

蓝莓复合果泥超高压和热杀菌的比较分析

马新雨¹, 毕秀芳^{2*}, 任书凝³, 邢亚阁³

(1. 中国农业大学四川现代农业产业研究院, 四川成都 611430) (2. 西南民族大学食品科学与技术学院, 四川成都 610041) (3. 西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 610039)

摘要: 以蓝莓、草莓和苹果为原料, 通过感官评价分析, 研制出一款蓝莓复合果泥。利用超高压 (UHP) 和热杀菌 (TS) 处理果泥, 分析处理前后和 4 °C 贮藏 40 d 内其微生物、理化指标、色泽、花青素、香气和流变特性的变化。结果表明, 两种处理后果泥菌落总数、大肠菌群和霉菌均未检出, 贮藏 40 d 时仍符合食品标准限量。pH 值在处理过程和贮藏期内都显著降低 ($P < 0.05$)。可溶性固形物在 UHP 处理后无显著变化 ($P > 0.05$), TS 处理后显著增大 ($P < 0.05$), 贮藏结束时均为 7.80 °Brix。TS 处理后果泥花青素含量显著降低 ($P < 0.05$), UHP 组无显著变化 ($P > 0.05$), 贮藏期间, UHP 组花色苷含量显著高于 TS 组。UHP 和 TS 组果泥贮藏期间 ΔE 最大值分别为 1.26 和 3.47, TS 组果泥贮藏时出现明显颜色变化。电子鼻结果表明 UHP 比 TS 能更好地保留果泥的香气成分。流变仪结果表明 UHP 组果泥贮藏期间具有更好的稳定性。综上, UHP 对蓝莓复合果泥的品质保存效果好, 是一种适用于蓝莓复合果泥加工的杀菌方式。

关键词: 蓝莓; 复合果泥; 超高压; 热杀菌; 品质; 贮藏

文章编号: 1673-9078(2024)04-206-214

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.0402

Comparative Analysis of Ultra-high Pressure and Thermal Sterilization of A Blueberry-strawberry-apple Puree

MA Xinyu¹, BI Xiufang^{2*}, REN Shuning³, XING Yage³

(1. Sichuan Institute of Modern Agricultural Industry, China Agricultural University, Chengdu 611430, China)
(2. School of Food Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China)
(3. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Using blueberries, strawberries and apples as the raw materials, a blueberry-strawberry-apple compound puree was developed through sensory evaluation. The puree was treated by ultra-high pressure (UHP) and thermal sterilization (TS), respectively. The changes in microorganisms, physical and chemical indicators, color, content of anthocyanins, aroma and rheological properties of the puree before and after the treatment and during 40 days of storage at 4 °C were analyzed. The results showed that the total number of bacterial colonies, coliform and mold were not detected in the purees immediately after the two treatments, and the counts of these microorganisms still met the food safety standard limit after 40 days of the storage. The pH decreased significantly after either treatment and during the storage ($P < 0.05$). The total soluble solids did not change significantly after UHP ($P > 0.05$), but increased significantly after TS ($P < 0.05$), with both reaching 7.80 °Brix at the

引文格式:

马新雨, 毕秀芳, 任书凝, 等. 蓝莓复合果泥超高压和热杀菌的比较分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(4): 206-214.

MA Xinyu, BI Xiufang, REN Shuning, et al. Comparative analysis of ultra-high pressure and thermal sterilization of a blueberry-strawberry-apple puree [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 206-214.

收稿日期: 2023-04-04

基金项目: 四川省自然科学基金项目 (2022NSFSC1705); 西南民族大学科研启动金项目 (RQD2023008)

作者简介: 马新雨 (2000-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 白酒风味研究, E-mail: 1095101757@qq.com

通讯作者: 毕秀芳 (1990-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: bxf1221@163.com

end of storage. After TS, the anthocyanin content in the puree decreased significantly ($P<0.05$), with insignificant change in the UHP treated samples ($P>0.05$). During the storage, the anthocyanin content of the UHP treated puree was significantly higher than that of TS group ($P<0.05$). The maximum ΔE values of UHP and TS were 1.26 and 3.47, respectively, indicating that TS could cause significant color changes in the puree during storage. The results of the electronic nose testing showed that UHP could better retain the aroma components of the puree than TS. The analysis by the rheometer showed that the puree after UHP had better stability during storage. In summary, UHP could better maintain the quality of the blueberry-strawberry-apple puree, which was a proper sterilization method for the processing of the puree.

Key words: blueberry; compound puree; ultra-high pressure (UHP); thermal sterilization (TS); quality; storage

蓝莓 (*Vaccinium* spp.), 杜鹃花科越橘属植物, 原产于北美, 在中国种植面积辽阔, 温带气候的黑龙江、平均海拔四千米以上的青藏高原和热带季风气候的海南都有蓝莓的种植^[1]。蓝莓具有独特的风味和极高的营养价值。鲜果中含有丰富的花青素、类胡萝卜素、钾、铁、锌和维生素 C、维生素 E 等营养成分^[2]。蓝莓中的花青素还具有抗肥胖^[3]、改善人体微循环^[2]、缓解眼睛疲劳、增进视力、预防心脏病、美容养颜、增强人体免疫力等作用^[4], 对人体的健康具有十分重要的意义。

由于蓝莓是季节性水果, 果皮薄、易破碎, 易腐败变质, 新鲜蓝莓贮藏性差, 对蓝莓进行精深加工, 既可减少蓝莓的采后损失, 又可提高其附加值^[5]。目前市场上的蓝莓产品多种多样, 如果酒、果汁、果酱、果冻、果糕、饼馅、冰淇淋和特殊保健品^[6]等, 而果泥这一类型的产品较为缺乏。草莓是全球消费量最大的浆果^[7], 其色泽明艳, 香气诱人, 营养丰富。苹果在中国的产量大, 价格低, 酸甜可口, 滋味丰富^[8]。蓝莓价格昂贵, 以单一原料生产成本太高, 利用各种水果资源开发复合制品, 不但可以平衡产品营养, 提高产品口味和香气质量^[9], 还可以降低生产成本。

