

# 驴肉在低温成熟过程中理化特性及抗氧化性能的变化规律

张心壮 林靖凯 刘宇 芒来\*

(内蒙古农业大学 动物科学学院/内蒙古自治区马属动物遗传育种与繁殖重点实验室/农业农村部  
马属动物遗传育种与繁殖科学观测实验站/内蒙古农业大学马属动物研究中心,呼和浩特 010018)

**摘要** 为研究驴肉在低温成熟过程中理化特性及抗氧化性能的变化规律,选择10头育肥德州公驴,屠宰后取背最长肌,在0~4℃低温环境下熟化72h,分别在0、1、6、24、48和72h测定驴肉理化指标和抗氧化指标。结果表明,驴肉pH在72h内低温成熟期间发生极显著变化( $P<0.001$ ),且随着时间的延长呈现显著的一次线性下降( $P_L<0.001$ ),24h显著低于1和6h,24h以后差异不显著;驴肉L\*值在72h低温成熟期间有显著差异( $P<0.001$ ),且随着排酸时间呈现一次线性增加的显著性变化( $P_L<0.001$ ),a\*值在低温成熟期间出现先升高后降低的二次曲线变化规律( $P_Q<0.001$ ),a\*值在6h时达到最大值,b\*值在低温成熟期间差异不显著( $P=0.141$ );驴肉TVB-N和AV值在72h低温成熟期间没有显著变化( $P=0.880$ , $P=0.857$ ),符合国家新鲜肉标准;驴肉PV值随着低温成熟时间延长呈现一次线性增加( $P_L<0.001$ ),24h显著高于0和1h,TBARS含量在低温成熟期间没有显著性差异( $P=0.788$ ),-SH含量出现先升高后降低的二次曲线变化( $P_Q=0.024$ ),T-AOC、SOD、CAT和GSH-Px呈现相同的一次线性降低的变化规律( $P_L<0.05$ ),48h后出现显著降低( $P<0.05$ )。综上,驴肉在72h低温成熟过程中pH和肉色发生改变,抗氧化性能降低,需要在肉色稳定性以及提高驴肉抗氧化性能方面进一步研究。

**关键词** 驴肉;低温成熟;理化特性;抗氧化性能

中图分类号 S822 文章编号 1007-4333(2021)06-0073-07 文献标志码 A

## Changes of physical and chemical indicators and antioxidant properties of donkey meat during chilled aging

ZHANG Xinzhuang, LIN Jingkai, LIU Yu, MANG Lai\*

(Inner Mongolia Key Laboratory of Equine Genetics, Breeding and Reproduction/Scientific Observing and Experimental Station of Equine Genetics, Breeding and Reproduction, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Equine Research Center/College of Animal Science, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010018, China)

**Abstract** In order to study the changes of physical and chemical indicators and antioxidant properties of donkey meat during chilled aging, 10 Dezhou donkeys were selected. After slaughtering, longissimus dorsi were harvested and chilled aging at 0–4℃ for 72 h. The physicochemical and antioxidant indexes were determined at 0, 1, 6, 24, 48 and 72 h respectively. The results showed that pH of donkey meat changed significantly ( $P<0.001$ ) within 72 h chilled aging, and showed significant linear decrease with the extension of time ( $P_L<0.001$ ), which was significantly lower than 1 and 6 h, and there was no significant difference after 24 h; The L\* value of donkey meat had significant difference ( $P<0.001$ ) during 72 h chilled aging, and presented linear increasing change with acid excretion time

收稿日期: 2020-09-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31902188);内蒙古农业大学高层次引进人才启动项目(NDGCC2016-01);内蒙古农业大学动物科学学院青年基金项目(QN202030);科技部国际合作项目(2017YFE0108700);内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目(NJZY18052)

第一作者: 张心壮,讲师,主要从事马属动物营养与产品品质研究,E-mail:zhangxinzhuang@imau.edu.cn

通讯作者: 芒来,教授,主要从事马属动物遗传育种研究,E-mail:dmanglai@163.com

( $P_L < 0.001$ ).  $a^*$  value first increased and then decreased during low temperature maturation ( $P_0 < 0.001$ ), which reached the maximum value at 6 h chilled aging.  $b^*$  value did not change significantly ( $P = 0.141$ ). TVB-N and AV values of donkey meat also did not change significantly during the period of 72 h chilled aging ( $P = 0.880$ ,  $P = 0.857$ ), which met the national standards for fresh meat. The PV value of donkey meat presented a linear increase with the extension of low temperature maturity time ( $P_L < 0.001$ ), which was significantly higher at 24 h than that of 0 and 1 h. There was no significant difference in TBARS content ( $P = 0.788$ ). The content of -SH increased first and then decreased ( $P_0 = 0.024$ ). T-AOC, SOD, CAT and GSH-Px all presented the same linear decreasing trend ( $P_L < 0.05$ ), and decreased significantly after 48 h chilled aging ( $P < 0.05$ ). In conclusion, the pH and color of donkey meat changed during 72 h low temperature ripening, and the antioxidant capacity decreased. Further research on the stability of meat color and the improvement of antioxidant capacity of donkey meat were needed.

