不同发酵茶与香辛料对咸香鸡风味品质的影响

张毓强[1]，王耀炜[1]，胡昕[2]，张楚倩[2]，董浩[1,3]，曾晓房[1,3]，白卫东[1,3]，杨娟[1,3*]

（1.仲恺农业工程学院轻工食品学院，广东广州 510225）（2.广州皇上皇集团股份有限公司，广东广州 510225）（3.仲恺农业工程学院广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室，农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室，广东广州，510225）

摘要：为探究未发酵茶（绿茶）、半发酵茶（铁观音）、全发酵茶（红茶）与香辛料对咸香鸡品质影响的差异性，结合感官分析、电子舌、电子鼻、气相色谱-质谱联用（GC-MS）、呈味氨基酸和游离脂肪酸指标分析，解析茶叶和香辛料对咸香鸡风味品质的改善效果。感官与电子舌检测显示茶叶及香辛料添加均显著提升咸香鸡风味品质；电子鼻检测显示香辛料组受 W1W（硫化合物、萜烯类）和 W5S（氮氧化合物）影响较大，其次为红茶组、铁观音组和绿茶组；GC-MS 检测显示香辛料组主要风味物质有茴香脑、反式-肉桂醛、(+)柠檬烯、对烯丙基甲醚、α-蒎烯等烃类物质，与电子鼻检测结果一致；红茶组较其他茶叶组相比其种类和含量更丰富，包含醇类、醛类、酸类、酮类和其他类，达到了 186.5、600.13、145.5、129.79 和 193.39 ng g^{-1}。结合呈味氨基酸和游离脂肪酸，红茶组的总氨基酸和总脂肪酸最高，达到 25.10 g/100 g 和 5 293.55 mg/100 g，但香辛料组的总游离氨基酸为 24.23g/100 g，总脂肪酸含量最小，仅为 902.68 mg/100 g；其次为绿茶组和铁观音组。综上，茶叶和香辛料添加可提升呈味物质含量及丰富挥发性风味物质改善咸香鸡品质，红茶组效果最优，其次为香辛料组，为咸香鸡风味优化及品质调控提供了理论依据。

关键词：咸香鸡；茶叶粉；食用品质；风味评价

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.9.0913

Effects of Different Fermented Teas and Spices on the Flavor Quality of Savory Chicken

ZHANG Yuqiang[1], WANG Yaowei[1], HU Xin[2], ZHANG Chuqian[2], DONG Hao[1,3], ZENG Xiaofang[1,3], BAI Weidong[1,3], YANG Juan[1,3*]

(1.College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)(2.Guangzhou Huangshanghuang Group Co. Ltd., Guangzhou 510225, China)(3.Guangdong Key Laboratory of Lingnan Characteristic Food Science and Technology, Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Characteristic Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: To investigate the differential effects of unfermented tea (green tea), semi-fermented tea (Tieguanyin), fully fermented tea (black tea), and spices on the quality of savory chicken, sensory evaluation, electronic tongue, electronic nose, gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS), taste-active amino acids, and free fatty acid analyses were conducted to elucidate the improvement effects of tea and spices on flavor quality. Sensory evaluation and electronic tongue results indicated that the addition of both tea and spices significantly enhanced the flavor quality of savory chicken. Electronic nose analysis revealed that the spice group was most influenced by W1W (sulfur compounds and terpenes) and W5S (nitrogen oxides), followed by the black tea, Tieguanyin, and green tea groups. GC–MS analysis revealed that the main volatile components in the spice group were hydrocarbons including anethole, trans-cinnamaldehyde, (+)-limonene, allyl methyl ether, and α-pinene, which were consistent with the electronic nose results. Compared with other tea groups, the black tea group possessed a greater variety and higher contents of alcohols, aldehydes, acids, ketones, and other compounds, reaching 186.5, 600.13, 145.5, 129.79, and 193.39 ng g^{-1}, respectively. In terms of taste-active amino acids and free fatty acids, the black tea group exhibited the highest total amino acid and total fatty acid contents, at 25.10 g/100 g and 5 293.55 mg/100 g, respectively. In contrast, the spice group contained a total free amino acid content of

收稿日期：2025-06-30；修回日期：2025-09-19；接受日期：2025-09-26

基金项目：广州市科技计划项目（2024E04J0137）；广东省类科研项目（2024ZDJS005）；广东省农村科技特派员项目（KTP20240424）

作者简介：张毓强（1996-），男，硕士研究生，研究方向：食品风味化学，E-mail：1216905029@qq.com

通讯作者：杨娟（1989-），女，博士，副教授，研究方向：小分子肽的滋味，E-mail：yangjuan-sky@163.com.cn

24.23 g/100 g but the lowest total fatty acid content (902.68 mg/100 g), followed by the green tea and Tieguanyin groups. In conclusion, the addition of tea and spices increased the content of taste-active substances and enriched the volatile flavor compounds, thereby enhancing the quality of savory chicken. Among the treatments, the black tea group demonstrated the most pronounced effect, followed by the spice group, providing a theoretical basis for flavor optimization and quality regulation of savory chicken.

Keywords: savory chicken; tea powder; edible quality; flavor evaluation

咸香鸡作为粤菜系的传统风味肉制品，核心在于通过盐腌与浸煮工艺实现风味物质的渗透与肉质改良，其风味品质更是依赖于加工过程中的辅料调控，尤以香辛料为主[1]。近年来，将茶叶融入传统肉类加工的跨界创新逐渐兴起，茶叶中的茶多酚、氨基酸、挥发性香气成分等可通过赋香、嫩化、抗氧化等作用提升肉制品品质[2,3]。茶叶按发酵程度可分为未发酵茶（如绿茶）、半发酵茶（如铁观音茶）和全发酵茶（如红茶），不同发酵阶段的茶叶因氧化程度差异，形成了成分组成与风味特征的显著分化：未发酵茶保留了高含量的茶多酚（15%~30%）和氨基酸（1%~4%），滋味鲜爽苦涩[4,5]；半发酵茶经部分氧化，多酚类物质降解约 30%~60%，形成独特的花果香与醇厚口感[6]；全发酵茶则通过深度氧化，茶多酚转化为茶红素、茶黄素等衍生物，滋味甘甜温润，香气以蜜香、陈香为主[7,8]。

当前，茶叶或香辛料在肉类加工中的应用多为单独研究，而针对咸香鸡加工中茶叶组与香辛料组的风味差异及内在机制缺乏系统对比。咸香鸡的品质评价涵盖感官特性、营养成分及理化指标等多个维度，如茶叶中特征成分（如绿茶中的儿茶素、乌龙茶中的茶皂素、红茶中的茶红素）与鸡肉蛋白的相互作用，改变肌肉纤维结构与水分分布，进而影响肉质嫩度与多汁性[9]；茶叶的挥发性香气物质在焗制过程中与鸡肉的脂肪、含硫化合物发生美拉德反应，形成独特的复合香味[10]。

基于此，本研究选取具有代表性的未发酵绿茶、半发酵铁观音茶、全发酵红茶及香辛料作为辅料，系统分析其对咸香鸡风味品质的影响。本研究以咸香鸡为对象，通过感官评价、电子舌和电子鼻分析、挥发性风味物质组成、呈味氨基酸和游离脂肪酸的分析，对比茶叶处理组与香辛料处理组的风味品质差异，揭示两类辅料对咸香鸡感官特性、风味物质组成的调控作用，为咸香鸡加工中辅料选择及风味优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

