

不同乳酸菌荔枝汁发酵特性及其贮藏稳定性的研究

刘欣, 刘芸, 刘波*, 邓元源, 曹宜
(福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福州 350003)

摘要: **目的** 为荔枝乳酸菌发酵饮料的研发筛选优良菌株。**方法** 比较9种乳酸菌在荔枝汁中发酵48 h的活菌数、pH值和酸度,并观察发酵液在4 °C储存条件下这些指标的变化。**结果** 植物乳杆菌 FJAT-13737(*Lactobacillus plantarum* FJAT-13737)和德氏乳杆菌 FJAT-43773(*Lactobacillus delbrueckii* FJAT-43773)发酵荔枝汁48 h的活菌数最高,达 10^9 CFU·mL⁻¹,但在0~7 d储存期内降至 10^8 CFU·mL⁻¹。嗜热链球菌 FJAT-43774(*Streptococcus thermophilus* FJAT-43774)、嗜酸乳杆菌 FJAT-13772(*Lactobacillus acidophilus* FJAT-13772)和发酵乳杆菌 FJAT-13771(*Lactobacillus fermentum* FJAT-13771)发酵液中的活菌数较低,至储存28 d时,活菌数在 10^7 CFU·mL⁻¹,显著低于其他乳酸菌活菌数($P < 0.05$)。不同菌株荔枝汁发酵液在储存期的最终pH值在3.74~3.93之间,差异不显著($P > 0.05$)。短乳杆菌 FJAT-43776(*Lactobacillus brevis* FJAT-43776)的荔枝汁发酵液的酸度最高,为140.9 °T。在储存期内,不同菌株发酵的荔枝汁的酸度均呈上升趋势,最终酸度在245.8~165.4 °T之间。**结论** 为新型荔枝乳酸菌发酵饮料的研发奠定实践基础。

关键词: 荔枝; 乳酸菌; 发酵; 贮藏稳定性

Study on fermentation characteristics and storage stability of litchi juice with different lactic acid bacteria

LIU Xin, LIU Yun, LIU Bo*, DENG Yuan-Yuan, CAO Yi

(Agricultural Bio-Resources Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Objective To screen strains for the development of litchi lactic acid bacteria fermented beverage. **Methods** Litchi juice was fermented with 9 strains for 48 h, then the fermented juice was determined for the parameters such as the number of lactic acid bacteria, pH value and acidity. The 3 parameters were also detected during the storage of the fermented litchi juice at 4 °C. **Results** The number of bacteria in litchi juice fermented by *Lactobacillus plantarum* FJAT-13737 and *Lactobacillus delbrueckii* FJAT-43773 for 48 h was the highest, which reached 10^9 CFU·mL⁻¹, but decreased to 10^8 CFU·mL⁻¹ within 0-7 d of storage. The bacteria number in fermentation of *Streptococcus thermophilus* FJAT-43774, *Lactobacillus acidophilus* FJAT-13772 and *Lactobacillus fermentation* FJAT-13771 was lower than that of other lactic acid bacteria ($P < 0.05$), which reached 10^7 CFU·mL⁻¹ at 28 d of storage. The final pH value of fermentation of the 9 tested strains was between 3.74 and 3.93 during storage, with no significant difference ($P > 0.05$). *Lactobacillus brevis* FJAT-43776 showed the highest acidity of litchi juice

基金项目: 福建省科技计划项目—省属公益类科研院所基本科研专项(2016R1017-4, 2017R1017-5)

Fund: Supported by the Fujian Provinces Special Fund for Public Welfare Scientific Institutes (2016R1017-4, 2017R1017-5)

*通讯作者: 刘波, 博士, 研究员, 主要研究方向为微生物生物技术与农业生物药物。E-mail: fzliubo@163.com

*Corresponding author: LIU Bo, Ph.D, Professor, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian 350003, China. E-mail: fzliubo@163.com

fermentation (140.9 °T). During storage, the acidity of litchi juice fermented by different strains showed an upward trend, and the final acidity was between 245.8 °T and 165.4 °T. **Conclusion** This study lay a practical foundation for the development of a new type of fermented litchi *Lactobacillus* beverage.

KEY WORDS: litchi; lactic acid bacteria; fermentation; storage stability

1 引言

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)是无患子科(Aspindaceae)荔枝属(*Litchi*)植物^[1-3],为岭南佳果,被誉为中华之珍品。其果实色泽鲜红,肉质洁白晶莹,细嫩多汁,味香清甜,营养丰富,深得人们喜爱^[4]。中国是全球最大的荔枝生产国,但荔枝生产地域集中、采摘期短,仅两个半月(5月~7月),且荔枝果皮疏松,含糖量和含水量高,其独特的生理组织结构决定了荔枝是最不耐贮藏的果品之一^[5]。采后在高温环境下易受到微生物的感染而腐烂变质,丧失原有的色香味,鲜销难度大,不利于荔枝产业的可持续发展。因此,对荔枝进行深加工是解决以上问题的重要途径。但目前荔枝以鲜食为主,深加工技术相对滞后,对原料的消化十分有限,加工产品主要局限于荔枝干、荔枝酒和荔枝糖水罐头等几个品种^[6,7],因此,研发一套既能保留荔枝品质,又能吸引消费者的荔枝产品深加工技术成为荔枝产业发展的关键措施。

