

杀菌温度对百香果果浆品质的影响

陆苗苗^{1,2}, 姜启兴^{*1,2}, 于沛沛^{1,2}, 高沛^{1,2}, 杨方^{1,2}, 夏文水^{1,2}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为研究在相同杀菌强度($F=3.0$ min)下, 温度对百香果果浆品质的影响, 利用不同杀菌温度(88、92、95、108 °C)对果浆进行杀菌处理, 分析了其理化成分、色泽和游离氨基酸的变化情况, 并利用快速气相色谱-电子鼻及气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术进行风味分析。结果表明, 所有杀菌后样品的总酸质量浓度(以柠檬酸质量计)与原始样品(original sample, OS)相比均无显著差异($P>0.05$); 与 OS 组相比, 经 108 °C 处理的果浆中还原糖质量浓度显著减少($P<0.05$), 但总糖、总类胡萝卜素质量浓度均无显著差异($P>0.05$), 维生素 C 保留率也最高(74.93%)。风味分析表明, 经 108 °C 处理的样品含有和 OS 组相同种类的关键性风味物质, 分别为丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸乙酯、辛酸乙酯和 β -二氢紫罗兰酮, 在气味上与 OS 组具有更强的相似性。经 92 °C 处理的样品有最高的游离氨基酸综合评分以及较高的维生素 C 保留率(62.23%)。综上所述, 当 $F=3.0$ min 时, 108 °C 是保持百香果营养成分和感官品质的最佳杀菌温度, 仅就 100 °C 以下杀菌工艺而言, 92 °C 杀菌的效果较好。

关键词: 百香果; 果浆; 杀菌强度; 杀菌温度

中图分类号: TS 255.3 文章编号: 1673-1689(2023)07-0084-11 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.07.010

Effects of Thermal Sterilization Temperatures on the Quality of Passion Fruit Pulp

LU Miaomiao^{1,2}, JIANG Qixing^{*1,2}, YU Peipei^{1,2}, GAO Pei^{1,2}, YANG Fang^{1,2}, XIA Wenshui^{1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to investigate the effect of temperature on the quality of passion fruit pulp based on the same sterilization intensity ($F=3.0$ min), the pulp was sterilized at different sterilization temperatures (88, 92, 95 and 108 °C) respectively. The changes in physicochemical composition, color and free amino acids were comparatively analyzed, and the flavor analysis was conducted using rapid gas chromatography-electron nose and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) techniques. The results showed that there was no significant difference in the total acid mass concentration (calculated as citric acid) between all the sterilized samples and the original sample

收稿日期: 2021-12-14

基金项目: 江南大学新农村发展研究院项目(JUSRP2001XNC)。

* 通信作者: 姜启兴(1977—), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品加工与保藏研究。E-mail: qixingj@163.com

(OS) ($P>0.05$). Compared to the OS group, the pulp treated at 108 °C showed a significant decrease ($P<0.05$) in the mass concentration of reducing sugars, however, there was no significant difference in the mass concentration of total sugar and total carotenoids ($P>0.05$), and the retention rate of vitamin C was also the highest (74.93%). Flavor analysis showed that the samples treated at 108 °C contained the same kinds of key flavor substances as the OS group, namely ethyl butyrate, ethyl caproate, ethyl acetate, ethyl caprylate and β -dihydroviolone, with a stronger similarity in aroma to the OS group. The samples treated at 92 °C had the highest overall free amino acid scores and a higher vitamin C retention rate (62.23%). In conclusion, 108 °C is the optimal sterilization temperature to maintain the nutritional compositions and sensory quality of passion fruit when $F=3.0$ min, and 92 °C sterilization is more effective only for sterilization processes below 100 °C.

Keywords: passion fruit, pulp, sterilization intensity, sterilization temperature

百香果是西番莲属草质或木质多年生藤本植物,原产于南美洲,主要在热带和亚热带地区种植,如今在我国广西、广东、海南和福建等地区已经形成了规模种植^[1]。百香果独特的香气和风味使其深受消费者的喜爱,此外,百香果中含有丰富的酚类化合物^[2]、维生素 C^[3]以及类胡萝卜素^[4]等有益的生物活性化合物,具有很强的抗氧化能力和降低心血管疾病风险的作用^[5]。

百香果是一种季节性很强的水果,随着产量的增长对原料加工保藏需求逐渐增大。冷冻保藏或热杀菌后常温保藏是最常见的长期保藏百香果果浆的方法。冷冻保藏能较好地保持百香果果浆的营养成分、色泽和风味等不发生显著变化,但是昂贵的冻藏和冷链运输成本无形中提高了产品的价格。而一些对果浆风味要求不高,或本身就有加热工序,或要求配料无菌的应用场景(如在酸奶加工中添加果浆等),对果浆进行热杀菌处理则具有更好的适用性。热杀菌已经在橙汁^[6]、胡萝卜汁^[7]、苹果汁^[8]以及杨梅汁^[9]等果汁加工中得到广泛应用,但现有研究大多还是针对特定杀菌温度和时间确定一个安全的杀菌工艺,对于在相同安全杀菌强度下,不同杀菌温度对果汁品质影响方面的研究报道还很少。

因此,作者旨在比较相同杀菌强度($F=3.0$ min)下,不同杀菌温度(88、92、95、108 °C)对百香果果浆基本理化成分(可滴定酸、总糖、还原糖、总酚、维生素 C、总黄酮和类胡萝卜素)、色泽、风味和游离氨基酸的影响,综合评判杀菌温度对果浆品质的影响,使百香果果浆在保证食用安全的前提下获得更好的品质,为百香果加工企业合理选择杀菌工艺提供

理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

百香果(紫香一号):产自广西玉林,由广西集思网络科技有限公司提供。选择果实完整且成熟度一致的百香果清洗后备用,破壳后用无菌纱布除籽,使果浆均一无杂质,装入避光自封袋并置于-18 °C下冻藏备用。

2,6-二氯酚、 $L(+)$ -抗坏血酸、氢氧化钠、酒石酸钾钠、无水亚硫酸钠、苯酚、氯化钠、无水乙醇、芦丁、没食子酸、 β -胡萝卜素、福林酚试剂、硝酸铝、乙酸锌、亚铁氰化钾、亚硝酸钠、酚酞、氯仿、甲醇(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司产品;草酸(分析纯):上海麦克林生化科技有限公司产品。

