

大足黑山羊宰后成熟过程中感官与理化性质的变化

张聪聪¹, 王晓香¹, 王亚娜¹, 尚永彪^{1,2,3,*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全与风险评估实验室(重庆), 重庆 400716; 3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘 要: 本实验以大足黑山羊后腿肉股四头肌为实验材料, 测定其在成熟过程中的感官及理化指标(滴水损失、色泽、剪切值、蒸煮损失、pH值、糖原含量、肌原纤维小片化指数(myofibrillar fragmentation index, MFI)、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量和硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值)的变化。结果表明: 滴水损失、pH值、糖原含量、TBARS值等发生明显变化, 并且主要变化在宰后前72 h内基本完成, 而滴水损失、pH值在24 h后变化不显著($P>0.05$); MFI值在成熟24 h后变化差异显著($P<0.05$); TVB-N含量在0~72 h时, 符合一级鲜肉的标准。羊肉的成熟时间依感官、色泽、pH值、TBARS值等指标的变化判断, 以72 h为宜; 从TVB-N含量的变化看, 成熟时间应小于72 h。综合考虑, 确定大足黑山羊的最佳成熟时间为72 h。

关键词: 大足黑山羊; 感官; 理化性质; 宰后成熟; 成熟时间

Changes in Sensory and Physicochemical Properties of Dazu Black Goat Muscle during Postmortem Aging

ZHANG Congcong¹, WANG Xiaoxiang¹, WANG Yana¹, SHANG Yongbiao^{1,2,3,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Products Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Engineering Research Center of Regional Food, Chongqing 400716, China)

Abstract: *Quadriceps femoris* muscles from Dazu black goat's rear legs were used to investigate the changes in sensory and physicochemical parameters during postmortem aging, including drip loss, color, shear force, cooking loss, pH, glycogen content, myofibrillar fragmentation index, total volatile basic nitrogen (TVB-N) and thiobarbituric acid value (TBARS). The results showed that the changes in drip loss, pH, glycogen content and TBARS occurred mostly during the first 72 h of postmortem aging; after 24 h of postmortem aging, pH and drip loss did not significantly change ($P>0.05$), while MFI value had a significant difference ($P<0.05$). TVB-N was in accordance with the first-grade standard level of fresh meat during the first 72 h of postmortem aging. Therefore, the appropriate postmortem aging time was 72 h, as judged by the changes in sensory evaluation, color, water-binding capacity, shear value, pH and TBARS; based on the changes in TVB-N value, the aging time was no longer than 72 h. Collectively, the best aging time was 72 h.

Key words: Dazu black goat; sensory; physicochemical characteristics; postmortem aging; aging time

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)19-0089-07

doi:10.7506/spkx.1002-6630-201519016

大足黑山羊原产于重庆市大足县, 是国家畜禽遗传资源委员会审定的国家级畜禽遗传资源品种, 其皮下和肌肉脂肪含量都较少, 但体脂肪水平较高, 其味甘性温, 可益气补虚, 强壮筋骨, 具有较好的开发利用价值^[1-3]。

肌肉的成熟是指动物宰后由肌肉转变为肉的过程,

在这个过程中, 肌肉组织中的糖类、蛋白质等均发生了复杂的生化反应^[4]。目前, 宰后成熟的研究主要集中在猪肉^[5]、牛肉^[6]、鸡肉^[7]等, 而羊肉却涉及较少。大足黑山羊是近年来西南地区重点推广的山羊品种之一, 但其加工学领域的研究还鲜见报道。本实验对大足黑山羊宰后

收稿日期: 2015-05-28

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303144); 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-gc8001)

作者简介: 张聪聪(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工科学。E-mail: 1225142536@qq.com

*通信作者: 尚永彪(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工。E-mail: shangyb64@sina.com

成熟过程中的感官和理化性质进行研究,掌握其在成熟过程中的变化规律、为大足黑山羊成熟时间的确定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

36只现宰的新鲜大足黑山羊(16月龄)后腿肉,购于重庆北碚。

磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、葡萄糖、牛血清白蛋白、硫酸铜、乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、叠氮化钠、硼酸、三氯乙酸、硫代巴比妥酸 成都市科龙化工试剂厂;碘乙酸 天津市光复精细化工研究所;葱酮 上海化学试剂采购供应五联化工厂;酒石酸钾钠 宁波大川精细化工有限公司;甲基红、次甲基蓝 北京鼎国生物技术有限责任公司。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

UltraScan PRO测色仪 美国HunterLab公司;TA.XT2i物性测定仪 英国Stable Micro System公司;pHS-4C⁺酸度计 成都世纪方舟科技有限公司;722-P可见分光光度计 上海菁华科技仪器有限公司;Avanti J-30I贝克曼冷冻离心机 美国贝克曼库尔特公司;98-1-B电子恒温电热套 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料处理

