

# 基于灰色关联度法的狮子头风味电子鼻分析与感官评分相关性

孟舒雨, 李苗云, 赵改名, 郝云鹏, 柳艳霞, 朱瑶迪, 孙灵霞\*  
(河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 以调理狮子头为研究对象, 利用感官评分和电子鼻技术对其风味特征进行分析, 并结合方差分析、主成分分析和灰色关联度分析, 研究感官评分与电子鼻传感器之间的相关性。结果表明: 实验室自制的红烧狮子头感官总分最高; 感官评分结果与电子鼻分析之间具有较好的一致性; 电子鼻传感器响应值与风味、总分关联度最高的均为W1C传感器, 关联系数在0.85以上; 香辛料等辅料是造成产品风味差异的主要因素。

**关键词:** 调理狮子头; 风味; 电子鼻; 感官评分; 灰色关联度分析

## Correlation between Electronic Nose Analysis of and Sensory Evaluation of Flavor in Lion's Head Meatballs Based on Grey Correlation Analysis

MENG Shuyu, LI Miaoyun, ZHAO Gaiming, HAO Yunpeng, LIU Yanxia, ZHU Yaodi, SUN Lingxia\*  
(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The flavor characteristics of prepared lion's head meatballs were evaluated by sensory evaluation and electronic nose, and analysis of variance, principal component analysis and grey correlation analysis were used to evaluate the correlation between sensory evaluation and electronic nose analysis. The results showed that braised lion's head meatballs prepared in our laboratory scored the highest in sensory evaluation. There was good consistency between sensory evaluation and electronic nose analysis. The response of W1C sensor exhibited the highest correlation with flavor and overall sensory scores with correlation coefficients above 0.85. Spices and other auxiliary ingredients were the main factors causing the flavor difference of products.

**Keywords:** prepared lion's head meatball; flavor; electronic nose; sensory evaluation; grey correlation analysis

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190226-041

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 04-0024-05

引文格式:

孟舒雨, 李苗云, 赵改名, 等. 基于灰色关联度法的狮子头风味电子鼻分析与感官评分相关性[J]. 肉类研究, 2019, 33(4): 24-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190226-041. <http://www.rlyj.net.cn>

MENG Shuyu, LI Miaoyun, ZHAO Gaiming, et al. Correlation between electronic nose analysis of and sensory evaluation of flavor in lion's head meatballs based on grey correlation analysis[J]. Meat Research, 2019, 33(4): 24-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190226-041. <http://www.rlyj.net.cn>

狮子头属于淮扬菜系, 具有工艺简单、食用方便、肥而不腻、鲜香爽口的特点, 根据个人喜爱可制作成清炖狮子头、红烧狮子头等特色菜品<sup>[1]</sup>。随着人民生活水平的提高, 对食品健康营养和风味品质的关注也逐渐增

加。风味由产生气味的挥发性成分和产生滋味的非挥发性物质共同组成<sup>[2]</sup>, 对于肉制品极其重要, 也是消费者购买产品所考虑的一个重要方面, 狮子头优良的风味对产品品质有着积极的作用。

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 河南省重大科技专项 (161100110800); 河南省科技厅科技计划项目 (152300410196);

河南省高等学校重点科研项目 (17A550016)

第一作者简介: 孟舒雨 (1995—) (ORCID: 0000-0003-0110-0460), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全。

E-mail: msy963623866@163.com

\*通信作者简介: 孙灵霞 (1980—) (ORCID: 0000-0003-4902-3468), 女, 讲师, 博士, 研究方向为肉制品加工与肉品风味形成与控制。E-mail: linger198003@163.com