荔枝汁具有较高的营养价值,但荔枝汁含糖量太高(16%~18%, *m/V*),不符合消费者追求低脂低糖的现代饮食理念^[8]。将新鲜荔枝制成荔枝汁,采用乳酸菌发酵,把其中的糖类物质部分转化为乳酸菌体和其他有益代谢产物,研发集果蔬营养价值与乳酸菌保健功能于一体的新型荔枝乳酸菌发酵饮料,不仅有效缓解荔枝收获期短、上市集中的问题,还提高了易腐果蔬的深加工技术水平和产品附加值。目前,关于荔枝乳酸菌发酵饮料的报道还较少,且研究主要集中在发酵配方、生产工艺、品质检测方面的探讨^[5-7,9-12]。而生产荔枝乳酸菌发酵饮料的关键是筛选可利用果蔬营养成分进行大量繁殖,并在产品保质期内维持较高存活率的发酵菌株,直接关系到产品的营养价值、发酵风味、口感和组织状态^[13]。但针对发酵荔枝汁乳酸菌菌株的优选研究较少。孙淑夷等^[12]以荔枝汁发酵液中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性,淀粉酶活性及总酚含量等为指标,对乳酸菌进行筛选。胡珊等^[14]从荔枝内生乳酸菌中筛选适合水果发酵的优良菌株。郑欣等^[8,11]研究了6种乳酸菌在荔枝汁中的发酵特性,及4℃贮藏条件下干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*)、保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*)和肠膜状明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)这3种乳酸菌在荔枝汁发酵液中的稳定性。因此,发酵菌剂的研究仍是生产优质荔枝发酵乳酸菌饮品的首要任务。

本研究比较了目前应用较广的9种乳酸菌菌株在新鲜荔枝汁中的发酵特性,及低温储存期内活菌数、pH值和酸度等产品品质指标的变化,以期获得在高浓度果汁中具有良好发酵性能和储存稳定性的乳酸菌菌株,为新型的荔枝乳酸菌发酵饮料的研发奠定理论基础。

2 材料与方法

2.1 供试材料

2.1.1 供试菌株

嗜热链球菌 FJAT-43774(*Streptococcus thermophilus* FJAT-43774)、乳酸乳球菌 FJAT-13765(*Lactococcus lactis* FJAT-13765)、德氏乳杆菌 FJAT-43773(*Lactobacillus delbrueckii* FJAT-43773)、鼠李糖乳杆菌 FJAT-13807(*Lactobacillus rhamnosus* FJAT-13807)、嗜酸乳杆菌 FJAT-13772(*Lactobacillus acidophilus* FJAT-13772)、发酵乳杆菌 FJAT-13771(*Lactobacillus fermentum* FJAT-13771)、植物乳杆菌 FJAT-13737(*Lactobacillus plantarum* FJAT-13737)、副干酪乳杆菌 FJAT-13741(*Lactobacillus paracasei* FJAT-13741)、短乳杆菌 FJAT-43776(*Lactobacillus brevis* FJAT-43776),由福建省农业科学院农业生物资源研究所提供。

2.1.2 主要培养基及试剂

MRS肉汤培养基、MRS固体培养基、M17肉汤培养基、M17固体培养基(北京陆桥技术股份有限公司);0.10 mol/L NaOH标准滴定溶液(福建厦门海标科技有限公司);酚酞(上海麦克林生物科技有限公司)。

2.1.3 仪器与设备

ZHJH-C1209C超净工作台(上海智城分析仪器制造有限公司);Bluepard隔水式恒温培养箱(上海一恒科技有限公司);Sartorius PB-10 pH计(德国赛多利斯集团)。

2.2 实验方法

2.2.1 乳酸菌菌种制备

将嗜热链球菌 FJAT-43774接种于M17肉汤培养基,并将其余8种乳酸菌供试菌株接种于MRS肉汤培养基中活化,于37℃恒温培养箱中静置培养48 h。

2.2.2 荔枝汁发酵基质制备

选取九成熟、色泽鲜艳、无病虫、霉烂的新鲜荔枝果实。用淡盐水浸泡10 min后用清水冲洗荔枝,除去表面泥沙、污物、农药残留及果皮的病虫卵。经人工处理去皮、去核得荔枝果肉,将果肉榨汁取鲜荔枝汁,将荔枝汁分装于

100 mL 无菌蓝盖瓶, 用高温灭菌装置灭菌(108 °C, 10 min), 冷却至室温备用。

2.2.3 荔枝汁的乳酸菌发酵培养和发酵液的低温贮藏

将活化后的 9 种乳酸菌培养液, 活菌数含量均为 10^8 CFU·mL⁻¹, 以 5% 的接种量分别接种于 2.2.2 的荔枝汁中, 于 37 °C 恒温箱培养 48 h, 即得荔枝汁乳酸菌发酵液, 测定理化 and 微生物指标。并将培养物置入 4 °C 冰箱冷藏保存, 每 7 d 取冷藏的荔枝汁乳酸菌发酵液检测理化 and 微生物指标。检测时每瓶取荔枝汁发酵液 1 mL, 用无菌水梯度稀释至 10^{-7} , 取各个稀释度的悬浊液各 0.1 mL, 分别均匀涂布于 M17 或 MRS 培养基的平板上, 置于 37 °C 恒温培养 48 h 后统计乳酸菌活菌数。用 pH 计测定发酵液的 pH 值, 参照 GB 5009.239-2016^[15] 测定酸度(°T)。不同处理设 3 个重复。

