

宁夏滩羊肉的特征香气成分分析

李伟, 罗瑞明, 李亚蕾, 杨波
(宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

摘要: 为探明宁夏滩羊肉的特征香气成分, 采用顶空固相微萃取法 (HS-SPME) 提取滩羊肉的挥发性风味物质, 结合气质联用技术 (GC-MS) 和气相色谱-嗅闻技术 (GC-O) 对其挥发性风味物质和主体风味物质进行分析。试验选取 75 μm CAR/PDMS 萃取头、60 $^{\circ}\text{C}$ 萃取温度、30 min 萃取时间, 萃取物经 GC-MS 和 GC-O 分析, 鉴定出 43 种挥发性化合物, 其中烃类 5 种、醛类 12 种、酮类 5 种、醇类 6 种、酸类 6 种、酯类 7 种、杂环类 (含硫、含氮或含氧) 2 种。确定对宁夏滩羊肉风味贡献较大的物质分别为己醛、庚醛、己酸乙酯、壬醛、1-壬醇和肉豆蔻酸。

关键词: 宁夏滩羊肉; 顶空固相微萃取; 气质联用; 气相色谱-嗅闻; 挥发性风味物质

文章编号: 1673-9078(2013)5-1173-1177

Analysis of Characteristic Aroma Compounds of Ningxia Tan Mutton

LI Wei, LUO Rui-ming, LI Ya-lei, YANG Bo
(Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To research characteristic aroma compounds of Ningxia Tan mutton, the volatile compounds in the mutton was extracted by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and gas chromatography-olfactometry (GC-O). The optimum pre-extraction conditions for mutton samples were determined as 75 μm CAR/PDMS, 60 $^{\circ}\text{C}$ and 30min. Totally 43 volatile flavor compounds were then identified by GC-MS and GC-O, including 5 hydrocarbons, 12 aldehydes, 5 ketones, 6 alcohols, 6 acids, 7 ester and 2 cyclo-compounds. Among these volatile flavor compounds, hexanal, heptanal, hexanoic acid-ethyl ester, nonanal, 1-nonanol and tetradecanoic acid made a greater contribution to the flavor of Ningxia Tan mutton.

Key words: Ningxia Tan mutton; headspace solid-phase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); gas chromatography-olfactometry (GC-O); volatile flavor compounds

滩羊是我国独特的名贵裘肉兼用型绵羊品种, 为宁夏优势特色畜种, 其肉质细嫩鲜美, 脂肪分布均匀, 营养丰富, 风味独特^[1-2]。近年来, 宁夏清真食品产业发展迅猛, 特别是清真羊肉制品, 呈现出其品种多样化、产品优质化等特点。测定食品香气成分的方法中最有效的是气质联用法, 梁茂雨^[3]等用 GC-MS 分析了红提葡萄中的香气, 江健^[4]等用气质联用法分析淡水鱼肉气味成分。有关羊肉挥发性风味物质的研究已有报道, 如 Ramarathnam 等^[5]发现在牛、羊、猪和禽肉中共有 1000 多种挥发性风味物; 羊肉中已报道的挥发性香味物质有 10 种醛、3 种酮和 1 种内酯, 包括烷烃、醛、酮、醇、内酯及杂环化合物^[6]。对宁夏滩羊肉某个部位的挥发性化合物的研究工作也有报道, 杨晓燕^[7]等用固相微萃取技术结合气相色谱/质谱联用 (GC-MS) 分析了宁夏滩羊背最长肌挥发性风味成分; 赵万余等^[8]用固相微萃取技术结合气相色谱/质谱联用 (GC-MS) 分析了宁夏滩羊不同部位肉中挥发性化合物, 但至今尚未见有关宁夏滩羊肉特征香气成分

的研究报道。

本文采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 提取宁夏滩羊肉的挥发性风味物质, 并优化了顶空固相微萃取的条件; 利用气质联用法 (GC-MS) 分离、鉴定宁夏滩羊肉中的挥发性化合物。然而食品中的大量挥发性化合物中只有小部分对风味有贡献, 因此在香气分析中如何在众多挥发性物质中区分出少数致香化合物是研究的关键所在^[9]。气质联用法 (GC-MS) 无法确定单个风味活性物质对整体风味贡献的大小, 而气相色谱-嗅闻测量法 (GC-O) 却能解决上述问题^[10-11]。故结合相色谱-嗅闻技术 (GC-O) 确定宁夏滩羊肉的特征香气成分, 为更深入的研究宁夏滩羊独特风味的化学本质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

