木瓜汁腌制对文昌鸡风味形成的影响

张紫涵[1,2]，吴予灿[1,2]，宋　玉[2]，赵桂苹[1]，魏立民[1]，张春晖[2]，黄　峰[1,2,*]
（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）

摘　要：为探究木瓜汁腌制对文昌鸡炖煮过程风味形成的影响，检测文昌鸡鸡胸、鸡腿原料肉的理化指标，并比较分析木瓜汁腌制前后，鸡胸和鸡腿炖煮后挥发性风味物质和滋味物质变化。结果表明：鸡胸原料肉中蛋白含量、还原糖含量显著高于鸡腿原料肉（$P<0.05$），脂肪含量显著低于鸡腿肉（$P<0.05$），二者硫胺素含量差异不显著（$P>0.05$）；经过木瓜汁腌制的鸡腿中醛类、醇类物质种类及含量明显提高，新产生了(*E*)-2-庚烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*Z*)-2-癸烯醛、2-丁基-2-辛烯醛、4-乙基苯甲醛、2,5-二甲基苯甲醛、(*E*)-2-十一烯醛、(*E*,*Z*)-2,4-癸二烯醛9 种醛类物质，而木瓜腌制鸡胸肉中挥发性物质种类无明显变化，主要体现含量的变化，电子鼻可区分木瓜汁腌制前后鸡腿肉的差异，但无法区分腌制前后鸡胸肉差异；木瓜腌制后可显著提升鸡胸和鸡腿肉中的游离氨基酸、风味核苷酸的含量。木瓜汁腌制可提高文昌鸡鸡胸和鸡腿肉中核苷酸与游离氨基酸含量，可提升鸡腿肉中挥发性风味物质含量，同时赋予了鸡腿肉醛类、醇类等新的风味物质。

关键词：鸡肉；木瓜汁；腌制；挥发性风味；滋味

Effect of Marination in Papaya Juice on the Flavor Formation of Boiled Wenchang Chicken

ZHANG Zihan[1,2], WU Yucan[1,2], SONG Yu[2], ZHAO Guiping[1], WEI Limin[1], ZHANG Chunhui[2], HUANG Feng[1,2,*]
(1. Sanya Institute of Hainan Academy of Agricultural Sciences (Hainan Experimental Animal Research Center), Sanya　572025, China;
2. Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing　100193, China)

Abstract: In order to explore the influence of papaya juice marination on the flavor formation of boiled Wenchang chicken, the physicochemical indexes of e raw chicken breast and drumstick meat were detected, and the changes in the volatile flavor and taste substances of boiled chicken breast and drumstick meat with and without papaya juice marination were analyzed. Results showed that the contents of proteins and reducing sugar were significantly higher and fat content was significantly lower in raw chicken breast meat than in drumstick meat ($P < 0.05$), while there was no significant difference in thiamine content between them ($P > 0.05$). The types and contents of aldehydes and alcohols in marinated chicken drumsticks were significantly increased, and nine new aldehydes were produced, including (*E*)-2-heptanal, (*E*)-2-octenal, (*E*)-2-nonaldehyde, (*Z*)-2-decanal, 2-butyl-2-octenal, 4-ethylbenzaldehyde, 2,5-dimethylbenzaldehyde, (*E*)-2-undecenal, and (*E*,*Z*)-2,4-decandienal. However, there was no significant change in volatile compounds in chicken breast before and after papaya juice marination. The electronic nose could distinguish the difference of chicken drumsticks but not of chicken breast before and after papaya juice marination. The contents of free amino acids and flavor nucleotides in chicken breast and drumstick meat were significantly increased after papaya juice pickling. In conclusion, papaya juice can increase the contents of nucleotides and free amino acids in breast and drumstick meat of Wenchang chicken, increase the contents of volatile flavor substances in chicken drumstick, and impart new flavor substances such as aldehydes and alcohols to drumstick meat.

Keywords: chicken; papaya juice; pickling; volatile flavor; taste
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221209-093
中图分类号：TS251.55　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2023）20-0236-09

收稿日期：2022-12-09
基金项目：农业农村部文昌鸡优势特色产业集群项目（WCSCIP 20211106）
第一作者简介：张紫涵（1999—）（ORCID: 0000-0002-1032-7969），女，硕士研究生，研究方向为食品加工与安全。
E-mail: zzh_1816@163.com
*通信作者简介：黄峰（1982—）（ORCID: 0000-0003-0788-4155），男，研究员，博士，研究方向为肉品加工与质量控制。
E-mail: fhuang226@163.com

引文格式：
张紫涵, 吴予灿, 宋玉, 等. 木瓜汁腌制对文昌鸡风味形成的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(20): 236-244. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221209-093. http://www.spkx.net.cn
ZHANG Zihan, WU Yucan, SONG Yu, et al. Effect of marination in papaya juice on the flavor formation of boiled Wenchang chicken[J]. Food Science, 2023, 44(20): 236-244. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221209-093. http://www.spkx.net.cn

鸡肉具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇等特点，是我国第二大肉类消费品，其所占肉类消费结构比例呈逐年增加的趋势。我国肉鸡品种以黄羽鸡和白羽鸡为主，两者占据约90%的鸡肉消费市场。虽然饲养市场更喜欢生长速度快、饲养成本低的白羽鸡，但对风味和滋味具有更高要求的消费者更喜欢黄羽肉鸡。我国是黄羽鸡的原产国，具有许多品质优良的地方品种，其中文昌鸡是海南特色家禽品种，也是国家级畜禽遗传资源保护品种，因其肉质滑嫩、肉味馥郁、肥而不腻等特点而享誉全国，荣俱海南“四大名菜”之首。许多学者比较了文昌鸡与其他鸡肉品种间的品质差异[1-2]，大多数发现文昌鸡具有较高的肌内脂肪含量、保水性较好等特点。也有学者发现在文昌鸡饲料中添加大豆异黄酮、灵芝孢子粉等可提高文昌鸡的抗氧化能力，改善肉质[3-4]。目前关于文昌鸡的研究多集中在品种选育、饲养、品质评价等方面，而对于文昌鸡加工制品的研究还比较有限。

以文昌鸡作为原料肉加工的特色肉制品较多，如传统的白切鸡、隔水蒸鸡等，并且随着消费市场的升级与消费者对口味需求的提高，多食材荤素搭配的预制食品越来越受到消费者青睐，如海南的椰子鸡产品在各大消费市场深受喜爱，已成为一道网红产品。荤素搭配的肉类菜肴产品，可充分利用不同食材的风味特征，食材间的相互作用，创制出不同特征口味的新产品。海南除具有文昌鸡资源优势外，木瓜也是海南特色食材资源，海南青木瓜属于药食两用的食品，性甘、味平，具有健脾益胃，润肺等功效，享有“百益果王”、“万寿果”的美称[5]。木瓜中含有丰富的木瓜蛋白酶，该酶可水解肉中蛋白质，是肉制品加工中常用的一种外源蛋白酶。选用海南青木瓜与文昌鸡为加工主要原料，搭配其他调料，通过腌制、调理、煮制等加工工序步骤，得到肉质鲜嫩、风味浓郁的木瓜鸡产品。木瓜鸡在海南等地采用传统做法加工，市场上还未见工业化产品。风味是木瓜鸡产品的重要品质指标，目前关于肉制品特征风味、风味前提物、风味形成途径等研究相对清楚，但对于多食材荤素搭配的肉类菜肴研究较少，尤其是对于产品的风味来源途径（食材种类、食材间互作等）还鲜见相关报道。本研究以木瓜鸡为对象，明确文昌鸡、木瓜食材的风味前提物质的含量组成，揭示添加木瓜汁对文昌鸡风味形成的影响，解析木瓜鸡特征风味物质及来源途径，以期为木瓜鸡产品研发及品质调控提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

