

基于电子鼻技术对不同类型洋葱提取液的识别

李国琴¹, 黄艳茹¹, 张强², 杜俊杰¹, 额日赫木¹, 宋小青¹, 刘晓霞³,
刘凯³, 许国帅³, 李桂峰^{1*}

(1. 山西师范大学食品科学学院, 临汾 041004; 2. 山西师范大学生命科学学院, 临汾 041004;
3. 临汾市综合检验检测中心, 临汾 041000)

摘要: 目的 研究电子鼻技术对不同类型洋葱提取液的快速识别。**方法** 以云南、甘肃、安徽、四川、山东、江苏的紫皮洋葱, 甘肃、吉林、云南的黄皮洋葱和新疆的白皮洋葱为实验对象, 测定植物学性状后提取洋葱的提取液, 运用电子鼻检测分析提取液的挥发性物质, 采用费舍尔(Fisher)判别和反向传播神经网络(back propagation neural network, BPNN)建立预测模型。**结果** 电子鼻的10个传感器对不同类型的洋葱提取液的响应值有显著性差异($P < 0.05$), Fisher判别模型和BPNN模型均可有效地识别不同类型的洋葱提取液, BPNN对训练集和检验集的识别正确率分别为100%和98.3%, Fisher判别对训练集和检验集的识别正确率分别为96.1%和92.8%。电子鼻技术结合BPNN更适合不同类型洋葱提取液的识别。**结论** 电子鼻技术结合BPNN可以识别不同类型的洋葱提取液, 为果蔬保鲜的应用开发提供了理论依据和技术支持。

关键词: 电子鼻; 洋葱; 植物学性状; 费舍尔判别; 反向传播神经网络

Identification of different types of onion extracts by electronic nose technology

LI Guo-Qin¹, HUANG Yan-Ru¹, ZHANG Qiang², DU Jun-Jie¹, ERIHEMU¹, SONG Xiao-Qing¹,
LIU Xiao-Xia³, LIU Kai³, XU Guo-Shuai³, LI Gui-Feng^{1*}

(1. School of Food Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China; 2. School of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China; 3. Linfen Comprehensive Inspection and Testing Center, Linfen 041000, China)

ABSTRACT: Objective To study the rapid identification of different types of onion extracts by electronic nose technology. **Methods** Purple onions grown in Yunnan, Gansu, Anhui, Sichuan, Shandong and Jiangsu regions plus yellow onions grown in Gansu, Jilin and Yunnan regions plus white onion from Xinjiang region, were used for materials, after the botany traits were investigated, onions were extracted and tested by electronic nose, identification models were established by using Fisher discrimination and back propagation neural network (BPNN). **Results** The responses of 10 sensors to different types of onion extracts were significantly different ($P < 0.05$). Fisher discriminant model and BPNN model could effectively identify different types of onion extracts, the recognition accuracies of BPNN for training set and test set were 100% and 98.3% respectively, and the recognition accuracies of Fisher discriminant for training set and test set were 96.1% and 92.8% respectively. Electronic nose technology combined

基金项目: 山西师范大学优质课程项目(2018YZKC-07)、山西师范大学教学改革研究项目(2019JGXM-35)

Fund: Supported by the High Quality Curriculum Project of Shanxi Normal University (2018YZKC-07), and the Teaching Reform Research Project of Shanxi Normal University (2019JGXM-35)

*通信作者: 李桂峰, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全检测。E-mail: liguifeng99@163.com

*Corresponding author: LI Gui-Feng, Ph.D, Associate Professor, School of Food Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China. E-mail: liguifeng99@163.com

with BPNN was more suitable for the identification of different types of onion extracts. **Conclusion** Electronic nose technology combined with BPNN can identify different types of onion extracts, which can provide theoretical basis and technical support for application development of fruit and vegetable preservation.

