

徐燕如,王清政,谷贵章,等. 花椒精油成分在花椒盐焗虾中的风味贡献作用研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 296–304. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110049

XU Yanru, WANG Qingzheng, GU Guizhang, et al. Study on the Function of Pepper Essential Oil in Endowing Flavor of Pepper-Salt Baked Shrimp[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 296–304. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110049

· 分析检测 ·

花椒精油成分在花椒盐焗虾中的 风味贡献作用研究

徐燕如¹,王清政¹,谷贵章²,张进杰¹,徐大伦^{1,*}

(1.宁波大学食品与药学学院,浙江宁波 315211;

2.湖州食品药品检验研究院,浙江湖州 313000)

摘要:研究花椒精油成分对花椒盐焗虾风味贡献作用。利用顶空固相微萃取-气相色谱/质谱联用技术 (Headspace solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry, HS-SPME-GC/MS) 结合感官评价及相对气味活度值 (relative odor activity value, ROAV) 进行分析。结果表明:添加花椒粉和花椒精油均能赋予盐焗虾香气轮廓诱人的椒麻和辣味气味属性,降低盐焗虾的腥味,并对盐焗虾本底气味属性无显著影响。与对照组(未添加花椒粉及花椒精油)相比,花椒粉和花椒精油的添加使盐焗虾挥发性物质种类更丰富。对照组挥发性化合物共鉴定出 30 种,其关键挥发性成分为庚醛、癸醛、壬醛、辛醛、苯甲醛、己醛、芳樟醇、1-辛烯-3-醇、D-柠檬烯。花椒粉组分别鉴定出挥发性化合物 52 种、54 种、51 种;花椒精油组分别鉴定出挥发性化合物 53 种、54 种、54 种。花椒粉和花椒精油均能够较好的保持盐焗虾中关键挥发性成分的种类,添加花椒粉和花椒精油能够显著 ($P<0.05$) 降低盐焗虾中庚醛、己醛和癸醛的 ROAV,显著 ($P<0.05$) 增加苯甲醛、芳樟醇、辛醛和 1-辛烯-3-醇的 ROAV,而对关键挥发性成分的种类无明显影响。总之,花椒粉和花椒精油均能有效降低盐焗虾中的不愉快气味,花椒精油成分对花椒盐焗虾整体风味的贡献起着关键作用,这对花椒盐焗虾风味品质的改进有着一定的理论指导意义。

关键词:花椒,精油,盐焗虾,风味,定量描述分析 (QDA)

中图分类号:TS254.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)19-0296-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110049



本文网刊:

Study on the Function of Pepper Essential Oil in Endowing Flavor of Pepper-Salt Baked Shrimp

XU Yanru¹, WANG Qingzheng¹, GU Guizhang², ZHANG Jinjie¹, XU Dalun^{1,*}

(1.School of Food and Pharmacy, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Huzhou Institute for Food and Drug Control, Huzhou 313000, China)

Abstract: To study the effect of Chinese prickly ash essential oil on the flavor of salt-baked shrimp, headspace solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry (HS-SPME-GC/MS) in combination with sensory evaluation and relative odor activity values (ROAV) were used for analysis. The results showed that both Chinese prickly ash powder and Chinese prickly ash essential oil could significantly stimulate the attractive pepper flavor of salt-baked shrimp and reduce their fishy flavor as well as had no significant effect on the background odor of salt-baked shrimp. Compared with the control group (no Chinese prickly ash powder and Chinese prickly ash essential oil), the volatile substances in salt-baked shrimp were enriched after the addition of Chinese prickly ash powder and Chinese prickly ash essential oil. A total of 30 volatile compounds were identified in the control group, with the key ones including heptanal, capraldehyde, nonanal,

收稿日期: 2022-11-07

基金项目: 浙江省宁波市公益项目 (2022S209); 浙江省宁波市江北区公益项目 (2023B04); 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项 (2020YFD0900900)。

作者简介: 徐燕如 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 18857080709@163.com。

* 通信作者: 徐大伦 (1971-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 水产品加工, E-mail: xudalun@nbu.edu.cn。

octanal, benzaldehyde, hexanal, linalool, 1-octen-3-ol, and D-limonene. 52, 54 and 51 volatile compounds in the Chinese prickly ash powder group were identified, respectively. And 53, 54 and 54 were in the Chinese prickly ash essential oil group, respectively. Both Chinese prickly ash powder and Chinese prickly ash essential oil could keep the key volatile components well in salt-baked shrimp. Adding Chinese prickly ash powder and Chinese prickly ash essential oil to salt-baked shrimp could significantly ($P<0.05$) reduce the ROAV of heptanal, hexanal and capraldehyde, and significantly ($P<0.05$) increase the ROAV of benzaldehyde, linalool, octanal, and 1-octen-3-ol, with no obvious effect on the key volatile components. In conclusion, both Chinese prickly ash powder and Chinese prickly ash essential oil can effectively reduce the unpleasant smell in salt-baked shrimp. Chinese prickly ash essential oil plays a key role in the overall flavor of salt-baked shrimp, showing certain theoretical guiding significance for improving the flavor quality of salt-baked shrimp.

Key words: pepper; essential oil; salt-baked shrimp; flavor; quantitative descriptive analysis (QDA)

中国菜肴名目繁多、工艺复杂,其中各式香辛料的单一或复合使用能够赋予食品特殊口感,是影响整体香气轮廓的关键因素^[1]。花椒以其独特的“麻味”,主导着椒麻味型,成为中式菜肴中广泛使用的香辛料。花椒(*Zanthoxy lumbugeanum* Maxim.)为芸香科花椒属植物,在我国种植面积较广,在西南地区产量和用量都较大^[2-4]。花椒主要含有酰胺类物质、生物碱、挥发性油等多种有效成分,不仅可以作为香辛调味品原料,也可以用于消炎镇痛、抑菌等领域^[5]。花椒精油是从天然植物花椒果壳中提取出来的具有天然麻辣味的淡黄绿色或黄色油状液体,具有香气浓郁、麻味纯正等特点,在食品中能突出各类美味食物的辛辣味^[6]。花椒精油主要通过有机溶剂萃取或超临界萃取花椒制取,包括烯烃类化合物、醇类化合物、酮类化合物和酯类化合物等物质^[7]。

“焗”有着悠久的历史,只不过随着社会的变迁而衍生出新的写法和含义而已。《礼·内则》有“夏宜脔膾,膳膏臊”,当中的“脔”就是“焗”的源头^[8]。水产制品由于其自身风味特性,在烹饪过程中常会辅配各种香辛料以优化水产菜肴的食用品质。王海帆等^[9]在香辛料对肉制品风味影响的研究中表明,香辛料作为一种天然食品添加剂,对食品的感官特性和理化特性有显著改善作用,具有调味增香、抑制微生物生长等作用。盐焗虾烹饪方法中比较经典的是添加花椒进行烹饪制作花椒盐焗虾。花椒成分中,花椒精油在食品中的应用不仅保留了花椒原有的香麻味,调香去腥,还极大地减少了花椒在储藏、销售过程中有效成分的损失^[10]。朱家森^[11]研究了不同加工温度和时间对花椒精油品质的影响,结果发现花椒精油受直接加热的影响,麻味物质会显著变化。但在花椒盐焗虾中其什么风味属性及到底是如何提升盐焗虾的感官品质还未有研究。

