

文献著录格式: 吴慧琳, 李苗云, 朱瑶迪, 等. 基于灰色关联分析4种酸肉电子鼻与感官评分之间相关性[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(6): 1168-1175.

DOI: 10.16178/j.issn.0528-9017.20200641

基于灰色关联分析4种酸肉电子鼻与感官评分之间相关性

吴慧琳, 李苗云*, 朱瑶迪, 郝云鹏, 肖康, 赵改名, 任宏荣, 孙灵霞

(河南农业大学 食品科学技术学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 为构建酸肉风味评价的客观有效方法, 以电子鼻为客观评价指标代替酸肉传统的感官评价方式。本文以4种酸肉(苗族酸肉、傣族酸肉、辣椒酸肉、小米酸肉)为研究对象, 利用方差分析、主成分分析及灰色关联度建立酸肉电子鼻响应值与感官评分之间的相关性。结果表明, 电子鼻W5S、W6S、W1S、W1W、W2S、W2W传感器对不同热加工酸肉感官风味的响应值影响显著($P < 0.05$), 其关联度分别为0.853 0、0.853 9、0.853 7、0.853 3、0.853 6、0.853 9; 电子鼻W5S、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W传感器对不同热加工酸肉感官综合评分的响应值影响显著($P < 0.05$), 其关联度分别为0.910 36、0.910 48、0.910 48、0.910 45、0.910 38、0.910 44、0.910 47, 通过灰色关联分析电子鼻传感器响应值关联系数, 建立关联系数与感官之间的回归模型, 感官风味与电子鼻回归方程为 $y = aX_2 - bX_3 - cX_5 - dX_6 - eX_7 + fX_8 + gX_{10}$ ($R^2 = 0.999$), 感官综合评分与电子鼻回归方程为 $y = aX_1 - bX_2 + cX_5 - dX_6 - eX_7 + fX_{10}$ ($R^2 = 0.998$)。在评价以微波、蒸制、油炸及烤制等方式处理酸肉的感官风味及感官综合评分时, 可采用电子鼻W5S、W6S、W1S、W1W、W2S、W2W等传感器响应值进行分析。通过本文的相关研究, 为电子鼻评价酸肉感官风味提供一定的理论依据。

关键词: 酸肉; 电子鼻; 感官评分; 风味; 灰色关联度

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 0528-9017(2020)06-1168-08

酸肉是我国贵州、湖南、广西等地少数民族的特色发酵肉制品^[1], 是通过将猪肉与米粉或小米、盐、辣椒粉等拌匀, 在室温环境自然发酵而成, 其发酵时间约为2~3个月^[2], 酸肉由于营养丰富、风味独特, 是一种深受少数民族喜爱的发酵肉制品^[3]。在酸肉发酵过程中, 微生物将原料中的蛋白质、脂肪及碳水化合物等大分子物质发酵产生游离氨基酸及脂肪酸, 产生挥发性及非挥发性成分, 从而赋予酸肉独特的风味和口感^[4-5]。由于文化及地域差异, 不同地区不同民族的酸肉加工工艺存在差异, 其发酵产生的挥发性风味物质也存在较大差异^[6]。

人体的不同嗅觉感受器细胞只对某一种气味产生受体, 每个受体检测有限数量的气味物质。电子鼻技术没有特定的受体(细胞和传感器), 由气敏

传感器阵列的不同具有不同选择性、信号采集单元和模式识别软件, 通过接收的电信号经传导分析, 对不同的气味物质表达一定的信号, 从而模仿人类鼻子嗅觉功能的结构^[7]。电子鼻通过模拟人的嗅觉功能, 经由气敏传感器传达食物加热过程中产生的挥发性物质, 对气味进行感知、分析和判断, 具有测定速度快、测定范围广、敏感度高等特点^[8-9]。以电子鼻代替人体嗅觉器官对食物风味评定, 具有快速、简便、安全、无疲劳感等特点^[10], 被广泛应用于肉制品的掺假掺伪^[11-12]、肉品新鲜度^[13-14]及肉制品中微生物的检测^[15-16]等方面。易宇文等^[17]研究了东坡肘子电子鼻风味与感官之间的相关性; 孟舒雨等^[18]研究狮子头电子鼻风味与感官之间的相关性; 有关电子鼻与肉制品感官特性之间的综合性分析研究内容还较为有限。

收稿日期: 2020-03-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2018YFD0401200); 国家自然科学基金(31571856); 河南省高校创新人才计划(18HASTIT036); 河南省科技攻关项目(192102110216)

作者简介: 吴慧琳(1996—), 女, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全, E-mail: wuhuilin1996@126.com。

通信作者: 李苗云(1976—), 女, 河南郑州人, 教授, 博士, 研究方向为肉类加工与产品质量安全控制技术, E-mail: limy7476@163.com。

