

干法成熟工艺对延边黄牛臀肉品质的影响

Effect of dry-aging processes on the quality of rump beef from Yanbian cattle

孙德鹏^{1,2} 彭安琪^{1,2} 谭金龙^{1,2} 朴春香^{1,2}

SUN De-peng^{1,2} PENG An-qi^{1,2} TAN Jin-long^{1,2} PIAO Chun-xiang^{1,2}

吕爱辉³ 牟柏德^{1,2} 李官浩^{1,2}

LU Ai-hui³ MU Bai-de^{1,2} LI Guan-hao^{1,2}

(1. 延边大学农业农村部延边特色高品质牛肉精深加工创新重点实验室, 吉林 延吉 133002;

2. 延边大学东北寒区肉牛科技创新教育部工程研究中心, 吉林 延吉 133002;

3. 延边畜牧开发集团有限公司, 吉林 延吉 133002)

(1. Key Innovation Laboratory for Deep and Intensive Processing of Yanbian High Quality Beef, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China; 2. Engineering Research Center of North-East Cold Region Beef Cattle Science & Technology Innovation, Ministry of Education, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China; 3. Yanbian Livestock Development Group Co., Ltd., Yanji, Jilin 133002, China)

摘要:目的:提高延边黄牛肉的嫩度及风味物质含量。方法:采用 3 种工艺[A 组 RH(65±5)% 成熟 10 d, RH(75±5)% 成熟 10 d, RH(85±5)% 成熟 20 d; B 组 RH(75±5)% 成熟 20 d, RH(85±5)% 成熟 20 d; C 组 RH(85±5)% 成熟 40 d]对延边黄牛臀肉进行干法成熟,并分析其品质变化。结果:随着时间的延长,成熟损失率显著上升,其中 A 组的最高,为 39.14%;C 组的 TBARS 值与 TVB-N 值分别为 1.387 和 14.833,显著高于其他两组;各组脂肪和蛋白质含量均呈上升趋势,剪切力值下降了 50%;各组间的蒸煮损失率、色泽和 pH 值无显著差异;随着成熟的进行,滋味属性丰富度提升,有较高的鲜味和回味,B 组的苦味值较低,且其挥发性风味化合物中醛类、酮类的相对含量较高。结论:延边黄牛臀肉的最佳干法成熟工艺为 B 组。

关键词:延边黄牛;臀肉;干法成熟;风味

Abstract: Objective: This study aimed to improve the tenderness and flavor content of Yanbian cattle beef. Methods: Rump beef of

Yanbian cattle were dry-aged by using three different methods, i.e., Method A: RH(65±5)% aging for 10 days, RH(75±5)% aging for 10 days, and then RH(85±5)% aging for 20 days; Method B: RH(75±5)% aging for 20 days and then RH(85±5)% aging for 20 days; Method C: RH(85±5)% aging for 40 days. The quality changes caused by the different aging processes were then analyzed and compared. Results: The cooking loss of the beef processed by all the three methods increased significantly with the extension of aging time, but the beef loss (39.14%) in Group A was the highest. The TBARS and TVB-N values of group C were 1.387 and 14.833, respectively, significantly higher than those of the other two groups. The fat and protein contents of each group showed an increasing trend, while the shear force value decreased by 50%. No significant difference in the changes of cooking loss rate, color and pH value were found among the groups. The results showed that with dry-aging, the richness of taste attributes was elevated with higher freshness and aftertaste. The bitterness in group B was lower, and the relative content of aldehydes and ketones among volatile flavor compounds was higher. Conclusion: Method B was the best dry-aging process for Yanbian cattle rump beef.

Keywords: Yanbian cattle; rump beef; dry-aging; flavor

基金项目:吉林省科技计划项目(编号:20210202061NC);延边大学科技计划项目(编号:ydkj202306)

作者简介:孙德鹏,男,延边大学在读博士研究生。

通信作者:牟柏德(1986—),男,延边大学讲师,在读博士。

E-mail: 165248122@qq.com

李官浩(1975—),男,延边大学教授,博士。

E-mail: ghli@ybu.edu.cn

收稿日期:2023-01-17 **改回日期:**2023-05-06

宰后成熟能够提高牛肉的食用品质,在嫩度及风味方面的改善尤为显著^[1]。现有的成熟方式主要有湿法成熟和干法成熟两种,湿法成熟肉品损失少,物流要求低,

应用较为普遍。而干法成熟是将屠宰后的胴体或某部位不经包装,放置或悬挂在低温(0~4℃)、风速和相对湿度稳定的环境中几天甚至数月的成熟方式^[2]。干法成熟比湿法成熟能更好地改善肉的风味和口感^[3],是由于成熟过程中脂质氧化的发生,增加了肉中相关的挥发性风味化合物的含量^[4-5]。

中国的牛肉人均消费量逐年上升,已成为全球第二大牛肉消费国^[6]。延边黄牛是中国五大地方优良品种之一^[7],大约牛胴体重量的 50%是嗜好度较弱的低脂肪部位,如颈肉、臀肉、腿肉,需求量小,导致价格偏低。目前,有关牛肉干法成熟技术的研究相对较少,且试验原料多选用高脂肪沉积的高质量等级牛肉^[8],有关低脂部位牛肉干法成熟的研究尚未见报道。试验拟优化干法成熟技术参数并用于延边黄牛臀肉,以提高牛肉的嫩度及风味物质含量,为延边黄牛肉的高品质生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 原材料与仪器

