

同时蒸馏萃取-气质联用分析三全梅菜扣肉的挥发性风味成分

程 玥, 徐晓兰, 张 宁, 陈海涛*, 孙宝国, 黄明泉

(北京工商大学食品学院, 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 北京 100048)

摘要:采用同时蒸馏萃取法提取三全牌梅菜扣肉中的挥发性香气成分,并采用气质联用法对香气成分进行分离鉴定。结果共鉴定出57种风味化合物,其中烃类10种(相对含量3.5117%)、醇类6种(相对含量46.9174%)、醛类19种(相对含量13.5089%)、酮类4种(相对含量0.7795%)、酯类4种(相对含量5.5572%)、醚类1种(相对含量0.1286%)、酸类4种(相对含量0.8347%)、酚类2种(相对含量0.1310%)、含氮含硫及杂环化合物7种(相对含量3.1580%)。其中醛类、醚类、含氮含硫以及杂环化合物是三全牌梅菜扣肉的重要挥发性成分。

关键词:三全梅菜扣肉; 挥发性成分; 同时蒸馏萃取; 气相色谱-质谱法

Analysis of Volatile Compounds in Sanquan Braised Pork with Preserved Vegetables by Simultaneous Distillation Extraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry

CHENG Yue, XU Xiao-lan, ZHANG Ning, CHEN Hai-tao*, SUN Bao-guo, HUANG Ming-quan

(Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: The volatile compounds in Sanquan braised pork with preserved vegetables was extracted by simultaneous distillation extraction (SDE) and then analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Totally 57 volatile flavor compounds were identified including 10 hydrocarbons, 6 alcohols, 19 aldehydes, 4 ketones, 4 esters, 1 ether, 4 acids, 2 phenols and 7 nitrogen- or sulfur-containing or heterocyclic compounds, accounting for 3.5117%, 46.9174%, 13.5089%, 0.7795%, 5.5572%, 0.1286%, 0.8347%, 0.1310% and 3.1580% of the total amount of volatile compounds, respectively. Among these compounds, aldehydes, ethers, nitrogen-and sulfur-containing and heterocyclic compounds were the important flavor compounds in Sanquan braised pork with preserved vegetables.

Key words: Sanquan braised pork with preserved vegetables; volatile flavor constituents; simultaneous distillation extraction (SDE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)12-0147-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201312031

梅菜扣肉是我国南方的传统特色菜品,其以独特的色、香、味而备受人们喜爱。目前,对于梅菜扣肉的研究主要集中在生产加工工艺等方面,关于风味物质的研究较少。研究梅菜扣肉风味物质不但可以防止不良风味产生,还对工艺的优化和风味的调配提供依据。为更好的继承和发展我国传统的饮食文化,对传统的名特优产品有更好的深入了解,本实验拟对梅菜扣肉的风味成分进行研究。

同时蒸馏萃取是一种提取、分离和富集试样中挥发性、半挥发性成分的有效方法,目前已广泛地应用于食品、饮料、香精香料和烟草中的挥发性和半挥发性组分

分析^[1]。本研究采用同时蒸馏萃取法萃取(simultaneous distillation extraction, SDE)三全牌梅菜扣肉中的挥发性成分,结合气-质联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MC)分析其化学成分,旨在确定其主体香味成分并为改进工艺及提高品质提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

三全牌梅菜扣肉 市售。

收稿日期: 2012-06-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD23B01);北京市教育委员会科技发展计划重点项目(KZ201110011015)

作者简介: 程玥(1989—),女,硕士研究生,研究方向为香料香精。E-mail: chengyueayy@163.com

*通信作者: 陈海涛(1973—),男,高级工程师,硕士,研究方向为香料香精。E-mail: chenht@th.btbu.edu.cn

无水乙醚(分析纯)、无水硫酸钠(分析纯, 用前干燥处理), $C_6 \sim C_{30}$ 正构烷烃(色谱纯) 北京化学试剂有限公司; 氮气(纯度99.9%) 北京氮普北分气体工业有限公司。

