

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响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 275–280. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070215

WANG Dan, WANG Zhineng, DONG Lihong, et al. Effect 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. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070215

· 贮运保鲜 ·

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响

王 丹¹, 王智能^{1,2}, 董丽红², 舒 彬^{1,2}, 王俊敏^{1,2}, 苏东晓³, 吴光旭^{1,4,*}

(1. 长江大学生命科学学院, 湖北荆州 434020;

2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510610;

3. 广州大学化学化工学院, 广东广州 510610;

4. 长江大学荆楚特色食品研发中心, 湖北荆州 434000)

摘 要: 以俊红荔枝汁为研究对象, 探究不同的灭菌方式 (70 ℃ 和 121 ℃) 和不同的贮藏温度 (4 ℃ 和 45 ℃) 对荔枝汁中酚类物质释放的影响。主要测定其酚类物质含量、抗氧化活性和酚类物质组成的变化。结果表明, 121 ℃ 高温灭菌荔枝汁中的酚类物质含量和抗氧化活性显著高于荔枝原汁和 70 ℃ 巴氏杀菌荔枝汁 ($P < 0.05$)。贮藏时间为 0 h 时, 高温灭菌荔枝汁的氧化自由基吸收能力 (Oxygen Radical Absorbance Capacity, ORAC) 与荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁相比分别增加了 40.24% 和 39.00%。且在高温灭菌荔枝汁中没食子酸含量显著增加 ($P < 0.05$), 没食子儿茶素大量生成, 其中没食子儿茶素的含量约占 121 ℃ 热处理荔枝汁中酚类化合物的 91.74%。4 ℃ 和 45 ℃ 贮藏条件对于荔枝汁中酚类化合物含量的变化有显著影响, 其中荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁在 45 ℃ 贮藏条件下, 酚类物质含量显著增加 ($P < 0.05$), 而高温灭菌荔枝汁中酚类物质含量则显著降低 ($P < 0.05$)。综上, 热处理和高温贮藏对荔枝汁中酚类化合物含量的变化具有显著影响, 热处理能够促进荔枝汁中酚类物质的释放进而提高其抗氧化活性。

关键词: 荔枝, 多酚, 抗氧化能力, 热处理, 贮藏

中图分类号: S59

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)11-0275-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070215

Effect of Sterilization and Storage Temperature on the Composition, Content and Antioxidant Activity of Polyphenol Compounds in Lychee Juice

WANG Dan¹, WANG Zhineng^{1,2}, DONG Lihong², SHU Bin^{1,2}, WANG Junmin^{1,2},
SU Dongxiao³, WU Guangxu^{1,4,*}

(1. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434020, China;

2. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China;

3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510610, China;

4. Research and Development Center for Special Food of Jingchu, Yangtze University, Jingzhou 434000, China)

Abstract: With Junhong lychee juice as the research object the effects of different sterilization methods (70 ℃ and 121 ℃) and different storage temperatures (4 ℃ and 45 ℃) on the release of phenolic substances in lychee juice were explored. The changes of phenolic contents, antioxidant activity and composition of phenolic were mainly determined. The results showed

收稿日期: 2020-07-20

基金项目: 国家自然科学基金 (31601469); 长江大学荆楚特色食品研发中心基金 (JSF201801)。

作者简介: 王丹 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品营养及生物活性的研究, E-mail: wangdancyl@163.com。

* 通信作者: 吴光旭 (1961-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与植物活性物质, E-mail: wuguxu@yangtzeu.edu.cn。

that after high temperature sterilization of lychee juice at 121 °C, its phenolic content and antioxidant activity of the lychee juice increased significantly compared with untreated lychee juice and 70 °C pasteurized lychee juice ($P<0.05$). At the storage time of 0 h, the amount of oxidative Absorbance Capacity (ORAC) of high temperature sterilized lychee juice increased by 40.24% and 39.00%, respectively, compared with the untreated lychee juice and pasteurized lychee juice. The gallic acid content in high temperature sterilized lychee juice was increased ($P<0.05$) and (-)-galocatechin was generated. (-)-Galocatechin accounted for 91.74% of the total phenolic compounds in 121 °C high-temperature sterilized lychee juice. 4 °C and 45 °C storage temperature had significantly influence on the phenolic compound content in lychee juice. Untreated lychee juice and pasteurized lychee juice increased significantly in phenolic substances at 45 °C ($P<0.05$), while high-temperature sterilized lychee juice decreased significantly ($P<0.05$). In summary, heat treatment have a significant effect on the change of phenolic compound content in lychee juice, which can promote the release of phenolic substances and improve lychee juice antioxidant activity.

