文章编号：1000-5773(2013)01-0137-10

超高压处理的草莓果肉饮料在贮藏过程中的品质变化*

许文文，曹霞敏，刘凤霞，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：采用超高压处理（压力 600 MPa、保压时间 4 min）方法，实验研究了在 4 ℃下储藏 7 个月时草莓果肉饮料的微生物及主要品质的变化。结果表明：草莓果肉饮料在 7 个月贮藏期内没有细菌、霉菌或酵母检出，仅从微生物角度看，超高压处理有效地延长了货架期；贮藏过程中草莓果肉饮料中的颜色逐渐变暗，可溶性固形物、pH 值、可滴定酸有波动，但变化不显著（$P>0.05$），总酚、维生素 C 及花青素含量均逐渐减少，· DPPH（1，1-二苯基-2-三硝基苯肼）自由基清除能力及铁离子还原能力逐渐减弱；贮藏过程中草莓果肉饮料挥发性香气成分的种类和含量均发生明显变化，其中酯类成分显著降低，芳樟醇和反式-橙花叔醇随储藏时间的延长而显著增加。

关键词：超高压；草莓果肉饮料；贮藏；品质

中图分类号：O521.9；TS255.3　　**文献标识码**：A

1　引　言

草莓（*Fragaria ananassa* Duch.）是一种浆果，果实颜色鲜艳，含有丰富的 Ca、P、K 等矿物质以及糖、酸、维生素等营养物质。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，草莓属于热敏性水果，传统热杀菌过程易破坏其营养成分，降低其食用价值。与热杀菌相比，非热杀菌技术能够较好地保持果蔬制品的固有营养成分、质构、色泽和新鲜程度，符合现代食品“天然、营养、卫生、安全”的发展方向，满足消费者崇尚“天然、健康”的食品需求。近年来，超高压（Ultra High Pressure，UHP）技术受到普遍欢迎。UHP 技术是将密封于弹性容器内的食品置于以水或其它液体为传压介质的压力系统中，经 100 MPa 以上的压力处理，在常温甚至更低温度下达到杀菌、灭酶或改善食品功能等效果，可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。国内外已开展了 UHP 对草莓制品品质影响的研究[2-9]，但关于 UHP 处理后草莓果肉饮料在贮藏期内品质变化的研究还未见报道。本工作针对 UHP 处理（压力 600 MPa、保压时间 4 min）后的草莓果肉饮料，研究其在 4 ℃储藏 7 个月时微生物和理化品质的变化，为草莓深加工提供参考。

2　材料与方法

2.1　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

* **收稿日期**：2011-05-17；**修回日期**：2011-07-01

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，主要从事果蔬非热加工研究. E-mail：xuyang2008214@163.com

通讯作者：廖小军（1966－），男，博士，教授，主要从事农产品加工及贮藏工程研究. E-mail：liaoxjun@hotmail.com

形物含量为(5.6±0.2)°Brix,可滴定酸为(0.89±0.04)%,pH 值为 3.4±0.1。

营养琼脂、孟加拉红培养基购于北京陆桥技术有限责任公司;甲醇(色谱纯)、乙腈(色谱纯)产自德国 Merck 公司;维生素 C 标准品、花青素标准品、· DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)、2,4,6-三(2-吡啶基)-1,3,5-三嗪购于 Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司;Folin-Ciocalteu 试剂由北京拜尔迪生物公司生产;其它试剂均为分析纯,由北京化学试剂公司生产。

2.2 仪器与设备

SW-lJ-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,上海精密科学仪器有限公司;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;CR21GⅢ高速冷冻离心机,日本日立公司。

2.3 实验测定方法

2.3.1 草莓果肉饮料加工流程

新鲜草莓→去萼、清洗→切片(厚度约 1 mm)→蒸汽热烫(1 min)→打浆(草莓片以质量比 4∶1 加入蒸馏水中,趁热打浆)→真空脱气(20 min)→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(装于聚乙烯塑料袋)→真空封口→超高压杀菌(压力 600 MPa、保压时间 4 min)→4 ℃贮藏。

2.3.2 微生物检测

选取菌落总数、霉菌、酵母菌作为微生物检测指标,根据 GB 4789－2008 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 2 个平行样的 3 组重复数据的平均值。

2.3.3 理化指标测定

(1) 色泽测定

室温下,采用 SC-80C 色差仪测量草莓果肉饮料样品的色泽。以标准白板作为标准,反射模式下测定样品亮度 L^*、红色值 a^*、黄色值 b^*,其中: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。总色差 ΔE 的计算公式为

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

式中:L_0^*、L^* 分别为 UHP 处理前、后样品的亮度值,a_0^*、a^* 分别为 UHP 处理前、后样品的红色值,b_0^*、b^* 分别为 UHP 处理前、后样品的黄色值。

(2) 可溶性固形物测定

将 WAY-2S 型数字阿贝折射仪连接水浴,使设备温度控制在(20±2)℃,然后测定样品的可溶性固形物。

(3) pH 值测定

采用美国奥立龙 868 型 pH 计测定样品的 pH 值。

(4) 可滴定酸测定

称量一定量的草莓果肉饮料,用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液滴定至终点 pH 值为 8.1。可滴定酸按以下公式计算

$$x_{TA}=\frac{cV_2K}{V_1}\frac{V_0}{m}\times 100\% \tag{2}$$

式中:x_{TA}为可滴定酸含量;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 标准液的摩尔浓度,本实验为 0.1 mol/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,本实验以柠檬酸计,为 0.070。

