

兰州大尾羊肉挥发性风味组分研究

Research of volatile components of Lanzhou fat-tailed sheep

李贞子¹ 杨具田¹ 祁高展¹ 臧荣鑫¹

LI Zhen-zi¹ YANG Ju-tian¹ QI Gao-zhan¹ ZANG Rong-xin¹

刘红娜¹ 龙玲¹ 曹忻²

LIU Hong-na¹ LONG Ling¹ CAO Xin²

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730124; 2. 西北民族大学理科实验中心, 甘肃 兰州 730124)

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou, Gansu 730124,

China; 2. Science Experimental Center, Northwest University for Nationalities, Lanzhou, Gansu 730124, China)

摘要:以小尾寒羊肉为对照,利用相对气味活度值(ROAV)对不同性别的兰州大尾羊肉的主体风味成分进行了分析。结果表明,兰州大尾羊羯羊和母羊肉分别检出了 80 和 85 种挥发性风味物质,其中醛类物质是主体风味成分,相对含量分别为 31.110% 和 22.305%。兰州大尾羊肉的主体风味物质有癸醛、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,其气味特征主要表现为蜡香味,脂香味,蘑菇味和黄瓜味等,羯羊肉主体风味物质比母羊肉多 2 种。与小尾寒羊相比,兰州大尾羊肉主体风味物质的种类和 ROAV 值高于小尾寒羊肉。

关键词:兰州大尾羊;风味物质;相对气味活度值

Abstract: It was aimed to analyze the volatile components and key volatile components of Lanzhou fat-tailed sheep in different gender in this study, and the small fat-tail sheep were chosen as control. The results showed that Lanzhou fat-tailed wethers contained totally 80 kinds of volatile materials, while ewes had 85 kinds. Aldehydes were found the key volatile components, and the relative contents were respectively 31.110% and 22.305%. The key volatile components contained decanal, octanal, nonanal, 2, 4-nonadienal, 2-nonenal, 2,4-decadienal and (E)-2-decenal, which smelled like wax, fat, mushroom and cucumber, and wethers contained 2 more kinds aldehydes than ewes.

基金项目:西北民族大学 2014 年中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号:31920140079);西北民族大学 2013 年中央高校基金项目(编号:31920130046);国家自然科学基金(编号:31360533);西北民族大学引进人才项目(编号:xbmuyjrc201416);西北民族大学 2016 年中央高校基金项目(编号:31920160053)

作者简介:李贞子,女,西北民族大学实验师,硕士。

通信作者:杨具田(1963-),男,西北民族大学教授,博士。

E-mail: Jutianyang988@163.com

收稿日期:2016-11-11

Compared to small fat-tail sheep, Lanzhou fat-tailed was found containing more key volatile components and higher ROAV values.

Keywords: Lanzhou fat-tailed sheep; volatile components; relative odor activity value

兰州大尾羊(Lanzhou fat-tailed sheep)是由陕西大荔附近的同羊与兰州当地蒙古羊杂交选育而成的绵羊品种,是中国著名的十六个地方绵羊品种之一。之所以得名是因其尾部脂肪过度沉积导致体积大,它不仅肉质鲜美、耐粗饲、饲料利用率高,而且抗病能力和适应性强^[1]。

关于兰州大尾羊的研究资料并不多,主要集中在种质资源保护、酶和蛋白质的多态性研究、食用品质及营养成分分析等方面^[2-5],关于其风味物质的研究未见报道。而羊肉的风味是鉴别羊肉品质的重要指标。

本研究拟以不同性别的兰州大尾羊背最长肌为原料,并在兰州地区的小尾寒羊肉作为对照,采用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用法检测羊肉中的挥发性风味成分,结合风味物质的感觉阈值,利用相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)确定兰州大尾羊肉的主体风味成分,并对其主要挥发性风味组分的气味特征进行分析。此法能克服传统方法中只研究风味物质的相对含量而忽略其感觉阈值的缺点,大大提高了主体风味成分的准确性,旨在为科学系统的评价兰州大尾羊肉的特征风味提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验羊只选自甘肃省兰州市榆中县的刘小刚羊场。挑选 12 只健康的成年兰州大尾羊,羯羊和母羊数量各半,以相同饲养管理条件下的小尾寒羊为对照组。宰前 24 h 停止喂食,2 h 停止喂水。

