高压物理学报
CHINESE JOURNAL OF HIGH PRESSURE PHYSICS

第 32 卷 第 3 期
2018 年 6 月

高 压 物 理 学 报
CHINESE JOURNAL OF HIGH PRESSURE PHYSICS

Vol. 32, No. 3
June, 2018

DOI:10.11858/gywlxb.20170668

超高压处理对不同果蔬结构和性质的影响*

李汴生[1,2,3],苏芳萍[1],朱悦夫[1],阮 征[1,2],李丹丹[1],钱 江[3],高永焱[3]

(1.华南理工大学食品科学与工程学院,广东 广州 510640;
2.广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室,广东 广州 510640;
3.珠海世通超高压技术应用研究院,广东 珠海 519180)

摘要:超高压处理用于提高食品的安全性和贮藏性已被广泛用于果蔬制品,但主要限于流态食品,原因是超高压处理可能会影响到固态食品的结构。为了探究超高压处理对不同品种的果蔬结构和性质的影响,选择了 5 种具有不同的密度、含水量、微观结构和质构特性的果蔬,采用不同的超高压处理条件,分析在不同压力大小和保压时间条件下,果蔬结构和性质的变化情况。结果表明:果蔬的质地会影响其耐压特性,当果蔬质地柔软、空泡结构较少时,耐压性较好;反之,果蔬的体积容易被压缩,由于组织结构的差异,不同果蔬受压时体积变化差异很大;密度大、初始硬度大的果蔬受超高压处理后硬度等质构指标下降幅度更大。保压时间的延长会进一步破坏果蔬的质构和结构。

关键词:超高压;果蔬;结构;性质

中图分类号:TS255.1;O521.2 **文献标识码**:A

超高压对食品的处理是等静压加工,具有各向均匀性的特点,使被加工原料处于受力平衡状态,只要食品原料具有一定的弹性,体积能够在一定程度上伸缩,就适合采用超高压处理[1-2]。由于一般超高压采用的压力较高(100~600 MPa),同时果蔬的组织一般较软[3],经超高压处理后,固体形式的果蔬组织会受到不同程度的损伤,导致细胞壁和中胶层的结构以及胞内生物大分子的组成和数量发生变化[4-5],造成果蔬的体积、质量、色泽和质构方面的变化[6-8]。目前有关超高压对果蔬结构和性质变化的研究多集中在细胞壁果胶变化及影响其变化的相关内源酶上,主要取决于细胞膜、细胞壁和细胞间隙的完整性[9]。Basak 等[10]研究了不同压力大小及保压时间对苹果、梨、橙子、胡萝卜、芹菜、青椒和红椒的硬度的影响,结果发现随着压力的增加,硬度会迅速降低,而在保压期间,硬度会进一步降低或逐渐恢复,并认为果胶甲酯酶活性是硬度增加的主要原因。Deroeck 等[11]研究发现,相比于热处理,高压协同高温处理的胡萝卜的果胶甲酯化程度显着降低,质构显示出最小的软化现象,且细胞间的粘附变化很小。Tangwongchai 等[12]研究了高压处理(200~600 MPa、20 min)对樱桃番茄的结构和关键软化酶(果胶甲酯酶和聚半乳糖醛酸酶)的影响,认为由压力引起的樱桃番茄的结构变化涉及至少两个相关现象,与液固组分相比,气相(空气)的压缩性更大,施加压力可以使其产生紧凑的结构;当压力解除时,组织中溶解和压缩的气体将在大气压下重新快速膨胀形成气泡,导致细胞膜渗透性增加,从而促进水分的渗出和增强酶作用,细胞区室化消失,组织变形软化,而参与进一步软化的酶主要是聚半乳糖醛酸酶,其在 500 MPa 及以上压力条件下失活。前者主要指压力导致的(细胞和组织)结构变化,后者指结构变化导致的物理和化学变化,后者的变化又会加剧前者的变化,但前者的变化(结构的受损)程度决定了后者的变化;前者的变化程度不仅取决于处理的压力,还受果蔬的种类和特性影响。目前关于超高压处理对液体介质下不同果蔬受超高压处理后结构及品质变化研究较少[13],而且多以研究单一品种的果蔬为主,

* **收稿日期**:2017-10-30;**修回日期**:2017-11-15
基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0400400)
作者简介:李汴生(1962—),男,博士,教授,主要从事食品加工和保藏研究. E-mail:febshli@scut.edu.cn

© 2018 Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics

缺乏横向对比，较少探讨和比较不同果蔬在超高压处理后的不同变化。

不同品种的果蔬具有不同的组织结构，所以超高压对其质构等品质的影响存在很大的差异。因此本研究分析了不同超高压处理条件对果肉结构和性质的影响，同时比较了不同果蔬在相同条件下进行超高压处理受到影响的差异，以推动高静压技术在果蔬加工中的应用并为开发果蔬罐头或含果肉饮料新型工艺提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与设备

原料：包括荔枝、提子、胡萝卜、梨、苹果 5 种果蔬。均选用市售新鲜产品，选择相似的外观、成熟度和大小尺寸，其中成熟度主要以硬度和可溶性固形物含量为确定指标。荔枝为“桂味”品种，广东本地产；提子为青提，产地智利；胡萝卜为广东本地产；梨为皇冠梨，产地河北；苹果为红富士，产地山东烟台。白砂糖，食品级。

试验仪器与设备：uuPF/5 L/800 MPa 超高静压处理设备（包头科发新型高技术食品机械有限公司），Dz-280/2SD 真空封口机（东莞市金桥科技有限公司），DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱（海培因实验仪器有限公司），TA-XT2 质构仪（Stable Micro Systems Ltd，England），PL203 电子天平（梅特勒－托利多仪器（上海）有限公司），FR-600 多功能自动薄膜封口机（上海申原包装机械厂），EVO 18 Special Edition 扫描电镜（SEM/EDS）（德国卡尔蔡司有限公司），Alphal-4Lplus 真空冷冻干燥机（德国 Christ 公司），WYZ 阿贝折光仪（上海仪电物理光学仪器有限公司）。

