

张丽娟, 邹波, 肖更生, 等. 不同打浆及杀菌处理对荔枝浆品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 329–336. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060226

ZHANG Lijuan, ZOU Bo, XIAO Gengsheng, et al. Effect of Different Beating and Sterilization Treatments on the Quality of Litchi Pulp[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 329–336. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060226

· 贮运保鲜 ·

# 不同打浆及杀菌处理对荔枝浆品质的影响

张丽娟<sup>1</sup>, 邹波<sup>1,\*</sup>, 肖更生<sup>1</sup>, 徐玉娟<sup>1,2</sup>, 余元善<sup>1</sup>, 吴继军<sup>1</sup>, 李璐<sup>1</sup>

(1.广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村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;

2.岭南现代农业科学与技术广东省实验室茂名分中心, 广东茂名 525000)

**摘要:**荔枝浆品质的劣变与氧气和热处理存在密切关系, 本文比较了常规打浆 (CB) 与低氧打浆 (LB) 对荔枝浆品质的影响, 并研究了低氧打浆对超高压 (HHP) 和热处理 (HT) 荔枝浆 4 °C 贮藏过程中品质的影响。结果表明, 与常规打浆相比, 低氧打浆对荔枝浆可溶性固形物含量、pH 和总酸无显著影响 ( $P>0.05$ ), 而  $L^*$  值显著上升 ( $P<0.05$ ),  $a^*$  值显著降低 ( $P<0.05$ ), 总酚含量提高了 24.70%, 除原花青素 B2、芦丁、儿茶素和香草酸外, 其它 6 种单体酚含量均显著增加 ( $P<0.05$ )。贮藏过程中, 不同打浆方式联合 HPP 和 HT 的荔枝浆  $L^*$  值均呈下降趋势、 $a^*$  值均呈上升趋势, 其中 LB+HHP 组  $L^*$  值始终最大; 贮藏至 28 d, 低氧打浆联合超高压处理组总酚、DPPH 自由基清除能力以及铁离子还原能力均高于其它三组。综上, 低氧打浆能更好地保护荔枝浆的色泽、酚类物质和抗氧化能力, 减少超高压和热处理的荔枝浆在贮藏过程中的品质劣变, 其中 LB+HHP 处理更具优势, 可作为一种新型荔枝浆加工技术。

**关键词:**低氧打浆, 荔枝浆, 超高压, 总酚, 抗氧化活性

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)07-0329-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060226



本文网刊:

## Effect of Different Beating and Sterilization Treatments on the Quality of Litchi Pulp

ZHANG Lijuan<sup>1</sup>, ZOU Bo<sup>1,\*</sup>, XIAO Gengsheng<sup>1</sup>, XU Yujuan<sup>1,2</sup>, YU Yuanshan<sup>1</sup>, WU Jijun<sup>1</sup>, LI Lu<sup>1</sup>

(1.Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China;

2.Maoming Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Maoming 525000, China)

**Abstract:** The deterioration of the quality of litchi pulp is closely related to oxygen and heat treatment. This study compared the effects of conventional beating (CB) and low-oxygen beating (LB) on the quality of litchi pulp, and the effect of low-oxygen beating combined with high hydrostatic pressure (HHP) and heat treatment on the quality of litchi pulp during storage at 4 °C was also studied. The results showed that when compared to conventional beating, low-oxygen beating had no significant effect on the total soluble solid, pH and total acid of litchi pulp ( $P>0.05$ ), while the  $L^*$  value increased significantly ( $P<0.05$ ), the  $a^*$  value decreased significantly ( $P<0.05$ ), the total phenolic content increased by 24.70%. Except for proanthocyanidins B2, rutin, catechins and vanillic acid, the content of other 6 monomeric phenolics increased significantly ( $P<0.05$ ). During the storage process, the  $L^*$  value of litchi pulp treatment of different beating methods combined with HPP and HT showed a downward trend and the  $a^*$  value showed an upward trend, and the  $L^*$  value

收稿日期: 2022-06-24

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2020B020225002); 广州市科技计划项目 (202002020050, 202206010123); 茂名实验室自主科研项目 (2021ZZ002); 广东省农业科学院“十四五”农业优势产业学科团队 (202109TD)。

作者简介: 张丽娟 (1996-), 女, 硕士, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: LY120208@126.com。

\* 通信作者: 邹波 (1986-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: skzoubo@163.com。

of LB+HHP group was always the highest. Stored for 28 days, the total phenolic content, DPPH radical scavenging capacity and ferric ion reducing antioxidant power of the low-oxygen beating combined with HHP treatment group were higher than those of the other three groups. In conclusion, low-oxygen beating can better keep the color, phenolics and antioxidant capacity of litchi pulp, and reduce the quality degradation of litchi pulp treated by HHP and heat during the storage, of which LB+HHP treatment has more advantages, which can be used as a new litchi pulp processing technology.