固相微萃取器:SPME型,美国SUPELCO公司;

气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪:6890N/5973型,美国Agilent公司。

1.2 试验方法

1.2.1 羊肉处理 将屠宰后的每只兰州大尾羊胴体分别取第1~4腰椎间的背最长肌,将同类肉样进行混合后放置于4℃冰箱内冷藏备用。取相同性别及部位的小尾寒羊肉为对照组。

1.2.2 样品中挥发性风味物质的捕集与解析 样品前处理采用固相微萃取法。于水浴锅65℃恒温1h,加水使肉降温至50℃并恒温。插入活化好的固相微萃取器,常温吸附30min,取出后插入气-质联用仪进样口于250℃解析15min。

1.2.3 挥发性风味物的测定 GC-MS条件:载气为氦气,流量1mL/min,进样口250℃,接口250℃。柱温初温50℃,保持2min,3℃/min升温至225℃,保持1min。离子源温度200℃,电子轰击离子源(EI)70eV,扫描质量范围 m/z 10~400。

1.2.4 定性定量分析 扫描结果分别与MAINLIB、NIST-DEMO、REPLIB和WILLEY4个谱库对照进行鉴定分析,只分析匹配度(SI)和反匹配度(RSI)均在800以上(最大1000)的物质,按化合物峰面积的归一化法进行定量分析。

1.2.5 关键风味化合物的确定 采用相对气味活度值法^[6],定义对样品风味贡献最大的组分:ROAV_{max}=100,对其他挥发性成分则有:

$$ROAV_i \approx 100 \times Cr_i / Cr_{max} \times T_{max} / T_i, \quad (1)$$

式中:

ROAV_i——相对气味活度值;

Cr_i——各挥发性成分的相对百分含量;

T_i——各挥发性成分对应的感觉阈值;

Cr_{max}——对试样总体风味贡献最大组分的相对百分含量;

T_{max}——对试样总体风味贡献最大组分相对应的感觉阈值。

所有组分都满足 $0 \leq ROAV \leq 100$,且ROAV越大的组分对样品总体风味的贡献也越大。一般认为,ROAV ≥ 1 的物质是试样的主体风味成分,而 $0.1 \leq ROAV \leq 1$ 的物质对样品的整体风味也有比较重要的辅助作用。

2 结果与分析

2.1 兰州大尾羊肉挥发性风味物质的测定分析

兰州大尾羊和小尾寒羊肉挥发性风味物质总离子流图分别见图1~4。

由表1和表2可知,兰州大尾羊羯羊肉挥发性风味物质共计80种,兰州大尾羊母羊肉共检测出85种挥发性风味物质。对照组小尾寒羊羯羊肉和母羊肉分别检出81种和77种风味化合物。

2.2 兰州大尾羊肉主体风味成分分析

结合兰州大尾羊肉中挥发性组分的相对百分含量和感

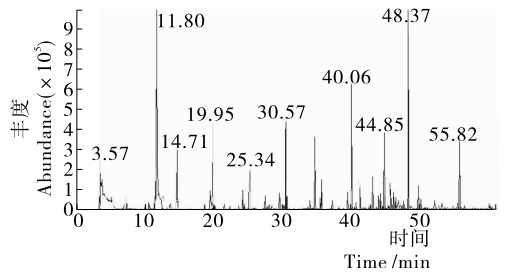


图1 兰州大尾羊羯羊肉挥发性物质总离子流图
Figure 1 Total ion current chromatogram of Lanzhou fat-tailed wether

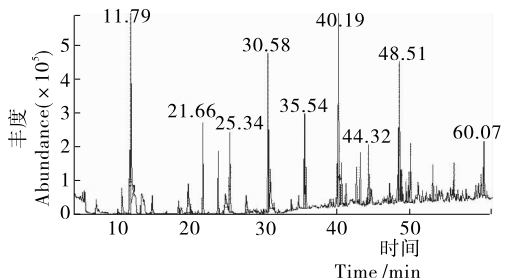


图2 兰州大尾羊母羊肉挥发性物质总离子流图
Figure 2 Total ion current chromatogram of Lanzhou fat-tailed ewe

