

不同温度湿法成熟期间藏羊肉的品质比较分析

高珂, 院珍珍*, 丁红艳, 闫光瑾, 韩丽娟, 孙胜男, 侯生珍
(青海大学农牧学院, 青海西宁 810016)

摘要: 为确定藏羊肉的最佳湿法成熟条件, 该研究以青海藏羊肉为试材, 通过测定 pH 值、剪切力、色差、菌落总数、蒸煮损失、离心损失、脂肪氧化及蛋白氧化指标, 探讨置于 4 ℃ 和 10 ℃ 环境下进行湿法成熟的藏羊肉, 在成熟的第 0、1、3、5、7 天后品质变化情况。结果表明: 藏羊肉 10 ℃ 成熟 3 d 后, pH 值开始回升, 与新鲜肉 (0 d) 相比, 剪切力显著下降到 49.69 N, 蒸煮损失、离心损失下降到 30.85%、9.37% ($P<0.05$), 藏羊肉完全成熟; 4 ℃ 成熟 5 d 后 pH 值开始回升, 与新鲜肉 (0 d) 相比, 剪切力显著下降到 51.52 N, 蒸煮损失和离心损失分别下降到 29.37% 和 10.12% ($P<0.05$), 藏羊肉完全成熟。4 ℃ 和 10 ℃ 条件下藏羊肉完全成熟时, 藏羊肉的颜色、脂肪氧化、蛋白氧化差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 10 ℃ 条件藏羊肉完全成熟需要的时间更短, 嫩化速度更快, 持水力更好。该研究可为提高青海藏羊肉的品质提供理论依据。

关键词: 藏羊; 肉品质; 湿法成熟

文章编号: 1673-9078(2026)2-204-210

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.2.1668

Comparative Analysis of the Quality of Tibetan Sheep Meat Subjected to Wet Aging at Different Temperatures

GAO Ke, YUAN Zhenzhen*, DING Hongyan, YAN Guangjin, HAN Lijuan, SUN Shengnan, HOU Shengzhen
(College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The optimal wet-aging conditions for Tibetan sheep meat are currently unknown; thus, the pH, shear force, chromatic aberration, total number of colonies, cooking loss, centrifugal loss, fat oxidation, and protein oxidation indexes were investigated in meat subjected to wet-aging over 0, 1, 3, 5 and 7 days at 4 and 10 ℃. The results showed that the Tibetan sheep meat was fully aged after 3 days at 10 ℃, and an increase in the pH value was observed as compared to fresh meat (0 days), along with a significant decrease in the shear force (to 49.69 N), a cooking loss of 30.85%, and a centrifugal loss of 9.37% ($P<0.05$). The meat was also fully aged after 5 days at 4 ℃, with an increase in the pH value as compared to fresh meat (0 d) accompanied by a significant decrease in the shear force (to 51.52 N), and decreases in the cooking and centrifugal losses of 29.37% and 10.12%, respectively, with the difference significant at $P<0.05$. Although the meat was fully aged when kept at 4 and 10 ℃, the color, fat oxidation and protein oxidation of the Tibetan sheep meat were not significantly different. The results suggest that the time required for the complete aging of Tibetan sheep is shorter, the tenderization speed is faster, and the water holding capacity is superior at 10 ℃. The study is expected to provide a theoretical basis for improving the quality of Tibetan sheep meat.

Key words: Tibetan sheep meat; meat quality; wet aging

引文格式:

高珂, 院珍珍, 丁红艳, 等. 不同温度湿法成熟期间藏羊肉的品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2026, 42(2): 204-210.

GAO Ke, YUAN Zhenzhen, DING Hongyan, et al. Comparative analysis of the quality of Tibetan sheep meat subjected to wet aging at different temperatures [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(2): 204-210.

收稿日期: 2024-11-08; 修回日期: 2025-01-07; 接受日期: 2025-01-08

基金项目: 青海省科技厅帅才科学家负责制项目 (2022-NK-169)

作者简介: 高珂 (1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 肉品研究, E-mail: 2641103064@qq.com

通讯作者: 院珍珍 (1988-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 藏羊肉保鲜及产品加工, E-mail: yuanzhenzhen-12@163.com

藏羊,大部分分布在青藏高原,青海省畜养藏羊超过 5 000 万只,是青海省的特色畜种^[1]。藏羊肉风味独特、味道鲜美、营养价值高,而且具有膻味低,蛋白含量高,脂肪含量低等特点,是一种优质的绿色食品,深受消费者青睐^[3]。随着居民生活水平的提高,人们对肉的品质有了更高的要求。

