

植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋理化特性及感官品质的影响

胡秦佳宝^{1,2}, 陈庆金^{1,2}, 麦馨允^{1,2}, 刘彩华^{1,2}, 陈英威¹, 杜林³, 朱正杰^{1,2*}
(1.百色学院农业与食品工程学院, 广西百色 533000;
2.广西芒果生物学重点实验室, 亚热带特色农业产业学院, 广西百色 533000;
3.百色学院土木建筑工程学院, 广西百色 533000)

摘要: 以广西百色当地金煌芒果为原料, 以酿酒酵母为酒精发酵菌种, 沪酿1.01和AS1.41为醋酸发酵菌种, 研究了植物乳杆菌LP 90在酒精发酵阶段和醋酸发酵阶段分别进行混菌组合发酵对芒果醋品质的影响。对6组芒果醋样品的抗坏血酸、总酚、抗氧化能力、色差、透光率、还原糖、游离氨基酸、有机酸含量进行测定分析, 并利用电子舌对果醋滋味进行综合分析。结果表明, 植物乳杆菌LP 90在酒精发酵阶段与酿酒酵母组合发酵可以显著提高芒果醋抗氧化能力, 并使芒果醋本身特有黄色加深。未添加植物乳杆菌参与发酵的样品颜色更亮, 透光率更高, 抗坏血酸、还原糖及总氨基酸含量总体高于混菌组合发酵样品。植物乳杆菌混菌组合发酵芒果醋中有机酸味觉活性值(Taste activity value, TAV)明显高于非混菌组合发酵芒果醋, 并增强了呈味有机酸对芒果醋滋味的影响, 与电子舌结果相符。

关键词: 芒果醋; 植物乳杆菌; 理化特性; 感官品质

中图分类号: TS 275.4 文献标志码: A 文章编号: 1005-9989(2024)02-0090-08

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2024.02.016

Effects of Mixed *Lactobacillus plantarum* Fermentation on Physicochemical Properties and Sensory Quality of Mango Vinegar

HU Qinjiabao^{1,2}, CHEN Qingjin^{1,2}, MAI Xinyun^{1,2}, LIU Caihua^{1,2}, CHEN Yingwei¹,
DU Lin³, ZHU Zhengjie^{1,2*}

(1.College of Agriculture and Food Engineering, Baise University, Baise 533000, China;
2.Guangxi Key Laboratory of Biology for Mango, Industrial College of Subtropical
Characteristic Agriculture, Baise 533000, China; 3.College of Civil Engineering and
Architecture, Baise University, Baise 533000, China)

收稿日期: 2023-08-14

*通信作者

基金项目: 广西一流学科建设项目(桂教科研[2022]1号); 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0736); 广西大学生创新创业训练计划项目(202210609062, 202210609169)。

作者简介: 胡秦佳宝(1990—), 女, 辽宁沈阳人, 讲师, 研究方向为发酵工程。

Abstract: The effects of *Lactobacillus plantarum* 90 on the quality of mango vinegar were investigated in the alcohol fermentation stage and the acetic acid fermentation stage, respectively, using Jinhuang mango as the raw material, *Saccharomyces cerevisiae* as the alcohol fermentation strain, Huniang 1.01 and AS1.41 as the acetic acid fermentation strain. The contents of vitamin C, total phenol, antioxidant capacity, color, light transmittance, reducing sugar, free amino acid and organic acid of six groups of mango vinegar samples were determined and analyzed and the taste of fruit vinegar was analyzed by electronic tongue. The results showed that the combined fermentation of *L. plantarum* 90 and *S. cerevisiae* in alcohol fermentation stage could significantly improve the antioxidant capacity of mango vinegar, and itself had a deep yellow color. The samples without *L. plantarum* 90 involved in fermentation had brighter color, higher light transmission rate, and the contents of vitamin C, reducing sugar and total amino acids were generally higher than those of the combined fermentation samples. The taste activity value (TAV) of organic acids in mango vinegar fermented by *L. plantarum* 90 mixture was significantly higher than that by non-mixed fermentation, and the effect of organic acids on the taste of mango vinegar was enhanced, which was consistent with the results of electronic tongue.

Key words: mango vinegar; *Lactobacillus plantarum*; physicochemical properties; sensory quality

0 引言

芒果(*Mangifera indica* L.)属漆树科芒果属常绿乔木, 果肉具有特殊风味, 滋味甘甜醇厚, 含有有机酸、多酚、维生素、矿物质、胡萝卜素等多种营养物质, 具有较高食用价值^[1]。但其属于呼吸跃变型果实^[2], 采收正值夏秋季采后迅速后熟, 易腐烂, 且对低温敏感, 易遭受冷害。因此, 开展芒果深层次加工和多品种开发, 是芒果产业适应市场需求、提高经济效益的重要任务。芒果具有独特的风味, 富含果糖、蔗糖、葡萄糖、多酚和有机酸, 是制作果醋的理想原料^[3]。果醋是一种调味品, 也是一种功能性饮料, 是由水果和水果剩余物经酵母和醋酸菌发酵而成^[4]。果醋含有有机酸、芳香酯、维生素和氨基酸, 不仅风味柔和怡人且具有调节肠道菌群、抗氧化、促进心脑血管健康等多种功效^[5]。因此, 芒果醋的生产符合当前对健康饮料和调味品的需求。

