

酵母菌乳酸菌共发酵对荔枝汁品质的影响

邹颖, 邹波, 余元善, 徐玉娟, 吴继军, 肖更生, 傅曼琴

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 本研究以鲜榨荔枝汁为原料, 分别对其进行干酪乳杆菌及三种酵母菌(BO213、D254、EC1118)的复合发酵, 探索发酵过程中乳酸菌活菌数、pH、可溶性固形物、糖组分、有机酸、DPPH·清除能力以及感官指标等变化。结果表明: 发酵后荔枝汁中的乳酸菌活菌数均高于 $7 \lg$ (cfu/mL), 均具有一定的益生功能。复合发酵不仅能促进干酪乳杆菌的生长, 还能降低荔枝汁的糖度, 且酒精含量低于 0.50%, 符合无醇饮料的标准。随着发酵时间的延长, 各组的糖含量均呈现下降的趋势。发酵 24 h 后干酪乳杆菌单独发酵组的乳酸含量显著低于复合发酵组, 从高到低依次为: D254+干酪组(6.62 g/L)>Ec1118+干酪组(6.55 g/L)>BO213+干酪组(2.35 g/L)>干酪组(0.94 g/L)。D254+干酪组、Ec1118+干酪组发酵 24 h 的荔枝汁体外抗氧化能力(DPPH·清除能力)相比单独发酵组更具优势。发酵后的荔枝汁香气更佳, 且复合发酵优于单独发酵, 其中 BO213+干酪组的香气最好, Ec1118+干酪组次之。综上, 通过 Ec1118+干酪乳杆菌可制得一款风味良好、营养丰富的发酵无醇益生荔枝饮料。

关键词: 荔枝汁; 干酪乳杆菌; 酵母菌; 复合发酵

文章编号: 1673-9078(2019)010-189-195

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.026

Effect of Fermentation by Co-culture of Yeast and Lactic Acid Bacterium on the Quality of Lychee Juice

ZOU Ying, ZOU Bo, YU Yuan-shan, XU Yu-juan, WU Ji-jun, XIAO Geng-sheng, FU Man-qin

(Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou, 510610 China)

Abstract: In this study, freshly squeezed lychee juice was used as the raw material for the fermentation by co-culture of *Lactobacillus casei* and three yeasts (BO213, D254, EC1118). The number of live lactic acid bacteria, pH, soluble solids content, sugar components, organic acids, DPPH free radical scavenging capacity, and sensory attributes during fermentation were analyzed. The results showed that the number of lactic acid bacteria in the lychee juice after fermentation was higher than $7 \lg$ (cfu/mL), and all strains had certain probiotic functions. The fermentation by co-culture of lactic acid bacteria and yeast could not only promote the growth of *Lactobacillus casei*, but also reduced the sugar content of the lychee juice with the alcohol content lower than 0.50% (which met the standard of non-alcoholic beverages). With the prolongation of fermentation time, the sugar content of each group decreased. After 24 hours of fermentation, the lactic acid content of juice fermented by *Lactobacillus casei* singly was significantly lower than that obtained via fermentation by different co-cultures. The lactic acid content decreased in this order: D254+*Lactobacillus casei* (6.62 g/L)>Ec1118+*Lactobacillus casei* (6.55 g/L)>BO213+*Lactobacillus casei* (2.35 g/L)>*Lactobacillus casei* (0.94 g/L). The *in vitro* antioxidant capacity (DPPH· scavenging ability) of the D254+*Lactobacillus casei* group and the Ec1118+*Lactobacillus casei* group after 24 h fermentation was superior to that of the *Lactobacillus casei* fermentation group. The fermented lychee juice had better flavor than unfermented juice, and the co-culture fermentation group was superior to the single-culture fermentation group, with the BO213+*Lactobacillus casei* group having the best flavor, followed by the Ec1118+*Lactobacillus casei* group. In summary, a fermented alcohol-free probiotic lychee beverage with good flavor and rich in nutrients could be obtained via fermentation by

收稿日期: 2019-01-01

基金项目: 国家公益性行业专项(201503142-03); 国家重点研发计划项目(2017YFD0400703); 广东省自然科学基金团队项目(2015A030312001); 广东省省级科技计划项目(2017B020207005); 广州市科技计划项目(201704020037)

作者简介: 邹颖(1994-), 女, 研究实习生, 研究方向: 果蔬加工

通讯作者: 肖更生(1965-), 男, 研究员, 研究方向: 果蔬加工

Ec1118+*Lactobacillus casei*.

