

宰后僵直和解僵过程羊肉风味品质分析

肖雄^{1,2}, 张德权¹, 李铮¹, 李欣¹, 任驰¹, Zubair Hussain¹, 刘登勇², 侯成立¹

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工重点实验室, 北京 100193)

(2. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁锦州 121013)

摘要: 本文研究了4℃贮藏条件下, 羊肉僵直和解僵过程中风味品质的变化。以羊背最长肌为研究对象, 采用超快速气相色谱电子鼻和气相色谱质谱联用技术(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS), 测定宰后不同贮藏时间羊肉挥发性风味物质的差异。结果表明, 宰后贮藏过程中共检测出挥发性风味物质6类51种, 主要为醛类和醇类物质, 随着贮藏时间的延长, 熟制羊肉的醛类物质含量先增加后降低, 醇类物质的含量先降低后增加, 己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-戊醇、1-辛烯-3-醇和1-庚醇为宰后贮藏过程中羊肉的关键风味物质, 宰后1d与1h羊肉的共有关键风味物质含量无显著差异($p>0.05$), 宰后3d和5d羊肉的风味物质种类和含量降低; 超快速气相色谱电子鼻主成分分析结果与GC-MS结果相一致。因此, 僵直前(宰后1h)和解僵初期(宰后1d)羊肉的共有关键风味物质种类和含量差异不显著, 解僵后期(宰后3d和5d)羊肉关键风味物质含量和种类明显降低。

关键词: 羊肉; 僵直; 成熟; 风味; 品质

文章编号: 1673-9078(2019)06-287-294

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.6.038

Analysis of Flavor Quality of Pre- and Post-Rigor Lamb

XIAO Xiong^{1,2}, ZHANG De-quan¹, LI Zheng¹, LI Xin¹, REN Chi¹, Hussain Zubair¹, LIU Deng-yong²,
HOU Cheng-li¹

(1. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)(2. College of Food Science and Technology, Bohai University/Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China)

Abstract: The aim of this study was to explore the changes of flavor quality in lamb during rigor moris and post-rigor periods at 4℃. *Longissimus dorsi* muscle was selected, ultra-rapid gas phase electronic nose instrument and gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) were used to determine the difference of volatile flavor compounds among different storage time of lambs. The results showed that 51 kinds of volatile flavor compounds were detected, mainly include aldehyde and alcohol. The aldehyde content of chilled lamb increased first and then decreased with the prolongation of storage time, while the alcohol content first decreased and then increased. Hexaldehyde, heptanal, octanal, nonaldehyde, 1-pentanol, 1-octene-3-alcohol and 1-heptanol were the key flavor compounds as these compounds always existed in lamb during storage. The difference was not significant in the key flavor compounds between 1 d and 1 h of lamb after slaughtered ($p>0.05$), however, the kinds and contents of flavor compounds in 3 d and 5 d of lamb decreased. The results of principal component analysis carried out by ultra-rapid gas phase electron nose were consistent with the GC-MS. Therefore, there was no significant difference in the types and contents of the key flavor compounds between pre-rigor (1 h after slaughtered) and the initial stage of rigor (1 d after slaughtered), while decreased at post-rigor stage (3 d and 5 d after slaughtered) significantly.

Key words: lamb; rigor mortis; aging; flavor; quality

热鲜肉是指屠宰后未经人工冷却过程的肉, 冷却肉指畜禽屠宰后经冷却处理, 在24h内使肉的中心温度降低到0~4℃, 并在0~4℃的环境中贮存的鲜肉^[1]。近年来, 冷却肉在我国市场上的比例有所上升,

收稿日期: 2019-02-01

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项; 国家肉羊产业技术体系(CARS-38)

作者简介: 肖雄(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工与营养

通讯作者: 侯成立(1986-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 肉品加工与营养

但我国许多消费者认为热鲜肉新鲜度好且更加美味, 同时热鲜肉在国内市场上仍然占有较大的比例(约60%)^[2]。热鲜肉和冷却肉的本质区别在于是否经历僵直、解僵成熟过程。研究表明, 冷却肉和热鲜肉各有优势, 热鲜肉可有效降低冷却损失、滴水损失和冷却费用等^[3], 冷却肉可明显改善肉品嫩度^[4]。

羊肉是我国消费者食用的主要肉类之一, 与其他肉类相比, 羊肉肉质更为细嫩, 易被人体消化吸收, 此外因其独特的风味而深受广大消费者喜爱。食品

质是评价肉品品质的关键指标,风味品质是重要的指标之一。目前,关于热鲜肉风味好,还是待其解僵成熟后再加工的冷却肉风味更好,研究的相对较少。宰后成熟对肉品品质具有很大影响,近年研究热点主要集中在嫩度、色泽及保水性方面,Abdullah 等^[5]对宰后贮藏 1 d 和 7 d 的羊肉品质变化进行分析,结果发现,与宰后 1 d 的肉相比,贮藏 7 d 的羊肉的亮度变大,嫩度下降;李桂霞^[6]和杨文婷等^[7]对分别对宰后羊肉的嫩度、色泽进行研究,得出了相似的结论;保水性则随着宰后贮藏时间的延长而降低^[5,8]。此外,目前关于肉品风味品质变化主要集中在牛肉和禽肉^[9-12],对宰后僵直、解僵过程中羊肉风味变化的研究相对较少。因此,本研究以蒙寒杂交羊的背最长肌为研究对象,探究僵直和解僵过程羊肉的风味品质变化,为冷却肉和热鲜肉的品质研究提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

