

酱牛肉加工过程中挥发性成分的含量变化分析

孙承锋¹, 喻倩倩¹, 宋长坤¹, 郭光平², 魏帅¹

(1. 烟台大学食品科学与工程研究所, 山东烟台 264005) (2. 烟台市喜旺食品有限公司, 山东烟台 264002)

摘要: 为探讨酱牛肉加工过程中挥发性成分组成及变化规律, 设计正交试验对顶空固相微萃取(HS-SPME)条件及解吸时间进行优化, 并结合气相色谱质谱联用(GC-MS)对酱牛肉加工过程各阶段样品中的挥发性成分进行检测分析。结果表明, 在萃取温度60℃, 萃取时间60 min, 解吸时间5 min的条件下效果最优。鉴别出酱牛肉加工过程中挥发性成分的总数是90种, 其中包括醇类22种、醛类11种、酯类16种、烃类14种、酮类8种、含硫含氮及杂环类13种和其它化合物6种。六个加工阶段样品的挥发性成分的种类数量分别为45种、48种、53种、52种、61种和58种。加工过程中各类挥发性成分的相对含量不断发生变化, 同类挥发性成分在六个加工阶段的组成也不一致。本研究结果为改进酱牛肉的生产工艺、提高产品品质提供了理论参考。

关键词: 酱牛肉; 挥发性成分; 顶空固相微萃取(HS-SPME); 气质联用(GC-MS)

文章编号: 1673-9078(2014)3-130-136

Changes of Volatile Compounds during the Processing of Spiced Beef

SUN Cheng-feng¹, YU Qian-qian¹, SONG Chang-kun¹, GUO Guang-ping², WEI Shuai¹

(1. Institute of Food Science and Engineering, Yantai University, Yantai 264005, China)

(2. Yantai Xiwang Food Co., Ltd., Yantai 264002, China)

Abstract: In order to identify the flavor components and investigate the changes of the volatile compounds during the processing of spiced beef, the conditions of headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) and desorption time were optimized by orthogonal experiment. The volatile compounds were extracted by HS-SPME and identified by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the optimal condition was 60 °C for 60 min, and then desorption of 5 min. A total of 90 kinds of volatile compounds were identified during the processing of spiced beef, including alcohols (22), aldehydes (11), esters (16), hydrocarbons (14), ketones (8), nitrogen or sulfur containing and heterocyclic compounds (13) and other compounds (6). The number of volatile components were 45, 48, 53, 52, 61 and 58, respectively within the six processing stages. The relative content of volatile compounds changed constantly during the processing, and the composition of each group of volatile compounds was also different in the samples from the six processing stages. The results provided a theoretical reference to optimize the processing technique and improve the quality of spiced beef.

Key words: spiced beef; volatile compounds; headspace-solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry

酱牛肉是中式传统酱卤肉制品的代表性产品, 深受消费者的喜爱。风味是酱牛肉重要的品质指标, 也是消费者选择产品的重要依据。肉制品的风味包括香气和滋味两个方面, 其中香气是由一些沸点较低的挥发性成分形成。有研究表明, 肉制品中挥发性物质的种类可达到上千种, 这些物质主要属于碳氢化合物、醛类、醇酚类、酮类、酯类和一些杂环类化合物(呋喃、噻吩、吡嗪、噻唑等)^[1]。酱牛肉风味的形成是由原料中多种成分在加热煮制过程中共同作用的结果。

收稿日期: 2013-10-23

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD04B11); 山东省高等学校科技计划项目(J13LF01); 山东省研究生教育创新计划项目(SDY111193)

作者简介: 孙承锋(1971-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师。研究方向:

农产品加工及贮藏工程

果, 如美拉德反应、脂质的氧化和降解、氨基酸及硫胺素的热降解等都是产品风味形成的重要途径, 配料和工艺条件的不同, 产品的风味也会不同。近年来, 对于酱牛肉中的挥发性风味成分已有相关的研究报道^[2-4], 研究主要集中于成品风味成分的检测, 由于研究者所选用的产品及分析方法的不同, 研究结果也有所差异。对于酱牛肉产品加工过程中挥发性风味物质变化的研究尚未见报道。