灰色关联分析是通过灰色因素即不确定因素来决定主次因素及其关联度的评价方法^[19]。灰色分析在农产品品质综合评价^[20]、农作物产地追溯^[21]及生长性状预测^[22]方面被广泛应用,在食品方面的应用鲜有报道。目前对电子鼻在发酵肉制品方面的应用集中在不同发酵肉制品的区分检测,而对同一发酵酸肉,经不同热加工处理后肉制品风味检测的报道较少。电子鼻数据与感官评分之间缺乏关联性,对样品感官风味上的评价缺少统一的评价标准。因此,本试验拟利用电子鼻对不同热加工后4种酸肉的挥发性风味进行检测,同时采用灰色关联分析建立酸肉感官风味与蛋白质传感器响应值之间的关联性,根据关联度大小判断影响酸肉电子鼻风味的感官主要因素,从而判断4种酸肉在不同热加工处理后其挥发性风味品质之间的差异性,为酸肉工业规模化热处理提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试样品:编号A,苗族酸肉,原辅料猪肉、盐、米粉,产品名称湖南湘西酸肉农家自制酸肉沅陵特产五花肉粉蒸肉;编号B,傣族酸肉,原辅料猪肉、盐、大蒜,产品名称云南版腌制泰国香肠猪肉肠;编号C,辣椒酸肉,原辅料猪肉、盐、辣椒粉,产品名称贵州黔东南腌肉黎平锦平特产微酸中辣酸肉;编号D,小米酸肉,原辅料猪肉、盐、小米,产品名称隆安土特产都结酸肉。

设备:AL104电子分析天平,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;CU-420(HZW21)恒温水浴槽,上海一恒科学仪器有限公司;格兰仕微波炉,广东格兰仕微波炉生活电器制造有限公司;电烤箱、电磁炉,广东美的厨房电器制造有限公司;X-64R高速冷冻台式离心机,美国贝克曼公司;PEN3电子鼻,德国Airsense公司。

1.2 方法

1.2.1 样品前处理

参照达迪拉·买买提等^[23]及韦婕妤等^[24]的方法,稍作修改。酸肉经过清除表面辅料后,将傣族酸肉、辣椒酸肉切厚为1 cm的薄片,苗族酸肉、小米酸肉由于发酵处理方式不同加工前不需进行其他预处理。

分别经微波、烤制、蒸煮及油炸等处理四种热加工。(1)微波加热:取4种预先准备好的肉样,1 400 W微波炉连续加热3 min,数显温度计测定

肉中心温度达80℃取出,冷却至室温以吸水纸吸干表面水分,称重备用。(2)蒸煮加热:蒸汽锅将水加热至沸腾,将肉样置于蒸笼,120℃蒸制25 min,数显温度计测定肉中心温度达80℃取出,冷却至室温以吸水纸吸干表面水分,称重备用。(3)油炸加热:大豆油(浸没肉样)加热至180℃,将肉入锅油炸,数显温度计测定肉中心温度达80℃取出,冷却至室温,以吸水纸吸干表面油及水分,称重备用。(4)烤制加热:功率1 800 W,50℃预热电烤箱,酸肉分别置于烤箱进行3阶段烤制:50℃ 5 min,100℃ 5 min,150℃ 10 min;数显温度计测定肉中心温度达80℃取出,冷却至室温以吸水纸吸干表面水分,称重备用;分别将不同处理的4种酸肉进行编号处理。

1.2.2 电子鼻测定

PEN3型电子鼻传感器含有10种金属氧化物半导体型化学传感元件,每种传感元件对应的敏感物质类型不同。W1C对芳香成分苯类灵敏,W5S对氮氧化合物灵敏,W3C对氨类、芳香成分灵敏,W6S对氢化合物有选择性,W5C对短链烷烃、芳香成分灵敏,W1S对甲基类灵敏,W1W对无机硫化物灵敏,W2S对醇、醛、酮类灵敏,W2W对芳香成分、有机硫化物灵敏,W3W对长链烷烃灵敏。参考米瑞芳等^[25],准确称取10 g样品于250 mL锥形瓶中,保鲜膜3层密封,40℃恒温平衡5 min,利用PEN3型电子鼻传感器对样品进行检测。

电子鼻的检测采用顶空方式进样,每个样品重复4次,筛选3个理想的数据作为平行。载气为空气,速度为300 mL·min⁻¹,设置清洗时间为110 s,传感器归零时间为10 s,样品准备时间5 s,采样时间80 s,选取65~75 s阶段进行信息采集,对数据进行统计分析。

1.2.3 感官评价

参考卢雪松等^[26]、陈曦等^[27]以及GB/T 22210—2008《肉及肉制品感官评价规范》的方法并加以修改制定发酵酸肉感官评分标准。分别对经微波、蒸煮、油炸、烤制等加热前处理的苗族、傣族、辣椒、小米酸肉进行感官评价。

色泽:色泽均匀,瘦肉鲜红,肥肉乳白,11~15分;色泽均匀,整体颜色偏暗,瘦肉淡红,6~10分;色泽较均匀,基本颜色暗淡,1~5分。

风味:浓厚发酵香味,熟制肉香味,无其他异味,17~25分;适当发酵香味,熟制肉香味不明显,无其他异味,9~16分;无发酵香味/淡淡发

醇香味,无明显熟制肉香味,有异味,1~8分。

口感:独特且适宜的酸味,咸鲜适中,口感协调柔和,20~30分;酸味稍重,口感基本协调但不柔和,10~19分;无酸味,口感不协调不柔和,1~9分。

组织结构:组织形态致密,软硬适中,有良好的弹性和咀嚼性,7~10分;组织形态较好,稍软/稍硬,有一定弹性和咀嚼性,4~6分;组织形态不佳,软/硬,有一定弹性和咀嚼性,1~3分。