杀菌工序是复合果泥加工的关键工序。热杀菌 (Thermal Sterilization, TS) 因温度高、加热时间长易造成产品热敏性营养成分损失及色泽、风味的不良变化^[10]。超高压 (Ultra-high Pressure Processing, UHP) 技术的杀菌原理是对食品样品施加 100~1 000 MPa 的压力来达到灭活引起食品腐败的酶和微生物的目的^[11]。近年来的研究表明超高压杀菌较传统热杀菌能更好地保留果蔬产品的感官品质及营养成分^[12]。本文比较了 UHT 和 TS 对蓝莓复合果泥品质的影响, 以期为提高蓝莓复合果泥的品质、优化其生产工艺提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验原料

蓝莓 (薄雾), 采自四川蓝莓蓝宝宝基地, 于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏, 使用前置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下解冻;

草莓, 购于四川省成都市红光沃尔玛超市, 于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏, 使用前置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下解冻;

苹果 (陕西红富士), 购于四川省成都市郫都区红光镇沃尔玛超市, 2 d 内使用。

1.1.2 实验试剂

无水乙醇、盐酸、氯化钠、醋酸和无水乙酸钠, 成都科龙化工试剂厂; 马铃薯葡萄糖琼脂、结晶紫中性红胆盐琼脂和平板计数琼脂, 北京奥博星生物技术有限责任公司; 抗坏血酸和柠檬酸, 凯弘生物科技有限公司; 氯化钠, 河南明瑞食品添加有限公司; 果胶酶, 齐齐哈尔台龙食品有限公司。

1.2 仪器设备

MJ-BL25C4 搅拌机, 美的生活电器制造有限公司; FAL-102 手持糖度计, 源恒通科技有限公司; MCR302 流变仪, 奥地利安东帕有限公司; MC-01000228 酸度计, 成都世纪方舟科技仪器有限公司; PEN3 电子鼻, 美国 AIRSENSE; WF32-16MM 色差仪, 威福光电科技有限公司; HPP600MPa/3-5L 超高压设备, 沃迪智能装备股份有限公司; SGSP-02 电热恒温隔水式培养箱; UV-2800 分光光度计, 尤尼柯仪器有限公司; TD-5M 台式离心机, 蜀科仪器有限公司; SW-CJ-2F 单人单面净化工作台, 安泰空气技术有限公司; DK-98-II 电热恒温水浴锅, 泰斯特仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 蓝莓复合果泥的制备

1.3.1.1 蓝莓果泥的制备

将冻结的蓝莓果实进行解冻和清洗,剔除烂果与细小杂质,置于65℃热水中烫漂5 min^[13],沥干水分后添加质量分数0.2%的抗坏血酸对蓝莓进行护色^[5]打浆60 s,得到的蓝莓果泥待用。

1.3.1.2 草莓果泥的制备

将冻结的草莓果实进行解冻和清洗,剔除烂果与细小杂质,置于90℃热水中烫漂2 min^[14],沥干水分后添加质量分数0.3%的抗坏血酸和质量分数0.3%的柠檬酸和对草莓进行护色^[14]打浆30 s,得到的草莓果泥待用。

1.3.1.3 苹果果泥的制备

新鲜苹果清洗、去皮、去核、切片后,在含有质量分数1.5%氯化钠、质量分数2%抗坏血酸的水溶液浸泡15 min^[15],捞出沥干后装入15 cm×20 cm高温蒸煮袋中,排除空气后封口^[16],90℃热水烫漂5 min^[14],打浆60 s,得到的苹果果泥待用。

表1 感官评定标准

Table 1 Sensory assessment criteria

项目	评分标准	分值/分
色泽 (15分)	色泽鲜艳,紫红色	12~15
	色泽明亮,浅红色	10~12
	色泽发黑,深紫色	8~10
	色泽较差,红褐色	<7
	味道协调,风味突出,糖/酸比例合适,味道好	34~40
滋味口感 (40分)	口感良好,糖/酸比例适宜,味道尚可	27~34
	口感一般,风味不突出,过甜或过酸	20~27
	口感较差,很酸或口感极不协调	<19
香气 (20分)	水果之间香气协调,香气突出	16~20
	水果之间香气较协调,无异味	12~15
	水果之间香气协调性较差,略有刺激味	9~11
	水果之间香气较重,刺激味严重	<8
组织状态 (25分)	果泥均匀一致,细腻柔软	21~25
	果泥比较均匀,有少许结块或汁液析出	17~20
	果泥均匀性较差,有较多结块或汁液析出	14~16
	果泥不均匀,粗糙干燥	<13

1.3.1.4 蓝莓复合果泥配方确定

为提亮色泽、丰富香气口感,按蓝莓泥:草莓泥:苹果泥分别为2:1:1、1:1:2、1:2:1、2:1:3和1:1:1的质量比(m/m)进行混合,搅拌均匀,得到五组不同配比蓝莓复合果泥。根据表1,从色泽、滋味口感、香气和组织状态四个方面对制备的五组复合果泥进行感官评价,其中蓝莓泥:草莓泥:苹果泥=1:1:2(m/m)的配方感官评价得分最高,为最佳配方,后续的指标均采用该配比的复合果泥进行测定。