羊肉来源于内蒙古巴彦淖尔市某企业屠宰场。按照伊斯兰屠宰方式进行屠宰,屠宰后从 4 °C 排酸库中选用 7 月龄、胴体重 25 kg 左右的 6 只舍饲蒙寒杂交公羊为实验羊。取宰后不同时间点(1 h、6 h、12 h、1 d、3 d、5 d 和 7 d)的羊背最长肌液氮速冻后,贮存于-80 °C 冰箱中,用于后续挥发性风味物质和电子鼻的检测。

1.2 仪器与设备

气相色谱质谱联用仪(GC-MS QP2010 plus),岛津仪器(苏州)有限公司;Heracles II 超快速气相电子鼻,法国 Alpha Mos 公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发性风味物质测定

参考 Elmore 等^[13]的实验方法采用固相微萃取方法提取挥发性化合物,再通过气相色谱-质谱联用仪对化合物进行分离并分析。

固相微萃取条件:将 4 g 样品置于 20 mL 顶空瓶内,沸水浴加热 5 min,采用 65 μm PDMS/DVB 萃取头,将样品置于 50 °C 条件下平衡 20 min 后,将萃取头插入顶空瓶中萃取 40 min,最后将萃取头拔出并置于 200 °C 的进样口中解吸 2 min。

气相色谱条件:色谱柱型号 DB-WAX (20 m×0.18 mm×0.18 μm),柱温箱初始温度 40 °C,进样口温度 200 °C,不分流进样,载气流速 1 mL/min,柱温箱升

温程序为 40 °C 保持 3 min,5 °C/min 升至 120 °C,10 °C/min 升至 200 °C,保持 13 min。

质谱条件:离子源温度 200 °C,传输线温度 250 °C,采用全扫描(Scan)模式采集信号,扫描范围 35~500 *m/z*。

羊肉关键风味物质的测定:挥发性物质对总体风味的贡献由其在气味体系中的浓度和感觉阈值共同决定,因此本实验采用相对气味活度值(ROAV)法^[14]来确定关键风味物质。各挥发性成分的 ROAV 按下式计算:

$$ROAV_i = \frac{C_i}{T_i} \times \frac{T_{max}}{C_{max}} \times 100$$

式中: C_i 和 T_i 分别表示各挥发性物质的相对含量和感觉阈值; C_{max} 和 T_{max} 分别表示对总体风味贡献最大的挥发性物质的相对含量和感觉阈值。

所有组分均满足 $0 < ROAV \leq 100$,且 ROAV 值越大,表明该组分对羊肉样品的总体风味的贡献越大。当 $ROAV \geq 1$ 时,该挥发性物质对羊肉整体风味有显著影响,被认为是关键风味物质;当 $0.1 \leq ROAV < 1$ 时,该挥发性物质对羊肉整体风味具有重要作用。

1.3.2 气相电子鼻分析

参考 Yu 等^[15]的方法并稍作修改。将 4 g 样品置于 20 mL 顶空瓶内,沸水浴加热 5 min,使用 HS-100 型自动进样器进样,Heracles II 超快速气相电子鼻检测,FID 检测器温度为 260 °C,初始捕获温度为 50 °C,阀温为 250 °C,进样量为 3000 μL,进样速度为 125 μL/s,柱温从 50 °C 升到 250 °C (速率为 2 °C/s)。

1.3.3 分析方法

实验重复 3 次,所有测得数据采用 Excel 软件进行数据整理,Origin Pro 9.0 软件作图。根据计算机普库(NIST11、NIST11s)进行化合物的质谱鉴定,检测出挥发性风味物质匹配度大于 80 的化合物各挥发性风味物质的种类,然后采用峰面积归一化法分析各组分的相对含量。利用软件 Alpha Soft Version 2012.46 处理电子鼻数据。实验数据以“平均值±标准差”表示,利用 SPSS 19.0 中的方差分析(ANOVA)进行数据统计,若方差分析差异显著,采用 Duncan 法进行均值的多重比较,以 $p < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与讨论

2.1 挥发性风味物质分析

为了比较热鲜羊肉和冷却羊肉风味的区别,选取宰后 1 h(僵直前期)、1 d(解僵初期)、3 d 和宰后 5 d(解僵后期)的肉样进行挥发性风味物质分析。本实

验中宰后羊背最长肌检测出挥发性风味物质共计 6 类 51 种, 其中, 醛类 16 种、醇类 13 种、酮类 5 种、烃类 8 种、含苯环类 6 种以及其它物质 3 种。宰后不同时间点羊肉风味物质种类数量不同 (表 1, 表 2), 1 h、1 d、3 d 和 5 d 的风味物质种类数分别为 34、36、28 和 26, 风味物质种类整体呈现先升高后降低的趋势。