KEY WORDS: electronic nose; onion extracts; botany traits; Fisher discrimination; back propagation neural network

0 引言

洋葱(*Allium cepa* L.), 又名葱头、球葱、圆葱, 属百合科葱属, 是两年生草本植物^[1]。洋葱原产于中亚和地中海沿岸, 具有易种植且耐储运等特点^[2]。目前全国各地都有广泛栽培且四季均有供应, 主产区分布在山东、云南、四川、甘肃和黑龙江等地^[2]。洋葱提取液作为新型的天然生物保鲜剂, 其安全性受到人们信赖^[3]。前期研究发现不同类型的洋葱提取液对果蔬的保鲜效果并不一致, 因此快速识别不同类型的洋葱提取液可以对果蔬保鲜的应用提供理论支撑和应用指导。

不同类型的洋葱提取液主要体现在洋葱品种和产地的不同, 有研究报告不同品种的洋葱所含挥发性物质不同^[4-5], 不同的种植环境对洋葱中的挥发性物质也有影响^[6-8]。电子鼻检测技术是目前人们广泛关注的基于食品基质香气特征的检测方法, 在分析各种食品的挥发性化合物方面表现良好^[9]。电子鼻是一种模仿人类鼻子的智能仿生仪器, 通过特定气敏传感器阵列的响应图谱分析、识别和检测复杂气味, 能全面地反映整体特征^[10]。它具有操作简单、重现性好及成本低等优点。近年来电子鼻也逐渐应用到加工食品的快速鉴别中^[11], 然而目前利用电子鼻对我国不同类型洋葱提取液识别的相关研究很少。费舍尔判别(Fisher 判别, 又称线性判别分析)是对电子鼻响应值进行数据处理的主要方法^[12-15]。宋小青等^[13]发现 Fisher 判别可以很好地区分不同品牌的醋。张虹艳等^[16]运用 Fisher 判别鉴别室温和冷藏羊奶, 正确率达 100%。反向传播神经网络(back propagation neural network, BPNN)是目前人工神经网络模型中研究比较热门的一种方法^[17-19]。通过比较 BPNN 和 Fisher 模型的判别正确率, 优化电子鼻对不同类型洋葱提取液的识别是有实践意义的。

本研究首先比较不同类型洋葱的植物学性状, 提取不同类型洋葱的提取液后使用电子鼻检测, 运用 Fisher 判别和 BPNN 两种方法构建预测模型, 通过比较正确判别率后选择最优模型, 以期对果蔬保鲜剂的开发应用及果蔬高品质的保障提供理论依据和应用指导。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

安徽紫皮、甘肃黄皮、甘肃紫皮、吉林黄皮、江苏紫

皮、山东紫皮、四川紫皮、新疆白皮、云南黄皮和云南紫皮洋葱: 购自网络直营店。洋葱样本类型赋值标签(1~10)为: 安徽紫皮(A)、甘肃黄皮(B)、甘肃紫皮(C)、吉林黄皮(D)、江苏紫皮(E)、山东紫皮(F)、四川紫皮(G)、新疆白皮(H)、云南黄皮(I)和云南紫皮(J)。

三氯乙酸(分析纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

1.2 主要仪器与设备

PEN3 便携式电子鼻(德国 Airsense 公司); JJ-2B 型金坛荣华组织捣碎匀浆机(金坛市荣华仪器制造有限公司); Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 洋葱植物学性状的检测

采用庄红梅等^[20]的分析方法, 测定不同类型的洋葱鳞茎纵径、鳞茎横径、单个鳞茎重量及肉质鳞片层数。利用电子秤称单个鳞茎重量。每种类型的洋葱选取 10 颗作为重复。

1.3.2 洋葱提取液的制备和电子鼻检测分析

参照 RUSSO 等^[21]和 ABBEY 等^[7]的方法, 稍作修改。将可食用部分的洋葱于室温下在组织捣碎匀浆机中匀浆 20 min, 然后用两层灭菌纱布过滤后取滤液。将 20 mL 滤液转移到 250 mL 的烧瓶中并加入 20 mL 5%三氯乙酸终止蒜氨酸酶的活性。混合物剧烈混匀后, 25 °C 静置 30 min。取 20 mL 混合液, 再加入 20 mL 去离子水稀释。取 1 mL 稀释液放入一个 30 mL 的样品瓶中平衡 30 min。

