

宰后成熟时间对不同部位牦牛肉细胞内环境变化的影响

贾青¹, 陈骋¹, 韩玲¹, 孙志昶², 张巨会³, 余群力¹

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃兰州 730070) (2. 海南大学食品学院, 海南海口 570228)

(3. 甘肃天玛生态食品科技股份有限公司, 甘肃玛曲 747000)

摘要: 研究不同部位牦牛肉宰后成熟过程中不同时段肌细胞内部变化与肉质嫩化的关系。将宰后牦牛肉冷却排酸(0~4 °C, 风速 0.5 m/s), 于宰后 2 h~5 d 取牦牛肉前部肱三头肌(TB)、中部背最长肌(ML)和后部半膜肌(SM)分析其 pH 值、肌细胞间隙面积、线粒体形态变化和能量因子活性, 加入 Caspase-3 专一抑制剂 Ac-DEVD-CHO 制作 SDS-PAGE 全蛋白电泳图谱。宰后 12 h~24 h, ML pH 值显著下降 $pH=5.17\pm 0.4$ ($p<0.01$); 宰后 24 h, SM 肌细胞间隙面积较 12 h 显著增大 48.75% ($p<0.05$); 宰后 5 d, ML 线粒体溶融显著, TB 线粒体嵴仍有一定存在量; 宰后 3 d, ML ATP 含量变化较宰后 24 h 差异极显著下降 79%, 几乎降至最低点 ($p<0.01$); 宰后 12 h, Caspase-3 专一抑制剂对 TB 和 ML 蛋白降解抑制显著, ML 显著出现 30 ku 蛋白条带。结果说明, 宰后成熟过程中不同部位牦牛肉肌细胞内环境变化与牦牛肉品质变化是同步进行的。

关键词: 牦牛肉; 成熟时间; 不同部位; 内环境

文章编号: 1673-9078(2016)9-41-46

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.9.007

Effects of the Aging Time after Slaughter on Changes in the Intracellular Environment of Different Parts of Yak Meat

JIA Qing¹, CHEN Cheng¹, HAN Ling¹, SUN Zhi-chang², ZHANG Ju-hui³, YU Qun-li¹

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

(2. Hainan University, Food College, Haikou 570228, China)

(3. Gansu Tian Ma ecological food Polytron Technologies Inc., Maqu 747000, China)

Abstract: The relationship between intracellular changes in the muscle cells and meat tenderness in different yak parts during different periods of the postmortem aging process was explored. Yak meat was treated with air cooling (0~4 °C, air speed 0.5 m/s), and the front *triceps brachii* muscle (TB), central *longissimus* muscle (ML), and rear semimembranosus muscle (SM) were taken between two hours and five days after slaughter. The pH value, extracellular space area of muscle cells, mitochondrial morphological changes, and activity of the energy factor were measured. Moreover, Ac-DEVD-CHO, a specific inhibitor of caspase-3, was added to perform sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) protein electrophoresis. The results suggested that within 12 h to 24 h postmortem, a significant reduction in the pH of ML ($pH=5.17\pm 0.4$, $p<0.01$) was detected. At 24 h postmortem, the extracellular space area of SM was significantly increased by 48.75% ($p<0.05$) compared with that of the sample at 12 h postmortem. At five days postmortem, significant mitochondrial fusion occurred in ML, and some mitochondrial crests remained in TB. At three days postmortem, the adenosine triphosphate (ATP) content of ML was significantly decreased by 79% compared to the samples at 24 h postmortem, and almost fell to the lowest level ($p<0.01$). At 12 h postmortem, the protein degradation in TB and ML was significantly inhibited by the caspase-3 specific inhibitor, and an apparent 30 ku protein band was detected in ML. The result showed that the aging process postmortem, the environmental changes in the muscle cells of different parts of yak, and the changes in the quality of yak meat are synchronized.