将现宰的36只大足黑山羊后腿肉用保鲜膜进行包裹,放入提前准备好的保温冰盒中,10 min内运回实验室,立即放入-18℃冰箱中快速冷却至中心温度低于4℃后,取其股四头肌,分割成30 g左右的小块,装入自封袋。

包装结束后立即将肉样放置在0~4℃环境下进行成熟,分别于宰后0、6、12、24、36、48、60、72、84、96、108、120、132、144、156、168 h测羊肉的pH值;分别于宰后0、24、48、72、96、120、144、168 h对肉样进行感官评价及进行滴水损失、色泽、剪切值、蒸煮损失、糖原含量(含12 h)、肌原纤维小片化指数(myofibrillar fragmentation index, MFI)、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量和硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值的测定。

1.3.2 感官评价

由6人组成的感官评定小组,每次取3袋样品,从肉的颜色、黏度、弹性、气味和煮沸后肉汤五方面进行综合评价,鲜羊肉的感官指标如表1所示^[8-9]。

表1 鲜羊肉的感官指标
Table 1 Grading standards for sensory evaluation

项目	鲜羊肉感官特征
颜色	肌肉有光泽,红色均匀,脂肪洁白或淡黄色
黏度	外表微干或微湿润,不黏手,新切面湿润但不黏手
弹性	切面肉致密,指压后凹陷可以迅速的恢复原状
气味	具有鲜羊肉固有的气味,无臭味,无异味
煮沸后肉汤	肉汤透明澄清,脂肪团聚于表面,具有香味

1.3.3 滴水损失的测定

参考Mazzone等^[10]的方法来测定滴水损失。称一定质量的肉样,用绳子将其绑起,并放入自封袋中,悬挂在4℃的环境中,在不同成熟时间点取出肉样后用滤纸吸去表面水分后称质量,连续测定至168 h。

$$\text{滴水损失}/\% = \frac{\text{悬挂前肉样质量}/\text{g} - \text{悬挂后肉样质量}/\text{g}}{\text{悬挂前肉样质量}/\text{g}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.4 色泽的测定

肉样色泽的测定按国际照明委员会的CIE1976 L*、a*、b*色度系统进行^[11]。将去除脂肪和结缔组织的待测肉样切成片状,在空气中放置20 min。每个样品选取3个不同点,每个点测定3次,9次的平均值即为测定结果。

1.3.5 剪切值的测定

参照Xia Xiufang等^[12]的方法来测定肉样剪切值。将一定质量的肉样装入蒸煮袋中,置于80℃的恒温水浴锅中,至肉样的中心温度为70℃,保持30 min后取出,冷却至室温,并用滤纸吸干表面水分,再用直径为1 cm的圆柱形空心取样器,沿肌纤维方向钻取肉样。然后用TA.XT Plus质构仪HDP/BSW探头沿垂直于肌原纤维方向测定。测定参数^[13]:测前、测中、测后速率分别为2.0、1.0、5.0 mm/s;下压距离25.0 mm;压缩比75%。

1.3.6 蒸煮损失的测定

参照Vergara等^[14]的测定方法并做调整。称取5.0 g左右的肉样,记为 m_0 ,装入聚乙烯蒸煮袋中,在90℃恒温水浴锅中,加热至肉样的中心温度为70℃时,冷却至室温后,用滤纸擦干表面的水分后称质量,记为 m_1 。按公式(2)计算蒸煮损失。

$$\text{蒸煮损失}/\% = \frac{m_0/\text{g} - m_1/\text{g}}{m_1/\text{g}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.7 pH值的测定

参照朱学伸^[15]的方法来测定肉样pH值。准确称取肉样3 g于50 mL离心管,并加入10倍体积5 mmol/L碘乙酸、150 mmol/L氯化钾溶液(pH 7.0),10 000 r/min高速匀浆15 s,用酸度计直接测定pH值。

1.3.8 糖原含量的测定

参照Allison等^[16]的葱酮比色法稍作修改。取2 mL样液,加入10 mL的葱酮试剂,摇匀后,放入沸水浴中15 min,再放入冰水浴中冷却至室温,放置10 min,并

在620 nm波长处测定吸光度。根据公式(3)计算糖原含量。

$$\text{糖原含量}/(\text{mg}/100\text{ g}) = \frac{m_0}{m \times 1\,000 \times 100} \quad (3)$$

