

# 高压加工对蔬菜类和水果类食品的颜色、质地和口味的影响：综述

Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit-and vegetable-based food products: a review

Indrawati Oeya, Martina Lilleb, Ann Van Loeya and Marc Hendrickx

翻译 郝越宽, 校对 郭彦平 贾培起

天津市华泰森淼生物工程技术有限公司

颜色、味道和质地是蔬菜和水果的重要质量特征，也是影响食物感官品质以及顾客接受该食物的主要因素。人们使用各种加工方法，不仅增加了蔬菜和水果的适食性和适口性，而且也延长了它们的保质期。由于高压加工的方法对食物的共价键影响很小，从而它对食物营养和口感质地的影响达到最小化，因此高压加工对于传统的食物加工和保鲜法来讲是一种有兴趣的选择。本文主要阐述高压处理对蔬菜和水果类食物颜色、味道和质地的影响。

引言：

植物类食品需要经过烹调和加工来增加食物的适食性和适口性。同时加工也是为了在起初的感知和营养品质被尽量保持的前提下，延长食品的保质期。为了在食物质量和安全之间达到平衡，需要优化目前应用于食品业的常规加工技术，来发展新型的加工技术，如：高压加工。颜色、味道和质地是蔬菜和水果的重要质量特征，也是影响食物感官品质以及顾客接受该食品的主要因素。由于高压加工的方法对低分子化合物（如颜色和味道）的共价键影响很小，因此高压加工能够保持水果和蔬菜的营养价值和精美的感官品质。然而，食物是一个复杂的系统，并且决定感知品质的化合物共存于酶类、金属离子等中。在高压加工期间(100-1000 MPa/20°C到60°C), (i) 细胞壁和细胞膜破裂。(ii) 酶催化转变过程。(iii) 化学反应。(iv) 生物高聚物发生改变。如：酶失活、蛋白质变性和凝胶形成同时发生。

在高压加工过程中，可以使用不同的压力和温度结合来使食物的颜色、味道和质地达到想要的效果。然而，当内源酶或者微生物没有完全失活时，由于共存的化学反应（如：氧化和生物化学反应），储存期间经过高压加工的蔬菜和水果的质量会发生改变。

之前，出版了很多关于食物高压加工评论。目前的文章旨在阐述最新的调查结果，尤其是关于：高压加工是如何影响水果类和蔬菜类食物的颜色、味道和质地的，以及对食物发生变化背后可能的机制进行详尽的概述。此外，评论对高压结合高温处理对感官品质的影响给予了特殊的关注。

## 高压加工对颜色的影响

高压处理（中低温）对天然色素（如：叶绿素、类胡萝卜素和花青素等）影响很小，天然色素是决定蔬菜和水果颜色的物质。然而，由于酶和微生物没有完全失活，从而导致在食物中发生不想要的化学反应（含酶的非酶的），所以在储存期间经过高压加工的水果和蔬菜的颜色化合物会发生变化。

叶绿素是存在于植物茎和叶子中的一种绿色化合物。在经受不同压力和温度时叶绿素a和叶绿素b展示出的稳定性不同。室温条件下，叶绿素a和叶绿素b展示出极好的压力稳定性。但是当温度高于50℃时，高压处理会影响它们的稳定性，例如：花椰菜汁中的叶绿素含量会显著减少。叶绿素a中的降解速率常数对温度的依从性要比叶绿素b高。在压力恒定的前提下，叶绿素降解速率常数的值随温度升高而增加，然而，在高温恒定的情况下，压力增加会加速叶绿素a和b的降解。在70℃时，叶绿素b的降解速率常数对压力的依从性要高于叶绿素a。例如：当压力从200 MPa升高到800 MPa，花椰菜的叶绿素a和b的降解速度分别加快了19.4% 和68.4%。Matser, Krebbers, Van den Berg, and Bartels (2004)文章中 也报道了：在高温情况下进行高压，甚至持续一小段曝光时间（2个脉冲/90℃/700 MPa/1 min），青豆和菠菜的叶绿素发生降解。

在中等环境温度的条件下进行高压处理会导致绿色蔬菜的颜色发生少许变化。在许多试验中蔬菜的绿色会变得更加强烈，（例如：青豆在500 MPa/室温的前提下高温处理1分钟后）。

这或许是由高压处理过程中细胞破壁引起的，从而导致叶绿素泄露到了细胞间隙，并且在蔬菜表面产生了更加强烈鲜艳的绿颜色。然而，在高温条件下，可以看到绿颜色转变为橄榄绿色，同时发生的是叶绿素a值的增加，例如：青豆在高温高压处理后（2个脉冲/1000 MPa/75℃/80秒），或者罗勒属植物在高压(860 MPa/75℃/80秒 或者 700 MPa/85℃/80秒)的处理后。

储存期间，或许是由于发生了化学反应，例如：氧化，在室温条件下进行高压处理蔬菜的绿颜色变成浅黄。通过比较，在高温（导致一些酶的失活）条件下

加压的蔬菜，在储存期间颜色没有发生进一步的变化，在储存一两个月后，经过加压处理的青豆和罗勒属植物的颜色仍然是可以接受的。

类胡萝卜素对于水果和蔬菜的橙黄和红色表面来说是重要的，它在压力条件下非常稳定。高压处理提高了植物中类胡萝卜素的提取率。

在500 和 600 MPa的室温条件下处理12分钟，乙烷中的全反式番茄红素发生了压力引起的异构化(作用)。然而，这一现象在食物基元中（如：番茄酱）没有被观察到。经过高压处理（达到700 MPa, 65℃,1小时）后，番茄酱的颜色没有发生变化。

