

李江, 黄佩雯, 郑香峰, 等. 干酪乳杆菌清除苹果汁展青霉素对苹果汁品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(7): 152–158. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050267

LI Jiang, HUANG Peiwen, ZHENG Xiangfeng, et al. Effect of *Lactobacillus casei* Removing Patulin in Apple Juice on the Quality of Apple Juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(7): 152–158. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050267

· 生物工程 ·

干酪乳杆菌清除苹果汁展青霉素对 苹果汁品质的影响

李 江, 黄佩雯, 郑香峰*, 杨振泉
(扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘 要:目的: 本课题组前期筛选到一株可以高效清除苹果汁中展青霉素的干酪乳杆菌 *Lactobacillus casei* YZU01。本文主要研究 *L. casei* YZU01 清除苹果汁展青霉素过程中对苹果汁品质的影响。方法: 以未添加和添加展青霉素的苹果汁作为对照, 分别利用高效液相色谱法、pH 计检测法、紫外分光光度法、比色法检测 *L. casei* YZU01 降解苹果汁展青霉素过程中苹果汁的有机酸 (柠檬酸、酒石酸、富马酸、乙酸和 L-苹果酸) 和糖含量 (葡萄糖和半乳糖)、酸度、非酶褐变指数和透光率、色度等苹果风味和品质相关指标。结果: *L. casei* YZU01 清除苹果汁展青霉素过程中, 苹果汁柠檬酸、酒石酸、富马酸和乙酸的含量增多, L-苹果酸、葡萄糖和半乳糖的含量减少, 柠檬酸含量从 0.18 g/kg 上升至 2.11 g/kg, 酒石酸含量从 2.3 g/kg 上升至 3.4 g/kg, 富马酸含量从 0.12 g/kg 上升至 0.15 g/kg, 乙酸含量从 0.00 g/kg 上升至 0.66 g/kg, L-苹果酸含量从 7.31 g/kg 下降至 5.26 g/kg, 葡萄糖含量从 38.59 g/kg 下降至 1.59 g/kg, 半乳糖含量从 67.55 g/kg 下降至 28.37 g/kg。尽管干酪乳杆菌处理后苹果汁糖酸含量发生变化, 但苹果汁酸度变化不大。干酪乳杆菌在清除展青霉素的过程中不会引起非酶促褐变反应, 不会对色泽产生不良影响, 但是会引起透光率的波动。在降解 72 h 后, 干酪乳杆菌对苹果汁色度指标 L^* 值、 b^* 值的影响很小, 而使 a^* 值稍稍增大, 代表苹果汁绿色变浅。综上所述, 干酪乳杆菌清除展青霉素的过程中对苹果汁糖和酸含量产生一定的影响, 不会产生非酶褐变反应, 对苹果汁色度影响较小。

关键词: 干酪乳杆菌, 展青霉素, 苹果汁, 品质

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)07-0152-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050267



本文网刊:

Effect of *Lactobacillus casei* Removing Patulin in Apple Juice on the Quality of Apple Juice

LI Jiang, HUANG Peiwen, ZHENG Xiangfeng*, YANG Zhenquan

(School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: Objective: Previously, our group screened a strain of *Lactobacillus casei* YZU01 that could efficiently remove patulin from apple juice. This article aimed to study the effect of *L. casei* YZU01 on the quality of apple juice during the removal of patulin from apple juice. Methods: The quality parameters of apple juice, including organic acids (citric acid, tartaric acid, fumaric acid, acetic acid and L-malic acid) and sugar content (glucose and galactose), acidity, non-enzymatic browning index, light transmittance, and color parameter, were assessed in three groups: commercial apple juice (CAJ), apple juice supplemented with patulin (CAJ-Patulin), and apple juice supplemented with patulin after degradation by *L. casei* YZU01 (CAJ-Patulin-*L. casei* YZU01). This analysis was conducted using high performance liquid chromatography (HPLC), pH meter, UV spectrophotometer, and colorimeter. Results: The content of citric acid, tartaric acid, fumaric acid and acetic acid in the group of CAJ-Patulin-*L. casei* YZU01 was increased from 0.18, 2.3, 0.12, and 0.00 g/kg to 2.11, 3.4,

收稿日期: 2023-05-25

基金项目: 中国博士后科学基金 (2022M712693); 国家自然科学基金 (31901801)。

作者简介: 李江 (1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全, E-mail: 1907861229@qq.com。

* 通信作者: 郑香峰 (1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品安全, E-mail: zxf@yzu.edu.cn。

0.15, and 0.66 g/kg, respectively. However, the content of L-malic acid, glucose and galactose in the group of CAJ-Patulin-*L. casei* YZU01 was decreased from 7.31, 38.59, and 67.55 g/kg to 5.26, 1.59 and 28.37 g/kg, respectively. The change of sugar and acid contents in the group of CAJ-Patulin-*L. casei* YZU01 had little effect on the acidity of apple juice. Furthermore, *L. casei* YZU01 treatment would not cause non-enzymatic browning reaction and had not adverse effects on the color of apple juice, but it would cause a fluctuation in light transmittance. In addition, after 72 hours of degradation, *L. casei* YZU01 had little effect on the L^* and b^* value of apple juice, but slightly increased the a^* value, which represented that the green color of apple juice became lighter. In conclusion, the sugar and acid contents of apple juice were changed after treatment with *L. casei* YZU01, but no non-enzymatic browning reaction and color change was observed.

