

李宛玲, 李青, 马欣, 等. 不同原料鸡品种对新疆特色烤鸡品质特性与风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(9): 33-42. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060231

LI Wanling, LI Qing, MA Xin, et al. Effect of Chicken Breeds on Quality Characteristics and Flavor Profiles of Xinjiang Roasted Chicken[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(9): 33-42. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060231

· 特邀主编专栏—地方特色食品:加工技术、感官品质、风味特性和营养健康 (客座主编:易俊洁、和劲松、郭超凡) ·

不同原料鸡品种对新疆特色烤鸡品质特性与风味的影响

李宛玲¹, 李青², 马欣², 贺建生³, 徐幸莲¹, 王虎虎^{1,2,*}

(1.南京农业大学食品科技学院, 肉品质量控制与新资源创制全国重点实验室, 江苏南京 210000;

2.新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052;

3.克州泰昆食品有限公司, 新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州 845350)

摘要: 本文旨在研究不同品种原料制作的新疆特色烤鸡的水分分布、食用品质和风味特性。实验以良凤花、黄麻鸡、苏禽黄、817、海兰褐 5 种新疆区域原料鸡为研究对象, 综合分析 5 种原料鸡制成烤鸡的色泽、质构、保水性、水分分布与挥发性风味物质, 并结合模糊数学感官评价多维度融合评估了烤鸡品质。结果表明: 良凤花品种烤鸡的保水性较好, 烤制损失较苏禽黄品种降低 30.69%。低场核磁结果表明, 良凤花和 817 品种烤鸡的不易流动水含量较高, 氢离子含量高且分布均匀, 表现出更强的水分保持能力。817 和良凤花品种烤鸡的红度值和黄度值均较高, 表面具有光泽, 色泽鲜亮; 海兰褐品种烤鸡质地紧实, 剪切力较高 ($P<0.05$), 不利于咀嚼。基于模糊数学感官评估得到 5 种烤鸡的综合得分排序为: 817>良凤花>苏禽黄>黄麻鸡>海兰褐。从 5 种烤鸡中鉴定分析出的 29 种重要挥发性化合物中发现, 甲基吡嗪、2-戊酮、戊醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇、 α -蒎烯等是区分不同品种烤鸡的特征风味物质。该研究为新疆烤鸡原料的品种优选、产品品质调控及民族肉品工艺现代化改造提供了理论依据。

关键词: 新疆烤鸡, 品种, 风味, 保水性, 感官评价

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2026)09-0033-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060231



本文网刊:

Effect of Chicken Breeds on Quality Characteristics and Flavor Profiles of Xinjiang Roasted Chicken

LI Wanling¹, LI Qing², MA Xin², HE Jiansheng³, XU Xinglian¹, WANG Huhu^{1,2,*}

(1.College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, National Key Laboratory of Meat Quality Control and New Resource Creation, Nanjing 210000, China;

2.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

3.Kezhou Tycoon Food Company Limited, Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture 845350, China)

Abstract: This study aimed to investigate the moisture distribution, eating quality and flavor properties of Xinjiang-style roasted chicken made from different chicken breeds. Five chicken breeds from Xinjiang, namely Liangfenghua, Huangma, Suqinhuang, 817, and Hyline Brown, were selected as research subjects. A comprehensive analysis, including color, texture, water-holding capacity (WHC), moisture distribution, and volatile flavor compounds, was conducted to evaluate the quality characteristics of roasted chicken products made from five chicken breeds. Additionally, a multidimensional quality

收稿日期: 2025-06-19

基金项目: 自治区重点研发计划项目——新疆特色烤鸡工业转换技术研发与产业化示范 (2023B02033)。

作者简介: 李宛玲 (2001-) (ORCID: 0009-0004-0887-9790), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品质量安全控制, E-mail: 1752979431@qq.com。

* 通信作者: 王虎虎 (1986-) (ORCID: 0000-0003-1688-7948), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉品质量安全控制, E-mail: huuwang@njau.edu.cn。

assessment was implemented using fuzzy mathematics-based sensory evaluation methodology. The results showed that Liangfenghua breed had superior water-holding capacity, with a 30.69% reduction in roasting loss relative to Suqinhuang breed. Low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) analysis demonstrated that Liangfenghua and 817 breeds contained higher levels of immobilized water, along with high and uniformly distributed hydrogen ion content, exhibiting stronger moisture retention capacity. Moreover, 817 and Liangfenghua breeds showed higher redness (a^*) and yellowness (b^*) values, presenting a glossy and bright surface. Hyline Brown breed had a tight texture and significantly higher shear force ($P < 0.05$), which was unfavorable for chewing. The comprehensive scores of the five roasted chicken products, based on the fuzzy mathematics sensory evaluation, were ranked as follows: 817 > Liangfenghua > Suqinhuang > Huangma > Hyline Brown. Among the 29 important volatile compounds identified from the five roasted chicken samples, methylpyrazine, 2-pentanone, pentanal, (E)-2-octenal, (E)-2-nonenal, 1-octen-3-ol, and α -pinene were served as the characteristic flavor compounds that distinguish roasted chicken from different breeds. This study provides a theoretical foundation for the selection of Xinjiang roasted chicken breeds, roasted chicken product quality regulation, and the modernization of ethnic meat processing technologies.

Key words: Xinjiang specialty roast chicken; breeds; flavor; water holding capacity; sensory evaluation

烤鸡作为我国著名传统美食之一,因其独特的风味和出色的适口性享誉全国。新疆是我国重要的畜禽养殖和特色肉制品加工基地,其烤鸡以独特的香料配方和传统烤制工艺闻名,具有鲜明的地域特色。据统计,2022年仅南疆四地州新疆特色烤鸡消费量就突破了25000吨,市场需求强劲。新疆烤鸡的加工工艺主要由腌制工艺和烤制工艺所组成^[1],新疆特色烤鸡在传统腌制工艺基础上,创新性引入本地特色香辛料复配辅料辅助腌制。经过饅坑或电烤制后,产品外皮酥脆、肉质鲜嫩,同时复配香辛料能赋予烤鸡独特的风味和口感^[2],因此特色烤鸡也成为了新疆本地的一种独特美食,深受各民族消费者青睐。

除工艺外,肉制品的风味与品质也高度依赖于原料肉的品种特性,选用优质的肉鸡原料也是新疆特色烤鸡肉质鲜嫩、风味浓郁的重要原因之一。不同品种肉鸡中乳酸、鹅氨酸、肌酸、肌苷酸等水溶性低分子量化合物和脂肪酸的差异会导致其熬制鸡汤的风味化合物组成特性差异^[3],进而影响整体风味。杨娟婧等^[4]进一步指出,鸡肉风味物质的种类和含量与肌肉氨基酸及营养组分密切相关。肌苷酸作为鲜味物质的关键前体,与脂肪酸的氧化降解产物共同构成了肉制品的特征风味^[5-6]。其中,不饱和脂肪酸组成的差异会直接影响烤制过程中挥发性风味物质(醛类、酮类)的生成,导致不同品种烤鸡的风味分化^[7-8]。此外,品种差异通过肌纤维特性和肌肉化学成分影响鸡肉的食用品质。李龙等^[9]对比7种鸡品种发现,黄羽肉鸡因较高的红度值、较低的亮度值及较低的肌内脂肪,形成了独特的肉质特性;对比不同品种鸡的肌纤维特性,三黄鸡因适宜的肌纤维直径和密度表现出更佳嫩度和肉品质^[10]。新疆作为我国重要的畜牧业基地,拥有丰富的禽类种质资源,独特的地理环境和饲养方式赋予了当地鸡种优异的肉质特性。然而,目前针对原料鸡品种对烤鸡品质的影响尚未系统研究,不同品种鸡的理化特性、加工适宜性及烤制后品质差异尚不明确,限制了烤鸡工艺的精准优化与产品标准化生产。

