

# 热杀菌条件对酱卤鸭脖品质的影响

宋玉申<sup>1</sup>, 李 聪<sup>1</sup>, 崔 萃<sup>1</sup>, 宗子兵<sup>2,3</sup>, 陈康文<sup>2,3</sup>, 顾千辉<sup>2,3,\*</sup>, 徐宝才<sup>1,\*</sup>

(1.合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230009; 2.三只松鼠股份有限公司, 安徽 芜湖 241000;

3.三只松鼠(南京)食品技术研究开发有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:**为探究不同热杀菌条件对酱卤鸭脖品质的影响,采用氨基酸分析仪、高效液相色谱仪、电子鼻和电子舌等分析3种热杀菌条件(90℃、15 min, 90℃、30 min和121℃、15 min)和未杀菌酱卤鸭脖的品质指标变化。结果表明:随热杀菌温度或时间的增加,酱卤鸭脖中蛋白质、脂肪、硫胺素和氯化钠含量均减少,而高温杀菌(121℃、15 min)组含量显著减少( $P < 0.05$ );感官评价结果显示,高温杀菌减少鸭脖的肉香味并产生异味,鲜味和咸味评分显著降低( $P < 0.05$ );电子鼻对未杀菌组和90℃、15 min组区分能力较弱,对其余处理组均能有效区分;电子舌结合呈味核苷酸和氨基酸分析可知,热杀菌条件对鸭脖的鲜味和咸味影响显著( $P < 0.05$ ),而引起鲜味改变的主要滋味物质是谷氨酸、5'-鸟苷酸和5'-肌苷酸。低温长时杀菌对酱卤鸭脖品质有积极作用,而高温热杀菌对鸭脖品质易产生不良影响。

**关键词:**酱卤鸭脖;热杀菌;条件;风味;滋味

## Effect of Different Thermal Sterilization Conditions on Quality of Sauced Duck Neck

SONG Yushen<sup>1</sup>, LI Cong<sup>1</sup>, CUI Cui<sup>1</sup>, ZONG Zibing<sup>2,3</sup>, CHEN Kangwen<sup>2,3</sup>, GU Qianhui<sup>2,3,\*</sup>, XU Baocai<sup>1,\*</sup>

(1.School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2.Three Squirrels Co. Ltd., Wuhu 241000, China; 3.Three Squirrels (Nanjing) Food Technology Research and Development Co. Ltd., Nanjing 210000, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of different thermal sterilization conditions on the quality of sauced duck neck, the quality characteristics of sauced duck neck subjected to one of three heat treatment conditions (90 °C/15 min, 90 °C/30 min or 121 °C/15 min) or not subjected to heat sterilization were evaluated using an amino acid analyzer, high performance liquid chromatography, an electronic nose and an electronic tongue, etc. The results showed the contents of protein, fat, thiamine and salt in sauced duck neck decreased with the increase in sterilization temperature or time, while these parameters decreased significantly upon high-temperature sterilization (121 °C/15 min) ( $P < 0.05$ ). Sensory evaluation showed that high-temperature sterilization reduced the meaty aroma, produced off-odor, and lowered the umami and saltiness scores significantly ( $P < 0.05$ ). The electronic nose effectively distinguished all treatment groups except the unsterilized group and the 90 °C/15 min group. Collectively, the electronic tongue data and flavor nucleotide and amino acid analysis showed that thermal sterilization conditions had a significant effect on the umami and saltiness of sauced duck neck ( $P < 0.05$ ), and the main taste substances causing the change of the umami taste were glutamate, 5'-guanosine acid and 5'-inosine acid. Finally, we conclude that low-temperature and long-time sterilization has a positive effect on the quality of sauced duck neck, while high-temperature sterilization has an unfavorable effect on it.

**Keywords:** sauced duck neck; thermal sterilization; condition; flavor; taste

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20211129-233

中图分类号: TS251.55

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 04-0020-08

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 安徽省科技重大专项(202003a06020029); 中央高校基本科研业务费资助项目(JZ2021HGQB0278)

第一作者简介: 宋玉申(1997—)(ORCID: 0000-0002-3515-0370), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉制品加工。

E-mail: yushensong@126.com

\*通信作者简介: 徐宝才(1972—)(ORCID: 0000-0002-0706-8863), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉制品加工与质量控制。

E-mail: baocaixu@163.com

顾千辉(1986—)(ORCID: 0000-0002-7817-6706), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为休闲食品加工。

E-mail: guqianhui25@126.com

引文格式:

宋玉申, 李聪, 崔萃, 等. 热杀菌条件对酱卤鸭脖品质的影响[J]. 肉类研究, 2022, 36(4): 20-27. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20211129-233. <http://www.rlyj.net.cn>

SONG Yushen, LI Cong, CUI Cui, et al. Effect of different thermal sterilization conditions on quality of sauced duck neck[J]. Meat Research, 2022, 36(4): 20-27. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20211129-233. <http://www.rlyj.net.cn>

鸭脖是近年来非常受欢迎的一款鸭类产品, 其肉大都紧密附着在骨头上, 经香辛料等调味产品等卤制而成的鸭脖鲜香入骨、香气浓郁<sup>[1-2]</sup>, 且鸭肉较薄, 里外易入味, 肉的滋味配合内骨的酥香深受消费者青睐。

休闲类肉制品在包装完成后需要进行杀菌处理, 以延长保质期及保证食品安全<sup>[3]</sup>。常见的热杀菌方式是低温杀菌和高温杀菌<sup>[4]</sup>, 低温杀菌是采用100℃以下的水浴杀菌, 在延长保质期的基础上能够较好地维持产品的风味、质构与营养, 但杀菌效果不够理想; 高温杀菌是采用100℃以上的水浴或高压蒸汽进行灭菌, 能够有效去除肉毒杆菌和芽孢等, 但易导致不愉快气味的出现和质构变差等负面影响<sup>[5]</sup>。宋盼等<sup>[6]</sup>研究3种杀菌温度对盐水鸭品质的影响发现, 85℃低温杀菌能够有效保证品质。何苗等<sup>[7]</sup>研究高温杀菌对福建风味鸭挥发性成分的影响, 结果显示, 高温杀菌后醛类物质增多, 产生了明显的蒸煮味, 使风味变差。由氧化而导致维生素、必需脂肪酸、必需氨基酸等的损失大大降低了营养价值, 另外氧化产物丙二醛、羧酸会引起肠道氧化应激, 不利于健康饮食。

