

# 金川多胸椎牦牛宰后肌肉色差( $\Delta E^*$ )、滴水损失率及肌纤维特性分析

艾 鹭<sup>1</sup>, 文勇立<sup>1\*</sup>, 傅昌秀<sup>2</sup>, 邱翔<sup>1</sup>, 冯正平<sup>3</sup>, 马定惠<sup>3</sup>, 李善蓉<sup>3</sup>,  
杨建梅<sup>3</sup>, 冉龙超<sup>3</sup>, 安得科<sup>3</sup>, 付如勇<sup>3</sup>

(1. 西南民族大学 生命科学与技术学院, 成都 610041; 2. 四川省畜牧工作总站,  
成都 610041; 3. 四川阿坝州金川县畜牧兽医局, 金川 624100)

**摘 要:** 旨在分析金川多胸椎牦牛宰后肌肉特性, 为遗传资源保护利用及肉品加工等提供参考。本研究测定 2 类牦牛宰后肌肉纤维直径、滴水损失率和肌肉色差, 并与 pH 进行相关分析。结果显示, 金川多胸椎牦牛与麦洼牦牛肌肉 pH、滴水损失率未见差异( $P > 0.05$ ), 前者的肌纤维直径小于后者( $P < 0.05$ )。两者屠宰后肌肉亮度差( $\Delta L^*$ )、红度差( $\Delta a^*$ )、黄度差( $\Delta b^*$ )的变化趋势分别与色差( $\Delta E^*$ )、饱和度差( $\Delta C^*$ )、色相角度差( $\Delta H^*$ )的变化趋势相似; 金川多胸椎牦牛的  $L^*$  与 pH、 $L^*$  与  $a^*$  未见显著相关性( $P > 0.05$ ), 可能与其肌肉  $Fe^{2+}$  含量高有关。金川多胸椎牦牛肉色优于麦洼牦牛, 肉质更加细嫩; 肌肉亮度  $L^*$  的变化很好地反映了肌肉颜色的变化, 可以作为快速判断肉色肉质的依据。

**关键词:** 金川多胸椎牦牛; 肌肉色差; pH; 肌纤维直径; 滴水损失率

中图分类号: S823.85

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2013)04-0649-08

## Analysis of Color Difference ( $\Delta E^*$ ), Water Drip Lose Rate and Muscle Fiber Characteristics of Post-Mortem Jinchuan Multi-Vertebrate Yak

AI Yi<sup>1</sup>, WEN Yong-li<sup>1\*</sup>, FU Chang-xiu<sup>2</sup>, QIU Xiang<sup>1</sup>, FENG Zheng-ping<sup>3</sup>, MA Ding-hui<sup>3</sup>,  
LI Shan-rong<sup>3</sup>, YANG Jian-mei<sup>3</sup>, RAN Long-chao<sup>3</sup>, AN De-ke<sup>3</sup>, FU Ru-yong<sup>3</sup>

(1. College of Life Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China; 2. Sichuan Province Head Station for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Chengdu 610041, China; 3. Sichuan Province Aba Prefecture Animal Husbandry and Veterinary Medicine Bureau, Jinchuan 624100, China)

**Abstract:** The aim of this study was to study the muscle's physiology and biochemistry characteristics and to provide data for protection and utilization of genetic resources and meat processing in yak. The difference of muscle fiber diameter, drip loss rate and muscle color were detected between two kinds of yak, and their association with pH value were analyzed. The result showed that there was no significant difference in muscle pH and water drop loss rate between the two kinds of yak ( $P > 0.05$ ); The muscle fiber diameter of Jinchuan Multi-vertebrate yak was less than that of Maiwa yak ( $P < 0.05$ ); in the two yak populations' muscle, variation trend of  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  and  $\Delta b^*$  was similar with  $\Delta E^*$ ,  $\Delta C^*$  and  $\Delta H^*$ , respectively. There were no significant correlation between muscle's  $L^*$  value and pH,  $L^*$  and  $a^*$  ( $P > 0.05$ ), which was related to the high  $Fe^{2+}$  content of Jinchuan Multi-vertebrate yak's muscle. Jinchuan Multi-vertebrate yak had better meat color than that of Maiwa yak, the former's meat was more tender than that of the lat-

收稿日期: 2012-07-16

基金项目: 四川省科技支撑计划(2011FZ0054; 2011JZ0001); 国家科技支撑计划课题(2012BAD13B06); 四川省应用基础计划(2010JY0071)

作者简介: 艾 鹭(1984-), 男, 四川成都人, 硕士生, 主要从事家畜生态学研究, E-mail: 9530344@qq.com

\* 通信作者: 文勇立, 博士, 教授, 主要从事家畜生态与生产研究, E-mail: wansit@163.com

ter. The variation of  $L^*$  value of yak muscle could reflect the variation of meat color well, it could be as a reference parameter to evaluate meat color and quality.