Key words: yak meat; aging time; different parts; internal environment

收稿日期: 2015-09-21

基金项目: 青藏高原特色有机畜产品生产技术与产业模式(201203009); 国家自然科学基金项目(31260380); 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-38); 甘肃省科技重大专项(143NKDP020)

作者简介: 贾青(1987-), 女, 硕士生, 研究方向: 动物性食品营养与工程研究; 通讯作者: 韩玲(1963-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工及贮藏

牦牛肉脂肪含量低热量高,营养丰富,对增强人体抗病力、细胞活力和器官功能均有显著作用,但牦牛肉肌纤维较粗,咀嚼感差^[1],直接影响其出口与内销,提高牦牛肉嫩度迫在眉睫。宰后牦牛肉成熟过程涉及一系列复杂的肌细胞内环境变化,包括胴体pH水平下降、肌细胞间隙变化、线粒体形态和能量因子水平变化、内源酶作用下的蛋白质降解等,宏观表现为牦牛肉嫩度得到一定程度的改善。已知畜禽宰后骨骼肌纤维降解程度与肉质嫩化紧密相关^[2],而降解肌纤维蛋白的内源酶活性受胴体pH值影响,同时宰后初期降解骨骼肌蛋白的细胞凋亡酶(caspases)活性明显依赖能量供给,能量因子又与线粒体变化直接相关。肌纤维类型反应肌肉代谢特性,根据肌球蛋白ATP酶对酸碱稳定性的不同分为氧化型肌纤维(I型),具有较高的有氧代谢率、糖酵解能力低的特点,糖酵解型肌纤维(IIb型)氧化能力低,而糖酵解能力高,氧化-糖酵解型肌纤维(IIa型),代谢特点介于前两种类型之间^[3-5]。肌纤维类型与肌肉宰后能量因子变化有显著相关性,因而可能影响宰后初期caspases酶系对肌原纤维骨架降解的程度,最终影响肉质嫩化效果^[6]。国外已有研究表明不同肌肉类型之间caspases活化量有差异,并推测有氧代谢型纤维比例高的肌肉线粒体含量更高, Degens等^[7]研究显示,有氧代谢型比目鱼肌中凋亡酶启动因子蛋白比酵解型腓肠肌中得到更多表达。国内已有通过改变肌肉纤维类型组成提高猪肉品质的课题^[8]。也就是说明肌细胞内环境活动因子很大程度上受到不同部位纤维类型的限制,目前不同部位牦牛肉肉品科学领域缺乏这方面大量系统的研究。本文选取宰后2 h、6 h、12 h、24 h、3 d和5 d(时间段设定依据caspases酶系活性热点时间段)检测不同部位牦牛肉胴体pH值、肌细胞间隙变化、线粒体形态变化、能量因子ATP、ADP、AMP和IMP含量变化,及加入caspases主要效应酶caspases-3抑制剂(Ac-DEVD-CHO)验证不同部位牦牛肉肌原纤维蛋白降解程度,初步探索肌纤维类型在不同部位牦牛肉中的具体表现,最终明确每个部位肌肉的最佳宰后成熟时间,及哪个部位的肉块熟化效果最好,可为牦牛肉实际生产的熟化环节优化积累一定的理论依据。

1 材料与设计

1.1 材料

随机选取9头牦牛(青海省海晏县夏华清真肉食品有限公司提供),年龄4-6岁,活体重110±20 kg,宰前禁食禁水。按伊斯兰方式屠宰后置于冷却排酸间

(0~4℃,风速0.5 m/s)。宰后2 h、6 h、12 h、24 h、3 d和5 d分别取牦牛肱三头肌(TB)、背最长肌(ML)和半膜肌(SM),测定pH值、肌细胞间隙面积、ATP、ADP、AMP和IMP活力变化值,线粒体形态变化,制作SDS-PAGE全蛋白电泳图谱。

1.2 主要试剂及设备

试剂:苏木素, Epon812树脂, N,N'-甲叉双丙烯酰胺(AMRESCO公司), 考马斯亮蓝R-250。以上试剂均为分析纯。ATP、ADP、AMP、IMP酶活性检测试剂盒(上海荣盛生物技术有限公司、沈阳中科靛马生物工程有限公司), caspase-3抑制剂Ac-DEVD-CHO(Enzo公司), GenStar彩虹宽谱预染蛋白(北京康润诚业生物科技有限公司)。

设备: JSM561OLV型高分辨率扫描电镜仪(日本艾克赛普电子公司), 荧光分光光度计(沈阳中科靛马生物工程有限公司), TGL-16M型高速冷冻离心机(湖南长沙湘仪公司), 双垂直CYCZ型电泳仪(北京市六一仪器厂), UVPW/LMS-26E凝胶成像系统(上海书俊仪器设备有限公司)。