花青素是溶于水的有空泡的类黄酮天然色素，对水果和蔬菜的红色和蓝色起重要作用。在高压和中等温度条件下，花青素是稳定的，例如：在高压处理800 MPa 温度（18-22℃）的15分钟的过程中，覆盆子和草莓中的缔纹天竺素-3-葡萄糖甙和天竺葵色素-3-芦丁糖甙。储存期间，经过加压处理的水果和蔬菜中的花青素不稳定。在一项对保质期（7天，温度为5、20和30℃）的研究中，经过高压处理（200, 400, 600 和 800 MPa/15 分钟/20-22.5℃）的黑醋栗在一周的储存时间内显示：花翠素-3-芦丁糖甙和花翠素-3-芦丁糖甙呈现不同的稳定性。在4℃条件下的储存期间，经过加压处理的黑醋栗中的花青素保持不变。

关于储存期间经过加压处理的水果中花青素的降解，存在着几种假设：

第一种假设是：花青素降解是由不完全的酶钝化引起的一种反应。酶钝化和花青素稳定性之间的关系已经在几种水果中被发现，例如：经过加压处理(800 MPa/18-22℃/15 分钟)的覆盆子和草莓中的花葵素-3-配糖物以及花葵素-3-芦丁糖甙的稳定性和多酚氧化酶失活和有关。因为800 MPa (18-22℃/15 分钟)的高压处理引起聚苯醚完全失活，储存期间这两种花葵素的稳定性被保持。

这项发现也得到了Suthanthangjai et al(2005)文章的支持。储存过程中，除了聚苯醚，b-葡(萄)糖苷酶和过氧(化)物酶也对存储期间发生的花青素的降解起着重要的作用。Suthanthangjai et al(2005)文章显示：在200 或者800 MPa (18-22℃/15 分钟) 加压处理后，和400 or 600 MPa加压处理后对比，在4℃条件下、9天的存贮过程中，花青素-3-配糖物和花青素-3-槐糖苷（覆盆子中的主要天然色素）的稳定性最高。（400 和 600 MPa）高压处理后，两种天然色素（花青素-3-配糖物和花青素-3-槐糖苷）的大量损失或许是由于b-葡(萄)糖苷酶、过氧(化)物酶和多酚氧化酶的失活程度低引起的。

第二种假设是说：这是b-葡(萄)糖苷酶的底物特异性作用于花青素的结果。

Zabetakis et al. (2000a) 文章中发现：经过200, 400, 600 和 800 MPa (18-22℃ /15 分钟)高压处理后草莓中不同水平的花青素的损耗（例如：花葵素-3-配糖物以及花葵素-3-芦丁糖甙），也发现b-葡(萄)糖苷酶的活性在高压处理在400 MPa 时比200, 600 和800 MPa时要更高。作者发现：在相同水平的残留酶活力条件下花葵素-3-配糖物比花葵素-3-芸香糖甙的损耗大，或许这是因为：b-葡(萄)糖苷酶对花葵素-3-配糖物的底物特异性要高于它对花葵素-3-芦丁糖甙的底物特异性。在草莓汁中也观察到了同样的情况。

第三种假设关系到抗坏血酸维生素C对花青素稳定性的影响。抗坏血酸维生素C除了是一种抗氧化剂，也有加速花青素降解的作用。可以通过在低温条件下储存高压处理的产品来减少花青素的损耗。

除了天然色素的不稳定，棕色着色剂在经过高压处理食品的褪色现象中也起着重要的作用。在水果类产品中，在高压处理之后，没有立即观察到明显的颜色变化，例如：高压400MPa/2℃,500 MPa/2℃或者400 MPa/40℃处理10分钟后的白葡萄汁，或者芒果肉在经过15或30分钟的高压100-400 MPa/20℃处理后。美国医学教育协会观察到：颜色参数，例如：高压处理后芒果酱的(a/b),C和h值保持不变，这显示出天然色素的稳定性。当压强增加的时候，DE的值减少。储存期间(3℃)，经过加压食品发生变色，这是由酶促褐变造成的。

Guerrero-Beltran, Swanson, and Barbosa-Canovas (2005)文章中观察到：经过0.033, 5, 10, 15或者20分钟高压(379-586 MPa/室温 )处理的芒果泥中发生了酶促褐变。抗坏血酸维生素C和半胱氨酸的加入抑制了多酚氧化酶的活动，从而导致棕色着色剂的较少。高压处理加强了抑制作用。Polydera, Stoforos, and Taoukis (2003)文章中发现：在储存期间(0, 10, 15℃ 持续120天)，经过加压(500MPa/35℃ /5分钟)处理的、再造橙汁发生了变色。经过加压处理和温度处理的果汁之间，降解的趋势没有明显的不同。

作者也在经过加压（600MPa/40℃/4分钟）的脐橙汁中发现了相似的结果。在储存期间(0,5, 10, 15, 30℃持续64天)，颜色变化和抗坏血酸维生素C的损耗之间呈线性的关系，但这种关系并不依赖于处理的形式（高温巴氏灭菌法和高压巴氏灭菌法对(牛奶等)消毒的比较）。储存温度的升高会导致橙汁的褐化率升高。由于棕色着色剂高于高温处理果汁中的棕色着色剂，经过高压处理果汁的颜色降解产生了活性能。

食物的结构和色素互相作用来影响颜色和半透明/不透明性。质地的改变会导致内部散射光和分配面反射系数性质和程度的改变，这些改变会依次发生。更期待的是色表的改变而不仅仅是天然色素浓度的改变。

经过加压处理的水果和蔬菜的颜色改变和纹理结构的改变有关，这一现象可以在西红柿类的产品中观察到。高压(400 MPa/25°C/15分钟)处理导致番茄酱L值的增长，这说明：番茄酱的表面颜色变淡了。和经过高温处理的番茄酱比较，加压处理和未经处理的番茄酱中的参数明显高于前者。原因可能是：当压力降低到低于400MPa的时候，番茄酱形成了果冻状、半透明的物质。

