

# 电子鼻 电子舌对不同规格番茄酱风味的分析

王 婧

(中粮新疆屯河加工番茄技术研究中心(有限公司), 新疆 昌吉 831100)

**摘要:** 采用电子鼻和电子舌, 通过主成分分析(Principal component analysis, PCA)、线性判别分析(Linear discriminant analysis, LDA)对不同规格番茄酱的风味品质进行检测区分, 定量辨别不同规格番茄酱之间的风味差异。结果表明, 不同规格番茄酱嗅觉、味觉指标丰富, 热破番茄酱在短链烷烃类、醇醛醚酮等类和芳香成分、有机硫化物类物质成分上高于冷破番茄酱; 味觉差异主要表现在酸味、苦味、咸味和鲜味指标上, 冷破番茄酱酸味、咸味强于热破番茄酱, 热破番茄酱苦味和鲜味均高于冷破番茄酱。

**关键词:** 番茄酱; 电子鼻; 电子舌; 主成分分析; 线性判别分析

中图分类号: TS275.4 文献标志码: A doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2021.03.048

## Electronic Nose and Electronic Tongue Analyze the Flavor of Tomato Paste of Different Specifications

WANG Jing

(COFCO Xinjiang TUNHE Process Tomato Engineering and Technology Research Center (Co., Ltd.),  
Changji, Xinjiang 831100, China)

**Abstract:** Using Electronic Nose and Electronic Tongue, through the PCA and LDA to test the different specifications of tomato paste flavor quality, quantitatively identify the flavor differences between different tomato ketchup specifications. The results showed that the smell and taste indexes of different tomato paste were rich, and the hot broken tomato paste was higher than the cold broken tomato paste in terms of short chain alkane, alcohol aldehyde ether ketone, aromatic components and organic sulfides. The difference in taste was mainly reflected in the indicators of sour, bitter, salty and umami. The sour and salty taste of cold-broken paste was stronger than hot broken paste, while the bitter and umami taste of hot-broken paste were higher than cold broken paste.

**Key words:** tomato past; electronic nose; electronic tongue; PCA; LDA

## 0 引言

不同的生产工艺条件可制成不同规格的番茄酱产品。不同的破碎温度、蒸发温度对番茄中的酶等物质的影响不同, 会造成不同的理化性质和风味特征<sup>[1]</sup>。破碎过程主要分成冷破碎和热破碎, 冷破碎是在 60 ℃左右的温度对番茄进行预热, 热破碎的预热温度一般都能达到 90 ℃左右<sup>[2]</sup>。根据蒸发浓缩倍数不同, 分为 28%~30%, 30%~32%, 36%~38% Brix 的番茄酱。

目前, 国内对于番茄酱的风味研究主要集中在番茄酱品质变化及风味番茄酱的工艺探究, 如番茄酱风味随贮藏温度、时间变化研究、番茄制品风味研究等<sup>[3]</sup>。国外对番茄酱的相关研究较多, 其中少部分的研究涉及到番茄酱的风味分析, 主要针对国外

特定地区的特定番茄品种加工生产的番茄酱<sup>[4]</sup>, 由于生产设备、加工参数、原料品种的不同, 国外的研究具有一定的参考和借鉴价值, 但不能完全效仿与应用。

国内风味的评价大多靠人工嗅闻、品尝来判断, 此方法主观性强、误差较大, 容易使人疲劳<sup>[5]</sup>。电子鼻和电子舌是模拟人的鼻和舌功能而设计的传感器阵列技术, 其传感器不是单独地分析部分气、味信息, 而是分析其综合的整体信息, 可以敏感地识别气、味指纹, 即能检测四气五味<sup>[6]</sup>。电子鼻仅评价易挥发性成分, 快速提供挥发性的信息, 而电子舌可评价范围很广, 包括液体和固体样品, 电子舌的应用包括模型分析、食品和饮料分析、水监控<sup>[7]</sup>。

