

基于 GC-IMS 解析植物乳杆菌发酵对猕猴桃果汁挥发性物质的影响

李可^{1,2}, 朱永清¹, 邬应龙², 袁怀瑜¹, 潘翠萍¹, 周艳¹, 廖茂雯², 李华佳^{1*}

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610066) (2. 四川农业大学食品学院, 四川雅安 625014)

摘要:以“红阳”猕猴桃为试材, 通过气相迁移离子色谱 (gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS) 技术分析比较灭菌后果汁 (YL)、发酵对照组 (CK)、植物乳杆菌发酵果汁 (PL) 挥发性风味物质组成, 并采用偏最小二乘判别分析 (Partial least squares-discrimination analysis, PLS-DA) 筛选不同处理样品的差异物质, 探讨乳酸菌发酵对“红阳”猕猴桃汁挥发性风味物质组成的影响。结果表明, 该研究所选用菌株 (*Lactobacillus plantanum* B-1) 应用于猕猴桃果汁发酵在 24 h 内菌落数由 6.21 lg CFU/mL 快速上升至 8.60 lg CFU/mL, 总酸由原来的 0.60% 增加至 1.33%, 发酵性能良好。GC-IMS 结合 PLS-DA 分析结果表明, 植物乳杆菌发酵可提高(E)-2-己烯醛、己醇、芳樟醇、乙酸乙酯、丁酸乙酯、丙酮、4-庚酮、2-壬酮等含量, 增加果汁果香味, 减少 1,8-桉叶素、(E)-2-己烯醇、己醛等猕猴桃特征风味物质的损失, 抑制乙醇、糠醛等对风味产生不良影响的物质生成, 从而提升猕猴桃果汁风味品质。该研究为植物乳杆菌在猕猴桃果汁产品中应用提供了理论支撑。

关键词: 植物乳杆菌; 猕猴桃汁; 气相迁移离子谱 (GC-IMS); 最小二乘判别分析 (PLS-DA); 挥发性物质

文章编号: 1673-9078(2022)05-254-260

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.5.0913

Effect of *Lactobacillus plantanum* Fermentation on the Flavor of Kiwifruit Juice by GC-IMS

LI Ke^{1,2}, ZHU Yongqing¹, WU Yinglong², YUAN Huaiyu¹, PAN Cuiping¹, ZHOU Yan¹, LIAO Maowen², LI Huajia^{1*}

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China) (2. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China)

Abstract: Kiwifruit was used to investigate the effect of *Lactobacillus plantanum* fermentation on the flavor of kiwifruit juice. Gas migration ion chromatography and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) were employed to analyze and compare the flavor components of pasteurized kiwifruit juice, *Lactobacillus plantarum* fermented juice and fermentation control group. The results showed that the colony number of *Lactobacillus plantanum* B-1 was increased from 6.21 lg CFU/mL to 8.60 lg CFU/mL in 24 hours, the total acid increased from 0.60% to 1.33%, indicating that *Lactobacillus plantanum* B-1 had a good fermentation performance in kiwifruit juice. The results of GC-IMS combined with PLS-DA analysis showed that *Lactobacillus plantarum* fermentation could increase the contents of (E)-2-hexenal, hexanol, linalool, ethyl acetate, ethyl butyrate, acetone, 4-heptanone, 2-nonone, increase the fruit flavor. Besides, it also could reduce the loss of 1,8-cineole, (E)-2-hexenol, hexanal and other characteristic flavor substances of kiwifruit, inhibit the production of ethanol, funeral and other substances which have adverse effects on the flavor, so as to improve the flavor quality of kiwi fruit juice. This study provides theoretical support for the application of *Lactobacillus plantarum* in kiwifruit juice products.

引文格式:

李可,朱永清,邬应龙,等.基于 GC-IMS 解析植物乳杆菌发酵对猕猴桃果汁挥发性物质的影响[J].现代食品科技,2022,38(5):254-260,+182

LI Ke, ZHU Yongqing, WU Yinglong, et al. Effect of *Lactobacillus plantanum* fermentation on the flavor of kiwifruit juice by GC-IMS [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(5): 254-260, +182

收稿日期: 2021-08-18

基金名称: 四川省重点研发计划项目 (2020YFN0149); 成都市科技项目 (2019-YF05-02356-SN); 现代农业学科建设推进工程项目 (2021XKJS063)

作者简介: 李可 (1987-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: like2341@126.com

通讯作者: 李华佳 (1982-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮藏加工, E-mail: huajia611@163.com

Key words: *Lactobacillus plantanum*; kiwifruit juice; gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS); partial least squares-discrimination analysis (PLS-DA); flavor components