**Key words:** Jinchuan Multi-vertebrate yak; muscle color difference; pH; muscle fiber diameter; drip loss rate

牦牛分布于青藏高原及其毗邻地区 3 km 以上的高寒草原,是世界上唯一适应高海拔气候环境、利用高山和亚高山草甸草原的牛种。它具有极强的抗逆、抗病力,对高寒缺氧、高辐射等恶劣环境条件具有极强的适应性<sup>[1]</sup>。牦牛靠纯天然放牧,环境无污染,生产高价值绿色肉品,肉鲜味美,富含蛋白质,低脂肪低胆固醇,B 族维生素与微量元素含量丰富,有很高的营养价值<sup>[2]</sup>。金川多胸椎牦牛产于四川省阿坝藏族羌族自治州金川县大渡河上游以西的高原,是近来发现的独特牦牛类群。它具有特殊的骨骼变异性状,其胸椎比普通牦牛多出 1 个,因而,肋骨数也多 1 对(有 15 对)。调查显示,多胸椎牦牛体格大,抗逆力强,体躯及腿部肌肉着生良好,产肉量高,肉质更加细嫩,表现出优良的生产性能和生物学特性<sup>[3]</sup>。肌肉颜色是显示肉品质的重要指标,直接影响消费者的购买行为,人们通常不会购买颜色异常的肉品。鲜肉的颜色还会影响食欲,因此,可以用来衡量食物的经济价值<sup>[3]</sup>。研究表明,在肉制品生产过程中,颜色会发生剧烈变化<sup>[4-5]</sup>。屠宰后肌肉的颜色与 pH 有显著相关性<sup>[6-9]</sup>,其亮度( $L^*$ )与其  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  颜色值有极强相关性<sup>[10]</sup>,亮度值( $L^*$ )可作为评判肉制品质量的指示<sup>[11-12]</sup>。

本研究以麦洼牦牛为对照,对金川多胸椎牦牛宰后背最长肌和股二头肌 pH 及肉色特性、肌肉肌纤维直径、肌肉滴水损失率进行测定。旨在较全面、系统的揭示金川多胸椎牦牛肌肉肌纤维直径和肉色等性状的特异性,以及牦牛肉色与酸度的相关性,为金川多胸椎牦牛的遗传资源研究、品种选育及杂交改良积累资料,也为肉品加工利用和市售等提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

于 2011 年 9 月 10—13 日,随机组群 30 头金川多胸椎牦牛和 30 头麦洼牦牛阉公牛,试畜年龄 4.5 岁左右,健康,生长发育正常,纯天然放牧。在金川县屠宰场采用常规方法屠宰,宰后立即取样。每头牦牛取股二头肌和背最长肌各 1 份,试验共采集样

品 120 份。对每份样品分别作如下处理:1 份取肌肉横截面,分割为约 1 cm×1 cm×1 cm 的小块置于 4% 多聚甲醛溶液保存,带回实验室进行切片分析;取 1 份横截面约 10 cm×10 cm 厚约 3 cm 的肌肉,没有明显颜色缺陷(明显变色、血管富集等)的样品,测定色差值<sup>[13]</sup>;1 份切取约 50 g,测定滴水损失率;1 份切取 5 cm×5 cm×3 cm 大小测定 pH。

### 1.2 仪器与试剂

pH 测定仪(PH SPEAR TEST 30,美国 Thermo 公司);色差仪(CM-700d,日本美能达公司);石蜡切片机(KD-1508A,浙江省金华市科迪仪器设备有限公司);显微成像系统(Nikon DS-Ri1-U3,日本尼康公司)。

pH 测定仪标准液(EUTECH 优特,上海谷雨环保科技有限公司);4% 多聚甲醛溶液(上海西唐生物科技有限公司)。

### 1.3 测定方法

1.3.1 肌肉 pH 测定 测定前用标准液对肉 pH 测定仪进行校正,宰后 30 min 内测定第 1 次 pH,在肌肉中段切 1 cm 的切口,将 pH 计电极插入肌肉中段切缝内约 1 cm 深处,待读数稳定后记录 pH。将肉样置于 4 ℃ 保存 24 h 后,再以上述方法测定第 2 次 pH。每个样品随机测定 3 个部位,最终结果取其均值。

1.3.2 肌肉色差值测定 测定前对色差仪进行校正,将肉样放置于平面,置于现场自然光充足处,垂直将色差仪镜头置于肌肉横断面,镜口紧扣肉面(不漏光),随机在每个样品 5 个不同位置上各测定 1 次,测定位置均匀分布于肌肉横切面,计算平均数作为色差读数。宰后 0 h 开始第 1 次测定,以后每隔 1 h 重复测定 1 次,共 6 次,在 2 次测定期间将样品放置于阴凉通风处,以免过度蒸发影响测定结果。

肌肉颜色使用  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值 3 个 1 组的色空间数值来表示。其中  $L^*$  值表示亮度(0~100),亮度随数值的增大而增大, $a^*$  值表示红度, $b^*$  值表示黄度<sup>[14]</sup>。使用色差( $\Delta E^*$ )绝对值代表颜色的变化程度,该值可以反映在  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  中哪个值的变化对整体颜色变化的影响最大。计算得出色相角度值

