

牦牛肉牛瘤胃平滑肌肌原纤维蛋白特性 及品质变化差异分析

刘慧¹, 余群力¹, 朱跃明², 张文华³, 薄文喜⁴, 韩玲¹

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃兰州 730070)

(2. 张掖市万禾草畜产业科技开发有限责任公司, 甘肃张掖 734000)

(3. 宁夏夏华肉食品有限公司, 宁夏中卫 755000) (4. 河北福成五丰食品股份有限公司, 河北廊坊 065000)

摘要: 本文研究了牦牛肉牛瘤胃肌原纤维蛋白特性及品质的变化规律, 以期为平滑肌的深入研究提供理论参考。以牦牛肉牛瘤胃为研究对象, 宰后 4 °C 冷藏过程中测定其失水率、蒸煮损失、剪切力、肌原纤维小片化指数 (MFI)、蛋白溶解度、表面疏水性及组织结构的变化规律。结果表明: 整个冷藏过程中, 两种瘤胃的失水率、蒸煮损失、MFI、表面疏水性呈上升趋势, 均在 7 d 时上升到最大值。而剪切力、蛋白溶解度均呈下降趋势。牦牛瘤胃剪切力、总蛋白与肌原纤维蛋白溶解度分别在 7 d 时下降到最小值 5.54 kgf、314.19 mg/g、116.37 mg/g。肉牛瘤胃剪切力在 1 d 时为最小值 7.82 kgf; 总蛋白与肌浆纤维蛋白溶解度在 7 d 时下降到最小值 368.57 mg/g、221.75 mg/g; 肌原纤维蛋白溶解度在 5 d 时为最小值 139.21 mg/g。肌束膜和肌内膜排列散乱, 肌纤维束间的空隙增大。综合分析: 两种瘤胃品质变化规律的差异性, 可能是肌纤维结构变化与蛋白溶解度的不同所造成的。

关键词: 牦牛; 肉牛; 瘤胃; 肌原纤维蛋白; 品质差异

文章编号: 1673-9078(2019)02-74-81

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.2.011

Analysis of Rumen Smooth Muscle Myofibrillar Protein Characteristic and Quality Changes in Yak Beef Cattle

LIU Hui¹, YU Qun-li¹, ZHU Yue-ming², ZHANG Wen-hua³, BO Wen-xi⁴, HAN Ling¹

(1.College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China) (2.Zhangye Wanhe Grass Livestock Industry Technology Development Co. Ltd., Zhangye 734000, China) (3.Ningxia Xiahua Meat Food Co., Ltd, Zhongwei 755000, China) (4.Hebei Fucheng Wufeng Food Co., Ltd., Langfang 065000, China)

Abstract: Law of change of the characteristic and quality of rumen myofibrillar proteins in yak and beef cattle were investigated in this study in order to provide a theoretical reference for the in-depth study of smooth muscles. Taking the rumen of yak beef cattle as the research object, the changes of water loss rate, cooking loss, shearing force, myofibril fragmentation index(MFI), protein solubility, surface hydrophobicity and microstructure were determined during refrigeration at 4 °C.The results showed that, throughout the refrigeration process, the water loss rate, cooking loss, MFI and surface hydrophobicity of the two rumen showed an upward trend, which rose to the maximum on the 7th day. The shear force and protein solubility showed a downward trend. The rumen shear force, total protein solubility and myofibrillar protein solubility of yak decreased to a minimum of 5.54 kgf, 314.19 mg/g, and 116.37 mg/g, respectively, on the 7th day. The rumen shear force of beef cattle showed the minimum value of 7.82 kgf on the first day and the total protein solubility and sarcoplasmic fibrin solubility decreased to their minimum values of 368.57 mg/g and 221.75 mg/g, respectively, on the 7th day. The myofibrillar protein solubility decreased to a minimum of 139.21 mg/g on the 5th day. The fascia and endomysium showed a scattered arrangement with larger gaps between the muscle fiber bundles becomes. In conclusion, the difference in the regularity of the two rumen quality changes may be caused by the difference in muscle fiber structure and protein solubility.

Key words: yak; beef cattle; rumen; myofibrillar protein; quality difference

收稿日期: 2018-10-27

基金项目: 甘肃省科技计划项目 (18YF1NA075); 国家肉牛牦牛产业技术体系项目 (CARS-37)

作者简介: 刘慧 (1993-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工与贮藏

通讯作者: 余群力 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工与贮藏

牛胃,是牛内脏中数量和重量都占比很大的一种脏器,是典型的内脏平滑肌组织。瘤胃是成年牛最大的一个胃,约占四个胃总容积的80%。瘤胃的肌层由内环肌和外纵肌两层平滑肌组成,其中含有肌原纤维蛋白和结缔组织蛋白,加工特性良好。平滑肌是肌肉组织的一种,广泛分布于血管壁、胃、肠等内脏器官,且被称为“内脏肌”。据统计^[1-3]平滑肌含有丰富的蛋白质、脂肪、钙、磷、铁、硫胺素、核黄、尼克酸等,其蛋白质的真实消化率和氨基酸评分与牛肉接近,可见平滑肌在营养价值上与骨骼肌类似,平滑肌还含有丰富的胶原蛋白和弹性蛋白,具有特定质构和风味,研究前景广阔。

