

# 电子鼻和电子舌结合模糊数学感官评价优化培根烟熏工艺

王琼<sup>1,2</sup>, 徐宝才<sup>2,3</sup>, 于海<sup>1</sup>, 李聪<sup>2,4</sup>

(<sup>1</sup>扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225009; <sup>2</sup>雨润肉品加工与质量控制国家重点实验室, 南京 211806; <sup>3</sup>江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 南京 210095; <sup>4</sup>马鞍山雨润食品有限公司, 安徽马鞍山 243071)

**摘要:**【目的】采用电子鼻嗅闻指纹分析、电子舌滋味指纹分析及模糊数学感官评价, 选出一种烟熏液使其在合适的添加量下制作的培根能够达到传统木屑烟熏培根的风味, 同时探寻利用电子鼻和电子舌法优化培根烟熏工艺的可行性和准确性。【方法】采用电子鼻和电子舌法, 通过主成分分析图对 3 种不同浓度烟熏液制作的培根与传统木屑烟熏的培根从整体气味和滋味上进行对比分析, 结合模糊数学感官评价分析并验证电子鼻和电子舌的结果。【结果】对电子鼻数据进行主成分分析, 主成分 1 和 2 的累积贡献率为 99.760%, 大于 85%, 说明主成分 1 和主成分 2 已经包含了很大的信息量, 能够反映样品的整体信息。4 号 (3‰名花 MH-S0152) 样品的分布区域与 1 号 (木屑烟熏) 样品的分布区域分离较远, 在气味上差别明显。5 号 (1‰名花 SY-S0968)、7 号 (3‰名花 SY-S0968)、9 号 (2‰金牛山 II 号) 和 10 号 (3‰金牛山 II 号) 样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较近, 在气味上它们与 1 号样品比较接近。6 号 (2‰名花 SY-S0968) 样品的分布区域与 1 号样品的分布区域有部分重叠, 说明 6 号样品在气味上与 1 号样品基本一致, 即添加 2‰的广州名花 SY-S0968 烟熏液制作的培根与传统木屑烟熏的培根在气味上基本一致。对电子舌数据进行主成分分析, 主成分 1 和 2 的累积贡献率为 88.903%, 大于 85%, 能够反映样品的整体信息。2 号 (1‰名花 MH-S0152)、3 号 (2‰名花 MH-S0152) 和 4 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较远, 在滋味上与 1 号样品差别明显。8 号 (1‰金牛山 II 号)、9 号、10 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较近, 在滋味上它们与 1 号样品比较接近。5 号、6 号、7 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离最近, 说明在滋味上它们与 1 号样品最接近, 即添加广州名花 SY-S0968 烟熏液制作的培根与传统木屑烟熏的培根在滋味上最接近。在培根模糊数学感官评价的综合得分和烟熏风味描述中, 1 号、6 号、7 号和 10 号样品的综合得分比较接近, 分值都大于 8, 评价等级为很好, 风味描述都为烟熏味浓郁, 口感好。其中, 6 号样品与 1 号样品的模糊数学感官评价的综合得分最接近, 仅相差 0.05, 与电子鼻和电子舌法的分析结果基本一致。【结论】通过电子鼻和电子舌法的主成分分析, 得出添加 2‰广州名花 SY-S0968 烟熏液制作的培根与木屑烟熏培根在气味上基本一致, 在滋味上最接近, 可以用来代替传统的木屑烟熏培根。其模糊数学感官评价法的综合得分与木屑烟熏培根最接近, 与电子鼻、电子舌法结果基本一致, 验证了电子鼻和电子舌法优化培根烟熏工艺的可行性和准确性, 从整体风味上为肉制品的生产工艺优化提供了参考。

**关键词:** 培根; 电子鼻; 电子舌; 模糊数学感官评价法

## Electronic Nose and Electronic Tongue Combined with Fuzzy Mathematics Sensory Evaluation to Optimize Bacon Smoking Procedure

WANG Qiong<sup>1,2</sup>, XU BaoCai<sup>2,3</sup>, YU Hai<sup>1</sup>, LI Cong<sup>2,4</sup>

收稿日期: 2016-02-29; 接受日期: 2016-10-18

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划 (2014BAD04B07)、扬州大学“新世纪人才工程”项目

联系方式: 王琼, Tel: 18752095457; E-mail: 1198052725@qq.com. 通信作者徐宝才, Tel: 13272006786; E-mail: xbc@yurun.com. 通信作者于海, Tel: 13815808544; E-mail: haiyu0078@163.com

<sup>1</sup>School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu; <sup>2</sup>State Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Yurun Group, Nanjing 211806; <sup>3</sup>Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Nanjing 210095; <sup>4</sup>Maanshan Yurun Food Company, Ltd., Yurun Group, Maanshan 243071, Anhui)

