

冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质的GC-MS分析

李林¹, 李兴艳¹, 尚永彪^{1,2,3,*}, 夏杨毅^{1,2,3}, 彭增起⁴

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2.农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(重庆), 重庆 400716;

3.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716;

4.南京农业大学 农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘要:以兔背最长肌为研究对象, 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术, 分别对兔背最长肌在冷藏过程中的挥发性风味物质进行定量、定性分析。结果表明: 在冷藏过程中检测到兔背最长肌挥发性风味物质共79种, 其中醛类19种、酮类4种、醇类17种、酯类6种、烃类31种、呋喃类2种, 且醛类化合物所占的比重最高, 其次是醇类及烃类化合物, 酮类、酯类及呋喃类化合物在挥发性物质中所占的种类少含量低。随着冷藏时间的延长, 兔背肉中各类挥发性风味物质的种类和相对含量也不断变化, 其中醛类、醇类及烃类物质的变化差异大, 酯类、酮类和呋喃类随时间变化不明显。

关键词:兔背最长肌; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 挥发性风味物质

Volatile Flavor Compounds in Rabbit *longissimus dorsi* during Cold Storage Analyzed by GC-MS

LI Lin¹, LI Xing-yan¹, SHANG Yong-biao^{1,2,3,*}, XIA Yang-yi^{1,2,3}, PENG Zeng-qi⁴

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Products Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China; 4. Key Laboratory of Agricultural and Animal Product Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Headspace solid phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used for the quantitative and qualitative analysis of volatile flavor compounds in rabbit *longissimus dorsi* during cold storage. The results showed that 79 volatile flavor compounds including 19 kinds of aldehydes, 4 kinds of alcohols, 17 kinds of alcohols, 6 kinds of esters, 31 kinds of hydrocarbons and 2 kinds of furans were detected, and the highest proportion was aldehydes, followed by alcohol and hydrocarbons, and the numbers and amounts of ketones, esters and furans compounds were lower. The types and relative contents of volatile flavor compounds changed with storage time, with particularly marked changes in aldehydes, alcohols and hydrocarbons yet no significant changes in esters, ketones or furans.

Key words: rabbit *longissimus dorsi*; headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile flavor compounds

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)24-0184-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201424035

风味是影响肉品质的主要因素之一, 风味的好坏直接影响了消费者对肉制品的满意程度。一般情况下, 生肉没有或少有香味, 通常只带有血腥味、金属味及咸味, 或因其他原因造成的腥臭等异味^[1]。但生肉在宰后冷藏和加工过程中能够产生具有挥发性肉香味化合物的组分, 主要包括醇、醚、醛、酮、酯、烃、烯、含硫的开

环化合物及含氧、氮、硫的杂环化合物等^[2], 这些化合物含量上的差异赋予了肉制品特殊的风味。

兔肉经过宰杀放血等环节后, 机体通过僵直、解僵及成熟过程, 其食用品质和风味得到一定程度的改善, 对于提高肉品质和进一步深加工都具有非常重要的意义。目前, 国内外广泛开展了肉类在冷藏过程中挥发性

收稿日期: 2014-04-14

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303144); 国家现代农业(兔)产业技术体系建设专项(CARS-44-D-1)

作者简介: 李林(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品安全与质量控制。E-mail: 534489761@qq.com

*通信作者: 尚永彪(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工。E-mail: shangyb64@sina.com

风味物质变化的研究,但大多数研究集中于猪肉、牛肉等畜禽肉中^[3-5],对兔肉在冷藏过程中挥发性风味物质的研究鲜有报道。因此,本实验以兔背最长肌为原料,采用顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术^[6-7],对其在冷藏过程中挥发性风味物质进行分离和鉴定,研究其变化规律,以期为兔肉的深加工提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

选取饲养环境和饲料配方均相同,65日龄、平均质量在2.5 kg的雌性伊拉兔20只,由西南大学种兔厂提供;氯化钠(分析纯)成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

2010型气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;DB-5MS型色谱柱 美国Agilent公司;手动SPME进样器、75 μm碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(carboxen/polydimethylsiloxane, CAR/PDMS)涂层萃取头 美国Supelco公司;萃取瓶 美国Perkinelmer公司;FA2004B型电子天平 上海精天电子仪器厂;HH-6型数显恒温水浴锅 金坛市富华仪器有限公司;V-2000型绞肉机 上海鼎庆实业有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料处理

