

# 不同新鲜度牛肉特征性挥发成分的研究

孟一<sup>1</sup>, 张玉华<sup>1,2</sup>, 姜沛宏<sup>2</sup>, 陈东杰<sup>2</sup>, 张应龙<sup>1,2</sup>, 张咏梅<sup>1</sup>

(1. 山东商业职业技术学院, 山东省农产品贮运保鲜技术重点实验室, 山东济南 250103)

(2. 国家农产品现代物流工程技术研究中心, 山东济南 250103)

**摘要:** 通过研究牛肉腐败过程中挥发物的变化, 确定表征牛肉新鲜度的特征性挥发成分。将样品分别置于 0 °C 和 10 °C 下恒温贮藏, 每 2 d 取样, 采用顶空固相微萃取-气质联用 (HS-SPME-GC-MS) 法测定挥发性成分, 对结果进行主成分分析 (PCA), 并与总挥发性盐基氮 (TVBN)、菌落总数、pH 值和感官评分相结合。结果显示: 0 °C 肉样共检测出 37 种挥发物, 10 °C 肉样检测出 40 种挥发物。确定出 7 种成分 (丙酮、壬烷、2-戊酮、2,3-丁二酮、2-戊酮、3-甲基-1-丁醇和壬醛) 为新鲜牛肉的特征性成分, 13 种成分 (2,3-丁二醇、二甲基二硫、二甲基三硫、二氧化硫、对乙基苯乙烯、间二乙烯苯、对二乙烯苯、甲苯、苯甲醛、间二氯苯、2-丁基噻吩、苯乙醇和苯酚) 为腐败牛肉的特征性成分。研究结果可为牛肉新鲜度的判别提供依据。

**关键词:** 牛肉; 新鲜度; 特征挥发成分

文章编号: 1673-9078(2017)4-271-277

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.041

## Study of the Characteristic Volatile Components in Beef at Different Degrees of Freshness

MENG Yi<sup>1</sup>, ZHANG Yu-hua<sup>1,2</sup>, JIANG Pei-hong<sup>2</sup>, CHEN Dong-jie<sup>2</sup>, ZHANG Ying-long<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong-mei<sup>1</sup>

(1. Shandong Institute of Commerce and Technology; Shandong Key Laboratory of Storage and Transportation Technology of Agricultural Products, Jinan 250103, China) (2. National Engineering Research Center for Agricultural Products Logistics, Jinan 250103, China)

**Abstract:** The changes in volatile compounds in beef during the decay process were examined, and based on these, the characteristic volatile components that characterize the degree of beef freshness were determined. Samples were stored at one of two temperatures 0 °C and 10 °C and sampling was performed every two days. Volatile components were determined using the headspace solid phase microextraction-gas-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) method. The results were analyzed by principal component analysis (PCA); total volatile base nitrogen (TVBN) values, the total number of colonies, and pH values were also recorded, and sensory evaluation was performed. The results showed 37 and 40 types of volatiles were detected in the samples stored at 0 °C and 10 °C, respectively. Seven components (acetone, nonane, 2-pentanone, 2,3-butanedione, 2-pentanone, 3-methyl-1-butanol, and nonyl aldehyde) were identified as components characteristic of fresh beef. Thirteen components (2,3-butanediol, dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, sulfur dioxide, *p*-ethyl styrene, *m*-divinyl benzene, *p*-divinyl benzene, toluene, benzaldehyde, dichlorobenzene, 2-butyl thiophene, phenethyl alcohol, and phenol) were components characteristic of decaying beef. The results provide a basis for the determination of the degree of beef freshness.