雄性成年延边黄牛;龙井长白山彝福清真肉业有限公司;

2-硫代巴比妥酸、三氯乙酸、氢氧化钠、无水硫酸钠、氯化钠、氧化镁、硼酸、盐酸、硫酸、硫酸铜、硫酸钾、无水乙醇、石油醚;分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

甲醇、正庚烷;色谱级,赛默飞世尔(中国)有限公司;

控温控湿发酵间:由智能电子湿度控制器、可调风速冷风机组成,延边大学农学院;

智能电子湿度控制器:ZY-9080C 型,深圳美航电子科技有限公司;

可调速制冷风机:MH1210N 型,深圳美航电子科技有限公司;

高速分散均质机:DY89-II 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

高速离心机:TG16A-WS 型,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;

紫外分光光度计:TU900 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

便携式电子鼻系统:PEN3 型,德国 AIRSENSE 公司;

味觉分析系统:SA-402B 型,日本 INSENT 公司;

气相色谱—质谱联用仪:QP2010 Plus 型,日本岛津公司;

pH 计:pH-STAR 型,北京天翔飞域科技有限公司;

色差计:CR-10 型,柯尼卡美能达有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 屠宰后,将臀肉分割成重量为(1.5±0.2) kg 的肉块,随机分为 3 组进行 40 d 干法成熟,温度

2~4℃,风速 1.2 m/s,A 组:相对湿度(RH)(65±5)%成熟 10 d,RH(75±5)%成熟 10 d,RH(85±5)%成熟 20 d;B 组:RH(75±5)%成熟 20 d,RH(85±5)%成熟 20 d;C 组:RH(85±5)%成熟 40 d。每组 12 块,同时取 3 块作为 0 d 空白对照样品,各处理组分别在成熟 10,20,30,40 d 时取样。

1.2.2 成熟损失率测定 准确称量成熟前样品重量,各组分别于成熟 10~40 d 取样并称重,按式(1)计算成熟损失率。

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

a ——成熟损失率,%;

m_1 ——成熟前样品质量,g;

m_2 ——成熟后样品质量,g。

1.2.3 水分含量测定 参照 GB 5009.3—2016。

1.2.4 蒸煮损失率测定 参照 Hopkins 等^[9]的方法,按式(2)计算蒸煮损失率。

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

c ——蒸煮损失率,%;

m_1 ——蒸煮前样品质量,g;

m_2 ——蒸煮后样品质量,g。

1.2.5 pH 值测定 采用 pH 计测定。

1.2.6 色泽测定 采用色差仪测定。

1.2.7 硫代巴比妥酸(TBARS)值测定 参照 GB 5009.181—2016。

1.2.8 挥发性盐基氮(TVB-N)值测定 参照 GB 5009.228—2016。

1.2.9 蛋白质含量测定 参照 GB 5009.5—2016。

1.2.10 脂肪含量测定 参照 Folch 等^[10]的方法并修改。准确称取 2.0 g 绞碎肉样,加入 25 mL 三氯甲烷—甲醇溶液($V_{\text{三氯甲烷}}:V_{\text{甲醇}}$ 为 2:1),均质匀浆 1 min,再加入 15 mL 三氯甲烷—甲醇溶液,混匀后静置 1 h,过滤。向滤液中加入 8.8 mL 含 7.3 g/L NaCl 和 0.5 g/L CaCl_2 的水溶液,3 000 r/min 离心 15 min。去除上层液体,下层剩余液体旋蒸后干燥至恒重。

1.2.11 剪切力值测定 将肉块放入蒸煮袋内水浴加热至中心温度为 75℃后取出,顺肌纤维方向切成 1 cm×1 cm×3 cm 的长条测定剪切力值,测试速度 60 mm/min,初始力 0.5 N。

1.2.12 电子舌分析 将样品与去离子水按 $m_{\text{样品}}:V_{\text{去离子水}}$ 为 1:7 加入离心管中均质匀浆 1 min,4℃、5 000 r/min 离心 10 min,过滤后加入样品杯中检测。

1.2.13 电子鼻分析 根据许美娜^[11]的方法并修改。准

准确称取 5.0 g 样品于样品瓶中密封,40 ℃ 平衡气体 30 min。清洗时间 90 s,测定时间 60 s,气体流速和进样流量为 100 mL/min,收集 58~60 s 处的信号。

1.2.14 GC-MS 分析 参照 Watanabe^[12]的方法。

1.3 数据分析

所有试验重复 3 次,使用 Excel 软件进行数据处理,并用 SPSS 统计分析软件检验数据是否具有显著性差异,采用 OriginPro2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 干法成熟对延边黄牛臀肉理化特性的影响

由表 1 可知,各组成熟损失率均随着时间的延长呈上升趋势,水分含量均显著降低($P<0.05$)。成熟前期,A 组在低湿度的环境中,表面水分迅速干燥形成硬壳,阻碍了内部水分散失,与 B、C 两组在相对湿度较高环境下的总体损失率相近。各组在同一成熟时间的蒸煮损失率无显著差异,干法成熟过程中肌原纤维结构可能发生改变,结构蛋白被破坏^[13],蒸煮损失率升高。40 d 时蒸煮损失率的降低可能是由于蛋白质分解,离子净电荷的增加导致样品渗透压升高^[14],或是样品本身水分含量低所导