电子鼻设定参数: 测定时间 100 s, 冲洗时间 200 s, 进样准备时间 5 s, 调零时间 10 s, 进样流速 400 mL/min。PEN3 型便携式电子鼻的 10 个金属氧化物传感器包括 S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9 和 S10, 分别对芳香苯类、氮氧化物、氨类、氫气、烷烃、甲烷、硫化氢(H₂S)、乙醇、有机硫化物和芳香烷烃成分敏感。当传感器接触到样品挥发物后, 电导率 G 发生变化, 电导率 G 与初始电导率 G_0 的比值随之变化^[14]。挥发物浓度越大, G/G_0 的值越偏离 1。10 种类型的洋葱提取液中, 每种类型的洋葱提取液采集 18 个样品, 共采集 180 个样品。

1.3.4 统计分析

采用 SPSS 26.0 软件对不同类型洋葱植物学性状和传感器采集的稳定段原始数据进行单因素方差分析(one way

analysis of variance, ANOVA), 使用 Duncan 多重比较分析差异的显著性($P < 0.05$)。利用原始数据分别进行 Fisher 判别和 BPNN 建模。Fisher 方法采用 Wilks'lambda 法和逐步法, 其判别准则是: 进入模型的 F 值大于 3.84, 从模型中剔除变量的 F 值小于 2.71, 建立判别方程。验证方法采用回判验证和交互验证法。BPNN 方法抽取 120 个样品为训练集, 60 个样品为检验集, 建立包含输入层、隐含层和输出层构成的神经网络。其中模型输入层单元数为 10, 即 10 个传感器的响应值; 输出单元数为 10, 即 10 种不同洋葱类型。

2 结果与分析

2.1 基于植物学性状对不同类型洋葱的差异性分析

不同类型洋葱的鳞茎纵径、鳞茎横径和重量存在显著差异($P < 0.05$), 但是肉质鳞片层数没有显著性差异($P > 0.05$)(表 1)。对紫皮洋葱而言, 甘肃比其他产地的纵径长,

但其他产地的纵径之间没有显著差异($P > 0.05$)。云南紫皮的横径最长、甘肃紫皮的横径次之, 其他产地的横径较小。甘肃紫皮的鳞茎重量最大, 安徽紫皮、江苏紫皮和四川紫皮的鳞茎重量最小。洋葱鳞茎的大小及重量与施肥所用的肥料类型^[22]、种植密度^[22]、灌溉情况^[23]和日照长度^[24]等因素有关, 因此不同产地紫皮洋葱鳞茎的植物学性状可能不同。对黄皮洋葱而言, 不同产地的鳞茎纵径、横径和重量均没有显著差异($P > 0.05$)。

2.2 基于电子鼻技术对不同类型洋葱提取液的差异性分析

2.2.1 电子鼻传感器分析时间点的选择

由图 1 可知, 电阻比先迅速增大至最高值, 随后逐渐下降至趋于平缓, 达到稳定的状态。因为样品在 90 s 后信号曲线最为平稳, 故任选一时间点(94 s)处的信号作为分析的时间点。

