

乳酸菌混合发酵毛酸浆果汁工艺优化及发酵特性分析

王柳岑, 朱永乐, 鞠葛金悦, 刘至立, 李美莹, 王晶晶*

(锦州医科大学食品科学与工程学院, 辽宁 锦州 121000)

摘要:以毛酸浆果汁为原料,采用植物乳杆菌和副干酪乳杆菌混合发酵果汁,分析发酵前后的毛酸浆果汁理化指标、黄酮、多酚含量和挥发性气味成分变化情况。结果表明:植物乳杆菌和副干酪乳杆菌接种比例 2:1(V:V),接种量 1.0%(V:V),发酵时间 12 h 时,毛酸浆发酵果汁感官评分、总黄酮和多酚含量构成的综合评分最佳。毛酸浆果汁中主要的气味成分为萜烯类物质和无机硫化物,混合乳酸菌发酵可以明显提高果汁中萜烯类物质、无机硫化物、氮氧化合物、有机硫化物和芳香物质含量,特别是对健康有益的萜烯类物质。本研究对乳酸菌发酵毛酸浆果汁的工业化生产具有重要的指导意义。
关键词:毛酸浆;乳酸菌发酵;工艺优化;发酵特性;气味

Optimization of Co-fermentation Technology with Lactic Acid Bacteria on *Physalis pubescens* L. Juice and Analysis of Fermentation Characteristics

WANG Liu-cen, ZHU Yong-le, JU Ge-jin-yue, LIU Zhi-li, LI Mei-ying, WANG Jing-jing*

(School of Food Science and Engineering, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The mixed fermentation with *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus paracei* on *Physalis pubescens* L. juice was carried out and the changes of physico-chemical indexes, flavonoid and polyphenol contents and volatile odor components of the *Physalis pubescens* L. juice before and after fermentation were analyzed. The results showed that when the inoculation ratio of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus paracei* was 2:1(V/V), inoculation amount was 1.0%(V/V) and fermentation time was 12 h, the sensory score, flavonoid and polyphenol contents of fermented *Physalis pubescens* L. juice were the best. Terpenes and inorganic sulfur compounds were the main odor components in the *Physalis pubescens* L. juice. Mixed culture fermentation of lactobacillus could significantly increase the contents of terpenes, inorganic sulfides, nitrogen oxides, organic sulfides and aromatic substances in the juice, especially for health-beneficial terpenes. Which had important guiding significance for industrial production of *Physalis pubescens* L. juice fermented with lactic acid bacteria.

Key words: *Physalis pubescens* L.; lactic acid bacteria fermentation; technology optimization; fermentation characteristics; odor

中图分类号: TS275.5

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2022.05.006

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(2019-ZD-0805); 国家级大学生创业实训项目(202010160006X)

作者简介: 王柳岑(1998—), 女, 汉族, 在读硕士, 研究方向: 农产品深加工。

*通信作者: 王晶晶, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品深加工安全控制技术。

毛酸浆(*Physalis pubescens* L.)为茄科酸浆属一年生草本植物,其果实颜色金黄,外形圆润,俗称黄姑娘,味道酸甜可口,是我国东北地区一种营养丰富的应季水果。研究表明,毛酸浆富含黄酮、多酚等多种功能性成分,具有抗炎、提高免疫力等多种功效^[1-3],是一种极具开发潜力的浆果。目前市场上毛酸浆的深加工产品少,主要是果汁、罐头、果酱和果脯等初级加工产品^[4-8]。大量研究表明,乳酸菌发酵可以改善果蔬汁的品质、风味和抗氧化活性^[9-12]。另外,乳酸菌具有调节肠道pH值、保护肠道、抑制肿瘤和预防腹泻等生理功效,因此乳酸菌发酵果蔬汁的研制成为近年来的研究热点^[13-16]。国内学者分别采用植物乳杆菌、短杆乳杆菌、副干酪乳杆菌等对葡萄汁、猕猴桃果汁、树莓汁和拐枣汁等进行了单一菌种或者复合菌种的发酵工艺研究,均取得了较好的效果^[16-20]。本团队前期研究表明,植物乳杆菌发酵毛酸浆果汁经体外消化后,乳酸菌仍具有很好的活力,果汁中多酚含量和抗氧化活性均较高^[21]。有学者分别比较了植物乳杆菌、嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌等常见益生菌在毛酸浆中的单株发酵特性,对乳酸菌复合酵母菌发酵工艺进行了研究,但未对植物乳杆菌和副干酪乳杆菌的复合发酵工艺进行研究,其发酵后抗氧化成分及主要气味变化也尚未明确^[22-24]。

本研究通过单因素和响应面试验设计,对植物乳杆菌和副干酪乳杆菌混合发酵毛酸浆果汁的工艺配方进行了优化,对发酵前后果汁理化指标、抗氧化成分(黄酮和多酚)以及气味进行了检测,为乳酸菌发酵毛酸浆果汁类产品的开发提供了基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

