Korean J. Microbiol. Biotechnol. (2014), 42(3), 267–274
http://dx.doi.org/10.4014/kjmb.1405.05007
pISSN 1598-642X eISSN 2234-7305

KJMB
Korean Journal of Microbiology and Biotechnology

초고압 처리가 우유의 미생물학적 및 이화학적 특성에 미치는 영향

이지은[1], 최은지[1], 박선영[2], 전가영[3], 장자영[1], 오영준[1], 임슬기[1], 김태운[2], 이종희[2], 박해웅[2], 김현주[1], 전정태[4], 최학종[1]*
[1]세계김치연구소 대사기능성연구단
[2]세계김치연구소 미생물발효연구단
[3]연세대학교 식품영양학과
[4]부산대학교 식품영양학과

Received: June 2, 2014 / Revised: July 5, 2014 / Accepted: July 7, 2014

Effects of High Pressure Treatment on the Microbiological and Chemical Properties of Milk

Jieun Lee[1], Eun-Ji Choi[1], Sun Young Park[2], Ga Young Jeon[3], Ja-Young Jang[1], Young Jun Oh[1], Seul Ki Lim[1], Tae-Woon Kim[2], Jong-Hee Lee[2], Hae Woong Park[2], Hyun Ju Kim[1], Jung Tae Jeon[4], and Hak-Jong Choi[1]*
[1]Metabolism and Functionality Research Group, [2]Microbiology and Fermentation Research Group, World Institute of Kimchi, Gwangju 503-360, Republic of Korea
[3]Food Science and Nutrition, Yonsei University, Seoul 120-749, Republic of Korea
[4]Food Science and Nutrition, Pusan National University, Busan 609-735, Republic of Korea

High pressure processing (HPP) is a non-thermal method used to prevent bacterial growth in the food industry. Currently, pasteurization is the most common method in use for most milk processing, but this has the disadvantage that it leads to changes in the milk's nutritional and chemical properties. Therefore, the effects of HPP treatment on the microbiological and chemical properties of milk were investigated in this study. With the treatment of HPP at 600 MPa and 15°C for 3 min, the quantity of microorganisms and lactic acid bacteria were reduced to the level of 2-3 log CFU/ml, and coliforms were not detected during a storage period of 15 d at 4°C. An analysis of milk proteins, such as α-casein, β-casein, κ-casein, α-lactalbumin, β-lactoglobulin by on-chip electorophoresis revealed that the electrophoretic pattern of the proteins from HPP-treated milk was different from that of conventionally treated commercial milk. While the quantities of vitamins and minerals in HPP-treated milk were seen to be comparable to amounts found in raw milk, the enzyme activity of lipase, protease and alkaline phosphatase after HPP treatment was reduced. These results suggest that HPP treatment is a viable method for the control of undesirable microorganisms in milk, allowing for minimal nutritional and chemical changes in the milk during the process.

Keywords: High pressure treatment, milk, microbial reduction, chemical property

서 론

최근 식품 원료와 제품의 신선도를 최대한 유지하면서 유통기한을 연장하기 위한 최소가공기술(minimal process technology)에 대한 관심이 높아지고 있다. 최소가공기술 중 초고압처리법(High Pressure Processing, HPP)은 비열(非熱)가공(non-thermal process) 기술로서 액체 또는 고체 식품을 포장하거나 포장하지 않은 상태로 100-1,000 MPa의 정수압(hydrostatic pressure)의 압력을 처리하는 기술이다. HPP는 식품의 맛, 향, 영양성분에 변화를 주지 않으면서 미생물을 사멸시키고 효소를 불활성화시켜 효소의 작용에 의한 쓴맛, 냄새의 발생을 억제하는 첨단가공기술로서 모든 공정이 비가열처리 되는 것이 특징이다[8].

우유는 인류가 10,000여 년 전부터 식품으로 사용해온 영양적으로 균형이 맞춰진 완전식품으로 2011년 현재 전 세계 우유 생산량은 7억3천만 톤에 달하며, 6억 명 이상의 인구가 우유를 소비하고 있다[26]. 현재 가장 많이 사용되는 우유의 살균(pasteurization)방법은 열처리법이며, 63°C에서 30분간 가열하는 방식인 Low Temperature Long Time (LTLT), 72-75°C에서 15초간 열처리하는 High Temperature Short Time (HTST), 135°C에서 2초간 살균하는 Ultra-High Tem-

*Corresponding author
Tel: +82-62-610-1729, Fax: +82-62-610-1850
E-mail: hjchoi@wikim.re.kr
© 2014, The Korean Society for Microbiology and Biotechnology

