

# 火龙果皮乳酸菌发酵产品 体外抗氧化能力研究

黄梅华<sup>1,2</sup>, 何全光<sup>1,2</sup>, 淡明<sup>1,2</sup>, 杨再位<sup>1</sup>, 黄振勇<sup>1</sup>,  
覃仁源<sup>1</sup>, 黄茂康<sup>1,2</sup>, 梁晓君<sup>1,2</sup>, 张娥珍<sup>1,2,\*</sup>

(1. 广西农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007;  
2. 广西作物遗传改良重点开放实验室, 广西南宁 530007)

**摘要:**为开发火龙果皮益生菌发酵新产品, 实现对其增值利用, 将火龙果皮通过植物乳杆菌发酵, 采用不同的自由基体系对其发酵产品的体外抗氧化活性进行测定, 并对其发酵前后色素、多糖、总黄酮含量变化进行分析。结果表明, 发酵前、后火龙果皮汁对超氧阴离子( $O_2^- \cdot$ )、DPPH 自由基具有较强的清除能力, 对羟基自由基( $\cdot OH$ )、亚硝酸根离子( $NO_2^-$ )也具有一定的清除作用; 且清除能力均随浓度增大而增强; 发酵后对羟基自由基( $\cdot OH$ )、超氧阴离子( $O_2^- \cdot$ )、亚硝酸根离子( $NO_2^-$ )、DPPH 自由基的  $IC_{50}$  分别为 0.77、0.33、0.47、0.17 mL/mL, 较发酵前分别减少 25.96%、28.26%、47.78%、57.50%; 相同浓度下, 发酵可有效提高火龙果皮汁的自由基清除能力, 但提高幅度随浓度增大而逐渐减小; 发酵后色素和总黄酮浓度较发酵前下降, 但多糖含量增高。说明火龙果皮汁经植物乳杆菌发酵可进一步提高其抗氧化能力, 为火龙果皮保健功能及益生菌发酵产品开发提供理论依据。

**关键词:** 火龙果皮, 植物乳杆菌, 发酵, 抗氧化

## Antioxidant activity of pitaya peel beverage fermented by lactic acid bacteria *in vitro*

HUANG Mei-hua<sup>1,2</sup>, HE Quan-guang<sup>1,2</sup>, DAN Ming<sup>1,2</sup>, YANG Zai-wei<sup>1</sup>, HUANG Zhen-yong<sup>1</sup>,  
QIN Ren-yuan<sup>1</sup>, HUANG Mao-kang<sup>1,2</sup>, LIANG Xiao-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG E-zhen<sup>1,2,\*</sup>

(1. Institute of Agro-Food Science & Technology, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;  
2. Guangxi Crop Genetic Improvement Laboratory, Nanning 530007, China)

**Abstract:** To develop probiotic fermented new products and realize the value-added utilization of pitaya peel, the antioxidant ability of pitaya peel beverage fermented by *Lactobacillus plantarum* was investigated by means of different free radicals antioxidant experiments *in vitro*, and the content of pigment, polysaccharide, total flavonoid of unfermented and fermented were analyzed. The results showed that the pitaya peel beverage both unfermented and fermented had a strong scavenging ability to superoxide anion ( $O_2^- \cdot$ ), DPPH free radicals, and a certain scavenging ability to hydroxyl free radical ( $\cdot OH$ ), nitrite ion ( $NO_2^-$ ), within a certain range, the clearance rate increased with the increase of sample concentration. The  $IC_{50}$  of fermented pitaya peel beverage to hydroxyl free radical ( $\cdot OH$ ), superoxide anion ( $O_2^- \cdot$ ), nitrite ion ( $NO_2^-$ ) and DPPH free radicals respectively were 0.77, 0.33, 0.47, 0.17 mL/mL, which decreased by 25.96%, 28.26%, 47.78%, 57.50% respectively compared with unfermented. Fermentation could effectively improved the free radical scavenging capacity of pitaya peel beverage at the same concentration, but the increase amplitude decreased gradually with the increase of concentration, pigment and total flavonoid concentration decreased after fermentation, but the content of polysaccharide increased. This suggested that fermented by *Lactobacillus plantarum* could further improve the antioxidant capacity of pitaya peel, provided theoretical basis for the development of pitaya peel hygienical and probiotic fermented products.

