

金川多胸椎牦牛宰后肌肉矿物质、脂肪酸及肉色分析

艾 鹭¹, 文勇立^{1*}, 傅昌秀², 马定惠³, 冯正平³, 李 强², 罗光荣⁴, 李善蓉³, 马吉刚³

(1.西南民族大学生命科学与技术学院, 四川 成都 610041; 2.四川省畜牧工作总站, 四川 成都 610041;

3.四川阿坝州金川县畜牧兽医局, 四川 阿坝州 624100; 4.四川省红原县龙日镇龙日种畜场, 四川 阿坝州 624100)

摘 要:目的: 四川省阿坝藏族羌族自治州金川县的毛日、阿柯里乡等地区的牦牛中, 有约52%的个体其胸椎比普通牦牛多1个, 肋骨数相应多出1对, 即具有15个胸椎和15对肋骨。据调查, 该类牦牛的产肉性能比普通同龄牦牛高, 且肉质更加鲜美细嫩。通过测定多胸椎牦牛宰后肌肉矿物质、脂肪酸及肉色变化等指标, 为该类牦牛的科研、生产及肉品加工提供基础数据。方法: 随机选择金川多肋骨牦牛、麦洼牦牛阉公牛各30头, 年龄3.5~5.5岁, 按常规方法屠宰, 采用ICP-OES测定肌肉矿物元素含量, GS-MS测定肌肉脂肪酸组成, Colormeter测定肌肉色泽变化。结果: 金川多胸椎牦牛肌肉微量元素Fe、Cu、Mn、Ni、Zn含量显著高于麦洼牦牛($P<0.05$); 两种牦牛脂肪酸组成存在显著差异($P<0.05$); 宰后3h后金川牦牛 L^* 值下降速度低于麦洼牦牛; 两种牦牛宰后0~5h的 C^* 变化模式有较大差异。结论: 金川多胸椎牦牛肉部分矿物质含量高于麦洼牦牛; 具有独特的脂肪酸构成和风味; 宰后3h以后嫩度保持力优于麦洼牦牛; 5h内肉色新鲜度保持力优于麦洼牦牛, 具有良好的商品性状。

关键词: 金川多胸椎牦牛; 微量元素; 脂肪酸; 色相角度; 色饱和度

Analysis of Muscle Trace Elements, Fatty Acid Composition and Color Parameters of Jinchuan Multi-Vertebrate Yak

AI Yi¹, WEN Yong-li^{1*}, FU Chang-xiu², MA Ding-hui³, FENG Zheng-ping³,
LI Qiang², LUO Guang-rong⁴, LI Shan-rong³, MA Ji-gang³

(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. Animal Husbandry and Veterinary Medicine Bureau of Jinchuan County, Aba Prefecture 624100, China;

4. Sichuan Province Longri Livestock Breeding Station of Hongyuan County, Aba Prefecture 624100, China)

Abstract: In the towns of Akeli and Maori Jinchuan county, Sichuan province, we recently about 52% of the yak population which have one more thoracic vertebra than the rest and correspondingly have one more rib, both reaching 15. Our survey indicated that the group of yaks had better carcass performance and meat palatability and tenderness than ordinary ones of the same age. The aim of this study is to investigate postmortem changes in muscle mineral elements, fatty acid composition and color parameters in multi-vertebrate yaks. Thirty castrated male Jinchuan multi-vertebrate yaks and 30 castrated male Maiwa yaks at 3.5 to 5.5 years of age were randomly chosen and slaughtered using a routine process and muscles were taken for determination of mineral elements by ICP-OES, fatty acid composition by GC-MS and color parameters by colormeter. The results showed that a significantly higher amount of Fe, Cu, Mn, Ni and Zn were present in muscles in Jinchuan multi-vertebrate yaks compared to Maiwa yaks ($P < 0.05$). A significant difference in fatty acid composition existed between muscles of both breeds ($P < 0.05$). The L^* value of multi-vertebrate yak muscles at 3 h post-slaughter declined slower than that of Maiwa yak muscles. Within 5 h post-slaughter, the C^* value of muscles of both yak breeds evolved in quite different manners. In conclusion, multi-vertebrate yak muscles are richer in particle minerals than Maiwa yak muscles and have unique fatty acid composition and flavor. In addition, multi-vertebrate yak muscles remains tender for 3 h post-slaughter, and the color of meat remains stable for 5 h post-slaughter. Therefore, multi-vertebrate yak muscles have excellent commercial traits.