罗天林^[4]针对牛胃肠及其熟制品在冷藏期间的品质变化,研究发现冷藏时间对感官色泽、嫩度、多汁性、风味和总体可接受性均有不同程度影响。李升升等^[2]研究发现不同温度对牦牛瘤胃平滑肌加工品质及组织学的特性变化程度不一,最终筛选出最佳加热温度。高菲菲等^[5]研究表明,不同磷酸盐浓度比例混合后对牛肚嫩度及保水性的影响不尽相同。李升升,余群力等^[6]研究发现骨骼肌、平滑肌和心肌均属高蛋白低脂肪的食品;平滑肌也具有较高的营养价值和开发潜力。温丽娟^[7]等对肉牛瘤胃和皱胃不同冷藏时间点(0、3、5 d)的挥发性风味物质进行研究,发现宰后瘤胃肌肉冷藏3 d对风味的影响最大,皱胃冷藏0 d对风味的影响最大。

目前,国内外对于牛胃平滑肌的研究报道比较匮乏,针对牛胃平滑肌基础品质及产品加工方面更是鲜有报道,而关于牦牛肉牛瘤胃肌原纤维蛋白特性及品质差异的研究未见报道。因此开展牦牛肉牛瘤胃肌原纤维蛋白特性基础研究,探索品质变化差异势在必行。本文以牦牛肉牛瘤胃为研究对象,探究4℃下冷藏0、1、3、5、7 d过程中肌原纤维蛋白特性及品质变化规律;旨在为牛瘤胃平滑肌的研究提供理论基础,对于牦牛肉牛平滑肌的发展及产业的扩大具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

随机选择自然放牧条件下,发育正常、健康无病、2~3岁龄牦牛肉牛各的5头,分别在宁夏下滑肉食品有限公司、张掖市万禾草畜产业科技开发有限责任公司。宰前禁食24 h,停水2 h,放血后,45 min之内取瘤胃,立即用蒸馏水清洗除去胃壁上的污物和粘液,用手术刀片修整刮去胃表面的绒毛层,并剔除可见脂肪沥干。随后各取约2000 g肉样分装并冻藏于液氮中

作为第0 h的肉样,现场测定肉用品质。剩余肉样切割成100 g左右小块,装入保鲜袋中于4℃冰箱冷藏,分别于第0、1、3、5、7 d取样备用。对于不便立即测定的指标,用铝箔纸包裹,置于-80℃冻藏用于指标测定。

试验试剂:氢氧化钠;磷酸氢二钾;磷酸二氢钾;无水硫酸铜;氯化钾;氯化镁;EDTA;戊二醛溶液等,以上试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器设备

AL204型电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;C-LM4型数显式肌肉嫩度仪,东北农业大学工程学院;YYW-2型应变控制式无侧限压力仪,南京土壤仪器厂有限公司;TA.X T Express型物性测试仪,英国Stable Micro System公司;CX-WDJ200A型温度计,常州市瑞明仪表厂;JSM-5600LV低真空扫描电子显微镜,日本电子光学公司;JRJ-22型实验室用绞肉机,亿翔食品机械有限公司;TGL-16M型离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;XHF-D型高速分散器(内切式匀浆机),宁波新芝生物科技股份有限公司;等。

1.3 试验方法

1.3.1 失水率

参照NY/T 1333-2007《畜禽肉质的测定》,采用压力法测定失水率。垂直于肉样肌纤维方向将肉样修整成厚度约1.0 cm、面积2×2.5 cm²的肉片,称其质量,记作M₁,给肉样施加35 kg压力,保持5 min后,取出肉样再称肉样的质量,记作M₂,失水率按以下公式计算:

$$\text{失水率} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%$$

1.3.2 蒸煮损失

参考Purslow^[8]的方法稍作修改,将肉样修整为10 cm×10 cm的块状,在蒸煮前称其质量,记为M₃。蒸煮后冷却到室温,用吸水纸吸干水分,然后再次称量,记为M₄。蒸煮损失按以下公式计算:

$$\text{蒸煮损失} = \frac{M_3 - M_4}{M_3} \times 100\%$$

1.3.3 剪切力

参照NY/T 1180-2006《肉嫩度的测定剪切力测定法》测定剪切力,将测定熟肉率后的肉样,切去表面干硬部分,挑选瘤胃厚度约0.8 cm肉样,垂直于肉样表面将样品切割修整为宽度1.0 cm、长度3.0 cm的试样3份,采用肌肉嫩度仪自带的“V”型剪切刀架测定

剪切力, 单位以 kgf 表示。

1.3.4 肌原纤维小片化指数

参考 DELGADO 等^[9]的方法并稍作修改。测定取 2 g 肉样, 加 20 mL 的 MFI 缓冲液(20 mmol/L K₂HPO₄、20 mmol/L KH₂PO₄、100 mmol/L KCl、1 mmol/L EDTA、1 mmol/L MgCl₂、1 mmol/L NaN₃, pH 值 7.1) 混合均匀后, 匀浆(10000 r/min, 时间 12 s/次, 间隔 30 s, 连续 10 次, 在冰水浴下进行)。匀浆液在 4 °C 条件下 1000 r/min 离心 15 min, 弃去上清液。沉淀用 8 mL 的 MFI 缓冲液悬浊、再离心, 弃去上清液。沉淀用 5 mL 的 MFI 缓冲液使之重新处于悬浊态, 用 200 目尼龙筛网过滤该悬浊液, 另用 5 mL MFI 缓冲液帮助肌原纤维蛋白通过滤网。过滤所得的肌原纤维蛋白悬浊液用双缩脲法测定其蛋白含量, 用 MFI 缓冲液将其质量浓度稀释至 0.5 mg/mL, 在 540 nm 下测定其吸光度, MFI 缓冲液作对照, 将结果乘以 200, 即为 MFI。

