

乳酸菌发酵对龙眼果浆中糖和酚类物质的影响

冉玉兵^{1,2}, 刘磊², 张名位², 汪浩², 黄菲², 林耀盛²

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430000) (2. 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: 本文研究了乳酸菌发酵对龙眼果浆糖类、酚类和黄酮类物质以及单体酚的影响。结果表明, 龙眼果浆经乳酸菌发酵后, 总糖和还原糖含量分别下降了 48.59% 和 38.42% ($p < 0.05$)。龙眼果浆的总酚和总黄酮含量在发酵过程中均呈先下降后上升趋势, 发酵后总酚含量为 47.8 mg GAE/100 g, 与未发酵前相比无显著性差异 ($p > 0.05$), 而发酵后总黄酮含量为 13.7 mg CE/100 g, 较未发酵前提高 28.0%, 差异显著 ($p < 0.05$)。乳酸菌发酵显著增加了龙眼果浆中没食子酸、阿魏酸和槲皮素的游离态含量, 其结合态含量显著下降, 同时, 原儿茶酸和芦丁的含量显著增加且只以游离态形式存在, 结合态香草酸的含量显著降低。以上结果表明乳酸菌发酵可以显著降低龙眼果浆中的总糖和还原糖含量, 提高其总黄酮含量, 同时还提高了没食子酸、阿魏酸、槲皮素、原儿茶酸和芦丁等游离态单体酚的含量。该研究可以为龙眼果浆乳酸菌产品的研发提供指导。

关键词: 龙眼果浆; 乳酸菌; 发酵; 总酚; 总黄酮; 还原糖

文章编号: 1673-9078(2017)8-116-122

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.8.018

Effect of Lactic Acid Bacteria Fermentation on the Sugar and Polyphenol Contents of Longan Pulp

RAN Yu-bing^{1,2}, LIU Lei², ZHANG Ming-wei², WANG Hao², HUANG Fei², LIN Yao-sheng²

(1. Department of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430000, China) (2. 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: The effect of lactic acid bacteria fermentation on the sugars, phenolics, flavonoids, and mono-phenols of longan pulp was investigated in this study. The results showed that after lactic acid bacteria fermentation, the amounts of total and reduced sugar in longan pulp decreased markedly by 48.59% and 38.42%, respectively ($p < 0.05$). The concentrations of total phenolics and flavonoids in longan pulp showed an upward trend after an initial decrease during fermentation. The concentration of total phenolics after fermentation was 47.8 mg GAE/100 g, which showed no significant difference compared with that before fermentation ($p > 0.05$). The amount of total flavonoids after fermentation was 13.7 mg CE/100 g, which significantly increased by 28.0% compared to that before fermentation ($p < 0.05$). In addition, lactic acid bacteria fermentation could increase the concentrations of free gallic acid, ferulic acid, and quercetin, as well as reduce the amounts of bound gallic acid, ferulic acid, and quercetin. The concentrations of protocatechuic acid and rutin, which only existed in free forms, markedly increased in the process of fermentation, and the amount of bound vanillic acid decreased dramatically. These results suggest that lactic acid bacteria fermentation can significantly reduce the amounts of total sugars and sugars, increase the total flavonoid content, and increase the amounts of gallic acid, ferulic acid, quercetin, protocatechuic acid, rutin, and free mono-phenols. This study could provide guidance for the development of longan pulp products fermented by lactic acid bacteria.

Key words: longan pulp; lactic acid bacteria; fermentation; total phenolics; total flavonoids; reduced sugar

收稿日期: 2017-02-05

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (31301459); 国家重点研发计划 (2016YFD0400702-2); 广东省自然科学基金项目 (2014A030313568); 广东省省级科技计划项目 (2016B070701012); 广州市珠江科技新星专项项目 (201506010028); 广州市科技计划项目 (201704020039)

作者简介: 冉玉兵 (1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 粮油加工

通讯作者: 张名位 (1967-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 粮油加工

龙眼属于药食两用水果, 在我国的栽培面积和产量均居世界首位^[1], 因其营养价值高, 口感爽滑, 风味独特, 深受广大消费者的喜爱。但其不耐贮藏、成熟期集中且短以及含糖量高的特点, 严重限制了龙眼的经济价值和消费群体, 因此对龙眼进行深加工, 研发低糖龙眼制品, 对于满足消费者需求、平衡成熟期龙眼产量和提高我国农产品的经济效益具有极其重要

