



# 北京清真酱牛肉 挥发性风味化合物的研究

臧明伍, 王宇, 韩凯, 乔晓玲\*

(中国肉类食品综合研究中心, 北京 100068)

**摘要:**采用顶空固相微萃取气相色谱-质谱法(HS-SPME-GC-MS),分析检测了北京清真酱牛肉的挥发性风味成分,共鉴定出78种风味化合物,包括醛类(13种)、酮类(6种)、烃类(22种)、酯类(7种)、醚类(4种)、醇类(8种)、含氮含硫及杂环化合物(18种)。所鉴定的化合物主要是脂肪氧化降解产物和香辛料挥发成分,醛类、萜烯类、醚类、含氮含硫及杂环化合物可能是构成北京清真酱牛肉风味的重要挥发性物质。

**关键词:**清真, 酱牛肉, 香味, 固相微萃取, 气相色谱-质谱法

## Study on volatile flavor compounds of Beijing moslemic braised beef with soy sauce

ZANG Ming-wu, WANG Yu, HAN Kai, QIAO Xiao-ling\*

(China Meat Research Center, Beijing 100068, China)

**Abstract:** Volatile flavor compounds of traditional Chinese Beijing moslemic braised beef with soy sauce were analyzed by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) combined with GC-MS. Results indicated that total 78 volatile flavor compounds were identified including aldehydes (13 kinds), ketones (6 kinds), hydrocarbons (22 kinds), esters (7 kinds), ethers (4 kinds), alcohols (8 kinds), nitrogenous compounds, sulfurated compounds and heterocyclic compounds (18 kinds). The major volatiles identified were degradation products of fatty acids and volatile compounds from spice. Results showed that the important flavor compounds contributed to Beijing moslemic braised beef with soy sauce were possibly some aldehydes, terpenes, ethers, nitrogenous compounds, sulfurated compounds and heterocyclic compounds.

**Key words:** moslemic; braised beef with soy sauce; volatile flavor; SPME; GC-MS

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2010)08-0070-05

酱牛肉是我国具有代表性的传统肉制品,其特色是重用黄酱和香辛料,原料肉经预煮后再用香辛料和调味料加水煮制。酱牛肉产品酥软,风味浓郁,长久以来深受消费者的喜爱。根据不同的风味可分成几个分支,文献记载的具有代表性的酱牛肉产品主要有:北京酱牛肉、北京清真酱牛肉、香港酱牛肉、天津酱牛肉、天津南味酱牛肉、上海酱牛肉和赤峰酱牛肉<sup>[1]</sup>。其中北京清真酱牛肉风味独特,产品相对稳定,自清代以来,经久不衰。固相微萃取(Solid Phase Microextraction, SPME)集采样、萃取、浓缩、进样于一体,已经广泛应用于肉制品挥发性风味化合物的分析检测,在国内外的研究中都有大量报道<sup>[2-7]</sup>。刘源等采用固相微萃取对南京酱牛肉风味进行了初步研究<sup>[2]</sup>,其他有关顶空固相微萃取法研究酱牛肉风味鲜

有报道。本文采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术和气质联用技术(GC-MS)提取检测北京清真酱牛肉的挥发性风味成分,分析鉴定了挥发性风味物质,为确定主体香味成分以及稳定产品风味、改进生产工艺提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与仪器

原料肉 市售牛肩肉,五丰福成食品有限公司;辅料 食盐、白糖、酱油、白酒、味精、干黄酱、冰糖、黄酒(以上均为市售优质品)、香辛料、水等。

手动 SPME 进样器、75 $\mu$ m CAR/PDMS 萃取头 美国Supelco公司;GC-MS 气相色谱-质谱联用仪 QP2010 型,日本岛津公司;电子天平,夹层锅,低温冷藏柜,真空包装机等。