1.2　试验方法

1.2.1　原料处理

选择 5 种果蔬作为实验原料：荔枝、提子、胡萝卜、梨和苹果。处理时将鲜荔枝去壳去皮后，沿径向方向将荔枝果肉制成直径 10 mm、高 5 mm 的圆柱形样品；将提子和胡萝卜切去两头后，沿中心取样，制成直径 10 mm、高 5 mm 的圆柱形样品，其中提子制样时选择大小相似、质量相近（±1 g）的样品，取样时避免取到果皮；梨和苹果沿轴向取样，避免取到果心和果核，制成直径 10 mm、高 5 mm 的圆柱形样品。随后将样品装入密封袋中，密封袋采用聚乙烯塑料袋（10 cm×13 cm）两层密封（不留顶隙），随后加入糖液，用密封机将密封袋封口，随后进行超高压处理。样品处理示意图如图 1 所示，经过压力处理后，果蔬的形态会发生变化，果蔬内部物质会与液体介质直接发生交换。

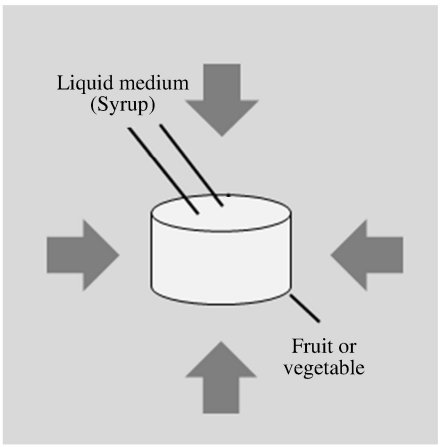


图 1　样品处理示意图

Fig. 1　Schematic representation of treated samples

样品选用不同的糖液作为介质，调配时使用蒸馏水和蔗糖（食品级）作为原料，根据果蔬本身的糖度作为糖液的糖度进行调配，以减小由于果肉及糖液的糖度差异而造成的渗透作用影响。其中荔枝 18.34°Brix，提子为 14.05°Brix，胡萝卜糖度为 7.47°Brix，梨为 10.52°Brix，苹果为 12.79°Brix。

常见的果蔬处理压力为 300～500 MPa，同时由于设备能力限制，本研究选择的最高压力为500 MPa。探究压力大小对果蔬的影响时，选择压力分别为 200、300、400 和 500 MPa，保压时间为5 min作为处理条件；探究保压时间对果蔬影响时，选择 5、10、15 和 20 min，处理压力为 400 MPa 作为处理条件，果蔬样品选择成熟度相近，大小尺寸相似，果蔬样品的质量为(50±3)g，果蔬与糖液的质量比为 1∶5。

1.2.2　体积变化率

采用排水法测定果蔬处理前后的体积,每个样品测定 3 次(误差小于 0.1 mL),每组样品做 3 次平行,以新鲜果蔬作为对照样,计算体积变化率[14]

$$\Delta V=\frac{V_1-V_0}{V_0}\times 100\% \tag{1}$$

式中:ΔV 表示体积变化率,%;V_0 表示高压处理前果蔬的体积,mL;V_1 表示高压处理后果蔬的体积,mL。

1.2.3　质量变化率

用吸水纸将处理完成的样品完全吸干表面水分,用天平称量其质量,每个样品测定 3 次(误差小于 0.01 g),每组样品做 3 次平行,以新鲜果蔬作为对照样,计算质量变化率[14]

$$\Delta M=\frac{M_1-M_0}{M_0}\times 100\% \tag{2}$$

式中:ΔM 表示质量变化率,%;M_0 表示高压处理前果蔬的质量,g;M_1 表示高压处理后果蔬的质量,g。

1.2.4　质构分析

测定时试样置于 TA.XT2i 质构仪 P/36R 探头下做压缩试验。参数设置为:预压速度 1.0 mm/s,下压速度 0.5 mm/s,压后上行速度 10.0 mm/s,压缩率 40%。选择硬度和回复性作为反映果蔬质构特性的 2 个指标[15]。为了方便比较,以未经超高压处理的果蔬作为对照样,将果蔬的硬度和回复性 2 个指标均换算为百分数。

1.2.5　微观结构

采用真空冷冻干燥机对经超高压处理后的果蔬样品进行干燥,用刀片将样品切成 5 mm×5 mm×1 mm 的长方体,在 SEM 样品台上涂上一层导电胶,将切好的样品粘于此胶上,对样品横断面喷金后采用扫描电镜拍摄仪进行测试。加速电压为 10 kV,选择放大 200 倍拍摄显微照片[16]。

1.2.6　数据分析

方差分析和显著性分析应用 SPSS 21.0 和 Excel 2010 进行数据分析,其中采用新复极差分析法 Duncan 进行显著性分析,置信区间取 95%。

2　结果与讨论

2.1　不同果蔬的结构与性质

5 种果蔬的密度由大到小的顺序为:荔枝、提子、胡萝卜、梨和苹果,它们还具有不同水分含量和可溶性固形物含量。5 种果蔬的性质和质构指标如表 1 所示,微观结构如图 2 所示。

表 1　5 种果蔬的性质与质构指标

Table 1　Properties and texture values of 5 kinds of fruits and vegetables

	Density/(g·mL^{-1})	Water content/%	Soluble solids/ °Brix	Hardness/g	Resilience
Litchi	1.063±0.005^{a}	82.004±0.037^{a}	18.34±0.21^{a}	1 193.8±40.15^{a}	0.124±0.015^{a}
Grape	1.038±0.021^{b}	84.641±0.015^{b}	14.05±0.35^{b}	204.02±15.45^{b}	0.037±0.005^{b}
Carrot	1.028±0.017^{b}	88.490±0.012^{c}	7.47±0.13^{c}	13 737.24±375.72^{c}	0.457±0.037^{c}
Pear	0.986±0.007^{c}	88.672±0.028^{c}	10.52±0.26^{d}	2 470.24±54.28^{d}	0.077±0.016^{d}
Apple	0.861±0.012^{d}	82.703±0.027^{d}	12.79±0.33^{e}	3 151.40±85.47^{e}	0.161±0.024^{e}

Note:Superscript letters in each column indicate statistically significant difference ($P<0.05$).