**Key words:** pitaya peel; *Lactobacillus plantarum*; fermentation; antioxidant

中图分类号: TS209 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2017)17-0070-06  
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.17.014

收稿日期: 2017-01-19

作者简介: 黄梅华(1988-), 女, 硕士, 主要从事农产品贮藏与加工研发, E-mail: 893626050@qq.com。

\* 通讯作者: 张娥珍(1978-), 女, 本科, 副研究员, 主要从事农产品贮藏与加工研发, E-mail: zhang281@126.com。

基金项目: 广西农业科学院科技发展基金(2015JZ77); 公益性行业(农业)科研专项(201303077-4-2); 广西农科院团队项目(2015YT88)。

火龙果(Pitaya),又名青龙果、红龙果、仙蜜果等,为仙人掌科量天尺属植物的果实,因其外表肉质鳞片似蛟龙外鳞而得名<sup>[1-2]</sup>。火龙果含有糖类、蛋白质、氨基酸、矿物质、维生素、脂肪酸等丰富的营养成分,及天然色素、类黄酮、膳食纤维、植物多糖等多种功能性物质<sup>[3-4]</sup>,在预防心血管疾病、抗氧化、排毒养颜等方面具有良好的功效,集美味、营养、保健于一身,深受消费者喜爱<sup>[5-6]</sup>。近年来火龙果的种植面积及产量不断增加,加工量也越来越大,而占整果25%左右的果皮,常作为副产物直接丢弃,对其加工利用的研究甚少<sup>[7-10]</sup>。研究表明火龙果皮含有丰富的天然色素<sup>[11-12]</sup>、黄酮类<sup>[13]</sup>、膳食纤维<sup>[14]</sup>、果胶<sup>[15]</sup>等物质,具有很好的抗氧化、抗自由基、抗衰老、降血脂、抗肿瘤等功效,开发前景广阔<sup>[16-19]</sup>。黎海利等<sup>[20]</sup>对火龙果皮色素进行提取,并证实其对·OH、O<sub>2</sub><sup>-</sup>及DPPH·具有较高的清除能力;Fernanda Robert de Mello等<sup>[21]</sup>研究证实火龙果皮含有丰富的酚类物质,并进一步提出其具有很高的抗氧化活性;王晓波等<sup>[22]</sup>研究了火龙果皮总黄酮对油脂的抗氧化作用,并表明其对食用油脂具有良好的抗氧化作用。故对火龙果皮进行开发利用不但可减少环境污染,还可变废为宝,提高火龙果资源营养附加值<sup>[23]</sup>。

乳酸菌不仅具有调整肠道菌群、增强机体免疫力、抑菌、抗癌等生理功能<sup>[24]</sup>,其抗氧化活性也得到专家的广泛关注<sup>[25-27]</sup>。王曦等<sup>[28]</sup>比较了不同乳酸菌菌株的抗氧化能力,并指出其抗氧化活性物质较多分布在乳酸菌胞外分泌物中;严榕等<sup>[29]</sup>研究表明植物乳杆菌对亚硝酸根离子具有很好的清除作用。乳酸菌发酵在营养及功能食品中发挥越来越积极的作用,不仅可以改善食品风味,还能提高其营养保健价值<sup>[30]</sup>。

本研究将火龙果皮通过植物乳杆菌发酵,利用羟基自由基(·OH)、超氧阴离子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)、亚硝酸根离子(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)及DPPH自由基4种体外抗氧化模型,对发酵前后的体外抗氧化能力进行比较分析,为火龙果皮保健功能及其益生菌发酵产品开发提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

火龙果 新鲜红皮白肉火龙果;YMC1005-B1植物乳杆菌 河北一然生物科技有限公司;脱脂奶粉、白砂糖、乳糖、柠檬酸、D-异抗坏血酸钠等 市售,均为食用级;无水葡萄糖、芦丁 中国药品生物制品检定所;其它化学试剂 国产分析纯。

JA2003 电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;LDZX-75KBS 高压灭菌锅 上海申安医疗器械厂;SW-CJ-1FD 超净工作台 苏州苏洁净化设备有限公司;HSX-150 恒温培养箱 上海南荣实验室设备有限公司;LZ-0.5 榨汁机 靖江食品机械制造有限公司;胶体磨 郑州玉祥食品机械有限公司;AA-S2 型电热恒温水浴锅 江苏省金坛市医疗器械厂;RE-501 型旋转蒸发仪 巩义市予华仪器有限责任公司;TU-1810 型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 火龙果皮汁制备 挑选八成熟以上、无腐烂、无霉变、无病虫害、新鲜火龙果,用自来水洗净,沥干水分后,刀片削去鳞片,去除果皮表层,分离果皮和果肉,果皮切丝后按皮:蒸馏水(质量比)=1:6打浆,过胶体磨后4℃避光保存备用。

1.2.2 火龙果皮植物乳杆菌发酵 取火龙果皮汁,加入质量分数9%的白砂糖,调pH6.5,105℃灭菌20 min,冷却至42℃左右接入2%的植物乳杆菌,于34℃发酵48 h,即得发酵后火龙果皮汁,平板涂布法测定植物乳杆菌活菌数。

#### 1.2.3 抗氧化实验

1.2.3.1 羟基自由基(·OH)的清除作用 向试管中加入2 mmol/L的FeSO<sub>4</sub>溶液3 mL、6 mmol/L的水杨酸乙醇溶液3 mL、不同浓度的样品溶液1 mL、1 mmol/L的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3 mL,充分摇匀后于37℃恒温水浴30 min后,测定波长510 nm处吸光度,记为A,以1 mL蒸馏水代替样品溶液测得的吸光度A<sub>0</sub>为空白组吸光度,以3 mL蒸馏水代替H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>测得的吸光度A<sub>b</sub>为背景吸光度。每管设3个平行,取平均值,按公式(1)计算样品对羟基自由基的清除率<sup>[31]</sup>。

$$\cdot\text{OH} \text{ 的清除率}(\%) = [A_0 - (A - A_b)] / A_0 \times 100$$

式(1)