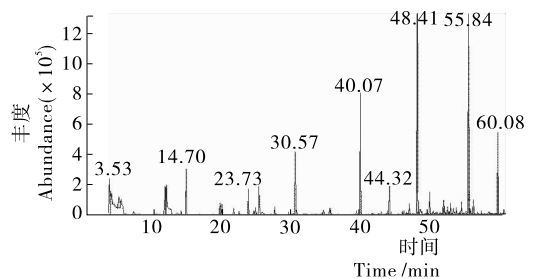


图3 小尾寒羊羯羊肉挥发性物质总离子流图
Figure 3 Total ion current chromatogram of small fat-tail wether

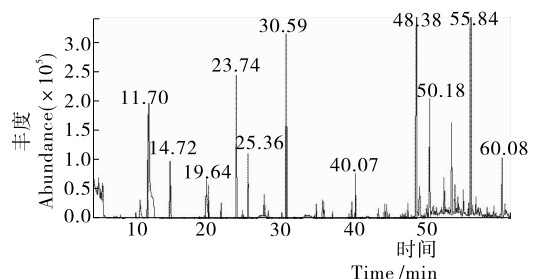


图4 小尾寒羊母羊肉挥发性物质总离子流图
Figure 4 Total ion current chromatogram of small fat-tail ewe

觉阈值,去除感觉阈值极高或者不明确的物质,计算得到其ROAV值,即得到兰州大尾羊肉主体风味成分及其气味特点,结果见表3。

由表3可知,兰州大尾羊羯羊肉中的主体风味成分(ROAV ≥ 1)有2-壬烯醛、辛醛、壬醛、2,4-壬二烯醛、癸醛、2,4-癸二烯醛、反-2-癸烯醛、庚醛、己醛等9种,其它对主体

表 1 兰州大尾羊肉挥发性风味物质成分[†]

Table 1 Volatile components of Lanzhou Fat-tailed sheep

类别	名称	相对含量/%			
		兰州大尾羊		小尾寒羊	
		羯羊	母羊	羯羊	母羊
烷烃类	2,3-环氧丁烷	/	0.218	/	/
	辛烷	/	0.168	0.458	/
	甲基磺酰甲烷	/	/	/	0.311
	3,5-二甲基辛烷	/	0.133	0.082	/
	十二烷	0.773	0.469	0.284	1.387
	2,4,6-三甲基-癸烷	/	/	/	0.082
	3-甲基-十三烷	/	/	/	0.106
	十四烷	6.967	2.817	7.190	17.850
	4-甲基-十四烷	0.092		/	0.109
	2,6,10-三甲基-十二烷	0.128	1.030	0.077	0.107
	3-甲基-十三烷	0.151		/	0.142
	十五烷	0.883	0.923	1.666	2.292
	香树烷	4.509	0.132	/	/
	5-甲基-十五烷	0.476	0.175	0.258	0.544
	2,6,10-三甲基-十四烷	0.579	/	0.173	0.293
	4-甲基-十六烷	0.392	0.454	0.738	1.269
	十六烷	12.931	16.582	23.261	19.913
	1-庚酰-3-亚甲基-2-戊基-环丙烷	0.714	0.625	1.735	2.096
	2,3,5,8-四甲基-癸烷	0.085	/	0.182	/
	4-甲基戊基-环己烷	/	/	0.147	/
	十七烷	0.319	0.336	0.896	0.412
	4-乙基-十四烷	0.100	/	0.402	/
	4-甲基-十七烷	/	/	0.126	/
	2-甲基-十八烷	0.174	0.232	0.756	0.524
	十八烷	3.873	3.776	5.079	9.100
	十九烷	0.156	0.156	0.432	/
	苯乙烯	0.098	0.354	0.136	0.150
3-萘烯	0.166	0.176	0.381	/	
β -蒎烯	0.309	0.629	1.681	0.990	
柠檬烯	0.352	0.380	1.559	2.221	
1-十二烯	/	3.780	/	/	
1-十四烯	/	0.210	/	/	
可巴烯	0.395	1.601	0.212	0.306	
烯烃类	2,3,5,8-四甲基-1,5,9-癸三烯	1.229	/	/	/
	石竹烯	0.160	/	0.252	0.427
	丁子香烯	0.487	0.161	0.389	/
	1-十六烯	/	0.118	/	/
	1-十九烯	/	1.339	/	/
	3,7,11,15-四甲基-2-十六烯	0.067	0.254	0.180	/