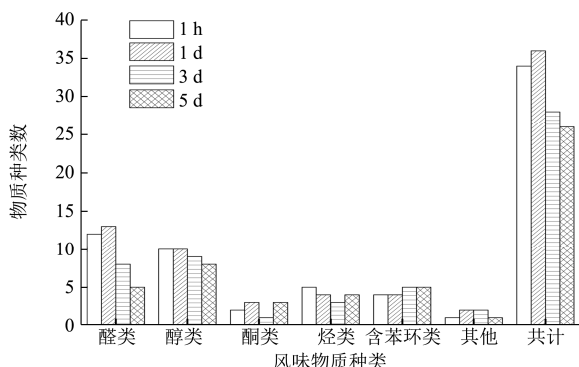


图 1 宰后不同贮藏时间点羊肉 (背最长肌) 的风味物质种类分布

Fig.1 The distribution of flavor compounds of postmortem lamb (*longissimus dorsi* muscles) at different storage times

表 1 宰后贮藏过程中羊肉 (背最长肌) 不同类别挥发性风味物质相对含量 (%)

Table 1 Relative content (%) of different kind of volatile flavor compounds of postmortem lamb (*longissimus dorsi* muscles) during storage

风味物质种类	宰后不同贮藏时间			
	1 h	1 d	3 d	5 d
醛类	73.04	75.80	73.02	60.28
醇类	18.01	16.44	15.74	18.09
酮类	5.26	5.54	4.41	4.18
烃类	1.77	0.49	1.46	11.25
苯环	1.21	1.29	4.61	5.96
其它	0.71	0.44	0.76	0.24
总量	100	100	100	100

对贡献率占 90% 以上的挥发性风味物质进行分析 (表 2 见附件), 得出羊肉的主要风味物质包括: 壬醛、1-辛烯-3-醇、辛醛、己醛、2,4-癸二烯醛、癸醛、(E)-2-壬烯醛和(E)-2-癸烯醛。此外, 不同贮藏时间各风味物质的贡献率排名不同, 僵直前 (宰后 1 h) 羊肉中 1-辛烯-3-醇、辛醛的贡献率排名分别为 2 和 3, 成熟后 (宰后 5 d) 的羊肉风味中 1-辛烯-3-醇、辛醛的贡献率排名分别为 3 和 2, 推测其原因可能是醇类在宰后

贮藏过程中被氧化成了醛类。

2.1.1 醛类物质分析

宰后贮藏过程中羊肉的醛类物质有己醛、壬醛、辛醛、(E)-2-癸烯醛等, 分别呈现出青草味、脂肪味、橘皮味和蜡香味等 (表 2, 表 3)。宰后 1 h, 羊肉中醛类物质有 12 种, 占挥发性物质总量的 73.05%, 其中主要为己醛, 占挥发性物质总含量的 40.77%; 宰后 1 d 的羊肉的醛类物质有 13 种, 占挥发性物质总量的 75.80%, 其中己醛占 37.28%; 而宰后 3 d 和 5 d 时, 羊肉的醛类物质分别有 8 种和 5 种, 占挥发性物质总量的 73.02% 和 60.28%, 己醛含量依然最高, 分别占醛类物质的 41.41% 和 26.70%。

2.1.2 醇类物质分析

宰后贮藏过程中羊肉的醇类物质主要有 1-辛烯-3-醇、1-戊醇、1-辛醇、1-庚醇和 1-己醇等, 这些物质主要呈现出蘑菇味、芳香味和油脂味等。由表 2 可知, 宰后 1 h, 羊肉中醇类物质有 10 种, 占挥发性物质总量的 18.11%, 其中最主要是 1-辛烯-3-醇, 占挥发性物质总量的 10.48%; 宰后 1 d 的羊肉醇类物质有 10 种, 占挥发性物质总量的 16.44%, 其中 1-辛烯-3-醇占 10.33%; 3 d 和 5 d 时, 羊肉的醇类物质总数分别为 9 种和 8 种, 占挥发性物质总量的 15.74% 和 18.09%, 1-辛烯-3-醇含量依然最高, 分别占醇类物质的 9.12% 和 11.16%。可以看出, 醇类物质种类有减少的趋势, 含量先降低后增加。

2.1.3 酮类、烃类、含苯环类、其他类物质分析

对酮类物质分析发现, 宰后贮藏过程中共检测出 4 种酮类物质, 其中最主要是 2,3-辛二酮和 2,5-辛二酮。宰后初期 1 h 和 1 d 的羊肉均含有 2,3-辛二酮, 分别占挥发性物质总量的 5.67% 和 5.52%。宰后 5 d 和 7 d 羊肉中有 2,5-辛二酮, 含量分别为 4.41% 和 2.59%。