Key words: *Lactobacillus casei*; patulin; apple juice; quality

展青霉素(Patulin, PAT)是一种主要由曲霉、青霉和丝衣霉等真菌产生的次级代谢产物,具有急性毒性、慢性毒性、细胞毒性、遗传毒性等多种生命毒性^[1]。同时 PAT 易溶于水^[2],使其极易进入并累积在谷物、水果、蔬菜等^[3]原料及其衍生品中。此外,PAT 具有耐酸性和耐高温性,使其难以从产品中完全去除,严重威胁人的生命健康。目前,已有很多国家制定了水果及其制品中 PAT 的最高限量标准^[4]。但水果及水果制品(果汁、果酱、蜜饯等)仍然有不同程度的 PAT 污染^[5],造成巨大经济损失的同时严重威胁消费者健康。研究食品中 PAT 污染的防治方法对整个食品产业和消费者健康具有重要意义。

目前,利用物理、化学和生物等方法去除食品中已存在的 PAT 已得到研究人员的广泛关注,其中一些方法已用于实际生产。这些方法在去除或解毒 PAT 方面各有优缺点^[6-7]。由于具有效率高、安全性好和可靠性强等优点,生物方法被认为是最有潜力的食品 PAT 脱毒的方法之一^[8]。Harwig 等^[9]发现酿酒酵母在苹果汁中发酵 14 d 后将 PAT 完全降解。Sumbu 等^[10]报道酿酒酵母发酵能在 2 周之内将苹果汁中的 PAT 降解到检测限以下。长期以来,乳酸菌(Lactic acid bacteria, LAB)作为益生菌,一直被视为食品行业的研究热点。这些研究不仅集中在新产品的开发上,还集中于它们在食品安全领域的应用上。鼠李糖乳杆菌 *L. rhamnosus* 6224,短乳杆菌 *L. brevis* 20023,嗜酸乳杆菌 *L. acidophilus* ATCC 4356 和植物乳杆菌 *L. plantarum* ATCC 8014 被连续报道^[11]具有去除溶液或果汁中 PAT 的能力。但是在应用这些微生物清除食品中 PAT 污染之前,仍然需要评估微生物清除 PAT 对产品品质的影响。Gumus 等^[12]发现嗜酸乳杆菌 DSM 20079 会使葡萄汁的 pH 和粘度降低,可能会导致果汁品质降低。Wu 等^[13]报道添加乳酸菌后会改变糖与有机酸的比例,改善酚类化合物,从而增强葡萄汁特有的香气和风味。虽然使用微生物去除 PAT 污染获得了良好的效果,但是也可能会不可避免地带来产品质量下降等新问题。因此,进一步探究微生物在清除产品中 PAT 的过程中对产品品质的影响尤为重要,这为生物法清除霉菌毒素的实际应用提供了参考价值。

在先前的研究中,Zheng 等^[14-15]发现一株干酪

乳杆菌 YZU01 可以高效降解苹果汁中的 PAT,但是干酪乳杆菌 YZU01 在清除苹果汁 PAT 过程中是否对苹果汁品质产生影响,仍不可知。因此,本论文在前期研究结果的基础上,研究干酪乳杆菌 YZU01 清除 PAT 对苹果汁的主要理化指标的影响,包括有机酸含量、糖含量、非酶褐变指数、透光率、酸度和色度。研究结果可为干酪乳杆菌 YZU01 清除苹果汁中 PAT 污染的实际应用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

商业化苹果汁(100%纯果汁) 杭州味全食品有限公司;菌株 本实验室筛选,已证明可降解展青霉素的干酪乳杆菌 *L. casei* YZU01;MRS 培养基;PAT 标准品 青岛普瑞邦生物工程有限公司;L(+)-酒石酸、乙酸、一水合柠檬酸、富马酸、葡萄糖、半乳糖 均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;苹果酸(色谱纯) 上海麦克林生化科技有限公司;高氯酸(色谱纯) 阿拉丁生化试剂有限公司。

PICO 17 离心机 赛默飞世尔科技公司;H/T16MM 台式高速离心机 湖南赫西仪器装备有限公司;YXQ-50SII 高压灭菌锅 上海博迅实业有限公司;ES-E120B 精密微量天平 天津市德安特传感技术有限公司;GNP-9270BS-III 隔水式恒温培养箱 上海新苗医疗器械制造有限公司;SW-CJ-1F 无菌工作台 苏州净化设备有限公司;LC-20A 高效液相色谱仪 日本岛津公司;Shodex KC-811 色谱柱、Shodex KS-801 色谱柱、Shodex KC-G 6B 缓冲柱、Shodex KS-G 6B 缓冲柱 昭和化工株式会社;CR-400/410 DP-400 色差仪 柯盛行仪器有限公司;PHS-2F 酸度计 上海仪电(集团)有限公司;TU-1810 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 苹果汁中 *L. casei* YZU01 的生长动态测定
取 100 μL 浓度为 1×10^8 CFU/mL 的 *L. casei* YZU01 菌液接种于 MRS 培养基,37 $^{\circ}\text{C}$ 下培养 36 h 后离心收集菌体。用生理盐水洗涤菌体,通过离心收集洗涤完的菌体后置入 1 mL 0.9% 生理盐水中。将 1 mL 上述菌体(6×10^8 CFU/mL)接种到 5 mL 苹果汁中,每 12 h 取样(0、12、24、36、48 h)200 μL 测 OD_{600}