毛酸浆,购于辽宁省锦州市;植物乳杆菌 1.1856 (*Lactobacillus plantarum*)、副干酪乳杆菌 1.9089 (*Lactobacillus paracei*),锦州医科大学实验室保存。

亚硝酸钠、福林酚、硝酸铝、氢氧化钠等均为分析纯;没食子酸(标准品,纯度 $\geq 98\%$)、芦丁(标准品,纯度 $\geq 98\%$),购于索莱宝生物科技有限公司;MRS液体培养基,购于北京奥博星生物技术有限责任公司。

1.1.2 仪器与设备

RBM-615型榨汁机,德国瑞本公司;UV-1800型分光光度计,日本岛津公司;PHS-3C型pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;LRH-250型生化培养箱,上海一恒科技有限公司;HH-4D型恒温水浴锅,

上海比朗仪器制造有限公司;WTY-A型手持糖度仪,成都豪创光电仪器有限公司;PEN3型电子鼻,德国Airsense Analytics GmbH公司;ZHJH-112型超净工作台,上海智诚分析仪器制造有限公司;HR/T20MM型立式冷冻离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;FA2004N型电子天平,上海精密科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 毛酸浆果汁的制备

挑选新鲜无坏果的毛酸浆果实,清洗去宿萼后榨汁,一层滤布过滤,82℃灭菌15 min。

1.2.2 毛酸浆果汁发酵

取出保存在甘油管中的乳酸菌,接种于MRS液体培养基中,置于37℃培养箱静置培养12 h,活化2代。将不同菌种比例的菌液配比后,以 10^7 CFU/mL的菌密度接入毛酸浆果汁中,于封口玻璃瓶中培养,37℃静置发酵24 h,每6 h取样进行综合评价。

1.2.3 综合评价

1.2.3.1 感官评价

参考件白敏^[17]的方法,随机挑选受过相关训练的10人,采取随机抽样的方式,分别对发酵果汁的色泽、组织状态、气味、口感、酸甜度5个项目进行感官评价,评分标准如表1所示。

表1 感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation scoring criteria

项目	评分标准	分数/分
色泽 (10分)	色泽均匀,呈亮黄色,光泽度好	7~10
	色泽一般,呈淡黄色,光泽度一般	4~6
	色泽不均匀,颜色黯淡无光泽	0~3
组织 状态 (10分)	质地均匀稳定,无杂质及沉淀	7~10
	质地较稳定,有轻微杂质及沉淀	4~6
	质地浑浊,有杂质及沉淀	0~3
气味 (10分)	香气佳,毛酸浆风味明显,无异味	7~10
	香气较淡,毛酸浆风味一般,无明显异味	4~6
	无毛酸浆风味,气味接受性差	0~3
口感 (10分)	口感细腻,爽口,无不良口感	7~10
	口感较细腻,入口有轻微颗粒感	4~6
	口感不细腻,入口有颗粒感	0~3
酸甜度 (10分)	酸甜适中	7~10
	稍酸或稍甜	4~6
	过酸或过甜	0~3

1.2.3.2 抗氧化性评价

由于毛酸浆富含具有抗氧化性的黄酮、多酚等活性成分,因此对黄酮和多酚的含量进行了检测,评

分标准如表2所示。

表2 抗氧化性成分评分标准
Table 2 Antioxidant composition scoring criteria

评分标准	分数/分
总黄酮含量 ≥ 0.40 g/L	7~10
0.34 g/L < 总黄酮含量 < 0.40 g/L	4~6
总黄酮含量 ≤ 0.34 g/L	0~3
多酚含量 ≥ 0.280 g/L	7~10
0.274 g/L < 多酚含量 < 0.280 g/L	4~6
多酚含量 ≤ 0.274 g/L	0~3

1.2.3.3 综合评分的确定

将黄酮含量、多酚含量和感官品质3项指标拟合而成综合评分。综合评分权重的确定是采用专家评分的方法,即请专家对3个指标(总和为100分)的重要度进行评分,确定3项指标的权重系数分,具体如表3所示^[25]。

表3 指标的专家权重评分结果
Table 3 Weight scoring results of indicators by experts

指标	专家1	专家2	专家3	专家4	专家5	均值	权重
感官评分	45	50	55	50	50	50	0.50
总黄酮含量	25	25	25	20	30	25	0.25
多酚含量	30	25	20	30	20	25	0.25
总和	100	100	100	100	100	100	1.00

综合评分=0.50×感官评分+0.25×总黄酮含量评分+0.25×多酚含量评分

1.2.4 单因素试验设计

1.2.4.1 复合菌种接种比例试验

在接种量1%(V/V),发酵时间12 h条件,调整植物乳杆菌与副干酪乳杆菌的接种比例(后文简称菌种比)分别为0:1、1:2、1:1、2:1、1:0(V/V)(配比后菌密度 10^7 CFU/mL),对制备的乳酸菌混合发酵毛酸浆果汁进行综合评价。