**Keywords** donkey meat; chilled aging; physical and chemical indicator; antioxidant property

中国是传统的养驴大国,驴在中国传统农业生产中曾占据重要角色。但是随着生产方式的转变和农业机械化的普及,驴的役用功能逐渐向肉用、药用、乳用、保健与生物制品开发等多途径的“活体经济”的转变,驴业发展呈现新态势。驴肉营养价值丰富,具有高蛋白、低脂肪的特点,且富含必需氨基酸和多不饱和脂肪酸,素有天上龙肉,地上驴肉的美誉<sup>[1]</sup>。近年来随着驴肉消费量的不断增加,消费者对驴肉品质的要求越来越高,生产者迫切需要进行提高驴肉品质。国内外关于驴肉的研究较少,多集中在品种、年龄以及部位对肉品质以及营养成分的影响研究<sup>[2]</sup>。周楠等<sup>[3]</sup>研究表明,德州母驴的背最长肌熟肉率、嫩度和脂肪含量均高于臀部肉,蛋白含量差异不显著。Palo等<sup>[4]</sup>研究发现12月龄马丁纳弗兰卡驴驴肉中肌糖原含量显著高于8月龄,肌肉剪切力显著低于8月龄。动物屠宰后的低温成熟是屠宰后一种加工工艺,可以使肉成熟和嫩化,提高肉品质<sup>[5]</sup>。

由于我国养驴业主要以散养为主,规模化程度不高,对驴肉的宰后加工工艺不够重视,特别是驴屠宰以后驴肉颜色迅速变暗,不饱和脂肪酸氧化严重影响驴肉肉品质以及营养价值,亟需对驴肉在低温熟化过程中的理化指标以及抗氧化性能进行系统研究。因此,本研究通过分析驴肉在低温成熟过程中理化特性及抗氧化性能的变化规律,旨在制定科学的驴肉宰后熟化工艺,为提高驴肉品质提供基础数据和参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品选择及处理

试验驴肉取自东阿阿胶股份有限公司,随机选取10头健康无病害的,年龄在3岁左右,活体重

250±20 kg的育肥德州公驴,宰前的24 h禁食禁水。屠宰后,取左侧胴体6~7肋间背最长肌,保鲜膜密封后放置在0~4℃冰箱中贮藏。分别在0、1、6、24、48和72 h测定pH、肉色,并取各时间点肉样放入-80℃冰箱中保存备测酸价(AV)、挥发性盐基氮(TVB-N)以及抗氧化指标。

### 1.2 驴肉理化指标测定方法

#### 1.2.1 驴肉 pH 测定

使用Testo205便携式pH计(深圳立华德科技有限公司)测定不同时间点驴肉pH,探针插入的深度约为2 cm,连续测定2次,计算其平均值。

#### 1.2.2 驴肉肉色测定

使用美能达CR400色差仪(Minolta-CR400, KONICA MINOLTA SENSING INC, Osaka, Japan),光源D65,测定肉样的 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 。每个样品分别测定3个重复取平均值。

#### 1.2.3 驴肉酸价测定

参照王芳兵等<sup>[6]</sup>的方法,采用直接滴定法测定样品的酸价。

#### 1.2.4 挥发性盐基氮测定

挥发性盐基氮的测定参考食品安全国家标准(GB 5009. 228—2016)<sup>[7]</sup>食品中挥发性盐基氮的测定方法中自动凯氏定氮法。

### 1.3 驴肉抗氧化指标测定

参考Richards等<sup>[8]</sup>的方法,使用Epoch全波长酶标仪(美国伯腾仪器有限公司)测定各时间点肉样的过氧化物值(PV)、硫醇(-SH)及硫代巴比妥酸反应物(TBARS)。总抗氧化能力(T-AOC)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、过氧化氢酶(CAT)以及超氧化物歧化酶(SOD)测定方法按照索莱宝有限公司相应试剂盒说明书中步骤进行测定。

