

蒸汽爆破花生壳对花生酱油风味的影响

宁甜甜¹, 张 洁², 赵国忠¹, 高献礼³, 张 工⁴, 丁凯丽^{1*}

(1.天津科技大学 食品科学与工程学院 省部共建食品营养与安全国家重点实验室, 天津 300457;

2.天津市食品安全检测技术研究院, 天津 300308; 3.江苏大学 食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013;

4.山东巧媳妇食品集团有限公司, 山东 淄博 255000)

摘要:为促进花生壳再利用, 将其经蒸汽爆破后代替部分面粉酿造花生酱油, 并采用电子鼻检测及顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)法对5种酱油样品的风味进行分析。电子鼻结果表明, 添加花生壳或蒸汽爆破花生壳会影响酱油的整体风味; GC-MS结果表明, 不添加花生壳酿造的酱油(HS0)风味物质主要由酯类构成, 其相对含量高达85.35%; 添加花生壳的酱油(HS1、HS2)风味物质总含量只有HS0(128.40 mg/kg)的21.79%~33.59%, 且酯类相对含量下降至21.95%~38.47%; 添加蒸汽爆破花生壳的酱油(BS3、BS4)风味物质组成结构(酯类相对含量为46.28%~86.51%)与HS0具有一定相似性, 风味物质总含量大幅度提升(分别为514.89 mg/kg、451.74 mg/kg), 远高于HS0, 其中蘑菇醇、十六酸乙酯、亚油酸乙酯等香气活性物质更突出。结果表明蒸汽爆破花生壳代替部分原料可明显提升酱油风味。

关键词: 蒸汽爆破; 花生壳; 花生酱油; 风味物质

中图分类号: TS202.1

文章编号: 0254-5071(2021)09-0070-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2021.09.013

引文格式: 宁甜甜, 张洁, 赵国忠, 等. 蒸汽爆破花生壳对花生酱油风味的影响[J]. 中国酿造, 2021, 40(9): 70-75.

Effects of steam-exploded peanut shell on the flavor of peanut soy sauce

NING Tiantian¹, ZHANG Jie², ZHAO Guozhong¹, GAO Xianli³, ZHANG Gong⁴, DING Kaili^{1*}

(1.State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science &

Technology, Tianjin 300457, China; 2.Tianjin Institute for Food Safety Inspection Technology, Tianjin 300308, China;

3.School of Food and Biological Engineering Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

4.Shandong Qiaoxinfu Food Group Co., Ltd., Zibo 255000, China)

Abstract: In order to promote the reuse of peanut shell, it was treated by steam explosion to brew peanut soy sauce instead of some flour, and the flavor of 5 soy sauce samples was analyzed by electronic nose and headspace-solid phase microextraction-gas chromatography mass spectrometry method. The results of electronic nose showed that adding peanut shells or steam explosion peanut shells would affect the overall flavor of soy sauce. The results of GC-MS showed that the flavor compounds of soy sauce (HS0) brewed without peanut shells were mainly composed of esters, with relative content as high as 85.35%. The total content of flavor compounds of soy sauce with peanut shells (HS1, HS2) was only 21.79%-33.59% of HS0 (128.40 mg/kg), and the relative content of esters decreased to 21.95%-38.47%. The flavor compounds composition structure (the relative content of esters 46.28%-86.51%) of soy sauce with steam explosion peanut shells was similar to HS0, the total content of flavor compounds increased significantly (514.89 mg/kg and 451.74 mg/kg, respectively), which was much higher than that of HS0. Among them, mushroom alcohol, ethyl palmitate, ethyl linoleate and other odor active compounds were more prominent. The results showed that the replacement of some raw materials by steam explosion peanut shell could significantly improve the flavor of soy sauce.

Key words: steam explosion; peanut shells; peanut soy sauce; flavor compounds

酱油是广受人们喜爱的中国传统发酵调味品, 已有3 000多年历史, 其年产量可达500万t^[1], 具有独特的风味, 亦能为各种菜肴提供诱人的色泽^[2]。其中风味是决定酱油品质高低及消费者购买导向的重要因素^[3], 而酱油风味的形成复杂多变, 主要受原材料、微生物、外源酶及发酵工艺等影响^[4]。花生富含蛋白质、脂肪、糖类及其他营养成分, 尤其是不饱和脂肪酸含量很高^[5], 这些物质对风味的形成至关重要。随着人们对美好生活的向往, 花生用途由传统