2 方法

2.1 pH值测定方法

pH值测定采用便携式pH计,将探头插入不同部位肉样中与其充分接触,待电子显示数据稳定后记录,每个样品测定3次,记录其平均值。

2.2 肌细胞间隙面积测定方法

液氮中取出不同部位肉样各5 g,切成0.5 cm³小块,置于10%磷酸甲醛缓冲液中(pH 7.0, 4℃)固定72 h,之后冲洗样品晾片5 min,用HE染色法染色,在酒精浓度梯度升高的情况下脱水至透明,盖玻片下固封,用照相显微镜(Motic Images 2000)下获取图像,每份肉样Image-Pro Plus软件测定20个图像中肌细胞外空隙面积占肌纤维面积的百分比。

2.3 能量因子ATP、ADP、AMP及IMP含量测定方法

参照Kawase等的方法^[9]宰后肌肉中ATP、ADP、AMP以及IMP的含量变化通过HPLC测定。液氮下取不同部位牦牛肉各3 g,研磨至肉糜状,15000 r/min离心10 min,后用移液管吸取细胞上清液用1.44 mL 0.85 M K₂CO₃中和,0.2 μm滤膜过滤,ATP、ADP、

AMP 和 IMP 的含量在 Agilent 1100 色谱仪上进行测定, 检测波长 254 nm, 色谱柱使用反相 C18 色谱柱, 流速 1 mL/min, 流动相 A 为磷酸缓冲液, 流动相 B 为甲醇。通过保留时间和峰面积进行定量分析。

2.4 线粒体形态观察分析方法

取出不同部位肉样各 8 g, 不同部位牦牛肉样切成 2 mm×1 mm×1 mm 小块, 2.5%戊二醛磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH 7.4)预固定 48 h, 再放入 1%饿酸中固定 3 h, 磷酸缓冲液冲洗后, 乙醇梯度脱水(70%、80%、95%和 100%), 用 Epon812 环氧树脂浸透包埋, 再于实体显微镜下修整, 切成超薄片, 于用 Hitachi H-7650 透射电镜进行拍照观察。

2.5 全肌肉蛋白 SDS-PAGE 电泳分析方法

2.5.1 电泳样品制备

牦牛屠宰放血后, 宰后 30 min 迅速取不同部位肉样 20 g, 锡纸包裹放入液氮做 0 d 样品, 其余肉样剪碎后随机分成两组: 按肉液 1:1 (m/V) 比例将肉糜浸泡于 100 mmol/L NaCl 和 2 mmol/L NaN₃ 混合溶液中(对照组); 另一组与对照组同样处理后, 其浸泡液中添加 100 μmol/L 细胞凋亡酶-3 抑制剂 Ac-DEVD-CHO。所有样品分别于 4 °C 条件下存放 2 h、6 h、12 h、24 h、3 d 和 5 d 待测。

2.5.2 SDS-PAGE 全蛋白图谱制作

分离胶浓度 12.5%, 浓缩胶浓度 5%。取待测蛋白质和 5 倍样品缓冲液 (60 mmol/L Tris-HCl, 25%甘油, 14.4 mmol/L 2-巯基乙醇, 0.1%溴酚蓝, pH 6.8) 以 4:1 混合, 沸水煮 5 min。冷却后用微量取上清液, 上样量 15 μL。电泳电压: 浓缩胶 75 V, 分离胶为 110 V, 时间约 4 h。

2.6 数据处理与统计分析

以上每个处理重复 3 次, 用 Microsoft Excel 2003 进行数据统计分析, 采用 SPSS 19.0 统计软件用 Duncan 法对所有数据进行显著性分析 ($p < 0.01$)。

3 结果与讨论

3.1 不同部位牦牛肉 pH 值变化趋势

如图 1 所示, 不同部位牦牛肉在宰后贮藏期内 pH 值持续下降 (宰后成熟包括了僵直形成和解除过程, 解除过程中 pH 还会回升)。宰后 24 h, 不同部位牦牛肉都达极限 pH 值 (pH=5.4) 以下, TB pH 值始终显著高于 ML 和 SM ($p < 0.05$)。宰后初期细胞内环境酸化

有利于肉质嫩化, 较低 pH 值有利于 caspases 活化, 同时含有较多糖酵解型肌纤维宰后 pH 下降快^[10], 本图显示 ML 在 12 h~24 h pH 值显著下降($p < 0.05$), 宰后 3 d 有所回升。不同部位牦牛肉 pH 值变化的不同, 是肉质肌纤维类型含量差异的表现, 是内源酶降解肌原纤维蛋白初始时间差异的直观表现。