总体可接受性:可接受性高,14~20分;可以接受,6~13分;难以接受,1~5分。

1.2.4 灰色关联度分析

基于灰色系统理论及分析方法的要求,将16个样品作为一个整体,即为灰色系统,电子鼻不同的传感器作为灰色系统的子系统,将传感器的响应值作为一个因素进行分析^[28]。

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 为酸肉样品, $x=1, 2, 3, \dots, 16$ 。

选择比较数列,记为 Y_i , $Y_i(x) = [Y_i(1), Y_i(2), Y_i(3), \dots, Y_i(x)]$, Y_i 为样品电子鼻传感器响应值, $Y_i=1, 2, 3, \dots, 10$, $x=1, 2, 3, \dots, 16$ 。 Y_e , $Y_e(x) = [Y_e(1), Y_e(2), Y_e(3), \dots, Y_e(x)]$, Y_e 为样品电子鼻传感器响应值, $Y_e=1, 2, 3, 4, 5, 6$, $x=1, 2, 3, \dots, 16$ 。

灰色关联系数公式:

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

式(1)中: x 为不同种类酸肉产品序号; Y_i 为不同种类酸肉的电子鼻传感器响应值; $\varepsilon_i(x)$ 为第 x 种酸肉子序列 Y_i 与母序列 Y_0 的关联系数; $\min_i \min_k |Y_0(x) - Y_i(x)|$ 为两级最小差值,又记为 $\Delta_{\min}$; $\max_i \max_k |Y_0(x) - Y_i(x)|$ 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 $\Delta(k)$; ρ 为分辨系数。为减小由于 $\Delta(k)$ 太大而引起的失真,引入分辨系数 ρ ^[29], ρ 的取值范围为0~1,在本研究中, ρ 取0.5。当 ρ 取0.5时,灰色关联度大于0.6,结果较好^[30]。

关联系数的算术平均数为关联度,计算公式:

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

式(2)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。

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(传感器响应值/参照传感器响应值),并将此作为电子鼻传感器响应值来源。传感器响应值的前处理结果如表1所示。

表1 电子鼻传感器相对响应值

处理编号	处理	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3W
1	苗族微波	0.123	1.000	0.131	0.217	0.140	0.392	1.064	0.384	0.219	0.212
2	苗族蒸制	0.366	1.000	0.370	0.448	0.386	0.591	1.208	0.584	0.455	0.436
3	苗族油炸	0.160	1.000	0.169	0.243	0.186	0.383	1.006	0.398	0.248	0.235
4	苗族烤制	0.163	1.000	0.170	0.258	0.179	0.435	1.118	0.441	0.261	0.250
5	傣族微波	0.088	1.000	0.089	0.163	0.107	0.265	0.845	0.268	0.166	0.161
6	傣族蒸制	0.047	1.000	0.048	0.081	0.052	0.152	0.672	0.166	0.083	0.080
7	傣族油炸	0.427	1.000	0.439	0.459	0.433	0.529	1.330	0.552	0.472	0.433
8	傣族烤制	0.070	1.000	0.070	0.103	0.077	0.179	0.623	0.192	0.105	0.101
9	辣椒微波	0.045	1.000	0.046	0.079	0.052	0.145	0.425	0.160	0.081	0.077
10	辣椒蒸制	0.023	1.000	0.025	0.054	0.029	0.129	0.535	0.141	0.055	0.053
11	辣椒油炸	0.041	1.000	0.043	0.075	0.057	0.155	0.498	0.198	0.078	0.080
12	辣椒烤制	0.006	1.000	0.007	0.021	0.009	0.064	0.356	0.076	0.022	0.022
13	小米微波	0.217	1.000	0.225	0.314	0.236	0.458	1.651	0.461	0.321	0.303
14	小米蒸制	0.353	1.000	0.362	0.459	0.371	0.604	1.851	0.575	0.466	0.441
15	小米油炸	0.160	1.000	0.169	0.243	0.186	0.383	1.006	0.398	0.248	0.235
16	小米烤制	0.200	1.000	0.210	0.320	0.226	0.497	1.648	0.475	0.332	0.310

1.3 数据统计与分析

电子鼻检测数据的信号采集时间为80 s,取稳

定状态73~75 s数据作为分析点,采用PEN3自带软件进行数据处理。利用SPSS19.0对不同热加工

处理的数据进行方差分析和显著性分析, 并对采集的数据进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 酸肉感官评分

由表 2 可知, 不同烹饪加工方式对 4 种酸肉感官品质存在一定影响, 不同酸肉具有不同的加工适宜性。发酵酸肉本身存在独特的风味, 通过不同的加工处理, 各组织成分发生一系列复杂的变化, 赋