**Key words:** low-oxygen beating; litchi pulp; high hydrostatic pressure; total phenolics; antioxidant activity

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)属无患子科植物,是热带和亚热带地区种植的主要果树,主要分布在中国、越南、印度尼西亚、泰国和菲律宾等地区<sup>[1]</sup>。广东省作为中国荔枝的原产地之一,有“中国荔枝第一产区”的美誉,其荔枝不仅种质资源丰富,而且品种优良。荔枝果肉中富含酚类化合物<sup>[2]</sup>,具有抗氧化、抗炎和降血脂的作用<sup>[1-3]</sup>,但荔枝成熟于高温高湿季节,采后不仅容易褐变,还易腐败变质,不耐贮藏<sup>[4-5]</sup>,加工是延长其产业链的主要途径之一。目前荔枝的加工制品主要是荔枝干、荔枝罐头等,产品附加值低,因此开展荔枝深加工极为必要。近年来,随着新式茶饮的快速崛起,市场对营养丰富、品质优良的水果原汁原浆需求日益增加。将荔枝加工成荔枝浆,不仅可以大批量处理鲜果,还能很好地保留荔枝的营养成分,既可以作为终端商品,也可以作为中间原料加工成果汁饮料或添加到新式茶饮中,是荔枝深加工的一条新型途径,有着巨大的市场潜力。

氧气是果汁果浆加工及贮藏过程中抗坏血酸、多酚、色素等物质氧化降解的主要因素<sup>[6-7]</sup>。研究表明,荔枝汁初始溶解氧浓度越高,贮藏过程中5-羟甲基糠醛和褐变指数增加的越快<sup>[6]</sup>;橙汁中溶解氧越高,贮藏过程中品质劣变越严重<sup>[7]</sup>;以上研究均以果汁为研究对象,通过充氮气或真空脱气的方式研究溶解氧对果汁品质的影响,但水果在常规打浆榨汁过程中会混入氧气,因此推测在打浆过程中氧气可能已经参与了氧化反应。有学者将梨、香蕉等与液氮混合打浆,发现该方法可有效降低打浆时的温度,减少果浆褐变<sup>[8-9]</sup>;尽管液氮打浆可以降温并能减少水果打浆时氧气与果浆的接触,但该方法实际操作较为困难,且对氧气的排出有限。目前,低氧打浆和常规打浆是否影响荔枝浆的品质尚不清楚。此外,团队前期研究发现,荔枝热敏性强,常规的热杀菌会产生“蒸煮味”等不良风味,影响其品质<sup>[5]</sup>;超高压技术是一种较为成熟的非热加工技术,能够较好地保留水果原有的风味,减轻色泽的变化<sup>[10-12]</sup>。但低氧打浆是否能提升超高压处理的荔枝浆品质尚无相关报道。因此,本研究比较了低氧打浆和常规打浆对荔枝浆品质的影响,并在此基础上研究热处理和超高压处理对荔枝浆贮藏过程中品质的影响,以期为高品质荔枝浆的生产提供科学指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

荔枝 广东省品种妃子笑,由广州市从化华隆

果菜保鲜有限公司提供;平板计数培养基、孟加拉红培养基 均购于广东环凯微生物科技有限公司;乙醇、磷酸氢二铵、磷酸二氢铵、没食子酸、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、维生素E衍生物(Trolox)、福林酚(Folin-Ciocalteu) 分析纯,购于天津市科密欧化试剂有限公司;三氯乙酸 分析纯,购于福晨化学试剂有限公司;三氯化铁、无水碳酸钠 分析纯,购于广东广试试剂科技有限公司;没食子酸、没食子酸儿茶素、儿茶素、原花青素B2、香草酸、原花青素C1、槲皮素-3-O-云香糖-7-O-鼠李糖苷、阿魏酸、芦丁、原花青素A2 标准品,购于上海源业生物科技有限公司。

SHPP-57DZM-600 超高压设备 山西三水河科技股份有限公司;H-200-BIA03 榨汁机 上海韩惠人爱家电科技有限公司;YXQ-LS-50S11 立式压力蒸汽灭菌器、SPX-250B-Z 生化培养箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;SW-CJ-2FD 无菌操作台 苏净集团苏州安康空气技术有限公司;UV-1800 紫外可见分光光度计、LC-20AT 高效液相色谱 日本岛津公司;JW-1042 型离心机 安徽嘉文仪器装备有限公司;HWS-24 电热恒温水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司;UltraScan VIS 全自动色差仪 美国Hunter Lab 公司;Checkmate 9900 型顶空气体分析仪 丹麦PBI公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 荔枝浆的制备 荔枝鲜果清洗,晾干水分,手动剥皮去核后采用以下两种方式进行打浆处理:

常规打浆(conventional beating, CB):将荔枝果肉直接放入榨汁机中打浆,罐装,存于4℃,4h内进行后续处理及指标检测的前处理。

低氧打浆(low-oxygen beating, LB):自行设计的低氧打浆机工作原理如图1所示。荔枝果肉通过进料口放入打浆机中,封闭进料口,关闭氮气管阀门,出料口连接真空抽气机,打开出料口阀门后开真空抽气机抽真空,然后关闭出料口阀门,打开氮气管阀门充入氮气,关闭该阀门,继续抽真空,抽真空与充氮气重复三次,充入氮气时间为每次2min;未充氮气前,榨汁机和果汁瓶中氧气浓度为20.97%~21.00%;充入三次氮气后,榨汁机中氧气含量分别为2.39%、0.821%、0.576%,随后进行打浆处理,装瓶前事先向瓶中充入氮气,氧气浓度为1.563%。果浆装瓶后迅速密封,存于4℃,4h内进行后续处理及指标检测的前处理。

通过测定可溶性固形物、pH、总酸、色泽、总

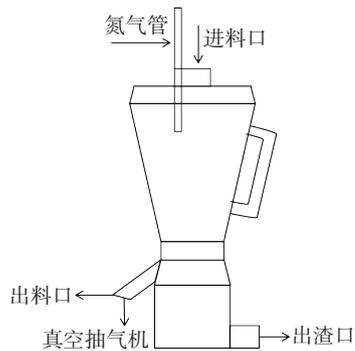


图 1 低氧打浆机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of low oxygen beater