Key words: Jinchuan multi-vertebrate yak; trace elements; fatty acid; hue angle; chroma

收稿日期: 2012-06-28

基金项目: 四川省科技厅科技支撑计划项目(2011JZ0001); 四川省应用基础研究计划项目(2010JY0071);

中央高校基本科研业务费专项(12ZYXS67)

作者简介: 艾鹭(1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为家畜生态学。E-mail: 9530344@qq.com

*通信作者: 文勇立(1959—), 男, 教授, 博士, 研究方向为家畜生态与生产。E-mail: wansit@163.com

中图分类号: TS251.52

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)16-0251-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201316051

牦牛是世界上宝贵而独特的畜种,终年放牧在海拔3000m以上的高寒草原,具有极强的抗逆、抗病和适应力^[1]。牦牛肉鲜嫩味美,蛋白质含量高,脂肪和胆固醇含量低,富含B族维生素与微量元素,具有很高的营养价值^[2]。近来发现,四川省阿坝藏族羌族自治州金川县的毛日、阿柯里乡等地区的牦牛中,有约52%的个体其胸椎比普通牦牛多1个,肋骨数相应多出1对,即具有15个胸椎和15对肋骨。据调查,多胸椎牦牛体格大,躯干及腿部肌肉着生良好,产肉量高,且肉质更加鲜美细嫩,表现出优良的生产性能和生物学特性。牛肉中的各种脂肪酸含量决定了肉的风味、香气和肌肉纹理,同时,也影响脂溶性VA、VD、VE、VK的代谢。必需脂肪酸在肌体生长和维持健康方面起着重要作用^[3]。牦牛肉中的常量和微量元素对其正常生长和生产有着重要作用。色泽是显示肉品质的重要指标,直接影响消费者的购买行为,消费者通常不会购买颜色异常的肉品,肉品的色泽还会影响人们的食欲,因此色泽可以用来衡量其经济价值^[4]。有研究^[5-6]表明,在肉品生产过程中其色泽会发生剧烈的变化。目前,国内外对肉品色泽的研究,多采用色差仪来直接测定肉样色泽,将色彩表示成易于理解的色泽数值,如 L^* 、 a^* 、 b^* 值等,从而获得肉色的客观量化指标^[7]。杨明等^[8]对牦牛肉色的研究表明,色差仪测定的数据可以很好的反应牛肉色泽的差异,色相角度值 H^* 和色饱和度 C^* 可以反映肉色的变化趋势。

对金川多胸椎牦牛肌肉矿物元素、脂肪酸及肉色的研究未见报道。本实验以屠宰后0~5h的金川多胸椎牦牛和麦洼牦牛的背最长肌和股二头为实验对象,采用电感耦合等离子体发射光谱仪(inductively coupled plasma optical emission spectrometer, ICP-OES)、气相色谱-质谱(gas chromatography mass spectrometry, GS-MS)和色彩分析仪(Colorimeter)分别测定了两种牦牛肌肉矿物元素、脂肪酸含量和肉色变化,探讨金川多胸椎牦牛屠宰后5h肌肉肉色变化规律,为该类型牦牛肉品加工、销售以及遗传育种研究等提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 肌肉样品的采集

于2011年9月10—13日,随机选取全天然放牧,不补饲的麦洼牦牛和金川多胸椎牦牛各30头,年龄3.5~5.5岁,阉公牛,健康,采集生长发育正常的股二头肌和背最长肌样品,共120份。采用常规方法屠宰,宰后立即取

样。对每份样品分别作3种处理,以进行不同的实验。其中,2份取约50g肌肉低温保存,带回实验室测定矿物质及脂肪酸含量;1份取肌肉横截面约10cm×10cm、厚约3cm,没有明显色泽缺陷(如明显变色、血管富集等)的样品,测定肉色。