食品发酵后可形成和积累风味物质, 包括挥发性风味物质(醛类、醇类和酯类等)和非挥发性风味物质(糖类、有机酸、氨基酸和核苷酸等), 分别是发酵食品风味和滋味的重要贡献者, 其种类与发酵菌种代谢密切相关。乳酸菌在发酵过程可生成酸类、醇类、氨基酸和多肽等物质, 是发酵食品中酸味和鲜味的主要来源^[6]。黄杰等^[7]研究发现, 采用乳酸菌与醋酸菌进行混菌发酵会交互影响菌株代谢并获得新产物, 主要包括酮类和酯类, 不仅能够使果醋酸味柔和, 还可提高醋酸

含量并提升风味。在先前的研究中^[8-9], 植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)多用于果酒酒精发酵过程中苹果酸-乳酸发酵(Malolactic fermentation, MLF), 对果酒色泽改善和风味提升具有显著作用。除此之外, 在泡菜、发酵茶、发酵乳制品、发酵果汁等方面也有较多应用。但植物乳杆菌在果醋中的应用及在不同发酵阶段参与混菌发酵对果醋品质的影响研究较少。

本研究以八分熟金煌芒为原料, 采用沪酿1.01和AS1.41这2种常用果醋酿造醋酸菌种, 并在酒精发酵和醋酸发酵阶段分别接种植物乳杆菌进行混菌组合发酵制得6种芒果醋。通过比较不同发酵组合处理对芒果醋抗坏血酸、总酚、抗氧化能力、色差、透光率、还原糖、游离氨基酸、有机酸含量等理化特性和感官品质的影响, 为芒果醋产业化技术研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

芒果(金煌): 市售; *L*-抗坏血酸、柠檬酸: 食品级, 河南万邦实业有限公司; 果胶酶(食品级, 酶活力为30000 U/g): 山东隆科特酶制剂有限公司; 酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*): 安琪酵母股份有限公司; 沪酿1.01醋酸菌、AS1.41醋酸菌: 上海迪发酿造生物制品有限公司; 植物乳杆菌*L. plantarum* 90(Lp 90): 微康益生菌(苏州)股份有限公司; MRS(Man-Rogosa-Sharpe)肉汤培养基、MRS琼脂培养基: 杭州百思生物技术有限公

司；甲醇：色谱纯，德国Merck公司；乙腈：色谱纯，美国Sigma公司；甲酸、有机酸标准品：色谱纯，美国Sigma-Aldrich公司；所有实验用水均为超纯水。

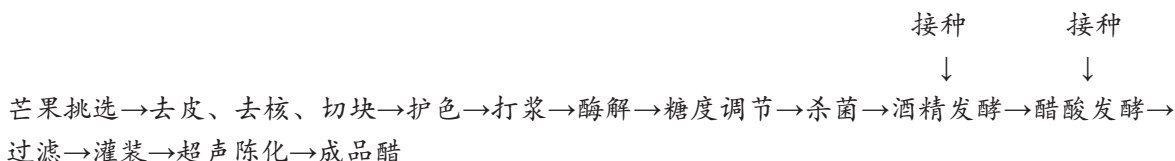
1.2 主要仪器与设备

HH-4数显恒温水浴锅：国华电器有限公司；LRH-250A生化培养箱：韶关市泰宏医疗器械有限公司；LB50T糖度计：广州铭睿电子科技有限公司；JY69-IIN超声波细胞粉碎机：宁波新芝生物

科技股份有限公司；25×16型血球计数板：上海荣鹏信息科技有限公司；NR200色差仪：广东三恩时智能科技有限公司；SCIEX QTRAP 6500+液相-质谱联用仪：美国SCIEX公司；A300全自动氨基酸分析仪：德国曼默博尔公司；TS-500Z型电子舌味觉分析系统：日本Insent公司。

1.3 实验条件

1.3.1 植物乳杆菌混菌发酵芒果醋工艺流程及操作要点



护色：0.15%柠檬酸及0.1%抗坏血酸护色液中护色10 min。

酶解：果浆总体积0.03%(m/V)的果胶酶，45℃酶解4 h。

糖度调节：使用浓度50%经杀菌的蔗糖溶液将果浆可溶性固形物含量调至16%。

杀菌：75℃杀菌10 min。

本实验采用2种醋酸菌及分别在酒精发酵和醋酸发酵阶段选择性接种植物乳杆菌LP 90制备6种芒果醋，其代号及接种发酵菌种方案如表1所示。

酒精发酵：200 mL经处理后的芒果浆如表1所示选择性接入5%(V/V)酿酒酵母种子液及5%(V/V)植物乳杆菌种子液，25℃恒温密封培养，期间定期排气，当可溶性固形物含量基本保持稳定时，视作发酵完成。

