

# 基于电子鼻技术的猪肉脯品质判别分析

陈通<sup>1</sup>, 祁兴普<sup>2</sup>, 陈斌<sup>3</sup>, 程谦伟<sup>1</sup>, 刘萍<sup>2,\*</sup>

(1.广西科技大学生物与化学工程学院, 广西柳州 545006; 2.江苏农牧科技职业学院食品科技学院, 江苏泰州 225300;  
3.江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

**摘要:**为实现猪肉脯品质的快速判别, 采用电子鼻技术对12个品牌3个批次共108个猪肉脯样品进行分析检测, 同时依据GB/T 31406—2015《肉脯》对样品的蛋白质、水分、氯化物、脂肪及总糖含量进行品质评判, 选取电子鼻响应曲线中120~150 s稳定数据段的平均值作为表征变量, 结合主成分分析和 $k$ 最近邻法( $k=3$ )建立猪肉脯品质等级的判别模型。结果表明, 所建模型的理论判别准确率可达89.81%, 基于电子鼻技术的猪肉脯品质判别具有一定的可行性。

**关键词:**猪肉脯; 风味指纹; 电子鼻;  $k$ 最近邻法; 品质判别

## Quality Discrimination of Dried Pork Slices Using Electronic Nose Technology

CHEN Tong<sup>1</sup>, QI Xingpu<sup>2</sup>, CHEN Bin<sup>3</sup>, CHENG Qianwei<sup>1</sup>, LIU Ping<sup>2,\*</sup>

(1.College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China;  
2.College of Food Science and Technology, Jiangsu Agri-Animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China;  
3.School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** For rapid identification of the quality of dried pork slices, 108 samples from 12 brands with three batches each were detected by using electronic nose technology. Meanwhile, according to the national standard of China GB/T 31406—2015, the contents of protein, moisture, chloride, fat and total sugar in these samples were determined for quality evaluation. By selecting the average values in the range of 120–150 s in the electronic nose response curve, where the sensor response was relatively stable, as the characterization variable, a model for discriminating different quality grades of dried pork slices was established by using principal component analysis and  $k$ -nearest neighbor method ( $k=3$ ). The results showed that the theoretical discrimination accuracy of the model was 89.81%. Accordingly, electronic nose technology could be applicable for the quality discrimination of dried pork slices.

**Keywords:** dried pork slices; flavor fingerprints; electronic nose;  $k$ -nearest neighbor algorithm; quality discrimination

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210111-006

中图分类号: TS251.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2021)02-0031-04

引文格式:

陈通, 祁兴普, 陈斌, 等. 基于电子鼻技术的猪肉脯品质判别分析[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 31-34. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210111-006. <http://www.rlyj.net.cn>

CHEN Tong, QI Xingpu, CHEN Bin, et al. Quality discrimination of dried pork slices using electronic nose technology[J]. Meat Research, 2021, 35(2): 31-34. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210111-006. <http://www.rlyj.net.cn>

肉脯是我国一种传统的休闲食品, 其凭借营养丰富、美味可口及方便携带等特点, 深受广大消费者的喜爱<sup>[1]</sup>。成品猪肉脯的制作流程一般包括原料肉选取与修

整、刨片、腌制、干燥、烘烤、切片、包装等工序<sup>[2]</sup>, 其中猪肉脯在干燥和烘烤阶段伴随包括美拉德反应、脂质氧化及Strecker降解等在内的一系列化学反应<sup>[3-4]</sup>, 这些反

收稿日期: 2021-01-11

基金项目: 泰州311高层次人才计划项目; 广西科技大学博士基金项目(20Z34);

广西高校中青年教師科研基础能力提升项目(2021KY0352)

第一作者简介: 陈通(1990—)(ORCID: 0000-0003-0056-9857), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品、农产品品质无损检测。

E-mail: tomichen@foxmail.com

\*通信作者简介: 刘萍(1982—)(ORCID: 0000-0003-3716-8969), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品营养与检测。

E-mail: 12404989@qq.com

应不仅能够改变猪肉脯内部组分与结构<sup>[5-6]</sup>, 而且对猪肉脯产品整体特征风味的形成具有至关重要的作用<sup>[7]</sup>。因此, 肉脯的品质属性与风味组成息息相关, 其风味成分构成可作为表征肉脯品质信息的关键标志性成分<sup>[8]</sup>。