文昌鸡选用110日龄母鸡的鸡腿与鸡胸，木瓜选用海南红心木瓜。

2-甲基-3-庚酮 美国Sigma-Aldrich公司；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（均为分析纯） 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

BS2SS型电子分析天平 北京赛多利斯计量仪器有限公司；自动凯氏定氮仪 山东海能科学仪器有限公司；1260高效液相色谱仪-荧光检测器 美国Agilent公司；PEN3电子鼻 德国Airsense公司；GC-MS-QP2010型气相色谱-质谱（gas chromatography-mass spectrometry，GC-MS）联用仪 日本岛津公司；固相微萃取自动进样器、纤维头（50/30 μm DVB/CAR/PDMS） 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

木瓜汁制备：木瓜去皮后榨汁，厨房用纱布（80目）挤压过滤后待用。

木瓜鸡制作过程：将经解冻清洗的文昌鸡称取450 g置于容器中，加入370 mL木瓜汁、15 g食盐，腌制1 h。锅中加入1 000 mL水，倒入腌制好的鸡肉，煮制时间8 min。分别去除鸡肉及汤汁，进行相关指标分析。

1.3.2 蛋白质含量分析

参考GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》[6]中的凯氏定氮法。

1.3.3 硫胺素含量分析

参考GB 5009.84—2016《食品中维生素B_1的测定》[7]。液相色谱参数条件：流动相：0.05 mol/L乙酸钠溶液-甲醇（65∶35，*V*/*V*）；流速：0.8 mL/min；检测波长：激发波长375 nm，发射波长435 nm；进样量：20 μL。

1.3.4 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 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、7 mg/mL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刻度线，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波长处测定吸光度，绘制标准曲线，计算样品中还原糖含量。

1.3.5 脂肪含量分析

参考GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》[8]中第一法：索氏抽提法。

1.3.6 脂肪酸含量分析

参考GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的测定》[9]中的内标法。

气相色谱条件：进样器温度270 ℃；检测器温度280 ℃；程序升温：初始温度100 ℃，持续13 min；100～180 ℃，升温速率10 ℃/min，保持6 min；180～200 ℃，升温速率1 ℃/min，保持20 min；200～230 ℃，升温速率4 ℃/min，保持10.5 min。载气：氮气；分流比100∶1。

1.3.7 电子鼻分析

将待测样品从－80 ℃冷冻柜取出，4 ℃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。

1.3.8 GC-MS分析

萃取条件：将待测样品从－80 ℃冷冻柜取出，4 ℃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 ℃老化30 min，将样品于50 ℃条件下平衡30 min，将纤维头插入顶空瓶中吸附40 min。

色谱条件：色谱柱型号DB-WAX（30 m×0.18 mm，0.18 μm）不分流进样；升温程序：进样口温度240 ℃，初始柱温40 ℃，保持3 min，以5 ℃/min升至120 ℃，10 ℃/min升至230 ℃，保持10 min。

质谱条件：离子源温度200 ℃，传输线温度250 ℃，电子能量70 eV。采用全扫描模式采集信号，扫描范围*m/z* 35～500。

定性方法：通过与软件自带标准谱库进行数据对比，仅相似度高于85%的才保留。

定量方法：以质量浓度为0.816 μg/mL的2-甲基-3-庚酮（溶于甲醇）为内标物，按下式对各组分进行定量分析：

$$C_x=\frac{C_0\times V_0\times S_x}{S_0\times m}$$

式中：C_x为未知化合物含量/（μg/kg）；C_0为内标物质量浓度/（μg/mL）；V_0为内标物进样体积/mL；S_x为未知化合物峰面积；S_0为内标物峰面积；m为样品质量/kg。

1.3.9 气味活性值（odor activity value，OAV）

OAV是挥发性物质的浓度与感官阈值[10]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。

1.3.10 电子舌分析

称取5 g样品于50 mL离心管中，加入20 mL在37 ℃水浴锅中预热的超纯水，涡旋30 min，再次加入20 mL超纯水（37 ℃）超声30 min。随后进行离心（10 000 r/min，10 min），取上清液用砂芯漏斗抽滤，滤液稀释2 倍后得到样品提取液，均匀转移到2 个特定的样品杯中用于电子舌的测定，重复测定3 次，取平均值。

1.3.11 游离氨基酸分析

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匀浆3 次（每次10 s，间隔10 s），加入20 mL 5%三氯乙酸溶液，混合均匀，于4 ℃放置12 h；以定性滤纸过滤，滤液先用4 mol/L KOH溶液调pH值至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。移取所得的肉的滤液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 ℃烘箱内加热10 min，取出后即可进样，采用高效液相色谱测定样品中游离氨基酸的含量。色谱条件：Nova-Pak™ C_{18}柱；柱温37 ℃；紫外检测波长248 nm；进样量10 μL；流动相 A为按1∶10（*V*/*V*）将AccQ・Tag Eluent A用超纯水稀释而得；流动相B为乙腈（色谱纯）；流动相C为超纯水；流速：1.0 mL/min。

1.3.12 核苷酸分析

称取煮制、切碎的样品3 g于离心管中，加20 mL在4 ℃冰箱中预冷1 h的5%高氯酸溶液，超声波提取5 min，在4 ℃、4 000 r/min离心10 min，取上清液。沉淀物再加20 mL预冷的5%高氯酸溶液。重复上述步骤，合并所有上清液于50 mL锥形瓶中，并用0.5 mol/L的氢氧化钾溶液调节pH值至5.8。从调好pH值的提取液中准确移取20 mL，定容到100 mL容量瓶中。取定容的试液适量0.45 μm滤膜过滤至进样瓶中，采用高效液相色谱仪测定样品中的核苷酸含量。色谱条件：色谱柱：TC-C_{18}柱（4.6 mm×250 mm，5 μm）；柱温：25 ℃；流动相：磷酸盐缓冲溶液-甲醇（95∶5，*V*/*V*）；流速：0.60 mL/min；进样体积：20 μL；检测波长：254 nm；梯度洗脱设置：0～10 min，99%磷酸盐缓冲溶液和1%甲醇；12 min时，80%磷酸盐缓冲溶液和20%甲醇保持6 min；2 min内磷酸盐缓冲溶液升至99%，再保持8 min。

1.4 数据分析

用SPSS进行数据显著性分析，显著性水平为0.05。如无特殊实验说明实验结果最少重复3 次，数据以$\bar{x}\pm s$表示。用Origin 2021作图。