1.2.4.2 复合菌种接种量试验

在菌种比例2:1(V/V),发酵时间12 h条件下,调整菌种接种量分别为0.5%、1.0%、2.0%、3.0%、4.0%(V/V),对制备的乳酸菌混合发酵毛酸浆果汁进行综合评价。

1.2.4.3 复合菌种发酵时间试验

在菌种比例2:1(V/V),接种量1%(V/V)条件下,调整发酵时间分别为0、6、12、18、24 h,对制备的

乳酸菌混合发酵毛酸浆果汁进行综合评价。

1.2.5 响应面优化试验

在单因素试验的基础上,进一步采用Box-Behnken Design(BBD)试验设计对3个发酵因素进行优化,试验设计见表4。

表4 响应面试验因素水平表
Table 4 Factor and level of response surface test

水平	因素		
	A 菌种比	B 接种量/%	C 发酵时间/h
-1	1:1	0.5	6
0	2:1	1.0	12
1	1:0	2.0	18

1.2.6 测定项目与方法

1.2.6.1 乳酸菌活菌数

根据GB 4789.35—2016^[26]进行乳酸菌计数。

1.2.6.2 发酵指标

pH值:使用pH计测定;总酸含量:参照GB/T 12456—2021^[27]中的方法测定,总酸度以乳酸计算;可溶性固形物含量:使用手持糖度仪测定;总糖含量:采用DNS比色法^[28]测定,标准曲线为: $y=0.639 9x-0.074 6$, $R^2=0.997 9$ 。

1.2.6.3 总黄酮和多酚含量

总黄酮含量:参考雷静文等^[29]的方法测定;多酚含量:采用Folin-Ciocalteu检测法^[30]测定。

1.2.6.4 电子鼻检测

参考韩雪等^[31]的方法,对样品进行电子鼻检测,仪器参数:载气流速100 mL/min,清洗时间100 s,检测时间60 s,样品准备时间5 s,自动调零时间5 s,选择58 s时的响应值用于数据分析。对新鲜果汁、灭菌后的新鲜果汁、发酵果汁和灭菌后的发酵果汁4个样品进行检测,灭菌方法采用巴氏灭菌法。

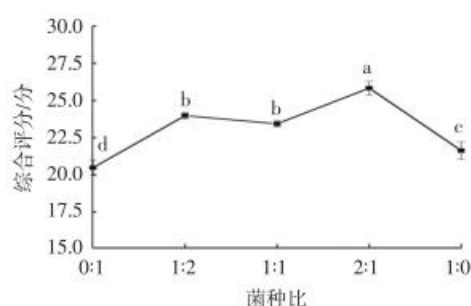
1.2.7 数据处理

数据均以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用Excel 2010和SPSS 26.0进行统计分析,采用Origin2018-64绘制图。响应面试验设计采用Design Expert 10软件,挥发性气味成分采用WinMuster软件分别进行PCA、Loading和LDA分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

如图1~3所示,菌种比、接种量和发酵时间均对毛酸浆果汁的综合评分有很大影响,菌种比为2:1



注:图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下图同。

图1 复合菌种接种比例对毛酸浆果汁综合评分的影响

Fig.1 Effect of inoculation ratio of mixed strains on comprehensive score of *Physalis pubescens* L. juice

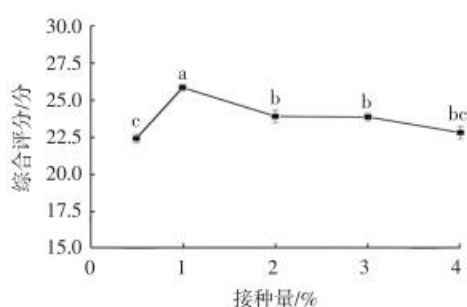


图2 复合菌种接种量对毛酸浆果汁综合评分的影响

Fig.2 Effect of inoculation concentration of mixed strains on comprehensive score of *Physalis pubescens* L. juice

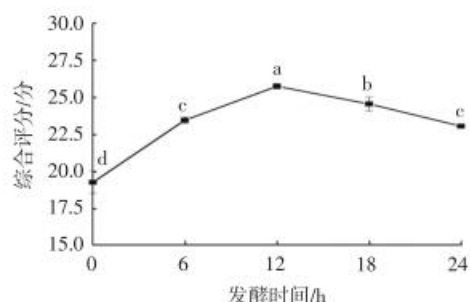


图3 复合菌种发酵时间对毛酸浆果汁综合评分的影响

Fig.3 Effect of fermentation time of mixed strains on comprehensive score of *Physalis pubescens* L. juice

时,发酵果汁的综合评分最高,为(25.8±0.48)分(图1);随着接种量和发酵时间的增加,发酵果汁的综合评分呈先上升后下降的趋势,当接种量和发酵时间分别超过1.0%和12 h时,由于发酵果汁过酸使感官评分下降,导致综合评分下降(图2~3)。因此,选取菌种比2:1,接种量1.0%和发酵时间12 h为响应面优化试验中的0水平。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 响应面优化发酵工艺试验

