

超高压对草莓果肉饮料的杀菌效果与品质影响

许文文, 曹霞敏, 胡小松, 廖小军*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 国家果蔬加工工程技术研究中心,
农业部果蔬加工重点开放实验室, 北京 100083)

摘 要: 研究不同超高压条件(压力 600MPa, 保压时间分别为 0、2、4、6、8、10min)对草莓果肉饮料的杀菌效果及 600MPa、4min 超高压处理前后草莓果肉饮料理化品质的变化。结果表明: 在 600MPa、4min 的超高压条件下, 草莓果肉饮料中的细菌、霉菌和酵母可全部被杀死, 并且该处理前后草莓果肉饮料中的可溶性固形物、pH 值、可滴定酸、颜色、总酚含量及抗氧化性均无显著性差异($P > 0.05$), 但 VC 含量损失 9.2%、花青素含量损失 20.6%; 超高压处理后草莓果肉饮料中部分酯类成分损失, 醇类物质种类及数量增加($P < 0.05$), 但仍保持草莓原有的特征风味。

关键词: 超高压; 草莓果肉饮料; 微生物安全性; 品质

Effects of High Hydrostatic Pressure (HHP) Processing on Microbial Inactivation and Quality of Strawberry Nectar

XU Wen-wen, CAO Xia-min, HU Xiao-song, LIAO Xiao-jun*

(National Engineering Research Centre for Fruit and Vegetable Processing, Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing, Ministry of Agriculture, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The effects of high hydrostatic pressure (HHP) (600 MPa, 0–10 min) on microorganism inactivation and quality of strawberry nectar were investigated. HHP treatment for 4 min was sufficient to inactivate total aerobic bacteria, molds and yeasts in strawberry nectar without significantly influencing the total soluble solid, pH, titratable acidity, color, total phenols and antioxidant activity of strawberry nectar ($P > 0.05$). However, the contents of vitamin C and anthocyanins in HHP-treated strawberry nectar were significantly decreased by 9.2% and 20.6% respectively. Moreover, the esters in strawberry nectar were significantly decreased and the alcohols increased ($P < 0.05$) after HHP treatment, but the aroma quality of strawberry nectar was better retained.

Key words: high hydrostatic pressure (HHP); strawberry nectar; microbiological safety; qualities

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)23-0028-07

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)系蔷薇科(Rosaceae)草莓属(*Fragaria*)的多年生草本植物, 在园艺学上属于浆果类, 颜色鲜艳, 其果实含有丰富的 Ca、P、K 等矿物质及维生素、糖、酸等营养物质, 这些成分不仅赋予草莓诱人的香味, 而且具有预防心血管病、防癌、抗癌等多种药理活性^[1]。然而, 草莓呼吸强度大, 采后易受机械损伤和微生物侵染而腐烂变质, 不耐贮藏, 且其富含的生物活性物质多为热敏性, 在传统热加工过程中易被破坏, 导致其食用价值降低。因此非热加工技术成为草莓产品极具潜力的加工方式, 其中食品超高压技术(high hydrostatic pressure processing, HHP)近年

来受到普遍欢迎。

HHP 指将密封于弹性容器内的食品置于以水或其他液体作为传压介质的压力系统中, 经 100MPa 以上的压力处理, 在常温甚至更低的温度下达到杀菌、灭酶或改善食品功能特性等效果, 能够较好地保持食品原有的色、香、味、形, 是适合于热敏性食品加工的良好方法^[2]。

近年来有关超高压技术对草莓及其制品杀菌钝酶效果、品质影响的研究在国内外报道较多^[3-11], 然而未见关于 HHP 技术对草莓果肉饮料品质影响的研究报道。为了探索 HHP 技术在草莓深加工中的应用, 本实验研究

收稿日期: 2011-01-18

基金项目: 北京市科技计划项目(D10110504660000)

作者简介: 许文文(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。E-mail: xuyang2008214@163.com

* 通信作者: 廖小军(1966—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: liaoxjun@hotmail.com

