

小尾寒羊不同部位挥发性风味物质和脂肪酸分析

冯润芳, 孟凤华, 安晓雯, 王紫娟, 李佳敏, 张志胜, 程书梅, 敖常伟

Analysis of Volatile Flavor Substances and Fatty Acids in Different Parts of Small-Tailed Han Lambs

FENG Runfang, MENG Fenghua, AN Xiaowen, WANG Zijuan, LI Jiamin, ZHANG Zhisheng, CHENG Shumei, and AO Changwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020076>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

安福火腿游离脂肪酸、风味物质及氨基酸分析

Analysis of Free Fatty Acids, Flavor Substances and Amino Acids in Anfu Ham
食品工业科技. 2021, 42(16): 236-242

天然鱼翅翅针中氨基酸和脂肪酸组成分析与评价

Composition Analysis and Evaluation of Amino Acids and Fatty Acids in Natural Shark Fin Cartilage
食品工业科技. 2018, 39(13): 14-18,24

精炼过程对茶籽油脂脂肪酸与挥发性物质的影响

Effect of refining process on the fatty acids and volatile flavor compounds from camellia seed oil
食品工业科技. 2018, 39(8): 34-38,43

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

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
食品工业科技. 2021, 42(14): 272-277

不同部位梅花鹿鹿肉营养品质分析

Nutritional Quality Analysis of Different Parts of Sika Deer Venison
食品工业科技. 2020, 41(14): 276-286

八眉猪不同部位肌肉氨基酸组成分析及营养评价

Nutritional Evaluation and Composition Analysis of Amino Acid in Different Parts of Muscle of Bamei Pig
食品工业科技. 2020, 41(24): 232-236,291



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

冯润芳, 孟凤华, 安晓雯, 等. 小尾寒羊不同部位挥发性风味物质和脂肪酸分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 285-293. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020076

FENG Runfang, MENG Fenghua, AN Xiaowen, et al. Analysis of Volatile Flavor Substances and Fatty Acids in Different Parts of Small-Tailed Han Lambs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 285-293. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020076

小尾寒羊不同部位挥发性风味物质和脂肪酸分析

冯润芳, 孟凤华, 安晓雯, 王紫娟, 李佳敏, 张志胜, 程书梅, 敖常伟*
(河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000)

摘要: 为了研究小尾寒羊不同部位挥发性风味物质和脂肪酸组成的差异, 并初步评价 4 个部位脂肪酸的营养价值。对 4 月龄小尾寒羊后腿、里脊、上脑和羊排 4 个部位的脂肪含量、蛋白质含量、挥发性风味物质和脂肪酸组成进行了对比分析。结果表明: 小尾寒羊主要风味化合物为辛醛、壬醛、辛醇、1-辛烯-3-醇、辛酸和癸酸。里脊部位所含醛类、醇类和酯类化合物种类及相对含量均较高, 对羊肉风味形成起主要作用。上脑部位的不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸比值显著高于其他部位, 多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸比值大于 0.4, 单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的含量均较高。因而上脑部位的脂肪酸组成更符合人体对脂肪酸营养价值的需求。

关键词: 小尾寒羊, 不同部位, 风味物质, 脂肪酸, 营养价值

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)21-0285-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020076



本文网刊:

Analysis of Volatile Flavor Substances and Fatty Acids in Different Parts of Small-Tailed Han Lambs

FENG Runfang, MENG Fenghua, AN Xiaowen, WANG Zijuan, LI Jiamin, ZHANG Zhisheng, CHENG Shumei, AO Changwei*

(College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: The purpose of this experiment was to study the differences of volatile flavor substances and fatty acid composition in different parts of Small-Tailed Han Lambs, and to preliminarily evaluate the nutritional value of fatty acids in four parts. The contents of fat, protein, volatile flavor substances and fatty acid in hind leg, tenderloin, upper brain and lamb chop of 4-month-old Small-Tailed Han Lambs were analyzed. The results showed that the main flavor compounds of Small-Tailed Han Lambs were octanal, nonanal, octanol, 1-octene-3-ol, caprylic acid and decanoic acid. The types and relative contents of aldehydes, alcohols and esters in the tenderloin were high, which played an important role in the formation of mutton flavor. The ratio of unsaturated fatty acids to saturated fatty acids in upper brain was significantly higher than that in other parts, the ratio of polyunsaturated fatty acids to saturated fatty acids was more than 0.4, and the contents of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids were both high. Therefore, the composition of fatty acids in the upper brain is more consistent with the nutritional value of fatty acids.

Key words: Small-Tailed Han Lambs; different parts; flavor substance; fatty acid; nutritional value

羊肉营养价值丰富, 肉质细嫩, 味道鲜美, 其具有高蛋白、低脂肪和低胆固醇等特点。属于温性肉类, 尤其适合滋补食用, 有独特的营养保健功效^[1]。小尾寒羊是优良的肉毛兼用型品种, 以产羔率高、体格高

大、生长发育快、产肉性能好、适应性和抗病性强等著称^[2]。

羊肉的独特风味中所含的挥发性成分大部分源于脂肪组织, 其风味的形成与机体对脂肪的利用

收稿日期: 2021-02-09

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系产业创新团队品牌与产品加工岗位 (HBCT2018140203)。

作者简介: 冯润芳 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 1763298345@qq.com。

* 通信作者: 敖常伟 (1971-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养与加工, E-mail: aocw@163.com。

