

香蕉果酒带皮发酵对其品质和挥发性香气成分的影响

费永涛^{1,2}, 周洁莹¹, 肖志如¹, 余淑琪¹, 黄一鹤^{1,2}, 刘功良^{1,2}, 白卫东^{1,2*}, 余元善³, 卢楚强⁴, 陈从贵⁴

(1. 仲恺农业工程学院广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东广州 510225)(2. 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 广东广州 510225)(3. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510640)(4. 广东源丰食品有限公司, 广东茂名 525000)

摘要: 为了探究香蕉皮对香蕉果酒品质和风味的影响, 该研究对带皮香蕉果酒和去皮香蕉果酒发酵过程中糖度、酒精度、总酸和多酚等理化指标进行测定, 同时利用气相色谱-质谱联用技术测定两种果酒中挥发性香气物质, 结果显示带皮香蕉果酒的酒精度为 10.5% vol, 低于去皮香蕉果酒的 12.3% vol, 但是发酵结束后带皮香蕉果酒中总酸 (4.03 g/L) 和感官评分 (87.62), 要显著优于去皮香蕉果酒。此外, 带皮香蕉果酒及其蒸馏酒中甲醇含量分别为 120.20 mg/L 和 372.30 mg/L, 远低于对应国家限量标准。挥发性风味物质分析结果显示香蕉酒中主要的风味物质为酯类和醇类, 带皮香蕉果酒风味物质种类比去皮香蕉果酒更为丰富, 其中乙酸乙酯 (>8.10 mg/L) 和 3-甲基-1-丁醇 (>15.78 mg/L) 是香蕉果酒中主要的挥发性风味物质。因此香蕉皮的添加可以改善果酒品质和风味且不会显著提高果酒中甲醇的含量, 但是对出酒率有一定的影响, 该研究为实现食品原料的整体化综合利用、减少食品加工废弃物的生成拓宽了思路, 同时也为开发高品质香蕉酒提供了参考。

关键词: 香蕉皮; 香蕉果酒; 挥发性香气成分

文章编号: 1673-9078(2024)02-284-291

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.2.0241

Effects of Fermentation with Banana Peel on the Quality and Volatile Aromatic Components of Banana Wine

FEI Yongtao^{1,2}, ZHOU Jieying¹, XIAO Zhiru¹, YU Shuqi¹, HUANG Yihe^{1,2}, LIU Gongliang^{1,2}, BAI Weidong^{1,2*}, YU Yuanshan³, LU Chuqiang⁴, CHEN Conggui⁴

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China) (2. Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food from Ministry of Agriculture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China) (3. Sericultural and Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Science, Guangzhou 510640, China) (4. Guangdong Yuanfeng Food Co. Ltd., Maoming 525000, China)

Abstract: To study the influence of banana peel on the quality and flavor of banana wine, the physical and chemical indices, including the sugar, alcohol, total acid, and polyphenol content, of banana wine fermented with and without peel were

引文格式:

费永涛,周洁莹,肖志如,等.香蕉果酒带皮发酵对其品质和挥发性香气成分的影响[J].现代食品科技,2024,40(2): 284-291.

FEI Yongtao, ZHOU Jieying, XIAO Zhiru, et al. Effects of fermentation with banana peel on the quality and volatile aromatic components of banana wine [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(2): 284-291.

收稿日期: 2023-03-01

基金项目: 高州市香蕉省级现代农业产业园科技支撑项目; 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020226008); 广东省重点建设学科科研能力提升项目 (2021ZDJS005); 广东省驻镇帮镇扶村科技特派员项目 (粤科函农字 [2021]1056 号)

作者简介: 费永涛 (1990-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品微生物学, E-mail: chsyt@126.com

通讯作者: 白卫东 (1967-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学与食品添加剂, E-mail: weidong_bai2010@163.com

measured. Meanwhile, gas chromatography-mass spectrometry was used to determine the content of volatile aromatic substances in the two types of wine. The results show that the alcohol content of the banana wine fermented with peel was 10.5% vol, which was lower than that of the banana wine fermented without peel (12.3% vol). The banana wine fermented with peel was significantly better than its counterpart fermented without peel in terms of the total acid content (4.03 g/L) and sensory evaluation (87.62). In addition, the methanol content of the banana wine fermented with peel and its distilled spirit were 120.20 mg/L and 372.30 mg/L, respectively, which were much lower than the corresponding national limits. The analysis of the volatile flavor substances revealed that the main flavor substances in banana wine are esters and alcohols. There were more types of flavor substances in the banana wine fermented with peel than in that fermented without peel. In particular, ethyl acetate (>8.10 mg/L) and 3-methyl-1-butanol (>15.78 mg/L) were the main volatile flavor substances in the banana wine. Therefore, the addition of banana peel can improve the quality and flavor of the wine and does not significantly increase its methanol content, but it did affect the yield. This study broadens the concepts of the integrated and comprehensive utilization of food raw materials and the reduction of waste generation in food processing. It also provides insight for the development of high-quality banana wine.