予产品良好的食用品质, 同时加热可达到增香、去腥的作用。不同的加热处理方式对苗族酸肉、辣椒酸肉、小米酸肉的色泽、气味、口感、组织结构及总体可接受性无显著差异 ($P>0.05$); 傣族酸肉色泽存在显著性差异 ($P<0.05$), 气味、口感、组织结构及总体可接受性无显著性差异。综合分析, 苗族酸肉适应微波、油炸及烤制等加工方式; 傣族酸肉适宜微波加工方式; 辣椒酸肉适宜使用油炸方式; 小米酸肉适宜使用蒸制及油炸方式。

表 2 各处理酸肉的感官评分

处理编号	色泽	气味	口感	组织结构	总体可接受性	总分
1	11.20±0.92 a	18.40±2.50 a	21.00±2.00 a	6.20±1.48 a	13.60±2.80 a	70.00±7.99 a
2	10.00±2.54 a	15.40±4.35 a	17.70±4.35 a	6.20±1.32 a	12.60±2.67 a	61.35±13.80 a
3	10.30±2.71 a	17.50±3.84 a	20.40±2.76 a	6.30±1.57 a	13.00±3.16 a	67.15±11.58 a
4	10.30±2.45 a	16.60±3.98 a	20.70±4.35 a	6.80±1.55 a	13.40±3.27 a	67.45±14.03 a
5	12.40±1.17 a	19.70±1.49 a	22.80±3.22 a	7.40±1.26 a	15.20±2.70 a	77.05±7.83 a
6	10.40±1.51 b	18.40±2.01 a	19.20±3.52 a	6.30±0.82 a	14.00±1.63 a	68.10±7.97 b
7	11.90±1.45 ab	18.50±1.58 a	20.40±2.37 a	7.20±1.23 a	14.40±2.07 a	71.95±5.64 ab
8	11.20±2.35 ab	18.20±2.44 a	21.00±3.46 a	7.10±1.45 a	15.00±1.94 a	72.05±9.76 ab
9	11.00±1.83 a	16.50±2.84 a	18.90±3.18 a	6.80±1.03 a	12.80±2.15 a	65.40±9.66 a
10	11.40±1.26 a	18.10±2.73 a	21.00±4.90 a	6.60±1.07 a	15.00±2.36 a	71.70±10.57 a
11	11.90±0.88 a	18.50±2.42 a	21.60±2.76 a	7.30±1.06 a	14.60±1.90 a	73.45±5.62 a
12	11.30±2.06 a	18.10±1.37 a	18.90±2.47 a	7.00±0.94 a	14.00±1.89 a	68.75±5.98 a
13	11.50±2.22 a	19.10±3.73 a	19.80±4.94 a	6.90±1.66 a	14.60±3.78 a	71.30±14.15 a
14	10.90±1.97 a	18.60±2.07 a	20.70±2.63 a	6.50±0.85 a	14.00±1.63 a	70.20±4.76 a
15	12.20±1.55 a	19.40±2.07 a	20.70±4.57 a	7.20±1.23 a	14.20±2.39 a	73.35±9.52 a
16	11.70±0.95 a	17.00±3.33 a	19.80±3.52 a	7.40±0.52 a	13.40±2.12 a	69.05±7.54 a

注: 处理编号 1~4、5~8、9~12、3~16 中同列无相同小写字母, 表示组间差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 酸肉电子鼻风味主成分

2.2.1 酸肉电子鼻传感器主成分

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^[31]。如图 1 可知, a、b、c、d 分别是 4 种酸肉经微波、蒸制、油炸及烤制等处理后其电子鼻主成分分析图。利用 SPSS 对获得 16 种酸肉样品进行电子鼻气味主成分分析, 以主成分 1 为横坐标, 主成分 2 为纵坐标建立二维图。

图 1 中 a 主成分 1 与主成分 2 的累计方差贡献率为 91.541% (主成分 1 贡献率为 68.366%, 主成分 2 贡献率为 23.175%), 说明主成分 1 与主成分 2 能概括较大的信息量, 能反映样品整体信息^[32]。图 1 中 a 中同一样品在横坐标及纵坐标上的聚集程度越大, 说明样品的重复性及稳定性相对较高, 图 1 中 a 中苗族酸肉经 4 种加热方式处理后均可进行较明显的区分。图 1 中 b 主成分 1 方差贡献率为 87.087%, 主成分 2 方差贡献率为 7.065%, 主成分 1 与主成分 2 的累计贡献率为 94.152%, 大

于 85%, 傣族酸肉中主成分 1 与主成分 2 能描述较大的信息量, 可反映样品整体信息。图 1 中 c 表示, 主成分 1 方差贡献率为 83.872%, 主成分 2 方差贡献率为 11.094%, 主成分 1 与主成分 2 的累计贡献率为 94.966%。图 1 中 d 表示, 主成分 1 方差贡献率为 77.812%, 主成分 2 方差贡献率为 10.479%, 主成分 1 与主成分 2 的累计贡献率为 88.291%, 图 1 中同种加热处理酸肉均分布较集中, 不同加热的样品分布较散, 说明其挥发性气味物质差异显著, 可通过电子鼻对样品进行较好的区分。

酸肉在发酵成熟的过程中微生物分解脂肪、蛋白质使产品具有特殊发酵香味。由图 1 主成分分析结果可看出同种酸肉经不同加热处理后可通过电子鼻对其感官风味进行较好的区分。肉在热处理过程中发生脂质氧化、巯胺素降解及美拉德等反应, 形成肉类特有风味, 同时加热可增加肉的香味物质^[33-34]。加热方式的不同会导致肉制品风味各异, 蒸煮使肉中蛋白溶出, 脂肪氧化、美拉德反应增

