

# 不同乳酸菌发酵对刺梨汁品质及风味影响

魏涛涛<sup>1</sup>, 左云洋<sup>1,2</sup>, 王 令<sup>1</sup>, 魏茂洋<sup>1</sup>, 胡 萍<sup>\*1</sup>

(1. 贵州大学 酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州极海果蔬饮品工程技术有限公司, 贵州 贵阳 550014)

**摘要:** 以副干酪乳杆菌 SR10-1(全文简称 SR10-1)、干酪乳杆菌(全文简称 H1)、发酵乳杆菌 GZSC-1(全文简称 GZSC-1)发酵的刺梨汁为研究对象,对发酵前后刺梨汁品质变化进行对比,并采用气相-离子迁移谱(gas chromatography-ion mobility spectroscopy, GC-IMS)和电子鼻技术对不同乳酸菌发酵刺梨汁的挥发性风味物质组成及差异进行分析。结果表明,SR10-1 发酵刺梨汁中 VC 和超氧化物歧化酶(SOD)的损失率最低( $P<0.05$ ),H1 发酵刺梨汁中单宁降解率最高,达到 $(41.37\pm 1.08)\%$ 。电子鼻分析结果表明,3 株乳酸菌发酵的刺梨汁气味轮廓相似,但 SR10-1 对发酵刺梨汁的气味贡献度最高。采用 GC-IMS 从 3 组乳酸菌发酵样品、稀释 4 倍刺梨原汁和刺梨原汁样品中共分离出 54 种挥发性成分,鉴定出 44 种物质,主要有酯类、醛类、醇类和酸类化合物。3 株不同乳酸菌发酵样品中共有的挥发性风味物质包括叶醇、乙醇、乙酸丙酯、3-戊酮、乙酸乙酯、丙酮等;二甲基硫、丙酮和丁酸乙酯分别是 SR10-1、GZSC-1 和 H1 发酵样品的特征性风味物质;H1 和 GZSC-1 发酵样品的主要风味成分相似,这与电子鼻结果一致。以上结果表明,通过乳酸菌发酵刺梨汁,保留了刺梨汁的主要营养成分,并增加了新的代谢物质,增加了刺梨汁的果香,对改善刺梨汁风味起到了积极作用。

**关键词:** 刺梨汁;乳酸菌;挥发性风味物质;气相-离子迁移谱;电子鼻

中图分类号:TS 205.5 文章编号:1673-1689(2024)04-0090-08 DOI:10.12441/spyswjs.20231129005

## Effects of Fermentation with Different Lactic Acid Bacteria on Quality and Fragrance of *Rosa roxburghii* Tratt Juice

WEI Taotao<sup>1</sup>, ZUO Yunyang<sup>1,2</sup>, WANG Ling<sup>1</sup>, WEI Maoyang<sup>1</sup>, HU Ping<sup>\*1</sup>

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Jihai Fruit and Vegetable Beverage Engineering Technology Co., LTD., Guiyang 550014, China)

**Abstract:** Using *Lactobacillus paracasei* SR10-1, *Lactobacillus casei* H1, and *Lactobacillus fermentum* GZSC-1 to ferment *Rosa roxburghii* Tratt juice as the research object, the quality changes of *Rosa roxburghii* Tratt juice before and after fermentation were compared. Gas chromatography-ion mobility spectroscopy (GC-IMS) and electronic nose (E-nose) technology were used to analyze the composition and differences of volatile flavor compounds in *Rosa roxburghii* Tratt juice fermented by different lactic acid bacteria. The results showed that the loss rate of VC and SOD in SR10-1

收稿日期: 2023-11-29 修回日期: 2024-03-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960485);贵州省刺梨产业发展专项项目(QCN2019-261)。

\* 通信作者: 胡 萍(1970—),女,博士,教授,博士研究生导师,主要从事益生菌发酵与特色食品开发研究。E-mail:phu1@gzu.edu.cn

fermented *Rosa roxburghii* Tratt juice was the lowest ( $P<0.05$ ), and the tannin degradation rate in H1 fermented *Rosa roxburghii* Tratt juice was the highest, reaching  $(41.37\pm1.08)\%$ . The electronic nose analysis showed that the aroma profiles of *Rosa roxburghii* Tratt juice fermented by three lactic acid bacteria were similar, however, the aroma contribution of SR10-1 fermented *Rosa roxburghii* Tratt juice was the highest. A total of 54 volatile components were isolated from three groups of lactic acid bacteria fermented samples, diluted 4-fold *Rosa roxburghii* Tratt juice, and original sample of *Rosa roxburghii* Tratt juice by GC-IMS, and 44 compounds were identified, mainly including esters, aldehydes, alcohols, and acids. The volatile flavor substances shared by the three different lactic acid bacteria fermented samples included leaf alcohol, ethanol, propyl acetate, 3-pentanone, ethyl acetate, acetone, and so on. Dimethyl sulfide, acetone, and ethyl butyrate were the characteristic flavor compounds of SR10-1, GZSC-1, and H1 fermented samples, respectively. The main flavor components of H1 and GZSC-1 fermented samples were similar, which was consistent with the electronic nose results. These results indicated that the fermentation of *Rosa roxburghii* Tratt juice by lactic acid bacteria retained the main nutrients of *Rosa roxburghii* Tratt juice, generated new metabolic substances, enhanced the fruit flavor of *Rosa roxburghii* Tratt juice, and positively affected the flavor improvement of *Rosa roxburghii* Tratt juice.

