

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.02.009

SPME-GC-MS 结合组学技术分析发酵椰奶特征风味与风味物质相关性

Flavor components of fermented coconut milk using Omics technology combined with SPME-GC-MS

雷文平^{1,2} 周 辉^{1,2} 周杏荣¹ 吴 坤¹

LEI Wen-ping^{1,2} ZHOU Hui^{1,2} ZHOU Xing-rong¹ WU Kun¹

吴 霓¹ 宋艳菲¹ 刘成国^{1,2}

WU Ni¹ SONG Yan-fei¹ LIU Cheng-guo^{1,2}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128;

2. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:为了分析发酵椰奶特征风味与风味物质相关性,利用固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术(Solid-Phase Micro Extraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, SPME-GC-MS)分别对发酵椰奶、原味椰奶和酸牛奶中的风味成分进行测定,同时进行感官评价;并且结合组学技术从感官和风味物质方面分析了发酵椰奶的特征风味。研究表明,发酵椰奶感官风味特征在甜味、酸味、椰子味、奶香味、乳脂味以及醇香味感官评分较高,对发酵椰奶的喜好感主要受甜味、酸味、椰子味以及香草味的影响;而相比原味椰奶甜味过高,且伴随有较浓蒸煮味。从发酵椰奶中共检测出 23 种风味成分,比原味椰奶和酸牛奶分别多 5 种和 2 种;相比原味椰奶,发酵椰奶中酸类和酯类物质相对含量分别减少了 11.005% 和 11.670%,而醇类、酮类和醛类物质相对含量分别增加了 6.015%, 10.295%, 1.975%;酸牛奶中酸类物质是其主要风味成分,比发酵椰奶相对含量高 31.79%。发酵椰奶中 2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮等风味成分主要贡献了果香味、奶香味和焦糖气,酯类物质主要贡献了香草味、甜味、椰子味和蒸煮味。

关键词:椰子;椰奶;酸牛乳;主成分分析法;固相微萃

基金项目:湖南省战略新兴产业科技攻关项目(编号:2017GK4032)

作者简介:雷文平,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:刘成国(1964—),男,湖南农业大学教授,硕士。

E-mail:lcgwei@126.com

收稿日期:2018-08-07

取—气相色谱—质谱联用技术;偏最小二乘法

Abstract: In order to analyze the correlation between characteristic flavor components and sensory flavor of fermented coconut milk. Solid-phase micro extraction (SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to analyze the volatile flavor compounds of fermented coconut, natural coconut milk and yogurt, respectively. The sensory properties of flavor were assessed, and the characteristic flavor of the fermented coconut milk was analyzed from the sensory and flavor substances in combination with the omics technology. The results showed that the sensory flavor characteristics of fermented coconut milk were higher in sweet, sour, coconut, milky, creamy and alcoholic sensory scores; the sweetness of the original coconut milk is too high, accompanied by a thicker cooking flavor. A total of 23 flavors were detected from the fermented coconut milk, 5 and 2 of them were more than the original coconut milk and yogurt respectively. Compared with the original coconut milk, the relative content of acid and ester in the fermented coconut milk decreased by 11.005% and 11.670%, respectively; while the relative contents of alcohols, ketones and aldehydes increased by 6.015%, 10.295% and 1.975%, respectively; the acid substances in yogurt were the main flavor components, which was 31.79% higher than the fermented coconut milk. Flavored components such as 2,3-pentanedione and 3-hydroxy-2-butanone in fermented coconut milk mainly contribute to fruity aroma, milky aroma and caramel odor, and ester substances mainly contribute vanilla, sweet, coconut flavor and steamed flavor.