1.2 仪器与设备

管板组合式超高温杀菌机:日本 Powerpoint International 公司产品;恒温水浴锅:常州智博瑞仪器公司产品;XMD 型热电偶:上海自动化仪表六厂产品;4k-15 型高速冷冻离心机:德国 Sigma 公司产品;LHS-250HC-II 型恒温恒湿培养箱:上海一恒科学仪器有限公司产品;UV-1800 紫外可见分光光度计:日本岛津公司产品;AdventurerTM AX 分析天平:德国 OHAUS 公司产品;UltraScan Pro1166 型高精度分光测色仪:美国 Hunterlab 公司产品;Heracles 型快速气相色谱电子鼻:法国 Alpha MOS S.A.公司产品;SCIONSQ-456-GC 型气质联用仪:美国布鲁克公司产品;Agilent 1100 型游离氨基酸分

析专用高效液相色谱仪:美国安捷伦科技有限公司产品。

1.3 方法

1.3.1 百香果果浆的杀菌

1) 100 ℃以上杀菌工艺 由管板组合式超高温杀菌机完成。杀菌温度设置为 101、103、108 ℃,其对应的杀菌参数由公式(1)计算得出。杀菌完成后进行无菌封装。

$$F = \frac{t}{60} \times 10^{\frac{(T-T_R)}{Z}} \quad (1)$$

式中: F 为杀菌强度,min; t 为杀菌的时间,指 UHT 杀菌机出口至保温管尾端的时间,s; T_R 为杀菌参照基准温度,酸性食品取 93.3 ℃; Z 为微生物致死耐热性,酸性食品取 8.89 ℃; T 为 UHT 杀菌机的保温管尾端出口处温度,℃。

2) 100 ℃以下杀菌工艺 由恒温水浴锅完成。将 400 mL 百香果去籽果浆装入避光蒸煮袋(20 cm×10 cm),平均厚度约为 2 cm,封口时将空气排尽以免影响传热。杀菌温度设置为 85、88、92、95 ℃,杀菌时间由传热曲线确定,完成后在冷水浴中冷却。传热曲线由无线热电偶测得,每隔 30 s 读数。 F 值是指在特定温度下杀灭一定数量的特定对象菌所需要的时间。100 ℃以下杀菌工艺 F 值的计算方法见公式(2)。

$$F = \int_0^t \frac{10^{(T-93.3)}}{Z} dt \quad (2)$$

式中: F 为杀菌强度,min; t 为杀菌时间,min; T 为对应时刻样品的中心温度,℃; Z 为目标菌的致死耐热性,在酸性食品中一般取 8.89 ℃。

1.3.2 商业无菌检验 对于杀菌后样品是否满足商业无菌,按照 GB 4789.26—2013 检验。

1.3.3 基本品质指标的测定

1) 色差的测定 取 20 mL 样品于液体皿中,利用高精度分光测色仪的反射模式进行测定。根据国际照明委员会的规定,色度用 L^* (亮度)、 a^* (红/绿值)和 b^* (黄/蓝值)表示^[10]。利用下式计算总色差 ΔE^* , ΔE^* 范围所显示的差异程度见表 1。

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3)$$

式中: ΔE^* 为总色差; L_0^* 、 a_0^* 和 b_0^* 为未杀菌百香果果浆的初始色度值; L^* 、 a^* 和 b^* 为不同杀菌温度下百香果果浆的色度值。

表 1 ΔE^* 范围显示的差异程度

Table 1 Degree of variation indicated by the range of ΔE^*

范围	差异程度
$\Delta E^* \leq 0.2$	无可察觉差异
$0.2 < \Delta E^* \leq 0.5$	非常小的差异
$0.5 < \Delta E^* \leq 2.0$	小差异
$2.0 < \Delta E^* \leq 3.0$	稍有可察觉差异
$3.0 < \Delta E^* \leq 6.0$	可察觉差异
$6.0 < \Delta E^* \leq 12.0$	很大差异
$\Delta E^* > 12.0$	不同颜色

2) 可滴定酸(titratable acid, TA)的测定 参照 Oladunjoye 的方法^[11]并稍加修改。将 10 mL 百香果果浆适当稀释后煮沸 30 min,冷却后用无 CO₂ 的水定容至 250 mL,取适量过滤后试液于锥形瓶中,用酚酞作指示剂,用 0.1 mol/L NaOH 滴定至溶液呈粉色且 30 s 不变色即为终点。

3) 维生素 C(vitamin C, VC)的测定 根据 GB 5009.86—2016 进行测定。

4) 总糖(total sugar, TS)和还原糖(reducing sugar, RS)的测定 参照 Pang 等的方法^[12],采用 3,5-二硝基水杨酸法并对样品前处理步骤稍加修改。将 1 mL 百香果果浆、3 mL 的 1 mol/L 乙酸锌和 3 mL 的 0.25 mol/L 亚铁氰化钾用蒸馏水定容至 100 mL,静置片刻后过滤,滤液即为提取液。根据杨宁等的方法^[13],将葡萄糖标准溶液(0.02~0.10 mg/mL, $y = 18.685x - 0.1026$, $R^2 = 0.9996$)在 540 nm 下对应的吸光度绘制成标准曲线,测定样品吸光度,得到样品中 TS 和 RS 的质量浓度。

5) 总酚(total phenols compounds, TPC)的测定 参照 Slinkard 的 Folin-Ciocalteu 试剂法^[14]并稍加修改。取 5 g 百香果果浆,加入 50 mL 体积分数为 60% 的乙醇,于 70 ℃水浴提取 2 h,冷却后用上述乙醇补足,所得滤液即为提取液。取 1 mL 提取液,加入 6 mL 蒸馏水和 0.5 mL 福林酚,摇匀静置 1 min,再加入 1.5 mL 质量浓度为 200 g/L 的 Na₂CO₃ 溶液,用蒸馏水定容至 10 mL,常温避光反应 2 h。将没食子酸标准溶液(2~10 μg/mL, $y = 0.0861x + 0.0201$, $R^2 = 0.9984$)在 760 nm 下对应的吸光度绘制成标准曲线,测定样品吸光度,得到样品中 TPC 的质量浓度。

