

高压氩气和氮气处理对鲜切苹果冷藏的保鲜效果

吴志霜, 张 慊*

(江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 将鲜切苹果用高压(25MPa)氩气和氮气处理 1h, 以未处理和高压(25MPa)空气处理的鲜切苹果为对照, 研究了在 14d 的冷藏期间高压氩气和氮气处理对鲜切苹果生理及贮藏品质的影响。研究结果表明, 高压氩气和氮气处理降低了冷藏期间鲜切苹果的呼吸强度和乙烯产生量, 减少了褐变反应的发生, 很好的保持了鲜切苹果的色泽和总酚, 且不影响可滴定酸和可溶性固形物含量。同时, 还抑制了鲜切苹果中微生物的繁殖生长, 在 14d 冷藏中, 将嗜冷好氧菌生长量控制在 6.0lg(CFU/g)以下, 霉菌和酵母菌生长量控制在 4.0lg(CFU/g)以下。高压氩气处理的保鲜效果好于高压氮气处理。但高压氩气和氮气处理会对鲜切苹果的组织硬度产生一定负面影响, 降低鲜切苹果的硬度。

关键词: 鲜切苹果; 高压处理; 氩气; 氮气; 保鲜

Effects of High Pressure Argon and High Pressure Nitrogen Treatments on Fresh-keeping of Fresh-cut Apples during Cold Storage

WU Zhi-shuang, ZHANG Min*

(State Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Fresh-cut apples were treated by high pressure (HP, 25 MPa) argon (Ar) and HP nitrogen (N₂), respectively for 1 hour and then stored at 4 °C for 14 days. Changes in physiology and quality of the treated samples were determined during the storage period and were compared to those of the non-treated and HP air treated fresh-cut apples. The results showed that HP Ar and HP N₂ treatments reduced respiration rate and ethylene production of fresh-cut apples during cold storage, delayed browning and total phenol degradation without influence on titratable acidity or soluble solid content, inhibited microorganism growth of fresh-cut apples, resulting in the fact that the population of psychrotrophs was less than 10⁶ CFU/g and of molds and yeasts less than 10⁴ CFU/g after 14 days of 4 °C storage. In conclusion, HP Ar and HP N₂ treatments remarkably improve the overall quality of fresh-cut apples stored at 4 °C although HP operation has some negative effects on the texture and slightly decreases the firmness of fruits. Moreover, the fresh-keeping effect of HP Ar is better than that of HP N₂ treatment.

Key words: fresh-cut apples; high pressure; argon; nitrogen; fresh-keeping

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)20-0290-06

目前, 随着人们生活水平的提高, 生活节奏的加快, 具有食用方便, 品质新鲜, 营养卫生等特点的鲜切果蔬成为超市最受欢迎的鲜销产品之一^[1]。然而, 鲜切果蔬由于去皮、切分等处理, 使细胞完整结构受到破坏, 促进了伤乙烯产生, 呼吸增加, 组织褐变等一系列生理、生化反应。同时大量切分表面的外露及汁液的外溢, 加剧了微生物的繁殖污染^[2]。因此, 鲜切

果蔬品质的保鲜难度较大, 与未处理的果蔬相比, 货架期普遍很短。研究开发高效、安全的保鲜方法, 对鲜切果蔬加工业的发展具有重要的作用。

在一定压力和温度下, 氩、氮、氙、氪等惰性气体和水分子形成气体水合物, 在气体水合物中水分子作为主体通过氢键形成笼型结构, 气体分子作为客体被包围在笼型结构中^[3-4]。果蔬中气体水合物的形成会降低

收稿日期: 2010-12-14

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(30972058)