**Keywords:** *Rosa roxburghii* Tratt juice, lactic acid bacteria, volatile flavor substance, gas chromatography-ion mobility spectroscopy, electronic nose

刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt)为蔷薇科蔷薇属多年生落叶小灌木,主要生长在中国西南部地区<sup>[1-2]</sup>,其中贵州省是全国刺梨的核心产区<sup>[3]</sup>。除维生素C外,刺梨中还含有其他多种活性成分,具有抗氧化、抗肿瘤、调节糖脂代谢、提高免疫力等作用<sup>[4-5]</sup>。但是,刺梨汁具有较强的酸涩味,很多消费者难以接受,影响了其市场的发展。目前对刺梨风味的研究较少<sup>[6]</sup>,主要集中在不同条件处理刺梨后的风味变化方面<sup>[7]</sup>,利用益生菌发酵可提高刺梨汁中VC含量,保持其功能活性,并增加刺梨产品的营养价值及风味<sup>[8]</sup>。

乳酸菌是一类能利用碳水化合物产生大量乳酸的细菌的统称<sup>[9-10]</sup>。乳酸菌具有抗菌性、降低胆固醇、调节免疫、调节脂代谢等功能<sup>[11-12]</sup>。利用乳酸菌发酵果蔬汁能够改善果蔬汁的风味和营养价值,因此越来越受到人们的青睐<sup>[13]</sup>。黄豪等利用乳酸菌发酵山楂汁,增加了其挥发性成分种类和总量,形成新的醇类和酯类化合物<sup>[14]</sup>。彭兴兴等证明瑞士乳杆菌发酵南瓜汁可以增加风味物质种类和含量,改变南瓜汁的风味,并且可以将南瓜汁中的醛类和醇类物质转化成酮类和酸类物质<sup>[15]</sup>。乳酸菌通过作用于果蔬中的营养物质形成次生代谢物,改变果蔬汁的

风味组成,从而改善某些果蔬汁的风味,这对果蔬汁的深度开发提供了参考<sup>[16]</sup>。结合GC-IMS技术和电子鼻技术对食品风味进行分析,能够对食品中挥发性风味物质进行鉴定<sup>[17]</sup>。

目前,关于乳酸菌发酵刺梨汁风味的研究比较少。作者所在团队前期研究发现,刺梨汁中富含VC、SOD、单宁等营养物质。在此基础上,分别以3株乳酸菌(SR10-1、H1、GZSC-1)对刺梨汁进行发酵,分析乳酸菌发酵刺梨汁的营养成分与风味物质组成及差异,筛选适宜的乳酸菌,从而改善发酵刺梨汁的风味与品质,为新型刺梨产品的开发提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

刺梨鲜果:来自贵州省龙里县刺梨种植基地,置于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷藏备用;副干酪乳杆菌SR10-1(*Lactobacillus paracasei* SR10-1,保藏号CCTCC No:M2016527);作者所在课题组前期从侗族发酵酸肉、酸鱼制品中分离得到<sup>[18]</sup>;干酪乳杆菌H1(*Lactobacillus casei* H1,保藏号CCTCC No:M2016524);作者所在课题组从苗族红酸汤中分离鉴定得到<sup>[18]</sup>;

发酵乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum* GZSC-1):作者所在课题组保藏菌种;SOD 试剂盒:南京建成生物工程研究所;屈臣氏饮用水、白砂糖:超市购买。其余试剂均为化学纯。

## 1.2 仪器与设备

PEN3 电子鼻:德国 AIRSENSE 公司;FlavourSpec® 气相-离子迁移谱风味分析仪:德国 G.A.S 公司;FA2004N 电子精密天平:上海菁海仪器有限公司;HC-150T2 高速粉碎机:永康市绿可食品机械有限公司;HH-S6 型电热恒温水浴锅:北京科伟永兴仪器有限公司;GW0203 超声波提取器:上海比朗仪器制造有限公司;XW-80A 涡旋振荡器:海门市其林贝尔仪器制造有限公司;ZDM-1101 酶标分析仪:上海卓的仪器设备有限公司;Heraeus Fresco17 离心机:Thermo Fisher Scientific 公司。

## 1.3 实验方法

**1.3.1 刺梨汁制作工艺流程** 选果→清洗→榨汁→加水→过滤→加入白砂糖→巴氏杀菌→菌种活化→接种→发酵→离心→过滤→成品。

**1.3.2 发酵剂的制备** 无菌条件下分别接种 SR10-1、H1 和 GZSC-1 至 MRS 肉汤培养基中,置于 37 °C 无菌培养箱培养 24、48、60 h,离心收集菌体,用质量分数 0.85% 的生理盐水调整菌液浓度为  $1 \times 10^9$  CFU/mL,备用。