率有关,而不饱和脂肪酸氧化会产生醛、酮、酚、内酯类、硫化物等物质使羊肉呈现独特风味^[3]。研究发现^[4],支链和碳原子个数为8~10的不饱和酸是造成熟羊肉风味不良的主要原因,尤其是4-甲基支链C9和C10的脂肪酸被认为是产生汗臭的主要原因。挥发性风味物质是影响羊肉风味形成的主要因素,各种具有挥发性的有机分子相互作用,共同形成羊肉特有的风味。现有研究发现,羊肉不同部位挥发性风味物质主要包括醛类、醇类、酯类、酮类、酸类、烷烃类、萜烯类等^[5]。对兰州大尾羊肉挥发性风味物质的研究发现醛类物质是主体风味成分,主体风味物质包括癸醛、辛醛、壬醛、2-壬烯醛、2,4-壬二烯醛、反-2-癸烯醛、2,4-癸二烯醛等^[6]。有报道分析比较了苏尼特羊和小尾寒羊的挥发性风味物质,主要由羰基化合物和醇类化合物组成,主要风味化合物为己醛、辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇和2,3-辛二酮^[7]。大量研究发现,羊肉风味受多种因素的影响,如饲养方式、饲料种类、饲料添加剂、遗传因素等^[8],不同部位的风味也会有差异。研究发现滩羊肉中主要风味化合物为己醛、壬醛、1-辛烯-3-醇、3-羟基-2-丁酮和乙酸乙酯,3个部位饱和脂肪酸/不饱和脂肪酸均接近于营养协会推荐人体摄入脂肪酸的组成比例^[9]。脂肪酸也是影响羊肉风味形成的因素之一,羊肉脂肪组织中已发现有一百多种脂肪酸,主要由棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)和油酸(C18:1)组成。李文博等^[10]发现影响苏尼特羊肉风味的主要挥发性化合物为己醛、壬醛、1-辛烯-3-醇和2,3-辛二酮,脂肪酸中棕榈酸、硬脂酸和油酸占比较重。脂肪是人们膳食组成中重要的组成成分之一,脂肪加热会发生氧化反应,生成大量阈值较低的挥发性风味物质,对羊肉风味产生影响^[11]。食用适量的脂肪有助于人体健康,但摄入过量会对人体健康产生危害,因此,羊肉中的脂肪含量是一项重要的营养指标。蛋白质是机体生命活动过程中重要的物质基础,是人体重要的营养物质,因此,羊肉中的蛋白质含量也是重要的营养指标。

本实验对太行山区小尾寒羊不同部位羊肉中的挥发性风味物质与脂肪酸组成进行分析比较,旨在确定对羊肉风味形成贡献最大的部位及富含脂肪酸的最佳部位,并为评价小尾寒羊的肉质提供参考,也为小尾寒羊风味形成机理的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

羊肉 河北省保定市唐县瑞丽肉食品有限公司;正己烷、正庚烷,色谱纯,上海索莱宝生物科技有限公司;十一碳酸甘油三酯(CAS号:13552-80-2)、37种脂肪酸甲酯混标 上海安谱实验科技有限公司;所用有机溶剂 均为国产分析纯。

7890B-5977A型GC-MS联用仪,配有氢火焰离子化检测器FID、7890A型气相色谱 美国安捷

伦科技有限公司;SYG-2数显恒温水浴锅、85-2A型测速数显恒温磁力搅拌器 常州朗越仪器制造有限公司;ODP3型嗅闻仪 德国Gerstle公司;MJ-BL25B3型绞肉机 广东美的生活电器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 随机选取相同饲养条件下4月龄雄性小尾寒羊10只,现场屠宰。宰前24h断食不断水,分别选取后腿、里脊、上脑和羊排四个部位各500g。样品于-20℃保藏备用,测定前样品在4℃下解冻24h。对不同部位脂肪含量、蛋白质含量和挥发性风味物质进行测定时,肥肉(色泽为白色)和瘦肉(色泽为鲜红色)分开进行测定。

1.2.2 脂肪含量测定 根据GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[12],测定样品中的脂肪含量。

1.2.3 蛋白质含量测定 根据GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[13],测定样品中的蛋白质含量。

1.2.4 挥发性风味物质测定

1.2.4.1 样品前处理 根据张伟艺等^[14]的方法,稍作修改。将4.0g样品置于20mL顶空瓶中,将装有样品的顶空瓶放入55℃恒温水浴锅中加热20min,使顶空瓶中的挥发性气体达到平衡。将已老化好的固相微萃取(Solid phase microextraction, SPME)针头插入顶空瓶中,对顶空瓶中的挥发性气体进行吸附。吸附30min后收回纤维头,拔出萃取针,插入GC-MS进样口,解吸5min。收回纤维头,拔出萃取针,进行挥发性风味物质的测定。

1.2.4.2 色谱条件 GC条件 色谱柱:HP-INNOWAX毛细管色谱柱(60m×0.25mm,0.25μm);升温程序:50℃保持2min,以15℃/min升至100℃,以5℃/min升至220℃,保持10min,以10℃/min升至260℃;载气(He)流速1mL/min,压力0.5MPa,进样量1.0μL,不分流。

MS条件 质谱条件:电子轰击离子源;电子能量70eV;传输线温度250℃;离子源温度250℃;母离子(m/z)285;激活电压1.5V;质量扫描范围(m/z)20~450。

定性及定量分析:将总离子流色谱图中的各组分与NIST14标准谱库进行对照分析,用匹配度进行定性,筛选匹配度大于80的化合物,采用峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

1.2.5 脂肪酸组成测定 根据GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》^[15],测定样品中的脂肪酸含量。

1.3 数据处理

采用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析,测定数据表示为平均值±标准偏差,以P<0.05作为显著性检验标准。

2 结果与分析

2.1 不同部位肥瘦肉中脂肪与蛋白质含量分析

脂肪是人类膳食中的重要组成成分之一,其加热后会发生氧化反应,生成大量阈值较低的挥发性风味物质,对羊肉的风味形成产生影响^[1]。脂肪的适量摄入有益于人体健康,但过量摄入会对人体产生危害。因此,脂肪含量是评价羊肉品质的一项重要营养指标。而蛋白质也是机体进行生命活动的重要物质基础,是人体重要的营养物质。因此,蛋白质含量也是评价羊肉品质的重要营养指标。

由表 1 可知,4 个不同部位均为同一部位肥肉中的脂肪含量显著高于瘦肉($P<0.05$)。肥肉中,羊排中的脂肪含量显著高于后腿、里脊和上脑($P<0.05$),瘦肉中,羊排中的脂肪含量显著高于后腿($P<0.05$)。同一部位均为瘦肉中蛋白质含量显著高于肥肉($P<0.05$)。肥肉中,后腿部位的蛋白质含量显著高于羊排部位。瘦肉中,里脊中的蛋白质含量显著高于羊排($P<0.05$)。