表 1 不同类型洋葱的植物学性状
Table 1 Physiological parameters of different types of onions

产地	植物学性状			
	鳞茎纵径/mm	鳞茎横径/mm	单个鳞茎重量/g	肉质鳞片层数
安徽紫皮	75.98±6.41 ^a	85.54±8.73 ^a	285.60±72.06 ^a	11.20±1.14 ^a
甘肃黄皮	90.63±11.54 ^{bcd}	93.39±5.59 ^a	418.16±85.34 ^b	9.7±1.25 ^a
甘肃紫皮	100.17±14.29 ^d	104.23±7.05 ^{bc}	541.31±120.04 ^c	9.25±2.66 ^a
吉林黄皮	101.64±5.15 ^d	93.65±4.09 ^a	480.00±53.08 ^{bc}	11.00±1.79 ^a
江苏紫皮	70.95±9.73 ^a	90.97±6.59 ^a	277.15±61.49 ^a	10.50±1.08 ^a
山东紫皮	82.45±8.82 ^{abc}	92.90±12.31 ^a	404.91±114.81 ^b	10.70±1.16 ^a
四川紫皮	74.16±18.52 ^a	85.04±6.41 ^a	300.64±54.67 ^a	10.60±1.17 ^a
新疆白皮	98.33±11.36 ^d	106.38±19.82 ^{cd}	541.68±176.89 ^c	12.33±2.58 ^a
云南黄皮	94.22±5.04 ^{cd}	95.05±5.94 ^{ab}	411.90±33.86 ^b	11.29±1.11 ^a
云南紫皮	78.58±10.74 ^{ab}	115.08±11.58 ^d	463.22±122.62 ^{bc}	7.90±2.13 ^a

注: 表中数值为平均数±标准偏差($n=10$), 同一列中不同字母表示有显著性差异($P < 0.05$)。

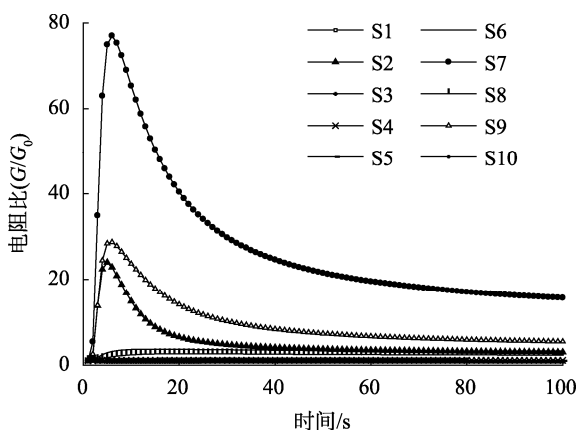


图 1 洋葱提取液的传感器响应信号图

Fig.1 Sensor response signal diagram of onion extracts

2.2.2 电子鼻对不同类型洋葱提取液中挥发性成分响应

电子鼻 10 个传感器对不同类型洋葱提取液中挥发性成分的响应值均存在显著性差异($P < 0.05$)(表 2), 这为电子鼻区分洋葱提取液类型提供了可能。传感器 S7 和 S9 响应值明显高于其他传感器的响应值, 由此可见含硫化合物是洋葱提取液中主要的挥发性成分, 这与孙雪君等^[4]的研究结果一致。从表 2 中可以看到, 在不同产地的紫皮洋葱提取液中, 传感器 S7 对江苏的响应值显著高于山东、四川和云南($P < 0.05$), 对安徽和甘肃产地的响应值最低。在不同产地的黄皮洋葱提取液中, 传感器 S7 对各地的响应值也显著不同($P < 0.05$)。除了甘肃、云南产地, 传感器 S7 对其他产地紫皮洋葱提取液的响应值显著高于黄皮和白皮的洋葱提取液($P < 0.05$)。传感器 S9 对江苏和山东紫皮洋葱提取液的响应值最高, 而对甘肃、吉林黄皮和新疆白皮洋葱提取

液的响应值较低。综上判断洋葱的产地、品种与提取液中含硫化合物含量有着密切的关系, 含硫化合物具有果蔬保鲜的作用^[25-27], 因此本研究认为洋葱的产地和品种可以影响洋葱提取液这种新型果蔬保鲜剂的保鲜效果, 那么快速识别不同类型(即不同产地、不同品种)洋葱的提取液对后续新型果蔬保鲜剂的开发和应用意义重大。另外, 不同类型洋葱提取液的挥发性成分中氮氧化合物的差异明显, 与有机硫化物相似。除传感器 S2、S7 和 S9 外, 山东紫皮洋葱提取液在其他传感器上的响应值与其他洋葱均有显著性差异($P<0.05$), 说明山东紫皮洋葱提取液的香味成分与其他产地样品的香味成分差异较大。总之, 利用电子鼻 10 个传感器快速识别不同类型洋葱提取液的可行性很高。