伊拉兔宰前禁食12 h,宰后立即在-18℃条件下冷却到中心温度低于4℃后,用已消过毒的刀具和砧板在无菌操作台上去掉筋腱并分割,沿垂直肌纤维方向将分割后的背肌肉切成30 g左右的肉块,装入已灭菌的包装袋内进行真空包装。

1.3.2 包装方式及条件

真空包装条件:真空度0.095 MPa、抽气时间30 s、热封时间4 s。包装袋材料:聚乙烯;包装袋规格:150 mm×100 mm。包装后立即将其放置在0~4℃的环境中冷藏。

1.3.3 风味物质测定

分别在冷藏0、48、120、168 h测定兔背最长肌的挥发性风味物质。

1.3.3.1 HS-SPME

依次将冷藏至相应时间点的肉样取出,除去结缔组织,在4℃左右的工作环境中迅速斩拌成0.3~0.5 mm的肉糜,准确称取肉糜4 g,装入15 mL的顶空萃取瓶中,加入质量分数20%氯化钠溶液,混合均匀,于90℃恒温水浴锅中加热15 min。然后将活化好的萃取头插入萃取瓶中(在每次进样前应先先将萃取头老化30 min),缓慢推动手柄杆使纤维头伸出针管,让纤维头置于样品上部空间,90℃恒温富集吸附风味物质30 min后,插入GC进

样口,250℃解吸5 min,进行GC-MS分析。

1.3.3.2 GC-MS联用仪测定条件

GC条件:柱箱温度:40℃;进样温度:250℃;进样模式:不分流;进样时间:1 min;流量控制模式:线速度;压力:33.4 kPa;总流量:15.7 mL/min;柱流量:0.8 mL/min;线速率:32.2 mL/min;吹扫流量:3 mL/min。柱温箱温度程序:40℃保持2 min,以8℃/min升至160℃,再以5℃/min升至230℃,保持4 min。

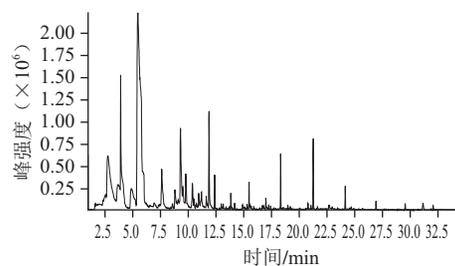
MS条件:电子电离源;电子能量70 eV;离子源温度230℃;接口温度250℃;检测器电压350 V;质量扫描范围 m/z 40~400。

1.4 定性定量分析

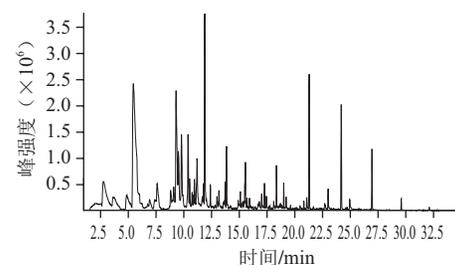
通过GC-MS所带的NIST 05和NIST 05s谱图库对GC-MS结果进行分析,并结合相关文献进行人工谱图解析,确定其化学成分;利用峰面积归一化法计算出各化学成分在兔背最长肌挥发性风味物质中的相对含量。

2 结果与分析

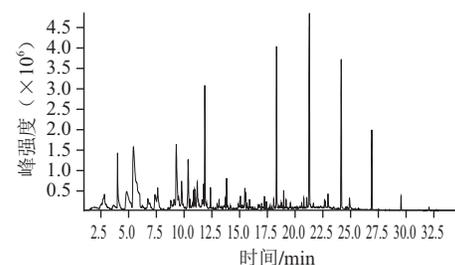
2.1 冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质的总离子流色谱图



A. 0 h



B. 48 h



C. 120 h

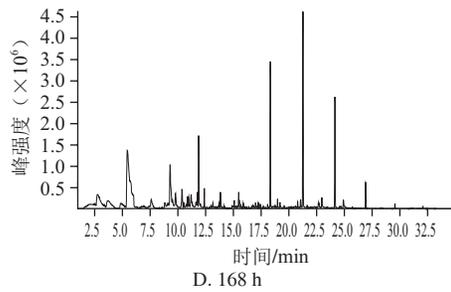


图1 冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质色谱图

Fig.1 GC-MS chromatogram of typical volatile flavor compounds of rabbit longissimus dorsi during cold storage