6) 总类胡萝卜素(total carotenoid compounds, TCC)的测定 参照文献[15]中的比色法进行测定。将 β -胡萝卜素标准溶液(1.0~3.5 μg/mL, $y = 0.1378x +$

0.030 9, $R^2=0.998\ 2$) 在 450 nm 下对应的吸光度绘制成标准曲线,得到样品中 TCC 的质量浓度。

7)总黄酮(total flavonoid compounds,TFC)的测定 参照文献[16]中的比色法进行测定,并对前处理步骤稍加修改。取 1 g 样品加入 60 mL 体积分数为 60%的乙醇,并在 70 ℃下水浴提取 1 h,冷却后定容至 100 mL,所得滤液即为提取液。将芦丁标准溶液 (0.5~3.0 $\mu\text{g/mL}$, $y=0.118\ 6x+0.008\ 2$, $R^2=0.997\ 9$) 在 510 nm 下对应的吸光度绘制成标准曲线,得到样品中 TFC 的质量浓度。

1.3.4 挥发性风味物质的测定 利用 GC-MS 分析不同杀菌温度下百香果果浆的挥发性风味物质。根据 Ye 等的方法^[17],将 3 mL 样品和 3 mL 饱和 NaCl 溶液加入 20 mL 顶空瓶,立即用 PTEE/硅胶隔垫密封,涡旋混合 1 min 后在 40 ℃下平衡 15 min。整个测定过程由江南大学测试中心完成。采用标准质谱图对样品谱图数据进行分析。根据面积归一法对样品中挥发性风味物质 (volatile organic compounds, VOC)的相对含量进行定量^[18]。为了确定各 VOC 对样品风味的贡献值,利用下式计算相对气味活度值 (relative odor activity value, ROAV)。

$$R=\frac{C_i}{C_{\max}}\times\frac{T_{\max}}{T_i}\quad(3)$$

式中: R 为样品的 ROAV; C_i 为挥发性成分 i 的相对含量,%; T_i 为挥发性成分 i 的水中气味阈值, $\mu\text{g/kg}$; $C_{\max}$ 为对样品风味贡献最大成分的相对含量,%; $T_{\max}$ 为对样品风味贡献最大成分的水中气味阈值, $\mu\text{g/kg}$ 。

1.3.5 电子鼻风味分析 参照 Yi 等的方法^[19]并稍加修改。将 5 mL 样品加入 20 mL 顶空瓶,立即用 PTEE/硅胶隔垫密封,在 25 ℃下平衡 15 min,之后用快速气相色谱电子鼻进行分析。测试条件为:载气流量 30 mL/min,测试时间 120 s,冷却时间 180 s。

1.3.6 游离氨基酸 (free amino acids,FAA) 的测定 根据 GB 30987—2020 进行测定。

1.3.7 统计分析 所有实验进行 3 组平行,最终结果以 $\text{AVR}\pm\text{SD}$ 表示。使用 SPSS 软件 (IBM SPSS Statistics 19) 对所有数据进行方差分析 (ANOVA),采用 Duncan 多范围检验 ($P<0.05$)。使用 Origin Lab 软件 (2018) 绘制数据图。

2 结果与分析

2.1 杀菌时间的确定

在 100 ℃以下杀菌工艺中,将处理好的百香果原浆与无线热电偶一同装入避光蒸煮袋中,真空封口。不同温度下得到的传热曲线见图 1。

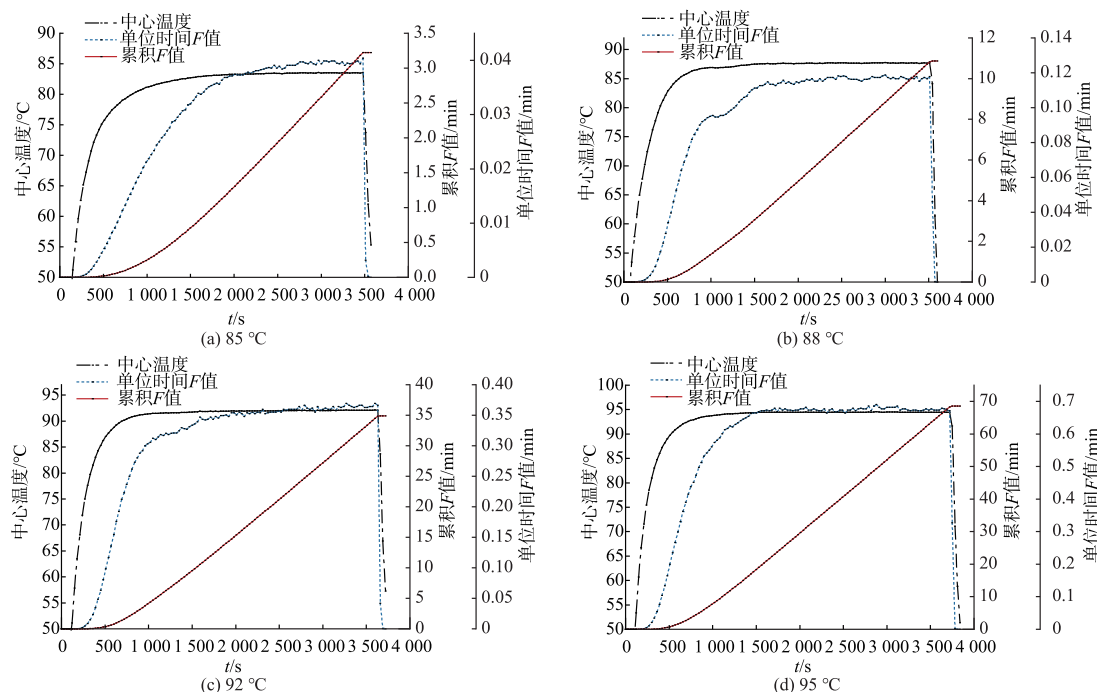


图 1 不同杀菌温度下的传热曲线及 F 值

Fig. 1 Heat transfer curve and F value at different sterilization temperatures

根据酸性食品安全 F 值的规定,杀菌强度必须大于 0.5 min。由于在冷却过程中也存在杀菌效果,因此根据 F 值确定杀菌时间时需减去冷却过程的 F 值^[20]。以 $F=3.0$ min 为例,样品实际所需杀菌时间见表 2。在 100 ℃以上杀菌工艺中,不同杀菌强度所需的温度,可直接根据杀菌公式计算得出^[21]。

