

## 高压 CO<sub>2</sub> 处理保持非还原桃汁的品质

周林燕<sup>1,2</sup>, 王永涛<sup>1</sup>, 刘凤霞<sup>1</sup>, 毕秀芳<sup>1</sup>, 廖小军<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

**摘要:** 采用高压 CO<sub>2</sub> (high pressure carbon dioxide, HPCD) 处理非还原 (not from concentrate, NFC) 桃汁, 分析 HPCD 处理后 NFC 桃汁 pH 值、可溶性固形物、色泽、酚类和抗氧化活性等品质特性的变化, 讨论 HPCD 对 NFC 桃汁品质的影响。NFC 桃汁的 pH 值和可溶性固形物含量分别为 3.82 和 10.3°Brix, HPCD 处理后没有显著变化; HPCD 处理后 NFC 桃汁颜色变暗, 色泽参数 L、a、b 值显著降低, 对应的褐变度提高; NFC 桃汁中的主要酚类物质有儿茶素、绿原酸、新绿原酸和阿魏酸, HPCD 处理后酚类物质含量没有显著变化; 采用 FRAP 和 1,1-二苯基苦基苯肼 (1,1-diphenyl-picrylhydrazyl, DPPH) 清除率 2 种方法测定 NFC 桃汁的抗氧化活性, 2 种方法的测定结果都表明 HPCD 处理后 NFC 桃汁的抗氧化活性提高, 并且随着处理时间的延长而逐渐提高。以上结果表明 HPCD 能较好的保持 NFC 桃汁的品质, 为非热加工技术应用于果蔬加工提供理论基础。

**关键词:** 加工, 品质调控, 高压效应, 高压 CO<sub>2</sub>, NFC 桃汁

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.036

中图分类号: TS255.44

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0262-06

周林燕, 王永涛, 刘凤霞, 等. 高压 CO<sub>2</sub> 处理保持非还原桃汁的品质[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 262—267.  
Zhou Linyan, Wang Yongtao, Liu Fengxia, et al. Maintaining quality of not from concentrate peach juice by high pressure carbon dioxide treatment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 262—267. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

食品加工不仅要保证食品的安全, 还要能较好的保持食品品质。传统的热力杀菌技术由于经济有效的原因, 仍广泛的应用于食品加工。但热力杀菌技术存在着一些难以克服的缺点, 对一些产品特别是热敏性产品的色、香、味、功能性及营养性成分等有破坏作用, 经过热力杀菌后新鲜产品失去了其原有的新鲜度, 甚至还产生异味, 影响产品的质量<sup>[1]</sup>。随着人们对食品品质要求的提高, 非热力杀菌技术受到了越来越多的关注。高压二氧化碳技术 (high pressure carbon dioxide, HPCD) 是一种新型的非热加工技术, 能在较低的压力下, 通过降低介质 pH 值和二氧化碳的分子效应来影响和杀灭微生物和酶, 避免了热加工对食品所带来的不良效应, 可很好地保持食品品质<sup>[2]</sup>。虽然有少数报道指出 HPCD

会导致食品品质降低<sup>[3]</sup>, 但是相对于传统的热力杀菌技术, HPCD 能避免由于处理过程温度升高产生的风味、营养、感官、质构等品质方面的劣变<sup>[4]</sup>。研究者关于 HPCD 对品质的研究主要包括果蔬汁、乳制品、肉制品和一些鲜切果蔬产品<sup>[5]</sup>。大多数研究表明, HPCD 对食品风味、颜色和质构等品质没有显著性影响甚至没有影响。非还原 (not from concentrate, NFC) 桃汁是风味和营养特性最接近桃的产品, 富含有机酸、多酚等营养成分<sup>[6]</sup>。本文研究了 HPCD 对 NFC 桃汁 pH 值、可溶性固形物、色泽、酚类和抗氧化活性等品质的影响, 为非热加工技术应用于果蔬加工提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 试验原料

桃 (北京二十四号, 北京) 2011 年 6 月购于零售市场, 存于 4℃ 的冷库中备用。

#### 1.1.2 二氧化碳

纯度为 99.9%, 北京分析仪器公司。通过长为 1 m, 直径为 2 cm 的活性炭过滤柱过滤待用。

#### 1.1.3 主要试剂

磷酸氢二钠、硫酸铵、醋酸钠、抗坏血酸、碳酸钠等均属分析纯药品, 购于北京化学试剂公司; 考马斯亮蓝 R250、Folin-Ciocalteu 试剂、甲醇、乙

收稿日期: 2013-07-01 修订日期: 2013-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31171770); 国家 863 计划项目 (2011AA100801)

作者简介: 周林燕 (1984—), 女, 白族, 云南大理人, 博士, 主要从事果蔬加工与贮藏研究。北京 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 100083。Email: zhoulinyan916@hotmail.com