1.3.5 蛋白表面疏水性

1.3.5.1 蛋白提取

根据 Park 等^[10]的方法并略作修改。称取 2 g 肉样, 加 10 倍体积(V/W)标准盐溶液(20 mmol/L 磷酸钾缓冲液, 0.1 mol/L KCl, 2 mmol/L EGTA, 2 mmol/L MgCl₂, pH 6.8), 匀浆(10000 r/min, 时间 12 s/次, 间隔 30 s, 连续 10 次, 在冰水浴下进行)。4 °C 条件下离心 10 min(1000 r/min), 弃去上清, 沉淀用 8 倍体积(V/W)标准盐溶液溶解后, 4 °C 离心 10 min(1000 r/min) 弃上清, 重复两次。沉淀用 8 倍体积(V/W) 100 mmol/L KCl 溶液溶解后, 4 °C 离心 10 min(1000 r/min) 弃上清, 重复两次。采用双缩脲法定量蛋白, 以吸光值为横坐标, 以牛血清蛋白浓度(mg/mL)为纵坐标做标准曲线, 曲线方程为 $y=0.0613x+0.0006$ ($R^2=0.9997$)。

1.3.5.2 测定

参考 Chelh^[11]的方法并稍作修改。将提取的肌原纤维蛋白溶于 20 mM pH 6.0 的磷酸盐缓冲液中, 调整蛋白溶液浓度为 1 mg/mL。取 2 mL 稀释后的肌原纤维蛋白溶液加入 80 μL 1 mg/mL 的溴酚蓝溶液(BPB, 1 mg/mL)混匀, 室温下充分搅拌 10 min, 并离心(4 °C, 4000 r/min, 15 min)。取离心后的上清液(稀释 10 倍后)在 595 nm 测定吸光值 A。溴酚蓝空白对照用 2 mL 20 mM pH 6.0 的磷酸盐缓冲液加 80 μL 1 mg/mL 的溴酚蓝溶液, 磷酸盐缓冲液作空白样。计算公式:

$$\text{溴酚蓝}(\mu\text{g})=80\mu\text{g}\times\frac{A_{\text{空白}}-A_{\text{样品}}}{A_{\text{空白}}}$$

1.3.6 蛋白溶解度

参照 Joo 等^[12]的方法, 并稍作修改, 测定蛋白质的溶解度。

1.3.6.1 总蛋白质溶解度

取 1 g 左右肉样, 精确至 0.0001 g, 加入 20 mL 预冷的提取液(0.1 mol/L K₂HPO₄-KH₂PO₄, 1.1 mol/L KI, pH 7.2), 冰浴条件下 10000 r/min 匀浆 10 次每次 12 s, 4 °C 摇动抽提 12 h。同温下离心(1500 r/min, 20 min), 上清液用双缩脲法测定蛋白浓度, 即为总可溶性蛋白溶解度, 单位 mg/g。

1.3.6.2 肌浆蛋白质溶解度

取 1 g 左右肉样, 精确至 0.0001 g, 切碎, 加入 10 mL 冰冷提取液(0.025 mol/L K₂HPO₄-KH₂PO₄, pH 7.2), 冰浴条件下 10000 r/min 匀浆 10 次, 每次 12 s, 4 °C 摇动抽提 12 h, 同温下离心(1500 r/min, 20 min)。上清液用双缩脲法测定蛋白浓度, 即为肌浆蛋白溶解度, 单位用 mg/g 表示。

1.3.6.3 肌原纤维蛋白溶解度

肌原纤维蛋白质溶解度是总蛋白和肌浆蛋白质溶解度的差值。

1.3.7 组织结构观察

扫描电镜观察样品制备参考 Palka^[13]和常海军^[14]方法的方法并稍作修改。将制备好的肉样切成 2 mm×2 mm×5 mm 的小条并固定在 2.5%戊二醛(25%戊二醛溶液与 0.1 M、pH 7.3 磷酸盐缓冲液按 1:9 体积混合即可)溶液中 4 °C 固定 3 d, 然后用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液(pH 7.3)冲洗 3 次, 每次 30 min, 在室温(27~28 °C)放置 2 h 后将样品用蒸馏水冲洗, 随后用 50%、70%、80%和 90%的乙醇梯度脱水各 15 min, 100%乙醇脱水 3 次, 每次 30 min; 样品脱水后, 用离子溅射仪给样品表面镀一层金属膜(10 nm), 在电压为 20.0 kV 下分别放大 150 和 3000 倍观察肌束膜和肌内膜结构的变化。

1.4 数据统计分析

所测定的数据采用 Microsoft Office Excel 2010、Oriange 2018 整理并绘制柱状图; 采用 IBM SPSS Statistics 22.0 对数据进行统计分析; 多重比较采用邓肯氏总重比较法(Duncan's multiple-rang test)进行差异显著性分析, 显著水平为 0.05、0.01。

2 结果与讨论

2.1 失水率

失水率能够反映肉品的保水性。如图 1 所示, 两种瘤胃的失水率在整个冷藏过程中呈上升趋势, 且耗

牛瘤胃的失水率极显著高于肉牛瘤胃($p < 0.01$),说明随着冷藏时间延长,牦牛瘤胃的保水性下降幅度大于肉牛的失水率。但肉牛瘤胃在冷藏 1 d 时下降到最小值随后显著上升($p < 0.05$),保水性上升,这可能与瘤胃平滑肌内环境发生变化,离子强度增大,蛋白亲水基团暴露有关。此处研究与罗天林^[4]研究略有差异,可能是由于对样本进行刮绒毛处理,而牦牛瘤胃表面绒毛孔较肉牛致密,且绒毛层也含有一定量的水分,使得整个测定过程牦牛瘤胃失水率较肉牛高。