三黄鸡 10 只（1 kg/只）、迷迭香、桂皮、八角、茴香、香叶、沙姜、黄栀子粉，铁观音，购于广东省广州市白云区钟落潭镇庆达广场惠客多超市；绿茶，购于河源市茗心茶行，红茶，购于英德市君雁茶业有限公司；盐酸，购于广东广试试剂科技有限公司；酒石酸和氢氧化钾，购于天津市永大化学试剂有限公司；氯化钾，购于天津市大茂化学试剂厂；乙醇（95%），购于山东科源生化有限公司。

1.2 仪器与设备

PEN3 电子鼻传感器，德国 AIRSENSE；K9840 电子舌传感器，日本 Insent 公司；Rapid TA 质构仪，上海腾拔仪器科技有限公司；GC6890-MS5973 气相色谱-质谱联用仪，美国安捷伦科技有限公司；LA8080 日立氨基酸自动分析仪，日立高新集团。

1.3 实验方法

1.3.1 咸香鸡的制作

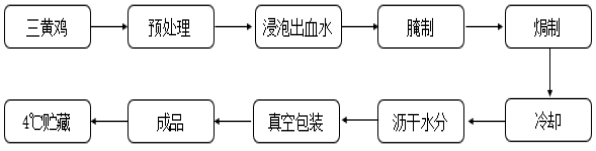

图 1 咸香鸡制作工艺流程图

Fig.1 Processing Flow Chart of Savory Chicken

注：腌制过程分两种，对照组为正常腌制，实验组则在对照组的基础上再添加茶叶粉及香辛料腌制。

咸香鸡加工工艺如图 1 所示，通过此工艺处理后得到咸香鸡成品。

1.3.2 实验样品处理

将三黄鸡从冰箱中拿出来在常温状态下自然解冻 2 h，后用清水浸泡 20 min 除去血水并清洗，待整鸡沥干水分备用。将预处理好的三黄鸡进行腌制，香辛料组腌制时将 2.5 g 迷迭香、5 g 桂皮、4 g 八角、2 g 茴香和 2 g 香叶研磨成粉过 24 目筛网，与 15 g 盐、5 g 沙姜粉、5 g 黄栀子粉和 10 ml 食用油混合均匀制成腌制料，将鸡里里外外涂抹均匀然后常温下腌制 60 min，记为 X 组；茶叶组则添加 15 g 盐、5 g 沙姜粉、5 g 黄栀子粉、10 ml 食用油及分别加入研磨后的绿茶粉、铁观音粉和红茶粉，添加量分别为 20 g，将鸡里里外外涂抹均匀然后常温下腌制 60 min，记为 L20 组、T20 组和 H20 组。随后将整只鸡在蒸锅中蒸制 30 min，取出后迅速冷却，取肉较多的部位搅碎均匀进行指标测定。

1.4 指标测定方法

1.4.1 感官评价

根据 GB 2726-2016《食品安全国家标准熟肉制品》，设计感官评价方法。实验选取 10 人（7 个专业培训的实验人员，3 个专业培训的非实验人员），年龄 20~25 岁，5 男 5 女，健康状况良好，无其他不良嗜好，采用随机编码的方式标记样品，最后统计各项总分进行对比分析（2 分制），选定评分标准及分值见表 1，最终取平均值制作风味剖面图。

表 1 咸香鸡感官评价分数表

Table 1 Sensory Evaluation Score Sheet of Savory Chicken

项目	评分标准			
	优（1.5~2 分）	良（1~1.5 分）	中（0.5~1 分）	差（0~0.5 分）
色泽	外表亮黄 富有色泽	外表亮黄 有色泽	外表较黄 较有色泽	外表较黄 没有色泽
香气	咸香味浓郁	咸香味较浓	咸香味较淡	咸香气不明显
口感	富有韧性	有韧性	较有韧性	口感较柴
组织	组织紧密	组织较紧密	组织较松	组织松散
异味	无异味臭味	无异臭味	淡异臭味	异臭味

1.4.2 电子舌分析

参照 Li 等[11]的方法略有改动。将 10 g 样品与 100 mL 蒸馏水混合, 均质后在 5 000 r min^{-1} 离心 10 min，最后取滤液 80 mL 用电子舌检测，样品测定时间为 30 s，电子舌配有 5 个传感器：鲜味、涩味、咸味、酸味和苦味，传感器与味觉值的匹配信息见表 2。

表 2 传感器与味觉值的匹配信息

Table 2 Matching Information of Sensors and Taste Values

传感器	对应的味觉	味觉信息	
		先味	回味
C00	酸性苦味	苦味（Bitterness）	酸性苦味回味（Aftertaste-B）
AE1	涩味	涩味（Astringency）	涩味回味（Aftertaste-A）
CA0	酸味	酸味（Sourness）	×
CT0	咸味	咸味（Saltness）	×
AAE	鲜味	鲜味（Umami）	丰富度（Richness）

注：鲜味物质的持续释放特性通过味觉丰富性表征，苦味残留度体现味觉受体对苦味成分的吸附作用强度，而涩味回味值反映多酚类物质的持久性感官效应。

1.4.3 电子鼻分析

参照 Yang 等[12]的方法对咸香鸡进行测定。准确称取 10 g 待测样品于 20 mL 顶空进样瓶中，用聚四氟乙烯硅胶垫片的顶空瓶盖密封，室温平衡 30 min 后，使用德国 PEN3 电子鼻对样品组进行检测。测定条件：单组特征信

号捕获周期为 1 s；传感器自净化时间为 60 秒；样品进样时间为 5 s；进样流量为 400 mL·min^{-1}；完整分析时间设定为 80 s，数据取特征信号稳定阶段的时序数据（69~71 s）为结果进行分析，重复测定过程中通过传感器自净化消除干扰，电子鼻传感器敏感物质见表 3。

表 3 德国 PEN3 电子鼻传感器敏感物质

Table 3 Sensitive Substances of German PEN3 Electronic Nose Sensors

传感器编号	传感器代码	敏感物质
1	W1C	芳烃化合物
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	氨，芳香分子
4	W6S	氢化物
5	W5C	烯烃、芳族，极性分子
6	W1S	烷类
7	W1W	硫化合物、萜烯
8	W2S	醇类，部分芳香族化合物
9	W2W	芳烃化合物，硫的有机化合物
10	W3S	烷类和脂肪族

1.4.4 挥发性风味物质含量测定

将样品经绞肉机搅碎成 2 mm 左右，称取 3 g，放入 20 mL 样品瓶中，1 μL 的 2-甲基-3 庚酮（0.816 μg·μL^{-1}，溶于正己烷）作为内标，并密封顶空瓶。萃取头在老化装置中，250 ℃温度下老化 10 min 后，插入样品顶空瓶中，60 ℃顶空恒温萃取 40 min，并在 230 ℃下解吸 5 min，进行 GC-MS 分离鉴定。

GC 条件：色谱柱 DB-WAX（30 mm×0.25 mm×0.25 μm）；载气为氦气；进样方式为不分流进样；进样口温度设置为 230 ℃；流速 1.5 mL/min；程序升温：初始温度设定为 40 ℃，并保持 3 min，随后以 4 ℃ min^{-1} 的速率升温至 230 ℃保持 5 min。

质谱条件：采用电子轰击离子源（EI）进行离子化，设定电子能量为 70 eV，灯丝发射电流 200 μA；离子源温度为 280 ℃；接口温度设置为 230 ℃；扫描范围 30~350 *m/z*。

