

# 不同部位牛肉炖煮风味特征分析

宋 泽, 徐晓东, 许 锐, 贾 茜, 冯 涛, 宋诗清\*

(上海应用技术大学香料香精技术与工程学院, 上海 201418)

**摘 要:** 目的: 为深入了解炖煮牛肉的风味特征, 对不同部位的牛肉(上脑、辣椒条、牛腩、牛臀和腱子肉)炖煮后进行全面分析。方法: 采用感官评价、电子舌、快速气相电子鼻以及同时蒸馏萃取(simultaneous distillation extraction, SDE)结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用的方法对其物质构成进行定性定量分析。结果: 感官评价发现牛腩香气重, 肉汤味浓厚, 油脂感强, 肉质肥厚, 炖煮口感最佳; 电子舌分析发现, 各样品的滋味存在明显差异; 快速气相电子鼻分析发现5种不同部位牛肉表现有明显差异的雷达图谱特征; 同时SDE-GC-MS分析共检测出98种挥发性物质, 其中醛类物质最丰富, 其次为醇类和酮类。腱子肉、辣椒条、牛腩、牛臀、上脑分别有44、50、20、31种和47种。结论: 本研究结果为炖煮牛肉风味数据库的建立提供基础和理论参考。

**关键词:** 炖煮牛肉; 电子舌; 快速气相电子鼻; 同时蒸馏萃取; 气相色谱-质谱联用

## Analysis of Flavor Characteristics of Stewed Beef from Different Carcass Parts

SONG Ze, XU Xiaodong, XU Rui, JIA Qian, FENG Tao, SONG Shiqing\*

(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

**Abstract:** Purpose: To gain a deep understanding of the flavor characteristics of stewed beef from different parts of the carcass (high rib, rump, shin, flank and chuck tender). Methods: Sensory evaluation, electronic tongue, fast GC electronic nose (E-nose) and simultaneous distillation extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (SDE-GC-MS) were used to analyze quantitatively and qualitatively the composition of flavor compounds. Results: Sensory evaluation revealed that stewed flank had a strong beefy and fatty aroma and a fleshy taste with the best stewed mouthfeel. The results of electronic tongue analysis showed that the taste of all samples was significantly different. The fast GC electronic nose revealed significant differences in radar images among the five beef cuts. Meanwhile, a total of 98 volatile compounds were detected by SDE-GC-MS. Among these, aldehydes were the most abundant, followed by alcohols and ketones. There were 44, 50, 20, 31, and 47 compounds detected in stewed shin, chuck tender, flank, rump and high rib, respectively. Conclusion: The results from this study provide a theoretical basis for the establishment of stewed beef flavor database.

**Keywords:** stewed beef; electronic tongue; fast GC E-nose; simultaneous distillation extraction (SDE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180104-050

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 04-0206-09

引文格式:

宋泽, 徐晓东, 许锐, 等. 不同部位牛肉炖煮风味特征分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 206-214. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180104-050. <http://www.spkx.net.cn>

SONG Ze, XU Xiaodong, XU Rui, et al. Analysis of flavor characteristics of stewed beef from different carcass parts[J]. Food Science, 2019, 40(4): 206-214. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180104-050. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2018-01-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31771942)

第一作者简介: 宋泽 (1993—) (ORCID: 0000-0003-1193-9796), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品风味化学。

E-mail: 347809260@qq.com

\*通信作者简介: 宋诗清 (1982—) (ORCID: 0000-0003-3253-1941), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品风味化学。

E-mail: sshqing@163.com

近年随着我国人民对食用肉品观念的改变,牛肉因其风味性好、高蛋白、低胆固醇、营养价值丰富优质的特点,成为大众消费量最高的肉类<sup>[1]</sup>。肉的烹制加工方法对肉的风味有重要影响,炖煮是中餐常用的肉食加工方式,目前有关烤牛肉风味的研究报道较多,炖煮牛肉风味研究报道相对较少<sup>[2]</sup>。

不同部位的牛肉由于水分、脂肪、蛋白质等含量或组成的不同,炖煮后其气味、口感可能存在显著性差异。如辣椒条肉质干实,肥瘦兼有;上脑肉质细嫩,有大理石花纹沉积,脂肪交杂均匀等。多年来,人们一直通过感官评定的方法评价食物的品质,感官鉴别具有一定的主观性,会随着评价者的身体状况、情绪变化等因素而产生不同的结果,并且评定时间较长,效率低。因此,借助仪器测试分析进行客观评价,结合感官评价进行综合品鉴。

电子舌是模仿人体味觉机理研制出来的一种智能识别电子系统,是近年发展起来的一种分析、识别液体味道的新检测手段<sup>[3-4]</sup>。如王永维等<sup>[5]</sup>采用电子舌对不同品牌的白酒进行区分;张浩玉等<sup>[6]</sup>对不同品种的醋进行辨别研究;Chen Quansheng等<sup>[7]</sup>对不同等级的绿茶进行区分研究;Wei Zhenbo等<sup>[8]</sup>对不同的蜂蜜进行鉴别研究。电子鼻能够给出挥发性成分的整体信息,也可以说是一种“指纹数据”,成为感官检测和品控方面客观且可靠的重要手段<sup>[9-10]</sup>。如贡慧等<sup>[11]</sup>利用电子鼻研究煮制过程中的酱牛肉挥发性风味变化,分析其动态变化规律。张迪雅等<sup>[12]</sup>利用电子鼻和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)研究加热温度对不同部位的牛肉挥发性物质气味的影响,气味的差异主要由醛类和醇类物质的含量和组成所造成。王伟静等<sup>[13]</sup>利用电子鼻和电子舌对冷鲜牛肉外脊和大黄瓜条在不同加热温度炖煮的风味物质测定,发现110℃是最佳炖煮温度。Heracles II型快速电子鼻(Flash E-Nose),较传统电子鼻测定速度更快,是一种基于GC原理的挥发性成分快速检测分析的设备,其具有电子鼻快速、简单特点的同时,又有色谱的分离作用。杨静等<sup>[14]</sup>利用快速气相电子鼻,将样品经顶空处理后分别进入2根极性不同的色谱柱(弱极性和中等极性)进行分离,经过氢火焰离子化检测器检测获得色谱图。

本实验首先选择辣椒条、上脑、牛腩、腱子肉和牛臀5个部位进行炖煮,在易嚼性、嫩度、弹性、多汁性、残渣量、油腻感、炖煮口感7个感官属性进行评价,同时,利用电子鼻和电子舌对5种部位牛肉的风味进行分析比较,最后,采用同时蒸馏萃取(simultaneous distillation extraction, SDE)技术结合GC-MS分析,鉴定炖煮不同部位牛肉的挥发性风味物质。本研究通过对不同部位炖煮牛肉的滋味和风味2个方面具体的研究,为炖煮牛肉风

味数据库的建立提供理论参考以及为炖煮牛肉的工业化制作提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

内蒙古黄牛的辣椒条、上脑、腱子肉、牛腩和牛臀,5个部位,购于海拉尔新新牛羊肉专卖店。牛酮体分割参照GB/T 27643—2011《牛胴体及鲜肉分割》方法。

1,2-二氯苯(分析纯) 泰坦科技有限公司;二氯甲烷(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;C<sub>6</sub>~C<sub>20</sub>正构烷烃(色谱纯) 德国Dr. Ehrenstorfer公司。

