

顶空固相微萃取-气质联用法测定哈尔滨红肠的挥发性风味物质

潘丽军, 何宇洁, 蔡克周, 姜绍通

(合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 为进一步探明烟熏灌肠类食品的风味特征, 以哈尔滨红肠为对象, 采用顶空固相微萃取制备样品, 联合气质联用测定其主要挥发性物质。通过比较不同萃取头、萃取温度以及萃取时间对萃取效果的影响, 获得较适的萃取条件: 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头、萃取温度 50℃、萃取时间 50min。采用气质联用对解吸物进行测定的结果表明, 其挥发性风味物质的主要成分中醛类占 17.59%、酮类占 7.01%、酚类占 7.27%、醇类占 12.29%、烯萜类占 9.39%、烷烃类占 6.14%、含硫化合物占 27.38%、杂环化合物占 7.01%。

关键词: 顶空固相微萃取; 气质联用; 挥发性风味物质; 哈尔滨红肠

Volatile Analysis of Harbin Sausage by Head Space Solid Phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry

PAN Li-jun, HE Yu-jie, CAI Ke-zhou, JIANG Shao-tong

(Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The volatile flavor compounds in Harbin Sausage was extracted by head space solid phase microextraction (HS-SPME) technique and determined by capillary gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The types of SPME fibers, extraction time, and extraction temperature were optimized in this study. The optimum extraction conditions were obtained as follows: 50/30 μm DVB/CAR/PDMS fiber, adsorption time was 50min at 50℃. Aldehydes, ketones, phenols, alcohols, terpenes, alkanes, sulfur compounds and heterocyclic compounds were the major flavor compounds of Harbin Sausage with relative content of 17.59%, 7.01%, 7.27%, 12.29%, 9.39%, 6.14%, 27.38%, 7.01%, respectively.

Key words: head space solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor compounds; harbin Sausage

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)10-0232-05

哈尔滨红肠, 又称里道斯肠, 它是 1900 年前后由于修筑中长铁路而从俄罗斯传入我国, 因其肉经过加硝腌制和熏烤, 成品为枣红色, 所以称其红肠, 又因其传入地和产地同属哈尔滨, 所以称其为哈尔滨红肠^[1]。红肠在欧式加工制作方法的基础上经过多年的技术改良, 更具中式特色, 如今已成为深受大众喜爱的烟熏灌肠类食品。哈尔滨红肠选料严谨, 配方考究, 加工精细, 独具匠心。哈尔滨红肠的三大特点: 一是蒜香袭人, 和肉味搭配起来异常协调; 二是肥而不腻, 红肠里面有许多肥肉丁, 吃起来香却不觉得油腻; 三是熏

烤得当, 这是红肠工艺中最具特色的, 熏烤消耗掉部分油脂, 使口感清爽, 并在表皮留下迷人的烟熏气味^[2]。但是, 迄今为止对哈尔滨红肠的挥发性香气成分的分析仍不甚清楚, 这主要由于香气成分复杂, 含量又极其微小, 挥发在空气中不易收集制备合适的样品。

固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)是 20 世纪 90 年代初提出并发展起来的新颖的样品前处理技术^[3]。微萃取具有敏感、选择性好、不用溶剂、操作简单快速、能自动化的优良特性, 在食品香气成分分析上的应用近年已得到蓬勃发展^[4-5]。相对于 SPME 直接

收稿日期: 2011-05-31

基金项目: 安徽省战略性新兴产业项目(11010301017)

作者简介: 潘丽军(1955—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为农产品资源综合利用。E-mail: panlijun1955@163.com

取样而言,顶空固相微萃取(HS-SPME)是一种更为有效的分离技术,首先 HS-SPME 达到吸附平衡所用时间短,另外萃取纤维置于样品顶部上空,这样纤维涂层可免受液体样品中的一些非挥发性组分的污染,样品的 pH 值也可任意调节而不影响纤维涂层的正常使用。本实验采用顶空固相微萃取联合气质(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用分析哈尔滨红肠的挥发性成分,通过萃取头的筛选和萃取条件的优化,获得较佳的萃取工艺参数;并在该条件下对哈尔滨红肠的风味进行定性定量分析,为进一步探明传统肉制品的风味特征以及采用顶空固相微萃取与气质联用法研究其他食品风味物质提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

