

# 基于电子舌电子鼻分析红糖风味的差异性

余义勇<sup>1,2,3</sup>, 何群<sup>1,3</sup>, 陈光宇<sup>1,3</sup>, 饶智<sup>2,3,4</sup>, 谢梦洲<sup>1,2,3</sup>, 肖作为<sup>3,4</sup>

(<sup>1</sup>湖南中医药大学中医学院, 长沙 410208; <sup>2</sup>湖南中医药大学中医诊断重点实验室, 长沙 410208;

<sup>3</sup>湖南省药食同源功能性食品工程技术研究中心, 长沙 410208; <sup>4</sup>湖南中医药大学药学院, 长沙 410208)

**摘要:** 目的: 运用电子鼻、电子舌对不同品牌红糖风味进行检测区分, 建立一种有效鉴别不同品牌、等级、产地红糖的方法。方法: 对红糖感官评定结果进行等级一致性检验; 运用电子舌自带软件对数据进行主成分分析, 运用电子鼻自带软件对数据进行主成分分析、传感器区分度分析及线性判别分析; 并利用 DPS 对电子舌数据进行方差分析及最小显著差异 (LSD) 法多重比较, 对电子鼻数据进行方差分析; 建立滋味雷达图观察不同红糖样品对传感器响应强度的差异性。结果: 电子舌、电子鼻能够区分不同品牌、等级、产地的红糖, 各红糖样品滋味差异主要是丰富性、咸味, 香气成分差异主要是氮氧化合物、甲烷等短链烷烃、有机硫化物和无机硫化物; 感官评定等级一致性检验结果也显示不同红糖样品的差异性显著。结论: 电子舌、电子鼻技术可用于区分不同品牌、产地、等级的红糖, 为红糖品质鉴别提供技术支持。

**关键词:** 红糖; 电子舌; 电子鼻; 感官评定; 差异性

DOI:10.19870/j.cnki.11-3716/ts.2021.03.006

不同企业生产红糖的非离心过程会影响其物理和化学性质, 导致红糖的风味差异<sup>[1]</sup>。红糖中的营养和酚类含量不同, 也会影响红糖风味<sup>[2-3]</sup>。因此, 有必要探求一种简便、准确的方法来鉴别市面上不同品牌红糖品质。

目前, 主要应用感官评定与仪器分析相结合的方法来评价食品风味。感官评价描述食品的感官特性, 可以提供目标属性的综合、直接信息, 而仪器分析可以获得更具体的信息。电子舌、电子鼻是模拟人的舌头和鼻子, 利用多传感阵列为基础, 能够快速感知样品的整体特征响应信号, 对样品进行模拟识别和定量定性分析的一种检测技术。它们能够提供更客观、准确和敏感的滋味和气味强度评估, 通过进一步的多元统计分析就可以达到区分样本的目的。这种智能风味传感器技术安全性高、成本低且操作简单, 电子舌被广泛应用于有效地评估食品材料的风味特征, 如酒精和非酒精饮料、食用油和面条汤底料<sup>[4,6]</sup>, 甘蔗的不同处理方式对红糖的味觉特征的影响<sup>[7]</sup>, 还被应用于监测蜂蜜糖浆掺假<sup>[8]</sup>以及不同种类的糖对肉制品风味的影响<sup>[9]</sup>。电子鼻早在 1999 年就被用来分析食糖的气味<sup>[10-11]</sup>, 近年来也被广泛应用于水果蔬菜<sup>[12]</sup>、酒类<sup>[13-14]</sup>、蜂蜜<sup>[15]</sup>、茶叶<sup>[16]</sup>以及肉制品<sup>[17]</sup>的种类识别、品质区分以及成分定量预测, 但目前利用电子舌、电子鼻对红糖进行研究的报道并不多。

本研究采用电子舌、电子鼻检测不同红糖样品的风味特征, 结合感官评定, 对感官评定结果进行等级一致性检验, 根据风味特征差异以及等级一致性检验结果, 讨论电子舌、电子鼻对不同红糖样品的区分效果, 为有效鉴别不同红糖品质提供方法学参考。