**Key words:** beef; freshness; characteristic volatile components

气味是表征肉新鲜程度最灵敏的指标, 在肉的腐败过程中, 蛋白质先分解为胺, 再分解为氨、硫化氢和乙硫醇等; 脂肪先分解为脂肪酸, 再分解为醛类和醛酸类; 碳水化合物分解为醇、酮、醛和羧酸类气体。因此肉的挥发性成分的组成及含量与其新鲜度关系密

收稿日期: 2016-04-05

基金项目: 国家科技支撑计划 (2015BAD16B08); 山东省自主创新及成果转化专项 (2014ZZCX02701)

作者简介: 孟一 (1972-), 男, 副教授, 研究方向: 食品质量安全

通讯作者: 张玉华 (1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品质量安全

切, 通过检测与肉的新鲜度密切相关的特征性挥发成分, 有助于判断肉的新鲜程度, 也可为肉新鲜度专用气体检测仪的研制提供科学依据。

HS-SPME-GC-MS 技术已被广泛用于肉类挥发性成分的分析检测, 国外有学者<sup>[1-5]</sup>利用该法检测肉发生脂质氧化后挥发物的变化, 也有学者<sup>[6,7]</sup>通过 HS-SPME-GC-MS 检测肉的特征性挥发物。国内学者也开展了类似的研究, 顾赛麒等<sup>[8]</sup>利用固相微萃取-气质联用 (SPME-GC-MS) 结合 PCA, 确定出 9 种表征肉腐败变质的特征性挥发物。肖虹等<sup>[9]</sup>利用 SPME-GC-MS

检测冷却猪肉,得到 25 种挥发性成分,并发现醇类和三甲胺的相对含量随贮藏时间延长而增加。王小占等<sup>[10]</sup>利用 HS-SPME-GC-MS 检测猪肉贮藏过程的气味成分,5 °C 和 25 °C 样品分别检测出 33 种和 39 种化合物。其中含氮含硫化合物、醇类化合物相对

含量在相同温度下随贮藏时间延长而增大。金伟平等<sup>[11]</sup>运用 HS-SPME-GC-MS 法对单增李斯特菌污染的冷藏牛肉的挥发性物质进行分析,结果表明,通过单增李斯特菌污染牛肉产生的特征性物质,可以表征冷藏肉被单增李斯特菌污染的程度。但运用 HS-SPME-GC-MS 技术分析不同新鲜度牛肉的特征性挥发成分却鲜有报道。

本研究拟采用 HS-SPME-GC-MS 法检测 0 °C 和 10 °C 下不同贮藏天数的牛肉挥发性成分,并结合理化、微生物分析和感官评价,以期获得表征牛肉新鲜度的特征性挥发物。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

牛肉:鲁西黄牛后腿肉,购自山东济南银座超市,置于泡沫箱内迅速运回实验室。牛肉切碎后,用保鲜膜包好、编号,置于高低温试验箱内分别进行 0 °C、10 °C 恒温贮藏,每 2 d 进行相关检测,0 °C 样品分别于第 0、2、4、6、8、10、12 和 14 d 检测,共 8 次。10 °C 样品分别于第 0、2、4、6、8、10 和 12 d 检测,共 7 次。

Agilent 6890N-5973N 气相色谱质谱联用仪,美国 Agilent 公司; BPH-120A 高低温试验箱,上海一恒科学仪器有限公司; K 9840 自动凯氏定氮仪,北京海能

泰克商贸有限公司。

### 1.2 SPME-GC-MS 检测方法

#### 1.2.1 顶空固相微萃取 (HS-SPME)

称取 2.0 g 样品置于顶空瓶,室温下平衡 10 min 后,将 SPME 针管插入顶空瓶的硅胶瓶垫,伸出 75 μm CAR/PDMS 萃取头,于 40 °C 下吸附 40 min。吸附完毕后,取出,插入气-质联用仪 (GC-MS) 进样口,于 240 °C 解析 5 min,热脱附进行 GC-MS 检测。

#### 1.2.2 GC-MS 条件

气相色谱条件:色谱柱 DB-624 (30 m×0.25 mm×1.4 μm);不分流模式;升温程序:起始柱温 40 °C,以 6 °C/min 的速率升至 250 °C,保持 10 min;进样口 250 °C;载气为高纯氦气;流速为 1.0 mL/min。质谱条件:电子轰击 (EI) 离子源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C;扫描范围 29~400 m/z。