的意义。

现代流行病学调查表明长期消费水果蔬菜可以预防慢性疾病,这种健康作用与果蔬中的酚类物质及其抗氧化能力^[2-4]有密切关系,而乳酸菌发酵果蔬能够释放其酚类物质^[5],提高抗氧化能力^[6,7],改善风味^[8],延长保存期^[9],降低糖含量^[10,11]等,同时,乳酸菌具有改善胃肠道、降低胆固醇、增强免疫力以及抗氧化等多种生理功能^[12],因此,乳酸菌发酵果蔬的研究越来越受到重视。Yoon 等人^[13,14]利用乳酸菌发酵番茄汁和卷心菜汁,研究了发酵过程中 pH、酸度和糖含量等理化指标的变化,Sharma 等人^[15]利用乳酸菌发酵果蔬汁、Reddy 等人^[16]利用乳酸菌发酵芒果汁、Malganji 等人^[17]利用乳酸菌发酵葡萄汁时也研究了相似的指标变化。Dushyantha 等人^[18]比较了不同乳酸菌发酵菠萝蜜制作饮料的效果,同时也比较了氮源对饮料发酵的影响。以上研究虽然可以为乳酸菌发酵果蔬汁提供指导,但均忽视了发酵过程中酚类物质变化的研究。Cagno 等人^[19]和 Chiu 等人^[20]分别报道了乳酸菌发酵果蔬和发酵制作茄瓜牛奶的过程中其酚类物质含量的变化。多酚作为果蔬中重要的生物活性物质,以游离态和结合态形式存在。以上研究虽然关注了乳酸菌发酵果蔬过程中酚类物质的变化,但前人研究仅限于游离酚,而忽视了对结合酚的研究。同时,虽然目前国内外日益关注乳酸菌发酵果蔬的研究,但对乳酸菌直接发酵水果果浆等物质的关注甚少。因此,本文以龙眼为原料,在本实验室前期研究中得到的乳酸菌发酵龙眼果浆最适发酵条件的基础上,分析龙眼果浆在发酵过程中糖类、酚类和黄酮类物质的变化,以期为龙眼精深加工以及相关乳酸菌发酵产品开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

龙眼(储良)由广东省农科院果树研究所提供;保加利亚杆菌和嗜热链球菌由广东省微生物菌种保藏中心提供;TPTZ(三吡啶三吡嗪),Johnson Matthey 公司;Trolox(水溶性维生素 E)、没食子酸(gallic acid)、儿茶素(+)-catechin)、原儿茶酸(protocatechuic acid)、香草酸(vanillic acid)、阿魏酸(ferullic acid)、芦丁(rutin)和槲皮素(querceetin),美国 Sigma 公司;脱脂奶粉,广州市晋炜盛食品有限公司;MRS 琼脂培养基,广东环凯微生物科技有限公司;其他常用试剂均为国产分析纯。

1.2 主要仪器设备

PB-10 pH 酸度计:德国 Sartorius 公司;LRH-250 生化培养箱:上海一恒科技有限公司;JJ-CJ-1F 超净工作台:吴江市净化设备总厂;UV-1800 型紫外可见分光光度计:日本岛津有限公司;HWS26 电热恒温水浴锅:上海一恒科技有限公司;EYELA 旋转蒸发器:东京理化器械株式会社;Agilent 1200 Series 高效液相色谱仪:Agilent 科技有限公司;磨浆机:温岭市泽国大众电器厂;高压杀菌锅:上海博迅实业有限公司医疗设备厂;胶体磨:廊坊通用机械有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 乳酸菌发酵条件

根据本实验室前期研究,乳酸菌发酵龙眼果浆的最适发酵条件^[21]为:保加利亚乳杆菌:嗜热链球菌=1:1,发酵时间 12 h,发酵温度 45 °C,脱脂奶粉添加量 5%,接种量 3%。

1.3.2 乳酸菌菌数的测定方法

参考 GB 4789.35-2010 乳酸菌检验方法^[22]。在无菌条件下,吸取 1 mL 的龙眼发酵样品,加入 9 mL 的灭菌生理盐水中,以此方法梯度稀释 7 次,再取 1 mL 的混合液于灭菌的培养皿中,倒入冷却到适当温度已灭菌的 MRS 培养基,混匀,然后在 42 °C 的培养箱中培养 24 h,即可进行乳酸菌菌落计数,每稀释度重复三次。