Keywords: *Cocos nucifera*; coconut milk; yoghurt; principal compo-

nent analysis; solid-phase micro extraction-gas chromatography-mass spectrometry; partial least squares regression

椰子(*Cocos nucifera*)属棕榈科,是一种单子叶植物,具有较高营养与药用价值,椰汁与椰肉富含蛋白质、脂肪、膳食纤维、维生素、钾、钙、镁等营养物质^[1];有研究^[2-4]表明椰子具有抗菌、预防糖尿病、抗癌等功效。有学者^[5-7]研究了椰子相关发酵制品,但仍以牛乳为原料,向其中加入椰浆进行复配发酵;并且椰子制品主要包括椰子油、椰奶、椰子水和椰子肉等;而完全以椰浆作为原料的发酵制品以及利用 SPME-GC-MS 对其风味成分的分析未见报道;因此,对椰浆发酵制品风味成分鉴定有待进一步研究。

固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(SPME-GC-MS)被广泛应用于食品风味物质的研究;气相色谱-质谱联用技术对于高挥发性的小分子量与高沸点的大分子量的物质具有较低检出限,并且固相微萃取(SPME)技术允许在短时间以简单的方式从固体和液体基质中分离挥发性物质^[8-10]。目前,部分学者^[11-13]利用气相色谱-质谱联用技术主要集中在对发酵制品风味物质的含量及种类等分析,并未将特征感官风味与风味成分结合起来分析相应风味物质贡献的特征感官风味,而利用 SPME-GC-MS 结合组学技术能较准确分析发酵制品的特征感官风味与风味物质的相关性^[14]。

本研究拟以发酵椰奶为主要研究对象,利用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对发酵椰奶的风味成分进行分析,结合组学技术从感官和风味物质方面分析了发酵椰奶的特征风味,并以原味椰奶和酸牛奶作对比。旨在为发酵椰奶风味物质组成的鉴定及相关品质的改进提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

佳乐椰浆:苏门答腊 SAMBU 集团;

酸牛奶:食品微生物实验室自制,制作方法参考文献^[15];

直投式发酵剂(Directed vat set, DVS) Y428A、Y439B、Y429A:上海昊岳食品科技有限公司;

脱脂奶粉:太子奶集团生物科技有限责任公司;

果胶:食品级,厚满生物科技(上海)有限公司;

海藻酸丙二醇酯:食品级,郑州亿之源化工产品有限公司;

白砂糖:食品级,长沙尚杰食品有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:PUCHUN 型,上海精密科学仪器有限公司;

生化培养箱:GZ-400-S 型,韶关市广智科技设备有限

公司;

双人单面垂直净化工作台:SW-CJ-2D 型,苏州博莱尔净化设备有限公司;

超级恒温水浴锅:601 型,金坛市医疗器厂;

冷藏柜:SC-320D 型,青岛海尔股份有限公司;

气质联用仪:GCMS-QP2010 型,岛津企业管理(中国)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 发酵椰奶的制备 首先将椰浆预热至 (60 ± 1) °C,并向椰浆中加入果胶(0.3 g/L)、海藻酸丙二醇酯(0.9 g/L)以及白砂糖(80 g/L),加水至所需用量,混合搅拌均匀,制备成椰奶;然后将上述椰奶在温度 60 °C、压力 25 MPa 的条件下进行一级均质处理 2~3 次;将均质后的椰奶在温度 95 °C 条件下杀菌处理 25 min;杀菌完成后冷却至 (35 ± 2) °C,在无菌条件下加入 30 g/L 的直投式发酵剂至椰奶中,并在温度 39 °C 的条件下发酵 7~8 h,待达到凝固状态,且酸度为 55~65 °T 时即为发酵终点。最后,将恒温发酵后的产品迅速冷却至 10 °C 以下,放入 0~4 °C 的冰箱冷藏后熟 24 h。

1.3.2 感官特征分析 将制备完成的发酵椰奶,以及原味椰奶(按 1.2.1 制备而成的椰奶)和酸牛奶,参照 GB/T 16291.1—2012 的感官评判标准,组建 10 人的感官评定小组。感官评价所用的描述性感官词,来源于感官分析术语^[16]和相关文献^[17]词汇。

1.3.3 风味成分分析 将制备完成的发酵椰奶,以及原味椰奶和酸牛奶,利用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术进行风味成分分析。