滩羊肉: 购自于宁夏盐池县保种场。屠宰后, 分别取脖颈、胸腹、腿臀、腰脊、肋排肉各 100 g, 分别置于密封袋于 -80 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存待分析。

收稿日期: 2012-12-17

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪, Finnigan Trace MS (美国 Finnigan 公司制造); 手动 SPME 进样器, 75 μm 碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(CAR/PDMS)萃取头(美国 Supelco 公司制造); 嗅闻仪 ODP, 德国 Gerstal 公司; 水浴箱, DS-II 型电热三用恒温水浴箱; FA 系列电子天平, 上海方瑞仪器有限公司; 电磁炉, 美的 SK2105; 蒸煮锅。

1.3 方法

1.3.1 HS-SPME 提取挥发性风味物质

在提取挥发性风味物质之前, 先对 HS-SPME 的萃取条件进行优化, 确定出最佳的萃取头、萃取温度和萃取时间。

样品自然解冻, 取煮熟的脖颈、胸腹、腿臀、腰脊、肋排肉各 1 g (共约 5 g), 切碎并混合均匀后装入顶空瓶内, 加入 20% 氯化钠 (分析纯), 迅速摇匀并密封, 然后封置于 60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴箱 1 h, 将老化后的 75 μm CAR/PDMS 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 50 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min, 同时启动仪器采集数据。

1.3.2 GC-MS 定性定量挥发性风味物质

色谱条件: 毛细管柱为 DB-WAX 柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm); 进样口 250 $^{\circ}\text{C}$, 接口 250 $^{\circ}\text{C}$, 起始柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 80 $^{\circ}\text{C}$, 再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$, 保持 7 min; 载气为 He, 柱流速为 0.8 mL/min, 不分流。

质谱条件: 电离方式 EI⁺; 电子能量 70 eV; 离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$; 检测器电压 350 $^{\circ}\text{C}$; 灯丝发射电流 200 μA ; 扫描质量范围 32.60~373.40 (m/z)。

定性分析: 未知化合物经计算机检索的同时与 NIST 谱库 (107000 个化合物的数据) 和 Wiley 谱库 (320000 个化合物的数据, Version 6.0) 相匹配, 只有当正反匹配度均大于 800 (最大值为 1000) 的鉴定结果才予以确认。

定量分析: 各化合物的相对百分含量按峰面积归一法进行定量。

1.3.3 GC-O 鉴定主体风味物质

GC-O 系统由配有 FID 检测器的 Agilent 6890 GC 装置及嗅闻装置组成。毛细管柱为 DB-WAX 柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm , Agilent)。载气为 He, 柱流速为 0.8 mL/min, 进样口 250 $^{\circ}\text{C}$, 柱箱升温程序与 GC-MS 一致。流出物在毛细管末端以 1:1 的分流比分别流入 FID 和 ODP。

由 3 个有经验的感官评价员进行 GC-O 实验, 在实验过程中至少要有两名感官评价员在同一嗅闻时间处

能得到相同的感官描述才将该记录记入最终结果。感官评价员不仅要描述化合物的气味性质, 还要确定化合物的气味强度。香气强度分为 I、II、III、三个等级, “I” 表示该化合物香气微弱, “II” 表示该化合物香气中等, “III” 表示该化合物香气较强^[12]。

2 结果与分析

2.1 HS-SPME 条件优化

2.1.1 萃取头的选择

不同材质的萃取头对不同化合物的萃取率不同, 故萃取头的选择对宁夏滩羊肉中挥发性化合物的分析结果有一定影响。本试验选用了 100 μm PDMS (红色)、75 μm CAR/PDMS (黑色) 和 85 μm CAR/PDMS (浅蓝色) 3 种萃取头在相同的条件下对宁夏滩羊肉挥发性风味物质进行分析, 分析结果见表 1。对比分析结果, 发现黑色萃取头萃取效果较好, 且有效峰较多, 故选取 75 μm CAR/PDMS 为顶空固相微萃取的萃取头。