Key words: lychee; phenolic; antioxidant activity; thermal processing; storage

荔枝是一种热带及亚热带水果,在世界各地都有栽培,特别是在中国、越南、泰国、美国等国种植较多,是世界上许多国家的经济作物^[1-2]。已有研究表明荔枝果肉中含有大量的酚类化合物,其中原花青素、没食子儿茶素、表儿茶素含量分别高达 89.32、87.09 和 31.15 mg/g^[3]。酚类化合物是植物的次生代谢产物^[4-5],槲皮素-3-O-云香糖-7-O-鼠李糖苷、表儿茶素和芦丁是荔枝果肉中的主要酚类化合物^[6-8]。除此之外,酚类物质也是最活跃的抗氧化衍生物,这不仅是它们具有提供氢或电子的能力,还因为它们具有稳定的自由基中间体^[9]。荔枝果肉中的酚类化合物具有抗氧化、抗炎和降血脂的作用^[10-11]。

荔枝果实是在六月至八月的炎热雨季采摘的,不耐贮藏,易受微生物的影响而腐烂^[12],荔枝果肉可制成荔枝汁,不仅保留荔枝原有香味,而且保质期长,具有市场潜力。热处理在食品工业中得到了广泛的应用,其在酶的灭活和防止微生物繁殖变质方面具有很好的效果^[13-14]。经过热处理的水果和蔬菜由于热处理过程中的各种化学变化,其生物活性显著提高,Alongi 等^[15]报道了生苹果汁经巴氏杀菌后,总酚浓度从 5.33 mg/L 增加到 32.66 mg/L,邓俊琳等^[16]研究表明,与冷冻干燥相比,热风干燥处理的余甘子样品多酚化合物含量和总多酚含量更高,抗氧化活性更强。荔枝汁经不同灭菌方式(70 °C 巴氏杀菌或 121 °C 高温灭菌)和不同温度贮藏(4 °C 或 45 °C)后,其酚类特性和抗氧化活性的变化鲜见报道。

本研究的目的是探究不同热处理温度和不同贮藏温度对荔枝汁中酚类物质含量和组成及抗氧化活性的影响,并为荔枝汁加工工艺提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

本研究所用荔枝品种为俊红 2018 年 7 月从广州天平架水果批发市场采购所得;没食子酸、没食子儿茶素、香草酸、咖啡酸、表儿茶素、丁香酸、阿魏酸、芦丁 上海源业生物科技有限公司;槲皮素-3-O-云香糖-7-O-鼠李糖苷 实验室自制^[6];铁离子抗氧化能力(Ferric Reducing Ability of Plasma, FRAP)试

剂盒 南京建城生物工程研究所;福林酚试剂、荧光素二钠盐(FL)、2,2-偶氮二(2-甲基丙基咪)二盐酸盐(AAPH) 美国 Sigma-Aldrich 公司;乙酸、乙腈 色谱纯,中国赛默飞世尔公司。

TD6 型冷冻离心机 长沙湘智离心机仪器有限公司;UV-2450 型紫外可见分光光度计 日本岛津公司;HPLC-1260 型高效液相色谱仪 美国 Agilent 公司;LS-75HD 型立式电热压力蒸汽灭菌锅 上海申安医疗器械厂;X5 型水浴锅 瑞士 SaLvis 公司;Infinite M200pro 型酶标仪 奥地利 TECAN 公司;Ultra Scan VIS 型色度仪 美国 Hunter Lab 公司;gzx-9420 MBE 型恒温电热空气干燥器 中国上海 Boxun 工业有限公司;DW-86L486 超低温冰箱 中国海尔公司。

1.2 实验方法

1.2.1 俊红荔枝汁的制备 新鲜荔枝用自来水冲洗,手动去皮和去核,将果肉进行榨汁处理。以 4000 r/min 离心 5 min,取上清液得到荔枝汁样品。每 30 mL 荔枝汁置于玻璃容器中,分别做如下处理:荔枝原汁作为对照,70 °C 巴氏杀菌即 70 °C 热水浴 30 min,121 °C 高温灭菌为在 121 °C 蒸汽灭菌锅中热处理 30 min。然后,将荔枝汁分为两组:一组在低温(4 °C)下冷藏 0、24、72、120 和 168 h,另一组,按 Rao 等^[17]所报道的加速贮藏,在 45 °C 条件下储存 0、6、24、48 和 72 h。所有试验样品在指定时间内取出并分装储存于-80 °C 冰箱中进行下一步分析。

1.2.2 总酚和总黄酮含量的测定 总酚和总黄酮含量测定的方法参照 Su 等^[18]的方法。总酚和总黄酮含量分别以没食子酸和芦丁作为标准,以每百毫升荔枝汁中没食子酸和芦丁含量当量表示。总酚标准曲线回归方程为 $y=0.0017x+0.0249$,决定系数 $R^2=0.9996$,总酚含量在 40~400 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好。总黄酮标准曲线回归方程为 $y=0.0011x-0.0007$,决定系数 $R^2=0.9997$,总黄酮含量在 50~500 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好。

