

## 果糖和葡萄糖对真空油炸鹰爪虾风味的影响

胡科娜<sup>1</sup>, 谷贵章<sup>2</sup>, 高兴杰<sup>1</sup>, 张进杰<sup>1\*</sup>, 邹祖全<sup>3</sup>, 杨文鸽<sup>1</sup>, 徐大伦<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宁波大学食品与药学学院 浙江宁波 315000

<sup>2</sup> 湖州食品药品检验研究院 浙江湖州 313000

<sup>3</sup> 宁波大学医学院 浙江宁波 315000

**摘要** 美拉德反应是高温油炸烹制食品风味产生的主要途径之一。本文对比分析互为同分异构体的还原糖——果糖和葡萄糖,对油炸鹰爪虾风味作用的影响。基于电子鼻、电子舌和感官评定,添加痕量还原糖能显著提升油炸虾的风味品质,且果糖比葡萄糖对油炸虾在滋味和挥发性风味上的促进作用更为显著。GC-MS 分析得出痕量还原糖能显著增加油炸虾的挥发性风味物质,油炸虾对照组、添加痕量葡萄糖组和添加痕量果糖组分别检出 38,41,56 种挥发性气味物质,其中吡嗪类物质含量增加最为显著,对照组吡嗪类物质占总挥发性风味物质的 0.76%,痕量葡萄糖组和果糖组的吡嗪类物质分别增至 42.31%和 42.44%。油炸虾对照组、添加痕量葡萄糖组和果糖组的气味活度(OAV)值大于 1 的挥发性物质分别有 8,17,20 种,确定添加还原糖后,鹰爪虾的关键风味物质为 2,5-二甲基吡嗪、3-二乙基-2,5-二甲基吡嗪、2-甲基丁酸甲酯和三甲胺等物质,其中,2,5-二甲基吡嗪在添加痕量葡萄糖组中的风味贡献最显著,而 3-二乙基-2,5-二甲基吡嗪和 2-甲基丁酸甲酯是添加痕量果糖组中风味贡献最主要的成分。结果表明,添加不同还原糖能够促进油炸鹰爪虾不同关键风味物质的形成,虽然葡萄糖和果糖互为同分异构体,但是果糖在风味提升上优于葡萄糖。

**关键词** 鹰爪虾; 果糖; 葡萄糖; 挥发性风味物质

**文章编号** 1009-7848(2023)01-0216-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.01.021

鹰爪虾,也称沙虾、红虾、硬壳虾,隶属于对虾科,鹰爪虾属,是一类产量较高的中型经济虾<sup>[1]</sup>。其甲壳较厚,虾体粗短,出肉率高,肉质鲜美<sup>[1]</sup>,广泛分布于马来西亚、澳大利亚、非洲东岸、地中海东部等海域,在我国的东海及黄渤海均有分布,其中,山东省威海市是鹰爪虾的高产海区<sup>[2-3]</sup>。其结群性强、昼伏夜出,喜欢栖息在近海泥沙海底,是拖虾作业渔船的主要捕捞对象之一,目前市场上的鹰爪虾主要以鲜销和冷冻粗加工为主<sup>[4]</sup>,产品结构单一,无法满足消费者对食品多元化、健康化和营养化的需求,开发创新型的鹰爪虾食品已成为海产品企业的迫切需求。

真空油炸技术是近年来逐渐发展起来的新型食品加工技术,它以食用油为媒介,利用水的沸点在真空状态下会随着压力的减少而降低的原理,从而实现产品在低温下的快速脱水<sup>[5]</sup>。真空油炸低

温、低氧的条件,能够保留产品的营养品质和原有风味<sup>[6-7]</sup>,然而,其较少诱人的烹饪风味。美拉德反应作为一种非酶促褐变反应,能够赋予食品特有的风味特征,对产品的风味、营养等产生重要影响<sup>[8]</sup>。还原糖作为美拉德反应的重要前体物质<sup>[9]</sup>,向食品中添加不同的还原糖必然会在油炸过程中发生美拉德反应,产生芳香呈味物质,赋予食品独特的风味和色泽。同一个还原糖体系,美拉德反应形成的风味物质也会有明显差异<sup>[10-11]</sup>。周张涛等<sup>[12]</sup>在研究不同还原糖对葵花籽油风味的影响时发现,果糖是美拉德反应最适合的还原糖单糖;Michel 等<sup>[13]</sup>对鸡肉中添加不同糖类及酸类等物质时发现,核糖浓度的增加对鸡肉风味具有促进作用;吴靖娜等<sup>[14]</sup>将鲍鱼与木糖、葡萄糖一同在高温下蒸煮,发现鲍鱼蒸煮液的海鲜风味浓厚。采用棕榈油及棕榈油协同还原糖真空油炸处理鹰爪虾,是否会改善其色泽和香味,还未见报道,这一研究将对鹰爪虾产品的高值化加工具有一定意义。

本文以鹰爪虾为研究对象,基于企业真空油炸生产工艺,通过电子鼻和电子舌对油炸、添加葡萄糖油炸和添加果糖油炸 3 种处理方式进行比较

收稿日期: 2022-01-20

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2020YFD0900903)

第一作者: 胡科娜,女,硕士生

通信作者: 张进杰 E-mail: jackace@163.com

分析,通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析 3 种真空油炸虾的挥发性成分,并利用气味活度值(OAV)分析挥发性风味成分对总体风味的贡献程度,比较 3 种处理下鹰爪虾关键风味的异同,为真空油炸鹰爪虾的精深加工提供风味提升的技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

试验所使用的鹰爪虾购于浙江省宁波市路林水产市场,在低温环境下 1 h 内运回实验室,鹰爪虾的大小形态基本一致,体长约 8 cm,体重约 4 g;精炼分提棕榈油(熔点为 24 ℃),广东中储粮油脂工业有限公司;雅恩牌纯净葡萄糖,汕头市天地和食品有限公司;低聚果糖,山东百龙创园科技股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Fox-3000 型电子鼻,法国 Alpha MOS 公司;FA2104N 电子分析天平,奥豪斯仪器上海有限公司;Agilent 7890B-5977B 气质联用仪,美国安捷伦公司;Astree 电子舌,阿尔法莫斯公司;YH-ZKYZJ 低温真空油炸锅,宁波亿鸿品机械有限公司。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 样品制备** 将购买的冷藏鹰爪虾在室温下解冻清洗,分为 3 组,每组 2 000 g,组 1 直接将虾仁表面的水分晾干,备用;组 2 将虾仁放入浓度为 1 mol/L 葡萄糖溶液中浸泡 30 min,随后取出,晾干虾仁表面的水分,备用;组 3 将虾仁放入浓度为 1 mol/L 的果糖溶液中浸泡 30 min,随后取出,晾干虾仁表面的水分,备用。试验模拟企业油炸虾干生产工艺,采用真空油炸工艺对鹰爪虾进行处理。