致^[15],各组损失率为 27%~29%。

牛肉的 pH 值在前 10 d 内下降是由于机体内糖原分解生成乳酸;10 d 后 pH 值上升可能是由于干法成熟牛肉表面的低水分环境有利于酵母菌的增殖^[16],使蛋白质分解产生胺类等碱性物质^[17]。各组牛肉的色泽均随成熟时间的延长变化显著($P<0.05$)。水分蒸发使样品失去光泽, L^* 值降低;由于成熟过程中汁液的损失使肌红蛋白及铁元素等浓缩^[16],红度值上升。

2.2 干法成熟对延边黄牛臀肉食用适宜性的影响

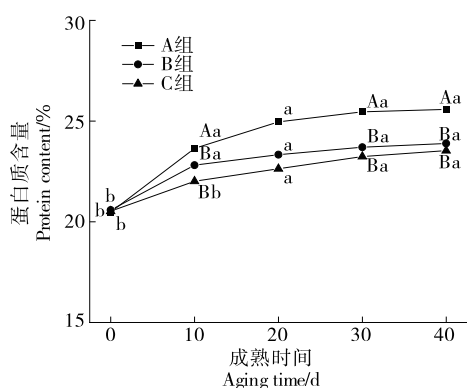
2.2.1 蛋白质及脂肪含量的变化 由图 1、图 2 可知,与对照组相比,干法成熟各组的蛋白质和脂肪含量显著升高($P<0.05$),且 A 组的含量分别达到 $(3.16\pm0.13)\%$ 和 $(25.58\pm0.56)\%$ 。蛋白质和脂肪含量的增加主要归因于水分含量下降,使样品中的其他成分相对含量上升^[18]。脂肪浓缩会使牛肉在风味和咀嚼性上有更好的感官品质^[19]。

2.2.2 TBARS 及 TVB-N 值的变化 由于干法成熟过程是将牛肉未经包装直接置于空气中。由图 3、图 4 可知,各组脂质氧化程度均呈显著上升趋势($P<0.05$)。成熟

表 1 不同干法成熟工艺处理牛肉理化的特性[†]
Table 1 Effects of different dry-aging processes on physicochemical properties of beef

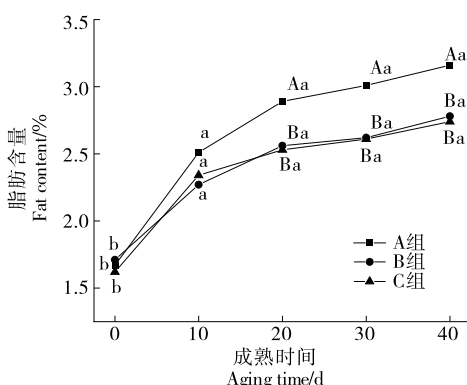
成熟时 间/d	成熟损失率/%			水分含量/%			蒸煮损失率/%		
	A 组	B 组	C 组	A 组	B 组	C 组	A 组	B 组	C 组
0	—	—	—	75.02±0.64 ^a	74.80±0.56 ^a	75.10±0.64 ^a	32.18±1.21 ^b	32.59±0.87 ^b	31.80±0.30 ^b
10	21.75±1.82 ^d	21.04±2.03 ^d	19.18±2.54 ^d	73.67±0.49 ^b	73.37±1.32 ^b	72.50±1.27 ^b	30.43±0.52 ^b	31.03±1.09 ^b	31.37±0.57 ^b
20	29.43±1.86 ^c	29.45±0.99 ^c	27.91±1.59 ^c	73.43±0.37 ^b	72.28±1.02 ^b	72.25±1.04 ^b	30.24±1.11 ^b	31.20±0.30 ^b	30.63±0.67 ^b
30	34.16±1.80 ^b	34.21±0.88 ^b	32.31±2.90 ^b	69.69±1.05 ^{Ab}	70.67±0.75 ^{ABc}	71.63±1.82 ^{Bc}	35.88±0.83 ^a	35.05±0.64 ^a	35.01±0.87 ^a
40	39.14±3.02 ^{An}	35.95±2.36 ^{ABa}	34.23±1.30 ^{Ba}	68.16±0.58 ^{Ab}	70.35±1.17 ^{Ac}	71.27±0.87 ^{Bd}	27.26±1.02 ^c	28.46±2.53 ^c	27.38±2.08 ^c
成熟时 间/d	pH			L^*			a^*		
	A 组	B 组	C 组	A 组	B 组	C 组	A 组	B 组	C 组
0	5.59±0.03	5.56±0.03	5.58±0.02	30.9±1.15 ^{ab}	30.6±0.26 ^a	31.0±0.35 ^{ab}	14.0±0.71 ^{bc}	13.7±0.51 ^a	13.8±0.63 ^b
10	5.57±0.03	5.53±0.24	5.50±0.04	31.7±3.38 ^a	30.5±1.56 ^a	30.4±2.61 ^{ab}	12.3±1.40 ^{ABc}	10.3±2.61 ^{Bb}	12.9±0.70 ^{Ab}
20	5.60±0.01	5.61±0.06	5.56±0.05	29.6±2.86 ^{ab}	30.9±2.51 ^a	31.1±2.12 ^a	14.5±2.86 ^{bc}	14.7±1.87 ^a	13.8±1.75 ^b
30	5.63±0.03	5.68±0.06	5.58±0.03	29.4±2.04 ^{ab}	30.2±3.08 ^a	31.2±1.98 ^a	14.5±0.84 ^{Bbc}	15.5±2.38 ^{Ba}	17.1±1.72 ^{An}
40	5.60±0.14	5.55±0.09	5.58±0.05	27.8±0.78 ^b	26.9±1.81 ^b	27.5±0.94 ^b	17.4±1.29 ^a	16.3±2.16 ^a	17.7±0.31 ^a
成熟时 间/d	b^*								
	A 组	B 组	C 组						
0	7.5±0.35 ^b	7.2±0.28 ^{ab}	7.5±0.30 ^{ab}						
10	4.5±1.37 ^{Bc}	5.6±1.62 ^{ABc}	6.9±0.86 ^{Ab}						
20	6.4±1.54 ^{bc}	7.1±1.83 ^b	7.6±1.02 ^{ab}						
30	6.1±1.35 ^{bc}	7.9±2.28 ^{ab}	7.3±0.73 ^b						
40	10.4±0.64 ^a	9.3±1.64 ^a	9.9±0.34 ^a						