1.2 仪器与设备

CM-700d色差仪 日本美能达公司; iCAP6000耦合等离子体原子发射光谱仪 美国Thermo公司; 5975C气相色谱-质谱仪 美国安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 股二头肌、背最长肌肌肉肉色测定

采用色差仪测定肉色。测定前对仪器进行校正,将肉样放置于平面,置于现场自然光线充足处,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0h开始测定第1次,以后每隔1h重复测定1次,共6次,在2次测定间将样品放置于阴凉通风处,以免过度蒸发影响测定结果。

经色差仪测得的肌肉色泽数据使用 L^* 、 a^* 、 b^* 色空间这样3个1组的数值来表示。其中 L^* 表示亮度(0~100),亮度随数值的增大而增大; a^* 、 b^* 有正负值之分, a^* 为正值表示红度, a^* 为负值表示绿度, b^* 为正值表示黄度, b^* 为负值表示蓝度。由 L^* 、 a^* 、 b^* 值可以判断不同颜色的差别,并计算出色相角度值(hue angle, H^*)和颜色饱和度值(chroma, C^*)。其中, $H^* = \text{hue angle} = 180/\pi \arctan(b^*/a^*)$,在取值在0~90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^[9-10]。

1.3.2 肌肉矿物质测定

称量1g肌肉样品于聚四氟乙烯坩埚中,同时做一空白对照,放入马弗炉中缓慢的加温,在450~500℃灰化4h,然后用少量王水加温溶解残渣,过滤后用去离子水定容至25mL待测。预处理后的样品使用ICP-OES测定,参照文献^[11]所述肌肉中矿物质含量范围,以质量浓度梯度配制标准品,经测定,作出标准曲线。

经ICP-OES测定得到的数据,使用下列公式计算各元素在牦牛肉中的含量。

$$x/(\text{mg/kg}) = \frac{(\rho - \rho_0) \times V}{m \times 1000}$$

式中: x 为样品中微量元素含量/(mg/kg); ρ 为样品消化液中元素质量浓度/(mg/L); ρ_0 为样品空白消化液质量浓度/(mg/L); V 为样品消化液体积/mL; m 为样品质量/g。

1.3.3 肌肉脂肪酸测定

剪取5g肌肉样品,参照文献[12]所述方法进行粗脂肪抽提及甲酰化。预处理后的样品采用GS-MS测定肌肉脂肪酸相对含量。

1.4 统计分析

麦洼牦牛与金川多胸椎牦牛背最长肌和股二头肌的颜色值使用SPSS v 19.0进行方差分析,计算两者的色相角度值 H^* 、颜色饱和度值 C^* ,并进行时间序列分析。

2 结果与分析

2.1 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛背最长肌及股二头肌平均矿物质、微量元素分析

表1 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛背最长肌及股二头肌平均矿物质、微量元素含量($\bar{x} \pm s$, $n=30$)
Table 1 Average contents of mineral elements in *Longissimus dorsi* and *Biceps femoris* of Jinchuan multi-vertebrate yak and Maiwa yak ($\bar{x} \pm s$, $n=30$)
mg/kg

元素	麦洼牦牛	金川多胸椎牦牛
Al	1.26±0.57	1.52±0.68
B	0.02±0.01	0.03±0.01
Ba	0.03±0.01	0.03±0.01
Ca	9.97±6.74	6.49±0.94
Cd	0.07±0.01	0.06±0.01
Cu	0.40±0.13 ^a	0.57±0.22 ^b
Fe	5.42±1.36 ^a	7.87±1.31 ^b
Ti	0.04±0.01	0.05±0.02
Mg	27.45±3.19	29.95±3.17
Mn	0.17±0.08 ^a	0.22±0.12 ^b
Na	8.96±1.88	9.10±1.60
Ni	0.04±0.02 ^a	0.07±0.05 ^b
Pb	0.04±0.02	0.05±0.04
Si	0.43±0.10	0.54±0.15
Sr	0.03±0.01	0.03±0.01
Zn	7.27±1.33 ^a	7.63±1.12 ^b