作者简介: 吴志霜(1975—), 女, 博士研究生, 研究方向为生鲜食品加工与保鲜。E-mail: kmwzs@126.com

* 通信作者: 张慊(1962—), 男, 教授, 博士, 研究方向为生鲜食品加工、保鲜及工程化。E-mail: min@jiangnan.edu.cn

组织内水分子的活度和酶分子的活性,抑制果蔬的代谢活动从而达到保鲜的作用^[5]。国内外学者应用惰性气体加压水分结构化处理鲜切甘蓝^[3]、芦笋^[5]、黄瓜^[6]等,得到明显的保鲜效果,同时发现加压处理后,惰性气体会进入鲜切果蔬组织内的微气孔中,取代氧分子等气体分子,在鲜切果蔬贮藏中起到后续保鲜的作用^[5]。

本研究以鲜切苹果为原料,采用低成本的惰性气体氩和氮进行加压,通过观测鲜切苹果贮藏期间生理和品质的变化,研究高压氩和氮处理对鲜切苹果的贮藏保鲜效果,为加压惰性气体处理在鲜切果蔬贮藏保鲜上的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“富士”苹果(*Malus domestica* Borkh. cv. Fuji)购于无锡市水果超市,产自山东烟台。选取直径约70~80mm,果形端正,大小均匀,无病虫害,色泽成熟度一致的果实进行处理,处理前于4℃贮藏。

Folin-Ciocalteu 试剂(FC 试剂)、没食子酸标准品 美国 Sigma 公司;乙醇、NaCO₃ 和 NaOH(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

HCYF-3 型观察窗高压反应釜(由江南大学设计,设计压力 30MPa;设计温度 0~50℃) 江苏华安科研仪器有限公司;GC-2010 气相色谱仪 日本岛津公司;CR-400 色彩色差计 日本美能达公司;TA-XT2i 型质构仪 英国 Stable Microsystems 公司;WYA-2W 阿贝折射仪 上海精密科学仪器有限公司。

1.3 样品处理

苹果用 100 μL/L 次氯酸钠浸泡 2min,清水冲洗,晾干 10min。手工去皮、核,用不锈钢刀均匀切成 8 块呈楔形的鲜切苹果。刀具和砧板使用前用 100 μL/L 次氯酸钠浸泡 5min。样品处理分为 4 组,第 1 组切分的苹果块直接包装;第 2 组用空气加压至 25MPa,在 4℃保压处理 1h,包装;第 3 组用氩气加压至 25MPa,在 4℃保压处理 1h,包装;第 4 组用氮气加压至 25MPa,在 4℃保压处理 1h,包装。所有样品用 20cm × 20cm 低密度的聚乙烯袋包装。在 23℃、相对湿度 90% 条件下,包装袋对 CO₂ 和 O₂ 的透过率分别为 10.2 × 10⁻¹² 和 3.2 × 10⁻¹² mol/(s · mm² · kPa)。包装样品在 4℃下贮藏,在贮藏的 3、7、14d 测定微生物指标,其他指标每 2d 测定一次。

1.4 指标测定

呼吸强度和乙烯释放量测定:采用气相色谱仪测定,呼吸强度以 mg CO₂/(kg · h)表示,乙烯释放量以 μL/(kg · h)表示。色谱条件:不锈钢填充柱,柱

温 50℃;氢火焰离子化检测器(flame ionization detector, FID),温度 100℃;甲烷转化器,温度 350℃;载气为高纯氮气,流量 40mL/min;燃气为高纯度氢,流量 50mL/min;助燃气为空气,流量 400mL/min;进样时间 0.04min,体积 1.0mL。

颜色:采用色彩色差计测定,测定参数为 *L*、*a*、*b*。测定结果用 *L* 和 *h* 值表示, *L* 值表示亮度, *L* 值越大亮度越大。 *h* 值为色差综合评定指标, *h* 值越小,色泽越深。 $h = \arctg(b/a)$

