



椰子汁煮制对文昌鸡食用品质的影响

吴子灿^{2,3}, 张紫涵², 赵桂苹¹, 魏立民¹, 黄峰^{1,2,3}✉, 张春晖^{1,2,3}✉

¹海南省农业科学院三亚研究院(海南省实验动物研究中心),海南三亚 572025; ²中国农业科学院农产品加工研究所/农业农村部农产品加工综合性重点实验室,北京 100193; ³三亚中国农业科学院国家南繁研究院,海南三亚 572000

摘要:【目的】明确椰子汁煮制文昌鸡的品质特征,为文昌鸡和椰子汁成分互作机理的研究和标准化生产提供有效依据。【方法】以文昌鸡和海南椰青为主要原料,利用电子鼻、气相色谱-质谱联用技术,结合气味活性值和主成分分析,对椰子汁煮制文昌鸡和水煮文昌鸡鸡胸肉和鸡腿肉的气味物质进行分析对比,利用电子舌、游离氨基酸和核苷酸检测技术对鸡胸肉和鸡腿肉的滋味物质进行分析,并且测定鸡肉和椰子汁的理化指标,以及椰子汁煮制鸡肉和水煮鸡肉的蒸煮损失、质构指标,明确经过椰子汁煮制后文昌鸡品质特征的变化。【结果】鸡腿肉中蛋白含量为 21.0 g/100g,脂肪含量为 3.08 g/100 g,鸡胸肉中蛋白含量为 23.6 g/100 g,脂肪含量为 1.29 g/100 g;椰子汁中的还原糖含量为 4.75 g/100 g;椰子汁煮制的鸡肉和水煮鸡肉相比,蒸煮损失较高,两者质构指标相关性不显著($P>0.05$);经过椰子汁煮制后鸡肉中新产生了 2-庚醛、(*D*)-2-辛烯醛、(*D*)-2-壬烯醛、2,5-二甲基苯甲醛、2-十一烯醛 5 种醛类物质,电子鼻基本上可以将水煮鸡腿肉和椰子汁煮制鸡腿肉的挥发性物质区分开;经过椰子汁煮制后鸡腿肉和鸡汤的甜味氨基酸含量上升,但水煮鸡腿肉、鸡胸肉以及肉汤中的鲜味氨基酸均比椰子汁煮制后鸡肉的含量高;椰子汁煮制的鸡肉中鲜味核苷酸 5'-AMP、5'-IMP 和 5'-GMP 含量均高于水煮鸡肉。【结论】在文昌鸡不同部位中,鸡腿肉脂肪含量较高而鸡胸肉蛋白含量较高;椰子汁煮制可以提高文昌鸡肌肉核苷酸及鸡腿肉中游离氨基酸含量,对滋味有显著提升作用;椰子汁煮制增加了文昌鸡鸡腿肉中的醛类化合物种类,鸡腿肉比鸡胸肉有更好的风味形成效果。

关键词: 鸡肉;椰子汁;挥发性物质;滋味;煮制

Effect of Boiling Coconut Water on Flavor Formation of Wenchang Chicken

WU YuCan^{2,3}, ZHANG ZiHan², ZHAO GuiPing¹, WEI LiMin¹, HUANG Feng^{1,2,3}✉, ZHANG ChunHui^{1,2,3}✉

¹Sanya Institute of Hainan Academy of Agricultural Sciences (Hainan Experimental Animal Research Center), Sanya 572025, Hainan; ²Institute of Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Products Processing Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193; ³Nanfan Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572000, Hainan

Abstract: 【Objective】The aim of this study was to clarify the quality characteristics of Wenchang chicken cooked with coconut water, so as to provide an effective basis for the research on the interaction mechanism of Wenchang chicken and coconut water components and the standardized production.【Method】With Wenchang chicken and Hainan green coconut as the main raw materials, the odor substances of Wenchang chicken, Wenchang chicken breast meat, and chicken leg meat cooked with coconut water were analyzed and compared using an electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), combined with odor activity value (OAV) and principal component analysis (PCA). The taste substances of chicken breast meat and chicken leg meat were

收稿日期: 2022-03-01; 接受日期: 2022-04-27

基金项目: 海南省文昌鸡优势特色产业集群项目(WCSIP 20211106)

联系方式: 吴子灿, E-mail: wycsxn990817@163.com. 通信作者黄峰, E-mail: fhuang226@163.com. 通信作者张春晖, E-mail: dr_zch@163.com

analyzed using electronic tongue, free amino acid, and nucleotide detection techniques. The physical and chemical indexes of chicken and coconut water, as well as the cooking loss and texture indexes of coconut-boiled chicken and water-boiled chicken, were determined to clarify the changes in the quality characteristics of Wenchang chicken after cooking with coconut water. 【Result】 The protein content in chicken leg meat was 21.0 g/100 g, and the fat content was 3.08 g/100 g. The protein content in chicken breast meat was 23.6 g/100 g, and the fat content was 1.29 g/100 g. The content of reducing sugar in coconut water was 4.75 g/100 g. The cooking loss of chicken cooked with coconut water was the highest compared with that boiled with water, and there was no significant correlation between the two texture indicators ($P>0.05$). After cooking with coconut water, five new aldehydes were produced in the chicken, namely 2-heptanal, (*E*)-2-octenal, (*E*)-2-nonenal, 2, 5-dimethyl benzaldehyde, and 2-undecenal. The electronic nose was able to distinguish the volatile substances in boiled chicken legs from those in coconut water. After cooking with coconut water, the content of sweet amino acids in chicken legs and chicken soup increased, but the content of savory amino acids in boiled chicken legs, chicken breasts, and broth was higher than that in chicken cooked with coconut water. The contents of 5'-AMP, 5'-IMP, and 5'-GMP in chicken cooked with coconut water were higher than those in boiled chicken. 【Conclusion】 The fat content in the chicken leg and protein content in the chicken breast differed in various parts of the Wenchang chicken. Boiling Wenchang chicken with coconut water increased the nucleotide content in the muscles and the free amino acid content in the chicken leg meat, significantly enhancing the taste. Boiling Wenchang chicken with coconut water increased the types of aldehydes in the thigh meat, and resulted in better flavor formation than the breast meat.

Key words: chicken; coconut water; volatile flavor; taste; boiled

0 引言

【研究意义】鸡肉的蛋白质含量高,脂肪含量低,具有较高的食用价值和营养价值,深受消费者的喜爱,其市场需求量也在不断增加。我国幅员辽阔,物种资源丰富,有许多优良的地方鸡种。不同品种鸡的风味因其生活环境的复杂性和遗传的多样性而呈现出差异。随着人们生活水平的提高,越来越多的人追求口感更好的黄羽鸡种,其中海南省的文昌鸡因其皮薄肉脆、肉香浓郁、肥而不腻等特点享誉全国,号称“海南传统四大名菜之首”。文昌鸡因其独特的饲养条件和地理位置而具有丰富的口感和较高的营养价值,以文昌鸡为原料制作的海南特色菜品较多,比如著名的白切鸡,因其皮黄骨脆,肉嫩且美而闻名全国。随着人们口味需求的不断提高,多种食材搭配而成的菜肴受到消费者的青睐,比如木瓜鸡成为海南省一道特色产品,受到全国消费市场的广泛欢迎。椰子汁煮制的文昌鸡也是海南特有的菜肴,因其口味鲜美,椰香浓郁而深受人们喜爱。【前人研究进展】李龙等^[1]、巨晓军等^[2]研究发现文昌鸡具有较高的肌内脂肪含量,鸡肉丰富多汁,并且文昌鸡可能具有较长的货架期。DENG等^[3]对黄羽鸡品种的风味成分进行研究,共鉴定出65种挥发性化合物,包括醛类、醇类、酮类、酯类等,并表明了不同品种鸡特有的风味特征。李远韬^[4]对陈皮鸡品质变化研究时发现,加工处理的每个阶段都有主要的挥发性物质,生肉阶段为醛类物

