doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.035

高静压处理对鲜切南瓜杀菌效果与品质的影响*

周春丽[1,2]　刘　伟[2]　袁　驰[2]　赵　婧[2]　李全宏[2]

(1.江西科技师范大学生命科学学院,南昌 330013;2.中国农业大学食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要:为了探讨超高压处理对鲜切南瓜果肉品质的影响,将鲜切南瓜果肉("蜜本"品种)在超高压(压力 150 ~ 550 MPa,保压时间 10 min)处理后,评价处理前、后鲜切南瓜的杀菌效果、可溶性固形物、主要单糖、pH 值、硬度、色泽、总酚含量、抗氧化性和风味。结果表明:550 MPa、10 min 的超高压条件可将鲜切南瓜中的细菌、霉菌和酵母全部杀死,且该处理前、后鲜切南瓜中的可溶性固形物、蔗糖、pH 值和总酚含量均无显著性差异($P>0.05$);维生素 C、硬度、色泽参数、葡萄糖、果糖及抗氧化性有显著性下降($P<0.05$),维生素 C 含量损失 18.9%;挥发性香气成分中烯类、醛类、酚类和酮类物质的种类及含量发生显著性变化($P<0.05$),但仍保持鲜切南瓜的特征风味。

关键词:鲜切南瓜　超高压　微生物安全性　品质

中图分类号:S642.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2014)06-0227-10

引言

南瓜(*Cucurbita moschata*)是双子叶植物门葫芦科南瓜属植物,是人们生活中最常见的蔬菜之一,不仅营养丰富,而且长期食用具有保健和防病治病的功能[1]。但是南瓜个体较大,不适宜城市普通家庭消费,这在很大程度上限制了南瓜的市场销售。鲜切果蔬由于其食用方便、营养丰富、清洁卫生等特点,近年来倍受人们关注,目前鲜切果蔬主要有胡萝卜、生菜、圆白菜、韭菜、芹菜、马铃薯、苹果、梨、桃、南瓜、菠菜等[2-4]。但由于鲜切果蔬在实际生产中极易发生微生物污染、营养成分和食用品质降低等不良变化,严重阻碍了鲜切果蔬加工业的进一步发展。

超高压(High hydrostatic pressure, HHP)技术的兴起,为鲜切果蔬解决了这一难题。细菌、霉菌、酵母菌是果蔬中常见的腐败微生物,果蔬在 100 ~ 600 MPa压力作用下 5 ~ 10 min 可使一般细菌、酵母和霉菌数减少直至霉菌被完全杀灭;在 650 MPa 压力作用 15 min 后果蔬食品中绝大多数微生物被杀灭,实现完全灭菌[5]。Hsu 等应用 HHP 处理(25℃/500 MPa/10 min)完全杀灭了番茄汁中的霉菌、酵母菌以及细菌,4℃贮藏 28 d 期间始终未检出霉菌、酵母菌,且菌落总数始终在检测限以下[6]。Maitland 等应用高静压(350、450 和 550 MPa/2 min)处理完整及鲜切西红柿均显著降低沙门氏菌(*Salmonella enterica*)的生长,达到商业无菌要求[7]。Patterson 等实验表明 500 MPa 和 600 MPa (1 min/20℃)处理条件可使胡萝卜汁(pH 值 6.0)的菌落总数降低接近 4.0 个对数[8]。张立云对草莓中自然菌群进行超高压处理,400 MPa 下处理 5 min 后草莓中霉菌和酵母菌的菌落数降低了 1.56 个对数;而压力升高至 500 MPa处理 5 min 则霉菌和酵母菌完全被杀灭[9]。与传统热处理相比,HHP 技术可以有效杀灭鲜切果蔬(西红柿、生菜、雪莲、南瓜、茭白、猕猴桃、哈密瓜等)中的有害微生物、延长贮藏期、钝化原料中内源酶活性、更好地保持果蔬中的色、香气、味及营养成分,达到破坏程度最小[7,10-13]。

不同的果蔬,超高压加工对其品质的影响也有所不同,显示出超高压在鲜切果蔬加工中的潜在优势。目前国内外有关南瓜超高压加工还未见研究报道,本文用超高压技术对鲜切南瓜杀菌,进一步探讨对其品质的影响,为利用超高压技术加工高品质的鲜切南瓜提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

蜜本南瓜,采收于北京市农林科学院蔬菜研究所,室温贮藏。

主要试剂:营养琼脂、孟加拉红培养基(北京陆

收稿日期:2013-06-14　修回日期:2013-09-19

*公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201303112)

作者简介:周春丽,副教授,中国农业大学博士生,主要从事食品加工技术研究,E-mail:zhoucl6212@126.com

通讯作者:李全宏,教授,博士,主要从事天然产物化学研究,E-mail:quanhong_li@hotmail.com

桥技术有限责任公司);甲醇、乙腈(均为色谱纯)(德国 Merck 公司);维生素 C 标准品、维生素 E 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 型超高压处理设备(包头科发新型高技术食品机械有限责任公司);SW-1J-1FD 型超净台(苏州尚田洁净技术有限公司);LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂);PHX 型智能型生化培养箱(宁波莱福科技有限公司);高效液相色谱仪(德国 Knauer 有限公司);SC-80C 型色差仪(北京康光仪器有限公司);Orion868 型 pH 计(美国 Thermo Orion 公司);WAY-2S 型数字阿贝折射仪、UV-762 型紫外分光光度计(上海精密科学仪器有限公司);751GPD 型自动电位滴定仪(瑞士万通公司);Agilent 7890-5975 型气质联用仪(美国安捷伦公司);JYL-610 型打浆机(九阳股份有限公司);CR21G Ⅲ型高速冷冻离心机(日本日立公司);质构仪(Food Technology Corporation, 美国)。

1.3 实验方法

1.3.1 超高压处理

南瓜经清洗,去皮、去籽、去瓤切成 2.0 cm 厚的片,装入聚乙烯塑料袋,真空包装,包装后的试样浸泡于高压容器的传压介质水中,分别在 150、250、350、450 和 550 MPa、20℃ 条件下超高压处理 10 min。以杀灭微生物为指标,优选出最佳的超高压处理参数。空白对照为常压(0.1 MPa)下未经处理的样品,所有样品于 4℃进行贮藏,完成各项指标检测。

