

## 유동 초고압 공정을 이용한 오렌지 주스의 보존성 향상

원진성 · 민세철\*

서울여자대학교 식품공학과

### Improvement of Orange Juice Preservation by Dynamic High-Pressure Processing

Jin Seong Won and Sea Cheol Min\*

Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

#### Abstract

Effects of dynamic high-pressure (DHP) treatments with and without integration with heating on microbial stability, vitamin C concentration, color, sugar content, and pH of orange juice were studied and compared with those of the conventional thermal treatment. Freshly squeezed orange juice was heated at 90°C for 1 min or DHP-treated at 205 MPa and 20, 50, 60, or 70°C. The DHP treatment at 20°C without heating and the treatment at 50°C inactivated indigenous mesophilic aerobic microorganisms in orange juice by 4.2 and >7 log CFU/mL, respectively. The DHP-treated juice exhibited brighter color and higher vitamin C concentration and sugar content than the thermally treated juice, regardless of integration with heating. The DHP-treated juice demonstrated brighter color and higher sugar contents than untreated juice and thermally treated juice during storage at 4°C for 63 days. The results have demonstrated the potential of applying DHP treatments to pasteurize orange juice with increasing brightness and sugar content of the juice.

**Keywords:** non-thermal, dynamic high pressure, orange juice, pasteurization, preservation

#### 서 론

오렌지 주스는 미국과 서유럽에서 과일주스 소비의 60% 이상을 차지하는 가장 판매가 많이 되는 주스이다(Sánchez-Moreno et al., 2005; Pareek et al., 2015). 한국의 경우에도 과일 음료 판매액 점유율이 오렌지 주스(32.3%), 포도 주스(17.2%), 감귤 주스(14.5%), 사과 주스(7.2%), 과일 채소 혼합 주스(5.5%) 순으로서 주스 제품 중 오렌지 주스의 소비가 가장 높다(Korea Agricultural Trade Information, 2015). 오렌지 주스는 당도와 유기산의 함량이 높아 단맛과 신맛이 잘 어우러져 있고 비타민 C와 베타카로틴 등의 항산화 성분이 풍부하다(Sohn et al., 2006; Park et al., 2012). Polydera et al. (2004)은 오렌지 주스를 지속적으로 섭취하게 되면 주스 내 항산화 성분으로 인하여 신경과 심혈관 질환을 예방 할 수 있다고 보고 하였다.

하지만 오렌지 주스 소비와 관련된 식중독의 사고가 꾸

준히 보고되고 있어 오렌지 살균과 관련된 기술의 발전이 계속해서 요구되고 있다(Aneja et al., 2014). 오렌지 주스의 살균은 주로 95°C에서 15초 또는 90°C에서 1분 조건으로 가열처리를 사용하고 있으나(Sánchez-Moreno et al., 2003), 가열처리 하는 동안 주스에 유입되는 열에 의해 주스의 관능적 특성과 영양적 특성이 부정적으로 변화하는 것으로 알려졌다(Polydera et al., 2003; Lee et al., 2013).

Dynamic high-pressure (DHP, 유동 초고압) 공정은 액체 식품에 적용할 수 있는 비열처리 살균공정이다(Tahiri et al., 2006). DHP 공정에서 처리되는 시료는 빠른 속도로 장비의 관 내부를 이동하다 좁은 통로 구조의 챔버를 통과하게 되면서 여러 물리적 작용(압력 강하, 전단응력, 공동현상(cavitation), 충돌)을 복합적으로 받게 되고, 이때 시료 내 미생물은 세포벽의 붕괴 또는 세포질의 유출 등으로 사멸하게 된다(Gogate & Pandit, 2008; Dumay et al., 2013; An et al., 2015). DHP는 주스의 미생물 안전성을 높여주면서도 고유의 영양, 색, 맛을 보존할 수 있기 때문에 (Patrignani et al., 2010; Maresca et al., 2011), 소비자의 요구를 충족시키는 오렌지 주스를 제조할 경우의 살균 방법으로 적용될 수 있는 가능성이 있다. 250-300 MPa 압력의 DHP로 오렌지 주스에 접종된 *Saccharomyces cerevisiae*와 *Lactobacillus plantarum*을 5 log CFU/mL 이상 저해시켰고

\*Corresponding author: Sea Cheol Min, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, 623 Hwarangno, Nowon-gu, Seoul, 139-774, Korea  
Tel: +82-2-970-5635; Fax: +82-2-970-5977  
E-mail: smin@swu.ac.kr  
Received September 24, 2015; revised October 20, 2015; accepted October 20, 2015

(Campos & Cristianini, 2007), 300-MPa DHP로 역시 오렌지 주스에 접종된 *Escherichia coli* O58:H21 ATCC 10536과 *E. coli* O157:H7 CCUG 44857을 4 log CFU/mL 저해시켰다는 보고가 있었다(Briñez et al, 2006). 그러나 오렌지 주스 살균의 효율성 향상을 위한 열처리와 병합된 DHP 처리의 개발과 열병합된 DHP 처리의 효과에 대한 보고는 거의 없는 실정이다. 본 연구의 목표는 오렌지 주스 내 토착 미생물의 효과적인 저해를 위한 열처리와 병합된 DHP 처리의 조건을 결정하고, DHP 처리(단일 또는 열병합)와 기존 열처리가 4°C 저장 중 오렌지 주스의 미생물 안정성과 품질(비타민 C, 색, 당도, pH)에 미치는 영향을 결정하고 비교하는 것이었다.