1.3.2 UHP处理蓝莓复合果泥

用高温蒸煮袋装28 g蓝莓复合果泥后,放入超高压设备中进行处理。参考李靖等^[17]的方法并经由预实验确定,采用500 MPa/5 min的超高压条件对蓝莓复合果泥进行处理,温度控制为25℃,水为传压介质,升压速率大约为7.1 MPa/s,以保压期间压力波动不超过5%,卸压时间持续时间小于0.5 min为宜。从而得到UHP组复合果泥。

1.3.3 TS处理蓝莓复合果泥

用高温蒸煮袋装入28 g蓝莓复合果泥后,参考王晓琼^[5]的方法并通过预实验确定,将包装好的果泥置于水浴锅在1.5 min且中心温度达到90℃后,保温2 min,后迅速冷却到室温,得到TS组复合果泥。

1.3.4 贮藏条件

将经过UHP和TS处理的复合果泥置于4℃条件下贮藏,于0、5、10、15、20、25、30、40 d分别取样,测定蓝莓复合果泥贮藏期内微生物和品质的变化。

1.3.5 微生物的测定

根据GB 4789.2-2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》、GB 4789.3-2016《食品微生物学检验 大肠菌群计数》、GB 4789.15-2016《食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》的相关操作分别进行菌落总数、大肠菌群、霉菌的计数,结果用lg CFU/g表示。

1.3.6 花青素含量的测定

参考金亚美等^[18]的方法,称取5 g复合果泥样品,加入20 mL体积分数为60%的酸性乙醇溶液(其中含有0.06 mL HCl),水浴振荡(30℃/30 min),超声提取(60℃/50 min),4 000 r/min离心20 min,取上层清液4 mL,分别用pH值为1.0(HCl-NaCl缓冲溶液)和pH值为4.5(CH₃COOH-CH₃COONa缓冲溶液)缓冲液稀释至8 mL,并分别测量其在510 nm和710 nm波长处的吸光值。计算公式:

$$A = (A_{510} - A_{710})_{\text{pH值} 1.0} - (A_{510} - A_{710})_{\text{pH值} 4.5} \quad (1)$$

$$C = \frac{A \times W \times D \times V}{\varepsilon \times L \times m} \quad (2)$$

式中:

A —pH 值 1.0 和 pH 值 4.5 下的吸光度差值;

A_{510} —在 510 nm 处的吸光值;

A_{710} —在 710 nm 处的吸光值;

C —花青素含量, mg/g;

W —花青素-3-葡萄糖苷分子量 449.2 g/mol;

D —稀释因子;

V —提取总体积, mL;

ε —摩尔吸收率 26 900 L/(cm·mol);

L —比色光程长度, 1 cm;

m —称取蓝莓果泥的质量, g。

1.3.7 可溶性固形物的测定

可溶性固形物 (Total Soluble Solid, TSS) 采用手持糖度计测定, 结果以 °Brix 表示。

1.3.8 pH值的测定

用 pH 计测定蓝莓复合果泥的 pH 值。

1.3.9 颜色的测定

采用全自动色差仪测定色差值^[5]。采用 CIE-LAB 颜色体系, 将 5 g 果泥置于 50 mL 烧杯中, 烧杯外缠绕黑色胶带使其避光, 对样品的色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 进行测定。其中, L^* 表示亮度, L^* 值越大, 亮度越大; $a^* > 0$ 表示物体偏红, $a^* < 0$ 表示物体偏绿; $b^* > 0$ 表示物体偏黄, $b^* < 0$ 表示物体偏蓝。用 ΔE 反应颜色的变化程度, 计算公式如下:

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 - (a^* - a_0^*)^2 - (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

式中:

L^* —处理后复合果泥的亮度;

L_0^* —未处理复合果泥的亮度;

a^* —处理后复合果泥的红度;

a_0^* —未处理复合果泥的红度;

b^* —处理后复合果泥的黄度;

b_0^* —未处理复合果泥的黄度。

以 ΔE 的大小来反应样品果泥的颜色变化程度, ΔE 越大, 表示样品果泥的颜色变化越大。

1.3.10 香气的测定

准确称量 5 g 蓝莓复合果泥样品于 20 mL 顶空瓶, 30 °C 水浴 10 min, 随后插入电子鼻探头吸取顶端气体, 测定香气物质。调整电子鼻相关参数如下: 预采样 5 s, 采样间隔 1 s, 冲洗时间 120 s, 调零时

间 10 s, 检测时间 100 s, 载气流速和进样流速为 250 mL/min。传感器在检测 80 s 趋于稳定, 选取 81 s 为信采集时间^[19], 每种样品均重复测定 2 次。

表 2 电子鼻的 10 个传感器的性能

Table 2 Ten sensors performance of the e-nose

序号	传感器名称	性能描述
R (1)	W1C	芳香成分
R (2)	W5S	灵敏度高, 对氮氧化合物很灵敏
R (3)	W3C	氨水, 对芳香成分灵敏
R (4)	W6S	主要对氢气有选择性
R (5)	W5C	烷烃芳香成分
R (6)	W1S	对短链烷烃灵敏
R (7)	W1W	对硫化物灵敏
R (8)	W2S	对乙醇灵敏
R (9)	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
R (10)	W3S	对烷烃灵敏

1.3.11 流变特性的测定

果泥的流变特性由流变仪测定, 在 25 °C 下, 采用直径 50 mm 的平行板, 平行板间距 1 mm, 数据点数量设置为 30, 取点时间为恒定值剪切速率设置为对数变化规律, 数值设置为 0.01~1 000 s⁻¹^[20], 测定表观黏度随剪切速率的变化^[21]。

1.3.12 实验数据统计分析

试验数据采用 Origin 2021 进行统计并绘图; 用 SPSS 26.0 进行统计分析, 对各组实验数据采用单因素方差分析 (ANOVA), $\alpha=0.05$, 重复两次。