因此,本文以盐焗虾为研究对象,采用定量描述分析法(quantitative descriptive analysis, QDA)和气相色谱-质谱联用仪技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS),研究花椒粉和花椒精油的添加,对花椒盐焗虾的感官品质、挥发性风味物质、ROAV 值的改变,分析花椒精油成分在花椒盐焗虾中的风味贡献,以期为香辛料盐焗虾香气形成机制和风味改进提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

南美白对虾 体长 20 ± 1 cm,购于浙江宁波北仑大契菜市场;食盐 日晒自然盐,中盐上海市盐业有限公司;红花椒 2021 年产自四川汉源,北京吉得利食品有限公司;无水乙醚、无水硫酸钠、乙酸正丁酯 国药集团化学试剂有限公司。

JJ-2 高速组织捣碎机 常州市金坛友联仪器研究所;Agilent 7890B-5977B 气质联用仪 美国安捷伦公司;ME204T 分析天平 梅特勒-托利多国际贸易有限公司;testo t810 红外测温仪 北京宏昌信科技有限公司;JPH-300 智能多功能振荡器 常州金坛精达仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 花椒精油的提取 粉碎机粉碎花椒并过 200 目筛,采用同时蒸馏萃取法^[12]。取花椒粉末和水,置于 1 L 圆底烧瓶中,花椒粉末和加水量的料液比为 1:5,连接同时蒸馏萃取装置,加热使料液持续沸腾,取 40 mL 乙醚溶剂加入 500 mL 平底烧瓶中,连接在同时蒸馏萃取器另一端,水浴加热,连续萃取一定时间,收集挥发油部分,缓慢加入适量无水硫酸钠干燥,冷冻一定时间,过滤,除去溶剂,由公式(1)计算精油得率^[13]为 9.24%。

$$\text{精油得率}(\%) = (\text{精油质量} / \text{花椒粉末质量}) \times 100$$

式(1)

1.2.2 花椒精油脂肪酸的测定 参考曹蕊等^[14]的氢氧化钾-甲醇室温甲酯化法进行花椒精油成分检测,稍作修改。称取 0.05 g 红花椒油置于 10 mL 比色管内,加入 2 mL 石油醚和苯的混合溶剂(1:1),轻轻摇动使之溶解,再加入 0.4 mol/mL 氢氧化钾-甲醇溶液 2 mL,在室温下静置,加蒸馏水使全部有机相溶液升至瓶颈上部,澄清后吸取上层清液,用 GC-MS 分析。

1.2.2.1 GC 条件 DB-23 毛细管色谱柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm),氦气流量 1 mL/min,压力 84.6 kPa,分流进样,分流比 1:20,进样体积 1 μL;进样口温度 260 ℃;色谱程序升温条件:起始温度 130 ℃,保持 2 min,升温速率 5 ℃/min 升至温度 200 ℃,再以升温速率为 10 ℃/min,终点温度为 270 ℃,保持 3 min;

连接质谱接口温度 260 ℃。

1.2.2.2 MS 条件 EI 离子源; 离子源温度: 230 ℃; 质量范围 50~500 m/z, 扫描速度 1000 D/s。

1.2.2.3 定性定量分析 利用计算机检索各化合物, 与 NIST11 谱库数据库相匹配, 结果低于 80(最大值 100)的组分视为未鉴定出。各种脂肪酸化合物的相对含量按面积归一化法进行计算^[14]。

1.2.3 盐焗虾的制作方法 500 g 活虾剪刀去虾须, 虾背部剪对开, 置不锈钢过滤网框至不滴水, 转至 20 cm×15 cm×10 cm 食品保鲜盒, 添加 10 g 花椒粉(过 200 目筛, 粒径约 75 μm)/0.924 g 花椒精油(对照组不添加), 置于振荡器上, 振荡混匀 8~10 min, 至虾刚刚没有跳动体征时, 即入热盐锅中进行盐焗处理(花椒精油添加量按 1.2.1 中得率计算); 盐焗烹饪处理: 电磁炉温度调至 220 ℃, 将 2000 g 食盐放入锅中, 炒制温度到 200 ℃ 时, 取出, 将热盐与虾放入电磁炉, 一层盐一层虾, 电磁炉温度调至 200 ℃ 盐焗 8 min, 三组样品分开处理; 取出盐焗虾样品, 掸去表面盐粒, 采样后冷却至室温; 花椒粉组和花椒精油组都各设置 3 个浓度梯度(对花椒盐焗虾的工艺进行响应面优化得到花椒最适添加量 10 g, 再根据最适添加量上下调整梯度: 低梯度 5 g, 中梯度 10 g, 高梯度 15 g), 重复上述步骤。

1.2.4 感官评价 参考耿秋月等^[15]的方法, 采用定量描述感官评价法对 1.2.3 中制成的盐焗虾样品进行感官评定, 感官评价小组由 8 名食品专业的学生组成, 4 男 4 女。每位小组成员都接受过描述性感官分析的培训, 且在感官分析中积累了许多的经验, 能够非常熟练的进行虾肉相关食品感官评估。在进行感官分析之前, 小组成员在三次初步会议上讨论了样品的香气特征, 直到对香气的程度达成一致。随后选取了 9 个频次最高的感官描述性术语(肉香味、坚果香、虾腥味/泥土味、油脂味、椒麻香、甜香味/花香、辣味、水果香/清香、酸味)为花椒盐焗虾的风味特征属性, 再进行各特征属性的强度定量描述分析^[16]。风味强度采用 10 分制依次进行嗅闻打分(0 分为没有香气, 10 分为香气最强), 去除异常数值, 取剩余数值平均值, 平均值数值越高, 说明样品气味强度越高。记录各评价人员的评价结果。每个样品重复评价 3 次。

1.2.5 挥发性风味物质的测定 称取 2 g 切碎的样品虾肉置于 20 mL 顶空瓶中, 塞紧瓶盖, 放入 50 ℃ 水浴锅中, 插入萃取头吸附 30 min, 在温度为 250 ℃ 进样口解吸 5 min, 进入 GC-MS 分析。

1.2.5.1 GC 条件 色谱柱: HP-5MS PhenylMethylSilox(30 m×0.25 mm×0.25 μm), 氦气流速 0.8 mL/min, 不分流进样。升温程序: 起始温度 30 ℃, 保持 5 min, 然后以 5 ℃/min 升至 230 ℃, 保持 7 min。

1.2.5.2 MS 条件 EI 离子源; 电子能量 70 eV; 传输线温度 280 ℃; 离子源温度 230 ℃; 四极杆温度

150 ℃; 接口温度 250 ℃; 扫描范围 30~550 u。

1.2.5.3 定性定量分析 利用计算机检索各化合物, 与 NIST11 谱库数据库相匹配, 结果低于 80(最大值 100)的组分视为未鉴定出。各种挥发性化合物的相对含量按面积归一化法进行计算^[17]。