HHP 技术对草莓果肉饮料的杀菌效果及品质的影响,旨在推动超高压技术的产业化,以期对草莓新型加工方法的商业化应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜成熟草莓,采自天翼生物工程有限公司,采收时间为2010年5月,品种为童子1号,可溶性固形物含量为 $(5.6 \pm 0.2)^{\circ}\text{Brix}$,可滴定酸为 $(0.894 \pm 0.04)\%$,pH 值为 3.4 ± 0.1 。

营养琼脂、孟加拉红培养基 北京陆桥技术有限公司;甲醇、乙腈(均为色谱纯) 德国 Merck 公司;VC 标准品、花青素标准品、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,4,6-三(2-吡啶)-1,3,5-三嗪 Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司;Folin-Ciocalteu 试剂 北京拜尔迪生物公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HHP-750 超高压处理设备 包头科发新型高技术食品机械有限责任公司;SW-IJ-1FD 超净台 苏州尚田洁净技术有限公司;LDZX-50KBS 立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂;PHX 智能型生化培养箱 宁波莱福科技有限公司;LC-20AT 高效液相色谱仪 日本岛津公司;SC-80C 色差仪 北京康光仪器有限公司;Orion 868 pH 计 美国 Thermo Orion 公司;WAY-2S 数字阿贝折射仪、UV-762 紫外分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;751GPD 自动电位滴定仪 瑞士万通公司;Agilent 7890-5975 气质联用仪 美国安捷伦公司;JYL-610 九阳打浆机 九阳股份有限公司;CR21G III 高速冷冻离心机 日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 草莓果肉饮料加工工艺流程

新鲜草莓→去萼、清洗→切片(厚度约1mm)→蒸汽热烫(1min)→打浆(草莓片和蒸馏水以4:1比例进行趁热打浆)→脱气(真空脱气20min)→调配(加入蔗糖和蒸馏水调配成 10°Brix ,果汁含量为50%,pH 值为3.45)→灌装(聚乙烯塑料袋)→真空封口→超高压灭菌

1.3.2 超高压处理

将袋装草莓果肉饮料置于超高压处理釜中,于室温(25°C)下采用压力为600MPa,保压时间分别为0、2、4、6、8、10min 进行超高压处理。空白对照为常压(0.1MPa)下未经处理的样品,所有样品于 4°C 进行贮藏,尽快完成各项指标检测。

1.3.3 微生物检测

选取菌落总数及霉菌、酵母菌作为微生物检测指标,根据GB 4789—2008《食品卫生微生物学检验》

的相关操作进行微生物菌落计数。菌落总数培养基选用营养琼脂,霉菌、酵母菌计数选用孟加拉红培养基。为保证实验数据准确性,实验结果均为两个平行、3组重复数据平均所得。

1.3.4 理化指标测定

1.3.4.1 色泽测定

采用SC-80C 色差仪,室温下以标准白板作为标准,反射模式下测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值。其中: L^* 表示亮度, L^* 值愈大,色泽愈白; $a^* > 0$,表示红色程度, $a^* < 0$,表示绿色程度; $b^* > 0$,表示黄色程度, $b^* < 0$,表示蓝色程度。通过式(1)计算总色差。
$$\Delta E = ((L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中: ΔE 为总色差; L^* 为超高压处理后样品亮度值; L_0^* 为超高压处理前样品亮度值; a^* 为超高压处理后样品红色值; a_0^* 为超高压处理前样品红色值; b^* 为超高压处理后样品黄色值; b_0^* 为超高压处理前样品黄色值。

1.3.4.2 可溶性固形物测定

采用数字阿贝折射仪,连接水浴使设备温度控制在 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 后测定样品的可溶性固形物含量。

1.3.4.3 pH 值测定

采用pH 计测定。

1.3.4.4 可滴定酸测定

取一定量的草莓果肉饮料用0.1mol/L NaOH 溶液滴定至终点pH8.1。可滴定酸按式(2)计算。

$$\text{可滴定酸含量}/\% = \frac{c \times V_2 \times K}{V_1} \times \frac{V_0}{m} \times 100 \quad (2)$$