续表 1

类别	名称	相对含量/%			
		兰州大尾羊		小尾寒羊	
		羯羊	母羊	羯羊	母羊
醇类	2-庚醇	0.657	/	/	/
	桉树醇	0.359	0.138	0.343	0.208
	2-乙基-1-癸醇	/	0.043	/	/
	1-辛醇	/	0.209	/	/
	2-癸烯-1-醇	0.135	0.503	0.228	0.114
	4-萘烯醇	0.241	/	0.172	0.300
	5-甲基-2-(1-甲基-乙基)-环己醇	0.163	0.354	/	0.113
	2-丁基-1-辛醇	/	/	/	0.111
	3,7,11-三甲基-顺-2,10-十二烷基二烯-1-醇	1.209	/	/	/
	3,7,11-三甲基-1-十二醇	1.013	0.175	0.189	0.746
	红没药醇	0.242	/	0.071	/
	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	/	/	0.152	/
	2-己基-1-癸醇	/	0.856	0.055	/
	2-异丙基-5-甲基-1-庚醇	/	/	0.109	/
	柏木烯醇	/	/	0.087	/
	4-甲基-1-苯基-1,5-己二烯-3-醇	/	/	/	0.101
	薄荷脑	0.090	0.090	0.140	0.057
	丁烯醛	0.068	/	/	/
	戊醛	0.425	0.045	0.102	0.166
	己醛	4.757	0.981	3.498	3.201
	2-己烯醛	0.489	0.080	/	0.050
	呋喃甲醛	/	0.040	/	0.249
	庚醛	5.866	0.519	0.642	0.551
	顺-4-庚烯醛	0.249	/	0.150	0.074
	2-庚醛	1.287	/	0.152	0.306
	辛醛	3.051	5.667	2.813	1.838
	2,4-庚二烯醛	0.355	0.220	/	/
2-辛烯醛	0.946	0.180	0.160	0.146	
苯乙醛	0.271	0.103	0.052	0.067	
醛类	壬醛	5.084	7.246	4.161	3.412
	2-壬烯醛	4.411	0.353	0.280	0.200
	癸醛	0.615	1.861	0.332	0.995
	2,4-壬二烯醛	0.190	0.067	/	0.096
	反-2-癸烯醛	0.997	0.320	0.178	2.036
	2,4-癸二烯醛	0.273	0.075	/	0.304
	2-十一烯醛	0.794	0.139	0.195	0.136
	十二醛	0.231	0.690	0.184	0.386
	十四醛	0.177	0.071	0.429	0.176
	十五醛	0.235	0.171	0.885	0.334
十六醛	/	1.040	/	/	
十八醛	0.339	2.477	5.039	2.153	