2 结果与分析

2.1 文昌鸡和木瓜汁风味前体物含量与组成分析

风味是评价肉制品品质的重要指标，被认为是肉类菜肴的灵魂。肉制品风味物质主要产生于加热熟化过程，生鲜原料肉含极少量阈值较高的挥发性物质，嗅闻时只有腥味和微弱的金属味。但肉类原料中含有大量的风味前提物质，如脂肪酸、蛋白质、硫胺素等，这些物质受热后通过美拉德反应、脂质降解和硫胺素降解等反应生成大量的肉香味物质。为揭示木瓜鸡加工过程风味的形成与来源，首先分析了木瓜鸡主要组分文昌鸡（鸡胸和鸡腿）和木瓜汁中主要风味前提物质的含量及组成。蛋白、脂肪、硫胺素和还原糖的含量如表1所示，文昌鸡中的蛋白含量蛋白和脂肪含量显著高于木瓜汁，而木瓜汁中硫胺素和还原糖的含量显著高于鸡肉样品（$P<0.05$），这与公众基础认知相同，肉类原料一般含有较高的蛋白，而木瓜作为水果一般含有较多的糖和维生素。美拉德反应作为肉制品香味产生的主要途径，主要是蛋白质与还原糖之间发生的羰氨缩合反应，因此，鸡肉中的高蛋白和木瓜中的高还原糖为两者之间通过美拉德反应生香提供了物质基础。鸡胸肉中蛋白质的含量显著高于鸡腿肉，而脂肪含量显著低于鸡腿肉（$P<0.05$），这与以往报道的结果一致[11]。同时，鸡胸肉中的还原糖含量也显著低于鸡腿肉（$P<0.05$），两者之间的硫胺素含量相当（$P>0.05$）。蛋白质、还原糖、硫胺素、脂肪含量作为肉类的风味前体物质，其含量差异会造成挥发性物质形成不同，从而影响木瓜鸡整体风味的形成。

表1 木瓜鸡的基本成分含量

Table 1 Contents of basic components in papaya juice and chicken meat

样品	蛋白 质量分数/%	脂肪 质量分数/%	硫胺素含量/（μg/100 g）	还原糖 质量分数/%
鸡腿肉	21.0 ± 0.190^{b}	3.08 ± 0.31^{a}	0.11 ± 0.01^{c}	0.12 ± 0.03^{d}
鸡胸肉	23.6 ± 0.390^{a}	1.29 ± 0.35^{b}	0.11 ± 0.01^{c}	0.17 ± 0.01^{c}
木瓜汁	0.73 ± 0.016^{c}	0.04 ± 0.00^{c}	2.03 ± 0.53^{b}	4.95 ± 0.77^{a}

注：同列字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。

脂肪酸含量与组成是影响肉制品风味的关键，尤其是挥发性化合物主要取决于脂肪酸的组成[12]。如表2所示，在文昌鸡的鸡胸、鸡腿、鸡皮及木瓜汁中共检出12 种脂肪酸，其中饱和脂肪酸4 种，分别为肉豆蔻酸（$C_{14:0}$）、棕榈酸（$C_{16:0}$）、硬脂酸（$C_{18:0}$）和二十三碳酸（$C_{23:0}$）；单不饱和脂肪酸3 种，分别为棕榈油酸（$C_{16:1}$）、油酸（$C_{18:1n9c}$）和花生烯酸（$C_{20:1}$）；多不饱和脂肪酸5 种分别为亚油酸（$C_{18:2n6c}$）、α-亚麻酸（$C_{18:3n3}$）、顺,顺-11,14-二十碳二烯酸（$C_{20:2}$）、顺,顺,顺-8,11,14-二十碳三烯酸（$C_{20:3n6}$）和DHA（$C_{22:6n3}$）。与鸡肉相比，鸡皮中的脂肪酸种类相对较少，但含量除二十三碳酸（$C_{23:0}$）外均明显高于鸡胸肉和鸡腿肉，尤其是多不饱和脂肪中的亚油酸和α-亚麻酸（$C_{18:3n3}$）分别是鸡肉中含量的6 倍和7 倍以上，在热加工过程中会产生较高含量的醛类物质，从而产生肉香和脂肪香，赋予肉类浓郁的挥发性风味。与鸡胸肉相比，鸡腿肉中脂肪酸的种类多检测到花生烯酸（$C_{20:1}$），且所有脂肪酸的含量均高于鸡胸肉。木瓜汁中脂肪酸的种类和含量相对较少，主要包括棕榈酸（$C_{16:0}$）、棕榈油酸（$C_{16:1}$）和α-亚麻酸（$C_{18:3n3}$）。

表2 文昌鸡不同部位中的脂肪酸含量

Table 2 Fatty acid contents in different parts of Wenchang chicken

mg/100 g

脂肪酸	鸡腿	鸡胸	鸡皮	木瓜汁
肉豆蔻酸（$C_{14:0}$）	10.61 ± 0.22^{b}	8.77 ± 0.17^{c}	85.71 ± 1.43^{a}	—
棕榈酸（$C_{16:0}$）	415.24 ± 2.84^{b}	347.74 ± 1.47^{c}	$2\,997.80\pm22.74^{a}$	4.04 ± 0.02^{d}
硬脂酸（$C_{18:0}$）	167.74 ± 0.90^{b}	121.16 ± 0.57^{c}	641.84 ± 2.93^{a}	—
二十三碳酸（$C_{23:0}$）	97.19 ± 0.83^{a}	60.55 ± 0.48^{b}	38.26 ± 0.58^{c}	—
棕榈油酸（$C_{16:1}$）	68.90 ± 0.71^{b}	49.12 ± 0.19^{c}	664.02 ± 2.80^{a}	2.87 ± 0.02^{d}
油酸（$C_{18:1n9c}$）	533.20 ± 4.62^{b}	450.14 ± 1.92^{c}	$4\,428.2\pm24.85^{a}$	—
花生烯酸（$C_{20:1}$）	3.93 ± 0.03	—	—	—
亚油酸（$C_{18:2n6c}$）	427.5 ± 3.72^{b}	308.52 ± 1.32^{c}	$2\,403.80\pm20.33^{a}$	—
α-亚麻酸（$C_{18:3n3}$）	23.46 ± 0.17^{b}	17.47 ± 0.18^{c}	163.52 ± 2.55^{a}	5.56 ± 0.03^{d}
顺,顺-11,14-二十碳二烯酸（$C_{20:2}$）	5.39 ± 0.08^{a}	4.14 ± 0.08^{b}	—	—
顺,顺,顺-8,11,14-二十碳三烯酸（$C_{20:3n6}$）	8.74 ± 0.15^{a}	7.03 ± 0.05^{b}	—	—
DHA（$C_{22:6n3}$）	11.40 ± 0.19^{a}	9.04 ± 0.07^{b}	—	—

注：—.未检出；同行字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

2.2 电子鼻分析木瓜汁腌制的文昌鸡挥发性风味物质

肉制品风味主要包括挥发性风味和滋味，电子鼻具有快速、客观检测等特点，常用于肉制品中挥发性风味物质检测。利用电子鼻检测水煮鸡胸和木瓜鸡胸的主成分分析（principal component analysis，PCA）结果如图1a所示，PC1的贡献率为54.0%，PC2的贡献率为34.4%，贡献率之和为88.4%，基本可以反映出样品全部信息。水煮鸡胸与木瓜鸡胸的挥发性风味无法完全区分开，说明木瓜汁腌制对鸡胸肉热加工过程中挥发性物质的形成无显著影响。相较于PCA，电子鼻响应值的雷达图数据可以更加直观地反映不同种类挥发性风味物，水煮鸡胸肉和木瓜鸡胸肉的雷达分析如图1b所示，两种样品间无显著差异，W1W（对硫化氢敏感）和W2W（对芳香化合物和有机硫化物敏感）响应值较高。

