

两种不同加工方式杨梅汤抗氧化及风味品质比较

李国林^{1*}, 李丹丹², 王成有³, 何扬波¹, 李咏富¹, 陈丽梅³

(1. 贵州省农业科学院现代农业发展研究所, 贵州贵阳 550006) (2. 贵州大学明德学院, 贵州贵阳 550031) (3. 贵州成有王记善沅食品有限公司, 贵州黔南 550600)

摘要: 杨梅汤是贵州特色的杨梅加工产品。该文以贵州本地产杨梅汤为主要试材, 研究了两种不同生产方式生产的杨梅汤的品质, 主要测定了维生素 C (Vc), 花色苷, 总酚, 类黄酮以及采用 2,2-联苯基-1-苦基肼基 (DPPH) 和 2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐 (ABTS) 法测定了杨梅汤的抗氧化性, 并对风味及挥发性成分进行了初步探究。结果表明, 采用铝罐包装的杨梅汤中 Vc, 花色苷, 总酚, 类黄酮, 含量在贮藏期间均高于聚丙烯塑料 (Polypropylene, pp) 罐。在贮藏末期, Vc 和花色苷比 pp 罐高 126.50% 和 37.36%, 差异显著。铝罐杨梅汤 DPPH 清除率及 ABTS 清除率均强于 pp 罐。电子鼻风味显示, 两者风味基本一致, 在贮藏 120 d 后气味特征完全重叠。铝罐挥发性成分 α -石竹烯较 pp 罐多 16.09%, 但整体种类略少于 pp 罐。综上, 铝罐包装更有利于杨梅汤贮藏品质的提升。该文研究结果为杨梅汤的生产加工提供理论参数, 为提升品质, 延长货架期提供理论指导。

关键词: 加工方式; 杨梅汤; 抗氧化性; 风味; 品质

文章编号: 1673-9078(2024)05-212-220

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.5.0539

Comparison of Antioxidant and Flavor Quality of Bayberry Soup Produced by Two Different Processing Methods

LI Guolin^{1*}, LI Dandan², WANG Chengyou³, HE Yangbo¹, LI Yongfu¹, CHEN Limei³

(1. Integrated Agricultural Development Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China) (2. Mingde College, Guizhou University, Guiyang 550031, China) (3. Guizhou Chengyouwangji Shanyuan Food Co. Ltd., Qian'nan 550600, China)

Abstract: Bayberry soup is a unique processed product from Guizhou province. The quality of bayberry soup produced by two different processing methods was investigated. The contents of vitamin C, total phenols, flavonoids, anthocyanins, and the antioxidant properties of bayberry soup were determined using the 2,2-biphenyl-1-picrylhydrazine (DPPH) and 2,2'-diazobis(3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonic acid) diamine salt (ABTS) methods. Additionally, the flavor and volatile components were preliminarily explored. The results showed that the contents of vitamin C (Vc), anthocyanins, total phenols, and flavonoids in bayberry soup packaged in aluminum cans were higher than those in polypropylene (pp) cans during storage. At the end of storage, Vc and anthocyanin levels were 126.50% and 37.36% higher, respectively, than those in pp cans, with statistically significant differences. The DPPH and ABTS clearance rates of bayberry soup in aluminum can were higher than those of pp cans. The electronic nose flavor showed that the two flavors were basically the same, and the odor

引文格式:

李国林, 李丹丹, 王成有, 等. 两种不同加工方式杨梅汤抗氧化及风味品质比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(5): 212-220.

LI Guolin, LI Dandan, WANG Chengyou, et al. Comparison of antioxidant and flavor quality of bayberry soup produced by two different processing methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(5): 212-220.

收稿日期: 2023-05-09

基金项目: 贵州省科技支撑重点项目 (黔科合支撑 [2022] 重点 004); 国家自然科学基金项目 (32260795)

作者简介: 李国林 (1987-), 男, 硕士研究生, 副研究员, 农产品加工与贮藏, E-mail: lgl292@163.com

characteristics completely overlapped after 120 days of storage. Levels of α -caryophyllene in aluminum cans were 16.09% greater than in pp cans, but the types were slightly less than pp cans. In summary, aluminum can packaging is more conducive to improving the storage quality of bayberry soup. This study provides theoretical parameters are provided for the production and processing of Yangmei soup and offers theoretical guidance for improving quality and extending shelf life.

Key words: processing methods; bayberry soup; antioxidant properties; flavor; quality

杨梅 (*Myrica Rubra* Sibe. et Zucc) 为杨梅科杨梅属植物, 是我国亚热带地区种植的主要经济水果, 富含丰富的有机酸、维生素 C (Vc)、花色苷等营养成分^[1]。杨梅采收时间较为集中, 成熟期主要集中在 4~6 月, 在高温高湿的天气下容易腐烂, 造成经济损失^[2]。加工能够很好的缓解杨梅鲜品保鲜的压力, 现阶段杨梅的主要加工产品为果汁、果醋、蜜饯、果脯、水果罐头等, 其中杨梅果汁的产量最大^[3]。杨梅汤是杨梅汁经高温煮制后, 经调配形成的果汁饮料, 具有口感好, 营养成分高等特点, 深受消费者的喜爱。杨梅汤具有色泽鲜艳、酸甜适口的特点, 且保留了丰富的 Vc 和花色苷等生物活性成分, 有广阔的市场潜景^[4]。

