

解僵成熟对羊肉品质的影响

田寒雪^{1,2}, 饶伟丽¹, 王世静¹, 王宇¹, 王涵¹, 彭院院¹, 淑英¹, 程书梅¹, 王媛², 张志胜^{1*}

(1. 河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071001; 2. 衡水志豪畜牧科技有限公司, 国家羊肉加工技术研发专业中心, 河北 衡水 053000)

摘要: 为探究解僵成熟对羊肉品质的影响, 该文对贮藏 1 d 和 5 d 的小尾寒羊和湖羊的 pH 值、色差、保水性、质构、剪切力、氨基酸等指标进行测定, 探讨解僵成熟后羊肉的食用价值。结果表明, 羊肉在解僵期间 pH 值一直处于鲜肉标准, 解僵成熟后红度值(a^* 值)增加; 滴水损失率随贮藏时间的延长而增加, 但半膜肌部位保水性更好; 羊肉的硬度、黏附性显著增加($P<0.05$), 弹性和剪切力显著下降($P<0.05$), 且嫩度变化受部位影响较大; 总游离氨基酸含量显著下降($P<0.05$)。羊肉经贮藏 5 d 解僵成熟后, 颜色更为鲜亮, 嫩度得到明显提高, 该时的羊肉更适合烹饪加工, 但氨基酸含量降低较多, 营养价值有所流失。

关键词: 羊肉; 解僵成熟; 嫩度; 色泽; 氨基酸

Effect of Thawing and Ripening on Mutton Quality

TIAN Han-xue^{1,2}, RAO Wei-li¹, WANG Shi-jing¹, WANG Yu¹, WANG Han¹, PENG Yuan-yuan¹,
SHU Ying¹, CHENG Shu-mei¹, WANG Yuan², ZHANG Zhi-sheng^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, Hebei, China; 2. Hengshui Zhihao Animal Husbandry Technology Co., Ltd., National Mutton Processing Technology Research and Development Center, Hengshui 053000, Hebei, China)

Abstract: To explore the influence of thawing and ripening on mutton quality, the pH value, color difference, water retention, texture, shear force, and amino acid of Small Tailed Han sheep and Hu sheep stored for 1 d and 5 d were measured to explore the edible value of mutton after thawing maturity. The results showed that the pH value of mutton was always in the fresh meat standard during the thawing period, and the redness value (a^* value) increased after thawing. The drip loss rate increased with the extension of storage time, but the water retention of hemimembrane muscle was better. The hardness and adhesiveness of mutton increased significantly ($P<0.05$), while the elasticity and shearing force decreased significantly ($P<0.05$), and the tenderness was greatly influenced by the position. The content of total free amino acids decreased significantly ($P<0.05$). After 5 d of storage, the color of mutton after thawing and ripening was brighter and the tenderness was obviously improved. At this time, mutton was more suitable for cooking but the amino acid content was reduced, thereby losing the nutritional value.

Key words: mutton; thawing and ripening; tenderness; color; amino acid

引文格式:

田寒雪, 饶伟丽, 王世静, 等. 解僵成熟对羊肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(11): 53-59.

TIAN Hanxue, RAO Weili, WANG Shijing, et al. Effect of Thawing and Ripening on Mutton Quality[J]. Food Research and Development, 2023, 44(11): 53-59.

动物屠宰后发生的生化变化对肉的品质和后期加工有重大影响。在国内, 消费者多爱购买新鲜屠宰

的热鲜肉, 对冷却肉则持怀疑态度^[1], 但诸多研究表明, 冷却肉相较热鲜肉更适宜烹饪加工^[2]。动物经屠宰

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系羊产业创新团队专项(HBCT2018140203); 河北省省级科技计划资助重点研发计划项目(20327115D)

作者简介: 田寒雪(1997—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学与技术。

* 通信作者: 张志胜(1970—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 肉品科学与技术。

后,由于乳酸的积累会导致pH值下降至极限pH值,使得肉品进入最大僵直期,此时的肉缺少延伸性、硬度大、有粗糙感且缺乏风味^[3]。而经过4℃下贮藏一段时间的肉品,肌肉经过解僵成熟转变成肉,肉品得到嫩化,变得松弛,此时的肉品更适于食用。

羊肉的感官品质(包括色泽、嫩度和多汁性等)和营养成分是决定消费者购买与否的重要因素,宰后成熟时间对羊肉品质有着至关重要的影响。肖雄等^[4]通过对羔羊肉宰后168 h内的食用品质进行测定,结果表明,宰后120 h时解僵完成。赵晶^[5]对贮藏6 d内的羊肉进行品质测定,研究发现,羊肉在4℃下的适宜贮藏时间为5 d,5 d后羊肉的挥发性盐基氮值达到国家标准规定值(25 mg/100 g)。5 d既是4℃下最佳解僵时间,也是羊肉的最佳贮藏时间。故本文以1 d和5 d作为贮藏时间,探究解僵成熟对羊肉品质的影响。