### 1.3 TVBN 值测定

TVBN 值按照国标 GB/T 5009.44-2003<sup>[12]</sup>的规定测定。

### 1.4 菌落总数测定

菌落总数按照国标 GB/T 4789.2-2010<sup>[13]</sup>的规定测定,结果以 lgCFU/g 表示。

### 1.5 pH 值测定

pH 值按照国标 GB/T 9695.5-2008<sup>[14]</sup>的规定测定。

### 1.6 感官评价

表 1 牛肉感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards of beef

指标	分值		
	5 分	4 分	3 分
色泽	肌肉有光泽,色泽红润; 脂肪呈乳白或淡黄色	肌肉略有光泽,颜色暗红; 脂肪乳白或淡黄色	肌肉无光泽,颜色暗红, 脂肪淡黄色
气味	具有鲜牛肉固有的奶香气味	固有气味清淡	略带异味
粘度	外表微干或有风干膜,不粘手	外表微干,不粘手	外表略湿润,稍粘手
组织状态	组织致密完整	组织较紧密	组织不紧密,但不松散
弹性	坚实富有弹性, 指压后凹陷快速消失	坚实有弹性,指压后凹陷较快消失	较有弹性,手指压后凹陷 消失较慢
汁液流失	无汁液流失	少量汁液流失	汁液流失较多
指标	分值		
	2 分	1 分	

转下页

接上页

色泽	肌肉无光泽, 红褐色, 局部有不均匀的绿斑	肌肉无光泽, 红褐色, 有大量绿斑
气味	有腥臭味	强烈的腐败腥臭味
粘度	外表湿润, 有少量血水, 略粘手	外表湿润, 有较多血水, 粘手
组织状态	组织不紧密, 局部松散	组织不紧密, 松散
弹性	稍有弹性, 手指压后凹陷消失很慢	无弹性, 手指压后凹陷不消失
汁液流失	汁液流失多	汁液大量流失

成立 10 人感官评价小组, 按照评价标准<sup>[15]</sup>对实验肉样每个指标分别评分, 最高 5 分, 最低 1 分, 以 10 人评分的平均值作为最终得分。5~4 分为一级鲜度肉; 4~3 分为二级鲜度肉, 3 分为可接受界限, 即感官拒绝点; 3~1 分为腐败肉。当半数或以上品评员评价 3 分或以上时, 为货架期终点。

### 1.7 数据处理方法

GC-MS 得到的挥发性成分通过 NIST 和 Wiley 谱库确认定性, 仅报道正、反匹配度大于 800 (最大值为 1000) 的鉴定结果, 以峰面积表示对应化合物物质的量。挥发性成分的 PCA 分析利用 SPSS 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 牛肉贮藏期间新鲜度变化

牛肉在 0 °C 和 10 °C 贮藏期间 TVBN、pH 值、菌落总数和感官评分变化情况, 如表 2 所示。TVBN 是国标<sup>[16]</sup>判断鲜肉新鲜度的重要指标, 规定一级鲜度 TVBN≤0.15 mg/g, 二级鲜度 TVBN 0.15~0.25mg/g, 腐败肉 TVBN>0.25 mg/g。菌落总数和 pH 作为参考标准, 一般认为一级鲜度菌落总数<4 lgCFU/g, pH 5.8~6.2; 二级鲜度菌落总数 4~6 lgCFU/g, pH 6.3~6.6; 腐败肉菌落总数>6 lgCFU/g, pH 6.7 以上。综合考虑上述评价标准和感官评分, 牛肉在 0 °C 贮藏期间, 0~4 d 为一级鲜度, 5~6 d 为二级鲜度, 此后为腐败肉; 在 10 °C 贮藏期间 0~2 d 为一级鲜度, 3~4 d 为二级鲜度, 此后为腐败肉。