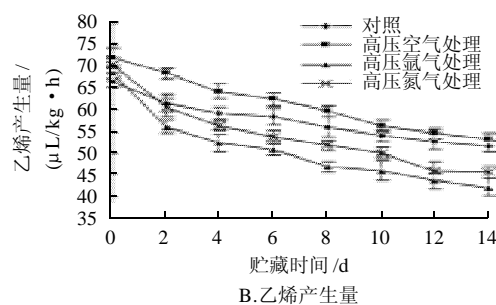
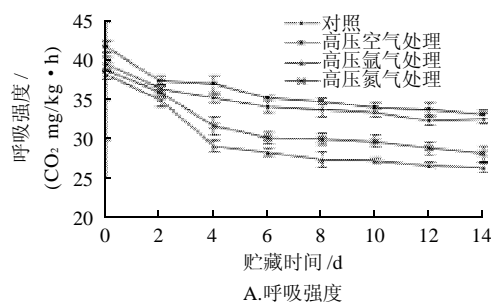
硬度^[7]:采用质构仪测定,将鲜切苹果切成直径 1.5cm,高 2cm 的圆柱,用直径 4mm 的探头以 5mm/s 速度穿过圆柱中心,深度为 10mm,测定硬度值;可滴定酸:采用酸碱滴定法^[8]测定;可溶性固形物含量:采用阿贝折射仪测定;总酚(以鲜质量计):采用 Folin-Ciocalteu 法^[9]并稍作改动,样品中的总酚采用 95% 的乙醇和超声波提取 30min,以没食子酸为对照品测定,测定单位以没食子酸当量计算(gallic acid equivalent, GAE);微生物指标:嗜冷好氧菌按《GB/T 4789.2—2008 食品卫生微生物学检验:菌落总数测定》方法进行测定,霉菌和酵母:按《GB/T 4789.15—2003 食品卫生微生物学检验:霉菌和酵母计数》测定。

1.5 数据处理方法

数据取 3 次重复实验测定的平均值,并以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 SAS 9.0 统计软件进行 Duncan's Multiple Range Test ($P = 0.05$)方差分析,比较差异显著性。

2 结果与分析

2.1 冷藏期间鲜切苹果呼吸强度和乙烯产生量



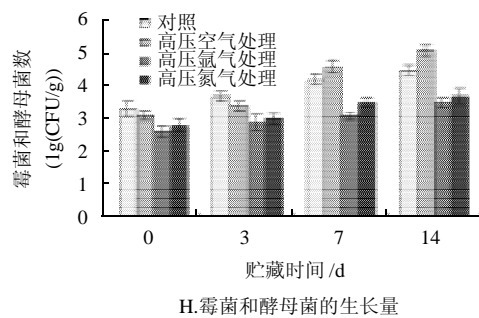
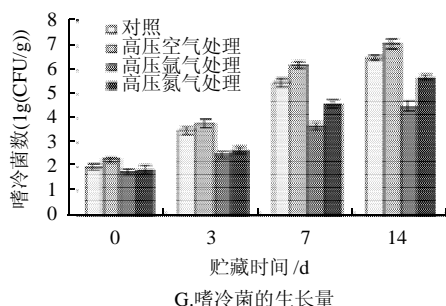
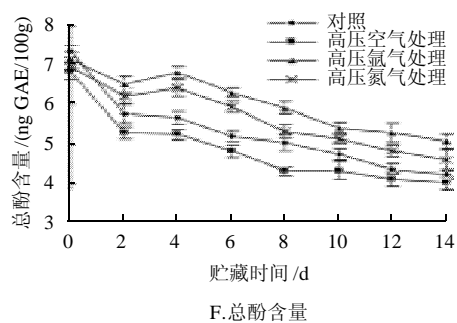
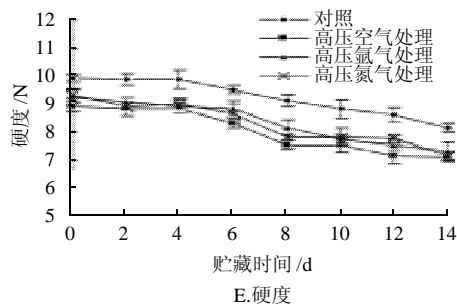
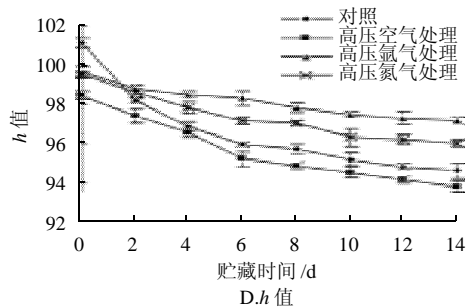
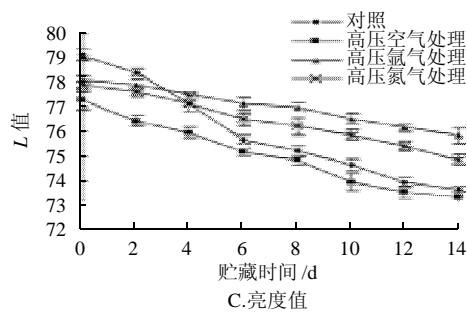


