

发酵香辣鸭肉干制备工艺优化与品质分析

巫永华¹, 顾冉¹, 滕迎弟¹, 张建萍¹, 陈尚龙¹, 刘恩岐^{1,*}, 陈罗²

(1. 徐州工程学院 江苏省食品资源开发与质量安全重点建设实验室, 徐州 221018;
2. 徐州惠农鸭业有限公司, 睢宁 221200)

摘要: 选择乳酸片球菌和戊糖片球菌为发酵菌种, 采用响应面优化发酵香辣鸭肉干的制备工艺, 并进行品质和挥发性成分分析。试验结果表明, 当乳酸片球菌和戊糖片球菌的比例为 2 : 1, 菌种接种量为 2.92%, 在 32℃ 下发酵 39.5 h 时, 所得产品呈黄褐色, 色泽均匀, 软硬适中, 口感良好, 有典型的香辣肉干风味; 其理化指标和质构性质均显著低于未发酵的对照组 ($P < 0.05$)。GC-MS 分析表明, 发酵组较对照组含有更多的挥发性成分, 包括烯烃 6 种、烷烃 11 种、醛类 2 种、醇类 3 种、酯类 6 种、酸类 8 种和其他化合物 7 种。试验结果为新型发酵鸭肉干制品的开发提供了一定的理论依据。

关键词: 鸭肉干; 乳酸片球菌; 戊糖片球菌; 工艺优化; 品质分析

中图分类号: TS202.3/TS207.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-2513 (2022) 07-0203-09

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2022.07.027

Preparation of fermented spicy duck jerky and its quality analysis

WU Yonghua¹, GU Ran¹, TENG Yingdi¹, ZHANG Jianping¹, CHEN Shanglong¹,
LIU Enqi^{1,*}, CHEN Luo²

(1. Jiangsu Key Laboratory of Food Resource Development and Quality Safe,
Xuzhou University of Engineering, Xuzhou 221018;
2. Xuzhou Huinong Duck Industry Co., Ltd., Suining 221200)

Abstract: In order to obtain the fermentation conditions of spicy duck jerky, *Pediococcus lactis* and *Pediococcus pentosus* were selected as starter, the preparation conditions were optimized by response surface methodology, and the quality and volatile components were also analyzed. The optimal processing conditions were: The ratio of *Pediococcus lactis* to *Pediococcus pentosus* 2 : 1, the inoculation amount 2.92%, the fermentation temperature 32℃ and the fermentation time 39.5 h. Under the above conditions, the product was yellowish brown uniformed color, moderate hardness with specific spicy dried meat flavor. The physicochemical parameters and texture properties of the product were significantly lower than those of the unfermented control group ($P < 0.05$). GC-MS analysis showed

收稿日期: 2021-10-18

基金项目: 江苏省苏北科技专项 (XZ-SZ201818); 徐州市科技项目重点研发计划项目 (KC20047)。

作者简介: 巫永华 (1984—), 男, 硕士, 高级实验师, 研究方向: 食品加工。

*通信作者: 刘恩岐 (1964—), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工。

that the fermentation group contained more volatile components than the control group, including 6 olefins, 11 alkanes, 2 aldehydes, 3 alcohols, 6 esters, 8 acids and 7 other compounds. The results provides a theoretical basis for the development of new fermented duck jerky products.

Key words: duck jerky; *pediococcus lactis*; *pediococcus pentosus*; optimization; quality analysis

肉干是以鲜肉为主, 经过各种混合香辛料的腌制、烘烤、包装等工序制作而成的肉制品, 如猪肉干、鸡肉干、鸭肉干、鹅肉干、羊肉干、鱼肉干和兔肉干等^[1], 由于其具有便于携带、开封即食、安全、味美的优点而深受大众喜爱, 是一种适合各个年龄阶段的休闲食品。但是, 传统肉干具有肉制干硬、不易咀嚼等缺点。

近年来, 研究人员发现在肉干制作时添加适当的微生物进行发酵(如有益的细菌、霉菌或酵母菌等)能起到减盐、延长保藏期、改善营养风味和质构特性等作用, 能克服传统肉干制品干硬难嚼的缺点。樊明明^[2]利用植物乳杆菌、戊糖片球菌和木糖葡萄球菌(1:1:2)作为混合发酵剂发酵制作猪肉脯, 所得产品的感官品质较好, 在质构特性、口感风味及保藏性等方面都优于传统工艺制作的猪肉脯; 马露等^[3]研究发现, 戊糖片球菌、木糖葡萄球菌和植物乳酸杆菌(2:2:1)混合发酵获得的鹿肉干品质最佳。Luo等^[4]研究表明, 添加复合发酵剂(含戊糖片球菌, 乳酸片球菌、肉质葡萄球菌和木糖葡萄球菌)可以改善牛肉干的品质和风味; 梁蕊芳等^[5]研究表明, 清酒乳酸杆菌、戊糖片球菌和木糖葡萄球菌(1:1:2)发酵制作牛肉干能缩短加工周期、提高产品品质和安全性。微生物产生的酶使蛋白质和脂肪的降解、以及其产物的酶促和非酶促反应是引起肉制品品质和风味改变的原因, 另外, 微生物的代谢产物也起到一定的作用^[6-7]。另有研究表明, 接种有益微生物能抑制肉制品中有害菌的生长繁殖、脂肪氧化和生物胺的积累^[8-11], 能有效提高肉制品的安全性。