小尾寒羊是我国乃至世界著名的肉裘兼用型绵羊品种,湖羊则由于其繁殖力强、生长较快且适宜舍饲而在南方普遍饲养^[6]。故本文选取小尾寒羊和湖羊2个品种及其背最长肌和半膜肌2个部位,探究解僵成熟对不同品种和部位羊肉品质的影响,以期为解僵成熟前后羊肉品质研究从不同角度提供参考,为羊肉贮藏提供新的理念和方式。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取7月龄、性别公、饲养环境相同的小尾寒羊和湖羊各10只,活体质量为(52.97±2.22) kg,在保定振宏屠宰场进行屠宰,屠宰前禁食24 h,禁水2 h,以电击晕方式进行放血屠宰,宰后胴体质量为(27.60±1.52) kg,将胴体沿脊柱左右分开,左右两侧胴体各取背最长肌(longissimus dorsi, LD)和半膜肌(semimembranous muscle, SM)装入自封袋中,冰袋运输带回河北农业大学畜产品加工创新实验室用于品质分析。

硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、碳酸钠、碳酸氢钠、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、冰乙酸(均为分析纯)、乙腈(色谱纯):国药集团化学试剂有限公司;硼酸、石油醚、硫酸、盐酸、乙酸镁、无水乙酸钠、2,4-二硝基氯苯(均为分析纯):天津市科密欧化学试剂有限公司;氯化铵、17种氨基酸混标:上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

Testo 205 便携式pH计:德图仪表(深圳)有限公司;CR-400 色彩色差计:日本柯尼卡美能达公司;TMS-pilot 食物物性分析仪:美国FTC公司;AR23CN 电子天平:奥豪斯仪器(上海)有限公司;K1100 自动凯氏定氮仪、SH220F 石墨消解仪:山东海能科学仪器有限公司;HH-2J 电热恒温水浴箱:金坛市杰瑞尔电气制造有限

公司;OHG-943BS 电热鼓风干燥箱:上海新苗医疗器械制造有限公司;SX2-5-12 马弗炉:天津市中环实验电炉有限公司;waters e2695 高效液相色谱仪、Symmetry C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5.0 μm):沃特世科技(上海)有限公司。

1.3 试验方法

将小尾寒羊和湖羊按照1 d和5 d两个贮藏期及背最长肌(LD)和半膜肌(SM)2个部位分为8组,测定小尾寒羊和湖羊营养成分(水分、蛋白质、脂肪、灰分、氨基酸),分析解僵成熟对食用品质(pH值、色泽、嫩度、质构、蒸煮损失、滴水损失)的影响。

1.3.1 羊肉基本营养成分测定

蛋白质的测定采用GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法;脂肪测定采用GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法;水分测定采用GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的高温干燥法;灰分测定采用GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的马弗炉灼烧法。

1.3.2 pH值测定

肉羊屠宰后,使用便携式pH计测定背最长肌的pH值,探头插入深度为2 cm,待pH计稳定后再读数,分别测定宰后6、12 h和1、3、5 d的pH值,记作pH_{6h}、pH_{12h}、pH_{1d}、pH_{3d}、pH_{5d},每个部位随机测定3次,取平均值。

1.3.3 色泽测定

用全自动色差计测定贮藏1、5 d的背最长肌色泽,肌肉切面需要在空气中暴露10 min后测定,每个样品平行测定3次。*L**值表示亮度;*a**值表示红度;*b**值表示黄度。

1.3.4 滴水损失率测定

在屠宰后24 h取样,将肉样切成3 cm×2 cm×2 cm的长条,参照何凡等^[7]的方法,精确称重(*G*₁, g)后分别在1、5 d后取出样品称重(*G*₂, g),滴水损失率计算公式如下。

$$\text{滴水损失率}/\% = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100$$

1.3.5 蒸煮损失率测定

将羊肉切为约5 cm×4 cm×4 cm的体积,使肉样在80℃水浴箱内蒸煮,直至中心温度达到75℃后,在蒸煮前称量肉样的质量为*G*₃(g)。在蒸煮后要使其肉样的温度降到室温(25℃)后再用吸水纸把水分吸干,最后称取质量为*G*₄(g)。计算蒸煮损失率的公式如下。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{G_3 - G_4}{G_3} \times 100$$

1.3.6 质构及嫩度测定

取测蒸煮损失后的肉样,将肉样沿肌纤维方向将其切成1.5 cm×1.0 cm×1.0 cm的肉块,用食物物性分析

仪测定质构及剪切力值。

1.3.7 游离氨基酸含量测定

以高效液相色谱法测定游离氨基酸含量,将1 g羊肉样品酸水解,用2,4-二硝基氯苯衍生后测定。流动相A为乙腈,B为乙酸-乙酸钠缓冲溶液。

色谱条件:柱温43℃;检测波长360 nm;流动相流速1 mL/min;梯度洗脱程序:0~10 min,流动相A与B的体积比为18:82;10 min~15 min,流动相A与B的体积比为29:71;15 min~25 min,流动相A与B的体积比为34:66;25 min~30 min,流动相A与B的体积比为55:45;30 min~37 min,流动相A与B的体积比为60:40;37 min~45 min,流动相A与B的体积比为18:82。

1.4 统计方法

结果以平均值±标准差表示。采用Origin 2020进行绘图,采用SPSS 21.0软件进行统计分析,采用单因素方差分析进行差异显著性检验,Duncan's多重比较。