续表 1

类别	名称	相对含量/%				
		兰州大尾羊		小尾寒羊		
		羯羊	母羊	羯羊	母羊	
酮类	丙酮	0.276	0.490	10.175	0.379	
	2,3-丁二酮	0.280	0.092	0.339	0.142	
	1,2-环戊二酮	/	/	/	0.043	
	3-羟基-2-丁酮	0.504	1.164	0.279	/	
	2-甲基-3-辛酮	0.369	0.117	0.242	0.681	
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.070	0.087	/	0.145	
	2-(3-氢)咪喃酮	/	0.182	/	0.135	
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	/	/	0.092	/	
	5-甲基-2-异丙基-环己酮	0.522	0.510	0.512	0.252	
	2-戊基-环己酮	/	0.969	/	0.068	
	对甲基苯乙酮	0.610	/	/	/	
	2-(2-辛烯基)-环戊酮	0.232	0.094	0.101	0.151	
	3-(3-丁羟基)-2,2,4-三甲基-2-环己烯-1-酮	0.486	1.710	0.875	1.515	
	酸类	甲基牛磺酸	0.82	2.349	0.671	0.685
乙酸		0.725	2.246	0.966	0.612	
己酸		0.431	0.278	/	0.130	
壬酸		/	0.132	/	/	
4-乙基苯甲酸-2-戊酯		/	0.126	/	/	
γ-戊内酯		/	/	0.169	/	
乙酸芳樟酯		/	/	0.138	0.101	
酯类		邻苯二甲酸二辛酯	0.088	0.245	0.205	/
		邻苯二甲酸二丁酯	/	0.125	/	/
		十五烷基乙酸酯	/	/	0.152	/
	十四酸异丙酯	/	/	0.159	/	
杂环类	甲苯	17.61	16.131	6.814	4.644	
	对二甲苯	/	0.128	0.107	0.061	
	间甲基异丙基苯	0.540	0.349	0.598	0.634	
	2-丁基四氢咪喃	/	/	0.053	/	
	2-戊基咪喃	0.187	0.083	0.198	0.118	
	2-异丙基咪喃	0.109	/	/	0.063	
	2,5-二异丙基噻吩	0.121	0.665	0.367	0.308	
	苯丙噻唑	/	0.488	/	0.222	
	4-(3-苯丙基)吡啶	/	0.796	/	/	
	2-甲基萘	/	/	/	0.072	
醚类	2,2',5,5'-四甲基联苯	0.073	/	0.164	/	
	4-烯丙基苯甲醚	0.247	0.216	0.144	0.362	
胺类	异丙胺	3.416	7.146	6.340	7.801	
	苯酚	/	0.063	0.075	0.043	
酚类	2,6-二叔丁基对甲基苯酚	0.082	0.253	0.273	0.947	
	2,4-二特丁基苯酚	/	0.394	0.185	/	
合计		99.582	99.569	99.923	99.571	

† “/”表示未检出该物质。

表 2 兰州大尾羊肉挥发性风味物质种类[†]

Table 2 Types of volatile components of Lanzhou Fat-tailed sheep

类别	相对含量/%			
	兰州大尾羊		小尾寒羊	
	羯羊	母羊	羯羊	母羊
烷烃类	18	16	19	17
烯烃类	9	11	8	5
醇类	9	8	10	8
醛类	22	21	17	21
酮类	9	10	8	10
酸类	3	4	2	3
酯类	1	3	5	1
杂环类	6	7	7	8
醚类	1	1	1	1
胺类	1	1	1	1
酚类	1	3	3	2
合计	80	85	81	77

风味成分有修饰作用的物质(0.1≤ROAV≤1)有 2-辛烯醛、苯乙醛等;兰州大尾羊母羊肉中的主体风味成分有癸醛、2,4-壬二烯醛、壬醛、2-壬烯醛、辛醛、2,4-癸二烯醛、反-2-癸烯醛等 7 种,其它比较重要的风味成分有己醛、庚醛、2-辛烯醛。兰州大尾羊羯羊肉中的主体风味成分种类比母羊多 2 种,而且 2-壬烯醛、2,4-壬二烯醛、反-2-癸烯醛和 2,4-癸二烯醛的 ROAV 值也比母羊肉高,这些物质呈现出脂香味、蘑菇味、黄瓜味、西瓜味、天竺葵味和蜡香味等特点,使羯羊肉比母羊肉具有更丰富而鲜香的风味。兰州大尾羊羯羊肉中的主体风味成分种类比小尾寒羊羯羊肉多 3 种,ROAV 值也普遍高于小尾寒羊肉,尤其是 2-壬烯醛的 ROAV 值明显高于其他样品,这种物质具有鸢尾草味、脂肪味和黄瓜味;兰州大尾羊母羊肉中的主体风味成分种类比小尾寒羊母羊肉少 1 种,但 ROAV 值高于小尾寒羊肉,故风味更鲜美。