根据单因素试验的结果,以菌种比(A)、接种量(B)和发酵时间(C)为自变量,响应面试验设计和结果见表5,方差分析见表6。

表5 响应面试验设计及结果

Table 5 Response surface test design and results

试验号	因素			Y 综合评分/分	总黄酮含量/(g·L ⁻¹)	多酚含量/(g·L ⁻¹)	抗氧化性评分/分
	A	B	C				
1	1	1	0	23.65	0.424	0.281	14
2	-1	-1	0	20.05	0.358	0.274	8
3	-1	1	0	24.75	0.379	0.278	11
4	1	-1	0	24.00	0.362	0.276	9
5	0	0	0	25.35	0.398	0.281	12
6	-1	0	1	23.45	0.389	0.279	11
7	0	0	0	25.75	0.391	0.282	12
8	0	1	-1	25.05	0.399	0.276	11
9	0	-1	1	24.40	0.388	0.275	9
10	1	0	-1	23.65	0.378	0.276	10
11	0	0	0	26.35	0.401	0.281	12
12	0	0	0	25.95	0.398	0.281	12
13	1	0	1	22.35	0.397	0.278	12
14	0	1	1	23.00	0.402	0.285	14
15	0	0	0	26.65	0.401	0.279	12
16	-1	0	-1	21.45	0.358	0.277	9
17	0	-1	-1	20.35	0.366	0.272	7

表6 回归模型的方差分析
Table 6 ANOVA for the regression models

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	60.80	9	6.76	26.81	<0.000 1	**
A	1.95	1	1.95	7.74	0.027 2	*
B	7.32	1	7.32	29.03	0.001 0	**
C	0.91	1	0.91	3.62	0.099 0	
AB	6.38	1	6.38	25.30	0.001 5	**
AC	2.72	1	2.72	10.80	0.013 4	*
BC	9.30	1	9.30	36.92	0.000 5	**
A ²	11.97	1	11.97	47.51	0.000 2	**
B ²	6.18	1	6.18	24.52	0.001 7	**
C ²	10.76	1	10.76	42.71	0.000 3	**
残差	1.76	7	0.25			
失拟项	0.73	3	0.24	0.95	0.539 4	
纯误差	1.03	4	0.26			
总和	62.56	16				

注:*表示影响显著(P<0.05),**表示影响极显著(P<0.01)。

对表5中的试验数据经多元回归分析,得到发酵毛酸浆果汁综合评分(Y)对菌种比(A)、接种量(B)和发酵时间(C)的回归方程为:

$$Y=26.01+0.49A+0.96B+0.34C-1.26AB-0.82AC-1.52BC-1.69A^2-1.21B^2-1.60C^2$$

由表6的方差分析结果可知,该试验模型极显著(P<0.01),失拟项不显著,决定系数(R²)为0.9718,调整决定系数(R²_{adj})为0.9356,说明该回归方程具有良好的拟合度和可信度^[32],因此该回归方程可用于毛酸浆果汁发酵结果的理论推测。其中,A、AC对发酵毛酸浆果汁综合评分的影响显著(P<0.05),B、AB、BC、A²、B²、C²的影响极显著(P<0.01)。影响发酵毛酸浆果汁综合评分各因素的主次顺序依次为:B(接种量)>A(菌种比)>C(发酵时间)。

图4~6为两两因素之间的响应面曲线图。通过分析可知,菌种比(A)、接种量(B)和发酵时间(C)任意两因素间的组合,其综合评分皆随工艺参数的提高而呈现先增加后下降趋势,特别是AB和BC组合,其曲面变化陡峭,这与方差分析结果一致,说明本试验参数选择合理,在选定范围内的参数进行发酵工艺的优化,能够得到最佳的综合评分。

2.2.2 最佳发酵工艺的确定

根据响应面回归模型及 Design Expert 10 软件求解方程得到毛酸浆乳酸菌混合发酵最佳工艺参数为:菌种比 7:3.515,接种量 1.016%,发酵时间 12.09 h,根

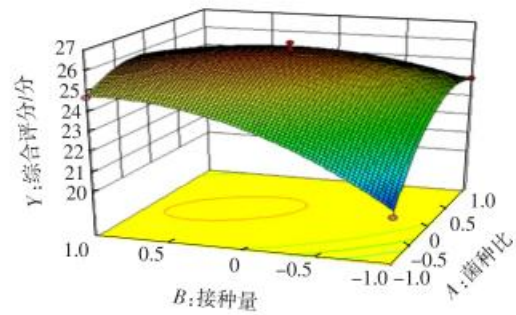


图4 菌种比和接种量的交互作用对毛酸浆果汁综合评分影响的响应面曲线图

Fig.4 Response surface map of the effects of the interaction of strain ratio and inoculum amount on the comprehensive score of *Physalis pubescens* L. juice