1.3.2 微生物检测

选取菌落总数和霉菌、酵母菌作为微生物检测指标,根据 GB/T 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。用质量分数 0.85% 的生理盐水将南瓜样品以 10 倍递增梯度稀释到适宜的稀释度,每个平板中加入 1 mL 稀释液以及 10 ~ 15 mL 培养基溶液,置于培养箱中进行培养。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) 南瓜菌落总数的测定

根据 GB/T 4789—2008 进行南瓜中菌落总数的测定。在超净工作台中,称取 1 g 南瓜于 9 mL 无菌生理盐水中,制成体积比 1∶10 的均匀稀释液;吸取 1 mL 体积比 1∶10 的均匀稀释液于 9 mL 无菌生理盐水中,制成体积比 1∶100 的均匀稀释液;按照同样的方法制成体积比 1∶1 000 的均匀稀释液。选取 10^{-1} ~ 10^{-3}3 个稀释度的南瓜进行菌落计数。每个稀释度做 3 个平皿。将凉至 46 ℃营养琼脂培养基注入平皿约 15 mL,并转动平皿使混合均匀。待琼脂凝固后,翻转平板,置(36 ± 1)℃ 温箱内培养(48 ± 2) h。肉眼观察菌落数,在记下各平板的菌落数后,求出相同稀释度的各平板平均菌落总数。

(2) 南瓜霉菌和酵母菌数的测定

根据 GB/T 4789—2008 进行南瓜中霉菌和酵母菌数的测定。在无菌环境中,称取 1 g 南瓜于 9 mL无菌水中,制成体积比 1∶10 的均匀稀释液;吸取 1 mL 体积比 1∶10 的均匀稀释液于 9 mL 无菌生理盐水中,制成体积比 1∶100 的均匀稀释液;按照同样的方法制成体积比 1∶1 000 的均匀稀释液。选取 10^{-1} ~ 10^{-3}3 个稀释度的南瓜进行霉菌和酵母菌计数。每个稀释度做 3 个平皿。将冷却至 46℃的孟加拉红培养基倾入平皿内,充分摇匀,凝固后,翻转平皿至(28 ± 1)℃ 培养 72 h,计算平板内生长的霉菌和酵母菌落数。选取平板上清晰可数,在 30 ~ 100 范围内的菌落数,乘以稀释倍数后,作为南瓜的霉菌和酵母菌数。

1.3.3 理化指标测定

(1) 色泽测定

采用 SC-80C 型色差仪,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^* 越大,色泽越白;$a^*>0$,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。计算总色差

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

式中 L_0^*、L^*——超高压处理前、后样品亮度

a_0^*、a^*——超高压处理前、后样品红色值

b_0^*、b^*——超高压处理前、后样品黄色值

当 $\Delta E>2$ 时,表示样品的色泽变化明显,ΔE 越大表示颜色变化越明显。

(2) pH 值

采用美国奥立龙 868 型 pH 计测定。

(3) 可溶性固形物

可溶性固形物用白利糖度(°Brix)表示,采用 WAY-2S 型数字阿贝折射仪,连接水浴使设备温度控制在(20 ± 2)℃ 后测定样品的可溶性固形物含量。

(4) 硬度

南瓜块(2 cm × 2 cm × 1 cm),置于 TMS-Pro 质

地分析仪，最大量程 250 N，采用 P/2n 针状探头（直径 2 mm）对试样进行穿刺模式测试[14]。测试参数为：实验前速度 50 mm/min，实验速度 30 mm/min，起始力 0.5 N，测试距离 5 mm。每次测定 10 个样品，取平均值。

（5）汁水流失率

$$D = \frac{T - B - A}{W} \times 100\% \quad (2)$$

式中　T——整袋质量　　B——袋子质量

A——处理后南瓜质量

W——处理前南瓜质量

（6）主要可溶性糖含量（葡萄糖、果糖、蔗糖）

50 g 南瓜果肉加入 150 mL 蒸馏水，用 JYL－B060 型搅拌器（Jiuyang 有限公司，中国）破碎均匀，匀浆在 4℃存放 2 h，然后在 4℃条件下 12 000 r/min 离心 20 min，用 0.45 μm 硝酸纤维素膜过膜，准备进样。使用 YMC－Pack Polyamine Ⅱ（内径 4.6 mm × 250 mm，5 μm 粒径），流动相是乙腈与水混合液，乙晴水（体积比）为 75∶25，流速为 1.0 mL/min，25℃。根据外标蔗糖、葡萄糖和果糖计算样品中蔗糖、葡萄糖和果糖的含量[15]。

（7）总酚含量

参照文献［12］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 50 g 南瓜，用打浆机均质，8 000 r/min，离心 15 min，取上清液，加入 60 mL 无水甲醇，超声 30 min，在 4℃、12 000 r/min 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 质量浓度为 7.5 g/（100 mL）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波长 765 nm 处的吸光度，总酚含量以每 100 g 样品含有相当于焦性没食子酸（Gallic acid equivalents，GAE）的毫克数表示。

（8）维生素 C 含量

采用 2，6-二氯靛酚滴定法测定还原型维生素 C 含量（GB/T 6195—1986）。

（9）抗氧化性能力

南瓜果肉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：参照文献［16］的方法，并略作修改。·DPPH 自由基溶于有机溶剂，在波长 517 nm 处有最大吸收。试样与·DPPH 自由基反应成黄色物质，在波长 517 nm 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 α。

样品测定：取 25 μL 样品提取液加入到 4 mL·DPPH 自由基溶液中，常温避光 1 h，测定吸光度。以不加样品的·DPPH 自由基溶液为对照。清除·DPPH 自由基的能力以维生素 E（mg/（100 g））清除·DPPH 自由基的能力表示。

$$\alpha = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中　A_1——不加样品时·DPPH 溶液的吸光度