## 재료 및 방법

### 재료

12°Bx 이상인 발렌시아 품종의 오렌지를 수확 후 바로 착즙하고 급속 냉동하여 제조된 오렌지 주스 제품(Fresh Frozen Natalie's Orange Juice, Orchid Island Juice Co., Fort Pierce, FL, USA)을 본 연구의 주스 재료로 사용하였다.

### DHP 장비

DHP 장비(D.O.S. Inc., Siheung, Korea)는 기본적으로 유압에 의해 구동되는 장비로서 유압동력 펌프부(너비×직경×높이: 0.7×0.6×1.2 m)와 시료가 투입되고 처리되는 구동부(너비×직경×높이: 0.8×0.65×0.25 m)로 구성되어 있다. 구동부는 가열된 열교환기(Woori Tech, Seoul, Korea)의 장착으로 주입온도 조절이 가능한 주입탱크, 유압식 실린더, Z 형태 처리 챔버, 냉각용 열교환기(D.O.S. Inc.), 그리고 프로그램 가능 로직 제어기(PLC) 상자로 구성되어 있다. 주스는 항온수조를 이용하여 1.5분간 35°C까지 선 가열된 후 주입탱크의 열교환기를 이용해 50, 60, 그리고 70°C로 가열되었다. 주스 시료가 50, 60, 그리고 70°C로 가열되는 데까지는 각각 3, 7, 그리고 12분이 소요되었다. 주스의 배출온도는 냉각용 열교환기를 이용해 조절되었고 모든 시료들의 배출온도는 8.0±0.6°C이었다.

### 토착 미생물 저해 실험

오렌지 주스 내 존재한 토착 미생물이 열처리와 DHP 처리(단일 또는 열병합)에 의해 얼마나 저해되는지를 측정하였다. 열처리와 DHP 처리 전의 오렌지 주스는 37°C의 배양기(VS-1203P1, Vision Scientific Co., Bucheon, Korea)에서 이틀간 방치되었고, 7.4-7.9 log CFU/mL의 중온 호기성 미생물 수를 가졌다. 열처리에 의한 주스 내 토착 미생물의 저해 효과를 알아보기 위해 오렌지 주스를 기존 오렌지 주스 열처리 조건 중 하나인 90°C, 1분 조건(Sánchez-

Moreno et al., 2003)으로 고압증기 멸균기(JSAC-60, JS Research Inc., Gongju, Korea)를 이용해 처리하여 열처리 주스를 준비하였다. 단일 DHP 처리를 통한 오렌지 주스의 토착 미생물 저해 효과를 알아보기 위하여 주입온도 20°C의 오렌지 주스를 205 MPa의 압력으로 1, 2, 3 패스 처리한 시료를 준비하였고(단일 DHP 처리 주스), 열처리와 병합된 DHP 처리의 효과를 알아보기 위하여 50, 60, 70°C 주입온도에서 205 MPa 압력으로 3 패스 처리한 시료를 준비하였다(열병합 DHP 처리 주스). 상대적으로 열 유입이 적은 50°C를 이용한 병합 처리에서는 3 패스뿐만 아니라 1과 2 패스 모두 사용하여 처리 시간의 영향을 관찰하려 하였다. 주스의 주입온도는 상기 기술된 방법에 따라 조절되었다. DHP 처리 효과를 제외하고 열처리만의 효과를 알아보기 위해서 시료 주입온도를 20, 50, 60, 그리고 70°C로 맞춘 후 압력 처리 없이 3 패스 처리하였다.

단일 DHP 처리, 열병합 DHP 처리, 열처리 주스를 0.1% peptone water로 희석한 후에 plate count agar (PCA)와 plate dextrose agar (PDA)배지에 평판도말 하여 각각 중온 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이를 계수하였다. PCA 배지는 37°C에서 48시간 동안 배양하였고, PDA 배지는 25°C에서 3일간 배양하였다. PCA, PDA, peptone water 모두 Difco Laboratories (Detroit, MI, USA)에서 구매하였다.

### 저장 실험

멸균된 폴리프로필렌 튜브 (15 mL) (SPL 50015 conical tube, SPL Life Sciences Co., Pocheon, Korea)에 단일 DHP 처리 주스, 열병합 DHP 처리 주스, 열처리 주스, 그리고 DHP 처리와 열처리 모두 하지 않은 오렌지 주스(무처리 주스)를 공기층이 최소가 되도록 충전한 후 4°C에서 저장하면서 저장 0, 7, 14, 21, 28, 35, 49, 그리고 63일 차에 주스의 미생물 저장 안정성, 비타민 C 함량, 색, 당도, pH를 측정하고 비교하였다. 열처리는 '토착 미생물 저해 실험'에서 사용한 조건과 동일하게 이루어졌고, 단일 DHP 처리는 주입온도가 20°C인 주스를 205 MPa 압력으로 3 패스 처리하여 이루어졌으며, 열병합 DHP 처리는 주입온도가 50°C인 주스를 205 MPa 압력으로 3 패스 처리하여 수행되었다.

### 미생물 저장 안정성

미생물 저장 안정성은 저장 중 오렌지 주스 내 존재하는 중온 호기성 미생물 수와 효모 및 곰팡이 수를 '토착 미생물 저해 실험'에서 설명된 방법과 동일한 방법을 통해 구하여 결정되었다.

