

复合乳酸菌发酵西瓜-番茄果蔬汁的工艺优化

李鹏程, 刘青, 项耀东, 张瑶

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东淄博 255000)

摘要: 本研究以自主分离筛选的植物乳杆菌 S3-10 和干酪乳杆菌 R10 作为发酵菌株, 通过单因素和正交实验探讨了菌种配比、果蔬汁含量、蔗糖含量、葡萄糖含量、温度等参数对西瓜-番茄果蔬发酵的影响。结果表明, 2 株乳酸菌复合发酵西瓜-番茄果蔬汁的最佳工艺参数为: S3-10 和 R10 菌株配比 1:2、果蔬汁 44.4%、蔗糖 5%、葡萄糖 6%、发酵温度 40 °C, 在此条件下获得的活菌数为 4.79×10^8 cfu/mL, 总产酸量为 12.42 g/L, 比初始总酸含量提高 21%。通过 HPLC 法对乳酸菌发酵过程中的有机酸进行分析, 发现 2 株乳酸菌单独发酵或复合发酵西瓜-番茄过程中有机酸的种类及变化相似, 2 株乳酸菌复合发酵产乳酸和总酸含量明显高于单一菌株发酵。综合考虑乳酸菌 S3-10 和 R10 复合发酵西瓜-番茄性能优异, 在开发果蔬发酵产品及其他功能益生产品方面具有较大潜力和应用前景。

关键词: 乳酸菌; 果蔬发酵; 有机酸; 正交实验

文章编号: 1673-9078(2020)06-249-255

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.6.1232

Optimization of Fermented Watermelon-Tomato Juice by Compound Lactic Acid Bacteria

LI Peng-cheng, LIU Qing, XIANG Yao-dong, ZHANG Yao

(School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Abstract: In this study, *Lactobacillus plantarum*S3-10 and *Lactobacillus casei* R10 isolated and screened from our lab were used as fermentation strains. The single factor and orthogonal experiments were used to study the major factors affecting the fermentation of watermelon-tomato, such as strain ratio, watermelon-tomato juice content, sucrose content, glucose content, temperature, etc. The results showed that the optimal technological parameters of combined fermentation watermelon-tomato juice by two strains of lactic acid bacteria were as follows: S3-10 and R10 strain ratio 1:2, watermelon-tomato juice 44.4%, sucrose 5%, glucose 6%, fermentation temperature 40 °C. The number of viable cells obtained under this condition was 4.79×10^8 cfu/mL, and the total acid yield was 12.42 g/L, which was 21% higher than the initial total acid content. The organic acid compositions and changes analyzed by HPLC were similar in the fermentation process of watermelon-tomato juice by the two strains of lactic acid bacteria. The lactic acid and total acid content of the two strains of lactic acid bacteria compound fermentation was significantly higher than that of single strain fermentation. Considering the excellent performance of lactic acid bacteria S3-10 and R10 compound fermented watermelon-tomato, it has great potential and application prospects in the development of fruit and vegetable fermentation products and other functional probiotic products.

Key words: lactic acid bacteria; fruit and vegetable fermentation; organic acid; orthogonal experiment

引文格式:

李鹏程,刘青,项耀东,等.复合乳酸菌发酵西瓜-番茄果蔬汁的工艺优化[J].现代食品科技,2020,36(6):249-255

LI Peng-cheng, LIU Qing, XIANG Yao-dong, et al. Optimization of fermented watermelon-tomato juice by compound lactic acid bacteria [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 249-255

收稿日期: 2019-12-13

基金项目: 淄博市校城融合项目 (2017ZBXG169); 山东省重点研发计划项目 (2018GSF121013); 山东理工大学大学生创新训练项目 (2019104331300-5218)

作者简介: 李鹏程 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 张瑶 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品微生物发酵与代谢调控