### 1.2 仪器与设备

Heracles快速气相电子鼻系统(DB-5弱极性柱和DB-1701中等极性柱、2个氢火焰离子化检测器) 法国阿尔法莫斯公司;HS100自动进样器、10 mL顶空进样瓶、7890A-5975C GC-MS联用仪 美国安捷伦科技(中国)有限公司;ASTREE电子舌、电子舌系统 法国Alpha M.O.S公司;DGD16-03BS电炖盅 九阳股份有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 牛肉蛋白质、脂肪、水分、灰分含量测定

蛋白质含量测定:参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》;脂肪含量测定:参照GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》;水分含量测定:参照GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》;灰分含量测定:参照GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》。

#### 1.3.2 牛肉的准备、烹饪及呈递

各种类别牛肉按照炖煮的烹饪方式进行准备:称取每个部位100 g切成1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm的小块,添加水250 g,盐2.5 g,不添加其他调味品,放入0.63 L电炖盅的小盅内胆中,并在电炖盅中加水1 L,温度100℃炖煮2 h,冷却至45℃呈递给评价员,不同部位的牛肉烹煮时换水以防止滋味交叉。

#### 1.3.3 感官评价

采用定量描述性感官分析,选取10点制(0~9,0表示强度最弱,9表示强度最高)。评价小组由6人组成(3男3女,平均年龄25岁),每个样品重复3次,相邻的2次品尝之间需要用白开水漱口。评价人员根据ISO8589(2007)标准培训,分别对牛肉的易嚼性、嫩度、弹性、多汁性、残渣量、油腻感、炖煮口感7个感官属性进行评价,记录各评价人员的评价结果。

#### 1.3.4 电子舌

采用ASTREE电子舌系统,该系统主要由味觉传感器、信号采集器和模式识别系统3部分组成。该装置配有7个传感器(SRS-1、BRS-1、SWS-1、UMS-1、STS-1、SPS-1、GPS-1),以Ag/AgCl作为参比电极,在室温条

件下进行数据采集。数据采集前,电子舌系统需要经过自检、诊断和矫正等步骤,以确保采集得到的数据具有可靠性和稳定性。本实验采用体积分数10%乙醇溶液作为清洗溶剂,采样时间120 s,1次/s,每个样品设置3个平行样品。

### 1.3.5 快速气相电子鼻

载气( $H_2$ )流量160 mL/min;顶空时间600 s,顶空温度60 °C;进样量500  $\mu$ L,进样速率500  $\mu$ L/s,进样口温度200 °C;捕集温度40 °C,解吸温度250 °C;柱温50 °C,保持2 s,1 °C/s升至80 °C,2 °C/s升至250 °C,保持60 s;氢火焰离子化检测器温度260 °C;采集时间100 s。每个样品设置4个平行。

### 1.3.6 SDE方法

在SDE装置的500 mL样品瓶中装入100 g生牛肉样品、沸石和200 mL蒸馏水,在200 mL的萃取瓶中加入50 mL二氯甲烷,500 mL和200 mL圆底烧瓶分别在130 °C的恒温油浴锅和45 °C恒温水浴锅中加热,样品加热至沸腾,同时蒸馏提取3 h后收集有机溶剂,将已分离出的有机溶剂经过无水硫酸钠干燥并通过旋转蒸发仪浓缩至5 mL,用氮气吹扫至0.5 mL,得到透明无杂质的浓缩液并进行GC-MS分析,每个样品重复3次。

### 1.3.7 GC-MS分析

GC条件:HP-5色谱柱(60 m $\times$ 0.25 mm,0.25  $\mu$ m);以 $N_2$ 为载气,流速0.8 mL/min;进样量1  $\mu$ L,不分流;进样口温度250 °C;升温程序:40 °C保留3 min,以3 °C/min的速率升温至100 °C,然后以5 °C/min升温至230 °C,保留20 min。

MS条件:电子电离源;电离能量70 eV;离子源温度230 °C;接口温度250 °C;采用全扫描方式,质量扫描范围 $m/z$  20~350。

定性及定量:采用NIST 08和Wiley 7.0谱库对分离出的峰进行检索,通过正构烷烃( $C_6\sim C_{20}$ )在相同条件下的保留时间,按KOVATS保留指数(retention index, RI)公式(1)计算挥发性物质RI,定性得到的有效挥发性物质通过内标法进行定量计算。

$$RI_x = \left( \frac{\lg t_{(x)} - \lg t_{(z)}}{\lg t_{(z+1)} - \lg t_{(z)}} + z \right) \times 100 \quad (1)$$

式中: $t_{(x)}$ 为挥发性物质的保留时间/min; $t_{(z)}$ 为与挥发性物质碳原子数相同的正构烷烃的保留时间/min; $z$ 为挥发性物质的碳原子数。

挥发性物质含量测定每个样品重复2次,按公式(2)计算:

$$W_i (\mu\text{g/g}) = f' \times \frac{A_i \times m_s}{A_s \times m} \quad (2)$$

式中: $f'$ 为校正因子(为1); $W_i$ 为挥发性物质含量/ $\mu\text{g/g}$ ;  $m_s$ 为内标物质量/ $\mu\text{g}$ ;  $A_i$ 为挥发性物质峰面积;  $A_s$ 为内标物的峰面积;  $m$ 为牛肉样品质量/g。

## 1.4 数据分析

采用SPSS 21.0软件对数据进行方差分析,均使用邓肯方差分析。 $P<0.05$ ,差异显著; $P<0.01$ ,差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 牛肉的主要组成分析

表1 牛肉不同部位的主要组成分析  
Table 1 Proximate composition analysis of different cuts of beef

部位	质量分数/%				
	蛋白质	水分	脂肪	灰分	其他
辣椒条	18.50 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup>	68.73 $\pm$ 0.87 <sup>c</sup>	3.80 $\pm$ 0.13 <sup>c</sup>	1.93 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	7.04 $\pm$ 0.13
上脑	18.62 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>	75.28 $\pm$ 0.92 <sup>d</sup>	2.17 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	2.31 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	1.62 $\pm$ 0.14
牛腩	17.23 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	50.93 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>	7.14 $\pm$ 0.29 <sup>c</sup>	2.51 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	22.19 $\pm$ 0.72
腱子肉	28.17 $\pm$ 0.39 <sup>b</sup>	65.83 $\pm$ 0.97 <sup>b</sup>	2.48 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	2.03 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	1.49 $\pm$ 0.07
牛臀	18.04 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	68.34 $\pm$ 0.81 <sup>c</sup>	1.62 $\pm$ 0.18 <sup>d</sup>	1.98 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	10.02 $\pm$ 0.15