Key words: banana peel; banana wine; volatile aromatic components

香蕉 (*Musa nana*) 是芭蕉科芭蕉属的单子叶植物, 口感软糯风味独特, 受到不同年龄阶段消费者的深爱, 成为了世界上最受欢迎的水果之一^[1,2]。它还含有种类丰富的营养物质如矿物质、维生素, 还有酚类、类黄酮和少量 5 羟色胺等营养价值较高的活性物质^[3,4], 具有抗氧化等功效, 能够促进人体的健康^[5,6]。香蕉果肉保质期短, 人们常会新鲜食用, 但一般食用的时候会丢弃果皮, 这会导致香蕉皮的浪费, 香蕉果皮占香蕉总质量的 30%~35% (*m/m*), 经大量研究发现, 果皮富含纤维、多不饱和脂肪酸等营养物质^[7], 具有抗菌和抗炎作用, 营养成分和功效俱佳^[8,9]。

酒精饮料一直都受到大众的关注, 口感和气味是吸引消费者最重要的属性之一^[10], 而果酒因其酒精含量比较低, 更容易入口, 口感比较容易接受等优点受到年轻消费者的青睐^[11]。香蕉成熟之后含糖量高, 适用于果酒的酿造, 香蕉酒不仅具有香蕉的特征香气, 而且保留了大部分香蕉中的营养成分, 同时具有一定的保健功能^[12]。现在香蕉酒越来越受到研究人员的关注, Nannyonga 等^[13]通过数学模型评估了一种酿酒酵母的生长动力学, 为确定香蕉酒发酵的最佳参数打下了良好基础。同时 Pauline 等^[14]则是对不同质量的果肉对传统酒精饮料生产的影响进行了评估。不同种类的香蕉酒也被研制出来^[15], 例如郝德兰^[16]对采摘后香蕉进行催熟调控并研制出低度香蕉酒, 通过实验优化将低度香蕉的理化指标和感官特性达到最佳, 郝俊光等^[16]利用带皮香蕉酿制出新型的香蕉果酒, 确定了最佳的制备工艺^[17]。

近年来国内外都有不少关于香蕉果酒的研究, 但是关于香蕉皮对风味影响的报道较少, 部分探

究更多侧重于工艺的改良和感官评定^[17], 未能利用近红外光谱法、气相色谱-质谱联用技术 (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) 以及电子鼻电子舌等现代风味分析手段揭示香蕉果酒的风味指纹图谱以及风味物质在发酵过程中的变化规律^[18,19]。因此, 本试验通过对比了两种发酵原料 (带皮香蕉、去皮香蕉) 酿造香蕉果酒过程中理化性质和挥发性香气成分变化规律的不同, 探讨了香蕉皮对香蕉果酒品质及挥发性香气成分的影响, 以期对香蕉果酒生产、提高香蕉皮利用率提供一定理论基础和参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

用于果酒酿造的香蕉 (*M. nana*) 原料由广东源丰食品有限公司提供, 其果面圆满无棱, 成熟度九成以上。亚硫酸氢钠、碳酸钠、氢氧化钠、无水乙醇, 均为分析纯; 果胶酶 (500 U/mg)、纤维素酶 (400 U/mg)、柠檬酸、酚酞指示剂、DNS 试剂、福林-酚试剂、酒石酸钠, 上海源叶生物科技有限公司; 安琪果酒酵母 SY, 安琪酵母股份有限公司; 舒可曼白砂糖, 广州福正东海食品有限公司; PCA 培养基。

本实验所使用的主要仪器设备: 气相色谱-质谱仪 7890B-5977A, 美国安捷伦公司; 气相色谱仪 TRACE 1310, 赛默飞世尔科技公司; 生化培养箱 BJPX-B100, 山东博科科学仪器有限公司; 低速离心机 TD-6M, 上海京工实业有限公司; 实验室 pH 计 LB-MP511, 青岛路博伟业环保科技有限公司。

1.2 香蕉果酒的制备工艺

香蕉果酒的制作工艺流程如图1所示。首先对香蕉进行预处理,取1.2 kg(带皮或不带皮)香蕉,洗净香蕉,减去头尾,切段,在95℃水中热烫3 min;将香蕉浸泡在25℃、0.08 wt.%的NaHSO₃溶液中护色30 min;将香蕉捞出后打浆,按料液体积比1:3加入蒸馏水,pH值调到4.0。加入44 mg/L的果胶酶和150 mg/L的纤维素酶,50℃酶解2.5 h;以带皮香蕉为基准,加相同浓度的糖来调节外观糖度至20° Bx(离心测糖度后计算糖添加量,调整成分);加入0.8 g/L在活化的酵母,活化后接种于果汁中(干酵母活化条件:取一定量煮沸后冷却的温水,酵母与水的料液比为1:10,在35~40℃下活化时间30 min)。将接种后的香蕉浆置于低温培养箱中28℃恒温培养(8 d),采用300目的果酒过滤袋,将香蕉酒过滤后3 600 r/min离心5 min,获得香蕉果酒,在发酵过程中进行取样测试,取样三个平行。