热杀菌温度及时间对酱卤鸭脖品质的影响鲜有报道。本研究采用高效液相色谱仪和氨基酸分析仪对比不同热杀菌条件对样品中呈味氨基酸、呈味核苷酸和硫酸素的影响, 并采用电子鼻和电子舌技术结合感官评价, 从宏观角度分析不同处理样品间气味和滋味的差异。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鸭脖原料由安徽溜味族食品有限公司提供, 经冰袋贮存运输至实验室, 于-20℃冰箱冻藏。

氢氧化钠、高氯酸、三乙胺、磷酸(均为分析纯); 5-磺基水杨酸、柠檬酸二钠、硼酸、苯酚、盐酸硫酸素(纯度≥99.0%)、木瓜蛋白酶(酶活力≥800 U/mg)、淀粉酶(酶活力≥3 700 U/mg); 5'-二磷酸腺苷(5'-adenosine diphosphate, 5'-ADP)、5'-一磷酸腺苷(5'-adenosine monophosphate, 5'-AMP)、5'-肌苷酸(5'-inosine monophosphate, 5'-IMP)、次黄嘌呤(hypoxanthine, Hx)、肌苷(inosine, I)、5'-鸟苷酸(5'-guanosine monophosphate, 5'-GMP) 阿拉丁试剂(上海)有限公司; 17种氨基酸标准品(2.5 μmol/mL) 德国Sykam公司。

### 1.2 仪器与设备

PEN3电子鼻系统 德国Airsense公司; SA402B电子舌系统 日本Insent公司; S6000高效液相色谱仪 中华华谱科仪有限公司; S7130氨基酸自动分析仪 德国Sykam公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品制备

将鸭脖置于流动的清水中解冻1~2 h, 解冻完成后, 在锅中加入鸭脖质量2倍的清水, 煮沸后, 放入鸭脖焯水8~12 min, 沥干。将鸭脖放入卤汤中(鸭脖、卤汤质量比1:2.5), 于90~100℃煮制30 min。卤汤中加入的调料如下: 1 000 g水、100 g糖、20 g盐、50 g味精、20 g鸡精、15 g辣椒、5 g花椒、20 g食用油、20 g老抽、2 g八角、3 g砂仁、2 g白芷。卤制完成后, 将鸭脖分割, 进行真空包装, 以未杀菌样品为对照组, 其他3组样品分别按90℃、15 min(A组), 90℃、30 min(B组)和121℃、15 min(C组)条件进行杀菌处理。杀菌完成后样品于4℃冰箱保存, 次日进行测定。

#### 1.3.2 理化指标测定

水分含量: 参考GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》<sup>[8]</sup>, 采用直接干燥法测定; 蛋白质含量: 参考GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》<sup>[9]</sup>, 采用凯氏定氮法测定; 脂肪含量: 参考GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》<sup>[10]</sup>, 采用索氏抽提法测定; 氯化钠含量: 参考GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》<sup>[11]</sup>, 采用间接沉淀滴定法测定; 取1.0 g肉样加入9 mL超纯水, 均质1 min后采用便携式pH计测定样品pH值。

#### 1.3.3 感官评价

参考马建荣<sup>[12]</sup>、陈臣<sup>[13]</sup>等方法, 主要对不同样品气味及滋味强度进行等级评分, 采用10分制评分法(0分表示未闻到或未尝出, 10分表示气味或滋味极强)。气味主要包括肉香味、香辛料味、油脂味和异味等酱卤鸭脖所具有的特征风味; 滋味主要包括咸味、鲜味、甜味、苦味和涩味。参评人员由食品专业相关人员组成, 其中男性5人、女性5人, 在上午10—11时进行测评。样品整齐放置在白色陶瓷盘上, 所有样品用无规则序号标注, 避免序号对测评人员形成主观印象。测评人员相互分开, 先对参考物进行测评及漱口后再品尝样品, 每次测评后用温水漱口再进行下一个样品测评。

### 1.3.4 电子鼻测定

参考Chen Qian等<sup>[14]</sup>方法略作修改。将样品用粉碎机打碎,称取3.0 g装入20 mL顶空瓶,加盖密封后置于45 ℃水浴锅中加热30 min后测定。电子鼻参数:冲洗时间70 s,采样间隔1 s,样品采集时间220 s,气体流速300 mL/min。

传感器W1C对芳香成分、苯类敏感,W5S对氮氧化物敏感,W3C对芳香成分、氨类敏感,W6S主要对氢氧化物有选择性,W5C对短链烷烃芳香成分敏感,W1S对甲基类敏感,W1W对硫化物灵敏,W2S对醇类、醛酮类敏感,W2W对芳香成分和有机硫化物敏感,W3S对长链烷烃敏感<sup>[15]</sup>。

### 1.3.5 硫胺素测定

参考GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素B<sub>1</sub>的测定》<sup>[16]</sup>,采用高效液相色谱法测定。

### 1.3.6 电子舌测定

准确称取50 g无骨碎肉于料理机中,加入250 g、40 ℃蒸馏水,在料理机中混匀1 min。将样液于3 000 r/min离心10 min,取上清液测定。设定电子舌优化后的分析参数: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 r/s。

### 1.3.7 游离氨基酸测定

参考浦馨源等<sup>[17]</sup>的方法略作修改。取去骨鸭脖肉,用组织绞碎机将其粉碎,称取5 g样品(精确到0.000 1 g),放入干燥皿中置于105 ℃烘箱烘干5 h,干燥至恒质量,取出冷却,精确称取干样1 g(精确到0.000 1 g),记录质量。样品中加入10 mL 4 g/100 mL磺基水杨酸溶液,50 Hz超声处理30 min,于12 000 r/min、4 ℃离心30 min,取上清液过0.22 μm有机滤膜于进样瓶中。

采用氨基酸自动分析仪进行测定,分析用缓冲液(A液:含11.80 g/L柠檬酸二钠、6.0 g/L柠檬酸、0.5 g/L苯酚,pH值调节为3.45;B液:含19.6 g/L柠檬酸二钠、5.0 g/L硼酸,pH值调节为10.85)、2 g/100 mL茚三酮溶液(1 L溶液中加入0.2 g抗坏血酸)及清洗液(甲醇、水体积比1:1)全部通过砂芯抽滤后方可使用。

