

发酵芒果皮乳酸菌的筛选

张博,滕建文*,夏宁,黄丽

(广西大学轻工与食品工程学院,广西 南宁 530004)

摘要: 芒果皮中存在的苦涩味物质限制芒果皮的食物化利用。该文以芒果皮为原料,采用感官评价法对 59 株乳酸菌发酵 48 h 的芒果皮清汁进行分析并初筛乳酸菌,并研究初筛得到的 5 株菌株发酵过程中对芒果皮清汁总酚含量、总黄酮含量、抗氧化活性和风味特征的影响。结果显示,乳酸菌发酵后芒果皮清汁总酸含量显著增加、pH 值明显降低、总酚含量明显降低;电子舌分析结果也表明乳酸菌发酵可以减弱芒果皮清汁的苦味和涩味;其中 HGP54 菌株改善芒果皮滋味效果最好,感官模糊评分最高,提高 13.47%,苦味与涩味量化得分均降低。相关性分析表明,苦味与涩味与总酚含量之间存在显著中等正相关关系。该研究结果表明,筛出的乳酸菌菌株能够有效地改善芒果皮清汁品质,可作为芒果皮工业化微生物制剂进一步开发利用。

关键词: 芒果皮;乳酸菌筛选;脱苦;脱涩;电子舌

Screening of Lactic Acid Bacteria for Fermented Mango Peels

ZHANG Bo, TENG Jianwen*, XIA Ning, HUANG Li

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: The presence of bitter and astringent taste substances in mango peels limits the food utilization of mango peels. In this study, mango peels were used as raw material, the sensory evaluation method was used to primary screen the mango peel juice fermented by 59 strains of *Lactobacillus* for 48 h, and the effects of the fermentation process of the five strains obtained from the primary screening on the total phenols, total flavonoids, antioxidant activity, and flavor characteristics of the mango peel juice were studied. The results showed that the total acid content of mango peel juice increased significantly, the pH value decreased significantly, and the total phenol content decreased significantly after *Lactobacillus* fermentation; the results of electronic tongue analysis also indicated that *Lactobacillus* fermentation could attenuate the bitterness and astringency of mango peel juice; among them, the HGP54 strain had the best effect in improving mango peel taste, with the highest sensory fuzzy score increased by 13.47%, and the quantitative scores of bitter and astringent taste were both decreased. Correlation analysis showed that there was a significant moderate positive correlation between bitterness and astringency and total phenolic content. The results of this study indicate that *Lactobacillus* strains can effectively improve the quality of mango peel clear juice, and can be further developed and utilized as industrialized microbial preparations for mango peels.

Key words: mango peels; lactic acid bacteria screening; de-bitterness; de-astringency; electronic tongue

引文格式:

张博,滕建文,夏宁,等. 发酵芒果皮乳酸菌的筛选[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(12): 164-171.

ZHANG Bo, TENG Jianwen, XIA Ning, et al. Screening of Lactic Acid Bacteria for Fermented Mango Peels[J]. Food Research and Development, 2024, 45(12): 164-171.

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB22035020)

作者简介: 张博(1999—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 芒果副产物加工利用。

*通信作者: 滕建文, 男(汉), 教授, 研究方向: 亚热带果蔬及其副产品、植物多酚及膳食纤维的基础研究及功能活性开发。

芒果(*Mangifera indica* L.)作为世界上最受欢迎的热带水果之一,2020年世界芒果产量超过45万t^[1]。芒果果实通常被加工成芒果罐头、芒果干、果汁、果酱等产品^[2]。芒果皮由于其不良的感官特性往往被直接丢弃,然而其富含纤维素、抗坏血酸、生育酚、酚类化合物以及类胡萝卜素等^[3],可以作为功能性成分和天然防腐剂的来源。因此,从芒果废弃物——芒果皮中开发新的食品或食品配料对于解决环境问题以及提高原料利用率是十分必要的。目前,芒果皮粉通常作为食品配料添加到益生菌牛奶^[4]、玉米片^[5]、全麦面包^[6]等食品原料中,然而芒果皮本身具有明显苦涩味,其添加量往往受到限制。

目前关于芒果皮的研究集中在芒果皮的生物活性物质,而关于芒果皮中苦涩味物质的研究较少。芒果皮富含的多酚类物质可能是导致其苦涩味的原因。苦涩味多酚可分为类黄酮、酚酸、单宁等^[7]。酚类的呈味特性因分子质量的不同而有所不同,酚类物质分子质量低,苦味较强,如类黄酮;而高分子质量的酚类物质,如单宁,涩味比苦味更强。类黄酮中的儿茶素在茶汤中呈现苦味和涩味;表型儿茶素较非表型儿茶素,苦涩味强度更高、持续时间更长^[8]。酚酸中的羟基肉桂酸(香豆酸和咖啡酸)和羟基苯甲酸(没食子酸和原儿茶酸)在红酒中涩味比苦味更强^[9]。葡萄酒苦涩味主要来源于单宁,且多为缩合单宁,少量为水解单宁^[10]。

乳酸菌(lactic acid bacteria, LAB),是将碳水化合物发酵从而产生大量乳酸的一类无芽孢、革兰氏染色阳性细菌的统称。已有研究表明,乳酸菌具有去羧酸、去酯化、去甲基化以及去糖基化膳食多酚的能力^[11],通过乳酸菌发酵可以有效改善果蔬的产品品质,如猕猴桃^[12]、泡菜^[13]、西瓜汁^[14]等。经乳酸菌发酵可以有效降低苦涩味,如发酵后的竹笋^[15]苦味显著降低;发酵后的沙棘汁^[16]、枣汁^[17]以及玫瑰香菇混合饮料^[18]的苦味和涩味的响应值都显著下降。然而,利用乳酸菌发酵使芒果皮脱苦脱涩的研究仍较少。