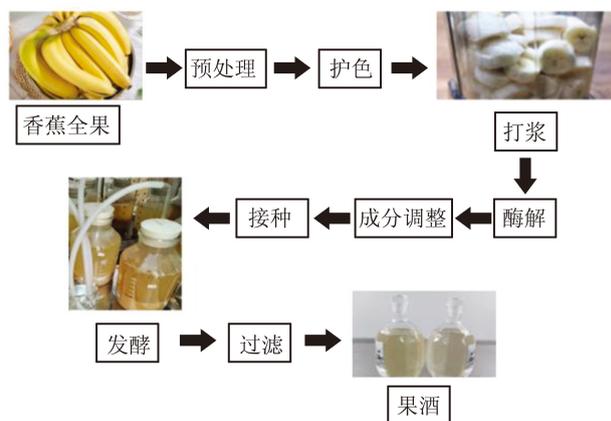


图1 香蕉果酒及其蒸馏酒制作工艺流程图

Fig.1 Process of banana wine and its distilled banana spirits

1.3 试验方法

1.3.1 基本理化指标的测定

在香蕉果酒酿造过程中,每隔48 h取样进行检测,采用pH计对发酵液的pH值直接进行检测,然后将发酵液在3 600 r/min条件下,离心1 min取上清液,根据GB 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》中的指示剂法测定香蕉果酒发酵液中总酸的含量,同时采用手持阿贝折光仪对香蕉果酒发酵液中的糖度进行测定,以可溶性固形物计。

采用3,5-二硝基水杨酸(3,5-Dinitrosalicylic Acid, DNS)法测定香蕉果酒发酵液中还原糖的含量^[3]。取样液1 mL,加1 mL水和2 mL DNS试剂,混匀后沸水浴5 min,冷却后加水定容至25 mL,于

540 nm处测吸光度。

对香蕉果酒酿造过程中酵母菌菌落数进行测定^[4],无菌操作取1 mL发酵中的果酒样液,制成1:10、1:100、1:1 000、1:10 000、1:100 000的样品匀液。分别取1:100、1:10 000和1:1 000 000的样品匀液于酵母培养基中28℃培养2 d,平行两次。记录酵母菌的菌落。

1.3.2 甲醇、乙醇和多酚含量的测定

香蕉果酒发酵液中总多酚含量采用福林-酚(Folin-Ciocalteu)法测定^[7]。取样品1 mL于试管中,加水至总体积10 mL,摇匀后加入5.0 mL 10% (V/V) Folin-Ciocalteu显色剂,摇匀后静置3~8 min后再加入4.0 mL 7.5% (m/V)碳酸钠溶液,摇匀后静置1 h,于765 nm处测吸光度,根据标准曲线回归方程得到样品中总多酚含量。

香蕉果酒中甲醇和乙醇的含量的测定根据GB 5009.266-2016《食品安全国家标准食品中甲醇的测定》中规定的方法来进行。吸取100 mL香蕉果酒样品置于500 mL蒸馏瓶中,并加入50 mL水和玻璃珠,采用常压蒸馏装置对香蕉果酒样品进行蒸馏,利用圆底烧瓶电炉对酒样进行加热,在冷凝管中通入自来水,用100 mL容量瓶作为接收器,收集蒸馏液体并进行定容。将标准品和蒸馏样液注入气相色谱仪中,计算果酒中甲醇的浓度。乙醇的蒸馏方法同甲醇基本一致,除了在蒸馏过程中去掉头酒和尾流各5 mL,用酒精计测定蒸馏液中酒精体积分数,根据蒸馏液的温度进行矫正。

1.3.3 GC-MS测定挥发性风味物质

采用GC-MS测定香蕉果酒发酵过程中的挥发性风味物质^[2],内标溶液配置:精确吸取1 mL乙酸丁酯标准品,用60% (V/V)乙醇溶解,定容100 mL,配成质量浓度为8 825 mg/L的溶液,然后吸取刚配制的溶液1 mL,用60% (V/V)乙醇溶解,定容100 mL,配成质量浓度为88.25 mg/L的内标溶液,混匀后置于4℃冰箱中保存。

顶空固相微萃取条件:将发酵醪液在4℃、10 000 r/min条件下离心15 min,取上清液备用,然后吸取7 mL上清液加入到20 mL的顶空瓶中,加入磁力转子、2 g NaCl和100 μL内标溶液混匀。将样品瓶放到专用磁力搅拌加热装置中,50℃下平衡10 min,再将老化好的萃取针插入顶空瓶中,吸附萃取30 min,随即将萃取头插入GC-MS仪器进样口中,在250℃的条件下解析5 min。

1.3.4 感官评价

感官评价由 12 名经过培训的感评员进行品评,其中包括 7 名男性,5 名女性,年龄在 20~40 岁之间,评分采用百分值,分别对香蕉果酒色泽、香气、口感和喜好度四个方面进行感官评价。相关评分标准见表 1。

表 1 香蕉果酒感官评分表

项目	评分标准	分数/分
色泽 (20分)	淡黄色、澄清透明有光泽	18~20
	浅黄色、澄清透明	15~17
	浅黄色、有少许悬浮物	11~14
	有明显悬浮物、颜色不清亮	≤10
香气 (25分)	浓郁诱人、具有明显的果香和酒香	22~25
	果香、酒香较多	17~21
	果香、酒香较少,无异香	13~16
	香气不足、存在异香	≤12
口感 (35分)	爽口舒适、酸甜适度、醇酯协调、回味绵长	31~35
	柔和适口、酒体协调、酸涩不明显	26~30
	酒体较协调、酸涩感明显	21~25
	过于酸涩或有异味、高级醇味突兀	≤20
喜好度 (20分)	协调、可饮性强、喜好度高	20~18
	较协调、易饮、喜好度较高	15~17
	可饮性一般、喜好度一般	11~14
	可饮性差、喜好度差	≤10