乳酸菌 (Lactic acid bacteria, LAB) 在自然界中广泛分布, 能发酵代谢各类碳水化合物并产生大量乳酸^[1-3]。大多数的乳酸菌在世界范围内被公认为“generally recognized assafe (GRAS)”等级的食品微生物, 而且乳酸菌具有营养、健康的特殊功效, 已广泛应用于食品发酵等各个领域^[4-6]。近年来关于乳酸菌发酵果蔬饮料的研究日益增多, 欧美日韩等国发酵果蔬制品市场在逐步扩大并已研发出众多优秀产品^[6-8]。乳酸菌发酵果蔬原料可以极大程度上减少营养物质的损失, 增添产品的风味, 且发酵后产生有益的有机酸以及特有的抗氧化益生代谢物质等, 对延长衰老、改善胃肠环境和提高机体免疫力等起重要作用^[9-13]。目前已对不同乳酸菌单一发酵或混合发酵多种果蔬原料如苹果、梨、南瓜、胡萝卜、石榴、花椰菜、芹菜、番茄、龙眼、火龙果等进行了研究^[14-21]。利用乳酸菌发酵工艺研发果蔬制品既能够获得优良的风味品质, 又可以赋予产品营养保健功能, 因此拥有巨大的潜在效益和广阔前景。另外, 从大量前人研究的结果来看, 就发酵菌种而言, 复合菌种发酵在活菌数、产品口感风味等方面显然优于单菌种的发酵, 所以对双菌种或多菌种的筛选和优化是未来乳酸菌发酵产业的重要方向之一。本研究以自主分离筛选的 2 株乳酸菌作为发酵菌株, 通过单因素和正交实验探讨了菌种配比、果蔬汁含量、蔗糖含量、葡萄糖含量、温度等发酵参数的影响, 对发酵过程中的菌体密度、活菌数、pH 值、酸度和有机酸成分进行检测, 进一步优选出乳酸菌复合发酵西瓜-番茄果蔬汁的最佳工艺, 以期开发新的果蔬产品及丰富果蔬发酵专用菌库提供思路。

1 材料与方法

1.1 材料、菌株与试剂

新鲜西瓜、番茄市购; 植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*, 菌种保藏号 CGMCC No.16750) S3-10 和干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*, 菌种保藏号 CGMCC No.16750) R10 均由山东理工大学微生物脂质研究中心保存^[22]; 苹果酸、柠檬酸、甲酸、乳酸等有机酸标准品购自 Beijing solabio Sci. &Tech. Co. Ltd.; 其他常规试剂购自国家药品集团化学试剂有限公司。

1.2 培养基

MRS 种子培养基: 牛肉膏 5 g/L, 胰蛋白胨 10 g/L, 吐温 801 g/L, 葡萄糖 20 g/L, 乙酸钠 5 g/L, 硫酸镁 0.2 g/L, 磷酸氢二钾 2 g/L, 柠檬酸二铵 2 g/L, 酵母提取物 5 g/L, pH 6.3~6.7, 121 °C 湿热灭菌 30 min。

果蔬发酵培养基: 将西瓜、番茄清洗去皮切分后分别榨汁除渣过滤除菌得到西瓜汁和番茄汁按 1:1 混合于 4 °C 保存备用。按照混合果蔬汁 33.3%、葡萄糖 5%、蔗糖 5%、氯化钙 0.5%、磷酸氢二钠 0.05%, 磷酸二氢钠 0.05%, 硫酸镁 0.03%, 柠檬酸 0.1% 的基本配比配置 (可根据实验方案改变培养基组成配比), 除果蔬和柠檬酸外其余成分于 115 °C 湿热灭菌 15 min。

1.3 培养方法

1.3.1 种子培养

将乳酸菌株接种到 MRS 种子培养基中, 置于 37 °C 恒温厌氧培养 12 h 获得活化种子液。

1.3.2 果蔬发酵培养

将乳酸菌株进行活化、扩培后, 根据实验方案改变培养基组成及培养条件, 按 5% 接种量分别接种于果蔬发酵培养基中, 恒温厌氧培养 16 h 后测定发酵液中还原糖、活菌数、pH 值、酸度等指标, 每次测定重复 3 次。

1.3.3 单因素优化

按照试验方案选择改变如下单因素: (1) 植物乳杆菌 S3-10 与干酪乳杆菌 R10 的菌种配比设为 3:1、2:1、1:1、1:2 和 1:3 五个水平; (2) 果蔬汁质量百分比设为 11.1%、22.2%、33.3%、44.4% 和 55.5% 五个水平; (3) 蔗糖质量百分比设为 3%、4%、5%、6% 和 7% 五个水平; (4) 葡萄糖质量百分比设为 2%、3%、4%、5% 和 6% 五个水平; (5) 发酵温度设为 25 °C、28 °C、31 °C、34 °C、37 °C 和 40 °C 六个水平。

1.3.4 正交实验

在以上单因素的基础上, 进行正交试验来优化发酵条件。采用“五因素三水平”方案, 按表 L18(3⁵) 设计。

1.4 分析方法

1.4.1 活菌数、pH 值和还原糖的测定

采用伊红美蓝活菌数快速测定方法测定发酵液中的活菌数。采用雷磁 PHS-25 数显 pH 计直接测定发酵液中的 pH 采用 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法^[23]测定发酵液中的还原糖含量。