2 结果与分析

2.1 UHP和TS对复合果泥中微生物的影响

如表 3 所示, 未处理的蓝莓复合果泥菌落总数为 2.08 lg CFU/g, 经过 UHP 和 TS 处理后的蓝莓复合果泥菌落总数发生显著下降 ($P < 0.05$), 并都未检出。Marszalek 等^[22]发现 500 MPa/5 min 能显著降低草莓泥的微生物数量, 王晓琼等^[5]发现 90 °C /1 min 能显著降低蓝莓汁的微生物数量。贮藏过程中, 两种方式处理的果泥菌落总数呈现上升趋势, 第 40 天时 UHP 和 TS 组的果泥菌落总数分别为 3.03 和 3.02 lg CFU/g, 且两者间无显著差异 ($P > 0.05$)。由于果泥无现行国家标准, 参考 QCPADL 0001-2015 《北京安德鲁水果食品有限公司 果泥》, 菌落总数限量为 1 500 CFU/g (3.17 lg CFU/g), 经两种处理后的样品果泥在 4 °C 贮藏 40 d 后仍符合该标准的微生物限量要求。

表 3 不同处理下蓝莓复合果泥4 °C贮藏40 d微生物数量的变化

Table 3 Changes of microbial quantity of blueberry-strawberry-apple puree stored at 4 °C for 40 days under different treatments

组别	贮藏时间/d								
	0	5	10	15	20	25	30	40	
菌落总数	未处理	2.08 ± 0.05	—	—	—	—	—	—	—
	超高压	ND	0.65 ± 0.65 ^f	1.39 ± 0.09 ^{cf}	1.87 ± 0.03 ^{bc}	2.60 ± 0.01 ^{ab}	2.72 ± 0.02 ^a	2.92 ± 0.01 ^a	3.02 ± 0.01 ^a
	热处理	ND	ND	1.15 ± 0.15 ^{dc}	2.00 ± 0.02 ^{cd}	2.52 ± 0.03 ^a	2.77 ± 0.01 ^a	2.88 ± 0.01 ^a	3.03 ± 0.02 ^a
大肠菌群	未处理	ND	—	—	—	—	—	—	—
	超高压	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	热处理	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
霉菌	未处理	1.30 ± 0.06	—	—	—	—	—	—	—
	超高压	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	热处理	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注：表格中数据的单位均为 lg CFU/g；小写字母不同表示两种处理后果泥不同贮藏时间之间存在显著差异 ($P < 0.05$)；ND 表示微生物计数低于检测限 (< 1 CFU/g)；—表示未检测。

未处理组果泥大肠菌群未检出，霉菌数为 1.30 lg CFU/g。UHP 组和 TS 组贮藏期内大肠菌群、霉菌均未检出，贮藏期结束时仍符合上述企业标准中微生物限量要求：大肠菌群限量为 30 CFU/g，霉菌限量为 100 CFU/g。上述结果表明两种处理方式都能更好地抑制样品果泥中霉菌的生长，这是由于霉菌对 TS 和 UHP^[23] 都较为敏感。综上所述，UHP 和 TS 处理均能对样品果泥起到较好的杀菌效果。

2.2 UHP和TS对蓝莓复合果泥花青素含量的影响

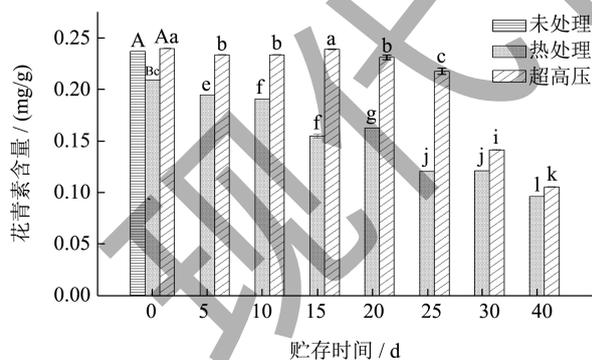


图 1 不同处理蓝莓复合果泥在贮藏期间花青素含量的变化

Fig.1 Changes of anthocyanin content in blueberry-strawberry-apple puree with different treatments during storage

注：大写字母不同表示初始时间两种处理后产生显著差异 ($P < 0.05$)；小写字母不同表示在不同贮藏期两种处理之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

如图 1 所示，未处理组的蓝莓复合果泥花青素含量为 0.24 mg/g，经 UHP 处理后花青素含量无显著变化 ($P > 0.05$)，而 TS 处理后花青素含量显著降

低 ($P < 0.05$)。Barba 等^[24] 研究表明 UHP 处理后蓝莓汁的总花青素与新鲜蓝莓汁总花青素含量相似或更高。随贮藏时间延长，TS 组花青素含量显著下降，而 UHP 组花青素含量在前 20 d 缓慢下降，这是因为 UHP 处理只是引发氢键之类的弱结合变化，使分子空间结构变化而无损它的基本特性，花青素是热敏性物质，在 TS 处理后被较高的温度分解，因此 TS 组的花青素损失较多^[25]，贮藏期结束时，两组的花青素含量分别为 0.11 mg/g 和 0.10 mg/g，UHP 组果泥花青素含量始终大于 TS 组果泥花青素含量。综上所述，UHP 比 TS 能更好地保留产品中的花青素成分，陶晓赞等^[26] 对蓝莓汁的研究中也发现了这一现象。

2.3 UHP和TS对蓝莓复合果泥pH值、TSS、颜色的影响

2.3.1 UHP和TS对蓝莓复合果泥pH值的影响

由表 4 所示，经两种方式处理后蓝莓复合果泥的 pH 值显著降低 ($P < 0.05$)，但两种处理之间无显著差异 ($P > 0.05$)。果泥 pH 值在贮藏期间整体呈下降趋势，说明贮藏过程中果泥在不断变酸，这可能是由于贮藏期间微生物繁殖代谢产生的有机酸积累所致^[27]。