肉类具有特殊香味,脂肪起着重要的作用。研

究表明,脂肪在加热氧化后能够产生多种小分子脂肪醛、酮等芳香族化合物,这些化合物是肉类特殊风味的重要来源。脂肪不但影响肉类香味的形成,对肉类口感也有改善作用^[16]。瘦肉中里脊部位的蛋白质含量显著高于其他部位,对羊肉风味形成影响较大。蛋白质在肌肉中的含量仅次于水分,是构成肌肉的重要成分。蛋白质具有不同的功能特性,这使得蛋白质不仅决定肉制品的营养价值,也影响肉类的风味。

2.2 不同部位肥瘦肉中挥发性风味成分分析

采用顶空固相微萃取结合 GC-MS-O 对小尾寒羊不同部位肥瘦肉中的挥发性成分进行分析,通过 NIST14 谱库检索,对比匹配度不小于 80% 的化合物。由表 2 可知,共检测出 90 种化合物,后腿、里脊、上脑和羊排分别检测出 37 种(肥肉 18 种、瘦肉 26 种)、35 种(肥肉 20 种、瘦肉 21 种)、49 种(肥肉 36 种、瘦肉 26 种)、42 种(肥肉 27 种、瘦肉 29 种)种化合物。主要以醛类、酯类和酸类化合物为主。

由表 3 可知,不同部位肥瘦肉中挥发性风味物质相对含量较高的主要是醛类和酸类化合物。不同

表 1 小尾寒羊不同部位脂肪与蛋白质含量

Table 1 Contents of fat and protein in different parts of small-tailed Han sheep

成分	肥肉				瘦肉			
	后腿	里脊	上脑	羊排	后腿	里脊	上脑	羊排
脂肪含量(g/100 g)	31.80±0.10 ^c	32.59±0.16 ^b	32.55±0.10 ^b	40.43±0.15 ^a	6.64±0.15 ^c	7.09±0.12 ^b	7.02±0.18 ^b	7.50±0.10 ^a
蛋白质含量(g/100 g)	18.10±0.10 ^a	16.27±0.03 ^b	15.50±0.02 ^c	13.29±0.03 ^d	24.10±0.10 ^b	26.43±0.06 ^a	22.20±0.10 ^c	20.40±0.10 ^d

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);其中,同一指标肥肉单独比较,瘦肉单独比较。

表 2 小尾寒羊不同部位挥发性风味物质的 GC-MS 分析结果

Table 2 GC-MS analysis results of volatile flavor compounds in different parts of small-tailed Han sheep

类别	化合物	相对含量(%)							
		后腿		里脊		上脑		羊排	
		肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉
醛类	辛醛	1.704±0.03	0.068±0.01	3.043±0.06	0.495±0.06	2.784±0.03	0.623±0.02	4.549±0.03	1.124±0.04
	壬醛	2.864±0.08	0.078±0.01	4.038±0.02	1.328±0.02	3.434±0.03	1.022±0.02	5.499±0.06	1.743±0.06
	反式-2-癸烯醛	5.381±0.05	—	5.509±0.09	—	3.814±0.01	—	6.961±0.02	2.109±0.04
	2-十一烯醛	4.409±0.02	—	4.05±0.02	—	—	—	—	1.584±0.02
	反式-2,4-癸二烯醛	1.413±0.04	—	1.55±0.08	—	0.778±0.04	0.24±0.03	1.96±0.05	0.714±0.02
	庚醛	—	—	—	—	0.762±0.02	—	—	0.912±0.03
	癸醛	—	—	0.794±0.02	—	0.699±0.03	—	—	—
	反式-2-壬烯醛	—	—	—	—	1.553±0.04	—	—	—
	十一醛	—	—	—	—	0.429±0.02	—	0.706±0.01	0.198±0.02
	十六醛	—	—	—	2.734±0.11	—	0.273±0.01	—	—
	十八醛	—	—	—	0.419±0.02	—	—	—	—
	反式-2-辛烯醛	—	—	—	—	—	—	1.146±0.03	—
	反式-2-十二烯醛	—	—	—	—	—	—	5.158±0.03	—
	反式-2-壬烯醛	—	—	2.415±0.02	—	—	—	—	—
	己醛	—	0.283±0.08	—	—	—	—	0.512±0.03	0.44±0.02
	苯甲醛	—	0.551±0.02	—	2.905±0.08	—	—	—	—
	2-庚烯醛	—	—	0.64±0.04	—	0.561±0.04	—	—	—
肉豆蔻醛	—	—	0.698±0.08	—	0.626±0.03	—	—	0.079±0.01	
十五碳醛	—	—	—	0.242±0.01	0.114±0.04	—	0.379±0.08	0.304±0.02	