(5) 总酚含量的测定

参照 Singleton 等人[9]的方法,采用 Folin-Ciocalteu 法测定总酚含量,本实验对该方法进行了一定的修改。样品前处理:取 10 g 草莓果肉饮料,加入 60 mL 无水甲醇,超声 30 min,在 12000 r/min、4 ℃条件下离心 10 min,上清液过滤定容至 100 mL。样品测定:Folin-Ciocalteu 试剂用蒸馏水按体积比 1∶9 稀释,取 0.4 mL 样品提取液,与 2 mL 稀释的 Folin-Ciocalteu 试剂混合后,加入 1.8 mL 质量分数为 7.5%的 Na_2CO_3 溶液,常温下避光保持 1 h;用紫外分光光度计测定 765 nm 处的吸光值,总酚含量以每 100 g 样品含有相当于焦性没食子酸的克数表示。

(6) 维生素 C 含量的测定

参照 Tiwari 等人[10]的方法,采用 LC-20AT 高效液相色谱仪测定样品中维生素 C 的含量。样品前处理:取 10 g 草莓果肉饮料,加入 40 mL 质量分数为 2.5%的偏磷酸溶液,在 4 ℃下静置提取 2 h,在 12000 r/min、4 ℃条件下离心 10 min,经 4 层纱布过滤后得到维生素 C 提取液,取上清液,用孔径为 0.45 μm 的滤膜过滤。高效液相色谱仪测定:流动相 A 为乙腈,流动相 B 为 25 mmol/L 的磷酸二氢钾溶液(磷酸调 pH 值为 3.0);检测波长为 254 nm;采用质量分数为 95%的 KH_2PO_4 和 5%的乙腈等速洗脱;测试温度为 30 ℃;进样量为 20 μL;流速为 1 mL/min。

(7) 花青素含量的测定

参照 Garcia-Viguera 等人[11]的方法,采用 LC-20AT 高效液相色谱仪测定花青素含量。样品前处理:取 10 g 草莓果肉饮料,加入 20 mL 质量分数为 0.1%的 HCl 无水甲醇溶液,在 4 ℃下静置提取 2 h,在 12000 r/min、4 ℃条件下离心 10 min,经 4 层纱布过滤后得到花青素提取液,取上清液,用孔径为 0.45 μm 的有机膜过滤。高效液相色谱仪测定:流动相 A 为质量分数为 5%的甲酸水溶液,流动相 B 为甲醇;先用质量分数为 15%的甲醇洗脱 15 min,然后用 30%的甲醇洗脱 15 min,再用 50%的甲醇洗脱 3 min,接着用 80%的甲醇洗脱 2 min,最后用 15%的甲醇洗脱 5 min;测试温度为 30 ℃;进样量为 20 μL;流速为 1 mL/min。

(8) 抗氧化性的测定

草莓果肉饮料的抗氧化能力主要体现在对·DPPH 自由基的清除能力及铁离子的还原能力(Ferric Reducing Ability of Plasma,FRAP)两方面。

测量·DPPH 的清除能力时,参照 Odriozola-Serrano 等人[12]的方法。·DPPH 溶于有机溶剂,在波长为 517 nm 处吸收最大。将草莓果肉饮料样品加入到·DPPH 中,反应生成黄色物质,混合物在 517 nm 处吸光值降低。根据加入试样前后吸光值的变化,可计算出试样对·DPPH 的清除率 a。样品测定:取 25 μL 样品提取液,加入到 4 mL·DPPH 溶液中,常温避光 1 h,测定吸光值。以不加样品的·DPPH 溶液为对照,每 100 g 样品清除·DPPH 的能力以清除同等·DPPH 的维生素 C 的克数表示。

$$a = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \tag{3}$$

式中:A_1 为不加样品时·DPPH 溶液的吸光度,A_2 为加样品时·DPPH 溶液的吸光度。

测量 FRAP 时,参照 Iris 等人[13]的方法。Fe^{3+}-三吡啶-三吖嗪(TPTZ)可被试样中的还原物质还原为 Fe^{2+} 而呈现蓝色,并于 593 nm 处有最大吸收值。根据吸光度的大小,可计算出试样抗氧化活性的强弱。样品测定:取 100 μL 样品提取液,加入到 4 mL TPTZ 工作液(该工作液由 0.3 mol/L 的醋酸缓冲液、10 mmol/L 的 TPTZ 溶液和 20 mmol/L 的 $FeCl_3$ 按体积比 10∶1∶1 配置而成)中,37 ℃反应 15 min 后,测定其在 593 nm 处的吸光值。每 100 g 样品的 FRAP 值以还原同等铁离子的维生素 C 的克数表示。

(9) 挥发性香气成分的测定

参照 Lambert 等人[8]的方法,测量样品中的挥发性香气成分。固相微萃取(Solid Phase Microextraction,SPME):取 8 g 草莓果肉饮料样品,放入顶空瓶中,加入 2.4 g NaCl,放入 40 ℃水浴中,平衡预热 10 min 后萃取 40 min,用萃取针收集样品。色谱条件:J&W DB-5 石英毛细柱(30 m×0.25 mm,粒