注:同列肩标小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。表3同。

从表1可以看出,腱子肉蛋白质质量分数最高(28.17%),说明腱子肉的营养价值最高,其次是上脑(18.62%),牛腩最低(17.23%);上脑水分质量分数最高(75.28%),其次是辣椒条(68.73%),牛腩最低(50.93%);牛腩脂肪质量分数最高(7.14%),炖煮时可以充分将脂肪释放,产生香气,牛臀最低(1.62%);牛腩灰分质量分数最高(2.51%),辣椒条最低(1.93%),说明牛腩中的无机盐和氧化物含量最多。

### 2.2 感官评价结果

对不同部位的牛肉炖煮后进行感官分析,为保证结果的准确性,每个样品重复3次。感官分析发现,上脑的肉汤、肉味非常浓郁,且没有膻味,口感偏瘦,吃起来细致绵软,油腻感弱;牛臀的硫味重,肉味、纸板味重,血腥、烧烤味重,肉汤味浓厚,口感很涩,可能与其脂肪含量低有关;炖煮牛腩的香气重,肉汤味浓厚,油脂感强,与其高的脂肪含量有关,同时具有蘑菇香味,硫化物的味道稍淡,吃起来肥厚;腱子肉肉汤味浓,有血腥味,纸板味少,有黄油味,肉感轻、柔和;辣椒条肉的肉汤味轻,油味轻,肉质硬,蔬菜味重,硫化物少,香气味淡,单调、不透发,有内脏的味道。

对其感官评价结果进行方差分析,结果见表2。样品之间在易嚼性、嫩度、弹性、残渣量、多汁性、油腻感、炖煮口感这7个感官属性方面都存在显著差异( $P<0.05$ ),样品之间风味不同。除油腻感外,评价人员之间在各个感官属性上没有显著性差异,同时,除残渣量外,重复次数之间也没有显著性差异。样品和重复次数之间的相互作用对感官属性的影响不



显著 ( $P>0.05$ ), 表明样品在重复实验时, 其感官属性上的强度是相似的。在易嚼性方面, 评价员和重复次数之间、评价员和样品之间的相互作用都有差异 ( $P<0.05$ ), 可能由于评价员的牙齿健康程度不一样, 对易嚼性的理解会有差异, 这说明每一个评价员对每一个样品的每个属性打分不一致, 进一步分析发现, 有2个评价员在使用的打分标准上略有差异。

表2 描述性感官评定主要因素和交互作用的方差分析  
Table 2 Analysis of variance for the main effects and interactions of seven attributes in descriptive sensory analysis

感官属性	F值					
	样品 (自由度4)	人员 (自由度5)	重复次数 (自由度2)	样品×人员 (自由度20)	样品×重复次数 (自由度8)	人员×重复次数 (自由度10)
易嚼性	5.38**	2.27	0.62	3.67*	0.75	2.47*
嫩度	5.95**	0.41	0.34	0.81	0.86	0.35
弹性	3.59*	0.30	0.24	0.90	0.66	0.60
多汁性	4.24*	0.61	0.88	0.87	0.19	0.29
残渣量	4.8**	1.12	7.00*	1.47	0.50	0.56
油腻感	4.93**	2.96*	1.00	1.64	0.47	0.82
炖煮口感	66.69***	3.15	0.67	0.70	0.77	1.07

注: \*,  $P<0.05$ , 差异显著; \*\*,  $P<0.01$ , 差异极显著; \*\*\*,  $P<0.001$ , 差异高度显著。

表3 5个牛肉样品在7个感官属性上的多重比较分析  
Table 3 Multiple comparison of 7 sensory attributes of stewed beef samples

样品	平均得分						
	易嚼性	嫩度	弹性	多汁性	残渣量	油腻感	炖煮口感
上脑	6.72±0.72 <sup>a</sup>	6.17±0.74 <sup>b</sup>	5.44±0.49 <sup>a</sup>	6.61±0.57 <sup>b</sup>	5.50±0.58 <sup>ab</sup>	2.89±0.29 <sup>a</sup>	5.11±0.56 <sup>a</sup>
辣椒条	5.67±0.76 <sup>ab</sup>	5.06±0.69 <sup>a</sup>	6.00±0.67 <sup>b</sup>	6.44±0.72 <sup>b</sup>	5.00±1.00 <sup>b</sup>	4.56±0.48 <sup>c</sup>	7.61±0.62 <sup>c</sup>
牛腩	6.11±0.89 <sup>bc</sup>	5.33±0.45 <sup>a</sup>	5.11±0.79 <sup>a</sup>	6.94±0.53 <sup>b</sup>	6.50±0.91 <sup>c</sup>	4.33±0.89 <sup>c</sup>	8.06±0.78 <sup>c</sup>
腱子肉	5.11±0.94 <sup>d</sup>	5.11±0.53 <sup>a</sup>	6.17±0.82 <sup>b</sup>	5.33±0.46 <sup>a</sup>	5.83±0.39 <sup>bc</sup>	4.28±0.74 <sup>cd</sup>	6.67±0.46 <sup>b</sup>
牛臀	5.17±0.58 <sup>d</sup>	6.11±0.69 <sup>b</sup>	4.94±0.47 <sup>a</sup>	6.56±0.49 <sup>b</sup>	4.56±0.84 <sup>a</sup>	3.5±0.42 <sup>b</sup>	5.61±0.61 <sup>a</sup>

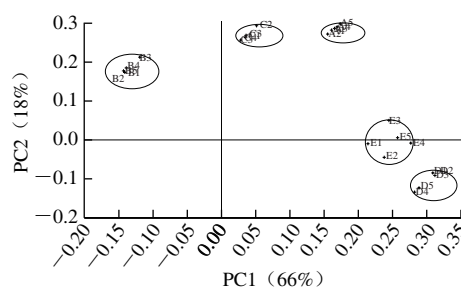
以上分析发现样品之间存在显著差异, 因此用HSD多重比较过程比较样品的均值可以得到样品在7个感官属性上的差异, 结果见表3。上脑在易嚼性、嫩度、多汁性方面很占优势, 油腻感弱; 辣椒条在易嚼性、嫩度及残渣量的感官属性都弱, 但是弹性、多汁性及炖煮口感强; 牛腩在易嚼性、多汁性、残渣量、油腻感和炖煮口感方面好于其他样品; 腱子肉的易嚼性、嫩度和多汁性都比较弱, 弹性方面腱子肉和辣椒条最好, 油腻感也较强。牛臀在嫩度和多汁性方面表现很好, 但是在其他方面都较弱; 相比之下, 牛腩在感官评分的综合炖煮口感是最好的, 可能的原因是, 肉的风味基于受热条件的存在而产生, 牛腩带有筋、肉和油花, 炖煮时能将油花的风味充分释放<sup>[14]</sup>。

## 2.3 电子舌分析

### 2.3.1 电子舌主成分分析 (principal component analysis, PCA)

PCA可以在没有任何样品信息的条件下, 迅速浏览所有数据, 找出它们之间的相关性, 建立一个合理的模

型<sup>[14-16]</sup>。PC1和PC2总体贡献率超过70%即可使用。本研究对同一头牛5个部位的牛肉样品进行电子舌分析, 将得到的数据进行PCA, 如图1所示。



