

张志超, 王小琪, 包琦, 等. 澳洲白羊与小尾寒羊杂交 F1 代背最长肌肉品质与皮下脂肪组织膻味物质分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 272–277. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100127

ZHANG Zhichao, WANG Xiaoqi, BAO Qi, et al. Analysis of the Longissimus Dorsi Meat Quality and the Content of Mutton Flavor Substances of F1 Hybrid Sheep between Australian White Sheep and Native Small-Tail Han Sheep[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 272–277. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100127

· 分析检测 ·

澳洲白羊与小尾寒羊杂交 F1 代背最长肌肉品质与皮下脂肪组织膻味物质分析

张志超^{1,2,3}, 王小琪², 包琦², 李慧⁴, 魏立兵⁴, 赵凯^{1,*}, 段子渊^{2,*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁 810008;
2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所公共技术中心, 北京 100101;
3. 中国科学院大学, 北京 100049;
4. 内蒙古自治区国营巴彦农场种羊园, 内蒙古呼伦贝尔 021000)

摘要:选取 8 月龄澳洲白羊与小尾寒羊的杂交一代母羊 (澳寒羊, n=10) 并与其同月龄母本小尾寒羊为对照 (n=7), 测定其屠宰性状、肉质指标、脂肪酸组成和膻味物质含量, 探究澳洲白羊与小尾寒羊杂交后其后代的肉品质和膻味物质的变化。结果表明: 在肉品质方面, 澳寒羊的 a^* 值显著高于小尾寒羊, 肌内脂肪含量和 pH₀ 值显著 ($P<0.05$) 低于小尾寒羊。固相微萃取-气相色谱-质谱 (SPME-GC-MS) 联用的测定分析显示, 皮下脂肪的脂肪酸组成中, 澳寒羊肉豆蔻酸 (C_{14:0}) 含量显著 ($P<0.05$) 高于小尾寒羊, 亚油酸 (C_{18:2}) 含量显著 ($P<0.01$) 低于小尾寒羊, 但总饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量二者之间无显著差异 ($P>0.05$) ; 膳味物质含量的测定表明, 澳寒羊脂肪中的 4-乙基辛酸 (EOA) 含量显著 ($P<0.01$) 低于小尾寒羊, 而 4-甲基辛酸 (MOA)、4-甲基壬酸 (MNA)、4-甲基苯酚 (MP) 和 3-甲基吲哚 (MI) 的含量二者之间差异不显著 ($P>0.05$) 。但与小尾寒羊相比, 澳寒羊的宰前活重、胴体重、屠宰率都得以极显著提高 ($P<0.01$) 。显然, 以澳洲白羊为父本杂交小尾寒羊, 其后代的肉品质和膻味物质与小尾寒羊相比未发生实质性变化, EOA 含量和剪切力等少数指标尚有改善; 同时, 产肉性能得到了极显著的提高, 可以作为小尾寒羊杂交改良和商品肉羊的生产方式, 可为养殖户带来良好的经济效益。

关键词:澳洲白羊, 小尾寒羊, 肉品质, 风味, 杂交

中图分类号: TS251.7 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2021)14-0272-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100127

Analysis of the Longissimus Dorsi Meat Quality and the Content of Mutton Flavor Substances of F1 Hybrid Sheep between Australian White Sheep and Native Small-Tail Han Sheep

ZHANG Zhichao^{1,2,3}, WANG Xiaoqi², BAO Qi², LI Hui⁴, WEI Libing⁴, ZHAO Kai^{1,*}, DUAN Ziyuan^{2,*}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;
2. The Public Technology Centre, Institute of Genetics and Developmental Biology,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;
4. The Breeding Sheep Farm of State Owned Bayan Farm, Hulunbuir, Inner Mongolia
Autonomous Region, Hulunbuir 021000, China)

收稿日期: 2020-10-20

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (A 类) (XDA26040305)。

作者简介: 张志超 (1990-), 男, 博士研究生, 研究方向: 动物遗传育种与肉质研究, E-mail: zcchang@genetics.ac.cn。

* 通信作者: 赵凯 (1968-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 高原生物适应进化与分子育种, E-mail: zhaokai@nwipb.cas.cn。

段子渊 (1964-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 免疫遗传学, E-mail: zyduan@genetics.ac.cn。