向锅内倒入 5 000 g 棕榈油,温度加热到 80 ℃,分别向锅内倒入组 1、组 2 和组 3 的鹰爪虾,保持锅内真空度为 -0.095 MPa 经过 90 min 油炸后捞出控油,待其冷却后装入塑封袋中,记为油炸组、葡萄糖组和果糖组。

**1.3.2 电子鼻检测** 将油炸后的鹰爪虾去壳,取可食部分搅碎后,精准称取 2 g 虾肉装入顶空瓶内,加盖密封,常温静置 60 min 后,用电子鼻检测。

设定电子鼻的检测时间为 180 s,延滞时间为 1 080 s,以空气作为载体,载体流速为 150 mL/min。每个样品重复测定 3 次。

**1.3.3 电子舌检测** 电子舌测定前活化传感器 24 h,并进行电子舌的初始化、校准、诊断过程。试验以 100 s 为每个样品的数据采集时间,且每 1 s 采集 1 组数据,取最后 20 s 测量值的平均值作为该组最终的结果。每个样品的测量次数为 7 次,取后 4 次的结果,以确保传感器输出回应值的稳定性。

**1.3.4 感官评价** 挑选具有食品专业背景且受过专业培训的品评人员 20 名(8 男 12 女,年龄 20~24 岁),对真空油炸鹰爪虾的风味质量进行感官评定。品评人员在进行评定前 24 h 内,禁烟、禁酒、禁食刺激性食物,品评时,品评人员需熟知鹰爪虾的感官特性,随后对气味、色泽、质地、组织状态及滋味进行评定。感官评价采用 15 分制,每项评分的最终值为去掉 1 个最高分和 1 个最低分后的平均值。

表 1 感官评价判断标准  
Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	分值
色泽	颜色呈均匀橙红色,有光泽	11~15
	颜色呈均匀橙黄色,略有光泽	6~10
	颜色呈均匀米白色,无光泽	1~5
组织状态	肌肉有弹性,肉与壳连接较为紧密	11~15
	肌肉弹性较差,组织较为松散	6~10
	剥壳时虾仁不成形,呈糊状	1~5
滋味	油炸虾特有的厚味,浓厚明显,回味感较强	11~15
	厚味较好,回味感一般	6~10
	厚味较差,无回味感	1~5
气味	具有油炸虾固有的清香味,无腥臭味等异味	11~15
	清香味一般,无腥味	6~10
	清香味较差,略有腥味	1~5
质地	咀嚼时弹性好,无碎肉感	11~15
	较有弹性,口感一般	6~10
	肉质松散,无嚼劲	1~5

1.3.5 挥发性物质检测 精准称取样品 20 mL 置于顶空瓶内,于 60 °C 的水浴中平衡 5 min,将萃取头插入到顶空瓶中,顶空 60 °C 吸附 30 min,萃取完成后进行解析。

气相色谱条件: 色谱柱:HP-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温:起始温度 35 °C,保持 3 min 后,以 8 °C/min 升温至 250 °C,保持 10 min;进样口和汽化室温度均为 250 °C;载气为 He,体积流量 1.3 mL/min,不分流。

质谱条件: 电子轰击离子源; 电子能量 70 eV;接口温度 280 °C;离子源温度 230 °C;质量扫描范围  $m/z$  50~500。

1.3.6 计算气味活性值 参考李柯呈等<sup>[15]</sup>的方法,稍作改动。气味活性值由浓度除以其气味阈值得到,为每一种化合物的浓度与其在水中的检测阈值的比率。

#### 1.4 数据处理

用 Excel 对数据进行整理,试验所得数据均进行 3 次重复,结果用“平均值±标准偏差”表示,用 Origin 9.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子鼻的雷达指纹图分析

电子鼻利用气敏传感器对多种气体的交叉敏感性,将不同气体分子在其表面的作用转化为便于计算的,与时间相关的可测物理信号组,实现混合气体的分析。

图 1 为 3 种真空油炸处理方式下,鹰爪虾香气轮廓的传感器响应雷达图。总体来看,痕量葡萄糖组和痕量果糖组的香气轮廓比对照组大,说明添加还原糖能够促进油炸鹰爪虾风味物质的增加。

对照组、痕量葡萄糖组和痕量果糖组的香味物质在 LY2/LG、T40/1、T40/2、P10/1、P10/2、LY2/gCT、LY2/gCTL、LY2/GH、LY2/AA 和 LY2/G 这 10 根传感器上的响应值差异较小,说明上述 3 种处理方式对鹰爪虾香气轮廓的影响较小,根据表 2 可知,这 10 根传感器的敏感物质类型包括:氯、氟、氮氧化物、硫化物、丙醇、碳氮化合物、烷烃类物质等。

痕量葡萄糖组和痕量果糖组的响应值在 P30/

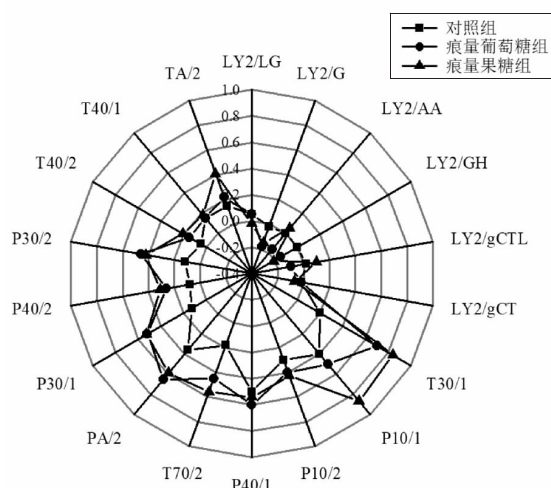


图 1 不同处理方式下鹰爪虾挥发性化合物的雷达指纹图  
Fig.1 Radar fingerprints of volatile compounds in crayfish in different treatments

2、P40/2、P30/1、PA/2 和 T70/2 这 5 根传感器上差异很小,并且这两者的响应值明显高于对照组,表明这 5 根传感器可以明显区分添加和不添加还原糖后油炸鹰爪虾的香味差异,根据表 2 可知,这 5 根传感器的敏感物质主要是酮、乙醇、氨水、甲苯、二甲苯、一氧化碳等,由此可见,添加还原糖能够使油炸鹰爪虾增加这几大类物质。

痕量葡萄糖组和痕量果糖组回应值的轮廓相似,表明两者的香气成分接近,然而在 TA/2、P10/1 和 T30/1 这 3 根传感器上的响应值有明显差异,痕量葡萄糖组的响应值分别为 0.22,0.5,0.7,而痕量果糖组的响应值为 0.41,0.87,0.84,痕量果糖组的响应值高于痕量葡萄糖组,说明添加果糖对油炸鹰爪虾的风味有更好的促进作用。