[†] 小写字母不同表示同种成熟方式不同时期间差异显著($P<0.05$);大写字母不同表示相同时期不同成熟方式间差异显著($P<0.05$)。



小写字母不同表示同种成熟方式不同时期间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示相同时期不同成熟方式间差异显著 ($P < 0.05$)

图1 干法成熟工艺下延边黄牛肉蛋白质含量变化
Figure 1 Changes in protein content of Yanbian cattle beef by dry-aging processes

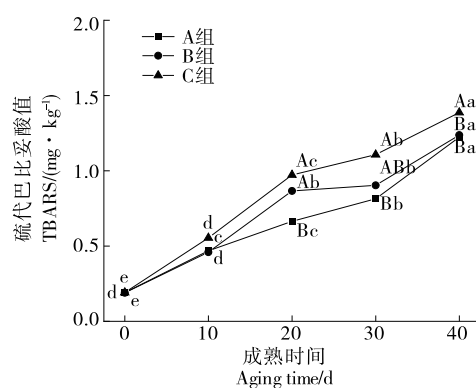


小写字母不同表示同种成熟方式不同时期间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示相同时期不同成熟方式间差异显著 ($P < 0.05$)

图2 干法成熟工艺下延边黄牛肉脂肪含量变化
Figure 2 Changes in fat content of Yanbian cattle beef by dry-aging processes

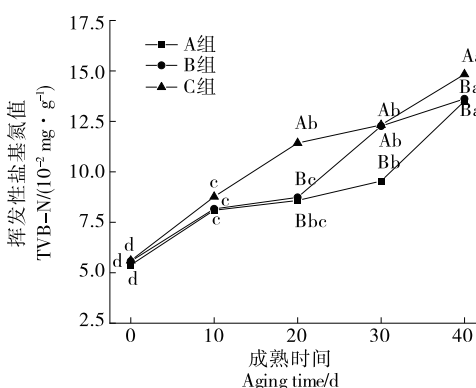
时间和成熟方式对脂质氧化有显著的交互作用^[20], 成熟时间越长 (< 40 d), 丙二醛和脂质氧化量越高。Cho等^[21]研究发现, 较高的 TBARS 值不会对感官风味产生负面影响, 一些脂质氧化可能与特征性干法成熟风味的形成有关。TVB-N 含量越高, 蛋白质分解产生的碱性含氮物质越多, 可以用来衡量动物性食品的腐败程度, 国家标准限量为 ≤ 1.5 mg/kg。由于环境中的氧气以及干法成熟牛肉表面的低水分环境有利于酵母菌和霉菌的增殖^[22-23], 各组 TVB-N 值均呈显著上升趋势 ($P < 0.05$), 且成熟第 40 天, C 组有个别样品接近 1.5 mg/kg。

2.2.3 剪切力的变化 由图 5 可知, 各组剪切力值均随时间的延长显著下降 ($P < 0.05$), 肉质变嫩。嫩度的提升是由于宰后肌肉发生糖酵解^[24]、钙离子释放^[25]等生化反



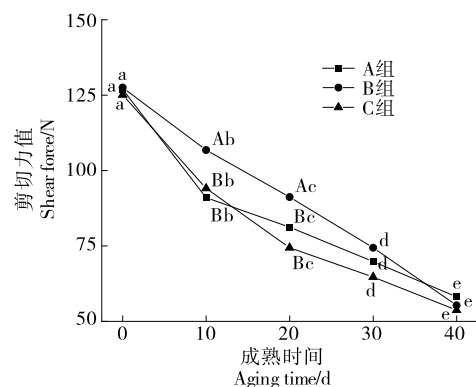
小写字母不同表示同种成熟方式不同时期间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示相同时期不同成熟方式间差异显著 ($P < 0.05$)

图3 干法成熟工艺下延边黄牛肉 TBARS 值变化
Figure 3 Changes in TBARS values of Yanbian cattle beef by dry-aging processes