**1.3.3 乳酸菌发酵刺梨汁的制备** 所有菌株发酵刺梨汁的制备均参照作者所在团队前期实验已优化的发酵工艺<sup>[9]</sup>,发酵参数见表 1。

表 1 乳酸菌发酵刺梨汁工艺参数

Table 1 Technical parameters of *Rosa roxburghii* Tratt juice fermented by lactic acid bacteria

组别	刺梨汁与水体积比	白砂糖质量分数/%	接种体积分数/%	发酵温度/°C	发酵时间/h
SR10-1	1:4	9.7	4.3	32	64.5
H1	1:3	20.0	5.0	25	72.0
GZSC-1	1:3	15.0	3.0	30	40.0

**1.3.4 理化指标的测定** VC 测定采用 2,6-二氯酚滴定法;黄酮类化合物测定采用硝酸铝显色法;单宁测定参照 NY/T 1600—2008《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定 分光光度法》;SOD 采用南京建成公司 SOD 试剂盒测定。

**1.3.5 电子鼻分析** PEN3 型电子鼻系统采用 10 个不同的金属氧化物传感器作为传感器阵列,传感器反应时间小于 1 s。测试前准确吸取液体样品 10 mL,置于 30 mL 样品瓶中,室温 25 °C 静置 40 min 后进行检测。检测前仪器需提前开机预热 30 min,以保证仪器传感器的灵敏性,确保采集样品信息稳定可靠。采用顶空吸气,手动单样品进样方式,每次测试完成后进行清洗和标准化。

检测条件:样品预检测时间 5 s,测试时间 90 s,调零时间 5 s,清洗时间 120 s。载气为室温过滤干燥空气,待测气体与载气流量为 200 mL/min。一般选取中间时段传感信号稳定时进行数据统计分析。每组样品均进行 3 次平行实验,利用仪器自带的 Winmuster 软件进行分析。

**1.3.6 GC-IMS 分析** 称取 3 g 样品,置于 20 mL 顶空瓶中待测,每个样品 3 个平行。

自动顶空进样条件:进样体积 500  $\mu$ L,孵育时间 15 min,孵育温度 50 °C,进样针温度 55 °C,孵化转速 500 r/min。

GC-IMS 条件:分析时间 20 min,色谱柱类型为 MXT-5 (15 m, 直径 0.53 mm),膜厚 1  $\mu$ m,柱温 60 °C,载气漂移气为 N<sub>2</sub>,IMS 温度 45 °C,离子迁移管漂移器中以 150 mL/min 流量吹气 20 min。

气相色谱条件:以 N<sub>2</sub> 为载气,0~20 min 流量为 2 mL/min,20~30 min 流量为 100 mL/min,最终流量升至 150 mL/min。

## 1.4 数据处理

结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。采用 Winmuster 内置分析器、Origin 2018 对电子鼻响应值进行主成分(PCA)分析、传感器区分度分析和雷达图绘制。采用 GC-IMS 内置软件和插件进行数据分析。运用 SIMCA14.1 软件绘图并进行 PLS-DA 分析。运用 HemI1.0 软件进行热图绘制。采用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行统计分析及单因素方差分析 ( $P < 0.05$ )。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同乳酸菌发酵刺梨汁理化指标分析

将刺梨汁发酵前后主要营养成分进行对比发现(见表 2),利用 SR10-1 发酵的刺梨汁中 VC 和 SOD 损失率最低,分别为  $(21.37 \pm 3.43)\%$ 、 $(11.47 \pm 1.14)\%$ 。VC 和 SOD 是刺梨中的主要功能活性成分,以上结

果说明 SR10-1 发酵可较好地保留刺梨中的 VC 和 SOD。刺梨汁因含有大量单宁物质带来的酸涩口感而不被大众接受,H1 发酵刺梨汁中单宁降解率达到 $(41.37\pm 1.08)\%$ ,是 3 株乳酸菌发酵刺梨汁中单宁降解率最高的。SR10-1、H1、GZSC-1 发酵产品中黄酮类化合物的损失率分别为 $(12.84\pm 2.52)\%$ 、

$(13.22\pm 3.63)\%$ 和 $(11.90\pm 3.70)\%$ ,说明 3 株菌发酵对黄酮类化合物的影响差异不大。以上分析表明,利用乳酸菌发酵刺梨汁能够一定程度上保留刺梨汁中的营养物质,有效降解单宁类物质,达到改善刺梨汁口感的效果。

表 2 发酵后理化指标变化率

Table 2 Change rate of physical and chemical indicators after fermentation

组别	损失率/%			单宁降解率/%
	VC	SOD	黄酮类化合物	
SR10-1	$21.37\pm 3.43^c$	$11.47\pm 1.14^c$	$12.84\pm 2.52^b$	$3.59\pm 1.28^c$
H1	$34.49\pm 1.63^b$	$45.57\pm 0.16^a$	$13.22\pm 3.63^c$	$41.37\pm 1.08^a$
GZSC-1	$44.39\pm 2.80^a$	$20.83\pm 1.73^b$	$11.90\pm 3.70^a$	$34.33\pm 2.41^b$