固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)是一种集萃取、浓缩、解吸、进样于一体的新型样品前处理技术, 具有操作简便快速、不需溶剂、选择性好、灵敏度高特点^[5], 已广泛应用于肉制品挥发性风味成分的分析检测^[6-8]。然而, 固相微萃取效果受多种因素的影响, 如萃取温度、萃取时间、样品量、样品类别及解吸时间等, 因此, 在测定样品的挥发性成

分之前需对试验条件进行优化。固相微萃取后,可通过气相质谱对挥发性风味成分进行定性和定量分析。本文采用 HS-SPME-GC-MS 对酱牛肉加工过程中各阶段样品的挥发性成分种类和含量变化进行了分析,探讨挥发性风味成分的形成规律,为改进生产工艺、提高产品品质,促进标准化生产提供理论参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

1.1.1 样品来源与amp;试剂

酱牛肉,从某食品公司生产过程中的不同加工阶段取样;氯化钠(分析纯),烟台三和试剂有限公司。

1.1.2 仪器

手动 SPME 进样手柄、萃取头(75 μm CAR/PDMS),美国 Supelco 公司;气相质谱仪(GCMS-QP2010 型),日本岛津公司;高速组织捣碎机(DS-1 型),金坛万华仪器公司;

1.2 GC-MS 分析条件

色谱条件:色谱柱为 DB-Wax (30 $\text{m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$),载气为氦气。流速为 1.0 mL/min ,不分流进样,进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$ 。起始温度为 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 4 min ,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 50 $^{\circ}\text{C}$,继续以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 120 $^{\circ}\text{C}$,再以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 240 $^{\circ}\text{C}$ 保持 7 min 。

质谱条件:离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$,电离方式 EI,电子能量 70 eV ,灯丝电流 150 μA ,扫描质谱范围 33~450 m/z 。

1.3 正交试验确定最优的萃取及解吸条件

结合已有的相关研究^[4,9]及样品特点,选择萃取时间、萃取温度和解吸时间三个对萃取效果影响较大的因素设计正交试验,优化顶空固相微萃取(HS-SPME)萃取条件及解吸条件。

1.4 样品预处理

根据产品的加工过程,从原料到成品选取了六个阶段的样品:

原料肉(生肉)→腌制结束→高温煮制 1 h →高温煮制完成→低温煮制 3 h →低温煮制完成(成品)

取样后在 -18 $^{\circ}\text{C}$ 下贮存。

取一定量的样品用高速组织捣碎机绞碎,称取 4 g (精确到 0.001 g),置于 15 mL 萃取瓶中,加入 2 mL 的饱和食盐水,按照表 1 的试验设计进行萃取。

1.5 定性与定量方法

定性:化合物经计算机检索同时与 NIST147 和 NIST27 数据库相匹配,仅报道匹配度和纯度大于 800 (最大值 1000)的物质,并对机检结果进行核对和确认。

定量:按峰面积归一化法计算化合物相对百分含量。

2 结果与amp;讨论

2.1 正交试验优化结果

设计萃取时间、萃取温度和解吸时间三因素正交试验 $L_9(3^3)$,试验因素水平如表 1 所示。

表 1 萃取及解吸条件正交设计表

Table 1 The orthogonal design table of extraction and desorption conditions

因素	水平		
	A(萃取温度/ $^{\circ}\text{C}$)	B(萃取时间/ min)	C(解吸时间/ min)
1	40	30	5
2	50	45	7
3	60	60	9

正交试验结果如表 2 所示,并对正交试验的峰面积和峰个数分别进行正交分析,如表 3 所示。

表 2 正交试验 $L_9(3^3)$ 结果

Table 2 The result of orthogonal design

试验号	因素			试验结果	
	A	B	C	峰个数	峰面积
1	1	1	1	34	150259751
2	1	2	2	29	157135504
3	1	3	3	39	228212772
4	2	1	3	31	163963153
5	2	2	1	41	189228775
6	2	3	2	42	235562012
7	3	1	2	39	246380674
8	3	2	3	45	221707699
9	3	3	1	50	243474707