### 비타민 C 측정

High-performance liquid chromatography (HPLC, Agilent

1100 series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 Kim et al. (2004)의 방법으로 측정하였다. 오렌지 주스를 22°C에서 10분간 12,500 g로 원심분리(Supra 22K, Hanil Science Industrial, Incheon, Korea)하여 얻은 상층액을 0.45 µm filter (Whatman 6750-2504 syringe filter, Piscataway, NJ, USA)를 통해 여과한 후 비타민 C 분석 시료로 사용하였다. 분석 시료 20 µL를 0.6 mL/분으로 흐르는 5 mM tetrabutylammonium phosphate:acetonitrile (75:25 v/v) 이동상에 주입하여 UV-Vis detector (G1315B, Agilent Technologies)로 254 nm 파장에서 분석하였다. Column (Symmetry® C18, 5 µm, 4.6 mm×250 mm I.D., Waters Co., Milford, MA, USA)은 column oven (G1316A, Agilent Technologies)을 이용하여 25±2°C의 온도로 유지시켰다.

### 색 측정

색차계(Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)의 측정부위에 오렌지 주스 시료 3 mL을 채운 petri dish (35 mm 직경)를 올리고 그 위에 표준 백색판(Calibration Plate CR-400)을 올린 후 Hunter  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값을 측정하였다. 색차계 측정에는 D65와 10°가 이용되었다. 오렌지 주스 시료의 색은  $L^*$  값을 이용해 비교되었다(Min et al., 2003a).

### 당도 및 pH 측정

주스 시료의 당도는 휴대용 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, pH는 pH meter (FiveEasy™ Plus, Mettler Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

### 통계 분석

단일 DHP 처리 주스, 열병합 DHP 처리 주스, 열처리 주스, 그리고 무처리 주스의 토착 미생물 저해와 4°C 저장 중 주스의 미생물 안정성과 품질(비타민 C, 색, 당도, pH) 측정 실험은 2회 반복되었고 1회의 반복마다 4회씩 측정이 이루어졌다. SPSS (Ver. 20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각각의 표본에 대한 평균값의 차이를 분산분석법(ANOVA)으로 분석하였고, 유의차가 확인된 경우에 Tukey 다중범위 검증을 실시하였다( $\alpha=0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 토착 미생물 저해 실험

기존의 열처리를 이용하여 오렌지 주스를 처리하였을 때 토착 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이가 모두 7 log CFU/mL 이상 저해되었다(최소검출한계: 10 CFU/mL). 주입 온도 20°C의 오렌지 주스를 DHP를 이용하여 압력처리 없이

단순히 1, 2, 또는 3 패스 통과시켰을 때 미생물 수는 패스의 횟수와 상관없이 처리 전의 미생물 수와 유의적으로 차이가 나지 않았다( $p>0.05$ ). 오렌지 주스의 주입 온도를 50, 60, 그리고 70°C로 조절하여 압력처리 없이 DHP 처리 장치에서 1, 2, 또는 3 패스 통과시켰을 경우에도, 오렌지 주스 내 토착 미생물 수는 패스의 횟수와 상관없이 처리 전과 유사하였으며( $p>0.05$ ), 각각 7.7±0.1, 2.5±0.9, 그리고 2.4±0.1 CFU/mL이었다(데이터 미포함). 이것은 초기 주스 온도 조절은 미생물 저해에 직접적인 영향을 미치지 않지만 주스를 압력처리 없이 단순히 DHP 처리 장비에 통과시키는 것은 미생물 저해에 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다.

단일 DHP 처리와 열병합 DHP 처리의 오렌지 주스 내 토착 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이 저해에 대한 영향을 각각 Fig. 1과 2에 나타내었다. 단일 DHP 처리를 이용하여 주입 온도가 20°C인 오렌지 주스를 205 MPa 압력으로 3 패스 조건으로 처리하였을 때 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이는 각각 4.2±0.2 log CFU/mL과 4.1±0.2 log CFU/mL 저해되었다(Figs. 1, 2). 이를 통해 단일 DHP 처리가 열처리보다 오렌지 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이를 저해시키는 효과가 상대적으로 낮다는 것을 알 수 있었다. 주입 온도가 20°C인 오렌지 주스 시료를 205 MPa 압력에서 단일 DHP 처리할 때 패스 횟수가 1에서 3으로 증가하면서 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 저해 정도 또한 증가하였다(Figs. 1, 2). Patrignani et al. (2010) 또한 DHP를 이용하여 100 MPa 압력에서 8 패스 조건으로 당근 주스와 살구 주스를 처리했을 때 패스 횟수 증가와 함께 미생물 저해 정도가 증가하였다고 보고하였는데, 이는 패스가 증가할수록 시료의 DHP 처리 시간이 증가하기 때문으로 설명될 수 있다.

오렌지 주스를 205 MPa 압력에서 각각 1, 2, 3 패스 처리 할 때 주스의 주입 온도가 20°C에서 50°C로 증가할 경우 미생물 저해 정도도 유의적으로 증가하는 것을 알 수 있었다( $p<0.05$ ) (Figs. 1, 2). 오렌지 주스를 단독 DHP 처리를 통해 20°C의 주입 온도에서 1 패스 처리하였을 때와 50°C의 주입 온도에서 열병합 DHP 처리를 통해 1 패스 처리하였을 경우를 비교하였을 때, 호기성미생물과 효모 및 곰팡이의 저해 정도가 각각 2.2와 2.9 log CFU/mL로 증가하였다( $p<0.05$ ) (Figs. 1, 2). 이를 통해 시료 주입 온도가 열병합 DHP 처리의 미생물 저해 효과를 결정하는 주요 변인임을 알 수 있었다. 3 패스 DHP 처리에서 주입 온도를 20°C에서 50°C로 증가시켰을 때 미생물 저해 정도가 유의적으로 증가하였다( $p<0.05$ ) (Figs. 1, 2). 그러나 이미 50°C에서 미생물이 충분히 저해되었기 때문에 60°C와 70°C에서는 주입 온도의 상승에 따른 미생물 저해 증가를 확인할 수 없었다(Figs. 1, 2). 주입 온도 50, 60, 또는 70°C의 오렌지 주스를 205 MPa 압력으로 3 패스 처리하였을 때 모두 7 log CFU/mL 이상의 토착 미생물 저해를 보여(최소검출