式中: V_0 为草莓果肉饮料样品总体积/mL; V_2 为消耗的NaOH 标准液体积/mL; c 为NaOH 标准溶液的浓度(0.1mol/L); m 为样品质量/g; V_1 为滴定所用的样品体积/mL; K 为折算系数(0.070,以柠檬酸计)。

1.3.4.5 总酚含量测定

参照Singleton等^[11]的方法,采用Folin-Ciocalteu's 法测定总酚含量,并略作修改。

样品前处理:取10g 草莓果肉饮料,加入60mL 无水甲醇,超声30min,在 4°C 、12000r/min 离心10min,上清液过滤定容至100mL。

样品测定:Folin-Ciocalteu 试剂用蒸馏水按体积比1:9稀释,取0.4mL 样品提取液与2mL 稀释的Folin-Ciocalteu 试剂混合后,加入1.8mL 7.5g/100mL 的 Na_2CO_3 溶液,常温下避光保持1h,用紫外分光光度计测定765nm 波长处的吸光度,总酚含量以每100g 样品含有相当于焦性没食子酸的毫克数表示。

1.3.4.6 VC含量测定

参照 Tiwari 等^[12]的方法, 采用 HPLC 测定 VC 含量, 并略作修改。

样品前处理: 取 10g 草莓果肉饮料, 加入 40mL 2.5g/100mL 的偏磷酸溶液在 4℃ 条件下静置提取 2h, 在 4℃、12000r/min 离心 10min, 4 层纱布过滤得 VC 提取液, 取上清液用 0.45μm 的滤膜过滤。

高效液相色谱(HPLC)测定: 流动相 A 为乙腈, 流动相 B 为 25mmol/L 的磷酸二氢钾溶液(磷酸调 pH 值为 3.0); 检测波长为 254nm; 洗脱条件: 体积分数 95% 的 KH_2PO_4 和 5% 乙腈等速洗脱; 温度: 30℃; 进样量: 20μL; 流速: 1mL/min。

1.3.4.7 花青素含量测定

参照 Garcia-Viguera 等^[13]的方法, 采用 HPLC 测定花青素(矢车菊素-3-葡萄糖苷(Cy-3-glu)、天竺葵素-3-葡萄糖苷(Pg-3-glu)、天竺葵素-3-芸香苷(Pg-3-rut))含量, 并略作修改。

样品前处理: 取 10g 草莓果肉饮料, 加入 20mL 0.1% HCl 的无水甲醇溶液在 4℃ 条件下静置提取 2h, 在 4℃、12000r/min 离心 10min, 4 层纱布过滤得花青素提取液, 取上清液用 0.45μm 有机膜过滤。

HPLC 测定: 流动相 A: 体积分数 5% 甲酸-水、流动相 B: 甲醇; 洗脱条件 0~15min 15% B、15~20min 30% B、30min 50% B、33min 80% B、35~40min 15% B; 温度: 30℃; 进样量: 20μL; 流速: 1mL/min。

1.3.4.8 抗氧化性能力的测定

草莓果肉饮料抗氧化能力主要体现在对 DPPH 自由基的清除能力及铁离子还原能力两方面。

DPPH 自由基清除能力: 参照 Odriozola-Serrano 等^[14]的方法, 并略作修改。DPPH 自由基溶于有机溶剂, 在 517nm 波长处有最大吸收。试样与 DPPH 自由基反应成黄色物质, 在 517nm 波长处吸光度降低, 根据加入试样前后的吸光度变化计算试样对 DPPH 自由基的清除率。

样品测定: 取 25μL 样品提取液加入到 4mL DPPH 自由基溶液中, 常温避光 1h, 测定吸光度。以不加样品的 DPPH 自由基溶液为对照。清除 DPPH 自由基的能力以相当于多少 mg/100g VC 清除 DPPH 自由基的能力表示。

铁离子还原能力(ferric reducing ability of plasma, FRAP): 参照 Benzie 等^[15]的方法, 并略作修改。 Fe^{3+} -三吡啶-三吡嗪(TPTZ)可被试样中还原物质还原为 Fe^{2+} 而呈现蓝色, 并在 593nm 波长处有最大吸光度, 根据吸光度的大小, 计算出试样抗氧化活性的强弱。

