

顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析 延边牛不同肌肉组织的挥发性风味物质

孙 斌¹, 崔 岩¹, 盛万里², 张军芳¹, 唐 琳¹, 王恩泽¹, 王 英¹, 李 强¹, 李香子^{1,*}
(1. 延边大学 东北寒区肉牛科技创新教育部工程研究中心, 吉林省肉牛科学与产业技术重大需求协同创新中心, 吉林 延吉 133002; 2. 呼和浩特海关技术中心, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要: 为探究延边牛不同肌肉组织的挥发性风味物质, 以6头同一月龄、同一生长条件的延边牛屠宰后的臀肉、眼肉、上脑、里脊、脊肋排和牛腩6个部位为材料, 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用对其挥发性风味物质进行检测, 通过峰面积归一法确定各成分的相对含量, 确定不同部位肌肉关键性挥发性风味物质。结果表明: 共检测出醛类、醇类、酮类、烷烃类、酯类、胺类和烯烃类共79种挥发性化合物, 其中脊肋排29种、里脊40种、上脑28种、臀肉25种、牛腩29种、眼肉35种; 6个部位间挥发性化合物的种类及含量存在明显差异, 与其他部位相比, 牛腩中醛类和胺类化合物的相对含量最高, 里脊的酯类与醇类化合物相对含量最高, 脊肋排的烯烃类与烷烃类化合物相对含量最高, 酮类化合物并没有在脊肋排中被检测到, 臀肉中富含较多的酮类化合物。

关键词: 延边牛; 不同部位; 风味物质; 气相色谱-质谱联用

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Different Muscle Tissues of Yanbian Cattle by Headspace Solid Phase Microextraction Combined with Gas Chromatography-Mass Spectrometry

SUN Bin¹, CUI Yan¹, SHENG Wanli², ZHANG Junfang¹, TANG Lin¹, WANG Enze¹, WANG Ying¹, LI Qiang¹, LI Xiangzi^{1,*}
(1. Jilin Beef Cattle Science and Industrial Technology Major Demand Collaborative Innovation Center, Engineering Research Center of North-East Cold Region Beef Cattle Science and Technology Innovation, Ministry of Education, Yanbian University, Yanji 133002, China; 2. Technical Center of Hohhot Customs District, Hohhot 010020, China)

Abstract: The current study aimed to investigate the volatile flavor compounds of different muscle tissues of Yanbian cattle. In this experiment, six Yanbian cattle were raised under the same management and feeding conditions and slaughtered at the same age, and muscle samples were collected from six different carcass locations: round, ribeye, high rib, tenderloin, spine rib and brisket for determination of volatile flavor compounds using solid-phase microextraction (SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The relative contents of volatile compounds were determined by the peak area normalization method, and based on them the key volatile flavor compounds were determined for each carcass part. A total of 79 volatile compounds were detected, including aldehydes, alcohols, ketones, alkanes, esters, amines and olefins, of which 29 were found in the spine rib, 40 in the tenderloin, 28 in the high rib, 25 in the rump, 29 in the brisket, and 35 in the ribeye. There were obvious differences in the composition and content of volatile compounds among the six parts. The relative contents of aldehydes and amines in the brisket were the highest, the relative contents of esters and alcohols in the tenderloin were the highest, and the relative contents of olefins and alkanes in the spine rib were the highest. No ketones were detected in the spine rib, while the round was rich in ketones.

Keywords: Yanbian cattle; different carcass parts; flavor substances; gas chromatography-mass spectrometry

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210823-207

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 04-0035-06

收稿日期: 2021-08-23

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目 (32060767);

东北寒区肉牛科技创新教育部工程研究中心资助及高等学校学科创新引智计划资助项目 (D20034)

第一作者简介: 孙斌 (1995—) (ORCID: 0000-0003-1768-6734), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉牛脂肪代谢与细胞生物学。

E-mail: 2653152414@qq.com

*通信作者简介: 李香子 (1975—) (ORCID: 0000-0003-3061-3847), 男, 教授, 博士, 研究方向为反刍动物营养调控与功能细胞。E-mail: lxz@ybu.edu.cn

引文格式:

孙斌, 崔岩, 盛万里, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析延边牛不同肌肉组织的挥发性风味物质[J]. 肉类研究, 2022, 36(4): 35-40. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210823-207. <http://www.rlyj.net.cn>