(Hue angle,  $H^*$ ) 和颜色饱和度值 (Chroma,  $C^*$ ), 其中  $H^* = 180/\pi \arcsin(b^*/a^*)$ , 取值在  $0 \sim 90$  之间时值越低说明肉色越红, 越高则表示肉色越黄;  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ , 用来说明肉色的深浅色差 ( $\Delta E^*$ ), 使用如下公式计算:  $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ 。颜色值的  $\Delta$  转化可用于评估颜色的变化, 以决定绝对色差,  $\Delta$  转换采用以下公式:  $\Delta L^* = L_1^* - L_2^*$ 、 $\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$ 、 $\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$ 、 $\Delta H^* = H_1^* - H_2^*$ 、 $\Delta C^* = C_1^* - C_2^*$ , 其中  $L_1^*$ 、 $a_1^*$ 、 $b_1^*$ 、 $H_1^*$ 、 $C_1^*$  为第 1 次测定的值 (0 h 的测定值),  $L_2^*$ 、 $a_2^*$ 、 $b_2^*$ 、 $H_2^*$ 、 $C_2^*$  代表后续的每次测定值<sup>[15]</sup>。

1.3.3 肌肉滴水损失率测定 切取约 50 g 肌肉样品, 称取重量, 将肌肉用不吸水的胶线吊起, 放入吹胀的保鲜袋内, 注意样品不要与保鲜袋壁有接触, 密封保鲜袋口, 将装有样品的保鲜袋悬吊于  $4\text{ }^\circ\text{C}$  冰箱保存。待 24 h 后, 小心取出肌肉样品, 用吸水纸轻轻拭去样品表面渗出的液体, 称取重量。

滴水损失率计算公式:

$$W = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\%$$

式中,  $W$  为滴水损失率 (%);  $w_1$  为样品第 1 次重量 (g);  $w_2$  为 24 h 后的重量 (g)。

1.3.4 肌肉的石蜡切片制备 将浸泡于 4% 多聚甲醛溶液中的样品进行脱水、浸蜡、包埋、切片后使用苏木精-伊红染色制成石蜡切片。采用 Nikon 公司的显微成像系统对切片在  $10 \times 10$  倍距下拍照, 每张切片随机选取 10 个视野, 图片使用 minas 图像

分析软件进行分析, 使用门限分割工具自动划分肌纤维, 自动测量肌纤维直径, 每个样品最终结果取均值。

#### 1.4 数据处理

采用 SPSS v19.0 和 Sigma Plot v12.0 软件对本试验的肌肉颜色值、pH、滴水损失率及肌纤维直径数据, 绘制点线图, 进行方差分析、相关性分析和偏相关分析。

## 2 结果

### 2.1 金川多胸椎牦牛与麦洼牦牛的肌肉颜色值、pH、滴水损失率及肌纤维直径分析

如表 1 所示, 宰后 0 和 24 h 金川多胸椎牦牛与麦洼牦牛之间背最长肌 pH 差异均不显著 ( $P > 0.05$ ); 宰后 0 h 麦洼牦牛股二头肌 pH 与金川多胸椎牦牛差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 宰后 24 h 麦洼牦牛股二头肌 pH 低于金川多胸椎牦牛 ( $P < 0.01$ ); 2 种牦牛宰后股二头肌 0 h pH 均高于 24 h 的 pH ( $P < 0.01$ )。

表 2 显示, 金川多胸椎牦牛与麦洼牦牛的背最长肌和股二头肌间滴水损失率差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 2 种牦牛各自背最长肌与股二头肌滴水损失率差异不显著 ( $P > 0.05$ )。麦洼牦牛股二头肌、背最长肌直径均大于金川多胸椎牦牛 ( $P < 0.01$ ); 2 种牦牛各自背最长肌纤维直径也小于股二头肌 ( $P < 0.05$ )。

表 1 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛宰后肌肉 0 和 24 h pH 方差分析

Table 1 ANOVA of pH value in different muscle type in Jinchuan Multi-vertebrate yak and Maiwa yak at post-mortem 0 and 24 h (Mean  $\pm$  SD)

牦牛 Yak	背最长肌 0 h <i>Longissimus dorsi</i> at 0 h	背最长肌 24 h <i>Longissimus dorsi</i> at 24 h	股二头肌 0 h Biceps femoris at 0 h	股二头肌 24 h Biceps femoris at 24 h
金川多胸椎牦牛				
Jinchuan Multi-vertebrate yak	6.11 $\pm$ 0.41	5.95 $\pm$ 0.26	6.82 $\pm$ 0.29 <sup>A</sup>	6.08 $\pm$ 0.14 <sup>BC)</sup>
麦洼牦牛 Maiwa yak	5.89 $\pm$ 0.28	5.75 $\pm$ 0.12	6.67 $\pm$ 0.17 <sup>A</sup>	5.81 $\pm$ 0.14 <sup>BCD)</sup>

在同一行中, 括号外的字母不同表示差异显著, 在同一列中, 括号内的字母不同表示差异显著, 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。下同