本研究以新疆地区培育的良凤花鸡、海兰褐鸡、黄麻鸡及市场常见的817和苏禽黄鸡制成的烤鸡为研究对象,通过测定其烤制后的特征理化指标,分析不同品种烤鸡的出品率、色泽、质构特性、嫩度及水分分布的差异,并采用气相-离子迁移谱(Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry, GC-IMS)技术检测烤鸡的挥发性风味,明确不同品种间风味物质差异,旨在为新疆特色烤鸡原料的品种优选和产品品质调控提供科学依据,为科学描述不同品种原料制成烤鸡感官差异提供理论支持,为民族肉品工艺现代化改造奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

良凤花鸡(LR, 54~57日龄, 1.5±0.2 kg净重)、黄麻鸡(MG, 65~70日龄, 2.3±0.2 kg净重)、海兰褐鸡(HD, 290~310日龄, 1.3±0.2 kg净重) 新疆某大型食品有限公司; 817肉杂鸡(817R, 45~50日龄, 1.4±0.1 kg净重)、苏禽黄鸡(SR, 70~75日龄, 1.4±0.1 kg净重) 某大型牧业股份有限公司; 本实验所用不同品种原料鸡均为正常出栏日龄; 食盐、绵白糖、味精、料酒、老抽等材料 购于江苏南京苏果超市; C4~C9正酮标准品 色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司。

LT1001C电子天平 成都市宜邦科析仪器有限公司; ESK125真空滚揉机 德国Vakona GmbH公司; SL-RF120H多功能烤箱 广州金麦德有限公司; K86探针中心温度计 广东美德时仪器仪表有限公司; Minolta CR-400便携式色差仪 日本柯尼卡公司; C-LM3B数显式肌肉嫩度仪 东北农业大学工程学院; Niumag PQ001核磁共振成像分析仪 上海纽迈电子科技有限公司; TA-XT plus质构仪 英国Stab Micro System公司; Flavour Spec®气相离子迁移色谱仪 德国G.A.S.公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备 将复合香辛料包、辣椒籽、凉水

按比例(3:1:80)称重混匀,160℃熬至沸腾维持30 min,冷却后用作腌制料水,并按比例调配腌料(表1)。

表1 腌料配料
Table 1 Proportion of marinade ingredients

配料名称	味精	绵白糖	食用盐	老抽	料酒	复合干料	料水
比例(%)	15.25	15.25	16.95	8.47	1.69	1.69	40.68

注:干料为复合香辛料与辣椒籽混合物。

按照鸡肉:腌料=1000:59比例将鸡肉和腌料放入真空滚揉机进行间歇滚揉,滚揉条件设置:温度4℃,真空度80 kPa,转速4 r/min,转桶倾角5°;滚揉总时长60 min,其中滚揉45 min,间歇15 min。

滚揉腌制后剔除鸡身多余油脂和内脏杂物,去除头部和爪部,沿胸劈开。烤箱提前200℃预热10 min,180℃烤制,使用中心温度计监控烤鸡内部温度,统一烤制条件,中心温度达到80℃时取出用于各项实验指标的测定。

1.2.2 中心温度曲线的测定 参考Liu等^[11]的实验方法,采用温度记录仪进行测定。将温度记录仪的探针插入鸡肉的中心部位,采样间隔30 s,温度范围为4~80℃,监测整个烤制过程的温度变化,控制中心温度不超过80℃。

1.2.3 保水性的测定

1.2.3.1 产品得率 参照尹家琪等^[12]的实验方法,稍作改动。对滚揉腌制前的鸡进行称重(m_0),腌制后去除不可食部分,放入烤箱中180℃至中心温度80℃,烤制结束后迅速取出冷却至室温,用吸油纸吸去表面油脂并称重(m_1)。按式(1)计算产品得率。

$$\text{产品得率}(\%) = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中: m_0 为鸡腌制前去除表面水分的质量,g; m_1 为鸡烤至80℃后冷却并吸去表面油脂的质量,g。

1.2.3.2 烤制损失 参照Li等^[13]的实验方法,稍作改动。滚揉腌制后去除不可食用部分并擦去表面腌制液,烤制前对鸡进行称重(m_2),烤制后取出烤鸡样品,用吸油纸吸去表面的油脂后称重(m_1)。按式(2)计算烤制损失。

$$\text{烤制损失}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中: m_2 为烤制前样品的质量,g; m_1 为样品烤制后去除表面油脂与水分后的质量,g。

1.2.4 水分分布的测定 参照Wang等^[14]的方法,稍作改动。将烤制后的样品沿鸡胸肌纤维切成尺寸为1 cm×1 cm×3 cm的长方体肉块,预热仪器并使用序列校正仪器参数,采用Carr-Purcell-Meiom-Gill(CPMG)脉冲序列测定样品的弛豫时间,具体设置参数如下:SW=200 kHz, SF=40 MHz, RFD=0.05 ms,

RG1=20.0 db, P1=7.0 us, DRG1=3, TD=450044, PRG=1, TW=4000 ms, NS=4, 反演方法为SIRT, 迭代次数为 1×10^6 。

1.2.5 MRI图像的测定 参照Lian等^[15]的方法,使用核磁共振成像分析仪确定烤鸡内部水分的空间分布。将烤制后的鸡胸肉样品切成尺寸为1 cm×1 cm×1 cm的正方体肉块,用保鲜膜包裹防止水分流失,然后放入仪器随附的半圆柱形塑料管中用于测量。MRI序列参数设置:TR=600 ms, TE=20 ms, Averages=4, Read size=256, Phase size=192, Echo Position=50%, RG=20 dB, PRG=1, DRG=5 dB, Phase Encoding Duration=3 ms, Sweep width=20 kHz。使用图像评估软件分析获取的灰度图像,调整信噪比然后进行伪彩色处理。

1.2.6 色差(L^* 、 a^* 、 b^* 值)的测定 参照Hui等^[16]的实验方法,烤制后烤鸡样品冷却至室温,擦去表面多余油脂,使用带有D56光源和8 mm测量孔径的便携式色差仪对烤鸡表面进行色泽测定。测定前用标准白板($Y=94.0, x=0.3156, y=0.3321$)进行色差仪的校准,选择烤鸡样品颜色均匀部分,将色差仪垂直于烤鸡表面对颜色(亮度 L^* 、红度 a^* 及黄度 b^*)进行测定。

1.2.7 全质构的测定 参考Guo等^[17]的方法对烤鸡进行质构剖面分析,略作改动。将烤制后鸡胸沿肌纤维方向切成尺寸为1 cm×1 cm×1 cm的块状样品,室温下用质构仪进行分析,选择P/50探头。参数设定:测前速度 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$;测中速度 $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$;测后速度 $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,压缩比50%,触发力5 g,测试间隔时间2 s。

1.2.8 嫩度的测定 将烤制后鸡胸沿肌纤维方向切成尺寸为1 cm×1 cm×3 cm的肉块,使用嫩度仪测定肌肉嫩度,沿垂直于肌原纤维方向剪切肉样,记录最大剪切力值以表征嫩度,结果表示为N。

1.2.9 挥发性风味成分的测定 参考Liu等^[18]的研究方法并稍作改动。称取3.0 g烤鸡样品放入20 mL顶空瓶进行GC-IMS分析,采用自动顶空进样方式。进样条件设置:顶空孵育温度60℃;孵育时间15 min;孵育转速500 r/min;顶空进样针温度80℃;进样量500 μL 。GC条件设置:色谱柱FS-SE-54-CB-1柱(15 m×0.53 mm, 1 μm);柱温60℃;分析时间30 min;以高纯氮气(纯度 $\geq 99.999\%$)作载气;柱流速初始为2 mL/min,保持2 min,在10 min内增加至10 mL/min,并在20 min内线性增加至50 mL/min,20~30 min柱流速线性增加至150 mL/min;分析物在60℃的色谱柱上分离,使用具有6.5 keV 氙电离源的IMS电离室以正离子模式电离;漂移气体流速150 mL/min;漂移气为高纯氮气(纯度 $\geq 99.999\%$);漂移管温度45℃。