注:同行肩标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($P<0.01$)。

如表1所示,金川多胸椎牦牛肌肉微量元素中,Cu、Fe、Mn、Ni、Zn的含量均高于麦洼牦牛($P<0.05$),其余元素差异不显著($P>0.05$)。

2.2 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛背最长肌及股二头肌平均脂肪酸相对含量分析

表2 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛背最长肌及股二头肌平均脂肪酸相对含量分析
Table 2 Fatty acid composition of *Longissimus dorsi* and *Biceps femoris* of Jinchuan multi-vertebrate yak and Maiwa yak

牦牛	肉豆蔻酸/%	十二甲基十四烷酸/%	十六烯酸/%	棕榈酸/%	油酸/%	硬脂酸/%	癸酸/%
金川多胸椎牦牛	6.66±0.71 ^b	1.60±0.20 ^b	1.84±0.15	30.59±4.19 ^b	36.49±3.90 ^b	22.82±2.72	1.37±0.40 ^b
麦洼牦牛	1.19±0.58 ^a	0.41±0.09 ^a	2.79±1.22	21.24±3.15 ^a	50.30±4.81 ^a	24.10±4.93	0.00±0.00 ^a

注:同列肩标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。

如表2所示,麦洼牦牛肌肉中肉豆蔻酸、十二甲基十四烷酸、棕榈酸、癸酸相对含量低于金川多胸椎牦牛($P<0.01$);油酸含量高于金川多胸椎牦牛($P<0.01$);十六烯酸和硬脂酸含量差异不显著($P>0.05$)。

2.3 宰后0h麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛肉色差异的比较

表3 宰后0h金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛不同部位颜色值分析
Fig.3 Color parameters of *Longissimus dorsi* and *Biceps femoris* of Jinchuan multi-vertebrate yak and Maiwa yak

牦牛品种	背最长肌			股二头肌		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
金川多胸椎牦牛	30.59±2.09 ^{aA}	13.87±2.01 ^B	08.74±1.95	28.17±1.86 ^{aB}	12.45±0.86 ^b	7.24±0.77
麦洼牦牛	31.81±1.38 ^{aA}	11.29±2.01 ^A	08.02±1.09	29.81±2.78 ^{aB}	11.93±0.12 ^a	7.90±1.02

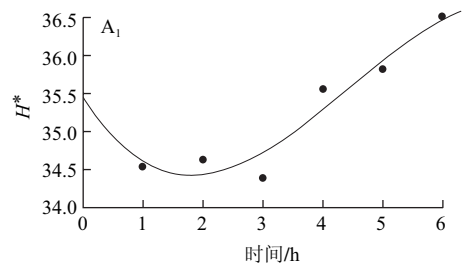
由表3可看出,金川多胸椎牦牛背最长肌宰后0h的红色度值(a^*)高于麦洼牦牛($P<0.01$),股二头肌的 a^* 高于麦洼牦牛($P<0.05$);两种牦牛股二头肌和背最长肌宰后0h的黄色度值(b^*)均无显著性差异($P>0.05$)。金川多胸椎牦牛两种肌肉的 a^* 均高于麦洼牦牛($P<0.01$, $P<0.05$),而亮度(L^*)均低于麦洼牦牛($P<0.05$)。