perature (UHT) 방식이 가장 많이 사용되고 있다. 이러한 가열살균법은 우유의 단백질 및 비타민 C와 같은 성분을 변성시키는 단점이 있으며 특히, 고온살균 과정 중 변성된 유단백은 신생아에게 항원으로 작용하여 심각한 알레르기를 유발하기도 한다[12]. 알레르기를 유발하는 주요 유단백은 α-lactalbumin (α-la), β-lactoglobulin (β-lg) 및 casein이며, 때때로 bovine serum albumin 및 lactoferrin도 문제가 되기도 한다[23]. 가열살균 처리 과정에서 변성된 알레르기 유발 유단백질은 섭취 후 소화효소인 trypsin 또는 chymotrypsin에 의하여 분해된 후 생체 알레르기 유발 항체인 immunoglobulin (Ig) E와 결합을 하게 되어 알레르기를 유도한다[1]. 알레르기 저감을 위한 우유의 비가열 살균 기술로 HPP 처리가 적용되고 있으며[11], 최근 연구에 의하면 HPP 처리 우유의 β-lg은 trypsin에 의하여 가수분해 후에도 IgE와 결합하는 능력을 상실한다고 보고되었다[16]. 우유에 고압처리 시 물리적 특성이 변한다는 연구는 1899년 처음 보고되었으나[9], HPP 처리가 우유의 고분자 성분에 미치는 효과에 대한 세부적인 연구는 비교적 근래에 연구가 시작되었다[25]. HPP 처리는 casein micelle에 결합된 mineral을 용해시켜 casein 입자를 작게 만들어 우유의 혼탁도(turbidity)를 감소시키는 효과를 보여 cheese 제조에 바람직하게 우유의 성질을 변화시킨다[10, 24]. 또한, HPP 적용 조건에 따라 whey protein 및 serum protein을 변성시켜 유단백질 매개 알레르기를 저감시키는 효과를 나타낸다[2]. HPP에 의한 미생물의 생육저해효과는 HPP 조건(압력, 시간, 온도, cycle 등) 및 적용 식품의 조성, 특성, 미생물의 생리학적 상태에 영향을 받는다. 우유의 경우, 대부분의 효모나 곰팡이는 압력에 민감한 것으로 나타났으나[24], 세균은 상대적으로 높은 압력 조건이 필요하다. 그람양성균은 그람음성균 보다 압력에 높은 저항성을 나타내는데 그람음성균의 경우, 25°C 기준, 300-400 MPa에서 10분간 처리하였을 때 생육저해효과가 있었으며, 그람양성균의 25°C 기준, 500-600 MPa에서 10분간 처리하였을 경우 효율적인 생육저해효과가 나타난다[25]. 종합적으로 HPP 처리가 LTLT 처리법 정도의 살균효과를 나타내기 위해서는 원유를 400-500 MPa 수준으로 압력을 가하였을 경우 원유에 존재하는 병원성균 및 부패균의 생육을 저해할 수 있는 것으로 나타난다[4]. 따라서 최소가공기술인 HPP는 우유의 살균에 적용함으로써 우유 고유의 신선도, 향, 색, 그리고 맛을 유지하면서도 안전한 우유 살균조건을 개발하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 비가열 살균방법인 HPP를 사용하여 우유에 처리하였을 때, 우유 내 잔존 미생물, 우유 단백질 성분의 변화, 기타 우유 성분의 이화학적 변화를 기존의 가열살균처리와 비교하여 분석하였다.

재료 및 방법

우유 시료

본 연구에 사용된 원유와 고압 살균 처리한 HPP 우유는 A사에서 공급받았으며, 가열살균 우유 시료로는 LTLT, HTST 및 UHT 살균법 처리 우유를 시중마트에서 구입하여 사용하였다.

우유의 HPP 처리

우유 시료의 HPP 처리는 Baotou Kefa High Pressure Technology (Baotou, China)사의 5L-HPP-600MPa 장비를 이용하여 550-600 MPa의 조건으로 수행하였다.

우유의 잔존 미생물 분석

HPP 처리 후 잔존하는 미생물 분석은 다음과 같이 수행하였다. 550 MPa (HPP A, 550 MPa에서 3분간 HPP 처리) 및 600 MPa (HPP B, 600 MPa에서 3분간 HPP 처리)의 조건에서 3분간 처리한 HPP 우유를 4°C에서 15일 동안 저장하면서 일반세균수, 유산균수 및 대장균군수를 측정하였다. 저장 기간에 따라 시료를 채취하여 멸균식염수에 순차적으로 희석하여 일반세균은 Plate Count Agar (PCA) 배지 (BD Difco, Detroit, MI, USA), 총 유산균은 BCP Plate Count (BCP) 배지(Eiken Chemical Co., Tochigi, Japan), 대장균군은 3M Petrifilm™ E. coli/Coliform plates (3M Co., St. Paul, MN, USA)에 도말하였다. 도말된 PCA 배지는 30°C에서 48시간, BCP 배지는 30°C에서 72시간, 3M Petrifilm은 30°C에서 24시간 각각 배양하였고, BCP 배지의 경우 GasPak EZ Container System (BD, Sparks, MD, USA)을 사용하여 혐기조건에서 배양하였다. 배양 후 30-300개의 집락을 형성한 배지만을 계수하였다.

우유의 유단백 변성도 측정

우유의 HPP 처리 시 단백질 변성 정도를 알아보기 위하여 원유와 각각 570, 590 및 600 MPa의 조건에서 3분 또는 5분간 처리한 HPP 우유, 대조군으로 LTLT, HTST, UHT 처리 우유의 α-casein, β-casein, κ-casein, α-la, β-lg의 함량을 Nitsche [18]의 방법을 변형하여 on-chip 전기영동 방법으로 측정하여 비교하였다. 시료의 단백질은 13,000 ×*g*에서 1시간 동안 원심분리 하여 지방층을 제거하고 남은 상등액을 이용하여 측정하였다. Lab-on-a-chip 측정과 시료 전처리는 Agilent Protein 80 Kit Quick Start Guide에 따라 처리하였으며, 2100 Bioanalyzer (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 이용하여 전기영동 한 후 단백질 분리 패턴을 비교·분석하였다.