1.2.3 FRAP 抗氧化能力的测定 FRAP 抗氧化能力的测试依据试剂盒上的操作说明进行,以硫酸亚铁

作为标品绘制标准曲线,计算各样品的 FRAP 抗氧化能力值。得到线性回归方程: $y=0.255x-0.0083$, 决定系数 $R^2=0.9999$, 当 FeSO_4 在所用体系中浓度为 $0.15\sim 1.5\ \mu\text{mol/L}$ 时, 与其线性关系良好。

1.2.4 ORAC 抗氧化能力的测定 ORAC 抗氧化能力的测定参考 Su 等^[6] 报道, 并稍作修改。荔枝汁用 $75\ \text{mmol/L}$ 磷酸缓冲液 ($\text{pH}=7.4$) 稀释备用, 黑色 96 孔板的每个孔中加 $20\ \mu\text{L}$ 荔枝汁或 Trolox 标准溶液 ($6.25\sim 50\ \mu\text{L}$) 或标品对照 (标品对照为 $0.11\ \text{mg/mL}$ 没食子酸)。将 96 孔板置于酶标仪上孵育 $10\ \text{min}$ 后加入 $200\ \mu\text{L}$ 荧光素, 再孵育 $20\ \text{min}$ 。然后加入 $20\ \mu\text{L}$ AAPH 溶液 ($119\ \text{mmol/L}$)。荧光测定条件如下: 激发波长 $485\ \text{nm}$, 发射波长 $538\ \text{nm}$, 连续测定各孔的荧光强度监测荧光衰退情况, 每 $4.5\ \text{min}$ 重复一次, 测定 35 个循环。ORAC 抗氧化能力值以每百毫升中所含 Trolox 当量表示。

1.2.5 荔枝汁中单体酚类物质含量及组成的测定 根据 Zhang^[19] 的方法稍作修改, 采用反相高效液相色谱法对荔枝汁中的酚类化合物进行鉴定。采用 YMC-Pack ODS-A 柱 ($250\ \text{mm}\times 4.6\ \text{mm}$, $5\ \mu\text{m}$); 柱温 $30\ ^\circ\text{C}$; 进样量 $20\ \mu\text{L}$; DAD 检测器; 流动相流速 $1.0\ \text{mL/min}$ 下进行高效液相色谱分析。流动相为溶剂 A (水/乙酸, $996:4$) 和溶剂 B (乙腈)。以下为洗脱梯度: $0\sim 40\ \text{min}$ 溶剂 B: $5\%\sim 25\%$; $40\sim 45\ \text{min}$ 溶剂 B: $25\%\sim 35\%$; $45\sim 50\ \text{min}$ 溶剂 B: $35\%\sim 55\%$; 总运行 $50\ \text{min}$, 平衡 $5\ \text{min}$ 。

1.3 统计分析

所有试验均平行测定 3 次, 结果以平均值 $\pm$ 标准差 ($M\pm SD$) 表示。采用 SPSS 19 软件进行单因素方差分析, 并以 SNK 检验比较各组间显著性差异, 显著性水平 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 热处理和贮藏温度对荔枝汁总酚含量的影响

俊红荔枝汁在灭菌处理和贮藏条件下, 其总酚含量的变化如图 1 所示。在 $0\ \text{h}$, 巴氏杀菌和高温灭菌荔枝汁与荔枝原汁相比, 其总酚含量分别增加了 5.32% 和 62.02% 。高温灭菌荔枝汁的总酚含量与巴氏杀菌的相比增加了 53.84% 。Alongi 等^[15] 报道, 苹果汁经 $90\ ^\circ\text{C}$ 处理 $14.8\ \text{min}$ 后, 总酚含量提高到原苹果汁的 6 倍。总酚含量的增加可能是由于热处理使多酚氧化酶失活以及不耐热化合物的热诱导水解释放单体和二聚体, 酶催化活性被破坏, 酚类化合物无法聚合, 阻止了酚类化合物参与褐变反应^[15,19]; 另一方面高温促进植物组织细胞破碎和共价键的断裂, 促进更多酚类物质的释放^[16]。因此, 热处理能促进荔枝汁中酚类物质的释放, 且其释放量随热处理温度的升高而增加。荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁在 $4\ ^\circ\text{C}$ 条件下贮藏 $168\ \text{h}$ 后, 其总酚含量显著降低 ($P<0.05$), 与徐涓等^[20] 研究报道未处理的余甘子果汁和经高温