果蔬的质构主要由细胞壁和胞间层的结构决定,细胞壁主要由纤维素、半纤维素、果胶质、木质素等聚合物构成,果胶质在中胶层中起粘连相邻细胞的作用[17]。不同品种的果蔬在细胞壁和胞间层的结构上并不一致,核果类的荔枝和浆果类的提子纤维素含量低于 0.5%,细胞壁的机械强度较弱,属于质地柔软型果蔬;而根菜类的胡萝卜、仁果类的梨和苹果纤维素含量高于 2.0%,细胞壁的硬度较大,属于质地硬脆型果蔬[3]。结合表 1 和图 2,可以发现,这 5 种果蔬的密度和硬度等指标不存在线性相关关系。

荔枝和提子的密度较大，但硬度较小，原因是它们属于柔软型果蔬，且可溶性固形物含量较高、组织结构较为紧密。如图 2，提子的孔洞少且小，荔枝截面光滑，基本无孔隙，存在的空泡结构较少因而密度较大；梨和苹果的微观结构存在很多的空泡结构，孔隙较大，因此它们的密度也最低；胡萝卜具有密集的空泡结构，组织网络交错，层次丰富，密度较大，因而胡萝卜的硬度很大。

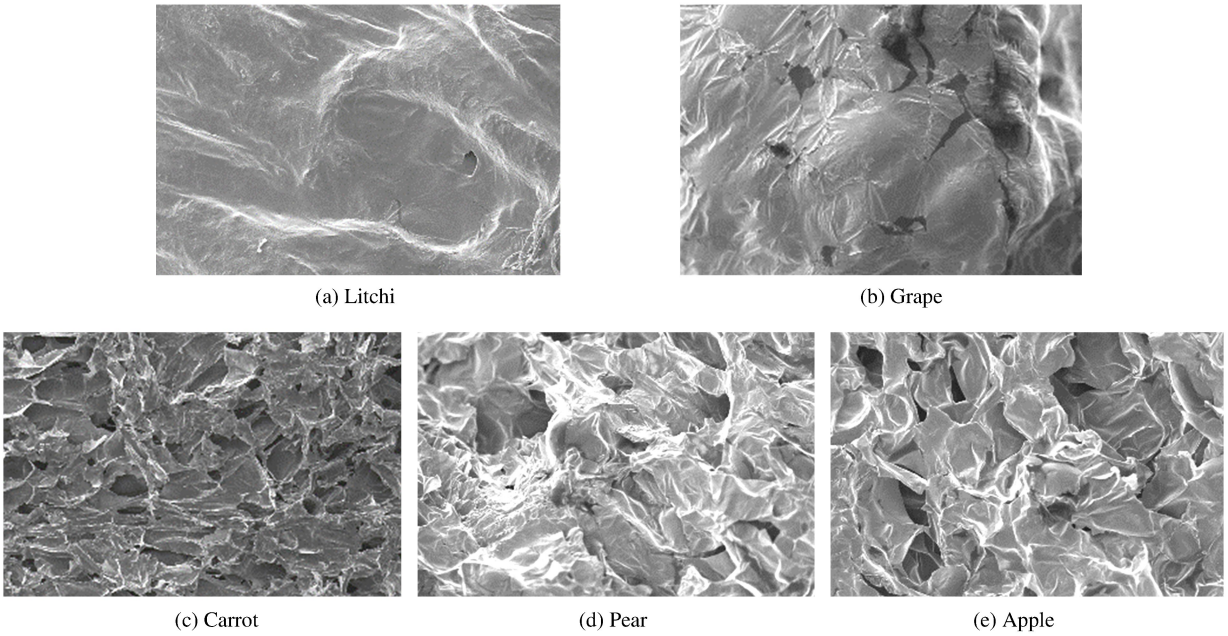


图 2　5 种果蔬的微观结构

Fig. 2　Microstructure of 5 kinds of fruits and vegetables

选择这 5 种具有不同密度、水分含量、可溶性固形物、质构特性和微观结构的果蔬作为实验对象，可以更好地横向比较具有不同组织结构的果蔬受超高压处理后的变化情况，了解不同果蔬的受压特性。

2.2　压力大小对果蔬结构和性质的影响

一般认为，压力越大，果蔬受压缩的程度也越大，形变也越大，结构因此也会受到更大的破坏。采用不同的压力处理荔枝、提子、胡萝卜、梨和苹果 5 种果蔬，探究其结构变化情况。