质,例如壬醛,腌制后出现了烃类化合物,成品中主要挥发性物质为2-戊基呋喃、柠檬烯、反式-2,4-癸二烯醛等,出现了杂环化合物。PREETHA等^[5]对椰子水的医用价值进行研究发现,成熟椰子水中活性成分数量较高,精氨酸和钾含量高于嫩椰子水,并具有降血压、降血脂、心脏保护和肝保护等功效^[6]。【本研究切入点】食材之间的相互作用可以创造出独特的风味,以椰子汁和文昌鸡为原料制作的椰汁鸡肉,充分展示了文昌鸡肉挥发性物质种类多,椰子汁氨基酸、矿物质含量高等特点,成为海南省一道特色美食。目前对文昌鸡的研究主要集中在肉产品品质和风味等方面,对文昌鸡肉产品加工和食材搭配之间的研究鲜有报道。【拟解决的关键问题】利用电子鼻、电子舌、气相色谱-质谱联用技术、游离氨基酸和核苷酸检测技术,结合气味活性值和主成分分析,对椰子汁煮制的文昌鸡和水煮文昌鸡鸡胸肉和鸡腿肉的风味物质进行分析对比,为椰子汁煮制鸡肉的成分互作机理研究和标准化生产提供依据。

1 材料与amp;方法

试验于2022年在中国农业科学院农产品加工研究所/农业农村部农产品加工综合性重点实验室进行。

1.1 材料和仪器

选用110日龄文昌鸡母鸡的鸡腿肉与鸡胸肉,椰子选用海南椰青。

ACCQ.Tag 氨基酸试剂包, 美国 Waters 公司; 甲醇、乙酸钠、无水乙醚、石油醚、盐酸等试剂均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

TA-XT plus 质地分析仪; 电子鼻 PEN3, 德国 AIRSENSE 公司; 气相色谱-质谱联用仪 GC-MS-QP2010 型, 日本岛津公司; SPME 自动进样器、纤维头 (50/30 μm DVB/CAR/PDMS), 美国 Supelco 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 椰子汁制备: 人工去除椰子外皮, 厨房用纱布 (80 目) 过滤椰子汁后待用。

水煮鸡肉制作过程: 冷冻鸡肉于 4 $^{\circ}\text{C}$ 解冻 12 h, 对鸡胸肉和鸡腿肉进行清洗。在锅中加入 1 000 mL 水、15 g 食盐, 将鸡胸肉和鸡腿肉分别称取 250 g 置于锅中, 在沸水中煮制 8 min。

椰子煮制鸡肉制作过程: 经解冻清洗的鸡腿肉和鸡胸肉分别称取 250 g 置于锅中, 加入 370 mL 椰子汁、15 g 食盐、630 mL 水, 沸水煮制 8 min。

煮制好的鸡胸肉、鸡腿肉和鸡汤冷却至室温, 进行后续相关指标分析。

1.2.2 理化指标测定

1.2.2.1 蛋白质含量测定 参考《GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[7]中凯氏定氮法。

1.2.2.2 维生素 B₁ 含量分析 参考《GB 5009.84—2016 食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》^[8]。液相参数条件: 流动相: 0.05 mol·L⁻¹ 乙酸钠溶液-甲醇 (65+35); 流速: 0.8 mL·min⁻¹; 检测波长: 激发波长 375 nm, 发射波长 435 nm; 进样量: 20 μL 。

1.2.2.3 还原糖含量分析 配制 3,5-二硝基水杨酸溶液: 称取 6.5 g 3,5-二硝基水杨酸溶于少量水中, 移入 1 000 mL 容量瓶中, 加入 2 mol·L⁻¹ NaOH 溶液 325 mL, 再加入 45 g 丙三醇, 摇匀, 冷却后定容至 1 000 mL。准确吸取 0、2、3、4、5、6 和 7 mg·mL⁻¹ 的葡萄糖标准溶液各 1 mL, 样液 2 mL, 分别置于 25 mL 比色管中, 各加入 3,5-二硝基水杨酸溶液 2 mL, 用蒸馏水补齐至 10 mL, 置于沸水中煮 5 min 显色, 然后以流动水迅速冷却, 用水定容至 25 mL, 摇匀。以空白调零, 在 540 nm 处测定吸光度, 绘制标准曲线, 计算样品中还原糖含量。

1.2.2.4 脂肪含量分析 参考国家标准《GB/T5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[9]中第一法: 索氏抽提法。

1.2.3 蒸煮损失 煮前擦干鸡肉表面水分并准确称重 (精确至 0.01 g), 煮制完之后终止反应, 轻轻擦干肉样表面水分并准确称重。按照如下公式计算肉样的蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失 (\%)} = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100$$

式中, M_1 为煮前肉样质量 (g), M_2 为煮后肉样质量 (g)。

1.2.4 质构测定 采用 TA-XT plus 质地分析仪对鸡肉样品进行质地剖面分析 (texture profile analysis, TPA)。取鸡胸肉部分作为质构测定的特征部位。选用 P36 探头, 在室温下进行 TPA 测试, 测前速度 2.0 mm·s⁻¹, 测试速度 1.0 mm·s⁻¹, 测后速度 2.0 mm·s⁻¹, 触发力 5 g, 压缩比例 30%。选择硬度、恢复力、凝聚力、弹性、黏性和咀嚼性作为鸡胸肉样品的质构特性参数。

1.2.5 电子鼻的测定 将待测样品从 -80 $^{\circ}\text{C}$ 冷冻柜取出, 4 $^{\circ}\text{C}$ 解冻 12 h, 在 2 min 内准确称取 2.00 g 待测样品于 20 mL 顶空进样瓶中, 并立即用带 PTFE 聚四氟乙烯硅胶垫片的顶空瓶盖密封。所有样品室温平衡 30 min 后, 使用 PEN3 电子鼻对 4 组样品进行检测。检测前传感器置于干燥空气中平衡 180 s, 检测 60 s, 选取信号稳定的 48—52 s 为信号采集时间。每组样品做 5 次平行重复测定。

1.2.6 气相色谱-质谱分析 (GC-MS) SPME 条件: 将待测样品从 -80 $^{\circ}\text{C}$ 冷冻柜取出, 4 $^{\circ}\text{C}$ 解冻 12 h, 在 2 min 内准确称取 2.00 g 于 20 mL 顶空进样瓶中, 立即用带 PTFE 聚四氟乙烯硅胶垫片的顶空瓶盖密封。采用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 纤维头, 250 $^{\circ}\text{C}$ 老化 30 min, 将样品于 50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下平衡 30 min, 将纤维头插入顶空瓶中吸附 40 min。

GC 条件: 色谱柱型号 DB-WAX (30 m \times 0.18 mm \times 0.18 μm) 不分流进样; 升温程序: 进样口温度 240 $^{\circ}\text{C}$, 初始柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 120 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$, 保持 10 min。

MS 条件: 离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$, 传输线温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 电子能量 70 eV。采用全扫描 (Scan) 模式采集信号, 扫描范围 35—500 m/z。

定量方法: 以质量浓度为 0.861 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 2-甲基-3-庚酮 (溶于甲醇) 为内标物, 按如下公式对各组分进行定量分析。

$$C = C_0 \times V_0 \times S_x / S_0 \times m$$

式中, C 为未知化合物含量 ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); C_0 为内标物的质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$); V_0 为内标物进样体积 (mL);

S_x 为未知化合物的峰面积; S_0 为添加的内标物峰面积; m 为样品的质量 (kg)。

1.2.7 电子舌分析 称取 (3.0±0.1) g 样品, 搅碎, 加入 50 mL 去离子水, 混匀, 3 000 r/min 离心 10 min, 过滤, 收集滤液。准确移取 25 mL 测试液加入电子舌专用样品杯中, 测定前对电舌进行自检、活化、校准和诊断等步骤, 以确保采集所得数据的可靠性和稳定性。用 30 mmol·L⁻¹ KCl 溶液与 0.3 mmol·L⁻¹ 酒石酸溶液配成参比溶液。每个样品重复测定 4 次, 取后 3 次作为测试结果。

1.2.8 气味活性值 (odor activity value, OAV)

OAV 是嗅觉物质的绝对浓度与感觉阈值的比值, 通常当 OAV ≥ 1 时, 表明该挥发性物质对整体风味有贡献, 在一定范围内, OAV 值越大, 说明这种组分对整体气味贡献越大。

1.2.9 游离氨基酸的测定 称取约 5 g 切碎的鸡肉样品, 加入去离子水 20 mL, 冰浴中 18 000 r/min 速率下匀浆 3 次, 加入 20 mL 5% (v/v) 三氯乙酸水溶液, 混合均匀, 于 4 °C 下放置 12 h; 以定性滤纸过滤, 滤液先用 4 mol·L⁻¹ KOH 调 pH 至 6.0, 然后用去离子水定容至 50 mL, 取 1 mL 用 0.45 μm 滤膜过滤。移取所得肉的滤液 10 μL, 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 °C 烘箱内加热 10 min, 取出后即可进样, 采用 RP-HPLC 测定样品中游离氨基酸的含量。色谱条件: 色谱柱: TC-C18 柱; 柱温: 37 °C; 紫外检测波长: 248 nm; 进样量: 10 μL; 流动相 A: 按 1 : 10 (v/v) 将 AccQ-Tag Eluent A 用超纯水稀释而得; 流动相 B: 乙腈 (色谱纯); 流动相 C: 超纯水; 流速: 1.0 mL·min⁻¹。进样体积: 20 μL; 检测波长: 254 nm。

