

兴安多羔羊肉营养成分与风味物质研究

孙瑞璐¹ 刘天月¹ 罗海玲^{2,3} 刘学文⁴ 何小龙⁵ 张昊^{1,6}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学动物科学技术学院, 北京 100193; 3. 中国农业大学动物营养学国家重点实验室, 北京 100193; 4. 内蒙古杜美牧业生物科技有限公司, 扎赉特旗 137600; 5. 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031; 6. 中国农业大学北京食品营养与人类健康高精尖创新中心, 北京 100083)

摘要: 以兴安多羔羊为对象,利用凯氏定氮法、索氏提取法和灼烧法对羊肉营养组成进行分析,利用固相微萃取结合气相色谱质谱联用技术对羊肉风味物质进行分析,明确不同性别和部位对兴安多羔羊肉营养组成和挥发性风味物质种类及其含量的影响。结果表明:兴安多羔羊肉含水率 75.32%,粗脂肪质量分数 2.41%,粗蛋白质量分数 19.81%,粗灰分质量分数 1.11%;共检出 28 种脂肪酸和 18 种氨基酸;母羔肌肉中粗脂肪含量有低于公羔的趋势;股四头肌含有更多不饱和脂肪酸和脂肪氧化产物;共检测到 72 种挥发性风味物质,占较大比例的是醛类和醇类物质。不同的性别和部位对羔羊肉营养组成和风味物质有一定影响。母羔中有 7 种挥发性风味物质含量显著大于公羔;母羔由于脂肪含量低、膻味和油脂气息小,与公羔相比可接受度更高;背最长肌中 2(5H)-呋喃酮和己醇的含量显著高于股四头肌,但十三醛含量显著低于股四头肌。

关键词: 兴安多羔羊; 营养品质; 挥发性风味; 气相色谱-质谱法

中图分类号: TS251.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)10-0386-10

OSID:



Investigation on Nutrition and Flavor of Xing'an Lamb Meat

SUN Ruilu¹ LIU Tianyue¹ LUO Hailing^{2,3} LIU Xuewen⁴ HE Xiaolong⁵ ZHANG Hao^{1,6}

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China
3. State Key Laboratory of Animal Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100193, China
4. Inner Mongolia Dumei Animal Husbandry Biotechnology Co., Ltd., Jalaidd Banner 137600, China
5. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China
6. Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming to study the nutritional quality and volatile flavor composition of Xing'an lambs, taking Xing'an lambs as the object, the nutritional composition of mutton was analyzed by Kjeldahl method, Soxhlet extraction method and burning method, and the flavor substances of mutton were analyzed by solid-phase microextraction combined with gas chromatography – mass spectrometry. The effects of different genders and different parts on the nutrition and flavor of lambs were compared. The results showed that the water content, crude fat content, crude protein content and ash content of Xing'an lambs were 75.32%, 2.41%, 19.81% and 1.11%, respectively. Totally 28 kinds of fatty acids and 18 kinds of amino acids were detected. The crude fat content in muscle of female lambs tended to be higher than that of male lambs. Quadriceps femoris muscle contained more unsaturated fatty acids and fat oxidation products. Totally 72 volatile flavor compounds were detected in Xing'an lambs, among which aldehydes and alcohols were the most important compounds. Different genders and different parts had certain influence on nutritional composition and flavor substance of lamb meat. The relative contents of seven volatile flavor compounds in female lambs were significantly higher than that in male lambs. Due to the low fat content, small odor and grease smell, the female lamb was more acceptable than the male lamb. The relative content of 2(5H)-furanone and hexanol in longissimus dorsi muscle was significantly higher

收稿日期: 2021-12-19 修回日期: 2022-01-14

基金项目: 财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系项目(CARS-38)

作者简介: 孙瑞璐(1998—),女,博士生,主要从事畜产品加工研究,E-mail: srl02200059@163.com

通信作者: 张昊(1984—),男,副教授,博士,主要从事畜产品加工研究,E-mail: zhanghaocau@cau.edu.cn

than that in quadriceps femoris, but the relative content of tridecaldehyde was significantly lower than that in quadriceps femoris.

Key words: Xing'an lambs; nutritional quality; volatile flavor; gas chromatography – mass spectrometry

0 引言

羊肉因其具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇的特点而颇受消费者欢迎^[1]。羊肉风味物质的前体主要包括一些水溶性成分(氨基酸、还原糖、核糖、硫胺素等)以及各种脂类物质。经过一系列涉及美拉德反应及脂肪氧化、硫胺素降解及其交互的复杂反应,产生杂环化合物、醛、酮、酯和酸等挥发性风味物质^[2]。羊肉特征风味成分主要是支链挥发性脂肪酸和短链脂肪醛^[3-4]。现有研究表明,羊肉的营养成分和风味物质受到品种、性别、部位等因素的影响^[5-10]。目前,我国羊肉的出栏量和肉产量都处于世界领先地位,但供求关系依然紧张,需要进一步加强对优良品种的开发^[11-13]。

兴安多羔羊是经杂交选育的新品种,其初产和经产母羊群体的平均繁殖率分别为 191.94% 和 225.07%。兴安多羔羊平均初生质量、断奶质量和 50 日龄的平均日增质量分别为 3.98 kg、14.32 kg 和 229.78 g,每只母羊年提供断奶羔羊数为 3.26 只。由此可见,兴安多羔羊具有产羔多、生产性能好、养殖效益高的特点,且适合舍饲,是当地畜牧种业重点推广的羊肉品种^[14]。但目前缺少对兴安多羔羊肉的营养成分及风味物质研究,故本文首先测定羊肉的营养成分^[15],之后对肉样的挥发性风味物质进行采集和定性定量测定,来比较不同部位和性别的羊肉风味物质和营养组成的区别。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

分析纯的氯化钠、邻二氯苯、甲醇、无水乙醚、硫酸、硫酸钾、石油醚、盐酸、氢氧化钠,天津市永大化学试剂有限公司;甲基红、溴甲酚绿、硫酸铜、无水乙酸锌,北京奥博星生物技术有限责任公司。

1.2 样品采集

本研究所用实验动物均饲养于内蒙古自治区兴安盟扎赉特旗某肉羊养殖场,选择健康无病、全舍饲养(其日粮组成青贮玉米秸秆、玉米、麸皮、大豆粉、棉籽饼、碳酸钙、食盐、沸石粉、小苏打、微量元素和维生素预混料、有机物、粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙、磷含量(质量比)分别为 500、246、60、40、110、13、5、20、5、1.0、939.8、156.3、358.0、233.3、5.7、3.4 g/kg)的 6 月龄兴安多羔羊(东×寒×