当前, 相关研究人员基于风味物质组成对肉脯的品质研究进行了诸多报道。Tian Xing等<sup>[9]</sup>分别使用电子舌技术与气相色谱-离子迁移谱技术分析不同盐含量对干腌猪肉风味的影响, 结果表明, 盐含量为3%和5%时干腌猪肉的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)峰面积和味觉指数最高; Chen Mingjie等<sup>[10]</sup>借助气相色谱-离子迁移谱技术研究猪肉脯样品在不同加工阶段的风味物质组成, 并采用统计学方法对不同阶段猪肉脯风味物质的种类与含量进行统计分析, 成功实现了不同加工阶段猪肉脯样品的区分; 姚芳等<sup>[11]</sup>使用顶空气相色谱-质谱联用技术对肉脯加工过程中的风味物质进行检测, 并对各加工阶段样品特征风味物质的种类与含量差异进行统计分析, 结果表明, 加工工艺对肉脯风味的形成具有重要影响; 陈美铤<sup>[12]</sup>分析微波干燥技术对猪肉脯风味品质的影响, 借助优化后的微波干燥条件获得了色、香俱佳的乌龙茶风味肉脯; 同时, 也有大量研究<sup>[13-16]</sup>对肉脯的加工工艺进行设计与优化, 分别制备了具有特殊风味的猪肉脯。上述研究表明, 当前国内外学者的研究重点在于肉脯加工工艺设计与优化, 而对成品肉脯品质属性与其风味成分之间的关系却鲜有报道。另外, 当前部分食品企业仍然存在采用感官评定方法筛查肉脯品质的现象<sup>[17]</sup>, 其主要原因在于相关分析仪器存在价格高昂、操作繁杂、耗时长及运行环境苛刻等缺点<sup>[18-19]</sup>。因此, 开发一种简便、快速、高效的肉脯品质快速判别方法, 实现肉脯品质一致性监测很有必要。

电子鼻技术<sup>[20-21]</sup>是一种模仿生物嗅觉原理而设计的机器嗅觉分析方法, 其通过一系列化学传感器阵列实现复杂气味的检测和辨别, 并采用模式识别算法解析复杂气味的化学属性与含量。电子鼻技术因其快速、灵敏、无损的优点, 在食品风味分析<sup>[22-23]</sup>、品质判别<sup>[24]</sup>、掺假检测<sup>[25]</sup>及品种鉴别<sup>[23]</sup>等领域应用广泛, 而对成品肉脯品质属性判别方面研究较少。本研究基于电子鼻技术研究成品猪肉脯的风味成分差异, 并结合化学计量学方法实现猪肉脯品质的快速判别, 以期为该技术应用用于猪肉脯加工过程控制提供理论依据, 也为相关肉制品企业的现代化生产提供新的监控方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

采用线上(网店购买)和线下(当地超市)2种方式购买江苏靖江地区生产的猪肉脯, 累计共12个品牌, 对应品牌分别使用1~12编号进行标记, 所有样品均为原

味猪肉脯。为保证实验的可靠性, 每种样品选择3个批次, 每个批次选取3个猪肉脯作为实验样本, 最终获得的样本数量为108个。

硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、硼酸、氢氧化钠、95%乙醇、石油醚、亚铁氰化钾、乙酸锌、硝酸银、冰乙酸、硝酸、丙酮、苯酚、蔗糖、淀粉酶、碘、碘化钾(均为分析纯) 国药集团化学试剂(上海)有限公司。

### 1.2 仪器与设备

20 mL顶空气相瓶(含螺纹磁性盖) 浙江哈迈科技有限公司; PEN3便携式电子鼻(配备W1C、W5S、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W、W3S传感器阵列) 德国Airsense公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 理化指标检测

依据GB/T 31406—2015《肉脯》中的5个指标(即蛋白质、脂肪、水分、氯化物及总糖含量)对所采集的猪肉脯样品进行品质评判, 蛋白质、脂肪、水分、氯化物及总糖含量分别采用GB/T 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB/T 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》及GB/T 9695.31—2008《肉制品 总糖含量测定》中的方法进行测定。