的油料向更多元化的食品及其加工制品发展, 如花生酱、花生糖、花生饮料等^[6], 关于将花生发酵制备酱油的研究鲜有报道。

花生壳是花生生产的副产物, 每年产量高达744万t^[8], 富含粗蛋白、粗脂肪、矿物质以及一些功能性成分(如类黄酮、白藜芦醇、皂草苷、木樨草素等)^[9-10], 具有抗氧化、抗炎、降血糖、降血脂、增强免疫力等功效^[11]。但由于其中含有大量的纤维素、半纤维素和木质素, 很难作为食品加工应用,

收稿日期: 2021-04-11

修回日期: 2021-07-29

基金项目: 天津市大学生创新训练计划项目(202010057222); 大学生创新训练计划项目(201910057085); 天津科技大学大学生实验室创新基金(1914A201)

作者简介: 宁甜甜(2000-), 女, 本科生, 研究方向为食品微生物学与食品风味组学。

*通讯作者: 丁凯丽(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品风味与食品安全。

目前主要用于饲料、生物聚合物、生物炭和肥料等行业,但是利用率低,浪费严重^[12],而随意丢弃会给环境造成严重污染。蒸汽爆破技术具有作用时间短、耗能低、高效无污染及适应工业化等优点,是一种新兴的绿色预处理手段^[14]。其利用高温高压蒸汽打破植物细胞结构,使大分子物质发生机械断裂,促进物料中活性成分的释放,提高原料利用效率,被认为是生物质资源转换最具发展前景的预处理方法^[15]。因此,花生壳作为一种价值极高的农业副产物,经蒸汽爆破处理后用于食品加工是其科学再利用的方向。目前,虽有少数研究公开花生壳酿造酱油的技术^[16],但未对其风味进行研究,利用花生壳与蒸汽爆破花生壳进行酱油发酵,并对其风味进行系统研究更是鲜有报道。本研究对花生壳进行蒸汽爆破处理,然后以花生为主要原料辅以面粉和花生壳来发酵酱油,以不添加花生壳的酱油样品(HS0)为对照组,以添加花生壳的酱油样品(HS1、HS2)、添加蒸汽爆破花生壳的酱油样品(BS3、BS4)为实验组,采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术(headspace-solid phase microextraction-gas chromatography mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)和电子鼻技术对酱油中挥发性风味物质进行定性定量分析,以探究经蒸汽爆破处理的花生壳对花生酱油风味的影响,以期为丰富酱油酿造工艺提供理论基础,为花生壳副产物的合理再利用提供新思路。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

带壳花生(鲁花14号,产地为山东济宁),食盐,面粉(高筋面粉):市售;米曲霉(*Aspergillus oryzae*)(沪酿3.042):本实验室保藏。

1.1.2 试剂

C₇~C₁₀正构烷烃(色谱纯):美国AccuStandard公司;2-辛醇(色谱纯):美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器与设备

ME204/02电子分析天平:梅特勒-托利多仪器有限公司;DY04-13-00立式高压灭菌锅:上海博讯实业有限公司;AllegraTa25R型高速离心机:美国BeckMan公司;QBS-80型蒸汽爆破装置:鹤壁正道生物能源有限公司;PEN3型便携式电子鼻传感器:德国Airsense公司;QP2010 Ultra型气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)联用仪:日本岛津公司;75 μm Carboxen/聚二甲基硅氧烷(CAR/PDMS)固相微萃取头、顶空瓶:上海安谱实验科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 花生壳蒸汽爆破预处理

将花生与壳剥离,花生壳粉碎过10目筛,加入蒸汽爆破装置,通入高温饱和蒸汽进行预处理。在加料仓入口处插入温度计,使高压蒸汽升高至1.5 MPa(196 ℃)并维持5 min

后打开断路器,花生壳被瞬间炸入室内。将汽爆好的花生壳经自然冷却后储存备用。

1.3.2 酱油样品的制备

酱油采用低盐固态方式发酵参考KIM S等^[17-18]的方法并稍作修改。对照组酱油(HS0)制备:将花生仁与面粉按质量比3:2混合,加入适量水混匀后,灭菌20 min,待其冷却至室温,加入0.3%米曲霉,在30 ℃条件下培养36 h即成曲,期间每隔12 h搅拌一次。随后加入3倍质量分数为12%的食盐水中,45 ℃条件下发酵10 d后,再于30 ℃条件下发酵20 d。检测氨基酸态氮含量高于0.8 g/100 mL,发酵结束。