通过保留指数(Retention Index, RI)和迁移时

间,与 GC-IMS 数据库比对定性分析挥发性化合物,并使用正酮 C₄~C₉(2-丁酮、2-戊酮、2-己酮、2-庚酮、2-辛酮、2-壬酮)参考计算挥发性化合物的保留指数(RI),作为外标进行验证。相关计算公式(3)如下:

$$RI = 100n + \frac{100 \times (t_x - t_n)}{t_{n+1} - t_n} \quad \text{式(3)}$$

式中: t_x 为化合物 x 的保留时间, s; t_n 和 t_{n+1} 分别为正酮 n 和正酮 n+1 的保留时间, s(t_n < t_x < t_{n+1})。

1.2.10 定量描述感官分析 根据张杰等^[19]和时振华等^[20]的方法,感官评价小组由 15 名(7 男、8 女)感官阈值高、色香味分辨能力强的食品专业成员组成。将不同品种鸡烤制后置于白色餐盘中,对样品随机编号、随机摆放,感官评价人员对比分析样品色泽、风味、质地、口感,具体评价细则如表 2 所示。参评人员需在测试前 1 h 禁止进食,并避免摄入烟草及酒精类制品。样品评价时,评估者在不吞咽的条件下进行充分咀嚼。两个样品之间需用室温纯净水漱口,并间隔 5 min 后再进行下一个样品的评价。

1.2.11 模糊数学感官评价

1.2.11.1 建立因素集 各因素实际上是被评判对象的各种属性或性能,本试验中,评价新疆特色烤鸡的感官质量,以色香味形为基本参考,确定了由 5 项指标组成的因素集 U, U={U₁(色泽), U₂(风味), U₃(质地), U₄(口感), U₅(总体喜爱程度)}。

1.2.11.2 建立评语集 在本研究中,确定感官质量划分为四个等级,评语集 V={V₁(优), V₂(良), V₃(中), V₄(差)}。赋值优为 100 分,良为 75 分,中为 50 分,差为 25 分,即 V={100, 75, 50, 25}。

1.2.11.3 建立权重集 根据被评价因素对总体评价结果的影响重要程度,合理分配权重,确定权重向量集 X。在本实验中,根据归一化原则,采用强制决定法确定了烤鸡的权重集合 X={X₁, X₂, X₃, X₄, X₅}=(0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2),表示在评价过程中每个因素的重要性是相等的。

1.2.11.4 建立模糊关系矩阵 15 位品评人员对新疆特色烤鸡进行了感官评价,收集数据,对每一个被评价的因素建立一个从 U 到 V 的模糊关系矩阵 R,从

而得出单因素的评价集,即:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{im} & \cdots & r_{im} \end{bmatrix} \quad \text{式(4)}$$

式中, i 为烤鸡样品的编号,元素 r_{mn} 表示从因素 u_m 到该因素的评判结果 v_n 的隶属程度。r_{mn} 中 m 为 5 项质量评价指标:色泽、风味、质地、口感、总体喜爱程度; n 为 4 个质量等级:优、良、中、差。

1.2.11.5 建立模糊关系综合评判体系 食品感官指标的综合评判,是权重集与模糊矩阵的综合,一般用 Y 来表示,即 Y_i=X×R_i。烤鸡样品的模糊综合评价总分最后通过 S_i=Y_i×V 计算。

1.3 数据处理

使用 IBM SPSS Statistics 27 进行统计分析,采用 Duncan 多重比较,设定在 95% 置信水平下,则 P<0.05 表示差异显著。使用 Origin2021(OriginLab Corporation, MA, USA)作图,结果用平均值±标准差(Standard deviation, SD)的方式表示。

2 结果与分析

2.1 中心温度曲线分析

图 1 温度曲线反映了在烤制期间肉鸡中心温度与时间的关系。针对不同品种间存在的个体差异,采用中心温度监控烤鸡的温度变化,统一烤制条件为中心温度达 80 °C 达到良好食用状态^[21]。结果显示, MG 品种烤制时间最长达 35.5 min,其余四个品种时

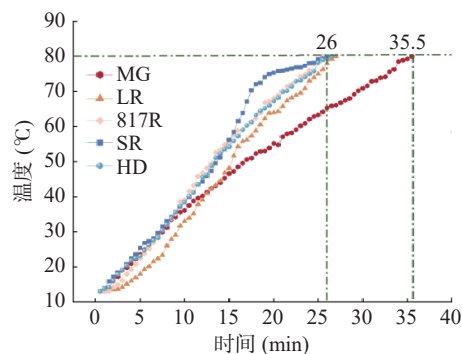


图 1 原料品种对新疆特色烤鸡烤制中心温度的影响
Fig.1 Effects of different breeds on the center temperature changes of Xinjiang specialty roast chicken during roasting

表 2 新疆特色烤鸡感官评分标准

Table 2 Sensory score standard of Xinjiang specialty roast chicken

评价指标	评分标准(分)			
	优(100)	良(75)	中(50)	差(25)
色泽	外表呈现现金黄色、均匀完整、光泽感好	外表呈现均匀的淡黄色或浅褐色、光泽感较好	外表较不均匀,光泽感较差、焦糊感	外表呈不均匀的黄褐色,焦糊油腻感强
风味	烤鸡固有风味浓郁持久、无异味	烤鸡固有风味较浓、无异味	烤鸡固有风味较淡、略带血腥味或脂肪味等异味	烤鸡固有风味淡、血腥味或脂肪味等异味较重
质地	质地均匀、硬度、弹性、咀嚼性适宜	质地较均匀,硬度、弹性、咀嚼性较好	质地较均匀,硬度、弹性、咀嚼性一般	质地不均匀,硬度、弹性、咀嚼性差
口感	肉质紧实,软硬适中,内部滑嫩多汁、咀嚼性好,口感好	肉质较紧实,外皮酥脆、内部滑嫩多汁、咀嚼性较好,口感较好	肉质较软烂或硬紧实,略带汁水、咀嚼性较差,口感较差	肉质糜烂或过硬,干柴多汁性差、口感较差
总体程度	很喜欢	比较喜欢	不喜欢但能接受	不喜欢

间相近, 平均为 26 min。这主要是因为 MG 的体型显著大于其他品种^[22], 胸肌和腿肌束结合紧实, 结缔组织较多, 脂肪层较薄, 烤制软化所需时间更长。这也可能与其日龄较长有关^[23], MG 的肌肉纤维粗硬, 肌束膜更发达, 胶原蛋白质量分数较高。在 15~20 min 阶段, SR 品种的中心温度曲线显现出先增长后平缓的趋势。这可能是因为 SR 品种肌肉纤维更细, 肌内脂肪分布更均匀, 导热效率更高, 热量更快传递至中心^[24], 使得肌球蛋白急性变形收缩, 肌肉纤维收缩。