1.2 仪器与设备

同时蒸馏萃取装置(定制加工) 北京玻璃仪器厂(如图1所示); 6980N-5973i气-联用机(配有液体自动进样器、吹扫捕集器、热脱附仪、二维气相色谱) 美国Agilent公司。

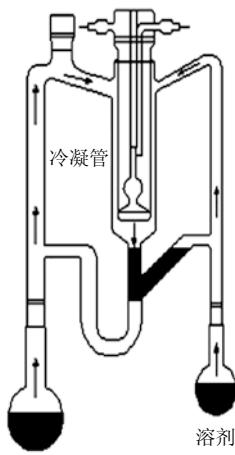


图1 SDE装置图
Fig.1 SDE device

1.3 方法

1.3.1 纯化乙醚的制备

将分析纯乙醚用Oldershaw柱进行蒸馏, 去掉前后各30mL, 得中间乙醚馏分备用, 纯化后的乙醚经检测无杂质峰出现^[2]。

1.3.2 SDE法提取挥发性成分

经过多次实验分析得出2h所测得物质最多, 所以选取2h数据分析。具体方法是取梅菜扣肉放入打浆机, 打浆均匀后称取100g置于1L蒸馏瓶中, 加入300mL蒸馏水, 置于同时蒸馏萃取装置一端, 用油浴加热, 温度为(118 ± 2)℃, 磁力搅拌; 装置的另一端接盛有50mL乙醚的圆底烧瓶, 加入少量沸石, 水浴加热(42 ± 2)℃, 连续提取2h, 萃取液加入适量经新鲜干燥的无水硫酸钠, 置于冰箱冷冻脱水24h, 过滤, 所得滤液用旋转蒸发仪浓缩至6~8mL, 用分析纯氮气吹扫至0.5mL左右, 得到香味浓郁的淡黄色油状液体, 密封保存于-18℃的冰箱中, 待气质联用分析。

1.3.3 色谱条件

色谱柱: DB-WAX毛细管柱($30\text{m} \times 250\mu\text{m}$, $0.25\mu\text{m}$); 进样口温度: 240℃; 升温程序: 35℃保持1min, 以5℃/min升至100℃, 保持3min; 再以6℃/min升至160℃, 保持2min, 最后以16℃/min升至240℃, 保持4min; 载气(He)流速1.0mL/min, 进样量1.0μL; 分流比: 20:1。

质谱条件: 电子电离(electron ionization, EI)离子源; 电子能量70eV; 离子源温度230℃; 四极杆温度150℃; 质量扫描范围20~450u。扫描方式: 全扫描; 溶剂延迟2.5min, 调谐文件为标准调谐。

1.3.4 数据处理

定性分析: 对检测结果的分析以计算机NIST 10普库检索为主, 结合保留指数及相关文献进行人工谱图解析, 确定三全牌梅菜扣肉的挥发性成分。

恒温保留指数的计算如公式(1)所示^[3]:

$$I=100 \times \{n + [\lg t'(i) - \lg t'(n)] / [\lg t'(n+1) - \lg t'(n)]\} \quad (1)$$

式中: $t'(i)$ 为待测组分的调整保留时间; $t'(n)$ 为具有n个碳原子的正构烷烃的调整保留时间; $t'(n+1)$ 为具有(n+1)个碳原子的正构烷烃的保留时间。

当为线性程序升温时, 可直接用保留时间计算保留指数, 计算公式如式(2)所示^[3]:

$$I=100 \times \{n + [t(i) - t(n)] / [t(n+1) - t(n)]\} \quad (2)$$

定量分析: 采用面积归一化法进行定量分析, 求得各挥发性成分的相对含量。

2 结果与分析

SDE-GC-MS分析三全牌梅菜扣肉的总离子流色谱图如图2所示, 其挥发性化合物的分析结果如表1所示。

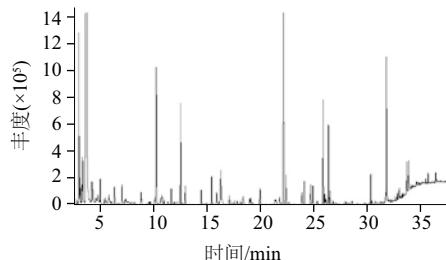


图2 三全牌梅菜扣肉挥发性成分总离子流图

Fig.2 Total ion current chromatogram of volatile flavor compounds from Sanquan braised pork with preserved vegetables