经前期预实验结果表明,用1/4~1/2的花生壳及蒸汽爆破花生壳代替面粉发酵花生酱油的效果较好,因此其他实验组酱油样品的原料种类及添加比例见表1,发酵步骤同上所述。

表1 酱油样品制备的原料配比

| 样品名称 | 样品号 | 物料组成 | 比例(g:g) |
|-------|-----|---------------|---------|
| 对照组样品 | HS0 | 花生:面粉 | 6:4 |
| 样品1 | HS1 | 花生:面粉:花生壳 | 6:2:2 |
| 样品2 | HS2 | 花生:面粉:花生壳 | 6:3:1 |
| 样品3 | BS3 | 花生:面粉:蒸汽爆破花生壳 | 6:2:2 |
| 样品4 | BS4 | 花生:面粉:蒸汽爆破花生壳 | 6:3:1 |

1.3.3 电子鼻检测条件

取5 mL稀释10倍的酱油样品于15 mL顶空瓶中,在50 ℃水浴25 min后,电子鼻测定。其中,电子鼻的参数设定为:检测时间110 s,清洗时间60 s,样品间隔时间60 s,载气流速200 mL/min,进样流量200 mL/min。电子鼻设备的传感器名称及性能特点见表2。

表2 电子鼻传感器名称及性能特点

| 阵列序号 | 传感器名称 | 性能特点 |
|------|-------|-----------------|
| 1 | W1C | 对芳香成分,苯类物质敏感 |
| 2 | W5S | 灵敏度大,对氮氧化物灵敏 |
| 3 | W3C | 对氨类,芳香成分灵敏 |
| 4 | W6S | 主要对氢化物有选择性 |
| 5 | W5C | 短链烷烃芳香成分 |
| 6 | W1S | 对甲基类灵敏 |
| 7 | W1W | 对硫化物敏感 |
| 8 | W2S | 对醇类、醛酮类灵敏 |
| 9 | W2W | 对芳香族化合物和有机硫化物敏感 |
| 10 | W3S | 对长链烷烃敏感 |

1.3.4 HS-SPME-GC-MS检测方法

取5 mL稀释10倍的样品于15 mL顶空瓶中,加入1.0 g NaCl及内标溶液(30 μL 0.125 mg/L 2-辛醇,基体溶液为甲

醇),于55℃、600 r/min条件下平衡10 min,然后插入经老化的75 μm CAR/PDMS萃取头顶空吸附40 min,吸附结束后拔出萃取头,并插入气相色谱(gas chromatography, GC)仪进样口, DB-5MS型色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),于250℃下解吸5 min后进行GC-MS分析。GC检测条件参考文献[19],升温程序如下:40℃保持5 min,3℃/min升温至250℃保持5 min,分流比为20:1。MS条件如下:离子源为电子电离(electronic ionization, EI)源,电子能量70 eV,离子源温度220℃;扫描模式为全扫描。

1.3.5 数据处理

风味物质定性分析:将分析得到的图谱采用美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)11和Wiley库进行检索比对,选取匹配度≥80%的物质,并通过正构烷烃(C₇~C₁₀)在相同条件下测得的GC-MS分析结果,计算保留指数(retention index, RI)^[20],与文献报道RI进行对比定性。RI计算公式如下:

$$RI = 100n + \frac{100[t(i) - t(n)]}{t(n+1) - t(n)}$$

式中:t(i)为待测物质的保留时间,min;n为正构烷烃的碳原子个数,个;t(n)和t(n+1)分别是待测物质出峰前后相邻的两个正构烷烃的保留时间,min。

风味物质定量分析:采用内标法进行定量,内标物为0.125 mg/L 2-辛醇,响应因子为1。风味物质质量浓度计算公式如下:

$$Cx = Cs \times \frac{Ax}{As}$$

式中:C_x表示风味物质质量浓度,mg/kg;C_s表示内标物质量浓度,mg/kg;A_x表示待测物的色谱峰面积;A_s表示内标物的色谱峰面积。

样品气味活性值(odor activity value, OAV)是利用风味物质的浓度与其阈值的比值计算得出,此处阈值指物质在水中能被人类嗅闻到的最低浓度^[21]。OAV≥1的物质是能够被人所识别的风味物质。每个样品重复3次实验,并取平均值用于分析统计,使用Origin 2021作主成分分析(principal component analysis, PCA)并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 电子鼻分析结果