径 0.25 μm)；程序升温，柱初温 50 ℃，保持 3 min，以 6 ℃/min 上升到 250 ℃，再以 6 ℃/min 上升到 270 ℃，保持 10 min；进样口温度为 250 ℃；载气(He)流速 1.5 mL/min；不分流进样。质谱条件：电子轰击离子源，电子能量为 70 eV，传输线温度 280 ℃，离子源温度 230 ℃，电子倍增器电压为 1 353 V，四极杆温度为 150 ℃，质量扫描范围 33～450 u。

2.3.4 数据分析

采用 Microcal Origin 7.5(美国 Microcal 公司)软件制图，并对数据进行方差分析(Analysis of Variance，ANOVA)，显著性水平取 0.05，即 $P<0.05$ 时，差异显著。

3 结果与讨论

3.1 微生物指标变化

草莓果肉饮料经 UHP 处理(压力 600 MPa、保压时间 4 min)后在 4 ℃下进行贮藏。贮藏初期，草莓果肉饮料内无细菌、霉菌或酵母检出，说明 UHP 处理后草莓果肉饮料的微生物安全性符合食品卫生标准；在贮藏 7 个月的过程中，每个月检测一次微生物，均没有检出细菌以及霉菌、酵母的存在，表明 UHP 处理对草莓果肉饮料具有良好的杀菌效果，低温对细菌、霉菌及酵母的生长繁殖起到了抑制作用，不存在受伤细胞在贮藏期内恢复的情况。Lavinas 等人[14]研究 UHP 对巴西腰果梨汁的杀菌效果时发现，400 MPa 处理巴西腰果梨汁 3 min 后，无自然菌群检出，在 4 ℃条件下贮藏 8 周后，没有细菌复活或繁殖发生，说明 UHP 对果蔬制品具有较好的灭菌效果。

3.2 颜色及主要理化指标变化

果蔬汁的色泽直接影响消费者对商品的印象，是评价果蔬汁产品品质的重要指标之一。4 ℃贮藏过程中，UHP 处理的草莓果肉饮料颜色及主要理化指标的变化情况如表 1 所示。经 UHP 处理(压力 600 MPa、保压时间 4 min)后，草莓果肉饮料在贮藏过程中的可溶性固形物、pH 值、可滴定酸有波动，但变化不显著($P>0.05$)；色泽参数(L^*、a^*、b^*)均呈下降趋势，即亮度降低，红色逐渐变浅，这与草莓果肉饮料中花色苷的降解有关；总色差 ΔE 随着储藏期的延长而逐渐增大，第 7 个月时达到最大 8.45，且后 3 个月的变化剧烈。UHP 处理对草莓果肉饮料的颜色没有影响，但是贮藏过程中由于发生褐变及色素降解，颜色发生改变。Ahmed 等人[15]研究发现，UHP 处理(压力 100～400 MPa，温度 20℃，保压时间 15 或 30 min)的芒果浆在处理结束后并没有立即出现可见的色泽变化，但在贮藏过程(3 ℃)中会发生酶促褐变。

表 1 4 ℃贮藏过程中草莓果肉饮料颜色及主要理化指标的变化

Table 1 The changes of color and main physicochemical indexes of strawberry nectar during storage at 4 ℃

Storage time /(months)	Brix degree /(°Brix)	pH value	x_{TA}/(%)	Color parameters			
				L^*	a^*	b^*	ΔE
0	10.2±0.2^{a}	3.41±0.02^{a}	0.43±0.01^{a}	16.92±0.16^{a}	22.41±0.15^{ab}	20.14±0.10^{ab}	2.10±0.16^{a}
1	10.3±0.3^{a}	3.50±0.07^{a}	0.44±0.01^{ac}	15.44±0.29^{b}	22.45±0.32^{ab}	20.21±0.19^{a}	3.03±0.09^{b}
2	10.5±0.2^{a}	3.44±0.08^{a}	0.46±0.02^{bc}	14.73±0.27^{c}	22.88±0.71^{a}	20.12±1.97^{a}	4.45±0.21^{cd}
3	10.5±0.5^{a}	3.43±0.01^{a}	0.45±0.01^{ab}	14.80±0.25^{c}	22.53±0.30^{ab}	19.45±0.85^{ab}	4.71±0.17^{d}
4	10.6±0.5^{a}	3.46±0.12^{a}	0.46±0.01^{bc}	14.11±0.15^{d}	21.54±0.31^{b}	18.16±0.41^{bc}	4.82±0.14^{de}
5	10.6±0.4^{a}	3.49±0.04^{a}	0.44±0.01^{ac}	14.57±0.14^{ce}	21.48±0.36^{b}	16.93±0.49^{cd}	5.52±0.28^{e}
6	10.7±0.4^{a}	3.45±0.05^{a}	0.48±0.01^{c}	13.82±0.08^{d}	21.41±0.83^{b}	15.59±0.28^{de}	6.69±0.28^{f}
7	10.6±0.3^{a}	3.43±0.02^{a}	0.46±0.01^{c}	14.25±0.56^{d}	19.94±0.43^{c}	14.97±0.14^{e}	8.45±0.21^{g}

Note: Different letters (a,b,c,d,e,f,g) in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