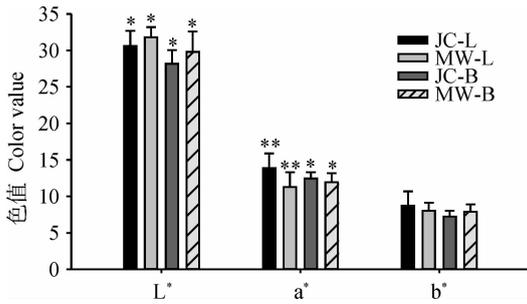
Value with different superscript out of bracket indicate the values have difference in same row; value with different superscript in bracket indicate values have difference in same column; lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), capital letters indicate very significant difference ( $P < 0.01$ ). The same as below

表 2 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛肌肉滴水损失率及肌纤维直径方差分析

Table 2 ANOVA of muscle fiber diameter and drip loss rate in different muscle type in Jinchuan Multi-vertebrate yak and Maiwa yak (Mean±SD)

牦牛 Yak	背最长肌滴水损失率/% Drip loss rate of <i>Longissimus dorsi</i>	股二头肌滴水损失率/% Drip loss rate of Biceps femoris	背最长肌纤维直径/ $\mu\text{m}^2$ Muscle fiber diameter of <i>Longissimus dorsi</i>	股二头肌纤维直径/ $\mu\text{m}^2$ Muscle fiber diameter of Biceps femoris
金川多胸椎牦牛 Jinchuan Multi-vertebrate yak	3.53±1.10	2.92±0.89	50.06±4.97 <sup>A(a)</sup>	55.10±5.40 <sup>B(b)</sup>
麦洼牦牛 Maiwa yak	2.69±0.81	2.73±0.71	57.60±5.07 <sup>A(b)</sup>	61.38±5.74 <sup>B(c)</sup>

由图 1 看出,金川多胸椎牦牛背最长肌宰后 0 h 的红度值( $a^*$ )高于麦洼牦牛( $P<0.01$ ),股二头肌的红度值高于麦洼牦牛( $P<0.05$ );2 种牦牛股二头肌和背最长肌宰后 0 h 的黄度值( $b^*$ )均无显著性差异( $P>0.05$ )。金川多胸椎牦牛两种肌肉的红度( $a^*$ )均高于麦洼牦牛( $P<0.05$ ),而亮度( $L^*$ )均低于麦洼牦牛( $P<0.05$ )。



JC. 金川多胸椎牦牛;MW. 麦洼牦牛. L. 背最长肌;B. 股二头肌.\*.  $P<0.05$ ;\*\*.  $P<0.01$

JC. Jinchuan Multi-vertebrate yak; MW. Maiwa yak. L. *Longissimus dorsi*; B. Biceps femoris; \*.  $P<0.05$ ; \*\*.  $P<0.01$

图 1 宰后 0 h 金川多胸椎牦牛和麦洼牦牛不同部位肌肉颜色值分析

Fig. 1 Color value analysis of different muscle type in Jinchuan Multi-vertebrate yak and Maiwa yak at post-mortem 0 h

## 2.2 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛肌肉色度差值( $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ )及色差值( $\Delta E^*$ )变化分析

由图 2 看出,麦洼牦牛肌肉亮度差( $\Delta L^*$ )在 1~3 h 几乎不变,在 3~5 h 快速上升;金川多胸椎牦牛肌肉亮度差( $\Delta L^*$ )在 1~3 h 极缓慢上升,3~4 h 缓慢下降,4~5 h 再度缓慢上升。麦洼牦牛肌肉色差( $\Delta E^*$ )在前 1~3 h 极缓慢上升,在 3~5 h 快速上升;金川多胸椎牦牛肌肉色差( $\Delta E^*$ )在 1~3 h

上升,3~4 h 下降,4~5 h 快速上升。麦洼牦牛肌肉红度差( $\Delta a^*$ )在 1~2 h 降低,在 2~4 h 快速上升,在 4~5 h 再次缓慢降低;金川多胸椎牦牛肌肉红度差( $\Delta a^*$ )在 1~2 h 快速上升,2~5 h 则一直呈现较为平稳的变化趋势。麦洼牦牛肌肉色饱和度差( $\Delta C^*$ )在 1~2 h 下降,在 2~4 h 快速上升,在 4~5 h 再次缓慢降低;金川多胸椎牦牛肌肉色饱和度差( $\Delta C^*$ )在 1~2 h 快速上升,2~5 h 则一直呈现较为平稳的极缓慢下降趋势。麦洼牦牛肌肉黄度差( $\Delta b^*$ )在前 1~2 h 小幅下降,在 2~4 h 缓慢回升,在 4~5 h 再度下降;金川多胸椎牦牛肌肉黄度差( $\Delta b^*$ ),一直呈现较为平稳的下降趋势。麦洼牦牛肌肉色相角度差( $\Delta H^*$ )总体呈现平缓下降趋势;金川多胸椎牦牛肌肉色相角度差( $\Delta H^*$ )在 1~3 h 上升,3~4 h 下降,4~5 h 快速上升。

## 2.3 牦牛肌肉颜色值、色差值、pH、滴水损失率及肌纤维直径相关性分析

分别对 2 类群牦牛宰后 0 h 所测肌肉的亮度  $L^*$ 、红度  $a^*$ 、黄度  $b^*$ 、pH、宰后 24 h 测得的滴水损失率及纤维直径进行 Person 相关分析和偏相关分析。