近年来, 电子鼻和电子舌技术在食品方面的应用非常广泛, 包括水果、葡萄酒、牛奶、食用油、

收稿日期: 2020-08-22

作者简介: 王 婧(1989—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为番茄酱加工、产品检验。

肉等<sup>[8]</sup>。王俊等人<sup>[9]</sup>用电子舌对不同的葡萄酒进行分析, 区分了不同产地的葡萄酒, 同时对不同品种的葡萄酒也做出了较好的判别。Bleibaum R N 等人<sup>[10]</sup>用电子鼻、电子舌比较苹果汁感官和消费者评价的结果。目前, 国内没有利用电子鼻和电子舌技术对不同规格番茄酱风味进行分析和研究。因此, 采用电子鼻和电子舌检测分析 5 种不同规格的番茄酱, 以辨别不同规格番茄酱之间的风味差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验用 5 种不同规格的番茄酱由中粮屯河昌吉番茄分公司、中粮屯河吉木萨尔番茄分公司生产。根据 Brix (可溶性固形物含量) 和生产工艺 (冷破碎和热破碎) 不同进行分类。

番茄酱样品信息见表 1。

表 1 番茄酱样品信息

样品编号	规格	工艺名称
1	28~30% CB	冷破番茄酱
2	36~38% CB	冷破番茄酱
3	28~30% HB	热破番茄酱
4	30~32% HB	热破番茄酱
5	28~30% SHB	超级热破番茄酱

### 1.2 电子鼻系统和电子舌系统

采用德国 Airsense 公司的 PEN3 型便携式电子鼻

系统, 由 10 个金属氧化物传感器系统和识别软件组成, 每个不同传感器的性能分析见表 2。当样品密封一定时间后, 顶空挥发气体通过内置泵从入口吸附到传感器通道, 通过传感器阵列从出口排出。数据处理和模式识别根据样品顶空挥发物通过传感器的电阻值  $G$  与基准气体通过传感器的电阻值  $G_0$  的比值进行。

PEN3 传感器性能描述见表 2。

表 2 PEN3 传感器性能描述

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化物很灵敏, 灵敏度大
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	对烷烃芳香成分灵敏
6	W1S	对甲烷灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇醛酮类灵敏
9	W2W	对有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

试验用电子舌系统采用日本 INSENT 公司的 TS-5000Z 味觉分析系统, 此系统具有特异性选择的人工脂膜传感器, 每个传感器的性能见表 3。根据各种物质和人工脂膜之间的静电作用或疏水作用产生的电势的变化对样品进行检测, 对基本味觉 (酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味) 和涩味的评价。

TS-5000Z 型传感器性能描述见表 3。

表 3 TS-5000Z 型传感器性能描述

传感器名称	可评价的味道	
	基本味 (相对值)	回味 (CPA 值)
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 (CTO)	咸味 (食盐等无机盐引起的咸味)	无
酸味传感器 (CAO)	酸味 (醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
苦味传感器 (COO)	苦味 (苦味物质引起的味道)	苦味回味 (啤酒、咖啡等食品的苦味)
涩味传感器 (AEI)	涩味 (涩味物质引起的味道)	涩味回味 (茶、红酒等呈现的涩味)
甜味传感器 (GLI)	甜味 (糖或糖醇引起的甜味)	无

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 电子鼻样品的准备

分别称取不同规格的番茄酱 5 g 置于 125 mL 的一次性样品杯中, 双层保鲜膜封口, 放置 10 min 后测试。采用直接顶空吸气法: 将进样针头插入含样品的密封样品杯中进行测定。测定条件: 1 s / 组的采样时间; 自清洗传感器 100 s; 样品制备时间为 5 s; 80 s 样品分析时间。

#### 1.3.2 电子舌样品的准备

番茄酱稀释至  $Brix5 \pm 0.5\%$ , 以转速 4 500 r/min 离心 5 min, 取上清液 80 mL 倒入 120 mL 电子舌专用烧杯中, 根据序列设置放置在电子舌自动进样器上。试验采用清洗溶液和上清液样本交替检测序列进行检测, 清洗溶液为 KCl + 水 + 乙醇 + KOH。

### 1.4 数据分析方法

主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 是一种包含了一个向量数据分析和相关矩阵的分类信息技术, 采取降维的方法可以找出几个综合因子来代表原来众多的变量, 使得这些综合因子尽可能地反映原来变量的信息量<sup>[11]</sup>。

线性判别分析 (Linear discriminant analysis, LDA) 是一种统计分析方法, 将高维的模式研究样本进行投影, 达到抽取分类信息和降低空间维数的效果<sup>[12]</sup>。LDA 也是一种聚类分析的方法, 在识别因子方法中, LDA 是第一步, LDA 分析侧重于分类和组间距离分析, 在分析中的应用不如 PCA 主成分分析广泛, 当组内的差异较大, 导致样品间的差异不明显时可选用 LDA 分析<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 主成分分析 (PCA)