### 2.2 鹰爪虾的电子舌分析

电子舌技术主要通过电子舌对样品进行分析,采用多元统计方法将得到的资料进行处理,从而反映出样品的质量信息,实现对样品的识别和分类。

由图 2 可知,对照组鹰爪虾的滋味呈现较为均匀,其香草味、腥味、水果味、甜味、虾味、坚果味和烧烤味的得分相差较小,分别为 10,12,22,20,12,10,相较而言,其水果味和甜味较为突出。痕量葡萄糖组和痕量果糖组在甜味、虾味、坚果味和烤肉味的呈现上与对照组的鹰爪虾有明显差异,其

表 2 传感器及其对应敏感物质类型

Table 2 Types of sensors and their corresponding sensitive substances

序号	传感器名称	敏感物质类型	序号	传感器名称	敏感物质类型
1	LY2/LG	氯、氟、氮氧化物、硫化物	10	P40/1	氟、氯
2	LY2/G	氨、胺类化合物、碳氮化合物	11	T70/2	甲苯、二甲苯、一氧化碳
3	LY2/AA	乙醇、丙醇、氨	12	PA/2	乙醇,氨水,胺类化合物
4	LY2/GH	氨、胺类化合物	13	P30/1	碳氢化合物、氨、乙醇
5	LY2/gCTL	硫化氢	14	P40/2	氯、硫化氢、氟化物
6	LY2/gCT	丙烷、丁烷	15	P30/2	硫化氢、酮
7	T30/1	极性化合物、氯化氢	16	T40/2	氯
8	P10/1	非极性;碳氢化合物、氨、氯	17	T40/1	氟
9	P10/2	非极性;甲烷、乙烷	18	TA/2	乙醇

得分远远高于对照组,痕量葡萄糖组的得分分别为 30,68,80,痕量果糖组的得分分别为 47,75,86。结果说明添加还原糖对鹰爪虾的甜味、虾味、坚果味和烤肉味具有促进作用,在油炸过程中促进了此类风味化合物的产生。

### 2.3 真空油炸对鹰爪虾制作过程中感官评价的影响

感官评价作为评价食品质量的重要指标,通过人的感官来感知食物的风味和口味。

对照组的鹰爪虾是将鲜虾直接放入高温油锅内煎炸所得到,由图 3 可知,对照组鹰爪虾的色泽、组织状态、滋味、气味和质地这 5 个指标的得分分别为 12.1,13.4,12.5,12.7,13.4,痕量葡萄糖组和痕量果糖组的质地和组织状态这 2 个指标的得分分别为 13.2 与 13.5,13.7 与 13.7,上述得分显示添加葡萄糖和果糖对油炸鹰爪虾的质地和组

织状态的影响较小。

在色泽、气味和滋味这 3 个指标上,3 组处理均有明显的差距,痕量葡萄糖组和痕量果糖组的得分显著高于对照组,从色泽得分上看,添加葡萄糖、果糖后鹰爪虾的得分高达 14.3,14.6,而对照组的得分仅为 12.1,这是因为添加还原糖后,游离氨基与羰基化合物能够在高温下发生一系列复杂的反应,使反应物体的表观颜色发生明显变化<sup>[16]</sup>;从气味得分上看,添加葡萄糖、果糖后,鹰爪虾的得分也分别高于对照组 1.1,1.6,这是因为还原糖和氨基酸作为美拉德反应的主要反应物,对食品的风味能够起到促进作用<sup>[17]</sup>;从滋味得分上看,添加葡萄糖、果糖后,鹰爪虾的得分分别为 14.1,14.4,说明美拉德反应产生的吡嗪类、醛类等风味物质对鹰爪虾的滋味也会产生促进作用,使油炸鹰爪虾的口感更佳。

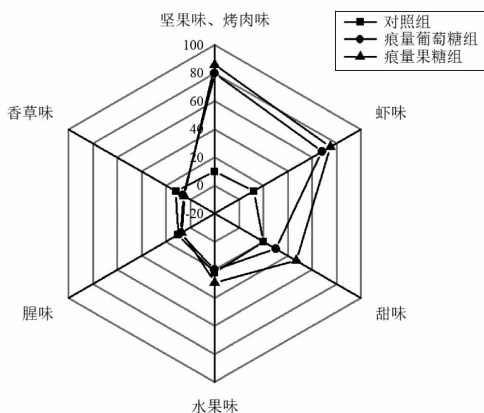


图 2 不同处理方式下鹰爪虾的电子舌分析图  
Fig.2 Analysis of electronic tongue of crayfish in different treatments

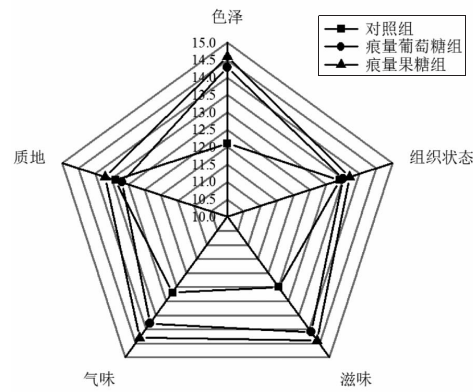


图 3 不同处理方式下鹰爪虾的感官评价雷达图  
Fig.3 Radar chart of sensory evaluation of crayfish in different treatments

总体来看,痕量果糖组鹰爪虾的感官评分优于痕量葡萄糖组,且远高于对照组,说明添加还原糖能够对油炸鹰爪虾的感官起到促进作用。葡萄糖和果糖互为同分异构体,由于葡萄糖属于醛糖,其官能团为醛基(-CHO)和羟基(-OH),而果糖属于酮糖,其官能团为羰基(-CO-)和羟基(-OH)<sup>[18]</sup>,可能由于果糖的官能团更易与游离氨基酸发生美拉德反应,使痕量果糖组的鹰爪虾在感官上优于痕量葡萄糖组。

## 2.4 真空油炸下鹰爪虾的挥发性成分分析

### 2.4.1 挥发性化合物的种类及相对含量分析

在食品加工过程中,挥发性风味物质一般以美拉德反应、焦糖化反应、脂质氧化与降解等途径生成,并且生成的这些芳香化合物能够使食品的风味体系得到丰富与增强<sup>[9]</sup>。添加果糖和葡萄糖可能参与美拉德反应,果糖和葡萄糖逐渐降解成各种中间体和高级MMP,包括 $\alpha$ -二羰基化合物、有机酸和黑色素<sup>[20]</sup>。在对照组的鹰爪虾中,共鉴定出38种挥发性化合物,其中含有吡嗪类3种,碳氢化合物2种,含氮化合物3种,酸类5种,醇类4种,醛类4种,酮类9种,酯类6种和呋喃类2种。而采用葡萄糖油炸和果糖油炸这两种处理,鹰爪虾的挥发性化合物种类总数分别达到41种和56种。