表 2 牛肉贮藏期间 TVBN、菌落总数、pH 值和感官评分

Table 2 TVBN, the total number of colonies, pH values, and sensory scores for beef during storage

时间/d	温度/°C	TVBN/(×10 <sup>-2</sup> mg/g)	菌落总数/(lgCFU/g)	pH 值	感官评分
0	0	9.20±0.13	3.29±0.10	6.14±0.23	5.00±0.00
	10	9.20±0.13	3.29±0.10	6.14±0.19	5.00±0.00
2	0	10.32±0.11	3.58±0.15	6.11±0.31	4.99±0.20
	10	12.57±0.16	4.45±0.07	6.25±0.17	4.89±0.16
4	0	11.41±0.13	4.67±0.15	6.23±0.13	4.91±0.31
	10	14.90±0.19	5.98±0.14	6.25±0.11	4.38±0.24
6	0	12.91±0.14	5.02±0.21	6.23±0.21	4.76±0.18
	10	19.39±0.28	6.32±0.09	6.59±0.26	3.85±0.09
8	0	14.62±0.25	5.94±0.23	6.33±0.31	4.26±0.11
	10	24.98±0.25	6.78±0.16	6.68±0.28	3.37±0.21
10	0	16.47±0.20	6.02±0.13	6.56±0.09	3.63±0.24
	10	24.95±0.34	7.36±0.14	6.98±0.14	2.54±0.07
12	0	21.09±0.34	6.45±0.09	6.71±0.25	3.13±0.13
	10	34.80±0.46	8.09±0.11	7.23±0.32	1.94±0.06
14	0	27.81±0.41	6.89±0.17	6.78±0.19	2.41±0.11
	10	-	-	-	-

注: “-”表示未检测。

### 2.2 牛肉的 HS-SPME-GC-MS 测定结果

用 HS-SPME-GC-MS 法测定 0 °C 和 10 °C 下不同贮藏时间的牛肉挥发性成分, 结果如表 3 所示。

采用 HS-SPME-GC-MS 法对 0 °C、10 °C 贮藏的牛肉样品进行检测, 0 °C 样品共测出 37 种化合物, 其中烃类 2 种, 酮类 8 种, 醇类 6 种, 醛类 1 种, 酸类 3 种, 酯类 1 种, 含硫及杂环化合物 16 种。10 °C 样

品共测出 40 种化合物, 其中烃类 3 种, 酮类 8 种, 醇 环化合物 17 种。  
类 6 种, 醛类 1 种, 酸类 4 种, 酯类 1 种, 含硫及杂

表 3 牛肉在 0 °C 和 10 °C 下贮藏期间挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 检测结果

Table 3 HS-SPME-GC-MS results for the detection of volatile components in beef during storage at 0°C and 10°C

