

祁门红茶对传统猪肉脯感官品质及风味的影响

崔 萃¹, 谢婷婷^{1,2}, 周 宇¹, 张正敏², 顾千辉^{2,*}, 陈从贵^{1,*}

(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)

摘要:应用感官评价、挥发性风味物质检测和电子鼻技术分析祁门红茶添加量(0%、0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%)对传统猪肉脯感官及风味品质的影响。结果表明:相比于对照组(0%),添加0.20%~0.25%祁门红茶可新增特征香气成分橙花醇和香叶醇,显著提升猪肉脯的茶香味($P < 0.05$),猪肉脯中己醛、己酸、甲硫醇的相对含量分别显著降低5.75%~6.92%、0.49%~0.57%和0.10%~0.11%($P < 0.05$),并通过吸附油脂减少了异味感和油腻感,显著降低硫代巴比妥酸反应物值和羰基含量($P < 0.05$),抑制脂质氧化和蛋白质氧化,促进2-乙基吡嗪、2-甲基-6-乙炔基吡嗪等杂环化合物的生成,赋予猪肉脯更浓的焙烤风味。由此可见,添加祁门红茶可以提升猪肉脯的感官及风味品质。

关键词:猪肉脯; 祁门红茶; 气相色谱-质谱联用技术; 电子鼻; 风味

Effect of Keemun Black Tea on the Sensory Quality and Flavor of Dried Pork Slices

CUI Cui¹, XIE Tingting^{1,2}, ZHOU Yu¹, ZHANG Zhengmin², GU Qianhui^{2,*}, CHEN Conggui^{1,*}

(1.School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2.Three Squirrels Co. Ltd., Wuhu 241000, China)

Abstract: The effect of adding different amounts (0%, 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, and 0.25%) of Keemun black tea on the sensory quality and flavor quality of dried pork slices were studied by sensory evaluation, detection of volatile flavor compounds and electronic nose analysis. The results showed that compared with the control group (without the addition of the tea), nerol and geraniol, characteristic aroma components in Keemun black tea, were detected in dried pork slices with 0.20%~0.25% of Keemun black tea, which significantly improved the tea-like aroma of dried pork slices ($P < 0.05$). And the relative contents of hexanal, hexanoic acid and methanethiol in dried pork slices with 0.20%~0.25% of Keemun black tea were significantly decreased by 5.75%~6.92%, 0.49%~0.57%, and 0.10%~0.11%, respectively ($P < 0.05$). By adsorbing lipids, Keemun black tea could reduce the off-flavor and greasy mouthfeel of dried pork slices ($P < 0.05$). The thiobarbituric acid reactive substance values and carbonyl contents were significantly reduced ($P < 0.05$), and the oxidation of lipid and protein was inhibited. The addition of Keemun black tea in dried pork slices was beneficial to the formation of heterocyclic compounds such as 2-ethylpyrazine and 2-methyl-6-vinylpyrazine, imparting a stronger roasted flavor to dried pork slices. In conclusion, the addition of Keemun black tea could improve the sensory quality and flavor quality of dried pork slices.

Keywords: dried pork slices; Keemun black tea; gas chromatography-mass spectrometry; electronic nose; flavor

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220225-010

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2022)05-0054-08

引文格式:

崔萃, 谢婷婷, 周宇, 等. 祁门红茶对传统猪肉脯感官品质及风味的影响[J]. 肉类研究, 2022, 36(5): 54-61. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220225-010. <http://www.rlyj.net.cn>

CUI Cui, XIE Tingting, ZHOU Yu, et al. Effect of Keemun black tea on the sensory quality and flavor of dried pork slices[J]. Meat Research, 2022, 36(5): 54-61. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220225-010. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2022-02-25

基金项目: 安徽省科技重大专项(202003a06020029)

第一作者简介: 崔萃(1997—)(ORCID: 0000-0002-1473-0982), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉制品现代加工技术。

E-mail: 1969435272@qq.com

*通信作者简介: 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

陈从贵(1963—)(ORCID: 0000-0001-7011-0406), 男, 教授, 硕士, 研究方向为肉制品加工及副产物综合利用。E-mail: chengcl629@hfut.edu.cn



猪肉脯是我国著名的传统肉制品,其肉质紧实,富含蛋白质及多种营养成分,具有特殊的焙烤风味,回味无穷^[1-2],深受消费者欢迎,在休闲肉制品消费市场中占据重要地位^[3]。猪肉脯独特的风味是原料肉和辅料中的游离氨基酸、肽、还原糖、维生素、核苷酸和不饱和脂肪酸等在加工过程中发生美拉德反应、脂质氧化、蛋白质氧化、巯胺素热降解及其相互作用的结果^[4]。但在加工过程中,不同的加工方法和工艺参数会使猪肉脯中的脂肪、蛋白质发生不同程度的氧化,易导致腥味、异味等不良风味的产生及油腻感的增加^[5-6],从而降低猪肉脯的食用品质。随着电商的兴起,猪肉脯正在从中国传统地域特产食品向休闲零食转变,市场规模迅速发展,改善猪肉脯风味对促进行业发展具有重要意义。

祁门红茶是我国十大名茶之一,与斯里兰卡乌瓦茶和印度大吉岭红茶并称为世界三大红茶,其独特的“祁门香”以浓郁的玫瑰花香、蜜糖香和甜香为特征,享誉世界^[7-8],含有丰富的营养成分和多种生物活性物质,具有抗氧化、降血糖、预防心血管疾病等多种生理功能^[9]。随着人们饮食习惯向健康化转变,加工具有特殊风味的功能性新型茶食品,变“饮茶”为“吃茶”,可以更好地发挥茶叶的功能价值^[10]。王伟等^[11]将西农春绿、祁门红茶、西农花茶按5:4:3的质量比加入到川式香肠中,丰富了香肠的风味和产品种类,并抑制了脂肪氧化,提高了呈色稳定性。葛胜晗等^[12]基于气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术和感官评价,研究红茶对海螺肉腥味成分的影响,发现采用红茶浸泡方法可以除去海螺肉的腥味,改善感官品质。顾千辉^[13]、杨锋^[14]等分别通过微胶囊包埋工艺、茶多酚复配的方式将天然红茶粉加入到猪肉脯中,赋予猪肉脯特殊的茶香风味,同时有效抑制猪肉脯贮藏期间酸价和过氧化值的升高。

国内外对于猪肉脯风味的研究,目前多集中于构建不同干燥条件^[15]、不同加工阶段^[16-17]猪肉脯的风味指纹图谱以及菌种^[18]、黑布林李子^[19]等外源添加剂对猪肉脯风味的影响,但关于祁门红茶对猪肉脯风味的影响文献报道还很少。本研究利用感官评价、GC-MS、电子鼻等手段,分析祁门红茶对猪肉脯感官品质、挥发性风味物质及氧化特性的影响,旨在丰富传统猪肉脯风味,为其风味创新提供理论及技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻猪后腿肉(公猪,Ⅳ号肉) 中粮肉食(江苏)有限公司;猪背膘 湖南湘村高科农业股份有限公司;祁门红茶(2020年4月生产,保质期3年) 祁门县祁