2.2 保水性分析

烤鸡的保水性是质量品质评价的关键因素之一, 产品得率可直接影响经济效应, 同时烤制损失也可以直接反映产品保水性。由图 2A 可知, 817R 品种的产品得率最高, 可达到 63.12%, LR 和 MG 次之, SR 和 HD 的产品得率显著低于其他三个品种 ($P<0.05$)。不同品种间的烤制损失也表现出显著差异(图 2B)。SR 和 HD 的烤制损失显著高于其他品种 ($P<0.05$), 其中 LR 的烤制损失仅 19.02%, 比 SR 降低 30.69%。由此可见, LR、MG 和 817R 具有更强的水分保持能力, 且对应产品得率也较高。不同品种烤鸡保水性差异可能是由肌肉组成和纤维结构差异引起的, 有研究表明, 肌肉在烤制过程中收缩剧烈, 肌原纤维蛋白变性, 变性后蛋白释放水分, 导致肌肉萎缩和体重减轻。而肌内脂肪在高温下融化, 润滑肌纤维, 也可在一定范围内影响烤制损失^[25]。

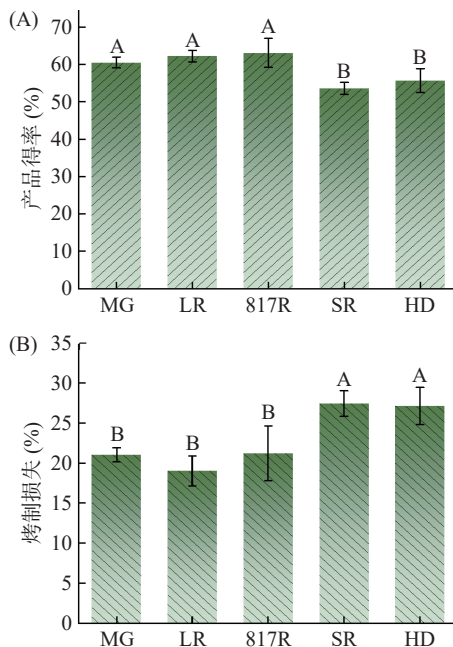


图 2 原料品种对新疆特色烤鸡产品得率(A)和烤制损失(B)的影响

Fig.2 Effect of different breeds on the product yield (A) and cooking loss (B) of Xinjiang specialty roast chicken
注: 大写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$, $n=5$), 图 3 同。

2.3 水分分布分析

低场-核磁共振 (Low-Field Nuclear Magnetic

Resonance, LF-NMR) 技术作为一种有效且快速的水分检测手段^[26], 可用于食品体系中水分分布的精准测定与评估, 并获取水分迁移的动态信息。 T_2 弛豫时间对应三类水分群态: 0.01~10 ms (T_{21})、10~100 ms (T_{22}) 和 100~1000 ms (T_{23}), 分别表征为结合水、不易流动水和自由水^[14]。 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 的弛豫时间逐渐增加, 水分子与鸡肉组织间的分子作用力减小, 水分自由度增大, 流动性增强。如图 3A 所示, T_{22} 为主峰, 信号强度高, 表明烤鸡中不易流动水含量最高。其中 LR 的 T_{22} 最小, 为 11.62 ms, 表明该品种鸡肉不易流动水与组织结合较为紧密, 流动性较低, 肌肉持水力好。SR 的 T_{23} 最大, 为 148.20 ms, SR 的自由水在烤制过程中易损失, 这与烤制损失的结果一致。这主要是因为自由水分布在肌原纤维网络之外^[27], 且 SR 品种自由水与组织间作用力较小, 流动性较大, 在高温条件下自由水易扩散至空气中造成损失。

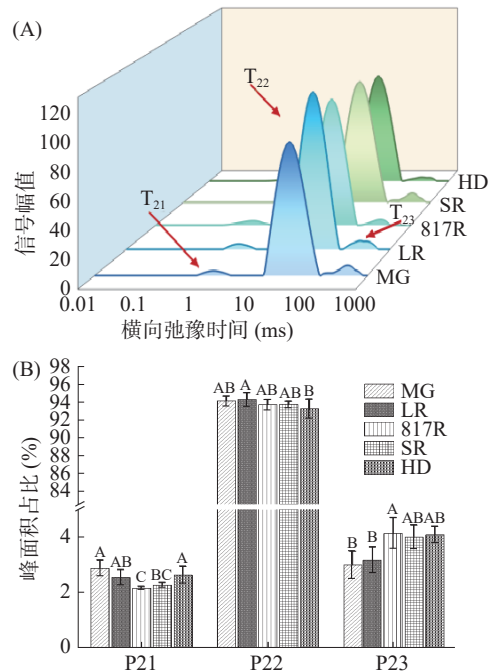


图 3 原料品种对新疆烤鸡的横向弛豫时间(A)和峰面积比例(B)的影响

Fig.3 Effect of different breeds on transverse relaxation time (A) and peak area proportions (B) of Xinjiang specialty roast chicken

峰面积的大小代表对应状态下水分含量的高低, 肉品的持水能力与自由水含量和不易流动水含量有关。图 3B 显示了各峰占总峰面积的比例, 即该状态下水分含量占总水分含量的百分比。5 个品种烤鸡中 93.2%~94.5% 的水分为不易流动水, 其中 LR 的 P_{22} 最高, HD 显著低于 LR ($P<0.05$), 而 MG、817R 和 SR 间无显著差异, 这表明 LR 的不易流动水含量最高。MG 和 LR 的 P_{23} 显著低于 817R ($P<0.05$), 自由水含量较低。结合上述 LR 不易流动水流动性较低, 推测 LR 的组织结构可以更好地抑制不易流动水向自由水的转变^[28], 持水能力强。

2.4 MRI 成像分析

磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)可以通过检测肉类样品内氢质子的信号强度从而实现水分分布的可视化。将氢质子形成的信号强度转换为密度分布,间接反映样品中水的空间分布及其水分含量^[29]。在伪彩色图像中,不同颜色与氢质子密度有关,蓝色区域表示信号强度较低,氢质子密度较低,而红色区域代表较高的信号强度和氢质子,更亮的图像和更深的红色区域表示样品中的含水量较高。不同品种鸡肉经烤制后鸡胸肉的MRI成像如图4所示,LR显示出最明显的红色调,表明氢质子密度最高,水分含量高于其他品种,水分流失水平最低。并且相比HD和MG品种,LR展示出更为均匀的氢离子分布状况,内部水分分布均匀,保水性好。SR显示出蓝绿区域,氢离子含量明显低于其他品种。MRI的信号强度图与烤制损失结果一致,直观地表明了不同品种对水分保留能力的差异。

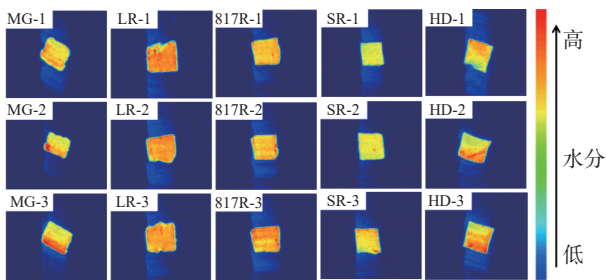


图4 原料品种对新疆特色烤鸡氢离子密度图的影响
Fig.4 Effect of different breeds on the H-nuclear density of Xinjiang specialty roast chicken
注:同一列标号数字不同,表示三次重复(n=3)。

2.5 色泽分析

色泽作为评判肉品质的重要指标,能直接影响消费者的喜爱程度和购买意向。如表3所示,不同品种对新疆特色烤鸡色差产生显著影响:817R的L*值(亮度值)最高,为46.18,与SR和MG差异显著(P<0.05),烤鸡表面鲜亮且富有光泽。MG的L*值显著低于其他四个品种(P<0.05),这可能是因为MG的个体差异导致的中心温度变化减缓,肌原纤维蛋白变性速度降低,单根纤维之间的间隙更小,对表面光的散射能力也一定程度的减弱^[30]。HD的a*值(红度值)和b*值(黄度值)均显著低于LR、817R和SR,烤鸡表面呈现更深的棕褐色和不均匀的局部焦黑,这可能与HD的肌红蛋白和游离糖类(如葡萄糖)

