the sensory quality of steak was evaluated using a fuzzy comprehensive evaluation method. The results showed that the optimal process conditions of mildly-fermented conditioned steak were 0.015% fermentation dose, 10.00 h fermentation time, and 31.5 °C fermentation temperature. Compared with the unfermented condi-

收稿日期: 2021-11-08 修回日期: 2021-12-22

基金项目: 甘肃省科技计划重点研发项目(18YF1NA075); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2020C-18); 国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系建设专项项目(CARS-37)。

* 通信作者: 余群力(1962—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事畜产品加工研究。E-mail: yuqunlihl@163.com

tioned steak, the pH value, hardness and chewiness of the mildly-fermented conditioned steak were significantly reduced ($P<0.05$), and the values of L^* , a^* , and b^* as well as the sensory score significantly increased ($P<0.05$). After fermentation, the types of esters, aldehydes, ketones, olefins, and other compounds in the mildly-fermented conditioned steak increased by 0.4%, 3.0%, 0.7%, 0.5%, and 0.7%, respectively. In summary, mild-fermentation may improve the tenderness and flavor of steak, enhance product quality, and provide a theoretical basis for the innovative research on tenderization and provide a theoretical basis for the innovative research on the tenderization of steak and fermented steak products.

Keywords: mild fermentation, conditioned steak, process optimization, physical and chemical properties, flavor, sensory evaluation

随着人们生活水平的提高和生活节奏的加快,速食食品已经成为消费者的日常需求,其中调理牛排已经成为很多人的选择。调理牛排具有高蛋白、低脂肪^[1]的营养特点,且方便快捷,越来越受人们的青睐。但调理牛排在国内市场起步较晚^[1],存在嫩度不佳、汁液流失严重^[2]等问题。研究发现发酵可以改善肉制品品质^[3],张凤宽等使用干酪乳杆菌和木糖葡萄球菌优化发酵香肠制作工艺,改善了香肠的色泽及品质,使其更利于消化^[4];Zhao 等用保加利亚乳杆菌发酵猪肉干降低了肉的 pH 值,提高了肉品质和风味^[5];徐君强等通过发酵组与空白组之间的对比,确定发酵可以降低牛肉干的硬度和咀嚼性^[6];张丽等研究牦牛肉发酵过程中的品质变化结果表明,发酵处理可以增加牦牛肉的弹性并降低其硬度和咀嚼性^[6]。现阶段国内外发酵牛肉制品主要有发酵牛肉火腿^[7]、发酵牛肉香肠^[4]、发酵牛肉干^[3]、发酵牛肉脯^[8]等,而将发酵工艺用于改善调理牛排嫩度、提高调理牛排品质的报道甚少。

作者用发酵腌制替代牛排制作过程中的低温静腌,通过发酵时间、发酵温度和发酵剂添加量 3 个因素进行发酵腌制的单因素和响应面试验,确定最佳工艺配比,并将终产品的质构、感官评价、色泽和风味等品质与未发酵牛排进行对比,以期对牛排品质的改善奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

牛肉由甘肃康美现代农牧产业集团有限公司提供,选取生长发育良好、健康无病、年龄 3~4 岁的西门塔尔牛。屠宰经 4 °C 排酸 72 h 后取牛胴体中部背最长肌,包装后冷藏运回实验室。配料购于华联

超市,均为食品级。发酵剂为 LHP DRY Bactoferm (戊糖片球菌和乳酸片球菌混合菌,混合菌浓度为 4.04×10^7 CFU/g),科汉森食品添加剂有限公司提供,用于 26~38 °C 下生产超快速发酵肉制品。生理生化鉴定结果表明,其组成成分为乳酸片球菌和戊糖片球菌,两者均呈现兼性厌氧性,最适生长温度分别为 43 °C 和 35 °C,混合后可发酵葡萄糖、果糖、麦芽糖、乳糖、蔗糖、淀粉等。生理生化鉴定结果见表 1。

表 1 LHP DRY Bactoferm 生理生化鉴定结果

Table 1 Biochemical and physiological characteristics of LHP DRY Bactoferm

可发酵糖	乳酸片球菌	戊糖片球菌
葡萄糖	+	+
果糖	+	+
麦芽糖	+	+
乳糖	-	+
蔗糖	+	+
淀粉	-	-

注: + 表示可发酵; - 表示不可发酵。

1.2 仪器与设备

YL-1HP-4 锯骨机: 山东省诸城市和义机械有限公司; GR50 真空滚揉机: 河北晓进机械制造有限公司; HSP 型智能恒温恒湿培养箱: 上海力辰邦西仪器科技有限公司; C-LM4 型数显式肌肉嫩度仪: 东北农业大学工程学院; CR-10 色差仪: 日本柯尼卡美能达公司; TA.XTexpress 物性测试仪: 英国 Stable Micro System 有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 调理牛排的制作工艺 调理牛排制作中配料添加质量分数分别为: 水 30%, 淀粉 3%, 大豆膳食纤维 2.98%, 大豆分离蛋白 1%, 甜菜粉 0.3%, 洋