1.2.3.2 超氧阴离子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)的清除作用 向试管中加入0.05 mol/L的Tris-HCl缓冲液(pH8.2)4.5 mL,于25℃恒温水浴中预热20 min,分别加入不同浓度的样品溶液1 mL,25 mmol/L邻苯三酚溶液0.4 mL,混匀后在25℃水浴中反应5 min,加入8 mol/L的HCl 1.0 mL终止反应,于299 nm处测定吸光度A,空白组A<sub>0</sub>用1 mL蒸馏水代替样品溶液,背景吸光度A<sub>1</sub>用0.4 mL蒸馏水代替邻苯三酚。每管设3个平行,取平均值,按公式(2)计算样品对超氧阴离子的清除率<sup>[12]</sup>。

$$\text{O}_2^{\cdot-} \text{ 的清除率}(\%) = [A_0 - (A - A_1)] / A_0 \times 100$$

式(2)

1.2.3.3 亚硝酸根离子(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)的清除作用 NaNO<sub>2</sub>标准曲线的绘制,取8支试管,分别准确加入5 μg/mL亚硝酸钠标准液0.00、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00、1.50、2.00 mL,0.4%对氨基苯磺酸溶液1 mL,混匀后静置5 min,加入0.2%盐酸萘乙二胺溶液0.5 mL,蒸馏水定容至10 mL,混匀后静置15 min,于538 nm处测定吸光值。以NaNO<sub>2</sub>浓度为横坐标,OD值为纵坐标,绘制标准曲线。样品对亚硝酸根离子(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)的清除作用,试管中分别加入不同浓度的样品溶液1 mL,再加入5 μg/mL NaNO<sub>2</sub>标准溶液0.5 mL,于37℃恒温水浴30 min,立即加入0.4%对氨基苯磺酸溶液1 mL,混匀后静置5 min,加入0.2%盐酸萘乙二胺溶液0.5 mL,蒸馏水定容至10 mL,混匀后静置15 min,于538 nm处测定吸光值。以不加NaNO<sub>2</sub>标准液的样品提取液调零,每管设3个平行,取平均值,通过NaNO<sub>2</sub>标准曲线得到相应的NaNO<sub>2</sub>含量,再按公式(3)即可计算出样品对NO<sub>2</sub><sup>-</sup>的清除率<sup>[32]</sup>。

$$\text{NO}_2^- \text{ 的清除率}(\%) = \{ [ \text{加入标准 NaNO}_2 \text{ 的量} \}$$

$(\mu\text{g}/\text{mL}) - \text{NaNO}_2$  的残留量  $(\mu\text{g}/\text{mL})$  / 加入标准  $\text{NaNO}_2$  量  $(\mu\text{g}/\text{mL})$  }  $\times 100$  式(3)

1.2.3.4 DPPH 自由基的清除作用 试管中分别加入不同浓度的样品溶液 2 mL, 再加入  $2 \times 10^{-4}$  mol/L DPPH· 溶液 2 mL, 混匀后于暗处反应 30 min, 在 517 nm 处测定吸光度  $A_{\text{样品}}$ , 对照组以 2 mL 无水乙醇代替 DPPH· 溶液, 空白组以 2 mL 无水乙醇代替样品溶液。每管设 3 个平行, 取平均值。按公式(4)计算样品对 DPPH 自由基的清除率<sup>[33]</sup>。

DPPH 的清除率 (%) =  $[1 - (A_{\text{样品}} - A_{\text{对照}}) / A_{\text{空白}}] \times 100$  式(4)

1.2.4 火龙果皮红色素测定 分别取发酵前后火龙果皮汁 10 mL, 按料液比 1:10 (mL/mL) 加入 80% 乙醇 + 0.5% 柠檬酸 (5:1) 混合提取剂, 30 °C 恒温水浴中振荡浸提 60 min, 离心收集上清, 于波长 536 nm 处测定吸光度, 以吸光度评价色素含量<sup>[20]</sup>。

1.2.5 多糖含量的测定 苯酚-硫酸法<sup>[34]</sup>。

葡萄糖标准曲线的绘制: 精密称取 105 °C 干燥至恒重的葡萄糖标准品 10 mg, 置于 100 mL 容量瓶中, 加水溶解并稀释至刻度, 摇匀, 即得 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液。准确吸取葡萄糖标准溶液 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL 分别置 10 mL 带塞试管中, 补加蒸馏水至 2.0 mL, 再分别加 5% 苯酚溶液 1 mL, 摇匀, 迅速加入浓硫酸 5.0 mL, 摇匀, 沸水浴中加热 15 min 后取出, 迅速冷却至室温, 于波长 490 nm 处测定吸光度, 以浓度为横坐标、吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得回归方程  $A = 9.2886C + 0.017$ ,  $R^2 = 0.9996$ 。