结果显示,麦洼牦牛肌肉的亮度值  $L^*$  与红度值  $a^*$  有负相关性( $P<0.05$ ),与 pH 为负相关性( $P<0.01$ ),与黄度值  $b^*$  未见相关( $P>0.05$ );其 pH 与肌纤维直径有负相关性( $P<0.05$ );其红度值  $a^*$  与黄度值  $b^*$  未见相关性( $P>0.05$ ),与滴水损失率未见相关性( $P>0.05$ )。偏相关分析显示,麦洼牦牛肌肉的亮度值  $L^*$  与红度值  $a^*$  呈强负相关( $P<0.01$ ),与黄度值  $b^*$  呈强正相关( $P<0.01$ ),与 pH 呈显著显著负相关( $P<0.05$ );红度值  $a^*$  与黄度值  $b^*$  呈强正相关( $P<0.01$ ),与滴水损失率未见相关

性( $P>0.05$ );其 pH 与肌纤维直径未见相关性( $P>0.05$ )。金川多胸椎牦牛肌肉的亮度值  $L^*$  与红度值  $a^*$  有正相关性( $P<0.05$ ),与黄度值  $b^*$  为强正相关性( $P<0.01$ ),与 pH 未见相关性( $P>0.05$ );其红度值  $a^*$  与黄度值  $b^*$  有强正相关性( $P<0.01$ ),与滴水损失率有负相关( $P<0.05$ )。偏相关分析表明,

麦洼牦牛肌肉的亮度值  $L^*$  与红度值  $a^*$  未见相关性( $P>0.05$ ),与黄度值  $b^*$  为强正相关性( $P<0.01$ ),与 pH 未见相关性( $P>0.05$ );其红度值与黄度值有正相关性( $P<0.05$ ),与滴水损失率未见相关性( $P>0.05$ )。