### 高压加工对质地的影响

由于酶促反应和非酶促反应，蔬菜和水果质地的变化和细胞壁高分子材料的变化有关由于细胞破壁，高压加工使酶促反应和非酶促反应变得更加容易。高压处理期间，位于细胞不同部分的酶作用物、离子和酶被释放出来，并且彼此之间进行反应。同时，压力可以提高果胶甲酯酶的活动、降低内源多聚半乳糖醛酸酶的活动（主要发生在中等温度）以及延缓 $\beta$ 消除反应（在这个反应中，失去了2个来自于临近原子（例如：碳、氮和氧）中的取代基，从而导致形成新的不饱和共价键）。果胶酶，例如：橙子果胶甲酯酶、草莓果胶甲酯酶、番茄内源多聚半乳糖醛酸酶、胡萝卜果胶甲酯酶、香蕉果胶甲酯酶、辣椒果胶甲酯酶和李子果胶甲酯酶，它们在压力和温度稳定性上显示出差异。因而加工期间可以结合不同的压力和温度来启动或者阻止一些特定的果胶酶，来制造一些高温加工不可以达到的质地效果。此外，高压加工可以和预处理结合使用，例如：外生的果胶酶的注入，和/或者浸泡在氯化钙溶液中，这样可以导致经过加工的蔬菜和水果的坚实性增加。

高压处理可以影响蔬菜和水果的细胞渗透性，这样可以使细胞中的水和代谢进行活动。细胞破壁的程度不仅依赖于使用压力的水平，而且也取决于植物细胞的类型。通过显微镜的检查，发现经过加压处理高压加工影响薄壁细胞的组织。植物细胞破裂，细胞间隙不再充满气体（例如：在菠菜叶子中）。高压处理之后，出现了一些小洞，并且发现细胞的质地更加坚实，外观呈湿透状。

就高压处理对（固体）水果和蔬菜的影响而言，硬度和坚实度主要以一个参数表示。Basak和 Ramaswamy (1998)研究了高压加工（(100- 400MPa/5- 60分钟/室温)对不同种蔬菜和水果坚实度的影响，例如：苹果、梨、橙子、菠萝、胡萝卜、芹菜、青椒和辣椒。在加压期间，作者发现坚实度的迅速失去。在压力持续

期间, (30-60分钟), 或者坚实度进一步降低, 或者逐渐的恢复, 例如: 经过加压处理的梨、橙子、菠萝、胡萝卜、芹菜、青椒和辣椒在100和200MPa的条件下。酵母果胶甲酯酶的活动被认为是坚实度增加的主要原因。在高压处理过程中, 酵母果胶甲酯酶被释放出来, 并且接触到了它的酶作用物、高甲基化胶质, 导致了反甲基化。酯化的胶质(低甲基胶质)能够和二价离子形成一个胶质网络, 从而导致硬度的增加。和大气压条件下高温处理相比较, 在高温条件下高压处理之后, 质地保持效果要明显好于前者, 如: 经加压处理的(2个脉冲/1000MPa/75°C/80秒)的青豆, 和经加压处理的(600MPa/0°C/90分钟)的胡萝卜。果胶酸(如: 果胶甲酯酶)的活动和减少的化学反应(如:  $\beta$  消除反应)或许有助于高压处理期间、高温条件下质地的保持。

然而, 在高温和加压条件下, 质地保持的确切原因还不知道, 并且需要进一步对这一领域进行研究。

除了硬度的增加, 水果和蔬菜, 如: 苹果、梨、橘子、菠萝、胡萝卜、芹菜、青椒和辣椒, 在高压200 MPa (室温/5 - 60 分钟)处理条件下, 都出现了变软的现象。在100 MPa条件下, 梨是对压力最敏感的水果, 其次是: 苹果、菠萝和橘子。而在200 MPa条件下, 苹果的压力敏感性要强于梨。

在压力下软化的现象, 在樱桃中也观察到了。20°C条件下、当压力为200-400 MPa时处理20分钟, 会导致质地损坏的增加, 而当压力大于400 MPa (500和600MPa/20°C/20分钟)时, 则会导致表面的损坏减小。经过高压处理

(200-400MPa)樱桃的软化现象, 或许是由于果胶甲酯酶和内源多聚半乳糖醛酸酶同时的活动产生的。因为内源多聚半乳糖醛酸酶能够解聚已经被果胶甲酯酶脱甲基的胶质。

高压处理能够影响食品的流变性能, 例如: 压碎的水果和蔬菜、菜泥、果肉和果汁。观察到的效果依赖于高压处理的条件、以及水果和蔬菜的种类。Ahmed et al. (2005) 文章中报导: 在高压处理(100或者200 MPa/20°C/15或者30分钟)后, 芒果酱的粘度增加了。而在(300或者400 MPa/20°C/15或者30分钟)高压处理后, 芒果酱的粘度减小了。

当压力不超过400 MPa时, 番茄匀浆的粘度大幅度减小, 但是在更高的压力条件下, 例如: 500 MPa, 60°C条件下, 番茄匀浆的粘度反而上升了。然而, 当存在NaCl (0.8%)的情况下, 压力产生相反的效果——当压力增加到400MPa时, 粘

度也随之增加。

对于一些果汁而言，混汁稳定性是质量的一个重要方面。

一项对于脐橙汁保质期的研究显示：(i)加压处理(600 MPa/40°C/4 分钟)，产生的粘度要高于热处理(80°C/60秒)产生的粘度，(ii)储存期间(0, 5, 10, 15 或者 30°C，持续64天)观察到少量的混汁损失和经加压处理果汁粘度的小幅较少。以上现象被认为是：储存期间，残留的果胶甲酯酶活动引起了橙汁的品质改变。