2.3 数据分析

在 DPS 数据处理系统中^[16], 采用 Tukey 多重比较方差分析方法对不同处理的活菌数、pH 值和滴定酸度值进行比较。

3 结果与分析

3.1 乳酸菌在荔枝汁中的生长特性

9 种乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 的活菌数见图 1, 荔枝汁所含的营养物质可以促进乳酸菌的生长, 植物乳杆菌 FJAT-13737、德氏乳杆菌 FJAT-43773 在荔枝汁中繁殖能力最强, 乳酸菌活菌数最高, 分别为 4.0×10^9 和 1.5×10^9 CFU·mL⁻¹。而嗜酸乳杆菌 FJAT-13772 和发酵乳杆菌 FJAT-13771 活菌数在 10^7 CFU·mL⁻¹, 显著低于其他乳酸菌活菌数($P < 0.05$), 在荔枝汁中繁殖能力最弱, 以活菌数含量为指标, 这两菌株并不适合作为荔枝汁发酵菌株。其余种类

荔枝汁乳酸菌发酵液中活菌数均在 10^8 CFU·mL⁻¹。

3.2 乳酸菌发酵荔枝汁的 pH 值变化

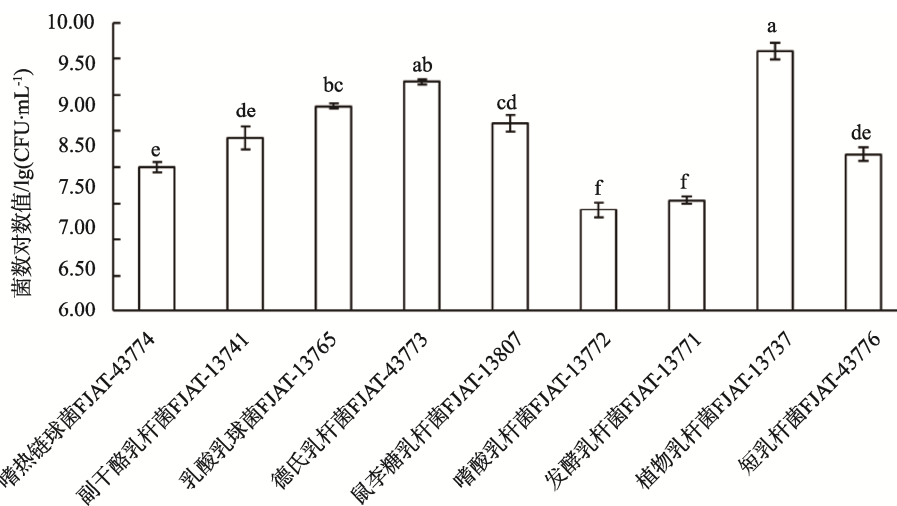
9 种乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 的 pH 值见图 2, 不同菌株荔枝汁发酵液的 pH 值均下降。德氏乳杆菌 FJAT-43773、嗜酸乳杆菌 FJAT-13772、发酵乳杆菌 FJAT-13771 和短乳杆菌 FJAT-43776 荔枝汁发酵液的 pH 值下降最多, 均低于 4.0, 显著低于嗜热链球菌 FJAT-43774 荔枝汁发酵液的 pH 值($P < 0.05$), 其余乳酸菌发酵液的 pH 值在 4.0-4.3 之间, 差异不显著($P > 0.05$)。

3.3 乳酸菌发酵荔枝汁的酸度值变化

9 种乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 的滴定酸度值见图 3, 随着乳酸菌的增殖, 不同菌株荔枝汁发酵液的酸度均上升。短乳杆菌 FJAT-43776 的荔枝汁发酵液产酸量最高, 酸度为 140.9 °T, 显著高于其他发酵液的酸度。乳酸乳球菌 FJAT-13765、嗜热链球菌 FJAT-43774 和副干酪乳杆菌 FJAT-13741 的荔枝汁发酵液产酸量较少, 酸度较低, 均低于 100.0 °T。其余菌株的荔枝汁发酵液的酸度在 100.0~123.0 °T 之间。