由图1可知,在冷藏过程中检测到兔背最长肌挥发性风味物质共79种,分别是醛类、酮类、醇类、酯类、炔类和呋喃类化合物共6大类。其中鉴定出醛类19种、酮类4种、醇类17种、酯类6种、炔类31种、呋喃类2种。随着时间延长,挥发性风味物质的数量和种类也发生着变化。

当冷藏时间为0 h时,检测到挥发性风味物质19种,其中醛类8种、酮类1种、醇类6种、酯类1种、炔类3种。

当冷藏时间为48 h时,挥发性风味物质共43种,其中醛类15种、酮类3种、醇类7种、酯类4种、炔类12种、呋喃类2种。

当冷藏时间为120 h时,挥发性风味物质的种类共有50种,其中醛类14种、酮类1种、醇类10种、酯类2种、炔类22种、呋喃类1种。

当冷藏时间为168 h时,挥发性风味物质共有32种,其中醛类12种、醇类6种、炔类13种、呋喃类1种,酮类和酯类未检出。

2.2 冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质检测

经GC-MS分离鉴定出的挥发性成分及相对含量如表1所示。

表1 冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质组成及相对含量
Table 1 Flavor compounds and relative contents of rabbit longissimus dorsi during cold storage

序号	中文名称	英文名称	冷藏时间/h				%
			0	48	120	168	
醛类化合物							
1	戊醛	pentanal	5.45	—	—	—	
2	己醛	hexanal	76.17	30.53	20.69	38.44	
3	庚醛	heptanal	—	3.20	1.11	2.98	
4	顺-2-庚烯醛	2-heptenal,(Z)-	1.61	1.65	1.23	1.77	
5	辛醛	octanal	2.69	5.82	3.97	3.65	
6	反-2-辛烯醛	2-octenal,(E)-	—	1.60	—	—	
7	壬醛	nonanal	5.72	9.15	9.11	11.73	
8	反-2-壬烯醛	2-nonenal,(E)-	0.43	0.60	0.53	0.66	
9	癸醛	decanal	0.73	2.37	2.08	2.33	
10	顺-4-癸烯醛	4-decenal,(Z)-	—	0.30	—	—	
11	顺-2-癸烯醛	2-decenal,(Z)-	—	—	2.25	—	

续表1

序号	中文名称	英文名称	冷藏时间/h				%
			0	48	120	168	
12	2-十一烯醛	2-undecenal	—	0.51	0.27	—	
13	十一醛	undecanal	—	0.43	0.34	0.59	
14	十二醛	dodecanal	—	0.64	0.47	0.60	
15	十三醛	tridecanal	—	—	0.78	—	
16	十四醛	tetradecanal	—	0.44	0.81	2.18	
17	十五醛	pentadecanal	0.22	—	—	—	
18	十六醛	hexadecanal	—	0.51	—	1.86	
19	十八醛	octadecanal	—	0.57	2.3	1.78	
	总量		93.02	58.32	45.94	68.57	
酮类化合物							
1	1-(2-呋喃基)-2-丁酮	2-butanone,1-(2-furanyl)-	1.81	—	—	—	
2	6-甲基-2-庚酮	2-methyl-6-heptanone	—	0.10	—	—	
3	2-十二酮	2-dodecanone	—	0.25	—	—	
4	香叶基丙酮	geranylacetone	—	0.28	0.96	—	
	总量		1.81	0.63	0.96	—	
醇类化合物							
1	己醇	1-hexanol	—	0.92	—	—	
2	庚醇	1-heptanol	0.40	—	1.76	2.24	
3	2,4-二甲基环己醇	2,4-dimethylcyclohexanol	0.65	—	0.83	1.04	
4	1-辛烯-3-醇	1-octen-3-ol	—	11.83	10.81	—	
5	4-乙基环己醇	4-ethylcyclohexanol	—	0.66	—	—	
6	反-2-辛烯醇	2-octenol,(E)-	1.14	—	—	—	
7	辛醇	1-octanol	1.61	3.58	3.27	3.48	
8	2,4-二甲基环己醇	2,4-dimethylcyclohexanol	0.23	2.15	—	—	
9	反-2-癸烯醇	2-decenol,(E)-	—	0.72	0.76	0.80	
10	薄荷醇	DL-menthol	—	—	0.34	—	
11	十一醇	1-undecanol	0.21	—	—	—	
12	2-异丙基-5-甲基-1-庚醇	2-isopropyl-5-methyl-1-heptanol	—	—	0.61	0.54	
13	环十二醇	cyclododecanol	—	—	0.07	—	
14	十二醇	dodecanol	—	—	0.8	—	
15	十三醇	1-tridecanol	—	—	0.12	—	
16	2-乙基-1-十二醇	2-ethyl-1-dodecanol	—	—	—	2.13	
17	2-己基-1-癸醇	2-hexyl-1-decanol	—	0.13	—	—	
	总量		4.24	19.99	19.37	10.23	
酯类化合物							
1	己酸戊酯	hexanoic acid, pentyl ester	0.3	0.34	—	—	
2	己酸庚酯	hexanoic acid, heptyl ester	—	0.13	—	—	
3	己酸辛酯	hexanoic acid, octyl ester	—	0.11	—	—	
4	亚硫酸2-乙基己酯	sulfurous acid, 2-ethylhexyl hexyl ester	—	0.07	—	—	
5	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	—	—	0.21	—	
6	亚硫酸十二烷基2-乙基己酯	sulfurous acid, dodecyl 2-ethylhexyl ester	—	—	0.41	—	
	总量		0.3	0.65	0.62	—	
烃类化合物							
1	己烷	hexane	—	—	—	0.18	
2	1,3,5-环庚三烯	1,3,5-cycloheptatriene	—	—	7.73	—	
3	苯乙烯	benzocyclobutene	—	—	3.1	—	
4	2,3,4-三甲基己烷	2,3,4-trimethylhexane	—	—	1.68	—	
5	2,4,4-三甲基己烷	2,4,4-trimethylhexane	—	—	0.36	—	
6	柠檬烯	D-limonene	—	4.93	6.02	5.13	
7	3-乙基-3-甲基庚烷	3-ethyl-3-methylheptane	—	0.41	—	1.57	
8	3,7-二甲基壬烷	3,7-dimethylnonane	0.18	—	—	—	
9	5-乙基-2-甲基辛烷	5-ethyl-2-methyloctane	—	—	1.4	2.69	
10	3,7-二甲基癸烷	3,7-dimethyldecane	—	0.73	1.74	—	
11	2,3,6,7-四甲基辛烷	2,3,6,7-tetramethyloctane	—	0.26	0.42	—	
12	十二烷	dodecane	—	0.89	0.6	0.58	