电子鼻因具有快速、前处理简单、成本低等优点^[22],而被广泛用于风味物质分析及质量控制^[23]。本研究利用电子鼻检测5种酱油样品间的风味差异,不同传感器对样品间响应雷达图见图1。

由图1可知,除了添加1/2蒸汽爆破花生壳的样品(BS3)外,其余4个样品中传感器W3S(对烷烃敏感)响应值最高,其中添加花生壳的样品(HS1和HS2)的响应值最高,分别为2.97和2.92,说明烷烃类物质是添加花生壳的酱油样品中较为突出的成分。传感器W2W的响应值普遍很低,且难

以区分各样品。传感器W2S、W1W和W1S能比较好地区分5种酱油样品,这3种感应器对样品BS3的响应值最高,其次是添加1/4蒸汽爆破花生壳的酱油(BS4)和对照(HS0),而样品HS1和HS2的响应值最低,说明添加经过蒸汽爆破处理的花生壳有利于提升花生酱油中醇类、醛类、酮类、硫化物及甲基类物质的成分,而直接添加花生壳会降低花生酱油中风味物质含量。另外,样品BS4总体轮廓和响应值与HS0很接近,表明二者在风味上可能具有一致性,但其他三组样品的雷达图轮廓与HS0相比有较明显的差异,表明添加花生壳或大量蒸汽爆破的花生壳会影响花生酱油的整体风味。

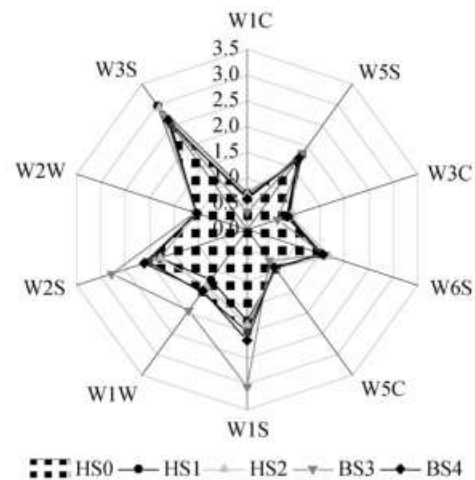


图1 5种酱油样品的电子鼻传感器响应雷达图
Fig. 1 Radar chart of electronic nose sensors response of 5 kinds of soy sauce samples

2.2 不同酱油样品的挥发性风味成分分析

2.2.1 不同酱油样品挥发性物质种类及含量分析

通过HS-SPME-GC-MS定性定量分析获得5种酱油样品中挥发性风味物质的种类和含量见图2。

样品HS0、HS1、HS2、BS3、BS4分别含有31种、49种、43种、37种和34种化合物,5个样品共检测出67种挥发性物质,分别为18种酯类、17种烃类、9种醇类、7种醛类、8种酮类、2种酚类、2种酸类、1种呋喃类及3种其他物质,其中以酯类和烃类物质在各样品中最为丰富。

由图2a可知,与对照组(HS0)相比,添加花生壳的酱油样品(HS1、HS2)中醇类、醛类、酮类、酚类物质明显增多。其中,添加花生壳的酱油样品中酯类、酮类、醇类、酚类物质明显增多,而添加蒸汽爆破花生壳的酱油样品(BS3、BS4)中醛和醇种类更多,醛类、酮类化合物与酱油的麦芽香和焦糖香有较高关联性^[24]。

由图2b可知,样品HS0的风味物质主要由酯类构成,其相对含量高达85.35%,酯类物质易挥发,易被人类嗅觉所感知,也是传统酱油良好风味的重要来源,多数物质具有

果香,能够缓解胺类和脂肪酸带来的苦味和酸味,可使酱油风味更浓郁协调^[25-29]。添加花生壳的样品HS1和HS2中酯类化合物相对含量仅为21.95%~38.47%,而烃类化合物的构成比例升高,为31.82%~45.32%,且随着花生壳添加比例的升高改变更明显。

由图2c可知,虽然添加花生壳酱油的风味物质种类多,但其风味物质总含量却很低,仅有27.98~43.13 mg/kg,远

低于对照组(总含量为128.40 mg/kg),且随着花生壳添加比例的提升而进一步下降,可能是未处理的花生壳难以被微生物利用代谢,不利于整个发酵体系微生物群落的壮大,因而使得成品酱油中风味物质含量很低,这与电子鼻结果中添加花生壳酱油的整体风味轮廓缩小相一致,电子鼻与GC-MS结果的高度吻合表明电子鼻是一种有效便捷的风味分析技术。