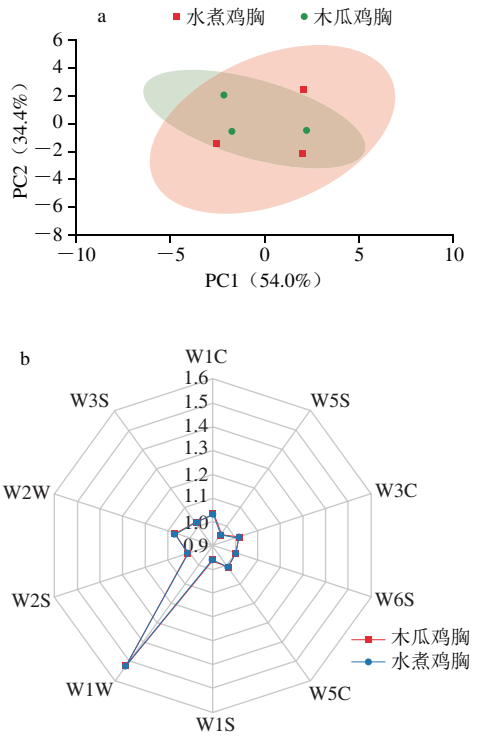

图1 电子鼻检测不同鸡胸肉的PCA图（a）和雷达分析图（b）

Fig. 1 PCA plot (a) and radar plot of electronic nose (b) data of different chicken breast samples

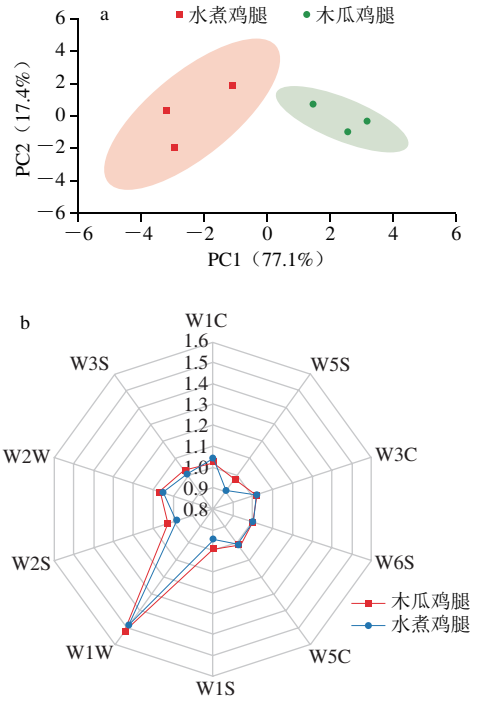

图2 电子鼻检测不同样品鸡腿肉的PCA图（a）和雷达分析图（b）

Fig. 2 PCA plot (a) and radar plot of electronic nose (b) data of different chicken drumstick samples

不同部位鸡肉的物质基础及品质间具有明显差异，其PCA结果如图2a所示，PC1和PC2的贡献率之和为94.5%，可反映出样品全部信息。水煮鸡和木瓜鸡的挥发性风味可完全分开，说明木瓜汁腌制对鸡腿肉热加工过程中挥发性风味产生显著影响。进一步分析雷达图（图2b）可知，两组样品的响应值差异主要在W1S（对烃类物质敏感）、W5S（对氮氧化合物敏感）、W2S（对醇类物质敏感）、W1W（对硫化氢敏感）。木瓜汁腌制对鸡胸肉和鸡腿肉电子鼻相应结果的不同，可能与两者之间的脂肪及脂肪酸含量、组成不同有关，尤其是脂肪酸通过氧化、水解等系列生香反应，是肉制品风味产生的重要途径。

2.3 GC-MS分析木瓜汁腌制的文昌鸡挥发性风味物质

为研究木瓜汁腌制对文昌炖煮产生鸡挥发性风味物质的影响，分别对水煮鸡肉（对照）、木瓜鸡肉进行挥发性物质测定，检测结果如表3所示。水煮鸡肉和木瓜鸡肉中共检出42 种化合物，包括烷烃类3 种、醛类18 种、醇类8 种、杂环化合物9 种、酮类2 种、酸类2 种。水煮鸡胸肉检测到26 种化合物，包括烃类2 种、醛类10 种、醇类5 种、杂环化合物7 种、酸类2 种；而经木瓜汁腌制的鸡胸中检测的化合物有24 种，包括烃类1 种、醛类10 种、醇类4 种、杂环化合物7 种、酸类2 种。因此，木瓜汁腌制对鸡胸肉中挥发性化合物的数量并没有明显区别。水煮鸡腿中检测到28 种化合物，包括烃类2 种、醛类9 种、醇类6 种、杂环化合物8 种、酮类2 种、酸类1 种；而木瓜汁腌制的文昌鸡腿肉中检测的挥发性物质有38 种，包括烃类2 种、醛类18 种、醇类6 种、杂环化合物9 种、酮类2 种、酸类1 种。因此，木瓜汁腌制对鸡腿肉中挥发性化合物的数量明显提升，尤其是醛类物质的种类提高了1 倍。检测到的挥发性物质除种类不同外，在量上也存在明显区别。

醛类是熟鸡的主要气味化合物，因为它们具有强烈的挥发性、高浓度和低阈值[13]，主要由不饱和脂肪酸氧化产生[14]。己醛和庚醛主要由亚油酸和花生四烯酸氧化产生，而辛醛和壬醛则由油酸氧化产生[15]。由表1可知，鸡肉中总醛含量较高，虽然鸡腿和鸡胸肉中醛类物质的种类相当，但文昌鸡鸡腿的醛类物质高于鸡胸肉，原因可能是鸡腿肉中的脂肪含量较高，从而在热加工过程中产生的醛类挥发性物质更多。由OAV结果可知，己醛、(*E*,*Z*)-2,4-癸二烯醛、(*E*)-2-壬烯醛、壬醛这4 种化合物在不同处理组样品中450＜OAV＜1 500。经木瓜汁腌制鸡腿肉中醛类物质的数量显著增加（P＜0.05），新产生了(*E*)-2-庚烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*Z*)-2-癸烯醛、2-丁基-2-辛烯醛、4-乙基苯甲醛、2,5-二甲基苯甲醛、2-十一烯醛、(*E*,*Z*)-2,4-癸二烯醛9 种醛类物质。经木瓜汁腌制鸡胸肉中的醛类物质虽然种类上没有变化，但含量增加至1.39 倍（4 452.40 μg/kg→6 187.28 μg/kg），可能是因为鸡胸肉中绝大多数为饱和醛，相对不饱和醛更加稳定。

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 chicken from different treatment groups