对正交试验(峰个数)进行分析,最佳的萃取和解吸条件是 $A_3B_3C_1$,即萃取温度 60 $^{\circ}\text{C}$,萃取时间 60 min ,解吸时间 5 min 。由正交试验(峰面积)进行分析,得最佳的萃取和解吸条件为 $A_3B_3C_2$,即萃取温度 60 $^{\circ}\text{C}$,萃取时间 60 min ,解吸时间 7 min 。由于解吸时间过长对萃取头会造成损伤,解析时间对峰面积的影响较小,最终确定最优的萃取及解吸条件为 $A_3B_3C_1$,萃取温度 60 $^{\circ}\text{C}$,萃取时间 60 min ,解吸时间 5 min 。

表3 正交试验 L₉(3⁴) 结果分析

Table 3 Analysis of the result of orthogonal design

T 值	峰个数			峰面积		
	A	B	C	A	B	C
T1	102	104	125	535608027	560603578	582963233
T2	114	115	110	588753940	568071978	639078190
T3	134	131	115	711563080	707249491	613883624
t1	34.000	34.667	41.667	178536009.000	186867859.333	194321077.667
t2	38.000	38.333	36.667	196251313.333	189357326.000	213026063.333
t3	44.667	43.667	38.333	237187693.333	235749830.333	204627874.667
极差 R	10.667	9.000	5.000	58651684.333	48881971.000	18704985.667
较优水平	A ₃ B ₃ C ₁			A ₃ B ₃ C ₂		
主次因素	A > B > C			A > B > C		

2.2 GC-MS 结果分析

酱牛肉加工过程中各阶段样品的挥发性成分总离子流色谱图如图 1 所示, 对各阶段样品的挥发性成分的种类和相对含量进行比较。数据结果如表 4 所示。

对表 4 进行分析可以得出, 酱牛肉加工过程中挥发性成分的总数是 90 种, 其中包括醇类 22 种、醛类 11 种、酯类 16 种、烃类 14 种、酮类 8 种、含硫含氮及杂环类 13 种和其它化合物 6 种。每个阶段测定的挥发性成分的数量也是不同的, 结果如表 5 所示。

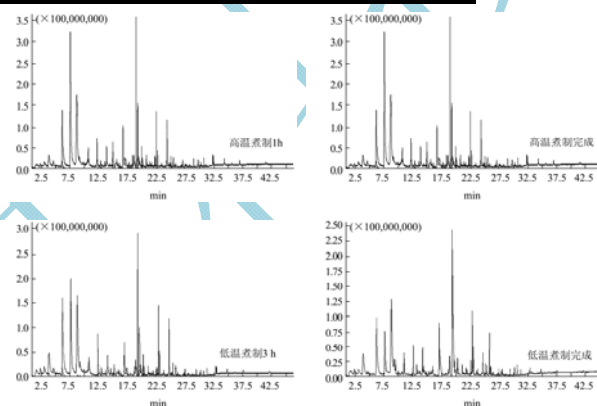


图 1 六个加工阶段样品的挥发性成分的总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion current chromatogram of volatile compounds of the six processing stages

从表 5 中可以看出, 各类挥发性成分的相对含量在加工过程中会发生明显的变化。

表 4 酱牛肉加工过程中各阶段挥发性成分变化

Table 4 The changes of volatile components in spiced beef during processing

名称	保留时间/min	原料生肉 /%	腌制结束 /%	高温煮制 1h/%	高温煮制完成/%	低温煮制 3h/%	低温煮制完成/%
醇类							
乙醇	3.949	1.99	1.19	2.59	-	-	1.83
2-甲基-1-丙醇	8.666	12.29	24.57	18.09	17.64	19.10	16.84
1-丁醇	10.534	0.37	0.18	-	-	-	0.26
1-戊硫醇	13.553	0.38	3.17	0.73	0.44	0.45	-
1-己醇	16.240	0.23	2.58	0.70	0.72	0.82	-
1-辛烯-3-醇	18.538	-	1.61	1.00	0.40	0.37	0.88
1-辛醇	20.963	0.90	1.27	1.30	1.05	0.72	0.83
[R-(R@,R@)]-2,3-丁二醇	21.464	-	0.36	0.26	0.31	-	0.18
4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇	21.835	-	-	0.53	0.57	0.58	0.80
2-辛烯-1-醇	22.086	-	-	0.43	0.29	0.27	-
(S)- α , α , 4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	23.591	-	-	1.02	0.67	0.53	0.95
苯甲醇	26.484	0.12	0.11	-	-	-	-
1-十二醇	26.695	0.35	0.46	-	-	0.23	-
2,2-氧代二乙醇	26.962	0.25	0.25	-	-	-	-