1.3.4 感官特征评价方法 分别称取 20 g 发酵椰奶、原味椰浆和酸牛奶放入 3 个品尝杯中,对其进行气味、滋味感官评定。每次评定的样品编号采用 3 位随机数字。评定员品尝完一个样品后用矿泉水漱口,每个样品重复 3 次。感官评分标准(0~9 分):0 分(无);1~3 分(较弱);4~6 分(中等强度);7~9 分(强)。经训练后样品感官风味特征描述词为甜味、酸味、椰子味、奶香味、果香味、乳脂味、香草味、蒸煮味、醇香味、焦糖气味^[18]。

1.3.5 风味成分测定方法

(1) 样品萃取方法:称取按 1.3.1 所制备发酵椰奶、原味椰奶和酸牛奶样品各 1 g,分别置于 15 mL 萃取瓶,旋紧萃取瓶盖,温度为 50 °C 条件下处理 30 min,然后利用老化后的萃取头在温度为 70 °C 条件下顶空吸附 45 min,最后插入 GC-MS 进样口解吸 1 min,拔出萃取头进行 GC-MS 分析。

(2) GC 条件:DB-WAX 毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度 250 °C;柱箱升温程序:初温 35 °C 保持 3 min,然后以 3 °C/min 升温至 200 °C,再以 20 °C/min 升温至 250 °C,保持 5 min;载气为氦气 He,流速为 1 mL/min;进样采用自动分流方式进行,分流比

10 : 1^[19-20]。

(3) MS 条件:EM 电离源,离子源温度 250 ℃;接口温度 200 ℃;检测电压为 1 kV;质量扫描范围 m/z 为 35~400^[21-22]。

1.5 数据统计

采用 Excel 2010 软件进行数据分析,显著性水平为 $P < 0.05$;利用 R Studio 软件对样品进行(Principal component analysis,PCA)分析,并以 Origin Pro 2018 软件作

图;采用 SIMCA-P 11.5 分析软件对发酵椰奶气味感官数据与挥发性风味物质进行偏最小二乘法分析(Partial least squares regression,PLS)。

2 结果与分析

2.1 感官风味特征评定

通过对感官评定人员进行培训后,对发酵椰奶、原味椰奶以及酸牛奶的感官风味特征评定,评定的结果见表 1。

表 1 感官风味特征评定结果[†]

Table 1 The results of sensory flavor characteristics ($n=10$)

| 样品 | 甜味 | 酸味 | 椰子味 | 奶香味 | 果香味 |
|------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 发酵椰奶 | 5.70±0.45 ^b | 3.90±0.29 ^{de} | 7.50±0.53 ^a | 5.40±0.37 ^{bc} | 2.80±0.19 ^{ef} |
| 原味椰奶 | 8.60±0.53 ^a | 1.10±0.09 ^f | 7.30±0.47 ^b | 4.50±0.28 ^c | 1.20±0.08 ^f |
| 市售酸奶 | 1.90±0.10 ^{cd} | 8.20±0.63 ^a | 0.70±0.03 ^d | 4.90±0.39 ^b | 1.10±0.03 ^d |
| 样品 | 乳脂味 | 香草味 | 蒸煮味 | 醇香味 | 焦糖气味 |
| 发酵椰奶 | 4.40±0.24 ^{cd} | 1.30±0.15 ^g | 1.50±0.12 ^g | 3.10±0.29 ^e | 1.70±0.14 ^{fg} |
| 原味椰奶 | 3.70±0.13 ^{cd} | 3.00±0.06 ^{de} | 2.50±0.09 ^e | 0.90±0.03 ^f | 0.50±0.03 ^f |
| 市售酸奶 | 4.80±0.22 ^b | 0.80±0.05 ^d | 1.00±0.05 ^d | 3.00±0.22 ^c | 1.10±0.04 ^d |