续表 2

类别	化合物	相对含量(%)								
		后腿		里脊		上脑		羊排		
		肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	
醇类	(Z)-14-甲基-8-十六碳烯-1-缩醛	-	-	-	0.878±0.01	-	-	-	-	
	(2Z)-2-庚烯醛	-	-	-	-	-	1.24±0.06	-	-	
	(E)-2-十六碳烯醛	-	-	-	-	-	0.915±0.04	-	-	
	辛醇	0.593±0.03	0.055±0.01	0.859±0.03	0.546±0.02	0.881±0.01	0.226±0.02	-	0.434±0.02	
	(R)-(-)-14-甲基-8-十六烷-1-醇	-	0.134±0.04	-	-	-	-	-	-	
	己醇	-	-	-	0.763±0.03	-	-	-	-	
	1-辛烯-3-醇	-	-	-	1.072±0.04	-	-	-	-	
	庚醇	-	-	-	0.224±0.05	-	-	0.962±0.02	-	
	2-乙基己醇	-	-	-	0.715±0.02	-	-	-	-	
	环辛醇	-	-	-	0.206±0.04	-	-	-	-	
	癸醇	-	-	-	-	0.113±0.01	-	-	-	
	1-十一醇	-	-	-	-	0.115±0.01	-	-	-	
	2-亚甲基环戊醇	-	-	-	-	-	-	0.205±0.02	-	
	癸酸乙酯	2.978±0.05	0.06±0.02	0.327±0.04	-	0.297±0.01	-	-	-	
	苯甲酸乙酯	0.505±0.04	0.394±0.03	0.258±0.01	1.24±0.02	0.157±0.03	0.262±0.02	0.35±0.03	0.149±0.04	
	月桂酸乙酯	0.268±0.04	0.082±0.01	-	-	0.063±0.01	0.193±0.04	-	0.067±0.02	
	丙位辛内酯	-	-	-	-	0.216±0.04	-	0.331±0.08	0.072±0.01	
	酯类	3-苯丙酸乙酯	-	0.112±0.03	-	0.347±0.03	-	0.121±0.04	-	0.059±0.01
		肉豆蔻酸乙酯	-	0.062±0.02	-	-	-	-	-	-
棕榈酸乙酯		-	0.171±0.02	0.341±0.06	1.039±0.04	0.266±0.03	0.868±0.02	-	0.602±0.02	
9-十六碳烯酸乙酯		-	0.261±0.04	-	5.708±0.02	-	1.222±0.04	-	0.108±0.03	
9,12-庚二酸甲酯		-	0.267±0.03	-	-	-	-	-	-	
4-乙基-4-羟基丁酸内酯		-	-	-	-	0.103±0.03	-	-	-	
氯乙酸十三酯		-	-	-	-	0.145±0.02	-	-	-	
反油酸乙酯		-	-	-	-	0.14±0.03	-	-	-	
苯甲酸乙酯		-	-	-	-	-	0.149±0.02	-	-	
乙酸苯乙酯		-	-	-	-	-	0.142±0.02	-	-	
十四酸乙酯		-	-	-	-	-	0.156±0.01	-	-	
硬脂酸乙酯		-	-	-	-	-	0.117±0.04	-	-	
油酸乙酯		-	-	-	-	-	0.877±0.06	-	-	
甲酸辛酯		-	-	-	-	-	-	1.401±0.05	-	
环十三烷		-	-	-	-	-	-	-	0.087±0.02	
烷烃类		(E)-2-十六烷	-	-	-	-	0.119±0.03	-	-	-
		2-甲基十六烷	-	-	-	-	0.147±0.01	-	-	-
		十四烷	-	-	-	-	-	-	0.408±0.02	-
		环癸烷	-	-	-	-	-	-	-	0.138±0.01
	3-丁基环己烯	0.503±0.02	-	-	-	-	-	-	-	
萜烯类	反式角鲨烯	-	0.003±0.001	-	-	-	-	-	-	
	癸烯	-	-	-	-	-	-	0.37±0.04	-	
	苯并环庚三烯	-	-	-	-	-	-	0.135±0.02	-	
	棕榈油酸	-	-	-	3.794±0.02	-	-	-	-	
酸类	棕榈酸	2.884±0.02	-	-	-	-	-	0.336±0.06	2.946±0.02	
	肉豆蔻酸	1.369±0.05	-	1.135±0.05	-	0.567±0.03	1.634±0.07	-	0.504±0.02	
	6-十八酸	18.288±0.04	-	6.963±0.03	-	5.278±0.05	-	-	-	
	辛酸	-	-	0.845±0.04	-	0.727±0.02	-	0.584±0.02	-	
	癸酸	-	-	2.075±0.05	-	1.611±0.07	0.287±0.02	1.488±0.01	0.507±0.03	
	4-(4H-1,2,4-三唑-4-酰基)-苯乙酸	-	-	-	-	-	0.438±0.08	-	-	
	亚麻酸	-	3.628±0.02	-	-	-	-	-	-	
	硬脂酸	-	1.49±0.04	-	-	-	-	-	0.367±0.02	
	月桂酸	-	0.342±0.02	-	-	-	-	-	-	
	亚油酸	-	16.405±0.05	-	6.659±0.06	-	-	-	-	
	反油酸	-	13.974±0.02	-	-	-	-	-	-	

续表 2

类别	化合物	相对含量(%)							
		后腿		里脊		上脑		羊排	
		肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉	肥肉	瘦肉
酮类	油酸	-	11.091±0.06	-	-	-	-	16.614±0.05	23.998±0.08
	顺式-十八碳烯酸	-	0.286±0.04	-	-	-	-	-	0.162±0.04
	十八碳九烯酸	-	0.056±0.01	-	-	-	-	-	-
	2-十五烷酮	0.215±0.02	-	0.33±0.01	-	0.224±0.02	0.255±0.03	0.396±0.04	0.1±0.01
	2-癸酮	-	-	-	-	0.123±0.01	-	-	-
	3-丁基环戊酮	-	-	-	-	0.250±0.02	-	-	-
	十七烷酮	-	-	-	-	-	0.402±0.04	0.215±0.04	-
	5-苯基-2-戊酮	-	0.202±0.03	-	-	-	-	-	-
	四氢-2H-2-吡喃酮	-	-	-	-	0.166±0.02	-	0.278±0.03	-
	甲苯	-	0.152±0.01	-	-	-	-	-	-
其他	萘	1.376±0.03	0.086±0.01	0.344±0.04	0.434±0.02	0.214±0.01	0.229±0.01	-	0.125±0.02
	1-甲基萘	-	-	-	-	0.067±0.02	-	-	0.086±0.02
	2-甲基萘	0.584±0.02	-	-	-	-	0.122±0.03	-	-
	2-辛基呋喃	-	-	-	-	0.234±0.03	0.099±0.01	0.387±0.04	0.118±0.03
	苯酚	0.499±0.03	-	-	-	-	-	-	-
	间甲酚	0.318±0.02	-	-	-	-	-	-	-
	八(乙二醇)一(十二烷基)醚	-	-	-	0.07±0.01	-	-	0.243±0.03	-
	4-甲基苯酚	-	-	0.174±0.04	-	0.146±0.02	0.097±0.01	-	-
	1-亚甲基萘	-	-	-	-	-	-	0.47±0.02	-

注: - 未检测出; 表3~表4同。

表 3 不同部位挥发性风味物质种类及相对含量

Table 3 Types and relative contents of volatile flavor substances from different parts