醋酸发酵：如表1所示，选择性接入8%(V/V)醋酸菌种子液及5%(V/V)植物乳杆菌种子液，4层纱布封口，32℃、200 r/min通氧振荡培养10 d。

超声陈化：超声功率300 W、1 h。

表1 不同发酵阶段混菌组合发酵芒果醋菌种接种方案

发酵阶段	酒精发酵	醋酸发酵
CK1	酿酒酵母	沪酿1.01
CK2	酿酒酵母	AS1.41
AL1	酿酒酵母及LP 90	沪酿1.01
AL2	酿酒酵母及LP 90	AS1.41
BL1	酿酒酵母	沪酿1.01及LP 90
BL2	酿酒酵母	AS1.41及LP 90

1.3.2 菌种活化 植物乳杆菌LP 90活化^[10-11]：挑取植物乳杆菌接种于MRS固体斜面培养基，于37℃恒温活化培养24 h，连续传代2次后，选取单菌落接种于MRS液体培养基中，于37℃活化培养24 h，得活化好的植物乳杆菌种子液，备用。使用前用血球计数板计数并调整，使菌液浓度为10⁶ CFU/mL。

酿酒酵母活化^[10]：取0.1 g酿酒酵母于100 mL质量分数4%、经0.05 MPa(110℃)灭菌30 min的葡萄糖溶液中，于30℃、250 r/min恒温振荡培养1.5 h得到酿酒酵母种子液。接种前用血球计数板计数并调整，使菌液浓度为10⁶ CFU/mL。

醋酸菌活化：挑取醋酸菌经固体斜面活化培养基划线培养活化24 h，连续传代2次后，选取单菌落接种于液体活化培养基，使用4层纱布封口，32℃、220 r/min振荡培养30 h得到醋酸菌种子液。接种前用血球计数板计数并调整，使菌液浓度达到10⁶ CFU/mL。

1.3.3 植物乳杆菌混菌发酵芒果醋理化指标测定

1.3.3.1 抗坏血酸(Ascorbic acid, VC) 参考GB 5009.86—2016《食品中抗坏血酸的测定》。

1.3.3.2 总酚 采用福林-酚法^[12]。取0.5 mL样品，加入1 mL质量分数为10%的福林-酚显色剂。6 min后，加入2 mL质量分数为7.5%的Na₂CO₃溶液，用蒸馏水定容至10 mL，于75℃避光反应10 min，并于765 nm波长下测定其吸光度。样品总酚含量以100 mL样品中没食子酸的当量(mg GAE/100 mL)表示。

1.3.3.3 抗氧化能力 采用2,2-联氨-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS)阳离子自由基和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力测定法^[13]。

1.3.4 植物乳杆菌混菌发酵芒果醋感官指标测定

1.3.4.1 色差及透光率测定 色差:参照谢浩鹏等^[14]的测定方法,使用色差仪对不同组别样品的 L^* 值和 b^* 值进行测定。其中 L^* 值代表亮度值, b^* 值代表黄蓝值。

透光率:分光光度法,在680 nm波长下测定透光值^[15]。

1.3.4.2 还原糖 采用3,5-二硝基水杨酸(3,5-Dinitrosalicylic acid, DNS)比色法^[16]。取2 mL稀释后的提取液,加入1.5 mL DNS试剂,摇匀,沸水浴加热5 min,冷却至室温,于540 nm波长下测定吸光度。以标准曲线计算还原糖含量。

1.3.4.3 游离氨基酸测定 参考GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》。

1.3.4.4 有机酸测定及滋味活性值(Taste activity value, TAV)分析

(1)有机酸测定:参考GB 5009.157—2016《食品中有机酸的测定》中的液相色谱串联质谱法(Liquid chromatography with mass spectrometry, LC-MS/MS)。样品前处理:取样品50 μ L,加入250 μ L 20%乙腈甲醇提取液,4 $^{\circ}$ C下12000 r/min离心10 min,吸取上清液于-20 $^{\circ}$ C静置30min后再次于4 $^{\circ}$ C下12000 r/min离心10 min,吸取上清液得到待测液。液相条件:色谱柱为ACQUITY HSS T3柱(1.8 μ m, 100 mm \times 2.1 mm i.d.),流速0.35 mL/min,柱温40 $^{\circ}$ C,进样量2 μ L;流动相:A相,超纯水(0.05%甲酸);B相,乙腈(0.05%甲酸)。质谱条件:电喷雾离子源(Electrospray Ionization, ESI)温度550 $^{\circ}$ C,正离子模式下质谱电压5500 V,负离子模式下质谱电压-4500 V,气帘气(Curtain Gas, CUR)241.32 kPa。

(2)TAV分析^[17]:水溶性滋味物质味道强度值的计算公式为:

$$TAV=C/T$$

式中:TAV为味道强度值;

T为滋味物质的阈值,mg/100 g;