## 1 仪器与材料

### 1.1 仪器设备

SA-402B 型电子舌, 日本 Insent 公司; 实验中使用 AE1 涩味传感器 (可测涩味及涩味回味)、AAE 鲜味传感器 (可测鲜味及鲜味回味)、CTO 咸味传感器、COO 苦味传感器 (可测苦味及苦味回味)、CAO 酸味传感器、GL1 甜味传感器; TCS-100 型电子台秤, 上海乾坤电子仪器有限公司; PEN3 型电子鼻, 德国。

### 1.2 材料

实验室用自来水; 红糖, 1~7 号红糖购买于淘宝官方旗舰店、8 号红糖购买于红糖生产厂 (表 1)。

## 2 方法

### 2.1 红糖的溶解

称取 1~8 号红糖各 50 g 放入相同容积的透明玻璃杯, 加沸水 1 000 mL, 搅拌使充分溶解, 自然冷却, 供

基金项目: 湖南省药食同源功能性食品工程技术研究中心开放基金 (项目编号: 2018YSTY010)。

作者简介: 余义勇 (1994—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 中医药膳学。

通信作者: 谢梦洲 (1965—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 中医药膳学。

表1 不同红糖样品信息

样品编号	产品名称	品牌	等级	产地	执行标准
1	甘汁园纯正红糖	甘汁园	一级	江苏南京	GBT 13104
2	甘节红糖	甘节	一级	广西甘节	GBT 35885
3	义乌红糖	小宝	优级	浙江义乌	T/YWHTXH 0002—2017
4	纳桑土法红糖	纳桑	优级	贵州黔西南	Q/MMS 0001S—2020
5	纳桑土法红糖	纳桑	一级	贵州黔西南	DB52/T 1071
6	巧家小碗红糖	传制	一级	云南昆明	GB 13104
7	广西老红糖	柳方	一级	广西柳州	Q/HKY 0001S
8	麻阳红糖	麻阳	一级	湖南麻阳	GBT 35885

感官评价以及电子舌测试用。

## 2.2 不同品牌红糖滋味感官评价

2.2.1 评价标准 对2.1所得的1~8号红糖溶液参考借鉴QB/T 2343.2红糖感官鉴别方法中的评价标准对红糖风味进行评价,具体评价品质评语与因子评分见表2。

表2 红糖品质评语及因子评分

因子	等级	品质特征	给分
滋味	一	口味浓甜带鲜	30~40
	二	口味甘甜,甜而不腻	15~29
	三	滋味比较正常	1~14
气味	一	浓郁甘蔗汁清香	15~20
	二	气味正常,有清香味	10~14
	三	气味正常,但清香味淡	1~9

2.2.2 感官评价志愿者的筛选 从湖南中医药大学中医学院2018级中医药膳学专业及中医诊断学专业硕士研究生班招募志愿受试者,进行味觉敏感度,身体健康状况,2周内未服过中、西药物等在内的严格筛选,最终确定10名健康志愿者(男5名、女5名)作为受试对象,在湖南省药食同源工程中心感官评定室进行感官评定。

2.2.3 感官评定试验方法 参加感官评定的10个人,每个人负责8种红糖样品,按照2.2.1评价标准对这8种红糖样品进行评分。取2.1所制备的8种不同品牌的红糖溶液各500 mL,放置在口尝杯中,由学生评价员含于口中,计时15 s,此间口腔做漱口动作,以使舌根及舌测的味觉感受区能够感受到样品的味道,隔15 min后再同法测2次,每人根据3次品尝结果进行评价及选择。

## 2.3 电子舌测定基本方法

2.3.1 正极清洗液配制 准确称量7.46 g氯化钾,用500 mL蒸馏水搅拌溶解,然后准确加入300 mL无水乙醇溶液,边搅拌边加入准确称量的0.56 g氢氧化钾,溶解完毕后,转移到1 000 mL的容量瓶,定容。