1.2.6 相对气味活度值(ROAV) 样品总体风味的贡献采用相对气味活度值(ROAV)的方法进行评价, 对样品总体风味贡献最大的组分定义为: $ROAV_{\text{stan}} = 100$ ^[18], 其他挥发性风味成分的 ROAV 计算公式如下:

$$ROAV \approx \frac{C_i}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_i} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中: C_i 为挥发性物质的相对含量, %; T_i 为挥发性物质的香气阈值, μg/kg; $C_{\max}$ 为气味活度值最高的挥发性物质的相对含量, %; $T_{\max}$ 为气味活度值最高的挥发性物质的香味阈值, μg/kg。ROAV ≥ 1 的香味物质被确定为关键香气成分。

1.3 数据处理

用 Microsoft Excel 软件对数据进行处理, 感官评定及 GC-MS 结果(平均值以及标准偏差)采用 SPSS 23.0 进行统计学分析, 设定 $P < 0.05$ 为显著性差异; 采用 Origin 2017 软件进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 感观评价

对 7 组盐焗虾的 9 种主要气味属性进行感官评分, 得出图 1 所示结果。

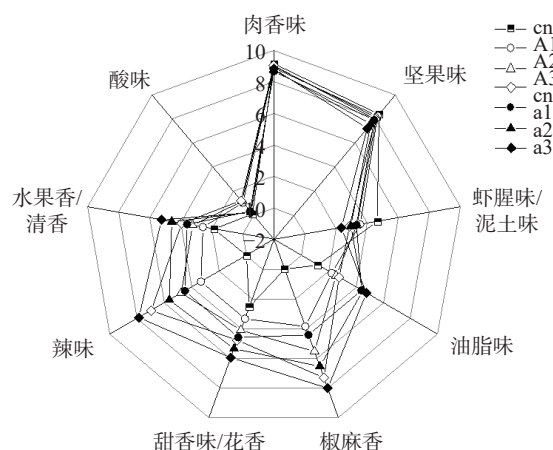


图1 盐焗虾挥发性风味属性雷达图

Fig.1 Radar map of volatile flavor attributes of brine shrimp
注: cn-对照组(原盐焗虾); A1、A2、A3-花椒粉盐焗虾; a1、a2、a3-花椒精油盐焗虾。

花椒粉组和花椒精油组的感官评分较对照组都有显著提升, 说明不论添加花椒粉还是添加花椒精油都对盐焗虾的感官品质有一定程度的提升改善作用。椒麻味和辣味在对照组中评分为 0, 添加花椒粉组和添加花椒精油组的椒麻味和辣味评分跟对照组相比提升显著($P < 0.05$), 这与呈现椒麻味的萜烯类氧化合物, 如胡椒酮、 β -月桂烯、芳樟醇氧化物等物质的含量增加有直接关系^[13]。跟对照组相比, 花椒粉组和

花椒精油组的多个共同属性感官评分之间差异并不大,但同组中不同浓度组的各别属性感官评分之间有明显差异。从图 1 中可以看出椒麻香和辣味属性中,A1、A2、A3 组的感官评分数据增加幅度比其他感官属性大,a1、a2、a3 组同样如此,说明浓度对其他风味属性如肉香味等影响不明显,但对花椒特殊风味,如椒麻香、辣味的影响显著。以上结论说明花椒粉组和花椒精油组在一些关键感官属性上有较好的重复性,表明花椒精油成分在花椒粉总成分中对盐焗虾的风味影响占主要作用,并且添加浓度的高低也是影响盐焗虾风味的主要因素。

2.2 花椒精油脂肪酸分析

本实验花椒精油是采用同时蒸馏萃取法提取,按照公式得率(%)=(精油质量/花椒粉末质量)×100,得出精油得率为 9.24%。

风味的形成离不开风味前体物质,脂肪酸则是风味前体物质的一种。脂肪酸本身对香气并没有太大的作用,但经过发酵等途径能够被氧化成一系列脂肪酸链等化合物,再经过进一步的化学反应,最终生成醛类、酮类、酯类等具有香气的物质^[19]。

从表 1 可以看到花椒精油中共鉴定出 8 种脂肪酸:棕榈油酸、棕榈酸、亚油酸、α-亚麻酸、油酸、硬脂酸、十二酸和花生四烯酸,其中油酸的相对含量最高,达到 40.71%,亚油酸和十二酸次之,分别为 17.16%和 15.62%。风味物质中的直链脂肪族醇、醛、酮和酯类物质主要来源于脂肪酸氧化^[20]。脂氧合酶催化亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸发生过氧化而形成过氧羟基脂肪酸,然后氢过氧化物裂解酶将其裂解形成醛类或烯醛类化合物,如己醛、顺-3-己烯醛;醛类化合物经乙醇脱氢酶催化形成相应的醇类,如己醇、顺-3-己烯醇,醇酰基转移酶提供酰基可将这些醇类转化形成相应的酯类化合物^[21]。结合盐焗虾挥发性风味分析说明花椒盐焗虾中的挥发性风味物质变化跟花椒精油中的脂肪酸有一定关联。

表 1 花椒精油中脂肪酸的组成和相对含量
Table 1 Composition and relative content of fatty acids in pepper essential oil

峰号	化合物	分子式	分子量	相对含量(%)
1	棕榈油酸(十六碳烯酸)	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	268	4.29
2	棕榈酸(十六酸)	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	8.20
3	亚油酸	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294	17.16
4	α-亚麻酸	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292	3.92
5	油酸	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296	40.71
6	硬脂酸	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	298	3.30
7	十二酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	15.62
8	花生四烯酸(5,8,11,14-二十碳四烯酸)	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304	1.68
9	未知物质	-	-	5.12

2.3 花椒盐焗虾中挥发性风味物质分析

2.3.1 挥发性化合物的鉴定 采用顶空固相微萃取-

气质联用技术检测 7 组样品中挥发性风味成分并进行定性、定量分析,7 组样品分别是对照组(cn)、花椒粉组(A1、A2、A3)和花椒精油组(a1、a2、a3),结果如表 2 所示。对照组中共鉴定出 30 种化合物,烃类、酯类、醇类挥发性化合物相对含量较高,与对照组相比,花椒粉组中烃类增加了 11 种,醇类增加了 8 种,酯类增加了 4 种,酮类增加了 3 种,酸类增加 2 种;花椒精油组中烃类增加了 20 种,醇类增加了 8 种,酯类增加了 4 种,酮类增加了 3 种,酸类增加 2 种。7 组样品鉴定出的共有成分有 β-月桂烯、α-水芹烯、D-柠檬烯、β-罗勒烯、1-辛烯-3-醇、芳樟醇、4-萜烯醇、α-松油醇、己醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、癸醛、庚醛、乙酸丁酯、乙酸芳樟酯、甲氧基苯基酚。对照组的芳樟醇、乙酸芳樟酯等挥发性物质在花椒粉组和花椒精油组中增加明显,这些物质均是花椒重要的挥发性物质^[22-24]。说明花椒粉和花椒精油能明显增加盐焗虾挥发性风味物质,赋予盐焗虾更丰富的风味品质。

