

热处理对椰子植物酸奶理化性质及挥发性成分的影响

韩喜艳¹, 宋菲^{2*}, 张玉锋², 赵松林², 赵晓明¹

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070) (2. 中国热带农业科学院椰子研究所, 海南省椰子深加工工程技术研究中心, 国家重要热带作物工程技术研究中心(椰子分中心), 海南文昌 571339)

摘要: 发酵前热处理对酸奶品质影响较大, 本文利用脱脂椰浆为主要原料, 不加入任何动物成分, 通过乳酸菌发酵制成椰子植物酸奶, 研究不同的热处理条件对椰子植物酸奶品质的影响。通过对产品的感官、理化性质(pH值、滴定酸度、持水力、色差)、质构特性、挥发性成分进行测定, 选择适宜的热处理条件。结果表明, 经过65℃-30 min热处理的椰子植物酸奶, pH值为4.55, 滴定酸度为92.67°T, 持水力为88.75%, 酸甜可口, 无乳清析出现象, 组织状态好, 黏稠度适宜, 色泽均匀, 感官评分为84.97。利用GC-IMS法从椰浆及不同热处理的椰子植物酸奶中共鉴定出14种挥发性成分, 主要是醇类、酮类、醛类和酯类。构成发酵风味的重要物质2,3-丁二酮在热处理条件为65℃-30 min时含量最高。综合得出: 65℃-30 min热处理制备的椰子植物酸奶口感品质良好。

关键词: 椰浆; 热处理; 椰子植物酸奶; 挥发性成分; 品质分析

文章编号: 1673-9078(2022)03-266-275

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0675

Effect of Heat Treatment on the Physicochemical Properties and Volatile Components of Coconut Plant-based Yoghurt

HAN Xiyuan¹, SONG Fei^{2*}, ZHANG Yufeng², ZHAO Songlin², ZHAO Xiaoming¹

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2. Coconut Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Hainan Engineering Center of Coconut Further Processing/National Center of Important Tropical Crops Engineering and Technology Research (Coconut Center), Wenchang 571339, China)

Abstract: The heat treatment before fermentation had a great influence on the quality of yogurt. In this study, defatted coconut milk was used as the main raw material, and no animal ingredients were added to make coconut plant-based yoghurt through lactic acid bacteria fermentation, and the influences of different heat treatment conditions on the quality of coconut plant-based yoghurt were studied. By measuring the sensory, physical and chemical properties (pH value, titer acidity, water holding capacity, color difference), texture characteristics, and volatile components of the product, the appropriate heat treatment conditions were selected. It showed that the coconut plant-based yoghurt with heat treatment at 65 °C for 30 min had good taste, no whey separation, good tissue state, suitable viscosity, uniform color, and its sensory score was 84.97, pH value was 4.55, titer acidity was 92.67 °T, water holding capacity was 88.75%. A total of 14 volatile components were identified from coconut milk and coconut plant-based yoghurt with different heat treatments using GC-IMS method, mainly alcohols, ketones, aldehydes and esters. The content of 2,3-butanedione, an important substance of fermented flavor, was highest when the heat treatment conditions was 65 °C-30 min. It is concluded that the coconut plant-based yoghurt prepared by heat treatment at 65 °C-30 min had good taste and quality.

Key words: coconut milk; heat treatment; coconut plant-based yoghurt; volatile components; quality analysis

引文格式:

韩喜艳,宋菲,张玉锋,等.热处理对椰子植物酸奶理化性质及挥发性成分的影响[J].现代食品科技,2022,38(3):266-275,+265

HAN Xiyuan, SONG Fei, ZHANG Yufeng, et al. Effect of heat treatment on the physicochemical properties and volatile components of coconut plant-based yoghurt [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 266-275, +265

收稿日期: 2021-06-25

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2020097)

作者简介: 韩喜艳(1994-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全,E-mail: 546738455@qq.com

通讯作者: 宋菲(1986-),女,副研究员,研究方向:农产品加工,E-mail: songfeijj@163.com

酸奶营养价值较为全面,富含蛋白质、维生素 B、叶酸、烟酸、核黄素、硫胺素、钙、磷、镁、锌^[1],易被人体消化和吸收^[2,3]。经常食用酸奶可以改善肠道菌群、调节机体免疫力,对肝病、血糖、血压等有一定的作用^[4,5],故将其作为一种功能性食品而广泛地食用。随着消费者对自身健康和食品安全等的关注及认知的提升,植物基酸奶产品越来越受到青睐,是目前酸奶产品的研究热点之一。椰子是热带地区典型的木本油料作物和食品能源作物,作为一种植物基原料,富含蛋白质、脂肪、矿物质、维生素等^[6],营养价值高。国内外研究表明,椰子蛋白质主要来源于椰浆,是一种优质的植物蛋白质资源,富含 18 种氨基酸,且必需氨基酸种类齐全,消化吸收率和生物效价都较高^[7]。椰子蛋白质具有抑制高血脂、降血压、抗氧化、改善缺铁性贫血等功能活性^[8,9]。椰浆中的脂肪酸主要为月桂酸,月桂酸不会引起胆固醇偏高,对心血管等健康有一定的影响^[10,11]。近年来,随着椰子在抑菌、抗病毒、杀虫、抗氧化、降血糖、保肝、免疫调节等功效方面研究报道的增多,人们对椰子及其相关产品的消费热情日益高涨。以椰子为原料,制备椰子植物酸奶,市场前景广阔。

酸奶制作过程中基本都有热处理这一重要环节,发酵前进行热处理会对酸奶产品产生多种影响,热处理主要有以下几个目的:(1)能起到杀菌、灭酶延长货架期的作用;(2)能够改善酸奶的品质,保证酸奶产品不发生脱水收缩作用;(3)对酸奶中的风味物质以及结构特性具有改善作用^[12,13]。酸奶具有特殊风味,风味是酸奶品质的一个重要指标,因此对酸奶的挥发性风味物质进行研究具有重要意义。国内外一些学者对酸奶的研究表明,酸奶中的大多数挥发性风味物质是通过乳脂的脂肪分解以及乳糖和柠檬酸盐的微生物转化产生的,受热处理等加工条件影响较大,酸奶中含有 100 多种挥发性风味物质,包括羰基化合物、醇类、酸类、酯类、碳氢化合物、芳香族化合物、含硫化合物和杂环化合物,其中乳酸、乙醛、双乙酰、乙偶姻、丙酮和 2-丁酮对酸奶的典型香气和风味贡献最大^[14]。

本研究采用气相离子迁移谱技术(Multi-Capillary Column-Ion Mobility Spectrometer, GC-IMS)对椰子植物酸奶的挥发性成分进行分析,GC-IMS 结合了气相色谱高分离度和离子迁移谱高灵敏度(无需富集浓缩,仪器检出限低)、稳定性好、无需真空(常压工作)、响应快的优势,仪器成本低、操作及数据处理简单,无需任何特殊的样品前处理,即可快速检测样品中的挥发性有机物^[15]。气相色谱-质谱联用技术(Gas

Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)虽然应用较为普遍,具有分离性能高、快速高效的特点,但该技术鉴别能力低,对于样品中含量较低但对样品风味至关重要的物质无法鉴别^[16]。

现阶段,对植物酸奶热处理条件的研究较少尤其是纯植物基酸奶。前期对椰子植物酸奶的工艺研究时发现热处理条件对酸奶的品质具有非常重要的影响,因此本文通过研究不同热处理条件对椰子植物酸奶相关理化品质以及挥发性成分的影响,从而确定较佳的热处理温度和时间,制备口感品质良好的椰子植物酸奶产品,为椰子植物酸奶的生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜榨椰浆,海南省文昌南椰实业有限公司;白糖,市售;大豆蛋白、单硬脂酸甘油酯、乙酰化二淀粉磷酸酯、果胶、黄原胶,河南凯邦生物科技有限公司;保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌,西安千叶草生物科技有限公司;氢氧化钠,广东广试试剂科技有限公司。

1.2 仪器与设备

Avanti J-26S 高速冷冻离心机,贝壳曼库尔特(美国)有限公司;AH-2010 均质机,郑州科泰实验设备有限公司;Couss CF-3500 卡士发酵箱,中山卡士电器有限公司;PHS-3C 雷磁型 pH 计,上海仪电科学仪器股份有限公司;CM-700d 美能达分光测色计,日本柯尼卡美能达株式会社;TMS-PRO 食品物性分析仪,北京盈泰科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 椰子植物酸奶生产工艺流程

原料处理→调配→均质→杀菌→冷却→接种→罐装→发酵→冷藏后熟→成品

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 鲜榨椰浆脱脂

取鲜榨椰浆(脂肪含量 31.45%),10000 r/min 条件下 4℃离心 15 min,按重量计算,除去 21.45%的上层脂肪,混合均匀后获得脂肪含量为 10%的椰浆。

1.3.2.2 调配

加入一定量的添加剂(大豆蛋白 1.00%,单硬脂酸甘油酯 0.22%、乙酰化二淀粉磷酸酯 0.13%、果胶 0.10%、黄原胶 0.15%)和糖(4.00%),充分搅拌使其混合均匀。

表 1 椰子植物酸奶感官评价表

Table 1 Coconut plant-based yoghurt sensory evaluation form

项目	评分标准	评分
组织状态 (40分)	凝固性较好, 粘稠适度, 无乳清析出	36~40
	凝固性一般, 粘稠适宜, 乳清析出较严重	31~35
	凝固性较差, 表面有裂痕, 乳清析出严重	25~30
口感 (30分)	椰子清香味, 酸甜可口	25~30
	椰子风味较弱, 稍酸或稍甜	16~24
	风味不协调, 过酸或过甜	10~15
香气 (20分)	椰子香气浓郁且协调, 无其他异味	15~20
	椰子香气较平淡, 无异味	10~14
	几乎无椰子香味, 有异味产生	5~9
色泽 (10分)	乳白色、色泽均匀, 有光泽	9~10
	呈淡黄色, 光泽度略差	6~8
	光泽度差	3~5

1.3.2.3 均质

利用高压均质机均质, 设置均质压力为 25 MPa。

1.3.2.4 热处理杀菌

对均质后的椰浆进行水浴加热处理, 处理过程中不断搅拌, 保证物料受热均匀, 选择 5 个不同的热处理条件, 分别为 65 °C-30 min、70 °C-25 min、75 °C-20 min、80 °C-15 min、85 °C-10 min, 杀菌后迅速冷却至 40 °C。

1.3.2.5 接种

在超净工作台中接种 3%的保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌, 接种比例为 1:1, 搅拌均匀。

1.3.2.6 发酵

在发酵箱中进行发酵, 设置发酵温度为 40 °C, 发酵时间为 8 h。

1.3.2.7 冷藏后熟

将发酵好的酸奶迅速冷却到 10 °C 以下, 然后放入 4 °C 的冰箱中冷藏后熟 24 h, 得到椰子植物酸奶成品。

1.3.3 感官评定

选取 10 名食品专业相关人员组成评定小组, 对椰子植物酸奶的组织状态、口感、香气和色泽进行评定。感官评定标准见表 1。

1.3.4 pH 值和酸度

采用 pH 计对酸奶样品的 pH 值进行测定。酸度的测定参考 GB 5009.239-2016, 利用酚酞指示剂进行显色, 采用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液直接滴定。

1.3.5 持水力

椰子植物酸奶的持水力测定参考文献中的方法进行测定^[17], 将离心管重量记为 W_0 (g), 取 20 mL 左右的酸奶样品于离心管中, 称取总重量记为 W (g), 以 5000 r/min 离心 15 min, 弃去上清液, 记录剩余的总重

量记为 W_1 (g), 椰子植物酸奶的持水力按式 (1) 计算。

$$\text{持水力} / \% = \frac{W_1 - W_0}{W - W_0} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.6 色差

采用分光测色计测定酸奶样品的色差, 将酸奶倒入比色皿中, 进行测定。其中 L^* 代表明亮度。

1.3.7 质构特性

采用食品物性分析仪进行测定, 选择 250 N 的感应元附件, 取不同热处理条件处理的酸奶样品, 设置检测速度为 60 mm/min, 起始力为 0.2 N。记录样品质构特性 (包括硬度、粘附性、内聚性、弹性、咀嚼性), 进行分析。

1.3.8 挥发性成分

采用 GC-IMS 法进行测定, 分别称取 2 g 样品, 置于 20 mL 顶空瓶中, 60 °C 孵育 20 min 后进样, 进样体积 100 μ L, 进样针温度 85 °C, 孵化转速 500 r/min, 进样方式是自动顶空进样。分析时间为 15 min, 色谱柱选择 MXT-5 (15 m \times 0.53 mm \times 4 μ m), 柱温 60 °C, 载气 N_2 , IMS 温度 45 °C。利用 VOCal、Gallery Plot 插件、Dynamic PCA 插件, 从不同角度对样品进行分析。

1.4 数据处理

所有试验均做三个平行, 采用 Excel 软件和 SPSS 软件对实验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 椰子植物酸奶的感官及理化性质分析

