

乳清发酵粉和乳酸链球菌素对清洁标签 卤牛肉保藏特性的影响

孔萱¹, 原文斌², 马长明^{2*}, 李凯歌¹, 许龙¹, 余小领^{1,2*}

(1. 河南农业大学 食品科学技术学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南麦瑞克食品科技有限公司, 河南 郑州 450018)

摘要: 为研究不同冷藏期乳清发酵粉和乳酸链球菌素(Nisin)作为保鲜配料对卤牛肉菌落总数、大肠菌群和感官品质的影响, 采用均匀试验设计, 选用 5 种不同水平的乳清发酵粉和 Nisin 复配进行卤牛肉加工, 在 0~4 °C 的冷库中保藏, 分别测定第 4、8、13、19、23 天卤牛肉的菌落总数、大肠菌群数及其相应的感官评分的变化。结果表明: 与空白组相比, 不同的乳清发酵粉和 Nisin 组合对卤牛肉中菌落总数和大肠菌群数均有明显的抑制作用, 最佳复配比例为乳清发酵粉 0.5%、Nisin 0.05%, 且复配使用乳清发酵粉和 Nisin 对卤牛肉的感官评分无显著影响。

关键词: 清洁标签; 乳清发酵粉; 乳酸链球菌素; 卤牛肉; 保藏特性

Effects of Whey Baking Powder and Nisin on the Preservation Characteristics of Braised Beef with Clean Label

KONG Xuan¹, YUAN Wenbin², MA Changming^{2*}, LI Kaige¹, XU Long¹, YU Xiaoling^{1,2*}

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. Henan Miracle Food Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450018, Henan, China)

Abstract: An uniform experimental design was adopted to investigate the effects of whey baking powder and Nisin as preservatives on the total bacterial count, coliform count, and sensory quality of braised beef during different refrigeration periods. Five different levels of whey baking powder and Nisin combinations were selected for braised beef processing. The beef was stored in a cold room at 0~4 °C, and the total bacterial count, coliform count, and corresponding sensory scores of the braised beef were measured on days 4, 8, 13, 19, and 23. The results showed that compared with the control group, different combinations of whey baking powder and Nisin significantly inhibited the total bacterial count and coliform count in the braised beef. The optimal combination was found to be 0.5% whey baking powder and 0.05% Nisin. Additionally, the combined use of whey baking powder and Nisin did not significantly affect the sensory scores of the braised beef.

Key words: clean label; whey baking powder; Nisin; braised beef; preservation characteristic

引文格式:

孔萱, 原文斌, 马长明, 等. 乳清发酵粉和乳酸链球菌素对清洁标签卤牛肉保藏特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(23): 33-38.

KONG Xuan, YUAN Wenbin, MA Changming, et al. Effects of Whey Baking Powder and Nisin on the Preservation Characteristics of Braised Beef with Clean Label[J]. Food Research and Development, 2024, 45(23): 33-38.

清洁标签这一理论在 20 世纪 80 年代被欧盟首次提出, 是指产品中尽量避免使用 E 编码(一种食品添

加剂的编码系统, 每个食品添加剂对应一个编码)的食品添加剂成分^[1], 即在产品中尽量避免使用人造或化

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(222102110097); 河南麦瑞克食品科技有限公司横向合作项目(30802122); 河南省重点研发与推广专项(232102110144)

作者简介: 孔萱(2001—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 肉品加工与质量控制。

*通信作者: 马长明(1971—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向: 食品配料特性研究; 余小领(1973—), 女, 教授, 博士, 研究方向: 肉品加工与质量控制。