3.4 荔枝汁乳酸菌发酵液储存过程活菌数的变化

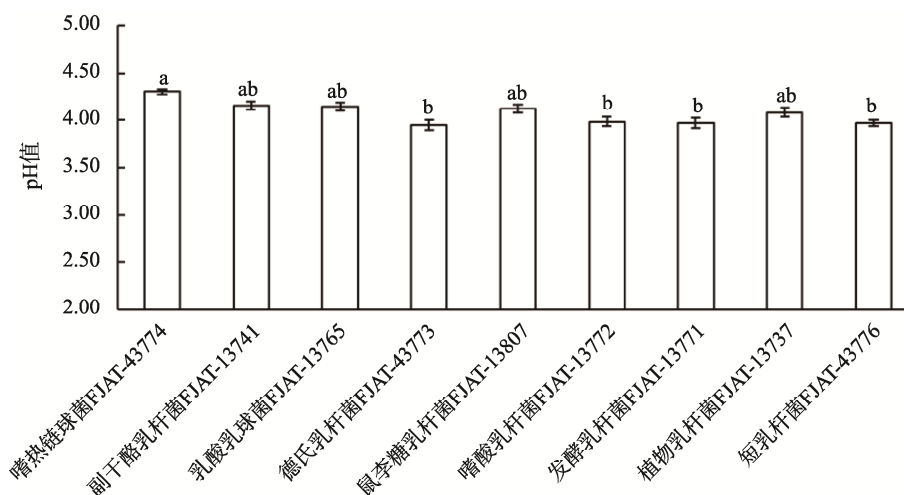
荔枝汁乳酸菌发酵液在 4 °C 条件下储存 28 d 活菌数的变化表明(见图 4), 在储存 7 d 时, 植物乳杆菌 FJAT-13737 发酵液中的活菌数下降最多, 其次为德氏乳杆菌 FJAT-43773, 均下降至 10^8 CFU·mL⁻¹, 之后的 21 d 两者虽都缓慢降低, 但仍稳定维持在 10^8 CFU·mL⁻¹; 嗜热链球菌 FJAT-43774 发酵液的活菌数在储存 7-14 d 时由 2.9×10^8 CFU·mL⁻¹ 下降至 5.1×10^7 CFU·mL⁻¹, 之后便稳定在 10^7 CFU·mL⁻¹; 其余 6 种乳酸菌活菌数在储存期内均保持稳定, 与发酵 48 h 后的数量级一致。可见, 不同乳酸菌在低温



注: 标注字母不同表示 Tukey 多重比较差异显著($P < 0.05$)。

图 1 不同乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 的活菌数量($n=3$)

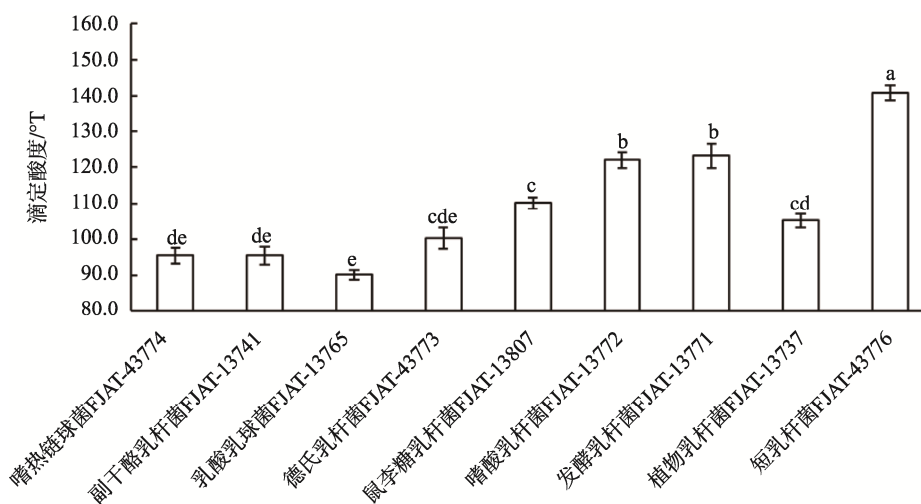
Fig.1 Bacteria number in litchi juice fermented by different lactic acid bacteria for 48 h ($n=3$)



注: 标注字母不同表示 Tukey 多重比较差异显著($P < 0.05$)。

图 2 不同乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 的 pH 值($n=3$)

Fig.2 pH value of litchi juice fermented by different lactic acid bacteria for 48 h ($n=3$)



注: 标注字母不同表示 Tukey 多重比较差异显著($P < 0.05$)。

图 3 不同乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 的滴定酸度($n=3$)

Fig.3 Acidity of litchi juice fermented by different lactic acid bacteria for 48 h ($n=3$)

储存 14 d 之后均进入稳定状态。至储存 28 d 时, 嗜热链球菌 FJAT-43774、嗜酸乳杆菌 FJAT-13772 和发酵乳杆菌 FJAT-13771 发酵液中的活菌数显著低于其他乳酸菌活菌数($P < 0.05$)。

3.5 荔枝汁乳酸菌发酵液储存过程 pH 值的变化

荔枝汁乳酸菌发酵液在 4 °C 条件下储存 28 d pH 值的变化表明(见图 5), 在 0~7 d 储存期内, 所有菌株荔枝汁发酵液的 pH 值下降较快, 均低于 4.0, 其中嗜热链球

菌 FJAT-43774 发酵的荔枝汁 pH 值下降幅度最大, 由 4.30 降至 3.97。在储存第 14~28 d 时, 不同菌株荔枝汁发酵液的 pH 值基本维持在储存 7 d 时的数值, 或有少量下降, 最终 pH 值在 3.74~3.93 之间, 差异不显著($P > 0.05$)。