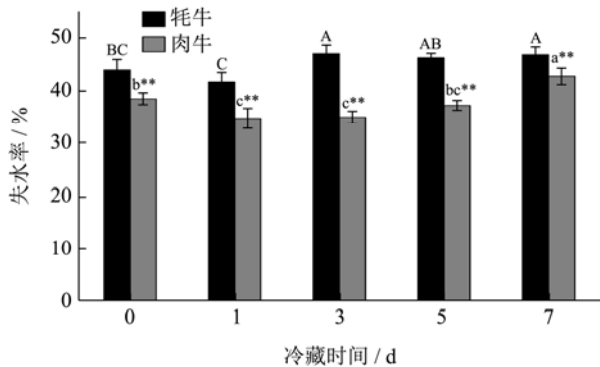


图1 宰后牛瘤胃冷藏过程中失水率的差异变化

Fig.1 Differences in water loss rate during rumen refrigerated storage of post-mortem cattle

注:图中大写字母不同时间点表示牦牛组的显著性,小写字母表示不同时间点肉牛组的显著性($p < 0.05$);**表示同一时间点牦牛组与肉牛组差异极显著($p < 0.01$);*表示同一时间点牦牛组与肉牛组差异显著($p < 0.05$);下同。

2.2 蒸煮损失

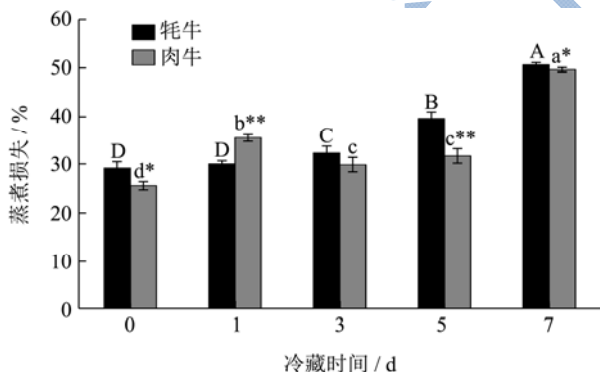


图2 宰后牛瘤胃冷藏过程中蒸煮损失的差异变化

Fig.2 Differences in cooking loss during rumen refrigerated storage of post-mortem cattle

蒸煮损失是衡量肌肉在加热过程中蛋白质变性凝固过程中所失去水分重量的重要指标。由图2可以看出,牦牛及肉牛瘤胃在整个冷藏过程中蒸煮损失呈显著上升趋势($p < 0.05$);均在第0 d为最小值29.17%、25.56%,冷藏第7 d时上升到最大值50.64%、49.63%。除第1 d、3 d外,其他时间点牦牛瘤胃蒸煮损失均显

著高于肉牛($p < 0.05$),与肉牛相比,各时间点牦牛瘤胃分别显著增加了($p < 0.05$)24.69%,2.03%。说明牦牛瘤胃在冷藏过程中相较于肉牛瘤胃的肌肉蛋白变性严重,汁液损失率高,保水性下降严重。

2.3 剪切力

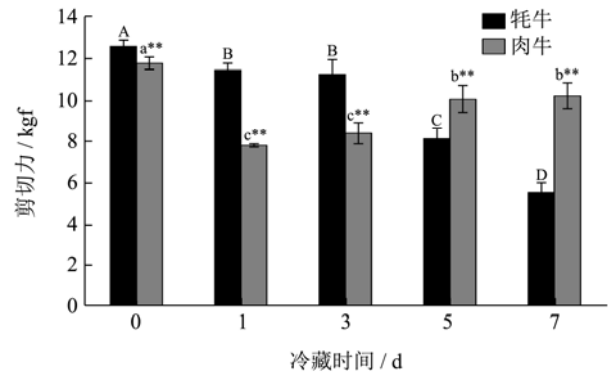


图3 宰后牛瘤胃冷藏过程中剪切力的差异变化

Fig.3 Variation of shear force during rumen refrigerated storage of post-mortem cattle

剪切力是肉嫩度最直接的反映,研究表明肌肉越嫩其剪切力越低。从图3可以看出,宰后牛瘤胃冷藏过程中剪切力整体呈下降趋势,且冷藏0~3 d过程中牦牛瘤胃剪切力值均极显著低于肉牛($p < 0.01$)。肉牛瘤胃在0~7 d中呈先下降后上升的变化,1 d时下降到最小值7.82 kgf,此时嫩度最好,随后显著上升($p < 0.05$)。牦牛瘤胃在冷藏0 d时剪切力值为最大值12.59 kgf,冷藏第7 d时下降到最小值5.54 kgf,嫩度最好。剪切力值的大小与水分含量、肌纤维直径以及冷藏过程等密切相关,剪切力愈高说明肉质愈老,愈低则肉质愈嫩。牦牛瘤胃宰后7 d剪切力相对0 d减小56.01%,说明冷藏7 d牦牛瘤胃肌纤维大面积受损,结缔组织交联度减小,肉质变嫩,口感更佳。