2.2.3 Fisher 判别

Fisher 判别的基本思想是投影, 即将原始在 R 维空间的自变量组合投影到纬度较低的 D 维空间, 然后在 D 维空间再进行分类。投影的原则是使得每类内的离差尽可能小,

不同类之间的离差尽可能大^[3]。以电子鼻的 10 个传感器响应值为自变量, 洋葱提取液类型为因变量, 建立 Fisher 判别函数(表 3)。根据表 3 的判别函数可以计算出各个类型的具体空间位置, 然后计算样品距离不同类型洋葱提取液类别中心的距离, 距离哪个类别最近就判定该样品属于哪种样品。表 4 为 Fisher 判别分析对训练集和验证集的判别结果。训练集 180 个样品, 用 Fisher 判别分析对类型 1、2、3、4、9、10 的正确判别率均为 100%, 类型 5、6 和 7 的正确判别率为 94.4%, 其中有 1 个类型 5(甘肃紫皮洋葱提取液)被错判成 6(安徽紫皮洋葱提取液), 有 1 个类型 6(安徽紫皮洋葱提取液)被错判为 5(甘肃紫皮洋葱提取液), 有 1 个类型 7(云南紫皮洋葱提取液)被错判成 1(江苏紫皮洋葱提取液)。类型 8 的正确判别率为 77.8%, 有 3 个被错判为类型 7(云南紫皮洋葱提取液)和 1 个被错判为新疆白皮洋葱提取液。训练集总的正确判别率为 96.1%。采用交叉验证的方式, 预测正确判别率为 92.8%。

表 2 电子鼻各传感器对不同类型洋葱提取液的响应
Table 2 Responses of sensor arrays to the extractions of different types of onion extracts

响应值	洋葱类型									
	安徽紫皮	甘肃黄皮	甘肃紫皮	吉林黄皮	江苏紫皮	山东紫皮	四川紫皮	新疆白皮	云南黄皮	云南紫皮
S1	0.89±0.00 ^c	0.83±0.06 ^b	0.89±0.01 ^c	0.84±0.05 ^b	0.83±0.01 ^b	0.73±0.05 ^a	0.85±0.01 ^b	0.88±0.01 ^c	0.83±0.01 ^b	0.84±0.01 ^b
S2	3.39±0.10 ^b	2.81±0.24 ^a	3.03±0.06 ^{ab}	3.28±0.37 ^b	5.49±1.12 ^d	5.10±0.59 ^d	4.36±0.88 ^c	3.30±0.46 ^b	4.20±0.63 ^c	4.10±0.67 ^c
S3	0.90±0.00 ^d	0.83±0.06 ^b	0.90±0.01 ^d	0.84±0.07 ^{bc}	0.84±0.02 ^{bc}	0.70±0.06 ^a	0.86±0.01 ^c	0.89±0.01 ^d	0.85±0.01 ^{bc}	0.85±0.01 ^{bc}
S4	1.00±0.00 ^a	1.03±0.01 ^c	1.00±0.00 ^a	1.05±0.01 ^d	1.01±0.00 ^f	1.02±0.01 ^b	1.09±0.01 ^f	1.07±0.01 ^e	1.10±0.01 ^g	1.09±0.00 ^f
S5	0.97±0.00 ^{cd}	0.95±0.02 ^b	0.97±0.00 ^d	0.95±0.02 ^b	0.95±0.00 ^b	0.90±0.03 ^a	0.95±0.00 ^b	0.96±0.00 ^{bc}	0.95±0.00 ^b	0.95±0.00 ^b
S6	2.48±0.08 ^a	2.78±0.68 ^{ab}	2.58±0.08 ^a	3.33±0.84 ^{cd}	3.45±0.20 ^{cd}	4.33±0.94 ^e	3.09±0.18 ^{bc}	2.66±0.16 ^a	3.52±0.21 ^d	3.22±0.16 ^{cd}
S7	21.77±1.71 ^c	13.90±1.78 ^a	18.98±1.42 ^{bc}	17.91±3.25 ^b	35.91±6.75 ^e	29.95±3.40 ^d	28.54±7.51 ^d	19.46±4.30 ^{bc}	26.88±5.33 ^d	26.55±5.38 ^d
S8	1.72±0.03 ^a	2.11±0.49 ^{bc}	1.80±0.06 ^a	2.83±0.81 ^c	2.39±0.14 ^{cd}	3.38±0.72 ^f	2.16±0.12 ^{bc}	1.95±0.08 ^{ab}	2.56±0.14 ^{dc}	2.20±0.10 ^{bc}
S9	6.29±0.23 ^a	5.50±0.49 ^a	5.67±0.23 ^a	5.95±0.77 ^a	10.17±1.92 ^c	9.39±1.00 ^c	8.00±1.68 ^b	5.97±0.92 ^a	7.95±1.28 ^b	7.59±1.24 ^b
S10	1.15±0.01 ^b	1.14±0.01 ^b	1.13±0.01 ^a	1.15±0.02 ^b	1.32±0.01 ^e	1.19±0.02 ^c	1.34±0.02 ^f	1.25±0.03 ^d	1.33±0.02 ^{ef}	1.32±0.02 ^c