3.6 荔枝汁乳酸菌发酵液储存过程酸度的变化

荔枝汁乳酸菌发酵液在 4 °C 条件下储存 28 d 酸度的变化表明(见图 6), 在 28 d 储存期内, 不同菌株荔枝汁发酵

液仍不断产酸, 酸度均呈上升趋势。在 0~7 d 储存期内, 所有菌株发酵的荔枝汁的酸度均快速上升至 135 °T 以上。其中短乳杆菌 FJAT-43776 荔枝汁发酵液的酸度保持最高, 为 175.0 °T; 嗜热链球菌 FJAT-43774 和副干酪乳杆菌 FJAT-13741 荔枝汁发酵液酸度增幅最大; 而发酵乳杆菌 FJAT-13771 荔枝汁发酵液酸度增幅最小, 酸度值也最低。储存 7 d 后, 嗜热链球菌 FJAT-43774、德氏乳杆菌 FJAT-43773、嗜酸乳杆菌 FJAT-13772 和发酵乳杆菌

FJAT-13771 的荔枝汁发酵液酸度增幅变缓; 储存 21 d 后副干酪乳杆菌 FJAT-13741、鼠李糖乳杆菌 FJAT-13807 和植物乳杆菌 FJAT-13737 的荔枝汁发酵液酸度才进入缓慢增长阶段, 而短乳杆菌 FJAT-43776 的荔枝汁发酵液在整个储存期内一直保持较快的增长速度。在 28 d 时, 短乳杆菌 FJAT-43776 发酵的荔枝汁酸度最高, 为 245.8 °T; 嗜酸乳杆菌 FJAT-13772 发酵的荔枝汁酸度最低, 为 165.4 °T, 两者差异显著 ($P < 0.05$)。

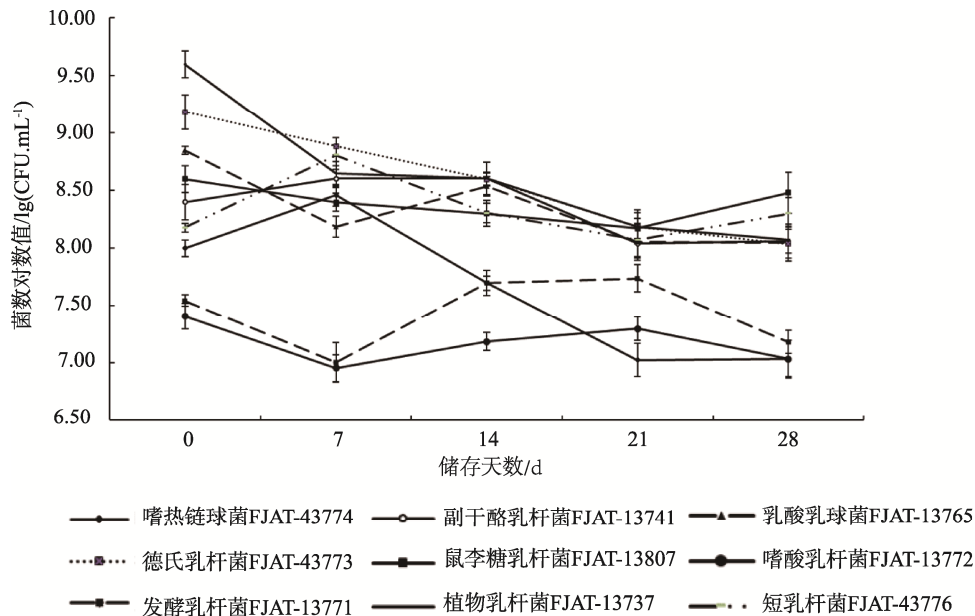


图 4 荔枝汁乳酸菌发酵液在低温储存期活菌数量的变化($n=3$)

Fig.4 Number variation of lactic acid bacteria in their fermented litchi juice during cold storage ($n=3$)