小写字母不同表示同种成熟方式不同时期间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示相同时期不同成熟方式间差异显著 ($P < 0.05$)

图4 干法成熟工艺下延边黄牛肉 TVB-N 值变化
Figure 4 Changes in TVB-N values of Yanbian cattle beef by dry-aging processes



小写字母不同表示同种成熟方式不同时期间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示相同时期不同成熟方式间差异显著 ($P < 0.05$)

图5 干法成熟工艺下延边黄牛肉剪切力值变化
Figure 5 Changes in shear force values of Yanbian cattle beef by different dry-aging processes

应,导致关键的肌原纤维蛋白分解,破坏了肌肉细胞的完整性^[26],这种嫩化是由蛋白酶的作用或钙离子降解相邻肌原纤维间的Z线所导致^[27]。

2.3 干法成熟对牛肉风味的影响

由图6可知,各组的鲜味值随成熟的进行而升高,是因为内切酶(如组织蛋白酶和钙蛋白酶)以及微生物作用产生的氨基肽酶^[28]有助于干法成熟牛肉中游离氨基酸的释放,促进肉品形成可口、鲜美的特征。同时也要控制氨基酸所造成的苦味^[29],苦味值和涩味值的上升是由于牛肉中肌苷酸的降解增加了次黄嘌呤含量^[30]。有研究^[31]显示,干法成熟牛肉的酸度值较低,苦味值较高,在传统的干法成熟和成熟袋中干法成熟的样品之间只存在甜味

和苦味的差异。样品从第20天开始酸味减弱,与空白组的数值相差小于1,认为酸味不明显;对照组与成熟组各时期的咸味值和后味值均在无味点以内,可以认为正常人无法感知该值的变化。

由图7可知,3组样品无重叠部分,有较好的区分度。由表2可知,与对照组相比,3组样品的挥发性有机物中醛的相对含量升高,醛类化合物主要是由脂肪氧化产生,B组的相对含量显著高于其他两组,尤其是己醛,其在许多肉制品中发挥的作用较大,是由不饱和脂肪酸降解形成的^[32]。醇、酯、酮等物质的相对含量呈下降趋势,其中1-辛烯-3-醇在肉制品中较为常见,具有脂香和蜡香味^[33],但醇类化合物对风味的贡献值较小。

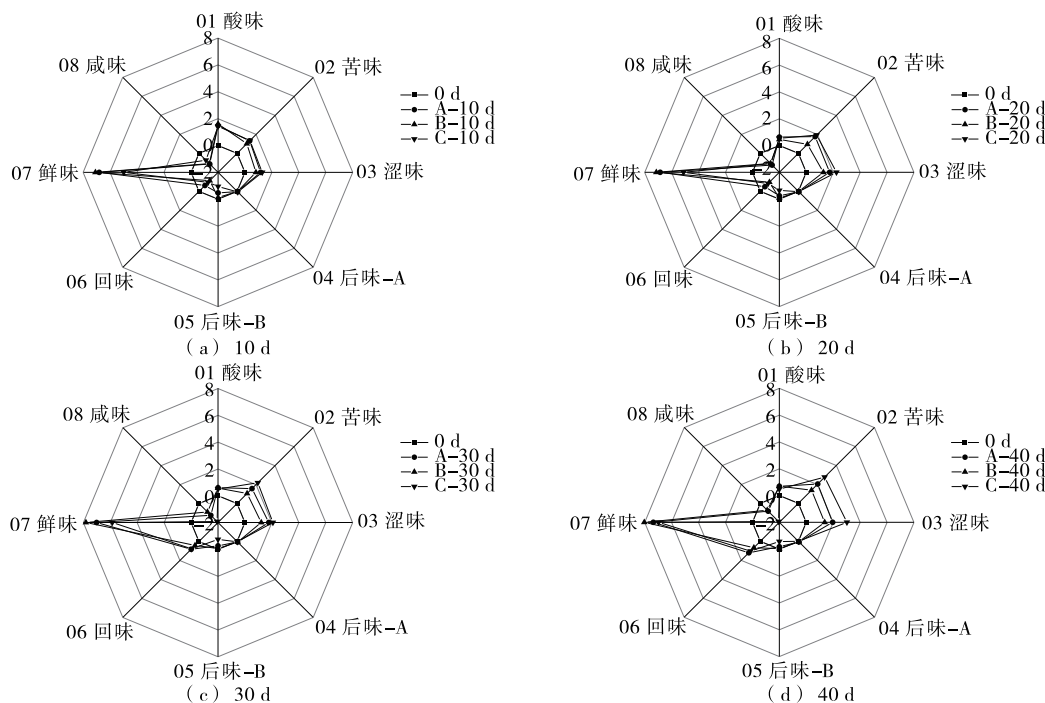


图6 干法成熟工艺下延边黄牛肉的电子舌雷达分析图

Figure 6 Electronic tongue radar analysis of Yanbian cattle beef by dry-aging processes