鸭肉具有低脂肪、低胆固醇和高蛋白的优势, 其氨基酸含量丰富, 并且含有烟酸, 对于防止心脑血管疾病也具有很大的作用, 获得了许多研究人员的关注。赵树斌探讨了鸭肉脯和鸭肉松制品的工艺及品质特性^[12]; 詹昌玲研究了复合

食盐对鸭肉干品质的影响^[13]; 李超等^[14]采用乳酸片球菌和戊糖片球菌发酵制备鸭肉香肠, 获得了较好的效果。研究表明, 乳酸片球菌对单核增生李斯特菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和藤黄微球菌等肠道病原菌有显著的抑菌效果^[10]; 而戊糖片球菌没有氨基酸脱羧酶能力, 并能抑制产生物胺菌株的产生, 另外, 其分泌的细菌素能有效抑制单细胞李斯特菌的生长^[11]。采用乳酸片球菌和戊糖片球菌复合发酵制备香辣鸭肉干的研究未见报道, 本研究选用乳酸片球菌和戊糖片球菌为发酵菌种, 采用响应面优化菌种配比、发酵时间、发酵温度等条件, 以获得发酵香辣鸭肉干的最佳工艺, 并对产品品质和挥发性物质进行分析。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

鸭腿购于山东临沂森磊食品有限公司。食盐、白砂糖、胡椒粉、姜粉、味精、十三香、辣椒粉、酱油、料酒等购于农贸市场。

乳酸片球菌、戊糖片球菌: 中国工业微生物菌种保藏管理中心(根据说明书对菌种进行活化和扩大培养); 蛋白胨、牛肉浸膏、酵母浸膏、琼脂粉、三聚磷酸钠、焦磷酸钠: 上海源叶生物科技有限公司; 3, 5-二硝基水杨酸、三氯乙酸、浓硫酸: 天津市科密欧化学试剂有限公司。以上试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

HH.B11.500S 电热恒温培养箱: 上海跃进医疗器械有限公司; BGZ-76 电热鼓风干燥箱: 上海博迅实业有限公司; DZ600/2L 真空包装机: 青岛艾讯包装设备有限公司; 1810 型紫外可见分光光度计: 北京普析通用仪器有限责任公司; PRO 质构仪: 美国 FTC 公司; 7890A-5975C 气相色谱

谱-质谱连用仪：美国安捷伦公司。

1.2 方法

1.2.1 发酵香辣鸭肉干的制作流程

工艺流程：鸭腿肉预处理→切块→拌料并腌制→接入菌种发酵→烘制→真空包装→杀菌→成品。

操作要点：

原料肉的预处理：将鸭腿肉洗干净，去除脂肪后剔骨，放入备用的冷水中浸泡1h，以去除残余的血液。

切块：将鸭肉切成4cm×2cm×1cm大小的肉条，且尽可能均匀。

拌料、腌制：在切好的肉条中加入2%盐、4%料酒、2%白胡椒粉、2%酱油、1.5%味精、2%姜粉、1.5%白糖、2%十三香，搅拌均匀后，放入4℃的冰箱中腌制4~5h。

发酵：腌制结束后，以3%的接种量将10⁷CFU/mL的混合菌液接入腌制的肉条中，在一定的温度下发酵一段时间。

烘制：将发酵结束的样品在50~60℃下烘制3~4h，然后在100℃下烘烤1h，期间翻转数次，以防止肉干粘连。

1.2.2 香辣鸭肉干发酵工艺的优化

(1) 菌种配比的选择：在腌制后的鸭肉中加入不同配比的混合发酵剂（乳酸片球菌：戊糖片球菌分别为1:1、1:2、1:3、2:1、3:1，分别设定为A、B、C、D、E五组），接种质量分数为3%的菌液（含10⁷CFU/mL，下同），在30℃下发酵40h，烘制后对成品进行感官评分。

(2) 接种量的选择：在乳酸片球菌：戊糖片球菌为1:2下，分别接种质量分数为1%、2%、3%、4%、5%的菌液，在30℃下发酵40h，烘制后对成品进行感官评分。

(3) 发酵温度的选择：乳酸片球菌：戊糖片球菌为1:2，接种质量分数为3%的菌液，分别在20℃、25℃、30℃、35℃、40℃下发酵40h，烘制后对成品进行感官评分。