花色苷是一种植物天然色素, 由花青素和糖基以糖苷键结合而成, 属于黄酮类物质, 在不同的植物器官中呈现出不同的颜色, 杨梅中花色苷种类单一, 最主要的花色苷为矢车菊素-3-O-葡萄糖苷 (C3G)^[5]。花色苷具有很强的抗氧化性和清除自由基活性, 被认为是天然的抗氧化剂, 在保健品、食品、药品等领域有着广泛的应用^[6]。同时, 花色苷对光、热、多酚氧化酶等因素较为敏感, 易降解, 造成营养成分的流失^[7]。由于杨梅汁加工过程中需要较长时间暴露在光照、氧气、高温条件下, 杨梅汁中的营养成分如花色苷、维生素 C、挥发性化合物等会有不同程度的损失^[8]。杨梅汤生产过程中如何减少接触这些不良因素, 最大程度的保留果汁的营养特性和口感是生产中的重要控制点。

本文主要研究了两种生产方式对杨梅汤贮藏品质的影响。对比两种不同的生产方式, 选择贮藏效果更佳的生产方式, 为日后高品质杨梅汤加工提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料

两种不同工艺生产的杨梅汤采购自成有王记善沅食品有限公司, 工艺主要区别见表 1 两种样品生产日期分别为铝罐 20220410, 聚丙烯塑料

(Polypropylene, pp) 罐 20200408。两种杨梅汤均在 (4 ± 2) °C 条件下贮藏。

表 1 杨梅汤两种不同加工方式区别

Table 1 The differences between two processing methods of bayberry soup

包装方式	铝罐 (不透光)	pp 罐 (半透光)
充气种类	氮气	空气
灭菌方式	一次灭菌	两次灭菌

1.2 实验仪器

Thermo Varioskan LUX 酶标仪, 美国赛默飞世尔仪器公司; Sartorius 电子天平, 德国赛多利斯科学仪器有限公司; Eppendorf 10-1000 μ L 移液枪, 德国艾本德仪器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 维生素 C 含量的测定

参考曹建康等^[9]的方法并略作修改, 称取 1 mL 杨梅汤, 加入 20 mL 50 g/L 三氯乙酸 (TCA) 溶液, 摇匀, 置于 50 mL 容量瓶中, 用 50 g/L TCA 溶液定容, 混匀、提取 10 min 后过滤, 收集滤液。以抗坏血酸制作标准曲线, 反应体系如下: 提取液 1 mL, 50 g/L 三氯乙酸溶液 1.0 mL, 无水乙醇 1 mL, 0.4 wt. % 磷酸-乙醇溶液 0.5 mL, 5 g/L 邻菲罗啉-乙醇 1.0 mL, 0.3 g/L 三氯化铁-乙醇溶液 0.5 mL; 对照组加 2 mL 三氯乙酸溶液, 以对照组调零, 534 nm 波长处测定溶液吸光度。Vc 含量计算公式如下:

$$U = \frac{v \times m'}{v_s \times m \times 1000} \times 100 \quad (1)$$

式中:

U ——Vc 含量, mg/100 mg;

m' ——由标准曲线算出的 Vc 质量, μ g;

V_s ——滴定时所用样品提取液体积, mL;

V ——样品提取液体积, mL;

m ——样品质量, g。

1.3.2 总酚, 类黄酮和花色苷的测定

参照曹建康等^[9]的方法并修改, 称取 1 mL 杨梅

汤于 20 mL 刻度试管中, 加入 10 mL 预冷的 $\rho=1\%$ HCl- 甲醇溶液, 用 1% HCl- 甲醇溶液定容至刻度, 摇匀后在 4 °C 避光提取 20 min, 提取时摇动数次, 过滤, 收集滤液。以 1% HCl- 甲醇溶液作参比调零, 滤液分别于波长 280、325、600 和 530 nm 处测定溶液吸光度值, 每个样品重复测定三次。以每克 (鲜重) 杨梅汤在波长 280 nm 处吸光度值表示总酚含量, 即 OD_{280}/g ; 在波长 325 nm 处吸光度值表示类黄酮物质含量, 即 OD_{325}/g ; 在波长 530 nm 和 600 nm 处吸光度值之差表示花色苷含量 U , 即 $U=(OD_{530}-OD_{600})/g$ 。

1.3.3 DPPH·清除率测定

参照尹梦宇^[10]的方法并修改, 将杨梅汤与甲醇配置成 50、100、150、200、250 $\mu\text{g/mL}$ 的所需质量浓度, 然后取 100 μL 各浓度杨梅汤与 2.9 mL 40 $\mu\text{g/mL}$ 的 2,2- 联苯基 -1- 苦基肼基 (DPPH) 甲醇溶液混匀, 室温避光 30 min 后, 立即在 517 nm 处测定样品的吸光值 $A_{\text{样品}}$; 对照组: 以 100 μL 杨梅汤与 2.9 mL 甲醇溶液混合在 517 nm 处测吸光度 $A_{\text{对照}}$; 空白组: 以 100 μL 样品与 0.1 mmol/L 的 DPPH 甲醇溶液混合, 在 517 nm 处测吸光度 $A_{\text{空白}}$ 。清除率公式如下:

$$B=1-\frac{A_{\text{样品}}-A_{\text{对照}}}{A_{\text{空白}}}\times 100\% \quad (2)$$

1.3.4 ABTS⁺清除率测定

参考刘薇等^[11]的方法称先制备 2.45 mmol/L 过硫酸钾母液和 7.00 mmol/L ABTS 两种母液。两种溶液按体积分数 (1:1) 混合制成 ABTS 工作储备液, 在室温避光放置 12 h。测定前, 用甲醇溶液稀释 ABTS 混合液至其吸光度在 0.7 即可。测定时取 3 mL ABTS 工作液与 20 μL 样品溶液混合均匀, 室温避光反应 30 min, 立即在 750 nm 处测定吸光度, 每个样品重复测定三次。清除率公式如下:

$$C=\frac{A_0-A_1}{A_0}\times 100\% \quad (3)$$

式中:

A_0 —不加样品组吸光度值;