2.3.2 UHP和TS对蓝莓复合果泥TSS的影响

如表 4 所示，UHP 对蓝莓复合果泥的 TSS 无显著性影响 ($P > 0.05$)，而 TS 使蓝莓复合果泥 TSS 显著升高 ($P < 0.05$)，由 7.80 °Brix 上升至 8.50 °Brix。贮藏期间两个处理组的 TSS 均呈现先下降后上升再趋于稳定的趋势，贮藏结束时 TSS 值均为

7.80 °Brix。殷晓翠等^[28]在 UHP 和 TS 处理对发酵石榴汁品质的影响研究中发现,在 UHP 处理后 TSS 的值无显著变化。魏鑫等^[29]发现 4 °C 贮藏下蓝莓果实的 TSS 值有降低-升高的趋势。

2.3.3 UHP和TS对蓝莓复合果泥颜色的影响

如表 4 所示,与未处理组相比,UHP 组蓝莓复合果泥 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值均显著降低 ($P<0.05$),TS 组蓝莓复合果泥 L^* 值、 a^* 值均显著升高 ($P<0.05$),而 b^* 值无显著变化 ($P>0.05$)。UHP 组和 TS 组的果泥 ΔE 值分别为 0.48 和 0.72,杨斯超等^[30]提出当 $\Delta E>2$ 时,样品的色泽发生明显变化。故经过两种方式处理后的果泥颜色均未发生明显变化。4 °C 贮藏期间,UHP 组的复合果泥 ΔE 值均小于 1.26,TS 组果泥的 ΔE 值最高达到了 3.47,TS 处理后的蓝莓复合果泥颜色发生明显变化,表明 UHP 对蓝莓复合果泥颜色的保存效果更好,Zhang 等^[3]的相关研究也表明 HHP 比 TS 对果泥具有更好的保色性。贮藏过程中 ΔE 的增大可能与花青素的降解有关,花青素是蓝莓中重要的色素,花青素的不稳定会引起复合果泥色泽的不稳定^[29],而 TS 较 UHP 处

理更容易引起花青素的降解。综上所述,在贮藏期内,UHP 比 TS 能更好地保留蓝莓复合果泥的颜色。

2.4 UHP和TS对蓝莓复合果泥香气成分的影响

图 2a 展示了对电子鼻数据进行主成分分析的结果。主成分 1 和主成分 2 的累积方差贡献率为 99.99%,大于 90%,表明两个主成分已经能够反应样品整体信息。在此参数下,UHP 组的果泥和 TS 组果泥能得到有效区分,且 UHP 组果泥香气保留情况更接近于未处理组的果泥。电子鼻各传感器名称及性能见表 2,对每个传感器的最大响应值取出标识形成雷达图^[31]如图 2b 所示,经 UHP 处理后的蓝莓复合果泥香气成分含量无显著变化 ($P>0.05$),而经 TS 处理后的蓝莓复合果泥香气成分含量显著降低 ($P<0.05$),其中最明显的是 R (7) 组,即硫化物、含硫有机化合物成分,下降了 24.3%。这表明 TS 处理后的蓝莓复合果泥香气成分损失较大。王晓琼^[5]在对超高压与热杀菌处理蓝莓汁的研究中表明 UHP 对蓝莓汁的风味影响最小。

表 4 不同处理对蓝莓复合果泥 pH 值、TSS、颜色的影响

Table 4 Effects of UHP and TS on the pH, TSS, and color of blueberry-strawberry-apple puree

