



食品科学

Food Science

ISSN 1002-6630, CN 11-2206/TS

《食品科学》网络首发论文

题目：不同熬制工艺对“佛跳墙”营养成分及风味物质的影响
作者：林瑞榕，袁红飞，钟小清，唐胜春，吴娟娟，郭泽钊
网络首发日期：2022-06-14
引用格式：林瑞榕，袁红飞，钟小清，唐胜春，吴娟娟，郭泽钊. 不同熬制工艺对“佛跳墙”营养成分及风味物质的影响[J/OL]. 食品科学.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220613.1545.159.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

不同熬制工艺对“佛跳墙”营养成分及风味物质的影响

林瑞榕^{1,2}, 袁红飞^{1,2}, 钟小清³, 唐胜春³, 吴娟娟², 郭泽镔^{1,2*}

(1. 闽台特色海洋食品加工及营养健康教育部工程研究中心, 福建 福州, 350002; 2. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州, 350002; 3. 福建佰翔天厨食品有限公司, 福建 福州, 350209)

摘要: 本文通过理化指标分析、游离氨基酸与呈味核苷酸含量测定及电子舌、气相色谱-离子迁移色谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)等技术, 采用主成分分析(Principal component analysis, PCA)等方法对传统和现代熬制工艺下两种“佛跳墙”的营养成分和风味物质进行了研究。结果表明, 不同熬制工艺对“佛跳墙”的脂肪含量存在显著性影响($P < 0.05$); 传统工艺熬制的“佛跳墙”中呈味核苷酸能更好地与鲜味氨基酸结合、呈现更好的鲜味; 通过电子舌技术分析得出两种熬制工艺的“佛跳墙”主要在苦味和涩味上有差异; GC-IMS 研究结果表明, 传统工艺较现代工艺熬制的“佛跳墙”的挥发性风味物质更丰富, 结合主成分分析(Principal component analysis, PCA)发现, 两种熬制工艺中挥发性物质组成存在较大差异。该研究可为“佛跳墙”产品开发及应用提供一定的理论参考。

关键词: 佛跳墙; 游离氨基酸; 呈味核苷酸; 电子舌; 气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS); 主成分分析(PCA)

Effects of different cooking processes on nutrients and flavor substances of “Fo Tiao Qiang”

LIN Ruirong^{1,2}, YUAN Hongfei^{1,2}, ZHONG Xiaoqing³, TANG Shengchun³, WU Juanjuan², GUO Zebin^{1,2*}

(1. Engineering Research Centre of Fujian-Taiwan Special Marine Food Processing and Nutrition, Ministry of Education, Fuzhou 350002, China; 2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Fujian Fliport Foods Co., Ltd, Fuzhou, 350209, China)

Abstract: In this paper, through the analysis of physical and chemical indicators, the content determination of free amino acids and taste nucleotides, electronic tongue, gas chromatography-ion mobility chromatography (GC-IMS) and other techniques, principal component analysis (PCA) and other methods were used to study the nutrients and flavors of “Fo Tiao Qiang” in traditional and modern cooking processes. The results showed that different cooking processes had a significant effect on the fat content of “Fo Tiao Qiang” ($P < 0.05$); the flavor nucleotides in the “Fo Tiao Qiang” boiled with the traditional process could better combine with the umami amino acids and present a more mellow taste and good umami. Through the analysis of electronic tongue technology, it was concluded that the two cooking processes of “Fo Tiao Qiang” were mainly different in bitterness and astringency; the results of the GC-IMS study showed that the “Fo Tiao Qiang” boiled with the traditional process had more volatile flavor substances than the modern process. Combined with principal component analysis (PCA), it was found that there were great differences in the composition of volatile compounds in the two cooking processes. This research can

基金项目: 福建省区域发展项目(2019N3002); 福建省“雏鹰计划”青年拔尖人才专项经费(闽委人才[2021]5号)

第一作者简介: 林瑞榕(1998-) (ORCID: 0000-0002-2872-9632) 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: 493393428@qq.com

*通信作者简介: 郭泽镔(1986-) (ORCID: 0000-0003-3003-4423) 男, 副教授, 研究方向: 食品加工技术、食品营养与化学。E-mail: gzb8607@163.com

provide some theoretical reference for the development and application of "Fo Tiao Qiang" product.

Keywords: Fo Tiao Qiang; free amino acids; flavor nucleotides; electronic tongue; gas chromatography and ion mobility spectrometry (GC-IMS); Principal component analysis (PCA)

中图分类号: TS262.4 文献标志码: A

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220420-252

中式菜肴包括鲁菜、川菜、粤菜、苏菜、闽菜、浙菜、湘菜、徽菜等八大菜系,其历史悠久、种类多样且具有丰富的营养价值和独特风味,是具有中华传统美食风味的餐饮菜。“佛跳墙”是传统闽式菜肴的特色名菜之首,它通常以鲍鱼、海参、甲鱼裙、鱼胶、杏鲍菇、蹄筋、花菇、瑶柱、鸽子蛋等为原料,加入熬制好的高汤后文火煨制而成^[1]。“佛跳墙”因营养价值丰富、风味鲜美浓郁^[2]而广受人们青睐。菜肴的熬制工艺包括熬制的时间、熬制的温度及熬制方式等。傅宝尚等^[3]以“佛跳墙”高汤为研究对象,研究了不同熬制时间对其营养和风味的影响,为实现“佛跳墙”产品生产规模化、标准化提供一定参考价值。刘树萍等^[4]通过对料液比、熬制温度与时间及调味料用量进行单因素实验,优化了鲜金针菇菌汤烹饪工艺。“佛跳墙”的熬制方式分为传统和现代熬制工艺,传统熬制工艺通过明火、微火加热装有“佛跳墙”的瓷坛,而现代熬制工艺则选用不锈钢锅盛放“佛跳墙”,并采用电加热或者夹层锅加热的方式进行制作。由于熬制过程中的烹饪器皿、传热介质不同,其对产品的营养和风味品质也会造成不同影响。目前关于“佛跳墙”的研究主要集中在主料优化^[5]、贮藏时间与货架期评估^[6]、以及复热方式^[7]等方面的研究,关于不同熬制工艺对“佛跳墙”营养成分和风味物质的研究鲜有报道。