转下页

接上页

2-[2-(2-甲氧甲氧基)乙氧基]乙醇	28.180	18.10	0.89	0.48	0.05	-	-
1-十八醇	30.429	0.13	0.16	-	-	-	-
1-十六醇	32.886	0.96	0.49	-	-	-	-
2,5,8,11,14-五氧杂-16-十六烷醇	33.331	1.40	1.07	-	-	0.23	-
2-[2-(2-乙氧乙氧基)乙氧基]乙醇	33.686	-	0.31	0.09	-	-	-
4,4-二甲基金刚烷-2-醇	33.829	-	-	-	-	-	0.56
双-[氧二苯(2,1-氧代乙烷)]乙醇	38.462	6.16	-	0.46	-	-	-
八乙二醇	39.395	0.62	-	-	0.07	-	-

醛类							
戊醛	4.695	-	-	1.81	1.68	1.28	-
己醛	6.666	2.56	18.75	17.25	11.84	8.01	7.20
庚醛	10.922	0.69	2.22	3.63	4.42	2.68	3.06
辛醛	14.023	0.50	2.74	3.33	3.02	2.58	2.87
壬醛	16.962	2.29	2.95	2.83	2.41	3.33	6.04
苯甲醛	20.125	-	0.72	2.26	2.38	2.25	2.15
2-甲基-3-苯基丙醛	24.962	-	-	0.87	0.77	0.73	-
十四醛	26.321	0.49	-	-	0.05	0.38	0.28
十六醛	29.959	1.00	0.66	0.40	0.38	0.37	0.37
十八醛	32.549	3.15	2.49	1.18	1.29	0.85	0.93
5- α -胆甾烷-6-酮-1,2-环乙二醇乙缩醛	32.862	-	-	0.21	-	0.39	-

酯类							
乙酸乙酯	3.125	8.75	2.48	1.68	2.94	2.07	2.05
己酸乙酯	12.483	0.19	0.40	2.37	3.61	3.77	4.48
2-羟基丙酸乙酯	16.031	-	-	-	-	-	0.12
辛酸乙酯	16.966	0.24	1.72	1.07	0.48	-	-
2-甲酸基-4,6-二甲氧基苯甲酸-8, 8-二乙氧基-2-辛基酯	19.821	1.87	-	0.84	1.24	-	-
2-甲基丁基-对癸氧基苯亚甲基-对-氨基肉桂酸酯	20.936	-	-	0.46	0.78	0.75	-
癸酸乙酯	22.393	0.57	0.64	1.04	1.60	2.55	2.20
月桂酸乙酯	25.862	-	-	-	-	0.22	0.33
氨基甲酸苯酯	28.260	-	-	-	-	0.06	-
十四酸乙酯	28.686	-	0.49	0.28	-	-	-
9-油酸乙酯	33.653	1.31	1.86	-	-	-	-
1,2-苯二甲酸二(2-甲基)酯	35.166	1.51	0.89	0.52	0.51	0.36	0.61
4-三氟甲基苯甲酸-2-十五烷基酯	35.842	-	1.17	-	0.86	0.63	0.91
4-甲基苯磺酸辛酯	35.858	1.87	1.55	0.89	-	-	-
1,2-苯二甲酸丁基-2-乙基己基酯	36.863	-	-	-	-	0.32	0.46
邻苯二甲酸二丁酯	36.916	2.59	0.82	-	-	-	0.25