样品		醛类		醇类		酯类		烷烃类		萜烯类		酸类		酮类		其他	
		种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)	种类	相对含量 (%)
后腿	肥肉	5	15.771±0.13	1	0.593±0.08	3	3.751±0.13	-	-	1	0.503±0.09	3	22.541±0.12	1	0.215±0.01	4	2.777±0.13
	瘦肉	4	0.980±0.05	2	0.189±0.04	8	1.409±0.04	-	-	1	0.003±0.001	8	47.272±0.14	1	0.202±0.02	2	0.238±0.02
里脊	肥肉	9	22.737±0.11	1	0.859±0.02	3	0.926±0.12	-	-	-	-	4	11.018±0.13	1	0.330±0.04	2	0.518±0.01
	瘦肉	7	9.001±0.14	6	3.526±0.06	4	8.334±0.13	-	-	-	-	2	10.453±0.15	-	-	2	0.504±0.04
上脑	肥肉	11	15.554±0.06	3	1.109±0.15	8	1.387±0.08	2	0.266±0.03	-	-	4	8.183±0.07	4	0.763±0.03	4	0.661±0.02
	瘦肉	6	4.313±0.08	1	0.226±0.03	10	4.107±0.11	-	-	-	-	3	2.359±0.12	2	0.657±0.04	4	0.547±0.03
羊排	肥肉	9	26.870±0.06	2	1.167±0.08	3	2.082±0.07	1	0.408±0.02	2	0.505±0.03	4	19.022±0.10	3	0.889±0.02	3	1.100±0.04
	瘦肉	10	9.207±0.11	1	0.434±0.02	6	1.057±0.06	2	0.225±0.04	-	-	6	28.484±0.05	1	0.100±0.03	3	0.329±0.06

部位挥发性风味物质的种类和相对含量存在差异,同一部位肥肉和瘦肉中挥发性风味物质的种类和相对含量也存在差异。由不同部位挥发性风味物质分析可得,羊肉的挥发性风味物质主要来源于脂肪的氧化降解和美拉德反应。

醛类物质大部分由脂肪氧化或水解产生,极少部分由肉中的糖类发生美拉德反应产生^[17],其气味难闻,是羊肉膻味形成的重要物质。研究表明,醛类物质与脂肪氧化程度有关,脂肪过度氧化会导致肉类变质,对羊肉风味形成产生负面影响^[18]。由表 2 可知,在醛类物质中,上脑部位肥肉中反式-2-癸烯醛的相对含量最高,而瘦肉中(2Z)-2-庚烯醛的相对含量最高。醛类物质在羊排肥肉和瘦肉中相对含量均为最高,由于肥瘦肉的差异,在不同部位均为肥肉中醛类化合物的相对含量高于瘦肉。醛类物质中以饱和醛为主,包括己醛、庚醛、辛醛、壬醛和癸醛,辛醛和壬

醛在不同部位均有检出。苯甲醛在后腿瘦肉、里脊瘦肉中均有存在,且含量较高,其本身具有苦杏仁味,对羊肉风味形成有消极影响^[19]。己醛在后腿、羊排中有检出,其含量高低常用来指示肉类中脂肪的氧化程度,其含量高,表示脂肪氧化程度高^[20],对羊肉风味形成产生不利影响。醛类物质在不同部位挥发性化合物种类和含量不同可能与肥瘦肉组织结构和脂肪氧化程度不同有关。

醇类化合物主要由肌肉中的脂肪氧合酶和氢过氧化物酶通过降解亚油酸产生^[21]。醇类通常具有芳香、植物香和果香味,四个部位都含正辛醇,其具有油脂味、柑橘和玫瑰香味,对羊肉风味形成有促进作用。己醇具有柑橘、浆果和果香味,只存在于里脊瘦肉中;正癸醇具有甜花香气,只存在于上脑肥肉中;1-辛烯-3-醇是羊肉里脊部位特有的不饱和醇,是良好的呈味物质^[22]。由表 2 可知,醇类物质在里脊部位

的种类和相对含量均高于其他部位,赋予了羊肉较好的风味。

酯类化合物主要有苯甲酸乙酯、棕榈酸乙酯、9-十六碳烯酸乙酯等,共检测出酯类化合物18种。其中9-十六碳烯酸乙酯含量最高,四个部位瘦肉中均存在,具有果香味;含量较高的癸酸乙酯有奶酪味;苯甲酸乙酯有果香味;棕榈酸乙酯有奶油香气;这些酯类通过协同作用为羊肉风味形成作出贡献^[23]。

烷烃类化合物由肉类脂肪酸中烷氧自由基均裂产生,一般无气味,对羊肉风味形成没有直接作用。但其可作为合成其他杂环类物质的中间体,作为媒介对羊肉风味形成起到间接作用^[24]。共检测出5种挥发性烷烃类化合物,其种类和含量较少。

萜烯类化合物种类和相对含量较低,不同部位之间没有明显差异,对羊肉风味的形成贡献不大。

酸类化合物由脂肪酸甘油酯和磷脂加热氧化或酶解产生^[25]。由表3可以看出,后腿部位酸类物质挥发性风味物质相对含量最高,是后腿部位中主要挥发性物质。由表2可知,在酸性成分中,后腿部位肥肉中6-十八酸相对含量最高,而瘦肉中亚油酸的相对含量最高。里脊和羊排瘦肉部位均为酸类挥发性风味物质相对含量最高,里脊瘦肉中亚油酸的相对含量最高,而羊排瘦肉中油酸的相对含量最高。由表2可知,酸类化合物含量在羊肉挥发性物质中占比较高,包括6-十八酸、亚油酸、油酸、棕榈油酸、亚麻酸等。多数为长链脂肪酸,少数为短链脂肪酸,如辛酸和癸酸。短链脂肪酸种类和相对含量较低,但却被认为对羊肉特有的膻味形成有较大影响。油酸只存在于后腿和羊排部位。营养价值较高的有棕榈油酸、亚麻酸、亚油酸。棕榈油酸只存在于里脊瘦肉中,亚麻酸只存在于后腿瘦肉中,相对含量均较低。亚油酸在后腿和里脊部位瘦肉中均存在,且相对含量较高。因此,后腿和里脊部位的瘦肉营养价值较高,更符合人体的营养价值需求。

酮类化合物是美拉德反应的中间产物,由不饱和脂肪酸的热氧化或降解产生^[26]。共检出6种酮类化合物,种类和相对含量较少,对羊肉风味形成有一定影响。2-十五烷酮在4个部位中都存在,且含量较高。2-癸酮和3-丁基环戊酮是上脑部位特有的风味物质,5-苯基-2-戊酮是后腿部位特有的风味物质。