式中： m_0 为标准曲线上查得的糖原的质量/ μg ； m 为测定样品的质量/g。

1.3.9 MFI的测定

参照Li Ke等^[17]的方法并稍作调整。准确称取2.0 g无可视脂肪、结缔组织的肉样于离心管中，并加入20倍体积、2℃的MFI缓冲溶液，高速匀浆过滤后，2℃、4 000 r/min冷冻离心10 min，弃去上清液，重复上述步骤后，加入2.5倍体积上述MFI缓冲溶液并定容。用MFI缓冲溶液稀释至悬浮液的蛋白质质量浓度为(0.50±0.05) mg/mL，后用双缩脲法^[18]在540 nm波长处测定吸光度，MFI值为所得吸光度乘以200。

1.3.10 TVB-N含量的测定

按GB/T 9961—2008《鲜、冻胴体羊肉》进行挥发性盐基氮含量的测定^[19]。规定TVB-N含量≤15 mg/100 g为一级鲜肉。

1.3.11 TBARS值的测定

参照Buege等^[20]的方法并做适当修改。准确称取0.3 g肉样于试管中，加入3 mL 0.02 mol/L TBA溶液、17 mL 7.5%三氯乙酸溶液(含0.1% EDTA)，混合均匀，沸水浴30 min后冷却1 h，移取5 mL，加入5 mL氯仿并摇匀，3 000 r/min离心10 min，取上清液，在532 nm波长处比色并记录吸光度。按回归方程 $y=2.203\,1x-0.080\,8$ ($R^2=0.998\,7$) 计算TBARS值。

1.4 统计分析

每次实验有3个平行样，分别重复3次，结果取平均值。用Microsoft Office 2007中的Excel软件计算出平均数及标准偏差，用OriginPro8.6软件作图，后用SPSS Statistics 17.0软件对数据进行差异显著性分析，采用Pearson系数进行相关性的分析，显著性差异值为 $P<0.05$ ，实验所得结果表示为 $\bar{x} \pm s$ 。

2 结果与分析

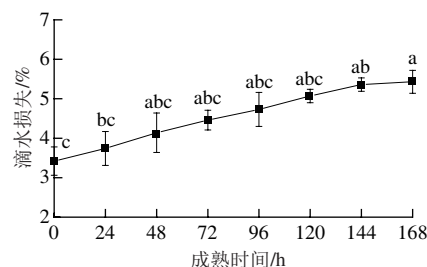
2.1 宰后成熟过程中大足黑山羊肉感官指标的变化

如表2所示，成熟初始时，羊肉的感官指标均为最优：肌肉有光泽；外表微干，切面湿润而不黏手；弹性好；羊肉风味浓郁，无异味；肉汤透明澄清，且具有香味。随成熟时间的延长，120 h后，肉的色泽变暗，感官质量逐渐下降，这与后续测定的 L^* 、 a^* 和 b^* 值的变化相一致；弹性减弱；羊肉风味不浓郁。成熟168 h时，羊肉呈暗红色；弹性减弱；煮沸后肉汤稍有混浊，无香味，失去了食用价值。以感官评定指标的变化结合其他指标确定，大足黑山羊的成熟时间以72 h为宜。

表2 大足黑山羊肉感官评定结果
Table 2 Sensory evaluation of goat rear legs

成熟时间/h	颜色	黏度	弹性	气味	煮沸后肉汤
0	肌肉有光泽，红色均匀	外表微干，切面湿润不黏手	指压后凹陷立即恢复	羊肉风味浓郁，无异味	肉汤透明澄清，具有香味
24	肌肉有光泽，红色均匀	外表微干，切面湿润不黏手	指压后凹陷立即恢复	羊肉风味浓郁，无异味	肉汤透明澄清，具有香味
48	肌肉有光泽，红色均匀	外表微湿润，不黏手	指压后凹陷立即恢复	羊肉风味浓郁，无异味	肉汤透明澄清，具有香味
72	红色均匀	外表湿润，不黏手	指压后凹陷可以恢复	羊肉风味浓郁	肉汤透明澄清，具有香味
96	红色均匀	外表湿润，不黏手	指压后凹陷缓慢恢复	羊肉风味浓郁	肉汤透明澄清
120	红色均匀	外表湿润，切面湿润不黏手	指压后凹陷缓慢恢复	羊肉风味不浓郁	肉汤透明澄清
144	肌肉颜色发暗	外表干燥，切面湿润不黏手	指压后凹陷恢复缓慢且不能完全恢复	羊肉风味不浓郁	稍有混浊
168	肌肉呈暗红色	外表干燥，切面湿润稍黏手	指压后凹陷恢复缓慢且不能完全恢复	稍有异味	稍有混浊，无香味