#### 1.2 实验方法

1.2.1 北京清真酱牛肉制备工艺 原料解冻→修整→分割→浸泡→预煮→煮制→冷却→包装→二次杀菌→冷藏

操作要点:原料采用水解冻,解冻至中心温度-2~4℃后进入下道工序;100℃预煮 30min;95℃煮

收稿日期:2009-07-02 \*通讯联系人

作者简介:臧明伍(1981-),男,硕士,工程师,研究方向:肉品科学和加工技术。

基金项目:国家科技部“十一五”科技支撑计划项目(2008BAD91B01)。

制 3h; 自然冷却; 85℃ 水浴加热 20min, 进行二次杀菌。检查包装无漏气, 入库冷藏。

1.2.2 样品制备 样品制备采用顶空-固相微萃取法, 将酱牛肉切碎, 取样品 10g 置于 20mL 密封顶空样品瓶, 60℃ 下恒温 1h。将经老化的 50/30μm DVB/CAR/PDMS 萃取头插入到样品瓶中, 推出纤维头, 注意不要使萃取头碰到肉样。在 60℃ 吸附 60min<sup>[8-9]</sup>, 随后抽回纤维头, 从样品瓶上拔出萃取头, 将萃取头插入气相色谱仪, 推出萃取头, 于 250℃ 解吸 10min, 抽回纤维头后拔出萃取头, 同时启动仪器采集数据。实验设 3 个重复。

1.2.3 色谱条件 色谱柱: DB-5MS 石英毛细管柱 (30m × 0.25mm × 0.25μm); 进样口温度: 250℃; 进样方式: 无分流 (保持 1min) 进样; 升温程序: 起始柱温 40℃, 保持 3min, 以 5℃/min 升至 150℃, 保留 1min; 再以 15℃/min 升至 270℃, 保留 1min, 检测温度 270℃。载气 (He) 纯度 ≥ 99.999%, 流速 1.50mL/min。

1.2.4 质谱条件 电子轰击 (EI) 离子源; 电子能量 70eV; 接口温度 250℃; 离子源温度 230℃; 溶剂延迟: 1.5min; 检测器电压: 1.2kV; 扫描质量范围: 30~400m/z。

1.2.5 定性定量方法 定性: 化合物经计算机检索同时与 NIST27 和 NIST147 数据库相匹配, 仅报道匹配度和纯度大于 800 (最大值 1000) 的化合物。定量: 相对百分含量按峰面积归一化法计算。

## 2 结果与分析

用 HS-SPME-GC-MS 法分析检测北京清真酱牛肉挥发性化合物的总离子流 (见图 1), 挥发性风味组分及其相对含量见表 1 和图 2。由表 1 和图 2 可知, 在本研究中北京清真酱牛肉中共检出 78 种挥发性化合物, 占总峰面积的 95.03%。其中醛类 13 种, 占总峰面积的 13.19%; 酮类 6 种, 占总峰面积的

3.07%; 烃类 22 种, 占总峰面积的 37.68%; 酯类 7 种, 占总峰面积的 1.86%; 醚类 4 种, 占总峰面积的 12.32%; 醇类 8 种, 占总峰面积的 9.62%; 含氮含硫及杂环化合物 18 种, 占总峰面积的 4.57%。由实验结果可以看出, 在北京清真酱牛肉挥发性化合物中鉴定出来的主要是脂质氧化和降解产物如醛类、酮类、烃类、酯类、醇类和呋喃类化合物, 以及香辛料的挥发成分如萜烯类香料和醚类化合物。

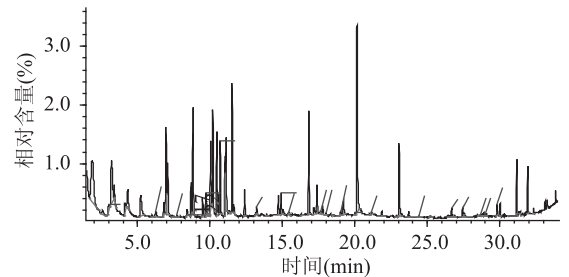


图 1 北京清真酱牛肉挥发性化合物总离子流图

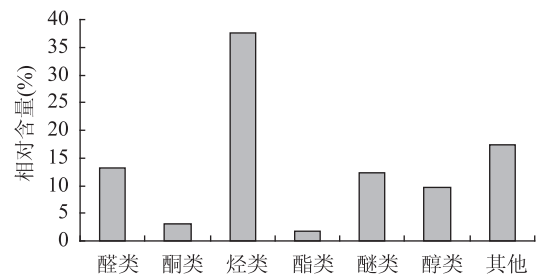


图 2 北京清真酱牛肉挥发性化合物种类及相对含量

## 3 讨论

肉类风味的主要前体物质主要可以分为两大类: 水溶性成分 (氨基酸、肽类、碳水化合物、核苷酸、硫酸素等) 和脂质。产生挥发性风味物质的主要反应是氨基酸和还原糖之间的美拉德反应和脂质的热降解<sup>[10]</sup>。