2.3.2 负极清洗液配制 准确量取300 mL无水乙醇,与500 mL蒸馏水振荡混合,然后加入8.3 mL的浓盐酸,搅拌混合后转移到1 000 mL的容量瓶,定容。

2.3.3 参比液配制 精密称定2.24 g氯化钾和0.045 g酒石酸,用500 mL蒸馏水溶解,转移到1 000 mL的容量瓶,定容。

2.3.4 电子舌测试方法 将每个样品的供试品溶液倒入电子舌测试专用塑料小杯中,每杯25 mL,每个供试品溶液倒2杯。首先在清洗液中清洗90 s,接着用参比液清洗2次,传感器在平衡位置归零30 s,达到平衡条件后,开始测试,测试时间30 s;在两组参比液中分别短暂清洗3 s,传感器插入新的参比液中测试回味30 s,循环测试4次,去掉第一循环,取后3次平均数据作为测试结果。每次清洗、平衡和测试回味的液体均分布在不同样品杯中。记录AE1涩味传感器(可测涩味及涩味回味)、AAE鲜味传感器(可测鲜味及鲜味回味)、CTO咸味传感器、COO苦味传感器(可测苦味及苦味回味)、CAO酸味传感器、GLI甜味传感器的响应值,收集3次平行测定数据。

## 2.4 电子鼻检测方法

不同品牌红糖样品各取5 g,分别装入8个进样瓶中,盖紧瓶塞,静置30 min,待进行电子鼻测定;参数设定:采样时间为1 s/组,传感器归零时间为5 s,样品准备时间为5 s,进样流量为600 mL/min,分析采样时间为60 s,采用直接顶空吸气法,对样品进行检测,每个样品做4个平行。

## 2.5 统计分析方法

采用DPS数据处理系统和电子舌、电子鼻自带软件对试验数据进行统计分析。对感官评定结果进行等级一致性检验。电子舌试验结果用DPS和其自带软件进行处理,试验重复4次,去掉第1次,取平均值,对不同品牌红糖风味对电子舌传感器响应强度进行方差分析及LSD法多重比较;利用电子舌自带软件,对采集的不同红糖样品数据进行主成分分析(PCA);电子鼻试验结果用DPS进行方差分析,利用电子鼻自带软件,对采集的不同红糖样品数据进行PCA、传感器区分度分析(Iodings)、线性判别分析(LDA)。

## 3 结果与分析

### 3.1 感官评价结果

根据感官评定分数表中的结果,将8种红糖样品分为8个等级,等级越高,表明风味越好,等级越低,风味越差,进行等级一致性检验。将表3中数据带入 $S = \sum R12 - (\sum R1)^2/n$ 及 $c2 = 12S/mn(n+1)$ ,对本试验

$m = 10$ 、 $n = 8$ , 得  $S = 2\ 001.9$ 、 $c_2 = 33.36$ , 又自由度  $U = 7$ , 查表  $c_{20.05}(7) = 14.07$ , 可知  $c_2 > c_{20.05}(7)$ , 进而  $P < 0.05$ , 检验结果有统计意义, 可认为其等级具有一致性倾向, 即 8 种不同红糖样品风味有显著性差异。

表 3 感官评定等级一致性检验

样品编号	感官评定员										等级和 R	等级和平方 R <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	4	3	8	4	1	5	4	2	5	3	39	1 521
2	3	1	2	4	3	3	4	1	1	1	23	529
3	5	5	6	5	5	4	5	4	3	5	47	2 209
4	2	8	6	7	8	1	3	3	4	8	50	2 500
5	6	7	6	8	7	6	6	7	6	8	67	4 489
6	8	4	7	4	2	8	7	6	7	2	55	3 025
7	1	2	1	1	4	3	3	6	3	4	28	784
8	7	6	7	7	6	7	8	8	8	6	70	4 900