褐变包括酶促褐变和非酶褐变，其中酶促褐变在热烫不彻底时显著影响产品质量。非酶褐变是果汁在贮藏过程中发生的主要褐变反应，褐变生成物直接影响果汁品质，已成为果汁品质变劣和贮藏期缩

短的主要原因[16]。非酶褐变的主要影响因素有 pH 值、温度、贮藏时间、水分活度和体系内化合物组成等[17]。花青素是草莓中的主要色素。花青素的性质很不稳定,在加工和贮藏过程中,易受某些理化因素的影响而发生降解或褪色,酶、温度、氧气、光、pH 值、维生素 C、糖及其降解产物、金属离子以及植物中间代谢产物等都会影响其稳定性[18],进而影响到色泽稳定性。

综合以上分析,草莓果肉饮料在贮藏过程中的颜色变化可能主要是由于褐变及色素降解,这与贮藏过程中食品体系中化合物组成的变化有关,同时 UHP 处理过程中带入食品体系的氧气也是造成褐变的重要原因。

3.3　营养品质的变化

3.3.1　总酚含量的变化

4 ℃储藏期内经 UHP 处理的草莓果肉饮料的总酚含量 $w_{\text{total phenols}}$ 变化如表 2 所示。可以看出:贮藏过程中 UHP 处理过的草莓果肉饮料的总酚含量一直下降,第 7 个月时下降了 34.14%,且从第 5 个月开始下降幅度增大,并出现显著差异($P<0.05$)。不同 UHP 处理条件以及不同储藏条件对总酚含量的影响不同。Keenan 等人[19]研究发现,经 600 MPa、3 min 及 600 MPa、5 min 处理的草莓苹果混合汁在 4 ℃储藏 1 个月后总酚含量分别下降 38.81%和 39.03%,差异均显著($P<0.05$)。Landl 等人[20]研究发现,经 600 MPa、5 min 处理的苹果浆在 5 ℃储藏 21 d 后总酚含量降低 27.70%($P<0.05$),并认为总酚含量的减少与包装材料、果蔬品种、溶解氧、残余多酚氧化酶(Polyphenol Oxidase,PPO)酶活等因素有关,同时储藏过程中儿茶素等酚类物质发生氧化也是导致总酚含量减少的重要原因。

表 2　4 ℃贮藏过程中草莓果肉饮料营养品质的变化

Table 2　The changes of nutritional quality of strawberry nectar during storage at 4 ℃

Storage time /(months)	$w_{\text{vitamin C}}$ /(10^{-5})	$w_{\text{anthocyanidin}}$/(10^{-5})			$w_{\text{total phenols}}$ /(mg/100 g)	$w_{\text{antioxidant activity}}$/(mg/100 g)	
		Cy-3-glu	Pg-3-glu	Pg-3-rut		DPPH	FRAP
0	1.02±0.02^{a}	1.79±0.09^{a}	7.92±0.48^{a}	2.31±0.13^{a}	65.81±1.21^{a}	1030.23±23.15^{a}	81.57±4.52^{a}
1	0.98±0.02^{ab}	1.54±0.03^{b}	6.85±0.06^{b}	1.95±0.16^{b}	62.61±3.21^{a}	1025.12±25.85^{a}	79.35±5.10^{a}
2	0.88±0.03^{b}	1.46±0.01^{b}	6.49±0.04^{b}	1.90±0.02^{b}	61.54±1.36^{a}	1019.15±34.81^{a}	78.41±5.61^{a}
3	0.83±0.02^{b}	1.37±0.07^{c}	5.46±0.02^{c}	1.66±0.03^{c}	60.23±0.69^{a}	1009.62±20.71^{a}	77.83±5.14^{ac}
4	0.81±0.03^{b}	1.22±0.06^{d}	4.52±0.04^{d}	1.54±0.01^{c}	54.26±1.98^{bd}	969.42±38.55^{a}	74.54±5.11^{ac}
5	0.76±0.05^{c}	1.08±0.04^{e}	4.06±0.14^{e}	1.41±0.04^{d}	50.22±3.33^{de}	885.10±20.17^{b}	70.69±3.24^{bc}
6	0.66±0.01^{d}	0.94±0.02^{f}	3.49±0.03^{f}	1.29±0.02^{e}	46.48±2.99^{e}	766.12±27.27^{c}	68.54±3.95^{c}
7	0.58±0.03^{e}	0.86±0.01^{g}	3.18±0.02^{f}	1.18±0.03^{f}	43.34±2.06^{e}	671.61±35.33^{d}	58.48±5.85^{d}

Note:Different letters (a,b,c,d,e,f,g) in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