**Abstract:** 【Objective】 Using Electronic Nose (E-nose), Electronic tongue (E-tongue) and Fuzzy Mathematics Sensory Evaluation to pick out a bacon smoked by a certain brand and concentration of smoking liquid which resembles the traditional wood chips smoking bacon in flavor, and study the feasibility and accuracy of optimizing the bacon smoking procedure with E-nose and E-tongue. 【Method】 Bacons made with three brands and three concentrations of smoking liquid and traditional wood chips smoking were analyzed by E-nose and E-tongue and verified with fuzzy mathematics sensory evaluation. 【Result】 After analyzing the E-nose Principle Component Analysis (PCA) chart, the accumulating contribution of Principle Components (PC) 1 and 2 is 99.760%, much larger than 85%, which means PC1 and PC2 have contained enough information to reflect the whole sample information. The distribution areas of sample 4 (3‰ Minghua MH-SO152) and sample 1 (woodchips smoked) are obviously separated, which suggests that the odor of the two samples are clearly different. However, the distribution areas of sample 5 (1‰ Minghua SY-SO968), sample 7 (3‰ Minghua SY-SO968), sample 9 (2‰ Jinniushan II), and sample 10 (3‰ Jinniushan II) are close to that of sample 1, which means their smell is close to sample 1 as well. The distribution areas of sample 6 (2‰ Minghua SY-SO968) and sample 1 overlap partially, which means the smell of sample 6 (2‰ Minghua SY-SO968) and sample 1 (wood chips smoked) are basically the same, thus the bacon added with 2‰ Guangzhou Minghua SY-SO968 smoking liquid smells basically the same as the traditional one. By analyzing the E-tongue Principle Component Analysis (PCA) chart, the accumulating contribution of Principle Components 1 and 2 is 88.903%, larger than 85%, enough to reflect the general sample information. The distribution areas of sample 2 (1‰ Minghua MH-SO152), sample 3 (2‰ Minghua MH-SO152) and sample 4 (3‰ Minghua MH-SO152) are far away from sample 1, which shows that their taste can be effectively distinguished from woodchips smoked sample 1. And the distribution areas of sample 8 (1‰ Jinniushan II), sample 9 (2‰ Jinniushan II) and sample 10 (3‰ Jinniushan II) locate near sample 1, thus they taste relatively like sample 1. The distribution areas of samples 5 (1‰ Minghua SY-SO968), 6, and 7 (3‰ Minghua SY-SO968) are closest to sample 1, which means they taste closest to sample 1, thus the bacons added with Guangzhou Minghua SY-SO968 smoking liquid taste closest to the traditional one. In Fuzzy Mathematic Sensory Evaluation and flavor description, the comprehensive scores of samples 1, 6, 7 and 10 (3‰ Jinniushan II) are close and higher than sample 8, and described as heavy smoking flavor and good taste. The Fuzzy Mathematic Sensory Evaluation score of sample 6 is closest to sample 1, and the difference is merely 0.05, which verifies the E-nose and E-tongue results. 【Conclusion】 After analyzing the E-nose and E-tongue Principle Component Analysis charts, the bacon added with 2‰ Guangzhou Minghua SY-SO968 smoking liquid smells basically the same as the traditional one, and tastes closest as well, which means it can be used to replace the traditional smoking technique. Fussy mathematics sensory evaluation scores verified the fact and proved E-nose and E-tongue can be used to optimize bacon smoking procedure efficiently, thus provides a reference method to optimize meat production technique from flavor perspective.

**Key words:** bacon; electronic nose; electronic tongue; fuzzy mathematics sensory evaluation

## 0 引言

【研究意义】培根 (bacon) 是将畜肉或禽肉进行去骨 (或不去骨)、注射 (或不注射)、腌制、滚揉 (或不滚揉)、成型 (或不成型)、干燥、烟熏 (或不烟熏)、烘烤等工艺制成的西式肉制品, 其肥瘦均匀, 风味独特, 深受人们的喜爱。培根生产工艺比较复杂, 木屑烟熏又会产生较多的 3,4-苯并芘等致癌物质, 由植物提纯精制而成的烟熏液则几乎不含有致癌物质。使用烟熏液代替传统的木屑烟熏, 不仅能够降低培根中多环芳烃类致癌物质的含量, 而且便于进行

现代工业自动化的生产, 提高培根的生产效率。【前人研究进展】风味是肉制品的重要食用品质之一, 由气味和滋味两部分组成。大量研究资料表明, 气味是挥发性风味物质相互作用的最终结果, 而气味的大小不仅与风味物质的种类、含量和人的感觉阈值有关, 同时还与基质密切相关, 滋味亦然。目前, 对食品的风味分析大多采用气相色谱-质谱联用法 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)<sup>[1]</sup>和感官评价法。气质联用法的检测周期很长, 成本又较高, 测试结果也不能代表样品的整体气味, 感官评价法会因个人喜好的偏差带来误差。目前以风味为导

向和评价指标对生产工艺进行优化未见报道，主要原因其一是评价指标难以确定，风味为综合性描述，而非单一性描述，与传统的单一或几个指标的综合评价方法不同，挥发性风味成分、含量以及物质对整体风味的影响不能仅仅用几个指标进行评价；其二是评判优劣不易把握，即风味的好坏难于界定；其三是受客观评价手段的限制，即检测仪器的限制。由气敏传感器阵列、信号处理系统和模式识别系统 3 部分组成的电子鼻，能够模拟人的鼻子，将“闻到”目标物的气息从不同的气味测到不同的信号，再与数据库中的信号进行对比分析，从而进行判断和识别<sup>[2-3]</sup>。相较于人的嗅觉，电子鼻的测定结果更加客观。目前，电子鼻主要应用于鸡肉<sup>[4]</sup>、猪肉、羊肉<sup>[5]</sup>等肉制品品质的检测和区分<sup>[6-8]</sup>，也有少量用于香精香料的检测<sup>[9-10]</sup>。电子舌能够模拟人的舌头，“品尝到”目标物的滋味信息，经过软件分析处理，最终用来反映检测对象之间的整体特征差异<sup>[11]</sup>。电子舌有安全、快速、无疲劳的优点，可以代替感官评定人员对食品滋味进行评定，主要用于肉品的新鲜度和纯度鉴定<sup>[12-13]</sup>、对肉制品添加成分的定量分析<sup>[14]</sup>、肉品种类和部位的区分<sup>[15-16]</sup>、肉品卫生的监测<sup>[17]</sup>。食品的感官品质一般包括外观、气味、滋味和质构等方面，在描述中这些属性难以划分具体界限，具有一定的模糊性<sup>[18]</sup>。模糊数学可以将这些属性定量化，并进行数学描述，从而减少人的主观性影响，可以比较全面地反映食品感官品质的信息<sup>[19-20]</sup>。模糊数学感官评价法综合考虑了各种因素对整体效果的综合贡献，能够对食品的品质作出客观、准确评价。潘志民等<sup>[21]</sup>用模糊数学感官评价法优化了培根的加工工艺；LEE 等<sup>[22]</sup>将模糊评价应用于香肠的感官评价。【本研究切入点】目前为止，虽已有关于培根工艺优化的相关报道，但往往局限于通过单一的感官评价来对培根进行工艺优化。利用电子鼻和电子舌对培根的风味分析未见报道，在整体风味上对生产工艺的优化也鲜有报道。【拟解决的关键问题】本研究以前期的预试验和优化的电子鼻、电子舌最佳检测条件为基础，对添加烟熏液制作的培根样品进行主成分分析（principle component analysis, PCA），结合模糊数学感官评价法，选出与传统木屑烟熏风味最接近的烟熏液，来代替传统的木屑烟熏工艺，使培根生产更加简洁高效。同时探寻利用电子鼻和电子舌在整体风味上优化生产工艺的可行性，以期能够简便、快捷、准确的优化生产工艺。