葱粉 0.05%,姜粉 0.1%,葱粉 0.05%,蒜粉 0.05%,黑胡椒 0.1%,花椒粉 0.06%,发酵剂 0.011%~0.019%。

工艺流程为:原料肉→预处理→配料、混匀→滚揉腌制→超声→发酵→加黏合剂、混匀→袋装成型→静腌→速冻→切片→包装→-18℃贮藏。

将原料肉进行预处理,按上述配方依次加入辅料与肉混匀。将肉块与剩余腌制液一同加入滚揉机中,采用间歇式滚揉方式:40 min-20 min-40 min,5~8 r/min。将滚揉后的肉在功率 500 W 超声 20 min 后添加发酵剂。将混匀好的牛肉装入密封袋放入恒温恒湿培养箱内,加入质量分数 0.015% 发酵剂,在 30℃ 下发酵 10.00 h。将牛肉袋装成型后在 4℃ 冰箱冷藏 4 h,成型静腌后的产品在-18℃速冻。将处理后的原料肉用切片机切片,切片好的牛排包装后在-18℃贮藏。

1.3.2 单因素试验设计

1) 发酵温度 发酵时间为 9 h,发酵剂添加质量分数为 0.015%,肉块直径为 4~5 cm,发酵温度分别为 20、25、30、35、40℃,探究发酵温度对 pH 和剪切力的影响。

2) 发酵剂添加质量分数 发酵时间为 9 h,发酵温度为 30℃,肉块直径为 4~5 cm,发酵剂添加质量分数分别为 0.011%、0.013%、0.015%、0.017%、0.019%,探究发酵剂添加质量分数对 pH 和剪切力的影响。

3) 发酵时间 在发酵温度为 30℃,发酵剂质量分数为 0.015%,肉块直径为 4~5 cm,发酵时间分别为 3、6、9、12、15 h,探究发酵时间对 pH 和剪切力的影响。

1.3.3 响应面试验设计 在前期单因素试验的基础上,根据 Box-Behnken 试验设计原理,选取 A(发酵剂质量分数)、B(发酵时间)、C(发酵温度)为自变量,以剪切力为响应值,设计三因素三水平响应面分析试验,因素及水平见表 2。

表 2 Box Behnken 试验因素水平表

Table 2 Box Behnken test factor level table

编号	A 发酵剂添加质量分数/%	B 发酵时间/h	C 发酵温度/℃
-1	0.013	6	25
0	0.015	9	30
1	0.017	12	35

1.3.4 pH 值的测定 参照 Aro 等方法^[9]稍加修改。取 5 g 处理后的样品,加入 45 mL 煮沸后的冷却蒸馏水,匀浆过滤,用 pH 计测定滤液的 pH。

1.3.5 剪切力测定 参照马娅俊的方法^[10]并稍加修改。将微发酵牛排烹饪后沿着肌肉纤维的方向切成 1 cm×1 cm×5 cm 的小块,利用 C-LM4 型数显式肌肉嫩度仪沿肌纤维纵向切割,测定剪切力值。每个样品测 6 次,取平均值。

1.3.6 质构的测定 参照王永祥的方法^[11]稍加修改。用质构仪以 P36 探头用“二次压缩”模式进行质地剖面分析。将样品顺着肌纤维方向切成 1 cm×1 cm×1 cm 的小块,每组至少 3 个平行。测试前速度为 2.0 mm/s,测试中速度为 1.0 mm/s,测试后速度为 2.0 mm/s,压缩距离为 60%。主要选取硬度和咀嚼性进行质构剖面分析。

1.3.7 色度测定 参照 Asaduzzaman 等方法^[12]稍加修改,用 CR-10 色差仪随机测定煎制前牛排表面 3 个不同位置的亮度值(L*)、红度值(a*)、黄度值(b*),测定 3 次取平均值。

1.3.8 感官评价 参照崔立柱的感官评价方法^[13],选择 10 名从事食品专业人员组成评定小组,将调理牛排评价等级分为优、良、中、差共 4 个级别,以 100 分为标准,80~100 分为优,60~79 分为良,20~59 分为中,0~19 分为差。根据清晰质量等级边界模糊化法将分值区域清晰化,评语集与分值区域见表 3。

表 3 评语集与分值区域对应表

Table 3 Correspondence between comment set and score area

评语集	分值区域	边界清晰化
优	80~100	90
良	60~79	70
中	20~59	40
差	0~19	10

对调理牛排质量进行评价,评价标准见表 4。其中因素集 $U=\{\text{色泽, 风味, 嫩度, 组织状态, 总体可接受度}\}$,权重集 $X=\{0.23, 0.14, 0.21, 0.18, 0.24\}$,评语集 $N=\{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 。按照模糊原理,不同处理组评价结果 $Y=U \times X$ ^[14],模糊综合评价得分 $T=K \times Y$,评价集 $K=(90, 70, 40, 10)$ 。