含量较高有关,含铁蛋白在高温下氧化为褐色的正铁肌红蛋白^[31],使熟肉呈现更深的棕褐色,而还原糖与氨基酸之间的美拉德反应会生成类黑素,导致表皮和肌肉组织着色更深。综合来看,LR和817R的表面色泽更加鲜亮,富有烤鸡独特的金黄色,分布均匀。

表3 原料品种对新疆特色烤鸡色差的影响
Table 3 Effects of different breeds on the chromatism of Xinjiang specialty roast chicken

组别	L*	a*	b*
MG	40.69±4.02 ^c	21.11±3.17 ^a	13.05±5.83 ^b
LR	43.82±3.38 ^{ab}	20.77±2.44 ^a	20.00±5.92 ^a
817R	46.18±3.73 ^a	20.95±1.83 ^a	19.54±6.78 ^a
SR	43.31±2.36 ^b	21.51±1.98 ^a	19.70±4.62 ^a
HD	44.92±1.88 ^{ab}	18.28±1.69 ^b	12.51±2.74 ^b

注:同列字母不同,表示差异显著(P<0.05, n=5),表4同。

2.6 全质构分析

质构特性是影响肉制品食用品质的重要指标之一。通过物性测试仪(Texture Profile Analysis, TPA)模拟口腔咀嚼过程,可测定测量硬度、弹性、凝聚力、黏性、咀嚼性等参数^[32]。品种因素对新疆特色烤鸡质构特性的影响如表4所示。HD的硬度、黏性、咀嚼性均显著高于其他品种(P<0.05),表现出更强的抗变形能力,肌肉内部结合紧密,呈现一定的坚韧性,这可能是因为HD的肌肉结构不同于其他肉用品种,HD的肌纤维粗壮,结缔组织较多,肌内脂肪较少^[33],经过烤制后容易出现干柴的口感。MG的硬度、弹性、黏性和咀嚼性均显著低于LR、SR和HD(P<0.05),肉质较软,便于咀嚼吞咽,在感官评定中质地表现良好。

品种因素对烤鸡的嫩度影响较大,不同品种间差异显著。肉的嫩度是消费者判断肉制品质量和适口性的关键因素^[34],以剪切力进行衡量^[35]。由表4可知,5种烤鸡的鸡胸剪切力范围为12.53~29.93 N,HD鸡胸的剪切力值最高,显著高于其他品种(P<0.05),肌肉结合紧密,切断肌纤维所需力更大,这与质构的测定结果一致;SR的剪切力值最低,表现出较高嫩度,便于咀嚼。

2.7 挥发性风味物质分析

2.7.1 定性分析 采用外标正酮C4~C9混合溶液作为参照标准,通过对比不同烤鸡品种中挥发性组分的色谱保留指数和离子迁移谱漂移时间,结合GC-IMS系统自带的NIST谱库及IMS迁移时间数据库进行

表4 原料品种对新疆特色烤鸡质构特性的影响

Table 4 Effects of different breeds on the texture of Xinjiang specialty roast chicken

组别	硬度(g)	弹性(mm)	凝聚力(N/m ²)	黏性(Pa/s)	咀嚼性(N·mm)	回复性(N)	剪切力(N)
MG	1356.71±195.749 ^d	0.436±0.081 ^d	0.532±0.072 ^a	713.606±81.542 ^d	312.08±71.22 ^d	0.205±0.053 ^{ab}	19.54±4.61 ^c
LR	3044.55±270.765 ^b	0.606±0.037 ^{ab}	0.511±0.021 ^{ab}	1552.98±125.127 ^b	942.27±111.79 ^b	0.216±0.008 ^{ab}	20.28±5.04 ^{bc}
817R	1865.34±232.048 ^c	0.498±0.039 ^{cd}	0.498±0.043 ^{ab}	924.205±102.53 ^{cd}	462.08±74.37 ^{cd}	0.216±0.017 ^{ab}	23.43±3.88 ^b
SR	2208.79±130.836 ^c	0.546±0.032 ^{bc}	0.447±0.059 ^b	983.187±116.987 ^c	535.13±60.36 ^c	0.173±0.018 ^b	12.53±4.51 ^d
HD	3442.38±370.839 ^a	0.676±0.041 ^a	0.577±0.043 ^a	1988.14±287.154 ^a	1347.43±248.02 ^a	0.237±0.032 ^a	29.93±8.24 ^a

交叉验证, 实现对特征风味化合物的准确鉴定^[36]。如表 5 所示, 从 5 种烤鸡中鉴定分析出 29 种主要的挥发性风味物质, 其中醛类 8 种、酮类 6 种、醇类 5 种、酯类 4 种、吡嗪类 2 种、萜烯类 1 种及其他类 3 种。5 个品种共有的挥发性风味物质有 9 种, 分别为 2-辛酮、苯乙醛、2-庚酮、乙酸、乙酸丙酯、壬醛、丁酸丙酯、2-甲基-1-戊醇和 2-乙基-1-己醇。有研究证实, 壬醛是一种高浓度的主要挥发性化合物^[14,37], 呈现果甜味和水果味, 经过烤制 12 min 后, 存在于所有烤鸡样品中。

2.7.2 挥发性物质差异对比 GC-IMS 技术分析表明, 5 个品种烤鸡的挥发性风味物质的组成和相对含量呈现显著差异, 各品种的特征谱信息不同。根据 GC-IMS 的结果构建了不同品种烤鸡特征挥发性成分的指纹图谱(图 5), 以区别不同品种烤鸡的特征峰区域, 可为烤鸡品质评价和分类提供有效依据。指纹图谱中每个单元格代表物质在不同迁移时间的含量, 颜色代表挥发性化合物的含量, 其中颜色越亮, 含量越高^[38], 以此揭示物质的变化趋势。a 区域表示 MG 品种的特征风味物质区域, 包括甲基吡嗪、2-甲基丙醛、丙醛和 2-辛醇, 其中甲基吡嗪是由氨基酸

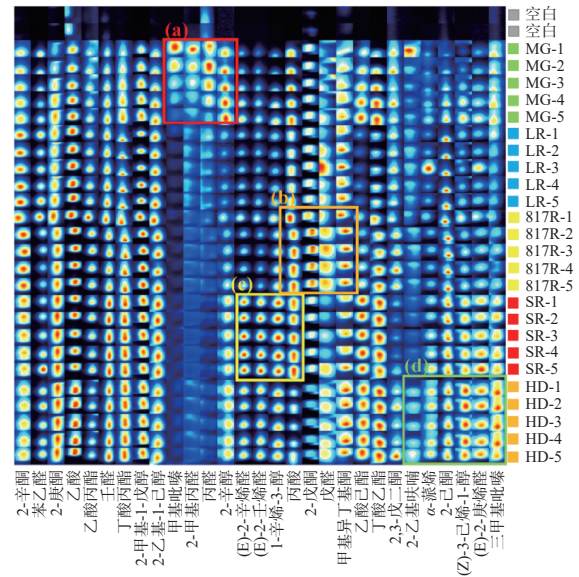


图 5 不同品种新疆特色烤鸡挥发性物质的指纹图谱

Fig.5 Fingerprint spectrum of volatile components in different breeds Xinjiang specialty roast chicken

与 Strecker 降解过程中的 α -二羰基缩合而成, 具有独特的坚果香和烤肉香气^[39], 对烤鸡的气味特征起关键作用。而其他品种中四种物质的特征峰颜色较淡

表 5 5 种品种烤鸡的挥发性化合物定性结果

Table 5 Qualitative results of volatile compounds in 5 breeds of Xinjiang specialty roast chicken