产品风味的评价目前主要采用人工感官, 20世纪90年代后, 其在食品科学中得到广泛应用<sup>[1]</sup>, 但其主观随意性强, 稳定性、重复性差。电子鼻由化学传感器阵列、信号处理系统和模拟识别系统共同组成<sup>[4]</sup>, 以模拟哺乳动物的嗅觉器官来达到对产品气味捕捉、采集和判断的目的<sup>[5]</sup>, 具有客观、准确、快捷和重现性好等特点, 可辨别不同种类的气味<sup>[6]</sup>, 能够为检测样品的挥发性物质提供一个总体的估计结果<sup>[7]</sup>, 作为快速可靠的质量评估工具已经被越来越多地应用在食品工业中<sup>[8-9]</sup>, 在肉与肉制品品质快速检测与评价<sup>[10-11]</sup>等方面亦得到有效应用。但对食品风味的电子鼻分析与人工感官鉴定结果的相关性研究目前还较为缺乏, 仅有少部分研究者研究了东坡肘子<sup>[12]</sup>、鸡精调味料<sup>[13]</sup>、咖啡<sup>[14]</sup>及牛乳<sup>[15]</sup>等产品风味感官评分与电子鼻传感器分析结果之间的相关性。研究电子鼻分析与人工感官鉴定结果之间的相互关系, 建立二者之间的关系模型, 使风味的感官评价信息可以用客观的方法来衡量和相互沟通, 能够弥补人工感官评分的缺陷。

灰色关联度分析法是一种针对灰色系统来决定因素主次及其关联程度的评价方法<sup>[16]</sup>, 被广泛应用于作物新品种<sup>[17]</sup>、果品品质评价<sup>[18-19]</sup>及中药质量评价<sup>[20-21]</sup>等方面, 而其在肉及肉制品中的应用却鲜有报道。

本研究以速冻调理狮子头为对象, 应用电子鼻技术和感官评分对不同产地、不同品牌调理狮子头的风味品质进行分析评价, 在此基础上采用灰色关联度分析方法建立人工感官与电子鼻检测结果之间的关联性, 明确影响产品风味的主要感官要素, 探寻不同产地、不同品牌调理狮子头风味差异的原因, 为调理狮子头品质控制及产品开发提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

表1 调理狮子头样品信息表

Table 1 Details of prepared lion's head meatball samples

样品编号	配料表	产地
1	猪肉、鸡肉、水、包菜、大豆蛋白、淀粉、酱油、鸡蛋液、莲菜、葱、白砂糖、调味料酒、甜面酱、食盐、蚝油、姜、葡萄糖、鸡精调味料、酵母抽提物、香辛料、食品添加剂(三聚磷酸钠)、植物油; 猪肉+鸡肉≥40%	河南
2	猪肉、肥膘、荸荠、生姜、葱、食盐、白砂糖、鸡精调味料、酿造酱油(含焦糖色)、味精、鸡蛋、香辛料、淀粉、食品添加剂(碳酸氢钠); 猪肉≥55%	江苏
3	猪肉、荸荠、水、香菇、马铃薯淀粉、香辛料、酿造酱油(含焦糖色)、食盐、白砂糖、味精、大豆油、食品添加剂(焦磷酸钠、六偏磷酸盐、三聚磷酸盐)、食用香精香料	广东
4	猪肉(五花肉)、荸荠、水、黄酒、淀粉、食盐、白砂糖、鸡精、味精、香辛料、食品添加剂(复合磷酸盐、5'-呈味核苷酸二钠)	浙江
5	猪肉(五花肋条)、鸡蛋、水、酱油、白砂糖、味精、淀粉、葱、姜、黄酒、食盐; 猪肉≥70%	江苏
6	猪肉、水、小麦粉、淀粉、巴氏杀菌全蛋液、食盐、香辛料、白砂糖、植物油、味精	北京
7	猪肉、鸡肉、水、大葱、姜、食品添加剂(乙二胺二淀粉磷酸酯、三聚磷酸钠、焦磷酸钠、食用香精)、淀粉、鸡蛋清、酿造酱油(含焦糖色)、大豆蛋白、食盐、白砂糖、黄酒、味精、植物油; 猪肉+鸡肉≥68%	山东
8	猪后腿瘦肉、肥膘、水、嫩藕、鸡蛋清、生油、老抽、纯白胡椒粉、玉米淀粉、复合磷酸盐、大豆分离蛋白、食盐、味精、黄酒、姜、葱; 猪肉≥58%	自制(红烧)
9	猪后腿瘦肉、肥膘、水、嫩藕、鸡蛋清、生油、老抽、纯白胡椒粉、玉米淀粉、复合磷酸盐、大豆分离蛋白、食盐、味精、黄酒、姜、葱; 猪肉≥58%	自制