[†] 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由表 1 可知,发酵椰奶感官风味特征在甜味、酸味、椰子味、奶香味、乳脂味以及醇香味感官评分较高,其评分皆>3.00。对于甜味,发酵椰奶感官评分(5.70±0.45)相对于原味椰奶(8.60±0.53)显著降低,原因可能是微生物发酵后产酸,使得发酵椰奶甜酸比发生变化;而相比酸味,酸牛奶(8.20±0.63)比较显著。对于椰子味,椰奶在发酵前后感官评分并无显著变化,表明微生物发酵并未削弱其特有椰子风味。同时,发酵椰奶在其它风味特征上感官评分相比酸牛奶并无显著差异,表明发酵椰奶既保留了椰子特有风味,并且具备酸牛奶特有风味特征。

2.2 感官风味特征主成分分析

利用 R Studio 软件对发酵椰奶、原味椰奶以及酸牛奶的风味感官评分进行主成分分析,其主成分载荷矩阵和 PCA 图分别见表 2 及图 1。

对发酵椰奶、原味椰奶以及酸牛奶的风味特征感官评分进行主成分分析,前 3 个主成分特征值的累积贡献率已达 74.49%,能够解释原始变量绝大部分信息。由表 2 可知,第 1 主成分(PC1)与甜味、酸味、椰子味以及香草味 4 个感官风味特征有较大相关性,其载荷绝对值均>3.5,表明 PC1 可以看作基本感官风味的代表。第 2 主成分(PC2)与奶香味、果香味和焦糖气味 3 个感官风味特征有较大正相关,其载荷绝对值均>4.0,表明 PC2 能够代表风味乳的特有风味。第 3 主成分(PC3)与奶香味和蒸煮味呈较大负相关,其载荷绝对值均>4.5,表明 PC3 可以看作不愉快感风味代表。

由图 1 可知,发酵椰奶、原味椰奶和酸牛奶在距离上

表 2 感官风味特征主成分载荷矩阵

Table 2 Component matrix of sensory flavor characteristics

| 风味特征 | PC1 | PC2 | PC3 |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 甜味 | 0.437 85 | 0.052 76 | 0.207 84 |
| 酸味 | -0.448 74 | -0.105 87 | -0.105 58 |
| 椰子味 | 0.359 97 | 0.313 34 | 0.302 61 |
| 奶香味 | -0.105 38 | 0.415 63 | -0.610 11 |
| 果香味 | 0.002 45 | 0.633 26 | 0.146 87 |
| 乳脂味 | -0.272 93 | -0.096 28 | 0.116 34 |
| 香草味 | 0.395 39 | 0.002 71 | -0.336 90 |
| 蒸煮味 | 0.315 89 | 0.039 28 | -0.478 77 |
| 醇香味 | -0.327 57 | 0.323 25 | -0.157 53 |
| 焦糖气味 | -0.168 29 | 0.445 81 | 0.281 42 |

有明显区分;发酵椰奶主要感官风味特征比较丰富,其主要集中了焦糖气味、果香味、奶香味、椰子味和醇香味等感官风味特征;而原味椰奶和酸牛奶感官风味较为单一,且均有不愉悦的感官风味,分别为蒸煮味和酸味;同时,发酵椰奶处在原味椰奶和酸牛奶之间,进一步说明发酵椰奶既有椰子固有风味,也具备酸奶特征风味。

2.3 风味成分测定

采用 SPME 顶空吸附收集,GC-MS 法对发酵椰奶、原味椰奶和酸牛奶的挥发性风味成分进行测定,其挥发性风味成分的总离子流图见图 2,样品中各类挥发成分的定性和相对定量结果如表 3 所示。

