

利用电子舌分析热加工酸肉滋味特征

吴慧琳, 李苗云*, 朱瑶迪, 赵改名, 郝云鹏, 肖康, 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: 采用电子舌及多元统计方法分析4种发酵酸肉经不同热处理后的滋味品质, 通过主成分分析、判别分析及聚类分析对经不同热处理的酸肉进行差异性分析及聚类分析。结果表明: 不同种类酸肉或经不同加热处理后酸肉电子舌滋味强度存在显著差异 ($P < 0.05$), 可通过判别分析、聚类分析将酸肉进行分类, 聚类分析将苗族酸肉、小米酸肉及微波处理傣族酸肉聚为一类, 蒸制、油炸、烤制傣族酸肉为一类, 微波处理辣椒酸肉为一类, 蒸制、油炸、烤制辣椒酸肉为一类; 酸肉中酸、苦、涩、咸、鲜、甜6种基本滋味均存在显著差异 ($P < 0.05$)。

关键词: 发酵酸肉; 电子舌; 滋味品质; 加热处理

Electronic Tongue Analysis of Taste Characteristics of Thermally Processed Sour Meat

WU Huilin, LI Miaoyun*, ZHU Yaodi, ZHAO Gaiming, HAO Yunpeng, XIAO Kang, REN Hongrong, SUN Lingxia
(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The electronic tongue combined with multivariate statistical analysis was used to analyze the taste quality of four fermented sour meats under different heat treatments. Principal component analysis, discriminant analysis and cluster analysis were used to distinguish the different sour meats and heat treatments. The results showed that there were significant differences in the taste intensity of different sour meat types and different heat treatments ($P < 0.05$). The meat samples could be classified into four categories: 1) including Miao ethnic sour meat, sour meat with millet and microwaved Dai ethnic sour meat; 2) including steamed, fried or roasted Dai ethnic sour meat; 3) including microwave sour meat with hot pepper; and 4) including steamed, fried or roasted sour meat with hot pepper, and there were significant differences in the six basic tastes of sourness, bitterness, astringency, saltiness, umami and sweetness among these categories ($P < 0.05$).

Keywords: fermented sour meat; electronic tongue; taste quality; heat treatment

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190909-213

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 12-0039-06

引文格式:

吴慧琳, 李苗云, 朱瑶迪, 等. 利用电子舌分析热加工酸肉滋味特征[J]. 肉类研究, 2019, 33(12): 39-44. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190909-213. <http://www.rlyj.net.cn>

WU Huilin, LI Miaoyun, ZHU Yaodi, et al. Electronic tongue analysis of taste characteristics of thermally processed sour meat[J]. Meat Research, 2019, 33(12): 39-44. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190909-213. <http://www.rlyj.net.cn>

酸肉是我国西南地区傣族、侗族、苗族、藏族等少数民族为延长肉制品贮藏期, 通过在新鲜肉中添加盐、米粉等辅料, 利用微生物进行厌氧发酵制成的一类地方特色发酵肉制品^[1]。由于地域文化的不同, 酸肉加工方式也存在较大差异, 不同酸肉加工方式均具有独特的地域特色。目前对酸肉的研究主要集中在发酵工艺

的优化^[2-3]、发酵过程中微生物变化^[4-5]、酸肉中益生菌的分离鉴定^[6-7]、发酵过程中蛋白质、脂肪的变化^[8-9]及酸肉风味品质^[10-11]。酸肉中滋味的形成主要来源于无机盐、游离氨基酸和核酸代谢产物等。代小容^[12]研究发现, 酸肉发酵过程中, 随着发酵时间的延长, 水分含量逐渐降低, NaCl、总酸含量增加, 同时蛋白质、脂

收稿日期: 2019-09-09

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0401200); 国家自然科学基金面上项目 (31571856);

河南省高校创新人才计划项目 (18HASTIT036); 河南省科技攻关计划项目 (192102110216)

第一作者简介: 吴慧琳 (1996—) (ORCID: 0000-0002-5452-1464), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全。

E-mail: wuhuilin1996@126.com

*通信作者简介: 李苗云 (1976—) (ORCID: 0000-0003-4074-7654), 女, 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@126.com

肪等降解为游离脂肪酸和氨基酸，使发酵酸肉具有独特的酸、鲜、咸、甜等口感。张倩等^[13]研究酸肉发酵过程中风味物质的变化，随着发酵时间的延长，总酸含量逐渐增加，总糖含量下降。

电子舌通过味觉智能仿生系统模拟人体口腔味觉器官，对样品滋味进行检测^[14]，与常规感官评价相比，电子舌能够克服人为主观意识对样品感官评价的影响，减小外界因素的影响，实现对酸、苦、涩、咸、鲜、甜6种基本滋味及苦、涩、鲜3种回味的检测^[15]，具有灵敏度高、重复性好、能够快速、稳定识别样品中滋味物质整体信息的特点^[16]。电子舌广泛应用于食品的掺假检验^[17-19]、工艺优化^[16,20]、产地溯源追踪^[21-23]及快速检测系统的建立中^[24-25]。