http://dx.doi.org/10.4014/kjmb.1405.05007

효소활성 측정

초고압 처리에 따른 우유 lipase, protease, alkaline phosphatase 및 lactoperoxidase 활성 변화 측정은 실험항목에 따라 vortex mixer를 이용한 균질 및 원심분리기를 이용한 지방층 제거 등의 전처리 과정을 거친 우유를 사용하여 측정하였다. Lipase 저해활성은 Park 등[19]의 방법을 변형하여 측정하였다. 10 nM *p*-nitrophenyl phosphate 용액 0.1 ml과 50 mM potassium phosphate (pH 7.5) 완충액 0.8 ml를 혼합하고 여기에 0.1 ml의 우유를 가한 뒤 37°C에서 15분간 반응시킨 후 유리된 *p*-nitrophenol의 양을 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. Protease 활성은 Gupta 등[6]과 Gutelben 등[7]의 방법을 변형하여 측정하였다. 0.5% casein 용액 0.1 ml을 37°C에서 10분간 반응시킨 후 0.1 ml의 우유를 가한 뒤 다시 37°C에서 10분간 반응시켰다. 여기에 0.4 M trichloroacetic acid 용액 0.2 ml을 가해 37°C에서 25분간 방치시킨 뒤 침전물을 0.4 μm syringe filter로 여과하였다. 여과액 0.1 ml에 0.4 M Na_2CO_3 0.5 ml과 Folin-Ciocalteu's phenol reagent액 (Sigma-Aldrich, St. Luis, MO, USA) 0.1 ml을 가하여 37°C에서 20분간 발색시킨 뒤 냉각하여 생성된 tyrosine의 양을 660 nm에서 측정하였다. Alkaline phosphatase의 활성은 Alkaline Phosphatase Assay Kit (Abcam, Cambridge, MA, USA)를 제조사의 방법에 따라 측정하였고, lactoperoxidase의 활성은 Enzyme-linked Immunosorbent Assay Kit For Lactoperoxidase (Cloud-Clone Co., Houston, TX, USA)를 사용하여 제조사의 방법에 따라 측정하였다.

우유의 비타민 및 미네랄 측정

시료의 Vitamin A의 잔존 함량 측정은 Vitakit (Crystal Chem Inc., Chicago, IL, USA), Vitamin B1 함량 측정은 VitaFast Vitamin B1 (R-Biopharm, Darmstadt, Germany), ascorbic acid 함량 측정은 Ascorbic Acid Assay Kit (Bio-Assay Systems, Hayward, CA, USA)를 사용하여 측정하였다. 칼슘의 함량은 QuantiChrom Calcium Assay Kit (Bioassay Systems), 마그네슘의 함량은 QuantiChrom Magnesium Assay Kit (Bioassay Systems)을 사용하여 제조사의 방법에 따라 측정하였다.

통계분석

모든 실험값은 평균과 표준편차로 표시하였다. 얻은 실험값의 통계분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원분산분석(one-way analysis of variance)을 실시하였고, 실험군 간의 유의성은 Duncan's multiple range test ($p < 0.05$) 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

원유의 HPP 처리에 따른 미생물 분석

HPP 처리에 따른 우유의 살균 효과를 알아보기 위하여 원유를 15°C에서 550 및 600 MPa의 조건으로 각각 3분 동안

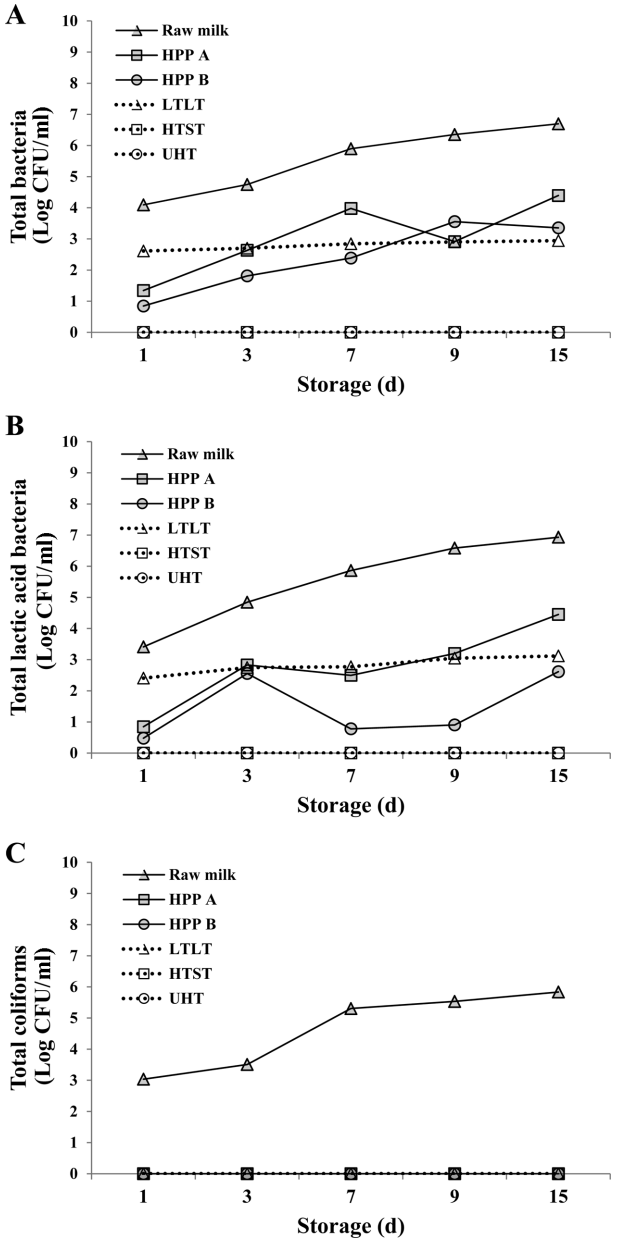

Fig. 1. (A) Total bacteria, (B) Total lactic acid bacteria, (C) Total coliforms from raw milk or high pressure-treated milk during storage at 4°C. HPP A; high pressure-treated raw milk at 550 MPa for 3 min, HPP B; high pressure-treated raw milk at 600 MPa for 3 min.