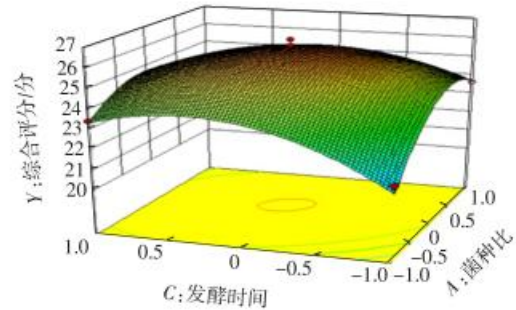


图5 菌种比和发酵时间的交互作用对毛酸浆果汁综合评分影响的响应面曲线图

Fig.5 Response surface map of the effects of the interaction of strain ratio and fermentation time on the comprehensive score of *Physalis pubescens* L. juice

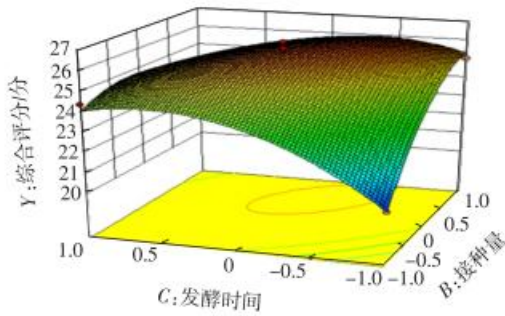


图6 接种量和发酵时间的交互作用对毛酸浆果汁综合评分影响的响应面曲线图

Fig.6 Response surface map of the effects of the interaction of inoculation amount and fermentation time on the comprehensive score of *Physalis pubescens* L. juice

据上述条件经模型优化预测得到发酵毛酸浆果汁综合评分为 25.793 分。考虑到实际生产需要,对参数进行简化,调整为菌种比 2:1,接种量 1.0%、发酵时间 12h,经过 3 次验证试验,综合评分平均值为 25.82 分,与模型预测理论值基本一致,说明本模型可信度高,可用于生产中预测毛酸浆果汁混合发酵工艺的结果。

2.3 毛酸浆果汁发酵前后理化指标变化

表 7 为发酵前后毛酸浆果汁的理化指标变化情况。由表 7 可见,由于乳酸菌在发酵过程中需要消耗糖类作为碳源并产酸^[31],所以发酵后毛酸浆果汁的 pH 值、可溶性固形物和总糖含量降低,总酸含量升高。毛酸浆果汁发酵前后的多酚和总黄酮含量分别由 (0.259 ± 0.01) g/L 和 (0.268 ± 0.01) g/L 提高至 (0.281 ± 0.00) g/L 和 (0.401 ± 0.00) g/L,菌落总数达到 8.31 ± 0.12 (lg(CFU/g))。叶盼等^[34]选用植物乳杆菌对苹果汁进行发酵,也发现多酚和总黄酮含量显著增加,与本文研究结果一致。说明乳酸菌发酵有益于毛酸浆中功能性物质的转化和溶出,这可能由于乳酸菌在发酵过程中产生酯酶和酚酸脱羧酶。酯酶可促进果汁中结合酚水解释放出游离酚;酚酸脱羧酶能够将复杂的大分子酚类物质转化成小分子酚类物质。另外,发酵过程中产生的酸还可以抑制酚类物质降解。这些都可导致乳酸菌发酵后果汁中酚类物质的含量及种类发生变化^[35]。

2.4 电子鼻结果

气味是果蔬汁品质的重要评价指标之一。乳酸菌发酵过程中,果蔬汁中的游离氨基酸以及糖类等物质被水解成萜烯类物质,使得萜烯类物质含量增加,产生花果香以及香脂香气,对果蔬汁的气味产生影响^[36]。采用优化后的工艺参数发酵毛酸浆果汁,利用电子鼻确定了发酵果汁中的主要气味成分,评价了乳酸菌发酵对毛酸浆果汁气味的影响。

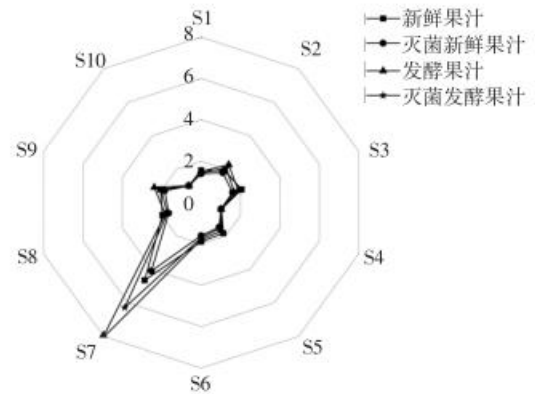
表 7 理化指标

Table 7 Physico-chemical indicators

指标	发酵前	发酵后
菌落总数(lg(CFU/g))	0	8.31 ± 0.12
pH 值	4.88 ± 0.02	4.32 ± 0.01
可溶性固形物含量/Brix	12.38 ± 0.02	12.07 ± 0.03
总酸含量/(g·L ⁻¹)	3.08 ± 0.05	5.59 ± 0.15
总糖含量/(g·L ⁻¹)	123.76 ± 0.69	115.83 ± 1.26
多酚含量/(g·L ⁻¹)	0.259 ± 0.01	0.281 ± 0.00
总黄酮含量/(g·L ⁻¹)	0.268 ± 0.01	0.401 ± 0.00

