

基于电子舌技术的不同甘薯雪花粉滋味品质评价

朱 红, 孙 健, 钮福祥*, 徐 飞, 岳瑞雪, 张 毅, 张文婷, 王洪云

(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所/中国农业科学院甘薯研究所, 徐州 221131)

摘 要: **目的** 利用电子舌味觉识别系统建立稳定、便捷的甘薯雪花粉滋味品质评价方法。**方法** 采用电子舌分析技术和多元统计学方法相结合, 对 6 个甘薯雪花粉的滋味品质进行了评价分析。**结果** 不同品种甘薯雪花粉滋味品质指标存在显著差异性, 除甜味外, 各滋味指标间呈极显著的相关性; 采用主成分分析法建立综合得分数学模型对不同品种甘薯雪花粉滋味品质进行综合评价, 甘薯雪花粉滋味品质得分由高到低依次是: 徐紫薯 602, 湛紫薯 2 号, 徐紫薯 8 号, 齐宁 21, 阜甜 1 号, 徐薯 55-1。**结论** 电子舌适用于不同甘薯雪花粉滋味品质评价。

关键词: 甘薯雪花粉; 电子舌; 多元统计学; 主成分分析

Evaluation of taste quality of sweet potato flour from different varieties based on electronic tongue technology

ZHU Hong, SUN Jian, NIU Fu-Xiang*, Xu Fei, YUE Rui-Xue, ZHANG Yi,
ZHANG Wen-Ting, WANG Hong-Yun

(Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai District/Sweetpotato Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou 221131, China)

ABSTRACT: Objective To establish a stable and convenient method for evaluating the taste quality of sweet potato flour by electronic tongue and taste recognition system. **Methods** The taste quality of 6 sweet potato snowflake powder was evaluated and analyzed by using electronic tongue analysis technique and multivariate statistical method. **Results** The overall taste quality of sweet potato flour from different varieties were significantly different. There was a highly significant positive correlation among the taste indexes, in addition to sweetness. The comprehensive score mathematical model was established by principal component analysis to evaluate the taste quality of sweet potato flour, and the scores of sweet potato snow pollen taste quality from high to low were: Xuzishu 602, Zhanzishu 2, Xuzishu 8, Qining 21, Futian 1, Xushu 55-1. **Conclusion** Electronic tongue is suitable for evaluating the taste quality of different sweet potato flour.

KEY WORDS: sweet potato flour; electronic tongue; multivariate statistics; principal component analysis

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1001300, 2019YFD1001302)、国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-10-B20)、徐州市科技项目(KC19243)

Fund: Supported by the National Key R & D Program of China (2019YFD1001300, 2019YFD1001302), the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-10-B20), and the Science and Technology Project of Xuzhou City (KC19243)

***通讯作者:** 钮福祥, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: niufuxiang@sina.com

***Corresponding author:** NIU Fu-Xiang, Professor, Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai District, Xuzhou Xuhai Road High-speed Railway Station North Xuzhou Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou 221131, China. E-mail: niufuxiang@sina.com

1 引言

甘薯雪花粉是新鲜甘薯经蒸煮、制泥、滚筒干燥、铲粉、粉碎等主要工序加工而成的片状产品,复水后呈现良好的薯泥状态,并具有新鲜甘薯的营养、风味和口感^[1]。因此可以作为优良的食品原料和食品添加剂,在调味品、糕点、膨化食品、汤料、冲服剂、早餐食品、婴儿食品等领域均可应用。

食品的滋味品质普遍采用传统感官鉴评的方法进行评价,然而该方法受主观因素和外界环境影响较大,在一定程度上较难保证结果的准确性和客观性^[2]。电子舌检测技术模拟人类唾液及味觉感知机制,由传感器阵列获取电流信号,通过信号模式识别处理及专家系统学习识别,对样品进行定性或定量分析,从而实现对待测样的客观、可靠分析^[3,4]。电子舌检测技术作为一种快速检测味觉品质的新技术,能够以类似人的味觉感受方式检测出味觉物质,可以对样品进行量化,同时可以对一些成分含量进行测量,具有高灵敏度、可靠性、重复性的优点^[5,6]。目前,电子舌被广泛地应用在乳品^[7,8]、酒饮料^[9,10]、茶饮料^[11,12]、肉制品^[13,14]及调味品^[15-18]等食品的滋味品质评价中,但在甘薯滋味评价方面的应用报道较少。本研究以不同品种甘薯雪花粉为原料,采用电子舌味觉识别系统,并结合多元统计学方法对电子舌响应转化值进行相关性分析和主成分分析,以期为甘薯雪花粉的滋味品质评价提供一种高效、稳定、便捷的方法。