目前，对于酸肉中风味物质的研究，主要通过气相色谱-质谱（gas chromatography-mass spectrometry, GS-MS）分析发酵过程中风味化合物的变化，然而对不同发酵酸肉风味及不同加热处理后酸肉风味品质的研究极少。本研究利用电子舌技术对不同加热处理条件下4种酸肉的滋味品质进行测定及分析，采用主成分分析（principal component analysis, PCA）及聚类分析（cluster analysis, CA）确定酸肉滋味品质整体结构，使用判别因子分析（discriminant factor analysis, DFA）对4种酸肉进行定性判别分析。以期为寻找4种酸肉适宜的加工方式及发酵酸肉市场产品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

酸肉样品信息如表1所示。

表1 酸肉样品信息

Table 1 Information about sour meat samples tested in this study

编号(样品名)	原辅料	产品名称	净含量/g	货架期/月
A(苗族酸肉)	猪肉、盐、米粉	湖南湘西农家自制酸肉(沅陵特产五花肉粉蒸肉)	250	3
B(傣族酸肉)	猪肉、盐、大蒜	云南版腌制泰国香肠(猪肉肠)	265	6
C(辣椒酸肉)	猪肉、盐、辣椒粉	贵州黔东南黎平锦平特产腌肉(微酸中辣酸肉)	1000	3
D(小米酸肉)	猪肉、盐、小米	隆安土特产都结酸肉	700	6

1.2 仪器与设备

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; 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; TS-5000Z电子舌 日本Insent公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理

参照达迪拉·买买提^[26]、韦婕好^[27]等人的方法，稍作修改。清除酸肉表面辅料后，分别经微波、蒸制、油炸及烤制4种热加工处理，对照组不经任何热处理。

热加工前将傣族酸肉和辣椒酸肉切成厚1 cm的薄片，苗族酸肉和小米酸肉由于发酵方式不同热加工前不需进行其他预处理。微波加热：设置微波烤肉模式，每30 s使用数显温度计测定肉中心温度，中心温度达80 ℃时取出，冷却至室温，用吸水纸吸干表面水分及油分，备用。蒸制加热：肉样经预处理，用蒸汽锅将水加热至沸腾，将肉样置于蒸笼，使用数显温度计测定肉中心温度，达80 ℃时取出，冷却至室温，用吸水纸吸干表面水分及油分，备用。油炸加热：肉样经预处理，将大豆油加热至120 ℃，肉样置于油锅炸制，沥油，每30 s使用数显温度计测定肉中心温度，达80 ℃时取出，冷却至室温，用吸水纸吸干表面油分，备用。烤制加热：肉样经预处理，置于电烤箱盘120 ℃加热，每2 min测定肉中心温度，待中心温度达80 ℃时取出，冷却至室温，用吸水纸吸干表面水分及油分，备用。

用编号A、B、C、D分别代表苗族酸肉、傣族酸肉、辣椒酸肉和小米酸肉，1、2、3、4分别代表微波、蒸制、油炸和烤制4种加热方式，根据4种酸肉经不同加热处理，分别对其进行编号。

1.3.2 电子舌测定

参考李双艳等^[28]的方法，略作修改。采用TS-5000Z味觉分析系统进行测定，称取15 g样品，按料液比1:10添加超纯水进行稀释，50 ℃水浴加热20 min，过滤取上清液，5 000 r/min、4 ℃离心15 min，取上清液，滤纸过滤获得电子舌检测液。对样品的酸、苦、涩、咸、甜、鲜味及鲜味丰富性等基本味进行数字化测定。

电子舌检测条件：以30 mmol/L氯化钾和0.3 mmol/L酒石酸混合溶液（二者体积比1:1）配制模拟人体口腔的对照参比溶液^[29]，将传感器置于参比溶液30 s进行归零处理，每个样品均以参比溶液进行对照。传感器清洗时间5.6 min，样品测定时间30 s，测量回味30 s^[30]。负极清洗液：将500 mL超纯水、300 mL无水乙醇、8.3 mL浓盐酸混合，定容至1 000 mL；正极清洗液：将7.46 g KCl、500 mL超纯水、300 mL无水乙醇、0.056 g KOH混合，定容至1 000 mL；传感器未稳定时，感应强度出现上下波动现象，测定1~2次使传感器响应强度趋于稳定，每个样品进行4次平行测定。

表2 SA-402B电子舌传感器阵列及其性能特点

Table 2 SA-402B electronic tongue sensor arrays and corresponding performance characteristics