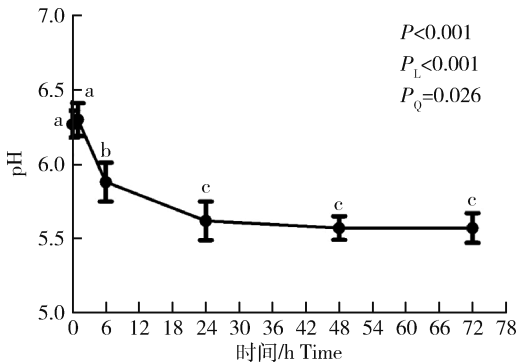
### 1.4 统计方法

使用 Excel(2007)软件对数据进行初步统计整理,使用 SAS 9.2 统计软件中 GLM 模型和 linear 模型对低温成熟过程中影响驴肉食用品质的 pH、肉色、挥发性盐基氮(TVB-N)、酸价(AV)以及抗氧化指标进行方差和线性分析,采用 Duncan 多重比较。不同处理组  $P > 0.1$  代表差异不显著; $0.05 < P < 0.1$  代表有趋势; $P < 0.05$  代表差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 驴肉 pH 在低温成熟期间的变化规律

如图 1 所示,驴肉 pH 在 72 h 内低温成熟期间变化为 5.57~6.30,且显著差异( $P < 0.001$ ),且随着时间的延长呈现一次线性下降的变化规律( $P_L < 0.001$ ),其中 0 和 1 h 驴肉 pH 差异不显著,从 1~6 h 显著下降,6~24 h 下降速度减缓,到 24 h 时差异显著,随后低温成熟时间内持续到 72 h 无显著变化。



图中各时间点不同字母表示差异显著,  $P_L$  和  $P_Q$  分别代表 pH 随时间变化的一次、二次线性效应。下图同。

Different letters at different time point represent significant difference,  $P_L$  and  $P_Q$  represent a linear and quadratic effect of pH over time respectively. The same below.

图 1 驴肉 pH 在低温成熟期间的变化规律

Fig. 1 pH changes of donkey meat during chilled aging

### 2.2 驴肉肉色在低温成熟期间的变化规律

驴肉  $L^*$ ,  $a^*$  和  $b^*$  值在低温成熟期间的变化规律如图 2、3 和 4 所示。由图 2 可知,驴肉  $L^*$  值在 72 h 低温成熟期间显著差异( $P < 0.001$ ),且随着排酸时间呈现一次线性增加的变化( $P_L < 0.001, P_Q = 0.278$ ),排酸 6 h 开始显著高于 0 和 1 h,一直增加到 48 h 达到最大值,48 和 72 h 无显著差异。由图 3 可知,驴肉  $a^*$  在低温成熟期间出现先升高后降低

的二次曲线变化规律( $P_Q < 0.001$ ),从 0~1 h 逐渐增加,到 6 h 达到最大值,随后下降到 72 h 达到最低值,但是与 0 h 差异不显著。驴肉  $b^*$  值在低温成熟期间的没有显著性变化( $P = 0.141$ ,图 4)。