学添加剂,使配料表简单易懂,保持标签配料栏中食品的天然属性,同时应该尽可能地减小加工强度并简化加工流程^[2]。

肉类工业在加工过程中为满足技术需求和感官特性需要加入大量的添加剂,但目前消费者对于安全优质的肉及肉制品的需求更加多元化,更倾向于天然、加工程度低的肉制品^[3]。作为食品工业的组成部分,肉类工业需要向清洁标签产品进行转变^[4]。卤牛肉作为我国最典型的肉制品之一,是干腌、用各种香料和调味料在水中卤煮而成。由于营养丰富、风味独特、颜色鲜艳,受到许多消费者的喜爱^[5]。由于卤牛肉营养丰富,为微生物的生长繁殖提供了有利条件,而微生物的大量繁殖是使肉制品腐败变质的主要原因^[6]。因此,卤牛肉的保质期比较短,在运输和贮存的过程中对环境的要求比较严格,保存不当会使细菌迅速生长繁殖,加快产品腐败变质。在2022年以前肉制品中经常使用脱氢乙酸钠作为抑菌防腐剂,根据2021年3月国家食品安全国家标准评审委员会发布的GB 2760《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》征求意见稿^[7],淀粉制品、面包、糕点、烘烤食品馅料及表面用挂浆、黄油和浓缩黄油、预制肉制品、熟肉制品、果蔬汁等产品中,都将禁用脱氢乙酸及其钠盐作为防腐剂。

消费者对“清洁标签”产品的需求使对于天然成分的研究成为了研究人员和行业的研究热点^[8]。乳清发酵粉是以乳清、葡萄糖为原料,经费氏丙酸杆菌、植物乳杆菌等定向发酵而成^[9],2020年6月8日获批为新食品原料,生产单元归属为食用香精香料。其中的有机酸和小分子肽可抑制微生物,对食品保鲜具有重要作用^[10]。其发酵产生的代谢产物具有抗微生物活性的效果。乳清发酵粉对枯草杆菌、大肠杆菌具有一定的抑制效果^[9],可作为天然抗菌剂被使用于肉制品、乳制品、烘焙制品、面制品中。乳清发酵粉产品作为合成抑菌防腐剂的替代产品,具有性价比高、效果好等优点且符合清洁标签理念,对食品保鲜行业发展具有积极的推动作用^[11]。乳酸链球菌素(Nisin)是一种由乳酸乳球菌亚种乳酸菌株产生的34个氨基酸的抗菌肽,对许多革兰氏阳性菌具有活性,Nisin是许多食品的天然防腐剂,主要用于乳制品和肉制品防腐。Nisin可抑制致病性食源性细菌,如单核细胞增生李斯特菌和许多其他革兰氏阳性食品腐败微生物。Nisin可以单独使用,也可以与其他防腐剂结合使用^[12]。由于Nisin的抗菌效果较好且对人体的毒性微不足道,Nisin成为唯一被批准作为食品防腐剂的细菌素^[13]。这两种具有防腐功能的物质符合消费者对“清洁标签”健康食品理念的追求,但关于其在卤牛肉产品中的具体添加量和使用方法研究较少,本文对乳清发酵粉和Nisin在卤牛肉中的应用展开研究,以期清洁标签卤牛肉的保鲜提供

一定的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 原辅料及化玻试剂

牛肉、香辛料:市售;大豆分离蛋白:山松生物制药有限公司;乳清发酵粉、Nisin:河南麦瑞克食品科技有限公司;平板计数琼脂(plate counting agar, PCA)培养基、结晶紫中性红胆盐琼脂(violet red bile agar, VRBA)培养基:青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;D-异抗坏血酸钠(分析纯):郑州天顺食品添加剂有限公司。

1.1.2 配方

注射液基础配方(以肉质量计):水 60%、大豆分离蛋白 1%、注射盐 2.5%、D-异抗坏血酸钠 0.16%、乳清发酵粉及 Nisin 按复配比例添加。

卤制料配方(以肉质量计):水 200%、料酒 3%、食盐 1.5%、白糖 0.3%、肉蔻 0.2%、肉桂 0.1%、八角 0.08%、小茴香 0.08%、白芷 0.08%、花椒 0.08%、辣椒 0.08%、甘草 0.072%、陈皮 0.064%、味精 0.04%、良姜 0.04%、山奈 0.028%、砂仁 0.024%、豆蔻 0.024%、丁香 0.02%、草果 0.02%。

1.2 仪器与设备

XZ-GR-100 真空滚揉机:广东广州旭众机械公司;304 不锈钢煮制锅:潮州市羽泰五金制品有限公司;SQ-FA2004 分析天平:苏州顺强机电设备有限公司;JYD400N 实验室无菌均质机:上海申鹿均质机有限公司;Hirayama HVR-50 高压灭菌锅:上海土森视觉科技有限公司;YJ-1340 洁净工作台:苏州市苏信净化设备厂;DHP-9080 欧莱博电热恒温培养箱:山东博科再生医学有限公司;XK97-A 菌落计数器:杭州微米派科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 均匀设计试验