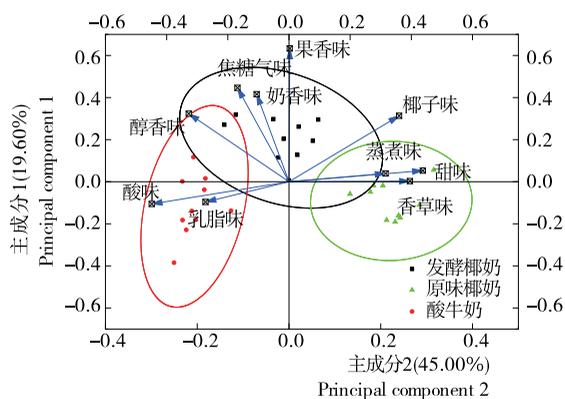


图1 感官风味特征 PCA 图

Figure 1 Principal component biplot of sensory flavor characteristics

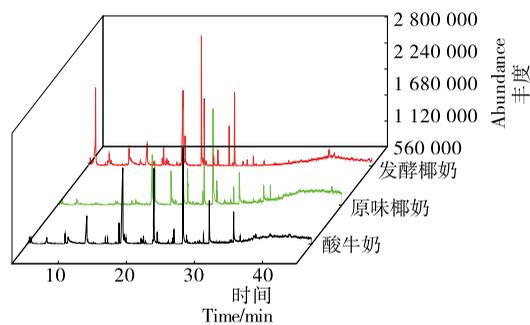


图2 发酵椰奶、原味椰奶与酸牛奶挥发性风味成分总离子流图

Figure 2 Total ion current chromatograms of volatile compounds of fermented coconut milk, natural coconut milk and yogurt

表3 不同样品中挥发性成分[†]

Table 3 Volatile components in different samples

| 类别 | 化合物名称 | 保留时间/min | | | 相对含量/% | | |
|----|------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 椰子酸奶 | 未发酵椰浆 | 牛奶酸奶 | 椰子酸奶 | 未发酵椰浆 | 牛奶酸奶 |
| 酸类 | 丁酸 | 6.055 | | 6.151 | 0.300 | — | 1.610 |
| | 戊酸 | 8.972 | | | 0.155 | — | — |
| | L-乳酸 | 9.235 | | 9.239 | 3.755 | — | 2.370 |
| | 己酸 | 11.909 | 11.940 | 12.017 | 5.225 | 0.575 | 8.240 |
| | 辛酸 | 17.180 | 17.206 | 17.296 | 16.510 | 16.570 | 22.565 |
| | 癸酸 | 21.707 | 21.799 | 21.873 | 3.000 | 4.655 | 14.430 |
| | 月桂酸 | 26.001 | 26.116 | 26.122 | 8.920 | 23.420 | 15.495 |
| | 肉豆蔻酸 | 29.975 | 29.972 | 29.980 | 4.550 | 7.630 | 7.985 |
| | 十五酸 | 33.533 | 33.524 | 33.536 | 3.275 | 3.750 | 4.545 |
| | 油酸 | 36.451 | 36.448 | 36.452 | 0.395 | 0.490 | 0.635 |
| 醇类 | 正辛醇 | 14.123 | 14.161 | | 0.675 | 0.520 | — |
| | 14-甲基-8-十六碳烯-1-醇 | 35.700 | 35.350 | 35.008 | 2.110 | 0.040 | 3.010 |
| | (+)-2,3-二氢香叶基香叶醇 | 37.873 | | 37.636 | 3.790 | — | 2.125 |
| 酮类 | 2,3-戊二酮 | 3.554 | | 3.473 | 6.575 | 0.560 | 5.135 |
| | 3-羟基-2-丁酮 | 3.770 | 3.786 | 3.802 | 0.700 | — | 0.240 |
| | 2-庚酮 | | | 8.807 | 10.410 | 0.930 | 1.330 |
| | 2-壬酮 | 14.691 | 14.710 | 14.714 | — | — | 1.935 |
| 醛类 | 3-甲氧基丙醛 | 6.320 | | 6.483 | 1.860 | — | 1.365 |
| | 壬醛 | 15.010 | 15.040 | 15.041 | 0.410 | 0.325 | 0.660 |
| 酯类 | 辛酸乙酯 | 17.496 | 17.505 | 17.518 | 5.955 | 6.975 | 1.800 |
| | δ-辛内酯 | 19.884 | 19.909 | | 10.555 | 8.555 | — |
| | 癸酸乙酯 | 22.308 | 22.330 | 22.338 | 4.835 | 5.190 | 2.845 |
| | δ-葵内酯 | 24.750 | 24.778 | | 8.505 | 13.590 | — |
| | 丁位壬内酯 | | | 24.788 | — | 0.000 | 4.740 |
| | 月桂酸乙酯 | | 26.626 | 26.634 | — | 3.955 | 1.405 |
| | δ-十二烷醇内酯 | | 29.123 | | — | 2.300 | — |
| 其他 | 二烯丙基二硫醚 | 14.340 | | | 3.420 | — | — |