Abstract: 8-month of hybrids ewes generated between Australian white sheep white sheep × native Small-tail Han sheep were selected (Ao-Han sheep, n=10) and synchronous Small-tail Han sheep ewes (n=7) as control to detect meat quality indicators, fatty acid composition and the content of flavor compounds, as well as their slaughter traits, so as to detect the changes of meat performance and flavor for the offspring. The results showed that the a^* value of Ao-Han sheep was significantly higher than that of Small-tail Han sheep, and the indexes of intramuscular fat content and pH₀ were significantly lower ($P<0.05$) than that of Small-tail Han sheep in terms of meat quality. Using the method of solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), the measured fatty acid composition indicated that the Myristic acid (C_{14:0}) content of Ao-Han sheep was significantly higher than that of Small-tail Han sheep, the content of linoleic acid (C_{18:2}) was significantly ($P<0.05$) lower, but the total saturated fatty acids (SFA) and unsaturated fatty acid had no significant difference between them ($P>0.05$). As for flavor compounds in subcutaneous fat, the content of 4-ethyl octylic acid (EOA) was significantly lower in Ao-Han sheep, while the content of 4-methyl octylic acid (MOA), 4-methyl nonanoic acid (MNA), 4-methylphenol (MP) and 3-methylindoles (MI) did not show significantly difference ($P>0.05$) between two groups of lambs. However, the pre-slaughter live weight, carcass weight and dressing percentage of Ao-Han were significantly increased ($P<0.01$) compared with Small-tail Han sheep. In general, the meat quality and flavor of the F1 generation from Australian white sheep × Small-tail Han sheep were not substantially changed but even improved in a few indicators compared with their female crossing parent. Meantime, its meat production performance had improved greatly which would bring favorable economic benefits to sheep farming as a way to improve native sheep breed character and commercial performance in mutton production.

Key words: Australian white sheep; Small-tail Han sheep; meat quality; flavor; hybrid

小尾寒羊是我国著名的本土品种, 具有体格大、性成熟早、四季发情、多胎高产、适宜圈养、适应性强等诸多优良品质^[1], 但也存在饲料转化率低、产肉性能不高、育肥生长慢、周期长和经济效益低等缺点。随着人们膳食结构发生重大改变, 市场对羊肉产量和品质的需求不断提高, 本土品种较低的生产性能已无法满足消费者对肉羊供给的需求, 实施本土品种的高产化改良及建立合理的杂交商品生产体系无疑是适应市场需求的重点研发方向。

纵观近年育成的高产肉用绵羊新品种, 澳洲白羊是澳大利亚综合利用现代基因检测和繁育技术培育而成的第一个中、大型肉羊品种。该品种集成了白色杜泊绵羊、无角陶赛特、特克赛尔和万瑞绵羊等品种的优良基因, 表现出体型大、生长快、成熟早、全年发情的特点, 是非常优秀的终端父本品种^[2-3]。自 2011 年我国批准从澳大利亚引进澳洲白羊以来, 相关地方利用其改良小尾寒羊取得了显著进展。张永东等^[3]研究表明澳×寒 F1 代的体尺、体重、日增重等极显著($P<0.01$)优于小尾寒羊, 在一个生产周期内澳×寒组合的收益是小尾寒羊的近 4 倍。汤继顺等^[4]研究表明用澳洲白绵羊杂交小尾寒羊后依然可以保持小尾寒羊较高的产羔率性能, F1 代生长性能和屠宰性能明显提高。同时, 澳洲白羊与我国其他绵羊品种的杂交研究也取得了较好的效果, 如湖羊^[5]、藏羊^[6]等。

目前消费者对于羊肉的需求正在由“量”向“质”发生转变, 消费者更加关注肉品品质, 健康性状和膻味物质。肉品品质一般指食用性状, 通常以肉色、系水力、熟肉率、嫩度、pH 和肌内脂肪含量等指标来衡量^[7]。健康性状是指羊肉所含脂肪的脂肪酸组成情况, 不同的脂肪酸对人类身体健康具有较大的影响, 比如摄入过多的饱和脂肪酸会增加罹患心血管疾

病的风险^[8], 而不饱和脂肪酸尤其是长链不饱和脂肪酸对人体则具有积极作用^[9-10]。羊肉的膻味物质一般特指羊肉的膻味, 产生这种膻味的物质主要是 C₈-C₁₀ 的支链脂肪酸以及 4-甲基苯酚和 3-甲基吲哚等物质^[11-12]。尽管以澳洲白羊为父本对本土品种进行改良取得了较好的效果, 但杂交对 F1 代的肉品品质, 健康性状和膻味物质影响的测定还鲜见报道, 本研究以澳洲白羊为父本小尾寒羊为母本杂交产生的 F1 代个体为研究对象, 检测了肉品品质指标、脂肪酸组成和膻味物质含量, 并与纯种小尾寒羊进行了对比分析, 旨在为澳洲白羊改良本土绵羊和建立商品肉羊杂交体系提供肉质风味的基础数据, 也为澳洲白羊改良本土绵羊后的肉质风味变化研究奠定一定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