样品测定: 取 100μL 样品提取液加入到 4mL TPTZ 工作液(0.3mol/L 的醋酸缓冲液、10mmol/L 的 TPTZ 溶液、20mmol/L 的 FeCl_3 按体积比 10:1:1 配制)中, 37℃ 反应 15min 后, 测定其在 593nm 波长处的吸光度。样品的铁还原能力以相当于多少 mg/100g VC 的铁还原能力表示。

1.3.4.9 挥发性香气成分的测定

参照 Lambert 等^[10]的方法, 并略作修改。

固相微萃取(solid phase microextraction, SPME): 取 8g 草莓果肉饮料, 放入顶空瓶中, 加入 2.4g NaCl, 放入 40℃ 水浴中平衡预热 10min 后萃取 40min, 用萃取针收集样品。

色谱条件: J&W DB-5 石英毛细管柱(30m × 0.25mm, 0.25μm); 程序升温: 柱初温 50℃, 保持 3min, 以 6℃/min 上升到 250℃, 再以 6℃/min 上升到 270℃, 保持 10min; 进样口温度为 250℃; 载气(He)流速 1.5mL/min; 不分流进样。

质谱条件: 电子轰击(EI)离子源; 电子能量为 70eV; 传输线温度 280℃; 离子源温度 230℃; 电子倍增器电压为 1353V; 四极杆温度为 150℃; 质量扫描范围 33~450u。

1.3.5 数据分析

采用 Microcal Origin 7.5 软件制图并对数据进行方差分析(ANOVA), 显著性水平为 0.05, 当 $P < 0.05$ 时表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同超高压处理条件的杀菌效果

表 1 超高压处理前后草莓果肉饮料中的菌落总数及霉菌、酵母变化
Table 1 Inactivation of aerobic bacteria, molds and yeasts in strawberry nectar by HHP

微生物指标	对照	600MPa 超高压处理					
		0min	2min	4min	6min	8min	10min
菌落总数/(CFU/g)	3.63×10^4	23.5	10.5	0	0	0	0
霉菌和酵母菌总数/(CFU/g)	7.45×10^3	0	0	0	0	0	0

注: 600MPa、0min 超高压处理即升压到 600MPa 后进行卸压, 保压时间为 0min。

不同超高压处理条件对草莓果肉饮料的杀菌效果如表 1 所示。细菌经 600MPa 超高压处理 4min 可全部死亡, 而霉菌、酵母菌对压力较为敏感, 压力升至 600MPa 后即可全部死亡, 表明超高压对草莓果肉饮料具有良好的杀菌效果, 这与草莓果肉饮料低 pH 值(表 2)有关。因

为绝大多数微生物的最适生长 pH 值都在 5~9 之间, 低 pH 值对某些微生物有抑制作用, 当 $\text{pH} < 4.5$ 时, 超高压的抑菌效果明显增强^[16]。

经 600MPa、4min 及大于 4min 的超高压处理后, 草莓果肉饮料中无细菌、霉菌和酵母检出, 可保证草莓果肉饮料的微生物安全性, 符合食品卫生标准, 因此本研究采用 600MPa、4min 条件下研究超高压处理对草莓果肉饮料品质影响。

2.2 超高压处理对草莓果肉饮料感官品质的影响

感官品质是果蔬制品的重要品质指标, 包括颜色、香气、滋味、外形, 它通常影响消费者对产品的可接受性。超高压前后处理草莓果肉饮料感官品质变化如表 2 所示, 经 600MPa、4min 超高压处理后草莓果肉饮料可溶性固形物、pH 值、可滴定酸含量及色泽参数(L^* 、 a^* 、 b^*)变化均不显著($P > 0.05$), 说明超高压处理后草莓果肉饮料的颜色和糖度、酸度得到了较好的保持。