[†] “—”表示样品中该风味化合物未检测出。

由表 3 可知,发酵椰奶的风味成分种类繁多,总共检测出 23 种挥发性成分,其中酸类 10 种,醇类 3 种,酮类 3 种,醛类 2 种,酯类 4 种,其它化合物 1 种;原味椰奶总共检测出 18 种挥发性成分,其中酸类 7 种,醇类 2 种,酮类 2 种,醛类 1 种,酯类 6 种;酸牛奶中总共检测出 21 种挥发性成分,其中酸类 9 种,醇类 2 种,酮类 4 种,醛类 2 种,酯类 4 种。

酸类物质主要表现在滋味上。己酸、辛酸、癸酸、月桂酸、肉豆蔻酸等酸类物质相对含量较高,是影响二者滋味的重要风味成分;而相对发酵椰奶而言,丁酸、戊酸、L-乳酸是发酵椰奶的特征酸味物质,丁酸与戊酸使得发酵椰奶表现出奶油香味,L-乳酸是发酵椰奶中的主要呈味酸类,这些特殊酸类物质赋予了发酵椰奶独特的风味^[14]。

醇类物质的风味阈值较高,虽然对风味贡献不大,但是醇类可以转化成酸^[23]。发酵椰奶中醇类物质的相对含量为 6.575%,而原味椰奶和酸牛奶分别含有 0.560%和 5.135%;发酵椰奶中检测出了 14-甲基-8-十六碳烯-1-醇以及(+)-2,3-二氢香叶基香叶醇等醇类成分,而原味椰奶中几乎未检出。丰富的醇类物质使发酵椰奶表现出典型的醇香味。

原味椰奶中酮类物质含量相对较少(1.505%),而酮类是酸牛奶的重要风味物质之一。具有奶油香味的 3-羟基-2-丁酮作为酸奶制品中重要风味成分,这一成分的检测结果差别较大,发酵椰奶中相对含量比原味椰奶和酸牛奶分别高 10.295%和 7.605%^[24];2,3-戊二酮具有焦糖气味,兼具坚果果香;2-庚酮具有水果气味。酮类物质是由不饱和脂肪酸的氧化、热降解,氨基酸降解或微生物代谢产生,酮类挥发性化合物一般呈奶油味或果香味^[25]。

醛类物质的风味阈值一般较低,是各种氧化风味的来源^[26]。发酵椰奶中醛类物质的相对含量为 2.270%,原味椰奶和酸牛奶中醛类物质相对含量分别为 0.325%和 2.025%;壬醛具有类似蜡香、蜂蜜香风味^[26],使得发酵椰奶风味更加醇和。

酯类物质是一种很重要的风味物质,椰子脂肪是酯类物质的主要来源,主要是通过脂肪酸水解和微生物代谢产生^[27]。发酵椰奶和原味椰奶的酯类物质相对含量都比较高,分别为 29.850%和 40.520%;相比原味椰奶,发酵椰奶中酯类物质含量明显降低,这使得发酵椰奶滋味更加清淡柔和。

由表 3 还可知,含硫化合物在风味物质中很重要,风味阈值比较低,发酵椰奶中检出 1 种含硫化合物,而原味椰奶和酸牛奶中并无检出。

2.4 发酵椰奶感官风味特征与风味物质的相关性分析

利用 SIMCA-P 11.5 分析软件对发酵椰奶风味感官数据与挥发性风味物质进行偏最小二乘法分析(PLS),其 PLS 分析图见图 3。

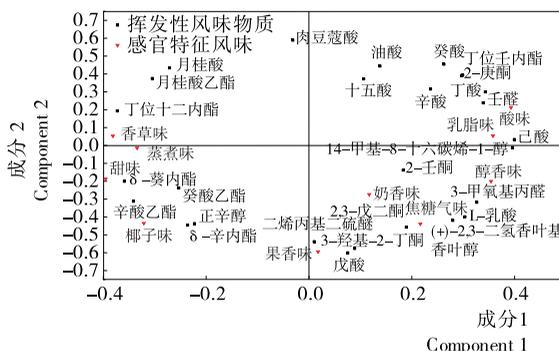


图 3 发酵椰奶感官风味特征与挥发性风味物质的 PLS 分析图

Figure 3 Linear partial least-squares regression analysis plot of flavor attributes and volatile flavor compounds of fermented coconut