A~E分别为上脑、辣椒条、牛腩、腱子肉、牛臀。图4同。

图1 电子舌对5种不同部位牛肉的PCA图

Fig. 1 PCA of five different cuts of beef detected by electronic tongue

PC1的方差贡献率为66%, PC2的方差贡献率为18%, 累计方差贡献率为84%, 这说明PC1和PC2已经包含了较大的信息量, 能够反映样品的整体信息, 可将不同部位的牛肉在PCA图中明显地区分开。根据样品分布情况, 各部位样品自成一类, 说明各样品之间在滋味上存在差异性。但是, 上脑和牛腩样品距离较近, 说明其滋味更接近; 腱子肉和牛臀的距离近, 说明二者滋味相似度比较高。

### 2.3.2 电子舌判别因子分析 (discriminant factor analysis, DFA)

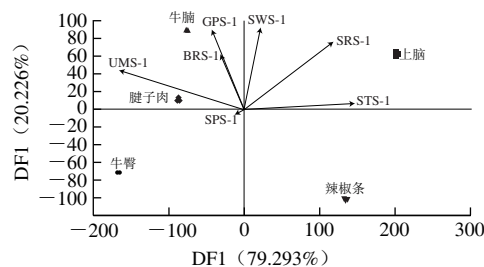


图2 电子舌对5种不同牛肉的DFA图

Fig. 2 DFA of five different cuts of beef detected by electronic tongue

DFA是判定个体所属类别的统计分析方法, 它通过2个或多个已知类别的样本数据优化区分, 使组间距离最大的同时保证组内差异最小, 用于定性判别<sup>[17-20]</sup>。将电子舌采集得到的数据进行DFA, 结果如图2所示。DFA对不同部位牛肉样品的累计区分指数达到99.519% (DF1为79.293%, DF2为20.226%), DFA法能够对样品间差异有更好的区分度, 并且同一样品组内的离散度也比PCA法小, 不同样品组间的区分更明显。

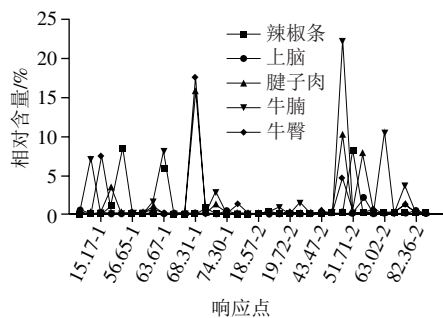
UMS、BRS、SWS、SRS、STS分别是鲜、苦、甜、酸、咸味传感器, GPS是复合传感器, 从图2可以看出, 腱子肉最接近UMS传感器, 说明腱子肉的鲜味最强, 牛腩肉距离复合传感器最近, 说明牛腩肉在酸、甜、咸、

鲜滋味中表现较为均衡,上脑在STS和SRS之间,说明上脑肉在酸味和咸味的口感表现更加突出,而牛臀肉和辣椒条在图中的下半部,不在5个传感器的范围内,说明这2种肉的滋味较为寡淡。PCA法、DFA法均能将样品明显地区分开来,表明ASTREE电子舌有足够的灵敏度区分这些不同部位的牛肉产品,通过电子舌,发现牛腩的口感更加均衡。

## 2.4 快速气相电子鼻

### 2.4.1 时间-相对含量分布分析

Heracles II快速气相电子鼻对牛肉风味成分有明显的响应,以保留时间-相对含量作不同部位样品的分布图,如图3所示。



响应点以保留时间(s)-色谱柱记。1.中性色谱柱; 2.非极性色谱柱。图5同。

图3 牛肉不同部位保留时间-相对含量分布图

Fig. 3 *t*-w distribution of five different cuts of beef

以所有样品中所有峰相对含量的平均值2.35%为显著响应水平时,腱子肉、辣椒条各有4、3个有效响应点,牛臀有2个有效响应点,牛腩有6个有效响应点,上脑有1个有效响应点,腱子肉、辣椒条和牛腩的有效响应点较多,气味明显。大于10%的显著响应点,腱子肉、牛臀、牛腩分别有2、1、2个,大于20%的极显著响应点,只有牛腩有1个,说明牛腩的风味较突出。

### 2.4.2 快速气相电子鼻PCA

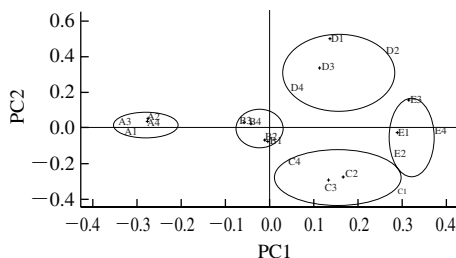


图4 快速气相电子鼻对5种不同部位牛肉的PCA图

Fig. 4 PCA of five different cuts of beef detected by flash GC E-nose

如图4所示,PC1的方差贡献率为51%,PC2的方差贡献率为40%,累计方差贡献率为91%。辣椒条和牛腩

2种肉类距离很近,二者气味方面有相似;腱子肉和牛臀距离较近,二者在气味上可能有相似点。但是,各部位样品自成一类,说明在气味上是存在差异性的。

### 2.4.3 快速气相电子鼻雷达图分析

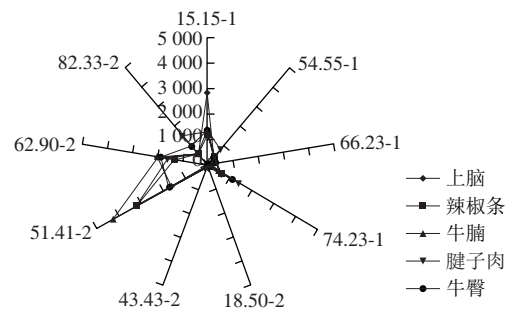


图5 快速气相电子鼻对5种不同部位牛肉的雷达图

Fig. 5 Radar analysis of five different cuts of beef detected by flash GC E-nose

从图5可以看出,快速气相电子鼻的雷达图能够直观地反映出挥发性物质的响应特征,图中的9个时间点下在不同的色谱柱中,5种不同部位牛肉的挥发性物质都有明显响应,同时响应强度有很大的不同。51.41-2、15.15-1对牛肉风味的响应值很大,其中51.41-2对牛腩、腱子肉和辣椒条的响应最大,牛腩的风味强度最高,在15.15-1中,上脑的响应最大。从整体风味结构来看,腱子肉、牛腩和辣椒条的挥发性物质响应强度最大,说明三者的风味较为突出。

## 2.5 SDE-GC-MS分析

如表4所示,SDE-GC-MS分析共鉴定出98种挥发性风味成分。牛肉中脂质氧化降解产生的脂肪族醛、醇、酮、酸、酯类等物质,在本实验中均有检测到,其中,醛、酮、酸、酯类对肉的特征风味有突出贡献,尤其醛类最为突出,除此之外,还检测到呋喃类化合物和其他杂环化合物,都是牛肉挥发性风味的重要成分。