哈尔滨红肠(产地哈尔滨) 哈尔滨秋林里道斯食品有限责任公司。

QP 2010 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司; SPME 手动进样手柄及萃取头(100 μm PDMS、65 μm PDMS/DVB、75 μm CAR/PDMS、50/30 μm DVB/CAR/PDMS) 美国 Supelco 公司。

1.2 方法

1.2.1 色谱条件

色谱柱: DB-5ms 石英毛细柱(60m $\times$ 0.32mm, 1 μm); 升温程序: 起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2min, 然后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升温到 90 $^{\circ}\text{C}$, 再以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升温到 200 $^{\circ}\text{C}$, 最后以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升温到 220 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2min; 汽化室温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 载气(He)流速 2.0 mL/min; 分流比: 1:1。

1.2.2 质谱条件

电子轰击(EI)离子源; 电子能量 70eV; 灯丝发射电流 200 μA , 离子源温度为 240 $^{\circ}\text{C}$, 接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 质量扫描范围 m/z 35~450。

1.3 顶空固相微萃取实验

1.3.1 萃取头的老化处理

萃取头首次使用前,需要在气相色谱进样口于 270 $^{\circ}\text{C}$ 老化 2h 以上,以后使用前需于 270 $^{\circ}\text{C}$ 处理 30min,以确保脱去其可能吸附的挥发性成分。取 2g 切碎的原料肉置于 15mL 的样品瓶中,将 SPME 针管插入样品瓶,调整并固定萃取头在样品瓶中的位置,伸出纤维头。待吸附完毕,缩回纤维头,抽出针头,将萃取头插入 GC-MS 联用仪,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 2min,进行 GC-MS 检测分析。

1.3.2 萃取工艺条件实验

固相微萃取过程中考察影响萃取效果的主要因素包括萃取头的种类、萃取温度、萃取时间。实验以总峰

面积和检出峰的个数为指标来考察各因素对顶空固相微萃取效果的影响。

1.4 数据处理

1.4.1 定性分析

化合物经计算机检索与计算机标准谱图库 NIST 中的数据比较(最大值 1000),相似指数(SI)800 以上为确认化合物。HS-SPME 法萃取的缺陷之一是图谱中会出现少量由萃取头带来的硅氧烷类杂质峰,在对样品分析时应扣除这类杂质峰。

1.4.2 定量分析

按峰面积归一法计算相对含量。

2 结果与分析

2.1 不同萃取头的影响

萃取头是整个 SPME 装置的核心^[6],不同固定相所构成的萃取头对物质的萃取吸附能力是不同的。实验采用的 4 种萃取头分别为 100 μm PDMS、65 μm PDMS/DVB、75 μm CAR/PDMS、50/30 μm DVB/CAR/PDMS,在吸附温度 40 $^{\circ}\text{C}$,吸附时间 40min,解吸时间 2min 条件下进行萃取实验,结果见图 1。