相云茶厂;鱼露 汕头市初汤调味品有限公司;复配水分保持剂(三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠质量比2:2:1) 天富(连云港)食品配料有限公司;红曲红 广东科隆生物科技有限公司;乳酸钠(食品级) 河南金丹乳酸科技股份有限公司;甘油 连云港新爱食品科技有限公司;白砂糖、味精、鸡蛋 市售。

三氯乙酸、2,4-二硝基苯肼(2,4-dinitrophenylhydrazine, DNPH) 上海阿拉丁试剂有限公司;2-硫代巴比妥酸、盐酸胍 上海源叶生物科技有限公司;1,1,3,3-四乙氧基丙烷 北京百灵威科技有限公司;乙二胺四乙酸二钠(ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt, EDTA-2Na)、十二水合磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、无水乙醇、氯化钠(NaCl) 国药集团化学试剂有限公司;以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

BJ-800A多功能粉碎机 德清拜杰电器有限公司;标准检验筛(GB/T 6003.1—2012《试验筛 技术要求和检验 第1部分:金属丝编织网试验筛》) 上虞华丰五金仪器有限公司;DGQ-32B不锈钢切片机 浙江应晓工贸有限公司;S12-A816碎肉机 杭州九阳生活电器有限公司;VT-20真空滚揉机 瑞士Suhner AG公司;SCC WE 101万能蒸烤箱 德国Rational公司;ESK-01台式电烧烤炉 麦众电器科技有限公司;PL1002E/02便携式天平 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;TRACE 1310 GC-TSQ8000三重四极杆MS联用仪 美国赛默飞世尔科技有限公司;PEN3电子鼻 德国Airsense公司;THZ-D恒温振荡器 江苏太仓市实验设备厂;FA25高剪切分散乳化机 上海弗鲁克科技发展有限公司;Microfuge 22R冷冻离心机 美国Beckman Coulter公司;M2e多功能酶标仪 美国MD公司。

1.3 方法

1.3.1 祁门红茶粉的制备

祁门红茶粉现用现制:将祁门红茶置于多功能粉碎机中,粉碎后用标准检验筛进行筛分,取100目筛下、200目筛上的祁门红茶粉,用于猪肉脯的制备。

1.3.2 猪肉脯的制作工艺流程及操作要点

参照张正敏等^[20]方法,并稍作修改。猪肉脯制作工艺如下:原料肉预处理→复合原料肉制备→配料→滚揉腌制→摊筛→变温干燥→烤制→压平、分切→冷却、包装→成品。

工艺操作要点:1)原料肉预处理:将冷冻的猪后腿肉、猪背膘流水解冻4 h左右,分割修整,剔除筋膜和结缔组织;2)复合原料肉制备:使用不锈钢切片机,将预处理后的猪后腿肉顺纹理切成2.5 mm的薄片状,备用;按照猪后腿肉和猪背膘质量比6:4混合,并用碎肉机绞碎、斩拌制成肉糜;再将片状肉和肉糜按质量比

8:2混合,得到制作猪肉脯的复合原料肉;3)配料:以复合原料肉质量为基数,添加质量分数22%白砂糖、1.2%味精、6.3%鱼露、0.2%复配水分保持剂、0.02%红曲红、17%鸡蛋液、1%乳酸钠、1%甘油、15%冰水和一定量的祁门红茶粉,混合均匀配制成腌制液,祁门红茶粉添加水平参照GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中茶多酚的限量使用标准,并在预实验的基础上将其质量分数设计为0%、0.05%、0.10%、0.15%、0.20%和0.25%;4)滚揉腌制:将复合原料肉和腌制液按照给定的质量比混合后,置于滚揉机中,4℃条件下滚揉腌制1 h;5)摊筛:将滚揉腌制好的片状肉平摊于带孔不锈钢筛上,再用滚揉后残余的糜状碎肉和辅料填补于片状肉的空隙中;要求摊筛完成后,钢筛上的肉片表面光滑、平整、厚薄均匀;6)变温干燥:将摊筛后的猪肉脯进行变温热风干燥,干燥条件为:55℃/1 h+65℃/1 h+75℃/1 h+85℃/1 h;7)烤制:将干燥后的猪肉脯半成品用台式电烧烤炉180℃烤制90 s,且每隔15 s翻面1次;8)压平、分切:将烤制后的猪肉脯迅速压平,然后分切成4 cm×5.5 cm规格的长方形;9)冷却、包装:片状猪肉脯冷却至室温后,经真空包装,于25℃室温下贮存。

1.3.3 感官评价

结合猪肉脯的感官属性和本研究的目标(如茶香味、异味、油腻感),参照GB/T 31406—2015《肉脯》的感官要求和张慢^[6]的评价方法,评价指标和具体描述见表1。

表1 猪肉脯感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of pork jerky

评价指标	具体描述	评分
茶香味	红茶清香的浓烈程度,程度越高,分值越高	0~10
异味	猪肉腥味的浓烈程度,程度越低,分值越高	0~10
肉香味	猪肉的自然香气,程度越高,分值越高	0~10
油腻感	油腻程度,程度越低,分值越高	0~10
色泽	红色的深浅度(暗红色-深红色-棕红色,分值从低到高)	0~10
质构	咀嚼性和紧实度的接受程度,程度越高,分值越高	0~10
总体可接受度	猪肉脯的整体接受、喜爱程度,程度越高,分值越高	0~10

感官评价小组由通过基本味测试并经筛选的10位人员(男、女各5人)组成。评价人员需经过培训,熟悉样品的色、香、味、质地等特征,掌握猪肉脯感官评定分析的评分标准。感官评价满分为10分,采用盲评计分方式,在室温(25±2)℃下进行评价。评价人员需从茶香味、异味、肉香味、油腻感、色泽、质构、总体可接受度7个方面对猪肉脯进行打分,评定样品时要求不接触、不交流,评定之前需用温水漱口,且品尝不同样品时,间隔期内也应漱口,间隔时间约3 min。

供感官评价的猪肉脯样品采用随机3位数进行编码,避免使用喜爱忌讳或容易记忆的数字,且统一采用洁净白纸放置样品。评价气味属性(茶香味、异味、肉香味)时,为避免色泽的干扰,准确称量10 g粉碎后的猪肉脯样品,装入不透明铝箔袋中,供评价人员独立嗅闻、评分。