由表1可以看出, 以乙醚为溶剂, 采用同时蒸馏萃取法从三全牌梅菜扣肉中提取挥发性成分, 经GC-MS分析, 共鉴定出57种挥发性成分(相对含量74.527%), 其相对含量可由面积归一法求出各挥发性成分的相对含量。烃类10种(相对含量3.5117%)、醇类6种(相对含量46.9174%)、醛类19种(相对含量13.5089%)、酮类4种(相对含量0.7795%)、酯类4种(相对含量5.5572%)、醚类1种(相对含量0.1286%)、酸类4种(相对含量0.8347%)、酚类2种(相对含量0.1310%)、含氮含硫及杂环化合物7种(相对含量3.1580%)。其中相对含量较大的组分为十三烷基环氧乙烷(2.3995%)、反2-庚烯醛(1.8578%)、糠醛(1.1109%)、反式-2-癸烯醛(3.8345%)、反式-2,4-癸二烯醛(1.7282%)、乙醇(45.9121%)、乙酸乙酯(2.3549%)、正己酸乙酯(2.6454%)等。

按照香料化学理论, 风味组分的强度不但与浓度有关, 还与该化合物的阈值有关^[4]。表1中的含氧杂环、含硫类、含氮杂环、酚类、醛类、酮类、醇类因气味阈值较低, 会对梅菜扣肉香味的贡献较大, 而检测出的烃(芳香烃、脂肪烃类)及长链脂肪酸化合物因气味阈值较高, 对香味的贡献很小。

脂肪族的直链醛、酮、醇、羧酸及烃类(芳香烃、脂肪烃), 一般是由脂肪酸氧化降解生成^[5]。检出的醛类物质在数量和峰面积上都相对较多, 是猪肉挥发性风味物质的主要成分^[6]。占挥发性风味成分峰面积的13.5089%, 肉品挥发性风味成分中醛来源于脂肪氧化, 其中壬醛(脂肪香气)是油酸氧化的产物^[7], 己醛(清新香草香气)是亚油酸的主要氧化产物^[8]; 另外, 斯特雷克尔氨基酸反应也是肉品中醛类物质形成的重要来源, 2-甲基丁醛(甜味、微带水果味)与苯乙醛(风信子香气)分别来自亮氨酸与苯丙氨酸的斯特雷克尔氨基酸反应^[9], 苯甲醛则是苯丙氨酸讲解的产物^[10]; 糠醛、5-甲基-2-糠醛具有烤香和烤肉香味, 糠醛及其衍生物可能来源于糖类的降解, 戊糖降解生成糠醛^[11]。脂肪醛是一类重要的脂类氧化产物, 本身对肉香味的贡献并不大, 但由于其具有较高的反应活性, 能和美拉德反应的中间产物作用, 能够对美拉德反应产生重要的影响^[12]。脂肪氧化后会生成大量的2,4-癸二烯醛(2,4-DDE), 它具有强烈的油脂气息, 是调配香精的重要原料, 对猪肉风味的贡献较大。

检出的酮类化合物可以是醇的氧化产物, 也可以是酯类分解的产物^[13]。乙位紫罗兰酮具有甜的、木香果香、芳香香气以及木香、青香、水果、浆果、覆盆子味道。

检出的醇类主要来自脂肪氧化, 饱和醇由于其风味阈值较高, 对梅菜扣肉整体风味贡献较小, 而不饱和醇的风味阈值较低, 对风味贡献较大。同时检查苯乙醇具有新鲜的面包和清甜的蜂蜜香气。

醚类化合物在风味物质中也相当重要, 特别是含有苯环的醚, 大多具有强烈的愉快的香气^[7], 本实验鉴定出茴香脑, 很可能与所加八角茴香, 大茴香等香辛料有关^[14]。

酯类尤其是乙酸酯类是酒中最重要的风味物质^[15], 检出的乙酸乙酯有清灵、微带果香的酒香, 这可能是在烹制梅菜扣肉过程中加入料酒等调味品有关。由于酯类物质的阈值较高, 因此它对香味的贡献不大。