2 材料与方法

2.1 实验材料

徐紫薯 602、徐紫薯 8 号、湛紫薯 2 号、齐宁 21、阜甜 1 号、徐薯 55-1, 6 种甘薯雪花粉(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所);阴离子和阳离子溶液、内部液、参比溶液、6 种味觉标准溶液(苦味、酸味、涩味、咸味、鲜味、甜味)(日本 Insent 公司)。

2.2 仪器设备

SA402B 电子舌(日本 Insent 公司);CY-DJ32L 型打浆机(佛山市南海区乐优机械加工厂);JA3003 电子天平(上海天平仪器厂);TD5M-WS 离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品预处理

分别称取不同品种甘薯雪花粉各 50 g,加入 250 mL 蒸馏水打成浆状,3500 r/min 离心 15 min,过滤,取上清液备用。

2.3.2 SA402B 味觉分析系统

SA402B 味觉分析系统由主机、传感器、操作电脑组

成。传感器由味觉传感器、陶瓷参比电极和温度传感器组成。味觉传感器薄膜的电势是根据和参比电极相变化检测出的。数据处理部分将传感器发出的模拟电子信号转化为数字信号,然后将信号转移至 TS-5000Z 仪器的中央处理器(central processing unit, CPU)中进行数据处理。电子舌味觉传感器特点及性能见表 1。

(1) 传感器活化

活化测试传感器法:将 Ag/AgCl 电极从测试传感器电极端中取出,加入内部液,重新装上传感器,置于参比溶液中,活化 24 h,备用。

活化参比电极法:将电极从参比电极的玻璃管中取出,加入内部液,重新装上参比电极,置于 3.33 mol/L KCl 溶液中,活化 24 h,备用。

其中咸味传感器、涩味传感器、鲜味传感器、苦味传感器和酸味传感器 5 个测试传感器及 2 个参比电极进行活化 24 h,甜味传感器和参比电极活化 48 h。

(2) 电子舌测定

参比溶液为氯化钾和酒石酸的混合溶液,是用来模拟人体口腔中只有唾液时的状态,所有样品均以参比溶液作为对照。在电子舌系统完成传感器状态自检后开始检测,每种样品测量前后,传感器都进行清洗和标准化;为减少系统误差,每个样品平行测定 5 次,选取后 3 次每个样品测量的数据转化值用于后续的分析。

2.4 统计分析

以 6 个样品的 6 个基本味和 3 个回味指标的测量转换数据为评价指标,使用方差分析对各滋味指标的差异性进行分析;使用皮尔逊(Pearson)相关性分析对不同滋味指标之间的相关性进行分析;使用主成分分析法(principal component analysis, PCA)对不同甘薯雪花粉滋味品质的差异进行分析。数据采用统计分析软件(statistic package for social science, SPSS)25.0 软件完成,作图使用 Origin 9.0 软件完成。

3 结果与分析

3.1 不同品种甘薯雪花粉的各滋味间差异性分析

电子舌通过 6 个传感器的检测,获得了 6 个不同品种甘薯雪花粉的酸味、苦味、涩味、咸味、鲜味、甜味、苦味回味、涩味回味、鲜味丰富度 9 组滋味指标转化值。从表 2 中可以看出不同甘薯品种的苦味、涩味、鲜味、咸味、苦味回味、涩味回味和鲜味丰富度之间都存在显著差异($P < 0.05$),酸味和甜味之间无显著差异。徐紫薯 602 雪花粉的甜味、咸味和鲜味丰富度最高,苦味最低,说明该品种明显优于其他品种雪花粉。