1.3.3 总糖和还原糖的测定

称取 50 g 龙眼发酵样品,加 800 mL 蒸馏水,在沸水浴中煮沸 1 h,冷却后过滤,将滤液定容到 1 L 的容量瓶中。总糖采用苯酚-浓硫酸法^[23]测定,还原糖采用 DNS 法^[24]测定。总糖和还原糖含量均以每 g 果浆发酵乳中所含的葡萄糖当量(mg glucose/g fresh weight)表示,单位简写为 mg/g,测定重复三次。

1.3.4 游离态酚类物质的提取

参考 Sun^[25]和 Eberhardt 等人^[26]的方法并略作修改。准确称取 100 g 龙眼果浆发酵乳,加入 500 mL、80%的预冷丙酮,打浆 5 min,冰浴均质 8 min 后,在 5000 r/min 下离心 10 min,收集上清液。对残渣加入 300 mL 的 80%预冷丙酮重复提取一次,合并两次离心得到上清液于 45 °C 下旋转蒸发,然后将其用蒸馏水定容至 25 mL。分装后-20 °C 冻存。每个样品重复提取三次。

1.3.5 结合态酚类物质的提取

参考 Adom 等人^[27]的方法并稍作修改。在游离酚提取物的残渣中加入 80 mL、4 mol/L 的 NaOH 溶液,水解 18 h,再用 HCl 中和,接着用 100 mL 的乙酸乙酯萃取 6 次,合并乙酸乙酯相,在 45 °C 下旋转蒸发,

最后将其用蒸馏水定容至 10 mL。分装后-20 °C 冻存。每个样品重复提取三次。

1.3.6 总酚含量的测定

参考 Singleton 等人^[28]的方法并稍作修改。取 125 μL 酚类提取物，加入 0.5 mL 去离子水和 125 μL Folin Ciocatieus 试剂，振荡均匀后在室温下静置 6 min，然后加入 1.25 mL、7% (m/V) 的 Na₂CO₃ 溶液和 1 mL 的去离子水，振荡均匀后在室温下避光反应 90 min，在 760 nm 的波长下测得其吸光值。结果以每 100 g 果浆发酵乳中所含的没食子酸当量 (mg gallic acid equivalents/100 g fresh weight) 表示，单位简写为 mg GAE/100 g，测定重复三次。

1.3.7 总黄酮含量的测定

参考 Jia 等人^[29]方法并稍作修改。取 300 μL 酚类提取物，加入 1.5 mL 去离子水和 90 μL、5% (m/V) 的 NaNO₂ 溶液，振荡均匀后室温下反应 6 min，然后加入 180 μL、10% (m/V) 的 AlCl₃·6H₂O 溶液，静置 5 min 后加入 0.6 mL、1 mol/L 的 NaOH 溶液，最后用去离子水补足到 3 mL，于 510 nm 下测得其吸光值。结果以每 100 g 果浆发酵乳中所含的儿茶素当量 (mg catechin equivalents/100 g fresh weight) 表示，单位简写为 mg GE/100 g，测定重复三次。

1.3.8 单体酚类物质含量测定

单体酚类物质含量测定参考陈智毅等人^[30]方法。采用美国 Agilent 1200 高级液相色谱仪。色谱条件为：色谱柱型 ZORBAX SB-C18 柱(5 μm, 4.6 mm×250 mm)；柱温 30 °C；流动相 A：乙腈；流动相 B：0.4% 冰乙酸；流速 1.0 mL/min；进样量 20 μL；VWD 检测器，波长设置 280 nm。线性梯度洗脱程序：0~40 min A 为 5%~25%，40~45 min A 为 25%~35%，45~50 min A 为 35%~50%，后运行时间 5 min。将不同浓度的多酚标准品（没食子酸、原儿茶酸、香草酸、阿魏酸、芦丁和槲皮素）按照上述方法制作标准曲线，各标准曲线的相关系数均达到 0.9991 以上；对各标准品做回收试验，其回收率均为 90% 以上，满足定量分析要求。根据标准品保留时间确定样品中单体酚组成。定量则采用峰面积外标法。