湖横交一代)20 只(10 公 10 母)。

本实验的羊只屠宰地点为内蒙古自治区兴安盟乌兰浩特市某屠宰场,实验前对待宰羊只禁食 24 h,禁水 2 h。屠宰方式采用颈部放血屠宰,随后剥皮去除羊头、蹄及内脏(保留肾脏及肾脂)。每只羊分别采集背最长肌、股四头肌各 500 g,用一次性塑封袋标记 -20℃ 冷冻保存。

1.3 仪器与设备

AR1140 型电子天平,托利多仪器上海有限公司;HH-S1 型数显恒温油浴锅,坛区西城新瑞仪器厂;DK-88 型电热恒温水槽、DHG-9076A 型电热恒温鼓风干燥箱、RE-52A 型旋转蒸发仪,上海精宏实验设备有限公司;7890B-5977B 型气质联用仪、DB-WAX UI 型色谱柱,美国安捷伦科技有限公司;CAR/PDMS 型固相微萃取萃取头、1EA 型手动 SPME(固相微萃取)进样器,美国西格玛公司;BCD-254 型冰箱,博西华家用电器有限公司;835-50 型氨基酸自动分析仪,日本日立公司;LGJ-10D 型真空冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司。

1.4 方法

1.4.1 营养成分测定

1.4.1.1 含水率

参考文献[16]的方法测定兴安多羔羊肉的含水率。使用真空冷冻干燥法制备冻干肉样,将剔除筋膜和脂肪的肉样剁碎后于 -20℃ 预冷 24 h,放入冻干机冻干 72 h。将干燥结束后的物料进行密封保存,避免接触外界空气。

1.4.1.2 粗蛋白和氨基酸含量

参考文献[17]的规定,用凯氏定氮法测定兴安多羔羊肉的粗蛋白含量;参考文献[18]的方法用氨基酸自动分析仪对氨基酸含量进行检测。

1.4.1.3 粗脂肪和脂肪酸含量

参考文献[18]用索氏提取法测定兴安多羔羊肉的粗脂肪含量;参考文献[19]的规定,用气相色谱的方法测定兴安多羔羊肉的脂肪酸含量。

1.4.1.4 灰分含量

参考文献[20]规定,用灼烧法测定兴安多羔羊肉的灰分含量。

1.4.2 风味测定条件优化

对风味检测条件进行单因素优化,因素为萃取头、萃取温度、萃取时间以及煮肉条件。结果显示,最优萃取条件是选择 85 μm CAR/PDMS 型萃取头,

在 60℃ 下煮肉 60 min, 萃取温度 70℃, 萃取时间 30 min。

1.4.3 挥发性风味物质含量测定

1.4.3.1 样品前处理

内标溶液制备: 在 2 mL 离心管中, 加入 1 μ L 1,2-二氯苯和 0.999 mL 甲醇混合均匀, 标记为溶液 A; 在 5 mL 离心管中, 加入 1 μ L 溶液 A 和 2.611 mL 甲醇, 混合均匀。由此配得 5×10^{-7} g/mL 邻二氯苯溶液, 标记为内标溶液。

样品预处理: 取出分装成每袋 5.0 g 的兴安多羔羊肉样品, 室温 (20℃) 解冻 30 min。称取 1.0 g 氯化钠, 量取 25 μ L 内标溶液于 20 mL 顶空瓶中。将解冻后的肉样去除筋膜, 搅碎后加 5.0 g 于顶空瓶中, 封口, 做好标记。将标记封口的羊肉样品用铁夹固定在电热恒温水槽内, 使瓶身完全没入水中。根据煮肉条件的优化选择 60℃ 恒温水浴 60 min, 对肉样进行煮制。

1.4.3.2 样品中挥发性成分萃取

取出煮制完成的样品, 将组装好并活化完成的萃取头沿顶空瓶盖上预先扎好的小孔插入。缓慢推出萃取头内的黑色纤维涂层, 暴露于样品上部空间, 开始吸附。根据优化后的萃取条件, 在 70℃ 电热恒温水槽中萃取风味物质 30 min。萃取完成之后, 推动手柄使纤维头缩回针头内, 并拔出针头, 取出 SPME 针管后将其插入 GC-MS (气相色谱质谱联用仪) 进样口, 缓慢推动手柄, 伸出纤维头, 热脱附 5 min 后缩回萃取头, 并将 SPME 针管退出进样口, 同时启动仪器开始采集数据。

1.4.3.3 气相质谱联用仪检测条件

GC-MS 条件^[21]: DB-WAX UI 型色谱柱 (30 m $\times$ 0.25 mm), 萃取头解析 5 min, 进样口温度 250℃, 不分流模式, 载气为氦气, 流速 0.8 mL/min。色谱柱采用程序升温^[21]: 起始柱温 40℃, 保持 3 min, 以 6℃/min 升至 230℃, 保留 3 min。

MS 条件^[21]: 电离方式 EI (70 EV), 离子源温度 230℃, 灯丝电流 200 μ A, 检测电压 350 V, 接口温度 240℃, 扫描速度 1 562 u/s, 扫描质量 (质荷比) 范围为 45 ~ 350。

1.4.3.4 定性与定量分析

定性方法: 根据 NIST Library 质谱库对风味物质进行定性, 匹配度大于 800 作为鉴定依据。

定量方法: 用内标法计算风味物质的相对含量, 根据内标邻二氯苯的峰面积与各风味物质的峰面积之比计算相对含量。

1.4.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 统计软件和 Excel 软件进行方

差分析和数据分析。SPSS 19.0 中的独立样本 *t* 检验显著性检验水平为 0.05。实验数据表示为: 平均值 $\pm$ 标准差。

2 结果与分析

2.1 兴安多羔羊肉营养成分研究

2.1.1 兴安多羔羊肉营养成分分析

参考文献 [16-17, 19-20] 的方法对兴安多羔羊肉的含水率以及粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量进行测定。表 1 显示了不同性别和部位的兴安多羔羊肉常规营养成分含量。

表 1 兴安多羔羊不同性别不同部位肉常规成分分析
Tab.1 Analysis of routine components of meat in different parts of Xing'an lambs of different genders %

参数	公羔		母羔	
	背最长肌	股四头肌	背最长肌	股四头肌
含水率	76.36 $\pm$ 1.18	76.58 $\pm$ 2.18	73.50 $\pm$ 5.76	74.85 $\pm$ 3.65
粗蛋白				
质量分数	19.26 $\pm$ 0.75	18.81 $\pm$ 1.20	21.30 $\pm$ 4.73	19.87 $\pm$ 2.00
粗脂肪				
质量分数	2.10 $\pm$ 0.71	2.05 $\pm$ 0.89	3.11 $\pm$ 1.44	2.41 $\pm$ 0.99
粗灰分				
质量分数	1.10 $\pm$ 0.13	1.04 $\pm$ 0.10	1.20 $\pm$ 0.26	1.09 $\pm$ 0.17