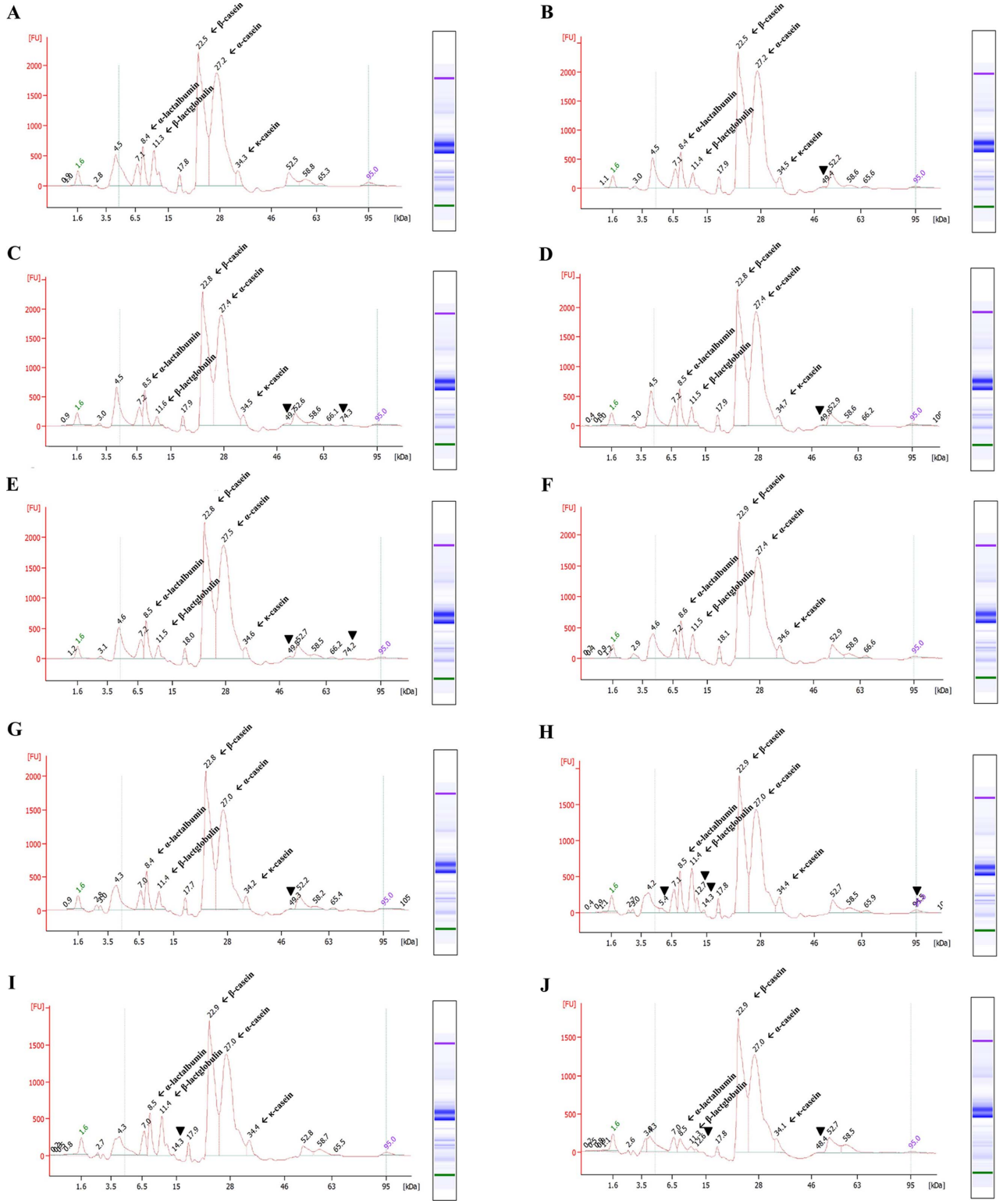

Fig. 2. Electrophoreogram and gel-like image of high pressure-treated of heat treated protein in milk. (A) Raw milk, (B) high pressure process (HPP)-treated raw milk at 570 MPa or 3 min, (C) HPP treated raw milk at 570 MPa, 5 min, (D) HPP treated raw milk at 590 MPa, 3 min, (E) HPP treated raw milk at 590 MPa, 5 min, (F) HPP treated raw milk at 600 MPa, 3 min, (G) HPP treated raw milk at 600 MPa, 5 min, (H) LTLT, (I) HTST, (J) UHT. Arrows indicate potentially denatured milk proteins.