随着居民健康意识的提高, 消费者尤其是素食主义者、乳糖和酪蛋白不耐受以及高血脂风险人群对益生性果蔬产品表现出极大的兴趣^[1]。因此, 益生菌、植物基成为科学界和市场当下最流行的, 最受欢迎的重要的功能原料, 展现了巨大的科学研究与商业价值。研究表明, 摄入适量的活的益生菌有利于保持和改善宿主肠道微生物菌群结构^[2,3], 可抑制或治疗健康问题如乳糖不耐受症、高血压、抗生素相关腹泻等^[4], 日常饮食中摄入含有益生菌的食物对减轻肠易激综合征、降低血清胆固醇、增强先天免疫^[5]等具有一定效果。果蔬汁富含维生素、矿物质、膳食纤维及抗氧化功能活性物质, 具有抗菌、消炎、调节肠道菌群、抗氧化等功能活性^[6,7]。研究表明, 乳酸菌应用于果汁产品开发, 能够降低果汁 pH 值, 在一定程度上保持原有的营养和功能活性成分, 提升风味品质, 提高营养健康属性^[8-11]。

猕猴桃属于猕猴桃科、猕猴桃属, 是一种落叶藤蔓果树, 其果实不仅质地柔软、口感酸甜, 还富含膳食纤维、氨基酸、多酚、维生素和矿物质元素等, 其 Vc 含量是苹果、橘子等其它水果的数倍, 被誉为 Vc 之王, 对人体健康有积极促进作用^[12], 深受消费者的喜爱, 是夏季主流水果之一。据世界粮农组织统计显示, 最近十年全球猕猴桃的种植面积和总产量分别增加了 71.25% 和 55.58%^[13]。我国是猕猴桃主产国之一, 2018 年猕猴桃栽培面积 $2.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占全球猕猴桃总量的 70% 以上, 居世界第一^[14]。目前我国猕猴桃消费主要以鲜果和贮藏果为主, 但猕猴桃属于呼吸跃变型浆果, 对乙烯极为敏感, 采收后对贮藏技术和工艺设备依赖性强, 大量鲜果集中成熟如不能得到有效贮藏, 则很容易造成鲜果腐烂, 失去商品价值。因此本文拟采用植物乳杆菌发酵猕猴桃原浆, 探讨植物乳杆菌在猕猴桃原浆中发酵性能, 解析植物乳杆菌发酵对猕猴桃原浆风味物质的影响, 以期对益生菌发酵技术在猕猴桃精深加工中应用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红阳猕猴桃采自都江堰市胥家镇, 9 月中旬采摘, 去除有损伤或腐烂果实。

菌种: *Lactobacillus plantanum* B-1 分离自传统发酵泡菜, 经 16S rRNA 鉴定为 *Lactobacillus plantanum*

JCM1149, 保存于四川省农业科学院食物营养与健康研究所果蔬贮藏加工实验室。

MRS 肉汤/琼脂培养基, 北京索莱宝公司; 0.1 mol/L NaOH, 上海阿拉丁公司。

1.2 仪器与设备

PHS-3C 型 pH 计, 上海雷磁公司; PAL-1 糖度计, 日本爱拓公司; 855 全自动进样滴定系统, 瑞士万通; 气相离子迁移谱分析与质量控制系统, 德国 G.A.S 公司。

1.3 方法

1.3.1 发酵工艺流程

果汁制备: 选取表面无机械伤、无病斑的猕猴桃, 置于催熟箱中, 0.1 mL/L 浓度乙烯 20 °C 催熟 24 h, 散去乙烯, 20 °C 放置货架待果实硬度降低至 0.3~0.5 N。自来水清洗后, 去皮, 延猕猴桃纵轴切成 0.6 cm 的薄片, 铺展于洁净托盘中, -20 °C 冷冻 10 h, 室温下解冻至融化, 4 °C 4000 r/min 离心 10 min 取汁。

灭菌: 采用巴氏灭菌, 灭菌条件为 72 °C、15 min, 灭菌后果汁 (YL) 应用于发酵和风味分析。

菌种制备: 10 μL -80 °C 保存菌种接种至 MRS 液体培养基中, 37 °C 培养 26 h, 5000 r/min 离心收集菌体, 无菌水洗涤菌体 2 次后, 备用。

接种发酵: 根据血细胞计数板结果, 向乳酸菌发酵组 (PL) 中按照 1:100 的比例接种已经活化的菌种, 使初始菌浓度保持在 10^6 CFU/mL , 接种后 37 °C 发酵 96 h, 每 24 h 取样 1 次进行检测指标。同时设置对照组 (CK) 即不接种植物乳杆菌, 其放置条件和取样方法同 PL, 每个处理 3 个平行。

1.3.2 常规理化指标检测

1.3.2.1 菌落数

参考国标 GB 4789.35-2016^[15]。

1.3.2.2 pH 采用

参照农业行业标准 NY 82.7-1988, 采用 pH 计直接测定^[16]。

1.3.2.3 总酸 (TA)

采用自动滴定仪进行测定, 结果以苹果酸计。

1.3.2.4 可溶性固形物 (SSC)

采用手持式糖度计测定。

1.3.3 HS-GC-IMS 分析

1.3.3.1 自动进样器条件

孵化温度 60 °C, 孵化时间 5 min, 顶空进样, 加热方式为振荡加热, 振荡速率 500 r/min, 进样针温度 65 °C, 进样量 500 μ L, 不分流, 清洗时间 0.5 min。