处理条件	时间/d	pH 值	TSS	L^*	a^*	b^*	ΔE	
未处理	0	3.67±0.01 ^{Aa}	7.80±0.00 ^{Bb}	2.22±0.08 ^B	1.27±0.06 ^B	0.40±0.03 ^B	—	
	0	3.65±0.01 ^{Ba}	7.80±0.00 ^{Ba}	1.81±0.06 ^{Cb}	1.02±0.01 ^{Cbc}	0.48±0.05 ^{Abc}	0.48	
	5	3.53±0.01 ^b	7.20±0.05 ^b	1.96±0.34 ^b	1.00±0.03 ^{cd}	0.98±0.36 ^a	0.68	
	10	3.50±0.01 ^b	7.20±0.10 ^b	3.16±0.62 ^a	1.40±0.47 ^{ab}	0.47±0.06 ^{bc}	0.96	
	15	3.39±0.01 ^h	7.80±0.00 ^a	3.46±0.17 ^a	1.12±0.04 ^{abc}	0.41±0.15 ^{bc}	1.26	
	20	3.44±0.02 ^{fg}	7.80±0.00 ^a	1.23±0.33 ^b	0.85±0.06 ^c	0.76±0.23 ^{ab}	1.13	
	25	3.55±0.05 ^c	7.80±0.00 ^a	3.04±0.04 ^a	1.36±0.03 ^{ab}	0.39±0.11 ^{bc}	0.83	
	30	3.48±0.01 ^{ef}	7.80±0.00 ^a	1.56±0.23 ^d	1.22±0.01 ^{abc}	0.71±0.09 ^{ab}	0.72	
	40	3.40±0.01 ^h	7.80±0.00 ^a	3.44±0.47 ^a	1.51±0.16 ^a	0.31±0.01 ^c	1.26	
	超高压	0	3.65±0.01 ^{Ba}	8.50±0.00 ^{Aa}	2.92±0.04 ^{Abc}	1.37±0.02 ^{Acd}	0.36±0.00 ^{Bc}	0.72
5		3.53±0.00 ^{cd}	7.60±0.12 ^c	1.26±0.21 ^d	1.31±0.02 ^{cd}	0.97±0.32 ^a	1.11	
10		3.48±0.02 ^{ef}	7.40±0.31 ^c	3.11±0.71 ^{bc}	1.68±0.13 ^b	0.48±0.18 ^{bc}	0.99	
15		3.42±0.01 ^{gh}	7.80±0.00 ^b	3.56±0.04 ^b	1.24±0.01 ^d	0.47±0.08 ^{bc}	1.35	
20		3.48±0.01 ^e	7.80±0.00 ^b	5.55±0.56 ^a	1.46±0.00 ^c	0.55±0.21 ^d	3.47	
25		3.60±0.04 ^b	7.80±0.00 ^b	3.06±0.91 ^{bc}	1.87±0.13 ^a	0.50±0.01 ^{bc}	1.04	
30		3.52±0.01 ^{cd}	7.80±0.00 ^b	2.13±0.01 ^{cd}	1.41±0.09 ^{cd}	0.82±0.21 ^{ab}	0.45	
40		3.46±0.02 ^{ef}	7.80±0.00 ^b	3.20±0.62 ^{dc}	2.00±0.08 ^a	0.47±0.01 ^{bc}	1.23	
热处理		0	3.65±0.01 ^{Ba}	8.50±0.00 ^{Aa}	2.92±0.04 ^{Abc}	1.37±0.02 ^{Acd}	0.36±0.00 ^{Bc}	0.72
		5	3.53±0.00 ^{cd}	7.60±0.12 ^c	1.26±0.21 ^d	1.31±0.02 ^{cd}	0.97±0.32 ^a	1.11
	10	3.48±0.02 ^{ef}	7.40±0.31 ^c	3.11±0.71 ^{bc}	1.68±0.13 ^b	0.48±0.18 ^{bc}	0.99	
	15	3.42±0.01 ^{gh}	7.80±0.00 ^b	3.56±0.04 ^b	1.24±0.01 ^d	0.47±0.08 ^{bc}	1.35	
	20	3.48±0.01 ^e	7.80±0.00 ^b	5.55±0.56 ^a	1.46±0.00 ^c	0.55±0.21 ^d	3.47	
	25	3.60±0.04 ^b	7.80±0.00 ^b	3.06±0.91 ^{bc}	1.87±0.13 ^a	0.50±0.01 ^{bc}	1.04	
	30	3.52±0.01 ^{cd}	7.80±0.00 ^b	2.13±0.01 ^{cd}	1.41±0.09 ^{cd}	0.82±0.21 ^{ab}	0.45	
	40	3.46±0.02 ^{ef}	7.80±0.00 ^b	3.20±0.62 ^{dc}	2.00±0.08 ^a	0.47±0.01 ^{bc}	1.23	

注:大写字母不同表示初始时间两种处理存在显著差异 ($P<0.05$);小写字母不同表示这两种处理的不同贮藏时间之间具有显著差异 ($P<0.05$)。

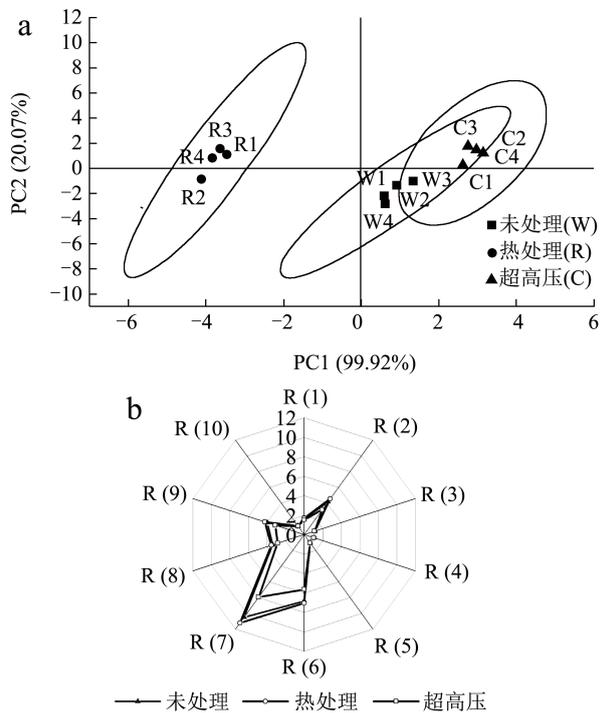


图2 不同处理对蓝莓复合果泥风味的影响

Fig.2 Effect of different treatments on flavor of blueberry-strawberry-apple puree

注: (a) 主成分分析; (b) 传感器雷达图。

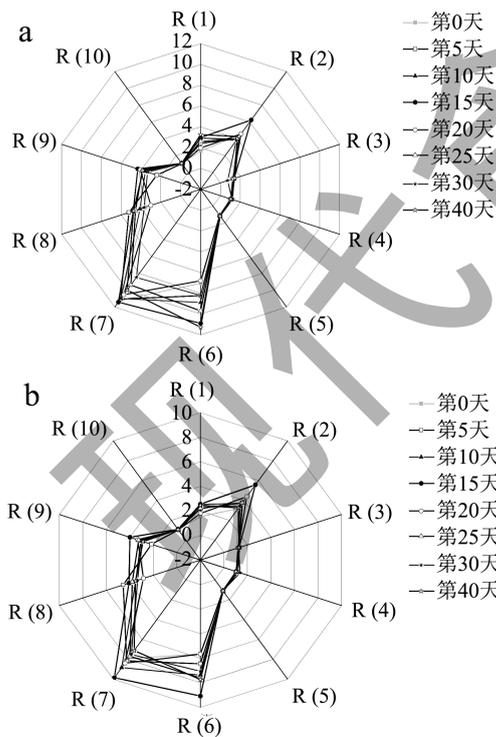


图3 不同处理蓝莓复合果泥在贮藏期间的电子鼻传感器响应值雷达图

Fig.3 Radar image of electronic nose sensor response value during storage of blueberry-strawberry-apple puree with different treatments

注: (a) UHT; (b) TS.