2.4.1 雷达图分析

由图 7 可知,传感器 S7 对不同处理的样品气味的响应值均为最大,其次是传感器 S9 和传感器 S2,说明样品中萜烯类物质和无机硫化物含量最高,其次为氮氧化合物和有机硫化物、芳香物质。萜烯类物质广泛存在于植物和动物体内,越来越多的研究表明,萜烯类物质具有抗氧化活性^[21],而硫化物广泛存在于果酒中。发酵前后传感器 S7 响应值差异明显,萜烯类物质和无机硫化物含量增加最明显;挥发性香气由强到弱依次为发酵果汁、灭菌发酵果汁、新鲜果汁和灭菌新鲜果汁,这说明乳酸菌发酵处理可以丰富果汁气味,巴氏灭菌处理会降低果汁的气味成分。



注:传感器对应的敏感物质为 S1.芳香物质;S2.氮氧化合物;S3.氨、芳香物质;S4.氯化物;S5.烷烃、芳香物质;S6.甲基类;S7.萜烯类物质、无机硫化物;S8.醇类、醛酮类物质;S9.有机硫化物、芳香物质;S10.烷烃。

图 7 雷达分析图

Fig.7 Radar diagram

2.4.2 Loading 分析

4 个样品挥发性气味的 Loading 分析如图 8 所示,传感器的响应值距原点越远,对挥发性气味成分的识别能力越强^[37]。由 Loading 分析图可知,气味总贡

献率为 99.944%,对样品挥发性成分贡献率最大的感应器是 S7,其次是 S2 和 S9,其他感应器的贡献率差别不明显,表明影响样品果汁风味差异的主要是萜烯类物质、无机硫化物、氮氧化合物、有机硫化物和芳香物质,其他成分差异不明显。

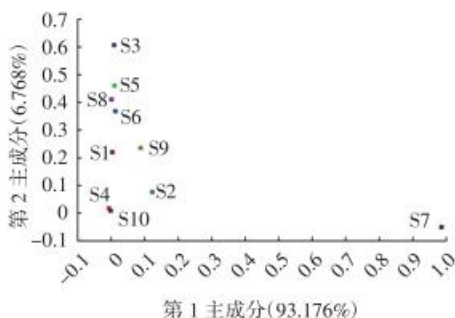


图8 Loading分析图
Fig.8 Loading diagram

2.4.3 PCA分析

4个样品挥发性气味的PCA分析如图9所示,每个椭圆代表不同样品挥发性气味成分的数据采集点。分析得出,第一主成分贡献率为93.176%,第二主成分贡献率为6.768%,贡献率之和为99.944%,大于90%,说明基本代表了样品主要的气味特征。在PCA图中,每个椭圆内数据点分布越紧密,说明样品重复性越高;横坐标轴上的间距越大,说明样品之间的差异性越大,由于第一主成分贡献率远高于第二主成分贡献率,所以差异主要体现在第一主成分上。通过图9可以看出,灭菌前后的毛酸浆果汁差异不显著,发酵前后的毛酸浆果汁差异非常明显。可利用LDA图进一步分析。

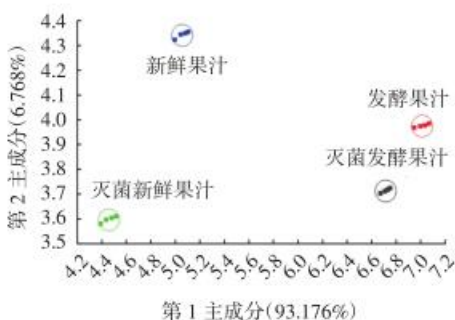


图9 PCA分析图
Fig.9 PCA diagram

2.4.4 LDA分析

4个样品挥发性气味的LDA分析如图10所示,通过LDA分析得出,两个主成分贡献率之和为98.28%,高于70%~85%,说明方法可以使用^[30]。通过

图10可以看出,样品间离散度大,说明不同处理对毛酸浆果汁的挥发性气味有明显的影响^[30]。

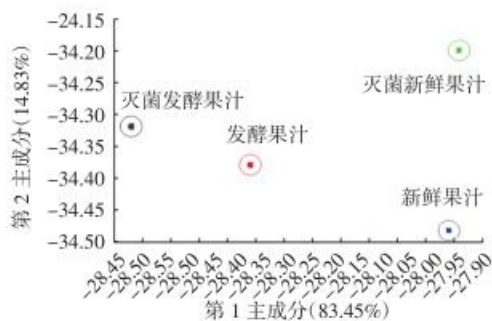


图10 LDA分析图
Fig.10 LDA diagram

3 结论

本试验对乳酸菌混合发酵毛酸浆果汁工艺进行了优化,结合实际生产,确定乳酸菌混合发酵毛酸浆果汁最佳工艺参数为:植物乳杆菌与副干酪乳杆菌接种比2:1,接种量1.0%,在37℃下发酵12h。在此条件下制作的毛酸浆果汁中富含多酚黄酮和萜烯类物质,萜烯类物质为毛酸浆果汁中香气物质种类最多且含量最高的物质,具有柑橘类以及松木香气。本研究为毛酸浆的深加工提供了参考。