注:同一列中不同字母代表差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.2 不同乳酸菌发酵刺梨汁电子鼻分析

**2.2.1 电子鼻雷达图分析** 图 1 为采用电子鼻检测刺梨原汁和 3 株不同乳酸菌发酵刺梨汁样品的响应值雷达图。由图 1 可知,传感器 W1S 响应值在 4 种刺梨汁样品中差异最大,说明 4 种样品香气的主要差异来自甲基类化合物。除此之外,SR10-1 发酵刺梨汁在传感器 W2W、W2S、W1W 和 W1S 中响应值均最大,与其余 3 种样品有较大差异,说明其具有较多硫化物、甲基类化合物、醇类、醛酮类和芳香成分、苯类化合物。其余 6 个传感器(W3S、W1C、W5S、W3C、W6S、W5C)中,各样品响应值相差不大。H1 发酵刺梨汁样品在传感器 W1W、W1S、W2W 中响应值较大,说明其具有较多硫化物、甲基类化合物。GZSC-1 发酵刺梨汁样品在 W2W、W1W、W1S 和 W5S 传感器中响应值较大,说明其具有较多硫化物、甲基类化合物和氮氧化物。

**2.2.2 电子鼻 PCA 分析** 利用 PEN3 电子鼻系统自带分析软件对刺梨原汁和 3 株乳酸菌发酵刺梨汁样品进行主成分分析。由图 2 可知,第一主成分贡献率为 95.91%,第二主成分贡献率为 3.82%,总贡献率为 99.73%,高于 95%,表明这两个主成分包含了样本的所有原始信息。GZSC-1 发酵样品和 H1 发酵样品主成分分布相似,刺梨原汁及 SR10-1 发酵刺梨汁分别与其他 3 种样品的挥发性气味相差较大。其中,SR10-1 发酵样品在第一主成分中投影数值最大,结合雷达图分析,SR10-1 发酵样品的气味要强于刺梨原汁、GZSC-1 发酵样品和 H1 发酵样品。

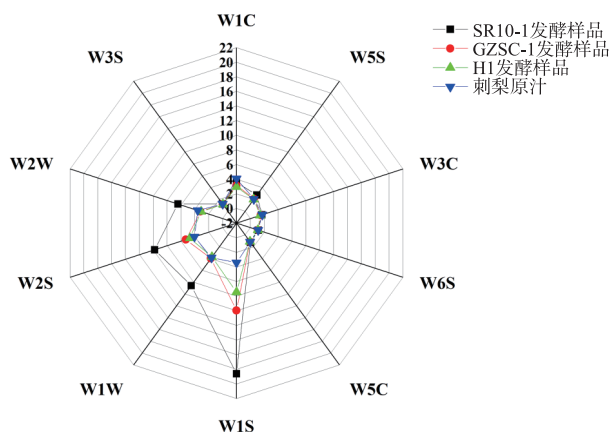


图 1 刺梨原汁与不同乳酸菌发酵刺梨汁样品的电子鼻响应值雷达图

Fig. 1 Radar chart of electronic nose response value of *Rosa roxburghii* Tratt juice and different lactic acid bacteria fermented *Rosa roxburghii* Tratt samples

## 2.3 不同乳酸菌发酵刺梨汁 GC-IMS 分析

使用 Gallery Plot 插件能够直观且定量比较不同样品的挥发性物质差异。根据 GC-IMS 自动生成的指纹图谱进行分析比较,一个点代表一种挥发性有机物,颜色深浅代表物质含量多少,一行代表一个样品中检测出的物质,一列表示同一种物质在不同样品中的含量,结果见图 3。指纹图谱分为 A、B、C 共 3 个特征峰区域,A 区为刺梨原汁特征峰区域,包括的特征挥发性物质主要为乙酸香茅酯、乙酸叶醇