http://dx.doi.org/10.4014/kjmb.1405.05007

초고압 처리를 하였으며, 그 후 시료를 4°C에서 15일간 저장하면서 일반세균, 유산균 및 대장균군 수의 변화를 측정하였다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 저장 1일차 대조구로 사용된 비살균 우유의 일반세균수는 4.09 Log CFU/ml로 나타났으며, HPP A의 경우 1.34 Log CFU/ml로 대조구에 비하여 2.75 Log CFU/ml 감소하였고, HPP B는 0.85 Log CFU/ml로 3.25 Log CFU/ml 정도 감소하였다. 이는 HPP의 처리 압력이 높을수록 효율적으로 일반세균이 제어되는 것을 나타낸다. 또한 저장 기간 중 HPP 처리구의 일반세균 수는 대조군과 비교하여 약 2-3 Log CFU/ml의 감소 효과를 유지하였다. 가열살균 우유 시료인 HTST와 UHT는 15일 동안 일반세균이 검출되지 않았으나, LTLT 처리 우유는 저장 15일차 일반세균이 약 3 Log CFU/ml 수준으로 검출되었다. 이러한 결과는 600 MPa의 압력 하에 3분간 우유를 HPP 처리할 경우 LTLT 수준으로 살균 효과를 갖는다는 것을 나타낸다. 유산균의 경우 비살균 대조군의 경우 3.41 Log CFU/ml로 HPP A의 Log CFU/ml 보다 2.56 Log CFU/ml 정도 감소하였고, HPP B는 Log CFU/ml로 2.93 Log CFU/ml 만큼 감소하였다. 550 MPa 조건 보다 600 MPa 처리 조건이 더 큰 유산균 제어 효과를 나타냈으며, 이러한 경향은 일반세균과 마찬가지로 15일간 저장 중 꾸준히 유지되었다. 대장균군의 수는 초기 비살균 우유에서 3.04 Log CFU/ml로 검출되던 것이 15일차에서 5.85 Log CFU/ml로 증가하였으나, HPP 처리 군에서는 모두 불검출 되었다. Huppertz 등[10]은 원유를 600 MPa로 처리할 경우 4 Log CFU/ml 이상의 일반세균 감소효과가 나타난다고 보고하였는데 본 연구에서는 2-3 Log CFU/ml 정도의 일반세균 및 유산균 제어효과가 나타났다. 이는 각각의 연구에 사용한 초고압살균기의 크기 및 초고압 처리 시간 등이 다른 것에 기인한 것으로 사료된다.

HPP 처리에 따른 우유의 단백질 변성도 측정

최근 들어 우유를 가열살균 함에 따라 3차 단백질 구조가 파괴되어 변성이 일어나게 되고 이로 인해 우유의 영양소 파괴 및 인체에, 특히 신생아에게 알레르기를 유발하는 문제가

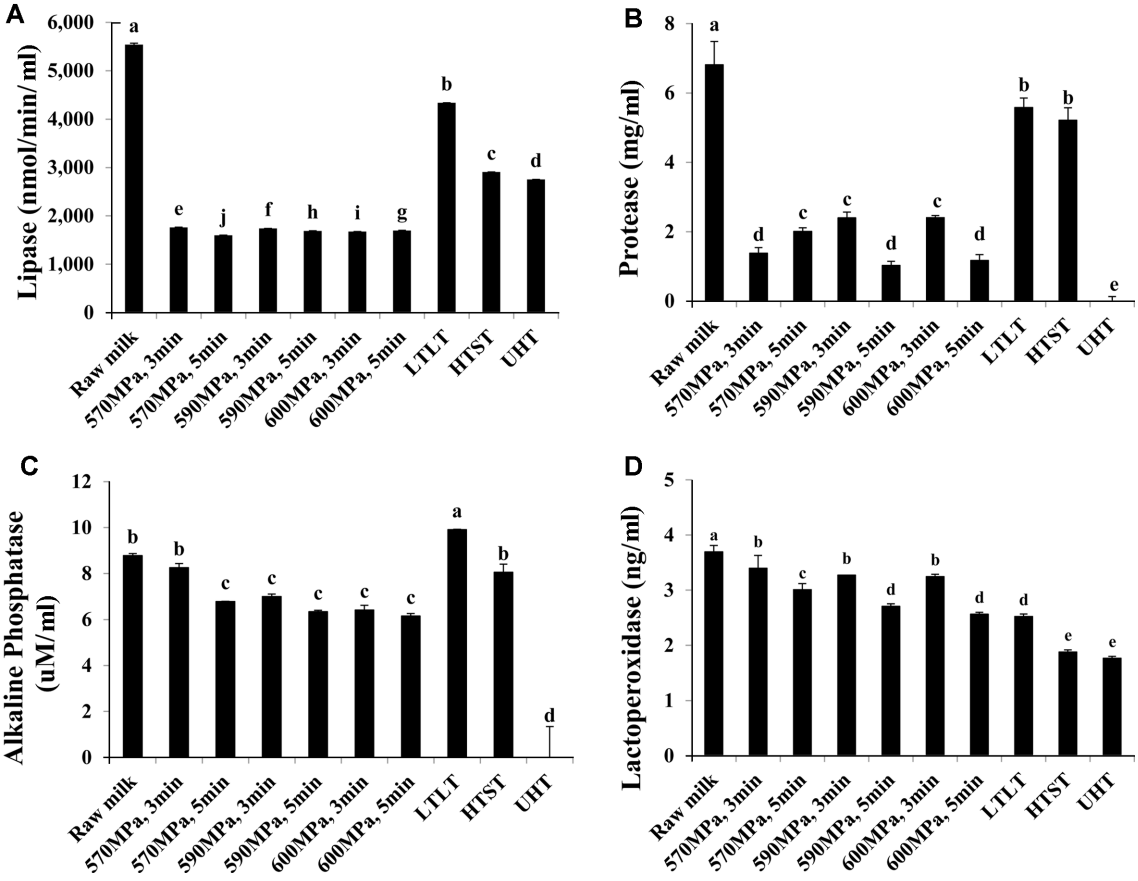

Fig. 3. Effect of high pressure treatment of milk at 550 MPa, 570 MPa and 600 MPa for 3 min or 5 min on the enzyme activity of (A) lipase, (B) protease, (C) alkaline phosphatase and (D) lactoperoxidase. The means (±SD) of three independent experiments are shown.