SUN Bin, CUI Yan, SHENG Wanli, et al. Analysis of volatile flavor compounds in different muscle tissues of Yanbian cattle by headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Meat Research, 2022, 36(4): 35-40. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210823-207. <http://www.rlyj.net.cn>

延边牛作为优秀的地方特色品种, 其开发和利用越来越受到重视, 如何提高肉质是各项研究中的重中之重。虽然风味物质较为微量, 但对于肉品质及感官的影响较大, 了解风味物质的组成, 进而优化生产和加工工序, 对肉品质的提升有重要意义。牛肉挥发性风味属性源于复杂的味道和香气, 是味觉和气味的结合^[1]。挥发性化合物有助于风味香气形成, 因此在风味感知中起着很大的作用^[2]。与熟牛肉相比, 生牛肉的挥发性化合物研究没有受到广泛关注^[3]。挥发性风味成分是有有机化合物(吡嗪类、醛类、酸类、酮类、酯类、醇类、含氮和含硫化合物等), 分子质量较低^[4], 这些化合物的波动性因其化学结构的变化而变化。一般来说, 脂类影响芳香风味化合物的产生, 在所有食品成分中都有很大的影响, 大多数芳香类化合物具有亲脂性^[5], 因此脂肪一定程度上降低了它们的挥发性。因为反刍动物和非反刍动物沉积脂肪酸中不饱和脂肪酸差异较大, 所以来源于脂质的挥发性化合物被认为是物种特异性风味的原因^[6]。不同的挥发性化合物有不同的亲脂性, 所以脂肪可作为挥发性化合物的溶剂, 脂肪一小部分被氧化就可以显著改变风味, 因此脂肪是影响风味物质释放的因素^[7]。

风味物质由诸多因素影响, 不同个体的性别、年龄、饲养管理、遗传、屠宰加工方式等都会影响风味物质的形成。同一个体的不同部位也因脂肪沉积量、肌纤维种类、氨基酸种类等不同导致风味物质的差异。目前, 消费者对肉产品已有了更高的追求, 风味物质是决定消费者购买倾向的重要因素, 因此越来越多的研究探究如何提高肉产品的风味。王伦兴等^[8]研究表明, 黔北麻羊不同部位肌肉的风味物质存在显著差异。窦露等^[9]在苏尼特羊日粮中添加乳酸菌, 结果表明, 添加乳酸菌有助于平衡羊肉的风味。潘晓倩等^[10]利用气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析不同解冻温度对牛肉风味物质的影响, 检测出牛肉的特征风味物质主要由醛类、醇类、酮类及烯烃类化合物构成; 郭青雅等^[11]用固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)技术提取羊肉腩子的风味物质, 确定了35种气味化合物; 汪修意等^[12]利用GC-MS对5种坛子肉的挥发性风味物质进行分离和鉴定, 共有的挥发性物质有51种, 主要及关键挥发性风味物质为己醛、乙酸乙酯、反-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇、壬醛、3-甲基丁醛和2-己烯醛等。

对于挥发性化合物的检测, 往往是从非挥发物质系中通过萃取及浓缩得到挥发性化合物, 再通过仪器检测, 对总挥发性化合物进行分离、鉴定, 确定其成分信息。目前常用于提取有机物的方法有动态顶空法^[13]、固相微萃取法^[14]、溶剂辅助风味蒸发^[15]等。SPME技术作为样品前处理方法, 具有灵敏度高、抗干扰性强等优点, 可用于萃取、吸附挥发性及半挥发性成分^[16]。对于挥发性风味物质的检测, 常用的方法有电子鼻分析^[17]、GC-嗅闻法^[18]、GC-MS等。GC-MS可进行复杂有机化合物的高效定性及定量分析, 具有灵敏度高、分离效果好的特点^[19]。

本研究利用SPME对牛肉风味物质进行吸附, 继而通过GC-MS对这些物质进行定性及定量分析, 不同的化合物贡献不同的风味, 通过化合物的定性及定量分析解释延边牛不同肌肉组织风味差异的原因。