因此,本研究以芒果皮作为发酵基质,结合感官评价与电子舌结果对芒果皮发酵菌株进行筛选,并探究乳酸菌发酵过程中乳酸菌活菌数、pH值、总酸、总酚和总黄酮含量及抗氧化活性、苦味和涩味量化得分的变化规律,旨在为芒果皮的深加工利用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

59株乳酸菌:广西大学轻工与食品工程学院实验室保存;芒果皮:广西产“台农小芒”,清洗干净,并将皮分离。

1,1-二苯基-2-苦基肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,4,6-三吡啶基三嗪(2,4,6-tripyridin-2-yl-1,3,5-triazine, TPTZ)、6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-

羧酸(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid, Trolox)、福林酚(Folin-Ciocalteu):上海源叶生物科技有限公司;2,2-联氨-双(3-乙基苯并噻唑-6-磺酸)二胺盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]、没食子酸、芦丁:上海麦克林生化科技股份有限公司。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

FE28 pH计:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;MI-250A细菌培养箱:施都凯仪器设备(上海)有限公司;CanLee 18R离心机:湖南湘立科学仪器有限公司;Infinite M200 PRO酶标仪:瑞士TECAN公司;Taste Sensing System SA402B电子舌:日本INSENT智能传感器有限公司;JM-L50胶体磨:苏州恒强不锈钢材料有限公司。

1.3 方法

1.3.1 乳酸菌发酵芒果皮

乳酸菌在MRS液体培养基中于37℃恒温培养10h,培养后的菌液以4℃、8000 r/min离心5 min,采用0.85%无菌生理盐水洗涤2次后以8000 r/min离心5 min,将菌沉淀重悬于无菌生理盐水中,并调节OD_{600 nm}为0.8左右,得到菌悬液。

清除芒果皮表面残留果肉后,清水洗净,沥干表面水分。将芒果皮和饮用水按照料液比1:8(g/mL)调配,加入质量分数为2%的无水葡萄糖,置于胶体磨中研磨,用食品级NaHCO₃调节芒果皮汁的pH值至6.00,分装100 mL芒果皮汁于100 mL蓝口瓶中。将芒果皮汁80℃水浴15 min,冷却后接入4%的菌悬液于37℃下发酵0、6、12、24、48 h取样,8000 r/min离心5 min,得芒果皮清汁,进行理化指标的测定;乳酸菌活菌数采用未离心的芒果皮汁进行测定。

1.3.2 乳酸菌活菌数的测定

参照GB 4789.35—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》中乳酸菌活菌数的计数方法测定乳酸菌活菌数。

1.3.3 pH值与总酸含量(total acid content, TAC)测定

用pH计直接测定芒果皮清汁的pH值。参考GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》测定发酵过程中的TAC,结果以乳酸计。

1.3.4 总酚含量(total phenolic content, TPC)的测定

参考Li等^[11]的Folin-Ciocalteu方法,并稍作修改,吸取0.5 mL稀释后芒果皮清汁添加到2.5 mL 10% Folin-Ciocalteu试剂中,室温静置3 min后,添加2 mL 7.5% Na₂CO₃溶液到混合物中,室温下静置60 min,于765 nm处测定混合物的吸光度。TPC以没食子酸当量(mg GAE/L)表示。

1.3.5 总黄酮含量(total flavonoid content, TFC)的测定

参考Shi等^[14]的方法测定总黄酮含量(TFC)。吸取500 μL稀释后未发酵/发酵芒果皮清汁,向其中添

加 300 μL 5% NaNO_2 溶液混匀,在室温下静置 5 min。随后,加入 200 μL 10% AlCl_3 溶液于混合物中,静置 6 min 后,向混合物中加入 400 μL 1 mol/L 的 NaOH 溶液静置 10 min,于 510 nm 处测定混合物的吸光度。TFC 以芦丁当量(mg RE/L)表示。

1.3.6 抗氧化能力的测定

1.3.6.1 DPPH 自由基清除能力的测定

参考 Laophongphit 等^[19]的方法,并稍作修改,吸取 0.2 mL 稀释后芒果皮清汁于 2 mL 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液(用无水乙醇溶解),在黑暗中放置 30 min,并测量 517 nm 处的吸光度。DPPH 自由基清除能力以水溶性维生素 E 当量(mmol Trolox/L)表示。

1.3.6.2 ABTS⁺自由基清除能力的测定

参考 Laophongphit 等^[19]的方法,并稍作修改。在室温下将 7 mmol/L ABTS 溶液和 2.45 mmol/L 过硫酸钾($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)溶液以 1:0.5(体积比)混匀,于黑暗中反应 12~16 h 得到 ABTS 储备液,将 ABTS 储备液用蒸馏水稀释至 734 nm 波长处吸光度为 0.70 ± 0.02 ,作为 ABTS 工作液。取 0.2 mL 稀释后芒果皮清汁加入 2 mL ABTS 工作液,涡旋混合,室温避光反应 10 min,在 734 nm 波长处测定吸光度。