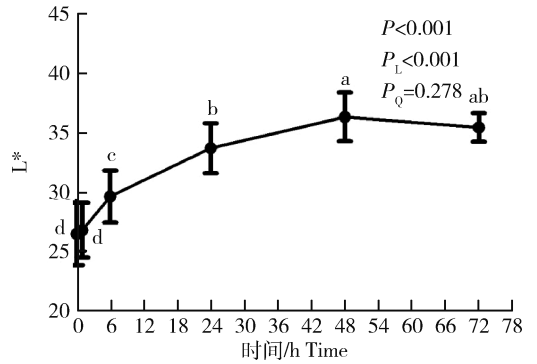


图 2 驴肉  $L^*$  值在低温成熟期间的变化规律

Fig. 2  $L^*$  value changes of donkey meat during chilled aging

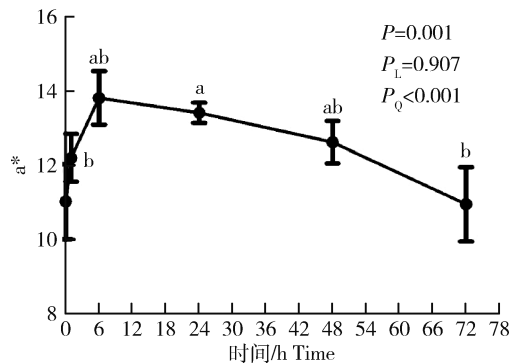


图 3 驴肉  $a^*$  值在低温成熟期间的变化规律

Fig. 3  $a^*$  value changes of donkey meat during chilled aging

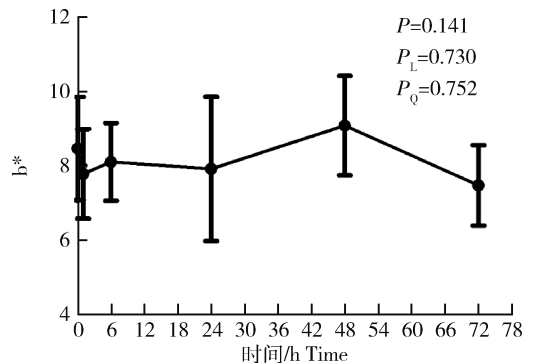


图 4 驴肉  $b^*$  值在低温成熟期间的变化规律

Fig. 4  $b^*$  value changes of donkey meat during chilling acid discharge

### 2.3 驴肉 TVB-N 在低温成熟期间的变化规律

由图 5 可以看出,驴肉 TVB-N 含量在 72 h 低温成熟期间没有显著变化( $P=0.880$ )。

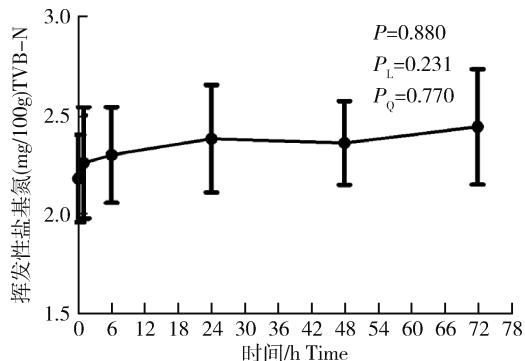


图 5 驴肉 TVB-N 在低温成熟期间的变化规律

Fig. 5 TVB-N changes of donkey meat during chilled aging

### 2.4 驴肉酸价 AV 在低温成熟期间的变化规律

由图 6 可以看出,驴肉在不同低温成熟时间点 AV 无显著变化( $P=0.857$ )。

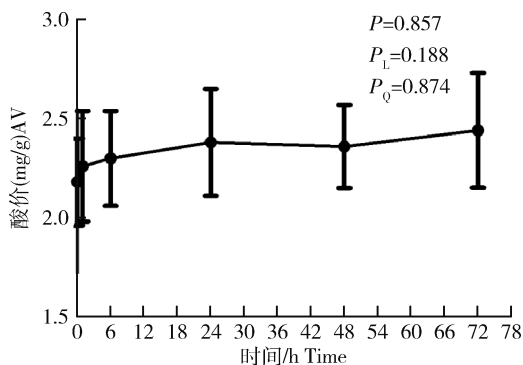


图 6 驴肉 AV 在低温成熟期间的变化规律

Fig. 6 AV changes of donkey meat during chilled aging

### 2.5 驴肉抗氧化指标在低温成熟期间的变化规律

由表 1 可知,驴肉 PV 值在低温成熟期间有显著性差异( $P=0.001$ ),且随着低温成熟时间延长呈现一次线性增加的变化规律( $P_L < 0.001$ ),且在 24 h 显著高于 0 和 1 h,虽然 48 和 72 h 的 PV 值有所增加,但差异不显著。TBARS 含量在低温成熟

表 1 驴肉抗氧化指标在低温成熟期间的变化规律

Table 1 Antioxidant properties changes of donkey meat during chilling acid discharge