由图3可知, 样品果泥在贮藏期间挥发性香气成分发生了变化。随着贮藏时间的延长, 对应传感器值有所增加的为芳香族化合物 R (1)、碳氢化合物 R (6) 以及醇类和醛酮类化合物 R (8), 这表明贮藏过程中这三种风味物质增加, 从图中可看出 UHP 处理对果泥这三种香气物质的保存效果更好。贮藏过程中对应传感器值有所下降的为无机硫化物 R (7) 和有机硫化物 R (9), 说明贮藏过程这两种物质在减少, 而 TS 处理后的蓝莓复合果泥硫化物降低的更快。另外, 贮藏过程中 R (2)、R (3)、R (4)、R (5) 四种风味物质变化不大。综上所述, UHP 能更好地保留蓝莓复合果泥的香气成分。

2.5 UHP和TS对蓝莓复合果泥流变性质的影响

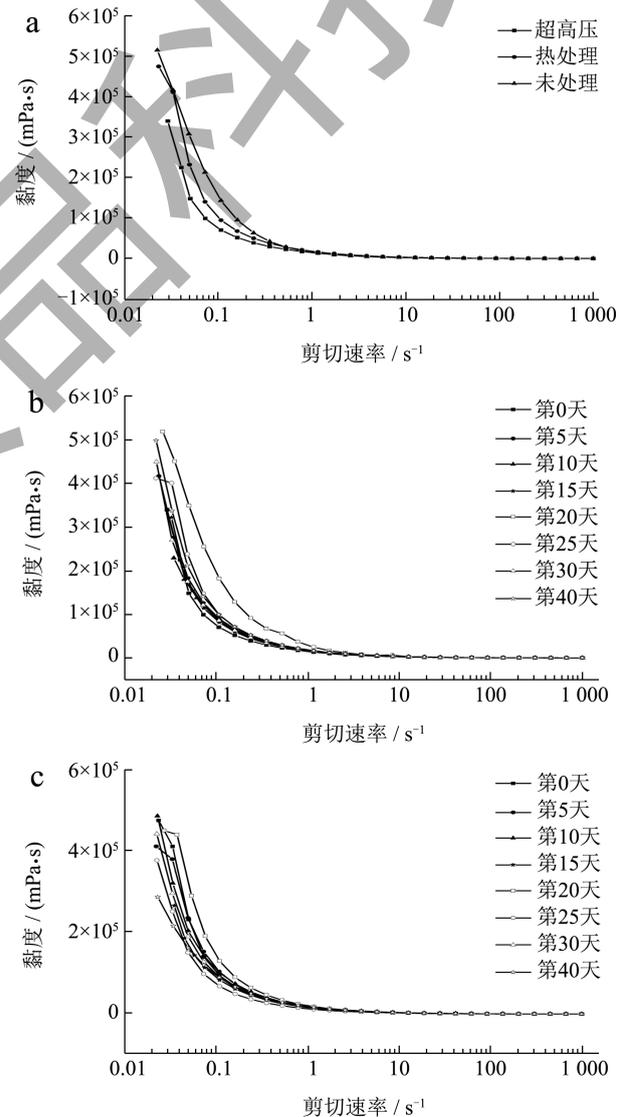


图4 不同处理下蓝莓复合果泥第0天和贮藏期间的流动曲线

Fig.4 Flow curves of blueberry-strawberry-apple puree under different treatments on day 0 and during storage

注: (a) 0 d; (b) UHT; (c) TS.

剪切速率对样品果泥表观黏度的影响见图4。当剪切速率增大时,两种处理下的果泥表观黏度均下降,可以表明样品是假塑性流体。在低剪切速率下,处理后的果泥黏度均低于未处理组。与未处理组相比,TS组黏度降低的原因可能是由于升温增强了分子间相互作用,促使料液体积和单分子运动所占的体积增大,引起了黏度的降低^[21]。UHP组黏度降低的原因可能是由于果泥中散乱的链状粒子在高压的影响下收缩成团,相互钩挂减少,黏度下降^[32]。贮藏期内,TS组的果泥的表观黏度呈下降趋势,而UHP组的果泥表观黏度呈增大趋势,Liu等^[33]发现UHP会使芒果浆黏度增大。这可能是因为没有被UHP完全钝化的果胶甲酯酶使原果胶脱去甲氧基后,和钙离子在低pH下结合产生凝胶,引起了黏度上升^[34]。表观黏度可以体现果泥的稳定性,表观黏度越大,果泥稳定性越好^[35]。故UHP处理后的蓝莓复合果泥在贮藏期间具有更好的稳定性。

3 结论

结果表明,经UHP和TS处理后,蓝莓复合果泥微生物数量都符合食品安全标准限量。在等效杀菌条件下,UHP和TS处理后的蓝莓复合果泥pH值和TSS值变化趋势相似;TS较UHP而言,会导致蓝莓复合果泥贮藏时出现明显的颜色变化;UHP相较于TS在保留蓝莓复合果泥花青素含量、色泽风味和流动特性等方面有显著优势,达到了灭菌和保持品质的目的,因此,UHP是一种适宜用于蓝莓复合果泥加工的技术。本实验为优化蓝莓复合果泥杀菌技术提供了一定的理论基础。