1.3.6.3 铁离子还原能力的测定

参考 Wu 等^[20]方法,并稍作修改。反应混合液为 300 mL 乙酸盐缓冲液(0.3 mol/L, pH3.6)、30 mL 10 mmol/L 2,4,6-三(2-吡啶基)-1,3,5-三嗪溶液(40 mmol/L HCl 配制)和 30 mL FeCl_3 溶液(20 mmol/L)。将 0.1 mL 稀释后芒果皮清汁与 3 mL 反应混合物在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下混合 30 min,并在 593 nm 处测量吸光度。铁离子还原能力以水溶性维生素 E 当量(mmol Trolox/L)表示。

1.3.7 电子舌分析

参考文献[21-22]的方法,并稍作修改,对未发酵和发酵 48 h 后的芒果皮清汁利用电子舌进行分析,取 35 mL 滤液于室温下进行电子舌测定分析。电子舌参数设置,检测程序:样品测量(2步洗涤,时间 426 s);传感器:五味+甜味;探头:AAE(鲜味)、GL1(甜味)、COO(苦味)、CTO(咸味)、CAO(酸味)、AE1(涩味),每个样品测定 4 次(甜味测定 5 次),取后 3 次数据进行味觉分析。

1.3.8 感官评价

邀请 10 名具有感官鉴评经验的食品专业人员,对

发酵过程中的芒果皮清汁的苦味和涩味进行打分,并对乳酸菌发酵 48 h 后的芒果皮清汁从色泽、组织形态、香气、滋味以及总体可接受度共 5 个维度进行整体感官评价,具体见表 1、表 2。

表 1 滋味标准品浓度梯度及对应强度分值

Table 1 Concentration gradients and corresponding intensity scores of taste standards

滋味强度 分值	苦味标准品 (硫酸奎宁)/(mg/L)	涩味标准品 (明矾)/(mg/mL)
0	0	0
2	0.001 0	0.08
4	0.002 5	0.16
6	0.004 0	0.32
8	0.005 0	0.48
10	0.006 0	0.64

表 2 乳酸菌发酵芒果皮清汁的感官评价

Table 2 Sensory evaluation standard for fermented mango peel juice with lactic acid bacteria

项目	标准	得分
色泽(20 分)	淡黄色	10~20
	深黄色,颜色发暗	0~<10
组织形态(20 分)	均匀,不分层	14~20
	较均匀,不分层	8~<14
香气(20 分)	不均匀,分层	0~<8
	具有果香,协调悦人	14~20
滋味(20 分)	果香较少,尚怡人	8~<14
	香气不良,令人不愉快	0~<8
总体可接受度(20 分)	无苦涩感,酸甜适宜	14~20
	苦涩感较重,酸甜较适宜	8~<14
	苦涩感重,酸甜不适宜	0~<8
	总体可接受度好	14~20
	总体可接受度较好	8~<14
	总体可接受度差	0~<8

1.4 统计分析

结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 SPSS 27 软件进行数据分析以及 Origin 2024 软件绘图。以 $P<0.05$ 代表显著性差异。

2 结果与分析

2.1 芒果皮乳酸菌发酵菌株初筛

发酵芒果皮清汁苦味、涩味变化统计百分比见图 1。

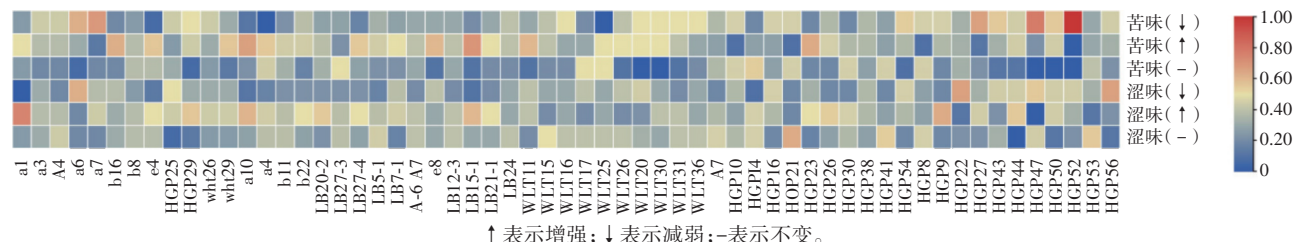


图 1 59 株乳酸菌发酵芒果皮清汁苦味、涩味变化统计百分比

Fig.1 The changes in bitterness and astringency of fermented mango peel juice fermented by 59 stains of LAB

如图1所示,a6菌株的苦味和涩味的减弱投票占比为62.5%、62.5%;a7菌株苦味和涩味的减弱投票占比68.8%、37.5%;HGP52菌株的苦味和涩味的减弱投票占比100%、44.4%;HGP16菌株的苦味和涩味的减弱投票占比45.5%、45.5%;HGP54菌株的苦味和涩味的减弱投票占比54.5%、45.5%;HGP16和HGP54菌株虽然减弱的占比并不高,但因这两株菌株发酵的芒果皮清汁有较好的感官效果而被选择。根据初筛结果共选出5株菌株进行下一步试验,分别为德氏乳杆菌(*Lactobacillus delbrueckii subsp*) a6、利莫西发酵乳杆菌(*Limosilactobacillus fermentum*) a7、戊糖乳杆菌(*Lactobacillus pentosus*) HGP16、戊糖乳杆菌(*Lactobacillus pentosus*) HGP52、戊糖乳杆菌(*Lactobacillus pentosus*) HGP54。

2.2 初筛菌株的发酵结果分析

2.2.1 基础发酵特性变化

接种乳酸菌发酵后芒果皮汁乳酸菌活菌数、pH值和总酸含量的变化见图2~图4。

乳酸菌活菌数、pH值以及总酸含量可以反映乳酸菌在芒果皮汁中的生长状态。由图2~图4可知,接种于芒果皮汁的5株乳酸菌接种后都未出现明显的滞后期,说明芒果皮汁是所选乳酸菌生长增殖的良好底物。发

