

胡子怡, 王梦璇, 王颖, 等. 不同品种鸡肉炒制后风味差异解析 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(16): 311–322. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024090198

HU Ziyi, WANG Mengxuan, WANG Ying, et al. Difference Analysis of Stir-fried Chicken from Different Varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(16): 311–322. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024090198

· 分析检测 ·

不同品种鸡肉炒制后风味差异解析

胡子怡^{1,2}, 王梦璇², 王颖², 韩东², 李侠², 李景军^{1,*}, 张春晖^{2,*}

(1. 安徽科技学院食品工程学院, 安徽滁州 233100;

2. 中国农业科学院农产品加工所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 为探究鸡肉品种对炒制菜肴风味品质的影响, 本文以白羽鸡肉与黄羽鸡肉为主要试验原料, 对比分析基本营养成分和食用品质差异, 并利用气相色谱-质谱联用技术, 结合滋味组分解析与感官评价方法, 明确鸡肉品种对炒制菜肴风味的影响。结果表明: 黄羽鸡肉粗脂肪、粗蛋白、 a^* 值、 b^* 值、剪切力值均显著高于白羽鸡肉 ($P<0.05$); 不同品种炒制鸡肉整体风味轮廓存在差异, 主要体现在杂环类化合物的种类及含量上, 其中 2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、桉叶油醇、壬醛是炒制黄羽鸡肉的关键风味物质; 炒制白羽鸡肉鲜味及甜味氨基酸含量显著低于炒制黄羽鸡肉 ($P<0.05$), 主要体现在谷氨酸和丙氨酸含量上; 炒制黄羽鸡肉整体感官可接受度优于炒制白羽鸡肉。在风味与感官评价方面, 炒制黄羽鸡肉含有丰富的气味和滋味活性物质及较高的感官评分, 说明鸡肉品种对炒制菜肴风味品质具有显著影响, 黄羽鸡肉相较于白羽鸡肉更适合于制作炒制鸡肉菜肴。

关键词: 鸡肉, 品种, 炒制菜肴, 挥发性风味, 滋味

中图分类号: TS251.55

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)16-0311-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024090198

本文网刊:



Difference Analysis of Stir-fried Chicken from Different Varieties

HU Ziyi^{1,2}, WANG Mengxuan², WANG Ying², HAN Dong², LI Xia², LI Jingjun^{1,*}, ZHANG Chunhui^{2,*}

(1. College of Food Engineering, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 233100, China;

2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

Abstract: To explore the influence of chicken variety on the flavor quality of stir-fried chicken dishes, this study compared and analyzed the differences in basic nutritional components and edible quality using white-feathered chicken and yellow-feathered chicken as the main experimental materials. The influence of chicken variety on the flavor of stir-fried dishes was clarified using gas chromatography-mass spectrometry technology, combined with taste compound analysis and sensory evaluation methods. The results showed that the crude fat, crude protein, a^* value, b^* value, and shear force value of yellow-feathered chicken were significantly higher than those of white-feathered chicken ($P<0.05$). The overall flavor profile of stir-fried chicken varied among different varieties, mainly reflected in the types and contents of heterocyclic compounds. Among them, 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine, eucalyptol, and nonanal were the key flavor substances for stir-fried yellow-feathered chicken. The contents of umami and sweet amino acids in stir-fried white-feathered chicken were significantly lower than those in stir-fried yellow-feathered chicken ($P<0.05$), mainly reflected in the content of glutamic acid and alanine. The overall sensory acceptability of stir-fried yellow-feathered chicken was better in comparison to that of the stir-fried white-feathered chicken. In terms of flavor and sensory evaluation, stir-fried yellow-feathered chicken was rich in aroma and taste-active compounds and has higher sensory scores, indicating that the chicken variety significantly affects the flavor quality of stir-fried dishes, making yellow-feathered chicken a more suitable choice for stir-frying compared to white-feathered chicken.

收稿日期: 2024-09-18

基金项目: 新疆两区科技发展计划: 优质畜产品产业集群项目 (2022LQ01001); 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TSGC0873)。

作者简介: 胡子怡 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 3153470184@qq.com。

* 通信作者: 李景军 (1970-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品科学, E-mail: 2003jjli@163.com。

张春晖 (1971-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 肉品科学, E-mail: dr_zch@163.com。

Key words: chicken; variety; stir-fried dishes; volatile flavor; taste

鸡肉具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇等特点^[1],在食品加工中具有显著的优势,鸡肉品种则直接影响食品的风味品质。我国鸡肉消费主要以白羽鸡和黄羽鸡为主。由于白羽鸡生长速度快周期短,常用于工业化养殖和市场供应,而黄羽鸡生长周期长且受地域及饲养条件的影响,具有独特的风味品质,常被用于炒制肉类菜肴的加工。新疆炒制鸡肉菜肴(辣子鸡)作为地方特色菜肴代表,是以当地黄羽鸡作为主要食材,佐以当地特色干辣椒及葱姜蒜等辅料制作而成,其色泽鲜艳,香辣可口,深受广大食客们的喜爱。

风味是影响食品品质的关键因素之一,目前已有许多研究致力于探索鸡肉制品风味。Zhou 等^[2]采用气相色谱-离子迁移谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)测定了符离集烧鸡在加工和贮藏过程中的挥发性物质含量,分析符离集烧鸡在加工和贮藏过程中的风味变化。Sun 等^[3]采用气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、GC-IMS 和电子鼻相结合的方法,对中国最常见的 4 种烧鸡的香气特征进行了分析。动物的品种、性别、年龄、饲料、老化和烹调条件等屠宰前和宰后因素均会对风味产生影响^[4]。张永生等^[5]研究表明不同鸡肉品种的美拉德反应产物呈味有较大差异。滕飞等^[6]利用风味组学和脂质组学分析了不同品种原料鸭对卤鸭挥发性风味的影响。以上研究表明品种选择对风味形成至关重要,然而研究不同品种鸡肉对鸡肉菜肴的挥发性风味及滋味组分差异的影响鲜有报道。新疆民族菜肴与内地省份的菜肴相比,其地域特征典型,民族风味浓郁,在中华传统美食地图中占有一席之地。不同于大盘鸡的先炒后炖工艺及椒麻鸡的预煮拌制工艺,辣子鸡采用先油炸再与辅料炒制的制作工艺,使得菜肴整体呈现色泽红亮、麻辣干香的特点。陈怡颖等^[7]通过对大盘鸡挥发性风味成分的 GC-MS 分析,共鉴定出 85 种挥发性风味成分,醛类和杂环类化合物对大盘鸡特征香气的形成起重要作用,茴香脑、5-甲基呋喃醛和 2-乙酰基呋喃等化合物对大盘鸡独特风味的形成具有重要的作用。周晓璐等^[8]探究了新疆椒麻鸡腿贮藏期间品质变化,随着贮藏时间的延长,椒麻鸡腿的 pH 先下降后上升,色泽变暗,TBARS 值和 TVB-N 含量上升,菌落总数增加,感官评分下降,表明椒麻鸡腿在贮藏过程中品质逐渐劣变。以上对于新疆地区特色菜肴的研究,主要集中在大盘鸡、椒麻鸡,对炒制鸡肉菜肴(辣子鸡)研究的内容鲜有报道。因此,探究不同品种鸡肉对炒制菜肴风味的影响具有一定的科学意义。

本研究从基本营养成分、食用品质、风味解析三个方面,以及原料和成品两个角度综合评价了白羽鸡肉与黄羽鸡肉炒制前后的品质差异,利用气相色谱-

质谱联用技术结合滋味组分分析及感官评价比较了白羽鸡与黄羽鸡在炒制鸡肉菜肴中的风味表现差异,以期对炒制鸡肉菜肴风味研究及新疆地方特色菜肴(辣子鸡)后续工业化加工和品质控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄羽公鸡(良凤花) 新疆帕戈郎食品有限公司,73~78 日龄,净重(2.5 ± 0.2)kg;白羽公鸡 北京固定零售店,40~45 日龄,净重(3.3 ± 0.2)kg,两个品种鸡饲料均为玉米、豆粕;辣椒 新疆塔城地区沙湾县安集海镇干辣椒;大豆油、香辛料等调味料 北京幸福荣耀超市;2-甲基-3-庚酮 色谱级,美国 Sigma-Aldrich 公司。

CR-400 色差仪 日本柯尼卡美能达公司;FE-20 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Agilent 1200 高效液相色谱仪 美国 Agilent 公司;SQP 电子分析天平 赛多利斯仪器(北京)有限公司;PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司;MX-F 电子舌 法国 Alpha MOS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 炒制鸡肉样品制备 取两个品种鸡肉胴体的鸡胸肉和鸡腿肉,剩余部分按部位平均分成两份,分别与鸡胸肉和鸡腿肉搭配,肉块分割成 $3\times 2\times 1.5\text{ cm}^3$,洗净沥干水分后,加入腌料,4℃ 冷藏腌制 4 h。将干辣椒倒入 60℃ 温水中,泡发 1 h。将泡发后的辣椒挤干水分,称出相应重量,修整成长度为 5 cm 的辣椒段。葱姜蒜清洗切片,锅中倒入大豆油,待油温升至 160℃ 时,放入腌制完成的鸡肉块,油炸 6 min,捞出。待油温升至 180℃ 时,倒入鸡肉块进行二次复炸,时间为 15 s,捞出。油温降至 160℃ 时,倒入辣椒段过油 15 s,捞出。锅中放入 50 g 经辣椒过油后的大豆油,待油温升至 125℃ 加辅料炒制 20 s,加辣椒段炒制 20 s,加鸡肉块炒制 40 s。腌料及辅料用量如表 1 所示。所有样品均用液氮速冻后置于