2.4 MFI

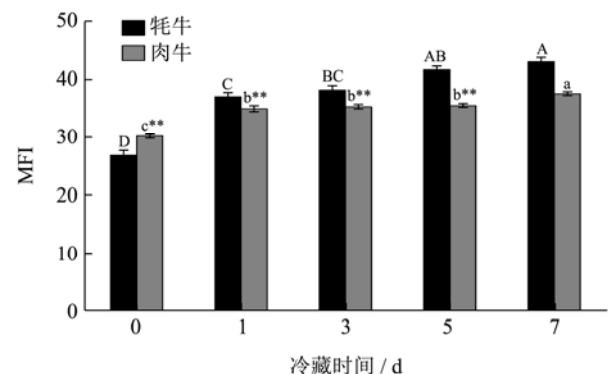


图4 宰后牛瘤胃冷藏过程中MFI的差异变化

Fig.4 Differential changes of MFI during rumen refrigerated storage in post-mortem cattle

MFI可以反映肌细胞内部肌原纤维及骨架蛋白完整的程度, MF 越大, 肌原纤维内部结构完整性受到破坏的程度越大, 肌肉成熟度越高^[15]。由图 4 可知, 在整个冷藏过程中, 牦牛肉牛瘤胃的 MFI 均呈显著上升趋势 ($p<0.05$)。冷藏 7 d 时, 牦牛肉牛瘤胃上升到最大值, 分别为 43.00、37.53 ($p<0.05$); 除 0 d 外, 其他时间点牦牛瘤胃的 MFI 均极显著高于肉牛 ($p<0.01$), 与肉牛相比, 各时间点牦牛瘤胃 MFI 分别显著增加了 5.59%, 7.5%, 14.74%, 12.72% ($p<0.05$)。说明牦牛瘤胃肌原纤维蛋白结构的完整性在冷藏过程中破坏严重。

2.5 表面疏水性

蛋白质的表面疏水性反映了蛋白质分子表面疏水性氨基酸的相对含量, 被用来衡量蛋白质的变性程度, 也是反映蛋白结构展开程度的重要指标^[16]。由图 5 可以看出, 两种瘤胃的溴酚蓝结合量呈显著上升趋势 ($p<0.05$)。牦牛瘤胃溴酚蓝结合量在第 0 d 时为最小值 24.38 μg , 而肉牛瘤胃在第 1 d 时达到最小值 24.32 μg 。除 0 d 外, 其它时间点牦牛瘤胃的蛋白表面疏水性均大于肉牛, 且在第 7 d 时两种瘤胃的溴酚蓝结合量分别上升到最大值 32.45 μg 、30.13 μg ; 且牦牛瘤胃的溴酚蓝含量显著高于肉牛 7.14%。说明牦牛瘤胃在冷藏过程中肌原纤维蛋白被氧化溶解导致蛋白降解折叠, 表面疏水性增加, 肌原纤维蛋白变形程度较高。

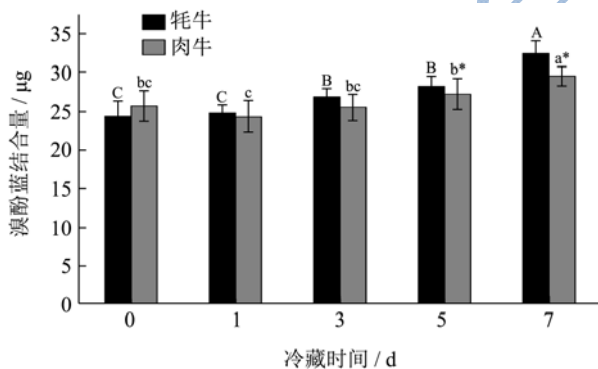


图 5 宰后牛瘤胃冷藏过程中表面疏水性的差异变化

Fig.5 Differences in surface hydrophobicity during rumen refrigerated storage in post-mortem cattle

2.6 宰后肌肉蛋白质的溶解性

2.6.1 总蛋白溶解度的变化

由图 6 可以看出, 牦牛肉牛瘤胃的总蛋白溶解度在整个冷藏过程中呈显著下降趋势 ($p<0.05$), 且在 7 d 时分别下降到最小值 314.19 mg/g 、368.57 mg/g 。冷藏第 7 d 时肉牛的总蛋白溶解度极显著高于牦牛, 与牦

牛相比, 显著增加了 17.31%。而在时间点牦牛肉牛总蛋白溶解度差异不显著 ($p>0.05$)。

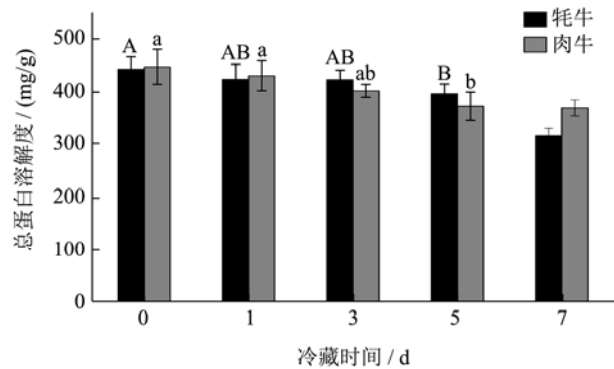


图 6 宰后牛瘤胃冷藏过程中总蛋白溶解度的差异变化

Fig.6 Differences in total protein solubility during rumen refrigerated storage in post-mortem cattle