表 1 北京清真酱牛肉挥发性化合物 HS-SPME-GC-MS 分析

保留时间 (min)	化合物种类	面积	相对含量 (%)
醛类 (aldehydes)			
1.767	3-甲基丁醛 (Butanal, 3-methyl-)	8905206	7.78
2.575	戊醛 (Pentanal)	564648	0.49
5.217	正己醛 (Hexanal)	2356661	2.06
8.400	庚醛 (Heptanal)	390892	0.34
11.308	苯甲醛 (Benzaldehyde)	179834	0.16
11.633	辛醛 (Octanal)	427339	0.37
14.717	壬醛 (Nonanal)	1108712	0.97
17.625	癸醛 (Decanal)	129701	0.11
19.025	2-异-丙基苯甲醛 (2-Isopropylbenzaldehyde)	330051	0.29
21.150	4-甲氧基苯甲醛 (Benzaldehyde, 4-methoxy-)	209179	0.18
26.892	十三醛 (Tridecanal)	126380	0.11
28.958	十五醛 (Pentadecanal)	27143	0.02
30.025	十四醛 (Tetradecanal)	352665	0.31
酮类 (ketones)			
3.392	羟基丙酮 (2-Propanone, 1-hydroxy-)	731113	0.64
4.325	3-羟基-2-丁酮 (2-Butanone, 3-hydroxy-)	1811668	1.58
15.050	4-甲基-1-(1-甲基乙基) 二环 [3.1.0] 己烷-3-酮 (Bicyclo [3.1.0] hexan-3-one, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-)	239538	0.21

续表

保留时间 (min)	化合物种类	面积	相对含量 (%)
15.408	[1S-(1 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )]-4-甲基-1-(1-甲基乙基)二环[3.1.0]己烷-3-酮(Bicyclo[3.1.0]hexan-3-one, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-,[1S-(1.alpha.,4.beta.,5.alpha.)]-)	90615	0.08
24.408	(E)-6,10-二甲基-5,9-十一烷二烯-2-酮 (5,9-Undecadien-2-one,6,10-dimethyl-,(E)-)	45676	0.04
29.800	1-(2-羟基-4,6-二甲氧苯基)乙酮 (Ethanone,1-(2-hydroxy-4,6-dimethoxyphenyl)-)	600336	0.52
	烃类(hydrocarbons)		
3.008	辛烷(Octane)	425755	0.37
5.992	乙苯(Ethylbenzene)	246873	0.22
6.233	邻二甲苯(o-Xylene)	688808	0.60
6.950	$\alpha$ -水芹烯(alpha-Phellandrene)	5281148	1.39
7.067	$\alpha$ -蒎烯(alpha-Pinene)	3799963	3.32
7.392	1,3,5,7-环辛四烯(1,3,5,7-Cyclooctatetraene)	148885	0.13
7.708	莜烯(Camphene)	128845	0.11
8.692	$\beta$ -蒎烯(beta-Pinene)	1811972	1.58
8.825	4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-二环[3.1.0]己烷 (Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene-1-(1-methylethyl)-)	6358355	5.56
9.483	$\beta$ -月桂烯(beta-Myrcene)	1071673	0.94
9.725	$\alpha$ -水芹烯(alpha-Phellandrene)	1840734	1.61
10.192	4-萜烯((+)-4-Carene)	5349686	4.68
10.475	D-萜烯(D-Limonene)	4960001	4.33
10.692	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-二环[3.1.0]2-己烯 (Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,2-methyl-5-(1-methylethyl)-)	3787439	3.31
11.033	邻-异丙基苯(Benzene,1-methyl-2-(1-methylethyl)-)	3292005	2.88
11.517	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,4-环己二烯 (1,4-Cyclohexadiene,1-methyl-4-(1-methylethyl)-)	6473589	5.66
13.908	水化梨松烯(Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol,2-methyl-5-(1-methylethyl)-,(1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-)	94553	0.08
15.475	水化梨松烯(Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol,2-methyl-5-(1-methylethyl)-,(1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-)	112125	0.10
21.867	石竹烯(Caryophyllene)	263160	0.23
22.883	十五烷(Pentadecane)	170017	0.15
23.708	1,2-二甲氧基-4-(2-丙烯基)-苯(Benzene,1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-)	334801	0.29
25.233	十六烷(Hexadecane)	164768	0.14
	酯类(estere)		
18.458	5-甲基-6-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇乙酸酯 (3-Cyclohexen-1-ol,5-methylene-6-(1-methylethenyl)-,acetate)	27759	0.02
26.442	对羟基苯甲酸庚酯(Dimethyl phthalate)	106672	0.09
28.658	邻苯二甲酸二乙酯(Diethyl Phthalate)	26809	0.02
29.067	苯甲酸乙基己酯(Benzoic acid,2-ethylhexyl ester)	85839	0.08
31.167	邻苯二甲酸二异丁酯(1,2-Benzenedicarboxylic acid,bis(2-methylpropyl) ester)	1489843	1.30
31.417	苯甲酸(2,6-三甲基硅氧基)-三甲基硅烷基酯 (Benzoic acid,2,6-bis[(trimethylsilyl)oxy]-,trimethylsilyl ester)	68361	0.06
31.925	邻苯二甲酸二丁酯(Dibutyl phthalate)	1091533	0.29
	醚类(ethers)		
8.525	4-甲基苯甲醚(Benzene,1-methoxy-4-methyl-)	40135	0.04
17.383	对-烯丙基茴香醚(Anisole,p-allyl-)	1415970	1.24
20.142	茴香脑(Benzene,1-methoxy-4-(1-propenyl)-)	12093860	10.59
26.675	肉豆蔻醚(1,3-Benzodioxole,4-methoxy-6-(2-propenyl)-)	520536	0.45
	醇类(alcohols)		
11.108	桉树醇(Eucalyptol)	4007804	3.50
13.150	2-丙基-1-戊醇(2-Propyl-1-pentanol)	104872	0.09
14.908	芳樟醇(Linalool)	984477	0.86
16.300	顺-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇 (2-Cyclohexen-1-ol,1-methyl-4-(1-methylethyl)-,cis-)	78970	0.07