样品多糖含量的测定: 分别取发酵前后火龙果皮汁 5.0 mL, 加入无水乙醇 20 mL, 静置 4 h, 离心, 沉淀用 80% 乙醇洗涤 2 次, 每次 10 mL, 沉淀加蒸馏水 10 mL 溶解, 并定容至 250 mL, 摇匀即得样品。准确吸取样品溶液 1.0 mL 于 10 mL 带塞试管中, 自“补加蒸馏水至 2.0 mL”起, 按标准曲线绘制方法, 测定样品吸光度。

1.2.6 总黄酮含量的测定 采用  $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NaOH}$  分光光度法<sup>[35]</sup>。

芦丁标准曲线的绘制: 准确称取经 105 °C 干燥至恒重的芦丁标准品 10 mg, 60% 乙醇溶解并定容至 25 mL, 摇匀即得 0.4 mg/mL 的芦丁标准溶液。准确吸取芦丁标准溶液 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL, 分别置 10 mL 容量瓶中, 加入 5% 的亚硝酸钠溶液 0.3 mL, 摇匀, 放置 6 min, 加 10% 的硝酸铝溶液 0.3 mL, 摇匀, 放置 6 min, 再加 4% 的氢氧化钠溶液 4 mL, 加水至刻度, 摇匀, 放置 15 min。以 60% 乙醇溶液代替硝酸铝溶液作空白调零, 于波长 510 nm 处测定吸光度, 以浓度为横坐标、吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得回归方程  $A = 11.039C - 0.001$ ,  $R^2 = 0.9998$ 。

样品总黄酮含量的测定: 分别取发酵前后火龙果皮汁 25 mL 浓缩至 8 mL, 加入 60% 乙醇 200 mL 超声提取 30 min, 过滤, 滤液置 250 mL 容量瓶中, 加 60% 乙醇至刻度, 摇匀即得样品溶液。准确吸取样品溶液 1.0 mL 于 10 mL 容量瓶中, 自“加入 5% 的亚硝酸钠溶液 0.3 mL”起, 按上述标准曲线绘制方法,

测定样品吸光度。

### 1.3 数据处理

每个实验平行测定 3 次, 按照对应公式计算实验结果, 结果以平均值  $\pm$  标准差表示。运用 Excel 及 SPSS 进行数据统计分析, 显著性水平为  $p < 0.05$ , 极显著为  $p < 0.01$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 对羟基自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 的清除能力

羟基自由基被认为是最活泼、对机体危害最大的自由基<sup>[36]</sup>。 $\cdot\text{OH}$  由 Fenton 反应产生, 并氧化水杨酸产生在 510 nm 处有特征吸收的 2,3-二羟基苯甲酸, 故可通过比色法测定水杨酸捕获  $\cdot\text{OH}$  所得产物来确定  $\cdot\text{OH}$  的清除率。由图 1 可看出, 发酵前后火龙果皮汁对  $\cdot\text{OH}$  均有一定的清除能力, 且随样品浓度增加而增强; 发酵后的清除率较发酵前明显提高, 发酵前、后的  $\text{IC}_{50}$  值分别为 1.04、0.77 mL/mL。说明经植物乳杆菌发酵可提高火龙果皮汁对  $\cdot\text{OH}$  的清除作用, 可能与火龙果皮中色素、黄酮类物质, 及植物乳杆菌的抗氧化成分和氧化还原调控系统等有关<sup>[37]</sup>。

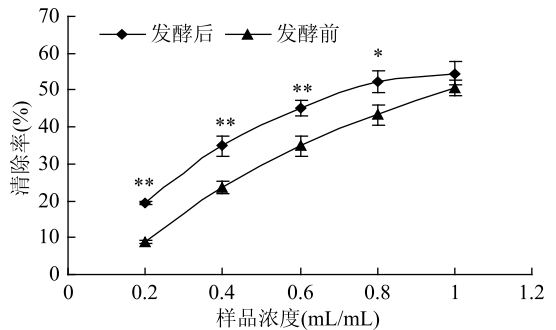


图1 火龙果皮乳酸发酵饮料对  $\cdot\text{OH}$  清除能力

Fig1 Hydroxyl free radicals scavenging ability of pitaya peel beverage fermented by lactic acid bacteria

注: 样品浓度 mL/mL 即样品体积/样品加蒸馏水稀释后总体积 mL/mL; \* 表示同一垂直线上两数据差异显著, \*\* 表示同一垂直线上两数据差异极显著。图 2~图 4 同。