Key words: lychee juice; *Lactobacillus casei*; yeast; co-culture fermentation

荔枝 (*Litchi chinensis*) 是一种岭南特色佳果, 在中国主要分布在广西与广东地区。其果肉色泽悦目, 果香浓郁, 营养丰富, 享有“岭南果王”的美誉^[1]。荔枝富含维生素、矿物质、膳食纤维、酚类和多糖等营养物质^[2]。但荔枝采收期集中、温度高, 且具有高度易腐、易褐变的特性, 不易保存, 贮藏期间品质下降快, 导致其商业价值降低^[3]。目前荔枝主要以鲜食为主, 其次为加工成荔枝干, 用于制造果汁、果醋和果酒相对较少^[4]。荔枝含糖量高, 很适合微生物发酵开发各类风味饮品。将荔枝果汁进行发酵, 通过微生物代谢, 不仅可以提高果汁的营养价值和保健功能, 还能赋予果汁新奇口味和嗜好性, 提高其功能活性^[5]。

近些年来, 随着大健康理念的不断深入人心, 消费者对非牛乳的益生菌发酵产品的需求也越来越大。水果和蔬菜不仅富含矿物质、维生素、膳食纤维和抗氧化成分等营养物质, 胆固醇含量低^[6]并且也不会引起消费者产生乳糖不耐受现象, 胆固醇含量低^[6]。因此, 发展以水果和蔬菜的益生菌发酵产品将具有很广阔的前景^[7]。有相关研究报道乳酸菌和酵母菌共发酵不仅可相互促进生长, 乳酸菌发酵饮品有其独特的乳酸香气, 酵母菌发酵产品有酒精的醇香, 而且通过乳酸菌与酵母菌发酵的产品分别有其独特的乳酸香和酒醇香, 若将两者结合在一起, 会进一步提高产品的价值及风味^[8]。国内外对乳酸菌和酵母菌共发酵的研究主要集中在谷物方面, 如花生大豆奶^[9]、玉米^[10]、木薯和大米^[11]等, 而利用酵母菌和乳酸菌共发酵开发无醇荔枝饮料却鲜有报道。

本文以荔枝汁为原料, 利用乳酸菌和酵母菌复合发酵, 赋予其独特的乳酸香气和酒精醇香进而得到风味良好、营养丰富的发酵无醇荔枝汁, 适合于任何人群和场合皆可饮用的软饮料, 以为荔枝深加工途径提供一条新的思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荔枝(怀枝)购于本地水果市场; 乳酸菌种, 干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*) 为本实验室保存。

酵母菌, BO213、D254、EC1118 购于烟台帝伯仕自酿酒有限公司。

主要试剂: MRS 肉汤培养基购于广东环凯微生物科技有限公司; Folin-Ciocalteu 试剂购于上海源叶生物

科技有限公司; 酒石酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、果糖、葡萄糖、蔗糖(标准品)购自 Sigma-Aldrich 公司; 其它化学试剂均为国产分析纯。

主要仪器: RFM3400 阿贝折光计, 英国 Bellingham+Stanley 公司; PB-10 型 pH 计, 赛多利斯公司; HWS24 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科技有限公司; UV-1800 型分光光度计, 日本岛津公司; 立式压力蒸汽灭菌锅, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; SYNERGY H1 多功能酶标仪, 美国伯腾仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 荔枝汁的制备

将荔枝鲜果的皮壳和核去掉, 打浆后过两层 200 目纱布过滤, 获得的荔枝汁经巴氏杀菌 (85 °C, 15 min) 后, 罐装入无菌的复合铝箔袋中, 贮藏于-20 °C 冰柜库中备用。

1.2.2 菌种培养物制备

乳酸菌活化与培养: 取干酪乳杆菌 0.2 mL, 加入到灭菌后的 MRS 肉汤培养基 30 °C (静止发酵) 中培养 12 h。

酵母菌活化与培养: 取酵母菌 0.1 g, 麦芽汁培养基培养 100 mL, 30 °C 培养 24 h。酵母菌分别为 BO213、D254、EC1118。接种量为 3 lg(cfu/mL)。

1.2.3 荔枝汁的发酵培养

荔枝汁解冻后, 置于无菌操作台上, 分别在已灭菌的 500 mL 三角瓶中加入 400 mL 荔枝汁, 接入干酪乳杆菌[接种量 6 lg(cfu/mL)], 并分别接入 BO213、D254、EC1118 三种酵母菌置于 30 °C 培养箱中静止发酵 24 h, 并分别测定 0、6、12、24 h 样品的微生物及理化指标。

1.2.4 乳酸菌菌量的测定

参考国标 GB 4789.35-2016 乳酸菌菌落总数的测定方法^[12]。

1.2.5 pH 的测定

用德国 Sartorius PB-10 型 pH 计直接测定。

1.2.6 糖组分测定

糖组分的测定: 采用 HPLC 法测定^[13]包括单糖、蔗糖、低聚糖。色谱柱为 Shodex Asahipak NH2P-50 4E(4.6 mm×250 mm)色谱柱, 检测器为蒸发光(ELSD)检测器, 柱温 40 °C, 漂移管温度为 50 °C, 流动相为 70%乙腈, 流速 1 mL/min, 进样量为 10 μL。