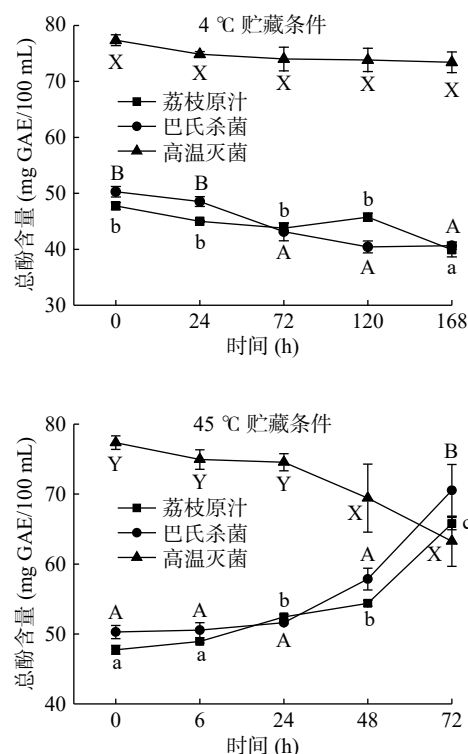


图 1 不同热处理温度 and 不同贮藏温度对荔枝汁总酚含量的影响

Fig.1 Effects of different heat treatments and different storage temperatures on the total phenolic content of lychee juice

处理的余甘子果汁在 $4\ ^\circ\text{C}$ 条件下贮藏 $7\ \text{d}$, 总酚含量均显著降低结果一致, 酚类物质质量浓度减少可能是其氧化聚合和多酚氧化酶的酶促反应导致; 而在 $45\ ^\circ\text{C}$ 条件下贮藏 $72\ \text{h}$ 后, 其总酚含量与它们 $0\ \text{h}$ 的总酚含量相比分别增加了 37.79% 和 40.27% , 这种差异主要是由于没食子酸含量的增加^[18]。高温灭菌荔枝汁中总酚含量的变化与它们不同, $4\ ^\circ\text{C}$ 贮藏期间其总酚含量未见显著降低 ($P>0.05$), 这是因为高温蒸汽处理可钝化多酚氧化酶, 从而抑制多酚化合物的氧化^[20]; 而 $45\ ^\circ\text{C}$ 贮藏条件下其总酚含量显著降低 ($P<0.05$), 与高温灭菌 $0\ \text{h}$ 相比降低了 18.23% , 这与曾庆帅^[21] 的研究结果一致; 高温灭菌荔枝汁 $45\ ^\circ\text{C}$ 贮藏条件下其总酚含量降低的原因可能为, 高温贮藏过程中, 食物基质中发生多种化学反应, 而酚类化合物的降解与化学反应的类型有关^[22]。因此, $4\ ^\circ\text{C}$ 和 $45\ ^\circ\text{C}$ 贮藏温度对于荔枝汁中总酚含量的变化具有显著影响 ($P<0.05$)。

2.2 热处理和贮藏温度对荔枝汁总黄酮含量的影响

在热处理过程中, 俊红荔枝汁中总黄酮含量的变化与其总酚含量的变化相一致 (图 2)。经 $121\ ^\circ\text{C}$ 高温灭菌后立即测定其总黄酮含量, 并与 $0\ \text{h}$ 的荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁相比, 分别增加了 17.36% 和 16.86% 。研究表明, 在 $90\ ^\circ\text{C}$ 热处理后, 果汁-大豆饮料的总黄酮含量增加了 61.54% ^[22], 热处理对酚酸和黄酮物质的释放具有促进作用。但在 $4\ ^\circ\text{C}$ 和 $45\ ^\circ\text{C}$ 贮藏期间, 荔枝汁中总黄酮含量的变化与其总酚含量

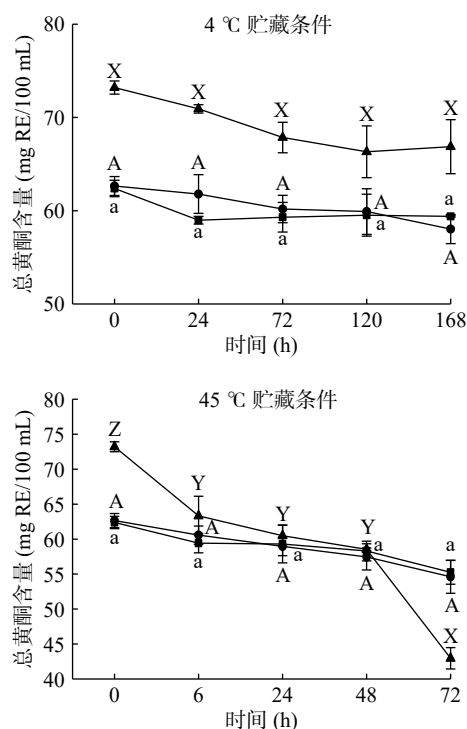


图2 不同温度热处理和不同贮藏温度对荔枝汁总黄酮含量的影响

Fig.2 Effects of different heat treatments and different storage temperatures on the total flavonoid content of lychee juice