吸光值,另取样 100 μL 按梯度稀释 6 次后,将第六次稀释完的液体取 100 μL 涂布到 MRS 固体培养基中,长出菌后,菌落计数,每组 3 个重复。以添加 1 mL 0.9% 生理盐水的苹果汁为对照组。

1.2.2 苹果汁品质相关指标检测 实验设计:取 100 μL 浓度为 1×10^8 CFU/mL 的 *L. casei* YZU01 菌液接种于 MRS 培养基, 37 $^{\circ}\text{C}$ 下培养, 48 h 后收集 *L. casei* YZU01 菌液,离心(10000 r/min, 10 min, 4 $^{\circ}\text{C}$)。将细胞沉淀用生理盐水洗涤 3 次,重悬于 1 mL 生理盐水中。本次实验分为三组,第一组样品为商业苹果汁组(Commercial apple juice, CAJ): 仅含苹果汁;第二组样品为商业苹果汁+PAT 组(CAJ-patulin): 含 10.9 $\mu\text{g/mL}$ PAT 的苹果汁;第三组样品为商业苹果汁+PAT+干酪乳杆菌组(CAJ-patulin-*L. casei* YZU01): 含 10.9 $\mu\text{g/mL}$ PAT 的苹果汁和 *L. casei* YZU01 菌体(浓度为 6×10^8 CFU/mL)。团队前期研究结果表明,*L. casei* YZU01 在上述生长动态测定的 48 h 内已将展青霉素完全降解^[15],因此可进一步研究 *L. casei* YZU01 在降解苹果汁中 PAT 的过程中对相关质量指标的影响。对实验组样品 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养,每隔 24 h(0、24、48、72 h)取一次样。离心(10000 r/min, 5 min, 4 $^{\circ}\text{C}$),取上清液于 1.5 mL 离心管中。(上清液:生理盐水=1:9)配制成 1 mL 溶液于 1.5 mL 离心管中,涡旋混匀后,经 0.22 μm 滤膜进行膜过滤,制得最后检测样品。

1.2.2.1 苹果汁中有机酸含量测定 利用高效液相色谱-紫外光谱法检测有机酸含量^[16]: 色谱分析柱 Shodex KC-811(8.0 mm $\times$ 300 mm, 6 μm)、缓冲柱 Shodex KC-G 6B(6.0 mm $\times$ 50 mm, 10 μm); 紫外检测波长 210 nm; 流动相为 3 mmol/L 的高氯酸溶液; 流动相流速 1.0 mL/min; 柱温 50 $^{\circ}\text{C}$; 进样量 10 μL ; 采集时间 20 min, 检测样品。定性方法: 所测有机酸标准品的保留时间; 定量方法: 建立基于有机酸含量与有机酸峰面积相关性的标准曲线。

1.2.2.2 苹果汁中葡萄糖和半乳糖含量测定 样品处理如 1.2.2 所述。利用高效液相色谱-示差折光检测法测定葡萄糖和半乳糖含量^[17]: 色谱分析柱 Shodex KS-801(8.0 mm $\times$ 300 mm, 6 μm)、缓冲柱 Shodex KS-G 6B(6.0 mm $\times$ 50 mm, 10 μm); 流动相为超纯水; 流动相流速 0.7 mL/min; 柱温 80 $^{\circ}\text{C}$; 进样量 10 μL ; 采集时间 20 min, 检测样品。定性方法: 葡萄糖和半乳糖标准品的保留时间; 定量方法: 建立基于葡萄糖和半乳糖含量与葡萄糖和半乳糖峰面积相关性的标准曲线。

1.2.2.3 苹果汁酸度测定 样品处理如 1.2.2 所述。各处理组每 24 h(0、24、48、72 h)取样用 pH 计直接测定,每个样重复三次。

1.2.2.4 苹果汁非酶褐变指数测定 样品处理如 1.2.2 所述。各处理组 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养,每隔 24 h(0、

24、48、72 h)取一次样。离心(10000 r/min, 5 min, 4 $^{\circ}\text{C}$),取上清液于 1.5 mL 离心管中。(上清液:生理盐水=1:9)配制成 1 mL 溶液于 10 mL 离心管中,再加入 1 mL 95% 乙醇溶液,涡旋,离心(7800 r/min, 10 min, 4 $^{\circ}\text{C}$),取上清液于 10 mL 离心管中。将紫外分光光度计调至波长 420 nm,检测样品并记录。

1.2.2.5 苹果汁透光率测定 样品处理如 1.2.2 所述。各处理组 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养,每隔 24 h(0、24、48、72 h)取一次样。离心(10000 r/min, 5 min, 4 $^{\circ}\text{C}$),取上清液于 1.5 mL 离心管中。(上清液:生理盐水=1:9)配制成 2 mL 溶液于 10 mL 离心管中,涡旋。将紫外分光光度计调至波长 650 nm,检测样品并记录。

1.2.2.6 苹果汁色度测定 样品处理参考 1.2.2.5。用色差仪依次进行样品的测定,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.3 数据处理

数据采用 Origin 2018 和 SPSS 26.0 对所得的实验数据进行统计分析,所得数据以图表和均值 $\pm$ 标准偏差($\bar{x} \pm \text{SD}$)的形式表示。

2 结果与分析

2.1 *L. casei* YZU01 在苹果汁中的生长动态

由图 1 所示,苹果汁中干酪乳杆菌 OD 值维持在 0.7~0.9,苹果汁中菌数在 $10^8 \sim 10^9$ CFU/mL 范围内。表明 *L. casei* YZU01 在果汁中缓慢生长,具有良好的发酵性能,为之后苹果汁发酵过程中对 PAT 的清除提供了可能。