定性：利用 NIST 谱库、感官嗅觉测定和线性保留指数（RI）来鉴定气味化合物。使用 C7~C25 正构烷烃的保留指数来确定实际 RI。目标化合物的 RI 值的计算公式如（1）所示：

$$RI = 100n + \frac{100(T_a - T_n)}{T_{(n+1)} - T_n} \quad (1)$$

式中：

n——代表正构烷烃的碳原子数量；

T_n——具有 n 碳原子数的正构烷烃 C_n 所对应的保留时间；

$T_{(n+1)}$——具有 $n+1$ 个碳原子数的正构烷烃 $C_{(n+1)}$ 的保留时间；

T_a——样品中未知化合物的保留时间位于 T_n 与 $T_{(n+1)}$ 之间。

定量：定量采用内标半定量法，GC-MS 在 SCAN 模式下，采用浓度为 0.816 μg·μL^{-1} 的 2-甲基-3-庚酮作为内标化合物，通过计算峰面积与浓度的关系，对样品中的目标化合物进行定量分析，公式如（2）所示：

$$Ax = \frac{F_1}{F_2} \times C / m \quad (2)$$

式中：

A_X——样品中挥发性风味化合物的相对质量浓度，ng g^{-1}；

F_1——某物质的峰面积；

F_2——内标物质的峰面积；

C——内标物质的含量，μg·μL^{-1}；

m——样品质量，g。

1.4.5 游离氨基酸分析

按照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》进行测定。

1.4.6 脂肪酸含量测定

根据 GB 5009.168-2016《食品安全国家食品中脂肪酸的测定》进行脂肪酸测定。

1.4.7 数据分析

所有实验数据采用平行测定，使用 IBM SPSS Statistics 20 进行方差分析和邓肯多重极差比较（$P<0.05$）。图表制作采用 origin 2024、TBtools-ll 软件进行。

2 结果与分析

2.1 感官评价

添加绿茶组、铁观音组、红茶组和香辛料组的感官效果如图 2 所示，添加绿茶组、铁观音组、红茶组、香辛料组的咸香鸡感官评分值比较，得出其香辛料组的感官效果总体评分较好，其风味、色泽和香气最佳，具有明显的风味效果提升，可能是香辛料易被总体人群所接受；而 L20 绿茶组、T20 铁观音组和 H20 红茶组组间感官评分差异较小，主要区别于色泽、香气与口感。结论得出，不同茶叶种类的化学组成存在显著差异，如绿茶富含高活性茶多酚及游离氨基酸[13]，红茶经发酵后生成大量茶黄素、茶红素[14,15]，铁观音兼具半发酵茶特有的成分[16]。因此，绿茶粉、红茶粉、铁观音粉及香辛料的添加均能显著提升咸香鸡的风味品质，提升了咸香鸡的风味口感。

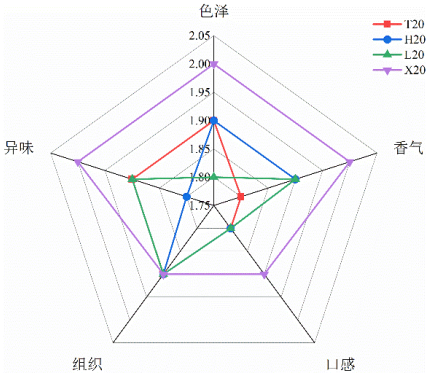

图 2 添加茶叶粉和香辛料对咸香鸡风味的感官轮廓

Fig.2 Sensory profile of the flavor of savory chicken with the addition of tea powder and spices

2.2 仪器分析产品的感官差异

电子舌可以识别和分类食品中蕴含的各种化合物并进行味道特征评价[17]。由图 3 的雷达图分析可知，L20 绿茶组在酸味和苦味较强，T20 铁观音组在酸味、醇厚味、后味和涩味都较强，而 H20 红茶组在咸味、鲜味、后味、涩味和苦味上较丰富，说明发酵红茶组能够减少酸味，给咸香鸡增添丰富的口感[18]；铁观音组既保留了绿茶组的酸涩味，又丰富了茶叶在发酵过程中的苦味回味、涩味后味和丰富性。Li 等[19]提出铁观音茶在加工过程中儿茶素和黄嘌呤生物碱的含量分别显著降低了 20.19%和 7.15%,这可能有助于缓解铁观音乌龙茶的涩味或苦味,促进铁观音乌龙茶醇厚浓郁的特征风味。由图 4 的 PCA 图分析可知，PC1 的风味差异为 99.12%，PC2 的风味差异为 0.77%，累计贡献率达 99.89%，说明两个主成分可以全面的揭示样品的特征。根据 PC1 值分析，红茶粉组的 PC1 值最大，其次为香辛料组和绿茶组，铁观音组最小，与其他实验组组间的差异性较为显著，说明红茶组和其他组的组间差异较大。结果表明，相比于未发酵茶，半发酵茶和全发酵茶有助于提升咸香鸡整体风味，由以红茶组效果最优，较接近香辛料组。

电子鼻可实现对食品基质中挥发性有机物分子簇的动态响应与模式识别[12]。由图 5 的 PCA 图分析可知，PC1 和 PC2 贡献率分别为 91.20%和 7.63%，累积贡献率达到 98.83%，说明 PCA 图已经包含样品差异的主要信息，可以全面呈现样品的总体特征，并且传感器的数据采集点可以明显区分，说明了不同茶叶粉和香辛料的腌制对咸香鸡中的挥发性风味有明显的影响[20]，能够较好的区分香辛料组和茶叶组的香气区别。由图 6 可知，在 PC1 中贡献

最大的传感器为 W1W（硫化合物、萜烯类）和 W5S（氮氧化合物），这是鸡肉中的含硫氨基酸在加工中生成挥发性硫化物及咸香鸡加工中的腌制辅料转化、高温氧化生成氮氧化物化合物；在 PC2 中贡献最大的传感器为 W2S（醇类及部分芳香族化合物），主要由鸡肉中的蛋白质及脂肪分解和基础腌制料中成分的迁移，在高温下反应产生。图 7 雷达图所示，香辛料组受 W1W（硫化合物、萜烯）和 W5S（氮氧化合物）影响最大，其次为红茶、铁观音和绿茶，其余传感器相差较小。