1.4.2 总酸的测定

发酵液中总酸含量的测定参照国家标准 GB/T 12456-2008 《食品中总酸的测定》^[24]进行检测, 具体步骤如下: 吸取果蔬发酵试液 25~50 g, 置于 250 mL 三角瓶中。加 40~60 mL 水及 0.2 mL 1% 酚酞指示剂, 用 0.1 mol/L NaOH 标准滴定溶液滴定至微红色 30 s 不退色。记录消耗 NaOH 标准滴定溶液的体积数值 (V1)。同一被测样品应测定两次, 取平均值。同时

用水代替试液做空白对照,记录消耗 NaOH 标准滴定溶液的体积数值 (V2)。发酵液中总酸的含量以质量分数 X 计,数值以克每升 (g/L) 表示,按下式计算:

$$\text{总酸含量 (X)} = \frac{c \times (V1 - V2) \times K}{m} \times 1000$$

式中: c 为 NaOH 标准溶液的浓度, mol/L; $V1$ 为滴定试液时消耗 NaOH 标准溶液的用量, mL; $V2$ 为空白试验消耗 NaOH 标准溶液的用量, mL; m 为试液的质量, g。

1.4.3 有机酸的测定

采用紫外高效液相色谱法^[18]测定有机酸含量,色谱柱为 InfinityLab Porshell.120 EC-C18 (4.6×150 mm),流动相为 0.05 mol/L 的 Na_2HPO_4 (pH 2.8),柱温 25 °C,流速 0.5 mL/min,紫外检测器检测波长设定为 210 nm,进样量 10 μL 。

1.5 数据处理

所有实验均设置三次重复,试验结果采用 SPSS 统计软件进行统计分析。图表绘制采用 Origin Pro 8.0 进行处理与分析。有机酸测定结果根据标品出峰时间和标准曲线进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 乳酸菌菌种比对发酵果蔬汁的影响

植物乳杆菌和干酪乳杆菌是果蔬发酵的常用益生菌种^[25]。前期本课题组分离筛选到的植物乳杆菌 S3-10 和干酪乳杆菌 R10 单独发酵果蔬的性能较为优异^[22],而两菌株复合发酵果蔬的效果尚未研究。为了探究两株乳酸菌混合发酵果蔬汁的最佳菌种配比,本试验将 S3-10 和 R10 设置不同比例加入西瓜-番茄果蔬汁发酵 16 h 得到的结果如图 1 所示。

活菌数值可以反映微生物利用发酵基质性能的强弱。由图 1 可知,不同配比的乳酸菌发酵果蔬汁均能保持较高的活菌数在 10^8 cfu/mL 以上,其中 S3-10 和 R10 菌种配比为 1:2 时活菌数值达到最大。不同菌种配比的发酵基质中还原糖含量无显著差异,基本维持在 1.8 g/L 左右。pH 值和总酸含量是衡量发酵产酸能力的重要指标,pH 值直接影响菌种的生长代谢和产品保存期限,总酸含量直接影响发酵液的风味、口感和品质。由图 1 可以看出,不同菌种配比的发酵液 pH 在 3.5~3.7 范围内变化不大,而总酸含量略有差异,仍然是 S3-10 和 R10 菌种配比为 1:2 时产酸量最高。综上,选用乳酸菌株 S3-10 和 R10 复合发酵的最佳菌种配比为 1:2。同样许世闯等^[26]进行的乳酸菌发酵复合果蔬汁的菌种筛选及发酵工艺优化研究结果表明,

菌种添加量和发酵环境有关,其选用的植物乳杆菌和副干酪乳杆菌比例为 2:5 时发酵效果最好。

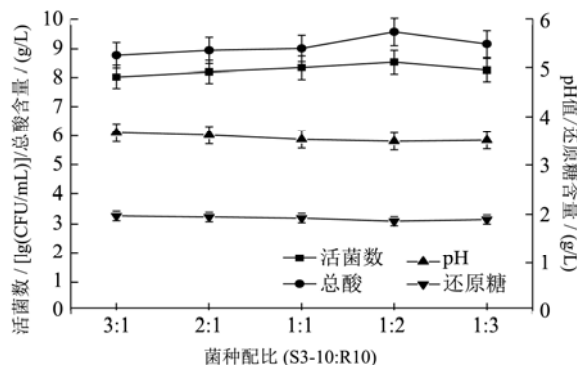


图 1 乳酸菌菌种比对发酵果蔬汁的影响

Fig.1 Effect of lactic acid bacteria ratio on fermented fruit and vegetable juice