续表

保留时间 (min)	化合物种类	面积	相对含量 (%)
16.817	4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇 (3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-)	4803302	4.20
17.167	苯乙醇 (Phenylethyl Alcohol)	569673	0.50
17.775	$\alpha$ -松脂醇 (3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.4-trimethyl-)	407389	0.36
28.483	1,2-十九烷二醇 (1,2-Nonadecanediol)	42870	0.04
	含氮含硫及杂环化合物 (nitrogen compounds, sulfur compounds and heterocyclic compounds)		
3.192	二甲基二硫化物 (Disulfide, dimethyl)	5228979	4.57
4.117	嘞啶 (Pyridine)	718791	0.63
6.800	三甲基甲硅烷基氟化物 (Trimethylsilyl fluoride)	567124	0.50
9.917	2-戊基呋喃 (Furan, 2-pentyl-)	71415	0.06
10.033	二甲基三硫化物 (Dimethyl trisulfide)	4368956	3.82
12.383	1-甲基-4-(1-甲基乙缩醛)环己烯 (Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-)	1367553	1.20
13.217	甲氧基-苯基-肟 (Oxime-, methoxy-phenyl-)	305981	0.27
17.667	硅氧烷 (Siloxanes)	103575	0.09
18.017	二甲基四硫化物 (Tetrasulfide, dimethyl)	117760	0.10
19.200	苯并噻唑 (Benzothiazole)	1145183	1.00
19.992	黄樟脑 (Safrole)	142787	0.12
21.017	硅氧烷 (Siloxanes)	49748	0.04
23.050	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚 (Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-)	4458426	3.90
27.433	2-甲氧基-4-(2-丙烯基)-苯酚乙酸酯 (Phenol, 2-methoxy-4-(2-propenyl)-, acetate)	556807	0.49
27.533	5-烯丙-1,2,3-三甲氧苯 (Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl)-)	358777	0.31
28.800	1-碘-十三烷 (Tridecane, 1-iodo-)	65805	0.06
30.667	环氧基十七烷 (Oxirane, heptadecyl-)	28153	0.02
32.333	硅氧烷 (Siloxanes)	126922	0.11

肉类风味中的醛主要来源于脂质氧化和降解,斯特雷克氨基酸反应也是其重要来源之一。醛的阈值一般很低,具有脂肪香味,是肉品香味的主要构成部分<sup>[11]</sup>。几种斯特雷克氨基酸反应醛是已知的熟牛肉的香味成分,如乙醛(来自丙氨酸)、甲基丙醛(来自缬氨酸)、2-甲基丁醛(来自异亮氨酸)、3-甲基丁醛(来自亮氨酸)、苯乙醛(来自苯丙氨酸)和甲硫醛,它们很容易分解为甲基硫醇、二甲基硫、二甲基二硫和丙烯醛(来自蛋氨酸)。高含量的低分子量醛类物质与牛肉的风味强度有关,特别是带支链的醛类。本研究中共检测出13种醛类物质,这些醛在国外同类研究中已有报道,其中值得注意的是3-甲基丁醛、正己醛和癸醛。具有支链的3-甲基丁醛来自亮氨酸的斯特雷克氨基酸反应<sup>[10]</sup>;正己醛具有清香青草气味,来自 $\omega$ -6不饱和脂肪酸<sup>[12-13]</sup>;癸醛具有甜橙和橘子香气<sup>[14]</sup>。