1.3.9 挥发性风味物质测定 采用 GC-MS 法进行分析,参照丁仁青等方法^[15]稍加修改。将处理好的肉样取 2 g 装入小瓶中,密封,加入质量分数 20%的

表 4 调理牛排感官评价标准

Table 5 Sensory evaluation criteria of conditioned steak

等级	色泽	风味	嫩度	组织状态	总体可接受度
优	切面有光泽, 色泽鲜艳而均匀	咸淡适中, 鲜香美味, 无异昧, 有牛肉固有的香味	鲜嫩多汁, 风味浓郁, 肉质有弹性	组织致密, 无明显气孔, 有可见的肌肉纹理, 无黏着感	非常喜欢
良	切面光泽一般, 色泽浅红较均匀	咸淡适中, 鲜香较突出, 香味较弱	嫩度较差, 风味较淡, 较有弹性	组织较致密, 存在极少数气孔, 有可见的肌肉纹理, 略有黏着感	喜欢
中	切面光泽较差, 色泽浅红不均匀	咸淡适中, 鲜香较突出, 香味弱	嫩度一般, 弹性一般	组织较致密, 存在少数气孔, 肌肉纹理较为可见, 黏着感较强	不喜欢
差	切面无光泽, 色泽呈灰色	几乎尝不出牛肉应有的风味, 且有生肉的腥昧	干燥无味, 咀嚼时木质化严重	组织松散, 有明显气孔, 肌肉纹理几乎不可见, 黏着感强	非常不喜欢

NaCl 颗粒, 摇匀后封口, 置于 60 °C 水浴锅, 水浴加热 30 min 后手动 SPME 进样器吸附 30 min, 随后进行气相色谱-质谱(GC-MS) 检测。

色谱条件: 色谱柱为 ThermoTG-WAX (60 m×0.25 mm, 0.5 μm); 载气 He, 流量 0.8 mL/min, 不分流进样; 进样口温度 240 °C; 色谱柱采用程序升温: 起始柱温 45 °C, 保持 1 min, 3 °C/min 升至 180 °C, 保留 5 min。

质谱条件: 电离方式 EI(70 eV), 离子源温度 230 °C, 灯丝电流 200 μA, 接口温度 180 °C, 检测电压 350 V, m/z 扫描范围为 35~350。

定性方法: 保留相似度大于 70% 的化合物。

定量方法: 通过气相色谱峰面积归一化法得到各物质相对含量。

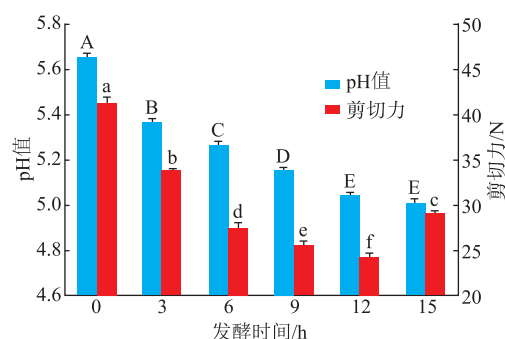
1.3.10 数据处理与统计分析 采用 SPSS 21 软件对数据进行单因素方差及显著性分析(Duncan's multiple range test), 统计学显著水平设定为 0.05; 响应面设计采用 Design Expert 8.0 进行分析; 用 Origin 8.1 软件作图, 每组实验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 调理牛排发酵工艺优化单因素试验

2.1.1 发酵时间 由图 1 可知, 随着发酵时间的延长, pH 值逐渐减小, 0~12 h 急剧下降, 差异显著($P < 0.05$); 12~15 h 下降趋于平缓, 差异不显著($P > 0.05$)。剪切力先减小后增大, 差异显著($P < 0.05$)。随着 pH 值的下降, 调理牛排的剪切力较未发酵时显著降低, 说明发酵可以有效改善调理牛排的嫩度。这与 Li 等研究发现发酵可以改善牛肉嫩度一致^[16]。发酵 15 h 时, 调理牛排 pH 值达到 5.01, 此时产品酸味较重, 且剪切力有所升高。这可能是由于发酵时间过长, 导致调理牛排中水分质量分数减少, 嫩

度降低。综合考虑, 最适宜发酵时间为 6~12 h。



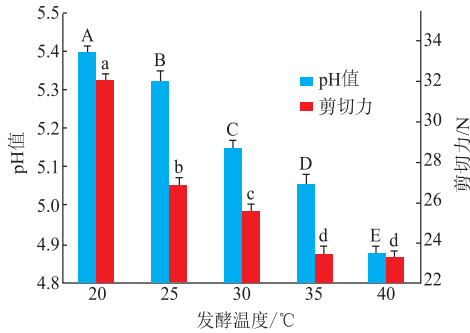
不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图 1 发酵时间对调理牛排品质的影响