表 1 3 种萃取头的萃取效果

Table 1 Extraction efficiencies of three SPME fibers

序号	萃取头/颜色	总峰面积/ $\times 10^8$	有效峰数量/个
1	红色	5.48	31
2	黑色	7.25	43
3	浅蓝色	6.89	37

2.1.2 萃取温度的选择

选用 75 μm CAR/PDMS 作为萃取头, 在吸附时间为 30 min, 在不添加其他物质的条件下对萃取温度进行优化。

萃取温度对色谱峰面积及有效峰数量的影响见表 2。

表 2 萃取温度对测试结果的影响

Table 2 The effect of extraction time on the detection results

萃取温度/ $^{\circ}\text{C}$	总峰面积/ $\times 10^8$	有效峰数量/个
50	5.86	35
60	7.48	44
70	8.13	41

由表 2 可知, 随着温度的升高, 萃取的挥发性化合物的含量增多, 原因是挥发性化合物在高温下容易挥发, 萃取量增加; 挥发性化合物的种类数目先增加在减少, 当温度高于 60 $^{\circ}\text{C}$ 时, 醇类物质和酸类物质的挥发量增加, 占据了萃取头上的吸附位点, 使部分在低温时能被吸附的酯类物质不能被吸附, 导致萃取得到的挥发性化合物种类数目减少。综合以上因素, 选取 60 $^{\circ}\text{C}$ 为萃取温度。

2.1.3 萃取时间的选择

选用 75 μm CAR/PDMS 作为萃取头, 萃取温度为

60 °C在不添加其他物质的条件下对萃取时间进行优化。时间对色谱峰面积及有效峰数量的影响见表3。

表3 萃取时间对测试结果的影响

Table 3 The effect of extraction temperature on the detection results

萃取时间/min	总峰面积/ $\times 10^8$	有效峰数量/个
20	5.67	39
30	7.18	43
40	6.52	41

由表3可知,随萃取时间的增加,色谱的峰面积和有效数量都上升。当萃取时间超过30 min时,色谱的峰面积和有效数量都下降。因为吸附在萃取头上的易挥发性物质随萃取时间的延长得到了解析。当萃取时间为30 min时,萃取达到平衡,得到色谱的峰面积和有效数量都达到最大。因此,选取30 min为萃取时间。

2.2 GC-MS测定宁夏滩羊肉中挥发性风味物质

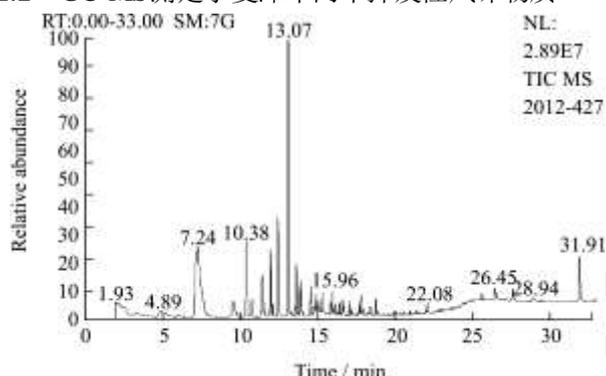


图1 宁夏滩羊肉中挥发性风味物质总离子流色谱图

Fig.1 TIC chromatogram of volatile flavor compounds in Ningxia Tan mutton

应用 HS-SPME 的最佳条件,对宁夏滩羊肉的挥发性风味物质进行 GC-MS 分析,得到总离子流色谱图如图1所示。共鉴定出43种挥发性风味物质,见表4。其中烃类5种、醛类12种、酮类5种、醇类6种、酸类6种、酯类7种、杂环类(含硫、含氮或含氯)2种。从相对百分含量上看,烃类化合物占2.73%,醛类化合物占50.50%,酮类化合物占6.41%,醇类化合物占9.50%,酸类化合物占9.66%,酯类化合物占11.74%,杂环类化合物占3.83%。对表4的分析如下:

(1) 烃类化合物主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,其中正构烷烃可能来自支链脂肪酸的氧化。通常认为烃类化合物的香味阈值较高,对肉味的直接贡献不大,但它们可能有助于提高肉品的整体风味^[13]。