脂质氧化和降解的另一主要产物是酮。羰基化合物对形成肉风味也极为重要,许多学者指出不同风味间的差异主要来自羰基化合物的定性定量差异<sup>[15]</sup>。本研究中共检测出6种酮类物质,其中羟基丙酮和3-羟基-2-丁酮含量较多。这两种化合物也有可能是美拉德反应第二阶段中二羰基和羟基羰基碎裂作用的产物<sup>[10]</sup>。

烃类(除萜烯类化合物)来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,如辛烷、乙苯和邻二甲苯等。醇类来源于脂肪的氧化降解,醇和脂肪酸缩合形成酯。一般认为,除内酯和硫酸酯以外的酯阈值较高,酯类以油香气

息占主导。本研究中检测出较多的烃类、醇类以及酯类,但烃类(除萜烯类化合物)、醇类和酯类等香味阈值较高,对牛肉香气贡献不大。但部分化合物是形成杂环化合物的重要中间体,对形成肉香具有不可忽视的基底作用<sup>[15]</sup>。

本研究检出10种萜烯类化合物,这与酱牛肉煮制过程中添加的多种香辛料有密切关系。这些萜烯类化合物气味强烈,呈味阈值较低<sup>[16]</sup>,可能对北京清真酱牛肉的风味有重要贡献。 $\alpha$ -水芹烯、 $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\beta$ -月桂烯、 $\alpha$ -水芹烯、4-萜烯、D-萜烯、水化梨松烯、石竹烯等是酱牛肉加工过程中添加的辅料如肉豆蔻、生姜、大料、肉桂、花椒、丁香和砂仁等的挥发性成分。肉豆蔻挥发性成分含有 $\alpha$ -蒎烯、蒎烯和4-萜烯等;生姜挥发性成分中含蒎烯;大料挥发性成分含 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\alpha$ -水芹烯、D-萜烯等,大料是酱牛肉的主要香辛料;肉桂挥发性成分含 $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、D-萜烯等;花椒挥发性成分含 $\alpha$ -水芹烯、D-萜烯;白芷挥发性成分含石竹烯;砂仁挥发性成分含 $\alpha$ -蒎烯、蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、4-萜烯、D-萜烯等<sup>[17]</sup>。

本研究中检出4种醚类,其中茴香脑是八角茴香、大茴香、小茴香的主要成分,具有茴香气,并带甜味,也是产生酱香的主要物质,而浓郁丰富的香辛料风味正是酱牛肉特色之一。可以判断,它对北京清真酱牛肉特征风味作用很大,具有相当的代表性<sup>[18]</sup>。

含氮含硫及杂环化合物阈值较低,是肉品最重  
(下转第357页)



结果表明:桔子原汁中葡萄糖、果糖、蔗糖、柠檬酸的测定结果接近真实值。本方法具有操作简便、快速,重现性好、准确度高等优点,为蜜桔、砂糖桔和赣南橙等混合体系中葡萄糖、果糖、蔗糖、柠檬酸的测定提供了一种简单、可行的方法。

### 参考文献

- [1] 王建壮,安洁,吕华冲.植物多糖含量测定的方法学研究[J].海峡药学,2008,20(5):48-50.  
[2] 汤灿辉,彭新君,文礼章,等.蒽酮-硫酸比色法测定三叶虫茶中总糖的含量[J].湖南中医药大学学报,2008,28(5):38-40.