图1 不同处理的鲜切苹果在冷藏期间的各指标值
Fig.1 Effects of different HP treatments on respiration rate, ethylene production, lightness value, hue angle, firmness, total phenol content, the growth of psychrotrophs and the growth of molds and yeasts of fresh-cut apples during 14 days of storage at 4 °C

去皮、切分等工序使鲜切果品比未处理的整果具有更强的呼吸作用^[10], 高的呼吸强度表明果蔬组织有更快的代谢损耗^[11], 所以降低呼吸强度对鲜切苹果的贮藏保鲜具有重要意义。鲜切处理导致苹果组织出现了伤呼吸, 由图 1A 可知, 所有样品在处理后的 0d 都有很高的呼吸强度, 在最初 4d 的冷藏中呼吸强度快速降低, 随后缓慢下降直到贮藏结束。从冷藏第 4 天开始, 高压氮气和氩气处理样品的呼吸强度分别为 $56.34 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$ 和 $52.37 \text{ CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$, 明显低于对照样品的呼吸强度 ($59.33 \text{ CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$) ($P < 0.05$)。贮藏 14d 后, 呼吸强度最高的是高压空气处理的样品 ($33.3 \text{ CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$), 其次是对照样品 ($32.7 \text{ CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$) 和高压氮气处理的样品 ($28.2 \text{ CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$), 呼吸强度最低的是高压氩气处理的样品 ($26.5 \text{ CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$)。整个贮藏期间, 高压空气处理的样品比对照样品呼吸强度稍高, 两组样品呼吸强度差异不显著 ($P > 0.05$)。高压氮气处理的样品呼吸强度比高压氩气处理的样品高, 高压氩气处理的样品一直保持最低的呼吸强度。以上结果表明高压氮气和氩气处理都降低了鲜切苹果的呼吸强度, 其中高压氩气处理效果更明显。而高压空气处理对鲜切苹果贮藏期间的呼吸强度没有显著影响。与本实验结果相似的是, 詹仲刚等^[6]报道加压氩气处理降低了鲜切黄瓜的呼吸强度, 张懿等^[5]报道加压氩气和氩气处理降低了芦笋的呼吸强度。

鲜切加工会刺激果蔬产生大量的伤乙烯, 伤乙烯加快了果蔬的成熟和衰老^[12]。从图 1B 可知, 苹果鲜切处理后的 0d 乙烯的产生量最大, 随后乙烯产生量随贮藏时间的延长而降低, 到贮藏结束达到最低值。3 组经过高压处理的样品在冷藏前乙烯生成量比对照样品稍高, 可能因为高压处理加重了鲜切苹果组织的机械伤害, 促进伤乙烯的产生。但从冷藏的第 8 天开始, 高压氮气和氩气处理样品的乙烯产生量降到 $46.87 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$ 和 $51.78 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$, 明显低于对照样品乙烯的产生量 ($56.13 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$)。贮藏