(2) 醛类化合物主要来源于脂肪的氧化^[14]。醛类具有脂肪的香味,是肉品的特征风味物质。

表4 滩羊肉中挥发性风味物质的 GC-MS 分析结果

Table 4 GC-MS results of volatile flavor compounds in Ningxia

Tan mutton				
保留时间	分子式	化合物名称	相对含量/%	种类
4.89	C ₄ H ₈ O	2-丁酮	2.03	酮
7.19	C ₆ H ₁₂ O	己醛	22.22	醛
9.53	C ₇ H ₁₄ O	庚醛	3.45	醛
9.75	C ₁₂ H ₂₆	十二烷	0.34	烃
10.33	C ₈ H ₁₆ O ₂	己酸乙酯	7.77	酯
10.65	C ₁₉ H ₄₀	十九烷	0.32	烃
10.74	C ₅ H ₁₂ O	戊醇	1.37	醇
11.32	C ₄ H ₈ O ₂	3-羟基-2-丁酮	0.30	酮
11.43	C ₈ H ₁₆ O	辛醛	3.88	醛
11.94	C ₇ H ₁₂ O ₂	2,5-辛二酮	4.08	酮
12.09	C ₉ H ₁₈ O ₂	庚酸乙酯	0.79	酯
12.44	C ₆ H ₁₄ O	己醇	5.32	醇
13.07	C ₉ H ₁₈ O	壬醛	15.86	醛
13.31	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	己酸丁酯	0.35	酯
13.56	C ₈ H ₁₄ O	反-2-辛烯醛	0.37	醛
13.62	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	辛酸乙酯	1.95	酯
13.85	C ₈ H ₁₆ O	1-辛烯-3-醇	1.13	醇
13.93	C ₂ H ₂ O ₂	乙酸	1.79	酸
14.06	C ₅ H ₄ O ₂	糠醛	0.28	醛
14.55	C ₁₀ H ₂₀ O	癸醛	1.30	醛
14.90	C ₇ H ₆ O	苯甲醛	1.07	醛
15.03	C ₉ H ₁₄ O	顺-2-壬烯醛	0.71	醛
15.31	C ₈ H ₁₆	Cyclopropane,pentyl-	1.17	烃
15.82	C ₁₆ H ₃₄	十六烷	0.45	烃
15.96	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	己酸己酯	0.88	酯
16.04	C ₈ H ₁₆ O	反-2-辛烯-1-醇	0.32	醇
16.40	C ₁₀ H ₁₈ O	反-2-癸烯醛	0.42	醛
16.59	C ₉ H ₂₀ O	1-壬醇	0.94	醇
16.67	C ₁₆ H ₃₃ Cl	氯代十六烷	0.39	杂
17.04	C ₁₇ H ₃₆	十七烷	0.45	烃
17.69	C ₁₁ H ₂₀ O	2-十一烯醛	0.37	醛
17.79	C ₄ H ₄ O ₂	2(5H)-呋喃酮	0.94	酮
18.39	C ₁₁ H ₂₂ O	十一醛	0.85	醛
18.74	C ₆ H ₁₂ O ₂	己酸	0.57	酸
18.81	C ₁₃ H ₂₂ O	香叶基丙酮	0.19	酮
20.00	C ₁₁ H ₂₄ O	十一醇	0.42	醇
24.68	C ₁₂ H ₂₄ O ₆	18-冠醚-6	0.25	杂
25.59	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	邻苯二甲酸二异丁酯	0.28	酯
26.45	C ₄ H ₆ O ₃	(+/-)-β-羟基-γ-丁内酯	1.50	酯
27.60	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	肉豆蔻酸	1.28	酸
28.94	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	反油酸	0.93	酸
29.48	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	十五烷酸	0.20	酸
31.91	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	棕榈酸	4.89	酸

Noleau 等^[15]指出,醛(特别是烯醛和二烯醛)是鸡脂肪受热时的特征呈香物质。Mottram D S 研究表明,醛类一般阈值很低,可能构成肉品的特征风味^[16]。本试验检测到宁夏滩羊肉中醛类 12 种,其相对含量由高到低依次为己醛、壬醛、辛醛、庚醛、癸醛、苯甲醛、十一醛、顺-2-壬烯醛、反-2-癸烯醛、反-2-辛烯醛、2-十一醛和糠醛。己醛是肉中脂肪酸自动氧化最重要的产物,易产生刺激性的、不愉快的、腐败和辛辣的味道;辛醛和壬醛是油酸氧化的产物,具有水果香气;顺-2-壬烯醛是亚油酸的主要挥发物氧化的产物,具有甜香味;反-2-癸烯醛是聚不饱和脂肪酸氧化的主要产物之一,具有青草香和松香味。