对甘薯雪花粉各滋味指标值进行相关性分析(表 3),由表 3 中数据可知,甘薯雪花粉不同滋味指标之间呈现出

较高的相关性, 其中酸味与鲜味、苦味与涩味、苦味回味、涩味回味、鲜味、鲜味丰富度、咸味均呈极显著负相关, 涩味与鲜味、苦味回味、涩味回味、鲜味丰富度、咸味呈极显著正相关, 苦味回味与涩味回味、鲜味、鲜味丰富度、咸味呈极显著正相关, 涩味回味与鲜味、鲜味丰富度呈极显著正相关, 鲜味、鲜味丰富度与咸味呈极显著正相关。

表 1 电子舌味觉传感器特点及性能
Table 1 Characteristics and performance of electronic tongue sensors

传感器名称	可评价的味道	
	基本味(相对值)	回味
鲜味传感器	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	咸味(食盐等无机盐引起的咸味)	无
酸味传感器	酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
苦味传感器	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	涩味(涩味物质引起的味道, 在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)
甜味传感器	甜味(糖或糖醇引起的甜味)	无

表 2 不同品种甘薯雪花粉的各滋味指标的差异性分析
Table 2 Significance analysis of taste indexes in sweet potato flour from different varieties

	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味丰富度	鲜味	咸味	甜味
徐紫薯 602	-20.75±0.01 ^a	-0.31±0.01 ^e	17.43±0.01 ^b	0.52±0.01 ^a	9.47±0.01 ^a	14.79±0.01 ^a	12.11±0.01 ^b	14.07±0.01 ^a	17.84±0.01 ^a
徐紫薯 8 号	-23.02±0.26 ^b	0.55±0.12 ^d	17.84±0.11 ^a	0.29±0.02 ^c	7.88±0.10 ^b	9.75±0.69 ^b	13.54±0.01 ^a	11.31±0.25 ^b	16.45±0.13 ^b
湛紫薯 2 号	-19.63±0.60 ^a	0.83±0.05 ^c	13.84±0.07 ^c	0.48±0.02 ^b	6.67±0.16 ^c	9.27±0.60 ^b	10.35±0.01 ^c	10.06±0.01 ^c	15.59±0.31 ^{bc}
齐宁 21	-20.35±0.63 ^a	6.64±0.04 ^a	4.61±0.08 ^f	0.19±0.01 ^d	1.84±0.23 ^d	6.19±0.58 ^c	9.14±0.17 ^d	4.03±0.05 ^d	15.01±0.94 ^c
阜甜 1 号	-20.35±0.87 ^a	6.59±0.06 ^a	5.87±0.05 ^d	0.11±0.03 ^c	1.73±0.25 ^d	5.84±0.65 ^{cd}	8.61±0.16 ^c	-3.41±0.11 ^e	16.32±0.87 ^b
徐薯 55-1	-20.84±1.04 ^a	4.24±0.06 ^b	5.49±0.05 ^e	0.13±0.02 ^e	2.01±0.26 ^d	5.04±0.80 ^d	9.25±0.15 ^d	-6.29±0.75 ^f	17.72±0.91 ^a

注: 标以不同字母的同一行数据间差异显著($P < 0.05$), 有相同字母的表示样品之间没有显著差异。

表 3 不同品种甘薯雪花粉的滋味间相关性分析($n=6$)
Table 3 Correlation analysis between different sweet potato flour from different varieties ($n=6$)

	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	鲜味丰富度	咸味	甜味
酸味	1.000								
苦味	0.286	1.000							
涩味	-0.409	-0.948 ^{**}	1.000						
苦味回味	0.064	-0.855 ^{**}	0.811 ^{**}	1.000					
涩味回味	-0.326	-0.956 ^{**}	0.982 ^{**}	0.885 ^{**}	1.000				
鲜味	-0.669 ^{**}	-0.843 ^{**}	0.926 ^{**}	0.597 ^{**}	0.886 ^{**}	1.000			
鲜味丰富度	-0.211	-0.827 ^{**}	0.863 ^{**}	0.881 ^{**}	0.932 ^{**}	0.743 ^{**}	1.000		
咸味	-0.212	-0.797 ^{**}	0.877 ^{**}	0.872 ^{**}	0.906 ^{**}	0.796 ^{**}	0.867 ^{**}	1.000	
甜味	-0.389	-0.340	0.241	0.140	0.290	0.264	0.373	-0.064	1.000