| 项目<br>Item                                       | 0 h                  | 1 h                  | 6 h                   | 24 h                  |       |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 过氧化物/( $\mu\text{mol}/\text{kg}$ ) PV            | 223.90 $\pm$ 36.26 b | 209.28 $\pm$ 46.30 b | 311.45 $\pm$ 47.53 ab | 351.61 $\pm$ 39.63 a  |       |
| 硫代巴比妥酸反应物/( $\mu\text{mol}/\text{kg}$ )<br>TBARS | 15.58 $\pm$ 1.80     | 16.86 $\pm$ 4.42     | 17.35 $\pm$ 5.07      | 17.17 $\pm$ 2.88      |       |
| 硫醇/(mol/kg) -SH                                  | 2.44 $\pm$ 0.11      | 2.57 $\pm$ 0.32      | 2.65 $\pm$ 0.16       | 2.75 $\pm$ 0.34       |       |
| 总抗氧化能力 C/(U/g) T-AOC                             | —                    | 3.67 $\pm$ 0.42 a    | 3.42 $\pm$ 0.51 ab    | 3.32 $\pm$ 0.31 ab    |       |
| 超氧化物歧化酶/(U/g) SOD                                | —                    | 207.85 $\pm$ 28.11 a | 160.15 $\pm$ 32.27 ab | 147.68 $\pm$ 53.61 ab |       |
| 过氧化氢酶/(U/g) CAT                                  | —                    | 25.23 $\pm$ 7.65 a   | 23.70 $\pm$ 4.13 a    | 18.35 $\pm$ 7.64 ab   |       |
| 谷胱甘肽过氧化物酶/(U/g) GSH-Px                           | —                    | 671.07 $\pm$ 47.71 a | 666.78 $\pm$ 82.34 a  | 509.20 $\pm$ 52.88 ab |       |
| 项目<br>Item                                       | 48 h                 | 72 h                 | P                     | $P_L$                 | $P_Q$ |
| 过氧化物/( $\mu\text{mol}/\text{kg}$ ) PV            | 389.36 $\pm$ 46.55 a | 405.82 $\pm$ 53.08 a | 0.001                 | <0.001                | 0.462 |
| 硫代巴比妥酸反应物/( $\mu\text{mol}/\text{kg}$ )<br>TBARS | 18.73 $\pm$ 4.18     | 19.22 $\pm$ 3.92     | 0.788                 | 0.173                 | 0.715 |
| 硫醇/(mol/kg) -SH                                  | 2.58 $\pm$ 0.25      | 2.49 $\pm$ 0.12      | 0.271                 | 0.628                 | 0.024 |
| 总抗氧化能力 C/(U/g) T-AOC                             | 3.19 $\pm$ 0.28 b    | 3.04 $\pm$ 0.43 b    | 0.047                 | 0.038                 | 0.853 |
| 超氧化物歧化酶/(U/g) SOD                                | 121.07 $\pm$ 13.49 b | 107.61 $\pm$ 52.35 b | 0.019                 | 0.001                 | 0.312 |
| 过氧化氢酶/(U/g) CAT                                  | 14.52 $\pm$ 6.84 b   | 13.00 $\pm$ 4.37 b   | 0.037                 | 0.039                 | 0.658 |
| 谷胱甘肽过氧化物酶/(U/g) GSH-Px                           | 437.38 $\pm$ 69.17 b | 249.78 $\pm$ 69.44 c | <0.001                | <0.001                | 0.137 |

注:表中不同字母代表差异显著;P 表示不同时间点差异性; $P_L$  代表随时间变化的一次线性效应; $P_Q$  代表随时间变化的二次线性效应。

表中“—”表示数据缺失。

Note: Different letters in same row represent significant difference; P represents difference for time;  $P_L$  represents linear effect;  $P_Q$  represents quadratic effect. “—” in the table indicates missing data.



期间没有显著性差异( $P=0.788$ )。-SH 含量出现显著的先升高后降低的二次曲线变化( $P_Q=0.024$ ), 24 h 达到最高值 2.75 mol/kg, 但不同时间点之间无显著性差异( $P=0.628$ )。T-AOC、SOD、CAT 和 GSH-Px 呈现相同的一次线性减少的变化规律( $P_L<0.05$ ), 到 48 h 后出现显著降低。

### 3 讨论

#### 3.1 驴肉低温成熟期间食用品质变化规律

肉 pH 是指肉的酸度, 主要与肌肉内糖原的分解以及蛋白质的降解有关, 能够直接或间接影响肉的颜色、嫩度、风味、适口性和货架期, 是评价肉品质的重要指标<sup>[9]</sup>。屠宰时羊肉的 pH 6.00~7.00, 到肌肉僵直时为 5.40~5.60<sup>[10]</sup>, 牛肉贮藏过程中的 pH 一般处于 5.60~5.80<sup>[11]</sup>, 驴肉冷藏过程中 pH 变化范围在 5.80~6.60<sup>[12]</sup>。本研究中驴肉 pH 在低温成熟期间存在显著差异( $P<0.001$ ), 随着时间的延长从 6.30 降低到 5.57, 呈现显著一次线性下降变化( $P_L<0.001$ ), 可能是由于动物屠宰以后, 肌肉代谢发生改变, 肌肉中储存的肌糖原会发生无氧酵解产生乳酸会导致肌肉的 pH 下降<sup>[13]</sup>, 随着肌糖原的消耗, 乳酸产生速率降低, pH 下降速度减缓, 直到糖酵解相关酶活性被抑制<sup>[14]</sup>, pH 在一段时间内维持不变。通常情况下, PSE (pale, soft, exative) 肉 pH 在宰后下降速度很快, 宰后 1 h 内降低至 5.80 以下, DFD (dark, firm, day) 肉下降速度慢而且不完全, 宰后 24 h 大于 6.20<sup>[15]</sup>。本研究中驴肉在低温成熟 1 h 后 pH 没有发生迅速下降, 24 h pH 为 5.62, 24 h 到 72 h pH 保持稳定, 符合正常肉低温成熟的变化规律。