烃类							
异氧甲烷	5.229	1.55	-	1.01	0.98	0.69	-
甲苯	6.239	4.53	3.21	9.53	11.48	9.78	7.69
邻二甲苯	9.658	1.20	-	-	-	0.85	0.11
1-乙基-3-甲基苯	11.958	-	-	-	0.31	0.38	0.71
苯乙烯	12.983	-	-	1.40	2.00	1.79	2.37
1,2,3,4-四甲基苯	16.912	-	-	-	-	1.02	1.12
1-苯基-1-丁烯	18.165	-	-	-	-	2.18	0.11
香叶烯	20.691	-	-	-	-	0.20	0.12
石竹烯	21.548	-	-	0.86	-	2.96	3.07
十六烷	21.642	0.24	0.21	-	-	-	-
十七烷	23.446	2.42	0.10	-	-	-	0.79
1-(硫代乙烯)-辛烷	26.095	-	0.45	-	-	-	0.10

转下页

接上页

丁羟甲苯	26.865	2.12	-	0.06	0.03	-	-
1-甲氧基-4-(1-丙烯基)-苯	25.669	-	-	0.88	0.58	1.08	1.87
酮类							
丙酮	2.438	5.54	1.91	0.99	1.93	1.54	1.33
戊酮	4.604	1.32	0.72	-	-	-	0.12
3-庚酮	9.923	-	0.27	0.21	0.78	1.97	1.14
3-羟基-2-丁酮	14.415	1.07	2.88	2.10	1.14	0.98	2.05
1-羟基-2-丙酮	14.846	-	-	-	1.34	0.87	-
2,3-辛二酮	15.191	-	2.10	2.08	1.22	1.22	0.43
6-甲基-5-庚烯-2-酮	15.546	-	-	-	0.66	-	-
2-(p-硝基苯胺)-1,4-二苯基-2-丁烯-1,4-二酮	20.204	0.61	1.18	0.21	0.56	-	-
含硫、含氮及杂环化合物							
1,2,4-三硫四氢噻吩	3.919	-	-	-	6.30	5.32	5.85
2-戊基呋喃	12.064	-	-	0.47	-	0.28	0.18
甲基吡嗪	13.616	-	-	-	-	-	1.62
2,6-二甲基吡嗪	15.528	-	-	-	-	0.76	1.04
糠醛	18.803	-	-	4.72	3.84	4.18	5.71
2-乙酰基呋喃	19.660	-	-	-	-	0.06	0.08
5-甲基-2-呋喃甲醛	21.212	-	-	-	-	0.36	0.46
3,3-二甲基-1-苯基-1-三氮烯	22.621	2.32	3.03	-	-	-	-
2-糠醇	22.922	-	-	0.13	-	-	0.15
苯并噻唑	26.625	-	-	-	-	0.70	-
2-乙酰基吡咯	26.865	-	-	0.28	0.37	0.31	0.88
2-氨基-6-甲基-4(1H)-嘧啶	29.655	-	-	0.07	0.03	0.36	0.06
1,6-二亚甲基-2,3-二甲基吡啶	32.045	0.92	0.84	0.23	0.20	0.16	0.19
其它类							
三氯甲烷	5.651	-	-	0.43	0.61	0.48	0.53
桉叶油素	11.480	-	-	-	-	0.37	0.13
甘菊蓝	24.239	0.82	0.32	0.42	0.29	0.16	0.18
甲氧基苯基胍	24.531	1.48	1.43	2.98	2.65	2.04	2.18
2-(2-叔丁基苯氧基)-N2-(2-硝基亚苄基)-乙酰肼	26.186	-	-	-	0.02	0.02	-
2-甲氧基-3-(2-丙烯基)苯酚	30.428	-	0.11	0.31	0.21	0.29	0.51

注：“-”表示未检测到该物质。

表5 各阶段样品中挥发性成分种数及占总量的百分比

Table 5 The number and the ratio of volatile components in the samples from each stage