表 1 炒制鸡肉制作腌料及辅料用量

Table 1 Dosage of pickles and accessories for stir-fried chicken dishes

腌料	品牌信息	用量 (%/600 g 鸡肉)	辅料	用量 (%/600 g 鸡肉)
食盐	中盐	0.5	辣椒(泡发后)	10
十三香	王守义	0.17	大蒜	6.67
姜粉	汇营	0.17	生姜	1.67
花椒粉	汇营	0.17	大葱	1.17
胡椒粉	蕾奇	0.17	大豆油	200
生抽	海天	1.67		
老抽	海天	0.5		
料酒	六必居	2.5		
蚝油	海天	0.83		

-80 ℃ 冰箱保存备用。在本研究中,基本营养成分及食用品质测定如水分含量、粗脂肪、粗蛋白、粗灰分、pH、色泽、剪切力,分别以白羽鸡、黄羽鸡原料及炒制菜肴为实验样品,鸡胸、鸡腿两个部位分别进行测定;气味及滋味测定如电子鼻、GC-MS、电子舌、游离氨基酸、核苷酸,均以白羽鸡、黄羽鸡原料及炒制菜肴为实验样品,鸡胸鸡腿按比例混合进行测定;感官评价实验样品分别采用白羽鸡、黄羽鸡炒制菜肴。

1.2.2 基本营养成分测定 水分含量参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》进行测定。粗脂肪参照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》进行测定。粗蛋白参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》进行测定。粗灰分参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》进行测定。pH 参照 GB 5009.237-2016《食品 pH 值的测定》进行测定。

1.2.3 食用品质测定 采用色差仪对白羽鸡和黄羽鸡的原料肉及炒制肉的色泽进行测量,用校正板对仪器进行标准化,将样品紧贴镜口,测定并记录样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 。采用嫩度仪垂直于肌原纤维的方向测定样品的剪切力^[9],探头测试速度 1 mm/s,初始测量距离 10 cm,原料肉样和炒制肉样均修整成 $2.5\times 1\times 1\text{ cm}^3$ 大小的长方体进行测定。

1.2.4 电子鼻检测方法 参考张紫涵等^[1]的方法稍作修改。称取 3 g 样品放入 20 mL 顶空瓶中,设置实验参数:传感器平衡时间 180 s,样品测试时间 60 s,选取信号稳定的 48~52 s 为信号采集时间。电子鼻传感器构成及其性能如表 2 所示。

表 2 电子鼻传感器构成及其性能
Table 2 Composition of sensors in electronic nose and performance

传感器名称	性能描述
W1C	对芳香族化合物敏感
W5S	对氮氧化物敏感
W3C	对氨类和芳香型化合物敏感
W6S	对氢气敏感
W5C	对烯烃和芳香型化合物敏感
W1S	对烃类物质敏感
W1W	对硫化氢敏感
W2S	对醇类和部分芳香型化合物敏感
W2W	对芳香化合物和有机硫化物敏感
W3S	对烷烃敏感

1.2.5 GC-MS 分析 参考 Han 等^[10]的方法稍作修改。样品前处理:准确称取 2 g 搅碎样品,加入 1 μL 内标溶液(2-甲基-3-庚酮,0.2 μg/μL)后密封盖密封于顶空瓶中,于 55 ℃ 下恒温平衡 20 min 后,用 50/30 μm DVB/CAR/PEMS 萃取头于 55 ℃ 下萃取 40 min,结束后于进样口解析 5 min。

GC 条件:使用 DB-WAX 色谱柱(30 m×0.18 mm,0.18 μm),采用不分流模式进样,进样口温度为

230 ℃,载气为氦气(纯度>99.99%),流速 1.0 mL/min,升温程序:40 ℃ 保持 3 min,再以 5 ℃/min 的升温速率升温至 230 ℃,保持 5 min。

MS 条件:电子轰击电离源(EI),温度 250 ℃,电子能量 70 eV,传输线温度 230 ℃,接口温度 210 ℃,溶剂延迟:3.5 min,质量扫描范围 40~500 m/z。

定量分析:以 2-甲基-3-庚酮为内标计算各挥发性化合物含量,计算如式(1)所示:

$$C_x(\mu\text{g/kg}) = \frac{A_x \times C_0 \times v}{A_0 \times m} \times 1000 \quad \text{式 (1)}$$

式中: C_x 为待测物含量(μg/kg); A_x 为待测物色谱峰面积; A_0 为内标物色谱峰面积; C_0 为内标物质量浓度(μg/μL); v 为内标物体积(μL); 1000 为换算系数。

定性分析:将质谱数据与 NIST 11 标准谱库相匹配,仅保留匹配度大于 80% 的成分,对其成分进行定性分析,并与相同检测条件下的 $C_7\sim C_{30}$ 正构烷烃的保留指数(retention index, RI)对比,RI 计算如式(2)所示:

$$RI = 100 \times \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n} + 100n \quad \text{式 (2)}$$

式中: n 为碳数; t_x 、 t_n 、 t_{n+1} 分别为化合物 x 、碳数为 n 和 $n+1$ 的正构烷烃的保留时间($t_n < t_x < t_{n+1}$)。

气味活度值(odor activity value, OAV)计算:通过 OAV 值的大小来确定关键风味成分,计算如式(3)所示:

$$OAV_x = \frac{C_x}{OT_x} \quad \text{式 (3)}$$

式中: C_x 为挥发性化合物的含量(μg/kg); OT_x 为该挥发性化合物的气味阈值(μg/kg)。

1.2.6 电子舌检测方法 以料液比 1:10 的超纯水稀释样品 3 g,在 18000 r/min 均质 1 min,超声震荡 15 min,然后以 10000 r/min 在 4 ℃ 离心 20 min 后取上清液,用 0.45 μm 滤膜过滤后,使用超纯水定容至 100 mL,收集得到的澄清溶液进行电子舌测定,另取 100 mL 超纯水作为对照组。电子舌传感器构成及其性能如表 3 所示。

表 3 电子舌传感器构成及其性能
Table 3 Composition of sensors in electronic tongue and performance

传感器名称	性能描述 ^[11]
AHS	酸味
NMS	鲜味
ANS	甜味
SCS	苦味
CPS	复合味
CTS	咸味
PKS	复合味

1.2.7 游离氨基酸分析 参考吴予灿等^[12]的方法稍作修改。取 5 g 搅碎的样品,加入超纯水 20 mL,冰

浴中于 18000 r/min 速率下匀浆 3 次(每次 10 s, 间隔 10 s), 加入 20 mL 5%(v/v)三氯乙酸水溶液, 混合均匀, 于 4 ℃ 下放置 12 h; 取出后用定性滤纸过滤, 滤液先用 4 mol/L KOH 调 pH 至 6.0, 后用超纯水定容至 50 mL, 取 1 mL 用 0.45 μm 滤膜过滤后备用。移取所得的滤液 10 μL, 按柱前衍生方法处理后, 采用 RP-HPLC 测定样品中游离氨基酸的含量。

柱前衍生: 将氨基酸混合标准液分别稀释至 10、25、50、75、100、200 μmol/L。过 0.45 μm 滤膜, 准确移取 10 μL 已稀释的标样注入衍生管底部, 加入 70 μL AccQ-Fluor Buffer 到衍生管中, 再吸取 20 μL 现配的 AccQ-Fluor 衍生剂, 加到衍生管中, 保持涡旋混合 10 s, 在室温下放置 1 min, 置于 55 ℃ 烘箱内加热 10 min, 待粉末完全溶解, 取出后即可进样。

色谱条件: 色谱柱为 Nova-Pak TM C₁₈ 氨基酸分析柱, 柱温: 37 ℃, 紫外检测波长: 248 nm, 进样量: 10 μL, 流速: 1.0 mL/min。流动相 A: AccQ-Tag Eluent A, 用超纯水按 1:10(V/V)稀释而得; 流动相 B: 乙腈(色谱级); 流动相 C: 超纯水。

1.2.8 核苷酸分析 参考李建英^[13]的方法稍作修改。取 5 g 样品置于 50 mL 离心管中, 加入 15 mL, 4 ℃ 条件下 5% 的高氯酸溶液, 在 18000 r/min 均质 3 次(每次 10 s, 间隔 10 s), 后在 4 ℃, 4000 r/min 离心 5 min, 取上清液转入 100 mL 烧杯中。残渣用 10 mL 5% 高氯酸在相同条件下离心 5 min, 合并两次上清液。用 1 mol NaOH 调 pH 为 6.5, 过滤至 50 mL 容量瓶中, 超纯水定容后摇匀, 溶液过 0.45 μm 滤膜后备用。