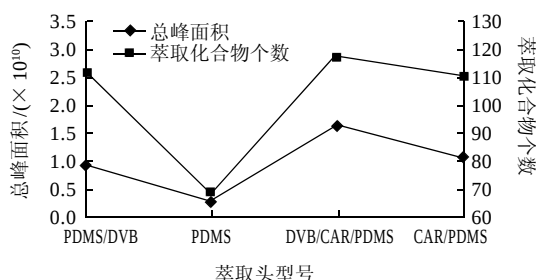


图1 不同萃取头的萃取效果

Fig.1 Effect of fiber coating material on extraction efficiency

由图 1 看出,对哈尔滨红肠挥发性成分的总吸附量来说,50/30 μm DVB/CAR/PDMS(总峰面积为 1.65×10^{10})显示出良好的吸附能力,吸附量最大,其次为 75 μm CAR/PDMS(总峰面积 1.04×10^{10}),65 μm PDMS/DVB(总峰面积 0.94×10^{10})和 100 μm PDMS(总峰面积 0.27×10^{10}),说明 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 的吸附能力比其他的萃取头强。吸附挥发性成分数目最多的是 50/30 μm DVB/CAR/PDMS,其次为 65 μm PDMS/DVB,75 μm CAR/PDMS 和 100 μm PDMS。对哈尔滨红肠而言,50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头更加合适,不仅分离出的成分比较多,而且吸附能力也强。另外在近年的研究论文中,有学者针对此前研究者遇到的定量测定问题,认为采用 DVB/CAR/PDMS 萃取头对于易挥发性组分和极性化合物

表 1 哈尔滨红肠样品的分析结果($n=3$)
Table 1 GC-MS analysis of Harbin Sausage sample ($n=3$)

序号	保留时间 /min	化合物名称	CAS 编号	相对含量 /%	变异系数 /%	气味描述
1	1.6	乙醇	64-17-5	4.54 ± 0.03	0.67	
2	2.62	D- 丙氨酸	338-69-2	0.42 ± 0.03	6.70	甜味
3	4.27	甲基硫杂丙烷	1072-43-1	16.43 ± 0.55	3.39	
4	5.90	戊醛	110-62-3	0.03 ± 0.00	9.72	刺激味
5	6.08	羟基丙酮	116-09-6	0.33 ± 0.00	0.75	
6	7.02	烯丙基甲基硫醚	10152-76-8	1.39 ± 0.10	7.04	
7	7.27	3- 羟基 -2- 丁酮	513-86-0	0.70 ± 0.06	9.26	奶香气
8	8.27	2- 甲基 -2- 丁烯醛	1115-11-3	0.39 ± 0.02	4.25	
9	9.11	甲苯	108-88-3	0.15 ± 0.00	2.26	
10	9.80	环戊酮	120-92-3	0.04 ± 0.00	5.03	薄荷气味
11	9.95	辛醛	124-13-0	2.76 ± 0.67	24.43	焦香, 油脂香
12	10.42	糠醛	98-01-1	0.05 ± 0.00	10.22	苦杏仁气味
13	10.60	2- 甲基吡啶	109-06-8	0.06 ± 0.00	5.55	
14	10.84	2- 甲基吡嗪	109-08-0	0.03 ± 0.00	9.07	坚果香、烤香
15	11.60	糠醇	98-00-0	2.60 ± 0.11	4.20	稍辛辣
16	11.90	醋酸盐丙酮	592-20-1	0.05 ± 0.00	0.97	
17	12.02	二烯丙基一硫醚	592-88-1	4.67 ± 0.05	1.12	
18	12.46	对二甲苯	106-42-3	0.16 ± 0.00	0.78	
19	12.82	2- 庚酮	110-43-0	0.05 ± 0.01	29.97	类似梨的水果香味
20	13.21	苯乙烯	100-42-5	0.61 ± 0.01	1.08	
21	13.28	庚醛	111-71-7	0.52 ± 0.08	15.97	腌肉味, 烤面包味, 油味, 油脂香
22	13.54	2- 甲基 -2- 环戊烯酮	1120-73-6	0.44 ± 0.03	6.26	