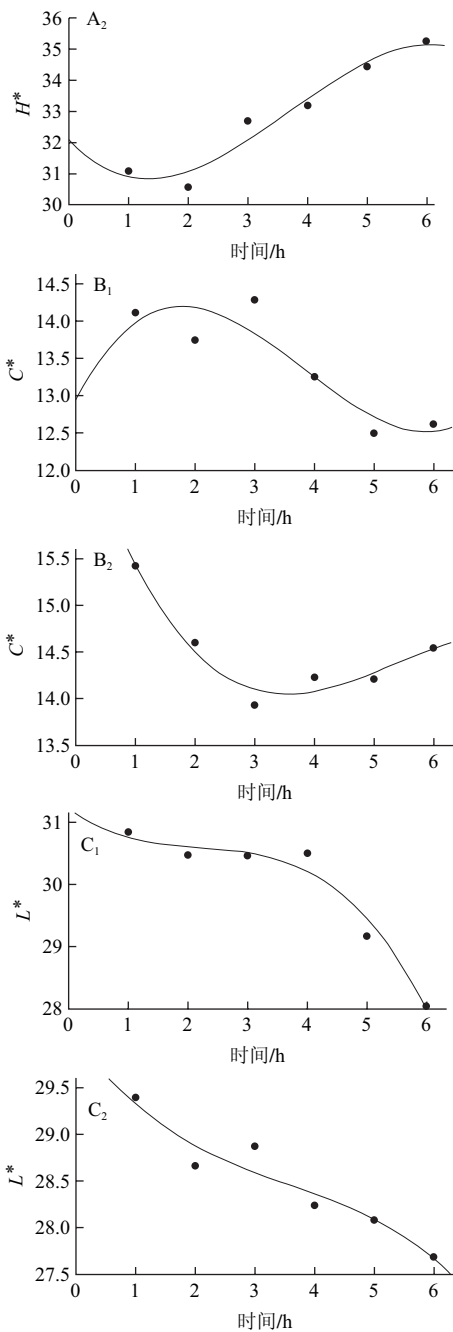
2.4 麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛色差值变化的时间序列分析

如图1所示,麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛肌肉 H^* 值的模型和拟合优度分别为: $Y=35.45-1.22X+0.42X^2-0.03X^3$ ($R^2=0.93$)、 $Y=32.089-2.00X+0.91X^2-0.08X^3$ ($R^2=0.96$)。麦洼牦牛 H^* 值拟回归曲线在0~2h下降,2~5h快速上升;金川多胸椎牦牛 H^* 值拟回归曲线与麦洼牦牛相似,但总体值低于麦洼牦牛。

麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛肌肉 C^* 值的模型和拟合优度分别为: $Y=12.94+1.56X-0.57X^2+0.05X^3$ ($R^2=0.94$)、 $Y=17.08-2.05X+0.43X^2-0.03X^3$ ($R^2=0.95$)。麦洼牦牛 C^* 值拟回归曲线在1~2h上升,2~5h急速下降;金川多胸椎牦牛 H^* 值拟回归曲线在0~2h急剧下降,2~5h快速上升。

麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛肌肉 L^* 值的模型和拟合优度分别为: $Y=31.23-0.71X+0.29X^2-0.04X^3$ ($R^2=0.97$)、 $Y=30.04-0.88X+0.18X^2-0.02X^3$ ($R^2=0.92$)。麦洼牦牛 L^* 值拟回归曲线在0~3h缓慢下降,3~5h加速下降;金川多胸椎牦牛 L^* 值拟回归曲线总体呈现较平稳下降趋势。





A. H^* 拟回归曲线; B. C^* 拟回归曲线; C. L^* 拟回归曲线; 下脚标1、2分别表示麦洼牦牛和金川多胸椎牦牛。

图1 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛肌肉 L^* 、 H^* 、 C^* 拟回归曲线
Fig.1 Fitted regression curves of color parameters versus post-slaughter time intervals

3 讨论与结论

3.1 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛肉矿物质及脂肪酸含量

金川多胸椎牦牛肌肉微量元素中Cu、Fe、Mn、Ni、Zn 5种元素含量均高于麦洼牦牛($P<0.05$); 其余元素含量两者差异不显著($P>0.05$)。这种差异可能与两种

牦牛所在生境存在差异有关。从生理生化作用看, Fe参与牦牛体内血红蛋白、肌红蛋白、转铁蛋白等的构成和体内物质代谢, 还直接参与多种酶的组成催化各种生化反应, 是体内很多重要氧化还原反应过程中的电子传递体, 并且 Fe^{2+}/Fe^{3+} 能活化参与碳水化合物代谢的各种酶; Zn参与体内酶的组成、维持激素的正常作用、维持生物膜的正常结构和功能; Cu作为细胞色素氧化酶、尿酸氧化酶、氨基酸氧化酶等金属酶组成部分直接参与体内代谢、维持铁的正常代谢、有利于血红蛋白合成和红细胞成熟、参与骨形成; Mn在碳水化合物、脂类、蛋白质和胆固醇代谢中作为酶活化因子; Ni是瘤胃内的尿素酶和某些脱氢酶的结构成分或活化因子, 也可能在体内作为生物配位体的辅助因子, 使肠道 Fe^{3+} 更易吸收。相对于生活在海拔3000~3800m亚高山草甸草原的麦洼牦牛来说, 金川多胸椎牦牛生活在同维度海拔3500~4700m的高山草甸草原, 各自所处环境的海拔、气候及植被组成差异较大, 而微量元素含量的差异, 可能是有机体对不同环境适应的结果, 这与邱翔等^[13]对四川牦牛和黄牛肌肉微量元素的分析结果较为吻合。