14d 后, 高压空气的乙烯产生量最高($53.15 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$), 其次是对照样品($51.71 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$)和高压氮气处理样品($45.62 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$), 高压氩气处理的样品乙烯产生量最低($42.21 \mu\text{L/kg} \cdot \text{h}$)。在整个冷藏期间, 高压氩气处理样品的乙烯产生量一直处于最低水平。以上结果表明, 高压氩气和高压氮气处理能明显降低鲜切苹果冷藏中乙烯的产生量($P < 0.05$), 其中高压氩气处理的效果更明显。值得注意的是, 高压空气处理的样品乙烯产生量高于对照组, 尤其在贮藏的前 8d 差异显著($P < 0.05$), 并且整个贮藏过程中一直处于最高水平, 原因可能与高压空气处理提供了乙烯合成所需的氧分子有关。

在 4°C 和 25MPa 压力下, N_2 ^[13] 和 Ar ^[14] 都能和水分子形成气体水合物, 高压氩气和氮气处理使鲜切苹果的水分子结构化形成氩气和氮气水合物。水合物形成能降低水分子活度, 抑制呼吸代谢和乙烯合成相关酶的活性。同时高压处理过程中, N_2 和 Ar 气体分子能进入鲜切果蔬组织内部的微气孔中, 取代氧分子等组织内部的气体分子^[5]。 N_2 和 Ar 作为气调包装的气体成分, 研究表明在果蔬贮藏中具有品质保鲜作用。 N_2 和 Ar 还被报道能发挥积极的生化作用, 和氧分子竞争酶的结合位点, 从而抑制果蔬褐变和呼吸代谢中一些重要酶类的活性, 如酪氨酸酶和苹果酸脱氢酶等, 对果蔬的贮藏保鲜具有积极的意义^[15]。在鲜切果蔬贮藏期间, 留存在组织微气孔中的 N_2 和 Ar 能继续发挥后续保鲜的作用。所以, 高压氩气和氮气处理能明显抑制鲜切苹果在冷藏期间的呼吸作用和乙烯的合成。

2.2 冷藏期间鲜切苹果色泽的变化

对于鲜切水果来说, 鲜切表面的褐变是影响其货架寿命的主要因素^[16]。当用色差计测定鲜切苹果色泽变化时, L 和 h 值的降低可以用来指示鲜切面的褐变程度。如图 1C、1D 所示, 所有处理的样品随冷藏时间的延长都逐渐发生褐变, L 和 h 值呈下降趋势, 但不同处理的样品褐变的程度不一样。高压处理过程会使鲜切苹果发生轻微的褐变, 与对照样品相比, 三组高压处理后的样品在处理后的 0d L 和 h 值都略有下降, 其中高压空气处理的样品褐变更明显。从贮藏的 2d 开始, 对照样品褐变较快, L 和 h 值迅速降低, 分别于贮藏的 6d 和 4d 开始明显低于高压氮气和氩气处理样品的 L 和 h 值($P < 0.05$), 说明在贮藏期间未处理的鲜切苹果比高压氮气和氩气处理的鲜切苹果更易发生褐变。到 14d 贮藏结束, 高压氩气和氮气处理的样品褐变程度均明显比对照样品低($P < 0.05$), 其中高压氩气处理的样品有最高的 L 和 h 值, 褐变程度最小。高压空气处理的样品在整个贮藏期间 L 和 h 值处于最低水平, 褐变程度最大。以上结果表明, 高压氩气和氮气处理都能延缓贮藏中鲜切苹果表面的褐变, 高压氩气处理控制褐变的作用效果明

显强于高压氮气处理。高压空气处理则加快了鲜切苹果的褐变。

苹果含有丰富的酚类物质, 褐变主要由多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(peroxidase, POD)等氧化酚类物质引起。已有研究报道惰性气体水合物的形成能抑制果蔬中 PPO、POD 等的活性^[6,17]。在高压氩气和氮气处理鲜切苹果的过程中, 气体水合物的形成及处理后留存在鲜切苹果组织内部的 Ar 和 N_2 抑制了 PPO、POD 等褐变相关酶的活性, 从而延缓了褐变的发生, 保持了贮藏期间鲜切苹果的色泽。