湿法成熟一般是指将宰后畜禽的四分体或分割后的不同部位肌肉进行真空包装,在一定温度下放置一段时间,从而改善肉的食用品质^[4]。在肉的成熟过程中,由于 pH 值的变化和内源酶的作用,肌肉中的一些蛋白质分解,结构发生变化,从而改善肉了的嫩度、持水力和风味^[6]。Kim 等^[7]在研究成熟方式对不同牛肉切块的品质影响时发现,湿法成熟和干法成熟都可以提高不同部位牛肉切块的持水能力和嫩度。Kilgannon 等^[6]研究发现,在 5 ℃条件下牛肉成熟所需时间比在 1 ℃条件下短 6 d。Yu 等^[8]研究发现,牛肉湿法成熟过程中,由于内源酶的作用导致蛋白质结构变化,从而可以改善其嫩度。杨致昊等^[10]发现苏尼特羊宰后成熟过程中磷酸腺苷活化蛋白激酶(Adenosine Monophosphate-activated Protein Kinase, AMPK)含量和活性的变化会影响羊肉的糖酵解,从而改善羊肉的品质。在对滩羊肉成熟处理的研究中,杨文婷等^[11]发现了快速冷却成熟处理会使羊肉的冷却失重更小,系水力更高,快速冷却成熟处理的效果优于常规冷却成熟处理和延迟冷却成熟处理。然而,Ramanathan 等^[12]的研究却发现过度的成熟会降低肉色的稳定性,并且对肉嫩度的提升也十分有限。Yu 等^[13]的研究也发现随着猪肉成熟时间的延长,肉色会变得不稳定,脂肪和蛋白的氧化程度也会增加。因此,为了提高肉品的食用品质,同时避免肉因过度成熟而出现的颜色不稳定、脂肪和蛋白过度氧化等问题,确定肉品的最佳成熟时间和温度至关重要。

目前,关于青海藏羊宰后成熟处理对其品质的影响的研究还较少。本文选取 4 ℃和 10 ℃环境下进行湿法成熟,在成熟的第 0、1、3、5、7 天后对其进行 pH 值、剪切力、色差、菌落总数、蒸煮损失、离心损失、硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric Reactive Substances, TBARS 值)、过氧化值、总羰基含量和总巯基含量的检测,从而确定不同温度下的藏羊肉的最佳成熟时间,旨在为青海藏羊肉的品质提升提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

藏羊肉:六月龄草膘羔羊,青海省海南藏族自治

州共和县;七层共挤纹路真空袋,河北东光县昊达塑业有限公司;总巯基含量检测试剂盒,索莱宝生物科技有限公司;蛋白质羰基试剂盒,南京建成生物工程研究所;三(羟甲基)氨基甲烷盐酸盐(Tris HCl),阿拉丁试剂(上海)有限公司;LB 肉汤,北京奥博星生物技术有限责任公司;琼脂,天津市科密欧化学试剂有限公司;2-硫代巴比妥酸,上海展云化工有限公司;氯化钾、乙二胺四乙酸二钠(EDTA)天津市河东区红岩试剂厂。

1.2 仪器与设备

UN-2600 紫外可见分光光度计,岛津企业管理有限公司;BD/BC-201KEMS 美的转换型冷藏冷冻箱,合肥美的电冰箱有限公司;HH-6 电热恒温水浴锅,上海比朗仪器有限公司;MAQC-12 肉品嫩度仪,南京铭奥仪器设备有限公司;SW-CJ-2FD 洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;ADCI-60-C 测色色差计,北京辰泰克仪器技术有限公司;H/T16MN 台式高速离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;Xw-80A 涡旋振荡器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;MULTISKAN Sky 全波长酶标仪,北京平利洋经贸有限公司;MULTISKANSky 全波长酶标仪,北京平利洋经贸有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

将新鲜屠宰后的藏羊取腿肉分割为 3 cm×3 cm×3 cm 的块状,将分割后的肉样随机均分为 27 份,然后用七层共挤真空袋将每份进行真空包装。将真空包装后的藏羊肉随机分为 2 组,每组 12 份样品,分别放入 4 ℃和 10 ℃的车载冰箱运回实验室后,再放入实验室的 4 ℃和 10 ℃冰箱进行宰后成熟,记为 4 ℃组和 10 ℃组。在藏羊肉成熟的第 1、3、5、7 天分别从两组中取 3 个重复进行相关指标测定,0 d 样品在在藏羊宰后 4 h 内运回实验室进行相关指标测定。

1.3.2 食用品质指标测定

1.3.2.1 pH 值的测定

参照罗勤贵等^[14]的方法测定,剔除掉藏羊肉的脂肪和筋膜,将 pH 计直接插入肉中测定 pH 值。

1.3.2.2 剪切力的测定

参照 Balan 等^[15]的方法并稍作修改,将肉样装入蒸煮袋中,然后放入 80 ℃水浴锅中加热 30 min 后取出,待样品冷却至室温,顺着肌原纤维方向切取 3 cm×2 cm×2 cm 的肉块进行测定,剪切方向与肌纤维方向垂直。

1.3.2.3 色差的测定

参照 Kim 等^[16]的方法测定,先将色差仪进行校准,然后用色差仪在肉样上随机选择三个位置测量色差值。

1.3.2.4 菌落总数的测定

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》中的方法进行菌落总数的测定。

1.3.3 保水性的测定

1.3.3.1 蒸煮损失的测定

参照 Kim 等^[16]的方法并稍作修改,称取蒸煮前的样品质量,将样品置于蒸煮袋中进行真空封装,然后在放入 70℃ 水浴锅中水浴 30 min。水浴结束后将样品在室温条件下进行冷却,待样品冷却至室温后,打开蒸煮袋取出肉样,用滤纸擦去肉样表面的水分,进行称重,蒸煮损失率计算公式如下:

$$W_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

W_1 ——蒸煮损失率, %;

M_1 ——蒸煮前样品的质量;