兰州大尾羊肉的挥发性风味物质种类超过 80 余种,但其风味特征却是由挥发性成分的浓度及其感觉阈值共同决定的。当浓度确定时,感觉阈值越低的物质越容易被感知^[6]。由表 1~3 可知,兰州大尾羊肉挥发性风味物质中醛类物质相对含量较丰富,在羯羊肉和母羊肉中分别占 31.110% 和 22.345%,且因其阈值较低,因此对兰州大尾羊肉的总体风味具有重要贡献。己醛、庚醛、辛醛和壬醛主要来源于油酸、亚麻酸、亚油酸和花生四烯酸等不饱和脂肪酸的氧化。辛醛具有显著的腊香、水果和脂肪气味,稀释后有脂肪蜜样香气。庚醛具有强烈而不愉快的、刺鼻粗糙的油脂气味,己醛则拥有苹果香、叶子香味和清香青草气味等。这些直链醛是形成肉类风味的基础物质。烯醛、二烯醛等不饱和醛可能是由多不饱和脂肪酸氧化形成的氢过氧化物的裂解而成^[9]。在兰州大尾羊羯羊肉中 ROAV 值最高的 2-壬烯醛具有鸢尾草味、脂肪味和黄瓜味,2,4-壬二烯醛具有脂肪味、蜡味、青草味、西瓜味、辛辣味,癸醛呈现蜡味,桔子味和柑橘皮味,2,4-癸二烯醛具有脂肪味、鸡肉味,反-2-癸烯醛具

表 3 兰州大尾羊肉主体风味物质成分[†]
Table 3 Key volatile components of Lanzhou fat-tailed sheep

化合物	感觉阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	ROAV 值				气味描述 ^[7-8]
		兰州大尾羊		小尾寒羊		
		羯羊	母羊	羯羊	母羊	
己醛	4.50	1.920	0.400	1.410	1.290	植物味、青草味、绿植味、牛脂味、脂肪味
庚醛	3.00	3.550	0.310	0.390	0.330	油味、脂肪味、腐臭味
辛醛	0.70	7.900	14.680	7.290	4.760	脂肪味、橘皮味、柠檬味、青草味、蜂蜜味
2-辛烯醛	3.00	0.570	0.110	0.100	0.090	绿植味、坚果味、脂肪味
苯乙醛	4.00	0.120	0.050	0.020	0.030	杏仁香、坚果味
壬醛	1.00	9.220	13.140	7.550	6.190	花香味、柑橘味、脂肪味、青草味、蜡味、绿植味
2-壬烯醛	0.08	100.000	8.000	6.350	4.530	鸢尾草味、脂肪味、黄瓜味
癸醛	0.10	11.150	33.750	6.020	18.050	蜡味、桔子味、柑橘皮味
2,4-壬二烯醛	0.01	34.460	12.150	/	17.410	脂肪味、蜡味、青草味、西瓜味、天竺葵味、辛辣味
反-2-癸烯醛	0.30	6.030	1.930	1.080	12.310	蜡香味, 脂香味, 蘑菇味
戊醛	12.00	0.060	0.010	0.020	0.030	/
2-己烯醛	17.00	0.050	0.010	/	0.010	青草香、脂肪香
顺-4-庚烯醛	0.80	0.560	/	0.340	0.170	清香、似亚麻油香
2,4-庚二烯醛	10.00	0.060	0.040	/	/	脂香、青香、油腻
2,4-癸二烯醛	0.07	7.070	1.940	/	7.880	脂肪味, 鸡肉味
2-戊基呋喃	6.00	0.060	0.030	0.060	0.040	泥土、蔬菜香韵
2-庚醇	330.00	0.003	/	/	/	油脂气息和酒香
1-辛醇	110.00	/	0.003	/	/	土腥味、金属味
6-甲基-5-庚烯-2-酮	50.00	0.003	0.003	/	0.005	/
2-甲基萘	14.00	/	/	/	0.060	/