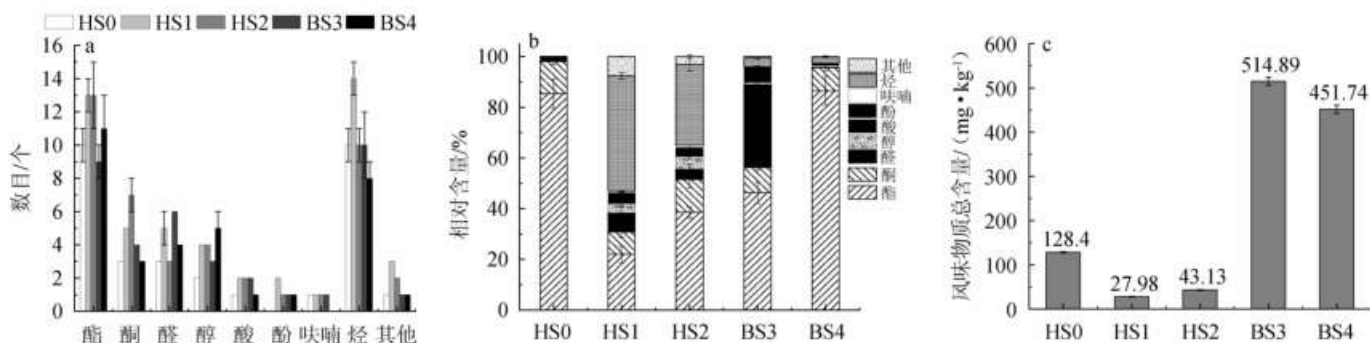


图2 5种酱油样品风味物质种类(a),相对含量(b)及总含量(c)比较

Fig. 2 Comparison of flavor substances type (a), relative contents (b) and total contents (c) of 5 kinds of soy sauce samples

添加蒸汽爆破花生壳酱油(BS3和BS4)的酯类化合物相对含量明显升高(46.28%~86.51%),而烃类化合物相对含量急剧下降(2.58%~3.45%),其中,添加1/4蒸汽爆破花生壳酱油(BS4)的风味物质构成与对照最为接近,主要由86.51%酯构成,而将蒸汽爆破花生壳添加量提升至1/2时,酱油(BS3)中风味物质主要由32.74%醛和46.28%酯构成,醛类物质通常是由氨基酸降解或微生物发酵产生,具有较低的阈值,呈现花香和果香^[7]。另外,花生壳经蒸汽爆破后发酵酱油,风味物质的种类和总含量(514.89~451.74 mg/kg)

均高于对照组,且随着蒸汽爆破花生壳添加比例的升高而升高(见图2c),与电子鼻结果中BS3响应值普遍最高相一致。这可能是因为蒸汽爆破处理下木质纤维素等大分子物质被降解增加了微生物可利用的还原糖等物质的含量,以及原本被封锁在细胞壁中一些活性小分子被释放,从而在发酵结束后形成了种类更多总量更高的风味物质。

2.3 挥发性风味物质的香气活力值分析

依据GC-MS对风味物质的定量结果,对风味物质的OAV进行计算,5种酱油样品中风味物质的香气活力值见表3。

表3 5种酱油样品中风味物质的香气活力值
Table 3 Odor activity values of flavor compounds in 5 kinds of soy sauce samples