1.4 统计分析

采用 SPSS 19.0 统计软件检验分析比较试验各组间均值差异显著性 ($p < 0.05$)。

2 结果及讨论

2.1 发酵过程中乳酸菌数及 pH 值的变化

最适发酵条件下，龙眼果浆发酵过程中乳酸菌数及 pH 值的变化如图 1 所示。0~2 h 为乳酸菌的迟滞期，生长较缓慢，活菌数的增长率低，2~4 h 为对数生长期，乳酸菌生长速度最快，增长率也最高，在 4 h 活菌数达到最大值 4.65×10⁸ CFU/mL，4 h 后菌数下降，然后乳酸菌的菌数一直维持在 2.0×10⁸ CFU/mL 水平变化。pH 值从发酵开始处于不断下降的趋势，由 7.07 降至 4.40，差异显著 ($p < 0.05$)，在对数生长期下降最快，之后下降速度减慢。这表明发酵初期，发酵体系中营养丰富，乳酸菌可以利用体系中的碳水化合物、脂肪和蛋白质等物质，实现快速增长，同时产生乳酸、乙酸等小分子有机酸和游离氨基酸，使得总酸增加和 pH 下降^[31]。而在发酵后期，体系中可被乳酸菌快速降解的物质大量下降，同时受环境和 pH 等因素的影响，乳酸菌的生长和代谢变得缓慢甚至停止，表现为菌数略微下降和 pH 下降缓慢^[32]。

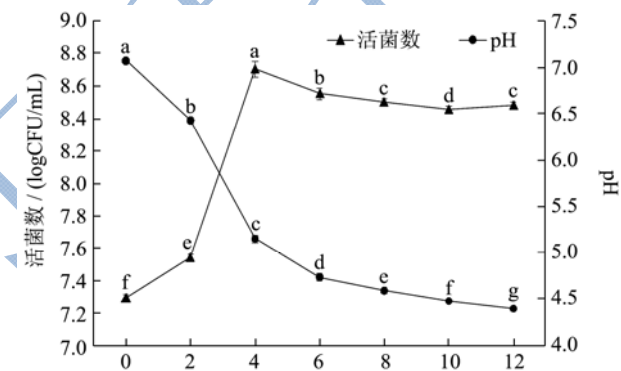


图 1 最适发酵条件下的生长曲线及 pH 值的变化

Fig.1 Growth curve and changes in pH under the optimum fermentation conditions

注：图中字母不同表示数值存在显著差异($p < 0.05$)，下同。

2.2 发酵过程中总糖及还原糖的变化

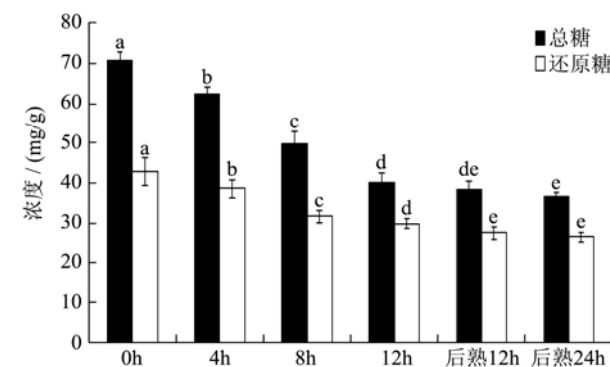


图 2 最适发酵条件下的总糖及还原糖的变化

Fig.2 Changes in the amounts of total and reducing sugar under the optimum fermentation conditions

最适发酵条件下，龙眼果浆发酵过程中总糖及还原糖的变化如图 2 所示。糖是微生物发酵利用的主要

底物之一,含糖量高的水果经乳酸菌发酵后风味较好^[33]。整个发酵过程中,总糖和还原糖含量不断下降,发酵0 h到8 h之间,总糖和还原糖被消耗较多,之后总糖和还原糖含量下降速度减慢。这是因为发酵初期乳酸菌生长旺盛,糖经乳酸菌不断作用,被消耗和转化成乳酸等产物,而发酵后期,pH降低到一定程度,乳酸菌自身受到抑制^[34]。后熟24 h后,龙眼果浆的总糖和还原糖含量分别下降了48.59%和38.42%。对总糖和还原糖变化情况的掌握是进一步研究龙眼果浆乳酸菌发酵过程中物质能量转换关系的有效方法之一。