1.3.3.2 GC 条件

FS-SE-54-CB-1 石英毛细管柱 (15 m \times 0.53 mm, 1 μ m), 色谱柱温度 60 °C, 载气为 N₂ (纯度 \geq 99.999%), 载气流速程序为初始流速设置为 2.0 mL/min, 持续 2 min, 18 min 内逐渐提升至 100.0 mL/min; 运行时间 20 min。

1.3.3.3 IMS 条件

漂移管长度 98 mm, 管内线性电压 500 V/cm, 漂移管温度 45 °C, 漂移气为 N₂ (纯度 \geq 99.999%), 漂移气流速 150 mL/min, 放射源: β 射线 (氚, 3H), 离子化模式为正离子。

1.3.3.4 样品测定

移液管转移 2 mL 果汁于 20 mL 顶空进样瓶中, 60 °C 保温 15 min 后进样。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 分析软件中 Duncan 新复极差法对理化指标数据进行显著性检验分析, 柱状图采用 Originpro 2019b 绘图; 运用 SIMCA 14.1 软件作图并进行 PLS-DA 分析。

2 结果与讨论

2.1 植物乳杆菌在“红阳”猕猴桃果汁中的生长及产酸能力

果蔬汁因含有糖等多种营养成分, 是优良的益生菌载体, 但不同菌种在不同基质中发酵性能差异较大。Espirito-Santo 等比较分析了不同菌种在不同基质中的发酵性能, 结果表明, 相较于葡萄籽和橘子汁, 苹果汁是最适宜于乳酸菌的生长, 相较于 *Lactobacillus rhamnosus* LGG、*Lactobacillus paracasei* Lp33、*Lactobacillus plantarum* 299v 等, *Lactobacillus acidophilus* L10 最适宜于苹果汁发酵^[17]。因此采用益生菌发酵果蔬汁首先需要考虑菌株在基质中的发酵性能。而乳酸菌生长特性和产酸性能是评价益生菌发酵性能的重要指标^[1], 根据 FAO/WHO 的定义, 只有摄入足量活的益生菌才能对食用者的身体健康能发挥有益作用^[18], 目前研究认为, 食品中益生菌最低活菌数含量要达到 $10^6\sim 10^7$ CFU/mL 或 CFU/g 才能够经过消化道对人体健康发挥有益作用^[19,20]。因此, 本文首先分析了植物乳杆菌 *Lactobacillus plantanum* B-1 在猕猴

桃果汁中的生长性能及产酸能力, 结果如图 1。

由图 1 可知, CK 中乳酸菌数量始终为 0, 表明在发酵过程中无菌体污染等现象。PL 中植物乳杆菌生长迅速, 24 h 内菌落数由原来的 6.21 lg CFU/mL 快速上升至 8.60 lg CFU/mL, 而后趋于稳定, 并保持在 8.4~8.9 lg CFU/mL, 说明该菌在猕猴桃果汁中生长性能优良^[21-24]。同时, 随着乳酸菌的生长繁殖, 糖类物质的消耗, PL 中 TA 含量 0~48 h 快速上升, 由原来的 0.60% 增加至 1.33%, 增加量约为原来的 122%, 同时 pH 值呈显著下降 ($p<0.05$), 说明该菌在猕猴桃基质中具有较强的产酸能力, 发酵性能优良。通过以上分析可知, 菌株 *Lactobacillus plantanum* B-1 在猕猴桃果汁中生长迅速, 产酸能力强, 说明该菌在“红阳”猕猴桃汁中发酵性能良好, 适宜于猕猴桃果汁发酵。