2 结果与分析

2.1 羊肉基本营养成分分析

小尾寒羊与湖羊营养成分测定结果如表1所示,各因素对营养成分影响的显著性结果如表2所示。

表1 小尾寒羊与湖羊常规营养成分

Table 1 Routine nutrients of Small Tailed Han sheep and Hu sheep		%			
项目		水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
小尾寒羊	1 d LD	74.49±0.78 ^c	21.33±0.65 ^{ab}	1.11±0.55 ^b	1.24±0.05 ^a
	5 d LD	74.37±1.16 ^c	21.44±0.38 ^{ab}	2.13±1.25 ^a	1.17±0.07 ^c
湖羊	1 d SM	75.84±1.03 ^a	20.81±0.67 ^b	0.43±0.20 ^c	1.23±0.03 ^{abc}
	5 d SM	74.44±1.59 ^c	21.41±0.38 ^{ab}	0.60±0.29 ^{bc}	1.18±0.04 ^{bc}
湖羊	1 d LD	74.62±0.55 ^c	21.46±0.54 ^{ab}	0.90±0.29 ^{bc}	1.22±0.04 ^{ab}
	5 d LD	74.17±0.50 ^c	21.82±0.45 ^a	1.93±0.81 ^a	1.24±0.05 ^{ab}
湖羊	1 d SM	75.68±0.92 ^{ab}	20.96±0.58 ^b	0.41±0.15 ^c	1.22±0.06 ^{abc}
	5 d SM	74.82±0.99 ^{bc}	21.34±0.84 ^{ab}	0.73±0.32 ^{bc}	1.23±0.05 ^{ab}

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

表2 各因素对营养成分影响的显著性

Table 2 The significance of the influence of various factors on nutritional components					
项目		水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
品种		0.862	0.312	0.605	0.815
贮藏时间		0.004	0.013	0.000	0.091
部位		0.002	0.009	0.000	0.083
品种×贮藏时间		0.819	0.968	0.805	0.623
品种×部位		0.760	0.457	0.377	0.999
部位×贮藏时间		0.079	0.369	0.010	0.004
品种×部位×贮藏时间		0.357	0.423	0.828	0.746

注: $P<0.05$ 表示影响显著。

由表1、表2可知,小尾寒羊和湖羊均具有较高的蛋白质含量和较低的脂肪含量。2个品种的营养成分间差异不明显,2个部位的粗蛋白粗脂肪和水分存在显著差异($P<0.05$),部位对水分、粗蛋白和粗脂肪有

显著影响($P<0.05$),其中半膜肌的粗脂肪含量显著低于背最长肌($P<0.05$)。

2.2 pH值测定结果分析

宰后贮藏过程中,伴随三磷酸腺苷(adenosine triphosphate,ATP)水解产生 H^+ , H^+ 的产生会使肌肉酸化,pH值的降低使得鲜肉产生其特有的感官品质^[8]。经糖酵解后,新鲜肉的pH值应为5.8~6.2,次鲜肉pH值为6.3~6.6。小尾寒羊和湖羊贮藏期间的pH值变化如表3所示。

表3 小尾寒羊与湖羊贮藏期间pH值的变化

Table 3 Changes in pH between Small Tailed Han and Hu sheep at different postmortem times					
品种	6 h	12 h	1 d	3 d	5 d
小尾寒羊	6.66±0.34 ^a	5.93±0.13 ^c	5.87±0.09 ^c	5.90±0.08 ^c	5.87±0.08 ^c
湖羊	6.49±0.16 ^b	5.90±0.13 ^c	5.86±0.08 ^c	5.90±0.08 ^c	5.91±0.07 ^c

注:不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表3可知,在屠宰6 h后,湖羊的pH值下降到6.49,小尾寒羊的pH值下降到6.66,宰后湖羊的pH值的下降速率快于小尾寒羊,二者在宰后1 d达到极限pH值分别为5.87、5.86,宰后12 h~5 d的贮藏期内小尾寒羊和湖羊的pH值变化稳定且无显著差异($P>0.05$);贮藏3 d后pH值有所回升但差异不显著($P>0.05$),这可能是由于肌糖原不足导致宰后糖酵解终止,减少了宰后 H^+ 的积累。

宰后pH值的变化与肉品的颜色及嫩度均有关,颜色较淡的肉与加速或延缓pH值下降有关(pH值 <5.4),而颜色较深的肉与较高的极限pH值有关(pH值 >6.0)^[9]。宰后初期,pH值的快速下降可能导致钙蛋白酶的激活较早,从而导致蛋白质早期快速降解,并最终降低剪切力^[10-11]。

2.3 色泽变化分析

肉色主要取决于肌肉色素和肌红蛋白的氧化状态^[12]。解僵成熟对羊肉色泽的影响如表4所示,各因素对羊肉色泽影响的显著性结果如表5所示。

由表4、表5可知,品种和贮藏时间对 a^* 值有显

表4 解僵成熟对羊肉色泽的影响

Table 4 Effect of thawing and ripening on the color of mutton				
项目		L^* 值	a^* 值	b^* 值
小尾寒羊	1 d LD	45.24±1.01	14.36±0.63 ^{ab}	4.30±0.48
	5 d LD	45.09±0.89	14.66±0.94 ^{ab}	4.89±0.89
	1 d SM	45.63±0.81	14.73±0.75 ^{ab}	4.93±0.58
	5 d SM	44.45±1.06	15.40±1.00 ^a	5.01±0.48
湖羊	1 d LD	45.11±0.86	13.85±0.85 ^b	3.97±0.43
	5 d LD	44.48±1.02	14.44±0.68 ^{ab}	4.53±0.44
	1 d SM	44.89±0.76	13.23±0.82 ^b	4.07±0.54
	5 d SM	43.83±0.88	14.49±0.86 ^{ab}	4.72±0.76