M_2 ——蒸煮后样品的质量。

1.3.3.2 离心损失的测定

参照 Yu 等^[17]的方法并稍作修改,称取离心前的样品质量,然后将样品用滤纸包裹后置于 10 mL 的离心管中,然后放入高速离心机中进行离心,离心条件为: 1 400×g, 10 min, 离心结束后再次称量样品重量,离心损失率计算公式如下:

$$W_2 = \frac{M_3 - M_4}{M_3} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

W_2 ——蒸煮损失率, %;

M_3 ——离心前样品的质量;

M_4 ——离心后样品的质量。

1.3.4 脂质氧化指标的测定

1.3.4.1 TBARS 值的测定

参照 GB/T 5009.181-2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法来测定 TBARS 值。

1.3.4.2 过氧化值的测定

参照 GB 5009.227-2023《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的指示剂滴定法来测定过氧化值。

1.3.5 肌原纤维蛋白氧化指标的测定

1.3.5.1 肌原纤维蛋白的提取

参照 Pazos 等^[18]的方法稍作修改进行藏羊肉肌原纤维蛋白提取。

1.3.5.2 蛋白羰基含量的测定

以肌原纤维蛋白溶液为待测样本,按照羰基测定试剂盒的方法进行测定,采用酶标仪测定 370 nm 波长处的吸光度。

1.3.5.3 蛋白巯基含量的测定

以肌原纤维蛋白溶液为待测样本,按照巯基测定试剂盒的方法进行测定,采用酶标仪测定 412 nm 波长处的吸光度。

1.4 统计分析

每组试验重复测定 3 次,取平均值,采用 Excel 2016 整理数据,使用 SPSS 26 进行单因素方差分析,并利用 Duncan 氏法对不同组间进行多重比较,利用独立样本 t 检验对不同组内进行差异分析,采用 Origin 2024 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同温度湿法成熟期间藏羊肉食用品质的比较

2.1.1 不同温度湿法成熟期间藏羊肉 pH 值的比较

pH 值是评价肉类品质的重要指标之一,直接影响肉的嫩度、色泽和保水性^[19]。如图 1 所示,随着湿法成熟时间的延长, pH 值呈现先下降后又上升的动态变化趋势。在 4℃ 和 10℃ 成熟条件下 pH 值分别于第 5 天和第 3 天达到最低值 5.89 和 5.85,显著低于新鲜藏羊肉(0 d)的 pH 值 6.47 ($P < 0.05$)。Ramanathan 等^[12]提出, pH 值的下降是由于在肉成熟过程的前期,肌肉中缺氧导致发生厌氧酵解,从而产生乳酸,此时乳酸不能被迅速分解导致。pH 值在第 7 天和第 5 天又分别开始上升至 6.04 和 6.18,这可能是由于糖酵解相关的底物及酶的消耗,乳酸生成减少,再加上蛋白质降解产生胺类和氨类碱性化合物所致^[6]。10℃ 条件下,藏羊肉的变化速度更快,说明较高温度有利于藏羊肉的成熟,可以缩短藏羊肉成熟所需要的时间。

2.1.2 不同温度湿法成熟期间藏羊肉剪切力的比较

剪切力用来衡量肉品的嫩度,肉的剪切力值与嫩度成反比,即肉样剪切力值越小,表示肉样嫩度越高,嫩度是评价肉是否完全成熟的一项重要指标^[20]。如图 2 所示,随着湿法成熟时间的延长,剪切力呈先上升后下降的动态变化趋势。剪切力出现这种变化的原因可能是在藏羊肉成熟过程的前期,由于 pH 值的下降导致其进入僵直阶段,使剪切力上升;在 4℃ 和 10℃ 条件下分别成熟 5 d 和 3 d 后,由于内源酶的作用与 pH 值上升,肌肉进入解僵阶段,蛋白质结构遭

到破坏, 剪切力下降, 嫩度上升^[21]。肌肉的在烹调时剪切力值可接受的最佳范围为 43.0~52.0 N^[22]。10 ℃成熟第 5 天, 藏羊肉的剪切力为 49.69 N; 4 ℃成熟第 7 天, 藏羊肉的剪切力为 51.52 N。所以, 10 ℃可以缩短藏羊肉的成熟时间, 仅需 5 d 就可以使藏羊肉完全成熟, 达到最佳烹调范围, 4 ℃则需 7 d 才能使藏羊肉完全成熟, 达到最佳烹调范围。

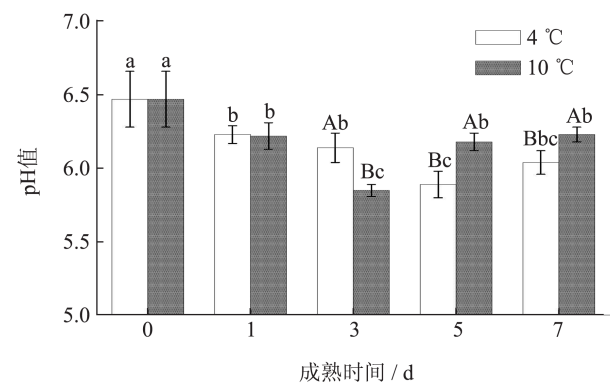


图 1 湿法成熟对藏羊肉 pH 值的影响

Fig.1 Effect of wet-aging on pH values of Tibetan sheep

注: 不同的小写字母表示同一温度在不同成熟时间具有显著差异 ($P<0.05$); 不同的大写字母表示不同温度在同一成熟时间具有显著差异 ($P<0.05$)。下同。