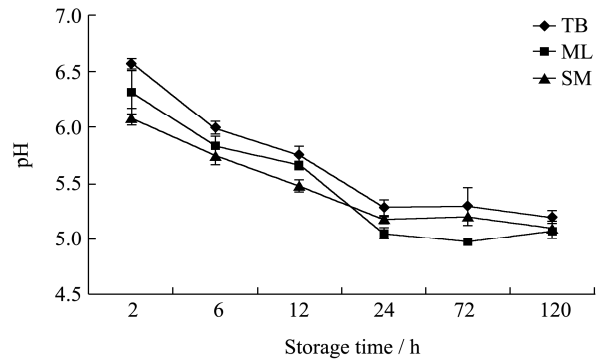


图 1 宰后成熟过程中不同部位牦牛肉 pH 值变化

Fig. 1 Postmortem changes of pH in TB, ML, and SM muscles of yak meat during the aging process

注: TB, 前驱肱三头肌 triceps; ML, 中部背最长肌 The longest back muscle; SM, 后驱半膜肌 Half a membrane muscle.

3.2 不同部位牦牛肉肌细胞间隙变化

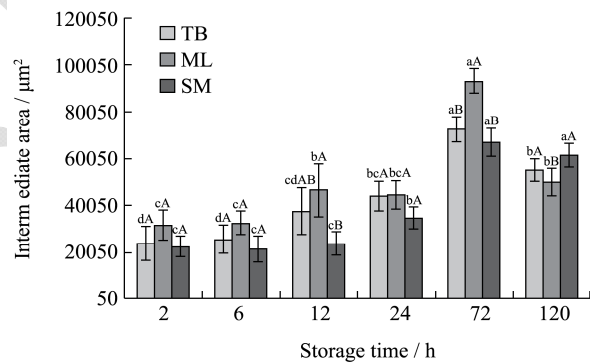


图 2 宰后成熟过程中不同部位牦牛肉肌细胞间隙变化

Fig. 2 Postmortem changes of the extracellular space area in TB, ML, and SM muscles of yak meat during the aging process

注: (1)小写字母表示同一部位牦牛肉在不同成熟时段的差异显著性 ($p < 0.05$); (2)大写字母表示不同部位牦牛肉在同一成熟时段的差异显著性 ($p < 0.05$); (3)相邻字母表示差异显著 ($p < 0.05$), 相隔字母表示差异极显著 ($p < 0.01$)。

图 2 显示, 随着宰后成熟时间延长, 不同部位牦牛肉肌细胞间隙总体趋势不断增大又减小。宰后成熟 3 d, ML 较 TB 和 SM 显著增大 28.52%和 39.70%, TB、ML 和 SM 较宰后成熟 2 h 分别增大 203.31%、191.83%和 197.62%, 差异极显著 ($p < 0.01$)。牛肉的僵直形成期在 3 d 左右完成, 之后进入解僵过程, 解僵时间隙减小, 肉质变嫩。尸僵过程中肌动蛋白和肌

球蛋白之间结合紧密, 细胞凋亡酶在宰后期参与肌原纤维骨架蛋白降解, 微观解僵过程导致肌原纤维骨架解体, 肉质嫩度增加。图2中ML细胞间隙变化趋势显著, 与之对应的是24h之后ML肌细胞酸环境利于宰后期caspases活化参与降解蛋白, 嫩化肉质。