1.2.10 核苷酸检测 将鸡肉样品绞碎, 称取 10 g (精

确至 0.1 g) 于 50 mL 离心管中, 加入 25 mL 体积分数 6% 高氯酸, 均质混匀, 10 000 r/min 离心 10 min, 上清液采用中速定性滤纸过滤, 剩余沉淀重复提取, 上清液同样过滤, 2 次滤液采用 5 mol·L⁻¹ 氢氧化钠溶液调节 pH 至 5.4, 加水定容至 100 mL, 摇匀, 过滤膜, 采用高效液相色谱检测。色谱条件: 色谱柱: C18-A 色谱柱; 柱温: 40 °C; 流动相: 0.05 mol·L⁻¹ 磷酸二氢钾 (用 8 g/100 mL 磷酸氢二钾调 pH 至 5.4); 检测波长: 254 nm; 进样量: 10 μm; 流速: 0.8 mL·min⁻¹。按照如下公式计算核苷酸含量。

$$X = \rho_1 \times V_1 \times M_1 / m_1 \times m$$

式中, X 为肉样中待测物含量 (g·kg⁻¹); ρ_1 为样品溶液中待测物质量浓度 (g·L⁻¹); V_1 为样品溶液体积 (mL); M_1 为生肉熟制后肉样质量 (g); m_1 为用于提取的熟肉质量 (g); m 为生肉质量 (g)。

1.3 数据处理

用 SPSS 进行数据显著性分析。如无特殊说明, 试验最少 3 次重复, 数据以均值 ± 标准差 (means ± SD) 表示, 用 Origin 2022 作图。

2 结果

2.1 文昌鸡和椰子汁风味前体物含量

由表 1 可知, 鸡腿肉和鸡胸肉中蛋白含量为 44.6 g/100 g, 脂肪含量为 4.37 g/100 g, 肉产品和植物性食材相比, 蛋白和脂肪含量相对较高, 因此可以判断椰子汁煮制的鸡肉中产生的脂肪香气主要由鸡肉产生; 另外, 鸡胸肉的蛋白含量高于鸡腿肉, 鸡腿肉的脂肪含量高于鸡胸肉 ($P < 0.05$)。椰子汁中的还原糖含量为 4.75 g/100 g, 为椰子汁煮制鸡肉增添了甜味。鸡腿肉和鸡胸肉的维生素 B₁ 含量一样, 椰子汁中未检出。由此可知, 鸡肉中的风味前体物质和椰子汁中的前体物质共同作用, 构成了椰子汁煮制鸡肉的复杂香气成分。

表 1 椰子汁煮制的鸡肉中基本成分含量

Table 1 Content of basic ingredients in chicken cooked with coconut water

样品名称	蛋白含量	脂肪含量	维生素 B ₁ 含量	还原糖含量
Sample name	Protein content (g/100 g)	Fat content (g/100g)	Thiamine content (μg/100 g)	Reducing sugar content (g/100 g)
鸡腿肉 Chicken leg	21.0±0.190b	3.08±3.11a	0.11±0.01a	0.12±0.03c
鸡胸肉 Chicken breast	23.6±0.390a	1.29±3.50b	0.11±0.01a	0.17±0.01b
椰子汁 Coconut water	0.042±0.002c	0.03±0.05c	-	4.75±0.45a

不同小写字母表示不同样品之间差异显著 ($P < 0.05$), “-”代表未检出。下同

Different lowercase letters indicate significant difference between different samples ($P < 0.05$), “-” indicates no detection. The same as below

2.2 水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的蒸煮损失和质构结果

由表 2 可知，水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的蒸煮损失分别为 24.78%和 31.11%，椰子汁在煮制文昌鸡肉过程中释放出来的酸性物质使体系的 pH 降低，导致蛋白质聚合，降低了对水分的吸引，持水

力降至最低^[10]，椰子汁煮制鸡肉蒸煮损失升高。水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的硬度、咀嚼性均无显著差异，说明椰子汁煮制的鸡肉硬度和咀嚼性没有发生很大的改变。椰子汁煮制鸡肉和水煮鸡肉的恢复力、凝聚力、弹性、黏性之间也无显著差异($P>0.05$) (表 2)。

表 2 水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的蒸煮损失和质构结果

Table 2 Cooking loss and texture results of boiled chicken and coconut water cooked chicken

指标 Index	水煮鸡 Boiled chicken	椰汁鸡 Coconut water chicken
蒸煮损失 Cooking loss (%)	24.78	31.11b
硬度 Hardness (N)	23.89±4.25a	24.35±4.14a
恢复力 Resilience (%)	22.81±2.78a	24.57±1.67a
凝聚力 Cohesion	0.60±0.04a	0.62±0.02a
弹性 Elasticity (mm)	0.73±0.09a	0.74±0.05a
黏性 Viscosity (N)	14.36±2.31a	15.25±2.84a
咀嚼性 Chewiness (N)	10.62±2.58a	11.32±2.63a

2.3 电子鼻分析水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的挥发性物质

由图 1-a 可知，PC1 和 PC2 的贡献分别为 93.2%和 6.2%，贡献率之和为 99.4%，可以反映全部信息，水煮鸡腿肉位于左侧，椰子汁煮制鸡腿肉位于右上方，基本上可以将水煮鸡腿肉和椰子汁煮制鸡腿肉的挥发

性物质区分开。由图 1-b 可知，水煮鸡腿肉和椰子汁煮制鸡腿肉在 W1W (对硫化氢敏感)、W1S (对烃类物质敏感)、W5S (对氮氧化物敏感)、W3S (对长链烷烃敏感)、W2S (对醇类物质敏感) 5 个传感器中存在差异，且两组样品在 W1W (对硫化氢敏感) 传感器上的响应值最高。

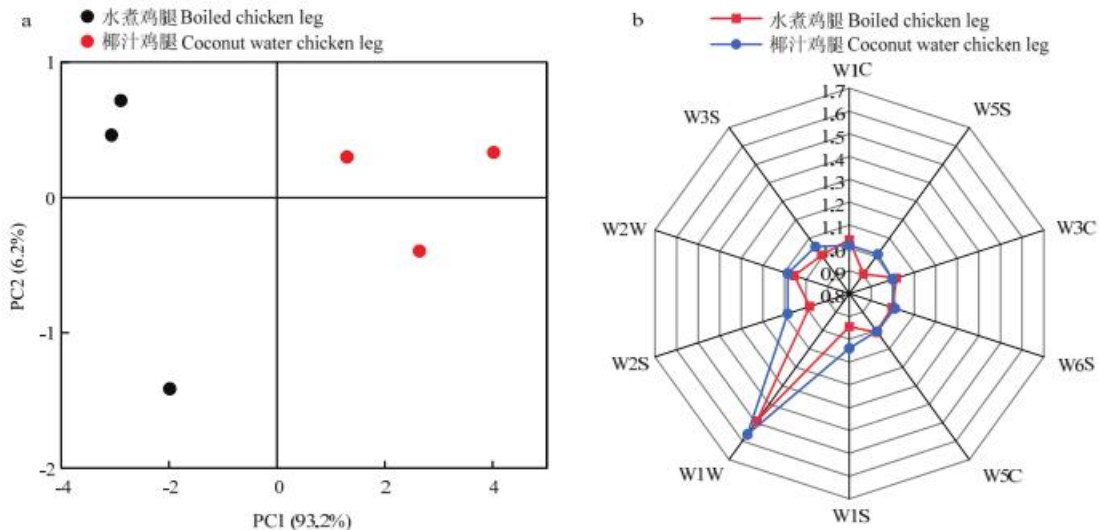


图 1 电子鼻检测水煮文昌鸡和椰子汁煮制文昌鸡鸡腿肉的主成分分析图 (a) 和雷达图 (b)

Fig. 1 PCA plot (a) and Radar plot (b) of boiled Wenchang chicken and coconut water boiled Wenchang chicken leg meat detected by electronic nose