注: 表中数值为平均数±标准偏差(n=18), 同一行中字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

表 3 不同类型洋葱提取液的 Fisher 判别函数
Table 3 Fisher discriminant functions of different types of onion extracts

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S1	0.468	20.242	-3.413	98.965	125.845	54.657	190.104	129.356	-195.873
S2	1.395	1.089	1.066	-4.771	1.624	-1.797	-5.146	2.480	2.408
S3	-26.715	59.349	55.112	-142.156	-126.469	-79.478	-91.416	-118.665	232.250
S4	-80.702	-16.212	95.126	36.898	-68.987	-54.638	-46.504	28.368	-14.501
S5	114.888	111.359	-50.697	306.786	233.633	142.010	-90.343	28.523	-176.668
S6	8.933	15.003	-5.671	13.089	2.227	2.408	1.494	6.786	-0.536
S7	-0.095	0.282	0.033	-0.768	-0.215	0.073	-0.582	0.030	-0.368
S8	-8.050	-7.459	9.704	-10.166	5.017	1.360	0.872	-6.713	1.017
S9	-0.670	-1.781	-0.619	5.141	0.100	-0.451	4.889	-1.974	0.512
S10	-35.182	-14.978	-44.438	-9.250	34.967	37.292	30.924	-6.972	-13.952
(常量)	33.479	-165.473	-46.127	-300.374	-211.948	-104.368	6.687	-58.850	164.028

表 5(续)

	产地	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正确率/%
检验集	样本数	A	6	0	0	0	0	0	0	0	0	100
		B	0	6	0	0	0	0	0	0	0	100
		C	0	0	6	0	0	0	0	0	0	100
		D	0	0	0	6	0	0	0	0	0	100
		E	0	0	0	0	6	0	0	0	0	100
		F	0	0	0	0	0	6	0	0	0	100
		G	0	0	0	0	0	0	6	0	0	100
		H	0	0	0	0	0	0	0	5	1	83.3
		I	0	0	0	0	0	0	0	0	6	100
		J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	总计	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98.3