序号	挥发性物质	保留时间/min	分子式	CAS	SI	RSI	含量/（μg/kg）			
							木瓜鸡腿	水煮鸡腿	木瓜鸡胸	水煮鸡胸
	烃类化合物									
1	柠檬烯	15.52	$C_{10}H_{16}$	5989-27-5	862	862	44.90±0.02[b]	44.78±0.11[b]	49.37±0.14[a]	30.09±0.02[c]
2	1,3-戊二烯	24.85	C_5H_8	1574-41-0	872	979	—	—	—	39.84±0.21[a]
3	3,4-辛二烯	32.31	C_8H_{14}	34511-01-8	800	895	5.53±3.45[b]	7.07±1.21[a]	—	—
	烃类总量						50.43	51.85	49.37	69.93
	醛类化合物									
4	戊醛	9.44	$C_5H_{10}O$	110-62-3	910	924	610.72±3.49[a]	577.38±2.05[b]	504.89±2.57[c]	328.07±1.78[d]
5	己醛	12.18	$C_6H_{12}O$	66-25-1	943	943	4 554.81±3.20[a]	4 467.04±5.06[b]	3 889.71±5.12[c]	2 611.86±3.28[d]
6	庚醛	15.48	$C_7H_{14}O$	111-71-7	920	924	190.10±0.54[b]	194.35±1.22[a]	170.16±2.03[c]	120.29±1.32[d]
7	辛醛	18.47	$C_8H_{16}O$	124-13-0	905	905	172.88±1.21[a]	169.27±0.35[b]	149.28±0.04[c]	126.48±0.52[d]
8	(*E*)-庚烯醛	19.69	$C_7H_{12}O$	57266-86-1	803	803	48.84 ±0.05[a]	—	—	—
9	壬醛	21.71	$C_9H_{18}O$	124-19-6	893	893	502.15±2.32[d]	741.49±3.58[b]	753.83±2.05[a]	689.74±4.57[c]
10	(*E*)-2-辛烯醛	22.87	$C_8H_{14}O$	2548-87-0	857	857	77.70±0.47[a]	—	—	—
11	癸醛	23.57	$C_{10}H_{20}O$	112-31-2	916	918	88.52±0.85[b]	60.76±2.03[d]	170.16±1.35[a]	77.94±3.02[c]
12	苯甲醛	25.68	C_7H_6O	100-52-7	953	954	260.46±3.27[c]	238.53±1.22[d]	312.72±2.33[a]	306.81±2.07[b]
13	(*E*)-2-壬烯醛	25.95	$C_9H_{16}O$	18829-56-6	874	874	54.43±2.85[a]	—	—	—
14	(*Z*)-2-癸烯醛	28.83	$C_9H_{16}O$	2497-25-8	801	801	49.25±1.08[a]	—	—	—
15	2-丁基-2-辛烯醛	29.43	$C_{12}H_{22}O$	13019-16-4	782	782	28.22±0.35[a]	—	—	—
16	(*E*,*E*)-2,4-壬二烯醛	30.27	$C_9H_{14}O$	5910-87-2	758	758	109.29±0.79[b]	143.29±2.04[a]	105.10±2.52[c]	85.82±1.79[d]
17	4-乙基苯甲醛	30.49	$C_9H_{10}O$	4748-78-1	895	895	59.27±2.76[a]	—	41.91±1.14[b]	27.01±5.23[c]
18	2,5-二甲基苯甲醛	30.51	$C_9H_{10}O$	5779-94-2	833	890	29.26±3.45[a]	—	—	—
19	2-十一烯醛	31.44	$C_{11}H_{20}O$	2463-77-6	815	815	55.36±2.64[a]	—	—	—
20	(*E*,*Z*)-2,4-癸二烯醛	31.72	$C_{10}H_{16}O$	25152-83-4	773	777	37.36±2.57[a]	—	—	—
21	4-*N*-戊基苯甲醛	36.86	$C_{12}H_{16}O$	6853-57-2	790	790	45.16±0.32[d]	57.05±0.53[c]	89.54±1.54[a]	78.38±3.01[b]
	醛类总量						6 923.77	6 649.15	6 187.28	4 452.40
	醇类化合物									
22	甲硫醇	5.12	CH_4S	74-93-1	877	933	—	—	226.05±2.03[a]	113.44±3.65[b]
23	乙醇	8.44	C_2H_6O	64-17-5	922	922	—	—	—	99.98±2.20[a]
24	1-戊醇	17.46	$C_5H_{12}O$	71-41-0	883	888	275.55±0.03[a]	253.11±1.34[b]	—	—
25	正己醇	20.58	$C_6H_{14}O$	111-27-3	869	869	64.07±2.01[b]	87.51±0.86[a]	—	—
26	1-辛烯-3-醇	23.39	$C_8H_{16}O$	3391-86-4	879	879	1 767.46±2.56[a]	1 417.71±2.18[b]	921.40±0.98[c]	774.99±4.27[d]
27	正庚醇	23.60	$C_7H_{16}O$	111-70-6	894	895	29.30±1.55[b]	46.87±3.07[a]	—	—
28	辛醇	26.52	$C_8H_{18}O$	111-87-5	929	929	66.71±0.08[b]	78.04±0.42[a]	36.11±2.20[c]	27.01±1.07[d]
29	(*E*)-2-十二碳烯醇	28.06	$C_{12}H_{24}O$	69064-36-4	821	847	91.45±2.61[d]	127.22±3.02[c]	160.40±0.73[b]	194.53±1.34[a]
	醇类总量						2 294.54	2 010.46	1 117.92	996.53
	杂环化合物									
30	2-乙基呋喃	8.802	C_6H_8O	3208-16-0	913	926	5.16±3.76[c]	4.66±2.01[d]	14.15±0.17[b]	14.27±0.03[a]
31	2-丁基呋喃	13.43	$C_8H_{12}O$	4466-24-4	848	896	10.37±0.81[a]	—	—	—
32	2-戊基呋喃	16.58	$C_9H_{14}O$	3777-69-3	943	943	351.39±2.07[d]	480.34±1.74[a]	366.59±2.05[c]	424.10±3.34[b]
33	2,4,6-三甲基吡啶	21.33	$C_8H_{11}N$	108-75-8	853	853	40.18±2.73[b]	16.19±4.21[d]	28.58±2.38[c]	55.19±2.19[a]
34	二甲基三硫醚	21.54	$C_2H_6S_3$	3658-80-8	771	771	40.79±0.21[a]	37.15±0.07[b]	—	—
35	3-氨基-5-甲基吡唑	26.38	$C_4H_7N_3$	31230-17-8	842	886	7.02±0.89[b]	4.50±0.06[c]	3.32±0.12[d]	66.55±2.05[a]
36	*N*-甲基-3-氨基吡唑	29.32	$C_4H_7N_3$	1904-31-0	759	962	17.40±0.14[b]	9.54±0.03[d]	11.94±0.35[c]	25.02±0.57[a]
37	3,4,5-三甲基-2-乙基吡咯	31.58	$C_9H_{15}N$	69687-79-2	872	954	30.87±1.25[a]	12.59±0.76[c]	14.04±0.34[b]	7.66±0.53[d]
39	4-吡啶甲酰胺	47.20	$C_6H_6N_2O$	1453-82-3	906	906	3.73±0.31[b]	2.09±0.17[c]	5.50±0.02[a]	1.51±0.06[d]
	杂环类总量						506.91	567.06	444.12	594.30
	酮类化合物									
40	3-庚酮	14.13	$C_7H_{14}O$	106-35-4	757	764	1.89±0.02[a]	1.57±0.05[b]	—	—
41	4-辛酮	16.33	$C_8H_{16}O$	589-63-9	871	883	3.86±0.21	1.72±0.04[b]	—	—
	酮类总量						5.75	3.29	0.00	0.00
	酸类化合物									
42	己酸	19.33	$C_6H_{12}O_2$	142-62-1	927	927	50.71±0.43[a]	46.23±1.02[b]	36.27±0.76[c]	20.01±0.54[d]
43	苯甲酸	39.44	$C_{13}H_{17}N_3O_2$	309272-07-9	796	846	—	—	6.82±0.11[a]	3.51±0.04[b]
	酸类总量						50.71	46.23	43.09	23.52