金川多胸椎牦牛肌肉中肉豆蔻酸含量高于九龙牦牛($1.92\pm0.78\%$)和昂科牦牛($2.11\pm0.68\%$)($P<0.01$); 十二甲基十四烷酸含量高于九龙牦牛($0.26\pm0.10\%$)和昂科牦牛($0.16\pm0.07\%$)($P<0.01$); 硬脂酸含量高于昂科牦牛($20.00\pm3.10\%$)($P<0.05$), 低于九龙牦牛($P<0.05$); 油酸含量与九龙牦牛($31.14\pm6.57\%$)和昂科牦牛($34.31\pm4.73\%$)差异不显著($P>0.05$)^[12]。肉豆蔻酸可以增加血清中胆固醇含量, 棕榈酸则能降低血清中胆固醇的含量, 有学者提出棕榈酸和油酸代替膳食中的月桂酸和肉豆蔻酸可能治疗血栓有益。在实验中检测出金川多胸椎牦牛肌肉含有一定量的癸酸, 这在其他牦牛尚未见报道。癸酸具有抗病毒的生物活性, 癸酸与甘油三酯生成的癸酸单酰甘油酯具有抗艾滋病病毒(HIV)的功能。上述结果表明, 金川多胸椎牦牛肌肉的脂肪酸构成具有一定独特性^[14]。肉品的风味包括滋味和香味两类, 其中无机盐、游离氨基酸、小肽及核酸代谢产物等非挥发水溶性物质是影响滋味的主要呈味物质, 而香味主要是由香味前体物质在热的作用下发生分解、氧化、还原等反应产生的挥发性风味物质组成^[15-16]。其中游离脂肪酸中的不饱和和脂肪酸通过氧化、脱氢、脱羧作用生成的不饱和醛、酮、含硫化合物及杂环化合物是影响肉品香味的重要因素。Buscaihon等^[17]的研究表明肉品中的不饱和脂肪酸对香味可产生积极影响, 而饱和脂肪酸会产生消极影响, 而癸酸由于嗅觉阈值较高不会对香味产生直接影响, 而是作为香味物质的前体起间接作用^[18]。金川多胸椎牦牛肌肉内肉豆蔻酸、十二甲基十四烷酸、棕榈酸及癸酸这几种饱和脂肪酸含量均高于麦洼牦牛($P<0.01$), 而油酸

这种不饱和脂肪酸含量低于麦洼牦牛($P<0.01$), 这表明金川多胸椎牦牛肉具有与麦洼牦牛肉不同的独特香味。

3.2 金川多胸椎牦牛、麦洼牦牛肉色的差异

Meinert等^[19]的研究指出, 肌肉内的脂肪反光会导致高 L^* 值, 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($P<0.01$), 表明这两种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^[20-21], 因此显示, 背最长肌的肉品质优于股二头肌, 符合一般规律。金川牦牛肌肉较高的 a^* 值显示其颜色较麦洼牦牛更红, 表明金川多胸椎牦牛肉在屠宰初期更具有良好的商品性状。两者背最长肌和股二头肌中 a^* 值的差异可能是由于肌肉中肌红蛋白和高铁肌红蛋白的不同分布造成的。Wulf等^[22]的研究表明, 色差值与牛肉的嫩度有相关性, 较高的 L^* 值和较低的 a^* 值表明肌肉具有较低的剪切力和较高的嫩度。金川多胸椎牦牛股二头肌及背最长肌 L^* 值均低于麦洼牦牛($P<0.05$), a^* 值均大于麦洼牦牛($P<0.01$, $P<0.05$), 推测金川多胸椎牦牛的肌肉嫩度可能低于麦洼牦牛。

