

不同熬煮时间对北京酱牛肉挥发性风味成分的影响

贡 慧, 杨 震, 史智佳*, 刘 梦, 陶 瑞, 曲 超, 许 典

(中国肉类食品综合研究中心, 国家肉类加工工程技术研究中心, 肉类加工技术北京市重点实验室, 北京 100068)

摘 要: 采用吹扫/捕集-热脱附-气相色谱-质谱联用法对4个煮制时间的北京酱牛肉进行挥发性风味物质的定性、定量与主成分分析, 考察其风味最佳的煮制时间。结果表明: 煮制1、2、3 h与4 h的酱牛肉样品中共检测鉴定出挥发性风味化合物93种, 分别为60、60、69种与60种, 共同检出36种。酮类与酯类化合物在1 h样品中达到峰值, 醇类、酚类与杂环类化合物在2 h样品中达到峰值, 烃类化合物在3 h样品中达到峰值, 醛类与醚类化合物在4 h样品中达到峰值。同时, 对上述样品的挥发性风味物质成分进行主成分分析与综合因子评分, 其结果显示2 h样品的综合评分最高, 说明在挥发性风味分析的角度煮制2 h的样品风味更佳。

关键词: 北京酱牛肉; 吹扫/捕集-热脱附; 气相色谱-质谱联用技术; 挥发性风味成分; 主成分分析

Effect of Different Cooking Times on Volatile Flavor Components in Beijing Spiced Beef

GONG Hui, YANG Zhen, SHI Zhijia*, LIU Meng, TAO Rui, QU Chao, XU Dian

(Beijing Key Laboratory of Meat Processing Technology, China Meat Food Research Center,
China Meat Processing and Engineering Center, Beijing 100068, China)

Abstract: The volatile flavor components in Beijing spiced beef during 4 different cooking times were extracted and identified by purge and trap thermal desorption (P&T-TD) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) in an effort to determine the optimal cooking time to achieve the best flavor. A total of 93 volatile compounds were identified in Beijing spiced beef during cooking for 1, 2, 3 and 4 h. The numbers of volatile compounds identified at 4 cooking times were 60, 60, 69 and 60, respectively, and 36 compounds were common to four samples. Ketones and esters reached a peak at 1 h, alcohols, phenols and heterocyclic compounds reached a peak at 2 h, hydrocarbons exhibited the highest value at 3 h, and aldehydes and ethers reached the highest value at 4 h. At the same time, the composition of volatile flavor compounds in the samples was analyzed with e principal component analysis and comprehensive factor scores. The results showed that the 2 h-cook sample gained the highest comprehensive score. In term of volatile flavor analysis, Beijing spiced beef had better flavor in two-hour cooking.

Key words: Beijing spiced beef; purge and trap thermal desorption (P&T-TD); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile flavor components; principal component analysis (PCA)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201710031

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)10-0183-08

引文格式:

贡慧, 杨震, 史智佳, 等. 不同熬煮时间对北京酱牛肉挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(10): 183-190.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201710031. <http://www.spkx.net.cn>

GONG Hui, YANG Zhen, SHI Zhijia, et al. Effect of different cooking times on volatile flavor components in Beijing spiced beef[J]. Food Science, 2017, 38(10): 183-190. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201710031. <http://www.spkx.net.cn>

牛肉是一种相较猪肉来说蛋白质含量高而脂肪含量较低的畜肉, 现在越来越被广大消费者推崇^[1]。牛肉的烹饪方式多样, 国外以煎、烤为主^[2], 而我国则以炖、煮

为主要食用方式, 酱牛肉作为以煮制为主要加工方式的产品深受我国消费者喜爱^[3]。北京酱牛肉则是以酱油、黄酱以及各种香辛料为辅料的一种北方酱牛肉品种^[4-5],

收稿日期: 2016-11-24

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0400703)

作者简介: 贡慧(1987—), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为食品化学分析。E-mail: ghsunmer@126.com

*通信作者: 史智佳(1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为食品工程与工艺。E-mail: szj2006@sina.com

酱牛肉在加工过程中存在着脂肪酸氧化^[6]、Strecker降解反应^[7]、Maillard反应^[8]与硫胺素反应^[9]，形成其独具特色的风味。有文献报道在酱牛肉加工过程中的风味变化^[10]，而针对不同加工时间的酱牛肉进行挥发性风味分析还较鲜见。不同加工时间可以使牛肉中蛋白质对风味物质的吸附程度^[11-12]、蛋白质构象等产生影响^[13]，形成不同的风味特征，故而本实验将研究重点放在不同加工时间对酱牛肉风味影响上。

吹扫/捕集-热脱附（purge and trap thermal desorption, P&T-TD）法是一种基于动态顶空原理的挥发性成分富集方法，此法操作简单，无需溶剂，灵敏度高，不易受环境物质干扰，能够较真实且完整地反映样品中挥发性成分的组成^[14]。气相色谱-质谱（gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS）法现在已经成为食品风味检测的重要手段，在肉制品的风味化合物测定中应用也日益广泛。目前，P&T-TD法多数用于环境领域包括空气^[15]、水^[16]等样品测定的前处理中，而在食品风味检测应用上研究较少^[17]。相对于常见的顶空固相微萃取前处理方法^[18]，P&T-TD法有吸附效率高，对痕量物质敏感等优点^[19]，目前鲜见P&T-TD-GC-MS联用法分析北京酱牛肉挥发性风味物质的报道。

主成分分析（principal component analysis, PCA）法被许多研究者作为分析果汁、水果与干果^[20]等样品特征风味主要的分析工具，PCA能够简化数据、揭示变量间的关系^[21]，作为一种多元分析方法广泛应用于食品品种的判别、产地鉴定和香气质量评价模型的构建上^[22]。在肉类食品中，PCA在肉制品的质构特性、肉质分级与胴体分类上得到一定应用^[23-24]，在风味方面，鸡肉^[25]、羊肉^[26]与腌腊肉制品^[27]中有PCA的报道，在酱牛肉风味上的应用还较鲜见。

本实验应用P&T-TD-GC-MS法对不同煮制时间的北京酱牛肉进行挥发性风味物质进行定性分析与定量分析，之后结合PCA与综合因子评分方法，将复杂数据体系进行整合、简化，更直观地筛选出最优条件，选出对挥发性风味形成最有利的煮制时间，可为酱牛肉加工的工艺选择与条件优化提供更完整简明的分析方法与理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