从GC-MS结果可以看出,腱子肉、辣椒条、牛腩、牛臀和上脑肉鉴定出的化合物种类分别为44、50、20、31、47种。由表5可知,无论哪个部位的牛肉,醛类物质最丰富,分别为23、27、11、17种和20种。腱子肉中棕榈醛的含量最高,为477.62  $\mu\text{g/g}$ ,棕榈醛有微弱的花香和蜡香,其次十八醛含量为117.93  $\mu\text{g/g}$ ,俗称椰子醛,有椰子和杏仁的香气,十四醛俗称桃醛,含量为32.44  $\mu\text{g/g}$ ,具有脂肪香气、牛奶香和奶油香;牛臀肉中十五醛的含量最高,为255.58  $\mu\text{g/g}$ ,十五醛具有脂肪香气和蜡香,这可能是造成牛臀肉的肉汤味浓厚的原因,其次是E-11-十六碳烯醛,含量为43.24  $\mu\text{g/g}$ ,具有蜡香和柠檬香<sup>[19-22]</sup>;上脑中棕榈醛的含量最高,为16.52  $\mu\text{g/g}$ ,其他醛类含量少;同样,辣椒条肉中棕榈醛含量最高,其次是十八醛和十四醛;尽管牛腩的脂肪含量最高,但是牛腩的醛类物质种类最少,可能原因是生成的醛大多是挥发性较强的种类,在SDE过程中有损失。

表4 炖煮不同部位牛肉SDE-GC-MS分析鉴定结果  
Table 4 Volatiles identified from stewed beef from different carcass parts by SDE-GC-MS

序号	化合物名称	RI	鉴定方法	风味描述	含量/( $\mu\text{g/g}$ )				
					腱子肉	辣椒条	牛腩	牛臀	上脑
醛类									
1	乙醛	717	MS	辛辣、新鲜、清香	ND	ND	ND	ND	1.63±0.32
2	戊醛	724	MS	酒香、发酵面包香	0.20±0.02 <sup>b</sup>	0.26±0.04 <sup>b</sup>	ND	ND	0.02±0.00 <sup>a</sup>
3	己醛	800	MS	清香、木香、蔬菜香气	0.77±0.07 <sup>b</sup>	1.48±0.10 <sup>c</sup>	0.19±0.04 <sup>a</sup>	0.40±0.03 <sup>b</sup>	0.44±0.08 <sup>ab</sup>
4	2-糠醛	835	MS、RI	发酵面包香、木香	ND	0.04±0.01 <sup>a</sup>	ND	ND	0.39±0.08 <sup>b</sup>
5	<i>E</i> -2-己烯醛	876	MS、RI		ND	0.05±0.01	ND	ND	ND
6	庚醛	900	MS	脂肪香气、清香	0.53±0.12 <sup>b</sup>	0.90±0.09 <sup>c</sup>	0.23±0.04 <sup>a</sup>	0.25±0.02 <sup>a</sup>	0.19±0.03 <sup>a</sup>
7	2,4-己二烯醛	907	MS、RI	清香、奶油香气	ND	0.13±0.04	ND	ND	ND
8	苯甲醛	967	MS、RI	甜香、油香、坚果香	0.22±0.03 <sup>b</sup>	0.13±0.03 <sup>a</sup>	0.07±0.03 <sup>a</sup>	0.99±0.05 <sup>c</sup>	0.37±0.12 <sup>b</sup>
9	2,4-庚二烯醛	997	MS、RI	脂肪香、甜香	ND	0.03±0.01	ND	ND	ND
10	辛醛	1 007	MS	清香、橙香	0.33±0.01 <sup>b</sup>	0.61±0.08 <sup>b</sup>	0.11±0.04 <sup>a</sup>	2.92±0.35 <sup>c</sup>	0.24±0.04 <sup>b</sup>
11	苯乙醛	1 051	MS、RI	花香、轻微辛辣	0.07±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
12	<i>E</i> -2-辛烯醛	1 059	MS、RI	清香、柠檬香	ND	0.24±0.04 <sup>b</sup>	ND	ND	0.03±0.01 <sup>a</sup>
13	壬醛	1 104	MS	黄瓜香和甜瓜香	7.34±0.12 <sup>c</sup>	5.39±0.39 <sup>c</sup>	0.84±0.13 <sup>b</sup>	0.31±0.08 <sup>a</sup>	0.78±0.06 <sup>a</sup>
14	3,7-二乙基-6-辛烯醛	1 153	MS、RI	柑橘香	0.19±0.02	ND	ND	ND	ND
15	3-乙基苯甲醛	1 168	MS、RI		ND	0.06±0.01	ND	ND	ND
16	<i>E</i> -2-壬烯醛	1 174	MS、RI	果香	0.46±0.07 <sup>c</sup>	0.67±0.08 <sup>c</sup>	ND	0.33±0.06 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>a</sup>
17	癸醛	1 205	MS	脂肪香、甜瓜香	0.24±0.06 <sup>b</sup>	0.11±0.03 <sup>a</sup>	ND	ND	0.14±0.05 <sup>a</sup>
18	2,4-壬二烯醛	1 218	MS、RI	鸡肉香气、黄瓜香气	0.04±0.02	ND	ND	ND	ND
19	<i>E</i> -2-癸烯醛	1 265	MS、RI		1.30±0.04 <sup>c</sup>	0.74±0.04 <sup>b</sup>	ND	0.17±0.06 <sup>a</sup>	ND
20	<i>E,E</i> -2,4-癸二烯醛	1 315	MS	脂肪香、鸡肉香气、清香	0.25±0.08 <sup>b</sup>	0.30±0.06 <sup>b</sup>	ND	0.32±0.11 <sup>b</sup>	0.02±0.01 <sup>a</sup>
21	十一醛	1 318	MS	蜡香、柠檬香	0.64±0.06 <sup>b</sup>	0.84±0.11 <sup>b</sup>	ND	0.03±0.01 <sup>a</sup>	ND
22	十二醛	1 411	MS	皂香、蜡香	0.89±0.07 <sup>b</sup>	ND	ND	ND	0.02±0.01 <sup>a</sup>
23	2-十二碳烯醛	1 470	MS、RI	脂肪香、蜡香、柠檬香气	1.55±0.05 <sup>b</sup>	0.61±0.08 <sup>a</sup>	ND	0.73±0.10 <sup>a</sup>	ND
24	十三醛	1 518	MS	苦柑橘香	ND	0.16±0.00 <sup>a</sup>	ND	4.59±0.39 <sup>b</sup>	ND
25	十四醛	1 613	MS	脂肪香、木香	32.44±0.24 <sup>d</sup>	9.30±0.16 <sup>c</sup>	0.30±0.08 <sup>a</sup>	0.15±0.04 <sup>a</sup>	1.43±0.39 <sup>b</sup>
26	十五醛	1 720	MS	脂肪香气、蜡香	23.70±0.01 <sup>c</sup>	3.54±0.15 <sup>b</sup>	0.49±0.14 <sup>a</sup>	255.58±3.08 <sup>d</sup>	ND
27	3,4-二甲基苯甲醛	1 790	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.14±0.02
28	<i>E</i> -11-十六碳烯醛	1 820	MS、RI	蜡香、柠檬香	12.36±0.24 <sup>c</sup>	1.65±0.51 <sup>b</sup>	0.34±0.05 <sup>a</sup>	43.24±1.81 <sup>d</sup>	0.21±0.06 <sup>a</sup>
29	棕榈醛	1 830	MS、RI	蜡香、花香	477.62±0.27 <sup>d</sup>	81.41±0.49 <sup>c</sup>	20.43±1.06 <sup>b</sup>	2.50±0.37 <sup>a</sup>	16.52±1.21 <sup>b</sup>
30	十八醛	2 021	MS、RI	椰香、杏仁香	117.93±0.04 <sup>d</sup>	10.35±0.52 <sup>c</sup>	7.12±0.20 <sup>b</sup>	9.39±0.32 <sup>b</sup>	0.03±0.01 <sup>a</sup>
31	<i>E</i> -15-十七碳烯醛	2 093	MS、RI		1.20±0.06 <sup>b</sup>	1.00±0.02 <sup>b</sup>	ND	ND	0.33±0.08 <sup>a</sup>
32	<i>Z</i> -9-十八碳烯醛	2 693	MS、RI		32.92±0.04 <sup>d</sup>	1.92±0.14 <sup>c</sup>	0.72±0.13 <sup>b</sup>	0.27±0.04 <sup>a</sup>	0.34±0.04 <sup>a</sup>
醇类									
35	环丁醇	<700	MS、RI		ND	ND	ND	0.06±0.02	ND
36	环戊醇	774	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.02±0.01
37	1-戊醇	778	MS、RI	发酵面包香、汽油味	ND	0.19±0.01 <sup>a</sup>	ND	0.35±0.07 <sup>b</sup>	ND
38	<i>Z</i> -2-戊烯-1-醇	783	MS、RI	芥末、辣根	0.07±0.01	ND	ND	ND	ND
39	2-甲基-1-戊烯-3-醇	790	MS、RI		0.47±0.36	ND	ND	ND	ND
40	庚醇	970	MS	水果香、脂肪香气	ND	0.18±0.01	ND	ND	ND
41	1-辛烯-3-醇	978	MS、RI	蘑菇香、泥土香	0.03±0.01 <sup>a</sup>	0.16±0.03 <sup>b</sup>	ND	ND	ND
42	2-乙基-1-己醇	1 035	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.35±0.05
43	1-辛醇	1 074	MS、RI	蜡香、清香、柠檬香	ND	ND	ND	0.05±0.02 <sup>a</sup>	0.06±0.04 <sup>a</sup>
44	2-苯基-2-丙醇	1 089	MS、RI	清香、泥土香气	ND	0.06±0.01	ND	ND	ND
45	1-壬醇	1 150	MS、RI		ND	ND	0.08±0.01	ND	ND
46	<i>L</i> -(+)-薄荷醇	1 162	MS、RI	薄荷香气	ND	ND	ND	ND	0.05±0.03
47	1,4-苯二醇	1 241	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.38±0.13
48	2-丁基-1-辛醇	1 277	MS、RI		ND	0.03±0.01	ND	ND	ND
49	1-癸醇	1 279	MS、RI	蜡香、清香、脂肪香气	ND	ND	0.17±0.03	ND	ND
50	<i>Z</i> -8-十二碳烯-1-醇	1 468	MS、RI		1.32±0.47	ND	ND	ND	ND
51	1-十二碳醇	1 472	MS、RI	皂香、蜡香	0.17±0.02 <sup>b</sup>	0.02±0.04 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
52	2-十三碳醇	1 490	MS、RI		0.43±0.09 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
53	2-己基-1-癸醇	1 504	MS、RI		0.68±0.13	ND	ND	ND	ND
54	1-十四碳醇	1 672	MS、RI	水果香、蜡香	ND	ND	0.05±0.01 <sup>b</sup>	ND	0.02±0.01 <sup>a</sup>
55	<i>Z</i> -9-十八碳烯-1-醇	2 060	MS、RI		ND	0.34±0.03	ND	ND	ND