番茄酱的主成分分析 (PCA) 见图 1。

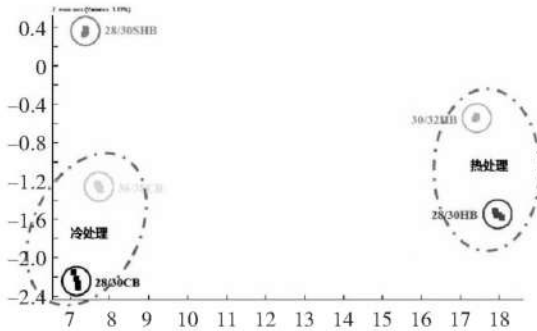
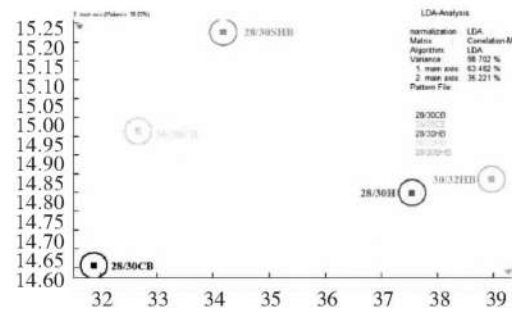


图 1 番茄酱的主成分分析 (PCA)

由图 1 可见, 2 个冷破番茄酱在第一主成分上的



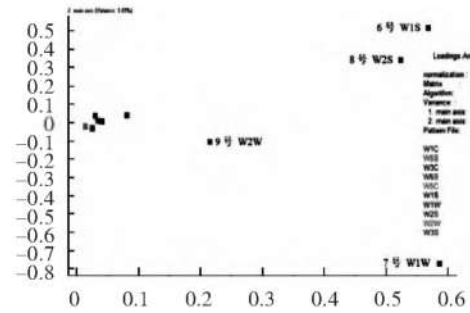
(a) - LDA 分析图

投影接近, 2 个热破番茄酱同样如此; 比较 2 个热破番茄酱和 2 个冷破番茄酱, 可见浓缩的倍数越高的产品在第 2 主成分上投影数值越大。结合传感器响应图谱可见热破番茄酱的挥发性气味要强于冷破番茄酱, 超热番茄酱挥发性气味反而会降低。

### 2.2 线性判别分析 (Linear discriminant analysis, LDA)

冷破与热破番茄酱之间的差异主要来自于 6, 8, 9 号传感器对应的短链烷烃类、醇醛醚酮等类和芳香成分、有机硫化物类物质上。相同处理下, 浓缩倍数对样品气味的影响则主要表现在 6 号和 8 号传感器对应的短链烷烃类、醇醛醚酮等类物质上。结合传感器响应图谱可推测浓缩倍数越大短链烷烃类、醇醛醚酮等类物质的挥发强度越大。

番茄酱的 LDA 分析图见图 2, 番茄酱样品的电子舌试验数据见表 4, 番茄酱味觉指标雷达图见图 3。



(b) 传感器贡献率分析图

图 2 番茄酱的 LDA 分析图

表 4 番茄酱样品的电子舌试验数据

样品编号	酸味	甜味	咸味	苦味	涩味	鲜味	苦味回味	涩味回味	丰富性	电导率 / mS·cm <sup>-1</sup>	pH 值
Tasteless	-13.00	0	-6.00	0	0	0	0	0	0	4.06	3.50
1	-12.94	-2.76	3.68	3.00	0.86	7.06	0.88	0.48	0.75	3.23	4.15
2	-13.52	-2.47	3.11	3.15	0.84	7.32	1.04	0.54	0.72	3.34	4.25
3	-16.16	-2.14	2.00	3.63	0.86	8.22	0.49	0.31	0.65	3.51	4.42
4	-17.56	-1.37	1.48	3.90	0.77	8.88	0.63	0.45	0.76	3.55	4.52
5	17.57	-2.52	2.28	4.49	1.39	8.91	0.66	0.40	0.80	3.53	4.50