(4) 发酵时间的选择：乳酸片球菌：戊糖片球菌为1:2，接种质量分数为3%的菌液，在30℃的条件下分别发酵30h、35h、40h、45h、50h，烘制后对成品进行感官评分。

(5) 响应面实验设计：响应面设计因素编码及水平如表1所示。

表1 响应面设计因素编码及水平

试验因素	因素水平 / Factor levels		
	-1	0	1
A 接种量 /%	2.5	3.0	3.5
B 发酵温度 /℃	25	30	35
C 发酵时间 /h	35	40	45

1.2.3 指标测定方法

(1) 感官评定：邀请10名已经修完感官评价课程的学生从色泽、组织、口感等方面对产品进行感官评价。评价前先按表2中的评分依据进行说明。

表2 感官评分依据

项目	评价标准	得分
色泽 (20分)	肉质接近黄褐色，富含光泽，色泽均匀	15~20
	肉质接近黄褐色，有暗黄色光泽，色泽均匀	10~15
组织状态 (30分)	肉质呈乳白色，深部呈咖啡色，色泽不均	<10
	弹性好，切面坚实且整齐	20~30
	弹性好，切面齐，有裂隙但不明显	10~20
口感与香味 (50分)	无弹性，切面齐，有明显裂隙	<10
	软硬适中、咸淡适中、具有特征香味	40~50
	偏硬、片咸或淡，无异味	30~40
	肉质干硬，酸味或腐败味严重	<30

(2) 相关指标的测定：参照国家相关标准测定样品中的水分^[15]、蛋白质^[16]、脂肪^[17]、pH^[18]、过氧化值^[19]、亚硝酸钠^[20]的含量；用质构仪测定样品的质构特性^[21]。

(3) SPME-GC-MS测定肉干中挥发性物质：参照范晓文等^[22]报道的方法。准确称取2.0g样品（精确到0.001g）于16mL螺口玻璃瓶中，用聚四氟乙烯衬里的硅橡胶垫密封，60℃水浴30min，然后用活化后的SPME针头静态吸附

40min, 进行 GC-MS 分析。

色谱条件: 色谱柱: HP-5MS (30m × 0.25mm × 0.25μm)。载气为氦气, 流量 1.0mL/min, 不分流, 进样口温度 280℃, 进样解析 5min。

升温程序: 起始温度 40℃, 保持 2min 后以 3℃/min 升温速度升至 90℃ 后保持 3min, 再以 5℃/min 升温速度升至 150℃ 后保持 3min, 最后以 5℃/min 升温速度升至 250℃, 保持 5min。

质谱条件: 接口温度 310℃, 离子源温度为 230℃。

1.2.4 数据处理

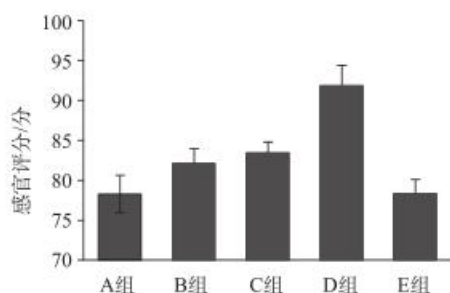
用 Excel 2010 分析数据并绘制图; 用 SPSS 20 分析数据显著性。

2 结果与分析

2.1 发酵香辣鸭肉干工艺确定

2.1.1 菌种配比的确定

图 1 是不同乳酸片球菌与戊糖片球菌之比对产品感官评分的影响, 由图可知, 当乳酸片球菌: 戊糖片球菌为 2:1 时, 感官评分最高。这可能是由于这两种菌发酵时所分泌的蛋白酶和脂肪酶系的差异导致的。故选择乳酸片球菌: 戊糖片球菌为 2:1 进行后续试验。



备注: 乳酸片球菌与戊糖片球菌比, A组 (1:1), B组 (1:2), C组 (1:3), D组 (2:1), E组 (3:1)

图 1 菌种对比对感官评价的影响

Figure 1 Different ratios of strains on sensory evaluation

2.1.2 菌种接种量的确定

菌种接种量对感官评分的结果见 2 所示, 由图可知当菌种接种量为 3% 时, 感官评分值最大。试验中观察到菌种接种量小于 2% 时, 发酵不完全, 所得产品肉质较硬; 大于 3% 时, 产品组织