烃类物质主要来自脂肪烷氧自由基的均裂^[25]。从表 2 可知,7 组样品中烃类种类数最少的是对照组,花椒组和花椒精油组共同增加的烃类物质有 α-蒎烯、Δ-杜松烯、石竹烯、γ-萜品油烯等。这些挥发性物质的相对含量随添加浓度的增加都有不同程度的增加。花椒粉和花椒精油对盐焗虾挥发性物质贡献作用有差异,推测可能是因为花椒粉中除了花椒精油成分外还含有其他成分会对挥发性物质产生影响,所以会导致 Δ-杜松烯等物质的相对含量在花椒粉组中和花椒精油组中存在差异。

醇类可能由脂质氧化酶对脂肪酸的作用、脂肪的氧化分解、羧基化合物还原生产^[26]。从表 2 中可以看出,对照组中共鉴定出 6 种醇类化合物,与对照组相比,A1 组增加了 7 种,A2 组增加了 8 种,A3 组增加了 7 种,减少了 1 种,a1 组、a2 组、a3 组增加了 8 种,减少了 2 种。另外,花椒粉组和花椒精油组中醇类化合物的相对含量与对照组相比,均显著性升高(P<0.05)。比如对照组没有的 T-杜松醇不仅在花椒粉组测出,花椒精油组也存在,且花椒精油组 T-杜松醇的相对含量要比花椒粉组的相对含量高,但同组中随浓度增加,T-杜松醇的相对含量相差不大。比如花椒粉组和花椒精油组芳樟醇的相对含量比对照组明显增多,且随着添加浓度的增加,花椒粉组芳樟醇的相对含量随之增加,花椒精油组中芳樟醇的增量更明显。综上,再次说明了花椒粉和花椒精油对盐焗虾挥发性物质贡献作用有差异,但浓度的增加可能并不是对每个挥发性风味物质的相对含量增加有作用,推测可能是由于盐的高温烹饪,与虾整体成分共同作用的量有限,大部分精油及其相关物质还是随着高温处理而在烹饪过程中挥发,吸附和存留于虾肉中成为盐焗虾风味的部分有限。在测得的所有醇类物质中,来自花生四烯酸氧化的 1-辛烯-3-醇阈值较低,具有类似蘑菇的香气,对花椒盐焗虾的独特香气起关键作用^[27-28]。

表 2 7 组样品中挥发性物质 GC-MS 分析结果
Table 2 Results of GC-MS analysis of volatile substances in 7 groups of samples

编号	化合物	化学式	挥发性物质相对含量(%)						
			样品1(cn)	样品2(A1)	样品3(A2)	样品4(A3)	样品5(a1)	样品6(a2)	样品7(a3)
烃类									
C1	β -月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	1.65±0.18	1.76±0.67	1.85±0.87	1.99±0.21	2.01±0.23	2.42±0.14	2.77±0.08
C2	α -柏木(萜)烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	0.12±0	0.17±0.01	0.21±0.02
C3	β -柏木烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	0.21±0.01	0.43±0.08	0.65±0.16
C4	α -水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	0.04±0.01	0.21±0.01	0.25±0.01	0.27±0.02	0.25±0.02	0.31±0.03	0.38±0
C5	β -水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	0.62±0.09	ND	0.57±0.04	0.50±0.04	ND	ND	ND
C6	D-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	4.13±0.46	2.34±0.31	1.98±0.36	1.48±0.18	0.34±0.04	0.37±0.02	0.45±0.12
C7	α -蒎烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.16±0.01	0.23±0.01	0.44±0.02	1.08±0.08	1.56±1.07	1.76±0.07
C8	(+)-4-萜烯	C ₁₀ H ₁₆	0.45±0.05	0.45±0	0.93±0.12	0.57±0.17	ND	ND	ND
C9	Δ -杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.27±0.02	0.39±0.04	0.48±0.02	2.34±1.47	2.97±0.34	3.43±0.31
C10	γ -杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.34±0.04	0.44±0.05	0.52±0.02	1.96±0.16	2.13±0.02	2.35±0.42
C11	雪松烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	0.53±0.09	0.67±0.09	0.71±0.02
C12	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.18±0.02	0.31±0.05	0.35±0.04	0.26±0.01	0.36±0.01	0.35±0.01
C13	氧化石竹烯	C ₁₅ H ₂₄ O	ND	ND	0.07±0.01	0.08±0	0.57±0.04	0.76±0.11	0.97±0.27
C14	β -罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	0.46±0.17	1.27±0.06	1.34±0.07	1.42±0.06	1.2±0.03	1.38±0.64	1.64±0.11
C15	γ -萜品油烯	C ₁₀ H ₁₆	ND	0.35±0.03	0.25±0	0.16±0.01	0.54±0.07	0.36±0.09	0.25±0.04
C16	α -菖蒲二烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	1.08±0.33	2.23±0.87	1.45±0.27
C17	巴伦西亚橘烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	0.22±0.02	1.11±0.09	0.87±0.09
C18	α -衣兰油烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.25±0.1	0.37±0.07	0.84±0.06	3.4±0.57	2.96±0.03	2.33±0.27
C19	γ -衣兰油烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.58±0.13	0.76±0.13	0.97±0.11	4.16±0.16	3.42±0.2	1.66±0.02
C20	5-甲基十一烷	C ₁₂ H ₂₆	4.81±1.03	0.67±0.18	0.29±0.09	0.18±0.09	ND	ND	ND
C21	十二烷	C ₁₂ H ₂₆	0.91±0.40	ND	ND	ND	0.05±0.01	ND	ND
C22	十四烷	C ₁₄ H ₂₈	ND	0.12±0.02	0.10±0.01	ND	ND	ND	ND
C23	2,5-二甲基癸烷	C ₁₂ H ₂₆	3.23±0.56	0.18±0.03	0.11±0.07	0.05±0.05	ND	ND	ND
C24	4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]己烷	C ₁₀ H ₁₆	ND	0.30±0.07	0.22±0.03	0.16±0.02	0.03±0	0.04±0	0.05±0.01
C25	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,3-环己二烯	C ₁₀ H ₁₆	0.45±0.03	0.63±0.09	ND	ND	ND	ND	ND
C26	Z,Z,Z-1,5,9,9-四甲基-1,4,7-环十一烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	0.31±0.09	0.33±0.04	0.34±0.02	0.56±0.12	0.59±0	0.65±0.07
C27	1,3,4,5,6,7-六氢-2,5,5-三甲基-2H-2,4a-乙烷基蒽	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	0.44±0.08	0.54±0.22	0.62±0.14
C28	(1R,5S)-1,8-二甲基-4-(丙烷-2-亚基)螺环[4.5]十二碳-7-烯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	0.85±0.64	0.97±0.29	1.15±0.11
C29	乙苯	C ₈ H ₁₀	1.35±0.06	ND	ND	0.05±0.02	ND	ND	ND
C30	1,3-二甲苯	C ₈ H ₁₀	2.24±0.10	0.37±0.11	0.17±0.05	0.13±0.03	ND	ND	ND
C31	1-(1,5-二甲苯基)-4-甲基苯	C ₁₅ H ₂₄	ND	ND	ND	ND	ND	0.32±0	0.35±0.02
C32	1-(1,5-二甲苯-4-己烯基)-4-甲基苯	C ₁₅ H ₂₂	ND	ND	ND	ND	1.34±0.12	1.45±0.07	1.67±0.12
C33	苯乙烯	C ₈ H ₈	8.53±0.81	1.44±0.37	0.75±0.03	0.51±0.12	ND	ND	ND
总和			16.75	10.37	10.79	10.8	22.2	25.75	24.7
种类数			13	20	21	21	23	23	23
醇类									
C34	蘑菇醇; 1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	0.02±0	0.13±0	0.18±0.01	0.26±0.11	0.33±0.01	0.38±0.14	0.44±0
C35	Δ -乙酸松油醇	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	ND	ND	0.20±0.02	ND	0.01±0	0.01±0	0.01±0
C36	桉树醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.82±0.20	3.78±0.61	3.30±0.14	2.67±0.37	ND	ND	ND
C37	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	4.33±0.25	13.77±0.91	14.65±0.12	15.43±0.06	14.43±0.83	15.61±0.17	16.29±1.01
C38	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	ND	ND	ND	ND	2.87±0.12	2.78±0.11	2.99±0.13
C39	4-萜烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	1.01±0.04	4.32±0.88	4.11±0.3	3.67±0.49	3.32±0.65	3.87±0.09	4.42±0.1
C40	T-杜松醇	C ₁₅ H ₂₆ O	ND	0.04±0	0.03±0.01	0.04±0.01	0.14±0	0.18±0.06	0.22±0.09
C41	2-己基-1-癸醇	C ₁₆ H ₃₄ O	0.69±0.12	0.10±0.03	0.04±0.01	0.02±0	ND	ND	ND
C42	α -松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.09±0.01	1.76±0.41	1.54±0.03	1.33±0.23	0.17±0.02	0.14±0.01	0.18±0.02
C43	雪松醇	C ₁₅ H ₂₆ O	ND	ND	ND	ND	1.11±0.05	1.32±0.29	1.4±0.16
C44	红没药醇	C ₁₅ H ₂₆ O	ND	0.02±0	0.04±0.01	0.06±0.01	0.05±0	0.11±0.05	0.17±0.02