由水煮鸡胸肉和椰子汁煮制鸡胸肉电子鼻分析图可知, PC1 的贡献率为 66.2%, PC2 的贡献率为 18.7%, 贡献率之和为 84.9%, 水煮鸡胸肉在上方, 椰子汁煮制鸡胸肉在下方, 有比较明显的区分

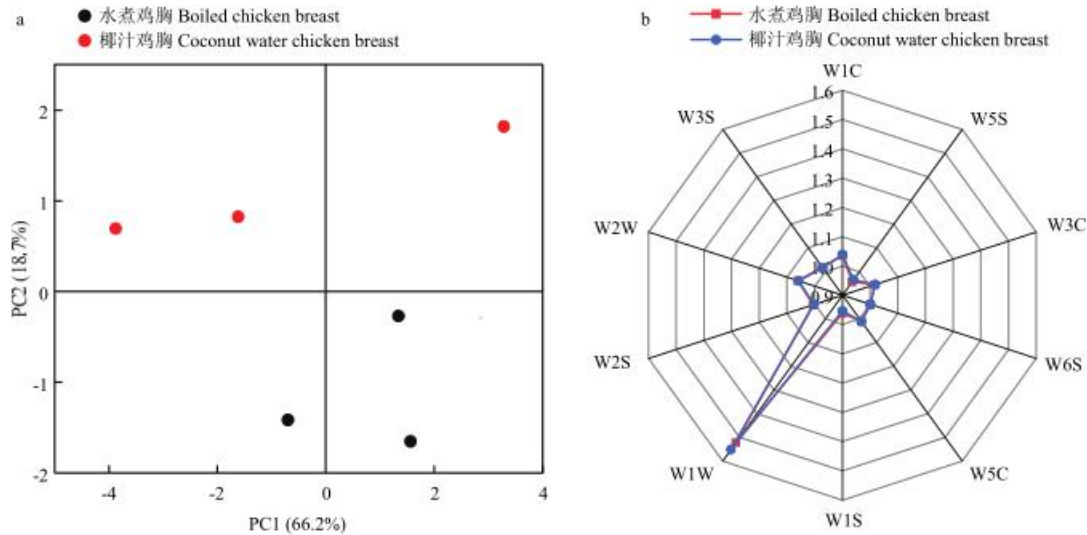


图 2 电子鼻检测水煮文昌鸡和椰子汁煮制文昌鸡鸡胸肉的主成分分析图 (a) 和雷达图 (b)

Fig. 2 PCA plot (a) and Radar plot (b) of electronic nose for detection of boiled Wenchang chicken and coconut water boiled Wenchang chicken breast meat

2.4 GC-MS 分析水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的挥发性物质

对水煮鸡腿肉、椰子汁煮制鸡腿肉、水煮鸡胸肉和椰子汁煮制鸡胸肉进行挥发性物质检测, 结果如表 3。水煮鸡肉和椰子汁煮制的鸡肉共检测出 39 种挥发性物质, 包括 7 种烃类化合物、15 种醛类化合物、8 种醇类化合物、9 种杂环化合物。其中, 水煮鸡腿肉检测出 27 种挥发性物质, 包括 4 种烃类化合物、9 种醛类化合物、6 种醇类化合物、8 种杂环化合物; 椰子汁煮制的鸡腿肉共检测出 24 种挥发性物质, 包括 4 种烃类化合物、11 种醛类化合物、6 种醇类化合物、3 种杂环化合物。水煮鸡胸肉检测出 27 种挥发性物质, 包括 5 种烃类化合物、10 种醛类化合物、5 种醇类化合物、7 种杂环化合物; 椰子汁煮制的鸡胸肉检测出 16 种挥发性物质, 包括 3 种烃类化合物、7 种醛类化合物、4 种醇类化合物、2 种杂环化合物。从不同处理组所检测到的挥发性成分可以看出, 经过椰子汁煮制的鸡腿肉醛类物质数量高于水煮鸡腿肉, 但是椰子汁煮制鸡胸肉中挥发性成分的数量低于水煮鸡胸肉。

(图 2-a)。但电子鼻响应值的雷达图显示, 水煮鸡胸肉和椰子汁煮制鸡胸肉没有明显区别, 但是两组样品在 W1W (对硫化氢敏感) 有很高的响应值 (图 2-b)。

醛的气味阈值比较低^[11], 因此醛类化合物在鸡肉中可以有效检出。由表 3 可知, 醛类化合物是鸡肉挥发性物质最主要的成分, 经过椰子汁煮制的鸡腿肉检测出来的醛类化合物数量高于水煮鸡腿肉, 但是椰子汁煮制鸡胸肉检测出的醛类化合物数量低于水煮鸡胸肉。这可能是因为鸡腿部位含有更高的脂肪, 在加热过程中可以分解成更多的小分子醛类物质。由 OAV 结果可知, 己醛、辛醛、壬醛 3 种化合物在不同处理组中均被检测到, 并且 OAV 值介于 200—700, (*E*)-2-壬烯醛、(*E, E*)-2,4-壬二烯醛两种化合物在不同处理组的 OAV 值介于 700—1 500。

醇类主要是脂质在酶的作用下通过降解亚油酸产生^[12]。由表 3 可知, 4 个样品中均检测到 1-辛烯-3-醇和辛醇, 1-辛烯-3-醇是一种具有蘑菇样气味的仲醇, 被认为是熟鸡肉脂肪特征风味的重要来源^[13]。从鸡腿肉中检测出的醇类化合物含量为 3 120.67 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 鸡胸肉中醇类化合物含量为 2 389.44 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 由此可知, 鸡腿肉可以更好地检测出阈值较低的不饱和醇类。结合表 4 可知, 1-辛烯-3-醇在不同处理组中的 OAV 值介于 400—1 000, 正己醇只在鸡腿肉中检出, 且 OAV 值在 9—16。

表 3 不同处理组文昌鸡的挥发性物质种类及含量

Table 3 Types and contents of volatile substances in Wenchang chickens of different treatment groups ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

化合物名称 Compound name	保留时间 Retention time	分子式 Molecular formula	CAS	水煮鸡腿 Boiled chicken legs	椰汁鸡腿 Coconut water chicken legs	水煮鸡胸 Boiled chicken breasts	椰汁鸡胸 Coconut water chicken breasts
烃类化合物 Hydrocarbon							
1 戊烷 Pentane	4.57	C ₅ H ₁₂	109-66-0	54.99±0.24d	60.45±0.50c	123.60±1.01b	126.64±3.12a
2 辛烷 Octane	6.09	C ₈ H ₁₈	111-65-9	-	17.59±0.05b	43.03±0.03a	-
3 柠檬烯 Dipentene	15.52	C ₁₀ H ₁₆	5989-27-5	44.78±0.11a	31.59±0.43c	30.09±0.02d	37.55±1.89b
4 3,3-二甲基戊烷 3,3-Dimethylpentane	18.59	C ₇ H ₁₆	562-49-2	23.04±0.30c	31.98±0.67a	30.27±0.31b	-
5 丙基环丙烷 Propyl cyclopropane	20.57	C ₆ H ₁₂	2415-72-7	-	-	-	59.32±0.74
6 1,3-戊二烯 1,3-Pentadiene	24.85	C ₅ H ₈	1574-41-0	-	-	39.84±0.21	-
7 3,4-辛二烯 3,4-Octadiene	32.31	C ₈ H ₁₄	34511-01-8	7.07±1.21	-	-	-
烃类总量 Total hydrocarbons				129.88	141.61	266.83	223.51
醛类化合物 Aldehydes							
8 戊醛 Valeraldehyde	9.44	C ₅ H ₁₀ O	110-62-3	577.38±2.05a	415.88±3.22b	328.07±1.78d	388.00±4.26c
9 己醛 Hexanal	12.18	C ₆ H ₁₂ O	66-25-1	4467.04±5.06a	3440.20±4.80b	2611.86±3.28d	3073.26±5.65c
10 庚醛 Heptaldehyde	15.48	C ₇ H ₁₄ O	111-71-7	194.35±1.22a	-	120.29±1.32b	104.63±1.97c
11 辛醛 Octanal	18.47	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	169.27±0.35a	116.85±3.72c	126.48±0.52b	98.85± 2.65d
12 2-庚醛 2-Heptanal	19.69	C ₇ H ₁₂ O	57266-86-1	-	19.53±0.76	-	-
13 壬醛 Nonanal	21.71	C ₉ H ₁₈ O	124-19-6	741.49±3.58a	535.94±5.95d	689.74±4.57b	546.28±4.27c
14 (E)-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	22.87	C ₈ H ₁₄ O	2548-87-0	-	52.54±0.76	-	-
15 癸醛 Decyl aldehyde	23.57	C ₁₀ H ₂₀ O	112-31-2	60.76±2.03b	-	77.94±3.02a	-
16 苯甲醛 Benzaldehyde	25.68	C ₇ H ₆ O	100-52-7	238.53±1.22c	237.04±3.71d	306.81±2.07b	333.84±3.65a
17 (E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	25.95	C ₉ H ₁₆ O	18829-56-6	-	64.95±.30	-	-
18 (E,E)-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-Nonadienal	30.27	C ₉ H ₁₄ O	5910-87-2	143.29±2.04a	71.27±1.03c	85.82±1.79b	-
19 4-乙基苯甲醛 4-Ethylbenzaldehyde	30.49	C ₉ H ₁₀ O	4748-78-1	-	-	27.01±5.23b	58.99±0.08a
20 2,5-二甲基苯甲 2,5-Dimethyl benzaldehyde	30.51	C ₉ H ₁₀ O	5779-94-2	ND	56.62±0.98	-	-
21 2-十一烯醛 2-Undecenal	31.44	C ₁₁ H ₂₀ O	2463-77-6	ND	49.77±0.86	-	-
22 4-N-戊基苯甲醛 4-N-Pentylbenzaldehyde	36.86	C ₁₂ H ₁₆ O	6853-57-2	57.05±0.53b	-	78.38±3.01a	-
醛类总量 Total aldehyde				6649.16	5060.59	4452.40	4603.85
醇类化合物 Alcohols							
23 甲硫醇 Methyl mercaptan	5.12	CH ₄ S	74-93-1	-	-	113.44±3.65a	29.86±0.80b
24 乙醇 Ethanol	8.44	C ₂ H ₆ O	64-17-5	-	77.14±0.75b	99.98± 2.20a	-
25 1-戊醇 1-Pentanol	17.46	C ₅ H ₁₂ O	71-41-0	253.11±1.34a	131.96±2.28c	-	153.04±0.83b
26 正己醇 1-Hexanol	20.58	C ₆ H ₁₄ O	111-27-3	87.51±0.86a	51.22±1.00b	-	-
27 1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	23.39	C ₈ H ₁₆ O	3391-86-4	1417.71±2.18a	760.61±1.45c	774.99±4.27b	611.37±3.02d
28 正庚醇 1-Heptanol	23.60	C ₇ H ₁₆ O	111-70-6	46.87±3.07a	31.48±1.02b	-	-