牛腱子肉 福成食品有限公司；酱牛肉加工用辅料（食盐、白糖、酱油、葱、姜、香辛料等） 市售。

1.2 仪器与设备

Gerstel TDS半自动热脱附进样器、Tenax TA石英玻璃吸附管、TC-20型Tenax-TA吸附管自动净化仪、ODP2嗅闻检测仪 德国Gerstel公司；P&T样品瓶

自制；GC-MS联用仪、DB-1701MS石英毛细管柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm） 美国赛默飞世尔科技（中国）有限公司。

1.3 方法

1.3.1 酱牛肉制作与取样

原料解冻→修整→切块→预煮→煮制→冷却→包装。

操作要点：预煮温度和时间为100℃加热10 min；煮制为预煮结束后，加入香辛料等辅料与肉质量2倍的水煮沸10 min，降至90℃熬煮牛肉4 h，每小时取样一次，取样量约为100 g每次。冷却后真空包装，于-20℃冷冻备用。重复3次，留样备用。

1.3.2 样品P&T-TD处理^[28-29]

将取样后的酱牛肉于4℃条件下解冻，每个样品50 g，分别切碎混匀，准确称取3.0 g置于P&T样品瓶中，样品瓶一端通氮气，氮气吹扫流速为50 mL/min，另一端接装有Tenax TA吸附剂的吸附管（经老化后无杂质峰出现），50℃保温，吸附30 min，将吸附管取出插入TD系统进样口进样。每个样品平行3次。

冷阱进样系统条件：采用标准加热模式；液氮冷却，初始温度-100℃，平衡1 min，然后以10℃/s上升到230℃；分流比30:1。

TD条件：采用标准加热模式；不分流模式进样；初始温度40℃，保持1 min，然后以60℃/min上升到230℃，保持10 min；传输线温度220℃。

1.3.3 GC-MS联用检测^[30]

GC条件：DB-1701MS石英毛细管柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm）；进样口温度250℃；升温程序：起始柱温40℃，保持3 min，以5℃/min升至200℃，再以10℃/min升至230℃，保持3 min，检测器温度260℃；载气（He）纯度不小于99.999%，流速1.0 mL/min。

MS条件：电子电离源；电子能量70 eV；接口温度260℃；离子源温度280℃；溶剂延迟时间2.5 min；检测器电压1.2 kV；质量扫描范围 m/z 40~600。

1.3.4 嗅闻检测^[10,31]

嗅闻检测器接口温度200℃，检测时通入适量湿润氮气以防止评价员鼻腔干燥，影响对香气的判断。用预处理后的样品及标准香气化合物对评价员反复培训后再进行样品实验，由3位评价员记录闻到香气的时间、香味特性与强度，每种风味化合物的香气描述及时间至少由其中2名评价员一致才能确定。

1.3.5 化合物定性、定量方法^[32]

谱库检索鉴定方法：通过计算机检索，并与NIST和Wiley数据库提供的谱图相匹配，选取匹配度和纯度大于800（最大值为1 000）的化合物来实现定性鉴定。

保留指数（retention index, RI）鉴定方法：计算各挥发物的RI并与文献中的RI进行比对，按下式计算RI：

$$RI = \left(\frac{Rt_{(x)} - Rt_{(n)}}{Rt_{(n+1)} - Rt_{(n)}} + n \right) \times 100$$

式中: $Rt_{(x)}$ 、 $Rt_{(n)}$ 及 $Rt_{(n+1)}$ 分别为待测挥发性成分、含 n 个碳原子正构烷烃及 $n+1$ 个碳原子正构烷烃的保留时间/min。

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。

1.4 数据处理^[33]

采用SPSS 19.0软件, 先运用单因素方差分析法对实验结果进行统计分析, 研究其组间差异性。之后对大类物质数据进行因子分析, 根据相关系数列出相关矩阵, 求出特征根及其相应的特征向量, 从特征根中选出较大的特征根及其特征向量, 使其累计贡献率在90%以上, 即PCA。根据每个品种有关成分相对含量的标准化值及特征根、特征向量计算出各主成分值, 并计算每个样品的综合评分。

其他数据采用Microsoft Excel 2010软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同加工时间对北京酱牛肉挥发性风味成分与相对含量分析

由图1、表1可知, 4个煮制时间的北京酱牛肉样品共鉴定出挥发性风味成分93种, 包括烃类32种、醛类16种、酮类5种、酸类4种、醇类13种、酯类7种、醚类3种、酚类4种、杂环以及其他类化合物9种。加工1、2、3、4 h样品分别鉴定出挥发性风味成分60、60、69种与60种。4个样品共有的挥发性风味物质有36种, 包括烃类5种、醛类9种、酸类2种、醇类8种、酯类2种、醚类3种、酚类3种、杂环以及其他类化合物4种。其中反式茴香醚、丁香酚、对烯丙基茴香醚、2-甲基-正丁醛、二甲基二硫醚、三甲基三硫醚、桉树叶醇、*D*-柠檬烯、庚醛、己醛、壬醛、辛醛为主要的挥发性风味物质。

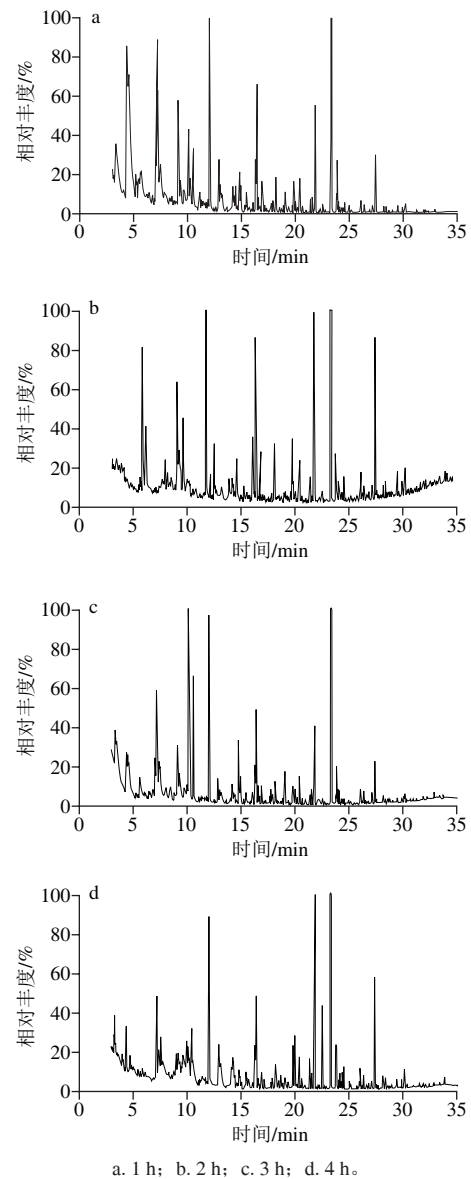


图1 不同加工时间北京酱牛肉GC-MS总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion current chromatogram of Beijing spiced beef during different cooking times by GC-MS