[†] ROAV ≥ 1 的物质是主体风味成分, 0.1 \leq ROAV ≤ 1 的物质是有修饰作用的风味成分。

有蜡香味, 脂香味, 蘑菇味等。这些不饱和醛类的 ROAV 值比较高, 对兰州大尾羊肉的主体风味贡献最大。

饱和烷烃、烯炔类物质和酸类物质相对含量虽然较多, 但由于其感觉阈值通常也很高^[10], 一般不产生明显嗅感, 因此对兰州大尾羊肉主体风味贡献不大。酮类物质通常具有果香味、奶油味、青草香味等^[11]。兰州大尾羊肉挥发性风味物质中含有 10 种左右的酮类, 含量也较高, 但 ROAV 值普遍不高, 因此不是兰州大尾羊肉主体风味物质。其它一些分子量较大的化合物的发香基往往因为支链或其他基团的影响而不容易产生明显嗅感, 且其沸点一般比较高, 常温下的挥发性明显不如小分子化合物^[12]。杂环类化合物可能是美拉德反应的产物, 对羊肉香气起着非常重要的作用, 高浓度的某些杂环化合物可能会引起膻味^[13]。在兰州大尾羊肉挥发性风味物质中检测到呋喃、吡啶、噻吩、噻唑和哌嗪类物质, 但这些物质的 ROAV 值较低, 不会使兰州大尾羊肉具有显著的膻味。它们或直接参与羊肉中的风味, 或与其他物质发生协同、拮抗等作用, 间接影响羊肉的风味。羊肉的风味是多种呈味物质相互影响相互作用的综合结果, 而不只是某

几种呈味物质的简单组合, 其他物质也可能对兰州大尾羊肉的风味特征有一定影响, 具体影响有待进一步研究。

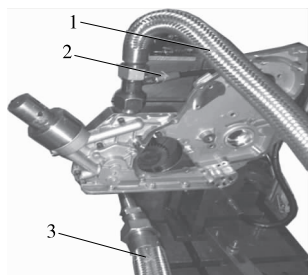
3 结论

兰州大尾羊羯羊和母羊肉分别含有 80 和 85 种挥发性风味物质。醛类物质是主体风味成分, 主要包括 2-壬烯醛、癸醛、辛醛、2,4-壬二烯醛、壬醛、2,4-癸二烯醛、反-2-癸烯醛等。各种风味成分协同作用, 使兰州大尾羊肉具有独特的香味和较轻的膻味, 具有广阔的市场前景。今后可结合挥发性脂肪酸中的膻味成分和脱膻技术进行更深入的分析研究。

参考文献

- [1] 徐红伟, 臧荣鑫, 杨具田, 等. 兰州大尾羊遗传资源保护与开发利用[J]. 中国畜牧兽医, 2009, 36(8): 88-90.
- [2] 臧荣鑫, 杨具田, 徐红伟, 等. 兰州大尾羊血液蛋白(酶)多态性的研究[J]. 中兽医医药杂志, 2010(2): 21-23.
- [3] 马海明, 门正明, 韩建林. 兰州大尾羊血红蛋白多态性的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2002, 37(1): 16-20.

(下转第 95 页)



1. 出口 2. 压力传感器 3. 进口

图7 齿轮式机油泵实验台

Figure 7 Experiment of the oil pump

表2 实验流量与仿真流量值比较

Table 2 The flow value of experiment and simulation

转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	泵出压 力/kPa	实验流量/ ($L \cdot \min^{-1}$)	CFD分析流量/ ($L \cdot \min^{-1}$)	误差/ %
1 100	100	12.798	12.191 49	-4.97
2 000	100	23.598	22.956 03	-2.80
2 700	100	32.298	31.112 70	-3.81
4 000	100	46.552	45.495 70	-2.32
5 400	100	58.254	59.803 00	2.59
6 000	100	63.264	66.472 17	4.83

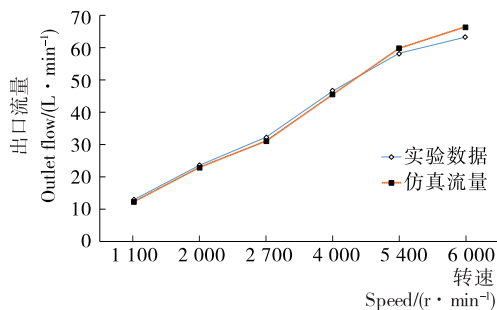


图8 实验流量与仿真流量曲线

Figure 8 Experiment and simulation of flow curves

4 结论

通过对不同齿形的齿轮式机油泵的 CFD 分析,并对直齿式机油泵进行了实验,得到如下结论:

(1) 与直齿式机油泵相比,在 1 100~2 700 r/min 时,其他齿形的机油泵出口流量都有所降低,但降低的幅度不大。中高转速 4 000~5 400 r/min 时,流量基本相同,错位齿轮式机油泵的流量较低。