A_1 —加样品组的吸光度值。

1.3.5 电子鼻总体风味测定

参照李国林等^[12]的方法并修改, 准确称取 3 mL 杨梅汤置于 20 mL 顶空瓶中, 在室温 (18±2) °C 静置 15 min 后用电子鼻测定其挥发性气味, 每个样品平行测定 3 次。测定时电子鼻运行参数如下: 测定

时间 120 s, 冲洗时间 40 s, 进样前准备时间 5 s, 进样流速 400 mm/min。PEN3 型便携式电子鼻的传感器性能名称及性能: W1C, 芳香成分; W5S 氮氧化物; W3C, 氨水、芳香成分, W6S, 氢气; W5C, 烷烃芳香成分; W1S, 甲烷; W1W, 硫化物; W2S, 乙醇; W2W, 芳香成分、有机硫化物; W3S, 烷烃。

电子鼻数据分析方法: 利用电子鼻自带的 Winmuster 统计分析软件对火龙果果实的传感器响应特征值进行统计学分析。采用主成分分析法 (Principal Component Analysis, PCA)、线性判别法 (Linear Discriminant Analysis, LDA) 和载荷分析法 (Loadings Analysis, LA) 对不同处理的响应信号值进行分析。

1.3.6 挥发性成分测定

挥发性成分测定参考何扬波等^[13]的方法并做修改, 采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 分离杨梅汤中的挥发性化合物。准确取 3.0 mL 杨梅汤于顶空瓶中, 压盖后, 于 60 °C 水浴中平衡 20 min。向顶空瓶中插入固相微萃取针, 80 °C 水浴中 20 min, 上机解析 5 min 后进行分析。

色谱条件: 载气为氦气, 不分流进样, 流速 1 mL/min。程序升温如下: 60 °C 保持 3 min, 以 3.5 °C/min 升温至 100 °C 保持 5 min, 再以 8 °C/min 升温至 200 °C 保持 5 min, 最后再以 15 °C/min 升温至 280 °C 保持 15 min。质谱条件: 电离方式为 EI, 电子能量为 70 eV, 扫描方式为全扫, 质量范围为 40~650 u, 接口温度为 250 °C, 离子源温为 230 °C, 四级杆温度为 200 °C。

定量定性分析: 气相色谱联用质谱数据借助 NIST 05 数据库进行分析比对, 各取匹配度高于 70% 的前 3 种组分, 各组分定量采用面积百分比法求取相对含量。

1.3.7 数据处理与分析

试验结果用 Microsoft Excel 2021 和 SPSS 22.0 进行数据处理分析, 多重显著性分析 ($P<0.05$) 采用 t - 检验法进行。图表制作采用 Origin 2017 软件。

2 结果与讨论

2.1 不同加工方式杨梅汤在贮藏过程中抗氧化物质含量变化的影响

两种不同加工方式杨梅汤中的 Vc 含量存在差异 (图 1a)。Vc 含量总体随着储藏时间延长呈逐渐降低的趋势。铝罐中杨梅汤 Vc 含量在整个贮藏期

间降解量为 27.68%，而 pp 罐中则为 60.42%。降解率仅为 pp 罐的 45.81%。铝罐包装 Vc 含量在贮藏全期均高于 pp 罐包装，且差异显著 ($P < 0.05$)。在第 90 天时，Vc 含量差异达到最大，为 pp 罐杨梅汤的 1.6 倍，在贮藏末期（第 60 天），铝罐 Vc 含量仍高于 pp 罐 1.27 倍。由此可见，采用铝罐包装对杨梅汤中 Vc 的降解具有抑制作用。Vc 对环境因素较为敏感，易受光照、热、氧气、重金属离子等因素产生降解，其氧化产物既能自身进一步氧化生成褐色素，又可以参与美拉德反应，严重影响产品感官品质^[14]。铝罐包装的杨梅汁采用充氮和一次加热灭菌方式加工，有避光，隔氧和减少热量的作用，因此保护了产品中的 Vc。

由图 1b 可知，铝罐和 pp 罐中杨梅汤的初始花色苷含量分别为 2.04 和 1.56 mg/100 g，在 5 °C 贮藏 120 d 后，含量分别为 1.68 和 1.22 mg/100 g，除在第 60 天有略微升高外，整个贮藏期均呈现出逐渐降低的趋势，降解量为 18.14% 和 21.95%。铝罐中花色苷含量在贮藏期间均显著 ($P < 0.05$) 高于 pp 罐，在 5 个取样点分别比 pp 罐高 30.97%、39.15%、33.76%、38.94% 和 37.36%。花色苷是花青素的糖苷形式，其分子结构中含活泼的羟基，造成其稳定性不佳^[15]。跟 Vc 类似，其对环境因子比较敏感，降解途径较多，主要有热降解、酶降解、氧化降解和光降解途径^[16]。杨梅中的主要花色苷成分为矢车菊素类花色苷，其稳定性要差与葡萄中的锦葵类花色苷，因此更易发生降解^[17]。花色苷在 100 °C 以上的高温中会降解为无色的查尔酮形式，杨梅汁中花色苷的热降解符合一级动力学模型^[18]。同时有研究表明，花色苷和 Vc 在一个体系共存时，两者的降解速度明显大于两者单独存在时的降解速率^[19]，花色苷可以吸收光能变位机激发态，最终降解为苯酸和醛类^[20]。研究结果与前人结果类似，杨梅中的 Vc 和花色苷在贮藏期间同时降解^[5,21]。本研究结果显示，采用铝罐包装的杨梅汤对花色苷具有较好的保护作用，延缓了杨梅中花色苷的降解。

由图 1c 可知贮藏初期，pp 罐总酚含量高于铝罐，其差异显著 ($P < 0.05$)。但随着贮藏时间的延长，无论是铝罐还是 pp 罐包装的杨梅汤中总酚含量均呈逐渐减少的趋势，但铝罐包装的总酚含量明显高于 pp 罐。在贮藏 60 d 时，铝罐总酚含量与 pp 罐差异显著 ($P < 0.05$)。