续表 3 Continued table 3

化合物名称 Compound name	保留时间 Retention time	分子式 Molecular formula	CAS	水煮鸡腿 Boiled chicken legs	椰汁鸡腿 Coconut water chicken legs	水煮鸡胸 Boiled chicken breasts	椰汁鸡胸 Coconut water chicken breasts
29 辛醇 1-Octanol	26.52	C ₈ H ₁₈ O	111-87-5	78.04±0.42b	57.80±0.82c	27.01±1.07d	385.22±5.26a
30 (E)-2-十二碳烯醇 (E)-2-Dodecenol	28.06	C ₁₂ H ₂₄ O	69064-36-4	127.22±3.02b	-	194.53±1.34a	-
醇类总量 Total alcohols				2010.46	1110.21	1209.95	1179.49
杂环化合物 Heterocyclics							
31 2-乙基呋喃 2-Ethylfuran	8.802	C ₆ H ₈ O	3208-16-0	4.66±2.01b	-	14.27±0.03a	-
32 2-正丁基呋喃 2-Butylfuran	13.43	C ₈ H ₁₂ O	4466-24-4	-	8.01±0.15	-	-
33 2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	16.58	C ₉ H ₁₄ O	3777-69-3	480.34±1.74a	-	424.10±3.34b	-
34 2,4,6-三甲基吡啶 2,4,6-Collidine	21.33	C ₈ H ₁₁ N	108-75-8	16.19±4.21b	-	55.19±2.19a	-
35 二甲基三硫 Dimethyl trisulfide	21.54	C ₂ H ₆ S ₃	3658-80-8	37.15±0.07a	21.26±0.20c	-	36.73±1.82b
36 3-氨基-5-甲基吡 3-Amino-5-methylpyrazole	26.38	C ₄ H ₇ N ₃	31230-17-8	4.50±0.06c	-	66.55±2.05b	248.67±3.21a
37 N-甲基-3-氨基吡啶 1-Methyl-1H-pyrazol-3-amine	29.32	C ₄ H ₇ N ₃	1904-31-0	9.54±0.03b	-	25.02±0.57a	-
38 2-乙基-3,4,5 三甲基吡咯 2-Ethyl-3,4,5-trimethyl-1H-pyrrole	31.58	C ₉ H ₁₅ N	69687-79-2	12.59±0.76a	-	7.66±0.53b	-
39 4-吡啶甲酰胺 Isonicotinamide	47.20	C ₆ H ₆ N ₂ O	1453-82-3	2.09±0.17b	33.92±0.15a	1.51±0.06c	-
杂环总量 Total heterocyclics				567.06	63.19	594.30	285.40

表 4 不同处理组文昌鸡中挥发性物质的 OAV 值

Table 4 OAV values of volatile compounds in Wenchang chickens from different treatment groups

化合物名称 Compound name	阈值 Threshold ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	OAV			
		椰汁鸡腿 Coconut water chicken legs	水煮鸡腿 Boiled chicken legs	椰汁鸡胸 Coconut water chicken breasts	水煮鸡胸 Boiled chicken breasts
戊醛 Valeraldehyde	12	34.66	48.12	32.33	27.34
己醛 Hexanal	5	688.04	893.41	614.65	522.37
庚醛 Heptaldehyde	2.8	-	69.41	37.37	42.96
辛醛 Octanal	0.587	199.06	288.36	168.40	215.47
壬醛 Nonanal	1.1	487.22	674.08	496.62	627.04
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-Nonenal	0.34	154.53	-	-	-
癸醛 Decyl aldehyde	3	-	20.25	-	25.98
苯甲醛 Benzaldehyde	750.89	0.32	0.32	0.44	0.41
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	0.08	811.88	-	-	-
(E,E)-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-Nonadienal	0.1	712.70	1432.90	-	858.20
(E)-2-十一烯醛 (E)-2-Undecenal	0.78	63.81	-	-	-
正己醇 1-Hexanol	5.6	9.15	15.63	-	-
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	1.5	507.07	945.14	407.58	516.66
2-丁基呋喃 2-Butylfuran	5	1.00	-	-	-
2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	5.8	-	82.82	-	73.12

杂环化合物主要由美拉德反应产生，通常表现出甜味和烤面包味^[14]。椰子汁煮制的鸡肉中检测出 2-正丁基呋喃、二甲基三硫、3-氨基-5-甲基吡唑、4-吡啶甲酰胺，其中 2-正丁基呋喃、二甲基三硫是鸡腿肉中的特征风味物质；水煮文昌鸡中检测出 2-乙基呋喃、2-戊基呋喃、2,4,6-三甲基吡啶，其中 2-戊基呋喃是具有较低阈值的植物芳香气味^[13]，OAV 值在 70—80，对肉类风味有重要影响。

烃类化合物主要由脂肪酸烷氧自由基的均裂产生，4 组样品均检测到柠檬烯，椰子汁煮制鸡腿肉与水煮鸡腿肉相比，增加了辛烷；椰子汁煮制鸡胸肉与水煮鸡胸肉相比，增加了丙基环丙烷。由于烃类化合物香味阈值较高，对肉的直接风味影响较小，但是有助于改善肉制品的整体风味^[15]。

综上，椰子汁煮制的文昌鸡鸡腿肉挥发性物质可以较好地和水煮鸡腿肉区分开，说明椰子汁可以赋予文昌鸡特殊的风味。

2.5 电子舌分析水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的滋味物质

由图 3-a 可知，PC1 的贡献率为 57.6%，PC2 的

贡献率为 26.9%，PC1 的贡献率大于 PC2，说明不同处理组的风味主要由 PC1 决定。水煮鸡胸肉位于左上方，水煮鸡腿肉位于右上方，椰子汁煮制鸡胸肉位于中间，椰子汁煮制鸡腿肉位于下方，4 个样品各自区分开，平行样本均聚集在一起，组间具有较好的重复性，数据可信度较高，可为后续的分析提供参考。由图 3-b 可知，酸味 (sourness) 和咸味 (saltiness) 这两个传感器响应值均小于 0，说明这两种滋味对不同处理的文昌鸡影响较小，其中 4 个处理组在酸味 (sourness) 传感器上的响应强度存在显著差异。苦味 (bitterness)、鲜味 (umami) 和丰富度 (richness) 这 3 种传感器的数值最高均大于 0，说明这 3 种滋味是水煮鸡腿肉、水煮鸡胸肉、椰子汁煮制鸡腿肉和椰子汁煮制鸡胸肉中最主要的滋味，其中椰子汁煮制鸡腿肉的苦味比其他组更低，椰子汁煮制鸡胸肉和鸡腿肉的丰富度较其他两组高，可能是因为椰子汁中含有多种维生素、矿物质、氨基酸和其他重要营养素^[16]，而且椰汁中含有人体正常功能所需的一些必需脂肪酸，与文昌鸡结合煮制会使其丰富度提高、苦味降低、营养价值提升。