2.2 西瓜-番茄果蔬汁含量对乳酸菌发酵的影响

果蔬作为主要原料,其浓度大小直接影响菌种发酵及饮料的口感。由图 2 可以看出,不同西瓜-番茄果蔬汁含量的发酵基质中还原糖含量和 pH 值无显著差异。果蔬汁含量低于 30% 时发酵液中的活菌数和总酸量较低,而果蔬汁含量在 30% 以上时发酵液中的活菌数和总酸量差异不显著。当果蔬汁含量为 44.4% 时,菌数值和产酸量最大,故选择 44.4% 为最适果蔬汁浓度。与本实验研究结果类似,张玉慧等^[27]对乳酸菌发酵蓝莓果汁的工艺研究结果显示随着蓝莓汁质量分数的增加,乳酸含量逐渐提高,最终选择 30% 作为蓝莓汁最佳质量分数。

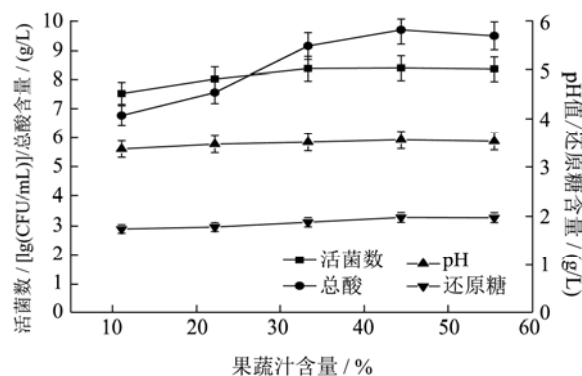


图 2 果蔬汁含量对乳酸菌发酵的影响

Fig.2 Effect of fruit and vegetable juice content on fermentation by lactic acid bacteria

2.3 蔗糖含量对乳酸菌发酵果蔬汁的影响

蔗糖既可以为乳酸菌发酵提供碳源,又可以调节果蔬汁的甜度,其浓度大小对发酵果蔬汁的酸甜比具有显著影响。由图 3 可知,随着蔗糖浓度的提高,发酵液中剩余还原糖含量呈逐渐增多的趋势。不同蔗糖

浓度的发酵基质中活菌数值均在 10^8 cfu/mL 以上, 当蔗糖浓度为 5% 时活菌数值为最高。不同蔗糖浓度的发酵液 pH 在 3.2~3.4 范围内变化不大, 而总酸含量差异较大。蔗糖浓度低于 5% 时乳酸菌发酵的产酸量要远远低于蔗糖浓度高于 5% 时的总酸含量, 当蔗糖浓度为 5% 时总酸量最大为 9.5 g/L。综合活菌数值和产酸量, 选择 5% 为最适蔗糖浓度。王茹等^[28]对复合乳酸菌发酵枸杞汁的工艺优化研究结果显示, 当白砂糖添加量为 5% 时, 乳酸含量最高且感官评价最高, 与本实验结果相一致。

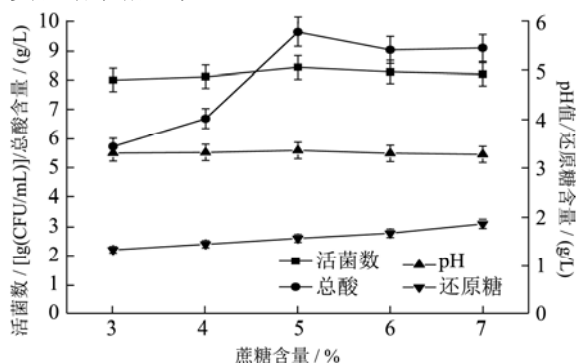


图3 蔗糖含量对乳酸菌发酵果蔬的影响

Fig.3 Effect of sucrose content on fermentation of fruits and vegetables by lactic acid bacteria

2.4 葡萄糖含量对果蔬发酵的影响

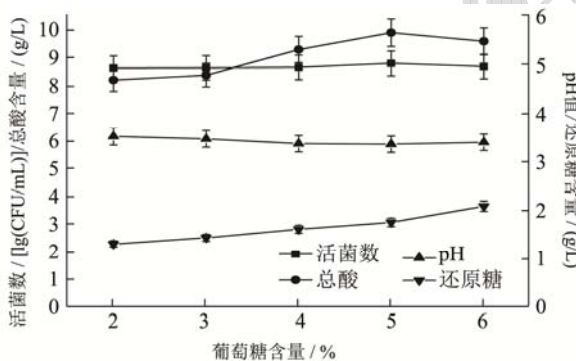


图4 葡萄糖含量对乳酸菌发酵果蔬的影响

Fig.4 Effect of glucose content on fermentation of fruits and vegetables by lactic acid bacteria