同样，铝罐和 pp 罐的类黄酮含量在整个贮藏期间均逐步降低。但 pp 罐的类黄酮含量始终低于

铝罐包装。在贮藏第 30 天和 90 天时，两者差异显著 ($P < 0.05$)，铝罐比 pp 罐分别高 10.24% 和 12.24% (图 1d)。

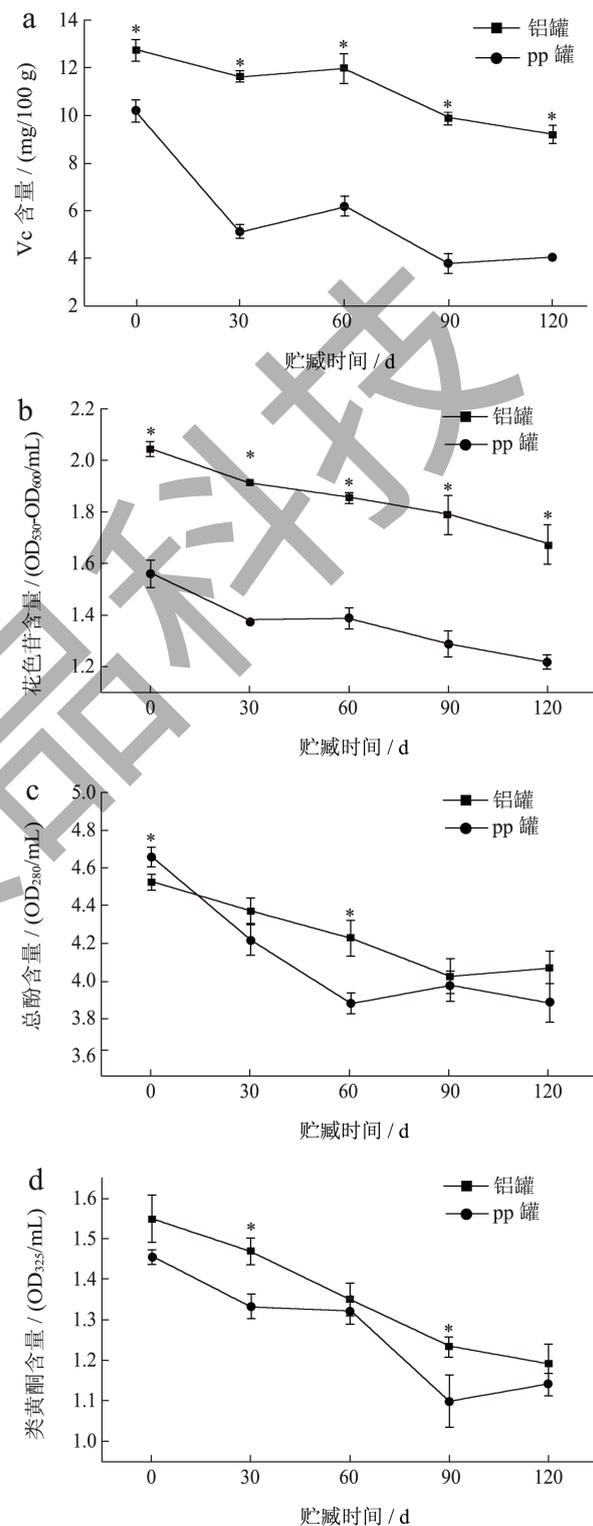


图 1 两种加工方式对杨梅汤 Vc 含量 (a)、花色苷含量 (b)、总酚 (c) 和类黄酮 (d) 的影响

Fig.1 Effects of two processing methods on content of vitamin C (a), anthocyanins (b), phenolic compounds (c) and flavonoids (d) in bayberry soup

据报道,除花色苷外,杨梅中的黄酮类物质还有杨梅素、槲皮素及山柰酚及其糖苷^[22]。杨梅汤的加工需要经过高温熬制,热处理是造成总酚和类黄酮含量下降的主要原因^[23]。贮藏期间,铝罐的避光,隔氧等措施减少了总酚和黄酮类物质的氧化,起到了较好的保护作用。

2.2 不同加工方式杨梅汤抗氧化性的比较

2.2.1 DPPH·自由基清除率

由图2可知,铝罐和pp罐包装的杨梅汤均对DPPH·有较好的清除效果,两种包装对DPPH·的清除率随其质量浓度的增加逐渐增加。在贮藏初期,铝罐和pp罐的清除率范围分别为48.26%~91.10%和50.13%~86.72%(图2a)。在质量浓度大于150 μg/mL时,铝罐的清除率强于pp罐,且差异显著($P<0.05$)。贮藏120 d后,两种包装的清除率均有下降,分别为20.38%~74.62%和19.16%~64.19%,铝罐的清除率均大于pp罐,在200和250 μg/mL,差异显著($P<0.05$)(图2b)。