传感器名称	可评价味觉	
	基本味(相对滋味)	回味
酸味传感器(CA0)	酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
苦味传感器(C00)	苦味(苦味物质引起的味道，在低浓度下被感知为丰富性)	苦味回味(啤酒、咖啡等一般食品的苦味)
涩味传感器(AE1)	涩味(涩味物质引起的味道，低浓度下感知为刺激性回味)	涩味回味(茶、红酒等呈现的涩味)
鲜味传感器(AAE)	鲜味(氨基酸、核酸引起的鲜味)	鲜味丰富度(可持续感知的鲜味)
咸味传感器(CT0)	咸味(食盐等无机盐引起的咸味)	无
甜味传感器(GL1)	甜味(糖或糖醇引起的甜味)	无

1.4 数据处理

将电子舌检测获得的16种样品的数据信息进行处理,分析不同样品各滋味间的相关性,使用PCA和CA对酸肉经加热后的滋味品质整体结构差异性进行分析,使用DFA对不同酸肉进行定性判别。采用SPSS 23.0软件进行数据处理,使用Excel 2010软件作图。

2 结果与分析

2.1 4种酸肉经不同加热处理后的滋味及其相关性分析

采用电子舌的6个传感器分别测定16种样品的酸味、苦味、涩味、鲜味、咸味、甜味及鲜味丰富性7组滋味指标,结果如表3所示。

表3 4种酸肉经不同加热处理后的电子舌滋味响应强度
Table 3 Electronic tongue taste response intensity values for sour meats undergoing different heat treatments

组别	酸味	苦味	涩味	鲜味	咸味	甜味	鲜味丰富性
基准	-13.00	0.00	0.00	0.00	-6.00	0.00	0.00
A1	-35.48±1.63	6.76±0.12	-1.68±0.19	3.67±0.08	4.53±0.10	0.25±0.04	14.21±0.20
A2	-26.12±0.12	10.40±0.26	0.52±0.14	2.24±0.12	6.64±0.34	1.45±0.23	6.49±0.43
A3	-27.38±0.57	8.45±0.21	-0.36±0.07	1.46±0.29	7.49±0.45	0.63±0.07	7.57±0.11
A4	-29.19±0.30	7.53±0.47	-1.24±0.04	2.58±0.10	12.46±0.54	0.30±0.07	12.17±0.23
B1	-37.86±0.31	6.11±0.36	-2.60±0.04	5.36±0.12	8.53±0.30	0.22±0.04	9.36±0.32
B2	-30.90±0.25	7.44±0.26	1.61±0.08	3.54±0.30	4.83±0.04	1.47±0.31	6.67±0.13
B3	-32.51±0.82	6.72±0.22	-1.13±0.50	2.75±0.39	6.61±0.07	0.70±0.07	8.33±0.39
B4	-36.01±0.59	6.32±0.24	-2.58±0.12	2.39±0.32	7.28±0.10	0.27±0.01	9.41±0.25
C1	-40.94±0.52	8.63±0.04	-2.16±0.07	6.45±0.00	7.73±0.25	0.35±0.42	9.60±0.34
C2	-34.82±0.10	8.18±0.34	-1.10±0.44	2.67±0.25	5.78±0.08	1.72±0.15	5.40±0.33
C3	-32.65±0.28	7.39±0.42	-1.57±0.12	0.59±0.16	5.50±0.04	1.31±0.18	5.72±0.29
C4	-39.35±0.35	6.54±0.48	-1.62±0.52	3.59±0.07	6.66±0.18	0.38±0.09	13.74±0.24
D1	-36.57±0.18	5.61±0.05	-2.41±0.22	4.77±0.24	6.71±0.21	0.36±0.24	10.42±0.36
D2	-32.76±0.48	9.88±0.00	-1.46±0.43	3.36±0.31	5.56±0.25	1.28±0.32	8.64±0.14
D3	-30.74±1.56	9.54±0.03	-1.76±0.13	1.30±0.14	5.74±0.24	0.51±0.09	9.16±0.01
D4	-35.83±0.21	9.49±0.73	-2.17±0.31	4.40±0.48	6.54±0.18	0.43±0.15	11.82±0.22

表4 4种酸肉经不同加热处理后的电子舌滋味相关性分析 (n=16)

Table 4 Correlation analysis of taste characteristics of four sour meats undergoing different heat treatments (n = 16)