续表1

序号	中文名称	英文名称	冷藏时间/h				%
			0	48	120	168	
13	2,5-二甲基-2-十一碳烯	2,5-dimethyl-2-undecene	—	—	0.16	—	
14	3,8-二甲基十一烷	3,8-dimethylundecane	0.18	—	—	—	
15	3,6-二甲基十一烷	3,6-dimethylundecane	—	0.13	0.16	—	
16	1-乙基-2-甲基环癸烯	1-ethyl-2-methylcyclodecene	—	—	0.14	—	
17	5-甲基-5-丙基壬烷	5-methyl-5-propylnonane	—	0.1	—	—	
18	3-甲基-5-丙基壬烷	5-methyl-5-propylnonane	—	—	0.2	—	
19	十三烷	tridecane	—	—	0.9	—	
20	5-丁基壬烷	5-butylnonane	—	—	—	0.89	
21	4,6-二甲基十二烷	4,6-dimethyldodecane	—	1.01	2.03	1.24	
22	十四烷	tetradecane	0.26	—	—	0.96	
23	十五烷	pentadecane	—	3.4	1.82	1.72	
24	2,6,11-三甲基十二烷	2,6,11-trimethyldodecane	—	0.42	0.71	0.42	
25	十六烷	hexadecane	—	—	0.15	—	
26	十七烷	heptadecane	—	0.46	—	1.54	
27	2,6,10-三甲基十四烷	2,6,10-trimethyltetradecane	—	—	0.09	—	
28	2,6,10-三甲基十五烷	2,6,10-trimethylpentadecane	—	—	—	0.25	
29	2,6,10,14-四甲基十五烷	2,6,10,14-tetramethylpentadecane	—	0.16	0.45	0.56	
30	十九烷	nonadecane	—	—	0.61	—	
31	二十一烷	heneicosane	—	—	0.83	—	
	总量		0.62	12.9	31.3	17.73	
	呋喃类化合物						
1	2-戊基呋喃	2-pentylfuran	—	4.79	1.81	2.06	
2	2-辛基呋喃	2-octylfuran	—	0.27	—	—	
	总量		—	5.16	1.81	2.06	

注：—未检出。

由表1可知,当冷藏时间为0 h时,醛类和醇类为主要成分,占有挥发性风味成分的97.26%,且主要成分中戊醛占5.45%、己醛占76.17%、壬醛占5.72%、辛醇占1.61%。