1.3.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2021, Origin 2019, GraphPad Prism 8.0.2 和 TBtool 软件进行处理;采用 SPSS 19.0 软件对数据进行显著性分析, $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 酒精度和糖度

糖度是是影响成品酒质量的重要理化指标之一^[20],在果酒发酵过程中,酵母菌会利用发酵液中的果糖、葡萄糖、蔗糖等可发酵糖类进行生长繁殖,并产生醇、酯、酸等代谢物,让酒体的口感变得更加丰富,改善果酒的风味^[21]。带皮香蕉和去皮香蕉酒前 6 d 的酿造过程中,发酵体系中酵母菌数量对数值分别增加到 7.15 和 7.80 (表 2),香蕉酒发酵体系中糖度与还原糖含量有显著的下降 (图 2a 和图 2b),同时带皮香蕉和去皮香蕉酒酒精度分别增加到

10.5% vol 和 12.3% vol,酵母消耗的糖量与酒精度呈正相关关系^[22]。研究结果显示带皮香蕉酒的酒精度低于去皮香蕉酒,同时带皮香蕉酒中酵母菌的菌落数要显著低于去皮香蕉酒的菌落数,主要是由于香蕉皮中酚类物质对酵母的生长有一定的抑制作用^[23],测试结果也显示带皮香蕉酒中的多酚类物质要高于去皮香蕉酒,尤其是在发酵第 6 天 (图 3b)。发酵从第 6 天到第 8 天,总糖和还原糖的消耗速度降低,酒精度增加不显著 (图 2a),酵母菌的生长出现了停滞 (表 2),这主要是由于后期乙醇积累以及糖度的大量消耗会抑制酵母的生长^[22]。

表 2 香蕉酒发酵过程中酵母菌数

Table 2 The number of yeast changes during the fermentation of banana wine (lg CFU/mL)

项目	发酵时间/d				
	0	2	4	6	8
带皮香蕉果酒	5.38±0.16 ^{Aa}	6.45±0.21 ^{Ab}	6.95±0.10 ^{Ac}	7.15±0.32 ^{Ac}	7.08±0.18 ^{Ac}
去皮香蕉果酒	5.51±0.23 ^{Aa}	7.12±0.18 ^{Bb}	7.82±0.26 ^{Bc}	7.80±0.16 ^{Bc}	7.64±0.12 ^{Ac}

注: $n=3$,不同的上标字母代表两组数据间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。表 3 同。

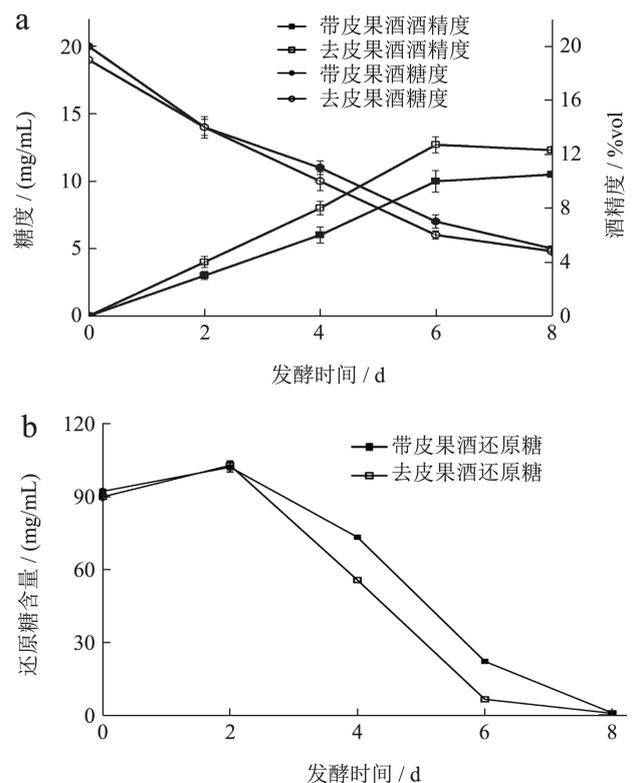


图 2 不同发酵时期香蕉果酒的糖类和酒精度变化
Fig.2 Content changes of sugar and alcohol for banana wine in different fermentation periods