色谱条件: 色谱柱 Intersil ODS-3(250 mm×4.6 mm), 紫外检测器, 检测波长: 260 nm, 柱温 30 ℃, 流动相: A 为甲醇, B 为 0.05% 磷酸溶液, 流动相洗脱时间为: 5% A 15 min。流速为 1 mL/min, 进样量 10 μL, 定量分析峰面积。

1.2.9 感官评价 参考赵玲等^[14]的方法稍作修改。选择 20 位经过专业培训的人员组成感官评定小组, 男女各 10 位。每位成员从外观、气味、滋味、口感、整体可接受度五个方面对菜肴进行评价, 每项满分均为 10 分, 根据权重计算得出总分。感官评价标准如表 4 所示。

1.3 数据处理

每个样品重复测定 3 次, 记录数据结果。运用 Excel 2016 和 Origin 2021 软件对试验数据进行分析处理, 结果以“平均值±标准差”的形式表示。运用 SPSS Statistics 23 软件对数据进行差异显著性检验, 当 $P<0.05$ 时不同样品之间存在显著差异。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

对不同品种鸡胸肉和鸡腿肉炒制前后基本营养指标进行测定, 结果如表 5 所示。原料黄羽鸡肉的水分含量低于原料白羽鸡肉; 炒制后, 白羽鸡肉水分损失相较于黄羽鸡肉更为明显, 这可能是因为黄羽鸡肉肌纤维结构更加紧密, 持水性更好。王春青等^[15]的研究结果显示, 加热导致不同品种鸡肉肌原纤维收缩程度不同, 蛋白质发生不同程度的变性, 造成汁液流失。原料黄羽鸡肉的脂肪含量显著大于原料白羽鸡肉($P<0.05$), 鸡腿肉的脂肪含量大于鸡胸肉, 与霍献强等^[16]研究结果类似。炒制鸡肉脂肪含量增多, 可能是受到油炸及炒制工艺的影响。黄羽鸡肉的蛋白质含量大于白羽鸡肉, 且鸡肉经热加工炒制后蛋白质含量显著增加($P<0.05$), 与浦馨源等^[17]研究中生鸡肉经油炸后蛋白质含量上升的结果一致, 这可能是由于炒制后鸡肉中的水分流失, 导致蛋白质相对含量的增加。炒制后鸡腿肉蛋白质含量低于鸡胸肉, 可能是蛋白质在加工过程中发生了热降解, 生成了更多风味物质。不同品种鸡肉灰分含量无显著差异($P>0.05$)。原料白羽鸡肉的 pH 显著高于原料黄羽

表 4 新疆辣子鸡感官评价标准

Table 4 Sensory evaluation table for Xinjiang Spicy Chicken dishes

指标(权重)		评价标准			
		1~3	4~5	6~7	8~10
外观(20%)	色泽(10%)	鸡肉、辣椒呈褐色, 有明显焦糊	鸡肉、辣椒有轻微焦糊	鸡肉颜色较深, 辣椒色泽较为鲜亮	鸡肉呈金黄色, 富有光泽, 辣椒颜色鲜亮
	组织状态(10%)	肉块大小不均匀, 辣椒长度不一, 辣椒有破损	肉块大小不均匀, 辣椒长度不一	肉块大小基本均匀, 辣椒长度基本一致	肉块大小均匀, 辣椒长度一致
气味(30%)	香味(15%)	无炒制鸡肉特有香味, 无油脂香味, 辣椒香气过重或无香气	炒制鸡肉特有香味较淡, 无油脂香味, 辣椒香味不明显	炒制鸡肉特有香味较浓郁, 油脂香味较明显, 辣椒香味较适宜	炒制鸡肉特有香味浓郁, 油脂香味明显, 辣椒香味适宜
	异味(15%)	有肉腥味, 焦糊味明显	有异味, 辣椒味刺鼻	稍有异味	无异味
滋味(30%)	鲜味(8%)	无鲜味	鲜味较淡	鲜味较适宜	鲜味适宜
	甜味(8%)	无甜味	甜味较淡	甜味较适宜	甜味适宜
	咸味(8%)	咸味很淡或很重	咸味较淡或较重	咸味较适宜	咸味适宜
	苦味(6%)	有明显焦糊苦味	焦糊苦味较重	稍有焦糊苦味	无焦糊苦味
口感(10%)		鸡肉老韧, 难以咀嚼	鸡肉肉质较柴, 咀嚼性一般	鸡肉肉质较为可口, 有一定咀嚼性	鸡肉外酥里嫩, 肉质可口, 咀嚼性好
整体可接受度(10%)		不能接受	接受度较差	接受度一般	接受度较高

表 5 不同品种鸡肉炒制前后基本营养成分分析

Table 5 Analysis of basic nutritional components of different varieties of chicken before and after stir-fried

指标	原料		炒制		原料		炒制	
	白羽鸡胸	黄羽鸡胸	白羽鸡胸	黄羽鸡胸	白羽鸡腿	黄羽鸡腿	白羽鸡腿	黄羽鸡腿
水分含量(%)	74.96±0.23 ^a	74.64±0.19 ^a	49.61±0.94 ^c	51.65±0.39 ^b	78.52±0.27 ^A	75.22±0.33 ^B	50.36±1.58 ^C	51.84±0.33 ^C
粗脂肪(%)	0.75±0.03 ^d	0.97±0.02 ^c	8.72±0.12 ^a	8.30±0.14 ^b	1.10±0.02 ^D	2.17±0.19 ^C	15.18±0.04 ^A	11.01±0.32 ^B
粗蛋白(%)	23.01±0.65 ^b	23.90±0.31 ^b	37.53±0.79 ^a	38.96±1.04 ^a	18.00±0.05 ^D	20.62±0.17 ^C	36.81±0.49 ^A	34.67±0.28 ^B
粗灰分(%)	1.09±0.10 ^e	1.29±0.19 ^c	3.20±0.07 ^a	2.97±0.05 ^b	0.91±0.04 ^B	0.96±0.03 ^B	2.98±0.03 ^A	3.07±0.11 ^A
pH	5.88±0.04 ^b	5.76±0.06 ^c	6.21±0.02 ^a	5.98±0.07 ^b	6.30±0.02 ^B	6.16±0.04 ^C	6.33±0.08 ^B	6.61±0.02 ^A

注: 同一指标不同小写字母表示鸡胸肉炒制前后差异显著($P<0.05$); 同一指标不同大写字母表示鸡腿肉炒制前后差异显著($P<0.05$), 表6同。

表 6 不同品种鸡肉炒制前后食用品质分析

Table 6 Analysis of edible quality of different varieties of chicken before and after stir-fried

指标	原料		炒制		原料		炒制	
	白羽鸡胸	黄羽鸡胸	白羽鸡胸	黄羽鸡胸	白羽鸡腿	黄羽鸡腿	白羽鸡腿	黄羽鸡腿
L^*	50.73±0.72 ^b	57.45±0.90 ^a	38.81±0.02 ^c	38.26±0.76 ^c	45.83±0.90 ^A	41.13±1.07 ^B	38.31±0.37 ^C	35.69±0.41 ^D
a^*	1.27±0.35 ^b	2.08±0.21 ^b	12.84±0.93 ^a	12.53±0.21 ^a	8.26±0.85 ^C	12.70±0.87 ^A	9.87±0.72 ^B	7.25±0.45 ^C
b^*	12.50±1.52 ^d	15.65±0.41 ^c	27.98±1.25 ^a	24.46±1.32 ^b	11.18±0.89 ^B	12.79±0.75 ^B	24.39±1.97 ^A	23.34±0.49 ^A
剪切力(N)	28.03±2.40 ^b	40.06±2.51 ^a	21.39±1.15 ^c	22.74±2.17 ^c	32.61±3.45 ^B	48.31±1.52 ^A	19.32±0.76 ^C	20.02±1.23 ^C

鸡肉($P<0.05$), 经炒制加工后, 鸡肉 pH 上升, 可能是因为肉类在加工过程中风味前体物质发生一系列反应和分解, 如脂肪酸分解生成酮、醛等小分子物质^[18], 导致 pH 升高。从基本营养成分上看, 原料肉中, 黄羽鸡优于白羽鸡, 尤其是鸡腿部位, 炒制加工导致不同品种鸡肉间的差异相较于原料肉阶段减小。

2.2 食用品质分析

表 6 显示了不同品种鸡肉炒制前后食用品质^[19]的变化。从色泽上看, 黄羽鸡肉的 a^* 值和 b^* 值均高于白羽鸡肉。 a^* 值与肌红蛋白含量和溶解度密切相关, 说明黄羽鸡肉肌红蛋白含量高于白羽鸡肉。鸡肉经热加工后, L^* 值显著降低($P<0.05$), a^* 值、 b^* 值显著升高($P<0.05$), 色泽差异变化增大, 这是由鸡肉发生美拉德反应和焦糖化反应共同影响的结果, 与杨洪浪等^[20] 研究中鸡丁炒制后色泽变化显著的研究结果相似。原料黄羽鸡肉的剪切力值大于原料白羽鸡肉, 这可能与不同品种鸡的日龄差异、肌纤维直径有关。巨晓军等^[21] 研究显示, 随着饲养周期的增长, 肌肉结缔组织增加, 其稳定性以及肉的韧性会增加, 从而导致黄羽鸡肉剪切力值大。炒制黄羽鸡肉剪切力仍大于炒制白羽鸡肉, 炒制后鸡肉嫩度增加, 可能是因为长时间的高温炒制, 肌原纤维蛋白大部分被破坏, 肌肉组织逐渐分解和破裂, 使得肉质变软^[22]。从食用品质上看, 原料肉中, 不同品种鸡肉之间差异显著, 加工后不同品种之间差异不显著。