表 2 不同温度下冷却过程 F 值及实际杀菌时间

Table 2 F value of cooling process and actual sterilization time at different temperatures

杀菌温度/℃	实际杀菌时间/min	冷却过程 F 值/min	杀菌结束 F 值/min
85	55.20	0.04	3.0
88	24.60	0.16	3.0
92	14.30	0.41	3.0
95	10.90	1.00	3.0

2.2 杀菌强度的确定

将不同杀菌温度处理的所有样品于 37 ℃下储存 10 d,并进行商业无菌判定,结果见表 3。在所有处理中, F 值在 0.5 及 0.5 以上时均验证为商业无菌,符合杀菌要求,但考虑到工业杀菌的稳定性和安全性,以 $F=3.0$ min 作为后期实验的杀菌强度。当杀菌温度为 85 ℃时,达到该杀菌强度需要 55.20 min,杀菌时间过长,实际生产时实现较困难,因此后续研究不再考虑该温度。

2.3 杀菌温度对基本品质指标的影响

TS、RS 和 TA 是影响百香果果浆甜度和酸度的重要指标。如图 2 所示,各杀菌样品的 TA 与 OS 组之间无显著差异($P>0.05$),这与 Ozyurt 之前在苹果汁中得到的结论一致^[22]。108 ℃处理后,样品的 TS 与 OS 组相比无显著差异($P>0.05$),但样品的 RS 与 OS 组相比显著降低($P<0.05$),原因可能是在较高的温度下还原糖发生羰氨反应所致,而所有经 100 ℃以下杀菌工艺处理的样品中未发现如此剧烈的转变。

VC、TPC 及 TFC 都是重要的抗氧化活性物质。如图 2(d)所示,OS 组中 VC 质量浓度为 (21.10 ± 0.52) mg/dL、TPC 质量浓度为 (5.69 ± 0.07) μ g/mL、TFC 质量浓度为 (26.13 ± 1.60) mg/L。与 OS 组相比,各杀菌样品的 VC 质量浓度显著降低($P<0.05$),其中经 108 ℃处理的样品 VC 损失最少,仅为 25.07%。在 100 ℃以下杀菌工艺中,经 92 ℃处理的样品 VC 损失最少,为 37.77%。这可能是由于连烯

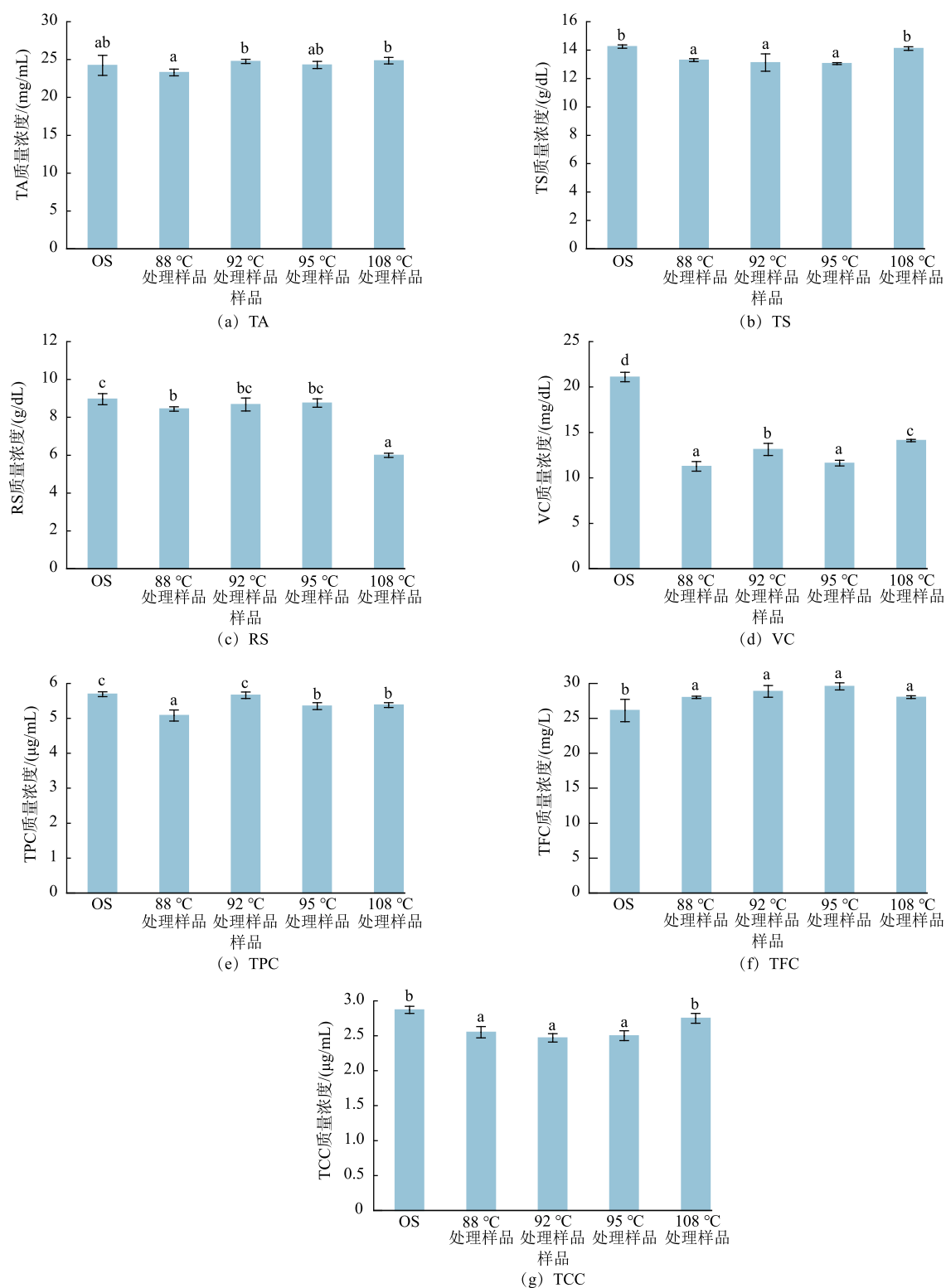
表 3 不同杀菌温度下杀菌强度对微生物的影响

Table 3 Effect of sterilization intensity on the microbial at different sterilization temperatures