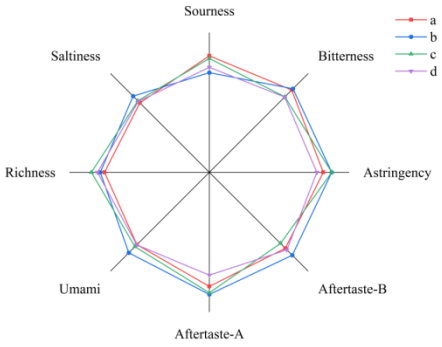

图 3 咸香鸡电子舌检测雷达图

Fig.3 Radar Chart of Electronic Tongue Detection for Savory Chicken

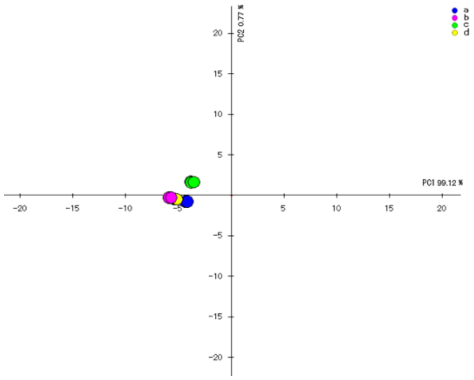

图 4 咸香鸡电子舌检测的 PCA 图

Fig.4 PCA Plot of Electronic Tongue Detection for Savory Chicken

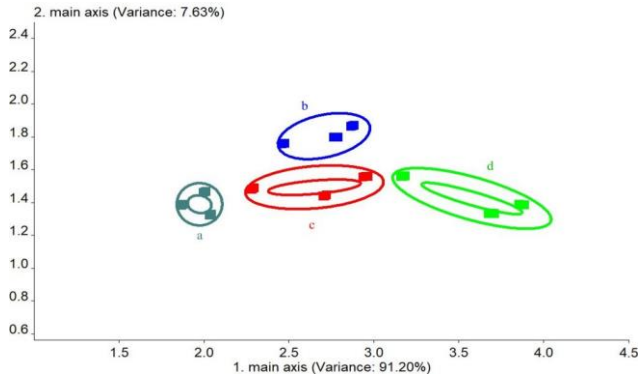

图 5 咸香鸡电子鼻检测的 PCA 图

Fig.5 PCA Plot of Electronic Nose Detection for Savory Chicken

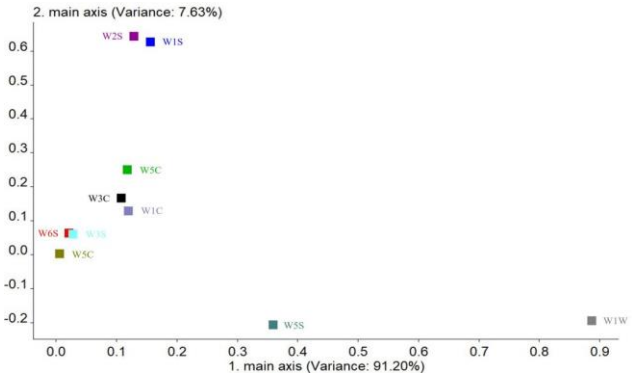

图 6 咸香鸡电子鼻检测的 LOADINGS 图

Fig.6 Loadings Plot of Electronic Nose Detection for Savory Chicken

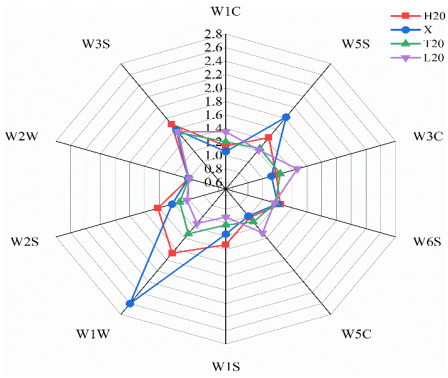

图 7 咸香鸡电子鼻检测雷达图

Fig.7 Radar Chart of Electronic Nose Detection for Salty-Fragrant Chicken

注：a，绿茶粉处理组；b，红茶粉处理组；c，铁观音粉处理组；d，普通香辛料处理组。

2.3 SPME-GC/MS 风味分析

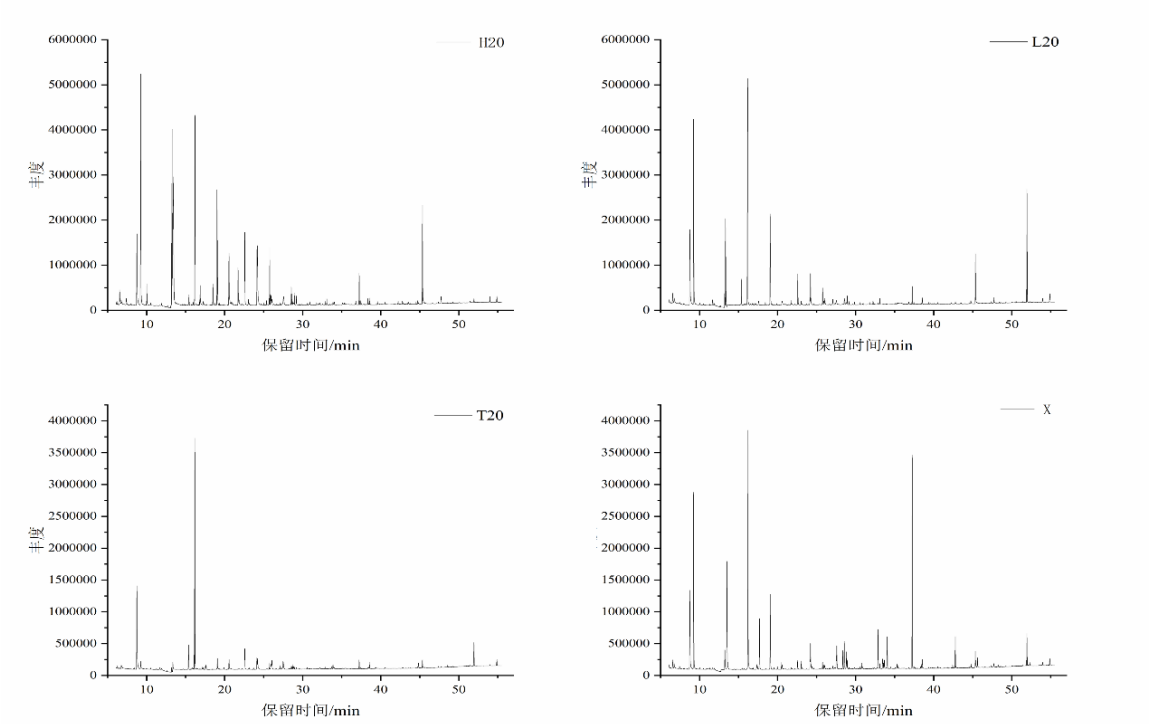

图 8 咸香鸡风味物质总离子流图

Fig.8 Total Ion Chromatogram of flavor substances in salted chicken

表 4 不同腌制方式对咸香鸡的关键性挥发性化合物的影响

Table 4 Effects of Different Marination Methods on Key Volatile Compounds in Savory Chicken

