

白如珍, 辜雪冬, 刘磊, 等. 西藏黑山羊屠宰性能及肉质特性的性别差异分析 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(19): 1-9. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100270

BAI Ruzhen, GU Xuedong, LIU Lei, et al. Analysis of Sex Differences in Slaughtering Performance and Meat Quality Characteristics of Tibetan Black Goats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(19): 1-9. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100270

· 特邀主编专栏—地方特色食品: 加工技术、感官品质、风味特性和营养健康 (客座主编: 易俊洁、和劲松、郭超凡) ·

西藏黑山羊屠宰性能及肉质特性的 性别差异分析

白如珍¹, 辜雪冬^{1,*}, 刘磊^{1,*}, 朱慧芳¹, 扎西拉姆¹, 强久群宗¹, 周雨², 蔡宛霖², 李赵敏²
(1. 西藏农牧学院食品科学学院, 西藏特农牧资源研发省部共建协同创新中心, 西藏林芝 860000;
2. 西藏自治区农牧科学院农产品开发与食品研究所, 西藏拉萨 850000)

摘要: 为探究黑山羊屠宰性能和肉质特性, 随机选取 3 岁西藏黑山羊公羊和母羊各 3 只, 对其屠宰性能及前腿、后腿和背最长肌的食用品质和营养成分进行检测和对比分析。结果表明: 黑山羊母羊宰前活重显著 ($P < 0.05$) 高于公羊, 但公羊的屠宰率和胴体后腿长极显著 ($P < 0.01$) 高于母羊, 分别是母羊的 1.40 倍和 1.16 倍。在食用品质方面, 性别对黑山羊肉的 pH 无显著影响 ($P > 0.05$), 但母羊肉更有光泽、红度更好; 母羊肉的蒸煮损失率以及剪切力均显著 ($P < 0.05$) 小于公羊, 表明母羊肉的保水性能及肉质更为细嫩。常规营养成分分析显示, 公羊背最长肌的胆固醇含量极显著 ($P < 0.01$) 高于母羊, 而母羊前腿的肌苷酸含量极显著 ($P < 0.01$) 高于公羊。在矿物质、维生素及氨基酸含量上, 相对于公羊, 母羊含有更高的铁、锌元素, 以及维生素 B₁、B₂ 和 B₃, 且母羊前腿必需氨基酸和鲜味氨基酸含量略高于公羊。总体上, 公羊的屠宰性能优于母羊, 但母羊的肉质细嫩, 食用品质和营养价值较公羊好。本研究结果可为西藏黑山羊的育种和肉质改良提供科学依据, 对西藏地区的畜牧业发展和经济提升具有深远影响。

关键词: 黑山羊, 性别, 屠宰性能, 食用品质, 营养成分

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)19-0001-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100270



本文网刊:

Analysis of Sex Differences in Slaughtering Performance and Meat Quality Characteristics of Tibetan Black Goats

BAI Ruzhen¹, GU Xuedong^{1,*}, LIU Lei^{1,*}, ZHU Huifang¹, ZHAXI Lamu¹, QIANGJIU Qunzong¹, ZHOU Yu²,
CAI Wanlin², LI Zhaomin²

(1. College of Food Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Collaborative Innovation Center of Special Agricultural and Animal Husbandry Resources Research and Development, Linzhi 860000, China;

2. Institute of Agricultural Products Development and Food, Xizang Autonomous Region Academy of Agriculture and Animal Husbandry, Lhasa 850000, China)

Abstract: To elucidate the influence of gender on slaughter performance and meat quality traits in Tibetan black goats, three 3-year-old black goat rams and ewes were randomly selected, and their slaughter performance, edible quality, and nutritional components of the foreleg, hind leg, and longissimus doris were detected and compared. The results showed that ewes exhibited significantly higher pre-slaughter live weights than rams ($P < 0.05$). However, rams demonstrated

收稿日期: 2024-10-23

基金项目: 西藏自治区重大科技专项 (XZ202201ZD0001N)。

作者简介: 白如珍 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产食品加工与安全, E-mail: 2643136778@qq.com。

* 通信作者: 辜雪冬 (1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产食品科学, E-mail: xuedonggu@xza.edu.cn。

刘磊 (1993-), 男, 硕士, 助教, 研究方向: 特色肉制品加工与营养的研究, E-mail: liulei@xza.edu.cn。

significantly slaughter rates and greater hind leg lengths ($P<0.01$), exceeding those of ewes by 1.40-fold and 1.16-fold, respectively. While gender had no significant impact on the pH of goat meat ($P>0.05$), ewes displayed enhanced glossiness and redness. Moreover, the boiling loss rate and shear force of the meat of the ewes were significantly lower than those of the rams ($P<0.05$), indicating superior water-holding capacity and tenderness relative to rams. Nutritional analyses further revealed that the cholesterol content in the longissimus dorsi of rams was significantly higher than in ewes ($P<0.01$), whereas inosine monophosphate levels in the foreleg muscle were significantly higher in ewes ($P<0.01$). Mineral and vitamin profiling indicated higher concentrations of iron, zinc, and vitamins B₁, B₂, and B₃ in ewes compared to rams. Additionally, essential and umami-related amino acid levels were more abundant in the foreleg muscles of ewes. Overall, while rams demonstrated superior slaughter performance, the meat from ewes exhibited greater tenderness, enhanced eating quality, and superior nutritional value. These findings provide a scientific basis for selective breeding and meat quality optimization in Tibetan black goats, with potential implications for livestock management and economic development in Tibet.

Key words: black goat; gender; slaughter performance; edible quality; nutritional composition

西藏黑山羊属山羊品种,是藏区最为著名的品种之一,目前在西藏主要分布于昌都地区,主要以家庭牧场的饲养方式为主^[1-2]。黑山羊肉以其肉质鲜美、营养丰富而闻名,被誉为“高原之珍”。众所周知,肉类食品作为人们动物性蛋白食品的重要来源,消费量与日俱增。消费者出于自身营养、健康和口感的需求,对羊肉品质的要求也逐渐增加。衡量羊品质特性的指标主要包括屠宰性能、食用品质以及营养品质等^[3]。其中,屠宰性能主要反映羊的产肉性能^[4]。食用品质通常包括 pH、色泽、嫩度和保水性能等,其中肌肉 pH 可反映动物屠宰后的糖酵解速率,也是判定肉质是否正常的依据;色泽可直接评判肉制品的新鲜度,也会影响消费者购买意愿;剪切力是反映肉品嫩度的指标,与嫩度呈负相关关系;蒸煮损失是肉品保水能力的指标,影响肉品的多汁性,蒸煮损失越大,食用品质越差^[5]。营养品质包括常规营养成分、矿物质、维生素和氨基酸等,矿物质和维生素作为微量营养素对人体免疫系统、生长发育等至关重要^[6];氨基酸的含量和组成对肉品质起着重要作用,可评判肉的营养和风味价值^[7]。随着黑山羊在肉羊产业地位的逐渐上升,关于黑山羊肉用品质的研究越来越多。研究发现,贵州黑山羊肉具有蛋白质含量高、脂肪和胆固醇含量低的特点^[8-9];字品文等^[10]和沙玉柱等^[11]也分别对云南黑山羊和陇东黑山羊肉的品质进行了研究,但目前对西藏黑山羊肉品质特性的了解知之甚少。