| 序号 | 化合物 | 气味阈值/ (g·m ⁻³) | OAV | | | | |
|----|--------------|-------------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | | | HS0 | HS1 | HS2 | BS3 | BS4 |
| 1 | 2-甲基丁酸乙酯 | 0.000 007 | 2 326.1 | 20 835 | 47 133 | 21 018 | 14 536 |
| 2 | 蘑菇醇 | 0.002 | 47.472 | 351.09 | 664.37 | 2 256.9 | 1 009.3 |
| 3 | 反-2-辛烯醛 | 0.003 | 40.243 | 476.72 | 377.40 | 280.17 | 230.86 |
| 4 | 壬醛 | 0.001 | 28.891 | 221.18 | 344.78 | 137.35 | 142.39 |
| 5 | 3-辛酮 | 0.02 | 3.152 3 | 10.121 | 57.012 | 5.884 6 | 76.585 |
| 6 | 萘 | 0.006 | 5.394 2 | 52.361 | 77.831 | 64.901 | 52.743 |
| 7 | 正己醛 | 0.005 | 5.373 4 | 30.793 | 61.521 | 23.815 | 19.603 |
| 8 | 己基苯 | 0.03 | 1.772 2 | 19.063 | 25.195 | 1.164 3 | 16.385 |
| 9 | 2-甲氧基-4-乙烯苯酚 | 0.01 | - | 75.848 | 90.359 | 390.89 | 38.098 |
| 10 | 丁酸甲酯 | 0.06 | - | 20.461 | 29.282 | 2.183 4 | 3.854 3 |
| 11 | 2-甲基丁酸甲酯 | 0.000 3 | 5.183 2 | - | 7 836.5 | 354.62 | 507.67 |
| 12 | 十六酸乙酯 | 2 | 4.674 3 | - | - | 9.098 7 | 14.557 |
| 13 | 棕榈酸甲酯 | >2 | 13.282 | - | 1.992 3 | 29.162 | 55.397 |
| 14 | 正癸醛 | 0.003 | - | 85.235 | - | 112.14 | 72.514 |

续表

| 序号 | 化合物 | 气味阈值/ (g·m ⁻³) | OAV | | | | |
|----|--------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | HS0 | HS1 | HS2 | BS3 | BS4 |
| 15 | 正辛醇 | 0.1 | - | 1.754 3 | - | 1.832 2 | 2.053 2 |
| 16 | 油酸乙酯 | 0.9 | 22.673 | - | - | 22.864 | 59.282 |
| 17 | 二乙基酮 | 0.04~0.08 | - | - | 20.673 | - | - |
| 18 | 2-甲基-3-己酮 | 0.008~0.04 | - | 31.722 | 52.441 | - | - |
| 19 | 正丁醇 | 0.5 | - | - | 1.311 3 | - | - |
| 20 | 戊酸甲酯 | 0.02 | - | - | 22.262 | - | - |
| 21 | 3-己酮 | 0.04~0.08 | - | - | - | 11.172 | - |
| 22 | 棕榈酸 | >10 | - | - | - | 1.283 2 | - |
| 23 | 2-甲基-3-戊酮 | 0.04~0.08 | - | 19.414 | 26.143 | 8.396 5 | - |
| 24 | 亚油酸乙酯 | 0.5 | 23.721 | - | - | - | 55.132 |
| 25 | 2-正戊基呋喃 | 0.006 | 1.554 8 | 34.660 | 64.571 | 35.832 | - |
| 26 | 3,4-二甲基-2-己酮 | 0.2~0.4 | - | - | 1.642 4 | - | - |
| 27 | 反-2-壬烯醛 | 0.000 09 | - | - | - | 3 171.3 | - |
| 28 | 正壬醇 | 0.05 | - | - | 7.434 8 | - | - |
| 29 | 乙酸乙酯 | 0.005 | - | - | 196.05 | - | 76.481 |
| 30 | 甲苯 | 0.5 | - | - | 1.153 2 | - | - |
| 31 | 十三醛 | 0.01 | - | 2.050 1 | - | - | - |

注：“-”表示未检出或OAV<1。

由表3可知,样品HS0、HS1、HS2、BS3、BS4中OAV≥1的风味物质分别有14种、16种、22种、21种和18种。其中2-甲基丁酸乙酯具有苹果的香味,是各样品中OAV最大的香气活性物质,是花生酱油中主要的键风味物质,其在添加花生壳酱油和蒸汽爆破花生壳酱油中的OAV甚至大于10 000。其次是蘑菇醇,具有湿蘑菇的香气,可赋予酱油清雅的特点,其OAV为47~2 257,在添加1/2蒸汽爆破花生壳酱油(BS3)样品中最高。对这些风味物质的OAV进行纵向对比发现,随着花生壳添加比例的提升,酱油中香气活性物质数目减少,

且OAV也普遍降低,说明添加过量的花生壳不利于酱油风味的感知;提高蒸汽爆破花生壳的添加比例,香气活性物质数目有所增加,其OAV不再普遍呈现下降趋势。相对于其他三组样品而言,棕榈酸甲酯、十六酸乙酯、油酸乙酯和亚油酸乙酯在添加汽爆花生壳的酱油(BS3和BS4)中更突出。