以5个不同的乳清发酵粉添加量和5个不同的Nisin添加量作为因素,以感官评分、菌落总数、大肠菌群数作为考察指标,进行均匀设计试验,并且以不添加乳清发酵粉和Nisin的空白组作为对照。 $U_5(5^2)$ 均匀设计试验见表1。

表1 $U_5(5^2)$ 均匀设计试验
Table 1 $U_5(5^2)$ uniform design

处理	因素	
	乳清发酵粉添加量/%	Nisin 添加量/%
1	0.1	0.02
2	0.2	0.04
3	0.3	0.01
4	0.4	0.03
5	0.5	0.05

1.3.2 卤牛肉工艺流程

1.3.2.1 卤牛肉工艺流程

原料肉解冻→原料肉修整→注射→滚揉→腌制→卤煮→静置→切块包装→保藏。

1.3.2.2 操作要点

- 1)原料肉解冻:将原料肉自然解冻。
- 2)原料肉修整:解冻后原料及时进行修整,修去大块脂肪、骨渣、异物等,厚度保留 6 cm,然后均匀横切,切块大小整体约 450 g/块。
- 3)注射、滚揉、腌制:注射完的原料肉,真空滚揉 1.5 h,正转 25 min,间歇 5 min,然后在 0~4 ℃环境下进行腌制 18 h。
- 4)卤煮:过血沫,按照配料表依次称取自来水和卤料,大火把水烧开,加入香辛料,熬煮 30 min,加入白糖 0.3%、味精 0.04%、料酒 3% 等充分溶解后加入过完血沫的原料肉[肉:香辛料水=1:2(料液比)],大火煮制 20 min,中火煮制 10 min,加食盐 1.5%,小火煮制 20 min,焖 20 min。

5)静置:捞出放入清洗好的盆中,封上保鲜膜,冷却至 30 ℃左右。

6)切块包装:切成质量一致的块状,装进自封袋包装,同时做好标记。

7)保藏:放在 0~4 ℃冷库中保藏。

1.3.3 卤牛肉指标检测

1.3.3.1 菌落总数的检测

菌落总数按照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》^[14]进行测定。

1.3.3.2 大肠菌群的检测

大肠菌群按照 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》^[15]进行测定。

1.3.3.3 感官评定标准

感官评定值按照 GB 2726—2016《食品安全国家标准 熟肉制品》^[16]进行测定。将每组样品切成两个大小一致的方块,放在洁净的白色盘中,由 12 名食品专业人员(6 男,6 女,20~30 岁)组成评定小组,从组织状态、质地、气味、整体可接受性 4 个方面进行感官评定。感官评定标准见表 2。

表 2 感官评定标准 Table 2 Sensory evaluation criteria		
项目	特征描述	分值
组织状态	切面整齐,结构紧密结实,有油光	1~<4
	切面整齐,结构紧密结实,有少量油光	4~<7
	切面粗糙,结构松散,无油光	7~9
质地	富有弹性,按压后可复原,不发黏	1~<4
	弹性稍差,按压后复原较慢,有些发黏	4~<7
	弹性差,发黏严重	7~9

续表 2 感官评定标准 Continue table 2 Sensory evaluation criteria		
项目	特征描述	分值
气味	具有卤牛肉特殊的香味,无异味	1~<4
	香味变淡,无异味	4~<7
	香味消失,有些变臭	7~9
整体可接受性	整体可接受性高	1~<4
	整体可接受性中等	4~<7
	整体可接受性低	7~9

1.4 数据处理

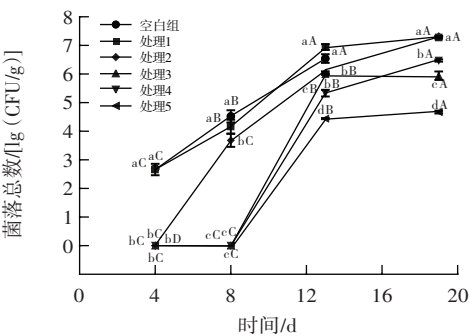
数据分析采用 SPSS 16.0 和 MATLAB 7.0 软件,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 菌落总数