2.3 挥发性风味分析

2.3.1 电子鼻分析结果 由图 1a 电子鼻雷达图可知, 不同品种原料鸡肉挥发性风味差异不明显, 不同品种炒制鸡肉在 W1W(硫化氢类化合物)、W5S(氮氧类化合物)的传感器上差异明显, 表现为黄羽鸡肉传感器响应值更高, 说明黄羽鸡肉经炒制加工后风味

更丰富, 炒制后的鸡肉硫化氢类化合物以及氮氧化合物的含量急剧增多。由图 1b 的 PCA 图可知, PC1 和 PC2 累计贡献率达 100%, 能反映样品信息。炒制白羽鸡肉与炒制黄羽鸡肉完全分开, 说明不同品种鸡肉炒制后挥发性风味成分存在显著差异。

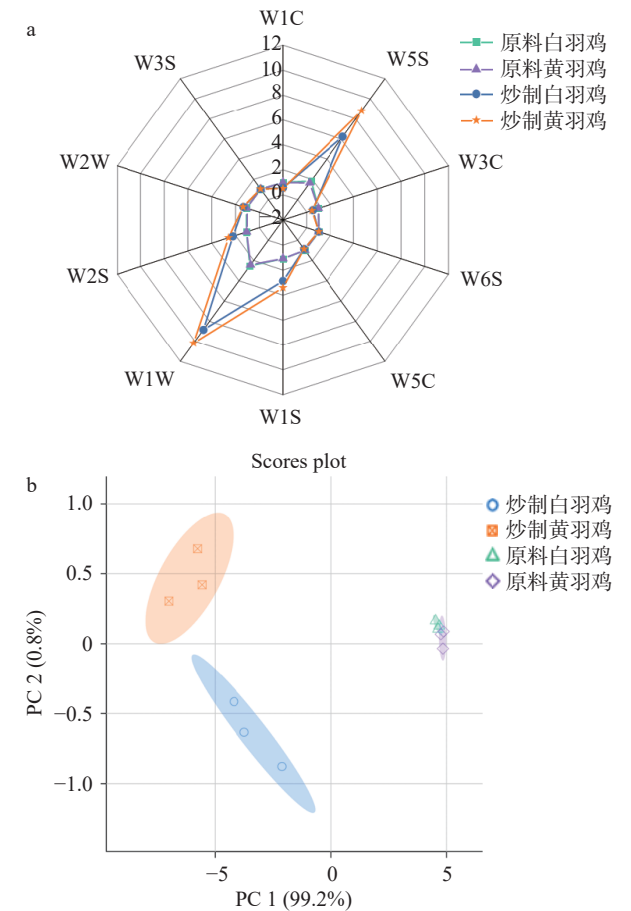


图 1 不同品种鸡肉炒制前后电子鼻雷达图(a)及 PCA 图(b)
Fig.1 Radar chart of electronic nose (a) and PCA images (b) of different varieties of chicken before and after stir-fried

2.3.2 GC-MS 分析结果 利用 GC-MS 对白羽鸡和黄羽鸡的原料肉样及炒制肉样进行挥发性物质检测,结果如表 7 所示。原料白羽鸡肉中共检测出 6 种挥发性物质;原料黄羽鸡肉中共检测出 10 种挥发性物质;炒制白羽鸡肉中共检测出 49 种挥发性物质;炒制黄羽鸡肉中共检测出 58 种挥发性物质。表 8 显示了不同品种鸡肉炒制前后挥发性物质 OAV 值。OAV 值用于评估不同香气成分对样品整体香气的贡献程度,若 OAV 值大于 1,则该香气成分对样品香气有很大贡献。原料白羽鸡和原料黄羽鸡中均有 3 种化合物 OAV 大于 1;炒制白羽鸡和炒制白羽鸡中均有 14 种化合物 OAV 大于 1。其中壬醛对原料白羽鸡的香气贡献最大,己醛对原料黄羽鸡的香气贡献最大,2-乙基-3,5-二甲基吡嗪对炒制白羽鸡和炒制黄羽鸡的香气贡献最大。生肉一般只有血腥味、咸味和金属味,而不具有肉的“特征香味”^[28]。Jin 等^[29]采用 GC-MS 对 972 只中国本土鸡中的挥发性物质进行了检测分析,结果显示己醛和 1-辛烯-3-醇是中

国本土鸡的主要挥发性化合物,总醛含量在 9 种常见化合物最高。在本研究中,总醛含量在原料白羽鸡和原料黄羽鸡中分别占 80.69% 和 68.10%,且原料黄羽鸡肉相较于原料白羽鸡肉多了一种醛类物质,即(E)-2-辛烯醛,炒制后醛类物质含量显著增加。袁华根等^[30]以不同日龄的 AA 肉鸡和广西黄鸡为原料,分析了不同品种、日龄鸡肉挥发性风味化合物的含量,结果表明品种对鸡肉挥发性风味物质的数量影响较小,而对其种类和含量影响较大。醛类由于气味阈值低,通常是烤肉香气的主要贡献者。某些醛如糠醛、苯甲醛和(E,E)-2,4-十二烯醛,在高温的影响下才会形成^[31],这可能是本研究中鸡肉炒制后 3-糠醛、苯甲醛含量上升的原因。原料鸡肉经炒制加工后茴香脑含量显著增加,可能是由制作过程中添加的多种香辛料导致,同时己醛、1-辛烯-3-醇这些化合物减少的原因可能是菜肴中的香辛料赋予了炒制样品辛辣味,因此可能掩盖或减少了鲜味和鸡肉味。

脂肪含量对肉品风味有着重要的影响,在热加

表 7 不同品种鸡肉炒制前后挥发性物质种类及含量变化

Table 7 Changes in the types and contents of volatile substances in different varieties of chicken before and after stir-fried

编号	名称	保留时间	保留指数	含量(μg/kg)			
				原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡
醛类化合物							
1	己醛	7.5	1106	22.30±2.81 ^d	131.06±4.98 ^a	64.90±4.54 ^c	82.10±4.14 ^b
2	壬醛	15.5	1392	20.33±1.58 ^c	20.77±2.04 ^c	64.03±1.90 ^b	106.85±3.44 ^a
3	(E)-2-辛烯醛	16.4	1426	—	1.33±0.25	—	—
4	3-甲硫基丙醛	17	14501457	—	—	14.26±1.50	—
5	3-糠醛	17.2	14571	—	—	61.18±2.16 ^b	95.46±2.53 ^a
6	苯甲醛	18.7	1516	2.97±1.90 ^c	5.34±1.20 ^c	71.11±1.91 ^b	94.91±2.55 ^a
7	5-甲基-2-呋喃甲醛	20	1570	—	—	22.45±2.28 ^a	18.34±4.64 ^a
8	苯乙醛	21.6	1637	—	—	25.41±1.67	—
9	柠檬醛	22.6	1680	—	—	86.70±3.49 ^b	94.95±2.87 ^a
10	4-(1-甲基乙基)甲醛	24.8	1778	—	—	—	11.10±1.59
11	4-甲氧基苯甲醛	29.7	2014	—	—	5.28±0.31	—
醛类总量				45.60	158.50	415.32	503.71
醇类化合物							
12	桉叶油醇	10.3	1204	—	—	74.35±2.84 ^b	259.92±1.41 ^a
13	1-戊醇	11.7	12541	—	26.79±1.28	—	—
14	辛醇	12.6	1286	—	6.35±1.12 ^b	27.53±2.05 ^a	—
15	1-辛烯-3-醇	17.1	1454	2.38±0.34 ^c	24.73±1.77 ^a	22.86±2.29 ^a	14.64±1.15 ^b
16	2,3-二甲基环己醇	18.3	1500	—	—	31.78±3.13 ^a	23.77±1.57 ^b
17	芳樟醇	19.5	1549	—	—	67.96±2.92 ^b	74.88±1.51 ^a
18	6-甲基-1-庚醇	19.8	1561	—	—	—	9.36±0.88
19	萜烯-4-醇	20.8	1602	—	—	—	79.11±0.69
20	(E)-2-辛烯-1-醇	21.2	1620	—	5.30±0.76	—	—
21	α-松油醇	23	1697	—	—	92.08±4.33 ^a	87.66±3.06 ^a
22	香叶醇	26.3	1848	—	—	12.61±1.14 ^a	11.04±1.94 ^a
23	苯乙醇	27.5	1905	—	—	8.81±0.51 ^a	6.05±1.10 ^b
24	4-异丙基苯甲醇	31.3	2097	—	—	3.36±0.23 ^a	3.13±1.10 ^a
25	α-菖蒲醇	32.5	2096	—	—	1.15±0.15 ^b	21.95±0.85 ^a
醇类总量				2.38	63.17	224.48	591.51
酮类化合物							
26	甲基庚烯酮	14	1337	—	—	35.28±3.63 ^a	16.46±1.14 ^b