含水率决定了肉质的多汁性, 含水率越高口感越好。兴安多羔羊肉含水率为 75.32%。不同部位和性别的肉样之间没有显著性差异。研究发现, 乌珠穆沁羊和湖羊的平均含水率分别为 76.42% 和 74.55%^[22], 兴安多羔羊与其含量相近。粗蛋白含量是评估羊肉营养价值的重要指标, 在兴安多羔羊肉中检测到粗蛋白质量分数为 19.81%, 不同部位和性别的肉样之间没有显著性差异 ($p > 0.05$)。乌珠穆沁羊和湖羊的平均粗蛋白质量分数分别为 18.72% 和 19.12%^[22], 而兴安多羔羊与其含量相近。粗脂肪质量分数为 2.41%, 母羔肌肉中粗脂肪含量有高于公羔的趋势, 不同部位之间的脂肪含量没有显著性差异。肌肉中的粗脂肪含量可能与羊的运动情况有关, 频繁运动的骨骼肌粗脂肪含量会相对较低, 母羊的运动量小于公羊, 因此累积更多脂肪。乌珠穆沁羊和湖羊的平均粗脂肪质量分数分别为 3.28% 和 3.85%^[22], 而兴安多羔羊的脂肪含量更低, 肉质精瘦。粗灰分含量是评定食品中矿物质含量的基础, 灰分含量对肉品的营养价值有很大的影响^[22]。兴安多羔羊肉粗灰分质量分数在 1.11% 左右, 不同部位和性别的肉样之间没有显著性差异, 说明不同部位和性别对羊肉中矿物质含量影响不大。

综上所述, 兴安多羔羊肉具有低脂肪含量且蛋

白含量、含水率适中的特点,是优质的动物性产品。

2.1.2 不同性别对羊肉营养组成的影响

由表 2 可知,兴安多羔羊肉中共检出 28 种脂肪酸,其中单不饱和脂肪酸 (Monounsaturated fatty acid, MUFA) 的含量大于多不饱和脂肪酸 (Polyunsaturated fatty acid, PUFA)。MUFA 对降低胆固醇、预防冠心病、促进生长发育以及调节免疫功能具有重要意义,且在肉的嫩度和抗氧化能力及其颜色、多汁性和口感方面起着重要的作用^[22]。乙酸 (C6:0) 和癸酸 (C10:0) 与羊肉的膻味有很大关系,在兴安多羔羊肉中未检测出乙酸,癸酸相对含量极低,因此可以判断兴安多羔羊膻味较小。

表 2 兴安多羔羊不同性别肉中脂肪酸相对含量比较

Tab.2 Comparison of fatty acid content in different kinds of meat of Xing'an lambs %

脂肪酸种类	公羔	母羔
辛酸 (C8:0)	0.02	0.02 ± 0.01
癸酸 (C10:0)	0.13 ± 0.02	0.12 ± 0.03
月桂酸 (C12:0)	0.19 ± 0.06	0.16 ± 0.06
肉豆蔻酸 (C14:0)	2.59 ± 0.62	2.26 ± 0.55
十五烷酸 (C15:0)	0.45 ± 0.07	(0.36 ± 0.07) *
棕榈酸 (C16:0)	23.57 ± 2.28	22.43 ± 1.99
十七烷酸 (C17:0)	1.12 ± 0.09	1.04 ± 0.09
硬脂酸 (C18:0)	19.92 ± 2.07	20.84 ± 1.67
花生酸 (C20:0)	0.17 ± 0.03	0.18 ± 0.05
二十一烷酸 (C21:0)	0.57 ± 0.16	0.56 ± 0.21
山萘酸 (C22:0)	0.13 ± 0.05	0.12 ± 0.07
二十三碳酸 (C23:0)	0.16 ± 0.05	0.16 ± 0.08
二十四碳酸 (C24:0)	0.14 ± 0.05	0.13 ± 0.07
肉豆蔻油酸 (C14:1)	0.11 ± 0.03	(0.08 ± 0.03) *
顺式棕榈油酸 (C16:1)	1.53 ± 0.27	(1.25 ± 0.32) *
油酸 (C18:1n9c)	36.67 ± 3.90	38.37 ± 3.16
二十碳烯酸 (C20:1)	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.02
芥酸 (C22:1n9)	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.02
二十四碳烯酸 (C24:1)	0.11 ± 0.04	0.11 ± 0.06
亚油酸 (C18:2n6c)	8.11 ± 2.65	7.51 ± 2.41
α-亚麻酸 (C18:3n3)	0.37 ± 0.08	(0.32 ± 0.06) *
二十碳二烯酸 (C20:2)	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.02
二高-γ-亚麻酸 (C20:3n6)	0.28 ± 0.13	0.28 ± 0.13
花生四烯酸 (C20:4n6)	3.18 ± 1.48	3.25 ± 1.77
花生三烯酸 (C20:3n3)	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01
二十碳五烯酸 (C20:5n3)	0.10 ± 0.05	0.09 ± 0.04
二十二碳二烯酸 (C22:2)	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01
二十二碳六烯酸 (C22:6n3)	0.07 ± 0.04	0.06 ± 0.04
饱和脂肪酸 (SFA)	49.15 ± 2.45	48.46 ± 2.26
单不饱和脂肪酸 (MUFA)	38.59 ± 4.06	40.02 ± 3.37
多不饱和脂肪酸 (PUFA)	12.26 ± 4.31	11.53 ± 4.45

注：* 表示同一行中数据差异性显著 ($p < 0.05$),下同。

对不同性别肉样的脂肪酸进行具体分析,公羔的肉豆蔻油酸 (C14:1)、十五烷酸 (C15:0)、顺式棕

榈油酸 (C16:1) 和 α-亚麻酸 (C18:3n3) 含量显著高于母羔 ($p < 0.05$)。α-亚麻酸作为人体必需脂肪酸的一种,参与磷脂的合成及胆固醇代谢,在人体内可进一步合成为二十二碳六烯酸 (C22:6n3)、花生四烯酸 (C20:4n6) 等功能成分。

根据表 3 可知,兴安多羔羊共检出 18 种氨基酸,其中有 7 种人体必需氨基酸,对不同性别肉样氨基酸进行具体分析,公羔肌肉中脯氨酸和甘氨酸的含量显著高于母羔。

表 3 兴安多羔羊不同性别肉中氨基酸质量分数比较

Tab.3 Comparison of amino acid content in different kinds of meat of Xing'an lambs %