种类	各阶段各类物质种数及占总量的百分含量											
	原料生肉		腌制结束		高温煮制 1h		高温煮制完成		低温煮制 3h		低温煮制完成	
醇类	15	44.25%	16	38.67%	13	27.68%	11	22.21%	10	23.30%	9	23.13%
醛类	7	10.68%	7	30.53%	10	33.77%	10	28.24%	11	22.85%	8	22.90%
酯类	9	18.90%	10	12.02%	9	9.15%	8	12.02%	9	10.37%	9	11.41%
烃类	6	12.06%	4	3.97%	6	13.74%	6	15.38%	10	20.93%	11	18.06%
酮类	4	8.54%	6	9.06%	5	5.59%	7	7.63%	5	6.58%	5	5.07%
含硫含氮及杂环类	2	3.24%	2	3.87%	6	5.90%	5	10.74%	10	12.49%	11	16.22%
其它类	2	2.30%	3	1.86%	4	4.14%	5	3.78%	6	3.36%	5	3.53%
总和	45 种		48 种		53 种		52 种		61 种		58 种	

醇类物质主要来源于脂肪氧化，饱和醇风味阈值较高，对风味的贡献较少，不饱和醇风味阈值较低，对风味的贡献较大。在原料肉中醇类物质的比例最高，达到 44.25%，主要以饱和醇为主，因而原料肉并没有

明显的气味，而在加工的过程中醇类物质总量呈现不断降低的趋势，在成品中的含量降低到 23.13%，这是因为在醇类物质很容易被氧化生成醛类或酮类等物质，但在加热过程中不饱和醇的含量增加，对风味有

一定贡献。

醛类物质风味阈值相对较低,所以通常认为醛类物质对产品风味具有重要贡献。在产品加工过程中,醛类物质的种类有所增加。醛类物质的含量在腌制和高温煮制阶段明显增加,而高温煮制后期和低温煮制阶段略有下降,在成品中含量为22.90%,相比原料肉含量显著升高。醛类物质主要来源于加工过程中不饱和脂肪酸发生氧化和斯特雷克尔氨基酸反应^[4],在成品中检测到己醛、庚醛、辛醛、壬醛含量较高,主要与亚油酸和油酸的氧化有关^[10-11],较高含量的苯甲醛可能与苯丙氨酸降解有关^[12]。

酯类物质在腌制后含量从原料肉的18.90%下降到12.02%,在后期的高温煮制和低温煮制阶段酯类物质含量较为稳定,但酯类物质的种类发生明显变化,原料肉中检测到的酯类物质主要是乙酸乙酯,成品中己酸乙酯和癸酸乙酯的含量明显增加。

烃类物质主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,烃类物质在原料肉中的含量为12.06%,在腌制后含量降低,在加热煮制过程中明显增加,最终在成品中达到18.06%。加工过程中烃的种类明显增加,成品中检测到的甲苯含量最高,与陈海涛等人的研究结果一致^[9]。另外烃的种类增加与香辛料的添加也有一定关系。

酮类物质在整个加工过程中含量略有降低,从原料肉含量8.54%降低到成品含量5.07%,但酮类物质的种类在加工过程中有所增加。成品中检测到的3-羟基-2-丁酮含量最高,与臧明伍等人研究结果一致^[4],2,3-辛二酮和3-庚酮也是测得的主要酮类物质。多数酮类物质阈值较高,对风味贡献较小,但有些是形成杂环化合物的重要中间体,对香气形成有不可忽视作用。

含硫含氮及杂环类物质由于其香气阈值较低,大多具有肉香味,通常被认为是肉制品中最重要的风味物质,其中包括吡嗪、吡啶、噻吩、噻唑等。这些物质的主要来源包括氨基酸与还原糖的美拉德反应以及氨基酸和硫胺素的热降解。酱牛肉加工过程中含硫含氮及杂环类物质含量和种类明显增加,含量由原料肉的3.24%上升到成品的16.22%,杂环化合物主要是在加热过程中形成,主要是由于高温加热加快了含硫氨基酸^[13]和硫胺素^[14]的降解,并有利于美拉德反应,成品中检测到最多的是1,2,4-三硫四氢噻吩、甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪和糠醛。

3 结论

3.1 顶空固相微萃取法对酱牛肉挥发性成分进行萃取,设计正交试验得出萃取及解吸的最优条件为萃取

温度60℃,萃取时间60min,解吸时间5min。

3.2 对各阶段样品的挥发性成分进行分析,总共测得挥发性成分90种,其中包括醇类22种、醛类11种、酯类16种、烃类14种、酮类8种、含硫含氮及杂环类13种和其它化合物6种,六个加工阶段样品中的挥发性成分的种类数量分别为45、48、53、52、61和58种。