参考文献

- [1] BAHRAM PM, LIM LT. Fresh cut onion: A review on processing, health benefits, and shelflife [J]. *Comp Rev Food Sci Food Saf*, 2018, 17(2): 290–308.
- [2] 周琬颜. 中国洋葱国际竞争力研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2019. ZHOU WY. Research on the international competitiveness of Chinese onion [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2019.
- [3] 程丽林, 张长峰, 王庆国. 鲜切马铃薯褐变抑制技术的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(5): 177–182. CHENG LL, ZHANG CF, WANG QG. Advances on the techniques of browning inhibition of fresh-cut potato [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(5): 177–182.
- [4] 孙雪君, 徐怀德, 米林峰. 鲜洋葱和干洋葱挥发性化学成分比较[J]. *食品科学*, 2012, 33(22): 290–293. SUN XJ, XU HD, MI LF. Analysis of volatile compounds from fresh and dried *Allium cepa* L. [J]. *Food Sci*, 2012, 33(22): 290–293.
- [5] 王依春, 王锡昌. 同时蒸馏萃取和固相微萃取与气相色谱-质谱法分析洋葱的挥发性风味成分[J]. *现代食品科技*, 2007, 23(1): 87–90. WANG YC, WANG XC. Analysis of volatile flavour of onions by simultaneous distillation and extraction and solid-phase microextraction combined with GC-MS [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2007, 23(1): 87–90.
- [6] ABBEY L, JOYCE DC, AKED J, *et al.* Electronic nose evaluation of onion headspace volatiles and bulb quality as affected by nitrogen, sulphur and soil type [J]. *Ann Appl Biol*, 2004, 145(1): 41–50.
- [7] ABBEY L, AKED J, JOYCE DC. Discrimination amongst *Alliums* using an electronic nose [J]. *Ann Appl Biol*, 2001, 139(3): 337–342.
- [8] MALLOR C, THOMAS B. Resource allocation and the origin of flavour precursors in onion bulbs [J]. *J Hortic Sci Biotechnol*, 2015, 83(2): 191–198.
- [9] 李翠翠, 李永丽. 近五年来电子鼻在食品检测中的应用[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(11): 11–13. LI CC, LI YL. The application of electronic nose in food inspection during the last five years [J]. *J Cere Oils*, 2020, 33(11): 11–13.
- [10] 程宏桢, 蔡志鹏, 王静, 等. 基于 GC-MS、GC-O 和电子鼻技术评价百香果酒香气特征[J]. *食品科学*, 2020, 42(6): 256–264. CHENG HZ, CAI ZP, WANG J, *et al.* Based on GC-MS, GC-O and electronic nose technology to evaluate the aroma characteristics of passion fruit wine [J]. *Food Sci*, 2020, 42(6): 256–264.
- [11] 胡武瑶, 杨昉津, 窈慧, 等. 不同麦曲酿造黄酒中挥发性风味物质的代谢差异[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(8): 230–237. HU WY, YANG YJ, DOU H, *et al.* Metabolic differences of volatile flavour compounds in Huangjiu fermented with different wheat Qu [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(8): 230–237.
- [12] 闫子茹, 岳盈肖, 赵江丽, 等. 基于电子鼻分析 1-MCP 对‘香红’梨后熟进程的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 42(4): 1–13. YAN ZR, YUE YX, ZHAO JL, *et al.* Effect of 1-MCP on the ripening process of ‘Xianghong’ pears based on the electronic nose analysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(4): 1–13.
- [13] 宋小青, 李淑娟, 额日赫木. 电子鼻对不同品牌食醋的识别[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(9): 277–280, 284. SONG XQ, LI SX, ERIHEMU. Identification of different brands of vinegar by electronic nose [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(9): 277–280, 284.
- [14] 曾辉, 刘璇, 吴昕烨, 等. 基于电子鼻技术的不同苹果品种香气的表征与识别[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(4): 197–203. ZENG H, LIU X, WU XY, *et al.* Identification of apple cultivars based on aroma analysis by electronic nose [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(4): 197–203.
- [15] 李国林, 孟繁博, 郑秀艳, 等. 红肉火龙果贮藏期间气味监测及桃吉尔霉对气味的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(18): 4834–4838. LI GL, MENG FB, ZHENG XY, *et al.* Odor monitoring during storage of red pitaya and effect of *Gilbertella persicariaon* odor [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(18): 4834–4838.
- [16] 张虹艳, 丁武. 基于 Fisher 线性判别和 BP 神经网络的电子鼻羊奶贮藏时间预测[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(6): 166–173. ZHANG HY, DING W. Classification of fresh goat milk at different storage temperature based on electronic nose by Fisher [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2012, 12(6): 166–173.
- [17] TAN J, XU J. Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review [J]. *Artif Intell Agric*, 2020, 4: 104–115.
- [18] 宋海声, 麻林召, 王一帆, 等. 基于 PCA-BP 神经网络对甲醛和甲醇的识别研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(7): 196–203. SONG HS, MA LZ, WANG YF, *et al.* Recognition of formaldehyde,