## 1 材料与amp;方法

试验于 2015 年 9 月至 2016 年 2 月在南京市雨润公司肉制品国家重点实验室进行。

### 1.1 试验材料与试剂

猪颈背肌肉，雨润公司；木屑（果木混合）；烟熏液 MH-SO152，广州名花香料有限公司；烟熏液 SY-SO968，广州名花香料有限公司；金牛山 II 号烟熏液，济南市历城区金牛山食品香料厂；腌制液，雨润配方。

### 1.2 试验仪器与设备

ME204E-02 型电子天平（凯特勒托利多公司）；SP-01P 型真空泵（天津奥特赛恩斯公司），GR21GIII 型离心机（中国天美科学仪器有限公司），ETS-D5 型磁力搅拌器（广州仪科实验室技术有限公司），FOX 4000 电子鼻系统（法国 Alpha M.O.S.公司），Alpha Astree 型电子舌系统（法国 Alpha M.O.S.公司）。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 培根的生产工艺

1.3.1.1 传统生产工艺 以猪颈背肌肉为原料，将其分割为 250 g 的块状，注射腌制液，注射率为 40%，然后间歇真空滚揉 8 h（工作 15 min、间歇 15 min），出机后放在 0—4℃的库中静腌 12 h，将静置好的原料肉通过灌装机灌装后进行压模，炉温 72℃蒸煮 2 h，脱模后在 65℃炉温下干燥 60 min，然后在 65℃炉温条件下烟熏 30 min，冷却后速冻切片即可。

1.3.1.2 改进后生产工艺 以猪颈背肌肉为原料，将其分割为 250 g 的块状，注射腌制液和烟熏液，烟熏液添加情况如表 1 所示。注射率为 40%，然后间歇真空滚揉 8 h（工作 15 min、间歇 15 min），出机后放在 0—4℃的库中静腌 12 h，将静置好的原料肉通过灌装机灌装后进行压模，炉温 72℃蒸煮 2 h，脱模后在 65℃炉温下干燥 60 min，冷却后速冻切片即可。

1.3.2 样品前处理方法 将 1—10 号样品进行油煎，煎制温度 200℃，煎制时间 1 min<sup>[23]</sup>。电子鼻：将油煎后的样品用绞肉机绞碎，精确称取 2.50 g 培根肉糜，放入 10 mL 的电子鼻专用顶空瓶中待测，每个样品做 5 组平行试验。电子舌：将油煎后的样品用绞肉机绞碎，精确称取 10.00 g 培根肉糜，放入 150 mL 烧杯中，倒入 120 mL 浸提液（去离子水），使用电磁搅拌浸提 20 min，然后冷冻离心 5 min（4℃，8 000 r/min），

表 1 样品的烟熏液添加情况

Table 1 Information of smoking liquid added in different samples

样品编号 Sample No.	烟熏液品牌 Smoking liquid brands	烟熏液型号 Smoking liquid models	烟熏液添加量 Smoking liquid concentrations
1	无 None	无 None	无 None
2	广州名花 Guangzhou Minghua	MH-SO152	1‰
3	广州名花 Guangzhou Minghua	MH-SO152	2‰
4	广州名花 Guangzhou Minghua	MH-SO152	3‰
5	广州名花 Guangzhou Minghua	SY-SO968	1‰
6	广州名花 Guangzhou Minghua	SY-SO968	2‰
7	广州名花 Guangzhou Minghua	SY-SO968	3‰
8	金牛山 Jinniushan	II 号	1‰
9	金牛山 Jinniushan	II 号	2‰
10	金牛山 Jinniushan	II 号	3‰

将上清液用双层中速定量滤纸抽滤, 滤液倒入 150 mL 电子舌专用烧杯中待测, 每个样品做 5 组平行试验。感官评价: 将油煎后的每个样品都等分为 10 份, 挑选 10 名食品专业学生进行感官评价。

**1.3.3 电子鼻检测方法** 电子鼻检测器经过校准后, 将前处理好的样品按顺序放入电子鼻样品托盘中进行检测分析。设定已经优化好的电子鼻分析参数: 进样量 500  $\mu\text{L}$ ; 顶空加热温度 65 $^{\circ}\text{C}$ ; 顶空加热时间 180 s; 延滞采集时间 600 s, 数据采集时间 120 s; 采集周期 1.0 s; 载气为高纯空气, 流速 150  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , 顶空注射体积 500  $\mu\text{L}$ , 注射速度 500  $\mu\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ , 注射总体积 2.5 mL。

**1.3.4 电子舌检测方法** 电子舌传感器经过活化校准后, 将前处理好的样品按顺序放入电子舌样品

托盘中进行检测分析。设定电子舌分析参数: 数据采集时间 120 s, 采集周期 1.0 s, 采集延迟 0 s, 搅拌速率 1  $\text{r}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

**1.3.5 感官评价方法** 挑选 10 名 (5 男 5 女) 经过专门感官培训的食品专业学生组成评定小组, 对培根的色泽、质地、气味、滋味和回味 5 个因素进行感官评价, 从差、一般、好、很好 4 个等级进行评分 (表 2)。所有待评价样品统一进行评价, 样品用统一容器盛装, 随机进行取样。担任评价员的基本条件包括: 身体健康、无任何感觉方面的缺陷; 个人卫生条件良好、无明显个人气味; 对感官分析具有浓厚的兴趣; 不嗜烟酒, 且在检测前 1 h 内不抽烟不吃东西, 不使用任何有气味的化妆品; 评价过程中禁止相互讨论, 以 10 min 为时间间隔单位, 评价完一个样品后以清水漱口<sup>[24]</sup>。

### 1.3.6 模糊数学模型的建立

**1.3.6.1 因素集、评语集和加权集的建立** 因素集是影响被判对象的指标集合, 本研究的因素为培根的色泽 ( $U_1$ )、质地 ( $U_2$ )、气味 ( $U_3$ )、滋味 ( $U_4$ )、回味 ( $U_5$ ), 如表 2 所示, 从而得出培根的因素集  $U=\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ <sup>[21,25]</sup>。