肉色是肉品质感官评定的关键指标, 是消费者的第一印象, 对购买意愿有重要影响<sup>[16]</sup>。肉色可以通过  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值来反映, 其中  $L^*$  表示亮度,  $a^*$  表示红度,  $b^*$  表示黄度。本研究结果显示驴肉  $L^*$  值在 72 h 低温成熟期间随着排酸时间呈现一次线性增加的趋势, 与敖冉等<sup>[17]</sup>的研究结果一致, 可能是由于驴肉在低温成熟期间蛋白质水解增大了肌肉内自由水含量, 有汁液渗出, 增加了对光的反射能力, 导致  $L^*$  上升。

$a^*$  值大小与肌肉中肌红蛋白色素含量以及肌红蛋白中铁离子的价态有关, 驴刚被屠宰后, 肌肉处于缺氧状态, 肌红蛋白色素以还原形式存在, 肉色为紫红色, 在空气中暴露一段时间以后, 色素与氧气结

合形成氧合肌红蛋白, 肉色呈现鲜红色,  $a^*$  值升高, 此时肉的颜色最吸引消费者, 随着低温成熟时间的延长, 会形成氧化态的高铁血红蛋白, 肉的颜色加深变暗呈棕褐色,  $a^*$  降低, 影响消费者感官和购买欲望, 肉品质下降<sup>[18]</sup>。解祥学等<sup>[16]</sup>研究发现高压静电处理组  $a^*$  值在排酸 4、8、12 和 24 h 显著高于对照组, 表明高压静电刺激对于保持  $a^*$  稳定性有一定效果。此外, 添加一些外源的天然抗氧化剂如维生素 E、植物提取物等都可以提高肉的抗氧化能力, 延长肉的  $a^*$  值稳定时间<sup>[19-20]</sup>。因此利用电刺激以及添加天然抗氧化剂延长  $a^*$  值的维持时间是驴肉低温成熟期间提高肉品质的关键技术。一般认为  $b^*$  对肉色的视觉贡献不大, 易受到肌肉脂肪含量和氧化状态影响。本研究中  $b^*$  在低温成熟期间没有显著变化的结果表明驴肉肌肉脂肪处于较为稳定状态, 没有出现明显氧化现象。

挥发性盐基氮是肉中的微生物利用蛋白质作为生长物质, 蛋白质降解为含硫化合物和胺类物质。因此, 肉中挥发性盐基氮含量与肉品腐败变质程度有直接关系, 是对肉类进行新鲜度评价的重要指标。根据国家标准 GB 2707—2005《鲜(冻)畜肉卫生标准》<sup>[21]</sup>规定, TVB-N $\leq 15$  mg/100 g 为新鲜的肉类, 本研究中驴肉在低温成熟期间 TVB-N 含量最高值为 72 h 时的 2.66 mg/100 g, 由此可以判定试验条件下排酸 72 h 内驴肉能够保持较高的新鲜度。另一方面, 微生物降解驴肉中的蛋白质生成的 TVB-N 属于碱性物质, 含量越高, 肉的 pH 也会随之升高, 而前述结果中驴肉 pH 在 72 h 没有出现明显的升高现象同样证明肉具有良好的新鲜度。

酸价是反应肉类脂肪水解程度, 在我国被用作衡量肉制品酸败程度的一种指标。本研究结果 72 h 低温成熟期间酸价没有发生显著的变化, 表明驴肉脂肪新鲜度较好, 没有发生明显的氧化和酸败, 这与肉色  $b^*$  保持稳定相一致。

#### 3.2 驴肉低温成熟期间抗氧化性能变化规律

过氧化物是脂类氧化的中间产物继续氧化的媒介, PV 值是用来衡量脂质氧化初期的氧化程度的重要指标<sup>[22]</sup>。本研究发现 PV 值随着低温成熟时间的延长线性增加的原因是驴肉中的脂类物质随着低温成熟时间延长发生氧化反应, 在自由基或者脂肪氧合酶的作用下, 脂质产生过氧化生成过氧化物, PV 值升高。新鲜肉本身含有的内源性抗氧化物质-SH 和抗氧化酶系如 SOD、CAT 和 GSH-Px 能够清