续表 2

编号	化合物	化学式	挥发性物质相对含量(%)						
			样品1(cn)	样品2(A1)	样品3(A2)	样品4(A3)	样品5(a1)	样品6(a2)	样品7(a3)
C45	橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O	ND	0.06±0.01	0.09±0.04	0.11±0.06	ND	ND	ND
C46	反式-1-甲基-4-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₆ O	ND	0.15±0.10	0.19±0.12	0.20±0.02	0.08±0.01	0.07±0.01	0.08±0.01
C47	顺式-1-甲基-4-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	ND	0.43±0.08	0.32±0.16	0.21±0.02	ND	ND	ND
C48	(R)-4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	ND	2.11±0.33	1.65±0.1	1.21±0.49	0.16±0.02	0.13±0.02	0.14±0.01
C49	(1.α, 2.α, 5.α)-2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]己烷-2-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	ND	1.11±0.64	0.93±0.08	0.78±0.34	0.11±0.01	0.08±0.01	0.09±0.04
	总和		6.96	27.78	27.27	25.97	22.78	24.68	26.43
	种类数		6	13	14	12	12	12	12
	醛类								
C50	己醛	C ₆ H ₁₂ O	2.89±0.38	2.34±0.21	2.01±0.36	1.66±0.45	2.15±0.12	1.78±0.64	1.92±0.37
C51	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	0.21±0.02	0.23±0.01	0.25±0	0.28±0.04	0.28±0.07	0.34±0.04	0.31±0.05
C52	辛醛	C ₈ H ₁₆ O	0.13±0.01	0.23±0	0.34±0.02	0.41±0.08	0.43±0	0.48±0.07	0.54±0.11
C53	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	1.88±0.41	2.32±0.78	2.53±0	2.75±0.09	2.75±0.01	2.99±0.75	3.42±1.07
C54	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.53±0.08	0.46±0.05	0.38±0.04	0.34±0.07	0.40±0.07	0.33±0.09	0.28±0.13
C55	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	2.33±0.01	2.10±0	1.55±0.31	1.23±0.17	1.86±0.3	1.35±0.24	1.05±0.25
	总和		7.97	7.68	7.06	6.67	7.87	7.27	7.52
	种类数		6	6	6	6	6	6	6
	酯类								
C56	乙酸苯乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	ND	1.25±0.02	0.97±0.03	0.74±0.04	1.26±0.04	1.08±0.05	0.81±0.05
C57	乙酸丁酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.63±1.05	1.24±0.54	0.61±0.16	0.41±0.04	0.16±0.04	0.10±0.02	0.08±0.01
C58	α-乙酸松油酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	ND	2.14±0.32	3.31±0.48	3.53±0.26	2.03±0.02	2.36±0.01	2.78±0.24
C59	乙酸芳樟酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	2.47±0.46	13.56±3.78	16.55±1.84	18.86±4.11	15.06±3.53	16.87±0.57	18.56±0.41
C60	乙酸香叶酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	ND	2.12±0.3	2.66±0.07	3.68±0.15	2.28±0.01	2.78±0.38	3.77±0.43
C61	(Z)-牻牛儿醇醋酸酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	ND	1.47±0.22	1.5±0.05	1.54±0.09	ND	0.19±0.02	0.18±0.01
	总和		12.14	21.79	25.59	28.76	20.79	23.38	26.18
	种类数		2	6	6	6	5	6	6
	酮类								
C62	2,6-二羟基苯乙酮	C ₁₄ H ₂₄ O ₃ Si ₂	0.92±0.20	0.42±0.09	ND	ND	ND	ND	ND
C63	胡椒酮	C ₁₀ H ₁₆ O	ND	0.97±0.19	1.05±0.31	1.38±0.39	1.37±0	1.54±0.77	1.77±0.16
C64	4-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮	C ₉ H ₁₄ O	ND	0.22±0.03	0.34±0.08	0.37±0.09	0.23±0.06	0.21±0.04	0.25±0.19
C65	嗜石菌酮	C ₁₅ H ₂₄ O	ND	ND	ND	ND	0.37±0.07	0.29±0.17	0.17±0.07
C66	(-)-香芹酮	C ₁₀ H ₁₄ O	ND	0.29±0.1	0.21±0.06	0.23±0.08	0.35±0.1	0.28±0.02	0.21±0
	总和		0.97	1.90	1.60	1.98	2.32	2.32	2.40
	种类数		1	4	3	3	4	4	4
	其他								
C67	丁基羟基甲苯	C ₁₅ H ₂₄ O	0.91±0.21	ND	0.26±0.03	ND	ND	ND	ND
C68	甲氧基苯基胂	C ₈ H ₉ NO ₂	3.46±0.12	0.17±0.05	0.11±0.05	0.06±0.01	0.07±0.02	0.03±0.01	0.03±0.01
	总和		4.37	0.17	0.37	0.06	0.07	0.03	0.03
	种类数		2	1	2	1	1	1	1
	酸类								
C69	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	ND	0.15±0.03	0.18±0	0.22±0.09	0.21±0.03	0.25±0	0.31±0.01
C70	苯丙氨酸	C ₁₀ H ₁₆	ND	0.93±0.08	1.24±0.16	2.03±0.11	1.56±0.31	1.86±0.66	2.13±0.18
	总和		0	1.08	1.42	2.25	1.77	2.11	2.44
	种类数		0	2	2	2	2	2	2
	化合物总量		49.16	70.77	74.10	76.49	77.80	85.54	89.70