1.3.4 挥发性风味物质测定

参照周慧敏等^[21]的方法,并作修改。采用固相微萃取法进行前处理,准确称取2 g粉碎后的猪肉脯样品置于20 mL顶空瓶中,旋紧盖子,采用仪器自带的孵化炉进行加热,孵化温度55℃,孵化时间15 min,老化好的萃取针插入顶空瓶中,使石英纤维头暴露于顶空气体中吸附30 min。

GC条件: TG-Wax MS极性柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),载气为高纯氮气,流速1.0 mL/min;升温程序:柱起始温度为40℃,保持1 min,以3℃/min速率升温到200℃,再以15℃/min速率升温到250℃,保持3 min。

MS条件:离子源为电子轰击源,电离能量70 eV,传输线温度280℃,离子源温度300℃,质量扫描范围35~350 u。

通过检索NIST谱库,进行挥发性风味物质定性分析,其中化合物的确定以正反匹配度均大于800为准,并根据面积归一化法计算各化合物的相对含量。

1.3.5 电子鼻测定

参照杜晓兰等^[22]的方法并略作改动。准确称取3 g粉碎后的猪肉脯样品于20 mL顶空瓶中,50℃水浴加热30 min,室温下平衡30 min,使用经活性炭过滤后的空气将样品顶空部分的气体吹扫进电子鼻中进行检测。电子鼻内置10个传感器阵列,具体名称及性能描述见表2^[23]。

表2 电子鼻传感器阵列及其性能描述

Table 2 Electronic nose sensor arrays and their performance description

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分、苯类灵敏
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对芳香成分、氨类灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	对短链烷烃、芳香成分灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

电子鼻主要检测参数为:初始进样流量300 mL/min,取样间隔时间1 s,清洗时间220 s,检测时间150 s,零点修剪时间10 s。待电子鼻传感器阵列检测信号稳定后,选择信号响应曲线中140~150 s的平均值作为电子鼻的最终实验数据,重复测定3次。

1.3.6 硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substance, TBARs) 值测定

参照GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法测定。取5 g粉碎后的样品置入100 mL锥形瓶中,准确加入50 mL 7.5 g/100 mL三氯乙酸(含0.01 g/100 mL EDTA-2Na),摇匀密封,置于恒温振荡器上50 ℃振荡30 min后取出,冷却至室温,用双层定量滤纸过滤,取5 mL滤液与5 mL 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸溶液混匀,加塞后在90 ℃水浴反应30 min取出,冷却至室温后在532 nm波长处测定吸光度,以三氯乙酸混合液作空白对照,以丙二醛标准系列溶液绘制标准曲线,TBARs值以猪肉脯中丙二醛含量表示,按式(1)计算,重复测定3次。

$$\text{TBARs值}/(\text{mg/kg}) = \frac{\rho \times V \times 1\,000}{m \times 1\,000} \quad (1)$$

式中: ρ 为标准曲线上对应的丙二醛质量浓度($\mu\text{g/mL}$); V 为试样溶液定容体积/mL; m 为试样质量/g;1 000为换算系数。

1.3.7 羰基含量测定

参照Berardo等^[24]的方法,取3 g粉碎后的样品与30 mL磷酸盐缓冲液(20 mmol/L、pH 6.5,含0.6 mol/L NaCl)混匀,均质处理(10 000 r/min、1 min)。取2份0.2 mL的匀浆,分别加入1 mL 10 g/100 mL三氯乙酸溶液混匀,离心(12 100×g、4 ℃、15 min)后收集沉淀。其中一份沉淀加入0.5 mL DNPH溶液(10 mmol/L,溶于2 mol/L盐酸),另一份沉淀加入0.5 mL 2 mol/L盐酸作为空白对照,25 ℃振荡反应1 h后,与0.5 mL 20 g/100 mL三氯乙酸溶液混匀,离心(4 000×g、4 ℃、10 min)后收集沉淀。用1 mL乙醇、乙酸乙酯混合液(1:1, V/V)洗涤沉淀3次后,将沉淀溶于1 mL 6 mol/L盐酸胍溶液中,37 ℃水浴15 min,离心(4 000×g、4 ℃、10 min)后取上清液,在280 nm和370 nm波长处分别测定吸光度。羰基含量按式(2)计算,以每毫克蛋白计,重复测定3次。

$$\text{羰基含量}/(\text{nmol/mg}) = \frac{A_{370\text{ nm}}}{\varepsilon \times (A_{280\text{ nm}} - A_{370\text{ nm}} \times 0.43)} \times 10^6 \quad (2)$$

式中: ε 为吸光系数(22 000 L/(mol·cm))。

1.4 数据处理

采用IBM SPSS 26.0软件(SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA)对数据进行统计分析,实验结果表示为平均值±标准差,组间比较采用单因素方差分析法中的Duncan's多重检验法,以 $P < 0.05$ 表示差异具有显著性。采用Origin 2018软件(Northampton, MA, USA)对电子鼻结果进行主成分分析(principal component analysis, PCA),对数据进行绘图分析。

2 结果与分析

2.1 祁门红茶对猪肉脯感官品质的影响

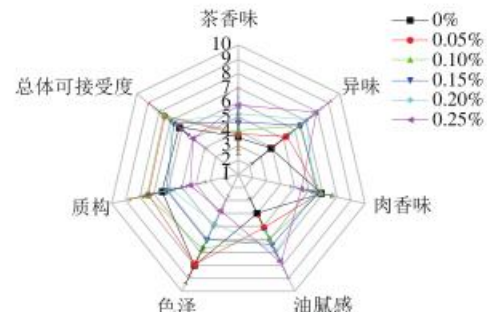


图1 祁门红茶添加量对猪肉脯感官评分的影响

Fig. 1 Effect of Keemun black tea on sensory scores of pork jerky

感官评价结果表明,不同祁门红茶添加量的猪肉脯样品在7个感官属性方面均有显著性差异($P < 0.05$)。由图1可知:随着祁门红茶添加量的增大,茶香味评分逐渐升高,在0.20%和0.25%添加水平可嗅闻到明显的祁门红茶茶香味;在异味和油腻感评价中,与对照组相比,添加0.20%~0.25%的祁门红茶会明显降低猪肉脯腥味和油腻感对评价者感官的刺激程度,表现出其评分值的显著升高($P < 0.05$),表明猪肉脯的腥味和油腻感对评价者感官上的刺激程度下降;猪肉脯的总体可接受度以0.10%添加组较佳,原因在于0.20%和0.25%的祁门红茶添加量会导致产品的色泽评分显著降低($P < 0.05$)。

风味是猪肉脯重要的感官属性之一。猪肉脯加工过程中会发生脂肪氧化与水解、蛋白氧化等一系列化学反应,产生大量的挥发性风味物质,赋予其诱人的风味,但脂肪等的过度氧化也会带来不适的异味,如腥味等^[25]。茶叶中的膳食纤维和茶蛋白具有较好的吸油性,萜烯类化合物还具有吸附腥味和异味等作用^[12],这些可能是祁门红茶抑制猪肉脯中腥味和油腻感的主要原因,对改善产品风味具有积极作用。