杀菌工艺	F 值/min	杀菌温度/℃	杀菌时间/min	检测结果
100 ℃以下杀菌工艺	0.5	85	21.60	商业无菌
	0.5	88	11.60	商业无菌
	0.5	92	8.60	商业无菌
	0.5	95	6.70	商业无菌
	1.0	85	29.20	商业无菌
	1.0	88	14.60	商业无菌
	1.0	92	10.20	商业无菌
	1.0	95	7.90	商业无菌
	3.0	85	55.20	商业无菌
	3.0	88	24.60	商业无菌
	3.0	92	14.30	商业无菌
	3.0	95	10.90	商业无菌
100 ℃以上杀菌工艺	0.5	101	0.08	商业无菌
	1.0	103	0.08	商业无菌
	3.0	108	0.08	商业无菌

二醇结构的存在使 VC 分子的性质极其不稳定,温度、压力、光和酸等均对其产生极大影响^[23]。对 TPC 而言,除经 92 ℃处理的样品与 OS 组无显著差异外($P>0.05$),其余处理组的 TPC 质量浓度均显著降低($P<0.05$)。一方面可能由于酚类物质受热降解,另一方面可能与溶解氧对酚类物质的氧化有关^[24]。如图 2(f)所示,所有杀菌样品的 TFC 质量浓度与 OS 组相比均显著增加($P<0.05$),其原因可能是热加工破坏了植物细胞壁,从而促进了黄酮类物质的溶出,同时抑制了氧化酶的活性,防止黄酮氧化分解所致^[25]。从 VC、TPC 和 TFC 的质量浓度来看,在 108 ℃下处理能更好地保留这些抗氧化活性物质;仅针对 100 ℃以下杀菌工艺而言,92 ℃的效果较好。

TCC 是对百香果颜色具有重要作用的一类色素。经 108 ℃处理的样品与 OS 组相比无显著差异($P>0.05$),而所有经 100 ℃以下杀菌工艺处理的样品 TCC 质量浓度均显著降低($P<0.05$)。这可能与热加工过程中 5,6-环氧化物类胡萝卜素,例如紫黄质和花药黄质的降解有关^[26]。



图中标注的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 杀菌温度对百香果果浆基本品质指标的影响

Fig. 2 Effects of sterilization temperatures on the basic quality indicators of passion fruit pulp

2.4 杀菌温度对色泽的影响

经不同杀菌工艺处理的百香果果浆色泽参数见表4。与OS组相比,100℃以下杀菌样品的 L^* 和 a^* 下降, b^* 上升,即杀菌后的百香果果浆具有比原始样品更深、更黄的颜色。这可能是由于水溶性色素的氧化或美拉德反应产物的产生导致的,从而使

a^* 降低^[27]。经108℃处理的样品与OS组相比稍有可察觉差异($\Delta E^*=2.78$),而所有经100℃以下杀菌工艺处理的样品均表现出更大的差异($3.0<\Delta E^*\leq 6.0$),从数值上看92℃处理组的差异较小。因此在杀菌强度 $F=3.0$ min的条件下,108℃处理更好地保留了百香果果浆初始的颜色。

表4 杀菌温度对百香果果浆色泽的影响

Table 4 Effect of sterilization temperatures on the color of passion fruit pulp

组别	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	差异程度
OS组	53.09±0.04 ^a	13.57±0.06 ^c	39.47±0.30 ^{ab}		
88℃处理组	48.96±0.01 ^a	12.27±0.02 ^a	41.66±0.04 ^{ab}	4.85±0.04	可察觉差异
92℃处理组	49.93±0.01 ^c	12.30±0.03 ^a	40.76±0.03 ^b	3.64±0.05	可察觉差异
95℃处理组	49.25±0.01 ^b	12.31±0.03 ^a	41.92±0.04 ^{ab}	4.73±0.07	可察觉差异
108℃处理组	50.66±0.02 ^d	12.56±0.04 ^b	38.58±0.16 ^a	2.78±0.07	稍有可察觉差异

注:同列肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 电子鼻风味分析

利用电子鼻对不同杀菌温度处理样品的香气进行区分。对其进行降维处理,主成分1(principal component 1, PC1)、主成分2(principal component 2, PC2)对百香果果浆香气的贡献率分别为99.428%和0.443%。从图3可知,经108℃处理的样品与OS组的香气最相似。所有100℃以下杀菌样品的香气均与OS组相差较大,相比之下,仅92℃处理样品较为接近。Benjamin等也发现经过低温巴氏杀菌处理的石榴汁与未杀菌样品香气差别较大,这可能是由于长时间热处理导致热敏性物质的变化,产生蒸煮味^[28]。由此可见,108℃杀菌的处理时间更短,可极大保留样品原本的香气。

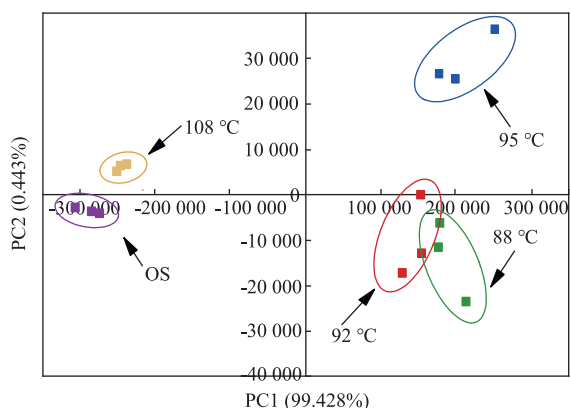


图3 杀菌温度对百香果果浆香气的影响

Fig. 3 Effect of sterilization temperatures on the aroma of passion fruit pulp

2.6 挥发性风味物质的 ROAV 分析

利用GC-MS对挥发性风味物质进行分析,共得到90种相对含量大于0.1%的化合物。根据Lin等的方法计算出不同风味物质的ROAV^[29],从而进一步分析形成百香果果浆风味的关键性风味物质,结果见图4。