影响羊肉品质的因素有年龄、品种、饲料、饲养方式和部位等^[12]。有研究发现,性别也是影响肉品质的重要因素,如刘畅等^[3]研究发现巴美公羊胴体品质和脂肪酸营养价值优于母羊,而滩羊母羊脂肪沉积能力优于公羊^[13],在苏尼特羊中发现公羊肉持水性能显著优于母羊^[14]。目前针对西藏黑山羊的研究主要集中在分子育种方面^[2],有关西藏黑山羊肉的品质以及性别对羊肉品质影响的研究未见报道。鉴于此,本研究通过测定不同性别西藏黑山羊的屠宰性能,以及不同部位(前腿、后腿和背最长肌)羊肉的食用品质和营养成分等关键指标,系统探讨性别对黑山羊肉品质

特性的影响,以期生产高品质、高档次的黑山羊肉产品提供科学依据,同时,也为推动西藏黑山羊产业的持续健康发展与转型升级奠定坚实的数据基础。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

本研究随机挑选了西藏自治区昌都市边坝县地区半牧半饲养的 3 岁体况健康良好的黑山羊公、母羊各 3 只,进行屠宰试验。其中公羊体重(23.86 ± 0.76)kg,母羊体重(29.00 ± 2.65)kg,所选羊宰前均进行正常免疫。所有试验黑山羊均按照《畜禽屠宰卫生检疫规范》(NY467-2001)^[15]要求于 2023 年 11 月份在昌都市边坝县定点屠宰场进行屠宰。宰前禁食 24 h。均选取每只羊的前腿、后腿以及胴体 12~13 肋骨间背最长肌于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用,黑山羊取样部位如图 1 所示。

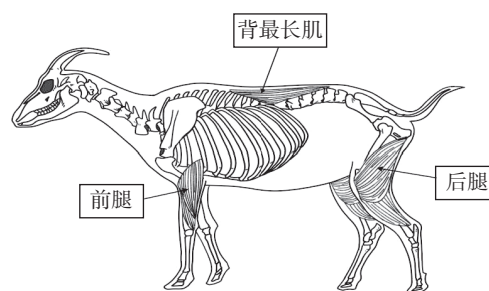


图 1 黑山羊取样部位示意图

Fig.1 Map of black sheep sampling site

皮尺、卷尺、KDN-520 凯氏定氮仪 青岛路博环保科技有限公司;FA1004B 电子天平 南京炯创科技有限公司;SX2-4-10W 箱式电阻炉 上海一恒科学仪器有限公司;TGF-9140A 鼓风干燥箱 上海喆图科学仪器有限公司;FoodScanTM 肉品分析仪 福斯集团;TA.XTC-18 质构仪 上海保圣科技有限公司;MAQC-12 型肉质嫩度测定仪 南京铭奥仪器设备有限公司;SOX606 脂肪测定仪、PHS-3C 便携式实验室 pH 计 德国德图集团公司;MinoltaCR-300 色差仪 翁开尔(广东)科技有限公司;HHWO 恒温数显水浴锅 上海弘懿仪器设备有限公司;

LA8080 全自动氨基酸分析仪 日本日立; 1290 Infinity II 通用型高效液相色谱仪 安捷伦; ICP-OES 6800 电感耦合等离子体发射光谱仪 德国斯派克基团公司; HM-WB 40 全自动微波消解仪 华信创安电子科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 屠宰性能分析 试验羊称重后屠宰。屠宰程序为放血, 去头、皮、四肢, 内脏剔除, 胴体分割。分割方法及要求按照 GB/T 39918-2021《羊胴体及鲜肉分割》执行^[16], 按标准分割后称重。测定胴体重、皮重、净肉重、骨重等屠宰性能指标。

1.2.2 胴体性状分析 参考赵有璋等^[17]的方法进行胴体性状指标测定。胴体长: 肩关节前缘至坐骨结节后缘的距离, 分为体直长和体斜长。胴体长 I (体直长): 耻骨联合前沿至第一颈椎前沿的直线长度。胴体长 II (体斜长): 耻骨联合前沿至第一肋骨与胸骨结合处前缘的长度。胴体深: 第七胸椎脊突处体表, 通过第七肋骨的垂直长度。胴体胸深: 第三胸椎脊突处体表至胸骨下缘的垂直长度。胴体后腿围: 胫、股骨连接处, 即后膝处的水平围度。胴体后腿长: 从耻骨缝至跗关节(飞节)的长度; 耻骨缝前缘至肘关节中点的距离。胴体后腿宽: 自去尾处的凹陷内侧至大腿前缘的水平宽度。腰部肉厚: 位于第六对肋骨上部棘突上缘的区域部分肌肉与脂肪之间的距离。大腿肉厚: 自体表至股骨体中点垂直距离。眼肌面积: 背最长肌的横断面面积, 眼肌面积性状与家畜产肉性能强相关。本文眼肌面积(S)使用公式法。用直尺测定眼肌面积轮廓的最大长度 A(cm)和最大宽度 B(cm), 用以下公式计算: $S=A \times B \times \text{眼肌面积指数}$; 眼肌面积指数为 0.73。

1.2.3 食用品质指标测定

1.2.3.1 pH 参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》方法测定^[18], pH 于样品宰后 45 min 测定, 分别对不同部位选用便携式 pH 计测定肉样的 pH, 使用前用三点校准法(pH4.00、6.86、9.18)进行校准, 样品每组测定 3 个平行, 结果取平均值。

1.2.3.2 色泽 参考赵改名等^[19]的方法并略作修改, 色差于样品宰后 45 min 测定, 将冻藏的肉样进行解冻, 半解冻状态下, 对每个样品切开新鲜面, 使用便携式色差仪测定肉样的亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*), 使用前用标准比色板进行校正, 样品每组测定 3 个平行, 结果取平均值。

1.2.3.3 蒸煮损失率 参考 Li 等^[20]的方法并略作修改, 将肉样解冻后用刀修整为 2.5 cm×2.5 cm×2.5 cm 厚肉块, 用滤纸擦拭羊肉表面的水滴, 称重(W_1)后, 在 80 °C 水浴中加热至肉块中心温度达到 75 °C, 保持 20 min, 然后放于 0~4 °C 冰箱过夜, 用滤纸吸干肉块表面汁液, 称重, 记作 W_2 。按照式(1)计算。