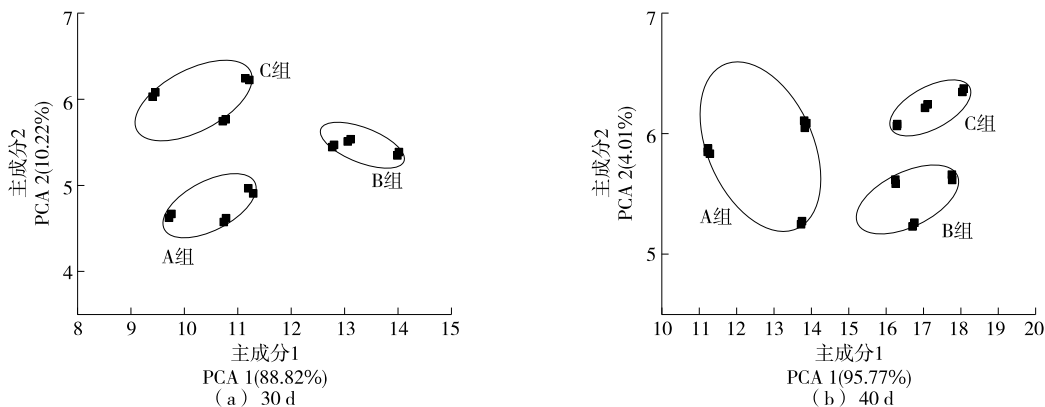


图7 干法成熟后期延边黄牛肉电子鼻主成分分析

Figure 7 Analyses of the principal components of the electronic nose of Yanbian cattle beef at the late stage of dry-aging process

表 2 干法成熟后期延边黄牛挥发性成分及相对含量

Table 2 Volatile components and relative fractions of Yanbian cattle beef at the late stage of dry-aging process

化合物	保留 指数	相对含量/%						
		0 d	30 d			40 d		
			A 组	B 组	C 组	A 组	B 组	C 组
己醛	806	43.295	51.767	62.009	53.603	53.131	67.402	51.043
庚醛	905	3.127	2.347	1.857	2.537	1.927	1.196	2.945
辛醛	1 005	1.837	1.628	1.426	1.770	1.749	1.334	2.379
(E)-2-辛醛	1013	0.759	0.595	0.427	0.392	0.396	0.405	0.361
壬烯醛	1 112	0.444	0.165	0.096	0.150	0.132	0.072	0.147
癸醛	1 204	0.241	0.181	0.207	0.221	0.195	0.199	0.205
2-癸烯醛	1 212	0.288	0.088	0.076	0.094	0.072	0.044	0.126
2,4-癸二烯醛	1 220	0.227	0.056	0.031	0.047	0.044	0.024	0.041
戊醇	761	4.092	5.138	3.268	5.430	5.201	1.411	6.820
正己醇	860	0.723	3.339	3.032	3.571	4.442	1.982	4.076
庚醇	960	1.742	0.994	0.55	1.021	0.866	0.465	1.418
1-辛烯-3-醇	969	9.841	11.805	7.356	8.892	9.288	7.211	7.085
2-乙基己醇	995	1.215	0.704	0.781	0.668	0.524	0.611	0.352
2,4-二甲基环己醇	1 030	—	0.259	0.106	0.167	0.089	0.041	0.131
己酸甲硫醇	1 104	5.302	4.803	3.623	4.762	4.286	2.938	4.148
2-辛烯-1-醇	1 067	1.350	1.370	0.992	0.120	0.936	0.820	0.826
正辛醇	1 059	1.936	0.952	1.035	1.232	1.260	1.320	1.331
己酸乙酯	984	—	0.043	0.033	0.040	0.038	0.020	0.042
2-乙基丁酸烯丙酯	1 009	1.832	0.522	0.235	0.458	0.427	0.087	0.337
2-庚酮	853	—	0.639	0.339	0.601	0.458	0.151	0.233
2,3-辛二酮	1 088	11.983	11.289	9.892	10.230	9.026	7.654	8.606
十二烷	1 214	0.280	0.130	0.082	0.122	0.043	0.024	0.055
3,7-二甲基-壬烷	986	0.043	0.029	0.032	0.022	0.036	0.022	0.040
2-丁酰呋喃	1 077	0.058	0.040	0.053	0.041	0.053	0.057	0.032

3 结论

试验表明,干法成熟能显著提高延边黄牛臀肉的嫩度及蛋白质和脂肪含量($P<0.05$),但随着时间的延长,样品中水分含量下降使成熟损失率升高;干法成熟过程中牛肉的脂质氧化对风味有良好的改善作用,各组鲜味及回味值呈上升趋势,对肉制品气味贡献度大的挥发性化合物的相对含量升高,其中 B 组的苦味氨基酸含量较低,醛、酮类化合物较多,在成熟第 40 天的风味最佳。

综上,延边黄牛臀肉干法成熟的最佳工艺参数为 B 组,即温度 2~4 ℃、风速 1.2 m/s、相对湿度(75±5)%成熟 20 d 后,调整为(85±5)%继续成熟 20 d。在此工艺条件下,干法成熟后的延边黄牛臀肉嫩度及风味物质含量

增加,有利于提高低脂肉消费嗜好度和附加值,确保延边黄牛肉高档产品的多样化生产。后续将探究干法成熟过程中挥发性风味物质和嫩度的变化规律及形成机制。

参考文献

[1] CHENG J H, OCKERMAN H W. Effect of phosphate with tumbling on lipid oxidation of precooked roast beef[J]. Meat Science, 2003, 65(4): 1 353-1 359.