※通信作者: 廖小军 (1966—), 男, 汉族, 江西新余人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工与贮藏研究、食品非热加工研究。北京 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 100083。

Email: liaoxjun@hotmail.com

腈、甲酸、Trolox、DPPH、TPTZ 等均属分析纯药品, 购于北京拜尔迪生物科技有限公司。

## 1.2 试验仪器

高压 CO<sub>2</sub> 杀菌机 (中国农业大学研制开发)、HH.S11—4 恒温水浴锅 (北京长安科学仪器厂)、GT6G7 螺旋榨汁机 (浙江机械有限公司)、EY-300A 分析天平 (日本松下电器)、SC-80C 全自动色差计 (北京康光仪器厂)、T6 新世纪紫外分光光度计 (北京普析通用仪器有限责任公司)、Cary-50 型紫外-可见分光光度计 (美国瓦里安公司)、WAY-2S 型数字阿贝折射仪 (上海精密科学仪器有限公司)、CR21GIII 型离心机 (日本日立公司)、CF16RXII 型离心机 (日本日立公司)、868 型 pH 计 (美国奥立龙公司)、LC-20A 高效液相色谱 (日本岛津公司)。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 NFC 桃汁制备

将桃清洗称取质量后去核、切块。加入质量分数为 0.15%Vc, 用螺旋榨汁机进行榨汁。果汁混匀后用 250 mL 的玻璃瓶分装, 于 -18℃ 冷冻, 试验前解冻至室温, 解冻后在 100 g, 4℃ 下离心 15 min, 以去除大颗粒物质, 保持未处理 NFC 桃汁的均一性。

### 1.3.2 HPCD 处理 NFC 桃汁操作流程

HPCD 处理釜通过水浴预热到设定温度, 将 200 mL NFC 桃汁从进料口吸入反应釜中。经过 6~8 min 升压过程达到设定压强, 在恒定的压强和温度下进行处理, 达到处理时间后进行卸压 (约 3~5 min), 将样品取出后冰浴冷却, 进行色泽、pH 值、可溶性固形物、酚类、抗氧化活性等指标测定。

### 1.3.3 热处理 NFC 桃汁操作过程

将装有 200 mL NFC 桃汁的烧杯置于沸水浴中, 使中心温度升到 90℃, 保温 1 min 后取出, 冰浴冷却, 进行色泽、pH 值、可溶性固形物、酚类、抗氧化活性等指标测定<sup>[6]</sup>。

### 1.3.4 色泽测定

全自动色差仪用白板和黑板调零后, 将样品摇匀取 5 mL 置于比色杯中, 在反射模式下测定  $L$ 、 $a$ 、 $b$  值。本试验中总色差计算公式<sup>[7]</sup>为  $\Delta E = [(L_{\text{after}} - L_{\text{before}})^2 + (a_{\text{after}} - a_{\text{before}})^2 + (b_{\text{after}} - b_{\text{before}})^2]^{1/2}$ 。其中  $L_{\text{before}}$ 、 $a_{\text{before}}$ 、 $b_{\text{before}}$  是果汁最初测定值;  $L_{\text{after}}$ 、 $a_{\text{after}}$ 、 $b_{\text{after}}$  是 HPCD 处理后的测定值;  $\Delta E$  是总色差。 $L$ 、 $a$ 、 $b$  是测定食品颜色变化的常用参数。 $L$  称为明度指数,  $L=0$  表示黑色,  $L=100$  表示白色。在  $L$ 、 $a$ 、 $b$  的坐标系中,  $+a$  方向颜色接近红色,  $-a$  方向颜色接近绿色;  $+b$  方向颜色接近黄色,  $-b$  方向颜色接近蓝色;  $\Delta E$  为 2 点之间的变化值<sup>[7]</sup>。

### 1.3.5 褐变度测定

紫外分光光度计测定样品处理后 420 nm 下的吸光值作为褐变度 (browning degree, BD)。NFC 桃汁在 4℃ 下 8 000×g 离心 30 min, 上清液用 0.45 μm 的微孔滤膜过滤, 过滤液用分光光度计在 420 nm 波长下测吸光值<sup>[8]</sup>。