3.3.2　维生素 C 含量的变化

维生素 C 易受外界环境影响,如氧气、光、热、金属离子、水分活度、pH 值等,同时维生素 C 的损失常作为预期果汁等产品货架期的一个重要指标。4 ℃贮藏过程中 UHP 处理的草莓果肉饮料中维生素 C 含量 $w_{\text{vitamin C}}$ 变化如表 2 所示。可见,贮藏过程中 UHP 处理的草莓果肉饮料的维生素 C 含量不断下降,贮藏第 7 个月时下降了 43.14%,且从第 3 个月开始出现显著差异($P<0.05$)。Landl 等人[20]研究发现,经 600 MPa、5 min 处理的苹果浆在 5 ℃贮藏 21 d 后维生素含量降低 47.05%,出现显著差异($P<0.05$)。Nienaber 等人[21]研究发现,橙汁经 800 MPa 的 UHP 处理 1 min 后在 4 ℃贮藏 3 个月以及在 15 ℃贮藏 2 个月时维生素 C 的损失均小于 20%。一般来说,维生素 C 在贮藏过程中的降解主要由氧气所致,这与包装材料的透气性有关。张敏等人[22]研究不同透气性聚乙烯袋包装对冷藏枇杷品质的影响时发现,中透气性聚乙烯材料对维生素 C 含量下降的抑制效果最好,高透气性和低透气性聚乙烯袋的抑制效果次之,但两者之间没有太大差别。本研究采用的是聚乙烯包装材料,其透气透性对维生素 C 的稳定性有影响,因此在包装中消除氧气能够降低加工及贮藏过程中维生素 C 的降解。

3.3.3 花青素含量的变化

草莓果实中的红色素属于花色苷，主要有矢车菊素-3-葡萄糖苷(Cy-3-glu)、天竺葵素-3-葡萄糖苷(Pg-3-glu)和天竺葵素-3-芸香苷(Pg-3-rut)[23]。4 ℃贮藏过程中，UHP 处理的草莓果肉饮料的花青素含量($w_{\text{anthocyanidin}}$)变化如表 2 所示。由表 2 可知，7 个月贮藏期内 3 种花青素均有显著性损失($P<0.05$)，第 7 个月时 Cy-3-glu、Pg-3-glu 和 Pg-3-rut 分别损失 67.48%、73.10%和 62.47%。Tiwari 等人[24]研究认为，果蔬汁中的花青素变化一般与其中的 PPO、过氧化物酶(Peroxidase，POD)、β-葡糖苷酶(β-Glucosidase)活性有关，酶的活性越低，UHP 处理过程中果蔬汁花青素损失越少。Nikkhan 等人[25]研究发现，在浆果中添加少量蔗糖会对花青素起到保护作用，而添加过量则减弱保护作用。蔗糖对花青素稳定性的影响取决于花青素的结构和蔗糖的添加浓度，若添加的蔗糖过量，则其美拉德反应产物会降低花青素的稳定性[26]。Gimenez 等人[27]研究发现，600 MPa 和 800 MPa UHP 处理 5 min 的草莓酱，贮藏 15 d 后，花青素 Pg-3-glu 分别损失 27.5%和 26.8%，Pg-3-rut 分别损失 27.0%和 19.5%，传统热加工的草莓酱贮藏 15 d 后花青素 Pg-3-glu 仅损失 9.9%，Pg-3-rut 损失 10.0%，表明虽然 UHP 处理时草莓酱中的花青素损失比热处理少，但是热处理后的草莓酱在贮藏过程中能够更好地保持花青素含量，并认为这与 PPO、POD、β-葡糖苷酶等与花青素稳定性相关的酶活性有关，酶的活性越低，贮藏过程中花青素损失越少，而传统热加工过程对酶的钝化效果更好。对于本实验，花青素在贮藏过程中的降解可能是由于热烫处理和 UHP 处理未完全钝化 PPO、POD、β-葡糖苷酶等酶活性，也可能是调配过程中加入的蔗糖量过大，其美拉德反应产物降低了花青素的稳定性，另外，体系的溶解氧也能够造成花青素的氧化降解，这与食品的包装材料有关。

3.3.4 抗氧化性的变化

草莓中的抗氧化成分主要包括多酚、维生素 C、花青素等，这些物质在体外具有较强的抗氧化活性。4 ℃贮藏过程中 UHP 处理的草莓果肉饮料的抗氧化性($w_{\text{antioxidant activity}}$)变化如表 2 所示。可见，贮藏过程中草莓果肉饮料·DPPH 和 FRAP 的维生素 C 当量均有所降低，第 7 个月时分别下降 34.81%和 25.87%，均出现显著差异($P<0.05$)。抗氧化能力的降低主要是由草莓果肉饮料中各种抗氧化成分的降解造成的，这与包装材料的透气性、体系的溶解氧等因素有关。

3.4 挥发性香气成分的变化

香气是果汁的一个重要指标，草莓中含有大量的挥发性物质和非挥发性组分，如儿茶素、蛋白质、氨基酸等。在长期的贮藏过程中这些成分会发生许多复杂的化学变化，例如儿茶素的氧化，蛋白质、氨基酸的氧化降解等，均会使草莓果肉饮料品质和风味发生显著改变[28]。草莓果肉饮料挥发性香气成分主要由酯类、醇类、醛类、酸类、酮类和烃类构成，储藏期内 UHP 处理的草莓果肉饮料挥发性香气成分的变化见表 3。分析表 3 数据可知，贮藏期内草莓果肉饮料的主要化学成分和香气成分变化均十分显著，其中化学成分的变化可能是导致香气成分变化的直接原因，具体分析如下。

3.4.1 醛类物质的变化

草莓果肉饮料中的醛类物质主要是天然壬醛和天然癸醛，醛类物质表征了草莓的芳香风味。从表 3 可以看出，4 ℃贮藏条件下 UHP 处理过的草莓果肉饮料中壬醛、癸醛均逐渐减少，其中壬醛在第 5 个月时消失，癸醛在储藏 3 个月后检测不到。醛类物质的减少可能是因为随着贮藏时间的延长，发生了分解转化，被还原为醇。贮藏第 6 个月时，有新物质苯甲醛出现。