2.3 发酵过程中总酚含量的变化

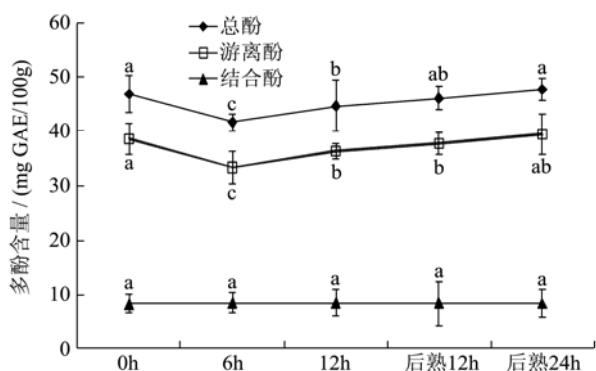


图3 龙眼果浆发酵过程中总酚含量变化

Fig.3 Changes in the amount of total phenolics during longan pulp fermentation

最适发酵条件下,龙眼果浆发酵过程中多酚含量变化如图3所示。随着发酵的开始,龙眼果浆的游离酚含量呈先下降后上升的趋势,在发酵6 h内果浆的总酚含量显著下降($p<0.05$),这一方面可能与发酵乳中的溶氧量有关,在发酵的开始阶段,体系中的溶氧量高,多酚类物质氧化较快,从而促使含量下降^[35];另一方面可能是由于乳酸菌发酵过程中部分多酚类物质发生不同程度的水解和聚合作用或与金属离子发生络合反应^[35]而造成的,但具体原因还待进一步研究。之后果浆的游离酚含量缓慢增加,虽然后熟24 h的游离酚含量比发酵前增加了2.1%,但差异不显著($p>0.05$),游离酚含量增加可能与发酵果浆中微生物的生物降解作用或发酵过程中的酸水解反应将聚合酚类物质转化成更多简单酚类物质有关^[36,37],或可能由于发酵过程中产生的微生物酶类,如葡萄糖苷酶、淀粉酶等可以水解葡萄糖苷,分解植物细胞壁或淀粉,进而促进了多酚类物质的释放或合成^[37],使游离酚含量增加。而龙眼果浆的结合酚含量在发酵过程中基本无差异($p>0.05$),总酚变化趋势与游离酚基本一致,其含量由发酵前46.9 mg GAE/100 g增至发酵后47.8 mg GAE/100 g,虽然后熟24 h的总酚含量最高且比发酵

前增加了1.9%,但差异并不显著($p>0.05$)。

2.4 发酵过程中总黄酮含量的变化

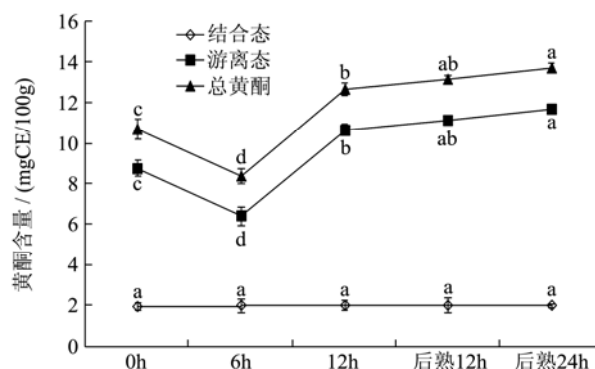


图4 龙眼果浆发酵过程中总黄酮含量变化

Fig.4 Changes in amount of total flavonoids during longan pulp fermentation

最适发酵条件下,龙眼果浆发酵过程中总黄酮含量变化如图4所示。随着发酵的开始,龙眼果浆的游离态黄酮含量呈先下降后上升的趋势,与游离酚含量变化基本一致,在发酵6 h时果浆的游离态黄酮含量显著下降($p<0.05$),之后果浆的游离态黄酮含量显著增加,后熟24 h的游离态黄酮含量最高,比发酵前增加了33.6%,并且差异显著($p<0.05$),其变化原因应该与引起酚类物质变化的原因相同。而龙眼果浆的结合态黄酮含量在发酵过程中基本无差异($p>0.05$),总黄酮变化趋势与游离态黄酮基本一致,其含量由发酵前10.7 mg CE/100 g增至发酵后13.7 mg CE/100 g,后熟24 h的总黄酮含量最高且比发酵前增加了28.0%,两者之间差异显著($p<0.05$)。

2.5 发酵过程中单体酚组成及含量变化

龙眼果浆发酵过程中单体酚组成及含量变化见表1。在整个发酵阶段中,没食子酸、阿魏酸和槲皮素以游离态和结合态形式存在,发酵后其游离态含量均显著增加($p<0.05$),而结合态含量显著下降($p<0.05$),且在发酵结束后只检出痕量的结合态没食子酸。原儿茶酸和芦丁以游离态形式存在,在发酵过程中其含量均显著增加($p<0.05$),其中原儿茶酸未发酵时仅检出痕量。香草酸以结合态形式存在,随着发酵开始结合态香草酸的含量显著降低($p<0.05$),以上结果表明乳酸菌发酵可以降低龙眼果浆中某些单体酚的结合态含量,提高游离态含量。然而,前文2.3中结果表明结合酚含量在发酵过程中无显著性变化,这与结合态单体酚的含量变化有差别。这可能是因为测定多酚含量时,福林酚法测定的是还原能力,测定结果不仅包括酚类物质,还包括含有酚羟基的氨基酸、蛋白质和具