宰后贮藏过程中共发现 8 种烃类物质, 其含量整体上呈现先降低后升高的趋势, 其中, 十四烷、十五烷、十六烷和 D-柠檬烯等为主要物质。

宰后贮藏过程中, 羊肉的含苯环类物质含量从宰后 1 h 的 1.87% 增加到 5 d 的 5.96%, 其中, 苯甲醛、1,2,3,4-四甲基苯和苯酚等为主要物质。

此外, 宰后贮藏过程中, 羊肉的挥发性风味物质也包含 2-戊基呋喃、N,N-二甲基甲酰胺和磺酰基二甲烷等。

表2 宰后贮藏过程中羊肉(背最长肌)挥发性风味物质相对含量、ROAV 值分析及贡献率排序

Table 2 Relative content of different kind of volatile flavor compounds, the ROAV value and the ranking of contribution rate of postmortem lamb (*longissimus dorsi* muscles) during storage

类别	中文名	风味物质相对含量/%				阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	相对气味活度值 (ROAV)				风味贡献率								
		1 h	1 d	3 d	5 d		1 h	1 d	3 d	5 d	1 h	排序	1 d	排序	3 d	排序	5 d	排序	
醛类	己醛	40.73±2.69 ^a	37.28±4.15 ^a	41.41±1.17 ^a	26.7±7.84 ^b	4.50	45.58	36.13	54.09	27.75	16.32	4	10.69	4	16.93	3	11.05	4	
	庚醛	3.13±0.13 ^b	3.24±0.34 ^b	6.19±0.95 ^a	3.25±2.25 ^b	3.00	5.28	4.72	12.12	5.07	1.89	7	1.39	10	3.79	6	2.02	6	
	辛醛	6.58±0.73 ^{ab}	7.36±1.23 ^a	7.08±0.31 ^a	8.43±0.32 ^a	0.70	47.41	45.84	59.45	56.32	16.97	3	13.56	2	18.60	2	22.43	2	
	壬醛	19.86±1.47 ^a	22.93±3.17 ^a	17.01±2.71 ^{ab}	21.38±4.25 ^a	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00	35.80	1	29.58	1	31.29	1	39.82	1	
	十四醛	0.51±0.17 ^a	0.69±0.06 ^a	0.10±0.03 ^{ab}	0.51±0.28 ^a	60.00	0.04	0.05	0.01	0.04	0.02	15	0.01	15	0.00	13	0.02	12	
	2,4-癸二烯醛	0.25±0.04	0.28±0.08	0.36±0.17	ND	0.07	17.97	17.24	30.23	-	6.43	5	5.10	8	9.46	5	-	-	
	(E)2-十二烯醛	0.17±0.04 ^b	ND	0.78±0.35 ^a	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2-十一烯醛	ND	ND	0.09±0.08	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(E)2-辛烯醛	0.67±0.05	0.69±0.06	ND	ND	3.00	1.12	1.00	-	-	0.40	9	0.30	12	-	-	-	-	
	(E)4-壬烯醛	0.33±0.05	0.33±0.02	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	十三醛	0.52±0.06 ^a	0.22±0.02 ^b	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	顺-4-癸醛	0.21±0.03	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	癸醛	ND	0.66±0.29	ND	ND	0.10	-	28.79	-	-	-	-	-	8.52	6	-	-	-	
	(E)2-壬烯醛	ND	0.62±0.21	ND	ND	0.08	-	33.62	-	-	-	-	-	9.95	5	-	-	-	
	顺-4-十一烯醛	ND	0.22±0.02	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(E)2-癸烯醛	ND	1.29±0.25	ND	ND	0.30	-	18.80	-	-	-	-	-	5.56	7	-	-	-	
十一醛	0.08±0.03	ND	ND	ND	5.00	0.08	-	-	-	0.03	13	-	-	-	-	-	-		
醇类	1-戊醇	1.55±0.13	1.45±0.24	1.65±0.49	1.52±0.29	1.23	6.56	5.13	7.87	5.79	2.35	6	1.52	9	2.46	7	2.31	5	
	1-己醇	0.52±0.04 ^b	0.57±0.10 ^b	0.66±0.18 ^b	0.96±0.08 ^a	250.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	18	0.00	17	0.00	13	0.01	13	
	1-辛烯-3-醇	10.43±0.56 ^{ab}	10.33±1.12 ^{ab}	9.12±0.47 ^b	11.16±1.46 ^a	1.00	52.73	45.06	53.62	52.21	18.88	2	13.33	3	16.78	4	20.79	3	
	1-庚醇	0.68±0.09 ^b	0.79±0.05 ^b	0.93±0.24 ^b	1.27±0.08 ^a	3.00	1.14	1.15	1.83	1.97	0.41	8	0.34	11	0.57	8	0.79	7	
	1-辛醇	1.48±0.25 ^b	2.19±0.33 ^a	1.59±0.27 ^b	0.53±0.27 ^c	110.00	0.07	0.09	0.09	0.02	0.02	14	0.03	14	0.03	10	0.01	13	
	2-乙基-1-己醇	ND	0.21±0.05 ^b	ND	1.89±0.61 ^a	270000.00	-	0.00	-	0.00	-	-	-	0.00	17	-	-	0.00	17
	反-2-十二烯-1-醇	0.21±0.03 ^a	0.03±0.02 ^b	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	异山梨醇	0.15±0.18	ND	0.43±0.62	0.51±0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(Z)2-辛烯-1-醇	ND	ND	0.85±0.31 ^a	0.24±0.10 ^b	40.00	-	-	0.12	0.03	-	-	-	-	0.04	9	0.01	13	
	(E)2-辛烯-1-醇	1.24±0.01 ^a	0.16±0.10 ^b	ND	ND	40.00	0.16	0.02	-	-	0.06	12	0.01	15	-	-	-	-	