1 材料与方法

1.1 材料

实验动物选自吉林省龙井市海兰江牧场24月龄的延边牛6头, 根据延边牛饲养规程进行基础日粮配制(表1), 每天饲喂2次(7:00和17:30), 自由饮水、活动。屠宰前禁食禁水12 h, 屠宰后将胴体放置于0~4℃下排酸12 h, 随后对其进行分割, 并选取臀肉、眼肉、上脑、里脊、脊肋排、牛腩为测定材料。去除肉样表面的脂肪、筋腱、污血等杂物, 肌肉样品带回实验室后粉碎成肉糜并称取2 g样品于20 mL顶空瓶中, 封口后于-20℃密封冷藏保存待分析。

表1 实验用饲料组成

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diet

成分	含量/%	营养水平	数值
玉米秸秆	45.0	综合净能/(MJ/kg) ^b	9.31
玉米面	37.5	粗蛋白含量/%	11.03
8330浓缩料 ^a	17.5	粗脂肪含量/%	5.37
		中性洗涤纤维含量/%	49.53
		酸性洗涤纤维含量/%	23.32
		粗灰分含量/%	8.23
		可溶性碳水化合物含量/%	3.45
		非纤维性碳水化合物含量/%	29.08

注: a. 8330浓缩料组分含量: 水分14%、粗蛋白35%、粗纤维15%、粗灰分20%、钙1%~3%、磷0.5%~1%、氯化钠0.5%~4%、赖氨酸1.2%; b. 综合净能为计算值, 非纤维性碳水化合物含量按下式计算: 非纤维性碳水化合物含量/%=干物质含量/%-(粗蛋白含量/%+粗脂肪含量/%+粗灰分含量/%+中性洗涤纤维含量/%), 其他营养水平为实测值。

1.2 仪器与设备

QP20102010 GC-MS仪、DB-5MS色谱柱(30.0 m×0.25 mm, 0.25 μm) 日本岛津公司; ZNCL-DLBS140-140智能磁力搅拌器 巩义市予华仪器有限责任公司; ME204E电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司; TC12C绞肉机 广州市恒鸥食品机械设备有限公司; Lg200全自动真空保鲜机 深圳瑞朗克斯科技有限公司; 65 μm PDMS/DVB固相微萃取纤维头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发性化合物的萃取

将冻存肉糜放置于4℃冰箱24 h缓慢解冻。超声波清洗样品瓶后, 称取3 g样品置于样品瓶中, 65 μm PDMS/DVB型萃取纤维头在60℃沙浴条件下萃取30 min。进样, 纤维头在进样口保留5 min, 进行数据采集^[20]。

1.3.2 GC-MS分析条件

GC条件: 进样口温度250℃, 不分流, 载气为氦气, 柱流速1 mL/min, 吹扫流量3.0 mL/min, 分流比50:1; 升温程序: 起始温度40℃, 保持10 min, 以5℃/min升至200℃, 再以20℃/min升至280℃, 保持5 min。

MS条件: 离子源温度200℃, 接口温度280℃, 溶剂延迟时间2 min, 电子能量70 eV, 扫描质量范围 m/z 40~550。

1.3.3 挥发性化合物的定性及定量分析

通过挥发性风味成分的MS图, 检索NIST谱库, 对不同部位牛肉的挥发性组分进行定性分析, 选择其中匹配度和反匹配度均大于75(最大值100)的化合物。挥发性风味物质的定量分析, 按峰面积归一法计算。

1.4 数据处理

采用SAS9.0统计软件方差分析程序进行显著差异分析, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 延边牛不同肌肉组织的挥发性风味物质分析

由表2可知, 共检测出79种挥发性化合物, 脊肋排、里脊、上脑、臀肉、牛腩和眼肉分别检出29、40、28、25、29、35种挥发性化合物, 均检测到醛类、醇类、烷烃类和酯类化合物, 醛类化合物分别检出2、1、1、2、1种, 醇类化合物分别检出4、5、2、3、3、6种, 烷烃类化合物分别检出15、20、16、16、16、22种, 酯类化合物分别检出3、10、4、4、3、4种。脊肋排中并未检测出酮类化合物, 其余部位均检测出1种酮类化合物; 脊肋排、里脊、上脑、牛腩和眼肉分别检测出烯烃类化合物3、2、2、2、1种; 脊肋排、里脊、上脑、牛腩中检测到胺类化合物2、1、2、2种; 各部位挥发性化合物组成存在较大差异。

表2 延边牛不同肌肉组织挥发性风味物质组成

Table 2 Composition of volatile flavor compounds in different muscle tissues of Yanbian cattle