有还原能力的抗坏血酸等^[38,39], 而龙眼果浆中含有丰富的氨基酸和蛋白质等物质, 同时, 乳酸菌也可以将

大分子蛋白质降解为较多的游离氨基酸, 造成结合酚含量测定时结果偏高。

表1 龙眼果浆发酵过程中主要酚酸变化

Table 1 Changes in the concentrations of the main phenolic acids during longan pulp fermentation

酚酸单体	时间/h	含量/($\mu\text{g}/100\text{g}$)		
		游离部	结合部	总量
没食子酸	未发酵	Tr	22.72 \pm 3.02 ^a	22.72 \pm 3.02
	发酵 12	14.64 \pm 2.71 ^a	5.01 \pm 1.19 ^b	19.65 \pm 1.46
	后熟 24	21.48 \pm 3.37 ^b	Tr	21.48 \pm 3.37
原儿茶酸	未发酵	Tr	-	Tr
	发酵 12	16.62 \pm 2.16 ^a	-	16.62 \pm 2.16 ^a
	后熟 24	20.41 \pm 2.74 ^b	-	20.41 \pm 2.74 ^b
香草酸	未发酵	-	44.74 \pm 3.75 ^a	44.74 \pm 3.75 ^a
	发酵 12	-	32.89 \pm 2.23 ^b	32.89 \pm 2.23 ^b
	后熟 24	-	29.49 \pm 1.97 ^c	29.49 \pm 1.97 ^c
阿魏酸	未发酵	4.07 \pm 0.33 ^c	83.53 \pm 9.43 ^a	87.60 \pm 9.21 ^a
	发酵 12	9.36 \pm 1.01 ^b	25.75 \pm 2.57 ^b	35.11 \pm 1.76 ^b
	后熟 24	11.95 \pm 0.48 ^a	12.02 \pm 1.79 ^c	23.97 \pm 1.15 ^c
芦丁	未发酵	48.64 \pm 2.27 ^c	-	48.64 \pm 2.27 ^c
	发酵 12	89.03 \pm 7.34 ^b	-	89.03 \pm 7.34 ^b
	后熟 24	103.37 \pm 5.75 ^a	-	103.37 \pm 5.75 ^a
槲皮素	未发酵	17.70 \pm 1.69 ^c	19.61 \pm 2.41 ^a	37.31 \pm 2.98 ^a
	发酵 12	29.86 \pm 3.30 ^b	8.88 \pm 0.69 ^b	38.74 \pm 2.17 ^a
	后熟 24	32.56 \pm 2.39 ^a	6.66 \pm 0.23 ^c	39.22 \pm 1.43 ^a

注: 同一列中字母不同表示数值存在显著差异($p<0.05$); “-”表示未检出, “Tr”表示痕量。

3 结论

以糖和酚类物质含量为指标, 考察了乳酸菌发酵对龙眼果浆的影响。龙眼中含有丰富的糖分, 不适合高血糖和肥胖等人群食用, 严重限制了龙眼的经济效益, 而龙眼果浆经乳酸菌发酵后, 总糖和还原糖含量显著下降 ($p<0.05$), 有利于开发龙眼低糖产品, 满足消费者需求。酚类物质对人体有着显著的健康作用, 在发酵过程中, 龙眼果浆的总酚和总黄酮含量均呈先下降后上升趋势, 并在发酵后含量最高, 但乳酸菌发酵对总酚含量的影响无显著性差异 ($p>0.05$), 而对总黄酮含量具有显著性的提高作用 ($p<0.05$), 这表明乳酸菌发酵龙眼果浆可以提升其生理功能。同时, 通过研究发酵过程中单体酚的组成及含量变化, 发现乳酸菌发酵可以降低龙眼果浆中某些单体酚的结合态含量, 提高游离态含量, 这有利于酚类物质生物利用率的提高。该研究可以为乳酸菌发酵龙眼果浆的研究及其精深加工提供参考。