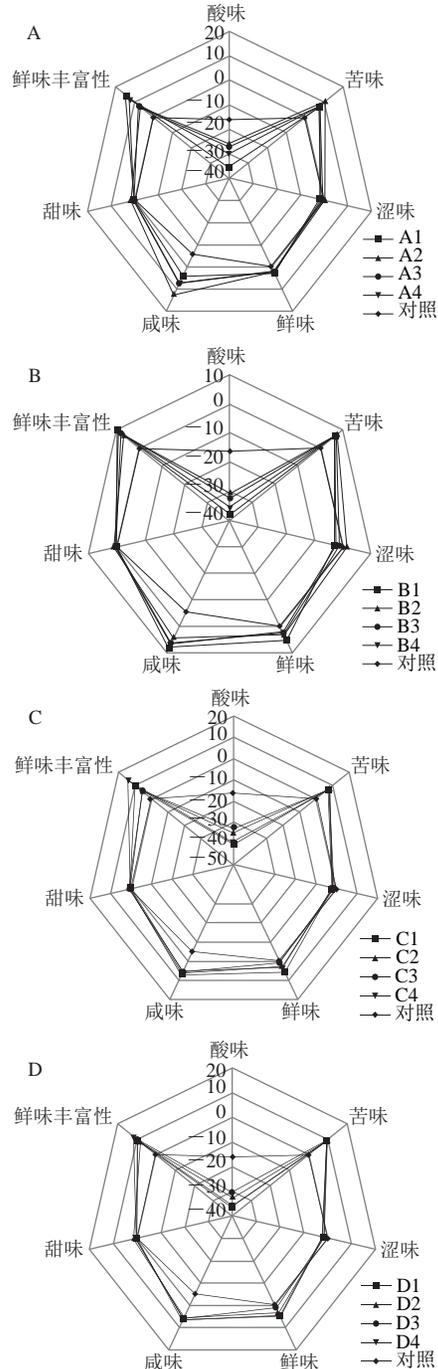
指标	酸味	苦味	涩味	鲜味	咸味	甜味	鲜味丰富性
酸味	1.000	-0.635**	0.662**	-0.606*	-0.194	0.438	-0.362
苦味		1.000	0.374	-0.435	-0.176	-0.524*	-0.282
涩味			1.000	-0.447	-0.221	0.768**	-0.582*
鲜味				1.000	0.244	0.521*	0.550*
咸味					1.000	-0.309	0.050
甜味						1.000	0.815**
鲜味丰富性							1.000

注: *.显著相关 ($P<0.05$); **.极显著相关 ($P<0.01$)。

由表4可知:酸肉经加热处理后各滋味间存在一定相关性,酸味与苦味存在极显著负相关性 ($P<0.01$),酸味与涩味存在极显著正相关性 ($P<0.01$),酸味与鲜味存在显著负相关性 ($P<0.05$),随酸味的增加,涩味增大,苦味及鲜味减少;苦味与甜味存在显著负相关性 ($P<0.05$),随苦味增加,甜味减少;涩味与甜味存在极显著正相关性 ($P<0.01$),涩味与鲜味丰富性存在显著负相关性 ($P<0.05$),随涩味增加,甜味显著增加,鲜味丰富性显著减少;鲜味与甜味、鲜味丰富性均存在

显著正相关性 ($P<0.05$);甜味与鲜味丰富性存在极显著正相关性 ($P<0.01$)。

2.2 4种酸肉经不同加热处理后的电子舌滋味特征雷达图



A. 苗族酸肉; B. 傣族酸肉; C. 辣椒酸肉; D. 小米酸肉。

图1 4种酸肉滋味特征雷达图

Fig. 1 Radar chart for taste characteristics of four sour meats

雷达图可间接反映样品间各指标的差异性,对4种酸肉经不同加热处理后的电子舌滋味响应值作雷达图进行分析。由图1可知:不同加热处理酸肉对传感器均有响应作用,4种酸肉的咸、苦、甜、鲜味值均高于对照

溶液，酸味值低于对照溶液；辣椒酸肉、小米酸肉的涩味值均低于对照溶液，而苗族酸肉、傣族酸肉中蒸制加热处理的样品涩味值高于对照溶液；同种酸肉经不同加热处理后其滋味特征存在显著差异，微波处理酸肉较蒸制、油炸、烤制酸肉的酸味值及涩味值高，苦味值低。

不同加热处理的苗族酸肉在酸味、苦味、咸味及鲜味丰富性上存在明显差异，其中微波处理苗族酸肉的酸味、涩味、鲜味值及鲜味丰富性最高，而咸味、甜味、苦味值最低，蒸制处理苗族酸肉的酸味值、鲜味丰富性最低，而苦味、咸味、甜味最高，油炸处理的苗族酸肉涩味、鲜味值最低。

傣族酸肉、辣椒酸肉及小米酸肉分别经微波加热处理后，电子舌滋味响应值基本一致，均表现为微波处理酸肉酸味、涩味、鲜味、咸味值最高，苦味、甜味值最低。

2.3 4种酸肉经不同加热处理后电子舌滋味指标的差异性分析

根据实验室前期加热方式对酸肉营养成分影响的研究结果，选择酸肉加热方式为微波，分析4种酸肉经微波加热处理后电子舌响应值间的差异性，同理，选择苗族酸肉为考察对象，分析4种加热方式苗族酸肉电子舌响应值间的差异性。