2.3 超高压处理对草莓果肉饮料营养品质的影响

2.3.1 超高压处理对草莓果肉饮料总酚含量的影响

超高压处理对草莓果肉饮料总酚含量的影响如表 3 所示, 草莓果肉饮料超高压处理后总酚含量有所增加, 但差异性不显著($P > 0.05$)。据报道, 草莓浆经 500MPa 和 600MPa 处理 15min 后, 总酚含量分别增加了 8.3% 和 9.8%^[17]。Cao 等^[17]研究发现草莓浆经 500MPa 和 600MPa 超高压处理 5~25min 后总酚含量显著增加($P < 0.05$), 同时认为总酚含量的增加是由于超高压处理促进了草莓中一些抗氧化成分如带酚羟基的氨基酸、蛋白质等物质从细胞中的溶出和提取。

2.3.2 超高压处理对草莓果肉饮料 VC 含量的影响

如表 3 所示, 超高压处理后 VC 损失 9.22%, 呈显著性降低($P < 0.05$)。Yen 等^[18]、Sánchez-Moreno 等^[19]在研究 HHP 处理对草莓酱和橙汁的 VC 含量影响时得出相似的结论。超高压处理对食品中小分子化合物类的营

养物质不会有直接的破坏作用, 但可能会加速一些食品体系中的生化反应, 使部分营养物质间接受到破坏。Polydera 等^[20]认为 VC 含量的减少是由于在超高压将外界的氧气压入食品体系, 加速了 VC 氧化。

2.3.3 超高压处理对草莓果肉饮料花青素含量的影响

草莓果实中的红色素是属于花色苷一类, 主要有 Cy-3-glu、Pg-3-glu 和 Pg-3-rut, 超高压处理对草莓果肉饮料花青素含量的影响如表 3 所示, 超高压处理后, 3 种花青素均有显著性损失($P < 0.05$), Cy-3-glu、Pg-3-glu 和 Pg-3-rut 分别损失了 25.4%、14.2% 和 22.2%。Tiwari 等^[21]研究认为果蔬汁中的花青素变化一般与其中的多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、 β -葡萄糖苷酶(β -glucosidase)活性有关, 酶的活性越低, 超高压处理过程中果蔬汁花青素损失越少。本研究中, 草莓果肉饮料经过热烫和超高压处理, 但由于热烫时间过长会导致严重的蒸煮味, 因此确定蒸汽热烫时间为 1min, 热烫和超高压处理可能导致草莓中的 PPO、POD、 β -glucosidase 未被全部钝化, 因此可能残余的酶活性导致了对花青素的降解。另一方面, 超高压将外界的氧气压入食品体系, 也加速了花青素的氧化。

2.3.4 超高压处理对草莓果肉饮料抗氧化性的影响

草莓中的抗氧化成分主要包括多酚、VC、花青素等, 这些物质在体外具有较强的抗氧化活性。超高压对草莓果肉饮料抗氧化性的影响如表 3 所示, 超高压处理后草莓果肉饮料 DPPH 自由基和 FRAP 的 VC 含量均有所降低, 但差异不显著($P > 0.05$), 说明超高压较好地保持了草莓果肉饮料的抗氧化性, 这主要是由于总酚含量没有变化, 尽管 VC 和花青素显著下降。Sánchez-Moreno 等^[22]研究发现苹果汁经 600MPa、60℃、30min 的超高压处理后抗氧化能力(TEAC 当量值)几乎没有变化($P > 0.05$), 番茄汁经 400MPa、25℃、15min 超高压处理后 DPPH 自由

表 2 超高压处理对草莓果肉饮料感官品质的影响

Table 2 Effect of HHP treatment on sensorial properties of strawberry nectar

处理	可溶性固形物含量 / °Brix	pH	可滴定酸含量 / %	L^*	a^*	b^*	ΔE
超高压前	10.1 \pm 0.1 ^a	3.45 \pm 0.03 ^a	0.42 \pm 0.01 ^a	17.83 \pm 0.36 ^a	23.75 \pm 0.58 ^a	21.43 \pm 0.87 ^a	
超高压后	10.2 \pm 0.2 ^a	3.41 \pm 0.02 ^a	0.43 \pm 0.01 ^a	16.92 \pm 0.16 ^a	22.41 \pm 0.15 ^a	20.14 \pm 0.10 ^a	2.10 \pm 0.16