2.2 宰后成熟过程中大足黑山羊肉滴水损失的变化



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

图1 宰后成熟过程中大足黑山羊肉滴水损失的变化

Fig.1 Change in drip loss of goat rear leg muscle during postmortem aging

由图1可知，宰后成熟过程中，山羊肉滴水损失随成熟时间的延长而呈上升趋势，持水能力明显下降。达到僵直最大值之前，滴水损失显著增大 ($P<0.05$)，这是因为在僵直期，肌肉处在收缩状态，肌肉蛋白的网络空间较小，肌肉持水性降低，使细胞内的水分向外流出^[21]。而成熟期时，羊肉的滴水损失呈缓慢上升趋势 ($P>0.05$)，这是由于肌肉解僵成熟过程中，肌肉骨架蛋白降解，肌原纤维基质膨胀，肌原纤维间隙增大，细胞外水分重新渗入细胞内，使滴水损失增加缓慢^[22]。

2.3 宰后成熟过程中大足黑山羊肉色泽的变化

表3 宰后成熟过程中大足黑山羊肉色泽的变化
Table 3 Change in color of goat rear leg muscle during postmortem aging

成熟时间/h	L^*	a^*	b^*
0	42.04±0.58 ^a	12.39±0.42 ^a	12.46±0.46 ^a
24	40.96±0.34 ^a	12.00±0.45 ^a	10.82±0.58 ^{ab}
48	35.41±0.69 ^b	11.30±0.63 ^{ab}	10.20±0.15 ^{bc}
72	34.92±0.49 ^b	11.06±0.82 ^{abc}	10.05±0.49 ^{bc}
96	34.96±0.98 ^b	11.07±0.37 ^{abc}	9.42±0.43 ^{bc}
120	33.99±0.56 ^{bc}	10.50±0.84 ^{abc}	9.62±0.59 ^{bc}
144	32.78±0.42 ^{bc}	9.05±0.39 ^{bc}	8.51±0.61 ^c
168	31.48±0.73 ^c	8.63±0.47 ^c	8.39±0.39 ^c

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

肉的颜色主要是由肌肉中脱氧肌红蛋白(Mb)、高铁肌红蛋白(MMb)及氧合肌红蛋白(MbO₂)的相互转化所引起,使肌肉呈现出暗紫色、鲜红色和褐色等不同的色泽。如表3所示,随宰后成熟时间的延长,羊肉的 L^* 、 a^* 和 b^* 值均呈下降趋势。羊肉在成熟初始时,随成熟时间的延长, L^* 值下降,其中在成熟0~24 h和48~144 h期间 L^* 值下降不明显($P>0.05$),而在24~48 h期间呈显著下降趋势($P<0.05$)。可能原因^[23]:一是随时间延长,MFI逐渐增加,肉样对光的吸收能力增强;另外,随成熟时间延长,Mb发生氧化生成MMb,MMb含量越高,肌肉的色泽越暗。

a^* 值在成熟初始时随着时间的延长,呈缓慢下降趋势。 a^* 值降低原因可能是MbO₂很不稳定,变成褐色的MMb所致。

羊肉在成熟初始时随成熟时间的延长, b^* 值整体下降缓慢。

2.4 宰后成熟过程中大足黑山羊肉剪切力的变化

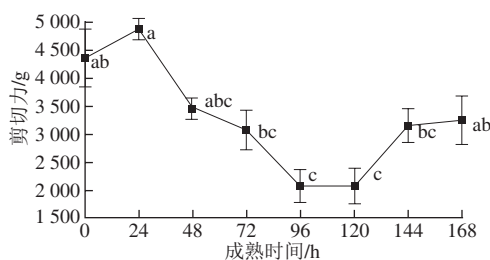


图2 宰后成熟过程中大足黑山羊肉剪切力的变化

Fig.2 Change in WBSF of goat rear leg muscle during postmortem aging

剪切力反映的是肉品的嫩度,其值越低嫩度越好。嫩度是反映肉质地的指标,在一定程度上反映了肌肉中肌原纤维、结缔组织及脂肪的含量、分布和化学状态^[24-25]。如图2所示,成熟初始时,随宰后僵直的发生,剪切力回升,宰后24 h时僵直最大,嫩度最差,之后肌肉进入解僵成熟过程,收缩状态发生改变,肌原纤维逐渐被降解,嫩度随着成熟时间的延长得到明显提高。Braghierri等^[26]也发现公牛肉经过7 d的成熟后,其嫩度明显改善。