[2] HELENA S, XIN L M, HUNTC K L. Consumer preference and effect of correct or misleading information after ageing beef Longissimus muscle using vacuum, dry ageing, or a dry ageing bag [J]. Meat Science, 2014, 96(2): 661-666.

[3] KHAN M I. Postmortemaging of beef with a special reference to the dry aging[J]. Korean J Food Sci Anim Resour, 2016, 36(2): 59-69.

- [4] LEE H J. Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods[J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2017, 30(12): 1 733-1 738.
- [5] 羿庆燕. 不同质量等级延边黄牛肉品质的比较研究[D]. 延吉: 延边大学, 2013: 5-7.
- YI Q Y. Comparative study on meat quality of Yanbian cattle of different quality grades[D]. Yanji: Yanbian University, 2013: 5-7.
- [6] 曹兵海, 李俊雅, 王之盛, 等. 2019年度肉牛牦牛产业技术发展报告[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(3): 173-178.
- CAO B H, LI J Y, WANG Z S, et al. 2019 Beef cattle yak industry technology development report [J]. *China Animal Husbandry Journal*, 2020, 56(3): 173-178.
- [7] 严昌国, 王勇, 朴圣哲, 等. 延边黄牛牛肉品质特性的研究[J]. *黄牛杂志*, 2004(3): 5-7.
- YAN C G, WANG Y, PIAO S Z, et al. Study on beef quality characteristics of Yanbian cattle[J]. *Journal of Yellow Cattle*, 2004 (3): 5-7.
- [8] 金颖, 董玉影, 李官浩, 等. 贮藏期间不同部位延边黄牛肉品质的相关性分析[J]. *肉类研究*, 2015, 29(1): 10-13.
- JIN Y, DONG Y Y, LI G H, et al. Correlation analysis of meat quality in different parts of Yanbian cattle during storage[J]. *Meat Research*, 2015, 29(1): 10-13.
- [9] HOPKINS D L, TOOHEY C R, WARNER D M, et al. Measuring the shear force of lamb meat cooked from frozen samples: Comparison of two laboratories [J]. *Animal Production Science*, 2010, 50(5/6): 382-385.
- [10] FOLCH J, LEES M, SLOANE STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509.
- [11] 许美娜. 洋葱皮及洋葱皮提取物对烤牛肉饼风味影响研究 [D]. 延吉: 延边大学, 2018: 18.
- XU M N. Study on the effect of onion skin and onion skin extract on the flavor of roast beef patty [D]. Yanji: Yanbian University, 2018: 18.
- [12] WATANABE A. Effect of aging on volatile compounds in cooked beef[J]. *Meat Sci*, 2015, 107: 12-19.
- [13] 李春保. 牛肉肌内结缔组织变化对其嫩度影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006: 110-112.
- LI C B. Effects of intramuscular connective tissue changes on tenderness of beef[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006: 110-112.
- [14] NAVEENAB M, MUTHUKUMAR M, KULKARMIV V, et al. Effect of aging on the physicochemical, textural, microbial and proteome changes in emu (*Dromaius novaehollandiae*) meat under different packaging conditions[J]. *Journal of Food Processing Preservation*, 2015, 39(6): 2 497-2 506.
- [15] 王旭, 张德权, 赵莹鑫, 等. 干法成熟过程羊腿肉持水能力与水分迁移规律[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(1): 179-189.
- WANG X, ZHANG D Q, ZHAO Y X, et al. Water holding capacity and water migration of mutton leg during dry ripening process[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(1): 179-189.
- [16] ZHANG R Y, YOON J Y, REALINI C E, et al. In-bag dry- vs. wet-aged lamb: Quality, consumer acceptability, oxidative stability and in vitro digestibility[J]. *Foods*, 2020, 10(1): 41.
- [17] LI X, BABOL J, WALLBY A, et al. Meat quality, microbiological status and consumer preference of beef gluteus medius aged in a dry ageing bag or vacuum[J]. *Meat Science*, 2013, 95(2): 229-234.
- [18] DIKEMAN M E, OBUZ E, GOK V, et al. Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef *Longissimus lumborum* steaks[J]. *Meat Science*, 2013, 94(2): 228-233.
- [19] DEGEER S L. Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times [J]. *Meat Science*, 2009, 83(4): 68-74.
- [20] SANTE L, HOUTELLIER V. Effect of animal diet and meat storage on myofibrillar protein oxidation and in vitro digestibility [J]. *Meat Science*, 2008, 79(4): 777-783.
- [21] CHO S, KANG S M, KIMYS, et al. Comparison of drying yield, meat quality, oxidation stability and sensory properties of bone-in shell loin cut by different dry-aging conditions[J]. *Korean J Food Sci Anim Resour*, 2018, 38(6): 1 131-1 143.
- [22] DA SILVA BERNARDO A P, FERREIRA F M S, DA SILVA A C M, et al. Dry-aged and wet-aged beef: Effects of aging time and temperature on microbiological profile, physicochemical characteristics, volatile compound profile and weight loss of meat from Nellore cattle (*Bos indicus*) [J]. *Animal Production Science*, 2021, 61: 1 497-1 509.
- [23] OH J, LEE H J, YOON J W, et al. Electrical resistance and mold distribution on beef surface as indicators of dry aging[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2019, 42(5): 13122.
- [24] OUALI A, GAGAOUA M, BOUDIDA Y, et al. Biomarkers of meat tenderness: Present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved [J]. *Meat Science*, 2013, 95(4): 854-870.
- [25] GUO B, ZHANG W G, TUMER K, et al. Disorder of endoplasmic reticulum calcium channel components is associated with the increased apoptotic potential in pale, soft, exudative pork[J]. *Meat Science*, 2016, 115: 34-40.
- [26] 扶庆权, 张万刚, 王海鸥, 等. 包装方式对宰后牛肉成熟过程中食用品质的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(6): 127-132.
- FU Q Q, ZHANG W G, WANG H O, et al. Effects of packaging methods on the quality of food products in the ripening process of beef after slaughter[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(6): 127-132.