#### 1.3.2 电子鼻检测条件

称取1 g猪肉脯样本置于20 mL顶空气相瓶中, 使用双层保鲜膜密封后在室温下静置1 h后, 借助经活性炭过滤后的空气将样本顶空气体吹扫进入电子鼻系统中进行检测, 检测时间150 s。测量前检测系统提前预热0.5 h, 每个样本完成测定后, 使用过滤后的空气清洗电子鼻传感器阵列, 持续时间220 s, 使每个传感器的响应值( $G/G_0$ )( $G$ 为传感器接触到样品气体后的电导率,  $G_0$ 为传感器经过标准活性炭过滤气体清洗后的电导率)回到基线水平。电子鼻传感器阵列中10个传感器性能的描述如表1所示<sup>[26]</sup>。

表1 电子鼻传感器阵列及其性能特性<sup>[26]</sup>  
Table 1 Electronic nose sensor arrays used in this study and their performance characteristics<sup>[26]</sup>

序号	传感器	性能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对氨水、芳香类化合物灵敏
4	W6S	对氢气有选择性
5	W5C	对烷烃、芳香类化合物和弱极性化合物灵敏
6	W1S	对甲烷等短链烷烃灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇、醛、醚等灵敏
9	W2W	对芳香族化合物、有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

## 1.4 数据处理

采用Origin 9.0和MATLAB R2019b软件对数据进行统计分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 猪肉脯理化指标分析

表2 12个品牌猪肉脯理化指标测定结果 ( $\bar{x} \pm s, n=9$ )

Table 2 Chemical composition and quality grading of 12 brands of dried pork slices ( $\bar{x} \pm s, n=9$ )

样品编号	蛋白质含量/(g/100 g)	水分含量/(g/100 g)	氯化物含量/(g/100 g)	脂肪含量/(g/100 g)	总糖含量/(g/100 g)	等级
1	27.32±0.46 <sup>e</sup>	18.73±0.25 <sup>f</sup>	2.33±0.41 <sup>mi</sup>	3.52±0.46 <sup>b</sup>	32.00±0.04 <sup>i</sup>	不合格
2	22.65±0.46 <sup>f</sup>	18.20±0.36 <sup>ef</sup>	2.18±0.11 <sup>a</sup>	4.86±0.36 <sup>cd</sup>	28.00±0.01 <sup>g</sup>	不合格
3	39.40±0.46 <sup>b</sup>	15.03±0.35 <sup>d</sup>	2.34±0.02 <sup>ml</sup>	5.89±0.61 <sup>c</sup>	34.00±0.02 <sup>a</sup>	特级
4	31.20±0.54 <sup>c</sup>	16.53±0.55 <sup>bc</sup>	2.40±0.11 <sup>f</sup>	4.49±0.49 <sup>d</sup>	30.00±0.01 <sup>e</sup>	优级
5	22.47±0.23 <sup>h</sup>	18.36±0.51 <sup>ef</sup>	2.26±0.02 <sup>b</sup>	2.71±0.37 <sup>f</sup>	26.00±0.02 <sup>k</sup>	不合格
6	27.36±0.46 <sup>e</sup>	17.83±0.58 <sup>ef</sup>	2.38±0.02 <sup>fl</sup>	5.30±0.40 <sup>bc</sup>	34.00±0.02 <sup>a</sup>	不合格
7	28.57±0.70 <sup>d</sup>	17.46±0.64 <sup>de</sup>	2.30±0.11 <sup>e</sup>	5.20±0.30 <sup>bc</sup>	30.00±0.01 <sup>e</sup>	不合格
8	29.78±0.09 <sup>d</sup>	18.30±0.62 <sup>ef</sup>	2.36±0.02 <sup>bl</sup>	5.75±0.28 <sup>c</sup>	26.00±0.02 <sup>k</sup>	合格
9	25.51±0.46 <sup>g</sup>	18.77±0.46 <sup>f</sup>	2.32±0.02 <sup>e</sup>	4.36±0.44 <sup>d</sup>	32.00±0.02 <sup>i</sup>	不合格
10	32.55±0.09 <sup>c</sup>	17.73±0.61 <sup>e</sup>	2.25±0.11 <sup>f</sup>	3.24±0.03 <sup>h</sup>	35.00±0.01 <sup>c</sup>	优级
11	33.05±0.54 <sup>b</sup>	16.80±0.40 <sup>cd</sup>	2.38±0.02 <sup>fl</sup>	5.67±0.50 <sup>c</sup>	38.00±0.02 <sup>b</sup>	优级
12	32.91±0.46 <sup>c</sup>	15.72±0.61 <sup>de</sup>	2.38±0.30 <sup>fl</sup>	5.53±0.30 <sup>bc</sup>	38.00±0.03 <sup>b</sup>	优级