杂环类化合物是羊肉特征风味形成的原因之一,呋喃类物质是美拉德反应的产物。

分析表明,影响小尾寒羊肉风味的挥发性成分主要为醛类和醇类,主要风味物质为辛醛、壬醛、辛醇、1-辛烯-3-醇、辛酸和癸酸。

2.3 不同部位小尾寒羊肉中脂肪酸组成分析

由表4可知,小尾寒羊肉中共检测出30种挥发性脂肪酸,其中包括饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)15种、不饱和脂肪酸(Unsaturated fatty acid, UFA)15种,单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty

acids, MUFA)8种、多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFA)7种。

由表4可知,饱和脂肪酸主要由十七烷酸(珍珠酸)、肉豆蔻酸、正十五烷酸组成。十七烷酸在里脊部位的含量明显高于上脑部位,正十五烷酸在里脊部位的含量明显高于上脑部位,肉豆蔻酸在羊排部位的含量显著高于上脑部位。单不饱和脂肪酸主要由油酸、棕榈油酸和反油酸组成。油酸和棕榈油酸在上脑部位含量最高,反油酸在后腿部位含量最高。上脑部位的油酸含量显著高于后腿部位。油酸具有软化血管的作用,对人体健康起着重要作用。人体自身合成的油酸不能满足人体需要,因此必须从食物中摄取获得。棕榈油酸存在于后腿、上脑、羊排部位,棕榈油酸对一些慢性疾病,如代谢综合症、糖尿病和炎症有治疗作用。反油酸只存在于后腿部位且含量较高,反油酸是油酸的同分异构体,属于反式脂肪酸,能够引起内皮细胞损伤,使炎症因子表达增加,对人体健康不利。因此,从营养角度来看,后腿部位不适宜过多食用。多不饱和脂肪酸主要由亚油酸、 α -亚麻酸组成。 α -亚麻酸存在于后腿、里脊和羊排部位,且在3个部位脂肪酸含量均较低。 α -亚麻酸具有降血脂、降血压、抑制血栓类疾病、预防心肌梗死等作用,还能促进肠胃微生物脂肪酸代谢过程中的氢化反应,促使多不饱和脂肪酸在人体内的沉积^[27]。亚油酸只存在于上脑部位,其具有降血脂、降血压、降低胆固醇、软化血管、预防动脉粥样硬化、促进微循环等作用^[28],对羊肉风味形成起到促进作用。整体来说,上脑部位具有较高的营养价值。

多不饱和脂肪酸中的亚麻酸包括 α -亚麻酸和 γ -亚麻酸。 γ -亚麻酸具有降低血脂、血压,抗炎消炎等作用,医学上主要用于治疗心脏病、血管障碍、高血压、糖尿病和老年痴呆等病症^[29]。 γ -亚麻酸存在于后腿和里脊部位且含量较低。研究表明,花生四烯酸在降血脂、抑制血小板聚集、抗炎、抗癌、抗脂质氧化、促进脑组织发育等方面具有独特的生物活性^[30],其只存在于里脊部位且含量较低。

Wong等^[4]认为8~10个碳链长度的支链脂肪酸(Branched fatty acid, BCFAs)对羊肉特征风味形成具有显著作用,他认为4-甲基辛酸、4-甲基壬酸和4-乙基辛酸是羊肉膻味产生的主要物质,而癸酸是4-甲基壬酸的同分异构体,因此癸酸对羊肉的特征风味也起到一定作用。孟宪敏等^[31]认为,羊肉中起关键作用的致膻化合物是短链的游离脂肪酸,主要有己酸、辛酸和癸酸,其中癸酸是影响羊肉膻味的主要物质,当己酸:辛酸:癸酸比例为0.5:1.0:9.0,并在一定条件下可结合成稳定的络合物或缔合物,才能使羊肉产生典型的膻味。本文中检测出短链脂肪酸有丁酸、己酸、辛酸和癸酸。丁酸只存在于后腿部位且含量较低,己酸、辛酸和癸酸在4个部位中都存在,在里脊部位含量最高。与其他长链脂肪酸含量相比,己

表 4 小尾寒羊不同部位中脂肪酸组成
Table 4 Fatty acid composition in different parts of small-tailed Han sheep

脂肪酸	脂肪酸含量(g/100 g)			
	后腿	里脊	上脑	羊排
饱和脂肪酸(SFA)	27.3872±0.03	58.9515±0.06	8.9268±0.09	44.8094±0.04
丁酸(C4:0)	0.0530±0.01	—	—	—
己酸(C6:0)	0.0407±0.01	0.0853±0.01	0.0073±0.001	0.0346±0.01
辛酸(C8:0)	0.0384±0.01	0.1053±0.01	0.0165±0.002	0.0753±0.02
癸酸(C10:0)	0.3302±0.02	1.2318±0.05	0.4002±0.02	0.9884±0.04
十一烷酸(C11:0)	1.4980±0.08	1.4980±0.02	1.4980±0.08	1.4980±0.08
十二烷酸(C12:0)	0.2536±0.01	0.4131±0.04	0.1237±0.02	0.6076±0.04
十三烷酸(C13:0)	0.1073±0.02	0.5428±0.02	0.0573±0.01	0.3456±0.02
肉豆蔻酸(C14:0)	5.8684±0.04	8.0860±0.05	2.8842±0.07	14.0088±0.05
十五烷酸(C15:0)	3.1635±0.03	12.0529±0.04	1.4706±0.04	8.5695±0.08
棕榈酸(C16:0)	—	0.0300±0.01	—	—
珍珠酸(C17:0)	7.8471±0.04	18.9929±0.08	2.3754±0.03	17.3756±0.10
花生酸(C20:0)	2.8656±0.06	2.5489±0.06	0.0936±0.01	1.3060±0.06
二十一烷酸(C21:0)	0.2092±0.02	0.2703±0.02	—	—
二十二烷酸(C22:0)	3.8985±0.08	6.1414±0.03	—	—
木蜡酸(C24:0)	1.2137±0.03	6.9528±0.06	—	—
单不饱和脂肪酸(MUFA)	63.7903±0.06	26.3765±0.06	73.9439±0.06	48.7211±0.10
十四碳烯酸(C14:1)	2.3690±0.06	12.3274±0.02	0.8808±0.05	5.8554±0.08
十五碳烯酸(C15:1)	0.2886±0.02	5.5189±0.03	0.1096±0.03	0.8467±0.04
棕榈油酸(C16:1)	15.3636±0.04	—	17.5616±0.07	16.2092±0.06
十七碳烯酸(C17:1)	7.0780±0.06	—	3.9625±0.03	20.0008±0.03
反油酸(C18:1n9t)	33.8068±0.02	—	—	—
油酸(C18:1n9c)	3.3639±0.02	5.9106±0.08	51.0604±0.07	—
二十碳烯酸(C20:1)	1.5204±0.03	2.6196±0.06	—	3.8429±0.04
二十二碳烯酸(C22:1n9)	—	—	0.3690±0.02	1.9661±0.06
多不饱和脂肪酸(PUFA)	7.9855±0.02	14.5314±0.07	17.0375±0.04	6.2242±0.08
亚油酸(C18:2n6c)	—	—	16.8962±0.05	—
γ-亚麻酸(C18:3n6)	0.2709±0.01	0.3931±0.02	—	—
α-亚麻酸(C18:3n3)	7.7146±0.02	5.3668±0.02	—	0.2309±0.02
花生二烯酸(C20:2)	—	—	0.1413±0.01	0.5317±0.06
二十碳三烯酸(C20:3n3)	—	—	—	0.3320±0.03
花生四烯酸(C20:4n6)	—	0.6301±0.04	—	—
二十二碳二烯酸(C22:2)	—	8.1414±0.06	—	5.1296±0.08
UFA/SFA	2.6208±0.04	0.6939±0.02	10.1919±0.05	1.2262±0.07
MUFA/PUFA	7.9883±0.08	1.8151±0.02	4.3401±0.04	7.8277±0.06
PUFA/SFA	0.2916±0.02	0.2465±0.06	1.9086±0.05	0.1389±0.02
必需脂肪酸	7.7146±0.06	5.9969±0.04	16.8962±0.10	0.2309±0.02
非必需脂肪酸	91.4484±0.06	93.8625±0.12	83.0120±0.07	99.5238±0.18