当冷藏时间为48 h时,醛类、醇类、烃类和呋喃类为主要成分,占有挥发性风味成分的96.39%,且主要成分中己醛占30.53%、庚醛占3.2%、辛醛占5.82%、壬醛占9.15%、1-辛烯-3-醇占11.83%、辛醇占3.58%、柠檬烯占4.93%、十五烷占3.4%、2-戊基呋喃占4.79%。

当冷藏时间为120 h时,醛类、醇类和烃类为主要成分,占有挥发性风味成分的96.61%,且主要成分中己醛占20.69%、辛醛占3.97%、壬醛占9.11%、1-辛烯-3-醇占10.81%、辛醇占3.27%,1,3,5-环庚三烯占7.73%、苯乙烯占3.1%、柠檬烯占6.02%。

当冷藏时间为168 h时,醛类、醇类和烃类为主要成分,占有挥发性风味成分的96.53%,且主要成分中己醛占38.44%、辛醛占3.65%、壬醛占11.73%、辛醇占3.48%、柠檬烯占5.13%。

同时,比较数据发现,兔背最长肌在冷藏过程中挥发性风味物质的变化主要来源于醛类、醇类及烃类物质的变化,酯类、酮类和呋喃类则随时间变化不明显。

2.3 冷藏过程中兔背最长肌挥发性风味物质的贡献分析
醛类化合物主要来源于不饱和脂肪酸氧化且在脂肪

氧化过程中生成速率较快^[8-9]。3~4个C的醛具有强烈的刺激性风味,5~9个C的醛则具有清香、油香、脂香味;分子质量较高的醛具有橘子皮似的风味,支链醛则具有愉快的甜味或水果特征风味^[10]。醛类化合物在兔背最长肌不同冷藏时间点处的含量都较高,样品中检测出的直链饱和醛(己醛、戊醛、庚醛、辛醛、壬醛)和不饱和醛(2-壬烯醛、2-辛烯醛)使肉具有水果清香和脂香味^[11],2,4-壬二烯醛具有煎炸肥肉样的香味;2,4-癸二烯醛具有脂肪香、清香、油炸香味^[12];苯甲醛具有苦杏仁、樱桃及坚果香气;十四醛、十六醛具有脂肪香味等。醛类物质的阈值一般较低,因此,在兔肉风味中占非常重要的位置^[13]。

醇类化合物一方面由醛类和酮类在醇还原酶作用下被还原,生成相应的醇,另一方面则来源于不饱和脂肪酸的氧化。醇类化合物往往具有植物香、芳香、泥土或酸败气味。直链的低级一级醇总体是无风味的,但随着碳链的增长,风味增强,从而表现出清香、木香、脂肪香的特征^[10]。在样品中检测出的醇类化合物中,对肉风味有贡献的主要是不饱和醇,如1-辛烯-3-醇、2-辛烯醇、2-癸烯醇等,由于其阈值较低,具有蘑菇味和金属味,对肉制品的风味的形成具有一定作用^[14-15]。

烷烃类化合物主要由烷氧自由基的均裂形成,因其香味阈值较高,本身不具有明显的风味特征^[16],一般认为对风味的形成贡献不大。但因其种类丰富,含量较高,有助于提高肉品的整体风味^[17]。在兔背最长肌的冷藏过程中,烷烃类化合物的种类逐渐增加,对兔肉整体风味的提高有一定的贡献。

酮类化合物是脂肪的降解、氧化以及由降解、氧化产物的进一步反应生成的产物。因其在兔背最长肌冷藏过程中的含量较低,阈值比同分异构体的醛类高,因此对肉风味的贡献没有同分异构的醛类显著,但却对肉类风味物质的形成具有非常重要的作用^[18]。其中含量较高的酮类物质有:香叶基丙酮及具有果香气味和油脂气味的2-庚酮和2-癸酮等。

酯类化合物是由肌肉组织中脂肪氧化产生的醇和游离脂肪酸相互作用形成的,具有一定的果香风味^[19]。在兔背最长肌的冷藏过程中,酯类化合物的种类和含量都较低,对兔肉风味形成的贡献较小。

呋喃类物质是含氧杂环类化合物中较重要的一类,是美拉德反应的产物。这类化合物虽占肉香成分少,但因其阈值低,对肉香味物质形成的贡献显著^[20]。结果显示,在兔背最长肌冷藏过程中形成的呋喃类化合物主要是2-戊基呋喃和2-辛基呋喃,此类化合物赋予兔肉果香味和蔬菜味。