转下页

接上页

	2,4-二甲基环己醇	0.27±0.06 ^{ab}	0.37±0.05 ^a	0.18±0.07 ^b	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2-己基-1-辛醇	1.48±0.25	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	[R-(R*,R*)]-2, 3-丁二醇	ND	0.34±0.47	0.33±0.27	ND	4500.00	-	0.00	0.00	-	-	0.00	17	0.00	13	-	-	
酮类	3-羟基-2-丁酮	ND	0.05±0.04 ^b	ND	1.33±0.16 ^a	55.00	-	0.00	-	0.11	-	0.00	17	-	-	0.04	9	
	2,3-辛二酮	5.17±1.16	5.38±2.05	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2,5-辛二酮	ND	ND	4.41±1.81	2.59±1.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2-癸酮	0.09±0.02	0.10±0.04	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2-吡咯烷酮	ND	ND	ND	0.27±0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	D-柠檬烯	1.08±0.69 ^b	ND	ND	3.42±1.70 ^a	10.00	0.54	-	-	1.60	0.19	11	-	-	-	0.64	8	
烃类	2-甲基-3-乙基-1,3-己二烯	0.18±0.06 ^b	0.17±0.02 ^b	0.30±0.07 ^a	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	十四烷	0.27±0.09	ND	0.91±0.59	0.77±0.33	60.00	0.02	-	0.09	0.06	0.01	15	-	0.03	10	0.02	11	
	十五烷	ND	ND	ND	5.67±2.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	十六烷	0.15±0.21 ^b	0.17±0.09 ^b	0.25±0.12 ^b	1.39±0.42 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3-环氧乙基-7-氧杂二环[4,1,0]-庚烷	0.03±0.02	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1-十二烯 3-炔	ND	0.04±0.06	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	十七烷	ND	0.11±0.02	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
苯环类	1,2,3,4-四甲基苯	0.11±0.03 ^b	0.08±0.12 ^b	0.25±0.19 ^b	1.59±0.58 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1,2,4,5-四甲基苯	ND	ND	0.42±0.13	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	苯甲醛	1.02±0.27 ^b	1.03±1.06 ^b	3.07±1.26 ^a	2.42±0.30 ^{ab}	350.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.01	15	0.00	17	0.02	12	0.01	13
	苯	0.04±0.01 ^b	0.13±0.02 ^b	ND	1.02±0.59 ^a	60.00	0.00	0.01	-	0.08	0.00	18	0.00	17	-	-	0.03	10
	甲基苯酚	ND	ND	0.73±0.84	0.57±0.22	1550.00	-	-	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	13	0.00	17
	苯酚	0.04±0.02 ^b	0.05±0.06 ^b	0.13±0.05 ^{ab}	0.36±0.28 ^b	5500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18	0.00	17	0.00	13	0.00	17
其它	2-戊基呋喃	0.71±0.29 ^a	0.37±0.15 ^b	ND	ND	6.00	0.72	0.37	-	-	0.21	10	0.08	13	-	-	-	
	N,N-二甲基甲酰胺	ND	ND	0.64±0.39 ^a	0.24±0.27 ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	磺酰基二甲烷	ND	0.06±0.07	0.12±0.06	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

注：同一行不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)，“ND”表示未检测到，“-”表示未查询到或无法计算出结果，“0.00”表示其数值小于 0.01。

2.2 宰后贮藏过程羊肉关键挥发性风味物质的分析

当挥发性物质的 ROAV \geq 1 时,说明该物质对羊肉整体风味有显著影响,被认为是关键风味物质。宰后羊肉不同贮藏时间的风味存在一定的差异,但关键风味组成有一定交叉,由表 3 可知,共有的关键风味物有己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-戊醇、1-辛烯-3-醇和 1-庚醇,这与罗玉龙等^[16]报道的羊肉中主要挥发性成分一致。14 种关键风味物质使羊肉呈现出脂肪味、青草味、芳香味和橘皮味等。其中,醛类物质对羊肉总体风味的贡献最大。对宰后不同贮藏时间羊肉的风味物质比较发现,宰后 1 h 和 1 d 的羊肉共有的关键风味物质含量差异不显著($p>0.05$)。随着贮藏时间的延长,宰后 3 d 与 5 d 的共有关键风味物质含量降低。此外,宰后 1 d 羊肉的关键风味物质种类最多,且相对含量也较高,其中,癸醛、(E)-2-壬烯醛和(E)-2-癸烯醛仅在宰后 1 d 的羊肉挥发性风味物质中检测出。