A_2——加样品时·DPPH 溶液的吸光度

铁离子还原能力（Ferric reducing ability of plasma，FRAP）：参照文献［16］的方法，并略作修改。Fe^{3+}-三吡啶-三吖嗪（TPTZ）可被试样中还原物质还原为 Fe^{2+} 而呈现蓝色，并在波长 593 nm 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 100 μL 样品提取液加入到 4 mL TPTZ 工作液（0.3 mol/L 的醋酸缓冲液、10 mmol/L 的 TPTZ 溶液、20 mmol/L 的 $FeCl_3$ 按体积比 10∶1∶1 配制）中，37℃反应 15 min 后，测定其在波长 593 nm 处的吸光度。样品的铁还原能力以维生素 E（mg/（100 g））的铁还原能力表示。

（10）挥发性香气成分的测定

参照文献［17］的方法，并略作修改。固相微萃取（Solid phase microextration，SPME）：取 8 g 南瓜果肉浆，置于顶空瓶中，加入 2.4 g NaCl，放入 40℃水浴中平衡预热 10 min 后萃取 40min，用萃取针收集样品。色谱条件：J&W DB－5 石英毛细管柱（内径 0.25 mm × 30 m，0.25 μm）；程序升温：柱初温 45℃，保持 3 min，以 5℃/min 上升到 140℃，再以 10℃/min 上升到 220℃，保持 5 min；进样口温度为 250℃；载气（He）流速 1.0 mL/min；不分流进样。质谱条件：电子轰击（EI）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。

定性：化合物经计算机检索同时与 NIST08 library 提供的标准质谱图对照相匹配。选择较高匹配度的检索结果，并结合文献报道的已知化合物确认检测物成分。

定量：相对百分含量按峰面积归一化法计算，求得各个挥发性化学成分的相对百分含量。

1.3.4　数据分析

采用 SPSS17.0 软件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 不同高静压处理的杀菌效果

超高压处理对鲜切南瓜灭菌效果的影响如表 1 所示。与常压下空白对照样品的灭菌效果相比，经高压处理过的鲜切南瓜中的细菌总数随压力上升呈现明显的下降趋势，350 MPa 压力下细菌总数急剧下降;450 MPa 时细菌总数只有 16 个/g，即可达到商业无菌的效果，当压力为 550 MPa 时,南瓜中几乎检测不到细菌。表明高压力对南瓜具有良好的杀菌效果,这与南瓜果肉高 pH 值(5.46 ± 0.01)(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,高 pH 值利于某些微生物的生长,当 pH 值小于 4.5 时,超高压的抑菌效果明显增强,pH 值越高需要压力越大才能抑制微生物的生长[18]。闫雪峰和赵有斌在研究超高压处理对树莓汁杀菌效果的影响时发现,在压力为 400 MPa、保压时间为15 min时,酵母菌和霉菌也可被完全杀灭;在压力为 600 MPa、保压时间为 25 min 时,虽不能完全杀灭所有微生物,但菌落总数可降至 10 CFU/mL 以内,达到国家食品相关标准要求[19]。纵伟[12,20]等利用超高压分别对保鲜鲜切哈密瓜片和鲜切山药的微生物进行研究,结果表明:600 MPa 压力下处理10 min,可抑制与褐变相关的 PPO 活性,抑制哈密瓜微生物生长;随着压力的增加,鲜切山药片细菌总数呈下降趋势,200 MPa 处理后细菌总数由初始4.98 lgCFU/g降至 3.53 lgCFU/g;400 MPa 处理后,山药片的细菌总数减少至 0.56 lgCFU/g,而 600 MPa 处理后,鲜切山药片细菌未检出。Dong 等[21]以莲藕为材料开展了超高压研究,认为 600 MPa 压力下处理 2.5 min，莲藕中微生物含量达到国家食品卫生标准要求。

表 1 超高压处理前后南瓜果肉中的细菌、霉菌和酵母总数

Tab.1 Inactivation of aerobic bacteria, molds and yeasts in pumpkin nectar by HHP

微生物指标	高静压处理/MPa					
	0.1	150	250	350	450	550
细菌总数 lgCFU/g	6.56 ± 0.02	2.35 ± 0.11	2.41 ± 0.03	1.81 ± 0.05	1.19 ± 0.01	0
霉菌和酵母总数 lgCFU/g	3.24 ± 0.03	1.20 ± 0.14	0.80 ± 0.01	0	0	0

表 2 超高压处理对鲜切南瓜感官品质的影响

Tab.2 Effect of HHP treatment on sensorial properties of fresh pumpkin

处理	可溶性固形物含量/°Brix	pH 值	硬度/N	汁水流失率/%	L^*	a^*	b^*	ΔE
高压处理前	9.4 ± 0.01[a]	5.46 ± 0.01[a]	34.34 ± 0.10[a]		35.59 ± 0.20[b]	−0.53 ± 0.01[b]	11.26 ± 0.03[a]	
高压处理后	9.3 ± 0.01[a]	5.44 ± 0.01[a]	31.81 ± 0.06[b]	1.65 ± 0.03	37.46 ± 0.12[a]	−0.78 ± 0.02[a]	10.13 ± 0.01[b]	2.199

注:数据表示均值 ± 标准差(n = 3);同一列中具有不同上标者表示差异显著(P < 0.05)。

本文研究也初步发现,超高压处理对鲜切南瓜中的细菌、霉菌和酵母有明显的杀灭作用,常温下 550 MPa 处理 10 min 后可达到商业无菌的要求。经 550 MPa、10 min 超高压处理后,鲜切南瓜中无细菌、霉菌和酵母检出,可保证鲜切南瓜的微生物安全性,符合食品卫生标准,因此本研究采用 550 MPa、10 min 条件下研究超高压处理对鲜切南瓜品质影响。

2.2 感官品质

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。超高压处理前、后鲜切南瓜感官品质变化如表 2 所示。经 550 MPa、10 min 超高压处理后鲜切南瓜可溶性固形物、pH 值和汁水流失率变化均不显著(P > 0.05)。硬度及色泽参数(L^*、a^*、b^*)有显著性的变化(P < 0.05),说明超高压处理后鲜切南瓜的糖度、pH 值和汁水得到了较好的保持,尽管色泽和硬度有波动,但对整体感官品质影响不大。