表1 北京酱牛肉不同加工时间的挥发性化合物鉴定结果及相对含量

Table 1 Identification and relative quantification of volatile compounds in Beijing spiced beef during different cooking times

保留时间/min	化合物		RI		鉴定方法	相对含量/%			
	中文名称	英文名称	文献值 ^[6,31-32,34-36]	计算值		1 h	2 h	3 h	4 h
2.85	2,4-二甲基己烷	2,4-dimethyl-hexane	799	799	MS	—	—	—	0.45±0.02
2.89	辛烷	octane	800	800	MS, RI, O	11.64±0.12 ^a	1.73±0.06 ^b	0.36±0.04 ^d	1.27±0.08 ^c
3.30	甲苯	toluene	819	815	MS, RI, O	0.95±0.11 ^a	0.59±0.03 ^b	0.17±0.05 ^d	0.19±0.04 ^c
5.65	壬烷	nonane	900	900	MS, RI, O	0.39±0.12	—	—	—
5.90	乙苯	ethylbenzene	850	908	MS, RI, O	—	0.23±0.06	—	—
烃类	邻二甲苯	o-xylene	979	916	MS, RI, O	0.41±0.06 ^c	0.41±0.09 ^d	—	—
	1,3-二甲苯	1,3-dimethyl-benzene	916	916	MS	—	—	—	0.26±0.14
	对二甲苯	p-xylene	917	917	MS, O	—	—	0.13±0.02 ^b	0.63±0.08 ^a
6.89	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]六-2-烯	2-methyl-5-(1-methylethyl)-bicyclo[3.1.0]hex-2-ene	939	939	MS	—	—	2.13±0.20 ^c	0.63±0.15 ^b
7.01	α -蒎烯	α -pinene	945	943	MS, RI, O	—	—	4.70±0.21 ^a	1.71±0.14 ^b
7.32	乙烯基苯	styrene	984	953	MS, RI, O	0.45±0.18 ^{ab}	0.49±0.22 ^{ab}	0.27±0.21 ^b	0.58±0.38 ^a
7.64	莰烯	camphene	954	963	MS, RI, O	—	0.45±0.18 ^b	0.28±0.20 ^b	0.76±0.21 ^a