### 高压加工对口味的影响

口味是对食物的感官印象，它主要是由味觉和嗅觉的化学感官决定的。人的舌头仅能辨别5种不同的味道，其中酸、甜和苦是水果和蔬菜最重要的味道。另一方面，人的鼻子能辨别大量的挥发性化合物，即使化合物很微量。决定水果和蔬菜的酸、甜、苦味道、或者气味的化合物的任何改变，可能会导致口味的改变。

总体上认为：水果和蔬菜的新鲜口味通过高压加工不会改变，因为高压不会直接影响小分子口味化合物的结构。

在通过化学和感官分析的一些研究中已经发现了这一现象，如：草莓酱、柑橘汁、橘子-柠檬-胡萝卜汁、白葡萄汁和石榴汁在环境温度、200- 600 MPa加压处理后。因为高压加工能提高或者阻止酶促反应和非酶促反应，所以它能直接改变一些口味化合物的含量，并且影响蔬菜和水果的口味成分的整个平衡。结果，高压加工可以导致口味上发生了一些不需要的改变。

己醛是与植物和草的叶子气味相关的一种挥发性化合物。气象色谱法研究显示：由于高压加工，造成了水果和蔬菜己醛含量的改变。Navarro, Verret, Pardon和El Moueffak (2002)文章中发现：高压400MPa(环境温度/20分钟)条件下，草莓酱的己醛含量增加了一倍多。Lambert et al. (1999) 文章中，观察到相反的结果：压力对草莓酱己醛含量没有产生明显的影响。但是当压力达到800MPa (室温/20分钟)时，会导致己醛含量轻微的减少。经高压处理(300MPa/25°C/30分钟)的洋葱，或许由于丙基反式二硫丙烯酸和3,4二甲基噻吩的发现，己醛的浓度增长了40%，并且产生了炖或者炸的气味。Porretta, Birzi, Ghizzoni和 ViCini (1995)报导：高压处理 (500, 700或者900MPa/室温/3、6或9分钟)的鲜番茄汁产生了强烈的陈腐味道，以至于果汁不适合于进行感官分析。n -己醛被认为是产生陈腐味道的原因，因为经过加压处理番茄汁的n -己醛要高于未经处理的番茄汁。当浓度低于大约1.2mg/kg时，n -己醛有助于产生典型的新鲜西红柿味道。浓度升高则产生陈腐味

道。n-己醛浓度的增加被认为是由高压引起的自由脂肪酸（如：亚油酸、亚麻酸）的氧化造成的。脂肪氧合酶和氢过氧化裂合酶，他们自然存在于番茄中，对陈腐味道的形成起了部分作用，因为他们催化了多重不饱和脂肪酸的氧化作用。20℃时，内生于番茄汁中的脂肪氧合酶和过氧化裂合酶具有不同的压力稳定性。当压力低于500MPa (20℃)时，番茄中的氢过氧化裂合酶比它所含的脂肪氧合酶更稳定。而当压力达到500MPa，它们的压力稳定性正好相反。高压处理400MPa(25或者45℃/1-5分钟)的番茄丁中，脂肪氧合酶的活动几乎减少了50%，在高压处理800MPa (25或者45℃/1分钟)后，脂肪氧合酶的活动非常低。

关于草莓类食品，800 MPa (20℃/20分钟)加工后，草莓酱的口味发生了改变。一些新的化合物形成了，如：g-内酯，它和桃的口味有关。许多有助于形成新鲜草莓味的挥发性化合物（如：橙花叔醇、呋喃烷、里哪醇和一些脂类化合物）的浓度，在800MPa (20℃/20分钟)的草莓中数值要明显低于未经加工的草莓。经过1天4℃条件下的冷藏之后，高压处理（200, 400, 600或者800MPa/18 -22℃/15分钟）的草莓的酸浓度和酮化合物浓度要低于未经处理的草莓。根据观察，草莓在400MPa压力下的酸保留性最好。加压800MPa处理后的草莓中酒精

（1,6,10-dodeca-trien-3-ol）的浓度增加了。DMHF的水平，新鲜草莓中最重要的口味化合物之一，在高压处理之后、或者储存期间没有发生明显改变。

脂类化合物属于草莓中最重要的口味化合物，但是关于加压期间脂类化合物的稳定性仍然在讨论之中。Lambadarios和Zabetakis (2002)文章观察到：当缓冲液中包含水果脂的模型系统经受压力（400 或者800MPa/18- 22℃/15分钟）时（PH值为4、6和8），观察到脂浓度仅有一点降低。Lambert et al. (1999) 中也报导：在经过加压处理(200, 500 或者800MPa/20℃/20分钟)的草莓酱中发现了很多脂的存在。相反，Zabetakis et al.(2000b)发现：在高压处理(200, 400, 600或者800MPa/18-22℃/15分钟)的草莓中没有发现脂类化合物的存在。或许在Zabetakis et al. (2000b)的研究中脂类是在样本提取期间失去的。

Gimenez et al.(2001)文章中报导：通过高温加工(400或者800 MPa/22℃/5分钟)制备的草莓比传统方法加工的草莓闻起来化学味道和陈腐味道更强水果味更淡。然而，在高压(200 -800MPa/环境温度/20分钟)处理的草莓酱中没有发现通过热力灭菌法(120℃/20分钟)产生的口味化合物.相比热处理(80℃/5分钟)的草莓酱，



高压处理(600MPa/环境温度/5分钟)的草莓具有更好的口味保留性，以上结论得到了一项使用电子鼻检测分析经处理草莓的挥发物的研究的支持。高压处理的草莓酱与热处理和未经处理的草莓酱有所不同。电子鼻数据的交叉核实显示：热处理比高压处理对挥发性化合物的影响更大。相应的结果也在经过类似处理的木莓和黑醋栗酱中被发现。