羊肉具有独特的香味,与其肉香味相关的挥发性风味物质主要包括醛、醇、酮、酯、酸、呋喃及含氮化合物等。醛类化合物的来源主要是脂肪的氧化和降解^[17]。本研究中,醛类物质含量先升高后降低,这可

能是由于宰后初期,羊肉中的不饱和脂肪酸和空气中的氧气发生氧化作用,使得醛类物质种类和含量有所增加,随后醛类物质进一步被氧化,又会使其种类和含量降低^[18]。醇类物质是脂肪降解的另一种产物,与醛类相比,醇类具有较高的阈值^[19]。1-辛烯-3-醇是亚油酸的氢氧化物降解产物,具有蘑菇味和土腥味^[20],在宰后成熟过程中出现且含量较大,对于羊肉挥发性气味有重要影响。酮类化合物是脂肪氧化的另一产物,其种类比醛类少,但对羊肉的特征风味形成起重要作用^[21]。烃类化合物主要由脂肪酸烷氧自由基的均裂产生,一般认为其香味阈值较高,对肉的直接风味贡献不大,但因种类丰富,可能有助于提高肉制品的整体风味^[22]。

肉品风味前体物质是肉品中能产生的挥发性肉香化合物,与终产品的风味品质密切相关。肉品中发现的主要风味前体物质可分为水溶性和脂溶性两种。水溶性主要包括游离氨基酸、肽、核苷酸和硫胺素(维生素 B₁)等^[23-25]。脂溶性物质有油酸、亚麻酸、花生四烯酸和磷脂等。宰后贮藏过程中,游离脂肪酸、氨基酸、核苷酸等物质的含量会随着脂肪氧化、蛋白水解等化学过程的变化而变化。这可能是影响宰后贮藏过程中肉品风味物质种类和含量变化的主要因素。

表 3 宰后贮藏过程中羊肉(背最长肌)关键挥发性风味物质峰面积(ROAV \geq 1)

Table 3 Area of characteristic volatile flavor compounds of postmortem lamb (*longissimus dorsi* muscles) during storage (ROAV \geq 1)

关键挥发性物质	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	面积 ($\times 10^6$)				感官描述
		1 h	1 d	3 d	5 d	
己醛	4.50	29.37 \pm 8.68 ^a	32.89 \pm 17.19 ^a	14.54 \pm 8.88 ^{ab}	6.39 \pm 4.67 ^b	青草味、绿植味、牛脂味
庚醛	3.00	2.24 \pm 0.44	2.69 \pm 1.11	2.69 \pm 1.11	2.18 \pm 1.27	油味、脂肪味
辛醛	0.70	4.66 \pm 0.76 ^{ab}	5.97 \pm 2.16 ^a	2.45 \pm 1.43 ^{bc}	1.85 \pm 0.78 ^c	脂肪味、橘皮味、蜂蜜味
壬醛	1.00	14.16 \pm 3.07 ^{ab}	18.87 \pm 7.51 ^a	6.34 \pm 4.59 ^b	4.5 \pm 1.14 ^b	香草味、脂肪味、蜡味
1-戊醇	1.23	1.16 \pm 0.34 ^a	1.29 \pm 0.70 ^a	0.52 \pm 0.26 ^a	0.35 \pm 0.21 ^b	辣味
1-辛烯-3-醇	1.00	7.47 \pm 1.66 ^{ab}	9.09 \pm 4.72 ^a	3.26 \pm 2.02 ^b	2.55 \pm 1.45 ^b	蘑菇香、油脂味、发酵香
1-庚醇	3.00	0.48 \pm 0.09 ^{ab}	0.69 \pm 0.33 ^a	0.31 \pm 0.16 ^a	0.28 \pm 0.14 ^b	淡芳香、脂肪香
2,4-癸二烯醛	0.07	0.18 \pm 0.02	0.21 \pm 0.06	0.15 \pm 0.14	ND	脂肪味、鸡肉味
(E)-2-辛烯醛	3.00	0.48 \pm 0.09	0.57 \pm 0.23	ND	ND	绿植味、坚果味、脂肪味
癸醛	0.10	ND	0.49 \pm 0.08	ND	ND	蜡味、柑橘皮味、橡胶味
(E)-2-壬烯醛	0.08	ND	0.50 \pm 0.25	ND	ND	鸢尾草味、脂肪味、黄瓜味
(E)-2-癸烯醛	0.30	ND	1.17 \pm 0.67	ND	ND	蜡香味、脂香味、蘑菇味
D-柠檬烯	-	0.73 \pm 0.43	ND	ND	0.69 \pm 0.22	-