### 1.3.6 pH 值测定

采用 pH 计测定 pH 值, 采用 pH 值为 6.86 和 4.01 的标准缓冲液进行校正。

### 1.3.7 可溶性固性物测定

采用数字阿贝折光仪测定。测量用一次性塑料滴管取样品, 滴 2 滴样品于棱镜上进行测量。每次测量后都用蒸馏水清洗。

### 1.3.8 新绿原酸、儿茶素、绿原酸和阿魏酸的测定

采用 HPLC 法<sup>[9]</sup>测定酚类, 方法略有改动。流动相: A: 97.5%乙腈和 2.5%甲酸; B: 含 2.5%甲酸的超纯水。采取梯度洗脱方式, 流速为 0.8 mL/min。采用外标法, 在 280 nm 条件下测定。所有的果汁在进样前由甲醇稀释 (果汁: 甲醇, 1:4), 在 23 800 ×g, 4℃ 下离心 30 min 后, 取上清液经 0.45 μm 有机膜过滤。所有标品的标准曲线制作: 准确称取 5 mg 的标品, 溶解在甲醇溶液中, 定容到 5 mL 容量瓶中按不同的浓度梯度进行稀释。

### 1.3.9 抗氧化活性测定

清除 DPPH 能力测定: 参照孙建霞<sup>[10]</sup>的方法测定清除 DPPH 的能力。DPPH 溶于有机溶剂, 在 517 nm 处有最大吸收。试样与 DPPH 发生反应生成黄色物质, 在 517 nm 处吸光值降低, 根据加入试样前后的吸光值变化计算试样对 DPPH 的清除率。

$V_E$  (Trolox) 标准曲线: 采用 0.5% 三氟乙酸 (trifluoroacetic acid, TFA) 水和甲醇 (体积比为 7:3) 配置不同浓度 Trolox 标准溶液, 分别取 40 μL 与 DPPH 工作液在相同条件下反应, 测定吸光值。

铁还原能力 (ferric reducing/antioxidant power assay, FRAP): 参照孙建霞<sup>[10]</sup>的方法进行测定。其基本原理为:  $\text{Fe}^{3+}$ -三吡啶-三吡嗪 (tripyridyl-triazine, TPTZ) 可被试样中还原物质还原为  $\text{Fe}^{2+}$  而呈现蓝色, 并于 593 nm 处有最大吸收值。TPTZ 溶液: 0.3 mol/L 的醋酸缓冲液 (pH 值 3.6): 10 mmol/L TPTZ 溶液: 20 mmol/L  $\text{FeCl}_3$ =10:1:1 (体积比)。

Trolox 标准曲线: 采用无水甲醇配置不同浓度的 Trolox 标准溶液, 绘制标准曲线。

### 1.3.10 数据统计分析

所有试验均重复 3 次, 数据采用方差分析 (analysis of variance, ANOVA), 采用 Origin 7.5 进行统计并绘图; 显著水平  $p$  为 0.05, 当  $p < 0.05$

时,表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 HPCD 处理后 NFC 桃汁 pH 值和可溶性固形物的变化

如表 1 所示,未处理 NFC 桃汁的 pH 值为  $3.82 \pm 0.02$ ,可溶性固形物含量为  $10.3 \pm 0.1^\circ\text{Brix}$ 。HPCD 和热处理后 NFC 桃汁的 pH 值和可溶性固形物含量没有显著性变化。pH 值的变化与食品的酸味紧密相关。

表 1 HPCD 和热处理对 pH 值和可溶性固形物的影响

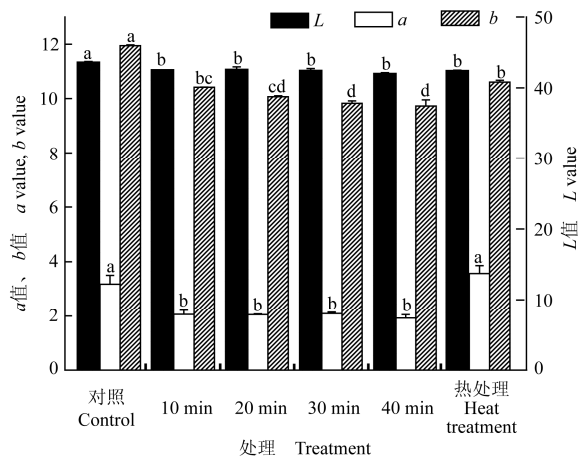
Table 1 Effects of HPCD and heat treatment on pH value and TSS of NFC peach juice

	对照 Control	HPCD 处理时间 HPCD treatment time/min				热处理 Heat treatment
		10	20	30	40	
pH value	$3.82 \pm 0.02a$	$3.83 \pm 0.01a$	$3.83 \pm 0.02a$	$3.78 \pm 0.03a$	$3.80 \pm 0.03a$	$3.82 \pm 0.03a$
可溶性固形物 TSS/ $^\circ\text{Brix}$	$10.3 \pm 0.1a$	$10.0 \pm 0.0a$	$10.3 \pm 0.0a$	$10.4 \pm 0.0a$	$10.4 \pm 0.0a$	$10.4 \pm 0.0a$

注:重复次数  $n=3$ ,不同字母表示同一行中有显著性差异 ( $p<0.05$ );HPCD 处理压力 30 MPa、温度 55℃,热处理温度 90℃,时间 1 min;下同。  
Note: Values are means  $n=3$ , Different letters represent the significant difference within the same row ( $p<0.05$ ); HPCD treatment for NFC was at 30 MPa and 55℃, while heat treatment was at 90℃ for 1 min. The same as below.