由表3可知,对照组鹰爪虾的挥发性成分以含氮化合物、酸类和酯类为主,所占比例高达48.39%,20.39%,20.96%,其次为醇类、醛类、酮类和呋喃类,吡嗪类和碳氢化合物的挥发性成分所占比例最少,不到1%。

葡萄糖和果糖均为六碳糖,属于单糖<sup>[21]</sup>,虽然果糖分子中没有醛基,但碱性条件下其分子结构能够发生变化,将酮基转化为醛基<sup>[16]</sup>,因此,葡萄糖和果糖均具有还原力。痕量葡萄糖组和痕量果糖组的鹰爪虾与对照组相比,吡嗪类和醛类的挥发性风味物质含量大大增加,两者的吡嗪类物质种类均由原来的3种增加为10种,相对含量分别达到42.31%和42.44%,对鹰爪虾的风味物质属性起到了决定性作用。并且采用添加不同还原糖油炸鹰爪虾的处理,对其醛类物质也有很大影响,两者的醛类物质均增加到了8种,挥发性风味物质所占的相对含量超过16%。向真空油炸鹰爪虾中添加还原糖,从氨基酸的游离氨基攻击还原糖(葡萄糖和果糖)的活性羰基后,开始会发生一系列的美拉德反应,第一阶段最终产物是Amadori化合物,分别在酸性、碱性和中性条件下,与脱氢还原酮中间体形成3-脱氧渗出物和2,3-烯二醇。2,3-烯二醇对于 $\alpha$ -二羰基化合物的形成尤其重要,从 $\alpha$ -二羰基化合物中可以产生各种挥发物,如醛、酮、吡嗪、吡咯和吡啶<sup>[22]</sup>。

采用添加不同还原糖油炸处理后鹰爪虾的含氮化合物、酸类和酯类的挥发性化合物所占比例有明显减少,其中,所占相对含量百分比最高的含氮化合物从对照组的48.39%下降到痕量葡萄糖组的12.59%和痕量果糖组的7.93%,还原糖作为美拉德反应的重要底物,对其反应速度、反应产物等均会产生影响,有研究发现,美拉德反应具有一定的抗氧化能力<sup>[23-25]</sup>,添加还原糖不仅可以加强产

表3 鹰爪虾挥发性化合物种类及相对含量

Table 3 Species and relative contents of volatile compounds in crayfish

物质类别	挥发性化合物种类和相对含量		
	对照组	痕量葡萄糖组	痕量果糖组
吡嗪类	3(0.76%)	10(42.31%)	10(42.44%)
碳氢化合物	2(0.22%)	3(0.14%)	4(0.57%)
含氮化合物	3(48.39%)	2(12.59%)	3(7.93%)
酸类	5(20.39%)	6(13.37%)	7(11.80%)
醇类	4(1.25%)	0(0.00%)	3(1.71%)
醛类	4(3.62%)	8(18.90%)	8(16.77%)
酮类	9(3.11%)	6(2.58%)	11(6.15%)
酯类	6(20.96%)	3(7.98%)	7(10.67%)
呋喃类	2(1.30%)	3(2.13%)	3(1.96%)

品的美拉德反应,提高其产物对产品整体的风味贡献,使其风味更丰富,还可以适当的调整油脂氧化的强度,将其反应产物控制在一个较合理的水平,满足消费者对鹰爪虾口味的追求。由表 3 可知,经过美拉德反应后两者的数量及种类相差较小,果糖的挥发性物质种类略高于葡萄糖,这是因为在美拉德反应中,肽的游离氨基会与体系中还原糖的羰基发生反应,造成氨基的损失<sup>[26]</sup>,由于果糖自身含有更多的 NH<sub>2</sub>,造成其反应产物高于痕量葡萄糖组,由此可见添加果糖的油炸鹰爪虾的风味较添加葡萄糖的更胜一筹。

**2.4.2 HS-SPME-GC-MS 分析结果** 吡嗪类物质作为含氮的杂环化合物<sup>[27-28]</sup>,主要是脂肪氧化产物通过美拉德反应的 Strecker 降解反应途径形成,具有典型的焙烤香气<sup>[29]</sup>,据报道,吡嗪类是新鲜虾肉中主要的风味物质,能够赋予新鲜虾味<sup>[30]</sup>。由表 4 可知,葡萄糖和果糖的添加为油炸鹰爪虾贡献了大量的吡嗪类物质,这些物质主要来源于鹰爪虾或油脂中的氨基酸与还原糖发生的美拉德反应<sup>[31]</sup>。在添加还原糖的油炸鹰爪虾中,检出 2,6-二甲基吡嗪物质,此物质具有坚果香、焙烤香味,通常用于调配坚果型的食用香精<sup>[29]</sup>。

醛类物质主要由油脂中不饱和脂肪酸的自动氧化产生<sup>[30]</sup>,且阈值较低,对气味的贡献大<sup>[32]</sup>,多具有果香、青香、脂肪香等香味<sup>[29]</sup>。己醛是亚油酸的氧化产物<sup>[33]</sup>,由表 4 可知,添加葡萄糖的油炸鹰爪

虾己醛含量降低,而采用果糖油炸则会促进鹰爪虾中己醛含量的增加,苯甲醛和苯乙醛是氨基酸在高温条件下的 Strecker 降解产物<sup>[34]</sup>,对照组中未检出苯甲醛和苯乙醛,而添加还原糖后,这两类化合物的含量大大增加,有研究发现,不同的  $\alpha$ -氨基酸和还原糖的加热反应,能按 Strecker 降解生成各种醛类<sup>[9]</sup>,这与本研究中添加不同还原糖后醛类物质含量的增加相一致。

酮类物质一般由脂质氧化产生,不仅具有甲壳鱼肉类等海鲜花香、清香和果香<sup>[35]</sup>,还具有稳定性,香味优异持久<sup>[36]</sup>,而 C3-C5 低碳脂肪族酮类酮类化合物的香气较弱<sup>[37]</sup>,对鹰爪虾的风味贡献不大,如表 4 检测出的 2,3-戊二酮和羟丙酮。

呋喃的形成过程一般为含有共轭双键的脂肪酸在裂解后形成五元环,烷氧自由基断裂后,丙烯基与氢过氧自由基结合,进一步脱去羟自由基后形成稳定的五元环结构<sup>[38]</sup>。其中 2-戊基呋喃作为亚油酸氧化的产物,具有果香、根香、蜡香和萜烯味道<sup>[39]</sup>。