### 1.3.8 呈味核苷酸测定

#### 1.3.8.1 样品制备

参考浦馨源等<sup>[17]</sup>的方法。称取5.00 g肉样于离心管中并加入20 mL 5 g/100 mL HClO<sub>4</sub>匀浆,用10 mL 5 g/100 mL HClO<sub>4</sub>清洗匀浆机,收集液体并4 ℃、10 000 r/min离心10 min,收集上清液,底层沉淀用10 mL 5 g/100 mL HClO<sub>4</sub>清洗,过滤并收集上清液。用5 g/100 mL HClO<sub>4</sub>和0.01 mol/L NaOH调节pH值至5.4,用100 mL容量瓶定容,过0.45 μm水性滤膜。

#### 1.3.8.2 高效液相色谱条件

Tnature C<sub>18</sub>色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm),

柱温25 ℃,流速1 mL/min,进样量20 μL,紫外检测波长254 nm,运行时间60 min,等度洗脱。流动相A为0.05 mol/L磷酸二氢钾(pH 6.5),流动相B为甲醇,所有试剂经0.45 μm滤膜过滤后超声脱气后使用。

滋味活性值(taste active value, TAV)为滋味物质含量与其感觉阈值的比值,按式(1)计算。

$$TAV_i = \frac{C_i}{T_i} \quad (1)$$

式中: C<sub>i</sub>为物质含量/(呈味氨基酸与呈味核苷酸单位均为mg/100 g); T<sub>i</sub>为该物质的滋味感觉阈值(呈味氨基酸与呈味核苷酸单位均为mg/100 g)。

鲜味氨基酸和呈味核苷酸对鲜味的呈现有协同作用,引入等鲜强度(equivalent umami concentration, EUC)表示鲜度的变化,EUC按式(2)计算。

$$EUC/(g/100 g) = \sum a_i b_i + 1.218 (\sum a_i b_i) \times (\sum a_i b_i) \quad (2)$$

式中: a<sub>i</sub>为鲜味氨基酸(天冬氨酸或谷氨酸)含量/(g/100 g); b<sub>i</sub>为鲜味氨基酸相对于谷氨酸钠的鲜味系数(天冬氨酸为0.077,谷氨酸为1.000); a<sub>j</sub>为呈味核苷酸(AMP、IMP、GMP)含量/(g/100 g); b<sub>j</sub>为呈味核苷酸相对于IMP的鲜味系数(IMP为1.00,AMP为0.18,GMP为2.30); 1.218为协同系数。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Excel软件进行数据统计,利用SPSS 24.0软件对数据进行平均值和标准差的计算及差异显著性分析,Origin 2019软件作图。实验样品为同批次产品,样品粉碎后混合取样,实验均平行进行3次。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖理化成分分析

表1 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖的理化成分对比

Table 1 Comparison of chemical components of sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

项目	对照组	A组	B组	C组
水分含量/%	51.90±0.09 <sup>b</sup>	53.20±0.63 <sup>a</sup>	52.89±0.11 <sup>a</sup>	53.35±0.52 <sup>a</sup>
蛋白质含量/(g/100 g)	31.73±0.11 <sup>a</sup>	30.56±0.56 <sup>bc</sup>	30.90±0.36 <sup>b</sup>	29.80±0.65 <sup>c</sup>
脂肪含量/(g/100 g)	5.10±0.10 <sup>a</sup>	4.66±0.05 <sup>b</sup>	4.30±0.10 <sup>c</sup>	4.03±0.06 <sup>d</sup>
氯化钠含量/(g/100 g)	1.44±0.08 <sup>a</sup>	1.20±0.04 <sup>b</sup>	1.16±0.05 <sup>b</sup>	1.10±0.04 <sup>b</sup>
pH	6.63±0.02 <sup>a</sup>	6.67±0.06 <sup>ab</sup>	6.63±0.01 <sup>b</sup>	6.75±0.09 <sup>a</sup>

注:同行小写字母不同,表示差异显著(P<0.05)。表2~4同。

由表1可知,杀菌后酱卤鸭脖水分含量较对照组均显著升高(P<0.05),改变杀菌温度和杀菌时间对水分含量均无显著影响,这可能是因为热杀菌处理改变肌肉结构,对水分束缚力减弱,水分流失。所有杀菌组样品蛋白质含量显著低于对照组(P<0.05),张小强<sup>[18]</sup>认为,卤煮工艺使鸭脖中蛋白质凝固硬化,对照组卤煮后未进

行杀菌处理,故对照组酱卤鸭脖蛋白质含量最高,达到31.73 g/100 g。杀菌组酱卤鸭脖由于杀菌温度的升高,促进了蛋白质的降解,生成肽、蛋白胨等中间产物,而这些肽类物质进一步分解成各种氨类<sup>[19]</sup>,因此蛋白质含量显著降低。脂肪含量及其脂肪酸组成与肉的品质密切相关,尤其对肉的风味和口感有重要影响。脂肪含量在热杀菌后均显著低于对照组( $P < 0.05$ ),且随着杀菌时间的延长和杀菌温度的升高,脂肪含量均显著降低( $P < 0.05$ ),这是因为热处理温度越高或热处理时间越长,脂肪氧化分解程度越明显,其降解产物主要是挥发性风味物质<sup>[20]</sup>。氯化钠是酱卤鸭脖咸味的主要来源,并与其他滋味物质相互协同,共同构成了酱卤鸭脖的特征滋味。研究结果显示,热杀菌对咸味有显著影响,杀菌组的氯化钠含量较对照组显著下降,而杀菌组的氯化钠含量无显著差异,这可能是由于杀菌条件破坏了鸭脖肌肉结构,肌肉组织对水分的束缚力减弱<sup>[21]</sup>,溶解于水分中的氯化钠随水分的流失而流出,造成氯化钠含量降低,但在一定热杀菌温度和时间范围内,被破坏的肌肉组织对水分的束缚力相似。4组鸭脖的氯化钠含量均在阈值(0.032 g/100 g)<sup>[12]</sup>以上,经计算得出对照组TAV最高,为45.00,而A组、B组和C组较对照组TAV分别下降16.67%、19.44%和23.60%。pH值对肉的品质(包括颜色、质地、味道和保质期)影响极为重要<sup>[22]</sup>,相比于对照组,A组和B组酱卤鸭脖的pH值无显著差异,而C组的pH值显著升高,这是由于加热导致碱性氨基酸残基暴露,酸性氨基酸丢失,形成游离硫化氢,增加肌肉的pH值<sup>[22]</sup>。综上,高温杀菌导致蛋白质、脂肪等营养成分的流失,低温杀菌有助于营养物质的保留。