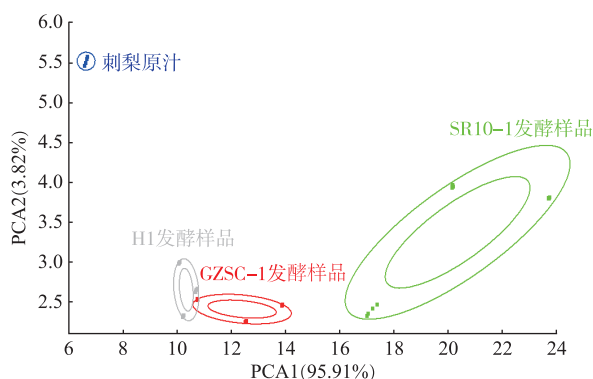
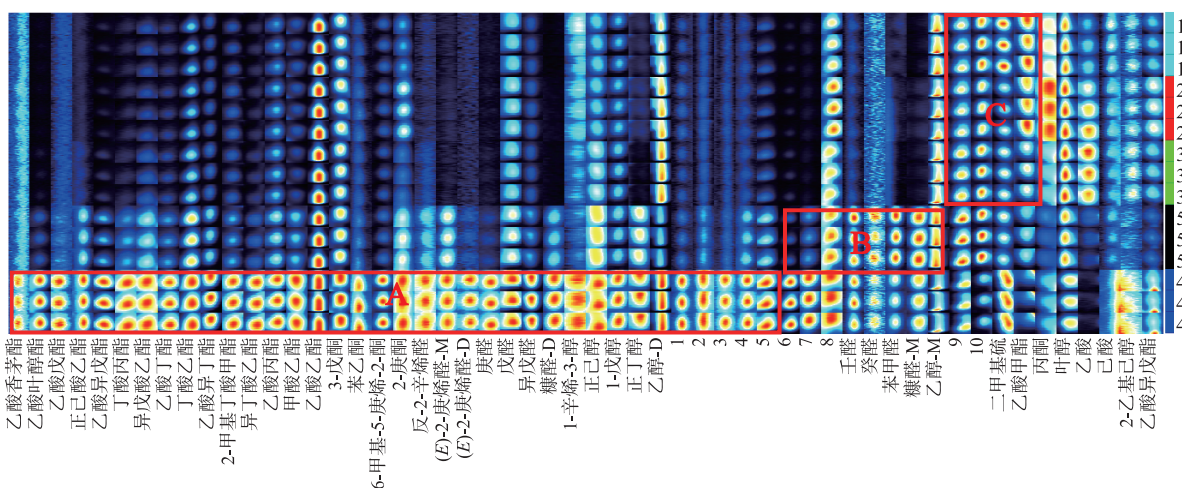


图2 刺梨原汁与不同乳酸菌发酵刺梨汁样品电子鼻响应值 PCA 分析

Fig. 2 PCA analysis of electronic nose response values of *Rosa roxburghii* Tratt juice and different lactic acid bacteria fermented *Rosa roxburghii* Tratt samples

酯、乙酸戊酯、正己酸乙酯、乙酸异戊酯、丁酸丙酯、异戊酸乙酯等。B 区为稀释 4 倍刺梨原汁特征峰区域,包括的特征挥发性物质主要有壬醛、癸醛、苯甲醛、糠醛、乙醇。说明稀释刺梨汁中醛类物质含量增加。醛类物质不稳定,在乳酸菌作用下可能会生成其他物质<sup>[20]</sup>。C 区域为 3 种发酵刺梨汁特征峰区域,其中特征挥发性物质主要有乙酸甲酯、丙酮、叶醇、乙酸,说明经不同乳酸菌发酵后醛类物质的相对含量均显著下降,醛类物质可能被还原成醇或氧化为酸。丙酮是乳酸代谢的中间体<sup>[21]</sup>。乙酸由乳酸菌经丙酮酸甲酸裂解途径产生<sup>[22]</sup>。结合图 3 分析发现,稀释刺梨汁经乳酸菌发酵后,风味物质含量下降,但发酵之后产生了更多的代谢物质,增加了刺梨汁清香和芳香成分,从而改善了刺梨汁的风味。



1.SR10-1 发酵样品;2.GZSC-1 发酵样品;3.H1 发酵样品;4.刺梨原汁;5.稀释 4 倍刺梨原汁。

图3 不同乳酸菌发酵刺梨汁样品指纹图谱

Fig. 3 Fingerprints of different lactic acid bacteria fermented *Rosa roxburghii* Tratt juice samples

## 2.4 正交偏最小二乘判别及热图聚类分析

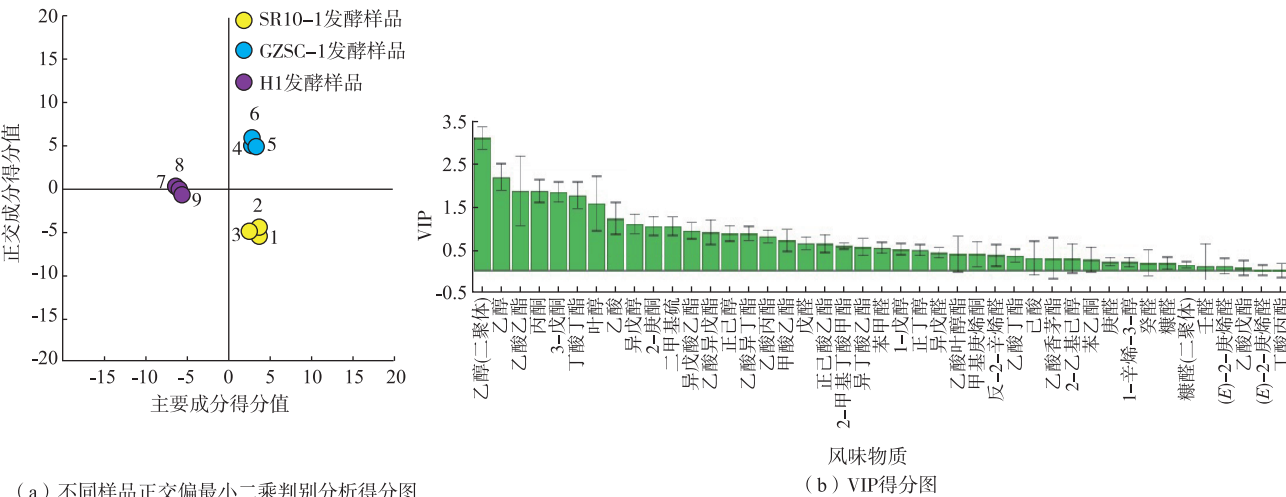
**2.4.1 发酵样品的正交偏最小二乘判别分析** X 代表 3 种发酵样品中 44 个共有化合物的峰体积, Y 代表发酵样品的品种类别,对 3 种发酵样品进行正交偏最小二乘判别分析,得分见图 4(a)。结果表明,不同菌种发酵刺梨汁样品差异较大。GC-IMS 分析结果能够较好地判别和区分不同菌种发酵刺梨汁。其中  $R^2_x=0.758$ ,  $R^2_y=0.994$ ,  $Q^2=0.973$ , 表明该模型稳定,预测能力好,建模成功。变量权重系数(VIP)可以量化正交偏最小二乘判别分析中每个变量对样品分类的贡献, VIP>1 的变量表示对样品分类的贡