挥发性化合物	英文名称	分子式	分子量(Da)	保留指数RI	保留时间Rt(s)	迁移时间Dt(ms)	
醛类	2-甲基丙醛	2-Methylpropanal	C ₄ H ₈ O	72.1	772.6	207.131	1.3014
	戊醛	Pentanal	C ₅ H ₁₀ O	86.1	747.1	191.648	1.4145
	丙醛	Propanal	C ₃ H ₆ O	58.1	801.4	226.605	1.0624
	(E)-2-壬烯醛	(E)-2-Nonenal	C ₉ H ₁₆ O	140.2	1129.6	719.391	1.9616
	(E)-2-辛烯醛	(E)-2-octenal	C ₈ H ₁₄ O	126.2	1042.4	519.985	1.8381
	壬醛	n-Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	142.2	1129.8	719.948	1.4829
	苯乙醛	Phenylacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	120.2	1031.9	500.449	1.2645
	(E)-2-庚烯醛	(E)-2-heptenal	C ₇ H ₁₂ O	112.2	947.5	369.618	1.6733
酮类	2,3-戊二酮	2,3-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂	100.1	1064	563.284	1.2944
	2-戊酮	2-pentanone	C ₅ H ₁₀ O	86.1	660.1	149.526	1.1294
	甲基异丁基酮	Methyl isobutyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	100.2	740	187.66	1.1817
	2-庚酮	2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O	114.2	833.7	251.314	1.2615
	2-己酮	2-Hexanone	C ₆ H ₁₂ O	100.2	793.4	220.961	1.192
	2-辛酮	2-Octanone	C ₈ H ₁₆ O	128.2	950.4	373.439	1.3381
醇类	2-乙基-1-己醇	2-Ethyl-1-hexanol	C ₈ H ₁₈ O	130.2	1037.8	511.441	1.405
	2-甲基-1-戊醇	2-Methyl-1-pentanol	C ₆ H ₁₄ O	102.2	848.2	263.587	1.5741
	2-辛醇	2-Octanol	C ₈ H ₁₈ O	130.2	1023.1	484.538	1.4501
	(Z)-3-己烯-1-醇	3-Hexen-1-ol, (Z)-	C ₆ H ₁₂ O	100.2	832.8	250.641	1.5194
酯类	1-辛烯-3-醇	1-octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	128.2	949	371.672	1.7112
	乙酸丙酯	propyl acetate	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	1005.4	454.498	1.1587
	丁酸乙酯	ethyl butanoate	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	780.1	211.98	1.4388
	丁酸丙酯	propyl butanoate	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	896.3	309.677	1.266
	乙酸己酯	Hexyl acetate	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.2	1024.1	486.379	1.3968
吡嗪类	三甲基吡嗪	trimethylpyrazine	C ₇ H ₁₀ N ₂	122.2	1016.9	473.87	1.1684
	甲基吡嗪	methylpyrazine	C ₅ H ₆ N ₂	94.1	822.5	242.432	1.4152
萜烯类	α -蒎烯	alpha-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136.2	934.6	353.375	1.6471
呋喃类	2-乙基呋喃	2-ethylfuran	C ₆ H ₈ O	96.1	710.9	172.289	1.2987
酸类	丙酸	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	74.1	698.8	166.436	1.2516
	乙酸	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60.1	634.8	139.833	1.0567

或基本没有,因此可根据四种物质对 MG 和其他品种进行有效区分。b 区域中 817R 样本的特征风味化合物指纹图谱与其他组别有显著差异,2-戊酮、戊醛、甲基异丁基酮等物质浓度较高。醛类物质主要来源于不饱和脂肪酸的氧化,是鸡肉制品香气的重要来源物质。陈玉连^[33] 研究结果表明,817 肉杂鸡脂肪含量显著高于肉鸡和海兰褐蛋鸡,为风味物质形成提供了更丰富的前体物质。c 区主要集中在 SR 品种中,(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇含量显著高于其他组别。其中 1-辛烯-3-醇是由亚油酸衍生的氢过氧化物降解产生,阈值较高,具有蘑菇香味,是烤鸡的关键挥发性风味物质,对烤鸡整体香气的形成有重要作用^[39]。王春青等^[40] 将蒸煮熟的鸡肉经过主成分分析发现,(E)-2-壬烯醛、(E)-2-辛烯醛、庚醇和 2-癸酮是主要的挥发性风味物质成分。d 区域中 HD 样品的三甲基吡嗪、(E)-2-庚烯醛、(Z)-3-己烯-1-醇、2-己酮、 α -蒎烯物质浓度明显高于其他品种。其中蒎烯类化合物主要来源是香辛料^[41],如表现为青草香味的 α -蒎烯可能来自砂仁、茴香或花椒。

2.7.3 主成分分析 不同品种间风味物质的差异可以用主成分分析技术(Principal Component Analysis, PCA)进行简化并揭示品种间的相互作用。根据 GC-IMS 的结果,对不同品种烤鸡挥发性风味物质进行主成分分析,可以更直观地判别和区分不同品种烤鸡。PCA 结果显示(图 6),第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的方差贡献率分别为 76.2% 和 13.8%,累计解释方差达到 90.0%。这表明两个主成分能够有效反映烤鸡样品挥发性风味物质的整体特征,可作为表征其关键风味特征的代表性指标。由图可知,

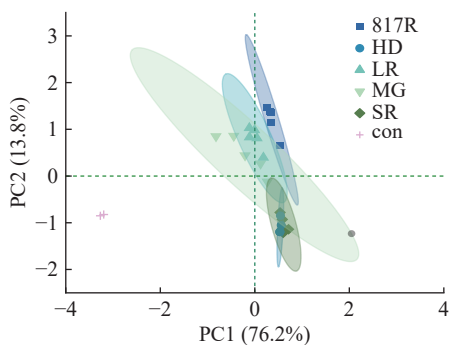


图 6 不同品种新疆特色烤鸡挥发性物质的主成分分析

Fig.6 Principal component analysis of volatile components in different breeds Xinjiang specialty roast chicken

817R、HD、LR 相互距离较远,三种品种间风味存在较大差异,而 LR 与 SR 之间风味差异较小。综上所述,不同品种的烤鸡可根据风味特征进行有效判别和区分。

2.8 定量描述感官评价分析

肉制品的感官特性涵盖表面色泽、质地、风味以及口感等方面,不同品种对新疆烤鸡感官特性的影响如图 7 所示。在色泽和口感方面,817R 品种表现更佳,色泽鲜亮,口感醇香,这与上述色泽和风味品质分析结果相一致。综合评价 817R 经过烤制后表面更具光泽且鲜嫩多汁,食用品质较好,与陈玉连^[33] 的研究结果相似。LR 品种质地和风味得分最高,肌纤维较细质地紧实,咀嚼性好,带有浓郁的肉香以及烤制的独特焦香味。在总体喜爱程度上,817R 感官评定综合评分最高,易被消费者接受。综合而言,不同品种间感官差异较大,817R 的整体可接受程度高于其他品种,其次是 LR 品种,综合评分较高。

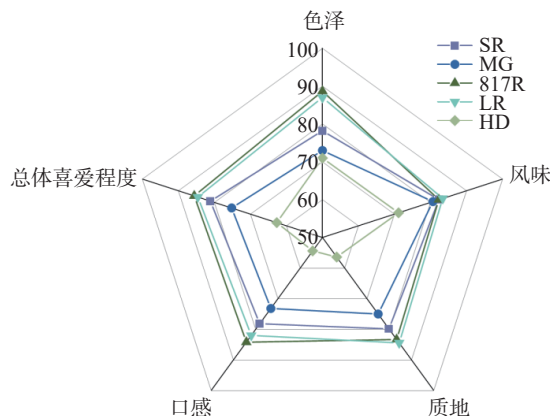


图 7 原料品种对新疆特色烤鸡感官评价的影响

Fig.7 Effects of different breeds on the sensory evaluation of Xinjiang specialty roast chicken