超高压处理前后可溶性固形物含量、pH 值均没有显著性变化(P > 0.05),这和超高压处理菠萝汁处理结果相似,虽然使得菠萝汁中的总糖含量、可溶性固形物含量均略有减少,但是经方差分析后,超高压处理对总糖、可溶性固形物含量的影响均不显著(P > 0.05)[22]。超高压加工会在一定程度上增加南瓜的汁水流失,但流失率不高,仅为(1.65 ± 0.03)%,对南瓜汁水影响不大。这可能是由于超高压加工增大细胞通透性有关。这一结果和超高压处理杨梅鲜果具有一致性[23]。经 550 MPa、10 min 处理后的样品亮度显著(P < 0.05)高于对照样品,说明鲜切南瓜褐变程度小。L^* 值越大,表明白度越大,褐变程度越轻,反之褐变程度越重[13]。可见经高静压处

理可抑制褐变、护色的效果。a^* 和 b^* 均显著($P<0.05$)减小，ΔE 为 2.199 略大于 2，颜色变化稍显明显。花成等认为当 $\Delta E>2$ 时，样品的色泽发生明显的变化[24]。

南瓜经超高压处理后，硬度呈显著性下降($P<0.05$)趋势。硬度是质地特征参数之一，反映了果实的组织结构紧密程度。Eshtiaghi 等对胡萝卜片及马铃薯块的研究表明，超高压处理后样品的质地与原样几乎完全一样，只有当压力超过 600 MPa 时，才对其细胞产生一些影响，而延长保压时间对胡萝卜组织的影响也不显著($P>0.05$)[25]。超高压能保持相对较高的硬度的原因一部分可能是处理温度低、时间短，所以果胶的 β 消除较少，另外就是果胶脱甲氧基酶的活性降低[26]。Matser 等也认为超高压保持蘑菇质构可能与果胶脱甲氧基酶有关，致使果胶脱去甲基，从而形成桥连，与新鲜蘑菇比，超高压会降低蘑菇的质构，但是比热烫的硬，所以超高压比热烫对质构的影响小[27]。Tangwongchai 等发现压力升到 400 MPa 时，番茄变软，但 500 和600 MPa时，它们的硬度略有提高。在 400 MPa 时，细胞破裂率增加、硬度减小；但 500 和 600 MPa 时则刚好相反。从硬度和细胞破裂率变化可以看出，超高压造成的软化是由细胞破裂造成的[28]。可见，不同果蔬对超高压的反应有一定区别。

2.3　营养品质

2.3.1　维生素 C 和主要单糖含量

如表 3 所示，超高压处理后南瓜维生素 C 损失 18.9%，呈显著性降低($P<0.05$)。Sanchez-Moreno 等在研究 HHP 处理对橙汁的维生素 C 含量影响时得出相似的结论[29]。而超高压处理其他一些果蔬，则表现出维生素 C 含量保持较好，Estiaghi 等对马铃薯鲜切块的研究表明，维生素 C 的保存率高于 90%[25]。纵伟等对鲜切猕猴桃片和哈密瓜片进行了超高压保鲜研究，结果均表明，随着贮藏期的增加，超高压处理样维生素 C 含量均显著高于未处理样的维生素 C 含量($P<0.01$)[10,12]。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。本研究中，超高压处理后南瓜维生素 C 损失较大，维生素 C 因其分子结构中含连烯二醇的结构，性质极不稳定，温度、湿度、压力、摩擦、微量元素及光和酸等都可对其产生很大影响。Polydera 等认为维生素 C 含量的减少是由于在超高压将外界的氧气压入食品体系，促进了氧气与维生素 C 的接触，使维生素 C 发生了氧化，导致含量降低[30-31]。此外，随着压力增大，体系温度也随之上升。因此，超高压所造成的 维生素 C 含量降低也可能是由于压力升高造成体系温度升高引起的。

表 3　超高压处理前后鲜切南瓜营养品质的变化

Tab. 3　Effect of HHP treatment on nutritional attributes of fresh pumpkin　　mg/(100 g)

处理	维生素 C 含量	主要可溶性糖含量			总酚含量 GAE 当量	抗氧化性维生素 E 当量	
		葡萄糖	果糖	蔗糖		·DPPH 自由基	FRAP
高压处理前	10.01 ± 0.02[a]	0.54 ± 0.06[a]	0.73 ± 0.02[a]	2.67 ± 0.12[a]	449.09 ± 1.20[a]	897.13 ± 3.56[a]	93.45 ± 0.35[a]
高压处理后	8.12 ± 0.01[b]	0.42 ± 0.10[b]	0.67 ± 0.03[b]	2.66 ± 0.05[a]	453.57 ± 3.26[a]	883.67 ± 8.32[b]	84.78 ± 2.31[b]

注：数据表示均值 ± 标准差($n=3$)；同一列中具有不同上标者表示差异显著($P<0.05$)。

3 种可溶性主要单糖含量经超高压处理后均有不同程度的下降，葡萄糖和果糖含量均呈现显著性下降($P<0.05$)，分别下降 22.2% 和 8.2%，蔗糖含量下降不显著($P>0.05$)。由于超高压处理不能破坏共价键，因此认为超高压处理对于食品中小分子化合物一类的营养物质不会有直接的破坏作用，但超高压处理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[32]。在本研究中发现 3 种主要单糖含量下降可能也与汁水流失率有关，导致糖分随之流失一部分。

2.3.2　总酚和抗氧化活性

南瓜中的抗氧化成分主要包括多酚、维生素 C 等，这些物质在体外具有较强的抗氧化活性。超高压对鲜切南瓜总酚和抗氧化性的影响如表 3 所示。超高压处理后鲜切南瓜·DPPH 自由基和 FRAP 的维生素 E 含量呈显著性($P<0.05$)降低，说明超高压处理降低了鲜切南瓜的抗氧化性，这主要是由于维生素 C 显著下降，尽管总酚含量少量增加 。鲜切南瓜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，葡萄副产物经超高压处理后抗氧化能力增加[33]，总酚含量的少量增加可能是由于超高压造成的植物细胞的破坏，导致一些抗氧化成分物质的萃取率增加，这些相似的结果在苹果汁、草莓浆和蓝莓浆研究中也被研究发现[34-35]，抗氧化能力呈显著性($P<0.05$)下降。番茄浆经 400 MPa、25℃、15 min 超高压处理后·DPPH 自由基清除能力没有显著性变化($P>0.05$)[29]，由此可见不同果蔬的抗氧化能力对超高压反应不同。