### 3.2 不同红糖样品电子舌分析结果

#### 3.2.1 红糖样品电子舌传感器味觉电位差响应值分析结果

根据电子舌测试结果, 记录传感器 AE1、AAE、CTO、COO、CAO、GL1 的响应值, 对收集 3 次平行测定数据, 求得平均值, 进行方差分析及 LSD 法多重比较。如表 4 所示, 方差分析结果中, 9 个传感器的味觉电位差响应值均有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 表明电子舌对红糖气味敏感, 可以有效分析不同品牌的红糖样品。LSD 法多重比较结果用英文字母 a、b、c、d、e、f、g、h 来表示不同样品之间差异显著性, 平均数间字母相同者为差异不显著, 凡无相同字母的, 为差异显著。甜味、鲜味传感器响应值较高, 丰富性传感器响应值差异较大, 不同红糖样品之间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 这说明电子舌能够有效区分不同品牌红糖。

#### 3.2.2 不同红糖样品滋味雷达图分析结果

不同品牌红糖样品经电子舌味觉特征分析, 收集 3 次平行的传感器响应值后求得平均值, 建立雷达图。图 1 显示, 8 种红糖样品对电子舌 9 个传感器的响应强度, 在酸味、后涩味及

后苦味 3 个传感器上的响应值差异不大; 在甜味、苦味、鲜味及涩味 3 个传感器上的响应值存在差异; 在丰富性、咸味 2 个传感器上响应值差异最明显, 建立电子舌滋味雷达图在一定程度上可以有效鉴别不同红糖样品。