的变化不一致。荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁中的总黄酮含量在 4 °C 和 45 °C 贮藏期间均未显著降低 ($P>0.05$)。与 Dos 等^[23]报道,新鲜橙汁经 88 °C 热处理后,8 °C 贮藏 15 d 后,其总黄酮含量未见显著下降结果一致。而高温灭菌荔枝汁中的总黄酮含量在 45 °C 贮藏期间,随贮藏时间的延长而显著降低 ($P<0.05$),72 h 后降为最低值 42.96 mg RE/100 mL,与高温灭菌 0 h 相比降低了 41.32%。研究表明长时间加热可使黄酮含量降低,损失程度取决于化合物的化学结构和孵育时间^[24]。该条件下黄酮含量降低原因可能是由于荔枝汁经高温灭菌处理后生成的黄酮类物质,在 45 °C 高温贮藏条件下不能稳定存在,该物质易发生降解。因此,结果表明,45 °C 高温贮藏条件对于荔枝汁中总黄酮含量的变化具有显著影响 ($P<0.05$),俊红荔枝汁中的总黄酮含量在 4 °C 低温贮藏条件下能稳定存在,不易降解。

2.3 热处理和贮藏温度对荔枝汁中总抗氧化能力的影响

用 FRAP 法测定了俊红荔枝汁的抗氧化活性(图 3),结果表明俊红荔枝汁经 121 °C 高温灭菌后其 FRAP 抗氧化能力与 0 h 的荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁相比显著增强 ($P<0.05$),其结果与总酚含量测定的结果相一致,这是由于,热处理可能破坏细胞壁,从荔枝汁中不溶性部分释放抗氧化化合物或者释放了结合态酚,可能是加热改变了与酚相结合的蛋白质,导致酚含量的增加,或加热水解单宁分解为小分子的酚,这些反应产物具有不同抗氧化能力^[25]。在

4 °C 贮藏 168 h 后,荔枝原汁、巴氏杀菌和高温灭菌荔枝汁中的 FRAP 抗氧化能力与 0 h 的荔枝汁相比均降低,这与何礼等^[26]研究结果有差异,可能是因为贮藏时间以及原料品种不同,在何礼等的研究中 FRAP 抗氧化能力随贮藏时间延长波动较大。荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁在 45 °C 条件下贮藏 72 h 后,其抗氧化能力增强,而高温灭菌荔枝汁则显著降低 ($P<0.05$),且与荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁中的 FRAP 抗氧化能力相比无显著性差异 ($P>0.05$)。高温灭菌会增加荔枝汁的抗氧化能力。

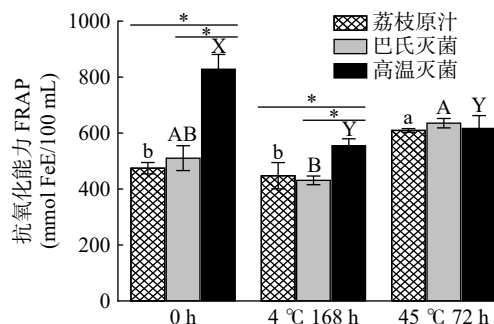


图3 不同温度热处理和不同贮藏温度对荔枝汁总抗氧化能力的影响

Fig.3 Effects of different heat treatments and different storage temperatures on the total flavonoid content of lychee juice

2.4 热处理和贮藏温度对荔枝汁中 ORAC 抗氧化能力的影响

采用 ORAC 抗氧化法对俊红荔枝汁中抗氧化活性测定的结果如图 4 所示。俊红荔枝汁经 121 °C 高温灭菌后其 ORAC 抗氧化能力与 0 h 的荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁相比分别增加了 40.24% 和 39%,这一结果与其总酚含量和 FRAP 抗氧化能力测定的结果相一致。据报道,在高温灭菌 3 min 后,绿芦笋汁的抗氧化能力约为新鲜芦笋的 1.68 倍^[27]。在 4 °C 贮藏 168 h 后,荔枝原汁、巴氏杀菌和高温灭菌荔枝汁中的抗氧化能力与 0 h 的相比均显著降低。在 45 °C 条件下贮藏 72 h 后,荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁中的抗氧化活性与 0 h 的荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁相比都增加,而高温灭菌荔枝汁则显著降低

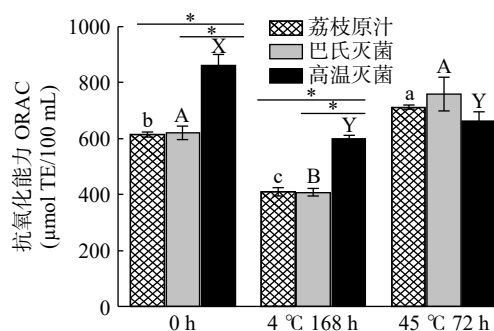


图4 不同温度热处理和不同贮藏温度对荔枝汁 ORAC 的影响

Fig.4 Effects of different heat treatments and different storage temperatures on ORAC of different varieties of lychee juice