检出酚类2,6-二叔丁基对甲酚多用在动植物油、食品等抗氧化剂, 对于梅菜扣肉香气没有贡献。

含氧杂环中主要是呋喃衍生物, 以糠醇的含量较丰富, 该化合物曾在面包、烤鸡、啤酒、咖啡中发现^[16], 可由梅菜扣肉中糖与氨基酸发生美拉德反应产生。2-戊基呋喃具有豆香、果香、蔬菜、壤香、根香香气, 是梅菜的主要香气成分。2-乙基呋喃具有豆香、焦糊香气以及壤香、焦糊味道。

由于含硫化合物、醛类化合物、低级酸类化合物的阈值较低, 而在梅菜中这些化合物的含量较高, 使得梅菜的香气强度大。苯乙醛具有甜香、辛香、酱香。含氮化合物检测2-乙酰基吡咯, 具有核桃、甘草、烤面包、炒榛子和鱼样香气和味道。它们构成了梅菜的主体香气。乙酸具有酸香, 在调香中常用来作头香, 它使得梅菜具有酸气, 并且使得梅菜的整体香气透发。

表1 三全牌梅菜扣肉挥发性香味成分的GC-MS分析结果
Table 1 GC-MS results of volatile flavor compounds from Sanquan braised pork with preserved vegetables