### 2.2 HPCD 处理后 NFC 桃汁颜色的变化

如图 1 所示,未处理 NFC 桃汁的  $L=43.62 \pm 0.09$ ,  $a=3.18 \pm 0.32$ ,  $b=11.95 \pm 0.03$ 。HPCD 处理后 NFC 桃汁的  $L$ 、 $a$  和  $b$  显著降低,  $L$  值的降低表明 NFC 桃汁的表观色泽的变暗,  $a$  和  $b$  值的下降表明红度和黄度降低。不同 HPCD 处理之间  $L$  和  $a$  值并没有显著差异,表明处理时间对 NFC 桃汁的  $L$  和  $a$  值没有影响。热处理后 NFC 桃汁的  $L$ 、 $b$  值显著降低,但  $a$  值并没有显著变化。Krapfenbauer 等<sup>[17]</sup>的研究表明当  $\Delta E > 2-3.5$  时,可以观察到肉眼可见的色泽变化。由图 2 可以看出, HPCD 处理后 NFC 桃汁的



注:重复次数  $n=3$ ;不同字母表示同一标注中有显著性差异 ( $p<0.05$ );10、20、30、40 min 为 HPCD 处理时间,处理压力 30 MPa、温度 55℃;热处理温度 90℃,时间 1 min,下同。  
Note: Values are means,  $n=3$ ; Different letters represent the significant difference ( $p<0.05$ ); HPCD treatment for NFC was at 30 MPa and 55℃ for 10, 20, 30, 40 min especially; while heat treatment was at 90℃ for 1 min. The same as below.

图 1 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁  $L$ 、 $a$  和  $b$  的影响

Fig.1 Effects of HPCD and heat treatment on  $L$ ,  $a$  and  $b$  value of NFC peach juice

Kincal<sup>[11]</sup>、Ferrentino<sup>[12]</sup>和 Damar<sup>[13]</sup>等也发现 HPCD 处理后,橙汁、苹果汁和椰子汁的 pH 值没有降低。但也有研究表明 HPCD 处理后样品 pH 值显著降低<sup>[14-15]</sup>。Garcia-Gonzalez<sup>[14]</sup>和廖红梅<sup>[15]</sup>发现 HPCD 处理后,食品体系中 pH 值降低。Zhou<sup>[3]</sup>等也发现 HPCD 处理后,胡萝卜汁的 pH 值从 6.74 降低到 5.95。本研究中 HPCD 处理后 NFC 桃汁的可溶性固形物含量没有变化,与前人研究结果一致<sup>[3,16]</sup>。

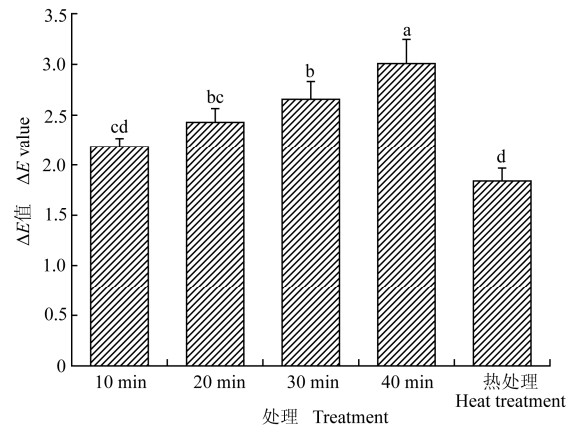


图 2 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁  $\Delta E$  值的影响

Fig.2 Effect of HPCD and heat treatment on  $\Delta E$  value of NFC peach juice

$\Delta E$  值均大于 2,  $\Delta E$  值随着处理时间的延长逐渐增大,而热处理后 NFC 桃汁的  $\Delta E$  值小于 2。

图 3 是 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁褐变指数

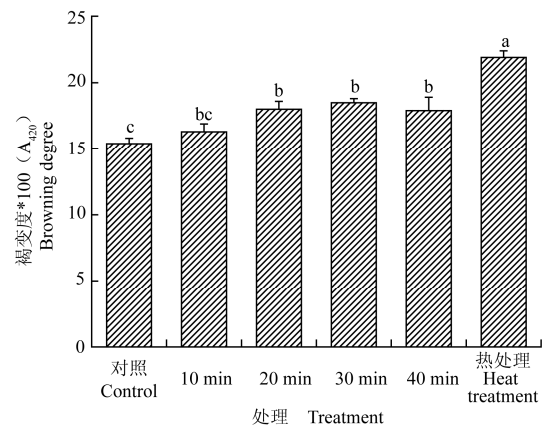


图 3 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁褐变度的影响

Fig.3 Effect of HPCD and heat treatment on browning degree value of NFC peach juice