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$;未标字母则不显著, $P>0.05$ 。

表5 各因素对羊肉色泽影响的显著性

Table 5 The significance of various factors on the color of mutton

项目	L^* 值	a^* 值	b^* 值
品种	0.261	0.021	0.195
贮藏时间	0.107	0.039	0.185
部位	0.544	0.679	0.463
品种×贮藏时间	0.845	0.515	0.696
品种×部位	0.743	0.213	0.751
部位×贮藏时间	0.431	0.445	0.765
品种×部位×贮藏时间	0.747	0.823	0.673

注: $P<0.05$ 表示影响显著。

著影响($P<0.05$),贮藏1 d的小尾寒羊半膜肌 a^* 值明显大于湖羊,贮藏5 d时的两个品种的 a^* 值明显大于1 d,而品种、贮藏时间、部位的交互作用对色泽无显著影响($P>0.05$),这说明品种和部位对贮藏期间肉色的变化无显著影响。小尾寒羊的 a^* 值略大于湖羊,可能是由于小尾寒羊的运动量高于湖羊,从而含有较丰富的肌红蛋白,肉色较红。

小尾寒羊和湖羊贮藏5 d后均出现了 L^* 值下降、 a^* 值增加、 b^* 值增加的现象,由表中贮藏时间对肉品影响可知,除 a^* 值外均无显著差异($P>0.05$),说明在贮藏过程中肉色逐渐变为深红色。 b^* 值的变化与脂肪的氧化程度有关^[13],脂肪的氧化程度越高, b^* 值越大,从表中可看出, b^* 值变化较小,这表明贮藏期间脂肪氧化程度较低。

2.4 保水性变化

羊肉在贮运销售过程中滴水损失和汁液流失会导致严重的宰后损耗和品质劣变,增加经济损失。糖原的酵解、宰后蛋白质的降解及肌纤维结构的变化均会通过影响肌肉对水分的吸引力或空间结构而影响到系水力^[14]。解僵成熟对羊肉保水性的影响如表6所示,各因素对羊肉保水性影响的显著性结果如表7所示。

由表6、表7可知,贮藏5 d时湖羊半膜肌的滴水损失率明显小于背最长肌,这表明半膜肌部位的保水性较好,在贮藏过程中出水较少。贮藏时间对滴水损

表6 解僵成熟对羊肉保水性的影响

Table 6 Effect of thawing and ripening on water retention of mutton

项目		滴水损失率	蒸煮损失率
		%	
小尾寒羊	1 d LD	1.47±0.28 ^c	32.42±1.77
	5 d LD	4.65±0.32 ^a	34.01±2.27
	1 d SM	1.75±0.66 ^c	32.30±2.16
	5 d SM	4.33±0.79 ^{ab}	33.55±1.72
	1 d LD	1.47±0.44 ^c	33.49±0.97
湖羊	5 d LD	4.83±1.17 ^a	33.27±1.35
	1 d SM	1.42±0.49 ^c	32.85±1.87
	5 d SM	3.72±1.11 ^b	32.52±1.48

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$;未标字母则不显著, $P>0.05$ 。

表7 各因素对羊肉保水性影响的显著性

Table 7 The significance of each factor on the water retention of mutton

项目	滴水损失率	蒸煮损失率
品种	0.389	0.876
贮藏时间	0.000	0.211
部位	0.173	0.544
品种×贮藏时间	0.929	0.053
品种×部位	0.214	0.472
部位×贮藏时间	0.070	0.724
品种×部位×贮藏时间	0.607	0.966

注: $P<0.05$ 表示影响显著。

失率有显著性影响,贮藏时间越长滴水损失率越高,而品种对贮藏期滴水损失率的影响较小。肌肉的持水能力下降会导致肌肉表面水分增多和光反射率升高^[7],这与湖羊半膜肌部位 L^* 值相较其它品种和部位偏低的结果一致。

蒸煮损失率随贮藏时间变化无显著差异($P>0.05$),保持在32.30%~34.01%,随着贮藏时间的延长,由于蛋白质变性,烹饪时肌原纤维结构的刚性增加,蒸煮损失率会因为肌肉组织结构变化而增加^[14],这与烹饪期间水分损失的增加有关,这表明小尾寒羊和湖羊在贮藏过程中蛋白质降解较少,组织结构较为稳定。

2.5 嫩度的变化

嫩度是影响羊肉感官品质的重要因素,嫩度主要由肌原纤维、结缔组织及肌内脂肪等因素决定,同时解僵成熟中肌原纤维蛋白的化学结构状态、结缔组织的变化程度及胶原蛋白的溶解性和交联度都是影响嫩度变化的主要因素^[15-18]。解僵成熟对羊肉嫩度的影响如表8所示,各因素对羊肉嫩度影响的显著性结果如表9所示。