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

1.2.3.4 加压损失率 参考咎博文等^[21]的方法并略作修改, 将样品切成 1 cm×1 cm×1 cm 的大小, 放置在天平测定质量 m_1 。使用质构仪对加压损失率进行测试, 测定条件: 选用柱形探头 TA/36, 测试方法为恒压测试, 压力约为 175 N, 测试时间为 5 min。测试完成后, 测定样品质量 m_2 。按照式(2)计算。

$$\text{加压损失率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.3.5 质构特性 参考咎博文等^[21]的方法并略作修改, 将肉样解冻后用刀修整为 1.5 cm×1.5 cm×0.5 cm 肉块, 使用质构仪对肉的质地进行测定。测定条件: 使用 P50 探头, 测前速率 2.0 mm/s, 测试速率 2.0 mm/s, 测后速率 10.0 mm/s, 压缩变形率 50%, 探头 2 次测量间隔时间为 5 s, 每组测定 10 个平行, 结果取平均值。

1.2.3.6 剪切力 参考赵改名等^[19]的方法并略作修改。选取黑山羊前腿、后腿及背最长肌部位, 剔除肉表面的筋、腱、膜及脂肪, 测定剪切力。将修整后肉样顺着肌纤维方向将样品切成 1 cm×1 cm×2.5 cm 大小肉条, 使用肉质嫩度测定仪沿着垂直于肌纤维方向切割, 测定其剪切力, 单位为 N, 样品每组测定 3 个平行, 结果取平均值。

1.2.4 营养品质指标测定

1.2.4.1 常规营养成分 水分含量测定参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 使用直接干燥法测定; 灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》, 使用直接干燥法测定; 蛋白质和粗蛋白含量测定参照 GB/T 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》, 使用凯氏定氮法测定; 脂肪和肌内脂肪含量依据 GB/T 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》测定; 胆固醇含量依据 GB/T 5009.128-2016《食品中胆固醇的测定》测定; 肌苷酸含量测定参照 T/NAIA 003-2020《肌肉中肌苷、肌苷酸的测定》, 使用高效液相色谱法测定; 牛磺酸含量测定参照 GB 5009.169-2016《食品中牛磺酸的测定》, 使用丹磺酰氯柱前衍生法测定。

1.2.4.2 矿物质及维生素 矿物质含量测定参照 GB/T 5009.268-2016《食品中多元素的测定》, 使用电感耦合等离子体发射光谱法测定肌肉中的硒元素; 参照 NY/T 3318-2018《饲料中钙、钠、磷、镁、钾、铁、锌、铜、锰、钴和钼的测定》, 使用原子发射光谱法测定肌肉中的常量元素(Ca、Mg、P)及微量元素(Fe、Zn)含量; 维生素含量测定参照 GB/T 5009.82-2016《食品中维生素 A、D、E 的测定》、GB/T 5009.84-2016《食品中维生素 B1 的测定》和 GB 5009.85-2016《食品中维生素 B2 的测定》, 使用高效液相色谱法测定肌

肉部位的脂溶性维生素(V_A 、 V_E)和水溶性维生素(V_{B1})(V_{B2})含量;维生素 B3 含量测定参照 GB 5009.89-2016《食品中烟酸和烟酰胺的测定》,使用微生物法测定。

1.2.4.3 氨基酸 氨基酸组分测定参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,使用氨基酸分析仪(茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪)测定 17 种氨基酸的含量。

1.3 数据处理

所有数据分析均采用 SPSS26.0 软件中 t 检验,采用 Origin 2021 软件作图。所有指标均平行测定 3 次,试验结果用平均值 $\pm$ 标准差表示, $P<0.05$ 表示差异显著(小写字母表示), $P<0.01$ 表示差异极显著(大写字母表示)。

2 结果与分析

2.1 黑山羊屠宰性能分析

由表 1 可知,黑山羊母羊宰前活重显著高于公羊($P<0.05$)。屠宰后,黑山羊母羊和公羊的屠宰率分别为 $37.34\%\pm 3.37\%$ 和 $52.23\%\pm 0.63\%$ 。黑山羊公羊的屠宰率极显著高于母羊($P<0.01$),是母羊的 1.40 倍。在其它屠宰性能方面,如胴体重、净肉重、骨重、皮重等方面未见显著差异($P>0.05$)。在畜牧养殖产业中,屠宰性能是评价羊产肉性能的重要指标之一。本研究中 3 岁半牧半饲昌都黑山羊公羊的屠宰率极显著($P<0.01$)高于母羊,表明在产肉得率方面黑山羊公羊更有优势,这与康生萍等^[22]发现青海黑藏羊公羊屠宰率显著高于母羊的结果一致。

表 1 性别对黑山羊屠宰性能的影响
Table 1 Effects of gender on slaughter performance of black goat

屠宰性能	公羊	母羊
宰前活重(kg)	23.86 $\pm$ 0.76 ^b	29.00 $\pm$ 2.65 ^a
胴体重(kg)	12.47 $\pm$ 0.42 ^a	10.80 $\pm$ 1.06 ^a
净肉重(kg)	7.40 $\pm$ 1.00 ^a	6.47 $\pm$ 1.81 ^a
骨重(kg)	5.07 $\pm$ 1.33 ^a	4.33 $\pm$ 1.21 ^a
皮重(kg)	2.00 $\pm$ 0.20 ^a	2.07 $\pm$ 0.31 ^a
屠宰率(%)	52.23 $\pm$ 0.63 ^A	37.34 $\pm$ 3.37 ^B
净肉率(%)	31.11 $\pm$ 5.17 ^a	22.05 $\pm$ 4.65 ^a
胴体产肉率(%)	59.53 $\pm$ 9.72 ^a	59.41 $\pm$ 13.51 ^a
肉骨比(%)	1.58 $\pm$ 0.67 ^a	1.63 $\pm$ 0.76 ^a

注:小写字母表示不同性别之间差异显著($P<0.05$);大写字母表示不同性别之间差异极显著($P<0.01$),表 2~表 7 同。

2.2 黑山羊胴体性状分析

胴体形状作为屠宰性能的另一重要指标,不同性别黑山羊胴体形状的测定结果如图 2 所示。黑山羊公羊胴体后腿长(38.33 ± 0.58 cm)极显著高于母羊(33.00 ± 1.00 cm)($P<0.01$),是母羊的 1.16 倍。而在胴体长、胴体深、胴体胸深、胴体后腿围、胴体后腿宽、大腿肉厚、腰部肉厚和眼肌面积等方面,不同性别的黑山羊之间无显著差异($P>0.05$)。通常,公羊的

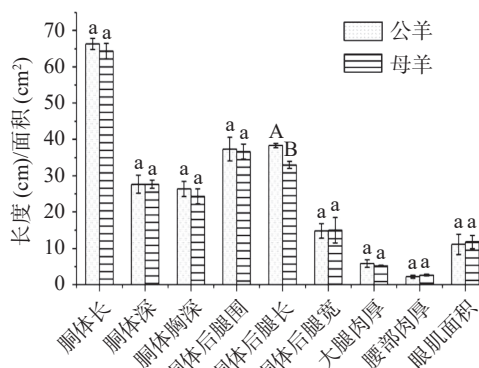


图 2 性别对黑山羊胴体性状的影响

Fig.2 Effect of gender on ketone body traits of black goat
注:小写字母表示不同性别之间差异显著($P<0.05$);大写字母表示不同性别之间差异极显著($P<0.01$),图 3~图 4 同。