食品风味通常是由其前体物质经过加工后产生挥发性风味物质,从而赋予食品独特气味。研究表明,食品风味包括滋味和气味两部分。食品滋味主要来源于食品中的呈味物质,它们都是一些小分子物质,如无机盐、游离氨基酸、小肽和核酸代谢产物等;而香味则来源于食品在受热过程中所产生的挥发性风味物质如不饱和醛酮、含硫化合物以及一些杂环化合物等^[8]。因此研究食品风味可以从两个方面入手,一方面是对食品中滋味物质及其前体物质研究,另一方面评估食品中挥发性风味物质的特征及变化规律^[9-11]。目前风味物质的研究手段层出不穷,其中识别食物中挥发性风味化合物最常用的分析技术包括气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、气相色谱-离子迁移谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)和电子鼻等。GC-MS结合了气相色谱和质谱,能快速鉴别出不同风味物质^[12]。虽然GC-MS可以检测和分析挥发性风味物质,但它无法确定导致整体香气的香味活性物质即其贡献大小^[12,13]。GC-IMS是一种新的气相分离和检测技术,这项技术结合了气相色谱的高分离能力和离子迁移光谱法的快速响应,与GC-MS相比,GC-IMS最突出的特点是分离效率高^[14]。电子鼻通过模拟人类嗅觉系统,由一系列具有非特定响应的气体传感器和多变量数据分析识别系统组成^[15]。与电子鼻同为新兴仿生设备的是电子舌,它可以避免生理味觉的主观影响和缺陷,无偏的测量食品的滋味^[16]。袁灿等^[17]利用电子鼻、电子舌和氨基酸分析技术鉴别中式菜肴鱼香肉丝调料的滋味与气味物质,凸显样品风味的差异性。

本研究通过两种不同熬制工艺制作“佛跳墙”,比较“佛跳墙”在不同熬制工艺中营养品质及风味品质的变化,以期研发营养风味俱佳的“佛跳墙”产品及实际生产应用提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“佛跳墙”样品由福建佰翔天厨食品有限公司提供,包括传统工艺熬制的“佛跳墙”和现代工艺熬制的“佛跳墙”,并将样品放置于冰柜(-18℃)保存。

甲醇 色谱级 美国 Sigma 公司;乙腈 色谱级 美国 Sigma 公司;氨基酸标准储备液 A (纯度>99%) 美国 Sigma 公司;ccQ-Fluor™ 氨基酸衍生试剂盒 美国 Waters 公司;氨基酸标准储备液 B (纯度>99%) 索莱宝科技有限公司;甲酸铵 试剂级 J & K Scientific 公司;酒石酸 分析纯 西陇化工股份有限公司;

氯化钾 分析纯 天津市光复科技有限公司。

1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅 (HWS26 型) 上海一恒科学仪器有限公司; 数显恒温水浴锅 (HH-8) 国华电器有限公司; 鼓风干燥箱 (DJG-9053A) 上海一恒有限公司; 全波长酶标仪 (SpectraMax Plus384) 美国 MD 公司; 全自动凯氏定氮仪 (Kjeltec8400) 丹麦 FOSS 公司; 四级杆串联线性离子阱质谱仪 (Sciex 4500 Qtrap) 美国 Sciex 公司; 高效液相色谱仪 (Nexera X2LC-30A) 日本 Shimadzu 公司; 电子舌 (TS-5000Z) 日本 INSENT 公司; FlavourSpec® 气相色谱-离子迁移谱仪 (FlavourSpec®) 德国 G.A.S. 公司。

1.3 方法

1.3.1 “佛跳墙”的制作原料

“佛跳墙”的主料配料: 淡干海参、干南非鲍、金钩排翅、纯淡干瑶柱、鸽子蛋、干花菇、鹿筋、甲鱼裙; “佛跳墙”的高汤配料: 鲜筒骨、番鸭、七寸、土鸡、鲜猪皮、鸡爪、花雕酒、生姜、葱、大豆油、八角、桂皮、鸡鲜粉调味料、食用盐、冰糖、水。

1.3.2 “佛跳墙”的熬制工艺

传统熬制工艺: 将主料预烹饪后与熬制好的汤汁混合放入陶瓷坛中, 坛子上面铺上荷叶后加盖, 置于明火上煮沸, 随后转微火熬制 (8 ± 0.5) 小时, 熬制结束后, 捞去上层漂浮脂肪, 关火, 捞出固形物, 用三层纱布过滤汤汁。按照固形物 (165 ± 5) g、汤汁 (135 ± 5) g 的比例装罐、金检、冷却、外包装、成品入库。

现代熬制工艺: 将主料预烹饪后与熬制好的汤汁混合放入不锈钢桶中, 加盖, 置于电磁炉上煮沸, 随后转至低温熬制 (8 ± 0.5) 小时, 熬制结束后的操作方式同传统熬制工艺。

1.3.3 营养成分的测定

蛋白质含量测定按照 GB 5009.5-2016 凯氏定氮法测定; 脂肪含量测定按照国标 GB 5009.6-2016 酸水解法测定; 羟脯氨酸含量测定按照国标 GB T9695.23-2008 测定; 总糖含量测定按照国标 GB T9695.31-2008 分光光度法测定。

1.3.4 游离氨基酸含量测定

参照陈思彤等^[18]的 AQC 衍生法。

1.3.5 呈味核苷酸含量测定

按照国标 GB 5413.40-2016 测定。

1.3.6 电子舌的检测分析

参照曹荣等^[19]的方法并稍作改动。称取解冻后样品 20 g 置于 250 mL 的烧杯中, 加入 80 g 纯净水充分混合后再上机测试。采用 TS-5000Z 型号的味觉分析系统, 以氯化钾 (30 mmol/L) 和酒石酸 (0.3 mmol/L) 混合溶液模拟人体唾液, 并作为参比溶液。通过检测各种风味物质和人工脂膜之间的静电作用或疏水性相互作用产生的膜电势的变化, 实现对 5 种基本味 (酸、甜、苦、咸、鲜) 和涩味的评价。

1.3.7 GC-IMS 检测分析

GC-IMS 技术参照文献^[20]。

自动进样条件: 称取 1g “佛跳墙”样品于 20mL 顶空瓶中, 进样体积 500 μ L, 孵育时间 15 min, 孵化温度 80°C, 进样针温度 85°C, 孵化转速 500r/min。