评语集是参评者对评价指标反馈信息的集合, 确定评语集即是确定需要评价的等级。评价小组讨论得出, 培根的评价等级为很好 ( $V_1$ )、好 ( $V_2$ )、一般 ( $V_3$ )、差 ( $V_4$ ), 从而得出培根的评语集  $V=\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$ 。以 10 分制来打分, 得分  $>8$  分为很好, 得分 6—8 分为好, 得分 3—5 分为一般, 得分  $<3$  分为差<sup>[26]</sup>。试验中很好、好、一般、差 4 个等级分别对应其中间分值 9、7、4、1 这 4 个分值, 即评价等级集  $K=\{k_1, k_2, k_3, k_4\}=\{9, 7, 4, 1\}$ 。

表 2 培根感官评价标准

Table 2 Standards of bacon sensory evaluation

等级 Grade	色泽 Colour	质地 Texture	气味 Odour	滋味 Taste	回味 Aftertaste
很好 (9—10 分) Excellent	切面有光泽, 呈鲜红或玫瑰红, 脂肪白色 Glossy profile, scarlet or rosy muscle, white fat	组织致密, 弹性好, 硬实 感好 Tight, elastic, hard	有培根特有的芳香, 香气浓郁 Heavy unique bacon aroma	滋味鲜美, 芳香, 咸淡适中 Delicious and aromatic, medium salt	回味悠长 Long
好 (6—8 分) Good	切面有光泽, 肌肉灰红色, 脂肪略有黄色 Glossy profile, dark red muscle, yellowish fat	紧密, 硬实 Tight, hard	香气好 Good aroma	滋味一般, 芳香, 咸淡适中 Ordinary and aromatic, medium salt	回味好 Good
一般 (3—5 分) Ordinary	切面光泽不亮, 肌肉暗红色, 脂肪发黄 Grey profile, dark red muscle, yellow fat	较紧密, 较硬实, 弹性一般 Less tight, less hard, less elastic	有香气, 但较淡 Light aroma	滋味一般 Ordinary	略有回味 Slight
差 (0—2 分) Poor	切面光泽暗淡, 肌肉暗灰色, 脂肪发黄 Dark profile, grey muscle, yellow fat	较疏松 Loose	无香气 No aroma	滋味一般, 略有酸味 Ordinary but slightly sour	无回味 None

权重集就是评语集中各指标在总体感官品质中所占比重的集合，每一个评语集对应一个权重系数。根据各项指标对培根感官质量影响程度的不同，使用数学方法确定各项指标的权重量，权重量组成权重域，也就是模糊向量，用  $X$  表示。影响培根感官品质的因素主要是色泽、质地、气味、滋味和回味 5 个指标。

采用用户调查法来确定权重，请 20 位消费者对培根的色泽、质地、气味、滋味和回味各因素在所有因素中所占重要性程度的比率进行分析评价，结果如表 3 所示。得出色泽的权重为 0.2，质地的权重为 0.1，气味的权重为 0.3，滋味的权重为 0.3，回味的权重为 0.1，从而得出培根的权重集为  $X=\{0.2, 0.1, 0.3, 0.3, 0.1\}$ 。

表 3 培根各因素重要性程度分析

Table 3 Importance degree analysis of each factor of bacon

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均值 Average
色泽 Colour	0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
质地 Texture	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0	0.2	0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
气味 Odour	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3
滋味 Taste	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
回味 Aftertaste	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0.2	0.2	0	0.1	0.1	0.1	0.1

1.3.6.2 模糊矩阵的确立和模糊转换 先对 10 名评价员的感官评价的各指标分数进行统计，然后将不同等级的票数除以 10 得到模糊关系矩阵  $R$ 。对培根的感官评价结果进行处理，将质量因素权重集  $X$  与模糊关系矩阵  $R$  合成，得到模糊关系评价集  $Y=X \times R$ ，从而得出第  $i$  个培根样品的评价结果为  $Y_i=X \times R_i$  ( $i$  为 1—10) [21]。最后引进综合评分矩阵  $T$ ，对模糊关系评价集  $Y$  进行处理，根据感官评价的特殊性，评价等级集  $K=\{9, 7, 4, 1\}$ ，得到培根样品的模糊综合评价总分  $T=Y \times K$ 。

#### 1.4 统计分析方法

利用电子鼻和电子舌自身携带的 alphasoft 软件，对培根样品采集的数据进行主成分分析 (PCA)，以数据聚集程度和区别指数为依据对培根样品进行定性判别。模糊数学感官评定的结果采用 Excel 2010 进行处理。

## 2 结果

### 2.1 不同培根样品电子鼻分析结果

利用电子鼻自带的分析软件对获得的培根样品信号数据进行主成分分析，以主成分 1 为横坐标、主成分 2 为纵坐标，建立前两个主成分的二维图，如图 1 所示。从图 1 中可以得到主成分 1 的贡献率为 98.258%，主成分 2 的贡献率为 1.502%，主成分 1 和 2 的累积贡献率为 99.760%，大于 85%，说明主成分 1 和主成分 2 已经包含了很大的信息量，能够反映样品

的整体信息。图 1 中主成分 1 的方差贡献率远远大于主成分 2 的方差贡献率，表明样品间在横坐标上的距离越大，其差异也越大；而样品间在纵坐标上的距离即使很大，由于主成分 2 的方差贡献率相对较小，其实际差异也不会很大。从图 1 可以看出，4 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较远，说明在气味上 4 号样品与 1 号样品差别明显。5 号、7 号、9 号、10 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较近，说明在气味上它们与 1 号样品比较接近。6 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域大部分重叠，说明在气味上 6 号样品与 1 号样品基本一致。