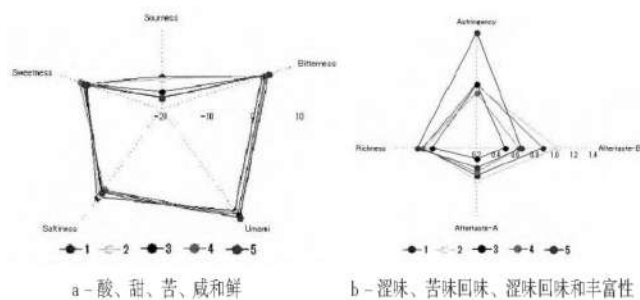


图 3 番茄酱味觉指标雷达图

结合表 4 的试验数据和图 3, 可见番茄酱的味道丰富, 番茄酱的甜味值低于参比溶液, 均为负值; 酸味值有的接近于参比溶液, 有的低于参比溶液, 苦味、鲜味和咸味远高于参比溶液; 涩味、苦味回味、涩味回味和丰富性数值略高于参比溶液。

在酸味、苦味、咸味和鲜味方面 5 个样品均存

在一定差异, 5 号即超热番茄酱涩味值明显高于其他 4 个产品, 苦味回味方面冷破番茄酱的苦味回味均高于热破番茄酱。

番茄酱酸味和甜味散点图见图 4。

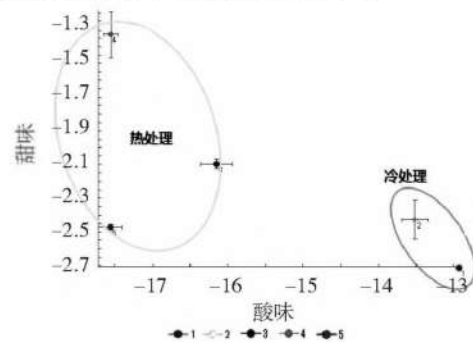


图 4 番茄酱酸味和甜味散点图

电子舌测试的番茄酱甜味值均小于 0, 样品口尝

时感觉也察觉不明显,更多的是明显的酸味。但是数值的大小也可以反映样品之间的差异,且不同处理在酸味和甜味上也具有一定的规律性。从图4中可见冷破番茄酱酸味明显高于热破番茄酱(数值上的差异大于1个刻度差异显著),甜味(数值上的差异不大)也略低于热破番茄酱。超热番茄酱酸味和甜味均低于常规热破番茄酱。

番茄酱咸味、鲜味和苦味气泡图见图5。

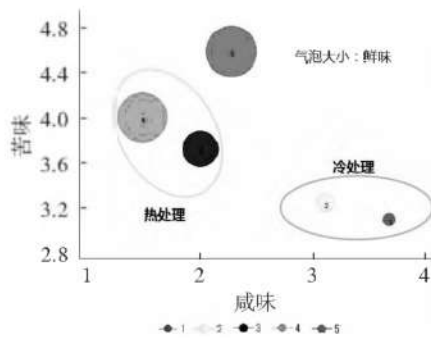


图5 番茄酱咸味、鲜味和苦味气泡图

水果、蔬菜中的咸味是咸味传感器对有机酸盐的响应。鲜味是鲜味传感器对样品中氨基酸、核酸类物质的响应,苦味是传感器对样品中的矿物质等成分的应答,这与番茄生长环境、水质、土壤等均有关系<sup>[14]</sup>。

从图5中可见,冷破番茄酱咸味值高于热破番茄酱,苦味和鲜味均低于热破番茄酱。可能是由于温度过高产生了苦味物质,冷破处理可使番茄保留更多的有机酸盐类成分,而呈苦味的物质也会降低,热破会造成有机酸盐类物质的流失,使咸味变淡。超热番茄酱与热破番茄酱在苦味、咸味和鲜味上更接近。

番茄酱涩味、涩味回味和苦味回味气泡图见图6。

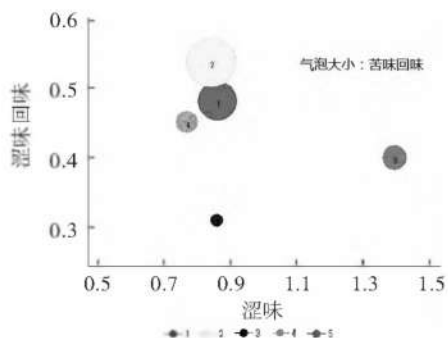


图6 番茄酱涩味、涩味回味和苦味回味气泡图

涩味、涩味回味和苦味回味这些指标的数值较小,略高于无味点。从图6中可见,5号超热番茄酱会有明显的涩味,涩味值高于其他样品0.5个刻度以上,其他4个样品的涩味值接近,均在0.8~0.9。5个样品的涩味回味值差异不明显。从气泡的大小可见,冷破番茄酱苦味回味要稍大,但样品之间差异不明显,味觉上的差异较小。