GC 条件: FS-SE-54-CB-1 石英毛细管柱 (15 m $\times$ 0.53 mm, 0.5 μ m), 分析时间 30 min, 色谱柱温度 60°C, 载气类型为 N₂ (纯度 $\geq$ 99.999%)。

IMS 条件：采用 N₂ 作为 IMS 的漂移气体，漂移管温度设置为 45℃。

1.4 滋味活性值计算

滋味活性值 (taste active value, TAV) 按照如下公式^[21]计算：

$$TAV = \frac{\text{样品中某呈味物质的绝对浓度值}}{\text{该物质的味道阈值}} \quad (\text{公式 1})$$

1.5 味精当量计算

味精当量 (equivalent umami concentration, EUC) 计算公式^[22]如下：

$$EUC \left(\frac{gMSG}{100g} \right) = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j) \quad (\text{公式 2})$$

式中：

a_i —鲜味氨基酸的量/(g/100g)；

b_i —鲜味氨基酸相对于谷氨酸单钠 (monosodium glutamate, MSG) 的鲜味系数 (谷氨酸为 1.0；天冬氨酸为 0.077)；

a_j —呈味核苷酸的量/(g/100g)；

b_j —呈味核苷酸相对于 IMP 的鲜味系数 (IMP 为 1.0；AMP 为 0.18；GMP 为 2.3)；

1218—协同作用常数。

1.6 数据处理及分析

使用 Excel 2016 软件绘制表格。使用 origin 2018 (美国 OriginLab 公司) 绘制雷达图、气泡图和多柱状图。使用 SPSS 25.0 软件统计软件对试验数据进行方差分析。每个试验进行 3 次重复，结果以平均值±标准差 (Mean values ± S.D.) 来表示， $P<0.05$ 表示为差异显著。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分

“佛跳墙”含有大量蛋白质，其中以羟脯氨酸含量变化表征“佛跳墙”中胶原蛋白的含量变化。由表 1 所知，传统熬制工艺与现代熬制工艺在蛋白质、羟脯氨酸和总糖的含量上并无明显差异 ($P<0.05$)，仅在脂肪含量上存在显著性差异 ($P<0.05$)，现代工艺熬制的“佛跳墙”中的脂肪含量略高于传统工艺熬制的“佛跳墙”，其余营养成分含量都低于传统工艺熬制的“佛跳墙”。

在熬制过程中，温度升高引起蛋白质降解、脂肪溶出，其中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸溶于汤中，为“佛跳墙”提供一定的营养和风味^[10]。现代熬制工艺中“佛跳墙”脂肪含量较高，一方面可能因为油脂漂浮物较多，另一方面可能是两种熬制工艺的加热器皿不同导致出现熬制过程中受热不均的问题，从而影响营养物质和鲜味物质的浸出^[23]。

表 1 不同熬制工艺“佛跳墙”的蛋白质、羟脯氨酸、脂肪及总糖含量

Table 1 The protein, hydroxyproline, fat, sugar content of Different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

样品	蛋白质 (g/100 g)	羟脯氨酸 (g/100 g)	脂肪 (g/100 g)	总糖 (g/100 g)
传统工艺熬制的“佛跳墙”	75.57±1.50 ^a	0.016±0.00 ^a	0.249±0.02 ^b	0.0162±0.00 ^a
现代工艺熬制的“佛跳墙”	74.67±1.05 ^a	0.014±0.00 ^a	0.320±0.01 ^a	0.0160±0.00 ^a

注：值表示为平均值±SD (n=3)；列内的不同字母表示存在显著差异 ($P<0.05$)。

2.2 游离氨基酸含量

不同熬制工艺“佛跳墙”的游离氨基酸组成情况及其对应的滋味活性值 (TAV 值) 如表 2 所示。传统工艺熬制的“佛跳墙”的游离氨基酸总量 (1224.40 mg/100 g) 略高于现代工艺熬制的“佛跳墙” (1206.20 mg/100 g)，但不存在显著性差异 ($P<0.05$)。TAV 值是成分浓度与其相应味觉识别阈值

的比率，用于表示滋味强度^[24]。两种熬制工艺中对滋味贡献较大的氨基酸都为谷氨酸（鲜）、精氨酸（苦/甜）和丙氨酸（甜）。两种熬制工艺的“佛跳墙”的鲜味氨基酸谷氨酸含量均最高。

氨基酸是人体维持生命活动所需的营养物质之一，其含量与蛋白质降解释放氨基酸以及氨基酸降解有关^[25]。不同熬制工艺下游离氨基酸含量变化可能是因为现代熬制工艺使用的是不锈钢锅加热，不锈钢由金属粒子紧密排列组成，是传热速度快的优良导体，但其散热速度比传热速度慢，因此不能很好地均衡外界热量。传统熬制工艺使用陶瓷坛，陶瓷是有不易传热的黏土和二氧化硅等材料经过高温烧制而成。由于陶瓷内壁分布着许多微孔，因此陶瓷坛具有传热均匀、散热快的特点，有利于高温下氨基酸及核苷酸的生成与释放^[26]。

表 2 不同熬制工艺“佛跳墙”的游离氨基酸组成
Table 2 Composition of amino acid in different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