### 2.2 对超氧阴离子 ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) 的清除能力

超氧阴离子是在生物有机体内广泛存在且寿命最长的自由基, 对机体危害极大, 具有自由羟基的酚类物质, A 环或 B 环上有多羟基取代或有自由 3-羟基取代的黄酮化合物都可以呈现出超氧自由基清除能力<sup>[38]</sup>。由图 2 可知, 发酵前后火龙果皮汁对  $\text{O}_2^{\cdot-}$  均具有较强的清除能力, 且随样品浓度增加而增强; 发酵前、后的  $\text{IC}_{50}$  值分别为 0.46、0.33 mL/mL; 当浓度为 1.0 mL/mL 时, 发酵后清除率可达到 97.47%, 发酵前为 95.49%。可见经植物乳杆菌发酵可提高样品对  $\text{O}_2^{\cdot-}$  清除能力, 但随浓度增加, 提高幅度逐渐减小。

### 2.3 对亚硝酸根离子 ( $\text{NO}_2^-$ ) 的清除能力

亚硝酸根离子在生物体内不仅可引起组织缺氧, 还可在一定条件下与仲胺、叔胺形成强致癌物质亚硝胺, 引起生物器官的恶性肿瘤, 对生物体危害极大<sup>[39]</sup>。由图 3 可知, 在实验浓度范围内, 发酵前后火龙果皮汁对亚硝胺前体亚硝酸根离子均具有一定的



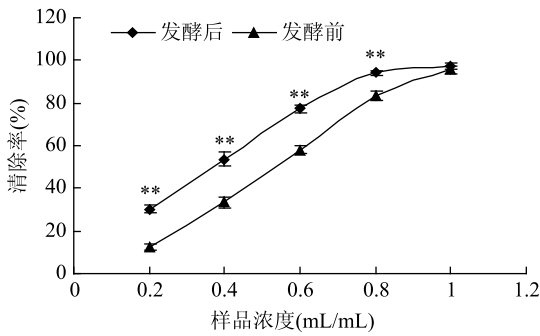
图2 火龙果皮乳酸发酵饮料对  $O_2\cdot^-$  清除能力

Fig.2 Superoxide anion free radicals scavenging ability of pitaya peel beverage fermented by Lactic Acid Bacteria

清除作用,且随浓度的增加而增强;发酵后样品对  $NO_2^-$  的清除能力显著高于发酵前;发酵前、后的  $IC_{50}$  值分别为 0.90、0.47 mL/mL。可能与火龙果本身所含色素、黄酮类、酚类物质,及发酵液中植物乳杆菌及其代谢产物相关<sup>[29]</sup>。

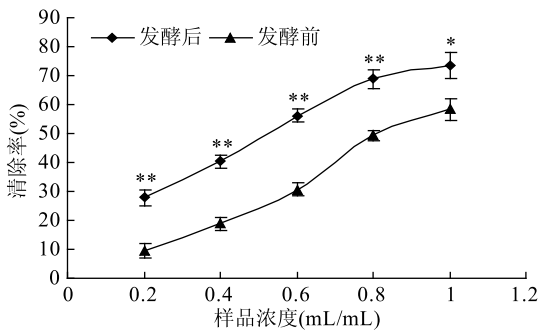
图3 火龙果皮乳酸发酵饮料对  $NO_2^-$  的清除能力

Fig.3 Nitrite ion scavenging ability of pitaya peel beverage fermented by Lactic Acid Bacteria

## 2.4 对 DPPH 自由基的清除能力

DPPH·是一种很稳定的以氮为中心的自由基,若样品能将其清除,则提示样品具有降低羟自由基、烷自由基或氧化自由基浓度,打断脂质过氧化链反应的作用<sup>[17]</sup>。DPPH 自由基在有机溶剂中呈紫色,517 nm处有最大吸收,当遇到自由基清除剂时,DPPH 的孤电子被配对,颜色变浅,吸光度减小,且吸光度的变化与自由基的被清除率呈线性关系,可用来评价自由基的清除情况及活性物质的抗氧化能力。由图4可知,发酵前后火龙果皮汁对 DPPH 均具有较强的清除能力,且在相同浓度下,发酵后样品对 DPPH 清除能力明显提高,但随浓度增大,差距逐渐减小;发酵前、后的  $IC_{50}$  值分别为 0.40、0.17 mL/mL;浓度为 1.0 mL/mL 时,发酵后清除率为 97.52%,较发酵前 88.86% 提高 10%。

## 2.5 发酵前后色素、多糖、黄酮含量比较

对火龙果皮所含主要抗氧化活性物质色素、多糖、总黄酮在发酵前后的含量变化进行分析,实验结果见表1。由表1可知,发酵前后火龙果皮汁溶液中均含有一定量的色素、多糖及黄酮类物质;发酵后溶液中色素和总黄酮含量较灭菌发酵前有所下降,且差异显著,可能是灭菌时的高温降解及发酵过程中

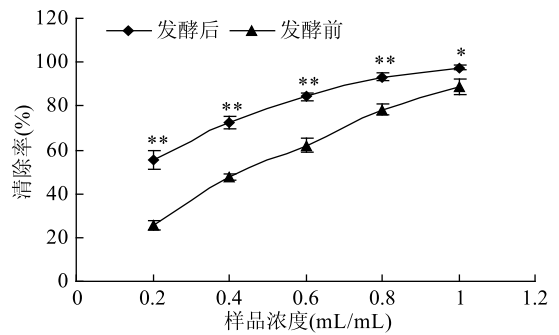


图4 火龙果皮乳酸发酵饮料对 DPPH 自由基的清除能力

Fig.4 DPPH free radicals scavenging ability of pitaya peel beverage fermented by Lactic Acid Bacteria