献相对显著。如图 4(b)所示,有 29 个变量的 VIP > 1,其中乙醇、乙酸乙酯、3-戊酮贡献较大。

**2.4.2 热图聚类分析** 聚类分析是一种对变量进行分类的多元统计法,并能通过可视化图形直观反映变量的相关程度。通过凝聚层级聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA),将不同乳酸菌发酵刺梨汁样品与 44 种挥发性化合物的峰体积关系进行可视化分析,结果见图 5。依据 OPLS-DA 模型中的变量重要性,将每个变量对分类的贡献进行量化,其中 VIP>1 的挥发性化合物可作为潜在的特征标志物。3 种样品中共筛选出 29 种特征挥发性标

志物。其中 GZSC-1 和 H1 两种乳酸菌发酵刺梨汁聚为一类,表示二者风味特征相似,SR10-1 发酵样品为单独一类,这与电子鼻响应值雷达图和 PCA 图中分析结果一致。由图 5 可知,叶醇、乙醇(二聚体)、乙酸丙酯、3-戊酮、乙酸乙酯、乙醇在 3 种发酵样品中含量均较高,它们均是乳酸菌发酵刺梨汁的

代谢物质,是改善刺梨汁风味的主要成分,与 GC-IMS 指纹图谱分析结果一致。二甲基硫是 SR10-1 发酵样品的特征性风味物质,丙酮是 GZSC-1 发酵样品的特征性风味物质,丁酸乙酯是 H1 发酵样品的特征性风味物质。



(a) 不同样品正交偏最小二乘判别分析得分图 (b) VIP得分图

图 4 不同乳酸菌发酵刺梨汁特征风味物质的 HCA 分析

Fig. 4 Orthogonal partial least squares discriminant analysis of different fermented samples

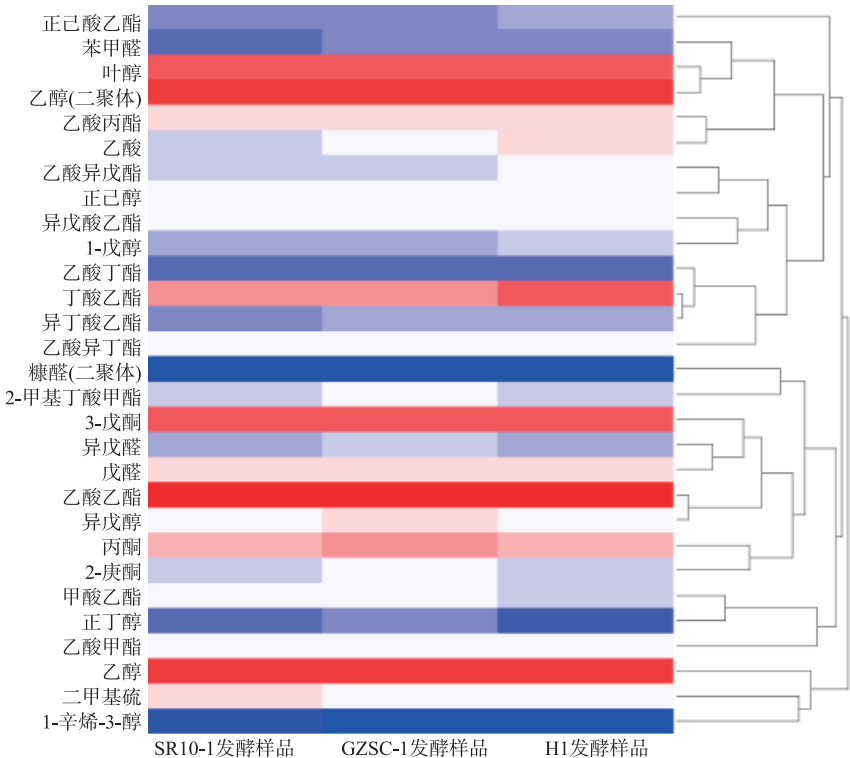


图 5 不同乳酸菌发酵刺梨汁特征风味物质的热图聚类分析

Fig. 5 Heat map cluster analysis of characteristic flavor substances in different lactic acid bacteria fermented *Rosa roxburghii* Tratt juice