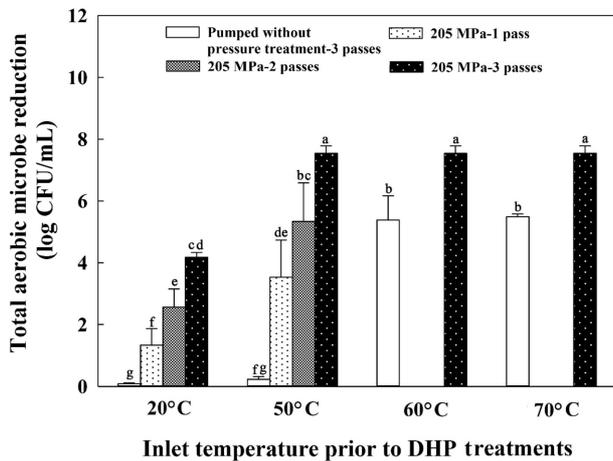


Fig. 1. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on the inhibition of total aerobic microbe in orange juice. Different letters on the top of each column indicate the differences at the significant level of 0.05.

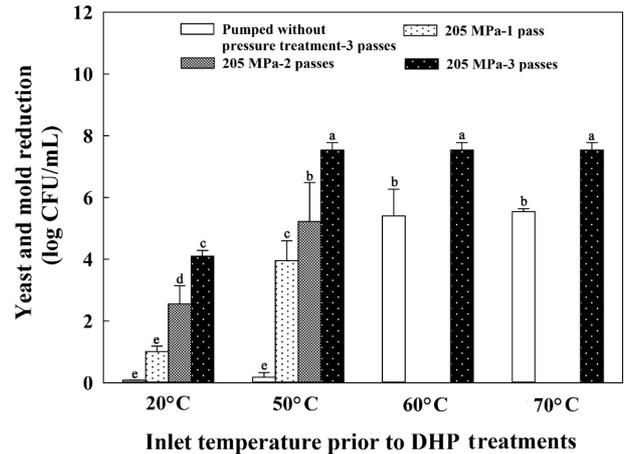


Fig. 2. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on the inhibition of yeast and mold in orange juice. Different letters on the top of each column indicate the differences at the significant level of 0.05.

한계: 10 CFU/mL) (Figs. 1, 2) DHP 처리가 이들 온도에서의 열처리와 병합되었을 때 기존의 열처리(90°C, 1분)와 비슷한 수준으로 주스의 토착 미생물을 저해한다는 것을 알 수 있었다. Ferragut et al. (2015) 또한 아몬드 음료를 열병합 DHP 처리(투입온도 55°C, 200 MPa)하였을 때 열처리(90°C, 90초)를 통해 얻어진 토착 미생물 저해 수준과 유사한 수준의 저해 효과를 보았다고 보고하였다.

오렌지 주스에 열처리를 한 후 DHP 처리를 하는 열병합 DHP 처리는 토착 미생물 저해에 있어서 상승효과를 보여주었다. 열병합 DHP (50°C 투입온도, 205 MPa 처리압력) 처리로 1, 2, 3 패스 처리하여 얻은 호기성 미생물의 저해 정도(3.5±1.2, 5.3±1.2, 7.5±0.2 log CFU/mL)는 투입온도 50°C에서 압력처리 없이 DHP에 통과하여 얻은 호기성미생물 저해 정도(0.2±0.1 log CFU/mL)를 단일 DHP

(205 MPa) 처리로 1, 2, 3 패스 처리하여 얻은 호기성 미생물의 저해 정도(1.3±0.5, 2.5±0.6, 4.2±0.2 log CFU/mL)에 각각 합한 것(~1.5, ~2.7, ~4.4 log CFU/mL) 보다 컸다 (Fig. 1). 이러한 상승효과는 효모 및 곰팡이 저해 결과에서도 볼 수 있었다(Fig. 2). 단일 DHP 처리에 비해 열병합된 DHP 처리의 미생물 저해가 효과적인 이유는 미생물이 열에 먼저 노출되면서 미생물 세포벽과 내부에 변성이 일어나고 압력에 대한 저항성이 낮아져(Pflug et al., 2001) DHP 처리의 물리적 작용(Diels et al., 2005)에 대해 취약해졌기 때문으로 사료되었다.