松软、口感不佳, 导致感官得分下降, 可能是过多的接种量导致乳酸积累过多、蛋白质过度降解导致的。故选择 3% 的接种量进行优化试验。

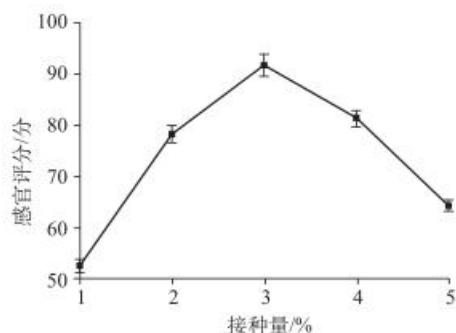


图 2 菌种接种量对感官评价的影响

Figure 2 Influence of inoculation amount on sensory evaluation

2.1.3 发酵温度的确定

发酵温度会影响菌种的繁殖速度, 由图 3 可知, 当发酵温度为 30℃ 时, 所得产品的感官评分值最佳。微生物在发酵过程中, 温度过低或者过高, 都会影响微生物的繁殖和产酶情况, 造成鸭肉干品质的降低。马露等在研究发酵鹿肉干时得到了相似的结果 [3]。故选择 30℃ 进行优化试验。

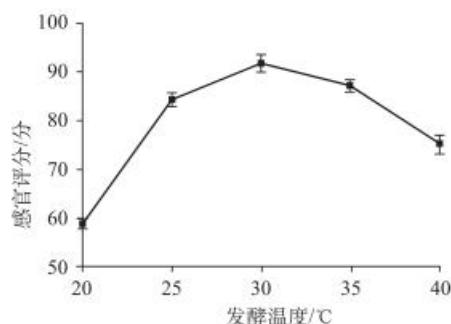


图 3 发酵温度对感官评价的影响

Figure 3 Influence of fermentation temperature on sensory evaluation

2.1.4 发酵时间的确定

由图 4 可知, 发酵 40h 所得的鸭肉干感官评分值最高, 可能是因为当发酵时间少于 40h 时, 微生物产生的酶系没有对肉中的蛋白和脂肪充分降解, 不利于风味成分的形成, 乳酸产生不足, 组织改善不明显, 导致产品硬度高、难以咀嚼;

而过长的发酵时间又会使得鸭肉干的质构特性降低,组织过软、口感不佳。故选择发酵 40h 进行优化试验。

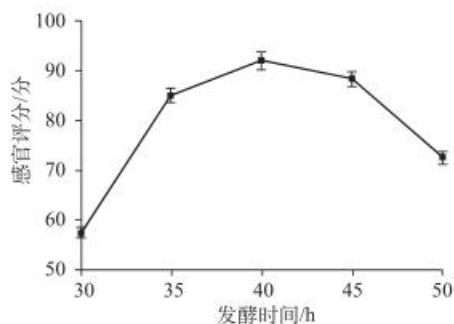


图 4 发酵时间对感官评价的影响
Figure 4 Influence of fermentation time on sensory evaluation

2.1.5 响应面优化试验结果

根据 BBD (Box-Behnken Design) 原理,以感官评分为响应值,选取接种量、发酵温度和发酵时间三个因素进行优化,结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 响应面试验设计及结果
Table 3 Response surface design and results

试验号	A 接种量 /%	B 发酵温度 /℃	C 发酵时间 /h	感官评分 / 分
1	3.0	25	35	78.34
2	3.5	35	40	82.21
3	2.5	30	35	81.19
4	3.5	25	40	84.98
5	3.0	25	45	86.56
6	3.0	30	40	92.73
7	3.0	30	40	91.58
8	3.0	35	45	82.38
9	3.5	30	35	83.63
10	2.5	30	45	86.56
11	3.0	30	40	91.83
12	3.0	35	35	90.45
13	3.0	30	40	92.91
14	3.0	30	40	92.29
15	3.5	30	45	80.05
16	2.5	25	40	82.28
17	2.5	35	40	88.61

表 4 响应面回归模型方差分析

Table 4 Variance analysis of response surface of the regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	383.57	9	42.62	74.00	< 0.0001	**
A	7.55	1	7.55	13.10	0.0085	**
B	16.50	1	16.50	28.65	0.0011	**
C	0.47	1	0.47	0.82	0.3961	
AB	20.70	1	20.70	35.94	0.0005	**
AC	20.03	1	20.03	34.77	0.0006	**
BC	66.34	1	66.34	115.18	< 0.0001	**
A ²	91.49	1	91.49	158.85	< 0.0001	**
B ²	40.11	1	40.11	69.64	< 0.0001	**
C ²	94.96	1	94.96	164.87	< 0.0001	**
残差	4.03	7	0.58			
失拟项	2.74	3	0.91	2.83	0.1704	不显著
纯度差	1.29	4	0.32			
总和	387.60	16				
R ² =	0.9896	R ² _{Adj} =	0.9762	R ² _{Pred} =	0.8817	
Adeq Precision	23.342					

注: * 表示显著 ($P < 0.05$) ** 表示极显著 ($P < 0.01$)

以感官评分为响应值,利用 Design-Expert 10.0.4 软件分析得到二次多项式回归方程为 $Y=92.27-0.97A+1.44B+0.24C-2.28AB-2.24AC-4.07BC-4.66A^2-3.09B^2-4.75C^2$ 。