2.1.1 不同处理菌落总数变化情况直观分析

不同处理卤牛肉菌落总数增长趋势见图 1。



不同小写字母表示同一储存时间不同组间存在显著性差异($p<0.05$);不同大写字母表示同组不同储存时间存在显著性差异($p<0.05$)。

图 1 各组别菌落总数增长趋势
Fig.1 Growth trend of total bacterial count in each group

由图 1 可知,与空白组相比,其余组均对微生物有抑制作用。从储存的第 4~19 天,卤牛肉样品的菌落总数均呈上升趋势,其中空白组和处理 1 在第 4 天发现微生物的生长,且生长速度高于其他组;处理 2~处理 5 均从第 8 天开始出现微生物生长;第 13 天时,处理 5 的菌落总数已达到 4.44 lg(CFU/g),处理 4 的菌落总数达到 5.33 lg(CFU/g),处理 3 的菌落总数达到 6.001lg(CFU/g),处理 2 的菌落总数达到了 6.03 lg(CFU/g),处理 1 的菌落总数达到 6.94 lg(CFU/g)。

根据 GB 2726—2016《食品安全国家标准 熟肉制品》^[16]规定的最高安全限值(10^5 CFU/g),第 19 天时,除处理 5 组外,其余试验组别均超过最高安全限值(10^5 CFU/g),随后的菌落总数指标无测定价值。

综上,处理 1(乳清发酵粉 0.1%、Nisin 0.02%)对卤

牛肉菌落总数的抑制效果最差,储存4 d即发现有菌落生长;处理5(乳清发酵粉0.5%、Nisin 0.05%)对卤牛肉菌落总数抑制效果最好,微生物生长速度相对较慢,且处理5相对应的卤牛肉产品在保证菌落总数在可接受水平限量值 $[10^4(\text{CFU/g})]$ 的条件下,可在 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件存放13 d。

2.1.2 菌落总数变化回归分析结果

以第13天各处理组菌落总数作为目标变量,以乳清发酵粉添加量及Nisin添加量为自变量,进行回归分析,得到下列回归方程(1)。

$$z=7.61-6.083x+2.5y-350y^2+2.5x^2(R=0.938) \quad (1)$$

式中: z 为菌落总数, $\lg(\text{CFU/g})$; x 为乳清发酵粉添加量,%; y 为Nisin添加量,%。

菌落总数随乳清发酵粉和Nisin添加量变化的直观图如图2所示。

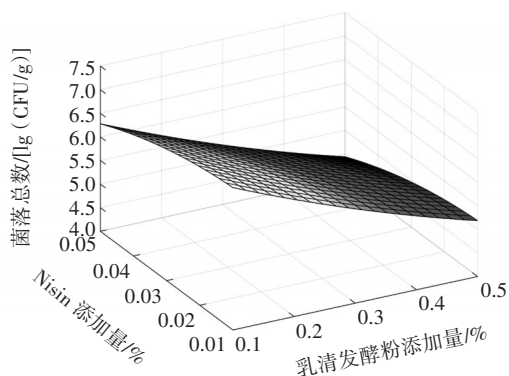


图2 乳清发酵粉和Nisin添加量对菌落总数影响的回归分析曲面

Fig.2 Curved surface of regression analysis of the effect of the supplemental levels of whey baking powder and nisin on the total bacterial count