化合物类别	化合物名称	保留时间/min	相对含量/%					
			脊肋排	里脊	上脑	臀肉	牛腩	眼肉
醛类	2,4-双[(三甲基硅基)氧基]苯甲醛	22.167	0.72±0.000 07					5.31±0.011 01
	壬醛	22.293	3.03±0.000 01	1.01±0.000 16	6.14±0.000 31	7.25±0.000 74	5.37±0.001 45	
酮类	3-羟基-2-丁酮	3.392		6.96±0.000 97	3.00±0.000 31	14.52±0.003 98		0.68±0.000 20
	邻苯二甲酸二异丁酯	44.102	0.49±0.000 28			1.06±0.000 14	1.46±0.000 19	1.51±0.000 16
	1,2-二甲基丙基-2-甲基丁酸酯	34.203		0.34±0.000 09				
	丁酸丁酯	30.866		0.61±0.000 09				
	草酸异丁基戊酯	15.642			0.95±0.000 03	0.79±0.000 14	0.57±0.000 05	
	正硅酸异丙酯	33.329			1.16±0.000 01			
	棕榈酸甲酯	43.689						2.31±0.000 06
	二碳酸二叔丁酯	19.028			2.14±0.000 37	2.01±0.000 44		
	甲氧基乙酸乙酯	3.908			0.76±0.000 17			
	2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯)	36.547		2.14±0.000 21				
酯类	苯甲酸-2-乙基己酯	39.514		0.45±0.000 13				
	草酸庚基异己酯	32.190		0.57±0.000 46				
	亚硫酸-2-乙基己基异己酯	22.924		0.54±0.000 25				0.64±0.000 03
	邻苯二甲酸二异丁酯	42.767		0.33±0.000 19				
	亚硫酸己基辛酯	33.925		0.32±0.000 08				
	邻苯二甲酸二丁酯	44.131		0.96±0.000 34				
	草酸-2-乙基己基己酯	15.623	1.76±0.001 04					
	N-羟基苯羧酰亚胺甲酯	13.799	1.50±0.000 16	1.84±0.000 46		3.54±0.000 78	1.52±0.000 25	4.74±0.002 25
	2,3-二醇	6.870	1.33±0.001 07		1.60±0.000 05			
	3-丁炔-1-醇	2.758	0.82±0.000 26					
	1-辛烯-3-醇	17.117				1.99±0.000 28	1.35±0.000 21	2.42±0.000 41
	辛醇	21.114				2.06±0.000 24	1.88±0.000 15	3.57±0.005 81
	二甲基硅烷-2-醇	4.306		39.71±0.006 25				