体型通常比母羊大,四肢粗壮,这种体型差异在腿部表现尤为明显,这可能是导致公羊的后腿要比母羊长的主要原因^[3]。总体上,黑山羊公羊屠宰性能优于母羊,具有更好的产肉性能。

2.3 黑山羊食用品质分析

肉的 pH 是反映动物宰后肌糖原降解速率的重要指标,也是鉴定肉质是否新鲜的依据^[23]。pH 的异常会直接或间接地影响肉品持水性、保质期、口感等。本研究通过测定前腿、后腿和背最长肌的 pH 来探究性别差异对黑山羊肉 pH 的影响。由图 3 可知,黑山羊前腿、后腿和背最长肌的 pH 在性别之间均无显著($P>0.05$)差异。可见,性别差异对黑山羊肉的 pH 无显著影响,这与王卫林等^[6]对不同性别豫西脂尾羊肌肉 pH 的测定结果一致。

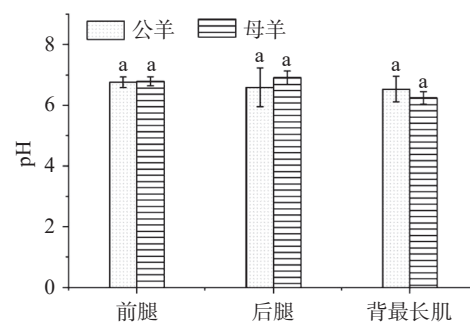


图 3 性别对黑山羊肉质 pH 的影响

Fig.3 Effect of gender on pH of black goat mutton

肉色可以直观反映肉制品的新鲜程度,也是影响消费者购买行为的重要指标^[24]。本研究通过色差计对不同性别黑山羊前腿、后腿和背最长肌的色泽进行测定。结果发现(表 2),黑山羊母羊后腿的 L^* 值(36.88 ± 1.20)、前腿的 a^* (16.94 ± 1.86)和 b^* (9.29 ± 0.46)值均显著高于公羊($P<0.05$),表明母羊的肉质更有光泽,红度更好。然而该结果与刘畅等^[3]在巴美肉羊上的研究结果显著不同,该研究发现巴美肉羊的公羊肉色泽明显优于母羊肉,而冀祥等^[14]发现性别对苏尼特羊肉的色泽无显著影响,这可能是羊品种不同所致。肉色主要由肌红蛋白含量和氧化状态决定,

表 2 性别对黑山羊肉质色泽的影响
Table 2 Effect of gender on color of black goat mutton

指标	性别	部位		
		前腿	后腿	背最长肌
L^*	公	36.91±4.05 ^a	30.34±1.57 ^B	34.59±3.75 ^a
	母	39.14±0.65 ^a	36.88±1.20 ^A	35.63±1.16 ^a
a^*	公	11.73±0.72 ^b	12.25±0.96 ^a	14.95±1.78 ^a
	母	16.94±1.86 ^a	10.31±0.77 ^a	11.92±1.50 ^a
b^*	公	5.12±0.84 ^B	5.41±0.86 ^a	5.57±0.48 ^a
	母	9.29±0.46 ^A	5.51±0.14 ^a	5.69±0.77 ^a

肌红蛋白与空气中氧发生反应而形成鲜红色的氧合肌红蛋白, 氧合肌红蛋白可继续被氧化为深褐色的高铁肌红蛋白^[25], 因此, 黑山母羊肉色泽更亮可能是肌红蛋白含量和氧化状态差异导致的。

此外, 蒸煮损失是指肉品在蒸煮过程中失去的水分和物质的损失, 与蛋白质变性导致肌肉结构收缩有关。蒸煮损失是衡量肉品保水能力的重要指标, 吸水力越好的肉品, 其保水性也越好。因此, 蒸煮损失越低, 肉质的保水性越好, 肉质更加鲜嫩, 口感更佳^[26]。本研究进一步通过蒸煮损失率和加压损失率测定了不同性别黑山羊肉的保水性能。从图 4 可知, 黑山羊公羊前腿(29.33%±1.53%)的蒸煮损失率极显著高于母羊($P<0.01$), 后腿(26.67%±2.08%)显著高于母羊($P<0.05$), 分别是母羊的 1.87 倍和 1.33 倍; 母羊背最长肌的加压损失率(12.67%±1.53%)显著低于公羊($P<0.05$), 仅占公羊的 77.58%。该结果表明黑山羊母羊肉比公羊肉的保水性能好, 肉质更为细腻、鲜嫩, 这与鲍梦环等^[12]对不同性别湖羊肉保水性能的研究结果一致。

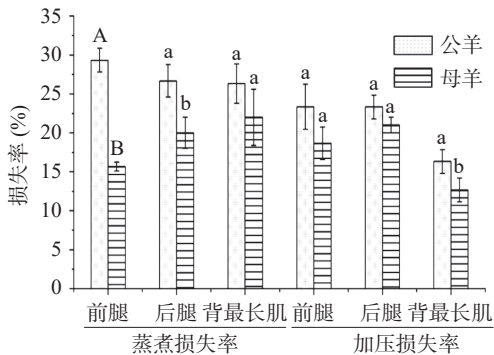


图 4 性别对黑山羊肉保水性能的影响
Fig.4 Effect of gender on water retention properties of black goat mutton

2.4 黑山羊质构特性与剪切力分析

肉的质构特性和剪切力是评价肉制品食用物理特性的重要指标, 直接关系到肉的嫩度, 肉质越嫩剪切力越小^[27]。由表 3 可知, 黑山羊母羊前腿和背最长肌的硬度、咀嚼性均极显著高于公羊($P<0.01$), 而公羊前腿的剪切力极显著高于母羊($P<0.01$)。弹性、内聚性和回复性在性别之间均无显著差异($P>0.05$)。研究发现, 剪切力超过 52.72 N 时, 肉质

较韧; 剪切力小于 42.72 N 时, 肉质较嫩^[28]。在本研究中, 黑山羊公羊和母羊后腿和背最长肌的剪切力均小于 42.72 N, 呈现出较嫩的肉质, 但黑山公羊前腿肉的剪切力(56.33±0.72 N)明显高于 52.72 N, 且远远高于黑山母羊前腿肉的剪切力(26.86±1.67 N), 表明黑山母羊的前腿肉质更嫩。此外, Chartrin 等^[29]的研究结果发现, 年龄相同的羊肌肉脂肪含量越高, 剪切力越低, 而本研究中黑山母羊前腿肉质的剪切力较低, 可能与其脂肪含量较高有关(表 4)。

表 3 性别对黑山羊质构特性与剪切力的影响
Table 3 Effects of gender on texture characteristics and shear force of black goat mutton