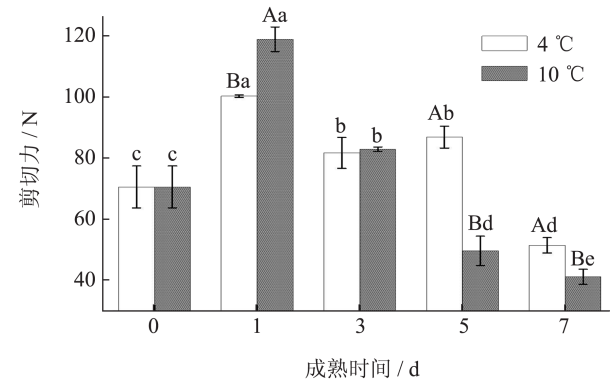


图 2 湿法成熟对藏羊肉剪切力的影响

Fig.2 Effect of wet-aging on shear force of Tibetan sheep

2.1.3 不同温度湿法成熟期间藏羊肉色差的比较

色泽是影响消费者判断肉品质的重要指标^[12]。如表 1 所示, 随着湿法成熟时间的延长, L^* 值呈先上升后下降的变化趋势, a^* 值呈先下降后上升的变化趋势, b^* 值呈上升的变化趋势。肉表面的水分、高铁肌红蛋白还原活性和脂质氧化是影响肉色的重要原因。Kim 等^[7]认为, L^* 值变化主要是由于肉内部渗出到表面的水分对光的吸收、传递和反射导致的, 随着成熟时间延长, 藏羊肉内部渗出的水分堆积于肌肉表面, 使得光的反射增强, 因此藏羊肉在成熟过程中 L^* 值上升。 a^* 值下降的原因可能是由于随着藏羊肉成熟过程的进行, 部分肌红蛋白被还原成脱氧肌红蛋白, 颜色变暗; 但随着成熟时间的延长, 由于酶的作用, 部分肌红蛋白被氧化成氧合肌红蛋白, a^* 又再次上升^[23]。 b^* 值上升的主要原因是由于随着成熟时间延长, 藏羊肉中的脂肪被氧化导致的^[22]。表中误差出现的原因, 可能是由于测量位点的不同导致, 在进行色差测定时, 会再次对肉样进行分割, 因此一些测量位点位于肉样原本的表面, 一些测量位点位于切割后的表面导致。

2.1.4 不同温度湿法成熟期间藏羊肉菌落总数的比较

微生物的生长繁殖是导致腐败的关键因素之一, 因此菌落总数是评价肉类腐败的关键指标。如表 2 所示, 随着湿法成熟时间的延长, 菌落总数均呈上升的变化趋势。4 ℃条件下, 在藏羊肉成熟的 0~3 d 内, 菌落总数增长速度快, 在成熟的 3~7 d 内, 菌落总数上升趋势趋于平缓, 在第 7 天达到最大值 5.06 lg CFU/g。10 ℃条件下, 在成熟过程中, 菌落总数一直显著上升 ($P<0.05$), 在第 7 天达到最大值 6.54 lg CFU/g。根据国家农业部推荐标准 NY/T 633-2002《冷却羊肉》规定, 冷却羊肉中的菌落总数不得超过 5.70 lg CFU/g, 因此 4 ℃条件下, 藏羊肉在成熟的 0~7 d 内均符合标准, 而 10 ℃条件下, 藏羊肉在成熟的 0~5 d 内, 菌落总数均未超过标准规定范围。

表 1 湿法成熟对藏羊肉色差的影响

Table 1 Effect of wet-aging on chromatic aberration of Tibetan sheep

色差		0 d	1 d	3 d	5 d	7 d
L^*	4 ℃	41.58 ± 0.48 ^c	45.73 ± 0.88 ^{Bd}	52.42 ± 0.77 ^c	61.76 ± 0.19 ^a	59.48 ± 0.54 ^{Ab}
	10 ℃	41.58 ± 0.48 ^c	49.57 ± 0.70 ^{Ad}	52.05 ± 0.80 ^c	60.96 ± 0.79 ^a	53.86 ± 0.44 ^{Bb}
a^*	4 ℃	27.08 ± 2.56 ^a	20.91 ± 0.49 ^b	16.98 ± 0.69 ^c	25.49 ± 1.02 ^a	27.12 ± 0.20 ^{Ba}
	10 ℃	27.08 ± 2.56 ^b	20.80 ± 0.84 ^d	15.91 ± 0.56 ^c	24.19 ± 0.84 ^c	29.62 ± 0.46 ^{Aa}
b^*	4 ℃	14.67 ± 1.36 ^{bc}	15.72 ± 0.34 ^{bc}	15.97 ± 0.50 ^{bc}	17.78 ± 1.86 ^b	20.11 ± 0.45 ^a
	10 ℃	14.67 ± 1.36 ^b	15.94 ± 0.76 ^b	16.78 ± 0.50 ^b	19.25 ± 1.03 ^a	22.30 ± 1.52 ^a