### 3 结 语

电子鼻分析结果表明,不同乳酸菌发酵刺梨汁的气味差异主要来源于甲基类化合物。3株乳酸菌分别发酵的刺梨汁气味轮廓相似,其中GZSC-1和H1两种乳酸菌发酵刺梨汁风味特征相似,SR10-1对发酵刺梨汁的气味贡献度最高。

GC-IMS分析结果表明,5组样品中共鉴定到44种物质,主要有酯类、醛类、醇类和酸类化合物。其中,二甲基硫是SR10-1发酵刺梨汁的特征性风味物质,丙酮是GZSC-1发酵刺梨汁的特征性风味

物质,丁酸乙酯是H1发酵刺梨汁的特征性风味物质。

利用3株不同乳酸菌发酵刺梨汁,SR10-1发酵刺梨汁相比于GZSC-1、H1发酵样品较好地保留了刺梨汁中VC、SOD、黄酮类化合物等主要营养成分,H1发酵刺梨汁中单宁降解率是3株乳酸菌中最高的( $P<0.05$ ),有效改善了刺梨汁的涩味。3株乳酸菌均增加了叶醇、丙酮和乙酸甲酯等新的代谢物质,增强了刺梨汁中具有清香和芳香气味的风味物质,对改善刺梨汁风味起到了积极作用。该研究为刺梨风味研究和刺梨产品开发提供了依据。

### 参考文献:

- [1] LIU X Z, LI Y F, ZHAO H B, et al. Oenological property analysis of selected *Hanseniaspora uvarum* isolated from *Rosa roxburghii* Tratt[J]. **International Journal of Food Engineering**, 2021, 17(6):445-454.
- [2] YU K B, ZHOU L, SUN Y F, et al. Anti-browning effect of *Rosa roxburghii* on apple juice and identification of polyphenol oxidase inhibitors[J]. **Food Chemistry**, 2021, 359:129855.
- [3] LI H, FANG W Y, WANG Z, et al. Physicochemical, biological properties, and flavour profile of *Rosa roxburghii* Tratt, *Pyracantha fortuneana*, and *Rosa laevigata* Michx fruits; a comprehensive review[J]. **Food Chemistry**, 2022, 366:130509.
- [4] 尹艳艳, 张健, 陆伦维, 等. 刺梨多酚类物质研究进展 [J]. 食品与机械, 2024, 40(1):234-240.  
YIN Y Y, ZHANG J, LU L W, et al. Research progress on polyphenols in chestnut rose fruit[J]. **Food & Machinery**, 2024, 40(1):234-240. (in Chinese)
- [5] WANG L, ZHANG P, LI C, et al. Antioxidant and digestion properties of polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt fruit and polysacchride-iron(III) complex[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2021, 45(7):1-11.
- [6] 李婷婷, 黄名正, 唐维媛, 等. 刺梨汁中挥发性成分测定及其呈香贡献分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4):237-246.  
LI T T, HUANG M Z, TANG W Y, et al. Determination of volatile components in *Rosa roxburghii* Tratt juice and the analysis of its contribution for aroma[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2021, 47(4):237-246. (in Chinese)
- [7] 陈思奇, 孟满, 杜勃峰, 等. 混菌发酵刺梨果渣风味组分及香气特征的变化分析与评价[J]. 中国酿造, 2019, 38(10):60-66.  
CHEN S Q, MENG M, DU B F, et al. Analysis and evaluation on the changes of flavor components and aroma characteristics of multi-strain mixed fermentation of *Rosa roxburghii* Tratt pomace[J]. **China Brewing**, 2019, 38(10):60-66. (in Chinese)
- [8] 文永岚, 王瑜, 万科, 等. 刺梨酵素化果醋对小鼠急性酒精性肝损伤的改善作用 [J]. 现代食品科技, 2023, 39(4):26-32.  
WEN Y L, WANG Y, WAN K, et al. Ameliorative effect of fermented vinegar of *Rosa roxburghii* Tratt on acute alcoholic liver injury in mice[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2023, 39(4):26-32. (in Chinese)
- [9] 赵崔雨, 吴子健, 李树森, 等. 益生菌发酵乳辅助调节机体健康的研究进展 [J]. 食品与机械, 2023, 39(6):210-218.  
ZHAO C Y, WU Z J, LI S S, et al. Research advances on the functions of probiotic fermented milk in regulating body health[J]. **Food & Machinery**, 2023, 39(6):210-218. (in Chinese)
- [10] 张秋月, 黎谢飞, 曾小群, 等. 产超氧化物歧化酶乳酸菌的筛选及发酵条件优化[J]. 中国食品学报, 2021, 21(10):143-150.  
ZHANG Q Y, LI X F, ZENG X Q, et al. Screening of producing superoxide dismutase lactic acid bacteria and the optimization of fermentation conditions[J]. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, 2021, 21(10):143-150. (in Chinese)
- [11] HARANDI F N, KHORASANI A C, SHOJAOSADATI S A, et al. Living *Lactobacillus*-ZnO nanoparticles hybrids as antimicrobial and antibiofilm coatings for wound dressing application[J]. **Materials Science and Engineering:C**, 2021, 130:112457.
- [12] FU B, HUANG X X, MA J, et al. Characterization of an inositol-producing *Lactobacillus plantarum* strain and the assessment of its probiotic potential and antibacterial activity[J]. **LWT - Food Science and Technology**, 2022, 153:112553.
- [13] 朱丹实, 吴逗逗, 沈雨思, 等. 多菌种混合发酵果蔬汁的研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(10):343-352.