由图 3 可知,图中包括 2 个变量,分别为感官风味特征和挥发性风味物质,二者的距离越相近,表明其相关性越好,解释性越强^[28]。图中 2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮和 2-壬酮等风味物质主要贡献了果香味、奶香味和焦糖气味,与陈娟等^[26]描述较为一致;14-甲基-8-十六碳烯-1-醇和(+)-2,3-二氢香叶基香叶醇主要贡献在醇香味上,且表 3 中二者相对含量也相对较高,进一步表明醇香味主要由这 2 种物质贡献;酸味主要由丁酸、己酸等各种脂肪酸贡献;癸酸乙酯、δ-癸内酯、丁位壬内酯、月桂酸乙酯等酯类主要贡献了香草味、甜味、椰子味和蒸煮味。综上所述,酮类物质主要贡献给发酵椰奶奶香味,酸味主要由脂肪酸贡献;椰奶在发酵过程中产生了不佳风味如蒸煮味等,其与酯类化合物有密切关系。

3 结论

利用组学技术从感官和风味物质方面分析了发酵椰奶的特征风味,并与原味椰奶和酸牛奶进行对比。通过主成分分析表明发酵椰奶主要集中在甜味、酸味、椰子味、奶香味、乳脂味以及醇香味等感官风味特征,其感官评分均>3;而相比原味椰奶,其感官风味显著得到改善,尤其消除了原味椰奶的蒸煮味。同时,发酵处理对原味椰浆风味成分影响显著,从发酵椰奶中共检测出 23 种风味成分,比原味椰奶和酸牛奶分别多 5 种和 2 种,相比原味椰奶,发酵椰奶中酸类和酯类成分显著下降,而醇类、酮类和醛类成分明显上升。进一步结合感官风味特征进行 PLS 分析发现发酵椰奶中 2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮和 2-壬酮等风味物质与果香味、奶香味和焦糖气味相关性较强,而蒸煮味主要由酯类物质贡献,也说明通过发酵降低了酯类物质成分,能改善原味椰浆的蒸煮味。本研究利用 SPME-GC-MS 结合组学技术分析发酵椰奶的特征感官风味与风味物质相关性,而在研究风味物质的形成机理以及相关感官风味与风味物质联系机制方面有待进一步研究。