采用不同热处理条件制备的椰子植物酸奶, 其指标测定结果见图 1。

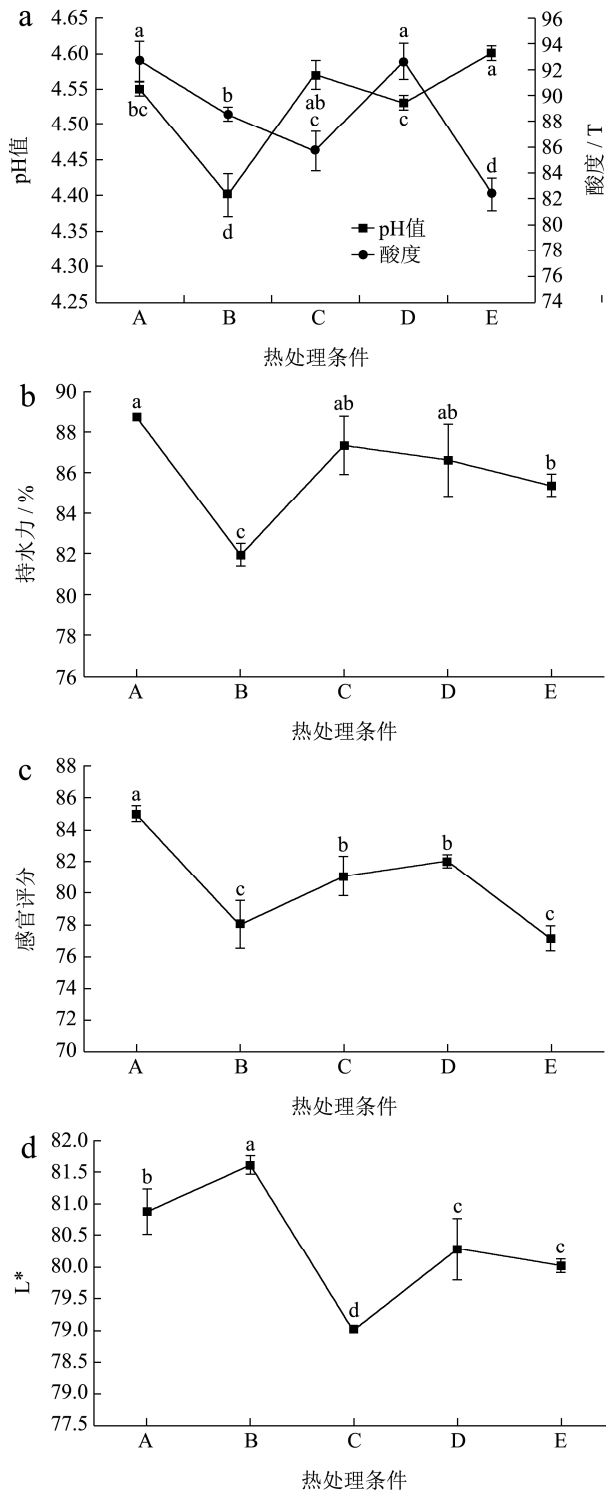


图1 热处理条件对椰子植物酸奶品质的影响

Fig.1 The effect of heat treatment conditions on the quality of coconut plant-based yoghurt

注：图 a：热处理条件对椰子植物酸奶 pH 值及酸度的影响；图 b：热处理条件对椰子植物酸奶持水力的影响；图 c：热处理条件对椰子植物酸奶感官评分的影响；图 d：热处理条件对椰子植物酸奶 L* 值的影响。图中 A~E：不同热处理椰浆发酵制备的椰子植物酸奶，其中 A：65 °C-30 min；B：70 °C-25 min；C：75 °C-20 min；D：80 °C-15 min；E：85 °C-10 min；图中不

同小写字母表示存在显著差异 ($p < 0.05$)。

由图 1 可知，不同椰子植物酸奶的品质均存在显著性差异 ($p < 0.05$)。椰子植物酸奶的 pH 值在 4.40~4.60 之间，酸度范围为 82.33 °T~92.67 °T 之间。王庆科^[18]等研究添加乳清蛋白制备的椰子酸奶，在椰子酸奶的 pH 值及酸度方面报道了相似的结果，其 pH 为 4.22，酸度为 80.47 g/L。热处理条件为 65 °C-30 min、75 °C-20 min、80 °C-15 min 时，椰子植物酸奶持水力显著优于其他处理组，分别达到 88.75%、87.30% 和 86.58%，且后者处理条件下产品 L* 值及感官评分稍低于 65 °C-30 min 的热处理条件。热处理温度低于 75 °C 时酸奶产品 L* 值表现出较高水平，之后随着温度的升高 L* 值显著性降低 ($p < 0.05$)。较高温度 85 °C 的条件下制备的椰子植物酸奶成品有气孔，组织状态较差，因此，感官评分最低。65 °C-30 min 的条件下处理的椰浆发酵的椰子植物酸奶，表现出最高的感官评分 (84.97)，制备的椰子植物酸奶色泽均匀一致，有光泽，口感细腻，酸甜适中，无分层及乳清析出现象，无沉淀，凝固性较好，粘稠适度，有弹性，有酸奶发酵特殊的香味及椰子清香味。已报道的传统牛乳发酵酸奶研究结果中，采用的热处理温度范围是 80 °C~95 °C^[20-22]，与本文研究结果不同。其原因主要是，传统牛乳中富含酪蛋白和乳清蛋白，椰浆中的椰子蛋白主要由清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白组成^[23]，椰子蛋白热变性温度低，更容易受温度影响。前期研究也有很多学者采用这一温度，Pratama 等^[22]在制备酸奶时，加入不同浓度的水果番茄，采用巴氏杀菌 65 °C-30 min，研究结果表明，添加水果番茄制备的酸奶品质稳定且具有增强免疫力的效果。Raikos 等^[24]利用维生素 E 强化酸奶，研究发现在 63 °C-30 min 巴氏杀菌条件下，维生素 E 受到较小的影响，并且在 4 °C 下保存 28 d 产品能够保持稳定。廖芳^[25]和冯云等^[26]在研究稳定剂对香蕉凝固型酸奶品质的影响及各种植物原料制备的酸奶时，采用 65 °C-30 min 的巴氏杀菌，最终制备的酸奶口感软滑细腻、稳定性好。

2.2 椰子植物酸奶的质构特性分析

质构特性与酸奶的组织状态和口感等感官品质息息相关，影响着人们对酸奶的接受程度。不同的热处理会影响酸奶的质构特性。采用不同热处理条件制备的椰子植物酸奶，其质构特性结果见表 2。由表 2 可知，不同酸奶产品的硬度、粘附性、内聚性、弹性、咀嚼性均存在显著性差异 ($p < 0.05$)。经过 80 °C-15 min 热处理条件制备的椰子植物酸奶弹性最大，为 14.70 mm。热处理条件为 70 °C-25 min 时，酸奶的内聚性最

大, 为 0.76。65 °C-30 min 的热处理条件下, 椰子植物酸奶产品的硬度、粘附性和咀嚼性数值最高, 分别为 3.04 N, 13.47 mJ 和 13.68 mJ, 其他热处理条件下硬度、粘附性、咀嚼性均显著性下降 ($p < 0.05$), 分析原因可能是因为温度升高致使凝胶网络交联度降低,

说明 65 °C-30 min 热处理条件下制备的椰子植物酸奶质地较好, 整体凝固性较好, 黏稠度适宜。有研究表明^[18], 添加乳清蛋白制备的椰子植物酸奶硬度为 3.08 N, 内聚性为 0.88, 与本文制备的椰子植物酸奶研究结果相近。