指标	性别	部位		
		前腿	后腿	背最长肌
硬度(N)	公	4.26±0.74 ^B	9.58±1.52 ^a	6.87±1.39 ^B
	母	9.92±1.32 ^A	9.18±1.55 ^a	18.24±1.59 ^A
弹性(mm)	公	0.49±0.06 ^a	0.55±0.12 ^a	0.56±0.11 ^a
	母	0.51±0.04 ^a	0.48±0.03 ^a	0.52±0.04 ^a
咀嚼性(mJ)	公	1.38±0.26 ^B	5.50±1.21 ^a	1.32±0.32 ^B
	母	5.27±1.17 ^A	4.20±0.47 ^a	3.78±0.34 ^A
胶着性	公	1.64±0.47 ^b	6.21±0.57 ^a	1.64±0.29 ^B
	母	4.45±1.16 ^a	4.75±0.47 ^b	6.71±0.97 ^A
内聚性	公	0.52±0.07 ^a	0.50±0.08 ^a	0.51±0.05 ^a
	母	0.54±0.03 ^a	0.53±0.06 ^a	0.44±0.06 ^a
回复性	公	0.12±0.02 ^a	0.15±0.01 ^a	0.15±0.04 ^a
	母	0.14±0.02 ^a	0.12±0.05 ^a	0.13±0.03 ^a
剪切力(N)	公	56.33±0.72 ^A	29.00±1.45 ^a	20.21±1.50 ^a
	母	26.86±1.67 ^B	26.84±1.99 ^a	17.65±1.54 ^a

2.5 黑山羊常规营养成分分析

肌肉中的水分、粗蛋白、脂肪和灰分等指标是评定其营养价值和肉品质的关键指标。通常, 水分含量相对越高, 则肉的口感越细腻^[30]; 而脂肪含量与肉的风味和多汁性呈正相关, 同时还可增加肉的嫩度^[31]; 灰分含量则反映肉中矿物元素含量的高低。如表 4 所示, 在本研究中, 黑山羊公羊和母羊前腿、后腿以及背最长肌中水分、灰分、蛋白质、脂肪、粗蛋白、肌肉脂肪和牛磺酸含量无显著差异($P>0.05$), 但含量不尽相同。其中, 母羊前腿脂肪和肌肉脂肪略高于公羊, 这可能是其前腿剪切力较低、肉质较嫩的主要原因。此外, 黑山羊公羊背最长肌的胆固醇含量(27.14±1.54 mg/100 g)极显著($P<0.01$)高于母羊(19.01±0.56 mg/100 g); 公羊后腿和背最长肌的肌苷酸含量极显著高于母羊($P<0.01$), 分别是母羊的 1.64 倍和 2.85 倍; 而母羊前腿的肌苷酸含量极显著高于公羊($P<0.01$), 是公羊的 2.6 倍。羊肉营养成分受品种、年龄、性别等影响, 冀祥等^[14]发现母羊胴体脂肪含量显著高于公羊, 而 Klupsaita 等^[32]研究发现, 公母羊间肌肉脂肪含量差异不显著。在本研究中, 不同性别黑山羊肉在胆固醇和肌苷酸上存在显著差异, 表明西藏黑山羊肉营养成分会因性别不同而产生明显变化。

表 4 性别对黑山羊常规营养成分的影响
Table 4 Effect of gender on conventional nutritional composition of black goat mutton

指标	性别	部位		
		前腿	后腿	背最长肌
水分(%)	公	70.99±0.96 ^a	69.25±4.61 ^a	67.84±1.99 ^a
	母	69.79±2.96 ^a	73.60±1.92 ^a	65.68±4.95 ^a
灰分(%)	公	1.99±0.09 ^a	2.01±0.13 ^a	1.94±0.06 ^a
	母	1.95±0.05 ^a	1.94±0.09 ^a	2.00±0.18 ^a
蛋白质(%)	公	20.24±0.24 ^a	18.92±0.64 ^a	17.97±0.53 ^a
	母	19.94±0.30 ^a	18.95±1.50 ^a	19.08±1.79 ^a
脂肪(%)	公	6.65±0.14 ^a	6.36±0.51 ^a	5.48±0.06 ^a
	母	7.43±0.50 ^a	6.07±0.78 ^a	5.94±0.85 ^a
粗蛋白(%)	公	19.22±1.40 ^a	19.83±0.51 ^a	19.28±0.33 ^a
	母	19.47±1.08 ^a	20.16±0.46 ^a	18.61±0.46 ^a
肌肉脂肪(%)	公	3.10±0.56 ^a	3.30±0.30 ^a	6.47±0.83 ^a
	母	4.43±0.64 ^a	3.60±0.66 ^a	6.80±0.46 ^a
胆固醇(mg/100 g)	公	20.02±1.98 ^a	23.43±3.57 ^a	27.14±1.54 ^A
	母	22.66±3.04 ^a	23.46±1.04 ^a	19.01±0.56 ^B
肌苷酸(mg/g)	公	0.25±0.05 ^B	1.23±0.09 ^A	0.97±0.01 ^A
	母	0.65±0.08 ^A	0.75±0.08 ^B	0.34±0.07 ^B
牛磺酸(%)	公	0.16±0.03 ^a	0.16±0.03 ^a	0.09±0.02 ^a
	母	0.16±0.02 ^a	0.13±0.02 ^a	0.14±0.03 ^a

2.6 黑山羊肌肉中矿物质含量分析

矿物元素是生物生长发育所必需的营养物质,不仅可以调节机体的新陈代谢,而且在各种生物大分子的组成过程中等起到调节作用^[33]。如表 5 所示,黑山羊公羊后腿、背最长肌的硒元素含量显著高于母羊($P<0.05$),分别是母羊的 2.5 和 2.67 倍,而母羊背最长肌的铁元素和锌元素含量显著($P<0.05$)高于公羊(分别是 1.37 和 1.46 倍),但钙元素、磷元素和镁元素含量在性别之间均无显著差异($P>0.05$),本实验中磷元素含量与现有研究差异较大,这些差异可能与西藏黑山羊特殊饲养环境以及激素调控共同作用的结果,有待进一步研究论证。研究发现,锌可促进

表 5 性别对黑山羊肉中矿物质含量的影响

Table 5 Effect of gender on mineral content in black goat mutton

矿物质	性别	部位		
		前腿	后腿	背最长肌
硒Se(mg/kg)	公	0.05±0 ^a	0.05±0.01 ^a	0.08±0.01 ^A
	母	0.05±0.01 ^a	0.02±0 ^b	0.03±0.01 ^B
钙Ca(mg/kg)	公	33.44±4.63 ^a	30.94±4.92 ^a	40.47±7.17 ^a
	母	33.13±2.38 ^a	29.50±2.97 ^a	36.28±2.83 ^a
磷P(mg/kg)	公	0.20±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a
	母	0.20±0.01 ^a	0.21±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a
镁Mg(mg/kg)	公	259.80±19.19 ^a	243.56±11.12 ^a	244.97±6.88 ^a
	母	244.74±5.32 ^a	259.52±13.00 ^a	240.54±11.17 ^a
铁Fe(mg/kg)	公	26.17±7.52 ^a	22.92±3.62 ^a	17.50±1.96 ^b
	母	22.40±1.05 ^a	24.71±1.60 ^a	23.99±1.65 ^a
锌Zn(mg/kg)	公	55.78±9.10 ^a	50.03±9.54 ^a	40.01±5.13 ^B
	母	62.02±5.25 ^a	43.81±6.66 ^a	58.55±4.10 ^A