2.5 宰后成熟过程中大足黑山羊肉蒸煮损失的变化

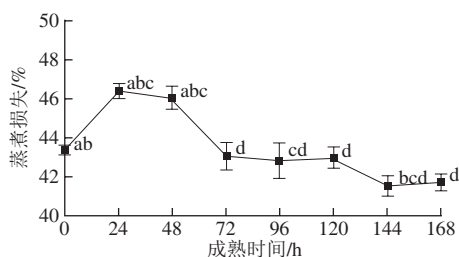


图3 宰后成熟过程中大足黑山羊肉蒸煮损失的变化

Fig.3 Change in cooking loss of goat rear leg muscle during postmortem aging

如图3所示,随宰后成熟时间的延长,羊肉的蒸煮损失呈先增大后减小的趋势。成熟初始时,蒸煮损失随时间的延长显著增大($P<0.05$),且在24 h达最大,主要由于羊肉屠宰后,肌肉进入僵直期,糖原酵解产生乳酸,使得肌肉pH值快速下降,pH₂₄值为5.96时,达到最大值,此时接近肌肉中主要蛋白质的等电点,蛋白质的净电荷为零,蛋白质之间相互吸引,蛋白质对水分的吸引降低,肌肉的保水性变差。

蒸煮损失在成熟24~48 h和72~168 h期间缓慢降低但差异不显著($P>0.05$),而在成熟48~72 h时蒸煮损失逐渐降低且差异显著($P<0.05$)。与宋玉^[7]在研究雪山草鸡肉成熟过程中持水力变化时得到的变化趋势基本一致。以蒸煮损失的变化结合其他指标确定,大足黑山羊肉的成熟时间以72 h为宜。

2.6 宰后成熟过程中大足黑山羊肉pH值的变化

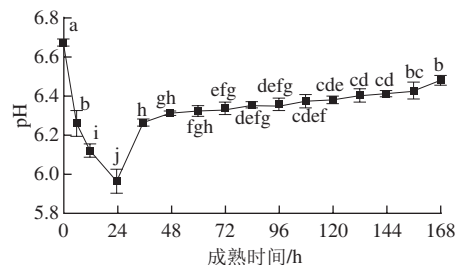


图4 宰后成熟过程中大足黑山羊肉pH值的变化

Fig.4 Change in pH of goat rear leg muscle during postmortem aging

肌肉的pH值反映了肌肉内部整体的化学环境,与肉的色泽、系水力、多汁性、货架寿命等核心指标有关^[15]。如图4所示,随宰后成熟时间的延长,山羊肉的pH值呈现出高-低-高的变化趋势。成熟初始时羊肉的pH值高达 6.67 ± 0.02 ,几乎与活体的pH值相同;而在宰后24 h内显著下降($P<0.05$),这是由于动物宰后,氧气的供应中断,肌肉组织主要依靠无氧糖酵解产生的能量来维持一些耗能反应,产物是乳酸,而ATP又分解出磷酸,乳酸、磷酸积累而使肌肉pH值下降;至24 h时,pH值将不再下降,是因为随时间的延长,肉中内源蛋白酶和微生物分泌的蛋白分解酶的作用下,蛋白质降解为多肽和氨基酸,并释放出碱性的含氮物,使得pH值回升^[27];随时间的延长,pH值又呈缓慢升高的趋势。宰后山羊肉pH值的下降主要发生在宰后成熟的初始24 h之内,与Karabagias等^[28]的研究结果相似。

2.7 宰后成熟过程中大足黑山羊肉糖原含量的变化

动物屠宰后,糖原作为肌肉主要的储能物质,很快通过无氧酵解来提供生化反应所需的能量。如图5所示,随宰后成熟时间的延长,山羊肉糖原含量整体呈下降的趋势。糖原在成熟初始时糖酵解速率非常快($P<0.01$);之后随成熟时间的延长,糖原含量的下降

速率逐渐趋于0。原因主要是肌糖原在无氧酵解过程中产生了大量乳酸,导致胴体的pH值下降,当达到酸性极限pH值时,将会抑制参与无氧糖酵解酶的活性^[29]。与李永鹏^[30]研究得到的变化趋势相似。