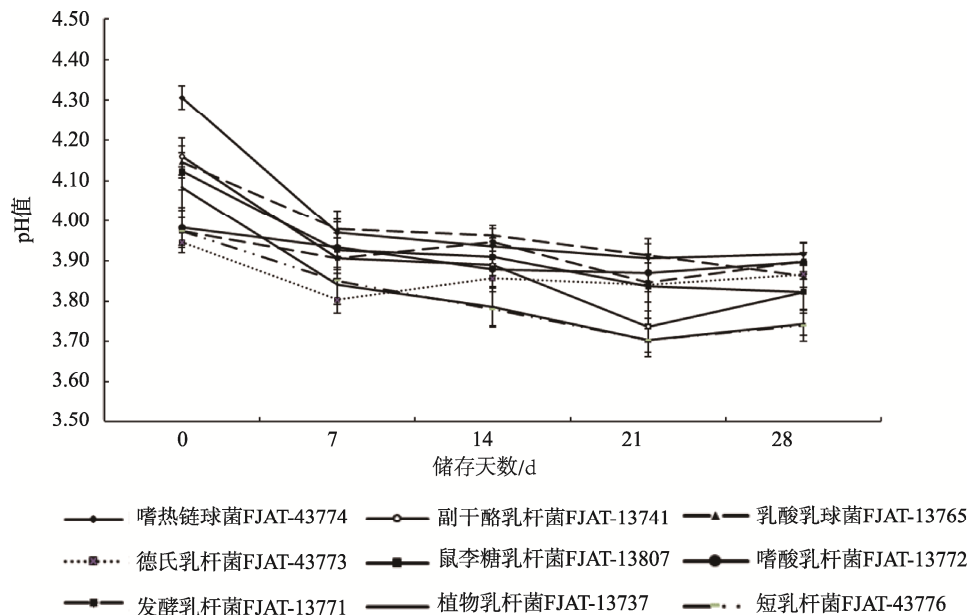
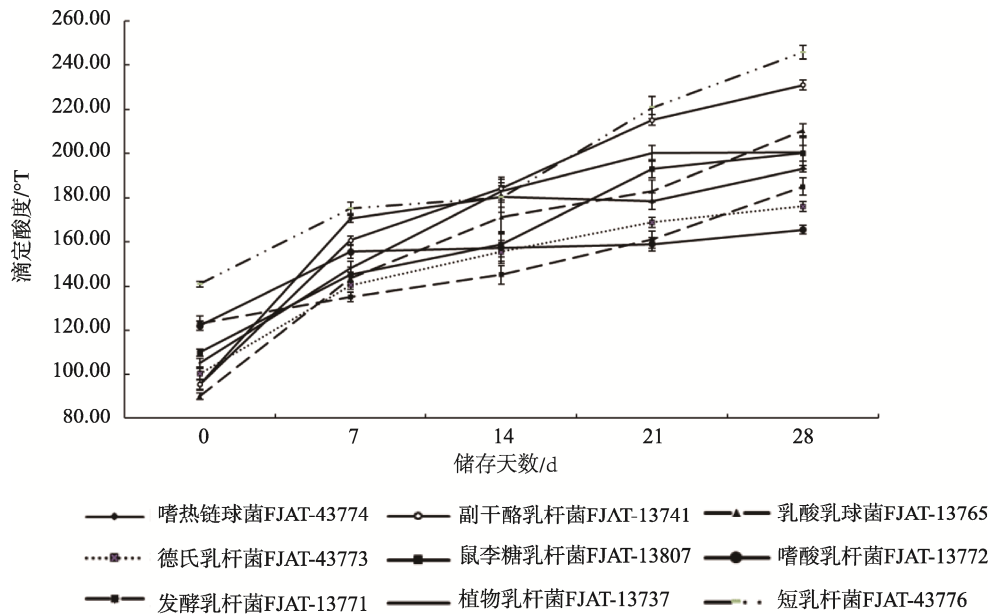


图 5 荔枝汁乳酸菌发酵液在低温储存期 pH 值的变化($n=3$)

Fig.5 pH variation of litchi juice fermented by different lactic acid bacteria during cold storage ($n=3$)

图 6 荔枝汁乳酸菌发酵液在低温储存期酸度的变化($n=3$)Fig.6 Acidity variation of litchi juice fermented by different lactic acid bacteria during cold storage($n=3$)

4 讨论与结论

乳酸菌作为一种益生菌, 广泛应用于食品的开发和应用, 主要在人体的各个微生态起作用, 如胃肠道、阴道、口腔等, 维护着人体健康。荔枝汁经乳酸菌发酵后, 产品具有更加独特诱人的香气和风味, 可提高其营养保健功效。中国荔枝资源极为丰富, 对其进行深入研究和开发利用, 可缓解鲜果销售压力, 延长供应期, 增加饮料品种, 对提高经济效益有积极意义。

为了筛选适合荔枝汁发酵的优质菌株, 提高荔枝汁乳酸菌发酵饮品的品质, 本文研究了 9 种不同的乳酸菌对荔枝汁的发酵性能。9 株菌株中, 植物乳杆菌 FJAT-13737 和德氏乳杆菌 FJAT-43773 发酵荔枝汁 48 h 的活菌数最高, 达 10^9 CFU·mL⁻¹, 但在 0~7 d 储存期内降至 10^8 CFU·mL⁻¹。相应的, 随着乳酸菌的增殖, 不断产生的乳酸使发酵液的 pH 值迅速下降, 发酵结束时德氏乳杆菌 FJAT-43773 和植物乳杆菌 FJAT-13737 的荔枝汁发酵液的 pH 值较低, 0~7 d 储存期时, pH 值仍缓慢下降。植物乳杆菌 FJAT-13737 和德氏乳杆菌 FJAT-43773 活菌数在储存前期迅速衰亡。郑欣等^[11]的研究也发现在 4 °C 下贮藏, 干酪乳杆菌、保加利亚乳杆菌和肠膜状明串珠菌在荔枝汁发酵液中活菌数也均呈下降趋势, 经过 28 d 贮藏, 肠膜状明串珠菌活菌数由 $9.0 \lg(\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$ 下降至 $7.0 \lg(\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$ 。这一方面可能由于发酵液中高浓度的 H⁺ (即低 pH 值), 对菌株存活不利, 乳酸菌产生自溶现象; 另一方面可能由于荔枝汁发酵液中的营养物质有限, 难以支持高浓度乳酸菌的存活需求。张峥等^[17]的研究也表明富营养水平的培养基更有利于乳酸菌