C为滋味物质的绝对浓度值,mg/100 g。

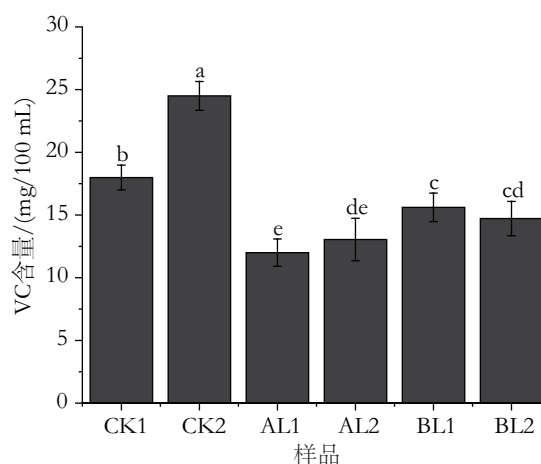
1.3.5 电子舌分析 参考于博等^[18]的方法,对不同组别的样品进行滋味分析。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2010进行数据处理,Origin 2022绘制柱状图及雷达图,显著性分析使用IBM SPSS 17.0软件,实验重复次数为3次,结果表示为平均值 \pm 标准偏差。

2 结果与分析

2.1 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋VC含量的影响



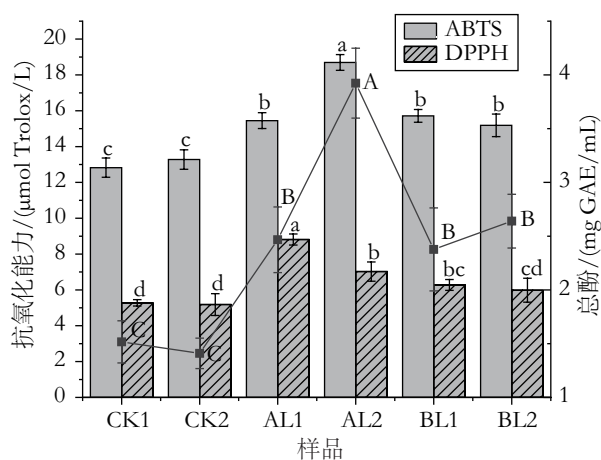
注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。图3同。

图1 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋VC含量的影响

VC是果蔬制品中重要的品质指标,但在果蔬原汁中易受光、热影响而分解。如图1所示,当无植物乳杆菌LP 90参与混菌组合发酵时,以AS 1.41作为醋酸发酵菌种时,芒果醋样品VC含量为24.5 mg/100 mL,显著高于其他样品($P < 0.05$)。研究表明,植物乳杆菌发酵会增加抗坏血酸氧化酶活性^[19],经植物乳杆菌发酵的柑果类果汁VC含量会显著下降^[20],可能是导致本研究中植物乳杆菌LP 90参与发酵后芒果醋(AL1、AL2、BL1、BL2)中VC含量显著低于不添加植物乳杆菌LP 90的单一菌种发酵芒果醋的原因($P < 0.05$)。

2.2 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋总酚含量及抗氧化能力的影响

酚类物质是果蔬制品中的重要抗氧化活性成分,其参与形成果汁感官品质,易受到多种因素的影响发生降解。由图2所示,AL2的总酚含量(3.92 mg GAE/mL)及ABTS阳离子自由基清除能力(18.70 μ mol Trolox/L)显著高于其他样品($P < 0.05$),



注：同指标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

图2 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋总酚含量及抗氧化能力的影响

AL1的DPPH自由基清除能力($8.81 \mu\text{mol Trolox/L}$)地显著高于其他样品($P < 0.05$)。作为对照组未接种植物乳杆菌LP 90的对照组CK1及CK2,其ABTS阳离子自由基清除能力、DPPH自由基清除能力及总酚含量均显著小于植物乳杆菌混菌组合发酵样品($P < 0.05$)。除AL1、AL2之外,沪酿1.01和AS1.41 2种醋酸菌对芒果醋样品的抗氧化能力及总酚含量影响较小。

植物乳杆菌LP90在酒精发酵阶段与酿酒酵母组合发酵可以显著提高芒果醋抗氧化能力。植物乳杆菌代谢过程中会产生酚酸酯酶、 β -半乳糖苷酶等^[21],催化从原料的结合糖中释放酚类化合物,增加了酚类物质的含量。此外乳酸菌参与醋酸发酵降低发酵体系pH值,增加了酚类物质稳定性^[21]。JIN X F等^[22]将植物乳杆菌和酿酒酵母组合发酵芒果浆,与单菌种发酵相比,总酚含量最高,ABTS阳离子自由基清除能力、铁还原抗氧化能力(Ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)和低密度脂蛋白(Low-density lipoprotein, LDL)氧化抑制能力最强,与上述实验结果相符。

2.3 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋色差及透光率的影响

果蔬制品的色泽和透光率是影响消费者购买的重要因素之一。如表2所示,未添加植物乳杆菌参与发酵的2种样品(CK1, CK2) L^* 值和透光率显著高于其他4种样品($P < 0.05$),颜色更加明亮,同一过滤条件下沉淀物更少。AL1及AL2样品 b^* 值显著高于其他4种样品($P < 0.05$),芒果本身特有的黄色更深。刘秋豆等^[23]研究发现植物乳杆菌发酵后的芒果汁 L^* 值、 b^* 值增大,芒果汁在发酵后黄色加