($P<0.05$)。以上结果与 FRAP 分析结果一致,进一步说明热处理和高温贮藏可以促进酚类物质的释放,提高其抗氧化活性。

2.5 热处理和贮藏温度对荔枝汁中酚类化合物的含量及组成的影响

采用 HPLC-DAD 检测出 俊红荔枝汁 中含有 11 种酚类化合物: 没食子酸、香草酸、咖啡酸、丁香酸、阿魏酸、表儿茶素、没食子儿茶素、槲皮素-3-O-云香糖-7-O-鼠李糖苷、芦丁、原花青素 B₂ 和原花青素 A₂(图 5)。根据图 5 计算出各物质的含量如表 1 所示。在 0 h, 巴氏杀菌荔枝汁与荔枝原汁相比, 丁香酸、表儿茶素、槲皮素-3-O-云香糖-7-O-鼠李糖苷、原花青素 B₂ 的含量增加, 阿魏酸和咖啡酸的含量降低, 说明酚类化合物之间的转化受热处理的影响^[28]。在 0 h, 高温灭菌荔枝汁中的没食子酸含量与荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁相比显著增加($P<0.05$), 槲皮素-3-O-云香糖-7-O-鼠李糖苷和阿魏酸的含量则显著降低($P<0.05$), 除此之外没食子儿茶素被生成, 其含量约占 121 ℃ 高温灭菌荔枝汁中总酚类化合物含量的 91.74%。没食子儿茶素是儿茶素类化合物中 8 种单体中的一种, 表儿茶素或原花青素均能与没食子酸发生酯化反应生成没食子儿茶素^[29]。除此之外, 高温灭菌荔枝汁中表儿茶素完全降

解。有研究表明灌装和瓶装的茶饮料经 120 ℃ 高压灭菌后, 在运输和销售的过程中, 饮料中低浓度的表儿茶素会被转化成相应的差向异构体, 其中包括没食子儿茶素, 而这些差向异构体的含量与表儿茶素相似或更高^[30]。因此, 表儿茶素的降解可能是没食子儿茶素大量生成的主要原因; 此外, 121 ℃ 高温会促进荔枝汁中没食子儿茶素的释放。在 4 ℃ 贮藏 168 h 后, 荔枝汁中总酚含量与 0 h 相比均降低, 这与其总酚含量、总黄酮含量和抗氧化活性的结果相一致。在 45 ℃ 贮藏 72 h 后, 俊红荔枝汁中酚类化合物的含量及其组成发生显著变化, 主要表现为其中荔枝原汁和巴氏杀菌荔枝汁中没食子酸含量显著增加($P<0.05$), 高温灭菌荔枝汁中没食子儿茶素完全降解。没食子儿茶素发生消失, 是因为在持续的高温贮藏条件下, 热分解导致生物活性化合物的损失^[18]。除此之外, 荔枝汁为酸性环境, 儿茶素类在酸性环境中多不稳定, 特别是在高温酸性的环境下, 随贮藏时间的延长易发生降解^[4]。由表 1 可知, 高温灭菌荔枝汁中均未检出表儿茶素, Lee 等^[31]研究表明, 随着温度和时间的增加, 表儿茶素类物质减少, 表儿茶素差向异构体增加, 高温灭菌荔枝汁均未检出表儿茶素, 可能是因为热处理诱导共价结合儿茶素的释放和儿茶素的异构化。

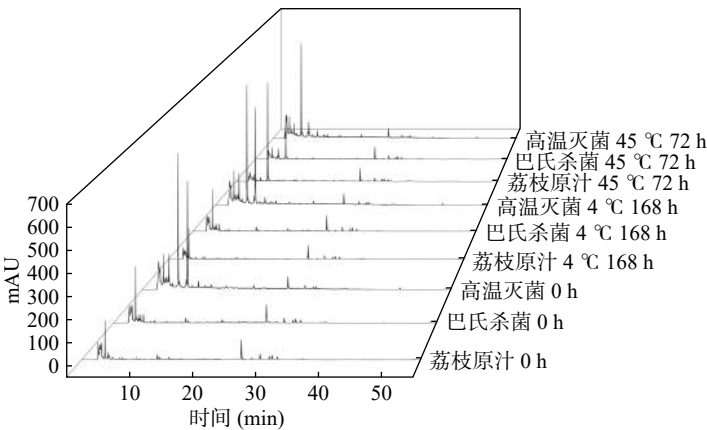


图 5 高效液相色谱图
Fig.5 High performance liquid chromatography

表 1 热处理和贮藏温度对荔枝汁中酚类物质含量及组成的影响

Table 1 Effects of heat treatment and storage temperature on content and composition of phenolic in lychee juice