注: ^{**}表示极显著相关($P < 0.01$); ^{*}表示显著相关($P < 0.05$)。

3.2 不同品种甘薯雪花粉各滋味指标雷达图

雷达图可以客观、具体地反映不同品种之间的滋味差异大小。由图 1 可知,6 个味觉传感器对不同品种甘薯雪花粉的滋味均有响应,但敏感度有差异,甘薯雪花粉的甜味、咸味、苦味、涩味、鲜味的数值均高于参比溶液,而酸味值低于参比溶液。不同品种甘薯雪花粉之间整体滋味存在明显差异(见表 2),其中咸味、鲜味、涩味和苦味差异较显著,而几个紫薯雪花粉的涩味、涩味回味、鲜味和鲜味丰富度明显大于其他品种雪花粉,而苦味明显低于其他品种雪花粉。

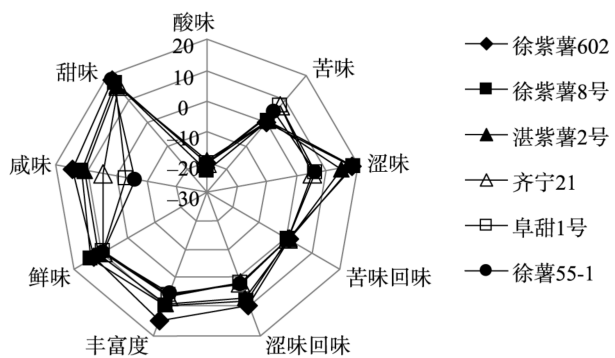


图 1 电子舌滋味雷达图
Fig.1 Radar chart of response intensity of electronic tongue sensor

3.3 不同品种甘薯雪花粉滋味品质主成分分析

使用主成分分析对不同品种甘薯雪花粉整体滋味的差异性进行了分析,由表 4 可知,前 2 个主成分的初始特征值分别为 6.362、1.453,均大于 1,其方差贡献率分别为

70.688%、16.142%,累积方差贡献率为 86.831%,大于 85%,表明第 1 主成分和第 2 主成分包含了甘薯雪花粉滋味品质的大量数据信息,可以反映甘薯雪花粉滋味的整体情况。因此提取前 2 个主成分代替原来的 9 个指标评价甘薯雪花粉滋味品质,达到降维的目的^[19]。

主成分 1 与主成分 2 的因子载荷图如图 2 所示,第一主成分主要由雪花粉的特征性滋味(苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、鲜味、鲜味丰富度和咸味);第二主成分主要由雪花粉的特征性滋味(酸味和甜味)。

从主成分因子得分图上可以看出(图 3),不同品种甘薯雪花粉多数呈现分散状态,有较明显的区分,说明不同品种雪花粉的滋味是不相同的,证明使用电子舌味觉分析系统完全可以区分不同品种甘薯雪花粉的滋味品质。徐紫薯 8 号和徐薯 55-1 雪花粉的甜味较高;徐紫薯 602 雪花粉的涩味、涩味回味、苦味回味、鲜味、鲜味丰富度和咸味比较高;湛紫薯 2 号的酸味比较高;齐宁 21 和阜甜 1 号雪花粉的苦味比较高,涩味、鲜味、苦味回味、涩味回味和鲜味丰富度都比较低。