1.2.7 有机酸的测定

参考袁星星^[14]的方法,采用 HPLC 法测定。色谱柱为 Agilent ZORBAX SB-C18 (4.6 mm×250 mm) 色谱柱;柱温为 30 °C;检测器为二极管阵列检测器;流动相:0.1 mol/L (NH₄)₂HPO₄(磷酸调节 pH=2.70);流速为 1.0 mL/min;检测波长为 210 nm。进样量为 10 μL,并采用外标法(酒石酸、苹果酸、乙酸、乳酸和柠檬酸为标准品)定量。

1.2.8 清除 DPPH 自由基能力的测定

参考 Sokolletowska^[15]等,取 50 μL 50、100、200、300、400、500 μmol/L Trolox 标准溶液或稀释后的样品混合 150 μL DPPH 溶液共同置于 96 孔细胞板中,暗处放置 30 min 后,于 517 nm 测试吸光强度。结果

以 Trolox 当量计算。

1.2.9 发酵前后的荔枝汁的感官评价

采用 5 点强度法对发酵前后荔枝汁整体香气特征(总强度及各香气强度)进行定量评价(0=几乎无香味,5=香味很强)。评价小组由年龄在 23~30 岁之间 4 男 4 女共 8 名成员组成。小组建立过程参照 GB/T 14195-93(感官分析选拔与培训感官分析优选评价员导则)。样品预处理、呈送和评价环境信息如下:准确量取 40 mL 样品置于 125 mL 棕色嗅闻瓶中,随机三位数字编号后呈送给感官评价室(21±1 °C)的感官评价员,评价员采取鼻前嗅闻(Orthonasal olfaction)对样品进行评价。评价重复进行三次,两次评价中间设置休息时间 5 min。取其平均值绘制香气轮廓雷达图。

表 1 香气特征感官描述词

Table 1 Aroma descriptors, reference standard for flavor profile test

香气属性	定义	参比实物
整体香气	样品呈献给评价者的整体气味强弱,不分好坏	
果香	与新鲜成熟水果相关联的混合香气	德尔蒙特混合水果(黄桃、菠萝和雪梨)罐头
甜香	与蜂蜜、焦糖和棉花糖关联的香气	焦糖布丁
花香	与玫瑰、月季等关联香气	切碎的玫瑰、月季等混合花瓣
酸味	与乳制品(奶酪、酸奶)及酵母相关的气味	Daisy 品牌原味酸奶奶酪
蒸煮味	与蒸煮土豆相关联的不良气味	Meiye TM 自营品牌罐装土豆

1.2.10 数据统计分析

采用 SPSS 17.0 软件中的 ANOVA 方法对数据进行差异显著性检验分析,以 $p < 0.05$ 为差异显著,数据以平均值±标准差的形式来表示。

2 结果与分析

2.1 荔枝汁发酵过程中乳酸菌数量的变化

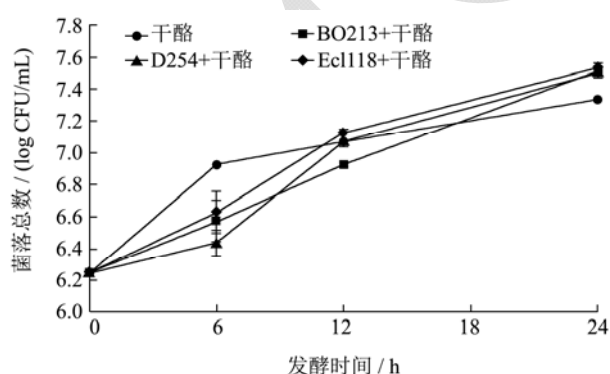


图 1 发酵期间荔枝汁中干酪乳杆菌数量的变化

Fig.1 Changes of lactic acid bacteria in litchi juice during fermentation

图 1 为干酪乳杆菌单独发酵及其与三种酵母菌共发酵的生长曲线,干酪乳杆菌单独发酵组 0~6 h 很快进入对数生长期,而添加了酵母菌组前 6 h 乳酸菌生

长较缓慢,可能由于前期酵母的生长利用了营养物质,形成了一定的竞争关系,发酵 24 h 后,干酪乳杆菌单独发酵组的乳酸菌总数达到 7.34 lg(cfu/mL),共发酵组乳酸菌总数分别为 7.51(BO213)、7.50(D254)、7.54(EC1118) lg (cfu/mL),这说明 6 h 后共发酵组酵母菌对干酪乳杆菌的生长有一定的促进作用。可能是由于酵母发酵为乳酸菌提供了丰富的蛋白质、氨基酸及维生素等营养物质,一定程度上促进了干酪乳杆菌的生长^[16]。发酵后的荔枝汁中的乳酸菌活菌数均高于 1000 万个/毫升的国际标准,有研究表明益生菌发酵制品的活菌数需达到 7.0 lg (cfu/mL)才能在胃肠道中发挥益生功能^[17]。故各组发酵的荔枝汁均具有一定的益生功能,酵母菌与乳酸菌共发酵组优于干酪乳杆菌单独发酵组。