## 2.2 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖感官评价分析

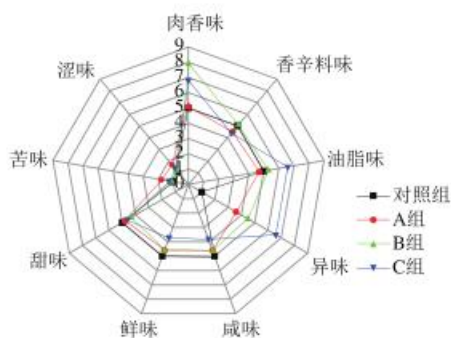


图1 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖感官评分雷达图

Fig. 1 Sensory score radar chart of sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

由图1可知,酱卤鸭脖主要气味特征包括肉香味、香辛料味和油脂味。B组肉香味评分最高,达到7.9,

且明显高于其他处理组,这可能是由于对照组未经杀菌热处理,风味物质未能充分释放;C组肉香味评分低于B组可能是由于产生蒸煮味等异味掩盖肉香。各样品间的香辛料味差异不明显,说明热处理对其影响较小。C组油脂味评分最高,油脂味的产生主要源自于鸭脖中的脂肪,脂肪对整体气味贡献较大。熟肉中50%的香气来源于脂质氧化,而脂质氧化程度与温度密切相关<sup>[23]</sup>。异味主要存在于C组中,肉类风味恶化归因于肉脂的自氧化或过度氧化。脂质氧化产生氢过氧化物,并通过多种途径分解成大量的挥发性化合物,而磷脂是脂质氧化和蒸煮味形成的主要贡献者<sup>[24]</sup>。

酱卤鸭脖滋味主要包括鲜味、甜味和咸味。苦味和涩味在4组样品中得分低且无明显差异。对照组鲜味评分最高,杀菌后其评分降低,这主要是来自卤汤中的味精在热处理过程中随水分流失造成的。咸味主要由外源添加的氯化钠提供,杀菌组咸味评分均低于对照组,这可能是由于杀菌处理对肌肉组织结构破坏较大,水分流失带走部分氯化钠。总的来说,低温杀菌对品质造成的影响弱于高温杀菌,高温杀菌减弱了肉香味并生成令人不愉快的异味,对鲜味和咸味影响较大。

## 2.3 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖的电子鼻分析

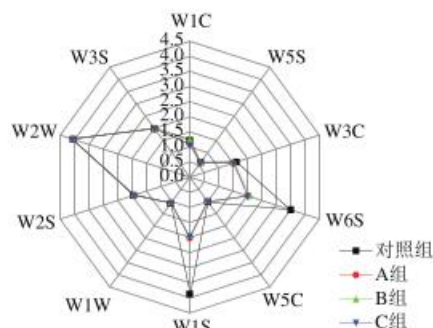


图2 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖的电子鼻响应值雷达图

Fig. 2 Radar chart of electronic nose response values to sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

电子鼻是一种有效识别气味轮廓的工具,它可以获得与样品中挥发性化合物相关的全面信息<sup>[14]</sup>。电子鼻具有模仿人类鼻子的结构、对不同分子具有选择性的电子系统,其对样品的气味很敏感,细微的差别都会引起不同的响应<sup>[25-26]</sup>。由图2可知:W2W传感器响应值较高,有机硫化物可能来自硫胺素或含硫氨基酸的热降解产生的挥发性物质<sup>[27]</sup>;W1S传感器响应值在杀菌后下降,甲基类物质气味减弱,这可能与烷烃类物质含量降低相关;W6S传感器响应值在杀菌后下降;其他传感器的响应值变化较小。

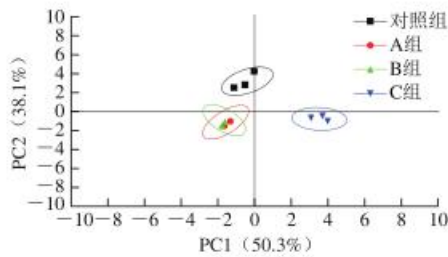
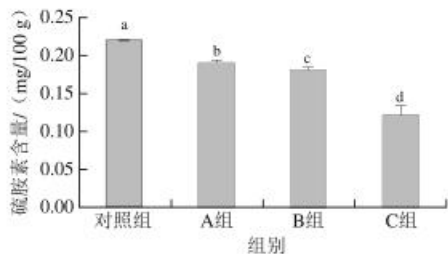


图3 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖电子鼻响应PCA二维图

Fig. 3 Two-dimensional PCA plot of E-nose responses to sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是将多维的数据降至二维或三维, 将原来复杂的多个变量转换为较少变量的分析方法, 可以解释样本之间的差异<sup>[28]</sup>。由图3可知, 第1主成分和第2主成分贡献率分别为50.3%和38.1%, 总贡献率达到88.4%, 包含了大部分样品的信息, 这表明4组不同热杀菌条件下的酱卤鸭脖挥发性物质能够很好地通过二维PCA图谱呈现。对照组与其他杀菌组无重叠, 且处于不同的象限, 说明热杀菌后酱卤鸭脖的风味与杀菌前具有明显差异。90℃、不同杀菌时间的2个处理组在第3象限内重叠, 表明A组和B组气味相近, 低温条件下, 杀菌时间对鸭脖的整体风味影响不明显。而C组与对照组、A组和B组均无重叠, 且相距较远, 说明高温杀菌后挥发性气味发生明显变化。此结果与周惠健等<sup>[29]</sup>研究的电子束、<sup>60</sup>Co γ射线束和热杀菌方式对红烧老鹅气味影响的结果相似, 即高温杀菌会引起风味失真。结合电子鼻传感器响应强度可知, 传感器W2W、W1S和W6S检测到的物质可能是造成不同杀菌条件下酱卤鸭脖气味差异的主要原因, 即不同热杀菌条件对酱卤鸭脖中芳香成分、甲基类、有机硫化物和氢化物影响显著。由不同样品间距离得出, PCA图谱能够很好区分不同处理组间样品的气味差异。