BD 值的影响。HPCD 和热处理后 NFC 桃汁的 BD 值显著上升, 并且热处理后 NFC 桃汁的 BD 值显著高于 HPCD 处理。HPCD 处理后 NFC 桃汁 BD 值的上升与 L 值的降低, 同样表明了 HPCD 处理后样品的颜色变暗。BD 值随着 HPCD 处理时间的延长有增大的趋势, 但是处理时间分别为 10、40、60 min 的 HPCD 处理后样品 BD 值没有显著差异。

### 2.3 HPCD 处理后 NFC 桃汁酚类的变化

如表 2 所示, 采用 HPLC 法测定得到 NFC 桃汁中的酚类主要包括新绿原酸、儿茶素、绿原酸和阿魏酸, 含量分别为 25.45、13.79、14.54 和 1.60  $\mu\text{g/mL}$ , 其中新绿原酸的含量最多。Versari 等<sup>[6]</sup>测定了意大利 3 个桃品种中单酚主要有儿茶素、绿原酸、咖啡酸和异槲皮苷, 这表明不同产地的不同桃品种中的

酚类种类是不同的。由测定结果得出 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁中儿茶素、绿原酸、新绿原酸和阿魏酸的含量没有显著变化。

### 2.4 HPCD 处理后 NFC 桃汁抗氧化活性的变化

目前评价抗氧化能力的方法很多, 原理也不尽相同, 但没有一种抗氧化方法能够代替其他所有的方法全面而正确的评价某种复杂体系的抗氧化能力<sup>[10]</sup>。本研究选用了 FRAP 和 DPPH 清除率 2 种方法来评价 HPCD 处理后 NFC 桃汁抗氧化活性的变化。如图 4 和 5 所示, 使用 2 种方法测定后, 未处理 NFC 桃汁的抗氧化活性分别相当于 0.87 mmol/L 和 0.93 mmol/L Trolox, 2 种方法测定的结果都表明了 HPCD 和热处理后 NFC 桃汁的抗氧化活性显著增强, 并且变化趋势一致, 其中热处理后 NFC 桃汁抗氧化活性提高最多。

表 2 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁酚类的影响  
Table 2 Effects of HPCD and heat treatment on phenol of NFC peach juice

单酚种类 Phenol	对照 Control	HPCD 处理时间 HPCD treatment time/min				热处理 Heat treatment
		10	20	30	40	
新绿原酸 Neochlorogenic acid/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	25.45 $\pm$ 1.05ab	24.15 $\pm$ 0.63abc	23.13 $\pm$ 0.41bc	22.92 $\pm$ 0.27c	23.37 $\pm$ 0.66abc	25.78 $\pm$ 0.19a
儿茶素 (+)-catechin/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	13.79 $\pm$ 0.17a	13.75 $\pm$ 0.22a	13.67 $\pm$ 0.42a	13.51 $\pm$ 0.31a	13.82 $\pm$ 0.77a	15.35 $\pm$ 0.59a
绿原酸 Chlorogenic acid/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	14.54 $\pm$ 0.60a	14.42 $\pm$ 0.01a	14.13 $\pm$ 0.58a	14.51 $\pm$ 0.30a	14.88 $\pm$ 0.47a	15.71 $\pm$ 0.12a
阿魏酸 Ferulic acid/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	1.60 $\pm$ 0.18ab	1.54 $\pm$ 0.05b	1.44 $\pm$ 0.10b	1.48 $\pm$ 0.05b	1.54 $\pm$ 0.08b	1.92 $\pm$ 0.02a

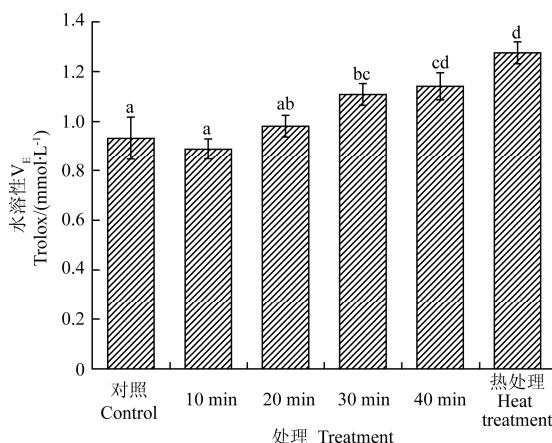
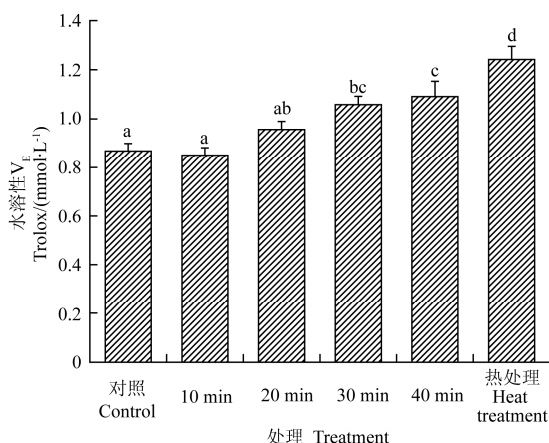