的长期保存。而乳酸菌活菌数的减少降低了发酵乳的保健作用, 且自溶之后释放的细胞质成分, 可能改变制品的流变学特性和产品固有的感官特性^[18]。因此, 如何抑制乳酸菌细胞在低 pH 值下的自溶, 并提高发酵后饮料中的营养水平, 使其在储存过程中充分利用环境中的营养物质维持较高的活菌数值得进一步研究。这 9 种乳酸菌中, 嗜热链球菌 FJAT-43774 的荔枝汁发酵液中活菌数在 10^8 CFU·mL⁻¹, 而郑欣等^[8]的研究中嗜热链球菌在荔枝汁中发酵 36 h 时活均数达 $9.5 \lg(\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$ 以上, 这可能是由于菌株分离来源的不同、荔枝品种的差异, 或是培养条件的影响导致发酵后活菌数的区别。储存期内嗜热链球菌 FJAT-43774 在荔枝汁发酵液中也处于不稳定状态, 下降至 10^7 CFU·mL⁻¹。同时嗜酸乳杆菌 FJAT-13772 和发酵乳杆菌 FJAT-13771 在发酵液中活菌数较低, 仅在 10^7 CFU·mL⁻¹, 饮品中的活性乳酸菌含量决定着产品的主要营养与对人的健康作用, 如以活菌数含量来评估, 这 3 株菌不适合作为荔枝汁乳酸菌饮料的发酵剂。

同时饮品的酸度直接影响产品风味和口感, 是消费者对乳酸菌发酵饮品接受程度的一项重要指标^[19]。乳酸菌在增殖过程中, 代谢乳糖和乳中其他碳源产生乳酸, 使得发酵液中酸度发生变化。由 9 株乳酸菌发酵荔枝汁 48 h 后发酵液的酸度在 90~140 °T 之间, 在 28 d 整个储存期内, 不同菌株发酵的荔枝汁发酵液的酸度仍快速上升, 最终酸度均在 165~245 °T 之间。这是由于发酵液在储存过程中, 其乳糖酶在酸性条件下仍具有较大活性, 从而继续发酵乳糖产生乳酸, 导致后酸化现象产生^[20]。发酵乳食品安全国家标准(国标 GB 19302-2010)^[21]中对以生牛(羊)乳或乳粉为

原料,经发酵制成的发酵乳的酸度规定为不小于 70 °T。一般的消费者习惯酸奶酸度为 70~100 °T 之间^[22]。而乳酸菌发酵的荔枝汁酸度均偏高,会给消费者带来偏酸的口感。

优良菌种的筛选需考虑菌种对发酵环境的适应能力、发酵速度、产酸能力以及产品最终的口感与风味^[23]。本文研究了 9 种乳酸菌在荔枝汁中的发酵特性及发酵液在低温下贮藏的品质稳定性,表明植物乳杆菌 FJAT-13737 和德氏乳杆菌 FJAT-43773 发酵荔枝汁 48 h 的活菌数高达 10^9 CFU·mL⁻¹,但在储存前期降至 10^8 CFU·mL⁻¹;且乳酸菌荔枝汁发酵液的酸度较高,在储存过程中仍进一步升高,导致饮品口感偏酸。因此,如何通过改良储存技术,使饮品在储存期内保持活菌数的稳定性;通过改善口感,使饮品符合大众消费者的口味,开发出风味独特的荔枝汁乳酸菌发酵饮品,是我们下一步需要探索的方向。