#### 미생물 안정성

단일 DHP 처리, 열병합 DHP 처리, 열처리의 저장 중 오렌지 주스의 중온 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 수

Table 1. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments<sup>1)</sup> and the conventional heating<sup>2)</sup> on the total aerobic plate counts and the yeast and mold counts of orange juice during storage at 4°C for 63 days

Storage time (day)	Total aerobic plate counts (log CFU/mL)				Yeast and mold counts (log CFU/mL)			
	Control	Conventional heating	DHP treatment only	Heating-combined DHP treatment	Control	Conventional heating	DHP treatment only	Heating-combined DHP treatment
0	<sup>3)</sup> 3.3 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	1.9 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>	3.2 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	1.8 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>
7	3.7 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.0 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>	3.7 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.0 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>
14	4.2 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.0 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>	4.1 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.1 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>
21	4.9 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.1 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>	4.6 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.2 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>
28	5.4 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.2 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>	5.3 <sup>a</sup>	<1 <sup>c</sup>	2.3 <sup>b</sup>	<1 <sup>c</sup>
35	<sup>4)</sup> ND	<1 <sup>b</sup>	2.2 <sup>a</sup>	<1 <sup>b</sup>	ND	<1 <sup>b</sup>	2.3 <sup>a</sup>	<1 <sup>b</sup>
49	ND	<1 <sup>b</sup>	2.3 <sup>a</sup>	<1 <sup>b</sup>	ND	<1 <sup>b</sup>	2.4 <sup>a</sup>	<1 <sup>b</sup>
63	ND	<1 <sup>b</sup>	2.5 <sup>a</sup>	<1 <sup>b</sup>	ND	<1 <sup>b</sup>	2.5 <sup>a</sup>	<1 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 50°C, respectively.

<sup>2)</sup>Conventional heating temperature and time were 90°C and 1 min, respectively.

<sup>3)</sup>Values with different letter superscripts are significantly different each other at  $p < 0.05$ .

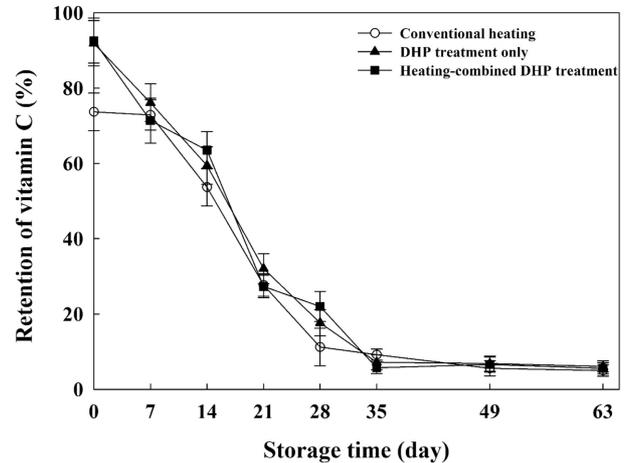
<sup>4)</sup>Not determined.

에 대한 영향을 Table 1에 나타내었다. 저장 기간 중 증온 호기성 미생물 수와 효모 및 곰팡이 수가 유사한 것을 보아(Table 1), 대부분의 호기성 미생물이 효모 및 곰팡이인 것을 알 수 있었다. 저장 기간 중 단일 DHP 처리는 열처리 보다 오렌지 주스의 토착 미생물 저해 효과가 낮았지만 열병합 DHP 처리는 열처리와 동등한 저해 효과를 보였다(Table 1). 무처리 주스의 호기성 미생물과 효모 및 곰팡이의 수들보다 단일 DHP 처리한 오렌지 주스의 미생물 수들이 각 저장 기간에서 유의적으로 적게 나타났으므로 DHP 처리가 오렌지의 미생물 안정성을 높인다는 것을 알 수 있었다. DHP 처리 시료에서 미생물 안정성이 증가하는 것은 DHP 처리로 인해 세포가 손상된 미생물들이 냉장환경에서의 증식과 회복하는 기능을 상실하였기 때문으로 판단되었다(Patrignani et al., 2010). 본 결과를 통해 DHP 처리가 기존에 오렌지 주스의 미생물 안정성을 증가시키기 위해 사용되어왔던 열처리 살균을 대체할 새로운 살균 기술임을 확인할 수 있었다. Velázquez-Estrada et al. (2012)도 오렌지 주스를 DHP (200 또는 300 MPa 압력) 처리 또는 열처리(90°C, 1분)한 후 4°C에 저장하였을 때, 200 MPa에서 처리된 주스는 아무 처리도 하지 않은 주스보다 미생물 안정성이 높았고, 300 MPa에서 처리된 주스는 열처리 오렌지 주스와 동등한 미생물 안정성을 보였다고 보고하면서 DHP 처리를 오렌지 주스 살균에 사용될 수 있는 새로운 기술로서 제시하였다.

### 비타민 C

단일 DHP 처리, 열병합 DHP 처리, 열처리의 저장 중 오렌지 주스의 비타민 C 농도 유지에 대한 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 저장 0일(처리 직후)의 무처리 주스와 단일 DHP 또는 열병합 DHP 처리 주스의 비타민 C 농도는 서로 차이가 없었다( $p>0.05$ ) (Fig. 3). 반면에 열처리 주스의 비타민 C 농도는 무처리 주스에 비해 28% 감소되었음을 알 수 있었다( $p<0.05$ ) (Fig. 3). 열에 의해 파괴되는 비타민 C는 공정 중 열 유입 정도가 클수록 높다(Polydera et al., 2003). 단일 DHP와 열병합 DHP 처리 중에는 열유입이 크지 않아 비타민 C가 파괴되지 않았던 것으로 사료되었고 이를 통해 단일 DHP와 열병합 DHP 처리가 오렌지 주스의 비타민 C 파괴를 줄이는 주스 살균 방법으로 적용될 수 있음을 알 수 있었다. 유사한 결과가 Suárez-Jacobo et al. (2011)에 의해 보고되었는데, DHP (투입온도 20°C, 300 MPa) 처리된 사과 주스가 열처리(90°C, 4분)된 사과 주스 보다 비타민 C 함량이 유의적으로 높았다.