化合物 类型	化合物名称	保留 时间/min	贮藏 温度/°C	峰面积(×10 <sup>5</sup> )							
				0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d	14 d
烃类 (3 种)	正己烷	5.53	0	Nd	Nd	Nd	6.35	8.01	9.54	18.65	32.42
			10	Nd	Nd	7.28	11.24	21.38	26.13	37.58	-
	壬烷	25.67	0	11.84	9.58	8.61	7.7	6.52	4.07	2.84	1.21
			10	11.84	8.51	5.26	3.47	2.43	1.14	0.68	-
	3-羟基辛烯	28.83	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	0.21	Nd	Nd	Nd	-
酮类 (8 种)	丙酮	3.66	0	31.69	22.5	18.32	14.1	11.32	8.77	6.81	4.27
			10	31.69	20.1	16.58	13.4	7.38	4.25	2.24	-
	2,3-丁二酮	17.89	0	49.7	39.2	22.12	18.79	17.56	15.3	9.02	5.33
			10	49.7	23.6	21.37	18.35	14.59	8.72	4.65	-
	2-戊酮	14.53	0	18.04	20.7	15.42	10.32	8.65	5.14	3.79	2.78
			10	18.04	14.3	11.86	9.37	7.81	4.38	3.01	-
	3-羟基-2-丁酮	24.48	0	5.13	8.44	10.1	14.48	41.8	40.8	61.58	73.6
			10	5.13	23.5	36.07	69.1	109.1	131.5	180.2	-
	2-壬酮	31.09	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	3.91	11.35	23.76
			10	Nd	Nd	Nd	5.24	12.71	33.09	61.27	-
	2-庚酮	26.68	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1.5	1.38	0.55
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1.44	-
	3-辛酮	28.82	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	5.1	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-
	2-辛酮	29.19	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.39	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.28	-
醇类 (6 种)	乙醇	3.07	0	13.16	29.54	58.14	121.4	302.7	426.37	572.81	702.58
			10	13.16	96.37	267.82	594.15	637.1	761.8	906.47	-
	戊醇	22.98	0	Nd	Nd	Nd	Nd	8.91	2.58	1.78	0.65
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1.07	0.86	-
	3-甲基-1-丁醇	21.04	0	55.62	41.31	34.25	21.65	29.65	13.58	8.39	4.21
			10	55.62	40.74	21.36	16.28	10.36	6.58	Nd	-
2,3-丁二醇	25.27	0	Nd	Nd	Nd	Nd	0.73	4.5	6.35	8.66	
		10	Nd	Nd	Nd	2.51	8.94	15.77	20.8	-	
己醇	26.37	0	Nd	Nd	Nd	Nd	3.24	2.61	2.05	3.44	
		10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	2.78	-	
2-乙基-己醇	29.86	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.73	2.67	
		10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.91	-	
醛类 (1 种)	壬醛	31.09	0	8.24	7.08	5.38	4.27	3.42	2.45	1.2	0.76
			10	8.24	6.38	4.67	3.51	1.64	0.79	0.22	-
酸类 (4 种)	乙酸	14.69	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	1.96	Nd	Nd	Nd	-

转下页

接上页

	丁酸	25.41	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.41
			10	Nd	Nd	Nd	3.18	Nd	Nd	Nd	-
	3-甲基丁酸	26.82	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.51
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-
	己酸	29.60	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.33
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-
酯类 (1种)	乙酸乙酯	7.96	0	Nd	Nd	62.54	33.59	29.05	29.01	22.71	15.1
			10	Nd	Nd	Nd	90.07	63.24	42.3	22.14	-
	二甲基二硫	15.47	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	21.64	112.74
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	30.47	81.07	150.84	-
	二甲基三硫	18.72	0	Nd	Nd	Nd	Nd	24.17	53.18	85.39	114.35
			10	Nd	Nd	19.38	46.33	91.57	123.47	167.2	-
	二氧化硫	10.34	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	10.08	31.26	56.38
			10	Nd	Nd	Nd	12.47	33.58	72.34	120.3	-
	3-甲硫基-丙醛	27.59	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.28	0.12
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-
	间二乙烯苯	31.28	0	Nd	Nd	1.21	2.23	4.01	8.22	10.26	14.5
			10	Nd	2.17	3.28	5.37	10.91	15.8	31.58	-
	对二乙烯苯	20.74	0	Nd	Nd	Nd	Nd	0.29	1.62	3.46	5.62
			10	Nd	Nd	0.39	2.07	3.03	7.06	10.27	-
	甲苯	20.03	0	Nd	Nd	Nd	19.99	25.47	33.33	37.4	62.22
			10	Nd	Nd	19.61	23.92	57.28	81.07	103.2	-
含硫及 杂环化 合物 (17种)	苯乙烯	26.26	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	3.52	10.37
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	21.37	41.08	76.68	-
	3-乙基苯乙烯	30.63	0	Nd	Nd	Nd	Nd	0.39	1.22	1.12	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.95	-
	对乙基苯乙烯	30.79	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.28	1.54
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1.09	2.35	-
	苯甲醛	28.72	0	Nd	Nd	Nd	2.24	2.48	4.1	5.02	8.57
			10	Nd	Nd	4.26	5.99	9.37	14.62	27.38	-
	间二氯苯	29.30	0	Nd	Nd	Nd	Nd	0.21	1.55	0.21	8.34
			10	Nd	Nd	0.65	3.58	10.36	Nd	35.44	-
	2-丁基噻吩	30.08	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	3.59
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	0.64	1.44	4.09	-
	苯乙醇	31.96	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1.14
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	0.91	5.86	26.11	-
	苯乙醛	26.35	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.34	-
	苯酚	30.39	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.22	0.22
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.34	-
	吡啶	35.62	0	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
			10	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1.25	2.01	-