图 4 HPCD 和热处理对 NFC 桃汁 DPPH 清除能力和铁还原能力影响  
Fig.4 Effect of HPCD and heat treatment on antioxidant capacity of NFC peach juice

## 3 讨论

HPCD 处理后不同食品体系中 pH 值变化不同, 与样品初始 pH 值有关。当样品初始 pH 值较高时, HPCD 处理过程中 CO<sub>2</sub> 溶解到食品液体中, 解离成为碳酸氢根离子、碳酸离子和氢离子, 导致样品 pH 值降低<sup>[5]</sup>。而当样品的初始 pH 值较低时(3.3~4.2), 由于碳酸盐和碳酸氢盐的解离常数分别为 pKa=6.57 和 pKa=10.62<sup>[5]</sup>, 在这个低 pH 值下 CO<sub>2</sub>

溶解形成的碳酸很难解离成为氢离子, 因此样品的 pH 值没有变化。本研究中 NFC 桃汁的初始 pH 值为 3.82, 结果表明 HPCD 处理对其没有影响, 与上述讨论一致。HPCD 处理对 NFC 桃汁颜色的影响要大于热处理, 可能是由于 HPCD 处理时间要长于热处理。Kincal 等<sup>[11]</sup>研究了 HPCD 对橙汁色泽的影响, 发现 HPCD 处理后橙汁的 L 值显著提高, a 值显著降低, b 值没有显著变化, ΔE 值随着处理压力的提

高而降低。HPCD 处理后果汁颜色变化的不同可能与果汁体系的 pH 值、PPO 活性和本身颜色等性质有关。HPCD 处理后 NFC 桃汁的 BD 值升高, 而 BD 值变化主要与多酚氧化酶 (polyphenoloxidase, PPO) 引起的酶促褐变和非酶褐变有关。NFC 桃汁经过冷冻、解冻后会导致 PPO 酶部分失活, 而且 HPCD 对桃 PPO 具有良好的钝化效果, 研究表明 55℃、8 MPa 的条件下 HPCD 处理 30 min 后, NFC 桃汁中 PPO 完全钝化<sup>[18]</sup>。由此可以推断出, HPCD 处理后 NFC 桃汁的褐变主要由非酶褐变引起, 但是明确的褐变原因还需进一步研究与褐变相关的因素后才能确定。热处理 (90℃, 1 min) 是果汁加工中广泛应用的钝酶方式, 较高的温度虽然能达到钝酶的效果, 但同时会促进非酶褐变的进行, 因此热处理后样品褐变度要显著高于 HPCD 处理。

本研究中, HPCD 对 NFC 果汁中的酚类物质没有影响。徐增慧<sup>[9]</sup>的研究中, 连续式 HPCD 处理后苹果汁中的新绿原酸、儿茶素、表儿茶素、咖啡酸等酚类含量降低, 可能是由于果汁中残留的 PPO 活性以及温度对酚类的氧化造成<sup>[9]</sup>。Fabroni 等<sup>[19]</sup>发现 HPCD 处理后圆叶葡萄汁中的总花色苷含量从 1 275 mg/L 显著降低到 1 075~1 093 mg/L, 认为可能是由于 HPCD 处理没有完全钝化 PPO, 造成花色苷的降解。同时, 也有人发现 HPCD 对酚类物质没有影响, Ferrentino 等<sup>[20]</sup>报道了 HPCD 对葡萄汁的总酚没有影响, 在贮藏期内也没有发生变化。HPCD 处理对苹果汁和甜瓜汁中抗坏血酸和多酚也没有显著性影响<sup>[21-22]</sup>。HPCD 对不同原料中酚类物质的影响不同, 可能是由于 HPCD 对不同原料中 PPO 钝化效果不同引起。在本研究中 HPCD 能完全钝化 PPO, 并且处理过程 CO<sub>2</sub> 进入处理釜后能将氧气排出, 很好的保护了果汁中的酚类物质。抗氧化活性与果汁中抗氧化活性物质的种类和含量有关, 由于不同加工方式对果蔬汁的生物活性成分有提取效果, 从而导致果蔬汁抗氧化活性发生变化, 而抗氧化活性的变化也与食品原料有关<sup>[23]</sup>。Xu 等<sup>[24]</sup>的研究中发现 HPCD 能够加速紫甘蓝中花色苷的提取, 与常规酸法相比, 提取时间缩短一半, 传质系数  $kr \times a$  提高 2 倍。另外通常认为 HPCD 处理过程中由于 CO<sub>2</sub> 取代了 O<sub>2</sub>, 有益于食品中抗氧化成分的保护<sup>[24]</sup>。热处理后 NFC 桃汁抗氧化活性的提高一方面是由于热处理能钝化 PPO 酶活可以更好的保持酚类及其他抗氧化活性物质, 另一方面由于热处理对抗氧化物质的提取提高了抗氧化活性。