酚、单体酚和抗氧化等指标来考察常规打浆和低氧打浆对荔枝浆品质的影响。

1.2.2 荔枝浆热处理和超高压处理 将常规打浆和低氧打浆的荔枝浆分别进行热处理和超高压处理, 得到四个组别的样品, 分别为: 常规打浆联合热处理 (conventional beating combined with heat treatment, CB+HT); 常规打浆联合超高压处理 (conventional beating combined with high hydrostatic pressure, CB+HHP); 低氧打浆联合热处理 (low-oxygen beating combined with heat treatment, LB+HT); 低氧打浆联合超高压处理 (low-oxygen beating combined with high hydrostatic pressure, LB+HHP)。其中, HHP 处理条件为 500 MPa 保压 10 min; HT 条件为 90 °C 处理 15 min。四种杀菌处理后的样品于 4 °C 冷库贮藏 28 d, 每 7 d 取样检测菌落总数、霉菌酵母、色泽、总酚、抗氧化等。

1.2.3 可溶性固形物(TSS)、pH 和总酸(TA)的测定 TSS 采用数字阿贝折射仪测定; pH 采用 pH 计直接测定; 总酸采用 GB 12456-2021 的方法测定<sup>[13]</sup>, 结果以柠檬酸计。

1.2.4 色泽测定 用 UltraScan VIS 型全自动色差仪 (反射模式) 测定荔枝浆的  $L^*$  值 (亮度)、 $a^*$  值 (红度) 和  $b^*$  值 (黄度), 并计算总色差  $\Delta E$ , 公式如式(1):

$$\Delta E = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad \text{式 (1)}$$

其中:  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$  是样品的测定值;  $a_0^*$ 、 $b_0^*$ 、 $L_0^*$  是未灭菌处理常规打浆荔枝浆的对照值。

1.2.5 总酚含量测定 总酚测定参考 Wu 等<sup>[10]</sup> 的方法, 略有改动, 具体如下: 取 5 g 荔枝浆与 10 mL 1% 的盐酸甲醇 (MeOH:HCl:H<sub>2</sub>O=80:1:19) 混合, 超声 30 min, 将混合物在 4500 r/min 下离心 5 min, 上清即为提取液。然后取适当稀释的提取液 1 mL, 加入 2 mL Folin-Ciocalteu 试剂, 振荡混合, 再加入 2 mL 10% 碳酸钠溶液, 避光放置 1 h, 测定 760 nm 处的吸光值。以没食子酸为标准品, 绘制标准曲线, 荔枝浆总酚含量以没食子酸当量 (mg GAE/kg) 表示。

1.2.6 单体酚含量测定 荔枝浆单体酚含量测定参考王丹等<sup>[14]</sup> 的方法, 并有所改动。色谱柱: WondaSil

C<sub>18</sub> 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相 A: 0.1% 甲酸, 流动相 B: 乙腈。梯度洗脱程序如下: 0~40 min, 95%~75%A; 40~45 min, 75%~65% A; 45~50 min, 65%~50% A; 50~60 min, 50%~75%A; 60~65 min, 75%~95% A; 每个样品之间平衡 5 min, 进样量 20 μL, 流速 1.0 mL/min, 检测波长 280 nm (槲皮素-3-O-芸香糖-7-O-鼠李糖苷和芦丁检测波长 350 nm), 柱温 30 °C。单体酚的含量采用外标法定量。

1.2.7 DPPH 自由基清除能力 荔枝浆 DPPH 自由基清除能力的测定参考张丽娟等<sup>[11]</sup> 的方法。取 1 mL 稀释后的样品, 加入 5 mL DPPH (130 μmol/L), 测定 517 nm 吸光值; 空白组为 1 mL 水+5 mL DPPH。测定吸光值前, 以 1 mL 样品稀释液+5 mL 乙醇调零。以 Trolox 为标准品, 测定不同质量浓度的 Trolox 对 DPPH 自由基的清除率, 以标准品浓度为横坐标, 清除率为纵坐标, 绘制标准曲线, 样品清除 DPPH 自由基能力以 Trolox 当量表示。清除率计算公式如式(2):

$$\text{清除率} = (\text{空白吸光度} - \text{样品吸光度}) / \text{空白吸光度} \quad \text{式 (2)}$$

1.2.8 铁离子还原能力 (FRAP) 参考 Wu 等<sup>[10]</sup> 的测定方法。取适当稀释后的样品 1 mL, 加入 0.2 mL 0.2 mol/L PBS (pH6.6) 和 1.5 mL 0.3% 铁氰化钾, 混匀, 50 °C 孵育 20 min 后迅速冷却并加 1 mL 10% 的三氯乙酸, 混匀后 3000 r/min 离心 10 min, 取上清液 2 mL 加入 0.5 mL 0.3% 三氯化铁溶液混匀, 再加 3 mL 纯水, 摇匀, 测定波长 700 nm 处的吸光度。以 Trolox 为标准品, 样品的铁离子还原能力用 Trolox 当量来表示。

1.2.9 菌落总数、酵母菌和霉菌的测定 菌落总数、酵母菌和霉菌均参考食品安全国家标准进行测定<sup>[15-16]</sup>。

### 1.3 数据处理

每个处理 3 个平行, 结果由平均数±标准差表示。采用 SPSS 17.0 软件的 One-way ANOVA 对数据进行显著性分析,  $P < 0.05$  表示差异显著,  $P < 0.01$  表示差异极显著; 结果以 Origin 9.0 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 低氧打浆对荔枝浆品质的影响