#### 2.4 不同热杀菌条件对酱卤鸭脖中硫胺素含量的影响



小写字母不同, 表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图4 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖硫胺素含量

Fig. 4 Thiamine content in sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

硫胺素的热降解可以生成许多含硫化合物, 如硫醇、硫化物和二硫化物等, 这些化合物本身散发气味或

有助于熟肉香味的形成<sup>[30]</sup>。由图4可知, 对照组的硫胺素含量为0.22 mg/100 g, 显著高于其他组, 说明热杀菌可促进硫胺素的降解, 进而对风味产生影响, 结合电子鼻分析, W2W (对有机硫化物敏感) 响应值较高, 这可能与硫胺素含量变化密切相关。当杀菌温度相同时, 延长杀菌时间, 硫胺素含量从0.19 mg/100 g (A组) 显著降低至0.18 mg/100 g (B组); 当杀菌时间相同时, 提高杀菌温度, 硫胺素含量从0.19 mg/100 g (A组) 显著降低至0.12 mg/100 g (C组), 下降36.84%, 这是由于硫胺素作为一种水溶性维生素很容易被热降解, 且热降解温度在121℃左右<sup>[31]</sup>, 在某些加工方法中几乎100%的硫胺素会丢失<sup>[32]</sup>。李婷婷等<sup>[33]</sup>研究高压热处理对猪肉中硫胺素含量的影响, 结果显示: 当温度不变时, 随压力的升高硫胺素含量逐渐降低; 当压力不变时, 随温度升高硫胺素含量也逐渐降低。

#### 2.5 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖的电子舌分析

表2 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖的滋味成分电子舌响应值对比

滋味	对照组	A组	B组	C组
酸味	-33.07±0.06 <sup>c</sup>	-32.37±0.17 <sup>a</sup>	-32.87±0.15 <sup>b</sup>	-32.34±0.12 <sup>a</sup>
苦味	5.14±0.02 <sup>a</sup>	4.97±0.22 <sup>a</sup>	5.12±0.06 <sup>a</sup>	4.96±0.32 <sup>a</sup>
涩味	-0.35±0.03 <sup>ab</sup>	-0.25±0.17 <sup>a</sup>	-0.31±0.04 <sup>ab</sup>	-0.38±0.08 <sup>b</sup>
鲜味	13.50±0.02 <sup>a</sup>	13.52±0.05 <sup>a</sup>	13.44±0.04 <sup>a</sup>	13.36±0.04 <sup>a</sup>
丰富度	4.57±0.14 <sup>a</sup>	4.47±0.14 <sup>a</sup>	4.17±0.21 <sup>b</sup>	4.71±0.27 <sup>a</sup>
咸味	5.31±0.01 <sup>a</sup>	5.01±0.01 <sup>b</sup>	4.73±0.03 <sup>c</sup>	4.36±0.02 <sup>d</sup>
甜味	-4.93±0.06 <sup>b</sup>	-5.44±0.16 <sup>c</sup>	-4.72±0.25 <sup>ab</sup>	-4.61±0.36 <sup>a</sup>
苦味回味	-0.44±0.01 <sup>b</sup>	-0.47±0.02 <sup>b</sup>	-0.50±0.02 <sup>b</sup>	-0.22±0.25 <sup>a</sup>
涩味回味	-0.32±0.01 <sup>c</sup>	-0.28±0.01 <sup>ab</sup>	-0.30±0.02 <sup>bc</sup>	-0.26±0.03 <sup>a</sup>

电子舌系列智能味觉系统是根据人工传感器脂质膜的膜电位变化来确定基本的味觉感官指标<sup>[34]</sup>。利用电子舌可以对不同热杀菌条件下酱卤鸭脖的味道属性进行区分。通常认为酸味值 $> -13$ , 咸味值 $> -6$ , 鲜味、甜味和涩味值 $> 0$ 是有味道的<sup>[35-36]</sup>。由表2可知, 4组酱卤鸭脖苦味响应值无显著差异, 该结果与感官评价结果一致。苦味的来源主要是卤汤中的香辛料, 一些香辛料富含单宁及其他萜类物质, 主要呈现出苦味。4组酱卤鸭脖咸味和鲜味响应值差异显著, 该结果与感官评价结果一致。对照组的鲜味和咸味响应值显著高于杀菌组。当杀菌温度相同时, 随杀菌时间延长, 咸味与鲜味响应值随杀菌时间的延长而降低; 当杀菌时间相同时, 咸味与鲜味响应值随杀菌温度升高而降低。咸味响应值的变化可能与水分含量及氯化钠的流失有关, 鲜味响应值的变化可能与呈味氨基酸和呈味核苷酸含量的变化有关。其他酸味、涩味和回味等响应值均小于0, 对整体滋味贡献不大。综上, 杀菌会引起酱卤鸭脖滋味物质的变化, 尤其是高温杀菌后对鲜味和咸味的影响较大。

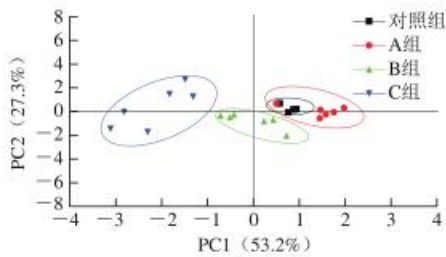


图5 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖电子舌响应值PCA二维图  
Fig. 5 Two-dimensional PCA plot of electronic tongue responses to sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

由图5可知, 第1主成分和第2主成分贡献率分别为53.2%和27.3%。杀菌组与对照组相比, A组与对照组部分重叠, 说明二者滋味相近; 对照组与B组和C组分布在不同的象限, 说明滋味物质相差较大; 固定杀菌温度、延长杀菌时间, A组与B组分布在不同的象限, 说明滋味物质相差较大。4组不同热杀菌条件下的酱卤鸭脖滋味物质能够通过二维PCA图谱进行区分, 除A组与对照组相似外, 其他组均能够显示出滋味的差异性。

## 2.6 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖呈味氨基酸组成分析

表3 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖游离氨基酸含量和TAV变化  
Table 3 Changes in free amino acids contents and TAVs in sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