序号	中文名称	RT/min	RI 值	含量/(ng g^{-1})			
				X	L20	T20	H20
1	正己醇	20.57	1 360	9.19±0.13	27.09±1.54	22.44±1.97	95.42±2.17
2	1-辛烯-3-醇	26.06	1 458	5.98±0.54	12.49±1.14	6.30±0.63	63.05±2.47
3	2-乙基-1-己醇	28.36	1 487	3.01±0.37	4.56±0.81	4.02±1.41	3.15±0.71
4	辛醇	29.18	1 553	1.56±0.11	2.63±0.24	1.65±0.41	10.47±1.03
5	壬醇	31.15	1 668	2.09±0.74	2.73±0.85	0.89±0.63	1.96±0.15
6	正丙醇	11.27	1 034	1.59±0.26	6.78±0.86	1.79±0.24	--
7	3-甲基-1-丁醇	17.50	1 217	3.2±0.13	3.57±0.21	5.83±0.33	--
8	4-甲基-1-己醇	25.68	1 414	0.66±0.08	0.90±0.09	--	--
9	庚醇	25.77	1 467	--	1.26±0.10	0.97±0.12	8.10±0.52
10	戊醇	18.73	1 252	4.96±0.13	--	--	--
11	2-甲基-2-丙醇	8.41	920	1.13±0.05	--	--	--
12	桉叶油醇	17.37	1 211	48.5±1.45	0.66±0.03	3.39±0.19	0.95±0.05
13	十一醇	32.87	1 720	--	--	--	1.16±0.11
14	十二醇	40.55	1 972	--	--	--	2.24±0.23
15	橙花醇	33.89	1 770	--	--	3.43±0.16	--
16	苏合香醇	37.25	1 795	1.04±0.06	--	0.98±0.07	--
17	顺-氧化芳樟醇	25.77	1 425	0.62±0.07	--	--	--
19	芳樟醇	28.84	1 537	15.1±1.88	--	--	--
20	4-萜烯醇	30.77	1 591	4.73±0.88	--	--	--
21	*α*-萜品醇	33.69	1 688	8.18±1.14	--	--	--
22	2-茨醇	35.08	1 692	8.21±0.74	--	--	--
23	对异丙醇	42.5	1 820	0.66±0.08	--	0.21±0.05	--
24	肉桂醇	47.74	2 252	1.69±0.17	--	--	--
25	苯乙醇	40.22	1 912	--	1.63±0.24	--	--
	总醇		--	121.1	64.3	51.9	186.5
26	戊醛	10.02	935	1.83±0.17	2.02±0.24	1.20±0.13	26.71±0.26
27	己醛	11.67	1 097	22.06±0.54	12.90±0.11	5.14±0.16	322.76±7.89
28	辛醛	20.55	1 291	3.52±0.76	2.15±0.21	3.09±0.13	45.36±1.74
29	壬醛	25.77	1 394	15.16±0.99	9.26±1.31	18.53±1.47	112.34±4.25
30	丁醛	7.54	867	--	--	--	1.12±0.24
31	苯甲醛	28.56	1 508	33.48±1.42	7.55±0.29	5.02±0.38	28.35±0.87
32	反式-肉桂醛	42.78	2 025	29.93±1.62	1.64±0.24	--	3.44±0.42
33	异丁醛	8.03	821	0.31±0.01	0.12±0.04	--	--
34	异戊醛	8.77	916	--	0.19±0.08	--	--
35	庚醛	15.72	1 182	1.2±0.14	--	--	24.84±1.25
36	癸醛	25.97	1 484	--	--	--	14.18±0.87
37	3-甲基己醛	15.96	1 182	--	0.79±0.23	0.52±0.14	--
38	十五醛	43.87	2 041	--	3.72±0.56	--	--
39	十二醛	32.86	1 722	--	--	5.49±1.14	3.78±0.58
40	反-2-辛烯醛	24.16	1 437	--	--	--	6.08±1.02
41	反式-2-壬烯醛	27.57	1 544	--	--	--	5.99±0.79

42	反-2-癸烯醛	28.86	1 590	--	--	--	1.54±0.18
43	肉豆蔻醛	39.59	1 940	--	--	--	3.64±0.61
	总醛	--	--	107.49	40.34	38.99	600.13
44	醋酸	25.96	1 450	4.11±0.21	6.22±0.74	10.40±0.71	6.77±0.87
45	壬酸	45.35	2 171	18.66±0.97	45.12±2.07	8.63±1.01	120.86±6.48
46	己酸	39.07	1 849	--	--	1.15±0.14	3.77±0.11
47	癸酸	47.73	2 279	0.18±0.01	4.81±0.18	0.79±0.09	8.64±0.07
48	丁酸	32.24	1 628	0.49±0.04	0.05±0.00	--	3.80±0.27
49	辛酸	42.85	2 060	--	0.59±0.13	1.06±0.09	1.66±0.14
50	戊酸	34.57	1 744	--	0.21±0.06	1.19±0.17	--
	总酸	--	--	23.44	57	23.22	145.5
51	丙酮	6.55	816	18.38±1.44	21.11±2.31	4.05±0.27	69.00±1.53
52	2-丁酮	7.93	904	0.83±0.09	0.63±0.07	0.39±0.09	1.83±0.41
53	3-庚酮	15.43	1 163	0.9±0.08	0.96±0.07	1.02±0.06	0.79±0.08
54	6-甲基-5-庚烯酮	22.23	1 336	0.58±0.04	0.46±0.09	0.52±0.07	--
55	6-甲基-2-庚烯酮	17.69	5 894.39	0.13±0.03	--	--	1.87±0.21
56	3-羟基-2-丁酮	19.98	1 273	7.5±0.81	2.81±0.31	8.63±0.61	44.97±2.41
57	2-羟基-2-环戊烯-1-酮	20.8	1 301	0.15±0.08	--	--	--
58	2,3-辛二酮	21.73	1 325	1.81±0.14	--	--	--
59	蒿酮	22.57	1 358	0.1±0.07	--	--	--
60	2-庚烯酮	16.47	1 179	--	1.05±0.10	0.41±0.07	5.40±0.56
61	2-壬烯酮	20.99	1 388	--	--	--	0.73±0.08
62	1-庚烯-3-酮	16.84	1 196	--	0.05±0.00	0.53±0.02	1.14±0.12
63	(+)-2-茨酮	28.55	1 529	17.66±1.27	--	0.67±0.09	--
64	2-甲基-3-戊酮	10.03	1 000	--	0.15±0.02	0.20±0.00	0.42±0.03
65	4-己烯-3-酮	16.76	1 197	--	--	--	0.26±0.06
66	3-辛酮	19.04	1 240	--	0.70±0.07	--	2.11±0.19
67	2,3-戊二酮	12.49	1 054	--	--	--	0.32±0.08
68	辛-4-烯-3-酮	20.55	1 352	--	--	--	0.95±0.14
	总酮		--	48.04	27.92	16.42	129.79
69	肉桂酸乙酯	44.85	2 108	2.74±0.77	0.73±0.08	4.08±0.18	0.99±0.14
70	棕榈酸乙酯	47.40	2 246	1.19±0.14	0.87±0.18	0.76±0.13	1.32±0.07
71	棕榈酸甲酯	46.59	2 223	0.23±0.08	--	--	--
72	γ-庚内酯	37.47	1 796	0.09±0.00	0.07±0.00	0.41±0.01	--
73	丙酸戊酯	7.5	853	--	--	--	0.73±0.08
74	异丁酸丁酯	11.92	1 149	0.38±0.06	--	--	--
75	乙酸乙酯	8.03	878	---	0.43±0.04	--	0.16±0.02
76	戊酸异丙酯	13.22	1 132	--	0.17±0.03	--	--
77	戊酸丙酯	17.67	1 233	--	--	--	0.24±0.08
	总酯	--	--	4.63	2.27	5.25	3.44
78	(+)柠檬烯	16.88	1 201	48.5±1.87	0.66±0.09	3.40±0.74	0.95±0.06
79	3-蒈烯	15.38	1 135	--	19.50±2.41	23.09±2.68	10.76±2.14
80	茨烯	12.31	1 065	--	0.73±0.11	--	0.19±0.07
81	甲苯	11.42	1 036	1.23±0.19	1.48±0.17	1.33±0.26	2.36±0.33
82	间二甲苯	14.96	1 140	--	0.49±0.08	--	0.33±0.03