调理狮子头: 共7个品牌, 购于各大超市及电商平台, 分别编号为1~7; 编号8、9的产品为实验室自制调理狮子头。具体信息如表1所示。

### 1.2 仪器与设备

AL104电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; GHY-3010超级恒温槽 凡帝朗科技公司; PEN3电子鼻 德国Airsense公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 电子鼻测定

样品搅碎, 称取10.0 g放入100 mL锥形瓶内, 保鲜膜封口, 于40 ℃水浴5 min, 用于PEN3电子鼻检测。测试条件: 样品测试时间80 s, 采样间隔1 s, 清洗时间90 s, 归零时间10 s, 内部流速300 mL/min, 样品流速300 mL/min。每个样品重复测定3次, 取传感器在75 s时获得的稳定信号进行分析。

#### 1.3.2 感官评价

成立14人评分小组, 对不同种类狮子头进行感官评分, 评分指标为外观、风味、口感、组织状态和可接受性, 其中风味对任何一种食品的整体感官品质都有着重要意义<sup>[22-23]</sup>, 具体评分标准如表2所示。

表2 调理狮子头感官评分标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of lion's head meatballs

评分项目	评分标准	分值
外观	外皮金黄色, 色泽均匀, 表面完整、圆润、光滑	15~20分
	金黄色, 色泽不均匀, 表面有破皮, 呈椭圆形	10~15分
	黑色或发白, 不正常, 表皮破损严重, 凹凸不平	1~10分
风味	肉香明显, 具有鲜味, 无异味	15~20分
	肉味正常, 香气不足, 无异味	10~15分
	味道不好, 有异味	1~10分
口感	入口紧实, 富有弹性, 嚼劲适宜, 咸甜适宜	15~20分
	入口比较松散, 弹性不足, 稍有粉质感	10~15分
	入口松散, 无弹性, 粉质感明显	1~10分
组织状态	切面致密, 有均匀分布的小气孔	15~20分
	切面细密, 有较大气孔存在, 分布不均匀	10~15分
	切面粗糙, 有较大气孔存在, 分布不均匀	1~10分
可接受性	可接受性高	15~20分
	可接受性中等	10~15分
	可接受性低	1~10分

### 1.3.3 灰色关联度分析

#### 1.3.3.1 确定分析数列

基于灰色系统理论及分析方法的要求<sup>[24]</sup>, 将9种样品作为一个整体, 即灰色系统, 电子鼻不同传感器为灰色系统的子系统, 把传感器的响应值作为一个因素进行计算<sup>[25]</sup>。

首先选择参考数列, 记为 $Y_0$ ,  $Y_0(x)=[Y_0(1), Y_0(2), Y_0(3), \dots, Y_0(x)]$ ,  $x$ 为狮子头样品编号,  $x=1, 2, 3, \dots, 9$ 。

其次选择比较数列, 记为  $Y_i(x)$ ,  $Y_i(x) = [Y_i(1), Y_i(2), Y_i(3), \dots, Y_i(x)]$ ,  $Y_i$  为样品的电子鼻传感器响应值,  $Y_i = 1, 2, 3, \dots, 10$ ,  $x = 1, 2, 3, \dots, 9$ 。

### 1.3.3.2 计算灰色关联系数

灰色关联系数按照公式(1)计算。

$$\varepsilon_i(x) = \frac{\min_k \min_j |Y_0(x) - Y_i(x)| + \rho \times \max_k \max_j |Y_0(x) - Y_i(x)|}{|Y_0(x) - Y_i(x)| + \rho \times \max_k \max_j |Y_0(x) - Y_i(x)|} \quad (1)$$