表 2 椰子植物酸奶的质构特性

Table 2 Texture characteristics of coconut plant-based yoghurt

热处理条件	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性	弹性/mm	咀嚼性/mJ
65 °C-30 min	3.04±0.18 ^a	13.47±1.78 ^a	0.51±0.04 ^c	8.79±2.00 ^c	13.68±2.82 ^a
70 °C-25 min	1.36±0.09 ^{bc}	8.26±1.47 ^b	0.76±0.01 ^a	11.65±0.36 ^{bc}	11.99±1.00 ^{ab}
75 °C-20 min	1.20±0.19 ^c	8.52±1.49 ^b	0.75±0.09 ^a	12.29±1.25 ^{ab}	11.12±2.11 ^{ab}
80 °C-15 min	1.48±0.04 ^b	8.92±0.94 ^b	0.63±0.04 ^b	14.70±1.98 ^a	13.68±3.24 ^a
85 °C-10 min	1.38±0.09 ^{bc}	7.84±1.52 ^b	0.65±0.02 ^b	9.45±1.56 ^{bc}	8.44±1.69 ^b

注: 同一列不同小写字母表示存在显著差异 ($p < 0.05$)。

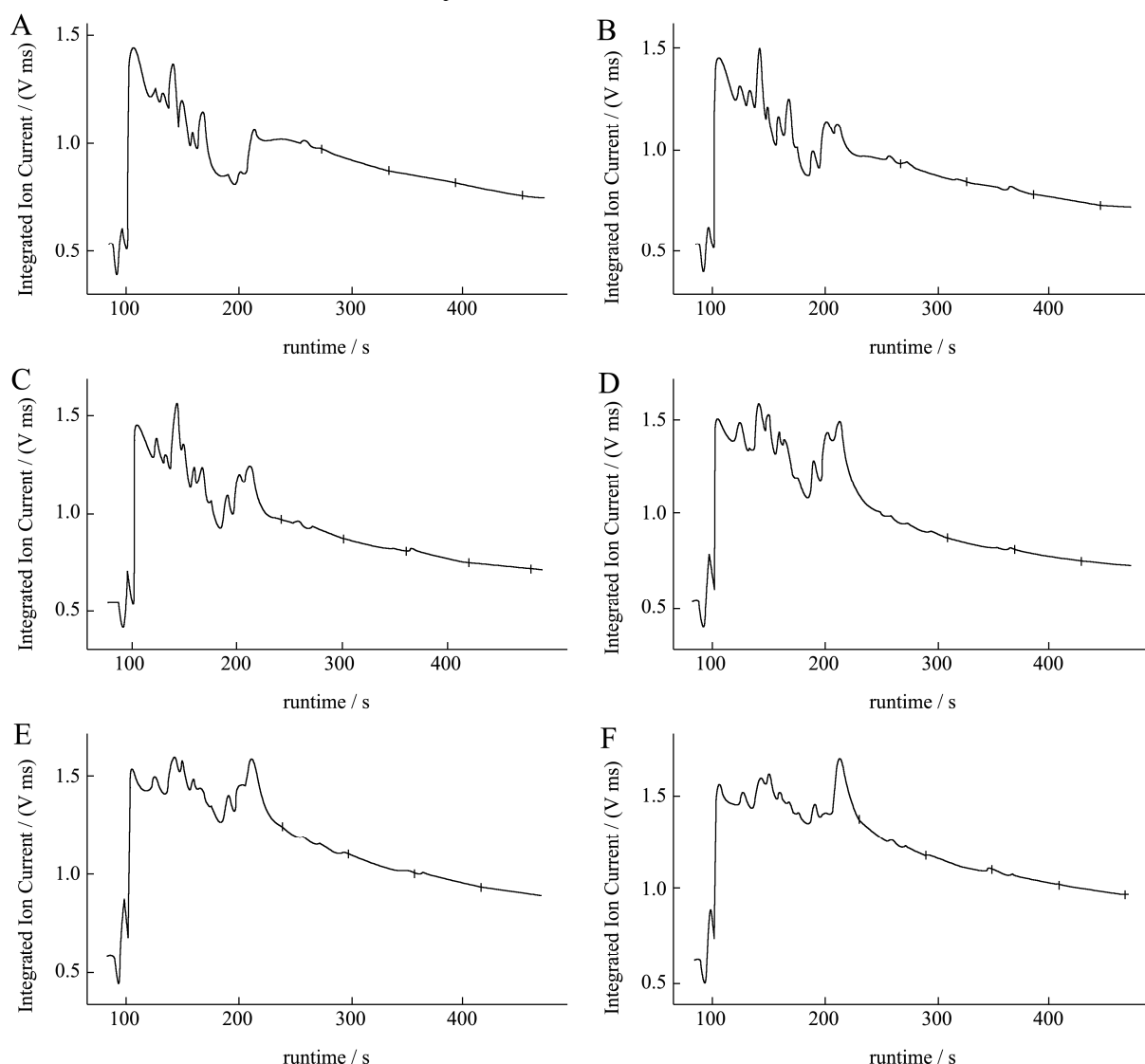


图 2 椰子植物酸奶挥发性风味成分的总离子流图

Fig.2 Total ion current diagram of volatile components in coconut plant-based yoghurt

注: A: 鲜榨椰浆; B-F: 不同热处理椰浆制备的椰子植物酸奶, 其中 B: 65 °C-30 min; C: 70 °C-25 min; D: 75 °C-20 min; E: 80 °C-15 min; F: 85 °C-10 min。下图同。

表3 椰子植物酸奶定性化合物列表

Table 3 Coconut plant-based yoghurt qualitative compound list

序号	化合物	CAS号	分子式	分子量	相对保留指数	保留时间/s	(归一化后) 相对迁移时间/ms
1	ethanol 乙醇	C64175	C ₂ H ₆ O	46.1	526.9	106.109	1.13687
2	ethyl acetate monomer 乙酸乙酯单体	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	610.3	142.509	1.09560
3	ethyl acetate dimer 乙酸乙酯二聚体	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	611.1	142.859	1.33749
4	1-propanol 1-丙醇	C71238	C ₃ H ₈ O	60.1	529.5	107.251	1.25282
5	Acetoin 乙偶姻	C513860	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	721.9	203.272	1.33102
6	2-propanol monomer 2-异丙醇单体	C67630	C ₃ H ₈ O	60.1	541.8	112.586	1.08448
7	2-propanol dimer 2-异丙醇二聚体	C67630	C ₃ H ₈ O	60.1	543.5	113.348	1.21570
8	2,3-butanedione 2,3-丁二酮	C431038	C ₄ H ₆ O ₂	86.1	590.6	133.893	1.17289
9	2-Methylbutanal 2-甲基丁醛	C96173	C ₅ H ₁₀ O	86.1	660.4	164.381	1.40522
10	3-Methylbutanal 3-甲基丁醛	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	650.1	159.876	1.40830
11	1-Hydroxy-2-propanone 1-羟基-2-丙酮	C116096	C ₃ H ₆ O ₂	74.1	688.3	176.556	1.23115
12	2-pentanone 2-戊酮	C107879	C ₅ H ₁₀ O	86.1	687.0	175.993	1.37261
13	1-Butanol monomer 正丁醇单体	C71363	C ₄ H ₁₀ O	74.1	668.8	168.077	1.17978
14	1-Butanol dimer 正丁醇二聚体	C71363	C ₄ H ₁₀ O	74.1	669.6	168.385	1.37702
15	2-methyl-1-propanol 2-甲基-1-丙醇	C78831	C ₄ H ₁₀ O	74.1	627.5	150.030	1.16595
16	2-butanone 2-丁酮	C78933	C ₄ H ₈ O	72.1	594.4	135.585	1.25099
17	isoamyl acetate monomer 乙酸异戊酯单体	C123922	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	870.7	348.268	1.31194
18	isoamyl acetate dimer 乙酸异戊酯二聚体	C123922	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	871.2	348.795	1.75218