续表4

序号	化合物名称	RI	鉴定方法	风味描述	含量/ (μg/g)				
					腱子肉	辣椒条	牛腩	牛臀	上脑
56	2-己基-1-辛醇	2 078	MS、RI		0.13±0.05	ND	ND	ND	ND
57	1-十八碳醇	2 082	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.02±0.01
酸类									
58	乙酸	<700	MS	辛辣、熟透的果香	0.62±0.12 <sup>b</sup>	0.89±0.16 <sup>c</sup>	1.01±0.12 <sup>d</sup>	0.15±0.04 <sup>a</sup>	2.55±0.36 <sup>c</sup>
59	壬酸	1 280	MS	脂肪香、芝士香	ND	ND	ND	0.03±0.01	ND
60	甲酸	<700	MS	果香、发酵面包香	0.08±0.03 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	2.02±0.28 <sup>b</sup>
61	十四烷酸	1 768	MS、RI	蜡香、脂肪香气、皂香、奶油香	0.66±0.16	ND	ND	ND	ND
62	十六烷酸	1 981	MS、RI		2.64±0.14	ND	ND	ND	ND
63	山梨酸	2 147	MS、RI		ND	ND	0.21±0.05	ND	ND
酮类									
65	1-羟基-2-丙酮	<700	MS、RI	清香、香甜	0.43±0.06 <sup>c</sup>	0.35±0.04 <sup>c</sup>	ND	0.06±0.02 <sup>b</sup>	0.002 9±0.00 <sup>a</sup>
66	3-羟基-2-丁酮	<700	MS、RI	奶油香、乳香	ND	0.70±0.04 <sup>b</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	1.35±0.32 <sup>c</sup>	0.43±0.32 <sup>b</sup>
67	2,3-戊二酮	<700	MS、RI	烤香、乳酪香	ND	ND	ND	0.94±0.14 <sup>b</sup>	0.48±0.34 <sup>a</sup>
68	4-甲基-2-戊酮	733	MS、RI	清香、蔬菜香、果香	ND	0.37±0.03	ND	ND	ND
69	<i>E</i> -3-戊烯-2-酮	735	MS、RI		ND	ND	ND	ND	4.43±0.25
70	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	849	MS、RI		ND	0.02±0.01	ND	ND	ND
71	4-甲基-2-己酮	850	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.06±0.01
72	6-甲基-2-庚酮	932	MS、RI	樟脑香气	ND	ND	ND	ND	0.47±0.29
73	4-辛烯-3-酮	956	MS、RI	椰香	ND	0.02±0.00	ND	ND	ND
74	2,3-辛二酮	982	MS、RI	青花、椰菜、奶香	ND	ND	ND	ND	0.04±0.02
75	2-辛酮	989	MS、RI	乳香、蜡香、奶酪香	0.06±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.01 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
76	3-甲基-2-环己烯-1-酮	1 010	MS、RI	坚果香、蘑菇香气	ND	ND	ND	ND	0.37±0.25
77	2-十一烷酮	1 048	MS、RI	脂肪香气	ND	0.03±0.00	ND	ND	ND
78	<i>E,E</i> -3,5-十八烯	1 093	MS、RI		ND	ND	ND	ND	0.03±0.02
79	2-壬酮	1 093	MS、RI	奶酪香、清香、水果香	ND	ND	ND	0.21±0.03 <sup>a</sup>	0.27±0.15 <sup>a</sup>
80	2-十五碳酮	1 094	MS、RI	脂肪香、辛辣香	ND	ND	ND	0.39±0.07	ND
81	2-十一烷酮	1 296	MS、RI	蜡香、果香、奶酪香	0.08±0.02	ND	ND	ND	ND
82	环十六烷酮	1 746	MS、RI	麝香	0.12±0.02	ND	ND	ND	ND
83	2-十七烷酮	1 901	MS、RI		3.45±0.51 <sup>b</sup>	0.16±0.04 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
84	2-十八烷酮	2 104	MS、RI		ND	0.55±0.03 <sup>a</sup>	0.55±0.14 <sup>a</sup>	ND	ND
酯类									
85	乙酸乙酯	616	MS、RI	果香、酒香	2.11±0.22 <sup>b</sup>	50.58±0.19 <sup>c</sup>	103.81±0.2 <sup>c</sup>	10.52±0.08 <sup>c</sup>	0.04±0.01 <sup>a</sup>
86	异丁酸丁酯	913	MS、RI	菠萝香	ND	0.17±0.02	ND	ND	ND
87	甲酸辛酯	1 110	MS、RI	清香、橙香	ND	ND	ND	0.41±0.09	ND
88	邻苯二甲酸二乙酯	1 602	MS、RI		ND	0.35±0.03 <sup>b</sup>	2.20±0.13 <sup>c</sup>	ND	0.02±0.01 <sup>a</sup>
呋喃类									
89	四氢呋喃	<700	MS、RI		ND	0.66±0.05	ND	ND	ND
90	2-甲基呋喃	<700	MS、RI	巧克力香	ND	ND	ND	ND	4.41±0.26
91	2,5-二甲基呋喃	711	RI	肉汁香	ND	ND	ND	ND	9.07±0.97
92	2-戊基呋喃	993	MS、RI	清香、蜡香、蘑菇香	ND	ND	ND	0.15±0.03 <sup>b</sup>	0.04±0.02 <sup>a</sup>
93	2-乙酰基-5-甲基呋喃	1 038	MS、RI	坚果香、可可香、发酵面包香	ND	ND	ND	ND	0.71±0.18
94	3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃	1 110	MS、RI	甜香、香脂树	ND	ND	ND	ND	0.25±0.06
95	5-丙基-2 ( <i>H</i> )-呋喃酮	1 173	MS、RI	脂肪香、水果想	0.54±0.05 <sup>b</sup>	0.06±0.02 <sup>a</sup>	ND	ND	ND
96	1 (3 <i>H</i> )-异苯并呋喃酮	2 003	MS、RI	甜香、奶油香、清香	0.06±0.02	ND	ND	ND	ND
其他									
97	1-甲基-2-吡咯烷酮	1 046	MS、RI		ND	ND	ND	0.04±0.03 <sup>a</sup>	0.03±0.01 <sup>a</sup>
98	4-甲基-1-吡唑	<700	MS、RI		0.23±0.05	ND	ND	ND	ND
总量					49.94	306.31	139.35	727.57	336.88