智力发育^[34]、铁可预防缺铁性贫血^[35],而硒可提高体内抗氧化酶活性^[36],可见不同性别黑山羊肉的营养价值不尽相同。

2.7 黑山羊肌肉中维生素含量分析

维生素是重要的营养素之一,人体内不能合成,通常不能满足机体需要,必须由食物供给,以维持正常的生命活动^[37-38]。由表 6 可知,维生素 B₁、B₂ 和 B₃ 是黑山羊肉中主要的维生素成分,但因性别差异,黑山羊公羊和母羊的维生素组成存在显著差异,具体表现为:黑山羊母羊背最长肌中维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量极显著高于公羊($P<0.01$),分别是公羊的 1.73 倍和 1.81 倍;而公羊后腿的维生素 B₁ 含量显著($P<0.05$)高于母羊(1.30 倍)。此外,黑山羊母羊前腿、后腿和背最长肌,三个部位的维生素 B₃ 含量均极显著高于公羊($P<0.01$),分别是公羊的 2.04 倍、4.89 倍和 1.90 倍;但维生素 E 含量在性别之间均无显著差异($P>0.05$)。总体而言,黑山羊母羊总维生素含量极显著高于公羊($P<0.01$),尤其是维生素 B₁、B₂ 和 B₃,说明母羊在补充维生素方面具有更好的食用价值。

表 6 性别对黑山羊肌肉中维生素含量的影响

Table 6 Effect of gender on vitamin content in black goat mutton

维生素	性别	部位		
		前腿	后腿	背最长肌
维生素B ₁ (ng/g)	公	22.82±2.83 ^b	35.34±2.21 ^a	16.33±3.06 ^B
	母	31.88±2.59 ^a	27.25±3.60 ^b	28.28±0.78 ^A
维生素B ₂ (ng/g)	公	124.64±17.37 ^a	123.41±7.77 ^a	74.19±5.63 ^B
	母	132.87±8.59 ^a	109.22±10.61 ^a	134.09±8.02 ^A
维生素A(μg/g)	公	0.17±0 ^b	0.21±0.01 ^a	0.23±0.02 ^a
	母	0.21±0 ^a	0.21±0.02 ^a	0.27±0.02 ^a
维生素E(μg/g)	公	8.25±0.13 ^a	7.01±0.66 ^a	7.27±0.72 ^a
	母	7.77±0.53 ^a	6.92±0.73 ^a	7.55±0.37 ^a
维生素B ₃ (ng/g)	公	114.37±20.51 ^B	75.38±8.70 ^B	161.89±8.47 ^B
	母	233.17±31.59 ^A	368.35±20.17 ^A	306.86±24.57 ^A
维生素总量(ng/g)	公	270.25±31.84 ^B	241.35±1.04 ^B	259.91±11.47 ^B
	母	405.89±38.05 ^A	511.94±25.03 ^A	477.04±29.43 ^A

2.8 黑山羊氨基酸含量分析

氨基酸的种类和含量是决定肌肉蛋白质营养价值的重要因素,必需氨基酸组成越接近于人体必需氨基酸模式,就越能提高蛋白质的吸收^[39]。同时,甘氨酸、精氨酸、天冬氨酸、丙氨酸、谷氨酸和异亮氨酸是形成肉品香味的前体氨基酸,与肉品的风味直接相关^[40]。本试验检测出 8 种必需氨基酸和 9 种非必需氨基酸(表 7),其组成性别间无显著差异($P>0.05$),但含量不尽相同。其中,黑山羊母羊肉中总氨基酸含量略高于公羊,尤其是前腿中的必需氨基酸含量。必需氨基酸是指人体不能合成、必须由外界获取的氨基酸,黑山羊母羊前腿肉中必需氨基酸含量(7.57%±0.32%)高于公羊前腿(6.93%±0.66%),可见母羊肉具有更高的营养价值。此外,黑山羊肉中谷氨酸含量远

表 7 性别对黑山羊肉中氨基酸含量的影响(%)
Table 7 Effect of gender on amino acid content in black goat mutton (%)

氨基酸	性别	部位		
		前腿	后腿	背最长肌
必需氨基酸 EAA	公	0.91±0.08 ^a	0.93±0.07 ^a	0.98±0.07 ^a
		0.99±0.05 ^a	0.91±0.12 ^a	0.97±0.02 ^a
	母	1.04±0.10 ^a	1.07±0.08 ^a	1.14±0.07 ^a
		1.15±0.05 ^a	1.06±0.12 ^a	1.12±0 ^a
	公	0.45±0.04 ^a	0.45±0.02 ^a	0.50±0.07 ^a
		0.48±0.04 ^a	0.44±0.11 ^a	0.48±0.02 ^a
	母	0.91±0.10 ^a	0.94±0.08 ^a	1.00±0.07 ^a
		1.02±0.05 ^a	0.93±0.12 ^a	0.99±0.02 ^a
	公	1.61±0.16 ^a	1.65±0.14 ^a	1.72±0.11 ^a
		1.78±0.08 ^a	1.63±0.22 ^a	1.73±0.02 ^a
	母	0.82±0.08 ^a	0.84±0.07 ^a	0.87±0.06 ^a
		0.90±0.04 ^a	0.83±0.11 ^a	0.88±0.01 ^a
	公	1.80±0.21 ^a	1.86±0.19 ^a	1.93±0.10 ^a
		2.00±0.08 ^a	1.84±0.25 ^a	1.95±0.04 ^a
	母	0.30±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a	0.27±0.02 ^a
		0.25±0.03 ^a	0.27±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a
	公	1.81±0.17 ^a	1.86±0.16 ^a	1.94±0.13 ^a
		1.99±0.10 ^a	1.83±0.23 ^a	1.93±0.03 ^a
非必需氨基酸 NEAA	母	0.79±0.06 ^a	0.81±0.05 ^a	0.84±0.07 ^a
		0.86±0.04 ^a	0.79±0.10 ^a	0.83±0.02 ^a
	公	3.12±0.33 ^a	3.17±0.34 ^a	3.25±0.28 ^a
		3.48±0.16 ^a	3.10±0.42 ^a	3.31±0.16 ^a
	母	0.99±0.21 ^a	0.99±0.05 ^a	1.00±0.19 ^a
		0.99±0.07 ^a	1.06±0.13 ^a	0.99±0.11 ^a
	公	1.18±0.12 ^a	1.20±0.09 ^a	1.25±0.10 ^a
		1.28±0.06 ^a	1.22±0.13 ^a	1.25±0.02 ^a
	母	0.68±0.07 ^a	0.71±0.06 ^a	0.73±0.05 ^a
		0.76±0.03 ^a	0.68±0.10 ^a	0.74±0.02 ^a
	公	0.58±0.06 ^a	0.60±0.03 ^b	0.70±0.05 ^a
		0.63±0.03 ^a	0.63±0.06 ^a	0.63±0.03 ^a
	母	1.30±0.12 ^a	1.34±0.10 ^a	1.37±0.13 ^a
		1.42±0.07 ^a	1.32±0.16 ^a	1.39±0.01 ^a
	公	0.99±0.15 ^a	1.01±0.06 ^a	1.01±0.13 ^a
		1.06±0.06 ^a	1.04±0.11 ^a	1.04±0.05 ^a
	母	19.27±1.79 ^a	19.70±1.56 ^a	20.51±1.52 ^a
		21.01±0.97 ^a	19.56±2.34 ^a	20.47±0.17 ^a
总计	公	6.93±0.66 ^a	7.08±0.59 ^a	7.44±0.46 ^a
		7.57±0.32 ^a	6.99±0.90 ^a	7.40±0.08 ^a
	母	12.34±1.19 ^a	12.62±0.97 ^a	13.07±1.10 ^a
		13.44±0.65 ^a	12.57±1.45 ^a	13.07±0.12 ^a
	公	56.19±2.90 ^a	56.10±0.81 ^a	56.99±2.27 ^a
	母	55.53±1.35 ^a	56.60±0.55 ^a	56.30±1.48 ^a