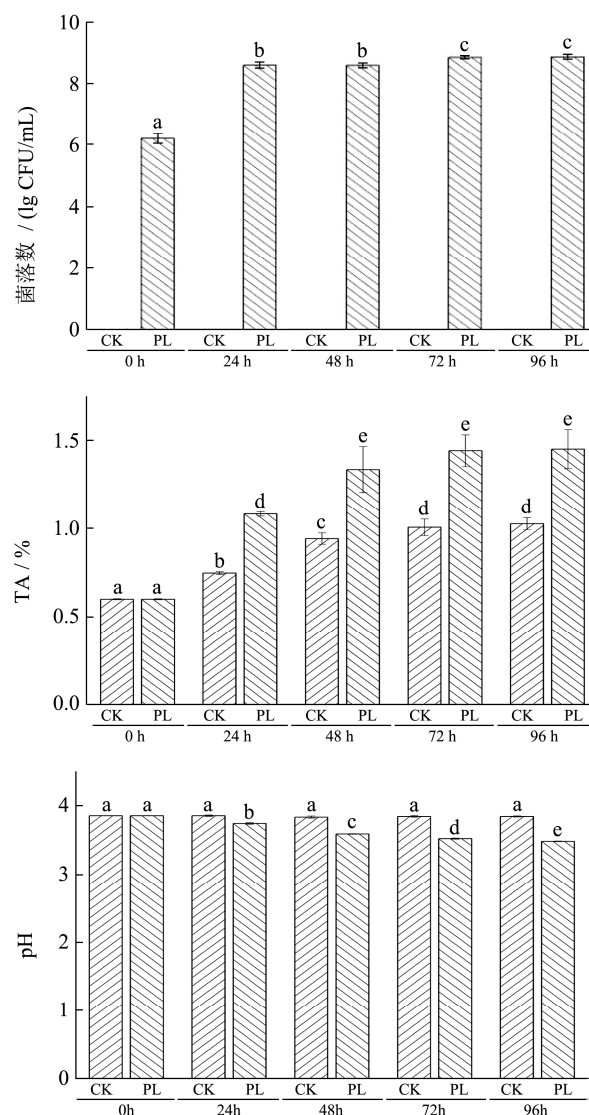


图 1 发酵过程中菌落数、总酸和 pH 含量变化

Fig.1 *Lactobacillus plantanum* counts, total acid and pH change during fermentation

注: 图中 a、b、c、d、e 上标表示组间和组内显著性差异。

2.2 PL、YL、CK 样品 HS-GC-IMS 分析

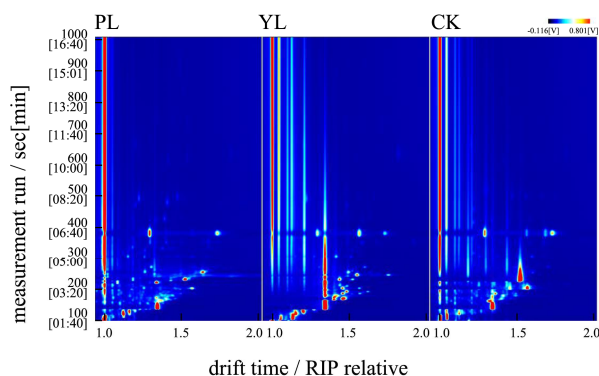


图 2 YL、PL 和 CK 样品风味物质二维谱图

Fig.2 GC-IMS two-dimensional spectrum of YL, PL and CK

乳酸菌发酵被认为是保持甚至提高果蔬汁的风味和营养品质、延长其货架期最简单有效的生物技术手段，同时还有利于果汁风味的提升^[21,25]。由 2.1 研究结果可知，发酵 72 h 后菌落数、有机酸等指标均趋于稳定，视为发酵终点。因此本文以发酵 72 h 样品为研究对象，通过 HS-GC-IMS 比较 YL、CK、PL 三组样品中挥发性成分解析植物乳杆菌对猕猴桃果汁风味的

影响，结果见图 2。

图 2 显示了 PL、YL、CK 样品挥发性物质指纹图谱，图中以蓝色为背景，横坐标和纵坐标分别代表样品中物质分离时相对于反应离子峰（RIP）的漂移时间和气相保留时间，横坐标 1.0 处竖线为 RIP 峰，其两侧 RIP 峰两侧的斑点代表物质，斑点的有无和颜色的深浅表示物质的积累和分解程度，颜色由白色到红色表示浓度由低到高。根据斑点变化可知 PL、YL、CK 样品在离子峰的位置、数量、强度和时间内均有差异。说明，PL、YL、CK 三个样品在挥发性物质组成上存在明显差异，植物乳杆菌发酵和贮藏均会对果汁风味物质产生影响。

2.3 PL、YL、CK 样品 VOCs 组成分析

根据 GC 保留时间和离子迁移时间对 PL、YL、CK 样品挥发性风味物质组成进行定性分析，通过与 NIST 2014 气相保留指数数据库、IMS 迁移时间数据库比对共鉴定出 61（不区分单体、二聚体为 50 种）种挥发性物质，包括醛、酯、醇、酮、酸及含硫化合物等六大类（结果见图 3）。