보고되어왔다[12]. 본 연구에서는 초고압 처리를 통한 우유의 단백질 변성도를 기존의 가열처리우유와 비교해보았으며, 그 결과는 Fig. 2에 나타내었다. HPP 처리 우유와 가열살균 우유의 단백질 변성도를 비교하기 위하여 원유를 570, 590 및 600 MPa의 조건에서 각각 3, 5분 동안 초고압 처리를 하였으며, 이를 LTLT, HTST 및 UHT 처리 우유와 함께 on-chip 전기영동법을 사용하여 우유 단백질의 변성도를 비교·분석하였다. Electropherogram 상에서 α-la, β-lg, α-casein, β-casein 및 κ-casein은 각각 8.5 kDa, 11.6 kDa, 22.8 kDa, 27.4 kDa 및 34.5 kDa의 분자량 위치에서 나타남을 확인하였으며, 시판 중인 가열살균 우유는 HPP 처리 우유보다 단백질의 종류가 다양하게 나타났다. 이는 변성된 유단백을 전기영동으로 분석할 때 전형적으로 나타나는 현상으로 가열살균 처리군에 비해 HPP 처리군에서 단백질 변성이 약하게 일어나는 것을 의미한다.

HPP 처리에 따른 우유의 잔존 효소활성 측정

우유를 가열 살균할 경우 대부분의 효소는 불활성화되거나 효소활성이 급격하게 감소하는데, HPP 처리가 우유 효소 활성에 미치는 영향을 알아보고자 lipase, protease, alkaline phosphatase 및 lactoperoxidase의 활성을 측정하였다. Fig. 3A에 나타낸 바와 같이, lipase는 HPP 처리 시 원유에 비하여 효소활성이 급격히 감소하였으며, 3분 보다 5분 처리 시에 활성이 더욱 감소하였다. 더욱이 HPP 처리에 따른 lipase의 활성이 가열살균 우유보다 유의적으로 낮게 관찰되는 것으로 보아, HPP 처리는 가열살균보다도 lipase를 효율적으로 불활성화 시키는 것을 확인하였다. 또한 protease의 경우 역시 HPP 처리가 가열살균보다 protease 활성을 효율적으로 불활성화시키는 것으로 관찰되었다(Fig. 3B). 하지만 UHT 처리 우유에서는 protease 활성이 전혀 검출 되지 않는 것으로 보아 우유에 존재하는 protease는 HTST 살균법 이상의 고온에서 활성이 소실됨을 알 수 있었다. Alkaline phosphatase는 570 MPa 조건에서 5분, 590 및 600 MPa 조건에서 3 또는 5분 처리 시에 효소 활성이 유의적으로 감소하였으며, LTLT 및 HTST 우유보다 효소 활성이 더욱 감소하였다(Fig. 3C). 또한 alkaline phosphatase도 protease와 마찬가지로 UTH 처리 우유에서는 활성이 검출되지 않았다. Lactoperoxidase는 HPP 처리 시에 효소 활성이 유의적으로 감소되었고, 600 MPa 조건에서 5분간 가압하였을 때는 효소 활성 감소가 가장 크게 나타나 LTLT 우유와 유사한 수준이었으며, HTST 및 UHT 처리 우유의 경우 효소 활성이 가장 낮게 나타났다(Fig. 3D). Raynal-Ljutovac 등[21]에 따르면 우유 가열 살균 지표로 사용되는 alkaline phosphatase는 열에 의해 어느 정도 사멸되지만, 원유의 품질에 따라 가열 살균 시에도 protease나 lipase와 마찬가지로 alkaline phosphatase의 불활성화가 완전하게 일어나지 않을 수 있다고 보고하였다. López-Fandiño 등[17]은 원유를 380 MPa에서 60분 처리시 alkaline phosphatase가 완전히 불활성화되며, Rademacher 등[20]은 alkaline phosphatase는 600 MPa에서 10분간 처리시에는 50%, 800 MPa에서 8분 처리시에는 100% 불활성화된다고 보고하였다. 이와 유사하게 본 연구에서는 alkaline phosphatase 활성이 원유에 비하여 유의적으로 감소하였다. 우유의 lactoperoxidase는 비교적 높은 압력조건에도 활성이 소실되지 않는 특성을 나타내는데 [15, 17], 본 연구에서도 HPP 처리 시 lactoperoxidase의 활성은 원유에 비하여 약하게 감소하나 가열살균 보다는 불활성화 정도가 낮게 검출되었다.