氨基酸种类	公羔	母羔
天冬氨酸	7.20 ± 0.51	7.03 ± 0.35
苏氨酸	3.57 ± 0.20	3.51 ± 0.19
丝氨酸	3.04 ± 0.19	2.97 ± 0.16
谷氨酸	12.00 ± 0.64	11.59 ± 0.70
脯氨酸	3.12 ± 0.27	(2.93 ± 0.16) *
甘氨酸	3.74 ± 0.46	(3.50 ± 0.20) *
丙氨酸	4.39 ± 0.43	4.19 ± 0.21
胱氨酸	0.83 ± 0.05	0.84 ± 0.06
缬氨酸	3.85 ± 0.21	3.78 ± 0.20
蛋氨酸	2.10 ± 0.13	2.06 ± 0.13
异亮氨酸	3.76 ± 0.21	3.67 ± 0.21
亮氨酸	6.25 ± 0.28	6.15 ± 0.32
酪氨酸	2.69 ± 0.21	2.62 ± 0.14
苯丙氨酸	3.62 ± 0.20	3.60 ± 0.24
组氨酸	2.26 ± 0.20	2.27 ± 0.20
赖氨酸	6.90 ± 0.30	6.80 ± 0.38
精氨酸	5.19 ± 0.77	4.95 ± 0.25
色氨酸	0.86 ± 0.05	0.87 ± 0.05

2.1.3 不同部位对羊肉营养组成的影响

表 4 对不同部位肉样的脂肪酸进行具体分析,股四头肌中肉豆蔻油酸 (C14:1)、十七烷酸 (C17:0)、二十二碳烯酸 (C22:1n9) 和二十二碳二烯酸 (C22:2) 含量显著高于背最长肌 ($p > 0.05$), 含有更多的不饱和脂肪酸。但背最长肌中硬脂酸 (C18:0) 的含量显著大于股四头肌 ($p > 0.05$)。硬脂酸 (C18:0) 作为特殊的饱和脂肪酸,有提高血液中胆固醇水平的生理作用,也是造成羊肉膻味的主要因素^[23]。

兴安多羔羊一共检测出 18 种氨基酸,7 种必需氨基酸。表 5 对兴安多羔羊不同部位的氨基酸含量进行了比较,背最长肌和股四头肌之间没有显著性差异,背最长肌的赖氨酸和苯丙氨酸含量有高于股四头肌的趋势。非必需氨基酸在两种部位的含量都十分丰富,谷氨酸含量最高。

表 4 兴安多羔羊不同部位肉中脂肪酸相对含量比较
Tab.4 Comparison of fatty acid content in different parts of meat of Xing'an lambs %

脂肪酸种类	背最长肌	股四头肌
辛酸(C8:0)	0.02	0.02±0.01
癸酸(C10:0)	0.13±0.03	0.12±0.02
月桂酸(C12:0)	0.17±0.06	0.18±0.06
肉豆蔻酸(C14:0)	2.43±0.62	2.42±0.60
肉豆蔻油酸(C14:1)	0.08±0.03	(0.10±0.03)*
十五烷酸(C15:0)	0.39±0.09	0.42±0.08
棕榈酸(C16:0)	23.44±2.23	22.57±2.10
顺式棕榈油酸(C16:1)	1.34±0.26	1.45±0.38
十七烷酸(C17:0)	1.07±0.11	(1.09±0.08)*
硬脂酸(C18:0)	21.04±2.01	(19.71±1.61)*
油酸(C18:1n9c)	37.70±3.60	37.34±3.68
亚油酸(C18:2n6c)	7.12±2.55	8.51±2.36
α-亚麻酸(C18:3n3)	0.33±0.07	0.37±0.07
花生酸(C20:0)	0.17±0.03	0.17±0.04
二十碳烯酸(C20:1)	0.12±0.02	0.12±0.02
二十一烷酸(C21:0)	0.51±0.18	0.62±0.19
二十碳二烯酸(C20:2)	0.04±0.02	0.04±0.02
二高-γ-亚麻酸(C20:3n6)	0.25±0.13	0.30±0.13
花生四烯酸(C20:4n6)	2.87±1.57	3.56±1.62
花生三烯酸(C20:3n3)	0.02±0.01	0.03±0.01
山萘酸(C22:0)	0.12±0.06	0.13±0.07
二十碳五烯酸(C20:5n3)	0.08±0.04	0.10±0.05
芥酸(C22:1n9)	0.03±0.01	(0.04±0.01)*
二十二碳二烯酸(C22:2)	0.07±0.01	(0.09±0.01)*
二十三碳酸(C23:0)	0.15±0.07	0.17±0.07
二十四碳酸(C24:0)	0.13±0.06	0.14±0.06
二十四碳烯酸(C24:1)	0.11±0.05	0.11±0.05
二十二碳六烯酸(C22:6n3)	0.06±0.04	0.07±0.04

表 5 兴安多羔羊不同部位肉中氨基酸质量分数比较
Tab.5 Comparison of amino acid content in different parts of meat of Xing'an lambs %

氨基酸种类	背最长肌	股四头肌
天冬氨酸	7.17±0.54	7.06±0.31
苏氨酸	3.55±0.21	3.53±0.17
丝氨酸	3.00±0.21	3.01±0.14
谷氨酸	11.72±0.75	11.87±0.64
脯氨酸	3.01±0.31	3.05±0.14
甘氨酸	3.62±0.50	3.63±0.18
丙氨酸	4.34±0.46	4.24±0.16
胱氨酸	0.83±0.05	0.84±0.05
缬氨酸	3.88±0.22	3.75±0.16
蛋氨酸	2.10±0.12	2.07±0.14
异亮氨酸	3.77±0.23	3.66±0.19
亮氨酸	6.24±0.32	6.16±0.28
酪氨酸	2.67±0.23	2.64±0.12
苯丙氨酸	3.67±0.24	3.55±0.17
组氨酸	2.32±0.23	2.22±0.15
赖氨酸	6.88±0.35	6.82±0.34
精氨酸	5.14±0.79	5.00±0.23
色氨酸	0.87±0.05	0.86±0.05

2.2 兴安多羔羊肉挥发性风味物质研究

2.2.1 兴安多羔羊肉挥发性风味物质

兴安多羔羊肉中共检测到挥发性风味物质共 72 种,其中醛类 12 种,醇类 12 种,酮类 3 种,酚类 3 种,酯类 10 种,烃类 11 种,杂环类 4 种,醚类 2 种,酸类 4 种,其他类 11 种。从风味物质种类所占百分比上看,占比较大的是醛类和醇类风味物质,均为 17%。其次是烃类,占比 15%。酯类占比 14%。酸类、杂环类、醚类分别占比 6%、5% 和 3%。酮类和酚类均占比 4%。其他物质占比 15%。