## 4 结 论

NFC 桃汁的 PH 值和可溶性固形物分别为 3.82 和

10.3°Brix, 高压 CO<sub>2</sub> 处理 HPCD 处理后值没有显著变化; HPCD 处理后 NFC 桃汁颜色变暗, 色泽参数  $L$ 、 $a$ 、 $b$  值显著降低, 对应的褐变度提高。NFC 桃汁中的主要酚类物质有儿茶素、绿原酸、新绿原酸和阿魏酸, 初始质量分数分别为 13.79±0.17、14.54±0.60、25.45±1.05 和 1.60±0.18 μg/mL, HPCD 处理后酚类物质含量没有显著变化。采用铁还原能力 FRAP 和 1,1-二苯基苦基苯肼 DPPH 清除率 2 种方法测定 NFC 桃汁的抗氧化活性, 2 种方法的测定结果都表明 HPCD 处理后 NFC 桃汁的抗氧化活性提高。本研究结果表明, HPCD 能较好的保持 NFC 桃汁的品质。

## 【参 考 文 献】

- [1] 廖小军. 果蔬汁非热力加工技术进展[J]. 饮料工业, 2002, 5(6): 4—7.
- [2] 廖红梅, 廖小军, 胡小松, 等. 影响 DPCD 技术杀菌效果的因素与杀菌机理分析[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(1): 96—99.
- [3] Zhou L, Wang Y, Hu X, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2009, 10(3): 321—327.
- [4] Spilimbergo S, Bertucco A. Non-thermal bacteria inactivation with dense CO<sub>2</sub>[J]. *Biotechnol Bioeng*, 2003, 84(6): 627—638.
- [5] Damar D, Blaban M O. Review of dense phase CO<sub>2</sub> technology: microbial and enzyme inactivation, and effects on food quality[J]. *J Food Sci*, 2006, 71(1): 1—11.
- [6] Versari A, Castellari M, Parpinello G P, et al. Characterisation of peach juices obtained from cultivars Redhaven, Suncrest and Maria Marta Grown in Italy[J]. *Food Chem*, 2002, 76(2): 181—185.
- [7] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 239—240.
- [8] Roig M G, Bello J F, Riera Z S, et al. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice[J]. *Food Res Int*, 1999, 32(9): 609—619.
- [9] 徐增慧. 连续式高压二氧化碳对苹果汁杀菌、钝酶以及品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2010. Xu Zenghui. Effects of Continuous High Pressure CO<sub>2</sub> on Microflora, Enzymes and Related Qualities of Cloudy Apple Juice[D]. Beijing: China Agricultural University, 2010(in Chinese with English abstract)
- [10] 孙建霞. 高压脉冲电场对矢车菊素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-槐糖苷的稳定性影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010. Sun Jianxia. Effects of Pulsed Electric Field Treatment on Stabilities of Cyaniding-3-Glucoside and Cyaniding-3-Sophorosid[D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [11] Kincal D, Hill W S, Balaban M, et al. A continuous high-pressure carbon dioxide system for cloud and quality retention in orange juice[J]. *J Food Sci*, 2006, 71(6): 338—344.
- [12] Ferrentino G, Bruno M, Ferrari G, et al. Microbial inactivation and shelf life of apple juice treated with high pressure carbon dioxide[J]. *J Biol Eng*, 2009, 3(1): 3—9.
- [13] Damar S, Balaban M O, Sims C A. Continuous dense-phase CO<sub>2</sub> processing of a coconut water beverage[J]. *Int J Food Sci Tech*, 2009, 44(4): 666—673.
- [14] Garcia-Gonzalez L, Geeraerd A H, Elst K, et al. Inactivation of naturally occurring microorganisms in