(3) 酮类化合物是脂肪氧化的主要产物之一,其相对含量少。本试验检测到宁夏滩羊肉中的酮类主要为 2-丁酮、3-羟基-2-丁酮、2,5-辛二酮、2(5H)-呋喃酮和香叶基丙酮。酮类阈值较高,对肉风味的贡献不大。

(4) 醇类化合物的阈值较高,一般对于食品的风味贡献较小^[17]。本试验检测到宁夏滩羊肉中的醇类化合物中戊醇、己醇、1-辛烯-3-醇、反-2-辛烯-1-醇、和十一醇对于滩羊肉的风味贡献较小,只有 1-壬醇对滩羊肉的风味贡献较大。

(5) 酸类化合物,尤其是挥发性脂肪酸是致羊肉特殊的风味(膻味)的主要原因。国内研究认为,己酸、辛酸和癸酸等直链脂肪酸的组合效应形成了羊肉独特的膻味;国外研究表明,挥发性支链脂肪酸中的 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸对羊肉膻味有重要作用^[18]。本试验到乙酸、己酸、肉豆蔻酸、反油酸、十五烷酸和棕榈酸,故宁夏滩羊并无强烈的膻味。

(6) 酯类化合物是由脂肪氧化产生的醇和游离的脂肪酸相互作用形成的^[19]。Grosch^[20]在鸡汤中鉴定出的 γ -十二内酯,是对鸡肉味有重要贡献的化合物。本试验从宁夏滩羊中分离出己酸乙酯、庚酸乙酯、己酸丁酯、辛酸乙酯、己酸己酯、邻苯二甲酸二异丁酯和 (+/-)- β -羟基- γ -丁内酯。

2.3 GC-O 鉴定宁夏滩羊肉的特征香气成分

表 5 宁夏滩羊肉中挥发性风味物质 GC-O 分析结果

Table 5 GC-O results of volatile flavor compounds in Ningxia

Tan mutton			
序号	化合物名称	气味描述	气味强度
1	2-丁酮	具有辛辣味	I
2	己醛	具有弱果香,酸败气味	III
3	庚醛	具有脂肪的酸腐味	III
4	己酸乙酯	有果香和酒香的香气	III
5	戊醇	有青草味	I
6	3-羟基-2-丁酮	具有脂肪、奶油的香气	II

7	辛醛	有水果香气	II
8	庚酸乙酯	有水果香气	II
9	己醇	具有水果芬芳香气	I
10	壬醛	有强烈的脂肪气味	III
11	己酸丁酯	有菠萝香味	II
12	反-2-辛烯醛	有水果香、甜味	II
13	辛酸乙酯	有玫瑰香	II
14	1-辛烯-3-醇	具有青草香、水果香	I
15	乙酸	具有醋酸味	II
16	糠醛	有大蒜香、肉味	II
17	癸醛	具有脂肪酸败气味	II
18	苯甲醛	有苦杏仁味	I
19	顺-2-壬烯醛	具有甜香味	II
20	己酸己酯	有水果香	II
21	反-2-辛烯-1-醇	有青草香、果香	I
22	反-2-癸烯醛	具有青草香、松香味	II
23	1-壬醇	具有橙香、油脂味	III
24	2-十一烯醛	有脂香、烟味	II
25	十一醛	有水果香、甜味	II
26	己酸	有汗臭味	II
27	香叶基丙酮	有青草香、果香	I
28	十一醇	有甜味	I
29	肉豆蔻酸	有强烈的奶香味	III
30	反油酸	有油脂气味	I
31	棕榈酸	具有酸奶香味	II

注:“I”表示气味微弱;“II”表示气味中等;“III”表示气味较强。

对已鉴定的宁夏滩羊肉中 43 种挥发性化合物进行 GC-O 实验分析,见表 5,发现 31 种化合物具有明显的气味,其中 6 种物质对宁夏滩羊肉的风味有较大贡献,因此确定其为宁夏滩羊肉的特征香气成分。他们分别为己醛(具有弱果香,酸败气味)、庚醛(具有脂肪的酸腐味)、己酸乙酯(具有果香和酒香香气)、壬醛(有强烈的脂肪气味)、1-壬醇(具有橙香、油脂味)和肉豆蔻酸(有强烈的奶香味)。