保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%	匹配度/%	保留指数/查阈值	定性方法
2.89	反-辛烯(<i>E</i>)-2-octene	C ₈ H ₁₆	0.0975	95	845	MS
6.84	4,5-二甲基壬烷(4,5-dimethyl-nonane)	C ₁₁ H ₂₄	0.0532	83	1084	MS
10.00	2,3,3-三甲基戊烷(2,3,3-trimethyl-pentane)	C ₉ H ₂₀	0.0471	72	1210	MS
10.89	4-甲基十三烷(4-methyl-tridecane)	C ₁₄ H ₃₀	0.301	72	1243	MS
16.85	3-甲基十三烷(3-methyl-tidecane)	C ₁₄ H ₃₀	0.368	80	1452	MS
18.38	二十七烷(hexacosane)	C ₂₇ H ₅₆	0.0626	72	1494	MS
30.25	二十四烷(tetracosane)	C ₂₄ H ₅₀	0.0525	86	2000	MS
31.61	二十一烷(heneicosane)	C ₂₁ H ₄₄	0.0442	87	2101	MS
31.88	十三烷基环己烷(tridecyl-oxirane)	C ₁₃ H ₂₈ O	2.3995	91	2127	MS
35.54	反-十二碳烯(<i>E</i>)-3-eicoseno	C ₂₃ H ₄₀	0.0861	91	2574	MS
	总计		3.5117			
3.44	2-甲基丁醛(2-methyl-butanal)	C ₄ H ₈ O	0.2678	91	902903	MS, RI
3.49	异戊醛(3-methyl-butanal)	C ₅ H ₁₀ O	0.7940	83	906906	MS, RI
4.41	戊醛(pentanal)	C ₅ H ₁₀ O	0.2739	83	964974	MS, RI
5.50	顺-2-丁烯醛(<i>Z</i>)-2-butenal	C ₄ H ₈ O	0.0998	90	1023	MS
6.46	己醛(hexanal)	C ₆ H ₁₂ O	0.4590	90	1067/1064	MS, RI
9.81	反-2-己烯醛(<i>E</i>)-2-hexenal	C ₆ H ₁₀ O	0.0977	95	1202/1196	MS, RI
11.78	正辛醛(octanal)	C ₈ H ₁₆ O	0.3507	83	1277/1278	MS, RI
12.63	反-2-庚烯醛(<i>E</i>)-2-heptenal	C ₇ H ₁₄ O	1.8578	94	1308/1306 ^[17]	MS, RI
14.56	壬醛(nonanal)	C ₉ H ₁₈ O	0.3447	91	1382/1388	MS, RI
15.56	反-2-辛烯醛(<i>E</i>)-2-octenal	C ₈ H ₁₆ O	0.6236	91	1414/1425	MS, RI
16.39	糠醛(furfural)	C ₅ H ₈ O ₂	1.1109	95	1439/1447	MS, RI
17.65	反,反-2,4-庚二烯醛(<i>E,E</i>)-2,4-heptadienal	C ₆ H ₁₀ O	0.1330	94	1473/1746	MS, RI
18.48	苯甲醛(benzaldehyde)	C ₆ H ₅ O	0.3021	97	1497/1496	MS, RI
19.19	反-2-壬烯醛(<i>E</i>)-2-nonenal	C ₉ H ₁₈ O	0.1703	91	1520/1532	MS, RI
21.89	苯乙醛(benzenecacetaldehyde)	C ₇ H ₈ O	0.2777	87	1614/1623	MS, RI
22.25	反-2-癸烯醛(<i>E</i>)-2-decenal	C ₁₀ H ₂₀ O	3.8345	90	1629/1630 ^[18]	MS, RI
24.79	反-2-十一烯醛(<i>E</i>)-2-undecenal	C ₁₁ H ₂₀ O	0.4134	86	1737/1722 ^[19]	MS, RI
25.01	2,4-癸二烯醛(2,4-decadienal)	C ₁₀ H ₁₈ O	0.3698	83	1748	MS
25.95	反,反-2,4-癸二烯醛(<i>E,E</i> -2,4-decadienal)	C ₁₀ H ₁₆ O	1.7282	94	1792/1807	MS, RI
	总计		13.5089			
7.45	3-戊烯-2-酮(3-penten-2-one)	C ₅ H ₈ O	0.0803	91	1110/1120	MS, RI
28.66	乙位紫罗兰酮(3-but-en-2-one,4-(2,6-dimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-)	C ₁₃ H ₂₀ O	0.1070	97	1924	MS
30.40	2-十五烷酮(2-pentadecanone)	C ₁₅ H ₃₀ O	0.5464	93	2011/2028	MS, RI
32.31	3-甲基苯乙酮(3-methoxyacetophenone)	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.0458	87	2170	MS
	总计		0.7795			
26.21	茴香脑(anethole)	C ₁₀ H ₁₈ O	0.1286	98	1804/1815 ^[20]	MS, RI
	总计		0.1286			
3.83	乙醇(ethanol)	C ₂ H ₆ O	45.9121	91	927/925	MS, RI
13.49	正己醇(1-hexanol)	C ₆ H ₁₄ O	0.0606	78	1340/1360 ^[21]	MS, RI
22.49	糠醇(2-furamethanol)	C ₅ H ₈ O ₂	0.6370	96	1639/1659 ^[21]	MS, RI
27.85	苯乙醇(phenylethyl alcohol)	C ₈ H ₁₀ O	0.0422	81	1886/1914 ^[22]	MS, RI
32.92	1,16-十六烷二醇(1,16-hexadecanediol)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.0880	87	2235	MS
35.78	叶绿醇(phytol)	C ₁₀ H ₂₀ O	0.1775	87	2602/2617 ^[23]	MS, RI
	总计		46.9174			