深,颜色与原汁差异较大且颜色更亮。

表2 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋色差及透光率的影响

样品编号	L^* 值	b^* 值	透光率/%
CK1	26.26 ± 1.02^a	10.07 ± 0.17^c	84.08 ± 0.44^a
CK2	27.07 ± 0.25^a	9.50 ± 0.25^d	84.43 ± 0.53^a
AL1	21.97 ± 0.50^d	12.57 ± 0.36^a	81.05 ± 0.61^c
AL2	23.13 ± 0.22^c	12.64 ± 0.26^a	82.19 ± 0.65^{bc}
BL1	24.73 ± 0.28^b	11.53 ± 0.27^b	82.41 ± 1.06^b
BL2	25.22 ± 0.30^b	11.55 ± 0.26^b	81.91 ± 0.11^{bc}

注：同列数字肩标小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。表3同。

2.4 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋还原糖含量的影响

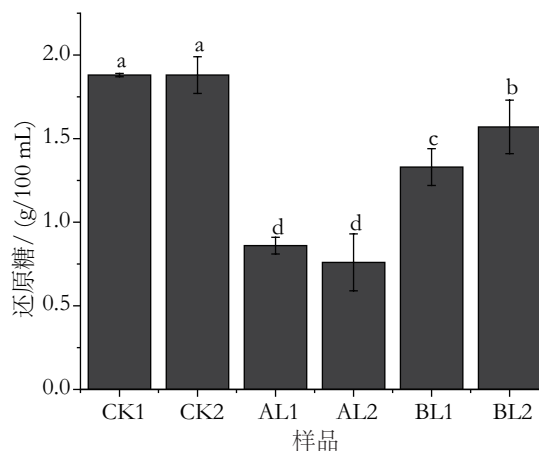


图3 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋还原糖含量的影响

大部分植物乳杆菌在发酵过程中会消耗果汁中的可溶性糖类,使总糖含量降低,并产生代谢产物^[24]。如图3所示,AL1及AL2中还原糖含量显著低于其他4种样品($P < 0.05$)。果汁酒精发酵过程中会伴随苹果酸乳酸发酵,在乳酸菌的作用下将苹果酸转化为乳酸。有报道称,该过程会促使还原糖转化为挥发性酸^[25]。在苹果酸乳酸反应结束后,植物乳杆菌仍能代谢残余的糖生成乳酸^[26]。基于以上原因,可能导致在酒精发酵阶段添加植物乳杆菌LP 90参与酿酒酵母的组合混菌发酵,导致果醋样品中还原糖含量降低。

2.5 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋游离氨基酸呈味效果的影响

根据游离态氨基酸的呈味特征,将本实验测定出的游离氨基酸分为甜味氨基酸:苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、

脯氨酸(Pro)、组氨酸(His); 苦味氨基酸: 亮氨酸(Leu)、异亮氨酸(Ile)、缬氨酸(Val)、精氨酸(Arg); 鲜味氨基酸: 天门冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、赖氨酸(Lys); 芳香族氨基酸: 酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)^[27]。如表3所示, 6种芒果醋样品中, 加入植物乳杆菌LP90参与组合发酵的样

品各类呈味氨基酸含量及总氨基酸含量较低。总体上看, 在醋酸发酵阶段添加LP90并与沪酿1.01组合发酵芒果醋样品BL1的总氨基酸含量(1299.50 mg/kg)及各类呈味氨基酸含量最低。6种芒果醋样品中, 各类呈味氨基酸所占比例从大到小依次为甜味氨基酸>鲜味氨基酸>苦味氨基酸>

表3 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋游离氨基酸呈味的影响 mg/kg

名称	呈味氨基酸总含量	甜味氨基酸	苦味氨基酸	鲜味氨基酸	芳香氨基酸
CK1	1966.67±8.50 ^b	668.33±5.13 ^b	505.67±5.51 ^b	613.33±8.50 ^b	179.33±1.15 ^b
CK2	2100.33±21.78 ^a	706.33±3.79 ^a	552.33±12.01 ^a	644.33±11.15 ^a	197.33±3.06 ^a
AL1	1586.33±8.96 ^d	558.00±1.00 ^d	407.00±4.58 ^d	489.00±9.54 ^c	132.33±4.73 ^d
AL2	1524.33±11.37 ^c	521.33±2.31 ^c	394.67±6.66 ^d	472.00±2.65 ^d	136.33±4.73 ^d
BL1	1299.50±21.23 ^f	443.50±6.06 ^f	335.67±5.13 ^c	400.33±9.50 ^e	120.00±2.65 ^e
BL2	1695.67±17.01 ^c	572.33±3.06 ^c	447.33±6.66 ^c	513.33±5.77 ^c	162.67±2.08 ^e