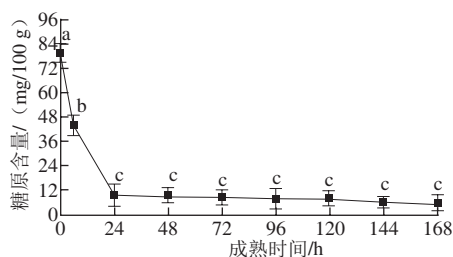


图5 宰后成熟过程中大足黑山羊肉糖原含量的变化

Fig.5 Change in glycogen content of goat rear leg muscle during postmortem aging

2.8 宰后成熟过程中大足黑山羊肉MFI的变化

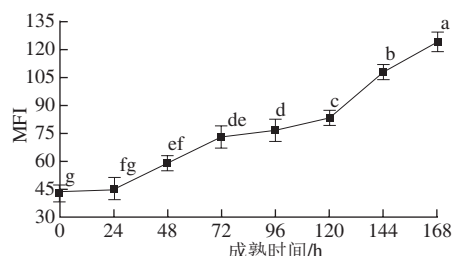


图6 宰后成熟过程中大足黑山羊肉MFI的变化

Fig.6 Change in MFI of goat rear leg muscle during postmortem aging

MFI是指长度为1~4个肌节的肌原纤维在总的肌原纤维片段数中所占比例。MFI值越大表明肌原纤维被分解越多,肌肉成熟更易进行。因此,MFI直接反映了肌肉成熟进行的程度^[31]。有研究表明,MFI与肉的嫩度存在着显著相关性,故以此来判断肉的成熟程度^[32]。如图6所示,随成熟时间的延长,羊肉的MFI整体呈增加趋势,说明内部肌原纤维破坏程度增加,嫩度增加。宰后成熟初始24 h以内,MFI的变化并不明显。从宰后24 h开始,MFI开始迅速上升,并且在各时间点差异显著($P<0.05$)。MFI的变化趋势与李兴艳^[27]和李永鹏^[30]等的研究结果一致。

2.9 宰后成熟过程中大足黑山羊肉TVB-N含量的变化

TVB-N是动物性食品在腐败过程中,经酶和细菌的作用,使蛋白质及非蛋白的含氮化合物分解而产生的氨及胺类等挥发性碱性含氮物。如图7所示,随宰后成熟时间的延长,山羊肉的TVB-N含量整体呈现增加的趋势,在0~48 h和144~168 h显著增加($P<0.05$),在48~96 h和120~144 h缓慢增加($P>0.05$)。与杨佳艺^[33]在研究真空包装冷鲜兔肉的TVB-N含量的变化趋势相似。

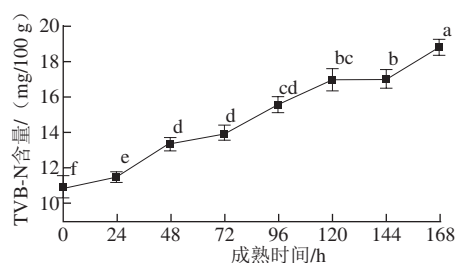


图7 宰后成熟过程中大足黑山羊肉TVB-N含量的变化

Fig.7 Change in TVB-N of goat rear leg muscle during postmortem aging

在成熟0~72 h时,羊肉的TVB-N含量均低于15 mg/100 g,符合GB/T 9961—2008规定^[19],肌肉有光泽,且颜色均匀;168 h时,其TVB-N的含量为 (18.70 ± 0.48) mg/100 g,此时肌肉的光泽度减弱,且肉色变暗,表面稍黏手。以TVB-N含量的变化确定,大足黑山羊的成熟时间以小于72 h为宜。

2.10 宰后成熟过程中大足黑山羊肉TBARS值的变化

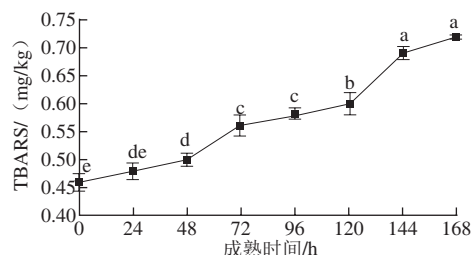


图8 宰后成熟过程中大足黑山羊肉TBARS值的变化

Fig.8 Change in TBARS of goat rear leg muscle during postmortem aging

TBARS值是指动物性油脂中不饱和脂肪酸氧化分解产生的衍生物(如丙二醛等)与2-硫代巴比妥酸(TBA)反应的结果^[34]。其值越大,氧化程度越高,是反映动物肌肉中脂肪氧化酸败的一个直接指标。如图8所示,成熟0~72 h时,TBARS值迅速升高($P<0.05$),这说明羊肉组织中溶解的氧气和自由基等促进了脂肪的氧化;成熟72~96 h期间,TBARS值差异不显著($P>0.05$);在成熟96~144 h时,TBARS值显著增加($P<0.05$);成熟144 h时,TBARS值为0.69 mg/kg,在新鲜肉制品的脂肪酸败临界值之内^[33];168 h时,TBARS值为 (0.720 ± 0.006) mg/kg,超过了此临界值。与李兴艳^[27]的研究结果相一致。以TBARS值的变化确定,大足黑山羊的成熟时间以 <144 h为宜。