2.6.2 肌浆蛋白溶解度的变化

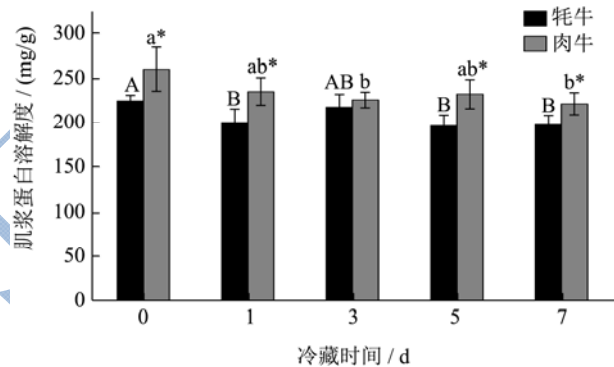


图 7 宰后牛瘤胃冷藏过程中肌浆蛋白溶解度的差异变化

Fig.7 Differences in solute protein solubility during rumen refrigerated storage in post-mortem cattle

由图 7 可见, 两种瘤胃的肌浆蛋白溶解度在整个冷藏过程中呈下降趋势, 且变化不显著 ($p>0.05$)。牦牛肉牛瘤胃肌浆蛋白溶解度分别在第 7 d 时下降到最小值 197.82、221.75 mg/g 。除了第 3 d 外, 其他时间肉牛瘤胃的肌浆蛋白溶解度均显著高于牦牛 ($p<0.05$), 与牦牛相比, 各个时间点即将蛋白溶解度均显著增加了 15.71%、17.35%、18.24%、12.09%。由此可见, 牦牛肉牛瘤胃肌浆蛋白溶解度差异显著 ($p<0.05$)。

2.6.3 肌原纤维蛋白溶解度的变化

由图 8 可以看出, 两种瘤胃的肌原纤维蛋白溶解度在整个冷藏过程中均呈下降的显著变化 ($p<0.05$)。牦牛瘤胃在 7 d 呈时下降到最小值 116.37 g/mg 。肉牛瘤胃在冷藏 5 d 时下降到最小值 139.21 g/mg 。在冷藏 3 d、5 d 时牦牛瘤胃肌原纤维蛋白溶解度极显著高于肉牛, 其他时间点差异均不显著, 与肉牛相比, 分别显著增加了 16.82%、42.58%。由此可见牦牛肉牛瘤胃在冷藏期间肌原纤维蛋白溶解性差异显著 ($p<0.05$)。

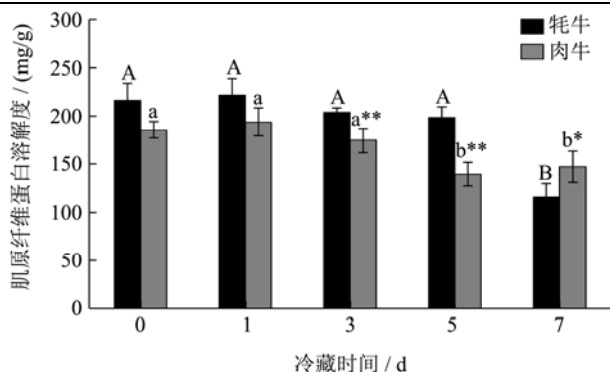


图8 宰后牛瘤胃冷藏过程中肌原纤维蛋白溶解度的差异变化

Fig.8 Differences in the solubility of myofibrillar proteins during rumen refrigerated storage in post-mortem cattle

2.7 各测定指标之间的相关性

由表1可以看出冷藏时间与失水率、蒸煮损失、MFI及蛋白溴酚蓝呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 即随着冷藏时间的延长, 牦牛瘤胃品质变化显著; 而冷藏时间又与剪切力、总蛋白溶解度、肌浆蛋白溶解度与肌

原纤维蛋白溶解度呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 可能是由于蛋白质溶解度的下降使得瘤胃品质变化差异。

两种与保水性相关的指标: 失水率、蒸煮损失之间呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 表明两种指标在牦牛瘤胃冷藏过程中保水能力的一致性。且这两种指标与蛋白质的溶解度均呈显著负相关 ($p < 0.05$)。进一步按说明了蛋白溶解度与保水性有密切关系; 剪切力与肌原纤维蛋白、总蛋白的溶解度呈极显著正相关, 而MFI与蛋白溶解度呈极显著负相关, 剪切力与MFI间又成极显著负相关 ($p < 0.01$), 说明蛋白溶解度与嫩度有一定的联系。

溴酚蓝结合量与蛋白溶解度、剪切力呈极显著负相关, 与失水率、蒸煮损失、MFI呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 可能是蛋白疏水性基团的暴露使得蛋白溶解度降低, 肌原纤维蛋白内部结构与骨架蛋白破损严重, 保水性下降蛋白变性。综上冷藏过程中肌原纤维蛋白质溶解度对牦牛瘤胃品质变化有一定的影响作用。

表1 牦牛各个指标之间的相关性

Table 1 Correlation between various indicators of yak

| 项目 | 失水率 | 蒸煮损失 | 剪切力 | MFI | 总蛋白溶解度 | 肌浆蛋白溶解度 | 肌原纤维蛋白溶解度 | 溴酚蓝结合量 | 冷藏时间 |
|-----------|-----|--------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 失水率 | | .647** | -.59* | .434 | -.524* | -.543* | -.585* | .691** | .716** |
| 蒸煮损失 | | | -.797** | .710** | -.922** | -.519* | -.923** | .928** | .944** |
| 剪切力 | | | | -.745** | .667** | .517* | .594* | -.722** | -.886** |
| MFI | | | | | -.656** | -.679** | -.578* | .670** | .833** |
| 总蛋白溶解度 | | | | | | .521* | .956** | -.893** | -.847** |
| 肌浆蛋白溶解度 | | | | | | | .355 | -.510 | -.505 |
| 肌原纤维蛋白溶解度 | | | | | | | | -.914** | -.824** |
| 溴酚蓝结合量 | | | | | | | | | .883** |
| 冷藏时间 | | | | | | | | | |