参考文献

- [1] 周颖,梅雯,杨月,等.龙眼核糖化工工艺条件分析[J].湖北农业科学,2016,1:147-149
ZHOU Ying, MEI Wen, YANG Yue, et al. Analysis of saccharification technology of longan seed [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 1: 147-149
- [2] Eberhardt M V, Lee C Y, Liu R H, et al. Antioxidant activity of fresh apples [J]. Nature (London, U. K.), 2000, 405(6789): 903-904
- [3] Bazzano L A, He J, Ogden L G, et al. Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first national health and nutrition examination survey epidemiologic follow-up study [J]. Am. J. Clin. Nutr., 2002, 76(1): 93-99
- [4] Joshipura K J, Hu F B, Manson J E, et al. The effect of fruit and vegetable intake on risk for coronary heart disease [J]. Ann. Intern. Med., 2001, 134(12): 1106-1114
- [5] 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,2013,40(7):95-98
ZHENG Xin, YU Yuan-shan, WU Ji-jun, et al. Study on fermentation characteristic of various lactic acid bacteria in

- litchi juice [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(7): 95-98
- [6] Cagno R D, Surico R F, Paradiso A, et al. Effect of autochthonous lactic acid bacteria starters on health-promoting and sensory properties of tomato juices [J]. Int. J. Food Microbiol., 2009, 128(3): 473-83
- [7] Kusznierevicz B, Smiechowska A, Bartoszek A, et al. The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage [J]. Food Chem., 2008, 108(3): 853-61
- [8] Chen I N, Ng C C, Wang C Y. Lactic fermentation and antioxidant activity of *Zingiberaceae* plants in Taiwan [J]. Int. J. Food Sci. Nutr., 2009, 60(2): 57-66
- [9] Leroy F, Vuyst L D. Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry [J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(2): 67-78
- [10] Wang C Y, Ng C C, Su H, et al. Probiotic potential of noni juice fermented with lactic acid bacteria and bifidobacteria [J]. Int. J. Food Sci. Nutr., 2009, 60(6): 98-106
- [11] Kun S, Rezessy-Szabó J M, Nguyen Q D, et al. Changes of microbial population and some components in carrot juice during fermentation with selected *Bifidobacterium* strains [J]. Process Biochemistry, 2008, 43(8): 816-821
- [12] 赖婷,刘汉伟,张名位,等.乳酸菌发酵对果蔬中主要活性物质及其生理功能的影响研究进展[J].中国酿造,2015, 34(3):1-4
LAI Ting, LIU Han-wei, ZHANG Ming-wei, et al. Effect of lactic acid bacteria fermentation on active components and physiological function of fruit and vegetable [J]. China Brewing, 2015, 34(3): 1-4
- [13] Yoon K Y, Woodams E E, Hang Y D. Probiotication of tomato juice by lactic acid bacteria [J]. The Journal of Microbiology, 2004, 42(4): 315-318
- [14] Yoon K Y, Woodams E E, Hang Y D. Production of probiotic cabbage juice by lactic acid bacteria [J]. Bioresour. Technol., 2006, 97(12): 1427-30
- [15] Sharma V, Mishra H N. Fermentation of vegetable juice mixture by probiotic lactic acid bacteria [J]. Nutrafoods, 2013, 12(1): 17-22
- [16] Reddy L V, Min J H, Wee Y J. Production of probiotic mango juice by fermentation of lactic acid bacteria [J]. Microbiology and Biotechnology Letters, 2015, 43(2): 120-125
- [17] Malganji S, Sohrabvandi S, Jahadi M, et al. Fermentation of grape juice by probiotic lactic acid bacteria: short communications [J]. Research Journal of Biological Sciences, 2015, 10: 62-65
- [18] Dushyantha D K, Raghavendrakumar M, Suvarna V C. Study on fermentation of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) juice by beneficial lactic acid bacteria [J]. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2011, 2(4): 732-739
- [19] Cagno R D, Minervini G, Rizzello C G, et al. Effect of lactic acid fermentation on antioxidant, texture, color and sensory properties of red and green smoothies [J]. Food Microbiol., 2011, 28(5): 1062-1071
- [20] Chiu T H, Tsai S J, Wu T Y, et al. Improvement in antioxidant activity, angiotensin-converting enzyme inhibitory activity and *in vitro* cellular properties of fermented pepino milk by *Lactobacillus* strains containing the glutamate decarboxylase gene [J]. J. Sci. Food Agric., 2013, 93(4): 859-66
- [21] 刘磊,汪浩,张名位,等.龙眼乳酸菌发酵工艺条件优化及其挥发性风味物质变化[J].中国农业科学,2015,48(20):4147-4158
LIU Lei, WANG Hao, ZHANG Ming-wei, et al. Optimization of the process conditions and change of volatile flavor components of longan pulp fermented by lactic acid bacteria [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(20): 4147-4158
- [22] GB 4789.35-2010,食品微生物学检验-乳酸菌检验[S]
GB 4789.35-2010, Food microbiology detection-*Lactobacillus* tests [S]
- [23] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Anal. Chem., 1956, 28(3): 350-356
- [24] 赵世杰,刘华山,董新纯.植物生理学试验指导[M].北京:中国农业科技出版社,1998
ZHAO Shi-jie, LIU Hua-shan, DONG Xin-chun. Experimental handbook for plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998
- [25] Sun J, Chu Y F, Wu X. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits [J]. J. Agric. Food Chem., 2002, 50(25): 7449-7454
- [26] Eberhardt M V, Lee C Y, Liu R H. Antioxidant activity of fresh apples [J]. Nature (London, U.K.), 2000, 405: 903-904
- [27] Adom K K, Liu R H. Antioxidant activity of grains [J]. J. Agric. Food Chem., 2002, 50(21): 6182-6187
- [28] Singleton V L, Orthofer R, Lamuela-Raventos R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent [J]. Methods Enzymol, 1999, 299(2): 152-178
- [29] Jia Z S, Tang M C, Wu J M. The determination of flavonoid

- contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals [J]. Food Chem., 1999, 64(4): 555-559
- [30] 陈智毅,徐玉娟,尹艳,等.甜玉米多酚类成分的测定[J].食品科学,2010,31(10):235-238
CHEN Zhi-yi, XU Yu-juan, YIN Yan, et al. Analysis of polyphenol composition of different parts of an ear of sweet corn [J]. Food Science, 2010, 31(10): 235-238
- [31] Carol-Shieh Y S, Beuchat L R, Worthington R E, et al. Physical and chemical changes in fermented peanut and soybean pastes containing kojis prepared using *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus* [J]. Journal of Food Science, 1982, 47(2): 523-529
- [32] 张海.大豆酱发酵过程中乳酸菌和酵母菌的作用[J].中国调味品,1993,6:65-68
ZHANG Hai. Interaction between lactic acid bacteria strains and yeasts soybean paste fermentation process [J]. China Condiment, 1993, 6: 65-68
- [33] 钟敏,宁正祥.辣椒自然乳酸发酵中的变化及影响发酵质量的几个因素[J].广州食品工业科技,2000,16(3):1-3
ZHONG Min, NING Zheng-xiang. Composition variation of pepper spontaneous lactic fermentation and factor affecting the fermentation [J]. Guangzhou Food Science and Technology, 2000, 16(3): 1-3
- [34] 孔庆学,张东杰.植物性原料乳酸菌发酵饮料的研究进展[J].黑龙江八一农垦大学学报,1998,10(4):64-67
KONG Qing-xue, ZHANG Dong-jie. Research & development of lactobacillus fermenting beverage with plant raw material [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 1998, 10(4): 64-67
- [35] 戚一曼,樊明涛,程拯良,等.猕猴桃酒主发酵过程中多酚及抗氧化性的研究[J].食品研究与开发,2016,37(24):6-11
QI Yi-man, FAN Ming-tao, CHENG Zheng-gen, et al. Study on polyphenol composition and antioxidant properties of kiwi wine in main fermentation process [J]. Food Research and Development, 2016, 37(24): 6-11
- [36] Chu S C, Chen C S. Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of kombucha [J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 502-507
- [37] 李俦,戴涛涛,程超,等.发酵对南酸枣饮料抗氧化性的影响[J].食品工业科技,2016,37(5):54-58
LI Ti, DAI Tao-tao, CHENG Chao, et al. Fermentation effects on antioxidant activity of choerospondias axillaris beverage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(5): 54-58
- [38] Robbins R J, Bean S. Development of a quantitative high-performance liquid chromatography-photodiode array detection measurements system for phenolic acids [J]. Journal of Chromatography, 2004, 1038(1): 97-105
- [39] 卜彦花,周娜娜,王春悦,等.福林酚试剂法和紫外分光光度法测定冬枣多酚含量的比较研究[J].中国农学通报,2012, 28(1):212-217
BU Yan-hua, ZHOU Na-na, WANG Chun-yue, et al. Comparative study on determination of total phenolics content of jujube fruit with FC and UV-spectrophotometric method [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(1): 212-217