表5 不同加热方式及4种酸肉电子舌滋味差异性分析

Table 5 Differences in taste characteristics among between different heating methods and different classes of sour meat

滋味指标	酸肉分类				加热方式			
	苗族酸肉	傣族酸肉	辣椒酸肉	小米酸肉	微波	蒸制	油炸	烤制
酸味	-29.54±4.16 ^a	-34.32±3.18 ^b	-36.94±3.86 ^c	-33.97±2.71 ^b	-36.82±0.95 ^a	-26.98±0.73 ^b	-27.20±1.00 ^c	-27.57±1.80 ^d
苦味	8.29±1.57 ^b	6.65±0.59 ^b	9.38±0.53 ^a	6.93±1.11 ^b	9.49±0.04 ^a	5.40±0.12 ^d	8.18±0.05 ^c	7.44±0.36 ^c
涩味	-0.69±0.97 ^a	-1.17±1.98 ^b	-1.95±0.43 ^c	-1.61±0.42 ^c	-2.16±0.19 ^a	-1.13±0.04 ^d	-1.68±0.07 ^c	-1.76±0.22 ^b
鲜味	2.49±0.92 ^a	3.51±1.32 ^b	3.33±2.43 ^a	3.46±1.56 ^b	2.24±0.08 ^d	3.54±0.12 ^a	-2.67±0.00 ^c	-3.36±0.24 ^b
咸味	7.78±3.36 ^b	6.81±1.54 ^a	6.42±1.01 ^a	6.14±0.58 ^a	4.53±0.10 ^c	4.83±0.30 ^b	5.50±0.25 ^a	6.54±0.21 ^a
甜味	0.66±0.55 ^a	0.67±0.58 ^a	0.94±0.68 ^a	0.64±0.43 ^a	0.47±0.12 ^c	0.23±0.08 ^d	0.28±0.08 ^d	0.28±0.07 ^d
鲜味丰富性	10.11±3.68 ^a	8.44±1.28 ^b	8.61±3.91 ^a	10.01±1.42 ^a	12.17±0.20 ^b	9.41±0.32 ^c	13.74±0.34 ^a	8.64±0.36 ^c

注：同行小写字母不同，表示不同种酸肉或不同加热方式差异显著（ $P < 0.05$ ）。

由表5可知，从酸肉分类角度分析可知，苗族酸肉的酸味值（绝对值，下同）低于傣族酸肉、辣椒酸肉和小米酸肉，其中辣椒酸肉酸味值最高，酸味最强；辣椒酸肉苦味值最高，且显著高于傣族酸肉及小米酸肉（ $P < 0.05$ ），而苗族酸肉次之；4种酸肉的涩味、鲜味、咸味、甜味及鲜味丰富性无显著差异。从加热方式的角度分析可知，不同加热方式对苗族酸肉滋味品质的影响较显著，微波加热处理苗族酸肉酸味、苦味、涩味及甜味值最高，咸味、鲜味值最低；蒸制处理的苗族酸肉鲜味值最高，酸味、苦味、涩味及甜味值最低；油炸处理的苗族酸肉鲜味丰富性最高；烤制处理的苗族酸肉咸味值最高，鲜味丰富性最低。

2.4 4种酸肉经不同加热处理后电子舌滋味的PCA

表6 不同加热处理的4种酸肉电子舌滋味主成分分布

Table 6 First three principal components for each of the six basic tastes

滋味指标	主成分1	主成分2	主成分3
酸味	0.862	0.117	0.364
苦味	0.743	0.270	0.303
涩味	0.772	-0.058	-0.036
鲜味	-0.688	0.283	-0.402
咸味	0.207	0.931	-0.159
甜味	-0.342	-0.218	0.821
鲜味丰富性	-0.747	0.067	0.720
贡献率/%	70.018	15.542	3.961
总贡献率/%		89.521	

对16个酸肉样品电子舌滋味品质进行PCA，对经不同加热处理4种酸肉电子舌滋味品质进行差异性分析。由表6可知，加热处理后4种酸肉各滋味品质主要集中在前3个主成分，其总方差贡献率为89.521%，主成分1的方差贡献率为70.018%，主要包括酸味、苦味及涩味信息，主成分2的方差贡献率为15.542%，主要包括咸味、鲜味信息，主成分3的方差贡献率为3.961%，主要包括甜味及鲜味丰富性信息，说明3个综合变量可反映绝大部分信息。

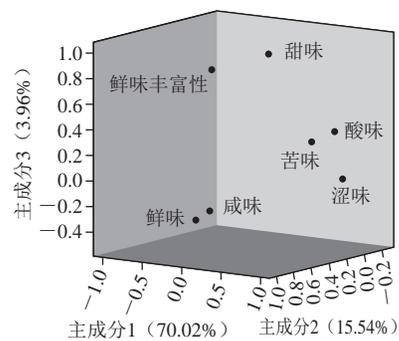


图2 4种酸肉经不同加热处理后滋味品质主成分3D因子载荷图

Fig. 2 3D PCA loading plot for taste characteristics of four sour meats undergoing different heat treatments