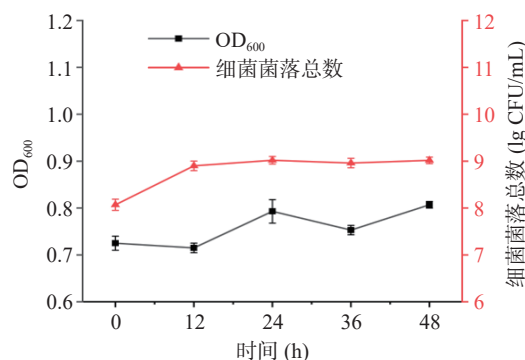
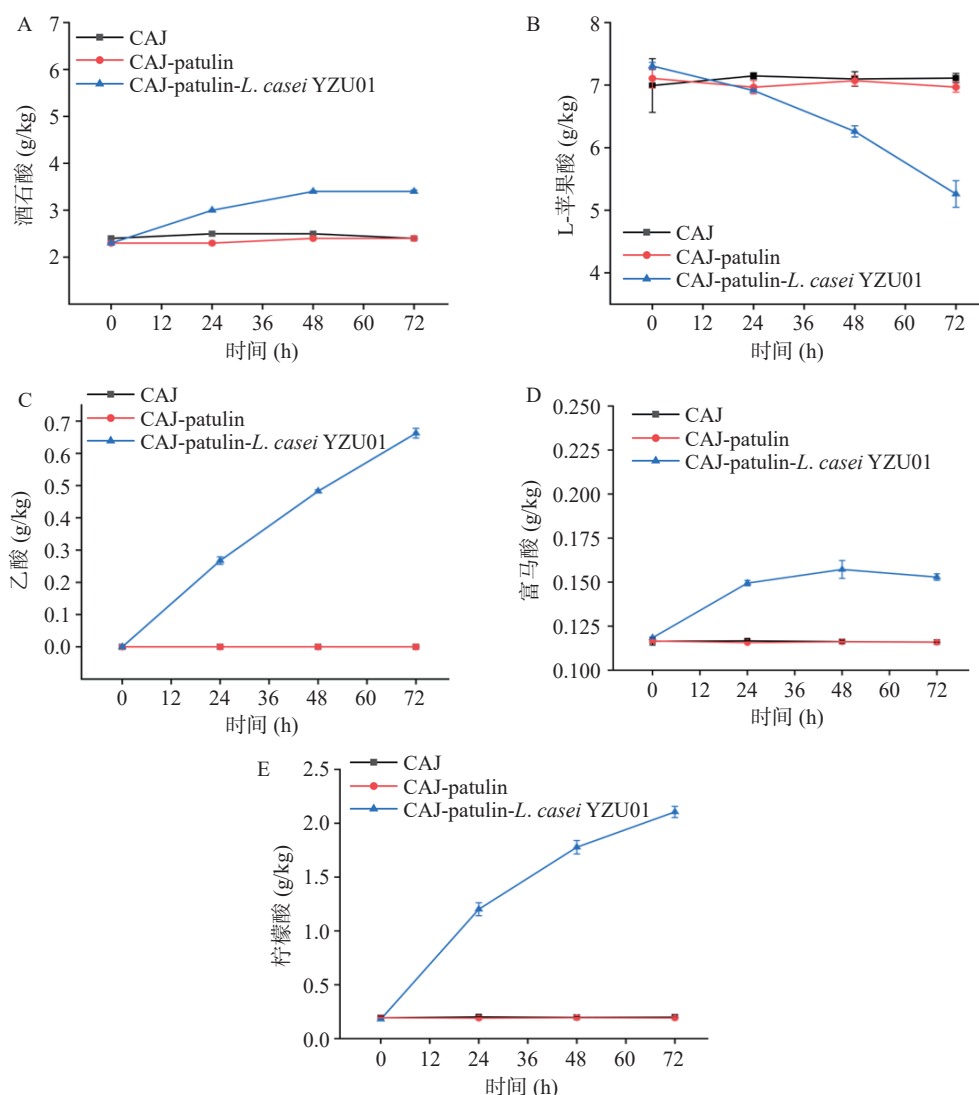


图 1 *L. casei* YZU01 在苹果汁中生长动态分析图

Fig.1 Growth dynamic analysis of *L. casei* YZU01 in apple juice

2.2 *L. casei* YZU01 对苹果汁中有机酸含量的影响

果汁中的有机酸对果汁的感官特性、营养品质有重要影响^[17]。本研究对干酪乳杆菌 YZU01 在清除苹果汁中 PAT 过程中,对苹果汁中几种有机酸(酒石酸、L-苹果酸、乙酸、富马酸、柠檬酸)的含量变化进行了研究,结果如图 2 所示。CAJ 组和 CAJ-patulin 组在 72 h 内酒石酸(图 2A)含量稳定在 2.4 g/kg、富马酸(图 2D)含量稳定在 0.12 g/kg、柠檬酸(图 2E)含量稳定在 0.20 g/kg 左右。而在 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组中,三种酸的含量均有不同程度的上升。在 72 h 内,酒石酸含量上升了 47.83%,柠檬酸

图 2 *L. casei* YZU01 对苹果汁中有机酸含量的影响Fig.2 Effect of *L. casei* YZU01 on the content of organic acids in apple juice