式中:  $x$  为不同种类狮子头产品序号;  $Y_i$  为不同种类狮子头的电子鼻传感器响应值;  $\varepsilon_i(x)$  为第  $x$  种狮子头的子序列  $Y_i$  与母序列  $Y_0$  的关联系数;  $\min_k \min_j |Y_0(x) - Y_i(x)|$  为两级最小差值, 又记为  $\Delta_{\min}$ ;  $\max_k \max_j |Y_0(x) - Y_i(x)|$  为两级最大差值, 又记为  $\Delta_{\max}$ ;  $|Y_0(x) - Y_i(x)|$  为母序列与子序列的绝对差值, 又记为  $\Delta(k)$ ;  $\rho$  为分辨系数。

为了减小  $\Delta(k)$  太大而引起的失真, 引入分辨系数  $\rho$ <sup>[26]</sup>,  $\rho$  的取值范围为  $0 \sim 1$ , 在本研究中,  $\rho$  取  $0.5$ 。当  $\rho$  取  $0.5$  时, 灰色关联度大于  $0.6$ , 结果较好<sup>[27]</sup>。

### 1.3.3.3 灰色关联度的计算方法

关联系数的算术平均数为关联度, 按照公式(2)计算。

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^n \varepsilon_i(x) \quad (2)$$

式中:  $r_i$  为母序列  $Y_0$  与子序列  $Y_i$  之间的关联度;  $N$  为子序列的数据个数。

### 1.3.3.4 数据来源

以电子鼻传感器中的 W5S 传感器作为参照, 分别计算不同产品的相对传感器响应值, 按照公式(3)计算, 并将此作为电子鼻传感器响应值来源。计算结果如表3所示。

$$\text{相对传感器响应值} = \frac{\text{传感器响应值}}{\text{参照传感器响应值}} \quad (3)$$

表3 电子鼻传感器的相对响应值

Table 3 Relative response values of electronic nose sensors

编号	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
1	0.109	1.000	0.108	0.132	0.123	0.187	2.223	0.154	0.160	0.103
2	0.024	1.000	0.030	0.069	0.044	0.235	1.388	0.213	0.086	0.055
3	0.090	1.000	0.101	0.152	0.124	0.286	2.093	0.242	0.182	0.121
4	0.050	1.000	0.063	0.123	0.082	0.316	1.649	0.289	0.150	0.096
5	0.016	1.000	0.021	0.054	0.033	0.180	1.062	0.179	0.071	0.044
6	0.005	1.000	0.007	0.022	0.013	0.086	0.620	0.091	0.031	0.018
7	0.031	1.000	0.040	0.096	0.052	0.241	1.317	0.251	0.114	0.086
8	0.019	1.000	0.025	0.069	0.038	0.199	1.262	0.210	0.084	0.062
9	0.005	1.000	0.007	0.022	0.012	0.088	0.677	0.096	0.031	0.020

## 1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 和 Microsoft Office Excel 2007 软件对数据进行方差分析、主成分分析, 对灰色关联进行函数和数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 调理狮子头感官评分结果的方差分析

在肉制品品质分析中, 感官属性是其最重要的一个方面<sup>[28]</sup>。由熵权法确定各项感官指标的权重为: 外观 0.13、风味 0.21、口感 0.21、组织状态 0.23、总体可接受性 0.21, 在此基础上得到 9 种调理狮子头样品的感官评分结果。

表4 调理狮子头样品的感官评分结果 ( $n=14$ )

Table 4 Sensory evaluation results of prepared lion's head meatball ( $n=14$ )