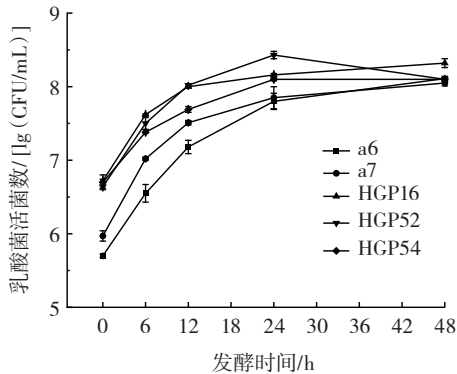


图2 接种乳酸菌发酵后芒果皮汁乳酸菌活菌数变化

Fig.2 Changes in the viable LAB counts of mango peel juice during LAB fermentation

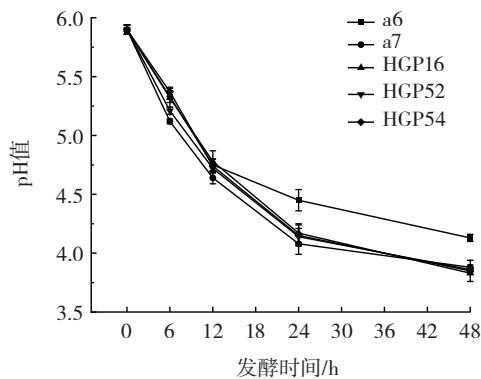
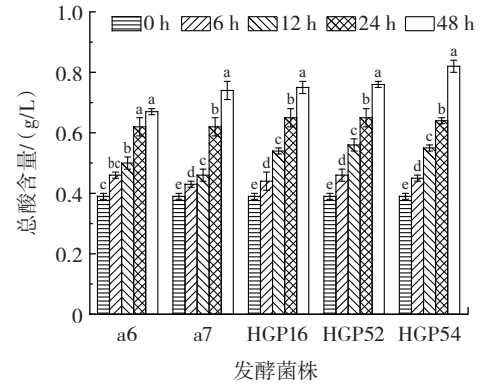


图3 接种乳酸菌发酵后芒果皮汁 pH 值变化

Fig.3 Changes in pH of mango peel juice during LAB fermentation



同一乳酸菌不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图4 接种乳酸菌发酵后芒果皮汁总酸含量变化

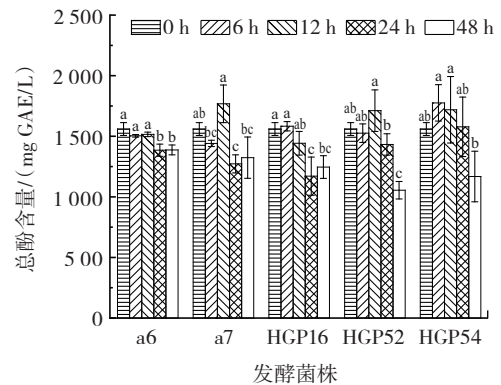
Fig.4 Changes in total acid content of mango peel juice during LAB fermentation

酵6 h时,菌体数量迅速增加;发酵24 h后,乳酸菌活菌数达到最大,之后再无明显变化,5株乳酸菌发酵芒果皮汁的最大乳酸菌活菌数为7.85~8.43 lg(CFU/mL);其中HGP52菌株乳酸菌活菌数最多,为8.43 lg(CFU/mL),之后未有增长,这可能与缺乏营养物质以及pH值降低有关^[23]。乳酸菌菌株在发酵过程中消耗糖类物质以及生产酸类物质,发酵12 h后芒果皮汁的pH值从5.90急剧下降到4.64~4.75。酸度在发酵过程中呈现上升趋势。发酵48 h,5组芒果皮汁的pH值稳定至3.83~4.13,总酸含量增加至0.67~0.82 g/L。

2.2.2 总酚和总黄酮的含量变化

乳酸菌发酵过程中芒果皮清汁的总酚含量和总黄酮含量见图5、图6。

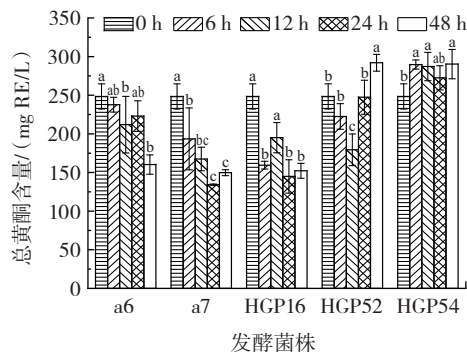
芒果皮富含多酚及类黄酮类物质,总酚和总黄酮的含量变化可以反映发酵过程中芒果皮清汁的苦涩味的变化过程。由图5可知,乳酸菌发酵48 h的芒果皮清汁总酚含量均有所下降,植物乳杆菌发酵枸杞汁的总酚含量也有类似现象发生^[24]。发酵48 h,总酚含量从未发酵的



同一乳酸菌不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图5 乳酸菌发酵过程中芒果皮清汁的总酚含量变化

Fig.5 Changes in total phenolics content of mango peel juice during LAB fermentation



同一乳酸菌不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图6 乳酸菌发酵过程中芒果皮清汁的总黄酮含量变化