参考文献

- 蔡长河,曾庆孝,段冬洋.荔枝的营养保健功能、加工研究现状及开发利用前景[J].食品科学,2005,26(8):530-531.
Cai CH, Zeng QX, Duan DY. Nutritional and healthy function of litchi and its developing foreground [J]. Food Sci, 2005, 26(8): 530-531.
- 叶延琼,章家恩,吕建秋,等.广东省荔枝产业发展现状与对策分析[J].中国农学通报,2011,27(3):481-487.
Ye YQ, Zhang JE, Lv JQ, et al. Analysis on the development status and countermeasures of lychee industry in Guangdong province [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(3): 481-487.
- 袁星星,余元善,吴继军,等.荔枝汁中谷蛋白结构及特性[J].食品科学,2018,39(12):47-52.
Yuan XX, Yu YS, Wu JJ, et al. Structure and characteristics of glutelin in litchi juice [J]. Food Sci, 2018, 39(12): 47-52.
- 郭丹,胡卓炎,梁琳贞,等.荔枝果汁饮料碳酸化处理的工艺参数优化[J].现代食品科技,2012,28(7):819-824.
Guo D, Hu ZY, Liang LZ, et al. Optimization of processing parameters for carbonated litchi beverages using desirability function approach [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(7): 819-824.
- 余蕾.正交试验优化荔枝乳酸菌饮料的配方[J].广西轻工业,2008,(6):3-4.
Yu L. Optimizing the formula of litchi lactobacillus beverage by orthogonal test [J]. Guangxi J Light Ind, 2008, (6): 3-4.
- 余恺,胡卓炎,余小林,等.荔枝果汁产品开发与市场策略分析[J].食品工业科技,2010,31(3):405-409.
Yu K, Hu ZY, Yu XL, et al. Market strategic analysis and product development of litchi juice [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(3): 405-409.
- 移兰丽,余元善,肖更生,等.荔枝果汁饮料和荔枝原汁挥发性成分分析[J].热带作物学报,2016,37(4):822-828.
Yi LL, Yu YS, Xiao GS, et al. Analysis of volatile flavor compounds in litchi juice drinks and litchi juice [J]. Chin J Tropical Crops, 2016, 37(4): 822-828.
- 郑欣,余元善,吴继军,等.不同乳酸菌在荔枝汁中的发酵特性研究[J].广东农业科学,2013,(7):95-98.
Zheng X, Yu YS, Wu JJ, et al. Study on fermentation characteristic of various lactic acid bacteria in litchi juice [J]. Guangdong Agric Sci, 2013, (7): 95-98.
- 白水宝,华英奇.荔枝果肉果汁饮料工艺研究[J].食品研究与开发,2001,22(4):32-33.
Bai SB, Hua YQ. Study on the technology of litchi pulp juice beverage [J]. Food Res Dev, 2001, 22(4): 32-33.
- 梁立坚,刘廷琨,刘伟,等.荔枝果汁及其果汁饮料的研制[J].饮料工业,2004,7(4):32-35.
Liang LJ, Liu TK, Liu W, et al. Study on litchi juice and production of litchi juice drink [J]. Bever Ind, 2004, 7(4): 32-35.
- 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的研究[J].现代食品科技,2013,29(12):2909-2914.
Zheng X, Yu YS, Wu JJ, et al. Quality changes of litchi juice after fermentation and the stability during low-temperature storage [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(12): 2909-2914.
- 孙淑夷,赵雷,周沫霖,等.菌种和底物因素对荔枝发酵液主要功效酶活性的影响[J].食品安全质量检测学报,2016,7(6):2465-2472.
Sun SY, Zhao L, Zhou ML, et al. Effect of fermentation strains and substrates on effect of main enzyme activity of mixed fermented liquid of litchi [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(6): 2465-2472.
- 刘芸,刘波,朱育菁,等.黑豆酸奶发酵微生物鉴定与发酵特性研究[J].福建农业学报,2011,26(3):450-456.
Liu Y, Liu B, Zhu YQ, et al. Identification and characteristics of lactic acid bacteria for black soybean yoghurt fermentation [J]. J Fujian Agric Sci, 2011, 26(3): 450-456.
- 胡珊,黄皓,梁卫驱,等.荔枝内生乳酸菌的筛选、鉴定及发酵效果分析[J].南方农业学报,2019,50(1):137-143.
Hu S, Huang H, Liang WQ, et al. Screening, identification and fermentation effects of endogenous lactobacillus strains isolated from litchi [J]. J Southern Agric, 2019, 50(1): 137-143.
- GB 5009.35-2016 食品安全国家标准 食品酸度的测定[S].
GB 5009.35-2016 National food safety standard-Determination of acidity in foods [S].
- 唐启义.DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2016.
Tang QY. DPS Data processing system [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- 张峥,张戈,杨蓉,等.培养基不同营养水平对一株植物乳杆菌发酵生长及保存的影响[J].新疆农业科学,2017,54(6):1108-1113.
Zhang Z, Zhang G, Yang R, et al. Effects of Different nutritional levels on the growth and preservation of a strain medium: *Lactobacillus plantarum* [J]. Xinjiang Agric Sci, 2017, 54(6): 1108-1113.
- Fernández MML, Pesce de Ruiz HA, de Valdez GF. Influence of the incubation temperature on the autolytic activity of *Lactobacillus acidophilus* [J]. J Appl Bacteriol, 1995, 78(4): 426-429.
- 谢继志,肖宏彬.酸奶中乳酸菌数及酸度的检测与评价[J].中国乳品工业,2002,30(1):22-25.
Xie JZ, Xiao HB. Inspection and evaluation of lactic acid bacteria and acidity on yoghurt [J]. China Dairy Ind, 2002, 30(1): 22-25.
- 孙洁,沈瑾,王希卓,等.发酵剂菌体自溶对酸乳品质的影响[J].农业

工程学报, 2012, 28(1): 287-292.

Sun J, Shen J, Wang XZ, *et al.* Effects of yogurt starters autolysis on quality of yogurt [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, 28(1): 287-292.

[21] GB 19302-2010 食品安全国家标准 发酵乳[S].

GB 19302-2010 National food safety standard-Fermented milk [S].

[22] 许谦. 保存温度对酸奶品质及活性乳酸菌含量的影响[J]. *微生物学杂志*, 2014, 34(4): 67-70.

Xu Q. Influence of storage temperature on yogurt quality & content of active *Lactobacteria* [J]. *J Microbiol*, 2014, 34(4): 67-70.

[23] 蒋立文, 卜尔红, 侯艳梅. 利用纯种乳酸菌制作泡萝卜的技术研究. *中国酿造*, 2006, (11): 15-18.

Jiang LW, Bu EH, Hou YM. Technique for the production of radish pickle with purified lactic acid bacteria [J]. *China Brew*, 2006, (11): 15-18.

(责任编辑: 苏笑芳)

作者简介



刘 欣, 实习研究员, 主要研究方向为食品微生物学与食品加工。
E-mail: 80970018@qq.com



刘 波, 博士, 研究员, 主要研究方向为微生物生物技术与农业生物药物。
E-mail: fzliubo@163.com