醇类物质主要来源于脂肪氧化分解和羰基化合物还原<sup>[40]</sup>,直链饱和醇的气味阈值高,对风味的影响小,而不饱和醇物质阈值较低<sup>[41]</sup>。酸类和酯类物质的阈值很高,对整体风味几乎没有贡献<sup>[42]</sup>,脂肪的氧化降解会产生脂肪族羧酸<sup>[43]</sup>,本试验中检测到的短链酸类物质乙酸,具有酸味。

表 4 鹰爪虾挥发性化合物绝对含量

Table 4 The absolute content of volatile compounds in crayfish

序号	挥发性风味成分	化学式	对照组	痕量葡萄糖组	痕量果糖组
1	2,3,5-三甲基吡嗪	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	5.25 ± 3.77	371.9 ± 12.51	228.38 ± 41.38
2	2,5-二甲基吡嗪	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N	1.03 ± 0.57	233.69 ± 18.32	153.11 ± 52.07
3	2,6-二甲基吡嗪	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	0 ± 0	11.83 ± 1.34	120.84 ± 24.28
4	2,3,5,6-四甲基吡嗪	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub>	0.29 ± 0.12	151.4 ± 15.45	71.39 ± 10.54
5	2,3-二甲基吡嗪	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	0 ± 0	38.31 ± 4.36	108.32 ± 11.83
6	3-二乙基-2,5-二甲基吡嗪	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub>	0 ± 0	35.9 ± 4.08	92.65 ± 27.22
7	2-甲基吡嗪	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub>	0 ± 0	28.57 ± 3.25	45.5 ± 7.75
8	吡嗪	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub>	0 ± 0	12.98 ± 1.47	26.52 ± 6.15
9	2,6-二乙基-3,5-二甲基吡嗪		0 ± 0	1.78 ± 0.2	0.86 ± 0.63
10	2,3-二乙基-5-甲基吡嗪	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>	0 ± 0	0.94 ± 0.11	0.32 ± 0.3
吡嗪类合计			6.57 ± 4.47	887.3 ± 36.13	847.88 ± 29.02
1	1-甲基萘	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	0 ± 0	0.94 ± 0.11	3.03 ± 1.12
2	对异丙萘	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.64 ± 0.04	1.24 ± 0.1	3.87 ± 1.09

(续表 4)

序号	挥发性风味成分	化学式	对照组	痕量葡萄糖组	痕量果糖组
3	正十五烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	0 ± 0	0.73 ± 0.08	0.43 ± 0.32
4	R-柠檬烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.23 ± 0.43	0 ± 0	3.97 ± 1.75
碳氢化合物合计			1.87 ± 0.41	2.91 ± 0.29	11.3 ± 2.22
1	二甲胺	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> N	208.36 ± 13.49	145.4 ± 14.91	87.51 ± 7.32
2	三甲胺	C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> N	209.4 ± 7.08	118.7 ± 23.34	68.54 ± 3.58
3	六亚甲基四胺	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> N <sub>4</sub>	1.45 ± 0.17	0 ± 0	2.45 ± 2.29
含氮化合物合计			419.22 ± 11.48	264.1 ± 34.9	158.5 ± 4.02
1	亚硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0.28 ± 0.04	0 ± 0	0 ± 0
2	丁二酸	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	0 ± 0	18.32 ± 2.08	23.94 ± 3.68
3	丙酸	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	0.57 ± 0.06	0 ± 0	3.86 ± 1.29
4	3-异戊酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	11.61 ± 0.68	9.06 ± 6.55	33.09 ± 4.39
5	乙酸	CH <sub>3</sub> COOH	163.09 ± 39.31	242.84 ± 37.95	147.79 ± 13.09
6	正壬酸	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	1.12 ± 0.03	3.88 ± 0.19	17.16 ± 5.88
7	2,6-二羟基苯甲酸	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	0 ± 0	3.45 ± 0.39	0.62 ± 0.66
8	苯甲酸	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0 ± 0	2.93 ± 0.34	9.35 ± 0.7
酸类合计			176.66 ± 40.01	280.49 ± 34.54	235.81 ± 15.11
1	十二烷醇	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> O	5.45 ± 0.08	0 ± 0	22.33 ± 4.69
2	异辛醇	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	4.36 ± 1.93	0 ± 0	0 ± 0
3	戊醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	0.64 ± 0.2	0 ± 0	9.33 ± 5.97
4	正辛醇	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	0.4 ± 0	0 ± 0	2.57 ± 2.05
醇类合计			10.86 ± 2.21	0 ± 0	34.23 ± 6.57
1	苯甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	0 ± 0	13.92 ± 1.58	37.48 ± 6.59
2	庚醛	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	8.26 ± 0.75	17.34 ± 7.39	13.08 ± 3.26
3	3-(甲硫基)丙醛	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> OS	0 ± 0	252.77 ± 28.73	92.47 ± 12.25
4	异丁醛	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	11.89 ± 1.89	94.76 ± 19.25	159.13 ± 14.9
5	异戊醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	2.62 ± 0.16	12.16 ± 0.49	6.79 ± 1.91
6	己醛	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	8.62 ± 1.15	2.6 ± 1.13	12.14 ± 3.53
7	苯乙醛	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0 ± 0	1.99 ± 0.23	7.19 ± 1.67
8	7-甲氧基-3,7-二甲基辛醛	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	0 ± 0	0.73 ± 0.08	6.71 ± 2.17
醛类合计			31.38 ± 0.27	396.27 ± 14.16	334.99 ± 27.31
1	羟丙酮	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> OH	0 ± 0	12.98 ± 1.47	53.54 ± 8.95
2	2-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0 ± 0	0.73 ± 0.08	0.22 ± 0.17
3	甲基庚酮	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0 ± 0	0.42 ± 0.05	3.23 ± 2.54
4	苯乙酮	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.2 ± 0	0.21 ± 0.02	2.05 ± 1.49
5	2-十一烷酮	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	10.71 ± 0.69	13.77 ± 2.57	21.72 ± 3.1
6	3-辛酮	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	10.1 ± 0.14	0 ± 0	5.95 ± 1.96
7	2,5-二羟基苯甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	3.03 ± 0.04	0 ± 0	1.47 ± 1.72
8	香叶基丙酮	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	1.52 ± 0.02	0 ± 0	0 ± 0
9	3-甲基-2-己酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0.81 ± 0.01	0 ± 0	1.05 ± 0.52
10	2-癸酮	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.3 ± 0	0 ± 0	6.65 ± 0.78
11	2,3-戊二酮	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.2 ± 0	0 ± 0	0.63 ± 0.73
12	2-壬酮	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.11 ± 0.01	25.9 ± 2.8	26.38 ± 3.78
酮类合计			26.99 ± 0.94	54 ± 2.54	122.89 ± 5.43
1	丁酸乙酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0 ± 0	11.41 ± 1.3	6.53 ± 0.71
2	2-甲基丁酸甲酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	99.93 ± 9.48	145.24 ± 34.16	160.94 ± 21.94