低氧打浆对荔枝浆品质的影响如表 1 所示, 常规打浆的荔枝浆 TSS、pH 和总酸分别为 17.67°Brix、4.85 和 3.52 g/kg, 与徐玉娟等<sup>[12]</sup> 的研究结果一致。与常规打浆相比, 低氧打浆对 TSS、pH 和总酸均无显著影响 ( $P > 0.05$ ), 但  $L^*$  值显著增大 ( $P < 0.05$ ),  $a^*$  值显著降低 ( $P < 0.05$ )。前人研究发现  $L^*$  值越小, 果汁褐变越严重<sup>[14]</sup>,  $a^*$  值越大, 荔枝浆越红, 褐变越严重, 说明低氧打浆可以有效抑制荔枝浆褐变, 更好地保持荔枝浆的色泽; 赵国建等<sup>[17]</sup> 对苹果进行液氮打浆后发现, 荔枝汁的  $L^*$  值显著提高 ( $P < 0.05$ ), 果汁褐变程度降低, 将梨和香蕉进行液氮低温排氧打浆处理后,

其  $L^*$  值均显著提高 ( $P < 0.05$ ), 褐变度降低<sup>[8-9]</sup>, 与本实验结果一致。低氧打浆与常规打浆的  $\Delta E$  值大于 2, 说明两者已具有视觉上的色泽差异。低氧打浆后, 荔枝浆总酚含量较常规打浆提高了 24.70%, 可能是因为常规打浆过程中, 果浆与氧气接触造成部分酚类物质氧化降解, 而低氧条件下酚类物质相对稳定。

表 1 低氧打浆对荔枝浆品质的影响  
Table 1 Effect of low-oxygen beating on the quality of litchi pulp

指标	CB	LB
TSS(°Brix)	17.67±0.57	17.92±0.67
pH	4.85±0.01	4.86±0.01
总酸(g/kg)	3.52±0.11	3.60±0.13
$L^*$	49.25±1.13 <sup>b</sup>	51.77±0.78 <sup>a</sup>
$a^*$	2.66±0.16 <sup>a</sup>	2.18±0.13 <sup>b</sup>
$b^*$	25.84±0.72	27.10±0.73
$\Delta E$	0	2.86
总酚(mg/kg)	444.81±13.44 <sup>b</sup>	554.69±9.36 <sup>a</sup>
没食子酸(mg/kg)	8.85±0.02 <sup>b</sup>	12.88±0.08 <sup>a</sup>
没食子酸儿茶素(mg/kg)	15.68±1.68 <sup>b</sup>	21.96±2.05 <sup>a</sup>
儿茶素(mg/kg)	7.87±1.15	7.31±0.05
原花青素B2(mg/kg)	21.43±0.68	21.52±1.78
香草酸(mg/kg)	0.24±0.01	0.25±0.01
原花青素C1(mg/kg)	6.14±0.08 <sup>b</sup>	7.59±0.27 <sup>a</sup>
槲皮素-3-O-芸香糖-7-O-鼠李糖苷(mg/kg)	238.27±3.32 <sup>b</sup>	249.28±1.54 <sup>a</sup>
阿魏酸(mg/kg)	3.42±0.15 <sup>b</sup>	5.12±0.65 <sup>a</sup>
芦丁(mg/kg)	9.08±0.15	8.86±0.16
原花青素A2(mg/kg)	47.14±0.31 <sup>b</sup>	57.57±0.03 <sup>a</sup>
DPPH(mg/100 g)	378.25±5.93	388.80±8.02
FRAP(mmol Trolox/kg)	25.71±0.60	24.83±0.57

注: 同行不同字母表示有显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 其中: CB 为常规打浆; LB 为低氧打浆。

为明确低氧打浆对荔枝浆酚类物质的影响, 采用 HPLC 法测定了荔枝浆中单体酚类物质, 从中分析出 10 种酚类化合物: 没食子酸、没食子酸儿茶素、儿茶素、原花青素 B2、香草酸、原花青素 C1、槲皮素-3-O-芸香糖-7-O-鼠李糖苷、阿魏酸、芦丁和原花青素 A2。王丹等<sup>[14]</sup> 在荔枝果汁中发现了 11 种酚类化合物, 而 Su 等<sup>[18]</sup> 发现了 9 种酚类化合物, 这一结果的差异可能是由于荔枝品种不同所致。如表 1 所示, 荔枝浆含量最高的多酚为槲皮素-3-O-芸香糖-7-O-鼠李糖苷, 其次为原花青素 A2。低氧打浆后除原花青素 B2、芦丁、儿茶素和香草酸外, 其它酚类物质含量均显著增加 ( $P < 0.05$ )。研究表明含有邻苯二酚、邻苯三酚基团的多酚容易氧化<sup>[19]</sup>, 因为这些基团氧化后能够形成稳定的自由基阴离子<sup>[20]</sup>, 其中邻苯三酚比邻苯二酚更容易发生氧化<sup>[21]</sup>, 而儿茶素、花青素类属于邻苯二酚, 没食子酸、没食子酸儿茶素均属于邻苯三酚, 低氧打浆较好地保护了这些易氧化的酚类化合物。尽管如此, 低氧打浆后荔枝浆 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力与常规打浆相比无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