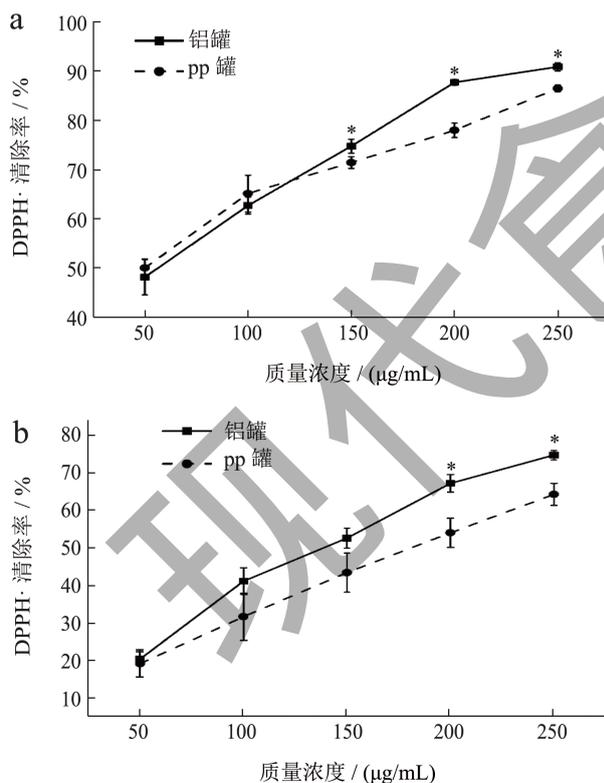


图2 两种不同加工方式对杨梅汤在贮藏初期(a)和贮藏末期(b) DPPH·清除率的影响

Fig.2 Scavenging effects of two processing methods on DPPH· radical in bayberry soup at storage 0 d (a) and 120 d (b)

2.2.2 ABTS⁺自由基清除率

由图3可知,两种包装的杨梅汤对ABTS⁺·均有清除效果,均随着杨梅汤质量浓度的增加而增大。贮藏初期,铝罐和pp罐的清除率分别为24.66%~60.15%和26.24%~47.73%,质量浓度大于100 μg/mL时,铝罐的清除率要显著($P<0.05$)高于pp罐(图3a)。贮藏末期(图3b),两者的清除率分别降低至9.18%~43.12%和6.78%~34.68%,但铝罐在所有质量浓度下的清除率均高于pp罐,且在质量浓度大于150 μg/mL后,差异显著($P<0.05$)。

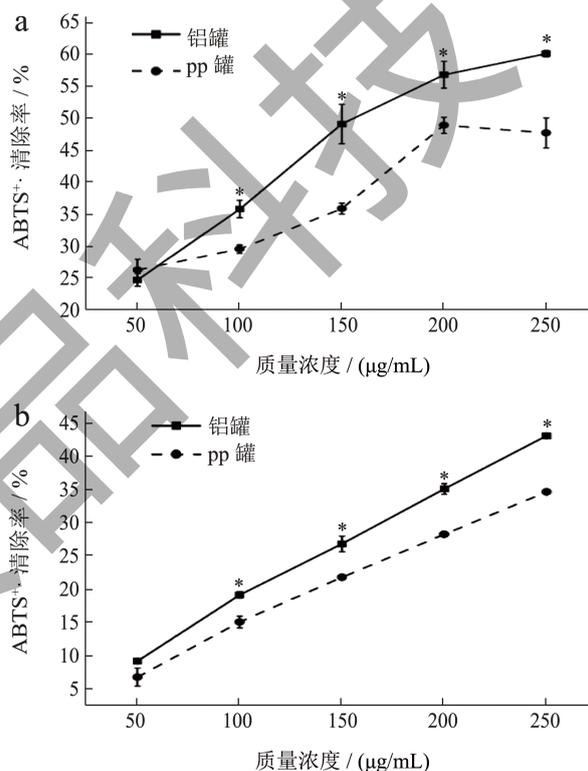


图3 两种不同加工方式对杨梅汤在贮藏初期(a)和贮藏末期(b) ABTS·清除率的影响

Fig.3 Scavenging effects of two processing methods on ABTS· radical in bayberry soup at storage 0 d (a) and 120 d (b)

以杨梅汤 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基清除率来衡量杨梅汤的抗氧化能力。综合两者的结果可知,杨梅汤具有抗氧化效果,在贮藏后,抗氧化能力有不同程度的降低,但铝罐包装要明显高于 pp 罐包装的杨梅汤,这与 Vc, 花色苷, 总酚和黄酮的结果相一致。

矢车菊素-3-O-葡萄糖苷为杨梅中含量最高的花色苷,同时矢车菊素-3-O-葡萄糖苷在14种常见的花色苷中具有最强的氧自由基清除能力^[24]。除此以外,总酚和黄酮类化合物对杨梅汁抗氧化活性均

有重要的贡献, 杨梅汁中所含的花色苷、酚类及黄酮等与其清除羟自由基和清除超氧阴离子自由基的能力呈正相关^[25]。相比于 pp 罐杨梅汁, 铝罐杨梅汁加工过程中更多的保留了花色苷、酚类及黄酮类化合物, 且在贮藏过程中, 铝罐中的花色苷、酚类及黄酮类化合物的含量均高于 pp 罐, 这是两者抗氧化性存在差异的主要原因。

2.3 电子鼻风味比较

PCA 分析显示在贮藏 0 d 和 120 d, 第一主成分和第二主成分之和均大于 85%, 说明该方法提取样品气味信息较为全面^[12](图 4)。两种包装杨梅汤在贮藏 0 d 时, 从第一主成分和第二主成分的投影看, 均有部分重叠, 无法完全分离开, 说明气味信息很接近, 贮藏 120 d 后, 两者则完全重叠, 说明气味信息基本一致。