葡萄糖作为微生物生长代谢最常用的碳源, 其浓度大小对乳酸菌发酵果蔬具有显著影响。由图4可以看出, 随着葡萄糖浓度的提高, 发酵液中剩余还原糖含量呈明显增多的趋势。不同葡萄糖浓度的发酵基质中活菌数值较高在 10^8 cfu/mL 以上, 当葡萄糖浓度为 5% 时活菌数值为最高。不同葡萄糖浓度的发酵液 pH 在 3.4~3.6 范围内变化不大, 而总酸含量差异较大。开始产酸量随着葡萄糖浓度增大而提高, 当葡萄糖浓度为 5% 时总酸含量最大为 9.85 g/L, 随后葡萄糖增多

反而产酸量降低。综合活菌数值和产酸量, 选择 5% 为最适葡萄糖浓度。前期研究^[27]结果显示葡萄糖浓度 6%~8% 时蓝莓汁发酵工艺最佳, 与本实验结果相似。

2.5 发酵温度对果蔬发酵的影响

温度是微生物生长和代谢的重要影响因素。由图5可知, 不同发酵温度下乳酸菌发酵果蔬基质中还原糖含量、pH 值以及活菌数值都无显著差异, 只有总酸含量具有明显变化。初始产酸量随着发酵温度升高而明显增多, 当发酵温度为 37 °C 时总酸含量最大, 随后温度升高反而产酸量降低。综合各影响指标, 选择 37 °C 为最适发酵温度。同样, 前期关成冉等^[13]对复合乳酸菌发酵果蔬乳饮料的研究结果表明, 复合乳酸菌发酵果蔬乳饮料在 38 °C 培养含有最高活菌数并对病原菌的抑制能力最强。

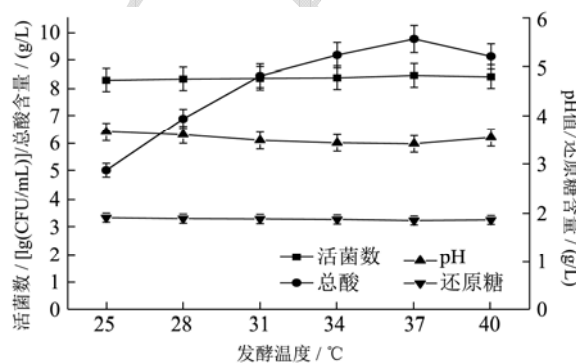


图5 发酵温度对乳酸菌发酵果蔬的影响

Fig.5 Effect of temperature on fermentation of fruits and vegetables by lactic acid bacteria

2.6 正交实验及分析

在上述单因素试验的基础上, 设计正交实验来优化发酵条件, 采用“五因素三水平”方案, 选取菌种配比、果蔬汁含量、蔗糖含量、葡萄糖含量和发酵温度等因素进行实验。具体实验设计方案如表1所示。

正交试验结果及极差分析如表2所示, 以发酵最终总酸量为指标, 来优化确定最佳的乳酸菌发酵果蔬汁工艺参数。极差值代表该因素水平的改变对结果的影响, 若极差值越大, 说明该因素对乳酸菌发酵果蔬汁的影响就越大。通过对正交实验表的极差值分析, 各因素对乳酸菌活菌数的影响从大到小依次为: 果蔬汁含量、发酵温度、菌种配比、蔗糖含量、葡萄糖含量, 而对乳酸菌发酵产酸的影响从大到小依次为: 果蔬汁含量、菌种配比、发酵温度、蔗糖含量、葡萄糖含量。综合乳酸菌发酵的最高活菌数值和产酸量, 最优组合均为 A2B2C2D3E3, 即菌种配比 (S3-10:R10) 1:2、果蔬汁 44.4%、蔗糖 5%、葡萄糖 6%、发酵温度

40 ℃。采用此最优发酵组合获得最终产酸量为 12.42 g/L, 比初始总酸含量提高 21%。同时在该组合发酵条件下, 获得的活菌数值为 4.79×10^8 cfu/mL、pH 值 3.42, 还原糖含量为 1.55 g/L。