HPP 처리에 따른 우유의 잔존 비타민 및 미네랄 함량 측정

일반적으로 가열살균 처리는 우유의 비타민 A, B1 및 C의 함량에 영향을 주는 것으로 알려져 있다[14]. 본 연구에서는 HPP 처리 우유의 잔존 비타민 A의 경우 압력이 높아질수록 함량이 유의적으로 감소하고, 같은 압력 조건에서 3분보다 5분 처리시에 함량이 유의적으로 감소하여 압력과 시간의 영향을 많이 받음을 알 수 있었으나, 가열살균의 경우 비타민 A 함량의 소실이 HPP 처리보다는 높게 나타났다(Table 1). 이는 HPP 처리가 가열살균 처리에 비하여 우유의 비타민 A의 소실을 적게 일으키는 결과로 해석된다. 비타민 B1과 비타민 C의 경우 HPP 처리 시에 함량이 약하게 줄어듦을 알 수 있었지만 검출된 함량이 매우 낮아 HPP 처리에 따른 소실 정도를 파악하기는 힘들었다(Table 1).

Table 1. Effect of high pressure treatment of milk at 570 MPa, 590 MPa and 600 MPa for 3 min or 5 min on the concentration of vitamin A, vitamin B1 and ascorbic acid.

Treatment		Concentration of vitamins (mg/dl)		
		Vitamin A (IU/ml)	Vitamin B1 (mg/dl)	Ascorbic acid (mg/dl)
Raw milk		84.31±0.98$^{a1)}$	0.05±0.00$^{ns2)}$	0.05±0.02^{ns}
570 MPa	3 min	52.50±0.70^{b}	0.04±0.00	0.01±0.01
	5 min	39.91±0.48^{e}	0.03±0.00	0.02±0.02
590 MPa	3 min	48.58±0.20^{c}	0.03±0.00	0.04±0.01
	5 min	28.90±0.40^{f}	0.03±0.00	0.05±0.02
600 MPa	3 min	42.90±0.73^{d}	0.03±0.00	0.03±0.00
	5 min	27.03±0.36^{g}	0.03±0.00	0.03±0.00
LTLT		14.29±0.24^{i}	0.03±0.00	0.12±0.00
HTST		22.23±0.26^{h}	0.03±0.00	0.06±0.00
UHT		1.39±0.08^{j}	0.03±0.00	0.03±0.00

[1)]Means in the same column (a-j) bearing different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).
[2)]ns; not significantly different.

http://dx.doi.org/10.4014/kjmb.1405.05007

Table 2. Effect of high pressure treatment of milk at 570 MPa, 590 MPa and 600 MPa for 3 min or 5 min on the concentration of calcium and magnesium.

Treatment		Concentration of mineral (mg/dl)	
		Calcium	Magnesium
Raw milk		169.36±2.03$^{a1)}$	17.64±0.47$^{ns2)}$
570 MPa	3 min	162.19±10.55^{a}	15.35±2.68
	5 min	167.99±9.00^{a}	16.62±1.55
590 MPa	3 min	168.06±2.85^{a}	15.22±2.61
	5 min	158.99±9.85^{a}	15.99±2.92
600 MPa	3 min	164.65±11.35^{a}	15.93±2.04
	5 min	166.89±19.92^{a}	16.30±3.26
LTLT		145.81±5.39^{a}	13.99±3.44
HTST		153.26±12.00^{a}	15.07±3.04
UHT		116.80±22.34^{b}	15.62±2.39

[1)]Means in the same column (a-b) bearing different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).
[2)]ns; not significantly different.

HPP 처리가 우유의 미네랄 함량에 미치는 영향을 알아보고자 우유의 대표적미네랄 성분인 calcium 및 magnesium의 잔존 함량을 HPP 처리 후 측정하였다. Calcium은 처리한 HPP의 모든 압력 조건에서도 거의 감소하지 않았으며, magnesium 역시 거의 유의적인 함량의 차이를 보이지 않았다(Table 2). 본 연구결과에서는 HPP 처리 시 우유의 calcium 함량이 거의 변하지 않고 가열살균 처리 했을 시 살균 온도가 가장 높은 UHT 처리 우유에서의 칼슘 함량이 가장 낮게 나타나, 우유의 calcium은 저온살균에 의하여 영향을 거의 받지 않는다고 알려져 있지만 고온에서 살균 시에는 diffusible calcium 함량이 감소하는 반면[3, 22], 600 MPa 이하의 압력을 처리 시에는 ionic calcium의 농도가 변하지 않거나 영향이 매우 적다고 보고된 결과와 일치하였다[5, 13].

요 약

초고압 공정(HPP)은 비가열 공정 중 하나로 식품 중의 세균 증식을 억제하는 방법으로 근래 들어 산업적으로 각광받고 있다. 현재 우유의 살균은 대부분 가열살균법에 의존하고 있으나, 가열살균은 우유의 영양소 및 이화학적 특성을 변화시키는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 초고압 처리가 우유의 미생물학적 및 이화학적 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 우유를 15°C에서 600 MPa의 압력조건으로 3분간 처리했을 시 일반세균 및 유산균의 수는 2-3 Log CFU/ml 수준으로 감소하였으며, 대장균군은 HPP 처리 후 4°C에서 15일 저장 기간 중에 검출되지 않았다. HPP 처리에 따른 유단백의 변성을 알아보고자 유단백의 전기영동 패턴을 분석한 결과, HPP 처리 우유가 가열살균 우유에 비하여 단백질 변성도가 낮게 나타났다. 또한 HPP 처리 우유의 경우 비타민 및 무기질의 함량 변화는 상대적으로 낮았으나, protease, lipase 및 alkaline phsophatase와 같은 우유 효소는 불활성화 시키는 특징을 나타내었다. 이러한 결과는 HPP가 우유의 영양소 파괴 및 이화학적 특성을 변화시키지 않으면서 우유의 미생물 제어에 사용될 수 있음을 제시한다.