Fig. 1 Effect of fermentation time on the quality of conditioned steak

2.1.2 发酵温度 由图 2 可知, 随着发酵温度的升高, 调理牛排 pH 值显著降低($P < 0.05$), 在 20~35 °C 剪切力显著降低($P < 0.05$), 35~40 °C 剪切力变化不显著($P > 0.05$)。发酵温度低于 40 °C 时, 调理牛排的剪切力随着 pH 值的降低而降低, 这与 Li^[16]和陈一萌等^[17]发酵温度与肉嫩度之间关系的研究结果一致。发酵温度为 40 °C 时, 虽然 pH 值和剪切力都相对较低, 但由于发酵温度不宜过高, 综合考虑最适发酵温度为 25~35 °C。

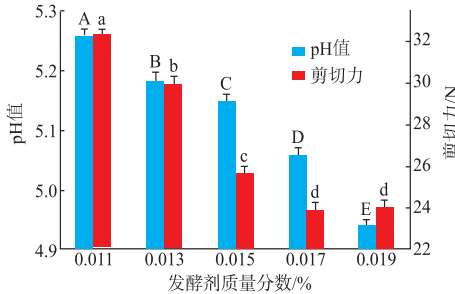
2.1.3 发酵剂添加质量分数 由图 3 可知, 随着发酵剂质量分数的增加, pH 值显著减小($P < 0.05$), 发酵剂质量分数在 0.011%~0.017% 时剪切力显著降低($P < 0.05$), 在 0.017%~0.019% 时剪切力变化不显著($P > 0.05$)。发酵剂质量分数过低, pH 值较高, 不利于肌原纤维蛋白的降解^[18], 从而导致调理牛排剪切力较高; 发酵剂质量分数过高, pH 快速降低, 剪切力无明显变化, 产品酸味较重。综合考虑最适发酵剂质量分数为 0.013%~0.017%。



不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 发酵温度对调理牛排品质的影响

Fig. 2 Effect of fermentation temperature on the quality of conditioned steak



不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 发酵剂质量分数对调理牛排品质的影响

Fig. 3 Effect of the additive amount of starter on the quality of conditioned steak

2.2 调理牛排工艺优化响应面试验结果

在单因素预试验的基础上,以发酵剂质量分数(A)、发酵时间(B)、发酵温度(C)为自变量,以调理牛排剪切力为响应值,进行响应面优化试验,试验设计及结果见表5。

运用 Design-Expert V8.0 软件得出剪切力和发酵剂质量分数、发酵时间、发酵温度之间的相互关系,所得数据进行二次多元回归拟合,获得 Y (剪切力)与 A 、 B 、 C 三个因子的关系为 $Y = 21.07 - 0.34A - 3.39B - 1.78C + 0.46AB - 0.012AC + 1.10BC + 3.40A^2 + 4.58B^2 + 2.72C^2$ 。方差分析结果见表6。

表5 调理牛排发酵的 Box-Behnken 试验结果

Table 5 Box-Behnken test results of conditioned steak fermentation

试验号	发酵剂添加质量分数/%	发酵时间/h	发酵温度/°C	剪切力/N
1	0.015	12	35	24.55
2	0.017	9	35	24.83
3	0.015	9	30	21.98
4	0.013	9	25	29.51
5	0.017	12	30	25.83
6	0.013	6	30	33.18
7	0.017	6	30	31.89
8	0.013	12	30	25.30
9	0.015	6	25	34.38
10	0.015	9	30	21.98
11	0.015	9	30	20.54
12	0.015	6	35	28.93
13	0.013	9	35	25.66
14	0.015	9	30	20.01
15	0.015	12	25	25.60
16	0.015	9	30	20.82
17	0.017	9	25	28.73

表6 调理牛排发酵工艺二次多项式模型的方差分析

Table 6 Variance analysis of the quadratic polynomial model of the fermentation process of conditioned steak

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	310.28	9	34.48	69.25	<0.000 1	**
A	0.70	1	0.70	1.41	0.273 7	
B	91.80	1	91.80	184.40	<0.000 1	**
C	25.38	1	25.38	50.99	0.000 2	**
AB	0.83	1	0.83	1.66	0.238 1	
AC	6.250×10^{-4}	1	6.250×10^{-4}	1.255×10^{-3}	0.972 7	
BC	4.84	1	4.84	9.72	0.016 5	*
A ²	48.70	1	48.70	97.82	<0.000 1	**
B ²	88.45	1	88.45	177.67	<0.000 1	**
C ²	31.05	1	31.05	62.38	<0.000 1	**
残差	3.48	7	0.5			
失拟项	0.36	3	0.12	0.15	0.921 6	
纯误差	3.12	4	0.78			
总变异	313.76	16				