表4 椰子植物酸奶挥发性成分的相对含量

Table 4 Relative content of volatile components in coconut plant-based yoghurt

热处理条件/化合物	相对含量/%					
	鲜榨椰浆	65 °C-30 min	70 °C-25 min	75 °C-20 min	80 °C-15 min	85 °C-10 min
1-butanol dimer (正丁醇二聚体)	1.75±0.10 ^a	1.78±0.09 ^a	0.97±0.02 ^b	0.86±0.10 ^b	0.61±0.02 ^c	0.44±0.02 ^d
1-butanol monomer (正丁醇单体)	1.36±0.04 ^a	1.11±0.04 ^b	0.57±0.04 ^c	0.32±0.11 ^d	0.13±0.00 ^e	0.14±0.01 ^e
1-hydroxy-2-propanone (1-羟基-2-丙酮)	0.45±0.02 ^c	0.55±0.01 ^b	0.58±0.02 ^b	0.52±0.02 ^b	0.76±0.02 ^a	0.56±0.07 ^b
1-propanol (1-丙醇)	2.77±0.07 ^c	1.51±0.03 ^e	1.81±0.04 ^{de}	2.01±0.03 ^d	3.90±0.14 ^b	5.00±0.27 ^a
2,3-butanedione (2,3-丁二酮)	1.17±0.06 ^b	2.11±0.22 ^a	1.16±0.06 ^b	0.68±0.15 ^c	0.52±0.02 ^c	0.49±0.02 ^c
2-butanone (2-丁酮)	0.21±0.01 ^d	0.61±0.03 ^b	0.39±0.02 ^c	0.38±0.02 ^c	0.63±0.02 ^b	0.78±0.04 ^a
2-methyl-1-propanol (2-甲基-1-丙醇)	1.50±0.10 ^a	1.01±0.06 ^b	0.89±0.01 ^b	0.66±0.13 ^c	0.31±0.01 ^d	0.20±0.01 ^d
2-methylbutanal (2-甲基丁醛)	0.44±0.02 ^c	0.49±0.03 ^b	0.45±0.02 ^c	0.64±0.04 ^a	0.15±0.01 ^d	0.07±0.00 ^e
2-pentanone (2-戊酮)	0.22±0.01 ^e	0.86±0.02 ^a	0.88±0.03 ^a	0.64±0.04 ^c	0.79±0.01 ^b	0.60±0.01 ^d
2-propanol dimer (异丙醇二聚体)	1.35±0.05 ^a	0.62±0.03 ^c	0.86±0.04 ^b	0.69±0.08 ^c	0.47±0.04 ^d	0.26±0.03 ^e
2-Propanol monomer (异丙醇单体)	2.75±0.10 ^a	1.85±0.02 ^b	1.73±0.08 ^b	1.17±0.15 ^c	0.41±0.08 ^d	0.15±0.01 ^e
3-methylbutanal (3-甲基丁醛)	0.25±0.02 ^c	0.39±0.11 ^b	0.41±0.04 ^b	0.67±0.08 ^a	0.28±0.02 ^c	0.18±0.01 ^c
Acetoin (乙偶姻)	1.23±0.40 ^e	8.09±0.55 ^d	9.42±0.10 ^c	13.18±0.27 ^a	11.98±0.29 ^b	8.45±0.77 ^d
Ethanol (乙醇)	50.87±0.92 ^a	40.63±0.85 ^b	33.99±0.46 ^c	31.69±1.51 ^d	25.65±0.60 ^e	20.83±0.60 ^f
ethyl acetate dimer (乙酸乙酯二聚体)	12.47±0.44 ^d	16.83±0.12 ^c	22.70±0.17 ^a	19.75±0.64 ^b	20.37±0.08 ^b	19.76±0.19 ^b
ethyl acetate monomer (乙酸乙酯单体)	1.22±0.06 ^a	1.02±0.09 ^b	0.60±0.02 ^c	0.41±0.08 ^d	0.14±0.02 ^e	0.07±0.00 ^e
isoamyl acetate dimer (乙酸异戊酯二聚体)	0.07±0.01 ^{ab}	0.06±0.03 ^{abc}	0.05±0.02 ^{bc}	0.04±0.00 ^c	0.04±0.02 ^c	0.08±0.00 ^a
isoamyl acetate monomer (乙酸异戊酯单体)	0.16±0.01 ^b	0.14±0.02 ^{bc}	0.13±0.03 ^c	0.13±0.02 ^c	0.16±0.01 ^{bc}	0.25±0.01 ^a