2.11 相关性分析

如表4所示,通过Pearson相关性分析可以看出,宰后成熟时间与羊肉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值、MFI、TVB-N含量、蒸煮损失、滴水损失、糖原含量及TBARS值均存在极显著相关($P<0.01$)。pH值与糖原含量存在极显著正相关($P<0.01$),与其他值相关性不显著。MFI与 L^* 、 a^* 、

b^* 值、滴水损失、TVB-N含量和TBARS值间存在极显著相关 ($P<0.01$)。TVB-N含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 值、滴水损失、TBARS值间也存在极显著相关 ($P<0.01$)。综上所述可知, 宰后成熟过程中测得的羊肉的各理化指标不是单独发生变化更不是单独发挥作用, 而是互相作用、互相影响, 且各指标间存在一定的相关性。

表 4 宰后成熟过程中山羊肉理化性质的Pearson相关系数
Table 4 Pearson correlation coefficients of physicochemical properties of goat rear leg muscle during postmortem aging

指标	L^*	a^*	b^*	TVB-N含量	TBARS值	MFI	蒸煮损失	滴水损失	pH值	剪切力	糖原含量	成熟时间
L^*	1	0.885**	0.934**	-0.932**	-0.880**	-0.900**	0.609	-0.943**	-0.150	0.730*	0.701	-0.927**
a^*		1	0.911**	-0.931**	-0.983**	-0.988**	0.708	-0.940**	-0.205	0.439	0.541	-0.960**
b^*			1	-0.920**	-0.913**	-0.908**	0.541	-0.950**	0.085	0.599	0.807*	-0.944**
TVB-N含量				1	0.954**	0.956**	-0.721*	0.985**	0.212	-0.697	-0.593	0.991**
TBARS值					1	0.994**	-0.791*	0.963**	0.228	-0.523	-0.526	0.976**
MFI						1	-0.773*	0.954**	0.264	-0.517	-0.517	0.981**
蒸煮损失							1	-0.724*	-0.647	0.547	0.021	-0.734*
滴水损失								1	0.147	-0.695	-0.649	0.993**
pH值									1	-0.241	0.597**	0.169
剪切力										1	0.457	-0.639
糖原含量											1	-0.615**
成熟时间												1

注: **. 在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; *. 在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

3 结 论

大足黑山羊在宰后成熟过程中, 其感官、滴水损失、色泽、剪切值、蒸煮损失、pH值、糖原含量、MFI、TVB-N含量及TBARS值等都发生了显著的变化 ($P<0.05$)。羊肉后腿在24 h时达到僵直最大值。pH值在72 h以后仍继续增加但变化不明显 ($P>0.05$), 糖原含量在24 h之后差异不显著 ($P>0.05$)。羊肉的MFI、TVB-N含量和TBARS值均随成熟时间的延长而增加, 且相互之间存在极显著的正相关 ($P<0.01$)。羊肉的成熟时间依感官、色泽、pH值、TBARS值等指标的变化判断, 以72 h为宜; 从TVB-N含量的变化看, 成熟时间应小于72 h。且72 h时, TVB-N含量符合为鲜肉标准, 感官指标仍为最优: 肌肉有光泽, 外表微干、切面湿润不黏手, 弹性好, 羊肉风味浓郁、无异味, 煮沸后肉汤透明澄清、具有香味。综合考虑, 确定大足黑山羊的最佳成熟时间为72 h。

参考文献:

[1] EKIZ B, YILMAZ A, OZCAN M, et al. Carcass measurements and meat quality of Turkish Merino, Ramlic, Kivircik, Chios and Imroz lambs raised under an intensive production system[J]. Meat Science, 2009, 82(1): 64-70.
[2] FAJT Z, DRABEK J, STEINHAUSER L, et al. The significance of pork