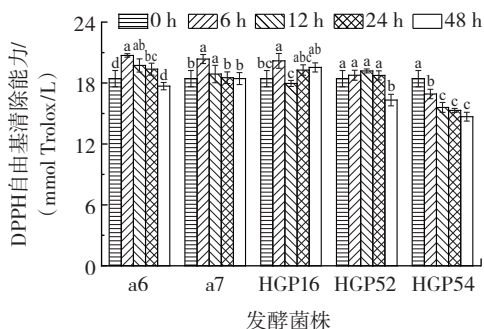
Fig.6 Changes in total flavonoids content of mango peel juice during LAB fermentation

1 559.74 mg GAE/L 下降至 1 054.97~1 387.51 mg GAE/L。由图 6 可知,不同菌株发酵 48 h 芒果皮清汁的总黄酮含量则有所不同,a6、a7、HGP16 菌株发酵后的总黄酮含量下降至 149.79~152.19 mg RE/L;而 HGP52、HGP54 菌株发酵后的总黄酮含量上升至 290.31~292.02 mg RE/L。乳酸菌具有菌株特异性,如乳酸菌发酵后苹果汁^[11]、橄榄^[25]中的 TPC 和 TFC 也有所降低,乳酸菌发酵后枸杞汁^[24]的 TPC 和 TFC 则有所上升。

乳酸菌不仅可以 将多酚类化合物转化为低分子、高生物利用度的其他化合物,还可以从发酵物质的细胞壁中释放共轭酚类化合物^[24]。TPC 和 TFC 的减少可以解释为乳酸菌的存在促进了芒果皮中简单的酚类转化和高分子量酚类化合物的解聚;TPC 和 TFC 的增加则可以解释为发酵使芒果皮渣的细胞壁释放出共轭酚类化合物。乳酸菌发酵过程中 TPC 和 TFC 的变化可能是两种因素共同作用的结果。

2.2.3 芒果皮清汁抗氧化能力的变化

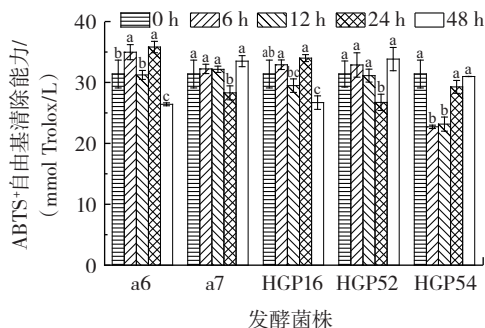
乳酸菌发酵会对芒果皮清汁的抗氧化活性产生影响,可以附加芒果皮清汁的功能活性。采用 DPPH 自由基清除能力、ABTS⁺自由基清除能力及铁离子还原能力表征芒果皮清汁的抗氧化能力,结果见图 7~图 9。



同一乳酸菌不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图7 乳酸菌发酵过程中芒果皮清汁的 DPPH 自由基清除能力变化

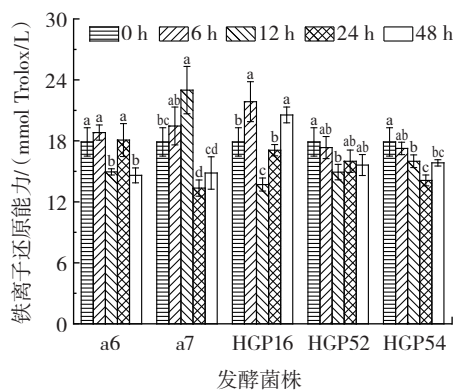
Fig.7 Changes in DPPH radical scavenging activity of mango peel juice during LAB fermentation



同一乳酸菌不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图8 乳酸菌发酵过程中芒果皮清汁的 ABTS⁺自由基清除能力的变化

Fig.8 Changes in ABTS⁺ radical scavenging activity of mango peel juice during LAB fermentation



同一乳酸菌不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图9 乳酸菌发酵过程中芒果皮清汁的铁离子还原能力的变化

Fig.9 Changes in ferric reducing ability of mango peel juice during LAB fermentation

由图 7 可知,a6、a7、HGP16、HGP52 菌株发酵芒果皮过程中可以提升芒果皮的 DPPH 自由基清除能力,但 HGP54 菌株在发酵芒果皮过程中的 DPPH 自由基清除能力不断下降。由图 8 可知,a6、a7、HGP16 以及 HGP52 菌株发酵芒果皮过程中可以提升芒果皮的 ABTS⁺自由基清除能力,但 HGP54 菌株发酵 48 h 与未发酵的 ABTS⁺自由基清除能力无明显差异。由图 9 可知,a6、a7、HGP16 菌株发酵芒果皮过程中可以提升芒果皮的铁离子还原能力;除 HGP16 菌株外,其余菌株发酵 48 h 与未发酵的芒果皮清汁相比铁离子还原能力均有下降。同时观察到 TPC 和 TFC 的高低与抗氧化活性的强弱并不存在相关关系,可能是乳酸菌发酵会耗尽酚类化合物中的有效葡萄糖分子,从而产生羟基数量较多或羟基位阻较低的游离苷元^[26],这可能是总酚和总黄酮含量下降,但芒果皮清汁的抗氧化能力提高的原因。