表8 解僵成熟对羊肉嫩度的影响

Table 8 Effect of thawing and ripening on tenderness of mutton

项目	硬度/ N	弹性/ mJ	黏附 性/mm	胶黏 性/N	咀嚼 性/mJ	剪切 力/N
小尾 寒羊	1 d LD	22.22± 6.79 ^{ac}	4.66± 1.30 ^a	0.14± 0.05 ^b	13.90± 4.06 ^{bc}	59.07± 7.21 ^a
	5 d LD	29.25± 2.96 ^a	3.09± 0.19 ^b	0.45± 0.08 ^a	17.30± 1.74 ^b	53.88± 7.18 ^{ab}
	1 d SM	17.52± 7.03 ^c	4.71± 1.62 ^a	0.14± 0.07 ^b	14.59± 5.38 ^{bc}	46.81± 10.95 ^b
	5 d SM	28.71± 2.96 ^a	3.21± 0.23 ^b	0.46± 0.06 ^a	22.48± 2.58 ^a	55.36± 8.64 ^{ab}
	1 d LD	19.84± 5.79 ^{ac}	4.87± 1.46 ^a	0.13± 0.04 ^b	12.54± 3.60 ^c	54.93± 11.17 ^{ab}
	5 d LD	24.91± 4.12 ^{ab}	3.01± 0.27 ^b	0.38± 0.12 ^a	14.86± 2.89 ^{bc}	44.36± 6.79 ^b
湖羊	1 d SM	18.66± 6.97 ^{bc}	4.34± 0.84 ^a	0.12± 0.04 ^b	15.40± 5.51 ^{bc}	43.68± 13.08 ^b
	5 d SM	30.87± 5.38 ^a	3.34± 0.17 ^b	0.39± 0.11 ^a	23.99± 3.93 ^a	60.56± 11.06 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

表 9 各因素对羊肉嫩度影响的显著性

Table 9 The significance of each factor on tenderness of mutton

项目	硬度	弹性	黏附性	胶黏性	咀嚼性	剪切力
品种	0.574	0.055	0.923	0.735	0.301	0.005
贮藏时间	0.000	0.000	0.000	0.000	0.392	0.000
部位	0.955	0.971	0.990	0.000	0.616	0.094
品种×贮藏时间	0.891	0.233	0.819	0.945	0.751	0.209
品种×部位	0.093	0.858	0.688	0.148	0.158	0.730
部位×贮藏时间	0.053	0.730	0.331	0.010	0.000	0.681
品种×部位×贮藏时间	0.625	0.845	0.420	0.682	0.219	0.889

注: $P<0.05$ 表示影响显著。

由表 8、表 9 可知,贮藏时间对硬度、弹性、黏附性、胶黏性和剪切力均起到了显著影响($P<0.05$),经过 5 d 的贮藏期后,小尾寒羊和湖羊均出现了硬度提高、弹性下降、黏附性提高、胶黏性提高、剪切力下降的现象,而背最长肌部位的咀嚼性下降、半膜肌部位咀嚼性增加。咀嚼性是指咀嚼肌收缩时所能发挥的最大力量,2 个部位不同变化趋势的影响因素还需探究。部位对胶黏性有显著影响($P<0.05$),背最长肌的胶黏性明显小于半膜肌,其中贮藏时间和部位的交互作用对胶黏性和咀嚼性起到了显著影响($P<0.05$)。

品种对剪切力有显著影响($P<0.05$),贮藏 1 d 时

小尾寒羊半膜肌剪切力显著小于湖羊半膜肌($P<0.05$)。小尾寒羊在贮藏 1 d 时的剪切力明显小于湖羊,经 5 d 的解僵后,二者的剪切力达到同一水平。剪切力是嫩度测定时最常用的指标,剪切力越小则嫩度越好,这表明贮藏 1 d 时小尾寒羊的嫩度要略好于湖羊,经过 5 d 的成熟后二者嫩度相同。宰后 1 d~5 d 的羊肉处于解僵期,尸僵时收缩的肌纤维又恢复伸长而变得柔软,解除僵直状态,故嫩度变好,剪切力降低,小尾寒羊背最长肌和半膜肌的剪切力分别下降了 39.48% 和 37.04%,湖羊背最长肌和半膜肌的剪切力分别下降了 43.50%、38.30%,这一变化与 Yan 等^[19]的研究结果相似,解僵成熟对不同品种羊肉剪切力的影响程度不同。

2.6 游离氨基酸的变化

表 10、表 11 分别为解僵成熟对羊肉非必需氨基酸含量的影响及显著性结果,表 12、表 13 分别为解僵成熟对羊肉必需氨基酸含量的影响及显著性结果。

由表 10 和表 12 可知,小尾寒羊和湖羊共检测到 15 种氨基酸,其中含必需氨基酸(essential amino acid, EAA) 8 种,非必需氨基酸(non-essential amino acid, NEAA) 7 种。其中含量最高的氨基酸为谷氨酸,必需氨基酸含量最高的为亮氨酸。由表 11 和表 13 可知,品种对氨基酸含量的影响不显著($P>0.05$),这表明羊肉氨基酸含量主要受饲料和环境影响,与品种关系较小。