续表2

化合物类别	化合物名称	保留时间/min	相对含量/%					
			脊肋排	里脊	上脑	臀肉	牛腩	眼肉
烯烃类	三氟乙酰-3,7-二甲基辛醇	21.742						1.81±0.000 45
	2-乙基己醇	19.289						5.53±0.012 64
	3-乙基-4-甲基-1-戊醇	32.470		0.44±0.000 25				
	2-异丙基-5-甲基-1-己醇	30.599		0.76±0.000 05				
	十二醇	33.671		3.43±0.001 02				
	6-甲基-1-庚醇	25.329	0.67±0.000 31	0.51±0.000 13	0.92±0.000 35			0.72±0.007 44
	4-甲基-2-丙基-1-戊醇	22.564	2.07±0.000 33			2.12±0.000 21	2.42±0.000 23	2.18±0.008 67
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯	19.122	2.17±0.000 83		1.40±0.000 20			
	环丙烯	3.729		0.43±0.000 14			1.05±0.000 33	
	3,5,5-三甲基-1-己烯	15.574						0.96±0.010 22
	3-甲基-1-己烯	14.338			2.09±0.000 32			
	(S)-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯	19.102					1.06±0.000 08	
	4-异丙烯基-1-甲基-1-环己烯	19.119		0.57±0.000 07				
	右旋萜二烯	19.134	2.16±0.001 29					
	3-癸烯	17.528	0.69±0.000 29					
	3-甲基-6-亚甲基-辛烷	25.074	0.56±0.000 38					
	癸烷	17.952	21.25±0.001 28	7.24±0.000 45	20.44±0.001 04	13.19±0.001 40	21.98±0.000 95	13.24±0.003 89
	3-甲基壬烷	16.520	14.30±0.008 03	4.40±0.000 80	7.10±0.002 74	7.15±0.001 07	8.97±0.002 00	8.80±0.000 96
	3-甲基十一烷	24.591	5.00±0.001 16	2.56±0.000 33	3.14±0.000 20	5.96±0.001 87	1.69±0.000 27	5.37±0.000 33
	3-亚甲基十一烷	25.084	1.10±0.000 29	0.69±0.000 37	2.25±0.008 46	1.35±0.000 09	0.87±0.000 13	1.08±0.001 94
	2,4-二甲基癸烷	24.063	0.55±0.000 05		1.00±0.000 03	0.67±0.000 10		
	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	17.314	30.51±0.010 35	10.90±0.003 02	23.03±0.002 97	23.59±0.000 45		20.28±0.002 58
	2,6,7-三甲基癸烷	25.986				0.68±0.000 17		
	5-乙基癸烷	23.612	1.36±0.000 14	0.76±0.001 42	2.50±0.000 11		1.66±0.000 57	2.36±0.000 20
	3,7-二甲基癸烷	27.936	0.44±0.000 14	0.53±0.000 09	0.86±0.000 07	1.08±0.000 14	2.18±0.000 05	0.63±0.000 36
	3,7-二甲基十一烷	20.287	0.68±0.000 13	0.40±0.000 05	1.22±0.000 24	0.68±0.000 23	6.52±0.000 08	0.87±0.000 15
	2,8-二甲基十一烷	20.278	1.10±0.000 14	0.61±0.000 10	1.62±0.000 21	1.07±0.000 30	0.46±0.000 16	0.64±0.000 09
	正十三烷	25.598	0.82±0.000 17	1.87±0.000 37	2.06±0.000 09	4.42±0.000 27	0.91±0.000 16	0.84±0.000 04
烷烃类	3,3,4-三甲基己烷	16.275					0.48±0.000 10	
	2,2-二甲基丁烷	39.274	0.96±0.000 17				0.64±0.000 12	0.61±0.000 11
	2,3,4-三甲基己烷	22.046		0.52±0.000 17				
	3,3-二甲基己烷	20.276					0.97±0.000 11	
	4,7-二甲基十一烷	22.036						1.71±0.000 25
	1-(己氧基)-3-甲基己烷	22.521						1.62±0.000 24
	4,6-二甲基十二烷	27.903						1.45±0.000 46
	1-乙基-1-甲基环戊烷	16.964						0.66±0.000 10
	2,2,4,4-四甲基辛烷	19.002					13.32±0.000 22	1.77±0.000 28
	3-乙基-4-甲基己烷	15.606		0.82±0.000 19		1.00±0.000 06	1.55±0.000 43	
	3,4,5,6-四甲基辛烷	32.792		0.52±0.000 14				
	3,7-二甲基壬烷	33.955		0.40±0.000 15				0.48±0.000 15
	3-甲基十三烷	30.847		0.95±0.000 38	1.69±0.000 30	1.61±0.000 21	2.63±0.000 07	1.51±0.000 08
	十五烷	39.329		0.87±0.000 42				
	1-碘十一烷	39.349		0.46±0.000 10				
	3,3,4-三甲基庚烷	16.264				0.58±0.001 03		
	2,4-二甲基己烷	25.880			0.76±0.000 05			
	3-乙基辛烷	16.314			1.65±0.000 18			
	1-乙基-2-庚基环丙烷	17.544			5.73±0.000 41			
胺类	3,3-二甲基辛烷	23.172						0.49±0.000 27
	十六烷	36.865		0.61±0.000 21				0.91±0.000 19
	2,4-二甲基戊烷	18.516	1.06±0.000 23	0.36±0.000 11	0.88±0.000 02	0.98±0.000 21	0.68±0.000 22	0.92±0.000 22
	3,3-二甲基己烷	22.062	1.07±0.000 17	0.36±0.000 03		0.67±0.000 74		1.39±0.003 13
	N-己基甲胺	2.546	0.62±0.000 08					
酰胺类	2-氨基-N-乙基丙酰胺	2.546	1.43±0.000 50	2.22±0.000 31	3.03±0.000 27		3.37±0.000 20	
	N-(2-(3,4-双[(三甲基硅烷基)氧基]苯基)-2-[[三甲基硅烷基]氧基]乙基)-2,2,2-三氟-N-乙酰胺	37.426			0.85±0.000 42		0.54±0.000 21	