表2 肉牛瘤胃各个指标之间的相关性

Table 2 Correlation between various indicators of beef rumen

| 项目 | 失水率 | 蒸煮损失 | 剪切力 | MFI | 总蛋白溶解度 | 肌浆蛋白溶解度 | 肌原纤维蛋白溶解度 | 溴酚蓝结合量 | 冷藏时间 |
|-----------|-----|-------|---------|--------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 失水率 | | .636* | -.201 | .239 | -.364 | -.007 | -.488 | .769** | .574* |
| 蒸煮损失 | | | -.645** | .797** | -.488 | -.454 | -.385 | .677** | .752** |
| 剪切力 | | | | -.391 | -.088 | .291 | -.318 | -.093 | -.095 |
| MFI | | | | | -.701** | -.696** | -.503* | .529* | .844** |
| 总蛋白溶解度 | | | | | | .598* | .883** | -.705** | -.815** |
| 肌浆蛋白溶解度 | | | | | | | .426 | -.387 | -.554* |
| 肌原纤维蛋白溶解度 | | | | | | | | -.738** | -.801** |
| 溴酚蓝结合量 | | | | | | | | | .778** |
| 冷藏时间 | | | | | | | | | |

由表 2 可以看出, 冷藏时间与失水率、蒸煮损失、MFI、蛋白溴酚蓝含量呈极显著正相关, 与剪切力、总蛋白溶解度、肌浆蛋白溶解度、肌原纤维蛋白呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 与牦牛瘤胃变化规律一致。

失水率与蒸煮损失之间的相关性显著, 且与肌原纤维蛋白溶解度呈负相关, 但相关性不显著 ($p > 0.05$), MFI 与总蛋白溶解度、肌浆蛋白溶解度以及蛋白溴酚蓝呈极显著相关 ($p < 0.01$)。与牦牛瘤胃变化规律有差异。

综上, 牦牛瘤胃的肌原纤维蛋白与各指标之间的相关性较肉牛瘤胃显著, 且指标之间联系密切; 而肉牛瘤胃部分指标间相关性显著。造成以上指标差异行的主要是肌原纤维蛋白溶解度的不同。

2.8 组织结构变化

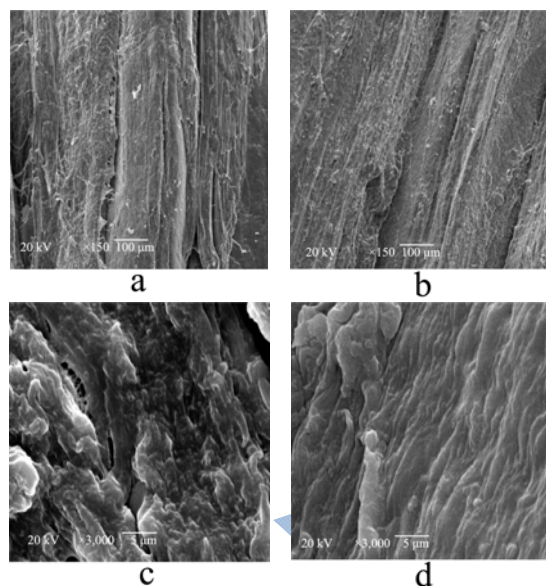


图 9 宰后牛瘤胃冷藏 0 d 时肌纤维结构变化

Fig.9 Changes of muscle fiber structure in post-mortem cattle rumen at 0 d

注: a、c 为牦牛, b、d 为肉牛; 放大倍数: a、b 为 ($\times 150$), c、d 为 ($\times 3000$)。下图同。

由图 9 可以看出, 冷藏 0 d 时, 扫描电镜拍照放大到 150 倍下, 瘤胃平滑肌整体上肌纤维结构清晰, 排列规整且紧密, 肌纤维束膜完整没有破裂; 在 3000 倍数下, 清晰可见牦牛瘤胃平滑肌肌纤维束之间有细小空隙, 肌束膜和肌内膜有轻微的裂痕。说明牦牛瘤胃平滑肌肌束膜发生了轻微的收缩。由图 10 可以看出, 冷藏 7 d 时, 放大 150 倍下, 瘤胃平滑肌肌纤维结构较为清晰, 但牦牛瘤胃平滑肌肌纤维之间空隙增大, 排列较肉牛松散; 3000 倍下, 牦牛瘤胃平滑肌肌束膜及肌内膜破损断裂程度较第 0 d 时严重, 肌纤维束间空隙增多且变大, 肌纤维排列杂乱; 此时可以观

察到肌纤维与肌内膜剥离, 肌纤维表面略微斑驳; 说明牦牛瘤胃平滑肌肌束膜收缩程度更为剧烈。组成肌肉的各个肌束之间的缝隙明显增多, 显示出组织结构的弱化。综上可知整个冷藏过程中牦牛瘤胃平滑肌肌内膜肌束膜断裂损伤程度较肉牛严重, 肌纤维特性变化较为活跃。