3 结论

本试验以色谱峰面积及色谱峰数量为判定指标,对顶空固相微萃取(HS-SPME)的条件进行优化,得到最佳条件,即 75 μ m CAR/PDMS 萃取头、60 $^{\circ}$ C 萃取温度和 30 min 萃取时间。在此条件下提取宁夏滩羊肉的挥发性风味物质,经 GC-MS 分析,鉴定出 43 种挥发性化合物,再对其进行 GC-O 实验分析,结果表明:宁夏滩羊肉 43 种挥发性风味物质中,有 31 种化合物具有明显的气味,其中己醛(具有弱果香,酸败

气味)、庚醛(具有脂肪的酸腐味)、己酸乙酯(具有果香和酒香香气)、壬醛(有强烈的脂肪气味)、1-壬醇(具有橙香、油脂味)和肉豆蔻酸(有强烈的奶香味)这6种物质对宁夏滩羊肉的风味有较大贡献,因此确定其为宁夏滩羊肉的特征香气成分。

参考文献

- [1] 杨秀芳.宁夏盐池滩羊品种资源的保护现状及发展建议[J].调查研究,2006,26(6):36
- [2] 赵晓勇,牛文智.宁夏滩羊发展现状的分析与思考[J].中国食草动物,2008,28(1):50
- [3] 梁茂雨,陈怡平,纵伟.红提葡萄中香气成分的GC-MS分析[J].现代食品科技,2007,23(5):79
- [4] 江健,王锡昌,陈西瑶.顶空固相微萃取与GC-MS联用法分析淡水鱼肉气味成分[J].现代食品科技,2006,22(2):219
- [5] Ramarathnam N, Rubin L J, Diosady L L. Studies on meat flavor: Fr actionation, characterization, and quantitation of volatiles from uncured and cured beef and chicken. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 1993, 41(6): 939-945
- [6] Sutherland M M, Ames J M. The effect of castration on the headspace aroma components of cooked lamb. *Journal of Science Food Agriculture*, 1995, 69: 403-413
- [7] 杨晓燕,刘顺德,陈海燕,等.宁夏滩羊背最长肌挥发性风味成分的初步定性定量分析[J].养殖与饲料,2008,4:17-18
- [8] 赵万余,李爱华.宁夏滩羊不同部位肉中挥发性风味物质分析[J].安徽农业科学,2012,40(5):2725-2727
- [9] 宋国新,余应新,王林祥等.香气分析技术与实例[M].北京:化学工业出版社,2008
- [10] 张青,王锡昌,刘源.GC-O 法在食品风味分析中的应用[J].食品科学,2009,30(3):284
- [11] 侯园园,王兴国,刘元法.GC-O 与 GC-MS 结合鉴定天然乳脂风味中的特征致香成分[J].食品工业科技,2008,29(3):143
- [12] 谢章斌,范亚苇,邓泽元,等.SDE联合GC-MS与GC-O分析鹅肥肝挥发性风味物质[J].食品科学,2011,32(24):221
- [13] 江新业,宋焕禄,夏玲君.GC-O/GC-MS 法鉴定北京烤鸭中的香味活性化合物[J].中国食品学报,2008(4):161
- [14] Xie J C, Sun B G, Zheng F P, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109: 506-514
- [15] Noleau I, Toulemonde B. Volatile components of roast chicken fat [J]. *Lebensm. Wiss. Technol*, 1987, 20(1): 37-41
- [16] Mattram D S. Flavor formation in meat and meat products: a review [J]. *Food Chem*, 1998, 62(4): 415-424
- [17] 冯倩倩,胡飞,李平凡.SPME-GC-MS 分析罗非鱼体中挥发性风味成分[J].食品工业科技,2012,33(6):69
- [18] 韩卫杰,杨慧玲,陈玉林.不同绵羊品种脂肪组织中挥发性脂肪酸的组成分析[J].西北农林科技大学学报,2009,37(12):40
- [19] 丁云连,范文来,徐岩,等.老白干香型白酒香气成分分析[J].酿酒,2008,35(40):109-113
- [20] Gasser U, Grosch W. Primary odourants of chicken broth [J]. *Z. Lebensm. Unters. Forsch*, 1990, 190: 3-8