氨基酸	阈值/ (mg/100g)	对照组		A组		B组		C组	
		含量/ (mg/100g)	TAV	含量/ (mg/100g)	TAV	含量/ (mg/100g)	TAV	含量/ (mg/100g)	TAV
天冬氨酸	100	22.27±3.47 <sup>a</sup>	0.22	19.58±0.53 <sup>a</sup>	0.20	19.99±1.51 <sup>a</sup>	0.20	18.53±1.00 <sup>a</sup>	0.19
苏氨酸	260	5.99±0.04 <sup>a</sup>	0.02	5.76±0.06 <sup>a</sup>	0.02	5.30±0.27 <sup>a</sup>	0.02	5.89±0.28 <sup>a</sup>	0.02
谷氨酸	30	167.42±2.51 <sup>a</sup>	5.58	164.11±6.25 <sup>a</sup>	5.47	159.87±3.17 <sup>a</sup>	5.53	142.86±4.11 <sup>a</sup>	4.76
丝氨酸	150	18.35±1.90 <sup>a</sup>	0.12	18.54±0.34 <sup>a</sup>	0.12	19.18±0.97 <sup>a</sup>	0.13	17.76±0.75 <sup>a</sup>	0.12
甘氨酸	130	18.39±1.17 <sup>a</sup>	0.14	17.63±0.43 <sup>a</sup>	0.14	13.47±2.01 <sup>b</sup>	0.10	11.21±0.73 <sup>b</sup>	0.09
丙氨酸	60	39.85±7.12 <sup>a</sup>	0.66	36.08±2.36 <sup>a</sup>	0.60	35.18±8.62 <sup>a</sup>	0.59	25.43±1.59 <sup>b</sup>	0.42
组氨酸	20	42.70±0.61 <sup>a</sup>	2.14	37.03±3.16 <sup>b</sup>	1.85	37.54±2.38 <sup>b</sup>	1.88	38.58±0.46 <sup>b</sup>	1.93
缬氨酸	40	10.95±1.29 <sup>a</sup>	0.27	10.68±0.62 <sup>a</sup>	0.27	11.82±0.61 <sup>a</sup>	0.30	10.69±2.31 <sup>a</sup>	0.27
甲硫氨酸	30	1.78±0.18 <sup>a</sup>	0.06	1.58±0.12 <sup>b</sup>	0.05	1.24±0.13 <sup>b</sup>	0.04	1.46±0.05 <sup>b</sup>	0.05
异亮氨酸	90	8.22±0.51 <sup>a</sup>	0.09	7.67±0.18 <sup>a</sup>	0.09	7.08±0.12 <sup>b</sup>	0.08	6.69±0.25 <sup>b</sup>	0.07
亮氨酸	190	14.73±1.04 <sup>a</sup>	0.08	14.09±0.54 <sup>a</sup>	0.07	14.66±0.71 <sup>a</sup>	0.08	14.95±0.72 <sup>a</sup>	0.08
酪氨酸	91	5.19±0.05 <sup>a</sup>	0.06	4.51±0.17 <sup>b</sup>	0.05	3.47±0.09 <sup>b</sup>	0.04	3.57±0.13 <sup>b</sup>	0.04
苯丙氨酸	90	4.15±0.07 <sup>a</sup>	0.05	3.76±0.09 <sup>b</sup>	0.04	3.24±0.58 <sup>b</sup>	0.04	3.61±0.26 <sup>b</sup>	0.04
赖氨酸	50	11.28±0.38 <sup>a</sup>	0.23	11.36±0.26 <sup>a</sup>	0.23	12.46±0.16 <sup>a</sup>	0.25	11.83±0.59 <sup>a</sup>	0.24
精氨酸	50	14.04±0.45 <sup>a</sup>	0.28	13.36±0.51 <sup>a</sup>	0.27	8.97±0.72 <sup>b</sup>	0.18	6.66±0.32 <sup>b</sup>	0.13
游离氨基酸 总含量		378.66±24.62 <sup>a</sup>		365.74±15.62 <sup>a</sup>		353.47±14.17 <sup>a</sup>		319.71±12.95 <sup>b</sup>	

游离氨基酸是鸭脖中重要的滋味物质, 为进一步明确不同热杀菌条件下滋味物质的变化, 对鸭脖中的游离氨基酸进行分析。根据游离氨基酸不同的呈味特点将其分为鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸和其他氨基酸<sup>[37]</sup>。鲜味氨基酸主要是天冬氨酸和谷氨酸。由表3可知, 4组样品的总游离氨基酸含量分别为378.66、365.74、353.47、319.71 mg/100 g。4组样品中含量最多的是谷氨酸, 这是由于鸭脖自身谷氨酸含量较多,

另外, 谷氨酸作为味精的主要呈鲜成分, 在酱卤产品制作中大量使用。A组和B组谷氨酸含量较对照组无显著性差异, C组较对照组及低温杀菌组显著下降。天冬氨酸在4组样品中含量无显著性差异且味觉阈值较高, 对鲜味的贡献不大。

TAV用来表征物质对整体滋味的贡献程度, TAV>1表示对整体滋味有较大贡献, TAV<1表示对滋味的贡献不大<sup>[38]</sup>。TAV>1的鲜味氨基酸只有谷氨酸, 分别为5.58、5.47、5.33和4.76。谷氨酸单独存在时呈酸味, 而当氯化钠存在时谷氨酸呈现鲜味<sup>[39]</sup>, 结合电子舌分析可知, 鲜味的变化与谷氨酸含量变化有关。TAV>1的物质还有组氨酸, 其主要呈甜味, 根据电子舌的结果显示, 甜味响应值小于0, 故组氨酸对鸭脖整体甜味贡献不大。其他TAV<1的氨基酸虽然对滋味的贡献不大, 但可能与其他滋味物质产生协同作用, 构成酱卤鸭脖的特征滋味, 如马建荣等<sup>[12]</sup>研究炭烤羊肉中呈味氨基酸含量, TAV<1的氨基酸间接增强羊肉滋味。

## 2.7 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖呈味核苷酸组成分析

表4 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖中呈味核苷酸含量和TAV变化  
Table 4 Changes in nucleotides contents and TAVs in sauced duck neck under different thermal sterilization conditions