图 3、图 4 分别表示采用 200～500 MPa 处理这 5 种果蔬后体积和质量的变化情况，具有不同上标者表示差异显著（$P<0.05$）。

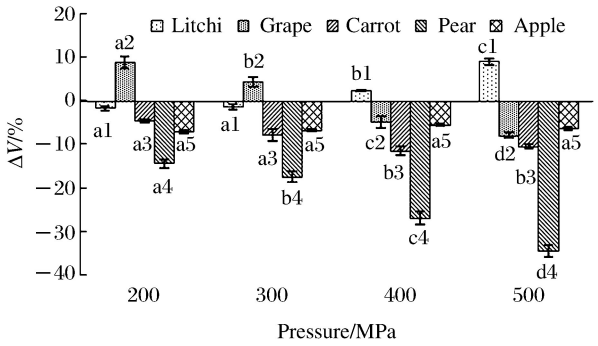


图 3　不同果蔬受压力处理后体积变化

Fig. 3　Volume change of different fruits and vegetables after HPP

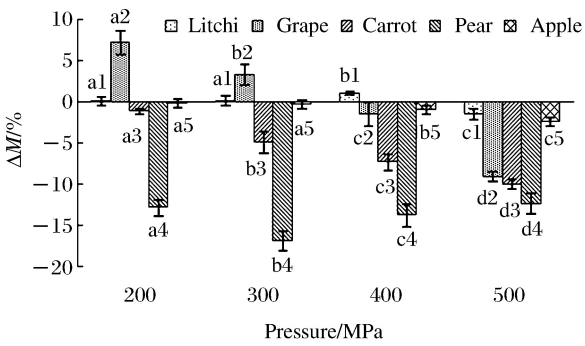


图 4　不同果蔬受压力处理后质量变化

Fig. 4　Weight changes of different fruits and vegetables after HPP

结果发现,经过超高压处理后,质地柔软的荔枝和提子会出现体积和质量增加的现象,但其变化规律不一致。荔枝在 200～300 MPa 处理后,质量和体积基本不发生变化,说明在此压力下,果肉结构基本上不受超高压的影响,出现了轻微的压缩,说明荔枝的耐压能力较强。在 400～500 MPa 时,荔枝的体积随着压力的增大而增大,质量则先增大后减小,说明加压降压过程使荔枝结构的气体重新分配,细胞空隙增大,细胞膜通透性改变,细胞内可溶性物质和液体介质均会进入荔枝细胞空隙,使体积膨胀[18-19],而内溶物的加剧流出又会造成了荔枝质量的下降。提子在 200～300 MPa 处理后体积出现增大,质量增加,说明液体介质也会进入提子细胞间隙的空泡结构并使其体积膨胀;而在 400～500 MPa 下,提子结构无法耐受高压,组织发生坍缩,原本体积膨胀的提子体积变为压缩,导致果肉的质量和体积减小。质地硬脆的胡萝卜、梨和苹果的体积均被压缩,质量下降,但变化率差别较大,说明它们的结构受到了不同程度的影响。随着压力的增大,梨的体积缩小程度越来越大,最大超过 30%,说明梨的空泡结构很多,组织结构承压性弱,受压时形变量最大,最容易被压缩;苹果的密度最小,空泡结构也较多,但在不同压力下体积变化不大,这可能是因为其耐压性很弱,在 200 MPa 时结构已被完全破坏,随着压力的增大变化不明显;胡萝卜的体积随着压力的增大而逐渐被压缩,到 400 MPa 以上体积基本不变,说明 400 MPa 时胡萝卜的结构被完全破坏。

果蔬的体积和质量发生变化是因为果蔬细胞内部可溶性物质、气体与液体介质之间发生了物质交换[7],但由于果蔬本身组织特性的差异,其细胞结构被破坏的程度不一致,物质交换程度也不一样。质地柔软的提子和荔枝在超高压处理时会出现体积和质量增大的情况,说明两种果肉结构具有一定的弹性,受压会发生膨胀;而质地硬脆的胡萝卜、梨和苹果在超高压处理时体积和质量只会减少,说明这 3 种果肉结构因含较多空泡,超高压处理后,细胞形态发生皱缩。

不同压力处理对 5 种果蔬的硬度的影响如图 5 所示,图中具有不同上标者表示差异显著($P<0.05$)。从图 5 可以看出,质地柔软的荔枝和提子在 200 MPa 时硬度下降程度最大,随着压力的增大,它们的硬度呈现逐渐回升的情况,这可能是由于细胞膜破裂,细胞内外压力差减小,细胞形态得以恢复和细胞壁果胶酯化度的下降引起的[20]。而质地硬脆的胡萝卜、梨和苹果硬度的变化规律不一致。苹果的硬度随着压力的增大变化不大,胡萝卜的硬度随着压力的增大而逐渐减小,但当压力大于 400 MPa 后,胡萝卜的硬度不再继续下降。

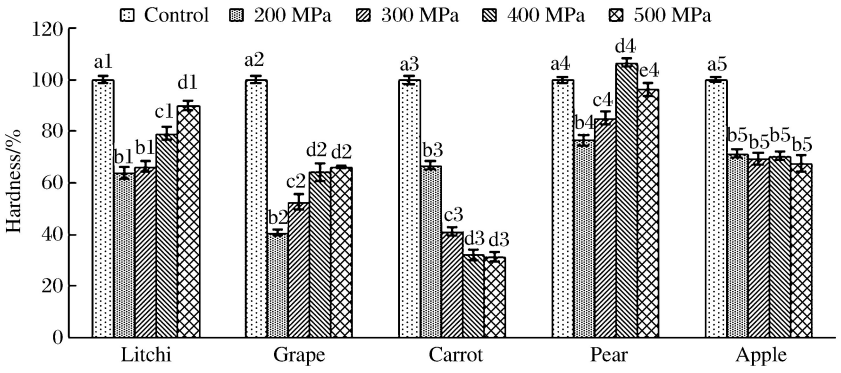


图 5　不同压力大小对果蔬硬度的影响

Fig. 5　Effects of different pressure on hardness of fruits and vegetables

Trejo 等[21]认为植物承压时可能存在一定的压力临界值,当压力大于该值后,植物组织将不再被压缩。说明在本实验条件下,苹果组织中的空气在 200 MPa 压力作用下全部排出,而在 200 MPa 压力以上时,组织不再被压缩,即表现为硬度不会进一步下降[22],而胡萝卜的压力临界值为 400 MPa。梨随着压力的增大,硬度也呈现逐渐回升的情况,原因是相比于胡萝卜和苹果,梨的体积下降的更为明显,并随着压力的增大,其体积越被压缩,组织更为紧密,从而使硬度增加;当压力增加到 500 MPa 时,细胞结构受损严重,又表现为硬度的下降。果蔬的硬度变化与自身的密度呈现一定的关联,荔枝、提子和胡萝

卜 3 种密度较大的果蔬硬度受超高压处理影响而下降的程度明显要大于密度小的果蔬，硬度的变化与果蔬的含水量则没有明显的相关性；与此同时，果蔬的初始硬度也是影响因素之一，初始硬度最大的胡萝卜在不同压力处理后，硬度降低了 40%～70%，下降幅度明显高于其他 4 种水果。