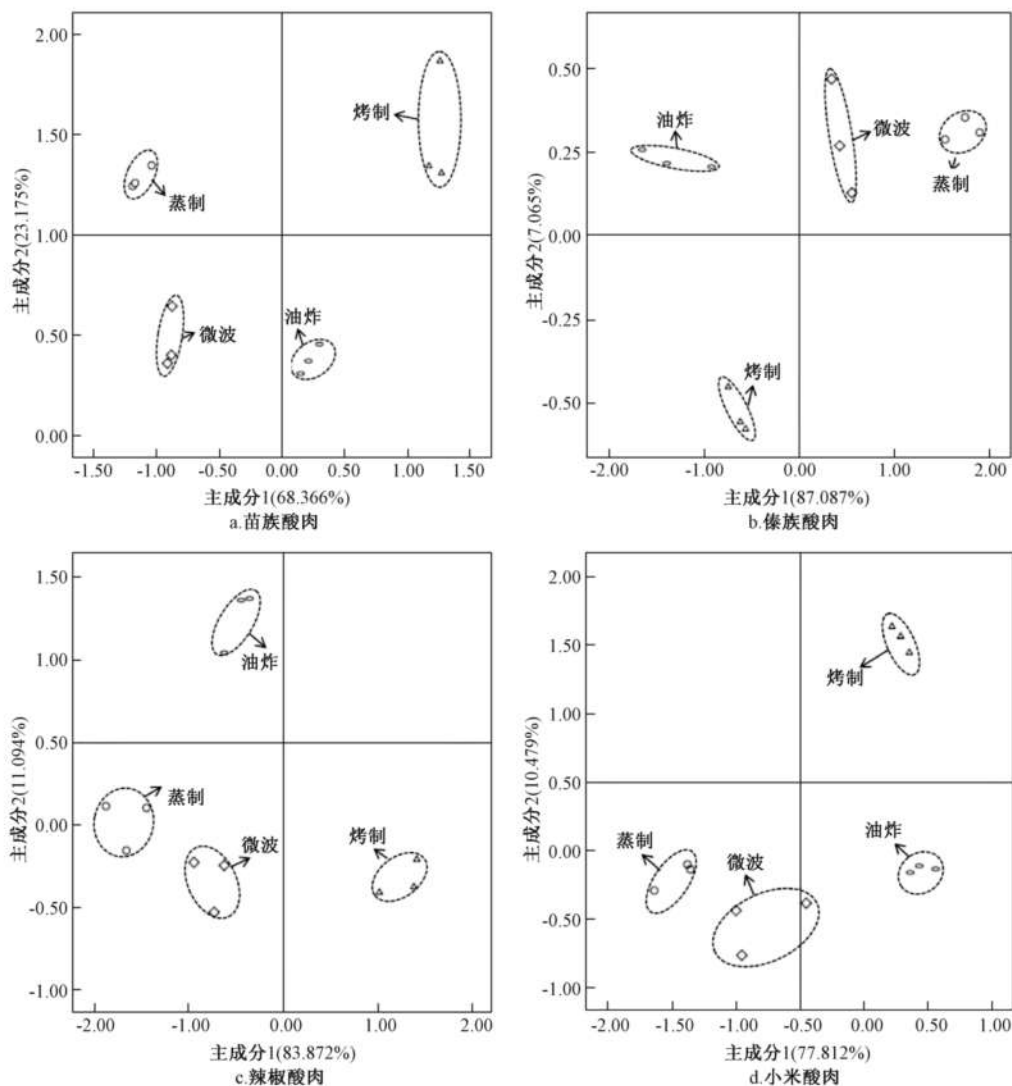


图1 不同热加工方式处理下4种酸肉电子鼻的主成分分析

强。油炸使脂肪发生氧化,产生醛、酮、酚、酯等物质,赋予肉良好的香味。沈铭聪等^[35]通过气相色谱-质谱联用研究微波、蒸、煮条件下对盐水鹅中脂肪酸和挥发性风味物质,结果表明,蒸制的盐水鹅风味最好,挥发性成分种类最多,其中烃、酯类含量较高。

2.3 酸肉感官评价与电子鼻传感器响应值的灰色关联度

2.3.1 无量纲化处理

将16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3所示。

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

16种酸肉风味 $\Delta_{\max}$ 风味=19.15, $\Delta_{\max}$ 总分=76.95; 两级最小差值 $\Delta_{\min}$ 风味=13.05, $\Delta_{\min}$ 总分=59.55, 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。

由表4~5可知,电子鼻10个传感器响应值与样品风味关联度均在0.85以上,与综合感官评分关联度均在0.91以上,说明电子鼻与风味及感官综合评分之间存在较高的关联性,说明了以电子鼻对产品风味进行评价的可行性。传感器W1C与W3C与风味、感官综合评分的关联度最高,传感