2.4 挥发性香气成分

超高压处理后鲜切南瓜的挥发性香气成分变化如表 4 和图 1 所示。从新鲜南瓜中共鉴定出 43 种化合物,高压处理后鉴定出 42 种化合物,其中醇类和烯类化合物含量较高。鲜切南瓜挥发性成分主要由烯类、醇类、酯类、醛类、、酮类和酸类等物质构成。超高压处理前鲜切南瓜中的挥发性香气成分含有酯类 4 种、醇类 9 种、烯类 12 种、醛类 4 种、酚类 1 种、酸类 1 种、酮类 5 种、苯类 3 种和其他类 4 种,分别占鲜切南瓜总峰面积的 20.10%、10.74%、6.85%、0.84%、0.94%、4.04%、2.85%、2.06% 和 12.97%。经 550 MPa、10 min 的超高压处理后含有酯类 4 种、醇类 10 种、烯类 5 种、酚类 2 种、酸类 1 种、酮类 7 种、烷类 6 种、呋喃类 2 种和其他类 5 种,分别占鲜切南瓜总峰面积的 0.72%、43.42%、17.94%、1.05%、7.22%、6.05%、1.81%、3.69% 和 1.81%。处理前与高压处理后具有相同的风味物质 10 种,分别是乙醇、乙醚、乙酸、3-甲基丁醇、1-辛烯-3-醇、2-甲基丙酸 3-羟基-2,4,4-三甲基戊己酯、alpha-紫罗兰酮或 4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯基-1-基)-3-丁烯-2-酮、2,6-二叔丁基对甲酚、1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯和 alpha-柏木烯或(1S,2R,5S)-2,6,6,8-四甲基三环[5.3.1.01.5]十一碳-8-烯。南瓜经超高压处理后产生一些新的挥发性成分,例如 3-己烯-1-醇经过超高压后变为反式-3-己烯-1-醇,超高压通过破坏大分子内的非共价键产生新的小分子,南瓜富含高分子萜类化合物类胡萝卜素,类胡萝卜素不仅在酶的作用下会生物降解,在加工过程中受热或氧的作用也会发生氧化降解,生成 6-甲基-5-庚烯-2-酮、α-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮、β-大马酮、β-环柠檬醛和其他醛酮类化合物[36]。总之,超高压处理前后均具有南瓜特征香气成分,保持南瓜的香味。其他学者研究不同果蔬经过超高压后风味物质变化各异,张峻松等将杏原汁在压力 500 MPa、温度 25℃条件下处理 20 min 后,经顶空固相微萃取与毛细管色谱-质谱联用技术检测超高压处理前后杏汁香气成分的变化,结果表明,经超高压处理后对杏汁香味物质有较大的影响,尤其2-己烯醛、己醛、芳樟醇、

表 4 超高压处理前后鲜切南瓜挥发性香气成分与相对含量

Tab.4 Effect of HHP on volatile flavor compounds of fresh pumpkin

编号	保留时间/min	挥发性香气成分化合物	CAS 号	高静压处理前	高静压处理后
1	3.761	乙醇	000064-17-5	7.07	28.21
2	3.986	乙醚	000060-29-7	10.90	0.24
3	4.147	二甲胺	000124-40-3		0.67
4	4.850	乙酸	000064-19-7	4.04	7.22
5	4.967	乙酸乙酯	000141-78-6	19.72	
6	6.074	环硫乙烷	000420-12-2		0.11
7	6.196	异丙氧胺基甲酸乙酯	1000305-90-0	0.10	
8	6.445	甲氧基乙烷	000540-67-0		0.47
9	6.548	2,5-二甲基呋喃	000625-86-5		3.35
10	7.231	2,3,3-三甲基环丁酮	028290-01-9		2.69
11	7.245	3-甲基丁醇	000123-51-3	0.10	1.97
12	7.289	3-羟基丁醛	000107-89-1	0.03	
13	7.318	3,4-二羟基(4H)-2-呋喃酮	1000198-03-7	0.10	
14	8.055	1-戊醇	000071-41-0		0.45
15	8.153	双甲氧基甲基苯	031600-55-2	0.06	
16	8.992	4(1H)-吡啶酮	000108-96-3		0.18
17	10.778	反式-3-己烯-1-醇	000928-97-2		0.38
18	10.807	3-己烯-1-醇	000544-12-7	0.11	
19	10.817	2-丙烯基呋喃	075135-41-0		0.34
20	10.827	顺-3-己烯醇	000928-96-1	0.23	
21	11.056	1-己醇	000111-27-3		6.44
22	11.10	己基甲酸氯	006092-54-2	1.82	
23	11.334	己基过氧化氢	004312-76-9	0.15	
24	11.861	苯乙烯	000100-42-5		16.50
25	12.09	2-庚醇	000543-49-7	0.65	
26	13.266	(1R)-(+)-α 蒎烯	007785-70-8	0.08	
27	13.774	茨烯	000079-92-5	0.62	
28	14.193	4-庚烯-1-醇	020851-55-2		0.77
29	14.330	1-庚醇	000111-70-6		0.88