以主成分1、2、3为指标绘制主成分3D因子载荷图。

由图2可知，第1、2主成分主要由酸肉的特征性滋味（酸味、苦味、咸味）指标组成，第3主成分主要由酸肉的非特征性滋味（甜味、鲜味丰富性）指标组成。

2.5 4种酸肉经不同加热处理后电子舌滋味品质的差异性分析

4种酸肉经不同加热处理后其滋味品质存在一定差异，根据电子舌对酸肉不同滋味传感器的响应值，采用PCA将16个样品进行区分。由图3可知，主成分1与主成分2的累积贡献率为98.32%，图中不同点之间的距离代表样品间的差异性大小，距离越近，说明样品间差异越小。同种酸肉烤制处理较其他处理的酸肉分布在横轴左侧，且不同酸肉之间差异显著。

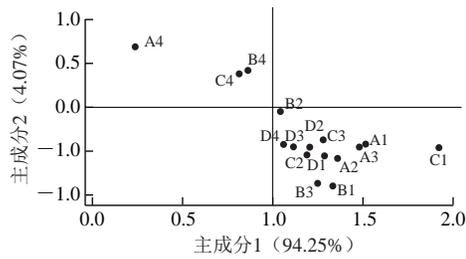


图3 4种酸肉经不同加热处理后滋味品质PCA

Fig. 3 PCA plots showing differences in taste characteristics of four sour meats undergoing different heat treatments

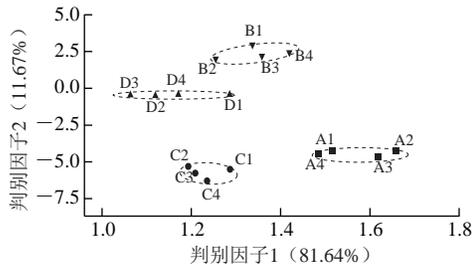


图4 4种酸肉经不同加热处理后滋味品质的DFA

Fig. 4 DFA of the taste of four sour meats undergoing different heat treatments

对4种酸肉的滋味品质进行判别分析,由图4可知,判别因子的总贡献率为93.31%,样品间的离散度距离减小,对同种酸肉的聚类效果好,可明显将4种酸肉区分开。综合图3~4可知,在对经不同加热处理后4种酸肉进行分类时,DFA优于PCA,可更好地区分不同种类酸肉。

2.6 4种酸肉经不同加热处理后电子舌滋味品质的CA

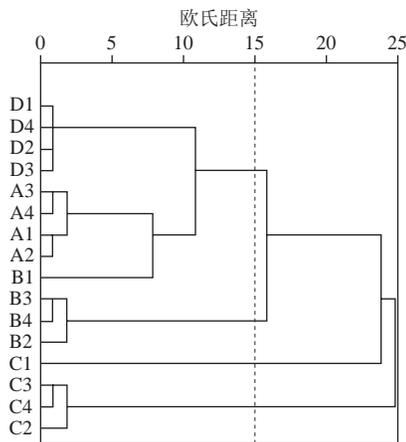


图5 4种酸肉经不同加热处理后滋味品质的CA

Fig. 5 CA of the taste of four sour meats with different heat treatments

以4种酸肉分别经微波、蒸制、油炸、烤制4种加热方式处理后电子舌的平均响应值进行SPSS聚类分析,采用最短距离法对16个酸肉样品进行CA,获得CA树状图。由图5可知,酸肉种类及加热处理方式均为4种,因此可将16个样品简单分为4类,第1类包括小米酸肉、

苗族酸肉分别经微波、蒸制、油炸、烤制加热处理后的8个样品及微波加热处理傣族酸肉(A1、A2、A3、A4、B1、D1、D2、D3、D4),第2类包括经油炸、烤制及蒸制处理的傣族酸肉(B2、B3、B4),第3类为微波处理辣椒酸肉(C1),第4类为经油炸、烤制及蒸制后的辣椒酸肉(C2、C3、C4),辣椒酸肉明显区别于其他酸肉。

表7 不同加热处理的4种酸肉滋味品质的差异性分析

Table 7 Analysis of differences in taste characteristics among four classes of sour meat