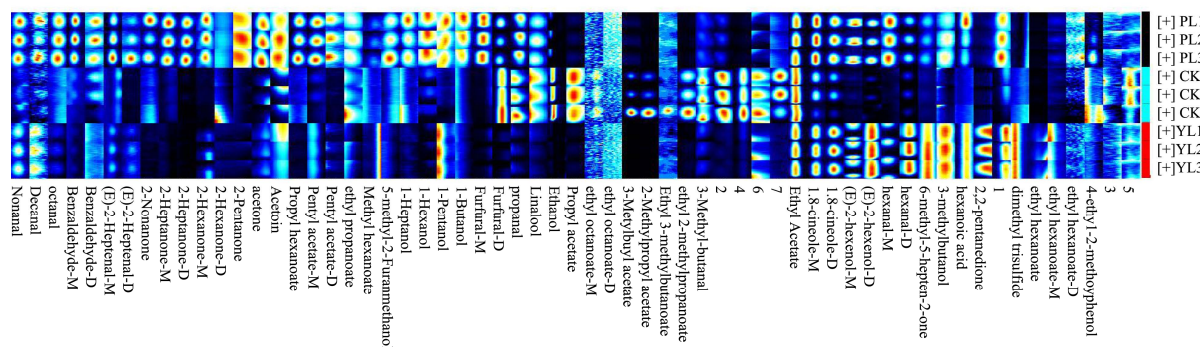


图 3 YL、PL 和 CK 样品风味物质指纹图谱

Fig.3 Volatile substances fingerprint of YL, PL and CK

图中以蓝色为背景，每个斑点代表样品中物质组分，且颜色由白色到红色表示浓度由低到高。根据图中斑点分布及颜色可知，PL、YL、CK 样品中物质种类和含量均发生了明显的变化，其中植物乳杆菌发酵果汁物质种类最为丰富。YL 中主要挥发性物质由高到低依次为乙酸乙酯、(E)-2-己烯醇-D、1,8-桉叶素-M、己醛、1,8-桉叶素-D、2,3-戊二酮、丁酸乙酯、丙醛、(E)-2-己烯醇-M、3-甲基丁醛、乙醇及呋喃甲醛及未知物 4 等。PL 中主要挥发性物质由高到低依次为乙酸乙酯、1,8-桉叶素-M、(E)-2-己烯醇-M、丙醛、1,8-桉叶素-D、2-庚酮、呋喃甲醛-D、己醛、乙醇、呋喃甲醛-M、3-甲基丁醛、乙酸-3-甲基丁酯、(E)-2-己烯醇-M、1-己醇、2-庚酮-M 及未知物 2 等。CK 主要挥发性物质由高到低依次为乙酸乙酯、呋喃甲醛-D、乙醇、丙

醛、未知物 2、未知物 4、乙酸丙酯、3-甲基丁醛、1,8-桉叶素 M、乙酸-3-甲基丁酯、1,8-桉叶素 D、(E)-2-己烯醇-D。

2.4 PL、YL、CK 样品挥发性风味物质 PLS-DA 分析

根据 HS-GC-IMS 得到不同样品风味物质指纹图谱，能简单直观的看出三种挥发性风味物质轮廓的差异性及部分高含量物质的变化。但因为每个物质的变化都在不同程度上对样本的差异带来一定影响，为了更好地进行 3 种样品风味识别并获得差异化合物，运用 SIMCA 14.1 软件基于 50 种挥发性物质应用偏小二乘判别分析（PLS-DA）方法分析植物乳杆菌发酵

对猕猴桃果汁挥发性化合物的影响。结果见图4。

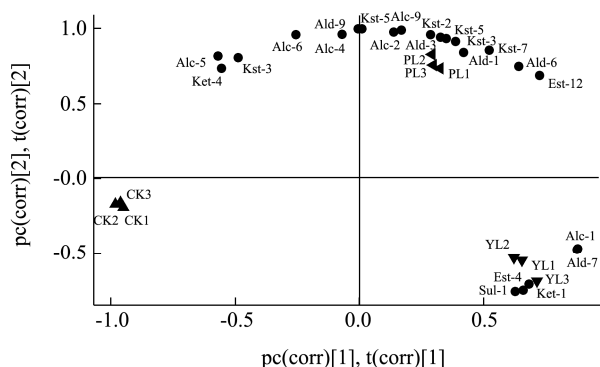


图4 YL、PL 和 CK 样品风味物质 PLS-DA 分析

Fig.4 PLS-DA analysis of flavor compounds in YL, PL and CK

注: Aci-: 1 己酸; Alc-1: (E)-2-己烯醇; Alc-2: 1-丁醇; Alc-3: 3-甲基丁醇; Alc-4: 5-甲基-2-呋喃乙醇; Alc-5: 芳樟醇; Alc-6: 庚醇; Alc-7: 甲基乙酰甲醇; Alc-8: 乙醇; Alc-9: 正己醇; Alc-10: 正戊醇; Ald-1: (E)-2-己烯醛; Ald-2: 3-甲基丁醛; Ald-3: 苯甲醛; Ald-4: 丙醛; Ald-5: 癸醛; Ald-6: 壬醛; Ald-7: 己醛; Ald-8: 糠醛; Ald-9: 辛醛; Cin-1: 1,8-桉叶素; Est-1: 2-甲基丙酸乙酯; Est-2: 3-甲基丁酸乙酯; Est-3: 丙酸乙酯; Est-4: 丁酸乙酯; Est-5: 己酸丙酯; Est-6: 己酸甲酯; Est-7: 己酸乙酯; Est-8: 辛酸乙酯; Est-9: 2-甲基乙酸丙酯; Est-10: -3-甲基乙酸丁酯; Est-11: 乙酸丙酯; Est-12: 乙酸戊酯; Est-13: 乙酸乙酯; Ket-1: 2,3-戊二酮; Ket-2: 2-庚酮; Ket-3: 2-己酮; Ket-4: 20 壬酮; Ket-5: 2-戊酮; Ket-6: 6-甲基-5-庚-2-酮; Ket-7: 丙酮; Phe-1: 4-乙基-2-甲氧基苯酚; Sul-1: 二甲基三硫; Un-1: 未知物 1; Un-2: 未知物 2; Un-3: 未知物 3; Un-4: 未知物 4; Un-5: 未知物 5; Un-6: 未知物 6; Un-7: 未知物 7。