对不同种类的挥发性风味物质分析:醛类化合物主要来源于脂肪的氧化^[24],其中多数是不饱和脂肪酸氧化生成的。它的气味阈值低,可能构成肉的特征性风味^[25]。其中己醛是质量分数最高的挥发性成分,占总量的 12.54%,同时它也是肉中脂肪氧化分解最重要的产物,易产生刺激性的、不愉快的、腐败和辛辣的味道^[24]。辛醛和壬醛质量分别占总量的 8.93% 和 1.99%,提供果香味和油脂味;醇类化合物大多气味阈值较高,对于食品而言风味贡献较小^[26]。本实验检测到兴安多羔羊肉中的醇类化合物包括乙醇、异丙醇、戊醇、己醇、2,3-丁二醇、1-辛烯-3-醇等。其中乙醇、异丙醇含量最高,但对兴安多羔羊肉的风味贡献不大,而贡献最大的是 1-辛烯-3-醇,它具有典型的蘑菇味,是亚油酸在脂肪氧合酶和氢过氧化物裂合酶共同作用形成的酶解产物^[27];烃类化合物主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂。本实验检测到兴安多羔羊肉中的正构烷烃可能来自支链脂肪酸的氧化,通常认为其香味阈值较高,对肉风味的直接贡献不大,但它们可能有助于提高肉品的整体风味^[28];酯类化合物来源于脂质氧化所产生的醇和游离脂肪酸之间的相互作用^[24]。兴安多羔羊肉中的酯类化合物主要包括甲酸庚酯、甲酸辛酯、己酸甲酯、癸酸甲酯、月桂酸甲酯、棕榈酸甲酯等,它们都具有一定的花果香气,但由于气味阈值较高,对风味的贡献较低;酸类化合物是造成羊肉膻味的主要因素之一,研究表明引起膻味的主要物质是 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸^[21]。本实验在兴安多羔羊肉的挥发性风味组成中没有检测到这两种物质,说明兴安多羔羊肉的膻味较轻;杂环类化合物是羊肉重要的风味物质之一,其中烷基衍生物大多是脂肪的降解产物,如本实验检测到的 2-正戊基呋喃是亚油酸的氧化分解产物^[29];酮类、酚类和醚类化合物含量较少。酮类化合物包括 3-羟基-2-丁酮、2-甲基庚烯酮和 2(5H)-呋喃酮,也是脂肪氧化的主要产物,提供了奶油和蘑菇气味。酚类化合物含量可以反映动物放养的程度^[27]。本实验检测到的

2,6-二叔丁基对甲酚和苯酚具有特殊臭味。醚类化合物包括丙二醇甲醚和二甲醚。最后,本实验还检测到 15 种较为复杂的挥发性风味物质,未能归于上述分类。

2.2.2 不同性别对羊肉挥发性风味物质的影响

对兴安多羔羊不同性别肉样的挥发性风味物质种类进行分析,公羔和母羔在风味物质的种类上存在显著性差异($p < 0.05$)。图 1(*表示母羔与公羔相比差异显著, $p < 0.05$)展示了性别对挥发性风味物质种类的影响。从图 1 中可以看出,在公羔的挥发性风味组成中,酸类、酮类、醛类、醇类、杂环类物质种类均显著高于母羔($p < 0.05$)。母羔中未检测到致膻类物质壬酸和具有汗味的丁酸,公羔含有更多提供汗味和膻味的物质。母羔所有的样品中都未检测到酮类物质。而文献[30]研究表明,酮类物质也是脂肪氧化和机体代谢的产物,对羊肉的特征风味形成起重要作用。由此可以推断,兴安多羔羊公羔肉的膻味和油脂气息比母羔更强烈,可接受度更低。

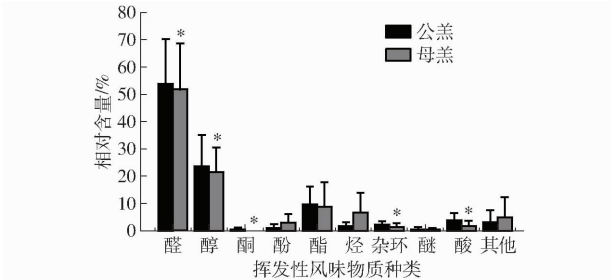


图 1 不同性别的羊肉挥发性风味物质相对含量

Fig.1 Relative contents of volatile flavor compounds in mutton of different genders

对不同性别羔羊的挥发性风味物质进行定量分析,表 6 具体比较了不同性别的兴安多羔羊肉的挥发性风味物质含量。公羔中含量最多的物质分别为己醛、异丙醇、乙醇、壬醛和 1-辛烯-3-醇,母羔中含量最多的物质分别为壬醛、己醛、双戊烯、1-辛烯-3-醇。母羔中有 7 种挥发性风味物质含量显著大于公羔($p < 0.05$),包括(E)-2-辛烯醛、十二醇、2,6-二叔丁基对甲酚、癸酸甲酯、环十二烷、十九烷、13-十八碳烯酸甲酯等。公羔的异丙醇含量显著大于母羔($p < 0.05$)。

表 6 不同性别的兴安多羔羊肉挥发性风味物质组成

Tab.6 Volatile flavor composition of Xing'an lambs of different genders

种类	化合物名称	质量比/(ng·(100 g) ⁻¹)		气味特征
		公羔	母羔	
醛类	己醛	736.74 ± 1 359.61	247.37 ± 173.99	药草味
	辛醛	93.65 ± 51.85	81.44 ± 66.15	柑橘味
	壬醛	367.54 ± 178.62	438.83 ± 287.67	油脂味
	月桂醛	12.13 ± 6.50	17.87 ± 11.92	油脂味
	十三醛	16.72 ± 11.94		
	肉豆蔻醛	25.34 ± 25.16	69.87 ± 92.01	奶油、果味
	苯甲醛	158.82 ± 107.23	150.91 ± 71.85	杏仁、焦糖味
	4-乙基苯甲醛	8.90 ± 2.23		甜味
	(E)-2-辛烯醛	14.61 ± 7.29	(31.14 ± 11.22) *	黄瓜味
	(E,Z)-2-壬烯醛	14.46 ± 5.46	22.43 ± 19.93	青草味
醇类	正十五碳醛	39.15 ± 32.59	30.81 ± 18.51	
	乙醇	369.68 ± 288.12	134.24	酒精味
	异丙醇	371.49 ± 74.71	(7.61 ± 3.47) *	酒精味
	戊醇	62.23 ± 69.66	31.19 ± 3.73	香油味
	己醇	54.23 ± 40.25	53.54 ± 35.22	松香
	辛醇	55.55 ± 21.60	41.50 ± 8.14	焦味
	十二醇	33.07 ± 29.66	(97.63 ± 75.07) *	花香味
	2,3-丁二醇	13.44 ± 13.76	21.00	
	1-辛烯-3-醇	217.70 ± 145.77	201.29 ± 132.70	蘑菇味
	(E)-2-辛烯-1-醇	57.33 ± 23.18	83.40 ± 41.62	
	2-乙基己醇	47.22 ± 13.90		玫瑰味
	1-十六烷醇	9.47	8.94	玫瑰味
酮类	3-羟基-2-丁酮	31.75 ± 29.99		奶油味
	2-甲基庚烯酮	7.45 ± 5.75		蘑菇味
	2(5H)-呋喃酮	17.61 ± 14.62		
酚类	2,6-二叔丁基对甲酚	20.83 ± 10.72	(52.39 ± 28.83) *	
	2,6-二叔丁基苯酚	6.24	9.80	特殊臭味
	苯酚	10.37 ± 3.74	11.17 ± 4.06	特殊臭味