参考文献

- [1] ROOPAN S M. An overview of phytoconstituents, biotechnological applications, and nutritive aspects of coconut (*Cocos nucifera*) [J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2016, 179(8): 1 309-1 324.
- [2] RUKMINI J N, MANASA S, ROHINI C, et al. Antibacterial efficacy of tender coconut water (*Cocosnucifera* L) on *Streptococcus mutans*: An in-vitro study [J]. *J Int Soc Prevent Communit Dent*, 2017, 7: 130-134.
- [3] NIDHI Tyagi, VIKAS Hooda, ANJALI Hooda, et al. Evaluation of antidiabetic potential of ethanolic and aqueous extract of *Cocosnuciferaendocarp*[J]. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2017, 4(7): 1 112-1 120.
- [4] KOSCHEK P R, ALVIANO D S, ALVIANO C S, et al. The husk fiber of *Cocosnucifera* L. (*Palmae*) is a source of antineoplastic activity[J]. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 2007, 40: 1 339-1 343.
- [5] 胡志勇, 郜佳雁, 周慧君, 等. 椰子酸奶发酵工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(12): 135-138.
- [6] 谢渝, 刘锴栋, 黄君红, 等. 椰子酸奶的研制[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(13): 2 804-2 806.
- [7] 陈文学, 郑鸿杰, 潘永贵. 椰子酸奶的研制[J]. *热带农业科学*, 2004, 24(1): 20-22.
- [8] MAREEN Van A, SUSAN E, JANNE Bouren D, et al. Flavor threshold for acetaldehyde in milk, chocolate milk, and spring water using solid-phase micro extraction gas chromatography quantification[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2001, 49(3): 1 377-1 381.
- [9] FRANCISCO José Delgado, JOSÉ González-crespo, RAMÓN Cava, et al. Formation of the aroma of a raw goat milk cheese during maturation analysed by SPME-GC-MS[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129: 1 156-1 163.
- [10] RITA Santosa, EUNICE Limasa, MUALIDE Sousab, et al. Optimization of analytical procedures for GC-MS determination of phytosterols and phytostanols in enriched milk and yoghurt[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(1): 113-117.
- [11] 郭文奎, 王玉堂, 霍贵成. 固相微萃取气质联用测定酸奶发酵过程中挥发性风味成分[J]. *中国乳品工业*, 2016, 40(6): 58-61.
- [12] 高鑫, 李博, 梅俊. 桑椹凝固型酸奶挥发性风味成分的分析[J]. *食品工业*, 2018, 39(5): 215-218.
- [13] 贡佳欣, 李思宁, 唐善虎. 双歧杆菌与乳酸克鲁维酵母共发酵对酸奶品质及风味的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(2): 98-107.
- [14] 宋继宏, 王记成, 其木格苏都, 等. 酸乳中风味物质的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(2): 214-220.
- [15] 王恺, 姬燕培. 凝固型发酵酸乳制备条件探讨[J]. *黄河水利职业技术学院学报*, 2012, 24(2): 53-54.
- [16] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10221—2012 感官分析术语[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 7-9.
- [17] COSTA R G, BELTR O FILHO E M, DE S S, et al. Physicochemical and sensory characteristics of yoghurts made from goat and cow milk[J]. *Animal Science Journal*, 2016, 87(5): 703-709.
- [18] 耿明雪, 刘小鸣, 赵建新, 等. 基于组学及感官评价的酸奶风味研究[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(7): 250-257.
- [19] HUSSEIN L Al-gboory. Determination of volatile compound in fermented camel milk by GC-MS[J]. *Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture*, 2017, 11: 21-26.
- [20] VÍTOVÁ E, BABÁK L, MOKÁNOVÁ R, et al. The content of sensory active compounds and flavour of several types of yogurts[J]. *ACTA Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2010, 48(5): 407-412.
- [21] GURKAN H, HAYALOGLU A A. Volatiles and sensory characteristics of yogurt manufactured by incorporating basil (*Ocimumbasilicum* L.) [J]. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(51): 779-789.
- [22] JAE Yeon Joung, JI Young Lee, YOUNG Sik Ha, et al. Enhanced Microbial, Functional and Sensory Properties of Herbal Yogurt Fermented with Korean Traditional Plant Extracts[J]. *Korean J Food Sci Anim Resour*, 2016, 36(1): 90-99.
- [23] 葛武鹏, 李元瑞, 陈瑛, 等. 牛羊奶酸奶挥发性风味物质固相微萃取 GC/MS 分析[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(11): 66-69.
- [24] 张素敏, 薛凌云, 王晓闻. 海藻糖功能性酸奶的研制及风味物质与质构特性的分析[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(6): 145-151.
- [25] 李广富, 陈伟, 范路平, 等. 灵芝功能成分酸奶营养品质与风味物质分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(10): 168-173.
- [26] 陈娟, 李键, 唐俊妮, 等. 川西高原牧区传统发酵牦牛酸奶挥发性风味成分的分析[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(16): 60-62.
- [27] 贺红军, 邹慧, 孙宁, 等. 紫薯酸奶和普通酸奶挥发性风味物质差异性研究[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(8): 225-230.
- [28] 王岩, 张哲, 张媛市, 等. 售酸奶油感官与风味特征[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(9): 201-208.
- (本文系 2018 年湖南省研究生创新论坛二等奖论文)