处理方式		酚类含量(μg/mL)											
		没食子酸	香草酸	咖啡酸	丁香酸	阿魏酸	没食子儿茶素	芦丁	表儿茶素	槲皮素-3-O-芸香糖-7-O-鼠李糖苷	原花青素A ₂	原花青素B ₂	总酚
0 h	荔枝原汁	2.39±0.06 ^a	1.52±0.02 ^b	2.00±0.01 ^b	1.92±0.04 ^{ab}	5.12±0.00 ^b	ND	18.57±0.01 ^a	4.09±0.32 ^a	205.87±13.22 ^c	15.57±0.22 ^a	10.39±0.73 ^b	267.46±12.95 ^{ab}
	巴氏杀菌	2.69±0.08 ^a	1.67±0.02 ^a	1.66±0.01 ^a	3.44±0.04 ^b	4.80±0.05 ^b	ND	17.87±0.09 ^a	6.75±0.09 ^b	241.04±4.32 ^b	14.61±0.13 ^a	20.03±0.48 ^c	314.56±5.07 ^{ab}
	高温灭菌	163.52±0.95 ^c	1.51±0.01 ^a	ND	2.82±0.47 ^{ab}	2.71±0.10 ^a	3890.45±122.87 ^a	15.20±0.15 ^a	ND	164.31±11.87 ^a	29.64±0.31 ^b	18.94±0.30 ^c	4289.11±108.93 ^c
4 °C 168 h	荔枝原汁	2.33±0.11 ^a	1.47±0.06 ^a	1.40±0.04 ^a	1.85±0.04 ^{ab}	3.20±0.29 ^a	ND	15.46±0.81 ^a	3.51±0.17 ^a	197.30±5.35 ^b	11.61±0.97 ^a	7.32±0.41 ^a	245.45±4.27 ^a
	巴氏杀菌	2.57±0.13 ^a	1.59±0.04 ^a	1.61±0.04 ^a	2.71±0.08 ^{ab}	3.48±0.29 ^a	ND	15.10±0.90 ^a	3.71±0.12 ^a	224.95±4.97 ^b	13.99±0.92 ^a	7.29±0.43 ^a	277.01±5.80 ^{ab}
	高温灭菌	161.40±3.07 ^c	1.52±0.06 ^a	ND	3.15±0.14 ^a	2.71±0.10 ^a	3807.47±91.49 ^a	15.68±0.33 ^a	ND	169.35±6.82 ^a	27.78±2.17 ^b	18.37±0.71 ^c	4207.43±102.80 ^c
45 °C 72 h	荔枝原汁	144.34±3.93 ^b	1.60±0.02 ^a	1.58±0.06 ^a	3.22±0.09 ^b	3.33±0.11 ^a	ND	16.37±0.88 ^a	7.12±0.31 ^b	208.86±7.68 ^b	13.89±0.83 ^a	24.94±1.09 ^d	425.24±13.16 ^b
	巴氏杀菌	160.37±1.87 ^c	1.53±0.08 ^a	1.86±0.08 ^b	2.23±0.11 ^{ab}	3.31±0.11 ^a	ND	15.33±0.36 ^a	6.59±0.19 ^b	205.00±6.48 ^b	ND	25.75±0.90 ^d	421.97±9.48 ^b
	高温灭菌	146.08±5.38 ^b	ND	ND	ND	2.64±0.18 ^a	ND	15.62±0.39 ^a	ND	157.36±9.37 ^a	ND	16.86±0.60 ^c	338.57±2.82 ^{ab}

注: 同列中不同字母的值表示有显著性差异($P<0.05$), ND: 未检出。

3 结论

热处理和贮藏温度对俊红荔枝汁中酚类特性和抗氧化活性具有显著影响。70 ℃ 巴氏杀菌和 121 ℃ 高温灭菌均可促进荔枝汁中酚类化合物的释放, 121 ℃ 高温灭菌荔枝之中总酚含量更高。4 ℃ 低温贮藏, 荔枝汁中酚类物质的含量降低, 但其酚类物质组成的变化较小。45 ℃ 高温贮藏, 对于荔枝汁中酚类物质的含量及其组成均具有显著影响。因此选取 121 ℃ 作为荔枝汁的灭菌温度, 4 ℃ 作为荔枝汁的短期贮藏温度。本研究提出的荔枝汁的灭菌和贮藏温度能提高荔枝汁中酚类物质的含量及抗氧化活性, 为荔枝汁的加工及贮藏提供了较好的理论基础, 为生产荔枝汁产品提供便利。