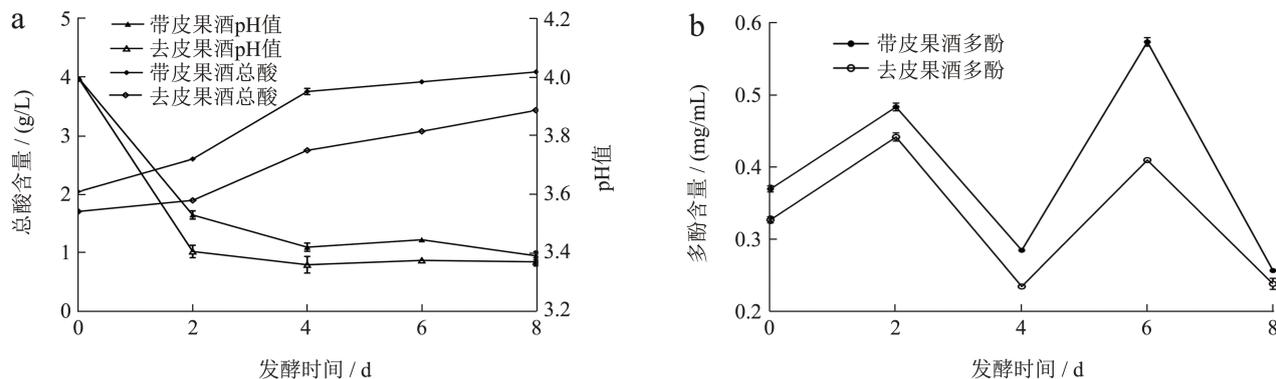


图3 不同发酵时期香蕉果酒的总酸和多酚变化

Fig.3 Content changes of total acid and polyphenol for banana wine in different fermentation periods

表3 香蕉果酒的感官评定(分)

Table 3 Sensory evaluation of banana wine

项目	色泽	香气	口感	喜好度	总分
带皮香蕉果酒	18.45 ± 1.36 ^a	22.10 ± 1.74 ^a	28.75 ± 1.43 ^a	18.32 ± 0.64 ^a	87.62 ± 2.64 ^a
去皮香蕉果酒	14.82 ± 0.87 ^b	19.45 ± 2.05 ^a	23.45 ± 2.06 ^b	15.45 ± 0.35 ^b	73.17 ± 3.54 ^b

2.2 总酸和总酚

果酒中的总酸度主要受有机酸影响,有机酸也是影响果酒色泽和口感的重要因素之一,它能促进酒中色素的溶解,也是果酒中的酸味的主要来源^[24,25]。从图3b可以看出,在本实验中带皮和去皮香蕉酒中总酸的含量随着发酵的进行不断增加,在发酵结束后分别达到4.03 g/L和3.15 g/L,同时pH值呈现下降的趋势,最终达到pH值3.4左右。此外,带皮香蕉酒在酿造过程中其有机酸的含量要显著高于去皮香蕉,可能是由于香蕉皮中富含酚酸类物质,其含量要显著高于香蕉果肉(图3b)。酒中有机酸含量过低会导致口感平淡乏味,过高则会让酒体偏酸涩生硬,不同果实中的有机酸组成与含量相差比较大,所以也是不同果酒各有风味的原因之一^[26,27]。柳素洁等^[28]研究了不同酵母对香蕉果酒品质尤其是总酸的影响,发酵结束后总酸的含量在6.68 g/L到8.45 g/L之间,高于本研究香蕉酒中总酸的含量,本研究的感官评定结果显示带皮香蕉酒的酸甜感适中,口感较为饱满,要优于去皮香蕉果酒(表3)。此外,发酵过程中带皮香蕉酒中多酚含量要显著高于去皮香蕉酒多酚的含量(图3b),同时感官评定显示带皮香蕉酒涩味明显,口感饱满(表3)。果酒中的涩味来源于多酚与口腔唾液中的蛋白质结合,形成复合物而沉淀导致唾液失去对口腔的润滑作用,同时引起舌头上皮组织收缩,产生干燥的感觉,涩味因此表现出来,多酚含量越高涩度越大,涩味也越强烈,适当的多酚含量能提升果酒的感官风味^[29]。

2.3 甲醇

采用气相色谱对香蕉(带皮和不带皮)果酒和蒸馏酒(带皮和不带皮)甲醇含量进行测定(表4),结果显示带皮香蕉果酒中甲醇的含量为120.20 mg/L要高于去皮香蕉果酒中100.12 mg/L,同样的带皮香蕉蒸馏酒中甲醇的含量为372.30 mg/L要高于去皮香蕉果酒中270.52 mg/L,这主要是由于香蕉皮中果胶的含量要高于果肉^[30],果胶被酵母菌中的果胶质酶(果胶质酯酶,果胶质水解酶和果胶质裂解酶)分解为果胶酸和甲醇,甲醇是酒精饮料中重要的有毒挥发性化合物,是影响果酒品质重要指标之一^[31]。根据GB 15037-2006《葡萄酒》规定,红葡萄酒甲醇含量<400 mg/L和GB 2757-2012《蒸馏酒及其配制酒》规定甲醇含量<2.0 g/L,本实验中果酒及蒸馏酒的甲醇含量均达标,其中蒸馏酒的甲醇含量普遍高于果酒。

表4 香蕉果酒和蒸馏酒中甲醇的含量

Table 4 The amount of methanol in banana wine and distilled wine

样品	甲醇含量/(mg/L)
带皮香蕉果酒	120.20 ± 2.74 ^b
去皮香蕉果酒	100.12 ± 3.56 ^a
带皮香蕉蒸馏酒	372.30 ± 10.28 ^B
去皮香蕉蒸馏酒	270.52 ± 9.46 ^A