注: 同行右肩不同的小写字母表示同一温度在不同成熟时间具有显著差异 ($P<0.05$); 同列右肩不同的大写字母表示不同温度在同一成熟时间具有显著差异 ($P<0.05$)。下同。

表 2 湿法成熟对藏羊肉菌落总数的影响

Table 2 Effect of wet-aging on the total number of colonies in Tibetan sheep					
菌落总数/(lg CFU/g)	0 d	1 d	3 d	5 d	7 d
4 ℃	2.91 ± 0.12 ^c	3.06 ± 0.10 ^b	4.91 ± 0.01 ^{Ba}	4.97 ± 0.10 ^{Ba}	5.06 ± 0.06 ^{Ba}
10 ℃	2.91 ± 0.12 ^c	3.08 ± 0.04 ^d	5.35 ± 0.08 ^{Ac}	5.63 ± 0.05 ^{Ab}	6.40 ± 0.06 ^{Aa}

2.2 不同温度湿法成熟期间藏羊肉持水力的比较

2.2.1 不同温度湿法成熟期间藏羊肉蒸煮损失的比较

蒸煮损失是衡量羊肉持水能力的重要指标，蒸煮损失越高，则羊肉的持水力越低^[15]。如图 3 所示，随着湿法成熟时间的延长，蒸煮损失呈先上升后下降的动态变化趋势。4 ℃条件下，藏羊肉的蒸煮损失在成熟的第 5 天为 34.71%，与新鲜肉（0 d）相比显著升高（ $P<0.05$ ），在成熟的第 7 天为 29.37%（ $P<0.05$ ），与第 5 天相比显著下降（ $P<0.05$ ）；而 10 ℃条件下，藏羊肉的蒸煮损失在成熟的第 3 天为 34.03%，与新鲜肉（0 d）相比显著升高（ $P<0.05$ ），在成熟的第 5 天为 30.85%，与第 3 天相比显著下降（ $P<0.05$ ）。误差出现的原因可能是由于部分小的肉样蒸煮的过程中会随汁液流失导致。毛秋彤等^[24]提出，蒸煮损失的变化与肌肉中蛋白质的结构变化有关。在藏羊肉成熟过程的初期，羊肉的持水力下降可能是由于钙依赖性酶对肌肉中的结构蛋白造成破坏，从而导致肌肉对水分的结合能力下降，结合水转变为自由水在蒸煮过程中流失^[25]。在解僵阶段，蛋白质被破坏，肌肉结构崩塌，水分子流失通道遭到破坏，水分子难以流失^[26]。因此藏羊肉的成熟对肉的持水力提高具有积极的影响。

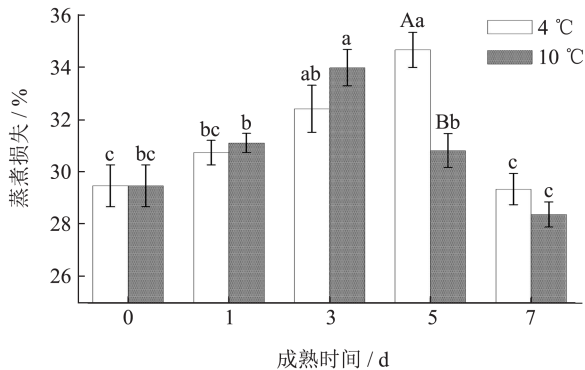


图 3 湿法成熟对藏羊肉蒸煮损失的影响

Fig.3 Effect of wet-aging on cooking losses of Tibetan sheep

2.2.2 不同温度湿法成熟期间藏羊肉离心损失的比较

离心损失也是衡量羊肉持水能力的重要指标^[17]。如图 4 所示，随着湿法成熟时间的延长，离心损失呈先上升后下降的动态变化趋势。4 ℃条件下，藏

羊肉的离心损失在成熟第 7 天由 12.61% 显著下降到 10.12%（ $P<0.05$ ）；而 10 ℃条件下，藏羊肉的离心损失在第 5 天由 12.12% 显著下降到 9.37%（ $P<0.05$ ）。离心损失的变化趋势与蒸煮损失的变化趋势一致，在藏羊肉成熟的前期，由于内源酶的作用使得肌肉中蛋白质被破坏，持水能力下降；解僵阶段，由于藏羊肉中的蛋白质进一步被分解，阻断了水分流失的通道，因此持水力上升^[24-26]。从藏羊肉离心损失的变化可以得出，成熟有利于改善肉的持水力。