注: 同列肩标小写字母不同, 表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

表 3 超高压处理前后草莓果肉饮料营养品质的变化

Table 3 Effect of HHP treatment on nutritional attributes of strawberry nectar

处理	VC 含量 / (mg/100g)	花青素含量 / (mg/100g)			总酚含量 / (mg/100g)	抗氧化性 VC 当量 / (mg/100g)	
		Cy-3-glu	Pg-3-glu	Pg-3-rut		DPPH 自由基	FRAP
超高压前	1.12 \pm 0.04 ^a	2.40 \pm 0.21 ^a	9.24 \pm 0.81 ^a	2.97 \pm 0.19 ^a	63.62 \pm 0.77 ^a	1035.15 \pm 0.48 ^a	85.66 \pm 2.32 ^a
超高压后	1.02 \pm 0.02 ^b	1.79 \pm 0.09 ^b	7.92 \pm 0.48 ^b	2.31 \pm 0.13 ^b	65.81 \pm 1.21 ^a	1025.12 \pm 35.85 ^a	81.57 \pm 4.52 ^a

基清除能力没有显著性变化($P > 0.05$)。

2.4 超高压处理对草莓果肉饮料挥发性香气成分的影响

超高压处理后草莓果肉饮料的挥发性香气成分变化如表4所示, 草莓果肉饮料挥发性成分主要由酯类、醇

类、醛类、酸类、酮类和烃类构成。超高压处理前草莓果肉饮料中的挥发性香气成分含有酯类15种、醇类3种、醛类3种、酚类1种、酸类1种、酮类2种、其他类8种, 分别占草莓果肉饮料总峰面积的86.45%、

表4 超高压处理前后草莓果肉饮料挥发性香气成分的变化
Table 4 Effect of HHP on volatile flavor compounds of strawberry nectar

编号	保留时间/min	挥发性香气成分	超高压前		超高压后	
			峰面积	相对含量/%	峰面积	相对含量/%
1	3.536	乙酸乙酯	23788732	16.66	—	—
2	6.298	丁酸甲酯	318732991	22.31	61499818	4.65
3	6.646	异戊醇	—	—	237742411	17.97
4	7.729	甲苯	—	—	29901502	2.26
5	8.624	丁酸乙酯	206968414	14.49	419076550	31.67
6	10.844	<i>trans</i> -2-己烯醛	17989055	1.18	—	—
7	11.845	天然丁酸乙酯	—	—	1675138	0.13
8	12.88	正己醇	—	—	170206822	12.86
9	13.340	乙酸异戊酯	—	—	53176050	4.02
10	13.911	苯乙烯	15932603	0.84	33371139	2.52
11	12.846	1,3,5,7-环辛四烯	9178598	0.48	—	—
12	15.545	己酸甲酯	100890426	7.06	37679580	2.85
13	17.175	庚醇	—	—	5679237	0.43
14	17.354	乙酸叶醇酯	17381308	1.21	—	—
15	17.567	己酸	6896097	0.36	24872120	1.88
16	17.601	乙酸- <i>trans</i> -2-己烯酯	158131282	11.07	—	—
17	17.602	<i>trans</i> -2-己烯-1-醇	7650367	0.40	—	—
18	17.659	甲基庚烯酮	—	—	8715827	0.66
19	17.964	己酸乙酯	182916791	12.81	71619817	5.41
20	18.317	2-乙烯酸乙酯	479775	0.03	—	—
21	18.355	乙酸己酯	50374426	3.52	1285005	0.09
22	18.728	右旋萜二烯	—	—	1020979	0.08
23	18.771	异辛醇	—	—	2726827	0.21
24	19.555	4-甲氧基-2,5-二甲基-3-(2H)-呋喃酮	8651571	0.45	13003966	0.98
25	19.734	正辛醇	4092514	0.21	21207533	1.60
26	20.009	辛酸甲酯	1820395	0.13	—	—
27	20.358	芳樟醇	29381756	1.54	33445037	2.53
28	20.445	天然壬醛	8218346	0.58	8410675	0.64
29	20.740	苯乙醇	—	—	11051057	0.84
30	20.846	乙酸苯甲酯	6855336	0.48	—	—
31	21.954	壬醇	—	—	18072199	1.36
32	22.031	苯甲酸乙酯	2871069	0.2	2815186	0.21
33	22.467	萘	17886611	0.94	3807276	0.28
34	21.789	乙酸正辛酯	10112644	0.708	—	—
35	22.839	天然癸醛	3748900	0.26	3660795	0.27
36	23.008	乙酸苯乙酯	914902	0.08	3911232	0.29
37	24.213	1-甲基萘	13660262	0.90	—	—
38	25.977	2-甲基萘	—	—	1524184	0.12
39	27.540	丁酸正辛酯	2273072	0.20	—	—
40	29.309	肉桂酸甲酯	2372731	0.17	3194631	0.24
41	29.818	7,11-二甲基-3-亚甲基-1,6,10-十二碳三烯(Z)	1360019	0.09	—	—
42	30.099	丙位癸内酯	2372731	0.16	—	—
43	30.761	香叶基丙酮	719557	0.04	4716265	0.36
44	31.047	肉桂酸乙酯	—	—	3260017	0.25
45	31.700	2,4-二特丁基苯酚	—	—	13894282	1.05
46	31.767	2,6-二叔丁基对甲基苯酚	7017959	0.17	4515118	0.34
47	32.377	<i>trans</i> -橙花叔醇	16023546	0.84	10511038	0.79
48	32.725	十六烷	—	—	1456484	0.11
49	33.581	桃醛	1440438	0.12	2709219	0.21
50	33.659	正二十一烷	878286	0.07	1568440	0.12
51	34.785	邻苯二甲酸二丁酯	6269293	0.41	—	—