样品编号	外观评分	风味评分	口感评分	组织状态评分	可接受性评分	总分
1	1.53±0.49 <sup>c</sup>	3.18±0.58 <sup>ab</sup>	2.81±0.66 <sup>b</sup>	3.36±0.58 <sup>ab</sup>	2.83±0.62 <sup>b</sup>	13.71±2.05 <sup>bcd</sup>
2	1.67±0.33 <sup>c</sup>	2.79±0.84 <sup>bcd</sup>	2.79±0.64 <sup>b</sup>	2.78±0.54 <sup>cd</sup>	2.78±0.70 <sup>b</sup>	12.82±2.15 <sup>d</sup>
3	1.62±0.34 <sup>c</sup>	2.63±0.39 <sup>cd</sup>	2.97±0.48 <sup>b</sup>	2.99±0.70 <sup>cd</sup>	2.88±0.51 <sup>b</sup>	13.09±1.75 <sup>cd</sup>
4	1.74±0.42 <sup>bc</sup>	3.31±0.39 <sup>a</sup>	3.04±0.50 <sup>ab</sup>	3.41±0.71 <sup>ab</sup>	3.18±0.64 <sup>ab</sup>	14.68±2.31 <sup>abc</sup>
5	0.98±0.47 <sup>d</sup>	2.47±0.73 <sup>d</sup>	1.97±0.72 <sup>c</sup>	2.60±0.73 <sup>d</sup>	2.16±0.68 <sup>c</sup>	10.19±2.69 <sup>e</sup>
6	2.12±0.17 <sup>a</sup>	3.02±0.47 <sup>abc</sup>	3.04±0.46 <sup>ab</sup>	3.64±0.36 <sup>a</sup>	3.21±0.43 <sup>ab</sup>	15.04±2.95 <sup>c</sup>
7	1.58±0.47 <sup>c</sup>	2.75±0.77 <sup>bcd</sup>	1.95±0.72 <sup>c</sup>	2.74±0.82 <sup>cd</sup>	2.12±0.79 <sup>c</sup>	11.14±1.70 <sup>f</sup>
8	2.01±0.31 <sup>ab</sup>	3.49±0.38 <sup>a</sup>	3.47±0.47 <sup>a</sup>	3.54±0.54 <sup>ab</sup>	3.52±0.48 <sup>a</sup>	16.03±1.18 <sup>ab</sup>
9	1.66±0.33 <sup>c</sup>	2.79±0.41 <sup>bcd</sup>	2.71±0.61 <sup>b</sup>	3.20±0.68 <sup>abc</sup>	2.99±0.48 <sup>b</sup>	13.36±1.81 <sup>bcd</sup>

注: 同列小写字母不同, 表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表4可知: 6号样品的外观和组织状态指标评分最高, 且显著高于2、3、5、7号样品 ( $P < 0.05$ ); 8号样品风味指标评分最高, 且显著高于2、3、5、7号样品 ( $P < 0.05$ ); 8号样品的口感和可接受性指标评分最高, 其次是6号样品; 结合总分指标可知, 6号和8号样品的感官评分较高, 具有较好的感官特性。

### 2.2 调理狮子头电子鼻检测结果与感官评分结果的主成分分析

主成分分析是对样品的原始数据向量进行线性转化的一种分析方法, 通过改变坐标轴来达到区分样品的目的<sup>[29]</sup>。

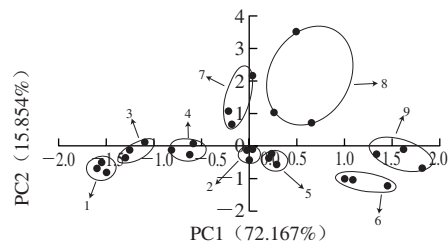


图1 电子鼻检测结果的主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis of electronic nose data

由图1可知, 第1、2主成分高达88.021% (PC1为72.167%, PC2为15.854%), 能够反应样品的主要特征信息<sup>[30]</sup>。9个样品在4个象限均有分布, 样品1、3、4主要分布在第3象限, 说明这3个样品具有相似性; 样品2、5、7在第1主成分上距离接近, 这与感官评分中风味指标无显著差异的结果一致; 样品8分布在第1象限, 与其他样品风味差异较大, 这与其感官评分最高相对应; 样品6



和9主要分布在第4象限,在第1主成分上距离接近,说明其风味特征比较相似。

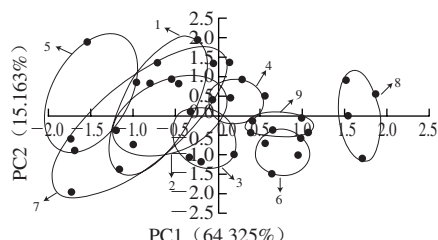


图2 感官评分结果的主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of sensory evaluation data