3.4 不同品种甘薯雪花粉滋味品质综合评价

为消除不同单位和数据的影响,对各指标原始数据进行标准化处理,转化成均值为 0、标准差为 1 的无量纲数据($Zx_1\sim Zx_9$)。用各指标变量的主成分载荷值除以主成分相对应的初始特征值,便得到 2 个主成分中每个指标所对应的得分系数,主成分得分 = Σ 主成分得分系数 $\times$ 相对应的标准化变量,建立各因子得分数学模型如下^[20]:

$$F1=-0.060\times Zx_1-0.149\times Zx_2+0.154\times Zx_3+0.137\times Zx_4+0.157\times Zx_5+0.143\times Zx_6+0.146\times Zx_7+0.143\times Zx_8+0.048\times Zx_9;$$
$$F2=0.562\times Zx_1-0.012\times Zx_2-0.011\times Zx_3+0.282\times Zx_4+0.033\times Zx_5-0.189\times Zx_6+0.065\times Zx_7+0.206\times Zx_8-0.457\times Zx_9。$$

表 4 各个主成分的特征值和贡献率
Table 4 Eigenvalue and contribution rate of each principal component

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	6.362	70.688	70.688	6.362	70.688	70.688
2	1.453	16.142	86.831	1.453	16.142	86.831
3	0.868	9.642	96.473			
4	0.215	2.394	98.867			
5	0.069	0.765	99.632			
6	0.024	0.266	99.898			
7	0.008	0.084	99.982			
8	0.002	0.017	99.999			
9	5.641×10^{-5}	0.001	100			

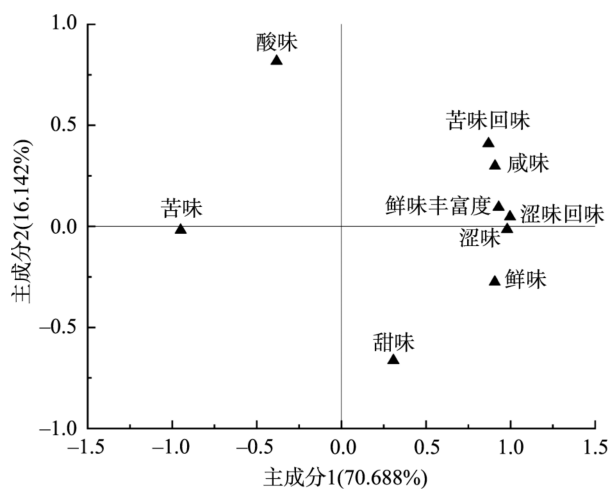


图 2 不同品种甘薯雪花粉滋味品质的主成分 1 与主成分 2 因子载荷图

Fig.2 PC 1 and PC 2 factor loading diagram of flavor quality of snowflake powder of different sweet potato varieties

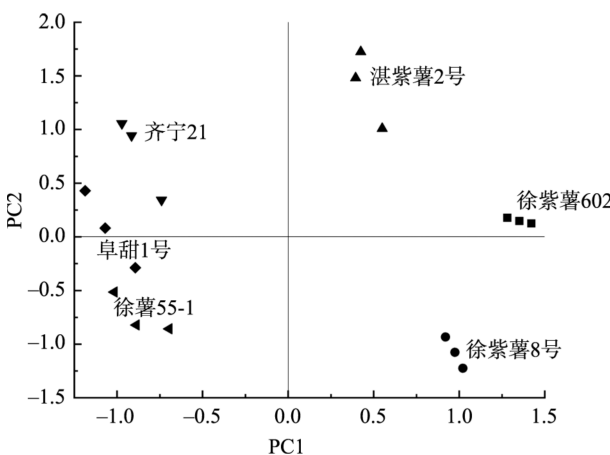


图 3 不同甘薯雪花粉滋味品质的主成分 1 与主成分 2 因子得分图

Fig.3 Factor scores graphical representation of PC 1 and PC 2 of the principal component analysis of sweet potato flour from different varieties

主成分因子的权重 = 因子贡献率/入选因子的累积贡献率, 从而建立综合得分数学模型, $F=0.814F_1+0.186F_2$ 。

根据综合得分模型计算不同品种甘薯雪花粉滋味品质的综合得分, 得分越高, 说明该品种的甘薯雪花粉的综合品质越好。由表 5 中可以看出不同品种甘薯雪花粉滋味品质得分由高到低依次是: 徐紫薯 602、湛紫薯 2 号、徐紫薯 8 号、齐宁 21、阜甜 1 号、徐薯 55-1。