分类	酸味	苦味	涩味	鲜味	咸味	甜味	鲜味丰富性
第1类	-36.22±1.68 ^b	10.54±2.16 ^c	-1.88±0.19 ^b	2.97±0.50 ^b	8.62±1.52 ^c	0.59±0.11 ^b	7.87±1.36 ^c
第2类	-31.47±1.12 ^b	9.94±0.44 ^d	-1.66±0.09 ^b	4.24±0.63 ^c	8.82±0.68 ^c	0.34±0.04 ^c	6.19±0.69 ^d
第3类	-40.94±0.00 ^a	6.11±0.00 ^b	-2.46±0.00 ^c	1.30±0.00 ^c	4.83±0.00 ^c	1.47±0.00 ^c	12.21±0.00 ^a
第4类	-39.61±0.24 ^a	6.83±0.57 ^b	-2.53±0.10 ^c	1.55±0.07 ^c	5.27±0.65 ^c	1.44±0.24 ^c	11.47±0.92 ^b

注:同列小写字母不同,表示差异显著($P<0.05$);表中数值为聚为一类的酸肉样品电子舌响应值平均值。

根据图5的聚类分析结果,将16个样品分为4类,对聚为一类的样品电子舌各滋味响应值进行差异性分析。由表7可知,4类酸肉的电子舌滋味品质均存在显著差异($P<0.05$),第1、2类酸肉的苦味显著高于其他类别酸肉($P<0.05$),第2类酸肉的鲜味显著高于其他类别酸肉、咸味显著高于第3、4类酸肉,酸味、涩味、甜味及鲜味丰富性显著低于其他类别酸肉($P<0.05$),第3类酸肉的酸味、甜味及鲜味丰富性显著高于其他类别酸肉,苦味、鲜味及咸味显著低于其他类别酸肉($P<0.05$),第4类酸肉的涩味显著高于第1、2类酸肉($P<0.05$)。第1类与第2类、第3类与第4类酸肉的苦味、咸味均无显著差异,第3类与第4类酸肉的涩味、鲜味和甜味均无显著差异。

3 结论

周才琼等^[31]在优化酸肉发酵工艺的同时探讨影响酸肉滋味的理化成分,结果表明:1)酸肉的咸甜滋味与发酵过程中微生物生长、大分子物质的降解及水分含量变化有关;2)酸肉发酵过程中,蛋氨酸、谷氨酸、天冬氨酸及丙氨酸等具有酸味、鲜味或甜味的氨基酸是构成酸肉酸鲜甜滋味的重要成分;3)乳酸、醋酸、乙酸、甲酸、丙酸等风味物质形成了酸肉独特的酸味。酸肉发酵产生大量香气物质,发酵形成的2-乙氧基乙基硫烷基醋酸和具有丁香风味的2-甲氧基苯酚使酸肉具有独特的酸味^[32],此外在酸肉发酵成熟过程中,乳酸菌引发糖酵解产酸,使酸肉酸味增加。微生物快速生长产生大量的胞外酶,促进脂肪、蛋白质等大分子物质发生降解,产生游离脂肪酸、游离氨基酸及醛、酮、醇、酸等物质,赋予酸肉良好的发酵滋味,从而对产品的风味产生一定的影响。

将电子舌对味觉感受器的敏感性与统计学相结合,分析16种酸肉样品电子舌滋味品质的整体结构差异性,结果表明:不同酸肉样品各滋味品质间有显著差异($P < 0.05$),16种酸肉样品经聚类分析分为4类,苗族酸肉、小米酸肉及微波处理傣族酸肉为一类,经蒸制、油炸、烤制后的傣族酸肉为一类,微波处理辣椒酸肉为一类,经蒸制、油炸、烤制的辣椒酸肉为一类;比较不同加热方式及不同种类酸肉电子舌滋味的差异性,分析酸肉滋味品质主成分;同时对4种酸肉经不同加热处理后的电子舌滋味品质进行DFA,通过比较可得,DFA对不同加热处理4种酸肉的区分能力优于PCA。电子舌在对酸肉及其加热方式的区分上具有较大的应用价值。

参考文献:

- [1] 常荣,韦诚,段珍珍,等.发酵对酸肉蛋白质结构的影响[J].食品科学,2019,40(12):182-189. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180710-142.
- [2] 谢垚垚.乳酸菌快速发酵低盐型酸肉的工艺及品质影响研究[D].贵阳:贵州大学,2018:3.
- [3] 姜亚.酸肉生产工艺优化及其细菌多样性的研究[D].南宁:广西大学,2014. DOI:10.7666/d.D524775.
- [4] LÜ Jing, LI Caichan, LI Shengjie, et al. Effects of temperature on microbial succession and quality of sour meat during fermentation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 114: 108391. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108391.
- [5] 张玉龙,胡萍,王晓宇,等.侗族酸肉中抗氧化乳酸菌的耐受性及功能特性[J].生物加工过程,2016,14(6):35-40. DOI:10.3969/j.issn.1672-3678.2016.06.007.
- [6] 陈曦,周彤,许随根,等.贵州酸肉中具有高亚硝酸盐降解和耐受能力乳酸菌的筛选与鉴定[J].中国食品学报,2018,18(2):256-264. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.02.033.
- [7] 丁苗,刘洋,葛平珍,等.发酵酸肉中降胆固醇乳酸菌的筛选、鉴定及降胆固醇作用[J].食品科学,2014,35(19):203-207. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201419041.
- [8] 刘肖,韦诚,周才琼.发酵对酸肉蛋白质降解及酸鲜品质特征的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(12):129-136. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.017775.
- [9] 孙文静,卫飞,袁军,等.酸肉发酵中脂肪的变化及对小鼠血脂的影响[J].食品科学,2013,34(11):263-267. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201311057.
- [10] 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. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201804009.
- [11] 米瑞芳,陈曦,熊苏玥,等.传统自然发酵酸肉中细菌群落多样性与风味品质分析[J].食品科学,2019,40(2):85-92. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180521-282.
- [12] 代小容.酸肉在腌制过程中风味形成研究[D].重庆:西南大学,2009:II. DOI:10.7666/d.y1460004.
- [13] 张倩,郭晓芸,张海松,等.贵州荔波传统酸肉发酵期间理化成分与发酵风味物质分析[J].食品科学,2013,34(4):173-177.
- [14] 黄嘉丽,黄宝华,卢宇靖,等.电子舌检测技术及其在食品领域的应用研究进展[J].中国调味品,2019,44(5):189-193;196. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2007.07.006.
- [15] 董蕴,张一涵,杨小丽,等.基于电子舌技术对甜面酱滋味品质的评价[J].保鲜与加工,2019,19(1):121-126.
- [16] 文攀,薛长风,裴志胜,等.基于电子舌与电子鼻评价烘培时间对黄秋葵籽风味品质的影响[J].食品工业科技,2018,39(24):289-293. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.24.048.
- [17] APETREI I M, APETREI C. Detection of virgin olive oil adulteration using a voltammetric E-tongue[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 108: 148-154. DOI:10.1016/j.compag.2014.08.002.
- [18] LIU Dengyong, LI Shengjie, WANG Nan, et al. Evolution of taste compounds of Dezhou-braised chicken during cooking evaluated by chemical analysis and an electronic tongue system[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(5): 1076-1082. DOI:10.1111/1750-3841.13693.
- [19] ARRIETA A A, ARRIETA P L, MENDOZA J M. Analysis of coffee adulterated with roasted corn and roasted soybean using voltammetric electronic tongue[J]. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 2019, 18(1): 35-41. DOI:10.17306/J.AFS.0619.
- [20] 陈晓婷,吴靖娜,路海霞,等.基于电子鼻和电子舌优化蓝圆鲷调味基料的制备[J].食品科学,2018,39(4):282-289. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804042.
- [21] ESCRICHE I, KADAR M, DOMENECH E, et al. A potentiometric electronic tongue for the discrimination of honey according to the botanical origin. Comparison with traditional methodologies: physicochemical parameters and volatile profile[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3): 449-456. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2011.10.036.
- [22] SOUAYAH F, RODRIGUES N, VELOSO A C A, et al. Discrimination of olive oil by cultivar, geographical origin and quality using potentiometric electronic tongue fingerprints[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2017, 94(12): 1417-1429. DOI:10.1007/s11746-017-3051-6.
- [23] 殷廷家,杨正伟,国婷婷,等.基于伏安电子舌的枸杞产地快速辨识[J].食品与机械,2019,35(5):116-122. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2019.05.021.
- [24] ZHANG Xinzhuang, ZHANG Yawei, MENG Qingxiang, et al. Evaluation of beef by electronic tongue system TS-5000Z: flavor assessment, recognition and chemical compositions according to its correlation with flavor[J]. PLoS One, 2015, 10(9): e0137807. DOI:10.1371/journal.pone.0137807.
- [25] SCHLOSSARECK C, ROSS C F. Electronic tongue and consumer sensory evaluation of spicy paneer cheese[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(6): 1563-1569. DOI:10.1111/1750-3841.14604.
- [26] 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(5):98-103. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2016.05.019.
- [27] 韦婕好,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. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.12.024.
- [28] 李双艳,邓力,汪孝,等.基于电子鼻、电子舌比较分析冷藏方式对小香鸡风味的影响[J].肉类研究,2017,31(4):50-55. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201704009.
- [29] PHAT C, MOON B K, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1068-1077. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.113.
- [30] CIOSEK P, WRÓBLEWSKI W. Sensor arrays for liquid sensing-electronic tongue systems[J]. Analyst, 2007, 132(10): 963-978. DOI:10.1039/b705107g.
- [31] 周才琼,代小容,杜木英.酸肉发酵过程中挥发性风味物质形成的研究[J].食品科学,2010,31(7):98-104.
- [32] 俞彦波,代小容,周才琼.酸肉滋味品质的形成及其影响因素研究[J].食品与发酵工业,2010,36(3):156-160.