2.2.4 电子舌分析

对未发酵与 5 株乳酸菌发酵 48 h 的芒果皮清汁进行电子舌分析,结果见图 10。

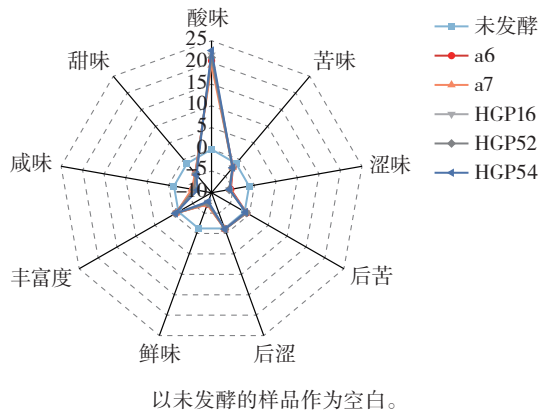


图 10 不同乳酸菌发酵芒果皮汁的电子舌雷达
Fig.10 Electronic tongue radar diagram of fermented mango peel juice by different LAB

电子舌各传感器的响应值直观反映了芒果皮的滋味变化。乳酸菌发酵后的芒果皮清汁是一种以酸味为主要特征的产品,由图 10 可知,相比于未发酵的芒果皮清汁,发酵后的芒果皮清汁的酸味明显提高,由 0 升至 19.34~22.73;甜味明显下降,由 0 降至-3.89~-3.82。然而,苦味和涩味的存在极大程度上影响了芒果皮的利用,发酵 48 h,芒果皮清汁的苦味和涩味均有下降,苦味由 0 降至-1.5~-1.28、涩味由 0 降至-5.34~-4.86,这也与之前初筛得到结果一致,表明这 5 株乳酸菌对芒果皮具有脱苦和脱涩的作用。乳酸菌和酵母菌联合发酵也可以增加蛹虫草汁的酸味,减少其苦味,从而获得更好的口感^[27]。乳酸菌发酵后的沙棘汁也产生了类似的现象,酸味的响应值显著提高,苦味和涩味的响应值显著降低^[16]。植物乳杆菌发酵枣汁,口感以酸味为主,苦味和涩味较少^[17]。这可能是乳酸菌发酵引起了芒果皮中存在的苦涩味的多酚类物质的转变,将低阈值的苦涩味化合物转换为高阈值的苦味化合物或者转化原有的苦涩味化合物使其浓度降低^[28];也可能是由于发酵过程中有机酸增加,对苦味和涩味形成了屏蔽作用^[27]。因此乳酸菌发酵可以有效地改善芒果皮的口感。

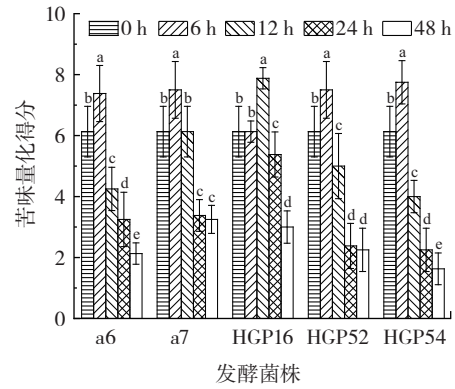
2.2.5 感官评价

2.2.5.1 芒果皮清汁苦涩味量化得分

芒果皮清汁的苦味、涩味量化得分见图 11~图 12,相关性分析见图 13。

感官小组依据标准品对发酵过程中芒果皮清汁的苦味和涩味进行了滋味强度评价。由图 11、图 12 可知,芒果皮清汁的苦味与涩味量化得分随发酵时间变化整体呈现出先增加后降低的趋势,这与芒果皮清汁的总酚含量变化一致。多酚类物质是主要的苦涩味物质,其中类黄酮苷的阈值明显低于其他多酚且黄酮类物质具有明显的收敛性^[25]。

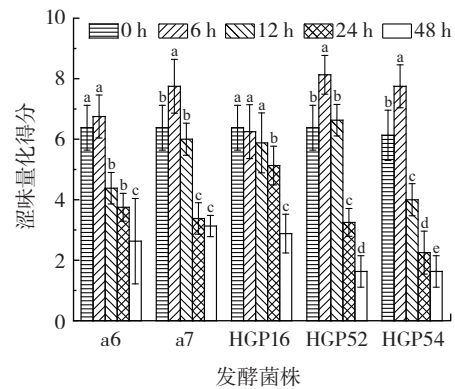
由图 13 所示,苦味和 TPC 的相关性系数为 0.538



同一乳酸菌不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

图 11 芒果皮清汁的苦味量化得分

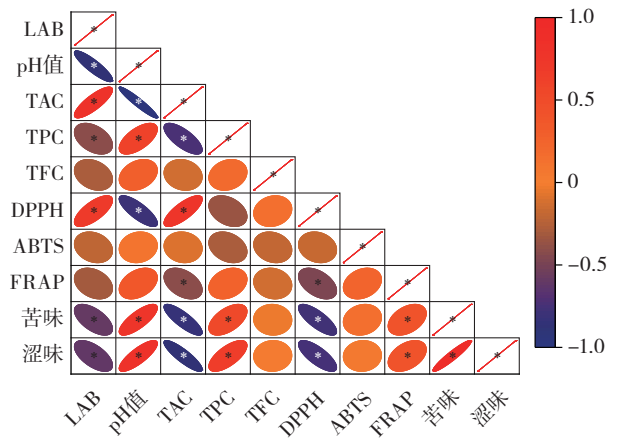
Fig.11 Quantitative evaluation of bitterness of mango peel juice



同一乳酸菌不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

图 12 芒果皮清汁的涩味量化得分

Fig.12 Quantitative evaluation of astringency of mango peel juice



*表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

图 13 芒果皮汁苦、涩味量化评分与理化指标的相关性

Fig.13 Correlation between quantitative scoring of bitter and astringent tastes of mango peel juice and physicochemical indicators