表 10 解僵成熟对羊肉非必需氨基酸含量的影响

Table 10 Effect of thawing and ripening on the content of non-essential amino acid in mutton

		mg/g							
项目		天冬氨酸	谷氨酸	丝氨酸	甘氨酸	脯氨酸	丙氨酸	精氨酸	非必需氨基酸
小尾寒羊	1 d LD	18.53±1.27 ^a	33.75±2.34 ^a	9.35±0.76 ^a	12.41±1.06 ^a	7.75±0.61 ^a	12.36±0.90 ^b	6.99±0.46 ^a	101.14±7.25 ^a
	5 d LD	16.26±1.05 ^{cd}	29.90±1.73 ^c	8.44±0.57 ^b	10.14±0.66 ^c	6.51±0.26 ^{bc}	10.43±0.65 ^c	5.84±0.52 ^{cd}	87.52±4.72 ^{cd}
	1 d SM	17.34±1.89 ^{abc}	30.97±3.31 ^{bc}	8.64±0.78 ^{ab}	12.14±1.42 ^{ab}	7.62±0.94 ^a	11.26±1.25 ^{bc}	6.31±0.76 ^{bc}	94.28±9.64 ^{abc}
	5 d SM	16.03±2.48 ^{cd}	23.89±3.78 ^d	6.85±1.07 ^c	11.04±2.42 ^{abc}	6.62±1.07 ^{bc}	14.70±2.21 ^a	4.32±0.59 ^e	82.67±10.45 ^{bc}
湖羊	1 d LD	18.13±0.66 ^{ab}	33.22±1.20 ^{ab}	9.25±0.37 ^{ab}	12.41±0.48 ^a	7.67±0.40 ^a	12.00±0.24 ^b	7.21±0.40 ^a	99.88±3.55 ^{ab}
	5 d LD	16.66±1.40 ^{bc}	30.13±2.32 ^c	8.39±0.88 ^b	9.43±1.02 ^c	6.59±0.32 ^{bc}	10.62±0.94 ^c	5.66±0.49 ^d	87.48±7.16 ^{cd}
	1 d SM	16.85±1.70 ^{abc}	30.23±3.17 ^c	8.50±1.00 ^{ab}	11.01±2.18 ^{abc}	7.27±0.73 ^{ab}	11.05±1.04 ^{bc}	6.81±0.93 ^{ab}	91.96±7.66 ^{bc}
	5 d SM	14.66±1.83 ^d	22.19±2.79 ^d	6.38±0.86 ^c	10.71±1.49 ^{bc}	6.02±0.65 ^c	13.60±1.70 ^a	3.98±0.50 ^e	77.54±9.69 ^c

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

表 11 各因素对羊肉非必需氨基酸影响的显著性

Table 11 The significance of various factors on non-essential amino acids in mutton

项目	天冬氨酸	谷氨酸	丝氨酸	甘氨酸	脯氨酸	丙氨酸	精氨酸	非必需氨基酸
品种	0.242	0.299	0.347	0.142	0.151	0.231	0.738	0.274
贮藏时间	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000
部位	0.004	0.000	0.000	0.726	0.130	0.000	0.000	0.000
品种×贮藏时间	0.960	0.941	0.732	0.955	0.891	0.786	0.038	0.842
品种×部位	0.239	0.419	0.560	0.611	0.155	0.357	0.838	0.441
部位×贮藏时间	0.878	0.003	0.008	0.010	0.928	0.000	0.000	0.999
品种×部位×贮藏时间	0.960	0.516	0.620	0.304	0.536	0.241	0.453	0.613

注: $P<0.05$ 表示影响显著。

表 12 解僵成熟对羊肉必需氨基酸含量的影响

Table 12 Effect of thawing and ripening on content of essential amino acid in mutton

		mg/g								
项目		苏氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	必需氨基酸
小尾寒羊	1 d LD	11.35±0.84 ^a	10.62±0.72 ^a	6.01±0.43 ^a	9.74±1.43 ^{ab}	17.35±1.06 ^a	7.85±0.43 ^a	4.38±0.96 ^{ab}	13.79±0.90 ^a	81.09±4.92 ^a
	5 d LD	10.01±0.71 ^c	9.11±0.56 ^{cd}	5.21±0.34 ^b	8.13±0.53 ^d	14.76±0.94 ^{cd}	6.47±0.53 ^{cd}	3.20±0.79 ^b	11.46±0.57 ^b	68.35±4.11 ^c
	1 d SM	10.22±0.97 ^{bc}	8.48±1.60 ^d	5.99±0.65 ^a	9.42±1.24 ^{abc}	16.45±1.99 ^{ab}	7.95±1.09 ^a	4.90±1.53 ^a	13.68±1.46 ^a	77.08±7.89 ^a
	5 d SM	7.05±1.13 ^d	11.00±1.83 ^a	3.76±0.55 ^c	8.98±1.37 ^{cd}	15.46±2.29 ^{bcd}	5.81±0.80 ^{bc}	3.89±1.71 ^{ab}	6.38±0.88 ^c	62.38±8.06 ^d
湖羊	1 d LD	11.08±0.33 ^{ab}	10.43±0.34 ^{ab}	5.97±0.18 ^b	10.14±0.45 ^a	17.05±0.70 ^a	7.64±0.59 ^{ab}	3.73±1.17 ^{ab}	13.47±0.66 ^a	79.23±3.77 ^a
	5 d LD	9.89±1.13 ^c	9.36±0.68 ^{cd}	5.18±0.63 ^b	8.42±0.74 ^{cd}	15.41±1.26 ^{cd}	6.96±0.60 ^{bc}	3.23±0.96 ^b	11.58±0.84 ^b	70.13±5.66 ^{bc}
	1 d SM	9.97±1.24 ^c	8.79±1.04 ^d	5.60±0.69 ^b	9.01±0.77 ^{cd}	15.90±1.25 ^{abc}	7.44±0.57 ^{ab}	5.11±1.69 ^a	13.00±1.95 ^a	74.92±6.71 ^{ab}
	5 d SM	6.60±0.93 ^d	10.01±1.27 ^{abc}	3.48±0.43 ^c	8.15±0.99 ^d	14.10±1.68 ^d	5.26±0.69 ^c	3.72±1.88 ^{ab}	5.86±0.63 ^c	57.14±6.35 ^d