23	13.65	乙酰呋喃	1192-62-7	1.15 ± 0.03	2.62	
24	14.12	甲基 -2- 烯丙基二硫醚	2179-58-0	3.42 ± 0.03	0.79	
25	14.42	2,4- 二甲基吡啶	108-47-4	0.07 ± 0.00	2.65	胡椒气味
26	14.76	α - 蒎烯	80-56-8	0.63 ± 0.05	7.24	松木、针叶及树脂样气味
27	15.14	丙酸乙烯酯	105-38-4	0.17 ± 0.00	0.46	
28	15.24	1- 乙酸 -2- 丁酮	1575-57-1	0.05 ± 0.01	11.44	
29	15.30	顺 -1- 乙基 -2- 甲基环戊烷	930-89-2	0.13 ± 0.04	33.25	
30	15.51	5- 甲基 -2- 糠醛	620-02-0	2.46 ± 0.01	0.50	
31	15.70	3- 甲基 -2- 环戊烯 -1- 酮	2758-18-1	0.98 ± 0.02	2.34	
32	15.83	苯甲醛	100-52-7	2.00 ± 0.05	2.32	苦杏仁味, 焦糖味
33	16.50	α - 蒎烯	471-84-1	1.85 ± 0.05	2.47	
34	16.73	3,4- 二甲基 -2- 环戊烯 -1- 酮	30434-64-1	0.14 ± 0.01	6.75	
35	16.82	3- 甲基 -3- 己烯 -2- 酮	1187-80-0	0.42 ± 0.02	4.85	
37	17.17	苯并呋喃	271-89-6	0.11 ± 0.00	1.28	芳香味
38	17.23	乙基 -2- 呋喃基酮	3194-15-8	0.14 ± 0.01	6.28	
39	17.40	α - 水芹烯	99-83-2	1.09 ± 0.07	6.51	
40	17.53	3- 辛烯 -5- 炔	55956-33-7	4.38 ± 0.01	0.18	
41	17.89	3- 甲基 -2- 羟基 -2- 环戊烯 -1- 酮	80-71-7	1.27 ± 0.04	3.24	槭树和独活草似香气
42	18.06	1- 甲基 -4- 异丙基苯	99-87-6	0.93 ± 0.08	9.06	
43	18.28	三环[5.3.0.0(4,8)]癸烷	19485-20-2	5.12 ± 0.03	0.66	
44	18.40	2,3- 二甲基 -2- 环戊烯 -1- 酮	1121-05-7	0.80 ± 0.01	1.25	
45	18.56	β - 月桂烯	123-35-3	0.29 ± 0.01	3.20	令人愉快的、清淡的香脂气味
46	18.84	2- 甲基苯酚	95-48-7	1.87 ± 0.21	11.40	芳香气味
47	19.00	2- 羟基苯甲醛	90-02-8	0.25 ± 0.02	9.99	焦灼味及杏仁气味
48	19.08	(E)-2-辛烯醛	2548-87-0	0.33 ± 0.00	1.30	油脂香
49	19.38	正辛醇	111-87-5	0.18 ± 0.00	1.10	特殊芳香气味
50	19.61	苯甲醇	100-51-6	3.24 ± 0.11	3.31	
51	19.72	苯乙酮	98-86-2	0.39 ± 0.07	17.88	愉快的芳香气味
52	19.91	3- 乙基 -2- 环戊烯 -1- 酮	5682-69-9	0.71 ± 0.09	12.41	
53	20.62	沉香醇	78-70-6	1.17 ± 0.03	2.16	似柠檬油和熏衣草油的香气
54	20.78	壬醛	124-19-6	3.94 ± 0.28	7.27	烤焦味, 油炸香
55	21.28	麦芽酚	118-71-8	0.28 ± 0.01	5.07	焦奶油硬糖的特殊香气
56	21.42	3- 乙基 -2- 羟基 -2- 环戊烯 -1- 酮	21835-01-8	0.49 ± 0.00	0.22	