续表1

保留 时间/min	化合物		RI		鉴定方法	相对含量/%			
	中文名称	英文名称	文献值 ^[6,231-32,34-36]	计算值		1 h	2 h	3 h	4 h
烃类	8.41	2,2-二甲基癸烷	2,2-dimethyl-decane	988	MS	—	0.28±0.20 ^a	0.11±0.07 ^b	—
	8.63	β-蒎烯	β-pinene	994	994	MS, RI, O	—	1.50±0.24 ^a	0.41±0.15 ^b
	8.77	β-水芹烯	β-phellandrene	1 059	999	MS, RI, O	—	0.52±0.18 ^c	13.64±0.32 ^a
	8.81	癸烷	decane	1 000	1 000	MS, RI, O	0.41±0.14 ^b	0.95±0.31 ^a	—
	9.43	β-月桂烯	β-myrcene	1 020	1 020	MS, RI, O	—	6.66±0.23 ^a	0.79±0.32 ^b
	9.67	α-水芹烯	α-phellandrene	1 029	1 028	MS, RI, O	—	0.69±0.31 ^a	0.65±0.22 ^a
	10.13	4-萜烯	4-carene	1 004	1 042	MS, RI, O	0.44±0.22 ^c	0.62±0.18 ^c	1.60±0.36 ^c
	10.43	D-柠檬烯	D-limonene	1 056	1 052	MS, RI, O	0.53±0.15 ^d	1.31±0.33 ^c	8.69±0.18 ^a
	10.97	邻-异丙基苯	1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene	1 069	MS	—	0.36±0.21 ^b	1.53±0.11 ^a	0.59±0.06 ^b
	11.25	过氧化氢异丙苯	1-methyl-1-phenylethyl-hydroperoxide	1 081	MS	1.24±0.33	—	—	—
	11.39	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯	(Z)-3,7-dimethyl-1,3,6-octatriene	1 083	MS	0.54±0.18 ^a	—	0.27±0.06 ^b	—
	12.33	1-甲基-4-(1-异丙烯基)-环己烯	1-methyl-4-(1-methyl ethylidene)-cyclohexene	1 113	MS	—	0.32±0.19 ^b	0.71±0.19 ^a	0.25±0.08 ^b
	14.93	十二烷	dodecane	1 200	1 200	MS, RI, O	—	0.51±0.21 ^a	0.09±0.04 ^b
	16.12	5-丁基-壬烷	5-butyl-nonane	1 222	MS	—	0.32±0.17	—	—
	19.39	2-甲基-十三烷	2-methyl-tridecane	1 382	MS	—	—	—	0.26±0.08
	19.57	1-二十二烯	1-docosene	1 386	MS	0.53±0.06 ^a	—	0.21±0.04 ^b	0.51±0.10 ^a
	20.35	十三烷	tridecane	1 300	1 300	MS, RI, O	1.25±0.22	—	—
	20.59	1-甲基-萘	1-methyl-naphthalene	1 318	MS	1.22±0.14	—	—	—
	21.82	石竹烯	caryophyllene	1 428	1 415	MS, RI, O	0.47±0.17 ^a	—	0.38±0.15 ^a
	22.84	十五烷	pentadecane	1 500	1 500	MS, RI, O	0.53±0.14 ^a	0.29±0.13 ^b	0.18±0.07 ^c
醛类	1.78	2-甲基-正丁醛	2-methyl-butanal	729	762	MS, RI, O	2.52±0.31 ^c	4.22±0.33 ^b	1.44±0.18 ^d
	2.48	戊醛	pentanal	782	786	MS, RI, O	0.64±0.12 ^b	0.53±0.09 ^c	0.22±0.04 ^d
	5.11	己醛	hexanal	887	881	MS, RI, O	6.11±0.34 ^b	3.72±0.13 ^c	1.25±0.11 ^d
	8.31	庚醛	heptanal	988	984	MS, RI, O	2.91±0.18 ^a	0.99±0.14 ^c	0.45±0.09 ^d
	11.23	苯甲醛	benzaldehyde	1 086	1 078	MS, RI, O	—	1.79±0.31 ^a	0.63±0.22 ^c
	11.55	辛醛	octanal	1 090	1 088	MS, RI, O	1.83±0.24 ^a	1.26±0.22 ^b	0.53±0.11 ^c
	14.04	(E)-2-辛烯醛	(E)-2-octenal	1 174	1 170	MS, RI, O	0.37±0.21 ^a	0.25±0.06 ^b	0.09±0.04 ^c
	14.26	苯乙醛	benzeneacetaldehyde	1 178	MS	0.34±0.18 ^a	0.34±0.22 ^a	0.18±0.04 ^b	0.18±0.07 ^b
	14.64	壬醛	nonanal	1 192	1 190	MS, RI, O	2.99±0.12 ^a	1.94±0.15 ^b	1.03±0.05 ^c
	17.00	(E)-2-壬烯醛	(E)-2-nonenal	1 282	1 238	MS, RI, O	0.62±0.18	—	—
	17.56	癸醛	decanal	1 296	1 248	MS, RI, O	0.51±0.04 ^a	0.36±0.10 ^b	—
	19.80	(E)-2-癸烯醛	(E)-2-decenal	1 291	1 290	MS, RI, O	0.30±0.11 ^a	—	0.11±0.03 ^b
	21.05	4-甲氧基苯甲醛	4-methoxy-benzaldehyde	1 381	MS	0.94±0.24 ^b	1.21±0.25 ^a	0.57±0.18 ^c	0.83±0.17 ^b
	21.54	3-苯基-2-丙烯醛	3-phenyl-2-propenal	1 397	MS	0.48±0.07	—	—	—
	22.44	2-十一烯醛	2-undecenal	1 455	1 466	MS, RI, O	0.44±0.14	—	—
	30.00	十四醛	tetradecanal	1 914	1 896	MS, RI	0.79±0.33 ^a	0.24±0.12 ^{bc}	0.13±0.08 ^c
	3.47	1-羟基-2-丙酮	1-hydroxy-2-propanone	821	MS	—	—	0.09±0.02 ^b	0.25±0.16 ^c
	4.57	4-羟基-3-丁酮	4-hydroxy-2-butanone	851	MS	0.79±0.21	—	—	—
	8.23	2-庚酮	2-heptanone	982	982	MS, RI, O	—	0.31±0.09	—
酮类	14.50	2-壬酮	2-nonanone	1 186	1 186	MS, RI, O	—	0.24±0.03 ^a	0.09±0.02 ^b
	14.97	侧柏酮	thujone	1 201	MS	0.32±0.08 ^a	0.37±0.16 ^a	0.20±0.03 ^b	—
酸类	3.18	乙酸	acetic acid	791	811	MS, RI, O	—	—	0.25±0.06
	4.22	异戊基乳酸	isoamyl lactate	848	MS	—	—	—	1.56±0.34
	11.46	2-氨基苯甲酸	2-aminobenzoate	1 085	MS	0.78±0.27 ^d	1.57±0.33 ^c	2.30±0.35 ^a	1.74±0.25 ^b
	31.80	肉豆蔻酸	tetradecanoic acid	2 045	MS	0.47±0.24 ^a	0.35±0.16 ^{ab}	0.11±0.07 ^c	0.26±0.19 ^{bc}
醇类	4.18	3-甲基-1-丁醇	3-methyl-1-butanol	844	847	MS, RI, O	4.66±0.27 ^b	7.06±0.33 ^a	0.88±0.14 ^c
	11.03	桉树叶醇	eucalyptol	1 071	MS, O	0.68±0.13 ^c	1.55±0.32 ^a	0.56±0.08 ^d	1.14±0.21 ^b
	13.07	2-乙基-1-己醇	2-ethyl-1-hexanol	1 138	MS	0.92±0.17 ^a	0.73±0.12 ^b	0.20±0.09 ^d	0.33±0.11 ^c
	13.84	cis-β-松油醇	cis-β-terpineol	1 175	1 164	MS, RI, O	—	0.24±0.08 ^a	0.15±0.05 ^b
	14.41	正辛醇	1-octanol	1 075	1 183	MS, RI, O	0.53±0.21 ^a	0.31±0.09 ^b	0.13±0.06 ^c
	14.84	芳樟醇	linalool	1 198	MS	0.69±0.25 ^d	1.58±0.36 ^c	0.95±0.27 ^c	1.27±0.11 ^b
	15.41	2-甲基-5-异丙基-二环[3.1.0]己烷-2-醇	2-methyl-5-(1-methylethyl)-bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	1 209	MS	0.33±0.08 ^a	—	0.21±0.06 ^b	0.27±0.09 ^{ab}
	15.41	1-甲基-4-异丙基-反-2-环己烯-1-醇	1-methyl-4-(1-methylethyl)-, trans-2-cyclohexen-1-ol	1 209	MS	—	0.26±0.10 ^a	0.22±0.07 ^a	0.28±0.07 ^a
	16.74	4-萜烯醇	4-carvomenthenol	1 234	MS	1.33±0.18 ^b	2.04±0.27 ^a	1.33±0.32 ^b	1.34±0.24 ^b