2.3 冷藏期间鲜切苹果的硬度

果蔬组织特性的变化是和细胞壁多聚物的酶促和非酶促反应相关的。从图 1E 可知, 在 14d 贮藏中, 鲜切苹果的硬度逐渐降低。新鲜苹果片的硬度值为 9.95N 。14d 后, 对照样品硬度仅下降了 18%, 高压空气, 氩气和氮气处理的鲜切苹果硬度分别下降了 27%、28% 和 27%, 3 组高压处理的样品在硬度变化上没有明显差异($P > 0.05$), 但都明显低于未经高压处理的对照样品。结果表明, 高压氩气和氮气处理会对鲜切苹果的组织产生一定负面影响, 降低贮藏期间鲜切苹果的硬度。这主要由高压处理引起, 与加压的气体种类无关。

2.4 冷藏期间鲜切苹果可滴定酸和可溶性固形物的含量

表 1 是所有处理样品在 14d 冷藏中可滴定酸和可溶性固形物的测定值。在整个冷藏期间, 鲜切苹果可滴定酸量在 $0.30 \sim 0.39\text{g}/100\text{g}$ 之间, 可溶性固形物的含量在 $14.5\% \sim 13.7\%$ 之间, 所有处理样品的可滴定酸和可溶性固形物的含量变化在 14d 的冷藏中没有显著差异($P > 0.05$)。结果表明, 高压氩气和氮气处理对冷藏中鲜切苹果的可滴定酸和可溶性固形物含量没有产生明显影响。

2.5 冷藏期间鲜切苹果的总酚含量

多酚作为一种抗氧化剂及酶促褐变反应的底物, 其含量对果蔬生理品质及功能性的保持都有重要的作用。苹果中主要的多酚成分包括绿原酸, 茶多酚和表儿茶精等, 大多都和褐变反应密切相关。作为一种抗性反应及愈伤防卫机制, 鲜切处理会使果蔬积累大量的酚类成分^[18]。从图 1F 可观察到, 所有样品处理后 0d 总酚的含量很高。总酚含量在冷藏的第 2 天迅速下降, 到贮藏第 4 天稍有增加, 然后随贮藏时间的延长逐渐下降。鲜切苹果总酚含量的降低主要是由酚类物质在贮藏中发生了氧化降解引起。从冷藏的第 2 天开始, 高压氩气和氮气处理的样品总酚含量以干样计分别为 6.53mg/g 和 $6.235.07\text{mg/g}$, 高于对照样品的总酚含量(5.77mg/g), 而高压空气处理的样品总酚含量(5.28mg/g)低于对照样品。14d 后, 高压氩气处理的鲜切果蔬其总酚含量最高(5.07mg/g), 其次是高压氮气处理的样品(4.61mg/g)和对照样品(4.23mg/g), 含量最低的是高压空气处理的样品(4.01mg/g)。以上结果

表1 不同处理的鲜切苹果冷藏期间可滴定酸和可溶性固形物的含量

Table 1 Changes of titratable acidity and soluble solids content of fresh-cut apples with different treatments during 14 days of storage at 4 °C

		贮藏时间/d							
		0	2	4	6	8	10	12	14
可滴定酸	对照	0.37 ± 0.02 ^a	0.38 ± 0.01 ^a	0.36 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.01 ^a	0.32 ± 0.01 ^a
	高压空气处理	0.35 ± 0.02 ^a	0.37 ± 0.02 ^a	0.33 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.02 ^b	0.32 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.01 ^a
	高压氩气处理	0.36 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.01 ^a	0.34 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.02 ^a
	高压氮气处理	0.33 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.02 ^a	0.31 ± 0.02 ^a	0.36 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.01 ^a
可溶性固形物	对照	14.5 ± 0.1 ^a	14.3 ± 0.2 ^a	14.4 ± 0.2 ^a	14.3 ± 0.1 ^a	14.1 ± 0.2 ^a	14.2 ± 0.2 ^a	14.2 ± 0.1 ^a	14.3 ± 0.1 ^a
	高压空气处理	14.5 ± 0.2 ^a	14.4 ± 0.1 ^a	14.3 ± 0.2 ^a	14.2 ± 0.2 ^a	14.3 ± 0.2 ^a	13.9 ± 0.1 ^a	14.1 ± 0.1 ^a	13.8 ± 0.2 ^a
	高压氩气处理	14.3 ± 0.1 ^a	14.6 ± 0.2 ^a	14.5 ± 0.1 ^a	14.4 ± 0.1 ^a	14.3 ± 0.1 ^a	14.3 ± 0.1 ^a	13.9 ± 0.2 ^a	13.8 ± 0.2 ^a
	高压氮气处理	14.2 ± 0.1 ^a	14.3 ± 0.1 ^a	14.2 ± 0.1 ^a	14.1 ± 0.2 ^a	14.2 ± 0.2 ^a	13.9 ± 0.1 ^a	13.7 ± 0.1 ^a	13.9 ± 0.1 ^a