从内蒙古自治区国营巴彦农场种羊园内随机选择澳洲白羊与小尾寒羊杂交后的 F1 代 8 月龄母羔羊(澳寒羊)10 只, 同期出生的小尾寒羊母羔羊 7 只; 同批所有羔羊均在相同的舍饲条件下饲养, 饲喂同一种饲料, 自由饮水, 饲料为青贮玉米、燕麦青干草和育肥精料组成的全混合日粮(Total mixed ration, TMR); 无水乙醇 上海麦克林生化科技有限公司分析纯; 实验用海砂 国药集团化学试剂北京有限公司; 正己烷、乙酰氯、甲醇、石油醚 国药集团化学试剂北京有限公司 色谱纯; 4-甲基辛酸(4-methyl octylic acid, MOA)、4-乙基辛酸(4-ethyl octylic acid, EOA)、4-甲基壬酸(4-methyl nonyl acid, MNA)、4-甲基苯酚(4-methyl phenol, MP)和 3-甲基吲哚(3-methyl indole, MI)标准品 均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

柯尼卡色度计(型号 CR400) 日本柯尼卡美能达传感器科技有限公司; Testo 205 pH 计 由德图仪

表(深圳)有限公司生产;C-LM3B 数字显示嫩度仪
东北农业大学工程学院;RH100 电脑压肉仪 由广州润湖仪器有限公司生产; BYSXT-06 索氏提取器 由上海秉越电子仪器有限公司生产;7890A-7000B 气相色谱-质谱联用 GC-MS 仪、5982-9120SPME 萃取针 美国加利福尼亚州安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品采集 试验羊只均为 8 月龄母羊, 屠宰前 24 h 禁食禁水, 采用颈动脉放血的方式屠宰, 屠宰后胴体沿脊柱左右劈半, 尽量完整采集右侧胴体背最长肌, 装入塑封袋 4 ℃ 保存, 用于肉品质指标检测。于胴体背部 12~13 肋骨处采集皮下脂肪约 50 g, -20 ℃ 保存, 用于膻味物质含量检测。

1.2.2 屠宰性状测定 屠宰前对试验羊只进行称重, 记为宰前活重(live weight, LW); 将试验羊只血液放净, 去皮, 去除头、四蹄、内脏, 留肾脏及周围脂肪称重, 记为胴体重。胴体重与宰前活重的比值为屠宰率。

1.2.3 肉品质指标测定

1.2.3.1 pH 于宰后 45 min 测定背最长肌初始 pH, 记为 pH₀; 4 ℃ 静置排酸 24 h 后在背最长肌相同位置测定终极 pH, 记为 pH₂₄。

1.2.3.2 肉色 按照色度计操作规程检测每个样品的亮度(*L*^{*})、红度(*a*^{*})和黄度值(*b*^{*}), 每样品检测 5 次, 取平均值。

1.2.3.3 嫩度和熟肉率 取一块约 50 g 背最长肌肉样称量记 m₁, 装入塑封袋, 刺入式温度计插至肉样中心, 放入 80 ℃ 水浴, 肉样中心温度达到 70 ℃ 时取出, 冷却至室温, 再次称量其质量记 m₂。

$$\text{熟肉率}(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

将肉样沿肌纤维方向切成 2 cm × 2 cm × 1 cm 小块, 按嫩度仪的操作规程检测, 每样检测 6 次, 取平均值。

1.2.3.4 含水量和肌内脂肪含量 精确称量 5~8 g 肉样, 切碎混合放入铝容器中, 记为 m₃, 与海砂和无水乙醇(分析纯)混合, 置于 105 ℃ 干燥箱中烘干 4 h, 冷却样品至室温, 称重记为 m₄。

$$\text{含水量}(\%) = \frac{(m_3 - m_4)}{m_3} \times 100$$

干燥后样品移至索氏提取设备, 60 ℃ 石油醚提取 6 h, 溶剂蒸发后将装有脂肪的烧瓶在 100 ℃ 干燥器中继续干燥 1 h 后冷却至室温, 称重记为 m₅, 烧瓶质量为 m₆。

$$\text{肌内脂肪含量}(\%) = \frac{(m_5 - m_6)}{m_3} \times 100$$

1.2.3.5 系水力和压榨损失率 切肉样为 1 cm 厚片, 用直径 2.523 cm 的圆形取样器取面积为 5 cm² 样品, 称重, 记为 m₇。将圆形肉样置于两组吸水滤纸之间, 每组 18 层, 放电脑压肉仪平台, 施 350 N 力 5 min, 再次称量计为 m₈。