## 2.2 不同打浆联合不同杀菌方式处理对荔枝浆贮藏过程中菌落总数、霉菌和酵母的影响

未杀菌荔枝浆菌落总数为  $3.44 \times 10^4$  CFU/g, 说明新鲜荔枝浆中具有较高的微生物安全风险。与之相比, 经过 HHP 和 HT 杀菌处理的荔枝浆(第 0 d) 菌落总数、酵母菌、霉菌均未检出(图 2), 表明 HHP 与 HT 处理均能有效杀灭荔枝浆中微生物。朱金艳等<sup>[22]</sup> 对蓝莓果汁进行超高压和热杀菌后, 也未检测出微生物。但随着贮藏时间的延长, 四种处理的菌落总数均呈上升趋势, 其中, 低氧打浆联合 HHP 处理的荔枝浆, 其菌落总数比常规打浆联合 HHP 处理的略高, 低氧打浆联合 HT 处理的荔枝浆, 其菌落总数比常规打浆联合 HT 的略低, 但均无显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 与热处理相比, 超高压组菌落总数增长更快, 可能是由超高压引起的亚致死微生物数量高于 HT 所致<sup>[23]</sup>。赵凤等<sup>[24]</sup> 也发现在枸杞汁中, 超高压组菌落总数增长较快, 而在刺梨汁、草莓汁中, 热处理比超高压处理细菌增长更快<sup>[25-26]</sup>, 这可能与不同种类的果汁有关。贮藏至 28 d, 四种处理的荔枝浆菌落总数均低于 100 CFU/g, 未检测到霉菌和酵母, 符合国家标准对果蔬汁浆中的微生物安全限量(100 CFU/g), 说明荔枝浆在 500 MPa/10 min 的杀菌能力与 90 °C/15 min 的热处理杀菌能力相当。

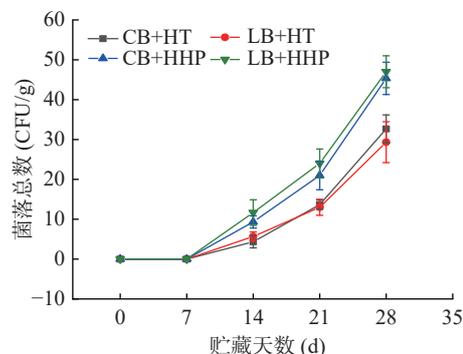


图 2 不同打浆联合不同杀菌方式处理的荔枝浆贮藏过程中菌落总数的变化

Fig.2 Changes of total plate count in litchi pulp treated by different beating combined with different sterilization during storage

## 2.3 不同打浆联合不同杀菌方式处理对荔枝浆贮藏过程中色泽的影响

色泽是评价产品质量的重要指标, 从图 3 可以看出, 贮藏第 0 d, 荔枝经低氧打浆后再进行超高压和热处理, 其  $L^*$  值高于常规打浆后进行同等杀菌处理的荔枝浆,  $a^*$  值则相反, 表明低氧打浆后进行不同的杀菌处理, 均能更好地保护果浆的色泽, 其中超高压处理优于热处理。随着贮藏时间的延长, 不同处理组  $L^*$  值均呈下降趋势,  $a^*$  值均呈上升趋势, 表明随着贮藏时间的延长, 荔枝浆亮度降低, 色泽逐渐变红, 其中 LB+HHP 组  $L^*$  值始终最大。当贮藏时间达到 14 d 时, CB+HHP 组  $a^*$  值上升幅度骤然增大, 红色加深,

褐变较为明显; 而 LB+HHP 组  $a^*$  值呈缓慢上升趋势, 可能是 HHP 处理对荔枝浆多酚氧化酶和过氧化物酶等钝化效果有限, 使得贮藏过程中发生酶促反应, 导致褐变产生<sup>[24]</sup>, 而低氧打浆处理减少了荔枝浆与氧气的接触, 同时也减缓了酶促褐变。与常规打浆相比, 低氧打浆对热处理荔枝汁贮藏过程中  $a^*$  值影响不大。研究显示, 采用液氮打浆能显著提高梨和香蕉浆的亮度, 抑制打浆过程中的褐变<sup>[8-9]</sup>; 采用真空脱气的方式降低橙汁中溶解氧的含量, 有利于橙汁色泽的稳定, 减少褐变<sup>[7]</sup>; 相较于热处理, 超高压能更好地保持刺梨汁和复合果蔬汁原有的色泽<sup>[25, 27]</sup>, 这些研究与本实验结果一致。

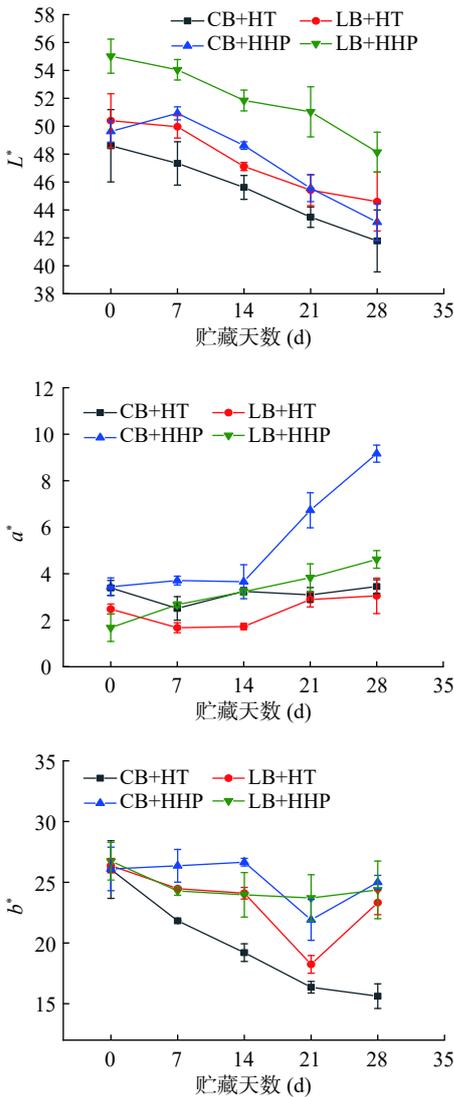


图 3 不同打浆联合不同杀菌方式处理的荔枝浆贮藏过程中色泽的变化

Fig.3 Changes of color in litchi pulp treated by different beating combined with different sterilization during storage