2.2 祁门红茶对猪肉脯挥发性风味物质的影响

表3 祁门红茶添加量对猪肉脯挥发性风味物质组成的影响
Table 3 Effect of Keemun black tea on volatile flavor compounds of pork jerky

化合物类别	化合物名称	祁门红茶添加量/%					
		0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
醛类	正庚醛	1.12±0.08 ^a	0.61±0.10 ^a	0.88±0.08 ^a	0.39±0.01 ^d	0.18±0.03 ^e	0.38±0.06 ^d
	正十四醛	0.06±0.00 ^a	0.04±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.06±0.01 ^a	0.06±0.00 ^a	0.06±0.01 ^a
	1-辛烯	0.13±0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2-辛烯	0.17±0.01 ^a	0.09±0.06 ^b	0.05±0.01 ^b	0.06±0.00 ^b	n.d.	n.d.
	右旋萜二烯	0.57±0.06 ^a	0.26±0.02 ^a	0.30±0.03 ^a	0.53±0.11 ^a	0.34±0.05 ^b	0.41±0.03 ^b
	1-十一烯	n.d.	0.23±0.02 ^a	0.44±0.07 ^a	0.40±0.09 ^a	0.44±0.05 ^a	0.62±0.08 ^a
	甲苯	0.52±0.05 ^a	0.45±0.03 ^a	0.54±0.07 ^a	0.53±0.13 ^a	0.51±0.02 ^a	0.55±0.06 ^a
	邻二甲苯	0.12±0.01 ^d	0.18±0.01 ^a	0.20±0.03 ^b	0.26±0.06 ^b	0.27±0.02 ^a	0.29±0.03 ^a
	乙基苯	0.10±0.01 ^b	0.09±0.00 ^b	0.10±0.02 ^b	0.16±0.05 ^a	0.11±0.01 ^b	0.13±0.01 ^a
	邻-异丙基苯	0.08±0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	合计	2.87±0.18 ^a	1.95±0.22 ^a	2.57±0.19 ^b	2.39±0.24 ^b	1.90±0.09 ^c	2.44±0.24 ^b

续表3

%

化合物类别	化合物名称	祁门红茶添加量/%				
		0	0.05	0.10	0.15	0.25
醛类	乙醛	0.18±0.02 ^a	0.15±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a	0.18±0.01 ^a	0.17±0.02 ^a
	戊醛	0.49±0.03 ^b	0.38±0.04 ^a	0.59±0.06 ^b	0.59±0.12 ^b	0.65±0.03 ^a
	己醛	14.17±0.89 ^a	8.80±1.09 ^b	11.77±1.12 ^a	7.88±2.60 ^b	7.25±0.64 ^b
	庚醛	2.20±0.14 ^a	1.72±0.13 ^a	2.13±0.24 ^a	1.71±0.58 ^a	2.26±0.13 ^a
	辛醛	2.09±0.14 ^b	1.96±0.08 ^b	2.37±0.23 ^b	1.74±0.40 ^a	2.70±0.20 ^a
	壬醛	6.09±0.41 ^a	4.78±0.20 ^b	4.94±0.48 ^b	3.55±0.80 ^a	5.89±0.30 ^b
	癸醛	0.09±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.09±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.08±0.00 ^a
	十六醛	1.12±0.17 ^a	1.07±0.32 ^a	1.17±0.35 ^a	1.19±0.20 ^a	1.19±0.00 ^a
	异丁醛	0.25±0.02 ^d	0.34±0.03 ^d	0.40±0.02 ^b	0.27±0.13 ^a	0.49±0.02 ^b
	异戊醛	1.35±0.10 ^d	1.67±0.15 ^d	2.02±0.09 ^b	1.55±0.55 ^d	2.39±0.14 ^a
	苯甲醛	0.39±0.02 ^b	0.42±0.02 ^b	0.42±0.01 ^b	0.47±0.11 ^a	0.36±0.04 ^a
	苯乙醛	0.58±0.04 ^b	0.47±0.02 ^a	0.67±0.07 ^b	0.57±0.13 ^b	0.62±0.02 ^b
	2-甲基丁醛	2.07±0.53 ^d	2.72±0.20 ^a	3.26±0.16 ^a	1.88±0.03 ^a	2.40±0.15 ^a
	2-庚醛	0.11±0.02 ^b	0.08±0.01 ^a	0.13±0.04 ^b	0.14±0.03 ^b	0.19±0.04 ^a
	3-甲基苯丙醛	0.27±0.02 ^a	0.27±0.02 ^a	0.33±0.04 ^b	0.29±0.07 ^a	0.36±0.02 ^b
	合计	31.46±1.86 ^a	24.90±1.67 ^b	30.48±2.61 ^b	22.09±3.76 ^b	27.01±1.57 ^b
	正戊醇	0.54±0.03 ^a	0.32±0.04 ^a	0.38±0.03 ^a	0.31±0.10 ^a	0.30±0.03 ^a
	正己醇	0.46±0.03 ^a	0.32±0.03 ^a	0.40±0.04 ^b	0.34±0.09 ^b	0.37±0.02 ^b
	异辛醇	0.16±0.02 ^d	0.57±0.07 ^b	0.86±0.09 ^b	0.83±0.18 ^a	0.71±0.03 ^b
	甲硫醇	0.28±0.03 ^a	0.17±0.02 ^a	0.21±0.03 ^a	0.15±0.07 ^a	0.17±0.02 ^a
	1-戊烯-3-醇	0.08±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a
醇类	1-辛烯-3-醇	1.81±0.12 ^a	1.17±0.05 ^a	1.40±0.15 ^a	1.30±0.34 ^a	1.27±0.13 ^a
	反-2-辛烯-1-醇	0.17±0.01 ^a	0.11±0.01 ^a	0.11±0.02 ^a	0.11±0.02 ^a	0.13±0.02 ^a
	糠醇	n.d.	0.10±0.01 ^a	0.11±0.02 ^a	0.11±0.02 ^a	0.17±0.03 ^a
	芳樟醇	0.74±0.02 ^b	0.58±0.06 ^b	0.57±0.06 ^b	0.85±0.22 ^a	0.71±0.06 ^b
	桉叶油醇	1.40±0.20 ^a	0.82±0.07 ^a	1.20±0.12 ^a	1.30±0.31 ^a	1.20±0.19 ^a
	橙花醇	n.d.	n.d.	n.d.	0.09±0.02 ^b	0.11±0.01 ^a
	香叶醇	n.d.	n.d.	n.d.	0.09±0.00 ^a	0.10±0.01 ^b
	合计	5.64±0.44 ^a	4.24±0.25 ^b	5.32±0.49 ^b	5.55±1.33 ^a	5.32±0.37 ^b
	丙酮	0.55±0.13 ^a	0.60±0.08 ^a	0.63±0.04 ^a	0.53±0.12 ^a	0.45±0.03 ^a
	2-丁酮	n.d.	0.21±0.00 ^a	0.20±0.01 ^a	0.16±0.02 ^b	0.12±0.01 ^c
酮类	2-庚酮	0.53±0.03 ^a	0.34±0.03 ^a	0.55±0.05 ^a	0.46±0.13 ^b	0.29±0.02 ^a
	2,3-戊二酮	0.26±0.02 ^a	0.23±0.02 ^a	0.40±0.07 ^b	0.39±0.12 ^b	0.60±0.04 ^a
	羧基丙酮	n.d.	n.d.	n.d.	1.20±0.07 ^a	1.74±0.12 ^a
	3-羟基-2-丁酮	0.57±0.03 ^a	0.33±0.05 ^a	0.48±0.06 ^b	0.44±0.13 ^b	0.38±0.02 ^b
	3-甲基-2-戊酮	0.22±0.02 ^a	0.18±0.00 ^a	n.d.	n.d.	n.d.
	2,3-二羧基-3,5-二羧基-6-甲基-4(1H)-吡喃-4-酮	0.40±0.08 ^a	0.46±0.02 ^a	0.55±0.05 ^b	0.53±0.11 ^b	1.58±0.39 ^a
	合计	2.52±0.16 ^d	2.36±0.14 ^d	2.81±0.19 ^d	3.72±0.60 ^d	5.17±0.39 ^a
	乙酸	4.94±0.39 ^b	4.16±0.19 ^a	4.38±0.31 ^b	4.58±1.44 ^b	5.48±0.34 ^b
	丁酸	4.46±0.37 ^a	3.41±0.41 ^a	4.08±0.58 ^a	4.33±1.44 ^a	3.94±0.32 ^a
	己酸	0.89±0.15 ^a	0.46±0.07 ^a	0.50±0.17 ^a	0.63±0.31 ^a	0.40±0.07 ^a
酸类	辛酸	n.d.	n.d.	0.17±0.01 ^a	0.17±0.03 ^a	0.17±0.01 ^a
	异戊酸	0.44±0.04 ^a	0.39±0.04 ^a	0.45±0.04 ^b	0.50±0.15 ^b	0.48±0.03 ^b
	2-甲基丁酸	0.20±0.01 ^b	0.18±0.02 ^a	0.21±0.02 ^b	0.24±0.07 ^b	0.21±0.01 ^b
	合计	10.93±0.93 ^b	8.59±0.73 ^b	9.79±0.50 ^b	10.45±3.42 ^b	10.68±0.70 ^b
	γ-己内酯	0.10±0.01 ^b	0.09±0.01 ^a	0.13±0.02 ^a	0.13±0.03 ^a	0.12±0.01 ^b
酯类	甲酸辛酯	0.63±0.05 ^a	0.48±0.02 ^b	0.51±0.05 ^b	0.43±0.09 ^a	0.57±0.04 ^b
	合计	0.73±0.06 ^a	0.57±0.03 ^a	0.64±0.07 ^b	0.56±0.12 ^b	0.69±0.05 ^a
	2,5-二甲基吡嗪	0.76±0.09 ^d	2.03±0.12 ^c	2.13±0.25 ^b	1.07±0.29 ^d	2.70±0.73 ^b
杂环化合物	2-乙基吡嗪	n.d.	0.05±0.01 ^a	0.06±0.01 ^b	0.08±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a
	2-甲基-6-乙基吡嗪	0.14±0.01 ^d	0.25±0.01 ^c	0.24±0.03 ^c	0.23±0.03 ^c	0.43±0.03 ^a
	2-乙基-3-甲基吡嗪	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.09±0.01 ^a