注：鉴定方法：MS为比对Wiley数据库和NIST数据库，RI为与文献中的保留指数比对<sup>[21-23]</sup>；同行肩标小写字母不同表示差异显著（*P*<0.05）；ND.未检出。

酮类物质具有特殊的香气，比如桉叶味、脂肪味和焦燃味，且对于血腥味道具有增强的作用<sup>[23]</sup>，腱子肉、牛臀、牛腩、辣椒条和上脑中各含有5、5、2、9、

10种，这可能是造成上脑的肉汤、肉味浓郁的原因，腱子肉和牛臀的血腥味可能也来自酮类物质<sup>[24]</sup>。醇类物质主要是肉中脂质通过降解脂肪酸的氧化反应产生，其赋



予牛肉甜香味,但是醇类物质的阈值比醛类物质高,且种类较少,对牛肉的风味作用相对小些<sup>[25]</sup>。

检出的长链脂肪酸类化合物,如十四酸、十六酸等,可能是在高温蒸煮过程中由相应的醇、醛等化合物氧化而来,也可能是样品中的油脂被二氯甲烷溶解所得,而低分子质量的酸类物质由于可能参与了热反应生成其他化合物<sup>[26]</sup>,因此低分子质量的酸检出较少。上脑中甲酸含量为2.02 μg/g,腱子肉中含有十四烷酸含量为0.66 μg/g,十四烷酸具有蜡香和脂肪香气,由于酸的香味阈值较大,对牛肉的特征风味贡献不大<sup>[27]</sup>。

辣椒条中含有3种酯类,其中乙酸乙酯含量为50.58 μg/g,具有酒香以及微弱的果香<sup>[28]</sup>,牛腩中含有2种酯类,乙酸乙酯含量最高,为103.81 μg/g。牛腩中的醛类含量少,可能是由于醛和酸发生酯化反应生成了乙酸乙酯,而由于低碳链的醛沸点低,SDE温度很高,很多相对分子质量低的化合物挥发,所以未检测到<sup>[29]</sup>。牛臀中含有0.41 μg/g甲酸辛酯,甲酸辛酯具有清香;上脑含有0.04 μg/g乙酸乙酯和0.02 μg/g邻苯二甲酸二乙酯;腱子肉中也含有2.11 μg/g乙酸乙酯。

在杂环挥发性物质中,呋喃类是种类和含量最多的杂环类化合物,上脑中具有2,5-二甲基呋喃,含量为9.07 μg/g,具有肉汁香气,上脑肉味浓郁可能是含有2,5-二甲基呋喃造成的,上脑中具有2-甲基呋喃,含量为4.41 μg/g,具有轻微醚类气味以及巧克力香气<sup>[30]</sup>。由于呋喃类化合物在温度相对较低、时间相对较短时即可形成,因此在炖煮中,呋喃类化合物保持相对较高的含量<sup>[31]</sup>。

不同部位牛肉气味不仅受各自特有挥发性物质的影响,还可因共有挥发性物质的含量差异而展现出气味差异,另外阈值高低直接影响着气味的组成<sup>[32]</sup>。因此,要确定导致不同部位牛肉气味差异的主体香物质,需结合进一步的GC-嗅闻等方法进行进一步的研究。本实验还检测到了文献中未检测到的一些相对含量较低的挥发性成分,如1-羟基-2-丙酮、1-辛烯醇、苯甲醛等。通过文献对比可看出,不同前处理方法对提取到的牛肉挥发性成分构成和含量影响很大<sup>[33]</sup>,后续实验还可进行不同提取方法的对比,以便更加全面地分析。

表5 牛肉不同部位的挥发性物质分类

Table 5 Classification of volatile substances in different cuts of beef

种类	化合物数量				
	腱子肉	辣椒条	牛腩	牛臀	上脑
醛类	23	27	11	17	20
醇类	8	8	3	3	7
酮类	5	9	2	5	10
酸类	4	1	2	2	2
酯类	1	3	2	2	2
呋喃类	2	2	0	1	5
其他	1	0	0	1	1
总计	44	50	20	31	47