注: $n=3$, 不同的上标小写字母代表香蕉果酒样品数据间具有显著性差异($P<0.05$), 不同的上标大写字母代表香蕉蒸馏酒数据间具有显著性差异($P<0.05$)。

2.4 GC-MS分析挥发性香气成分

利用 GC-MS 对带皮香蕉发酵 2 d (DP2)、4 d (DP4)、6 d (DP6)、8 d (DP8) 和去皮香蕉酒发酵 2 d (QP2)、4 d (QP4)、6 d (QP6) 和 8 d (QP8) 挥发性风味物质进行检测, 结果显示, 共检测出 31 种挥发性风味物质, 包括 12 种酯类、6 种醇类、2 种酮类、2 种酸类、3 种烷烯炔类和 6 种杂环类物质。

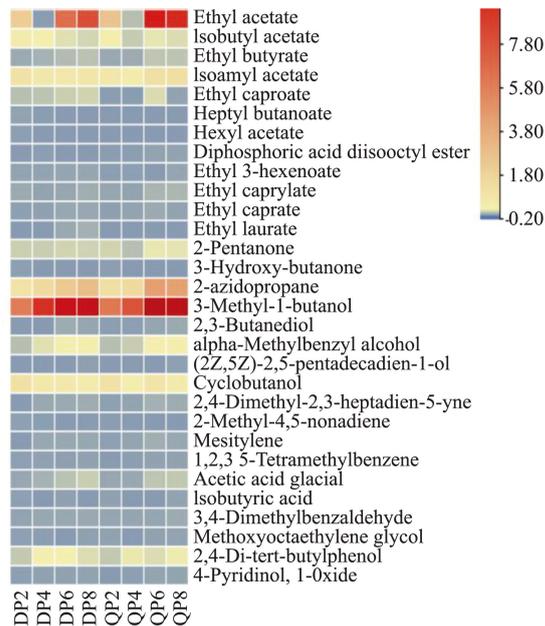


图4 带皮和去皮香蕉果酒在不同发酵时期的挥发性风味物质含量热图

Fig.4 Heat map of volatile flavor content of peeled and peeled banana cider during different fermentation periods

由图4所示, 酯类是香蕉果酒中主要的挥发性风味物质, 在带皮香蕉果酒中检测出 12 种, 在去皮香蕉果酒中检测出 9 种, 带皮香蕉果酒中酯类物质种类更加的丰富, 与感官评定较为一致(表3)。在这些香气物质中, 发酵结束后含量较高的酯类有乙酸乙酯 (>8.10 mg/L)、乙酸异戊酯 (>0.80 mg/L) 和正己酸乙酯 (>0.16 mg/L)。且随着发酵的进行, 尤其是在发酵第 6 d, 2 种果酒种中乙酸乙酯的含量显著增加 ($P < 0.05$), 其中带皮香蕉果酒乙酸乙酯的含量从发酵 4 d 的 0.01 mg/L 显著增加到 6 d 的 6.56 mg/L, 同样去皮香蕉果酒乙酸乙酯的含量从发酵 4 d 的 0.1 mg/L 显著增加到 6 d 的 10.32 mg/L。而发酵前 4 d 乙酸乙酯的含量增加不显著 ($P > 0.05$), 这个阶段主要以酒精发酵为主, 风味物质的形成主要集中在发酵后期, 乙酸乙酯赋予香蕉果酒梨香与菠萝香味, 来提升整体的香气^[32]。而已酸乙酯和乙酸

异戊酯在果酒发酵过程中的含量变化不显著, 这些酯类物质赋予果酒以果香和花香, 如己酸乙酯赋予香蕉果酒青苹果香气, 乙酸异戊酯赋予果酒以香蕉味^[33,34], 此外, 在香蕉果酒中还检测到少量的辛酸乙酯和癸酸乙酯, 它们分别赋予果酒果味白兰地香气和椰子果香^[35]。只有在带皮香蕉果酒发酵后期检测到月桂酸乙酯, 可以赋予香蕉果酒以果香、花香及油脂味^[36]。

醇类也是香蕉果酒中重要的风味物质, 醇类物质的含量仅次于酯类物质。除了乙醇之外, 在带皮香蕉果酒中检测出 5 种, 在去皮香蕉果酒中检测出 6 种, 其中含量较高的醇类物质是 3-甲基-1-丁醇, 发酵结束后带皮香蕉酒中 3-甲基-1-丁醇的平均含量为 15.78 mg/L 与去皮香蕉酒中 3-甲基-1-丁醇 16.73 mg/L 没有显著的差别 ($P > 0.05$)。带皮和去皮香蕉酒中 3-甲基-1-丁醇含量在发酵前 6 d 增加显著, 分别从 6.01 mg/L 增加到 13.87 mg/L 和 6.17 mg/L 增加到 18.24 mg/L ($P < 0.05$), Chen 等^[37]的研究结果也发现香蕉酒中 3-甲基-1-丁醇含量较高, 可以推断 3-甲基-1-丁醇可能是香蕉酒的特征性的风味物质。3-甲基-1-丁醇有苹果白兰地香气, 是我国 GB 2760-2014 规定允许使用的食用香料, 主要用以配制苹果和香蕉型香精。此外, 香蕉酒中含量较多醇类物质是环丁醇和苏合香醇, 醇类物质能够赋予果酒醇厚、果香馥郁的味道和口感, 如苏合香醇则赋予果酒栀子花风味^[38]。