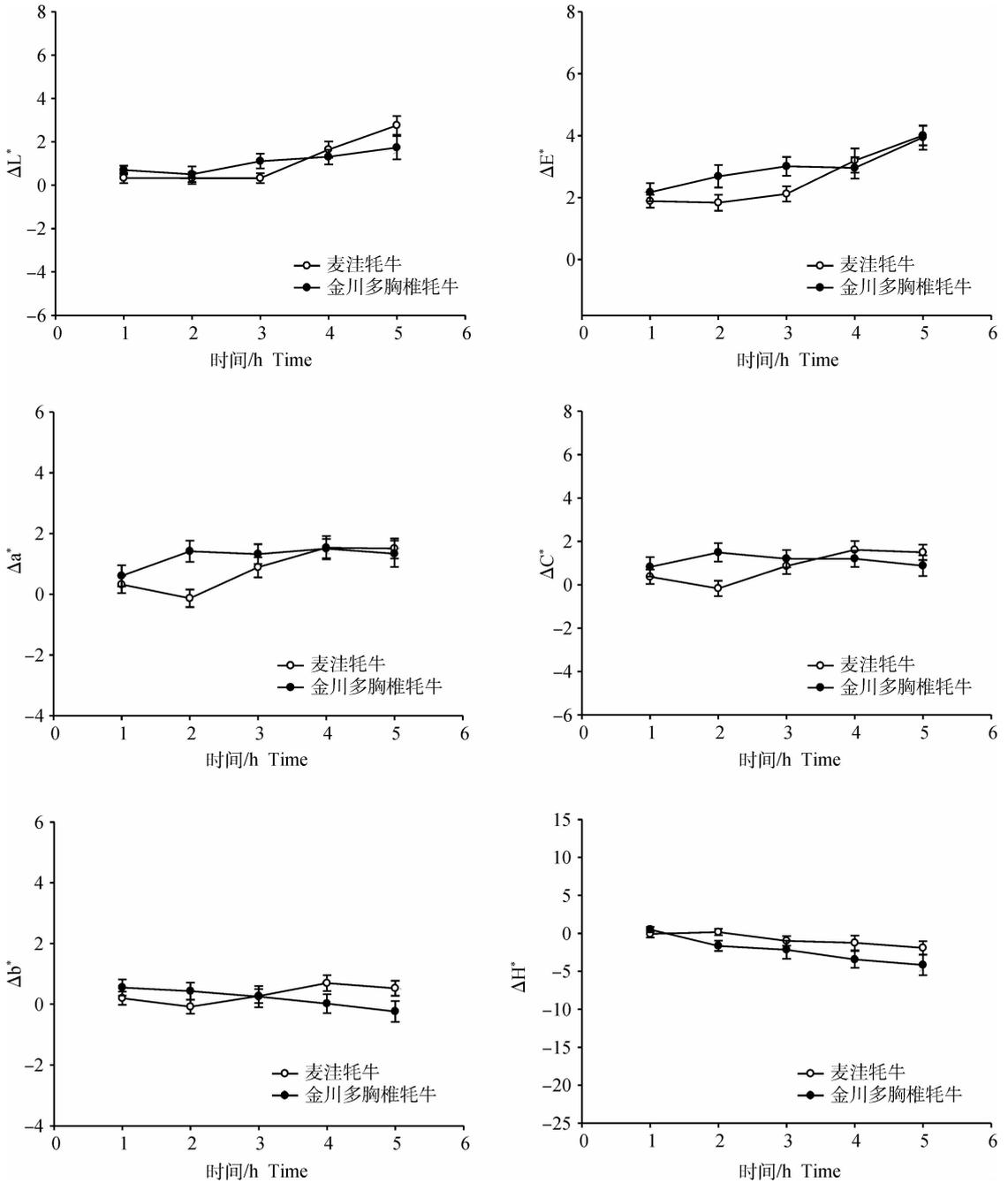


图 2 屠宰后 0~5 h 麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛肌肉  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 、 $\Delta E^*$ 、 $\Delta C^*$ 、 $\Delta H^*$  变化点线图

Fig. 2 Linear graphs of  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta E^*$ ,  $\Delta C^*$  and  $\Delta H^*$  in Jinchuan Multi-vertebrae yak and Maiwa yak muscle at post-mortem 0-5 h

### 3 讨论

#### 3.1 金川多胸椎牦牛和麦洼牦牛颜色值、pH、滴水损失率及肌纤维直径的差异

M. Petracci 等的研究指出,肌肉内的脂肪反光会导致高  $L^*$  值<sup>[16]</sup>,本研究麦洼牦牛和金川多胸椎牦牛股二头肌的亮度  $L^*$  值都低于背最长肌,表明这 2 种牦牛股二头肌内部脂肪(Intramuscular fat, IMF)含量低于背最长肌,而 IMF 是影响肉嫩度和风味的重要因素<sup>[17-18]</sup>,背最长肌的肉品质优于股二头肌。M. S. Brewer 等的研究表明,PSE 肉的肉质较差,肉色偏白亮,会呈现高的  $L^*$  值,影响消费者的购买<sup>[19]</sup>。金川多胸椎牦牛肌肉较高的  $a^*$  值和较低的  $L^*$  值显示其颜色较麦洼牦牛更加呈暗红色,表明,金川多胸椎牦牛肉在屠宰初期市售特性更好。背最长肌和股二头肌中  $a^*$  的差异可能是由于肌肉中肌红蛋白和高铁肌红蛋白含量差异或分布不同造成的。

对 pH 的测定显示,经过 24 h 后肌肉的 pH 总体呈现下降趋势,但金川多胸椎牦牛的 pH 始终略高于麦洼牦牛,而其  $L^*$  值低于麦洼牦牛。2 种牦牛肌肉 pH 与  $L^*$  值呈负相关,这与 K. G. Grunert 等的研究结果相符<sup>[20]</sup>。

本研究结果显示,金川多胸椎牦牛肌纤维直径均小于麦洼牦牛。肌纤维直径的大小与其肌束内纤维的密度有关,越大的肌肉纤维直径会造成更低的肌束内纤维密度,导致肉质较为粗糙;2 种牦牛肌肉滴水损失率差异不显著( $P > 0.05$ ),而肌肉滴水损失率与肌肉持水力成反比<sup>[21]</sup>,表明,2 种牦牛肌肉持水力差异不显著。郭锋等的研究显示,肌肉的持水力与肌肉的颜色有显著相关性<sup>[22]</sup>,因此,鉴于 2 种牦牛肉颜色差异显著( $P < 0.05$ ),而持水力差异不显著( $P > 0.05$ ),提示,2 种牦牛肌肉之间的颜色差异并不是由持水力不同引起的。

#### 3.2 肌肉颜色的变化

图 2 显示的结果与 M. Qiao 等的研究结果吻合<sup>[23]</sup>,表明麦洼牦牛及金川多胸椎牦牛肌肉的亮度差( $\Delta L^*$ )的变化可以很好的反应其色差( $\Delta E^*$ )的变化;红度差( $\Delta a^*$ )的变化可以很好的反映其色饱和度差( $\Delta C^*$ )的变化;黄度差( $\Delta b^*$ )的变化可以很好的反映其色相角度差( $\Delta H^*$ )的变化,肌肉红度  $a^*$  影响肌肉肉色相,肌肉黄度  $b^*$  影响肌肉色饱和度,亮度差( $\Delta L^*$ )是影响肉色的重要指标。