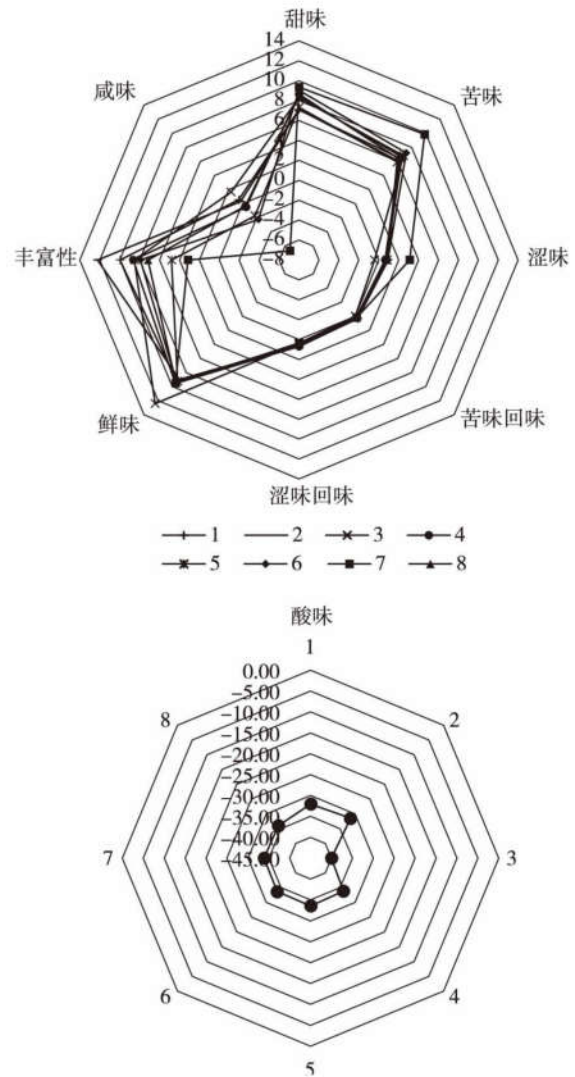


图 1 不同红糖样品红糖电子舌雷达图

表 4 不同红糖电子舌传感器味觉电位差响应值

样品编号	传感器名称								
	甜味	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	丰富性	咸味
1	7.120 0ef	-32.040b	6.080 0fg	0.960 0b	0.330 0a	0.700 0a	9.360 0d	9.970 0b	0.550 0b
2	7.080 0f	-31.506 7a	6.413 3de	0.720 0d	0.236 7bc	0.576 7c	8.976 7f	12.216 7a	0.293 3c
3	8.300 0d	-40.013 3f	6.823 3c	-0.426 7f	-0.016 7e	0.366 7f	12.426 7a	8.530 0c	1.653 3a
4	8.650 0c	-33.863 3 de	6.286 7ef	0.633 3e	0.133 3d	0.693 3ab	9.566 7b	8.633 3c	-0.490 0e
5	7.330 0e	-33.576 7c	5.913 3g	0.843 3c	0.126 7d	0.423 3e	9.230 0e	4.793 3f	-1.730 0f
6	9.036 7b	-33.69cd	7.203 3b	0.906 7b	0.263 3ab	0.680 0b	9.376 7cd	7.923 3d	-2.236 7g
7	9.356 7a	-33.886 7de	9.836 7a	3.103 3a	0.186 7cd	0.333 3g	9.523 3b	3.150 0g	-6.720 0 h
8	8.463 3f	-34.040 0e	6.606 7cd	0.753 3d	0.170 0cd	0.463 3d	9.473 3bc	7.170 0e	-0.356 7d
F	136.962 0	898.978 0	280.160 0	2 430.981 0	17.029 0	553.481 0	979.559 0	404.091 0	11 264.704
显著性	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1

注: a、b、c、d、e、f、g、h 表示差异显著性 ( $P < 0.05$ )

#### 3.2.3 不同红糖样品电子舌 PCA 结果

不同红糖样品电子舌味觉电位差响应值 PCA 分析结果, 如图 2 所示,

第1主成分贡献率为57.98%，第2主成分贡献率为33.77%，累积贡献率达到了91.75%，表明这两个主成分包含了样本的大部分信息，因此可作为样本分析的两个主要成分。所有红糖样品分布在三个不同象限内，且相隔距离较远，彼此之间无重叠，其中2、7、8号与其他样品相隔最远，区别最大，表明电子舌能够较好地区分不同品牌红糖。

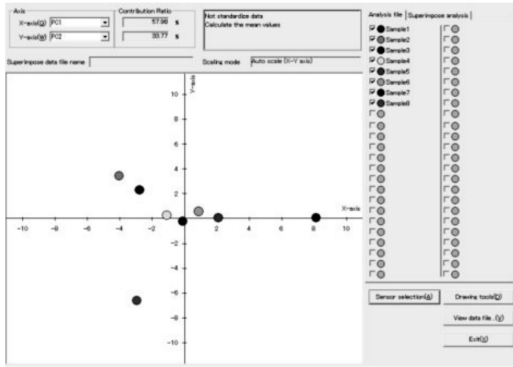


图2 不同红糖样品的主成分分析图

### 3.3 不同红糖样品电子鼻分析结果

**3.3.1 电子鼻传感器不同红糖样品的响应** 提取8种红糖样品对电子鼻传感器的响应值，应用方差分析及LSD多重比较进行分析。由表5可见，10个传感器响应值方差分析结果中，不同红糖样品除了对W1C、W6S ( $P > 0.05$ ) 2个传感器的响应影响不显著，对W5S、W3C、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W、W3S等8个传感器的响应影响均显著 ( $P < 0.05$ )，这表明电子鼻对红糖挥发性气味敏感，可用于分析不同品牌红糖。红糖样品对W5S、W1S传感器响应值差异较大，对W1W、W2W传感器响应值较高且差异较大，由表6可知，W5S传感器对氮氧化物灵敏，W1S传感器对甲烷等短链烷烃灵敏，W1W传感器对有机硫化物灵敏，W2W传感器对芳香成分、无机硫化物灵敏，说明红糖挥发性气味中含有氮氧化物、甲烷等短链烷烃、有机硫化物和无机硫化物等物质，可能对区分不同品牌的红糖有更加重要的作用。