### 2.2 不同培根样品电子舌分析结果

利用电子舌自带的分析软件对获得的 10 个培根样品信号数据进行主成分分析，以主成分 1 为横坐标、主成分 2 为纵坐标，建立前两个主成分的二维图，如图 2 所示。从图 2 可以得出主成分 1 的贡献率为 69.331%，主成分 2 的贡献率为 19.572%，主成分 1 和 2 的累积贡献率为 88.903%，大于 85%，说明主成分 1 和主成分 2 已经包含了很大的信息量，能够反映样品的整体信息。从图 2 中纵坐标可以看出，所有样品的分布区域和 1 号样品的分布区域分离较近。从图 2 中横坐标可以看出 2 号、3 号、4 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较远，说明在滋味上它们与 1 号样品差别明显。8 号、9 号、10 号样品的分布区域与 1 号样品的分布区域分离较近，说明在滋味上它们与 1 号样品比较接近。5 号、6 号、7 号样品的

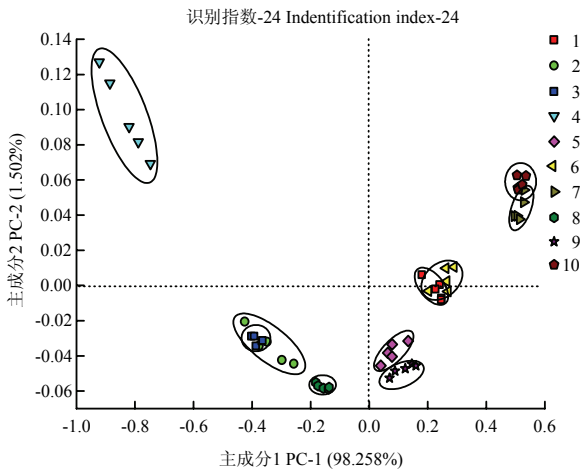


图 1 不同培根样品的主成分分析图

Fig. 1 PCA of different bacon samples

分布区域与 1 号样品的分布区域分离最近, 说明在滋味上它们与 1 号样品最接近。

2.3 不同培根样品的模糊感官评价结果

评价员在专门试验条件下对 10 个培根样品的 5 项指标进行评价, 将评价结果收集汇总后进行统计分析, 得出培根感官评价指标票数统计, 见表 4 所示。

由表 4 可知, 以 1 号培根样品的色泽为例, 7 人评 9—10 分, 2 人评 6—8 分, 1 人评 3—5 分, 0 人评 0—2 分, 则得到  $U_1=\{0.7, 0.2, 0.1, 0\}$ , 同理可得到  $U_2=\{0.7, 0.1, 0.2, 0\}$ ,  $U_3=\{0.9, 0.1, 0, 0\}$ ,  $U_4=\{0.8, 0.1, 0.1, 0\}$ ,  $U_5=\{0.8, 0.1, 0.1, 0\}$ 。将计算得出的

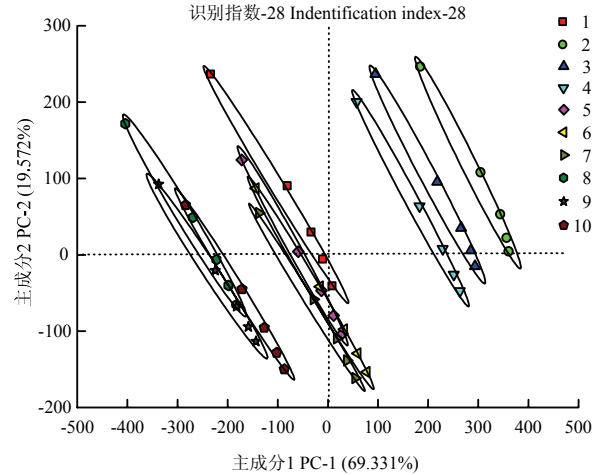


图 2 不同培根样品的主成分分析图

Fig. 2 PCA of different bacon samples

$U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ 、 $U_5$  5 个单因素模糊矩阵的评价结果写成一个矩阵, 即:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{pmatrix} \text{ 同理可得, } R_2 = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.1 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.6 & 0.3 & 0 & 0.1 \end{pmatrix} \text{ } R_4 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0 & 0.2 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

表 4 培根感官评价指标票数统计

Table 4 Sensory evaluation tally of different bacon samples

样品编号 Sample No.	色泽 20% Colour 20%				质地 10% Texture 10%				气味 30% Odour 30%				滋味 30% Taste 30%				回味 10% Aftertaste 10%			
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
1	7	2	1	0	7	1	2	0	9	1	0	0	8	1	1	0	8	1	1	0
2	6	1	2	1	7	2	1	0	5	1	3	1	1	3	3	3	5	3	1	1
3	7	1	1	1	7	2	1	0	3	2	3	2	0	2	3	5	6	3	0	1
4	7	0	2	1	8	1	1	0	2	2	3	3	0	1	3	6	6	2	1	1
5	7	2	1	0	7	1	2	0	5	1	2	2	6	2	1	1	4	3	1	2
6	7	2	0	1	7	1	2	0	8	1	1	0	9	1	0	0	7	1	2	0
7	7	1	2	0	7	2	1	0	8	1	1	0	8	1	1	0	7	2	1	0
8	7	1	1	1	7	2	1	0	5	2	2	1	5	2	1	2	4	1	3	2
9	7	2	0	1	8	1	1	0	6	1	2	1	5	3	1	1	5	3	1	1
10	7	1	1	1	8	1	1	0	7	2	1	0	8	1	1	0	7	1	2	0

$$R_5 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.1 & 0.2 & 0.2 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \end{pmatrix} \quad R_6 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.2 & 0 & 0.1 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_7 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{pmatrix} \quad R_8 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.1 & 0.3 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$R_9 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.2 & 0 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix} \quad R_{10} = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

已知培根 5 个指标的权重向量为  $X = \{0.2, 0.1, 0.3, 0.3, 0.1\}$ ，按照标准的模糊综合评判数学模型原理，用取大取小算法，会给评定结果带来误差，用普通矩阵乘法代替取大取小算法并按照综合评分公式计算综合评分就可以避免这种误差的产生。用矩阵乘法计算样品对各类的综合隶属度，根据公式  $Y = X \times R$ ，得到第一个培根样品的评价结果：

$$Y_1 = X \times R_1 = | 0.2, 0.1, 0.3, 0.3, 0.1 | \times \begin{pmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{即：} Y_1 = \{0.8, 0.12, 0.08, 0\}$$