3.3 麦洼牦牛、金川多胸椎牦牛肉色差值的时间序列分析

麦洼牦牛与金川多胸椎牦牛色相角度值 H^* 的变化趋势相近, 可能是由于他们肌肉0h黄度 b^* 值差异不显著造成的; 而两者的色饱和度 C^* 值的变化趋势有较大的差异, 可能是由于它们0h红度 a^* 值有极显著差异($P<0.01$)差异引起的; 它们的亮度 L^* 值变化趋势相近, 麦洼牦牛肌肉 L^* 值下降速度高于金川多胸椎牦牛。麦洼牦牛肌肉 L^* 在0~3h缓慢下降而金川多胸椎牦牛肌肉 L^* 在这期间下降速度高于麦洼牦牛, 表明麦洼牦牛在屠宰后0~3h嫩度保持能力优于金川多胸椎牦牛; 在宰后3h后麦洼牦牛 L^* 值急速下, 嫩度快速降低。麦洼牦牛肌肉亮度值 L^* 快速减小, 色相角度值 H^* 快速增加, 与金川多胸椎牦牛肉颜色比较, 变化更快。孙京新等^[23]对冷藏猪肉的研究表明, 色相角度值 H^* 的上升反映了肉色的稳定性变差, 色相角度值 H^* 上升肉色变黄, 因此麦洼牦牛的肉色比金川多胸椎牦牛更快的变暗变黄, 商品性状变差。

图1中 L^* 值和 H^* 值的变化趋势与杨明等^[8]的对黄牛和牦牛色差变化趋势的研究结果相似, 但 C^* 值的变化趋势与其不同, 这可能是由于几种牛肌肉颜色的红度 a^* 值的不同造成的。肌肉的颜色主要由肌肉肌红蛋白的中3种不同化学状态决定。脱氧肌红蛋白是肌红蛋白的还原态, 呈紫红色; 氧合的肌红蛋白为亮红色; 肌红蛋白被氧化成为高铁肌红蛋白时, 呈黄褐色。决定肌红蛋白颜色的重要因素是其Fe的含量和状态, 本实验测定发现金川多胸椎牦牛肌肉中Fe的含量显著高于麦洼牦牛($P<0.05$), 因此两者肌肉颜色 a^* 值的差异很有可能是由于肌肉内Fe

含量的差异造成的。许多研究表明^[24-25], 肉色的变化主要由肌红蛋白的自动氧化速率和线粒体消耗 O_2 的速率决定的。高铁肌红蛋白直接影响宰后肌肉肌红蛋白和氧合肌红蛋白相对比率, 随着肌肉高铁肌红蛋白累积, 肉色逐渐变为褐色。金川多胸椎牦牛肌红蛋白比麦洼牦牛肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白的速率更慢, 可能是金川多胸椎牦牛常年放牧于氧气含量极低的海拔3500~4700m的高原牧场, 而麦洼牦牛大多饲养与氧气含量相对较高的海拔3000~3800m的牧场。金川多胸椎牦牛生活在更低的氧分压环境下, 其机体可能存在某种保护机制可以减缓肌红蛋白的氧化, 尚有待于进一步的研究。

金川多胸椎牦牛肌肉Cu、Fe、Mn、Ni、Zn含量显著高于麦洼牦牛, 具有较高的矿物质营养价值; 其肌肉中首次检测出具有重要生物学活性意义的癸酸成分, 对于功能性食品研发具有重要意义; 其肌肉豆蔻酸、十二甲基十四烷酸等含量异于其他牦牛, 表明具有独特的脂肪酸构成, 其具有独特的风味; L^* 值较低($P<0.05$), a^* 值较大, 表明其肌肉嫩度可能低于麦洼牦牛; 其宰后0~3h肌肉嫩度保持力下降较麦洼牦牛快, 但3h以后趋于稳定, 且明显优于麦洼牦牛。两种牦牛宰后肌肉色泽变化模式差异较大, 金川多胸椎牦牛肉色相角度 H^* 值和色饱和度 C^* 值均优于麦洼牦牛肉, 宰后5h内在空气中的变化速度均低于后者, 金川多胸椎牦牛肉色的新鲜度优于麦洼牦牛, 具有更良好的商品性状。