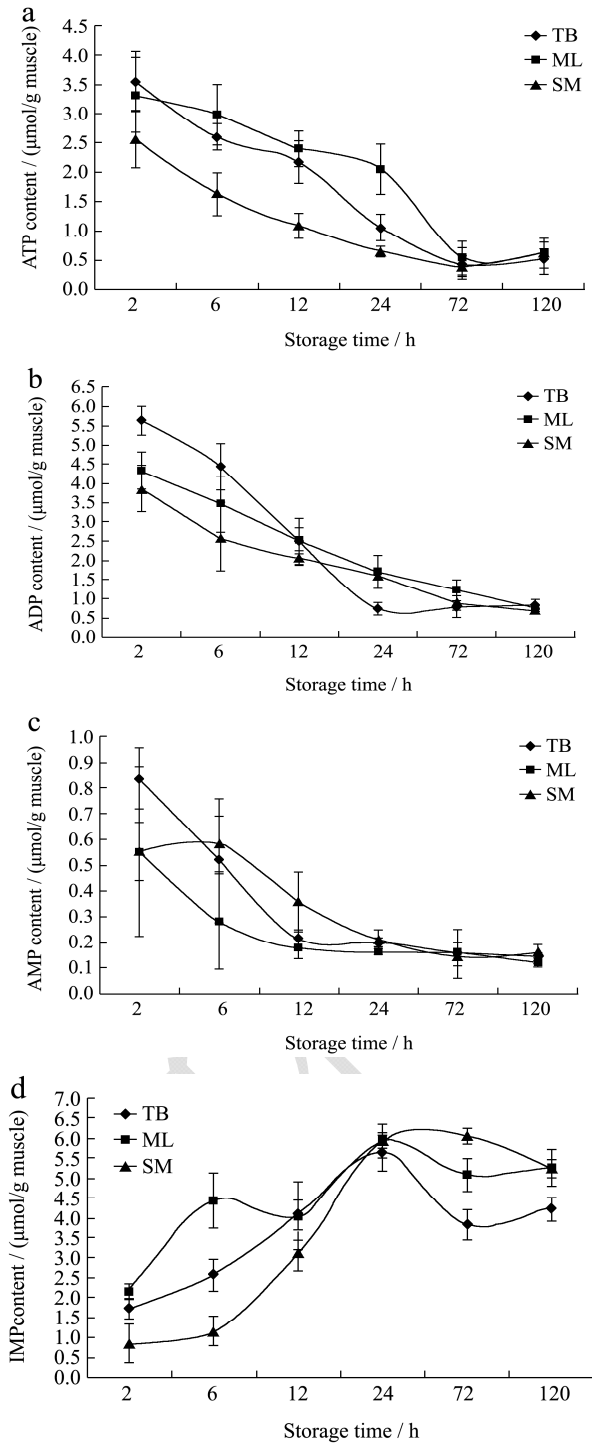


图3 宰后成熟过程中不同部位牦牛肉ATP (a)、ADP (b)、AMP (c) 和IMP (d) 含量变化

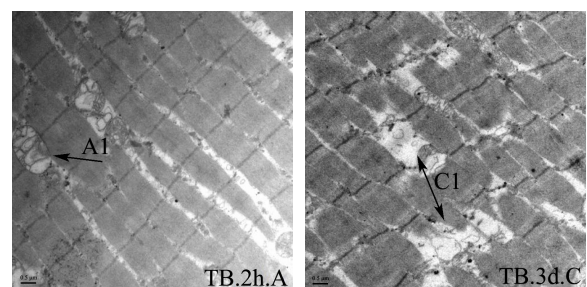
Fig.3 Postmortem changes of ATP, ADP, AMP, and IMP contents in TB, ML, and SM muscles of yak meat during the aging process

3.3 宰后成熟过程中能量因子变化

图3a所示, 随着宰后成熟时间延长, 不同部位牦牛肉ATP含量不断下降, TB、ML和SM在宰后3d达到其最低值分别为 $0.44\pm 0.27 \mu\text{mol/g}$ 、 $0.54\pm 0.29 \mu\text{mol/g}$ 和 $0.40\pm 0.18 \mu\text{mol/g}$ 。图3b所示, 不同部位牦牛肉ADP含量不断下降, TB在宰后24h达最低值, ML和SM在宰后成熟5d达最低值。图3c所示, 不同部位牦牛肉AMP含量迅速下降, 宰后6h~24h, SMAMP含量始终高于TB和ML, TB在宰后24hAMP含量达最低点, 宰后3d~5d, 不同部位牦牛肉AMP活性变化不显著($p>0.05$)。图3d所示, 宰后2h~5d不同部位牦牛肉IMP活力值随成熟时间的延长呈上升趋势, 宰后24h, TB、ML和SM分别达到其最高活力值, 宰后3d, TB和ML较之前分别下降35.08%和14.36%, SM较之前略升高6.77%。