注：“Nd”表示未检出；“-”表示未检测。

### 2.3 表征牛肉新鲜度的特征性挥发成分分析

采用 SPSS 软件对 0 °C 和 10 °C 下所得肉样挥发性成分的峰面积进行 PCA 分析, 结果见图 1。

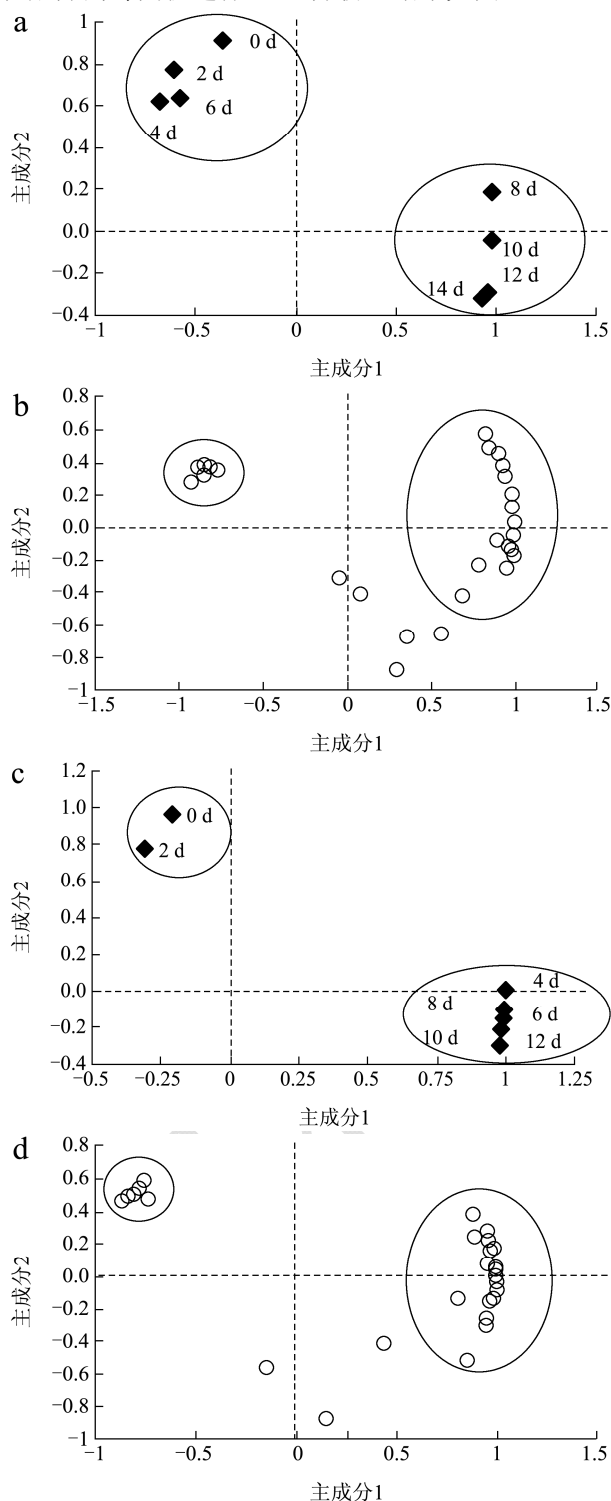


图 1 牛肉贮藏过程中挥发物的 PCA 分析图

Fig.1 PCA analysis of volatile components in beef during storage

注: a 表示 0 °C 挥发物总量 PCA 图; b 表示 0 °C 37 种挥发物 PCA 图; c 表示 10 °C 挥发物总量 PCA 图; d 表示 10 °C 40