表5 不同红糖样品对电子鼻传感器的响应值

样本编号	传感器名称									
	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
1	0.999 5	0.659 3	1.049 0	0.995 2	1.073 3	1.175 1	1.801 1	1.267 7	1.928 6	1.008 4
2	0.994 8	0.813 2	1.047 9	1.079 5	1.072 8	1.249 9	3.995 2	1.250 2	2.989 1	1.005 3
3	1.002 3	0.838 9	1.046 9	1.065 7	1.071 6	0.971 6	3.395 6	1.153 4	2.497 6	1.000 1
4	1.081 3	0.964 6	1.058 6	1.025 4	1.078 9	1.052 0	5.903 2	1.229 5	4.157 9	0.979 7
5	1.075 2	1.046 7	1.056 3	0.988 0	1.077 1	1.101 3	7.079 6	1.194 3	4.320 1	0.987 5
6	1.057 1	3.000 0	1.046 9	1.086 5	1.070 7	3.610 5	9.516 5	1.851 8	8.849 2	1.006 9
7	1.032 1	1.751 9	1.031 3	1.041 8	1.065 6	2.035 0	13.456 6	1.563 7	6.078 1	1.026 8
8	1.067 6	1.172 0	1.046 5	1.062 7	1.069 5	1.393 4	2.160 3	1.302 0	3.418 0	1.005 0
F	0.773 0	6.463 6	8.382 0	1.930 7	7.012 0	5.708 5	2.336 0	5.486 2	5.065 6	7.519 0
显著性	0.614 1	0.000 1	0.000 1	0.123 7	0.000 1	0.000 5	0.048 0	0.000 5	0.000 7	0.000 1

**3.3.2 不同红糖样品电子鼻 PCA、传感器区分贡献率分析 (loadings) 结果** 利用PEN3电子鼻自带软件对数据进行PCA，主成分1为横坐标，方差贡献率为99.28%，主成分2为纵坐标，方差贡献率为0.48%，2个主成分累积方差贡献率达到99.76%，高于95%，表明这两个主成分包含了样本的所有原始信息，表明不同品牌红糖之间挥发性气味差异明显，其中第一主成分起主要区分作用。图3右上角文本框显示样品间的区分度，数值越接近于1，说明区分度显著，从文本框中可以看出样品间的区分度数值都接近于1，表明电子鼻可准确区分不同的红糖样品。由图4可知，W1W传感器对第一主成分区分贡献率

最大，W2W传感器对第二主成分区分贡献率最大。

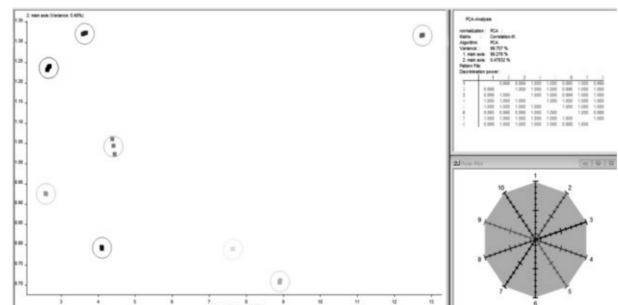


图3 不同红糖样品主成分分析图

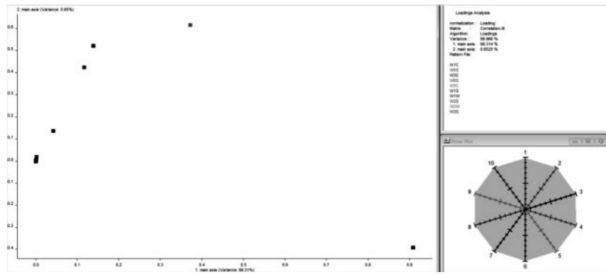


图4 不同红糖样品 loadings 分析

表6 传感器及其性能描述

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

**3.3.3 不同红糖样品线性判别分析结果** LDA 利用每组样品的信息, 兼顾了样品组内分布和它们之间的距离。因此, LDA 收集了所有传感器的信息尽力提高样品组间的差异, 尽可能使每个数据点进行最大化地区分。LDA 识别结果类似于 PCA, 显示样品数据设置的二维图。由图 5 可知, 主成分 1 贡献率为 82.43%, 主成分 2 贡献率为 11.64%, 总区分贡献率为 94.07%, 代表不同样品的数据点之间间隔较远, 彼此无重叠, 表明不同品牌红糖的气味差异较大, 其中 4、5 号样品为同一品牌不同等级的红糖, 二者之间也无重叠, 表明电子鼻可以区分不同品牌 and 不同等级的红糖, 其中主成分 1 在区分不同红糖气味的过程中起关键作用。