核苷酸	阈值/ (mg/100g)	对照组		A组		B组		C组	
		含量/ (mg/100g)	TAV	含量/ (mg/100g)	TAV	含量/ (mg/100g)	TAV	含量/ (mg/100g)	TAV
Hx		35.93±1.08 <sup>a</sup>	0	39.00±0.50 <sup>a</sup>	0	35.36±0.55 <sup>a</sup>	0	38.02±0.88 <sup>a</sup>	0
5'-GMP	12.5	17.05±0.63 <sup>a</sup>	1.36	10.60±0.59 <sup>b</sup>	0.85	14.27±1.17 <sup>b</sup>	1.14	8.11±0.58 <sup>b</sup>	0.65
5'-IMP	14.0	53.25±0.39 <sup>a</sup>	3.80	56.45±1.13 <sup>a</sup>	4.03	51.17±0.21 <sup>a</sup>	3.66	30.84±2.05 <sup>b</sup>	2.20
I		76.72±1.82 <sup>a</sup>	0	68.36±2.30 <sup>b</sup>	0	59.02±0.71 <sup>b</sup>	0	72.55±0.08 <sup>b</sup>	0
5'-AMP	50.0	6.25±1.94 <sup>a</sup>	0.13	17.87±1.93 <sup>b</sup>	0.36	17.15±1.71 <sup>b</sup>	0.34	22.36±1.79 <sup>b</sup>	0.45
5'-ADP		3.94±1.01 <sup>a</sup>	0	3.41±0.35 <sup>b</sup>	0	1.30±1.19 <sup>b</sup>	0	1.82±1.37 <sup>b</sup>	0

呈味物质除游离氨基酸外, 还包括呈味核苷酸5'-GMP、5'-IMP、5'-AMP、5'-ADP、Hx和I, 其中呈味核苷酸主要是5'-GMP、5'-IMP和5'-AMP。由表4可知, 酱卤鸭脖中含量较丰富的核苷酸是5'-IMP, 5'-IMP是禽畜肉、鱼肉中主要的鲜味化合物, 在肉味形成中起着重要作用<sup>[32]</sup>。含量最丰富的核苷酸是I, 但其阈值及呈味特点尚不明确。杀菌组较对照组相比, 5'-IMP、5'-GMP和I含量显著下降; 当杀菌温度90℃时, 随杀菌时间的延长, 5'-IMP、Hx和I的含量显著降低, 而5'-GMP含量显著上升; 当杀菌时间15 min时, 随杀菌温度的升高, 5'-IMP和5'-GMP含量显著下降, 5'-AMP含量显著上升, 其中5'-IMP、Hx和5'-AMP含量在90℃、15 min杀菌条件下较对照组显著上升。这些变化主要与ATP降解途径有关, 即在热杀菌处理过程中鸭脖中的ATP以ATP→ADP→AMP→IMP→I→Hx途径转化<sup>[40]</sup>, 不同的热杀菌条件可能对转化产生影响, 因此, 样品核苷酸含量存在差异。

根据TAV>1的物质对呈味有贡献作用,5'-IMP是主要的呈鲜味物质,4组样品5'-IMP的TAV均大于1,且A组最高,C组TAV下降至2.20,其对鲜味的贡献下降。对照组及B组5'-GMP的TAV大于1,在高温杀菌后TAV降至1以下,说明高温杀菌促进了5'-GMP向其他物质的转化,对鸭脖的鲜味贡献作用减弱。5'-AMP的TAV均小于1,对整体鲜味贡献作用较小。因此,电子舌表征鲜味变化的另一个原因可能与5'-IMP和5'-GMP的变化有关,即高温杀菌对鲜味的影响最大,其次是90℃杀菌组。

### 2.8 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖中滋味物质EUC评价

表5 不同热杀菌条件下酱卤鸭脖EUC  
Table 5 EUC of marinated duck neck under different thermal sterilization conditions

项目	对照组	A组	B组	C组
天冬氨酸含量/(mg/100g)	22.27	19.58	19.99	18.53
谷氨酸含量/(mg/100g)	167.42	164.11	159.07	142.86
5'-IMP含量/(mg/100g)	53.23	56.45	51.17	30.84
5'-GMP含量/(mg/100g)	17.05	10.60	14.27	8.11
5'-AMP含量/(mg/100g)	6.25	17.87	17.15	22.36
EUC/(g/100g)	19.45	17.12	17.19	9.46

游离氨基酸中的天冬氨酸和谷氨酸,呈味核苷酸中的5'-IMP、5'-GMP和5'-AMP均对鲜味有贡献作用,为了综合评价鲜味强度,引入EUC。由表5可知,对照组EUC最高,这主要是由于谷氨酸和5'-IMP含量较高,杀菌时间对EUC影响较小,高温杀菌后EUC降至9.46,这是由于高温热处理促进了游离氨基酸及核苷酸的分解反应,此结果与王南<sup>[41]</sup>对德州扒鸡的研究结果相似,高温热处理降低了EUC。

### 3 结论

研究3种热杀菌条件下(90℃、15min,90℃、30min和121℃、15min)酱卤鸭脖气味、滋味及营养成分等品质的变化。结果表明,除90℃、15min和90℃、30min杀菌组外,电子鼻能够很好地将不同样品区分开,传感器W2W、W1S和W6S在不同样品间的响应值有显著差异,高温杀菌组样品风味与其他样品差异较大。电子舌结果显示,杀菌对酱卤鸭脖的鲜味及咸味影响较大,结合呈味氨基酸及核苷酸含量的变化,引起鲜味变化的主要原因是谷氨酸、5'-AMP和5'-GMP含量变化,且高温杀菌后EUC明显下降。高温杀菌引起游离氨基酸和硫胺素等风味前体物质含量的显著下降。因此,高温杀菌后品质的变化可考虑通过外源定向弥补的方法进行调控。不同杀菌温度及时间均会影响鸭脖中脂肪、蛋白质等营养成分,结合感官评价,低温杀菌对品质造成的影响弱于高温杀菌,高温杀菌减弱了肉香味并生成令人不愉快的异味,高温杀菌对鲜味和咸味影响较大。