挥发性香气成分在贮藏过程中通过多种代谢途径形成，同时也受很多因素影响，例如果蔬的分类、种类以及处理技术等。芳香成分的形成有 3 个重要条件：底物、酶和氧气，因此真空包装贮藏抑制了香味物质的形成，香气组分含量呈现下降趋势[29]。脂肪氧合酶(LOX)可以使不饱和脂肪酸氧化形成“过氧化氢”，裂解酶催化后，裂解形成挥发性的羧基化合物，形成果蔬的清香味。氨基酸和脂肪酸的合成与降解是果实风味物质代谢的主要途径，其分解和代谢影响着果实香气物质的形成。

3.4.2 酯类物质的变化

酯类是水果中最重要的挥发性香气成分之一，能够赋予草莓清新的芳香气味。4 ℃贮藏条件下

UHP 处理的草莓果肉饮料中酯类物质种类及相对含量逐渐减少,丁酸甲酯、己酸乙酯在第 7 个月时分别减少 47.71%和 48.88%,差异均显著($P<0.05$);UHP 处理后新生成的酯类物质肉桂酸甲酯、肉桂酸乙酯随着储藏期的延长,峰面积逐渐较小,第 7 个月时分别降低 67.16%和 76.64%,差异显著($P<0.05$);乙酸异戊酯、己酸甲酯、苯甲酸乙酯、乙酸苯乙酯等物质逐渐减少,在储藏第 6 个月时检测不到。

表 3　4 ℃贮藏过程中草莓果肉饮料挥发性香气成分的变化

Table 3　The changes of volatile flavor compounds of strawberry nectar during storage at 4 ℃

Retention time /(min)	Flavor compounds	Peak area							
		0 month	1 month	2 month	3 month	4 month	5 month	6 month	7 month
6.298	Methyl butyrate	61 499 818	66 008 334	69 331 694	89 331 694	79 331 694	61 529 310	46 112 740	32 157 896
6.646	3-methyl-1-butanol	237 742 411	182 322 913	282 322 913	264 562 981	282 322 913	310 239 804	382 322 913	482 322 913
7.729	Toluene	29 901 502							
8.624	Ethyl butyrate	419 076 550	448 124 911	264 637 367	464 637 367	418 883 999	396 666 749	276 193 635	224 528 510
12.880	Hexanol	170 206 822	187 815 716	305 766 651	605 766 651	213 208 660	146 915 548	72 054 161	333 435 722
13.340	Isoamyl acetate	53 176 050	54 177 078	194 476 327	124 476 327	45 384 493	35 384 493		
13.911	Styrene	33 371 139							
15.545	Methyl caproate	37 679 580	39 299 571	22 692 525	25 692 525	16 867 087	12 069 630		
15.922	Benzaldehyde							10 755 403	29 306 268
17.175	1-heptanol	5 679 237							
17.567	Hexanoic acid	24 872 120							
17.659	6-methyl-5-hepten-2-one	8 715 827							
17.964	Ethyl caproate	71 619 817	58 359 488	78 359 488	65 894 023	549 234 211	50 328 871	47 329 194	36 611 650
18.355	Hexyl acetate	1 285 005	6 061 822	9 063 012	16 063 012	4 982 944	4 084 606		
18.728	(+)-Limonene	1 020 979							
18.771	Isooctyl alcohol	2 726 827	18 962 805	18 962 805	18 962 805	3 250 459			
19.555	2,5-dimethyl-4-methoxy -3(2H)-furanone	13 003 966	10 238 903	8 018 374	6 328 193	4 573 211			
19.734	1-octanol	21 207 533	18 146 732	22 146 732	27 336 919	26 081 443	28 359 664	20 346 428	23 834 281
20.358	Linalool	33 445 037	29 863 862	30 790 321	43 050 163	26 378 597	36 696 697	39 050 163	49 151 439
20.445	Nonyl aldehyde	8 410 675	2 440 331	3 440 331	2 940 331	1 440 331			
20.740	Phenethyl alcohol	11 051 057	16 267 228	19 267 228	22 267 228				
21.435	Ethyl alcohol		239 324 337	339 324 337	439 324 337	539 324 337			
21.954	1-nonanol	18 072 199	19 738 714	15 738 714	13 738 714				
22.031	Ethyl benzoate	2 815 186	1 854 322	1 096 443	892 022	592 013	543 211		
22.467	Naphthalene	3 807 276							5 242 790
22.839	Decyl aldehyde	3 660 795	2 789 002	1 029 387					
23.008	Phenethyl acetate	3 911 232	2 567 943	986 543	781 034	539 018	349 758		
25.977	2-methylnaphthalene	1 524 184							
29.309	Methyl cinnamate	3 194 631	2 901 934	2 478 910	2 009 871	1 689 212	1 548 391	1 283 459	1 049 051
30.761	(E)-6,10-dimethyl-5,9 -undecadien-2-one	4 716 265	4 382 909	3 197 624	1 903 842	906 556			
31.047	Ethyl cinnamate	3 260 017	2 530 167	1 530 167	1 030 167	1 099 234	991 041	889 014	891 619
31.700	2,4-di-tert-butylphenol	13 894 282	35 640 615	25 640 615	15 640 615				
31.767	2,6-di-tert-butyl -4-methylphenol	4 515 118	7 848 624	11 848 624	18 381 687	16 744 012	9 500 052	6 510 503	17 018 733
32.377	Trans-nerolidol	10 511 038	4 286 234	12 286 234	12 903 214	13 412 421	13 893 215	15 751 934	16 833 093
33.581	Peach aldehyde	2 709 219							
33.659	Eicosane	1 568 440							