그러나 단일 DHP 또는 열병합 DHP 처리 주스의 초기 높은 비타민 C 농도는 저장 중 유지되지 않았고 저장 7일부터 이들 주스들의 비타민 C 농도는 열처리 주스 및 무처리 주스의 비타민 C 농도와 유의적으로 차이가 나지 않게 되었다( $p>0.05$ ) (Fig. 3). 이것은 주스 비타민 C 저장의



**Fig. 3.** Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on the vitamin C retention in orange juice during storage at 4°C for 63 days. DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 50°C, respectively. Conventional heating temperature and time were 90°C and 1 min, respectively. The retention was determined based on the concentration of vitamin C in untreated orange juice on day 0.

주원인이 되는 산화(Buttery et al., 1990; Braddock, 1999)가 포장된 주스 내에서 많이 일어나 가공 방법에 의한 비타민 C 농도 차이를 압도하였기 때문으로 생각되었다. 따라서 질소 치환이나 산소투과율이 낮은 포장재 사용 등 포장 내 존재하는 산소 농도를 낮추는 방법들을 적용하면 단일 DHP 또는 열병합 DHP 처리 주스의 초기 높은 비타민 C 농도를 저장 중 유지시키는데 도움이 될 것으로 사료되었다(Min et al., 2003b).

### 색

단일 DHP 처리, 열병합 DHP 처리, 열처리의 저장 중 오렌지 주스의 Hunter  $L^*$  (밝기)에 대한 영향을 Fig. 4에 나타내었다. 0일의 단일 DHP 또는 열병합 DHP 처리 주스의 밝기는 무처리 주스와 비교하여 상승하였다( $p<0.05$ ). 저장 기간 동안 단일 DHP 또는 열병합 DHP 처리 주스는 열처리 주스보다 높은 밝기를 유지하였다( $p<0.05$ ) (Fig. 4). 오렌지 주스 내에 펙틴 물질과 펙틴-단백질 결합물들이 서로 응집되어 존재하는데 이러한 응집물들이 분리되면 주스의 밝기가 증가된다(Karaçam et al., 2015). DHP 처리는 주스 내 응집물들을 분리시키고(deagglomeration) 펙틴과 같은 고분자 물질을 저분자화(depolymerization) 시킬 수 있으므로(Lopez-Sanchez et al., 2011), 주스의 밝기를 증가시킬 수 있었을 것으로 생각되었다.

처리 직후 그리고 저장 중 열처리 주스의 색이 무처리 주스의 색보다 어두운 것을 알 수 있었다( $p<0.05$ ) (Fig. 4). Cortés et al. (2008)은 가열처리로 인하여 오렌지 주스 내

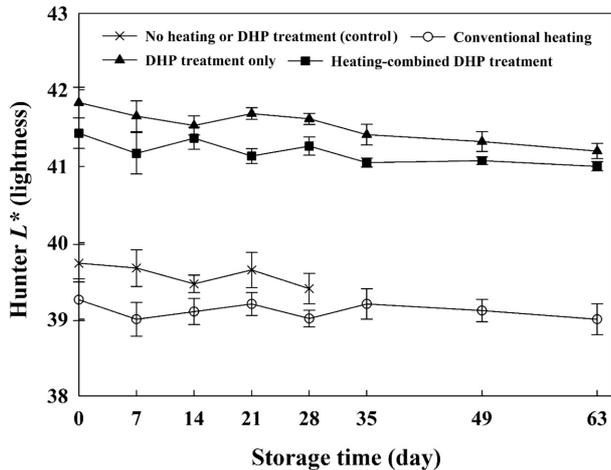


Fig. 4. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on Hunter L\* (lightness) value of orange juice during storage at 4°C for 63 days. DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 50°C, respectively. Conventional heating temperature and time were 90°C and 1 min, respectively.

아미노산의 아미노기와 환원당의 카보닐기가 축합하여 마이야르(Maillard) 갈변현상이 일어나게 되어 밝기가 감소한다고 보고하였다. 본 실험에서도 열처리 중 주스에 주입되는 열에 의해서 갈변현상이 일어나 열처리 주스의 밝기가 감소한 것으로 사료되었다.

#### 당도 및 pH

단일 DHP 처리, 열병합 DHP 처리, 열처리의 저장 중 오렌지 주스의 당도에 대한 영향을 Fig. 5에 나타내었다. 저장 0일의 단일 DHP 처리 주스와 열병합 DHP 처리 주스의 당도는 각각  $13.6 \pm 0.1$ 과  $13.8 \pm 0.1$ °Bx로 무처리 주스의 당도( $13.4 \pm 0.1$ °Bx)와 열처리 주스의 당도( $13.1 \pm 0.1$ °Bx)에 비해 높았다( $p < 0.05$ ) (Fig. 5). Lopez-Sanchez et al. (2011) 또한 DHP를 이용하여 60 MPa 압력과 1 패스 조건으로 처리한 당근, 브로콜리, 토마토 주스의 당도가 상승하였다고 보고하였는데, 이러한 현상은 DHP 처리가 시료의 다당류 교차결합을 끊어 분해시켰기 때문으로 설명되었다 (Lopez-Sanchez et al., 2011). 구아검, 아라비아검, 하이드록시에틸셀룰로오스와 같은 탄수화물 수용액 각각을 DHP 처리하였을 때 수용액 당도가 높아졌다는 보고도 있었다 (Villay et al. 2012). DHP 처리가 주스에 있는 펙틴과 같은 다당류(Navarro et al., 2014)의 결합을 끊고 저분자 물질들을 생성시켜 주스 당도를 높였을 것으로 사료되었다. 저장 중 단일 DHP 또는 열병합 DHP 처리 주스의 당도는 대체로 무처리 주스나 열처리 주스의 당도 보다 높게 유지되었다(Fig. 5). 주스의 저장 중 당도 분석결과는 DHP 처리를 이용하여 당도가 높은 오렌지 주스를 생산할 수 있음을 보여주었다.