参考文献:

- [1] 杨炳友,李晓毛,刘艳,等. 毛酸浆的研究进展[J]. 中草药, 2017,48(14):2979-2988. DOI:10.7501/j.issn.0253-2670.2017.14.029.
- [2] CHEN X Y, LI X, ZHANG X B, et al. Antihyperglycemic and antihyperlipidemic activities of a polysaccharide from *Physalis pubescens* L. in streptozotocin(STZ)-induced diabetic mice[J]. Food & Function, 2019,10(8). DOI:10.1039/C9FO00687G.
- [3] ALI A A, ESSAWY E A, HAMED H S E F, et al. The ameliorative role of *Physalis pubescens* L. against neurological impairment associated with streptozotocin induced diabetes in rats[J]. Metabolic Brain Disease, 2021,36(5). DOI: 10.1007/s11011-021-00730-7.
- [4] 张钱伟. 毛酸浆枸杞液体营养饮料研制及其对运动抗疲劳作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2020,41(9):141-145. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.09.023.
- [5] 班硕,胡楠楠,徐凌志,等. 葡萄、毛酸浆复合果酱的制作[J]. 中国调味品, 2019,44(6):114-118. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.06.025.
- [6] 张庆钢,余善鸣. 糖水毛酸浆罐头生产技术的研发[J]. 食品科学, 2006,27(9):178-180. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.

- 2006.09.039.
- [7] 王艺,张庆钢,高蕊笑,等.毛酸浆的研究进展[J].农产品加工,2020(4):72-76,81. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2020.04.051.
- [8] 王赢,朱丹,牛广财,等.毛酸浆发酵果脯的研制[J].中国酿造,2017,36(8):182-185. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2017.08.040.
- [9] FIJAN S. Microorganisms with claimed probiotic properties: an overview of recent literature[J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2014, 11(5): 4745-67. DOI: 10.3390/ijerph110504745.
- [10] ELLENDERSEN L D S N, GRANATO D, GUERGOLETTO K B, et al. Development and sensory profile of a probiotic beverage from apple fermented with *Lactobacillus casei*[J]. Engineering in Life Science, 2012, 12(4): 475-485. DOI:10.1002/elsc.201100136.
- [11] PRADO F C, PARADA J L, PANDEY A, et al. Trends in non-dairy probiotic beverages[J]. Food Research International, 2008, 41(2): 111-123. DOI:10.1016/j.foodres.2007.10.010.
- [12] KWAW E, MA Y K, TCHABO W, et al. Effect of *Lactobacillus* strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic acid-fermented mulberry juice [J]. Food Chemistry, 2018, 250: 148-154. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.01.009.
- [13] 赵珊,李清兰,黄燕燕,等.胡萝卜木瓜混合发酵果蔬汁的制备及其抗氧化性能研究[J].食品科技,2019,44(1):146-153. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2019.01.026.
- [14] AHRNÉ S, NOBAEK S, JEPPSSON B, et al. The normal *Lactobacillus* flora of healthy human rectal and oral mucosa [J]. Journal of Applied Microbiology, 1998, 85(1): 88-94. DOI: 10.1046/j.1365-2672.1998.00480.x.
- [15] NI C X, LI X, WANG L L, et al. Lactic acid bacteria strains relieve hyperuricaemia by suppressing xanthine oxidase activity via a short-chain fatty acid-dependent mechanism[J]. Food & Function, 2021, 12(15). DOI:10.1039/D1FO00198A.
- [16] HOSODA M, HASHIMOTO H, HE F, et al. Effect of administration of milk fermented with *Lactobacillus acidophilus* LA-2 on fecal mutagenicity and microflora in the human intestine[J]. Journal of Dairy Science, 1996, 79(5): 745-749. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(96)76421-4.
- [17] 仵白敏.复合益生菌发酵葡萄酒工艺优化与营养特性研究[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [18] 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.
- [19] 王惠.乳酸菌发酵树莓汁工艺及其抗氧化、抗肿瘤活性研究[D].石家庄:河北科技大学,2020.
- [20] 钱籽霖.乳酸菌发酵拐枣汁工艺优化及抗氧化活性评价[D].重庆:西南大学,2019.
- [21] WU Q, ZHU W A, WANG W, et al. Effect of yeast species on the terpenoids profile of Chinese light-style liquor[J]. Food Chemistry, 2015, 168: 390-395. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.07.069.
- [22] 朱立斌,朱丹,牛广财,等.毛酸浆乳酸发酵工艺优化及其抗氧化活性[J].食品科技,2020,45(7):50-56. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.07.010.
- [23] 朱丹,朱立斌,苗欣月,等.不同乳酸菌在毛酸浆发酵中的特性研究[J].中国酿造,2020,39(5):141-146. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2020.05.027.
- [24] 王赢,朱丹,牛广财,等.毛酸浆发酵过程中非酶褐变影响因素研究[J].福建农业学报,2017,32(7):756-761. DOI:10.19303/j.issn.1008-0384.2017.07.013.
- [25] 李美娟,陈国宏,陈衍泰.综合评价中指标标准化方法研究[J].中国管理科学,2004,12(S1):45-48. DOI:10.3321/j.issn:1003-207X.2004.z1.012.
- [26] 食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验: GB 4789.35—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [27] 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB/T 12456—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [28] 田芳年,马连荣,莫肖云,等. DNS 法测定红枣总糖含量[J].化工技术与开发,2009(9):45-46,55. DOI:10.3969/j.issn.1671-9905.2009.09.012.
- [29] 雷静文,郭小丽,宋丽华,等.总黄酮含量结合体外抑菌试验优选中药制剂 A-84 提取工艺的筛选[J].长治医学院学报,2020,34(4):246-249,263. DOI:10.3969/j.issn.1006-0588.2020.04.002.
- [30] YU Y S, XU Y J, WU J J, et al. Effect of ultra-high pressure homogenisation processing on phenolic compounds, antioxidant capacity and anti-glucosidase of mulberry juice[J]. Food Chemistry, 2014, 153: 114-120. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.12.038.
- [31] 韩雪,王晶晶,张玉科,等.电子鼻法监测不同温度毛酸浆风味物质的变化[J].饲料研究,2016(20):43-47,53. DOI:10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2016.20.011.
- [32] 蔡丹凤,吴长辉,唐润杰,等.响应面法优化茯苓超微粉碎工艺的研究[J].广州中医药大学学报,2021,38(7):1467-1471. DOI:10.13359/j.cnki.gzxbtm.2021.07.029.
- [33] 熊涛,彭飞,李啸,等.传统发酵泡菜优势微生物及其代谢特性[J].食品科学,2015,36(3):158-161. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201503030.
- [34] 叶盼,吴慧,王德纯,等.发酵苹果汁的抗氧化性能变化[J].食品与发酵工业,2016,42(4):114-119. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201604021.
- [35] 杨冲,彭珍,熊涛.南丰蜜桔汁乳酸菌发酵过程中品质的变化[J].食品工业科技,2018,39(11):1-5,11. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.11.001.
- [36] TRIPATHI J, CHATTERJEE S, GAMRE S, et al. Analysis of free and bound aroma compounds of pomegranate (*Punica*