续表 4

编号	保留时间/min	挥发性香气成分化合物	CAS 号	高静压处理前	高静压处理后
30	14.545	5-甲基-4-庚烯-3-酮	001447-26-3		1.18
31	14.657	1-辛烯-3-醇	003391-86-4	0.41	3.38
32	14.901	甲基庚烯酮;6-甲基-5-庚烯-2-酮	000110-93-0	2.19	
33	15.530	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-1,3-环己二烯或 α-水芹烯	000099-83-2	0.16	
34	16.189	2-乙基己醇;2-乙基-1-己醇;异辛醇	000104-76-7	0.29	
35	16.487	2,2,6-三甲基环己酮	002408-37-9		0.55
36	16.740	顺-3-辛烯-5-炔	074744-34-6		0.16
37	16.843	2,6-二甲基-2,4-庚二烯	004634-87-1		0.50
38	16.999	1-甲氧基-4,4-二甲基-环己基-2-烯	023538-27-4		0.65
39	17.145	4,4,6-三甲基-环己烯-2-丁烯-1-酮	1000144-64-7		0.15
40	17.219	1,2-二甲基环辛烷	013151-94-5		0.11
41	17.272	4,5-二氢-5,5-二甲基-亚异丙基-1H 吡唑	106251-09-6		0.27
42	17.463	6-甲基-5-庚烯-2-醇	001569-60-4		0.36
43	18.395	3-蒈烯;3,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯	013466-78-9	0.92	
44	18.404	顺-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	003338-55-4		0.19
45	18.541	2-甲基-1-亚甲基-3-甲乙基-环戊烷	056710-83-9		0.30
46	18.790	2,6-二甲基-环己醇	005337-72-4		0.58
47	18.946	葑醇;小茴香醇;1,3,3-三甲基双环[2,2,1]庚-2-醇	001632-73-1	0.12	
48	19.931	樟脑;2-茨酮	000464-49-3	0.27	
49	20.044	反式-5 甲基-3-(1-甲乙基)-环己烯	056816-08-1	0.22	
50	20.268	乙酸异龙脑酯;白乙酯;乙酸异冰片酯;1,7,7-三甲基二环[2,2,1]庚-2-醇醋酸酯	000125-12-2	0.11	
51	20.517	龙脑或茨醇	010385-78-1	1.76	
52	20.639	茨烷	000473-19-8	0.10	
53	20.673	9-硼双环[3.3.1]壬烷-9-胺	063366-66-5		0.29
54	20.834	萜品烯	000099-85-4	0.38	
55	21.190	(1R)-(+)-α 蒎烯;(1R)-2,6,6-三甲基二环[3.3.1]庚-2-烯	007785-70-8	0.68	
56	22.078	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛;β-环柠檬醛	000432-25-7	0.19	
57	22.518	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	000106-26-3	0.17	
58	23.240	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	000141-27-5	0.45	
59	25.099	丁酸-1-甲基己酯	039026-94-3		0.16
60	25.474	2-甲基丙酸 3-羟基-2,4,4-三甲基戊己酯	074367-34-3	0.17	0.28
61	25.567	蒈烷或长松针烷	002778-68-9		0.53
62	26.470	alpha-紫罗兰酮或 4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯基-1-基)-3-丁烯-2-酮	000127-41-3	0.08	0.52
63	26.738	1-(1,5-二甲基己基)-4-甲基-苯	001461-02-5	0.11	
64	27.109	2,6-二叔丁基对甲酚;2,6-二叔丁基对甲苯酚;抗氧剂 BHT;防老剂 BHT;抗氧剂 264	000128-37-0	0.94	0.96
65	27.333	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯	000644-30-4	1.89	0.47
66	27.421	beta-紫罗兰酮;乙位紫罗兰酮;4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯基)-3-丁烯-2-酮	014901-07-6	0.21	
67	27.426	4-(2,5,5-三甲基-3-氧杂三环[5.1.0.0(2,4)]八-4-基-3-丁烯-2 酮	090054-46-9		0.78
68	27.514	alpha-柏木烯或(1S,2R,5S)-2,6,6,8-四甲基三环[5.3.1.01.5]十一碳-8-烯	000469-61-4	1.82	0.10
69	27.609	2,5-二叔丁基酚	005875-45-6		0.09
70	27.631	2,6-二甲基-6-(4-甲基-3-戊基)-硼双环[3.1.1]庚-2-烯	017699-05-7	0.14	
71	27.675	马兜铃烯	017334-55-3	0.19	
72	27.719	甜没药烯	000495-61-4	0.73	
73	27.963	3-(1,5-二甲基-4-己烯基)-6-亚甲基[S-(R*,S*)]-环己烯	020307-83-9	0.91	
74	28.256	二氢猕猴桃内酯	015356-74-8		0.16
75	28.929	2-甲基丙酸-1-(1,1-二甲基乙基)-2-乙基-1,3-丙烷酯	074381-40-1		0.12

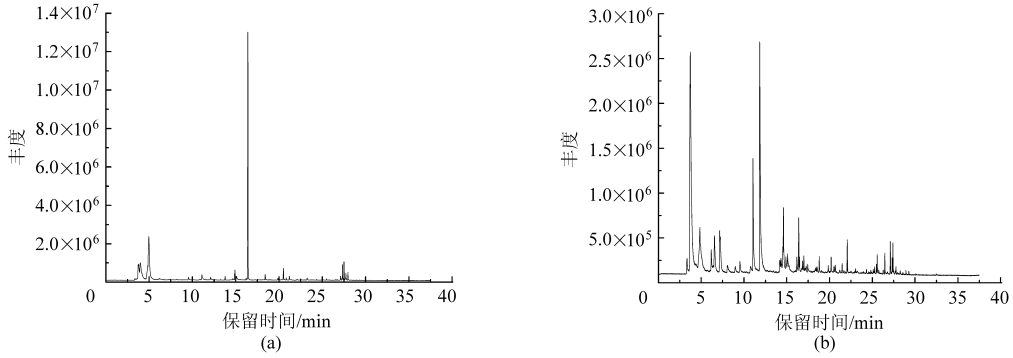

图 1 超高压处理前、后鲜切南瓜香气成分总离子流图

Fig. 1 Total ion current chromatogram of gas chromatography mass spectrometry (GC - MS) of untreated and ultra high pressure treated fresh-cut pumpkin