#### 3.3 肌肉酸度、滴水损失率与牦牛肌肉色差值的相关性

通过 Person 相关性分析发现,麦洼牦牛  $L^*$  值与  $b^*$  值未见相关性,金川多胸椎牦牛  $L^*$  值与  $a^*$  值呈正相关,与 pH 未见相关性,这与文献<sup>[22]</sup>的报道不同,可能是受到伴随因素的结果。因此为了排除伴随因素影响数据间真实的相互关系,以分析变量外的其余变量作为控制因素进行了偏相关分析。其结果显示,2 种牦牛的红度  $a^*$  与滴水损失率间没有显著相关性,而其红度值  $a^*$  与黄度值  $b^*$  有正相关性( $P < 0.05$ ),表明在 Person 相关性分析中金川牦牛肌肉呈现红度值  $a^*$  与滴水损失率负相关( $P < 0.05$ )以及麦洼牦牛肌肉红度值  $a^*$  和黄度值  $b^*$  未见相关性都是受到伴随因素影响所致。麦洼牦牛肌肉的  $L^*$  值分别与  $a^*$  值和 pH 呈负相关,与  $b^*$  值呈正相关,这与郭锋等的报道相符<sup>[22]</sup>。偏相关分析表明,麦洼牦牛肌肉  $b^*$  值对  $L^*$  值影响较小,pH 和  $a^*$  值是影响  $L^*$  值的最主要因素。然而,尽管金川多胸椎牦牛肌肉的  $L^*$  与  $b^*$  值有正相关性,但与  $a^*$  值和 pH 没有显著相关性。通过比较金川多胸椎牦牛 Person 相关和偏相关结果,显示  $a^*$  值和 pH 不是影响  $L^*$  值的直接因素,其中  $a^*$  值可能是 1 个次级因素,它受到其他因素的影响从而表现出与  $L^*$  值的相关性,在相关性分析和偏相关分析中  $b^*$  值都与  $L^*$  值呈正相关( $P < 0.01$ ),这表明  $b^*$  值主要影响  $L^*$  值,这与郭锋等的报道以及麦洼牦牛的结果相反。这样的结果仅在郭锋等对绞肉的研究报道过类似的情况<sup>[22]</sup>,提示,可能与金川多胸椎牦牛肌肉的理化特性有关。

M. Petracci 等研究表明,影响肌肉颜色的主要因素有肌红蛋白的初始状态、组织内减少氧化物的潜力、依赖气体环境、温度、酸度和肌红蛋白浓度推动或抑制肌肉内部有机成分产生的结合态化合物和水<sup>[24]</sup>。气体环境会影响肌肉的颜色,较高的氧分压会使肌肉呈现较明亮的颜色,较低的氧分压会呈现较暗的颜色。研究表明,影响肌肉内部氧分压的主要因素是肌红蛋白结合的  $O_2$ ,肌红蛋白中的  $Fe^{2+}$  与  $O_2$  结合形成  $Fe^{2+}/O_2$  复合物,在亚铁血红素和球蛋白的作用下,复合物的稳定性被降低,使得复合物可逆放出  $O_2$ 。pH 影响肌红蛋白中亚铁血红素与  $Fe^{2+}$  的结合形态,在高 pH 时,亚铁血红素与  $Fe^{2+}$  结合;在低 pH 时,结合的  $Fe^{2+}$  加速转化为  $Fe^{3+}$ ,减少了与  $O_2$  的结合,导致较低的氧分压使肉色呈暗

红色。因此,pH 通过  $Fe^{2+}$  介导,影响了  $L^*$  值<sup>[25]</sup>。郭锋等对绞肉颜色的研究也表明,通过机械碾磨后,破坏了肌肉内的部分肌红蛋白,同时增加了肌肉细胞与气体环境的接触面,从而造成肌肉氧分压的改变,导致  $L^*$  值与 pH 没有显著性相关<sup>[22]</sup>

金川多胸椎牦牛常年放牧于氧气含量极低的海拔 3 500~4 700 m 的高山草甸草原高原,而麦洼牦牛大多饲养于同纬度氧气含量相对较高的海拔 3 000~3 800 m 亚高山草甸草原,各自所处环境的海拔、气候及植被组成差异较大。笔者的前期研究表明,金川多胸椎牦牛肌肉内 Fe 含量远高于麦洼牦牛( $P < 0.01$ )。牦牛宰后肌肉 pH 开始下降,金川牦牛肌肉内 Fe 含量高,受到 pH 降低的影响  $Fe^{2+}$  被氧化为  $Fe^{3+}$  的总量高于麦洼牦牛。同时在宰后到测定颜色值的短暂时间内,同等大小肌肉剖面接触到的气体量是相同的,在相同的氧分压下细胞内含有更多的  $Fe^{2+}$  会被氧化为更多的  $Fe^{3+}$ ,其内部肌红蛋白中的  $Fe^{2+}/O_2$  复合物含量的比例更低,使肌肉剖面呈现较低的  $L^*$  值。 $L^*$  值本应随着 pH 的下降而而升高<sup>[22]</sup>,但由于上述 2 种因素的影响, $L^*$  值反而会有所上升,这种上升可能抵消了本来下降的趋势,使  $L^*$  值与 pH 未呈现相关性。同理由于剖面细胞内  $Fe^{3+}$  的含量比例较高,导致肌肉颜色更红,因此在相关性分析中会与  $L^*$  值呈现正相关,而通过偏相关分析只排除了 pH 的影响,因此只受到  $Fe^{2+}$  含量的影响两者未呈现相关性。

综上所述推断,金川多胸椎牦牛肌肉的  $L^*$  值与 pH 未见相关,以及  $L^*$  值与  $a^*$  值未见相关这 2 个结果,可能与其肌肉内 Fe 含量较高有关。金川多胸椎牦牛的生活环境海拔高、氧气含量低、气候恶劣,其肌肉中 Fe 含量高可能是适应生活环境的结果。测定宰后每小时 pH 的变化和气体环境对金川多胸椎牦牛  $L^*$  值变化的影响有待于进一步的研究。