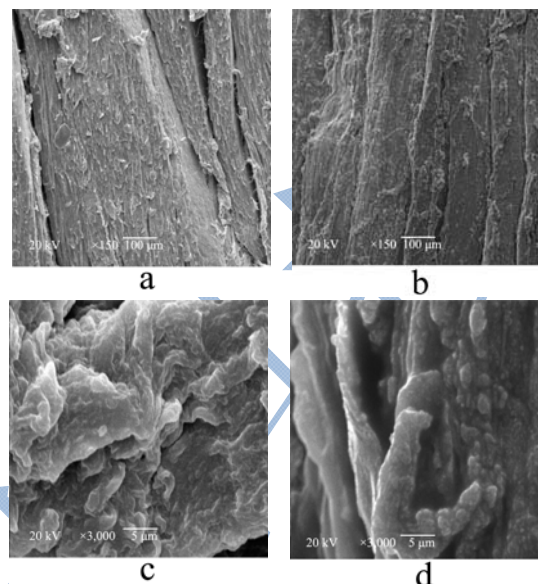


图 10 宰后牛瘤胃冷藏第 7 d 时肌纤维结构变化

Fig.10 Changes of muscle fiber structure on the 7th day after rumen cold in post-mortem cattle

3 结论

随着冷藏时间的延长, 瘤胃平滑肌总蛋白溶解度、肌原纤维溶解度的降低, 蛋白表面疏水性基团暴露, 导致瘤胃品质变化产生差异性。从组织结构来看, 随着冷藏时间的延长, 牦牛瘤胃平滑肌肌纤维结构变化明显, 主要表现为: 肌内膜与肌束膜破损严重, 肌束膜收缩程度剧烈, 肌纤维束间空隙变大肌原纤维排列杂乱。牦牛肉牛瘤胃品质间的差异可能是由于肌纤维结构变化以及肌原纤维蛋白溶解度的不同所造成。

参考文献

[1] 高菲菲. 牛胃平滑肌加工特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
GAO Fei-fei. Study on processing functionalities of beef tripe smooth muscle [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012

[2] 李升升, 余群力, 靳义超. 适宜加热温度保持牦牛瘤胃平滑肌加工品质和组织结构[J]. 农业工程学报, 2017, 33(23): 300-305
LI Sheng-sheng, YU Qun-li, ZHAI Yi-chao. Preparation of processing quality and tissue structure of yak smooth muscle

- in yak by suitable heating temperature [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(23): 300-305
- [3] Abdulatef M. Ahhmed, Tetsuo Nasu, Michio Muguruma. Impact of transglutaminase on the textural, physicochemical, and structural properties of chicken skeletal, smooth, and cardiac muscles [J]. Meat Science, 2009, 83(4)
- [4] 罗天林. 宰后牛胃肠冷藏过程中品质变化规律及其加工适宜性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017
LUO Tian-lin. Study on the quality change law and processing suitability of post-mortem cattle during gastrointestinal refrigerated storage [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017
- [5] 高菲菲, 王蓉蓉, 姚瑶, 等. 磷酸盐对牛肚嫩度及保水性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 132-135
GAO Fei-fei, WANG Rong-rong, YAO Yao, et al. Effect of phosphate on tenderness and water retention of beef belly [J]. Food Science, 2013, 34(13): 132-135
- [6] 李升升, 余群力. 牦牛骨骼肌、平滑肌和心肌氨基酸和脂肪酸组成分析及营养评价[J]. 营养学报, 2018, 40(2): 194-196
LI Sheng-sheng, YU Qun-li. Analysis and nutritional evaluation of amino acid and fatty acid composition in skeletal muscle, smooth muscle and myocardium of yak [J]. Journal of Nutrition, 2018, 40(2): 194-196
- [7] 温莉娟, 马君义, 曹晖, 等. 宰后不同冷藏时间对牛胃肌肉风味特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(6): 216-225
WEN Li-juan, MA Jun-yi, CAO Hui, et al. Effects of different refrigerated storage time on the flavor characteristics of bovine stomach muscle after slaughtering [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(6): 216-225
- [8] P P Purslow, S Oiseth, J Hughes, et al. The structural basis of cooking loss in beef: Variations with temperature and ageing [J]. Food Research International, 2016, 89: 739-748
- [9] Delgado E F, Geesink G H, Marchello J A, et al. The calpain system in three muscles of normal and callipyge sheep [J]. Journal of Animal Science, 2001, 79: 398-412
- [10] Donkeun Park, Youling L Xiong, Amy L. Alderton. Concentration effects of hydroxyl radical oxidizing systems on biochemical properties of porcine muscle myofibrillar protein [J]. Food Chemistry, 2006, 101(3)
- [11] IlhamChelh, Philippe Gatellier, Véronique Santé-Lhoutellier. Technical note: A simplified procedure for myofibrillar hydrophobicity determination [J]. Meat Science, 2006, 74(4): 681-683
- [12] S T Joo, R G Kauffman, B C Kim, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle [J]. Meat Science, 1999, 52(3)
- [13] Gastón Torrescano, Armida Sánchez-Escalante, Begoña Giménez, et al. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics [J]. Meat Science, 2003, 64(1): 85-91
- [14] 常海军. 不同加工条件下牛肉肌内胶原蛋白特性变化及其对品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010
CHANG Hai-jun. Changes in collagen properties of beef muscle under different processing conditions and its effect on quality [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010
- [15] 丰永红, 王勇峰, 李海鹏, 等. 新疆褐牛不同部位肉宰后成熟过程中蛋白降解变化研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 382-389
FENG Yong-hong, WANG Yong-feng, LI Hai-peng, et al. Study on protein degradation during meat ripening in different parts of xinjiang brown cattle [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 382-389
- [16] 马纪兵. 风干牦牛肉加工过程中水分变化及蛋白氧化对质构和蛋白消化性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018
MA Ji-bing. Effects of water changes and protein oxidation on texture and protein digestibility during processing of dried beef [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018