续表1

	保留 时间/min	化合物		RI		鉴定方法	相对含量/%			
		中文名称	英文名称	文献值 ^[68,31-32,34-36]	计算值		1 h	2 h	3 h	4 h
醇类	17.09	苯乙醇	phenylethyl alcohol	1 272	1 240	MS、RI、O	1.88±0.35 ^b	2.22±0.20 ^a	0.65±0.11 ^d	1.26±0.17 ^c
	17.71	α -松油醇	<i>p</i> -menth-1-en-8-ol	1 289	1 251	MS、RI、O	0.73±0.35 ^a	0.82±0.17 ^a	0.16±0.11 ^b	0.22±0.09 ^b
	18.40	4-三甲基-苯甲醇	4-trimethyl-benzenemethanol		1 264	MS	0.29±0.06	—	—	—
	19.73	2,2-二甲基-1-辛醇	2,2-dimethyl-1-octanol		1 288	MS	0.74±0.13 ^a	—	0.13±0.05 ^b	—
	4.86	(S)-2-羟基-丙酸乙酯	(S)-2-hydroxy-propanoic acid, ethyl ester		871	MS	—	0.42±0.16	—	—
酯类	12.10	辛基乙酸酯	acetic acid, sec-octyl ester		1 106	MS	—	0.34±0.08 ^a	0.10±0.02 ^b	—
	19.45	乙酸冰片酯	bornyl acetate		1 283	MS	—	—	0.19±0.04	—
	27.53	9-十八碳烯酸甲酯	(Z)-9-octadecenoic acid, methyl ester		1 612	MS	—	—	0.13±0.03 ^a	0.17±0.02 ^a
	31.14	邻苯二甲酸二异丁酯	1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester		1 758	MS	1.05±0.21 ^a	0.69±0.33 ^b	0.30±0.05 ^c	0.61±0.18 ^b
	31.90	邻苯二甲酸二丁酯	dibutyl phthalate		1 790	MS	2.11±0.24 ^a	1.56±0.31 ^b	0.70±0.09 ^d	1.44±0.22 ^c
	32.91	邻苯二甲酸二异辛酯	1,2-benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester		1 833	MS	0.33±0.09	—	—	—
	16.25	癸醚	didecyl ether		1 224	MS	0.44±0.06 ^a	0.47±0.12 ^a	0.25±0.09 ^b	0.27±0.02 ^b
醚类	17.32	对烯丙基-茴香醚	estragole	1 291	1 244	MS、RI、O	1.61±0.29 ^d	4.22±0.35 ^c	5.03±0.17 ^b	6.24±0.24 ^a
	20.08	反式茴香醚	1-methoxy-4-(1-propenyl)-benzene		1 295	MS	3.73±0.31 ^d	15.03±0.36 ^b	14.30±0.27 ^c	16.78±0.21 ^a
	15.74	苯酚	phenol	1 222	1 215	MS、RI、O	0.38±0.12	—	—	—
酚类	15.75	邻苯二酚	cis-1,2-dihydro catechol		1 216	MS	0.45±0.11 ^b	0.75±0.20 ^a	0.15±0.03 ^c	0.19±0.06 ^c
	22.98	丁香酚	eugenol	1 500	1 503	MS、RI、O	6.00±0.28 ^b	9.64±0.37 ^a	6.41±0.09 ^b	9.27±0.23 ^a
	27.38	2-甲氧基-4-(1-丙烯基)-苯酚	(E)-2-methoxy-4-(1-propenyl)-phenol		1 607	MS	0.49±0.11 ^b	0.75±0.20 ^a	0.56±0.16 ^c	0.63±0.16 ^b
杂环 化合物 及其他类	3.11	二甲基二硫醚	disulfide-dimethyl	794	808	MS、RI、O	3.27±0.11 ^a	2.07±0.18 ^b	0.26±0.05 ^d	1.72±0.09 ^c
	4.72	丙酰胺	propanamide		867	MS	—	0.37±0.24	—	—
	9.84	2-戊基-呋喃	2-pentyl-furan		1 033	MS	—	0.44±0.13 ^a	0.20±0.03 ^b	0.45±0.09 ^a
	9.95	二甲基三硫醚	dimethyl-trisulfide	1 038	1 037	MS、RI、O	2.63±0.26 ^a	1.44±0.18 ^c	0.33±0.07 ^d	1.94±0.32 ^b
	13.16	甲氧基-苯基-肟	methoxy-phenyl-oxime		1 141	MS	1.44±0.08 ^a	1.14±0.15 ^b	0.23±0.07 ^d	0.47±0.08 ^c
	13.63	3-(4-甲基-3-戊烯基)-呋喃	3-(4-methyl-3-pentenyl)-furan		1 157	MS	—	0.23±0.07 ^a	0.09±0.02 ^b	—
	15.91	环己烷胺	cyclo hexane methylamine		1 218	MS	—	—	0.09±0.04	—
	19.12	苯并噻唑	benzothiazole	1 227	1 277	MS、RI、O	2.59±0.17 ^b	6.06±0.38 ^a	0.89±0.31 ^d	1.99±0.13 ^c
	21.23	2,3-二甲氧基-苯甲胺	2,3-dimethoxy-benzenemethanamine		1 386	MS	0.42±0.09 ^a	—	0.10±0.03 ^b	—
	合计						84.87±0.74 ^d	91.50±0.65 ^b	89.67±0.97 ^c	95.50±0.44 ^a

注：MS.经GC-MS标准谱库鉴定；RI.经保留指数法鉴定；O.经嗅闻检测鉴定；—.未检出；上标小写字母不同表示差异显著，表2同。

2.1.1 烃类化合物挥发性风味成分变化分析

4个样品均有15种以上的烃类物质检出，相对含量也都较高，可以分为饱和烃与不饱和烃两类。饱和烃的种类多，在1 h样品中相对含量较高，主要来源于脂肪酸烷基的均裂，阈值较高，对风味影响不大，但有些是形成杂环化合物的重要中间体^[32]，所以2、3 h与4 h样品相对含量明显降低，证明其发生了转化。不饱和烃类物质主要为芳香烃与烯烃类物质，它们呈味阈值较低，气味强烈，比如 α -蒎烯、4-萜烯、 β -蒎烯、 α -水芹烯、 β -水芹烯、 β -月桂烯和石竹烯等烯烃类物质主要呈松油味以及香辛料特殊气味，*D*-柠檬烯与4-萜烯则具有柑橘果香气味，主要来源于添加的香辛料，如八角茴香等^[37-38]，在2 h的样品中被检出或者相对含量明显上升，比如*D*-柠檬烯相对含量从1 h的0.53%上升至1.31%，翻了一倍多，说明香辛料中烯烃类风味物质在此时开始被酱牛肉吸收，3 h样品烃类物质的相对含量达到峰值，主要是烯烃类的 α -蒎烯、 β -月桂烯、 β -水芹烯与*D*-柠檬烯的相对含量较高，说明此样品中香辛料的风味物质在酱牛肉中的积累

达到峰值，4 h样品的相对含量回落，可能与香辛料风味物质的挥发有关。

2.1.2 醛类化合物挥发性风味成分变化分析

表2 北京酱牛肉不同加工时间挥发性化合物的种类及相对含量的变化
Table 2 Changes in the composition and relative contents of compound classes in Beijing spiced beef during different cooking times