的微生物转化所致<sup>[40]</sup>;但发酵后的多糖含量显著高于灭菌发酵前,可能是因为植物乳杆菌在发酵过程中产生了一定量的胞外多糖<sup>[41]</sup>。由此推测发酵后抗氧化能力提高可能与植物乳杆菌的代谢产物及其本身氧化还原调控系统有关<sup>[42]</sup>,发酵原液中植物乳杆菌活菌数  $> 10^8$  CFU/mL。

表1 发酵前后色素、多糖、总黄酮含量测定

Table 1 Determination of pigment, polysaccharide and total flavonoid in unfermented and fermented pitaya peel beverage

项目	发酵前	发酵后	差异显著性
色素吸光值 A	$0.259 \pm 0.004$	$0.189 \pm 0.004$	**
多糖含量 (mg/mL)	$4.594 \pm 0.115$	$5.128 \pm 0.059$	**
总黄酮含量 (mg/mL)	$2.367 \pm 0.055$	$2.041 \pm 0.064$	**

注: \* 表示发酵前后某指标差异显著, \*\* 表示差异极显著。

## 3 结论与讨论

以火龙果皮为主要原料,利用植物乳杆菌发酵,采用不同的自由基体系对其发酵产品的体外抗氧化活性进行测定,并分析其发酵前后色素、多糖、总黄酮含量。结果表明发酵前后火龙果皮汁对超氧阴离子、DPPH 自由基均具有很强的清除作用,对羟自由基、亚硝酸根离子也具有一定的清除作用,且随浓度增大清除能力增强;发酵后对羟基自由基( $\cdot OH$ )、超氧阴离子( $O_2\cdot^-$ )、亚硝酸根离子( $NO_2^-$ )、DPPH 自由基的  $IC_{50}$  分别为 0.77、0.33、0.47、0.17 mL/mL,较发酵前分别减少 25.96%、28.26%、47.78%、57.50%;相同浓度下,经植物乳杆菌发酵可明显提高火龙果皮汁对自由基的清除能力,但提高幅度随浓度增大而逐渐减小;发酵后火龙果皮汁中色素和总黄酮含量较灭菌发酵前下降,可能是灭菌时的高温降解及发酵过程中的微生物转化所致,发酵后的多糖含量显著高于灭菌发酵前,可能是植物乳杆菌在发酵过程中产生。

说明火龙果皮及植物乳杆菌均具有一定的抗氧化能力,植物乳杆菌发酵可进一步提高火龙果皮汁的抗氧化能力,分别与火龙果皮中丰富的花青素、黄酮化合物,植物乳杆菌发酵代谢产物、还原调控系统