表 3 电子鼻传感器响应值无量纲化处理

处理编号	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3W
1	0.791	1.000	0.811	0.982	0.821	1.171	1.074	1.124	0.969	0.988
2	2.346	1.000	2.298	2.028	2.259	1.763	1.221	1.709	2.015	2.037
3	1.029	1.000	1.047	1.101	1.089	1.144	1.016	1.165	1.098	1.098
4	1.047	1.000	1.056	1.166	1.049	1.300	1.129	1.289	1.155	1.170
5	0.562	1.000	0.555	0.737	0.626	0.791	0.853	0.783	0.735	0.753
6	0.298	1.000	0.299	0.368	0.306	0.454	0.678	0.487	0.368	0.376
7	2.740	1.000	2.727	2.076	2.535	1.578	1.344	1.613	2.090	2.023
8	0.448	1.000	0.438	0.466	0.449	0.534	0.630	0.561	0.465	0.471
9	0.286	1.000	0.286	0.359	0.306	0.432	0.430	0.469	0.357	0.360
10	0.150	1.000	0.155	0.244	0.172	0.385	0.540	0.413	0.245	0.250
11	0.263	1.000	0.266	0.341	0.331	0.462	0.503	0.579	0.343	0.373
12	0.039	1.000	0.042	0.097	0.055	0.192	0.359	0.223	0.097	0.102
13	1.393	1.000	1.399	1.422	1.380	1.368	1.668	1.347	1.420	1.417
14	2.261	1.000	2.248	2.076	2.168	1.804	1.869	1.680	2.063	2.059
15	1.029	1.000	1.047	1.101	1.089	1.144	1.016	1.165	1.098	1.098
16	1.284	1.000	1.302	1.447	1.320	1.484	1.665	1.388	1.469	1.447

表 4 传感器响应值与风味的关联系数及关联度

编号	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3W
1	0.832	0.839	0.833	0.838	0.833	0.844	0.841	0.843	0.838	0.839
2	1.000	0.944	0.998	0.986	0.996	0.975	0.953	0.973	0.986	0.987
3	0.869	0.868	0.869	0.871	0.871	0.873	0.868	0.873	0.871	0.871
4	0.901	0.899	0.901	0.905	0.901	0.910	0.904	0.909	0.904	0.905
5	0.788	0.800	0.788	0.793	0.790	0.794	0.796	0.794	0.793	0.793
6	0.818	0.839	0.818	0.820	0.818	0.822	0.829	0.823	0.820	0.820
7	0.893	0.836	0.893	0.870	0.886	0.854	0.847	0.855	0.871	0.869
8	0.828	0.845	0.828	0.829	0.828	0.831	0.834	0.832	0.829	0.829
9	0.877	0.902	0.877	0.880	0.878	0.882	0.882	0.884	0.880	0.880
10	0.822	0.848	0.822	0.825	0.823	0.829	0.834	0.830	0.825	0.825
11	0.814	0.836	0.814	0.816	0.816	0.819	0.821	0.823	0.816	0.817
12	0.819	0.848	0.819	0.821	0.819	0.823	0.828	0.824	0.821	0.821
13	0.829	0.818	0.830	0.830	0.829	0.829	0.838	0.828	0.830	0.830
14	0.873	0.833	0.873	0.867	0.870	0.858	0.860	0.854	0.867	0.866
15	0.810	0.809	0.810	0.812	0.811	0.813	0.809	0.814	0.812	0.812
16	0.895	0.885	0.895	0.901	0.896	0.902	0.908	0.898	0.901	0.901
关联度	0.854 2	0.853 0	0.854 2	0.853 9	0.854 1	0.853 7	0.853 3	0.853 6	0.853 9	0.854 0

表 5 传感器响应值与总分的关联系数及关联度

编号	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3W
1	0.907	0.909	0.907	0.909	0.907	0.910	0.909	0.910	0.908	0.909
2	1.000	0.986	1.000	0.997	0.999	0.994	0.989	0.994	0.997	0.997
3	0.934	0.934	0.934	0.935	0.935	0.935	0.934	0.935	0.935	0.935
4	0.932	0.931	0.932	0.933	0.932	0.934	0.932	0.934	0.933	0.933
5	0.849	0.853	0.849	0.851	0.850	0.851	0.852	0.851	0.851	0.851
6	0.921	0.927	0.921	0.921	0.921	0.922	0.924	0.922	0.921	0.921
7	0.907	0.892	0.906	0.901	0.905	0.897	0.895	0.897	0.901	0.901
8	0.887	0.891	0.887	0.887	0.887	0.888	0.888	0.888	0.887	0.887
9	0.941	0.947	0.941	0.942	0.941	0.942	0.942	0.943	0.942	0.942
10	0.888	0.895	0.888	0.888	0.888	0.890	0.891	0.890	0.889	0.889
11	0.874	0.880	0.874	0.875	0.875	0.876	0.876	0.877	0.875	0.875
12	0.910	0.918	0.910	0.910	0.910	0.911	0.913	0.911	0.910	0.910
13	0.899	0.896	0.900	0.900	0.899	0.899	0.902	0.899	0.900	0.900
14	0.917	0.906	0.917	0.915	0.916	0.913	0.914	0.912	0.915	0.915
15	0.882	0.882	0.882	0.883	0.882	0.883	0.882	0.883	0.883	0.883
16	0.921	0.918	0.921	0.922	0.921	0.922	0.924	0.921	0.922	0.922
关联度	0.910 50	0.910 36	0.910 50	0.910 48	0.910 48	0.910 45	0.910 38	0.910 44	0.910 47	0.910 49