续表3

%

化合物类别	化合物名称	祁门红茶添加量/%				
		0	0.05	0.10	0.15	0.25
其他	3-乙基-2,5-甲基吡嗪	0.18±0.02 ^a	0.54±0.02 ^b	0.52±0.05 ^b	0.25±0.05 ^a	0.71±0.05 ^a
	2-乙基吡嗪	0.14±0.01 ^a	0.11±0.02 ^a	0.14±0.02 ^a	0.11±0.00 ^a	0.05±0.01 ^a
	2-正戊基吡嗪	1.38±0.10 ^a	0.99±0.08 ^b	0.89±0.35 ^b	0.82±0.24 ^a	0.81±0.11 ^a
	2-乙基吡嗪	n.d.	0.33±0.01 ^d	0.38±0.08 ^d	0.44±0.09 ^b	0.55±0.03 ^a
	合计	2.60±0.22 ^a	4.30±0.18 ^b	4.35±0.18 ^b	3.00±0.59 ^a	5.42±0.85 ^a
其他	三甲胺	3.29±0.22 ^a	2.42±0.20 ^b	3.37±0.28 ^a	3.16±0.88 ^b	3.15±0.24 ^a
	二甲基二硫	0.11±0.01 ^c	0.15±0.01 ^b	0.16±0.03 ^a	0.12±0.03 ^b	0.11±0.01 ^a
	二甲基硫醚	0.16±0.04 ^a	0.13±0.03 ^a	0.14±0.00 ^a	0.14±0.05 ^a	0.11±0.00 ^a
	咖啡因	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.10±0.01 ^a
	合计	3.56±0.24 ^a	2.70±0.22 ^b	3.67±0.30 ^a	3.42±0.94 ^b	3.46±0.24 ^a

注：同行小写字母不同，表示差异显著（ $P<0.05$ ）；n.d. 未检出。

由表3可知，添加祁门红茶的猪肉脯经GC-MS分析后，共鉴定出主要挥发性风味物质65种，包括烃类10种、醛类15种、醇类12种、酮类8种、酸类6种、酯类2种、杂环化合物8种、其他类4种。

醛类是各组中种类最多、含量最高的挥发性风味物质，占总挥发性成分的22.09%~31.46%，以己醛和壬醛为主。醛类化合物的气味阈值普遍较低，在肉制品的风味形成中发挥着重要作用^[26]，己醛、壬醛等直链醛主要来自于不饱和脂肪酸的过氧化作用，且壬醛具有强烈的油脂气味^[27]。祁门红茶添加组的己醛相对含量（除0.10%组外）均显著低于对照组（ $P<0.05$ ），且壬醛相对含量也均低于对照组，这些结果可能与祁门红茶抑制了脂质氧化有关。有研究发现，猪肉、羊肉、鸭肉等畜禽肉类异味物质主要为挥发性小分子醛、酮、酸，尤其是己醛，具有令人不愉快的肉腥味^[15,28]。可见，祁门红茶的添加能显著降低猪肉脯的油脂味、肉腥味。