根据表 4 可知,模型 $P < 0.0001$,极显著;失拟项 $P=0.1704$,不显著;说明该模型能够较为准确的模拟感官评分与三个变量间的关系; $R^2=0.9896$, $R^2_{Adj}=0.9762$,说明模型拟合度良好,试验值与预测值具有高度相关性,该模型可以用来分析和预测发酵香辣鸭肉干的制备工艺。一次项 A 和 B、交互项 AB、BC 和 AC 以及二次项 A²、B²、C² 都对结果有极显著影响。根据图 5 ~ 7 可知,发酵时间的曲线最陡峭、等高线最密集,其次是接种量,最后是发酵温度,说明对结果影响大小的顺序为 $B > A > C$,而因素 B 和 C 的交互作用对结果影响最大。

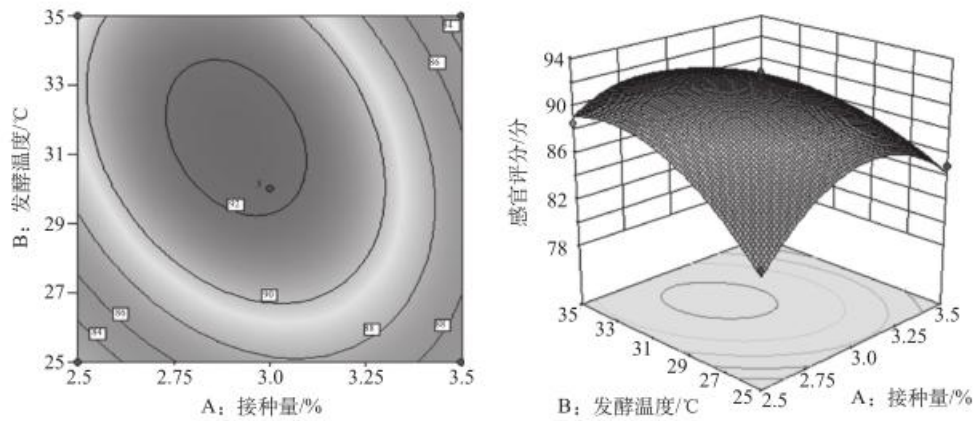


图5 接种量和发酵温度的等高线和响应面图

Figure 5 Interaction effects of inoculation amount and fermentation temperature on sensory score

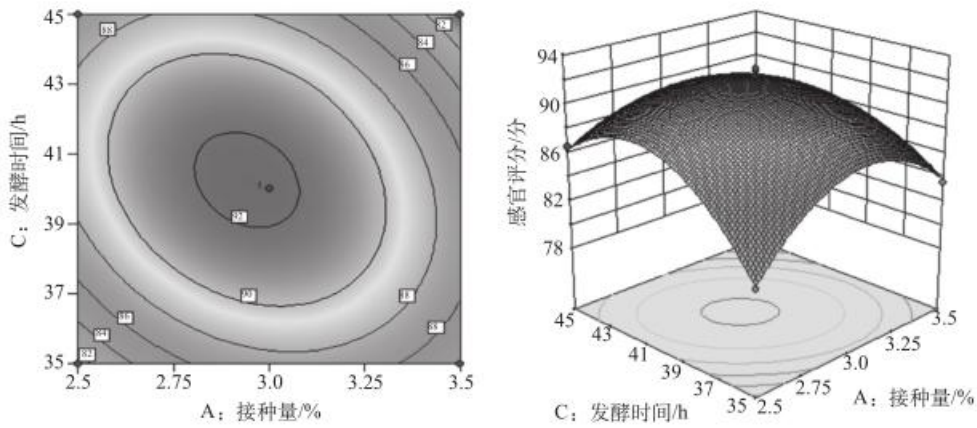


图6 接种量和发酵时间的等高线和响应面图

Figure 6 Interaction effects of inoculation amount and fermentation time on sensory score

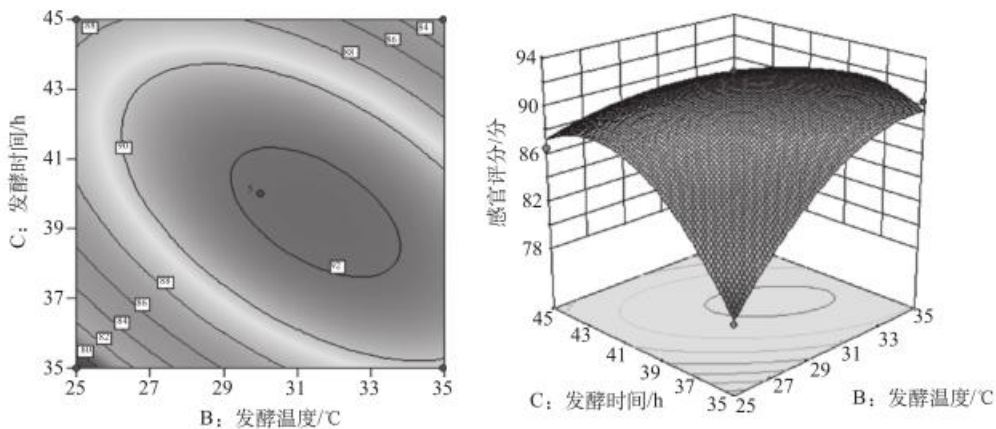


图7 发酵温度和发酵时间的等高线和响应面图

Figure 7 Interaction effects of fermentation temperature and time on sensory score