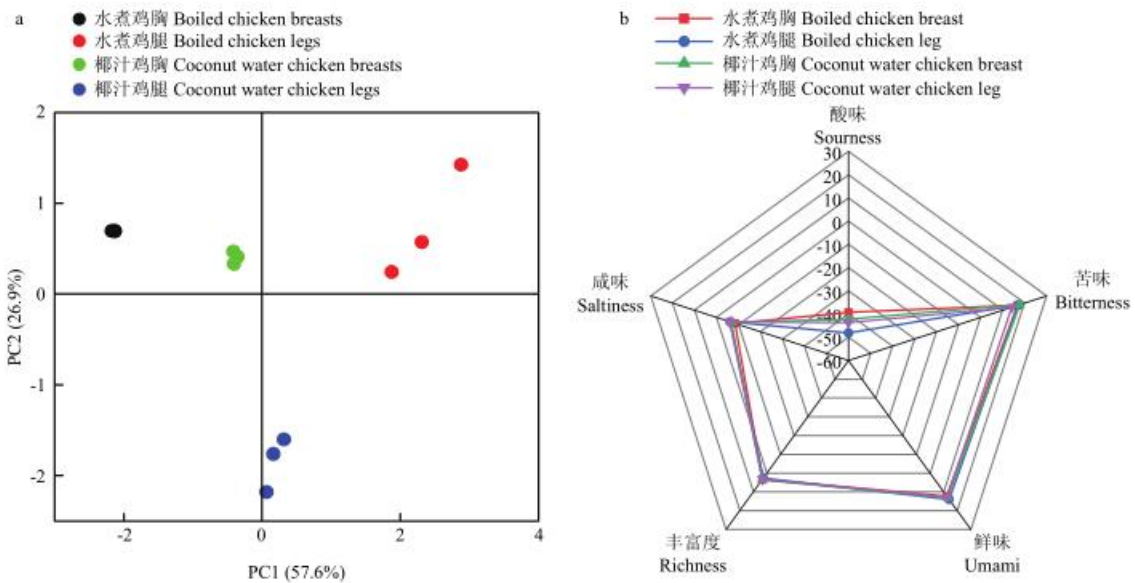


图 3 电子舌检测水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的主成分分析图 (a) 和雷达图 (b)

Fig. 3 PCA analysis plot (a) and Radar plot (b) of boiled chicken and coconut water boiled chicken detected by electronic tongue

2.6 水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的游离氨基酸检测结果

甘氨酸、苏氨酸、丙氨酸和脯氨酸为甜味氨基酸，

天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、赖氨酸为鲜味氨基酸，甘氨酸、丙氨酸为呈甘味的特征氨基酸，脯氨酸也与甘味有关^[17]，组氨酸、缬氨酸、精氨酸、酪

氨酸为苦味氨基酸^[18]。由表 5 可知, 水煮鸡腿肉、鸡胸肉以及肉汤中的鲜味氨基酸含量均比椰子汁煮制文昌鸡的各部位高, 比例分别由 0.95%、0.80%、0.23% 增加为 1.71%、2.27%、61.48%, 造成这种变化的主要原因是水煮文昌鸡中天冬氨酸和丙氨酸含量较高。因此,

鸡肉和鸡汤的滋味不是取决于一种氨基酸, 鲜味、甜味和苦味氨基酸之间的平衡和相互影响是决定鸡肉和肉汤味道的一个重要因素^[19]。椰子汁与文昌鸡煮制后, 增加了鸡肉中游离氨基酸的含量, 有助于提升椰子汁煮制鸡肉的风味与滋味。

表 5 水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉不同部位以及鸡汤中游离氨基酸面积百分比

Table 5 Area percentage of free amino acids in different parts of boiled chicken and coconut water boiled chicken and chicken soup

氨基酸名称 Amino acid name	水煮 Boiled			椰子汁煮 Boiled in coconut		
	鸡腿 Chicken legs	鸡胸 Chicken breasts	肉汤 Broth	鸡腿 Chicken legs	鸡胸 Chicken breasts	肉汤 Broth
天冬氨酸 Aspartic acid	-	-	61.41±15.66	-	-	-
甘氨酸 Glycine	0.56±0.12a	-	-	-	0.28±0.02b	-
组氨酸 Histidine	0.40±0.18b	1.95±0.10a	-	0.43±0.09b	0.27±0.03c	0.16±0.003d
精氨酸 Arginine	5.74±0.29b	20.7±0.05a	0.66±0.02d	5.69±0.3b	5.70±0.55b	1.08±0.05c
苏氨酸 Threonine	9.86±0.99d	67.1±0.84a	1.47±0.04f	13.4±0.97c	18.09±2.94b	1.88±0.09e
丙氨酸 Alanine	0.81±0.16b	1.90±0.07a	0.07±0.004f	0.67±0.11c	0.43±0.18d	0.18±0.006e
脯氨酸 Proline	0.22±0.08b	0.37±0.03a	-	0.18±0.04c	0.09±0.004d	0.05±0.003e
胱氨酸 Cystine	0.20±0.05a	0.48±0.18a	-	0.21±0.04c	0.41±0.10b	-
酪氨酸 Tyrosine	0.18±0.01	-	-	-	-	-
缬氨酸 Valine	0.77±0.09b	0.90±0.10a	0.06±0.008d	-	-	0.09±0.004c
蛋氨酸 Methionine	0.09±0.006	-	-	-	-	-
赖氨酸 Lysine	0.12±0.0001a	-	-	0.10±0.004b	-	-
总氨基酸 TAA	18.95	93.4	63.67	20.68	25.27	3.44
甜味氨基酸 Sweet AAs	11.45	69.37	1.54	14.25	18.89	2.11
鲜味氨基酸 Umami AAs	1.71	2.27	61.48	0.95	0.8	0.23

2.7 水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的核苷酸含量

鲜味核苷酸主要为 5'-AMP、5'-IMP 和 5'-GMP^[20]。由表 6 可知, 椰子汁煮制鸡腿肉中鲜味核苷酸的含

量为 188.46 mg/100 g, 水煮鸡腿肉为 120.01 mg/100 g, 椰子汁煮制鸡胸肉中的鲜味核苷酸含量为 196.98 mg/100 g, 水煮鸡胸肉为 109.74 mg/100 g, 经过椰子

表 6 水煮文昌鸡和椰子汁煮制文昌鸡鸡腿和鸡胸的核苷酸含量

Table 6 Nucleotide content of chicken leg and breast of boiled Wenchang chicken and coconut water boiled Wenchang chicken (mg/100 g)

核苷酸名称 Nucleotide name	椰子鸡腿	水煮鸡腿	椰子鸡胸	水煮鸡胸
	Coconut water chicken legs	Boiled chicken legs	Coconut water chicken breasts	Boiled chicken breasts
5'-CMP	8.31±0.59b	3.18±0.23c	9.31±0.18a	2.31±0.11d
5'-UMP	5.39±0.55b	2.19±0.33d	5.54±0.49a	3.64±0.18c
5'-GMP	4.62±0.59a	1.19±0.71d	3.62±0.48b	2.51±0.28c
5'-IMP	175.69±9.28b	113.94±9.33c	189.02±8.08a	101.54±8.25d
5'-AMP	8.15±0.31a	4.88±0.20d	7.96±0.25b	5.69±0.19c