同理可得  $Y_2 = \{0.42, 0.19, 0.24, 0.15\}$ ,  $Y_3 = \{0.36, 0.19, 0.21, 0.24\}$ ,  $Y_4 = \{0.34, 0.12, 0.24, 0.3\}$ ,  $Y_5 = \{0.58, 0.17, 0.14, 0.11\}$ ,  $Y_6 = \{0.79, 0.12, 0.09, 0\}$ ,  $Y_7 = \{0.76, 0.12, 0.12, 0\}$ ,  $Y_8 = \{0.55, 0.17, 0.15, 0.13\}$ ,  $Y_9 = \{0.6, 0.2, 0.11, 0.02\}$ ,  $Y_{10} = \{0.71, 0.16, 0.11, 0.2\}$ 。

模糊综合评价总分  $T = Y \times K$ ，由第 1 个样品的  $Y_1 = \{0.8, 0.12, 0.08, 0\}$ ，和评价等级集  $K = \{9, 7, 4, 1\}$ ，经计算得出：第 1 个培根样品的综合评分：

$$T_1 = | 0.8, 0.12, 0.08, 0 | \times \begin{pmatrix} 9 \\ 7 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = 8.36$$

同理可得， $T_2 = 6.16$ ,  $T_3 = 5.65$ ,  $T_4 = 5.16$ ,  $T_5 = 7.08$ ,  $T_6 = 8.31$ ,  $T_7 = 8.16$ ,  $T_8 = 6.87$ ,  $T_9 = 7.33$ ,  $T_{10} = 8.03$ 。

培根模糊数学感官评价的综合得分和评价等级见表 5，样品的综合得分越高说明其感官评价越好，样品的综合得分越低说明其感官评价越差。由表 5 可知，4 号样品模糊数学感官评价的综合得分最低，为 5.16，评价等级为一般，烟熏风味描述为烟熏味太重，口感很差。其次是 2 号和 3 号样品，分别是 6.16、5.65，烟熏风味描述分别为烟熏味略重和烟熏味重，口感不好。5 号和 8 号样品的综合得分比较接近，烟熏风味描述都为烟熏味较淡。1、6、7 和 10 号样品的综合得分比较接近，分值都大于 8，评价等级为很好，烟熏

表 5 培根模糊数学感官评价的综合得分和烟熏风味描述

Table 5 Bacon fuzzy mathematics sensory evaluation comprehensive scores and smoking flavor description

样品编号 Sample No.	模糊数学感官评价综合得分 Fuzzy mathematics sensory evaluation comprehensive scores	评价等级 Evaluation grade	烟熏风味描述 Smoking flavor description
1	8.36	很好 Excellent	烟熏味浓郁，口感好 Heavy smoking flavor, good taste
2	6.16	好 Good	烟熏味略重 Slightly over smoked
3	5.65	好 Good	烟熏味重，口感不好 Over smoked, poor taste
4	5.16	一般 Ordinary	烟熏味太重，口感很差 Over smoked, bad taste
5	7.08	好 Good	烟熏味较淡 Light smoking flavor
6	8.31	很好 Excellent	烟熏味浓郁，口感好 Heavy smoking flavor, good taste
7	8.16	很好 Excellent	烟熏味浓郁，口感好 Heavy smoking flavor, good taste
8	6.87	好 Good	烟熏味较淡 Light smoking flavor
9	7.33	好 Good	烟熏味略淡 Light smoking flavor
10	8.03	很好 Excellent	烟熏味浓郁，口感好 Heavy smoking flavor, good taste

风味描述都为烟熏味浓郁, 口感好。其中, 6 号样品与 1 号样品的模糊数学感官评价的综合得分最接近, 仅相差 0.05, 说明 6 号样品的风味与 1 号样品的风味最接近。

### 3 讨论

目前对食品风味分析大部分采用 GC-MS 的方法, 虽然可以详细分析出样品中大部分风味物质的种类和含量, 然后根据阈值等确定主要的风味物质, 但是无法从整体上对样品风味进行分析说明, 很难得到样品的整体风味轮廓。电子鼻和电子舌法可以从整体上对样品进行风味分析, 模拟出食品的整体风味轮廓。田怀香等<sup>[27]</sup>运用电子鼻采集鸡汤与添加不同物质的鸡肉香精的香气轮廓, 通过主成分分析 (PCA)、统计质量控制分析 (SQC) 等多元统计方法进行数据分析, 得出基本配方中添加小麦蛋白和大蒜粉的鸡肉香精风味和原始鸡汤最为接近。黄业传等<sup>[28]</sup>运用电子鼻分析皮下脂肪和肌内脂肪对猪肉风味的作用, 通过主成分分析 (PCA) 得出皮下脂肪的添加对猪肉整体风味的改变非常有限, 肌内脂肪对猪肉风味的作用远大于皮下脂肪。本研究采用的方法与以上方法类似, 运用电子鼻的主成分分析法对样品的整体气味进行分析。通过分析可以得出, 6 号样品的分布区域与参比样品 (1 号) 的分布区域大部分重叠, 说明在气味上 6 号样品与 1 号样品基本一致, 即添加 2% 的广州名花 SY-SO968 烟熏液制作的培根与传统木屑烟熏的培根在气味上基本一致。韩剑众等<sup>[29]</sup>利用电子舌对鲈鱼、鳊鱼、鲫鱼 3 种淡水鱼和马鲛鱼、小黄鱼、鲳鱼 3 种海水鱼进行评价试验, 结果表明鱼在不同时间点的品质特性可以用电子舌加以有效区分, 据此可以较准确地表征鱼类新鲜度的变化; 电子舌不仅可以有效区分淡水鱼和海水鱼, 而且还可以辨识不同品种淡水鱼或海水鱼之间的差异。田晓静等<sup>[30]</sup>建立了羊肉纯度电子舌快速检测方法, 采用主成分分析和典则判别分析, 得出电子舌均能很好地区分混入不同比例鸡肉的羊肉糜样品, 说明电子舌在羊肉掺入鸡肉的鉴别中具有可行性。本研究利用电子舌分析样品的原理与以上原理相一致, 可以从整体滋味上对样品进行分析。通过电子舌分析可以得出, 5 号、6 号、7 号样品的分布区域与参比样品 (1 号) 的分布区域分离最近, 说明在滋味上它们与 1 号样品最接近, 即添加广州名花 SY-SO968 烟熏液制作的培根与传统木屑烟熏的培根在滋味上最接近。