2.9 模糊数学感官评定分析

表 6 为 5 种品种烤鸡感官评价票数统计,参考张杰等^[19] 的计算方法,以 SR 品种烤鸡为例,在 15 人感官评价小组对 SR 品种烤鸡的色泽进行评价时,有 3 人认为优,9 人认为良,3 人认为中等,0 人认为差,则 $R_{\text{色泽}}=[0.2 \ 0.6 \ 0.2 \ 0]$; $R_{\text{风味}}=[0.46 \ 0.27 \ 0.27 \ 0]$; $R_{\text{质地}}=[0.13 \ 0.67 \ 0.2 \ 0]$; $R_{\text{口感}}=[0.13 \ 0.6 \ 0.27 \ 0]$; $R_{\text{总体喜爱度}}=[0.07 \ 0.93 \ 0 \ 0]$,将权重 X 乘以评判矩阵 R 进行模糊变换,则 $Y_1=XR_1=(0.2 \ 0.61 \ 0.19 \ 0)$,根据最终评语等级集 $V=(100 \ 75 \ 50 \ 25)$,感官评分

表 6 原料品种对新疆特色烤鸡模糊数学感官评价的影响

Table 6 Statistics of sensory evaluation votes of different breeds of Xinjiang specialty roast chicken

组别	色泽				风味				质地				口感				总体喜爱度				模糊感官得分(分)
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	
MG	0	11	3	1	3	10	2	0	3	8	3	1	3	6	4	2	2	9	4	0	70.67
LR	9	4	2	0	6	6	3	0	9	4	2	0	6	7	2	0	8	5	2	0	84.0
817R	11	4	0	0	7	5	3	0	6	8	1	0	4	11	0	0	8	6	1	0	85.33
SR	3	9	3	0	7	4	4	0	2	10	3	0	2	9	4	0	1	14	0	0	77.30
HD	0	10	5	0	1	7	6	1	0	3	8	4	0	3	7	5	0	6	7	2	52.33

$S_1=Y_1V=0.2\times 100+0.61\times 75+0.19\times 50+0\times 25=77.30$, 同理计算得到其他 4 个品种烤鸡的感官评分。5 种品种烤鸡模糊数学感官得分由高到低依次为: 817R>LR>SR>MG>HD, 817R 与 LR 综合得分最高, 分别为 85.33 和 84.0, 其色泽、质地和风味优势一致。综上所述, 根据烤鸡的多维度感官特性进行综合评判, 817R 和 LR 得分显著高于其他品种, 整体感官良好。

3 结论

本研究对 5 种原料品种烤鸡的保水性和食用品质进行了系统比较。结果表明, 不同品种原料鸡在烤制后表现出显著的品质差异, 其中良凤花品种表现出较强的保水性, 烤制损失显著低于苏禽黄鸡和海兰褐鸡($P<0.05$)。良凤花品种在烤制后不易流动水含量较高, 水分流动较少, 内部氢离子密度高且分布均匀, 对水分的保留能力较强。817 烤鸡在色泽和质构特性上均具有显著优势, 表面色泽鲜亮, 质构特性良好, 质地紧实, 便于咀嚼吞咽。5 个品种烤鸡鉴定分析出的 29 种重要挥发性化合物中, 甲基吡嗪、2-戊酮、戊醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇、 α -蒎烯等可作为关键风味物质, 将不同品种烤鸡进行有效区分。最终结合感官评价结果, 817 烤鸡和良凤花烤鸡综合评分更高, 更易为消费者所接受, 具有卓越的高端食品开发潜力。本研究结果为新疆烤鸡原料的品种选育、产品品质调控提供科学依据, 同时也为新疆烤鸡的工艺现代化奠定了理论基础, 有效助力民族肉品产业发展。

© The Author(s) 2026. 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] ZHANG L, BADAR I H, CHEN Q, et al. Changes in flavor, heterocyclic aromatic amines, and quality characteristics of roasted chicken drumsticks at different processing stages[J]. *Food Control*, 2022, 139: 109104.
- [2] WANG Bo, ZHAO Feng, ZHOU Zheng, et al. The effect mechanism of different natural spices on the formation of associated hazardous compounds in roasted chicken[J]. *Food Chemistry*, 2025, 474: 143170.
- [3] XIAO Zhichao, ZHANG Wangang, YANG Hongtao, et al. ¹H NMR-based water-soluble lower molecule characterization and fatty acid composition of Chinese native chickens and commercial broiler[J]. *Food Research International*, 2021, 140: 110008.
- [4] 杨娟婧, 韩雨轩, 王海亮, 等. 不同品种鸡肌肉营养价值及风味的研究[J]. *中国家禽*, 2018, 40(2): 9-14. [YANG Xianjing, HAN Yuxuan, WANG Hailiang, et al. Study on nutritional value and flavor of muscle from different breed of chicken[J]. *China Poultry*, 2018, 40(2): 9-14.]
- [5] 席斌, 李大伟, 郭天芬, 等. 不同品种鸡肌肉中氨基酸、脂肪酸及肌苷酸比较[J]. *甘肃农业大学学报*, 2020, 55(2): 46-53. [XI Bin, LI Dawei, GUO Tianfen, et al. Comparative study on amino acid, fatty acid and IMP of chicken from different poultry species [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2020, 55(2): 46-53.]
- [6] ARSHAD M S, SOHAIB M, AHMAD R S, et al. Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2018, 17(1): 223.
- [7] 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. Flavoromic and lipidomic analysis of the effect of different breeds on volatile flavor components of pot-stewed duck[J]. *Food Science*, 2024, 45(12): 176-186.]
- [8] WANG X R, JIANG G T, KEBREAB E, et al. (1)H NMR-based metabolomics study of breast meat from Pekin and Linwu duck of different ages and relation to meat quality[J]. *Food Research International*, 2020, 133: 109126.
- [9] 李龙, 蒋守群, 郑春田, 等. 不同品种黄羽肉鸡肉品质比较研究[J]. *中国家禽*, 2015, 37(21): 6-11. [LI Long, JIANG Shouqun, ZHENG Chuntian, et al. Comparisons of meat quality characteristics of different yellow-feathered broilers[J]. *China Poultry*, 2015, 37(21): 6-11.]
- [10] 李威娜, 黄勳和, 陈洁波, 等. 五华三黄鸡及不同品种鸡肌纤维特性与肉品质的相关性[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(2): 157-160. [LI Weina, HUANG Xunhe, CHEN Jiebo, et al. Correlation between muscle fiber characteristics and meat quality of Wuhua Sanhuang chicken and different breeds of chicken[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(2): 157-160.]
- [11] LIU Huan, HUI Teng, ZHENG Xiaochun, et al. Characterization of key lipids for binding and generating aroma compounds in roasted mutton by UPLC-ESI-MS/MS and Orbitrap Exploris GC[J]. *Food Chemistry*, 2022, 374: 131723.
- [12] 尹家琪, 李凌云, 袁惠雄, 等. 不同预处理方式对盐焗鸡食用品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(13): 204-210. [YIN Jiaqi, LI Lingyun, YUAN Huixiong, et al. Effects of different pre-treatments on the quality of salt-baked chicken[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(13): 204-210.]
- [13] LI Yong, HE Jialiang, QUAN Wei, et al. Effects of polyphosphates and sodium chloride on heterocyclic amines in roasted beef patties as revealed by UPLC-MS/MS[J]. *Food Chemistry*, 2020, 326: 127016.
- [14] WANG Yongrui, ZHANG Heyu, LI Kenken, et al. Dynamic changes in the water distribution and key aroma compounds of roasted chicken during roasting[J]. *Food Research International*, 2023, 172: 113146.
- [15] LIAN Fengli, CHENG Junhu, MA Ji, et al. LF-NMR and MRI analyses of water status and distribution in pork patties during combined roasting with steam cooking[J]. *Food Bioscience*, 2023, 56: 103325.
- [16] HUI Teng, FANG Zhengfeng, MA Qianli, et al. Effect of cold atmospheric plasma-assisted curing process on the color, odor, volatile composition, and heterocyclic amines in beef meat roasted by charcoal and superheated steam[J]. *Meat Science*, 2023, 196: 109046.
- [17] GUO Jiabin, CUI Lujie, MENG Zong. Oleogels/emulsion gels as novel saturated fat replacers in meat products: A review[J]. *Food Hydrocolloids*, 2023, 137: 108313.
- [18] LIU Jiqian, HAN Lijuan, HAN Wenzheng, et al. Effect of different heat treatments on the quality and flavor compounds of black Tibetan sheep meat by HS-GC-IMS coupled with multivariate analysis[J]. *Molecules*, 2022, 28(1): 165.