### 3 结论

#### 3.1 不同规格番茄酱电子鼻分析结论

电子鼻采集样品的气味信息,通过PCA, LDA分析样品之间的气味是否存在差异,且判定气味的差异主要来源于哪类气味成分<sup>[15-16]</sup>。

热破番茄酱挥发性气味强于冷破番茄酱;浓缩倍数越大,挥发性气味越强;超热番茄酱与热破番茄酱气味差异很大,经过高温处理的番茄酱的挥发性气味降低很多;热破番茄酱在短链烷烃类、醇醛酮类等和芳香成分、有机硫化物类物质这些成分上要高于冷破番茄酱;结合传感器响应图谱可知浓缩倍数越大,短链烷烃类、醇醛酮酮等类物质的挥发强度越大。

#### 3.2 不同规格番茄酱电子舌分析结论

番茄酱样品味觉指标丰富,在酸味、苦味、咸味和鲜味指标上差异较大。冷破番茄酱酸味强于热破番茄酱,甜味差异较小;不论是冷热处理,浓缩倍数越大,酸味越小甜味越大;冷破番茄酱咸味值高于热破番茄酱,可见热处理会造成有机酸盐的流失;热破番茄酱苦味和鲜味均高于冷破番茄酱,可能是温度太高产生了苦味物质;不论冷热处理,浓缩倍数越大,咸味越小苦味越大;超热番茄酱涩味明显强于其他产品;冷热和浓缩倍数对番茄酱的苦味回味、涩味回味基本没有影响。

#### 参考文献:

- [1] 石秀花,陶金华.新疆番茄冷破酱和热破酱的性质检测分析[J].农产品加工,2015(24):46-48.
- [2] 赵文启.冷热破工艺对番茄酱贮藏期间品质变化影响的研究[D].石河子:石河子大学,2018.
- [3] 唐晓伟,刘明池,何洪巨,等.新鲜番茄风味组分研究[J].食品科学,2007(2):28-30.
- [4] 刘明池,郝静,唐晓伟,等.番茄果实芳香物质的研究进展[J].中国农业科学,2008(5):1444-1451.
- [5] 周亦斌,王俊.电子鼻在食品感官检测中的应用进展[J].食品与发酵工业,2004(2):129-132.
- [6] 房一明,初众,卢少芳,等.电子鼻与电子舌在可可椰奶品质评价中的应用[J].海南大学学报(自然科学版),2012(1):41-47.
- [7] 王俊,胡桂仙,于勇,等.电子鼻与电子舌在食品检测中应用研究进展[J].农业工程学报,2004(2):292-295.
- [8] 史波林,赵镭,王厚银,等.智能感官分析技术在茶叶品质检测中的应用[J].食品科学,2009(19):351-55.
- [9] 王俊,姚聪.基于电子舌技术的葡萄酒分类识别研究[J].传感技术学报,2009(8):1088-1093.
- [10] Bleibaum R N, Stone H, Tan T, et al. Comparison of sensory and consumer results with electronic nose and ton-

(下转第58页)

表 1 肉制品中脂肪含量测定结果

次数	试样质量 $m_1/g$	恒重后接收瓶质量 $m_0/g$	恒重后接收瓶与脂肪质量 $m_2/g$	$m_2-m_0/g$	试样中脂肪含量 $X/g \cdot (100g)^{-1}$
1	2.082 7	121.376 2	121.710 9	0.334 7	16.07
2	2.036 2	124.040 1	124.368 9	0.328 8	16.15
3	2.107 3	122.354 7	122.696 7	0.342 0	16.23
4	2.056 7	124.678 2	125.014 5	0.336 3	16.35
5	2.217 5	121.695 3	122.061 4	0.366 1	16.51
6	2.006 0	124.608 1	124.936 3	0.328 2	16.36
7	2.186 3	123.281 6	123.639 1	0.357 5	16.35
均值	2.099 0	123.147 7	123.489 7	0.319 4	16.29

=0.001 17 g.