注: 同一行不同小写字母表示差异显著 ($p<0.05$), “ND”表示未检测到, “-”表示未查询到或无法计算出结果。

2.3 气相电子鼻分析

超快速气相电子鼻获取的不同时间点的色谱峰面积以及峰数量主成分分析 (Principal Component

Analysis, PCA) 分析结果见图 2。如图 2a 所示, PC1 与 PC2 贡献率之和达到 99.52%。其中可以明显看出宰后 1 h 与 12 h, 1 d 之间存在差异, 6 h 和 12 h 气味差异不大, 宰后 3 d、5 d 和 7 d 肉的风味物质较为接

近。另外,判别因子(Discriminant Factor Analysis, DFA)分析结果(图2b)与PCA结果基本一致。

PCA分析是对未知样品原始数据向量进行线性变换,来寻找样品间的差异的一种算法。本实验结果表明快速气相电子鼻能够快速区分处于不同状态(僵直前、解僵过程中以及解僵后)的羊肉,这与GC-MS结果基本一致。根据GC-MS分析结果,宰后1d与其余时间点风味存在差异,其原因可能与癸醛、(E)-2-壬烯醛和(E)-2-癸烯醛3种醛类物质仅在宰后1d的羊肉中检出有关。

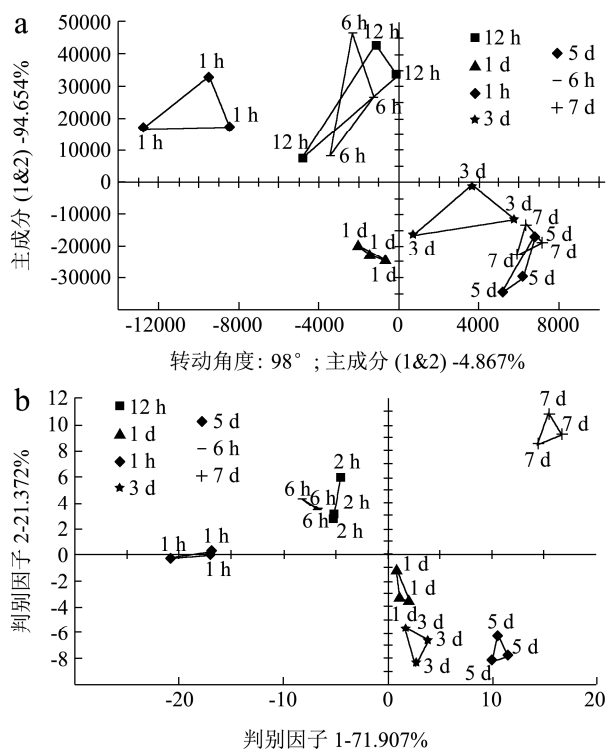


图2 宰后贮藏过程中羊肉(背最长肌)电子鼻检测结果

Fig.2 The results of e-nose of postmortem lamb (*longissimus dorsi* muscles) during storage

注: a: 主成分分析(PCA), b: 判别因子分析(DFA)。

3 结论

僵直和解僵过程中羊肉的风味品质发生变化,风味物质种类和含量存在差异。宰后贮藏过程中,羊肉的关键风味物质主要包括己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-戊醇、1-辛烯-3-醇和1-庚醇,僵直前(宰后1h)与解僵初期(宰后1d)羊肉的共有关键风味物质含量无显著差异,解僵后期(宰后3d和5d)羊肉的风味物质种类和含量降低。因此,有必要对宰后不同贮藏时间的风味前体物质展开研究,从而解释宰后贮藏过程羊肉风味品质变化的根本原因。