续表 7

编号	名称	保留时间	保留指数	含量(μg/kg)			
				原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡
27	2-异丙基-5-甲基-3-环己烯-1-酮	23.6	1724	—	—	—	102.94±0.45
28	β-紫罗兰酮	26	1834	—	—	2.16±0.63 ^a	2.97±0.28 ^a
	酮类总量			—	—	37.44	122.37
	酯类化合物						
29	12,15-十八碳二烯酸甲酯	7.9	1120	—	—	13.09±1.75 ^a	14.58±2.28 ^a
30	4-萆乙酸酯	9.4	1173	—	—	73.06±1.28	—
31	萆品醇乙酸酯	22.9	1693	—	—	44.50±4.8 ^b	55.60±2.33 ^a
	酯类总量			—	—	130.65	70.18
	烯烃类化合物						
32	β-水芹烯	7.8	1116	—	—	16.19±2.64 ^b	32.52±2.76 ^a
33	α-水芹烯	9.1	1162	—	—	18.58±1.60 ^b	29.70±2.41 ^a
34	β-月桂烯	9.2	1166	—	—	—	90.63±1.33
35	α-松油烯	9.5	1176	—	—	—	91.80±1.83
36	萆品油烯	9.6	1180	—	—	—	38.04±2.47
37	D-柠檬烯	10	1194	—	—	229.32±3.02 ^b	279.53±1.09 ^a
38	反式-β-罗勒烯	11.2	1236	—	—	—	57.67±2.01
39	γ-松油烯	11.4	1243	—	—	65.80±3.06 ^b	83.27±2.48 ^a
40	柠檬烯	12.4	1279	—	—	85.23±0.81 ^a	87.95±2.35 ^a
41	α-蒎烯	18.1	1492	—	—	63.73±2.05 ^b	97.21±1.81 ^a
42	律草烯	19.7	1557	—	—	11.56±2.10 ^a	10.99±1.33 ^a
43	石竹烯	20.1	1574	—	—	256.15±3.80 ^b	311.56±2.29 ^a
44	愈创木烯	22.1	1658	—	—	—	16.10±2.30
45	γ-茂伦烯	22.8	1688	—	—	57.84±3.43 ^a	17.08±1.82 ^b
46	α-法呢烯	24.1	1746	—	—	11.45±2.02 ^a	9.44±1.88 ^a
47	依兰烯	24.9	1783	—	—	4.38±0.49 ^a	3.96±0.57 ^a
48	α-二氢莠蒲烯	27.7	1915	—	—	1.51±0.18 ^b	2.58±0.51 ^a
	烯烃类总量			—	—	897.29	1416.67
	杂环类化合物						
49	对二甲苯	8.4	1137	—	—	5.13±0.57 ^a	4.93±0.47 ^a
50	二烯丙基硫化物	8.7	1148	—	—	—	36.37±1.46
51	2-戊基呋喃	11	1229	—	—	9.22±0.87 ^b	13.02±1.86 ^a
52	邻-异丙基苯	12.1	1268	—	—	163.90±3.98 ^b	195.97±3.09 ^a
53	P-伞花烃	12.3	1275	—	—	32.77±3.15 ^b	38.94±2.19 ^a
54	2,6-二甲基吡嗪	13.7	13267	—	—	36.86±3.00	—
55	2-乙基-6-甲基吡嗪	15.3	1385	—	—	—	5.08±0.79
56	4-乙基苯胺	16.1	1415	—	—	—	5.68±0.74
57	3-(4-甲基-3-戊烯基)-呋喃	16.2	1419	—	—	11.20±3.33 ^a	10.72±1.15 ^a
58	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-苯	16.7	1438	—	—	—	58.37±2.48
59	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	16.9	1446	—	—	10.62±1.24 ^b	16.75±2.08 ^a
60	二烯丙基二硫	17.7	1477	—	—	211.52±4.12 ^b	412.82±2.54 ^a
61	冰片	23.1	1701	—	—	24.60±1.83 ^a	22.62±0.31 ^a
62	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基苯	24.7	1774	4.38±0.38 ^c	5.82±0.50 ^c	289.66±2.25 ^a	249.71±2.30 ^b
63	2-乙烯基-4H-1,3-二噻吩	26.1	1838	—	—	—	8.38±1.66
64	2-乙酰基吡咯	28.7	1964	—	—	4.44±0.34 ^a	5.44±1.48 ^b
65	石竹素	29	1979	—	—	—	5.37±0.69
	杂环类总量			4.38	5.82	799.92	1090.17
	醚类化合物						
66	茴香脑	24.3	1755	4.15±1.03 ^c	5.24±0.60 ^c	149.22±5.58 ^b	175.50±2.54 ^a
	醚类总量			4.15	5.24	149.22	175.50
	酚类化合物						
67	丁香酚	31.4	2100	—	—	8.53±0.58 ^a	1.18±0.29 ^b
	酚类总量			—	—	8.53	1.18

注: 同一指标不同小写字母表示不同品种鸡肉炒制前后差异显著($P<0.05$); “—”表示“未检出”, 表9、表10同。

表 8 不同品种鸡肉炒制前后挥发性物质 OAV 值

Table 8 OAV values of volatile substances in different varieties of chicken before and after stir-fried

编号	名称	阈值(μg/kg)	气味描述	OAV			
				原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡
1	己醛	5 ^[23]	青草、脂肪 ^[10]	4.46	26.21	12.98	16.42
2	壬醛	1 ^[24]	脂肪、青草 ^[24]	20.33	20.77	64.03	106.85
3	苯甲醛	41.7 ^[10]	苦杏仁、焦糖 ^[10]	0.07	0.13	1.71	2.28
4	苯乙醛	4 ^[23]	果味、花香 ^[25]	—	—	6.35	—
5	桉叶油醇	1.3 ^[24]	药草 ^[24]	—	—	57.19	199.94
6	1-辛烯-3-醇	1 ^[23]	蘑菇 ^[10]	2.38	24.73	22.86	14.64
7	芳樟醇	6 ^[24]	花香、甜香 ^[24]	—	—	11.33	12.48
8	α-松油醇	4.6 ^[24]	水果、薄荷 ^[24]	—	—	20.02	19.06
9	石竹烯	160 ^[23]	木头 ^[26]	—	—	1.60	1.95
10	D-柠檬烯	10 ^[23]	橙香 ^[26]	—	—	22.93	27.95
11	α-松油烯	85 ^[23]	柠檬 ^[26]	—	—	—	1.08
12	2-戊基呋喃	5.8 ^[27]	果香、豆腥味 ^[27]	—	—	1.59	2.24
13	茴香脑	15 ^[24]	甘草 ^[24]	0.28	0.35	9.95	11.70
14	2-乙基-3,5-二甲吡嗪	0.04 ^[27]	烤坚果 ^[27]	—	—	256.50	418.75
15	二烯丙基二硫	30 ^[27]	洋葱、大蒜 ^[27]	—	—	7.05	13.76

工过程中,脂质降解会导致碳氢化合物、醇类、醛类和酮类的形成,从而产生独特的香气^[31]。Qi 等^[32]研究发现,肉汤中的脂肪是具有脂肪香味和肉源性醛的重要载体,增加脂肪含量可以增加肉汤对香气化合物的吸收能力。因此,以黄羽鸡肉作为原料制作的辣子鸡风味前体物质含量更丰富。蛋白质作为一种重要的食品成分,既能通过特殊的分子键吸附风味物质,又能因环境变化释放风味物质^[33]。蛋白质的降解主要由肌肉组织中的内源性酶和微生物分泌的蛋白酶促进,导致多肽和游离氨基酸的形成,这些化合物是主要风味成分的基本前体^[34]。黄羽鸡肉的蛋白质含量高于白羽鸡肉,为热加工过程中的蛋白质降解形成风味提供了基础。有研究表明,脂质氧化产生的醛可以与蛋白质形成加合物^[35],这可能是本研究中黄羽鸡炒制后己醛含量下降的原因。鸡肉在热处理过程中 pH 的变化与风味物质的形成密切相关。pH 可以通过改变氨基酸残基的环境、表面电荷和蛋白质二级结构来影响蛋白质与风味化合物的结合能力^[33]。Yang 等^[36]研究了鸭肉中选定的风味化合物与肌原纤维蛋白之间的相互作用,并证实了随着 pH 从 5.0 增加到 8.0,蛋白质对醛类和酯类的吸附能力增强。炒制后鸡肉 pH 上升,可能影响了鸡肉中蛋白质与风味化合物的结合。

炒制白羽鸡与炒制黄羽鸡香气成分的显著差异体现在杂环类化合物的种类及含量上。炒制黄羽鸡肉比炒制白羽鸡肉多了 6 种杂环化合物,如二烯丙基硫化物、2-乙基-6-甲基吡嗪、2-乙基-4H-1,3-二噻吩等。吡嗪和吡啶虽然含量较低,但由于气味阈值较低,对烤肉香气有积极的贡献。各种呋喃硫化物和二硫化物的形成途径很可能是硫化氢与二羰基、呋喃酮和糠醛相互作用生成硫醇和巯基酮^[37]。2-戊基呋喃是一种由亚油酸和其他 n-6 脂肪酸衍生的非羧