续表 6

种类	化合物名称	质量比/(ng·(100 g) ⁻¹)		气味特征
		公羔	母羔	
酯类	甲酸庚酯	16. 13 ± 1. 74		尧尾、玫瑰味
	甲酸辛酯	39. 13 ± 15. 74	54. 97 ± 31. 87	果香味
	己酸甲酯	65. 3 ± 12. 99		菠萝香味
	癸酸甲酯	20. 95 ± 7. 56	(42. 73 ± 21. 91) *	烟叶味
	月桂酸甲酯	25. 95	40. 26 ± 15. 47	花香味
	10-甲基十一烷酸甲酯	24. 78 ± 4. 34	25. 91 ± 5. 47	
	十四酸甲酯	64. 80 ± 28. 24	46. 97 ± 8. 26	蜂蜜味
	棕榈酸甲酯	76. 72 ± 46. 76	137. 90 ± 114. 27	
	硬脂酸甲酯	9. 12 ± 3. 84	10. 54 ± 6. 27	油脂味
	邻苯二甲酸二丁酯	32. 05 ± 2. 95		芳香气味
烃类	十一烷	27. 86	12. 27 ± 6. 77	
	环十二烷	17. 87 ± 13. 17	(81. 10 ± 29. 52) *	
	十三烷	19. 65 ± 4. 75	44. 63 ± 28. 66	
	十四烷	15. 15	27. 95 ± 31. 16	烟叶味
	十五烷	14. 76 ± 4. 00		烟叶味
	十六烷	5. 20 ± 0. 56	7. 05	烟叶味
	十七烷	8. 94 ± 3. 98	8. 68 ± 1. 47	
	十八烷	5. 68 ± 0. 87	5. 07	
	十九烷	6. 10 ± 1. 38	(13. 41 ± 2. 62) *	
	双戊烯		203. 46 ± 95. 06	柠檬味
	苯乙烯	18. 05 ± 12. 31	32. 37 ± 10. 33	香油味
杂环类	2-正戊基呋喃	54. 35 ± 30. 44	69. 92 ± 32. 45	烤肉、黄油味
	苯并噻唑	8. 50 ± 3. 08	6. 49 ± 1. 71	油脂味
	对二甲苯	8. 99 ± 6. 23		芳香味
	乙基苯	6. 66	3. 22	芳香味
醚类	丙二醇甲醚	17. 79 ± 20. 10	15. 44 ± 1. 69	
	二甲醚		4. 53	醚香味
酸类	乙酸	27. 42 ± 11. 87	24. 5 ± 22. 02	酸味
	丁酸	35. 71 ± 27. 90		汗味
	己酸	74. 65 ± 51. 55	87. 42 ± 38. 55	汗味
	壬酸	18. 69 ± 10. 82		膻味
其他	N,N-二丁基甲酰胺	15. 00 ± 5. 39	14. 01 ± 1. 32	
	叔己基过氧化氢	16. 11 ± 8. 61	19. 74 ± 11. 06	
	十二烷-5-基苯		39. 97 ± 28. 86	
	5-苯基癸烷		28. 76 ± 26. 27	
	13-十八碳烯酸甲酯	12. 99 ± 0. 88	43. 06 *	
	3-苯基十二烷	7. 54 ± 2. 69	55. 53 ± 63. 99	
	亚硝基甲烷	155. 53 ± 47. 78	93. 27 ± 43. 07	
	(3E)-3-丙-2-烯亚基环丁烯	20. 61 ± 4. 49		
	十六醛	41. 86 ± 16. 70	82. 74	
	十二烷-4-基苯	15. 11 ± 10. 66	31. 76 ± 11. 93	
	5-苯基壬烷	24. 76 ± 15. 60		

2.2.3 不同部位对羊肉挥发性风味物质的影响

对兴安多羔羊不同部位肉样的挥发性风味物质种类进行分析,背最长肌和股四头肌样品在风味物质的种类上不存在显著性差异($p > 0.05$)。图2(*表示股四头肌与背最长肌相比差异显著, $p < 0.05$)展示了不同部位对挥发性风味物质种类的影响。从图2中可以看出,兴安多羔羊股四头肌的

酯类物质显著多于背最长肌($p < 0.05$)。酯类化合物来源于脂质氧化所产生的醇和游离脂肪酸之间的相互作用^[24]。由此可以推测,股四头肌风味物质中,脂肪氧化的产物多于背最长肌。

对不同部位羔羊的挥发性风味物质进行定量分析,见表7,背最长肌中含量最多的物质分别为己醛、异丙醇、壬醛、1-辛烯-3-醇,股四头肌中含量最多

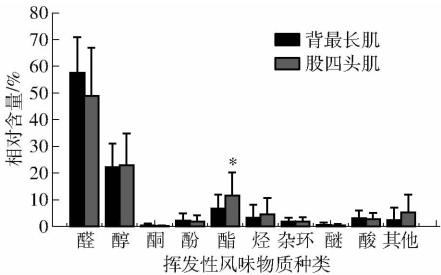


图 2 不同部位的羊肉挥发性风味物质种类相对含量

Fig.2 Relative contents of volatile flavor compounds in different parts of mutton

的物质分别为乙醇、壬醛、双戊烯、己醛。背最长肌中 2(5H)-呋喃酮和己醇的相对含量显著大于股四头肌($p<0.05$)。股四头肌的十三醛含量显著大于背最长肌($p<0.05$)。