- ZHU D S, WU D D, SHEN Y S, et al. Research progress on mixed fermentation of multiple strains for fruits and vegetables juice [J]. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, 2021, 21(10): 343-352. (in Chinese)
- [14] 黄豪, 周义, 陈佳慧, 等. 乳酸菌发酵对山楂汁理化性质、酚类化合物、抗氧化性及风味的影响[J]. **食品科学**, 2022, 43(10): 97-106.
- HUANG H, ZHOU Y, CHEN J H, et al. Effect of lactic acid bacteria fermentation on physicochemical properties, phenolic compounds, antioxidant activity and volatile components of hawthorn juice[J]. **Food Science**, 2022, 43(10): 97-106. (in Chinese)
- [15] 彭兴兴, 郭巧云, 杨土琳. 发酵过程中南瓜汁挥发性成分的变化[J]. **食品研究与开发**, 2021, 42(15): 8-14.
- PENG X X, GUO Q Y, YANG T L. The change of volatile compounds in fermented pumpkin juice[J]. **Food Research and Development**, 2021, 42(15): 8-14. (in Chinese)
- [16] 甘爽, 陈志丹, 商虎, 等. 基于气相离子迁移谱技术的不同产地乌龙茶挥发性物质分析 [J]. **食品与生物技术学报**, 2022, 41(9): 68-77.
- GAN S, CHEN Z D, SHANG H, et al. Analysis of volatile substance of oolong tea from different origins based on gas chromatography-ion mobility technique[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2022, 41(9): 68-77. (in Chinese)
- [17] 孙达锋, 胡小松, 张沙沙. 电子鼻结合气相-离子迁移谱联用技术分析兰茂牛肝菌气调贮藏期间挥发性风味物质的变化[J]. **食品工业科技**, 2021, 42(21): 111-117.
- SUN D F, HU X S, ZHANG S S. Changes in volatile compounds of *Lanmaoa asiatica* during controlled atmosphere storage using electronic nose combined with gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2021, 42(21): 111-117. (in Chinese)
- [18] 任婷婷, 岳田利, 魏欣, 等. 益生菌发酵苹果浆工艺优化及发酵前后挥发性风味成分分析[J]. **食品科学**, 2019, 40(8): 87-93.
- REN T T, YUE T L, WEI X, et al. Process optimization for production of fermented apple pulp with probiotics and analysis of volatile flavor components before and after fermentation[J]. **Food Science**, 2019, 40(8): 87-93. (in Chinese)
- [19] 冯丹丹, 胡萍, 许浩翔, 等. 乳酸菌发酵刺梨汁体外降血糖、降血脂活性研究[J]. **食品与发酵工业**, 2022, 48(8): 212-219.
- FENG D D, HU P, XU H X, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic activities of *Rosa roxburghii* juice fermented by lactic acid bacteria *in vitro*[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2022, 48(8): 212-219. (in Chinese)
- [20] 沈燕飞. 乳酸菌发酵苹果原浆过程中的基本组分与抗氧化活性变化[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.
- [21] 莫梅清, 曾健, 李洁雯, 等. 刺梨果醋发酵过程中理化特性和风味特征的变化[J]. **食品工业科技**, 2024, 45(4): 238-249.
- MO M Q, ZENG J, LI J W, et al. Changes in physicochemical properties and flavor characteristics of *Rosa roxburghii* Tratt fruit vinegar during fermentation[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2024, 45(4): 238-249. (in Chinese)
- [22] 袁晶, 康三江, 曾朝珍, 等. 益生菌发酵对苹果浆理化性质、抗氧化活性及挥发性风味的影响[J]. **食品安全质量检测学报**, 2023, 14(18): 288-295.
- YUAN J, KANG S J, ZENG C Z, et al. Effects of probiotics fermentation on physicochemical properties, antioxidant activity, and volatile flavor of fermented apple pulp[J]. **Journal of Food Safety & Quality**, 2023, 14(18): 288-295. (in Chinese)