表 1 正交实验设计方案

Table 1 Orthogonal experimental design

因素					
水平	A 菌种配比(S3-10:R10)	B 果蔬汁含量/%	C 蔗糖含量/%	D 葡萄糖含量/%	E 发酵温度/℃
1	1:1	33.3	4	4	34
2	1:2	44.4	5	5	37
3	1:3	55.5	6	6	40

表 2 正交实验结果 L18(3⁷)

Table 2 Orthogonal experimental results L18(3⁷)

水平	因素						活菌数/(logcfu/mL)	总酸/(g/L)
	菌种配比	果蔬汁	蔗糖	葡萄糖	发酵温度	发酵温度		
1	1	1	1	1	1	7.88	8.41	
2	1	2	2	2	2	8.68	9.43	
3	1	3	3	3	3	8.06	9.28	
4	2	1	1	2	2	8.49	9.35	
5	2	2	2	3	3	8.70	12.42	
6	2	3	3	1	1	8.45	11.00	
7	3	1	2	1	3	8.04	8.65	
8	3	2	3	2	1	8.57	11.16	
9	3	3	1	3	2	8.58	8.96	
10	1	1	3	3	2	8.14	8.19	
11	1	2	1	1	3	8.14	7.78	
12	1	3	2	2	1	8.37	10.69	
13	2	1	2	3	1	8.26	9.28	
14	2	2	3	1	2	8.43	10.61	
15	2	3	1	2	3	8.31	9.98	
16	3	1	3	2	3	8.00	8.65	
17	3	2	1	3	1	8.64	11.29	
18	3	3	2	1	2	8.55	12.26	
K1	8.21	8.14	8.34	8.25	8.36			
K2	8.44	8.53	8.43	8.40	8.48			
K3	8.40	8.39	8.28	8.40	8.21			
优水平	A2	B2	C2	D3	E3			
R	0.23	0.39	0.16	0.16	0.27			
K1	8.96	8.75	9.30	9.79	10.30			
K2	10.44	10.45	10.45	9.88	9.80			
K3	10.16	10.36	9.82	9.90	9.46			
优水平	A2	B2	C2	D3	E3			
R	1.48	1.70	1.16	0.12	0.85			

2.7 发酵液中有有机酸含量变化

果蔬汁中有有机酸的组成与含量是决定果蔬汁风味和品质的重要因素之一。有机酸可以促进人体新陈代谢,具有抗菌、抗氧化和调节血糖血脂的作用等^[22]。利用 HPLC 法对果蔬发酵过程中的有机酸进行分析,检测到西瓜-番茄发酵液中主要的有机酸包括乳酸、甲酸、乙酸、柠檬酸、苹果酸等,结果变化见图 6。