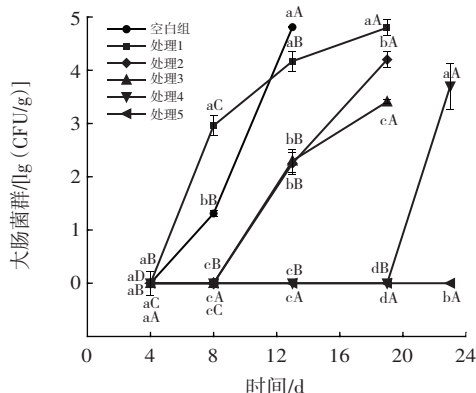
由图2可知,在Nisin添加量一定的情况下,菌落总数随着乳清发酵粉添加量的增加而减少。周玥等^[11]将乳清发酵粉应用于鲜湿河粉的储存过程中,在乳清发酵粉添加量为0.10%和0.15%时,可分别将鲜湿河粉的贮存期由12 h延长至36 h和48 h。说明发酵物可有效抑制微生物的生长繁殖,这与本试验的研究结果相近。在乳清发酵粉添加量一定的情况下,菌落总数随着Nisin添加量的增加而减少;Chung等^[17]研究发现,Nisin对附着在肉上的革兰氏阳性菌(单核细胞增生李斯特菌、金黄色葡萄球菌和乳酸链球菌)具有抑制作用,可以延迟一些附着在肉上的革兰氏阳性细菌的生长,以防止肉类变质,这与本试验的结果相似。并且乳清发酵粉和Nisin之间存在着一定的交互作用,在乳清发酵粉和Nisin添加量最小时,菌落总数在曲面上有最高点(对菌落总数抑制效果最差),在乳清发酵粉和Nisin添加量最大时,菌落总数在曲面上有最低点(对菌落总数抑制效果最好)。因此具有最佳抑制效

果为处理5,在试验考察的指标范围内,抑制菌落总数效果随乳清发酵粉和Nisin的添加量增大而增强。

2.2 大肠菌群

2.2.1 不同处理大肠菌群变化情况直观分析

各组的大肠菌群的增长趋势见图3。



小写字母不同表示同一储存时间不同组间存在显著性差异($p<0.05$);大写字母不同表示同组储存时间不同存在显著性差异($p<0.05$)。

图3 大肠菌群增长趋势
Fig.3 Growth trend of coliform

根据GB 2726—2016《食品安全国家标准 熟肉制品》^[16]可知,熟肉制品的大肠菌群可接受水平的限量值为 10 CFU/g ,最高安全限值为 10^2 CFU/g 。由图3可知,与空白组相比,其他组对大肠菌群均有抑制作用,除处理5外,所有卤牛肉样品的大肠菌群均呈增加趋势,其中空白组及处理1在第8天已发现有大肠菌群的生长,且生长速度高于其他组;第13天时,空白组和处理1(乳清发酵粉0.1%、Nisin 0.02%)的大肠菌群数已经超过最高安全限值;第19天时,只有处理4、处理5未超过最高安全限值;第23天时,只有处理5(乳清发酵粉0.5%、Nisin 0.05%)的大肠菌群数仍然为0。

综上可知,处理1(乳清发酵粉0.1%、Nisin 0.02%)的抑制效果最差,第13天的大肠菌群数就已经超过最高安全限值;处理5(乳清发酵粉0.5%、Nisin 0.05%)的抑制效果最好,相应的卤牛肉产品在 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下存放23 d也未发现大肠菌群的生长。

2.2.2 大肠菌群变化回归分析结果

以第13天各处理组大肠菌群数作为目标变量,以乳清发酵粉添加量及Nisin添加量为自变量,进行回归分析,得到回归方程(2)。

$$z=8.713-33.743x-80.498y-156.571y^2+50.298x^2 \quad (2)$$
$$(R=0.986)$$

式中: z 为大肠菌群数, $\lg(\text{CFU/g})$; x 为乳清发酵粉添加量,%; y 为Nisin添加量,%。

再由MATLAB绘图小程序对方程(2)进行绘图,

得到大肠菌群数随乳清发酵粉和 Nisin 添加量变化关系直观图,如图 4 所示。

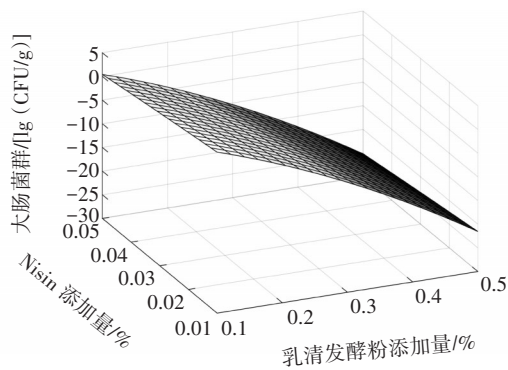


图 4 第 19 天乳清发酵粉和 Nisin 添加量对大肠菌群影响的回归分析曲面

Fig.4 Curved surface of regression analysis of the effect of the addition of whey baking powder and Nisin on the coliform population at the 19th day