种挥发物 PCA 图。

利用 SPSS 软件对 0 °C 牛肉挥发物进行 PCA 分析, 图 1a 为肉样每 2 d 所产挥发物总量的主成分分析结果。根据 TVBN、菌落总数、pH 值和感官评分结果, 0 °C 下牛肉 0~6 d 为新鲜, 此后开始变质。据此, 将图 1a 中样品点划分为两类, 左上方 0~6 d 为新鲜样品, 右下方 8~14 d 为变质样品。图 1b 为 0 °C 下 37 种挥发物的主成分分析结果, 将图 1a 和 b 比对, 若 b 中挥发物所处位置与 a 中贮藏天数所处位置相近, 则认为两者相关性较高<sup>[8]</sup>。由图 1b 可见, 挥发性成分也可分为两类, 左上方的可认为与新鲜牛肉呈正相关, 右下方的可认为与变质牛肉呈正相关。同样方法对 10 °C 下不同贮藏时间所得的挥发物进行 PCA 分析, 结果见图 1c 和 1d。

将 0 °C、10 °C 下各自得到的挥发物逐一比对分析, 若某一挥发物在两种温度下均与新鲜牛肉呈正相关, 则认为该物质可能为表征新鲜牛肉的特征性挥发物。反之, 若某一挥发物在两种温度下均与新鲜牛肉呈负相关, 而与腐败牛肉呈正相关, 且不为新鲜牛肉所含有, 则认为该物质或许特征性地表征牛肉腐败<sup>[8]</sup>。据此分析得到: 丙酮、壬烷、2-戊酮、2,3-丁二酮、2-戊酮、3-甲基-1-丁醇和壬醛共计 7 种成分为表征牛肉新鲜的特征性挥发物。2,3-丁二醇、二甲基二硫、二甲基三硫、二氧化硫、对乙基苯乙烯、间二苯乙烯、对二苯乙烯、甲苯、苯甲醛、间二氯苯、2-丁基噻吩、苯乙醇和苯酚共计 13 种成分为表征牛肉腐败的特征性挥发物。

### 3 结论

3.1 经 HS-SPME-GC-MS 分析, 0 °C 样品共测出 37 种化合物, 其中烃类 2 种, 酮类 8 种, 醇类 6 种, 醛类 1 种, 酸类 3 种, 酯类 1 种, 含硫及杂环化合物 16 种。10 °C 样品共测出 40 种化合物, 其中烃类 3 种, 酮类 8 种, 醇类 6 种, 醛类 1 种, 酸类 4 种, 酯类 1 种, 含硫及杂环化合物 17 种。在 0 °C 贮藏的肉样中检测到 3-辛酮、3-甲基丁酸、己酸和 3-甲硫基-丙醛, 而 10 °C 肉样中未检出。10 °C 贮藏的肉样中检测到苯乙醛和吡啶, 而 0 °C 肉样中未检测到。原因有待进一步实验验证分析。

3.2 分别对 0 °C 和 10 °C 下不同贮藏天数的挥发物总量以及贮藏过程中产生的挥发性成分进行 PCA 分析, 并结合 TVBN、菌落总数、pH 值和感官评分结果, 确定出丙酮、壬烷、2-戊酮、2,3-丁二酮、2-戊酮、3-甲基-1-丁醇和壬醛 7 种成分为表征牛肉新鲜的特征性挥发物, 2,3-丁二醇、二甲基二硫、二甲基三硫、二氧