注:**表示差异极显著 ($P < 0.01$); *表示差异显著 ($P < 0.05$)

方差分析显示:失拟项 $P=0.9216$ ($P>0.05$), $R^2=0.9889$, $R^2_{Adj}=0.9746$, 表明实验值与预测值吻合较好, 本研究中调理牛排剪切力的数学模型非常可靠。各因素对调理牛排剪切力影响的主次顺序为: 发酵时间>发酵温度>发酵剂质量分数。

2.3 调理牛排响应面图分析

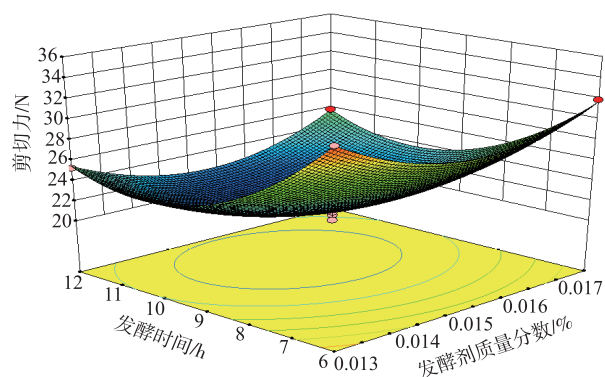
三维响应面可直观反映各因素之间的交互作用对微发酵调理牛排剪切力的影响, 响应面图形坡度越陡峭、越倾斜, 说明两因素的交互作用越强^[19]。由图 4 可知, BC 相互作用的曲面图最陡峭, 说明 BC 交互作用最强, 这与方差分析所得结果一致。根据响应面试验得到微发酵调理牛排最佳制作组合为: 发酵剂质量分数 0.015%, 发酵时间 10.01 h, 发酵温度 31.3 °C, 在此条件下剪切力值为 20.26 N。为方便实际操作, 将优化发酵工艺条件的参数调整为: 发酵剂质量分数 0.015%, 发酵时间 10.00 h, 发酵温度 31.5 °C。

2.4 调理牛排发酵工艺验证试验

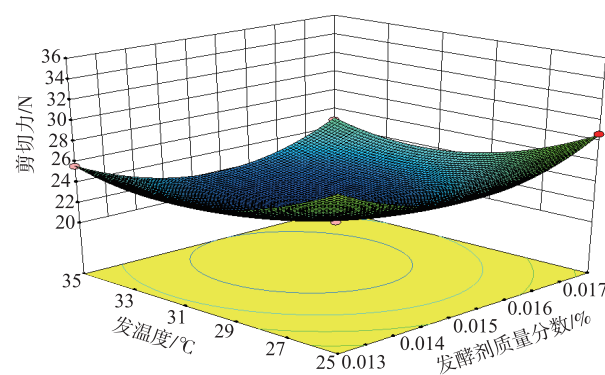
重复微发酵调理牛排响应面试验所得最佳复合工艺结果 6 次, 所得微发酵调理牛排剪切力为 (20.10 ± 0.61) N, 与理论值的相似率为 99.21%, 说明该回归方程可以准确预测微发酵调理牛排制作过程的复合工艺。

2.5 不同处理组调理牛排理化特性研究

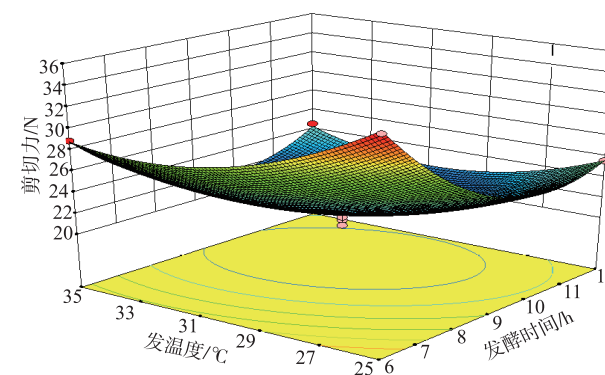
与未发酵调理牛排相比, 微发酵调理牛排的 pH、咀嚼性、硬度显著降低 ($P<0.05$), L^* 值和 a^* 值显著升高 ($P<0.05$)。微发酵调理牛排 pH 降低, 是由发酵过程中产生酸性化合物导致的^[20]。随着 pH 的降低, 微发酵调理牛排的 L^* 、 a^* 、 b^* 值显著升高 ($P<0.05$), 这与肌原纤维^[21]和肌红蛋白^[22]结构变化有关; 咀嚼性、硬度均显著降低。这可能是由于发酵剂产生的蛋白酶促进了蛋白质降解^[23], 破坏肌肉的完整性, 使得肌肉间的相互作用力减小, 从而导致硬度和咀嚼性降低。由表 7 数据可知, 与未发酵调理牛排相比, 微发酵调理牛排的 pH 有所降低, 产品色度