注: 同一行不同小写字母表示存在显著差异 ($p < 0.05$)。

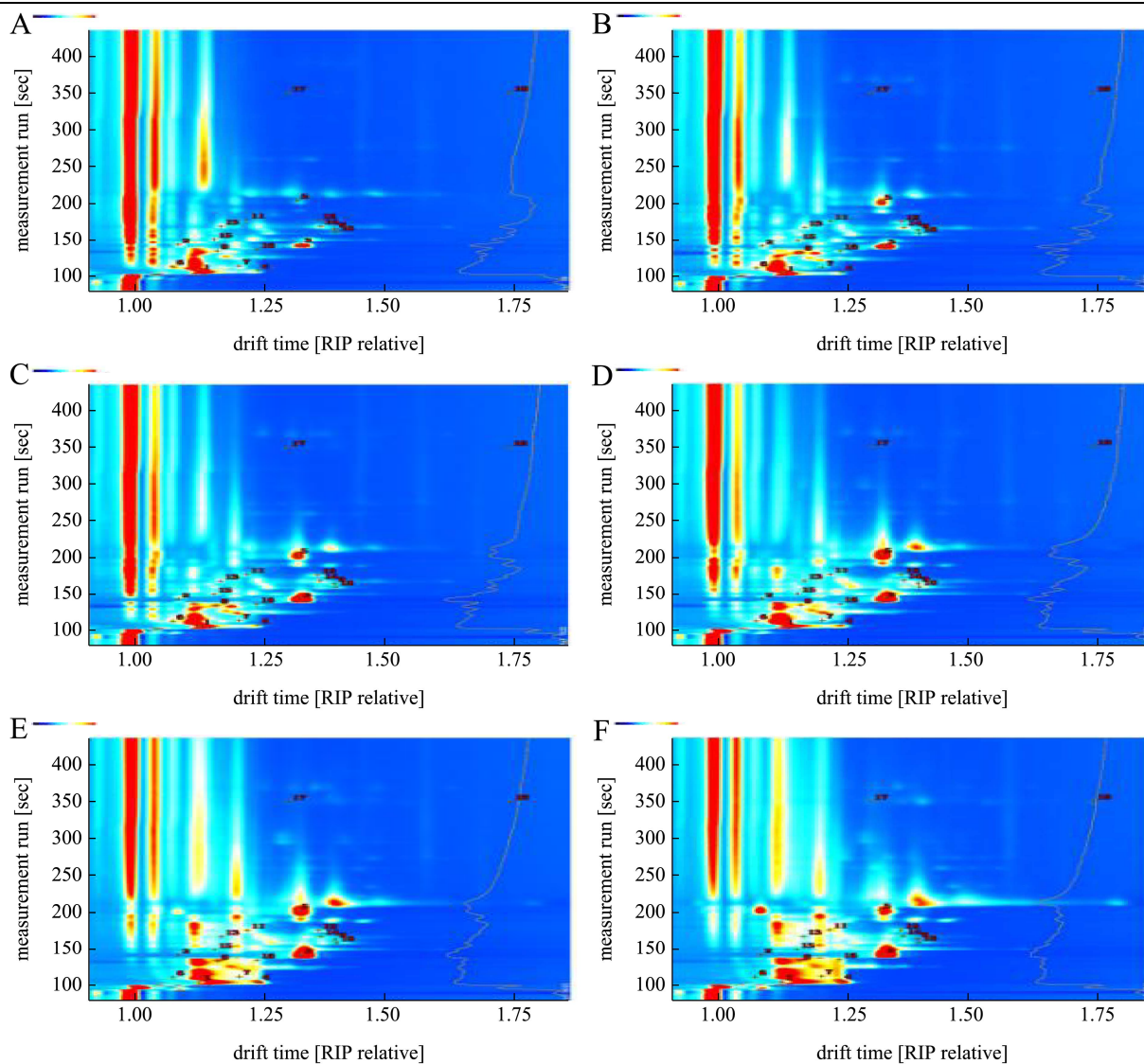


图3 椰子植物酸奶挥发性成分定性分析

Fig.3 Qualitative analysis of volatile components in coconut plant-based yoghurt

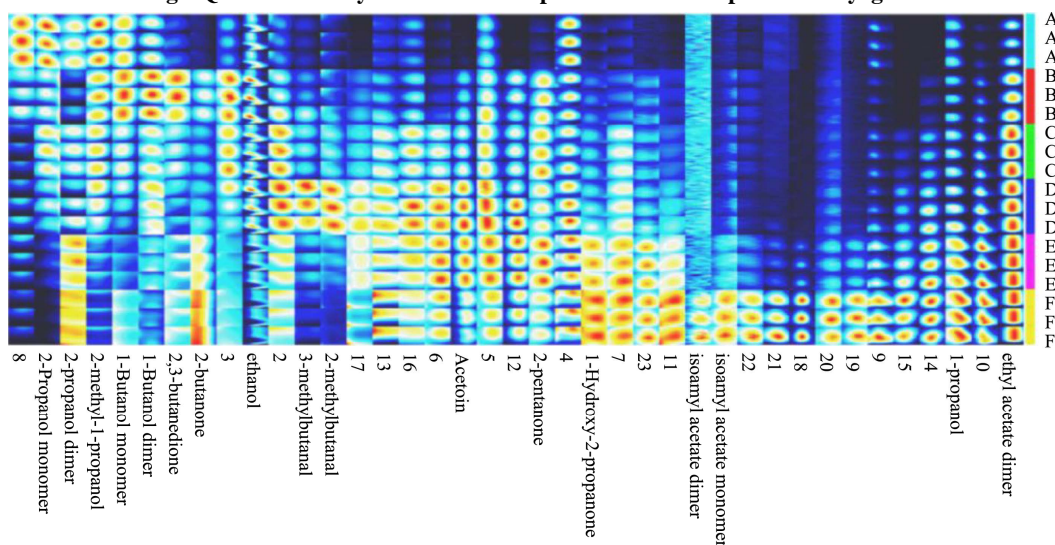


图4 椰子植物酸奶GC-IMS 指纹图谱

Fig.4 GC-IMS fingerprint of coconut plant-based yoghurt

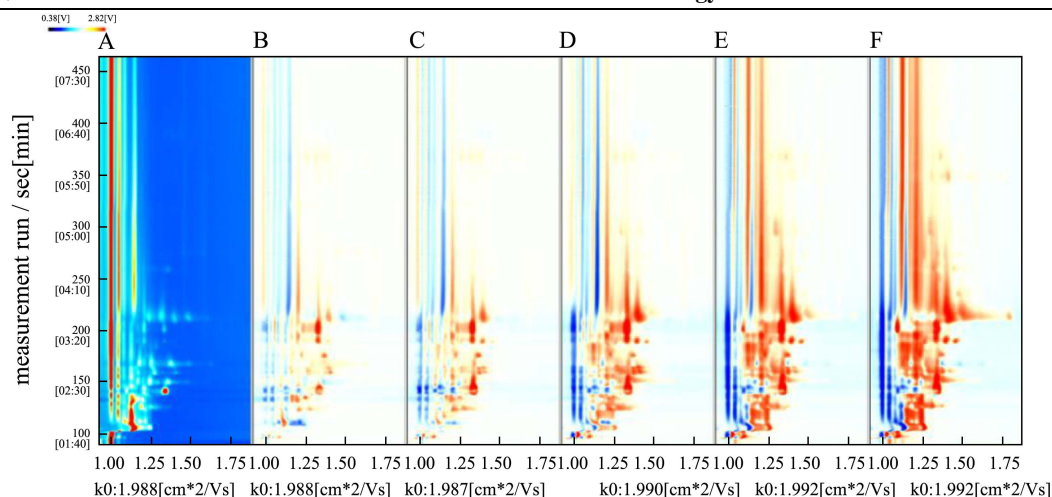


图5 椰子植物酸奶气相离子迁移谱图

Fig.5 Coconut plant-based yoghurt gas phase ion migration spectrum

2.3 椰子植物酸奶挥发性成分的分析

挥发性成分对酸奶风味具有重要的影响,风味是酸奶主要的品质特征。采用气相离子迁移谱技术无需进行样品前处理,孵育加热后直接进样,即可快速、简便的定性定量的分析样品中挥发性化合物^[26]。不同热处理条件制备的椰子植物酸奶挥发性成分的总离子流图如图2所示,挥发性成分的分析结果见表3和图3。