由图 4 可知,在 Nisin 添加量一定的情况下,大肠菌群数随着乳清发酵粉添加量的增加而减少;在乳清发酵粉添加量一定的情况下,大肠菌群数随着 Nisin 添加量的增加先减少再增加,Nisin 的最佳添加量为 0.03%,由此发现 Nisin 的添加量对于卤牛肉样品的大肠菌群影响不大,主要是乳清发酵粉对大肠菌群起着更重要的抑制作用,这可能是因为添加量较高的乳清发酵粉中丙酸杆菌和乳酸菌较多,它们发酵产生的代谢产物(如丙酸和乳酸等)具有抗微生物活性的功能^[18]。这与 Novickij 等^[19]发现乳酸链球菌素在实验室环境中对大肠杆菌没有潜在的抗菌作用的结果相似。处理 5 对大肠菌群的抑制性最好,在试验考察的指标范围内,抑菌效果随乳清发酵粉的添加量增大而增强。

2.3 感官评价

卤牛肉储存过程中不同时间节点的感官评分结果见表 3。

表 3 感官评价结果($n=12$)
Table 3 Sensory evaluation results($n=12$)

处理	感官评分		
	第 4 天	第 8 天	第 13 天
空白组	29.53±2.08 ^a	26.10±4.04 ^a	18.47±2.89 ^b
1	27.33±0.58 ^a	27.50±0.00 ^a	22.17±6.93 ^a
2	26.67±1.00 ^a	26.50±1.32 ^a	24.50±4.58 ^a
3	28.17±1.15 ^a	27.67±0.58 ^a	26.67±4.54 ^a
4	28.83±1.71 ^a	28.17±0.76 ^a	23.67±0.29 ^a
5	28.00±1.00 ^a	28.17±0.76 ^a	23.33±5.06 ^a

注:不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

由表 3 可知,卤牛肉储存 8 d 内,各处理间感官评分无显著性差异($p>0.05$),这表明不同添加量条件下

乳清发酵粉和 Nisin 的添加不会影响产品感官。

在储存第 13 天时,空白组感官评分显著下降,与其他 5 组之间产生显著差异($p<0.05$),但各处理组间感官评分无显著差异($p>0.05$)。这表明将乳清发酵粉和 Nisin 复配使用时,并不会影响卤牛肉的组织状态、质地、气味、整体可接受性等。各处理组和空白组随着贮藏时间的延长,感官评分具有一定程度的下降,其中空白组下降速度最快。这表明采用乳清发酵粉和 Nisin 复配处理可以有效延长保藏期,可延缓卤牛肉样品在储存期间感官属性的下降,与 Sureshkumar 等^[20]的研究结果一致,确认乳酸链球菌素与丁基羟基茴香醚(butylated hydroxyanisole, BHA)联合使用或单独使用可以延缓煮熟的牛肉香肠在储存期间感官属性(风味和质地评分)的下降。

3 结论

以卤牛肉为对象,运用均匀设计试验方法,选用 5 个不同的复配比例的乳清发酵粉和 Nisin 作为保鲜配料,加到卤牛肉中,采用自封袋包装的方式,在 0~4 °C 的冷库中保藏,通过测定第 4、8、13、19 天的菌落总数和大肠菌群数,并进行相应样品的感官评价,结果表明,Nisin 和乳清发酵粉的复配组合对于卤牛肉产品的保鲜效果较好。在储藏期间卤牛肉配方中使用 Nisin 和乳清发酵粉复配进行保鲜处理对感官特性有着积极的影响,且与空白组相比,5 组复配比例的感官均无显著差异,这表明乳清发酵粉和 Nisin 在复配使用时,不会影响卤牛肉的组织状态、质地、气味等感官指标。

此外,Nisin 和乳清发酵粉的复配对各种微生物(菌落总数、大肠菌群)的生长具有一定抑制作用;所得产品也具有较高的稳定性,最佳保鲜配方是乳清发酵粉 0.5%、Nisin 0.05%。Nisin 和乳清发酵粉复配组合可以有效地应用于卤牛肉配方中,以延长其货架期,达到替代防腐剂的作用。

参考文献:

[1] SIMSEK S. Clean-label bread: Using hard red spring wheat to replace dough improvers in whole wheat bread[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(12): e14920.
[2] 马云标. 浅谈清洁标签调味品的现状及研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(11): 234-236.
MA Yunbiao. Current status and outlook of clean label for culinary products[J]. The Food Industry, 2022, 43(11): 234-236.
[3] FONT-I-FURNOLS M, GUERRERO L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 361-371.
[4] DELGADO-PANDO G, EKONOMOU S I, STRATAKOS A C, et al. Clean label alternatives in meat products[J]. Foods, 2021, 10(7): 1615.