丁酸乙酯和己酸乙酯对百香果特有的花果香、甜味的形成具有重要作用^[30],这与该研究所得结果一致。OS组中关键挥发性风味成分(ROAV>1)有5种,分别为:丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸乙酯、辛酸乙酯和 β -二氢紫罗兰酮;起修饰作用的风味成分($0\leq \text{ROAV}\leq 1$)有5种,分别为:丁酸己酯、乙酸己酯、3-己烯酸乙酯、庚酸乙酯和2-壬酮。在所有杀菌样品中,经108℃处理的样品与OS组相比,仅庚酸乙酯和月桂烯这两种修饰性风味物质有略微改变,关键性风味物质种类均一致。而经过100℃以下杀菌工艺处理后,增加了多种酯类、醇类等物质,包括2-己烯酸乙酯、异丁酸乙酯、2-庚醇、2-壬醇、芳樟醇、正辛醇、2-壬酮和月桂烯,这可能是在较长时间热的作用下,由百香果中的挥发性前体物质、类胡萝卜素降解产物^[31]、游离脂肪酸和含硫成分之间发生的化学及酶促反应所形成^[32]。

2.7 杀菌温度对 FAA 的影响

FAA也是重要的风味前体物质及呈味物质^[33],直接或间接地影响物质的味道和香气^[34]。表5为经不同杀菌工艺处理后样品的FAA质量浓度,其中天

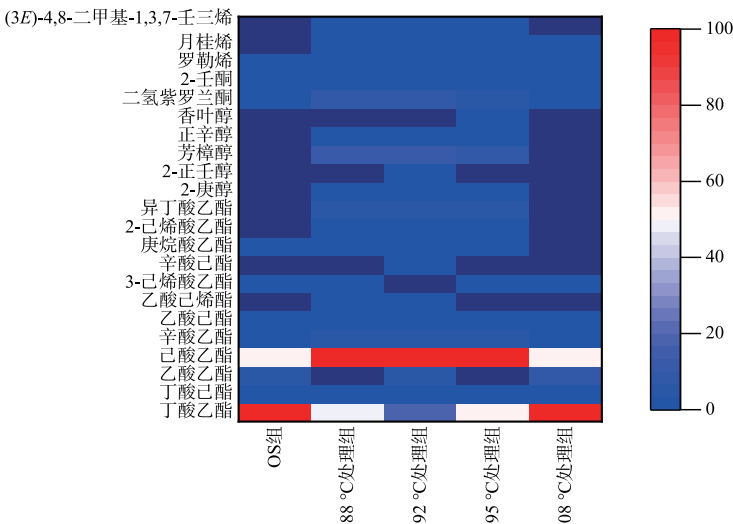


图 4 百香果果浆挥发性风味物质的 ROAV 热图

Fig. 4 Heat map of ROAV values of volatile flavor substances of passion fruit pulp

冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和脯氨酸的质量浓度较高。除经 88 ℃处理的样品外,其余样品与 OS 组相比总 FAA 质量浓度均显著增加($P<0.05$)。

为进行综合客观评价,对其进行降维处理。PC1、PC2 和 PC3 对百香果果浆 FAA 的贡献率分别为 70.41%、20.24%和 8.28%。表 6、表 7 分别为总方差分解结果、主成分载荷矩阵及系数。分别记 17 种 FAA(按表 7 顺序)质量浓度为 $X_1\sim X_{17}$,得到 3 个主成分方程。表 8 为各样品的 FAA 综合评分。

$$F_1=0.083X_1+0.081X_2+0.082X_3+0.081X_4+0.081X_5+0.079X_6+0.068X_7+0.079X_8+0.074X_9+0.072X_{10}+0.076X_{11}+$$

$$0.070X_{12}+0.069X_{13}+0.063X_{14}+0.017X_{15}+0.030X_{16}+0.043X_{17} \tag{4}$$

$$F_2=-0.022X_1-0.063X_2-0.016X_3+0.054X_4-0.060X_5-0.011X_6-0.137X_7+0.054X_8+0.105X_9-0.109X_{10}-0.100X_{11}+0.028X_{12}-0.125X_{13}+0.110X_{14}+0.284X_{15}+0.262X_{16}+0.216X_{17} \tag{5}$$

$$F_3=-0.015X_1+0.049X_2+0.136X_3-0.065X_4-0.025X_5-0.233X_6+0.132X_7-0.167X_8-0.196X_9+0.227X_{10}-0.155X_{11}+0.382X_{12}-0.240X_{13}+0.383X_{14}+0.003X_{15}+0.166X_{16}-0.306X_{17} \tag{6}$$

$$F_4=3.46F_1+1.86F_2+1.19F_3 \tag{7}$$

表 5 杀菌温度对百香果果浆 FAA 的影响

Table 5 Effect of sterilization temperatures on FAA of passion fruit pulp

组别	FAA 质量浓度/(mg/L)					
	天冬氨酸	谷氨酸	丝氨酸	组氨酸	甘氨酸	苏氨酸
OS 组	1 015.02±18.50 ^a	510.62±17.92 ^b	161.12±5.64 ^{bc}	40.95±3.10 ^b	39.00±2.71 ^{ab}	29.76±1.22 ^b
88 ℃处理组	1 296.17±20.28 ^b	461.05±10.28 ^a	143.00±7.03 ^a	34.75±2.47 ^a	36.89±1.11 ^a	24.82±1.46 ^a
92 ℃处理组	1 465.86±5.34 ^c	514.87±5.17 ^b	165.16±9.05 ^c	40.00±2.86 ^{ab}	48.85±1.11 ^d	32.07±0.20 ^c
95 ℃处理组	1 543.39±6.89 ^d	508.52±4.85 ^b	156.69±9.37 ^{bc}	38.07±3.85 ^{ab}	42.67±1.73 ^c	29.92±1.04 ^b
108 ℃处理组	1 521.86±3.81 ^d	517.37±1.93 ^b	149.52±1.85 ^{ab}	39.61±3.13 ^{ab}	40.96±1.53 ^{bc}	30.15±0.96 ^{bc}
组别	FAA 质量浓度/(mg/L)					
	精氨酸	丙氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	缬氨酸	蛋氨酸
OS 组	60.62±1.31 ^b	284.37±9.79 ^a	41.17±2.45 ^b	0.96±0.07 ^a	88.98±8.19 ^b	8.62±0.50 ^a
88 ℃处理组	53.66±3.03 ^a	288.90±3.74 ^a	36.06±2.25 ^a	3.16±0.24 ^b	79.18±2.27 ^a	8.16±0.27 ^a
92 ℃处理组	64.83±2.56 ^c	342.19±2.77 ^c	43.11±1.88 ^b	3.41±0.54 ^b	94.27±1.68 ^{bc}	9.52±0.35 ^a
95 ℃处理组	64.25±2.01 ^{bc}	316.93±2.62 ^b	39.96±0.89 ^b	5.27±0.08 ^c	96.29±1.32 ^{bc}	11.73±0.80 ^b
108 ℃处理组	63.27±1.11 ^{bc}	311.74±1.70 ^b	41.32±0.61 ^b	4.98±0.08 ^c	97.38±0.82 ^c	12.29±1.40 ^b