(续表 4)

序号	挥发性风味成分	化学式	对照组	痕量葡萄糖组	痕量果糖组
3	戊酸乙酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	16.87 ± 0.24	0 ± 0	15.05 ± 7.17
4	丁酸甲酯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	63.77 ± 4.81	10.72 ± 2.3	27.76 ± 4.31
5	苯乙酸异戊酯	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.4 ± 0	0 ± 0	1.25 ± 1.42
6	氨基甲酸甲酯	NH <sub>2</sub> CooCH <sub>3</sub>	0.4 ± 0	0 ± 0	1.57 ± 0.45
7	乙酸仲丁酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.2 ± 0	0 ± 0	0.07 ± 0.1
酯类合计			181.58 ± 4.97	167.37 ± 33.48	213.17 ± 20.93
1	2-丙基呋喃	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	0 ± 0	22.92 ± 2.61	4.05 ± 2.71
2	2-戊基呋喃	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	4.93 ± 0.74	10.39 ± 1.76	27.73 ± 4.53
3	2-丁基呋喃	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	6.3 ± 0.4	11.34 ± 3.27	7.32 ± 0.84
呋喃类合计			11.23 ± 1.13	44.65 ± 2.43	39.1 ± 6.51

## 2.5 OAV 值分析结果

从表 5 可以看出, 对照组对总体气味贡献极小, OAV 值大于 1 的物质仅有 8 种, 分别为 2,5-二甲基吡嗪、三甲胺、丙酸、庚醛、异戊醛、2-甲基丁酸甲酯、戊酸乙酯和 2-丁基呋喃, 可能是鹰爪虾本身的香气, 以及棕榈油中自然挥发发出的香气。痕量葡萄糖组中 OAV 值大于 1 的物质有 17 种, 其中对风味物质贡献较大的有 2,5-二甲基吡

嗪、2-甲基丁酸甲酯、3-(甲硫基)丙醛、三甲胺和 3-二乙基-2,5-二甲基吡嗪。相较于葡糖糖油炸组, 痕量果糖组 OAV 值大于 1 的物质种类更为丰富, 共有 20 种, 而对其风味贡献较大的物质除新增的 1-甲基萘外, 其余的物质与痕量葡萄糖组一致, 这可能是因为葡萄糖与果糖均属于单糖中的六碳糖, 两者的结构式相差较少。

表 5 活性呈香成分的气味活性值

Table 5 Odor activity values of active aroma components

挥发性风味成分	香气阈值	风味	气味活性值		
			对照组	痕量葡萄糖组	痕量果糖组
2,3,5-三甲基吡嗪	50	奶油	0.10	7.44	4.57
2,5-二甲基吡嗪	0.02	烧烤味、青草味	51.50	11 684.67	7 655.33
2,3,5,6-四甲基吡嗪	100	咖啡香、烤香味	-	1.51	0.71
2,3-二甲基吡嗪	20	坚果香、肉香味、烤香味	-	1.92	5.42
3-二乙基-2,5-二甲基吡嗪	0.4	烘烤味	-	89.75	231.63
吡嗪	0.8	-	-	16.22	33.15
2,3-二乙基-5-甲基吡嗪	0.1	-	-	9.43	3.20
1-甲基萘	0.02	刺鼻, 酸味	-	47.17	151.67
三甲胺	0.5	青草味、腥味	418.81	237.40	137.08
丙酸	0.08	-	7.08	-	48.25
戊醇	3	茴芹味	0.21	-	3.11
庚醛	3	脂肪、酸败味	2.75	5.78	4.36
3-(甲硫基)丙醛	1	生土豆味	-	252.77	92.47
异戊醛	2	青草气	1.31	6.08	3.39
苯乙醛	4	苦杏仁味	-	0.50	1.80
2-癸酮	1.43	-	0.21	-	4.65
丁酸乙酯	0.9	苹果	-	12.68	7.26
2-甲基丁酸甲酯	0.25	-	399.73	580.97	643.75
戊酸乙酯	5	甜的果香	3.37	-	3.01
2-丙基呋喃	6	焦糖味	-	3.82	0.68
2-戊基呋喃	5	植物芳香味	0.99	2.08	5.55
2-丁基呋喃	6	-	1.05	1.89	1.22



### 3 结论

本研究以鹰爪虾为原料,采用在真空油炸过程中加入不同种类还原糖的烹饪手段制作油炸虾,根据电子鼻、电子舌和感官评价的结果发现,添加还原糖后鹰爪虾的风味明显好于纯油炸处理,果糖油炸鹰爪虾的风味略优于葡萄糖油炸处理,这是因为还原糖和氨基酸是美拉德反应的主要底物,添加还原糖对鹰爪虾的风味具有促进作用,葡萄糖属于醛糖,果糖属于酮糖,可能由于酮糖的官能团更易与游离氨基酸发生美拉德反应所致,使得痕量果糖组的鹰爪虾整体略优于痕量葡萄糖组。根据GC-MS和OAV值的结果可知,添加还原糖油炸后鹰爪虾的醛类和吡嗪类化合物种类和含量明显增加,其中对鹰爪虾风味贡献较大的挥发性化合物主要为2,5-二甲基吡嗪、3-二乙基-2,5-二甲基吡嗪、2-甲基丁酸甲酯和3-(甲硫基)丙醛等物质,这是因为还原糖与鹰爪虾中的氨基酸能够发生美拉德反应形成大量的吡嗪类化合物,而不同的 $\alpha$ -氨基酸和还原糖的加热反应,能按Strecker降解生成各种醛类化合物。