- [19] 张杰, 冯美琴, 张译文, 等. 低钠复合盐对盐焗鸡贮藏期品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(19): 241-248. [ZHANG Jie, FENG Meiqin, ZHANG Yiwen, et al. Effect of low-sodium salt mixtures on the quality of salt-baked chicken during storage[J]. Food Science, 2022, 43(19): 241-248.]
- [20] 时振华, 唐道邦, 杨怀谷, 等. 超声波/超高压结合低温真空烹饪对卤牛肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(9): 73-84. [SHI Zhenhua, TANG Daobang, YANG Huaigu, et al. Effect of ultrasound/ultra-high pressure combined with sous-vide cooking on the quality of spiced beef[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(9): 73-84.]
- [21] 管雪. 人参烤鸡食用品质及贮藏特性影响因素研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022. [GUAN Xue. Study on influencing factors of edible quality and storage characteristics of ginseng roast chicken[D]. Changchun: Jilin University, 2022.]
- [22] 李雪静, 王利华, 龚相维, 等. 饲料粗蛋白质水平对育肥期不同性别肉用品系琅琊鸡生长性能、屠宰性能和肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(2): 973-986. [LI Xuejing, WANG Lihua, GONG Xiangwei, et al. Effects of dietary crude protein level on growth performance, slaughter performance and meat quality of meat strain Langya chickens with different sexes during fattening period[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(2): 973-986.]
- [23] CHEN Guang, LING Xunyan, XIE Mingshu, et al. Systematic evaluation of the meat qualities of free-range chicken (Xuan-Zhou) under different ages explored the optimal slaughter age[J]. Poultry Science, 2024, 103(9): 104019.
- [24] KOKOSZYŃSKI D, WŁODARCZYK K, ŻOCHOWSKA-KUJAWSKA J, et al. Effect of intramuscular fat level on carcass composition, physicochemical characteristics, texture, and microstructure of breast muscle of broiler chickens[J]. Poultry Science, 2025, 104(2): 104772.
- [25] ROMANO G, NICOLI M C, BOZZATO A, et al. Predictive modeling for optimal chicken breast cooking across diverse methods and temperatures[J]. LWT, 2024, 213: 117051.
- [26] ZHANG Mingcheng, LI Fangfei, DIAO Xinping, et al. Moisture migration, microstructure damage and protein structure changes in porcine longissimus muscle as influenced by multiple freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2017, 133: 10-18.
- [27] LI Zhaoqi, REN Xiankun, DING Chao, et al. Analysis of volatile profiles and taste characteristics in sous-vide cooked chicken breast based on HS-SPME-GC-MS and E-tongue[J]. LWT, 2025, 215: 117222.
- [28] XU Xiaoyu, LIU Huimin, SUN Peizi, et al. Effect of lysine-assisted ultrasonic and vacuum tumbling treatment on the quality of chicken breast meat in canned foods[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2025, 116: 107310.
- [29] ZHANG Mingcheng, LI Jiali. Effect of frozen storage duration on temporal dominance of sensations (TDS), chemical investigations and moisture distribution of roasted chicken wings[J]. Food Chemistry, 2025, 465: 141952.
- [30] RABELER F, SKYTTE J L, FEYISSA A H. Prediction of thermal induced color changes of chicken breast meat during convective roasting: A combined mechanistic and kinetic modelling approach[J]. Food Control, 2019, 104: 42-49.
- [31] RABELER F, FEYISSA A H. Kinetic modeling of texture and color changes during thermal treatment of chicken breast meat[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(8): 1495-1504.
- [32] 张晓倩, 孙悦, 池福敏, 等. 偏最小二乘回归法分析藏鸡胸肉质地特性[J]. 食品科学, 2022, 43(19): 48-57. [ZHANG Xiaoqian, SUN Yue, CHI Fumin, et al. Partial least squares regression for studying the texture characteristics of Tibetan chicken breast meat[J]. Food Science, 2022, 43(19): 48-57.]
- [33] 陈玉莲. 817肉杂鸡、AA肉鸡和海兰褐蛋鸡的加工特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016. [CHEN Yulian. Research on processing properties of products from 817 chickens, AA broilers and Hyline brown[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.]
- [34] SHI H B, SHAHIDI F, WANG J K, et al. Techniques for postmortem tenderisation in meat processing: Effectiveness, application and possible mechanisms[J]. Food Production, Processing and Nutrition, 2021, 3(1): 21.
- [35] 李艳红, 王稳航. 低温热处理对牦牛肉理化性质及感官特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 145-152. [LI Yanhong, WANG Wenhong. Effects of low-temperature cooking on physicochemical properties and sensory of yak meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 145-152.]
- [36] 郭家刚, 杨松, 丁思年, 等. 基于气相离子迁移谱的不同产地生姜挥发性有机物指纹图谱分析[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 236-241. [GUO Jiagang, YANG Song, DING Sinian, et al. Fingerprint analysis of volatile organic compounds in ginger rhizomes from different geographical origins by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2021, 42(24): 236-241.]
- [37] 王璇, 胡晴晴, 何金鑫, 等. 不同烤制时间的鸡翅理化指标及风味物质组成差异[J]. 中国食品学报, 2024, 24(12): 414-431. [WANG Xuan, HU Qingqing, HE Jinxin, et al. Differences in physicochemical characteristics and volatile flavor composition for roasted chicken wings at different roasting times[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(12): 414-431.]
- [38] YANG Lüzhū, LIU Jie, WANG Xinyu, et al. Characterization of volatile component changes in jujube fruits during cold storage by using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Molecules, 2019, 24(21): 3904.
- [39] NIE Ruotong, ZHANG Chunjiang, LIU Huan, et al. Characterization of key aroma compounds in roasted chicken using SPME, SAFE, GC-O, GC-MS, AEDA, OAV, recombination-omission tests, and sensory evaluation[J]. Food Chemistry, 2024, 21: 101167.
- [40] 王春青, 李学科, 张春晖, 等. 不同品种鸡肉蒸煮挥发性风味成分比较研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 208-215. [WANG Chunqing, LI Xueke, ZHANG Chunhui, et al. Comparison of volatile compounds in different kinds of cooked chicken meat[J]. Modern Food Science & Technology, 2015, 31(1): 208-215.]
- [41] 林婉玲, 曾姣, 郑秋纯, 等. 不同卤料处理方式对卤味鹅肝挥发性风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 243-251. [LIN Wanling, ZENG Jiao, ZHENG Qiuchun, et al. Effect of different spice processing treatments on the volatile flavor components of pot-stewed goose liver[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 243-251.]