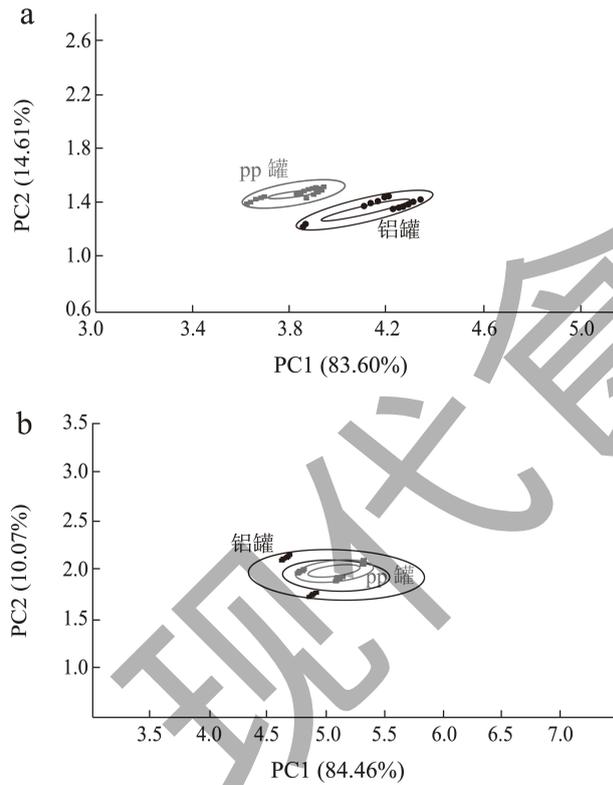


图 4 两种不同加工方式对杨梅汤在贮藏 0 d (a) 和 120 d (b) 的主成分分析

Fig.4 PCA plots of bayberry soup by two processing methods at storage 0 d (a) and 120 d (b)

LDA 是将收集到的气味信息通过线性组合来实现气味的区分^[26]。从图 5 可以看出, 无论是在贮藏初期还是在贮藏末期, 两种包装杨梅汁气味在第一主成分上均能分开, 但两者在横轴上的相隔距离非常接近, 这也说明, 两种包装的气味较为相似。

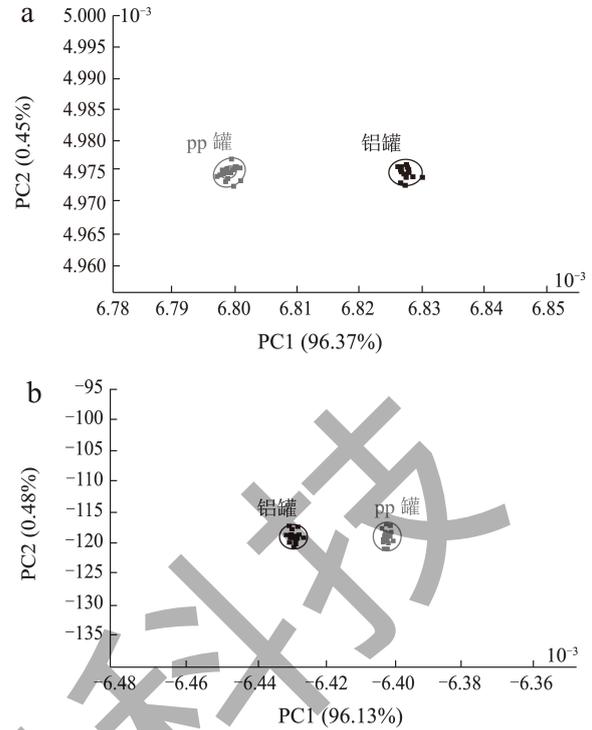


图 5 两种不同加工方式对杨梅汤在贮藏 0 d (a) 和 120 d (b) 的线性判别分析

Fig.5 LDA plots of bayberry soup by two processing methods at storage 0 d (a) and 120 d (b)

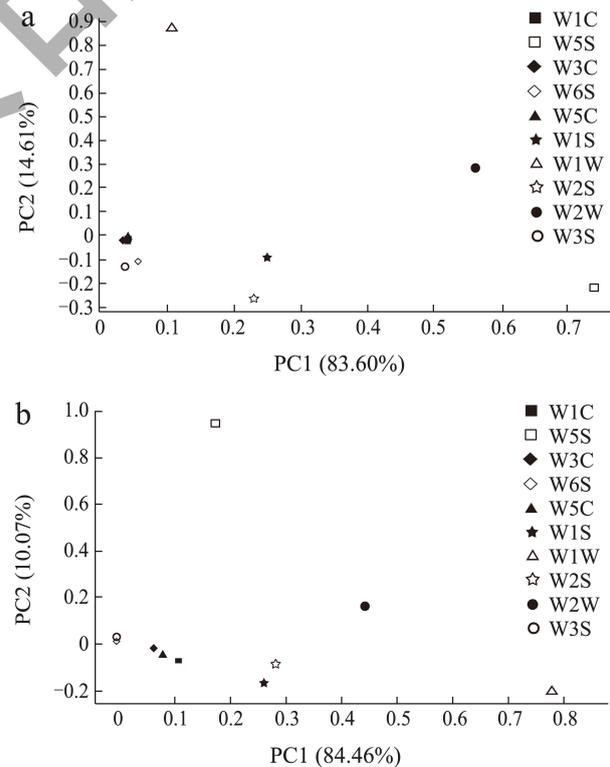


图 6 两种不同加工方式对杨梅汤在贮藏 0 d (a) 和 120 d (b) 的载荷分析

Fig.6 LA plots of bayberry soup by two processing methods at storage 0 d (a) and 120 d (b)