2.2 荔枝汁发酵过程中 pH 和可溶性固形物的变化

由表 2 可知,荔枝汁的最初 pH 值约为 4.53,可溶性固形物为 17.6 °Brix,发酵 24h 后干酪乳杆菌单独发酵组及酵母菌共发酵组的 pH 值均变化不大;对于干酪乳杆菌单独发酵组,发酵 24 h 后可溶性固形物变化不明显,而酵母菌共发酵组的可溶性固形物在发酵

过程中均呈现下降的趋势, BO213+干酪组、D254+干酪组、Ec1118+干酪组发酵 24 h 后糖度分别下降至 15.64、16.08、15.98 °Brix, 显著低于干酪乳杆菌单独发酵组。其中 BO213+干酪组糖度下降最多

(1.96 °Brix), 说明乳酸菌与酵母菌共发酵不仅能促进干酪乳杆菌的生长, 提高活菌数量, 还能降低荔枝汁的糖度, 且发酵后的荔枝汁酒精度不超过 0.5%符合无醇饮料的标准。

表 2 荔枝汁发酵过程中 pH 和可溶性固形物的变化

Table 2 Changes of pH and soluble solids in litchi juice during fermentation

项目	0 h		6 h		
	可溶性固形物/°Brix	pH	可溶性固形物/°Brix	pH	
干酪	17.6±0.02 ^a	4.53±0.01 ^a	17.53±0.04 ^b	4.5±0.02 ^a	
BO213+干酪	17.6±0.02 ^a	4.53±0.01 ^a	17.3±0.03 ^a	4.47±0.03 ^a	
D254+干酪	17.6±0.02 ^a	4.53±0.01 ^a	17.31±0.06 ^a	4.49±0.04 ^a	
Ec1118+干酪	17.6±0.02 ^a	4.53±0.01 ^a	17.28±0.07 ^a	4.48±0.02 ^a	
项目	12 h		24 h		
	可溶性固形物/°Brix	pH	可溶性固形物/°Brix	pH	酒精度/%
干酪	17.52±0.12 ^b	4.49±0.05 ^a	17.53±0.12 ^c	4.48±0.01 ^a	0 ^a
BO213+干酪	17.1±0.10 ^a	4.49±0.06 ^a	15.64±0.09 ^a	4.43±0.04 ^a	0.39±0.01 ^c
D254+干酪	17.02±0.09 ^a	4.45±0.01 ^a	16.08±0.07 ^b	4.45±0.07 ^a	0.19±0.02 ^b
Ec1118+干酪	16.93±0.14 ^a	4.46±0.08 ^a	15.98±0.11 ^b	4.43±0.02 ^a	0.19±0.01 ^b

注: 同列中标注不同角标者具有显著性差异($p < 0.05$)。下表同。

表 3 荔枝汁发酵过程中糖组分的变化

Table 3 Changes of sugar components in litchi juice during fermentation

糖类	果糖/(g/L)	葡萄糖/(g/L)	蔗糖/(g/L)
0 h	139.02±3.43 ^e	108.79±1.48 ^f	66.18±2.03 ^g
干酪 6 h	129.32±2.45 ^{bcd}	83.93±5.02 ^{bc}	44.68±2.08 ^f
干酪 12 h	128.35±4.12 ^{bcd}	87.57±6.13 ^{cd}	38.3±2.16 ^e
干酪 24 h	124.81±7.46 ^{ab}	89.91±1.35 ^{de}	34.33±2.48 ^d
BO213+干酪 6 h	131.54±8.02 ^{cd}	86.61±2.90 ^{cd}	26.52±1.02 ^c
BO213+干酪 12 h	134.92±9.31 ^{de}	90.80±3.02 ^{de}	22.21±1.27 ^b
BO213+干酪 24 h	121.11±5.48 ^a	73.18±2.76 ^a	19.21±1.01 ^a
D254+干酪 6 h	132.79±4.85 ^{cde}	92.41±3.16 ^{de}	25.45±1.16 ^c
D254+干酪 12 h	127.16±3.15 ^{abc}	87.44±2.02 ^{cd}	21.75±0.96 ^b
D254+干酪 24 h	128.41±7.35 ^{bcd}	79.21±5.32 ^b	19.21±0.83 ^a
Ec1118+干酪 6 h	133.74±4.68 ^{cde}	93.48±3.16 ^e	26.26±1.04 ^c
Ec1118+干酪 12 h	135.01±1.26 ^{de}	88.07±2.18 ^{cde}	21.99±0.76 ^b
Ec1118+干酪 24 h	127.48±9.02 ^{bc}	79.87±3.57 ^b	19.21±0.88 ^a