续表 1

序号	保留时间 /min	化合物名称	CAS 编号	相对含量 /%	变异系数 /%	气味描述
57	21.87	十四基环氧乙烷	7320-37-8	0.10 ± 0.01	5.27	刺鼻味
58	22.48	2,4- 二甲基苯酚	105-67-9	0.53 ± 0.12	22.70	
59	22.56	2,6- 二甲基苯酚	576-26-1	0.37 ± 0.06	15.17	
60	22.93	(E)-2- 壬醛	18829-56-6	0.30 ± 0.04	14.08	
61	23.11	3- 乙基苯酚	620-17-7	0.69 ± 0.12	17.89	
62	23.22	3,5- 二甲基苯酚	108-68-9	0.48 ± 0.07	14.67	有强烈的、刺激性的扁豆似香气, 味辛而甜, 有苦杏仁气息
63	23.33	苯丙醛	104-53-0	0.27 ± 0.03	10.00	
64	23.63	2,5- 二甲基苯酚	95-87-4	0.26 ± 0.05	20.29	
65	23.78	2- 甲氧基-4- 甲基苯酚	93-51-6	0.28 ± 0.01	3.75	
66	24.1	2- 甲氧基-5- 甲基苯酚	1195-09-1	0.10 ± 0.03	25.59	
67	24.60	癸醛	112-31-2	0.79 ± 0.00	0.37	具油脂气息, 稀释后有花香
68	24.72	萘	91-20-3	0.57 ± 0.05	9.73	
69	24.89	3- 乙烯基-1,2- 二硫-4- 环己烯	62488-52-2	1.06 ± 0.11	10.07	
70	25.68	2,3- 二甲氧基甲苯	4463-33-6	0.23 ± 0.07	29.26	
71	25.77	3- 乙烯基-1,2- 二硫-5- 环己烯	62488-53-3	0.41 ± 0.04	9.48	
72	26.00	2,3,6- 三甲基苯酚	2416-94-6	0.08 ± 0.01	7.95	淡的脂肪和椰子香气
73	26.36	壬酸	112-05-0	0.19 ± 0.00	1.74	
74	26.55	枯醇甲基氨基甲酸酯	64-00-6	0.29 ± 0.06	20.51	
75	26.72	(E)-2- 癸烯醛	3913-81-3	0.71 ± 0.01	0.75	
76	27.00	4,6- 二甲基十二烷	61141-72-8	0.35 ± 0.08	23.59	
77	27.57	(E)- 肉桂醛	14371-10-9	1.20 ± 0.01	0.84	特殊的肉桂芳香气味 类似茴香的香气, 味甜
78	27.90	对甲氧基苯丙烯	140-67-0	2.41 ± 0.46	19.07	
79	28.03	2,3- 二氢-1- 茚酮	83-33-0	0.31 ± 0.00	0.02	
80	28.51	十六烷	544-76-3	0.12 ± 0.02	16.46	
81	28.66	5- 丁基壬烷	17312-63-9	0.33 ± 0.13	39.96	
82	28.84	2,4- 癸二烯醛	2363-88-4	0.58 ± 0.09	15.23	烤肉味, 油炸味
83	28.94	甘油三乙酸酯	102-76-1	0.47 ± 0.11	23.39	
84	29.40	2- 甲基萘	91-57-6	0.13 ± 0.01	11.04	
85	29.72	δ - 槐香烯	20327-84-0	0.69 ± 0.03	4.36	
86	29.88	2,6- 二甲氧基苯酚	91-10-1	2.02 ± 0.09	4.59	
87	30.35	2- 十一烯醛	2463-77-6	1.03 ± 0.44	43.32	辛辣的茴香气味 木香
88	31.36	可巴烯	3856-25-5	1.52 ± 0.12	7.75	
89	32.47	石竹烯	87-44-5	0.82 ± 0.11	12.96	
90	33.48	(E)- 异丁子香酚	5932-68-3	0.30 ± 0.08	27.76	
91	33.93	十二醇	112-53-8	0.56 ± 0.19	33.79	
92	34.27	α - 石竹烯	6753-98-6	0.50 ± 0.07	13.10	甜味, 油脂香, 蜂蜜味 辛香、木香、柑橘香、樟脑香, 温和的丁香香气
93	34.71	十五烷	629-62-9	0.10 ± 0.01	12.76	
94	35.31	β - 桉叶烯	17066-67-0	0.69 ± 0.01	1.58	
95	35.80	(+)- δ - 萜橙茄烯	483-76-1	1.30 ± 0.1	7.42	