芳香氨基酸。

2.6 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋有机酸TAV值的影响

有机酸是醋的主要风味化合物, 其组成、含量与果醋的感官品质密切相关。研究表明, 乳杆菌除了参与酒精发酵后期的苹果酸-乳酸代谢, 在醋酸发酵时期, 还会与醋酸杆菌促成乙酰-磷酸途径和丙酮酸途径代谢乙酸和乳酸^[28]。对植物乳杆菌混菌组合发酵芒果醋样品有机酸种类及含量进

行鉴定和分析, 共测定出17种有机酸, 通过它们对应的味觉阈值计算出各有机酸的TAV值, 结果如表4所示。TAV是水溶性物质的滋味活性值, 一般认为TAV值大于1表明化合物对滋味有显著贡献, TAV值越大贡献越大。在植物乳杆菌混菌组合发酵芒果醋样品中, TAV值大于1的有机酸有14种, 其中11种在6种芒果醋样品中TAV值均大于1。TAV值从大至小依次为乙酸>L-苹果酸>琥珀酸>酒石酸>甲基丁二酸>顺式-乌头酸>没食子酸>γ-

表4 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋有机酸TAV值的影响

序号	化合物	味觉阈值 ^[29] (mg/100 mL)	TAV值					
			CK1	CK2	AL1	AL2	BL1	BL2
1	乙酸	10.60	184.49±12.33 ^c	174.49±14.27 ^c	237.69±14.31 ^a	212.96±5.58 ^b	210.61±6.74 ^b	206.65±1.98 ^b
2	咖啡酸	1.30	0.55±0.11 ^b	0.53±0.10 ^b	0.84±0.13 ^b	1.28±0.13 ^a	1.44±0.34 ^a	1.51±0.29 ^a
3	没食子酸	4.00	12.65±2.02 ^a	11.65±2.54 ^a	6.07±0.36 ^b	11.10±2.01 ^a	11.72±1.00 ^a	11.59±1.91 ^a
4	戊二酸	41.00	0.39±0.03 ^b	0.41±0.05 ^b	0.53±0.05 ^a	0.40±0.04 ^b	0.38±0.02 ^b	0.38±0.01 ^b
5	γ-氨基丁酸	4.00	8.26±1.25 ^a	7.80±0.86 ^a	7.10±0.14 ^a	7.97±1.14 ^a	6.96±0.62 ^a	7.35±0.37 ^a
6	对羟基苯甲酸	9.20	3.11±0.71 ^a	3.23±1.29 ^a	4.48±1.00 ^a	3.68±0.70 ^a	3.40±0.09 ^a	3.63±0.93 ^a
7	L-苹果酸	5.00	138.15±17.07 ^{ab}	151.73±11.89 ^a	7.35±1.58 ^c	52.37±11.57 ^d	110.27±9.91 ^c	125.05±7.64 ^{bc}
8	苯甲酸	34.00	0.08±0.03 ^a	0.06±0.02 ^a	0.11±0.04 ^a	0.08±0.01 ^a	0.10±0.06 ^a	0.09±0.03 ^a
9	顺式-乌头酸	5.00	14.58±1.10 ^b	14.71±0.66 ^{ab}	17.33±3.17 ^a	14.32±0.47 ^b	14.48±0.12 ^b	13.95±1.05 ^b
10	阿魏酸	1.30	0.54±0.20 ^b	0.53±0.18 ^b	3.23±1.02 ^a	3.44±0.77 ^a	3.14±0.79 ^a	4.26±1.38 ^a
11	3-吡啶乙酸	0.18	2.73±0.51 ^b	2.59±0.57 ^b	21.07±1.88 ^a	5.60±4.27 ^b	3.41±1.70 ^b	2.43±0.23 ^b
12	乳酸	126.00	0.63±0.18 ^c	1.21±0.13 ^c	16.36±1.17 ^a	2.60±0.86 ^b	0.89±0.10 ^c	1.27±0.24 ^c
13	L-焦谷氨酸	50.00	0.25±0.05 ^b	0.23±0.02 ^b	0.40±0.11 ^a	0.26±0.02 ^b	0.24±0.03 ^b	0.25±0.02 ^b
14	丙酮酸	30.00	2.21±0.37 ^a	2.15±0.18 ^{ab}	1.89±0.08 ^{ab}	1.81±0.12 ^b	1.91±0.14 ^{ab}	1.89±0.11 ^{ab}
15	琥珀酸	10.60	75.22±8.43 ^a	76.68±8.38 ^a	72.22±7.26 ^a	70.74±5.53 ^a	73.15±7.94 ^a	69.69±3.31 ^a
16	酒石酸	1.50	26.90±0.41 ^b	26.69±0.30 ^b	27.87±0.93 ^a	26.85±0.17 ^b	26.86±0.23 ^b	26.76±0.31 ^b
17	甲基丁二酸	0.07	22.14±2.44 ^b	22.67±3.64 ^{ab}	21.90±3.97 ^b	28.29±1.95 ^a	20.00±2.71 ^b	23.75±2.94 ^{ab}