(下转第 172 页)

- 农林科技大学, 2015: 14.
- JI Z Z. Study of the main composition of *Zanthoxylum* leaf and its dry characteristics [D]. Xianyang: Northwest Agriculture & Forestry University, 2015: 14.
- [16] HUO Z H, XU D P, BIAO P, et al. Predicting distribution of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. in China [J]. BMC Ecology, 2020, 20(1): 366-375.
- [17] 高夏洁, 钟葵, 赵锴, 等. 我国不同产区花椒油的椒麻感官特性及物质组成[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 281-287.
- GAO X J, ZHONG K, ZHAO L, et al. Sensory numb taste characteristics and numb taste-active components of pepper oil produced in different areas of China[J]. Food Science, 2022, 43(8): 281-287.
- [18] 李航, 孙婧璐, 秦泽宇, 等. 花椒调味油加工过程品质变化研究[J/OL]. 中国油脂. (2022-05-30) [2022-10-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220530.0829.004.html>.
- LI H, SUN J X, QIN Z Y, et al. Study on quality changed of *Zanthoxylum* oil during processing[J/OL]. China Oils and Fats. (2022-05-30) [2022-10-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220530.0829.004.html>.
- [19] 李锦. 花椒及花椒籽风味油的制取及品质研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 27.
- LI J. Study on preparation and quality of *Zanthoxylum bungeanum* and *Zanthoxylum bungeanum* seed flavor oil [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 27.
- [20] 张凤芳. 花椒麻度分级与鲜花椒油生产工艺优化[D]. 成都: 西华大学, 2015: 42.
- ZHANG F F. Classification of *Zanthoxylum* and optimization of production technology of fresh *Zanthoxylum* oil [D]. Chengdu: Xihua University, 2015: 42.
- [21] 曲宗乔. 不同油脂的煎炸性能及煎炸专用油配制的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019: 33.
- QU Z J. Study on the frying performance of different oils and the formulation of special frying oil[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019: 33.
- [22] 张保霞. 基于主成分分析和改进支持向量机的猪肉品质识别[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 146-151.
- ZHANG B X. Pork quality identification based on principal component analysis and improved support vector machine[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 146-151.
- [23] 孟祥忍, 高子武, 王恒鹏, 等. 主成分分析法构建循环卤煮牛肉挥发性风味强度评价模型[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 29-36.
- MENG X R, GAO Z W, WANG H P, et al. Construction of evaluation model of volatile flavor intensity of cyclic stewed beef based on principacomponent analysis[J]. Food & Machinery, 2022, 38(10): 29-36.
- [24] 孙海燕, 郝丹青, 李新生, 等. 不同品种及产地鲜天麻挥发性物质差异性分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(4): 58-64.
- SUN H Y, HAO D Q, LI X S, et al. Differential analysis of volatile substances in fresh *Gastrodia elata* from different varieties and origin[J]. Food & Machinery, 2022, 38(4): 58-64.
- [25] JIA X, DENG Q C, YANG Y N, et al. Unraveling of the aroma-active compounds in virgin *Camellia* oil (*Camellia oleifera* abel) using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, aroma recombination, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(32): 9 043-9 055.
- [26] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 对 5 种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 102-111.
- YUAN T J, ZHAO X Y, et al. Detection of volatile flavor compounds in five edible vegetable oils by electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 102-111.

(上接第 165 页)

- [27] FUMIKO I, YUKI M, RISAKO T, et al. Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle[J]. Meat Science, 2016, 112: 46-51.
- [28] FLORES M, TOLDRA F. Microbial enzymatic activities for improved fermented meats [J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(2/3): 81-90.
- [29] TERJUNG N F, WITTE, HEINZ V. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging[J]. Meat Sci, 2021, 172: 108355.
- [30] LEE H J, CHOE J H, KIM M S, et al. Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry- and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses[J]. Meat Science, 2019, 151: 82-88.
- [31] LI X, BABOL J, BREDIE W L P, et al. A comparative study of beef quality after ageing *longissimus* muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing[J]. Meat Sci, 2014, 97(4): 433-442.
- [32] 王恒鹏, 吴鹏, 陈胜妹, 等. 排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 16-21.
- WANG H P, WU P, CHEN S S, et al. Effects of time and degree of cooking on volatile flavor compounds of beef [J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 16-21.
- [33] FLORES M, GRIMM CC, TOLDRA F, et al. Correlations of sensory and volatile compounds of spanish “Serrano” dry-cured ham as a function of two processing times [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(6): 2 178-2 186.