3 结论

采用HS-SPME-GC-MS技术检测到兔背最长肌在冷藏过程中的挥发性风味物质共6大类,分别是醛类、酮类、醇类、酯类、烃类以及呋喃类,其中醛类化合物所占的比重最高,其次是醇类及烃类化合物,酮类、酯类及呋喃类化合物在挥发性物质中所占的种类少、含量低。在冷藏过程中,兔背最长肌中含量较高的挥发性风味物质有:戊醛、壬醛、己醛、庚醛、辛醛、顺-2-庚烯醛、反-2-辛烯醛、1-(2-呋喃)-2-丁酮、戊醇、辛醇、1-辛烯-3-醇、柠檬烯、2,2-二甲基癸烷、十五烷、2-戊基呋喃等。

随着兔背最长肌冷藏时间的延长,兔背肉中各类挥发性风味物质的种类和相对含量也在发生着变化,其中醛类、醇类及烃类物质的变化差异大,酯类、酮类和呋喃类则随时间变化不明显。在冷藏时间为120 h时,挥发性风味物质的种类达到最大,同时研究认为冷藏时间为72 h时兔肉的僵直解除,在72~120 h时的兔肉品质较好,适于加工。当冷藏时间继续延长并大于144 h时,肉色就会变暗,表面稍有黏手,可食用性降低^[21]。因此,可将冷藏72~120 h的兔肉作为进一步深加工的材料。

参考文献:

- [1] WASSERMAN A E. Thermally produced flavour components in the aroma of meat and poultry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1972, 31(6): 1005-1010.
- [2] 丁耐克. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996: 9.
- [3] SONCIN S, CHIESA L M, CANTONI C, et al. Preliminary study of the volatile fraction in the raw meat of pork, duck and goose[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, 20(5): 436-439.
- [4] 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.
- [5] 李永鹏. 宰后成熟过程对藏羊肉肉品质及挥发性化合物的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.
- [6] BRUNTON N P, CRONIN D A, MONAHAN F J. The effects of temperature and pressure on the performance of carboxen/PDMS fibres during solid phase microextraction (SPME) of headspace volatiles from cooked and raw turkey breast[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2001, 16(5): 294-302.
- [7] RISTICEVIC S, NIRI V H, PAWLISZYN J, et al. Recent developments in solid-phase microextraction[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2009, 393(3): 781-795.
- [8] MEYNIER A, NOVELLI E, CHIZZOLINI R, et al. Volatile compounds of commercial *Milano salami*[J]. *Meat Science*, 1999, 51(2): 175-183.
- [9] 询延军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 不同等级金华火腿风味特点研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(6): 39-45.
- [10] 刘勇. 牦牛肉肉品质、脂肪酸及挥发性风味物质研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [11] MACHIELS D, ISTASSE L, van RUTH S M. Gas chromatography-olfactometry analysis of beef meat originating from differently fed Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus bulls[J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(3): 377-383.
- [12] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: a review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415-424.
- [13] AJUYAH A O, FENTON T W, HARDIN R T, et al. Measuring lipid oxidation volatiles in meats[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(2): 270-273; 277.
- [14] MURIEL E, ANTEQUERA T, PETRON M J, et al. Volatile compounds in Iberian dry-cured loin[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 391-400.
- [15] BURDOCK G A. Fenaroli's handbook of flavor ingredients[M]. 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [16] CAPORASO F, SINK J D, DIMICK P S, et al. Volatile flavor constituents of ovine adipose tissue[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1977, 25(6): 1230-1234.
- [17] ROBERT A E, JUAN A O, RICHARD H D, et al. Characterization of headspace volatile compounds of selected Spanish dry fermented sausages[J]. *Food Chemistry*, 1999, 64(4): 461-465.
- [18] 尚永彪, 吴金凤, 夏杨毅, 等. 农家腊肉冷熏加工过程中挥发性风味物质的变化[J]. *食品科学*, 2009, 30(17): 79-83.
- [19] 王锡昌, 陈俊卿. 顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分[J]. *上海水产大学学报*, 2005, 14(2): 176-180.
- [20] ZLENDER B, GASPERLIN L. The significance and role of meat lipids in safe and balanced nutrition[J]. *Tehnologija Mesa*, 2005, 46(1/2): 11-21.
- [21] 熊国远. 致昏、禁食方式和贮藏温度对獭兔肉品质的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.