注: ND: 未检出。

酯类是由醇和酸经酯化作用而成,一般具有水果香味,它是花椒精油的重要组成部分,对风味贡献较大^[29]。在本实验中,对照组共鉴定出 2 种酯类化合物。花椒粉组和花椒精油组共鉴定出 6 种酯类化合物。如表 3 所示,花椒粉组和花椒精油组的酯类

化合物在种类上没有变化,但在相对含量上有一定程度的变化,特别是乙酸芳樟酯,其具有花木香和麻香味。与对照组相比,A3 组和 a3 组测得的乙酸芳樟酯相对含量分别达到 18.86% 和 18.56%,是对照组的十几倍。这与感官评价结果有一定的差异,推测可

表 3 7 组样品挥发性风味成分的相对气味活度值及其气味特征

Table 3 Relative odor activity values of volatile flavor components and their odor characteristics for seven groups of samples

挥发性物质	阈值($\mu\text{g/kg}$)	风味描述	相对气味活度值(ROAV)						
			样品1(cn)	样品2(A1)	样品3(A2)	样品4(A3)	样品5(a1)	样品6(a2)	样品7(a3)
乙酸	22000	酸味	—	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
庚醛	3	不愉快脂肪味、鱼腥味	41.31	30.17	20.42	14.91	22.55	15.05	10.23
癸醛	0.1	土腥味、蜡香、橘香	281.91	198.28	150.20	123.64	145.45	110.37	81.87
壬醛	1	青草味、脂肪味、肉香	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
辛醛	0.7	土腥味、油脂味	9.88	14.16	19.20	21.30	22.34	22.93	22.56
苯甲醛	0.8	坚果味、杏仁味	13.96	12.39	12.35	12.73	12.73	14.21	11.33
己醛	4.5	不愉快的、刺激的辛辣味	34.16	22.41	17.65	13.41	17.37	13.23	12.48
芳樟醇	10	花香、木香	23.03	59.35	57.91	56.11	52.47	52.21	47.63
1-辛烯-3-醇	1	蘑菇味、腥味	1.06	5.60	7.11	9.45	12.00	12.71	12.87
D-柠檬烯	10	柑橘味	21.97	10.09	7.83	5.38	1.24	1.24	1.32

能是产生麻香味的挥发性风味物质阈值更低,更能被嗅闻出。

醛类一般是脂质的热降解产物,具有脂肪香气,Strecker 降解也能产生挥发性醛^[30-31],其中一些直链脂肪醛是典型的油脂氧化产物且阈值较低,呈青草香和甜香;而支链醛具有巧克力香和薄荷香,是肉制品中重要的风味物质^[32-33]。田淑琳等^[34]发现大多数醛类物质在浓度低时,具备果香及清香的气味,只有在浓度过高时才会产生土腥味、金属味等一些令人不愉快的气味。醛类化合物相对含量较高,其阈值通常比其它化合物低,大量研究发现花椒精油等中都有醛类物质存在,如己醛、壬醛、癸醛等^[35]。这和本试验检测结果类似。本研究检测到 6 种醛类化合物,对照组和样品组醛类化合物种类没有变化,相对含量有一定差异,具体表现为己醛、癸醛和庚醛的相对含量随花椒添加浓度的增加而降低,辛醛、壬醛和苯甲醛的相对含量随花椒添加浓度的增加而上升。这说明浓度的增加对风味改变是有影响的。

本研究检测到 5 种酮类化合物,其中对照组仅测得 2,6-二羟基苯乙酮;花椒粉组和花椒精油组测出胡椒酮、4-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮、嗜石菌酮、(-)-香芹酮。其中香芹酮具有兰香味,胡椒酮具有典型胡椒、椒麻味。酮类物质产生的主要途径是脂肪氧化和美拉德反应^[36]。即酮类物质可能由相关的酶将多不饱和脂肪酸降解、氨基酸降解或微生物氧化产生,具有独特的清香和果香^[37]。当含有亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等多不饱和脂肪酸时,氧化产生更多的自由基数目,也就说明添加花椒精油后,样品产生的挥发性化合物会更多,风味影响更大。

综上可以推断本试验中醛类、酮类、酯类物质相对含量增多可能是花椒精油中的多不饱和脂肪酸在加热过程中发生裂解而生成,这对花椒盐焗虾整体风味有重要贡献。花椒粉组和花椒精油组的挥发性物质数量和相对含量增加显著,且它们有较多的相似,表明花椒精油成分在花椒粉中对盐焗虾的风味影响作用显著,花椒粉对盐焗虾的风味贡献绝大部分来源

于花椒精油的贡献。

2.3.2 关键挥发性风味物质分析 由于挥发性物质含量与风味特征之间无直接关系,其对总体风味的贡献由挥发性组分在风味体系中的浓度和感觉阈值共同决定^[13]。由表 3 综合分析发现,壬醛相对含量较高且阈值较小,为 1 $\mu\text{g/kg}$,所以定义壬醛的相对气味活度值 $\text{ROAV}_{\text{stan}}=100$ 。其他挥发性物质的 ROAV 值通过公式计算得到,进而分析得出花椒盐焗虾中主体风味成分构成。从表 3 可知,花椒盐焗虾的主体风味成分是 1-辛烯-3-醇、D-柠檬烯、芳樟醇、己醛、辛醛、壬醛等,这些物质共同赋予了花椒盐焗虾油脂味、脂肪香味、青草味、花香味等。

本研究表明,对照组中未检测出乙酸,添加花椒粉组和花椒精油组中乙酸相对含量不高且感官阈值也大,其 ROAV 值通过计算得出小于 0.1,说明乙酸对花椒盐焗虾挥发性风味没有实际作用,但其酸味可能对花椒盐焗虾风味有一定的辅助作用。从关键挥发性成分的种类分析,与对照组相比,花椒粉组和花椒精油组的关键挥发性成分均与对照组保持一致。从各关键挥发性成分 ROAV 变化的角度分析,与对照组相比,花椒粉组和花椒精油组中各关键挥发性成分的 ROAV 均差异显著($P<0.05$);花椒粉组和花椒精油组中庚醛、癸醛、己醛、芳樟醇的 ROAV 显著性降低($P<0.05$),1-辛烯-3-醇的 ROAV 显著性增加($P<0.05$);花椒粉组中 D-柠檬烯的 ROAV 显著性降低($P<0.05$)。花椒精油组中辛醛、D-柠檬烯的 ROAV 无显著性变化($P>0.05$)。结合感官评分结果可知,花椒粉和花椒精油的添加能够较好的保持盐焗虾整体香味,赋予盐焗虾花椒特有的独特风味,并且花椒精油的添加对关键挥发性成分的 ROAV 影响更大。Motttram 等^[38]认为己醛等饱和直链醛会产生令人不愉快的、刺激的、辛辣的气味。癸醛被认为具有土腥味^[39]。谢凡^[40]认为己醛在高浓度时会散发出令人作呕的气味。因此可知,花椒粉和花椒精油能够降低盐焗虾中不愉快的气味。辛醛具有肉香味,壬醛具有甜味和肉香味^[41-42],它们的 ROAV 值的增加可能会提