根据感官评定，经过高压处理(室温/500MPa/90秒或5分钟, 700 MPa/60秒或者800MPa/5分钟)的橘子汁不如未经处理橘子汁的口味新鲜。Ferna´ ndez Garcı´ a et al.(2001a)报导：经过高压加工(800MPa/室温/5分钟)的橘子-柠檬-胡萝卜汁中的胡萝卜味道要比新鲜橘子-柠檬-胡萝卜汁中胡萝卜的味道更强。高压加工橘子汁的味道要比传统热加工的橘子汁味道更好。并且热处理橙汁中典型的异味在高压处理(400MPa/环境温度/10分钟)的橙汁中没有被发现。Baxter, Easton, S´ Chneebeli, 和Whitfield (2005)观察到新鲜冷藏、热处理(85℃/25秒)或者高压处理(600MPa/18-20℃/60秒)橘子汁中的挥发性口味化合物浓度没有差异。化学分析的结果也得到了经过培训的感官小组和顾客小组的支持，这两个小组对处理方式不同的橘子汁的口味、或气味没有发现不同之处。

以上提到的大多数调查中，高压加工都是在室温下进行的。室温条件下进行高压加工，并不一定会使耐压细菌孢和酶类失活，储存期间它们还可能破坏加压处理的产品。因此，对一些经过处理的高质量产品的保存，还需要使用冷藏的方法。Navarro et al. (2002)报导：当高压加工(400MPa/环境温度/20分钟)的草莓酱在4℃条件下、储存30天，观察到丁酸甲酯、2-甲基丁酸、己酸、丁酸乙酯、己酸乙酯、1-己醇和里哪醇的浓度增加了。储存期间，经高压处理的草莓酱中的1-己醇含量的增加，或许是因为脂肪氧合酶的残留活动造成的。在这种情况下，储存期间口味改变的原因没有被认为是过氧化酶引起的，因为经高压处理后，过氧化酶的活动非常低。另一项关于保质期(60天4℃)的研究显示：经高压处理(500MPa/2℃/10分钟)的葡萄汁的甜味和酸味保持不变，而新鲜水果味和草味轻微减弱。经高压处理的石榴汁也观察到了类似的结果。经高压处理(600MPa/25℃/15分钟)的石榴汁中的挥发性口味化合物在30天(4℃)的储存期间保持稳定，但是在储存60天后，发现挥发物的浓度发生了改变。由于残留酶的活性反应，甲醇、乙醇的浓度和很多脂类、乙醛化合物的浓度都减小了。

至今为止，在高温条件下进行高压处理对口味影响的研究非常有限。在文献

中仅仅发现了一篇关于高温条件下、经高压处理的植物口味的报告。经高压处理(2个脉冲/860MPa/75℃和2个脉冲/700MPa/85℃)的罗勒属植物的口味要比传统热加工、冷藏和干燥的罗勒属植物的味道更强烈。甲基胡椒酚和里哪醇(两种油,对典型的新鲜罗勒属植物的口味起重要作用)的含量经高压加工没有发生改变。在传统加热灭菌的罗勒属植物中,甲基胡椒酚和里那醇的浓度减少了超过80%,而在20℃条件下、2个月的储存之后,典型的罗勒属植物的气味在经高压处理的罗勒属植物中仍然可以发现。

在许多水果中,大量重要的口味化合物作为不挥发和无味的复合糖累计起来,这些糖就是糖苷气味的初期形式。通过自然存在于很多植物中的b-葡(萄)糖苷酶和酶的活动,这些糖苷能水解为挥发性糖苷配基。里哪醇、橙花醇、香叶醇和香茅醇是糖苷键合态香气物质的例子,它典型存在于水果中。

高压加工或许具有释放植物类食品中口味化合物的潜力,原因为:例如:在高压处理200或者400MPa(18-22℃/15分钟)后,草莓中b-葡(萄)糖苷酶的活动提高了。然而,b-葡(萄)糖苷酶活动的增加并没有造成DMHF-配糖水平的降低,DMHF-配糖是DMHF的初期形式,它也是新鲜草莓中最重要的挥发性口味之一。经高压处理(400MPa/20℃/10分钟)的桃子中安息香醛水平的增加是由b-葡(萄)糖苷酶的活动造成的。在这种情况下,通过添加包含b-葡(萄)糖苷酶的商业酶制剂到水果产品中,有可能提高键态香气化合物的释放。例如:For example, Gueguen, Chemardin, Janbon, Arnaud和Galzy (1996)报导:经过b-葡(萄)糖苷酶处理的草莓汁中的挥发性口味化合物增加了75%。高压处理造成了里哪醇、苯甲醇和2-苯基乙醇浓度的增加。查明压力条件下、通过进行b-葡(萄)糖苷酶处理是否能进一步提高口味化合物的释放是很有趣的。然而,对于那些含有花青素的水果,一定要小心使用这一方法,因为b-葡(萄)糖苷酶也能使糖基化的花青素水解,导致颜色发生变化。

对于水果和蔬菜来说,尽管原有的、新鲜的感官品质不能总是被完全保留下来,但高压加工仍是一种很有前景的保存方法。许多经过高压处理的蔬菜和水果产品的感官品质,要好于以传统方式、通过热处理来储藏产品中的感官品质。就口味而言,很难来估算高压引起的改变是怎样影响水果和蔬菜总体口味的。例如:草莓中已经鉴别出超过350种挥发性化合物。总体上认为:草莓的口味是由二氧三环十四碳四烯、脂、乙醛、醇类和硫化化合物的复杂混合物决定的。由于化合物气

味阈值的不同，一些化合物比其他化合物对总体口味的影响要更大。由于个体口味化合物之间的相互作用，一个化合物浓度的微小改变也会对总体口味产生重要的影响。因此，为了使高压对植物类食品总体感官品质的影响易于理解，除了进行纯化学和机械的分析之外，还需要进行感官分析。