氨基酸	滋味 贡献	阈值 (mg/100 g)	传统工艺熬制的“佛跳墙”		现代工艺熬制的“佛跳墙”	
			含量 (mg/100 g)	滋味 活性值	含量 (mg/100 g)	滋味 活性值
天冬氨酸	鲜	100	58.90±3.88 ^a	0.59	54.95±1.92 ^a	0.55
谷氨酸	鲜	30	332.84±8.20 ^a	11.09	321.44±1.45 ^a	10.71
丝氨酸	甜	150	62.25±3.86 ^a	0.41	64.95±3.54 ^a	0.43
甘氨酸	甜	130	104.06±3.76 ^a	0.80	100.53±3.08 ^a	0.77
苏氨酸	甜	260	42.67±1.31 ^b	0.16	55.87±2.47 ^a	0.21
丙氨酸	甜	60	108.89±0.93 ^a	1.81	101.48±1.32 ^b	1.69
脯氨酸	甜	-	66.05±1.31 ^a	/	65.99±0.76 ^a	/
赖氨酸	甜/苦	50	62.49±1.84 ^a	1.25	64.88±4.22 ^a	1.30
天冬酰胺	甜	-	44.96±0.82 ^a	/	39.97±1.38 ^b	/
酪氨酸	苦	-	41.45±1.11 ^a	/	39.26±2.64 ^a	/
缬氨酸	苦/甜	40	47.96±0.41 ^a	1.20	46.21±1.26 ^a	1.16
异亮氨酸	苦	90	33.70±2.50 ^a	0.37	31.80±0.73 ^a	0.35
亮氨酸	苦	190	67.08±1.15 ^a	0.35	66.41±0.55 ^a	0.35
精氨酸	苦/甜	50	105.41±5.86 ^a	2.11	104.58±2.30 ^a	2.09
组氨酸	苦	20	26.69±0.10 ^a	1.33	26.35±1.92 ^a	1.32
甲硫氨酸	苦	30	12.03±0.28 ^a	0.40	12.55±1.03 ^a	0.42
色氨酸	苦	-	6.98±0.23 ^b	/	8.97±0.39 ^a	/
总量			1224.40±37.55 ^a		1206.20±30.97 ^a	

注：“-”未查得资料；“/”未计算出；同一行标注不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.3 呈味核苷酸含量

如图 1 所示，不同熬制工艺“佛跳墙”中共检出 4 种呈味核苷酸，其中 5'-IMP、5'-GMP 和 5'-AMP 是食品中主要的鲜味核苷酸^[27]，因此将其含量与滋味活性值（TAV）整理成表 3。两种熬制工艺的“佛跳墙”中 IMP 含量均最高，只有 GMP 含量存在显著性差异（ $P<0.05$ ）。表 3 为三种呈味核苷酸含量及其滋味活性值。研究表明，游离氨基酸和核苷酸均为非挥发性风味物质，他们之间相互影响能够为产品提供更独特的风味^[28]。其中呈味核苷酸与鲜味氨基酸（谷氨酸和天冬氨酸）具有鲜味协同效应，一般用 EUC 来衡量^[29]。经计算，传统熬制工艺 EUC（48.72 gMSG/100 g）高于现代熬制工艺 EUC（45.28 gMSG/100 g），说明传统熬制工艺中呈味核苷酸能更好地与鲜味氨基酸结合发生协同效应，产生更丰富的鲜味^[30]，这与游离氨基酸中鲜味氨基酸含量的研究结果一致。

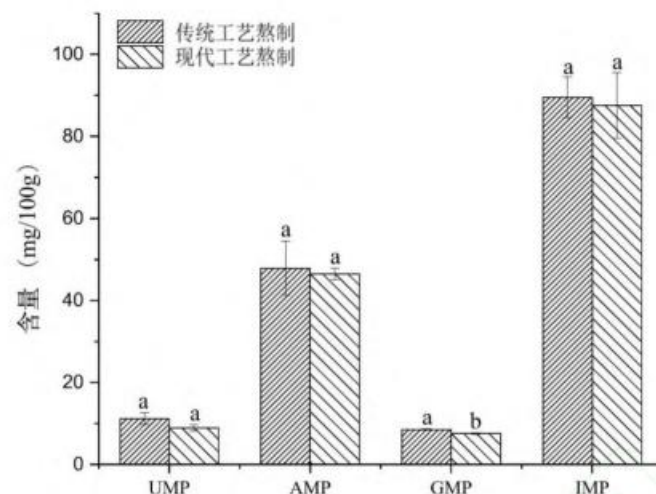


图 1 不同熬制工艺“佛跳墙”的核苷酸含量

Figure 1 Nucleotide content of different cooking methods “Fo Tiao Qiang”

注：图中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。UMP、AMP、GMP、IMP 分别表示：尿苷酸、腺苷酸、鸟苷酸、肌苷酸。

表 3 不同熬制工艺“佛跳墙”的核苷酸含量及滋味活性值

Table 3 Nucleotide content and their TAV's of different cooking methods “Fo Tiao Qiang”

核苷酸	阈值 (mg/100 g)	传统工艺熬制的“佛跳墙”		现代工艺熬制的“佛跳墙”	
		含量 (mg/100 g)	滋味活性值	含量 (mg/100 g)	滋味活性值
腺苷酸 AMP	50	47.82±6.58 ^a	0.96	46.44±1.39 ^a	0.93
鸟苷酸 GMP	12.5	8.52±0.14 ^a	0.68	7.56±0.14 ^b	0.60
肌苷酸 IMP	25	89.53±4.95 ^a	3.58	87.57±8.05 ^a	3.50

注：同一行标注不同字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

2.4 电子舌

2.4.1 滋味轮廓

电子舌能够模拟人类舌头且具有感知和区分非挥发性化合物的功能^[31]。将不同熬制工艺“佛跳墙”滋味做成雷达轮廓图，如图 2 所示无味点 (Tasteless) 是参比溶液输出点，酸味的无味点为-13，咸味的无味点为-6，其他指标的空味点均为 0，以此为基准，当样品的味觉值低于 Tasteless 时说明样品无该味道，反之则有。通过图 2 可见，两种熬制工艺下“佛跳墙”各项味觉指标高度相似，其中两种熬制工艺的“佛跳墙”的酸味值均较低。



图 2 不同熬制工艺“佛跳墙”样品有效味觉指标雷达图

Figure 2 Radar chart of effective taste index of samples of different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

2.4.2 鲜味、咸味与丰富性

由图 3 可知, X 轴表示咸味, Y 轴表示鲜味, 气泡大小表示样品鲜味回味。传统工艺熬制和现代工艺熬制的“佛跳墙”样品的鲜味在 12.3~13.5 之间; 咸味在 -0.5~0.4 之间, 差异均在 0.1 左右, 可见传统熬制和现代熬制的“佛跳墙”在咸味、鲜味方面的差异很小; 在鲜味回味上, 气泡大小相近, 因此两种熬制工艺对“佛跳墙”滋味的丰富性无明显差异。结合图 2 味觉雷达图分析, 其可能原因为“佛跳墙”的鲜味滋味均比较浓郁, 回味较大, 因此丰富性差异不明显。