注: —, 未检测到。

3.49%、0.46%、1.98%、0.62%、0.49% 和 6.1%。经 600MPa、4min 的超高压处理后含有酯类 10 种、醇类 8 种、醛类 2 种、酚类 2 种、酸类 1 种、酮类 3 种、其他类 7 种, 分别占草莓果肉饮料总峰面积的 56.79%、31.95%、2.21%、0.71%、1.15%、1.60% 和 7.5%。

超高压处理后草莓果肉饮料酯类和醇类发生明显变化, 其中酯的种类减少了 5 种, 醇类增加了 5 种, 主要香气成分丁酸乙酯增加了 16.43%, 己酸乙酯、丁酸甲酯分别减少了 11.11% 和 11.01%。超高压处理后草莓果肉饮料中的乙酸乙酯、乙酸叶醇酯、乙酸、*trans*-2-己烯酯、乙酸苯甲酯、辛酸乙酯、乙酸正辛酯、丙位癸内酯等消失, 但有肉桂酸甲酯、肉桂酸乙酯等新的酯类物质出现。Lambadarios 等^[23]研究超高压对酯类物质的作用时发现己酸乙酯经 400MPa 和 800MPa 超高压处理 15min 后分别降解了 1.6% 和 11.8%, 丁酸甲酯分别降解了 0.1% 和 14.1%。超高压处理后部分酯类物质减少说明合成或分解这些酯类的酶得到了不同程度的激活或失活作用, 也可能是因为高压作用导致酯键断裂酯类水解; 而新的酯类生成则可能是由于高压对果汁中合成酯的酶起到了激活作用。超高压处理后有新的醇类生成, 主要有正己醇、庚醇、异辛醇等。醇类含量的变化可能是由于超高压处理过程中会激活某些糖苷酶的活性, 使草莓果肉饮料中以糖苷类结合的醇类香气成分得到释放^[24]。

Lambert 等^[10]研究发现 200、500MPa(20℃、20min) 处理时草莓较好地保持了其香气, 香气成分未发生显著性变化, 但是 800MPa(20℃、20min) 及热处理(120℃、20min) 时, 草莓的风味发生改变。超高压处理对果蔬汁的香气有不同的影响, 主要是因为一方面超高压处理会降低或激活某些香气酶的活性, 另一方面在处理过程中会使香气反应前体物的浓度增加或使香气物质降解^[25]。

3 结 论

3.1 超高压处理对草莓果肉饮料具有良好的杀菌效果, 在 600MPa 和保压时间 4min 草莓果肉饮料中的自然菌群全部被杀灭。因此, 超高压技术适用于草莓果肉饮料的杀菌。