注：表中小写字母相同表示差异不显著， $P > 0.05$ 。

说明高压氩气和氮气处理能减少鲜切苹果在贮藏中多酚物质的降解，对总酚含量的保持有显著的作用($P < 0.05$)。原因主要是高压氩气和氮气处理气体水合物的形成及处理后留存在组织内部的 Ar 和 N₂ 分子抑制了酚类物质氧化的酶类如 PPO。高压氩气处理对鲜切苹果冷藏期间总酚的保持效果比高压氮气处理的明显。而高压空气处理由于没有气体水合物的产生，以及提供了酚类物质氧化需要的氧分子，所以加快了贮藏期间鲜切苹果酚类物质的氧化降解。

2.6 冷藏期间鲜切苹果微生物生长的变化

鲜切果蔬表面汁液外渗为微生物的生长提供了良好的环境，微生物的污染也是缩短鲜切产品货架期的主要因素之一。图 1G、1H 所示为鲜切苹果在 0、3、7d 和 14d 微生物指标测定结果。所有处理的样品微生物生长量随贮藏时间延长而增加，不同处理的样品微生物的增长呈现不同的速率。从图 1G 可看到，在贮藏前，四种处理样品的嗜冷菌含量无明显差别($P > 0.05$)。从第 3 天开始，高压空气处理和对照处理的样品嗜冷菌生长量明显高于高压氩气和氮气处理的样品。鲜切产品中好氧菌的生长量超过 6.0lg(CFU/g)就不能食用^[19]，到第 14 天，高压氩气和氮气处理的鲜切苹果嗜冷菌的增长量为 4.5lg(CFU/g)和 5.7lg(CFU/g)，而高压空气处理和对照处理的样品嗜冷菌增长量分别达到 7.1lg(CFU/g)和 6.5lg(CFU/g)，均超过 6.0lg(CFU/g)的食用安全标准。所以高压氩气和氮气处理都能抑制鲜切苹果贮藏期间嗜冷菌的生长，高压氩气处理的作用明显高于高压氮气处理。高压空气处理对嗜冷菌的生长没有抑制效果。

与嗜冷菌生长的测定结果相似，从图 1H 可知，高压氩气和氮气处理明显减少了冷藏中鲜切苹果霉菌和酵母菌的生长量。从第 7 天开始，对照样品和高压空气处理样品中，霉菌和酵母菌的生长量就明显高于高压氩气和氮气处理的样品，在贮藏的第 14 天，高压氩气和氮气处理的样品中霉菌和酵母菌的生长量为 3.5lg(CFU/g)和 3.7lg(CFU/g)，均未超过 4.0lg(CFU/g)，而对照样品和高压空气处理样品霉菌和酵母菌的生长量分别达到 4.5lg

(CFU/g)和 5.1lg(CFU/g)。高压氩气和氮气处理对鲜切苹果霉菌和酵母菌生长的抑制作用效果无明显差异($P > 0.05$)。

水分活度是微生物生长的一个重要影响因素。经高压氩气和氮气处理后，气体水合物的形成可使鲜切苹果组织水分活度降低，一定程度限制了微生物的生长。另外，氮气和氩气能降低食品贮藏中微生物的生长繁殖^[20]，高压处理后残留在鲜切苹果组织中的氩气和氮气对鲜切苹果中的嗜冷菌、霉菌和酵母菌的生长也起到了抑制的作用。