感官评价中对指标进行评价的标准难以确定, 会因个人喜好的偏差带来误差。模糊数学感官评价法综合考虑了各种因素对整体效果的综合贡献, 能够对食品的品质作出客观、准确和科学的评价。潘志民等<sup>[21]</sup>通过选取色泽、质地、滋味和气味为评价指标, 建立感官综合评分体系, 应用模糊数学感官评价法优化培根的配方, 获得培根的最佳加工工艺条件。胡璇等<sup>[31]</sup>选择 3 种不同品牌的剁椒运用模糊综合评判方法进行感官质量评定, 结果表明模糊综合评判方法在处理模糊程度高的感官综合评价问题时具有较高的准确性。本研究采用的方法与以上模糊数学感官评价方法类似。研究表明, 6 号样品与参比样品 (1 号) 的模糊数学感官评价的综合得分最接近, 仅相差 0.05, 说明在培根腌制液中添加 2% 的广州名花 SY-SO968 烟熏液可以用来代替传统的木屑烟熏工艺。

使用广州名花香料有限公司 SY-SO968 烟熏液, 在腌制时添加 2% 的量制作的培根, 电子鼻法显示与木屑烟熏培根在整体气味上基本一致; 电子舌法显示与木屑烟熏培根在整体滋味上最接近; 模糊数学感官评价法的综合得分与木屑烟熏培根的整体综合得分最接近, 与电子鼻和电子舌法的分析结果基本一致。因此, 在培根腌制液中添加 2% 的广州名花 SY-SO968 烟熏液可以用来代替传统的木屑烟熏工艺, 说明可以利用电子鼻和电子舌法对培根的烟熏工艺进行优化。电子鼻、电子舌法与模糊数学感官评价法都是从整体上对样品进行风味分析, 三者的试验结果基本一致。

### 4 结论

在培根腌制液中添加 2% 的广州名花 SY-SO968 烟熏液可以用来代替传统的木屑烟熏工艺, 利用电子鼻和电子舌法可以对培根的烟熏工艺进行优化。模糊数学感官评价法与电子鼻和电子舌法的结果基本一致, 验证了电子鼻和电子舌法优化培根烟熏工艺的可行性和准确性。因此, 利用电子鼻和电子舌法从整体风味上对肉制品生产工艺进行简便、快捷、准确优化的设想是可行的。

### References

- [1] NURJULIANA M, CHE MAN Y B, MAT HASHIM D, MOHAMED A K S. Rapid identification of pork for halal authentication using the electronic nose and gas chromatography mass spectrometer with headspace analyzer. *Meat Science*, 2011, 88(4): 638-644.
- [2] PERSAUD K C, KHAFFAF S M, PAYNE J S, PISANELLI A M,



- LEE D H, BYUN H G. Sensor array techniques for mimicking the mammalian olfactory system. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 1996, 36: 236-273.
- [3] ZHANG H M, WANG J, TIAN X J, YU H C, YU Y. Optimization of sensor array and detection of stored duration of wheat by electronic nose. *Journal of Food Engineering*, 2007, 82(4): 403-408.
- [4] 柴春祥, 施婉君, 蔡悦, 陈佳, 王妍. 电子鼻检测鸡肉新鲜度的研究. *食品科学*, 2009, 30(2): 170-173.
- CHAI C X, SHI W J, CAI Y, CHEN Q, WANG Y. Identification of chicken freshness by electronic nose. *Food Science*, 2009, 30(2): 170-173. (in Chinese)
- [5] TIAN X J, WANG J, CUI S Q. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors. *Journal of Food Engineering*, 2013, 119: 744-749.
- [6] HAUGEN J E, LUNDBY F, WOLD J P, VEBERG A. Detection of rancidity in freeze stored turkey meat using a commercial gas-sensor array system. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2006, 116(1): 78-84.
- [7] 贾洪锋, 卢一, 何江红, 朱丽敏. 肉类电子鼻识别模型的建立. *食品与机械*, 2011, 27(3): 96-99.
- JIA H F, LU Y, HE J H, ZHU L M. Prediction model of meat based on electric nose. *Food and Machinery*, 2011, 27(3): 96-99. (in Chinese)
- [8] 贾洪锋, 卢一, 何江红, 潘涛, 肖岚, 张振宇, 朱丽敏. 电子鼻在牦牛肉和牛肉猪肉识别中的应用. *农业工程学报*, 2011, 27(5): 358-363.
- JIA H F, LU Y, HE J H, PAN T, XIAO L, ZHANG Z Y, ZHU L M. Recognition of yak meat, beef and pork by electronic nose. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(5): 358-363. (in Chinese)
- [9] 田怀香, 孙宗宇. 电子鼻在金华火腿香精识别中的应用. *中国调味品*, 2008(11): 61-63.
- TIAN H X, SUN Z Y. Application of electronic nose on identification of Jinhua ham essence. *China Condiment*, 2008(11): 61-63. (in Chinese)
- [10] 刘金凯, 高远, 王振宇, 陈丽, 张德权, 艾启俊. 氧化羊骨油对羊肉味调味料挥发性风味物质的影响. *中国农业科学*, 2014, 47(4): 749-758.
- LIU J K, GAO Y, WANG Z Y, CHEN L, ZHANG D Q, AI Q J. Effect of oxidized sheep bone oil on volatile flavor compounds of mutton flavor seasoning. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(4): 749-758. (in Chinese)
- [11] KIYOSHI T. Electronic tongue. *Biosensors and Bioelectronics*, 1998, 12: 710-709.
- [12] GIL L, BARAT J M, BAIGTS D, MANEZ R M, SOTO J, BREIJO E G, ARISTOY M C, TOLDRA F, LLOBET E. Monitoring of physical-chemical and microbiological changes in fresh pork meat under cold storage by means of a potentiometric electronic tongue. *Food Chemistry*, 2011, 126: 1261-1268.
- [13] CAMPOS I, MASOT R, ALCANIZ M, GIL L, SOTO J, VIVANCOS J L, GARCIA-BREIJO E, LABRADOR R H, BARAT J M, MARTINEZ-MANEZ R. Accurate concentration determination of anions nitrate, nitrite and chloride in minced meat using a voltammetric electronic tongue. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 2010, 149: 71-78.
- [14] 胡礼, 王金枝, 张春晖, 唐春红, 杜桂红, 李侠, 李春红. pH 与反应温度对鸡骨素酶解液 MRPs 品质特性的影响. *中国农业科学*, 2015, 48(18): 3689-3700.
- HU L, WANG J Z, ZHANG C H, TANG C H, DU G H, LI X, LI C H. Characteristics of maillard reaction products from enzymatic hydrolysate of chicken bone extract as influenced by pH and temperature. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(18): 3689-3700. (in Chinese)
- [15] Labrador R H, Masot R, Alcaniz M, Baigts D, Soto J, Manez R M, Breijo E G, Gil L, Barat J M. Prediction of NaCl nitrate and nitrite contents in minced meat by using a voltammetric electronic tongue and an impedimetric sensor. *Food Chemistry*, 2010, 122(3): 864-870.
- [16] 王霞, 徐幸莲, 王鹏. 基于电子舌技术对鸡肉肉质区分的研究. *食品科学*, 2012, 33(21): 100-103.
- WANG X, XU X P, WANG P. Discrimination of chicken meat quality by electronic tongue. *Food Science*, 2012, 33(21): 100-103. (in Chinese)
- [17] LAN Y B, WANG S Z, YIN Y G, HOFFMANN C, ZHENG X Z. Using a surface plasmon resonance biosensor for rapid detection of salmonella typhimurium in chicken carcass. *Journal of Bionic Engineering*, 2008, 5(3): 239-246.
- [18] MEILGAARD M, CIVILLE G V, CARR B T. *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press, 1999: 6-10.
- [19] MUKHOPADHYAY S, MAJUMDAR G C, GOSWAMI T K, MISHRA H N. Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podo. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 53(1): 204-210.
- [20] SINIJA V R, MISHRA H N. Fuzzy analysis of sensory data for quality evaluation and ranking of instant green tea powder and granules. *Food and Bioprocess Technology*, 2011, 4(3): 408-416.
- [21] 潘志民, 邹文中, 邹艾一, 张小芳, 刘胜. 模糊数学感官评价法优化培根加工工艺. *食品与机械*, 2014, 30(2): 201-205.