3 结束语

兴安多羔羊具有低脂肪、蛋白含量适中的特点；公羔肌肉中脯氨酸和甘氨酸的含量显著高于母羔，说明性别对羔羊肉营养组成有显著影响。此外,兴

表 7 不同部位的兴安多羔羊肉挥发性风味物质组成

Tab.7 Volatile flavor composition of Xing'an lambs in different parts

种类	化合物名称	质量比/(ng·(100 g) ⁻¹)		气味特征
		背最长肌	股四头肌	
醛类	己醛	910.25 ± 1497.45	219.63 ± 157.21	药草味
	辛醛	104.74 ± 65.50	74.23 ± 49.03	柑橘味
	壬醛	429.27 ± 212.54	375.51 ± 253.41	油脂味
	月桂醛	12.71 ± 5.34	14.82 ± 10.76	油脂味
	十三醛	7.87 ± 1.82	(25.57 ± 11.19) *	
	肉豆蔻醛	58.74 ± 95.86	31.71 ± 25.98	奶油、果味
	苯甲醛	189.05 ± 97.49	129.16 ± 81.11	杏仁、焦糖味
	4-乙基苯甲醛	5.85	10.43 ± 0.72	甜味
	(E)-2-辛烯醛	16.34 ± 8.05	20.22 ± 12.68	黄瓜味
	(E,Z)-2-壬烯醛	36.33 ± 15.30	51.88 ± 38.75	青草味
	正十五碳醛	30.63 ± 10.85	38.37 ± 32.60	
醇类	乙醇	81.57	396.02 ± 261.78	酒精味
	异丙醇	446.20	104.00 ± 136.34	酒精味
	戊醇	77.62 ± 78.27	29.91 ± 13.52	香油味
	己醇	94.60 ± 23.21	(23.60 ± 8.97) *	松香
	辛醇	58.16 ± 25.47	48.55 ± 11.97	焦味
	十二醇	85.12 ± 83.10	45.71 ± 37.53	花香味
	2,3-丁二醇	19.10 ± 15.82	8.25 ± 3.57	
	1-辛烯-3-醇	262.77 ± 170.47	166.47 ± 87.25	蘑菇味
	(E)-2-辛烯-1-醇	65.39 ± 33.32	69.32 ± 34.52	
	2-乙基己醇		47.22 ± 13.90	玫瑰味
	1-十六烷醇	9.47	8.94	玫瑰味
酮类	3-羟基-2-丁酮	31.75 ± 29.99		奶油味
	2-甲基庚烯酮	8.31 ± 6.13	4.01	蘑菇味
	2(5H)-呋喃酮	44.57	(10.87 ± 6.33) *	
酚类	2,6-二叔丁基对甲酚	37.64 ± 28.12	37.40 ± 25.94	
	2,6-二叔丁基苯酚		8.02 ± 1.78	特殊臭味
	苯酚	10.93 ± 3.71	10.49 ± 4.07	特殊臭味
酯类	甲酸庚酯		16.13 ± 1.74	尧尾、玫瑰味
	甲酸辛酯	50.57 ± 24.58	43.59 ± 25.44	果香味
	己酸甲酯	78.29	52.31	菠萝香味
	癸酸甲酯	33.17 ± 21.50	26.22 ± 14.49	烟叶味
	月桂酸甲酯		37.40 ± 14.97	花香味
	10-甲基十一烷酸甲酯	22.01 ± 2.44	27.70 ± 4.85	
	十四酸甲酯	66.89 ± 27.01	55.48 ± 23.87	蜂蜜味
	棕榈酸甲酯	83.80 ± 68.73	90.18 ± 69.39	
	硬脂酸甲酯	14.47	8.49 ± 4.92	油脂味
	邻苯二甲酸二丁酯	29.10	35.01	芳香气味

续表 7

种类	化合物名称	质量比/(ng·(100 g) ⁻¹)		气味特征
		背最长肌	股四头肌	
烃类	十一烷		17.47 ± 9.20	
	环十二烷	64.66 ± 50.87	44.43 ± 32.63	
	十三烷	41.26 ± 23.61	32.76 ± 27.58	
	十四烷		25.39 ± 28.34	烟叶味
	十五烷	13.21 ± 5.20	15.79 ± 2.45	烟叶味
	十六烷	4.64	6.41 ± 0.64	烟叶味
	十七烷	8.94 ± 3.98	8.68 ± 1.47	
	十八烷	5.68 ± 0.87	5.07	
	十九烷		9.35 ± 4.16	
	双戊烯	108.41	298.52	柠檬味
杂环类	苯乙烯	24.54 ± 15.80	21.68 ± 11.57	香油味
	2-正戊基呋喃	61.78 ± 39.53	55.51 ± 19.66	烤肉、黄油味
	苯并噻唑	9.29 ± 1.44	7.53 ± 3.40	油脂味
	对二甲苯	6.08 ± 4.21	17.74	芳香味
醚类	乙基苯	6.66	3.22	芳香味
	丙二醇甲醚	24.3 ± 22.05	10.87 ± 4.86	
酸类	二甲醚		4.53	醚香味
	乙酸	24.06 ± 14.98	27.84 ± 15.26	酸味
	丁酸	63.61	7.81	汗味
	己酸	83.21 ± 58.21	68.51 ± 27.95	汗味
	壬酸	25.59 ± 11.47	11.79 ± 2.72	膻味
其他	N,N-二丁基甲酰胺	15.57 ± 3.96	14.38 ± 5.14	
	叔己基过氧化氢	17.51 ± 9.83	18.24 ± 10.24	
	十二烷-5-基苯		39.97 ± 28.86	
	5-苯基癸烷		28.76 ± 26.27	
	13-十八碳烯酸甲酯		23.01 ± 14.19	
	3-苯基十二烷	9.96 ± 6.05	53.11 ± 65.47	
	亚硝基甲烷	203.31	98.10 ± 35.83	
	(3E)-3-丙-2-烯亚基环丁烯	25.10	16.12	
	十六醛	61.40 ± 12.58	(29.44 ± 15.52) *	
	十二烷-4-基苯	26.52 ± 22.06	24.15 ± 1.45	
	5-苯基壬烷	24.76 ± 15.60		

安多羔羊肉中共检出 72 种挥发性风味物质,醇类物质和醛类物质占主导,含量最多的己醛、壬醛、1-辛烯-3-醇、双戊烯等物质提供了药草味、蘑菇味、柠檬味等特征风味;母羔中有 7 种挥发性风味物质含量显著大于公羔,但酸类、酮类、杂环类物质种类显著低于公羔,说明母羔羊肉膻味和油脂气息较小,因此

与公羔相比可接受度更高;背最长肌中 2(5H)-呋喃酮和己醇的含量显著高于股四头肌,但十三醛含量显著低于股四头肌,说明兴安多羔羊的股四头肌含有更多不饱和脂肪酸和脂肪氧化产物。综上所述,性别和部位对兴安多羔羊肉营养和风味物质组成影响显著。

参 考 文 献

[1] 王旭刚,赵有璋,张子军,等. 不同杂交组合羔羊肉营养成分的测定[J]. 中国草食动物, 2008, 28(5): 31 – 34.

[2] 索效军,张年,李晓锋,等. 羊肉风味物质及影响因素的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(23): 5259 – 5263.

SUO Xiaojun, ZHANG Nian, LI Xiaofeng, et al. Research progress in mutton flavor substances and influencing factors[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(23): 5259 – 5263. (in Chinese)

[3] ALMELA E, JOSE JORDAN M, MARTINEZ C, et al. Ewe's diet (pasture vs grain-based feed) affects volatile profile of cooked meat from light lamb[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(17): 9641 – 9646.