83	对二甲苯	13.27	1 119	--	--	--	0.22±0.02
84	邻异丙基甲苯	20.57	1 298	2.56±0.16	0.46±0.06	1.68±0.24	0.78±0.09
85	萘	37.26	1 718	0.87±0.14	0.81±0.11	--	1.02±0.05
86	罗勒烯	17.51	1 233	1.34±0.10	--	--	--
87	*α*-水芹烯	15.23	1 157	-	0.62±0.07	0.79±0.09	0.61±0.04
88	苯乙烯	19.54	1 254	1.9±0.07	--	--	--
89	*α*-蒎烯	27.59	1 488	25.29±1.37	--	--	--
90	*β*-石竹烯	30.88	1 594	1.16±0.08	--	--	--
91	*β*-月桂烯	15.98	1 164	--	--	0.92±0.07	--
	烃类	--	--	83.03	24.75	31.21	17.22
92	二甲醚	8.75	923	113.01±4.87	100.79±3.54	125.18±3.17	131.06±4.46
93	对烯丙基甲醚	29.58	1 661	38.66±1.44	0.91±0.14	1.90±0.07	5.03±0.34
94	吡咯	28.16	1 498	0.6±0.09	--	--	--
95	丁香酚	45.62	2 193	8.16±1.07	--	--	--
96	吲哚	51.96	2 441	34.21±4.58	104.74±5.47	25.70±2.46	--
97	苯酚	41.75	1 992	--	0.14±0.03	--	0.17±0.02
98	香豆素	52.32	2 456	3.18±0.57	--	--	--
99	2-戊基呋喃	17.63	1 229	--	1.85±0.21	--	23.04±2.47
100	2-正丁基呋喃	14.93	1 123	--	--	--	0.66±0.09
101	甲基叔丁基醚	18.44	1 232	--	17.26±3.41	--	--
102	二甲基砜	39.33	1 895	--	0.18±0.02	--	0.06±0.00
103	茴香脑	37.47	1 817	203.71±3.57	14.14±0.98	8.37±1.41	32.81±0.83
104	丁基羟基甲苯	39.40	1 910	--	0.11±0.03	--	0.56±0.06
105	2-氨基丁烷	7.75	864	--	1.74±0.37	0.58±0.07	--
	其他类	--	--	401.53	240.86	161.73	192.39

注：“--”表示未检出或低于检测阈值。

HS-SPME-GC/MS 技术高效富集微量挥发性成分，精准分离鉴定复杂基质下的挥发性风味物质并进行定性定量分析[21]，总离子流图如图 8 所示。在对不同的咸香鸡中的挥发性风味物质进行分离鉴定后共 105 种挥发性风味物质，如表 4 所示，四组样品中共有性挥发性风味物质有 26 种，主要集中在醇类、醛类、酸类、酮类和烃类等。

由表 4 图 9 分析对咸香鸡的关键性挥发性化合物可知，风味物质主要集中在醇类、醛类、酸类、酮类和烃类等挥发性风味物质。其中，香辛料组主要以醇类、醛类、烃类和其他类为主，分别为 122.1、107.49、83.03 和 401.53 ng g^{-1}，其中茴香脑、反式-肉桂醛、(+)柠檬烯、对烯丙基甲醚和 *α*-蒎烯等挥发性风味化合物是香辛料引入咸香鸡的特殊风味物质[22,23]，其结论与电子鼻结论一致；由于发酵程度存在差异，不同茶叶组对咸香鸡风味品质的影响也呈现出显著区别。茶叶的发酵过程会改变其自身挥发性成分（如醇类、醛类、酮类和酸类等）的组成与含量，而这些成分在与鸡肉相互作用时，通过渗透、吸附及化学反应等方式，对咸香鸡的香气层次、滋味协调性等风味品质产生差异化影响。绿茶组主要以醇类、醛类、酸类、酮类、烃类和其他类为主，分别为 64.3、40.34、57.0、27.92、24.75 和 240.86 ng g^{-1}；铁观音组中则以醇类、醛类、烃类和其他类为主，分别为 51.9、38.99、31.21 和 161.73 ng g^{-1}，而红茶组中较丰富的挥发性风味物质有醇类、醛类、酸类、酮类和其他类，达到了 186.5、600.13、145.5、129.79 和 192.39 ng g^{-1}。总体而言，香辛料组与 H20 组的挥发性风味物质不仅种类更丰富，含量也显著更高，这主要归因于香辛料本身含有大量萜烯类化合物，这类物质是构成其独特风味的核心成分；而红茶组因经过发酵过程，在微生物代谢及酶促反应的作用下，醇类、醛类、酸类、酮类等挥发性风味物质的含量随着发酵进程不断积累提升，形成了其特有的风味轮廓。

醇类物质作为肉制品加工过程中脂肪氧化、茶叶及香辛料挥发性成分释放的重要产物，具有较高的呈味阈值，其中正己醇、辛醇、1-辛烯-3-醇、4-丙烯基丙烯醇、壬醇和庚醇都是咸香鸡肉实验组中的典型风味化合物，具有一些青草香、玫瑰花香、脂香味和蘑菇味等[24]；醛类主要是由鸡肉中含有的不饱和脂肪酸（亚油酸和亚麻酸）氧

化或添加茶叶粉及香辛料所生成[25]；香辛料组中生成了更多的茴香脑，具有甘草味；在红茶粉组外的实验组中检测出中有少量的正丙醇、3-甲基-1-丁醇、4-甲基-1-己醇，具有一些辛辣味。酮类风味物质可能来自脂肪酸的氧化和美拉德反应，对于肉香的形成具有重要作用，其中丙酮、2-丁酮、丁基乙基酮、丙酮具有清新味、脂肪味[26]；醚类物质更多的来源于外源化合物与鸡肉组分之间的相互作用，其中二甲醚和对烯丙基甲醚主要表现为清新味、甘草味。酸类物质可能来源于脂肪的分解与氧化，阈值较高，一般认为对鸡肉的风味贡献不大。

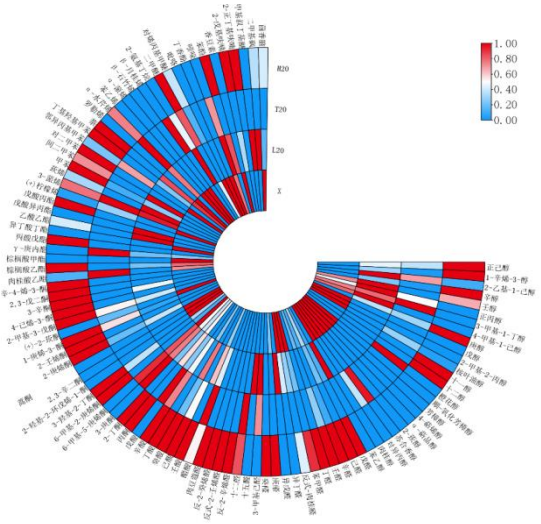

图 9 咸香鸡的关键风味物质热图

Fig.9 Heatmap of Key Flavor Compounds in Savory Chicken

注：X，普通香辛料组；L20，绿茶粉组；T20，铁观音粉组；H20，红茶粉组。

2.4 呈味游离氨基酸

表 5 咸香鸡游离氨基酸的含量

Table 5 Free Amino Acid Content in Savory Chicken

氨基酸种类	含量/(g/100 g)			
	L20	T20	H20	X
鲜味氨基酸	6.17 ± 0.16^{c}	5.89 ± 0.02^{d}	6.56 ± 0.03^{a}	6.35 ± 0.14^{b}
甜味氨基酸	5.61 ± 0.10^{ab}	5.17 ± 0.13^{c}	5.94 ± 0.17^{a}	5.66 ± 0.15^{b}
苦味氨基酸	12.04 ± 0.10^{c}	11.41 ± 0.10^{d}	12.60 ± 0.10^{a}	12.22 ± 0.13^{b}
总氨基酸	22.93 ± 0.36^{b}	22.47 ± 0.25^{c}	25.10 ± 0.24^{a}	24.23 ± 0.42^{ab}