注: *代表鲜味氨基酸。

远高于其他氨基酸,综合前腿、后腿和背最长肌中谷氨酸含量,黑山羊母羊肉中谷氨酸含量略高(公羊: 9.54%,母羊: 9.89%),尤其是在黑山羊母羊的前腿和背最长肌,表明黑山羊母羊肉中富含更多形成肉品香味的前体物质,也间接表明黑山羊母羊肉味道更加鲜美。质量较好的蛋白质组成中, EAA/NEAA 应在 60% 以上^[41],而本研究中,黑山羊母羊肉和公羊肉的 EAA/NEAA 的比例在 56% 左右,虽低于 60%,

但氨基酸比例整体较为平衡、结构合理,能够满足人体生长发育所需要的营养,是优质的蛋白质来源。

3 结论

本试验通过比较黑山羊屠宰性能与肉质特性发现,黑山羊公羊的屠宰率和胴体后腿长极显著高于母羊($P<0.01$),具有更好的产肉性能;而母羊的食用品质如嫩度和蒸煮损失率优于公羊。常规营养成分分析显示,公羊背最长肌的胆固醇含量极显著高于母羊

($P<0.01$), 而母羊前腿的肌苷酸含量极显著高于公羊($P<0.01$)。在矿物质、维生素及氨基酸含量上, 相对于公羊, 母羊含有更高的铁、锌元素, 以及维生素 B_1 、 B_2 和 B_3 , 且母羊前腿必需氨基酸和鲜味氨基酸含量高于公羊。总体上, 公羊的屠宰性能优于母羊, 但母羊的肉质细嫩, 食用品质和营养价值较公羊好。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 益西多吉, 唐建华, 宋天增. 西藏各地方类群山羊种质资源保护与利用[J]. 畜牧与饲料科学, 2016, 37(1): 50-53. [YIXI Duoji, TANG Jianhua, SONG Tianzeng. Conservation and utilization of goat germplasm resources in Tibet[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2016, 37(1): 50-53.]
- [2] 宋天增. 西藏边坝县藏东黑山羊育种工作存在的问题及对策[J]. 畜牧与饲料科学, 2018, 39(12): 109-112. [SONG T Z. Problems and countermeasures in breeding of Tibetan eastern black goats in Bian Ba County, Tibet[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2018, 39(12): 109-112.]
- [3] 刘畅, 罗玉龙, 李文博, 等. 性别对巴美肉羊品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 1-6, 11. [LIU Chang, LUO Yulong, LI Wenbo, et al. Effect of sex on quality characteristics of Barmer meat sheep[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 41(5): 1-6, 11.]
- [4] 李永鹏. 宰后成熟对藏羊肉肉用品质及挥发性化合物的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011. [LI Y P. Effects of post-slaughter ripening on meat quality and volatile compounds of Tibetan mutton[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2011.]
- [5] 任鑫亮, 高雅英. 呼伦贝尔羊的特性及饲养管理措施[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(3): 122-123. [REN Xinliang, GAO Yaying. Characteristics and feeding management measures of Hulunbuir sheep[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2012, 33(3): 122-123.]
- [6] 王卫林, 韩向敏, 权凯. '豫西脂尾羊'屠宰性能及肉质分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(2): 37-42. [WANG Weilin, HAN Xiangmin, QUAN Kai. Slaughter performance and meat quality analysis of 'West Henan fat-tailed sheep'[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, 53(2): 37-42.]
- [7] 严昌国, 王勇, 朴圣哲, 等. 延边黄牛牛肉品质特性的研究[J]. 黄牛杂志, 2004(3): 5-7. [YAN Changguo, WANG Yong, PIAO Shengzhe, et al. Study on beef quality characteristics of Yanbian yellow cattle[J]. *Chinese Journal of Yellow Cattle*, 2004(3): 5-7.]
- [8] 宋德荣, 周大荣, 彭华, 等. 贵州黑山羊肉营养成分分析[J]. 养殖与饲料, 2022, 21(3): 21-23. [SONG derong, ZHOU Darong, PENG Hua, et al. Analysis of nutritional components of Guizhou black mutton[J]. *Culture and Feed*, 2022, 21(3): 21-23.]
- [9] 刘章忠, 曹娟, 向程举, 等. 贵州黑山羊肉质营养特性与氨基酸模型研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(23): 70-72. [LIU Zhangzhong, CAO Juan, XIANG Chengju, et al. Guizhou native goat meat nutritional properties and amino acid model study[J]. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary*, Heilongjiang Province, 2013(23): 70-72.]
- [10] 字品文, 江炎庭, 相德才, 等. 云南黑山羊肉品质的研究[J]. 中国草食动物科学, 2017, 37(5): 21-25. [ZI Pinwen, JIANG Yanting, XIANG Decai, et al. Study on mutton quality of Yunnan black sheep[J]. *Chinese Herbivores Science*, 2017, 37(5): 21-25.]
- [11] 沙玉柱, 徐振飞, 刘秀, 等. 陇东黑山羊肉品质及脂肪酸特征研究[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(10): 67-70. [SHA Yuzhu, XU Zhenfei, LIU Xiu, et al. Study on quality and fatty acid characteristics of black mutton from Longdong[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55(10): 67-70.]
- [12] 鲍梦环, 徐杰, 王奕猛, 等. 性别对湖羊产肉量及肉质特性的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(2): 134-140. [BAO Menghuan, XU Jie, WANG Yimeng, et al. Effects of sex on meat yield and meat quality of Hu sheep[J]. *Journal of Yangzhou University (Agriculture and Life Sciences Edition)*, 2019, 45(2): 134-140.]
- [13] 靳燕妮, 马友记. 不同性别滩羊脂肪沉积和体脂率差异分析[J]. 中国草食动物科学, 2022, 42(5): 71-74. [JIN Yanying, MA Youji. Analysis on the difference of fat deposit and body fat percentage of different sex Tan sheep[J]. *Chinese Journal of Herbivores Science*, 2022, 42(5): 71-74.]
- [14] 冀祥, 高爱琴, 李卿, 等. 不同性别苏尼特羊屠宰性能与肉品质研究[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 47(10): 3224-3231. [JI Xiang, GAO Aiqin, LI Qing, et al. Study on slaughter performance and meat quality of different sex Sunit sheep[J]. *Chinese Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019, 47(10): 3224-3231.]
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. NY 467-2001 畜禽屠宰卫生检疫规范[S]. 北京: 科学出版社, 2001. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. NY 467-2001 Hygienic quarantine code for slaughtering livestock and poultry[S]. Beijing: Science Publishing House, 2001.]
- [16] 国家市场监督管理总局. GB/T 39918-2021 羊胴体及鲜肉分割[S]. 北京: 科学出版社, 2021. [State Administration of Market Supervision and Administration. GB/T 39918-2021 Sheep carcass and fresh meat segmentation[S]. Beijing: Science Publishing House, 2021.]
- [17] 赵有璋. 羊生产学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 74-75. [ZHAO Youzhang. Sheep production[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 74-75.]
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.237-2016 食品 pH 值的测定[S]. 北京: 科学出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.237-2016 National standard for food safety Determination of pH value of food[S]. Beijing: Science Publishing House, 2016.]
- [19] 赵改名, 王可, 祝超智, 等. 青海高原型牦牛不同部位肉的品质差异研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(13): 60-65. [ZHAO Gaiming, WANG Ke, ZHU Chaozhi, et al. Study on meat quality difference of different parts of Qinghai Plateau yak[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(13): 60-65.]
- [20] LI C B, CHEN Y J, XU X L, et al. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of Chinese Yellow crossbred bulls[J]. *Meat Science*, 2006, 72(1): 9-17.
- [21] 曾博文, 白婷, 唐丽, 等. 热加工工艺对调理里脊肉色泽和质构特性的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(12): 53-60. [ZAN Bowen, BAI Ting, TANG Li, et al. Effect of Hot processing Technology on color and texture characteristics of prepared tenderloin[J].