升盐焗虾的肉香味和果香味。

随着浓度的增加,花椒粉组中辛醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇的 ROAV 值都呈增加趋势,庚醛、癸醛、己醛、芳樟醇、D-柠檬烯的 ROAV 值都成降低趋势;花椒精油组中辛醛、1-辛烯-3-醇、D-柠檬烯的 ROAV 值呈增加趋势,庚醛、癸醛、己醛、芳樟醇的 ROAV 值呈降低趋势。从整体数据看,浓度对花椒粉组的影响更大,对花椒精油组的影响相对较小。

3 结论

利用顶空固相微萃取气质联用技术结合感官评价,并以 ROAV 值对花椒粉和花椒精油对盐焗虾挥发性风味物质的影响进行研究。结果表明烃类、醇类、醛类是花椒盐焗虾的主要香气物质,感官评价结果中椒麻味属性、辣味属性、虾腥味属性的变化和辛醛、芳樟醇、1-辛烯-3-醇等关键挥发性物质的相对含量变化表明花椒粉和花椒精油对盐焗虾整体风味品质改善具有明显作用。花椒粉和花椒精油均能够较好的保持盐焗虾的整体风味,并赋予其花椒特有的独特风味。花椒精油能够更显著降低己醛、癸醛、庚醛的 ROAV ($P < 0.05$),显著增加 1-辛烯-3-醇、辛醛的 ROAV ($P < 0.05$),但对盐焗虾的本底气味并不造成明显影响,还能有效抑制盐焗虾中不愉快的气味,说明花椒精油成分对花椒盐焗虾整体风味的贡献起着关键作用。另外,浓度对花椒粉组的影响更大,对花椒精油组的影响相对较小。说明浓度的变化对花椒精油盐焗虾的总体风味影响更小,花椒精油盐焗虾的总体风味比花椒粉盐焗虾的总体风味更稳定,风味品质更佳。本文为花椒盐焗虾风味品质的改进提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] 李鹤,陈羽,李明国,等.川味香肠调料配方的优化及风味分析[J].食品工业科技,2017,38(20):221-225. [LI H, CHEN Y, LI M G, et al. Optimization of Sichuan sausage seasoning recipe and flavor analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(20): 221-225.]
- [2] 吴振,李红,杨勇,等.基于无机元素的花椒产地溯源和品种聚类分析[J].食品科学,2019,40(16):213-219. [WU Z, LI H, YANG Y, et al. Origin tracing and variety clustering analysis of pepper based on inorganic elements[J]. Food Science, 2019, 40(16): 213-219.]
- [3] 丁涌波,罗东升,陈光静,等.花椒精油的苦味成分鉴定[J].食品科学,2017,38(24):74-80. [DING Y B, LUO D S, CHEN G J, et al. Identification of bitter components of pepper essential oil[J]. Food Science, 2017, 38(24): 74-80.]
- [4] 邹传宗.两种花椒挥发油的 GC-MS 成分分析[J].中国食品添加剂,2020,31(2):161-165. [ZHOU C Z. GC-MS composition analysis of volatile oils of two pepper species[J]. China Food Additives, 2020, 31(2): 161-165.]
- [5] 童光森.不同种源大红袍花椒油风味分析及抑菌效果研究[J].中国调味品,2020,31(2):161-165. [TONG G S. Flavor analysis and antibacterial effect of pepper oil from different seed sources of Dahongpao[J]. Chinese Condiment, 2020, 31(2): 161-165.]
- [6] 狄科,石雪萍,张卫明.花椒精油研究进展[J].中国野生植物资源,2011,30(4):8-12. [DI K, SHI X P, ZHANG W M. Progress

in the study of *Zanthoxylum bungeanum* oil[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2011, 30(4): 8-12.]

- [7] KE J X, RAO L B, ZHOU L M, et al. Nondestructive determination of volatile oil and moisture content and discrimination of geographical origins of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. by hyperspectral imaging[J]. Infrared Physics and Technology, 2020, 105: 103185.
- [8] 应月,王琴,白卫东,等.盐焗鸡生产加工现状及进展[J].农产品加工,2012(8):98-100. [YING Y, WANG Q, BAI W D, et al. Status and progress of production and processing of salt-baked chicken[J]. Agricultural Products Processing, 2012(8): 98-100.]
- [9] 王海帆,郭梦嫣,王玉洁,等.辣椒、花椒等辛辣香辛料对肉制品风味影响的研究进展[J].食品科学,2022,43(15):389-395. [WANG H F, GUO M Y, WANG Y J, et al. Research progress on the effect of spicy spices such as chili pepper and pepper on the flavor of meat products[J]. Food Science, 2022, 43(15): 389-395.]
- [10] 吴青霄,刘福权,何强,等.花椒油加工副产物的化学成分研究[J].中国调味品,2020,45(1):54-57. [WU Q X, LIU F Q, HE Q, et al. Study on chemical composition of pepper oil processing by-products[J]. Chinese Condiment, 2020, 45(1): 54-57.]
- [11] 朱家森.不同加工温度和时间对超临界花椒精油品质影响分析[J].科技与创新,2019(23):86-87. [ZHU J M. Analysis of the effect of different processing temperature and time on the quality of supercritical pepper essential oil[J]. Technology and Innovation, 2019(23): 86-87.]
- [12] 龙园园,杨秀芳,吴妍,等.同时蒸馏萃取法提取花椒挥发油工艺的优化[J].中成药,2018,40(9):2076-2079. [LONG Y Y, YANG X F, WU Y, et al. Optimization of the extraction process of volatile oil from pepper by simultaneous distillation and extraction[J]. Prepared Chinese Medicine, 2018, 40(9): 2076-2079.]
- [13] 王娟,杜静怡,贾雪颖,等.花椒精油及其水提物的香气活性成分分析[J].食品工业科技,2021,42(20):229-241. [WANG J, DU J Y, JIA X Y, et al. Analysis of aroma active components of pepper essential oil and its aqueous extracts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 229-241.]
- [14] 曹蕊,杨潇,蒋珍菊,等.红花椒油和青花椒油中脂肪酸组成的 GC-MS 的对比研究[J].中国调味品,2011,36(8):102-105. [CAO R, YANG X, JIANG Z J, et al. Comparative study of fatty acid composition in red and green pepper oil by GC-MS[J]. Chinese Condiment, 2011, 36(8): 102-105.]
- [15] 耿秋月,田洪磊,詹萍,等.椒麻鸡风味汤料制备中主要基料对香气品质的影响[J].食品科学,2020,41(2):230-237. [GENG Q Y, TIAN H L, ZHAN P, et al. Influence of the main base materials on the aroma quality in the preparation of pepper and sesame chicken fusion soup[J]. Food Science, 2020, 41(2): 230-237.]
- [16] ZHANG D, JI W, PENG Y H, et al. Evaluation of flavor improvement in Antarctic krill defluorinated hydrolysate by Maillard reaction using sensory analysis, E-nose, and GC-MS[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2020, 29(3): 279-292.
- [17] 孙震,黄苓,赵金,等.三种香辛料水提物腌制对烤鸭腿脂质氧化和挥发性风味物质的影响[J].食品工业科技,2019,40(23):24-30. [SUN Z, HUANG L, ZHAO J, et al. Effect of three aromatic spice aqueous extracts marinade on lipid oxidation and volatile flavor substances of roasted duck legs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(23): 24-30.]
- [18] 张红燕,李晔,袁贝,等.金枪鱼油冬化前后脂肪酸含量和主体风味的解析[J].核农学报,2017,31(2):314-324. [ZHANG H Y, LI Y, YUAN B, et al. Fatty acid content and main flavor analysis of tuna oil before and after winterization[J]. Journal of Nuclear