2.2 延边牛不同肌肉组织不同挥发性化合物种类及相对含量比较

表3 延边牛不同肌肉组织不同挥发性化合物种类及相对含量比较
Table 3 Comparison of relative contents of different classes of volatile compounds in different muscle tissues of Yanbian Cattle

化合物类别	脊肋排	里脊	上脑	臀肉	牛腩	眼肉
烷烃类	80.75	35.84	75.94	64.66	66.99	67.63
醇类	4.69	44.85	2.53	6.17	5.65	16.23
醛类	3.75	1.01	6.14	7.25	7.33	5.31
酮类		6.96	3.00	14.52	10.46	0.68
酯类	3.75	8.11	5.02	7.40	3.54	9.19
烯炔类	5.02	1.00	3.49		2.11	0.96
胺类	2.04	2.22	3.88		3.92	

由表3可知,各部位间的挥发性化合物种类存在较大差异。牛腩中醛类挥发性化合物相对含量高于其他组;臀肉酮类挥发性化合物相对含量高于其他组;里脊的酯类和醇类挥发性化合物相对含量高于其他组;脊肋排的烷烃类化合物相对含量最高;牛腩胺类化合物相对含量高于其他组,且臀肉与眼肉中并未检测出胺类化合物。

3 讨论

糖的热解、脂质的氧化及美拉德反应是风味物质产生的主要方式。风味物质通常被分为脂溶性挥发性化合物和水溶性挥发性化合物,因此,肌内脂肪的含量也将影响挥发性化合物的释放。脂肪作为通过热诱导氧化反应形成气味活性挥发物的底物,也可以作为脂溶性挥发性化合物溶剂^[20]。脂质的降解是产生碳氢化合物、醇、醛和酮的最主要原因^[21]。本研究测得的挥发性化合物共有7类,分别为醛类、酮类、酯类、醇类、烯炔类、烷烃类及胺类,延边牛6个不同部位挥发性化合物的种类及相对含量存在明显差异。

本研究中,烷烃类化合物的数量远大于其他种类化合物,且占据总风味物质相对含量的60%~80%,烷烃因种类较多、含量丰富将有利于提高肉类的风味。烷氧自由基的断裂产生烷烃类化合物,脂肪酸作为烷烃类化合物的风味前体物质,有较高的呈味阈值^[22-23]。

醇类化合物也来源于脂质的降解,因为它们具有较高的呈味阈值,被认为对肉样的香气贡献较小^[24]。醇类化合物的产生是在醇还原酶的作用下,还原醛类、酮类化合物完成的。在肉类风味物质组成中,醇类化合物一般具有金属味和特殊的清香味^[25]。本研究中里脊与眼肉的醇类化合物种类相对较多,且里脊中的醇类化合物相对含量最高,这与原琦等^[26]研究中里脊与其他部位醇类化合物相对含量的比较结果不一致,这可能是由于牛的品种及年龄导致了脂肪酸的差异,从而影响了醇类化合物组成。除臀肉与牛腩外,其他4个部位均含有6-甲基-1-庚醇,

除上脑外,其他部位也均存在戊醇,戊醇与庚醇具有清香味,这与侯婷婷等^[27]关于延边牛风味物质研究中的结果一致。本研究在臀肉、牛腩和眼肉中均检测出不饱和1-辛烯-3-醇,1-辛烯-3-醇阈值较低,有蘑菇味和香草味^[28]。臀肉、牛腩和眼肉中均检测出辛醇,辛醇一般具有烧焦味和金属味^[29]。

醛类化合物源于脂肪酸氧化和氨基酸降解,且有较低的香气阈值^[30],已知具有油脂味及水果味,是牛肉风味的重要组成成分。本研究在6个部位中均检测出壬醛,壬醛具有香草味和油脂味^[31],可见醛类化合物是牛肉风味中不可或缺的一部分。其中,里脊的壬醛相对含量最低,为1.01%,而上脑的壬醛相对含量最高,这可能是由于其脂肪酸的种类及含量不同导致。Drumm等^[32]研究表明,壬醛是油酸的氧化产物,油酸是苯甲醛的来源物质,而在不同牛肉组织中苯甲醛只存在于脊肋排中,癸醛只存在于眼肉中。