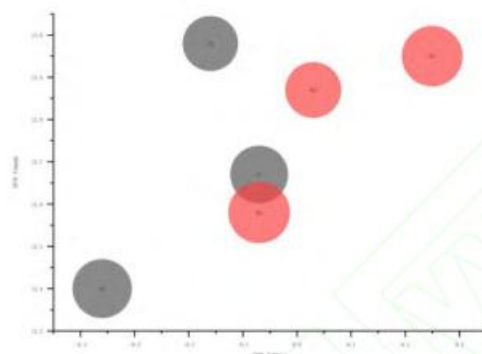


图 3 不同熬制工艺“佛跳墙”的咸味、鲜味和丰富性气泡图

Figure 3 Saltiness, umami and richness bubble chart of different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

注: “A1A2A3”、“B1B2B3”分别为“传统熬制工艺、现代熬制工艺”的三个平行样。

2.4.3 苦味、涩味和苦味回味

如图 4 所示, X 轴表示苦味, Y 轴表示涩味, 气泡大小表示样品苦味回味。传统工艺熬制和现代工艺熬制的“佛跳墙”样品的苦味值在 8.4~9.9 之间, 涩味值在 0.6~1.6 之间; 可见传统工艺熬制“佛跳墙”苦味略高于现代工艺熬制的“佛跳墙”, 现代工艺熬制的“佛跳墙”则是在涩味上要强于传统工艺熬制的“佛跳墙”, 而苦味回味的差异性较小。

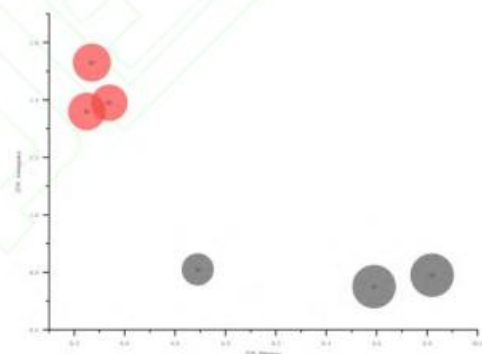


图 4 不同熬制工艺“佛跳墙”的苦味、涩味和苦味回味气泡图

Figure 4 Bitterness, astringency and bitterness aftertaste bubble chart of different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

注: “A1A2A3”、“B1B2B3”分别为“传统熬制工艺、现代熬制工艺”的三个平行样。

2.4.4 主成分分析

主成分分析 (PCA) 通过降维将多个存在一定关联的变量转变为几个互不相关的主成分, 从而揭示多个变量之间的关系^[32]。通常, 当累计贡献率达到 60% 时, 就能选用 PCA 作为变量之间的分离模型^[33]。如图 5 所示, PC1 为 88.7%, PC2 为 8.5%, 总贡献率高达 97.2%, 说明该主成分能够反映样品在气味整体轮廓上的差异。传统工艺熬制和现代工艺熬制的“佛跳墙”滋味上的差异可以通过电子舌区分, 结合前面的分析可知二者之间的差异主要表现在苦味和涩味上。

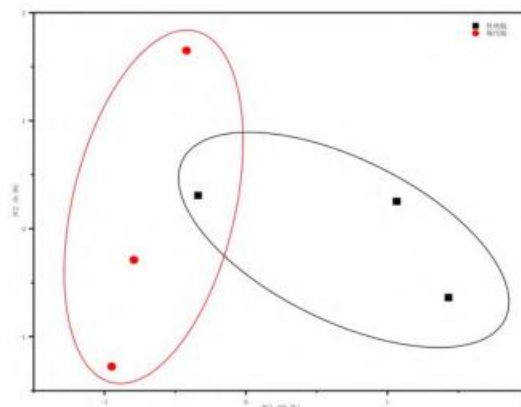


图 5 不同熬制工艺“佛跳墙”的 PCA 主成分分析图

Figure 5 PCA principal component analysis diagram of different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

2.5 挥发性物质

2.5.1 GC-IMS 谱图对比分析

图 6 是由 FlavourSpec®风味分析仪中 LAV 分析软件中 Reporter 插件程序制作的“佛跳墙”的 GC-IMS 谱图。横坐标代表离子迁移时间（Drift time, Dt），纵坐标代表气相色谱的保留时间（Retention time, Rt），图中每一个点代表一种挥发性有机物。由图 6 可以直观地观察到两种“佛跳墙”样品的特征挥发性组分具有各不相同的 GC-IMS 特征谱信息。

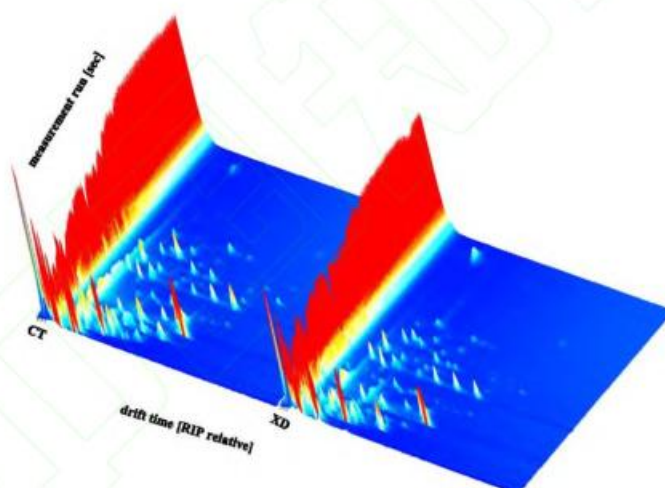


图 6 不同熬制工艺“佛跳墙” GC-IMS 谱图（三维图）

Figure 6 3D-topographic in different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

注：图从左往右为 CT(传统熬制工艺)、XD(现代熬制工艺)。

2.5.2 挥发性组分定性

运用 FlavourSpec®风味分析仪中的 Gallery Plot 插件软件能够以一张谱图为参照，其它几张谱图中浓度相同的物质颜色抵消为白色。被参比样品中的蓝色区域表示该物质浓度低于参比样品，蓝色越深，表示浓度越低；被参比样品中的红色区域表示该物质浓度高于参比样品，红色越深，表示浓度越高。观察图 7 可初步得出以下结论：由于差异图中现代工艺熬制“佛跳墙”谱图中蓝色斑点大量存在，所以传统工艺熬制“佛跳墙”的风味物质组成较现代工艺熬制的“佛跳墙”更丰富。