种类	1 h		2 h		3 h		4 h	
	峰个数	相对含量/%	峰个数	相对含量/%	峰个数	相对含量/%	峰个数	相对含量/%
烃类	15	21.00±0.64 ^b	16	9.38±0.17 ^d	20	44.12±0.63 ^a	21	17.51±0.31 ^c
醛类	15	21.79±0.17 ^b	12	16.85±0.35 ^c	12	6.63±0.17 ^d	11	24.88±0.33 ^a
酮类	2	1.11±0.05 ^a	3	0.92±0.01 ^b	3	0.38±0.02 ^c	1	0.25±0.03 ^d
酸类	2	1.25±0.09 ^d	2	1.92±0.08 ^c	3	2.66±0.10 ^b	3	3.56±0.15 ^a
醇类	11	12.78±0.14 ^b	10	16.81±0.13 ^a	12	5.57±0.09 ^d	10	7.13±0.15 ^c
酯类	3	3.49±0.11 ^a	4	3.01±0.58 ^b	5	1.42±0.08 ^d	3	2.22±0.12 ^c
醚类	3	5.78±0.32 ^c	3	19.72±0.33 ^b	3	19.58±0.15 ^b	3	23.29±0.37 ^a
酚类	4	7.32±0.14 ^c	3	11.14±0.21 ^a	3	7.12±0.19 ^d	3	10.09±0.22 ^b
杂环化合物及其他类	5	10.35±0.16 ^b	7	11.75±0.25 ^a	8	2.19±0.57 ^d	5	6.57±0.30 ^c

4个样品中均有10种以上醛类物质检出，物质种类重合度较高，如表2所示相对含量差异显著，说明4个煮制时间的样品醛类物质种类变化不大，但释放程度差异明显。醛类主要来源于脂肪氧化、降解以及氨基酸的Strecker降解反应，阈值大多较低，是肉类风味的主要挥

发性风味成分之一，带支链的、相对含量较高的小分子醛对牛肉风味贡献较大^[33-34]。2-甲基-正丁醛、己醛、庚醛、壬醛与辛醛在4个样品中相对含量均较高，分别呈现麦芽香气、青草香、果香、花香与脂蜡香。辛醛和壬醛来源于油酸的氧化，庚醛、己醛来源于亚油酸氧化，2-甲基-正丁醛来自亮氨酸的Strecker降解反应^[39-40]。1 h与4 h样品的醛类相对含量较高，超过了20%，3 h样品的相对含量最低，只有约6%，特别是直链醛类这样的现象更为明显，说明脂肪酸的氧化随煮制时间的延长呈现起始剧烈然后放缓最后聚集的状态，有可能是煮制过程中牛肉的表面脂肪到肌间脂肪逐渐氧化所致。

2.1.3 酮类化合物挥发性风味成分变化分析

由表1、2可知，4个样品的酮类化合物相对含量均较低，没有检出共同的酮类物质，相对含量波动大，差异性明显。酮类的来源多为不饱和脂肪酸的氧化降解，阈值较高，对风味特征的贡献不大，有些是形成杂环化合物的重要中间体^[41]。1 h样品的相对含量最高，2、3 h和4 h样品相对含量依次递减，从1.11%降至0.25%，减少到最初的1/4，说明较长的煮制时间使这些可能形成杂环化合物中间体的酮类发生了转化，而造成了含量的下降与种类的减少。

2.1.4 醇类化合物挥发性风味成分变化分析

由表2可知，4个样品均有10种以上的醇类物质检出，3-甲基-1-丁醇、桉树叶醇、2-乙基-1-己醇、芳樟醇、4-萜烯醇、苯乙醇与 α -松油醇等在4个样品中均被检出且相对含量较高，分别呈现威士忌香气、樟脑般清凉香气、甜花香、铃兰香气、胡椒香、玫瑰香与丁香花香，这些主要来源于香辛料。在2 h样品中相对含量最高，3 h样品中相对含量最低，且与4 h样品相接近，说明同样是源于香辛料的挥发性风味物质，醇类物质与烯炔类风味物质在4个样品中的相对含量却有较大差异，这可能与香辛料中不同种类风味物质释放速率与其在牛肉的积累速率不同有关。

2.1.5 醚、酚类化合物挥发性风味成分变化分析

由表2可知，4个样品中醚类化合物的种类虽然较少，但相对含量较高。1 h样品相对含量最低，之后样品相对含量呈增加趋势。反式茴香醚、对烯丙基茴香醚主要来源于八角茴香等香辛料^[38]，它们的相对含量呈突跃式增加，醚类物质中2 h样品比1 h样品的相对含量增加近3倍，4 h样品虽比2 h样品相对含量有所增加，但变化不大。

酚类化合物的种类也较少，但相对含量均在7%以上，说明其对风味贡献也不低。丁香酚主要来源于丁香等香辛料，相对含量较高，在2 h样品中到达峰值，3 h样品中有所降低，4 h样品相对含量回升。烯炔类、醇类、醚类与酚类风味物质虽然多数都来自酱牛肉加工过程中添加的香辛料，但是它们的释放速率、耐热性、挥发性以及牛肉对它们的吸收速率各不相同，也就形成了酱牛肉独特、醇厚的芳香风味。

2.1.6 酸、酯类化合物挥发性风味成分变化分析

由表2可知，4个样品的酸、酯类化合物相对含量较低，且种类较少，主要原因在于挥发性较低，但是对风味有整体的微弱调节作用。酸类化合物的相对含量在1 h样品中相对含量最低，2、3 h和4 h样品相对含量依次递增，从1.25%上升至3.56%，相对含量翻了一番。2-氨基苯甲酸与肉豆蔻酸具有一定的增香作用。

酯类化合物则是1 h样品相对含量最高，2 h与3 h样品中依次降低，从3.49%降至1.42%，减少至原来的1/3，而4 h样品相对含量回升，上升至2.22%。邻苯二甲酸二异丁酯与邻苯二甲酸二丁酯则是塑化剂的成分之一，有可能是原料包装材料带入所致。

2.1.7 杂环以及其他类化合物挥发性风味成分变化分析

由表2可知，4个样品均有5种以上的杂环类化合物检出，2 h样品相对含量最高，3 h样品相对含量最低，含硫化合物与苯丙噻唑的相对含量较高。含硫化合物是产生基本肉香味的关键化合物，二甲基二硫醚和二甲基三硫醚是蛋氨酸Maillard反应生成的^[41]，具有洋葱样香气，在1 h样品中相对含量最高，2 h与3 h样品相对含量依次下降而4 h样品相对含量回升，与直链醛类的变化规律相近。噻唑类化合物香势强、阈值低，对肉品风味影响显著，在2 h样品中相对含量最高，苯丙噻唑呈喹啉味、铁腥味。呋喃类物质是最丰富的美拉德反应挥发性产物，主要是甜香和坚果香，在酱牛肉风味中起着协调、平衡的作用，同样在2 h样品中相对含量最高。