酸、辛酸和癸酸含量较低,但却对羊肉膻味形成起到至关重要的作用。

上脑部位的 UFA/SFA 比值明显高于里脊部位。不饱和脂肪酸具有调节血脂和免疫功能、清理血栓、改善关节炎和提高视力等作用^[32]。饱和脂肪酸摄入量过高会导致胆固醇、三酰甘油和低密度脂蛋白水平升高,对人体健康不利。WHO 推荐, PUFA/SFA 比值最好大于 0.4,本研究得出,上脑部位的 PUFA/SFA 为 1.9086。单不饱和脂肪酸具有降低血糖和胆固醇、调节血脂和抗血栓等作用。多不饱和脂肪酸具有降低胆固醇和血液黏稠度,改善血液循环,调节心脏功能和增强记忆力等作用。MUFA

和 PUFA 在上脑部位含量均高于其他部位。因此,上脑部位的脂肪酸组成更符合人体对脂肪酸营养价值的需求。

3 结论

采用 GC-MS-O 联用技术对小尾寒羊不同部位挥发性成分进行分析,共检测出 90 种挥发性风味物质。后腿、里脊、上脑、羊排中分别检出 37 种、35 种、49 种和 42 种挥发性成分,包括醛类、醇类、酯类、酸类、烷烃类、萜烯类和酮类等化合物。主要风味化合物为辛醛、壬醛、辛醇、1-辛烯-3-醇、辛酸和癸酸。里脊部位所含醛类、醇类和酯类化合物种类和相对含量均较高,里脊部位的挥发性风味化合物

更加丰富,对羊肉风味形成贡献最大。

采用气相色谱法对小尾寒羊不同部位中脂肪酸组成进行分析,共检测出30种脂肪酸。检出饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸分别为15种、8种和7种。上脑部位的单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和必需脂肪酸含量均为最高,上脑部位的亚油酸、 α -亚麻酸、油酸和棕榈油酸含量均较高, MUFA 和 PUFA 含量均较高。上脑部位的 UFA/SFA 值最大, PUFA/SFA 值大于 0.4,符合 WHO 的推荐。因此,上脑部位脂肪酸比例更符合人体对羊肉脂肪酸营养价值的需求,对人体健康更有益。