- granatum* L.][J]. LWT-Food Science and Technology,2014,59(1): 461-466. DOI:10.1016/j.lwt.2014.05.055.
- [37] 闫子茹,张阳,高聪聪,等. 基于电子鼻检测香红梨腐烂程度[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(11):4529-4535. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2021.11.031.
- [38] 李官丽,聂辉,苏可珍,等. 基于感官评价和电子鼻分析不同蒸煮时间荸荠风味物质[J]. 食品工业科技,2020,41(15):1-7,14. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020.15.001.
- [39] 白丽娟,张猛,金螺. 基于电子鼻技术监测羊奶发酵前后不同阶段风味的变化[J]. 食品工业科技,2015,36(13): 294-297. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.13.053.

收稿日期:2020-10-14

《保鲜与加工》杂志 2022 年征订启事

《保鲜与加工》杂志是由天津市农业科学院主办的农产品采后技术研究领域的科技期刊,为中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊(A)、中国农林核心期刊和中国北方优秀期刊,本刊已被中国学术期刊(光盘版)、维普网、万方数据库、超星数据库、美国《化学文摘》(CA)、英国《食品科技文摘》(FSTA)和英国《国际农业与生物科学研究中心》(CABI)收录。另据中国知网的最新统计结果,《保鲜与加工》杂志的5年复合影响因子为1.411。本刊主要报道农产品保鲜与加工相关领域基础理论、新技术、新工艺、新设备、新材料的研究成果及国内外相关行业的动态与信息,设置专家论坛、保鲜研究、加工研究、检测分析、信息与物流、专题论述、技术指南、行业资讯、科普沙龙、科技前沿、政策法规等栏目。适于科技人员、农业技术推广人员、相关企业管理和技术人员、大专院校师生及广大从事保鲜与加工技术研发领域的人士参阅。

本刊为月刊,大16开本,120页,每月20日出版,国内外公开发行人,每期定价20元,全年240元,国内统一连续出版物号:CN 12-1330/S,国际标准连续出版物号:ISSN 1009-6221,邮发代号:6-146。

欢迎在全国各地邮局(所)或本编辑部订阅,欢迎广大读者踊跃投稿,并诚邀刊登各类公益性广告。

通讯地址:天津市西青区津静公路17公里处,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)《保鲜与加工》编辑部。邮编:300384

电话(传真):022-27948711,联系邮箱:bxyjg@163.com,投稿平台:www.bxyjg.com