### 参 考 文 献

- [1] 秦求思,李思敏,孟粉,等.冰温贮藏对鹰爪虾鲜度及蛋白质特性的影响[J].包装工程,2020,41(17):46-54.  
QIN Q S, LI S M, MENG F, et al. Effect of ice-temperature storage on freshness index and protein properties of white-hair rough shrimps[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(17): 46-54.
- [2] 郑元甲,陈雪忠,程家骅,等.东海大陆架生物资源与环境[M].上海:上海科学技术出版社,2003:649-656.  
ZHENG Y J, CHEN X Z, CHENG J Y, et al. Biological resources and environment of continental shelf in East China Sea [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 649-656.
- [3] 刘瑞玉.黄海及东海经济虾类区系的特点[J].海洋与湖沼,1959(1):35-42.  
LIU R Y. Characteristics of economic shrimp flora in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Ocean and Limnology, 1959(1): 35-42.
- [4] 曹荣,薛长湖,薛勇,等.鹰爪虾虾仁煮制工艺研究及残留微生物分析[J].食品工业科技,2009,30(8):212-215.  
CAO R, XUE C H, XUE Y, et al. Effect of cooking technology on quality of peeled shrimp and remnant microorganism analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(8): 212-215.
- [5] 陆东和,王丽霞,陆丞.真空油炸芒果脆片品质影响因素研究[J].东南园艺,2019,7(4):6-11.  
LU D H, WANG L X, LU Z. Study on influencing factors on quality of vacuum fried mango crisp slice [J]. Southeast Horticulture, 2019, 7(4): 6-11.
- [6] FITRIYONO A, MATTHIJS D, VINCENZO F, et al. Effect of vacuum frying on quality attributes of fruits[J]. Food Engineering Reviews, 2018, 10(3): 154-164.
- [7] DEVI S, ZHANG M, MUJUMDAR A S. Influence of ultrasound and microwave-assisted vacuum frying on quality parameters of fried product and the stability of frying oil[J]. Drying Technology, 2021, 39(5): 1-14.
- [8] 贝翠平,柳艳霞,赵改名,等.基于电子鼻与GC-MS分析精氨酸-葡萄糖美拉德反应体系挥发性风味成分的差异性[J].食品研究与开发,2021,42(6):146-154.  
BEI C P, LIU Y X, ZHAO G M, et al. Analysis of the difference of volatile flavor components of arginine-glucose Maillard reaction system based on electronic nose and GC-MS[J]. Food Research and Development, 2021, 42(6): 146-154.
- [9] 孙梦,包清彬,陈晓刚,等.还原糖和氨基酸体系制备牛肉香精的优化研究[J].中国调味品,2017,42(9):19-25.  
SUN M, BAO Q B, CHEN X G, et al. Study on optimization of beef flavor preparation by reducing sugar and amino acid system[J]. China Condiment, 2017, 42(9): 19-25.
- [10] 徐永霞,张朝敏,赵洪雷,等.脂肪醛对半胱氨酸-木糖模型体系热反应挥发性产物的影响[J].中国食品学报,2015,15(7):212-216.  
XU Y X, ZHANG C M, ZHAO H L, et al. Effects of aliphatic aldehydes on volatile products from Maillard reaction system of cysteine with xylose[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(7): 212-216.
- [11] 唐乐攀,杨小洪,余爱农.抗坏血酸/半胱氨酸体系

- 美拉德反应形成风味物质动力学[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 27-32.
- TANG L P, YANG X H, YU A N. Kinetic study of volatile favor compound formation in ascorbic acid-cysteine Maillard reaction system[J]. Food Science, 2015, 36(11): 27-32.
- [12] 周张涛, 袁博, 王志荣, 等. 不同还原糖对浓香葵花籽油风味的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 20-23.
- ZHOU Z T, YUAN B, WANG Z R, et al. Effect of different reducing sugars on Maillard reaction flavor of fragrant sunflower seed oil and process optimization[J]. The Food Industry, 2019, 40(7): 20-23.
- [13] MICHEL A, LINDA F. Investigation of the key flavour precursors in chicken meat[J]. Developments in Food Science, 2006, 43: 329-334.
- [14] 吴靖娜, 勒艳芬, 陈晓婷, 等. 鲍鱼蒸煮液美拉德反应制备海鲜调味基料工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 69-76.
- WU J N, LE Y F, CHEN X T, et al. Optimization of preparation of seafood flavor condiment base from cooked abalone juice by Maillard reaction[J]. Food Science, 2016, 37(22): 69-76.
- [15] 李柯呈, 徐宝才, 姚忠, 等. 干腌盐量对南京盐水鸭特征风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 98-104.
- LI K C, XU B C, YAO Z, et al. Effects of dry-curing salt amount on the characteristic flavor components of Nanjing boiled salted duck[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(17): 98-104.
- [16] 张玉玲, 李伟东, 杨光明, 等. 山茱萸炮制过程中美拉德反应的理化参数变化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(21): 28.
- ZHANG Y L, LI W D, YANG G M, et al. Physicochemical parameters of Maillard reaction during processing of Corni fructus[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2015, 21(21): 28.
- [17] 刘德鹏, 王云, 王国有, 等. 焦栀子炮制过程中饮片色泽变化与美拉德反应的相关性分析[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(10): 2382-2388.
- LIU D P, WANG Y, WANG G Y, et al. Correlation analysis of color change and Maillard reaction during processing of *Gardeniae fructus praeparatus*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(10): 2382-2388.
- [18] 乔伟蔚. “糖类”知识的比较[J]. 中学化学, 2017(9): 24-25.
- QIAO W W, Comparison of "sugar" knowledge[J]. Middle School Chemistry, 2017(9): 24-25.
- [19] 陈臣, 刘政, 黄轲, 等. 基于GC-MS、GC-O及电子鼻评价不同加工方式对乳扇风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 108-117.
- CHENG C, LIU Z, WANG K, et al. Effects of different processing methods on the flavor of dairy fan evaluated using GC-MS, GC-O and electronic nose[J]. Food Science, 2021, 42(16): 108-117.
- [20] KIM J S, LEE Y S. Effect of reaction pH on enolization and racemization reactions of glucose and fructose on heating with amino acid enantiomers and formation of melanoidins as result of the Maillard reaction[J]. Food Chemistry, 2008, 108(2): 21-32.
- [21] 魏冰. Maillard反应在肉味香精生产中的应用[J]. 北京轻工业学院学报, 2000(3): 21-25.
- WEI B. Application of Maillard reaction in manufacture of thermal process meat flavorings[J]. Journal of Food Science and Technology, 2000(3): 21-25.
- [22] MICHAEL H, EVANGELINE S, DAVY V D W, et al. Assessing the influence of pod storage on sugar and free amino acid profiles and the implications on some Maillard reaction related flavor volatiles in Forastero cocoa beans[J]. Food Research International, 2018, 111(9): 607-620.
- [23] GU F L, KIM J M, ABBAS S, et al. Structure and antioxidant activity of high molecular weight Maillard reaction products from casein-glucose[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 505-511.
- [24] YILMAZ Y, TOLEDO R. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 273-278.
- [25] 陈海光, 黄敏, 于立梅. 模式美拉德体系产物对油脂抗氧化性能的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(20): 10898-10900.
- CHEN H G, HUANG M, YU L M. The influence of Maillard reaction on oil's antioxidative activity[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(20): 10898-10900.
- [26] 张廷奕, 王灿, 李治衡, 等. 四种还原糖对鱼皮胶原肽美拉德反应产物的理化性质及增咸作用影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 161-166.
- ZHANG Y Y, WANG C, LI Z H, et al. Four re-