ATP是机体细胞内外物质交互能量源, 图3a, 宰后3d, TB、ML、SM和ATP含量值下降至最低($0.44\pm 0.27 \mu\text{mol/g}$ 、 $0.54\pm 0.29 \mu\text{mol/g}$ 和 $0.40\pm 0.18 \mu\text{mol/g}$), 与Bjarnadottir^[11]等研究牛科动物背最长肌肌纤维类型与能量相关中叙述的宰后72h之内显著变化相符。ADP和AMP含量水平是肌纤维类型的信号之一, 不同肌纤维类型含量与能量因子直接相关。宰后无氧环境主要以糖酵解形式产生能量, 酵解型肌纤维有利提供能量, 供给宰后期caspases活化降解肌原纤维骨架结构, 提高嫩度。当机体ATP减少时, AMP依赖的蛋白激酶(AMPK)可促进葡萄糖转运协助ATP再生成, 通过影响物质代谢的多个环节来维持细胞能量的供求平衡, 图3b, 宰后12h, TBADP活力值显著下降, 而MLADP活力值下降趋缓, 能量供给相对保持稳定。图3c, 宰后2h~6h, MLAMP含量水平上升后下降, 并持续高于TB和SM, 显示AMPK的重要作用。图3d, 不同部位牦牛肉IMP含量总体趋势上升, 宰后24h~5dMLIMP含量高于TB和SM, Okitani等^[12]研究表明宰后不断增加的IMP能够促进肌肉解僵。

3.4 宰后成熟过程中线粒体形态变化



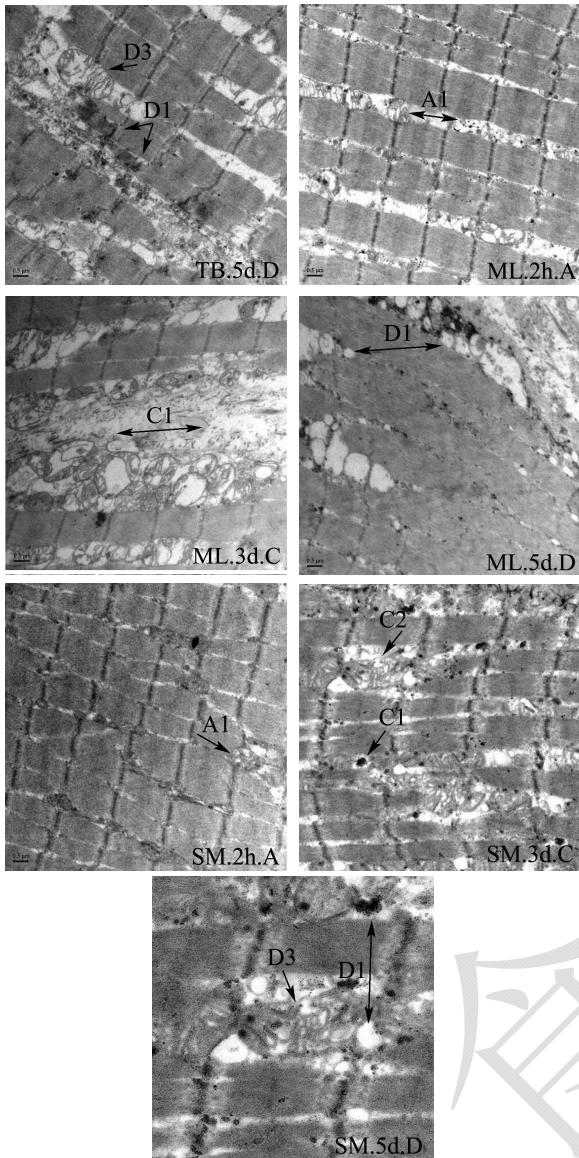


图4 宰后成熟过程中不同部位牦牛肉线粒体形态变化

Fig.4 Postmortem changes in mitochondrial morphology of TB, ML, and SM muscles of yak meat during the aging process

注: 电镜图放大 15000 倍。

图4为不同成熟时间, 牦牛肉不同部位肉线粒体形态结构的变化。宰后2h, 不同部位牦牛肉线粒体嵴突清晰, 肌原纤维结构完整(第一纵列: 图4-TB.2d.A1, 图4-ML.2d.A1 图4-SM.2d.A1)。宰后3d, ML线粒体呈极显著泡状(图4-ML.3d.C1), SM线粒体出现一定密度的小黑点(图4-SM.3d.C1)。宰后5d, ML较TB、SM线粒体溶融显著, 同时肌细胞纤维结构破坏显著(图4-ML.5d.D1), TB还有少量嵴突清晰的线粒体(图4-TB.5d.D3), SM线粒体空泡状、皱缩同时存在(图4-SM.5d.D1)。线粒体是联系肌纤维类型组成与磷酸原转化的重要因子, 有研究表明^[13]糖酵解型肌纤维有较高糖酵解能力, 而氧化型肌纤维含较多线粒体。本试验SM为牦牛后腿臀部之间筋腱肉, 较中部