注: 同行数字肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

氨基丁酸>对羟基苯甲酸>3-吲哚乙酸>丙酮酸。3种有机酸在部分处理样品中TAV值大于1,分别是咖啡酸、阿魏酸及乳酸。其中,咖啡酸的TAV值大于1的样品为AL2、BL1、BL2,阿魏酸的TAV值大于1的样品为AL1、AL2、BL1、BL2。植物乳杆菌发酵产生的有机酸与发酵产生的挥发性物质(酯、醇、酸、烯炔、醛、酮类等)相互作用,影响果汁的感官品质。但并非所有植物乳杆菌发酵都会利用糖类来代谢产生酸,也有少部分通过代谢苹果酸、柠檬酸等产生乳酸。这可能与果汁的糖酸组成以及发酵所用益生菌的特性有关系。植物乳杆菌对不同果汁基质进行发酵时消耗碳源使总糖降低来生成有机酸使pH值降低^[24]。

2.7 植物乳杆菌混菌组合发酵对芒果醋滋味的影响

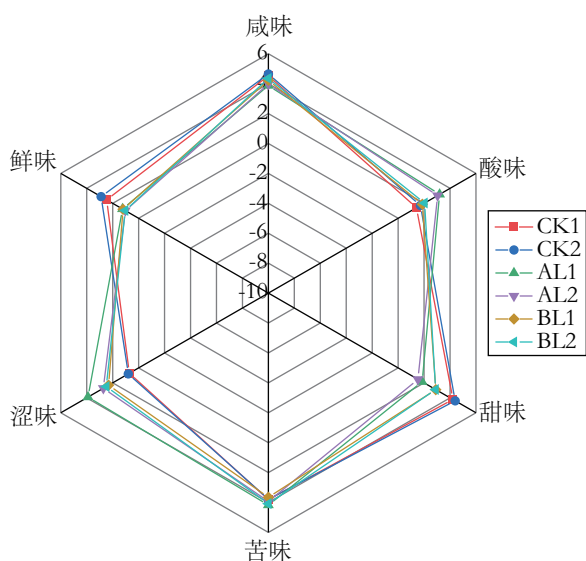


图4 植物乳杆菌混菌组合发酵芒果醋滋味雷达图

配备模拟人类味觉的传感器探针的电子舌已广泛应用于味觉评价,可以很好地排除感官评价的主观性^[30]。咸味、酸味、甜味、苦味、涩味及鲜味6种味觉传感器的响应变化雷达图如图4所示。图中坐标轴的含义是滋味的强度。由图4可知,6种芒果醋样品咸味和苦味强度差异较小;未添加植物乳杆菌参与组合发酵的2个芒果醋样品(CK1, CK2)的甜味值及鲜味值最大,AL1和AL2的酸味值高于其他样品,与还原糖、呈味氨基酸含量、有机酸含量测定结果相符。

3 结论

采用植物乳杆菌LP 90混菌组合发酵芒果醋

的VC、还原糖及总氨基酸含量均低于无LP 90参与发酵的芒果醋样品。LP 90在酒精发酵阶段与酿酒酵母组合发酵可以显著提高芒果醋抗氧化能力,并加深芒果醋样品本身特有的黄色,但未添加LP 90参与发酵的样品颜色更亮,透光率更高。此外,采用LP 90混菌组合发酵的芒果醋中有机酸TAV值明显高于无LP 90参与发酵的芒果醋,且增强了呈味有机酸对芒果醋滋味的影响,电子舌结果验证了以上结论。但沪酿1.01及AS1.41 2种醋酸菌对芒果醋的理化特性及感官品质影响不大。综上,植物乳杆菌LP 90对芒果醋的抗氧化能力及滋味均有正向作用。下一步可深入研究关于植物乳杆菌参与混菌组合发酵芒果醋中,VC、还原糖及总氨基酸的转化代谢通路及风味物质的转化。研究结果可为进一步开发芒果醋混菌组合发酵提供理论数据基础。

参考文献:

- [1] 张业歆,刘家粮,潘永贵,等.氯吡苯脲浸泡处理延缓采后芒果成熟和软化的生理机制[J].食品科学,2021,42(19):234-241.
- [2] BURG S P, BURG E A. Role of ethylene in fruit ripening[J]. Plant Physiology,1962,37(2):179-189.
- [3] CHILAKALA S, MEHTAB V, TALLAPALLY M, et al. SEC-MS/MS determination of amino acids from mango fruits and application of the method for studying amino acid perturbations due to post harvest ripening[J]. LWT-Food Science and Technology,2021,138:110680.
- [4] CHEN Y, BAI Y, LI D S, et al. Improvement of the flavor and quality of watermelon vinegar by high ethanol fermentation using ethanol-tolerant acetic acid bacteria[J]. International Journal of Food Engineering,2017,13(4):2-13.
- [5] CHANG R C, LEE H C, OU S M. Investigation of the physicochemical properties of concentrated fruit vinegar[J]. Journal of Food and Drug Analysis,2005,13(4):9.
- [6] 覃芳丽,邹宇晓,王思远,等.发酵食品的滋味特性及其形成机制研究进展[J/OL].食品与发酵工业,https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036406.
- [7] 黄杰,郭芳敏,孙钦菊,等.混菌发酵香蕉醋的工艺优化及抗氧化活性研究[J].食品科技,2023,48(4):98-103.
- [8] ZHANG S R, XING X, CHU Q, et al. Impact of co-culture of *Lactobacillus plantarum* and *Oenococcus oeni* at different ratios on malolactic fermentation, volatile and sensory characteristics of mulberry wine[J]. LWT-Food Science and Technology,2022,169:113995.
- [9] WANG S Y, LI S Y, ZHAO H F, et al. Acetaldehyde released by *Lactobacillus plantarum* enhances accumulation of pyranoanthocyanins in wine during malolactic fermentation[J].