(a) 发酵剂质量分数和发酵时间交互作用



(b) 发酵剂质量分数和发酵温度交互作用



(c) 发酵时间和发酵温度交互作用

图 4 调理牛排发酵工艺交互作用曲面图

Fig. 4 Interaction surface diagram of the fermentation process of conditioned steak

及质构均有所改善, 说明发酵能改善调理牛排嫩度, 提高调理牛排品质。

表 7 微发酵调理牛排与未发酵调理牛排食用品质指标结果比较

Table 7 Comparison chart of edible quality indexes between mildly-fermented and unfermented conditioned steak

样品	pH	L^* 值	a^* 值	咀嚼性	硬度/g
未发酵调理牛排	5.66 ± 0.01^a	39.29 ± 0.13^b	16.45 ± 0.2^b	$3\ 872.61\pm 6.87^a$	$6\ 325.90\pm 7.52^a$
微发酵调理牛排	5.15 ± 0.04^b	44.30 ± 0.13^a	18.41 ± 0.13^a	$1\ 488.22\pm 3.23^b$	$3\ 462.72\pm 4.42^b$

2.6 不同处理组调理牛排挥发性风味物质分析

调理牛排发酵前后特征风味的组成存在一定差异,调理牛排发酵前后分别检测出 11 种和 17 种挥发性化合物,根据不同处理组调理牛排特征挥发性风味物质相对含量绘制聚类热图,见图 5~6。可以看出,调理牛排发酵前未检测出(1-羟基-2,4,4-三甲基戊-3-基)2-甲基丙酸酯、苯甲醛、3,5-辛二烯-2-酮、2-十一酮、3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十

二碳四烯、2-甲基丙酸-3-羟基-2,4,4-三甲基戊酯;调理牛排发酵后醛类、酮类、烯炔类及其他化合物种类分别增加了 3.0%、0.7%、0.5%和 0.7%。牛肉干发酵后的醛类物质质量分数明显高于发酵前,说明接种发酵剂在一定程度上促进了牛肉蛋白质和脂质氧化,这与色度和质构改善一致。发酵后酯类、酮类、烯炔类及其他类化合物增加,说明发酵有利于调理牛排挥发性风味物质的形成。

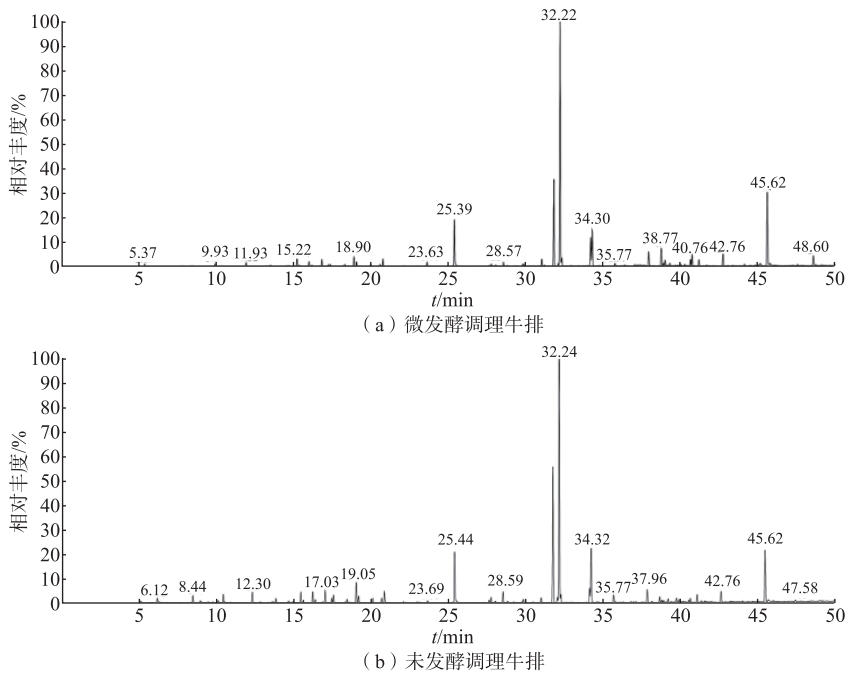


图 5 不同处理组调理牛排挥发性风味物质的总离子流色谱图

Fig. 5 Total ion current chromatograms of volatile flavor compounds in conditioned steak prepared under different treatments