2.1.6 最优发酵工艺的确定及验证

运用 Design-Expert 10.0.4 软件得出的最佳发酵工艺条件为接种量 2.92%、发酵温度 31.76℃、发酵时间 39.57h, 此时模型预测得到的感官评分为 92.59。为便于实际操作, 将条件修订为接种量 2.92%, 发酵温度 32.0℃, 发酵时间 39.50h, 并用此条件进行 3 次平行试验, 所得发酵香辣鸭肉干产品呈黄褐色, 色泽均匀, 软硬适中, 切面齐, 口感良好, 有典型的香辣肉干风味, 综合感官得分为 92.71 ± 1.23 , 与模型预测结果接近, 进一步说明试验建立的模型能较好的分析发酵香辣鸭肉干的制作工艺。

2.2 发酵香辣鸭肉干的品质分析结果

2.2.1 肉干的品质特性分析结果

对照组除不添加菌种外, 其他制作过程同发酵组。由表 5 可知, 产品中水分含量为 13.10%, 过氧化值为 0.02mmol/kg, pH 为 4.82, 显著低于对照组 ($P < 0.05$), 提示添加发酵剂可以降低鸭

肉干水分含量和酸度, 降低脂肪氧化程度, 延长其储藏期。蛋白质为 27.26%, 脂肪为 2.20%, 显著低于对照组 ($P < 0.05$), 表明接种乳酸片球菌和戊糖片球菌能产生蛋白酶和脂肪酶, 从而加速蛋白质和脂肪的分解。亚硝酸盐为 3.72mg/kg, 显著低于对照组 ($P < 0.05$), 表明发酵剂的加入能减少产品的亚硝酸盐含量, 与孙学颖等^[9]的研究结果一致。硬度与肉制品中蛋白的变性、降解和水分损失有关, 能够衡量成熟程度^[23-24], 发酵组的硬度为 24.83N, 咀嚼性为 48.62mJ, 弹性为 2.43mm, 均显著低于对照组样品 ($P < 0.05$), 表明接种发酵剂能明显降低肉干的硬度、咀嚼性和弹性, 可能是因为乳酸片球菌和戊糖片球菌分泌的蛋白酶能够加快分解鸭肉中的肌原纤维蛋白和肌浆蛋白, 肉干内部结合力被破坏, 质构变得松软, 更易咀嚼, 能改善肉干干硬难嚼的缺点^[21]。此外, 所得产品的各项指标都符合相关的国家标准。

表 5 肉干品质特性分析结果
Table 5 Quality characteristics of spicy duck jerky

项目	水分含量 /%	蛋白质 /%	脂肪 /%	pH	亚硝酸盐 / (mg/kg)	过氧化值 / (mmol/kg)	硬度 /N	咀嚼性 /mJ	弹性 /mm
对照组	18.12 ^a	34.54 ^a	3.40 ^a	5.38 ^a	24.46 ^a	0.04 ^a	38.02 ^a	63.25 ^a	3.12 ^a
发酵组	13.10 ^b	27.26 ^b	2.20 ^b	4.82 ^b	15.05 ^b	0.02 ^b	24.83 ^b	48.62 ^b	2.46 ^b
国家标准	≤ 20	≥ 26	≤ 12%	< 5.2	≤ 30	-	-	-	-

备注: 字母不同表示差异性显著 ($P < 0.05$), 相同表示不显著。

2.2.2 肉干中挥发性化合物的分析结果

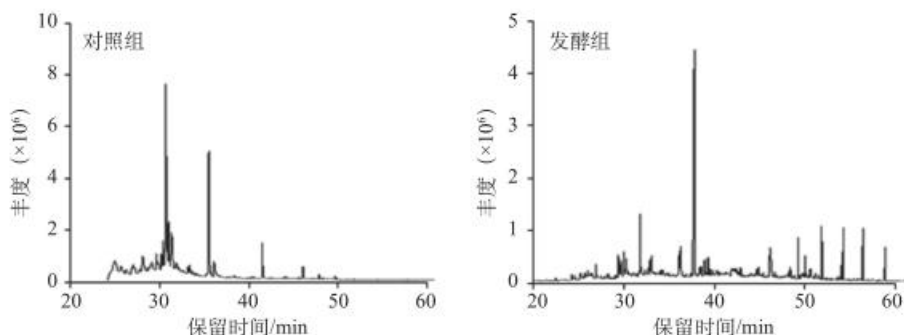


图 8 鸭肉干中挥发性风味物质的总离子流图
Figure 8 Chromatogram of total ion volatile flavor substances in spicy duck jerky