## 结论

相比其他的食物加工方法，高压加工是一项独特的技术，因为压力可以导致化学反应和生物化学反应的提高或者延缓，也能导致想达到的、和不想达到的生物高聚物的改变（如：酶的活化和凝胶的形成）。基于目前的知识和了解，由于在储存和加工中存在的各种酶化和化学反应，关于高压加工对蔬菜类和水果类食品感官品质影响的解释还不是很简单易懂。而且，高压处理对感官品质的影响还不能归纳总结，原因为以下两点：(i) 关于这一领域的研究还很有限，(ii) 感官性质要依赖于不同的产品而定。

基于高压处理在中等温度条件下产生影响的知识，对高压处理在高温条件下的应用一定要采取预防措施。

高温条件下，由高压加强的化学反应对感官品质的影响，对由高压引起的酶促反应和酶失活的影响起了推动作用。从各方面情况来看，对进一步的研究而言，这些问题将会变得很有趣和很重要。

## 参考文献

- References Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., & Hiremath, N. (2005). The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 885-895.
- Balny, C., Masson, P., & Heremans, K. (2002). High pressure effects on biological macromolecules: from structural changes to alteration of cellular processes. *Biochimica Biophysica Acta Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1595(1e2), 3e10.
- Basak, S., & Ramaswamy, H. S. (1998). Effect of high pressure processing on the texture of selected fruits and vegetables. *Journal of Texture Studies*, 29, 587-601.
- Baxter, I. A., Easton, K., Schneebeli, K., & Whitfield, F. B. (2005). High pressure processing of Australian navel orange juices: sensory analysis and volatile flavor profiling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 372-387.
- Butz, P., Edenharder, R., Fernandez Garcia, A., Fister, H., Merkel, C., et al. (2002). Changes in functional properties of vegetables induced by high pressure treatment. *Food Research International*, 35, 295-300.

Butz, P., Koller, W. D., Tauscher, B., & Wolf, S. (1994). Ultra-highpressure processing of onions: chemical and sensory changes. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 27, 463e467.

Castro, S. M., Van Loey, A., Saraiva, J. A., Smout, C., & Hendrickx, M. (2006). Inactivation of pepper (*Capsicum annuum*) pectin methyl-esterase by combined high pressure and temperature effects. *Journal of Food Engineering*, 75, 50e58.

Dalmadi, I., Polyak-Feher, K., & Farkas, J. (2007). Effects of pressure-and thermal-pasteurization on volatiles of some berry fruits. *HighPressure Research*, 27, 169e172.

Daoudi, L., Quevedo, J. M., Trujillo, A. J., Capdevila, F., Bartra, E., M' nquez, S., et al. (2002). Effects of high-pressure treatment on the sensory quality of white grape juice. *High Pressure Research*, 22, 705e709.

De Ancos, B., Gonzalez, E., & Pilar Cano, M. (2000). Effect of highpressure treatment on the carotenoid composition and the radical scavenging activity of persimmon fruit purees. *Journal of Food Chemistry*, 48, 3542e3548.

De Roeck, A., Sila, D. N., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2007). Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue. *Food Chemistry*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.076>.

Duvetter, T., Fraeye, I., Van Hoang, T., Van Buggenhout, S., Verlent, I., Smout, C., et al. (2005). Effect of pectin methyl-esterase infusion methods and processing techniques on strawberry firmness. *Journal of Food Science*, 70(6), S383eS388.

Fachin, D., Van Loey, A., Ly Nguyen, B., Verlent, I., Indrawati, & Hendrickx, M. (2003). Inactivation kinetics of polygalacturonase in tomato juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4(2), 135e142.

Fernandez Garcia, A., Butz, P., Bogna`r, A., & Tauscher, B. (2001a). Antioxidative capacity, nutrient content and sensory quality of orange juice and an orange lemon carrot juice product after high pressure treatment and storage in different packaging. *European Journal of Food Research and Technology*, 213, 290e296.

Fernandez Garcia, A., Butz, P., & Tauscher, B. (2001b). Effects of high-pressure processing on carotenoid extractability, antioxidant activity, glucose diffusion, and water binding of tomato puree (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of Food Science*, 66(7), 1033e1038.

Garcia-Palazon, A., Suthanthangjai, W., Kajda, P., & Zabetakis, I. (2004). The effects of high hydrostatic pressure on  $\beta$ -glucosidase, peroxidase and polyphenol oxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Food Chemistry*,

88, 7e10.

Gimenez, J., Kajda, P., Margomenou, L., Piggott, J. R., & Zabetakis, I. (2001). A study on the colour and sensory attributes of high-hydrostatic-pressure jams as compared with traditional jams. *Journal of Science and Food Agriculture*, 81, 1228e1234.

Gueguen, Y., Chemardin, P., Janbon, G., Arnaud, A., & Galzy, P. (1996). A very efficient  $\beta$ -glucosidase catalyst for the hydrolysis of flavor precursors of wines and fruit juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 2336e2340.

Guerrero-Beltran, J. A., Swanson, B. G., & Barbosa-Canovas, G. V. (2005). High hydrostatic pressure processing of mango puree containing antibrowning agents. *Food Science and Technology International*, 11(4), 261e267.

Indrawati, Arroqui, C., Messagie, I., Nguyen, M. T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2004a). Comparative study on pressure and temperature stability of 5-methyltetrahydrofolic acid in model systems and in food products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 485e492.

Indrawati, Van Loey, A. M., Fachin, D., Ly Nguyen, B., Verlent, I., & Hendrickx, M. (2002). Overview: effect of high pressure on enzymes related to food quality kinetics as a basis for process engineering. *High Pressure Research*, 22, 613e618.