注: 图 A、B、C、D、E 分别代表酒石酸 Tartaric acid(A)、L-苹果酸 L-Malic acid(B)、乙酸 Acetic acid(C)、富马酸 Fumaric acid(D)、柠檬酸 Citric acid(E) 含量变化。

含量呈稳定上升趋势, 较初始值增加了 11 倍, 富马酸在前 24 h 含量增加后保持稳定, 含量在 0.15 g/kg 左右。可以发现的是, 柠檬酸的含量在干酪乳杆菌去除 PAT 过程中受影响较大, 而酒石酸和富马酸在干酪乳杆菌去除 PAT 过程中受影响较小, 推测干酪乳杆菌发酵促进了柠檬酸的积累。L-苹果酸是苹果汁中最重要且含量最高的有机酸。CAJ 组和 CAJ-patulin 组中, L-苹果酸的含量随时间变化不大, 72 h 时 CAJ 组 L-苹果酸含量仅增加了 1.72%, CAJ-patulin 组 L-苹果酸含量仅降低了 1.97%。而在加入了干酪乳杆菌 YZU01 和 PAT 的苹果汁(CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组)中, L-苹果酸含量出现了大幅下降, 72 h 时 L-苹果酸含量下降了 28.04%(图 2B)。在 CAJ 组和 CAJ-patulin 组中, 乙酸含量始终保持为 0 g/kg, 而在 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组中, 乙酸含量从 0 g/kg 上升为 0.66 g/kg(图 2C)。Herrero 等^[18]报道苹果酸含量在乳酸菌和酵母混合发酵过程中显著下降。Dudley 等^[19]研究表明, 乳酸菌利用三

羧酸循环产生的柠檬酸合成琥珀酸, 同时还会产生其他有机酸, 直接影响果汁的酸味, 从而会对果汁的品质产生一定的影响。在本研究中, *L. casei* YZU01 在降解 PAT 的过程中进行三羧酸循环, L-苹果酸作为三羧酸循环的中间体, 参与不同的生化反应, 最终被分解为其他物质而导致含量下降^[20]。乙酸是干酪乳杆菌发酵的产物。在厌氧条件下, 乳酸菌代谢丙酮酸而产生乙酸等产物^[21]。本次实验也验证了这一点。

2.3 *L. casei* YZU01 对苹果汁中葡萄糖和半乳糖含量的影响

糖分是反映果汁甜味的最重要的物质^[22]。苹果汁中的糖类物质主要有葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、阿拉伯聚糖等。本文进一步研究了 *L. casei* YZU01 在清除 PAT 时, 对苹果汁中葡萄糖和半乳糖的影响。研究结果如图 3 所示。在 0~72 h 内, CAJ 组和 CAJ-patulin 组的葡萄糖含量变化不大, 维持在 30 g/kg 左右(图 3A)。而在 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组中, 随着时间的推移葡萄糖的含量迅速下降, 葡萄

糖含量由 38.59 g/kg 下降为 1.59 g/kg, 这是因为当乳酸菌进行生长和代谢时, 葡萄糖被大量分解。半乳糖含量的变化趋势与葡萄糖相似, 在 0~72 h 内, CAJ 组和 CAJ-patulin 组半乳糖的含量维持稳定。在 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组中, 半乳糖的含量迅速减少, 含量下降了 58.01%(图 3B)。研究显示过多地摄入游离糖, 尤其是含糖饮料的过量摄入会对身体造成严重危害, 如患心脏病、糖尿病、肥胖、脂肪肝等及加速衰老。在本实验中, *L. casei* YZU01 处理苹果汁后含糖量的减少, 有益机体健康。

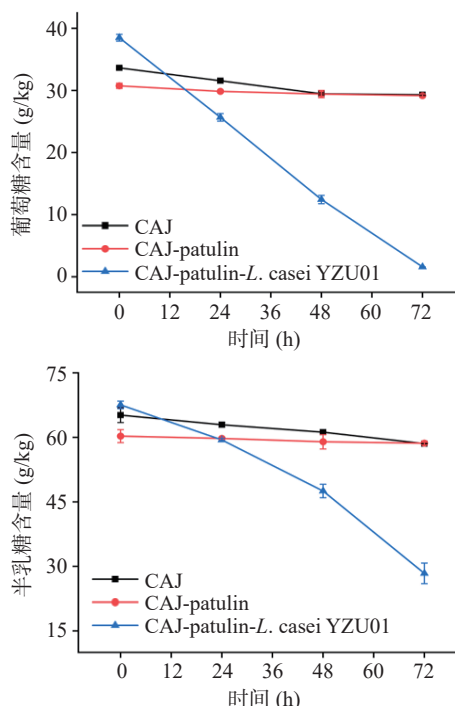


图 3 *L. casei* YZU01 对苹果汁中葡萄糖(A)和半乳糖(B)含量的影响

Fig.3 Effect of *L. casei* YZU01 on the content of glucose (A) and galactose (B) in apple juice

2.4 *L. casei* YZU01 对苹果汁酸度的影响

进一步对于酪乳杆菌处理苹果汁后对苹果汁酸度的影响进行了研究。结果如图 4 所示。在 0~72 h 内, CAJ 组与 CAJ-patulin 组样品的酸度变化不大,