($P<0.05$),表明苦味和 TPC 之间存在显著的中度正相关关系;涩味和 TPC 的相关性系数为 0.680($P<0.05$),表明涩味和 TPC 之间存在显著的中度正相关关系。但苦味、涩味与 TFC 之间并无显著性关系。

虽然有研究表明多酚含量越高,苦味越强^[29]。然而,多酚类物质对苦味、涩味的贡献度并不仅由含量决定,还与多酚组成、苦味阈值及浓度等因素有关。不同的多酚类物质具有不同苦涩味的阈值^[30]。剂量比阈因子(dose-over-threshold factors, DOT)指物质的浓度与其阈值的比值, $\text{DOT} > 1$, 表明该物质对苦涩味有一定的贡献, DOT 值越大则贡献度越高。然而,苦涩味的强度与浓度之间并不呈现线性关系^[31]。研究表明,表型儿茶素比非表型儿茶素的苦味强度更高,持续时间更长,这可能是因为表儿茶素具有更强的亲脂性^[8];较高聚合度的原花青素具有更强的涩味感觉,聚合物、低聚物以及非烯化单体的涩味阈值逐渐增加^[7]。乳酸菌发酵对芒果皮的脱苦脱涩作用可能是由对多酚类物质的转化引起的。

2.2.5.2 感官模糊评分

芒果皮经 5 株乳酸菌发酵 48 h 苦涩味均减弱。以色泽、组织状态、气味、滋味以及总体可接受度对发酵 48 h 的芒果皮清汁进行评价,结果见图 14。

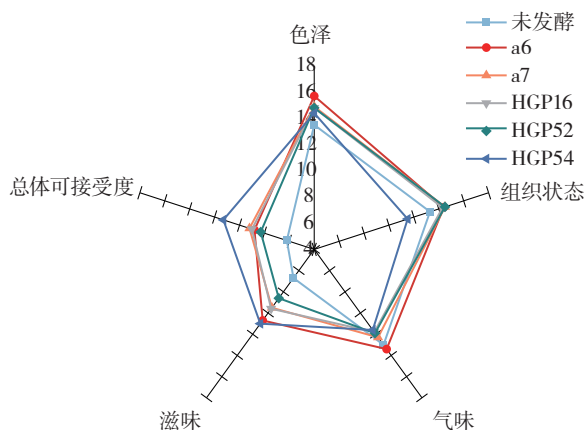


图 14 芒果皮清汁的感官评分雷达

Fig.14 Sensory evaluation radar chart of fermented mango peel juice

由图 14 可知,未发酵芒果皮清汁与发酵后的芒果皮清汁的组织状态之间并无明显差距。乳酸菌发酵后的芒果皮清汁评分比未发酵的芒果皮清汁评分高 28.36%~64.18%;其中 HGP54 菌株的滋味与感官模糊总评分最高,与未发酵相比提高 13.47%,但芒果皮清汁的总体可接受度评分不高,这是由于发酵后的芒果皮清汁仍具有一定的苦涩味。

3 结论

本研究以芒果皮为原料,对未发酵与发酵 48 h 的芒果皮清汁进行苦味和涩味感官评价,从 59 株乳酸菌中筛选得到 5 株具有脱苦脱涩作用的乳酸菌进行复筛。相关性分析表明,发酵过程中芒果皮清汁的苦味与涩味感官量化得分与多酚含量存在中度正相关关

系,发酵 48 h 芒果皮清汁的总酚含量均有所下降。电子舌结果与初筛结果一致,5 株乳酸菌发酵均可以有效改善芒果皮的苦涩味。对发酵 48 h 的芒果皮清汁进行模糊感官评价中,HGP54 菌株表现最为出色,与未发酵的芒果皮清汁相比,其感官评分提高 13.47%,且苦味和涩味量化得分均降低,对芒果皮汁的开发具有重要意义。然而,目前关于芒果皮中的苦涩味组成还不清楚,仍需进一步探讨乳酸菌发酵对芒果皮中的苦涩味物质代谢和转化的具体机理。本文可为制备脱苦涩的芒果皮汁提供理论参考。

参考文献:

- [1] AL RIZA D F, CHEN R L, TUN N T T, et al. Mango (*Mangifera indica* cv. Sein Ta Lone) ripeness level prediction using color and textural features of combined reflectance-fluorescence images[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2023, 11: 100477.
- [2] VIJAYANAND P, DEEPU E, KULKARNI S G. Physico chemical characterization and the effect of processing on the quality characteristics of Sindura, *Mallika* and Totapuri mango cultivars[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(2): 1047-1053.
- [3] MARÇAL S, PINTADO M. Mango peels as food ingredient/additive: Nutritional value, processing, safety and applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 114: 472-489.
- [4] VICENSSUTO G M, DE CASTRO R J S. Development of a novel probiotic milk product with enhanced antioxidant properties using mango peel as a fermentation substrate[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2020, 24: 101564.
- [5] KANATT S R, CHAWLA S P. Shelf life extension of chicken packed in active film developed with mango peel extract[J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(1): e12385.
- [6] PATHAK D, MAJUMDAR J, RAYCHAUDHURI U, et al. Characterization of physicochemical properties in whole wheat bread after incorporation of ripe mango peel[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2016, 10(3): 554-561.
- [7] HUANG R, XU C M. An overview of the perception and mitigation of astringency associated with phenolic compounds[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(1): 1036-1074.
- [8] 张英娜. 绿茶茶汤主要儿茶素呈味特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
ZHANG Yingna. Study on flavor characteristics of main catechins in green tea soup[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [9] FERRER-GALLEGO R, HERNÁNDEZ-HIERRO J M, RIVAS-GONZALO J C, et al. Sensory evaluation of bitterness and astringency sub-qualities of wine phenolic compounds: Synergistic effect and modulation by aromas[J]. Food Research International, 2014, 62: 1100-1107.
- [10] 张振文, 宁鹏飞, 张军贤, 等. 葡萄酒缩合单宁测定方法的比较研究[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 233-237.
ZHANG Zhenwen, NING Pengfei, ZHANG Junxian, et al. Comparison of two methods for the determination of condensed tannins in wine[J]. Food Science, 2012, 33(20): 233-237.
- [11] LI Z X, TENG J, LYU Y L, et al. Enhanced antioxidant activity for apple juice fermented with *Lactobacillus plantarum* ATCC14917[J]. Molecules, 2018, 24(1): 51.