3.2 600MPa、4min 的超高压处理后草莓果肉饮料颜色、可滴定酸、可溶性固形物、总酚、抗氧化性等指标均无显著变化($P > 0.05$), 但花青素、VC 含量显著降低; 超高压处理后草莓果肉饮料挥发性香气成分中酯类物质、醇类物质的种类及含量发生显著性变化($P < 0.05$), 其中酯类物质相对含量降低, 醇类物质相对含量升高, 部分酯类消失, 同时有新的酯类及醇类生成; 醛酮类、酸类及芳香烃等物质变化不显著($P > 0.05$)。

参考文献:

- [1] SHARMA R R, RAJBIR S. Fruit nutrient content and lipoxygenase activity in relation to the production of malformed and button berries in strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.)[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 119(1): 28-31.
- [2] BUTZ P, FERNANDEZ-GARCIA A, LINDAUER R, et al. Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 56(2/3): 233-236.
- [3] 张立云, 曹霞敏, 李静, 等. 超高压对草莓浆杀菌效果及微生物菌落形态影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 109-115.
- [4] GARCIA-PALAZON A, SUTHANTHANGJAI W, KAJDA P, et al. The effects of high hydrostatic pressure on β -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria* \times *ananassa*) [J]. Food Chemistry, 2004, 88(1): 7-10.
- [5] TEREFE N S, YANG Yahong, KNOERZER K, et al. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(1): 52-60.
- [6] ZABETAKIS I, LECLERC D, KAJDA P. The effect of high hydrostatic pressure on the strawberry anthocyanins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(7): 2749-2754.
- [7] PATRAS A, BRUNTO N P, PIEVE S, et al. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and color of strawberry and blackberry purées[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 308-313.
- [8] RODRIGO D, LOEY A V, HENDRICKX M. Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(2): 553-560.
- [9] ZABETAKIS I, KOULENTIANOS A, ORRUNO E, et al. The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2000, 71(1): 51-55.
- [10] LAMBERT Y, DEMAIZEAU G, LARGETEAU A, et al. Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment [J]. Food Chemistry, 1999, 67(1): 7-16.
- [11] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178.
- [12] TIWARI B K, O'DONNELL C P, PATRAS A, et al. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 1119-1126.
- [13] GARCIA-VIGUERA C, ZAFRILLA P, TOMAS-BARBERAN F A, et al. Determination of authenticity of fruit jams by HPLC analysis of anthocyanins[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 73(2): 207-213.
- [14] ODRIOZOLA-SERRANO I, SOLIVA-FORTUNY R, MARTIN-BELLOSO O. Impact of high-intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice[J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(1): 93-100.
- [15] IRIS F F, BENZIE, STRAIN J J. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 15-27.
- [16] SMELT J P P M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998,

- 9(4): 152-158.
- [17] CAO Xiamin, ZHANG Yan, ZHANG Fusheng, et al. Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.4260.
- [18] YEN G C, LIN H T. Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurisation on the quality and shelf life of guava purée[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 1996, 31: 205-213.
- [19] SÁNCHEZ-MORENO C, PLAZA L, ELEZ-MARTÍNEZ P, et al. Impact of high pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(11): 4403-4409.
- [20] POLYDERA A C, STOFOROS N G, TAOUKIS P S. Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 60(1): 21-29.
- [21] TIWARI B K, O'DONNELL C P, CULLEN P J. Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2009, 20(3/4): 137-145.
- [22] SÁNCHEZ-MORENO C, PLAZA L, de ANCOS B, et al. Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86(2): 171-179.
- [23] LAMBADARIOS E, ZABETAKIS I. Does high hydrostatic pressure affect fruit esters?[J]. *Lebensm-Wissu-Technol*, 2002, 35(4): 362-366.
- [24] SUMITANI H, SUEKANE S, NAKATANI A, et al. Changes in composition of volatile compounds in high pressure treated peach[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42(3): 785-790.
- [25] 张文佳, 张燕, 廖小军, 等. 超高压对果蔬汁品质影响研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(9): 113-117.