香蕉果酒中的酸类物质大多是发酵副产物, 香蕉酒中主要的有机酸类物质是乙酸和异丁酸, 异丁酸只在发酵的初期被检测到, 乙酸的含量随着发酵的进行有少量的增加, 且带皮果酒中的含量要高于去皮果酒。酸类物质能够给果酒带来刺激性的口感, 对果酒的味道影响较大, 较低浓度乙酸能够赋予果酒醋香味, 异丁酸则能够给果酒以清新的花香、果味和草莓味, 但是若含量过多则可能会给果酒口感和品质带来负面的影响^[39]。

除了上述酯类、醇类和酸类物质外, 香蕉果酒中还含有少量酮类、烷烯炔类和酚类物质。2-戊酮在果酒发酵过程中的含量先减少后增加, 且变化的幅度不大。酚类物质中含量最多的是 2,4-叔丁基苯酚, 赋予果酒烧焦味、紫罗兰味和玫瑰味^[17], 含量随着发酵的进行逐渐增加, 且带皮果酒初期 2,4-叔丁基苯酚含量的增幅大于去皮果酒。上述物质的含

量虽然不高,但是能够对香蕉果酒的香味起到一定的修饰作用。对比带皮果酒和去皮果酒,带皮香蕉果酒所含的主要香气成分(如酯类、醇类等)的种类较去皮果酒的多,使得带皮果酒的口感和味道的层次更为丰富。

3 结论

香蕉是一种富含多酚、维生素等多种营养物质的水果,具有抗氧化等功效,其中香蕉皮占全果质量30%~35% (m/m),其铁还原能力也高于果肉,香蕉皮的营养成分含量和功效等方面都会优于果肉,然而香蕉皮通常作为废料被丢弃,造成资源的浪费和环境的污染。本实验研究了香蕉皮对香蕉果酒品质和挥发性香气成分的影响,发现全果发酵果酒的多酚含量、总酸、感官评价等指标均高于去皮发酵果酒,由于果皮中可发酵糖类的含量比果肉要低,因此全果发酵香蕉果酒的酒精度要低于去皮发酵果酒。此外,香蕉果酒及其蒸馏酒中甲醇含量远低于国家限量标准,带皮香蕉果酒中甲醇的含量并未显著增加。挥发性风味物质分析结果显示香蕉酒中主要的风味物质为酯类和醇类,其中乙酸乙酯和3-甲基-1-丁醇是香蕉果酒中主要的特征性的风味物质,带皮香蕉果酒风味物质种类比去皮香蕉果酒更为丰富,使得带皮香蕉果酒在色泽、口感和味道的层次更为丰富,但是在提高带皮香蕉酒的酒度上还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 曾祥权,李倩倩,姜微波,等.香蕉单宁的提取、结构及功能研究进展[J].食品科学,2022,43(23):326-335.
- [2] DE JESUS FILHO M, DO CARMO L B, DELLA LUCIA, et al. Banana liqueur: Optimization of the alcohol and sugar contents, sensory profile and analysis of volatile compounds [J]. LWT- Food Science and Technology, 2018, 97(6): 31-38.
- [3] 韦璐,孙钦菊,黄杰,等.香蕉果酒发酵过程中主要成分变化规律的研究[J].食品研究与开发,2020,41(23):37-43.
- [4] 郭晓明,焦艳丽,温海祥,等.不同干酵母对香蕉果酒酿造的影响[J].中国食物与营养,2011,17(12):32-35.
- [5] CHEN J, LI F, LI Y, et al. Exogenous procyanidin treatment delays senescence of harvested banana fruit by enhancing antioxidant responses and *in vivo* procyanidin content [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 158(10): 110-122.
- [6] ADÃO R C, GLÓRIA B A. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of 'Prata' banana (*Musa acuminata*) X (*M. balbisiana*) [J]. Food Chemistry, 2005, 90 (5): 705-711.
- [7] ABOUL-ENEIN A, SALAMA Z, GAAFAR, et al. Identification of phenolic compounds from banana peel as antioxidant and antimicrobial agents [J]. Journal of Chemical Pharmaceut Research, 2016, 8 (4): 46-55.
- [8] MAHLOKO, L M SILUNGWE, et al. Bioactive compounds, antioxidant activity and physical characteristics of wheat-prickly pear and banana biscuits [J]. Heliyon, 2019, 5 (10): e02479.
- [9] SIDHU J, ZAFAR, T. Bioactive compounds in banana fruits and their health benefits [J]. Food Qual Saf, 2018, 2 (4): 183-188.
- [10] SATORAP, SEMIK-SZCZURAK D, TARKO T, et al. Influence of selected *Saccharomyces* and *Schizosaccharomyces* strains and their mixed cultures on chemical composition of apple wines [J]. Journal of Food Science, 2018, 83(2): 424-431.
- [11] HAN X, PENG Q, YANG H, et al. Influence of different carbohydrate sources on physicochemical properties and metabolites of fermented greengage wines [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 121 (8): 108-120.
- [12] 杜恣闲,郑建莉.果酒的营养成分及其发展分析研究[J].江西化工,2011,31(2):23-26.
- [13] NANNYONGA S, TCHUENBOU-MAGAIA F, GOODE K, et al. Growth kinetics and modelling of *S. cerevisiae* during de-lignified waste banana fermentation and chemical characterization [J]. Biochemical Engineering Journal, 2018, 137(2): 255-261.
- [14] PAULINE M, ALEXANDRE O, ANDOSEH B, et al. Production technique and sensory evaluation of traditional alcoholic beverage based maize and banana[J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2017, 10 (3): 11-15.
- [15] 纪峰.香蕉酒生产工艺研究进展[J].现代食品,2021,23(2): 55-60.
- [16] 郝德兰.香蕉采后催熟调控及低度香蕉酒的研制[D].上海:上海应用技术大学,2019.
- [17] 郝俊光,王云岑,王合意,等.带皮香蕉酿制香蕉果酒的研究[J].食品研究与开发,2020,41(22):86-92.
- [18] GENISHEVA Z, QUINTELAS C, MESQUITA D P, et al. New PLS analysis approach to wine volatile compounds characterization by near infrared spectroscopy (NIR) [J]. Food Chemistry, 2018, 246 (5): 172-178.
- [19] RODRIGUEZ GAMBOA, J C, ALBARRACIN E, et al. Wine quality rapid detection using a compact electronic nose system: Application focused on spoilage thresholds by acetic acid [J]. LWT- Food Science and Technology, 2019, 108 (3): 377-384.
- [20] 彭帮柱,岳田利,袁亚宏,等.苹果酒发酵过程中糖度近