(a) 处理前样品 (b) 550 MPa, 10 min 处理样品

橙花醇、β-苯乙醇和叶醇等物质的含量明显增加,这些组分含量的增加对杏汁的香气有较大的贡献,从香气评价来看,超高压处理不仅能很好地保持了杏特征香气,而且使杏汁的青鲜香气更加突出,从而有利于杏汁香味品质的提高[37]。潘见等探讨了超高压处理对鲜榨橙汁中主要香气成分的影响,结果表明,超高压处理对橙汁中的柠檬烯成分影响很显著,而月桂烯和 α-蒎烯受高压影响较小;α-松油醇、香芹酮含量经高压处理后迅速增加;醛类特征香气成分基本不受高压影响;酯类成分在高压下总体变化不显著[38]。该研究显示 500 MPa 超高压处理会造成较多的香气损失,橙汁超高压处理时的压力宜选择 400 MPa 左右。通过本研究结果结合前人研究超高压对不同果蔬的风味影响来分析,在保证果蔬加工产品无菌的前提下,尽可能采用低的压力处理果蔬,将能最大程度地保留果蔬的天然营养和风味。马永昆等用 400 MPa 处理 10 min 黑莓汁后,发现能较好地保留黑莓清汁典型浓郁的香气,且与 GC MS 检测分析结果一致[39]。本研究利用 550 MPa 处理南瓜 10 min,尽管保留了南瓜中的主要风味物质种类,但损失了一些自然香气成分,形成另一些新的风味物质,综合上述所有实验结果,在保证鲜切南瓜无菌的前提下,可以选择相对小的压力进行处理。

3 结论

(1) 超高压处理对鲜切南瓜的 pH 值、总糖、可溶性固形物含量影响均很小,与对照样的差异不显著($P > 0.05$),对处理后的鲜切南瓜进行色差分析发现,虽然超高压处理对鲜切南瓜 L^*、a^*、b^* 值的影响都显著($P < 0.05$),但超高压处理更好地减少了鲜切南瓜的褐变。

(2) 550 MPa、10 min 的超高压处理后鲜切南瓜总酚含量增加,但差异性不显著($P > 0.05$),抗氧化性指标、维生素 C、葡萄糖和果糖显著下降($P < 0.05$),维生素 C 保留率达 81.12%。

(3) 超高压处理后鲜切南瓜挥发性香气成分中烯类物质、醛类物质、酚类物质和酮类物质的种类及含量发生显著性变化($P < 0.05$),其中烯类物质种类下降,但相对含量增加,醛类物质种类相对下降,相对含量也减少;酚类和酮类物质种类相对增加,相对含量也升高。部分醛类物质消失,同时有新的烷类、醇类及呋喃类物质生成。

参 考 文 献

1 Adams G G, Imran S, Wang S, et al. The hypoglycaemic effect of pumpkins as anti-diabetic and functional medicines[J]. Food Research International, 2011, 44(4): 862 - 867.

2 Soliva-Fortuny R C, Martin-Belloso O. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2003, 14(9): 341 - 353.

3 Rico D, Martin-Diana A B, Barat J M, et al. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2007, 18(7): 373 - 386.

4 Rojas-Grau M A, Martin-Belloso O. Current advances in quality maintenance of fresh-cut fruits[J]. Stewart Postharvest Review, 2008, 4(2): 1 - 8.

5 刘世献,闫治成,刘弘,等. 高压加工技术在食品加工中的应用研究[J]. 食品科学,2000,21(12):171 - 172.
Liu Shixian, Yan Zhicheng, Liu Hong, et al. Application of ultra high pressure in food industry [J]. Food Science, 2000, 21(12):171 - 172. (in Chinese)

6 Hsu K C, Tan F J, Chi H Y. Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during

refrigerated storage [J]. LWT, 2008, 41(3): 367 – 375.

7 Maitland J E, Boyer R R, Eifert J D, et al. High hydrostatic pressure processing reduces *Salmonella enterica serovars* in diced and whole tomatoes [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 149(2): 113 – 117.

8 Patterson M F, Mckay A M, Connolly M, et al. The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological quality and safety of carrot jucie during refrigeeated storage [J]. Food Microbiology, 2012, 30(1): 205 – 212.

9 张立云. 草莓浆中耐压细菌的分离鉴定[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
Zhang Liyun. Isolation and identification of pressure-resistant bacteria in strawberry pulp [D]. Beijing: China Agicultural University, 2010. (in Chinese)

10 纵伟, 赵光远. 超高压对鲜切猕猴桃果片多聚半乳糖醛酸酶及品质的影响[J]. 食品与机械, 2006, 22(5): 40 – 42.
Zong Wei, Zhao Guangyuan. Effects of ultra-high pressure on polygalacturonase activity and the quality of fresh-cut kiwi fruit [J]. Food & Machinery, 2006, 22(5): 40 – 42. (in Chinese)

11 王庆新, 江波, 张涛, 等. 超高压处理对轻度加工茭白品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 89 – 92.
Wang Qingxin, Jiang Bo, Zhang Tao, et al. Effect of ultra high pressure on the properties of minimally processed water bamboo shoot [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(10): 89 – 92. (in Chinese)

12 纵伟, 李晓, 赵光远. 超高压保鲜鲜切哈密瓜片的研究[J]. 江苏农业科学, 2008(5): 256 – 257.
Zong Wei, Li Xiao, Zhao Guangyuan. Study on preservation of fresh cut 'Hami' melon slices by ultra-high pressure treatment [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2008(5): 256 – 257. (in Chinese)

13 赵电波, 张相生, 张丽尧, 等. 超高压处理对鲜切雪莲果片保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(1): 186 – 191.
Zhao Dianbo, Zhang Xiangsheng, Zhang Liyao, et al. Effects of ultra-high pressure on the preservation of sliced fresh-cut smallanthus sonchifolius[J]. Food Research and Development, 2012, 33(1): 186 – 191. (in Chinese)

14 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1210 – 1217.
Ma Qinghua, Wang Guixi, Liang Lisong. Establishment of the detecting method on the fruit texture of Dongzao by puncture test [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2011, 44(6): 1210 – 1217. (in Chinese)

15 Wang H Y, Hu X S, Chen F, et al. Kinetic analysis of non-enzymatic browning in carrot juice concentrate during storage [J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(2): 282 – 289.

16 Dini I, Tenore G C, Dini A. Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 382 – 385.

17 Verzera A, Dima G, Tripodi G, et al. Fast quantitative determination of aroma volatile constituents in melon fruits by headspace-solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Analytical Methods, 2011, 4(2): 141 – 149.

18 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.