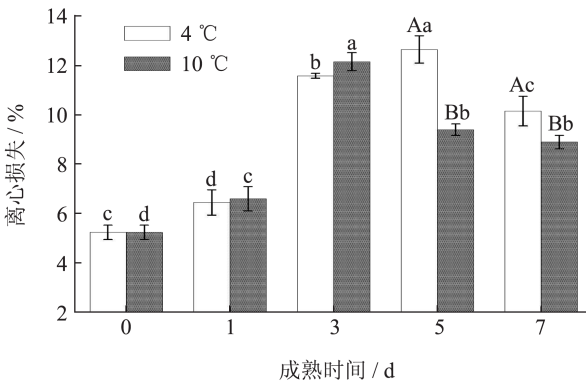


图 4 湿法成熟对藏羊肉离心损失的影响

Fig.4 Effect of wet-aging on centrifugal losses of Tibetan sheep

2.3 不同温度湿法成熟期间藏羊肉脂肪及蛋白氧化的比较

2.3.1 不同温度湿法成熟期间藏羊肉TBARS值的比较

TBARS 值可以用来衡量食品中丙二醛的含量，是评价脂肪氧化的一个重要指标^[17]。如图 5 所示，在藏羊肉成熟过程中，随着湿法成熟时间的延长，TBARS 值呈上升的变化趋势。藏羊肉在成熟过程中，丙二醛含量的上升可能与细胞释放的氧化酶和促氧化剂有关^[27]。在成熟的第 1、3、7 天，4 ℃条件下 TBARS 值含量显著低于 10 ℃条件下 TBARS 值含量（ $P<0.05$ ），4 ℃条件下 TBARS 值含量上升趋势也比 10 ℃条件下 TBARS 值含量上升趋势更缓慢，这可能与丁红艳等^[28]提出的低温能抑制脂肪氧化相关的酶的活性有关。一般认为，当 TBARS 值在 1.0 mg·kg⁻¹ 以下时，为良质肉；当 TBARS 超过 1 mg·kg⁻¹ 时，则为变质肉^[29]。4 ℃和 10 ℃条件下藏羊肉成熟 7 d 的 TBARS 值最高分别为 0.53 mg·kg⁻¹ 和 0.66 mg·kg⁻¹，说明在不同温度下成熟 0~7 d 的藏羊肉品质均在良质肉之上。

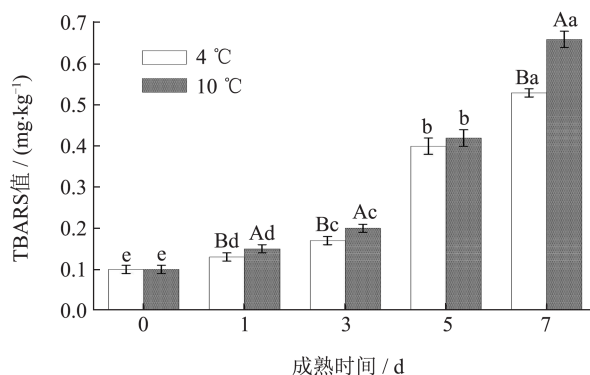


图5 湿法成熟对藏羊肉 TBARS 值的影响

Fig.5 Effect of wet-aging on the thiobarbituric acid values of Tibetan sheep

2.3.2 不同温度湿法成熟期间藏羊肉过氧化值的比较

过氧化值同样是一种反映肉类氧化程度的指标,一般来说,过氧化值越高,说明肉中油脂被氧化产生的过氧化物越多,脂肪氧化程度越高^[28]。如图6所示,在藏羊肉成熟过程中,随着湿法成熟时间的延长过氧化值呈上升的变化趋势。在成熟的0~5 d内,4 °C和10 °C条件下的藏羊肉过氧化值无显著差异($P>0.05$),在成熟的第7天,10 °C条件下的藏羊肉过氧化值显著高于4 °C条件下的藏羊肉过氧化值($P<0.05$)。藏羊肉在4 °C和10 °C条件下成熟7 d,过氧化值最高为0.29 mmol·kg⁻¹和0.39 mmol·kg⁻¹,远低于国标限量值2.375 mmol·kg⁻¹^[30]。

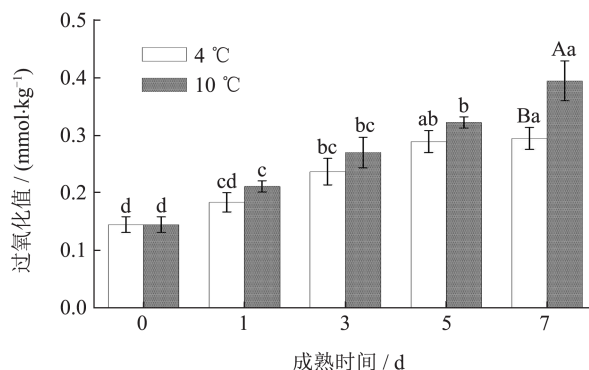


图6 湿法成熟对藏羊肉过氧化值的影响

Fig.6 Effect of wet-aging on the peroxide values of Tibetan sheep

2.3.3 不同温度湿法成熟期间藏羊肉总羰基含量的比较

羰基含量是衡量蛋白氧化程度的指标,羰基含量越低,肉品质越好^[18]。如图7所示,在藏羊肉成熟过程中,随着湿法成熟时间的延长,羰基含量呈上升的变化趋势。陈明等^[31]研究发现,在肉品贮藏过程中,活性氧的含量会不断升高,而活性氧会攻击蛋白质肽链上的-NH或-NH₂,将其氧化为羰基,使总羰基含量不断上升。在藏羊肉成熟过程

中,10 °C条件下羰基含量显著高于4 °C条件下羰基含量($P<0.05$),说明较低温度可以有效抑制蛋白质的氧化^[32]。但基于藏羊肉完全成熟这一结果,在10 °C条件下仅需5 d,在4 °C条件下则需要7 d,羰基含量分别为6.11 nmol·mg⁻¹和6.26 nmol·mg⁻¹,无显著差异($P>0.05$)。