续表1

保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量%	匹配度%	保留指数/查阅值	定性方法
16.00	乙酸(acetic acid)	C ₂ H ₄ O ₂	0.3983	87	1427/1435	MS, RI
酸类	辛酸(octanoic acid)	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.0612	86	2042/2075	MS, RI
	癸酸(<i>n</i> -decanoic acid)	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.1876	87	2253/2250 ^[29]	MS, RI
	肉豆蔻酸(tetradecanoic acid)	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.1876	97	2675/2674 ^[29]	MS, RI
	总计		0.8347			
酯类	乙酸乙酯(ethyl acetate)	C ₄ H ₈ O ₂	2.3549	91	870/882	MS, RI
	乙酸乙酯(ethyl acetate)	C ₄ H ₈ O ₂	0.1696	86	984/892	MS, RI
	正己酸乙酯(hexanoic acid, ethyl ester)	C ₈ H ₁₆ O ₂	2.6454	97	1224/1227 ^[29]	MS, RI
	乳酸乙酯(propanoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester)	C ₅ H ₁₀ O ₃	0.3873	72	1325/1317 ^[29]	MS, RI
	总计		5.5572			
酚类	2,6-二叔丁基对甲酚(butylated hydroxytoluene)	C ₁₂ H ₁₈ O	0.0881	94	1895/1919 ^[29]	MS, RI
	2,4-二叔丁基苯酚(2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol)	C ₁₄ H ₂₀ O	0.0429	76	2287	MS
	总计		0.1310			
含氮 含硫 及杂 环类	2-乙基呋喃(2-ethyl-furan)	C ₆ H ₈ O	0.3524	91	938/949 ^[29]	MS, RI
	吡啶(pyridine)	C ₅ H ₅ N	0.4007	94	1169/1176 ^[30]	MS, RI
	2-戊基呋喃(2-pentyl-furan)	C ₈ H ₁₂ O	0.2081	90	1219/1231	MS, RI
	5-甲基呋喃醛(5-methyl-2-furancarboxaldehyde)	C ₆ H ₈ O ₂	0.4538	97	1550/1608 ^[29]	MS, RI
	5-甲基-2-呋喃甲醇(5-methyl-2-furamethanol)	C ₆ H ₁₀ O ₂	0.3169	93	1699	MS
	3-vinyl-1,2-dithiacyclohex-5-ene	C ₆ H ₈ S ₂	1.3816	96	1816	MS
	2-乙酰基吡咯(1-(1 <i>H</i> -pyrrol-2-yl)-ethanone)	C ₆ H ₇ ON	0.0445	90	1949/1980	MS, RI
	总计		3.1580			

注: 定性方法中, MS 为质谱分析法, RI 为保留指数法。

3 结 论

3.1 采用SDE-GC-MS分析三全牌梅菜扣肉中的挥发性成分, 共鉴定出57中挥发性风味成分(相对含量74.527%)、烃类10种(相对含量3.5117%)、醇类6种(相对含量46.9174%)、醛类19种(相对含量13.5089%)、酮类4种(相对含量0.7795%)、酯类4种(相对含量5.5572%)、醚类1种(相对含量0.1286%)、酸类4种(相对含量0.8347%)、酚类2种(相对含量0.1310%)、含氮含硫及杂环化合物7种(相对含量3.1580%)。其中相对含量较大的组分为十三烷基环氧乙烷(2.3995%)、反2-庚烯醛(1.8578%)、糠醛(1.1109%)、反式-2-癸烯醛(3.8345%)、反式-2,4-癸二烯醛(1.7282%)、乙醇(45.9121%)、乙酸乙酯(2.3549%)、正己酸乙酯(2.6454%)等。

3.2 同时蒸馏萃取得到的挥发油不需要复杂预处理就能直接进行分析, 且提取物气味浓郁、对微量成分得率较高、生产成本较低^[31], 但由于经长时间高温蒸煮, 沸点低的化合物检出较少, 因此, 还需与其他方法结合分析梅菜扣肉中的挥发性成分。

参考文献:

- 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.
- 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 76-354.
- 谢建春. 现代香味分析技术与应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 17-18.
- 王蓓, 曹雁平, 许时婴. 酶解奶油香精基料中特征风味组分分析研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2011, 29(4): 19-23.
- XIE Jianchun, SUN Baoguo, WANG Shuaibin. Aromatic constituents from Chinese traditional smoke-cured bacon of mini-pig[J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 329-340.
- 谭斌. Maillard反应体系制备热加工牛肉风味基料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- 党亚丽, 王璋, 许时婴. 同时蒸馏萃取和固相微萃取与气相色谱/质谱法结合分析巴马火腿的风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(8): 132-137.
- 江新业, 毕华江. 金华火腿的香气分析与模拟创香[C]//中国食品添加剂协会第三届会员代表大会暨第九届中国国际食品添加剂和配料展览会学术论文集, 2005: 284-285.
- 田怀香, 王璋, 许时婴. 金华火腿挥发性风味物质[J]. 无锡轻工大学学报, 2005, 24(1): 69-73.
- 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 金华火腿主体风味成分及其确定方法[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(2): 173-176.
- 朱红, 黄一页, 张弘. 食品感官分析入门[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993: 76-85.
- 张浩, 田红玉, 孙宝国, 等. 脂肪醛对Maillard模型体系含硫挥发性产物的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(11): 33-36.
- DU M, ALAN D U. Volatile substance of Chinese traditional Jinhua ham and cantonese sausage[J]. Food Chemistry and Toxicology, 2001, 46(6): 827-831.
- 綦艳梅, 孙宝国, 陈海涛. 同时蒸馏萃取-气质联用分析月盛斋酱牛肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 370-374.
- FAN Wenlai, QIAN M C. Characterization of aroma compounds of Chinese "Wuliangye" and "Jiannanchun" liquors by aroma extract dilution analysis[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 2695-2704.
- 孙宝国, 郑福平, 刘玉平. 香料与香精[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000: 155-157; 165.
- NIELSEN G S, POLL L. Determination of odor active aroma compounds in freshly cut leek (*Allium ampeloprasum* var. *bulga*) and in long-term stored frozen unblanched and blanched leek slices by gas chromatography olfactometry analysis[J]. Agric Food Chem, 2004, 52: 1642-1646.
- CHO I H, NAMGUNG H J, CHOI H K, et al. Volatiles and key odorants in the pileus and stipe of pine-mushroom (*Tricholoma matsutake* Sing.)[J]. Food Chem, 2008, 106(1): 71-76.
- KARAGUL-YUCEER Y, DRAKE M, CADWALLADER K R. Aroma-active components of nonfat dry milk[J]. Agric Food Chem, 2001, 49(6): 2948-2953.
- LEE S-J, UMANO K, SHIBAMOTO T, et al. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties[J]. Food Chem, 2005, 91: 131-137.
- OTT A, FAY L B, CHAINTRAU A. Determination and origin of the aroma impact compounds of yogurt flavor[J]. Agric Food Chem, 1997, 45(3): 850-858.
- BOTELHO G, CALDERIRA I, MENDES-FAIA A, et al. Evaluation of two quantitative gas chromatography-olfactometry methods for clonal red wines differentiation[J]. Flavour Fragr, 2007, 22(5): 414-420.
- MOLLEKEN U, SINNWELL V, KUBECZKA K H. Essential oil composition of *Smyrnium olusatrum*[J]. Phytochemistry, 1998, 49(6): 1709-1714.
- AVSAR Y K, KARAGUL-YUCEER Y, DRAKE M A, et al. Characterization of nutty flavor in cheddar cheese[J]. Dairy Sci, 2004, 87(7): 1999-2010.
- CANTERGIANI E, BREVARD H, KREBS Y, et al. Characterisation of the aroma of green Mexican coffee and identification of mouldy/earthy defect[J]. Eur Food Res Technol, 2001, 212: 648-657.
- OSORIO C, ALARCON M, MORENO C, et al. Characterization of odor-active volatiles in champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.) [J]. Agric Food Chem, 2006, 54(2): 509-516.
- FROHLICH O, DUQUE C, SCHREIER P. Volatile constituents of curuba (*Passiflora mollissima*) fruit[J]. Agric Food Chem, 1989, 37(2): 421-425.
- LIN Pin, CAI Jibao, LI Jun, et al. Constituents of the essential oil of *Hemerocallis flava* day lily[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2003, 18(6): 539-541.
- RADOVIC B S, CARERI M, MANGIA A, et al. Analytical, nutritional, and clinical methods section. Contribution of dynamic headspace GC-MS analysis of aroma compounds to authenticity testing of honey[J]. Food Chem, 2001, 72(4): 511-520.
- CANTERGIANI E, BREBARD H, KREBS Y, et al. Characterisation of the aroma of green Mexican coffee and identification of mouldy/earthy defect[J]. European Food Research and Technology, 2001, 212(6): 648-657.
- LIN Longze, LU Shengmin, HARNLY J M. Detection and quantification and glycosylated flavonoid malonates in celery, Chinese celery, andcelery seed by LC-DAD-ESI/MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(4): 1321-1326.