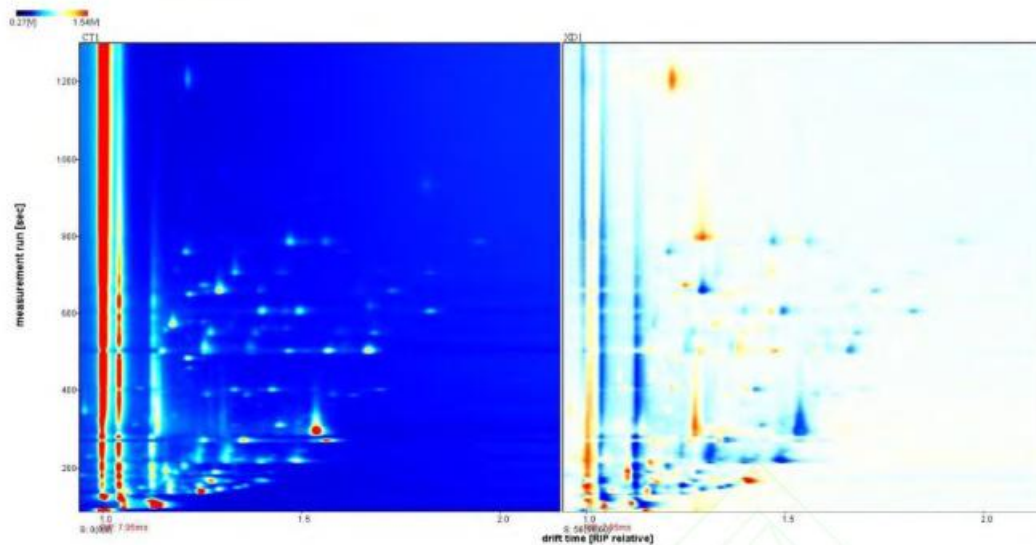


图 7 不同熬制工艺“佛跳墙”GC-IMS 迁移谱图（差异图）

Figure 7 GC-IMS migration spectra in different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

注：图从左往右为 CT(传统熬制工艺)、XD(现代熬制工艺)。

图 8 为图 6 投影到二维平面的 GC-IMS 谱图俯视图，整个背景为蓝色，横坐标 1.0 处红色竖线为 RIP 峰（反应离子峰，经归一化处理），图中横坐标代表离子迁移时间（Drift time, Dt），纵坐标代表气相色谱的保留时间（Retention time, Rt），RIP 峰两侧的每一个点代表一种挥发性有机物，点的颜色代表物质的浓度，白色表示浓度较低，红色表示浓度较高，颜色越深表示浓度越大^[34]，RIP 右侧两条带状峰为乙醇单体和二聚体，因浓度较高呈现带状。应用 GC-IMS Library Search 软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库对物质进行定性分析，共定性检出挥发性物质为 36 种单体及部分物质的二聚体，主要包括醇类、醛类、酮类、酯类及其他类别。

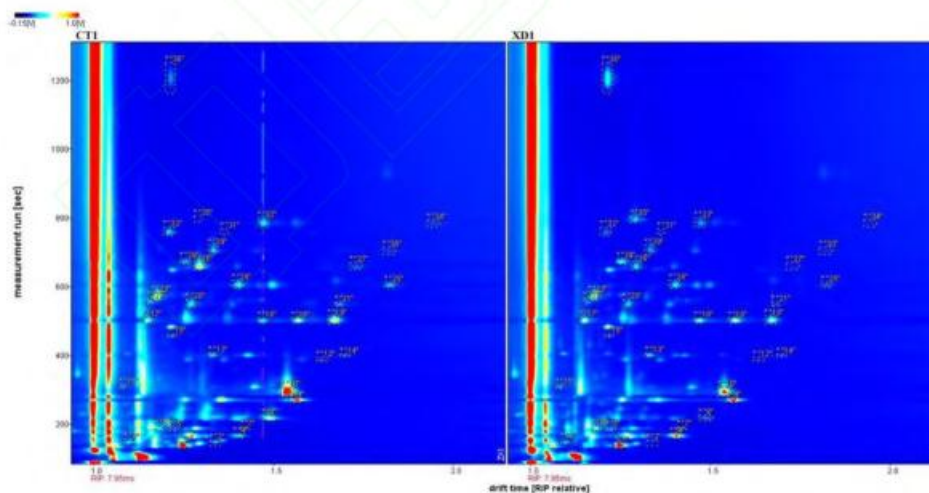


图 8 不同熬制工艺“佛跳墙”的 GC-IMS 谱图定性结果

Figure 8 Results of GC-IMS spectra in different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

注：图从左往右为 CT(传统熬制工艺)、XD(现代熬制工艺)。

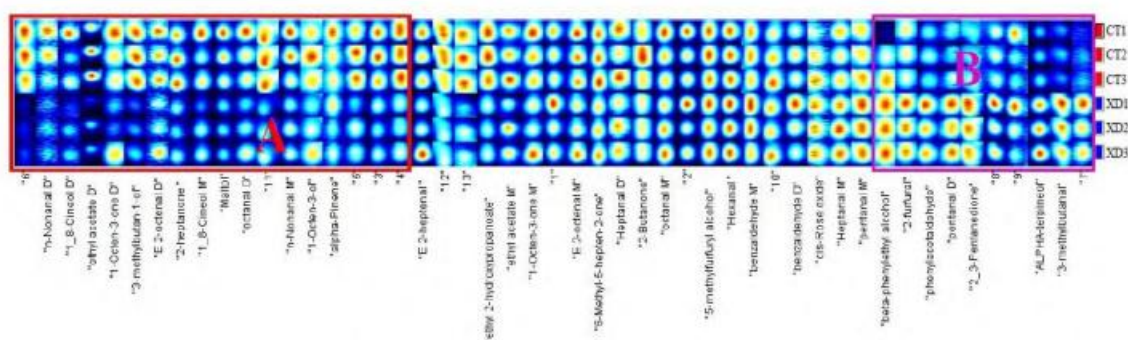


图 9 不同熬制工艺“佛跳墙”GC-IMS 挥发性物质指纹图谱
Figure 9 GC-IMS volatile substances fingerprint in different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”
注：CT 为(传统熬制工艺)、XD 为(现代熬制工艺)。