从表3和图3可知,椰子植物酸奶中共定性了14种挥发性成分,其中包括4种具有单体和二聚体的化合物(乙酸乙酯、异丙醇、正丁醇、乙酸异戊酯),本研究中检测出的物质主要包括醇类(5种)、酯类(2种)、醛类(2种)、酮类(5种),是乳制品的主要挥发性风味物质^[27]。醇类主要有异丙醇、2-甲基-1-丙醇、正丁醇、乙醇、1-丙醇。酯类主要有乙酸乙酯、乙酸异戊酯,它们均带有果香和花香,香气清灵^[28]。酮类主要包括2,3-丁二酮、2-丁酮、3-羟基-2-丁酮(乙偶姻)、2-戊酮、1-羟基-2-丙酮,其中乙偶姻具有令人愉悦的奶香味^[30];2,3-丁二酮具有浓烈的奶油香味^[30,31]。醛类主要是2-甲基丁醛、3-甲基丁醛,具有咖啡香气且带有甜甜的果香,有发酵香韵^[26]。桂青等^[32]基于SPME-GC-MS法检测到浓缩椰浆中的挥发性物质共有20种,其中酯类占比最大,相对含量最高的为丁位辛内酯、丁位癸内酯等,前期学者^[18]检测椰浆中主要挥发性成分是醇类、酸类、酮类和酯类,与本文的结果相似,王庆科等^[18]研究发现椰子植物酸奶中含量较高的挥发性物质为2,3-丁二酮、乙酸、3-羟基-2-丁酮等,与椰奶相比,酸类、酯类和醇类化合物的种类减少,而酮类增加,与本文的结果有一定的差异,主要是酸奶制备的原料和方法不同。

椰子植物酸奶挥发性成分的指纹图谱对比情况和

相对含量见图4和表4,指纹图谱可以直观且定量的分析不同热处理条件制备的椰子植物酸奶中挥发性成分的差异,指纹图谱中,数字代表迁移谱库中未定性的物质,还有待进一步的研究。由图4和表4可知,不同热处理条件处理下制备的椰子植物酸奶,挥发性化合物的种类和浓度随着热处理条件的不同发生规律性变化。本研究利用GC-IMS法共检测出36种化合物,其中包含22种迁移谱库中未定性的物质,图4中从左至右物质名称的顺序为:异丙醇、2-甲基-1-丙醇、丁醇、2,3-丁二酮、2-丁酮、乙醇、3-甲基丁醛、2-甲基丁醛、乙偶姻、2-戊酮、1-羟基-2-丙酮、乙酸异戊酯、1-羟基-2-丙酮、乙酸异戊酯二聚体、乙酸异戊酯单体、1-丙醇、乙酸乙酯二聚体等。传统的牛乳发酵酸奶中,2,3-丁二酮是构成其发酵风味的最重要物质^[33]。本研究中65℃-30min热处理条件下制备的椰子植物酸奶,2,3-丁二酮的浓度最高,相对含量达到2.11%,随着热处理温度的升高,其浓度逐渐降低;醇类(正丁醇单体、2-甲基-1-丙醇、异丙醇和乙醇)在椰浆中浓度最高,椰子植物酸奶中此类物质浓度降低;2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和乙偶姻随着温度的升高,浓度先增加后降低,都在75℃-20min的条件下达到最大值。图4中可观察出丙醇随着热处理温度的上升浓度逐渐升高,在85℃-10min热处理条件下,椰子植物酸奶此类物质的浓度达到最高。

椰子植物酸奶的气相离子迁移谱图如图5所示,从图5中可以观察出椰子植物酸奶不同热处理条件下其挥发性成分的变化。以鲜榨椰浆的样品谱图作为参比,不同热处理的样品谱图在此基础上进行扣除。当与鲜榨椰浆的挥发性成分一致时,扣除后的背景将显示白色,图中红色和蓝色表示化合物浓度的差异,红色表示该物质高于参比,蓝色表示该物质低于参比。

从图 5 中可以观察到,随着热处理时间和温度的不断变化,椰子植物酸奶的挥发性风味物质逐渐发生变化,红色及蓝色区域逐渐增多。

为进一步了解不同热处理对酸奶样品的影响,可对图 6 椰子植物酸奶的动态主成分进行分析。由图 6 可知,PCA 相似度分析可以将不同热处理条件的样品区分开,以鉴定具有不同挥发性成分的酸奶样品,区分风味差异。酸奶样品的挥发性成分随热处理条件的不同呈现规律性变化,样品距离较近说明差异较小,相距较远说明差距明显。图中显示,主成分总占比 85%,其中 PC-1 (65%),PC-2 (20%)。鲜榨椰浆与不同热处理条件制备的酸奶主成分分布有一定的距离,说明发酵后,所产生的挥发性化合物有一定的差异。随着热处理温度逐渐升高,主成分分布距离椰浆越远,说明热处理温度越高,挥发性化合物变化越大。其中 80 °C-15 min, 85 °C-10 min 的热处理,挥发性成分分布之间较近,说明这两个热处理条件下所测定的挥发性成分差异较小; 65 °C-30 min 热处理的椰浆发酵成的酸奶产品,距离椰浆最近,主要是因为其热处理条件比较温和,相较于高温而言,挥发性化合物变化较小。

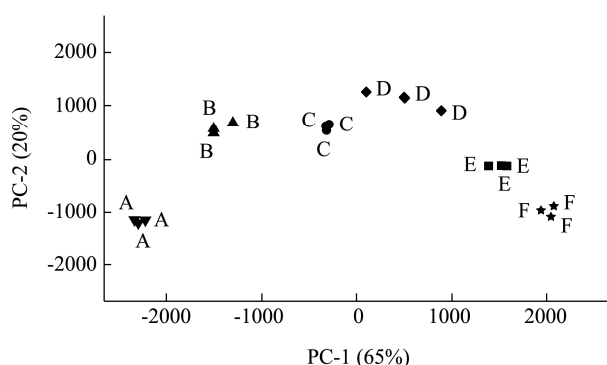


图 6 椰子植物酸奶 PCA 分析图

Fig.6 PCA analysis chart of coconut plant-based yoghurt

3 结论

热处理是酸奶制作中一个重要的环节,本研究结果表明,不同热处理条件制备的椰子植物酸奶,其理化指标、质构特性、挥发性风味物质均存在显著性的差异 ($p < 0.05$)。研究发现 65 °C-30 min 的热处理条件下制备的椰子植物酸奶酸度适宜,组织细腻,凝固性好,无乳清析出,色泽均匀有光泽,有浓郁的椰香味,其持水力为 88.75%,明亮度为 80.89,感官评分为 84.97,硬度为 3.04 N,粘附性为 13.47 mJ,咀嚼性为 13.68 mJ;椰子植物酸奶中挥发性成分有 36 种,共定性了 14 种物质,且其中构成发酵风味的重要物质 2,3-丁二酮在热处理条件为 65 °C-30 min 时含量最高。因