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 13 各因素对羊肉必需氨基酸影响的显著性

Table 13 The significance of various factors on the essential amino acids of mutton

项目	苏氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	必需氨基酸
品种	0.239	0.565	0.143	0.571	0.285	0.263	0.684	0.185	0.209
贮藏时间	0.000	0.288	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000
部位	0.000	0.261	0.000	0.375	0.070	0.001	0.033	0.000	0.000
品种×贮藏时间	0.963	0.426	0.817	0.584	0.918	0.334	0.834	0.563	0.924
品种×部位	0.740	0.501	0.227	0.051	0.124	0.053	0.636	0.339	0.218
部位×贮藏时间	0.000	0.000	0.000	0.039	0.325	0.001	0.612	0.000	0.075
品种×部位×贮藏时间	0.691	0.112	0.865	0.746	0.229	0.277	0.459	0.790	0.260

注: $P<0.05$ 表示影响显著。

贮藏时间、部位对各游离氨基酸含量有显著性影响,除丙氨酸、缬氨酸外,大多氨基酸含量随贮藏时间的延长而减少;贮藏 1 d 时,除苯丙氨酸和赖氨酸外,背最长肌部位的氨基酸含量均高于半膜肌,贮藏 5 d 时,背最长肌谷氨酸、丝氨酸、精氨酸、苏氨酸、甲硫氨酸、组氨酸含量及 EAA 显著高于半膜肌($P<0.05$)。品种和贮藏时间的交互作用对精氨酸的含量有显著影响($P<0.05$),随着贮藏时间的延长,湖羊精氨酸含量的减少明显大于小尾寒羊;部位和贮藏时间的交互作用对除亮氨酸、赖氨酸、天冬氨酸及脯氨酸外的氨基酸皆有显著影响($P<0.05$),半膜肌部位缬氨酸、丙氨酸的含量随贮藏时间的延长而增加,背最长肌则呈降低趋势,除甘氨酸和异亮氨酸外,其余氨基酸含量随贮藏时间在半膜肌部位下降程度大于或个别等于背最长肌。

综上,品种对氨基酸含量的变化无显著影响,部位对其影响较大。小尾寒羊和湖羊均具有较充足的氨基酸,且背最长肌的氨基酸含量更多,但随贮藏时间的延长,在微生物和酶的作用下 2 种羊的氨基酸含量皆有所降解,部分游离氨基酸随滴水损失而流失^[20],且半膜肌部位氨基酸降解更快。

3 讨论与结论

小尾寒羊和湖羊 2 个品种在贮藏期间色差、质构

和剪切力存在差异。贮藏 1 d 时,小尾寒羊半膜肌的硬度值明显大于湖羊,小尾寒羊半膜肌的剪切力显著小于湖羊半膜肌($P<0.05$);解僵成熟后小尾寒羊背最长肌的硬度、胶黏性和咀嚼性明显大于湖羊,剪切力则无明显差异。贮藏期间,湖羊剪切力下降程度大于小尾寒羊,这表明嫩度的变化在贮藏时间的基础上受品种的影响很大。在贮藏 5 d 后,羊肉的剪切力下降,嫩度得到改善,但出现了硬度增加的现象,这一结果与张晶晶^[21]的研究结果相似,但硬度增加的原因还需探究。

从不同部位而言,贮藏 5 d 时湖羊半膜肌部位的胶黏性和咀嚼性显著大于背最长肌($P<0.05$),背最长肌嫩度更佳;贮藏 5 d 后,游离氨基酸含量整体呈下降趋势,这一结果与涂婷等^[22]的研究结果相似,背最长肌部位 EAA、NEAA 含量显著减少($P<0.05$),半膜肌中,缬氨酸和丙氨酸含量增加,其它氨基酸含量均明显减少且大部分氨基酸含量降低幅度远大于背最长肌,这表明不同部位受解僵成熟的影响程度不同。

随着贮藏时间延长,羊肉的 L^* 值减小, a^* 值和 b^* 值增加,保水性变差,弹性和剪切力显著降低($P<0.05$),EAA、NEAA 含量显著减少($P<0.05$);通过探究小尾寒羊和湖羊 2 个羊品种及半膜肌和背最长肌 2 个部位在解僵成熟后的变化发现,解僵成熟后羊肉的嫩度有明显改善,但氨基酸含量明显减少,营养价值有所流失,

因此消费者在购买羊肉后可于4℃冰箱中短期贮藏来改善口感,后续研究可探讨如何在改善嫩度的基础上减少贮藏过程中水分和营养成分的流失。

参考文献:

- [1] 张德权,侯成立.热鲜肉与冷却肉品质差异之管见[J].肉类研究,2020,34(5):83-90.
ZHANG Dequan, HOU Chengli. Humble opinion on the quality difference between hot meat and chilled meat[J]. Meat Research, 2020, 34(5): 83-90.
- [2] WANG H H, QIN Y, LI J H, et al. Edible quality of soft-boiled chicken processing with chilled carcass was better than that of hot-fresh carcass[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(2): 797-804.
- [3] PAREDI G, RABONIS, BENDIXEN E, et al. 'Muscle to meat' molecular events and technological transformations: The proteomics insight[J]. Journal of Proteomics, 2012, 75(14): 4275-4289.
- [4] 肖雄,侯成立,李欣,等.宰后贮藏过程中羔羊肉食用品质的变化[J].肉类研究,2019,33(9):53-58.
XIAO Xiong, HOU Chengli, LI Xin, et al. Changes in eating quality of lamb during postmortem storage[J]. Meat Research, 2019, 33(9): 53-58.
- [5] 赵品.不同贮藏条件下羊肉品质及其DNA质量的研究[D].西安:陕西师范大学,2018.
ZHAO Jing. Study on mutton quality and DNA quality under different storage conditions[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018.
- [6] 姜勋平,许锋,刘桂琼.世界绵羊高繁殖力品种资源及其利用[J].养殖与饲料,2020(3):1-5.
JIANG Xunping, XU Feng, LIU Guiqiong. The world sheep breed resources with high fertility and its utilization[J]. Animals Breeding and Feed, 2020(3): 1-5.
- [7] 何凡,王振宇,张彩霞,等.不同品种羊肉滴水损失与肌肉品质的关系[J].中国食品学报,2018,18(9):239-247.
HE Fan, WANG Zhenyu, ZHANG Caixia, et al. Effect of drip loss of lamb from different varieties on the meat quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(9): 239-247.
- [8] ENGLAND E M, MATARNEH S K, SCHEFFLER T L, et al. Perimortem muscle metabolism and its effects on meat quality[M]//New Aspects of Meat Quality. Amsterdam: Elsevier, 2017: 63-89.
- [9] SCHEFFLER T L, GERRARD D E. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling postmortem energy metabolism[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 7-16.
- [10] KAHRAMAN T, BAYRAKTAROGU A G, VURAL A, et al. Electron microscopy of contractile bands and quality characteristics in high-voltage electrical stimulation broiler breast meat[J]. Poultry Science, 2011, 90(2): 486-490.
- [11] HUANG J C, YANG J, HUANG F, et al. Effect of fast pH decline during the early postmortem period on calpain activity and cytoskeletal protein degradation of broiler *M. pectoralis major*[J]. Poultry Science, 2016, 95(10): 2455-2463.
- [12] SHARIFZADEH S, CLEMMENSEN L H, BORGGAARD C, et al. Supervised feature selection for linear and non-linear regression of $L^* a^* b^*$ color from multispectral images of meat[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2014, 27(1): 211-227.
- [13] 刘畅,罗玉龙,张亚琨,等.苏尼特羊不同部位肌肉抗氧化系统的差异[J].中国食品学报,2020,20(3):291-297.
LIU Chang, LUO Yulong, ZHANG Yakun, et al. Differences of muscle antioxidant system in different positions of sunit sheep[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(3): 291-297.
- [14] 徐晨晨.钙蛋白酶介导的日粮抗氧化剂降低羊肉滴水损失的机制[D].北京:中国农业大学,2018.
XU Chenchen. The mechanism of calpain-mediated dietary antioxidant reduce drip loss in lamb meat[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [15] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520-532.
- [16] KOOHMARAIE M, GEESINK G H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system[J]. Meat Science, 2006, 74(1): 34-43.
- [17] VASKOSKA R, HA M, ONG L, et al. Myosin sensitivity to thermal denaturation explains differences in water loss and shrinkage during cooking in muscles of distinct fibre types[J]. Meat Science, 2021, 179(4): 108521.
- [18] WANG F L, ZHANG Y W, LI J K, et al. Contribution of cross-links and proteoglycans in intramuscular connective tissue to shear force in bovine muscle with different marbling levels and maturities[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 413-419.
- [19] YAN X L, LIU R, ZHANG C Y, et al. The postmortem μ -calpain activity, protein degradation and tenderness of sheep meat from Duolang and Hu breeds[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(4): 904-912.
- [20] ZHANG C, ZHANG H, LIU M, et al. Effect of breed on the volatile compound precursors and odor profile attributes of lamb meat[J]. Foods, 2020, 9(9): 1178.
- [21] 张晶晶.基于高光谱技术的滩羊肉持水性及质构剖面特性快速检测[D].银川:宁夏大学,2019.
ZHANG Jingjing. Rapid detection for water-holding and texture profile characteristics of Tan-mutton based on hyperspectral technology[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [22] 涂婷,汤晓艳,汤舒越,等.不同贮藏与冻融方式对猪肉中氨基酸含量的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(20):174-179.
TU Ting, TANG Xiaoyan, TANG Shuyue, et al. The effect of different storage and freeze-thaw method on the amino acids profile in pork[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 174-179.

加工编辑:张昱

收稿日期:2022-09-22