图 9 为不同熬制工艺“佛跳墙”挥发性物质指纹图谱。其中每一行代表一个样品检测出的全部挥发性有机物质，每一列是不同样品间同一种物质的对比。观察图 9 指纹图谱可知：传统工艺熬制的“佛跳墙”风味物质组成较现代工艺熬制的“佛跳墙”更丰富。其中，醛类化合物来自氨基酸代谢或脂肪酸氧化^[35]，其阈值低，对食品风味有重要影响，如 A 框中的 E 2-heptenal (E 2-庚醛)、octanal (辛烷)、E 2-octenal (E 2-辛烯醛)、n-Nonanal (n-正壬醛) 等；醇类物质一般认为来自于脂肪氧化，可以产生特殊芳香味，如 1-Octen-3-ol (1-辛基-3-醇)、Alpha-Pinene (α -蒎烯)、3-methylbutan-1-ol (3-甲基丁-1-醇)、1,8-Cineol (1,8-桉叶油醇) 等；酯类物质来自氨基酸、糖与脂质生物合成的前体物质，如 ethyl acetate (乙酸乙酯)；酮是由脂质氧化、美拉德反应和氨基酸降解产生的^[36]，如 1-Octen-3-one (1-辛-3-酮)。只有少量如 B 框中的 beta-phenylethyl alcohol (β -苯乙醇)、ALPHA-terpineol (α -松油醇)、2-furfural (2-糠醛)、pentanal (戊醛)、3-methylbutanal (3-甲基丁醛)、phenylacetaldehyde (苯乙醛)、2,3-Pentanedione (2,3-戊二酮) 等风味物质在现代工艺熬制“佛跳墙”中含量较高。

2.5.3 GC-IMS 主成分分析

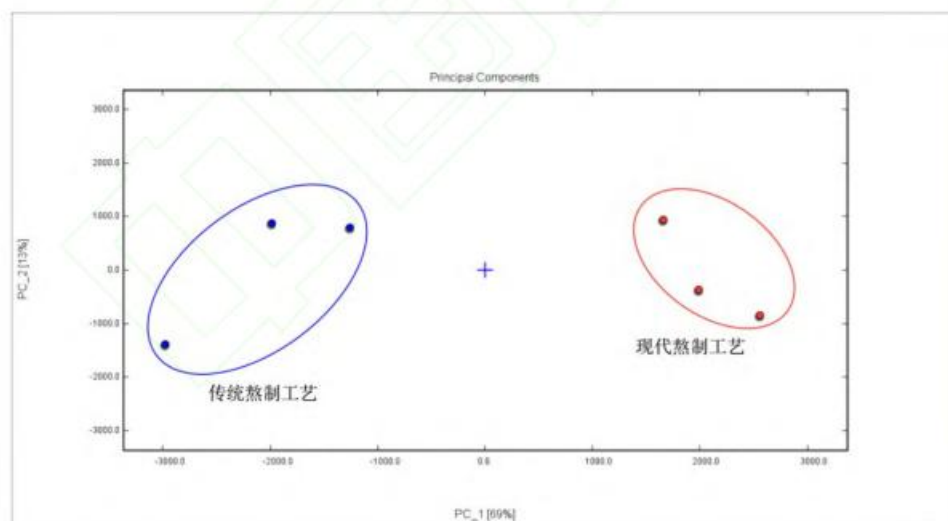


图 10 不同熬制工艺“佛跳墙”的 PCA 分析图
Figure 10 PCA analysis chart of different cooking methods of “Fo Tiao Qiang”

通过 GC-IMS 主成分分析可以更直观地了解不同熬制工艺“佛跳墙”的风味差异。分析结果见图 10，PC1 (69%) 与 PC2 (13%) 累计贡献率为 81% (>70%)，说明结果该两个主成分能够代表不同熬制工艺“佛跳墙”中挥发性物质的特征信息。两种熬制工艺的“佛跳墙”样品各自聚类，在第一主成分上差异明显，第二主成分上差异不明显，而第一主成分代表了样品 69% 的特征信息，说明不同熬制工艺“佛跳墙”样品的挥发性风味物质可明显区分。

3 结论

通过理化指标分析、非挥发性风味物质含量测定、电子舌和 GC-IMS 技术,对“佛跳墙”在不同熬制工艺下的营养成分及风味物质进行了研究。结果表明,传统工艺熬制的“佛跳墙”在蛋白质、游离氨基酸及核苷酸含量方面均高于现代工艺熬制的“佛跳墙”;在游离氨基酸总量和呈味核苷酸总量上,传统熬制工艺“佛跳墙”的都高于现代熬制工艺的,且传统熬制“佛跳墙”中的呈味核苷酸能更好地与鲜味氨基酸发生协同效应,产生更丰富的鲜味。电子舌技术能够清晰地区分“佛跳墙”中不同滋味及其丰富性,得到的滋味轮廓图以及气泡图再结合主成分分析进一步验证了两种熬制工艺“佛跳墙”在咸味和涩味等滋味上有明显区别。GC-IMS 分析结果表明传统熬制工艺的挥发性风味物质较现代熬制工艺的更丰富,结合主成分分析得出不同熬制工艺对“佛跳墙”挥发性风味物质有明显差异。综上,本研究通过对“佛跳墙”在不同熬制工艺下营养成分和风味物质的变化分析,得出传统熬制工艺在营养和风味品质上更优于现代熬制工艺,可为“佛跳墙”产品生产与应用提供理论依据。

参考文献:

- [1] 袁红飞, 钟小清, 唐胜春, 等. 基于电子舌和气相色谱-离子迁移谱分析不同等级佛跳墙的风味特征[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(9): 73-84. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1689.2021.09.010.
- [2] 袁红飞, 王百龙, 王成刚, 等. 中式菜肴的工业化研究进展——以闽菜的工业化发展为例[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(5): 218-224. DOI: CNKI:SUN:BXJG.0.2020-05-042.
- [3] 傅宝尚, 敖晓林, 祁立波, 等. “佛跳墙”高汤熬制过程中的营养与风味变化[J]. 轻工学报, 2020, 35(1): 13-20. DOI: CNKI:SUN:ZZQB.0.2020-01-004.
- [4] 刘树萍, 陆家慧, 方伟佳. 熬制工艺对鲜金针菇菌汤品质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 31-38. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9973.2021.01.007.
- [5] 戴志平, 林向阳, 欧如蓉, 等. 佛跳墙主料中鲍鱼预处理方法的加工工艺优化[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 11-16. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201414003.
- [6] 戴志平. 佛跳墙食品生产工艺及其货架期的研究[D]; 福州大学, 2014.
- [7] 胡琴, 祁立波, 傅宝尚, 等. 预熟制佛跳墙冷冻调理食品的开发及其加工条件优化[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 11-16. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9973.2021.01.003.
- [8] 肖智超, 葛长荣, 周光宏, 等. 肉的风味物质及其检测技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 325-330. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.054.
- [9] 刘蓉, 刘雨曦, 张玉莹, 等. 基于代谢组学的虾夷扇贝不同组织风味与营养成分变化差异[J]. 食品科学, 2022: 1-11. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20211223-276.
- [10] 周亚军, 李彬, 马清书, 等. 不同熟制方式对酱卤猪蹄食用品质及风味物质的影响[J]. 食品科学, 2022: 1-13. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20220108-056.
- [11] 邹金浩, 林耀盛, 杨怀谷, 等. 岭南黄鸡炖鸡汤过程中营养及风味物质的变化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 328-337. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.11.0276.
- [12] 朱烨, 陈晓婷, 乔琨, 等. 气相色谱及其联用技术在食品风味中的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(6): 200-210. DOI: DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2022.06.026.
- [13] ZHAO M, LI T, YANG F, et al. Characterization of key aroma-active compounds in Hanyuan Zanthoxylum bungeanum by GC-O-MS and switchable GC × GC-O-MS[J]. Food Chemistry, 2022, 385: 132659. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132659.
- [14] WANG S, CHEN H, SUN B. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126158. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126158.
- [15] WU L, PU H, SUN D-W. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 83: 259-273. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.002.

- [16] 冯廷闯, 符漫, 熊英梅, 等. 基于电子舌、电子鼻和 GC-MS 分析襄阳大头菜新、老卤水滋味和挥发性物质[J]. 中国酿造, 2021, 40(11): 49-54. DOI: 10.11882/j.issn.0254-5071.2021.11.009.
- [17] 袁灿, 何莲, 胡金祥, 等. 基于电子舌和电子鼻结合氨基酸分析鱼香肉丝调料风味的差异[J]. 食品工业科技, 2022; 43(9): 48-55. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070282
- [18] 陈思彤, 赵峰, 王淑燕, 等. 基于 AQC 衍生和液质联用的茶叶游离氨基酸分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(10): 2278-2285. DOI: CNKI:SUN:GXNY.0.2019-10-019.
- [19] 曹荣, 胡梦月, 谭志军, 等. 基于电子舌和气相色谱-离子迁移谱分析坛紫菜与条斑紫菜的风味特征[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 186-191. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20191110-101
- [20] 刘常园, 方东路, 汤静, 等. 基于电子鼻和 GC-IMS 分析复热对香菇汤挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(4): 46-53. DOI: 10.3969/j.issn.2095-6002.2020.04.006
- [21] 鲁玉凤, 王福田, 聂勇涛, 等. 不同产区青蟹肝胰腺风味品质的比较[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 224-235+118. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0538.
- [22] 陈子琪, 邵海燕, 房祥军, 等. 植物乳杆菌发酵香菇不同部位风味物质变化研究[J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 130-139. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2020.08.015.
- [23] 黄文垒, 钱静, 逢健. 鸡清汤的制作工艺及影响因素分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(11): 122-127. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6521.2017.11.027.
- [24] XU X, YOU M, SONG H, et al. Investigation of umami and kokumi taste-active components in bovine bone marrow extract produced during enzymatic hydrolysis and Maillard reaction[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(11): 2465-2481. DOI: 10.1111/ijfs.13893.
- [25] 李琴. 双孢蘑菇汤特征风味物质的鉴定及熬制过程风味物质释放规律研究[D]. 江南大学, 2011.
- [26] 贺习耀, 王婵. 加热方式对鸡汤风味品质影响的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(10): 77-82. DOI: CNKI:SUN:SSPJ.0.2013-10-021.
- [27] 黎琪, 李晓敏, 姜德铭, 等. 高效液相色谱法检测熟制猪肉中呈味核苷酸[J]. 肉类研究, 2022, 36(3): 26-31. DOI: 10.7506/rlyj1001-8123-20211213-237.
- [28] SUN L-B, ZHANG Z-Y, XIN G, et al. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 96: 176-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.018>
- [29] LIU Y, QIU C. Calculated Taste Activity Values and Umami Equivalences Explain Why Dried Sha-chong (Sipunculus nudus) Is a Valuable Condiment[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2014, 25(2): 177-184. DOI: 10.1080/10498850.2013.839591.
- [30] SHEN X, WANG Y, RAN L, et al. Flavor deterioration of liquid endosperm in postharvest tender coconut revealed by LC-MS-based metabolomics, GC-IMS and E-tongue[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 187: 111866. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111866>.
- [31] ISMAIL I, HWANG Y-H, JOO S-T. Low-temperature and long-time heating regimes on non-volatile compound and taste traits of beef assessed by the electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2020, 320: 126656. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126656>.
- [32] 杨芳, 杨莉, 张振宇, 等. 基于气相-离子迁移谱对竹燕窝菌汤风味成分的分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 8-14+24. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050191.
- [33] WU Z, CHEN L, WU L, et al. Classification of Chinese Honeys According to Their Floral Origins Using Elemental and Stable Isotopic Compositions[J]. J Agric Food Chem, 2015, 63(22): 5388-5394. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b01576
- [34] WANG D, ZHANG J, ZHU Z, et al. Effect of ageing time on the flavour compounds in Nanjing water-boiled salted duck detected by HS-GC-IMS[J]. LWT, 2022, 155: 112870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112870>.
- [35] SUN A, WU W, SOLADOYE O P, et al. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review[J]. Food Research International, 2022, 151: 110823. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110823>.
- [36] ZHANG L, HU Y, WANG Y, et al. Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using an electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS[J]. LWT, 2021, 140: 110764. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110764>.