Indrawati, Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2004b). Pressure and temperature stability of water-soluble antioxidants in orange and carrot juice: a kinetic study. *European Journal of Food Research and Technology*, 219, 161e166.

Indrawati, Van Loey, A., & Hendrickx (2005). Pressure and temperature stability of 5-methyltetrahydrofolic acid: a kinetic study. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53(8), 3081e3087.

Kolakowski, P., Dumay, E., & Cheftel, J. C. (2001). Effects of high pressure and low temperature on beta-lactoglobulin unfolding and aggregation. *Food Hydrocolloids*, 15(3), 215e232.

Kouniaki, S., Kajda, P., & Zabetakis, I. (2004). The effect of high hydrostatic pressure on anthocyanins and ascorbic acid in blackcurrants (*Ribes nigrum*). *Flavour and Fragrance Journal*, 19, 281e286.

Krebbers, B., Matser, A. M., Koets, M., Bartels, P., & Van den Berg, R. (2002a). Quality and storage-stability of high-pressure preserved green beans. *Journal of Food Engineering*, 54, 27e33.

Krebbers, B., Matser, A., Koets, M., Bartels, P., & Van den Berg, R. (2002b). High pressure-temperature processing as an alternative for preserving basil. *High Pressure Research*, 22, 711e714.

Kunugi, S., & Tanaka, N. (2002). Cold denaturation of proteins under high pressure. *Biochimica Biophysica Acta Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1595(1e2), 329e344.

Lambadarios, E., & Zabetakis, I. (2002). Does high hydrostatic pressure affect fruit esters? *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 35, 362e366

Lambert, Y., Demazeau, G., Largeteau, A., & Bouvier, J.-M. (1999). Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment. *Food Chemistry*, 67, 7e16.

Ludikhuyze, L., Rodrigo, L., & Hendrickx, M. (2000). The activity of myrosinase from broccoli (*Brassica oleracea* L. cv. *Italica*): influence of intrinsic and extrinsic factors. *Journal of Food Protection*, 63(3), 400e403.

Ludikhuyze, L., Van Loey, A., Smout, C., Indrawati, & Hendrickx, M. (2003). Effects of combined pressure and temperature on enzymes related to quality of fruits and vegetables: from kinetic information to process engineering aspects. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(5), 527e586.

Ly Nguyen, B., Van Loey, A., Fachin, D., Verlent, I., Duvetter, T., Vu, T. S., et al. (2002). Strawberry pectin methyl esterase: purification, characterisation, thermal and high-pressure inactivation. *Biotechnology Progress*, 18, 1447e1450.

Ly Nguyen, B., Van Loey, A. M., Smout, C., Eren Ö zcan, S., Fachin, D., Verlent, I., et al. (2003a). Mild-heat and high-pressure inactivation of carrot pectin methyl esterase: a kinetic study. *Journal of Food Science*, 68, 1377e1383.

Ly Nguyen, B., Van Loey, A., Smout, C., Verlent, I., Duvetter, T., & Hendrickx, M. (2003b). Effect of mild-heat and high-pressure processing on banana pectin methyl esterase: a kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7974e7979.

MacDougall, D. B. (2002). Colour measurement of food: principles and practice. In D. B. MacDougall (Ed.), *Colour in food, improving quality* (pp. 33e63). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.

Matser, A. M., Krebbers, B., Van den Berg, R. W., & Bartels, P. V. (2004). Advantages of high pressure sterilization on quality of food products. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 79e85.

Michel, M., & Autio, K. (2001). Effects of high pressure on protein- and polysaccharide-based structures. In

M. Hendrickx, & D. Knorr (Eds.), *Ultra high pressure treatments of foods* (pp. 189e214). New York, United States: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Navarro, M., Verret, C., Pardon, P., & El Moueffak, A. (2002). Changes in volatile aromatic compounds of strawberry puree treated by high-pressure during storage. *High Pressure Research*, 22, 693e696.

Nguyen, M. T., Indrawati, & Hendrickx, M. E. (2003). Model studies on the stability

of folic acid and 5-methyltetrahydrofolic acids degradation during thermal treatment in combination with high hydro-static pressure. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(11), 3352e3357.

Nguyen, M. T., Oey, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2006). Kinetics for isobaric-isothermal degradation of (6R,S) 5-formyltetrahydro-folic acid in a model system. *European and Food Research and Technology*, 223(3), 325e332.

Nunes, C. S., Castro, S. M., Saraiva, J. A., Coimbra, M. A., Hendrickx, M. E., & Van Loey, A. M. (2006). Thermal and high pressure stability of purified pectin methylesterase from plums (*Prunus domestica*). *Journal of Food Biochemistry*, 30, 138e154.

Oey, I., Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2007). Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? *Trends in Food Science and Technology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2007.09.002>.

Oey, I., Verlinde, P., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2006). Temperature and pressure stability of L-ascorbic acid and/or [6s] 5-methyltetrahydrofolic acid: a kinetic study. *European and Food Research and Technology*, 223, 71e77.

Parish, M. E. (1998). Orange juice quality after treatment by thermal pasteurization or isostatic high pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 31, 439e442.

Plaza, L., Muñoz, M., de Ancos, B., & Pilar Cano, M. (2003). Effect of combined treatments of high-pressure, citric acid and sodium chloride on quality parameters of tomato puree. *European and Food Research and Technology*, 216, 514e519.

Pogorzelski, E., & Wilkowska, A. (2007). Flavour enhancement through the enzymatic hydrolysis of glycosidic aroma precursors in juices and wine beverages: a review. *Flavour and Fragrance Journal*, 22, 251e254.

Polydera, A. C., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2003). Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurized and high pressure processed reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*, 60, 21e29.

Polydera, A. C., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2005). Quality degradation kinetics of pasteurized and high pressure processed fresh Navel orange juice: nutritional parameters and shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 1e9.