[4] ZHAN P, TIAN H L, SUN B G, et al. Quality control of mutton by using volatile compound fingerprinting techniques and chemometric methods[J]. Journal of Food Quality, 2017, 9(8): 1 – 8.

[5] 席继锋,邓双义,王香祖. 影响羊肉风味的因素研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43(5): 1237 – 1243.

XI Jifeng, DENG Shuangyi, WANG Xiangzu. Research progress on influence factors of mutton flavor[J]. China Animal

Husbandry & Veterinary Medicine, 2016, 43(5): 1237 – 1243. (in Chinese)

[6] 徐国珍. 黑山羊脂肪酸成分测定及营养价值评价[J]. 山地农业生物学报, 1998, 17(5): 304 – 306.
XU Guozhen. Gas chromatography analysis of fatty acid of Leishan black-goat in Guizhou Province[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 1998, 17(5): 304 – 306. (in Chinese)

[7] 莎丽娜. 自然放牧苏尼特羊肉品质特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
SHA Li'na. The study on meat characteristics of natural grazing Sunit sheep[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009. (in Chinese)

[8] 曾勇庆, 王慧. 小尾寒羊肉品氨基酸和矿物质营养特性研究[J]. 草食家畜, 2000(2): 15 – 18.

[9] MISOCK J P, CAMPION D R, FIELD R A, et al. Palatability of heavy ram lambs[J]. Journal of Animal Science, 1976, 42(6): 1440 – 1444.

[10] 张利平, 吴建平. 肉羊体脂脂肪酸与肉品质关系的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2000, 35(4): 363 – 369.

[11] 丁丽娜, 肖海峰. 我国羊肉供求的影响因素及未来趋势——基于局部均衡模型的分析与预测[J]. 农业技术经济, 2014(9): 22 – 31.

[12] 赵有璋. 国内外养羊业发展趋势、问题和对策[J]. 现代畜牧兽医, 2015(9): 63 – 68.
ZHAO Youzhang. Development tendency, problems and countermeasures on sheep industry in domestic and overseas[J]. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2015(9): 63 – 68. (in Chinese)

[13] 丁丽娜. 中国羊肉市场供求现状及未来趋势研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
DING Li'na. Research on the current situation and future trend of mutton supply and demand in China[D]. Beijing: Chinese Agricultural University, 2014. (in Chinese)

[14] 何小龙, 刘学文, 达赖, 等. 兴安多羔羊产羔性能及养殖效益分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2021, 42(1): 56 – 59.
HE Xiaolong, LIU Xuewen, DA Lai, et al. Analysis on lambing performance and feeding benefit of Xing'an multi-lamb sheep [J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2021, 42(1): 56 – 59. (in Chinese)

[15] 全国肉禽蛋制品标准化技术委员会. 肉与肉制品取样方法: GB/T 9695.19—2008[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008.

[16] 张颜民, 徐光, 童建民. 食品真空冷冻干燥过程工艺参数分析[J]. 真空与低温, 1999(3): 58 – 63.
ZHANG Yanmin, XU Guang, DONG Jianmin. Analysis on parameters of freeze drying process for food[J]. Vacuum and Cryogenics, 1999(3): 58 – 63. (in Chinese)

[17] 王金灿. GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》之 5.1 凯氏定氮法具体操作疑难解析[J]. 食品安全导刊, 2018(30): 54 – 55.

[18] 任国艳, 曹利, 王玉琴, 等. 不同烹调方式对羊肉品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 24 – 30.
REN Guoyan, CAO Li, WANG Yuqin, et al. Effect of different cooking methods on the quality of lamb meat[J]. Food Science, 2016, 37(19): 24 – 30. (in Chinese)

[19] 食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016[S]. 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, 2016.

[20] 食品安全国家标准食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 2016.

[21] 陈学敏, 朱国茵, 罗海玲, 等. 基于指纹图谱的欧拉羊肉挥发性风味物质定量分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(5): 349 – 355.
CHEN Xuemin, ZHU Guoyin, LUO Hailing, et al. Quantitative analysis of Oula lamb meat volatile compounds based on fingerprint[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5): 349 – 355. (in Chinese)

[22] 王芳, 王宏博, 席斌, 等. 不同品种绵羊肉品质比较与分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 229 – 235.
WANG Fang, WANG Hongbo, XI Bin, et al. Comparison and analysis of meat quality of different breeds of sheep[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(1): 229 – 235. (in Chinese)

[23] 弓宇, 贺喜格, 韩云飞, 等. 草原戈壁短尾羊肉营养成分分析[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 7 – 11.
GONG Yu, HE Xige, HAN Yunfei, et al. Analysis of nutritional components of the meat of gobi short-tailed sheep[J]. Meat Research, 2021, 35(1): 7 – 11. (in Chinese)

[24] 李伟, 罗瑞明, 李亚蕾, 等. 宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1173 – 1177.
LI Wei, LUO Ruiming, LI Yalei, et al. Analysis of characteristic aroma components of Ningxia Tan mutton[J]. Modern Food Science & Technology, 2013, 29(5): 1173 – 1177. (in Chinese)

[25] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415 – 424.

[26] 冯倩倩, 胡飞, 李平凡. SPME – GC – MS 分析罗非鱼体中挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 67 – 70.
FENG Qianqian, HU Fei, LI Pingfan. Analysis of volatile compounds of *Tilapia* by solid phase microextraction and GC – MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(6): 67 – 70. (in Chinese)

[27] 刚虎军. 不同添加量的甘草饲喂对多浪羊肉特征风味物质的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2017.
GANG Hujun. Effects of different dosage of licorice feed on characteristic flavor compounds in multi wave mutton[D]. Alaer: Tarim University, 2017. (in Chinese)

[28] 江新业, 宋焕禄, 夏玲君. GC – O/GC – MS 法鉴定北京烤鸭中的香味活性化合物[J]. 中国食品学报, 2008, 8(4): 160 – 164.
JIANG Xinye, SONG Huanlu, XIA Lingjun. Identification of aroma-active compounds of Beijing grilled ducks by GC – O/GC – MS [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(4): 160 – 164. (in Chinese)

[29] VAN BA H, AMNA T, HWANG I. Significant influence of particular unsaturated fatty acids and pH on the volatile compounds in meat-like model systems[J]. Meat Science, 2013, 94(4): 480 – 488.

[30] 罗玉龙, 赵丽华, 王柏辉, 等. 苏尼特羊不同部位肌肉挥发性风味成分和脂肪酸分析[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 165 – 169.
LUO Yulong, ZHAO Lihua, WANG Bohui, et al. Analysis of volatile components and fatty acid composition in muscles from different anatomical locations of Sunit sheep[J]. Food Science, 2017, 38(4): 165 – 169. (in Chinese)