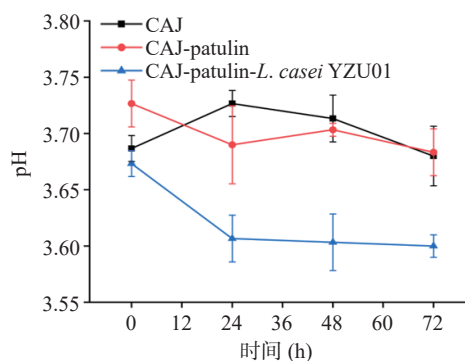


图 4 *L. casei* YZU01 对苹果汁酸度(pH)的影响

Fig.4 Effect of *L. casei* YZU01 on the acidity (pH) of apple juice

稳定在 3.7 左右。CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组样品的 pH 在 0~24 h 呈下降趋势, pH 由 3.67 降至 3.60, 在 24~72 h 内 pH 稳定在 3.6 左右。以上结果说明, 苹果汁中加入 *L. casei* YZU01, 会引起果汁酸度增加。因为乳酸菌的生长需要消耗 ATP, 而乳酸菌的产能途径只有糖代谢, 乳酸菌生长同时必然伴随着糖代谢产酸, 有机酸是乳酸菌的主要代谢产物。果汁中有机酸的积累造成 pH 降低, 这也论证了前文中, 干酪乳杆菌在降解苹果汁中 PAT 时, 柠檬酸、酒石酸、富马酸和乙酸含量增多会带来的影响, 但总体上来看, pH 仅下降了 0.1 左右, 对果汁总酸度的影响并不大, 不会损害其原口感。

2.5 *L. casei* YZU01 对苹果汁非酶褐变指数的影响

色泽是影响果汁的重要品质之一^[23]。果蔬汁加工过程中极易发生褐变现象^[24], 而果汁加工贮藏过程中的褐变包括酶促褐变和非酶褐变两大类。酶促褐变只要热处理彻底, 就不会影响果汁色泽。非酶褐变才是影响果汁品质的主要因素^[25]。非酶褐变会产生类黑精色素、红色素、黄色素等, 使果汁颜色加深, 对品质产生不良影响。乳酸菌发酵能够保护果汁色泽、预防褐变^[26]。

在本次实验中, 非酶褐变指数测定结果如图 5 所示。CAJ-patulin 组和 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组在 0 h 时非酶褐变指数比 CAJ 组高, 说明 PAT 或 *L. casei* YZU01 的加入可能引入新的参与褐变反应的基团, 导致非酶褐变指数的增加。但在 0~72 h 之间, CAJ-patulin 组和 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组非酶褐变指数均逐渐下降, 这可能是因为参与褐变反应的基团被失活。CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组吸光度由 0.6235 下降至 -0.1500, 且在降解 72 h 时比 CAJ 组更低。以上结果说明, *L. casei* YZU01 清除苹果汁 PAT 过程中不会引起苹果汁的非酶促褐变反应, 不会对果汁色泽产生不良影响。结果说明 *L. casei* YZU01 处理对苹果汁非酶褐变指数无不良影响。

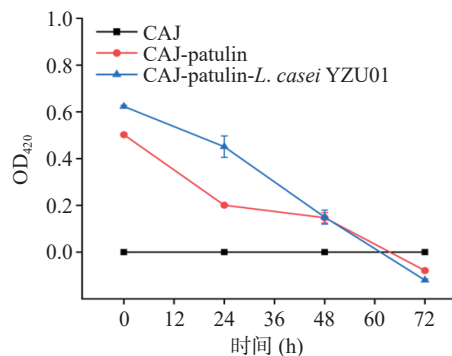


图 5 *L. casei* YZU01 对苹果汁非酶褐变指数的影响

Fig.5 Effect of *L. casei* YZU01 on the non-enzymatic browning index of apple juice

2.6 *L. casei* YZU01 对苹果汁透光率的影响

生物混浊是由于微生物及其代谢引起的混浊现象^[27]。在本研究中, 干酪乳杆菌对苹果汁浊度的影

响,结果如图 6 所示。CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组的透光率变化趋势在 0~24 h 由 42.61% 上升至 76.74%,而后迅速下降,在 48 h 为 13.98%,在 48~72 h,透光率稍有上升,最终为 44.06%。当干酪乳杆菌生长代谢时,常产生乳酸等物质,引起液体的混浊。本研究中也发现干酪乳杆菌在降解苹果汁中 PAT 过程中,菌体颜色或乳酸产生等引起的生物混浊会导致透光率的大幅度波动,在一定程度上影响苹果汁的品质。