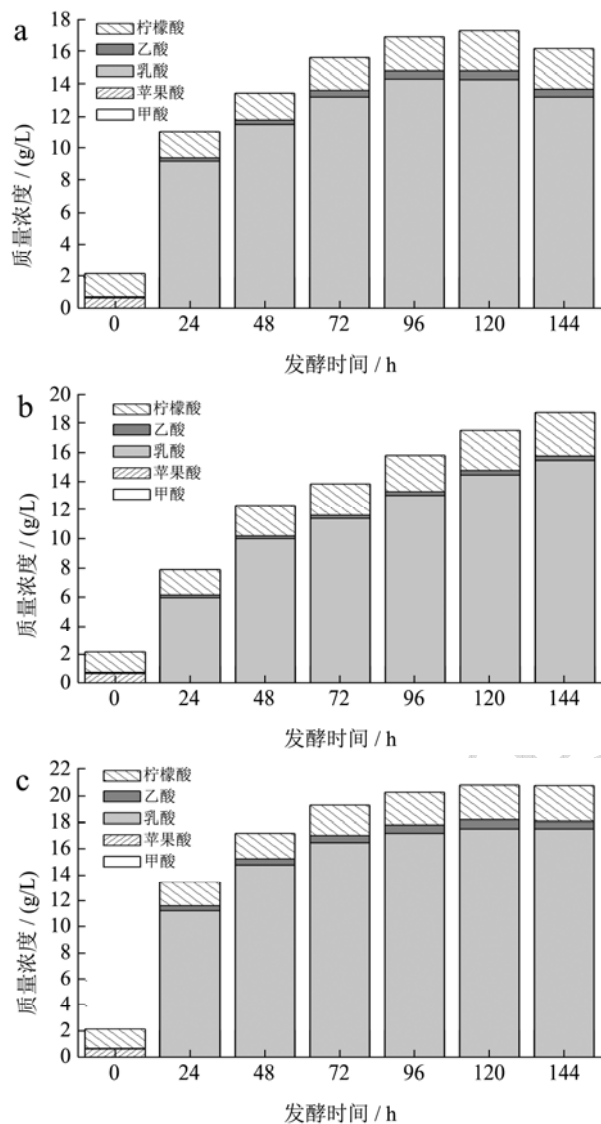


图 6 植物乳杆菌 S3-10 (a)、干酪乳杆菌 R10 (b) 以及混合菌 (c, S3-10:R10=1:2) 发酵西瓜-番茄产有机酸情况

Fig.6 *L. plantarum* S3-10 (a), *L. casei* R10 (b) and mixed lactic acid bacteria (c, S3-10:R10=1:2) fermented watermelon-tomato to produce organic acids

2 株乳酸菌单独发酵或混合发酵过程中有机酸的种类及变化相似,其中苹果酸、甲酸迅速减少,乳酸和柠檬酸显著增加,乙酸少量增加。乳酸菌分解糖类通过糖酵解途径发酵产酸,乳酸作为主要的代谢产物经发酵后含量极显著上升,也是影响果蔬汁酸味和品

质最重要的有机酸。值得注意的是,2 株乳酸菌混合发酵产乳酸和总酸含量明显高于单一菌株发酵,这也说明了乳酸菌的复配发酵更能充分利用果蔬中的营养基质。这与靳玉红等^[29]对红枣乳酸发酵饮料中 7 种有机酸的组成和含量的研究结果基本一致。

3 结论

3.1 植物乳杆菌 S3-10 和干酪乳杆菌 R10 复合发酵西瓜-番茄果蔬汁的最佳工艺参数为: S3-10 和 R10 菌株配比 1:2, 果蔬汁 44.4%、蔗糖 5%、葡萄糖 6%、发酵温度 40 °C。在最佳条件下发酵获得的活菌数为 4.79×10^8 cfu/mL, 总产酸量为 12.42 g/L。

3.2 乳酸菌 S3-10 和 R10 单独发酵或复合发酵过程中有机酸的种类及变化相似,且复合发酵产乳酸和总酸含量明显高于单一菌株发酵。

3.3 乳酸菌 S3-10 和 R10 复合发酵西瓜-番茄果蔬性能优异,在开发果蔬发酵产品及其他功能益生产品方面具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] Mahsa P, Sabihe S, Safoura A. Screening of lactic acid bacterial to detect potent biosorbents of lead and cadmium [J]. Food Control, 2019, 100: 144-150
- [2] Ghosh T, Benival A, Semwal A, et al. Mechanistic insights into probiotic properties of lactic acid bacteria associated with ethnic fermented dairy products [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 26(10): 502
- [3] Valente Glc, Acurcio Lb, Freitas Lpv, et al. Short communication: *In vitro* and *in vivo* probiotic potential of *Lactobacillus plantarum* B7 and *Lactobacillus rhamnosus* D1 isolated from Minas artisanal cheese [J]. Journal of Dairy Science, 2019, 102(7): 5957-5961
- [4] Mehran M, Karim M, Hossein T. Characterization and application of postbiotics of *Lactobacillus* spp. on *Listeria monocytogenes* *in vitro* and in food models [J]. LWT, 2019, 111: 457-464
- [5] Jung S, Lee S H, Song Y S, et al. Effect of beverage containing fermented akebia quinata extracts on alcoholic hangover [J]. Preventive Nutrition & Food Science, 2016, 21(1): 9-13
- [6] 杭锋,陈卫.益生乳酸菌的生理特性研究及其在发酵果蔬饮料中的应用[J].食品科学技术学报,2017,35(4):33-41

HANG Feng, CHEN Wei. Study on the physiological characteristics of probiotic lactic acid bacteria and its application in fermented fruit and vegetable beverages [J].