### 2.4 不同打浆联合不同杀菌方式处理对荔枝浆贮藏过程中总酚含量的影响

从图 4 可以看出, 在贮藏初始阶段, 荔枝经低氧打浆后再进行超高压和热处理, 其总酚含量高于常规

打浆后的进行同等杀菌处理的荔枝浆, 表明低氧打浆后进行不同的杀菌处理均能更好地保留果浆中的酚类物质, 其中超高压处理优于热处理, 这一结果与徐玉娟等<sup>[12]</sup> 研究结果相类似, 黄易安<sup>[28]</sup> 也发现在苹果汁中热处理对多酚的影响大于超高压处理, 这是由于酚类物质具有热不稳定性, 受热会使部分酚类物质降解, 而 HHP 不会破坏共价键, 因此 HHP 处理组总酚含量更高<sup>[29]</sup>。不同打浆方式联合不同杀菌方式处理的荔枝浆总酚含量在贮藏过程中均呈下降趋势(图 4), 枸杞汁、荔枝汁总酚在贮藏期间均呈下降趋势<sup>[14, 24]</sup>, 与本文研究结果一致。与贮藏 0 d 相比, 贮藏 28 d 时, CB+HT、LB+HT、CB+HHP、LB+HHP 组的总酚含量分别下降了 31.86%、37.79%、28.68%、33.55%, 杀菌方式相同时, 低氧打浆的荔枝浆贮藏过程中总酚含量降幅高于常规打浆, 尽管如此, 在贮藏末期, 其总酚含量仍高于常规打浆组, 且 LB+HHP 组总酚含量最高, 其原因可能是贮藏期间, 低氧打浆的荔枝浆中的溶解氧形成氧自由基, 氧化部分不稳定的酚类物质, 使其降解, 而常规打浆组这些酚类物质在贮藏初始阶段已发生氧化降解, 所以贮藏期间下降较为缓慢。不同处理的荔枝浆在贮藏过程中酚类化合物及降解产物的变化与总酚之间的关系还有待进一步探讨。

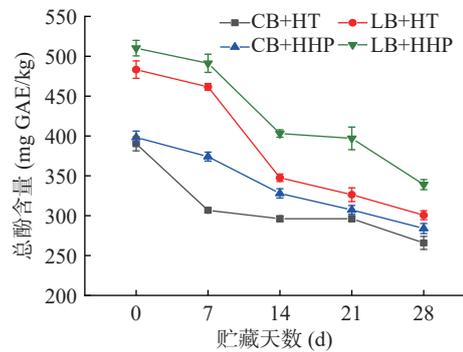


图 4 不同打浆联合不同杀菌方式处理的荔枝浆贮藏过程中总酚含量的变化

Fig.4 Changes of total phenolic content in litchi pulp treated by different beating combined with different sterilization during storage

### 2.5 不同打浆联合不同杀菌方式处理对荔枝浆贮藏过程中抗氧化活性的影响

由于不同抗氧化能力的测定方法, 其反应特性和机制有所差异, 为较为准确地评价食物的抗氧化能力, 通常使用两种及两种以上方法<sup>[30]</sup>, 本研究选用 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力(FRAP)两种方法来评价低氧打浆对不同杀菌方式处理荔枝浆贮藏过程中抗氧化活性的影响。结果表明, 贮藏第 0 d, LB+HHP 组 DPPH 自由基清除能力和 FRAP 最高, 其次为 LB+HT 组(图 5), 说明相对于常规打浆后进行杀菌处理, 低氧打浆后再杀菌处理能更好地保持荔枝浆的抗氧化活性, 这可能与低氧打浆对荔枝浆总酚保留率更高有关。在贮藏期间四种处理的荔枝浆抗

氧化活性均呈现下降趋势,与总酚含量变化一致,刺梨汁、黄皮原浆贮藏期间抗氧化活性也表现出下降趋势<sup>[11, 25]</sup>。在整个贮藏期间, LB+HHP 组 DPPH 自由基清除能力下降幅度高于 CB+HHP 组, LB+HT 组下降幅度高于 CB+HT; 采用 FRAP 评价各组抗氧化能力的变化, 发现不同组别 FRAP 降幅接近; 由此可见, 低氧打浆后进行不同的杀菌方式处理, 其 DPPH 自由基清除能力下降较快, 尽管如此, 贮藏至 28 d, 低氧打浆联合超高压杀菌组抗氧化能力仍然最高, 对荔枝浆抗氧化活性的保留效果最佳。

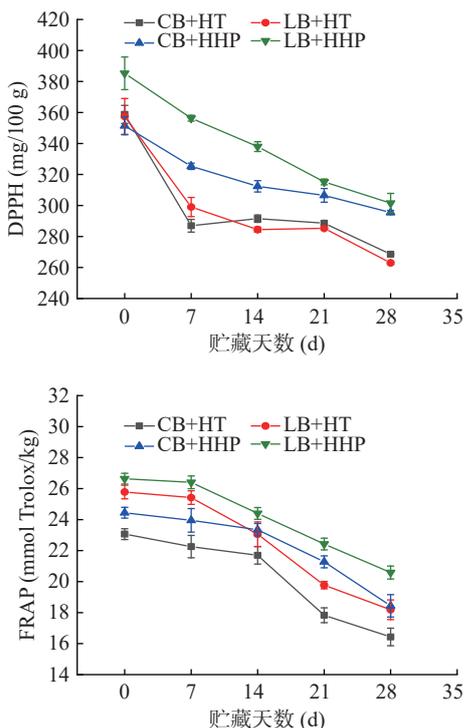


图 5 不同打浆联合不同杀菌方式处理的荔枝浆贮藏过程中抗氧化活性的变化

Fig.5 Changes of antioxidant activity in litchi pulp treated by different beating combined with different sterilization during storage