Agricultural Sciences, 2017, 31(2): 314–324.]

[19] 童星, 彭勃. 酱油的风味物质及其研究进展[J]. 中国调味品, 2018, 43(10): 195–200. [TONG X, PENG B. Flavor substances of soy sauce and its research progress[J]. Chinese Condiment, 2018, 43(10): 195–200.]

[20] 宋国新, 余应新, 王林祥, 等. 香气分析技术与实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 356–360. [SONG G X, YU Y X, WANG L X, et al. Aroma analysis techniques and examples[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 356–360.]

[21] DIXON J, HEWETT E W. Factors affecting apple aroma /flavor volatile concentration: A review[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2000, 28(3): 155–173.

[22] SHENG L, ZHU M. Inhibitory effect of Cinnamomum cassia oil on non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli*[J]. Food Control, 2014, 46: 374–381.

[23] JU J, XU X, XIE Y, et al. Inhibitory effects of Cinnamon and clove essential oils on mold growth on baked foods[J]. Food Chemistry, 2018, 240(1): 850–855.

[24] LI Z, HAN S, JIANG J, et al. Antitumor compound identification from *Zanthoxylum bungeanum* essential oil based on composition-activity relationship[J]. Chemical Research in Chinese Universities, 2013, 29(6): 1068–1071.

[25] 罗靖文, 张玉, 黄威, 等. 食品中萜类化合物来源及功能研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 4(8): 267–272. [LUO J W, ZHANG Y, HUANG W, et al. Advances in research on the sources and functions of terpenoids in food[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 4(8): 267–272.]

[26] 杨晋, 陶宁萍, 王锡昌. 水产调味料的研究现状和发展趋势[J]. 食品科技, 2006(11): 51–54. [YANG J, TAO N P, WANG X C. Research status and development trend of aquatic seasoning[J]. Food Technology, 2006(11): 51–54.]

[27] MARUSIC N, VIDACEK S, JANCIC T, et al. Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham[J]. Meat Science, 2014, 96(4): 1409–1416.

[28] 季德胜, 郑桂青, 孙俊, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析辣椒油中的风味物质[J]. 现代食品科技, 2017, 33(6): 276–284. [JI D S, ZHENG G Q, SUN J, et al. Analysis of flavor substances in chili oil by headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(6): 276–284.]

[29] 朱丹实, 吴晓菲, 王立娜, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析冷藏真鲷挥发性风味物质变化[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 227–234. [ZHU D S, WU X F, WANG L N, et al. Analysis of volatile flavor substance changes in frozen real sea bream by electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Food, 2016, 16(12): 227–234.]

[30] 张逸君, 郑福平, 张玉玉, 等. MAE-SAFE-GC-MS 法分析道口烧鸡挥发性成分[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 130–134. [ZHANG Y J, ZHENG F P, ZHANG Y Y, et al. Analysis of volatile components of Daokou roast chicken by MAE-SAFE-GC-MS[J]. Food Science, 2014, 35(22): 130–134.]

[31] ELMORE J S, MOTTERM D S, ENSER M, et al. Effect of the poly-unsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47(4): 1619–1625.

[32] 谢恬, 王丹, 马明娟, 等. OAV 和 GC-O-MS 法分析五香驴肉风味活性物质[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 123–128. [XIE T, WANG D, MA M J, et al. Analysis of flavor active substances of five-spice donkey meat by OAV and GC-O-MS[J]. Food Science, 2018, 39(8): 123–128.]

[33] RIU-AUMATELLI M, CASTELLARI M, LOPEZ-TAMAMES E, et al. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 627–637.

[34] 田淑琳, 周文红, 刘小玲, 等. 基于 GC-O-MS 和 ROAV 法的马氏珍珠贝挥发性风味成分及腥味特征物质分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 573–579. [TIAN S L, ZHOU W H, LIU X L, et al. Analysis of volatile flavor components and fishy characteristic substances of *Persea marmorata* based on GC-O-MS and ROAV method[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(4): 573–579.]

[35] 陈海涛, 孙丰义, 王丹, 等. 梯度稀释法结合气相色谱-嗅闻-质谱联用仪鉴定炸花椒油中关键性香气活性化合物[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(3): 191–198. [CHEN H T, SUN F Y, WANG D, et al. Identification of key aroma active compounds in fried pepper oil by gradient dilution combined with gas chromatography-sniffing-mass spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(3): 191–198.]

[36] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63–80.

[37] FRATINI G, LOIS S, PAZOS M, et al. Volatile profile of Atlantic shellfish species by HS-SPME-GC-MS[J]. Food Research International, 2012, 48(2): 856–865.

[38] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: A review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415–424.

[39] 王清, 陈舜胜. 油爆工艺对上海熏鱼风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 171–179. [WANG Q, CHEN S S. Effect of oil blasting process on flavor substances of smoked fish in Shanghai[J]. Food Science, 2019, 40(2): 171–179.]

[40] 谢凡. 烤鸭中美拉德反应的研究[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2015. [XIE F. Study of Merad reaction in roast duck[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Applied Technology, 2015.]

[41] 孙宝国. 食用调香术[M]. 第三版. 北京: 化学工业出版社, 2015: 32–69. [SUN B G. Food flavoring[M]. Third edition. Beijing: Chemical Industry Publishing, 2015: 32–69.]

[42] 张杰, 唐善虎, 李思宁, 等. 加热温度对牦牛肉肌原纤维蛋白与葡萄糖或果糖美拉德反应挥发性成分的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 222–231. [ZHANG J, TANG S H, LI S N, et al. Effect of heating temperature on the volatile components of the reaction between myogenic fibrous protein and glucose or fructose of yak meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 222–231.]