的分析更为有效^[7]。因而选择 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 作为实验用萃取头。

2.2 萃取温度的影响

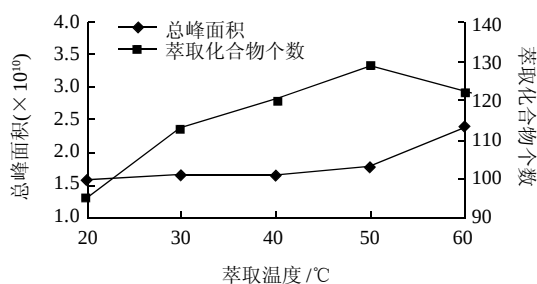


图 2 不同萃取温度的萃取效果

Fig.2 Effect of extraction temperature on extraction efficiency

采用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头, 在吸附温度分别 20、30、40、50、60 °C, 吸附时间 40 min, 解吸时间 2 min 条件下进行萃取实验, 结果见图 2。

萃取温度对 SPME 法的影响具有双重效应: 通常升高温度时, 液体内分子热运动加快, 有利于分析物在基质中的扩散(提高分析物在顶空的分配), 缩短平衡时间、加快分析速度, 尤其对于顶空固相微萃取; 但升高温度也可使分析物在涂层与基质中的分配系数降低, 涂层对分析物的吸附量减小, 影响 SPME 法的灵敏度^[8]。

从图 2 看出, 随着萃取温度的升高, 总峰面积一直趋于上升, 但是峰的数目在 50 °C 时达到最大值, 60 °C 时峰的个数有所下降, 并且在 60 °C 时硅氧烷类杂质峰的个数明显增加。因此, 选用 50 °C 作为萃取温度。

2.3 萃取时间的影响

萃取头为 50/30 μm DVB/CAR/PDMS, 吸附时间 20、40、50、60 min, 吸附温度 50 $^{\circ}\text{C}$, 解吸时间 2 min 条件下, 进行萃取实验, 结果见图 3。

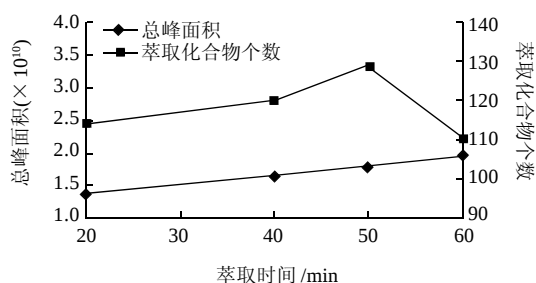


图3 不同萃取时间的萃取效果

Fig.3 Effect of extraction time on extraction efficiency

从图3可以看出, 随着萃取时间的延长, 总峰面积呈上升趋势, 但是增幅不大。20~50 min 时, 随着萃取时间的延长, 峰的个数增加, 但是由于存在吸附-解吸平衡问题, 60 min 时检出的峰个数却减少了。因此, 选择 50 min 为萃取时间, 此时检出的化合物种类最多, 吸附的样品量也足够用于气质联用分析。

2.4 哈尔滨红肠挥发性成分的分析鉴定

样品用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头在 50 $^{\circ}\text{C}$ 萃取 50 min 后用 GC-MS 检测, 通过谱库检索鉴定出 94 种挥发性风味化合物, 其中酚类 12 种、醇类 6 种、酮类 16 种、醛类 17 种、酸类 2 种、酯类 3 种、呋喃类 2 种、烯萜类 10 种、烷烃类 6 种、含硫化合物 6 种, 其他为含氮或杂环化合物, 挥发性风味化合物的相对含量见表 1。

哈尔滨红肠有强烈的蒜香味, 从表 1 可以看出, 挥发性成分中有 27.38% 的含硫化合物, 其中二烯丙基一硫醚、3-乙基-1,2-二硫杂-4-环己烯及 3-乙基-1,2-二硫杂-5-环己烯都是大蒜素的主要风味物质^[9], 后两者是由蒜素热分解生成的硫代丙烯醛发生二聚反应形成的^[10-11]。哈尔滨红肠的另一特色就是烟熏味浓郁, 这主要来自酚类(含 7.27%)、呋喃及其衍生物, 醛与酚的氧化聚合反应及同肉蛋白的褐变反应造成了加工肉食中烟熏色泽的形成^[12]。风味物质中醛类占 17.59%, 醇类占 12.29%。由于醛类阈值较低, 对哈红肠的整体香味贡献很大, 脂类氧化是产生这些醛类的主要原因, 大分子量的醛类因其挥发性较低, 所以应该对香肠的风味贡献不大, 它们对于风味形成的作用只是在于低分子量醛类和酮类物质的前体物^[13]。其中, 糠醛是美拉德反应的特征产物^[14]。醇类可能来自化学降解, 也可能涉及部分微生物活动^[15]。挥发性成分中含有 7.01% 的酮类, 一般是由美拉德反应生成, 也可能是由脂类降解、氧化或其进一步反应生成。风味物质中的烷烃类占 6.14%,