2.3 荔枝汁发酵过程中糖组分的变化

由表 3 可知, 荔枝汁的主要糖组成为果糖(139.02 g/L)、葡萄糖(108.79 g/L)、蔗糖(66.18 g/L), 随着发酵时间的延长, 各组的糖含量均呈现下降的趋势。其中, 干酪乳杆菌单独发酵组发酵 24 h 后蔗糖的水解率为 50%左右, 果糖和葡萄糖分别下降至 124.81 g/L 和 89.91 g/L; 酵母菌共发酵组荔枝汁中糖的消耗和转化与干酪乳杆菌单独发酵组有显著差异, BO213+干酪组、D254+干酪组、Ec1118+干酪组的蔗糖水解率

均高达 71%左右, 果糖含量分别下降至 121.11、128.41、127.48 g/L, 葡萄糖含量分别下降至 73.18、79.21、79.83 g/L。其中 BO213+干酪组荔枝汁中糖的消耗最大, 对蔗糖、葡萄糖、果糖的利用率分别高达 70.97%、32.73%和 12.88%。

2.4 荔枝汁发酵过程中有机酸的变化

荔枝汁中主要有机酸是苹果酸(4.93 g/L)、乙酸(4.19 g/L)、柠檬酸(0.49 g/L)和酒石酸(0.41 g/L)。酒石酸和乙酸在发酵过程中变化不显著, 且酵母菌共

发酵组与干酪乳杆菌单独发酵组变化趋势不大；苹果酸均呈现先增加后减少的趋势，发酵 24 h 后各组荔枝汁中的苹果酸含量从高到低依次为：干酪组>BO213+干酪组>Ec1118+干酪组>D254+干酪组；随着发酵时间的延长，乳酸含量均显著的升高，但发酵 24 h 后干酪乳杆菌单独发酵组的乳酸含量显著低于与酵母菌共发酵组，含量从高到低依次为：D254+干酪组（6.62 g/L）>Ec1118+干酪组（6.55 g/L）>BO213+干酪组（2.35 g/L）>干酪组（0.94 g/L）；乳酸菌可产生苹果酸羧化酶，

这种酶在自然界存在较少，能较专一地把酸味尖刻的苹果酸（二元酸）转变成酸味柔和的乳酸（一元酸），从而改善其风味^[18]。发酵 24 h 后柠檬酸的含量均有所下降，干酪组、BO213+干酪组、D254+干酪组、Ec1118+干酪组的柠檬酸含量分别为 0.36、0.37、0.28、0.31 g/L。发酵过程中有机酸含量的增加有利于风味的增加，缩短发酵时间，抑制腐败菌的产生，与发酵荔枝汁的风味品质有着密切的关系。

表 4 荔枝汁发酵过程中有机酸的变化

Table 4 Changes of organic acids in litchi juice during fermentation

有机酸	酒石酸/(g/L)	苹果酸/(g/L)	乳酸/(g/L)	乙酸/(g/L)	柠檬酸/(g/L)
0 h	0.41±0.02 ^{ab}	4.93±0.05 ^h	ND ^a	4.19±0.09 ^b	0.49±0.02 ^f
干酪 6 h	0.43±0.01 ^{bc}	4.94±0.03 ^h	0.25±0.01 ^b	4.45±0.02 ^{de}	0.58±0.05 ^g
干酪 12 h	0.41±0.02 ^{ab}	5.21±0.04 ⁱ	0.37±0.02 ^b	4.42±0.01 ^d	0.43±0.02 ^e
干酪 24 h	0.42±0.03 ^{abc}	4.8±0.02 ^g	0.94±0.06 ^d	3.98±0.02 ^a	0.36±0.01 ^{cd}
BO213+干酪 6 h	0.57±0.02 ^e	6.8±0.05 ^k	0.5±0.02 ^c	4.35±0.10 ^{cd}	0.44±0.07 ^e
BO213+干酪 12 h	0.45±0.03 ^c	6.25±0.04 ^j	0.98±0.05 ^d	4.26±0.09 ^{bc}	0.4±0.01 ^{de}
BO213+干酪 24 h	0.42±0.01 ^{abc}	3.85±0.08 ^e	2.35±0.07 ^f	4.54±0.08 ^{ef}	0.37±0.02 ^d
D254+干酪 6 h	0.51±0.02 ^d	4.83±0.13 ^g	1.23±0.09 ^e	4.24±0.07 ^b	0.38±0.02 ^d
D254+干酪 12 h	0.44±0.01 ^{bc}	2.8±0.02 ^d	3.45±0.12 ^g	4.2±0.05 ^b	0.32±0.01 ^{bc}
D254+干酪 24 h	0.44±0.03 ^{bc}	0.53±0.02 ^a	6.62±0.15 ⁱ	4.66±0.14 ^g	0.28±0.01 ^{ab}
Ec1118+干酪 6 h	0.52±0.04 ^d	4.44±0.11 ^f	0.01 ^a	4.23±0.02 ^b	0.24±0.02 ^a
Ec1118+干酪 12 h	0.43±0.02 ^{bc}	1.93±0.06 ^c	3.78±0.11 ^h	4.02±0.08 ^a	0.29±0.01 ^b
Ec1118+干酪 24 h	0.39±0.02 ^a	0.69±0.02 ^b	6.55±0.23 ⁱ	4.61±0.06 ^{fg}	0.31±0.02 ^b