4 结 论

利用电子舌味觉分析系统和多元统计学方法相结合的手段, 发现 6 个不同品种甘薯雪花粉的滋味指标存在明显差异和较高的相关性。各滋味指标中苦味、涩味、咸味

差异较大, 徐紫薯 602 雪花粉的甜味、咸味和鲜味丰富度显著高于其他品种($P < 0.05$), 苦味显著低于其他品种($P < 0.05$), 说明该品种雪花粉明显优于其他品种雪花粉; 除甜味外, 各滋味指标间呈极显著的相关性。

通过主成分分析得到 2 个初始特征值均大于 1 的主成分, 第一主成分代表苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、鲜味、鲜味丰富度和咸味, 其方差贡献率为 70.688%; 第二主成分代表酸味和甜味, 其方差贡献率为 16.142%, 2 个主成分的累积方差贡献率为 86.831%。建立了直观的甘薯雪花粉滋味品质综合评价模型, 得出不同品种甘薯雪花粉的综合评分值排列顺序, 可客观反映不同品种甘薯雪花粉滋味品质。由此可见, 电子舌在不同品种甘薯雪花粉的滋味品质评价中可能具有较大的应用潜力。

表 5 不同品种甘薯雪花粉滋味品质评价得分情况

Table 5 Edible quality evaluation scores of sweet potato flour from different varieties

	<i>F</i> 1	<i>F</i> 2	<i>F</i>
徐紫薯 602	1.362	0.146	1.136
徐紫薯 8 号	0.972	-1.079	0.591
湛紫薯 2 号	0.457	1.405	0.633
齐宁 21	-0.876	0.652	-0.592
阜甜 1 号	-1.049	-0.126	-0.878
徐薯 55-1	-0.866	-0.998	-0.891

参考文献

[1] 周虹, 张超凡, 黄光荣, 等. 甘薯全粉的加工与应用[J]. 湖南农业科学, 2006, (5): 106-108.
Zhou H, Zhang CF, Huang GR, *et al.* Processing and utilization of sweet potato powders [J]. Hunan Agric Sci, 2006, (5): 106-108.

[2] 赵童瑶, 尹海波, 李旭, 等. 基于电子舌技术对不同来源龙胆的苦味与品质相关性研究[J]. 中国现代中药, 2018, 20(9): 1068-1073.
Zhao TY, Yin HB, Li X, *et al.* The study on the relationship between the bitter taste and quality of the different sources of gentianae radix [J]. Mod Chin Med, 2018, 20(9): 1068-1073.

[3] 王兴亚, 庞广昌, 李阳. 电子舌与真实味觉评价的差异性研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 213-216.
Wang XY, Pang GC, Li Y. Research progress of difference between electronic tongue and real taste evaluation [J]. Food Mach, 2016, 32(1): 213-216.

[4] 蒋丽施. 电子舌在食品感官品评中的应用[J]. 肉类研究, 2011, 25(2): 49-52.
Jiang LS. Electronic tongue in the sensory evaluation of food [J]. Meat Res, 2011, 25(2): 49-52.

[5] 王栋轩, 卫雪娇, 刘红蕾. 电子舌工作原理及应用综述[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(2): 140-141.
Wang DX, Wei XJ, Liu HL. Electronic tongue working principle and its application [J]. Chem Eng Design Commun, 2018, 44(2): 140-141.