注：表中上标不同字母表示具有显著性差异。

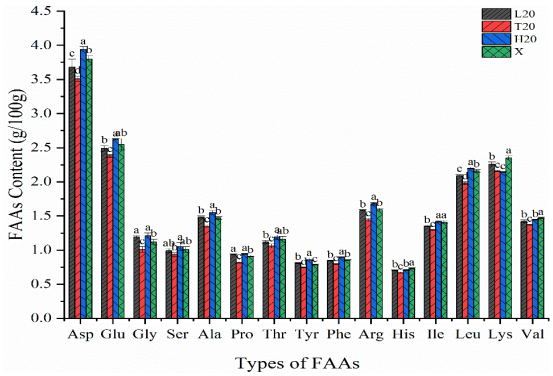

图 10 咸香鸡游离氨基酸分析

Fig.10 Free Amino Acids Analysis of Savory Chicken

注：图中不同字母表示具有显著性差异。

呈味游离氨基酸能够直接赋予食物滋味，如鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸等，呈味氨基酸的含量对

咸香鸡的滋味具有重要作用[27]。如表 5 和图 10 所示，在 4 种实验组中共检测出 15 种氨基酸，依据氨基酸的呈味特性可分成鲜、甜和苦 3 类。从表 2 中可以看出添加不同发酵程度的茶叶粉和香辛料对咸香鸡的鲜、甜和苦三类滋味氨基酸有一定影响。红茶组的总氨基酸为最高，达到 25.10 g/100 g，其次为香辛料组，绿茶组和铁观音组，为 24.23、22.93 和 22.47 g/100g；其中红茶组的鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸含量最高，为 6.56、5.94 和 12.60 g/100 g；香辛料组为 6.35、5.66 和 12.22 g/100 g，而铁观音组最低，为 5.89、5.17 和 11.41 g/100 g。整体结果表明，香辛料组和茶叶的呈味氨基酸差异较小，但随茶叶发酵程度的加深（从绿茶、铁观音到红茶），咸香鸡中总氨基酸及三类滋味氨基酸的含量呈现动态递增，推测发酵程度较高的茶叶可能通过自身风味物质的迁移或与鸡肉成分的相互作用，为咸香鸡赋予了更丰富的滋味层次[17]。

2.5 不同茶叶对咸香鸡脂肪酸的影响

鸡肉中的脂肪酸是影响肉类风味、质构、氧化稳定性及营养价值的关键成分[28,29]，根据碳原子间化学键类型，脂肪酸可分为饱和脂肪酸（SFA）、单不饱和脂肪酸（MUFA）和多不饱和脂肪酸（PUFA），不饱和脂肪酸含量的增加可明显改善肉制品风味[30]。表 6 为茶叶组和香辛料组的脂肪酸成分，红茶组的总脂肪酸最高，达到了 5 293.55 mg/100 g，绿茶组达到了 3 827.17 mg/100 g，铁观音组为 2 655.73 mg/100 g 及香辛料组为 902.68 mg/100 g，这可能是红茶中的多酚类物质在一定的温度下受多酚氧化酶和过氧化物酶的影响被分解，和高温焗制时对脂肪酸氧化的抑制较弱，脂肪酸分解少而总含量最高[31]；绿茶组和铁观音组含较多抗氧化物质，一定程度抑制脂肪酸氧化分解，故含量次之，香辛料组因自身抗氧化成分更强或作用机制不同，脂肪酸氧化分解更明显，总含量最低[32]。红茶组中多不饱和脂肪酸（PUFA）含量为 1 891.45 mg/100 g、绿茶组为 1 766.27 mg/100 g、铁观音组和香辛料组为 1 051.58 mg/100 g 和 254.66 mg/100 g，α-亚麻酸（C18：3n3）是氧化敏感的脂肪酸，红茶组的 α-亚麻酸达到 176.22 mg/100 g 均高于其他茶叶组。棕榈酸（C16）和硬脂酸（C18）是饱和脂肪酸（SFA），氧化稳定性高不易发生氧化，红茶组的 SFA 含量最高达到 1 114.53 mg/100 g，铁观音组达到 703.47 mg/100 g，绿茶组 420.27 mg/100 g 和香辛料组 268.83 mg/100 g；油酸（C18：1n9C）、棕榈油酸（C16:1n7）和反式油酸（C18：1n9t）为单不饱和脂肪酸（MUFA），其氧化稳定性居中，红茶组的 MUFA 含量最高达到 1 904.38 mg/100 g，绿茶为 1 573.81 mg/100 g，随后是铁观音组为 850.98 mg/100 g 和香辛料组为 334.48 mg/100 g。由此可见，与香辛料组相比，茶叶的添加对咸香鸡的脂肪酸组成及特征风味相关脂质成分具有重要调控作用；能促进咸香鸡肉风味的形成、提升其营养价值，尤以发酵红茶组效果最优，其结果和与其他指标一致。

表 6 咸香鸡游离脂肪酸成分表（mg/100 g）

Table 6 Fatty Acid Composition of Savory Chicken (mg/100 g)

化合物名称	红茶组	绿茶组	铁观音组	香辛料组
棕榈酸（C16.0）	1060.21±56.24^{a}	87.2±1.68^{d}	495.33±7.24^{b}	204.21±6.1^{c}
硬脂酸（C18.0）	354.32±8.41^{a}	333.07±5.89^{b}	208.14±2.45^{c}	64.62±2.01^{d}
反式油酸（C18: 1n9t）	12.81±1.21^{c}	16.71±0.87^{b}	9.54±0.08^{d}	38.61±2.41^{a}
油酸（C18: 1n9C）	1710.34±76.14^{a}	1440.03±50.14^{b}	783.22±21.41^{c}	273.14±5.61^{d}
亚油酸（C18: 2n6C）	1610.26±65.43^{a}	1650.11±88.13^{a}	885.21±2.98^{b}	219.13±6.48^{c}
α-亚麻酸（C18: 3n3）	176.22±8.76^{a}	17.42±0.94^{c}	94.61±3.54^{b}	20.01±0.65^{c}
二十碳三烯酸（C20: 3n6）	14.53±1.11^{a}	10.71±0.51^{b}	7.91±0.33^{c}	3.31±0.14^{d}
二十碳四烯酸（C20: 4n6）	82.91±2.86^{a}	78.53±1.25^{b}	62.13±1.85^{c}	15.52±0.51^{d}
癸酸（C10）	--	--	--	26.04±0.84
月桂酸（C12）	--	--	--	6.61±0.21
肉豆蔻酸（C14）	24.61±1.21^{a}	20.71±0.23^{b}	15.21±0.7^{c}	8.75±0.66^{d}
肉豆蔻油酸（C14:1n5）	5.51±0.15	--	--	--
棕榈油酸（C16:1n7）	181.23±1.41^{a}	117.13±1.02^{b}	58.22±1.24^{c}	22.73±1.32^{d}
二十碳二烯酸（C20.2）	17.22±0.24^{a}	15.12±0.32^{b}	9.96±1.01^{c}	--
二十二碳六烯酸（C22:6n3）	12.71±0.07^{a}	11.93±0.41^{a}	9.63±0.57^{b}	--
顺-15-二十四一烯酸（C24.1）	21.32±1.14^{a}	20.22±0.94^{b}	16.62±1.45^{c}	--