此,选择 65 °C-30 min 作为椰子植物酸奶制备的热处理条件。

参考文献

- [1] Das K, Choudhary R, Thompson-Witrick K A. Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt [J]. LWT, 2019, 108: 69-80
- [2] 张智芳,朱婷婷,肖蓉,等.不同茶类酸奶的研制[J].食品安全质量检测学报,2020,11(13):4340-4345
ZHANG Zhifang, ZHU Tingting, XIAO Rong, et al. Development of different tea yogurts [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(13): 4340-4345
- [3] 赵添,付玲,谭思敏,等.黄菇娘酸奶制备工艺[J].食品工业, 2020,41(5):13-16
ZHAO Tian, FU Ling, TAN Simin, et al. Preparation technology of yellow mushroom yogurt [J]. Food Industry, 2020, 41(5): 13-16
- [4] 韩永佳.功能型酸奶的理化特性、抗氧化活性及微观结构的研究[D].合肥:合肥工业大学,2016
HAN Yongjia. Study on the physical and chemical properties, antioxidant activity and microstructure of functional yogurt [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016
- [5] 王杰,江润生,王秋艳,等.黄精多糖酸奶的研制及其品质分析[J].农产品加工,2019,1:4-9
WANG Jie, JIANG Runsheng, WANG Qiuyan, et al. Development of polygonatum polysaccharide yogurt and its quality analysis [J]. Agricultural Products Processing, 2019, 1: 4-9
- [6] 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
HU Zhiyong, GAO Jiayan, ZHOU Huijun, et al. Coconut yogurt fermentation process [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(12): 135-138
- [7] 郭帅,李艳.椰子活性蛋白与功能肽的研究进展[J].食品科技,2018,43(5):67-71,76
GUO Shuai, LI Yan. Research progress of coconut active protein and functional peptides [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 67-71, 76
- [8] Lihtar S. The proteome of coconut milk [D]. Croatia: Sveuciliste u Zagrebu, 2015
- [9] Huang J M, Liu X Q, Lan Q X, et al. Proteomic profile of coconuts [J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(3): 449-455
- [10] 蔺志颖,张博文,李佳.响应面法优化椰浆蛋白发酵饮料发

- 酵工艺[J].中国酿造,2019,38(5):210-214
LIN Zhiying, ZHANG Bowen, LI Jia. Response surface methodology to optimize the fermentation process of coconut milk protein fermented beverage [J]. China Brewing, 2019, 38(5): 210-214
- [11] Hewlings Susan. Coconuts and health: different chain lengths of saturated fats require different consideration [J]. Journal of Cardiovascular Development and Disease, 2020, 7(4): 59-74
- [12] 刘立鹏.牛乳的不同热处理工艺对酸奶和奶酪品质影响的研究[D].天津:天津科技大学,2017
LIU Lipeng. Study on the influence of different heat treatment processes of milk on the quality of yogurt and cheese [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017
- [13] 陈艾嘉.木糖醇酸奶加工工艺研究[D].广州:华南农业大学, 2018
CHEN Aijia. Research on the processing technology of xylitol yogurt [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018
- [14] Hefa Cheng. Volatile flavor compounds in yogurt: a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(10): 938-950
- [15] Shuqi Wang, Haitao Chen, Baoguo Sun. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126158
- [16] 张康逸,孙嘉卿,张灿,等.结合 GC-MS 和 GC-IMS 分析不同处理方式下青麦仁的挥发性风味物质[J].粮油食品科技, 2021,29(1):20-30
ZHANG Kangyi, SUN Jiaqing, ZHANG Can, et al. Combining GC-MS and GC-IMS to analyze the volatile flavor compounds of green wheat kernels under different processing methods [J]. Cereals, Oils and Foods Science and Technology, 2021, 29(1): 20-30
- [17] 孔凡平,郎秀杰,郭成宇.凝固型双蛋白酸奶的发酵配方优化[J].食品工业,2021,42(1):47-52
KONG Fanping, LANG Xiujie, GUO Chengyu. Fermentation formula optimization of set double protein yogurt [J]. Food Industry, 2021, 42(1): 47-52
- [18] 王庆科,刘四新,梁丛颖,等.椰子酸奶品质分析[J].食品与机械,2019,35(10):131-134
WANG Qingke, LIU Sixin, LIANG Congying, et al. Quality analysis of coconut yogurt [J]. Food & Machinery, 2019, 35(10): 131-134
- [19] Vijayasanthi J, Adsare Sachin R, Lamdande Archana G, et al. Recovery of proteins from coconut milk whey employing ultrafiltration and spray drying [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(1): 22-31
- [20] 雷文平,吴诗敏,李彩虹,等.响应面法优化凝固型发酵椰奶工艺[J].中国酿造, 2019, 38(2): 212-216
LEI Wen-Ping, WU Shi-min, Li Cai-hong, et al. Response surface methodology to optimize the process of coagulated fermented coconut milk [J]. China Brewing, 2019, 38(2): 212-216
- [21] Yilmaz-Ersan L, Topcuoglu E. Evaluation of instrumental and sensory measurements using multivariate analysis in probiotic yogurt enriched with almond milk [J]. J of Food Sci Technol, 2021, 59(1): 1-11
- [22] Pratama D R, Purwati E, Yuherman, et al. The potential of probiotic frozen yoghurt with the addition of fruits tamarillo to increase immunity [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 694(1): 012070
- [23] Vijayasanthi J, Adsare Sachin R, Lamdande Archana G, et al. Recovery of proteins from coconut milk whey employing ultrafiltration and spray drying [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(1):22-31
- [24] Raikos V, Pirie L P, Gurel S, et al. Encapsulation of vitamin E in yogurt-based beverage emulsions: influence of bulk pasteurization and chilled storage on physicochemical stability and starter culture viability [J]. Molecules, 2021, 26(6): 1504
- [25] 廖芬,刘国明,郑凤锦,等.不同稳定剂对香蕉凝固型酸奶品质的影响[J].南方农业学报, 2015, 46(1):123-127
LIAO Fen, LIU Guo-ming, ZHENG Feng-jin, et al. Effects of different stabilizers on the quality of banana coagulated yogurt [J]. Southern Journal of Agricultural Sciences, 2015, 46(1): 123-127
- [26] 冯云,贺峰,刘绍鹏.植物型保健酸奶的制备工艺[J].轻工科技, 2017, 33(8):8-10
FENG Yun, HE Feng, LIU Shao-peng. The preparation process of plant-based health yogurt [J]. Light Industry Science and Technology, 2017, 33(8): 8-10
- [27] 杨芳,范成梦,贾洪锋,等.基于气相色谱-离子迁移谱对不同产地羊肚菌的风味化合物分析[J].食品与发酵工业,2021, 47(10):207-213
YANG Fang, FAN Cheng-meng, JIA Hong-feng, et al. Analysis of flavor compounds of Morchella from different origins based on gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(10): 207-213