2.4 主成分分析

依据GC-MS所检测的结果,对5种酱油样品的气味物质进行主成分分析(PCA)。5种酱油样品的67种挥发性风味物质与OAV≥1的关键风味物质的PCA结果见图3。

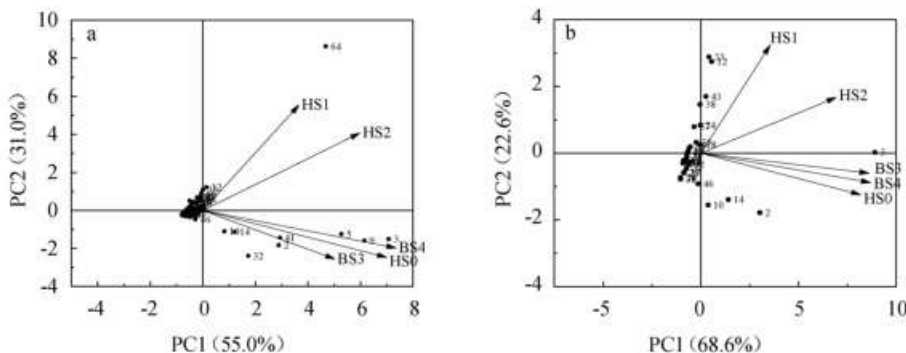


图3 5种酱油样品中67种挥发性风味物质(a)与OAV≥1的关键风味物质(b)主成分分析结果

Fig. 3 Principal component analysis results of 67 volatile flavor compounds (a) and key flavor compounds with OAV≥1 (b) in 5 kinds of soy sauce samples

由图3a可知,主成分(principal component, PC)1和PC2方差贡献率分别为55.0%和31.0%,累计方差贡献率为86%,表明可以用两个主成分代替原始67种挥发性风味物质的数

据。其中样品BS3、BS4与HS1、HS2被分为两类,样品HS1、HS2在第一象限,样品HS0、BS3、BS4在第四象限,说明花生壳经蒸汽爆破处理后对酱油风味产生了显著影响,而未

添加花生壳的酱油与添加蒸汽爆破花生壳的酱油的风味特征具有一定的相似度,且样品HS0与BS4距离最近,说明二者风味特征最接近,这与GC-MS结果相吻合。棕榈酸甲酯、亚油酸甲酯、反式-11-十八烯酸甲酯、油酸乙酯、苯己酮、2-十一烯醛、亚油酸乙酯、十六酸乙酯与样品HS0、BS3和BS4的关联较大。

由图3b可知,主成分PC1和PC2方差贡献率分别为68.6%和22.6%,累计方差贡献率为91.2%。棕榈酸甲酯与样品HS0、BS3及BS4的关联性较大,其次是油酸乙酯、十六酸乙酯和亚油酸乙酯;而反-2-辛烯醛和丁酸甲酯与样品HS1和HS2的关联性更紧密,其中反-2-辛烯醛为呈臭味的物质,表明将未经蒸汽爆破处理的花生壳用于酱油发酵可能会产生不良气味。

3 结论

与未添加花生壳的酱油相比,花生壳的加入会改变酱油的风味结构,风味物质含量下降66.41%~78.21%,且呈臭味的反-2-辛烯醛与其关联紧密。添加1/4蒸汽爆破花生壳的酱油风味结构与对照组高度相似,且风味物质含量是对照组的3.52倍,进一步提高其添加量,其风味构成由酯主导向酯和醛主导过渡,风味物质总含量进一步提升,此时酱油总体风味与对照组仍具有相似性。结果表明,汽爆的花生壳代替部分原料可使酱油风味与对照相近,且香气丰富度更高。

参考文献:

[1] ZHAO G Z, HOU L H, YAO Y P, et al. Comparative proteome analysis of *Aspergillus oryzae* 3.042 and *A. oryzae* 100-8 strains: Towards the production of different soy sauce flavors[J]. *J Proteomics*, 2012, 75(13): 3914-3924.

[2] GAO L H, LIU T, AN X J, et al. Analysis of volatile flavor compounds influencing Chinese-type soy sauces using GC-MS combined with HS-SPME and discrimination with electronic nose[J]. *J Food Sci Tech*, 2017, 54(1): 130-143.

[3] LIU X Y, QIAN M, SHEN Y X, et al. An high-throughput sequencing approach to the preliminary analysis of bacterial communities associated with changes in amino acid nitrogen, organic acid and reducing sugar contents during soy sauce fermentation[J]. *Food Chem*, 2021, 349: 129131.