- [12] LAN T, LV X R, ZHAO Q Y, et al. Optimization of strains for fermentation of kiwifruit juice and effects of mono- and mixed culture fermentation on its sensory and aroma profiles[J]. Food Chemistry: X, 2023, 17: 100595.
- [13] YU Y Y, XU Y J, LI L, et al. Isolation of lactic acid bacteria from Chinese pickle and evaluation of fermentation characteristics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 180: 114627.
- [14] SHI F F, WANG L, LI S R. Enhancement in the physicochemical properties, antioxidant activity, volatile compounds, and non-volatile compounds of watermelon juices through *Lactobacillus plantarum* JHT78 fermentation[J]. Food Chemistry, 2023, 420: 136146.
- [15] WANG L, LUO Y Y, ZHANG Y, et al. Quality analysis of ultra-fine whole pulp of bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis*) fermented by *Lactobacillus plantarum* and *Limosilactobacillus reuteri*[J]. Food Bioscience, 2023, 52: 102458.
- [16] LIU Y Y, SHENG J, LI J J, et al. Influence of lactic acid bacteria on physicochemical indexes, sensory and flavor characteristics of fermented sea buckthorn juice[J]. Food Bioscience, 2022, 46: 101519.
- [17] CAI W C, TANG F X, ZHAO X X, et al. Different lactic acid bacteria strains affecting the flavor profile of fermented jujube juice[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(9): 14095.
- [18] QIU L Q, ZHANG M, CHANG L. Effects of lactic acid bacteria fermentation on the phytochemicals content, taste and aroma of blended edible rose and shiitake beverage[J]. Food Chemistry, 2023, 405: 134722.
- [19] LAOPHONGPHIT A, SIRIPORNADULSIL S, SIRIPORNADULSIL W. Improvements in the functions of probiotic-based mango pulp rich in phenolic and proline antioxidants by treatment with pectinase and fermentation with lactic acid bacteria[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 181: 114756.
- [20] WU C Y, LI T L, QI J, et al. Effects of lactic acid fermentation-based biotransformation on phenolic profiles, antioxidant capacity and flavor volatiles of apple juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 122: 109064.
- [21] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAZKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. Sensors, 2010, 10(4): 3411-3443.
- [22] 余远江. 五种广西优势水产原料及其油炸制品的风味特征研究[D]. 南宁: 广西大学, 2021.
- YU Yuanjiang. Study on flavor characteristics of five dominant aquatic raw materials and their fried products in Guangxi[D]. Nanning: Guangxi University, 2021.
- [23] ENGLEZOS V, CACHÓN D C, RANTSIOU K, et al. Effect of mixed species alcoholic fermentation on growth and malolactic activity of lactic acid bacteria[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2019, 103(18): 7687-7702.
- [24] QI J, HUANG H, WANG J, et al. Insights into the improvement of bioactive phytochemicals, antioxidant activities and flavor profiles in Chinese wolfberry juice by select lactic acid bacteria[J]. Food Bioscience, 2021, 43: 101264.
- [25] OTHMAN N B, ROBLAIN D, CHAMMEN N, et al. Antioxidant phenolic compounds loss during the fermentation of Chétoui olives [J]. Food Chemistry, 2009, 116(3): 662-669.
- [26] CAI Y Z, LUO Q, CORKE H. Structure-radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants[J]. Life Sciences, 2006, 78(25): 2872-2888.
- [27] LAO Y Y, ZHANG M, LI Z Q, et al. A novel combination of enzymatic hydrolysis and fermentation: Effects on the flavor and nutritional quality of fermented *Cordyceps militaris* beverage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 120: 108934.
- [28] LIANG X G, LI B, WU F, et al. Bitterness and antibacterial activities of constituents from *Evodia rutaecarpa*[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2017, 17(1): 180.
- [29] 李姝琪, 郭晓梦, 张惠玲. 不同发酵条件对欧李酒多酚含量及苦味的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 6-10.
- LI Shuqi, GUO Xiaomeng, ZHANG Huiling. Effects of different fermentation conditions on polyphenol content and bitter tasting in plum wine[J]. Food Industry, 2021, 42(12): 6-10.
- [30] 代丽凤, 罗理勇, 罗江琼, 等. 植物苦味物质概况及其在食品工业的应用[J]. 中国食品学报, 2020, 20(11): 305-318.
- DAI Lifeng, LUO Liyong, LUO Jiangqiong, et al. Overview of bitter substances in plants and their application in food industry[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(11): 305-318.
- [31] XU Y Q, ZHANG Y N, CHEN J X, et al. Quantitative analyses of the bitterness and astringency of catechins from green tea[J]. Food Chemistry, 2018, 258: 16-24.

责任编辑: 冯娜

收稿日期: 2023-12-27