- methanol based on PCA-BP neural network [J]. *Laser Optoelectron Prog*, 2020, 57(7): 196–203.
- [19] 丁城, 刘璐, 胡勇. 基于BP神经网络模型的梨醋发酵产酸量的预测[J]. *食品科技*, 2017, 42(2): 273–276.
- DING C, LIU L, HU Y. Prediction of total acid from pear vinegar by artificial network [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(2): 273–276.
- [20] 庄红梅, 王浩, 韩宏伟, 等. 不同洋葱品种资源生物学特性评价及主成分分析[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(11): 2100–2110.
- ZHUANG HM, WANG H, HAN HW, *et al.* Biological characteristics evaluation and principal component analysis of different onion germplasm resources [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2017, 54(11): 2100–2110.
- [21] RUSSO M, SANZO RD, CEFALY V, *et al.* Non-destructive flavour evaluation of red onion (*Allium cepa* L.) ecotypes: An electronic-nose-based approach [J]. *Food Chem*, 2013, 141(2): 896–899.
- [22] GEISSELER D, ORTIZ RS, DIAZ J. Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa* L.)—A literature review [J]. *Sci Hort*, 2022, 291: 110591.
- [23] GERIES LSM, EL STA, MOURSI EA. Cut-off irrigation as an effective tool to increase water-use efficiency, enhance productivity, quality and storability of some onion cultivars [J]. *Agric Water Manage*, 2021, 244: 106589.
- [24] CHENG W, RASHID HA, STARK R, *et al.* The role of organ and daylength specific gene expression in bulb development and resource management in onion [J]. *Sci Hort*, 2021. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110223
- [25] 集贤, 张平, 朱志强, 等. SO₂ 不同保鲜处理对醉金香葡萄贮藏效果的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(7): 1–9.
- JI X, ZHANG P, ZHU ZQ, *et al.* Effects of different SO₂ preservation treatments on ‘Zuijingxiang’ grape during storage [J]. *Packag Eng*, 2020, 41(7): 1–9.
- [26] 王瑞清, 刘媛媛, 严俊杰, 等. L-半胱氨酸对香菇贮藏过程中内源性甲醛的转化及子实体品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(13): 5177–5182.
- WANG RQ, LIU YY, YAN JJ, *et al.* Effect of L-cysteine on transformation of endogenous formaldehyde and quality of fruiting body in *Lentinus edodes* during storage [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(13): 5177–5182.
- [27] 段冰, 杨睿, 窦媛, 等. 硫化氢在果蔬贮藏保鲜中的应用及机制研究进展[J]. *果树学报*, 2021, 38(6): 1004–1012.
- DUAN B, YANG R, DOU Y, *et al.* Application and regulation of hydrogen sulfide in storage of fruits and vegetables [J]. *J Fruit Sci*, 2021, 38(6): 1004–1012.
- [28] 朱兰兰, 侯钟令, 崔亚菲, 等. 应用BP神经网络优化南极磷虾酶解工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(21): 121–126.
- ZHU LL, HOU ZL, CUI YF, *et al.* Optimization of enzymatic hydrolysis of *Antarctic krill* by BP neural network [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(21): 121–126.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



李国琴, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。

E-mail: guoqin.li1@uq.net.au



李桂峰, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全检测。

E-mail: liguifeng99@163.com