$$\text{系水力}(\%) = [\text{总含水量} - (m_7 - m_8)]/m_7 \times 100$$

$$\text{压榨损失}(\%) = (m_7 - m_8)/m_7 \times 100$$

1.2.4 皮下脂肪中膻味物质含量检测

1.2.4.1 脂肪酸组成和支链脂肪酸含量检测 采用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术(SPME-GC-MS)测定皮下脂肪中 4-甲基辛酸(MOA)、4-乙基辛酸(EOA)和 4-甲基壬酸(MNA)3 种支链脂肪酸含量。将皮下脂肪解冻, 剪细碎, 称取 0.05~0.1 g 皮下脂肪装入 20 mL 顶空瓶, 加入 2 mL 正己烷, 4 mL 乙酰氯-甲醇溶液(1:10, v/v), 旋紧瓶塞。80 ℃ 水浴 2 h, 每 20 min 平摇混匀一次。然后冷却至室温, 加入 5 mL 7% 的碳酸钠溶液(m/v)摇匀, 冷却去除不溶解的物质, 3000×g 离心 5 min, 吸取有机相, 剩余水相再用 2 mL 正己烷萃取一次, 合并两次有机相并添加正己烷使体积达到 5 mL, 最后用 0.22 μmol/L 的有机相滤纸过滤, -20 ℃ 储存。

色谱条件: 色谱柱: DB-5MS 石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 载气为高纯氦气(He); 流速 1.5 mL/min, 不分流模式; 程序升温为 60 ℃ 保持 2 min, 以 5 ℃/min 升至 260 ℃, 再以 5 ℃/min 升至 300 ℃ 并保持 5 min;

质谱条件: EI 离子源能量为 70 eV; 温度 230 ℃; FID 检测器加热器设置为 300 ℃; Aux 的加热器设置为 280 ℃; 进样口 250 ℃; 全幅扫描模式(full scan)扫描范围 30~400 m/z(质子数/电荷数); 不设置溶剂延迟。数据采集通过 Agilent masshunter workstation 软件完成。混合标准品溶液分析条件: 进样量 1 μL; 分流比 1:5; 溶剂延迟 7 min; 其余条件同上。

1.2.4.2 皮下脂肪中 MP 和 MI 的检测 称取 0.05~0.1 g 皮下脂肪装入 20 mL 顶空瓶, 旋紧瓶盖, 插入顶空固相微萃取针头, 60~90 ℃ 加热 15~50 min 后, 直接使用萃取针进样, 使用气相色谱质谱联用仪进行分析。

色谱条件: 色谱柱为 DB-WAX(30 m × 0.25 μm × 0.25 μm), 载气为高纯氦气(He); 流速为 1.5 mL/min, 不分流模式; 程序升温: 50 ℃ 保持 1 min, 以 10 ℃/min 升至 110 ℃, 再以 5 ℃/min 升至 230 ℃ 并保持 5 min。

质谱条件: EI 离子源能量为 70 eV; 温度 230 ℃; FID 检测器加热器设置为 300 ℃; Aux 的加热器设置为 280 ℃; 进样口为 250 ℃; 全幅扫描模式(full scan)扫描范围 30~400 m/z(质子数/电荷数); 不设置溶剂延迟。数据采集通过 Agilent masshunter workstation 软件完成。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据整理和统计分析, 以 P<0.05 和 P<0.01 为显著性检验标准, 数据以平均值±标准差(Mean±SD)形式表示; 使用 SAS 9.4 软件进行数据的标准化处理, 使用 Past 4.01 软件进行主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 澳寒羊和小尾寒羊屠宰性状的对比分析

屠宰性状是衡量产肉性能的重要指标。从表 1

可知, 澳寒羊宰前活重, 胴体重和屠宰率均极显著($P<0.01$)高于小尾寒羊, 分别高于小尾寒羊 28.6%, 42.6% 和 10.8%, 可见澳寒羊具有更好的产肉性能。牛春波^[13]利用澳洲白羊种公羊改良小尾寒羊, 结果显示相同月龄 F1 代杂交羊比纯种小尾寒羊活体提高 32% 以上。王玺年等^[5]利用澳洲白羊种公羊改良湖羊, 结果表明 F1 代杂交羔羊比纯种湖羊的活体重, 胴体重和屠宰率都有显著提高。韩战强等^[14]对比分析了澳湖杂交和杜湖杂交一代羊育肥的效果, 结果表明, 两种杂交组合的 F1 代羔羊在日增重, 料重比, 经济效益等指标上都显著优于纯种湖羊, 且相比于杜泊羊, 澳洲白羊杂交的经济效益更好一些。以上结果与本研究结果基本一致。

表 1 澳寒羊和小尾寒羊屠宰性状差异

Table 1 Difference of slaughter traits between Ao-Han sheep and Small-tail Han sheep

指标	澳寒羊(n=10)	小尾寒羊(n=7)
宰前活重(kg)	49.04±4.75 ^A	38.11±8.12 ^B
胴体重(kg)	25.19±2.30 ^A	17.67±4.89 ^B
屠宰率(%)	51.40±1.29 ^A	46.08±5.15 ^B