续表 5

组别	FAA 质量浓度/(mg/L)					
	苯丙氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	脯氨酸	总氨基酸
OS 组	85.13±2.12 ^b	46.42±2.67 ^b	52.21±1.29 ^b	59.58±2.69 ^b	968.64±31.61 ^c	3 493.17±12.13 ^b
88 ℃处理组	70.94±1.26 ^a	37.77±1.72 ^a	45.88±3.18 ^a	50.58±1.35 ^a	742.10±2.53 ^a	3 413.07±31.08 ^a
92 ℃处理组	89.92±2.15 ^c	46.67±4.05 ^b	57.93±1.17 ^c	63.25±2.10 ^c	1 137.46±13.56 ^d	4 219.37±16.47 ^d
95 ℃处理组	91.04±1.13 ^c	43.16±1.98 ^b	53.37±2.75 ^b	59.01±1.05 ^b	882.77±7.14 ^b	3 983.04±8.66 ^c
108 ℃处理组	89.99±1.24 ^c	45.24±1.65 ^b	52.77±0.86 ^b	57.93±1.17 ^b	894.02±5.27 ^b	3 970.40±13.07 ^c

注:同行肩标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 6 总方差分解结果

Table 6 Total variance decomposition results

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
PC1	11.970	70.411	70.411
PC2	3.441	20.244	90.655
PC3	1.407	8.279	98.934

表 7 主成分载荷矩阵及系数

Table 7 Principal component loading matrix and coefficients

游离氨基酸	PC1		PC2		PC3	
	载荷	系数	载荷	系数	载荷	系数
苏氨酸	0.997	0.083	-0.075	-0.022	-0.022	-0.015
赖氨酸	0.970	0.081	-0.216	-0.063	0.070	0.049
亮氨酸	0.980	0.082	-0.054	-0.016	0.191	0.136
精氨酸	0.972	0.081	0.186	0.054	-0.092	-0.065
酪氨酸	0.965	0.081	-0.205	-0.060	-0.035	-0.025
谷氨酸	0.943	0.079	-0.038	-0.011	-0.328	-0.233
丝氨酸	0.818	0.068	-0.472	-0.137	0.186	0.132
苯丙氨酸	0.946	0.079	0.186	0.054	-0.235	-0.167
缬氨酸	0.890	0.074	0.361	0.105	-0.275	-0.196
脯氨酸	0.865	0.072	-0.374	-0.109	0.319	0.227
异亮氨酸	0.906	0.076	-0.343	-0.100	-0.218	-0.155
甘氨酸	0.838	0.070	0.098	0.028	0.537	0.382
组氨酸	0.830	0.069	-0.430	-0.125	-0.338	-0.240
丙氨酸	0.748	0.063	0.379	0.110	0.538	0.383
半胱氨酸	0.206	0.017	0.978	0.284	0.004	0.003
天冬氨酸	0.355	0.030	0.903	0.262	0.234	0.166
蛋氨酸	0.512	0.043	0.743	0.216	-0.431	-0.306

式中: $X_1\sim X_{17}$ 为 17 种 FAA 质量浓度(按表 7 顺序), mg/L; F_1 为 PC1 得分; F_2 为 PC2 得分; F_3 为 PC3 得分; F_4 为 FAA 加权综合得分。

由表 8 数据可知,经 92 ℃处理的样品 FAA 综合评分最高,除了 88 ℃处理组外,其余样品的 FAA 综合评分均显著高于 OS 组 ($P<0.05$)。

表 8 不同杀菌温度下百香果果浆的 FAA 综合评分
Table 8 FAA composite score of passion fruit pulp at different sterilization temperatures

组别	F_1	F_2	F_3	F_4
OS 组	0.023	-1.550	-0.840	-3.803
88 ℃处理组	-1.663	0.118	-0.840	-6.534
92 ℃处理组	1.019	-0.296	1.389	4.628
95 ℃处理组	0.292	0.914	-0.184	2.491
108 ℃处理组	0.329	0.814	-0.977	1.490

3 结 语

采用不同温度对百香果果浆进行杀菌,保温实验表明当杀菌强度 $F \geq 0.5$ min 时,各杀菌温度处理的样品均满足商业无菌的要求。

在基本品质指标方面,当 $F=3.0$ min 时,经 108 ℃处理的样品 VC 损失仅 25.07%,而 100 ℃以下杀

菌工艺中 VC 损失分别为 46.59%(88 ℃)、37.77%(92 ℃)和 44.93%(95 ℃)。所有样品的总酸均无显著性差异($P>0.05$)。温度对总酚、黄酮及类胡萝卜素的影响无明显规律,但 108 ℃处理下此类抗氧化活性物质的保留量较高。在色泽方面,经 108 ℃处理的样品与 OS 组相比稍有可察觉差异,而所有 100 ℃以下杀菌样品均表现出了更大的差异, L^* 和 a^* 显著下降($P<0.05$)。电子鼻分析结果表明,在所有杀菌样品中,经 108 ℃处理的样品与 OS 组相比风味的差异最小,并且 ROAV 分析表明其关键性风味物质种类一致。在 FAA 方面,经 92 ℃处理的样品 FAA 综合评分最高。

综上所述,当 $F=3.0$ min 时,108 ℃是保持百香果营养成分和感官性质的最佳杀菌温度;就 100 ℃以下杀菌工艺而言,92 ℃也是一种较好的选择。

参考文献:

- [1] 许梦圆. 广西产紫皮百香果皮中总黄酮化学成分与生物活性研究[D]. 北京:中央民族大学,2021.
- [2] LEITE I B, MAGALHAES C D, MONTEIRO M, et al. Addition of honey to an apple and passion fruit mixed beverage improves its phenolic compound profile[J]. **Foods**, 2021, 10(7): 1-12.
- [3] PIYAPONG P, URAIPORN B, KANOKNUCH N, et al. Acute effects of passion fruit juice supplementation on cardiac autonomic function and blood glucose in healthy subjects[J]. **Preventive Nutrition and Food Science**, 2019, 24(3): 245-253.
- [4] SANTOS J, PETRY F C, TOBARUELA E, et al. Brazilian native passion fruit (*Passiflora tenuifolia* Killip) is a rich source of proanthocyanidins, carotenoids, and dietary fiber[J]. **Food Research International**, 2021, 147(12): 1-11.
- [5] SUDASINGHE H P, PEIRIS D C. Hypoglycemic and hypolipidemic activity of aqueous leaf extract of *Passiflora suberosa* L[J]. **PeerJ Life and Environment**, 2018, 6(2): 1-17.
- [6] AMARO K C, TADINI C C. The optimal time-temperature conditions for orange juice microwave-assisted pasteurization[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2021, 150: 1-7.
- [7] NEGRIRODRIGUEZ L M, ARIAS R, SOTERAS T, et al. Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2021, 145(36): 1-9.
- [8] MÜLLER W A, PASIN M V A, SARKIS J R, et al. Effect of pasteurization on *Aspergillus fumigatus* in apple juice: analysis of the thermal and electric effects[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2021, 338: 1-10.
- [9] HU Y H, WANG C Y, CHEN B Y. Effects of high-pressure processing and thermal pasteurization on quality and microbiological safety of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice during cold storage[J]. **Journal of Food Science and Technology**, 2020, 57(9): 3334-3344.
- [10] BARANI Y H, ZHANG M, WANG B, et al. Influences of four pretreatments on anthocyanins content, color and flavor characteristics of hot-air dried rose flower[J]. **Drying Technology**, 2020, 38(15): 1988-1995.
- [11] OLADUNJOYE A O, ADEBOYEJO F O, OKEKUNBI T A, et al. Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (*Spondias mombin* L.) juice[J]. **Ultrasonics Sonochemistry**, 2021, 70: 1-7.
- [12] PANG L J, LU G Q, CHENG J Y, et al. Physiological and biochemical characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) roots treated by a high voltage alternating electric field during cold storage [J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2021, 180: 1-11.
- [13] 杨宁, 王伟明, 姚琳, 等. 3,5-二硝基水杨酸法测定发酵型果露酒中总糖含量[J]. **中国酿造**, 2018, 37(1): 181-184.
- [14] SLINKARD K, SINGLETON V L. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods[J]. **American**

- Journal of Enology and Viticulture**, 1977, 28(1):49-55.
- [15] AHMED I A M, ALJUHAIMI F, ÖZCAN M M, et al. A comparative study of bioactive compounds, antioxidant activity and phenolic compounds of melon (*Cucumis melo* L.) slices dehydrated by oven, microwave and infrared systems[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2021, 45(7):1-8.
- [16] SALAMATULLAH A M, USLU N, ÖZCAN M M, et al. The effect of oven drying on bioactive compounds, antioxidant activity, and phenolic compounds of white and red-skinned onion slices[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2021, 45(2):1-7.
- [17] YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Effect of ripening and variety on the physiochemical quality and flavor of fermented Chinese chili pepper (Paojiao)[J]. **Food Chemistry**, 2022, 368:1-9.
- [18] 刘纯友, 江素珍, 冯笑, 等. HS-SPME-GC-MS 测定三种类型百香果实挥发性风味成分[J]. **食品工业科技**, 2021, 42(11):255-262.
- [19] YI C P, LI Y S, ZHU H, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* fermentation on the volatile flavors of mung beans[J]. **LWT—Food Science and Technology**, 2021, 146:1-9.
- [20] 宁孔卯, 姜启兴, 余达威, 等. 杀菌工艺对蓝莓果汁品质的影响[J]. **食品与生物技术学报**, 2021, 40(6):60-64.
- [21] 漳州中罐协科技中心. 食品热力杀菌理论与实践[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2014:121-129.
- [22] OZYURT V H, ICIER F, OTLES S. Effects of the thermosonication clarification on the rheological properties of apple juice[J]. **The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI –Food Technology**, 2019, 43(1):81-93.
- [23] 赵光远, 李娜, 张培旗, 等. 热协同超高压处理对含防腐变剂鲜榨苹果汁贮藏品质的影响[J]. **食品与发酵工业**, 2007, 33(4):154-158.
- [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.
- [25] MUYONGA J H, ANDABATI B, SSEPUUYA G. Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties[J]. **Food Science and Nutrition**, 2014, 2(1):9-16.
- [26] LEE H S, COATES G A. Effect of thermal pasteurization on *Valencia* orange juice color and pigments[J]. **LWT—Food Science and Technology**, 2003, 36(1):153-156.
- [27] 周葵. 西番莲综合加工关键技术研究[D]. 南宁:广西大学, 2015.
- [28] BENJAMIN O, GAMRASNI D. Microbial, nutritional, and organoleptic quality of pomegranate juice following high-pressure homogenization and low-temperature pasteurization[J]. **Journal of Food Science**, 2020, 85(3):592-599.
- [29] LIN L J, WU J Y, CHEN X, et al. The role of the bacterial community in producing a peculiar smell in Chinese fermented sour soup[J]. **Microorganisms**, 2020, 8(9):1-13.
- [30] JANZANTTI N S, MONTEIRO M. Changes in the aroma of organic passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) during ripeness[J]. **LWT—Food Science and Technology**, 2014, 59(2):612-620.
- [31] JANZANTTI N S, MONTEIRO M. HS-GC-MS-O analysis and sensory acceptance of passion fruit during maturation[J]. **Journal of Food Science and Technology**, 2017, 54(8):2594-2601.
- [32] 孔祥琪. 番木瓜果汁香气成分及其在热杀菌后的变化研究[D]. 海口:海南大学, 2016.
- [33] 袁红飞, 钟小清, 唐胜春, 等. 基于电子舌和气相色谱-离子迁移谱分析不同等级佛跳墙的风味特征[J]. **食品与生物技术学报**, 2021, 40(9):73-84.
- [34] HU W S, WANG B Y, ALI M M, et al. Free amino acids profile and expression analysis of core genes involved in branched-chain amino acids metabolism during fruit development of Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) cultivars with different aroma types[J]. **Biology**, 2021, 10(8):1-12.