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] NUERNBERG K, DANNENBERGER D, NUERNBERG G, et al. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds[J]. Livestock Production Science, 2005, 94: 137-147.
- [4] BIRREN R F. Color and human appetite[J]. Food Technology, 1963, 17: 553.
- [5] BARBUT S. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens[J]. Poultry Science, 1997, 38: 355-358.
- [6] FLETCHER D L. Broiler breast meat color variation, pH, and texture[J]. Poultry Science, 1999, 78: 1323-1327.
- [7] ANSORENA D. Color evaluation of chofizode pamplona, a spanish dry fermented sausage: comparison between the CIE L^* a^* b^* and the hunter lab system with illuminants D65 and C[J]. Meat Science, 1997, 46: 313-318.
- [8] 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.
- [9] BEKHIT A E D, GEESINK G H, MORTON J D, et al. Metmyoglobin reducing activity and color stability of ovine longissimus muscle[J]. Meat Science, 2001, 57: 427-435.
- [10] GURAY T, ARINC E. Kinetic properties of purified sheep lung microtonal NADH -cytochrome b5 reductase[J]. International Journal

- of Biochemistry, 1991, 23: 1315-1320.
- [11] 史可江, 刘桂立, 刘均. 牛羊肉不同部位微量元素含量的测定[J]. 山东食品科技, 1999(19): 12-13.
- [12] 杨明, 龙虎, 文勇立, 等. 四川牦牛、黄牛不同品种肌肉脂肪酸组成的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 444-449.
- [13] 邱翔, 张磊, 文勇立, 等. 四川牦牛、黄牛主要品种肉的营养成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 112-116.
- [14] 陈银基, 鞠兴荣, 周光宏. 饱和脂肪酸分类与生理功能[J]. 中国油脂, 2008, 33(3): 35-39.
- [15] ZHOU J, WANG L, ZHOU H M. Study summary of the meat flavor[J]. Meat Research, 2003, 2: 16-18.
- [16] LI J J, WEN J, CHEN J L. Development of research on the aroma of meat[J]. Food Science and Technology, 2002, 6: 23-26.
- [17] BUSCAILHON S, BERDAGUE J L, BOUSSET J, et al. Relations between compositional traits and sensory qualities of french dry-cured ham[J]. Meat Science, 1994, 37(2): 229-243.
- [18] CASABURI A, MONACO R D, CAVELLA S, et al. Proteolytic and lipolytic starter cultures and their effect on traditional fermented sausage ripening and sensory traits[J]. Food Microbiology, 2008, 25(2): 335-347.
- [19] MEINERT L, CHRISTIANSEN S C, KRISTENSEN L, et al. Eating quality of pork from pure breeds and DLY studied by focus group research and meat quality analyses[J]. Meat Sci, 2008, 80(2): 304-314.
- [20] BERJERHOLM C, BARTON-GADE P A. Effect of intramuscular fat level on eating quality of pigmeat[C]//32nd. Belgium: EMMRW, 1986: 389-391.
- [21] BREWER M S, SOSNICKI A, FIELD B. Enhancement effects on quality characteristics of pork derived from pigs of various commercial genetic back grounds[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(1): 5-10.
- [22] WULF D M, O'CONNOR S F, TATUM J D, et al. Using objective measures of muscle color to predict beef *longissimus* tenderness[J]. J Anim Sci, 1997, 75: 684-692.
- [23] 孙京新, 周光宏, 罗欣, 等. PSE(白肌)、RFN(正常)、DFD(黑干)3种质量猪肉冷藏期间的肉色稳定性[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 166-168.
- [24] RENERRE M. Factors involved in the discoloration of beef meat[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1990, 25: 613-630.
- [25] LEDWAR D A. Color of raw and cooked meat[M]//The chemistry of muscle-based foods. Cambridge Thomas Graham House, Science Park, 1992: 128-144.