基化合物^[38],在炒制白羽鸡和炒制黄羽鸡样品中都发现了 2-戊基呋喃,且 OAV 值均大于 1,可以得出 2-戊基呋喃对炒制鸡肉样品的香气起重要作用。总体而言,不同品种鸡肉的挥发性物质虽然种类相似但浓度不同,呈现出不同的风味特征,主要表现为炒制黄羽鸡肉的风味物质浓度更高,种类更为丰富,整体呈现脂肪味和花香味。Feng 等^[25]采用气相色谱-嗅闻/质谱联用(gas chromatography-olfactory/mass spectrometry, GC-O/MS)分析了肉鸡汤和本土鸡汤的香气差异,结果显示,与肉鸡汤相比,本土鸡汤含有更复杂的挥发物,并呈现出更丰富的芳香特征,本试验结果与之类似。

2.4 滋味组分分析

2.4.1 电子舌分析结果 由图 2a 电子舌雷达图可知,原料鸡肉和炒制鸡肉的滋味成分均在 ANS(甜味)、CTS(咸味)、SCS(苦味)传感器上的响应值较大,说明原料鸡肉和炒制鸡肉主要呈现甜、咸、苦味。在 ANS(甜味)传感器上,炒制黄羽鸡肉响应值显著高于炒制白羽鸡肉,说明以黄羽鸡肉为原料的新疆辣子鸡菜肴甜味更浓郁。由图 2b 的 PCA 图可知,PC1 和 PC2 累计贡献率达 87%,说明两个主成分能够反映样品整体信息。炒制鸡肉样品主要分布于纵坐标右侧,原料鸡肉样品主要分布于纵坐标左侧,黄羽鸡样品主要分布于横坐标上方,白羽鸡样品主要分布于横坐标下方,说明炒制鸡肉和原料鸡肉、黄羽鸡肉与白羽鸡肉之间存在差异性。

2.4.2 游离氨基酸分析结果 游离氨基酸是鸡肉中重要的味觉化合物,对美拉德反应和 Strecker 降解产生的香气挥发物的形成具有重要意义,这也导致了不同味道和风味化合物的产生^[40]。氨基酸种类和含量受品种、遗传、饲养环境和饲粮营养等因素影响。李富银等^[41]研究了白羽肉鸡、茶花鸡、茶花鸡 2 号肌

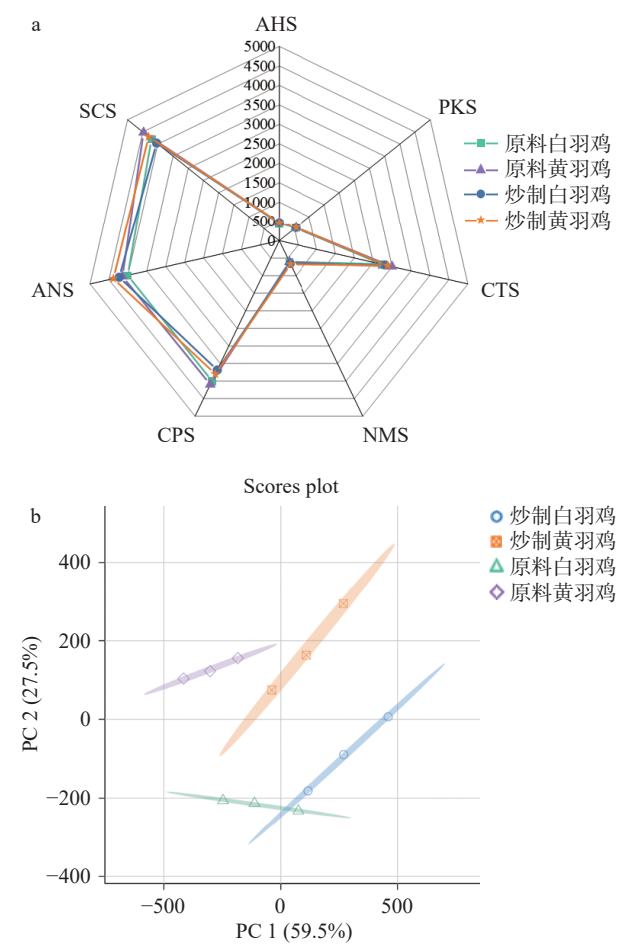


图2 不同品种鸡肉炒制前后电子舌雷达图(a)及PCA图(b)
Fig.2 Radar chart of electronic tongue (a) and PCA images (b)
of different varieties of chicken before and after stir-fried

肉氨基酸含量差异,结果表明茶花鸡、茶花鸡2号肌肉氨基酸含量优于白羽肉鸡。由表9可知,四组样品共检测到17种游离氨基酸,总含量分别为137 mg/100 g、173.21 mg/100 g、200.65 mg/100 g、237.11 mg/100 g,其中,白羽鸡肉的鲜味氨基酸和甜味氨基酸总量均低于黄羽鸡肉,说明与白羽鸡肉相比,黄羽鸡肉的鲜味和甜味更为突出,与 Santosh 等^[42] 研究结果类似,说明黄羽鸡肉炒制前后的整体滋味均更优。TAV 值大于1 可以认为对食物的味道有贡献。根据 TAV 结果,在炒制后的两组样品中,谷氨酸的 TAV 值均大于1,说明谷氨酸是新疆辣子鸡菜肴鲜味来源的主要氨基酸。丝氨酸和苏氨酸与还原糖经加热后会发生美拉德反应形成吡嗪,呈现坚果等烘烤气味^[21]。原料白羽鸡肉、原料黄羽鸡肉、炒制白羽鸡肉、炒制黄羽鸡肉的丝氨酸和苏氨酸总和分别为39.54、46.98、37.27、41.36 mg/100 g,说明黄羽鸡肉更易产生挥发性风味物质,且对菜肴甜味的贡献更为明显。Liu 等^[43] 研究结果显示,缬氨酸、亮氨酸、酪氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸在高温(>100 ℃)加热30 min 后,含量迅速降低。在本研究结果中,苦味氨基酸中的缬氨酸、精氨酸和甲硫氨酸的含量在鸡肉高温炒制后显著降低,酪氨酸、苯丙氨酸含量也呈下降趋势,可能是由于部分氨基酸对热敏感,在高温炒制条件下发生了氧化分解,从而导致其含量降低。

2.4.3 核苷酸分析结果 对不同品种鸡肉原料肉样及炒制肉样中的 GMP、IMP、AMP 进行测定,结果如表10 所示。不同品种原料肉差异显著,其中,原

表9 不同品种鸡肉炒制前后游离氨基酸含量变化

Table 9 Changes in free amino acid content of different varieties of chicken before and after stir-fried										
氨基酸种类	呈味特点	阈值 ^[39] (mg/100 g)	含量(mg/100 g)				TAV			
			原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡	原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡
天冬氨酸	鲜味	100.00	5.91±0.33 ^c	7.12±0.74 ^c	25.65±0.71 ^b	27.45±0.95 ^a	0.06	0.07	0.26	0.27
谷氨酸	鲜味	30.00	9.35±1.78 ^d	15.69±0.47 ^c	44.95±1.20 ^b	63.34±0.90 ^a	0.31	0.52	1.50	2.11
鲜味氨基酸总含量			15.26	22.81	70.60	90.79				
丝氨酸	甜味	150.00	12.12±0.75 ^c	16.26±0.87 ^a	9.99±0.36 ^d	14.13±0.35 ^b	0.08	0.11	0.07	0.09
甘氨酸	甜味	130.00	6.76±0.44 ^b	8.04±0.79 ^b	12.74±0.84 ^a	13.42±0.52 ^a	0.05	0.06	0.10	0.10
丙氨酸	甜味	60.00	3.48±0.26 ^d	12.73±0.59 ^b	8.21±0.37 ^c	15.41±0.88 ^a	0.06	0.21	0.14	0.26
苏氨酸	甜味	260.00	27.42±1.25 ^b	30.72±0.76 ^a	27.28±0.35 ^b	27.23±0.55 ^b	0.11	0.12	0.10	0.10
甜味氨基酸总含量			49.78	67.75	58.22	70.19				
组氨酸	苦味	20.00	12.05±0.62 ^b	16.64±1.09 ^a	10.32±0.94 ^b	11.88±0.94 ^b	0.60	0.83	0.52	0.59
精氨酸	苦味	50.00	15.56±1.12 ^a	14.41±0.55 ^a	16.33±1.19 ^a	15.36±1.07 ^a	0.31	0.29	0.33	0.31
酪氨酸	苦味	91.00	8.85±0.36 ^a	7.84±0.45 ^b	8.08±0.69 ^{ab}	5.95±0.41 ^c	0.10	0.09	0.09	0.07
缬氨酸	苦味	40.00	7.04±0.29 ^a	6.45±0.26 ^b	1.82±0.14 ^c	1.24±0.22 ^d	0.18	0.16	0.05	0.03
甲硫氨酸	苦味	30.00	2.68±0.40 ^a	2.30±0.56 ^{ab}	1.93±0.24 ^b	1.16±0.14 ^c	0.09	0.08	0.06	0.04
异亮氨酸	苦味	90.00	2.24±0.36 ^a	2.21±0.19 ^a	2.53±0.57 ^a	2.85±0.30 ^a	0.02	0.02	0.03	0.03
亮氨酸	苦味	190.00	4.25±0.47 ^c	9.79±0.53 ^{ab}	9.17±0.72 ^b	10.25±0.30 ^a	0.02	0.05	0.05	0.05
苯丙氨酸	苦味	90.00	4.57±0.71 ^a	4.26±0.71 ^a	4.03±0.23 ^a	3.83±0.25 ^a	0.05	0.05	0.04	0.04
苦味氨基酸总含量			57.24	63.90	54.21	52.52				
脯氨酸	无味	300.00	9.57±0.81 ^b	7.16±0.64 ^c	12.51±0.64 ^a	11.99±0.75 ^a	0.03	0.02	0.04	0.04
半胱氨酸	无味	-	1.33±0.39 ^b	5.99±0.61 ^a	1.76±1.03 ^b	4.77±0.41 ^a				
赖氨酸	无味	50.00	3.82±0.26 ^c	5.60±0.27 ^b	3.35±0.36 ^c	6.85±0.88 ^a	0.08	0.11	0.07	0.14
无味氨基酸总含量			14.72	18.75	17.62	23.61				
游离氨基酸总含量			137	173.21	200.65	237.11				