酯类物质的降解与果汁在贮藏过程中发生的反应有关，如维生素 C 的降解以及非酶褐变等[30]，这些变化能够导致果汁中风味物质的变化。

3.4.3 醇类物质的变化

芳樟醇和反式-橙花叔醇是与草莓清新香味相关的萜烯类化合物，具有典型花香。从表 3 可以看出，UHP 处理的草莓果肉饮料在贮藏过程中，芳樟醇和反式-橙花叔醇的峰面积逐渐增加，贮藏 7 个月时含量分别增加 46.96%和 60.14%($P<0.05$)。窦宏亮等人[28]在研究绿茶饮料储藏期内香气成分的变化时，得到与本研究一致的结论，并认为儿茶素的氧化降解导致萜烯类和芳香醇类配糖体大量水解，而芳樟醇能够异构化为橙花醇，继而转变为香叶醇，从而导致橙花醇和香叶醇的含量增加；此外他们在分析典型香气成分变化与生化成分变化之间的相关性时发现，总酚只有对芳樟醇的含量变化有显著影响，这可能是由于在贮藏过程中多酚类及其氧化的中间产物发生不同程度的自动氧化，加速了萜烯醇的水解。

3.4.4 酮类物质的变化

呋喃酮是挥发性香气成分中对草莓风味影响较大的一种物质。由表 3 可以看出，香叶基丙酮、4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮两种酮类物质在储藏期内逐渐减少，而且变化显著($P<0.05$)，在贮藏 5 个月后均已检测不到。

β-葡糖苷酶对呋喃酮类物质的形成起着重要作用。β-葡糖苷酶催化糖苷结合物(糖基化的呋喃酮)水解，促进呋喃酮释放，因此其活性与呋喃酮的含量有着较大的关联性[31]。而经过热烫及 UHP 处理的草莓果肉饮料中，β-葡糖苷酶得到了钝化，阻碍了呋喃酮类物质的形成，导致贮藏过程中呋喃类物质逐渐减少。

4 结 论

UHP 处理对草莓果肉饮料具有良好的杀菌效果，经压力为 600 MPa、处理时间为 4 min 的 UHP 处理后，草莓果肉饮料中的自然菌群全部被杀灭，4 ℃贮藏 7 个月的过程中没有细菌、霉菌或酵母滋生。UHP 处理的草莓果肉饮料在 7 个月 4 ℃贮藏过程中，可溶性固形物、pH 值、可滴定酸变化不显著($P>0.05$)，饮料颜色逐渐变暗，总酚、维生素 C 及花青素含量均逐渐减少，第 7 个月时分别损失 34.14%、43.14%和 53.48%，抗氧化性逐渐减弱，· DPPH 和 FRAP 的维生素 C 当量在第 7 个月时分别下降 34.81%和 29.54%，均出现显著差异($P<0.05$)。草莓果肉饮料的香气成分变化研究表明：在贮藏过程中，草莓果肉饮料主要香气成分的含量呈下降趋势，其中酯类成分损失差异显著，芳樟醇、反式-橙花叔醇含量则随贮藏时间的延长而增加，醛类、酮类等成分在贮藏过程中逐渐减少，第 7 个月时部分香气成分检测不到，说明草莓果肉饮料中的主要香气成分随着贮藏时间的延长发生了变化，在生产加工中需采取必要手段控制或减缓香气物质的变化速度，以提高产品品质。

References:

[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]. Sci Hortic, 2008, 119(1): 28-31.

[2] 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 ananassa*) [J]. Food Chem, 2004, 88(1): 7-10.

[3] Terefe N S, Yang Y H, Knoerzer K, et al. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech, 2010, 11(1): 52-60.

[4] Zabetakis I, Leclerc D, Kajda P. The effect of high hydrostatic pressure on the strawberry anthocyanins [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(7): 2749-2754.

[5] Patras A, Brunton N P, Pieve S D, et al. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic,

ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech, 2009, 10(3): 308-313.

[6] Rodrigo D, Loey A V, Hendrickx M. Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice [J]. J Food Eng, 2007, 79(2): 553-560.

[7] Zabetakis I, Koulentianos A, Orruno E, et al. The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds [J]. Food Chem, 2000, 71(1): 51-55.

[8] Lambert Y, Demazeau G, Largeteau A, et al. Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment [J]. Food Chem, 1999, 67(1): 7-16.

[9] 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]. Method Enzymol, 1999, 299: 152-178.

[10] 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 Chem, 2009, 113(4): 1119-1126.

[11] Garcia-Viguera C, Zafrilla P, Tomás-Barberán F A, et al. Determination of authenticity of fruit jams by HPLC analysis of anthocyanins [J]. J Sci Food Agr, 1997, 73(2): 207-213.

[12] 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 Sci Tech, 2009, 42(1): 93-100.

[13] Benzie I F, 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]. Method Enzymol, 1999, 299: 15-27.