很多研究表明，果蔬制品的硬度会随着压力的增大而逐渐降低，因为压力的增大，破坏了细胞膜、细胞壁等结构，使果蔬细胞结构变形或破裂，从而影响果蔬的质构[23]；但当果蔬的结构破坏到一定程度，果胶甲酯酶(PME)从细胞中释放并与底物充分接触，使高甲酯化果胶去甲基而形成低甲酯化果胶，低甲酯化果胶通过共价键与金属离子结合，增大果蔬的硬度[12,24-25]。另一方面，超高压处理后的果蔬，细胞间结合更加紧实[26]，从而有可能使硬度等质构指标增大。同时，本研究的果蔬则是在高糖度、高酸性的液体环境中，这种液体环境也可能在高的压力条件下对果肉的质构起增强作用[27]。

图 6 表示不同压力对果蔬回复性的影响，图中具有不同上标者表示差异显著($P<0.05$)。可以看出，超高压处理对质地柔软的荔枝和提子回复性的影响规律不一致。对荔枝来说，随着压力的增大，回复性逐渐回升，到 500 MPa 时出现最大值，高于对照样；对于提子来说，随着压力的增大，回复性逐渐增强，且增强幅度很大。这也表明荔枝和提子的结构具有一定的弹性，尤其是提子，在超高压处理后还能增强其回复性。超高压处理对质地硬脆的果蔬回复性起负面影响，但其作用较小。超高压处理对梨的回复性影响不大，但会使苹果和胡萝卜的回复性下降，且压力越高，下降幅度越大。

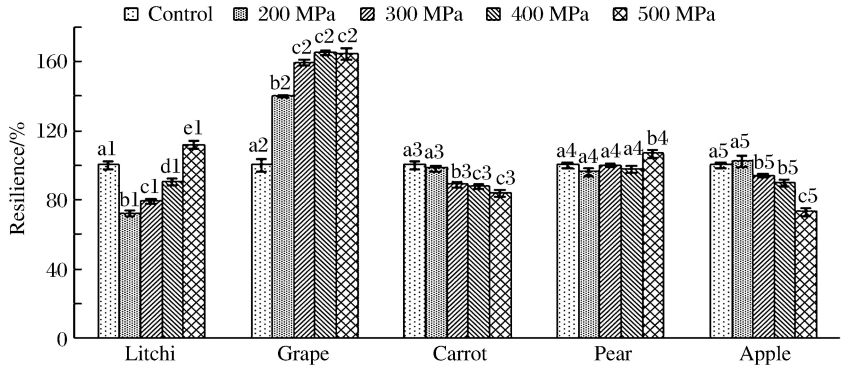


图 6　不同压力大小对果蔬回复性的影响

Fig. 6　Effects of different pressure on resilience of fruits and vegetables

图 7 表示不同压力大小对 5 种果蔬处理 5 min 后的微观结构，不同的果蔬在超高压处理后微观结构出现不同的变化：荔枝在 200 MPa 下孔隙开始增大增多，随着压力增大，果肉片状裂纹增多，果肉组织被破坏程度逐渐加深[28]；提子在 200 MPa 的条件下微观结构变化不大，而在 300 和 400 MPa 的情况下果肉的孔隙则变得越来越大，说明压力的增大对提子的结构造成了很大的破坏；胡萝卜随着压力的增大，其多孔网络结构被打破，出现裂痕和更大的破损，因而其硬度等指标也随之出现了下降；梨在压力逐渐增大的情况下，孔隙增大增多，但结构同时被压缩而变得扁平，部分组织更为紧密，从而出现硬度先降低后升高的现象；苹果在 200 MPa 时结构变化不明显，随着压力的增大，苹果的孔隙增大，到 400 MPa 时，结构已经完全被破坏，结构被压缩而变得扁平。

综上所述，果蔬的质地会影响其耐压特性[21]。结合 5 种果蔬的体积变化可以看出，质地柔软、截面空泡孔隙结构较少的荔枝和提子具有更好的耐压特性，经 200～300 MPa 的超高压处理后体积和质量没有发生较大的变化，400～500 MPa 下荔枝果肉体积才开始发生变化，体积增大；提子是随着压力的增大体积呈现先增大后减小的趋势；而质地硬脆、孔隙较多的胡萝卜、梨和苹果在不同压力处理下均呈现体积减小的趋势，且由于其组织结构的不同，梨的果肉最易被压缩，苹果耐压性弱，但果肉不易被压缩，胡萝卜组织结构致密，具有一定的耐压性。