器 W1C、W3C 分别对芳香成分苯类、氮氧化合物灵敏,而样品中芳香成分、苯类、氮氧化合物的敏感来源主要由原辅料发酵产生。

2.4 感官品质与电子鼻传感器响应值的回归模型

从电子鼻与感官品质的灰色关联度分析可得,不同传感器对风味、感官品质的影响能力不同,因此,可建立电子鼻传感器分别与感官风味、感官总分之间的关系,分别以感官风味值、感官总分与电子鼻的 10 个传感器进行回归分析, y 为感官风味或感官总分, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 分别为电子鼻 W1C、W5S、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W、W3W 的 10 个传感器。

感官风味与电子鼻传感器灰色关联系数的回归模型: $y = -1.045X_2 - 0.356X_3 - 0.660X_5 - 1.350X_6 - 0.195X_7 + 0.602X_8 + 1.998X_{10}$; 感官总分与电子鼻传感器灰色关联系数的回归模型: $y = -1.505X_1 - 0.833X_2 + 0.933X_5 - 1.056X_6 - 0.495X_7 + 1.958X_{10}$, 均通过 F 检验和 t 检验,其决定系数 R^2 分别为 0.999 及 0.998,说明感官风味与电子鼻、感官总分与电子鼻之间的回归方程具有较高的拟合度。

3 小结

电子鼻对不同热加工处理的 4 种酸肉风味及滋味的研究显示,传感器 W1C、W3C、W6S、W5C 对不同热处理酸肉风味的响应值影响不显著,其余 6 个传感器对不同热处理酸肉风味的响应值影响显著,说明 16 种酸肉样品的挥发性气味成分差异显著。在评价以微波、蒸煮、油炸及烤制等方式处理酸肉时,对其风味、综合评价时可分别采用电子鼻 W5S、W6S、W1S、W1W、W2S、W2W 等传感器及 W5S、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W 等传感器响应值进行分析。电子鼻对 16 种酸肉样品的风味分析结果表明,同种酸肉在经微波、蒸制、油炸及烤制 4 种不同热加工处理后其风味存在明显差异,可利用其对酸肉进行综合分析,对 4 种酸肉中的挥发性组分的影响及其作用机理有待进一步研究。

参考文献:

[1] 丁苗,李成龙,刘淑贞,等.自然乳酸发酵猪肉蛋白质降解与血管紧张素转化酶抑制肽的分离纯化[J].食品科学,2015,36(19):204-210.
[2] 米瑞芳,陈曦,戚彪,等.乳杆菌发酵剂对酸肉挥发性风味成分的影响[J].肉类研究,2018,32(4):48-55.