酮类化合物主要由氨基酸降解、美拉德反应和脂质的热氧化产生,与醛类相比,其阈值较高,被检测出的酮类化合物种类较少,且对肉制品风味的贡献较小。但因其具有水果香和奶油香,对风味有着较为积极的影响^[33]。本研究中,脊肋排中并未检测出酮类,里脊、上脑、牛腩、臀肉和眼肉中均检测出3-羟基-2-丁酮,其中臀肉中3-羟基-2-丁酮的相对含量最高,眼肉中最低。3-羟基-2-丁酮是一种重要的美拉德反应中间体,已知具有平淡的、木本的酸乳香气^[34]。Legako等^[35]研究表明,生牛肉中可能存在2,3-丁二酮和3-羟基-2-丁酮,通常被认为是美拉德反应成分,这与本研究的结果一致。

酯类化合物一般来源于醇与酸的氧化作用,酯类化合物通常表现出水果味,因其阈值较高,对肉类风味贡献较低^[36]。本研究中,里脊的酯类化合物相对含量较高,这可能是由于其前体物质醇类化合物相对含量较高导致。

烯炔类化合物伴随着脂香味,本研究并未在臀肉与脊肋排中检测出烯炔类化合物,且其他部位中烯炔类化合物的相对含量较小,可见其对于肉类风味的贡献较小。

4 结论

本研究在延边牛6个不同部位肌肉中共检测出醛类、醇类、酮类、烷烃类等共79种挥发性化合物,脊肋排中检测出29种、里脊40种、上脑28种、臀肉25种、牛腩29种、眼肉35种。烷烃类化合物所占比例最高,在脊肋排、上脑、臀肉、牛腩和眼肉中占总挥发性化合物含量的60%~80%,是影响牛肉整体风味的重要因素。各部位肌肉组织间醇类、酮类、酯类和醛类挥发性化合物组成均存在差异。

参考文献:

- [1] TANSAWAT R, MAUGHAN C A J, WARD R E, et al. Chemical characterisation of pasture- and grain-fed beef related to meat quality and flavour attributes[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2013, 48(3): 484-495. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.03209.x.
- [2] LEGAKO J F, BROOKS J C, HAGAN T D J, et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles[J]. Meat Science, 2014, 100: 291-300. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.10.026.
- [3] INSAUSTI K, BERIAN M J, GORRAIZ C, et al. Volatile compounds of raw beef from 5 local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere[J]. Food Science, 2002, 67(4): 1580-1589. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10325.x.
- [4] FRANK D, APPELQVIST I, PIYASIRI U, et al. *In vitro* measurement of volatile release in model lipid emulsions using proton transfer reaction mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(9): 2264-2273. DOI:10.1021/jf204120h.
- [5] KINSELLA J E. Flavor perception and binding[J]. International News on Fats, Oils and Related Materials, 1990, 1(3): 215-226.
- [6] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavour[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.04.016.
- [7] BELITZ H D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Food chemistry[M]. Berlin: Springer, 2009.
- [8] 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. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201215-290.
- [9] 窦露, 刘畅, 杨致昊, 等. 日粮添加乳酸菌对苏尼特羊生长、肉品质、风味物质和抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 25-32. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020.12.001.
- [10] 潘晓倩, 张顺亮, 李素, 等. 吹扫/捕集-热脱附-气相色谱-质谱联用法分析不同解冻温度对牛肉风味品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(1): 60-65. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20181101-209.
- [11] 郭青雅, 宋焕禄. 固相微萃取法分析羊肉腩子中关键风味物质[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 152-156. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.01.033.
- [12] 汪修意, 徐文洪, 陈同强, 等. 气相色谱-质谱联用与相对气味活度值法分析坛子肉风味物质的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(24): 8450-8455.
- [13] 邹健, 陈敬禄, 段书予, 等. 应用动态顶空-气相色谱-嗅辨仪联用法分析二丙二醇中的异味来源[R]//中国化学会第30届学术年会摘要集: 第34分会: 公共安全化学. 北京: 中国化学会, 2016.
- [14] LI Jie, HAN Jicheng, ZHANG Haie, et al. Analysis of aroma volatile compounds in Fuji apple using SPME with different fiber coatings[J]. Agricultural Biotechnology, 2020, 9(3): 78-82.
- [15] 孙金沅, 王松, 陈璐, 等. SAFE法结合GC-MS定量酒酿中39种挥发性生物活性成分[J]. 中国酿造, 2019, 38(12): 140-147. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2019.12.028.
- [16] 刘晓, 刘广瑞, 隋璐, 等. 应用HS-SPME结合GC-MS分析半固态发酵浓香型酒酿中挥发性成分[J]. 酿酒科技, 2020(4): 102-106. DOI:10.13746/j.njkj.2019259.
- [17] 岳琪琪, 刘文, 韩千慧, 等. 保鲜处理对冷鲜鲟鱼肉特征性风味成分的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(12): 2076-2086. DOI:10.11964/jfc.20191212091.
- [18] WANG Yuanhui, ZHAO Jingwen, XU Fei, et al. GC-MS, GC-O and OAV analyses of key aroma compounds in Jiaozi Steamed Bread[J]. Grain & Oil Science and Technology, 2020, 3(1): 9-17. DOI:10.1016/j.gaost.2019.11.003.
- [19] PAOADIMITROPOULOS M P, VASILOPOULOU C G, MAGA-NTEVE C, et al. Untargeted GC-MS metabolomics[M]//WALKER J M. Methods in molecular biology. Springer, 2018: 133-147. DOI:10.1007/978-1-4939-7643-0_9.
- [20] ELMORE J S, WARREN H E, MOTTRAM D S, et al. A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates[J]. Meat Science, 2004, 68(1): 27-33. DOI:10.5713/ajas.17.0902.
- [21] DASHDORJ D, AMNA T, HWANG I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: an overview[J]. European Food Research and Technology, 2015, 241(2): 157-171. DOI:10.1007/s00217-015-2449-3.
- [22] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424. DOI:10.1080/87559129.2021.1926480.
- [23] 蒋根栋, 陈舜胜. 锯缘青蟹挥发性物质的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(4): 1404-1406. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2009.04.009.
- [24] VENTANAS S, MUSTONEN S, PUOLANNE E, et al. Odour and flavour perception in flavoured model systems: influence of sodium chloride, umami compounds and serving temperature[J]. Food Quality and Preference, 2010, 21(5): 453-462. DOI:10.1016/j.foodqual.2009.11.003.
- [25] WETTASINGHE M, VASANTHAN T, TEMELLI F, et al. Volatiles from roasted byproducts of the poultry-processing industry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(8): 3485-3492. DOI:10.1021/jf000122a.
- [26] 原琦, 罗爱平, 何光中, 等. 不同部位奶公犊小白牛肉挥发性风味物质分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 39-42. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.05.009.
- [27] 侯婷婷, 南京熙, 林墨, 等. 延边黄牛肉挥发性风味物质[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 45-47. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2018.08.010.
- [28] SABIO E, VIDAL-ARAGON M C, BERNALTE M J, et al. Volatiles compounds present in six types of dry-cured ham from south European countries[J]. Food Chemistry, 1998, 61(4): 493-503. DOI:10.1016/S0308-8146(97)00079-4.
- [29] 郭辽朴. 荣昌乳猪与PIC乳猪不同部位肌肉理化特性及主体风味物质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 61.
- [30] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501. DOI:10.7685/jnau.201509034.
- [31] 张迪雅, 谢丹婷, 李晔. 应用电子鼻和GC-MS比较牛肉不同部位的挥发性物质组成[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 241-246. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.21.048.
- [32] DRUMM T D, SPANIER A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(2): 336-343. DOI:10.1021/jf00002a023.
- [33] ZHUANG Kejin, WU Na, WANG Xichang, et al. Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Science, 2016, 81(4): S968-S981. DOI:10.1111/1750-3841.13229.
- [34] ÖTLEŞ S, ÖZÇELİK B, GÖĞÜŞ F, et al. Traditional foods in Turkey: general and consumer aspects[M]//KRISTBERGSSON K, OLIVEIRA J. Integrating food science and engineering knowledge into the food chain. Springer, 2016: 85-98. DOI:10.1007/978-1-4899-7648-2_6.
- [35] LEGAKO J F, CRAMER T, YARDLEY K, et al. Retail stability of three beef muscles from grass-, legume- and feedlot-finished cattle[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(6): 2238-2248. DOI:10.1093/jas/sky125.
- [36] 祝贺, 罗欣, 梁荣蓉, 等. 不同等级高档牛肉中挥发性风味物质分析[J]. 肉类研究, 2012, 26(2): 31-33. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2012.02.009.