### 参考文献:

- [1] 朱萌,王德鹏,汪兰,等. 酱卤鸭脖储藏期风味变化[J]. 中国调味品, 2018, 43(8): 57-61. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2018.08.013.
- [2] ZHOU Jinjie, HAN Yanqing, ZHUANG Haining, et al. Influence of the type of extraction conditions and fiber coating on the meat of sauced duck neck volatile compounds extracted by solid-phase microextraction (SPME)[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(7): 1661-1672. DOI:10.1007/S12161-014-0049-7.
- [3] BARBOSA-CANOVAS G V, MEDINA-MEZA I, CANDOGAN K, et al. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 420-434. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.06.027.
- [4] 杨蓓蓓. 食品加工杀菌技术研究综述[J]. 食品安全导刊, 2020(27): 162. DOI:10.16043/j.cnki.cfs.2020.27.107.
- [5] SOLADOYE O P, JUÁREZ M, AALHUS J L, et al. Protein oxidation in processed meat: mechanisms and potential implications on human health[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(2): 106-122. DOI:10.1111/1541-4337.12127.
- [6] 宋盼,刘战民,李聪,等. 二次杀菌对盐水鸭品质和微生物的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 140-145. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2019.07.022.
- [7] 何苗,陈洁,曾茂茂,等. 高温杀菌对福建风味鸭风味的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 29-34. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2014.03.008.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中氯化物的测定: GB 5009.44—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [12] 马建荣,潘腾,王振宇,等. 传统炭烤羊肉特征滋味成分解析[J]. 食品科技, 2019, 44(4): 110-116. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2019.04.021.
- [13] 陈臣,刘政,黄轲,等. 基于GC-MS、GC-O及电子鼻评价不同加工方式对乳扇风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 108-117. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200719-254.
- [14] CHEN Qian, HU Yingying, WEN Rongxin, et al. Characterisation of the flavour profile of dry fermented sausages with different NaCl substitutes using HS-SPME-GC-MS combined with electronic nose and electronic tongue[J]. Meat Science, 2021, 172: 108338. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108338.
- [15] 刘建林,孙学颖,张晓蓉,等. GC-MS结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分[J]. 中国食品学报, 21(5): 348-354. DOI:10.16429/j.1009-7848.2021.05.041.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中维生素B<sub>1</sub>的测定: GB 5009.84—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 浦馨源,周辉,王兆明,等. 不同加工阶段对符离集烧鸡风味影响研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 89-98. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020110134.
- [18] 张小强. 热处理对鸡汤品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008: 34-35.

- [19] 刘登勇, 王南, 张庆永, 等. 德州扒鸡加工过程中基本营养指标变化规律研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(12): 122-126. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.12.016.
- [20] HUANG Li, XIONG Youling L., KONG Baohua, et al. Influence of storage temperature and duration on lipid and protein oxidation and flavour changes in frozen pork dumpling filler[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 295-301. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.04.034.
- [21] ZHANG Muhan, WANG Daoying, XU Xinglian, et al. iTRAQ-based proteomic analysis of duck muscle related to lipid oxidation[J]. Poultry Science, 2021, 100(4): 101029. DOI:10.1016/j.psj.2021.101029.
- [22] XU Jicheng, ZHANG Min, CAO Ping, et al. Effect of ZnO nanoparticles combined radio frequency pasteurization on the protein structure and water state of chicken thigh meat[J]. Food Science and Technology, 2020, 134(2): 108-116. DOI:10.1016/j.lwt.2020.110168.
- [23] NEETHING J, HOFFMAN L C, MULLER M. Factors influencing the flavour of game meat: a review[J]. Meat Science, 2016, 113: 139-153. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.11.022.
- [24] KIM S Y, LI J, LIM N R, et al. Prediction of warmed-over flavour development in cooked chicken by colorimetric sensor array[J]. Food Chemistry, 2016, 211: 440-447. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.05.084.
- [25] YANG Wenjian, YU Jie, FEI Pei, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2015, 196(1): 860-886. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.097.
- [26] DU Hongzhen, CHEN Qian, LIU Qian, et al. Evaluation of flavor characteristics of bacon smoked with different woodchips by HS-SPME-GC-MS combined with an electronic tongue and electronic nose[J]. Meat Science, 2021, 182: 1-9. DOI:10.1016/j.meatsci.2021.108626.
- [27] 蔡文韬, 夏延斌. 肉类香精风味形成机理及其研究进展[J]. 中国酿造, 2010, 29(1): 9-12. DOI:10.3069/j.issn.0254-5071.2010.01.004.
- [28] MELUCCI D, BENDINI A, TESINI F, et al. Rapid direct analysis to discriminate geographic origin of extra virgin olive oils by flash gas chromatography electronic nose and chemometrics[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 263-273. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.02.131.
- [29] 周惠健, 袁静瑶, 朱丹, 等. 杀菌方式对红烧老鹅脂肪酸组成和挥发性风味的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 216-222. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190119-223.
- [30] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review[J]. Meat Science, 2015, 110: 278-284. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.08.002.
- [31] REKHA P N, SINGHAL S, PANDIT A B. A study on degradation kinetics of thiamine in red gram splits (*Cajanus cajan* L.)[J]. Food Chemistry, 2004, 85(4): 591-598. DOI:10.1016/j.foodchem.2003.08.004.
- [32] RAMALINGAM V, SONG Z, HWANG I. The potential role of secondary metabolites in modulating the flavor and taste of the meat[J]. Food Research International, 2019, 122: 174-182. DOI:10.1016/j.foodres.2019.04.007.
- [33] 李婷婷, 黄业传, 雷裕田. 高压结合热处理对猪肉中硫胺素含量的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 53-57. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.19.002.
- [34] XING Tian, ZONG Junli, YU Zhouchao, 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(2): 122-128. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109456.
- [35] 黄孝闯, 张雅玮, 任晓镁, 等. 电子舌与感官评定对咸度评价的比较[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 285-290. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.11.046.
- [36] 刘鑫, 朴春香, 鞠铭, 等. 基于SPME-GC-MS电子鼻电子舌技术联用对不同替代盐干腌火腿风味成分进行表征[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 246-256. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210427-381.
- [37] 刘登勇, 刘欢, 张庆永, 等. 卤汤循环利用次数对扒鸡非盐呈味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(12): 194-199. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016767.
- [38] 王雪峰, 李春萍, 吴佳佳, 等. 臭鳊鱼发酵中滋味成分的鉴定与分析[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 222-229. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.01.032.
- [39] GUNLU A, GUNLU N. Taste activity value, free amino acid content and proximate composition of Mountain trout (*Salmo trutta macrostigma* Dumeril, 1858) muscles[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2014, 13(1): 58-72.
- [40] 刘胜男, 刘云锋, 曹荣, 等. 加工方式对玉筋鱼干风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 167-172. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20201019-166.
- [41] 王南. 扒鸡加工过程中品质指标变化规律[D]. 锦州: 渤海大学, 2016: 24-25.