- liquid whole egg using high pressure carbon dioxide processing as an alternative to heat pasteurization[J]. *J Supercrit Fluid*, 2009, 51(7): 74–82.
- [15] 廖红梅, 周林燕, 廖小军, 等. 高密度二氧化碳对牛初乳的杀菌效果及对理化性质影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(4): 260–264.
- Liao Hongmei, Zhou Linyan, Liao Xiaojun, et al. Effects of dense phase carbon dioxide on sterilization and physical-chemical properties of bovine colostrum[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(4): 260–264. (in Chinese with English abstract)
- [16] Niu S, Xu Z H, Fang Y D, et al. Comparative study on cloudy apple juice qualities from apple slices treated by high pressure carbon dioxide and mild heat[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2010, 11(1): 91–97.
- [17] Krapfenbauer G, Kinner M, Gossinger M, et al. Effect of thermal treatment on the quality of cloudy apple juice[J]. *J Agr Food Chem*, 2006, 54(15), 5453–5460.
- [18] 王媛媛. HPCD 钝化 PPO 动力学比较与结构分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
- Wang Y. HPCD Inactivation PPO Kinetics Comparison and Structure Study[D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [19] Fabroni S, Amenta M, Timpanaro N, et al. Supercritical carbon dioxide-treated blood orange juice as a new product in the fresh fruit juice market[J]. *J Agr Food Chem*, 2010, 11(3): 477–484.
- [20] Ferrentino G, Plaza M L, Ramirez-Rodrigues M, et al. Effects of phase carbon dioxide pasteurization on the physical and quality attributes of a red grapefruit juice[J]. *J Food Sci*, 2009, 74(6), 333–341.
- [21] Gasperi F, Aprea E, Biasoli F, et al. Effects of supercritical CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O pasteurisation on the quality of fresh apple juice[J]. *Food Chem*, 2009, 115(1): 129–136.
- [22] Chen J L, Zhang J, Song L J, et al. Changes in microorganism, enzyme, aroma of hami melon (*Cucumis melo* L.) juice treated with dense phase carbon dioxide and stored at 4°C[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2010, 11(4): 623–629.
- [23] 张文佳. 高静压对树莓汁品质影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
- Zhang W. Effect of High Hydrostatic Pressure on Quality of Raspberry Juice[D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [24] Xu Z Z, Wu J H, Zhang Y, et al. Extraction of anthocyanins from red cabbage using high pressure CO<sub>2</sub>[J]. *Bioresource Technol*, 2010, 101(18): 7151–7157.

## Maintaining quality of not from concentrate peach juice by high pressure carbon dioxide treatment

Zhou Linyan<sup>1,2</sup>, Wang Yongtao<sup>1</sup>, Liu Fengxia<sup>1</sup>, Bi Xiufang<sup>1</sup>, Liao Xiaojun<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In the juice industry, thermal treatment is the most common and least expensive technology for pasteurization or sterilization. Unfortunately, the method easily leads to degradation of some product qualities as well. HPCD (high pressure carbon dioxide) has been reported as an alternative cold pasteurization technique for foods, since it could effectively inactivate microorganisms and enzymes in liquid food. Some detrimental effects of HPCD on food quality have been reported. But compared to traditional techniques, HPCD avoids drawbacks such as lack of retention of flavor, denaturation of nutrients, of production of side toxic reactions, as well as changes in physical, mechanical, and optical properties of the material involved in the treatment. In this study, the effects of HPCD on NFC (Not from concentrate) peach juice quality were investigated, and temperature, pressure, and time were proposed as the main parameters. The pH value and the total soluble content of untreated NFC peach juice were 3.82 and 10.3°Brix, respectively. HPCD had no effect on the pH values and total soluble contents. This was possibly attributed to a lower pH (3.82) in the original juices. At this pH the carbonic acid formed by CO<sub>2</sub> dissolution into juices with difficulty dissociated into free hydrogen ions, because the dissociation constants of carbonic acid and bicarbonate were  $pK_a=6.57$  and  $pK_a=10.62$ , respectively. The L, a, b values of color parameters was decreased while browning degrees were increased in HPCD-treated juice, possibly due to the non-enzyme browning during HPCD. Thereafter, it was found that the polyphenol oxidase was susceptible to HPCD. The main phenolic compounds in the NFC juice were (+)-catechin, chlorogenic acid, neochlorogenic acid, and ferulic acid measured by HPLC, and the results showed that HPCD had no effect on the phenolic compounds. Moreover, the antioxidant capacities of NFC juice after HPCD were enhanced with increasing treatment time measured by FRAP and DHHP, possibly due to the extraction of antioxidant substances and inhibited oxidation of phenolic compounds in NFC peach juice. HPCD was expected to be an alternative technology for NFC juice processing, which could better maintain the quality of NFC juice.

**Key words:** processing, quality control, high pressure effect, high pressure CO<sub>2</sub>, NFC peach juice

(责任编辑: 刘丽英)