参考文献

- [1] 刘庆忠,朱东姿,王甲威,等.世界蓝莓产业发展现状——中国篇[J].落叶果树,2018,50(6):1-4.
- [2] 郭佳佳.蓝莓的营养保健功效及其在食品加工中的应用[J].食品与营养科学,2015,4(3):71-75.
- [3] ZHANG W J, SHEN Y X, LI Z D, et al. Effects of high hydrostatic pressure and thermal processing on anthocyanin content, polyphenol oxidase and β -glucosidase activities, color, and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium Spp.*) puree [J]. Food Chemistry, 2021, 342: 128564.
- [4] 李亚东,张志东,吴林.蓝莓果实的成分及保健机能[J].中国食物与营养,2002,1:2.
- [5] 王晓琼.非热加工技术对蓝莓复合果汁品质保护研究[D].成都:西华大学,2021:2-16,28.
- [6] 聂飞,韦吉梅,文光琴.蓝莓的经济价值及其在我国产业化发展的前景探讨[J].贵州农业科学,2007,1:117-119.
- [7] TERIBIA N, BUVÉ C, BONERZ D, et al. Effect of cultivar, pasteurization and storage on the volatile and taste compounds of strawberry puree [J]. LWT, 2021, 150: 112007.
- [8] 胡秦佳宝,刘璇,毕金峰,等.不同加工方式对苹果制品营养品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(5):152-158.
- [9] 宋菲红,蒋玉梅,盛文军,等.苹果沙棘复合果泥配方优化及品质分析[J].食品与发酵工业,2021,47(6):184-194.
- [10] KIM A N, LEE K Y, KIM B G, et al. Thermal processing under oxygen-free condition of blueberry puree: Effect on anthocyanin, ascorbic acid, antioxidant activity, and enzyme activities [J]. Food Chemistry, 2021, 342: 128345.
- [11] XIE X Y, WANG X Q, BI X F, et al. Effects of ultrafiltration combined with high-pressure processing, ultrasound and heat treatments on the quality of a blueberry-grape-pineapple-cantaloupe juice blend [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2022, 57(3): 4368-4379.
- [12] XIONG Z, LIAO L, QIAO Y, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of fruits and vegetables [J]. Hubei Agriculture Sciences, 2020, 59(9): 145.
- [13] 余丹丹,黄素雅,宋夏钦,等.果蔬前处理过程护色工艺研究及浅析[J].粮食与食品工业,2016,23(6):56-59,63.
- [14] 黄慧福,周开聪.苹果-草莓-胡萝卜复合低糖果酱加工的工艺研究[J].食品工业,2013,34(4):77-80.
- [15] 李思岐,张美倩,刘欣.香蕉果泥的加工工艺[J].食品安全导刊,2018,36:120.
- [16] KIM A N, LEE K Y, RAHMAN M S, et al. Thermal treatment of apple puree under oxygen-free condition: Effect on phenolic compounds, ascorbic acid, antioxidant activities, color, and enzyme activities [J]. Food Bioscience, 2021, 39: 100802.
- [17] 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.
- [18] 金亚美,黄煦,徐悦,等.感应电场处理后蓝莓泥酶活性及总花青素含量变化[J].食品与发酵工业,2020,46(5):108-114.
- [19] 程宏桢,蔡志鹏,王静,等.基于GC-MS、GC-O和电子鼻技术评价百香果酒香气特征[J].食品科学,2021,42(6):256-264.
- [20] 周莉,陈梦,段玉清,等.慈姑浓缩汁流变学特性研究[J].食品工业科技,2018,39(14):34-38.
- [21] 金亚美,言东哲,徐丹,等.感应电场对连续流动蓝莓果泥理化特性的影响[J].食品工业科技,2020,41(13):46-52,58.
- [22] MARSZALEK K, MITEK M, SKĄPSKA S. The effect of thermal pasteurization and high pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée [J].

- Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 27: 48-56.
- [23] 程冯云.不同加工方式对石榴浊汁微生物和品质的影响研究[D].昆明:昆明理工大学,2021.
- [24] BARBA F J, ESTEVE M J, FRIGOLA A. Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing [J]. Food Research International, 2013, 50(2): 545-549.
- [25] 房子舒,易俊洁,张雅洁,等.超高压和高温瞬时杀菌对蓝莓汁品质影响的比较[J].食品与发酵工业,2012,38(12):7-10.
- [26] 陶晓赞,王寅,张蒙,等.超高压和热处理对蓝莓汁品质的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(9):59-63.
- [27] 熊海燕,李莹.不同果汁发酵液中酵母菌生长曲线的测定及pH值的变化[J].农产品加工(学刊),2009,4:26-27.
- [28] 殷晓翠,徐娟,马嫫,等.超高压和热处理对发酵石榴汁品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(12):31-37.
- [29] 魏鑫,郭丹,王宏光,等.低温贮藏对蓝莓果实品质与主要成分的影响[J].农业科技与装备,2021,5:29-33.
- [30] 杨斯超,花成.草莓果酱超高压杀菌与贮藏稳定性研究[J].现代食品,2021,19:95-98.
- [31] 张拥军,何杰民,蒋家新,等.不同处理工艺杨梅果汁风味成分的电子鼻检测[J].农业机械学报,2010,41(12):134-137.
- [32] 陈剑兵.影响带肉果蔬汁流变特性的因素研究[D].南昌:南昌大学,2006:32.
- [33] LIU F X, WANG Y T, BI X F, et al. Comparison of microbial inactivation and rheological characteristics of mango pulp after high hydrostatic pressure treatment and high temperature short time treatment [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(10): 2675-2684.
- [34] 冯若怡,王晓钰,杨云舒,等.超高压处理对复合苹果泥微生物和品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(17):37-44.
- [35] 赵文婷,郭兴峰,高林,等.超高压辅助酶法制备低酯果胶[J].农业工程学报,2015,31(8):257-263.