等有关。研究结果为火龙果皮的深度开发与利用提供一定的参考价值。

### 参考文献

- [1] 曾建飞. 中国植物志(第五十二卷第一分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 275-300.
- [2] 陈晓旭, 易建勇, 郭小宁, 等. 火龙果加工技术研究进展[J]. 农产品加工, 2014(5): 48-53.
- [3] Alireza O, Rokiah M Y, Shahin R, et al. Anti-diabetic activity of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruit [J]. Royal Society of Chemistry, 2014, 4: 62978-62986.
- [4] Femanda R M, Claudia B, Caroline O D, et al. Evaluation of the chemical characteristics and rheological behavior of pitaya (*Hylocereus undatus*) peel [J]. EDP Sciences, 2014, 69: 381-390.
- [5] 蔡永强, 向青云, 陈家龙, 等. 火龙果的营养成分分析[J]. 经济林研究, 2008, 26(4): 53-56.
- [6] 王壮, 王立娟, 蔡永强, 等. 火龙果营养成分及功能性物质研究进展[J]. 中国南方果树, 2014, 43(5): 25-29.
- [7] 张福平. 火龙果的营养保健功效及开发利用[J]. 食品研究与开发, 2002, 23(3): 49-50.
- [8] Lee - Hoom H, Nadratul Wahidah Binti A L. Nutritional composition, physical properties, and sensory evaluation of cookies prepared from wheat flour and pitaya (*Hylocereus undatus*) peel flour blends [J]. Cogent Food & Agriculture, 2016, 2: 1136369.
- [9] Jamilah B, Shu C E, Kharidah M, et al. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel [J]. International Food Research Journal, 2011, 18: 279-286.
- [10] Song G Haizhao, Chu Qiang, Xu Dongdong, et al. Purified betacyanins from *Hylocereus undatus* peel ameliorate obesity and insulin resistance in high-fat-diet-fed mice [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64: 236-244.
- [11] 赵文红, 梁彬霞, 白卫东, 等. 火龙果果皮色素的研究进展[J]. 中国调味品, 2012, 37(8): 111-115.
- [12] 杨志娟, 曾真, 吴晓萍. 火龙果皮原花青素提取纯化及定性分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 75-79.
- [13] 王晓波, 何晓燕, 王梅, 等. 火龙果皮总黄酮提取与体外抗氧化作用研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(11): 156-159.
- [14] 张玉铎, 孙丽平, 庄永亮, 等. 火龙果皮中膳食纤维含量及其物理化学特性[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 164-167.
- [15] 王雪, 丁金龙, 黄苇, 等. 火龙果皮中果胶的提取及其结构研究[J]. 中国食品添加剂, 2015(3): 102-106.
- [16] 罗萍, 师莉莎, 刘华忠. 火龙果汁体外抗氧化能力研究[J]. 广东农业科学, 2013(20): 93-96.
- [17] 董银卯, 何聪芬, 王领, 等. 火龙果酵素生物活性的初步研究[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 192-196.
- [18] Zhuang Yongliang, Zhang Yufeng, Sun Liping. Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47: 1279-1285.
- [19] 赵兰, 苏小建, 王鹏程, 等. 火龙果皮化学成分的研究[J]. 中成药, 2017, 39(1): 111-115.
- [20] 黎海利, 刘镒栋, 袁长春, 等. 红肉火龙果果皮色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12): 203-208.
- [21] Femanda R M, Claudia B, Caroline O D, et al. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel [J]. Food Technology, 2015, 45(2): 323-328.
- [22] 王晓波, 钟婵君, 刘冬英, 等. 火龙果皮总黄酮对油脂抗氧化作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 19-22.
- [23] Luo Hui, CAI Yongqiang, Peng Zhijun, et al. Chemical composition and *in vitro* evaluation of the cytotoxic and antioxidant activities of supercritical carbon dioxide extracts of pitaya (dragon fruit) peel [J]. Chemistry Central Journal, 2014, 8: 1.
- [24] Osman N, Adawi D, Ahrné S, et al. Endotoxin - and d-galactosamine induced liver injury improved by the administration of Lactobacillus, Bifidobacterium and blueberry [J]. Digestive and Liver Disease, 2007, 39(9): 849-856.
- [25] Tomomi K, Takashi K, Choa A, et al. Radical scavenging capacities of saba-narezushi, Japanese fermented chub mackerel, and its lactic acid bacteria [J]. Food Science and Technology, 2012, 47(1): 25-30.
- [26] Anoctochilus F H, Ng C C, Wang C Y, et al. Lactic acid bacterial fermentation on the production of functional antioxidant herbal [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2011, 111(3): 289-293.
- [27] 宋晓辰, 彭新颜, 李凤梅, 等. 植物乳杆菌 NDC75017 抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 106-112.
- [28] 王曦, 罗霞, 许晓燕, 等. 不同乳酸菌菌株抗氧化能力的比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 197-201.
- [29] 严榕, 傅昌年, 周朝辉. 植物乳杆菌对亚硝酸根离子的清除作用[J]. 食品工业, 2003(6): 40-41.
- [30] 刘双环, 李欢, 王聪, 等. 荷叶黄酮对乳酸杆菌和双歧杆菌抗氧化能力的协同作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015(27): 1712-1716.
- [31] 胡坤, 邢锐伟, 黎景恒, 等. 热处理对红肉火龙果色素稳定性及其清除羟基自由基能力的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(8): 954-948.
- [32] 李志洲, 陈均志. 大枣多糖的抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2007(4): 115-117.
- [33] 刘长江, 潘松, 梁爽. 软枣猕猴桃多糖的体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 79-82.
- [34] 陈燕, 蒋志涛, 陈晓峰, 等. 苯酚-硫酸法测定黄芪口服液和注射液中多糖含量[J]. 现代中药研究与实践, 2015, 29(5): 64-65.
- [35] 易艳东, 余南才, 马威, 等. 马齿苋水提液中的总黄酮的含量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2009, 29(5): 424-425.
- [36] 李广富, 陈伟, 范路平, 等. 茶树菇多糖酸奶的抗氧化活性与抗衰老研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(10): 140-145.
- [37] 白明, 孟祥晨. 益生菌抗氧化活性及菌体抗氧化相关成分的分析[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(5): 6-10.
- [38] Nagendra Prasad K, Yang B, Dong X H, et al. Flavonoid contents and antioxidant activities from *Cinnamomum* species [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(4): 627-632.