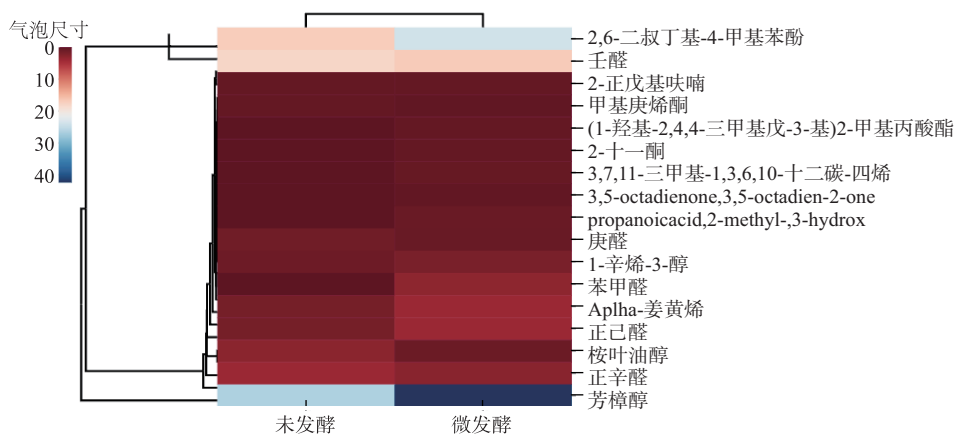


图 6 不同处理组调理牛排特征挥发性物质主成分及聚类热图分析

Fig. 6 Principal components and cluster heat map analysis of characteristic volatile substances in conditioned steak prepared under different treatments

2.7 调理牛排模糊感官评价计算结果

由 10 名从事食品专业人员对不同处理组调理牛排的 5 个评价指标进行打分,结果见表 8。未发酵调理牛排色泽=(0,0.2,0.6,0.2),风味=(0.2,0.7,0.1,0),嫩度=(0.1,0.7,0.2,0),组织状态=(0,0.8,0.2,0),总体可接受度=(0,1,0,0);微发酵调理牛排色泽=

(0.6,0.4,0,0),风味=(0.2,0.7,0.1,0),嫩度=(0.4,0.6,0.2,0),组织状态=(0,0.7,0.2,0.1),总体可接受度=(0.2,0.8,0,0)。将不同处理组 5 个因素的结果列为一个矩阵,得到未发酵调理牛排与微发酵调理牛排综合评定模糊矩阵。

表 8 不同处理组调理牛排感官评价票数统计

Table 8 Sensory evaluation index statistics of conditioned steak prepared under different treatments

样品	色泽				风味				嫩度				组织状态				总体可接受度			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
未发酵调理牛排	0	2	6	2	2	7	1	0	1	7	2	0	0	8	2	0	0	10	0	0
微发酵调理牛排	6	4	0	0	2	7	1	0	4	6	0	0	0	7	2	1	2	8	0	0

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_2 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

按照模糊原理 $Y=U \times X$,得到不同处理组评价结果 $Y_1=(0.085,0.639,0.23,0.046)$, $Y_2=(0.298,0.634,0.05,0.018)$ 。模糊综合评价得分 $T=K \times Y$,评价级 $K=(90,70,40,10)$ 。故未发酵调理牛排感官评分 $T_1=62.04$,微发酵调理牛排感官评分 $T_2=73.38$ 。微发酵调理牛排感官评分优于未发酵调理牛排,说明发酵可以改善牛排品质。由调理牛排感官评分可以看出,微发酵调理牛排色泽和嫩度优于未发酵调理牛排,这与前面色度和质构测定结果一致;不同处理组间风味感官评分一致,这是因为微发酵调理牛排

的口感虽然略带酸味,但是由于超声处理可以缩短发酵时间,使得发酵程度低,发酵最终产品的 pH 值在 5.1~5.2,酸味对口感造成的影响几乎可以忽略;未发酵调理牛排与微发酵调理牛排间的组织状态评分差距不大。

3 结语

通过对发酵剂质量分数、发酵时间和发酵温度等 3 个因素进行单因素和响应面试验,优化了微发酵调理牛排的制作工艺。在发酵剂质量分数为 0.015%,发酵时间为 10.00 h,发酵温度为 31.5 °C 的最佳制备工艺条件下,微发酵调理牛排的剪切力值为 20.26 N。微发酵可以优化调理牛排色泽、改善调理牛排嫩度和风味、提高调理牛排品质。在调理牛排原有的制作工艺条件下,作者用发酵腌制替代低温静腌,创新了调理牛排的工艺流程,提高了调理牛排的品质。

参考文献:

- [1] 刘亚琳. 果味调理牛排的研究与开发[D]. 泰安:山东农业大学,2015.
- [2] 董菁. 生鲜调理牛排加工技术的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2015.
- [3] 徐君强. 发酵剂与木瓜蛋白酶对发酵牛肉干品质的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [4] 张凤宽,易小艳,尤丽新,等. 发酵牛肉香肠生产工艺优化[J]. 食品科学,2011,32(16):182-186.
ZHANG F K, YI X Y, YOU L X, et al. Optimizing fermentation process parameters of fermented beef sausages[J]. *Food Science*, 2011, 32(16):182-186. (in Chinese)
- [5] ZHAO C Q, ZHAO X X, LU Z Y, et al. Production of fermented pork jerky using *Lactobacillus bulgaricus*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 72:377-382.
- [6] 张丽,孙宝忠,魏晋梅,等. 牦牛肉发酵过程中的品质变化分析[J]. 肉类研究,2014,28(5):20-24.
ZHANG L, SUN B Z, WEI J M, et al. Changes in quality attributes during fermentation of yak meat[J]. *Meat Research*, 2014, 28(5):20-24. (in Chinese)