注：CAS.化学物质登录号；SI、RSI分别表示化合物的MS谱图与谱图库中的标准谱图正向、反向比较得到的相似度。

醇类化合物也由不饱和脂肪酸的氧化分解产生[16]，有助于肉类香味和风味的产生。结合表4的OAV结果，1-辛烯-3-醇在木瓜鸡腿中OAV＞1 000，其他3 组处理样品的OAV也在500～1 000之间，有研究报道，1-辛烯-3-醇是中国地方鸡种中主要的挥发性化合物[17]。由表3可知，文昌鸡中检出1-辛烯-3-醇，这是确定是否属于地方鸡种的标志物。木瓜-鸡腿、水煮-鸡腿相较于木瓜-鸡胸、水煮-鸡胸，检出了1-戊醇、正己醇，说明可以用作区分鸡腿肉和鸡胸肉的标志物。

杂环化合物物质是由于鸡肉中还原糖与氨基酸发生美拉德反应、硫胺素热分解、氨基酸降解[18]。由表3可知，文昌鸡鸡腿肉中含有2-丁基呋喃、二甲基三硫醚，而在鸡胸肉中未检出，说明这2 种物质可以作为鸡腿肉中特有的特征风味。2-戊基呋喃是一种非羧基化合物，源自亚油酸和其他*n*-6脂肪酸[19]，在鸡腿肉和鸡胸肉中均能被检出。从OAV结果看出，不同处理组样品的OAV＞50，它具有相对较低的阈值，能够对鸡肉贡献较大的风味。经木瓜腌制后，木瓜-鸡腿中新产生了2-丁基呋喃，其OAV＞1，说明该化合物对区分木瓜鸡腿风味有作用。

烷烃类化合物是由于不饱和脂肪酸和脂质的氧化分解产生[16]。在肉类挥发性物质中，属于高阈值，对肉品风味的直接贡献不大，但它们可能有助于提高木瓜鸡的整体风味。

利用电子鼻分析可以区分水煮鸡腿和木瓜鸡腿的挥发性风味物质，而对于区分两组样品的鸡胸肉差异不明显，进一步由GC-MS结果看出木瓜鸡腿中产生的挥发性物质种类数量明显上升，说明木瓜汁腌制可对文昌鸡鸡腿肉风味形成产生影响。

表 4 不同处理组文昌鸡中挥发性物质的OAV

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

挥发性化合物	阈值/（μg/kg）	OAV			
		木瓜鸡腿	水煮鸡腿	木瓜鸡胸	水煮鸡胸
戊醛	12	50.89	48.12	42.07	27.34
己醛	5	910.96	893.41	777.94	522.37
庚醛	2.8	67.89	69.41	60.77	42.96
辛醛	0.587	294.51	288.36	254.31	215.47
壬醛	1.1	456.50	674.08	685.30	627.04
(*E*)-2-辛烯醛	0.34	228.53	ND	ND	ND
癸醛	3	29.51	20.25	56.72	25.98
苯甲醛	750.89	0.35	0.32	0.42	0.41
(*E*)-2-壬烯醛	0.08	680.38	ND	ND	ND
(*Z*)-2-癸烯醛	0.4	123.13	ND	ND	ND
2-丁基-2-辛烯醛	20	1.41	ND	ND	ND
(*E*,*E*)-2,4-壬二烯醛	0.1	1 092.90	1 432.90	1 051.00	858.20
(*E*)-2-十一烯醛	0.78	70.97	ND	ND	ND
正己醇	5.6	11.44	15.63	ND	ND
1-辛烯-3-醇	1.5	1 178.31	945.14	614.27	516.66
2-丁基呋喃	5	2.07	ND	ND	ND
2-戊基呋喃	5.8	60.58	82.82	63.20	73.12
3-庚酮	80	0.02	0.02	ND	ND
己酸	3 000	0.02	0.02	0.01	0.01

2.4 电子舌分析木瓜汁腌制的文昌鸡滋味物质

电子舌是分析滋味物质的一种有效手段，可模拟人的味觉感受[20]。目前已有研究者利用电子舌对德州扒鸡[21]和盐水鸭[22]的滋味进行辨识，以及中华绒螯蟹滋味轮廓的评分[23]。利用电子舌检测不同处理组文昌鸡肉的滋味结果如图3所示，水煮鸡胸、水煮鸡腿、木瓜鸡胸、木瓜鸡腿的酸味均较低，其中水煮鸡腿的酸味值最低，水煮鸡胸的酸味值最高，木瓜鸡胸、木瓜鸡腿介于两者之间；4 个处理组的苦味、鲜味及丰富度均较高，且3 组之间差异较小，说明4 个处理组在这3 种滋味上具有一定相似性；但木瓜鸡腿的咸味较其他组更高，酸味较水煮鸡胸组和木瓜鸡胸组更低。

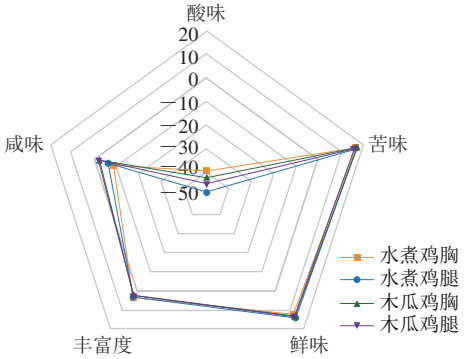

图 3 电子舌检测不同处理文昌鸡的雷达分析图

Fig. 3 Radar plot of electronic tongue data of Wenchang chicken under different treatments