#### 4 结论

电子舌对不同红糖样品的研究显示, 电子舌的甜味、酸味、苦味、涩味、后涩味、后苦味、鲜味、丰富性、咸味等 9 个传感器对不同品牌红糖样品的响应强度具有显著差异, 说明 8 种红糖的滋味成分物质及含量存在差异, 电子舌能够有效区分不同品牌、产地的红糖。电子鼻研究结果显示, 不同红糖样品对 W1C 及 W6S 两个传感器的响应强度无差异, 对 W5S、W3C、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W、W3S 这 8 个传感器的响应强度差异显著, 说明 8 种红糖的气味差异明显, 不同品

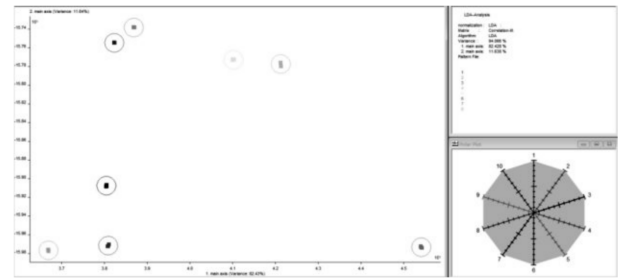


图5 不同红糖样品 LDA 分析

牌红糖的气味差异主要表现在氮氧化合物、甲烷等短链烷烃、有机硫化物及无机硫化物等物质上。红糖感官评定结果进行等级一致性检验结果也表明不同品牌红糖的风味差异显著。电子舌、电子鼻测定结果与感官评定结果一致, 都能够对不同品牌的红糖进行有效区分。

综上所述, 本研究运用电子舌、电子鼻技术将红糖风味特征转化为客观数据, 结合感官评定可以快速、有效并客观地对不同品牌的红糖进行区分, 也能够对同一品牌、不同等级以及不同执行标准的红糖进行有效区分, 可为红糖品质鉴别提供新的参考。目前市场存在的红糖品牌种类繁多, 仅凭外观很难区分其品质好坏, 如果将电子舌、电子鼻技术应用于红糖品质鉴别, 将有利于减轻红糖产品质量监督难度, 为食品安全提供保障; 食品行业可以运用该方法筛选品质最优红糖制作相关产品, 提升其产品竞争优势; 红糖生产企业也可以将电子舌、电子鼻技术应用到红糖的不同生产工段以及成品质量检测当中去, 为其优化生产工艺、提高红糖的风味品质提供评定依据。电子舌、电子鼻技术在红糖产业与红糖品质鉴别方面的应用前景广阔。◇

#### 参考文献

- [1] Hirose, Naoto, Asikin, et al. Effects of different drying-sterilization processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of non-centrifugal cane brown sugar [J]. LWT-Food Science & Technology, 2016(66):340-347.
- [2] Asikin Y, Takahara W, Takahashi M, et al. Compositional and electronic discrimination analyses of taste and aroma profiles of non-centrifugal cane brown sugars [J]. Food Analytical Methods, 2016,10(6):1-13.
- [3] 陈延. 甘蔗及其制品风味物质的研究进展 [J]. 大众科技, 2019,21(4):36-38.
- [4] Kang B S, Lee J E, Park H J. Electronic tongue-based discrimination of Korean rice wines (makgeolli) including prediction of sensory evaluation and instrumental measurements [J]. Food Chemistry, 2014,151(15):317-323.
- [5] Benjamin O, Gamrasni D. Electronic tongue as an objective evaluation method for taste profile of pomegranate juice in