- [5] ZENG W C, WEN W T, DENG Y, et al. Chinese ethnic meat products: Continuity and development[J]. Meat Science, 2016, 120: 37-46.
- [6] 陈康, 王国泽. 低温肉制品中特定腐败微生物的危害及控制[J]. 食品安全导刊, 2017(30): 134-135.
CHEN Kang, WANG Guoze. Harm and control of specific spoilage microorganisms in low-temperature meat products[J]. China Food Safety Magazine, 2017(30): 134-135.
- [7] 中华人民共和国国家健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准: GB 2760 征求意见稿 [EB/OL]. [2024-01-05] <https://file4.foodmate.net/ziliao/file11/wfx2021040123.pdf>.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard uses of food additives: GB 2760 draft for comment[EB/OL]. [2024-01-05] <https://file4.foodmate.net/ziliao/file11/wfx2021040123.pdf>.
- [8] OZAKI M M, MUNEKATA P E S, DE SOUZA LOPES A, et al. Using chitosan and radish powder to improve stability of fermented cooked sausages[J]. Meat Science, 2020, 167: 108165.
- [9] 刘镭琳, 王钊, 胡晴, 等. 基于清洁标签理念的保鲜配料在卤牛肉中的应用——以乳清发酵粉为例[J]. 肉类工业, 2022(10): 43-49.
LIU Kelin, WANG Zhao, HU Qing, et al. Application of preservation ingredients based on clean label concept in stewed beef—Take whey ferment powder for example[J]. Meat Industry, 2022(10): 43-49.
- [10] ALEXANDRI M, KACHRIMANIDOU V, PAPAPOSTOULOU H, et al. Sustainable food systems: The case of functional compounds towards the development of clean label food products[J]. Foods, 2022, 11(18): 2796.
- [11] 周玥, 董建华, 王海银, 等. 乳清发酵粉对鲜湿河粉贮存过程中微生物的影响研究[J]. 现代食品, 2023, 29(2): 200-203.
ZHOU Yue, DONG Jianhua, WANG Haiyin, et al. Effects of whey baking powder on microorganisms during storage of fresh and wet river flour[J]. Modern Food, 2023, 29(2): 200-203.
- [12] GHARSALLAOUI A, OULAHAL N, JOLY C, et al. Nisin as a food preservative: Part 1: Physicochemical properties, antimicrobial activity, and main uses[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(8): 1262-1274.
- [13] GHARSALLAOUI A, JOLY C, OULAHAL N, et al. Nisin as a food preservative: Part 2: Antimicrobial polymer materials containing nisin[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(8): 1275-1289.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Food microbiological examination Determination of aerobic plate count: GB 4789.2—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Food microbiological examination Enumeration of coliforms: GB 4789.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 熟肉制品: GB 2726—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standards Cooked meat products: GB 2726—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [17] CHUNG K T, DICKSON J S, CROUSE J D. Effects of Nisin on growth of bacteria attached to meat[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1989, 55(6): 1329-1333.
- [18] 贾彩凤. 一种乳清发酵粉在食品防腐中的应用: CN112189698A [P]. 2021-01-08.
JIA Caifeng. Application of a whey fermentation powder in food preservation: CN112189698A[P]. 2021-01-08.
- [19] NOVICKIJ V, ZINKEVIČIENĖ A, STANEVIČIENĖ R, et al. Inactivation of *Escherichia coli* using nanosecond electric fields and Nisin nanoparticles: A kinetics study[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 3006.
- [20] SURESHKUMAR S, KALAIKANNAN A, DUSHYANTHAN K, et al. Effect of Nisin and butylated hydroxy anisole on storage stability of buffalo meat sausage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2010, 47(3): 358-363.

加工编辑: 张岩蔚
收稿日期: 2024-01-17