注: 同行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, $P<0.01$; 表 2~表 4 同。

2.2 澳寒羊和小尾寒羊肉质指标的对比分析

pH 是反映肉品质优劣的重要指标之一, 与肉的嫩度、系水力、肉色等性状都有直接或间接的关系。pH 的下降是由于肌肉内糖原进行无氧糖酵解导致乳酸积累引起, 刚屠宰时羊肉的 pH 在 6.0~7.0 之间, 到肌肉僵直时约为 5.4~5.6^[15]。由表 2 数据表明, 澳寒羊和小尾寒羊的 pH_0 和 $\text{pH}_{24}(>5.6)$ 的值均在正常范围, 但澳寒羊 pH_0 显著低于小尾寒羊。肉色是消费者最先感知的肉品品质性状, 也是最直观的肉质指标^[16]。 L^* 代表亮度值, a^* 代表红度值, b^* 代表黄度值。有研究表明, 相比于亮度和黄度, 红度与消费者的可接受度相关性更强^[17]。澳寒羊的红度值显著($P<0.05$)高于小尾寒羊(表 2), 说明澳寒羊背最长肌的肉色更加红润, 更容易被消费者接受。

表 2 澳寒羊和小尾寒羊背最长肌肉质指标对比

Table 2 Comparison of meat quality indicators of longissimus dorsi between Ao-Han sheep and Small-tail Han sheep

指标	澳寒羊(n=10)	小尾寒羊(n=7)
pH_0	6.23±0.17 ^b	6.47±0.15 ^a
pH_{24}	5.65±0.09 ^a	5.77±0.30 ^a
L^*	39.84±0.86 ^a	39.95±0.94 ^a
a^*	24.87±0.55 ^a	23.01±1.97 ^b
b^*	6.39±0.39 ^A	5.82±0.29 ^B
剪切力(N)	48.37±9.37 ^a	55.3±5.44 ^a
熟肉率(%)	84.42±2.07 ^a	86.42±3.34 ^a
含水量(%)	74.41±0.57 ^a	74.27±1.38 ^a
肌内脂肪含量(%)	3.31±0.55 ^b	4.23±1.13 ^a
系水力(%)	54.05±4.17 ^a	57.41±5.04 ^a
压榨损失率(%)	34.18±3.14 ^a	31.61±3.59 ^a

系水力和熟肉率分别代表在机械压力和烹饪过程中羊肉的保水能力和保水能力, 表 2 数据显示, 无论是含水量还是保水能力, 二者之间均无显著差异($P>0.05$)。剪切力是羊肉嫩度的重要评价指标, 剪切力越大嫩度越差, 反之嫩度越高, 澳寒羊的剪切力低于小尾寒羊, 但未达到显著水平($P>0.05$)。肌内脂肪含量是影响羊肉品质的重要因素, 对羊肉的多汁性和风味有较大影响^[18], 一般来说 4%~5% 的肌内脂肪含量才能满足消费者对羊肉适口性的要求^[19]。由表 2 可知, 澳寒羊的肌内脂肪含量显著低于小尾寒羊($P<0.05$), 小尾寒羊的肌内脂肪含量为 4.23%, 满足消费者对羊肉适口性的要求; 澳寒羊肌内脂肪含量则不能达到 4% 的要求。

2.3 澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪的脂肪酸组成对比

澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪中含量较高的饱和脂肪酸(SFA)为软脂酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)和肉豆蔻酸($C_{14:0}$), 由表 3 可知, 软脂酸和硬脂酸含量二者之间差异不显著($P>0.05$), 但澳寒羊的肉豆蔻酸含量显著高于小尾寒羊($P<0.05$)。澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪中含量较高的不饱和脂肪酸(USFA)为油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)和棕榈油酸($C_{16:1}$), 油酸和棕榈油酸含量二者之间差异不显著($P>0.05$), 但澳寒羊亚油酸含量极显著低于小尾寒羊($P<0.01$)。有研究表明, 饮食中高比例的饱和脂肪酸可能会提高患心脑血管疾病和 II 型糖尿病的风险, 尤其是 $C_{14:0}$ 和 $C_{16:0}$ ^[20~21]; 但不饱和脂肪酸对于人体健康具有积极作用^[22], 其中亚油酸尤其是共轭亚油酸在抵抗心脑血管疾病、免疫调节和抗癌方面具有积极作用^[10,23]。从总的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量来看, 二者无显著差异($P>0.05$)。

表 3 澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪中脂肪酸组成差异对比

Table 3 Comparison of fatty acid profile in subcutaneous fat between Ao-Han sheep and Small-tail Han sheep