3 结 论

高压(25MPa)氩气和氮气处理对鲜切苹果的冷藏保鲜有明显的效果，高压氩气处理的保鲜效果好于高压氮气处理。高压(25MPa)氩气和氮气处理降低了鲜切苹果冷藏中的呼吸强度和乙烯产生量，减少了褐变反应的发生，很好的保持了鲜切苹果冷藏中的色泽和总酚，且不影响可滴定酸和可溶性固形物含量。同时，高压氩气和氮气处理还能抑制鲜切苹果中微生物的繁殖生长，在 14d 冷藏中，将嗜冷好氧菌生长量控制在 6.0lg(CFU/g)以下，霉菌和酵母菌生长量控制在 4.0lg(CFU/g)以下。但高压氩气和氮气处理会对鲜切苹果的组织硬度产生一定负面影响，降低鲜切苹果的硬度。

参考文献：

- [1] 张悠, 范柳萍, 王秀伟. 国内外水果保鲜发展状况及趋势分析[J]. 保鲜与加工, 2003, 14(1): 3-6.
- [2] 王俊宁, 饶景萍, 任小林, 等. 切割果蔬加工与贮藏的研究进展[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(1): 141-144.
- [3] OSHITA S. Storage of broccoli by making the water structured[C]// Proceedings of International Conference on Agriculture Machinery Engineering'96. Seoul, Korea: 2006: 918-925.
- [4] WANG Zhang. Food chemistry[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003: 78-91.
- [5] ZHANG Min, ZHAN Zhonggang, WANG Shaojun, et al. Extending the shelf-life of asparagus spears with a compressed mix of argon and xenon gases[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 686-691.

- [6] 詹仲刚, 张慇. 惰性气体对黄瓜酶活和呼吸强度的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3): 16-18.
- [7] OMS-OLIU G, SOLIVA-FORTUNY R, MARTÍN-BELLOSO O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 50(1): 87-94.
- [8] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 28-30.
- [9] SINGLETON V L, ROSSI J A, Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1965, 16: 144-158.
- [10] TAPIA M S, ROJAS-GRAÚ M A, CARMONA A, et al. Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya[J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(8): 1493-1503.
- [11] CHUNG H S, MOON K D. Browning characteristics of fresh-cut 'Tsugaru' apples as affected by pre-slicing storage atmospheres[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(4): 1433-1437.
- [12] BRECHT J K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables[J]. *Horticulture Science*, 1995, 30: 18-22.
- [13] SUGAHARA K, TANAKA Y, SUGAHARA T, et al. Thermodynamic stability and structure of nitrogen hydrate crystals[J]. *Journal of Supramolecular Chemistry*, 2002, 2(4/5): 365-368.
- [14] NEMOV N A, SUBBOTIN S O, BELOSLUDOV V R. Modeling of phase transformation sII - sH in Ar hydrates at high pressure[J]. *Computational Materials Science*, 2010, 49(4): S256-S259.
- [15] ZHANG Donglin, QUANTICK P C, GRIGOR J M, et al. A comparative study of effects of nitrogen and argon on tyrosinase and malic dehydrogenase activities[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(1): 45-49.
- [16] SOLIVA-FORTUNY R, MARTÍN-BELLOSO O. New advances in extending the shelflife of fresh-cut fruits: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, 14(9): 341-353.
- [17] 单良, 单美, 田瑛, 等. 加压 CO₂/Xe/O₂ 混合气体对芦笋贮藏特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4): 43-48.
- [18] SAXENA A, BAWA A S, RAJU P S. Phytochemical changes in fresh-cut jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) bulbs during modified atmosphere storage[J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(4): 1443-1449.
- [19] LEE J Y, PARK H J, LEE C Y. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2003, 36(3): 323-329.
- [20] DAY B P F. Novel MAP: A brand new approach[J]. *Food Manufacture*, 1998, 73(11): 22-24.