γ-亚麻酸（C18: 3n6）	9.35±0.09	8.28±0.09	--	--
总脂肪酸	5293.55	3827.17	2655.73	902.68

注："-"表示未检出或低于检测阈值。表中上标不同字母表示具有显著性差异。

3 结论

本文探究了未发酵茶（绿茶）、半发酵茶（铁观音）、全发酵茶（红茶）与香辛料对咸香鸡品质的影响，结果表明：香辛料组与茶叶组均能显著提升咸香鸡风味品质，其中红茶组效果最优，香辛料组次之。感官评价与电子舌测定结果证实，添加茶叶和香辛料可有效改善咸香鸡风味；电子鼻结合挥发性风味物质分析显示，香辛料组风味主要受 W1W（硫化合物、萜烯类）与 W5S（氮氧化合物）影响，气相色谱-质谱联用（GC-MS）进一步检测出其特有的挥发性风味物质，包括茴香脑、反式-肉桂醛、(+)柠檬烯、对烯丙基甲醚、α-蒎烯等烃类，与电子鼻结论一致。对比不同茶叶组，红茶组挥发性风味物质的种类与含量最为丰富，涵盖醇类、醛类、酸类、酮类及其他类，含量分别达 186.5、600.13、145.5、129.79 和 193.39 $ng \cdot g^{-1}$。呈味氨基酸与游离脂肪酸分析显示，红茶组总氨基酸含量最高，为 25.10 g/100 g，香辛料组次之，为 24.23 g/100 g，绿茶组与铁观音组较低且整体差异较小，分别为 22.93 g/100 g 和 22.47 g/100 g；总脂肪酸含量方面，红茶组与绿茶组较高，分别为 5 293.55 mg/100 g 和 3 827.17 mg/100 g，铁观音组与香辛料组较低，分别为 2 655.73 mg/100 g 和 902.68 mg/100 g。综上所述，添加茶叶和香辛料可通过提高呈味物质含量、丰富挥发性风味物质来改善咸香鸡品质，其中添加全发酵红茶与香辛料的效果最佳。本研究结果为咸香鸡的风味优化及品质调控提供了理论支撑。

参考文献

[1] 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.

[2] DAI W, GU S, XU M, et al. The effect of tea polyphenols on biogenic amines and free amino acids in bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets during frozen storage [J]. Lwt, 2021, 150: 111933.

[3] TAN C, XU Q D, CHEN N, et al. Effects of tea polyphenols on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) meat during the freezing process and its action mechanism [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(5): e16521.

[4] LIU Z, RAN Q, LI Q, et al. Interaction between major catechins and umami amino acids in green tea based on electronic tongue technology [J]. Journal of food science, 2023, 88(6): 2339-2352.

[5] 周巧仪,曾伟霞,张建中,等.客家炒青绿茶品质成分及香气特征分析[J].现代食品科技,2023,39(11):242-252.

[6] WANG Y, KONG D, GAO Y, et al. Chemical characterization and bioactivity of phenolics from Tieguanyin oolong tea [J]. Journal of food biochemistry, 2019, 43(7): e12894.

[7] LONG P, RAKARIYATHAM K, HO C-T, et al. Thearubigins: Formation, structure, health benefit and sensory property [J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 133: 37-48.

[8] 任玲,杨雪怡,黄媛,等.不同茶树品种及干燥方式的滇红工夫茶贮藏品质差异分析[J].现代食品科技,2025,41(4):216-229.

[9] WEN W, LI S, WANG J. The effects of tea polyphenol on chicken protein digestion and the mechanism under thermal processing [J]. Foods, 2023, 12(15): 2905.

[10] YANG P, WANG H, CAO Q, et al. Aroma-active compounds related to Maillard reaction during roasting in Wuyi Rock tea [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 115: 104954.

[11] LI Z, REN X, DING C, 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.

[12] YANG J, ZHANG Y, CHEN P, et al. Enhancing beef flavor profiles via Maillard reaction of γ-Glutamylated beef protein hydrolysates and xylose [J]. Food Chemistry, 2025, 476: 143313.

[13] DENG J, LIN W, LI T, et al. Maturity-dependent variations in metabolites and taste quality of Hainan mulberry leaf green tea by using metabolomics and e-tongue analysis [J]. Food Bioscience, 2025, 68: 106413.

[14] ZHOU J, QIN M, ZHU J, et al. Analysis of changes in flavor characteristics of congou black tea at different fermentation degrees under industrial production conditions using flavor compound weighted network co-expression method [J]. Food Chemistry, 2025, 468: 142241.

[15] 桑嘉玘,温靖,刘昊澄,等.不同品种英德红茶的品质比较分析[J].现代食品科技,2021,37(4):157-162.

[16] ZENG L, FU Y-Q, LIU J-L, et al. Dynamic changes in metabolites during the manufacture of three distinct flavor types of Tieguanyin [J]. Food Chemistry, 2025, 487(30): 144744.

[17] LU M, JIANG Y, ZHAO W, et al. Effects of different drying methods on color difference, taste and chemical components of Yunnan Congou black tea [J]. LWT, 2025, 223: 117696.

[18] PU Q, LI M, QU A, et al. Dynamic evolution of volatile and non-volatile metabolic profiles in black tea during fermentation on an industrial scale [J]. Food Chemistry, 2025, 485: 144582.

[19] LI C, LIN J, HU Q, et al. An integrated metabolomic and transcriptomic analysis reveals the dynamic changes of key metabolites and flavor formation over Tieguanyin oolong tea production [J]. Food chemistry: X, 2023, 20: 100952.

[20] ZHOU X, TIAN D, ZHOU H, et al. Effects of Different Fermentation Methods on Flavor Quality of Liupao Tea Using GC-Q-TOF-MS and Electronic Nose Analyses [J]. Foods, 2024, 13(16): 2595.

[21] LIN H, YE S, FENG J, et al. Impact of compression methods on flavor profile of white tea: Integrated analysis of appearance, aroma, and taste [J]. Food Chemistry: X, 2025, 28: 102510.

[22] 张艺潇.不同形式迷迭香对鸡肉挥发性物质及贮藏品质的影响[D].银川:宁夏大学,2024.

[23] 曹博雅,蒲丹丹,郑瑞仪,等. SAFE-GC-MS 结合 GC-O 法分析 20 种辛香型香辛料香气活性成分[J/LO].食品科学:1-16[2025-06-12].

[24] ZHANG H, PU D, SUN B, et al. Characterization and comparison of key aroma compounds in raw and dry porcini mushroom (*Boletus edulis*) by aroma extract dilution analysis, quantitation and aroma recombination experiments [J]. Food chemistry, 2018, 258: 260-268.

[25] XU C, YIN Z. Unraveling the flavor profiles of chicken meat: Classes, biosynthesis, influencing factors in flavor development, and sensory evaluation [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2024, 23(4): e13391.

[26] WANG Y, SONG H, ZHANG Y, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2016, 31(4): 319-328.

[27] 陈怡颖,丁奇,赵静,等.鸡汤及鸡肉酶解液中游离氨基酸及呈味特性的对比分析[J].食品科学,2015,36(16):107-111.

[28] MANCINELLI A C, SILLETTI E, MATTIOLI S, et al. Fatty acid profile, oxidative status, and content of volatile organic compounds in raw and cooked meat of different chicken strains [J]. Poultry science, 2021, 100(2): 1273-1282.

[29] GU T, DUAN M, CHEN L, et al. The difference between young and older ducks: Amino acid, free fatty acid, nucleotide compositions and breast muscle proteome [J]. Food Chemistry: X, 2025, 25: 102117.

[30] 徐英,任越,沙玉柱,等.不同海拔藏绵羊肉质脂肪酸特征分析[J].中国农业科技导报,2024,26(4):67-76.

[31] 刘梦婕.碧螺春红茶加工过程中的品质变化[D].南京:南京农业大学,2020.

[32] KARUNARATNE S, ABEYGUNAWARDENA G, JAYARATNE D, et al. Microbiota of black tea at different manufacturing stages [J]. Journal of Food Safety, 2024, 44(4): e13152.