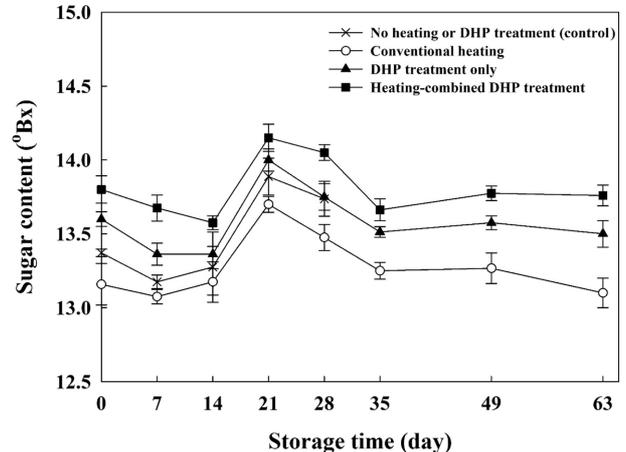


Fig. 5. Effects of the dynamic high pressure (DHP) treatments and the conventional heating on sugar content in orange juice during storage at 4°C for 63 days. DHP treatment pressure and pass number were 205 MPa and 3, respectively. Temperatures for DHP treatment only and heating-combined DHP treatment were 20 and 50°C, respectively. Conventional heating temperature and time were 90°C and 1 min, respectively.

반면 저장 중 열처리 주스의 당도는 무처리 주스보다 전반적으로 낮았다(Fig. 5). 오렌지 주스 내 마이야르 반응이 진행되면 비환원당이 반응에 사용되므로 주스의 당도가 감소하게 되는데(Cortés et al., 2008), 본 연구의 색 결과에서도 언급되었던 것처럼 열처리 주스에서 마이야르 반응이 진행되었을 수 있었을 것이고 이로 인해 밝기의 감소와 더불어 당도의 감소도 일어났을 것으로 사료되었다.

무처리 주스, 단일 DHP 처리 주스, 열병합 DHP 처리 주스, 열처리 주스의 pH는 저장 중 각각  $3.7 \pm 0.1$ ,  $3.7 \pm 0.1$ ,  $3.7 \pm 0.1$ ,  $3.7 \pm 0.1$ 로 서로 유의적인 차이를 나타내지 않았으며( $p > 0.05$ ), 이로써 본 연구에 사용된 처리 방법들과 4°C 저장은 주스의 pH에 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

#### 요 약

단일 DHP 처리와 열처리와 병합된 DHP 처리는 오렌지 주스의 토착 미생물을 각각 4와 7 log CFU/mL 이상 저해시켰다. 단일 DHP 처리와 열병합 DHP 처리는 오렌지 주스의 비타민 C 농도에 영향을 주지 않았고 주스의 밝기와 당도를 상승시켰다. 단일 DHP 처리 주스와 열병합 DHP 처리 주스는 4°C 저장 중 무처리 주스에 비해 높은 미생물 안정성을 보이면서도 무처리 주스와 열처리 주스보다 높은 밝기와 당도를 가졌다. 이때 열병합 DHP 처리는 기존 열처리와 유사한 미생물 안정성을 보여주었다. 이러한 결과를 바탕으로 DHP (단일 또는 열병합) 처리는 오렌지 주스의 미생물 저장 안정성을 향상시키면서도 주스의 밝기와 당도를 높이는 살균 공정으로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

## 감사의 글

이 논문은 2015학년도 서울여자대학교 자연과학연구소 교내 학술연구비의 지원을 받았음.