2.5 木瓜汁腌制的文昌鸡游离氨基酸含量

文昌鸡肉在煮制前后共检测出11 种氨基酸（表5）。包括人体必需氨基酸：缬氨酸（Val）、赖氨酸（Lys）、甲硫氨酸（Met）、苏氨酸（Thr）、组氨酸（His）；非必需氨基酸：丙氨酸（Ala）、精氨酸（Arg）、脯氨酸（Pro）、甘氨酸（Gly）；条件必需氨基酸：胱氨酸（Cys2）、酪氨酸（Tyr）。这11 种氨基酸按照呈味特征可分为甜味、苦味和无味氨基酸[24]。其中苏氨酸、丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸为甜味氨基酸。组氨酸、缬氨酸、精氨酸、酪氨酸为苦味氨基酸，其他视为无味氨基酸[25-27]。由表5可知，鸡肉不同加工部位游离氨基酸的含量有差异。文昌鸡肉煮制前后，主要甜味氨基酸来自于苏氨酸；经水、木瓜汁煮制后鸡腿中甜味氨基酸总量由1 190.9 mg/kg分别变为2 721.6、1 080.1 mg/kg，鸡胸中甜味氨基酸总量由2 142.4 mg/kg分别变为1 735.6、4 750.1 mg/kg。甜味氨基酸的含量不仅代表可以提供甜味，也能平衡一定程度的苦味。水煮鸡汤中甜味氨基酸含量为447.4 mg/kg木瓜鸡汤中的甜味氨基酸含量为689.7 mg/kg。文昌鸡肉煮制前后苦味氨基酸主要来自于精氨酸；经水、木瓜汁煮制后鸡腿中苦味氨基酸总量由1 057.9 mg/kg分别变为1 869、999.8 mg/kg，鸡胸中苦味氨

表 5 不同样品的游离氨基酸含量

Table 5 Free amino acid contents of different samples

mg/kg

氨基酸	鸡腿	鸡胸	木瓜	煮木瓜	煮清水	木瓜鸡腿	木瓜鸡胸	水煮鸡腿	水煮鸡胸
Glu	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gly	—	165.2±40.2^{b}	—	—	—	—	142.9±19.3^{c}	212.1±32.9^{a}	—
His	112.4±4.2^{b}	78.1±1.7^{e}	—	—	—	—	87.7±11.3^{d}	123.0±38.7^{a}	89.6±8.6^{c}
Arg	790.8±41.7^{e}	716.9±33.2^{f}	66.5±5.9^{i}	355.6±74.3^{g}	248.7±7.9^{h}	936.7±308.1^{d}	1 276.9±439.7^{b}	1493.2±28.7^{a}	1 096.0±455.1^{c}
Thr	1 008.9±44.5^{e}	1 800.1±399.2^{c}	40.1±0.8^{i}	578.4±133.1^{g}	413.3±11.4^{h}	939.7±27.6^{f}	4 448.1±119.2^{a}	2 170.3±205.4^{b}	1 576.1±299.7^{d}
Ala	125.7±6.6^{c}	126.7±35.5^{b}	27.2±1.5^{h}	45.7±8.3^{f}	34.1±2.8^{g}	89.3±0.6^{e}	111.0±52.1^{d}	277.6±43.0^{a}	110.1±57.0^{d}
Pro	56.3±2.2^{c}	50.4±1.1^{e}	50.2±5.6^{e}	65.6±10.3^{a}	—	51.1±0.5^{d}	48.1±5.5^{g}	61.6±3.7^{b}	49.4±11.8^{f}
Cys_2	107.5±5.2^{e}	119.4±19.3^{a}	74.6±8.2^{f}	—	—	74.6±0.7^{f}	106.8±11.4^{d}	105.6±5.3^{e}	112.5±32.3^{b}
Tyr	—	93.0±22.1^{a}	—	—	—	—	—	—	—
Val	154.7±11.5^{b}	—	55.6±10.1^{g}	54.7±15.5^{g}	56.1±3.3^{f}	63.1±21.5^{e}	124.1±39.9^{c}	252.8±28.3^{a}	78.2±27.8^{d}
Met	57.9±0.5^{a}	—	—	—	—	—	—	—	—
Lys	—	62.6±0.6^{a}	—	—	—	—	—	—	—

基酸总量由888 mg/kg分别变为1 263.8、1 488.7 mg/kg。水煮鸡汤中苦味氨基酸含量为304.8 mg/kg，木瓜鸡汤中苦味氨基酸含量为410.3 mg/kg。文昌鸡肉煮制前后无味氨基酸主要来自于胱氨酸；经水、木瓜汁煮制后鸡腿无味氨基酸总量由165.4 mg/kg变为105.6、74.6 mg/kg，鸡胸中无味氨基酸总量由182 mg/kg变为112.5、106.8 mg/kg。水煮鸡汤、木瓜鸡汤均未检出无味氨基酸。

此外，木瓜汁煮制鸡肉后游离氨基酸总量分别比鲜鸡肉增加了250.10%。鸡腿和鸡胸经水、木瓜煮制后，与鲜鸡肉相比，木瓜鸡腿和水煮鸡胸中游离氨基酸含量略微降低，但水煮鸡腿、木瓜鸡胸的肉中游离氨基酸含量均显著增加，总体来说，木瓜汁煮制处理后，增加了鸡肉中游离氨基酸的含量，可能有助于提升文昌鸡菜肴产品的滋味。

2.6 木瓜汁腌制的文昌鸡核苷酸含量

表 6 不同处理文昌鸡核苷酸含量

Table 6 Nucleotide contents of Wenchang chicken under different treatments

mg/100 g

呈味核苷酸	木瓜鸡胸	木瓜鸡腿	水煮鸡胸	水煮鸡腿
5′-CMP	8.91±0.07^{a}	7.78±0.25^{b}	2.31±0.11^{d}	3.18±0.23^{c}
5′-UMP	7.15±0.78^{b}	8.31±0.49^{a}	3.64±0.18^{c}	2.19±0.33^{d}
5′-GMP	5.18±0.66^{b}	6.31±0.39^{a}	2.51±0.28^{c}	1.19±0.71^{d}
5′-IMP	155.31±8.61^{b}	161.39±9.17^{a}	101.54±8.25^{d}	113.94±9.33^{c}
5′-AMP	5.25±0.44^{b}	4.93±0.28^{c}	5.69±0.19^{a}	4.88±0.20^{d}

在滋味物质中，除游离氨基酸之外，核苷酸对滋味的贡献最大。核苷酸由核苷和磷酸组成，也是核酸的基本成分；核苷酸中的IMP、GMP、AMP、UMP和CMP是肉制品中重要的鲜味物质[28]。鸡肉炖煮过程中，5′-IMP在畜禽肉中占主导地位，IMP是最重要的鲜味物质[29-30]，主要来源于ATP的降解，除了本身具有鲜味特性外，IMP还可与丝氨酸、甘氨酸和丙氨酸一起增强鲜味[31]。由表6可知，文昌鸡肉中5′-IMP含量最高。结合电子舌，游离氨基酸、核苷酸结果看，添加木瓜汁腌制后，木瓜鸡菜肴的滋味较水煮鸡肉来说酸味适中、游离氨基酸含量得到提升、核苷酸含量高于水煮文昌鸡，说明木瓜汁可与文昌鸡相互作用，能够明显增强自身的鲜味，使菜肴的滋味增加，丰富菜肴口感。