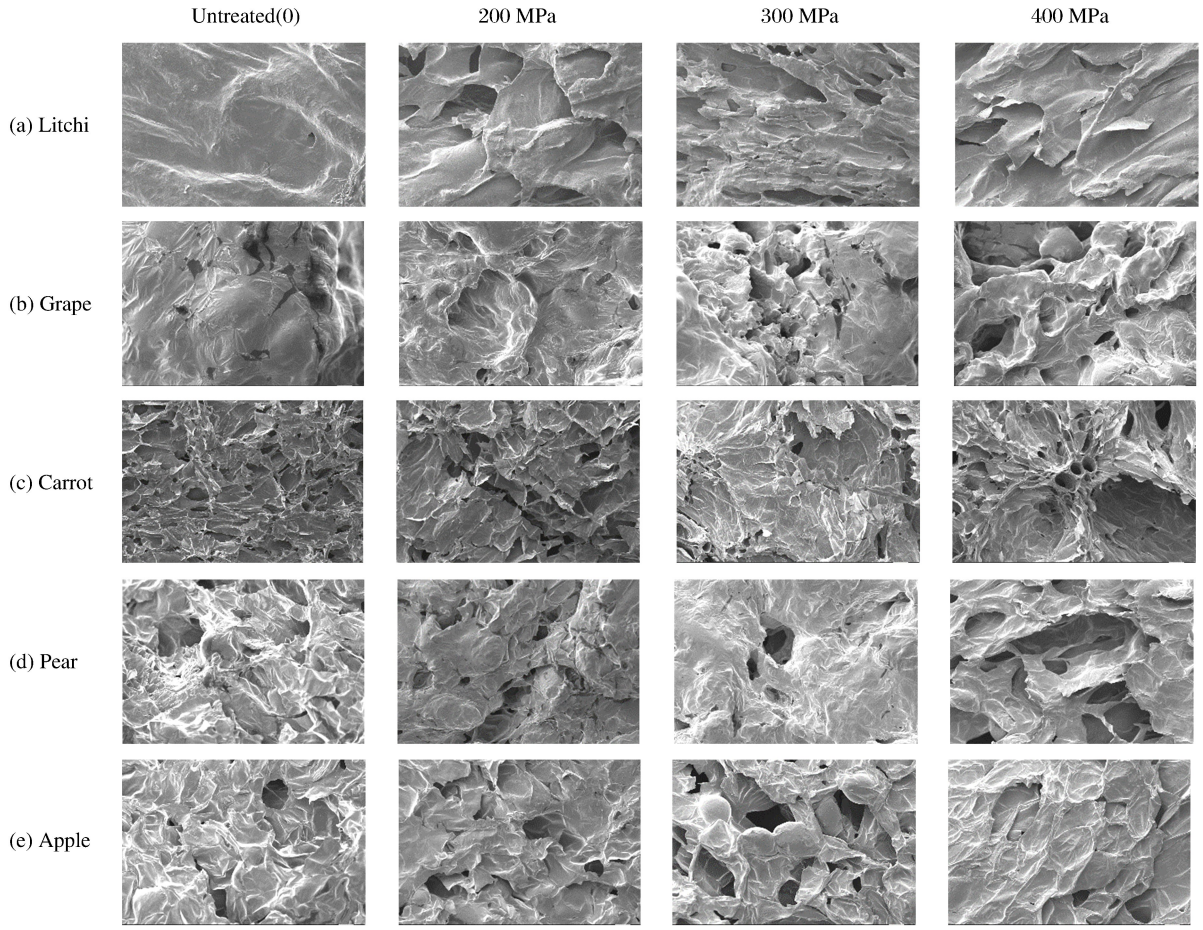


图 7　不同压力对 5 种果蔬处理 5 min 后的微观结构

Fig. 7　Microstructure of 5 kinds of fruits and vegetables treated for 5 min under different pressures

2.3　保压时间对果蔬结构和性质的影响

实验中发现不同的压力处理时间对果蔬的体积和质量影响较小,没有显著性差异($P<0.05$)(数据未列出),说明相同压力下处理时间的长短对于果蔬的体积和质量影响不大,造成果蔬质构指标降低的主要的原因是长时间的压力处理对于果肉本身结构的破坏加剧而造成的。

400 MPa 下对 5 种果蔬分别处理 5、10、15 和 20 min 后果蔬的硬度和回复性的变化情况如图 8、图 9所示,图中具有不同上标者表示差异显著($P<0.05$)。

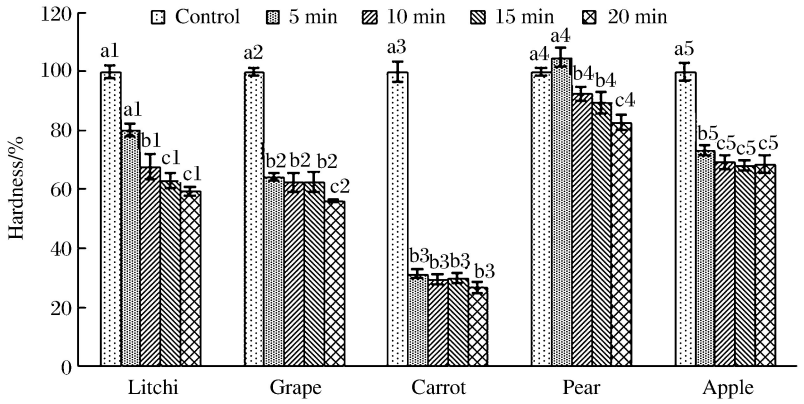


图 8　400 MPa 下不同保压时间对果蔬硬度的影响

Fig. 8　Effects of different holding times on hardness of fruits and vegetables under 400 MPa

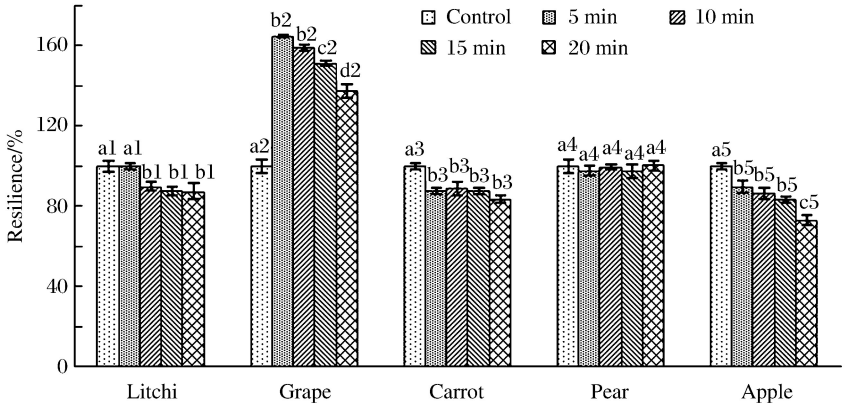


图 9　400 MPa 下不同保压时间对果蔬回复性的影响

Fig. 9　Effects of different holding times on resilience of fruits and vegetables under 400 MPa

由图 8 可以看出，梨和荔枝的硬度随着保压时间的延长而逐渐减小，苹果、提子和胡萝卜受保压时间的影响较小，随着保压时间的延长，硬度变化不大。

由图 9 看出，保压时间对果蔬的回复性影响不大，但整体来说还是随着时间的延长果蔬的回复性逐渐减小。

由以上结果可以看出，随着保压时间的延长，除胡萝卜的质构受保压时间的影响较小以外，其余 4 种果蔬的硬度和回复性均呈现下降的趋势，结合图 9 可以看出，延长处理时间会进一步破坏果蔬的结构。