[3] FADDA S, LÓPEZ C, VIGNOLO G. Role of lactic acid bacteria during meat conditioning and fermentation: Peptides generated as sensorial and hygienic biomarkers [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 66-79.
[4] ARO ARO J M, NYAM-OSOR P, TSUJI K, et al. The effect of starter cultures on proteolytic changes and amino acid content in fermented sausages [J]. Food Chemistry, 2010, 119(1): 279-285.
[5] KARGOZARI M, MOINI S, AKHONDZADEH BASTI A, et al. Effect of autochthonous starter cultures isolated from Siahmazgi cheese on physicochemical, microbiological and volatile compound profiles and sensorial attributes of sucuk, a Turkish dry-fermented sausage [J]. Meat Science, 2014, 97(1): 104-114.
[6] LV J, LI C C, LI S J, et al. Effects of temperature on microbial succession and quality of sour meat during fermentation [J]. LWT-Food and Technology, 2019, 114: 108391.
[7] GARDNER J W, BARTLETT P N. A brief history of electronic noses [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1994, 18(1/2/3): 210-211.
[8] ZHENG H N, WANG S Y, PING X Y, et al. Study of spinyhead croaker (*Collichthys lucidus*) fat content forecasting model based on electronic nose and non-linear data resolution model [J]. Food Analytical Methods, 2019, 12(9): 1927-1937.
[9] SHI Y, GONG F R, WANG M Y, et al. A deep feature mining method of electronic nose sensor data for identifying beer olfactory information [J]. Journal of Food Engineering, 2019, 263: 437-445.
[10] 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.
[11] 贾洪峰,卢一,何江红,等.电子鼻在牦牛肉和牛肉猪肉识别中的应用[J].农业工程学报,2011,27(5):358-363.
[12] 宋雪,高韶婷,杭梦茜,等.基于电子鼻的金华和宣威火腿产地鉴别与品质评定[J].食品与机械,2015,31(2):114-118.
[13] 孙钟雷.电子鼻技术在猪肉新鲜度识别中的应用[J].肉类研究,2008,22(2):50-53.
[14] 石志标,佟月英,陈东辉,等.牛肉新鲜度的电子鼻检测技术[J].农业机械学报,2009,40(11):184-188.
[15] HONG X Z, WANG J, HAI Z. Discrimination and prediction of multiple beef freshness indexes based on electronic nose [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2012, 161(1): 381-389.
[16] SALINAS Y, ROS-LIS J V, VIVANCOS J L, et al. A novel colorimetric sensor array for monitoring fresh pork sausages spoilage [J]. Food Control, 2014, 35(1): 166-176.
[17] 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.
[18] 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.
- [19] 李小昱, 王为. 基于灰色系统理论用机械特性指标预测苹果贮藏品质特性 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (2): 1-6.
- [20] 张传珂. 灰色系统理论在甜瓜品种综合评估中的应用 [J]. 安徽农业科学, 2005, 33 (7): 1214-1311.
- [21] 王轩, 毕金峰, 刘璇, 等. 不同产地红富士苹果品质的灰色关联度分析 [J]. 食品科学, 2013, 34 (23): 88-91.
- [22] 魏常敏, 许卫猛, 邢永峰, 等. 不同年份玉米杂交种主要农艺性状与产量的灰色关联度分析 [J]. 浙江农业科学, 2019, 60 (10): 1756-1759.
- [23] 达迪拉·买买提, 李芳, 张文, 等. 不同加热条件对羊肉嫩度的影响研究 [J]. 食品科技, 2016, 41 (5): 98-103.
- [24] 韦婕姑, 唐善虎, 杨琪. 不同热加工方法对羊肉制品体外模拟可消化性研究 [J]. 食品科技, 2018, 43 (12): 125-130.
- [25] 米瑞芳, 陈曦, 戚彪, 等. 乳杆菌发酵剂对酸肉挥发性风味成分的影响 [J]. 肉类研究, 2018, 32 (4): 48-55.
- [26] 卢雪松, 丁捷, 易宇文, 等. 烹饪方式对糊辣风味牦牛酸酐肉食用品质的影响 [J]. 美食研究, 2017, 34 (2): 53-56.
- [27] 陈曦, 许随根, 周彤, 等. 贵州酸肉中的植物乳杆菌对发酵香肠风味和品质特性的影响 [J]. 中国食品学报, 2018, 18 (6): 174-182.
- [28] ZHOU Q H, LIN L Q, CHEN G, et al. Prediction and optimization of electrospun polyacrylonitrile fiber diameter based on grey system theory [J]. Materials, 2019, 12 (14): 2237.
- [29] MA X, WU W Q, ZENG B, et al. The conformable fractional grey system model [J]. ISA Transactions, 2020, 96: 255-271.
- [30] ZENG B, LI C. Improved multi-variable grey forecasting model with a dynamic background-value coefficient and its application [J]. Computers & Industrial Engineering, 2018, 118: 278-290.
- [31] HE J R, BI Y Z, LIU B, et al. Graph-dual Laplacian principal component analysis [J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019, 10 (8): 3249-3262.
- [32] HABIBI NAJAFI M B, LEUFVEN A, EDALATIAN DOVOM M R, et al. Probing the interactions between hardness and sensory of pistachio nuts during storage using principal component analysis [J]. Food Science & Nutrition, 2019: fsn3.1124.
- [33] MADRUGA M S, STEPHEN ELMORE J, DODSON A T, et al. Volatile flavour profile of goat meat extracted by three widely used techniques [J]. Food Chemistry, 2009, 115 (3): 1081-1087.
- [34] NARENDRA N, VISHWANATHA T, SUDARSHAN N, et al. Synthesis of 4-amino-thiazole analogs of fmoc-amino acids and thiazole linked N-orthogonally protected dipeptidomimetics [J]. Protein & Peptide Letters, 2009, 16 (9): 1029-1035.
- [35] 沈铭聪, 周名洋, 孙杨赢, 等. 不同加热方法对盐水鹅食用品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2019, 40 (11): 63-69.

(责任编辑: 张韵)

(上接第 1167 页)

- [2] 刘亚娟, 王诗豪, 张铭, 等. 铁皮石斛多糖抗癌及免疫活性研究 [J]. 广州化工, 2014, 42 (10): 58-60.
- [3] 鲍素华, 查学强, 郝杰, 等. 不同分子量铁皮石斛多糖体外抗氧化活性研究 [J]. 食品科学, 2009, 30 (21): 123-127.
- [4] 王喜云, 王远亮, 吴扬兰, 等. 凝胶渗透色谱-十八角激光散射仪 (GPC-MALLS) 的应用: 浓度、流量、温度对高分子分子量及其分布的影响 [J]. 光散射学报, 2007, 19 (1): 49-54.
- [5] 赵明媛, 徐学林, 任玲玲, 等. 凝胶渗透色谱-激光光散射法测量葡聚糖重均分子量的影响条件 [J]. 计量学报, 2010, 31 (5A): 184-187.
- [6] 韩邦兴, 陈凌霄, 邓勇, 等. 糖谱法结合多元色谱分析比较铁皮石斛功能性多糖结构特征 [J]. 药物分析杂志, 2018, 38 (1): 41-49.
- [7] 刘蕊, 马博凯, 勾新磊, 等. 基于凝胶渗透色谱-激光光散射联用技术的聚天冬氨酸分子量测定方法的建立 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7 (11): 4318-4322.

(责任编辑: 侯春晓)