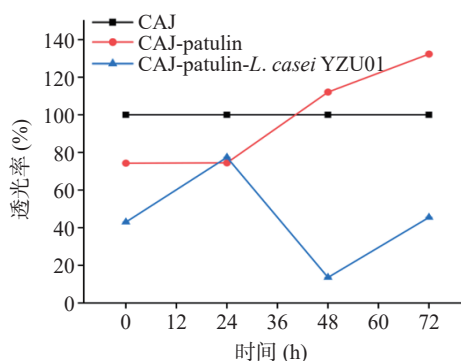


图 6 *L. casei* YZU01 对苹果汁透光率的影响

Fig.6 Effect of *L. casei* YZU01 on the light transmittance of apple juice

2.7 *L. casei* YZU01 对苹果汁色度的影响

对于苹果汁色度的测定,亮度 L^* 值,红绿值 a^* ,黄蓝值 b^* 代表了颜色的变化。本研究测定了样品的 L^* , a^* , b^* 结果如图 7 所示。CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组亮度 L^* , 呈稳定趋势,且与 CAJ 组亮度 L^* 接近,说明干酪乳杆菌清除毒素过程中并不会对果汁的亮度有显著的影响。红绿值 a^* 呈负值, a^* 绝对值越大颜色越接近纯绿色。经过 72 h 培养,CAJ 组红绿值 a^* 降低,绝对值变大,绿色加深,可能是因为亚铁离子的氧化。而 CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 组红绿值 a^* 的绝对值变低,说明 *L. casei* YZU01 清除毒素过程中会使苹果汁绿色变浅,保持亚铁离子的还原状态。黄蓝值 b^* 为负值,表示蓝色,黄蓝值 b^* 绝对值越大颜色越接近纯蓝色, $b^*=0$ 时为灰色。三组样品在 72 h 内黄蓝值 b^* 变化不大,培养 72 h 后,CAJ-patulin-*L. casei* YZU01 值接近 CAJ 的黄蓝值 b^* ,说明乳酸菌降解 PAT 的过程中并不会很大程度影响原苹果汁的黄蓝值 b^* 。整体来说,在 *L. casei* YZU01 降解 PAT 时,对于亮度 L^* 值、黄蓝值 b^* 的影响很小,

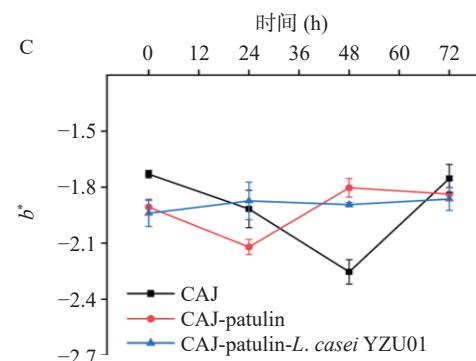
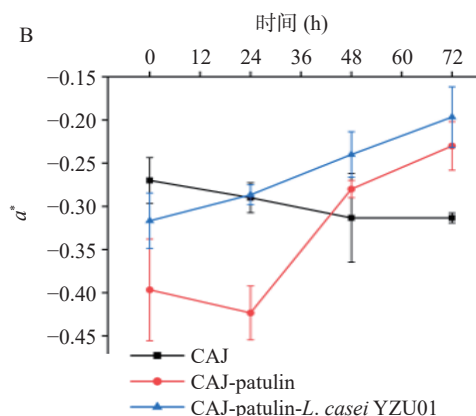
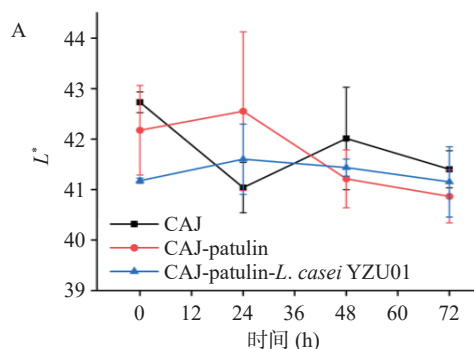


图 7 *L. casei* YZU01 对苹果汁色度的影响

Fig.7 Effect of *L. casei* YZU01 on the color of apple juice
注: A: L^* 值随时间变化图; B: a^* 值随时间变化图; C: b^* 值随时间变化图。

而使红绿值 a^* 稍稍增大,代表苹果汁绿色变浅。

3 结论

本文研究了具有 PTA 降解作用的干酪乳杆菌 *L. casei* YZU01 清除苹果汁 PAT 过程中对苹果汁品质的影响。研究结论如下: *L. casei* YZU01 在苹果汁中缓慢生长,为其在苹果汁中去除 PAT 提供了优势。*L. casei* YZU01 清除展青霉素过程中,苹果汁有机酸的含量呈现不同程度的变化,柠檬酸、酒石酸、富马酸和乙酸的含量增多, L-苹果酸的含量减少;葡萄糖和半乳糖的含量大幅减少;苹果汁透光率大幅度波动,苹果汁的红绿值 a^* 增大。但 *L. casei* YZU01 对苹果汁亮度 L^* 值、黄蓝值 b^* 值的影响较小。并且处理过程不会引起非酶促褐变反应,不会对果汁色泽产生不良影响。以上说明, *L. casei* YZU01 能够应用于果汁生产环节。但是干酪乳杆菌在清除过程中是否会对苹果汁其他的性质产生影响,仍需进一步探究。本研究为果汁中展青霉素的降解提供了一定的理论依据,在食品质量安全控制领域具有非常重要的意义。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] IOI J, ZHOU T, RONG T, et al. Mitigation of patulin in fresh