指标	澳寒羊(n=10)	小尾寒羊(n=7)
硬脂酸($C_{18:0}$, %)	21.00±3.43 ^a	21.73±1.65 ^a
软脂酸($C_{16:0}$, %)	22.76±2.59 ^a	22.69±0.85 ^a
肉豆蔻酸($C_{14:0}$, %)	5.74±2.61 ^a	3.30±0.48 ^b
油酸($C_{18:1}$, %)	39.34±3.47 ^a	40.02±1.19 ^a
亚油酸($C_{18:2}$, %)	4.00±0.50 ^b	4.77±0.53 ^a
棕榈油酸($C_{16:1}$, %)	1.42±0.34 ^a	1.49±0.21 ^a
饱和脂肪酸(%)	54.18±3.88 ^a	53.04±1.13 ^a
不饱和脂肪酸(%)	44.96±3.43 ^a	46.40±1.05 ^a

综上, 澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪的脂肪酸组成较为相似, 但是澳寒羊饱和脂肪酸肉豆蔻酸含量高于小尾寒羊, 不饱和脂肪酸亚油酸低于小尾寒羊, 在脂肪酸组成的健康性上澳寒羊略差于小尾寒羊。

2.4 澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪中膻味物质含量比较

羊肉因其低脂肪, 高蛋白, 绿色健康等优点日益受到中国消费者的青睐, 但是相对而言羊肉的消费量在所有的肉类消费中还处于较低水平, 落后于猪肉、

禽肉和牛肉^[24],除产量是限制因素外,主要原因是许多羊肉中有一种令人不悦的气味,俗称膻味。引起膻味的物质主要是 MOA、EOA、MNA、MP 和 MI^[11,12,25]。从表 4 可知,澳寒羊和小尾寒羊的 MOA、MNA、MP 和 MI 的含量均无显著差异($P>0.05$),只有 EOA 的含量澳寒羊极显著低于小尾寒羊($P<0.01$)。有研究表明,MOA 和 EOA 对羊肉膻味具有更大的影响^[11],小尾寒羊皮下脂肪中 EOA 的含量接近澳寒羊的 2.2 倍,而其他膻味物质含量并没有显著差异,说明小尾寒羊的膻味要高于澳寒羊。Kaffarnik 等^[26]的研究显示,Merinoland 绵羊皮下脂肪中 MOA、EOA 和 MNA 的含量分别是 86、24 和 $18\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,Merinoland×IlledeFrance 的杂交一代 MOA、EOA 和 MNA 的含量分别是 49、26 和 $5.6\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Schiller 等^[27]研究以德国本土绵羊 Merinolandschaf 为母本,用夏洛莱羊、德国黑头羊、萨福克羊等 5 种羊进行杂交,并检测了包括母本在内的 6 种绵羊的 MOA、EOA 和 MNA 的含量,发现不同的杂交组合对膻味物质的含量影响不大,而且 6 种羊的 MOA 含量为 $56.9\sim103\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,EOA 的含量为 $13.3\sim19.7\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,MNA 的含量为 $15.6\sim46.6\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。以上研究都表明杂交对原来品种膻味物质含量的影响都不大,与本研究结果基本一致,而且 MOA、EOA 和 MNA 含量的数量级与本研究基本一致。

表 4 澳寒羊和小尾寒羊皮下脂肪中膻味物质含量的差异
Table 4 Difference of mutton flavor compounds content in subcutaneous fat between Ao-Han sheep and Small-tail Han sheep

指标	澳寒羊(n=10)	小尾寒羊(n=7)
4-甲基辛酸(MOA)($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$27.21\pm21.92^{\text{a}}$	$35.65\pm11.87^{\text{a}}$
4-乙基辛酸(EOA)($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$14.38\pm3.57^{\text{B}}$	$31.27\pm11.74^{\text{A}}$
4-甲基壬酸(MNA)($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$54.77\pm40.02^{\text{a}}$	$7.95\pm0.71^{\text{a}}$
4-甲基苯酚(MP) [#]	$242.92\pm197.7^{\text{a}}$	$162.8\pm130.19^{\text{a}}$
3-甲基吲哚(MI) [#]	$204.89\pm132.73^{\text{a}}$	$169.52\pm69.86^{\text{a}}$

注:#表示相对含量,以离子流色谱图峰高与样品质量的比值表示。

2.5 澳寒羊和小尾寒羊屠宰性能和食用品质主成分分析结果

为了进一步了解本研究所涉及的各项指标之间的相关性以及澳寒羊和小尾寒羊总体的屠宰性能和食用品质,将两个品种羊的屠宰性状、肉质基础指标,主要脂肪酸组成以及膻味物质含量进行综合的主成分分析,结果如图 1 所示,本研究所应用的指标可以较好地将两个品种的羊区分开来。其中,第一和第二主成分解释了 42.0% 的总体变异,其中第一主成分可解释 23.3% 的总体变异,第二主成分可以解释 18.7% 的总体变异。在各项指标中压榨损失率、胴体重、屠宰率对第一主成分具有较大的正向作用,而系水力、熟肉率、EOA 含量对第一主成分具有较大的负向作用。软脂酸、棕榈油酸和饱和脂肪酸对第二主成分具有较大的正向作用,而油酸和不饱和脂肪酸对第二主成分具有较大的负向作用。