19 闫雪峰, 赵有斌. 超高压处理对树莓汁杀菌效果的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(增刊): 212 – 215.
Yan Xuefeng, Zhao Youbin. Study on effect of ultra high pressure processing on sterilization of raspberry juice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 212 – 215. (in Chinese)

20 纵伟, 刘风珠, 李军辉. 超高压处理对鲜切山药片质量的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 334 – 337.
Zong Wei, Liu Fengzhu, Li Junhui. Effect of ultra-high pressure on the quality of fresh-cut Chinese yam [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11): 334 – 337. (in Chinese)

21 Dong P, Kong M, Yao J, et al. The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological quality and physicochemical properties of lotus root during refrigerated storage [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 19: 79 – 84.

22 李汴生, 张微, 梅灿辉. 超高压和热灭菌对鲜榨菠萝汁品质影响的比较[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 359 – 364.
Li Biansheng, Zhang Wei, Mei Canhui. Comparison of effects of ultra-high pressure and heat sterilization on qualities of freshly-squeezed pineapple juice [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 359 – 364. (in Chinese)

23 林怡, 毛明, 詹耀, 等. 超高压处理对杨梅鲜果感官品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 332 – 335.
Lin Yi, Mao Ming, Zhan Yao, et al. Effect of high pressure treatment on the sensory quality of fresh Chinese bayberry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(13): 332 – 335. (in Chinese)

24 花成, 吴继红, 廖小军, 等. 不同高静压处理对蔬菜品质的影响[J]. 中国食物与营养 2011, 17(9): 32 – 35.
Hua Cheng, Wu Jihong, Liao Xiaojun, et al. Effect of high hydrostatic pressure treatment on vegetable's quality[J]. Food and Nutrition in China, 2011, 17(9): 32 – 35. (in Chinese)

25 Estiaghi M N, Knorr D. Potato cubes response to water blanching and hydrostatic pressure [J]. Journal of Food Science, 1993, 56(6): 1371 – 1374.

26 Krebbers B, Matser A M, Koets M, et al. Quality and storage-stability of high-pressure preserved greenbeans [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(1): 27 – 33.

27 Matser A M, Knott E R, Teunissen P G M, et al. Effects of high isostatic pressure on mushrooms [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45(1): 11 – 16.

28 Tangwongchai R, Ledward D A, Ames J M. Effect of high-pressure treatment on the texture of cherry tomato[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(5): 1434 – 1441.

29 Sanchez-Moreno C, Plaza L, Elez-Martinez 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.

30 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.

31 Sancho F, Lambert Y, Demazeau G, et al. Effect of ultra-high hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 39(3):247 - 253.

32 黄丽, 孙远明, 潘科, 等. 超高压处理对荔枝果汁品质的影响[J]. 农业工程学报, 2007,23(2):259 - 262.
Huang Li, Sun Yuanming, Pan Ke, et al. Influence of ultra high pressure treatment on the quality of lychee juice [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2):259 - 262. (in Chinese)

33 Corrales M, Toepfl S, Butz P, et al. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 9(1): 85 - 91.

34 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]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 308 - 313.

35 Queiroz C, Moreira C F F, Lavinas F C, et al. Effect of high hydrostatic pressure on phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity in cashew apple juice [J]. High Pressure Research, 2010, 30(4): 507 - 513.

36 李瑜. 新鲜南瓜和南瓜汁挥发性风味物质的成分比较[J]. 食品科学, 2010,31(2):208 - 210.
Li Yu. Solid phase microextraction followed by GC - MS analysis of volatile flavor compounds in fresh pumpkin and pumpkin juice [J]. Food Science, 2010,31(2):208 - 210. (in Chinese)

37 张峻松,张世涛,毛多斌,等. 超高压处理对杏汁香气成分的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(4):267 - 270.
Zhang Junsong, Zhang Shitao, Mao Duobin, et al. Effect of ultra high pressure treatment on flavor compounds in apricot juice [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(4):267 - 270. (in Chinese)

38 潘见,王海翔,谢慧明,等. 超高压处理对鲜榨橙汁中主要香气成分的影响[J]. 农业工程学报, 2009,25(5):239 - 243.
Pan Jian, Wang Haixiang, Xie Huiming, et al. Effect of ultra high pressure treatment on main flavour compounds in orange juice [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(5):239 - 243. (in Chinese)

39 马永昆,白洁,魏本喜,等. 基于 SPME - GC - MS 的超高压处理黑莓汁香气成分分析[J]. 农业机械学报,2011,42(7):170 - 174.
Ma Yongkun, Bai Jie, Wei Benxi, et al. Aromatic compounds in blackberry juice after ultrahigh pressure treatment by SPME - GC - MS [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(7):170 - 174. (in Chinese)

Effects of High Hydrostatic Pressure Processing on Microbial Inactivation and Quality of Fresh-cut Pumpkin

Zhou Chunli[1,2] Liu Wei[2] Yuan Chi[2] Zhao Jing[2] Li Quanhong[2]

(1. *School of Life Science*, *Jiangxi Science and Technology Normal University*, *Nanchang* 330013, *China*
2. *College of Food Science and Nutritional Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The effects of high hydrostatic pressure (HHP) (150 ~ 550 MPa, 10 min) on microorganism inactivation and quality of fresh-cut pumpkin were investigated. HHP treatment with 550MPa and 10 min was sufficient to inactivate total aerobic bacteria, molds and yeasts in fresh-cut pumpkin without significantly influencing the total soluble solid, pH value, drip loss, sucrose total phenols of fresh-cut pumpkin ($P > 0.05$). However, the contents of vitamin C, color parameters, hardness, glucose, fructose and antioxidant activity in HHP-treated fresh-cut pumpkin were significantly decreased . Vitamin C was decreased by 18.9%. Moreover, the kind and contents of the alkenes , aldehydes, phenols and ketones in fresh-cut pumpkin were significantly variable ($P < 0.05$) after HHP treatment, but the aroma quality of fresh-cut pumpkin was better retained. Therefore, it was concluded that the ultra high pressure technology was a very promising technology on fresh-cut pumpkin cold processing.

Key words: Fresh-cut pumpkin High hydrostatic pressure Microbiological safety Qualities