2.5 荔枝汁发酵过程中体外抗氧化能力的变化

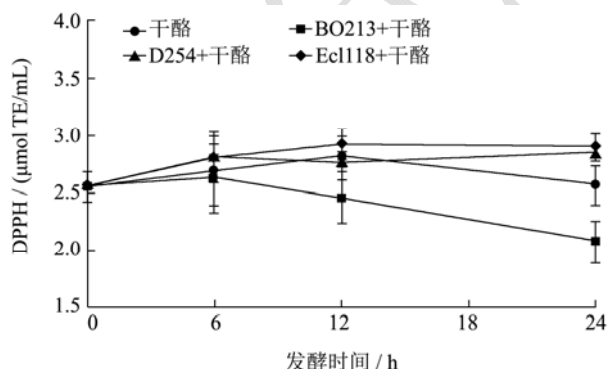


图 2 发酵期间荔枝汁 DPPH·清除能力的变化

Fig.2 Changes of DPPH· scavenging ability of litchi juice during fermentation

自由基在细胞内的积累会对细胞造成损伤进一步导致生物体逐渐衰老^[19]。DPPH·是一种很稳定的以氮为中心的自由基，在波长处有强吸收深紫色，当有自

由基清除剂存在时，能给 DPPH·提供氢原子和电子使其发生褪色，使吸光度变小，颜色变得越浅，表明清除剂清除 DPPH·的能力越强^[20]。DPPH·清除能力反应物质在短时间内的抗氧化能力，是常用的体外抗氧化能力的测定方法。荔枝汁发酵过程中 DPPH·清除能力的变化如图所示，其中干酪乳杆菌单独发酵组发酵前后的 DPPH·清除能力没有显著性的变化，D254+干酪组、Ec1118+干酪组均呈现缓慢增加的趋势，发酵 24 h 后的 DPPH·清除能力分别从 2.54 μmol TE/mL 增加至 2.89 和 2.85 μmol TE/mL，而 BO213+干酪组在发酵 6 h 后 DPPH·清除能力持续下降，24 h 时 DPPH·清除能力下降至 2.06 μmol TE/mL，推断可能是由于 BO3+干酪组在发酵 6 h 后酵母增殖活跃，酵母发酵对荔枝汁中的具有抗氧化活性的物质（如多酚类化合物）有一定程度的降解。研究报道发酵液的抗氧化活性与总酚、酶活性之间具有显著相关性，与发酵液中各功能活性成分性质有关^[21]。总而言之，D254+干酪组、Ec1118+干酪组发酵 24 h 的荔枝汁体外抗氧化能力（DPPH·清除能力）相比干酪乳杆菌单独发酵组更具优势。

2.6 发酵前后的荔枝汁的感官评价分析

由香气强度雷达图可知,荔枝汁发酵前后的感官鉴定结果差异显著;单独发酵的荔枝汁“花香”、“酸味”香气强度强于未发酵荔枝汁,而整体香气、“水果香”以及“甜香”的香气强度要低于未发酵荔枝汁,并且“蒸煮味”并没有随着单独发酵而强度下降,单独发酵对荔枝汁风味的改善效果不明显;三种混合发酵荔枝汁的整体香气,“水果香”、“花香”、“甜香”以及“酸味”的香气强度结果均优于未发酵以及单独发酵的荔枝汁,并且混合发酵后,蒸煮异味有明显下降,复合发酵对荔枝汁风味优化明显;三种混合发酵方式中,BO213+干酪组荔枝汁的香气属性均优于其他两个复合发酵组,蒸煮味强度下降最明显;而BO213+干酪组荔枝汁除了花香强度低于D254+干酪组,其他香气属性强于D254+干酪组,蒸煮味强度也低于D254+干酪组。因此,综合以上分析:发酵后的荔枝汁比发酵前的风味更佳,且复合发酵优于单独发酵,其中BO213+干酪组对其风味的改善最好,Ec1118+干酪组次之。