## References

- Aneja KR, Dhiman R, Aggarwal NK, Aneja A. 2014. Emerging preservation techniques for controlling spoilage and pathogenic microorganisms in fruit juices. *Int. J. Microbiol.* <http://dx.doi.org/10.1155/2014/758942>.
- An EM, Choi YH, Lee JK, Choi YS, Kim YH, Shin HS. 2015. Antioxidant properties of wheat bran prepared by a high-pressure homogenizer process. *Food Eng. Prog.* 19: 50-55.
- Braddock RJ. 1999. Single strength orange juices and concentrate. In *Handbook of Citrus By-products and Processing Technology*. Braddock RJ (ed). Wiley, NY, USA, pp. 53-83.
- Briñez WJ, Roig-Sagués AX, Herrero M, Lopez BG. 2006. Inactivation by ultra high-pressure homogenization of *Escherichia coli* strains inoculated into orange juice. *J. Food Protect.* 69: 984-989.
- Buttery RG, Teranishi R, Ling LC, Turnbaugh JG. 1990. Quantitative and sensory studies on tomato paste volatiles. *J. Agric. Food Chem.* 38: 336-340.
- Campos F, Cristianini M. 2007. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* in orange juice using ultra high-pressure homogenisation. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8: 226-229.
- Cortés C, Esteve MJ, Frígola A. 2008. Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control.* 19: 151-158.
- Diels AMJ, Callewaert L, Wuytack EY, Masschalck B, Michiels CW. 2005. Inactivation of *Escherichia coli* by high-pressure homogenization is influenced by fluid viscosity but not by water activity and product composition. *Int. J. Food Microbiol.* 101: 281-291.
- Dumay E, Chevalier-Lucia D, Picart-Palmade L, Benzaria A, Gràcia-Julià A, Blayo C. 2013. Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation. *Trends Food Sci. Tech.* 31: 13-26.
- Ferragut V, Valencia-Flores DC, Pérez-González M, Gallardo J, Hernández-Herrero M. 2015. Quality characteristics and shelf-life of ultra-high pressure homogenized (UHPH) almond beverage. *Foods.* 4: 159-172.
- Gogate PR, Pandit AB. 2008. Application of cavitation reactors for cell disruption for recovery of intracellular enzymes. *J. Chem. Technol. Biot.* 83: 1083-1093.
- Karaçam CH, Sahin S, Oztop MH. 2015. Effect of high pressure homogenization (microfluidization) on the quality of Ottoman Strawberry (*F. Ananassa*) juice. *LWT-Food Sci. Technol.* 64: 932-937.
- Kim S, Kim S, Park C. 2004. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. *Food Res. Int.* 37: 319-327.
- Korea Agricultural Trade Information. 2015. The export guide book for Korea agrifood. Available from: [http://www.kati.net/ebook/14\\_guidebook/14\\_guidebook.html](http://www.kati.net/ebook/14_guidebook/14_guidebook.html). Accessed Sept. 14, 2015.
- Lopez-Sanchez P, Nijssse J, Blonk HC, Bialek L, Schumm S, Langton M. 2011. Effect of mechanical and thermal treatments on the microstructure and rheological properties of carrot, broccoli and tomato dispersions. *J. Sci. Food Agric.* 91: 207-217.
- Lee SH, Kim G, Park YS. 2013. Changes of proteins and physico-chemical properties of cow's milk by high voltage pulsed electric field treatment. *Food Eng. Prog.* 17: 251-258.
- Maresca P, Donsi F, Ferrari G. 2011. Application of a multi-pass high-pressure homogenization treatment for the pasteurization of fruit juices. *J. Food Eng.* 104: 364-372.
- Min S, Jin ZT, Min SK, Yeom H, Zhang QH. 2003a. Commercial-scale pulsed electric field processing of orange juice. *J. Food Sci.* 68: 1265-1271.
- Min S, Jin ZT, Zhang QH. 2003b. Commercial scale pulsed electric field processing of tomato juice. *J. Agric. Food Chem.* 51: 3338-3344.
- Navarro JL, Izquierdo L, Carbonell JV, Sentandreu E. 2014. Effect of pH, temperature and maturity on pectinmethylesterase inactivation of citrus juices treated by high-pressure homogenization. *LWT-Food Sci. Technol.* 57: 785-788.
- Pareek S, Paliwal R, Mukherjee S. 2015. Effect of juice extraction methods, potassium metabisulphite concentration and storage temperature on the extent of degradation and reactivity of chemical constituents in mandarin (*Citrus reticulata Blanco*) Juice. *J. Food Agric. Environ.* 13: 39-44.
- Park HJ, Song JY, Chea KS, Lee HK, Choi HR. 2012. Quality characteristics and functional components of bokunja (black raspberry) juice. *Food Eng. Prog.* 16: 52-57.
- Patrignani F, Vannini L, Kamdem SLS, Lanciotti R, Guerzoni ME. 2010. Potentialities of high-pressure homogenization to inactivate *Zygosaccharomyces bailii* in fruit juices. *J. Food Sci.* 75: M116-M120.
- Pflug IJ, Holcomb RG, Gómez MM. 2001. Principles of the thermal destruction of microorganisms. In: *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Block SS (ed). Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, USA, pp. 79-127.
- Polydera AC, Stoforos NG, Taoukis PS. 2003. Comparative shelf life study and vitamin c loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice. *J. Food Eng.* 60: 21-29.
- Polydera AC, Stoforos NG, Taoukis PS. 2004. The effect of storage on the antioxidant activity of reconstituted orange juice which had been pasteurized by high pressure or heat. *Int. J. Food Sci. Tech.* 39: 783-791.
- Sanchez-Moreno C, Cano MP, de Ancos B, Plaza L, Olmedilla B, Granado F, Martin A. 2003. High-pressurized orange juice consumption affects plasma vitamin c, antioxidative status and inflammatory markers in healthy humans. *J. Nutr.* 133: 2204-2209.
- Sánchez-Moreno C, Plaza L, Elez-Martínez P, De Ancos B, Martín-Belloso O, Cano MP. 2005. Impact of high pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4403-4409.
- Sohn KS, Seog EJ, Lee JH. 2006. Quality changes of orange juice

- as influenced by clarification methods. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 35: 378-382.
- Suárez-Jacobo Á, Rüfer CE, Gervilla R, Guamis B, Roig-Sagués AX, Saldo J. 2011. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice. *Food Chem.* 127: 447-454.
- Tahiri I, Makhoulouf J, Paquin P, Fliss I. 2006. Inactivation of food spoilage bacteria and *Escherichia coli* O157: H7 in phosphate buffer and orange juice using dynamic high pressure. *Food Res. Int.* 39: 98-105.
- Velázquez-Estrada R, Hernández-Herrero M, Guamis-López B, Roig-Sagués A. 2012. Impact of ultra high pressure homogenization on pectin methylesterase activity and microbial characteristics of orange juice: a comparative study against conventional heat pasteurization. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 13: 100-106.
- Villay A, de Filippis FL, Picton L, Le Cerf D, Vial C, Michaud P. 2012. Comparison of polysaccharide degradations by dynamic high-pressure homogenization. *Food Hydrocolloid.* 27: 278-286.