主成分分析是一个多元统计分析技术。通过确定几个主成分因子来表示原始样本中许多复杂难找的变量,然后根据主成分因子在不同样本中的贡献率来评价样本之间的规律和差异性^[28]。本研究中我们对两个品种的羊肉屠宰性状和食用品质应用 27 个指标进行评价,各性状在不同品种中都具有较为独特的体现,如何对这两个品种进行综合评价就是一个需要降维的复杂问题。本研究结果显示,前 4 个主成分解释了 65.7% 的总体变异,前 8 个主成分解释了 88.5% 的总体变异。Caneque 等^[29]对羔羊肉食用品质的研究中应用 21 个指标进行评价,其 PCA 结果显示,前 4 个主成分解释了 49.67% 的总体变异,前 8 个主成分解释了 73.98% 的总体变异,比本研究都低 15 个百分点左右,这可能是因为所用的评价指标有差异。Hernandez 等^[30]应用 23 个指标对兔肉使用品质进行了研究,指标包括 pH、肉色、系水力、熟肉率、脂肪酸组成、感官性状。其 PCA 结果显示,前 4 个主成分解释了 62% 的总体变异,其分析的指

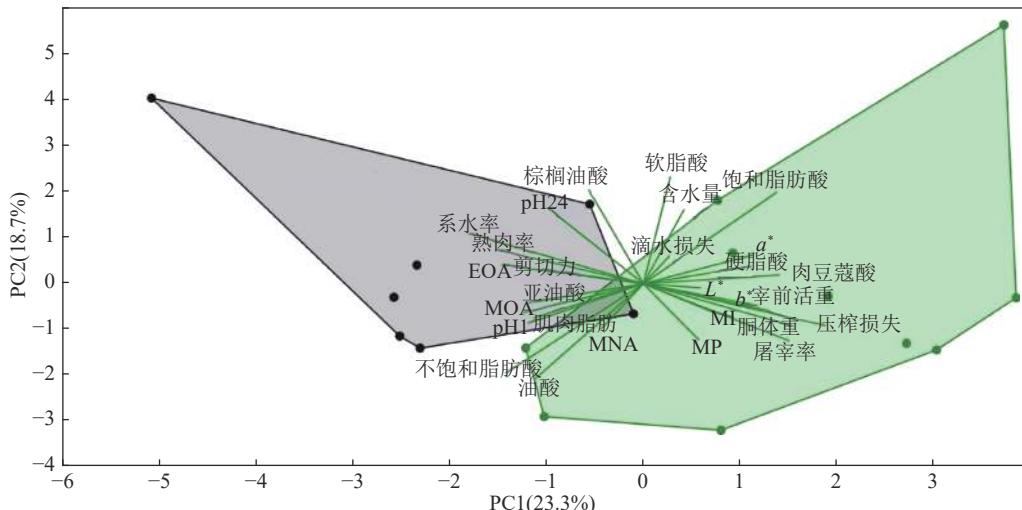


图 1 澳寒羊和小尾寒羊屠宰性能和食用品质主成分分析图

Fig.1 Principle component analysis of slaughter performance and edible quality of Ao-Han sheep and Small-tailed Han sheep

标的数量和种类都与本研究相近, 主成分分析的解释度也与本研究相似。

3 结论

利用澳洲白羊作为父本与小尾寒羊杂交的澳寒羊, 其肉质风味指标与小尾寒羊相比, 存在肌内脂肪含量下降, 脂肪酸组成的健康性略有变差($C_{14:0}$ 含量上升, $C_{18:2}$ 含量下降)的缺点, 但肉色更加红润, 嫩度有变好趋势; 引起消费者不适的膻味物质的含量(EOA)也有明显降低。

总体来说, 澳洲白羊与小尾寒羊的杂交后代其肉质风味没有实质性变化, EOA 含量和嫩度等少数指标略有提高; 同时, 杂交后代的产肉性能比小尾寒羊有了极大提高, 可以给养殖者带来更多收益。所以, 在消费者对羊肉的需求量日益增加, 对羊肉品质的要求越来越高的背景下, 利用澳洲白羊对本土绵羊进行改良并作为小尾寒羊商品肉羊生产的杂交方式是一个良好的选择。