- [6] 殷海艳, 王哲, 何梦柔. 电子舌在不同来源卤汁的对比分析中的应用研究[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(9): 77–80.
Yin HY, Wang Z, He MR. Application of electronic tongue in the comparative analysis of different sources in the marinade [J]. Grain Sci Technol Econ, 2019, 44(9): 77–80.
- [7] 丁瑞雪, 耿丽娟, 刘丽云, 等. 电子舌联合微生物测序技术分析贮运温度对巴氏杀菌乳品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 47–52.
Ding RX, Geng LJ, Liu LY, *et al.* Effects of storage temperature on pasteurized milk quality analyzed by electronic tongue combined with high throughput sequencing [J]. Food Sci, 2019, 40(22): 47–52.
- [8] 马长路, 焦扬, 吴芸, 等. 富含低聚糖褐色酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(10): 59–64.
Ma CL, Jiao Y, Wu Y, *et al.* Development of oligosaccharide-rich brown yoghurt [J]. Chin Dairy Ind, 2019, 47(10): 59–64.
- [9] 戴得蓉, 段丽丽, 易宇文, 等. 采用电子舌对不同品种酒花酿造葡萄酒滋味的分析[J]. 四川旅游学院学报, 2020, 147(2): 13–18.
Ji DR, Duan LL, Yi YW, *et al.* The analysis of different varieties of hops brewing wine taste using electronic tongue [J]. J Sichuan Tourism Coll, 2020, 147(2): 13–18.
- [10] 刘佳, 黄淑霞, 余俊红, 等. 基于电子舌技术的啤酒口感评价及其滋味信息与化学成分的相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2): 196–201.
Liu G, Huang SX, Yu JH, *et al.* Study on beer taste evaluation and correlation between flavor information and chemical composition based on electronic tongue technology [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(2): 196–201.
- [11] 薛长风, 裴志胜, 文攀, 等. 基于电子舌的茶叶滋味与特征成分相关性分析[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 316–321.
Xue CF, Pei ZS, Wen P, *et al.* Analysis of flavor and characteristic component correlation of tea based on electronic tongue [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(7): 316–321.
- [12] 姚月凤, 王家勤, 滑金杰, 等. 电子舌在工夫红茶甜纯滋味特征评价中的应用[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 236–241.
Yao YF, Wang JQ, Hua JJ, *et al.* Application of electronic tongue in the evaluation of sweet taste quality of congou black tea [J]. Food Sci, 2019, 40(18): 236–241.
- [13] 王伟静, 张松山, 谢鹏, 等. 电子鼻和电子舌快速检测炖制牛肉的品质[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 124–128.
Wang WJ, Zhang SS, Xie P, *et al.* Quick detection of the quality of stewed beef using e-nose and e-tongue [J]. Food Res Dev, 2017, 38(17): 124–128.
- [14] 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.
Wu HL, Li MY, Zhu YD, *et al.* Electronic tongue analysis of taste characteristics of thermally processed sour meat [J]. Meat Res, 2019, 33(12): 39–44.
- [15] 刘梦婷, 沈馨, 王念, 等. 基于电子舌技术市售番茄调味酱滋味品质的分析[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 248–253.
Liu MT, Shen X, Wang N, *et al.* Taste profile characterization of commercial ketchup by electronic tongue analysis [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(11): 248–253.
- [16] 易宇文, 范文教, 彭毅秦, 等. 鱼香调味汁人工感官评价与电子舌感官分析相关性研究[J]. 食品科技, 2017, 42(11): 290–294.
Yi YW, Fan WJ, Peng YQ, *et al.* Research on the correlation between electronic tongue analysis and sensory evaluation of spicy garlic sauce [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(11): 290–294.
- [17] 杨天意, 蒋云升, 吴鹏, 等. 电子舌对果酱的区分识别研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(8): 114–117.
Yang TY, Jiang YS, Wu P, *et al.* Identification of jam by electronic tongue [J]. China Cond, 2018, 43(8): 114–117.
- [18] 汤海青, 顾晓俊, 陈祖满, 等. 基于电子舌的料酒味觉特征辨识与定量分析[J]. 核农学报, 2020, 34(5): 1054–1060.
Tang HQ, Gu XJ, Chen ZM, *et al.* Taste identification and quantitative analysis of cooking wines based on electronic tongue [J]. J Nucl Agric Sci, 2020, 34(5): 1054–1060.
- [19] 张梦潇, 周文化, 周虹, 等. 不同品种紫薯营养成分及聚类分析[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(1): 19–25.
Zhang MX, Zhou WH, Zhou H, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis of nutrition components in different purple-fleshed sweet potatoes [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2020, 35(1): 19–25.
- [20] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243–250.
Liu W, Zhang Q, Li ZJ, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds [J]. Food Sci, 2019, 40(10): 243–250.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



朱 红, 副研究员, 主要研究方向为甘薯产后加工。
E-mail: zhuh-135@163.com



钮福祥, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: niufuxiang@sina.com