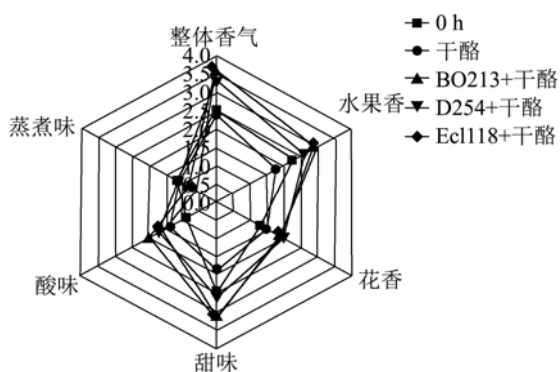


图3 发酵前后荔枝汁香气雷达图

Fig.3 Aroma radar image of litchi juice aroma before and after fermentation

3 结论

3.1 发酵 24 h 后,荔枝汁中的乳酸菌总数依次为 Ec1118+干酪组>BO213+干酪组>D254+干酪组>干酪组,均高于 1000 万个/mL 的国际标准,均具有一定的益生功能。共发酵组发酵 24 h 后的荔枝汁可溶性固形物均有下降,显著低于干酪乳杆菌单独发酵组。其中 BO213+干酪组下降最多 (1.96 °Brix),说明乳酸菌与酵母菌共发酵不仅能促进干酪乳杆菌的生长,还能降低荔枝汁的糖度,且发酵后的荔枝汁酒精度不超过 0.5%符合无醇饮料的标准。

3.2 随着发酵时间的延长,各组荔枝汁中的还原糖含量均呈现下降的趋势。酵母菌共发酵组荔枝汁中糖的

消耗和转化与干酪乳杆菌单独发酵组有显著差异,其中 BO213+干酪组荔枝汁中糖的消耗最大。荔枝汁中主要有机酸是苹果酸 (4.93 g/L)、乙酸 (4.19 g/L)、柠檬酸 (0.49 g/L) 和酒石酸 (0.41 g/L)。酒石酸和乙酸在发酵过程中均变化不显著;苹果酸均呈现先增加后减少的趋势;发酵 24 h 后干酪乳杆菌单独发酵组的乳酸含量显著低于与复合发酵组,含量从高到低依次为: D254+干酪组 (6.62 g/L) > Ec1118+干酪组 (6.55 g/L) > BO213+干酪组 (2.35 g/L) > 干酪组 (0.94 g/L)。

3.3 D254+干酪组、Ec1118+干酪组发酵 24 h 的荔枝汁体外抗氧化能力 (DPPH·清除能力) 相比干酪乳杆菌单独发酵组更具优势。发酵后的荔枝汁比发酵前的风味更好,且复合发酵优于单独发酵,其中 BO213+干酪组对其风味的改善最好, Ec1118+干酪组次之。综上,通过 Ec1118+干酪乳杆菌可制得一款风味良好、营养丰富的发酵无醇益生荔枝饮料。

参考文献

- [1] Alves J A, Lima L C, Dias D R, et al. Effects of spontaneous and inoculated fermentation on the volatile profile of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn) fermented beverages [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(11): 2358-2365
- [2] Wall M M. Ascorbic acid and mineral composition of longan (*Dimocarpus longan*), lychee (*Litchi chinensis*) and rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars grown in Hawaii [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(6-7): 655-663
- [3] Jiang Y M, Duan X W, Joyce D, et al. Advances in understanding enzymatic browning of harvested litchi fruit [J]. Food Chemistry, 2004, 88(3): 443-446
- [4] Alves J A, Lc D O L, Nunes C A, et al. Chemical, physical-chemical, and sensory characteristics of lychee (*Litchi chinensis* Sonn) wines [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(5): S330-S336
- [5] 郑欣.荔枝汁乳酸菌发酵饮料的工艺研究[D].南昌:江西农业大学,2014
ZHENG Xin. Study on the technology of lactic acid bacteria fermented beverage in lychee juice [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014
- [6] 郑欣,余元善,吴继军,等.荔枝汁经乳酸菌发酵后营养品质的变化及贮藏稳定性研究[J].现代食品科技,2013,29(12): 2909-2914
ZHENG Xin, YU Yuan-shan, WU Ji-jun, et al. Study on the changes of nutritional quality and storage stability of litchi