- Food Research International,2018,108:254-263.
- [10] 易鑫,谈安群,欧阳祝,等.植物乳杆菌混菌发酵对梁平柚果酒理化性质及风味影响[J].食品与发酵工业,2021,47(11):180-187.
- [11] 丁诗瑶,雷文平,刘成国,等.不同来源植物乳杆菌的益生特性研究[J].中国乳品工业,2021,49(1):20-24.
- [12] BOIVIN D, LAMY S, DUFOUR S L, et al. Antiproliferative and antioxidant activities of common vegetables: a comparative study[J]. Food Chemistry,2009,112:374-380.
- [13] 胡泰佳宝,刘璇,毕金峰,等.非热加工与传统热处理对苹果汁品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(1):102-107.
- [14] 谢浩鹏,刘帮迪,郭雪霞,等.钙盐结合糖溶液渗透脱水处理对4种小菜果反复冷冻融化品质的影响[J].保鲜与加工,2023,23(7):8-18.
- [15] 杜国军,张芳菲,HANHINEVA K.沙果、猕猴桃复合果醋酿制工艺的研究[J].中国调味品,2018,43(4):137-139.
- [16] 赵凯,许鹏举,谷广焯.3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J].食品科学,2008,29(8):534-536.
- [17] 咎沛清.腌制方法和熟制方式对咸鸭蛋品质的影响[D].上海:上海海洋大学,2022.
- [18] 于博,郭壮,汤尚文,等.不同发酵时间米酒滋味品质变化的研究[J].食品研究与开发,2015,36(10):15-18.
- [19] ADETUYI F O, IBRAHIM T A. Effect of fermentation time on the phenolic, flavonoid and vitamin C contents and antioxidant activities of okra (*Abelmoschus esculentus*) seeds[J]. Nigerian Food Journal,2014,32(2):128-137.
- [20] MULTARI S, CARAFA I, BARP L, et al. Effects of *Lactobacillus* spp. on the phytochemical composition of juices from two varieties of *Citrus sinensis* L. Osbeck: 'Tarocco' and 'Washington navel' [J]. LWT-Food Science and Technology,2020,125:109205.
- [21] MANTZOURANI I, KAZAKOS S, TERPOU A, et al. Potential of the probiotic *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917 strain to produce functional fermented pomegranate juice[J]. Foods,2019,8(1):4.
- [22] JIN X F, CHEN W X, CHEN H M, et al. Combination of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* DV10 as starter culture to produce mango slurry: microbiological, chemical parameters and antioxidant activity[J]. Molecules, 2019,24:4349.
- [23] 刘秋豆,胡凯,陈亚淑,等.益生菌芒果饮料加工和发酵过程中理化性质变化规律[J].华中农业大学学报,2019,38(3):89-96.
- [24] 赵沁雨,兰天,袁取予,等.植物乳杆菌发酵对果汁品质的影响研究概述[J].食品与发酵工业,2021,47(16):300-307.
- [25] LERM E, TOIT M D. Selection and characterisation of *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus plantarum* South African wine isolates for use as malolactic fermentation starter cultures[J]. South African Journal of Enology & Viticulture, 2011,32(2):280-295.
- [26] TOIT M D, ENGELBRECHT L, LERM E, et al. *Lactobacillus*: the next generation of malolactic fermentation starter cultures-an overview[J]. Food & Bioprocess Technology,2011,4(6):876-906.
- [27] LI Y, FEI C H, MAO C Q, et al. Physicochemical parameters combined flash GC e-nose and artificial neural network for quality and volatile characterization of vinegar with different brewing techniques[J]. Food Chemistry,2022,374:131658.
- [28] WU Y F, XIA M L, ZHAO N, et al. Metabolic profile of main organic acids and its regulatory mechanism in solid-state fermentation of Chinese cereal vinegar[J]. Food Research International,2021,145(1):110400.
- [29] 里奥·范海默特.化合物香味阈值汇编[M].北京:科学出版社,2015.
- [30] JIANG H Y, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Application of electronic tongue for fresh foods quality evaluation: a review[J]. Food Reviews International,2018,(9):746-769.

《食品科技》2024年每册25元，全年300元
 订 阅 热 线：010-81219912