### 2.6 相关性分析

为了明确总酚含量与荔枝浆抗氧化活性之间的关系, 本研究进行了 Pearson 相关性分析, 结果见表 2, 贮藏期间四种处理的荔枝浆总酚含量与 DPPH 自由基清除能力、FRAP 均呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 这

表 2 不同打浆联合不同杀菌方式处理的荔枝浆贮藏过程中总酚含量与抗氧化活性 Pearson 相关性分析

Table 2 Analysis of Pearson correlation between total phenolic content and antioxidant activity in litchi fruit pulp treated by different beating combined with different sterilization during storage

抗氧化活性	总酚			
	CB+HT	LB+HT	CB+HHP	LB+HHP
DPPH	0.974**	0.848**	0.940**	0.755**
FRAP	0.792**	0.751**	0.796**	0.802**

注: \*\*表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

与曾庆帅等<sup>[31]</sup>的研究结果一致; Xu 等<sup>[32]</sup>发现柑橘果汁的总酚含量与其 FRAP 存在显著相关性; Zhao 等<sup>[33]</sup>也发现超高压和热处理的苹果汁在贮藏期间的抗氧化活性与总酚及抗坏血酸的含量呈显著正相关; 本研究表明荔枝浆中酚类物质是其抗氧化能力的重要物质基础之一, 对果浆贮藏期间的抗氧化活性具有重要贡献。

### 3 结论

本研究首先对比了常规打浆和低氧打浆对荔枝浆品质的影响, 发现与常规打浆相比, 低氧打浆的荔枝浆 TSS、pH 和总酸无显著变化 ( $P > 0.05$ ),  $L^*$  值提高了 5.12%,  $a^*$  值降低了 18.05%, 总酚含量提高了 24.70%, 单体酚除了原花青素 B2、芦丁、儿茶素和香草酸外均显著增加 ( $P < 0.05$ ), 说明低氧打浆能更好地保护荔枝浆的色泽和酚类物质。其次, 比较了不同打浆方式对超高压和热杀菌荔枝浆贮藏过程中品质变化的影响, 发现低氧打浆联合 HHP 处理的荔枝浆, 其菌落总数比常规打浆联合 HHP 处理的略高, 低氧打浆联合 HT 处理的荔枝浆, 其菌落总数比常规打浆联合 HT 的略低, 但均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。贮藏第 0 d, 荔枝低氧打浆后进行不同的杀菌处理, 均能更好地保护果浆的色泽、总酚和抗氧化能力, 其中超高压处理优于热处理; 随着贮藏时间的延长, 不同处理组荔枝浆亮度降低, 色泽逐渐变红, 总酚含量下降, 杀菌方式相同时, 低氧打浆的荔枝浆贮藏过程中总酚含量及 DPPH 自由基清除能力降幅高于常规打浆, 尽管如此, 在贮藏末期, 低氧打浆联合超高压杀菌组亮度、总酚含量和抗氧化能力仍最高。

### 参考文献

[1] 徐晨, 罗思玲, 张琰, 等. 荔枝果实的营养成分, 生物活性及其综合利用研究进展[J]. 果树学报, 2021, 38(11): 1995-2005. [XU C, LUO S L, ZHANG Y, et al. Advances in research on nutrient components, biological activity and comprehensive utilization of litchi fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11): 1995-2005.]

[2] 周秋艳, 唐方华, 饶日昌, 等. 荔枝及荔枝多酚物质的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(29): 77-79, 130. [ZHOU Q Y, TANG F H, RAO R C, et al. Research advance of litchi and litchi polyphenols[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2017, 45(29): 77-79, 130.]

[3] XIAO J, ZHANG R F, ZHOU Q Y, et al. Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pulp phenolic extract provides protection against alcoholic liver injury in mice by alleviating intestinal microbiota dysbiosis, intestinal barrier dysfunction and liver inflammation[J]. Animals, 2017, 65(44): 9675-9684.

[4] 郭靖, 陈于陇, 王萍, 等. 不同调湿包装对荔枝贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(6): 169-175. [GUO J, CHEN Y L, WANG P, et al. The effect of different packaging methodology on litchi quality during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(6): 169-175.]

[5] AN K J, LIU H C, FU M Q, et al. Identification of the cooked off-flavor in heat-sterilized lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) juice by