as a source of dietary selenium—an evaluation of the situation in the Czech Republic[J]. Neuro Endocrinology Letters, 2009, 30(1): 17-21.
[3] MAROUNEK M, DOKOUPILOVA A, VOLEK Z, et al. Quality of meat and selenium content in tissues of rabbits fed diets supplemented with sodium selenite, selenized yeast and selenized algae[J]. World Rabbit Science, 2009, 17(4): 207-212.
[4] HERRERA-MENDEZ C H, BECILA S, BOUDJELLAL A, et al. Meat aging: reconsideration of the current concept[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(8): 394-405.
[5] CHANNON H A, KERR M G, WALKER P J. Effect of Duroc content, sex and ageing period on meat and eating quality attributes of pork loin[J]. Meat Science, 2004, 66(4): 881-888.
[6] MODZELEWSKA-KAPITULA M, KWIATKOWSKA A, JANKOWSKA B, et al. Water holding capacity and collagen profile of bovine *m. infraspinatus* during postmortem aging[J]. Meat Science, 2015, 100: 209-216.
[7] 宋玉. 不同品种鸡肉成熟过程中品质特性比较研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
[8] 岳喜庆. 畜产食品加工学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014: 172-173.
[9] 张凤宽. 畜产品加工学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2011: 48-49.
[10] MAZZONE G, VIGNOLA G, GIAMMARCO M, et al. Effects of loading methods on rabbit welfare and meat quality[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 33-39.
[11] BÓRNEZ R, LINARES M B, VERGARA H. Effect of different gas stunning methods on Manchega suckling lamb meat packed under different modified atmospheres[J]. Meat Science, 2010, 84(4): 727-734.
[12] XIA Xiufang, KONG Baohua, LIU Qian, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine *longissimus dorsi* as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2009, 83(2): 239-245.
[13] 高淑娟. 两段式冷却及电刺激对牛肉食用品质和肌原纤维超微结构的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
[14] VERGARA H, BERRUGA M I, LINARES M B. Effect of gas composition on rabbit meat quality in modified atmosphere packaging[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(12): 1981-1986.
[15] 朱学伸. 动物宰后肌肉成熟期间乳酸含量与pH的变化[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
[16] ALLISON G G, HORTON R A, REES STEVENS P, et al. Changes in plasma metabolites and muscle glycogen are correlated to bovine spongiform encephalopathy in infected dairy cattle[J]. Research in Veterinary Science, 2007, 83(1): 40-46.
[17] LI Ke, ZHANG Yimin, MAO Yanwei, et al. Effect of very fast chilling and aging time on ultra-structure and meat quality characteristics of Chinese Yellow cattle *M. longissimus lumborum*[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 795-804.
[18] POMRAT S, SUMATE T, ROMMANEE S, et al. Changes in the ultrastructure and texture of prawn muscle (*Macrobrachium rosenbergii*) during cold storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(10): 1747-1754.
[19] 商务部屠宰技术鉴定中心, 江苏雨润食品产业集团有限公司. GB/T 9961—2008 鲜、冻胴体羊肉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
[20] BUEGE J A, AUST S D. Microsomal lipid peroxidation[J]. Methods in Enzymology, 1978, 52: 302-310.
[21] SANUDO C, MACIE E S, OLLETA J L. The effects of slaughter weight, breed type and aging time on beef meat quality using two different texture devices[J]. Meat Science, 2004, 66(4): 925-932.
[22] BERTRAM H C, WHITTAKER A K, SHORTHORSE W R, et al. Water characteristics in cooked beef as influenced by aging and high-

- pressure treatment: an NMR micro imaging study[J]. Meat Science, 2004, 66(2): 301-306.
- [23] ROWE L J, MADDOEK K R, LONERGAN S M, et al. Influence of early postmortem protein oxidation on beef quality[J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(3): 785-793.
- [24] LONERGAN E H, ZHANG Wangang, LONERGAN S M. Biochemistry of postmortem muscle: lessons on mechanisms of meat tenderization [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 184-195.
- [25] 诸永志, 宋玉, 黄伟, 等. 雪山草鸡宰后肌肉成熟过程中剪切力及肌纤维结构的变化[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(2): 351-354.
- [26] BRAGHERI A, CIFUNI G F, GIROLAMI A, et al. Chemical, physical and sensory properties of meat from pure and crossbred Podolian bulls at different aging times[J]. Meat Science, 2005, 69(4): 681-689.
- [27] 李兴艳. 兔肉成熟过程中理化及蛋白质功能性质的变化[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [28] KARABAGIAS I, BADEKA A, KONTOMINAS M G. Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging[J]. Meat Science, 2011, 88(1): 109-116.
- [29] YLÄ-AJOS M, RUUSUNEN M, PUOLANNE E. The significance of the activity of glycogen debranching enzyme in glycolysis in porcine and bovine muscles[J]. Meat Science, 2006, 72(3): 532-538.
- [30] 李永鹏. 宰后成熟过程对藏羊肉肉用品质及挥发性化合物的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.
- [31] ZAMORA F, DEBITON E, LEPETIT J, et al. Predicting variability of ageing and toughness in beef *M. longissimus lumborum et thoracis*[J]. Meat Science, 1996, 43(3/4): 321-333.
- [32] VOLPELLI L A, FAILLA S, SEPULERI A, et al. Calpain system *in vitro* activity and myofibril fragmentation index in fallow deer (*Dama dama*): effects of age and supplementary feeding[J]. Meat Science, 2005, 69(3): 579-582.
- [33] 杨佳艺. 冷鲜兔肉贮藏中微生物与理化性质的变化及其相关性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [34] PIGNOLI G, BOU R, RODRIGUEZ-ESTRADA M T, et al. Suitability of saturated aldehydes as lipid oxidation marker in washed turkey meat[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 412-416.