根据表 6 的 GC-MS 分析结果可知, 肉干中共检测出 43 种化合物, 分别为烯烃 6 种 (多来

源于调味的香辛料)、烷烃 11 种、醛类 2 种、醇类 3 种、酯类 6 种、酸类 8 种和其他化合物 7 种。

发酵组比对照组多检出 20 种挥发性成分，主要集中在酯类和酸类物质，表明经过微生物发酵过程中产生的酶类能分解碳水化合物、蛋白质和脂肪，产生小分子的乳酸、肽类和脂肪酸，这些风味物质的前体在经过复杂的酶促和非酶促反应（如美拉德反应）后产生多种挥发性风味物质^[21, 25]，这些风味物质共同组成了发酵香辣鸭肉干的特征风味。另外还有一些三甲基硅氧基类化合物，是色谱柱流失造成的峰。

表 6 发酵剂组挥发性风味物质种类分析
Table 6 Analysis of volatile flavor substances in fermented substance

种类	化合物名称	保留时间 / min	相对含量 / %	
			对照组	发酵组
烯烃	2-丁烯	26.066	0.82	0.52
	2, 4-二甲基-1-癸烯	32.185	1.22	3.51
	5-乙基-1-壬烯	32.66	5.12	0.54
	1-十四烯	38.762	—	0.73
	2, 4-二甲基-1-庚烯	43.13	—	0.24
	1-壬烯	50.11	0.12	0.77
	十三烷	24.624	1.35	0.61
	1-溴-11-碘癸烷	24.974	0.21	0.45
	辛烷	26.369	0.54	0.55
	十二甲基环己氧烷	27.295	0.65	1.47
烷烃	3-甲基癸烷	28.624	0.25	0.51
	十四烷	29.9	1.23	0.50
	环己烷	30.607	0.34	2.84
	二十烷	33.111	0.14	0.45
	十九烷	33.248	1.23	0.85
	2, 6-二甲基庚烷	39.943	0.12	0.67
	(4-乙酰苯基) 苯基甲烷	40.252	—	0.64
	3-甲基丁醛	30.915	0.01	0.94
醛类	E-15-七烯醛	50.11	—	0.71
	3-甲基-1-丁醇	32.66	0.12	0.55
醇类	3, 7-二甲基-1-辛醇	36.495	3.56	2.47
	4-乙基-1-辛烯-3-醇	50.11	—	0.77
酯类	1, 2-苯二甲酸单甲酯	25.556	—	0.74
	2-甲基-2-甲基丙基丙酸酯	28.624	—	0.53
	甘氨酸呋喃-2-基甲酯	30.915	—	0.94

种类	化合物名称	保留时间 / min	相对含量 / %		
			对照组	发酵组	
酯类	邻苯二甲酸二乙酯	36.643	0.06	0.06	
	甲酯	38.922	0.56	10.07	
	十六酸乙酯	47.059	—	0.32	
	1, 2-苯二甲酸	25.556	—	0.74	
	邻苯二甲酸	26.066	—	0.54	
	琥珀酰乙酸	34.684	—	0.71	
酸类	丙酸	36.495	0.56	2.44	
	2-三氟甲基苯甲酸	38.168	—	12.47	
	苯乙酸	38.922	—	6.35	
	苯甲酸	49.071	0.89	2.72	
	十八酸	50.46	—	1.71	
	β -1, 5-O-二苯甲酰基呋喃核糖	18.457	—	2.54	
	萘	30.096	0.56	1.74	
	二苯并呋喃-3-酰胺	32.073	0.23	0.31	
	其他	2-呋喃甲酰胺	32.66	0.14	0.55
	Z-24-三氮杂环丙烷-2-酮	34.684	—	0.77	
1H-吡唑	39.694	—	1.24		
去甲可待因二 TMS 衍生物	42.442	0.25	0.67		

3 结果与讨论

近年来益生菌在食品加工中的研究与应用得到了广泛的关注，将有益微生物接种到肉制品中，会使得肉中的糖类、蛋白质和脂肪发生生化反应，产生小分子乳酸、肽类和风味前体物质，使其营养和风味得以改善^[5]，也会加速产品的酸化和组织降解速度，导致产品的质构发生变化。Wang 等研究认为发酵剂的添加会使得肉制品的 pH 和水分活度降低，从而抑制一些腐败菌和致病菌的增长，提升了产品的安全性和货架期^[26]。