本研究中，酸类是猪肉脯中相对含量仅次于醛类的挥发性风味物质，占总挥发性成分的8.59%~11.87%，被鉴定出的主要酸类物质有乙酸、丁酸、己酸、辛酸、异戊酸和2-甲基丁酸，其中己酸来源于己醛的进一步氧化^[26]，也具有油脂味^[29]，而所有祁门红茶添加组的己酸相对含量均低于对照组，且0.20%和0.25%添加水平下，能显著降低猪肉脯中己酸的相对含量（ $P<0.05$ ）。

当祁门红茶添加量达到0.15%时，猪肉脯中鉴定出的醇类化合物从9种增至12种，新检出的醇类化合物包括橙花醇和香叶醇，且随着祁门红茶添加量继续增加，二者的相对含量均显著增加（ $P<0.05$ ）。肉制品中的醇类化合物主要由脂质氧化水解、氨基酸降解、甲基酮及醛类还原等途径产生^[30]，而橙花醇和香叶醇则是祁门红茶的特征香气成分^[8]。橙花醇具有近似新鲜玫瑰的香甜气，微带柑橘香，而香叶醇具有玫瑰花香、甜香^[31]，0.15%、

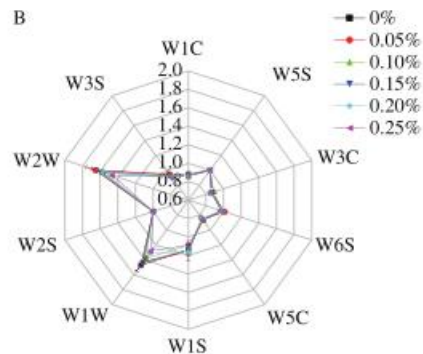
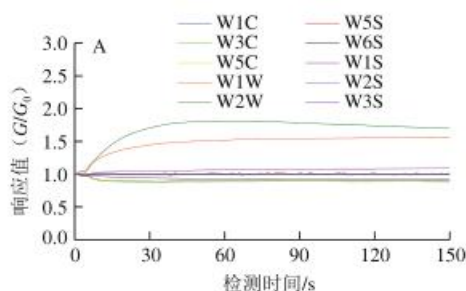
0.20%和0.25% 3组中检测出2种祁门红茶特征醇类成分,与感官评价中茶香味评分结果一致;添加祁门红茶猪肉脯中检测出的糖醇成分具有焦糖香、甜香及咖啡香等气味,一般由糖醛发生还原反应生成^[32]。1-辛烯-3-醇具有蘑菇味,被认为是猪肉的重要特征香气化合物,来源于脂质 β -氧化^[33],在醇类物质中相对含量最高;甲硫醇有令人不愉快的臭味,类似于大蒜、乳酪、洋葱、蛋等气味,祁门红茶添加组的1-辛烯-3-醇和甲硫醇相对含量均显著低于对照组($P<0.05$),有利于改善风味。醇类化合物对肉制品风味的贡献虽不如醛类,但其对美拉德反应产物的总体气味有协同效应^[32],对产品的风味构成起到不可替代的作用。

杂环化合物具有烘烤、焦糖味及甜味等,一般由美拉德反应、焦糖化反应及硫胺素的降解产生^[6],是猪肉脯特色焙烤风味的主要贡献物质。2-乙基吡嗪、2-甲基-6-乙基吡嗪、3-乙基-2,5-甲基吡嗪和2-乙酰基吡咯均具有典型的烘烤香、焦糖味、坚果味及甜香^[29]。与对照组相比,祁门红茶添加组新增了2-乙基吡嗪和2-乙酰基吡咯成分,且2-甲基-6-乙基吡嗪、3-乙基-2,5-甲基吡嗪的相对含量均高于对照组,尤其在0.20%和0.25%添加量下其相对含量增加显著($P<0.05$)。由此可以推测,添加的祁门红茶对猪肉脯中杂环化合物类风味物质的生成有促进作用,有助于形成诱人的焙烤风味。

2-丁酮和2-庚酮是猪肉中主要的风味酮类化合物^[21],2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(*H*)-吡喃-4-酮普遍存在于美拉德反应产物、糖裂解产物和天然浸膏中,这类化合物大多具有焦糖样香味,在所有祁门红茶组中的相对含量均高于对照组,且0.20%和0.25%组与对照组具有显著性差异($P<0.05$),进一步说明祁门红茶可能通过影响美拉德反应干预猪肉脯风味的形成。

烃类在各组猪肉脯样品中相对含量较低,且其气味阈值较高,对猪肉脯的风味贡献有限。酯类也仅检测到 γ -己内酯和甲酸辛酯2种物质,可以为猪肉脯贡献果香等风味^[29]。

2.3 祁门红茶对猪肉脯电子鼻测定结果的影响

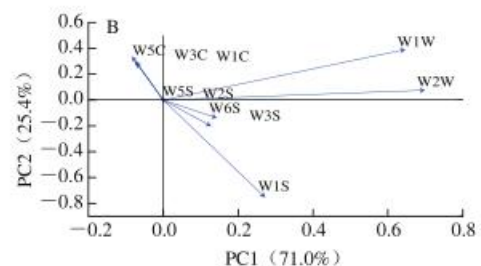
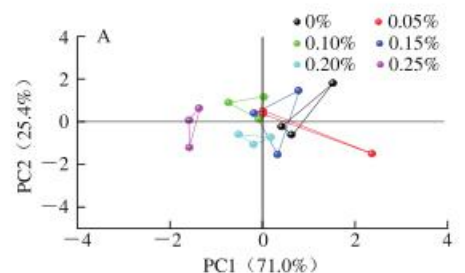


A. 电子鼻检测响应曲线; B. 雷达图。

图2 祁门红茶添加量对猪肉脯电子鼻检测结果的影响

Fig. 2 Effect of Keemun black tea on electronic nose detection results of pork jerky

由图2可知,祁门红茶不同添加量下的猪肉脯风味轮廓相似,各组样品对传感器W1S、W1W和W2W的响应最为敏感,对传感器W1C、W3C和W5C的响应较微弱,对W1W、W2W和W6S 3根传感器的响应值具有显著性差异($P<0.05$),0.25%组对W1W和W2W传感器的响应值显著低于对照组($P<0.05$)。根据电子鼻不同传感器阵列的性能描述(表2),W6S主要对氢化物有选择性,W1W对无机硫化物灵敏,W2W对芳香成分、有机硫化物灵敏,含硫化物虽然在食品中的含量很少,但其阈值很低,对风味具有重要作用^[6]。Wilkes等^[34]发现,肉制品中的异味化合物主要为脂肪和蛋白质等发生化学反应产生的硫化氢、甲硫醇、二甲基硫醚等。结合GC-MS的检测结果(表3),0.25%组二甲基硫醚相对含量低于对照组,甲硫醇相对含量显著低于对照组($P<0.05$),与电子鼻结果一致。