化硫、对乙基苯乙烯、间二苯乙烯、对二苯乙烯、甲苯、苯甲醛、间二氯苯、2-丁基噻吩、苯乙醇和苯酚13种成分为表征牛肉腐败的特征性挥发物。

### 参考文献

- [1] Brunton N P, Cronin D A, Monahan F J. A comparison of solid-phase micro extraction (SPME) fibres for measurement of hexanal and pentanal in cooked turkey [J]. *Food Chem.*, 2000, 68(3): 339-345
- [2] Brunton N P, Cronin D A, Monahan F J. Volatile components associated with freshly cooked and oxidized off-flavours in turkey breast meat [J]. *Flavour. Frag. J.*, 2002, 17(5): 327-334
- [3] Goodridge C F, Beaudry R M, Pestka J J. Solid phase micro extraction-gas chromatography for quantifying headspace hexanal above freeze-dried chicken myofibrils [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, 51(15): 4185-4190
- [4] Fernandoa L N, Bergb E P, Grün I U. Quantitation of hexanal by automated SPME for studying dietary influences on the oxidation of pork [J]. *J. Food Compos. Anal.*, 2003, 16(2): 179-188
- [5] Pignoli G, Bou R, Rodriguez-Estrada M T, et al. Suitability of saturated aldehydes as lipid oxidation markers in washed turkey meat [J]. *Meat Sci.*, 2009, 83(3): 412-416
- [6] Perez R A, Roio M D, Gonzalez G, et al. Solid-phase micro extraction for the determination of volatile compounds in the spoilage of raw ground beef [J]. *J. Aoac. Int.*, 2008, 91(6): 1409-1415
- [7] Akdeniz N, Koziel J A, Ahn H K, et al. Laboratory scale evaluation of volatile organic compound emissions as indication of swine carcass degradation inside bio secure composting units [J]. *Bioresource Technol.*, 2010, 101(1): 71-78
- [8] 顾赛麒. 气味指纹技术检测不同贮藏条件下冷却肉新鲜度变化[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010
- GU Sai-qi. Detection of variation of chilled pork freshness under different storage conditions using scent finger-print technology [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010
- [9] 肖虹, 谢晶. SPME-GC-MS 法测定冷却肉的挥发性成分[J]. *食品科学*, 2010, 31(20): 406-409
- XIAO Hong, XIE Jing. Determination of Volatile components of chilled pork based on SPME-GC-MS [J]. *Food Sci.*, 2010, 31(20): 406-409
- [10] 王小占. 基于电子鼻的猪肉新鲜度检测体系的研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2012
- WANG Xiao-zhan. Pork freshness detection system based on electronic nose [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2012
- [11] 金伟平, 黄志强, 刘群群, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法分析单增李斯特菌污染冷藏牛肉的挥发性物质[J]. *食品科学*, 2012, 33(2): 243-247
- JIN Wei-ping, HUANG Zhi-qiang, LIU Qun-qun, et al. Analysis of volatile components from beef contaminated with listeria monocytogenes by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectroscopy [J]. *Food Sci.*, 2012, 33(2): 243-247
- [12] GB/T 5009.44-2003, 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]
- GB/T 5009.44-2003, Method for analysis of hygienic standard of meat and meat products [S]
- [13] GB/T 4789.2-2010, 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]
- GB/T 4789.2-2010, Food microbiological examination: aerobic plate count [S]
- [14] GB/T 9695.5-2008, 肉与肉制品 pH 测定[S]
- GB/T 9695.5-2008, Meat and meat products-measurement of pH [S]
- [15] 肖虹, 谢晶. 冷却肉品质变化动力学模型的试验研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(1): 361-363
- XIAO Hong, XIE Jing. Research of the kinetic model of chilled pork quality [J]. *J. Anhui Agri. Sci.*, 2009, 37(1): 361-363
- [16] GB 2707-2005, 鲜(冻)畜肉卫生标准[S]
- GB 2707-2005, Hygienic standard for fresh (frozen) meat of livestock [S]