2.3.4 不同温度湿法成熟期间藏羊肉总巯基含量的比较

巯基含量是另一个衡量蛋白氧化程度的指标,在羊肉成熟过程中,蛋白中的巯基极易被氧化为二硫键,因此巯基含量越低,蛋白氧化程度越高^[31]。如图8所示,在藏羊肉成熟过程中,随着湿法成熟时间的延长,巯基含量呈下降的变化趋势。藏羊肉在4 °C条件下成熟相同时间的巯基含量显著高于10 °C条件下成熟的藏羊肉巯基含量($P<0.05$),说明低温更有利于抑制蛋白发生氧化,宋妍灵等^[33]的研究也发现了这一现象,并提出低温能抑制肌原纤维中的变性,从而延缓总巯基含量的下降。但较高温度同样可以缩短藏羊肉的成熟时间,当藏羊肉刚好达到完全成熟时,10 °C成熟5 d的藏羊肉巯基含量与4 °C成熟7 d的藏羊肉羰基含量差异不显著($P>0.05$)。

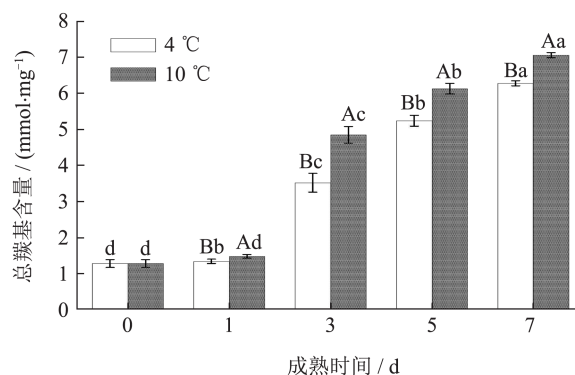


图7 湿法成熟对藏羊肉总羰基的影响

Fig.7 Effect of wet-aging on the total carbonyl content of Tibetan sheep

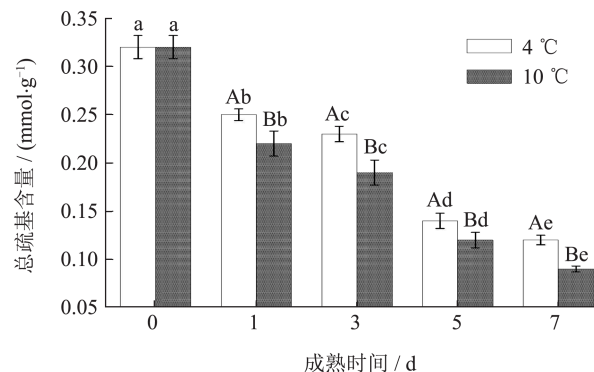


图8 湿法成熟对藏羊肉巯基的影响

Fig.8 Effect of wet-aging on the total sulfhydryl content of Tibetan sheep

3 结论

该实验探究了藏羊肉在不同温度湿法成熟期间其品质的变化。结果表明,藏羊肉在成熟过程中,不同温度和时间对其各项品质均有显著影响。在 10℃成熟条件下,可以使藏羊肉的 pH 值变化更快,剪切力也可以更快达到最佳烹调范围,藏羊肉完全成熟需要的时间比 4℃更短。而且,藏羊肉在 4℃条件下成熟 7 d 和在 10℃条件下成熟 5 d,使其完全成熟时,菌落总数均未超过正常范围,脂肪氧化程度低,蛋白氧化程度差异不显著 ($P>0.05$)。综上所述,湿法成熟可以改善藏羊肉的口感品质,藏羊肉 10℃成熟速度更快,效果更好。因此,在实际生产中,选择 10℃条件对藏羊进行湿法成熟处理,不仅比 4℃条件耗能更低,而且还能节约时间成本和仓储成本,增加企业效益。