(上接第73页)

要的风味呈味物<sup>[19]</sup>。它们来源于氨基酸和还原糖之间的美拉德反应、氨基酸(如脯氨酸)的热解及硫胺素的热解,多数具有肉香味。本研究在北京清真酱牛肉中检出的含氮含硫及杂环化合物共18种。其中二甲基二硫化合物、2-戊基呋喃、二甲基三硫化合物为主要成分。含硫化合物是含硫氨基酸热降解产生的,如二甲基二硫化合物是由半胱氨酸降解产生的,二甲基三硫化合物是由蛋氨酸降解产生的,这些含硫直链化合物是葱属植物的特征嗅感物。2-戊基呋喃是亚油酸氧化产物<sup>[16]</sup>,阈值相对较低(大约为4ppb),具有蔬菜芳香,作为肉品脂质氧化的指标物可能对肉品的整体风味作用巨大。

## 4 结论

4.1 采用HS-SPME-GC-MS在北京清真酱牛肉中共鉴定出78种风味化合物,其中醛类13种、酮类6种、烃类22种、酯类7种、醚类4种、醇类8种、含氮含硫及杂环化合物18种。

4.2 脂肪氧化降解产物醛类和香辛料挥发成分萜烯类、醚类以及含硫含氮化合物及杂环化合物是北京清真酱牛肉中鉴定出的主要挥发性风味化合物,可能对其特征风味贡献巨大。其中茴香脑是北京清真酱牛肉具有代表性的特征风味。北京清真酱牛肉中挥发性化合物对成品风味特征的贡献,有待于进一步全面细致的研究。

### 参考文献

- [1] 石永福,张才林,黄德志,等.肉制品配方1800例[M].北京:中国轻工业出版社,1999.  
[2] 刘源,徐幸莲,周光宏.南京酱牛肉风味研究初报[J].江苏农业科学,2004(5):101-104.  
[3] 刘源,周光宏,徐幸莲,等.南京盐水鸭挥发性风味化合物的研究[J].食品科学,2006,27(1):166-171.  
[4] 李宗军.侗族发酵酸肉(Nanx wudl)的微生物菌系及其挥发性风味成分研究[D].南京:南京农业大学,2002.  
[5] 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

- [3] 倪德翻.电位滴定法测定葡萄酒中还原糖含量的研究[J].食品工程,2007(3):61-63.  
[4] 赵阳楠,常继东.苯酚硫酸法和间接碘法测定灵芝多糖含量比较[J].食用菌,2007(3):58-60.  
[5] 赵凯,许鹏举,谷广辉.3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J].食品科学,2008,29(8):534-536.  
[6] 郭瑛,肖朝萍,王红.高效液相色谱法测定乌梅有机酸[J].分析化学,2004,32(12):1624-1626.  
[7] 杜曦,周锡兰,余录,等.葡萄及葡萄酒中有机酸测定的衍生化气相色谱法[J].酿酒,2008,25(3):82-84.  
[8] 荣国斌译,朱士正校.波谱数据表—有机化合物的结构解析[M].上海:华东理工大学出版社,2002:152-237.

Fragrance Journal,2001,16(4):294-302.

- [6] Ruiz J, Ventanas J, Cava R. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 49(11): 5115-5121.  
[7] Guillen M D, Salmeron J, Casas C. Volatile and less volatile components in Spanish smoked sausage studied by spme and GC/MS. role of the casing in the smoking process [A] // 48th ICoMST - Rome, 2002(2): 812-813.  
[8] Machiels D, Istasse L. Solid phase microextraction for the isolation of volatile flavor compounds in cooked beef meat [C]. 48th ICoMST-Rome, 2002(1): 262-263.  
[9] 田怀香,王璋,许时婴.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分离鉴定金华火腿的挥发性风味物质[J].色谱,2006,24(2):177-180.  
[10] 夏海迪(Shahidi, F.)著.肉制品与水产品的风味[M].李洁,朱国斌译.北京:中国轻工业出版社,2001.  
[11] Mottram D S. Flavor formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.  
[12] Elmore J S, Mottram D S, Enser M, 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: 1619-1625.  
[13] Gasser U, Grosch W. Identification of volatile flavor compounds with high aroma values from cooked beef [J]. Z. Lebensm. Unters. Forsch., 1988, 186: 489-494.  
[14] 易封萍,毛海舫.合成香料工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,2007.  
[15] 吴昊,许时婴.牛肉风味料的香气成分[J].无锡轻工大学学报,2000,20(2):158-163.  
[16] Forss D A. Odor and flavor compounds from lipids [J]. Progress in the Chemistry of Fats & Other Lipids, 1972, 13(4): 181-258.  
[17] 林进能,等.天然食用香料生产与应用[M].中国轻工业出版社,1991.  
[18] 张纯,张智勇,平田孝.动态顶空进样法分析月盛斋酱牛肉等挥发性风味组分[J].食品与发酵工业,1992(4):47-53.  
[19] 李建军,文杰,陈继兰,等.烘烤鸡肉挥发性风味物的微捕集和GC-MS分析[J].分析测试学报,2003,22(1):58-61.