参考文献

- [1] Su D X, Zhang R F, Hou F L, et al. Lychee pulp phenolics ameliorate hepatic lipid accumulation by reducing mi R-33 and miR-122 expression in mice fed a high-fat diet[J]. *Food & Function*, 2017, 8(2): 808-815.
- [2] 刘源, 黄苇, 胡卓炎, 等. 贮藏过程中半干型荔枝干香气成分的变化[J]. *食品与机械*, 2013, 29(4): 157-161.
- [3] 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.
- [4] Wang Z N, Wu G X, Shu B, et al. Comparison of the phenolic profiles and physicochemical properties of different varieties of thermally processed canned lychee pulp[J]. *RSC Advances*, 2020, 10(12): 6743-6751.
- [5] Ripari V, Bai Y P, Ganzle M G. Metabolism of phenolic acids in whole wheat and rye malt sourdoughs[J]. *Food Microbiology*, 2019, 77: 43-51.
- [6] Su D X, Ti H H, Zhang R F, et al. Structural elucidation and cellular antioxidant activity evaluation of major antioxidant phenolics in lychee pulp[J]. *Food Chemistry*, 2014, 158: 385-391.
- [7] 苏东晓, 张瑞芬, 张名位, 等. 荔枝果肉酚类物质大孔树脂分离纯化工艺优化[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(14): 2897-2906.
- [8] 张名位, 董丽红, 张瑞芬. 荔枝果肉的主要活性物质及其健康效应研究进展[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(3): 1-12.
- [9] Ibrahim S R M, Mohamed G A. Litchi chinensis: Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2015, 174: 492-513.
- [10] Li S, Tan H Y, Wang N, et al. The potential and action mechanism of polyphenols in the treatment of liver diseases[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 2018: 8394818.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] You Y L, Li N, Han X, et al. Influence of different sterilization treatments on the color and anthocyanin contents of mulberry juice during refrigerated storage[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 48: 1-10.
- [14] 宗平, 王燕, 吴卫国, 等. 热处理在稻谷及大米贮藏与加工中的应用研究进展[J/OL]. *食品与机械*, 2020, 36(10): 206-209.
- [15] Marilisa Alongi, Giancarlo Verardo, Andrea Gorassini, et al. Phenolic content and potential bioactivity of apple juice as affected by thermal and ultrasound pasteurization[J]. *Food & Function*, 2019, 10(11): 7366-7377.
- [16] 邓俊琳, 李晚谊, 于丽娟, 等. 干燥温度对醇提余甘子多酚含量及其抗氧化活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(24): 57-61.
- [17] Rao Q, Rocca-Smith J R, Schoenfuss T C, et al. Accelerated shelf-life testing of quality loss for a commercial hydrolysed hen egg white powder[J]. *Food Chem*, 2012, 135(2): 464-72.
- [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.
- [19] Zhang R F, Zeng Q S, Deng Y Y, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in Southern China[J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(3): 1169-1176.
- [20] 徐涓, 张雯雯, 李凯, 等. 高温蒸汽处理对余甘子果汁贮藏期间的品质影响及褐变行为解析[J]. *食品科学*, 2019, 40(23): 246-252.
- [21] 曾庆帅. 荔枝果汁加工和贮藏过程中酚类物质及抗氧化活性的变化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [22] Pena M D L, Salvia-Trujillo L, Rojas-Grau M A, et al. Changes on phenolic and carotenoid composition of high intensity pulsed electric field and thermally treated fruit juice-soymilk beverages during refrigerated storage[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(3): 982-990.
- [23] Dos Reis L C R, Facco E M P, Flores S H, et al. Stability of functional compounds and antioxidant activity of fresh and pasteurized orange passion fruit (*Passiflora caerulea*) during cold storage[J]. *Food Research International*, 2018, 106: 481-486.
- [24] Tomaz, Ivana, Sikuten Iva, Preiner, Darko, et al. Stability of polyphenolic extracts from red grape skins after thermal treatments[J]. *Chemical Papers*, 2019, 73(1): 195-203.
- [25] 罗凡, 陈志吉, 蓝丽丽, 等. 加热对油茶籽油及饼粕总酚及其抗氧化能力的影响[J]. *林业科学*, 2020, 56(2): 61-68.
- [26] 何礼, 陈克玲, 何建, 等. 低温贮藏下塔罗科血橙抗氧化性能研究[J]. *西南农业学报*, 2015, 28(6): 2666-2671.
- [27] Chen X H, Qin W D, Ma L H, et al. Effect of high pressure processing and thermal treatment on physicochemical parameters, antioxidant activity and volatile compounds of green asparagus juice[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 62(1): 927-933.
- [28] Ioannou I, Hafsa I, Hamdi S, et al. Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behaviour[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 111(2): 208-217.
- [29] Margalef M, Pons Z, Bravo F I, et al. Plasma kinetics and microbial biotransformation of grape seed flavanols in rats[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 12: 478-488.
- [30] Chen Z Y, Zhu Q Y, Tsang D, et al. Degradation of green tea catechins in tea drinks[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(1): 477-482.
- [31] Lee Dong-Won, Lee Seung-Cheol. Effect of heat treatment condition on the antioxidant and several physiological activities of non-astringent persimmon fruit juice[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2012, 21(3): 815-822.