图 10 显示经 400 MPa 处理、不同保压时间的 5 种果蔬的微观结构变化情况。

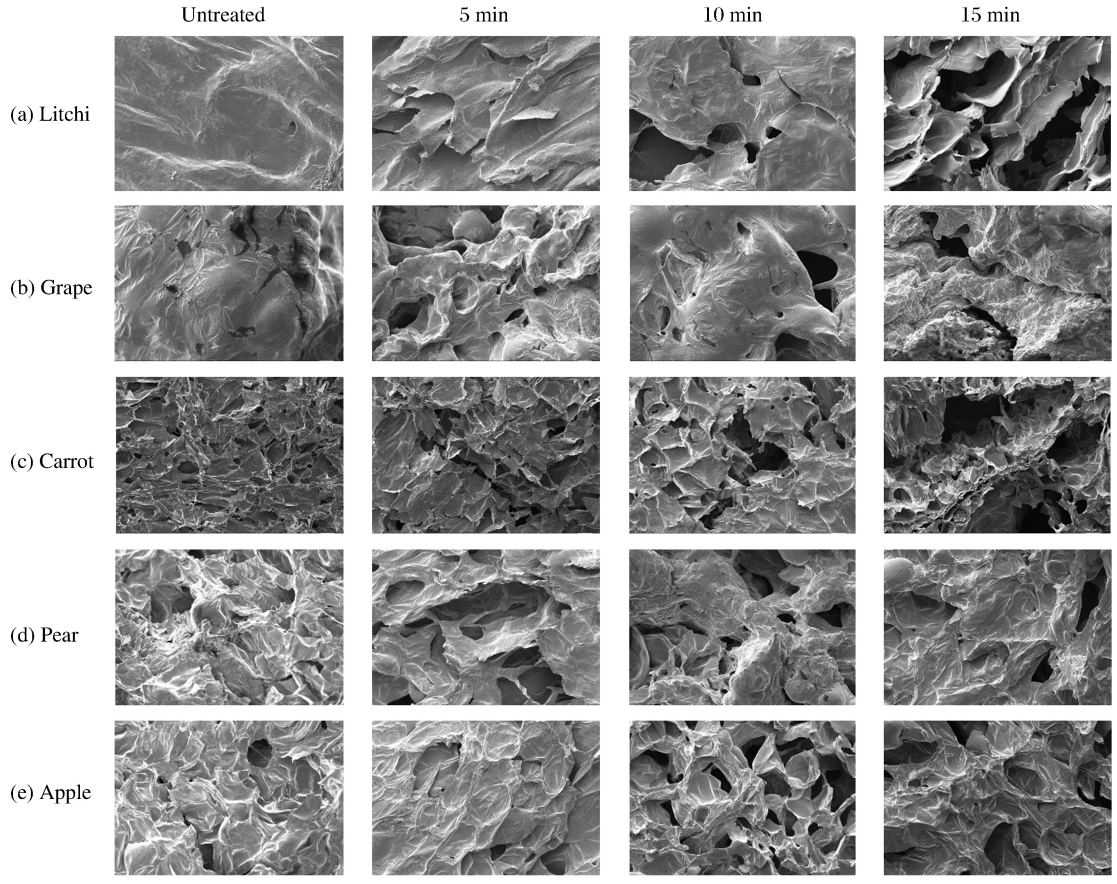


图 10　400 MPa 下不同保压时间对 5 种果蔬的微观结构影响

Fig. 10　Effects of different holding times on microstructure of 5 kinds of fruits and vegetables under 400 MPa

随着保压时间的延长,5 种果蔬的微观结构均出现了更严重的破坏,说明延长保压时间对果蔬的结构会造成更大的破坏,主要表现为果肉裂纹和孔隙的增大和增多。但不同果蔬受到的影响程度不同,其中,提子、梨和苹果受到的影响要小于荔枝和胡萝卜受到的影响,荔枝原本平整的结构经超高压处理后出现片状的裂纹,随着保压时间的延长,裂纹开始出现断裂并逐渐扩大;胡萝卜原本致密的结构在超高压处理后开始出现孔洞,保压时间越长,孔洞也越大;提子经超高压处理后,果肉的层次结构逐渐消失,果肉表面变得粗糙;梨和苹果的结构随着保压时间的延长,原本的富有层次的结构消失,被压得扁平,同时孔洞增多。因此,在生产加工过程中,在保证加工需要的情况下,应采用尽可能少的保压时间,以减小果蔬结构受到的影响。

3　结　论

选取密度、含水量、可溶性固形物含量、微观结构以及硬度、回复性存在差异的梨、苹果、荔枝、提子、胡萝卜这 5 种有代表性的果蔬作为实验对象,研究了不同压力大小和不同保压时间对果蔬结构和性质的影响。

(1) 果蔬的质地会影响其耐压特性。质地柔软、果肉截面孔隙和空泡较少的荔枝和提子具有一定的耐压性,质地硬脆、孔隙和空泡结构较多的梨、苹果和胡萝卜受压时会被压缩。由于它们的组织结构不同,耐压程度也不同,其中梨最容易被压缩,压缩率最高;苹果耐压性弱,低压时结构已被压缩,增压不会引起其体积缩小;胡萝卜由于结构致密,具有一定的耐压性。从微观结构看,所有果蔬的果肉都会随着压力的增大而变得孔隙增多增大。果蔬的密度和初始硬度这两种性质影响处理后的质构指标变化,密度和初始硬度越大,处理后果蔬的硬度等指标下降幅度也越大。

(2) 随着保压时间的延长,除胡萝卜的质构受保压时间的影响较小以外,其余 4 种果蔬的硬度、回复性均呈现下降的趋势,延长处理时间会进一步破坏果蔬的结构。

综上分析可以得出,针对包含果蔬固体和液体介质(糖液)的产品,超高压处理是一个可行的加工手段。压力大小主要根据果蔬的耐受压力进行选择,在保证加工需要的情况下,应采用尽可能少的保压时间,以减小果蔬结构受到的影响。

参考文献:

[1] BALASUBRAMANIAM V M, MARTÍNEZMONTEAGUDO S I, GUPTA R. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry [J]. Annual Review of Food Science & Technology, 2015, 6(1): 435-462.

[2] TAO Y, SUN D W, HOGAN E, et al. High-pressure processing of foods: an overview [J]. Emerging Technologies for Food Processing, 2014, 19(6): 3-24.