本研究表明，接种 2.92% 的复合菌液（乳酸片球菌：戊糖片球菌 = 2 : 1，含 10^7 CFU/mL），在发酵温度 32℃ 下，发酵 39.50h 得到的香辣鸭肉干呈黄褐色，色泽均匀，软硬适中，切面齐，口感良好，有典型的香辣肉干风味，综合感官得分为 92.71 ± 1.23 。所得产品水分含量为 13.10%，

蛋白质为 27.26%，脂肪为 2.20%，亚硝酸盐为 3.72mg/kg，过氧化值为 0.02mmol/kg，pH 为 4.82，硬度为 24.83N，咀嚼性为 48.62mJ，弹性为 2.43mm，这些指标均显著低于未发酵的对照组 ($P < 0.05$)，并且都符合相关的国家标准。GC-MS 分析表明，样品检测到烯烃 6 种、烷烃 11 种、醛类 2 种、醇类 3 种、酯类 6 种、酸类 8 种和其他化合物 7 种，发酵组较对照组含有更多的挥发性成分，特别是酯类和酸类物质，这些风味物质共同组成了发酵香辣鸭肉干的特征风味。

试验对发酵香辣鸭肉干的基本理化指标和挥发性成分进行了分析，后续可对添加发酵剂对鸭肉干质构特性和蛋白质、脂肪降解规律、有害微生物的生长和生物胺积累情况等方面进行深入研究。

参考文献:

- [1] 张益卓, 李腾, 陈菲菲, 等. 肉干品种及肉干保藏技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42 (20): 440-448.
- [2] 樊明明. 发酵工艺对猪肉脯食用品质影响研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [3] 马露, 孔维洲, 王丽萍, 等. 响应面法优化发酵鹿肉干工艺及其货架期预测 [J]. 浙江农业学报, 2019, 31 (12): 2109-2119.
- [4] Luo Y L, Zhao L H, Xu J Q, et al. Effect of fermentation and postcooking procedure on quality parameters and volatile compounds of beef jerky [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8 (5): 2316-2326.
- [5] 梁蕊芳, 张邦建, 高丽霞, 等. 复合发酵剂对发酵牛肉干理化品质及安全性能的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42 (7): 43-49.
- [6] 刘英丽, 杨梓妍, 万真, 等. 发酵剂对发酵香肠挥发性风味物质形成的作用及影响机制研究进展 [J]. 食品科学, 2021, 42 (11): 284-296.
- [7] 李权威. 乳酸菌对发酵肉制品脂类代谢及品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [8] Wang J Y, Lu S L, Wang Q L, et al. Effects of starter cultures on lipid oxidation and accumulation of biogenic amines in traditional Chinese smoked horsemeat sausage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44 (5): e14439.
- [9] 孙学颖, 辛晓琦, 刘建林, 等. 复合发酵剂和香辛料对发酵香肠中 N-亚硝胺形成的抑制作用 [J]. 中国食品学报, 2021, 21 (5): 194-202.

- [10] 李亚男. 乳酸片球菌 S204 抑菌特性及玉米秸秆乳酸发酵的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [11] Wang X H, Ren H Y, Liu D Y, et al. Effects of inoculating *Lactobacillus sakei* starter cultures on the microbiological quality and nitrite depletion of Chinese fermented sausages [J]. Food Control, 2013, 32 (2): 591-596.
- [12] 赵树斌. 鸭肉干制食品的研制及其品质特性研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
- [13] 詹昌玲. 复合食盐对鸭肉干品质的影响 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [14] 李超, 王乃馨, 陈尚龙, 等. 乳酸片球菌和戊糖片球菌混合发酵制备鸭肉香肠的工艺优化 [J]. 中国食品添加剂, 2015 (7): 123-128.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 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 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 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 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品 pH 的测定: GB 5009.237—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定: GB 5009.227—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [20] 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 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB 5009.33—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [21] 卜宁霞. 发酵鸡肉干的研制及其品质控制研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
- [22] 范晓文, 常荣, 赵珠莲, 等. 酸肉发酵中挥发性风味物质的变化及对品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45 (22): 68-75.
- [23] Wu Y T, Zhao M M, Yang B, et al. Microbial analysis and textural properties of Cantonese sausage [J]. Journal of Food Process Engineering, 2010, 33 (1): 2-14.
- [24] 蓝天蝉, 于冰, 孙京新, 等. 产黄青霉发酵鸭肉制品食用品质、微观结构及物理化学特性变化 [J]. 食品科学, 2020, 41 (21): 36-43.
- [25] 王新惠, 李俊霞, 谭茂玲, 等. 复合发酵剂对发酵猪肉干品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36 (17): 165-169.
- [26] Wang D B, Zhao L H, Su R N, et al. Effects of different starter culture combinations on microbial counts and physico-chemical properties in dry fermented mutton sausages [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7 (6): 1957-1968.

《中国食品添加剂》杂志—中文核心期刊、中国科技核心期刊，欢迎投稿！