注：同列小写字母不同，表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

由表2可知：12个品牌猪肉脯水分含量均在20 g/100 g以下，符合猪肉脯产品质量要求；氯化物含量小于5 g/100 g，符合生产要求；蛋白质含量差异较大，最小值仅为22.47 g/100 g，依据GB/T 31406—2015对肉脯蛋白质含量的要求 ( $\geq 28$  g/100 g)，所测猪肉脯中有约一半产品未达标，只有3号样本达到特级标准；所有猪肉脯样本脂肪含量均小于20 g/100 g，符合产品的质量要求；另外，猪肉脯样本总糖含量均值为31.92 g/100 g，部分猪肉脯总糖含量甚至低于30 g/100 g（特级），均符合GB/T 31406—2015要求的最高限定值 ( $\leq 35$  g/100 g)。依据GB/T 31406—2015理化指标要求结合猪肉脯样品的实际理化指标值，可将样品划分为表1中对应的等级，7号样品蛋白质含量平均值虽然高于28 g/100 g，但对应标准偏差较大，且部分样本的蛋白质含量低于28 g/100 g，故将7号样本划分为不合格品。本研究采集的12个品牌猪肉脯样本中有6个品牌不合格，不合格率较高。

### 2.2 猪肉脯电子鼻风味分析

以第1批次的样品为例，电子鼻检测猪肉脯的风味信号响应曲线如图1所示，电子鼻设备中各传感器信号在120 s后基本趋向于稳定，截取电子鼻信号响应时间曲线中120~150 s时间段的平均值作为电子鼻的最终表征值，然后使用10个电子鼻传感器阵列信号作响应雷达图。

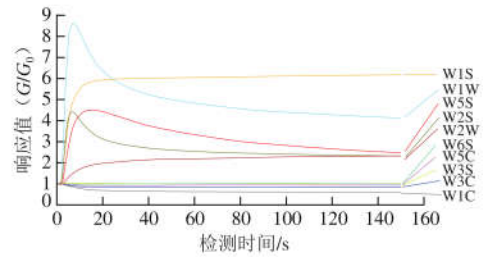


图1 猪肉脯的电子鼻检测响应曲线

Fig. 1 Electronic nose response curves for dried pork slices

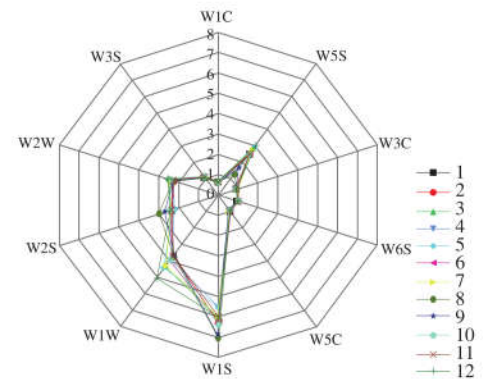


图2 12个品牌猪肉脯电子鼻响应值雷达图

Fig. 2 Radar map of electronic nose responses to 12 brands of dried pork slices

由图2可知，12个品牌猪肉脯样本的信号响应基本相似，其中传感器W1S、W1W、W5S响应最为敏感，对应响应值均大于5倍初始值 ( $G_0$ )，响应较微弱的传感器有W1C、W3C、W5C。依据电子鼻传感器阵列中10个传感器性能的描述 (表1)可知，猪肉脯VOCs组分中含有芳香族化合物、硫化物、烷烃和一些弱极性化合物；W2S的响应值 ( $G/G_0$ ) 大于2，表明VOCs中含有醇、醛及醚等物质。由于电子鼻的响应信号无法直观获得VOCs组分的空间分布信息，因此，需要借助模式识别方法进行进一步分析。

### 2.3 猪肉脯品质判别

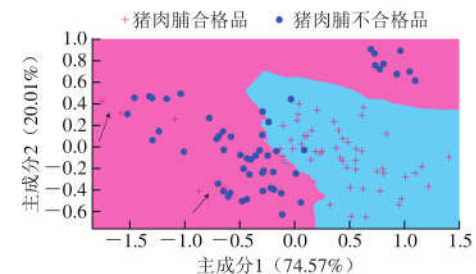


图3 电子鼻响应值的k最近邻分类模型

Fig. 3 k-Nearest neighbor classification model based on electronic nose response values