- and processed foods and beverages[J]. *Toxins*, 2017, 9(5): 157.
- [2] 张欣怡, 王威浩, 邓丽莉, 等. 水果及其制品中展青霉素的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(11): 379-384. [ZHANG X Y, WANG W H, DENG L L, et al. Advances in the study of spreading penicillin in fruits and their products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(11): 379-384.]
- [3] SANZANI S M, REVERBERI M, GEISEN R. Mycotoxins in harvested fruits and vegetables: Insights in producing fungi, biological role, conducive conditions, and tools to manage postharvest contamination[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 122: 95-105.
- [4] 乌日娜, 尚洁. 水果及其制品中棒曲霉素的残留分析进展[J]. *中国国境卫生检疫杂志*, 2007, 30(3): 188-190. [WU R N, SHANG J. Progress of residue analysis of bacitracin in fruits and their products[J]. *Chinese Journal of Frontier Health and Quarantine*, 2007, 30(3): 188-190.]
- [5] ZOUAOUI N, SBAII N, BACHA H, et al. Occurrence of patulin in various fruit juice marketed in Tunisia[J]. *Food Control*, 2015, 51(51): 356-360.
- [6] MOAKE M M, OLGA I, PADILLA Z, WOROBO R W. Comprehensive review of patulin control methods in foods[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2010, 4(1): 8-21.
- [7] FATIMA A M, SILVA C L M, TERESA R S B. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation[J]. *Food Engineering Reviews*, 2013, 5(2): 77-106.
- [8] BEN T F, KOUIDHI B, AL Q Y M A, et al. Review: Biotechnology of mycotoxins detoxification using microorganisms and enzymes[J]. *Toxicon*, 2019, 160(15): 12-22.
- [9] HARWIG J, SCOTTP, KENNEDY B, et al. Disappearance of patulin from apple juice fermented by *Saccharomyces* spp[J]. *Canadian Institute of Food Science and Technology*, 1973, 6(1): 45-46.
- [10] SUMBU Z, THONART P, BECHET J. Action of patulin on a yeast[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1983, 45(1): 110-115.
- [11] HATAB S, YUE T, MOHAMAD O. Reduction of patulin in aqueous solution by lactic acid bacteria[J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(4): M238-M241.
- [12] GUMUS S, DEMIRCI A S. Survivability of probiotic strains, *Lactobacillus fermentum* CECT 5716 and *Lactobacillus acidophilus* DSM 20079 in grape juice and physico-chemical properties of the juice during refrigerated storage[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 42: e08122.
- [13] WU B, LIU J, YANG W, et al. Nutritional and flavor properties of grape juice as affected by fermentation with lactic acid bacteria[J]. *International Journal of Food Properties*, 2021, 24(1): 906-922.
- [14] ZHENG X F, WEI W N, RAO S Q, et al. Degradation of patulin in fruit juice by a lactic acid bacteria strain *Lactobacillus casei* YZU01[J]. *Food Control*, 2020, 112: 107147.
- [15] ZHENG X F, ZHENG L L, XIA F P, et al. *In vivo* evaluation of the toxicity of patulin degradation products produced by *Lactobacillus casei* YZU01[J]. *Biological Control*, 2022, 169: 104878.
- [16] 李传威, 林寅, 苏宇, 等. 南通花露烧理化特性分析[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(5): 308-315. [LI C W, LIN Y, SU Y, et al. Study on the physicochemical properties of nantong hualushao wine[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(5): 308-315.]
- [17] 焦文成, 陈磊, 宋永程, 等. 超声波对果蔬汁品质的影响研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(8): 471-480. [JIAO W C, CHEN L, SONG Y C, et al. Review on the effect of ultrasound on the quality of fruit and vegetable juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(8): 471-480.]
- [18] HERRERO M, GARCIA L A, DIAZ M. Organic acids in cider with simultaneous inoculation of yeast and malolactic bacteria; Effect of fermentation temperature[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1999, 105(4): 229-232.
- [19] DUDLEY E G, STEELE J L. Succinate production and citrate catabolism by Cheddar cheese nonstarter *Lactobacilli*[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2005, 98(1): 14-23.
- [20] 李维妮, 张宇翔, 魏建平, 等. 益生菌发酵苹果汁工艺优化及有机酸的变化[J]. *食品科学*, 2017, 38(22): 80-87. [LI W N, ZHANG Y X, WEI J P, et al. Optimization of fermentation of apple juice by probiotics and organic acids evolution during fermentation[J]. *Food Science*, 2017, 38(22): 80-87.]
- [21] CHEN C, LU Y, YU H, et al. Influence of 4 lactic acid bacteria on the flavor profile of fermented apple juice[J]. *Food Bioscience*, 2018, 27: 30-36.
- [22] 曾祥奎, 黄斌, 于娟. 浓缩苹果汁主要技术指标控制的研究[J]. *饮料工业*, 2002, 5(1): 19-30. [ZENG X K, HUANG B, YU J. Study of control on major technological indexes in concentrated apple juice[J]. *Beverage Industry*, 2002, 5(1): 19-30.]
- [23] VEGARA S, MARTI N, MENA P, et al. Effect of pasteurization process and storage on color and shelf-life of pomegranate juices[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 54(2): 592-596.
- [24] 卢嘉懿, 李汴生, 阮征. 乳酸菌发酵对梨汁的护色作用[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(3): 148-153. [LU J Y, LI B S, RUAN Z. Color protection of pear juice via lactic acid bacteria fermentation[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(3): 148-153.]
- [25] 刘金豹, 翟衡, 张静. 果汁褐变及其影响因素研究进展[J]. *饮料工业*, 2004, 7(3): 1-5. [LIU J B, ZHAI H, ZHANG J. Progress in research on juice browning and factors influencing it[J]. *Beverage Industry*, 2004, 7(3): 1-5.]
- [26] WALKING-RIBERIRO M, NOCI F, CRONIN D A, et al. Shelf life and sensory attributes of a fruit smoothie-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(7): 1067-1073.
- [27] 舒念辉. 果汁褐变及控制研究[J]. *食品与发酵科技*, 2011, 47(5): 59-61. [SHU N H. Research on browning and controlling of fruit juice[J]. *Food and Fermentation Science & Technology*, 2011, 47(5): 59-61.]