## 4 结 论

金川多胸椎牦牛与麦洼牦牛肌肉 pH、滴水损失率未见差异( $P > 0.05$ );金川多胸椎牦牛肌纤维直径小于麦洼牦牛( $P < 0.05$ ),其肉质更加细嫩;金川多胸椎牦牛肉的亮度值  $L^*$  值低于麦洼牦牛( $P < 0.05$ )。两者肌肉  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  的变化可以代表  $\Delta E^*$ 、 $\Delta C^*$ 、 $\Delta H^*$  的变化。金川多胸椎牦牛与麦洼牦牛亮度  $L^*$  与 pH、 $L^*$  与  $a^*$  的相关性表现不同,前

者的  $L^*$  与 pH、 $L^*$  与  $a^*$  未呈现相关性( $P > 0.05$ ),可能与金川多胸椎牦牛适应生活环境造成肌肉 Fe 含量高有关,有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 文勇立,李昌平,钟光辉,等. 牦牛的泌乳性能及提高产奶量的途径[J]. 四川草原, 2003, 1:1-12.
- [2] 熊维权. 我国牦牛资源开发前景与措施[J]. 农牧产品开发, 1999, 11:3-4.
- [3] 李 强,傅昌秀,文勇立,等. 金川多肋牦牛体尺和屠宰性状测定及其相关性分析[J]. 中国草食动物科学, 2012, 2:18-22.
- [4] BIRREN R F. Color and human appetite[J]. *Food Technol*, 1963, 17:553.
- [5] BARBUT S. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens[J]. *Poult Sci*, 1997, 38:355-358.
- [6] FLETCHER D L. Broiler breast meat color variation, pH, and texture[J]. *Poult Sci*, 1999, 78: 1323-1327.
- [7] BOULIANNE M, KING A J. Biochemical and color characteristics of skinless boneless pale chicken breast[J]. *Poult Sci*, 1995, 74:1693-1698.
- [8] BOULIANNE M, KING A J. Meat color and biochemical characteristics of unacceptable dark-colored broiler chicken carcasses[J]. *Food Sci*, 1998, 63: 759-762.
- [9] ALLEN C D, RUSSELL S M, FLETCHER D L. The relationship of broiler breast color and pH to shelf-life and odor development[J]. *Poult Sci*, 1997, 76:1042-1046.
- [10] FLETCHER D L. Color variation in commercially packaged broiler breast fillets[J]. *Apply Poult Res*, 1999, 8:67-69.
- [11] BARBUT S. Color measurements for evaluating the pale soft exudative (PSE) occurrence in turkey meat [J]. *Food Res Int*, 1993, 26:39-43.
- [12] MCCURDY R D, BARBUT S, QNINTON M. Seasonal effect on pale soft exudative (PSE) occurrence in young turkey breast meat[J]. *Food Res Int*, 1996, 29:363-366.
- [13] OWENS C M, HIRSCHLERE M, MCKEES R, et al. The characterization and incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant [J]. *Poult Sci*, 2000, 79:553-558.
- [14] 杨 明,文勇立,王建文,等. 牦牛与黄牛背长肌和股二头肌宰后色差变化及差异性分析[J]. 食品科学, 2009, 30(19):104-108.

- [15] 赵红霞. CIEDE2000 色差公式在猪肉颜色分级中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(2): 198-201.
- [16] PETRACCI M, FLETCHER D L. Effects of broiler breast meat thickness and background on color measurements[J]. *Poult Sci*, 2002, 81:1766-1769.
- [17] PATRICI A. Eating quality of pork in Denmark[J]. *Pig Farming (Supplement)*, 1985, 10: 56-57.
- [18] BERJERHOLM C, BARTON-GADE P A. Effect of intramuscular fat level on eating quality of pigmeat [C] //32nd EMMRW. Ghent, Belgium, 1986: 389-391.
- [19] BREWER M S, SOSNICKI A, FIELD B. Enhancement effects on quality characteristics of pork derived from pigs of various commercial genetic back grounds [J]. *J Food Sci*, 2004, 69(1): 5-10.
- [20] GRUNERT K G, BREDAHL L, BRUNS K. Consumer perception of meat quality and implications of product development in the meat sector[J]. *Meat Sci*, 2004, 66:259-272.
- [21] HOOF V. Influence of ante- and peri-mortem factors on biochemical and physical characteristics of turkey breast muscle[J]. *Vet Quar*, 1979, 1:29-36.
- [22] 郭 锋, 刘风民. 宰后畜禽肌肉组织生化变化及其对肉质的影响[J]. 中国家禽, 2003, 2(25):46-47.
- [23] QIAO M, FLETCHER D L, SMITH D P, et al. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity[J]. *Poult Sci*, 2001, 80:676-680.
- [24] PETRACCI M, FLETCHER D L. Broiler skin and meat color changes during storage[J]. *Poult Sci*, 2002, 81:1589-1597.
- [25] BREWER S. Irradiation effects on meat color[J]. *Meat Sci*, 2004, 68:1-17.

(编辑 郭云雁)