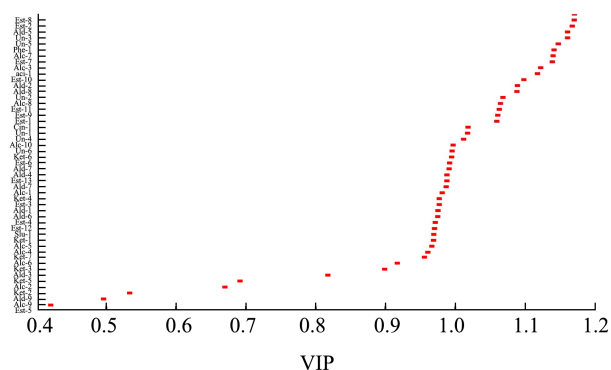


图5 PLS-DA 分析变量投影VIP 值

Fig.5 Variable importance in projection from outputs of PLS-DA

模型的主成分回归系数 Q^2 为 0.986 大于 0.5, 说明模型的预测能力较好; Ry^2 为 0.996, 说明模型对因变量变异贡献的百分比为 99.6%, 即自变量的变化能解释导致 99.6% 因变量发生, 模型拟合度较好。由样

品分布图(图4)可以看出, PL、YL、CK 样品得到很好的分离, 表明三者之间风味物质存在显著差异。

VIP 值可以量化 PLS-DA 的每个变量对分类的贡献, VIP 值越大, 变量在样品之间的差异越显著。为了获得 PLS-DA 模型下区分三个样品的关键差异挥发性化合物, 筛选出 $VIP > 1$ 的重要差异化合物 22 种(图5) [26]。(E)-2-己烯醇、己醛、2,3-戊二酮、二甲基三硫五种化合物在 YL 具有较高贡献值, 表明以上这些物质在 YL 中含量显著高于 PL 和 CK。1-丁醇、5-甲基-2-呋喃甲醇、芳樟醇、庚醇、己醇、(E)-2-己烯醛、苯甲醛、壬醛、辛醛、丙酸乙酯、己酸丙酯、乙酸戊酯、2-庚酮、2-己酮、2-壬酮、戊酮、丙酮等 17 种物质在 PL 具有较高贡献值, 表明 PL 中以上 17 中物质显著高于发酵 CK 和 YL。Annalisa 等 [22]、Chen 等 [23] 的研究也表明, 植物乳杆菌发酵可分别提高接骨木果中芳樟醇、乙醇含量以及苹果果汁中己醇、芳樟醇、乙醇、3-甲基丁醇、乙酸乙酯、丁酸乙酯、2-庚酮、2-壬酮等含量。

2.5 植物乳杆菌发酵对猕猴桃果汁风味品质影响分析

发酵果汁的风味物质对产品的最终感官品质起着决定作用并影响消费者的接受度 [4,20,27], 果蔬汁中含有丰富的酚类、脂肪酸、氨基酸、糖、有机酸等风味前体物有利于乳酸菌发酵过程中风味物质的产生 [27]。研究认为, 酯类如乙酸乙酯、丁酸乙酯以及酮类和酚类有利于提升发酵产品的风味品质, 赋予产品甜香味和果香味, 高含量的醇如 2-乙基己醇、酮以及萜烯类与果汁中花香和果香味 [4,28]。Chen 等 [23] 采用 GC-MS 解析了乳酸菌发酵对果汁风味的影响, 表明乳酸菌发酵可产生大量新的挥发性物质如 2-庚酮、2-壬酮、4-环戊烯-1,3-二酮和乙醛等, 同时提升酯和醇类物质含量。Cagno 等 [28] 研究表明乳酸菌发酵石榴汁中挥发性化合物如醇、酮、烯炔、萜烯以及苯衍生物等有所上升, 而具有臭味的某些醛类显著下降。植物乳杆菌、干酪乳杆菌发酵番茄汁可显著增加酮、醇或酸的含量, 降低烯类、醛类和酯类的含量, 其它菌株如鼠李糖乳杆菌和干酪乳杆菌能够增加一些关键化合物如乙偶姻、二乙酰等具有奶油味的物质含量 [1]。以上研究结果表明, 乳酸菌发酵有利于果蔬汁风味提升, 且乳酸菌发酵对果汁风味的影响与基质、菌种等密切相关。

草香和果香是红阳猕猴桃的特征风味, 该风味的物质基础包括 1,8-桉叶素、(E)-2-己烯醇、己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、丙酮、丁酸乙酯、乙酸乙酯等 [29,30],