[3] WALDRON K W. Plant structure and fruit and vegetable texture [J]. Texture in Food Solid Foods, 2004, 2(1): 241-258.

[4] BUGGENHOUT S V, MESSAGIE I, LOEY A, et al. Influence of low-temperature blanching combined with high-pressure shift freezing on the texture of frozen carrots [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(4): 304-308.

[5] VERLENT I, LOEY A V, SMOUT C, et al. Purified tomato polygalacturonase activity during thermal and high-pressure treatment [J]. Biotechnology & Bioengineering, 2004, 86(1): 63-71.

[6] MARSZAŁEK K, WOZNIAK A, SKAPSKA S. High pressure in fruit and vegetable industry [J]. Przetworstwo Owocowo Warzywne, 2014, 11(12): 12-15.

[7] OEY I, LILLE M, VAN LOEY A, et al. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(6): 320-328.

[8] BUTZ P, EDENHARDER R, GARCÍA A F, et al. Changes in functional properties of vegetables induced by high pressure treatment [J]. Food Research International, 2002, 35(2): 295-300.

[9] LUSCHER C, SCHLÜTER O, KNORR D. High pressure-low temperature processing of foods: impact on cell membranes, texture, color and visual appearance of potato tissue [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6(1): 59-71.

[10] BASAK S, RAMASWAMY H S. Effect of high pressure processing on the texture of selected fruits and vegetables [J]. Journal of Texture Studies, 1998, 29(5): 587-601.

[11] DEROECK A, SILA D, DUVETTER T, et al. Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue [J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1225-1235.

[12] 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.

[13] ZHANG F, DONG P, FENG L, et al. Textural changes of yellow peach in pouches processed by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(8): 3170-3180.

[14] TREJO ARAYA X I. Effects of high pressure processing on carrot tissue: a microstructure approach [D]. New Zealand: Massey University, 2011. 114-128.

[15] KNOCKAERT G, DE ROECK A, LEMMENS L, et al. Effect of thermal and high pressure processes on structural and health-related properties of carrots (*Daucus carota*) [J]. Food Chemistry, 2011, 125(3): 903-912.

[16] GARCÍASEGOVIA P, ANDRÉSBELLO A, MARTÍNEZMONZÓ J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(1): 28-35.

[17] PILAR CANO M, ANCOS B D, BARBOSACÁNOVAS G V, et al. Advances in use of high pressure to processing and preservation of plant foods [J]. Novel Food Processing Technologies, 2005, 10(3): 283-309.

[18] DAJANTA K, APICHARTSRANGKOON A, SOMSANG S. Comparison of physical and chemical properties of high pressure-and heat-treated lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) in syrup [J]. High Pressure Research, 2012, 32(1): 114-118.

[19] PHUNCHAISRI C, APICHARTSRANGKOON A. Effects of ultra-high pressure on biochemical and physical modification of lychee (Sonn.) [J]. Food Chemistry, 2005, 93(1): 57-64.

[20] GONZALEZ M E, ANTHON G E, BARRETT D M. Onion cells after high pressure and thermal processing: comparison of membrane integrity changes using different analytical methods and impact on tissue texture [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(7): 426-432.

[21] TREJO ARAYA X I, HENDRICKX M, VERLINDEN B E, et al. Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: a microstructural and biochemical approach [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 873-884.

[22] MICHEL M, AUTIO K. Effects of high pressure on protein-and polysaccharide-based structures [M]. Washington D C: Springer, 2001: 189-214.

[23] ROECK A D, DUVETTER T, FRAEYE I, et al. Effect of high-pressure/high-temperature processing on chemical pectin conversions in relation to fruit and vegetable texture [J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 207-213.

[24] ROECK A D, MOLS J, DUVETTER T, et al. Carrot texture degradation kinetics and pectin changes during thermal versus high-pressure/high-temperature processing: a comparative study [J]. Food Chemistry, 2010, 120(4): 1104-1112.

[25] SILA D N, SMOUT C, SATARA Y, et al. Combined thermal and high pressure effect on carrot pectinmethylesterase stability and catalytic activity [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 755-764.

[26] SILA D N, SMOUT C, VU T S, et al. Effects of high-pressure pretreatment and calcium soaking on the texture degradation kinetics of carrots during thermal processing [J]. Journal of Food Science, 2010, 69(5): 205-211.

[27] PRESTAMO G, SANZ P D, ARROYO G. Fruit preservation under high hydrostatic pressure [J]. High Pressure Research, 2000, 19(1-6): 145-152.

[28] VÁZQUEZ-GUTIÉRREZ J L, HERNÁNDEZ-CARRIÓN M, QUILES CHULIÁ M D, et al. Impact of high hydrostatic pressures on the structure, diffusion of soluble compounds and textural properties of persimmon 'Rojo Brillante' [J]. Food Research International, 2012, 47(2): 218-222.

Effect of High Pressure Processing on Texture and Quality of Fruits and Vegetables

LI Biansheng[1,2,3], SU Fangping[1], ZHU Yuefu[1], RUAN Zheng[1,2], LI Dandan[1], QIAN Jiang[3], GAO Yongyan[3]

(1. *College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou* 510640, *China*;
2. *Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, Guangzhou* 510640, *China*;
3. *Zhuhai Shitong High Pressure Research and Application Institute, Zhuhai* 519180, *China*)

Abstract: In order to explore the effects of high pressure on the texture and quality of fruits and vegetables in different varieties, we selected 5 kinds of fruits and vegetables with different density, water content, microstructure and texture to analyze their data under different conditions of ultrahigh pressure treatment. The results showed that the texture of fruits and vegetables could affect their pressure resistance. Softer texture and less vacuolar structure exerted a good influence on pressure resistance whereas the volume of fruits and vegetables was apt to be compressed with more vacuolar structure and harder texture. There is great difference in volume variation because fruits and vegetables have different textures. The texture index would decrease more obviously after high pressure treatment, when the fruits and vegetables have higher density and greater hardness. The prolongation of the holding time will further damage the texture and structure of fruits and vegetables.

Keywords: high pressure; fruits and vegetables; texture; quality