参考文献

- [1] NY/T 3224-2018, 畜禽屠宰术语[S]. NY/T 3224-2018, Terms of livestock and poultry slaughtering [S].
- [2] 尚普咨询. 2014-2017年中国冷鲜肉市场分析调查报告 [DB/OL]. (2014-2019). <http://www.cu-market.com.cn/hybg/2011-4-21/013014655620.html>
- [3] S&P Consulting. Research report about chilled meat market analysis survey in China from 2014 to 2017 [DB/OL]. (2014) [2019]. <http://www.cu-market.com.cn/hybg/2011-4-21/013014655620.html>
- [4] Sukumaran A T, Holtcamp A J, Campbell Y L, et al. Technological characteristics of pre-and post-rigor deboned beef mixtures from Holstein steers and quality attributes of cooked beef sausage [J]. Meat Science, 2018, 38(1): 189-202
- [5] Geert G, Sadi S, Mohammad K, et al. Tenderness of pre- and post rigor lamb longissimus muscle [J]. Meat Science, 2011, 88(4): 723-726
- [6] Abdullah A Y, Qudsieh R I. Effect of slaughter weight and aging time on the quality of meat from Awassi ram lambs [J]. Meat Science, 2009, 82(3): 309-316
- [7] 李桂霞, 李欣, 李铮, 等. 宰后僵直及成熟过程中羊背最长肌理化性质的变化[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 112-118
- [8] LI Gui-xia, LI Xin, LI Zheng, et al. Changes of physicochemical characteristics of lamb *longissimus dorsi* muscle during rigor development and aging [J]. Food Science, 2017, 38(21): 112-118
- [9] 杨文婷, 柏霜, 罗瑞明, 等. 排酸方式对成熟过程中滩羊肉品质和水分变化的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 40-44
- [10] YANG Wen-ting, BO Shuang, LUO Rui-ming, et al. Effect of different acid discharge methods on tan lamb meat quality and its moisture in maturing process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(19): 40-44
- [11] Abugroun H A, Forrest J C, Aberlee E D, et al. Shortening and tenderness of pre-rigor heated beef: Part 1 -Effect of heating rate on muscles of youthful and mature carcasses [J]. Meat Science, 1985, 14(1): 1-13
- [12] 刘雅娜, 齐风敏, 王定云, 等. 宰后成熟过程对新疆鹅肉挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 138-144
- [13] LIU Ya-na, QI Feng-min, WANG Ding-yun, et al. Effect of postmortem aging process on volatile flavor components in Xinjiang goose [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 138-144
- [14] Watanabe A, Kamada G, Imanari M, et al. Effect of aging on volatile compounds in cooked beef [J]. Meat Science, 2015, 107: 12-19

- [11] 牛珺,张丽,孙宝忠,等.西藏‘斯布’牦牛宰后成熟过程中挥发性风味物质差异分析[J].甘肃农业大学学报,2017,52(6): 127-133
NIU Jun, ZHANG Li, SUN Bao-zhong, et al. Analysis of volatile components during aging of Tibet sibu yak meat [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2017, 52(6): 127-133
- [12] 李永鹏,余群力.宰后成熟过程对牦牛肉中挥发性风味化合物的影响[J].食品科学,2011,32(5):1-5
LI Yong-peng, YU Qun-li. Effect of postmortem aging process on volatile flavor components in yak meat [J]. Food Science, 2011, 32(5): 1-5
- [13] Elmore J S, Mottram D S, Enser M, et al. The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb [J]. Meat Science, 2000, 55(2): 149-159
- [14] 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
LIU Deng-yong, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian. “ROAV” method: a new method for determining key odor compounds of rugao ham [J]. Food Science, 2008, 29(7): 370-374
- [15] Yu D W, Xu Y S, Regenstein J M, et al. The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2018, 242(21): 412-420
- [16] 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 Yu-long, ZHAO Li-hua, WANG Bo-hui, et al. Analysis of volatile components and fatty acid composition in different anatomical locations of Sunite sheep [J]. Food Science, 2017, 38(4): 165-169
- [17] Damerau A, Kamlang-ek P, Moisisio T, et al. Effect of SPME extraction conditions and humidity on the release of volatile lipid oxidation products from spray-dried emulsions [J]. Food Chemistry, 2014, 157(11): 1-9
- [18] 马良,王若兰.玉米储藏过程中挥发性成分变化研究[J].现代食品科技,2015,31(7):316-325
MA Liang, WANG Ruo-lan. Changes in volatile components of maize during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 316-325
- [19] Ma Q L, Hamid N, Bekhit A E D, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1 day and 21 days post-mortem storage [J]. Meat Science, 2012, 92(4): 430-439
- [20] 王霞,黄健,侯云丹,等.电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J].食品科学,2012, 33(12):268-272
WANG Xia, HUANG Jian, HOU Yun-dan, et al. Analysis of volatile components in yellowfin tuna by electronic nose and GC-MS [J]. Food Science, 2012, 33(12): 268-272
- [21] 何香,许时婴.蒸煮鸡肉的挥发性香气成分[J].无锡轻工大学学报,2001,20(5):497-499
HE Xiang, XU Shi-ying. Study of cooked chicken meat volatile components [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2001, 20(5): 497-499
- [22] 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 Rui-ming, LI Ya-lei, et al. Analysis of characteristic aroma compounds of Ningxia tan mutton [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1173-1177
- [23] 罗玉龙,靳志敏,刘夏炜,等.肉制品中香味物质形成原因研究进展[J].食品与发酵工业,2015,41(2):254-258
LUO Yu-long, JIN Zhi-min, LIU Xia-wei, et al. Development of research on aroma of mechanism in meat products [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(2): 254-258
- [24] 张娜.中华绒螯蟹风味物质的研究[D].无锡:江南大学,2008
ZHANG Na. Study on flavor compounds of Chinese mitten crab [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [25] 高尧来,朱晶莹.美拉德反应与肉的风味[J].广州食品工业科技,2004,20(1):91-94
GAO Yao-lai, ZHU Jing-ying. Maillard reaction and flavor of meat [J]. Guangzhou Food Science and Technology, 2004, 20(1): 91-94