3 结 论

研究木瓜汁腌制对文昌鸡风味形成的影响，通过测定煮制前后木瓜汁和文昌鸡的部分理化性质、对比分析4 组样品的滋味、风味物质，确定了木瓜文昌鸡形成风味的关键成分。文昌鸡的鸡胸肉蛋白质含量、还原糖含量高于鸡腿肉，而脂肪含量则相反，低于鸡腿肉；在炖煮过程中，产生风味的主要途径来源于脂肪氧化，而美拉德反应的温度要求较高，因此，本研究发现炖煮过程中，鸡腿肉产生的挥发性风味物质含量及种类高于鸡胸肉。经木瓜腌制的文昌鸡其鸡腿肉和鸡胸肉的核苷酸和游离氨基酸的含量均显著增加，说明木瓜汁腌制可丰富文昌鸡菜肴的口感。GC-MS结合OAV结果表明：不同处理组样品中共检出挥发性成分42 种，包括烷烃类3 种、醛类18 种、醇类8 种、杂环化合物9 种、酮类2 种、酸类2 种。其中木瓜-鸡腿中OAV＞1 000的物质有(*E*,*E*)-2,4-壬二烯醛、1-辛烯-3-醇，这2 种物质为木瓜鸡腿的主体香气起作用；其次，木瓜鸡腿新产生了(*E*)-2-庚烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、(*E*)-2-壬醛、(*Z*)-2-癸醛、2-丁基-2-辛烯醛、4-乙基苯甲醛、2,5-二甲基苯甲醛、(*E*)-2-十一烯醛、(*E*,*Z*)-2,4-癸二烯醛、2-丁基呋喃10 种化合物。根据不同处理组结果可知，经木瓜汁腌制文昌鸡，主要对文昌鸡腿肉的风味形成影响较明显，本实验可为木瓜文昌鸡产品风味的形成研究提供一定的理论基础，但木瓜汁是如何对文昌鸡风味形成的作用机理有待进一步研究。

参考文献：

[1] 唐辉, 龚炎长, 吴常信, 等. 五个鸡种肉质特性的比较研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2007, 38(4): 515-518.

[2] 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. DOI:10.16372/j.issn.1004-6364.2015.21.002.

[3] 王一冰, 顾丽红, 叶金玲, 等. 灵芝孢子粉和大豆异黄酮对文昌鸡生长性能、肉品质及抗氧化能力的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(11): 148-156. DOI:10.11841/j.issn.1007-4333.2021.11.15.

[4] 林厦菁, 蒋守群, 林哲敏, 等. 大豆异黄酮和抗生素对文昌鸡生长性能、肉品质和血浆抗氧化指标的影响[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(1): 1-6. DOI:10.7671/j.issn.1001-411X.2018.01.001.

[5] 马挺军, 吕飞杰, 台建详, 等. 速溶木瓜晶的工艺研究[J]. 食品科技, 2004(2): 75-78. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2004.02.025.

[6] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[7] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中维生素B_1的测定: GB 5009.48—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[8] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[9] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理局. 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[10] 李智宇, 王凯, 冒德寿, 等. 化合物嗅觉阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 242-431.

[11] 唐辉, 吴常信, 龚炎长, 等. 文昌鸡肉质特性的研究[J]. 畜牧与兽医, 2006, 38(7): 22-24. CNKI:SUN:XMYS.0.2006-07-007.

[12] MAUGHAN C, TANSAWAT R, COMFORTH D, et al. Development of a beef flavor lexicon and its application to compare the flavor profile and consumer acceptance of rib steaks from grass- or grain-fed cattle[J]. Meat Science, 2012, 90(1): 116-121. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.06.006.

[13] SHI Y N, LI X, HUANG A X. A metabolomics-based approach investigates volatile flavor formation and characteristic compounds of the Dahe black pig dry-cured ham[J]. Meat Science, 2019, 158: 107904. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.107904.

[14] SALDA-NA E, SALDAMAGA L, CABRERA J, et al. Relationship between volatile compounds and consumer-based sensory characteristics of bacon smoked with different Brazilian woods[J]. Food Research International, 2019, 849: 119839. DOI:10.1016/j.foodres.2018.10.067.

[15] WATANABE A, KAMADA G, IMANARI M, et al. Effect of aging on volatile compounds in cooked beef[J]. Meat Science, 2015, 107: 12-19. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.04.004.

[16] RUIZ J, GARCIA C, MURIEL E, et al. Influence of sensory characteristics on the acceptability of dry-cured ham[J]. Meat Science, 2002, 61(4): 347-354. DOI:10.1016/S0309-1740(1)00204-2.

[17] JIN Y X, CUI H X, YUAN X Y, et al. Identification of the main aroma compounds in Chinese local chicken high-quality meat[J]. Food Chemistry, 2021, 359: 129930. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129930.

[18] 戴水平, 肖作兵, 马双双, 等. 一种烤牛肉的挥发性成分分析及其香气模拟[J]. 香料香精化妆品, 2010(5): 43-47. DOI:10.3969/j.issn.1000-4475.2010.05.012.

[19] WALL K R, KERTH C R, MILLER R K, et al. Grilling temperature effects on tenderness, juiciness, flavor and volatile aroma compounds of aged ribeye, strip loin, and top sirloin steaks[J]. Meat Science, 2019, 150: 141-148. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.11.009.

[20] 宋泽. 炖煮牛肉风味研究及其形成机理初探[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2019. DOI:10.27801/d.cnki.gshyy.2019.000229.

[21] LIU D Y, LI S J, WANG N, et al. Evolution of taste compounds of Dezhou-braised chicken during cooking evaluated by chemical analysis and an electronic tongue system[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(5): 1076-1082. DOI:10.1111/1750-3841.13693.

[22] 徐宝才, 李聪, 马倩, 等. 基于电子鼻和电子舌分析盐水鸭风味的差异性[J]. 中国食品学报, 2017, 17(12): 279-286. DOI:CNKI:SUN:ZGSP.0.2017-12-059.

[23] 张晶晶, 顾赛麒, 丁玉庭, 等. 电子舌在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定的应用[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 141-146. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201504027.

[24] FU L H, YAN X. Identification of low molecular weight peptides in Chinese rice wine (Huang jiu) by UPLC-ESI-MS/MS[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2011, 117(2): 238-250. DOI:10.1002/j.2050-0416.2011.tb00467.x.

[25] 汪修意, 徐文泱, 易守福, 等. 坛子肉中氨基酸和脂肪酸营养品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 71-76. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.01.012.

[26] 侯成立, 李欣, 王振宇, 等. 不同部位牦牛肉氨基酸、脂肪酸含量分析与营养价值评价[J]. 肉类研究, 2019, 33(2): 52-57. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190121-016.

[27] 高媛, 黄彩霞, 孙宝忠, 等. 风干牦牛肉氨基酸与脂肪酸组成分析评价[J]. 食品工业科技, 2013, 34(13): 317-320. DOI:CNKI:SUN:SPKJ.0.2013-13-073.

[28] JIN Y, ZHANG Y F, JIN Y F, et al. Impact of high hydrostatic pressure on non-volatile and volatile compounds of squid muscles[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 12-19. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.134.

[29] 陈超, 王真, 任南, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定鸡肉中肌苷及其关联物[J]. 肉类研究, 2021, 35(10): 41-47. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210709-185.

[30] 王天泽, 谭佳, 杜文斌, 等. 北京油鸡鸡汤滋味物质分析[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 159-164. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190505-022.

[31] KAWAI M, OKIYAMA A, UEDA Y. Taste enhancements between various amino acids and IMP[J]. Chemical Senses, 2002, 27(8): 739-745. DOI:10.1093/chemse/27.8.739.