由图2可知,样品之间不能明显区分,但样品8、6、9与其他样品差异较大,样品5和7、样品1~4重叠严重、无法区分。

结合图1~2和表4可以看出,9个样品不论是感官评分还是电子鼻分析结果,总体趋势一致,具有良好的一致性。但从样品主成分分析结果上看,人的感官灵敏度比电子鼻差。因此,需要进一步研究感官评分与电子鼻传感器检测结果之间的关系,在此基础上建立人工感官与电子鼻检测结果之间的关联,从而更客观地对产品品质进行评价。

### 2.3 调理狮子头感官评价与电子鼻传感器响应值的灰色关联度分析

#### 2.3.1 无量纲化处理

将9个样品的感官评价指标设为参考数列,比较数列为电子鼻的10个传感器响应值,将母序列与子序列进行灰色关联度分析。首先采用均值化变换的方法对每个数列进行无量纲化处理,结果如表5所示。

表5 无量纲化处理结果  
Table 5 Dimensionless processing results

样品编号	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
1	2.802	1.000	2.396	1.612	2.119	0.924	1.627	0.802	1.581	1.542
2	0.611	1.000	0.670	0.836	0.763	1.165	1.016	1.108	0.849	0.827
3	2.300	1.000	2.252	1.854	2.146	1.417	1.533	1.258	1.802	1.807
4	1.287	1.000	1.396	1.504	1.406	1.564	1.207	1.506	1.489	1.434
5	0.403	1.000	0.467	0.662	0.568	0.891	0.777	0.935	0.699	0.654
6	0.807	1.000	0.891	1.173	0.899	1.192	0.964	1.308	1.129	1.282
7	0.492	1.000	0.563	0.843	0.651	0.985	0.924	1.094	0.828	0.925
8	0.137	1.000	0.160	0.271	0.221	0.424	0.454	0.474	0.303	0.271
9	0.125	1.000	0.149	0.270	0.211	0.438	0.496	0.498	0.304	0.295

#### 2.3.2 电子鼻传感器响应值与感官指标的关联系数及关联度

计算9种狮子头的风味和总分参考数列与表5比较数列(电子鼻传感器的响应值)的绝对差值,得到两级最大差值 $\Delta_{\max_{\text{风味}}}=16.128$ , $\Delta_{\max_{\text{总分}}}=15.541$ ;两级最小差值 $\Delta_{\min_{\text{风味}}}=10.240$ , $\Delta_{\min_{\text{总分}}}=9.188$ ,将其分别带入公式(1)即可得到电子鼻传感器响应值分别与风味、总分的关联系数,再将灰色关联系数带入公式(2)即可得到传感器响应值与感官指标的关联度,从而对其进行排序。

表6 传感器响应值与风味的关联系数及关联度

Table 6 Correlation coefficient and correlation degree between sensor response values and flavor

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	关联度	排序
W1C	0.897	0.882	1.000	0.812	0.942	0.821	0.900	0.757	0.861	0.874	5
W5S	0.824	0.898	0.934	0.802	0.972	0.854	0.909	0.773	0.898	0.873	7
W3C	0.879	0.884	0.997	0.816	0.945	0.821	0.904	0.759	0.862	0.874	2
W6S	0.847	0.891	0.976	0.820	0.955	0.826	0.917	0.768	0.867	0.874	0
W5C	0.868	0.888	0.992	0.816	0.950	0.824	0.904	0.762	0.865	0.874	2
W1S	0.821	0.906	0.954	0.822	0.966	0.831	0.917	0.772	0.874	0.873	8
W1W	0.848	0.899	0.960	0.809	0.961	0.832	0.907	0.770	0.877	0.873	6
W2S	0.817	0.903	0.946	0.820	0.969	0.833	0.923	0.776	0.877	0.873	7
W2W	0.846	0.892	0.973	0.819	0.957	0.827	0.915	0.767	0.869	0.873	8
W3S	0.845	0.891	0.974	0.817	0.954	0.825	0.922	0.770	0.868	0.874	1

表7 传感器响应值与总分的关联系数及关联度

Table 7 Correlation coefficient and correlation degree between sensor response values and overall sensory evaluation