- comparison with sensory panel and chemical analysis [J]. *Food Analytical Methods*, 2016,9:1726-1735.
- [6] Kobayashi Y, Habara M, Ikezaki H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores [J]. *Sensors*, 2010,10(4):3411-3443.
- [7] Takahashi M, Ishmael M, Asikin Y, et al. Composition, taste, aroma, and antioxidant activity of solidified noncentrifugal brown sugars prepared from whole stalk and separated pith of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) [J]. *Journal of Food Science*, 2016,81(10-12):2647-2655.
- [8] Lara Sobrino-Gregorio, Román Bataller, Juan Soto, et al. Monitoring honey adulteration with sugar syrups using an automatic pulse voltammetric electronic tongue [J]. *Food Control*, 2018,91:254-260.
- [9] Tian H X, et al. Evaluating taste contribution of brown sugar in chicken seasoning using taste compounds, sensory evaluation, and electronic tongue [J]. *International Journal of Food Properties*, 2018,21(1):471-483.
- [10] Kaipainen A, Ylisuutari S, Lucas Q, et al. A new approach to odor detection [J]. *International Sugar Journal*, 1997,99(1184):403-408.
- [11] 杨钊, 赵金力, 王健, 等. 甜菜糖不良风味分析评价及控制策略 [J]. *食品工业科技*, 2019,40(4):334-341,352.
- [12] 贾文坤, 等. 电子鼻技术在果蔬检测中的应用 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2016,7(2):410-418.
- [13] 缪璐, 等. 电子鼻技术在朗姆酒分类及原酒识别中的应用研究 [J]. *中国酿造*, 2015(8):111-115.
- [14] 陈秀丽, 高海荣, 黄振旭. 电子鼻分析方法在白酒分类识别中的应用 [J]. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2014,26(7):386-393.
- [15] 徐贤. 蜂蜜种类与品质的鉴别研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014.
- [16] 陈婷, 等. 基于电子鼻技术对云南普洱熟茶的香气品质判别 [J]. *西南农业学报*, 2017,30(2):339-344.
- [17] 王亚雷, 贾文坤, 潘立刚, 等. 电子鼻技术在肉类品质应用中快速分析初探 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2016,7(2):419-424.

## The Difference of Brown Sugar Flavor Based on Electronic Tongue and Electronic Nose

SHE Yi-yong<sup>1,2,3</sup>, HE Qun<sup>1,3</sup>, CHEN Guang-yu<sup>1,3</sup>, RAO Zhi<sup>2,3,4</sup>, XIE Meng-zhou<sup>1,2,3</sup>, XIAO Zuo-wei<sup>3,4</sup>

(<sup>1</sup>College of Pharmacy, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China; <sup>2</sup>Diagnostic Key Lab of Chinese Medicine, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China; <sup>3</sup>Hunan Provincial Medicine & Food Homologous Functional Food Engineering and Technology Research Center, Changsha 410208, China; <sup>4</sup>College of Pharmacy, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China)

**Abstract:** 【Objective】The electronic nose and electronic tongue were used to detect and distinguish the flavor of eight different brown sugar to establish an effective method to identify different brands, grades and origins of brown sugar. 【Method】Sensory evaluation results were tested for level consistency. The analysis software of the electronic nose and electronic tongue were used to perform principal component analysis on the data. The electronic nose also perform sensor discrimination analysis and linear discriminant analysis on the data. We used DPS to process data of electronic tongue by variance analysis and multiple comparisons of the least significant difference method, and perform variance analysis on the data of electronic nose. The radar chart observed the difference of eight brown sugar in response intensity of electronic tongue sensors. 【Result】The electronic tongue and electronic nose could distinguish the brands, grades and origins of different brown sugar. The taste difference of each brown sugar sample was mainly richness and saltiness, and the difference in the characteristic aroma components of the samples was mainly nitrogen oxides and methane short-chain alkanes, organic sulfides and inorganic sulfides. The consistency test results of sensory evaluation grades also showed that the differences between eight brown sugar samples were significant ( $P < 0.05$ ). 【Conclusion】The electronic tongue and electronic nose technology can be used to distinguish different brands, origins, and grades of brown sugar, which can provide technical support for brown sugar quality identification.

**Keywords:** brown sugar; electronic tongue; electronic nose; sensory evaluation; difference