[14] Lavinas F C, Miguel M A, Lopes M L, et al. Effect of high hydrostatic pressure on cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) juice preservation [J]. J Food Sci, 2008, 73(6): 273-277.

[15] Ahmed J, Ramaswamy H S, Hiremath N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp [J]. Int J Food Sci Tech, 2005, 40(8): 885-895.

[16] Ma X, Chen J W, Guan F M. Factors affecting nonenzymatic browning of apple juice during storage and the corresponding ways of controlling [J]. Journal of Shandong Institute of Light Industry (Natural Science Edition), 2001, 15(4): 52-55. (in Chinese)
马　霞, 陈建文, 关凤梅. 苹果汁贮存过程中非酶褐变因素及其控制 [J]. 山东轻工业学院学报(自然科学版), 2001, 15(4): 52-55.

[17] Zhao C Y, Liu Z, Zhang Y, et al. Studies on stability of strawberry pigment [J]. Food Research and Development, 2009, 30(6): 163-166. (in Chinese)
赵春燕, 刘　臻, 张　颖, 等. 草莓色素稳定性研究 [J]. 食品研究与开发, 2009, 30(6): 163-166.

[18] Shuang C M, Chen X P. Studies on the stability of anthocyanins and color of yangmei juice [J]. Food and Fermentation Industries, 1991(3): 1-7. (in Chinese)
双长明, 陈学平. 杨梅果汁花色苷及其色泽稳定性的研究 [J]. 食品与发酵工业, 1991(3): 1-7.

[19] Keenan D F, Brunton N P, Gormley T R, et al. Effect of thermal and high hydrostatic pressure processing on antioxidant activity and colour of fruit smoothies [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech, 2010, 11(4): 551-556.

[20] Landl A, Abadias M, Sárraga C, et al. Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech, 2010, 11(4): 557-564.

[21] Nienaber U, Shellhammer T H. High-pressure processing of orange juice: Combination treatments and a shelf life study [J]. J Food Sci, 2001, 66(2): 332-336.

[22] Zhang M. Effects of polyethylene bags with different gas permeability on loquat quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(11): 212-214. (in Chinese)
张　敏. 不同透气性聚乙烯袋包装对冷藏枇杷品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 212-214.

[23] Goiffon J P, Mouly P P, Gaydou E M. Anthocyanic pigment determination in red fruit juices, concentrated juices and syrups using liquid chromatography [J]. Anal Chim Acta, 1999, 382(1/2): 39-50.

[24] 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 Food Sci Tech, 2009, 20(3/4): 137-145.

[25] Nikkhah E, Khayamy M, Heidari R, et al. Effect of sugar treatment on stability of anthocyanin pigments in berries [J]. J Biol Sci, 2007, 7(8): 1412-1417.

[26] Rubinskiene M, Viskelis P, Jasutiene I, et al. Impact of various factors on the composition and stability of black currant anthocyanins [J]. Food Res Int, 2005, 38(8/9): 867-871.

[27] Gimenez J, Kajda P, Margomenou L, et al. A study on the colour and sensory attributes of high-hydrostatic-pressure jams as compared with traditional jams [J]. J Sci Food Agr, 2001, 18(13): 1228-1234.

[28] Dou H L, Li C M, Hao J F, et al. Study on the change of the main biochemical components, representative aromatic compounds as well as their correlation of green tea beverages during storage [J]. Journal of Tea Science, 2008, 28(3): 181-188. (in Chinese)
窦宏亮, 李春美, 郝菊芳, 等. 绿茶饮料贮藏期间主要生化成分和典型香气成分的变化及相关性研究 [J]. 茶叶科学, 2008, 28(3): 181-188.

[29] Chen J L. Study on the aroma analysis, variation and physicochemical characteristic index of pears [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
陈计峦. 梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.

[30] Chanjirakul K, Wang S Y, Wang C Y, et al. Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries [J]. Postharvest Biol Technol, 2006, 40(2): 106-115.

[31] Aguiló-Aguayo I, Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, et al. Flavour retention and related enzyme activities during storage of strawberry juices processed by high-intensity pulsed electric fields or heat [J]. Food Chem, 2009, 116(1): 59-65.

Quality Changes of Strawberry Nectar Processed by Ultra High Pressure during Storage

XU Wen-Wen, CAO Xia-Min, LIU Feng-Xia, LIAO Xiao-Jun

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

Abstract: The bacterial phase and qualities of strawberry nectar treated by ultra high pressure (600 MPa, 4 min) at storage of 4 ℃ for seven months are studied. The experimental results show that there are no aerobic bacteria, yeasts or molds detected in the strawberry nectar during storage, from the microbial safety point of view, which indicates that ultra high pressure processing at 600 MPa for 4 min can be used as an alternative preservation method for extending its shelf life. No significant changes are observed for the total soluble solid content, pH value and titratable acidity during storage. However, the color gradually darkens, the contents of total phenols, vitamin C and anthocyanins significantly decrease ($P<0.05$), and the DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging capacity and ferric reducing ability of plasma decrease ($P<0.05$) with the prolongation of the storage period. In addition, the esters in the strawberry nectar significantly reduce, and the relative contents of the representative aromatic compounds including linalool and nerol in the strawberry nectar increase dramatically during the storage process ($P<0.05$).

Key words: ultra high pressure; strawberry nectar; storage; quality