(2) 实验测得的流量与 CFD 分析的流量误差在 5% 以内,基本吻合,证明了 CFD 仿真能比较真实的模拟机油泵的工作情况,为机油泵的研发提供了依据。

(3) 在降低流量脉动方面,错位齿轮式机油泵能有效的降低流量脉动,1 100 r/min 时降低了 27% 左右,2 700 r/min 时降低了 35% 左右,5 400 r/min 时与直齿式机油泵一样。所以在中低转速时,错位齿轮式机油泵的流量脉动降低幅度大,效果明显。

(4) 该实验和仿真分析的结论可以为机油泵的研发以及优化提供了理论基础和技术支持。不同齿形的齿轮式机油泵各优化参数还需进一步研究。

参考文献

- [1] 熊小艳. 同步齿轮泵的优化设计及基础理论研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009: 8-9.
- [2] LIU Qian. Study on instantaneous flow and pulsation characteristic of the external gear pump[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2013, 37(6): 17-21.
- [3] LUAN Zhen-hui. Research on synchronous gear pump[J]. Journal of Coal Science Engineering, 2010, 16(4): 429-433.
- [4] 吴百海, 张扬慰, 虞秀敏. 小脉动齿轮泵的理论 and 结构探讨[J]. 机床与液压, 1988, 16(6): 14-20.
- [5] 周骥平, 姜铭, 李益民, 等. 斜齿齿轮泵小脉动输出特性[J]. 机械工程学报, 2000(12): 18-20.
- [6] 赵亮, 王东屏, 任喜岩. 斜齿齿轮泵流量脉动特性分析[J]. 大连铁道学院学报, 2001, 22(4): 25-28.
- [7] 张会霞. 双联斜齿泵流量脉动特性分析[J]. 机床与液压, 2011, 39(10): 80-81, 84.
- [8] 黄玉萍, 李宪华, 张军. 多联齿轮泵流量特性的仿真研究[J]. 煤矿机械, 2004(10): 30-31.
- [9] 尚春民, 范景峰, 张心明. 两种齿轮泵脉动特性对比分析[J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2004, 27(3): 41-43.
- [10] 刘玉兰, 刘忠朝. 低脉动低噪音齿轮泵的研究[J]. 西安矿业学院学报, 1990, 10(2): 85-92, 74.
- [11] 张永祥, 金健. 齿轮泵的瞬时流量及流量脉动的抑制[J]. 液压与气动, 2015(3): 46-49, 31.
- [12] HASSAN Abashar Babikir Babikir(阿巴沙). 减小外啮合齿轮泵流量脉动的措施研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 59-63.
- [13] 邹洪峰, 贾柱. 齿轮泵的流量脉动机理分析与设计[J]. 机械工程师, 2010(3): 47-48.

(上接第 54 页)

- [4] 李贞子, 杨富民, 杨具田, 等. 不同月龄‘兰州大尾羊’肉营养成分分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2011(6): 24-28.
- [5] 李贞子, 杨具田, 宋巧, 等. 不同性别及部位的兰州大尾羊肉食用品质[J]. 食品工业科技, 2014, 35(17): 24-28.
- [6] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: ROAV 法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.
- [7] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 25-32, 123.
- [8] 林翔云. 香料香精辞典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 97, 442.
- [9] 乔发东, 马长伟. 宣威火腿加工过程中挥发性风味化合物分析[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(3): 24-29.
- [10] FRAUENDORFER F, SCHIEBERLE P. Identification of the key aroma compounds in cocoa powder based on molecular sensory correlations[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2006(54): 5 521-5 529.
- [11] FORSS D A. Odor and flavor compounds from lipids [J]. Progress in the Chemistry of Fats & Other Lipids, 1972, 13(4): 181-258.
- [12] GARCIA C, BERDAGUE J J, ANTEQUERA T. Volatile compounds of dry-cured berian ham[J]. Food Chemistry, 1991 (41): 23-32.
- [13] 陈鑫炳, 范素琴. 羊肉风味的研究[J]. 肉类工业, 2010(9): 36-39.