参考文献

- [1] 周力,吴振岭,张宇,等.日粮中补充木聚糖酶对藏羊肉品质与肌肉发育相关基因表达的影响[J].江西农业大学学报,2023,45(5): 1208-1219.
- [2] 赵玉欣,韩丽娟,葛世鹏,等.基于GC-IMS分析不同提取方法对藏羊油脂挥发性风味的影响[J/OL].中国油脂,1-15[2025-03-03].
- [3] HE N, LANG X, WANG C, et al. Expression of MSTN/Smad signaling pathway genes and its association with meat quality in Tibetan sheep (*Ovis aries*) [J]. Food Science & Nutrition, 2023, 11(4): 1836-1845.
- [4] BHAT Z F, MORTON J D, MASON S L, et al. Role of calpain system in meat tenderness: A review [J]. Food Science and Human Wellness, 2018, 7(3): 196-204.
- [5] SHI Y, ZHANG W, ZHOU G. Effects of different moisture-permeable packaging on the quality of aging beef compared with wet aging and dry aging [J]. Foods, 2020, 9(5): 649.
- [6] MATARNEH S K, SCHEFFLER T L, GERRARD D E. The Conversion of Muscle to Meat [M]. Lawrie's meat Science. Woodhead Publishing, 2023: 159-194.
- [7] KIM M, CHOE J, LEE H J, et al. Effects of aging and aging method on pH Physicochemical and sensory traits of different beef cuts [J]. Food Science of Animal Resources, 2019, 39(1): 54.
- [8] KILGANNON A K, HOLMAN B W B, MAWSON A J, et al. The effect of different temperature-time combinations when ageing beef: Sensory quality traits and microbial loads [J]. Meat Science, 2019, 150: 23-32.
- [9] YU Q, GU X, LIU Q, et al. Effect of wet-aging on meat quality and exudate metabolome changes in different beef muscles [J]. Food Research International, 2024, 184: 114260.
- [10] 杨致昊,刘畅,窦露,等.苏尼特羊宰后成熟过程中单磷酸腺苷活化蛋白激酶活性、糖酵解与肉品质指标的变化分析[J].食品科学,2022,43(11):156-162.
- [11] 杨文婷,柏霜,罗瑞明,等.排酸方式对成熟过程中滩羊肉品质和水分变化的影响[J].食品工业科技,2017,38(19):40-44.
- [12] RAMANATHAN R, MAFI G G, YODER L, et al. Biochemical Changes of Postmortem Meat during the Aging Process and Strategies to Improve the Meat Quality [M]. Meat Quality Analysis. Academic Press, 2020: 67-80.
- [13] YU Q, COOPER B, SOBREIRA T, et al. Utilizing pork exudate metabolomics to reveal the impact of aging on meat quality [J]. Foods, 2021, 10(3): 668.
- [14] 罗勤贵,尉腾,张贤,等.西藏牦牛肉营养食用品质[J].江苏农业科学,2019,47(11):225-229.
- [15] BALAN P, KIM Y H B, STUART A D, et al. Effect of fast freezing then thaw-aging on meat quality attributes of lamb *M. longissimus lumborum* [J]. Animal Science Journal, 2019, 90(8): 1060-1069.
- [16] KIM Y H B, MEYERS B, Kim H W, et al. Effects of stepwise dry/wet-aging and freezing on meat quality of beef loins [J]. Meat Science, 2017, 123: 57-63.
- [17] YU Q, LI S, CHENG B, et al. Investigation of changes in proteomes of beef exudate and meat quality attributes during wet-aging [J]. Food Chemistry: X, 2023, 17: 100608.
- [18] PAZOS M, MAESTRE R, GALLARDO J M, et al. Proteomic evaluation of myofibrillar carbonylation in chilled fish mince and its inhibition by catechin [J]. Food Chemistry, 2013, 136(1): 64-72.
- [19] SHI X, LI J, CHEN J, et al. Concentrations of HSP27 and $\alpha\beta$ -crystallin in Oula Tibetan sheep meat and their relationship with meat quality during postmortem aging [J]. Journal of Food Science, 2021, 86(12): 5253-5261.
- [20] HANAGASAKI T, ASATO N. Changes in free amino acids and hardness in round of Okinawan delivered cow beef during dry-and wet-aging processes [J]. Journal of Animal Science and Technology, 2018, 60: 1-9.
- [21] YANG L, SHANG Y B, SONG Y, et al. Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures [J]. Meat Science, 2016, 117: 173-181.
- [22] 刘腾.分割牛肉冷却成熟及贮藏对其品质的影响研究[D].福州:福建农林大学,2016.
- [23] KASAŁKA-CZARNA N, BIEGAŃSKA-MARECIK R, PROCH J, et al. Effect of dry, vacuum, and modified atmosphere ageing on physicochemical properties of roe deer meat [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2023, 73(2): 175-186.
- [24] 毛秋彤,鲍梦环,徐杰,等.宰后成熟对湖羊肉品质的影响[J].中国草食动物科学,202444(6):11-18.
- [25] ŻELECHOWSKA E, PRZYBYLSKI W, JAWORSKA D, et al. Technological and sensory pork quality in relation to muscle and drip loss protein profiles [J]. European Food Research and Technology, 2012, 234: 883-894.
- [26] FAROUK M M, AL-MAZEEDI H M, SABOW A B, et al. Halal and kosher slaughter methods and meat quality: A review [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 505-519.
- [27] AMARAL A B, SILVA M V, LANNES S C S. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review [J]. Food Science and Technology, 2018, 38: 1-15.
- [28] 丁红艳,阮珍珍,闫光瑾,等.不同解冻方式对藏羊肉品质的影响[J].食品科技,2024,49(4):142-149.
- [29] 徐瑞,柴梓灵,魏嘉彧,等.壳聚糖/丁香精油微乳液复合膜的制备及其对n-3猪肉的保鲜应用[J].塑料工业,2023,51(11):115-122,128.
- [30] 夏南,刘晓媛,向晨曦,等.温度和包装方式对茶香鳙鱼片储藏品质的影响及其货架期预测[J].中国调味品,2024,49(10):133-139.
- [31] 陈明,袁婷,涂俏,等.黑切牛肉贮藏过程中活性氧相对含量变化及其与肉品质指标相关性分析[J].肉类研究,2023,37(5):11-17.
- [32] DOMÍNGUEZ R, PATEIRO M, MUNEKATA P E S, et al. Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review [J]. Antioxidants, 2021, 11(1): 60.
- [33] 宋妍灵,王士桢,董晓涵,等.不同温度下冻藏对青鱼品质的影响研究[J].核农学报,2024,38(6):1108-1116.