表 10 不同品种鸡肉炒制前后核苷酸含量变化

Table 10 Changes in nucleotide content of different varieties of chicken before and after stir-fried

呈味核苷酸	呈味特点	阈值 ^[39] (mg/100 g)	含量(mg/100 g)				TAV			
			原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡	原料白羽鸡	原料黄羽鸡	炒制白羽鸡	炒制黄羽鸡
GMP	鲜味	12.5	8.15±0.32 ^a	4.95±0.80 ^b	7.48±1.71 ^a	9.57±1.44 ^a	0.65	0.40	0.60	0.77
IMP	鲜味	25	57.32±3.49 ^b	80.08±2.89 ^a	23.43±1.82 ^c	52.91±3.83 ^b	2.29	3.20	0.94	2.12
AMP	甜味	50	6.80±0.67 ^b	4.80±0.90 ^c	7.26±0.27 ^{ab}	8.66±0.54 ^a	0.14	0.10	0.15	0.17

料黄羽鸡肉 IMP 含量显著高于原料白羽鸡肉 ($P<0.05$), 且 IMP 的 TAV 值均 >1 , 说明 IMP 是原料鸡肉的关键滋味活性物质。炒制白羽鸡肉和炒制黄羽鸡肉的风味核苷酸总量分别为 38.17 mg/100 g、71.14 mg/100 g, 且相对于原料肉样, 白羽鸡肉 GMP 呈下降趋势, 黄羽鸡肉 GMP 呈上升趋势。IMP 通过氧化反应降解生成 GMP^[44], 热处理促进 ATP 降解成 AMP^[45], 这可能是经炒制加工后, 黄羽鸡肉 GMP 和 AMP 含量呈上升趋势、IMP 含量呈下降趋势的原因, 说明黄羽鸡肉炒制后鲜味和甜味比白羽鸡肉更突出, 与游离氨基酸结果相一致。

2.5 感官评价结果

色、香、味、形是影响菜肴品质的重要因素, 直接影响消费者的购买欲望。由图 3 可知, 炒制黄羽鸡在香味、鲜味、口感方面相较于炒制白羽鸡更为突出, 累计总分后, 以黄羽鸡为原料的新疆辣子鸡菜肴得分最高, 综合感官评价最好。以黄羽鸡肉为原料的新疆辣子鸡口感上具有一定韧性, 咀嚼性较好, 风味评价较高, 满足新疆辣子鸡的制作要求。结合挥发性风味物质及滋味组分测定结果, 黄羽鸡肉比白羽鸡肉的风味物质更多, 含量更丰富, 与感官评价结果相符。

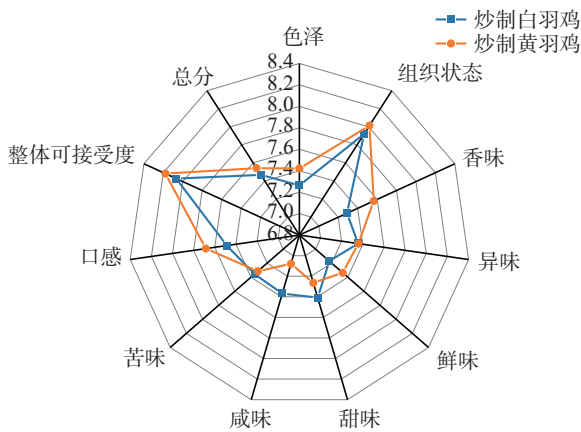


图 3 新疆辣子鸡菜肴感官评价结果

Fig.3 Sensory evaluation results of Xinjiang Spicy Chicken dishes

3 结论

黄羽鸡在粗脂肪、粗蛋白等营养成分, 色泽和剪切力等食用品质上优于白羽鸡; 炒制后的黄羽鸡与白羽鸡的挥发性物质差异主要体现在杂环类化合物的种类及含量方面, 具体表现为黄羽鸡肉挥发性物质种类及含量多于白羽鸡肉; 在滋味组分分析上, 黄羽鸡

肉的鲜味及甜味成分更为突出, 说明鸡肉品种对炒制菜肴风味品质具有显著影响, 黄羽鸡肉相较于白羽鸡肉更适合于制作炒制鸡肉菜肴。本研究结果为炒制鸡肉菜肴风味解析及鸡肉制品风味调控提供了参考。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] 张紫涵, 吴予灿, 宋玉, 等. 木瓜汁腌制对文昌鸡风味形成的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(20): 236–244. [ZHANG Zihan, WU Yucan, SONG Yu, et al. Effect of marination in papaya juice on the flavor formation of boiled Wenchang chicken[J]. Food Science, 2023, 44(20): 236–244.]

[2] ZHOU H, CUI W, GAO Y, et al. Analysis of the volatile compounds in Fuliji roast chicken during processing and storage based on GC-IMS[J]. Curr Res Food Sci, 2022, 5: 1484–1493.

[3] SUN X, YU Y, SALEH A S M, et al. Understanding interactions among flavor compounds from spices and myofibrillar proteins by multi-spectroscopy and molecular docking simulation[J]. Int J Biol Macromol, 2023, 229: 188–198.

[4] 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.

[5] 张永生, 江方, 靳慧慧, 等. 鸡肉品种和部位对美拉德反应产物呈味的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(10): 297–302. [ZHANG Yongsheng, JIANG Fang, JIN Huihui, et al. Effect of chicken breeds and parts on the taste characteristic of maillard reaction products[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(10): 297–302.]

[6] 滕飞, 刘小琳, 钟强, 等. 基于风味组学和脂质组学分析不同品种原料鸭对卤鸭挥发性风味的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(12): 176–186. [TENG Fei, LIU Xiaolin, ZHONG Qiang, et al. Flavoromics and lipidomics based analysis of the effects of different breeds of raw ducks on the volatile flavor of stewed ducks[J]. Food Science, 2024, 45 (12): 176–186.]

[7] 陈怡颖, 郭贝贝, 章慧莺, 等. 新疆大盘鸡挥发性风味成分的GC-MS 分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(21): 291–296. [CHEN Yiyang, GUO Beibei, ZHANG Huiying, et al. Volatile flavor compounds analysis of the dapanji by GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(21): 291–296.]

[8] 周晓璐, 李雅雯, 许倩, 等. 新疆椒麻鸡腿的品质变化及货架期预测[J]. 食品工业科技, 2024, 45(7): 306–312. [ZHOU Xiaolu, LI Yawen, XU Qian, et al. Quality changes and shelf life prediction of Xinjiang pepper chicken legs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(7): 306–312.]