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	关联度	排序
W1C	0.908	0.849	0.914	0.801	0.966	0.748	0.937	0.727	0.807	0.850	8
W5S	0.828	0.866	0.854	0.790	1.000	0.778	0.947	0.744	0.842	0.850	0
W3C	0.889	0.851	0.911	0.805	0.970	0.749	0.941	0.730	0.808	0.850	5
W6S	0.854	0.859	0.892	0.809	0.980	0.752	0.956	0.739	0.813	0.850	5
W5C	0.876	0.855	0.906	0.806	0.975	0.751	0.942	0.733	0.811	0.850	4
W1S	0.825	0.873	0.872	0.812	0.994	0.758	0.957	0.743	0.82	0.850	4
W1W	0.854	0.866	0.877	0.798	0.987	0.759	0.945	0.741	0.822	0.850	10
W2S	0.820	0.871	0.865	0.809	0.996	0.759	0.963	0.747	0.822	0.850	3
W2W	0.852	0.859	0.890	0.809	0.983	0.754	0.954	0.738	0.814	0.850	3
W3S	0.851	0.858	0.890	0.807	0.980	0.752	0.962	0.741	0.814	0.850	6

由表6~7可知,10个传感器响应值与样品风味、总分的关联度均在0.85以上,具有较高的关联性,验证了以电子鼻替代人工感官进行产品风味评价的可能性,其中传感器与风味的关联度最高。根据关联度的大小,不同传感器对感官各指标的关联度不同,其中与风味和总分关联度最高的均为W1C传感器,W1C传感器的敏感物质为芳烃化合物,而样品中的芳烃化合物主要来自辅料中的香辛料,这可能是造成样品风味差异的主要因素。