除部分的脂质过氧化物<sup>[23]</sup>。因此,在低温成熟初期内源抗氧化物质含量较高清除过氧化物能力较强,PV值上升速度较慢,前6h没有显著性差异,甚至1h的时候数值还有所降低,但是随着低温成熟时间的延长,抗氧化酶的消耗导致酶活性降低,特别是低温成熟48h后,过氧化物产生的速率远远大于清除的速率,造成PV值出现显著升高。-SH是还原型谷胱甘肽(GSH)的活性基团,GSH在GSH-Px的作用下可以清除过氧化物,而自身会变为氧化性的谷胱甘肽(GSSH),GSSH可以在谷胱甘肽还原酶的作用下重新生成GSH<sup>[24]</sup>。因此,本研究中-SH出现先升高后降低的现象的原因是低温成熟初期过氧化物激活谷胱甘肽还原酶将GSSH转变成GSH,此时GSH产生速度大于消耗速度出现GSH含量升高的现象,但是低温成熟24h后谷胱甘肽还原酶活性减弱,生成GSH的速率低于GSH清除过氧化物的消耗速度,导致GSH含量下降。TBARS值可反映不稳定的过氧化物继续氧化生成醛、酮和醇等终产物的含量<sup>[25]</sup>,本研究结果显示低温成熟72h内TBARS含量没有显著性变化,说明驴肉品质良好。

## 4 结 论

驴肉在低温成熟72h过程中,pH呈现一次线性下降,L\*值一次线性增加,a\*值先升高后降低,化学指标TVB-N和AV没有显著性差异,且含量均在正常范围内,表明驴肉的新鲜度较高,抗氧化酶SOD、CAT以及GSH-Px在低温成熟48h后显著下降,驴肉抗氧化性能降低。综上所述,驴肉在72h低温成熟过程中能够保持较好的新鲜度,其肉色稳定性以及驴肉抗氧化性能方面仍需要进一步深入研究。

## 参考文献 References

[1] 尤娟,罗永康,张岩春,郑喆. 驴肉主要营养成分及与其它畜禽肉的分析比较[J]. 肉类研究, 2008, 113(7): 20-22  
You J, Luo Y K, Zhang Y C, Zheng Z. Nutrition composition of donkey meat and comparison with other livestock and poultry meat[J]. *Meat Research*, 2008, 113(7): 20-22 (in Chinese)

[2] 林靖凯,刘桂芹,格日乐其木格,赵一萍,张心壮,芒来. 驴肉品质及其影响因素的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(6): 1873-1880

Lin J K, Liu G Q, Gerelchimeg, Zhao Y P, Zhang X Z, Mang L. Research progress on quality of donkey meat and its influencing factors [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2019, 46(6): 1873-1880 (in Chinese)

[3] 周楠,谢鹏,郑世学,孙宝忠,韩国才,李世杰,李海鹏,王欢. 不同年龄改良德州母驴屠宰性能、肉品质理化指标及加工特性研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014, 449(5): 102-104  
Zhou N, Xie P, Zheng S X, Sun B Z, Han G C, Li S J, Li H P, Wang H. Study on carcass traits, physicochemical index and processing characteristics of Dezhou female donkey at different ages [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2014, 449(5): 102-104 (in Chinese)

[4] De Palo P, Tateo A, Maggolino A, Marino R, Ceci E, Nisi A, Lorenzod J M. Martina Franca donkey meat quality: Influence of slaughter age and suckling technique [J]. *Meat Science*, 2017, 134(12): 128-134

[5] 王鑫,李光鹏. 牛肉肉质状及其影响因素[J]. 动物营养学报, 2019, 31(11): 4950-4959  
Wang X, Li G P. Meat quality traits of cattle and its influence factors [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(11): 4950-4959 (in Chinese)

[6] 王芳兵,刘以娟,唐书泽. 一种新的肉及肉制品酸价测定方法[J]. 广东农业科学, 2012, 39(13): 119-121  
Wang F B, Liu Y J, Tang S Z. A new method for determination of acid value in meat [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(13): 119-121 (in Chinese)

[7] GB 5009. 228—201. 中华人民共和国国家标准: 食品安全国家标准: 食品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017  
GB 5009. 228—201. National standard (Mandatory) of the People's Republic of China: Determination of volatile salt-based nitrogen in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese)

[8] Richards M P, Dettmann M A. Comparative analysis of different hemoglobins: Autoxidation, reaction with peroxide, and lipid oxidation [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(13): 3886-3891

[9] 万发春,张幸开,张丽萍,王文娟,王加启. 牛肉品质评定的主要指标[J]. 中国畜牧兽医, 2004, 31(12): 17-19  
Wan F C, Zhang X K, Zhang L P, Wang W J, Wang J Q. The main index of beef quality evaluation [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2004, 31(12): 17-19 (in Chinese)

[10] 张志超,王小琪,段子渊,王泉,康长江,包虎山. 呼伦贝尔大尾羊的年龄、性别及肌肉部位与其肉品质风味的关系研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020, 608(20): 51-56  
Zhang Z C, Wang X Q, Duan Z Y, Wang Q, Kang C J, Bao H S. Study on the relationship between age, sex and parts with meat quality and flavor of Hulunbuir large-tailed sheep [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020, 608(20): 51-56 (in Chinese)