煮制后的文昌鸡中鲜味核苷酸含量显著上升，主要是 5'-AMP 含量升高，说明椰子汁与文昌鸡进行加工处理有成分互作的效果，椰子汁煮制有效地丰富了鸡肉的滋味。

3 讨论

3.1 椰子汁煮制文昌鸡气味物质的变化

电子鼻结果显示，水煮鸡腿肉和椰汁煮鸡腿肉各类挥发性物质可以很好区分，说明椰子汁煮制对鸡腿肉热加工过程中挥发性风味产生显著影响；但是水煮鸡胸肉和椰汁煮制鸡胸肉的挥发性物质不能很好区分，说明椰子汁煮制对鸡胸肉热加工过程中挥发性风味没有产生显著影响。GC-MS 分析结果可以发现，鸡腿肉中的挥发性物质检测出 35 种，鸡胸肉检测出 31 种，鸡腿肉中挥发性物质含量占总挥发性物质含量的 55.11%，鸡胸肉占 44.89%，鸡腿肉中挥发性物质种类高于鸡胸肉，与电子鼻结果一致。王昱苏等^[21]在研究不同温度下常压煮制鸡胸肉和鸡腿肉的挥发性物质时，通过主成分分析发现，鸡腿肉的挥发性物质可以很好分开，而鸡胸肉样本比较聚集，与本研究结果一致。这可能是因为鸡腿肉中的脂肪含量高于鸡胸肉（表 1），而醛类物质是脂肪降解的主要产物，所以赋予了鸡腿肉更丰富的气味。电子鼻技术作为一种宏观检测技术，与 GC-MS 技术结合，可以对挥发性物质进行更好的分析。

GC-MS 分析结果表明，水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉检测出的醛类化合物含量占总挥发性物质的 72.74%，杂环化合物占 5.29%，醇类化合物占 19.30%，烃类化合物占 2.67%，由此可知，醛类化合物是鸡肉风味的主体成分，与电子鼻的检测结果一致。QI 等^[22]在研究短期冷冻鸡肉对其风味影响时共检测出 58 种化合物，其中醛类化合物占比较大，表明醛类物质是鸡肉中最重要的风味物质。这主要是脂肪酸通过自动氧化降解和热氧化裂解反应，产生了一些阈值较低的醛类化合物，这类物质为美拉德反应提供了反应基团，从而形成新的挥发性物质^[23]。椰子汁煮制鸡胸肉中检测出的醛类化合物占鸡胸肉总挥发性物质的 35.92%，醇类化合物占 9.2%，烃类化合物占 1.74%，杂环化合物占 2.23%；水煮鸡胸肉中检测出的醛类化合物占鸡胸肉总挥发性物质的 34.74%，醇类化合物占 9.44%，烃类化

合物占 2.08%，杂环化合物占 2.3%。对比可知，椰子汁煮制鸡胸肉中醛类化合物的种类低于水煮鸡胸肉，可能是因为椰子汁与鸡胸肉之间互作不明显，无法使鸡胸肉产生多种醛类化合物，但是含量高于水煮鸡胸肉，表现为椰子汁煮制鸡胸肉中的戊醛、己醛含量高，同时椰子汁煮制鸡胸肉中己醛 OAV>600，戊醛 OAV>30，说明戊醛和己醛为椰子汁煮制鸡胸肉中的风味做出了很大贡献。JIN 等^[24]研究发现，醛类是鸡肉中主要的挥发性风味化合物，其中己醛是亚油酸氧化的基本产物，被认为是鸡肉风味物质中鉴定的最丰富的醛。椰子汁煮制鸡腿肉中检测出的醛类化合物占鸡腿肉总挥发性物质的 32.21%，醇类化合物占 7.06%，烃类化合物占 0.9%，杂环化合物占 0.4%；水煮鸡腿肉检测出的醛类化合物占鸡腿肉总挥发性物质的 42.26%，醇类化合物占 12.78%，烃类化合物占 0.83%，杂环化合物占 3.6%。对比可知，水煮鸡腿肉中醛类物质含量较高，表现在戊醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛含量高，同时水煮鸡腿肉和椰汁煮制鸡腿肉中己醛 OAV>680，壬醛 OAV>480，(E,E)-2,4-壬二烯醛 OAV>700，说明己醛、壬醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛为水煮鸡腿肉和椰汁煮制鸡腿肉的风味做出了很大贡献，其中壬醛具有青草味和油脂香味^[25]，也是椰子油的特征香气物质，赋予其花香气味^[26]。

3.2 椰子汁煮制文昌鸡滋味物质的变化

肉制品中 5'-IMP 和 5'-AMP 由三磷酸腺苷酶解生成^[27]，5'-GMP 在畜肉中含量极低，但鲜味却是 5'-IMP 的 3—4 倍^[28]，此外，IMP 还可与 GMP 协同作用增强鲜味^[29]，椰子汁煮制鸡腿肉和鸡胸肉中 IMP 含量较高，可与 GMP 协同作用促进汤汁的鲜美。电子舌检测结果发现，椰子汁煮制鸡胸肉和鸡腿肉的丰富度响应值高于水煮鸡肉，椰子汁煮制鸡胸肉的鲜味高于水煮鸡胸肉，与核苷酸检测结果一致。游离氨基酸分为甜、鲜、苦 3 类，是肉类重要的滋味呈味和香味前体物质^[30-31]。椰子汁煮制后鸡腿肉的甜味氨基酸面积百分比由 11.45%增长至 14.25%，椰子汁煮制后鸡汤中甜味氨基酸面积百分比由 1.54%增至 2.11%，造成这种变化的主要原因是经过椰子汁煮制后的文昌鸡腿肉和鸡汤中苏氨酸含量上升。杨慧敏等^[32]证实，椰子汁中含有多种氨基酸和维生素，其中苏氨酸、丙氨酸、酪氨酸和丝氨酸是椰子汁中主要的氨基

酸,因此,经过椰子汁煮制后的鸡腿肉和鸡汤中氨基酸含量升高主要是因为椰子汁与文昌鸡腿肉进行了互作,改善了鸡汤的滋味,但具体如何进行互作以及互作机理还有待进一步研究。

4 结 论

文昌鸡鸡胸肉蛋白含量较高,鸡腿肉脂肪含量较高;椰子汁煮制后的鸡肉蒸煮损失较高。利用电子鼻结合 GC-MS 分析,在水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉中共检测出 39 种挥发性物质,包括 7 种烃类化合物、15 种醛类化合物、8 种醇类化合物、9 种杂环化合物,经椰子汁煮制后的鸡腿肉醛类物质种类增加,如 2-庚醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-壬烯醛、2,5-二甲基苯甲醛、2-十一烯醛,电子鼻基本上可以区分水煮鸡肉和椰子汁煮制鸡肉的挥发性物质。椰子汁煮制文昌鸡中甜味氨基酸和鲜味核苷酸含量上升,滋味得到显著提升,呈现了较好的食用品质。

参 考 文 献 References

- [1] 李龙,蒋守群,郑春田,苟钟勇,陈芳,范秋丽,罗茜.不同品种黄羽肉鸡肉品质比较研究.中国家禽,2015,37(21):6-11.
LI L,JIANG S Q,ZHENG C T,GOU Z Y,CHEN F,FAN Q L,LUO Q. Comparisons of meat quality characteristics of different yellow-feathered broilers. China Poultry, 2015, 37(21): 6-11. (in Chinese)
- [2] 巨晓军,束婧婷,章明,刘一帆,屠云洁,姬改革,单艳菊,邹剑敏.不同品种、饲养周期肉鸡肉品质和风味的比较分析.动物营养学报,2018,30(6):2421-2430.
JU X J,SHU J T,ZHANG M,LIU Y F,TU Y J,JI G G,SHAN Y J,ZOU J M. Comparison analysis of meat quality and flavor of different breeds and feeding periods of broilers. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(6): 2421-2430. (in Chinese)
- [3] DENG S L, LIU R, LI C B, XU X L, ZHOU G H. Meat quality and flavor compounds of soft-boiled chickens: effect of Chinese yellow-feathered chicken breed and slaughter age. Poultry Science, 2022, 101(12): 102168.
- [4] 李远韬. 陈皮鸡制作及品质变化的研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2020.
LI Y T. Study on production and quality change of tangerine-flavored chicken[D]. Guangzhou: Zhongkai College of Agricultural Engineering, 2020. (in Chinese)
- [5] PREETHA P P, DEVI V G, RAJAMOCHAN T. Hypoglycemic and antioxidant potential of coconut water in experimental diabetes. Food & Function, 2012, 3(7): 753-757.
- [6] PREETHA P P, DEVI V G, RAJAMOCHAN T. Antihyperlipidemic effects of mature coconut water and its role in regulating lipid metabolism in alloxan-induced experimental diabetes. Comparative Clinical Pathology, 2014, 23(5): 1331-1337.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. Determination of protein in food of National Standard for Food Safety: GB 5009.5-2016. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中维生素 B1 的测定: GB 5009.48—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. Determination of vitamin B1 in National Standard of Food Safety: GB 5009.48-2016. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB/T5009.6—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. State Food and Drug Administration. National Standard for Food Safety- Determination of fat in food: GB/T5009.6-2016. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [10] 宋玉. 不同品种鸡肉成熟过程中品质特性比较研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
SONG Y. Comparative study on quality characteristics of different chicken varieties during ripening [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [11] FENG Y Z, CAI Y, FU X, ZHENG L, XIAO Z B, ZHAO M M. 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. Food Chemistry, 2018, 265: 274-280.
- [12] 张亮子, 荣建华, 胡坚, 赵思明. 前处理对鸡汤体系营养特性的影响. 食品科学, 2009, 30(23): 83-87.
ZHANG L Z, RONG J H, HU J, ZHAO S M. Effect of pre-treatment on nutritional characteristics of chicken soup. Food Science, 2009,