表2 两种不同加工方式杨梅汤中挥发性成分种类及相对含量

Table 2 The types and contents of volatile components in bayberry soup

化合物	序号	保留时间/min	挥发性成分		相对含量/%	
			英文名	中文名	铝罐	pp罐
烷烃类	1	18.13	Undecane	正十一烷	—	0.3 ± 0.03
	2	7.13	Acetic acid	乙酸	0.20 ± 0.03	1.05 ± 0.14
酸类	3	24.15	Nonanal	壬酸	0.17 ± 0.02	0.30 ± 0.03
	4	24.43	3-Nonenoic acid	3-壬烯酸	—	0.27 ± 0.04
醇类	5	11.92	3-Hexen-1-ol	叶醇	0.84 ± 0.05	—
	6	12.29	1-Hexanol	1-己醇	0.65 ± 0.06	—
	7	18.46	1-Octanol	正辛醇	1.01 ± 0.03	1.01 ± 0.16
	8	19.34	Linalool	芳樟醇	0.24 ± 0.03	0.16 ± 0.01
	9	20.82	3-Nonen-1-ol	3-壬烯醇	—	0.17 ± 0.01
	10	21.33	L-(-)-Menthol	L-薄荷醇	0.1 ± 0.03	0.24 ± 0.02
	11	21.74	Terpinen-4-ol	4-萜烯醇	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.01
	12	33.36	Pogostole	广藿香奥醇	1.55 ± 0.08	0.85 ± 0.02
	13	34.90	Caryophyllenyl alcohol	石竹烯醇	6.75 ± 0.11	3.16 ± 0.01
	14	35.74	(-)-Globulol	蓝桉醇	1.59 ± 0.07	1.12 ± 0.02
	15	36.80	Isolongifolan-8-ol	异长叶烷-8-醇	2.0 ± 0.15	0.99 ± 0.18
	16	20.05	Benzene,1,2,3,5-tetramethyl-	异杜烯	—	1.05 ± 0.22
	17	28.06	Aristolene	土青木香烯	—	0.40 ± 0.03
	18	28.84	(-)- β -Bourbonene	β -波旁烯	0.20 ± 0.02	0.24 ± 0.03
	萜烯类	19	29.59	β -Caryophyllene	β -石竹烯	4.52 ± 0.25
20		30.11	α -Caryophyllene	α -石竹烯	63.13 ± 0.67	54.38 ± 0.99
21		32.35	α -Farnesene	α -法尼烯	0.27 ± 0.03	—
22		32.46	α -Guaiene	α -愈创木烯	0.75 ± 0.03	0.47 ± 0.03
23		33.17	δ -Cadinene	δ -杜松烯	0.30 ± 0.02	—
24		37.74	Caryophyllene oxide	氧化石竹烯	2.51 ± 0.04	0.99 ± 0.08
25		37.30	Longipinene	长蒎烯	0.73 ± 0.07	0.37 ± 0.01
26		19.90	9-Octadecenoic acid (Z)-phenylmethyl ester	油酸苄酯	0.08 ± 0.03	0.64 ± 0.04
酯类	27	34.18	2,5-Octadecadiynoic acid,methyl ester	2,5-十八碳二炔酸甲酯	0.55 ± 0.06	0.20 ± 0.05
	28	16.54	Octanal	正辛醛	0.16 ± 0.02	0.40 ± 0.02
	29	19.44	Nonanal	壬醛	0.70 ± 0.05	3.08 ± 0.22
	30	22.31	Decanal	癸醛	0.26 ± 0.05	0.58 ± 0.01
	31	13.36	Heptanal	正庚醛	—	0.29 ± 0.03
	醛类	32	17.54	Cyclopentanecarboxaldehyde, 2-methyl-3-methylene-	环戊烷甲醛	—
33		25.68	Undecanal	十一醛	—	0.39 ± 0.02
34		27.74	2(3H)-Furanone,dihydro-5-pentyl	椰子醛	—	1.15 ± 0.01
芳香族类	35	29.46	Isoaromadendrene epoxide	异香橙烯环氧化物	0.18 ± 0.03	0.35 ± 0.02
	36	20.65	2,4-Dimethylstyrene	2,4-二甲基苯乙烯	—	0.32 ± 0.03

LA 分析的目的是判定电子鼻设备中 10 个传感器对气味信息的贡献率,是主成分与相应的原始变量之间的相关系数^[27]。位点坐标表示在主成分上的贡献大小,传感器的响应值越接近 1,贡献率越大;越接近原点坐标,则表示贡献率较小^[12]。贮藏初期,第一主成分上贡献率大于 50% 的传感器为 W5S 和 W2W, W1S 在第二主成分中的贡献率大于 80% (图 6a)。贮藏末期,第一主成分中贡献率最大的为 W1W,贡献率超过 70%,其次为 W2W,贡献率超过 40%。第二主成分中 W5S 贡献率超 90% (图 6b)。由此可知,两种包装的杨梅汤中提取的主要气味信息经贮藏后种类大体相同,没有发生明显改变。

2.4 不同加工方式杨梅汤挥发性成分的比较

两种加工方式生产的杨梅汤共检测出烷烃类、酸类、醇类、萜烯类、酯类、醛类、芳香族类七大类,共 36 种化合物。杨梅汁经过两种不同加工方式处理后,挥发性成分存在较大差异(表 2)。铝罐和 pp 罐中分别检测出 26 种和 32 种挥发性成分,其中 α -石竹烯为含量最高的挥发性成分,这与吴安迪^[28]的研究结果类似。铝罐中主要的挥发性成分为 α -石竹烯(63.13%)、石竹烯醇(6.75%)、 β -石竹烯(4.52%)、而 pp 罐中的主要为 α -石竹烯(54.38%)、石竹烯醇(3.16%)、和壬醛(3.08%)。铝罐中 α -石竹烯含量比 pp 罐多 16.09%。总体来看,pp 罐包装杨梅汤的挥发性成分种类多余铝罐包装,但主要风味成分 α -石竹烯在铝罐中含量较高。

果汁在加工过程中,如榨汁,杀菌灯都会造成果汁中挥发性成分的逸散,经历热反应,导致热敏性挥发性成分的逸散减少,同时,会产生新的挥发性成分^[29]。研究发现,橙汁在 96 °C 加热 4 min 后会有 5 种新挥发性成分产生。Lin 等^[30]发现葡萄汁中的主要挥发性成分柠檬烯、石竹烯等在经过热加工后,损失率可以达到 99%^[31]。这与本试验中结果类似,二次加热的 pp 罐包装杨梅汤 α - 和 β - 石竹烯较一次加热的铝罐包装均有降低。