因其阈值较高, 对哈红肠的风味没有太大贡献^[16]。哈红肠中还有一些烯萜类化合物的含量也比较高, 占 9.39%。本研究检测出的某些杂环化合物, 含量占 7.01%, 可能来源于氨基酸和还原糖之间的美拉德反应、氨基酸的热解及硫胺素的热解等反应^[17]。

3 结论

3.1 对 4 种不同萃取头的比较结果表明, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头对哈尔滨红肠的风味物质有较好的吸附能力; 综合考察萃取条件确立的较优组合参数为 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头、萃取温度 50 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 50 min。

3.2 哈尔滨红肠中挥发性成分主要是含硫化合物占 27.38%, 醇类化合物占 12.29%, 醛类化合物占 17.59%, 烯萜类化合物占 9.39%, 酚类化合物占 7.27%, 酮类化合物占 7.01%, 另外还有一些酸类、酯类、烷烃及杂环化合物。

参考文献:

- [1] 林昌玉, 孙秀芹. 哈尔滨红肠的加工工艺及其应该注意的几个问题[J]. 肉类工业, 2004(11): 1-2.
- [2] 王盼盼. 哈尔滨红肠[J]. 肉类研究, 2009, 23(11): 1.
- [3] 康凯, 卢俊彪, 范国梁. 固相微萃取的发展近况[J]. 化学研究与应用, 2002, 14(4): 371-376.
- [4] 党亚丽. 金华火腿和巴马火腿风味研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [5] 谢建春, 孙宝国, 刘玉平, 等. 固相微萃取在食品香味分析中的应用[J]. 食品科学, 2003, 24(8): 229-233.
- [6] 刘源, 周光宏, 徐幸莲. 固相微萃取及其在食品分析中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(7): 83-87.
- [7] 胡国栋. 固相微萃取技术的进展及其在食品分析中的应用[J]. 色谱, 2008, 27(1): 1-8.
- [8] 傅彦斌. 固相微萃取分析条件的优化[J]. 干旱环境监测, 2006, 20(1): 49-51.
- [9] 李雪, 李英峰, 刘必前. 大蒜中大蒜素等含硫化合物的 GC/MS 法测定[J]. 现代仪器, 2005(6): 16-17.
- [10] 海宁萍, 杨柳. 顶空固相微萃取气质联用测定酸油挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 172-176.
- [11] KIMBARIS A C, SIATIS N G, DAFERERA D J, et al. Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*) [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2006, 13(1): 54-60.
- [12] 唐道邦, 夏延斌, 张滨. 肉的烟熏味形成机理及生产应用[J]. 肉类加工, 2004(2): 12-14.
- [13] ANSORENA D, GIMENO O, ASTIASARÁN I, et al. Analysis of volatile compounds by GC-MS of a dry fermented sausage: Chorizo de Pamplona [J]. Food Research International, 2001, 34(1): 67-75.
- [14] MATEO J, ZUMALACÁRREGUI J M. Volatile compounds in chorizo and their changes during ripening [J]. Meat Science, 1996, 44(4): 253-273.
- [15] 牛爽. 发酵干香肠生产过程中挥发性风味成分变化的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [16] MEYNIER A, NOVELLI E, CHIZZOLINI R, et al. Volatile compounds of commercial Milano salami [J]. Meat Science, 1999, 51(2): 175-183.
- [17] 尚永彪, 吴金凤, 夏杨毅. 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.