[4] WANG X J, GUO M Y, SONG H L, et al. Characterization of key aroma compounds in traditional Chinese soy sauce through the molecular sensory science technique[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 128: 109413.

[5] ZHAO Y Q, ZHAO X, SUN-WATERHOUSE D, et al. Two-stage selective enzymatic hydrolysis generates protein hydrolysates rich in Asn-Pro and Ala-His for enhancing taste attributes of soy sauce[J]. *Food Chem*, 2021, 345: 128803.

[6] 刘仕洋. 河北省高油酸花生市场需求影响因素分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2021.

[7] 马娇豪, 孙瑞琳, 郑其良, 等. 花生食品加工现状概述[J]. *河南农业*, 2020(27): 41-42, 45.

[8] QIAO Y, ZHANG C Q, KONG F T, et al. Activated biochar derived from peanut shells as the electrode materials with excellent performance in Zinc-air

battery and supercapacitance[J]. *Waste Manage*, 2021, 125: 257-267.

[9] 戚馨月, 曹瑶, 周建新, 等. 花生壳分级提取物抑菌活性及其稳定性[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(3): 120-124, 130.

[10] PENG M M, CHEN Z S, DENG Q P, et al. The roles of luteolin in peanut shell extract-Mediated protection of erythrocytes against hypoxanthine-xanthine oxidase-induced toxicity[J]. *Food Biosci*, 2021, 39: 100826.

[11] 王洋. 乙醇浸提法提取花生壳黄酮类化合物的工艺研究[J]. *中国果菜*, 2015, 35(8): 11-14.

[12] 张静静. 花生壳中黄酮类成分提取工艺研究进展[J]. *种子科技*, 2020, 38(8): 4-5, 7.

[13] PAN T, XIANG H Y, DIAO T T, et al. Effects of probiotics and nutrients addition on the microbial community and fermentation quality of peanut hull[J]. *Bioresour Technol*, 2019, 273: 144-152.

[14] 张博华, 马超, 张明, 等. 蒸汽爆破技术应用现状研究[J]. *中国果菜*, 2020, 40(7): 31-34, 38.

[15] 何晓琴, 李苇舟, 李富华, 等. 蒸汽爆破预处理在农产品加工副产物综合利用中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(8): 252-257.

[16] 何晓琴, 刘昕, 李苇舟, 等. 蒸汽爆破预处理苦荞麸皮膳食纤维改性分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 46-54.

[17] KIM S, KWON J, KIM Y, et al. Correlation analysis between the concentration of α -dicarbonyls and flavor compounds in soy sauce[J]. *Food Biosci*, 2020, 36: 100615.

[18] 黄亮锦. 一种花生壳酱油酿制方法: CN107296257A[P]. 2017-10-27.

[19] 邝格灵, 李树, 宁甜甜, 等. 基于 GC-MS 指纹图谱和多元统计学区分四川保宁醋和山西老陈醋的挥发性差异代谢产物[J]. *食品科学*, 2020, 41(16): 227-232.

[20] 游刚, 牛改改, 董庆亮, 等. 方格星虫酶解物与 4 种糖 Maillard 反应产物的挥发性风味成分变化与感官特性相关性分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(18): 259-265.

[21] WU N, GU S Q, TAO N P, et al. Characterization of important odorants in steamed male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry[J]. *J Food Sci Tech*, 2014, 79(7): C1250-C1259.

[22] LIU Y P, LI Q R, YANG W X, et al. Characterization of the potent odorants in *Zanthoxylum armatum* DC Prodr. pericarp oil by application of gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry and odor activity value [J]. *Food Chem*, 2020, 319: 126564.

[23] GU D C, LIU W, YAN Y, et al. A novel method for rapid quantitative evaluating formaldehyde in squid based on electronic nose[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2019, 101: 382-388.

[24] ZHANG L, HU Y 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-Food Sci Technol*, 2021, 140: 110764.

[25] 赵钜阳, 袁惠萍. 酱油特征性风味物质研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(12): 376-382.

[26] 陈亮, 贺博, 康文丽, 等. 酱油风味物质检测方法研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(16): 293-298.

[27] 周莉. 中国传统日晒酱油挥发性风味特征研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.

[28] 杨晓璇, 李阳, 马宁, 等. 酱油中挥发性风味物质的气相色谱-离子迁移谱分析[J]. *中国酿造*, 2021, 40(3): 149-154.