其中 1,8-桉叶素有樟脑气息和清凉的草药味^[31], (E)-2-己烯醇、(E)-2-己烯醛、己醛等具有草、叶的清香味, 1-己醇具有果香味、丁酸乙酯、乙酸乙酯及丙酮等具有果香味^[31,32]。本文采用 GC-IMS 结合 PLS-DA 通过分析比较 PL、CK、YL 三组样品之间风味物质变化及重要差异化合物解析植物乳杆菌发酵对猕猴桃果汁风味品质的影响。结果显示 YL 中(E)-2-己烯醇、己醛、2,3-戊二酮、二甲基三硫五种物质显著高于 CK 和 PL, 其中(E)-2-己烯醇、己醛具有草、叶的清香味是猕猴桃特征风味物质^[29,30]。二甲基三硫为一种阈值较低的具有硫臭气味的物质, 是果汁中刺激性气味的主要物质之一, 但该物质不稳定, 72 h 后 PL 和 CK 样品中含量显著降低, 因此发酵和静置对降低果汁中二甲基三硫具有积极作用。PL 中 1-丁醇、芳樟醇、(E)-2-己烯醛、2-庚酮、丙酸乙酯等物质的含量显著高于 CK 和 YL, 且 PL 中猕猴桃汁中重要风味物质 1,8-桉叶素与 YL 基本保持一致, 显著高于 CK。其中(E)-2-己烯醛是猕猴桃中最主要的风味物质^[29,30], 且风味与己醛较为接近, 该物质的增加能够有效补充 PL 中己醛减少带来的猕猴桃青草香风味的损失, 从而保持发酵后果汁仍然保留猕猴桃特有的青草香风味。同时, PL 中 1-丁醇、2-庚酮、己醇、丁酸乙酯等含量的生成又会增加果汁的甜香和果香味, 有利于猕猴桃果汁风味品质的提升^[7,29,30]。在 CK 中, 不仅 1,8-桉叶素、(E)-2-己烯醇、己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、丙酮、丁酸乙酯等猕猴桃特征风味物质显著降低, 同时, CK 中糠醛、乙醇等对果汁风味和品质产生不利影响的物质含量还显著高于 YL 和 PL^[32,33], 由此可知 CK 组相较于 CK、PL 发生了品质劣变。

综上分析可知, 植物乳杆菌发酵能够提升猕猴桃果汁的风味品质, 主要表现在降低二甲基三硫等物质含量, 减少刺激性气; 提高(E)-2-己烯醛、己醇、芳樟醇、乙酸乙酯、丁酸乙酯, 丙酮、2-庚酮、2-壬酮等含量, 减少桉叶素、(E)-2-己烯醇、己醛风味物质的损失, 抑制乙醇、糠醛等物质的生成, 保持猕猴桃汁原有的青草香气, 提升风味品质。

3 结论

3.1 分析了植物乳杆菌发酵在猕猴桃中的总菌落数、TA、pH 值等变化, 结果表明 37 °C 条件下, 植物乳杆菌在猕猴桃果汁中数量 24 h 内由 6.21 lg CFU/mL 上升至 8.60 lg CFU/mL 并保持稳定, 且 TA 含量在 48 h 内由原来的 0.60% 增加至 1.33%, pH 值呈显著下降 ($p < 0.05$)。说明该菌在猕猴桃基质中生长迅速, 产酸能力强适宜于猕猴桃果汁发酵。

3.2 GC-IMS 结合 PLS-DA 分析结果显示, 植物乳杆菌代谢活动可显著提高对果汁风味起到积极作用的物质如(E)-2-己烯醛、己醇、芳樟醇、乙酸乙酯、丁酸乙酯, 丙酮、2-庚酮、2-壬酮等含量, 减少桉叶素、(E)-2-己烯醇、己醛风味物质的损失, 抑制乙醇、糠醛等物质的生成, 从而达到提升猕猴桃果汁风味品质的目的。

3.3 该研究为植物乳杆菌发酵猕猴桃果汁产品开发的可行性提供了科学依据, 也为进一步基础研究如植物乳杆菌发酵对果汁滋味物质如氨基酸、有机酸、糖以及功能活性的影响奠定了良好基础。

参考文献

- [1] CUI Shumao, ZHAO Nan, LU Wenwei, et al. Effect of different lactobacillus species on volatile and nonvolatile flavor compounds in juices fermentation [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7: 2214-2223
- [2] Filannino Pasquale, Cagno Di Raffaella, Gobbetti Marco. Metabolic and functional paths of lactic acid bacteria in plant foods: get out of the labyrinth [J]. Current Opinion in Biotechnology, 2018, 49, 64-72
- [3] Estefania Valero-Cases, Roy Nicole, Frutos María José, et al. Influence of the fruit juice carriers on the ability of *Lactobacillus plantarum* DSM20205 to improve *in vitro* intestinal barrier integrity and its probiotic properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(28):5632-5638.
- [4] Quigley Eamonn. Gut microbiota and the role of probiotics in therapy [J]. Current Opinion in Pharmacology, 2011, 11(6): 593-603
- [5] Parvez Shoukat, Malik Kauser, Kang Sa Ah, et al. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health [J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 100(6): 1171-1185
- [6] Martel Jan, Ojcius Dvid M, Ko Yunfei. Phytochemicals as prebiotics and biological stress inducers [J]. Trends in Biochemical Sciences, 2020, 6(45): 462-471
- [7] Ahangarpour Akram, Sayahi Majed, Sayahi Miaad. The antidiabetic and antioxidant properties of some phenolic phytochemicals: a review study [J]. Diabetes & Metabolic Syndrome, 2009, 13(1):854-857
- [8] Peng Kaidi, Koubaa Mohamed, Bals Olivier, et al. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: a review [J]. Food Research International, 2020, 137(4): 109544
- [9] Kavitate Digambar, Kandasamy Sujatha, Devi Bruntha Palanisarmy, et al. Recent developments on encapsulation of

- lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods - a review [J]. Food Bioscience, 2018, 21: 34-44
- [10] Szutowaska Julia. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: a systematic literature review [J]. European Food Research and Technology, 2020, 246: 357-372
- [11] 张业芳. 猕猴桃发酵饮料的研制及生物活性成分分析[D]. 贵阳: 贵州医科大学, 2018
ZHANG Yefang. Preparation of kiwifruit fermented beverage and analysis of bioactive componets [D]. Guiyang: Guizhou Medical Universtity, 2018
- [12] LIANG Jingjing, REN Yaopeng, WANG Yu, et al. Physicochemical, nutritional, and bioactive properties of pulp and peel from 15 kiwifruit cultivars [J]. Food Bioscience, 2021, 42(9): 109749
- [13] MU Longtao, LIU Haozhou, CUI Yongjie, et al. Mechanized technologies for scaffolding cultivation in the kiwifruit industry: a review [J]. Infromation Processing in Agriculture, 2018, 4: 401-410
- [14] MENG Xianru, RAO Yuanxing, TAO Tao, et al. A review of plant breeders rights application and granting for fruit trees in China from 2000 to 2019 [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 276: 109749
- [15] GB 4789.35-2016, 食品微生物学检验 乳酸菌检验[S]
GB 4789.35-2016, Microbiological examination of food - Examination of lactic acid bacteria in foods [S]
- [16] NY 82.7-1988, 果汁测定方法 pH 值的测定[S]
NY 82.7-1988, Fruit juices determination of pH [S]
- [17] Espirito-Santo Ana Paula, Carlin Frédéric, Renard Catherine M G C. Apple, grape or orange juice: which one offers the best substrate for lactobacilli growth? A screening study on bacteria viability, superoxide dismutase activity, folates production and hedonic characteristics [J]. Food Research International, 2015, 78: 352-360
- [18] FAO and WHO. Probiotics in food and nutritional properties and guidelines for evaluation [J]. Food and Nutrition paper, 2006, 85: 71
- [19] Roberts Dellecia, Reyes Vondel, Bonilla Franklin, et al. Viability of *Lactobacillus plantarum* NCIMB 8826 in fermented apple juice under simulated gastric and intestinal conditions [J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 97: 144-150
- [20] Ricci Annalisa, Cirlini Martina, Maoloni Antonietta, et al. Use of dairy and plant-derived lactobacilli as starters for cherry juice fermentation [J]. Nutrients, 2019, 11(2): 213
- [21] Demir's Nilay, Bahceci Kazim Savas, Acar's Jale. The effects of different initial *Lactobacillus plantarum* concentrations on some properties of fermented carrot juice [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2006, 3(30): 352-363
- [22] Ricci Annalisa, Cirlini Martina, Levante Alessia, et al. Volatile profile of elderberry juice: effect of lactic acid fermentation using *L. plantarum*, *L. rhamnosus* and *L. casei* strains [J]. Food Research Interational, 2018, 105: 412-422
- [23] CHEN Chen, LU Yanqing, YU Haiyan, et al. Influence of 4 lactic acid bacteria on the flavor profile of fermented apple juice [J]. Food Bioscience, 2019, 27: 30-36
- [24] Taverniti Valentina, Scabiosi Christian, Arioli Stefania, et al. Short-term daily intake of 6 billion live probiotic cells can be insufficient in healthy adults to modulate the intestinal bifidobacteria and lactobacilli [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 6: 482-491
- [25] Karovičová's Jolana, Kohajdová's Zlatica. Lactic acid fermented vegetable juices [J]. Horticultural Science, 2003, 30(4): 152-158
- [26] Lenhardt Lea, Bro Rasmus, Zekovic Ivana, et al. Fluorescence spectroscopy coupled with PARAFAC and PLS DA for characterization and classification of honey [J]. Food Chemistry, 2015, 175: 284-291
- [27] Smid Eddy J, Kleerebezem Michiel. Production of aroma compounds in lactic fermentation [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2014, 5(1): 313-326
- [28] Cagno Raffaella Di, Filannino Pasquale, Marco Gobetti. Lactic acid fermentation drives the optimal volatile flavor-aroma profile of pomegranate juice [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 248: 56-62
- [29] 杨丹, 曾凯芳. 1-MCP 处理对冷藏红阳猕猴桃果实香气成分的影响[J]. 食品科学, 2021, 33(8): 323-329
YANG Dan, ZENG Kaifang. Effect of 1-MCP treatment on aroma composition of Hongyang kiwifruits during cold stroage [J]. Food Science, 2021, 33(8): 323-329
- [30] Takeoka Gary R, Guntert Mattias, Flath Rbert A, et al. Volatile constituents of kiwifruit (*Axtinidia chinensis* Planch) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 24(3): 576-578

(下转第 182 页)