3 结论

本研究对采用两种不同方式生产的杨梅汤进行品质分析。结果显示,铝罐包装的杨梅汤在维生素 C,花色苷,总酚,类黄酮,抗氧化性的指标上,无论是贮藏前还是贮藏后均优于 pp 罐包装。铝罐包装比 pp 罐包装具有更好的避光,阻氧性能,且减少

一次灭菌流程,更好了保存了杨梅中的营养成分。电子鼻分析显示铝罐和 pp 罐对杨梅汤气味影响不明显。铝罐杨梅汤中 α -石竹烯的含量比 pp 挥发性成分高 16.09%,但种类略少于 pp 罐包装。由此可见,在杨梅汤的加工和贮藏过程中,减少加工时高温处理及贮藏时光照是提高杨梅汤的贮藏品质的重要因素。

参考文献

- [1] 黄国中,王琴,马路凯,等.超声微波辅助解冻对杨梅保鲜品质的影响[J].现代食品科技,2023,39(3):186-193.
- [2] 黄国中,王琴,马路凯,等.缓冻和速冻对杨梅保鲜期品质变化规律的探究[J].食品工业科技,2023,44(3):365-371.
- [3] 卢可,娄永江,周湘池.响应面优化杨梅果醋发酵工艺参数研究[J].中国调味品,2011,36(2):57-60.
- [4] 陈亦欣,陈虹吉,叶兴乾,等.酶解和酸解处理对杨梅汁键合态香气释放的影响[J].中国食品学报,2021,21(2):299-307.
- [5] 张正伟.杨梅酒颜色劣变与花色苷降解机理的研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [6] 高冠勇,陈文娜,武玉波,等.花生红衣原花青素稳定性分析及其抗氧化性研究[J].食品工业,2018,39(8):209-212.
- [7] 周理红.蓝莓花青素的抗氧化活性对比及其稳定性分析[J].现代食品科技,2020,36(3):65-71.
- [8] 吴新怡,孟梓怡,朱吟非,等.超高压对非浓缩还原杨梅果汁中氧化酶的钝化作用[J].现代食品科技,2022,38(4):155-160.
- [9] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:39-41.
- [10] 尹梦宇.原花青素定量分析方法及抗氧化功效的应用研究[D].长沙:湖南师范大学,2019.
- [11] 刘薇,邱乐,杨婧,等.ABTS与邻二氮菲-Fe³⁺法测定保健食品抗氧化能力比较分析[J].食品工业,2013,34(3):120-124.
- [12] 李国林,孟繁博,郑秀艳,等.红肉火龙果贮藏期间气味监测及桃吉尔霉对气味的影响[J].食品安全质量检测学报,2018,9(18):4834-4838.
- [13] 何扬波,李国林,李咏富,等.红酸汤发酵过程中微生物区系及挥发性物质组成变化分析[J].食品工业科技,2022,43(19):177-190.
- [14] 李洁,李彩云,舒佳欣,等.抗坏血酸降解机理以及脱氢抗坏血酸对食品的影响研究进展[J].现代食品科技,2022,38(10):329-336.
- [15] 周萍,郑洁.花色苷改性及应用研究进展[J].食品科学,2021,42(3):346-354.
- [16] 黄金萍,吴继红,廖小军,等.果蔬汁饮料中花色苷与VC相互作用研究进展[J].食品科学,2022,43(21):358-371.
- [17] ALCALDE-EON C, ESCRIBANO-BAILÓN M T,

- SANTOS-BUELGA C, et al. Changes in the detailed pigment composition of red wine during maturity and ageing: A comprehensive study [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2006, 563(1): 238-254.
- [18] YU Y, LIN Y, ZHAN Y, et al. Effect of high pressure processing on the stability of anthocyanin, ascorbic acid and color of Chinese bayberry juice during storage [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 119(3): 701-706.
- [19] WEST M E, MAUER L J. Color and chemical stability of a variety of anthocyanins and ascorbic acid in solution and powder forms [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(17): 4169-4179.
- [20] FURTADO P, FIGUEIREDO P, NEVES H C, et al. Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 1993, 75(2): 113-118.
- [21] DEROSSO V V, MERCADANTE A Z. The high ascorbic acid content is the main cause of the low stability of anthocyanin extracts from acerola [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 935-943
- [22] PILAR Z, JUANA M, JUANA M, et al. Changes during storage in conventional and ecological wine: Phenolic content and antioxidant activity [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(16): 4694-4700.
- [23] 刘兴辰,张焱,李仁杰,等.超高压和高温短时处理对胡萝卜汁品质的影响[J].*中国食品学报*,2015,15(1):108-114.
- [24] WANG H, CAO G H, PRIOR R L. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(2): 304-309.
- [25] 陈健初,夏其乐,潘向荣,等.杨梅果汁的抗氧化特性研究[J].*浙江大学学报(农业与生命科学版)*,2004, 30(6): 657-661.
- [26] LI G L, LIN P, Li Y F, et al. Quality and stability evaluation of Guizhou spicy chicken treated with gamma irradiation during the storage period [J]. *Food Science & Nutrition*, 2023, 11(4): 1982-1993.
- [27] SU D Y, ZHANG G F, ZHANG Y, et al. Electronic nose monitoring the Maillard reaction flavors of sesame oil from different production processes [J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2014, 6(7): 910-920.
- [28] 吴安迪.壳聚糖/海藻酸钠复合澄清杨梅汁的工艺及机理研究[D].杭州:浙江大学,2022.
- [29] 陈亦欣.杨梅清汁挥发性物质在加工贮藏中的变化规律[D].杭州:浙江大学,2019.
- [30] LIN J, ROUSEFF R L, BARROS S, et al. Aroma composition changes in early season grapefruit juice produced from thermal concentration [J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2002, 50(4): 813-819.
- [31] BAZEMORE R, ROUSEFF R, NAIM M. Linalool in orange juice: origin and thermal stability [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(1): 196-199.