- juice after fermentation by lactic acid bacteria [J]. Modern food science and technology, 2013, 29(12): 2909-2914
- [7] 谢桂勉,吴洪亮,庄姗姗,等.益生菌发酵紫薯风味冷冻饮品的研制[J].轻工科技,2017,33(6):20-22
XIE Gui-mian, WU Hong-liang, ZHUANG Shan-shan, et al. Development of probiotic fermented purple potato flavored frozen drink [J]. Light Industry Technology, 2017, 33(6): 20-22
- [8] 梁媛.枸杞发酵饮料的研制[D].大连:大连工业大学,2017
LIANG Yuan. Development of Goji berry fermented beverage [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2017
- [9] Santos C C, Libeck B S, Schwan R F. Co-culture fermentation of peanut-soy milk for the development of a novel functional beverage [J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 186(3): 32-41
- [10] Aline Galvão Tavares Menezes, Cíntia Lacerda Ramos, Dias D R, et al. Combination of probiotic yeast and lactic acid bacteria as starter culture to produce maize-based beverages [J]. Food Research International, 2018, 111: 187-197
- [11] Freire A L, Ramos C L, Da Costa Souza, et al. Nondairy beverage produced by controlled fermentation with potential probiotic starter cultures of lactic acid bacteria and yeast [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 248: 39-46
- [12] GB 4789.35-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验[S]
GB 4789.35-2010, National Standard for Food Microbiology Test Lactobacillus Test [S]
- [13] Yu Y, Xiao G, Xu Y, et al. Effects of dimethyl dicarbonate (DMDC) on the fermentation of litchi juice by *Lactobacillus casei* as an alternative of heat treatment [J]. Journal of Food Science, 2014, 79: 947-954
- [14] 袁星星,余元善,吴继军,等.*Lactobacillus fermentum* 发酵降酸对三华李汁品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(11): 134-138,62
YUAN Xing-xing, YU Yuan-shan, WU Ji-jun, et al. Effects of *Lactobacillus fermentum* fermentation on acid quality of sanhua Li juice [J]. Modern food science and technology, 2016, 32(11): 134-138, 62
- [15] Sokolletowska A, Kucharska A Z, Winska K, et al. Composition and antioxidant activity of red fruit liqueurs [J]. Food Chemistry, 2014, 157: 533-539
- [16] Nout M J R, Sarkar P K. Lactic acid food fermentation in tropical climates [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 1999, 76(1-4): 395-401
- [17] Ouwehand A C, Salminen S J. The health effects of cultured milk products with viable and non-viable bacteria [J]. International Dairy Journal, 1998, 8(9): 749-758
- [18] 吕兆林,姚永红,林西,等.乳酸菌在苹果酒中的应用研究进展[J].西南林业大学学报,2012,32(1):105-109
LYU Zhao-lin, YAO Yong-hong, LIN Xi, et al. Progress in the application of lactic acid bacteria in cider [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(1): 105-109
- [19] Harman D. Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry [J]. Journal of Gerontology, 1956, 11(3): 298
- [20] 王毕妮.红枣多酚的种类及抗氧化活性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011
WANG Bi-ni. Study on the species and antioxidant activity of jujube polyphenols [D]. Yang Ling: Northwest A & F University, 2011
- [21] 孙淑夷.荔枝汁混菌发酵工艺及其功能活性成分研究[D].广州:华南农业大学,2016
SUN Shu-yi. The research of technology and functional active ingredients for litchi juice mixed strains fermentation [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016

(上接第5页)

- [20] 陈美宁,李敏,姚静.2,4-二硝基苯肼法测定食品中甲醛含量的研究[J].山东化工,2018,1:64-65
CHEN Mei-ning, LI Min, YAO Jing. Determination of formaldehyde content in food by 2,4-Dinitrophenylhydrazine method [J]. Shandong Chemical Industry, 2018, 1: 64-65
- [21] H Ramazan Yilmaz, Efan Uz, Nezahat Yucel. Protective effect of caffeic acid phenethyl ester (CAPE) on lipid peroxidation and antioxidant enzymes in diabetic rat liver [J]. Biochem Molecular Toxicology, 2004, 18(4): 234-238
- [22] 黄海波,沈圳煌,耿倩倩.蜂胶提取物对顺铂诱导大鼠肝、肾损伤的保护作用[J].食品科学,2018,39(15):159-164
HUANG Hai-bo, SHEN Zhen-huang, GENG Qian-qian. Protective effects of propolis extract on liver and kidney injury induced by cisplatin in rats [J]. Food Science, 2018, 39(15): 159-164
- [23] Glaesmer H, Spangenberg L, Scherer A. Assessing desire for suicide: first results on psychometric properties of the german version of the interpersonal needs questionnaire (INQ) [J]. Psychiatrische Praxis, 2014, 41(5): 250