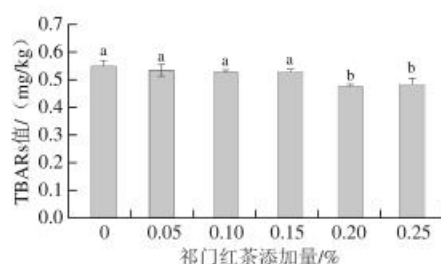
A. 得分图; B. 载荷图。

图3 猪肉脯电子鼻检测结果的PCA图

Fig. 3 PCA plots of electronic nose detection results of pork jerky

由图3可知, PC1贡献率为71.0%, PC2贡献率为25.4%, 贡献率总和为96.4%, 说明这2个主成分可以代表猪肉脯的整体信息并能区分不同样品之间的差异^[35]。0.20%和0.25%组可以和对照组很好地区分开, 且PC1对不同样品区分起主要作用。PCA载荷图结果可以反映当前模式下传感器的相对重要性^[36], W2S和W5S传感器的响应值接近零, 说明其识别力可以忽略; 而W1S、W1W和W2W传感器的响应值远偏离零, 识别作用较强。可见, 电子鼻可以很好地区分祁门红茶猪肉脯的挥发性风味, 且W1S、W1W和W2W传感器具有识别作用。

2.4 祁门红茶对猪肉脯TBARs值的影响



小写字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图4 祁门红茶添加量对猪肉脯TBARs值的影响

Fig. 4 Effect of Keemun black tea on TBARs value of pork jerky

TBARs值主要反映脂质氧化的次级产物, 用于衡量肉制品中脂肪的氧化程度^[37]。由图4可知, 随着祁门红茶添加量的增大, TBARs值整体呈下降趋势, 且在0.20%和0.25%添加水平下, TBARs值下降显著 ($P < 0.05$), 表明高添加量 (0.20%、0.25%) 的祁门红茶可以显著抑制猪肉脯的脂质氧化。适度的脂质氧化有益于肉制品的总体风味, 但过度的脂质氧化会带来不良风味, 不仅降低产品质量, 对消费者也会造成潜在的安全隐患^[38]。祁门红茶对猪肉脯中脂质氧化的抑制作用, 可能与其富含的儿茶素、茶黄素及黄酮类等酚类化合物有关, 这些化合物具有氧自由基吸收能力和抗氧化活性, 可阻断自由基链反应^[39], 从而抑制脂质的过氧化。此外, 在祁门红茶0.20%和0.25%添加量下检测到的咖啡因 (表3) 也可活化过氧化物歧化酶2, 具有清除氧化自由基效应, 进一步增强了抗氧化效果^[40]。

2.5 祁门红茶对猪肉脯羰基含量的影响

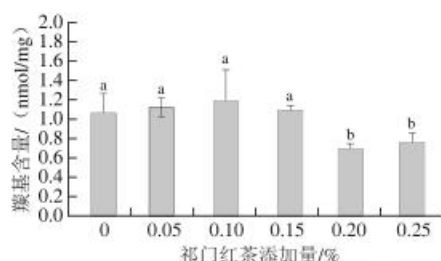


图5 祁门红茶添加量对猪肉脯羰基含量的影响

Fig. 5 Effect of Keemun black tea on protein carbonyl content of pork jerky

由图5可知, 在0%~0.15%祁门红茶添加量下, 猪肉脯的羰基含量无显著差异, 而0.20%、0.25%组的蛋白质羰基含量显著降低 ($P < 0.05$)。羰基主要由赖氨酸、精氨酸、脯氨酸等氨基酸的侧链直接氧化形成, 肽骨架通过 α -酰胺化途径的氧化裂解或谷氨酰胺侧链的氧化也可生成羰基化合物, 金属离子 (如 Fe^{3+} 和 Cu^{2+}) 的催化、肌红蛋白和脂质氧化也都能促进蛋白质的氧化^[26]。Estévez等^[41]发现, 多酚类化合物一般通过清除脂类自由基和直接作用于蛋白质来保护其免受氧化。但是, 祁门红茶抑制猪肉脯中蛋白氧化的效果可能取决于祁门红茶中酚类化合物的化学结构、猪肉脯中蛋白质的构象和性质以及蛋白质-多酚的相互作用。此外, 脂质氧化形成的自由基和过氧化氢可能进一步促进蛋白质的氧化, 提高羰基的生成量^[42], 0.20%和0.25%组较低的羰基含量与TBARs值的结果 (图4) 一致。由此可以推测, 祁门红茶主要通过抑制脂质氧化生成的自由基和过氧化氢, 进而抑制猪肉脯中羰基的生成。

3 结论

本研究结果表明: 添加0.20%~0.25%的祁门红茶可通过直接引入具有玫瑰花香、甜香的祁门红茶特征香气成分橙花醇和香叶醇, 显著提高猪肉脯茶香味的感官评分 ($P < 0.05$); 祁门红茶中富含的膳食纤维、茶蛋白和萜烯类化合物是其具有良好吸油性和吸附异味作用的重要原因, 同时祁门红茶中的儿茶素、茶黄素及黄酮类等酚类化合物能够降低脂肪和蛋白质的氧化程度, 减少己醛、己酸、甲硫醇等具有强烈油脂味和肉腥味等不愉快气味物质的生成, 从而显著降低猪肉脯的异味感和油腻感 ($P < 0.05$); 通过调节美拉德反应, 可以促进2-乙基吡嗪、2-甲基-6-乙基吡嗪等杂环化合物的形成, 赋予猪肉脯更浓的焙烤风味, 改善猪肉脯的风味品质; 电子鼻技术结合PCA可以有效区分祁门红茶对猪肉脯风味变化的影响, 且起主要识别作用的传感器是W1S、W1W、W2W。本研究可为祁门红茶在肉制品中的应用提供理论支持。

参考文献:

- [1] YAN Bowen, JIAO Xidong, YANG Huayu, et al. Microwave heating of dried minced pork slices with different fat content: an assessment of dielectric response and quality properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 148(2): 111729. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111729.
- [2] LIANG Xu, JING Rongcheng, XUE Mingliu, et al. Effect of microencapsulated process on stability of mulberry polyphenol and oxidation property of dried minced pork slices during heat processing and storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 100: 62-68. DOI:10.1016/j.lwt.2018.10.025.
- [3] 樊明明. 发酵工艺对猪肉脯食用品质影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 10-11.