主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是通过正交变换对一系列可能相关的变量值进行线性变

换,从而投影为一系列线性不相关变量的值,这些不相关变量称为主成分变量,常用于特征提取和数据降维,便于观察样品在空间的分布情况。将12个品牌共108个猪肉脯样本的电子鼻响应特征值作为表征变量,由于归为合格等级的仅有8号品牌,特级仅有3号品牌,其余样品属于优级或不合格产品,为便于分析将样本划分为合格品与不合格品,即合格品为品牌编号3、4、8、10、11、12的样品,其余品牌均为不合格样品。

选取样本电子鼻响应曲线中120~150 s时间段内稳定数据的平均值作为传感器响应值,最终每个样本品质属性由10个特征值(即10个传感器响应值)表征,所有样本形成108×10的二维矩阵,采用 $k$ 最近邻算法进一步分析,数据经PCA处理后取前2个主成分得分作为变量参与建模,对应的贡献率分别为74.57%、20.01%(累积贡献率为94.58%),表明前2个主成分能够表征大部分的原始数据信息。由于获得的样本数量较少,故不将样本划分为校正集和预测集,而是将全部样品用于建立判别模型<sup>[27]</sup>,以此验证基于电子鼻技术判别猪肉脯品质的可行性。采用 $k$ 最近邻算法对PCA处理后的得分矩阵建立模型( $k=3$ ),以便观察不同品质猪肉脯样品的归属分布。由图3可知:大部分合格样品均归属于同一个聚集区域,仅有4号品牌的1个批次样品远离归属边界(图中箭头标记处);不合格样品分布区域较为广泛,原因可能是不同猪肉脯使用的原料和生产工艺差异引起VOCs组分不同<sup>[4,25]</sup>;合格样品集中有6个样品被误判,而不合格样品集中则有5个样品被误判,最终 $k$ 最近邻判别方法分类的理论准确率达89.81%,由此可知,基于电子鼻技术的猪肉脯品质判别具有一定的可行性,后期需增加独立样品数量,用以验证模型的实用型。

### 3 结论

采用电子鼻技术对不同品质猪肉脯的VOCs成分进行分析检测,辅以理化指标分析猪肉脯样品的品质属性,并建立基于风味指纹图谱的猪肉脯品质判别模型。结果表明,超过半数品牌猪肉脯样品的质量指标不符合国标要求,所用电子鼻系统检测出猪肉脯的主要风味成分为芳香族化合物、硫化物、烷烃及弱极性化合物,依据传感器阵列的表征值结合化学计量学方法建立的理论判别模型准确率达89.81%,表明该方法具有一定的应用前景,可为猪肉脯等相关肉制品品质的快速判别提供一种新思路。

#### 参考文献:

[1] CHENG Jingrong, LIU Xueming, ZHANG Yousheng, et al. Protective effects of *Momordica grosvenori* extract against lipid and protein oxidation-induced damage in dried minced pork slices[J]. *Meat Science*, 2017, 133: 26-35. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.04.238.  
[2] 陆扬. 靖江猪肉脯生产工艺的研究[J]. *中国调味品*, 2018, 43(4): 148-149. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2018.04.031.