(下转第 79 页)

可以作为固相萃取材料,运用到植酸的富集、分离纯化以及检测的前处理过程。本体聚合在制备 MIPs 过程中,会存在模板分子包埋过深或者无法洗脱的情况,为了更好的提高其吸附与解吸效率,今后的研究可以从制备方法着手,进一步改善实验效果,比如利用硅胶为基质的表面印迹技术,如今已广泛使用。

### 参考文献

- [1] 元晓梅,蒋明蔚,胡正芝.粮谷食品中植酸检测方法的研究[J].食品与发酵工业,1997,23(1):25-31
- [2] 吴澎,田纪春,王凤成.谷物中植酸及其应用的研究进展[J].中国粮油学报,2009,24(3):137-143.
- [3] Zhou JR, Erdman JW. Phytic acid in health and disease [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1995, 35 (6) : 495-508.
- [4] 吴汉民.新保鲜剂植酸一低浓度限量应用的卫生安全性考证[J].食品与发酵工业,1991,6(4):26-32.
- [5] Midorikawa K, Murata M, Oikawa S, et al. Protective effect of phytic acid on oxidative DNA damage with reference to cancer chemoprevention [J]. *Biochem Biophysical Research Communications*, 2001, 288(3):552-557.
- [6] 王天丰,曹茜茜,撒悦,等.植酸作为螯合剂去除根管玷污层的效力及其对牙本质化学组成的影响[J].口腔医学研究杂志,2016,32(4):374-378.
- [7] Katherine L, EmPson TP, Labuza. Phytic Acid as a Food Antioxidant [J]. *Journal of Food Science*, 1991, 56(2):560-563.
- [8] Raboy V. Seeds for a better future: Low phytate 'grains help to overcome malnutrition and reduce pollution [J]. *Trends Plant Science*, 2001, 6(10):458-462.
- [9] Guttieri MJ, Peterson KM, Souza EJ. Agronomic performance of low phytic acid wheat [J]. *Crop Science*, 2006, 46(6):487-493.
- [10] Ravindran V. Phytate occurrence, bio-availability and implications in poultry nutrition [J]. *Poultry Avian Biology Reviews*, 1995b, 6(2):125-134.
- [11] Viveros A, Centeno C, Brenes A, et al. Phytase and acid phosphatase activities in plant feedstuffs [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2000, 48(9):4009-4013.
- [12] 张瑞.植酸的提取、分离与纯化工艺研究[D].安徽:合肥工业大学,2013.
- [13] Vlatakis G, Andersson L I, Muller R, et al. Drug assay using antibody mimics made by molecular imprinting [J]. *Nature*, 1993, 361(3):645-647.
- [14] 李蓉,储大可,高永清,等.复合分子印迹固相萃取-HPLC-MS/MS法测定植物源性食品中多种农药残留[J].分析实验室,2015(8):907-912.
- [15] 吴洪,赵艳艳,喻应霞,等.分子印迹壳聚糖膜分离手性苯丙氨酸[J].功能高分子学报,2007,19(3):262-266.
- [16] 李国良,姚伟,韩建光,等.农药丙溴磷分子印迹聚合物微球的制备与结合性能研究[J].分析测试学报,2009,28(2):207-211.
- [17] 姚婷,李腾飞,秦玉昌,等.分子印迹表面等离子共振传感器在食品安全检测中的最新研究进展[J].分析测试学报,2015,34(2):37-244.
- [18] 唐志民,马新宾.林可霉素分子印迹材料的制备及吸附性能[J].中国粉体技术,2016(5):63-67.
- [19] Giuseppe C, Manuela C, Ortensia IP. Gastro-intestinal sustained release of phytic acid by molecularly imprinted microparticles [J]. *Pharmaceutical Development and Technology*, 2010, 15(5):526-531.
- [20] 贺湘,高清涌,刘淑卿.红外微量溴化钾压片法及其应用[J].化学世界,1980(5):17-19.
- [21] 任鸿均.植酸、植酸钙和肌醇[J].化工科技市场,2003,26(4):25-30.
- [22] Giuseppe C, Manuela C, Ortensia IP. Gastro-intestinal sustained release of phytic acid by molecularly imprinted microparticles [J]. *Pharmaceutical Development and Technology*, 2010, 15(5):526-531.
- [23] 赵娜,胡小玲,管萍,等.乳液聚合制备红霉素分子印迹聚合物微球及其吸附性能[J].物理化学学报,2014,30(1):121-128.
- [24] 杨挺,吴银良,李存,等.莱克多巴胺表面分子印迹材料的制备、表征及吸附性能[J].中国农业科学,2013,46(6):1256-1262.
- [25] 雷福厚,赵慷,李小燕,等.脱氢枞胺分子印迹聚合物的吸附性能研究[J].精细化工,2010,27(1):11-15.
- [39] 赵金伟,李范洙,张先.苹果梨酚类物质抗氧化活性研究[J].食品科学,2010,31(17):170-172.
- [40] 裘纪莹,陈相艳,刘孝永,等.银杏花粉及其发酵饮料的总黄酮含量及总黄酮测定方法比较[J].江苏农业科学,2015,43(10):371-373.
- [41] 王英,周剑忠,黄开红,等.益生菌干酪乳杆菌 FM10-3 产胞外多糖培养条件的优化[J].中国乳品工业,2014,42(2):9-11.
- [42] Liu Chinfeng, Tseng Kuochuan, Chiang Shenshih, et al. Immunomodulatory and antioxidant potential of Lactobacillus exopolysaccharides [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(12):2284-2291.

(上接第 74 页)