[9] 周亚军, 张漫漫, 李宗坪, 等. 腌制方式对腌制过程中山黑猪

- 肉肌原纤维蛋白特性及其叉烧肉食用品质的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(23): 86–94. [ZHOU Yajun, ZHANG Manman, LI Zongping, et al. Effect of curing method on myofibrillar protein characteristics of mountain Black pork during curing process and Eating quality of barbecued pork[J]. *Food Science*, 2023, 44(23): 86–94.]
- [10] HAN D, ZHANG C H, FAUCONNIER M L, et al. Characterization and differentiation of boiled pork from Tibetan, Sanmenxia and Duroc x (Landrac x Yorkshire) pigs by volatiles profiling and chemometrics analysis[J]. *Food Res Int*, 2020, 130: 108910.
- [11] 李建英, 陈乐, 刘成江, 等. 土豆烧牛肉菜肴食用品质评价解析[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(12): 300–308. [LI Jianying, CHEN Le, LIU Chengjiang, et al. Evaluation and analysis of the edible qualities of the braised beef with potato dishes[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(12): 300–308.]
- [12] 吴予灿, 张紫涵, 赵桂苹, 等. 椰子汁煮制对文昌鸡食用品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2023, 56(16): 3199–3212. [WU Yucan, ZHANG Zihan, ZHAO Guiping, et al. Effect of boiling coconut water on flavor formation of wenchang Chicken[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(16): 3199–3212.]
- [13] 李建英. 土豆烧牛肉菜肴工业化加工工艺研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022. [LI Jianying. Research on the industrialized processing technology of potato roasted beef dishes[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022.]
- [14] 赵玲, 王琳, 曹荣, 等. 基于 SPME-GC-MS 和电子舌分析不同处理秋刀鱼烤后的风味特征[J/OL]. *食品科学*: 1–9[2025-06-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231010.1057.066.html>. [ZHAO Ling, WANG Lin, CAO Rong, et al. Analysis of flavor characteristic of differently treated cololabis saira after roasting based on solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry and electronic tongue[J/OL]. *Food Science*, 1–9[2025-06-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231010.1057.066.html>.]
- [15] 王春青, 李侠, 张春晖, 等. 肌原纤维特性与鸡肉原料肉品质的关系[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(10): 2003–2012. [WANG Chunqing, LI Xia, ZHANG Chunhui, et al. Study on relationship between myofibril characteristics and meat quality of chicken raw meat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(10): 2003–2012.]
- [16] 霍献强, 杨祝良, 邹乐勤, 等. 广西 6 个地方鸡肉品质测定及差异性分析[J]. *家畜生态学报*, 2022, 43(5): 47–51. [HUO Xianqiang, YANG Zhuliang, ZOU Leqing, et al. Meat quality determination and difference analysis of six local chicken breeds in Guangxi[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2022, 43(5): 47–51.]
- [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. [PU Xinyuan, ZHOU Hui, WANG Zhaoming, et al. Research on the effect of different processing stages on the flavor of Fuliji redcooked chicken[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(11): 89–98.]
- [18] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: A review[J]. *European Journal of Cancer*, 2003, 39(14): 21–32.
- [19] 黄文权, 阚启鑫, 刘果, 等. 冷冻及冻藏过程中鸡肉的食用品质及化学质量属性变化研究进展[J]. *食品科学*, 2024, 45(6): 326–336. [HUANG Wenquan, KAN Qixin, LIU Guo, et al. Research progress on changes in eating quality and chemical quality attributes of chicken during freezing and frozen storage[J]. *Food Science*, 2024, 45(6): 326–336.]
- [20] 杨洪浪, 华玲, 贾洪锋, 等. 宫保鸡丁烹制过程中品质的变化[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(4): 189–197. [YANG Honglang, HUA Ling, JIA Hongfeng, et al. Quality changes of Kung Pao chicken during cooking[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(4): 189–197.]
- [21] 巨晓军, 章明, 单艳菊, 等. 鸡肉品质分析及关键风味物质和基因的筛选[J]. *中国农业科学*, 2023, 56(9): 1813–1826. [JU Xiaojun, ZHANG Ming, SHAN Yanju, et al. Chicken quality analysis and screening of key flavor substances and genes[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(9): 1813–1826.]
- [22] WANG X, YAO Y, YU J, et al. Evolution of lean meat tenderness stimulated by coordinated variation of water status, protein structure and tissue histology during cooking of braised pork[J]. *Food Res Int*, 2023, 171: 113081.
- [23] 晔博文, 唐丽, 白婷, 等. 预調理回锅肉在不同灭菌及贮藏条件下挥发性风味物质的变化分析[J]. *中国食品添加剂*, 2023, 34(3): 42–55. [ZAN Bowen, TANG Li, BAI Ting, et al. Effects of sterilization and storage method on main volatile flavor of twice-cooked pork dish[J]. *China Food Additives*, 2023, 34(3): 42–55.]
- [24] 强宇, 姜薇, 刘成江, 等. 风冷与冷藏过程中酱卤牛肉风味逸散行为研究[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(16): 3224–3241. [QIANG Yu, JIANG Wei, LIU Chengjiang, et al. Flavor escape behavior of stewed beef with soy sauce during air-cooling and refrigeration[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(16): 3224–3241.]
- [25] FENG Y, CAI Y, FU X, et al. Comparison of aroma-active compounds in broiler broth and native chicken broth by aroma extract dilution analysis (AEDA), odor activity value (OAV) and omission experiment[J]. *Food Chemistry*, 2018, 265: 274–280.
- [26] WANG H, YANG P, LIU C, et al. Characterization of key odor-active compounds in thermal reaction beef flavoring by SGC×G C-O-MS, AEDA, DHDA, OAV and quantitative measurements[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 114: 104805.
- [27] 张泽宇, 王蓓, 曹雁平. 香辛料对牛肉味热反应香料贮存期间香气质量的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 189–198. [ZHANG Zeyu, WANG Bei, CAO Yanping. Effect of spices on aroma quality of beef flavoring produced by thermal reaction during storage[J]. *Food Science*, 2023, 44(12): 189–198.]
- [28] 邢通, 王成赞, 张林, 等. 鸡肉风味物质的影响因素及其营养调控研究进展[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(6): 3028–3035. [XING Tong, WANG Chengzan, ZHANG Lin, et al. Research advance of factors affecting chicken meat flavor and its nutritional regulation[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(6): 3028–3035.]
- [29] JIN Y, CUI H, YUAN X, et al. Identification of the main aroma compounds in Chinese local chicken high-quality meat[J]. *Food Chem*, 2021, 359: 129930.
- [30] 袁华根, 罗有文, 高峰. 品种、日龄因素对鸡肉挥发性风味的影响[J]. *中国饲料*, 2022(20): 25–28. [YUAN Huagen, LUO Youwen, GAO Feng. The effects of breed, age on the chicken meat flavor[J]. *China Feed*, 2022(20): 25–28.]
- [31] BASSAM S M, NOLETO-DIAS C, FARAG M A. Dissecting grilled red and white meat flavor: Its characteristics, production mechanisms, influencing factors and chemical hazards[J]. *Food Chem*, 2022, 371: 131139.
- [32] QI J, XU Y, XIE X F, et al. Gelatin enhances the flavor of chicken broth: A perspective on the ability of emulsions to bind volatile compounds[J]. *Food Chem*, 2020, 333: 127463.
- [33] SHEN H, ZHAO M, SUN W. Effect of pH on the interaction of porcine myofibrillar proteins with pyrazine compounds[J]. *Food*

Chem, 2019, 287: 93–99.

[34] GRUJOVIC M Z, MLADENOVIC K G, SEMEDO-LEM-SADDEK T, et al. Advantages and disadvantages of non-starter lactic acid bacteria from traditional fermented foods: Potential use as starters or probiotics[J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2022, 21(2): 1537–1567.

[35] LYNCH M P, FAUSTMAN C, SILBART L K, et al. Detection of lipid-derived aldehydes and aldehyde: Protein adducts *in vitro* and in beef[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 66(8): 1093–1099.

[36] YANG Q L, LOU X W, WANG Y, et al. Effect of pH on the interaction of volatile compounds with the myofibrillar proteins of duck meat[J]. *Poult Sci*, 2017, 96(6): 1963–1969.

[37] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: A review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415–424.

[38] WALL K R, KERTH C R, MILLER R K, et al. Grilling temperature effects on tenderness, juiciness, flavor and volatile aroma compounds of aged ribeye, strip loin, and top sirloin steaks[J]. *Meat Sci*, 2019, 150: 141–148.

[39] 姚嫄, 徐幸莲, 朱纯, 等. 不同原料鸡肉熬制鸡汤鲜香性分析及与市售鸡汤的对比[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(19): 86–98.

[YAO Man, XU Xinglian, ZHU Chun, et al. Analysis of the umami and aroma of chicken soup made from different raw materials and comparison with commercial chicken soups[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(19): 86–98.]

[40] ZHANG J, FENG M, ZHANG Y, et al. Effect of low-sodi-

um compound salt on the taste and volatile flavor of salt-baked chicken[J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2023, 32: 100740.

[41] 李富银, 杜光英, 杨燕琴, 等. 白羽肉鸡、茶花鸡、茶花鸡2号肌肉氨基酸含量比较分析[J]. *饲料研究*, 2023, 46(9): 103–108.

[LI Fuyin, DU Guangying, YANG Yanqin, et al. Comparative analysis of amino acid content of muscle of White feather broiler, Chahua chicken and Chahua No.2 chicken[J]. *Feed Research*, 2023, 46(9): 103–108.]

[42] SANTOSH H, SANTOSH H, LAWRENCE L L P, et al. Carcass characteristics, meat quality and nutritional composition of kadaknath, a native chicken breed of India[J]. *Foods*, 2022, 11(22): 3603.

[43] LIU J, LIU M, HE C, et al. Effect of thermal treatment on the flavor generation from Maillard reaction of xylose and chicken peptide[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(1): 316–325.

[44] BAO L, YANG R, DIAO D, et al. Reheating-induced gel properties change and flavor evolution of surimi-based seafood: Effects and mechanisms[J]. *Food Chem*, 2024, 464(Pt 1): 141466.

[45] ZHANG Q, ZHAO F, SHI T, et al. Suanyu fermentation strains screening, process optimization and the effect of thermal processing methods on its flavor[J]. *Food Res Int*, 2023, 173(Pt 1): 113296.