Chinese Condiments, 2022, 47(12): 53–60.]

[22] 康生萍, 胡林勇, 王循刚, 等. 不同性别放牧青海黑藏羊的肉品质特征分析[J]. 西北农业学报, 2021, 30(2): 183–191.

[KANG Shengping, HU Linyong, WANG Xungang, et al. Analysis of meat quality characteristics of Qinghai black Tibetan sheep grazed by different sex[J]. Acta Agriculturae Sinica of Northwest China, 2021, 30(2): 183–191.]

[23] 尹靖东. 动物肌肉生物学与肉品科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011. [YIN Jingdong. Animal muscle biology and meat science[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011.]

[24] MENDEZ-ZAMORA G, SINAGAWA-GARCÍA S R, LU-NA-MALDONADO A I, et al. Avocado peel by-product in cattle diets and supplementation with oregano oil and effects on production, carcass, and meat quality[J]. Open Agriculture, 2024, 9(1): 20220361.

[25] ORKUSZ A, HARAF G, OKRUSZEK A, et al. Lipid oxidation and color changes of goose meat stored under vacuum and modified atmosphere conditions[J]. Poultry Science, 2017, 96(3): 731–737.

[26] 肖雄. 僵直前和解僵后羔羊肉品质分析[D]. 锦州: 渤海大学, 2019. [XIAO X. Analysis of Lamb meat quality before rigidity and after rigidity[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.]

[27] DESTEFANIS G, BRUGIAPAGLIA A, BARGE M T, et al. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force[J]. Meat Science, 2008, 78(3): 153–156.

[28] 张利霞. 不同饲养方式对苏尼特羊 miRNAs 表达及肉品质的影响研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017. [ZHANG Lixia. Effects of different feeding methods on miRNAs expression and meat quality of Sunit sheep[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.]

[29] CHARTRIN P, MÉTEAU K, JUIN H, et al. Effects of intramuscular fat levels on sensory characteristics of duck breast meat[J]. Poultry Science, 2006, 85(5): 914–922.

[30] 杨文军, 牟春堂, 王鹏举, 等. 饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊生长性能, 屠宰性能, 肉品质及血清抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(6): 2755–2764. [YANG Wenjun, MOU Chuntang, WANG Pengju, et al. Effects of grape seed Proanthocyanidins in diet on growth performance, slaughter performance, meat quality and serum antioxidant indexes of lambs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(6): 2755–2764.]

[31] WANG D, DONG H, ZHANG M, et al. Changes in acto-

myosin dissociation and endogenous enzyme activities during heating and their relationship with duck meat tenderness[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 675–679.

[32] KLUPSAITE D, BUCKIUNIENE V, BLIZNIKAS S, et al. Impact of romanov breed lamb gender on carcass traits and meat quality parameters including biogenic amines and malondialdehyde changes during storage[J]. Food Science & Nutrition, 2022, 10(6): 1745–1755.

[33] RUDIANSYAH M, LAFTA H, ARAVINDHAN S. The role of selenium on the status of mineral elements and some blood parameters of blood serum of lambs[J]. Archives of Razi Institute, 2023, 78(1): 135.

[34] WANG P P, HUANG Q, CHEN C, et al. The chemical structure and biological activities of a novel polysaccharide obtained from *Fructus mori* and its zinc derivative[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 54: 64–73.

[35] ZHANG J, CHEN C, FU X. *Fructus mori* L. polysaccharide-iron chelates formed by self-embedding with iron (iii) as the core exhibit good antioxidant activity[J]. Food & Function, 2019, 10(6): 3150–3160.

[36] DOU Zuman, ZHANG Yulong, TANG Chunyang, et al. Construction of blackberry polysaccharide nano-selenium particles: Structure features and regulation effects of glucose/lipid metabolism in HepG2 cells[J]. Food Research International, 2024, 187: 114428.

[37] PARK C Y, SHIN S, HAN S N. Multifaceted roles of vitamin D for diabetes: From immunomodulatory functions to metabolic regulations[J]. Nutrients, 2024, 16(18): 3185.

[38] TATTOLI I, MATHEW A R, VERRIENTI A, et al. The interplay between liver and adipose tissue in the onset of liver diseases: Exploring the role of vitamin deficiency[J]. Cells, 2024, 13(19): 1631.

[39] D'ARMINIO N, GIORDANO D, SCAFURI B, et al. In silico analysis of the effects of omicron spike amino acid changes on the interactions with human proteins[J]. Molecules, 2022, 27(15): 4827.

[40] 李维红, 吴建平, 王欣荣. 靖远滩羊体脂脂肪酸与肉品质关系的研究[J]. 中国草食动物, 2005, 25(1): 54–55. [LI Weihong, WU Jianping, WANG Xinrong. Study on the relationship between fatty acids of body fat and meat quality of Jingyuantan sheep[J]. Chinese Herbivores, 2005, 25(1): 54–55.]

[41] 张永辉. 大通牦牛肉质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009. [ZHANG Yonghui. Study on meat quality characteristics of Datong Yak[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009.]