- PAN Z M, ZOU W Z, ZOU A Y, ZHANG X F, LIU S. Optimization on processing technology of bacon based on fuzzy mathematic sensory evaluation. *Food and Machinery*, 2014, 30(2): 201-205. (in Chinese)
- [22] LEE S J, KWON Y A. Study on fuzzy reasoning application for sensory evaluation of sausages. *Food Control*, 2007, 18(7): 811-816.
- [23] GIBIS M, KRUIWANNUS M, WEISS J. Impact of different pan-frying conditions on the formation of heterocyclic aromatic amines and sensory quality in fried bacon. *Food Chemistry*, 2015, 168: 383-389.
- [24] 高瑞鹤, 何俊萍. 应用模糊数学法评判韭菜酱的发酵成熟时间. *中国酿造*, 2013, 32(1): 127-130.
- GAO R H, HE J P. Application of fuzzy mathematical method to determine the leek sauce fermentation maturity time. *China Brewing*, 2013, 32(1): 127-130. (in Chinese)
- [25] 李冉冉, 阮征, 李汴生, 黄家荣, 罗永保. 基于模糊数学的广式叉烧包感官评价体系构建. *食品工业科技*, 2014, 35(24): 118-122.
- LI R R, RUAN Z, LI B S, HUANG J R, LUO Y B. Establishment of sensory evaluation system for cantonese-style barbecued pork bun based on fuzzy mathematics. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(24): 118-122. (in Chinese)
- [26] 汤卫东, 朱海涛, 王建军, 张淼. 苹果感官品质的模糊综合评价. *现代食品科技*, 2005, 21(3): 61-63.
- TANG W D, ZHU H T, WANG J J, ZHANG M. Application of fuzzy synthetic evaluation to organoleptic quality evaluation of apple. *Modern Food Science and Technology*, 2005, 21(3): 61-63. (in Chinese)
- [27] 田怀香, 肖作兵, 徐霞, 秦蓝. 电子鼻技术结合多元统计方法在鸡肉香精开发中的应用. *中国调味品*, 2011(6): 61-65.
- TIAN H X, XIAO Z B, XU X, QIN L. Application of electronic nose technology and multivariate analysis on development of chicken flavoring. *China Condiment*, 2011(6): 61-65. (in Chinese)
- [28] 黄业传, 贺稚非, 李洪军, 秦刚, 王庭, 马明辉. 皮下脂肪和肌肉脂肪对猪肉风味的作用. *中国农业科学*, 2011, 44(10): 2118-2130.
- HUANG Y Z, HE Z F, LI H J, QIN G, WANG T, MA M H. The flavor contribution of subcutaneous and intramuscular fat to pork. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(10): 2118-2130. (in Chinese)
- [29] 韩剑众, 黄丽娟, 顾振宇, 邓少平. 基于电子舌的鱼肉品质及新鲜度评价. *农业工程学报*, 2008, 24(12): 141-144.
- HAN J Z, HUANG L J, GU Z Y, DENG S P. Evaluation of fish quality and freshness based on the electronic tongue. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(12): 141-144. (in Chinese)
- [30] 田晓静, 王俊, 崔绍庆. 羊肉纯度电子舌快速检测方法. *农业工程学报*, 2013, 29(20): 255-262.
- TIAN X J, WANG J, CUI S Q. Fast discriminating of purity on minced mutton using electronic tongue. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(20): 255-262. (in Chinese)
- [31] 胡璇, 夏延斌. 基于模糊数学的剁椒感官综合评价方法. *食品科学*, 2011, 32(1): 95-98.
- HU X, XIA Y B. An improved sensory comprehensive evaluation method for chopped hot pepper based on fuzzy mathematics. *Food Science*, 2011, 32(1): 95-98. (in Chinese)

(责任编辑 赵伶俐)