- [4] DOMINGUEZ R, GOMEZ M, FONSECA S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat[J]. *Meat Science*, 2014, 97(2): 223-230. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.01.023.
- [5] 王引兰. 高品质调理猪肉干标准工艺及贮藏稳定性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2021: 18-19. DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2021.000666.
- [6] 张慢. 清炖型肉汤的风味形成机制及电炖锅烹饪程序优化[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 16-30.
- [7] 王红玲. 祁门红茶特征香气成分研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2017: 10-15.
- [8] 章港, 黄文静, 徐珩, 等. 基于气质联用技术的“祁门香”特征性成分分析[J]. *茶叶通讯*, 2020, 47(1): 96-101.
- [9] WEN Mingchun, CUI Yuqing, DONG Caixia, et al. Quantitative changes in monosaccharides of Keemun black tea and qualitative analysis of theaflavins-glucose adducts during processing[J]. *Food Research International*, 2021, 148: 110588. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110588.
- [10] 高飞虎, 李雪, 张雪梅, 等. 茶叶的主要功效及在食品中的应用研究进展[J]. *南方农业*, 2018, 12(28): 38-40. DOI:10.19415/j.cnki.1673-890x.2018.28.010.
- [11] 王炜, 霍建聪, 杨保刚. 茶叶粉对川式香肠抗脂肪氧化及调香作用初探[J]. *中国食品添加剂*, 2005(2): 56-59.
- [12] 葛胜略, 周阿容, 黄晨樵, 等. 红茶对海螺肉去腥和保鲜作用的研究[J]. *中国调味品*, 2018, 43(12): 23-31. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2018.12.005.
- [13] 顾千辉, 徐宝才, 李聪. 茶香夹心肉脯的加工工艺[J]. *肉类工业*, 2017(9): 10-12.
- [14] 杨锋, 张晓军, 徐丽娜. 红茶风味肉脯的加工方法[J]. *肉类工业*, 2015(9): 6-9.
- [15] 钱建中, 陈通, 赵明月, 等. 不同干燥条件下猪肉脯风味指纹图谱的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(18): 7397-7402. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq.11-5956/ts.2021.18.042.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 高静, 曹叶萍, 邹延军. 单一菌种和复合菌种发酵对猪肉脯挥发性风味物质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(1): 128-136. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.018359.
- [19] 吴震洋, 潘林菊, 吴小念, 等. 黑布林李子风味猪肉脯加工工艺优化[J]. *食品科技*, 2021, 46(7): 136-142. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2021.07.023.
- [20] 张正敏, 崔萃, 宋玉申, 等. 海藻糖部分替代蔗糖对猪肉脯品质特性的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(12): 37-42. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201218-291.
- [21] 周慧敏, 张顺亮, 郝艳芳, 等. HS-SPME-GC-MS-O结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 218-226. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191024-263.
- [22] 杜晓兰, 杨文敏, 黄永强, 等. 基于顶空气相离子迁移谱比较3种加工方式对番鸭肉挥发性风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2021 42(24): 269-275. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210305-067.
- [23] QI Li, XIU Zhuyu, LI Rongxu, et al. Novel method for the producing area identification of Zhongning Goji berries by electronic nose[J]. *Food Chemistry*, 2016, 221: 1113-1119. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.11.049.
- [24] BERARDO A, MAERE H D, STAVROPOULOU D A, et al. Effect of sodium ascorbate and sodium nitrite on protein and lipid oxidation in dry fermented sausages[J]. *Meat Science*, 2016, 121(11): 359-364. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.07.003.
- [25] NISSEN L R, BYRNE D V, BERTELSEN G, et al. The antioxidative activity of plant extracts in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 485-495. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.05.004.
- [26] WEN Rongxin, HU Yingying, ZHANG Lang, et al. Effect of NaCl substitutes on lipid and protein oxidation and flavor development of Harbin dry sausage[J]. *Meat Science*, 2019, 156(10): 33-43. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.05.011.
- [27] SIDIRA M, KANDYLIS P, KANELAKI M, et al. Effect of immobilized lactobacillus casei on the evolution of flavor compounds in probiotic dry-fermented sausages during ripening[J]. *Meat Science*, 2015, 100(10): 41-51. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.09.011.
- [28] 黄春红, 冷瑞丹. 肉类食品中典型异味物质研究进展[J]. *肉类研究*, 2020, 34(3): 88-93. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191114-276.
- [29] 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; 200. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2018.12.005.
- [30] 周宇. 钾钙复配盐与超声波对低钠盐培根风味的影响研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020: 31-37. DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2020.000245.
- [31] 喻洁瑶. 冲泡条件和特征性挥发物对祁门红茶品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2021: 51-53. DOI:10.27684/d.cnki.gxndx.2021.000414.
- [32] 李迎楠, 刘文营, 成晓瑜. GC-MS结合电子鼻分析温度对肉味香精风味品质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(14): 104-109. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614018.
- [33] WANG Yao, SONG Huanlu, ZHANG Yu, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2016, 31(4): 319-328. DOI:10.1002/ffj.3320.
- [34] WILKES J G, CONTE E D, KIM Y, et al. Sample preparation for the analysis of flavors and off-flavors in foods[J]. *Journal of Chromatography A*, 2000, 880(1/2): 3-33. DOI:10.1016/S0021-9673(00)00318-6.
- [35] HUANG Ledan, WU Zufang, CHEN Xiaojian, et al. Characterization of flavour and volatile compounds of fermented squid using electronic nose and HPMS in combination with GC-MS[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 760-770. DOI:10.1080/10942912.2018.1454466.
- [36] 范霞, 崔心平. 基于HS-SPME-GC-MS和电子鼻技术分析不同肉质桃子采收后贮藏期的香气成分[J]. *食品科学*, 2021, 42(20): 222-229. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20201026-261.
- [37] ZOU Yunhe, KANG Dacheng, LIU Rui, et al. Effects of ultrasonic assisted cooking on the chemical profiles of taste and flavor of spiced beef[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 46: 36-45. DOI:10.1016/j.ultsonch.2018.04.005.
- [38] 任晶晶. 抗性淀粉对低脂低盐乳化肠风味的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2021: 34-36. DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2021.001030.
- [39] ZHANG L, SANTOS J S, CRUZ T M, et al. Multivariate effects of Chinese Keemun black tea grades (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) on the phenolic composition, antioxidant, antihemolytic and cytotoxic/cytoprotection activities[J]. *Food research international*, 2019, 125(11): 108516. DOI:10.1016/j.foodres.2019.108516.
- [40] XU Huanhuan, GAN Chunxia, GAO Ziqi, et al. Caffeine targets SIRT3 to enhance SOD2 activity in mitochondria[J]. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 2020, 8: 822. DOI:10.3389/fcell.2020.00822.
- [41] ESTÉVEZ M, KYLLI P, PUOLANNE E, et al. Oxidation of skeletal muscle myofibrillar proteins in oil-in-water emulsions: interaction with lipids and effect of selected phenolic compounds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(22): 10933-10940. DOI:10.1021/jf801784h.
- [42] REFGAARD H H, TSAI L, STADTMAN E R. Modifications of proteins by polyunsaturated fatty acid peroxidation products[J]. *PNAS*, 2000, 97(2): 611-616. DOI:10.1073/pnas.97.2.611.