- [7] 薛冰,俞龙浩,张瑞红,等. 两种发酵剂对发酵牛肉火腿加工品质的影响[J]. 肉类研究,2014,28(10):1-5.
XUE B, YU L H, ZHANG R H, et al. Comparative effect of two starter cultures on quality of fermented beef ham[J]. **Meat Research**, 2014, 28(10): 1-5. (in Chinese)
- [8] 张盟. 发酵型重组牛肉脯和牛肉干的开发研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2012.
- [9] ARO A J M, NYAM-OSOR P, TSUJI K, et al. The effect of starter cultures on proteolytic changes and amino acid content in fermented sausages[J]. **Food Chemistry**, 2010, 119(1): 279-285.
- [10] 马娅俊. 预制牛排工艺的优化研究及应用[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [11] 王永祥. 调理牛排的研制及货架期预测模型的建立[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [12] ASADUZZAMAN M, OHYA M, KUMURA H, et al. Searching for high ZnPP-forming edible bacteria to improve the color of fermented meat products without nitrite/nitrate[J]. **Meat Science**, 2020, 165: 108109.
- [13] 崔立柱. 基于模糊数学感官评价模型优化沙棘饼干工艺与品质分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020.
- [14] 周亚军, 张玉, 陈艳, 等. 发酵牛肉干加工中理化特性与风味品质分析[J]. 食品科学, 2021, 42(14): 240-247.
ZHOU Y J, ZHANG Y, CHEN Y, et al. Analysis of physicochemical characteristics and flavor quality of fermented beef jerky during its processing[J]. **Food Science**, 2021, 42(14): 240-247. (in Chinese)
- [15] 丁仁青, 赵元芳, 李鹏霞, 等. 去势牦牛和公牦牛肉挥发性风味物质的对比分析[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 37(6): 17-20.
DING R Q, ZHAO Y F, LI P X, et al. The contrastive analysis of beef volatile compounds based on the castrated yaks and non-castrated yaks[J]. **Journal of Animal Science and Veterinary Medicine**, 2018, 37(6): 17-20. (in Chinese)
- [16] LI L Q, ZAN L S. Effect and mechanism of fermentation on beef muscle tenderness[J]. **Food Science**, 2012, 33(23): 121-124.
- [17] 陈一萌, 唐善虎, 李思宁, 等. 植物乳杆菌和戊糖片球菌复合发酵牦牛肉工艺优化[J]. 肉类研究, 2019, 33(11): 24-29.
CHEN Y M, TANG S H, LI S N, et al. Optimization of mixed culture fermentation of yak meat with *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosaceus* for improved tenderness[J]. **Meat Research**, 2019, 33(11): 24-29. (in Chinese)
- [18] SCANNELL A G M, KENNEALLY P M, ARENDT E K. Contribution of starter cultures to the proteolytic process of a fermented non-dried whole muscle ham product[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2004, 93(2): 219-230.
- [19] 谭朝丹, 海力茜·陶尔大洪, 罗兰. 多序岩黄芪多酚的提取工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 5319-5325.
TAN C D, HALEESI T, LUO L. Study on the extraction technology of polyphenols from *Hedysarum polybotrys* Hand[J]. **Journal of Food Safety & Quality**, 2020, 11(15): 5319-5325. (in Chinese)
- [20] ARIEF I I, WULANDARI Z, ADITIA E L, et al. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic *Lactobacillus plantarum* IIA-2C12 as starter culture[J]. **Procedia Environmental Sciences**, 2014, 20: 352-356.
- [21] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness[J]. **Meat Science**, 2014, 98(3): 520-532.
- [22] KAUSER-UL-ALAM M, HAYAKAWA T, KUMURA H, et al. High ZnPP-forming food-grade lactic acid bacteria as a potential substitute for nitrite/nitrate to improve the color of meat products[J]. **Meat Science**, 2021, 176: 108467.
- [23] 周亚军, 张玉, 陈艳, 等. 发酵牛肉干加工中理化特性与风味品质分析[J]. 食品科学, 2021, 42(14): 240-247.
ZHOU Y J, ZHANG Y, CHEN Y, et al. Analysis of physicochemical characteristics and flavor quality of fermented beef jerky during its processing[J]. **Food Science**, 2021, 42(14): 240-247. (in Chinese)

(责任编辑:李春丽)