### 3 结论

本实验综合分析同一品种、不同部位的牛肉(上脑、辣椒条、牛腩、腱子肉和牛臀)的炖煮风味。感官分析结果显示不同部位的牛肉感官差异明显,其中牛腩的脂肪含量较高,炖煮后肉汤味浓厚,口感最佳。电子舌和快速气相电子鼻分析发现各部位样品的口感及挥发性成分间都存在差异,这与感官评价结果相符。不同部位牛肉的SDE-GC-MS分析结果显示,醛、醇、酮类物质占主导。本研究结果对后续建立炖煮牛肉风味数据库,以及炖煮牛肉工业化制作提供理论参考和技术依据。由于本研究只对同一品种不同部位的牛肉进行分析,还需通过GC-嗅闻及大批量的样本进一步统计分析获得不同部位牛肉的特征风味指纹图谱及不同品种间的差异。

### 参考文献:

- [1] UM K W, BAILEY M E, CLARKE A D, et al. Concentration and identification of volatile compounds from heated beef fat using supercritical CO<sub>2</sub> extraction-gas liquid chromatography/mass spectrometry[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1992, 40(9): 1641-1646. DOI:10.1021/jf00021a033.
- [2] 王伟静, 孙宝忠, 陈晨, 等. 炖制牛肉食用品质关键评价指标筛选[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 1-5. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.06.001.
- [3] DEISINGH A K, STONE D C, THOMPSON M. Application of electronic noses and tongues in food analysis[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(6): 587-604. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.02.005.
- [4] 姜莎, 陈芹芹, 胡雪芳, 等. 电子舌在红茶饮料区分辨中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 345-349. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2009.11.064.
- [5] 王永维, 王俊, 朱晴虹. 基于电子舌的白酒检测与区分研究[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(5): 57-61. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2009.05.017.
- [6] 张浩玉, 张柯, 黄星奕. 电子舌对不同品种醋的辨别研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(5): 1-4. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2011.05.001.
- [7] CHEN Q S, ZHAO J W, SARITPORN V. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. Food Research International, 2008, 41: 500-504. DOI:10.1016/j.foodres.2008.03.005.
- [8] WEI Z B, WANG J, LIAO W Y. Technique potential for classification of honey by electronic tongue[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94: 260-266. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2009.03.016.
- [9] BREZMES J, LLOBET E, VILANOVA X, et al. Fruit ripeness monitoring using an electronic nose[J]. Sensors & Actuators B: Chemical, 2000, 69(3): 223-229. DOI:10.1016/S0925-4005(00)00494-9.
- [10] PENZA M, CASSANO G, TORTORELLA F, et al. Classification of food, beverages and perfumes by WO<sub>3</sub>, thin-film sensors array and pattern recognition techniques[J]. Sensors & Actuators B: Chemical, 2001, 73(1): 76-87. DOI:10.1016/S0925-4005(00)00687-0.
- [11] 贡慧, 史智佳, 杨震, 等. 电子鼻快速检测不同煮制时间的酱牛肉风味[J]. 肉类研究, 2014, 28(11): 34-37.
- [12] 张迪雅, 谢丹婷, 李晔. 应用电子鼻和GC-MS比较牛肉不同部位的挥发性物质组成[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 241-246. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.21.048.



- [13] 王伟静, 张松山, 谢鹏, 等. 电子鼻和电子舌快速检测炖制下牛肉的品质[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 124-128. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.17.028.
- [14] 杨静, 赵镭, 史波林, 等. 青花椒香气快速气相电子鼻响应特征及GC-MS物质基础分析[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 69-74. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201522012.
- [15] 李娟, 任路静, 孙冠男, 等. 气相色谱-质谱联用技术及其在代谢组学中的应用[J]. 生物工程学报, 2013, 29(4): 434-446. DOI:10.13345/j.cjb.2013.04.009.
- [16] 侯莉, 赵健, 谢建春. 炖煮牛肉的风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2017, 17(9): 260-270. DOI:10.16429/j.1009-7848.2017.09.033.
- [17] HOA VAN B, KYEONGSEON R, HWANG I. Flavor characteristics of hanwoo beef in comparison with other Korean foods[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2012, 25(3): 435-446. DOI:10.5713/ajas.2011.11286.
- [18] 詹萍, 田洪磊, 李卫国, 等. 羊肉特征风味指纹图谱的构建[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2522-2527. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2013.10.043.
- [19] 丁媛, 郑平安, 缪芳芳, 等. 电子鼻在8种贝类气味差异研究中的应用[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 353-355. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201322071.
- [20] 梁爱华, 贾洪峰, 秦文, 等. 电子鼻在方便米饭气味识别中的应用[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(11): 110-113.
- [21] 田怀香, 李凤华, 吴艳. 电子鼻分析不同品种的桂花香气[C]//中国香料香精学术研讨会, 2014.
- [22] 安莹, 孙桃. 基于电子鼻不同识别模式对不同品牌酱油的区分与识别[J]. 中国调味品, 2016(2): 60-64. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2016.02.012.
- [23] CAO C, XIE J, LI H, et al. Effect of glycine on reaction of cysteine-xylose: insights on initial Maillard stage intermediates to develop meat flavor[J]. Food Research International, 2017, 99(Pt 1): 444-453. DOI:10.1016/j.foodres.2017.06.012.
- [24] AN A, KITRYTĖ V, VENSKUTONIS R, et al. Model studies on the pattern of volatiles generated in mixtures of amino acids, lipid-oxidation-derived aldehydes, and glucose[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(4): 1449-1456. DOI:10.1021/jf104091p.
- [25] 张莉莉, 孙颖, 杨肖, 等. SPME-GC-MS结合GC-O分析糖醋排骨风味香精挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 90-95. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201720013.
- [26] 李德茂, 陈利梅, 马淑凤. 电子鼻在酱油识别中的应用研究[J]. 中国酿造, 2010, 29(4): 107-109. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2010.04.034.
- [27] 李会晓, 梁晋维, 宋莹蕾, 等. 控制热氧化冷榨芝麻油的脂肪酸组成及挥发性成分分析[J]. 现代食品科技, 2016, 32(10): 276-282. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.10.041.
- [28] 许刚, 丁浩宸, 张燕平, 等. 南极磷虾头胸部和腹部挥发性风味成分对比[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 146-149. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201422027.
- [29] 肖群飞, 范梦蝶, 赵健, 等. 猪五花肉炖煮肉汤香气物质的分析鉴定[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 273-279. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.22.053.
- [30] 李来好, 丁丽丽, 吴燕燕, 等. 咸鱼中的挥发性风味成分[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 979-988. DOI:10.3724/SP.J.1231.2012.27682.
- [31] SIVROPOULOU A, NIKOLAOU C, PAPANIKOLAOU E, et al. Antimicrobial, cytotoxic, and antiviral activities of *Salvia fruticosa* essential oil[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(8): 3197-3201.
- [32] 张纯, 张智勇, 平田孝. 动态顶空进样法分析月盛斋酱牛肉的挥发性风味组分[J]. 食品与发酵工业, 1992, 18(4): 47-52.
- [33] 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.