- Journal of Food Science and Technology, 2017, 35 (4): 33-41
- [7] 刘燕.中国果蔬汁饮料的发展现状和未来展望综述[J].现代食品,2018,6:25-27
- LIU Yan. Review of the development status and future prospects of fruit and vegetable juice beverages in China [J]. Modern Food, 2018, 6: 25-27
- [8] Ricci A, Cirlini M, Maoloni A, et al. Use of dairy and plant-derived lactobacilli as starters for cherry juice fermentation [J]. Nutrients, 2019, 11(2): 213
- [9] Septembre-Malaterre A, Remize F, Poucheret P. Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: changes in bioactive compounds during lactic fermentation [J]. Food Research International, 2018, 104, 86-99
- [10] Widayastuti Y, Rohmatussolihat, Febrisiantosa A. The role of lactic acid bacteria in milk fermentation [J]. Food and Nutrition Sciences, 2014, 5(4): 435-442
- [11] Garcia E F, Araujo A D O, Luciano W A, et al. The performance of five fruit-derived and freeze-dried potentially probiotic *Lactobacillus* strains in apple, orange, and grape juices [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(13): 5000-5010
- [12] Lao Y, Zhang M, Li Z, et al. A novel combination of enzymatic hydrolysis and fermentation: Effects on the flavor and nutritional quality of fermented *Cordycepsmilitaris* beverage [J]. LWT, 2019, 12(6): 12-20
- [13] 关成冉,蒋欣容,马雁,等.复合乳酸菌发酵果蔬乳饮料的研制[J].食品研究与开发,2019,40(3):75-82
- GUAN Cheng-ran, JIANG Xin-rong, MA Yan, et al. Preparation of fruit and vegetable milk beverages fermented by compound lactic acid bacteria [J]. Food Research and Development, 2019, 40(3): 75-82
- [14] Savaiano D A, Levitt M D. Nutritional and therapeutic aspects of fermented dairy products [J]. ASDC Journal of Dentistry for Children, 1984, 51(4): 35-48
- [15] Stefania A, Marina E, Giovanni R, et al. Assessment of the susceptibility of lactic acid bacteria to biocides [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 163(1): 21-32
- [16] Liu W J, Chen Y F, Kwok L Y, et al. Preliminary selection for potential probiotic bifido bacterium isolated from subjects of different Chinese ethnic groups and evaluation of their fermentation and storage characteristics in bovine milk [J]. Journal of Dairy Science, 2013, 96(11): 49
- [17] 班骞,黄道梅,林茂.低温乳酸菌在果蔬发酵饮品中的应用前景[J].现代食品,2017,19:59-61
- BAN Qian, HUANG Dao-mei, LIN Mao. Application prospects of low-temperature lactic acid bacteria in fruit and vegetable fermentation beverages [J]. Modern Food, 2017, 19: 59-61
- [18] 廖雪义,郭丽琼,林俊芳,等.益生乳酸菌在发酵果蔬饮品开发上的应用[J].食品工业,2014,35(7):223-229
- LIAO Xue-yi, GUO Li-qiong, LIN Jun-fang, et al. Application of probiotic lactic acid bacteria in the development of fermented fruit and vegetable drinks [J]. Food Industry, 2014, 35(7): 223-229
- [19] 张菊华,许弯,刘伟.发酵蔬菜中乳酸菌资源筛选的研究进展[J].湖南农业科学,2019,1:114-118
- ZHANG Ju-hua, XU Wan, LIU Wei. Research progress on screening of lactic acid bacteria resources in fermented vegetables [J]. Hunan Agricultural Science, 2019, 1: 114-118
- [20] 崔树茂,徐长悦,毛丙永,等.植物乳杆菌发酵苹果汁及菌活性保持[J].食品与发酵工业,2019,45(12):120-126
- CUI Shu-mao, XU Chang-yue, MAO Bing-yong, et al. Activity retention of *Lactobacillus plantarum* apple juice and cell activity maintenance [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(12): 120-126
- [21] Di Cagno R, Coda R, De Angelis M, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation [J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 1-10
- [22] 王璐,王伟伟,王艳霞,等.果蔬发酵乳酸菌的筛选、鉴定及发酵性能分析[J].食品科学,1-9[2020-02-28]
- WANG Lu, WANG Wei-wei, WANG Yan-xia, et al. Screening, identification and fermentation performance analysis of fruit and vegetable fermentation lactic acid bacteria [J]. Food Science, 1-9[2020-02-28]
- [23] 李志霞,聂继云,闫震,等.响应面法对 3,5-二硝基水杨酸比色法测定水果中还原糖含量条件的优化[J].分析测试学报, 2016,35(10):1283-1288
- LI Zhi-xia, NIE Ji-yun, YAN Zhen, et al. Optimization of 3,5-dinitrosalicylic acid colorimetric method for determination of reducing sugar content in fruits by response surface method [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2016, 35(10): 1283-1288
- [24] 食品中总酸的测定,中华人民共和国国家标准 GB/T 12456-2008
- Determination of total acid in food, National Standard of the People's Republic of China GB/T 12456-2008