2.2 不同加工时间北京酱牛肉挥发性风味成分的PCA

表3 3个主成分的特征值及其贡献率
Table 3 Eigenvalues, contributions and cumulative contributions of the first 3 principal components

主成分	初始特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	5.476	60.844	60.844
2	2.624	29.160	90.004
3	0.900	9.996	100.000

如表3所示，3个主成分的累计贡献率达到100%，说明3个主成分的选取可以代表样品的全部特征，各指标的载荷矩阵与特征向量如表4所示。

表4 主成分特征向量与载荷矩阵
Table 4 Principal component eigenvectors and loading matrix

化合物种类	PC1		PC2		PC3	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量
烃类	-0.780	-0.333	-0.624	-0.385	0.049	0.052
醛类	0.533	0.228	0.491	0.303	-0.689	-0.727
酮类	0.900	0.385	-0.412	-0.255	0.143	0.151
酸类	-0.749	-0.320	0.632	0.390	-0.197	-0.208
醇类	0.920	0.393	0.099	0.061	0.380	0.401
酯类	0.982	0.420	-0.050	-0.031	-0.181	-0.190
醚类	-0.593	-0.253	0.741	0.457	0.316	0.333
酚类	0.316	0.135	0.904	0.558	0.288	0.304
杂环化合物以及其他类	0.975	0.417	0.214	0.132	0.055	0.058

将烃类、醛类、酮类、酸类、醇类、酯类、醚类、酚类和杂环与其他类化合物分别记作 $X_1 \sim X_9$, 根据表4可得到主成分的表达式:

$$Y_1 = -0.333X_1 + 0.228X_2 + 0.385X_3 - 0.320X_4 + 0.393X_5 + 0.420X_6 - 0.253X_7 + 0.135X_8 + 0.417X_9$$

$$Y_2 = -0.385X_1 + 0.303X_2 - 0.255X_3 + 0.390X_4 + 0.061X_5 - 0.031X_6 + 0.457X_7 + 0.558X_8 + 0.132X_9$$

$$Y_3 = 0.052X_1 - 0.727X_2 + 0.151X_3 - 0.208X_4 + 0.401X_5 - 0.190X_6 + 0.333X_7 + 0.304X_8 + 0.058X_9$$

式中 $X_1 \sim X_9$ 为标准化变换后的标准变量, 各系数为各物质的特征向量, 计算后可得出4个样品各主成分的评分, 如表5所示。经 $Y = 0.608Y_1 + 0.292Y_2 + 0.100Y_3$ 计算即可得每个样品的综合评分 Y 。各项系数为各主成分的贡献率, $Y_1 \sim Y_3$ 为各主成分的评分。

通过表4可以看出, 醇类与杂环类化合物在第1主成分上载荷较高, 说明这3类物质对最终评分影响较大, 而醇类主要来源于丁香等香辛料, 杂环类化合物则主要来源于牛肉中蛋白质的降解与Maillard反应; 酚类与醚类物质在第2主成分上载荷较高, 说明对最终风味也起着一定影响作用, 多数来源于香辛料; 而对风味贡献较少的烃类物质则主要来源于脂肪酸的均裂; 此外醛、酮类物质则主要来源于脂肪氧化、降解以及氨基酸的Strecker降解反应, 对风味形成有一定贡献; 酸、酯类物质相对含量较低, 多数是其他类型风味物质的前体或者反应产物, 对风味整体贡献不大。

表5 标准化后主成分综合得分

Table 5 Comprehensive scores of principal components after standardization

熬煮时间/h	Y_1 烃类	Y_2 醛类	Y_3 酮类	Y 综合得分
1	-0.227	-0.528	-0.930	-0.385
2	-0.166	1.034	0.433	0.244
3	-1.771	-0.912	0.429	-1.301
4	-1.164	0.719	-0.665	-0.565

由表5可以看出, 2 h样品的综合评分最高, 3 h样品的绝对值最高。结合不同种类挥发性风味成分的种类与相对含量分析, 2 h样品中的醇类、酚类与杂环类等阈值较低的化合物相对含量较高, 对风味贡献明显, 因此综合评分较高; 而3 h样品中的烃类化合物相对含量较高但是其阈值较低, 对风味贡献较少, 虽然绝对值最高, 但是对风味的影响呈负相关。所以, 从挥发性风味分析的角度上, 北京酱牛肉煮制2 h时对风味形成最有利。

3 结论

本研究采用P&T-TD-GC-MS联用法对4个煮制时间的北京酱牛肉进行风味分析。结果表明分别煮制1、2、3 h与4 h的酱牛肉样品共鉴定出挥发性风味化合物93种,

包括烃类32种、醛类16种、酮类5种、酸类4种、醇类13种、酯类7种、醚类3种、酚类4种, 杂环以及其他类化合物9种, 4个样品共有的挥发性风味物质有36种。不同煮制时间的样品挥发性风味物质相对含量差异显著, 其主要原因在于不同种类化合物的来源与释放速率不同, 进而构成了北京酱牛肉经过不同熬煮时间的特征风味。同时, 本实验在对北京酱牛肉挥发性风味物质定性定量的基础上进行了PCA与综合因子评分, 结果表明熬煮2 h样品的综合评分最高即表示挥发性风味最佳, 3 h的样品评分绝对值最高, 但与风味形成呈负相关, 这与挥发性化合物的种类与相对含量分析相一致, 说明这是一种直观有效地评价酱牛肉风味的分析方法, 为北京酱牛肉的加工生产时的工艺优化与风味把控提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 任雯雯. 四种肉原料及其制品Pastirma的理化性质比较和Pastirma的质构及风味物质研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
- [2] KERTH C. Determination of volatile aroma compounds in beef using differences in steak thickness and cook surface temperature[J]. Meat Science, 2016, 117: 27-35. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.02.026.
- [3] 张苏苏, 赵子瑞, 苑冰冰, 等. 酱卤肉制品加工技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(8): 3270-3276. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.12.008.
- [4] 周蓓蓓, 杨松, 尤逢惠, 等. 酱牛肉挥发性风味物质研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2014, 23: 47-49. DOI:10.3969/jissn.1671-9646(X).2014.12.014.
- [5] LAIRD H, KOPPEL K, MILLER R K, et al. References for minor beef flavor descriptive attributes[J]. Meat Science, 2016, 112: 115. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.08.037.
- [6] 慕艳梅, 孙宝国, 黄明泉, 等. 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.
- [7] 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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.08.019.
- [8] 慕艳梅, 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.
- [9] 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, 23(12): 54-57.
- [10] 臧明伍, 张凯华, 王守伟, 等. 基于SPME-GC-O-MS的清真酱牛肉加工过程中挥发性风味成分变化分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 117-121. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612020.
- [11] 吕彤, 林俊杰, 周昌瑜, 等. 热处理强度对猪肉肌球蛋白结构及风味成分吸附特性的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 285-291. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.08.040.
- [12] 周昌瑜, 蒋娅婷, 曹锦轩, 等. 热处理时间对鸭肉肌原纤维蛋白凝胶的风味吸附能力影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 218-224.
- [13] 蒋娅婷, 曹锦轩, 张玉林, 等. 蛋白质与挥发性风味成分相互作用研究进展[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 285-291. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2014.02.0285.
- [14] BIANCHI A P, VARNEY M S, PHILLIPS J. Analysis of industrial solvent mixtures in water using a miniature purge-and-trap device with thermal desorption and capillary gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 1991, 557: 429-439.