References

1. Beran M, Klubal R, Molik P, Strohalm J, Urban M, Klaudyova AA, *et al*. 2009. Influence of high-hydrostatic pressure on tryptic and chymotryptic hydrolysis of milk proteins. *High Press. Res*. **29**: 23-27.
2. Bu G, Luo Y, Chen F, Liu K, Zhu T. 2013. Milk processing as a tool to reduce cow's milk allergenicity: a mini-review. *Dairy Sci. Technol*. **93**: 211-223.
3. Buchheim W, Schrader K, Morr CV, Frede E. 1996. Effects of high pressure on the protein, lipid and mineral phase of milk. *In Heat Treatments and Alternative Methods* **9602**: 202-213.
4. Buffa M, Trujillo AJ, Guamis B. 2001. Changes in textural, microstructure, and colour characteristics during ripening of cheeses made from raw, pasteurised or high-pressure-treated goats' milk. *Int. Dairy J*. **11**: 927-934.
5. de la Fuente MA, Olano A, Casal V, Juárez M. 1999. Effects of high pressure and heat treatment on the mineral balance of goats' milk. *J. Dairy Res*. **66**: 65-72.
6. Gupta A, Roy I, Khare SK, Gupta MN. 2005. Purification and characterization of a solvent stable protease from *Pseudomonas aeruginosa* PseA. *J. Chromatogr. A*. **1069**: 155-161.
7. Gutleben W, Tuan ND, Stoiber H, Dierich MP, Sarcletti M, Zemann A. 2001. Capillary electrophoretic separation of protease inhibitors used in human immunodeficiency virus therapy. *J. Chromatogr. A*. **922**: 313-320.
8. He H, Adams RM, Farkas DF, Morrissey MT. 2006. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension. *J. Food Sci*. **67**: 640-645.
9. Hite BH. 1899. The effects of pressure in the preservation of milk. *West Virginia Agric. Exp. Sta. Bull*. **58**: 15-35.
10. Huppertz T, Smiddy MA, Upadhyay VK, Kelly AL. 2006. High-pressure-induced changes in bovine milk: a review. *Int. J. Dairy Technol*. **59**: 58-66.
11. Iametti S, Transidico P, Bonomi F, Vecchio G, Pittia P, Rovere P, *et al*. 1997. Molecular modifications of β-lactoglobulin upon exposure to high pressure. *J. Agric. Food Chem*. **45**: 23-29.
12. Isolauri E, Turjanmaa K. 1996. Combined skin prick and patch testing enhances identification of food allergy in infants with atopic dermatitis. *J. Allergy Clin. Immunol*. **97**: 9-15.
13. Johnston DE, Austin BA, Murphy RJ. 1992. Effects of high hydrostatic pressure on milk. *Milchwissenschaft* **47**: 760-763.

14. Kim HY, Kim SH, Choi MJ, Min SG, Kwak HS. 2008. The effect of high pressure-low temperature treatment on physico-chemical properties in milk. *J. Dairy Sci.* **91**: 4176-4182.
15. Kussendrager KD, van Hooijdonk AC. 2000. Lactoperoxidase: physico-chemical properties, occurrence, mechanism of action and applications. *Br. J. Nutr.* **84**: S19-25.
16. López-Expósito I, Chicón R, Belloque J, López-Fandiño R, Berin MC. 2012. *In vivo* methods for testing allergenicity show that high hydrostatic pressure hydrolysates of β-lactoglobulin are immunologically inert. *J. Dairy Sci.* **95**: 541-548.
17. López-Fandiño R, Carrascosa AV, Olano A. 1996. The effects of high pressure on whey protein denaturation and cheese-making properties of raw milk. *J. Dairy Sci.* **79**: 929-936.
18. Nitsche R. 2011. Milk protein analysis with the Agilent 2100 Bioanalyzer and the Agilent Protein 80 kit. Germany: Agilent Technologies, Inc.
19. Park SY, Kim JY, Bae JH, Hou CT, Kim HR. 2013. Optimization of culture conditions for production of a novel cold-active lipase from *Pichia lynferdii* NRRL Y-7723. *J. Agric. Food Chem.* **61**: 882-886.
20. Rademacher B, Pfeiffer B, Kessler HG. 1998. Inactivation of microorganisms and enzymes in pressure-treated raw milk. pp. 145-151. Isaacs NS (ed.), *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
21. Raynal-Ljutovaca K, Parkb YW, Gaucheronc F, Bouhallab S. 2007. Heat stability and enzymatic modifications of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* **68**: 207-220.
22. Schrader K, Buchheim W, Morr CV. 1997. High pressure effects on the colloidal calcium phosphate and the structural integrity of micellar casein in milk. Part 1. High pressure dissolution of colloidal calcium phosphate in heated milk systems. *Nahrung.* **41**: 133-138.
23. Sharma S, Kumar P, Betzel C, Singh TP. 2001. Structure and function of proteins involved in milk allergies. *J. Chromatogr. B. Biomed Sci. Appl.* **756**: 183-187.
24. Smelt JM. 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends Food Sci. Technol.* **9**: 152-158.
25. Trujillo AJ, Capellas M, Saldo J, Gervilla R, Guamis B. 2002. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. *Innov. Food Sci. Emerg.* **3**: 295-307.
26. UN FAO. 2011. *Food Outlook: Global Market Analysis*. Rome, Italy.

http://dx.doi.org/10.4014/kjmb.1405.05007