## 3 结论

由感官评分结果的方差分析可知,实验室自制的红烧狮子头感官总分最高。人工感官评分与电子鼻测定结果之间具有较好的一致性,且电子鼻对香气物质的反应更为灵敏,可将不同种类狮子头区分开来。电子鼻传感器的响应值与风味、总分指标的灰色关联系数在0.85以上,说明以电子鼻替代人工感官进行产品风味评价具有可行性。与风味、总分关联度最高的均为对芳烃化合物敏感的W1C传感器,香辛料等辅料可能是造成产品风味差异的主要因素。在此基础上若能建立狮子头产品人工感官评分与电子鼻测定结果之间的数学关系,则使产品风味的感官评分信息更加客观,对产品开发及品质控制具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 毛羽扬, 朱小喜. 狮子头风味形成的探析[J]. 中国调味品, 2003(11): 33-36. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2003.11.010.
- [2] 肖智超, 葛长荣, 周光宏, 等. 肉的风味物质及其检测技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 325-330. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.054.
- [3] 刘兆宏. 食品感官评价技术在山西省食品行业中的应用及前景展望[D]. 太谷: 山西农业大学, 2014: 7-9.
- [4] ZHANG Hongmei, WANG Jun, TIAN Xiaojing, et al. Optimization of sensor array and detection of stored duration of wheat by electronic nose[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82(4): 403-408. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.02.005.
- [5] 周英, 杜杰. 电子鼻工作原理及在肉品检测中的应用[J]. 肉类工业, 2016(4): 42-45. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2016.04.013.
- [6] RAGAZZO-SANCHEZ J A, CHALIER P, CHEVALIER D, et al. Identification of different alcoholic beverages by electronic nose coupled to GC[J]. Sensors and Actuators B (Chemical), 2008, 134(1): 43-48. DOI:10.1016/j.snb.2008.04.006.
- [7] 王当丰, 李婷婷, 刘楠, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法结合电子鼻分析鱼精蛋白对草鱼片挥发性气味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 163-170. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201610027.
- [8] DI-ROSA A R, LEONE F, CHELI F, et al. Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 210: 62-75. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2017.04.024.
- [9] 王俊, 胡桂仙, 于勇, 等. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 292-295. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2004.02.069.
- [10] GHASEMIVAMAMKHAHI M, MOHTASEBI S S, SIADAT M, et al. Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology)[J]. Sensors, 2009, 9(8): 6058-6083. DOI:10.3390/s90806058.
- [11] JÓNSDÓTTIR R, ÓLAFSDÓTTIR G, CHANIE E, et al. Volatile compounds suitable for rapid detection as quality indicators of cold smoked salmon (*Salmo salar*)[J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 184-195. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.12.006.
- [12] 易宇文, 刘阳, 彭毅秦, 等. 东坡肘子风味电子鼻分析与感官评价相关性探究[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 238-244. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014463.
- [13] 秦蓝, 李凤华, 田怀香, 等. 鸡精调味料人工感官评价与电子鼻感官分析的相关性研究[J]. 食品与机械, 2014(4): 11-13. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2014.04.003.
- [14] 王一凡, 廖鲜艳, 姚敏, 等. 基于感官评定和电子鼻技术对天然咖啡挥发性风味特征的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(14): 166-169. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.14.028.
- [15] 迟雪露, 宋铮, 艾娜丝, 等. 脱脂纯牛奶感官评价与电子鼻分析相关性研究[J]. 精细化工, 2018, 35(6): 998-1003. DOI:10.13550/j.jxhg.20170733.
- [16] LI Xiaoyu, WANG Xiaofang, WANG Wei, et al. Estimation of apple storage quality properties with mechanical property based on grey system theory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005(2): 80-86. DOI:10.1016/S1872-583X(07)60011-4.
- [17] 旱区引种燕麦品种产量与品质的关联分析及评价[J]. 草地学报, 2018, 26(1): 125-133. DOI:10.11733/j.issn.1007-0435.2018.01.015.
- [18] 李红峥, 曹红霞, 郭莉杰, 等. 沟灌方式和灌水量对温室番茄综合品质与产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4179-4191. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2016.21.012.
- [19] 胡中海, 孙谦, 马亚琴, 等. 冷冻对温州蜜柑橘瓣品质影响的灰色关联度分析评价[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 198-202. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201508037.
- [20] 吴国霞, 杨秀娟, 邓毅, 等. 基于灰色关联度的当归及其不同药用部位质量评价研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2018, 25(5): 77-81.
- [21] 李成义, 强正泽, 王燕, 等. 基于灰色关联分析方法评价甘肃产红芪质量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(12): 60-65. DOI:10.13422/j.cnki.syfx.2016120060.
- [22] FEMANDEZ V, STINCO C M, HEMANZ D, et al. Colour training and colour differences thresholds in orange juice[J]. Food Quality and Preference, 2013, 30(2): 320-327. DOI:10.1016/j.foodqual.2013.05.018.
- [23] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424. DOI:10.1016/S0308-8146(98)00076-4.
- [24] 宋志美, 刘乃雁, 王元英, 等. 灰色关联度法在烤烟品种重要性状综合评价中的运用[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(2): 17-19. DOI:10.3969/j.issn.1007-5119.2011.02.004.
- [25] 曹军. 灰色系统理论及方法[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993: 8-16.
- [26] 于萍, 李克. 使用Microsoft Excel进行数据的灰关联分析[J]. 微型电脑应用, 2011, 27(3): 29-30. DOI:10.3969/j.issn.1007-757X.2011.03.010.
- [27] 赵青霞. 河北省科技投入与经济增长的灰色关联度分析[J]. 现代物业, 2011(4): 42-44.
- [28] HOFFMAN L C, MOSTERT A C, LAUBSCHER L L. Meat quality of kudu (*Tragelaphus strepsiceros*) and impala (*Aepyceros melampus*): the effect of gender and age on the fatty acid profile, cholesterol content and sensory characteristics of kudu and impala meat[J]. Meat Science, 2009, 83(4): 737-743. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.08.026.
- [29] 崔琳琳, 赵荣, 周一鸣, 等. 基于GC-MS和电子鼻技术的大米挥发性风味成分分析[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(12): 134-141. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2018.12.021.
- [30] 田怀香, 孙宗宇. 电子鼻在金华火腿香精识别中的应用[J]. 中国调味品, 2008(11): 61-64. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2008.11.013.