参考文献

- [1] 刘瑶. 我国羊肉产业现状及未来发展趋势[J]. 中国饲料, 2019(17): 112-117. [LIU Y. The present situation and future development trend of mutton industry in China[J]. China Feed, 2019(17): 112-117.]
- [2] 方梦琳, 张德权, 张柏林, 等. 我国羊肉加工业的现状与发展趋势[J]. 肉类研究, 2008(3): 3-7. [FANG M L, ZHANG D Q, ZHANG B L, et al. The present situation and trends of the mutton processing in China[J]. Meat Research, 2008(3): 3-7.]
- [3] 刘旺景, 敖长金. 羊膻味物质的合成机理及影响因素研究进展[J]. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5412-5421. [LIU W J, AO C J. Research progress on the synthesis mechanism and influencing factors of sheep flavour substances[J]. Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(12): 5412-5421.]
- [4] WONG E, NIXON L N, JOHNSON C B. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1975, 23(3): 495-498.
- [5] 詹萍. 羊肉特征香气成分的鉴定及其肉味香精的制备[D]. 无锡: 江南大学, 2013 [ZHAN P. Identification of characteristic aroma components of mutton and preparation of meat flavor [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.]
- [6] 李贞子, 杨具田, 祁高展, 等. 兰州大尾羊肉挥发性风味组分研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 50-54, 95. [LI Z Z, YANG J T, QI G Z, et al. Research of volatile components of Lanzhou fat-tailed sheep[J]. Food & Machinery, 2016, 32(12): 50-54, 95.]
- [7] 罗玉龙, 王柏辉, 赵丽华, 等. 苏尼特羊和小尾寒羊的屠宰性能、肉品质、脂肪酸和挥发性风味物质比较[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 103-107. [LUO Y L, WANG B H, ZHAO L H, et al. Slaughter performance, meat quality, fatty acids and volatile components of Sunit Lambs and Small-Tailed Han Lambs[J]. Food Science, 2018, 39(8): 103-107.]
- [8] 陈佳欣, 张英杰. 羊肉风味的形成及影响因素研究[J]. 饲料工业, 2020, 41(23): 22-26. [CHEN J X. Research on the formation and influencing factors of lamb flavor[J]. Feed Industry, 2020, 41(23): 22-26.]
- [9] 王芳, 杨晓玲, 席斌, 等. 滩羊不同部位肌肉脂肪酸分析及特征风味指纹图谱的构建[J/OL]. 食品科学: 1-12. [2021-08-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201211.1728.050.html> [WANG F, YANG X L, XI B, et al. Analysis of fatty acids in different parts of Tan Sheep muscle and construction of characteristic flavor fingerprints [J/OL]. Food Science, 1-12. [2021-08-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201211.1728.050.html>.]
- [10] 李文博, 罗玉龙, 刘畅, 等. 饲养方式对苏尼特羊肉挥发性风味成分和脂肪酸组成的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 207-213. [LI W B, LUO Y L, LIU C, et al. Effects of feeding methods on volatile flavor components and fatty acid composition of Sunit Lamb[J]. Food Science, 2019, 40(24): 207-213.]
- [11] 康乐. 牛肉中 Maillard 反应风味前体肽的鉴定及其产物形成机理的研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2017 [KANG L. Identification of maillard reaction flavor precursor peptides in beef and study on the formation mechanism of its products [D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2017.]
- [12] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 张伟艺, 王元, 杨静玲, 等. 手抓羊肉风味物质及理化指标检测[J]. 中国调味品, 2017, 42(1): 135-138, 141. [ZHANG W Y, WANG Y, YANG J L, et al. Detection of volatile compounds and physicochemical indexes of grasped mutton[J]. China Condiment, 2017, 42(1): 135-138, 141.]
- [15] GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 黄红涛, 冯若楠, 夏天宇, 等. 脂肪对肉品质的影响[J]. 畜牧兽医杂志, 2018, 37(1): 59-60. [HUANG H T, FENG R N, XIA T Y, et al. Effects of fat on meat quality[J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2018, 37(1): 59-60.]
- [17] WANG W, SUN B, HU P, et al. Comparison of differential flavor metabolites in meat of Lubei White Goat, Jining Gray Goat and Boer Goat[J]. Metabolites, 2019, 9(9).
- [18] TIAN H, ZHAN P, LI W, et al. Contribution to the aroma characteristics of mutton process flavor from oxidized suet evaluated by descriptive sensory analysis, gas chromatography, and electronic nose through partial least squares regression[J]. European Journal of Lipid science & Technology, 2015, 116(11): 1522-1533.
- [19] 郭俊强, 徐晓锋, 谢忠奎, 等. 脂肪酸对羊肉品质的影响研究进展[J]. 中国饲料, 2019(23): 69-75. [GUO J Q, XU X F, XIE Z K, et al. Research progress on the effects of fatty acids on mutton quality[J]. China Feed, 2019(23): 69-75.]
- [20] BA H V, CHO S H, SEONG P N, et al. Quality characteristics, fatty acid profiles, flavor compounds and eating quality of cull sow meat in comparison with commercial pork[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2020, 33(4).
- [21] 郭青雅, 宋焕禄. 固相微萃取法分析羊肉臊子中关键风味物质[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 152-156. [GUO Qingya, SONG Huanlu. Analysis of key odor compounds from minced mutton based on solid-phase microextraction[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(1): 152-156.]
- [22] 王伦兴, 张洪礼, 陈德琴, 等. 黔北麻羊不同部位肌肉挥发性风味物质分析[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 47-52. [WANG L X, ZHANG H L, CHEN D Q, et al. Volatile flavor compounds in muscles from different carcass cuts of Qianbei Ma Goat[J]. Meat Research, 2021, 35(1): 47-52.]

- [23] 王建辉,王秀,陈奇,等.氧化分解过程中亚油酸组成成分及挥发性物质的变化[J].食品与机械,2016,32(5):5-10. [WANG J H, WANG X, CHEN Q, et al. Changes of Linoleic acid and volatile substances in the process of oxidative decomposition[J]. Food&Machinery, 2016, 32(5): 5-10.]
- [24] 杨文婷,李俊丽,孔丰,等.基于主成分分析法对冷冻滩羊肉品质评价模型的构建[J].食品工业科技,2017,38(9):300-303,313. [YANG W T, LI J L, KONG F, et al. Modeling for quality evaluation of frozen lamb based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(9): 300-303,313.]
- [25] TIAN H L, YAN H Y, ZHAN P, et al. Evaluation of mutton process flavor quality by flavor fingerprint and partial least squares-discriminant analysis[J]. Modern Food science and Technology, 2016, 32(4): 288-296 and 200.
- [26] 梁静,张文举,王博.影响羊肉品质因素的研究进展[J].中国畜牧兽医,2016,43(5):1250-1254. [LIANG J, ZHANG W W J, WANG B. Research progress on factors affecting mutton quality[J]. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2016, 43(5): 1250-1254.]
- [27] LADIKOS D, LOUGOVOIS V. Lipid oxidation in muscle foods: A review[J]. *Food Chemistry*, 1990, 35(4): 295-314.
- [28] ELMORE J S, COOPER S L, ENSER M, et al. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb[J]. *Meat science*, 2005, 69(2): 233-242.
- [29] GLASER K R, SCHEEDER M, WENK C. Dietary C18: 1 trans fatty acids increase conjugated linoleic acid in adipose tissue of pigs[J]. *European Journal of Lipid science and Technology*, 2015, 102(11): 684-686.
- [30] GAO J, WANG M A, JING Y J, et al. Impacts of the unsaturation degree of long-chain fatty acids on the volatile fatty acid profiles of rumen microbial fermentation in goats in vitro[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(12): 2827-2833.
- [31] 孟宪敏,马丽珍,郝林,等.一种简便无膻发酵肠的制作[J].肉类研究,1991(2):23-26. [MENG X M, MA L Z, HAO L, et al. A simple preparation of fermented sausage without mutton[J]. *Meat Research*, 1991(2): 23-26.]
- [32] GERALD P D, YIANNIKOURIS A, BRANDL W, et al. Fitness for purpose and stability assessment of long-chain polyunsaturated fatty acids in chicken tissues[J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2019, 103: 93-99.