[3] CHOI Y S, KU S K, PARK J D, et al. Effects of drying condition and binding agent on the quality characteristics of ground dried-pork meat products[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2015, 35(5): 597-603. DOI:10.5851/kosfa.2015.35.5.597.  
[4] CVIKOVÁ P, JURAJ U, KUNOVÁ S, et al. Chemical and physical parameters of dried salted pork meat[J]. *Potravinarstvo*, 2016, 10(1): 418-423. DOI:10.5219/632.  
[5] DASHMAA D, CHO B W, ODKHUU G, et al. Meat quality and volatile flavor traits of Duroc, Berkshire and Yorksire breeds[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2011, 31(6): 807-816. DOI:10.5851/KOSFA.2011.31.6.807.  
[6] HOU Miaomiao, LIU Dongmei, XU Xinglian, et al. Effect of postmortem aging time on flavor profile of stewed pork rib broth[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 1449-1462. DOI:10.1080/10942912.2018.1479859.  
[7] BILLER E, BOSELLI E, OBJEDZINSKI M, et al. The profile of volatile compounds in the outer and inner parts of broiled pork neck is strongly influenced by the acetic-acid marination conditions[J]. *Meat Science*, 2016, 121: 292-301. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.06.029.  
[8] MARTIN G A, ARROYO M N, RODRIGUEZ E V, et al. Use of a non-destructive sampling method for characterization of Iberian cured ham breed and feeding regime using GC-IMS[J]. *Meat Science*, 2019, 152: 146-154. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.02.018.  
[9] TIAN Xing, LI Zongjun, CHAO Yuzhou, et al. Evaluation by electronic tongue and headspace-GC-IMS analyses of the flavor compounds in dry-cured pork with different salt content[J]. *Food Research International*, 2020, 137(7): 1329-1336. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109456.  
[10] CHEN Mingjie, CHEN Tong, QI Xingpu, et al. Analyzing changes of volatile components in dried pork slice by gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2020, 18(1): 328-335. DOI:10.1080/19476337.2020.1752805.  
[11] 姚芳, 张静, 刘靖, 等. 肉脯加工中风味物质的研究[J]. *中国调味品*, 2018, 43(2): 179-183. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2018.02.043.  
[12] 陈美链. 微波干燥条件对乌龙茶风味猪肉脯品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(3): 140-141. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.03.044.  
[13] 蔡金龙, 万里遥, 石秀清. 酱香味猪肉脯的研发[J]. *肉类工业*, 2017(6): 1-5. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2017.06.001.  
[14] 高绍金, 李金娜, 李一博, 等. 海带猪肉脯的研制[J]. *肉类工业*, 2017(9): 7-9. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2017.09.002.  
[15] 谢意通, 黄子鸣, 苏伟明, 等. 茶香型乌鱼肉脯的工艺研究及优化[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(5): 128-133. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2019.05.023.  
[16] 詹飞丽, 王亚萍, 邵建峰, 等. 双色蔬菜鸡肉糜脯加工工艺研究[J]. *肉类工业*, 2019(9): 1-4. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2019.09.001.  
[17] 孙宝国, 王静. 中国传统食品现代化[J]. *中国工程科学*, 2013, 15(4): 4-8. DOI:10.3969/j.issn.1009-1742.2013.04.003.  
[18] PENG Yankun, DHAKAL S. Optical methods and techniques for meat quality inspection[J]. *Transactions of the Asabe*, 2015, 58: 1371-1386. DOI:10.13031/trans.58.11004.  
[19] 蔡金龙, 王欲翠, 向红. 猪肉脯加工品质及其保藏研究进展[J]. *肉类工业*, 2017(8): 53-57. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2017.08.013.  
[20] JIA Wenshen, LIANG Gang, WANG Yalei, et al. Electronic noses as a powerful tool for assessing meat quality: a mini review[J]. *Food Analytical Methods*, 2018, 11(10): 2916-2924. DOI:10.1007/s12161-018-1283-1.  
[21] SONG Shiqing, LI Fan, XU Xiaodong, et al. Aroma patterns characterization of braised pork obtained from a novel ingredient by sensory-guided analysis and gas-chromatography-olfactometry[J]. *Foods*, 2019, 8(3): 87-105. DOI:10.3390/foods8030087.  
[22] WOJNOWSKI W, MAJCHRZAK T, DYMERSKI T, et al. Electronic noses: powerful tools in meat quality assessment[J]. *Meat Science*, 2017, 131: 119-131. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.04.240.  
[23] 乔森, 张磊, 母芳林. 基于电子鼻与LightGBM算法判别葡萄酒品种的研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(5): 76-79. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.014.  
[24] 吴忠红, 谭慧林, 赵雅霞, 等. GC-MS结合电子鼻分析甜瓜籽油挥发性风味成分[J]. *中国油脂*, 2020, 45(12): 28-33. DOI:10.12166/j.zgyz.1003-7969/2020.12.006.  
[25] 张宾惠, 高嵩, 贾飞, 等. 基于电子鼻技术结合化学计量法鉴别北京油鸡肉[J]. *肉类研究*, 2020, 34(2): 53-59. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191113-275.  
[26] 田晓静. 基于电子鼻和电子舌的羊肉品质检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 14.  
[27] 陈通, 吴志远, 王正云, 等. 基于气相离子迁移谱和化学计量学方法判别肉的种类[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(7): 221-226. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.07.029.