- 红外光谱检测模型的建立[J].光谱学与光谱分析,2009,29(3):652-655.
- [21] 张超,张巧花,赵思远,等.木瓜荞麦果酒制备工艺与品质分析[J].中国酿造,2022,41(9):194-198.
- [22] SEO S H, NA C S, YOUN D H, et al. Effectiveness of banana additions for completion of stuck and sluggish fermentation of blueberry wine [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 1143-1148.
- [23] 孙洁雯,韩帅,刘玉平等.食用酚类香料的抑菌活性研究[J].中国食品学报,2017,17(12):8-15.
- [24] 洪佳敏,何炎森,郑云云,等.香蕉成分及其保健功能研究进展[J].中国农学通报,2016,32(10):176-181.
- [25] OJIRA S I, KUHARA K, SHIGETOMI A, et al. On line electroanalytical matrix isolation for chromatographic determination of organic acids in wine [J]. Journal of Chromatography Analysis, 2014, 1372 (11): 18-24.
- [26] 曾竟蓝,马胤鹏,秦丹,等.果酒中有机酸的作用及检测方法研究[J].中国酿造,2018,37(6):183-187.
- [27] 沈颖,刘晓艳,白卫东,等.果酒中有机酸及其对果酒作用的研究[J].中国酿造,2012,31(2):29-32.
- [28] 柳素洁,杜金华,任玲玲,等.酵母对香蕉蒸馏酒品质影响及香气成分研究[J].酿酒,2012,39(1):5-15.
- [29] 朱超锋,黄诗林,孙柳青,等.香蕉皮多酚物质提取工艺优化及其抗氧化性研究[J].广东化工,2019,46(11):34-36.
- [30] 郭丽萍,朱英莲.香蕉皮中果胶提取工艺的研究[J].粮油食品科技,2012,20(3):4-12.
- [31] 张倩茹,尹蓉,殷龙龙,等.果酒发酵过程影响甲醇含量的因素模拟分析[J].食品科技,2022,47(1):106-112.
- [32] 郝红梅,张生万,郭彩霞,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析山楂果醋易挥发成分[J].食品科学,2016,37(2):138-141.
- [33] 王凤梅,张邦建,岳泰新.内蒙古西部地区野生葡萄酒相关酵母发酵及产酯能力分析[J].南方农业学报,2019,50(4):825-830.
- [34] 李蕊蕊,赵新节,原苗苗,等.加热处理对蜂蜜酒香气物质的影响[J].核农学报,2019,33(3):545-554.
- [35] 邓星星,江英,马越,等.无花果及其果酒挥发性成分的研究[J].中国酿造,2016,35(3):98-103.
- [36] 吕佳玮,刘亚琼,路瑶,等.原料预处理对柿子酒发酵过程中挥发性风味物质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(12):61-69.
- [37] CHEN LIHUA, LI DONGNA, HAO DELAN, et al. Study on chemical compositions, sensory properties, and volatile compounds of banana wine [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(12): 23-35.
- [38] 陈丽华,吕新,韦航,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析茶树花茶香气成分[J].食品安全质量检测学报,2021,12(1):115-121.
- [39] 韦璐,杨昌鹏,孙钦菊,等.香蕉果酒低温发酵过程中挥发性香气成分的变化[J].食品工业科技,2020,41(18):231-238.