- means of molecular sensory science[J]. *Food Chemistry*, 2019, 301: 125282.
- [6] 吴敏,胡卓炎.贮藏过程中溶解氧对荔枝汁非酶褐变的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(12): 145-154. [WU M, HU Z Y. Effects of dissolved oxygen on non-enzymatic browning of litchi juice during the storage[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(12): 145-154.]
- [7] 蔡德萍. NFC 橙汁加工贮藏过程中溶解氧对其品质的影响[D]. 重庆:西南大学, 2020. [CAI D P. Effect of dissolved oxygen on the quality of NFC orange juice during processing and storage[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.]
- [8] 姜龙波,温升南,李燕杰,等.梨的液氮排氧打浆防褐变研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(24): 448-451. [JIANG L B, WEN S N, LI Y J, et al. Study on browning inhibition of pear juice by liquid nitrogen injection[J]. *Food Science*, 2009, 30(24): 448-451.]
- [9] 杜冰,梁淑如,程燕锋,等.香蕉液氮低温排氧打浆技术研究[J]. *中国食品学报*, 2009, 9(2): 122-125. [DU B, LIANG S R, CHENG Y F, et al. Study on the banana pulping technique with liquid nitrogen injection to exclude oxygen and reduce temperature[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2009, 9(2): 122-125.]
- [10] WU W, XIAO G, YU Y, et al. Effects of high pressure and thermal processing on quality properties and volatile compounds of pineapple fruit juice[J]. *Food Control*, 2021, 130(9): 108293.
- [11] 张丽娟,邹波,肖更生,等.黄皮原浆超高压和热杀菌的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(9): 200-206. [ZHANG L J, ZOU B, XIAO G S, et al. Comparative analysis of ultra-high hydrostatic pressure and thermal sterilization of *Wampee* puree[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(9): 200-206.]
- [12] 徐玉娟,温靖,肖更生,等.超高压和热处理对荔枝汁品质的影响研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(31): 11078-11082. [XU Y J, WEN J, XIAO G S, et al. Effect of thermal and ultra high pressure treatment on quality characteristics of litchi juice[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2014, 42(31): 11078-11082.]
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB 12456-2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2021. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 12456-2021 National standards for food safety Determination of total acid in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.]
- [14] 王丹,王智能,董丽红,等.灭菌和贮藏温度对荔枝汁中多酚化合物组成,含量及其抗氧化活性的影[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 275-280. [WANG D, WANG Z N, DONG L H, et al. Effects of sterilization and storage temperature on the composition, content and antioxidant activity of polyphenol compounds in lychee juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(11): 275-280.]
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB 4789.2-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 4789.2-2016 National standards for food safety, Food microbiological inspection, determination of total number of colonies[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.15-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验霉菌和酵母计数[S]. 北京:中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 4789.15-2016 National standards for food safety, Food microbiological inspection, mold and yeast counts[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [17] 赵国建,杨公明.苹果液氮降温排氧打浆技术研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 228-232. [ZHAO G J, YANG G M. Apple grinding technology with liquid nitrogen injection to exclude oxygen and lower temperature[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(6): 228-232.]
- [18] SU D X, WANG Z N, DONG L H, et al. Impact of thermal processing and storage temperature on the phenolic profile and antioxidant activity of different varieties of lychee juice[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 116: 108578.
- [19] MA L, WATERHOUSE A L. Flavanols react preferentially with quinones through an electron transfer reaction, stimulating rather than preventing wine browning[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2018, 1039: 162-171.
- [20] WATERHOUSE A L, LAURIE V F. Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2006, 57(3): 306-313.
- [21] MOCHIZUKI M, YAMAZAKI S, KANO K, et al. Kinetic analysis and mechanistic aspects of autoxidation of catechins[J]. *Biochimica Et Biophysica Acta-General Subjects*, 2002, 1569(1-3): 35-44.
- [22] 朱金艳,赵雪梅,王殿夫,等.超高压和热杀菌的蓝莓果汁饮料贮藏期品质的变化及货架期预测模型[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 320-327. [ZHU J Y, ZHAO X M, WANG D F, et al. Storage quality changes and shelf life predictive modeling of blueberry juice treated by ultra-high pressure and thermal sterilization[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(20): 320-327.]
- [23] JORDAN S L, PASCUAL C, BRACEY E, et al. Inactivation and injury of pressure-resistant strains of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in fruit juices[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 91(3): 463-469.
- [24] 赵凤,梅潇,张焱,等.超高压和热杀菌对枸杞汁品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(3): 169-178. [ZHAO F, MEI X, ZHANG Y, et al. Effect of high hydrostatic pressure and heat sterilization on the quality of *Lycium barbarum* juice[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(3): 169-178.]
- [25] 李靖,王嘉祥,陈欢,等.超高压与热杀菌对刺梨汁贮藏期品质影响的比较[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 101-108. [LI J, WANG J X, CHEN H, et al. Comparison of the effects of ultra-high pressure and thermal processing on quality changes of *Rosa roxburghii* juice during storage[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 101-108.]

- [26] 柳青, 赵晓燕, 张超, 等. 超高压处理对草莓汁贮藏期微生物及品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(11): 111-117. [LIU Q, ZHAO X Y, ZHANG C, et al. Effect of high hydrostatic pressure processing on microorganism and qualities of strawberry juice during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(11): 111-117.]
- [27] 赵晓丹, 刘夏衍, 陈芳, 等. 超高压和高温短时杀菌对绿色复合果蔬汁的杀菌效果与品质影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 114-123. [ZHAO X D, LIU X Y, CHEN F, et al. Effect of high hydrostatic pressure and high temperature short time treatment on the microbial and quality characteristics of green compound fruit and vegetable juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 114-123.]
- [28] 黄易安. 不同杀菌处理方式对苹果果汁饮料品质的影响研究[J]. 食品安全导刊, 2021(12): 143-144. [HUANG Y A. Study on the effect of different sterilization treatments on the quality of apple juice beverage[J]. China Food Safety Magazine, 2021(12): 143-144.]
- [29] 邓红, 马婧, 李涵, 等. 超高压杀菌处理冷破碎猕猴桃果浆贮藏期的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 123-129, 135. [DENG H, MA J, LI H, et al. Quality changes in cold crushed kiwi fruit pulp treated with ultra-high pressure sterilization during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(8): 123-129, 135.]
- [30] HUANG D, XIN B, et al. The chemistry behind antioxidant capacity assays[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2005, 53: 1841-1856.
- [31] 曾庆帅, 廖森泰, 张名位, 等. 储藏温度对荔枝果汁中酚类物质含量及抗氧化能力的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 112-118. [ZENG Q S, LIAO S T, ZHANG M W, et al. Effect of storage temperature on phenolics and antioxidant activity of litchi juice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(3): 112-118.]
- [32] XU G, LIU D, CHEN J, et al. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China[J]. Food Chemistry, 2008, 106(2): 545-551.
- [33] ZHAO L, WANG Y, QIU D, et al. Effect of ultrafiltration combined with high-pressure processing on safety and quality features of fresh apple juice[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(11): 3246-3258.