Porretta, S., Birzi, A., Ghizzoni, C., & Vicini, E. (1995). Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice. *Food Chemistry*, 52, 35e41.

Pre' stamo, G., & Arroyo, G. (1998). High hydrostatic pressure effects on vegetable structure. *Journal of Food Science*, 63(5), 878e881.

Qiu, W., Jiang, H., Wang, H., & Gao, Y. (2006). Effect of high hydro-static pressure

on lycopene stability. *Food Chemistry*, 97, 516e523.

Randolph, T. W., Seefeldt, M., & Carpenter, J. F. (2002). High hydro-static pressure as a tool to study protein aggregation and amy-loidosis. *Biochimica Biophysica ActaeProtein Structure andMolecular Enzymology*, 1595(1e2), 224e234.

Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Balasubramaniam, V. M.,Niranjan, K., & Knorr, D. (2007a). Opportunities and challenges inhigh pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Scienceand Nutrition*, 47, 69e112.

Rodrigo, D., Jolie, R., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2007b). Thermaland high pressure stability of tomato lipoxygenase and hydroper-oxide lyase. *Journal of Food Engineering*, 79, 423e429.

Rodrigo, D., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2007a). Combined ther-mal and high pressure colour degradation of tomato puree andstrawberry juice. *Journal of Food Engineering*, 79, 553e560.

San Martin, M. F., Barbosa-Ca' novas, G. V., & Swanson, B. G. (2002). Food processing by hydrostatic pressure. *Critical Reviews in FoodScience and Nutrition*, 42(6), 627e645.

Sa' nchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Cano, M. P. (2006). Impact of high-pressure and traditional thermal processing of to-mato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(2), 171e179.

Shook, C. M., Shellhammer, T. H., & Schwartz, S. J. (2001). Polyga-lacturonase, pectinesterase, and lipoxygenase activities in high-pressure-processed diced tomatoes. *Journal of Agricultural andFood Chemistry*, 49, 664e668.

Sila, D. N., Duvetter, T., De Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., VanLoey, A., et al. (2007). Texture changes of processed plant basedfoods: potential role of novel technologies. *Trends in Food Scienceand Technology*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2007.12.007>

Sila, D. N., Smout, C., Elliot, F., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2006). Non-enzymatic depolymerization of carrot pectin: toward a betterunderstanding of carrot texture during thermal processing. *Journalof Food Science*, 71(1), 1e7.

Sila, D. N., Smout, C., Vu, T. S., & Hendrickx, M. E. (2004). Effects ofhigh-pressure pretreatment and calcium soaking on the texturedegradation kinetics of carrots during thermal processing. *Journalof Food Science*, 69, E205eE211.

Sumitani, H., Suekane, S., Nakatani, A., & Tatsuka, K. (1994). Changesin composition of volatile compounds in high pressure treatedpeach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 785e790

Suthanthangjai, W., Kajda, P., & Zabetakis, I. (2005). The effect of highhydrostatic



pressure on the anthocyanins of raspberry (*Rubus idaeus*). *Food Chemistry*, 90, 193e197.

Takahashi, Y., Ohta, H., Yonei, H., & Ifuku, Y. (1993). Microbicidal effect of hydrostatic pressure on satsuma mandarin juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 28, 95e102.

Tangwongchai, R., Ledward, D. A., & Ames, J. M. (2000). Effect of high-pressure treatment on the texture of cherry tomato. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 1434e1441.

Tauscher, B. (1998). Effect of high pressure treatment to nutritive substances and natural pigments. VTT Symposium 186. Fresh novel foods by high pressure. Helsinki, Finland: Technical Research Centre of Finland.

Torres, J. A., & Vela' squez, G. (2005). Commercial opportunities and research challenges in high pressure processing of foods. *Journal of Food Engineering*, 67, 95e112.

Van Buggenhout, S., Messagie, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2005). Influence of low-temperature blanching combined with high-pressure shift freezing on the texture of frozen carrots. *Journal of Food Science*, 70(4), S304eS308.

Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L. R., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2000). Inactivation of orange pectinesterase by combined high-pressure and temperature treatments: a kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1960e1970.

Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. E. G. (2005). Changes in sulfhydryl content of egg white proteins due to heat and pressure treatment. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 14, 5726e5733.

Van Loey, A., Ooms, V., Weemaes, C., Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L., Indrawati, et al. (1998). Thermal and pressure-temperature degradation of chlorophyll in broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica*) juice: a kinetic study. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46(12), 5289e5294.

Verlent, I., Hendrickx, M., Rovere, P., Moldenaers, P., & Van Loey, A. (2006). Rheological properties of tomato-based products after thermal and high-pressure treatment. *Journal of Food Science*, 71(3), S243eS248.

Verlent, I., Smout, C., Duvetter, T., Hendrickx, M. E., & Van Loey, A. (2005). Effect of temperature and pressure on the activity of purified tomato polygalacturonase in the presence of pectins with different patterns of methyl esterification. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 293e303.

Verlent, I., Van Loey, A., Smout, C., Duvetter, T., & Hendrickx, M. E. (2004). Purified tomato polygalacturonase activity during thermal and high pressure treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 86(1), 63e71.

Yen, G. C., & Lin, H. T. (1999). Changes in volatile flavor components of guava juice with high-pressure treatment and heat processing and during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 2082e2087.

Zabetakis, I., & Holden, M. A. (1997). Strawberry flavour: analysis and biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 421e434.

Zabetakis, I., Leclerc, D., & Kajda, P. (2000a). The effect of high hydrostatic pressure on the strawberry anthocyanins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 2749e2754.

Zabetakis, I., Koulentianos, A., Orruno, E., & Boyes, I. (2000b). The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds. *Food Chemistry*, 71, 51e55.