- [15] KIRCHHEIM R. Bulk diffusion-controlled thermal desorption spectroscopy with examples for hydrogen in Iron[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2016, 47(2): 672-696. DOI:10.1007/s11661-015-3236-2.
- [16] PRAKASH B, CHAMBERS L, LIPPS W. Volatile organic compounds in wastewater: performance of US EPA method 624 on modern GC-MS and purge and trap instrumentation[J]. Lc Gc North America, 2015: 18.
- [17] WANG Ying, JIANG Yating, CAO Jinxuan, et al. Study on lipolysis-oxidation and volatile flavour compounds of dry-cured goose with different curing salt content during production[J]. Food Chemistry, 2016, 190(1): 33-40. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.05.048.
- [18] LÜ Tong, WANG Ying, PAN Daodong, et al. Effect of trypsin treatments on the structure and binding capacity of volatile compounds of myosin[J]. Food Chemistry, 2016, 214(1): 710-716. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.07.115.
- [19] 李鑫. 吹扫捕集/顶空固相微萃取-气质联用分析金华火腿挥发性风味物质[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [20] 李宝丽, 邓建玲, 蔡欣, 等. 顶空固相微萃取-气质联用结合主成分分析研究纯葡萄汁的香气成分[J]. 中国食品学报, 2016, 16(4): 258-270. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.04.035.
- [21] ABDI H, WILLIAMS L J. Principal component analysis[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics, 2010, 2(4): 433-459.
- [22] PURI R, KHAMRUI K, KHETRA Y, et al. Quantitative descriptive analysis and principal component analysis for sensory characterization of Indian milk product cham-cham[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(2): 1-9. DOI:10.1007/s13197-015-2089-4.
- [23] 马龙, 武杰, 吴玲玲, 等. 酱牛肉质构特性主成分分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 111-113.
- [24] 黄艳梅, 郇延军. 主成分分析法在酱卤肉制品品质评价中的应用[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 106-109.
- [25] 武苏苏, 赵改名, 柳艳霞, 等. 基于主成分分析法的煮制时间对卤制鸡肉风味的影响分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(10): 194-199.
- [26] 王旭, 龚媛, 张同刚, 等. 基于主成分分析法羊肉火腿香气质量评价模型的构建[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 122-127. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.21.017.
- [27] 刘登勇. 气味指纹技术的建立及其在腌腊肉制品中的应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [28] 唐静, 张迎阳, 吴海舟, 等. 顶空吹扫捕集-气相色谱-质谱法分离鉴定强化高温火腿中的挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 115-120. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201408022.
- [29] 周春娟, 郭守军, 庄东红, 等. SDE-GC-MS与P&T-TD-GC-MS提取分析不同香型凤凰单丛茶香气比较[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 137-142. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201518025.
- [30] 李迎楠, 刘文营, 成晓瑜. GC-MS结合电子鼻分析温度对肉味香精风味品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 104-109. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614018.
- [31] 郝宝瑞, 张坤生, 张顺亮, 等. 基于GC-O-MS和AEDA法对清酱肉挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 153-157. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201516028.
- [32] 张宁, 陈海涛, 孙宝国, 等. 固相微萃取和同时蒸馏萃取方法比较传统腊牛肉的风味成分[J]. 中国食品学报, 2016, 16(6): 247-258. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.06.033.
- [33] 谢丽源, 郑林用, 彭卫红, 等. 基于主成分分析法对不同温度处理下杏鲍菇的品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(6): 80-85. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201606014.
- [34] 刘倩, 申明月, 聂少平, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法测定即食酱牛肉的挥发性香气成分[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 102-106. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201522018.
- [35] 陈海涛, 张宁, 刘洋, 等. ASE-SAFE和SDE-GC-MS分析贾永信腊牛肉的挥发性香气成分[J]. 精细化工, 2013, 30(2): 166-173. DOI:10.13550/j.jxhg.2013.02.005.
- [36] 许倩倩, 林美丽, 刘雪妮, 等. 红烧牛肉罐头香味活性化合物的分析[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 238-241.
- [37] 黎强, 卢金清, 郭胜男, 等. SPME与SD提取八角茴香挥发性风味成分的GC-MS比较[J]. 中国调味品, 2014(7): 107-109. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2014.07.026.
- [38] 贾春晓, 张西安, 孙晓丽, 等. 顶空-固相微萃取法并气相色谱-质谱法测定八角茴香挥发性成分[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2009, 24(2): 21-26.
- [39] AGUIRRE M E, MILLER R, KERTH C. Cut and cooking method effects on beef flavor attributes[J]. Meat Science, 2015, 101: 145-146. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.09.106.
- [40] RODE H R, FEHRMAN C E, BLAIR A D, et al. Evaluation of the significance of the maillard browning reaction, caramelization, and flavor development in beef steaks[J]. Meat Science, 2016, 112: 152-156. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.08.114.
- [41] TIAN H, LI F, QIN L, et al. Quality Evaluation of beef seasonings using gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose: correlation with sensory attributes and classification according to grade level[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(6): 1522-1534. DOI:10.1007/s12161-014-0031-4.