3.3 虽然各阶段样品的挥发性成分的总数相差不大,但是各类化合物的含量在不同的阶段却相差很大,在原料肉中醇类和酯类占的比重最大,分别为44.25%和18.90%;经过腌制后醇类和酯类的比例含量降低,而醛类的含量显著升高达到30.53%;在高温煮制的过程中醇类的含量继续降低,而含硫含氮及杂环类物质的含量显著上升;低温煮制结束后含硫含氮及杂环类物质的含量上升最明显,由原料生肉中的3.24%上升至16.22%。

参考文献

- [1] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424
- [2] 王宇,宋永清,乔晓玲.传统酱牛肉加热过程中挥发性风味化合物研究[J].肉类研究,2009,12:54-57
WANG Y, SONG Y Q, QIAO X L. Study on Volatile Flavor Compounds in the Heating Process of Traditional Braised Beef with Soy Sauce [J]. Meat Research, 2009, 12: 54-57
- [3] 綦艳梅,陈海涛,陶海琴,等.平遥与月盛斋酱牛肉挥发性成分分析[J].食品科学,2011,32(22): 251-256
QI Y M, CHEN H T, TAO H Q, et al. Analysis of Volatile Compounds of Pingyao and Yueshengzhai Spiced Beef by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Food Science, 2011, 32(22): 251-256
- [4] 臧明伍,王宇,韩凯,等.北京清真酱牛肉挥发性风味化合物的研究[J].食品工业科技,2010,31(8):70-73
ZANG M W, WANG Y, HAN K, et al. Study on volatile flavor compounds of Beijing moslemic braised beef with soy sauce. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(8): 70-73
- [5] Kataoka H, Lord H L, Pawliszyn J. Applications of solid-phase microextraction in food analysis [J]. Journal of chromatography A, 2000, 880(1): 35-62
- [6] Park S Y, Yoon Y M, Schilling M, et al. Evaluation of volatile compounds isolated from pork loin (Longissimus dorsi) as affected by fiber type of solid-phase microextraction (SPME), preheating and storage time [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2009, 29(5): 579-589

- [7] Watkins P, Rose G, Warner R, et al. A comparison of solid-phase microextraction (SPME) with simultaneous distillation-extraction (SDE) for the analysis of volatile compounds in heated beef and sheep fats [J]. *Meat science*, 2012,91(2): 99-107
- [8] Madruga M S, Stephen Elmore J, Dodson A T, et al. Volatile flavour profile of goat meat extracted by three widely used techniques [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(3): 1081-1087
- [9] 陈海涛,张宁,孙宝国.SPME 或 SDE 结合 GC-MS 分析贾永信十香酱牛肉的挥发性风味成分[J]. *食品科学*, 2012, 33(18):171-176
- CHEN H T, ZHANG N, SUN B G. Analysis of Volatile Compounds in Jiayongxin Spiced Beef by Solid Phase Microextraction or Simultaneous Distillation Extraction Coupled with Gas Chromatography-Mass Spectroscopy [J]. *Food Science*, 2012, 33(18): 171-176
- [10] Elmore J S, D S Mottram, M Enser, et al. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(4): 1619-1625
- [11] Xie J, B Sun, F Zheng, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(3): 506-514
- [12] Xie J C, B G Sun, S B Wang. Aromatic constituents from Chinese traditional smoke-cured bacon of Mini-pig [J]. *Food science and technology international*, 2008, 14(4): 329-340
- [13] 成坚,刘晓艳.加热过程对鸡肉风味前体物质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(1):146-148
- CHENG J, LIU X Y. Effect of Heating on the Chicken Flavor Precursors [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2005, 31(1): 146-148
- [14] 宋长坤,徐世明, 杨建荣,等.酱牛肉加工过程中硫胺素的含量变化研究[J]. *农产品加工*, 2012, 11:27-29
- SONG C K, XU S M, YANG J R, et al.Changes of Thiamine of Spiced Beef during Processing [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2012, 11: 27-29