- ducing sugars on the physicochemical and salt taste-enhancing properties of Maillard reaction products from fish skin collagen peptides[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 161-166.
- [27] MARSILI R. Techniques for analyzing food aroma [M]. Marcel Dekker Inc, 1997: 24-31.
- [28] MOTTRAMDS D S. Flavour formation in meat and meat products: A review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [29] 王文艳, 刘凌, 吴娜, 等. 板栗及其膨化制品的挥发性香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(5): 197-205.
- WANG W Y, LIU L, WU N, et al. Volatile flavor compounds of chestnuts and puffed chestnut products [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(5): 197-205.
- [30] 赵洪雷, 尹一鸣, 陈义莹, 等. 不同产地虾酱风味特征及差异分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(10): 194-200.
- ZHAO H L, YI Y M, CHEN Y Y, et al. Flavor characteristics of shrimp pastes from different regions and variance analysis[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(10): 194-200.
- [31] 杨平. 含蛋烘焙制品——沙琪玛的风味研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2018.
- YANG P. Flavor study of egg-containing bakery products: Shaqima[D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2018.
- [32] 高瑞昌, 苏丽, 黄星奕, 等. 水产品风味物质的研究进展[J]. 水产科学, 2013, 32(1): 59-62.
- GAO R C, SU L, HUANG X Y, et al. Research progress of flavor components in fishery products[J]. Fisheries Science, 2013, 32(1): 59-62.
- [33] FULLANA A, CARBONELLBARRACHINA A, SIDHU S. Volatile aldehyde emissions from heated cooking oils[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(15): 2015-2021.
- [34] CHETSCHIK I, GRANVOGL M, SCHIEBERLE P. Quantitation of key peanut aroma compounds in raw peanuts and pan-roasted peanut meal. Aroma reconstitution and comparison with commercial peanut products[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(20): 11018-11026.
- [35] 杨艳, 李晨昕, 熊光艳, 等. SDE-GS/MS 联用分析贵州独山虾酸中的风味物质[J]. 山东化工, 2020, 49(15): 101-103.
- YANG Y, LI C X, XIONG G Y, et al. Analysis of flavor compounds in Dushan shrimp acid by DE-GS/MS[J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(15): 101-103.
- [36] 李永红. 缩醛(酮)类香料及合成研究进展[J]. 滁州学院学报, 2007, 9(6): 53-56.
- LIU Y H. Research progress on acetal (Ketone) fragrances and their synthesis[J]. Journal of Chuzhou University, 2007, 9(6): 53-56.
- [37] 葛帅, 陈宇昱, 彭争光, 等. 基于顶空-气相色谱-离子迁移谱法研究干燥方式对小米椒挥发性风味物质的影响[J]. 激光生物学报, 2020, 29(4): 368-378.
- GE S, CHEN Y Y, PENG Z G, et al. Application of headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry to investigate the influence of drying method on volatile substances of *Capsicum frutescens* [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2020, 29(4): 368-378.
- [38] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- YU X Y, HU J, ZENG S T, et al. Research progress on the formation mechanism of heterocyclic flavor compounds in Maillard reaction[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2012(4): 46-53.
- [39] 孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 7.
- SUN B G, HE J. Fragrance chemistry and technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 7.
- [40] 杜勃峰, 李达, 肖仕芸, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 及主成分分析综合评价贵州典型辣椒品种香气品质[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(7): 149-155.
- DU B F, LI D, XIAO S Y, et al. Comprehensive evaluation of aroma quality of different pepper based on HS-SPME-GC-MS and principal component analysis[J]. Food Research and Development, 2019, 40(7): 149-155.
- [41] 郑璞, 苏伟, 母雨, 等. 盘县火腿自然发酵过程中理化和风味特征[J]. 肉类研究, 2020, 34(9): 59-67.
- ZHENG P, SU W, MU Y, et al. Physicochemical and flavor characteristics of Panxian ham during natural fermentation [J]. Meat Research, 2020, 34(9): 59-67.
- [42] 张谦益, 包李林, 熊巍林, 等. 不同产地浓香菜籽

- 油中特征风味物质的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(8): 23–28.
- ZHANG Q Y, BAO L L, XIONG W L, et al. Characteristic flavor substances of fragrant rapeseed oils from different regions[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(8): 23–28.
- [43] 侯莉, 赵健, 赵梦瑶, 等. 炖煮牛肉的风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2017, 17(9): 260–270.
- HOU L, ZHAO J, ZHAO M Y, et al. Analysis of the flavor compounds from stewed beef[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(9): 260–270.

## The Effects of Fructose and Glucose on the Flavor of Vacuum Fried Hawk Claw Shrimp

Hu Kena<sup>1</sup>, Gu Guizhang<sup>2</sup>, Gao Xingjie<sup>1</sup>, Zhang Jinjie<sup>1\*</sup>, Zou Zuquan<sup>3</sup>, Yang Wenge<sup>1</sup>, Xu Dalun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315000, Zhejiang

<sup>2</sup>Huzhou Institute for Food and Drug Control, Huzhou 313000, Zhejiang

<sup>3</sup>Medical School, Ningbo University, Ningbo 315000, Zhejiang)

**Abstract** Maillard reaction is one of the main ways to produce the flavor of high-temperature fried food. In this paper, the effects of reducing sugars fructose and glucose on the flavor of fried shrimp were studied. Based on electronic nose, electronic tongue and sensory evaluation, adding trace reducing sugar can significantly improve the flavor quality of fried shrimp, and fructose has more significant promotion effect on taste and volatile flavor than glucose. GC-MS analysis showed that trace reducing sugar could significantly increase the volatile flavor compounds of fried shrimp. 38, 41 and 56 volatile flavor compounds were detected in the control group, the group with trace glucose and the group with trace fructose, respectively. Pyrazines in the control group accounted for 0.76% of the total volatile flavor compounds, while pyrazines in the trace glucose group and fructose group increased to 42.31% and 42.44% respectively. The results showed that there were 8, 17 and 20 volatile compounds with odor activity (OAV) values greater than 1 in the control group, the glucose group and the fructose group, respectively. The key flavor compounds were 2,5-dimethylpyrazine, 3-diethyl-2,5-dimethylpyrazine, methyl 2-methylbutyrate and trimethylamine. Among them, 2,5-dimethylpyrazine had the most significant flavor contribution in the group with trace glucose, while 3-diethyl-2,5-dimethylpyrazine and methyl 2-methylbutyrate were the main flavor components in the group with trace fructose. The results showed that the addition of different reducing sugars could promote the formation of different key flavor compounds in fried Eagle Claw shrimp. Although glucose and fructose were isomers, fructose group was better than glucose in flavor improvement.

**Keywords** hawk claw shrimp; fructose; glucose; volatile flavor compounds