里脊肉硬, 运动频繁, 肌纤维结构不易降解, 线粒体较多, 这与含较多氧化性肌纤维肉质特点相符。

3.5 宰后成熟过程中全蛋白电泳的变化

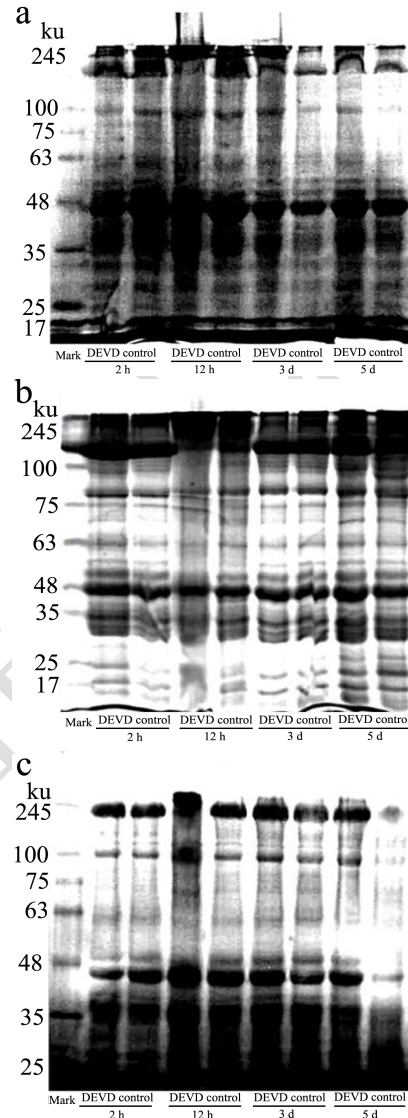


图5 宰后成熟过程中不同部位牦牛肉全蛋白降解变化

Fig.5 Postmortem changes of total protein degradation in TB, ML, and SM muscles of yak meat during the aging process

图5(图5a、b和c分别代表不同部位TB、ML和SM), 宰后不同部位牦牛肉肌原纤维蛋白降解有显著性差异。宰后2h~3d, 图5a(TB)几乎所有泳道分离效果都不好, 肌原纤维蛋白降解不显著, 12h抑制组顶端出现显著蛋白弥散痕迹, 图5c(SM)在35ku之下蛋白几乎没有被分离降解, 但ML出现密集小降解片段, 较TB、SM嫩化效果显著($p < 0.05$)。宰后初期嫩化Caspase有降解蛋白启动性作用, Caspase主要执行蛋白酶Caspase-3活性显著影响宰后肉质嫩度, 宰后12h, DEVD对TB、ML和SM抑制效果显著($p < 0.05$), 即caspase在宰后12h对肌原纤维蛋白降

解有显著性贡献。宰后 3 d, 不同部位牦牛肉 DEVD 抑制效果显著低于宰后 12 h, 宰后 5 d 不同部位牦牛肉 DEVD 组几乎无抑制效果。30 ku 的肌钙蛋白-T 降解产物积累是畜禽宰后成熟嫩化标志, 图 5b 在宰后 5 d 出现 28 ku 显著降解条带, 进一步证明 ML 宰后嫩化效果显著。Gentry^[14]对于猪肉研究显示 caspase 各组分在不同的骨骼肌中各活性比例不同, 这一差异和肌纤维类型有关。

4 结论

4.1 宰后 24 h, TB、ML 和 SM 的 pH 值显著下降 ($p<0.01$), 较宰后 2 h, TB、ML 和 SM 分别下降 19.63%、20.09%和 15.25%。宰后成熟 3 d~5 d, 不同部位牦牛肉 pH 值变化不显著 ($p>0.05$)。

4.2 宰后 12 h, ML 较 SM 肌细胞间隙面积显著增大 95.83% ($p<0.01$)。宰后 3 d, TB、SM 较 ML 显著增大 48.44%和 50.06% ($p<0.05$), 宰后 5 d, TB 和 SM 肌细胞间隙变化差异不显著 ($p>0.05$)。

4.3 宰后 2 h, TB 中 ATP 初始含量最高 3.61 ± 0.23 $\mu\text{mol/g}$ 。宰后 2 h, TB 的 ADP 活力值几乎至最低点 0.90 ± 0.17 $\mu\text{mol/g}$ 。宰后 24 h, TB、ML 和 SM 几乎降至最低点, 宰后 3 d~5 d, 三者无显著性差异 (TB, $p>0.05$; ML, $p>0.05$; SM, $p>0.05$); 宰后 2 h, ML 的 IMP 较 SM 极显著升高 60.65% ($p<0.01$); 宰后 3 d, TB 和 ML 较之前分别显著下降 35.08%和 14.36% (TB, $p<0.05$; ML, $p<0.05$), 宰后 5 d, TB 与 ML 和 SM 有显著性差异 ($p<0.05$)。