根据上述分量计算结果，试验中各不确定度来源的分量信息见表 2。

肉制品中脂肪含量测定数值与不确定度见表 2。

表 2 肉制品中脂肪含量测定数值与不确定度

样品	分量类型	不确定度来源	测量不确定度类别	测量数值	标准不确定度
	$U_A$	重复性测定	A	16.290 0	0.056 000
肉类	$U_B(m_1)$	样品称量	B	2.099 0	0.000 645
	$U_B(a)$	脂肪称量	B	0.319 4	0.001 170

3.5.2 则合成相对标准不确定度

则合成相对标准不确定度为：

$$u_{rel} = \sqrt{\left(\frac{U_B(m_1)}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{U_B(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U_B(X)}{X}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.056}{16.29}\right)^2 + \left(\frac{0.000\ 645}{2.099\ 0}\right)^2 + \left(\frac{0.001\ 77}{0.319\ 4}\right)^2}$$

$u_{rel}=0.005.$

则合成标准不确定度为：

$$u_s = u_{rel} \times 16.29\ g/100\ g = 0.082\ g/100\ g.$$

由上可知，重复性测定引入的不确定度对总不确定度贡献最大。

3.6 扩展不确定度

根据不确定度的合成以标准偏差的形式进行，参考《测量不确定度评定与表示》<sup>[7]</sup>中的规定，在置信概率  $P=95\%$  时，取包含因子  $k=2$ ，将合成标准不确定度乘以包含因子 2，计算扩展不确定度，则肉类样品脂肪含量测定结果的扩展不确定度为：

$$U = kU_c = 2 \times 0.008\ 2 = 0.16\ g/100\ g.$$

3.7 肉类中脂肪含量测定结果

肉类脂肪含量为  $16.29 \pm 0.16\ g/100\ g$ 。

4 结论

此次不确定度评定依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[7]</sup>和 GB/T 27411—2012《检测实验室中常用不确定度评定方法与表示》2 个不确定度相关标准中的有关规定，采用《GB 5009.6—2016 食品中脂肪的测定：第二法 酸水解法》<sup>[8]</sup>检测肉制品中脂肪含量的方法进行不确定评定。试验结果表明，脂肪检测过程中的不确定度来源主要有肉制品测定重复性引入的相对标准不确定度。经过评定，最终得出扩展不确定度为包含因子  $k=2$  时扩展不确定度  $U=0.16\ g/100\ g$ ，测定结果为  $16.29 \pm 0.16\ g/100\ g\ (k=2)$ 。

参考文献：

- [1] 李璇. 食品中脂肪测定的检验操作经验 [J]. 现代食品, 2019 (17): 161-163.
- [2] 嵇广庆, 王博善, 吾斯满江, 等. 影响肉品质量的三个因素 [J]. 农产品加工, 2007 (2): 31-33.
- [3] 刘艳萍, 隋颖. 食品中粗脂肪测量结果不确定度的评价 [J]. 现代食品, 2019 (6): 187-192.
- [4] 国家技术监督局. 测定不确定度的评定与表示指南 [M]. 北京: 中国计量出版社, 1999: 214-216.
- [5] 程月红, 鲍连艳, 王健, 等. 食品中脂肪测定方法对比研究 [J]. 现代农业科技, 2018 (16): 234-240.
- [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6—2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [7] 全国法制计量管理计量技术委员会. JJF 1059—2012 测量不确定度评定与表示 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. ◇

(上接第 55 页)

gue sensors for apple juices [J]. Food Quality and Preference, 2002 (6): 409-422.

- [11] Reinhard H, Sager F, Zoller O. Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008 (10): 1 906-1 912.
- [12] 费雅君, 白雪, 康小红. LDA 优化电子鼻传感器阵列的研究 [J]. 食品与机械, 2021, 28 (1): 97-100.

- [13] 高永梅, 刘远方. 主要香型白酒的电子鼻指纹图谱 [J]. 酿酒科技, 2008 (5): 38-44.
- [14] 田师一, 邓少平. 多频缓冲电子舌对酒类品种区分与辨识 [J]. 酿酒科技, 2006 (11): 14-16.
- [15] 许春华, 肖作兵, 牛云蔚, 等. 电子鼻和电子舌在果酒风味分析中的应用 [J]. 分析与检测, 2011 (3): 163-167.
- [16] 周亦斌, 王俊. 基于电子鼻的番茄成熟度及贮藏时间评价的研究 [J]. 农业工程学报, 2005 (4): 113-117. ◇