参考文献

- [1] 马亚晴. 嘉祥小尾寒羊地理标志品牌推广研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [2] Pewan S B, Otto J R, Huerlimann R, et al. Genetics of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid metabolism and meat eating quality in tattykeel australian white lambs[J]. Genes, 2020, 11(5): 587.
- [3] 张永东, 王磊, 严天元, 等. 澳洲白羊、杜泊羊与小尾寒羊杂交效果研究[J]. 中国草食动物科学, 2014, 34(6): 10–12.
- [4] 汤继顺, 朱德建, 陈胜, 等. 澳洲白绵羊与小尾寒羊杂交 F1 代生产性能分析[J]. 畜牧与兽医, 2016, 48(9): 58–61.
- [5] 王玺年, 郭志明, 魏占虎, 等. 河西地区澳洲白羊改良湖羊的生长发育性状比较研究[J]. 畜牧兽医杂志, 2019, 38(6): 14–15, 20.
- [6] 魏立明, 杨杜录, 郎侠, 等. 澳洲白羊、杜泊羊、萨福克羊与青海高原型藏羊杂交一代羔羊肉用性能与胴体品质测定[J]. 中国草食动物科学, 2020, 40(3): 86–88, 92.
- [7] Pleasants A B, Thompson J M, Pethick D W. A model relating a function of tenderness, juiciness, flavour and overall liking to the eating quality of sheep meat[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2005, 45(5): 483–489.
- [8] Erkkila A, de Mello V D F, Risérus U, et al. Dietary fatty acids and cardiovascular disease: An epidemiological approach[J]. Prog Lipid Res, 2008, 47(3): 172–187.
- [9] Sales-Campos H, de Souza P R, Peghini B C, et al. An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease[J]. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 2013, 13(2): 201–210.
- [10] Kuhnt K, Degen C, Jahreis G. Evaluation of the impact of ruminant trans fatty acids on human health: Important aspects to consider[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2016, 56(12): 1964–1980.
- [11] Watkins P J, Kearney G, Rose G, et al. Effect of branched-chain fatty acids, 3-methylindole and 4-methylphenol on consumer sensory scores of grilled lamb meat[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 1088–1094.
- [12] Young O A, Lane G A, Priolo A, et al. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(2): 93–104.
- [13] 牛春波. 澳洲白羊与小尾寒羊杂交 F1 产肉性能测定[J].
- [14] 韩战强, 刘长春, 李鹏伟, 等. 澳湖、杜湖杂交一代羊育肥效果观察及经济效益分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(20): 78–79.
- [15] 腾克. 巴美肉羊与小尾寒羊杂交后代产肉性能及羊肉品质的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [16] Zhang L, Sun B Z, Yu Q L, et al. The breed and sex effect on the carcass size performance and meat quality of Yak in different muscles[J]. Korean J Food Sci Anim Resour 2016, 36(2): 223–229.
- [17] Khlijji S, van de Ven R, Lamb T A, et al. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour[J]. Meat Science, 2010, 85(2): 224–229.
- [18] Anderson F, Pethick D W, Gardner G E. The correlation of intramuscular fat content between muscles of the lamb carcass and the use of computed tomography to predict intramuscular fat percentage in lambs[J]. Animal, 2015, 9(7): 1239–1249.
- [19] Hopkins D L, Hegarty R S, Walker P J, et al. Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, 46(6–7): 879–884.
- [20] Lichtenstein A H. Dietary trans fatty acids and cardiovascular disease risk: Past and present[J]. Current Atherosclerosis Reports, 2014, 16(8): 433.
- [21] Howes N L, Bekhit A, Burritt D J, et al. Opportunities and implications of pasture-based lamb fattening to enhance the long-chain fatty acid composition in meat[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(1): 22–36.
- [22] Joris P J, Mensink R P. Role of cis-monounsaturated fatty acids in the prevention of coronary heart disease[J]. Current Atherosclerosis Reports, 2016, 18(7): 1–7.
- [23] Bazinet R P, Chu M W A. Omega-6 polyunsaturated fatty acids: Is a broad cholesterol-lowering health claim appropriate?[J]. Can Med Assoc J, 2014, 186(6): 434–439.
- [24] Font-i-Furnols M, Guerrero L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 361–371.
- [25] Young O A, Berdague J L, Viallon C, et al. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour[J]. Meat Science, 1997, 45(2): 183–200.
- [26] S Kaffarnik, Preuss S, Vetter W. Direct determination of flavor relevant and further branched-chain fatty acids from sheep subcutaneous adipose tissue by gas chromatography with mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2014, 1350: 92–101.
- [27] Schiller K F, Preuss S, Kaffarnik S, et al. Concentration of three branched-chain fatty acids in adipose tissue does not affect meat sensory traits in crossbred and purebred German “Merinolandschaf” lambs[J]. Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal Breeding, 2015, 58: 159–163.
- [28] Sebzalli Y M, Wang X Z. Knowledge discovery from process operational data using PCA and fuzzy clustering[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence 2001, 14(5): 607–616.
- [29] Caneque V, Perez C, Velasco S, et al. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis[J]. Meat Science, 2004, 67(4): 595–605.
- [30] Hernandez P, Pla M, Oliver M A, Blasco. Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets of different fat type and content[J]. Meat Science, 2000, 55(4): 379–384.
- [31] 中国畜禽种业, 2020, 16(8): 91.