- [11] 赵改名, 张桂艳, 茹昂, 李佳麒, 祝超智, 乃比江, 刘建明. 新疆褐牛不同部位肉品质特性差异分析[J/OL]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 1-8  
Zhao G M, Zhang G Y, Aang R, Li J L, Zhu C Z, Nai B J, Liu J M. Analysis of differences in meat quality characteristics of different parts of Xinjiang brown cattle[J/OL]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(2): 1-8 (in Chinese)
- [12] 敖冉, 赵雪聪, 田晨曦, 宋佳, 张志胜. 驴肉在低温成熟过程中理化指标的变化[J]. 肉类研究, 2016, 30(5): 11-14  
Ao R, Zhao X C, Tian C X, Song J, Zhang Z S. Physical and chemical changes of donkey meat during postmortem aging at low temperature[J]. *Meat Research*, 2016, 30(5): 11-14 (in Chinese)
- [13] 赵会平, 孙志昶, 李永鹏, 张松山, 郑世学, 孙宝忠. 低温成熟期间牛胴体温度与 pH 的变化及其对牛肉汁液渗出性的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2012, 43(4): 647-652  
Zhao H P, Sun Z C, Li Y P, Zhang S S, Zheng S X, Sun B Z. Temperature and pH decline of cattle carcass and its effect on drip oozing rate during conditioning[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2012, 43(4): 647-652 (in Chinese)
- [14] 马霞, 李泽, 靳焯. 一磷酸腺苷活化蛋白激酶对羊肉糖酵解的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 237-239  
Ma X, Li Z, Jin Y. Effect of AMP-activated protein kinase on glycolysis in mutton[J]. *Food Science*, 2010, 31(5): 237-239 (in Chinese)
- [15] 郭谦, 沈清武, 罗洁. 畜禽宰后肌肉能量代谢与肉品质研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 357-361  
Guo Q, Shen Q W, Luo J. Progress on muscle energy metabolism and meat quality after the slaughter of livestock and poultry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(9): 357-361 (in Chinese)
- [16] 解祥学, 孟庆翔, 刘萍, 李德勇, 任丽萍. 高压静电熟化对牛肉食用品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(5): 144-148  
Xie X X, Meng Q X, Liu P, Li D Y, Ren L P. Effect of high voltage electrostatic field aging on meat quality of beef[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(5): 144-148 (in Chinese)
- [17] 敖冉, 赵雪聪, 戎平, 丁娜, 齐文聪, 张志胜. 驴肉在低温成熟过程中色泽变化研究[J]. 食品科技, 2016, 41(4): 149-151  
Ao R, Zhao X C, Rong P, Ding N, Qi W C, Zhang Z S. Change of the color index of donkey meat during the postmortem aging at low temperature[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(4): 149-151 (in Chinese)
- [19] Suman S P, Joseph P. Myoglobin chemistry and meat color[J]. *Annual Review of Food science and Technology*, 2013, 4: 79-99
- [20] Ukrainets A I, Pasichny V M, Zheludenko Y V. Antioxidant plant extracts in the meat processing industry[J]. *Biotechnologia Acta*, 2016, 9(2): 19-27
- [21] Descalzo A M, Sancho A M. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina[J]. *Meat science*, 2008, 79(3): 423-436
- [22] GB 2707—2005. 中华人民共和国国家标准: 鲜(冻)畜肉卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005  
GB 2707—2005. National standard (Mandatory) of the People's Republic of China: Hygienic standard for fresh (frozen) meat[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005 (in Chinese)
- [23] Yekta M M, Rezaei M, Nouri L, Azizi M H, Khaneghah A M. Antimicrobial and antioxidant properties of burgers with quinoa peptid-loaded nanoliposomes [J]. *Journal of Food Safety*, 2020, 40(2): e12753
- [24] Chan K M, Decker E A, Feustman C. Endogenous skeletal muscle antioxidants[J]. *Critical Reviews in Food science & Nutrition*, 1994, 34(4): 403-426
- [25] Zhang X Z, Li D Y, Meng Q X, He C, Ren L P. Effects of mulberry leaf extracts on color, lipid oxidation, antioxidant enzyme activities and oxidative breakdown products of raw ground beef during refrigerated storage[J]. *Journal of food quality*, 2016, 39(3): 159-170
- [26] Domínguez R, Pateiro M, Gagaoua M, Barba F J, Lorenzo J M. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(10): 429

责任编辑: 秦梅