- 30(23): 83-87. (in Chinese)
- [13] QI J, LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. Characteristic flavor of traditional soup made by stewing Chinese yellow-feather chickens. *Journal of Food Science*, 2017, 82(9): 2031-2040.
- [14] GE S, CHEN Y Y, DING S H, ZHOU H, JIANG L W, YI Y J, DENG F M, WANG R R. Changes in volatile flavor compounds of peppers during hot air drying process based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(7): 3087-3098.
- [15] ROTZOLL N, DUNKEL A, HOFMANN T. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2705-2711.
- [16] EFFIONG B, UDOLFIA U. Production and evaluation of sport drink from coconut juice and watermelon juice. *Food Science and Quality Management*, 2018, 76: 12-17.
- [17] 杨春雪, 孔凡华, 欧阳俊, 喻志林, 杨春波, 崔晨曦, 白沙沙, 崔亚娟. 鳄鱼肉与其他肉类营养成分的比较分析. *肉类研究*, 2022, 36(3): 7-13.
- YANG C X, KONG F H, OUYANG J, YU Z L, YANG C B, CUI C X, BAI S S, CUI Y J. Comparative analysis of nutrient composition in crocodile meat and other meats. *Meat Research*, 2022, 36(3): 7-13. (in Chinese)
- [18] 侯成立, 李欣, 王振宇, 黄彩燕, 张强, 罗章, 张德权. 不同部位牦牛肉氨基酸、脂肪酸含量分析与营养价值评价. *肉类研究*, 2019, 33(2): 52-57.
- HOU C L, LI X, WANG Z Y, HUANG C Y, ZHANG Q, LUO Z, ZHANG D Q. Amino acid and fatty acid composition and nutritional value evaluation of different yak meat cuts. *Meat Research*, 2019, 33(2): 52-57. (in Chinese)
- [19] 柳艳霞, 于家欢, 赵改名, 朱瑶迪, 刘世杰, 武苏苏, 常亚楠. 基于多元统计分析的卤煮鸡肉与鸡汤滋味差异研究. *河南农业大学学报*, 2022, 56(2): 301-311.
- LIU Y X, YU J H, ZHAO G M, ZHU Y D, LIU S J, WU S S, CHANG Y N. Study on taste characteristics differences between braised chicken and its broth based on multivariate statistical analysis. *Journal of Henan Agricultural University*, 2022, 56(2): 301-311. (in Chinese)
- [20] 王晓方, 常文环, 刘国华, 张姝, 郑爱娟, 蔡辉益. 畜禽肌肉肌苷酸研究进展. *中国畜牧兽医*, 2012, 39(5): 221-225.
- WANG X F, CHANG W H, LIU G H, ZHANG S, ZHENG A J, CAI H Y. Recent advances on inosinic acid of animal muscle. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2012, 39(5): 221-225. (in Chinese)
- [21] 王昱苏, 孟兰奇, 郭焯, 查恩辉. 热加工方式对鸡肉风味的影响. *保鲜与加工*, 2022, 22(12): 44-52.
- WANG Y S, MENG L Q, GUO Y, ZHA E H. Effect of thermal processing method on chicken flavor. *Storage and Process*, 2022, 22(12): 44-52. (in Chinese)
- [22] QI J, XU Y, ZHANG W W, XIE X F, XIONG G Y, XU X L. Short-term frozen storage of raw chicken meat improves its flavor traits upon stewing. *LWT*, 2021, 142: 111029.
- [23] 赵文华, 王桂瑛, 王雪峰, 程志斌, 谷大海, 徐志强, 范江平, 普岳红, 葛长荣, 廖国周. 鸡肉中挥发性风味物质及其影响因素的研究进展. *食品工业科技*, 2019, 40(21): 337-343, 351.
- ZHAO W H, WANG G Y, WANG X F, CHENG Z B, GU D H, XU Z Q, FAN J P, PU Y H, GE C R, LIAO G Z. Research progress on volatile flavor substances and their influencing factors of chicken. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(21): 337-343, 351. (in Chinese)
- [24] JIN Y X, CUI H X, YUAN X Y, LIU L, LIU X J, WANG Y L, DING J Q, XIANG H, ZHANG X X, LIU J F, LI H, ZHAO G P, WEN J. Identification of the main aroma compounds in Chinese local chicken high-quality meat. *Food Chemistry*, 2021, 359: 129930.
- [25] 孙圳, 韩东, 张春晖, 李海, 李侠, 刘志斌, 徐世明. 定量卤制鸡肉挥发性风味物质剖面分析. *中国农业科学*, 2016, 49(15): 3030-3045. doi: 10.3864.issn.0578-1752.2016.15.01.
- SUN Z, HAN D, ZHANG C H, LI H, LI X, LIU Z B, XU S M. Profile analysis of the volatile flavor compounds of quantitative marinated chicken during processing. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(15): 3030-3045. doi: 10.3864.issn.0578-1752.2016.15.01. (in Chinese)
- [26] 石芬, 徐军, 姜宗伯, 白新鹏, 黄欢, 陈星. HS-SPME-GC-MS 结合多元统计分析初榨椰子油常温储藏过程中挥发性风味成分. *食品工业科技*, 2022, 43(10): 314-322.
- SHI F, XU J, JIANG Z B, BAI X P, HUANG H, CHEN X. Analysis of volatile flavor components of virgin coconut oil during normal temperature storage based on HS-SPME-GC-MS and multivariate statistical analysis. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 314-322. (in Chinese)

- [27] 唐修君, 樊艳凤, 葛庆联, 贾晓旭, 高玉时, 唐梦君, 陈大伟, 张静, 王珏, 杨星星. 不同贮藏条件下鸡肉肌苷酸含量的变化规律. 食品工业科技, 2019, 40(2): 266-270.
TANG X J, FAN Y F, GE Q L, JIA X X, GAO Y S, TANG M J, CHEN D W, ZHANG J, WANG J, YANG X X. Change law of inosine acid in chicken muscle under different storage conditions. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2): 266-270. (in Chinese)
- [28] 杜琨, 张亚宁, 方多. 呈味核苷酸及其在食品中的应用. 中国酿造, 2005, 24(10): 50-52.
DU K, ZHANG Y N, FANG D. Flavor nucleotides and their application in food. China Brewing, 2005, 24(10): 50-52. (in Chinese)
- [29] KAWAI M, OKIYAMA A, UEDA Y. Taste enhancements between various amino acids and IMP. Chemical Senses, 2002, 27(8): 739-745.
- [30] 魏跃胜, 李茂顺, 王辉亚, 王权. 烹饪中“火候”运用与物质化学变化关系探讨. 武汉商业服务学院学报, 2012, 26(1): 93-96.
WEI Y S, LI M S, WANG H Y, WANG Q. Analysis of relation between heating control and chemical change when cooking. Journal of Wuhan Commercial Service College, 2012, 26(1): 93-96. (in Chinese)
- [31] 张璟琳, 黄明泉, 孙宝国. 四大名醋的游离氨基酸组成成分分析. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3124-3131.
ZHANG J L, HUANG M Q, SUN B G. Study on free amino acid composition of 4 famous vinegars in China. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(10): 3124-3131. (in Chinese)
- [32] 杨慧敏, 周文化, 李维敏, 赵登登. 椰子水及其饮料中氨基酸组分分析. 食品与机械, 2013, 29(6): 63-66.
YANG H M, ZHOU W H, LI W M, ZHAO D D. Analysis of amino acid in the coconut water and beverage. Food & Machinery, 2013, 29(6): 63-66. (in Chinese)

(责任编辑 赵伶俐)