4.4 宰后 3 d, ML 线粒体大量肿胀, 脊突模糊, 内容物流失 (图 5-ML.3d.C1), 较 TB、SM 肌纤维结构破坏严重 (图 5-ML.3d.C2)。宰后 5 d, SM 线粒体出现皱缩变性和黑点 (图 5-SM.5d.D1), Z 线周围开始出现断裂现象, M 线仍有部分可见 (图 5-SM.5d.D2)。

4.5 宰后 12 h, 不同部位牦牛肉 DEVD 组较对照组有显著差异 ($p<0.05$), TB 的 DEVD 组最顶端有大浓度染色弥散痕迹, ML DEVD 组和对照组 245 ku 条带显著降解 ($p<0.05$), 63~48 ku 之间出现降解碎片。宰后 3 d, ML DEVD 组和对照组同时出现 30 ku 肌钙蛋白-T 显著降解条带, TB DEVD 组与对照组 245 ku 条带浓度显著下降 ($p<0.05$)。宰后 5 d, SM 对照组较 DEVD 组条带浓度显著变浅 ($p<0.05$)。

参考文献

[1] 孙志昶,余群力,韩玲,等.细胞凋亡对牦牛肉成熟过程中品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(8):82-88
SUN Zhi-chang, YU Qun-li, HAN Ling, et al. The research

of apoptotic in yak muscles during postmortem aging [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(8): 82-88

- [2] Kemp C M, Parr T. Advances in apoptotic mediated proteolysis in meat tenderization [J]. Meat Science, 2012, 92(3): 252-259
- [3] Ashmore C R, Doerr L. Comparative aspects of muscle fiber types in different species [J]. Experimental Neurology, 1971, 31(3): 408-18
- [4] Koochmaraie M, Kent M P, Shackelford S D, et al. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship [J]. Meat Science, 2002, 62(3): 345-352
- [5] Brocks L, Klont R E, Buist W, et al. The effects of selection of pigs on growth rate vs leanness on histochemical characteristics of different muscles [J]. Journal of Animal Science, 2000, 78(5): 1247-1254
- [6] 张丽,孙宝忠,谢鹏,等.肌纤维类型与肉嫩度的关系[J].食品工业科技,2014,2(2):385-390
ZHANG Li, SUN Bao-zhong, XIE Peng, et al. Relationship between muscle fiber types and tenderness of meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 2(2): 385-390
- [7] Degens H, Swisher A K, Heijdra Y F, et al. Apoptosis and id2 expression in diaphragm and soleus muscle from the emphysematous hamster [J]. American Journal of Physiology -Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 2007, 293(1): R135-R144
- [8] 门小明.肌肉纤维类型组成对猪肉品质的影响及其机理研究[D].无锡:江南大学,2012
MEN Xiao-ming. Effects and underlying mechanisms of muscle fibre types on pork quality [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [9] Kawase E, Wong M D, Ding B C, et al. Gbb/Bmp signaling is essential for maintaining germline stem cells and for repressing bam transcription in the drosophila testis [J]. Development, 2004, 131(6): 1365-1375
- [10] Xiong Y L. Myofibrillar protein from different muscle fiber types: Implications of biochemical and functional properties in meat processing [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1994, 34(3): 293-320
- [11] Bjarnadottir S G, Hollung K, Fergestad E M. Proteome changes in bovine longissimus thoracis muscle during the first 48 h postmortem: Shifts in energy status and myofibrillar stability [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(12): 7408-7414
- [12] Okitani A, Ichinose N, Koza M, et al. AMP and IMP

- dissociate actomyosin into actin and myosin [J]. *Bioscience Biotechnology & Biochemistry*, 2008, 72(8): 2005-2011
- [13] Otera H, Mihara K. Mitochondrial Dynamics: functional link with apoptosis [J]. *International Journal of Cell Biology*, 2012, 2012: 821676-821676
- [14] Gentry J G, Mcglone J J, Jr B J, et al. Impact of spontaneous exercise on performance, meat quality, and muscle fiber characteristics of growing/finishing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(11): 2833-2839

现代食品科技